

วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ฉบับพิเศษ ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 (มกราคม - เมษายน 2554)

ISSN 1686 - 8420

เล่มที่ 1



การประชุมวิชาการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3

“การพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในยุคเศรษฐกิจสร้างสรรค์”



24 - 26 พฤศจิกายน 2553
ศูนย์ประชุมสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์

3rd RMUTCON



การประชุมวิชาการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3
“การพัฒนาศาสตร์และเทคโนโลยีในยุคเศรษฐกิจสร้างสรรค์”

เล่ม 1

จัดทำโดย
สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

24 – 26 พฤศจิกายน 2553
ศูนย์ประชุมสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ กรุงเทพฯ

สารอธิการบดี

ในนามของผู้บริหารและบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี รู้สึกเป็นเกียรติและภาคภูมิใจอย่างยิ่งที่ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพในการจัดการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3 [The 3rd Rajamangala University of Technology National Conference (3rd RMUTCON)] และ การประชุมวิชาการนานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 2 [The 2nd Rajamangala University of Technology International Conference (2nd RMUTIC)] ในหัวข้อเรื่อง “การพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในยุคเศรษฐกิจสร้างสรรค์” ประจำปี 2553 ซึ่งเป็นที่ประจักษ์ชัดว่าบทบาทสำคัญในการพัฒนาประเทศ ในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั้น จำเป็นต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและอย่างมีระบบ อีกทั้งต้องนำองค์ความรู้ใหม่มาพัฒนาประเทศให้มีความเจริญรุ่งเรือง ก้าวหน้า และมีการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไป ผมหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลจากการประชุมในครั้งนี้ จะเป็นอีกก้าวหนึ่งที่จะเปิดโอกาสให้กับอาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลทั้ง 9 แห่ง ตลอดจนผู้สนใจทุกท่าน ได้ใช้ความรู้ความสามารถและนำเอาพัฒนาการทางด้านเทคโนโลยี ที่ทันสมัยไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลอย่างแท้จริง เป็นการเพิ่มศักยภาพที่มีอยู่ให้เพิ่มมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการพัฒนาและสร้างความเป็นเลิศทางด้านอุตสาหกรรมและงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสืบต่อไป

ในโอกาสนี้ ผมหวังว่าการแลกเปลี่ยนประสบการณ์และแนวความคิดในการประชุมครั้งนี้ จะก่อให้เกิดความร่วมมือกันระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลและสถาบันอุดมศึกษาต่างๆ รวมทั้งหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน และยังเป็นส่งเสริมการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อสร้างความเข้มแข็งในการพัฒนาประเทศโดยใช้งานวิจัยเป็นรากฐาน ในการพัฒนาอย่างยั่งยืน และเติบโตไปสู่การพึ่งตนเองได้ในอนาคต



(รองศาสตราจารย์นายยุทธ สงค์ธนาพิทักษ์)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คำนำ

การพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในยุคเศรษฐกิจสร้างสรรค์นับได้ว่าเป็นพื้นฐานสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจไทยบนพื้นฐานของการใช้องค์ความรู้ การศึกษา การสร้างสรรค์งาน และการใช้ทรัพย์สินทางปัญญาที่เชื่อมโยงกับรากฐานทางวัฒนธรรม การส่งเสริมความรู้ของสังคมและเทคโนโลยี นวัตกรรมสมัยใหม่ เพื่อสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับสินค้าและผลิตภัณฑ์ ตลอดจนกระบวนการผลิตในโลกยุคไร้พรมแดน จะเป็นกุญแจสู่ความสำเร็จของการพัฒนาดังกล่าว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ร่วมกับเครือข่ายมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีก 8 แห่ง ได้แก่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ได้จัดการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3 [The 3rd Rajamangala University of Technology National Conference (3rd RMUTCON)] ภายใต้หัวข้อ “การพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในยุคเศรษฐกิจสร้างสรรค์” และการประชุมวิชาการนานาชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 2 [The 2nd Rajamangala University of Technology International Conference (2nd RMUTIC)] “Science and Technology Development in Creative Economy” เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์และแนวคิดในการพัฒนางานวิจัยในสาขาวิชาต่างๆ ระหว่างนักวิจัย คณาจารย์และสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการ ตลอดจนเป็นเวทีให้นักวิจัยเผยแพร่ผลงานวิจัยในระดับนานาชาติ และระดับชาติ ระหว่างวันที่ 24 – 26 พฤศจิกายน 2553

การประชุมวิชาการครั้งนี้ ประกอบด้วย การปาฐกถาพิเศษ การอภิปรายและการบรรยายจากผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทั้งในและต่างประเทศ การนำเสนอผลงานทางวิชาการ ภาคบรรยายและภาคโปสเตอร์ ตลอดจนการจัดนิทรรศการ โดยแบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มย่อยจำนวน 3 สาขา ได้แก่ สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี และสาขาสังคมศาสตร์ การศึกษา และอื่นๆ นอกจากนี้ ยังมีการจัดงานนอกสถานที่ในเส้นทางจังหวัดพระนครศรีอยุธยา และจังหวัดสุพรรณบุรี เพื่อศึกษาด้านมรดกทางวัฒนธรรมและอนุรักษ์ภูมิปัญญาไทย

ในนามของคณะกรรมการจัดการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลฯ ขอขอบคุณนักวิจัย คณาจารย์ นักศึกษาและผู้สนใจที่เข้าร่วมเสนอผลงาน และการเข้าร่วมประชุมตลอดจนเครือข่ายการวิจัย ที่มีส่วนร่วมสำคัญในการจัดประชุมวิชาการ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าทุกท่านจะได้รับความรู้ ประสบการณ์และแนวคิด ประโยชน์จากการประชุมก่อให้เกิดการพัฒนาผลงานทางวิชาการ และสร้างงานวิจัยใหม่สมดังวัตถุประสงค์ของการจัดประชุมในครั้งนี้

สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พฤศจิกายน 2553

การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3 (3rd RMUTCON)

“การพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในยุคเศรษฐกิจสร้างสรรค์”

24-26 พฤศจิกายน 2553

วันที่ 1 : พุธที่ 24 พฤศจิกายน 2553

Convention Hall

8.00-9.00 ลงทะเบียน

9.00-9.15 พิธีเปิด

9.15-10.00 ปาฐกถาพิเศษเรื่อง “*Science and Technology in Creative Economy*”

โดย ฯพณฯ องคมนตรี ศาสตราจารย์เกียรติคุณ นพ. เกษม วัฒนชัย

10.00-10.15 พักรับประทานอาหารว่าง

10.15-12.00

Panel discussion “*Eco Labeling/ Carbon Footprint : Voluntary or Compulsory Market towards Sustainable Development for Thai Industries*” by

Ms. Phakamon Supappunt Senior Officer, Marketing Office, Thailand Greenhouse Gas Management Organization

Dr. Shabbir Gheewala, Prof. JGSEE, King Mongkut’s University of Technology Thonburi

Dr. Rohan Nelson Director, Offset Method Development , Department of Climate Change & Energy Efficiency, Australia

Dr. Sansanee Chawanakul Department of Biological Sciences, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University (Moderator)

12.00-13.00 พักรับประทานอาหารกลางวัน

13.00-14.00 บรรยายพิเศษ เรื่อง “Creative Economy and RMUT”

โดย ดร.กฤษณพงศ์ กีรติกร ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สาขาที่ 1 (วิทยาศาสตร์ชีวภาพ)

Meeting Room 5

Chair: รศ.ดร.สุรัชย์ มัจฉาชีพ

มทร.สุวรรณภูมิ

Co-chair: ศศ.ดร.อัญชลี สวัสดิ์ธรรม

มทร.ธัญบุรี

13.00-13.30 IS –BS1 : Potential of Biogas Technology in Thailand and Neighboring Countries

Werner Kossmann

13.30-14.00 IS -BS2 : Global Warming: Methane Production in Paddy Field at Mae Kong River Basin, Thailand

Sansanee Chawanakul

Meeting Room 2

	Chair:	ผศ.ดร.ศิริเชษ พงษ์สวัสดิ์	มทร.ชัยบุรี
	Co-chair:	ผศ.อังคณา ธนกันญา	มทร.ชัยบุรี
14.00-14.20	NC-1BI-002	ความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงก้นดอใน คลองรังสิต จังหวัดปทุมธานี	สุทธวรรณ สุพรรณ
14.20-14.40	NC-1EN-003	การเปลี่ยนสภาพกอไผ่เป็นมูลของหนอนดั่งกว้างชน	เฉลิมศิลป์ รามศิริ
14.40-15.00	NC-1AG-009	การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและการชักนำให้กุหลาบหนูออกดอก ในหลอดทดลอง	ประภาพร พงษ์ไทย
15.00-15.20	พักรับประทานอาหารว่าง		

Meeting Room 2

	Chair:	ผศ.ดร.รัชดา ทนวิหวัตร	มทร.ชัยบุรี
	Co-chair:	ผศ.ดร.สมพร คนขงค์	มทร.ชัยบุรี
15.20-15.40	NC-1SO-001	ประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี ในการเพิ่มผลผลิต หญ้าหยาบข้อ	เผด็จ สังขไพฑูรย์
15.40-16.00	NC-1AG-001	การศึกษาอัตราส่วนของวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการ เจริญเติบโตของกล้วยไม้รองเท้านารีคางภี	มุกดา สุขสวัสดิ์
16.00-16.20	NC-1AG-008	เสถียรภาพผลผลิตของข้าวโพดข้าวเหนียว 12 พันธุ์	กิตติ บุญเลิศสินรินทร์
16.20-16.40	NC-1AG-015	การเปรียบเทียบพันธุ์ข้าวโพดหวานในการปลูกเป็นพืช เหลื่อมฤดูในบรอกโคลี	พรทิพย์ พรสุริยา
16.40-17.00	NC-1AG-010	ผลของการแช่เมล็ด อุณหภูมิสูง และระยะเวลาในการอบ ต่อการงอกของเมล็ดข้าววัชพืช	อังคณา ธนกันญา

สาขาที่ 2 (วิศวกรรมศาสตร์ และ เทคโนโลยี)**Convention Hall**

	Chair:	ดร.กิตติ ทรัพย์ประสม	กรมทางหลวง
	Co-chair:	ดร.พุทธพล ทองอินทร์คำ	มทร.ชัยบุรี
14.00-14.15	NE-CE-002	ไม้เทียมจากมอร์ดาผสมซีเมนต์ไม้	จรรยา เจริญเนตรกุล
14.15-14.30	NE-CE-004	การศึกษาและจำลองพฤติกรรมของท่อส่งน้ำใต้ดินโดยวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์ 2 มิติ	ชั้นยธร ฐนอิม
14.30-14.45	NE-CE-012	ศึกษาเปรียบเทียบการรับกำลังของแอสฟัลท์คอนกรีต ผสมกำมะถัน	พิชญุตม์ จรัสบำรุงโรจน์
14.45-15.00	NE-CE-020	การพัฒนาคอนกรีตบล็อกแบบพรุนสำหรับอาคารประหยัดพลังงาน	สนธยา ทองอรุณศรี

15.00-15.15 พักรับประทานอาหารว่าง

Meeting Room 5

	Chair:	ศ.ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	ม.ธรรมศาสตร์
	Co-chair:	ดร.ศโรชา เจริญวัย	มทร.ธัญบุรี
15.15-15.30	NE-ME-003	การวิเคราะห์การทำงานของโซลล์ด้วยวิธีไฟไนต์ เอลิเมนต์	ศุภโชค สุมาวรรณ
15.30-15.45	NE-ME-010	อิทธิพลของความเร็วในการทดสอบแรงดึงเหล็กกล้า ไร้สนิม AISI 304 ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกล	เฉลิมพล คล้ายนิล
15.45-16.00	NE-ME-011	การพัฒนาต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของ อุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย	สุวิทย์ ธรรมแสง
16.00-16.15	NE-ME-014	การออกแบบเครื่องบินรบเบื้องต้นด้วยวิธีการหาค่าตัวแปร หลายตัวที่เหมาะสม	กุลชาติ ธรรมชาติ
16.15-16.30	NE-ME-017	การควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ สำหรับ กระบวนการอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิได้	อนุสรณ์ เราเท่า
16.30-16.45	NE-MT-003	พฤติกรรมการสึกหรอของผิวเคลือบชุดคมตัดสำหรับงาน แม่พิมพ์ดีดขาด	มานอช รัตนโย
16.45-17.00	NE-MT-004	การพัฒนาสมบัติในการต้านทานการติดไฟของยางธรรมชาติ โดยใช้เบนโทไนซ์และซีโอไลต์	ฉันททิพ คำนวนทิพย์
17.00-17.15	NE-MT-005	การปรับปรุงความแข็งของแผ่นอะคริลิกด้วยการเคลือบ ฟิล์มอะคริลิกที่มีการเติมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์	สิงห์โต สกุลเขมฤทัย

สาขาที่ 3 (สังคมศาสตร์ การศึกษาและอื่นๆ) และ สาขาวิจัยวิทยาศาสตร์กายภาพ

Meeting Room 1

	Chair:	รศ. ดร. ชนงกรณ์ กุลชลบุตร	มทร.ธัญบุรี
	Co-chair:	ดร.ธนชัย ทัพมงคล	มทร.พระนคร
14.00-14.30	IS –SS1	The Natural World, Sustainability and Business Organisation	Mervyn Dobbin
14.30-15.00	IS –SS2	Process and Product Development in Germany : 1. The Need of Collaboration between Universities and Industry 2. Project Management in Innovation and Development	Manfred Kuelkens
15.00-15.30	IS-SS3	Process and Product Development in Germany Examples of New Products Developed Recently by Means of These Algorithms	Antonio Nisch

Meeting Room 3

	Chair:	รศ.ดร.สุุดใจ ทูลพานิชย์กิจ	มทร. รัชบุรี
	Co-chair:	ผศ.ดร.พัชรี มินระวงศ์	มทร. ตะวันออก
15.40-15.55	NC-3BA-006	กลยุทธ์การตลาดที่เหมาะสมกับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปอาหารจากปลา	วรรณิศา ประสพธรรม
15.55-16.10	NC-3BA-011	ผลกระทบของการขยายตัวของร้านค้าปลีกสมัยใหม่ที่มีต่อการดำเนินงานของร้านค้าปลีกแบบดั้งเดิม (ร้านโชห่วย) และความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อร้านค้าปลีกสมัยใหม่	เกตุร ไขบัวกลิ่น

Meeting Room 3

	Chair:	ผศ.สุธีรา เฝ้าโลกสถิต	มทร. รัชบุรี
	Co-chair:	ผศ.ดร.กฤษกนก สุทัศน์ ณ อยุธยา	มทร. รัตนโกสินทร์
16.15-16.30	NC-3AC-001	การศึกษาผลกระทบของการพัฒนาต่ออาคารอนุรักษ์ในเขตชุมชนเมือง	วิทยา พิมลสิทธิ์
16.30-16.45	NC-3AC-002	การปรับปรุงอัตลักษณ์ด้านหน้าอาคารเรือนร้านค้าในย่านคนจีน ถนนเจริญเมืองเชียงใหม่	กาญจน์ นทีวุฒิกุล
16.45-17.00	NC-3AF-001	การสร้างแบบขนาดมาตรฐานสุภาพสตรี	พันธ์ยศ วรเชษฐวรวัตร
17.00-17.15	NC-3AM-001	การใช้ดนตรีเพื่อพัฒนาการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์	สายหยุด อุไรสกุล
17.15-17.30	NC-3AP-001	การพัฒนาบรรจุภัณฑ์สินค้าทางการเกษตรเพื่อการท่องเที่ยวจังหวัดนครปฐม	สุภาวดี พันธอำพน
18.00-21.00	งานเลี้ยงรับรอง		

วันที่ 2 : พุธที่ 25 พฤศจิกายน 2553

สาขาที่ 1 (วิทยาศาสตร์ชีวภาพ)

Meeting Room 2

	Chair:	ผศ.ดร.วีระพล แจ่มสวัสดิ์	มทร. ตะวันออก
	Co-chair:	ผศ.ดร.สมจิตร ถนอมวงค์วัฒน์	มทร. ชัยบุรี
8.40-9.00	NC-1AN-003	การใช้ข้าวโพดไร้สีม่วงในอาหารไก่กระทงต่อสมรรถภาพการผลิต	พรรณระพี อำนวยสิทธิ์
9.00-9.20	NC-1AN-007	การเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของน้ำผึ้งโพรงและน้ำผึ้งมันสำปะหลังในการยับยั้งการเจริญของ <i>Pseudomonas aeruginosa</i> และ <i>Escherichia coli</i>	สุวดี อิศรายุพร
9.20-9.40	NC-1FI-001	การใช้น้ำนิ่งปลาจากการผลิตของโรงงานปลาทุ่น่ากระป๋องเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารสำหรับเลี้ยงปลาสายเนื้อขาว	เจษฎา อิศหะ
9.40-10.00	NC-1FO-006	คุณค่าทางโภชนาการของด้วงกว่างขน (<i>Xylotrupes gideon</i> Linnaeus) และการพัฒนาน้ำพริกด้วงกว่างขน	นพรัตน์ จันทร์ไชย

10.00-10.20 พักรับประทานอาหารว่าง

Meeting Room 5

	Chair:	Prof.Dr. Hans E.Hummel	JLU, Germany
	Co-chair:	ผศ. ดร. ศิรินันท์ เอี่ยมประภา	มทร. ชัยบุรี
10.20-10.50	IS- BS3 :	Survey of Sex Pheromone Components in Sphinx Moths by Bio- sensory Detector Coupled with Gas Chromatography	Hiroshi Honda
10.50-11.20	IS -BS5 :	Advances in Organic Nanofiber Technology for Pest Management : An Entirely Novel Technical Approach To Mating Disruption of Destructive Insects	Hans E. Hummel

Meeting Room 2

	Chair:	ผศ. ดร. อัญชลี สวัสดิ์ธรรม	มทร.ชัยบุรี
	Co-chair:	ผศ. รุ่งสวรรค์ วรรณสุทธิ	มทร.ชัยบุรี
11.20-11.40	NC-1EN-001	การสำรวจพืชอาหารของผึ้งก้นใบ	กนก อุไรสกุล
11.40-12.00	NC-1EN-002	การยับยั้งไวรัสก่อโรคเรณูชนิดที่ 2 ของสารสกัดโพพอลิส	ศิรินาฏ มุสิกเอก

12.00-13.00 พักรับประทานอาหารกลางวัน

	Chair:	ผศ.ดร.ชง โศก แซ่ตั้ง	มทร.ตะวันออก
	Co-chair:	ผศ. สิวลี ไทยถาวร	มทร.ธัญบุรี
13.00-13.20	NC-1FI-005	การยืดอายุการเก็บรักษาปลาช่อนทะเลแคว้นเดียวโดยใช้สารสกัดหยาบจากต้นข่อยป่า (<i>Morinda coreia</i> Ham.)	ชุตินุช สุจริต
13.20-13.40	NC-1FO-008	การศึกษาเปรียบเทียบอบแห้งพลาสติกด้วยอากาศร้อนและไอน้ำร้อนขุดยั้ง	นเรศ นาไทย
13.40-14.00	NC-1FO-009	ผลของการใช้น้ำมันรำข้าวทดแทนมันหมูแข็งต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพและความชอบทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกปลาตุก	ประดิษฐ์ คำหนองไผ่
14.00-14.20	NC-1FO-010	ผลของการใช้น้ำมันรำข้าวและมันเสาคือสมบัติทางเคมี สมบัติกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกุนเชียงปลาตุก	ชานนท์ สิงห์ทอง
14.20-14.40	NC-1FO-005	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลากระพงรมควันเย็น	อินทอร กำแพงทอง
15.00-15.20	พักรับประทานอาหารว่าง		
	Chair:	ผศ. วัลลภ ภูผา	มทร.พระนคร
	Co-chair:	รศ. สุชาติ เข็นวิเศษ	มทร.ศรีวิชัย
15.20-15.40	NE-EL-007	การวิเคราะห์ความเข้มของสีไปขาวด้วยซอฟต์แวร์สำหรับการถอดรอย	เอกลักษณ์ สุมณพันธ์
15.40-16.00	NE-EN-005	การศึกษาและวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง PEMFC 1.2 kW	ปนัดดา แสงแก้ว
16.00-16.20	NE-EN-019	ระบบแสงสว่างพลังงานแสงอาทิตย์	ชนวัฒน์ พันธุ์คู่ย์
16.20-16.40	NE-EN-020	เครื่องเติมออกซิเจนผิวน้ำแบบหมุนลอยใช้พลังงานแสงอาทิตย์	รุ่งโรจน์ ชะมันจา
16.40-17.00	NE-EE-001	การพัฒนาโปรแกรมจำแนกลักษณะอาการสำคัญของแผนภูมิควบคุมสำหรับการควบคุมคุณภาพ	สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์
สาขาที่ 2 (วิศวกรรมศาสตร์ และ เทคโนโลยี)			Convention Hall
	Chair:	รศ.ดร.เสริม จันทร์ฉาย	ม.ศิลปากร
	Co-chair:	ดร.วิรัช ไรยนรินทร์	มทร.ธัญบุรี
8.30-8.45	NE-EN-001	การสร้างชุดติดตามกำลังงานสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยอัลกอริทึมแบบความนำส่วนเพิ่ม	วิทยา ชัยสงคราม
8.45-9.00	NE-EN-011	แบบจำลองพลวัตไม่เชิงเส้นของเบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ใช้สำหรับพลังงานทดแทน	นพรุจ ฤทธานนท์

9.00-9.15	NE-EN-012	การศึกษาความเป็นไปได้ของการบูรณาการระบบจัดการพลังงานสำหรับอาคารควบคุมในประเทศไทย	เอกตระกูล นาคปลัด
9.15-9.30	NE-EN-014	การศึกษาความเหมาะสมในการออกแบบและประยุกต์ใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเบสนามแม่เหล็ก ตามแนวแกนกับจักรยานออกกำลังกายเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า	อานนท์ พ่วงชิงงาม
9.30-9.45	NE-EN-016	ระบบเฝ้าสังเกตการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจาก เซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บด้วยพีซี	ไชยยันต์ บุญมี
9.45-10.00	NE-MT-007	เทคโนโลยีการแบ่งเซลล์ด้วยเทคนิคเลเซอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอนบนพื้นที่ขนาดใหญ่	วิจิต แสงสุวรรณ
10.00-10.15	พักรับประทานอาหารว่าง		
	Chair:	ดร. สำเนียง อองสุพันธ์กุล	มทร. รัตนโกสินทร์
	Co-chair:	ดร. วีระศักดิ์ ละออจันทร์	มทร. รัตนบุรี
10.15-10.30	NE-CE-006	การพัฒนาคอนกรีตพูนเพื่อการระบายน้ำ	นันทชัย ชูศิลป์
10.30-10.45	NE-CE-014	อิฐบล็อกประสานผสมตะกอนจากระบบประปา	จรูญ เจริญเนตรกุล
10.45-11.00	NE-CE-017	การพัฒนาภาษาไพธอนสำหรับเขียนแบบก่อสร้าง	สำเนียง อองสุพันธ์กุล
11.00-11.15	NE-CE-019	ระบบฐานข้อมูลติดตามรายละเอียดความคืบหน้าของการบำรุงรักษาโยธา	พงศกร บุบผาไสมตระกูล
11.15-11.30	NE-CE-018	การสร้างฝายแม้วในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำอุบลตอนบน	โกวิท บุญรอด
12.00-13.00	พักรับประทานอาหารกลางวัน		
	Chair:	รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ	สจล.
	Co-chair:	ดร. กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์	มทร. รัตนบุรี
13.00-13.15	NE-EE-002	ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	สมยศ สีแสนสุข
13.15-13.30	NE-EE-003	การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยการปรับความสมดุลย์โหลด	คุณพล คำปัญญา
13.30-13.45	NE-EE-009	การปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรม	ถนนมศักดิ์ แก้วสุกณี
13.45-14.00	NE-EE-023	การปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 22 kV อ.เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี	दनัย ทองชวีช
14.00-14.15	NE-EE-027	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของกลุ่มพาณิชย์กรรมในประเทศไทยด้วยวิธีการพีซีโลจิก	ปริญญญา สมเงิน

14.15-14.30	NE-EE-004	การประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดของเครื่องมือวัดสำหรับห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง	ฉลอง โสคาบัน
14.30-14.45	NE-EE-016	การประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการพัฒนาฉนวนไฟฟ้า	นิติพงศ์ ปานกลาง
14.45-15.00	NE-EE-030	การศึกษาการวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้โปรแกรม PSAT	จักรินทร์ วิเศษยา
15.00-15.15 พักรับประทานอาหารว่าง			
	Chair:	รศ.ดร.วิบูลย์ ชื่นแขก	มจพ.
	Co-chair:	ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์	มทร.ธัญบุรี
15.15-15.30	NE-EL-002	การใช้งาน LVQ ร่วมกับค่าพารามิเตอร์เอ็นโทรปีสำหรับจัดหมวดหมู่ข้อมูล	จิราพร เกียรติวุฒิมร
15.30-15.45	NE-EL-005	การออกแบบวงจรอินทีเกรเตอร์แบบไม่สูญเสียที่มีอัตราการขยายสูงทำงานภายใต้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงขนาด 1.5 โวลต์	เสนอ สะอาด
15.45-16.00	NE-EL-010	การจำแนกข้อมูลโดยวิธีการรวมกลุ่มของเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมโดยการเลือกตัวแทนที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	เดช ธรรมศิริ
16.00-16.15	NE-EL-011	วงจรกำเนิดสัญญาณชานด์ควอเดรเจอร์โหมด กระแสที่ใช้ CCCCTA กับ OTA	คนุพัฒน์ ดวงมาลัย
16.15-16.30	NE-EE-015	วงจรกำเนิดสัญญาณควอเดรเจอร์โหมดกระแสที่ใช้ CCCCTA จำนวนหนึ่งตัวร่วมกับอุปกรณ์ที่ต่อลงกราวด์	นรเศรษฐ์ ไทยแท้
16.30-16.45	NE-EL-004	การสร้างเครื่องให้อาหารปลาในกระชังแบบอัตโนมัติลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	ปิยะ ประสงค์จันทร์
16.45-17.00	NE-EL-013	การแก้ปัญหาคาการชนกันของเครื่องอ่าน RFID ที่มีการสื่อสารแบบเฟรมอะโลฮา	ชนัสต์ นนทพุทธ
17.00-17.15	NE-EL-003	การปรับปรุงพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ (particle filter) สำหรับการติดตามวัตถุภาพโดยใช้แบบจำลองวัตถุภาพแบบ non Gaussian	ไกรฤกษ์ เชยชื่น
17.15-17.30	NE-EL-015	การจำลองการนำทางสำหรับหุ่นยนต์คู่พื้น	วิรัช กองสิน

สาขาที่ 3 (สังคมศาสตร์ การศึกษาและอื่นๆ) และสาขาวิจัยวิทยาศาสตร์กายภาพ			Meeting Room 1
	Chair:	ผศ.ดร.สุวรินทร์ ปัทมวรรณ	มทร. รัตนบุรี
	Co-chair:	ดร.ชาคริต นวลฉิมพลี	มทร.อีسان
8.30-8.50	NC-3IT-003	ระบบสารสนเทศคลินิกทันตกรรม : กรณีศึกษาธีรวัฒน์ ทันตแพทย์	ธาดา จันตะคุณ
8.50-9.10	NC-3IT-004	การเลือกซอฟต์แวร์และภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการสอน พัฒนาเว็บ	ณัฏพรศักดิ์ จัตุรัส
9.10-9.30	NC-3IT-005	การบ่งชี้ฐานข้อมูลเวชระเบียน โดยใช้ RFID	สุจิตรา จินะวงษ์
9.30-9.50	NC-3IT-006	การพยากรณ์ปริมาณ PM10 ในเขตกรุงเทพมหานคร โดยใช้ โครงข่ายประสาทเทียม	เสาวลักษณ์ อ่วมพวงพานูวัตร
9.50-10.10	NC-2PH-006	การทดลองบันทึกแก๊สอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดแสงประเภท ไฟประดิษฐ์แบบเคย์ไลท์	ประภากร คลกกิจ
10.10-10.20	พักรับประทานอาหารว่าง		
	Chair:	ผศ.ดร.รัชนีวรรณ การค้า	มทร.อีसान
	Co-chair:	รศ.ดร.อุษาพร เสวกวิ	มทร.รัตนบุรี
10.20-10.40	NC-2CH-011	การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากรากต้น ธูปฤาษี	ศิริพร ลุนพรม
10.40-11.00	NC-3ED-001	การพัฒนาศูนย์ศึกษามันเทิงเพื่อเสริมการเรียนรู้สำหรับ นักศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาเทคโนโลยีและสื่อสาร การศึกษา	เทียมยศ ปะสาวะโน
11.00-11.20	NC-3ED-002	การพัฒนาวิธีการสอนวิชาวัสดุวิศวกรรม	เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ
11.20-11.40	NC-3ED-003	การเปรียบเทียบความแม่นยำวิธีการประมาณค่าสูญหาย ระหว่างวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุคูณและวิธีเซต อย่างหยาบ	ณรงค์ โพธิ์
11.40-12.00	NC-3ED-009	การสร้างนิสัยในการเรียนวิชาเคมีจากแผ่นที่มโนทัศน์	นัศดา อังสุโวทัย
12.00-13.00	พักรับประทานอาหารกลางวัน		

สาขาที่ 3 (สังคมศาสตร์ การศึกษาและอื่นๆ)

Meeting Room 1

	Chair:	ผศ.ดร.อมรรัตน์ อนันต์วราพงษ์	มทร.กรุงเทพ
	Co-chair:	ผศ.ดร. นนทลี พรธาดาวิทย์	มทร.ธัญบุรี
13.00-13.20	NC-3ED-013	ระบบจัดการความรู้กลุ่มงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	จตุรพิช เกราะแก้ว
13.20-13.40	NC-3ED-015	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการดื่มสุราของนักศึกษาคณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มทร. ล้านนา เชียงราย	ธนินุช เรืองการ
13.40-14.00	NC-3ED-016	การวิเคราะห์ศักยภาพผู้เรียนเป็นรายบุคคลด้วยการประเมินตามสภาพจริง	ชไมพร รัตนเจริญชัย
14.00-14.20	NC-3ED-022	การพัฒนาระบบการเรียนการสอนชีววิทยาโดยใช้การเรียนรู้แบบร่วมมือสำหรับนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา	ชญภัฏก์ สังฆมานนท์
14.20-14.40	NC-3ED-030	ผลการจัดการความรู้ในการเรียนการสอนระดับบัณฑิตศึกษาผู้สังคม	เกียรติศักดิ์ พันธุ์ลำเจียก
14.40-15.00	NC-3SO-001	ความรู้ความเข้าใจและพฤติกรรมของประชาชนในเขตกรุงเทพมหานคร ต่อการแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อน	อุดม สายะพันธ์
15.00-15.20	พักรับประทานอาหารว่าง		
	Chair:	รศ.วิมลพรรณ อภาวาท	มทร.พระนคร
	Co-chair:	ดร.สุทธิพร บุญส่ง	มทร.ธัญบุรี
15.20-15.40	NC-3SO-006	การใช้กิจกรรมบันเทิงความงามแห่งชีวิตเพื่อพัฒนาการแห่งคุณค่าในตนเอง	ยุรธร จีนา
15.40-16.00	NC-3SO-009	การศึกษาความคาดหวังและความพึงพอใจของลูกค้าในองค์กรที่ให้บริการฝึกอบรมในเชิงอุตสาหกรรม	ศุภิสสรา โรจนธาร
16.00-16.20	NC-3SO-011	การจัดการปัญหาภาวะโลกร้อนที่ชุมชนมีส่วนร่วมขององค์การบริหารส่วนตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย	ประภาพร พนมไพร
16.20-16.40	NC-3SO-018	การศึกษาความสัมพันธ์ของดัชนีชี้วัดผลสำเร็จขององค์กรตามหลักการวัดผลการปฏิบัติงานเชิงคุณภาพ กรณีศึกษา: โรงงานฉีดพลาสติก	ดุลย์ วันบุญบุญ
16.40-17.00	NC-3SO-019	กลยุทธ์การเพิ่มขีดความสามารถของผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชน (OTOP) ในจังหวัดภาคกลางตอนบน	พิมพา หิรัญกิตติ
17.00-17.20	NC-3SO-022	ปัจจัยสำนึกท้องถิ่นที่มีผลต่อการใช้บริการสื่อเคเบิลทีวีท้องถิ่นของประชาชน	กุลภัสสร กัญจนกรางกูร

สารบัญ

วิทยากรบรรยายพิเศษ

รหัสผลงาน	หัวข้อ	หน้า
IS-S01	Climate change and domestic carbon offsets in Australia : Principles and policy for voluntary vs compliance markets Rohan Nelson	A-1
IS-BS2	Global warming: Methane production in paddy field at Mae Kong river basin, Thailand Sansanee Chawanakul	B-1
IS-BS3	Functions and Their Application of Allelochemical Plant Volatiles (<i>Survey of Sex Pheromone Components in Sphinx Moths by Bio-sensory Detector Coupled with Gas Chromatography</i>) Hiroshi Honda	C-1
IS-BS4	Advances In Organic Nanofiber Technology For Pest Management : An Entirely Novel Technical Approach To Mating Disruption of Destructive Insects" Hans E. Hummel	D-1
IS-ET1	Transparent Conductive Oxide Thin Films for Solar Cell Applications Hee Lee Young	E-1
IS-ET3	Crosslinking Junctions of Vulcanized Natural Rubber Analyzed by Solid-State FG-MAS NMR Spectroscopy Seiichi Kawahara	F-1
IS-ET4	Importance of Interfacial Properties in Thermoplastics Composites Hiroyuki Hamada	G-1
IS-SS1	The Natural World, Sustainability and Business Organisations Mervyn Dobbin	H-1
IS-SS2	Process and Product Development in Germany : 1. The need of Collaboration Between Universities and Industry 2. Project Management in Innovation and Development Manfred Kuelkens	I-1
IS-SS3	Process and product development in Germany Examples of new products developed recently by means of these algorithms Antonio Nisch	J-1

ภาคบรรยาย

กลุ่มที่ 2 วิทยาศาสตร์กายภาพ & วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, วิศวกรรมศาสตร์

NC-2CH-011	การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากรากต้นรูปถ่ายีย ศิริพร ลุนพรม สิริแข พงษ์สวัสดิ์	1
NC-2PH-006	การทดลองบันทึกแสงอินฟราเรดกับแหล่งกำเนิดแสงประเภทไฟประดิษฐ์แบบ เคย์ไลท์ ประภากร ดลกิจ	7
NE-CE-002	ไม้เทียมจากมอร์ต้าผสมซีเมนต์ จรรยา เจริญเนตรกุล	12
NE-CE-004	การศึกษาและจำลองพฤติกรรมของท่อส่งน้ำใต้ดินโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 2 มิติ ธัญธร คุณอ้อม ชิตพล พรหมวัง ทวีชัย กาฬสินธุ์	17
NE-CE-006	การพัฒนาคอนกรีตพูนเพื่อการระบายน้ำ นันทชัย ชูศิลป์	24
NE-CE-012	ศึกษาเปรียบเทียบการรับกำลังของแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกำมะถัน พิชญุตม์ จรัสบำรุงโรจน์	31
NE-CE-014	อิฐบล็อกประสานผสมตะกอนจากระบบประปา จรรยา เจริญเนตรกุล	36
NE-CE-017	การพัฒนาภาษาไพธอนสำหรับเขียนแบบก่อสร้างชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีต เสริมเหล็ก สำเนียง องสุพันธ์กุล จักริ คีระวงศ์สุวรรณ จิรฐิติ บรรจงศิริ	43
NE-CE-018	การสร้างฝายแม้ว ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำอุบลตอนบน โกวิท บุญรอด	49
NE-CE-019	ระบบฐานข้อมูลติดตามรายละเอียดความคืบหน้าของการบำรุงรักษาโยธา พงศ์กรณ์ ปุบผาโสมตระกูล วีระศ นัมคณิศรณธ์ อลงกรณ์ อนรรทมพรรณ	55
NE-CE-020	การพัฒนาคอนกรีตบล็อกแบบพูนสำหรับอาคารประหยัดพลังงาน สนธยา ทองอรุณศรี สราวุทธิ์ หลีแก้วสาย อรวรรณ ปัญญาภาค วิไลพร นุ่นภักดี	60
NE-EE-001	การพัฒนาโปรแกรมจำแนกลักษณะอาการสำคัญของแผนภูมิควบคุมสำหรับ การควบคุมคุณภาพ คมโก ปานทองคำ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ จตุพร ใจดำรงค์ วรธนพร ชีววุฒิพงศ์	67
NE-EE-002	ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน โดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ สมยศ สีแสนสุข ฐราธิป ภูระหงษ์ สุภชัย ปลายเนตร	75
NE-EE-003	การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยการปรับความสมดุลย์โหลด คณุตล คำปัญญา อานนท์ พ่วงชิงงาม ไพโรจน์ เส้าสมบุรณ์ สัตถาภูมิไทยพานิช	78

ภาคบรรยาย (ต่อ)

NE-EE-004	การประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดของเครื่องมือวัดสำหรับห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง ฉลอง โสดาบัน	83
NE-EE-009	การปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรม ถนอมศักดิ์ แก้วสุกณี กฤษณ์ชนม์ ภูมิภคดิพิชญ์	89
NE-EE-015	วงจรถ่ายโอนสัญญาณควอเตอร์โหมดกระแสที่ใช้ CCCCTA จำนวนหนึ่งตัวร่วมกับอุปกรณ์ที่ต่อลงกราวนด์ นเรศรชฎี ไทยแท้ ทศพล บำรุงโชค วินัย ใจกล้า	95
NE-EE-016	การประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการพัฒนาจนวนไฟฟ้า นิติพงษ์ ปานกลาง	101
NE-EE-023	การปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 22 kV อ.เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี दनัย ทองธวัช กฤษณ์ชนม์ ภูมิภคดิพิชญ์	106
NE-EE-027	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของกลุ่มพาณิชย์กรรมในประเทศไทย ด้วยวิธีการพีชชีโลจิก ปริญญา สมเงิน ธเนศ เดชโหมด ภาณุวัฒน์ เทียนศรี ระพีพัฒน์ ภาสบุตร วรรณรัตน์ ปิตรประกร	111
NE-EE-030	การศึกษากาการวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้โปรแกรม PSAT จักรินทร์ วิเศษยา กฤษณ์ชนม์ ภูมิภคดิพิชญ์	117
NE-EL-002	การเพิ่มประสิทธิภาพโครงข่ายประสาทเทียม LVQ โดยการเพิ่มจำนวนโหนดที่ใช้พิจารณา จิราพร เกียรติวุฒิมร กาญจน์ญา พานิชเจริญ	122
NE-EL-003	การปรับปรุงพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ (particle filter) สำหรับการติดตามวัตถุภาพโดยใช้แบบจำลองวัตถุภาพแบบ non Gaussian ไกรฤกษ์ เขยชื่น โกสินทร์ จ่านงไทย	127
NE-EL-004	การสร้างเครื่องให้อาหารปลาในกระชังแบบอัตโนมัติ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา กรณีศึกษา ตำบลเกาะข่อ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ปิยะ ประสงค์จันทร์ เจริญชัย ฮวดอุปัด เสนอ สะอาด	133
NE-EL-005	การออกแบบวงจรอินทิเกรเตอร์แบบไม่สูญเสียที่มีอัตราขยายสูงทำงานภายใต้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงขนาด 1.5 โวลต์ เสนอ สะอาด ครุณี ชัยทอง	140
NE-EL-007	การวิเคราะห์ความเข้มของสีใบข้าวด้วยซอฟต์แวร์เวกเตอร์สำหรับการถอดอยเพื่อลดต้นทุนในการผลิต เอกลักษณ์ สุนนพันธ์ ประมูล บัวน้อย	147

ภาคบรรยาย (ต่อ)

NE-EL-010	การจำแนกข้อมูลโดยวิธีการรวมกลุ่มของเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมโดย การเลือกตัวแทนที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เดช ธรรมศิริ พยุง มีสัง	154
NE-EL-011	วงจรถ่ายโอนสัญญาณสัญญาณควมเชิงซ้อนของเครื่องจักรไฮดรอลิกที่ใช้ CCCDTA กับ CCCII คณวัฒน์ ดวงมาลัย ปรัชญา พนมอุปถัมภ์ วินัย ใจกล้า	160
NE-EL-013	การแก้ปัญหาการชนกันของเครื่องอ่าน RFID ที่มีการสื่อสารแบบ เฟรมอะโอสยา ธนัสถ์ นนทพุทธร ขจรศักดิ์ พงศ์ธนา วุฒิชัย วิจิตรกุลสวัสดิ์	166
NE-EL-015	การจำลองการนำทางสำหรับหุ่นยนต์คู่พื้น วิรัช กองสิน	171
NE-EN-001	การสร้างชุดติดตามกำลังงานสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยอัลกอริทึม แบบความนำส่วนเพิ่ม เวทิน ปิยรัตน์ ฉลอง โสดาบัน วิทยา ชัยสงคราม	175
NE-EN-005	การศึกษาและวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง PEMFC 1.2 kW ปนัดดา แสงแก้ว บุญยัง ปลั่งกลาง	181
NE-EN-011	แบบจำลองแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ใช้สำหรับพลังงานทดแทน นพรุจ อุตธานนท์ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภคดิพิชญ์ บุญยัง ปลั่งกลาง วารุณี อริยวิริยะนันท์	187
NE-EN-012	การศึกษาคือความเป็นไปได้ของการบูรณาการระบบจัดการพลังงานสำหรับ อาคารควบคุมในประเทศไทย เอกตระกูล นาคปลัด อุตริรงค์ อินทรจินดา	193
NE-EN-014	การศึกษาคือความเหมาะสมในการออกแบบและประยุกต์ใช้งานเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กตามแนวแกนกับจันทรยานออกกำลังกายเพื่อผลิต พลังงานไฟฟ้า อานนท์ พวงชิงงาม คณพอล คำปัญญา ระพีพัฒน์ ภาสบุตร วิจิต เกรือสุข	199
NE-EN-016	ระบบเฝ้าสังเกตการทำงานจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และ กักเก็บด้วย พีซี นภัทร วัฒนเทพินทร์ ไชยยันต์ บุญมี	202
NE-EN-019	ระบบแสงสว่างพลังงานแสงอาทิตย์ ธนวัฒน์ พันธุ์ชัย	209
NE-EN-020	เครื่องเติมออกซิเจนคือน้ำแบบทุนลอยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ รุ่งโรจน์ ชะมันจา ปรีชามหาไม้ ยุทธนา มูลกลาง ภาณุ วัชรนฤมล สมบัติ สันกวาน	216
NE-ME-003	การวิเคราะห์การทำงานของใช้อัพด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ศุภโชค สุมาวรรณ วิรัตน์ จอมขวา	221

ภาคบรรยาย (ต่อ)

NE-ME-010	อิทธิพลของความเร็วในการทดสอบแรงดึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกล เฉลิมพล คล้ายนิล ทศพร เงินเนตร	228
NE-ME-011	การพัฒนาต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย สุวิทย์ ธรรมแสง สุนทร นาคโนนหัน อารีรัตน์ เชื้อบุญเกิด	233
NE-ME-014	การออกแบบเครื่องบินรบบเบื้องต้นด้วยวิธีการหาค่าตัวแปรหลายตัวที่เหมาะสม กุลชาติ ธรรมชาติ บุญชัย วัจจะตรากุล	241
NE-ME-017	การควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ สำหรับกระบวนการอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิได้ อนุสรณ์ เราท่า วิบูลย์ ช่างเรือ สัมพันธ์ ไซยเทพ วีระ ฟ้าเพื่อวิทยากุล	247
NE-MT-003	พฤติกรรมการสึกหรอของผิวเคลือบซุคคมตัดสำหรับงานแม่พิมพ์ดีดขนาดมาโนช ริทินโย ชานนท์ บุนนัท	255
NE-MT-004	การพัฒนาสมบัติในการต้านทานการติดไฟของยางธรรมชาติโดยใช้เบนโทไนซ์ และ ซีโอไลต์ ฉันททิพ คำนวนทิพย์ วิธพงษ์ อินทร์ช่วย เกียรติศักดิ์ ทองสม ฐาปกรณ์ จันทคาม	261
NE-MT-005	การปรับปรุงความแข็งของแผ่นอะคริลิกด้วยการเคลือบฟิล์มอะคริลิกที่มีคาร์บอนนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ สิงห์โต สกุลชมฤทัย อรุณโรจน์ กุลสิริวรร ดวงหทัย พิบูลย์ กิตติ โปธิ์สุวรรณ	269
NE-MT-007	เทคโนโลยีการแบ่งเซลล์ด้วยเทคนิคเลเซอร์ของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิกอนบนพื้นที่ขนาดใหญ่ สุทธิมงคล กอสัมพันธ์ วิจิต แสงสุวรรณ ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์ นพดล ลิทธิพล ชาญณรงค์ ภิรมจิตร อมรรัตน์ ลิ้มมณี จรรย์ ศรีธาราธิกุล กอบศักดิ์ ศรีประภา	274

ภาคโปสเตอร์

กลุ่มที่ 2 วิทยาศาสตร์กายภาพ & วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, วิศวกรรมศาสตร์

NC-2CH-003	การวิเคราะห์ปริมาณบิสฟีนอล เอ ไดโกลซิคลิเอเทอร์ที่ปนเปื้อน ในท่อน้ำประป้ออง: ผลของระยะเวลาการเก็บ บุตรินทร์ สุดสุข นันทนิตย์ ยี่มาสนา กนกพร บุญทรง	278
NC-2CH-010	การวิเคราะห์ปริมาณ Stemofoline จากรากหนอนตายหยากที่ปลูกภายใต้ การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกัน จตุพร เผ่าพงษ์ไทย อัญชลี สงวนพงษ์ สุวัฒน์ เผ่าพงษ์ไทย นิตยา ไร่วัฒนา ปราณี รัตนานุกพงศ์ ธนิต รัตนานุกพงศ์	282
NC-2ES-001	การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำผิวดินโดยฟิล์มชีวภาพแบคทีเรีย ระดับรัฐ ประจันเขตต์ วรวิ ชูมวรรณีย์ วัชรพงศ์ วรเศรษฐพงศ์ สิริแซ พงษ์สวัสดิ์	286
NC-2MA-001	การรู้จำใบหน้าแบบประมวลผลกราฟแสดงค่าความถี่ของระดับสีด้วยการใช้ คุณลักษณะทั้งใบหน้าและเฉพาะส่วน โดยใช้แบบจำลองเชิงเรขาคณิต สามเหลี่ยมของตาและปากร่วมกับแบบจำลองใบหน้าเชิงเรขาคณิต สมปอง เวทวนาธร สุพจน์ นิตยสุวัฒน์	290
NE-CE-003	ความเป็นไปได้ในการนำตะกอนดินจากน้ำประปามาผสมกับมอร์ต้าร์ซีเมนต์ อุดร หนูแก้ว อติสรณ์ พงษ์สุวรรณ สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ	297
NE-CE-013	ศึกษาวิเคราะห์และการแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของดินถมคอสะพาน พิชญุตม์ จรัสบำรุงโรจน์	303
NE-CE-021	การใช้เถ้าทิ้งเป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ สำเร็จ รักซ้อน ฉัตรชัย เขียรหิรัญ นิโรจน์ เงินพรหม ปริญญา จินดาประเสริฐ	308
NE-CE-022	พลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ สังเวศ เสวกวิหรี วันดี มาตสอติย์ นิภาพร ปัญญา	313
NE-CE-023	การควบคุมการปรับค่าแรงดันต่ำของเครื่องมือวัดค่าอัตราการเกิดสนิมของ เหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตแบบโพราไรซ์เซชันเชิงเส้น จักรพันธ์ แสงสุวรรณ ศุภชัย หอวิมานพร	320
NE-EE-007	เทคนิคการนำแรงแม่เหล็กไฟฟ้ามาพัฒนาอุปกรณ์ยังตะปูในงานไม้ อนุสรณ์ เราท่า มานัส สุพันธ์ โชคมงคล นาดิ พินิจ เนื่องภิรมย์ ดิเรก มณีวรรณ	326
NE-EE-008	เครื่องทำลายเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้การอาร์กไฟฟ้า บุญช่วย เจริญผล สรรพพล คู่มทรัพย์ ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข	331
NE-EE-010	การออกแบบตัวควบคุมคงทอนชนิดติดตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับพลานต์กรณีเร็วที่สุด เรืองยศ เกตุรักษา เขิงชาย สมประชา เจริญ มิตราวะดิน กฤษชัย วิถีพานิช	337

ภาคโปสเตอร์ (ต่อ)

NE-EL-014	การพัฒนาประสิทธิภาพย่านแถบความถี่กว้างด้วยวิธีที่ไม่เป็นเชิงเส้น ธนัสต์ นนทพุทท วิชาญ เพชรรมณี จิรภัทร ภูขัญญทอง	426
NE-EL-016	การออกแบบสายอากาศย่านความถี่ไวแมกซ์ ระพีรินทร์ ชัดปิก เอกทัศน์ พฤกษ์วรรณ ผดุงศักดิ์ วงศ์แก้วเขียว อนุสรณ์ เราท่า สมผล โกศลวิตร	430
NE-EL-017	การประยุกต์ใช้เอฟพีอีเอสำหรับการบีบอัดข้อมูล เฉลิมเกียรติ สุตาชา อรรถพล เพียรผลดีสกุล จักรี ศรีนนท์ฉัตร	435
NE-EL-022	ระบบอนุรักษ์พลังงานในบ้านอัจฉริยะ สุภาวณิ กรสิงห์ วิชาญ เพชรทอง ศักดิ์วิภา วราวุฒิชัญ จักรี ศรีนนท์ฉัตร	439
NE-EL-024	การจำแนกลักษณะเสียงรบกวนให้ของทารกแรกเกิดเพื่อแสดงอารมณ์ สิทธิชัย จินะวงษ์ สุจิตรา จินะวงษ์	442
NE-EL-025	ฉลาดแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บกพร่องทางสายตา ทินกร ก้อนสิงห์ วรวิทย์ เตจาคำ สมชาย ชลายน	448
NE-EN-003	ชุดคลื่นเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้ อนุสรณ์ เราท่า มานัส สุพันธ์ วีรวุฒิ ชันรัตน์ ภาณุวัฒน์ มาละแซม ระพีรินทร์ ชัดปิก ดิเรก มณีวรรณ	454
NE-EN-004	โปรแกรมการคำนวณเพื่อการศึกษาและวิเคราะห์มาตรการใน การอนุรักษ์พลังงาน รุ่งเพชร ก่องนอก บุญยัง ปลั่งกลาง	460
NE-EN-013	การผสมน้ำมันปาล์มใช้แล้วกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เพื่อผลิต ไบโอดีเซล วิษนี สอนสา นันทนิศย์ ยีมาสนา กนกพร บุญทรง ศศิวิมล วุฒิกนกกาญจน์	465
NE-EN-018	การประมาณค่าการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์โดยปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ใน บรรยากาศของประเทศไทย สายันต์ โทธิ์เกตุ	471
NE-EN-021	ไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์หลอด LED เอกวิทย์ หัยกวงษ์	476
NE-EN-024	โรงเรียนควบคุมอุณหภูมิและความชื้นขนาดเล็กแบบเคลื่อนย้ายได้ ปณิธิ แสนจิตร อำนาจ ผัดวัง	482
NE-EN-025	การใช้งานซูเปอร์คาร์ปาซิเตอร์เป็นอุปกรณ์เก็บพลังงานสำรองร่วมกับ เซลล์แสงอาทิตย์ ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข สุเทพ ชูผึ้ง ทวีวัช ชัยพิพัฒน์	486
NE-ME-001	การศึกษาและวิเคราะห์สมบัติของค่ากะรัตสีเหลือง 18k สุรเชษฐ์ ช้อนกลิ่น สุรัตน์ วรรณศรี เทวิล สกุลบุญยงค์	494
NE-ME-002	การศึกษาพฤติกรรมการตกตะกอนแข็งตามธรรมชาติของโลหะเงินสเตอร์ลิง สุรัตน์ วรรณศรี สุรเชษฐ์ ช้อนกลิ่น เทวิล สกุลบุญยงค์	500

ภาคโปสเตอร์ (ต่อ)

NE-ME-004	ปัจจัยการเกิดไบโอฟิล์มของซูโดโมแนสบนเหล็กกล้าไร้สนิม ปาริชาติ แสงสุวรรณ รมณี สงวนดีกุล สุเมธ ตันตระเชียร	506
NE-ME-005	การออกแบบและสร้างเครื่องวอเตอร์อะตอมไมเซอร์เพื่อผลิตโลหะผง สุชาติ เย็นวิเศษ ทวีชาติ เย็นวิเศษ	513
NE-ME-008	เครื่องหั่นชั้นมันเส้นแบบใบมีดหมุน วิรัตน์ หวังเขื่อนกลาง กัญญา โกสุมภ์	519
NE-ME-009	การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แรงเสียดทานเครื่องจักรกลซีเอ็นซีแนวตั้ง แบบออนไลน์ อดิศักดิ์ แข็งสารกิจ เจริญ มิตราวลีน	525
NE-ME-013	การถ่ายทอดเทคโนโลยีการลดต้นทุนผลิตภาคเกษตรกรรมด้วย ไบโอดีเซล ฉัตรแก้ว สุริยะภา	530
NE-ME-015	การออกแบบและพัฒนาระบบการอบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศสำหรับ แปรรูปสมุนไพรและอาหารเพื่อสุขภาพ ไพโรท ศรีโยธา ชาญวิทย์ ชัยอมฤต	535
NE-ME-016	การออกแบบและสร้างเครื่องแท่งดีบัว จตุรงค์ ลังกาพินธุ์ ภูรินทร์ อัครกุลธร ธัญญา เสืออุดม อนุชา ทองประสม อักรินทร์ วงศ์สิทธิโรจน์	541
NE-MT-001	การศึกษาการย่อยสลายได้ของแผ่นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพต่อขยะ ชุมชนในอัตราส่วนต่างๆ โดยกระบวนการหมักเพื่อทำปุ๋ย อุดมศักดิ์ บุญมีรติ กฤษณเวช ทรงชนศักดิ์	546
NE-MT-009	การศึกษาสมบัติความเป็นผลึกและการสะท้อนแสงของสีทาบ้านชนิดสีทา ภายนอกที่มีขายในท้องตลาด ตรีวุฒิ ลิ้มทโรภาส ทวีชัย พลดงนอก สายัณห์ ผุดวัฒน์	552
ME-MT-018	การศึกษาลายผ้าทอเกาะขอมเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลผ้าทอพื้นเมือง พันธ์ยศ วรเชษฐาวาตร์ พรไพยม วรเชษฐาวาตร์	559
NE-MT-021	การพัฒนาการผลิตน้ำอบไทยด้วยชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องร่ำ ปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง นันทวัน กลิ่นจำปา อนุพันธ์ ดอนชัย	563

Climate change and domestic carbon offsets in Australia: Principles and policy for voluntary vs compliance markets

Rohan Nelson

Director, Offset Methodology Development
Australian Government Department of Climate Change and Energy Efficiency
rohan.nelson@climatechange.gov.au

Abstract — Do voluntary or compliance markets lead to more sustainable outcomes? This question is currently being asked in the design of climate change policy in Australia – including the design of carbon offsets schemes. This presentation will show how compliance and voluntary market offsets schemes can complement each other in efforts to combat global warming.

Climate change is a global problem. Determining the combined effect of national efforts to reduce greenhouse gas emissions requires international systems of reporting such as the one currently in place under the Kyoto Protocol. Policies for achieving national emissions reductions targets give rise to compliance (obligatory) carbon markets. Demand for carbon offsets arises from greenhouse gas emitting businesses who can use them to partially meet their mandatory obligations under regulatory schemes such as emissions trading systems or carbon taxes. This is complemented by demand for offsets from businesses voluntarily offsetting their emissions or becoming carbon neutral in line with corporate social responsibility goals. Voluntary offsets schemes also recognise abatement (avoidance, reduction or removal of greenhouse gases from the atmosphere) through voluntary action beyond that required by regulation to meet national targets.

The Australian Government is introducing the Carbon Farming Initiative (CFI) to allow crediting of offsets for abatement activities in agriculture, forestry and other land-based sectors that will not be covered by future regulatory schemes. The CFI will generate offset credits that can be used in both compliance and voluntary markets. It is complemented by the National Carbon Offset Standard (NCOS) which will provide consumers with confidence in and the integrity of the carbon neutral products, while providing guidance to businesses seeking carbon neutral status.

A key challenge in designing compliance and voluntary offsets schemes is to achieve a balance between the environmental integrity, market value and participation. The market value of all types of offsets depends on consumer perceptions of their environmental integrity. Environmental integrity is achieved through the interpretation and application of a set of principles essential for converting abatement into property rights that can be traded in carbon markets. These environmental integrity principles are used to define offsets and can include additionality, permanence, measurability, leakage, auditability, registration and transparency.

Relaxed governance standards for implementing these environmental integrity principles have the advantage of reducing the costs of administering and participating in a scheme through less stringent technical review and auditing procedures. This can encourage the innovation and rapid adoption of abatement technologies. However, the advantages of increased participation must be traded off against the risks that relaxed governance standards pose to environmental integrity and therefore consumer confidence and the market value of offsets.

This presentation will examine the different objectives of compliance and voluntary market offsets schemes, and the implications that this has for the interpretation of the environmental integrity principles. In doing so it will explore the different governance options available under the two types of scheme, and how these provide options for implementing offset principles. The comparison of the two types of scheme will show that they are providing a complementary basis for climate change policies that contribute to sustainable development in Australia.

GLOBAL WARMING : Methane Production in Paddy Field at Mae Klong River Basin, Thailand

Sansanee Chawanakul ¹

Abstract—The chemical properties of atmosphere methane are leading to global climate change in this century. Its impact on “Global Warming” has unexpectedly facing us through various episodes on this earth. Rice fields serve as one of the most significant contributors (□ 20-25%) on this issue. The flood surroundings deformed rice soil into anoxic condition. This twisted the flooded soil to be a benefit on providing the adequate nutrient, capable for bacterial requirement on methane production and then, transfer the gas through rice plants as methane emission in paddy field. This work is compared with another work on rice cv: Supanburi 1, Supanburi province, central part of Thailand. The methane production was studied in laboratory scale with the methane-producing bacterial communities at rice rhizosphere, Mae Klong River Basin, Northeastern region, Thailand. Samples comprised of rooted (R), rooted soil (RS) and non-rooted soil (NR) from paddy fields of rice cv: Jasmine at Warinchamrab district, Ubon ratchathani province. The peak on methane production reported maximum at rooted, rooted with soil and non-rooted soil at day 75 of reproductive phase (RP75) of rice cultivation, with the amount of 12.9, 6.4 and 4.8 mmole gdw⁻¹, respectively. This expressed higher result on rice cv: Supanburi 1 with the average of 1.37 μmole gdw⁻¹ at planted field. The bacterial number of methane-producing group similarly originated highest at rooted, rooted with soil and non-rooted soil at RP75 of rice cv: Jasmine at 1.4 x 10³, 1.1 x 10³ and 0.25 x 10³ cell gdw⁻¹, respectively. The results correspondingly indicated the equal amount of microorganism of rice cv: Supanburi 1 by the average 1.0x10³ cell gdw⁻¹ at planted field. The relationship between methane production and bacterial population size were obviously observed at reproductive phase in particular at rooted zone. This could lead into the fundamental data that bring the solution on the methane production reduction as well as the control on methane emission in the near future. This can be the additional clue on global warming discount with the complement data from tropical paddy field on Mae Klong River Basin, the Northeastern area of Thailand.

Keywords— Methane production, Methane emission, Paddy field, Global warming

1. INTRODUCTION

Methane responsible to global warming potential (GWP) is about 30 times more effective than CO₂. Paddy fields have named as one of the most significant sources of atmospheric methane, accounting for about 25% or 25-100 Tg of the entire global biogenic methane budget, annually [1], [2], [3].

Methane production is directly affected by the activity of methane-producing bacteria or acetoclastic methanogens which require acetate as substrate (66%) at highly anaerobic conditions as well as H₂-CO₂ as substrate (33%) for their metabolism. The biomethanation is completed by a complex microbial consortium in the soil. Polysaccharides are the organic substrates that were converted to alcohols, volatile fatty acids (VOCs), H₂ and CO₂. In rice-field soils, about 20-30% of methane is produced from H₂/CO₂, the rest is from acetate [4], [5]. In the overall methane dynamics, rice plants process as:

1) source of methanogens substrate, 2) channel for methane pass well through the system of rice plants inter-cellular air space (aerenchyma) [6] The rice plant also provided the methanogenic substrates through root exudates, decay roots and leaf fall and 3) potential methane oxidizing micro-niche at the rice root by diffusing oxygen which favor the growth on methane-consuming bacteria.

To understand the process on methane production in paddy fields, the methane production in laboratory scale and methane-producing bacteria in terms of the dynamic in bacterial population number by using the MPN technique were determined in soil of transplanting rice cv: Jasmine, Warinchamrab district, Ubon ratchathani province, Mae Klong River Basin, the Northeastern part of Thailand.

2. METHODOLOGY

Soil Samples Collection

The experimental designed as a completely randomized block design (RCBD). The soil samples were collected at 3 different zones (rooted, rooted with soil and non-rooted zones) of Jasmine rice in reproductive phase (day 60-90) approximately from experiment transplanted

¹S. Chawanakul is with Waste utilization and Technology Lab, Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon ratchathani, 85 Sathollmark rd., Warinchamrab district, Ubon ratchathani 34190, Thailand, E-mail: sansanee@ubu.ac.th

paddy fields, located at Ubon ratchathani province (Sawangweerawong village, Warinchamrab district). (Fig.1).



Fig.1. Location map of sampling sites at Ubon ratchathani province, Thailand

Soils of rooted zone and non-rooted zone were sampled at initial period using plastic core 12x2 inch horizontally under water level, at depth 5 cm. The soil samples are separated in plastic bags and maintained at 4°C in an icebox. The collected times was during 11.00-3.00 pm that represented as the high peak methane emission in rice field [8]. Samples were determined for methane production and, population of acetoclastic methanogens in the laboratory.

Soil Slurries Preparation

Soil samples 25 gm were mixed with 25 ml of methanogens basal medium (1:1 w/v). These were prepared in triplicate. Then, soil slurries were put into serum vial (50ml.), closed with rubber stoppers, flushed with 99.9 % N₂ gas for 10 minute and incubated at 37°C for 2-4 weeks [9].

The soil characteristics recorded at study site at early boosting stage (day 70) is moisture content, volatile solids, ash content, soil carbon soil hydrogen and the colour. Soil component comprised with pH 7.8 with moisture content 24%, volatile solid and carbon of 2% and 1.1, respectively. The temperature is 24°C while its color is black (Table 1) [10].

Table 1. Soil samples characteristics at early reproductive phase

Parameters	Early reproductive phase
pH	7.8
Moisture content (%)	24.0
Volatile solids (%)	2.0
Ash content (%)	98.0
Soil carbon (%)	1.1
Soil hydrogen (%)	1.33
Soil temperature (°C)	24
Soil color	B

Notes; mean, triplicates, B=black [11]

Methane producing bacteria (MPB) media

The dominant species considered in this study were methane-producing bacteria (MPB) or acetoclastic methanogens. Then, selective media that necessary in this case are Methane producing acetoclastic bacteria or methanogens medium [12].

Determination of Methane Production

The soil slurries were prepared triplicately by using 25 gm soil mixed with 25 ml of methanogens basal medium at ratio 1:1 w/v. Then, soil slurries samples were put in serum vial, closed with rubber stoppers and flushed head space with 99.9 % N₂ gas for 10 minutes. These vials were incubated at 37°C for 2-4 weeks in order to determine the production of methane.

Methane Production Measurement

50 µl of the headspace gas of sample vials was taken by gas tight syringe, then injected into a Gas Chromatograph (GC); Shimadzu ® model GC-14A equipped with a thermal conductivity detector (TCD) to analyze the headspace methane gas. The proportion of entire gas produced was calculated with percent of methane gas reported in the volume of methane production of soil samples.

The Enumeration of Methane-producing Bacteria

The numbers of methane-producing bacteria were counted by the most probable number (MPN) technique, as described by [13]. The soil dilution was mixed with acetoclastic methanogens medium into 10 ml serum vial. The headspace was purged with 99.9% nitrogen gas and then capped with rubber stoppers. The proportions of vials, which test positive and negatives for methane production, are checked by Gas

Chromatograph (TCD). The MPN results were interpreted with appropriate statistical tables [14], [15].

Statistic analysis

Data were analyzed with the analysis of variance (ANOVA) using Statistic Analyse System (SAS) software. To test for difference among soil samples, treatments are used as main effects. Relations among sites in each soil sample at the same field were analyzed by computing correlation coefficient by SAS. Treatment effects was compared by F-test and Duncan's New Multiple Range Test Method with Least significance Difference (LSD) at $\alpha \leq 0.05$.

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1 Methane productions and methane-producing bacterial population size at unplanted and planted paddy fields.

The average methane production was positively correlated with bacterial population size. The previous result indicated the higher production of methane in planted rice field as shown in Table 2. Methane production was significantly higher in planted ($1.3 \pm 0.27 \mu\text{mol gdw}^{-1} \text{d}^{-1}$) than in unplanted ($0.81 \mu\text{mol gdw}^{-1} \text{d}^{-1}$) at central rice fields. The reason was caused by large amount of methane-producing bacteria. Rice plants in planted rice field might indirectly involve in methane production through providing the availability of substrates by stimulated the growth of methane producing population in this paddy field.

Table 2. Average methane production and acetoclastic methanogenic population size in unplanted and planted paddy field [8]

Parameters	Unplanted rice field	Planted rice field
Methane production ($\mu\text{mol gdw}^{-1} \text{d}^{-1}$)	$0.81^{\text{ns}} \pm 0.001$	$1.3^* \pm 0.27$
Acetoclastic methanogenic population number (cell gdw^{-1})	$4.5 \times 10^* \pm 2.1 \times 10$	$1.0 \times 10^3^* \pm 6.0 \times 10^2$

Mean \pm SD, Triplicate.
 * Significantly different at $P \geq 0.05$
^{NS}, not significantly different

The amount of methane produced per cell of methane producing bacteria was determined from the prior work at rooted and non-rooted

(rhizospheric and non-rhizospheric soil) as shown in Fig. 2. The methane produced was higher at boosting stage. The similar change in methane producing bacterial population sizes was occurred at the same period in paddy field. This expressed of the high specific bacterial (methanogenic) activity (SMA) during day 35 to 42 day of cultivation were the sources on the methane production during vegetative stage before it was dramatically low to the ripening stage [10].

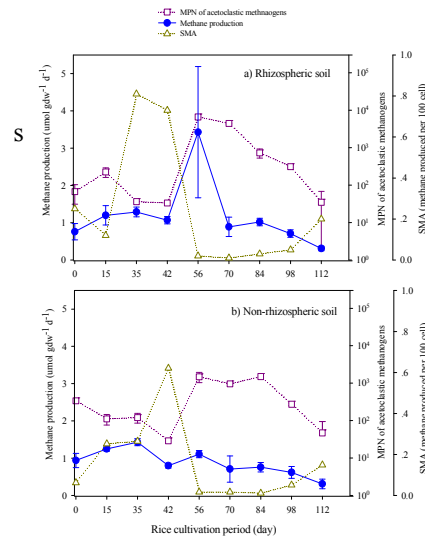


Fig.2. The number of methane-producing bacterial population size in rooted, rooted with soil and non-rooted soil [7].

The prior results from central part of Thailand lead the similar way from the differ rice cv; Jasmine rice from Mae Klong River Basin, the Northeastern part of Thailand as shown in the following Fig. 3

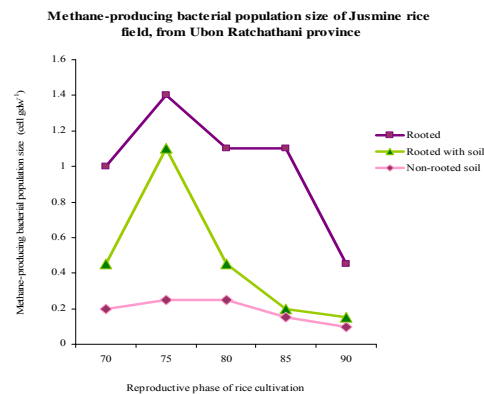


Fig. 3. The number of methane-producing bacterial population size in rooted, rooted with soil and non-rooted soil rice cv; Jasmine rice from Mae Klong River Basin, the Northeastern part of Thailand

Fig.3. showed that Methane - producing bacterial population size in rooted, rooted with soil and non-rooted soil since day 70 up to day 90. The Methane-producing bacterial population size initiated at rooted soil at day 70, 75, 80, 85 and 90 of reproductive phase of rice cultivation with the amount of 1.0×10^3 , 1.4×10^3 , 1.1×10^3 , 1.1×10^3 and 0.45×10^3 cell gdw^{-1} , respectively. Methanogenic population size in rooted, rooted with soil and non-rooted soil Jasmine paddy field are the highest at day 75 were 1.4×10^3 , 1.1×10^3 and 0.25×10^2 cell gdw^{-1} , respectively [11].

During rice cultivation, nitrogen fertilizer was applied at the beginning around day 30-40 as basal and top-dressing application in the paddy field. This might allowed nitrogen source to be essential for microbial growth and high numbers of methane producing bacterial cell at reproductive stage of rice cultivation.

3.2 Methane production of rooted and non-rooted zone in planted rice field

There are two major rice cultivation practices in Thailand; transplanting and broadcasting. In transplanted field, rice stems were drilled in row with space area between rice plants while in the broadcast process, rice seedlings were spread over the field with limited area among rice roots. Methane production bacterial were found attached to rice root area and mostly of methane (95%) was emitted through rice stem [16], [17], [18]. Methane production at rooted and non-rooted zone by cultivation time were indicated both at central (Fig. 4) and the result from Mae Klong river basin (Fig. 5) as follows;

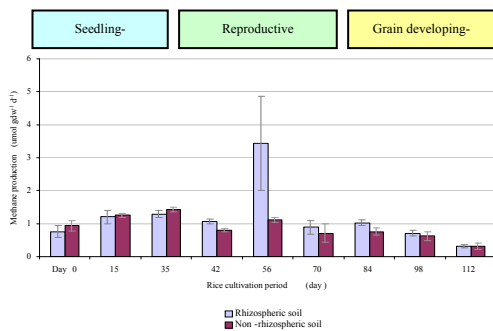


Fig.4. Methane productions at rooted and non-rooted zone during rice cultivation (rice cv: Supanburi 1), Supanburi province, central part of Thailand.

Methane production from the transplanted area, central part of Thailand during rice cultivation was similar in general, except at day 56 of reproductive phase with high methane production in rooted zone was found. The rate of methane production at day 56 was $1.55 \pm 0.27 \mu \text{mol } gdw^{-1} d^{-1}$ which was three times higher than the production in non-rooted zone over the whole planting period [5].

This work focused on the methane production at rooted, rooted with soil and soil at Jasmine rice field, Mae Klong River Basin, the Northeastern part of Thailand (Sawangweerawong village, Warin chamrab district, Ubon ratchathani province). Methane production was observed in particular at reproductive phase of rice cv: Jasmine (day 60-90). The differences of methane production between rice, rice rooted and non rooted samples shown in the following Fig. 5. [15].

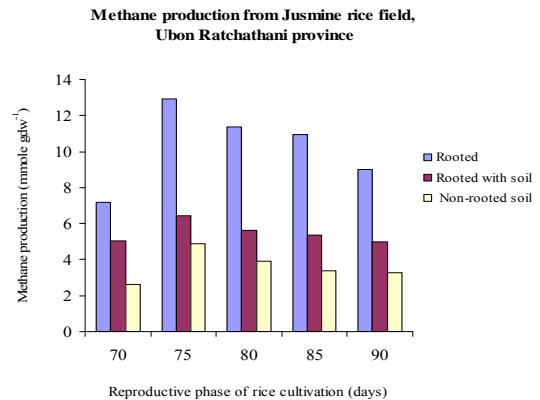


Fig.5. Methane productions at rooted and non-rooted zone during rice cultivation (rice cv: Jasmine), Ubon ratchathani province, northeastern part of Thailand.

The methane production at rooted, rooted with soil and non-rooted soil since day 70 up to day 90 (Fig. 5) reported the higher amount of methane production than previous data shown at central area of Thailand. This work dominantly investigated at boosted or reproductive phase (day 70, 75, 80, 85 and 90). The methane production found at rooted found at 7.2, 12.9, 11.4, 10.9 and 9.0 $mmole \text{ } gdw^{-1}$, respectively. Whereas, rooted soil found at the amount of 5.0, 6.4, 5.6, 5.4 and 4.9 $mmole \text{ } gdw^{-1}$, respectively and non-rooted soil found at the amount of 2.6, 4.8, 3.9, 3.4 and 3.3 $mmole \text{ } gdw^{-1}$, respectively. The highest amount of methane production found boosted at rooted, rooted with soil and non-rooted soil at day 75 of reproductive phase (RP75) of rice cultivation with the amount of 12.9, 6.4 and 4.8 $mmole \text{ } gdw^{-1}$, respectively [15].

Lu *et al.*, 2000 [19] reported that during boosting stage or flowering stage of rice, root exudates was minimal. Mikha *et al*, 2001 [20] additionally found that methane production was positively related with root exudates content. At rooted zone experiment, higher methane producing bacteria with higher methane production was similarly observed during boosting or reproductive phase. This may due to the effect of root exudates that promote methane

production. This is because organic compounds found in root exudates can be converted to microbial substrates and methane subsequently [21], [22], [23].

However, the methane production occurred at rooted zone at planting rice. This caused by the effect of essential nutrient from root exudates and decaying roots are important sources of methane production especially at the later growth stages of the early rice plant [24]. This work indicated the difference of two rice species with its location of plantation region. These results reported the higher methane production of rice cv: Jasmine at Ubon ratchathani province, Mae Klong River Basin, the Northeastern part of Thailand than central part of Thailand. The magnify amount products of methane at northeastern region could launch the hint problem on further study of global warming reduction of us in the near future.

4. CONCLUSIONS

The amount of methane production significantly boosted at rooted, rooted with soil and non-rooted soil at day 75 of reproductive phase (RP75) of rice cultivation rice cv: Jasmine. Ubon ratchathani province. The methane-producing bacterial population size correspondingly found greatest at rooted, rooted with soil and non-rooted soil at RP75, respectively. This data indicated the difference in the interesting higher data to compare with the result at central area. Thus, the relationship between methane production and methane-producing bacterial population size were obviously established at RP75 in particular at rooted zone. This basic evidence bring about the primary data on methane production reduction as well as the control on its emission. This could enhance global warming incredibly.

Additionally, the following soil characteristics pragmatic at this work at Ubon ratchathani province, Mae Klong River Basin, the Northeastern part of Thailand, bring about the idea of how important on the significant on mitigation on methane reduction as carbon sinks in paddy fields (Table 3).

Table 3. Soil characteristics at reproductive periods of rice cv: Jasmine of experimental plantation (d70-d90), Ubon ratchathani province [15]

Parameters	Soil characteristics					
	Rice cultivation periods (days)					
	d70	d75	d8	d85	d90	d95
pH	7.8	7.2	7.0	7.7	7.6	7.58
Moisture content (%)	24	25	24	24	25.6	24.6
Volatile solids (%)	2.0	2.7	2.2	1.7	2.0	2.1
Ash content (%)	98.0	97.3	97.8	98.3	98.0	97.8
Soil carbon (%)	1.1	1.5	1.2	0.9	1.1	1.2
Soil hydrogen (%)	1.33	1.8	1.5	1.16	1.33	1.42
Soil temperature (°C)	24	25	19	22	27	23.4
Soil color	B	B	B	B	B	Br

Note: mean, n=3, B=black, Br=brown

It was agreed that available nutrients, organic matter (volatile solid and soil carbon) at rice rooted soil derived from rice root and then, accumulated at rice reproductive phase. This expressed in the nourishment of reproductive soil (d70 and d75) that soil carbon (1.5%), soil hydrogen (1.8%) and volatile solids (2.7%) that is suitable as carbon stocks as carbon sink at paddy fields. This could bring into the mitigation on the reduction of atmospheric methane/greenhouse gas together with another environmental management on cutting the methane emission for instance water management, reduce flooding level over ground to the GHG/ global warming atmosphere in this century.

5. REFERENCES

- [1] Dickinson, R. E. and Cicerone, J. R. (1986). Future global warming from atmospheric trace gases. *Nature*. 319, 109-115.
- [2] Prinn, R.G., (1994). *Global atmospheric-biospheric chemistry*. In: Prinn, R.G. (Ed.), Global Atmospheric-Biospheric Chemistry. Plenum Press, N.Y, pp.1-18
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC (2001). *Climate Change 2001: A Scientific Basis*, Intergovernmental Panel on Climate Change; J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X.

- [4] Dai, C.A. Johnson, and K. Maskell, eds.; Cambridge University Press. Cambridge, U.K.
- [5] Rothfuss, F. and Conrad, R. (1993). Development of a gas diffusion probe for the determination of methane concentrations and diffusion characteristics in flooded paddy soil. *FEMS Microbiology Ecology*. 14, 307-318.
- [6] Yao, H. and Conrad, R. (1999). Thermodynamics of methane production in different rice paddy soils from China, the Philippines and Italy. *Soil Biology and Biochemistry*. 31, 463-473.
- [7] Schutz, H. Seiler, W. and Conrad, R. (1989). Processes involved in formation and emission of methane in rice paddies. *Biogeochemistry*. 7, 33-53
- [8] Chidthaisong, A., and I. Watanabe. (1997). Methane formation and emission from flooded rice soil incorporated with ¹³C-labeled rice straw. *Soil. Boil. Biochem*. 29. 1173-1189.
- [9] Chawanakul, S., Chaiprasert, P., Kerdchoechuen, O., Towprayoon, S. and Tanticharoen, M. (2002). *In Proceeding of the Methane production and Acetoclastic methanogens at rice rhizospheric soil*. NCGG-3 (3rd Non-Carbon dioxide Greenhouse Gas International Conference), Jan 21-23, 2002. Maastricht, The Netherland.
- [10] Dannenberg, S. and Conrad, R. (1999). Effect of rice plants on methane production and rhizospheric metabolism in paddy soil. *Biogeochemistry*. 45, 53-71.
- [11] Chawanakul, S. (2006). Methane Production and Methanogenic Communities in Paddy Field. Ph.D Dissertation. The Joint Graduate School of Energy and Environment (JGSEE). King Mongkutt University of Technology Thonburi (KMUTT). Bangkok. Thailand.
- [12] Chawanakul, S. (2007). The population dynamics of greenhouse gases producing microbial (Carbon cycle) from organic farming paddy field. Final reports, Ubon Ratchathani University
- [13] Zhang, T. C. and Noike, T. (1991). Comparison of one-phase and two-phase anaerobic digestion processes in characteristics of substrate degradation and bacterial population levels. *Water Science Technology*. 23
- [14] Bak, F and N. Pfennig. (1991). Sulfate-reducing bacteria in littoral sediment of lake Constance. *FEMS Microbiology Ecology* 85: 45-52
- [15] APHA (American Public Health Association). (1969). Standard methods for examination of water and waste water including bottom sediments and sludge. p.604-609. APHA. Washington, D.C.
- [16] FDA. (1999). Bacteriological Manual, 8th edition (Revision A/1999). Food and Drug Administration. USA.
- [17] Sass, L.R, Fisher, M. N. and Harcombe, P.A. (1990). Methane production and emission in a Texas rice field. *Global Biogeochemical Cycles*. 4, 47-68
- [18] Roger, P. A. (1992). Soil Microbial Ecology. JR. MARCEL DEKKER, INC.
- [19] Banker, B. C., Kludze, H. K., Alford, D. P., DeLaune, R. D. and Lindau, C. W. (1994). Methane sources and sinks in paddy rice soil: relationship to emission. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 53, 243-251.
- [20] Lu, Y., Wassmann, R., Neue, H. U., Huang, C. and Bueno, C. S. (2000). Methanogenic responses to exogenous substrates in anaerobic rice soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 32, 1683-1690.
- [21] Mikha, A. S., (2001). Impact of root exudates of different cultivars and plant development stages of rice (*Oryza sativa* L.) on methane production in a paddy soil. *Plant and Soil*. V. 230. 70-86
- [22] Kimura, M., Miera, Y., Watanabe, A., Katoh, T. and Naraguchi, H. (1991b). Methane emission from paddy field (Part 1). Effect of fertilization, growth stage and midsummer drainage: Pot experiment. *Environmental Sciences*. 4, 265-271
- [23] Chidthaisong, A., Rosenstock, B. and Conrad, R. (1999). Measurement of monosaccharides and conversion of glucose to acetate in anoxic rice field soil. *Applied and Environmental Microbiology*. 65, 2350-2355
- [24] Kaku, N., Ueki, A., Fujii, H. and K. Ueki, (2000). Methanogenic activities on rice roots and plant residue and their contributions to methanogenesis in wetland rice field soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 32, 2001-2010.
- [25] Neue, H. U., Wassmann, R., Lantin, R. S., Alberto, M. C. R., Aduna, J. B. and Javellana, A. M. (1996). Factors affecting methane emission from rice fields. *Atmospheric Pollution* 30, 1751-1754.

ACKNOWLEDGEMENT

Thank the financial support from NRCT, 2007. Sincerely thanks to JGSEE, Eco-waste excellence centre: BIOTEC cluster at PDTI, KMUTT. Special acknowledge to Prof. Morakot Tanticharoen, Assoc. Prof. Dr. Sirintornthep, Towprayoon, Assoc. Prof. Dr. Pawinee Chaiprasert, Assoc. Prof. Orapin Kerdchoechuen and Assist. Prof. Amnat Chidthaisong for all kindly advice on the prior study. Finally, thanks also to Waste Utilization and Technology Laboratory (WUT lab), Department of Biological Sciences, Faculty of Science, Ubon ratchathani University, Ubon ratchathani, Northeastern part of Thailand for all facility on this study.

Survey of Sex Pheromone Components in Sphinx Moths by Bio-sensory Detector Coupled with Gas Chromatography

Hiroshi Honda¹ Tetsu Ando² and Hideshi Naka³

¹ Graduate School of Life and Environmental Sciences,
University of Tsukuba; Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan

² Graduate School of Bio-Applications and Systems Engineering;

Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, 184-8588, Japan

³ Faculty of Agriculture, Tottori University; Tottori, Koyama Minami, 680-8553, Japan

Abstract — Since identification of the sex pheromone, Bombykol from the silk moth *Bombyx mori* many compounds have been identified as sex pheromones or sex attractants in various insect species and have been used for pest control. However, few sex pheromones or sex attractants are known for Sphingidae (hawkmoths). So far, compounds of the Bombykol family including hexadecadiene alcohols, aldehydes and acetates have been reported as the main components of sex pheromones from only 17 species in the world. In this paper, we introduce the identification of sex pheromone candidates from five species of Japanese hawkmoths. Sex pheromone components of these species were surveyed by GC, GC-EAD and GC-MS. In the Sphinginae species, a binary mixture of 10,12-hexadadienal (10,12-16:Ald) and hexadecenal (16₁ Ald) is proposed as a pheromone candidate for *Mimas christophi*, and 10,12-16:Ald alone as a pheromone candidate in *Smerinthus tokyonis*. However, novel compounds from the Bombykol family were found in *Dolbina tancrei*. In Macroglossinae species, *Theretra japonica* showed a ternary mixture of 10,12-16:Alds and 16₁ Ald, but *Neogurelca himachala sangaica*, a typical diurnal species, were attracted by *E,Z*-10,12-16: Ald alone in a field test.

Novel Technical Approach Towards Solving a Persistent Problem: Nanofibers as Eco-compatible Dispensers for Insect Pheromones and Their Application in IPM *

H.E. Hummel^{1,2}, D.F. Hein¹, I. Lindner¹, A. Deuker¹, J. Lahr¹, G. Leithold¹, M. Breuer³, A. Vilcinskas⁴,
A. Greiner⁵, Ch. Hellmann⁵, R. Dersch⁵ and J.H. Wendorff⁵

Abstract— A large number of technical solutions has been invented for meeting the requirements of the mating disruption strategy. To obtain disruption effects, nontoxic plant protection agents like pheromones or other semiochemicals must be applied homogeneously over a wide field area. Organic electrospun nanofibers serving as novel dispensers are the latest attempt in a challenging series which cover several decades. Nanofibers are generated either by direct electrospinning in the field or by placing prefabricated fiber nets with deposited nanofibers in the vineyards. Both approaches will create a fine-tunable network of release stations for optimal behavioural disruption. Since insect pheromones are non-toxic, environmentally acceptable, biodegradable, compatible with all other integrated pest management (IPM) measures, and fully sustainable, the input of these nanofibers in future IPM programs is explored. Semifield experiments in south German vineyards conducted during 2009 and 2010 indicate the feasibility, in principle, of disrupting pheromone communication between male and female grapevine moths *Lobesia botrana* (Lep.:Tortricidae). Thus, preventing mating and deposition of viable eggs in vineyards under disruption conditions is now feasible over a period of close to one month. Broadcasting of a pheromone cloud in vineyards will have to be further extended to several months by modifications in the release characteristics of the nanofibers containing pheromone, while at the same time reducing both the pheromone input and the application costs. Mechanized and later on automated application systems of broadcasting and monitoring the pheromone cloud are in the planning state.

Keywords— Novel application technology for plant protection agents, organic nanofibers, biodegradable and inexpensive pheromone dispensers, precision agriculture.

1. INTRODUCTION

For close to 4 decades, entomologists struggled with the technical challenges of dispensing volatile pheromones and other semiochemicals in a foreseeable, plannable and quantifiable manner [1]. Several authors published detailed monographs about their approaches [2,3,4,5]. Yet, in spite of these efforts and a considerable body of accumulated knowhow, also including industrial labs, the ultimate solution satisfying everybody has not been found to date. High costs, impracticability under field conditions and environmental concerns are some of the obstacles to be considered. For more than 3 decades, we experimented with a long list of

dispensers more or less suitable for the task of monitoring, mass trapping and mating disruption. We tried cellulose powders and papers of various composition and strength, we tried rubber septa, pieces of rubber hose, we tried stainless steel or teflon planchettes from which liquid pheromone can evaporate [6]. We experimented with maize grit [7], with nylon mesh wrapped around aluminum foil cylinders and impregnated with liquid pheromone, we further tried Celcon[®] cellulose hollow fibers open at the upper or lower end, and finally, since 2005, we experimented with electrospun nanofibers [8,9]. Other authors investigated microcapsules of various polymeric compositions [5,10], RAK[®] ampoules hung into orchards [11], spaghetti type plastic fibers (Isonet[®]) impregnated with pheromones and slung around plants [12], Hercon polymer sheets, cuttable to size [13], and pheromone puffers [14], to name a few prominent examples. Innovatively, Muñoz-Palares et al. [15] furthermore proposed the use of inorganic materials. They charged the natural internal cavities of zeolithes (alumosilicates) with pheromones. Some of these approaches may have reached the state of commercial applicability and competitiveness under special sets of circumstances. Most of these developments however, while solving the evaporation problem more or less elegantly, failed

* dedicated to Prof. Dr. H. Schmutterer on the occasion of his 85th birthday on April 11, 2011.

¹Justus-Liebig-University, Chair of Organic Agriculture, Karl-Gloeckner-Str. 21 C, D-35394 Giessen. Germany, Fax: +49-641-99-37739, E-mail: hans.e.hummel@agr.uni-giessen.de, organ.landbau@agr.uni-giessen.de.

²Illinois Natural History Survey, Institute of Natural Resource Sustainability, University of Illinois, 1816 S. Oak Street, Champaign, Il.61820, USA

³State Institute for Viticulture and Enology Freiburg, Department of Ecology, Merzhauserstr. 119, D-79100 Freiburg, Germany.

⁴Justus-Liebig-University, Applied Entomology, Heinrich-Buff-Ring 26, D-35392 Giessen. Germany,

⁵Philipps-University Marburg, Department of Chemistry, Hans-Meerwein-Strasse, D-35032 Marburg, Germany

in one or more of the following requirements: They lacked either in environmental stability, rainfastness, resistance to hydrolysis, UV-stability, poor release stability with temperature, expenses for either manufacture or handling or both, and difficulty to mechanize and automate their distribution in the field. Thus, we are still in search for an "ideal" or at least a reasonably "intelligent" and adjustable dispenser type suitable for many applications.

Application engineers routinely remind us to pay attention to the ever increasing pressures imposed by stagnant food and fibers prices while wages in industrialized countries tend to increase. This forces growers to use monocultural, high yielding cultivation methods, fertilizers, pesticides, and harvest conditioners and a large array of high priced farm machinery, with all inherent consequences. While not debating these economic realities, we feel uneasy with large field unit approaches because of their disregard for biodiversity, water and soil protection, and sustainability. Nevertheless, for the last 3 years, we explored organic nanofiber production and their use under field conditions. As a model system with very well understood and amply tested properties [16], we selected mating disruption of the vineyard pest *Lobesia botrana*. We expect we may arrive at some general conclusions which we could transfer to other future fields of food and fiber production efforts. Some of these experiences will be documented in the following.

2. METHODOLOGY AND EXPERIMENTAL DESIGN

Following a review article by Greiner and Wendorff [8] on electrospinning and a first feasibility study by Hellmann et al. [9] on pheromone incorporation into nanofibers, we immediately adopted this novel approach for agricultural purposes. As a test species, we selected the European grapevine moth *L.botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) in vineyards situated in South Germany at the outskirts of Freiburg. The mating behavior and disruption of *L. botrana* has been very well studied [16,17]. Ecoflex®, a fully biodegradable copolymer from 1,4-butanediol, terephthalate and adipate [18], serves as the carrier material for the pheromones. Ecoflex nanofibers with an outer diameter between 800 and 1400 nm can hold up to 33% of the *L. botrana* pheromone (E,Z)-7,9-dodecadienyl acetate (see fig. 1). Electrospinning was achieved under high voltage (direct current) conditions at 1 kV cm⁻¹ field strength between spinning electrode and counter electrode [8]. Kinetic studies on weight loss over time were conducted in a wind tunnel and evaluated by an analytical balance sensitive to weight changes of 0.1 mg.

Analytical procedures in the lab (Thermogravimetric (TGA) and Closed Loop Stripping Analysis (CLSA) methods [19,20]) and in the field [21] allow for quantification of the pheromone release characteristics. Results of the TGA analysis are depicted in fig. 2.

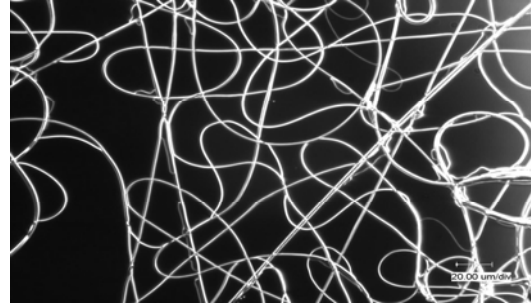


Fig.1. Micrograph taken from Ecoflex® nanofiber charged with 33 % *L. botrana* pheromone.

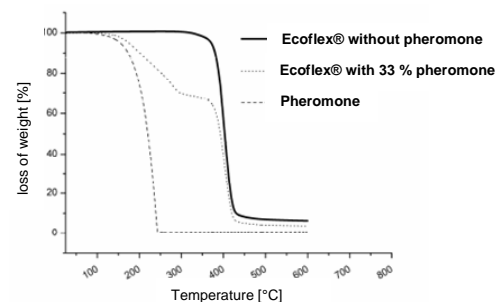


Fig. 2: Thermogravimetric analysis (TGA) of Ecoflex® fibers charged with 33 % *L. botrana* pheromone (E,Z)-7,9-dodecadienyl acetate. The graph clearly shows the reduction of vapor pressure and thus volatilization rate of pheromone alone (left curve) and pheromone inside the Ecoflex® nanofiber (middle curve). At 220-235°C, pheromone will very quickly evaporate while the fiber-pheromone combination will release the pheromone only above 250-400°C and with considerable delay. The fibers alone (right curve) are thermolyzed to soot above 450°C (fig. modified from Ch. Hellmann, Dissertation Philipps-University of Marburg 2009 [22]).

Quality control of nanofibers is an important issue: The actual pheromone content at a given time may be checked by obtaining small samples of nanofibers and taking micrographs (as in fig. 1) or analyzing them by the TGA methods (see fig. 2). Also, field EAG methodology for measuring the actual pheromone content in the air surrounding the grape vines is applicable but not further elaborated in this present study. Furthermore, quality control of the fibers is possible at all stages during the production and field application process. Correct incorporation of the doubly unsaturated grapevine moth pheromones into the fiber matrix may be checked by RuO₄ staining and subsequently taking

micrographs. Derivatives of the pheromone with RuO₄ may be recognized as denser ellipsoidlike inclusions *inside* the tiny Ecoflex (R) fibers (9).

The experimental design in the vineyards called for two separate sites with a minimum distance of several hundred meters between a) untreated control, b) nanofiber treatment and c) Isonet® fiber as positive control. The recapture rate of male *L. botrana* moths caught in virgin female baited sticky traps was arbitrarily set at 100% which facilitates evaluations and comparisons of data on a weekly basis.

The virgin female baited sticky trap of the delta type is placed in the vineyards and is surrounded by an accessible but normally closed wire screened field cage of about 2x2x2 m dimension, according to a procedure of Doyé [17]. This field cage is placed in the center of a pheromone disrupted area (fig. 3a and b) and is charged with 2 virgin female moths and several dozen males, both from a laboratory rearing program.



Fig.3a and b. Fig. 3a depicts a general view of a wire screened field cage situated at the center of the area, while fig. 3b gives some details of the cage with closed entrance door and (inside the structure) the delta trap containing two virgin female *L. botrana* whose natural lure will attract (or not attract) males depending on the disruption status of this particular field section.

Then the performance over time of this “semifield cage arrangement” is compared with a parallel unit in a non disrupted field plot. Disruption in the field plot is realized by sheets of hail protection netting with electrospun nanofibers, with or without pheromone content. Treated nanofibers contained up to 335 g/ha of liquid *L. botrana* pheromone, so far without any other substances. In the future, UV screen will, however, be added for protection against degradation or isomerization by sunlight.

With this experimental protocol, 3 consecutive replications of the field experiments were run during late spring, summer and late summer of 2009, and during late summer of 2010.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of 2009 provide evidence for full efficacy of the nanofibers for a period of up to 3.5 weeks (see figs. 4 and 5).

While details are still under evaluation, results of 2010 show this effect to be reproducible under our field conditions in the late summer. This proves that we are on the right track. In the future, considerable effort will be necessary to expand on the duration of the pheromone release throughout the entire growing season. One application of pheromone dispensers only per growing season will be the desired goal.



Fig.4. Field disruption experiment in the vineyards at Freiburg, Germany. An area of 2,000 m² is covered with strips of hail protection netting which mechanically holds in place the electrospun nanofibers with the disruptant pheromone.

Emphasis is also being placed on efforts to mechanize distribution of the organic nanofibers by using multipurpose cultivating machines and modifying them for this special task of directly electrospinning in the field or dispensing prespun fibers. In the long run, experimental approaches utilizing more and more methodologies of precision agriculture will be sought.

In recognition of ever tightening cost saving measures we hope to make a contribution toward more efficacious, lighter, less expensive ecologically and environmentally compatible methods. As a long term goal we try to improve on the stability of both fibers and their pheromone release rate for up to half a year. Subsequently, the chosen fiber type must selfdegrade during the winter months. It is too expensive and impractical to remove some tiny fibers after their pheromone content is exhausted.

Precision agriculture in the commonly accepted sense [25] is characterized by very high spatial and temporal resolution facilitated by modern chemists as well as mechanical and computer engineers. The nanofiber technology outlined above is an example for steps taken in this new direction.

Yet, there is also an emerging *new* dimension to be conquered: a gain in precision in the knowhow of chemical, mechanical and eventually in automated systems [26].

For some time, traditional agricultural systems are being gradually superseded and refined by interdisciplinarily oriented approaches. They are characterized by interactions and cooperations between insect chemical ecologists, synthetic and analytical chemists, physical and polymer is applicable to the economically pressing *Zea mays* / *Diabrotica v. virgifera* system [23,24] both in the New and the Old World.

Some of the ideas put forward in this article may seem farfetched to those who are less familiar with the daily challenges in emerging precision agriculture techniques. Yet, as a consolation both to our critics and to ourselves we can comfortably refer to Albert Einstein (1879 – 1955) who constantly rode at the cutting edge of technical and conceptual feasibility. He once wrote: "A really good idea may be recognizable by the fact that its realization seems impossible at the time".

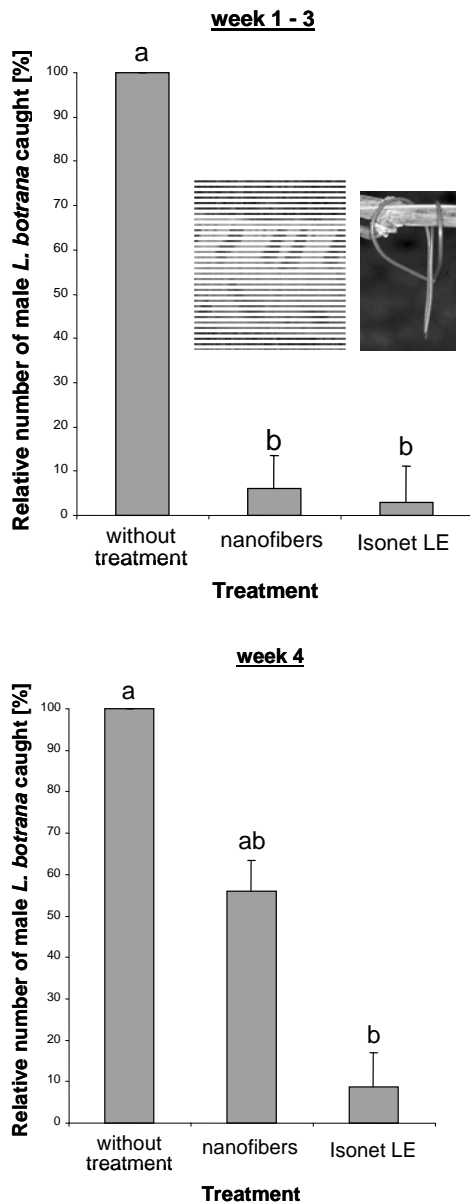


Fig.5. Field evaluation of the Ecoflex® pheromone combination for disruptive effects and for proving their longevity. Note statistical significance between untreated control (columns 1), nanofibers (columns 2) and positive control with Isonet LE (columns 3, respectively). The effect lasts for close to 4 weeks (data from [21]).

4. REFERENCES

- [1] Roth, W., Heinrich, R., Knauf, W., Bestmann, H.J., Brosche, T. and Vostrowsky, O. (1981) Formulierung von Pheromonen – Möglichkeiten und Schwierigkeiten. *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. angew. Ent.* 2: 279-288.
- [2] Brooks, T.W. (1980) Controlled vapor release from hollow fibers: Theory and applications with insect pheromones. In A. Kydonieus (ed.), *Controlled Release Technologies: Methods, Theory and Application*, Vol. II. CRC Press. Boca Raton, Florida, pp. 165-193.
- [3] Quisumbing, A.R. and Kydonieus, A.F. (1982) Laminated structure dispensers. In: A.F. Kydonieus and M. Beroza (eds.), *Insect Suppression with Controlled Release Pheromone Systems*, Vol. I, CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 210–213.
- [4] Leonhardt, B.A. and Beroza, M. (eds.) (1982) *Insect Pheromone Technology: Chemistry and Applications*, ACS Symposium Series 190, American Chemical Society, Washington D.C., 260 pp. ISBN 0-8412-0724-0.
- [5] Jutsum, A.R. and Gordon, R.F.S. (1989) *Insect pheromones in plant protection*. Wiley, Chichester, 369 pp. ISBN 978-0471920199.

- [6] Gaston, L.K., Shorey, H.H. and Saario, C.A. (1967): Insect population control by the use of sex pheromones to inhibit orientation between the sexes. *Nature* 213(5081): 1155.
- [7] Novak, R.J., Metcalf, R.L., Lampman R.L. and Hummel, H.E. (2001) Innovative pest management of corn rootworms: the use of kairomone-impregnated baits. In S. Mulla Mir (ed.) *Biopesticides: Biotechnology, Toxicity, Efficacy, Safety, Development, and Proper Use*. Proc. 2nd International Conference on Biopesticides. Compact Print, Thailand. pp. 60–72. ISBN 974-229-056-3.
- [8] Greiner, A. and Wendorff, J.H. (2007) Electrospinning: A Fascinating Method for the Preparation of Ultrathin Fibers. *Angew Chem Int Ed*, 46: 5670-5703.
- [9] Hellmann, Ch., Greiner, A. and Wendorff, J.H. (2009) Design of pheromone releasing nanofibers for plant protection. *Polymers for Advanced Technologies*, published online in Wiley InterScience, DOI: 10.1002/pat.1532.
- [10] Campion, D.G., McVeigh, L.J., Hunter-Jones, P., Hall, D.R., Lester, R., Nesbitt, B.F., Marrs, G.J. and Alder, M.R. (1981) Evaluation of Microencapsulated Formulations of Pheromone Components of the Egyptian Cotton Leafworm in Crete. In E.R. Mitchell (ed.), *Management of Insect Pests with Semiochemicals: Concepts and Practice*, Plenum Press, New York, pp. 253 – 265.
- [11] Neumann, U. (1990) Commercial Development: Mating disruption of the European Grape Berry Moth. In R.C. Ridgway, R.M. Silverstein and M.N. Inscoe (eds.), *Behavior-Modifying Chemicals for Insect Management: applications of pheromones and other attractants*, M. Dekker, New York, pp. 539 – 546.
- [12] Charmillot, P.J. and Pasquier, D. (2004) Isonet: a new dispenser to control grape moths by mating disruption. *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture* 36: 95–100.
- [13] Kydonieus, A.F. and Beroza, M. (1981) The Hercon Dispenser Formulation and recent Test results. In E.R. Mitchell (ed.), *Management of Insect Pests with Semiochemicals: Concepts and Practice*, Plenum Press, New York, pp. 445 – 453.
- [14] Shorey, H.H. and Gerber, R.G. (1996) Use of puffers for disruption of sex pheromone communication of codling moths (Lepidoptera: Tortricidae) in walnut orchards. *Environ. Entomol.* 25: 1398-1400.
- [15] Muñoz-Pallares, J., Corma, A., Primo, A. and Primo-Yufera, E. (2001) Zeolites as Pheromone Dispensers. *J. Agric. Food Chem.* 2001: 4801-4807.
- [16] Wegner-Kiß, G. and Breuer, M. (2005) Stand der Dispenser-Entwicklungen. *Badischer Winzer* Februar 2005: 23 – 24.
- [17] Doyé, E. (2006) *Entwicklung eines Freilandtests zur Überprüfung der Wirksamkeit von Pheromonanwendungen im Weinbau*. Dissertation: TU Kaiserslautern, Department of Biology. URN (NBN): de:hbz:386-kluedo-19213.
- [18] Witt, U., Einig, T., Yamamoto, M., Kleeberg, I., Deckwer, W.-D. and Müller, R.-J. (2001) Biodegradation of aliphatic–aromatic copolyesters: evaluation of the final biodegradability and ecotoxicological impact of degradation intermediates. *Chemosphere*, 44, 289-299.
- [19] Boland, W., Ney, P., Jaenicke L. and Gassmann, G. (1984) A "closed-loop-stripping" technique as a versatile tool for metabolic studies of volatiles. In P. Schreier (ed.), *Analysis of Volatiles*. Walter de Gruyter, Berlin, pp. 371 – 380.
- [20] Hein, D.F., Leithold, G., Hummel, H.E., Lindner, I., Vilcinskas, A., Greiner, A., Wendorff, J.H., Dersch, R., Hellmann, Ch., Breuer, M. and Kratt, A. (2009) Nanofibers as novel carriers for semiochemicals in plant protection. *Mitt Dtsch Ges Allg Angew Ent*, 17, 105-108.
- [21] Hein, D.F., Breuer, M., Hummel, H.E., Greiner, A., Wendorff, J.H., Hellmann, Ch., Vilcinskas, A., Kratt, A., Kleeberg, H. and Leithold, G. (2010) Electrospun nanofibers as novel carriers of insect pheromones: communication disruption strategy against *Lobesia botrana*. In IOBC/wprs Bulletin, Working Group "Integrated Protection in Viticulture", *Proceedings of the Working Group meeting at Staufen im Breisgau (Germany)*, 01-04 November, 2009 (in press).
- [22] Hellmann, Ch. (2009) Entwicklung funktioneller Nanofasernsysteme: Einsatz im Pflanzenschutz und in der Oberflächenstrukturierung. Dissertation Philipps-Universität Marburg. <http://archiv.ub.uni-marburg.de/diss/z2010/0071/pdf/dch.pdf>
- [23] Hummel, H.E. (2007) *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte: Inconspicuous beetle-formidable challenges to agriculture. *Commun. Appl Biol Sc. Ghent University*, 72: 7-32.
- [24] Hummel, H.E., Deuker, A. and Leithold, G. (2009) The leaf beetle *Diabrotica virgifera virgifera*: a merciless entomological challenge for agriculture. *IOBC/WPRS Bulletin* Vol. 41: 103-110. Proceedings of the meeting at Lund (Sweden), 9-14 September 2007. Edited by: Marco Tasin & Peter Witzgall. ISBN 978-92-9067-215-9.

- [25] Rösch, C., Dusseldorp, M. and Meyer, R. (2006) *Precision Agriculture: Landwirtschaft mit Satellit und Sensor*. Deutscher Fachverlag, Frankfurt/Main. ISBN 978-3866410800.
- [26] Ruckelshausen, A., Klose, R., Linz, A., Marquering, J, Thiel, M. und Tölke, S. (2006) Autonome Roboter zur Unkrautbekämpfung. *Journal of Plant Diseases and Protection Sonderheft XX*: 173-180.

ACKNOWLEDGMENT

BMELV / BLE, Bonn, Germany, provided research funds through their innovation program 2008 - 2010. Schwarz Foundation, Heilbronn-Neckarsulm, farsightedly spearheaded the developments of organic nanofiber technology as agriculturally important tools since 2004. JKI Berlin checked the compatibility of the electrospun nanofibers with current environmental legislation and found no negative influences. Patent application advice of Drs. P. Stumpf and K. Lischka of TransMIT GmbH Giessen is gratefully noted.

Transparent Conductive Oxide Thin Films for Solar Cell Applications

Damisih, Dong Kyun Shin, Jai-Yeoul Lee and Hee Young Lee *

^{1,2}School of Materials Science and Engineering,
College of Engineering, Yeungnam University,
Gyeongsan 712-749, KOREA
E-mail: hyulee@yu.ac.kr

Abstract—Transparent conductive oxide (TCO) thin films are one of major components and play a key role in various types of thin film solar cells including amorphous silicon, CIGS, dye-sensitized and flexible organic solar cells. Among many possible candidates, indium tin oxide (ITO) has been the popular choice for CIGS and organic solar cells by most manufacturers. ITO films, however, are mainly composed of precious indium metal, and the search for an inexpensive alternative TCO has drawn much interest among materials scientists around the world. Indium zinc tin oxide (IZTO) thin film is one of the possible low-cost alternatives to ITO thin film. We have previously shown that the simultaneous addition, i.e. co-doping of zinc and tin to indium oxide could increase the solubility up to 20% each in thin films. Indium zinc tin oxide (IZTO) thin films with nominal chemical composition corresponding to $\text{In}_{0.6}\text{Zn}_{0.2}\text{Sn}_{0.2}\text{O}_{1.5}$ (IZTO20) were deposited onto glass substrates at room or elevated temperature. A dc or rf magnetron sputtering system equipped with a ceramic target of the same composition was used for film deposition. Effects of deposition parameters on film properties have been investigated in detail. The results are compared to those obtained for typical commercial ITO thin films from solar cell application viewpoint.

Keywords — transparent conductive oxide, thin film, indium tin oxide, indium zinc tin oxide, solar cell

Crosslinking Junctions of Vulcanized Natural Rubber Analyzed by Solid-State FG-MAS NMR Spectroscopy

Seiichi Kawahara^{1*}, Oraphin Chaikumpollert¹, Satoshi Sakurai² and Yoshimasa Yamamoto¹

Abstract—Crosslinking junctions of vulcanized natural rubber were analyzed by solid-state NMR spectroscopy equipped with a field-gradient high speed magic-angle-spinning probe. Resolution of ¹H- and ¹³C-NMR spectra and correlation between ¹H and ¹³C of the vulcanized natural rubber were investigated by one- and two-dimensional measurements, including inverse correlation measurements. The number of substitution of the carbon atom at the crosslinking junctions was determined by the solid state NMR spectroscopy.

Keywords—

1. INTRODUCTION

Solid-state Nuclear Magnetic Resonance, NMR, spectroscopy is a powerful technique to analyze crosslinking junctions of elastomers and gels, since a chemical shift of signals appearing after crosslinking reflects a chemical environment of surroundings of the atoms of the crosslinking junctions [1,2]. The chemical environment may be positively analyzed by measuring correlations between ¹³C and ¹H. Thus, we must apply various pulse sequences to the analysis of the crosslinking junctions through NMR spectroscopy. However, in many literatures [3-8], only solid-state ¹³C-NMR spectroscopy under high power ¹H-decoupling, i.e. dipolar decoupling, has been performed to analyze the crosslinking junctions, since a residual dipole-dipole interaction was so significant after crosslinking due to constrained motions of the elastomers and gels. To assign the signals appearing after vulcanization through solid-state ¹³C-NMR spectroscopy, therefore, Mori and Koenig [5,6] adopted empirical correlations with shift factors to estimate values of chemical shifts of plausible crosslinking junctions proposed by Coran [9]. Small signals at 44, 50, 57 and 64 ppm of vulcanized natural rubber were assigned to tertiary carbons linking to S atoms [5,6], respectively.

In the previous works [10,11], we carefully assigned the signal at 44 ppm to secondary carbons and the signals at about 58 ppm to tertiary and quaternary carbons through latex-state NMR spectroscopy with Distortionless Enhancement by Polarization Transfer (DEPT) and Attached Proton Test (APT) measurements. The assignment was proved by solution-state NMR spectroscopy for vulcanized liquid *cis*-1,4-polyisoprene and vulcanized squalene with DEPT, APT, 2-dimensional

¹H-¹³C correlation (HETCOR), 2-dimensional heteronuclear single coherence (HSQC) and 2-dimensional heteronuclear multiple bond correlation (HMBC) measurements. Furthermore, we proposed a method to prepare latex from vulcanized rubber sheets with a cryogenic sample crusher, in order to apply latex-state NMR spectroscopy to various vulcanized rubbers prepared in the solid state [11]. However, due to a complicated procedure to prepare the latex, it is anticipated to develop a novel solid-state NMR spectroscopy for the vulcanized rubber, in which various pulse sequences are applied to the analysis of the crosslinking junctions.

For the rubbery materials, high-resolution solid-state NMR spectroscopy without dipolar decoupling is performed with high speed magic angle spinning (HS-MAS) that is higher than about 20 kHz [12-18]. This may be attained even after vulcanization; hence, the residual dipole-dipole interaction of the vulcanized rubber is eliminated with HS-MAS. In this case, we may apply various pulse sequences, i.e. DEPT, APT, HETCOR and so forth to solid-state NMR spectroscopy for the vulcanized rubber. Furthermore, in order to detect very small signals of fewer amounts of crosslinking junctions, it is necessary to measure inverse correlations of ¹H with ¹³C, i.e. HSQC, HMQC and HMBC, which make possible to enhance sensitivity through the solid-state NMR spectroscopy equipped with field-gradient HS-MAS (FG-HS-MAS) probe. In the present study, we apply newly developed FG-HS-MAS probe to the analysis of the crosslinking junctions of the vulcanized natural rubber through solid-state NMR spectroscopy, as the first trial. The crosslinking junctions of the vulcanized rubber were analyzed through solid-state NMR spectroscopy with DEPT, APT, HSQC and HMQC.

2. EXPERIMENTAL

Natural rubber latex used in this study was commercial high ammonia natural rubber latex of 60 w/w % dry rubber content (DRC). Vulcanization

¹S. Kawahara, O. Chaikumpollert and Y. Yamamoto are with the¹Department of Materials Science and Technology, Faculty of Engineering, Nagaoka University of Technology, Nagaoka, Niigata 940-2188, Japan

²S. Sakurai is with the JEOL Ltd., 1-2-3 Musashino, Akishima, Tokyo 196-8556, Japan

of natural rubber was made in latex stage. One example for the vulcanization of natural rubber latex was as follows; first, natural rubber latex (ca. 1,000ml) was prevulcanized with 88.5g of 20w/v% KOH solution, 17.5g of 30%S/15%ZnO suspension and 99.5g of 50 w/v% sodium di-n-butylthiocarbamate solution at 40°C for 4 hours. Second, vulcanization of the prevulcanized natural rubber latex was carried out at 90°C for 1–72 hours, after dilution of the prevulcanized latex with water to adjust 20 w/w% DRC followed by adding 1 w/w% sodium dodecyl sulfate (SDS). The resulting vulcanized latex was filtered with 40 µm mesh followed by centrifugation at 10,000g. Cream fraction of the latex was redispersed in 1 w/w% SDS solution to make 30 w/w% DRC latex and was washed by centrifugation, again. The washed cream fraction was redispersed in 0.1w/w% SDS solution with deuterium oxide to make 50 w/w% DRC. A part of the cream fraction was coagulated and dried under reduced pressure. It was subjected to solid state NMR measurement.

The solid-state NMR spectroscopy was performed with a JEOL JNM-ECA600 FT-NMR spectrometer, operating at 600 and 150 MHz for ^1H and ^{13}C , respectively. A spinning rate of the sample tube for the solid state measurement was 18 kHz \pm 5 Hz. The solution-state NMR spectroscopy was carried out with a JEOL JNM-ECA400 FT-NMR spectrometer, operating at 399.7 and 100.4 MHz for ^1H and ^{13}C , respectively. The vulcanized natural rubber latex with deuterium oxide was used for the measurements without further treatment. The vulcanized natural rubber was loaded into a sample tube for a solid sample and a center of the rubber was drilled with a small needle. Probes used were 4mm FG-MAS probe for the solid-state measurement and NM-40TH5AT/FG2SL probe for the solution-state measurement. N_2 gas was used as MAS bearing and driving gas sources in order to protect samples from oxidation and NMR probe head. ^1H -NMR, ^{13}C -NMR, DEPT and APT measurements were carried out at 323K at pulse repetition times of 7 sec and 5 sec, respectively. The actual temperature of the surroundings in NMR probes was calibrated on the basis of the temperature dependence of the ^{270}Pb chemical shift of $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$. For this temperature used in this experiment is found on the idea that all amorphous polymers at more than 100K of glass transition temperature will have similar solution behavior [19]. Two-dimensional ^1H - ^{13}C and heteronuclear multiple bond correlation measurements were made to collect two-dimensional hyper complex data. After weighting with shifted sine-bell function, the data was Fourier-transformed in the absolute value mode.

3. RESULT AND DISCUSSION

Solid-state ^{13}C -NMR spectrum for the vulcanized natural rubber, measured with a FG-HS-MAS probe, is shown in Figure 1, in conjunction with solution-state ^{13}C -NMR spectrum for unvulcanized natural rubber. Five major signals in the spectrum were assigned to C atoms of *cis*-1,4 isoprene units, according to the previous paper [11]. Values of half width of the signals and signal to noise (S/N) ratio of the solid-state ^{13}C -NMR spectrum for the vulcanized natural rubber were quite similar to those in the solution state ^{13}C -NMR spectrum for unvulcanized natural rubber, as shown in Table 1. The narrow half width and the sufficient S/N ratio of the solid-state ^{13}C -NMR spectrum for the vulcanized natural rubber may imply that high resolution was maintained for solid-state ^{13}C -NMR spectroscopy even after vulcanization, since the dipole-dipole interaction between hetero-nuclei was eliminated by HS-MAS. This is distinguished from very low resolution of the solid-state NMR spectrum for the vulcanized natural rubber reported by Kluppel [17] and Koenig [3-8].

In Figure 1, small signals appeared at 40, 44, 50 and 58 ppm in the solid-state ^{13}C -NMR spectrum for the vulcanized natural rubber, which were not shown in the solution-state ^{13}C -NMR spectrum for the unvulcanized natural rubber. To assign the signals, we applied DEPT measurement at 45° (DEPT45), 90° (DEPT90) and 135° (DEPT135) pulses and APT measurement to the solid-state ^{13}C -NMR spectroscopy. Figure 2 shows DEPT45, DEPT90 and DEPT135 spectra for the vulcanized natural rubber. The signals at 24, 26 and 32 ppm characteristic of methyl, methylene and methine carbons of *cis*-1,4 isoprene unit were shown to be upward, upward and upward in the DEPT45 spectrum and they were almost null in the DEPT90 spectrum. On the other hand, in the DEPT135 spectrum, the signals were upward, downward and downward. Thus, the

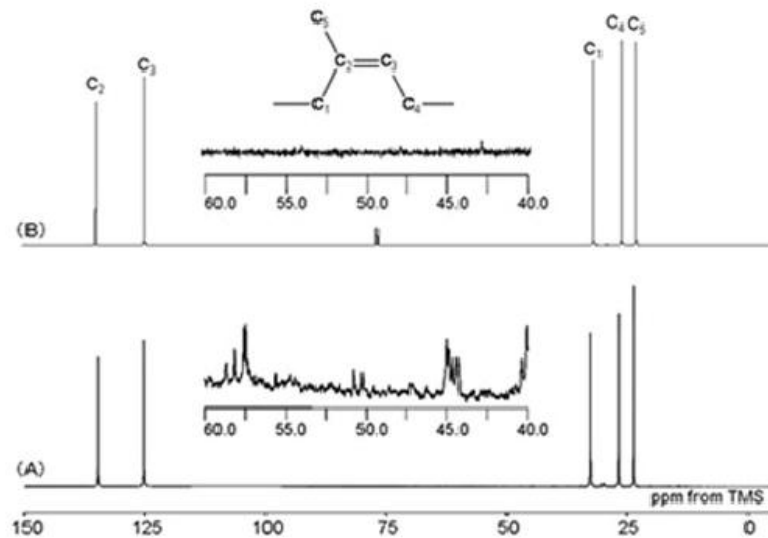


Fig. 1. Typical ^{13}C -NMR spectra: (A) solid-state ^{13}C -NMR spectrum for the vulcanized natural rubber, (B) solution-state ^{13}C -NMR spectrum for unvulcanized natural rubber. The solid-state ^{13}C -NMR measurement was performed with a 4mm FGMAS probe at 18 kHz in spinning rate. The solution state ^{13}C -NMR measurement was performed with a NM-40TH5AT/FG2SL probe at 12 Hz in spinning rate.

Table 1. Summary of relevant parameters for the spectra shown in Figure 1

Figure	1a	1b
sample	vulcanized NR	unvulcanized NR
instruments (kHz)	150	100.4
T (K)	323	323
no. of transients	90000	90000
rec delay (s)	2.0	2.0
S/N	4882	5295
Half width (Hz)	17.05	11.47
time (h)	76.5	76.5

pulse width determined for DEPT measurements was confirmed to be correct to assign the small signals at 44, 50 and 58 ppm.

The small signals at 40 and 44 ppm were shown to be upward in the DEPT45 spectrum, null in the DEPT90 spectrum and downward in

the DEPT135 spectrum; hence, they were assigned to secondary carbons. The signal at 50.5 ppm was assigned to quaternary carbon due to null signal in the spectra, while the signal at 50 ppm was assigned to tertiary carbon due to upward signals in the spectra, respectively. In contrast, the signal at 58 ppm was assigned to tertiary and quaternary carbons due to the very

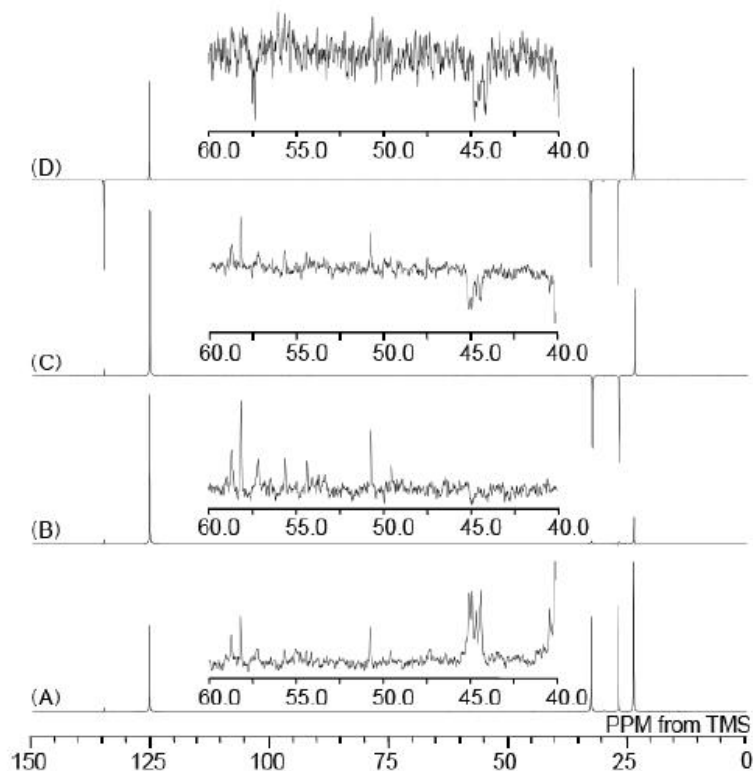


Fig. 2. Solid-state ^{13}C -NMR spectra with pulse sequences of distortionless enhancement by polarization transfer (DEPT) and attached proton test for the vulcanized natural rubber: (A) DEPT45, (B) DEPT90, (C) DEPT135, (D) APT.

small upward signals in the DEPT45, DEPT90 and DEPT135 spectra and null signals; in fact, almost all signals disappeared. In Figure 2, the APT spectrum is also shown for the vulcanized natural rubber. The APT spectrum represented upward signals at 40 and 44 ppm, upward and downward signals at 50 ppm, and upward and downward signals at about 58 ppm. Thus, we assign the signals at 40 and 44 ppm to the secondary carbons and the signals at 50 and 58 ppm to the tertiary and quaternary carbons.

Figure 3 shows solid-state ^1H -NMR spectrum for the vulcanized natural rubber and solution-state ^1H -NMR spectrum for the unvulcanized natural rubber with acquisition parameters listed in Table 2. Major signals at 1.7, 2.1 and 5.1 ppm

in the spectra were assigned to methyl, methylene and unsaturated methine protons of *cis*-1,4-isoprene units, respectively. Values of half width and signal to noise (S/N) ratio of the signals in the solid-state ^1H -NMR spectrum for the vulcanized natural rubber were a little bit larger and smaller, respectively, than the values of the half width and the S/N ratio of the signals in solution-state ^1H -NMR spectrum for unvulcanized natural rubber. For instance, the value of half width of the signals in the solid-state spectrum was about 1.5 times as large as that in the solution state spectrum. This may be explained to be due to a reduced effect of the dipole-dipole interaction between homonuclei in solid-state

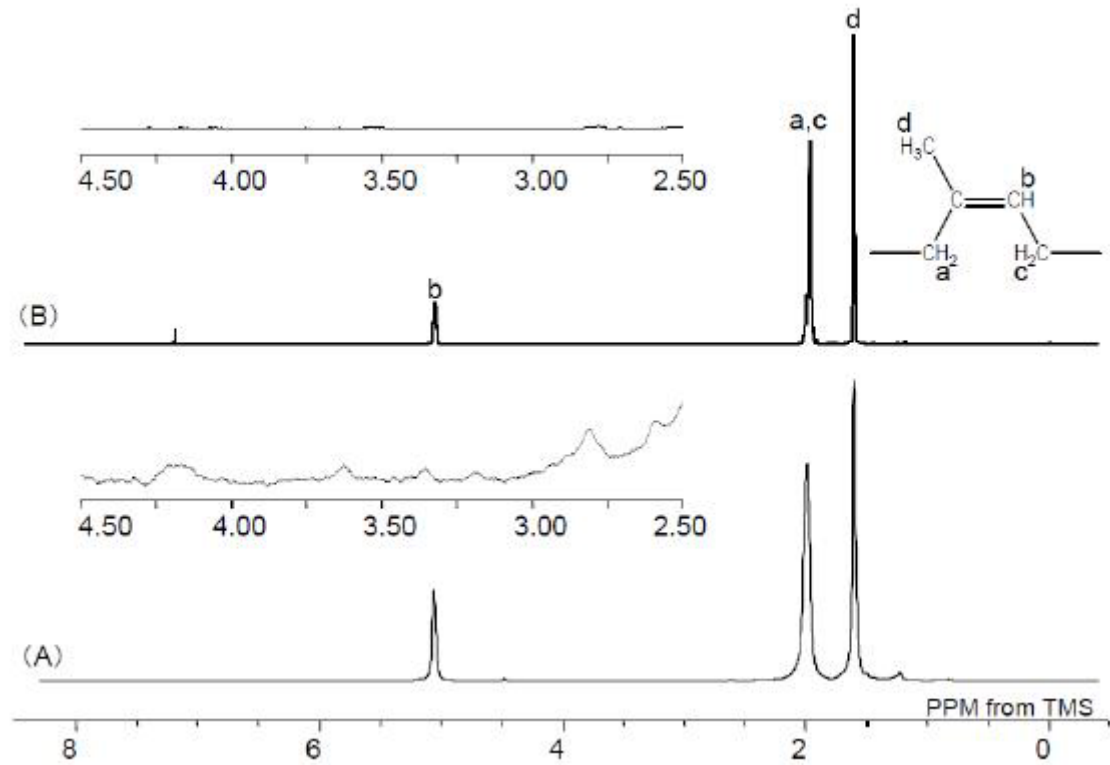


Fig.3. Typical ^1H -NMR spectra: (A) solid-state ^1H -NMR spectrum for the vulcanized natural rubber, (B) solution-state ^1H -NMR spectrum for the unvulcanized natural rubber. The solid-state ^1H -NMR measurement was performed with a 4mm FGMAS probe at 18kHz in spinning rate. The solution state ^1H -NMR measurement was performed with a NM-40TH5AT/FG2SL probe at 12Hz in spinning rate.

Table 2. Summary of relevant parameters for the spectra shown in Figure 3

Figure	3a	3b
sample	vulcanized NR	unvulcanized NR
instruments (kHz)	600	399.7
T (K)	323	323
no. of transients	128	128
rec delay (s)	5.0	4.2
S/N	26732	27178
half width (Hz)	7.00	5.20
time (min)	13	13

^1H -NMR spectrum; that is, a major portion of the dipole-dipole interaction between homo-nuclei is eliminated by HS-MAS. The dipole-dipole interaction between homo-nuclei may be completely eliminated by extremely high speed MAS with smaller sample tube. However, we are not interested in the smaller sample tube and extremely high speed MAS, because the aim of the present study is to detect the correlation

between the small ^{13}C and ^1H signals assigned to the crosslinking junctions of vulcanized natural rubber. In Figure 3, small signals at 3.4 and 4.2 ppm appeared in the solid-state ^1H -NMR spectrum for the vulcanized natural rubber, but not in the solution-state ^1H -NMR spectrum for the unvulcanized natural rubber. The signal at 3.4 ppm was

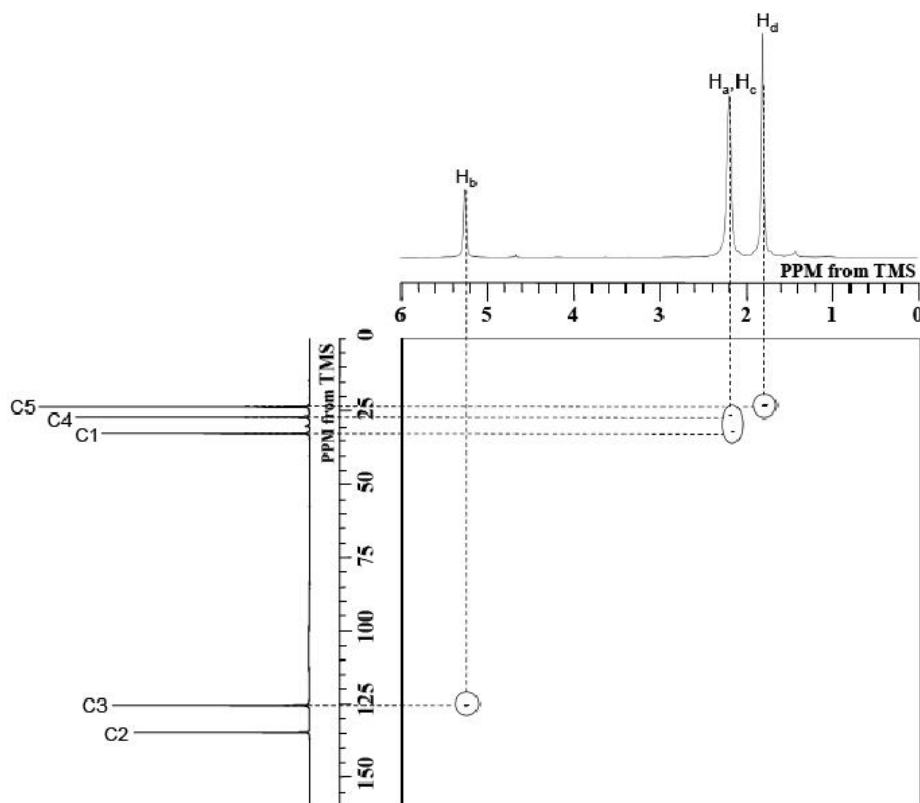


Fig.4. HSQC spectra for the vulcanized natural rubber, obtained through solid-state NMR spectroscopy equipped with a 4mm FG-MAS probe at 18 kHz in spinning rate for 1h 2 min.

Assigned to aliphatic ^1H linking to $-\text{C}-\text{CH}-\text{S}_x$ group and the signal at 4.2 ppm to unsaturated aliphatic ^1H linking to $=\text{C}-\text{CH}-\text{S}_x$ group, according to literatures [20]. Figure 4 shows HSQC spectra obtained through solid-state NMR spectroscopy equipped with the FG-HS-MAS probe. The signals at 1.7, 2.1 and 5.1 ppm in the ^1H -NMR spectrum were reasonably correlated with the signals in the ^{13}C -NMR spectrum; for instance, the signal at 1.7 ppm was correlated with the signal at 23 ppm, the signal at 2.1 ppm was with the signals at 26 and 32 ppm, and the signal at 5.1 ppm was with the signal at 135 ppm. However, no hetero-nuclei correlation between the small signals was detected in HSQC spectra due to unsatisfactory accumulation time for HSQC measurement.

To detect the hetero-nuclei correlation between the small signals, HMQC measurement was

performed in a selective region of chemical shift: 2 – 4 ppm in ^1H domain and 35 – 70 ppm in ^{13}C domain. Figure 5 shows HMQC spectra obtained by the selective measurement. The ^{13}C -signals at 40, 44, 50 and 58 ppm were well correlated to the ^1H -signals at 2.1, 1.76, 2.8 and more than 3.6 ppm. In the previous works [10,11], the signals at 40, 44 and 58 ppm of the vulcanized liquid *cis*-1,4-polyisoprene as a model were assigned through solution-state NMR spectroscopy with various pulse sequences, i.e. DEPT, APT, HETCOR, HSQC and HMBC. The signal at 40 ppm was assigned to C4 of *trans*-1,4-isoprene units, obtained by isomerization of *cis*-1,4-isoprene units. In contrast, the signals at 44 ppm in the ^{13}C -NMR spectrum were assigned to the secondary carbons adjacent to carbons linking to S atoms. The signals at 58 ppm in ^{13}C -NMR spectrum were assigned to the tertiary and quaternary carbons linking to S atoms. In the

present work, the same results were obtained by the solid-state NMR spectroscopy equipped with the FG-HS-MAS probe. Furthermore, the ^{13}C -signals at 58 ppm were correlated to the ^1H -signals at 3.4 and 4.2 ppm, which were assigned

to the $-\text{C}-\text{CH}-\text{S}_x$ group and $=\text{C}-\text{CH}-\text{S}_x$ group. More detailed assignments through the solid state NMR spectroscopy will be reported in our subsequent paper.

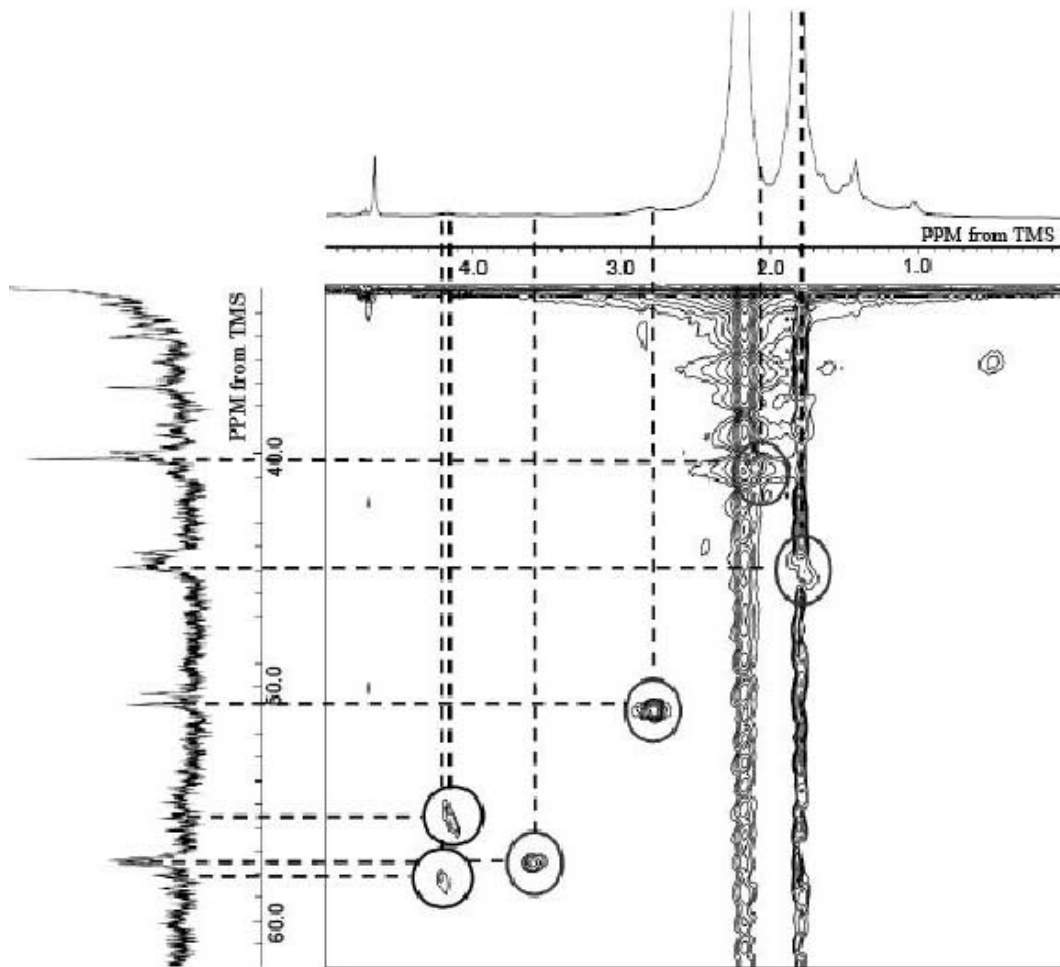


Fig.5. HMQC spectra for the vulcanized natural rubber, obtained through solid-state NMR spectroscopy equipped with a 4mm FG-MAS probe at 18 kHz in spinning rate for 71.5 h. HMQC measurement was performed in a selective region of chemical shift: 2 – 4 ppm in ^1H domain and 35 – 70 ppm in ^{13}C domain

4. CONCLUSIONS

The crosslinking junctions of the vulcanized natural rubber were analyzed by solid-state NMR spectroscopy equipped with the FG-HS-MAS probe. The resolution of the solid-state ^{13}C -NMR spectra for the vulcanized natural rubber was sufficiently high, which was comparable to the resolution of the solution-state ^{13}C -NMR spectra for the unvulcanized natural rubber. The resolution of the solid-state ^1H -NMR spectra for the vulcanized natural rubber was also similar to that of the solution-state NMR spectrum for the unvulcanized natural rubber. It was confirmed that the inverse

correlation between ^1H and ^{13}C signals, assigned to the crosslinking junctions for the vulcanized natural rubber, was investigated by the solid-state NMR spectroscopy equipped with the FG-HS-MAS probe. The signals at 40 and 44 were assigned to C4 of trans-isoprene units and secondary carbons adjacent to carbons linking to S atom, respectively, and the signals at 58 ppm were to the tertiary and quaternary carbons linking to S atoms. Furthermore, the ^{13}C -signals at 58 ppm were distinguishably correlated to the ^1H -signals at 3.4 and 4.2 ppm, which were assigned to the $-\text{C}-\text{CH}-\text{S}_x$ group and $=\text{C}-\text{CH}-\text{S}_x$ group.

5. REFERENCES

1. Bovey, F. A., NMR of Polymers, Academic Press, 1996.
2. Ando, I.; Asakura, T., Solid State NMR of Polymers, Elsevier Science, 1998.
3. Zaper, A. M.; Koenig, J. L. *Rubber Chem. Technol.*, **1987**, *60*, 252-277.
4. Mori, M.; Koenig, J. L. *Rubber Chem. Technol.*, **1995**, *68*, 551-562.
5. Mori, M.; Koenig, J. L. *Rubber Chem. Technol.*, 1997, *70*, 671-680.
6. Mori, M.; *Rubber Chem. Technol.*, **2003**, *76*, 1259-1275.
7. Mori, M.; Koenig, J. L. *J. Appl. Polym. Sci.*, **1998**, *70*, 1391-1399.
8. Patterson, D. J.; Koenig, J. L.; Shelton, J. R. *Rubber Chem. Technol.*, **1983**, *56*, 971-994.
9. A. Y. Coran, Science and Technology of Rubber, 2nd Ed., J. E. Mark, B. Erman, F. R. Eds., Academic Press, San Diego, Ch 7, 1994.
10. Ukawa, J.; Kawahara, S.; Sakai, J. *J. Polym. Sci.: Part B: Polym. Phys.*, **2007**, *45*, 1003-1009.
11. Kawahara, S.; Jinta, U.; Sakai, J.; Yamamoto, Y.; Isono, Y. *Rubber Chem. Technol.*, **2007**, *80*, 751-761.
12. Wang, M.; Bertmer, M.; Demco, D. E.; Blumich, B. *J. Phys. Chem.*, **2004**, *B108*, 10911-10918.
13. Cohen-addad, J. P.; Vogin, R. *Phys. Rev. Lett.*, **1974**, *33*, 940-943.
14. Saalwachter, K.; Herrero, B.; Lopez-Manchado, M. A. *Macromolecules*, **2005**, *38*, 9650-9660.
15. Mawell, R. S.; Chinn, S. C.; Solyom, D.; Cohenour, R. *Macromolecules*, **2005**, *38*, 7026 -7032.
16. Menge, H.; Hotopf, S.; Heuert, U.; Schneider, H. *Polymer*, **2000**, *41*, 3019-3027.
17. Kluppel, M.; Menge, H.; Schmidt, H.; Schneider, H.; Shuster, R. H. *Macromolecules*, **2001**, *34*, 8107-8116.
18. Simon, G.; Baumann, K.; Gronski, W. *Macromolecules*, **1992**, *25*, 3624-3628.
19. M. Shaw, Introduction to Polymer Viscoelasticity, 3rd Ed., M.T. Shaw and W. J. MacKnight, John Wiley & Son, 2005.
20. Frust, A.; Pretsch, E. *Anal. Chem. Acta.*, **1990**, *229*, 17-25.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported in part by a Grant-in-Aid (21655080) for Challenging Exploratory Research and Grant-in-Aid (22350100) for Scientific Research(B) from Japan Society for the Promotion of Science and Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development : SATREPS from JST-JICA.

Importance of Interfacial Properties in Thermoplastics Composites

Hiroyuki Hamada*

Advanced Fibro-Science, Kyoto Institute of Technology, Kyoto 606-8585, Japan
Tel: +81-75-724-7844 Fax: +81-75-724-7800 E-mail: hamada1@aol.com

Abstract—Interface is important component of composite materials as well as reinforcing fibres and matrix. Interface is not 2 dimensional face but 3 dimensional components on the reinforcing fibres and it can be created during processing. Therefore instead of terminology, interface interphase has been used. In order to change composite properties interphase properties should be considered with processing method. In the case of thermosetting matrix composite chemical reaction occurred by surface treatment, for example silane coupling agent for glass fibres composites. On the other hand in the case of thermoplastic composites before chemical reaction impregnation should be completed. Without good impregnation of resin into the fibres bundles interphase can not be created. In this paper I try to describe importance interface properties in thermoplastic composites. Materials used were glass fibres/PA and carbon fibres /PA mainly. Good impregnating intermediate materials called Micro Braiding Yarn was developed. Also Hybrid interface concept was shown in order to get both good impregnation state and high mechanical properties.

The Natural World, Sustainability and Business Organisations

Mervyn Dobbin¹

1. INTRODUCTION

The focus of this paper is on business organisations and their use of natural resources. The paper sets out some of the key events which have established the importance of the environment and the need for a more sustainable approach to development within our economies and societies. The concept of 'sustainability' is explored and issues from a number of key reports which deal with resource depletion and biodiversity loss are set out. Consideration is then given to the ways in which business organisations are responding to environmental issues and the extent of their enlightenment about and commitment to environmental issues, is questioned. Finally, the need for organisational learning in businesses is emphasised and suggestions are made for the role of higher education in improving the understanding by business organisations of environmental issues.

Global environmental issues are now increasingly being explored through the creative arts. The film 'The Age of Stupid' describes a scenario in which due to humanity's impact on the planet, global warming brings about dramatic changes in climate that do great harm to whole populations on earth [1] The film 'The Road' based on a book of the same name (McCarthy, 2008), is set in a future dystopia, the reasons for which are not explained but which could well be because of environmental exploitation. The two characters in the book, father and son, trudge together through a degraded and destroyed landscape, isolated and alone. The Age of Stupid and The Road, in different ways, paint pictures of possible futures – futures which they warn, should be and could be avoided, if there were to be significant changes with respect to humanity's understanding of and relationship to, the natural environment.

The theme of global impact is also taken up by [2] who underlines the evidence concerning global warming and describes some of the possible consequences such as a rise in sea levels. He explains how the future existence of island countries such as the Maldives is threatened and that the country's leaders have investigated possible alternative locations to

which the population of the islands might migrate. [3] expresses his dismay about species extinctions and tells stories about the many animals and birds around the world that have become extinct and those that are under threat '*We lose a distinct species of one sort or another, every ten minutes*'.

Organisations such as the World Wildlife Fund (WWF) and the Worldwatch Institute now publish regular reports on the 'state of the world' in which they assess the extent to which the earth's resources are being depleted. Their reports reflect on current and future trends and highlight the actions that need to be taken by individuals, business organisations and governments, in order to achieve a more sustainable planet.

Continuing with this theme, it is pointed out in the recent UN report on Biodiversity, that '*if the goods and services provided by the natural world are not valued and factored into the global economic system, the environment will become more fragile and less resilient to shocks, risking human lives, livelihoods and the global economy.*'[4]

Environmentalism

Concern for and interest in environmental issues grew significantly over the latter half of the twentieth century. In 1961, the World Wildlife Fund was established with the aim to protect global diversity. Today, the organisation manages many projects around the world including campaigns to protect threatened species and to help to prevent extinctions. A year later, in 1962 Rachel Carson (1962) in her book *Silent Spring* set out the dangers for the environment of the use of pesticides, especially DDT. She was able to demonstrate the impact that the use of toxic chemicals was having on fragile ecosystems. The use of DDT¹ was subsequently banned in the USA and her book was highly influential in creating awareness about the wider effects of humanity's impact on ecological systems. She entitled her book *Silent Spring*, because birds were also being killed by the chemicals used to kill insects, on which they depended for food. The songs of the birds were not being heard:

'Over increasingly large areas of the United States, spring now comes unheralded by the return of the birds and the early mornings are

¹ M. Dobbin Principal Lecturer, Faculty of Business and Law, De Montfort University, Leicester, England

¹DichloroDiphenyltrichloroethane, banned in the USA in 1973 but still used in some parts of the world

strangely silent where once they were filled with the beauty of bird song.[5]

A decade later, Meadows et al (1972) published their book *Limits of Growth* which also dealt with humanity's use of resources. With the help of computer simulation and feeding in a number of variables such as world population and natural resource use, they set out a number of alternative future scenarios, which showed different possible patterns and outcomes for world development up to the year 2100. They concluded that if humankind continues to use the earth's resources at current rates ie 'business as usual' scenario then humanity will reach a state of 'overshoot.' Because of resource depletion, food shortages and industrial decline, or a combination of these, economic and social systems would collapse. Whilst the authors, under certain scenarios made dire predictions, Meadows tried to point out that she and her co-researchers also had a broader and more optimistic perspective:

'We didn't think we had written a prediction of doom. We had intended to issue a warning, but also a vision. We saw, with the help of the computer, not one future but many, all possible, some terrible, some terrific.'[6]

The Natural World and Sustainable Development

In 1980, the World Conservation Strategy was published and focused on conservation and resource management and the impact of world population pressures on resources². The report was criticised on the grounds that it did not deal with the political, social and economic changes that needed to be brought about to achieve the goals set out in the strategy. However, it did bring to the world's attention the concept of 'sustainability' [7] It was some years later that a World Commission, chaired by Gro Harlem Brundtland elaborated on the concept of sustainability and established a definition of sustainable development which nearly thirty years later, remains the basis of most of the definitions and descriptions of the concept today:

'Humanity has the ability to make development sustainable - to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.'

(The World Commission on Environment and Development 1987:8)

The WCED, commonly known as the Brundtland Report elaborates on this definition by explaining that sustainable development is a

²The current world population is around 6.5 billion and is projected to rise to 9 billion by 2050.

process of change in which the exploitation of resources, the direction of investments, the orientation of technological development, and institutional change are all in harmony and enhance both current and future potential to meet human needs and aspirations. The definition of sustainable development as enshrined in the Brundtland Report has been interpreted in a variety of ways. So, environmentalists can claim that respect for the intrinsic values in nature should be built into the concept, others would claim that there is a need for the global redistribution of wealth. For the 'survivalists' such as [8] sustainability means an end to economic growth and for the World Business Council for Sustainable Development, sustainability requires the perpetuation of economic growth. In effect, there is no one agreed definition or framing of sustainable development to which all actors (individuals, business organizations, government agencies) adhere [9] In 1992 the UN Conference on Environment and Development (Earth Summit) in 1992 provided a focus for world governments on the subject of sustainable development and approval was given to the Agenda 21 document which outlined a 'global partnership for sustainable development'. In 2002 a follow up summit in Johannesburg issued a declaration on sustainable development. So, it is clear that by 1992 and ever since, sustainable development as a concept and a strategy has been taken on board by most of the world's governments, in one form or another.

Carter [10] proposes five principles which he considers helps to clarify the concept and also helps to guide any actions in the achievement of sustainable development in practice. *Equity* is the first principle and he believes that environmental problems are inextricably linked to economic and social inequalities between and within countries and between and within generations. The second principle is *democracy*: community participation can be encouraged in order that all local interests can participate in policy and planning decisions that have a direct effect on their lifestyles. The third principle, the *Precautionary Principle* should be applied, that is, scientific certainty should not be used as a reason for postponing measures to prevent environmental degradation. Fourthly, *policy integration* within government administrations is essential in order that an integrated approach can be taken to the environment. Finally, *planning*, or the intervention by government in the market and society is essential to achieve sustainable development, on the basis of partnerships and cooperative working. Carter accepts that these principles are radical and that their actual implementation would be dependent on

significant and radical changes to political, economic and social systems. Dryzek [9] recognizes the importance and significance of the concept to the environment and describes it as 'arguably the global discourse of ecological concern.' He suggests that it is best to consider sustainable development as a discourse that inspires experimentation with what sustainable development will mean in practice. 'Sustainability...is largely about social learning, involving decentralized, exploratory, and variable approaches to its pursuit.' [9] So, for Dryzek the concept and its various definitions and interpretations allow for on-going debate and exploration, not only about meanings but also about practical actions.

Impact on the Natural World

During the first decade of the twenty first century, there have been a number of investigations into and assessments of the impact on the natural world by what are considered by many to be humanity's profligate demands. [8] in one of the sequels to their first report some thirty years earlier, again set out and evaluated the impact of a number of future scenarios up to 2100 and the decades in between. They concluded that there was further evidence of 'overshoot' with respect to the use of the earth's resources. That is, the world's resources are being used faster than they can be restored. In spite of the raising of awareness of environmental issues and the policies developed by governments and actions by business organisations and individual citizens during the latter part of the twentieth century, Meadows et al concluded that most of their scenarios result in 'overshoot' with respect to the earth's resources and collapse of economic and social systems. The view that the authors took after their update was a more pessimistic one and they concluded that the situation had deteriorated and their 'business as usual' scenario showed 'collapse' of economic and social systems in an earlier period – a few decades into the 21st century:

'As natural resources become harder to obtain, capital is diverted to extracting more of them. This leaves less capital for investment in industrial output. The result is industrial decline, which forces declines in the service and agricultural sectors. About the year 2030, population peaks and begins to decrease as the death rate is driven upward by lack of food and health services'[8].

A year after the Limits to Growth update, the publication of the Millennium Ecosystem Assessment (2005) showed how everyone in the world depended on nature and ecosystem services to provide the conditions for a decent, healthy and

secure life. The authors reported that the world's fish stocks were in a dire state and concluded that human activities had taken the planet to the edge of a massive wave of species extinctions which threatened humanity's own well-being. They estimated that some 66% of the earth's ecosystem services were being degraded or being used unsustainably [11]. The most recent bi-annual report by the [12] provided further evidence to finite show the decline in and depletion of the world's resources at a greater rate than they can be replenished³. The losses which the report underlines are a result of deforestation, land conversion in the tropics, over-grazing, pollution, and over- and destructive fishing. The report concluded that the ecological footprint by humanity was growing to such an extent that by the 2030s, the resources provided by the equivalent of two earths would be required to maintain current lifestyles and consumer demands.

Similar messages are at the core of the most recent global evaluation by the UN of biodiversity⁴ loss [13] The UN report describes the evidence of significant forest loss worldwide and pointed out that forests contain more than half of terrestrial animal and plant species. Whilst the net loss of forests has slowed largely due to large-scale planting of forests in temperate regions, the loss is still dramatic. During the decade at the beginning of the new millennium, primary forest declined by more than 400000 sq kilometres, an area larger than Zimbabwe⁵.

One species which is particularly dependent on extensive forest is the tiger. 2010 is the Year of the Tiger and organisations such as the WWF have taken the opportunity during this year to highlight the dramatic decline in the numbers of tigers worldwide and the risk of extinction which this brings [14]

During the twentieth century the tiger population worldwide has fallen from about 100000 to 7000 at the beginning of the 21st century. The majority of tigers which remain are in reserves or wildlife parks, mainly in India (Glavin, 2007). The WWF estimates that as recently as 1998 there were 5000-7000 tigers globally, compared with an estimate of 3200 now. The number of wild tigers in the area covered by

³The World Wildlife Fund has been publishing reports every two years, on the state of the environment since 1998. The 2010 Report is due to be released on 13 October 2010.

⁴Defined by the UN in their report as: "...the variation that exists not just between the species of plants, animals, micro-organisms and other forms of life on the planet – but also within species...at the level of ecosystems in which species interact with one another and with the physical environment."

⁵This is equivalent to about two thirds of the land area of Thailand.

Thailand, Laos, Cambodia, Vietnam and Burma has plummeted by 70% in the last 12 years [15]

However, the continuing rate of deforestation worldwide is alarming and therefore the future for tiger populations is a gloomy one. [7] predict that with the loss of forest continuing to increase at 2% per year, the unprotected forest will be gone before the end of this century. In addition to the ravages of forest loss, the demand for tiger parts for Chinese medicine, is a significant contributory factor in the demise of this beautiful animal. As the UN Report (UN:23) points out: ‘when elements of biodiversity are lost, ecosystems become less resilient and their services threatened.’ The report declared that global action to stop the destruction of the natural world was even more powerful than the argument for tackling climate change.

Ever since Meadows et al (1972) set out future scenarios concerning resource depletions and possible consequences for societies and economies, surveys of the world situation as evidenced in subsequent reports such as that of the UN on biodiversity have continued to confirm resource depletions and ecological degradation to warn of the consequences if action is not taken to reduce humanity’s consumption of finite resources.

The Responsibility of Business Organisations

Fundamental to the UN’s report on biodiversity is the belief that as the diversity of life on the planet is crucial to security, health, wealth and well-being, the value of the natural world needs to be ‘factored in to the global economic system’. [16] expresses the same belief with respect to business organisations and economic systems:

‘Only by fully accounting for all environmental services and properly incorporating full-cost pricing into our economic models can we induce the ecologically rational behaviour that human society must adopt if we are to improve the human condition and sustain our quality of life within our existing economic framework’.

The ecologically rational behaviour as envisaged by Lee will be very difficult to attain given the raison detre of business organisations and economic systems, as ever greater consumption of goods and services.

Business leaders belonging to the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) have put forward their own vision for the future in a report published earlier this year (WBCSD 2010:1) when they describe the situation as they see it, in 2050:

‘In a nutshell, that outcome would be a planet of around 9 billion people, all living well – with enough food, clean water, sanitation, shelter, mobility, education and health to make for wellness – within the limits of what this small, fragile planet can supply and renew, every day’.

To achieve this vision the authors recommend a move away from the current ‘business as usual’ paradigm, to a new approach which will result by the end of the 2050s in humanity’s demand for resources and ecological footprint being such that ‘just over one planet’ will be needed, as opposed to the 2.3 planets predicted by the WWF by that date [12]. The WBSD proposes that the vision will be achieved by taking a number of ‘opportunities’ such as the managing of ecosystems which will for example require collaboration between organizations and government and will also require a commitment to significant changes within business organizations such as greater transparency in their dealings, internally and externally.

In a similar vein to the WBCSD vision, [17] provide what they describe as a business brief for ‘ecosystem services’. They highlight the financial losses involved in the degradation of ecosystem services such as the the serious decline in the honeybee which is one of the important pollinators of crops and consider that new business opportunities will be developed when companies acknowledge their dependence on ecosystem services. However, they believe that the dire messages about the loss of biodiversity and ecosystem degradation are registering in today’s corporate boardrooms. Also, they believe that there are two trends which provide opportunities for business leaders to engage with the sustainability agenda: they increasingly need to understand the economic dimensions of ecosystems and also to find inspiration for innovation, through their understanding of the natural world.

The WBCSD’s vision is optimistic and given the evidence about resource use and other environmental issues, is not based on a realistic evaluation of the reported environmental crises. Further, it indicates a denial of the very clear messages about the environmental degradation which have emanated from a number of important reports. The vision might well be described as a fairytale. Also, the WBCSD optimism is confirmed in the comments by Gourly and Brown who believe that business leaders now have an understanding of the issues. Firstly, it is clear from the accumulated evidence provided by a whole series of reports some of which are outlined earlier in this paper, that the earth’s finite resources are being over exploited and that ecological services are already seriously

degraded. Secondly, there will be many obstacles to implementation of a company's sustainability strategy, not least the variety of political and economic frameworks within which business organisations operate in different regions of the world. Also, the organisation's own internal structures and dynamics may be such that managers and employees are resistant to change and learning, both of which are essential components if sustainable organizations are to be created.

It is normally a company's Corporate Social Responsibility (CSR) Report which illustrates the organisation's commitment to the environment and sets out specific aims and practical actions to work towards sustainability. Sen and Swierczek (2007) consider that CSR is characterized by three areas of responsibility: the economic focus maintains growth and profitability, the legal focus provides legitimacy and compliance and ethical practices guide right behaviour and full commitment to CSR that goes beyond compliance.

Newell [18] claims that CSR has achieved an omnipresent status among an increasingly wide circle of business leaders. He also believes that CSR is 'about capitalism with a human face' and considers that it has served as a way to reassure the public that organizations are pursuing more less damaging actions towards the environment, in the wake of the reactions to the many examples of corporate irresponsibility. The example of Tesco in Thailand to some extent, upholds this view. The company's CSR Report sets out a number of very laudable aims with respect to the environment, including environmental standards concerning wildlife and landscape conservation and enhancement. The specific reference to Thailand refers to the energy conservation in its Bangkok stores through the installation of a number of solar panels, thus giving a percentage energy saving in its buildings (Tesco plc, 2010). Tesco has 614 stores in Thailand trading under the name Lotus and its rapid expansion in the country has been criticized, particularly for the adverse impact on a myriad of small retailers throughout the country who cannot compete and are squeezed out of business because of the dominance of the major supermarket. Further stores are planned as part of Tesco's strategy in Thailand and currently there are moves to purchase a number of existing Carrefour stores. This situation highlights a number of matters. The legitimacy of any CSR report is in doubt, if a company sets out attractive environmental objectives which are linked to a desirable, respectful behavior towards the environment and at the same time is pursuing a strategy to dominate a market which results in the livelihoods

of a significant number of local people being destroyed [19]

Newell [18] also refers to the role of the state and concludes that 'rather than rein in business power or seek to construct extra checks and balances on the conduct of global investors, much international regulation aims at building regulation *for* rather than regulation *of* business.' So, if realistically, the impact of the operations of business organizations on the environment are to be reduced by any significant extent, there must be change within the economic system and change within the organization.

Organisational Learning

Schaefer [20] considers that in order to achieve an eventual state of sustainability within a business organization, the organization needs to understand its environmental impacts and also understand how it frames its role in contributing to sustainability. However she believes that much of the understanding and framing of issues within companies tends to be economic and technical, with an emphasis on the 'business case' rather than pursuing long term sustainability including for instance, exploring ethical issues. So, she concludes that how an organization gives meaning to environmental issues, has significant implications for organisational action. Without these meanings being explored and understood, there will be no positive actions pursued.

There is much evidence that a range of disciplines and a variety of practitioners are now contributing to the debate on sustainable development and that a myriad of visions and possible solutions to the ecological crises are being put forward. For business organizations, the future is not clear. Any business is composed of individuals with specific roles, normally within a hierarchical (and patriarchal) structure. Many businesses are global, employing people of many different ethnic backgrounds. If a new attitude to the environment is to be created, then a significant learning curve is required by all employed in business organizations. [21] outlines what he describes as a 'comprehensive sustainability phase model' for corporations, and describes the development phases that they must go through to progress towards both human and ecological sustainability. Phase one is the rejection phase and this is represented by an exploitative organization which is opposed to government control and green activists; the non-responsiveness phase is normally because of a lack of awareness and the natural world is seen as a limitless storehouse; in compliance, the organization focuses on reducing risk; in the efficiency phase, environmental management reduces costs; in the strategic proactive phase, the

company seeks stakeholder engagement concerning sustainable objectives and any products are environmental friendly; the zenith is reached with the sustaining corporation phase, where the organization is firmly set within an ecological context in which managers and employees have a full understanding of the impact of their business operations on the natural environment and are constantly finding ways to improve so that they come closer to the sustainability ideal. In effect, the organization would adhere to the sustainability principles such as equality and democracy as proposed by [10]

Ballard [22] suggests a model for the change process for sustainability in an organization. He believes that three conditions must be met if in effect, the organization is to become more 'ecologically oriented' and work towards becoming a sustainable corporation in the sense meant by Griffiths. Much of the terminology concerned with sustainability may lack meaning to most people and awareness raising is essential. All employees therefore need to learn what is behind the terminology. They need to be educated about the issues involved in order to feel any commitment to the company's vision and objectives for sustainability. Through 'agency' the employee needs to have the ability to do something meaningful. So, the employee in an organization needs to have some control or sense of control with respect to the environment. The person's role in the organization is crucial and also his or her ability to make significant change with respect to the environment. Working with other people in a participative environment through association, is empowering because of the mutual support which it provides. However, Ballard recognizes that there is a risk that disempowerment can also occur within groups due to a range of factors such as individual motivation and personality. In addition there needs to be a process of action and reflection. There needs to be ways in which employees can discuss issues and to question company policies and objectives. So, the dynamics and structures of an organization would need to undergo significant change, in Ballard's model.

Schaefer [20] considers that managing environmental issues in companies is characterized by uncertainty and therefore learning is a crucial aspect of working towards a more sustainable organisation. She cites one study of companies in the UK, in which employees held positive attitudes towards the environment but they found it difficult to relate environmental issues to their own workplace situation. Most of the companies had not established an organisational context for learning about environmental matters. Included in

Schaefer's proposals for organisational learning is the need for environmental champions within companies:

'Their most important activity lies in motivating, nudging, and cajoling other members of the organization into greater environmental management efforts and increasing the general environmental awareness within the organization.' Schaefer [20]

Whilst it is recognized that organisational learning concerning the environment and sustainability is essential for real change to happen in organizations, it can be argued that economic systems militate against any in depth learning, which might bring about significant change in the organization. Businesses will probably continue to focus on sustainability as a way to gain 'competitive advantage' rather than follow any environmental ideals.

Opportunities for Change

Clapp and Dauvergne [7] propose a typology of world views on global environmental change one of which is the market liberal perspective. Market liberals believe that economic growth (production and consumption) is essential for human welfare and that this is not in conflict with achieving sustainable development. A view of this kind along with accompanying analysis can be found in publications by organizations such as the World Trade Organisation and the World Business Council for Sustainable Development. Market Liberals are unlikely to believe that the world is in a state of environmental crisis and they consider that the market is the solution to problems and that for example scientific advancement and innovation in the design of products can provide answers to these environmental problems.

A very different perspective is proposed by Des Jardins [23] who argues that humans have responsibilities towards the non-human natural world and in particular he refers to the need for conservation of natural resources and concerns for biodiversity. He considers that biodiversity might be sought as an expression of religious or spiritual values. He argues that market-based environmental policies have failed as for example, standard models of corporate social responsibility 'presuppose the legitimacy of a growth-based, market economy' [23] Instead, DesJardins argues that what he describes as an adequate environmental ethic for business, is possible only if environmental responsibility shapes the very nature of business as conducted. He further argues that there must be a n nmove away from the classical model of economics which assumes that the natural world is an infinite source to be exploited and proposes an alternative model

which recognizes that the economy exists within a finite biosphere. So Clapp and Dauvergne and DesJardins argue that it is change in economic systems rather than simply change in individual organizations which will have most effect in bringing about a more sustainable world.

Gardner and Prugh [11] point out that during the twentieth century global economic output surged 18 fold and that almost three quarters of the world's trade is controlled by the top 500 corporations. They propose a more radical approach to the economic system and claim that '...economies built to the conventional model are increasingly self-destructive' and that growth as a primary goal of the economy is outdated. So, Gardner and Prugh consider that any new framework for the economy should incorporate a number of what they label as 'big ideas' which include ways to 'dematerialise' the economy by reducing demand for raw materials and energy stocks and by seeing the natural world not simply as a storehouse of raw materials but as a finite, fragile system for which there must be careful stewardship. Most importantly, one of Gardner and Prugh's ideas is that there should be a shift from growth to development. So, instead of encouraging a greater greed for goods and services and satisfying ever greater consumer demands, the sustainable economy would place emphasis on human needs. In this way Gardner and Prugh argue that the well-being of all in society, especially the poorest, could be improved.

It's unlikely that radical political and economic change will be brought about in individual countries, in response to the world's environmental crises. Rather, any change to systems, political or economic, or to individual business organizations is likely to be at a slow pace and incremental in nature. It is wishful thinking that business organizations will inculcate an eco-centric perspective into their workforces. However, it is clear that environmental issues have gained a much higher profile in recent years, in political circles and within companies. Business organizations are increasingly responding to the environmental agenda, mainly through external pressures to do so, and as evidenced in the increasing variety of CSR reports which are now being published by businesses around the world.

2. CONCLUSIONS

Education and the Future

During the second half of the 20th century and now by the end of this first decade of the 21st century, there has been a sequence of reports and other publications and writings which have

provided evidence for and warnings about the various environmental crises in the world today. The UN's Global Report on Biodiversity in 2010 is only the most recent of these major reports. The messages about the depletion of finite resources and reduction in biodiversity, including species extinctions and threats of extinctions are dramatic. Their impacts on the whole of humanity are equally dramatic.

Many governments now embrace the concept of sustainable development in their published policies. Business organizations are setting out environmental aims and are developing products and services to reduce the demands on available resources and supporting conservation projects around the world. However, all the accumulated evidence suggests that that these endeavours are not enough. If humanity continues to consume products and services at current rates, with an increasing ecological footprint, then the scenarios which result in future economic and social collapse [8] – need to be taken more seriously. Such a situation sets challenges for everyone: whether environmentalist, politician, ordinary citizen or a business manager in a multi-national corporation or an employee in a small business.

However, Farenthold (2010) questions the potential for change given the public's response to worldwide crises. Using the example of climate change he refers to a recent poll in the USA which showed that belief in climate change as a future reality had fallen from 85% to 72%. He goes on to claim that there are a number of possible reasons for this change in attitude. It might be that there is a sense that it is a problem for someone else at some other time. Also, humankind's deep seated love for the status quo means that there is a willingness to defend it. People might also feel that they should care about the long-term well-being of the planet, but it is difficult for them to motivate themselves to learn about it and take any follow-up actions.

In this paper the need for greater learning in business organizations has been highlighted. Universities have a key role to play in increasing the knowledge and skills needed to achieve more sustainable businesses, along with the values which managers and employees need to hold. In many universities around the world, programmes are now being delivered on sustainable development at undergraduate and postgraduate levels, in a whole range of faculties and departments. Also, much research is being carried out in specialist units and by individual scholars at doctoral level⁶.

⁶In De Montfort University Business School there are modules on sustainability at undergraduate and postgraduate

In the UK, government funded research is currently being carried out, into how sustainability education is being integrated within Business Schools. It also aims to support Business Schools in their contribution to the UN Decade for Education in Sustainable Development 2005-2014 [24]. The UN Decade seeks to 'integrate the principles, values, and practices of sustainable development into all aspects of education and learning, in order to address the social, economic, cultural and environmental problems we face in the 21st century.' [13]

Coman [25] believes that as it is universities which have produced the professional people and managers of companies which are helping to bring about more degraded environments, then universities have the responsibility, now to provide solutions to these crises.

Therefore, education in sustainable development provides an important challenge for universities in Europe and in other regions of the world, including SE Asia. If such a challenge is taken seriously it has implications not only for the curriculum but also for research and the ways that individual faculties and departments work together. In keeping with the spirit and principles of sustainable development, much more cooperative and partnership working would be required. Also, changes have implications for each individual member of staff. Resource depletion and biodiversity losses raise issues which each individual needs to address based on their own values.

Wayman [26] believes that educators have a very influential role, especially with regard to 'futures thinking'. She points out that as the sustainability literature, quite regularly paints a gloomy picture of the future, learners might be overwhelmed and this could lead to their denial of serious and important issues. However, she considers that the interpretation of the future through critical thinking can be a powerful combination which can lead to action which is purposeful and effective and she quotes Meadows:

'The future can't be predicted, but it can be envisioned and brought lovingly into being.... We can listen to what the system tells us, and discover how its properties and our values can work together to bring forth something much better that could ever be produced by our will alone' [27]

level. Also, there is a specialist research unit: 'Institute of Energy and Sustainable Development'

3. REFERENCES

- [1] YouTube (2008) The Age of Stupid Trailer [on line] Available from: <http://www.youtube.com/watch?v=DZjsJdokC0s>. Accessed [8 October 2010]
- [2] Vidal, John (2008) Earth Teeters at its Physical Limits, Guardian Weekly, p
- [3] Glavin, T (2007) The Lost and Left Behind: Stories from the Age of Extinctions, London, SAQI.
- [4] Jowit, J (2010) UN says case for saving species more powerful than climate change [on line] Available from: <http://www.guardian.co.uk/environment/2010/may/21/un-biodiversity-economic-report> Accessed [30 September 2010].
- [5] Reynolds, M et al (2009) The Environmental Responsibility Reader, London, Zed Books.
- [6] Kolankiewicz, L (2010) Donella Meadows – A Tribute [on line] Available from: http://www.thesocialcontract.com/artman2/publish/tsc1104/article_985.shtml Accessed [30 September 2010].
- [7] Clapp J and Dauvergne P (2005) Paths to a Green World, London MIT Press
- [8] Meadows, D H et al (2004) A Synopsis Limits to Growth: the Thirty Year Update [on line] Available from: <http://www.sustainer.org/pubs/limitstogrowth.pdf> Accessed [7 October 2010]
- [9] Dryzek, J (2005) *The Politics of the Earth*, 2nd Edition, Oxford, Oxford University Press
- [10] Carter, N (2001) The Politics of the Environment: Ideas, Activism, Policy, Cambridge, Cambridge University Press.
- [11] Gardner, G and Prugh, T (2008) Seeding the Sustainable Economy. In Starke, L (Ed) 2008 State of the World: Innovations for a Sustainable Economy, London, The Worldwatch Institute
- [12] World Wildlife Fund (2008) Living Planet Report 2008 [on line] Available from: http://assets.wwf.org.uk/downloads/lpr_2008.pdf. Accessed [9 October 2010]
- [13] UNESCO (2010) Education [on line] Available from: <http://www.unesco.org/en/esd/>. Accessed [1 October 2010]
- [14] World Wildlife Fund (2010) Double or Nothing [on line] Available from: <http://www.Worldwildlife.org/species/inder/tigers/year-of-tiger.html>. Accessed [8 October 2010]
- [15] Taylor, R (2010) Tiger Population Continues to Decline [on line] Available from: <http://www.suite101.com/content/tiger-population-continues-decline-a214014>. Accessed [9 October 2010]

- [16] Lee, Sys (2007) Current Issues in the Greening of Business, Business Strategy and the Environment, 16, pp523-524
- [17] Gourly, Tony and Brown, J 2010 The Biosphere Economy: Natural limits can spur creativity, innovation and growth [on line] Available from: Accessed [1 October 2010]
- [18] Newell, P 2005 Citizenship, accountability and community: the limits of the CSR Agenda, International Affairs, 81, 3 pp541-557
- [19] MacKinnon, I (2008) Tesco drops £1.6m libel claim against Thai columnist [on line] Available from: <http://www.guardian.co.uk/business/2008/apr/08/tesco.supermarkets>. Accessed [8 October 2010].
- [20] Schaefer, A. (2003) Sustainable Business Organisations? In, Berkhout, F et al Negotiating Environmental Change: New Perspectives from Social Science, Cheltenham, Edward Elgar
- [21] Griffiths, A (2003) Building Corporate Sustainability, ECOfutures [on line] Available from: <http://www.ecomagazine.com/?paper=EC115p19> Accessed [1 October 2010]
- [22] Ballard, A (2005) Using learning processes to promote change for sustainable development. [on line] Available from: <http://www.Alexanderallard.co.uk/dcs/Using%20Learning%20Processes%20to%20Promote%20Change%20for%20SD%20prepub.pdf>. Accessed [1 October 2010]
- [23] DesJardins, J R (2002) Environmental Responsibility. In Bowie, NE (Ed) TheBlackwell Guide to Business Ethics, Oxford, Blackwell
- [24] Nottingham Business School (2010) Integrating Sustainability into Business Schools [on line] Available from: <http://www.nottingham.ac.uk/nubs/ICCSR/research.php?c=64>. Accessed [1 October 2010]
- [25] Coman, A (2008) Education and Entrepreneurship: Drivers for Sustainable Development, Human Systems Management 27, pp255-260
- [26] Wayman, S (2002) Futures Thinking: the ability to envision futures for a more desirable future [on line] Available from: http://arts.brighton.ac.uk/data/assets/pdf_file/0009/5949/Futures-thinking.pdf. Accessed [8 October 2010]
- [27] Meadows, D H (2001) Dancing with Systems, Whole Earth, Issue 106, pp58-63.

MK Management and Consulting

Innovation, R & D

**A successful concept
for
R & D activities**

Prof. Dr.-Ing. Manfred Kuelkens

MK Management and Consulting

1. The Situation in Industries

- 1.1 Key competitive factors
 - **Basics: Globalisation**
 - High quality products (first position)
 - High productivity
 - High turnaround

MK Management and Consulting

1. The Situation in Industries

- 1.2 Intensifying Research Activities
 - TBD:
 - Intensifying the Research and Development Activities

MK Management and Consulting

1. The Situation in Industries


- **1.2. Intensifying Research Activities**
 - **Solution 2 has partners as follows**
 - 1) Industry
 - 2) University or R & D centres
 - 3) Public founding institutions

MK Management and Consulting

2. Bring a R & D – project to succeed

Parameters for successful collaboration:

- A common authoritative language
- Visualisation of key factors
- Balanced team
- Coordination of **all** activities in terms of scheduling and controlling



Project Management

MK Management and Consulting

3. Project - Management

- **3.1. Character of projects**
 - Limitation conc. duration
 - Defined goal
 - Complexity
 - Interdepartmental

MK Management and Consulting

3. Project - Management

- **3.2. Significant parameters for this procedure**
 - Time horizon
 - Willingness of all participants
 - Wearability by **our** organisation
 - Educational status of team

MK Management and Consulting

3. Project - Management

- **3.3. Organisation – Tasks of Project Manager**
 1. Define Project Manager
 2. Define goals and accredit with client or partner
 3. Struturise Project
 4. Dates and Costs, Planning and Controlling
 5. Information to all participants
 6. Leading Project - Team

MK Management and Consulting

3. Project - Management

- **3.3. That means :**
 - a) Coordination and Controlling
 - b) Information, Documentation

Parameters:

 - Interfaces, small amount
 - Reasonable defintion of interfaces
 - Permanet information to and from participants

MK Management and Consulting

3. Project - Management

- **3.4. Give project a structure**

Parameters

- Activities
- Objects

Basic

- No mucking around
- Discipline

MK Management and Consulting

3. Project - Management

- **3.4. Practical Experience, example**

Construction and Production of an Automobile – prototype

Systematics: **Activity** → **production**

Object → **automobile**

MK Management and Consulting

3. Project - Management

- **3.4. Practical Experience, example**

Construction and Production of an automobile-prototype

Activity (produce) :	Object (automobile) :
Construction	undercarriage → axis
Production	floor-pan components → wheel
Purchasing	body → suspension
Erection	interior decoration
Quality check	motor
Test run	gearbox
	Electrical equipment

MK Management and Consulting

3. Project - Management

- 3.5. Scheduling time / costs/ capacity**

MK Management and Consulting

3. Project - Management

- 3.5. Scheduling time**

Gantt-diagram

Input 1st activity	Input following activities
start + duration	Duration and Constraints
start + end	
end + duration	

MK Management and Consulting

3. Project - Management

- 3.5. Cost - Planning**

MK Management and Consulting

3. Project - Management

3.6. The use of IT

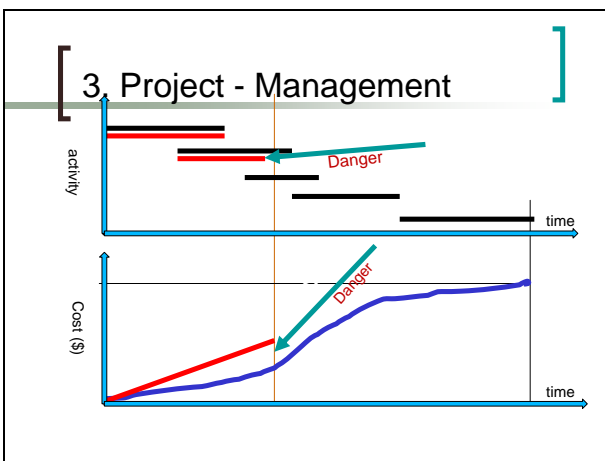
1. Time planning and controlling
2. Cost planning and controlling
3. MIS (Management information system)
4. Visualising of activities

MK Management and Consulting

3. Project - Management

3.7. Controlling Concept

1. Where is my project? (Analysis)
2. Future development of my project
3. What strategies ?
4. Which activities ?



MK Management and Consulting

[3. Project - Management]

- **Strategic approach in controlling:**
 - * Activities to be done if something goes wrong
 - * Negotiation with all participants of the project

MK Management and Consulting

[4. Conclusion and Results]

- **Collaboration of specialiced partners in R & D means high productivity**

but
- Partners have to be lead and managed by means of Project - Management

- A basic requirement for success in R & D – projects is discipline.

Mechatronik Institut Bocholt MIB
Conference Seminar
 24th november 2010
 Fachhochschule Gelsenkirchen
 Mechatronik Institut Bocholt

Title of the Lecture:

Some Example Tasks of Cooperation between University and Industry

Prof. Dr.-Ing. Antonio Nisch
MIB - Mechatronic Institute Bocholt
 University of Applied Sciences

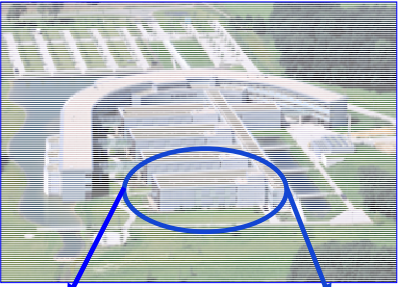
Mechatronik Institut Bocholt MIB
Gelsenkirchen and Bocholt
 Campus
 Fachhochschule Gelsenkirchen
 Mechatronik Institut Bocholt

Mechatronik Institut Bocholt MIB
Bocholt Campus
 of Gelsenkirchen University
 Fachhochschule Gelsenkirchen
 Mechatronik Institut Bocholt

<p>Gelsenkirchen University: 6.000 Students at 3 Campuses</p>		<p>Bocholt Campus: 1.500 Students in 3 Departments ME Department: 420 Students 14 Professors 7 Academic Employees only for Education</p>
--	--	--

Mechatronik Institut Bocholt MIB **Mechatronic Institute Bocholt** Fachhochschule Gelsenkirchen Mechatronik Institut Bocholt

MIB:
 2 Professors :
 Kerstiens
 A. Nisch
 17 Scientific Engineers
 20 Students in Projects



Focus:
 Simulation :
 - CAD
 - FEM
 - MBS
 Production :
 - CAD-CAM
 - Robotics
 - HSC
 Automation

Mechatronic Institute Bocholt:
 Machine Tool Lab, Mechatronic Labs, Simulation Lab, Offices
www.mib.fh-gelsenkirchen.de

Mechatronik Institut Bocholt MIB **General Trends in Development** Fachhochschule Gelsenkirchen Mechatronik Institut Bocholt

Efficiency in use of Energie and Ressources
 Globalisation
 Enviromental Protection
 Unprotected KnowHow
 Competition with low Fares
 Demographic Change

→

New Products
 Networks
 New Production Methods

Mechatronik Institut Bocholt MIB **Product- and Production Trends** Fachhochschule Gelsenkirchen Mechatronik Institut Bocholt

Improvement in Research and Technologie
 - New Materials
 - Nanotechnologie
 - New Production Methods
 - Simulation

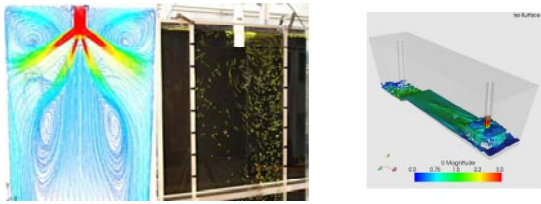
Miniaturisation
 - Weight
 - Dimensions
 - Waste of Ressources

Integrated Products and Production
 - Hybride Solutions
 - Integral Construction
 - Multifunctions

Mechatronik Institut Bocholt MIB

Fachhochschule Gelsenkirchen
Mechatronik Institut Bocholt

Simulation – Save of Ressources



CFD Simulation using water models

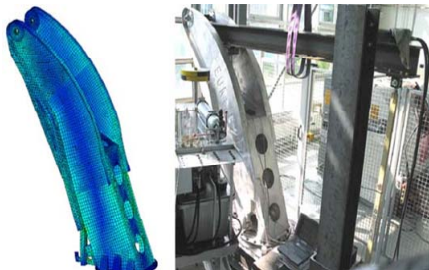
Application

- Bio Gas Plants
- Weir design
- High Temperature Processes

Mechatronik Institut Bocholt MIB

Fachhochschule Gelsenkirchen
Mechatronik Institut Bocholt

New Materials Development



Design and Long Term Testing

New Aluminium Foam Sandwich Material with outstanding properties

High tensile strenght, low weight

Mechatronik Institut Bocholt MIB

Fachhochschule Gelsenkirchen
Mechatronik Institut Bocholt

New Materials Development



Development of new technical textile materials for high duty applications

- Material Development
- Process Development

Mechatronik Institut Bocholt MIB

Development of new Production Technologies

Fachhochschule Gelsenkirchen
Mechatronik Institut Bocholt

Use of flexible robots for the machining of Soft materials

Mechatronik Institut Bocholt MIB

Design-Work for the Milling Machine

Fachhochschule Gelsenkirchen
Mechatronik Institut Bocholt

Dynamic Simulation:

Multi-Body-Simulation:

Optimization by FEM:

Simulation of Controls:

Mechatronik Institut Bocholt MIB

Development of new Production Technologies

Fachhochschule Gelsenkirchen
Mechatronik Institut Bocholt

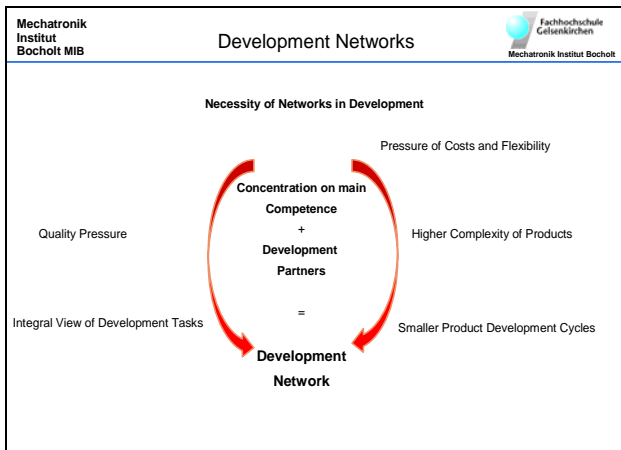
Fully automated Repair Welding of Parts with Robot

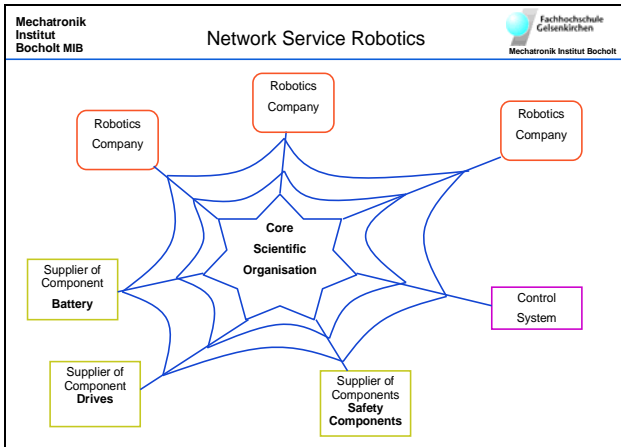
CAD Construction

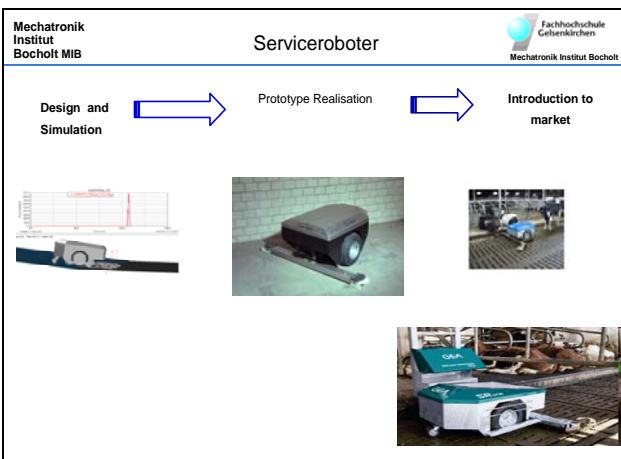
Definition Welding Zones

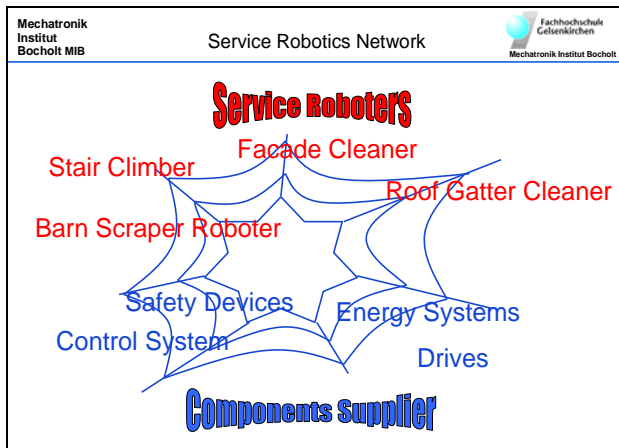
Parameters

Simulation









การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากรากต้นรูปถ่าย

ศิริพร ลุนพรม¹ และ สิริแซ พงษ์สวัสดิ์²

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำรากต้นรูปถ่ายมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการผลิตเอทานอล ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนากระบวนการผลิตเอทานอล โดยเตรียมตัวอย่างรากรูปถ่ายและนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี จากนั้นเตรียมสารละลายน้ำเชื่อมจากการย่อยตัวอย่างรากต้นรูปถ่ายด้วยเอนไซม์ 2 ชนิด คือ เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและกลูโคอะไมเลส และนำไปใช้ในทดลองผลิตเอทานอลด้วยกระบวนการหมักแบบกะ โดยทำการแปรผันปริมาณเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5048 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 5 และร้อยละ 10 เปรียบเทียบระหว่างสภาวะการหมักแบบนิ่งและแบบเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ภายใต้อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในฟลาस्कขนาด 500 มิลลิลิตร ทำการหมัก 42 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่ารากต้นรูปถ่ายมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 67.52 โดยน้ำหนัก เมื่อนำรากต้นรูปถ่ายมาเตรียมสารละลายน้ำเชื่อมและนำไปผลิตเอทานอลด้วยกระบวนการหมักแบบกะ พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดของการหมักคือที่ความเข้มข้นของเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 ในสภาวะเขย่ารองลงมาคือเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 ที่สภาวะนิ่ง ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 ในสภาวะเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที และที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 ในสภาวะนิ่ง ตามลำดับ โดยสภาวะที่ดีที่สุดได้ปริมาณแอลกอฮอล์ เท่ากับ 20.54 กรัมต่อลิตร ผลได้ (yield) เท่ากับ 0.44 และอัตราผลผลิต เท่ากับ 0.49 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

คำสำคัญ ต้นรูปถ่าย การผลิตเอทานอล การหมักแบบกะ พลังงานทางเลือก

1. บทนำ

วิกฤตการณ์ด้านพลังงานส่งผลกระทบต่อทุกภูมิภาคทั่วโลก ประกอบกับราคาน้ำมันที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และปริมาณน้ำมันดิบที่มีแนวโน้มว่าจะหมดลงในอนาคต ส่งผลให้เกิดแรงผลักดันในการคิดค้นและพัฒนากระบวนการผลิตพลังงานทดแทนขึ้น [1] เอทานอล จัดเป็นพลังงานทดแทนที่มีความสำคัญและมีศักยภาพสูงสำหรับการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งผลิตได้จากวัตถุดิบทางชีวภาพหลายชนิด อาทิ

วัตถุดิบทางการเกษตร วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือ วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม [2] แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีวัตถุดิบทางชีวภาพอีกหลายชนิดที่มีคุณสมบัติ ที่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตเอทานอลได้ อาทิ กลุ่มวัชพืชที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำรากต้นรูปถ่ายมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการผลิตเอทานอล โดยกระบวนการทางชีวภาพ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนากระบวนการผลิตเอทานอล และเป็นแนวทางในการผลิตพลังงานทางเลือกในอนาคต

¹สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: +66(2)-549-4177 , +66(2)-549-4143

โทรสาร : +66(2)-5494179

E-mail: lunprom@hotmail.com, pongawadi@hotmail.com

2. วิธีการวิจัย

2.1 จุลินทรีย์

สายพันธุ์จุลินทรีย์คือ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5048 (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย)

2.2 การเตรียมกล้าเชื้อเริ่มต้น

ถ่ายเชื้อ *S. cerevisiae* จาก YM slant จำนวน 1 หลบลงในอาหารเหลวสูตร YM นำไปบ่มในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วในการเขย่า 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายเชื้อ *S. cerevisiae* ร้อยละ 5 โดยปริมาตรใส่ในอาหารใหม่ และทำการเพาะเลี้ยงต่อในสถานะเดิมให้ได้จำนวนเซลล์ตามต้องการ สำหรับนำไปใช้เป็นกล้าเชื้อเริ่มต้นในกระบวนการหมักต่อไป

2.3 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างรากต้นรูปถ่าย

ทำการวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร (กาก) เถ้าและความชื้น ตามวิธีการ AOAC [3]

2.4 เตรียมสารละลายน้ำเชื่อมโดยการย่อยตัวอย่างรากต้นรูปถ่าย

นำตัวอย่างรากของต้นรูปถ่ายปริมาณ 50 กรัม มาเติมน้ำบาดาลปริมาตร 500 มิลลิลิตร ปรับความเป็นกรด-ด่างให้ได้เท่ากับ 6 เดิมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ปริมาตร 5 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากันหลังจากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นนำไปปรับความเป็นกรด-ด่างให้ได้เท่ากับ 4.5-5 แล้วเติมเอนไซม์กลูโคอะไมเลส ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่ 60 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ต่ำกว่า 58 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.5 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลโดย *S. cerevisiae* โดยใช้กระบวนการหมักแบบกะในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร

ทำการแปรผันปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลโดย *S. cerevisiae* จากสารละลายที่

เตรียมได้โดยการย่อยตัวอย่างรากต้นรูปถ่าย ด้วยกระบวนการหมักแบบกะ เปรียบเทียบกันระหว่างปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 และร้อยละ 10 โดยเริ่มจากการเพาะเลี้ยงกล้าเชื้อให้ได้จำนวนเซลล์เริ่มต้นประมาณ 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร จากนั้นถ่ายกล้าเชื้อดังกล่าวลงในอาหารสำหรับผลิตเอทานอล คือ สารละลายที่เตรียมได้จากการย่อยตัวอย่างรากต้นรูปถ่าย ที่มีความหวานเริ่มต้นหรือปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 7 องศาบริกซ์ ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.65 ± 0.07 และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 47.48 ± 0.25 กรัมต่อลิตร และเติมแอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (% w/v) ปริมาตรรวมของน้ำหมักเท่ากับ 200 มิลลิลิตร ในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีแอร์ล็อกด้านบน จากนั้นนำไปเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่สภาวะการหมักแบบนิ่งและที่สภาวะเขย่า 100 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างนำมาวิเคราะห์ค่าต่อไปนี้

- 1) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธี DNS
- 2) จำนวนเซลล์จุลินทรีย์ โดยใช้ Haemocytometer
- 3) ความเป็นกรดต่าง โดย pH meter
- 4) ปริมาณแอลกอฮอล์โดย Ebulliometer
- 5) ความเข้มข้นน้ำตาลโดย Hand refracto meter
- 6) จำนวนผลได้และอัตราผลผลิตเอทานอล ดังนี้

$$\text{ผลได้ (Yield)} = \frac{\text{ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ (กรัมต่อลิตร)}}{\text{ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ (กรัมต่อลิตร)}}$$

อัตราผลผลิต (Productivity)

$$= \frac{\text{ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ (กรัมต่อลิตร)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการหมัก (ชั่วโมง)}}$$

3. ผลและการอภิปรายผล

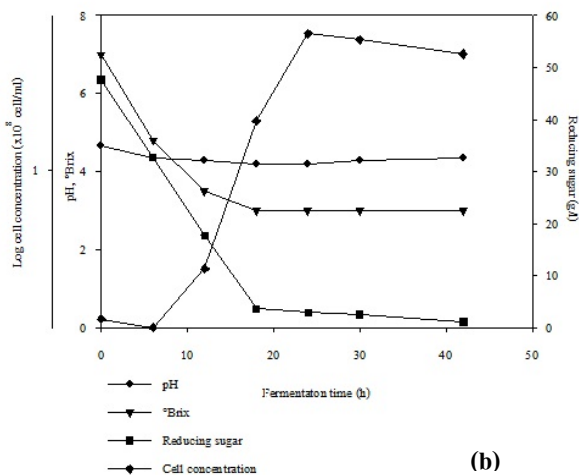
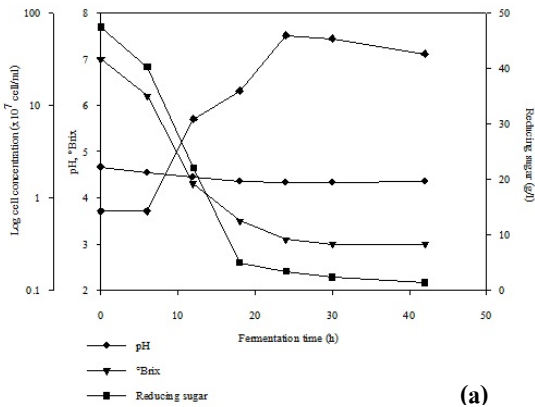
3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง รากต้นรูปถ่าย

พบว่ารากต้นรูปถ่ายมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 67.52 โดยน้ำหนัก

3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอล โดย *S. cerevisiae* โดยใช้กระบวนการหมักแบบกะ ในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของราก ต้นธูปฤาษี

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
คาร์โบไฮเดรต	67.52
โปรตีน	12.99
ไฟเบอร์	7.23
ความชื้น	7.18
เถ้า	4.5
ไขมัน	0.58



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตเอทานอลด้วยการหมักแบบกะที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 (a) และร้อยละ 10 (b) ในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

การศึกษาปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลโดย *S. cerevisiae* จากสารละลายที่เตรียมได้โดยการย่อยตัวอย่างรากต้นธูปฤาษีด้วยกระบวนการหมักแบบกะ เปรียบเทียบกันระหว่างปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 และร้อยละ 10 ในสภาวะนิ่ง ได้ผลการทดลองดัง ภาพที่ 1

ภาพที่ 1 (a) แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตเอทานอลด้วยการหมักแบบกะโดย *S. cerevisiae* ที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 ในสภาวะนิ่ง อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าที่ชั่วโมงเริ่มต้นของการหมัก ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และความเข้มข้นของเซลล์ มีค่าเท่ากับ 4.65 ± 0.07 , 7.00 ± 0.00 องศาบริกซ์, 47.43 กรัมต่อลิตร และ 7.14×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตั้งแต่เริ่มต้นของการหมักจนกระทั่งสิ้นสุดการหมัก โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.36 ± 0.05 ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มในทำนองเดียวกันคือ มีการลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่เริ่มต้นการหมักจนถึงชั่วโมงที่ 18 จากนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจะค่อยๆ ลดลงและเริ่มคงที่ที่ชั่วโมงที่ 30 มีค่าเท่ากับ 3.00 ± 0.00 องศาบริกซ์ ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงชั่วโมงสุดท้ายของการหมัก โดยมีค่าเท่ากับ 1.39 กรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในชั่วโมงที่ 6 ถึงชั่วโมงที่ 24 ของการหมักจากนั้นเริ่มคงที่โดยมีความเข้มข้นของเซลล์สูงสุดเท่ากับ 5.73×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ภาพที่ 1 (b) แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตเอทานอลด้วยการหมักแบบกะโดย *S. cerevisiae* ที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 ในสภาวะนิ่ง อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าที่ชั่วโมงเริ่มต้นของการหมัก ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ

ความเข้มข้นของเซลล์ มีค่าเท่ากับ 4.65 ± 0.07 , 7.00 ± 0.00 องศาบริกซ์, 47.67 กรัมต่อลิตร และ 1.36×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ตั้งแต่เริ่มต้นของการหมักจนกระทั่งสิ้นสุดการหมัก โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.36 ± 0.05 ในขณะที่ปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ มีแนวโน้มในทำนองเดียวกันคือ มีการลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่เริ่มต้น การหมักจนถึง ชั่วโมงที่ 18 จากนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดก็เริ่มคงที่ที่ ชั่วโมงที่ 18 มีค่าเท่ากับ 3.00 ± 0.00 องศาบริกซ์ ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึง ชั่วโมงสุดท้ายของการหมัก มีค่าเท่ากับ 1.11 กรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของเซลล์ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน ชั่วโมงที่ 6 ถึง ชั่วโมงที่ 24 ของการหมักจากนั้นเริ่มคงที่โดยมีความเข้มข้นของเซลล์ สูงสุดเท่ากับ 6.28×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ในขณะที่การศึกษาปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลโดย *S. cerevisiae* จากสารละลายที่เตรียมได้โดยการย่อยตัวอย่างรากต้นรูปถั่วฝักยาว กระบวนการหมักแบบกะเปรียบเทียบกับกันระหว่าง ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 และร้อยละ 10 ในสภาวะเข้า ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดัง ภาพที่ 2

ภาพที่ 2 (a) แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตเอทานอลด้วยการหมักแบบกะ โดย *S. cerevisiae* ที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 ในสภาวะเข้า ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าที่ ชั่วโมงเริ่มต้นของการหมัก ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และความเข้มข้นของเซลล์ มีค่าเท่ากับ 4.65 ± 0.07 , 7.00 ± 0.00 องศาบริกซ์ 47.14 กรัมต่อลิตร และ 7.14×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตั้งแต่เริ่มต้นของการหมักจนกระทั่งสิ้นสุดการหมัก มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.36 ± 0.02 ในขณะที่ปริมาณของแข็ง

ที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้ม ในทำนองเดียวกันคือ มีการลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ เริ่มต้นการหมักจนถึง ชั่วโมงที่ 12 จากนั้นปริมาณ ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจะค่อยๆ ลดลงและเริ่มคงที่ ที่ ชั่วโมงที่ 12 มีค่าเท่ากับ 3.00 ± 0.00 องศาบริกซ์ ส่วน ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึง ชั่วโมงสุดท้ายของการหมัก มีค่าเท่ากับ 1.28 กรัมต่อ ลิตร และความเข้มข้นของเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่เริ่มต้นการหมักถึง ชั่วโมงที่ 24 ของการหมัก จากนั้นเริ่มคงที่โดยมีความเข้มข้นของเซลล์สูงสุด เท่ากับ 8.03×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ภาพที่ 2 (b) แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตเอทานอลด้วยการหมักแบบกะ โดย *S. cerevisiae* ที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 ในสภาวะนิ่ง อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าที่ ชั่วโมง เริ่มต้นของการหมัก ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของ ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ ความเข้มข้นของเซลล์ มีค่าเท่ากับ 4.65 ± 0.07 , 7.00 ± 0.00 องศา บริกซ์, 47.65 กรัมต่อลิตร และ 1.36×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีการเปลี่ยนแปลงเพียง เล็กน้อยตั้งแต่เริ่มต้นของการหมักจนกระทั่งสิ้นสุดการ หมัก มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.38 ± 0.04 ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มในทำนองเดียวกันคือ มี การลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่เริ่มต้นการหมักจนถึง ชั่วโมงที่ 12 จากนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ทั้งหมดก็เริ่มคงที่ที่ ชั่วโมงที่ 12 มีค่าเท่ากับ 3.00 ± 0.00 องศาบริกซ์ ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ค่อยๆ ลดลง เรื่อยๆ จนกระทั่งถึง ชั่วโมงสุดท้ายของการหมัก มีค่า เท่ากับ 1.11 กรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของเซลล์ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน ชั่วโมงที่ 6 ถึง ชั่วโมงที่ 30 ของ การหมัก จากนั้นเริ่มคงที่โดยมีความเข้มข้นของเซลล์ สูงสุดเท่ากับ 5.53×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของการ ผลิตเอทานอลจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการ

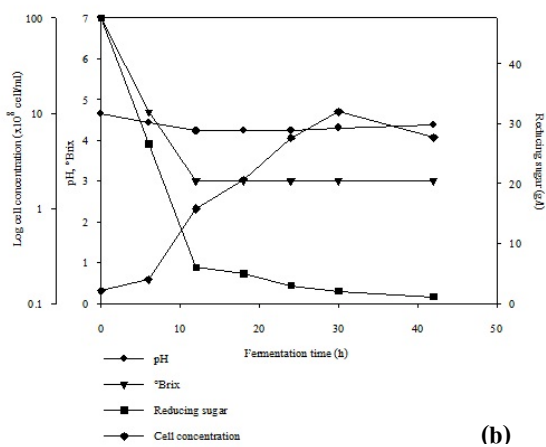
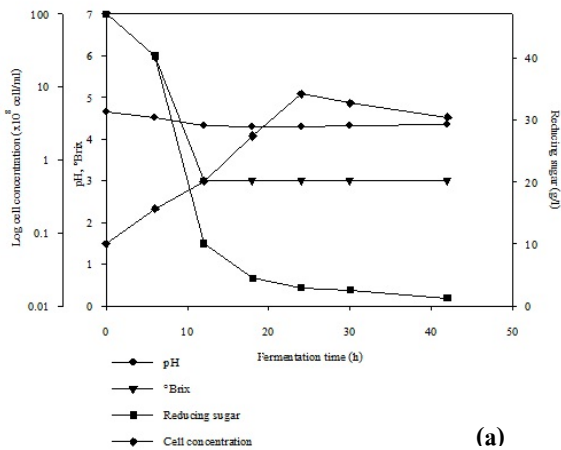
ผลิตเอทานอล (ตารางที่ 2) จะเห็นได้ว่าสภาวะที่ดีที่สุดคือ ที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 ในสภาวะเขย่า

ตารางที่ 2 เปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตเอทานอลด้วยการหมักแบบกะที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 (a) และร้อยละ 10 (b) ในสภาวะเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

พารามิเตอร์	ปริมาณเชื้อเริ่มต้น ร้อยละ 5		ปริมาณเชื้อเริ่มต้น ร้อยละ 10	
	สภาวะนิ่ง 30 องศาเซลเซียส	เขย่าที่ 100 รอบต่อนาที 30 องศาเซลเซียส	สภาวะนิ่ง 30 องศาเซลเซียส	เขย่าที่ 100 รอบต่อนาที 30 องศาเซลเซียส
ปริมาณ แอลกอฮอล์ (กรัมต่อลิตร)	16.20	19.35	19.75	20.54
ปริมาณน้ำตาล ที่ใช้ไป (กรัมต่อลิตร)	46.04	45.86	46.56	46.56
เวลาที่ใช้ในการหมัก (ชั่วโมง)	42	42	42	42
ผลได้	0.35	0.42	0.42	0.44
อัตราการผลิต (กรัมต่อลิตร ต่อชั่วโมง)	0.39	0.46	0.47	0.49

รองลงมาคือ ที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 ในสภาวะนิ่ง ตามด้วยที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 ในสภาวะเขย่า และสุดท้ายคือที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 ในสภาวะนิ่ง โดยให้ปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 20.54 19.75 19.35 และ 16.20 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีผลได้ (yield) เท่ากับ 0.44 0.42 0.42 และ 0.35 กรัมเอทานอลต่อกรัมน้ำตาลที่ใช้ ตามลำดับ และมีอัตราการผลิต เท่ากับ 0.49 0.47 0.46 และ 0.39 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งค่าผลได้มีค่าเท่ากับ งานวิจัยของ พรเทพ และคณะ [4] ที่ได้ทำการศึกษาค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวานโดย *S. cerevisiae* ด้วย

วิธีการหมักแบบกะ โดยมีผลได้สูงสุด 0.44 กรัมเอทานอลต่อกรัมน้ำตาลที่ใช้ และมีค่าผลได้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ อลิศรา และคณะ [5] ซึ่งได้ทำการศึกษาผลผลิตเอทานอลจากน้ำบีบเปลือกและแกนสับปะรดโดยการหมักแบบกะ ในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้เชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5048 จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลแบบกะคือ การหมักที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 5.0 และใช้เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นร้อยละ 5 ซึ่งให้ผลได้ของเอทานอลและอัตราการผลิตเท่ากับ 0.58 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตเอทานอลด้วยการหมักแบบกะ ที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 (a) และร้อยละ 10 (b) ในสถานะเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถผลิตเอทานอลได้ปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 20.54 กรัมต่อลิตร ผลได้เท่ากับ 0.44 และอัตราผลผลิตเท่ากับ 0.49 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งยังมีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการผลิตเพิ่มเติม แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้ก็สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตเอทานอลเพื่อ

ใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้อีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งไม่ต้องพึ่งพาพืชอาหารที่มีต้นทุนการผลิตสูงกว่า

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sanchez, O.J. and Carlos, A. 2008. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology*. 99 : 5270-5295.
- [2] Demirbas, A. 2008. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projection. *Energy Conversion and Management*. 49: 2106-2116.
- [3] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1965. *Official Method of Analysis*. 12th ed. Washington, D.C.: The Association of Official Agricultural Chemists.
- [4] พรเทพ ถนนแก้ว พัฒนา เหล่าไพบุลย์ ลักขณา เหล่าไพบุลย์ และประสิทธิ์ ใจสีล. 2547. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวานโดย *Saccharomyces cerevisiae* ด้วยวิธีการหมักแบบกะและกึ่งกะ. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- [5] อลิศรา เรืองแสง พรเทพ ถนนแก้ว ผกาดี นารอง และ สามารถ มูลอามาตย์. 2551. การผลิตเอทานอลจากน้ำบีบเปลือกและแกนสับประดโดยการหมักแบบกะและกึ่งกะในระดับห้องปฏิบัติการ. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ผู้ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้

การทดลองบันทึกแสงอินฟราเรดกับแหล่งกำเนิดแสง ประเภทไฟประดิษฐ์แบบเคย์ไลท์

ประกาศร ดลกิจ¹

บทคัดย่อ— การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการบันทึกแสงอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดแสงไฟประดิษฐ์แบบเคย์ไลท์ด้วยฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ และหน่วยรับภาพในกล้องดิจิทัล โดยทดลองถ่ายภาพกับแหล่งกำเนิดแสง ได้แก่ หลอดไฟทั้งสแตนด์ หลอดไฟทั้งสแตนด์ฮาโลเจน หลอดไฟเมทอลฮาโลได์ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และหลอดไฟแฟลช กำหนดตัวแปร คือ รูปแบบการจุดสว่าง อุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสง การเคลื่อนที่ของวัตถุ และระยะเวลาในการบันทึกแสง ผลการศึกษาพบว่า หลอดไฟทั้งสแตนด์ หลอดไฟทั้งสแตนด์ฮาโลเจน หลอดไฟเมทอลฮาโลได์ สามารถใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดได้ เมื่อบันทึกภาพโดยใช้ฟิล์มอินฟราเรด และหน่วยรับภาพดิจิทัลแบบมี hot mirror filter และไม่มี hot mirror filter โดยแสดงจำนวนระดับโทนสี และโทนสีของพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาพที่แตกต่างกัน หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ให้แสงอินฟราเรดไม่เพียงพอต่อการถ่ายภาพอินฟราเรด ถึงแม้ว่าจะเกิดผลอินฟราเรดบ้างในภาพถ่ายที่บันทึกด้วยหน่วยรับภาพดิจิทัลแบบไม่มี hot mirror filter หลอดไฟแฟลชสามารถใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดได้ เมื่อบันทึกภาพโดยใช้ฟิล์มอินฟราเรดและหน่วยรับภาพแบบมี hot mirror filter โดยแสดงจำนวนระดับโทนสี และโทนสีของพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาพที่แตกต่างกัน แต่ไม่สามารถใช้งานร่วมกับกล้องดิจิทัลที่มีหน่วยรับภาพแบบไม่มี hot mirror filter ได้ ส่วนอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสง มีผลต่อการเกิดผลอินฟราเรดน้อย โดยการปรับอุณหภูมิสีของแสงจากแสงทั้งสแตนด์ให้เป็นแสงเคย์ไลท์ ทำให้โทนสีของภาพเข้มขึ้นเล็กน้อย สำหรับการเคลื่อนที่ของวัตถุ และระยะเวลาในการบันทึกแสง แทบจะไม่มีผลต่อการเกิดผลอินฟราเรด ส่วนวัสดุไวแสงที่ไวต่อแสงอินฟราเรดมากที่สุด คือ หน่วยรับภาพดิจิทัลแบบไม่มี hot mirror filter

คำสำคัญ การบันทึกแสงอินฟราเรด ไฟประดิษฐ์

1. บทนำ

การถ่ายภาพอินฟราเรด เป็นการถ่ายภาพประเภทหนึ่งที่สำคัญการบันทึกแสงอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 700-1300 นาโนเมตร ผลของการบันทึกภาพวัตถุที่ได้มีความแตกต่างจากภาพปกติ เช่น กิ่งก้านของต้นไม้จะมีระดับสีที่ดำกว่า ใบไม่มีสีที่

ขาวกว่า สีผสมขาวกว่าปกติ และดวงตาของคนจะดูเล็กลง เป็นต้น [1] ในการบันทึกแสงอินฟราเรดจำเป็นต้องใช้วัสดุบันทึกแสงที่ไวต่อแสงอินฟราเรดที่ผ่านมา ผู้ผลิตฟิล์มหลายแห่งได้ผลิตฟิล์มอินฟราเรดมาจำหน่าย ซึ่งในปัจจุบันระบบดิจิทัลเข้ามาแทนที่ ทำให้หาใช้ฟิล์มดังกล่าวได้ยาก อย่างไรก็ตาม กล้องดิจิทัลบางรุ่น บางยี่ห้อ สามารถนำมาใช้ถ่ายภาพอินฟราเรดขาวดำได้ [2]

การบันทึกแสงอินฟราเรด นอกจากจะใช้ในการถ่ายภาพทางอากาศเพื่อสำรวจทรัพยากรธรรมชาติและภูมิศาสตร์ประเทศ และการสำรวจทางโบราณคดีแล้ว ยังได้ถูกนำมาใช้ในเชิงถ่ายภาพสร้างสรรค์ เช่น การ

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีการถ่ายภาพและภาพยนตร์ คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12100
โทรศัพท์: +66(2)-549-4525
โทรสาร: +66(2)-549-4500
E-mail: pdolkkit@hotmail.com

บันทึกภาพวิวทิวทัศน์ (Landscape) และการถ่ายภาพบุคคล (Portrait) แต่อย่างไรก็ตาม การถ่ายภาพดังกล่าวก็ยังเป็นเพียงการบันทึกภาพจากแหล่งกำเนิดแสงคือดวงอาทิตย์เท่านั้น ซึ่งทำให้เกิดข้อจำกัดในการสร้างสรรค์ผลงาน เพราะในความเป็นจริงยังมีการถ่ายภาพอีกหลายประเภทที่ต้องใช้แสงไฟประดิษฐ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถ่ายภาพในสตูดิโอ เช่น การถ่ายภาพโฆษณา การถ่ายภาพบุคคล รวมถึงการถ่ายภาพเพื่อพัฒนางานด้านวิทยาศาสตร์และด้านการเกษตร เช่น การถ่ายภาพแมลงและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เป็นต้น จากปัญหาที่กล่าวมา จึงทำให้เกิดการศึกษาถึงผลของการถ่ายภาพอินฟราเรด กับแหล่งกำเนิดแสงไฟประดิษฐ์แบบแคย์ไลท์ ซึ่งเป็นหลอดไฟที่เลียนแบบแสงจากดวงอาทิตย์

2. วิธีการวิจัย

1. ทดสอบความสามารถในการบันทึกแสงอินฟราเรดของหน่วยรับภาพดิจิทัล เพื่อคัดเลือกกล้องดิจิทัลมาใช้ในการทดลอง กล้องถ่ายภาพที่นำมาใช้ในการทดสอบ เป็นกล้องดิจิทัลรุ่น และยี่ห้อต่างๆ จำนวน 17 ตัว ซึ่งกล้องดิจิทัลแบบ hot mirror filter ที่ถูกนำมาใช้งาน คือ กล้อง NIKON D70 เลนส์ NIKON f/4.5 เลนส์ 18-70 มม. กล้องดิจิทัลแบบไม่มี hot mirror filter คือ กล้อง SONY DSC F828 ซึ่งกล้องทั้ง 2 ตัวใช้ฟิลเตอร์กรองแสงอินฟราเรด IR PASS FUJI SC72 ส่วนการบันทึกแสงอินฟราเรดในระบบเงินเฮไลด์ ใช้กล้องสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว 35 มม. CANON EOS 1 NRS เลนส์ CANON 24-70 มม. f/2.8 ใช้ฟิล์ม Kodak HIE และฟิลเตอร์แดง COKIN P003

2. จัดเตรียมกลุ่มตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงไฟประดิษฐ์แบบแคย์ไลท์ ซึ่งเป็นหลอดไฟที่ใช้สำหรับการถ่ายภาพในปัจจุบัน 5 ชนิด ได้แก่ หลอดไฟทั้งสแตนด์หลอดไฟทั้งสแตนด์ฮาโลเจน หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ หลอดไฟเมทอลเฮไลด์ และอิเล็กทรอนิกส์แฟลช

3. บันทึกแสงอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดแสงไฟประดิษฐ์แบบแคย์ไลท์ โดยถ่ายภาพต้นไม้ และจากผ้าดำในสตูดิโอ ควบคุมตัวแปรแทรกซ้อน (Extraneous

Variable) ได้แก่ 1) อุณหภูมิภายในสตูดิโอที่ 20 องศาเซลเซียส 2) ปริมาณแสงส่องที่วัตถุเท่ากัน โดยมีค่าที่ได้จากการวัดแสงตกกระทบเท่ากับ ความเร็วชัตเตอร์ 1/30 วินาที และขนาดรูรับแสง ที่ f/2.8 3) ทิศทางแสงของทุกแหล่งกำเนิดแสง ที่ตำแหน่ง 2V4H 4) คุณภาพแสงจริงของหลอดไฟ โดยใช้ตัวเรือนโคมแบบโคมสะท้อนแสง และ 5) ภาพถ่ายมุมมองเดียวกัน หรือมีมุมมองใกล้เคียงกันมากที่สุด

4. กำหนดตัวแปรกระทำ (Active variables)

1) รูปแบบการจุดสว่างของแหล่งกำเนิดแสง ได้แก่ หลอดไฟทั้งสแตนด์ หลอดไฟทั้งสแตนด์ฮาโลเจน หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ หลอดไฟเมทอลเฮไลด์ และหลอดอิเล็กทรอนิกส์แฟลช 2) อุณหภูมิสีของหลอดไฟ ได้แก่ แสงแคย์ไลท์และแสงทั้งสแตนด์ของหลอดไฟดวงเดียวกัน ปรับเปลี่ยนแสงทั้งสแตนด์ให้เป็นแสงแคย์ไลท์ โดยใช้ฟิลเตอร์ปรับเปลี่ยนสมมูล 80A 3) การดูดกลืนความร้อนของวัตถุ ได้กำหนดให้บันทึกแสงทันทีหลังเปิดไฟส่องวัตถุ และบันทึกแสงหลังเปิดไฟส่องวัตถุนาน 30 นาที และ 4) ระยะเวลาในการเปิดรับแสง ได้กำหนดความเร็วชัตเตอร์ของกล้อง 2 วินาที และ 30 วินาที กำหนดค่าการรับแสงที่พอดีโดยการปรับขนาดรูรับแสงให้สัมพันธ์กับความเร็วชัตเตอร์ของกล้อง

5. ล้างฟิล์มอินฟราเรดด้วยน้ำยาสูตร D 76 ด้วยกระบวนการปกติ

6. แปลงภาพอินฟราเรดบนฟิล์มให้เป็นไฟล์ภาพดิจิทัล โดยใช้เครื่องสแกนแบบดรัม NIKON SUPER COOLSCAN 9000 ED ที่ความละเอียด 500 PIXEL PER INCH

7. วิเคราะห์ผลการทดลอง โดยพิจารณาระดับโทนสี และโทนสีของพื้นที่ส่วนใหญ่ในภาพถ่ายด้วยสายตาและกราฟฮิสโตแกรม

3. ผลและการอภิปรายผล



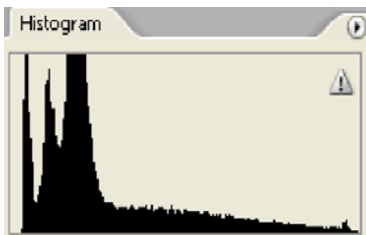
ภาพที่ 1 แสดงลักษณะภาพที่บันทึกแสงขาว



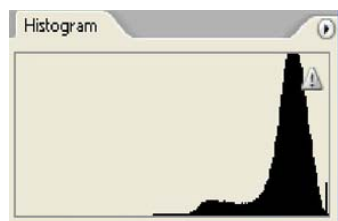
ภาพที่ 2 แสดงลักษณะภาพที่สามารถบันทึกแสงอินฟราเรดได้



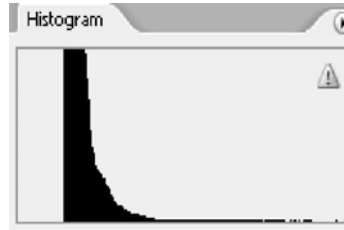
ภาพที่ 3 แสดงลักษณะภาพที่ไม่สามารถบันทึกแสงอินฟราเรดได้



ภาพที่ 4 กราฟฮิสโตแกรมของภาพที่บันทึกแสงขาว



ภาพที่ 5 กราฟฮิสโตแกรมของภาพที่สามารถบันทึกแสงอินฟราเรดได้



ภาพที่ 6 กราฟฮิสโตแกรมของภาพที่ไม่สามารถบันทึกแสงอินฟราเรดได้

ตารางที่ 1 แสดงสรุปผลการศึกษา

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา	การเกิดผลอินฟราเรด
แหล่งกำเนิดแสง	
• หลอดไฟทังสเตน	/
• หลอดไฟทังสเตนฮาโลเจน	/
• หลอดไฟเมทอลฮาโลอิด	x *
• หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์	/ *
• หลอดไฟฟลักซ์	
อุณหภูมิสีของแสง	
• แสงเดย์ไลท์	/
• แสงทังสเตน	/
การดูดกลืนความร้อน	
• บันทึกภาพทันทีหลังเปิดไฟ	/
• เปิดไฟส่องวัตถุก่อนการบันทึกภาพ 30 นาที	/
ระยะเวลาในการเปิดรับแสง	
• 2 วินาที	/
• 30 วินาที	/

*เฉพาะการบันทึกแสงด้วยฟิล์ม และหน่วยรับภาพแบบมี hot mirror filter

ผลการศึกษาพบว่า ภาพที่ถ่ายโดยใช้หลอดไฟทั้งสแตนด์ หลอดไฟทั้งสแตนด์ฮาโลเจน หลอดไฟเมทอลฮาไลด์ และหลอดไฟแฟลช เกิดผลอินฟราเรด น่าจะมีสาเหตุมาจาก แหล่งกำเนิดแสงเหล่านี้มีการเจือปนของแสงอินฟราเรด ซึ่งมีความยาวคลื่นสูงกว่า 700 นาโนเมตรเพียงพอต่อการเกิดผลอินฟราเรด โดยแสงจากหลอดไฟทั้งสแตนด์ฮาโลเจน ซึ่งมีลักษณะเดียวกับหลอดไฟทั้งสแตนด์ มีความยาวคลื่นในช่วง 300-1000 นาโนเมตร แสงของหลอดเมทอลฮาไลด์ ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับหลอดไฟเมทอลฮาไลด์ มีความยาวคลื่นในช่วง 400 นาโนเมตร จนถึงสูงกว่า 700 นาโนเมตร และแสงของหลอดไฟแฟลชมีความยาวคลื่นในช่วง 400 นาโนเมตร จนถึง 1000 นาโนเมตร [3] ส่วนภาพถ่ายจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ไม่สามารถบันทึกแสงอินฟราเรดในระดับที่สังเกตได้ น่าจะมีสาเหตุมาจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่มีแสงอินฟราเรดอยู่ในระดับที่น้อย [1] จมฟิล์มและหน่วยรับภาพดิจิทัลแบบมี hot mirror filter ไม่สามารถบันทึกแสงอินฟราเรดในระดับที่สังเกตได้ แต่อย่างไรก็ตาม การบันทึกแสงอินฟราเรดจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์จะเห็นผลอินฟราเรดเพิ่มขึ้น เมื่อใช้หน่วยรับภาพดิจิทัลแบบไม่มี hot mirror filter นั้น อาจเป็นเพราะคุณสมบัติของหน่วยรับภาพดิจิทัลที่ไวต่อแสงอินฟราเรด และการไม่ได้ติดตั้งตัวกรองแสงอินฟราเรด หรือ hot mirror filter ซึ่งมีคุณสมบัติกั้นแสงอินฟราเรด [3, 4]

ภาพถ่ายที่บันทึกด้วยแสงเคย์ไลท์ที่ใช้ฟิลเตอร์ปรับเปลี่ยนสมมูล 80A และแสงทั้งสแตนด์ แสดงผลอินฟราเรดสังเกตเห็นได้ ซึ่งภาพถ่ายจากแสงเคย์ไลท์จะแสดงโทนสีเข้มที่มากกว่าภาพที่ถ่ายโดยใช้แสงทั้งสแตนด์ น่าจะมีสาเหตุมาจาก การใช้ฟิลเตอร์ปรับเปลี่ยนสมมูล 80A ที่มีโทนสีน้ำเงิน [5] มากันหน้าแหล่งกำเนิดแสง ผลที่เกิดขึ้นนอกจากจะสามารถปรับอุณหภูมิสีของแสงให้เป็นแสงเคย์ไลท์แล้ว ยังได้กั้นแสงสีอื่นๆ ที่ไม่ใช่แสงสีน้ำเงินซึ่งเป็นสีเดียวกันกับสีของฟิลเตอร์ [6] โดยเฉพาะอย่างยิ่งแสงสีแดงและแสง

อินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกับแสงสีน้ำเงินมากกว่าแสงสีอื่นๆ

การดูคลื่นความร้อนของวัตถุโดยถ่ายภาพทันทีหลังเปิดไฟส่องวัตถุ กับเปิดไฟส่องวัตถุ 30 นาที ก่อนการถ่ายภาพ ทำให้เกิดผลอินฟราเรดโดยโทนสีของภาพแทบไม่แตกต่างกัน น่าจะมีสาเหตุมาจากแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดคือ ความร้อนหรือการแผ่รังสีความร้อนไม่ว่าวัตถุใดก็ตามที่มีอุณหภูมิสูงกว่าค่า Absolute zero (-273.15 องศาเซลเซียส) [7] จึงอาจกล่าวได้ว่า การเพิ่มความร้อนของวัตถุ โดยการเปิดไฟส่องวัตถุ 30 นาที ไม่ทำให้วัตถุร้อนขึ้นเพียงพอต่อการเกิดผลอินฟราเรดที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

ภาพถ่ายที่กำหนดระยะเวลาในการบันทึกแสงโดยเปิดรับแสงนาน 2 วินาที และ 30 วินาที สามารถแสดงผลอินฟราเรดได้ และแสดงโทนสีที่แทบไม่แตกต่างกัน น่าจะมีสาเหตุมาจาก การได้กำหนดค่าการรับแสงแบบพอดี (Normal Exposure) ทั้งในภาพถ่ายที่บันทึกโดยใช้ความเร็วชัตเตอร์ 2 วินาที และ 30 วินาที โดยการปรับเปลี่ยนขนาดรูรับแสงให้สัมพันธ์กับความเร็วชัตเตอร์ จึงทำให้ถ่ายภาพทั้ง 2 ภาพนี้มีปริมาณแสงที่เข้าไปบันทึกลงบนวัสดุไวแสง ที่เท่ากัน [6] และทำให้แสงอินฟราเรดที่ผ่านเข้าไปบันทึกลงในวัสดุไวแสงมีปริมาณเท่ากันเช่นกัน

หน่วยรับภาพดิจิทัลแบบไม่มี hot mirror filter เป็นเพียงวัสดุไวแสงประเภทเดียวที่สามารถบันทึกแสงอินฟราเรดอย่างสังเกตเห็นได้จากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีแสงอินฟราเรดเจือปนน้อยมาก ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะคุณสมบัติของหน่วยรับภาพดิจิทัลที่ไวต่อแสงอินฟราเรด และการไม่ได้ติดตั้งตัวกรองแสงอินฟราเรด หรือ hot mirror filter ซึ่งมีคุณสมบัติกั้นแสงอินฟราเรดที่ด้านหน้าของหน่วยรับภาพดิจิทัล ดังนั้น เมื่อไม่มี hot mirror filter จึงทำให้แสงอินฟราเรดสามารถผ่านเข้ามาบันทึกในหน่วยรับภาพได้มากขึ้น [4]

4. สรุปผลการวิจัย

1. แหล่งกำเนิดแสงไฟประดิษฐ์ ที่สามารถใช้ในการถ่ายภาพอินฟราเรด คือ หลอดไฟทั้งสแตนด์ หลอดไฟทั้งสแตนด์ฮาโลเจน หลอดไฟเมทอลฮาไลด์ และหลอดไฟแฟลช

2. การถ่ายภาพอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นหลอดไฟประดิษฐ์ ไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนอุณหภูมิสีของหลอดไฟ โดยสามารถใช้ได้ทั้งในสภาพแสงเคย์ไลท์และทั้งสแตนด์

3. ในการถ่ายภาพอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นหลอดไฟประดิษฐ์ สามารถบันทึกภาพได้ทันทีหลังเปิดไฟส่องวัตถุ ไม่ควรเปิดไฟส่องวัตถุก่อนบันทึกภาพเพื่อการเพิ่มผลอินฟราเรด เพราะเป็นการเสียเวลา และพลังงานไฟฟ้าโดยไม่จำเป็น

4. ในการถ่ายภาพอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นหลอดไฟประดิษฐ์ สามารถกำหนดความเร็วชัตเตอร์ได้ทั้งช้าและเร็ว

5. การถ่ายภาพอินฟราเรด สามารถบันทึกภาพโดยใช้ฟิล์มอินฟราเรด หน่วยรับภาพดิจิทัลแบบมี hot mirror filter และหน่วยรับภาพดิจิทัลแบบไม่มี hot mirror filter กับแหล่งกำเนิดแสงคือ ไฟทั้งสแตนด์ไฟทั้งสแตนด์ฮาโลเจน และไฟเมทอลฮาไลด์ ยกเว้นไฟแฟลช ที่สามารถใช้ร่วมกับฟิล์มอินฟราเรด และหน่วยรับภาพดิจิทัลแบบมี hot mirror filter เท่านั้น เพราะแสงแฟลชไม่สามารถทำงานร่วมกับกล้องถ่ายภาพที่มีหน่วยรับภาพดิจิทัลแบบไม่มี hot mirror filter ได้

6. การเพิ่มปริมาณแสงอินฟราเรดในการถ่ายภาพด้วยไฟประดิษฐ์ อาจลองบันทึกภาพในรูปแบบ over exposure เพื่อการแสดงผลอินฟราเรดในภาพถ่ายที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. “การถ่ายภาพ Near Infrared โดยใช้กล้องดิจิทัล” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://funsience.gistda.or.th/nearir/nearir.html> [สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มี.ค. 2550].
- [2] Davies, A. and Fennessy, P. 2002. Digital imaging for Photographers. Oxford: Focal Press.
- [3] Jacobson, E.R., Ray, F. S., Attridge, G. G., and Axford, R. N. 2000. The Manual of Photography: Photographic and Digital Imaging. Oxford: Focal Press.
- [4] Finney, A. “Invisible Light: Infrared photography” [online] Available: <http://www.Atstf.co.uk/ilight/tech/ilightec.html> (Retrieved March 21st, 2007).
- [5] สุรพงษ์ เอี่ยมพิชัยฤทธิ์ และสุมิตรา ชันตยาถนง. 2545. เทคโนโลยีภาพสี. กรุงเทพฯ : เลเซอร์กราฟฟิค.
- [6] Langford, M. 2000. Basic Photography. Oxford: Focal Press.
- [7] ยุทธพงศ์ ทัพคง. “เทคโนโลยีกล้องถ่ายภาพอินฟราเรด” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.se-sd.com/technology_of_infrared_camera.html [สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มี.ค. 2550].

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากงบประมาณผลประโยชน์ประจำปี 2550 ของคณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ไม้เทียมจากมอร์ต้าผสมจีล้อยไม้

จรรยา เจริญเนตรกุล¹

บทคัดย่อ— การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมอร์ต้าและจีล้อยไม้มาผลิตเป็นไม้เทียม ทำการศึกษาอัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 : ทราย : จีล้อยไม้ ทั้งหมด 4 อัตราส่วน คือ 75 : 10 : 15 70 : 15 : 15 65 : 15 : 20 60 : 20 : 20 โดยน้ำหนัก ใช้แบบหล่อขนาด 50×50×1000 มิลลิเมตร ในการหล่อชิ้นงาน เมื่อได้ชิ้นงานดังกล่าวแล้ว นำไปบ่มในน้ำเป็นระยะเวลา 28 วัน ทำการทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกล คือทดสอบกำลังอัด กำลังคด และกำลังเฉือน ตามมาตรฐาน ASTM ใช้ตัวอย่างอัตราส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง จากผลการทดสอบพบว่าไม้เทียมจากมอร์ต้าผสมจีล้อยไม้ มีความสามารถในการรับแรงอัด และแรงเฉือนที่ดี แต่มีความสามารถในการรับแรงคดต่ำ อัตราส่วนผสม 70 : 15 : 15 มีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานได้ เช่น ไม้ฝา ไม้เชิงชาย เฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ เนื่องจากสามารถหล่อขึ้นรูปได้ และมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี ในส่วนของต้นทุนการผลิตพบว่าไม้เทียมจากมอร์ต้าผสมจีล้อยไม้มีราคาถูกลงกว่าไม้จริง

คำสำคัญ ไม้เทียม จีล้อยไม้ กำลังคด กำลังอัด กำลังเฉือน

1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้ไม้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ มีสูงมาก แต่วัตถุดิบไม้กลับมีปริมาณน้อยลงด้วยเหตุปริมาณป่าไม้ลดลงอย่างรวดเร็ว แต่การปลูกป่าทดแทนกลับไม่มีคุณภาพพอจะทดแทนป่าไม้ธรรมชาติได้ แนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการทำลายป่าคือใช้ไม้ที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุด หลังจากที่รัฐบาลประกาศปิดป่าไม่มีการทำไม้ ทำให้ไม้ที่ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์และไม้ใช้สอยอื่นๆ หายาก ราคาแพง และถึงแม้ว่าจะมีไม้ยางพาราจากภาคใต้มาใช้ทดแทนแต่ก็ยังไม่เพียงพอความต้องการใช้ไม้ยังมีอีกมาก และจากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้มีการเจริญเติบโตมากขึ้น โรงเลื่อยจะมีจีล้อยและเศษไม้ที่เหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ในอดีตจีล้อยไม้เป็นสิ่งที่ไร้ค่าไม่มีประโยชน์ ประกอบกับการระดมแปรรูปไม้ทำให้มีเศษจีล้อยเหลือทิ้งเป็นจำนวน

มาก ก่อให้เกิดมลภาวะ มีการตั้งกองทิ้งไว้ทำให้ดินเสียน้ำเสีย บางครั้งก็จุดไฟเผา ก่อให้เกิดควัน เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซพิษอื่นๆ ซึ่งเป็นปัญหาต่อชุมชนและสิ่งๆ ที่ตามมาคือปัญหาความขัดแย้งกันนำไปสู่การประท้วงและทะเลาะวิวาทกัน แต่จะเห็นได้ว่าในปัจจุบันนี้จีล้อยและเศษไม้ไม่ใช่ขยะอีกต่อไปแล้ว เพราะว่ามันมีประโยชน์มากและสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการทำเป็นชิ้นงานได้มากมายเช่น งานเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ งานปั้นขึ้นรูป งานเผาถ่าน การเพาะเห็ด เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มของสิ่งเหลือทิ้งและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าที่สุด ตลอดจนลดปริมาณจีล้อยลงเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

เพื่อเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มของจีล้อยไม้และลดปัญหาการเผาจีล้อยลงอีกทางหนึ่ง จึงมีความคิดในการนำจีล้อยไม้มาผสมกับมอร์ต้า เพื่อผลิตเป็นไม้เทียม โดยจากงานวิจัย พิทยา อำนวยพานรัตน์และคณะ.[1] พบว่าไม้เทียมจากการผสมระหว่างพลาสติกกับจีล้อยมีสีและผิวใกล้เคียงไม้ที่สุด มีคุณสมบัติทนต่อสภาวะอากาศเหมือนพีวีซี แต่ต้นทุนของเครื่องจักรในการผลิต

¹สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000
โทรศัพท์: +66(7)-432-4246
E-mail:Charoon2515@gmail.com

ยังสูงอยู่ ทางคณะผู้จัดทำคิดว่าหากนำมอร์ตาซึ่งมีค่าใช้จ่ายน้อยและสามารถทำได้ง่ายมาใช้ประโยชน์ในทางวิศวกรรมเพื่อผลิตไม้เทียมที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีและมีลักษณะที่เหมือนไม้จริง ลดการทำลายป่าไม้ และทรัพยากรธรรมชาติอื่นๆ อีกมาก

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้

2.1.1 การทำมอร์ตาโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้างผสมกับทรายที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100

2.1.2 ไม้เลื่อยไม้ที่ได้มาจากโรงไม้ นำมาผึ่งแดดให้แห้งแล้วนำมาร่อนใช้ส่วนที่กว้างเบอร์ 16



ภาพที่ 1 ไม้เลื่อยไม้

2.1.3 การกำหนดอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักทั้งหมด 3000 กรัม ระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ทราย : ไม้เลื่อยไม้ ดังแสดงในตาราง 1

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ทราย : ไม้เลื่อยไม้เป็น % โดยน้ำหนัก

ส่วนผสมที่	ปูนซีเมนต์ (%)	ทราย (%)	ไม้เลื่อยไม้ (%)	น้ำ (ml.)
1	75	10	15	1000
2	70	15	15	1000
3	65	15	20	1000
4	60	20	20	1000

2.2 การขึ้นรูปตัวอย่างไม้เทียม

ทำการขึ้นรูปโดยนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ไม้เลื่อยไม้ และทรายมาชั่งน้ำหนักตามสัดส่วนแล้วผสมในเครื่องผสมมอร์ตา ให้ส่วนผสมเข้ากันดีจึงเทเข้าแบบหล่อ ที่ตั้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงถอดจากแบบ แล้วทิ้งไว้อีก 2 วันจึงนำไปบ่มในน้ำจนได้อายุ 28 วัน จึงนำขึ้นจากน้ำแล้วตัดตามขนาดที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล



ภาพที่ 2 แบบหล่อและตัวอย่างไม้เทียม

2.3 การทดสอบ

นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลโดยใช้ตัวอย่างการทดสอบละ 3 ตัวอย่างดังนี้

1) การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ ปริมาณความชื้น และการดูดซึมน้ำ ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM Standard : D2395-93 (Reapproved 1997), Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Base Materials และมาตรฐาน ASTM D2016-74 (Reapproved 1983), Standard Test Methods for Moisture Content of Wood

2) การทดสอบการรับแรงอัดของไม้ขนานเส้น ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D143 [2]

3) การทดสอบกำลังคัดของไม้ ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM Designation D143 -94 Standard Method of Testing Small Clear Specimens of Timber

4) การทดสอบการรับแรงเฉือนของไม้แบบขนานเส้นให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM Designation D143 -94 Standard Method of Testing Small Clear Specimens of Timber



ภาพที่ 3 ตัวอย่างไม้เทียมที่เตรียมไว้สำหรับทดสอบ

2.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองจะทำการวิเคราะห์ในประเด็นดังนี้

- 1) ทำการบันทึกผลการทดลองโดยวิธีต่างๆ พร้อมเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของไม้เทียมกับไม้จริง
- 2) เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการผลิตไม้เทียมกับราคาไม้แปรรูปตามท้องตลาด

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไม้เทียม เพื่อให้ทราบถึงค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าการดูดซึมน้ำ และปริมาณความชื้น ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของไม้เทียม

คุณสมบัติ	ส่วนผสมที่ 1	ส่วนผสมที่ 2	ส่วนผสมที่ 3	ส่วนผสมที่ 4
ความถ่วงจำเพาะ	1.03	1.22	1.06	1.05
การดูดซึมน้ำ (%)	63.06	31.76	49.58	41.58
ปริมาณความชื้น (%)	40.14	20.38	30.28	25.33

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ความถ่วงจำเพาะของไม้เทียม จะเห็นได้ว่าในส่วนผสมที่ 2 มีค่ามากกว่าส่วนผสมอื่น ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความแข็งแรงของไม้ หากค่าความถ่วงจำเพาะมากความแข็งแรงของไม้จะมากตามไปด้วย ส่วนค่าการดูดซึมน้ำ จะเห็นได้ว่าของส่วนผสมที่ 2 มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่าส่วนผสมอื่น ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำจะส่งผลต่อปริมาณน้ำที่ต้องการของน้ำที่ใช้ผสมของแต่ละตัวอย่าง ในส่วนของปริมาณความชื้นจะเห็นได้ว่าส่วนผสมที่ 2 จะมีความชื้นน้อยกว่าส่วนผสมอื่น ซึ่งหากค่าความชื้นน้อยความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4 เป็นลักษณะของสีและผิวของไม้เทียมจากมอร์ต้าผสมซีเมนต์



ภาพที่ 4 ลักษณะผิวและสีของไม้เทียม

ในส่วนของการตัดและตกแต่งชิ้นตัวอย่างพบว่าสามารถใช้เครื่องมือช่างไม้ทั่วไปได้

3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล

จากการทดสอบกำลังอัด กำลังดึง และกำลังเฉือนของไม้เทียม ซึ่งผลของการทดสอบ ได้แสดงค่าไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของไม้เทียม

ชนิดของไม้	หน่วยแรงดึง (kg/cm ²)	หน่วยแรงอัด (kg/cm ²)	หน่วยแรงเฉือน (kg/cm ²)
ส่วนผสมที่ 1	1.63	21.33	10.90
ส่วนผสมที่ 2	1.93	40.93	16.25
ส่วนผสมที่ 3	-	77.28	20.30
ส่วนผสมที่ 4	0.77	19.41	6.27

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกล ในด้านการรับแรงดัดของไม้เทียมจากส่วนผสมที่กำหนดไว้โดยส่วนผสมที่ 3 ไม่สามารถนำมาทำการทดสอบได้ เนื่องจากเกิดการหักในระหว่างการบ่ม และในชิ้นตัวอย่างของส่วนผสมอื่น ๆ ก็เกิดการหักเช่นกันแต่ก็เหลือส่วนผสมที่ 1 จำนวน 2 ตัวอย่างส่วนผสมอื่นเหลือชิ้นตัวอย่างละ 1 ตัวอย่างเท่านั้น เมื่อนำไปทดสอบก็ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ ถึงแม้ว่าส่วนผสมที่ 2 จะมีการรับกำลังได้ดีกว่าส่วนผสมอื่นแต่ไม่สามารถเทียบกับหน่วยแรงที่ยอมให้ของไม้ตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ได้

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกล ในด้านการรับแรงอัดของไม้เทียม จะเห็นได้ว่าส่วนผสมที่ 3 มีความสามารถในการรับแรงอัดได้ดีมากกว่าส่วนผสมอื่น

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกล ในด้านการรับแรงเฉือนของไม้เทียมจากทั้ง 4 ส่วนผสม ส่วนผสมละ 3 ตัวอย่างแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยจะเห็นได้ว่าส่วนผสมที่ 3 มีความสามารถในการรับแรงเฉือนได้ดีมากกว่าส่วนผสมอื่น

จากภาพที่ 5 เป็นลักษณะการวิบัติของชิ้นตัวอย่างจากการทดสอบต่าง ๆ พบว่าการวิบัติของไม้เทียมจากมอร์ต้าผสมซีเมนต์ไม่มีพฤติกรรมที่เปราะกว่าไม้จริง ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการนำไปใช้งาน



ภาพที่ 5 ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างไม้เทียม

3.3 ผลการเปรียบเทียบราคาไม้เทียมกับไม้แปรรูปตามท้องตลาด

จากการผลิตไม้เทียมนี้ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อวัตถุดิบ ซึ่งในแต่ละส่วนผสมนั้นราคาก็มีความแตกต่างกันไม่มากดังแสดงในตารางที่ 4 จากการประมาณการผลิตไม้เทียมมีราคาต้นทุนวัสดุอุปกรณ์รวมค่าแรงอยู่ที่ 240 บาทต่อลูกบาศก์ฟุต ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับราคาไม้แปรรูปตามท้องตลาดจะมีราคาอยู่ที่ประมาณ 370-470 บาทต่อลูกบาศก์ฟุต

ตารางที่ 4 สรุปราคาต้นทุนวัสดุอุปกรณ์รวมค่าแรงในการผลิตไม้เทียม

ตัวอย่าง	ส่วนผสมที่ 1	ส่วนผสมที่ 2	ส่วนผสมที่ 3	ส่วนผสมที่ 4
ราคา (บาท/ลบ.ฟ.)	245.88	241.41	237.45	232.95

โดยส่วนผสมที่ 1 ราคา 245.88 บาท/ลบ.ฟ. ส่วนผสมที่ 2 ราคา 241.41 บาท/ลบ.ฟ. ส่วนผสมที่ 3 ราคา 237.45 บาท/ลบ.ฟ. และส่วนผสมที่ 4 ราคา 232.95 บาท/ลบ.ฟ. ซึ่งราคานี้รวมค่าวัสดุ อุปกรณ์และค่าแรงแล้ว หากเปรียบเทียบราคากับไม้แปรรูป ที่มีราคาอยู่ระหว่าง 370-470 บาท/ลบ.ฟ. ราคาไม้เทียมจะถูกกว่าประมาณ 51 เปอร์เซ็นต์ และถ้าหากเปรียบเทียบราคากับไม้สำเร็จรูป ที่มีราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 680 บาท/ลบ.ฟ. ราคาไม้เทียมจะถูกกว่าประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์

4. สรุปการวิจัย

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมอร์ต้าและซีเมนต์มาผลิตเป็นไม้เทียม สรุปเบื้องต้นได้ว่า

- 1) การนำมอร์ต้าและซีเมนต์มาผสมเข้าด้วยกันและบ่มน้ำ สามารถผลิตเป็นไม้เทียมได้
- 2) คุณสมบัติเชิงกลของไม้เทียมจากมอร์ต้าผสมซีเมนต์ไม้พบว่าคุณสมบัติในการรับแรงดัดที่ต่ำจึงไม่เหมาะที่จะนำมาเป็นโครงสร้างที่รับแรงดัดโดยตรง แต่มีคุณสมบัติในการรับแรงอัดที่ดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิศวกรรมต่อไปได้
- 3) ราคาของไม้เทียมจากมอร์ต้าผสมซีเมนต์ไม่มีราคาที่ถูกลงกว่าไม้ตามท้องตลาดทั่วไป

เสนอแนะ

1) เนื่องจากสีของไม้เทียมยังไม่เป็นสีของไม้ตามธรรมชาติ ขอแนะนำให้มีการผสมสีเพิ่มลงไปเพื่อให้ความรู้สึกเหมือนเป็นไม้จริงๆ

2) จากการทดสอบพบว่าคุณสมบัติในการรับแรงดัดยังต่ำอยู่ ขอแนะนำให้ใช้วัสดุที่เป็นเส้นใยผสมเพิ่มเพื่อเป็นตัวในการยึดประสานของมวลรวมที่ดียิ่งขึ้น อาจส่งผลให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและมีความยืดหยุ่นมากขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] พิทยา อัมพนพนารัตน์และคณะ. 2547. การสร้างและทดสอบเครื่องผลิตไม้เทียมจากเศษวัสดุ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.rubber.sc.mahidol.ac.th/RTUinfo/research/prw_1.htm (2 มกราคม 2552)
- [2] Allen, Robert F. 1998 Annual Book of ASTM Standard : Section 4, Construction, Volume 04.01 Wood Prior editions. 1997, 666 P
- [3] มนต์ อนุศิริ. 2549. ทฤษฎีและปฏิบัติการทดสอบวัสดุในงานวิศวกรรมโยธา. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดดูเคชั่น.

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจากสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ในการใช้ห้องปฏิบัติการทดสอบทางวิศวกรรม ขอขอบคุณนายไกรจักร ชูโชติ นายภูวนาท การาหมัด และนายวรธร ณ ลำปาง ที่ร่วมกันเก็บข้อมูลและทดสอบตัวอย่างทางวิศวกรรม

การศึกษาและจำลองพฤติกรรมของท่อส่งน้ำใต้ดินโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 2 มิติ

ธัญธร อนุอิม¹ ชิตพล พรหมวัง¹ และ ทวีชัย กภาพสินธุ์²

บทคัดย่อ— โครงการวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาและจำลองพฤติกรรมของท่อส่งน้ำใต้ดินโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 2 มิติ ซึ่งทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของท่อเพื่อหาความแตกต่างของการกดท่อแบบรับแรงอัด และ รับแรงคัด การจำลองดินเหนียวอ่อนจะใช้กลีเบนที่ประกอบด้วย กลีเซอรินร้อยละ 42 ของเบนโทไนด์ ผสมกับน้ำร้อยละ 7 ของกลีเบนบดอัดโดยวิธีมาตรฐาน โดยการกำหนดอัตราส่วนดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ดินจำลองมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับดินโคลงดำ-บางบ่อ ซึ่งมีค่าความหนาแน่นของดินมีค่า 1.67 g/cm^3 ส่วนพฤติกรรมของท่อจะทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการบนพื้นฐานของกฎการย่อส่วน (1g) แล้วนำผลการทดสอบดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ย้อนกลับโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ 2 มิติ โดยจากการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ของดินที่ใช้ในการจำลองกำลังของดินจากทฤษฎี Mohr Coulomb ที่เหมาะสมคือ ค่าโมดูลัสอีลาสติค เท่ากับ 8000 kN/m^2 และค่าความเหนียว เท่ากับ 10.7 kN/m^2 ซึ่งแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ผ่านการปรับเทียบจะถูกนำไปวิเคราะห์พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของท่อกรณีเนื่องจากรถบรรทุกขนาด 10 ล้อ 6 ล้อ และ 4 ล้อ จากผลการศึกษาพบว่าขนาดของรถบรรทุกบนท่อลอด และคุณสมบัติดินถมมีผลต่อเสถียรภาพของท่อ นอกจากนี้ยังพบว่าการแตกของท่อนั้นน่าจะเกิดจากท่อรับแรงกดมากกว่าแรงคัด

คำสำคัญ พฤติกรรมของท่อส่งน้ำใต้ดิน ท่อส่งน้ำ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 2 มิติ

1. บทนำ

ในปี พ.ศ. 2550 การประปาส่วนภูมิภาคใช้งบประมาณในการวางท่อขยายเขต 362 ล้านบาท และใช้งบประมาณด้านการบำรุงรักษาสูงถึง 421 ล้านบาท งบประมาณสำหรับการบำรุงรักษานั้นแบ่งออก 2 กรณี คือ การบำรุงรักษาทั่วไป และการบำรุงรักษาเนื่องจากท่อแตก ท่อรั่ว ท่อระเบิด สาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกร่วนนั้นแบ่งออกเป็น 3 กรณีคือ สภาพการใช้งานที่ยาวนานหรือท่อหมดอายุการใช้งาน แรงกดค้ำน้ำภายในท่อ

และแรงภายนอกที่กระทำต่อรวมทั้งการทรุดตัวของดินใต้ท่อ [1] อนึ่งการแตกร่วนของท่อในกรณีที่ 1 และ 2 สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการควบคุมการจ่ายน้ำและการออกแบบให้ครอบคลุมถึงปัจจัยดังกล่าว ส่วนกรณีที่ 3 จำเป็นต้องศึกษาเนื่องจากท่อส่งน้ำใต้ดินดังกล่าวต้องวางบนชั้นดินที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งคุณสมบัติของดินและความหนาแน่นของชั้นดิน ดังนั้นพฤติกรรมของแรงแบกทานของดินใต้ท่อ และการเคลื่อนที่ของท่อจึงมีความสำคัญเพื่อใช้ในการออกแบบท่อต่อไป ในโครงการวิจัยนี้จะศึกษาถึงอิทธิพลรับแรงแบกทานของดินใต้ท่อโดยการสร้างแบบจำลองขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการบนพื้นฐานของกฎย่อส่วน (1g) ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวจะนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ 2 มิติ โดยวิเคราะห์แบบ plane strain และใช้ชิ้นส่วนที่มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม 15 node ส่วนแบบจำลองวัสดุสำหรับดินเหนียวที่ใช้คือ แบบจำลอง Mohr Coulomb

¹ นักศึกษาระดับปริญญาตรี, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ จ. กรุงเทพฯ 10140 t_kalasin@yahoo.co.uk

การเปรียบเทียบดังกล่าวเหมือนกับการวิเคราะห์ย้อนกลับ (Back Analysis) เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ของดินเหนียวที่เหมาะสมไปใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของท่อเมื่อขนาดของรถบรรทุกและชนิดของดินถมเปลี่ยนแปลง

2. พฤติกรรมของท่อรับโมเมนต์และแรงกดแนวตั้ง

การศึกษาคุณสมบัติของท่อนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของท่อนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าแรงกดและโมเมนต์สูงสุดที่ท่อนั้นรับได้ก่อนเกิดการแตก ในการทดสอบประกอบไปด้วยการทดสอบแรงกด และแรงดัด ดังรูปที่ 1 [2] โดยทำการทดสอบกับท่อพีวีซี ขนาด 2 2.5 และ 3 นิ้ว และท่อดังกล่าวมีโมดูลัสอีลาสติกเท่ากับ 2.75 kN/mm^2 ซึ่งผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2



ก) การทดสอบแรงกด

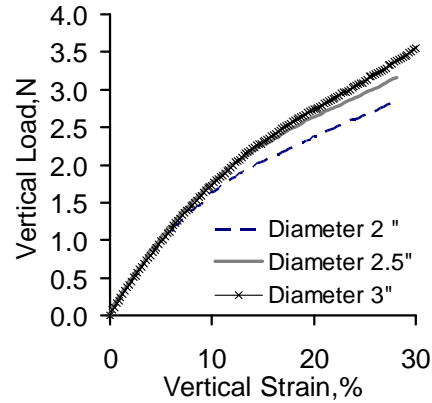


ข) การทดสอบแรงดัด

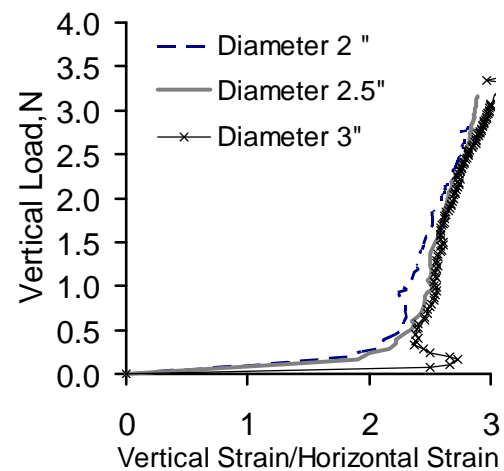
ภาพที่ 1 แสดงการติดตั้งและทดสอบท่อ

จากผลการทดสอบพบว่าท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่จะรับแรงแนวตั้งได้มากกว่าท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก ซึ่งจะเห็นความแตกต่างจากอิทธิพลดังกล่าวได้อย่างชัดเจนเมื่อร้อยละความเครียดแนวตั้ง (Vertical Strain%) มีค่ามากกว่า ร้อยละ 10 ดังภาพที่ 2ก แต่เมื่อนำมาพิจารณาถึงการเสีรูปของท่อดังกล่าวโดยสังเกตจากอัตราส่วนของความเครียดแนวตั้งและแนวราบพบว่า การเคลื่อนตัวของท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่าจะมีอัตราดังกล่าวมากกว่าท่อที่มีขนาดเล็กกว่า ดังแสดงในภาพที่ 2ข โดยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 2.5 และ 2 นิ้ว จะมีอัตราส่วนระหว่างความเครียดแนวตั้งและความเครียดแนวราบ เท่ากับ 2.7 2.2 และ 2 ตามลำดับ ก่อนที่อัตรา

ดังกล่าวจะมีใกล้เคียงกันเมื่อแรงแนวตั้งเพิ่มมากขึ้น ส่วนการทดสอบแรงกดเพื่อศึกษาพฤติกรรมการดัดของท่อสามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 3



ก) แรงกดกับความเครียดแนวตั้ง

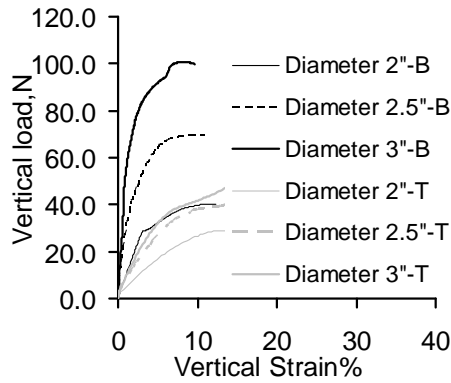


ข) แรงกดกับอัตราส่วนความเครียดแนวตั้งและราบ

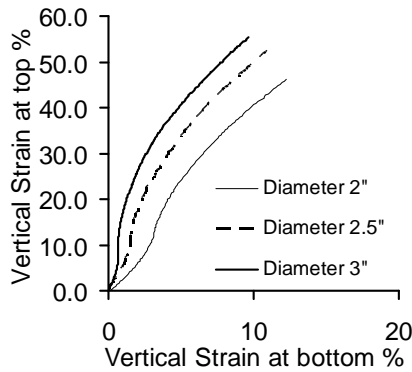
ภาพที่ 2 ผลการทดสอบท่อกรณีทดสอบแรงกด

ในกรณีการทดสอบแรงดัดของท่อจะแตกต่างจากกรณีทดสอบแรงกด โดยการทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเกตพฤติกรรมการเสีรูปของท่อที่ด้านบน ด้านล่างและบริเวณกึ่งกลางระหว่างฐานรองรับทั้งสองด้าน จากผลการทดสอบพบว่าท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่าจะรับแรงกดบริเวณจุดกึ่งกลางได้มากกว่าดังแสดงในรูปที่ 3ก ซึ่งท่อที่มีขนาด 2 2.5 และ 3 นิ้วจะรับแรงกดสูงสุดได้เท่ากับ 39.2 N 69.4 N และ 99.92 N เมื่อพิจารณาร้อยละความเครียดทางแนวตั้งด้านล่าง (Vertical Strain) เท่ากับ 10% แต่เมื่อพิจารณาความเครียด

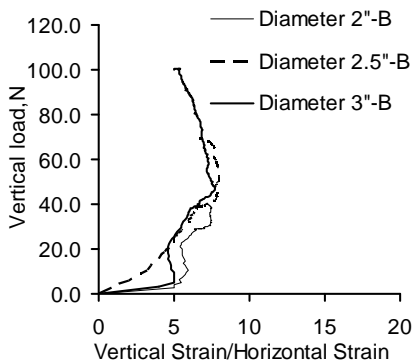
ทางแนวตั้งด้านบนในอัตราเดียวกันจะพบว่าท่อสามารถรับแรงกดมีค่าเพียง 26.7 N 38.77 N และ 42.8 N ตามลำดับ



ก) แรงกดกับอัตราส่วนความเครียดแนวตั้ง



ข) ความเครียดแนวตั้งด้านบนและด้านล่าง



ค) แรงกดกับอัตราส่วนความเครียดแนวตั้งและราบ

ภาพที่ 3. ผลการทดสอบท่อกรณีทดสอบแรงตัด

โดยผลการทดสอบดังกล่าวแสดงนัยสำคัญว่าการเสีรูปร่างของท่อนำจะเกิดบริเวณด้านบนมากกว่าด้านล่างซึ่งถ้าพิจารณาจากภาพที่ 3ข แสดงให้เห็นว่า

ความเครียดแนวตั้งด้านบนที่จะมากกว่าแนวตั้งล่างท่อประมาณร้อยละ 404.3 524 และ 555 ดังนั้นการออกแบบท่อกรณีรับแรงตัดควรพิจารณาการเสีรูปร่างของท่อบริเวณผิวด้านบนซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการแตกและปริของท่อ ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างแรงตัดและแรงอัด ว่ากรณีใดมีผลต่อการแตกและปริของท่อมากกว่ากัน โดยถ้าพิจารณาที่ร้อยละความเครียดที่เท่ากัน ท่อที่ถูกกดเหมือนกับกรณีทดสอบแรงอัดจะวิกฤตกว่ากรณีทดสอบแรงตัด ถึงแม้ขนาดของท่อที่ใช้ในการทดสอบนี้แตกต่างจากท่อที่ใช้จริงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.4 เมตร ซึ่งขนาดดังกล่าวไม่สามารถทดสอบได้ในห้องปฏิบัติ แต่เมื่อพิจารณาถึงขอบเขตและเงื่อนไขการทดสอบแล้ว พฤติกรรมของท่อขนาดที่ใช้จริงกับขนาดที่ใช้ในการทดสอบควรอยู่บนข้อเท็จจริงเดียวกัน โดยผลการทดสอบที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการกำหนดทิศทางกำหนดปัจจัยและสาเหตุของการแตก ปริ ของท่อว่าควรจะประกอบไปด้วยอะไรบ้าง

3. การทดสอบแรงแบกทานของท่อนับชั้นดินเหนียว

จากผลการทดสอบแรงตัดและแรงอัดของท่อที่กล่าวไปในชั้นตอนนั้น เป็นเพียงการพิจารณาในส่วนของท่ออย่างเดียว แต่ในความเป็นจริงท่อดังกล่าวจะอยู่บนชั้นดิน โดยประเภทของดินที่ส่งผลให้เกิดการแตกหรือปริของท่อคือดินเหนียว ดังนั้นในการทดสอบนี้จะพิจารณาเพียงพฤติกรรมของดินใต้ท่อ ส่วนวัสดุที่ใช้ทำท่อคืออลูมิเนียมอัลลอยด์เนื่องจากต้องการหลีกเลี่ยงการเสีรูปร่างของท่อในช่วงการทดสอบ โดยดินที่ใช้ในการทดสอบจะใช้เบนโทไนต์ผสมกับกลีเซอริน รวมเรียกว่ากลีเบนซึ่งมีลักษณะบางประการใกล้เคียงกับดินเหนียว คือ กลีเบนจะไม่มีการพัฒนากำลังเมื่อเวลาผ่านไป รวมทั้งวัสดุดังกล่าวไม่มีมุมเสียดทานภายใน [3] ดังนั้นการพิจารณาเลือกสัดส่วนของเบนโทไนต์และกลีเซอรินจะพิจารณาจากความหนาแน่น และกำลังรับแรงเฉือนของกลีเบน โดยเปรียบเทียบกับดินต้นแบบคือ ดินเหนียวบริเวณคลองด่าน -บางบ่อ จังหวัด

สมุทรปราการ ซึ่งมีค่าความหนาแน่นระหว่าง 1.6–1.7 ton/m^3 โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อไปใช้ในการจำลองให้ห้องปฏิบัติการจะได้อัตราส่วนของกลีเซอรินร้อยละ 42 ของน้ำหนักเบนโทไนด์ ผสมกับน้ำร้อยละ 7 ของน้ำหนักกลีเซอรินบดอัดด้วยวิธีมาตรฐาน [4] พร้อมบ่มด้วยอากาศเป็นระยะเวลา 5 วัน แล้วนำไปทดสอบ Unconfined Compression Test (UCS) [5] เพื่อกำหนดกำลังรับแรงเฉือนไม่ระบายน้ำ จากเหตุผลที่พิจารณาช่วงเวลาในการบ่มด้วยอากาศดังกล่าวเนื่องกลีเซอรินจะไม่มีการพัฒนากำลังเนื่องจากเวลาการบ่มที่มากขึ้น[3] ซึ่งป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมตัวอย่างดินที่มีความเสถียรในกำหนดความหนาแน่น โดยแสดงการเตรียมตัวอย่างดังภาพที่ 4

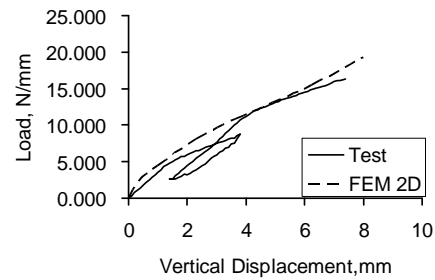


ภาพที่ 4 แสดงขั้นตอนการทดสอบและเตรียมกลีเซอริน



ภาพที่ 5 แสดงการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

หลังจากที่ทราบอัตราส่วนผสมของกลีเซอรินพลังงานในการบดอัดจากการออกแบบเบื้องต้น ดินเหนียวจำลองดังกล่าวจะนำมาเตรียมตัวอย่างในแบบท่อเพื่อทดสอบแรงแบกทานของท่อค้ำแสงรายละเอียดในภาพที่ 5 การทดสอบดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ของดินให้สอดคล้องกับเงื่อนไขการทดสอบโดยใช้แบบจำลอง Mohr Coulomb และการวิเคราะห์ย้อนกลับ (Back Analysis) ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 2 มิติจะถูกนำมาใช้ซึ่งขนาดและมิติทั้งของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ และแบบจำลองในห้องปฏิบัติการจะเท่ากัน ส่วนผลการเปรียบเทียบสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6 และพารามิเตอร์ของดินแสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 6 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบและการวิเคราะห์ FEM 2D

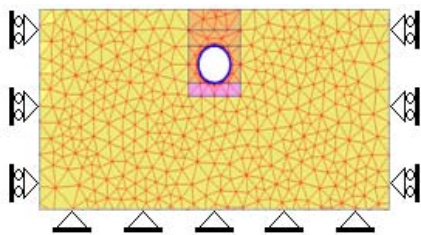
ตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์ของ Mohr Coulomb

γ_t (kN/m^3)	E (kN/m^2)	ν	c (kN/m^2)	ϕ°	φ°
16.19	8000	0.32	10.7	23	10

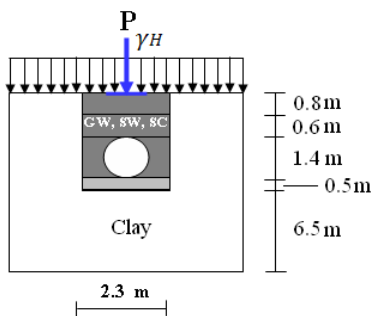
4. การวิเคราะห์พฤติกรรมท่อเนื่องจากแรงภายนอก

ในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของท่อเนื่องจากน้ำหนักของรถบรรทุกโดยพิจารณา กรณีที่ท่อลอดคันทาง ซึ่งเงื่อนไขของขอบเขต และตาข่ายสำหรับแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถแสดงในภาพที่ 7ก และขนาดของหลุมที่ขุดเพื่อวางท่อสามารถแสดงรายละเอียดได้ในภาพที่ 7ข ส่วนค่านิยามของจุดที่พิจารณาสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 8 ส่วนคุณสมบัติ

ของท่อสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 และน้ำหนักของรถบรรทุกที่จำแนกตามประเภทสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 3 [6] โดยวัสดุดินถมที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4 จากคุณสมบัติของท่อ และดินถม รวมทั้งน้ำหนักของรถบรรทุกที่แสดงในตารางข้างต้น ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของท่อเพื่อพิจารณาอิทธิพลของน้ำหนักของรถบรรทุกเปลี่ยนแปลงต่อพฤติกรรมของท่อโดยชั้นดินถมจะพิจารณาเพียงดินชนิด SW เท่านั้น



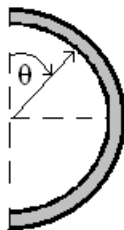
ก) คาข่ายสำหรับแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ 2 มิติ



ข) ขนาดของหลุมขุดสำหรับท่อ

ภาพที่ 7 แสดงการวิเคราะห์กรณีท่อลอดกันทาง

- $\theta = 0^\circ$ Crown
- $\theta = 45^\circ$ Shoulder
- $\theta = 90^\circ$ Spring line
- $\theta = 135^\circ$ Haunch
- $\theta = 180^\circ$ Invert



ภาพที่ 8 แสดงตำแหน่งบนท่อที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติของท่อ

EA (kN/m)	EI (kNm ² /m)	W (kN/m/m)	V
2.084×10^5	20.078	19.130	0.250

ตารางที่ 3 แสดงน้ำหนักของรถบรรทุกแต่ละประเภท

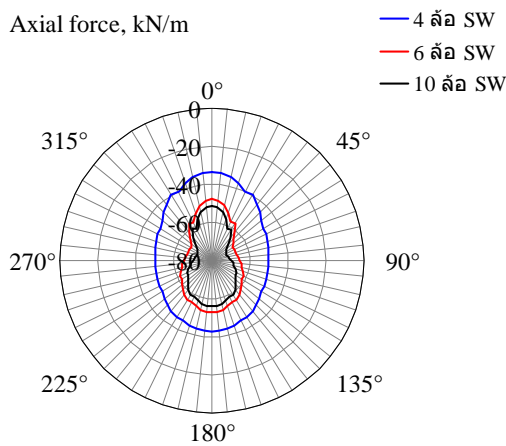
ประเภทของรถบรรทุก	ความยาวเพลา(inch)	น้ำหนักรถถ่วงลงพื้น (ton)
10 ล้อ	76.18	20
6 ล้อ	76.18	16.5
4 ล้อ	76.18	7

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของดินถม

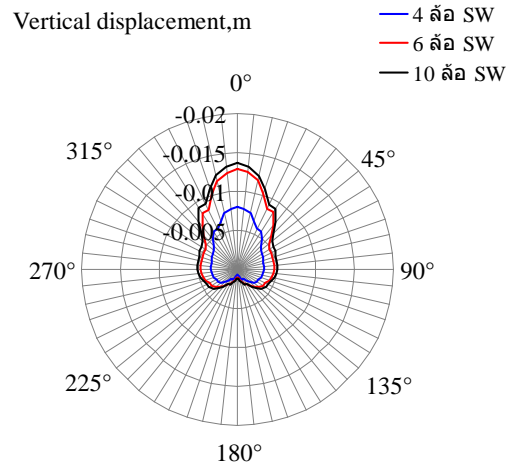
ประเภทของดิน	γ_{dry} (kN/m ³)	E (kN/m ³)	V	ϕ°
GW	21.58	13000	0.30	48
SW	18.84	7000	0.30	41
SC	18.44	7000	0.30	28

จากผลการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 9 ซึ่งภาพที่ 9ก แสดงขนาดของแรงกดที่ตั้งฉากกับพื้นผิวของท่อที่มุม θ ที่แสดงตำแหน่งบนท่อ แรงกดดังกล่าวจะตั้งฉากกับพื้นผิวของท่อและมีค่ามากที่สุดเมื่อถูกน้ำหนักรถบรรทุก 10 ล้อกดทับ โดยบริเวณที่ท่อรับแรงกดมากที่สุดจะเกิดขึ้นบริเวณจุด Shoulder ($\theta = 45^\circ$) ซึ่งบริเวณดังกล่าวแรงกดเนื่องจากน้ำหนักของรถบรรทุก 10 ล้อ 6 ล้อ และ 4 ล้อ เท่ากับ 67.92 63.70 และ 44.57 kN/m ตามลำดับ ส่วนอิทธิพลเนื่องจากน้ำหนักของรถบรรทุกที่มีต่อการเคลื่อนที่แนวตั้งของท่อสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9ข ซึ่งตำแหน่งที่มีการเคลื่อนตัวมากที่สุดคือบริเวณจุด Crown ($\theta = 0^\circ$) แต่การเคลื่อนที่บริเวณจุด Invert ($\theta = 180^\circ$) จะมีการเคลื่อนตัวน้อยมาก จากผลการวิเคราะห์การเคลื่อนที่แนวตั้งของท่อบริเวณ

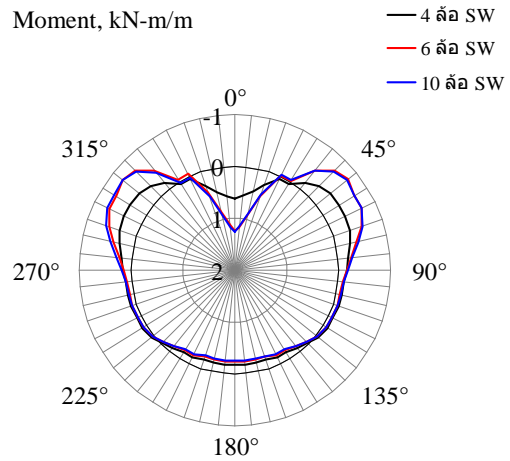
จุด Crown เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุก 10 ล้อ 6 ล้อ และ 4 ล้อ เท่ากับ 14 13 และ 8 mm ตามลำดับ ส่วนการพิจารณาโมเมนต์คัตที่เกิดบนผิวท่อจะพบว่า โมเมนต์คัตที่เกิดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุก 6 ล้อ และ 10 ล้อมีค่าใกล้เคียงกัน โดยบริเวณโมเมนต์คัตกระทำมากที่สุดจะเกิดขึ้นที่จุด Crown ($\theta = 0^\circ$) ซึ่งบริเวณดังกล่าวจะมีแรงเฉือนเท่ากับ 0 โดยโมเมนต์คัตที่เกิดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุก 10 ล้อ 6 ล้อ และ 4 ล้อ จะมีค่าเท่ากับ 1.26 1.24 และ 0.61 kN-m/m จากผลการวิเคราะห์ดังที่ได้กล่าวไปสามารถสรุปได้ว่าพฤติกรรมของท่อเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุก 10 ล้อ และ 6 ล้อ จะแสดงพฤติกรรมรับแรงกด โมเมนต์ และการเคลื่อนที่แตกต่างกันเพียงร้อยละ 1-7 เท่านั้น แต่ถ้าเปรียบเทียบพฤติกรรมดังกล่าวของท่อเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกทุก 10 ล้อ และ 4 ล้อ จะเกิดความแตกต่างกันร้อยละ 52.3-106 ซึ่งเป็นความแตกต่างที่มาก ดังนั้นอิทธิพลของขนาดบรรทุกที่มีผลต่อพฤติกรรมของท่ออย่างแน่นอน



ก) แรงกระทำต่อท่อตามแนวแกน



ข) ระยะเวลาเคลื่อนที่แนวตั้ง



ค) โมเมนต์คัต

ภาพที่ 9 อิทธิพลน้ำหนักบรรทุกต่อการแรงแนวแกน

ในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของท่อเมื่อชนิดของดินถมเปลี่ยนแปลง โดยชนิดของรถบรรทุกที่ใช้ในการศึกษาคือรถบรรทุก 10 ล้อ ซึ่งคุณสมบัติของดินถมที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยผลการวิเคราะห์จะพิจารณาเพียงจุดวิกฤติในแต่ละกรณีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จากผลการวิเคราะห์พบว่าถ้าวัสดุดินถมเป็นดินประเภท GW จะ

เพิ่มเสถียรภาพให้กับท่อ โดยดินถมประเภทดังกล่าวจะสามารถช่วยลดระยะเวลาการเคลื่อนที่แนวตั้ง แรงกด และโมเมนต์ดัดให้กับท่อได้ดีกว่าดินประเภท SW และ SC โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 108.4 23.06 และ 133.33 ตามลำดับ ดังนั้นวัสดุดินถมและคุณภาพในการบดอัดชั้นดินที่ฝังกลบมีผลต่อเสถียรภาพของท่อมาก ซึ่งถ้าบดอัดไม่ดี หรือใช้วัสดุดินกลบที่มีกำลังรับแรงเฉือนและแรงแบกทานต่ำก็จะทำให้โมเมนต์ แรงกด และการเคลื่อนที่แนวตั้งของท่อมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการใช้งานของท่อที่สั้นลงนั่นเอง

ตารางที่ 5 พฤติกรรมท่อเนื่องจากคุณสมบัติดินถม

ประเภทของดิน	โมเมนต์ kN-m/m	แรงกด kN/m	ระยะเคลื่อนแนวตั้ง, mm
จุดพิจารณา, θ°	0°	45°	0°
GW	0.6	-56.8	-7.1
SW	1.3	-68.0	-13.6
SC	1.4	-69.9	-14.8

5. สรุปผลงานวิจัย

การจำลองพฤติกรรมของท่อในห้องปฏิบัติการ 1g มาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ให้ความเชื่อถือได้พอสมควร แต่ยังคงต้องปรับปรุงในส่วนของอิทธิพลเนื่องจากข้อขนาด ส่วนพฤติกรรมของท่อที่รับแรงกดโดยตรงจะวิกฤตกว่าท่อที่รับแรงดัดเนื่องจากความเครียดบริเวณจุด Crown ของกรณีท่อรับแรงกดโดยตรงจะมีเสถียรภาพต่ำกว่ากรณีท่อรับแรงดัด ส่วนคุณภาพของดินถมและการบดอัดส่งผลโดยตรงต่อเสถียรภาพของท่อเมื่อท่อดังกล่าวถูกกดทับด้วยรถบรรทุกในช่วงที่เปิดการใช้งาน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://mwa.co.th/waterlost.html> [June 8, 2009].
- [2] Moser, A.P. 2001. Buried Pipe Design. London: McGraw-Hill.
- [3] Turan A, Hinchberger, S.D and Naggar M.H.EI 2009. Mechanical Characterization of an Artificial Clay. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol. 135. No 2. pp 281-290.
- [4] ASTM Standards 1991. Soil and Rock; Dimension Stone; Geosynthetics. Standard D 698, pp162-166.
- [5] ASTM Standards 1991. Soil and Rock; Dimension Stone; Geosynthetics. Standard D 2166, pp264-268.
- [6] <http://doh.go.th/web/hwyorg31100/pic/load02.pdf> [April 20, 2010]

การพัฒนาคอนกรีตพรุนเพื่อการระบายน้ำ

นันทชัย ชูศิลป์¹

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทำคอนกรีตพรุน ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกและสามารถระบายน้ำได้ด้วยตัวเอง เพื่อรองรับงานเทลาดจอดรถหรือพื้นถนน ทางเดิน โดยพิจารณาถึงกำลังรับแรงอัด หน่วยน้ำหนักและอัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีตพรุน ซึ่งทำจากสัดส่วนผสมคอนกรีต พรุนที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 3 ค่า คือร้อยละ 15, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 3 ค่าคือ 0.20, 0.30 และ 0.40 และใช้มวลรวมหยาบที่มีขนาดโตสุด 3 ขนาด คือ 1/2, 3/4 และ 3/8 นิ้ว ผสมเป็นคอนกรีตพรุน จากการทดสอบพบว่า คอนกรีตพรุนให้กำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้นตามปริมาณร้อยละของปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มปริมาณของปูนซีเมนต์จะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีตพรุนได้น้อยลง ค่าหน่วย น้ำหนักของคอนกรีตพรุนมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณของปูนซีเมนต์และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าหน่วย น้ำหนักของคอนกรีตพรุนมีค่าลดลงเมื่อใช้หินขนาดเล็กเป็นส่วนผสมในคอนกรีตพรุน คอนกรีตพรุนที่ใช้ทดสอบมี หน่วยน้ำหนักอยู่ในช่วงระหว่าง 1,790 – 2,230 kg/m³ และมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วงระหว่าง 27.6 – 210.9 ksc. ซึ่งสามารถใช้กับงานทำผิวทางที่รับน้ำหนักบรรทุกที่น้อยได้ โดยมีอัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีตพรุนอยู่ในช่วง 1×10^{-4} – 17×10^{-4} cms. ซึ่งสามารถที่จะระบายน้ำได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดาหลายเท่า

คำสำคัญ คอนกรีตพรุน การระบายน้ำ กำลังรับแรงอัด อัตราการไหล

1. บทนำ

คอนกรีตพรุน (Pervious Concrete) หรือเรียกอีกชื่อว่า คอนกรีตไร้มวลละเอียด (No-fines Concrete) คือคอนกรีตที่มีความพรุนมากกว่าคอนกรีตปกติ โดยน้ำสามารถไหลซึมผ่านเนื้อของคอนกรีตชนิดนี้สู่ชั้นดินที่รองรับคอนกรีตได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้น คอนกรีตพรุนจึงเหมาะในการนำไปใช้ในบริเวณพื้นที่ซึ่งต้องรองรับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาและต้องระบายลงสู่รางระบายน้ำอย่างรวดเร็ว เช่น ลานจอดรถ พื้นทางเดิน เป็นต้น โดยกำลังรับแรงของคอนกรีตชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องมีค่าความแข็งแรงที่สูงมากนัก เมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติ คอนกรีตพรุนยังไม่แพร่หลายในประเทศไทยเนื่องจาก

ยังขาดความเข้าใจในการทำงานตลอดจนความเคยชินในคอนกรีตปกติ อย่างไรก็ตามในต่างประเทศ โดยเฉพาะอังกฤษและอเมริกาได้พัฒนาคอนกรีตพรุนนี้มานานกว่า 30 ปี [1, 2] นอกจากคอนกรีตพรุนซึ่งมีความสามารถในการระบายน้ำได้อย่างรวดเร็วแล้ว คอนกรีตพรุนยังลดการสะท้อนความร้อนจากแสงอาทิตย์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ เนื่องจากภายในโครงสร้างที่มีความพรุนสูงทำให้สามารถเก็บกักความชื้นไว้ภายในตัวเนื้อคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าคอนกรีตปกติ อันจะเป็นผลดีต่อสภาพแวดล้อมโดยรวมอย่างยิ่ง หากมีการนำคอนกรีตพรุนไปใช้ให้มากขึ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณปูนซีเมนต์, ขนาดของมวลรวมหยาบ และ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีผลต่อกำลังการรับ แรงอัด, หน่วยน้ำหนัก และอัตราการไหลของน้ำผ่าน คอนกรีตพรุน โดยข้อมูลที่ได้นี้จะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตคอนกรีตพรุนที่มีคุณภาพตรงกับความต้องการ

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เลขที่ 1 ต.บ่อหยาง อ. เมือง จ.สงขลา 90000

โทรศัพท์: +66(74)-317-163 โทรสาร: +66(74)-317-163

E-mail: nuntachai.c@rmutsv.ac.th

2. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตพรุน ได้แก่ ความสามารถในการรับแรงอัด หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตพรุน และอัตราการไหลของน้ำ ผ่านคอนกรีตพรุน โดยคอนกรีตพรุนได้จากการผสมกันระหว่างซีเมนต์เพสต์และมวลรวมหยาบเท่านั้น คอนกรีตพรุนแต่ละชุดจะมีความแตกต่างกัน 3 ส่วนคือ ปริมาณของปูนซีเมนต์ในส่วนผสม ขนาดโศศุดของมวลรวมหยาบ และอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ ซึ่ง แต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

- ปริมาณของปูนซีเมนต์ ใช้เท่ากับร้อยละ 15, 20, และ 30 โดยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ

- ขนาดโศศุดของมวลรวมหยาบ ใช้เท่ากับ 3/4, 1/2, และ 3/8 นิ้ว

- อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ ใช้เท่ากับ 0.20, 0.30, และ 0.40

สัดส่วนการผสมของคอนกรีตพรุน

คอนกรีตพรุนที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการผสมโดยใช้สัดส่วนต่างๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนการผสมคอนกรีตพรุน

Sample	Stone Size (in)	W/C	Cement (%)	Materials per 1 cubic meter		
				Stone (kg)	Cement (kg)	Water (kg)
3/4-0.20-15	3/4	0.20	15	1517	228	46
3/4-0.20-20	3/4	0.20	20	1517	304	61
3/4-0.20-30	3/4	0.20	30	1517	456	92
3/4-0.30-15	3/4	0.30	15	1517	228	69
3/4-0.30-20	3/4	0.30	20	1517	304	92
3/4-0.30-30	3/4	0.30	30	1517	456	137
3/4-0.40-15	3/4	0.40	15	1517	228	92
3/4-0.40-20	3/4	0.40	20	1517	304	122
3/4-0.40-30	3/4	0.40	30	1517	456	183
1/2-0.20-15	1/2	0.20	15	1545	232	47
1/2-0.20-20	1/2	0.20	20	1545	309	62
1/2-0.20-30	1/2	0.20	30	1545	464	93
1/2-0.30-15	1/2	0.30	15	1545	232	70
1/2-0.30-20	1/2	0.30	20	1545	309	93

Sample	Stone Size (in)	W/C	Cement (%)	Materials per 1 cubic meter		
				Stone (kg)	Cement (kg)	Water (kg)
1/2-0.30-30	1/2	0.30	30	1545	464	140
1/2-0.40-15	1/2	0.40	15	1545	232	93
1/2-0.40-20	1/2	0.40	20	1545	309	124
1/2-0.40-30	1/2	0.40	30	1545	464	186
3/8-0.20-15	3/8	0.20	15	1575	237	48
3/8-0.20-20	3/8	0.20	20	1575	315	63
3/8-0.20-30	3/8	0.20	30	1575	473	95
3/8-0.30-15	3/8	0.30	15	1575	237	72
3/8-0.30-20	3/8	0.30	20	1575	315	95
3/8-0.30-30	3/8	0.30	30	1575	473	142
3/8-0.40-15	3/8	0.40	15	1575	237	95
3/8-0.40-20	3/8	0.40	20	1575	315	126
3/8-0.40-30	3/8	0.40	30	1575	473	190

3. ผลและการอภิปรายผล

คอนกรีตพูนที่ใช้หินขนาด 3/4, 1/2, และ 3/8 นิ้ว เป็นส่วนผสม แสดงไว้ในรูปที่ 1 ถึง 3 จะสังเกตได้ว่า คอนกรีตพูนจะมีความแตกต่างจากคอนกรีตปกติอย่างมาก เนื่องจากคอนกรีตพูนไม่มีมวลรวมละเอียดผสมอยู่เลย จึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวมหยาบ โดยคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบขนาดที่ใหญ่ขึ้นจะทำให้เกิดช่องว่างของคอนกรีตพูนที่มีขนาดโตมากขึ้นด้วย



ภาพที่ 1 คอนกรีตพูนที่ใช้หินขนาด 3/4 นิ้ว



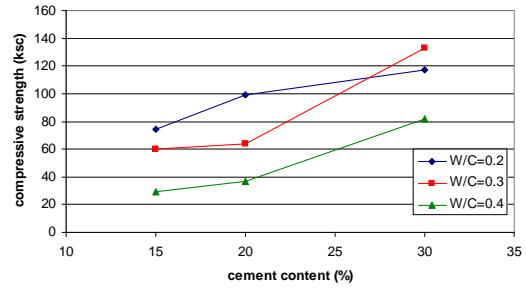
ภาพที่ 2 คอนกรีตพรุนที่ใช้หินขนาด 1/2 นิ้ว



ภาพที่ 3 คอนกรีตพรุนที่ใช้หินขนาด 3/8 นิ้ว

อิทธิพลของปริมาณปูนซีเมนต์ต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุน

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมที่มากขึ้น ดังภาพที่ 4 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณซีเมนต์มีผลกระทบโดยตรงกับปริมาณของซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ยึดอนุภาคของมวลรวมหยาบเข้าไว้ด้วยกัน กำลังการรับแรงของคอนกรีตพรุนจึงขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของซีเมนต์เพสต์ด้วย จากภาพที่ 4 พบว่าคอนกรีตพรุนที่มีปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 15 ถึง 20 จะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงเมื่อใช้อัตราส่วน w/c ที่เพิ่มขึ้น แต่คอนกรีตพรุนที่มีปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 30 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วน w/c ที่ 0.30 มีค่ากำลังอัดสูงสุด ขณะที่คอนกรีตที่ใช้อัตราส่วน w/c 0.20 และ 0.40 มีค่าที่ต่ำกว่า

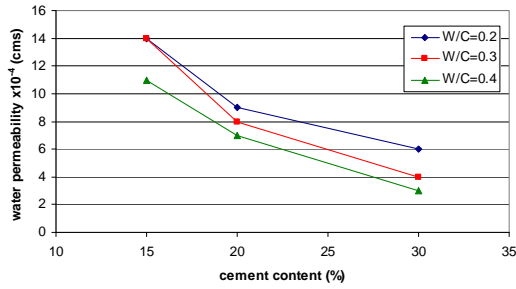


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตพรุน

ทั้งนี้ เนื่องจาก ในช่วงที่ใช้ปริมาณซีเมนต์ที่มีค่าต่ำ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนจะได้อาจการเสียดทานของอนุภาคมวลรวมหยาบมากกว่าความแข็งแรงของซีเมนต์เพสต์ แต่ในช่วงที่ใช้ปริมาณซีเมนต์ที่มีค่าสูงขึ้น กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนจะได้อาจการความแข็งแรงของซีเมนต์เพสต์มากกว่าความเสียดทานของอนุภาคมวลรวมหยาบ โดยความแข็งแรงของซีเมนต์เพสต์จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เหมาะสม ซึ่งในช่วงปริมาณการใช้ซีเมนต์ที่ร้อยละ 30 การใช้อัตราส่วน w/c ที่ 0.30 เป็นค่าที่ดีที่สุดซึ่งให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด

อิทธิพลของปริมาณปูนซีเมนต์ต่ออัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีตพรุน

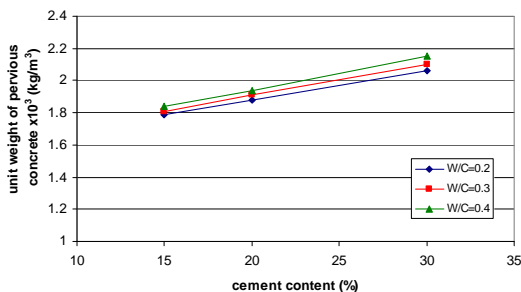
จากภาพที่ 5 พบว่าค่าอัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีต มีค่าลดลงเมื่อมีการใช้ปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตพรุนที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วน w/c ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าอัตราการไหลของน้ำผ่าน คอนกรีตพรุนมีค่าลดลงด้วย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของเพสต์ที่มากขึ้นตามสัดส่วนของน้ำที่มากขึ้นส่งผลให้ ช่องว่างของอนุภาคมวลรวมมีขนาดแคบลง ถึงแม้ว่าจะเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงน้อยแต่ก็สามารถต้านทานการไหลของน้ำได้



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนซีเมนต์และอัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีตพูน

อิทธิพลของปริมาณปูนซีเมนต์ต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตพูน

หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตพูนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสมที่สูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 6 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตพูนมีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาตรของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งมีส่วนผสมจากซีเมนต์ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 3.14 จึงส่งผลให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตพูนเพิ่มขึ้น

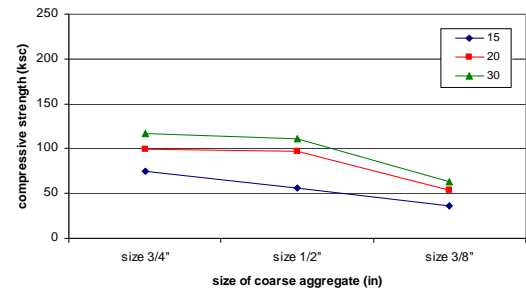


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนซีเมนต์และหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตพูน

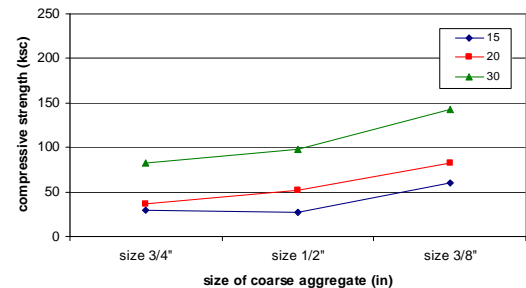
อิทธิพลของขนาดมวลรวมหยาบต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูน

คอนกรีตพูนที่ผสมด้วยมวลรวมหยาบที่มีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง เมื่อใช้อัตราส่วน w/c ที่ 0.20 ดังแสดงในภาพที่ 7 แต่ปรากฏการณ์นี้เกิดในทางตรงกันข้ามกันเมื่อคอนกรีตพูนใช้อัตราส่วน w/c ที่ 0.40 ดังแสดงในภาพที่ 8 จากทั้งสอง

รูปพบว่าคอนกรีตพูนที่ใช้มวลรวมขนาด 3/4" ถึง 1/2" มีการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงอัดเพียงเล็กน้อย เนื่องจากกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนกลุ่มนี้ได้รับอิทธิพลจากการเสียดทานของอนุภาคมวลรวมเป็นหลัก ส่วนคอนกรีตพูนที่ใช้มวลรวมขนาด 3/8" เป็นส่วนผสมจะได้รับอิทธิพลจากความแข็งแรงของซีเมนต์เพสต์เป็นหลัก โดยคอนกรีตกลุ่มนี้เมื่อใช้อัตราส่วน w/c ที่ 0.20 จะมีปริมาณน้ำที่ไม่เพียงพอต่อความแข็งแรงของซีเมนต์เพสต์เนื่องจากปริมาณน้ำส่วนหนึ่งต้องสูญเสียไปในการใช้เคลือบมวลรวมหยาบขนาดเล็กซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะที่มากกว่ามวลรวมหยาบที่มีขนาดใหญ่กว่า สำหรับคอนกรีตที่ใช้ w/c ที่ 0.40 จะมีปริมาณน้ำที่เพียงพอทั้งในการเคลือบผิวของมวลรวมและใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีความแข็งแรงขึ้นมากกว่าส่วนผสมที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดโตกว่า



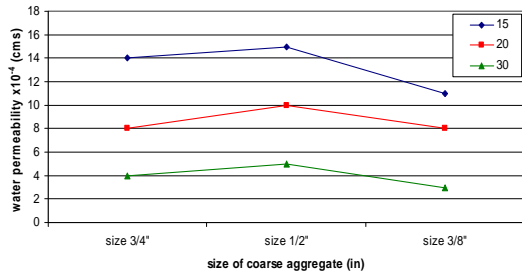
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมวลรวมหยาบและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูน ที่ w/c = 0.20



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมวลรวมหยาบและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูน ที่ w/c = 0.40

อิทธิพลของขนาดมวลรวมหยาบต่ออัตราการไหลของน้ำผ่าน คอนกรีตพรุน

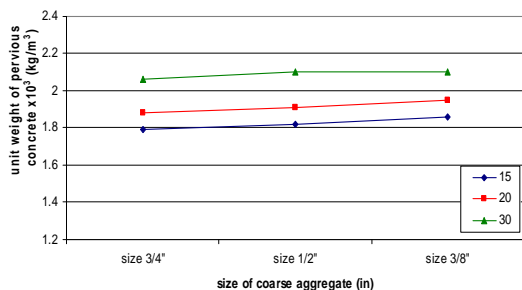
คอนกรีตพรุนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาดเล็กกลเป็นส่วนผสมมีแนวโน้มที่จะให้ค่าอัตราการไหลของน้ำผ่าน คอนกรีตมีค่าที่ต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากช่องว่างของอนุภาคมวลรวมที่มีขนาดเล็ก จึงส่งผลให้น้ำไหลผ่านได้ในปริมาณที่ต่ำลง ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมวลรวมหยาบและอัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีต

อิทธิพลของขนาดมวลรวมหยาบต่อหน่วยน้ำหนักของ คอนกรีต พรุน

คอนกรีตพรุนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาดเล็กจะมีแนวโน้มส่งผลให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 10 ทั้งนี้เนื่องจากมวลรวมหยาบที่มีขนาดเล็กจะมีค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อหน่วยปริมาตรมากกว่ามวลรวมหยาบขนาดใหญ่ ทำให้ต้องใช้ปริมาณมากกว่าต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต หน่วยน้ำหนักจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมวลรวมหยาบและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตพรุน

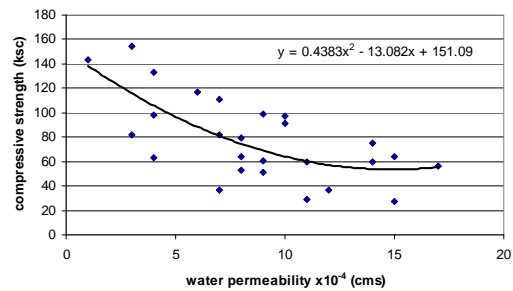
ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีตพรุน

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีตพรุน ดังแสดงในภาพที่ 11 สามารถเขียนความสัมพันธ์เป็นสมการได้ คือ

$$y = 0.43x^2 - 13.08x + 151.09$$

เมื่อ ค่า y คือ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (ksc) และ

ค่า x คือ อัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีตพรุน $\times 10^{-4}$ (cms)



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีตพรุน

4. สรุปผลการวิจัย

จากการการวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. คอนกรีตพรุนมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตพรุนที่มากขึ้น
2. อัตราการไหลของน้ำผ่านเนื้อของคอนกรีตพรุนมีค่า เพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตพรุนที่ลดลง
3. ค่าหน่วย น้ำหนักของคอนกรีตพรุนมีค่าสูงขึ้น เมื่อ ปริมาณของปูนซีเมนต์และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าหน่วย น้ำหนักของคอนกรีตพรุนมี ค่าลดลงเมื่อใช้มวลรวมหยาบขนาดเล็กเป็นส่วนผสมในคอนกรีตพรุน
4. หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตพรุนที่ได้จากการวิจัยมี ค่า ระหว่าง 1,790 – 2,230 kg/m³ และมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 27.6 – 210.9 ksc ซึ่งสามารถนำคอนกรีตไปใช้กับงานทำผิวทางหรือพื้นลานจอดรถที่รับน้ำหนักที่ไม่สูงมากนักได้

5. อัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีตพรุนที่ได้จากการวิจัยมีค่าระหว่าง 1×10^{-4} ถึง 17×10^{-4} cms ซึ่งสามารถระบายน้ำได้ดีกว่าคอนกรีตปกติหลายเท่า

6. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีตพรุนสามารถเขียนเป็นสมการ ได้คือ $y = 0.43x^2 - 13.08x + 151.09$ เมื่อค่า y คือ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (ksc) และค่า x คือ อัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีตพรุน $\times 10^{-4}$ (cms)

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] American Concrete Institute (ACI), 2006. Pervious Concrete (522R-06), Farmington Hills, Michigan.
- [2] Concrete Deliver, 2010. Pervious Concrete When It Rains It Drains. [Online] Available :<http://www.perviouspavment.org/>

- [3] Yang. Z., Ma. W., Shen. W., and Zhou. M., 2008. The Aggregate Gradation for the Porous Concrete Pervious Road Base Material. Journal of Wuhan University of Technology-Mater., Sci. Ed, pp. 391-394.
- [4] Chindapasirt. P., Hatanaka. S., Chareerat. T., Mishima. N., and Yuasa. Y., 2008. Cement paste characteristics and porous concrete properties. Construction and Building Materials. Vol. 22. pp. 894-901.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยสงขลา ที่ให้การสนับสนุน ทั้งทางด้านอุปกรณ์เครื่องมือ และสถานที่ เพื่ออำนวยความสะดวกให้ งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ศึกษาเปรียบเทียบการรับกำลังของแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกัมมะถัน

พิชญุตม์ จรัสบำรุงโรจน์¹

บทคัดย่อ— การนำกัมมะถันมาผสมทดแทนแอสฟัลท์ซีเมนต์เกรด 80 – 100 ในอัตราส่วนต่างๆ กัน ระหว่างกัมมะถันต่อแอสฟัลท์ โดยน้ำหนักคือ 10 : 90 20 : 80 30 : 70 และ 40 : 60 ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่า ค่าการทะลวง มีค่าได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน ค่าการยึดตัวมีค่าได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน ค่าจุดวาบไฟ มีค่าได้ตามเกณฑ์มาตรฐานค่าเสถียรภาพ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานค่าการไหล ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน กำลังอัด มีค่าสูงกว่าอัตราส่วนผสมปกติ กำลังดึงมีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนผสมปกติ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น มีค่าสูงกว่าอัตราส่วนผสมปกติ ต้นทุนการผลิตได้ต้นทุนการผลิต 33.00 34.28 35.55 และ 76.82 บาทต่อตารางเมตร ตามลำดับ การวิจัยพบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างกัมมะถันต่อแอสฟัลท์ โดยน้ำหนักคือ 10:90 มีคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกล โมดูลัสยืดหยุ่นและต้นทุนการผลิตได้ตามเกณฑ์มาตรฐานและเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในงานจริง

คำสำคัญ แอสฟัลท์ คอนกรีต กัมมะถัน

1. บทนำ

จากวิกฤติการณ์น้ำมันเชื้อเพลิงในปี พ.ศ. 2513 เป็นการกระตุ้นเตือนให้มีการนำน้ำมันดิบขึ้นมาใช้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น และเพื่อเป็นการสงวนรักษาแหล่งทรัพยากรน้ำมันดิบที่มีปริมาณอย่างจำกัด จึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามาปรับปรุงกระบวนการ การผลิตน้ำมันให้ทันสมัยมากขึ้น รวมไปถึงการจะกลั่นเอาน้ำมันที่มีน้ำหนักที่เบาให้มีปริมาณมากขึ้น และเหลือส่วนที่เป็นกากน้ำที่นำไปทำแอสฟัลท์น้อยลงและกัมมะถันได้จากการสกัดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) จากแหล่งต่างๆ เช่น จากโรงกลั่นน้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรม ที่ใช้ถ่านหินลิกไนต์ และน้ำมันเตาที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานให้แก่โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ อีกทั้งประเทศไทยกำลังพัฒนาไปสู่ความเป็น

ประเทศอุตสาหกรรม อันจะส่งผลให้ปริมาณกัมมะถันมีปริมาณมากขึ้น การพัฒนาประเทศส่งผลให้การเดินทางสัญจรทางถนนเพิ่มขึ้น ทำให้ถนนแอสฟัลท์คอนกรีตที่ใช้สำหรับสัญจรเกิดความเสียหายเป็นจำนวนมาก

การวิจัยครั้งนี้จึงทำการศึกษาแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกัมมะถัน เพื่อนำอัตราส่วนที่เหมาะสมมาใช้ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลท์คอนกรีตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลท์ซีเมนต์ปกติกับแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกัมมะถัน
2. ศึกษาผลกระทบของน้ำต่อคุณสมบัติทางกลของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกัมมะถัน
3. ศึกษาผลกระทบความเป็นกรด และเป็นด่างของน้ำต่อคุณสมบัติทางกลของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกัมมะถันทางด้านกำลังรับแรงอัด

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถ.พัฒนาการ แขวงสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250
โทรศัพท์: +66(2)-321-6930 โทรสาร: +66(2)-321-6930
E-mail: b_pichayut@yahoo.com

4. ศึกษาเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกล และ โมดูลัสยืดหยุ่นของแอสฟัลท์ คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกำมะถัน

5. ศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตของ แอสฟัลท์ คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกำมะถัน

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติแอสฟัลท์ซีเมนต์ปกติใช้เกรด 80 – 100 กับแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพใช้ เกรด 80 – 100 ผสมกับกำมะถันในอัตราส่วนต่างๆกัน โดยน้ำหนัก คือ กำมะถัน : แอสฟัลท์ เท่ากับ 10 : 90 20 : 80 30 : 70 40 : 60 ตามลำดับ จำนวน 5 ตัวอย่าง ต่อหนึ่งอัตราส่วน

1. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพในด้าน
 - 1.1 ค่าการทะลวง (Penetration)
 - 1.2 การยืดตัว (Ductility)
 - 1.3 จุดวาบไฟ (Flash Point)
2. ศึกษาผลกระทบของน้ำต่อคุณสมบัติทางกล
 - 2.1 เสถียรภาพการไหล (Stability and Flow)
 - 2.2 กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength)
 - 2.3 กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)
3. ศึกษาผลกระทบความเป็นกรดและเป็นด่างของน้ำต่อคุณสมบัติทางกลของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตที่ผสมกับกำมะถัน โดยทดสอบหาค่าการรับกำลังอัด และใช้ค่า pH ของน้ำเท่ากับ 4 7 10 ตามลำดับ
4. ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกล และ โมดูลัสยืดหยุ่นของแอสฟัลท์ คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกำมะถัน
5. ศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตของแอสฟัลท์ คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกำมะถัน โดยทำการคิดราคาต่อตารางเมตรที่ความหนา 5 เซนติเมตร

ประโยชน์ของการวิจัย

1. รู้คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกล โมดูลัสยืดหยุ่นของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์ คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกำมะถัน
2. ผลกระทบความเป็นกรดและเป็นด่างของน้ำ ต่อคุณสมบัติทางกลของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับ แอสฟัลท์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกำมะถัน
3. สามารถออกแบบส่วนผสมแอสฟัลท์คอนกรีต ผสมกับกำมะถัน ได้สัดส่วนที่เหมาะสม ทำให้ช่วย ประหยัดเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน และลดความ หนาของชั้นผิวทางลงได้

2. วิธีการวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น การทดสอบ ค่าการทะลวง การทดสอบการยืดตัวและการทดสอบ จุดวาบไฟ
2. ศึกษาคุณสมบัติทางกล เช่น การทดสอบ เสถียรภาพ และการไหล การทดสอบ โมดูลัส กำลัง รับแรงดึง และการทดสอบกำลังรับแรงอัด
3. ศึกษาผลกระทบของความเป็นกรด – ด่าง ของ น้ำต่อคุณสมบัติทางกลของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติ กับ แอสฟัลท์คอนกรีตด้วยกำมะถัน
4. ศึกษาต้นทุนการผลิตแอสฟัลท์คอนกรีตปกติ กับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกำมะถัน

3. ผลและการอภิปรายผล

1. คุณสมบัติทางกายภาพ
 - 1.1 ผลการทดสอบค่าการทะลวงจะเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของกำมะถันที่ผสมในแอสฟัลท์เพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน
 - 1.2 ผลการทดสอบค่าการยืดตัวของแอสฟัลท์ มีค่าลดลงเมื่อกำมะถันผสมในแอสฟัลท์ลดลง ซึ่งมีค่า ต่ำกว่ามาตรฐาน
 - 1.3 ผลการทดสอบจุดวาบไฟของแอสฟัลท์มี ค่าลดลงเมื่อกำมะถันผสมในแอสฟัลท์เพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่า สูงกว่าค่ามาตรฐาน

2. คุณสมบัติทางกล

2.1 ผลการทดสอบเสถียรภาพและการไหลของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกำมะถันพบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าเสถียรภาพและการไหลมีค่าเกินมาตรฐาน ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าเสถียรภาพและการไหลมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

2.2 ผลการทดสอบกำลังอัดของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกำมะถันพบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่ากำลังอัดสูงกว่าอัตราส่วนผสมปกติ ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่ากำลังอัดสูงกว่าอัตราส่วนผสมปกติ

2.3 ผลการทดสอบกำลังดึงของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกำมะถันพบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่ากำลังดึงต่ำกว่าอัตราส่วนผสมปกติ ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่ากำลังดึงต่ำกว่าอัตราส่วนผสมปกติ

3. ผลกระทบความเป็นกรด – ด่างของน้ำต่อคุณสมบัติทางกลของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกำมะถัน

3.1 ผลการทดสอบเสถียรภาพ และค่าการไหลของแอสฟัลท์คอนกรีต พบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า pH 4 มีค่าเสถียรภาพและอัตราการไหลสูงกว่ามาตรฐาน ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่า pH 10 มีค่าเสถียรภาพและอัตราการไหลสูงกว่ามาตรฐาน

3.2 ผลการทดสอบกำลังอัดของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกำมะถันพบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า pH 4 รับกำลังอัดสูงกว่าอัตราส่วนผสมปกติ ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่า pH 10 รับกำลังอัดสูงกว่าอัตราส่วนผสมปกติ

3.3 ผลการทดสอบกำลังดึงของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกำมะถันพบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า pH 4 รับกำลัง

ดึงต่ำกว่าอัตราส่วนผสมปกติ ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่า pH 10 รับกำลังดึงต่ำกว่าอัตราส่วนผสมปกติ

3.4 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกำมะถันพบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า pH 4 และ pH 10 มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าอัตราส่วนผสมปกติ ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่า pH 4 และ pH 10 มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าอัตราส่วนผสมปกติ

4. ต้นทุนการผลิตแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกำมะถัน พบว่าต้นทุนการผลิตอัตราส่วนปกติถูกกว่าอัตราส่วนที่มีกำมะถันผสมอยู่

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกำมะถัน เกรด 80/100 ดังนี้

1. คุณสมบัติทางกายภาพ

1.1 ค่าการทะลวงของแอสฟัลท์ เพิ่มขึ้นตามปริมาณของกำมะถันที่ผสมในแอสฟัลท์ ซึ่งทำให้ความชื้นเหลวของแอสฟัลท์ลดลง

1.2 ค่าความยืดตัวของแอสฟัลท์มีค่าลดลงเมื่อปริมาณกำมะถันผสมในแอสฟัลท์มากขึ้น

1.3 จุดวาบไฟของแอสฟัลท์ มีค่าลดลงเมื่อปริมาณกำมะถันผสมในแอสฟัลท์มากขึ้น เนื่องจากกำมะถันมีจุดวาบไฟต่ำ

2. คุณสมบัติทางกล

2.1 เสถียรภาพและค่าการไหลของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกำมะถันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าเสถียรภาพและการไหลตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าเสถียรภาพและการไหลตามต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

2.2 กำลังอัดของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกัมมะถันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีกำลังอัดสูงกว่าอัตราส่วนผสมปกติ ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีกำลังอัดสูงกว่าอัตราส่วนผสมปกติ

2.3 กำลังดึงของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกัมมะถันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีกำลังดึงต่ำกว่าอัตราส่วนผสมปกติ ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีกำลังดึงต่ำกว่าอัตราส่วนผสมปกติ

3. ผลกระทบความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่มีต่อคุณสมบัติทางกลของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกัมมะถัน

3.1 เสถียรภาพและค่าการไหลของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกัมมะถันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า pH 4 และ pH 10 มีค่าเสถียรภาพและค่าการไหลสูงกว่าค่ามาตรฐาน ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่า pH 4 และ pH 10 มีค่าเสถียรภาพและค่าการไหลสูงกว่าค่ามาตรฐาน

3.2 กำลังอัดของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกัมมะถันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า pH 4 และ pH 10 มีค่ากำลังอัดสูงกว่าอัตราส่วนผสมปกติ ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่า pH 4 และ pH 10 มีค่ากำลังอัดสูงกว่าอัตราส่วนผสมปกติ

3.3 กำลังดึงของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกัมมะถันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า pH 4 และ pH 10 มีค่ากำลังดึงต่ำกว่าอัตราส่วนผสมปกติ ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่า pH 4 และ pH 10 มีค่ากำลังดึงต่ำกว่าอัตราส่วนผสมปกติ

3.4 ค่าโมดูลัสยึดหยุ่นของแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกัมมะถันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า pH 4 และ pH 10 มีค่าโมดูลัส

ยึดหยุ่นสูงกว่าอัตราส่วนผสมปกติ ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่า pH 4 และ pH 10 มีค่าโมดูลัสยึดหยุ่นสูงกว่าอัตราส่วนผสมปกติ

3.5 ต้นทุนการผลิตแอสฟัลท์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกัมมะถัน พบว่าอัตราส่วนปกติมีต้นทุนสูงกว่าอัตราส่วนที่มีกัมมะถันผสมอยู่

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] วชิรินทร์ วิทยากุล. 2529. *คู่มือปฏิบัติ การวัสดุแอสฟัลท์ และแอสฟัลท์คอนกรีต*. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์. 2528. *แอสฟัลท์เทคโนโลยีและการปฏิบัติงานก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์. วิชา เพียรวิจิตร และคณะ. 2524. *วัสดุก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ : พิมพ์ที่ บารมีการพิมพ์.
- [2] Courcal, G.J. and W. Akili. 1982. *Sulphur-Asphalt binder properties determined by the sliding plate theometer*. Proc. of the Ass. of Asphalt paving technol.
- [3] Davis, J.R. and R.N. Walker. 1969. *An investigation on the permeability of asphalt mixes*. D.H.O. Rep.
- [4] Fromm, H.J. 1974. *The mechanism of asphalt stripping from aggregate surface*. Proc. of the Ass. of asphalt paving technol.
- [5] Gregg, S.J. and K.S.W. Sing. 1967. *Adsorption, Surface Area and Porosity*. Academic Press.
- [6] Hass, R., G.A. Kennepol and T.W. Kennedy. 1980. *Sulfur asphalt pavements from experiment to full-scale Viability*. Australian Road Res. Board Proc.
- [7] James, M.R. 1958. *Relationship of aggregate characteristics to the effect of Water an bituminous paving mixture*. Special Tec. Pub.

- [8] Swaminathan, C.G. 1958. *Adhesion between bituminous binder and road stones*. Road Res. Paper No.12.
- [9] Tancerananon, P. 1984. *The use of sulfur in bituminous binder*. Final Rep. Dep. Civil Eng. Prince of Songkla Univ., Songkla.
- [10] The Asphalt Institute. 1965. *The Asphalt hand book*. College Park, Md. The Insitute

อิฐบล็อกประสานผสมตะกอนจากระบบประปา

จรูญ เจริญเนตรกุล

บทคัดย่อ— บทความนี้กล่าวถึงการนำดินตะกอนจากระบบการผลิตน้ำประปามาเป็นวัสดุผสมรวมละเอียดทดแทนดินลูกรังบางส่วนในการผลิตอิฐบล็อกประสาน โดยศึกษาอัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ต่อทรายละเอียดต่อดินลูกรังต่อดินตะกอนจากระบบการผลิตน้ำประปาโดยน้ำหนัก ดังนี้ 1:2:(4:0) 1:2:(3:1) 1:2:(2:2) 1:2:(1:3) และ 1:2:(0:4) ทดสอบการรับกำลังอัดที่อายุ 28 วัน และการดูดกลืนน้ำ เปรียบเทียบค่าที่ได้กับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน มพช.602/2547 จากผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนผสม 1:2:(3:1) มีกำลังอัดเฉลี่ย 8.98 MPa และค่าการดูดกลืนน้ำเท่ากับ 196.04 kg/m^3 ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน มพช.602/2547 ชนิดรับน้ำหนัก ส่วนอัตราส่วนผสม 1:2:(2:2) และ 1:2:(1:3) มีกำลังอัดเฉลี่ย 4.7 และ 3.10 MPa ตามลำดับผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน มพช.602/2547 ชนิดไม่รับน้ำหนัก จากผลการศึกษาดังกล่าวได้ว่าดินตะกอนจากระบบการผลิตน้ำประปาสามารถใช้ทดแทนดินลูกรังบางส่วนได้ในการผลิตอิฐบล็อกประสาน อัตราส่วน 1:2:(3:1) มีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้งาน

คำสำคัญ: ดินตะกอนจากระบบการผลิตน้ำประปา กำลังอัด การดูดกลืนน้ำ

1. บทนำ

อิฐบล็อกประสานเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ได้รับคามนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน โดยเน้นการใช้วัสดุดิบในพื้นที่ เช่น ดินลูกรัง หินฝุ่น ทราย หรือวัสดุเหลือทิ้งต่าง ๆ ที่มีความเหมาะสม ผสมกับปูนซีเมนต์ และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมนำมาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแห้ง บ่มด้วยความชื้นให้แข็งตัว จะได้บล็อกประสานที่มีความแข็งแรงสามารถนำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารในระบบผนังรับน้ำหนักหรือก่อสร้างเป็นถังเก็บน้ำได้อย่างรวดเร็ว สวยงามและประหยัด

การผลิตน้ำประปานั้นจะต้องใช้น้ำดิบที่มาจากแหล่งน้ำต่าง ๆ เช่น แม่น้ำ หรือ อ่างเก็บน้ำ ซึ่งในการ

นำน้ำดิบมาผลิตน้ำประปานั้นจะมีกระบวนการต่าง ๆ ที่ทำให้น้ำดิบจากแหล่งน้ำต่าง ๆ ตกตะกอน หรือแยกสารอินทรีย์หรือสิ่งเจือปนที่มากับน้ำดิบออกจากน้ำก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนการอื่นต่อไป ซึ่งทำให้มีวัสดุที่เหลือจากระบบผลิตน้ำประปาคือตะกอนประปา และในปัจจุบันตะกอนจากระบบการผลิตน้ำประปาจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่ผลิต และความขุ่นของน้ำที่เพิ่มขึ้น หลังจากจบกระบวนการผลิตน้ำประปาแล้ว ตะกอนจะถูกลำเลียงมาเก็บไว้ที่ Sludge lagoon เพื่อรอเวลาที่จะทำการขุดลอกไปทิ้งต่อไป ซึ่งจะเป็นปัญหาด้านมลภาวะที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต ปัจจุบันตะกอนจากระบบการผลิตน้ำประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่ผลิตในแต่ละปีการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่[1] ใน 1 เดือน (ประมาณ 2 ล้านลูกบาศก์เมตร) จำนวนผู้ใช้น้ำทั้งหมด 51,582 ราย กำลังผลิตที่ใช้งาน 144,000 ลบ.ม./วัน จะมีปริมาณดินตะกอน 50,000-70,000 กิโลกรัม

¹สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ต. บ่อยาง อ. เมือง จ. สงขลา 90000 โทรศัพท์: +66(7)-432-4246

ดังนั้น เมื่อพิจารณาถึงปัญหาดังกล่าว จึงศึกษาหาวิธีในการใช้ตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นส่วนผสมกับดินลูกรัง ทราขละเอี๊ยดและซีเมนต์ในการทำอิฐบล็อกประสาน เพื่อลดปริมาณตะกอนที่มีการเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และแปรรูปตะกอนให้เป็นทรัพยากรที่มีมูลค่า



ภาพที่ 1 ตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา

2. วิธีการวิจัย

2.1 ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุรวม

1) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของดินลูกรัง และดินตะกอนประปา

2) ขนาดของเม็ดดิน และการกระจายส่วนคละของดินลูกรัง และดินตะกอนประปา

2.2 ผลติอิฐบล็อกประสาน

2.2.1 เครื่องมือและเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตและทดสอบ

1) เครื่องทดสอบกำลังอัด (Testing Machine) ดังภาพที่ 2 (ข)

2) เครื่องอัดอิฐบล็อกประสานแบบไฮดรอลิก ดังภาพที่ 2 (ก)

3) แท่งกระทุ้ง (Flow Table)

4) เครื่องผสมมาตรฐาน เป็นชนิดที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า เป็นตามมาตรฐาน ASTM Designation C-305

5) เครื่องชั่ง อ่านได้ละเอียด ถึง 0.1 กรัม

6) กระจกตวง (Measuring Cylinder)

7) ตะแกรง (Sieve) ตะแกรงมาตรฐาน ASTM เบอร์ 4 เบอร์ 8

8) เกรียง (Trowel) ทำด้วยเหล็กแบน มีขอบสันเกรียงเป็นเส้นตรง

9) เวอร์เนีย (Vemier Caliper) ขนาดวัดระยะได้ 8-10 นิ้ว



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 (ก) เครื่องอัดบล็อกประสานแบบไฮดรอลิก

(ข) เครื่อง Universal Testing Machine

2.2.2 อัตราส่วนผสมและจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้ได้ทดลองอัตราส่วนผสมและตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 3 วัสดุที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสาน

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสม(โดยน้ำหนัก) ปูนซีเมนต์ :

ทรายละเอียด : ดินลูกรัง : ดินตะกอนประปา

อัตราส่วนผสม	ปูนซีเมนต์ (kg)	ทราย (kg)	ส่วนที่เป็นดิน(kg)	
			ดินลูกรัง	ตะกอน
1 : 2 : (4 : 0)	5	10	20	0
1 : 2 : (3 : 1)	5	10	15	5
1 : 2 : (2 : 2)	5	10	10	10
1 : 2 : (1 : 3)	5	10	5	15
1 : 2 : (0 : 4)	5	10	0	20

ตารางที่ 2 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

อัตราส่วนผสม	จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ(ก้อน)			
	ความชื้น	การดูดกลืนน้ำ	กำลังอัด	รวม
1 : 2 : (4 : 0)	5	5	5	15
1 : 2 : (3 : 1)	5	5	5	15
1 : 2 : (2 : 2)	5	5	5	15
1 : 2 : (1 : 3)	5	5	5	15
1 : 2 : (0 : 4)	5	5	5	15
รวมทั้งหมด				75

2.2.3 ขั้นตอนการผลิตอิฐบล็อกประสาน

1) การเตรียมดินตะกอน ตะกอนที่นำขึ้นมาจากบ่อเก็บตะกอนจะมีลักษณะเปียกชุ่ม ดังนั้นต้องนำตะกอนมาตากให้แห้งเสียก่อน จากนั้นเมื่อตะกอนแห้งจะจับตัวเป็นก้อนแข็ง จึงต้องใช้ค้อนตีตะกอนให้มีขนาดเล็ก ขนาดประมาณ 1-2 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำเข้าเครื่อง Los Angeles จนตะกอนประปามีขนาดเล็กสามารถผ่าน Sieve No.4 ได้

2) การเตรียมดินลูกรัง ดินลูกรังที่นำมาต้องมีก้อนขนาดใหญ่ และมีความชื้น จึงต้องใช้ค้อนตีดินให้มีขนาดเล็กขนาดประมาณ 1-2 เซนติเมตร แล้วนำเข้าเตาอบ

อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเข้าเครื่อง Los Angeles จนดินลูกรังมีขนาดเล็กสามารถผ่าน Sieve No.4 ได้

3) การดวงส่วนผสม ผสมทั้งดินตะกอน ดินลูกรัง ทราย และปูนซีเมนต์ซึ่งการดวงส่วนผสมใช้ดวงโดยน้ำหนัก โดยเทียบน้ำหนักส่วนผสมจากน้ำหนักดินลูกรังตามอัตราส่วน เมื่อได้ส่วนผสมแต่ละอัตราส่วนแล้วผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันอย่างทั่วถึงโดยปริมาณน้ำที่ใช้ประมาณ 15 % ของน้ำหนักมวลรวมทั้งหมด

4) การขึ้นรูปโดยการใช้เครื่องอัดอิฐบล็อกประสานแบบไฮดรอลิก ใช้อัตราบดต้นด้วยมอเตอร์ และได้พัฒนาเครื่องช่วยเพิ่มกำลังอัดให้สูงขึ้นหลังจากนั้นแล้วบรรจุดินในเครื่องอัด โดยเมื่ออัดแล้วอิฐบล็อกประสานยังคงมีความหนาแน่นตามต้องการ ควรใช้ส่วนผสมให้หมดภายใน 30 นาที หลังจากผสมน้ำ



ภาพที่ 4 อิฐบล็อกประสานที่ได้จากการอัด

5) การบ่มด้วยความชื้น หลังจากอัดเป็นก้อนแล้วควรฝังในที่ร่มอย่างน้อย 1 วัน จึงเริ่มทำการบ่มโดยให้ความชื้นจนอายุครบ 28 วัน



(ก) อัตราส่วน 1 : 2 (ข) อัตราส่วน 1 : 2



(ค) อัตราส่วน 1 : 2 (ง) อัตราส่วน 1 : 2



(ค) อัตราส่วน 1 : 2

ภาพที่ 5 บล็อกประสานที่ได้จากอัตราส่วนผสมต่างๆ

2.2.4 ทดสอบอิฐบล็อกประสาน

ในการทดสอบจะใช้เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน มพช.602/2547 [1] ดังนี้

1) การทดสอบความหนาแน่น (Density Test)

สุ่มตัวอย่างอิฐบล็อกประสาน 5 ก้อน มาวัดขนาดและชั่งน้ำหนัก

2) การทดสอบความชื้น (Moisture Content Test)

นำอิฐ 5 ก้อน ไปชั่งน้ำหนักที่ละชิ้นและจดบันทึกไว้ นำอิฐเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ $105^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ นาน 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักอิฐแห้งคำนวณปริมาณความชื้น

3) การทดสอบการดูดกลืนน้ำ (Absorption Test)

ใช้น้ำหนักอบแห้ง (Ws) จากทดสอบความชื้นหรือเตรียมมอบอิฐให้แห้งในลักษณะเดียวกันแช่อิฐให้จมน้ำในน้ำนาน $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง เอาขึ้นมาแล้วใช้ผ้าเช็ดให้แห้งโดยรอบอย่างรวดเร็ว และชั่งน้ำหนัก (W') นำอิฐตามข้อที่ 2 แช่น้ำต่อไปจนครบ 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักอีกคำนวณการดูดกลืนน้ำ

4) การทดสอบการรับแรงอัด (Compression Test of Brick)

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุรวม

ตารางที่ 3 คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุรวม

วัสดุ	คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุรวม		
	GS	Cu(mm)	Cc(mm)
ดินลูกรัง	2.63	0.17	1.09
ดินตะกอน	2.48	0.12	1.30

จากผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุรวม ข้อมูลจากตารางที่ 3 เป็นพื้นฐานนี้จะนำไปเป็นข้อมูลในการออกแบบอิฐบล็อกประสานที่ใช้ในการศึกษา



ภาพที่ 6 บล็อกประสานก่อ 5 ชั้นเพื่อทดสอบกำลังอัด

3.2 ผลทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำและความหนาแน่น

จากการทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำและความหนาแน่น เมื่อดินลูกรังถูกแทนที่ด้วยดินตะกอนประเภทในอัตราส่วนที่ใช้ในการศึกษา ได้ดัง ตารางที่ 4 และ 5 ค่าที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน (มพช.602/2547)

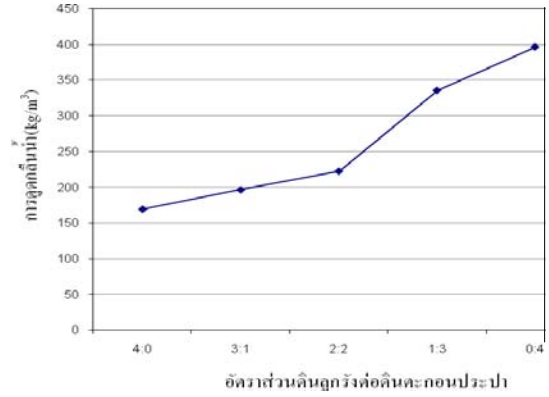
ตารางที่ 4 ค่าความหนาแน่นของอิฐบล็อกประสานตามอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

อัตราส่วนผสม	ความหนาแน่น (kg/m^3)
1 : 2 : (4 : 0)	1777.02
1 : 2 : (3 : 1)	1668.80
1 : 2 : (2 : 2)	1439.28
1 : 2 : (1 : 3)	1340.27
1 : 2 : (0 : 4)	1156.29

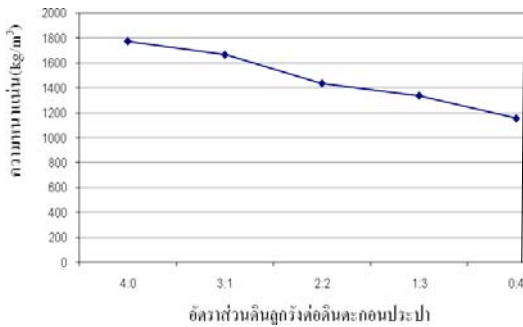
ตารางที่ 5 ค่าการดูดกลืนของอิฐบล็อกประสานตามอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

อัตราส่วนผสม	การดูดกลืนน้ำ (kg/m^3)
1 : 2 : (4 : 0)	169.41
1 : 2 : (3 : 1)	196.54
1 : 2 : (2 : 2)	222.53
1 : 2 : (1 : 3)	335.36
1 : 2 : (0 : 4)	396.10

มากขึ้นด้วย โดยอัตราส่วนดินลูกรังต่อดินตะกอนประปา (3:1) มีความดูดกลืนน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 196.04 kg/m^3 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน (มผช.602/2547) ชนิดรับน้ำหนัก



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนน้ำกับความหนาแน่นของอิฐบล็อกประสานที่อัตราส่วนต่างๆ

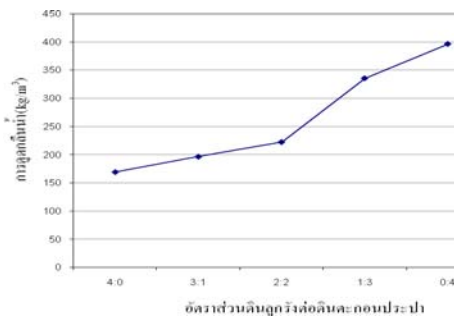


4.3 ผลทดสอบกำลังอัดของอิฐบล็อกประสาน

ผลการทดสอบกำลังอัดของอิฐบล็อกที่อายุ 28 วัน เป็นไปตาม ตารางที่ 6

ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วนดินลูกรังต่อดินตะกอนประปา

ตารางที่ 6 ค่าการทดสอบกำลังอัดของอิฐบล็อกประสานผสมดินตะกอนประปา



อัตราส่วนผสม	ค่าเฉลี่ยกำลังอัดอิฐบล็อกประสาน (MPa)
1 : 2 : (4 : 0)	8.83
1 : 2 : (3 : 1)	8.98
1 : 2 : (2 : 2)	4.70
1 : 2 : (1 : 3)	3.10
1 : 2 : (0 : 4)	1.69

ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนน้ำกับอัตราส่วนดินลูกรังต่อดินตะกอนประปา

จากตารางที่ 5 ภาพที่ 8 จะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน เมื่อมีการแทนที่ดินลูกรังด้วยดินตะกอนประปามากขึ้นทำให้ค่าการดูดกลืนน้ำเพิ่ม



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนดินลูกรังต่อดินตะกอนประปา

จากตารางที่ 6 และภาพที่ 10 จะเห็นได้ว่าผลการทดสอบกำลังอัดอิฐบล็อกประสานเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนัก และชนิดไม่รับน้ำหนัก (มผช.602/2547) พบว่าอัตราส่วนดินลูกรังต่อดินตะกอนประปา (3:1) มีกำลังรับแรงอัด 8.98 MPa ตามลำดับ ซึ่งผ่านมาตรฐานชั้นคุณภาพชนิดรับน้ำหนัก คือ อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อเพื่อรับน้ำหนักโครงสร้างอาคารได้ เช่น ก่อเสา ก่อผนัง โดยเฉพาะอัตราส่วนดินลูกรังต่อดินตะกอนประปา (3:1) ยังมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าอิฐบล็อกประสานที่ไม่ผสมดินตะกอนประปา ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 8.33 MPa ทั้งนี้เนื่องจากดินตะกอนประปามีขนาดอนุภาคละเอียดกว่าดินลูกรัง ดังนั้นดินตะกอนประปาจึงเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างอนุภาคของดินลูกรัง ทำให้มีการกระจายตัวของอนุภาคของส่วนผสมที่ดีขึ้น ส่งผลให้เพิ่มความหนาแน่นและความแข็งแรง ส่วนอัตราส่วนดินลูกรังต่อดินตะกอนประปา (2:2) และ (1:3) ตามลำดับมีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ย 4.70 และ 3.10 MPa ตามลำดับ ซึ่งผ่านมาตรฐานชั้นคุณภาพชนิดไม่รับน้ำหนัก คือ อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อผนังห้องหรือก่อส่วนอื่นภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนต้องรับน้ำหนัก โครงสร้างอาคาร อัตราส่วนดินลูกรังต่อดินตะกอนประปา (0:4) ไม่ผ่านกำลังรับแรงอัดชนิดรับน้ำหนักและชนิดไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน (มผช.602/2547) .ในส่วนของลักษณะการวิบัติของตัวอย่างเป็นไปตามภาพที่ 11



(ก) ก่อสูง 5 ก้อน

(ข) ก้อนเดียว

ภาพที่ 11 ลักษณะการวิบัติของอิฐบล็อกประสานหลังรับกำลังอัด

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ดังนี้

1) กำลังอัดและการดัดโค้งของอิฐบล็อกประสาน เมื่อมีการแทนที่ดินลูกรังด้วยดินตะกอนประปาในอัตราส่วนดินลูกรังต่อดินตะกอนประปา (3:1) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน (มผช.602/2547) ชนิดรับน้ำหนัก

2) การดัดโค้งน้ำที่ 24 ชั่วโมง ของอิฐบล็อกประสาน พบว่า ยังมีปริมาณดินตะกอนประปาเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าการดัดโค้งน้ำเพิ่มขึ้น

3) อิฐบล็อกประสาน อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายละเอียดต่อดินลูกรังต่อดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยน้ำหนัก 1:2:(2:2), 1:2:(1:3) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน (มผช.602/2547) ชนิดไม่รับน้ำหนัก

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่ (2553) “ข้อมูลพื้นฐาน การประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่” เข้าถึงได้จาก: <http://www.pwa.co.th/province> (8 มิถุนายน 2553)
- [2] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์. 2547. มาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน. มผช.602/2547

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ขอขอบคุณ นายณัฐพล หวันกะเหรัมย์
นายสอและ หะยีแวนิ และนายปพนวิช พรหมเทพ
ที่ช่วยกันดำเนินการตลอดโครงการ

การพัฒนาภาษาไพธอนสำหรับเขียนแบบก่อสร้าง ชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

สำเนียง อสงุพันธ์กุล¹ จักริ คิยะวงศ์สุวรรณ² และจิรัฐดี บรรจงศิริ²

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาภาษาไพธอน (Python) สำหรับการเขียนแบบชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้ภาษาไพธอนซึ่งเป็นภาษาสคริปต์ที่ใช้ในการสร้างรายละเอียดแบบก่อสร้างต่างๆ เช่น หน้าตัดคาน หน้าตัดเสา รายละเอียดการเสริมเหล็กบันได พื้น และฐานราก เป็นต้น โดยอาศัยภาษาเอสวีจี (SVG) เป็นผลลัพธ์เพื่อนำไปใช้งานต่อได้ทั้งในโปรแกรมสำเร็จรูปและแสดงผลทางอินเทอร์เน็ต และอ้างอิงหน่วยวัดที่นิยมใช้สำหรับงานแบบก่อสร้างในประเทศไทย ผลจากการศึกษาพบว่าการพัฒนาชุดแพ็คเกจภาษาไพธอน สำหรับใช้งานเขียนแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ผลของโปรแกรมสามารถรองรับงานเขียนแบบโดยทำให้เกิดแบบรายละเอียดแบบก่อสร้างได้ ทำให้ลดเวลาการทำงานลง นอกจากนี้ยังสามารถปรับแต่งให้ใช้งานได้ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยภาษาที่ใช้เป็นลักษณะของรหัสเปิด (Open Source) ทำให้ลดปัญหาลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ได้อีกทางหนึ่งด้วย รวมถึงทำให้วิศวกรที่สนใจในงานออกแบบนำไปใช้ในจัดทำรายละเอียดประกอบการออกแบบได้ง่ายขึ้น หรือนักศึกษานำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน หรือสามารถพัฒนาเพิ่มเติมเองได้

คำสำคัญ การเขียนแบบ ชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็ก ภาษาเอสวีจี ภาษาไพธอน

1. บทนำ

แบบก่อสร้างเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการก่อสร้างเพื่อสื่อสารระหว่างผู้เกี่ยวข้องกับงานออกแบบก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็นสถาปนิก หรือวิศวกร รวมถึงช่างก่อสร้างการเขียนแบบก่อสร้างนั้นเป็นการถ่ายทอดความคิดในการออกแบบให้เข้าใจได้ง่ายและรวดเร็ว โดยทั่วไปแล้วแบบก่อสร้างจะประกอบด้วยแบบประเภทต่างๆ เช่น แบบสถาปัตยกรรม แบบวิศวกรรม

โครงสร้าง แบบวิศวกรรมไฟฟ้า แบบวิศวกรรมเครื่องกล, แบบวิศวกรรมสุขาภิบาล เป็นต้น บทความนำเสนอในส่วนของรายละเอียดชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแบบวิศวกรรมโครงสร้าง

ปัจจุบันการใช้โปรแกรมเพื่อช่วยเหลือในการออกแบบและเขียนแบบเข้ามามีบทบาทอย่างมากในการสร้างแบบก่อสร้าง ทำให้ลดระยะเวลาในการสร้างแบบก่อสร้างลง หรือแม้กระทั่งในระหว่างการก่อสร้างเมื่อมีความต้องการจะสื่อสารระหว่างผู้ออกแบบและผู้ก่อสร้างก็สามารถทำได้อย่างรวดเร็วหากต้องการแก้ไขปัญหาต่างๆ ในแบบก่อสร้าง ปัญหาที่ตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้เมื่อใช้โปรแกรมออกแบบหรือเขียนแบบคือเรื่องลิขสิทธิ์ของโปรแกรม ซึ่งหลายท่านที่ยังไม่พร้อมจะลงทุนได้เลือกใช้โปรแกรมละเมิดลิขสิทธิ์ ซึ่งนอกจากจะเป็นการกระทำผิดกฎหมาย และ

¹สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 หมู่ 3 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

โทรศัพท์ 02-8894585-7 ต่อ 3041

E-mail: sumnieng@gmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 19/1 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

โทรศัพท์ 02-8074500 ต่อ 326, 327

E-mail: chakkree@hotmail.com, jiratb@gmail.com

มีโทษอาญาแล้วขังกักให้เกิดความเสียหายต่อธุรกิจ อีกด้วย

ดังที่กล่าวมาข้างต้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาพัฒนาภาษาไพธอนสำหรับการเขียนแบบชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแบบวิศวกรรมโครงสร้าง โดยในการวิจัยนี้ใช้การพัฒนาโปรแกรมโดยใช้ภาษาที่เป็นลักษณะของรหัสเปิด (Open Source) เพื่อลดปัญหาโปรแกรมละเมิดลิขสิทธิ์ และเปิดเสรีในการพัฒนาเพิ่มเติม โดยอาศัยภาษา SVG เป็นผลลัพธ์นำไปแสดงผลในโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ โดยโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์นี้เปรียบเสมือนเครื่องมือในการติดต่อกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลได้

2. วิธีการวิจัย

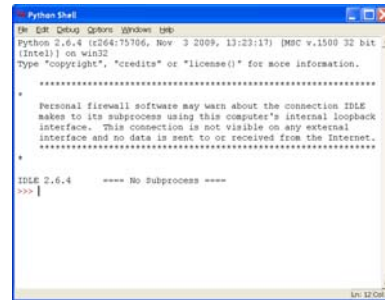
งานวิจัยนี้ใช้ภาษาไพธอนเป็นภาษาสำหรับสร้างภาษาสคริปต์ที่จะใช้ในการสร้างรายละเอียดแบบก่อสร้างต่าง เช่น หน้าตัดคาน หน้าตัดเสา รายละเอียดการเสริมเหล็กบันได พื้น ฐานราก เป็นต้น การแสดงผลใช้ภาษา SVG เป็นผลลัพธ์ สามารถนำไปใช้งานต่อได้ทั้งในโปรแกรมสำเร็จรูปและแสดงผลทางอินเทอร์เน็ต โดยจะอ้างอิงหน่วยวัดที่นิยมใช้สำหรับงานแบบก่อสร้างในประเทศไทย

ภาษาไพธอนเป็นภาษาโปรแกรมแบบอินเทอร์พรีเตอร์ ที่รองรับการเขียนโปรแกรมแบบเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming) มีความสามารถที่จะเขียนรหัสแบบ Over Load Operator ได้ ดังแสดงตัวอย่าง โปรแกรมในภาพที่ 1

ภาษาไพธอนจะมีแพ็คเกจสำเร็จรูปที่สามารถนำมาใช้งานได้เลย เช่น แพ็คเกจ Numpy และ SciPy สำหรับงานคำนวณเชิงตัวเลขในงานวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม , PyFEM สำหรับกรรมวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

สำหรับภาษาไพธอนได้มีผู้พัฒนาเกี่ยวกับการเขียนแผนภูมิโดยได้ผลลัพธ์เป็นไฟล์แบบ SVG คือ

แพ็คเกจ SVGFig และยังมีแพ็คเกจ pySVG ที่ใช้ภาษาไพธอน สร้าง ซึ่งจะอยู่ระหว่างการพัฒนา



ภาพที่ 1 หน้าต่างโปรแกรม และหน้าต่างเซลล์ของโปรแกรมไพธอน

SVG หรือ Scalable Vector Graphics เป็นภาษามาร์กอัปบนมาตรฐาน XML สำหรับอธิบายกราฟิกแบบเวกเตอร์ 2 มิติ ทั้งที่เป็นภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว SVG เป็นมาตรฐานเปิดที่ดูแลโดย W3C และเป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐาน HTML5 ในมาตรฐานของ SVG ประกอบด้วยวัตถุต่างกัน 3 ชนิดดังนี้

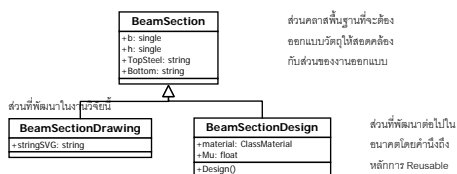
1. รูปร่างต่างๆ ที่เป็นเวกเตอร์(Vector)
2. ภาพแบบแรสเตอร์ (Raster)
3. ข้อความ

โดยไฟล์ SVG จะอยู่รูปของไฟล์ข้อความสามารถนำไปเปิดได้ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เช่น โปรแกรม Inkscape หรือจะเปิดในเว็บเบราว์เซอร์ เช่น Mozilla FireFox ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้ในการแสดงแบบผ่านเว็บไซต์ได้ ประโยชน์อีกประการหนึ่งของ SVG คือ ความละเอียดของการแสดงผลเมื่อทำการขยายดูรายละเอียดจะมีความคมชัดกว่าภาพแบบแรสเตอร์ซึ่งเมื่อดูขยายจะเห็นเป็นลายแตกขอบ ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2 และไฟล์ภาพที่ใช้ในการแสดงผลกราฟิกมีขนาดเล็ก



ก) ภาพแบบราสเตอร์ ข) ภาพแบบเวกเตอร์ด้วย SVG
ภาพที่ 2 เปรียบความละเอียดของภาพภาพแบบ
ราสเตอร์และภาพแบบเวกเตอร์ด้วย SVG

การพัฒนาส่วนของการแสดงผลด้วยภาษา SVG เพื่อนำไปแสดงผลเป็นรูปภาพต่อไปด้วยโปรแกรมอื่น ๆ จะแยกส่วนออกเป็นแพ็คเกจย่อยๆ ในการจัดการข้อมูลชิ้นส่วน โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นส่วนๆ แล้วแปลงเป็นข้อมูลในลักษณะชิ้นส่วนเรขาคณิต เช่น เส้น ลีเหลี่ยม วงกลม ข้อความ เป็นต้น หลังจากนั้นจะให้วัตถุกราฟิกที่ออกแบบ นำไปสร้างไฟล์ข้อมูลในรูปแบบ SVG ต่อไป โดยออกแบบจากการรวบรวมต้นแบบของรายละเอียดแบบงานก่อสร้างลักษณะต่าง ๆ แล้วนำมาสร้างเป็นคลาสต่อไปดังแสดงในภาพที่ 3 ลักษณะของการออกแบบวัตถุจะออกแบบให้มีมีการนำไปใช้ร่วมการได้กับ โมดูลส่วนของการออกแบบด้วย ดังนั้นจะทดสอบออกแบบเป็น Base Class เพื่อให้สืบทอดความสามารถ (inheritance) มาก่อน แล้วจะเพิ่มความสามารถในส่วนของการเขียนรายละเอียด หลังจากนั้นในโครงการต่อไปจะนำ Base Class ไปออกแบบสืบทอดต่อ เพื่อเพิ่มความสามารถในส่วนของการออกแบบต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 3 แผนภาพแสดงส่วนประกอบสำหรับโมดูล
งานเขียนแบบที่จะทำการพัฒนา

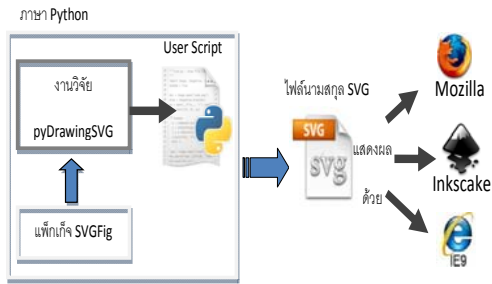


ภาพที่ 4 แผนภาพการออกแบบคลาสไลโคแกรม
(ขั้นตอนลองเบื้องต้น)

ส่วนประกอบที่สำคัญในการสร้างโปรแกรมการเขียนรายละเอียดของเหล็กเสริมในงานวิจัยนี้ คือ แพ็คเกจ SVGFig เป็นแพ็คเกจเสริมของภาษาไพธอน สำหรับช่วยในการเขียนรูปทรงทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบ Scalable Vector Graphics (SVG) โดยใช้ภาษาไพธอน ความสามารถของ SVGFig แสดงรายละเอียดและสามารถดาวน์โหลดแพ็คเกจดังกล่าวในเว็บไซต์ดังภาพที่ 5 การที่เราเลือกใช้แพ็คเกจนี้เพื่อเป็นประโยชน์ในการควบคุมรูปภาพผ่านข้อมูลแบบตัวเลขโดยไม่ต้องเขียนรูปด้วยมือผ่านโปรแกรมการเขียนภาพด้วย SVG ทำให้สามารถสร้างภาพได้เป็นจำนวนมากโดยใช้เวลาสั้น ๆ ถึงแม้ว่ารูปภาพจะมีคว สลับซับซ้อน โดยข้อมูลที่ได้ออกมาจะถูกเขียนออกมาอยู่ใน 2 รูปแบบ ด้วยกันคือแบบของข้อมูลที่เป็นเอกสารและแบบที่เป็นรูปภาพ



ภาพที่ 5 เว็บไซต์ของแพ็คเกจ SVGFig



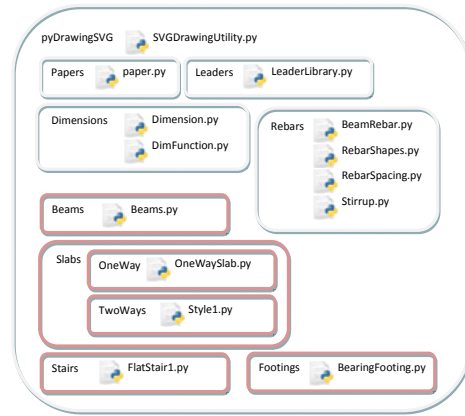
ภาพที่ 6 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

จากส่วนประกอบต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้ทำการสร้างแพ็คเกจ pyDrawing ขึ้นมาเพื่อเป็นตัวสร้างรูปภาพรายละเอียดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อผู้ใช้เข้ามาใช้งานทำการสร้าง User Script สำหรับใช้งาน แพ็คเกจจะทำการสร้างไฟล์นามสกุล SVG ซึ่งสามารถแสดงผลของรูปภาพด้วยโปรแกรมหลายรูปแบบดังแสดงในผังรายละเอียดการทำงานในภาพที่ 6

3. ผลและการอภิปรายผล

โปรแกรมประกอบด้วยโมดูลต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 7 เพื่อแยกแพ็คเกจออกเป็นส่วนต่างๆ เช่น paper เป็น แพ็คเกจในการสร้างขนาดกระดาษ, Dimension เป็น แพ็คเกจในการสร้างตัวบอกขนาด ระยะ เป็นต้น

ส่วนรายละเอียดต่าง ๆ ของแพ็คเกจดังแสดงในภาพที่ 7 จะเป็นตัวสร้างรูปภาพ รายละเอียดของการเสริมเหล็ก รวมถึงเส้นบอกขนาด ระยะ และตัวหนังสือแสดงรายละเอียด เมื่อนำส่วนต่างๆ มารวมกันแล้วสร้าง User Script โดยเขียนเป็นรหัสโปรแกรมดังตัวอย่างรหัสโปรแกรมในภาพที่ 8 ซึ่งเป็นตัวอย่างของการเขียนหน้าตัดคาน เมื่อทำการเข้ารหัสโปรแกรมดังกล่าวซึ่งจะเขียนรูปภาพออกมาเป็นส่วน ๆ แล้วประกอบกันเป็นภาพสมบูรณ์แบบเป็น SVG ไฟล์ในภาพที่ 9

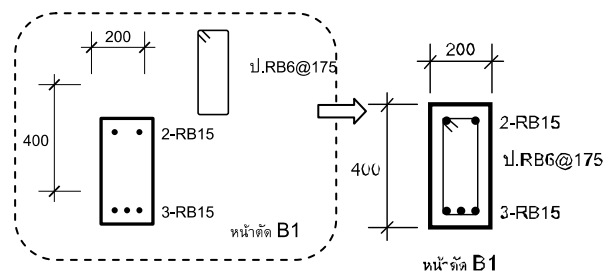


ภาพที่ 7 แสดงแพ็คเกจของโปรแกรม

```
stir1 = StirrupSVG(...)
hdim = xDimension(...)
vdim = yDimension(...)
bottom_rebar = BeamRebarSVG(...)
b1 = BeamCrossSection(50, 50 ,
    b=200 , h = 400 ,
    TopRebar='2-RB15' ,
    BottomRebar='3-RB15' ,
```

ชุดคำสั่งประกอบกันเป็น

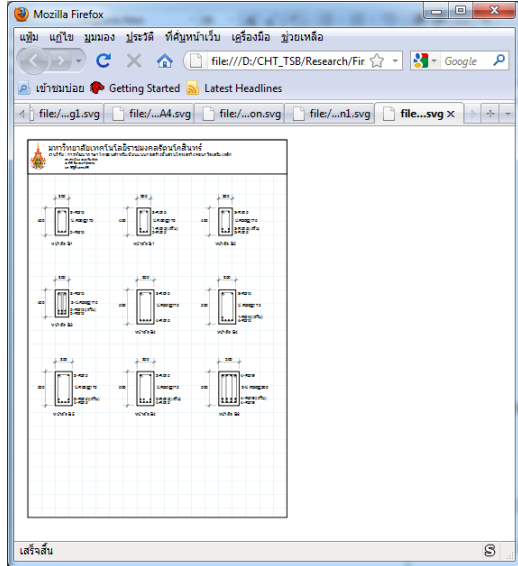
ภาพที่ 8 รหัสของโปรแกรมเพื่อใช้สำหรับเขียนรูปคาน



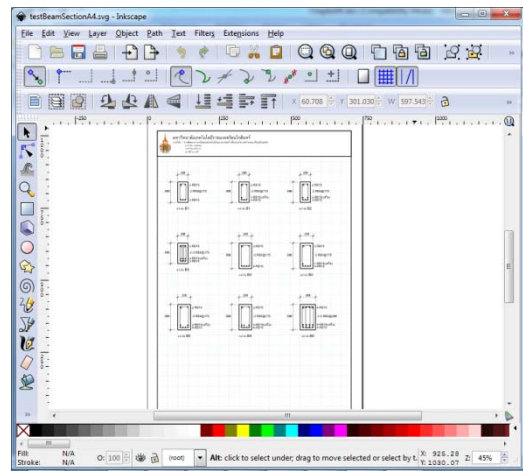
ภาพที่ 9 แสดงส่วนประกอบของรูปภาพและรูปที่สมบูรณ์

ไฟล์ SVG ภาพภายหลังจากการสร้างสามารถนำมาแสดงในโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ดังแสดงในภาพที่ 10 แสดงผลได้อย่างรวดเร็ว จากขนาดของไฟล์ที่มีขนาดเล็ก หากต้องการแก้ไขรูปภาพก็สามารใช้โปรแกรมฟรีในการแก้ไข คัดลอก และปรับปรุงแล้วบันทึกเพื่อให้รูปภาพมีความสมบูรณ์ หรือเป็นที่พอใจของผู้ใช้นอกจากนั้นแล้ว ผู้ใช้ยังสามารถคัดลอก

รูปภาพไปวางในโปรแกรมออฟฟิศได้เพื่อประกอบรายการคำนวณได้ ในกรณีที่คานามีหลายขนาดก็สามารถเพิ่มจำนวนของคานาและปรับขนาดโดยการผ่านค่าอาร์กิวเมนต์ตามความต้องการ



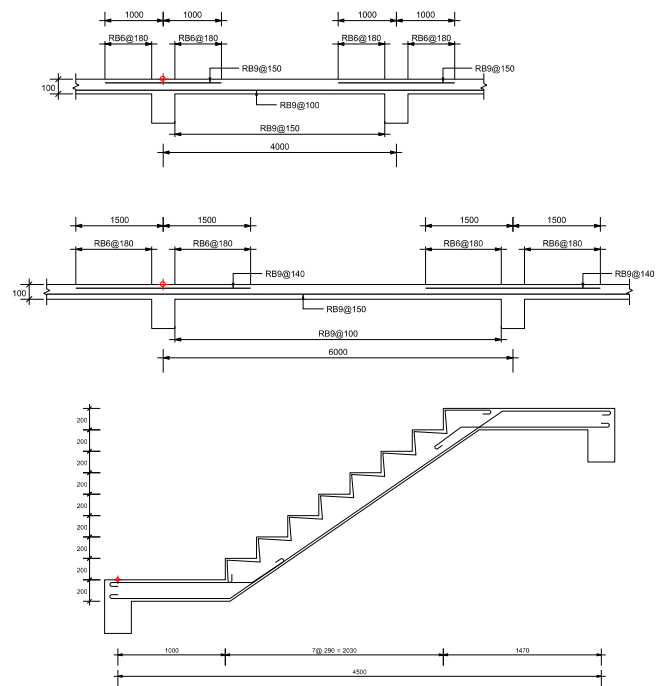
ภาพที่ 10 ผลการแสดงผลภาพในโปรแกรมเบรเซอร์



ภาพที่ 11 การแก้ไขและปรับแต่งรูปภาพ

ผลของการเขียนโปรแกรมซึ่งประกอบขึ้นด้วยส่วนประกอบดังแสดงในภาพที่ 7 นั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเขียนภาพรายละเอียดของโครงสร้างอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็น ฐานราก พื้น เสา บันได ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานในอาคารได้อีกด้วย ตัวอย่างของโครงสร้างของพื้นและบันได แสดงในภาพที่ 12 ภายในโปรแกรมยังสามารถปรับแต่งรายละเอียดได้อีกพอสมควรไม่ว่าจะเป็นชนิดของเส้นบอกระยะหรือ

ตัวอักษร มาตรฐาน ขนาดของกระดาษ เป็นต้น และด้วยข้อดีของ รหัสเปิดทำให้สามารถเพิ่มเติมหรือแก้ไขได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการอีกด้วยพร้อมทั้งลดปัญหาการใช้โปรแกรมละเมิดลิขสิทธิ์



ภาพที่ 12 ตัวอย่างของพื้นและบันได

สุดท้ายนี้ผลการทดสอบรัน โปรแกรมซึ่งทำงานผ่านรูปแบบคำสั่งที่เป็น Command Line อาจยังไม่สะดวกเท่าที่ควร แต่ผลของการรันโปรแกรมได้ไฟล์รูปภาพที่ออกมาน่าพอใจ สามารถนำไปประกอบผลสำหรับการออกแบบโปรแกรมหรือประกอบเว็บเพจสำหรับงานสื่อการสอน แม้จะมีจำนวนรูปแบบโครงสร้างและรูปแบบของการเสริมเหล็กไม่มากเท่าที่ควร แต่ก็สามารถนำไปเพิ่มจำนวนได้ตามความต้องการ ซึ่งเป็นข้อดีของโปรแกรมนี้นี้

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการเปรียบเทียบขนาดของรูปภาพในรูปแบบ SVG นั้นมีขนาดเล็กกว่ารูปภาพในรูปแบบของ Raster ทำให้เมื่อนำไปแสดงผลบนเบราว์เซอร์ก็จะแสดงผลได้อย่างรวดเร็ว

การใช้งานและความสะดวกระดับหนึ่ง ซึ่งเป็นคำสั่งแบบ Script ซึ่งเป็นรูปแบบของไฟล์ Text แต่จากผลจากการทำงาน ภาพที่ได้มีความสวยงาม สามารถแก้ไขรูปภาพเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ได้ สามารถคัดลอกและการวางในโปรแกรมที่ต้องการได้หลากหลาย แสดงภาพในระบบ อินเทอร์เน็ตได้ การพิมพ์แบบก็สามารถทำออกมาได้ดี แม้ว่ารูปแบบของไฟล์ SVG ยังไม่เป็นที่นิยมในงานเขียนแบบแต่เมื่อพิมพ์ออกทางกระดาษก็ให้ผลสวยงามไม่แตกต่างจากโปรแกรมเขียนแบบที่นิยมใช้ แต่ข้อดีคือไฟล์ข้อมูลมีขนาดเล็ก เข้าใจโครงสร้างข้อมูลได้ และด้วยรูปแบบของ SVG ไฟล์ซึ่งรองรับในระบบอินเทอร์เน็ตพร้อมทั้งผ่านระบบมือถือในอนาคตได้อีกด้วยซึ่งน่าจะทำให้มีอนาคตที่ดีของการทำแบบก่อสร้างออนไลน์ได้

โปรแกรมในงานวิจัยนี้ยังเน้นการใช้งานโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนเพราะด้วยรูปแบบยังมีจำกัดรวมทั้งชนิดของโครงสร้างและรูปแบบของการเสริมเสริม แต่ด้วยข้อดีของรหัสเปิดนี้โปรแกรมนี้ยังสามารถนำไปเป็นส่วนประกอบของโมดูลการออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมต่อไปได้หรือปรับปรุงให้ได้ตามความต้องการของผู้ใช้เพื่อลดปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ของโปรแกรมได้อีกด้วย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] โกมล นกสว่าง และคณะ. 2552. การพัฒนาโปรแกรมถ้ำน้ำหนักบรรทุกทุกลงคานต่อเนื่อง. ปรินูญานพนธ์, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์, กรุงเทพฯ. 133 น.
- [2] จักรกฤษณ์ แสงแก้ว. 2549. การเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนด้วยตัวเอง. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ. 398 น.
- [3] ฉัตรชัย คำดี และคณะ. 2550. ภาษาโปรแกรมมิ่งไพธอน. มหาวิทยาลัยนครสวรรค์, พิษณุโลก. 91 น.
- [4] พรเทพ เอื้อยะตะตุล และคณะ. 2547. การพัฒนาโปรแกรมช่วยในงานเขียนแบบก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก. ปรินูญานพนธ์, สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์, กรุงเทพฯ. 77 น.

- [5] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. Scalable Vector Graphics , Available URL: http://th.wikipedia.org/wiki/Scalable_Vector_Graphics
- [6] สุขสม เสนานานู. 2537. เขียนแบบก่อสร้าง. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ. 356 น.
- [7] สมาคมสถาปนิกสยาม. 2549. คู่มือมาตรฐานการเขียนแบบก่อสร้าง. 221 น.
- [8] Martelli, Alex. 2006. Python in a Nutshell, 2nd ed. O'Reilly Media. 742 p.
- [9] Beazley, David M. 2006. Python Essential Reference, 3rd ed., Sams, 648 p.
- [10] Deitel, Harvey M. and others . 2002. Python How to Program. Prentice Hall. 1376 p.
- [11] Kang, Julian H., Byeong-Cheol Lho and Sang-Rung Choi. 2004. Parametric Web-CAD for Box Culvert Design. Computer Aided Design and Applications, Vol. 1, Nos. 1-4:147-152.
- [12] Su, Xiaoyong., B.S. Prabhu, Chi-Cheng Chu and Rajit Gadh. 2004. Scalable Vector Graphics (SVG) based multi-level graphics representation for engineering rich-content exchange in mobile computing environment. Technical Report/White Technical Report/White Technecal Paper UCLA-WINMEC-2005-201-SVG-EXCHANGE. 22 p.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ผู้ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ สนับสนุนสถานที่วิจัย รวมถึง ผศ.กุลธิดา บรรจงศิริ ที่ช่วยตรวจสอบและแก้ไขบทความทำให้เกิดความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

การสร้างฝายแม้ว ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำอุทกบน

โกวิท บุญรอด¹

บทคัดย่อ— การทำวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีการชะลอการไหลและลดความรุนแรงของกระแสน้ำในลำธาร ไม่ให้ไหลหลากอย่างรวดเร็วและทำให้น้ำซึมลงสู่ดินได้มากขึ้น เพิ่มความชุ่มชื้น ส่งผลให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศป่าต้นน้ำลำธาร เพื่อลดความรุนแรงของการเกิดการชะล้างพังทลายของดิน และสามารถกักเก็บตะกอนและเศษซากพืชที่ไหลลงมากับน้ำในลำธารบนพื้นที่ต้นน้ำลำธาร ซึ่งจะช่วยยืดอายุของแหล่งน้ำตอนล่างให้ดินชั้นล่าง และทำให้มีปริมาณและคุณภาพของน้ำที่ดีขึ้น เพื่อกักเก็บน้ำไว้เป็นแหล่งน้ำ สำหรับการอุปโภคบริโภคของมนุษย์และสัตว์ป่า ตลอดจนการเกษตรกรรม และเพื่อให้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร เป็นแหล่งถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่ประชาชนในท้องถิ่น ทางผู้วิจัยได้ดำเนินการสำรวจ ศึกษาและเลือกพื้นที่ดำเนินการก่อสร้างฝาย โดยชุมชนได้มีส่วนร่วมในการออกแบบและก่อสร้าง ซึ่งได้เลือกพื้นที่ก่อสร้างในบริเวณที่ราบเชิงเขา สร้างฝายแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก จำนวน 3 พื้นที่ในลำน้ำเดียวกัน ได้ฝายชะลอน้ำที่เหมาะสมต่อพื้นที่ ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำอุทกบน พื้นที่รับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนตำบลหนองปลิง ตำบลหนองปลิง อำเภอนิคมน้ำอูน จังหวัดสกลนคร โดยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

คำสำคัญ ฝาย ชะลอการไหล ไหลหลาก กักเก็บ

1. บทนำ

ฝาย (CHECK DAM) เป็นแนวพระราชดำริ ทฤษฎีการพัฒนาและฟื้นฟูป่าไม้ โดยการใช้ทรัพยากรที่เอื้ออำนวยสัมพันธ์ซึ่งกันและกันให้เกิดประโยชน์สูงสุด พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์ของป่าไม้ ซึ่งปัญหาสำคัญที่เป็นตัวแปรแห่งความอยู่รอดของป่าไม้นั้น คือ “น้ำ” อันเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ [1] พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงเสนออุปกรณ์อันเป็นเครื่องมือที่จะใช้ประโยชน์ในการอนุรักษ์ฟื้นฟูป่าไม้ที่ได้ผลดีและทรงแนะนำให้ใช้ฝายกั้นน้ำ หรือเรียกว่า CHECK DAM หรืออาจเรียกว่า

“ฝายชะลอความชุ่มชื้น” ก็ได้เช่นกันคือ สิ่งก่อสร้างขวางหรือกั้นทางน้ำ ซึ่งปกติมักจะกั้นลำห้วยลำธารขนาดเล็กในบริเวณที่เป็นต้นน้ำ หรือพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงให้สามารถกักตะกอนอยู่ได้ และหากช่วงที่น้ำไหลแรงก็สามารถชะลอการไหลของน้ำให้ช้าลง และกักเก็บตะกอนไม่ให้ไหลลงไปที่บ่อลำนน้ำตอนล่าง ซึ่งเป็นวิธีการอนุรักษ์ดินและน้ำได้ดีมากวิธีการหนึ่ง รูปแบบและลักษณะฝายนั้น ได้พระราชทานพระราชดำริว่า “ให้พิจารณาดำเนินการสร้างฝายราคาประหยัด โดยใช้วัสดุราคาถูกและหาง่ายในท้องถิ่น เช่นแบบหินทิ้งคลุมด้วยตาข่ายปิดกั้นร่องน้ำกับลำธารขนาดเล็กเป็นระยะๆ เพื่อใช้เก็บกักน้ำและตะกอนดินไว้บางส่วน โดยน้ำที่กักเก็บไว้จะซึมเข้าไปในดินทำให้ความชุ่มชื้นแผ่ขยายออกไปทั้งสองข้าง ต่อไปจะสามารถปลูกพันธุ์ไม้ป้องกันไฟ พันธุ์ไม้โตเร็วและพันธุ์ไม้ไม่ทิ้งใบ เพื่อฟื้นฟูพื้นที่ต้นน้ำลำธารให้มีสภาพเขียวชุ่มชื้นเป็นลำดับ”

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร 199 หมู่ 3 ต.พังโคน อ.พังโคน จ.สกลนคร 47160 โทรศัพท์: 042-73-4724 โทรสาร: 042-73-4723 E-mail: kowit_b@hotmail.com

สำหรับต้นน้ำไม้ที่ขึ้นอยู่ในบริเวณสองข้างลำห้วย จำเป็นต้องรักษาไว้ให้ดี เพราะจะช่วยเก็บรักษาความชุ่มชื้นไว้ ส่วนตามร่องน้ำและบริเวณที่น้ำซับก็ควรสร้างฝายขนาดเล็กกั้นน้ำไว้ในลักษณะฝายชุ่มชื้น แม้จะมีจำนวนน้อยก็ตามสำหรับแหล่งน้ำที่มีปริมาณน้ำมาก จึงสร้างฝายเพื่อผันน้ำลงมาใช้ในพื้นที่เพาะปลูกดังนั้น จึงได้เห็นว่า การก่อสร้างฝายต้นน้ำ จึงเป็นแนวทางหรือวิธีการหนึ่ง ในการฟื้นฟูสภาพป่าไม้บริเวณต้นน้ำลำธาร ให้พื้นที่คืนสภาพทางนิเวศที่เหมาะสมและความหลากหลายทางชีวภาพ แก่สังคมของพืชและสัตว์ ตลอดจนนำความชุ่มชื้นมาสู่แผ่นดินทางผู้วิจัยจึงได้นำแนวทางการพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเกี่ยวกับฝาย เข้ามาเป็นกิจกรรมหนึ่งของการมีส่วนร่วมของชุมชน ในการฟื้นฟูระบบนิเวศของป่าไม้บริเวณพื้นที่ต้นน้ำลำธาร ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำอูนตอนบน ให้พื้นที่คืนสภาพทางนิเวศที่เหมาะสมภายใต้หลักการทางวิชาการ ต่อการเป็นแหล่งต้นน้ำลำธารที่ยั่งยืนต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 ทำการสำรวจศึกษาถึงศักยภาพของพื้นที่ ก่อนทำการก่อสร้างฝาย เพื่อการเลือกรูปแบบของฝายแต่ละประเภทให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ เหมาะสมกับวัสดุก่อสร้างตามธรรมชาติ โดยอาศัยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) เข้ามาจัดการด้านระบบการจัดการทรัพยากรน้ำ และการสำรวจด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากนั้นจัดลำดับความสำคัญของลำห้วย และต้องพิจารณาสภาพแวดล้อมและความรุนแรงของปัญหาในพื้นที่เป็นสำคัญ หากมีสภาพป่าที่ค่อนข้างสมบูรณ์หรือมีต้นไม้นานาแน่น ความจำเป็นก็จะลดน้อยลง อาจจะสร้างบางจุดเสริมเท่านั้น

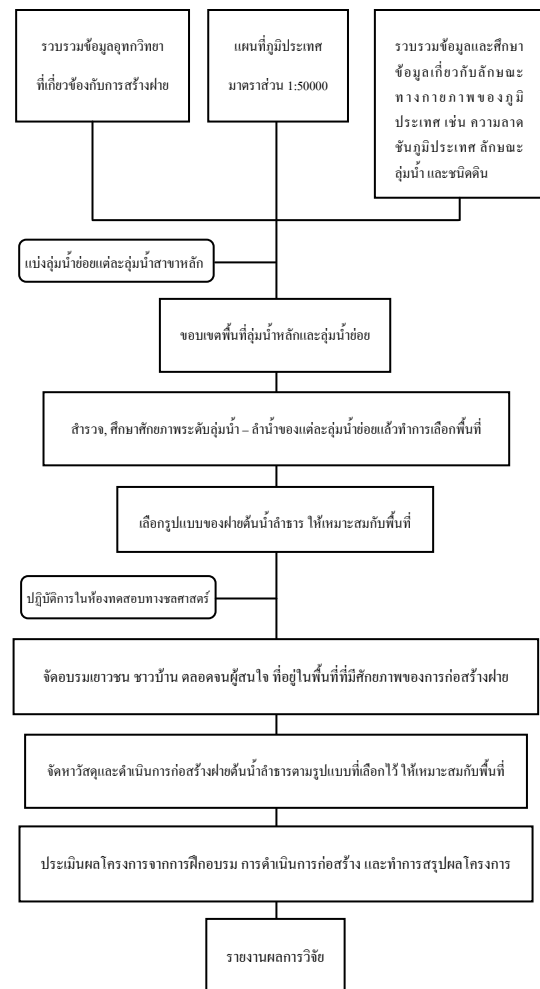
2.2 ทำการเลือกรูปแบบของฝายต้นน้ำลำธารให้เหมาะสมกับพื้นที่ โดยทำการเลือกรูปแบบตามทฤษฎี และสมมุติฐานที่กำหนดไว้ และนำข้อมูลจาก

ปฏิบัติการในห้องทดสอบทางชลศาสตร์มาประกอบการพิจารณา

2.3 จัดอบรมเยาวชน ชาวบ้าน ตลอดจนผู้สนใจที่อยู่ในพื้นที่ที่มีศักยภาพของการก่อสร้างฝาย ให้มีความรู้เรื่องการก่อสร้างฝาย สามารถลงมือปฏิบัติเองได้ และให้เห็นความสำคัญต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำในพื้นที่แบบมีส่วนร่วม

2.4 จัดหาวัสดุและดำเนินการก่อสร้างฝายต้นน้ำลำธารตามรูปแบบที่เลือกไว้ ให้เหมาะสมกับพื้นที่

2.5 ทำการประเมินผลโครงการจากการฝึกอบรม การดำเนินการก่อสร้าง และทำการสรุปผลโครงการ

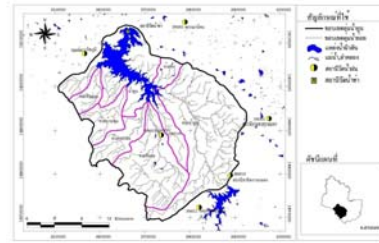


ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

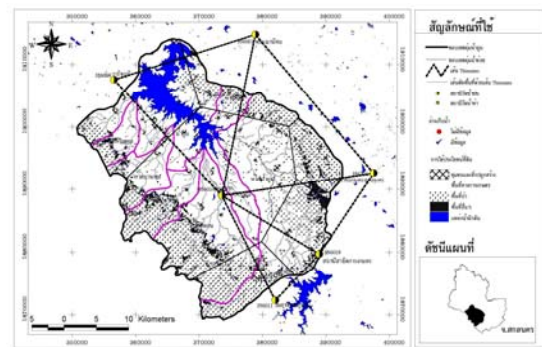
3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 ผลการศึกษาด้านศักยภาพของพื้นที่ โดยได้สำรวจศึกษาถึงศักยภาพของพื้นที่ ก่อนทำการก่อสร้างฝาย เพื่อการเลือกรูปแบบของฝายแต่ละประเภทให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ เหมาะสมกับวัสดุก่อสร้างตามธรรมชาติ โดยอาศัยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) โดยใช้ข้อมูลภาพพิมพ์ดาวเทียม LANDSAT ระบบที่เอ็มแบนด์ 345 มาตรฐาน 1:50,000 ทำขึ้นเมื่อวันที่ 2 มกราคม 2541 โดยกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โดยความร่วมมือของโครงการชลประทานสกลนคร เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและแผนที่ภูมิประเทศ 1:50,000 เข้ามาจัดการด้านระบบการจัดการทรัพยากรน้ำ และการสำรวจด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยได้ทำการแบ่งพื้นที่รับน้ำของอ่างเก็บน้ำโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอูน ออกเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยจำนวน 8 พื้นที่ลุ่มน้ำ แสดงในรูปที่ 3.1 พื้นที่ลุ่มน้ำอูนตอนบน ได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยกุดบาก ห้วยบ้านพุ่ม ห้วยอีคอง ห้วยกระเซอ ห้วยหินสอม ห้วยน้ำอูน ห้วยผึ้ง และน้ำอูน มีพื้นที่โดยรวมทั้งหมดประมาณ 1,099.282 ตารางกิโลเมตร มีลักษณะของดินส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มดินชนิด B ตามวิธีการของ Soil Conservation Service (SCS) ในการแบ่งกลุ่มดิน โดยมีชั้นดินบางและมีความซึมผ่านได้ต่ำปานกลาง ส่วนใหญ่เป็นดินประเภท ดินร่วนเหนียวปนทราย พื้นที่ส่วนใหญ่มีการระบายน้ำของดินจัดในกลุ่ม การระบายน้ำดีปานกลาง และในส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน จะได้จากการสำรวจจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่มีการจัดเก็บข้อมูลที่สมบูรณ์ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ทางการเกษตร คิดเป็นร้อยละ 45.43 ต่อพื้นที่ทั้งหมด มีพื้นที่ป่า คิดเป็นร้อยละ 40.66 ต่อพื้นที่ทั้งหมด ในด้านการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณฝนพบว่า พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ห้วยน้ำอูน จำนวนที่ค่าการกลับที่ 2 ปีมีค่าเท่ากับ 1,580 มม. 5 ปีมีค่าเท่ากับ 1,829 มม. 10 ปีมีค่าเท่ากับ 1,951 มม. 25 ปีมีค่าเท่ากับ 2,074 มม. และ 50 ปีมีค่าเท่ากับ 2,150 มม.

ซึ่งถือว่ามีปริมาณฝนเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ฝนตกดี เหมาะแก่การสร้างฝายกักเก็บน้ำหรือฝายชะลอน้ำ



ภาพที่ 2 พื้นที่ลุ่มน้ำอูนตอนบน



ภาพที่ 3 การวิเคราะห์ปริมาณฝน

3.2 ผลการเลือกรูปแบบของฝายต้นน้ำลำธาร ให้เหมาะสมกับพื้นที่ โดยทำการเลือกรูปแบบตามทฤษฎีและสมมุติฐานที่กำหนดไว้ โดยลงพื้นที่วิเคราะห์ศักยภาพพร้อมทำการสำรวจ สอบถาม และสัมภาษณ์ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกระดับ แล้วทำการเลือกพื้นที่ดำเนินการสร้างฝายที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำ สามารถใช้ประโยชน์จากฝายได้โดยตรง สามารถกักเก็บน้ำได้ในช่วงฤดูแล้ง และบรรเทาน้ำท่วมได้ในฤดูน้ำหลาก โดยได้เลือกพื้นที่ในเขตปกครองขององค์การบริหารส่วนตำบลหนองปลิง อำเภอนิคมน้ำอูน จังหวัดสกลนคร จัดอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 4 ห้วยกระเซอ มีพื้นที่โดยรวมทั้งหมดประมาณ 76.63 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 6.97 ต่อพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ส่วนใหญ่ตอนล่างเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำตอนบนเป็นที่สูงเชิงภูเขา มีคุณสมบัติในการระบายน้ำของดินอยู่ในระดับดีปานกลาง จัดอยู่ในกลุ่มดินชนิด B (ชั้นดินบางและมีความซึมผ่านได้ต่ำปานกลาง เช่น ดินร่วนปนทราย) สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยโดยรวม

ทั้งหมดพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าเชิงเขา และที่ราบลุ่มแม่น้ำ โดยมีพื้นที่ทางตอนบนเป็นป่าเขาเกิดเป็นรอยละ 56.11 ต่อพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย และมีพื้นที่ทางการเกษตรคิดเป็น ร้อยละ 33.16 ต่อพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย พื้นที่ส่วนใหญ่มีการระบายของดินน้ำจัดในกลุ่ม การระบายน้ำดีปานกลาง [1]โดยทั่วไปรูปแบบของฝายต้นน้ำลำธาร หรือ Check Dam ตามแนวพระราชดำริมี 3 รูปแบบ คือ ฝายต้นน้ำลำธารแบบท้องถิ่นเบื้องต้น หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า “ฝายแมว” เป็นฝายแบบชั่วคราวก่อสร้างด้วยวัสดุธรรมชาติที่มีอยู่ เช่น กิ่งไม้และท่อนไม้ล้มขอนนอนไพร ขนาบด้วยก้อนหินขนาดต่าง ๆ ในลำห้วย ซึ่งเป็นการก่อสร้างแบบง่าย ๆ ก่อสร้างในบริเวณตอนบนของลำห้วยหรือร่องน้ำ ซึ่งจะสามารถดักตะกอนชะลอการไหลของน้ำ และเพิ่มความชุ่มชื้นบริเวณรอบฝายได้เป็นอย่างดี วิธีการนี้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยมาก หรืออาจไม่มีค่าใช้จ่ายเลย นอกจากแรงงานเท่านั้น รูปแบบที่สองฝายแบบกึ่งถาวร เป็นฝายต้นน้ำลำธารแบบเรียงด้วยหินก้อนข้างถาวร ก่อสร้างด้วยหินเรียงเป็นผนังกั้นน้ำก่อนสร้างบริเวณตอนกลางและตอนล่างของลำห้วยหรือร่องน้ำจะสามารถดักตะกอน และเก็บกักน้ำในช่วงฤดูแล้งได้บางส่วน และรูปแบบสุดท้ายฝายแบบถาวรเป็นฝายต้นน้ำลำธารแบบคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นการก่อสร้างแบบถาวรส่วนมากจะดำเนินการในบริเวณตอนปลายของลำห้วยหรือร่องน้ำ จะสามารถดักตะกอนและเก็บกักน้ำในฤดูแล้งได้ดี ซึ่งรูปแบบฝายที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาได้แก่ ฝายแบบถาวร การก่อสร้างควรสร้างในบริเวณลำห้วยที่มีความลาดชันต่ำและแคบ สำหรับก่อสร้างฐานให้ลึกถึงหินดานร่องห้วย (Bedrock) เพื่อที่จะสามารถดักและดึงน้ำได้ดินเหนื่อฝายได้ และต้องคำนึงถึงความแข็งแรงให้มากพอที่จะไม่เกิดการพังทลายเสียหายตามที่ฝนตกหนักและกระแสน้ำไหลแรง

3.3 ผลการจัดอบรมเยาวชน ชาวบ้าน ตลอดจนผู้สนใจ ที่อยู่ในพื้นที่ที่มีศักยภาพของการก่อสร้างฝายในตำบลหนองปลิง อำเภอนิคมน้ำอุ่น จังหวัดสกลนคร ตำบลหนองปลิง อำเภอนิคมน้ำอุ่น จังหวัดสกลนคร จำนวน 60 คน โดยได้รับความรู้เรื่องการก่อสร้างฝายสามารถลงมือปฏิบัติเองได้ และให้เห็นความสำคัญต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำในพื้นที่แบบมีส่วนร่วม ซึ่งมีกระบวนการดำเนินงานเป็นขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดพื้นที่ดำเนินงาน ตามสภาพปัญหาและความจำเป็น

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาและการจัดเก็บข้อมูลพื้นฐาน เพื่อทำความเข้าใจสภาพชุมชน ในพื้นที่เป้าหมาย

ขั้นตอนที่ 3 การเปิดโลกทัศน์ ภายหลังจากวิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้นเพื่อสร้างจิตสำนึกในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และเปิดโอกาสให้ผู้ร่วมโครงการได้เรียนรู้รูปแบบและวิธีการ แล้วนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับชุมชนของตนเอง

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ปัญหาอย่างมีส่วนร่วม ดำเนินการโดยจัดเวทีชาวบ้าน ทำการวิเคราะห์ปัญหา สาเหตุด้านการจัดการป่า การพัฒนาระบบการเกษตรของชุมชน การระดมและเรียงลำดับความสำคัญของปัญหา สาเหตุ และแนวทางแก้ไข การวิเคราะห์ปัญหาซึ่งทำการวิเคราะห์ผู้ที่มีส่วนได้เสีย ที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงและมีส่วนในการก่อให้เกิดและแก้ไขปัญหา





ภาพที่ 4 จัดเวทีชาวบ้านและฝึกอบรม

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดวิสัยทัศน์ชุมชน ภายหลังจากการวิเคราะห์ปัญหาของชุมชนแล้ว จะให้การสนับสนุนในการกำหนดวิสัยทัศน์ หรือเป้าหมายและแผนการดำเนินงาน รวมทั้งจะดำเนินการจัดทำแผนปฏิบัติการหรือแผนงานหมู่บ้านและจัดตั้งคณะทำงานของหมู่บ้านขึ้น

ขั้นตอนที่ 6 การเพิ่มความรู้และทักษะในการทำงาน เนื่องจาก ชาวบ้านยังขาดทักษะและประสบการณ์ ในการดำเนินงานโดยจัดอบรมให้ผู้ร่วมโครงการเพื่อให้การดำเนินงานตามแผนของหมู่บ้านประสบความสำเร็จตามเป้าหมาย



ภาพที่ 5 การสำรวจ ลำน้ำ กำหนดจุดก่อสร้างฝาย

ขั้นตอนที่ 7 การดำเนินกิจกรรมของชุมชน ผู้นำชุมชนและหน่วยงานจะเป็นแกนนำในการประสานงานในการจัดกิจกรรม เช่น การสำรวจ ลำน้ำ ร่องห้วย

การทำแผนที่ลำน้ำ การกำหนดจุดที่จะก่อสร้างฝาย ต้นน้ำลำธาร การกำหนดรูปแบบฝายการแนะนำด้านวิชาการ รวมทั้งการสนับสนุนงบประมาณ วัสดุอุปกรณ์ และบางครั้งอาจจะมีการจ้างแรงงานบ้าง

ขั้นตอนที่ 8 การติดตามประเมินผลคณะกรรมการหมู่บ้าน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะจัดประชุมหมู่บ้านเพื่อสรุปผลการดำเนินงานทบทวนและปรับแผนงานหมู่บ้าน พร้อมทั้งจัดทำแผนงานประจำปี รวมทั้งจะส่งเสริมสนับสนุนการสร้างเครือข่ายเพื่อการขยายผลการพัฒนาพื้นที่ต้นน้ำลำธารของกลุ่มน้ำให้มีความยั่งยืน

4. สรุปผลการวิจัย

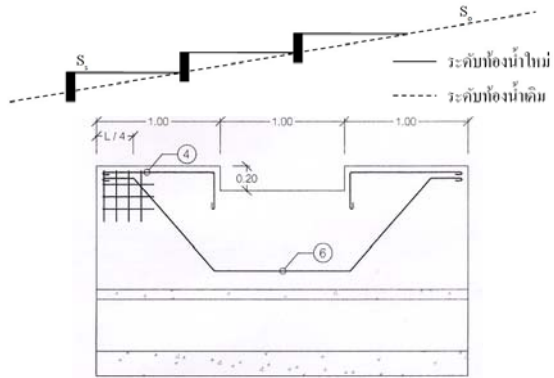
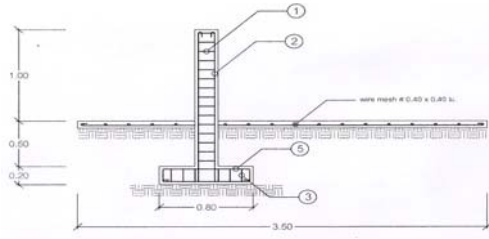
จากการติดตามผลการดำเนินงานก่อสร้างฝายต้นน้ำลำธาร ในพื้นที่ดังกล่าวข้างต้น พบว่าพื้นที่ที่มีการก่อสร้างฝายต้นน้ำลำธารส่วนใหญ่ราษฎรสามารถฟื้นฟูต้นน้ำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ ผลสำเร็จจากการพัฒนาพื้นที่ ทำให้พื้นที่ลุ่มน้ำที่แห้งแล้งกลายเป็นแหล่งชุ่มชื้น กลับสู่ความอุดมสมบูรณ์ ทำให้ชุมชนมีน้ำใช้ในหมู่บ้านได้อย่างพอเพียง สรุปโดยรวมเป็นไปตามวัตถุประสงค์โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

4.1 ในการดำเนินการสร้างฝายครั้งต่อไปควรเลือกพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง สำหรับก่อสร้างฝายเพื่อให้เกิดข้อแตกต่างและรูปแบบที่หลากหลาย

4.2 ติดตามผลลักษณะความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อตัวฝายต้นน้ำลำธารและหาแนวทางแก้ไข

4.3 ควรตรวจสอบการน้ำไหลซึมลอดใต้ตัวฝายหลังจากการก่อสร้าง

4.4 ในการศึกษาครั้งต่อไปควรพิจารณาถึงการใช้ประโยชน์ต่อฝาย เช่น การพัฒนาพลังงานไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก เป็นต้น



ภาพที่ 6 การก่อสร้างฝาย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] คู่มือ. โครงการ 80 พรรษา 80 ปีฝ่าย การก่อสร้างฝายต้นน้ำลำธาร ตามแนวพระราชดำริ. สำนักงานพัฒนาและส่งเสริมการบริหารราชการจังหวัดกระทรวงมหาดไทย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
อีสานผู้ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย ปีงบประมาณ
2551

ระบบฐานข้อมูลติดตามรายละเอียดความคืบหน้าของการบำรุงรักษาโยธา

พงศ์กรณ์ ปุบผาโสมตระกูล¹ วีรยศ นัมคนิสรณ์² และ อลงกรณ์ อนุธรรมพรณ์³

บทคัดย่อ— ระบบฐานข้อมูลติดตามรายละเอียดความคืบหน้าของการบำรุงรักษาโยธา ฝ่ายบำรุงรักษาโยธา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่อติดตามรายละเอียดความคืบหน้าของการบำรุงรักษาโยธา รวมถึงการประเมินความพึงพอใจของผู้รับบริการจากฝ่ายบำรุงรักษาโยธา ซึ่งการจัดเก็บข้อมูลรายละเอียดความคืบหน้าของการบำรุงรักษาโยธา รวมถึงข้อมูลการประเมินความพึงพอใจของผู้รับบริการ ใช้ MySQL เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล และ ใช้ภาษา PHP ร่วมกับ ภาษา HTML และ Java Script สร้าง Web Application ในส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ รวมถึงได้นำ JQuery และ AJAX มาใช้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการพัฒนาและการทำงานของ Web Application สำหรับการเข้าใช้งานระบบแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ หัวหน้าทีมงานการตลาด ทีมงานการตลาด ผู้บริหาร ลูกค้าผู้ใช้ภายนอกหน่วยงาน และในส่วนของผู้บริหารมีการนำเสนอข้อมูลความพึงพอใจของผู้รับบริการในรูปแบบของกราฟ ซึ่งใช้ Open Flash Chart ช่วยในการพัฒนา

คำสำคัญ บำรุงรักษาโยธา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เว็บไซต์

1. บทนำ

ในปัจจุบันระบบสารสนเทศมีบทบาทเป็นอย่างมากในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น หน่วยงานรัฐบาลหรือเอกชน ซึ่งมีการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการรวบรวม จัดเก็บ หรือจัดการข้อมูลข่าวสารเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจได้ในเวลาอันรวดเร็วและถูกต้อง ในส่วนของฝ่ายบำรุงรักษาโยธาของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยซึ่งเป็นผู้ให้บริการด้านงานบำรุงรักษาโยธาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 โดยให้บริการงานด้านบำรุงรักษาโยธา และ งานวิศวกรรมโยธาของเขื่อน อาคารชลศาสตร์ โรงไฟฟ้าและอาคารประกอบ โครงสร้างระบบส่งกระแสไฟฟ้าและระบบสื่อสาร รวมทั้งสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ตลอดจนให้บริการกับหน่วยงานภายนอก ซึ่งงานในส่วนของการให้บริการด้านบำรุงรักษาโยธามีจำนวนมาก ประกอบกับการจัดเก็บข้อมูลงานอยู่ในรูปแบบของเอกสารทำให้การตรวจสอบติดตามความคืบหน้างานบำรุงรักษาล่าช้า ตลอดจนเอกสารดังกล่าวอาจเกิดการชำรุดสูญหายส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการทำงานในฝ่ายบำรุงรักษาโยธา

จากปัญหาดังกล่าวทางฝ่ายบำรุงรักษาโยธาได้มอบหมายงานให้คณะผู้จัดทำพัฒนาระบบฐานข้อมูลติดตามรายละเอียดความคืบหน้าของการบำรุงรักษาโยธา โดยได้มีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยสนับสนุนในการทำงาน ซึ่งระบบที่พัฒนานี้ทำหน้าที่ดูแลจัดเก็บข้อมูลติดตามรายละเอียดความคืบหน้าของการบำรุงรักษาโยธา เพื่อแก้ไขปัญหาของระบบงานแบบเก่า อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการทำงาน ของฝ่ายบำรุงรักษาโยธา

¹ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี 7/1 ถ.นนทบุรี ต.สวนใหญ่ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
โทรศัพท์: +66(2)-969-1369 โทรสาร: +66(2)-525-2682

ทฤษฎีเทคโนโลยีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

jQuery

jQuery คือ Library ของ JavaScript ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างเว็บไซต์ jQuery ช่วยให้เราเรียกเขียนหรือใช้งาน JavaScript และ Ajax ให้ง่ายขึ้น jQuery เปิดตัวครั้งแรกในงานบาร์แคมป์นิวยอร์ก โดย จอห์น เรซิก (John Resig) เมื่อ 14 มกราคม พ.ศ. 2549 ตัวโค้ดของ jQuery มีลิขสิทธิ์และสัญญาอนุญาตแบบ Open Source โดยใช้สัญญาอนุญาตของ GFDL และ MIT License เหมาะสำหรับการใช้งานทางด้าน Web Programmer, Web Design นอกจากนี้ jQuery สามารถใช้งานร่วมกับ Server-side Scripting Languages ได้ทุกภาษา ไม่ว่าจะเป็น PHP, JSP, Perl, ASP หรือ .net และยังสามารถใช้งานกับ html, CSS, xml ได้เป็นอย่างดี [1]

ระบบจัดการฐานข้อมูล

ความหมายของระบบการจัดการฐานข้อมูลว่า ระบบการจัดการฐานข้อมูล เป็นโปรแกรมที่ใช้เป็นเครื่องมือ ในการจัดการกับข้อมูล รวมทั้งภาษาที่ใช้ทำงานกับข้อมูล โดยมักจะใช้ภาษา SQL ในการโต้ตอบกันกับผู้ใช้ เพื่อให้สามารถกำหนดการสร้าง การเรียกดู การบำรุงรักษาฐานข้อมูล รวมทั้งการจัดการควบคุม การเข้าถึงข้อมูล ซึ่งถือเป็นการป้องกันความปลอดภัย ในฐานข้อมูล เพื่อมิให้ผู้ที่ไม่มีสิทธิการใช้งานเข้ามาละเมิดในฐานข้อมูลที่เป็นศูนย์กลางได้ [2] หน้าที่ของระบบการจัดการฐานข้อมูล [3] สามารถแบ่งได้ดังนี้

- (1) กำหนด และจัดเก็บ โครงสร้างของฐานข้อมูล
- (2) บรรจุข้อมูลจากฐานข้อมูล
- (3) เก็บและดูแลข้อมูล
- (4) ประสานงานกับระบบปฏิบัติการ
- (5) ควบคุมความปลอดภัย
- (6) จัดทำข้อมูลสำรองและการกู้คืน
- (7) ควบคุมการใช้ข้อมูลพร้อมกันของผู้ใช้ระบบ
- (8) ควบคุมความน่าเชื่อถือได้ของข้อมูล
- (9) จัดทำพจนานุกรมข้อมูล

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย [4] เป็นการนำเอาเทคโนโลยี Web และ ฐานข้อมูลมาใช้ในการจัดเก็บคลังข้อมูล โดยเน้นการใช้ HTML, PHP, AJAX ติดต่อบริการฐานข้อมูล Oracle งานวิจัย [5] เป็นการใช้เทคโนโลยี Web และ ฐานข้อมูลใช้จัดการวารสารออนไลน์ โดยใช้ HTML, PHP ติดต่อบริการฐานข้อมูล MySQL

2. วิธีการวิจัย

2.1 ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในโครงการวิจัย

ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ หน่วยประมวลผลกลาง Pentium Intel Core 2 Duo T8100 ความเร็ว 2.10 GHz หน่วยความจำหลัก 2 GB หน่วยความจำสำรอง 250 GB ซอฟต์แวร์ โปรแกรม MySQL ใช้ในการจัดการฐานข้อมูล [6] โปรแกรม Adobe Photoshop CS3 และ Adobe Flash CS3 ใช้ในการตกแต่งภาพกราฟิกและไฟล์ Flash ให้ Web Application สวยงาม โปรแกรม Adobe Dreamweaver CS3 เป็นโปรแกรมสร้างเอกสารเว็บ โดยใช้ ภาษา HTML และภาษา PHP ในการพัฒนาเว็บแบบ Dynamic [7-9] โดยจะประมวลผลที่ฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ภาษา JavaScript และ jQuery [1][10] ใช้พัฒนาเว็บเพจซึ่งจะประมวลผลที่ฝั่งไคลเอนต์ และภาษา SQL เป็นภาษาที่ทำให้ผู้ใช้สามารถทำงานกับข้อมูลที่จัดเก็บบนฐานข้อมูล Open Flash Chart เป็นโมดูลที่ใช้ในการสร้างกราฟโดยใช้ภาษา PHP

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. การวางแผนและเตรียมการ

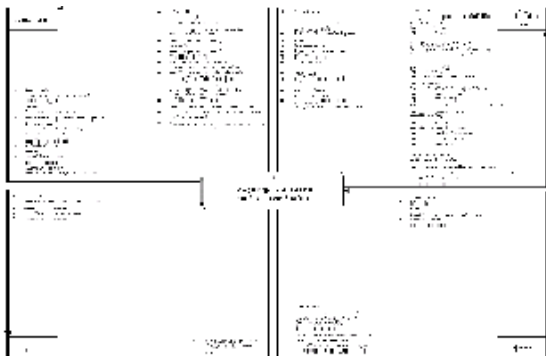
โดยทำการศึกษาความเป็นไปได้และวิเคราะห์โครงการจากการเก็บความต้องการต่าง ๆ จากฝ่ายบำรุงรักษาโยธา รวมถึงศึกษาระบบการทำงานต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นของฝ่ายบำรุงรักษาโยธา พร้อมทั้งพิจารณาเทคโนโลยีที่จำเป็นในการจัดทำ

2. วิเคราะห์และออกแบบระบบ

(1) ศึกษากระบวนการทำงาน และความต้องการของระบบ

(2) วิเคราะห์และออกแบบ

วิเคราะห์และออกแบบระบบด้วยแผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram) โดยออกแบบภาพรวมของระบบ (Context Diagram) และออกแบบแผนภาพกระแสข้อมูลในแต่ละระดับ เพื่อแสดงขั้นตอนการทำงานและการไหลของข้อมูลในระบบ กำหนด Entity และ Attribute โดยอิงจาก Data Store ในแผนภาพกระแสข้อมูล นำมากำหนดความสัมพันธ์ของข้อมูล (E-R Diagram) และทำการปรับแต่งให้สมบูรณ์ตามความต้องการของฝ่ายบำรุงรักษาโยธา พร้อมทั้งจัดทำพจนานุกรมข้อมูล (Data Dictionary) เพื่อใช้ในการพัฒนา Web Application ต่อไป และออกแบบหน้าเว็บพร้อมทั้งส่วนองค์ประกอบต่าง ๆ ของเพจ



ภาพที่ 1 Context Diagram ของระบบ



ภาพที่ 2 DFD Level 1 ของระบบ

(3) สร้างและพัฒนาระบบ

ทำการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา PHP, HTML และ JavaScript สร้างหน้าเว็บติดต่อระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL ด้วยภาษา SQL พร้อมทั้งจัดทำภาพกราฟิกต่าง ๆ ทำจำเป็นในการพัฒนาระบบ

(4) การทดสอบระบบ

ทำการทดสอบการใช้งานระบบในส่วนต่างๆ ในแต่ละฟังก์ชัน โดยหาข้อผิดพลาด และฟังก์ชันต่างๆ ที่ขาดหายไป หรือไม่สมบูรณ์

(5) ปรับปรุงแก้ไขระบบ แก้ไขส่วนที่ผิดพลาดต่าง ๆ และเพิ่มเติมส่วนที่ขาดหายไปหรือไม่สมบูรณ์ และปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

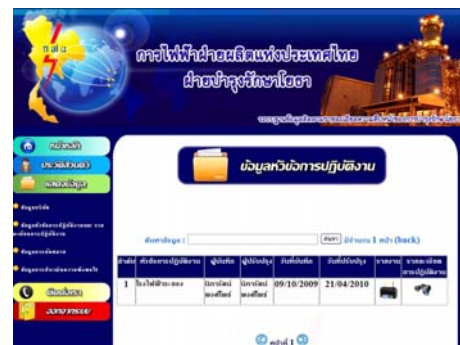
3. ผลและการอภิปรายผล

ผลการวิจัยของเว็บ

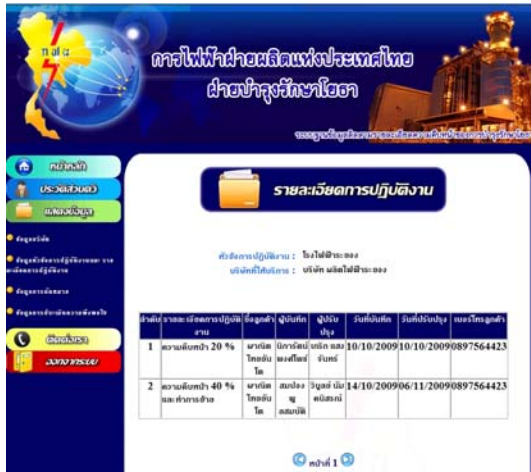
การสร้างเว็บไซต์ได้แบ่งผู้ใช้งานเป็น 4 ประเภท คือ 1.หัวหน้าทีมงานการตลาด 2.ทีมงานการตลาด 3.ผู้บริหาร 4.ลูกค้าผู้ใช้ภายนอกหน่วยงาน ประกอบด้วย



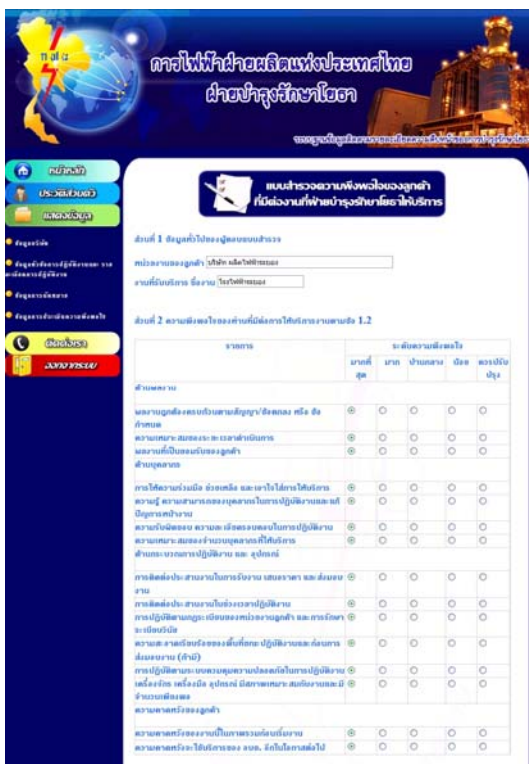
ภาพที่ 3 หน้าจอของระบบล็อกอิน



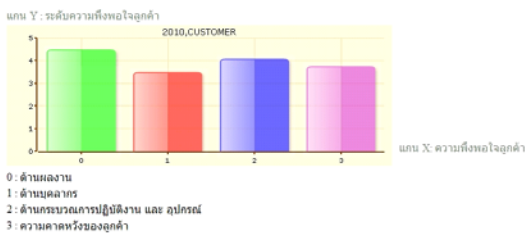
ภาพที่ 4 หน้าจอข้อมูลหัวข้อการปฏิบัติงาน



ภาพที่ 5 หน้าจอรายละเอียดการปฏิบัติงาน



ภาพที่ 6 หน้าจอของแบบประเมินความพึงพอใจ



ภาพที่ 7 หน้าจอแสดงกราฟความพึงพอใจ โดยรวมประจำปี 2010 ของลูกค้า

ผลการประเมิน

ในการประเมินระบบฐานข้อมูลติดตามรายละเอียด ความคืบหน้าของการบำรุงรักษาโยธาทางคณะผู้พัฒนาได้ทำการประเมินจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานระบบ 7 ท่าน โดยได้กำหนดเกณฑ์ในการประเมินระบบไว้ 5 ระดับ คือ คะแนน 5 หมายถึง ดีมาก คะแนน 4 หมายถึง ดี คะแนน 3 หมายถึง ปานกลาง คะแนน 2 หมายถึง พอใช้ คะแนน 1 หมายถึง ควรปรับปรุง ซึ่งผลจากการประเมินในด้านโปรแกรมระบบกับผู้ใช้โปรแกรม ระดับคะแนนเฉลี่ยที่ได้คือ 4.18 ซึ่งแสดงว่าในด้านโปรแกรมระบบกับผู้ใช้โปรแกรม อยู่ในระดับ ดี ส่วนในด้านการประมวลผลของโปรแกรมระบบ นั้นระดับคะแนนเฉลี่ยที่ได้คือ 4.50 ซึ่งแสดงว่าระบบมีความสามารถในการประมวลผลของโปรแกรมระบบ อยู่ในระดับ ดี ส่วนในด้านสิทธิและความปลอดภัยของโปรแกรมระบบ ระดับคะแนนเฉลี่ยที่ได้คือ 4.67 ซึ่งแสดงว่าระบบมีความสามารถในการด้านสิทธิและความปลอดภัยของโปรแกรมระบบ อยู่ในระดับ ดี และในด้านสุดท้ายคือ ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ ระดับคะแนนเฉลี่ยที่ได้คือ 4.36 ซึ่งแสดงว่าระบบมีความสามารถในการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ อยู่ใน ระดับดีสรุปประสิทธิภาพโดยรวมของระบบฐานข้อมูลติดตามรายละเอียดความคืบหน้าของการบำรุงรักษาโยธาได้ว่าระบบดังกล่าวมีความสามารถอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดี ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลการประเมินการใช้งานของระบบ

หัวข้อการประเมิน	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7	รวม
ด้านโปรแกรมระบบกับผู้ใช้โปรแกรม (Usability Test)	4.00	3.83	4.33	4.00	4.50	4.50	4.13	4.18
ด้านการประมวลผลของโปรแกรมระบบ (Functional Test)	4.33	4.00	5.00	5.00	5.00	3.50	4.67	4.50
ด้านสิทธิและความปลอดภัยของโปรแกรมระบบ (Security Test)	3.50	5.00	5.00	5.00	5.00	4.50	4.70	4.67
ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ (Functional Requirement Test)	4.20	4.40	4.40	4.20	4.40	4.60	4.32	4.36

4. สรุปผลการวิจัย

ระบบฐานข้อมูลติดตามรายละเอียดความคืบหน้าของการบำรุงรักษาโยธา มีความสามารถในการให้บริการก่อนข้างคิเมื่อพิจารณาจากระดับคะแนนเฉลี่ยในแต่ละด้าน โดยสามารถแบ่งระบบงานออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนของหัวหน้าทีมงานการตลาดสามารถเพิ่มข้อมูล, ค้นหา, เรียกดู, ลบและแก้ไขข้อมูลได้ ส่วนของทีมงานการตลาดสามารถเพิ่มข้อมูลและเรียกดูข้อมูลได้แต่ไม่สามารถแก้ไขหรือลบข้อมูลได้ ส่วนของลูกค้าไม่สามารถเรียกดูและค้นหาข้อมูลของลูกค้า และข้อมูลของบริษัทของลูกค้ารายอื่น ส่วนของผู้บริหารสามารถเรียกดูและค้นหาข้อมูลได้อย่างเดียวไม่สามารถแก้ไขหรือลบข้อมูลได้จากระบบปัจจุบันยังสามารถนำความรู้ในด้านภูมิศาสตร์เข้ามาพัฒนาเพื่อช่วยในการติดตามความคืบหน้าการบำรุงรักษาโยธาโดยมีการจัดเก็บข้อมูลตำแหน่งของไซต์งาน พร้อมทั้งสามารถแสดงแผนที่การเดินทางจากฝ่ายบำรุงรักษาโยธาไปยังไซต์งานที่พนักงานไปติดต่อดำเนินงานต่างๆ รวมถึงเพิ่มความสะดวกในการติดตามความคืบหน้าการบำรุงรักษาโยธา อาจทำระบบส่งเอสเอ็มเอส (SMS) เมื่อมีความคืบหน้าของงานเพิ่มเติม

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] jQuery คืออะไร (ออนไลน์). (2553).สืบค้นจาก :<http://www.mindphp.com/modules.php?name=News&file=article&sid=138>
- [2] โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. 2548. การออกแบบและจัดการฐานข้อมูล Database Design and Management. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

- [3] ศิริลักษณ์ โรจนกิจอำนวย. 2542. การออกแบบและบริหารฐานข้อมูล. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [4] สมบัติ คำพาลา, รุ่งรวี ตั้งสกุล และทิพย์งค์ โพธิ์จันทร์, 2551. ระบบจัดเก็บคลังข้อสอบ. โครงการงานวิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- [5] กนิฐา แสงกระจ่าง และณัฐวี อุตกฤษฎ์. 2550. การออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการวารสารออนไลน์. คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [6] วรณวิภา ดิตถะสิริ. 2551. คู่มือเรียน SQL ด้วยตนเอง. บริษัทโปรวิชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- [7] อธิศักดิ์ จันทร์มิน. 2549. สร้าง Web Application อย่างมืออาชีพด้วย PHP ฉบับ Workshop เล่ม2. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.
- [8] สมศักดิ์ โชคชัยชุตติกุล. 2547. อินไซต์ PHP 5 . บริษัท โปรวิชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- [9] วงศ์ประชา จันทร์สมวงศ์, ดวงพร เกียงคำและบุญญาภา ช้อนขุนทด. 2551. เจาะลึกการออกแบบเว็บเพจและพัฒนาเว็บไซต์ด้วย Dreamweaver CS3. บริษัท โปรวิชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- [10] วันชัย แซ่เตีย และสิทธิชัย ประสานวงศ์. 2543. สร้าง Dynamic Web Pages ด้วย JavaScript. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

การพัฒนาคอนกรีตบล็อกแบบพรุนสำหรับอาคารประหยัดพลังงาน

สนธยา ทองอรุณศรี¹ ทรายฤทธิ์ หลีกแก้วสาย² อรวรรณ ปัญญาภาค² และ วิไลพร นุ่นภักดี²

บทคัดย่อ— โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาคอนกรีตบล็อกที่มีคุณสมบัติในการอนุรักษ์พลังงาน โดยนำคอนกรีตเบาชนิดไร้ทราย มาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกพรุน ซึ่งมีน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป มีค่าการนำความร้อนต่ำ เพื่อช่วยลดความร้อนจากภายนอกที่เข้าสู่ตัวอาคาร และมีราคาใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป เพื่อให้ประชาชนผู้มีรายได้น้อยสามารถนำไปสร้างบ้านราคาประหยัดได้ การวิจัยนี้เป็นการศึกษาส่วนผสมที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ระหว่าง 0.25 - 0.45 และอัตราส่วนวัสดุผสมต่อปูนซีเมนต์ระหว่าง 6.0 - 12.0 มวลรวมที่ใช้เป็นหินปูนที่มีขนาดเดียว โดยมีขนาด 3/8 นิ้ว (10 มิลลิเมตร) จากผลการวิจัยพบว่า เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติด้านกำลังอัด หน่วยน้ำหนัก และราคาของคอนกรีตบล็อกพรุน ส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกพรุน ได้แก่ส่วนผสมที่มีอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : มวลรวม เท่ากับ 1 : 9.33 โดยน้ำหนัก (1 : 11 โดยปริมาตร) และมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.367 คอนกรีตบล็อกพรุนที่ได้ มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 52.22 กก./ตร.ซม. และมีหน่วยน้ำหนัก 1629 กก./ลบ.ม. ซึ่งมีน้ำหนักและค่าการนำความร้อนน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปประมาณ 20% และ 45% ตามลำดับ ต้นทุนการผลิตประมาณ 2.12 บาทต่อก้อน (ไม่รวมค่าแรง) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป ดังนั้นจากคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วจึงสามารถสรุปได้ว่า คอนกรีตบล็อกพรุนที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นคอนกรีตบล็อกที่มีคุณสมบัติในการอนุรักษ์พลังงาน ทั้งสามารถลดน้ำหนักของโครงสร้าง และช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป

คำสำคัญ : คอนกรีตบล็อก คอนกรีตพรุน คอนกรีตไร้ทราย ค่าการนำความร้อน

1. บทนำ

คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยใช้ในการก่อผนังหรือกำแพง เนื่องจากเป็นวัสดุที่ง่ายและสะดวกต่อการก่อสร้าง มีราคาถูก น้ำหนักเบา มีความแข็งแรง และคงทนต่อสภาพอากาศ ใช้เวลาก่อสร้างน้อย จึงทำให้ต้นทุนการก่อสร้างต่ำกว่าการใช้อิฐมอญ นอกจากนี้สามารถควบคุมขนาดและคุณภาพได้อย่างสม่ำเสมอ มีค่าการ

ยึดหดตัว ซึ่งเกิดจากความชื้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ จึงทำให้เกิดการแตกร้าวน้อยกว่าผนังแบบอื่น [1-3]

จากกระแสอนุรักษ์พลังงานและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ปัจจุบันมีการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาออกจำหน่ายเนื่องจากมีข้อดีหลายประการคือ น้ำหนักเบา ทำให้โครงสร้างอาคารรับน้ำหนักน้อยลงนอกจากนี้ คอนกรีตบล็อกมวลเบายังกันความร้อนได้ดีทำให้ประหยัดพลังงานจากการใช้เครื่องปรับอากาศ กันเสียงได้ดีเนื่องจากมีความพรุนทำให้สามารถลดเสียงรบกวนจากภายนอกอาคารได้และทนไฟได้ดี [4] การผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบมีฟองอากาศอบไอน้ำ ซึ่งวิธีการผลิตจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูง เงินลงทุนจำนวนมาก และในกระบวนการผลิตยังต้องใช้วัตถุดิบและพลังงานจำนวนมาก เนื่องจากต้องมีการอบ

¹สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตาก 41 หมู่ 7 ต.ไม้งาม อ.เมือง จ.ตาก 63000

โทรศัพท์ : 053-540945 โทรสาร : 053-540945

E-mail: sontaya@rmutt.ac.th

²นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตาก 41 หมู่ 7 ต.ไม้งาม อ.เมือง จ.ตาก 63000

ไอน้ำในห้องที่มีความดันสูง จึงทำให้ราคาคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ผลิตด้วยวิธีนี้มีราคาแพง บ้านพักอาศัยของชาวบ้านในห้องถิ่นทั่วไปยังไม่สามารถเข้าถึงคอนกรีตบล็อกชนิดนี้ได้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ มีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน โรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกทั่วไปสามารถผลิตออกจำหน่ายได้ ผู้วิจัยจึงพัฒนาคอนกรีตบล็อกพรุน ซึ่งเป็นคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากคอนกรีตมวลเบาชนิดไร้ทราย (No-fine Concrete) หรือคอนกรีตพรุน (Porous Concrete) เนื่องจากคอนกรีตพรุนมีวิธีการผลิตไม่ซับซ้อนและมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าคอนกรีตปกติ [5] สามารถดูดซับเสียงได้ [6] นอกจากนี้ยังฉาบปูนได้ดี เนื่องจากมีผิวหยาบ มีการหดตัวแบบแห้งต่ำ มีวิธีการผสมไม่ยุ่งยาก จึงทำให้คอนกรีตพรุนมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาสำหรับอาคารประหยัดพลังงาน คอนกรีตบล็อกที่ได้จะเรียกว่า “คอนกรีตบล็อกพรุน”

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อพัฒนาคอนกรีตบล็อกที่มีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปจากคอนกรีตเบาชนิดไร้ทราย
- 2) เพื่อหาส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกพรุนที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ มีคุณสมบัติด้านการอนุรักษ์พลังงาน และมีคุณสมบัติผ่านตามมาตรฐาน มอก. 58-2533

ขอบเขตของการศึกษา

คอนกรีตบล็อกพรุนที่ทำการศึกษา เป็นคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ขนาด 39x19x7 ซม. ผลิตจากเครื่องอัดแบบเท้าเหยียบ ดังรูปที่ 1 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ทำการศึกษายู่ระหว่าง 0.25 – 0.45 และอัตราส่วนระหว่างวัสดุผสมต่อปูนซีเมนต์อยู่ระหว่าง 6-12 คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกพรุนที่ทำการศึกษาได้แก่

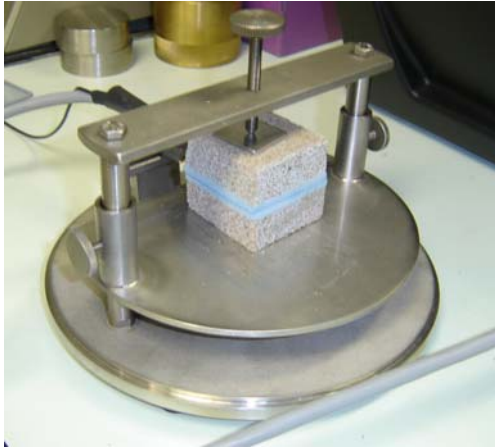
- 1) กำลังอัดของคอนกรีตบล็อก ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน
- 2) หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก ที่อายุ 28 วัน
- 3) การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก ที่อายุ 28 วัน
- 4) ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของคอนกรีตปกติ คอนกรีตบล็อกพรุน และคอนกรีตบล็อกทั่วไปที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากัน เครื่องมือที่ใช้ทดสอบค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก ได้แก่ Hot Disk Thermal Constant Analyzer TPS2500 ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3



ภาพที่ 1 เครื่องอัดบล็อกแบบเท้าเหยียบ



ภาพที่ 2 Hot Disk Thermal Constant Analyzer
TPS2500



ภาพที่ 3 การติดตั้งตัวอย่างที่พร้อมทดสอบค่าการนำความร้อน

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ

งานวิจัยนี้ศึกษาคอนกรีตบล็อกพรุนที่ผลิตจากคอนกรีตพรุน ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ไม่มีส่วนผสมของมวลละเอียด (Fine Aggregate) ดังนั้นส่วนผสมจึงมีเพียงปูนซีเมนต์ มวลรวมหยาบและน้ำ ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ส่วนมวลรวมที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นหินปูนที่มีขนาดเดี่ยว (Single size) โดยมีขนาด 3/8 นิ้ว

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

การออกแบบส่วนผสมสำหรับผลิตคอนกรีตบล็อกพรุนในงานวิจัยนี้จะใช้หลักการ การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม (Experiment Design) จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับคอนกรีตพรุนและคอนกรีตบล็อกทั่วไปสามารถกำหนดตัวแปรและค่าที่ใช้ในการออกแบบการทดลองได้คือ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.25 – 0.45 และอัตราส่วนระหว่างวัสดุผสมต่อปูนซีเมนต์ 6-12 และจากการออกแบบการทดลอง ได้ชุดทดสอบทั้งหมด 9 ชุดทดสอบ มีส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกพรุน

ชุดทดสอบที่	ปริมาณส่วนผสม (กก./ลบ.ม.)			ปริมาณเพสต์ (% V/V)
	ปูนซีเมนต์	น้ำ	หิน	
1	178.25	65.46	1663.44	16.22
2	257.82	63.11	1508.74	20.88
3	181.39	52.96	1713.73	11.59
4	264.43	57.91	1578.10	19.70
5	209.34	56.14	1581.12	17.00
6	216.69	43.86	1678.71	14.87
7	162.77	45.58	1718.84	12.59
8	307.87	75.43	1459.29	25.62
9	212.95	74.53	1629.07	19.22

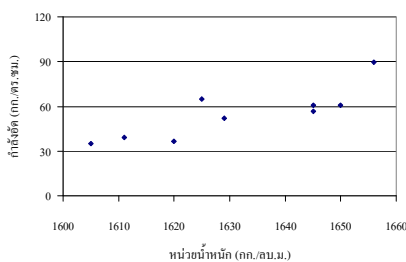
3. ผลและอภิปรายผล

ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกพรุนแสดงดังตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาลักษณะของคอนกรีตบล็อกพรุนพบว่ามิลักษณะไม่ต่างกันมากนัก ยกเว้นส่วนผสมที่มีปริมาณเพสต์ต่างกันมากๆ เช่น ชุดทดสอบที่ 1 และชุดทดสอบที่ 8 ซึ่งมีปริมาณเพสต์เท่ากับ 16.22 และ 25.62% ตามลำดับ โดยชุดทดสอบที่ 1 จะมองเห็นช่องว่างระหว่างมวลรวมได้อย่างชัดเจน ลักษณะของคอนกรีตบล็อกพรุนแสดงดังภาพที่ 5 และ ภาพที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกทั่วไปแสดงดังภาพที่ 7 จะพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกพรุน

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตบล็อกพรุนในทุกส่วนผสมมีกำลังอัดที่อายุ 14 วัน ผ่านมาตรฐาน มอก.58-2533 (คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก) และในชุดทดสอบที่ 1 2 4 5 8 และ 9 มีกำลังอัด มากกว่า 50.97 กก./ตร.ซม. ซึ่งผ่านมาตรฐาน มอก.57-2530 (คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก) ชั้นคุณภาพ ค. แสดงให้เห็นว่าส่วนผสมของคอนกรีตพรุนที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก

ได้ อย่างไรก็ตามแม้ว่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกทั้ง 9 ชุดทดสอบ มีค่าผ่านมาตรฐาน มอก. แต่เมื่อพิจารณา ลักษณะของคอนกรีตบล็อก พบว่าคอนกรีตบล็อกใน ชุดทดสอบที่ 3, 6 และ 7 (มีปริมาณเพสต์เท่ากับ 11.59, 14.87 และ 12.58% ตามลำดับ) มีการหลุดร่อนของเม็ด หินที่มุมของบล็อก เมื่อมีน้ำหนักกระทำเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าปริมาณเพสต์ที่ใช้น้อยเกินไปหรือกำลัง ของเพสต์มีค่าต่ำเกินไป แต่เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วน น้ำตอปูนซีเมนต์ของชุดทดสอบที่ 6 มีค่าเท่ากับ 0.202 ซึ่งกำลังของเพสต์ควรมีค่ามาก แสดงให้เห็นว่าปริมาณ เพสต์ที่ต่ำเกินไป ทำให้เกิดการหลุดร่อนของเม็ดหิน ดังนั้นปริมาณเพสต์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตคอนกรีต บล็อกจึงควรมีค่ามากกว่า 14.87% จากภาพที่ 4 แสดง ให้เห็นว่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกพูนมีค่าเพิ่มขึ้น ตามหน่วยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้กำลังอัดของ คอนกรีตบล็อกพูนมีค่าลดลงตามปริมาณหินที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการที่มีปริมาณเพสต์ลดลง เมื่อพิจารณา ความแตกต่างของกำลังอัดที่อายุการบ่ม 14 และ 28 วัน แสดงให้เห็นว่ากำลังของเพสต์มีผลอย่างมากต่อกำลัง ของคอนกรีตบล็อกพูน ซึ่งจะเห็นผลชัดเจนกว่า คอนกรีตบล็อกทั่วไป



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดที่อายุ 28 วันกับ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก พูน ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน

ชุดทดสอบที่	ปริมาณเพสต์ (% V/V)	กำลังอัด (ก.ก./ตร.ซม.)		
		7 วัน	14 วัน	28 วัน
1	16.22	39.38	41.20	52.22
2	20.88	45.97	48.14	56.73
3*	11.59	24.07	31.72	36.52
4	19.70	31.77	34.67	60.89
5	17.00	29.84	42.07	60.63
6*	14.87	21.03	28.54	34.78
7*	12.58	17.35	31.23	39.03
8	25.62	44.58	48.14	65.05
9	19.22	86.30	88.91	89.77

หมายเหตุ : ความต้านทานกำลังอัดที่ผ่าน มอก.58-2533 เฉลี่ย 5 ก้อน ต้องไม่น้อยกว่า 25.48 กก./ตร.ซม.

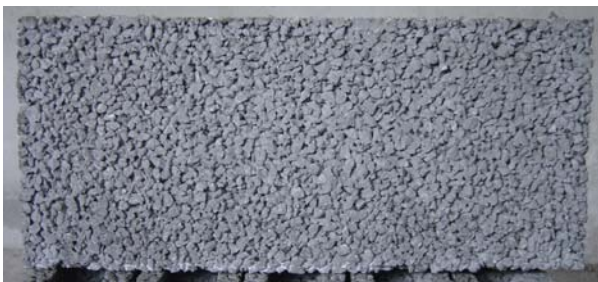
* คอนกรีตบล็อกมีการหลุดร่อนของเม็ดหินบริเวณมุม บล็อก

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคอนกรีตบล็อกพูน

ชุดทดสอบที่	กำลังอัดที่อายุ 28 วัน (ก.ก./ตร.ซม.)	หน่วยน้ำหนัก (ก.ก./ลบ.ม.)	การดูดกลืนน้ำ (%)
1	52.22	1629	5.19
2	56.73	1645	5.76
3	36.52	1620	6.07
4	60.89	1645	3.52
5	60.63	1650	5.74
6	34.78	1605	6.01
7	39.03	1611	5.27
8	65.05	1625	6.76
9	89.77	1656	4.74

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของคอนกรีต

รายการ	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
คอนกรีตบล็อกพรุน (ชุดทดสอบที่ 1)	0.7254
คอนกรีตบล็อกพรุน (ชุดทดสอบที่ 9)	1.0260
คอนกรีตบล็อกทั่วไป	1.3090
คอนกรีตปกติ	2.2397



ภาพที่ 5 ลักษณะของคอนกรีตบล็อกพรุน ชุดทดสอบที่ 1



ภาพที่ 6 ลักษณะของคอนกรีตบล็อกพรุน ชุดทดสอบที่ 8



ภาพที่ 7 ลักษณะของคอนกรีตบล็อกทั่วไป

3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกพรุน

จากตารางที่ 3 พบว่าค่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกมีค่าอยู่ระหว่าง 3.52 - 6.76% ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ มอก.58-2533 กำหนดคือ มีค่าไม่เกิน 25 % ดังนั้นคอนกรีตบล็อกพรุนที่ได้นี้ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ คอนกรีตบล็อกชนิดควบคุมความชื้น และพบว่าค่าการดูดกลืนน้ำมีแนวโน้มลดลงตามหน่วยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกพรุนยังมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 7.99 - 12.79% [7] เนื่องจากคอนกรีตบล็อกพรุน ไม่มีมวลรวมละเอียด จึงมีค่าการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป

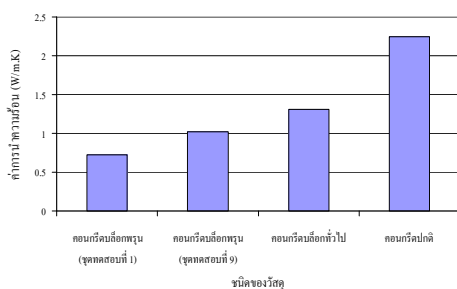
3.3 ปัจจัยด้านหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกพรุน

หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกพรุนจากงานวิจัยนี้มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1632 กก./ลบ.ม. ซึ่งถือว่ามีน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป ซึ่งมีหน่วยน้ำหนักประมาณ 2039 กก./ลบ.ม. ดังนั้นน้ำหนักของผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกพรุนจึงมีค่าน้อยกว่ากำแพงที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไปประมาณ 20% น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่ลดลงไปนี้ เนื่องจากในคอนกรีตบล็อกพรุนมีปริมาณช่องว่างขนาดใหญ่อยู่เป็นจำนวนมาก

3.4 ปัจจัยด้านการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกพรุน

จากภาพที่ 8 พบว่าค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกพรุนมีค่าน้อยกว่า คอนกรีตปกติ และคอนกรีตบล็อกทั่วไป เนื่องจากค่าการนำความร้อนจะสัมพันธ์กับความพรุนของวัสดุ โดยวัสดุที่มีความพรุนหรือมีช่องว่างในเนื้อของวัสดุมากจะมีค่าการนำความร้อนต่ำ คอนกรีตบล็อกพรุนในชุดทดสอบที่ 1 มีหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าในชุดทดสอบที่ 9 จึงทำให้มีค่าการนำความร้อนต่ำกว่า

เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติด้านกำลังอัด หน่วยน้ำหนัก และราคาของคอนกรีตบล็อกพรุน สามารถสรุปได้ว่า ส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกพรุน ได้แก่ส่วนผสมในชุดทดสอบที่ 1 ซึ่งมีอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : มวลรวม เท่ากับ 1 : 9.33 โดยน้ำหนัก (1 : 11 โดยปริมาตร) และมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.367 โดยคอนกรีตบล็อกพรุนที่ได้มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 52.22 กก./ตร.ซม. และมีลักษณะของคอนกรีตบล็อกที่สวยงาม ขอบของบล็อกมีความแข็งแรง มีต้นทุนการผลิต 2.12 บาทต่อก้อน (ไม่รวมค่าแรง) เมื่อเปรียบเทียบกับราคาต้นทุนการผลิตของคอนกรีตบล็อกทั่วไปที่อยู่ประมาณ 1.80 บาท (ไม่รวมค่าแรง) พบว่ามีราคาต่างกัน 15% แต่เมื่อพิจารณาราคาขายของคอนกรีตบล็อกในปัจจุบันที่อยู่ระหว่าง 3.5 – 5 บาท/ก้อน ส่วนต่างนี้จึงถือว่าน้อยมาก อย่างไรก็ตามเมื่อคำนึงถึงการจัดการเกี่ยวกับส่วนผสมซึ่งคอนกรีตบล็อกพรุนใช้เพียงหินเกล็ด ในขณะที่คอนกรีตบล็อกทั่วไปมีส่วนผสมคือ ทรายหยาบ หินฝุ่น และหินเกล็ด ก็จะทำให้ต้นทุนการผลิตต่างกันเพียงเล็กน้อย



ภาพที่ 7 ค่าการนำความร้อนของวัสดุต่างๆ

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองที่ได้ในโครงการวิจัยนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกพรุนที่ได้อยู่ในช่วง 34.78 - 89.77 กก./ตร.ซม. โดยกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกพรุนมีค่าเพิ่มขึ้นตามหน่วยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกพรุนมีค่าอยู่ระหว่าง 3.52 - 6.76% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป ดังนั้นคอนกรีตบล็อกพรุนในทุกชุดทดสอบจึงผ่านมาตรฐาน มอก.58-2533
2. หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกพรุนจากงานวิจัยนี้มีน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป ดังนั้นน้ำหนักของกำแพงคอนกรีตบล็อกพรุนจึงน้อยกว่ากำแพงคอนกรีตบล็อกทั่วไปประมาณ 20% ทำให้ลดค่าใช้จ่ายด้านงานโครงสร้างลงได้
3. ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกพรุน (ชุดทดสอบที่ 1) มีค่าน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป ถึง 45%
4. ส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกพรุน ได้แก่ส่วนผสมในชุดทดสอบที่ 1 ซึ่งมีอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : มวลรวม เท่ากับ 1 : 9.33 โดยน้ำหนัก (1 : 11 โดยปริมาตร) และมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.367 โดยคอนกรีตบล็อกพรุนที่ได้มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 52.22 กก./ตร.ซม. และมีลักษณะของคอนกรีตบล็อกที่สวยงาม ขอบของบล็อกมีความแข็งแรง มีต้นทุนการผลิต 2.12 บาทต่อก้อน (ไม่รวมค่าแรง)

ดังนั้นจากคุณสมบัติต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วจึงสามารถสรุปได้ว่า คอนกรีตบล็อกพรุนที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นคอนกรีตบล็อกที่มีคุณสมบัติในการอนุรักษ์พลังงาน ทั้งสามารถลดน้ำหนักของโครงสร้าง และช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารลงได้ เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] พงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสด, “วัสดุก่อสร้าง”, สำนักพิมพ์ เอช.เอ็น กรู๊ป , 2538
- [2] รศ.ดร.พิภพ สุนทรสมัย, “วัสดุวิศวกรรมก่อสร้าง” , สำนักพิมพ์ เอช.เอ็น กรู๊ป , 2530
- [3] ผศ.อุดมวิทย์ กาญจนาวงศ์, “การทดสอบวัสดุ” , สำนักพิมพ์สยามสปอร์ตซินดิเคท, 2544
- [4] ประณต กุลประสูติ, “เทคนิคงานปูน – คอนกรีต” , สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548
- [5] Shetly M.S., “Concrete Technology: Theory and Practice, S. Chand & Company Lfd., New Delhi, 1996.
- [6] Park S.B. ,Seo D.S. and Lee J., “Studies on the sound absorption characteristics of porous concrete based on the content of recycled aggregate and target void ratio”, Cement and Concrete Research, 35, 1846-1854, 2005.
- [7] สนธยา ทองอรุณศรี และ อัสวิน คุณาแจ่มจรัส, (2551) “การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางสถิติ เพื่อหาส่วนผสมของคอนกรีตบดลือกที่มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด”, เอกสารการประชุมวิชาการ ม.อ. ภูเก็ตวิจัย ครั้งที่ 1, ภูเก็ต, 19-21 พฤศจิกายน 2551

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2551 และได้รับความอนุเคราะห์ในการทดสอบค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบดลือกจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

การพัฒนาโปรแกรมจำแนกลักษณะอาการสำคัญของแผนภูมิควบคุม สำหรับการควบคุมคุณภาพ

ถนอม ปานทองคำ¹ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์² จตุพร ใจดำรง² และ วรรณพร ชีววุฒิพงศ์²

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมจำแนกลักษณะอาการสำคัญของแผนภูมิควบคุมสำหรับการควบคุมคุณภาพ มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงและจำแนกลักษณะอาการสำคัญของแผนภูมิควบคุมแบบข้อมูลผันแปรและแผนภูมิควบคุมข้อมูลแบบลักษณะสำหรับการควบคุมคุณภาพแบบอัตโนมัติ ผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาเดลไฟล์ ซึ่งทำงานบนโปรแกรมระบบปฏิบัติการวินโดวส์ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมช่วยในการจำแนกลักษณะอาการสำคัญแบบอัตโนมัติของข้อมูลที่ได้มาจากการวัดค่าของชิ้นงาน และลักษณะอาการสำคัญของข้อมูลที่โปรแกรมสามารถจำแนกได้มีอยู่ด้วยกัน 6 ลักษณะ คือ การเกิดแนวโน้ม การเกิดความไม่สมดุล การออกนอกขอบเขตควบคุม การมีค่าเข้าใกล้ค่ากลาง การเข้าใกล้ขอบเขตควบคุม และการเกิดวัฏจักร สำหรับการดำเนินการของโปรแกรม ผู้ทำการวิจัยได้ดำเนินการกำหนดสถานะเริ่มต้นจากข้อมูลของชิ้นงาน สถานะที่สอง กำหนดตัวแปรเชิงตัวเลขโดยการแยกความสำคัญของแต่ละปัจจัยและแต่ละสถานะ ต่อมาคือการเขียนข้อมูลเชิงกราฟ และข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ โดยการเลือกกำหนดความสำคัญของแต่ละสถานะ ซึ่งแสดงในผลลัพธ์ โดยผู้วิจัยทำการเลือกผลลัพธ์ที่เหมาะสม งานวิจัยนี้เลือกกรณีศึกษา 10 ตัวอย่าง ผลการประมวลผลของโปรแกรมพบว่าโปรแกรมสามารถคำนวณได้ผลลัพธ์อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ: แผนภูมิควบคุม การควบคุมกระบวนการทางสถิติ คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต

1. บทนำ

แผนภูมิควบคุม คือเครื่องมือที่เขียนขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากข้อกำหนดทางเทคนิคที่ระบุคุณสมบัติด้านใดด้านหนึ่งของชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต และต้องการที่จะควบคุมเพื่อใช้เป็นแนวทางใน

การติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิต โดยแผนภูมิควบคุมจะช่วยแยกแยะสาเหตุการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตว่ามาจากสาเหตุตามธรรมชาติหรือสาเหตุจำเพาะแผนภูมิควบคุมอาจจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือแผนภูมิควบคุมข้อมูลแบบผันแปร (Variable Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ควบคุมข้อมูลจากการวัดหรือมีค่าต่อเนื่อง ข้อมูลเหล่านี้ได้จากหน่วยวัด เช่น ขนาดความยาว น้ำหนัก ความหนาแน่น เป็นต้น และแผนภูมิควบคุมข้อมูลแบบลักษณะ (Attribute Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ควบคุมข้อมูลจากการนับและข้อมูลมีค่าแบบไม่ต่อเนื่อง ข้อมูลเหล่านี้ได้จากการนับ เช่น จำนวนชิ้นงานที่เป็นของเสีย จำนวนรอยตำหนิ เป็นต้น

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 1 ถ. ราชดำเนินนอก ต.บ่อหยง อ. เมือง จ. สงขลา 90000

โทรศัพท์: 074-317-162

E-mail: mrkonto@hotmail.com

²สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 1 ถ. ราชดำเนินนอก ต. บ่อหยง อ. เมือง จ.สงขลา 90000

โทรศัพท์: 074-317-162

E-mail: sitnong2@yahoo.co.th

การอ่านหรือการตีความอาการผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนแผนภูมิควบคุม อาจเกิดขึ้นได้หลายแบบพร้อมกัน ซึ่งในการจำแนกลักษณะอาการสำคัญแบบต่าง ๆ ของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยจะ使人เป็นผู้อ่าน ซึ่งต้องใช้เวลาในการจำแนกลักษณะอาการสำคัญของข้อมูลและอาจเกิดความผิดพลาดได้อันเนื่องมาจากคน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างโปรแกรมสำหรับจำแนกลักษณะอาการสำคัญแบบต่าง ๆ ของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาในเบื้องต้นมาแล้ว โดยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมจำแนกลักษณะอาการสำคัญของข้อมูลสำหรับแผนภูมิค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย ที่มีลักษณะในการทำงานที่เป็นแบบอัตโนมัติ ซึ่งผู้ใช้งานทำการป้อนค่าข้อมูลที่ได้จากการทำงานจำนวน 1 ชุด ต่อจากนั้นผู้ใช้ก็จะทำการกำหนดลักษณะอาการสำคัญที่ผู้ใช้ต้องการโปรแกรมรับรู้สำหรับทำการจำแนกลักษณะอาการสำคัญ โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการกำหนดลักษณะอาการของข้อมูลเบื้องต้นแบ่งออกเป็น 5 ลักษณะ คือการออกนอกขอบเขตการควบคุม การเกิดแนวโน้ม การเกิดความไม่สมดุลการมีค่าเข้าใกล้เส้นค่ากลาง และการเข้าใกล้ขอบเขตควบคุม ในการพัฒนาโปรแกรมทางคณะผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมโดยใช้ภาษาโปรแกรมมอโต้ลิส (Auto Lisp) ซึ่งทำงานบนโปรแกรมอโต้แคด (Auto CAD) และผลการวิจัยพบว่า โปรแกรมที่พัฒนาสามารถทำการจำแนกลักษณะอาการสำคัญของข้อมูลจำนวน 1 ชุด ได้ครบถ้วนทั้ง 5 ลักษณะอาการสำคัญตามที่กำหนดไว้ในเบื้องต้น และโปรแกรมยังสามารถจำแนกในแต่ละลักษณะอาการสำคัญได้โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถแยกกลุ่มข้อมูลที่มีหลาย ๆ กลุ่ม ในลักษณะอาการสำคัญแบบเดียวกันได้ แต่ในการทำงานของโปรแกรมพบว่ารูปแบบของการนำเสนอผลการจำแนกลักษณะอาการสำคัญที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรมอโต้แคดนั้น พบว่ายังไม่มีความเหมาะสมในการนำเสนอ (Presentation) และการประสานการทำงาน

กับผู้ใช้ (Graphic User Interface)

จากนั้นคณะผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมจำแนกลักษณะอาการสำคัญแบบวัฏจักรของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย อีกระดับหนึ่งเพื่อให้โปรแกรมสามารถแสดงลักษณะอาการแบบวัฏจักรของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยได้ เพื่อให้การทำงานของโปรแกรมสมบูรณ์ครอบคลุม ลักษณะอาการต่างๆ ได้ครบถ้วนมากยิ่งขึ้น ซึ่งผลการทดลองโปรแกรมสามารถแสดงลักษณะอาการได้ครบทั้ง 6 ลักษณะ คือ การออกนอกขอบเขตการควบคุม การเกิดแนวโน้ม การเกิดความไม่สมดุล การมีค่าเข้าใกล้เส้นค่ากลาง การเข้าใกล้ขอบเขตควบคุม และแบบวัฏจักร อีกทั้งโปรแกรมสามารถนำเสนอผลการจำแนกลักษณะอาการสำคัญที่ถูกต้อง

ดังเหตุผลในข้างต้น ทางคณะผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการจำแนกลักษณะอาการสำคัญของแผนภูมิควบคุมแบบอัตโนมัติสำหรับงานควบคุมคุณภาพ ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้นจากการทำงานวิจัยก่อนหน้านี้ โดยพัฒนาด้านการนำเสนอ และการทำงานที่ประสานกับผู้ใช้ให้มีความเหมาะสมมากขึ้น อีกทั้งได้เพิ่มแผนภูมิควบคุมแบบข้อมูลแบบลักษณะ ซึ่งเป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตที่มีการตรวจวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยการนับ เช่น จำนวนของเสียหรือชำรุด จำนวนรอยตำหนิ โดยแผนภูมิประเภทนี้มี 2 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np-Chart) และแผนภูมิควบคุมรอยตำหนิ (C-Chart) คณะผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมด้วยโปรแกรมภาษาเดลไฟ (Delphi) เพื่อเพิ่มขอบเขตการจำแนกลักษณะอาการสำคัญที่หลากหลายให้กับการทำงานในการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต

2. วิธีการวิจัย

2.1 แผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุม (Control Chart) คือเครื่องมือที่เขียนขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากข้อกำหนดต่าง ๆ ทางเทคนิค ที่ระบุคุณสมบัติด้านใดด้านหนึ่งของชิ้นงาน

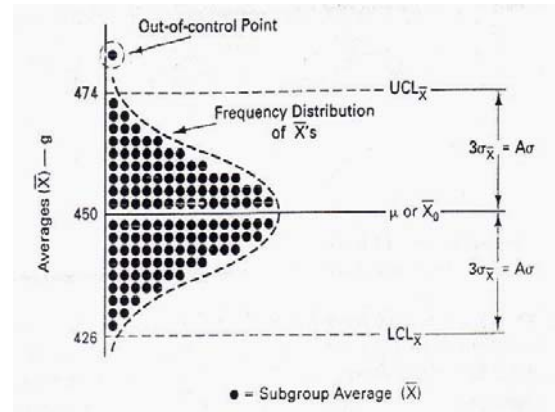
หรือผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต และต้องการที่จะควบคุมเพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากระบวนการผลิต โดยแผนภูมิควบคุมจะช่วยแยกแยะสาเหตุการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตว่ามาจากสาเหตุตามธรรมชาติหรือสาเหตุจำเพาะ แนวความคิดนี้ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ.1924 โดย Dr. Walter A. Shewhart ขณะทำงานอยู่ที่ Bell Telephone Laboratories ประเทศสหรัฐอเมริกา

แผนภูมิควบคุม จำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. แผนภูมิควบคุมแบบข้อมูลผันแปร (Variable Control Chart) เป็นแผนภูมิควบคุมข้อมูลจากการวัดหรือมีค่าต่อเนื่อง ข้อมูลเหล่านี้ได้จากหน่วยวัด เช่น ความยาว น้ำหนัก ความหนาแน่น อุณหภูมิ แรงกด กำลังงาน เป็นต้น แผนภูมิควบคุมประเภทนี้ ได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น

2. แผนภูมิควบคุมแบบข้อมูลแบบช่วง (Attribute Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ควบคุมข้อมูลจากการนับและข้อมูลมีค่าแบบไม่ต่อเนื่อง ข้อมูลเหล่านี้ได้จากการนับ เช่น จำนวนชิ้นงานที่เป็นของเสีย จำนวนรอยตำหนิ เป็นต้น แผนภูมิควบคุมประเภทนี้ ได้แก่ แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย แผนภูมิควบคุมจำนวนตำหนิ และแผนภูมิควบคุมจำนวนตำหนิต่อชิ้น เป็นต้น

แผนภูมิควบคุมมาจากหลักการทางสถิติที่ว่าถ้าหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลชุดใด การกระจายของข้อมูลตามธรรมชาติจะอยู่ในช่วง 6 เท่า ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยอยู่ในช่วง 3 เท่า ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่นับจากค่าเฉลี่ยออกไปทั้งสองข้างเป็นขอบเขตการกระจายของข้อมูล เนื่องจากสาเหตุตามธรรมชาติ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การแจกแจงความน่าจะเป็นของค่าเฉลี่ยและขอบเขตควบคุม

แผนภูมิควบคุมโดยทั่วไปประกอบด้วยเส้นกลาง (Central Line : CL) แสดงถึงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต ขอบเขตควบคุมบน (Upper Control Limit : UCL) แสดงถึงขอบเขตควบคุมสูงสุด ขอบเขตควบคุมล่าง (Lower Control Limit : LCL) แสดงถึงขอบเขตควบคุมต่ำสุด การใช้โดยการเขียนจุดของแต่ละกลุ่มตัวอย่างลงบนแผนภูมิควบคุม ตำแหน่งของจุดจะแสดงสถานการณ์ของกระบวนการผลิต ถ้าทุกจุดอยู่ภายในขอบเขตควบคุมก็แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุธรรมชาติ แต่ถ้าบางจุดอยู่นอกขอบเขตควบคุมก็แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุจำเพาะ ซึ่งจะต้องหาทางแก้ไขให้กระบวนการผลิตเข้าสู่สภาวะปกติต่อไป

2.2. การตีความแผนภูมิควบคุม

สิ่งสำคัญของการควบคุมคุณภาพการผลิตโดยใช้แผนภูมิควบคุม คือการอ่านหรือการตีความแผนภูมิควบคุม เพื่อโยงเหตุผลไปที่สภาวะของกระบวนการผลิตที่นำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุม เพราะอาการผิดปกติต่างๆในกระบวนการผลิตที่จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เมื่อตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการผลิตโดยอ่านจากแผนภูมิควบคุม จะได้ทำการแก้ไขสาเหตุของความผันแปรในกระบวนการผลิตเพื่อปรับสภาวะการผลิตให้กลับสู่สภาวะที่อยู่ใน การควบคุม โดยปกติแล้วถ้ากระบวนการผลิตอยู่ใน

การควบคุมก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติเกิดขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากทุกจุดอยู่ในขอบเขตควบคุม (In Control) และจุดจะวางตัวไม่เป็นรูปแบบที่แน่นอน

การวิเคราะห์การเกิดรูปแบบบนแผนภูมิควบคุม สรุปไว้ว่าแผนภูมิควบคุมอาจจะแสดงลักษณะของการไม่อยู่ในการควบคุมเมื่อมีจุดออกนอกขอบเขตควบคุมหรือเมื่อจุดที่พล็อตแสดงรูปแบบที่ไม่เป็นแบบสุ่ม

Montgomery, 2002 อ้างถึง Western Electric Handbook ซึ่งได้เสนอแนะกฎการแบ่งโซนสำหรับการตรวจจบบรูปแบบที่ไม่เป็นแบบสุ่มในแผนภูมิควบคุมโดยจัดแบ่งโซนในพื้นที่แผนภูมิควบคุมออกเป็น 1, 2 และ 3 ซิกมาตามลำดับ ซึ่งการจัดแบ่งโซนจะเป็นตัวแสดงอาการของกระบวนการผลิต เหตุการณ์ต่อไปนี้แสดงว่ากระบวนการผลิตไม่อยู่ในการควบคุม

1. มีจุด 1 จุดออกนอกขอบเขตควบคุม 3 ซิกมา
2. มีจุด 2 ใน 3 จุดต่อเนื่องกัน พล็อตอยู่เกินกว่าขอบเขตควบคุม 2 ซิกมา
3. มีจุด 4 ใน 5 จุดต่อเนื่องกัน พล็อตอยู่เกินกว่าขอบเขตควบคุม 1 ซิกมา
4. มีจุด 8 จุดต่อเนื่องกัน พล็อตอยู่บนด้านเดียวกันของเส้นผ่านศูนย์กลาง

ดังนั้นสรุปได้ว่าแผนภูมิควบคุมอาจจะแสดงลักษณะของการไม่อยู่ในการควบคุม เมื่อมีจุดออกนอกขีดจำกัดควบคุมหรือจุดที่พล็อตได้แสดงรูปแบบที่ไม่เป็นแบบสุ่ม จึงได้รวบรวมรูปแบบของแผนภูมิควบคุมที่ไม่อยู่ในการควบคุมไว้ 5 รูปแบบ ดังนี้ การเกิดวัฏจักร (Cyclic) การเกิดแบบผสม (Mixture) การเลื่อน (Shift) การเกิดแนวโน้ม (Trend) และการเกิดเป็นชั้น (Stratification)

Ishikawa, 1976 ได้รวบรวมลักษณะอาการต่าง ๆ ของความผิดปกติบนแผนภูมิควบคุมไว้ดังนี้ ความไม่สมดุล (Run) แนวโน้ม (Trend) วัฏจักร (Cycle) และการเกิดการเข้าใกล้เส้นกลาง (Approach to the Central Line)

อิโตชิ คูมะ, 2544 ได้สรุปข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการตีความแผนภูมิควบคุมไว้ 6 ลักษณะ ดังนี้ จุดอยู่นอกขอบเขตควบคุม (Out of Control) การเกิดความไม่สมดุล (Run) การเกิดแนวโน้ม (Trend) การเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุม (Approach to the Control Limits) การเกิดการเข้าใกล้เส้นค่ากลาง (Approach to the Central Line) และการเกิดวัฏจักร (Periodicity)

พิชิต สุขเจริญพงศ์, 2541 กล่าวไว้ว่า ถ้าจุดบนแผนภูมิควบคุมแสดงลักษณะใดลักษณะหนึ่งดังต่อไปนี้ ควรมีการตรวจสอบกระบวนการผลิต เพราะกระบวนการผลิตอาจผิดปกติไปจากเดิม ลักษณะของจุดที่ควรให้ความสำคัญ ประกอบด้วย

1. มีจุด 1 จุดตกนอกเส้นขอบเขตควบคุมบนหรือเส้นขอบเขตควบคุมล่าง
2. มีจุด 2 จุดติดต่อกันเกาะอยู่ใกล้เส้นขอบเขตควบคุมบนหรือเส้นขอบเขตควบคุมล่าง
3. มีจุด 5 จุดติดต่อกันที่อยู่ด้านใดด้านหนึ่งของเส้นกลาง
4. มีจุด 5 จุดติดต่อกันที่แสดงแนวโน้มขึ้นหรือลง
5. มีจุดที่เปลี่ยนระดับอย่างรวดเร็ว
6. มีจุดที่แสดงวัฏจักร

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2547 และ กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2551 ได้สรุปการตีความแผนภูมิควบคุมจะอยู่บนแนวความคิดของการสุ่มรอบค่ากลาง การตีความให้ตีความดังนี้

1. ความไม่สุ่ม (Non-Randomness) ในการทดสอบ ความสุ่มของข้อมูลจะอาศัยทฤษฎีรัน (Theory of Run) โดยพิจารณาจากตัวแบบของรัน แนวโน้ม และวัฏจักร
2. ตัวแบบสมมาตร (Normal Pattern) ข้อมูลที่มีความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาตินั้น นอกจากมีลักษณะแบบสุ่มแล้ว ยังมีลักษณะการกระจายอย่างสมมาตรรอบค่ากลางระหว่างเส้นขอบเขตควบคุมบนและเส้นขอบเขตควบคุมล่างด้วย ดังนั้นถ้าหากมี

ข้อมูลกระจายรอบค่ากลางอย่างเฉียว หรือมีข้อมูล 2 ใน 3 จุดต่อเนื่อง 3 ใน 7 จุดต่อเนื่อง หรือ 4 ใน 10 จุดต่อเนื่อง อยู่ในช่วง 1/3 ใกล้เคียงขอบเขตควบคุม จะถือว่าข้อมูลดังกล่าวมีความผิดพลาดจากสาเหตุที่ผิดปกติเพราะว่ามีได้มีความผันแปรแบบสมมาตร

2.3. กระบวนการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เพื่อจำแนกลักษณะอาการสำคัญของแผนภูมิควบคุมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น โดยเริ่มตั้งแต่การรับข้อมูลโดยอ่านจากแฟ้มงาน จากนั้น โปรแกรมจะสร้างเส้นกราฟ ข้อมูลต่าง ๆ อ่านค่าข้อกำหนดลักษณะอาการสำคัญจากแฟ้มข้อมูล และทำการจำแนกลักษณะอาการสำคัญแสดงดังภาพที่ 2

3. ผลและการอภิปราย

กระบวนการที่ผ่านมาเมื่อมีการคำนวณค่าต่าง ๆ และสร้างรายการข้อมูลเป็นที่เรียบร้อยแล้ว คือเขียนเส้นกราฟ และทำการจำแนกลักษณะอาการสำคัญแบบต่างๆ ของกราฟที่เขียนได้ โดยการทำเครื่องหมายกำหนดตำแหน่งของลักษณะอาการสำคัญลงในกราฟ

การแสดงผลการคำนวณ แสดงดังตัวอย่างภาพที่ 3
 SD_X คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยรวม

SD_R คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพิสัย

UCL_X คือค่าขอบเขตควบคุมบนของข้อมูล

ค่าเฉลี่ยรวม

LCL_X คือค่าขอบเขตควบคุมล่างของข้อมูล

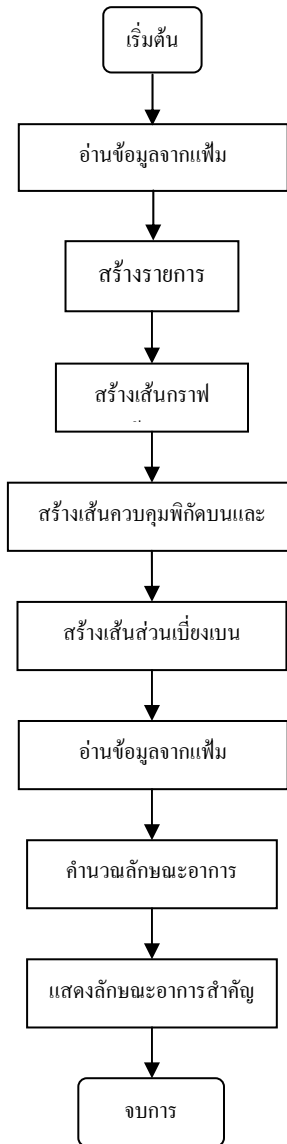
ค่าเฉลี่ยรวม

UCL_R คือค่าขอบเขตควบคุมบนของข้อมูลค่าพิสัย

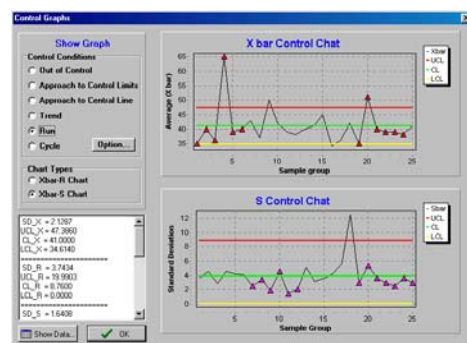
พิสัย

LCL_R คือค่าขอบเขตควบคุมล่างของข้อมูลค่าพิสัย

พิสัย



ภาพที่ 2 กระบวนการทำงานของโปรแกรม



ภาพที่ 3 การแสดงค่าและกราฟเมื่อเลือกการจำแนกข้อมูลแบบที่มีลักษณะไม่สมดุล

กระบวนการจำแนกลักษณะอาการสำคัญ

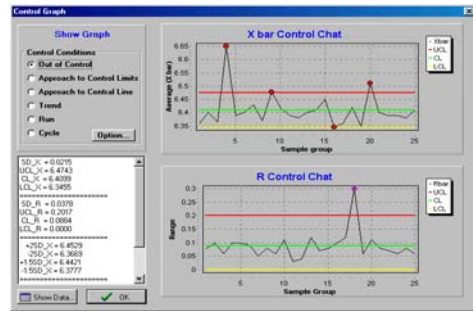
กระบวนการในการจำแนกลักษณะอาการสำคัญของข้อมูลเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่อง การเขียนกราฟในขั้นตอนนี้จะทำการอ่านค่าลักษณะอาการแบบต่างๆ ที่ถูกผู้ใช้งานกำหนดไว้ในแฟ้มข้อมูล เมื่ออ่านข้อมูลที่ผู้ใช้งานกำหนดให้เรียบร้อยแล้วก็จะดำเนินการเอาข้อมูลเข้าสู่กระบวนการจำแนกลักษณะอาการสำคัญที่กำหนดไว้ 6 รูปแบบ โดยสามารถคลิกเลือกผลการจำแนกลักษณะอาการต่างๆ ทั้ง 6 รูปแบบได้จากตัวเลือกด้านซ้ายของกราฟ ดังภาพที่ 3 งานวิจัยนี้ใช้รูปแบบลักษณะอาการสำคัญตามผลงานของ ฮิโตชิ คุเมะ ซึ่งมีลักษณะอาการสำคัญแบบต่างๆ ให้เลือก 6 รูปแบบ ดังนี้

1. Trend แสดงลักษณะอาการสำคัญแบบแนวโน้ม
2. Run แสดงลักษณะอาการสำคัญแบบไม่สมดุล
3. Out of Control แสดงลักษณะอาการสำคัญแบบอยู่นอกพิสัยควบคุม
4. Approach to Central Line แสดงลักษณะอาการสำคัญแบบค่าเข้าใกล้เส้นกลาง
5. Approach to Control Line แสดงลักษณะอาการสำคัญแบบค่าเข้าใกล้เส้นควบคุม
6. Cycle แสดงลักษณะอาการสำคัญแบบวัฏจักร

4. สรุปผลการวิจัย

นำโปรแกรมที่พัฒนามาทำการทดลอง โดยใช้ข้อมูลที่ได้อ่านการวัดขนาดชิ้นงาน จำนวน 8 ชุด ข้อมูลสำหรับแผนภูมิควบคุมแบบข้อมูลผันแปร และ 2 ชุดข้อมูลสำหรับแผนภูมิควบคุมแบบข้อมูลลักษณะในแต่ละชุดข้อมูลที่นำมาทำการจำแนกลักษณะอาการสำคัญจะมีข้อกำหนดของลักษณะอาการสำคัญที่เหมือนหรือแตกต่างกัน สำหรับการแสดงผลจะใช้วิธีการแสดงผลลักษณะอาการสำคัญทั้ง 6 ลักษณะ ดัง

แสดงในภาพที่ 4 5 6 7 8 และ 9 เพื่อแสดงให้เห็นถึงความถูกต้องของการทำงานของโปรแกรม



ภาพที่ 4 ลักษณะอาการสำคัญแบบอยู่นอกพิสัยควบคุม



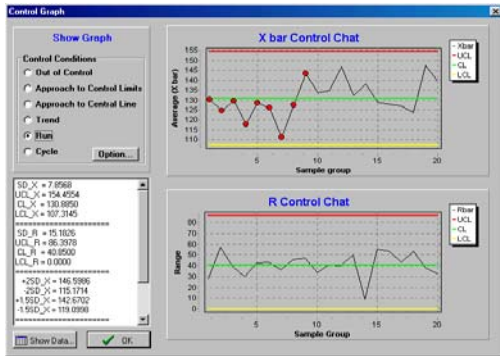
ภาพที่ 5 ลักษณะอาการสำคัญแบบค่าเข้าใกล้เส้น



ภาพที่ 6 ลักษณะอาการสำคัญแบบค่าเข้าใกล้เส้นกลาง



ภาพที่ 7 ลักษณะอาการสำคัญแบบมีแนวโน้ม



ภาพที่ 8 ลักษณะอาการสำคัญแบบไม่สมดุล



ภาพที่ 9 ลักษณะอาการสำคัญแบบวัฏจักร

วิเคราะห์และสรุปผล

ผลการทดสอบโปรแกรมในการจำแนกลักษณะอาการสำคัญของข้อมูล จำนวน 10 ชุดข้อมูล โดยแยกเป็น แผนภูมิควบคุมแบบข้อมูลผันแปร 8 ชุดข้อมูล และสำหรับแผนภูมิควบคุมแบบข้อมูลลักษณะ 2 ชุดข้อมูล สามารถสรุปผลการทดลองได้เป็น 2 ประเด็นคือ

1. ประสิทธิภาพในการจำแนกลักษณะอาการสำคัญจากผลการทดลอง พบว่าโปรแกรมสามารถจำแนกลักษณะอาการสำคัญของข้อมูลได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน ในกรณีที่ลักษณะอาการสำคัญแต่ละแบบของข้อมูลมีลักษณะอาการสำคัญที่เกิดขึ้นหลายชุดโปรแกรมสามารถจำแนกลักษณะอาการเหล่านั้นได้
2. ประสิทธิภาพในการแสดงผลการจำแนกลักษณะอาการสำคัญ จากการทดลองโปรแกรมสามารถแสดงผลการจำแนกลักษณะอาการสำคัญได้

เป็นอย่างดี โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกดูในแต่ละรูปแบบได้ตามความต้องการ

ข้อเสนอแนะ

1. เพื่อให้ชุดโปรแกรมแผนภูมิควบคุมแบบข้อมูลผันแปรและแบบข้อมูลลักษณะมีความหลากหลายและมีความสมบูรณ์ในการใช้งาน ควรมีแผนภูมิควบคุมประเภทอื่น ๆ ที่ครบถ้วน เช่น แผนภูมิควบคุม X-MR แผนภูมิควบคุม P แผนภูมิควบคุม u เป็นต้น
2. เพื่อให้ชุดโปรแกรมแผนภูมิควบคุมมีลักษณะที่ครบถ้วนหลากหลายและมีความสมบูรณ์ในการใช้งาน ควรสร้างชุดโปรแกรมแผนภูมิควบคุมแบบข้อมูลผันแปร และแบบข้อมูลลักษณะ ซึ่งสามารถเชื่อมโยงกับชิ้นงานและประเมินผลได้ในตัวเอง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2547. ระบบควบคุมคุณภาพที่หน้างาน คิวซีเซอร์เคิล. พิมพ์ครั้งที่ 6 บริษัท เทคนิคอล แอป โพรซ เคาน์เซลลิ่ง แอนด์ เทรนนิ่ง จำกัด. กรุงเทพฯ.
- [2] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2551. หลักการควบคุมคุณภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ.
- [3] อิโตชิ คุเมะ. (วีรพงษ์ เถลิงจิระรัตน์ : แปลและเรียบเรียง). 2544. วิธีทางสถิติเพื่อการพัฒนาคุณภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 6 สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ.
- [4] พิเชิต สุขเจริญพงษ์. 2541. การควบคุมคุณภาพเชิงวิศวกรรม. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด. กรุงเทพฯ.
- [5] Dale H. Besterfield. 2003. **Quality Control**. 7th ed., Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- [6] Douglas C. Montgomery. 2008. **Introduction to Statistical Quality Control**. 6th ed. John Wiley & Sons, Inc. New York.

- [7] Ishikawa Kaoru. 1976. **Guide to Quality Control**
Tokyo. Asian Productivity Organization.
- [8] Juran J.M. and F.M. Gryna. 1993. **Quality**
Planning and Analysis, 3rd ed. McGraw-Hill,
Inc., New York.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณ
เงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ประจำปี 2551

ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

สมยศ ลีแสนสุข¹ ธารธิป ภูระหงษ์² และ ศุภชัย ปลายเนตร^{2*}

บทคัดย่อ— บทความวิจัยนี้ นำการสร้างชุดควบคุมความเร็วกระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน เพื่อศึกษาพัฒนาระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน โดยวิธีการควบคุมแบบ PWM ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ FPGA และพัฒนาโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษา Verilog ผลการทดสอบการทำงานของชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านขนาด 450 W, 48V พบว่าสามารถควบคุมความเร็วได้ตั้งแต่ 0 ถึง 388 รอบต่อนาที และสามารถทำงานได้ตามขอบเขตงานวิจัยที่กำหนด

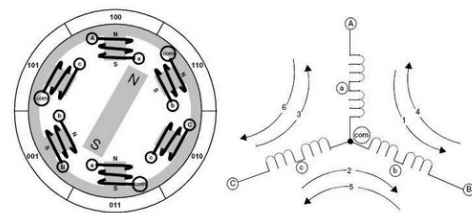
คำสำคัญ DC brushless motor, FPGA Board, PWM

1. บทนำ

ในปัจจุบันมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านได้รับความนิยมนำมาใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมมากขึ้น เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีกว่ามอเตอร์กระแสตรงทั่วไปและมีต้นทุนการบำรุงรักษาที่ต่ำกว่าเนื่องจากไม่มีแปรงถ่านจึงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายจากการเปลี่ยนแปรงถ่าน ลดปัญหาการเกิดการอาร์คระหว่าง แปรงถ่านกับชุดคอมมิวเตเตอร์ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นด้านแรงบิดขณะเริ่มเดิน มีประสิทธิภาพสูง (Starting torque) และผลจากความเจริญก้าวหน้าทางด้านวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์จึงทำให้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในงานควบคุมความเร็วมอเตอร์เนื่องจากมีความยืดหยุ่นและสามารถพัฒนาระบบควบคุมได้ดีกว่าวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบดั้งเดิมดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แผงวงจรควบคุม FPGA เป็นชุดควบคุมวงจรปรับความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน ขนาด 450 W, 48V

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. มอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน
หลักการการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) แตกต่างกับการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงทั่วไปซึ่งมีแปรงถ่านเป็นตัวคอยสับเปลี่ยนการจ่ายกระแสไฟให้กับขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) จะมีขดลวดอยู่ 3 ชุด และจะทำงานครั้งละ 2 ชุด สับเปลี่ยนกันเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กโดยมีสายจำนวน 3 เส้น เชื่อมต่อออกมาที่ภาพที่ 1 คือ ขั้ว A, B และ C

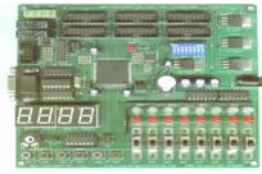


ภาพที่ 1 โครงสร้างภายในมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน

2. การออกแบบ Pulse Width Modulation

สัญญาณ PWM เป็นสัญญาณที่นำมาใช้เพื่อการควบคุมเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการสร้างสัญญาณโดยการออกแบบ FPGA ซึ่งมีแผงวงจรดังภาพที่ 2

^{1,2}สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคนิคนครพนม 214 ถ.นิคมอุตสาหกรรม อ. เมือง จ.นครพนม 48000
โทรศัพท์: 042-511-484 โทรสาร: 042-511-484
E-mail: sp-prainetr@hotmail.com



2.3 ฟังก์ชันถ่ายโอนของมอเตอร์กระแสตรงชนิด ไร้แปรงถ่านสามารถเขียนได้โดยสมการที่ 1

$$\frac{\theta}{V} = \frac{\omega}{V} = \frac{k}{2(R+LS)(b+JS)+K_t K_e} \quad (1)$$

เมื่อ ความเร็วโรเตอร์ $\theta = \omega$

V คือแรงดันอินพุต

R คือค่าความต้านทาน

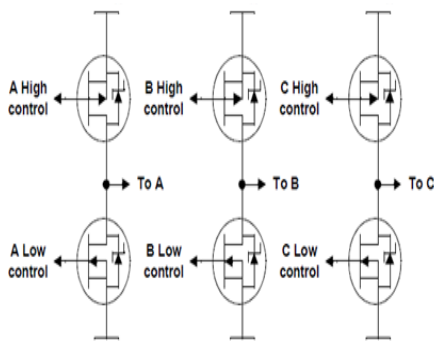
L คือค่าความเหนี่ยวนำ

J คือค่าแรงเฉื่อยโรเตอร์

K_t และ K_e คือค่าคงที่แรงบิด

2. วิธีการวิจัย

2.1 ออกแบบวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

2.2 การออกแบบฐานมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน ออกแบบฐานมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน 450W 48V ที่จะนำมาใช้ในการทดลอง เพื่อให้มีความแข็งแรงและรองรับน้ำหนักของมอเตอร์ มอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน จึงได้ทำการ

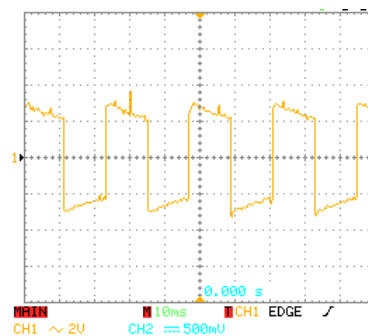
ออกแบบฐานมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านที่ ภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ชุดแผงควบคุมความเร็วมอเตอร์

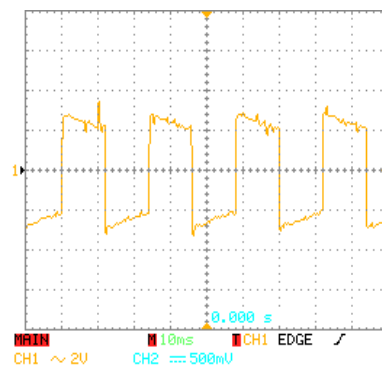
3. ผลและการอภิปรายผล

เมื่อทำการป้อนสัญญาณอินพุตให้กับวงจร ควบคุมและปรับความเร็วรอบที่ 106 rpm 242 rpm และ 308 rpm ทำการวัด สัญญาณเอาต์พุตแสดงผลดังภาพที่ 5



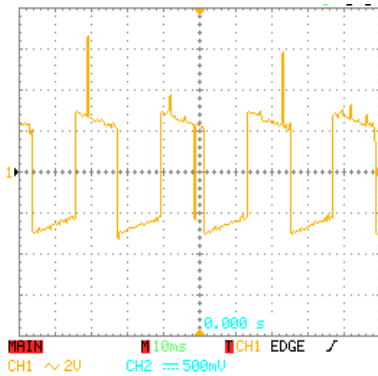
ภาพที่ 5 สัญญาณเอาต์พุต sensor A

ที่ความเร็วรอบ 106 rpm



ภาพที่ 6 สัญญาณเอาต์พุต sensor B

ที่ความเร็วรอบ 106 rpm



ภาพที่ 7 สัญญาณเอาต์พุต sensor C
ที่ความเร็วรอบ 106 rpm

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบการทำงานของชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านสามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน ให้มีความเร็วได้ตั้งแต่ 0-388 rpm สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพเป็นการทดสอบควบคุมความเร็วรอบที่ 106 รอบต่อนาที, 242 รอบต่อนาที และ 388 รอบต่อนาที ทำการวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสต้านออกของชุดควบคุมที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผล จากผลทดสอบประสิทธิภาพการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ (PWM) กระแสและแรงดันที่ใช้แต่ละเฟสที่ความเร็วรอบ 106 rpm มีค่าดังนี้ มอเตอร์เฟส A = 0.45 A , 15 V มอเตอร์เฟส B = 0.5 A, 15 V

มอเตอร์เฟส C = 0.35 A, 15 V กระแสและแรงดันที่ใช้แต่ละเฟสที่ความเร็วรอบ 242 rpm. ซึ่งการทำงานชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นไปตามขอบเขตที่กำหนดไว้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] O. Al-Ayasrah, T. Alukaidey, G. Pissanidis,2001. DSP Based N-Motor Speed Control of Brushless DC Motors Using External FPGA Design.
- [2] L. Feng, Y. Koren J. Borenstein,1993. "Cross-Coupling motion controller for mobile robots", IEEE Control system, December, pp. 35-43.
- [3] Analog Devices,2003 "Mixed Signal DSP Controller with CAN/ ADSP 21992", REV. 0 Analog Devices.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยเทคนิคนครพนม มหาวิทยาลัยนครพนมที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้

การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยการปรับความสมดุลย์โหลด

ดนุพล คำปัญญา¹ อานนท์ พ่วงชิงงาม¹ ไพโรจน์ เล้าสมบุญ¹ และสัตตา ภูมิไทยพานิช²

บทคัดย่อ— บทความนี้ นำเสนอการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยการปรับความสมดุลย์โหลด เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3000 วัตต์ ในการปรับความเร็วรอบของเครื่องขนาด 6.5 แรงม้า ควบคุมด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาซีให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เบอร์ ATmega32 ควบคุมการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์เพื่อปรับคันเร่งของเครื่องยนต์ให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นหรือลดลงในขณะที่เพิ่มโหลดและลดโหลด ทำให้สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาได้เหมาะสมกับโหลดที่ใช้ โดยใช้เวลาในการปรับเฉลี่ยแล้ว 14 วินาที และแรงดันที่ปรับได้มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์

คำสำคัญ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า พิกัดโหลด ไมโครคอนโทรลเลอร์ และสเต็ปป์มอเตอร์

1. บทนำ

เครื่องยนต์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าออกมาใช้งาน โดยปกติแล้ว เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าตามพิกัดโหลด (Limited Load) [1] เครื่องยนต์ก็จะทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ แต่ถ้าเพิ่มโหลดเข้าไปให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะทำให้แรงดันไฟฟ้าตกและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลง ส่งผลให้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ด้วย ถ้าต้องการให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าตามพิกัดโหลดได้คงที่ซึ่งต้องปรับความเร็ว

รอบของเครื่องยนต์ให้เหมาะสม เพื่อที่จะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าออกไปใช้งานได้ตามพิกัดโหลดผู้วิจัยจึงนำเสนอการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยการปรับความสมดุลย์โหลด เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในการปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ทำได้ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาซี (C Programming) [2], [3] ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูล AVR เบอร์ ATmega32 [4] เพื่อควบคุมการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์ (Stepping Motor) ทำการปรับคันเร่งของเครื่องยนต์ให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นในขณะที่เพิ่มโหลดเข้าไปให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและปรับคันเร่งของเครื่องยนต์ให้ความเร็วรอบลดลงในขณะที่ปลดโหลดออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าออกมาได้เหมาะสมกับโหลดที่ใช้งานได้

2. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการออกแบบเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบโครงสร้างและควบคุมการ

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี 450 หมู่ 6 ต. ย่นยาว อ.สามชุก จ. สุพรรณบุรี 72130

โทรศัพท์: +66(35)-434-014 โทรสาร: +66(35)-434-014

E-mail: kdanupon@yahoo.com

²สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะบริหารธุรกิจและสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี 450 หมู่ 6 ต. ย่นยาว อ.สามชุก จ. สุพรรณบุรี 72130

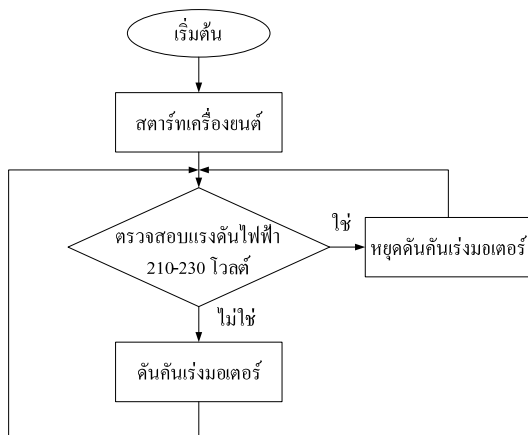
โทรศัพท์: +66(35)-434-012 โทรสาร: +66(35)-434-011

E-mail: sattarpoom@hotmail.com

ทำงานของของสแต็ปปีงมอเตอร์ เพื่อให้สามารถทำงานได้ตรงตามเงื่อนไขที่ได้วางเอาไว้

2.1 การออกแบบโครงสร้าง

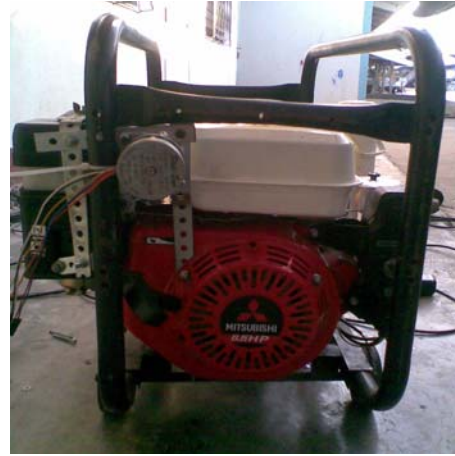
ในการทดลอง ผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ (Induction Generator) ขนาดพิกัด 3000 วัตต์ และใช้เครื่องยนต์แก๊สโซลีน (Gasoline) 1 สูบ ขนาด 6.5 แรงม้า เป็นต้นกำลัง และทำการออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เบอร์ ATmega32 [5] ร่วมกับมอเตอร์ชนิดสแต็ปปีงมอเตอร์ เพื่อควบคุมคันทรงน้ำมันของเครื่องยนต์ ให้สามารถทำงานสอดคล้องกับพิกัดแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการควบคุม โดยแสดงผังการทำงานโดยรวมของระบบดังภาพที่ 1 และเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมแสดงดังภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 ผังการทำงานของระบบควบคุม



ภาพที่ 2 วงจรควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์



ภาพที่ 3 สแต็ปปีงมอเตอร์ที่ต่อกับคันทรงของเครื่องยนต์

2.2 การควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่รับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบดิจิตอล เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทดสอบเงื่อนไขตรวจสอบระดับแรงดันไฟฟ้าในโปรแกรมควบคุมที่ได้ออกแบบไว้ โดยการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล จำนวนผลลัพธ์ได้ดังสมการที่ 1

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}} \quad (1)$$

โดย V_{IN} คือ แรงดันอินพุต และ V_{REF} คือ แรงดันอ้างอิง และผู้วิจัยได้ทำการทดสอบหาค่าข้อมูลของระดับแรงดันไฟฟ้า ในช่วงต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลการเขียนเงื่อนไขของโปรแกรม

แรงดันไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	เลขฐานสอง (Binary)	เลขฐานสิบ (Decimal)
200	11001010	202
210	11010110	214
220	11100001	225
230	11101010	234
240	11110100	244

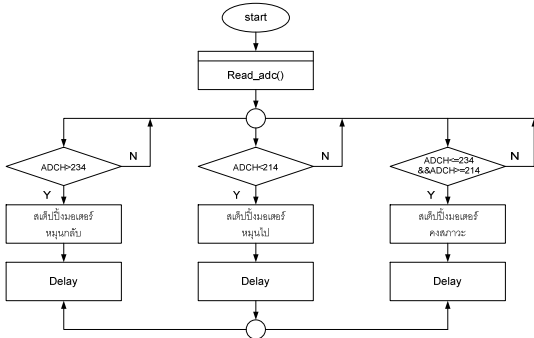
จากตารางที่ 1 เป็นข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าถูกนำไปใช้ควบคุมการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์ที่ต่อกับคันทรงของเครื่องยนต์ โดยมีเงื่อนไขในการตรวจสอบพิกัดแรงดันไฟฟ้าดังสมการที่ 2 และผังงานดังภาพที่ 4

$$F(x) = \begin{cases} L & \text{then } ADC > 230 \\ R & \text{then } ADC < 210 \end{cases} \quad (2)$$

เมื่อ $F(x)$ คือ ค่าดิจิทัลเอาต์พุตขนาด 8 บิต

ที่ใช้ในการขับสเต็ปมอเตอร์

L, R คือ การเลื่อนบิตของ $F(x)$ ทางด้านซ้ายและขวา



ภาพที่ 4 แสดงผังของโปรแกรมควบคุมสเต็ปมอเตอร์

3. ผลและการอภิปรายผล

เมื่อนำชุดควบคุมต่อเข้ากับสเต็ปมอเตอร์และต่อสัญญาณป้อนกลับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาที่ชุดควบคุม โดยชุดควบคุมใช้ไฟ 12 โวลต์ จากแบตเตอรี่โพลดที่ใช้ในการทดสอบ คือ โพลดแสงสว่างจากหลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp) มีขนาด 100 วัตต์ จำนวน 16 หลอด ในการทดสอบจะทำการเพิ่มและลดโพลด จากโพลดแสงสว่าง ทีละ 100 วัตต์

3.1 การเพิ่มพิกัดโพลดในระบบ

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานจะมีแรงดันออกมาที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อเพิ่มโพลดเข้าไปในระบบแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ทำการทดสอบว่าชุดควบคุมสามารถปรับให้แรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงที่กำหนด โดยการเพิ่มโพลดเข้าไปในระบบทีละ 100 วัตต์ จนถึง 1,600 วัตต์ แสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลขณะเพิ่มพิกัดโพลดในระบบ

ลำดับ	เพิ่มโพลด	โพลดรวม	ขณะเพิ่มโพลด				ปรับด้วยชุดควบคุม				t(sec)	Error
			V	A	Hz	rpm	V	A	Hz	rpm		
1	0	0	0	0	0	0	218	0.000	48	2700	22	0.92
2	100	100	210	0.500	44	2600	230	0.548	52	3200	12	4.35
3	100	200	224	1.067	50	3020	224	1.067	50	3020	-	1.79
4	100	300	218	1.557	49	2910	218	1.557	49	2910	-	0.92
5	100	400	212	2.019	44	2620	212	2.019	44	2620	-	3.77
6	100	500	206	2.452	42	2480	228	2.714	51	3119	14	3.51
7	100	600	223	3.186	50	3060	223	3.186	50	3060	-	1.35
8	100	700	216	3.600	48	2850	216	3.600	48	2850	-	1.85
9	100	800	208	3.962	43	2575	224	4.267	50	3009	13	1.79
10	100	900	218	4.671	49	2900	218	4.671	49	2900	-	0.92
11	100	1000	213	5.071	44	2660	213	5.071	44	2660	-	3.29
12	100	1100	206	5.395	42	2450	231	6.050	52	3265	14	4.76
13	100	1200	224	6.400	50	3095	224	6.400	50	3095	-	1.79
14	100	1300	218	6.748	49	2960	218	6.748	49	2960	-	0.92
15	100	1400	211	7.033	44	2595	227	7.567	51	3085	11	3.08
16	100	1500	220	7.857	50	3005	220	7.857	50	3005	-	0.00
17	100	1600	214	8.152	45	2700	214	8.152	45	2700	-	2.80

จากตารางที่ 2 พบว่า เมื่อเพิ่มโพลดเข้าไปครั้งละ 100 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าจะลดลง และเมื่อแรงดันไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าหรือเท่ากับ 210 โวลต์ ชุดควบคุมก็จะสามารถสั่งการให้สเต็ปมอเตอร์เร่งเครื่องยนต์จนแรงดันไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 210 โวลต์ได้ รวมทั้งยังพบว่า ในลำดับการทดลองที่ 15 เมื่อเพิ่มพิกัดโพลดเข้าไปแรงดันไฟฟ้าตกลงจาก 218 โวลต์ ในลำดับที่ 14 มาเป็น 211 โวลต์ ชุดควบคุมก็จะสั่งการให้สเต็ปมอเตอร์ทำงานเร่งความเร็วเครื่องยนต์จนแรงดันไฟฟ้าถึง 227 โวลต์ และในการทดลองลำดับที่ 12 หลังจากปรับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดควบคุมได้แรงดันไฟฟ้า 231 โวลต์ อาจเกิดจากความผิดพลาดของโปรแกรม จึงทำให้ผลที่ได้ในลำดับที่ 12 และ 15 ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข ส่วนการทดลองในลำดับอื่นๆ เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด นอกจากนี้ผลการทดลองมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการปรับแรงดันไฟฟ้าให้สมดุลกับโพลดอยู่ที่ประมาณ 14.3 วินาที

3.2 การลดพิทักโหลดในระบบ

เมื่อเพิ่มโหลดเข้าไปจนถึง 1,600 วัตต์ แล้วจึงค่อยๆ ปลดโหลดออกจากระบบทีละ 100 วัตต์ ในขณะที่ปลดโหลดออกแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำการทดสอบว่าชุดควบคุมสามารถปรับให้แรงดันไฟฟ้าให้ลดลงมาอยู่ในช่วงที่กำหนด แสดงได้ดังตารางที่ 3

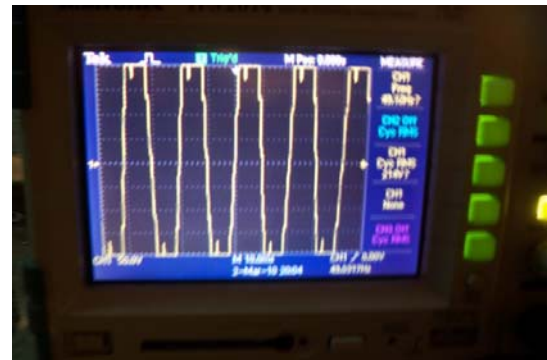
ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลขณะลดพิทักโหลดในระบบ

ลำดับ	ลดโหลด	โหลดรวม	ขณะลดโหลด				ปรับด้วยชุดควบคุม				t (sec)	Error
			V	A	Hz	rpm	V	A	Hz	rpm		
1	0	1600	214	8.152	45	2700	214	8.152	45	2700	-	2.80
2	100	1500	220	7.857	50	3005	220	7.857	50	3005	-	0.00
3	100	1400	227	7.567	51	3150	227	7.567	51	3085	-	3.08
4	100	1300	234	7.243	52	3346	218	6.748	48	2932	13	0.92
5	100	1200	235	6.714	52	3378	224	6.400	50	3050	11	1.79
6	100	1100	230	6.024	51	3195	221	5.788	50	2995	13	0.45
7	100	1000	228	5.429	51	3175	228	5.429	51	3175	-	3.51
8	100	900	236	5.057	51	3395	222	4.757	49	3016	14	0.90
9	100	800	231	4.400	51	3219	231	4.400	50	3219	-	4.76
10	100	700	239	3.983	53	3398	216	3.600	46	2890	16	1.85
11	100	600	224	3.200	50	3012	224	3.200	50	3012	-	1.79
12	100	500	231	2.750	51	3225	231	2.750	51	3325	-	4.76
13	100	400	238	2.267	52	3375	219	2.086	50	3019	14	0.46
14	100	300	224	1.600	50	2997	224	1.600	51	2997	-	1.79
15	100	200	229	1.090	51	3180	229	1.090	52	3164	-	3.93
16	100	100	235	0.560	52	3365	221	0.526	50	3005	15	0.45
17	0	0	226	0	50	3004	0	0.000	0	0	-	0.00

จากตารางที่ 3 พบว่า เมื่อลดโหลดออกครั้งละ 100 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมากกว่า 230 โวลต์ ชุดควบคุมก็จะสั่งการให้สเต็ปป์มอเตอร์ผ่อนคันเร่งเครื่องยนต์จนแรงดันไฟฟ้าไม่เกินหรือเท่ากับ 231 โวลต์ รวมทั้งยังพบว่า การทดลองในลำดับที่ 6 9 และ 12 เมื่อทำการลดโหลดแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ลำดับที่ 6 จะได้แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์ ชุดควบคุมก็สั่งการให้สเต็ปป์มอเตอร์ทำงานปรับลดแรงดันไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้ายังคงอยู่ในเงื่อนไข และลำดับที่ 9 และ 12 มีค่าแรงดันไฟฟ้า 231 โวลต์ ชุดควบคุมจะไม่สั่งการให้สเต็ปป์มอเตอร์ทำงานเพื่อลดแรงดันไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าจะอยู่นอก

เงื่อนไข เนื่องจากความผิดพลาดของโปรแกรมควบคุม จึงทำให้ผลที่ได้รับในลำดับที่ 6 9 และ 12 ไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด ส่วนการทดลองในลำดับอื่นๆ เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด นอกจากนี้ผลการทดลองมีความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการปรับแรงดันไฟฟ้าให้สมดุลกับโหลดอยู่ที่ประมาณ 13.7 วินาที

นอกจากนี้ ในการทดสอบสามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากการทดสอบ พบว่า สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ และชุดควบคุมสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าในขณะที่เพิ่มโหลดและลดโหลดให้อยู่ในช่วงที่กำหนด โดยเมื่อเพิ่มโหลดเข้าไปครั้งละ 100 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าจะลดลง เมื่อแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 210 โวลต์ ชุดควบคุมก็จะสามารถสั่งการให้สเต็ปป์มอเตอร์เร่งเครื่องยนต์จนแรงดันไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 210 โวลต์ และเมื่อลดโหลดออกครั้งละ 100 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมากกว่า 231 โวลต์ ชุดควบคุมก็สามารถสั่งการให้สเต็ปป์มอเตอร์ผ่อนคันเร่งเครื่องยนต์ จนแรงดันไฟฟ้าไม่เกินหรือเท่ากับ 231 โวลต์ ผลที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงแรงดัน 210-230 โวลต์

4. สรุปผลการวิจัย

การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยการปรับความสมดุลโหลด เมื่อได้ทำการทดลองและทดสอบผลแล้วพบว่า ชุดควบคุมสามารถสั่งการให้สเต็ปิ้งมอเตอร์ปรับคันเร่งของเครื่องยนต์ให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นในขณะที่เพิ่มโหลดและปรับคันเร่งของเครื่องยนต์ให้ความเร็วรอบลดลงในขณะที่ลดโหลดด้วยโหลดอินแคนเดสเซนต์ 100 วัตต์ ทำให้แรงดันที่จ่ายออกมาอยู่ในช่วงระหว่าง 210-230 โวลต์ ดังนั้น ผลการทดลองที่ได้จึงเป็นที่น่าพอใจ แต่ยังมีค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นโดยค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้น อยู่ที่ประมาณ 5% ของแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ นอกจากนี้ เวลาที่ใช้ในการปรับแรงดันไฟฟ้าให้สมดุลกับโหลดโดยเฉลี่ยแล้วจะอยู่ที่ประมาณ 14 วินาที

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชวิชัย อรรถวิบูลย์กุล เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริม
- [2] คชา ชาญศิลป์ และคณะ ภาษาซีสำหรับผู้เริ่มต้น, กรุงเทพฯ : เพียร์สันเอดดูเคชั่นอินโดไชน่า, 2458.
- [3] อรพิน ประวัตติบริสุทธิ คู่มือเรียนภาษาซี, บริษัท โปรวิชั่น จำกัด.
- [4] ประจัน พลังสันติกุล การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ด้วย ภาษา C กับ WinAVR (C Compiler) เล่ม 1, แอพซอพท์เทค จำกัด.
- [5] หจก. ไมโครรีเสิร์ชเทคโนโลยี, <http://www.micro-research.co.th/>

การประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดของเครื่องมือวัด สำหรับห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง

ฉลอง โสตาบัน¹

บทคัดย่อ— บทความนี้นำเสนอการประเมินค่าความไม่แน่นอนสำหรับระบบการวัดของเครื่องมือวัดที่ใช้งานอยู่จริงในห้องปฏิบัติการต่างๆ โดยสร้างห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง ให้มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานมากที่สุด แล้วทดสอบเพื่อเปรียบเทียบและทำการวิเคราะห์ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัด ผลการทดสอบที่ได้ถือเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้กับหน่วยงานที่ขาดแคลนงบประมาณในการดำเนินการสร้างห้องสอบเทียบมาตรฐาน รวมถึงสามารถวางแผนเพื่อการดำเนินงานเกี่ยวกับงบประมาณและกิจกรรมอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับระบบการวัดให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพสูงสุด

คำสำคัญ: ความไม่แน่นอน การสอบเทียบมาตรฐาน การวัด

1. บทนำ

การวัดค่าปริมาณต่างๆ เป็นอีกขั้นตอนกระบวนการที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับการดำเนินชีวิต การดำรงอยู่อย่างมีคุณภาพของผู้คนในสังคม[1] หรืออาจกล่าวได้ว่า การวัดหรือระบบการวัดมีความเกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของกลุ่มคนโดยทั่วไป ทั้งการดำเนินชีวิตประจำวัน การประกอบอาชีพ และการประกอบกิจกรรมต่างๆ ล้วนต้องใช้การวัดเพื่อประเมินผลในการดำเนินกิจกรรมต่างๆต่อไป ดังนั้นขบวนการในการวัดหรือวิธีการในการวัดค่าที่ถูกต้องและแม่นยำจึงเป็นกระบวนการที่สำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในงานที่ต้องการความละเอียดและแม่นยำเพื่อให้งานอื่นๆเป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีคุณภาพรวมถึงประสิทธิภาพมากขึ้น จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคและวิธีการในรูปแบบต่างๆเพื่อการวัดที่ถูกต้องและแม่นยำอยู่ตลอดเวลา อย่างไรก็ตามกลวิธีที่เป็นที่นิยมและใช้

งานทั่วไปแบบหนึ่งคือ การสอบเทียบเครื่องมือวัด ทั้งนี้เพราะการลงทุนซื้อเครื่องมือวัดใหม่อาจก่อปัญหาด้านงบประมาณที่มีมูลค่าสูงเมื่อเทียบกับการสอบเทียบเครื่องมือวัด เพื่อตอบสนองความต้องการทางด้านการผลิตและขบวนการอื่นๆ กล่าวคือ ระบบการวัดใดๆจะมีผลการวัดที่ถูกต้องแม่นยำจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือวัดที่มีคุณภาพและความแม่นยำสูง[2],[3] หรืออาจกล่าวได้ว่ามีความไม่แน่นอนในการวัดค่าตัวนั้นเอง การวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าเป็นอีกปริมาณหนึ่งที่ถูกนำมาปรับประยุกต์ใช้กับงานระบบอื่นอย่างมาก เช่น การควบคุมอุณหภูมิ ความร้อน และปริมาณทางกล ซึ่งมีกลไกทางไฟฟ้าในการแปลงค่าปริมาณผ่านเครื่องวัดทางไฟฟ้าแล้วนำไปควบคุมขบวนการต่างๆต่อไป บทความวิจัยนี้จึงนำเสนอรูปแบบการประเมินค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัดสำหรับห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลองโดยมุ่งเน้นเพื่อนำเสนอผลการวิจัยสำหรับเป็นแนวทางในการวางแผนงบประมาณ หรือการดำเนินการเกี่ยวกับการสอบเทียบเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า เพื่อประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่ขาดงบประมาณดำเนินการให้สามารถดำเนินการสอบเทียบหรือตรวจสอบคุณภาพการวัดของเครื่องมือวัดที่มีใช้

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ 63 หมู่ 7 ถนนรังสิต-นครนายก อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120
โทรศัพท์: +66(2)-649-5000 ต่อ 2041 โทรสาร: +66(37)-322-605
Email: chalong@swu.ac.th

อยู่ในหน่วยงานเอง อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนงบประมาณในการดำเนินการสอบเทียบภายนอกให้น้อยลงอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวางแผนการดำเนินการเกี่ยวกับการใช้งาน การจัดลำดับการบำรุงรักษา และนโยบายอื่นของหน่วยงานเกี่ยวกับเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในปัจจุบันและอนาคต
2. เพื่อดำเนินการสร้างห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลองในการประเมินค่าความไม่แน่นอนของระบบการวัดสำหรับใช้ในหน่วยงาน
3. เพื่อจำกัดงบประมาณในการส่งเครื่องมือวัดไปสอบเทียบกับหน่วยงานภายนอก
4. เพื่อสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับระบบการวัด เครื่องมือวัด และการสอบเทียบสำหรับใช้งานในการเผยแพร่ต่อไป
5. เพื่อสร้างบุคลากรที่มีความรู้ ความสามารถ สำหรับห้องปฏิบัติการสอบเทียบทางไฟฟ้า

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวิจัย

การวิจัยนี้อาศัยอุปกรณ์เครื่องมือ ได้แก่ เครื่องมือวัดปริมาณทางไฟฟ้าชนิดต่างๆที่มีใช้ในห้องปฏิบัติการต่างๆประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ เป็นอุปกรณ์ทดสอบ ซึ่งประกอบด้วย เครื่องมือวัดชนิดต่างๆ เช่น มัลติมิเตอร์ โวลมิเตอร์ แอมป์มิเตอร์และอื่นๆ โดยเป็นเครื่องมือวัดที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน แล้วทำการสุ่มตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องมือวัดจำนวนหนึ่งเพื่อทดสอบกับห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง โดยกำหนดเงื่อนไขให้ใกล้เคียงกับห้องสอบเทียบมาตรฐาน[4],[5],[6] เพื่อเปรียบเทียบทำการวิเคราะห์ผลสำหรับเป็นแนวทางการดำเนินงานต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ทราบข้อมูลสำหรับการประเมินขีดความสามารถรวมถึงการวางแผนงบประมาณเกี่ยวกับการสร้างองค์ความรู้และบุคลากรที่มีคุณภาพไว้ใช้งานในหน่วยงานอีกด้วย

ขอบเขตการดำเนินการ

ดำเนินการ โดยสุ่มตัวอย่างเครื่องมือวัดบางส่วนที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันในห้องปฏิบัติการ เพื่อประเมินค่าความไม่แน่นอนที่เกิดกับอุปกรณ์ โดยสร้างห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลองขึ้นเองในการเก็บข้อมูลเปรียบเทียบกับการส่งสอบเทียบจากหน่วยงานภายนอก แล้ววิเคราะห์ผลการดำเนินการเพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการต่อไป

2. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้จึงสร้างกรอบแนวคิดวิธีการวิจัยโดยเรียกว่า “ห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง” กล่าวคือ ผู้วิจัยปฏิบัติงานเป็นบุคลากรสอบเทียบ [7] และดำเนินการสร้างห้องสอบเทียบจำลองตามเงื่อนไขห้องสอบเทียบมาตรฐานให้ใกล้เคียงที่สุด[8],[9] และดำเนินการแบ่งกลุ่มตัวอย่างเพื่อทำการวิจัยและวิเคราะห์ผล นำเสนอตั้งแสดงไว้ในแผนการดำเนินงานภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ผู้วิจัยกำหนดกลุ่มตัวอย่างของเครื่องมือวัดโดยกำหนดชนิดประเภทของกลุ่มตัวอย่างดังต่อไปนี้

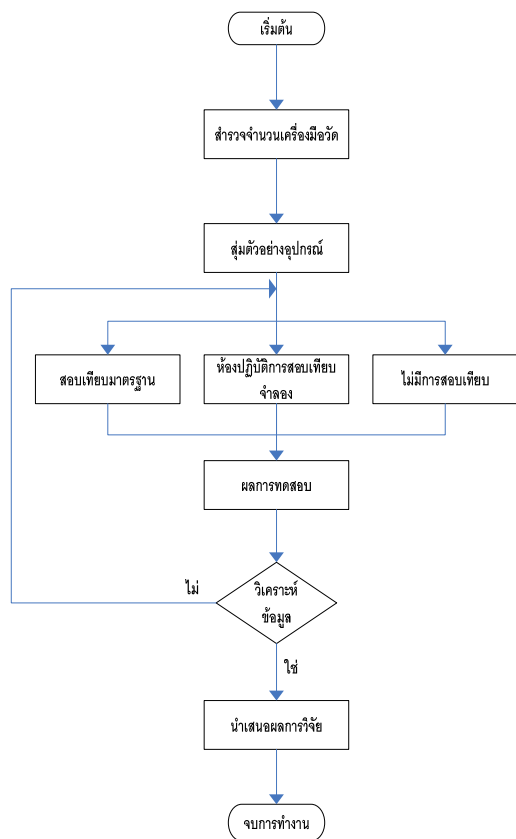
กลุ่มตัวอย่างที่ 1 เครื่องมือวัดชนิดมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล ยี่ห้อ โยโกกาว่า โมเดล 7562 และมัลติมิเตอร์ชนิดอนาล็อก ยี่ห้อ ซันวา โมเดล YX360TRD จำนวนชนิดละ 5 เครื่อง

กลุ่มตัวอย่างที่ 2 เครื่องมือวัดชนิดเดียวกับกลุ่มตัวอย่างที่ 1 จำนวนชนิดละ 5 เครื่อง

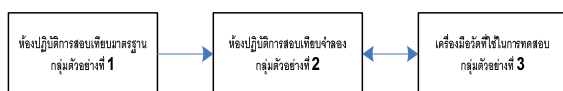
กลุ่มตัวอย่างที่ 3 เครื่องมือวัดชนิดเดียวกับกลุ่มตัวอย่างที่ 1 จำนวนชนิดละ 5 เครื่อง

เมื่อกำหนดกลุ่มตัวอย่างเครื่องมือวัดชนิด มัลติมิเตอร์ เพื่อให้สามารถวัดค่าปริมาณค่าต่างๆ ได้ครบถ้วนทุกๆปริมาณและแบ่งเป็นแบบดิจิทัล เพื่อ

ขจัดปัญหาความผิดพลาดจากผู้อ่านและเปรียบเทียบ กับเครื่องมือวัดชนิดอนาล็อกซึ่งมีความผิดพลาดจากผู้อ่านรวมอยู่ด้วย จากนั้นจึงส่งเครื่องมือวัดกลุ่ม ตัวอย่างที่ 1 ไปทำการสอบเทียบผลที่ห้องปฏิบัติการ สอบเทียบมาตรฐานและกลุ่มตัวอย่างที่ 2 เป็น ผู้ดำเนินการสอบเทียบเองในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ จำลอง ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ 3 เป็นเครื่องมือวัดที่ไม่มีการสอบเทียบ แต่ยังใช้งานอยู่ในปัจจุบัน



ภาพที่ 1 แผนการดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการสอบเทียบ



ภาพที่ 3 อุปกรณ์ประกอบพื้นฐานทั่วไปของห้องสอบเทียบ



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4 รูปการทดสอบงานจริง (ก) เครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์ชนิดดิจิทัลโมเดล 7562 (ข) เครื่องมือวัดชนิดอนาล็อก โมเดล YX360TRD

ภาพที่ 3 แสดงอุปกรณ์ประกอบพื้นฐานที่ใช้สำหรับการสอบเทียบซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับสอบเทียบและอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบนั่นเอง และภาพที่ 4 แสดงรูปการทดสอบงานจริงจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง

3. ผลและการอภิปรายผล

สำหรับผลการวิจัยจะนำเสนอผลการวิจัยเพียงบางส่วนเพื่อแสดงผลการเปรียบเทียบผลของการวัดที่ได้จากแหล่งข้อมูลที่ทำการทดสอบ โดยจะเปรียบเทียบผลเฉพาะกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และกลุ่มตัวอย่างที่ 2 ส่วนผลการทดสอบกลุ่มตัวอย่างที่ 3 จะใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิงขณะใช้งานจริงเพื่อเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือของการวัด

**ตารางที่ 1 ผลการสอบเทียบการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า
กระแสตรง**

DC voltage range: 0 to 500 V

Applied Input (V)	UUC Reading (V)	Difference (V)	Uncertainty ±(V)
0.000000	0.00	0.00	1.34
25.000000	25.02	0.02	1.42
50.000000	50.04	0.04	1.46
75.000000	75.02	0.02	1.46
100.000000	100.02	0.02	1.39
125.000000	125.02	-0.02	1.44
250.000000	250.03	-0.03	1.45
375.000000	375.04	-0.04	1.44
500.000000	500.02	-0.02	1.46

ตารางที่ 2 ผลการสอบเทียบการวัดค่ากระแสไฟสลับ

AC Current range: 0 to 50 A

Applied Input (A)	UUC Reading (A)	Difference (A)	Uncertainty ±(A)
0.000000	0.00	0.00	1.73
12.500000	12.55	0.05	1.81
25.000000	25.06	0.06	1.80
37.500000	37.53	0.03	1.79
50.000000	50.04	0.04	1.81

**2. ผลการสอบเทียบมัลติมิเตอร์ดิจิตอล โมเดล 7562 กับ
ห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง**

**ตารางที่ 3 ผลการสอบเทียบการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า
กระแสตรง**

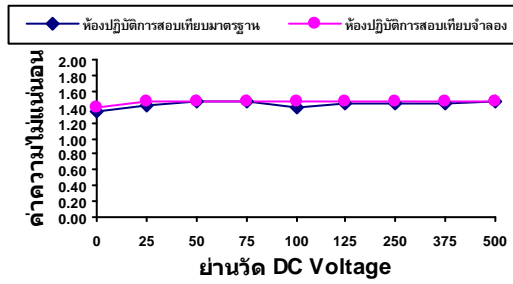
DC voltage range: 0 to 500 V

Applied Input (V)	UUC Reading (V)	Difference (V)	Uncertainty ±(V)
0.000000	0.00	0.00	1.38
25.000000	25.02	0.02	1.46
50.000000	50.04	0.04	1.48
75.000000	75.02	0.02	1.47
100.000000	100.02	0.02	1.46
125.000000	125.02	-0.02	1.48
250.000000	250.03	-0.03	1.47
375.000000	375.04	-0.04	1.48
500.000000	500.02	-0.02	1.48

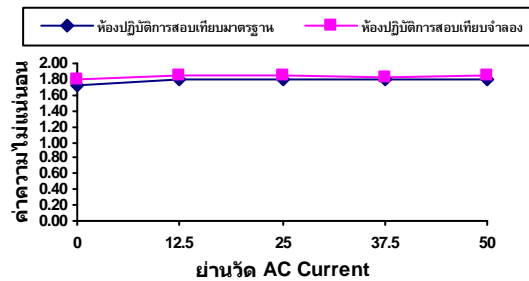
ตารางที่ 4 ผลการสอบเทียบการวัดค่ากระแสไฟสลับ

AC Current range: 0 to 50 A

Applied Input (A)	UUC Reading (A)	Difference (A)	Uncertainty ±(A)
0.000000	0.00	0.00	1.81
12.500000	12.55	0.05	1.85
25.000000	25.06	0.06	1.85
37.500000	37.53	0.03	1.83
50.000000	50.04	0.04	1.84



ภาพที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลการสอบเทียบ มัลติมิเตอร์ดิจิตอล โมเดล 7562 กับ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานและห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง



ภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลการสอบเทียบ มัลติมิเตอร์อนาล็อกโมเดล YX360TRD กับ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานและห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง

วิจารณ์และวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลที่ได้จากห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานมีค่าความใกล้เคียงกับห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลองดังแสดงในภาพที่ 5 ในกรณีเครื่องวัดเป็นแบบดิจิตอล ทั้งนี้เพราะการอ่านค่าไม่ได้รวมเอาความผิดพลาดจากตัวผู้อ่านรวมเข้าไปด้วย จึงทำให้ความเชี่ยวชาญในการทำงานของบุคลากรประจำห้องสอบเทียบไม่มีผลกระทบต่อค่าของการสอบเทียบในทำนองเดียวกันกรณีเครื่องมือวัดที่เป็นชนิดอนาล็อกซึ่งมีความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติงานรวมอยู่ด้วย จะมีค่าสูงกว่าแบบดิจิตอลทั้งสองกลุ่มตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 6 อย่างไรก็ตามค่าความไม่แน่นอนของห้องสอบเทียบทั้งสองแห่งถือว่ามีความใกล้เคียงกันเมื่อผู้วิจัยใช้ค่าความไม่แน่นอนในการทดสอบสำหรับใช้ในสมการคำนวณค่าเดียวกัน

แต่ในความเป็นจริงค่าที่ถูกต้องจะต้องเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบของห้องสอบเทียบแต่ละแห่ง ซึ่งโดยทั่วไปจะไม่เป็นที่เปิดเผยยกเว้นห้องสอบเทียบนั้นๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อการพาณิชย์หรือกิจการอื่น เพื่อชื่อเสียงหรือโฆษณาองค์กร จึงพอสรุปได้ว่าห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลองสามารถทำการทดสอบได้กับเครื่องมือชุดที่ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก เครื่องมือวัดใดๆ หากได้รับการสอบเทียบบ่อยครั้งความน่าเชื่อถือก็จะสูงขึ้น และสามารถสอบกลับเพื่อติดตามคุณภาพได้ แต่หากไม่มีการสอบเทียบก็ไม่ได้หมายความว่าเครื่องมือวัดนั้นๆ ขาดความน่าเชื่อถือ เพราะจากการวิจัยพบว่าเครื่องมือที่ได้รับการสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการจำลองและเครื่องมือวัดที่ไม่ได้รับการสอบเทียบเลยอย่างเครื่องมือวัดในกลุ่มที่ 3 ยังสามารถทำงานได้ในทางปฏิบัติเพียงแต่ไม่สามารถสอบกลับถึงความน่าเชื่อถือได้

4. สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยการสร้างห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลองถือเป็นอีกแนวทางและวิธีการหนึ่ง หากยังไม่พิจารณาข้อกำหนดความถูกต้องในรายละเอียดมากนัก เช่น พารามิเตอร์หรืออุปกรณ์ทดสอบบางชนิดจะถือเป็นข้อมูลรับเฉพาะสถานบริการสอบเทียบ ซึ่งไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนโดยในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาเพียงค่ากลางที่สามารถเกิดขึ้นได้แล้วนำมาพิจารณาเปรียบเทียบ จึงถือเป็นแนวทางแก้ปัญหาสำหรับหน่วยงานที่มีอุปกรณ์การวัดชุดมาตรฐานอยู่แล้วแต่ขาดแคลนงบประมาณหรือการวางแผนงบประมาณต่อเนื่อง ซึ่งจากการดำเนินงานแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดที่ทำการสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการจำลองมีคุณภาพและความน่าเชื่อถือใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดที่สอบเทียบมาตรฐาน แต่อย่างไรก็ตาม การสอบเทียบด้วยห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลองนี้ยังไม่ครอบคลุมถึงเครื่องมือวัดทั้งหมด ทั้งนี้เพราะเครื่องมือวัดบางชนิดมีค่าความแม่นยำสูงมากและใช้กับงานที่มีขบวนการสำคัญมาก ก็ไม่เหมาะสม

ที่จะดำเนินการ แต่ควรส่งต่อให้ห้องสอบเทียบมาตรฐาน ทั้งนี้เพราะเหตุผลและปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความเสี่ยงต่อการเสื่อมสภาพ การเก็บรักษา สภาพแวดล้อม และอื่นๆ อีกมาก ผู้ใช้งานเครื่องมือวัดจึงควรพิจารณาข้อกำหนดตามเงื่อนไขการใช้งานจริง ประกอบการตัดสินใจดำเนินการสอบเทียบ ทั้งนี้เพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้งานเครื่องมือวัดให้เกิดประโยชน์และคุณภาพสูงสุด

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ , มาตรฐาน ISO/ICE 17025 : 1999 (หัวข้อเรื่องห้องปฏิบัติการสอบเทียบ).
- [2] สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม , มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.17025-2543 (ข้อกำหนดทั่วไปว่าด้วยความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและห้องปฏิบัติการสอบเทียบ).
- [3] อัจฉรา เจริญสุข , มาตรวิทยาเบื้องต้น , มิถุนายน 2548 , สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ.
- [4] ต้องหทัย แล้วตระกูลพงษ์ , ISO/ICE Guide 25 มาตรฐานสำหรับห้องปฏิบัติการทดสอบ/สอบเทียบ, Industrial technology review , ฉบับที่ 44 , (พ.ศ. 2541) หน้า 122-128.

- [5] ชีรยุทธ สุคติ , ISO/ICE 17025 กับการพัฒนาห้องปฏิบัติการทางอุตสาหกรรม, Industrial technology review ปีที่8 , ฉบับที่ 94 , (มี.ค. 2545) หน้า 143-146.
- [6] ต้องหทัย แล้วตระกูลพงษ์ , ISO/ICE Guide 25 มาตรฐานสำหรับห้องปฏิบัติการทดสอบ/สอบเทียบ, Industrial technology review , ฉบับที่ 44 , (พ.ศ. 2541) หน้า 122-128.
- [7] Calibration : philosophy in practice , Fluke corporation , 1994.
- [8] Guide To The Expression Of Uncertainty In Measurement. ISO, Geneva(1993).(ISBN 92-67-10188-9).
- [9] EA-10/15 : EA Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters, European co-operation for Accreditation , January 2001.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ สำหรับความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลและการดำเนินการต่างๆเกี่ยวกับงานวิจัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

การปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรม

ถนอมศักดิ์ แก้วสุกณี¹ และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์¹

บทคัดย่อ— บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์การชดเชยแรงดันตกชั่วคราวในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อเกิดสภาวะแรงดันตกชั่วคราวด้วยอุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรม เพื่อแก้ไขปัญหาแรงดันตกชั่วคราวที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่มีความอ่อนไหวต่อแรงดันที่เปลี่ยนแปลง โดยใช้ทฤษฎี Instantaneous Power Theory ในการออกแบบอุปกรณ์ชดเชยแรงดันด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากการออกแบบสภาวะการเกิดแรงดันตกเนื่องจากความผิดปกติของระบบแบบ Single Phase to Ground, Two Phase to Ground และ Symmetrical Three Phase to Ground ขนาดแรงดัน 0.6 p.u. ในช่วงเวลา 200 ms. ผลจากการจำลองการชดเชยระบบด้วยอุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรมพบว่า สามารถรักษาระดับแรงดันของระบบที่เกิดความผิดปกติไปจากเดิมได้ โดยค่าแรงดันที่ได้จากการชดเชยระบบมีค่าเท่ากับ 1 p.u. ผลการศึกษาช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายไฟฟ้า เมื่อเกิดแรงดันตกชั่วคราว หากถูกทำการชดเชยด้วยอุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรมแล้ว จะส่งผลถึงความปลอดภัยของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบให้ยาวนานยิ่งขึ้น เป็นการรักษาคุณภาพไฟฟ้าให้แรงดันมีเสถียรภาพที่ดี

คำสำคัญ แรงดันตกชั่วคราว อุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรม เสถียรภาพแรงดัน

1. บทนำ

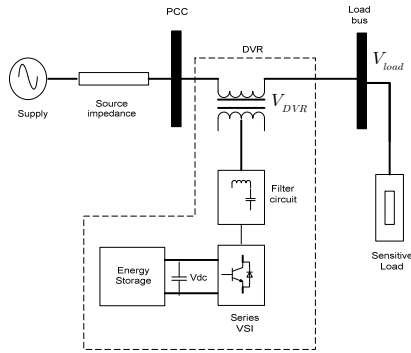
เนื่องจากการเติบโตอย่างรวดเร็วของการผลิตสินค้าในภาคอุตสาหกรรม ขบวนการผลิตสินค้าจึงต้องมีขั้นตอนการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูง ถูกต้อง รวดเร็ว และแม่นยำ ระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์พาวเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในทุกขั้นตอนการผลิต ในขณะที่เกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (แรงดันตกชั่วขณะ แรงดันเพิ่มชั่วขณะ ไฟกระพริบ ฮาร์มอนิกส์ แรงดันกระชอก) มักส่งผลกระทบต่อระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์หรือ อุปกรณ์พาวเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานผิดพลาดเช่นการทริบของอุปกรณ์หลัก

บางตัวที่ทำให้กระทบต่อกระบวนการผลิตรวมถึงอาจทำให้ขบวนการผลิตล้มเหลวได้ ซึ่งการผิดปกติของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีความถี่ในการเกิดบ่อยครั้งและมีผลกระทบในวงกว้างก็คือแรงดันตกชั่วขณะ แรงดันตกชั่วขณะจึงเป็นปัญหาสำคัญในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว อุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรม หรือ DVR (Dynamic voltage restorer) จึงถูกนำมาติดตั้งเพื่อชดเชยแรงดันที่ขาดหายไปโดยอุปกรณ์ DVR มีลักษณะเด่นที่จะทำงานเฉพาะในช่วงที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะเท่านั้น

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: +66(2)-549-3571 โทรสาร:+66(2)-549-3422

E-mail:krischonme.b@en.rmutt.ac.th



ภาพที่ 1 โครงสร้าง DVR

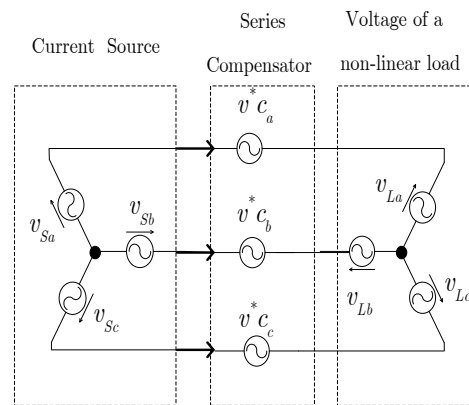
ในบทความ [1] นำเสนอการควบคุม DVR โดยใช้การแปลงองค์ประกอบของแรงดันและจากแกนนิ่งไปแกนหมุนร่วมกับเทคนิคการควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์แบบฮีสเตอร์รีซิส บทความที่ [2] นำเสนอการควบคุม DVR โดยใช้การแปลงองค์ประกอบของแรงดันและจากแกนนิ่งไปแกนหมุนร่วมกับเทคนิคการควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์แบบหลายระดับ บทความที่ [3] นำเสนอการควบคุม Active Filters เพื่อแก้ปัญหากระแสฮาร์มอนิกส์ในระบบจำหน่ายโดยใช้ทฤษฎี Instantaneous Power Theory ดังนั้นในบทความนี้จะได้นำเสนอรูปแบบการควบคุมนำ DVR แบบใหม่โดยใช้ทฤษฎี Instantaneous Power Theory กรอบการนำเสนอในบทความนี้ประกอบด้วย ลำดับแรกจะอธิบายถึงการทำงานและสมรรถนะเชิงพลวัตของ DVR ในการปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้า ต่อจากนั้นจะนำเสนอแบบจำลองของ DVR ในแบบสามเฟสสามสาย พร้อมทั้งนำเสนอระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ จุดเชื่อมต่อ โดยใช้ทฤษฎี Instantaneous Power Theory ซึ่งจะถูกจำลองลงบนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK สุดท้ายจะกล่าวสรุปผลการทดลองและกล่าวถึงขีดจำกัดและงานวิจัยขั้นต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1. อุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรม (DVR)

อุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรมหรือ DVR จะสร้างแรงดันชดเชยแทรกเข้าไปในระบบไฟฟ้าในขณะที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วย

4 ส่วนหลักคือ ส่วนแปลงพลังงานและตัวกรองฮาร์มอนิกส์ ส่วนที่ใช้เก็บพลังงาน หม้อแปลงสำหรับฉีดแรงดันเข้าระบบ และส่วนการควบคุม ในสภาวะปกติ DVR จะทำหน้าที่เสมือนตัวนำให้กระแสไหลผ่านได้ แต่ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะ DVR จะสร้างแรงดันแทรกเพิ่มเข้าไปในระบบเพื่อชดเชยผลต่างแรงดันระหว่างแรงดันตกชั่วขณะและแรงดันปกติ นั่นคือจะทำงานหรือทำการชดเชยแรงดันเพียงขณะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะเท่านั้น



ภาพที่ 2 วงจรสมมูลของ DVR

2.2. ทฤษฎี Instantaneous Power Theory

ทฤษฎี Instantaneous Power Theory ถูกนำเสนอครั้งแรกในปี ค.ศ. 1983 โดย Akagi et al. เป็นการศึกษา กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกติฟของระบบสามเฟสสามสายที่ในเชิงเวลาที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับได้กับระบบทั้งในสภาวะคงตัว และสภาวะชั่วขณะ การคำนวณหาค่า Instantaneous Power ถูกดำเนินการโดยการแปลงแรงดัน (V_{abc}) ที่จุดเชื่อมต่อและกระแสที่ไหลในสาย (I_{abc}) ให้อยู่บนแกน $\alpha\beta$ โดยใช้การเปลี่ยนรูปแบบ Clark Transformation [5] ดังนี้

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

เมื่อ x คือ แรงดันหรือกระแสไฟฟ้า เนื่องจากไม่

ปรากฏองค์ประกอบลำดับศูนย์ (v_0 และ i_0) ในระบบสามเฟสสามสายจึงสามารถแยกพิจารณาเฉพาะแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า จากองค์ประกอบ α และ β เท่านั้น จะได้

$$\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$e = v_\alpha + jv_\beta \quad (3)$$

$$i = i_\alpha + ji_\beta \quad (4)$$

จากสมการที่ (3) และ (4) สามารถคำนวณหา กำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

$$s = e.i^* = (v_\alpha + jv_\beta)(i_\alpha - ji_\beta) \quad (5)$$

$$s = (v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta) + j(v_\beta i_\alpha - v_\alpha i_\beta) \quad (6)$$

$$p = (v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta) \quad (7)$$

$$q = j(v_\beta i_\alpha - v_\alpha i_\beta) \quad (8)$$

นำสมการที่ (7) และ (8) มาเขียนเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$p = \bar{p} + \tilde{p} \quad (10)$$

$$q = \bar{q} + \tilde{q} \quad (11)$$

\bar{p} = กำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะเฉลี่ย

\tilde{p} = กำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะออสซิลเลต

\bar{q} = กำลังไฟฟ้าเสมือนชั่วขณะเฉลี่ย

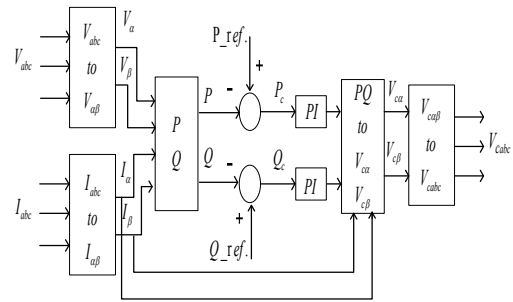
\tilde{q} = กำลังไฟฟ้าเสมือนออสซิลเลตชั่วขณะ

2.3. การควบคุมการทำงานของ DVR

การควบคุมการทำงานของ DVR จะประกอบด้วย ชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟ โดยกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟารีแอกทีฟ จะถูกนำมาคำนวณหาค่าแรงดันอ้างอิงบนแกน $\alpha\beta$ ได้ดังสมการที่ (12) จากนั้นแรงดันอ้างอิงบนแกน $\alpha\beta$ จะถูกแปลงกลับไปเป็นแรงดันอ้างอิง 3 เฟส สำหรับชดเชย ดังแสดงในสมการที่ (13)

$$\begin{bmatrix} v_{C\alpha}^* \\ v_{C\beta}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{i_\alpha^2 + i_\beta^2} \begin{bmatrix} i_\alpha & -i_\beta \\ i_\beta & i_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p^* \\ q^* \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} v_{Ca}^* \\ v_{Cb}^* \\ v_{Cc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha^* \\ v_\beta^* \end{bmatrix} \quad (13)$$



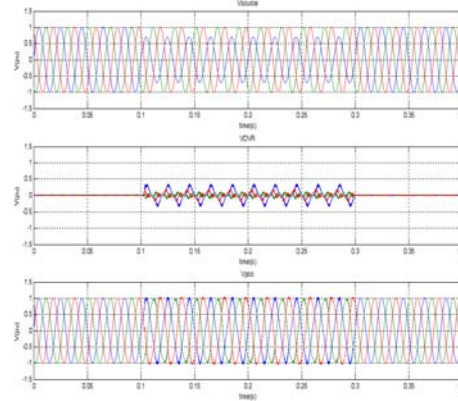
ภาพที่ 3 ไลอะแกรมการควบคุม DVR

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของระบบในการจำลอง

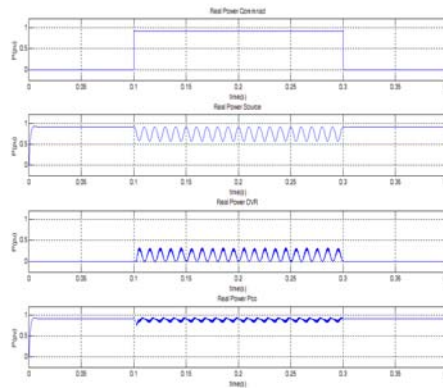
ตัวแปร	ค่าตัวแปร
แหล่งจ่ายแรงดัน	380Vrms 50 Hz
อัตราส่วนหม้อแปลงอนุกรม	1:1
แรงดันบัสกระแสตรง	570 Vdc
ฟิลเตอร์อินดักแตนซ์	12.6 mH.
ฟิลเตอร์คาปาซิแตนซ์	32.2 μ F.
ฟิลเตอร์รีซิสแตนซ์	39.6 Ω
เซนส์ซีทีพโหลด	2.97E3+j1.4E3

3. ผลและการอภิปรายผล

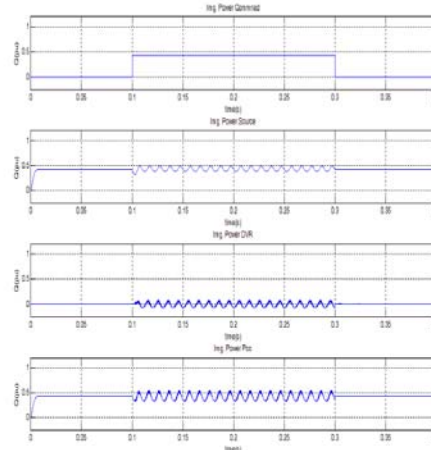
จากภาพที่ 3 จำลองการทำงานบนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในการจำลองการควบคุมการทำงานของ DVR โดยการควบคุมค่าแรงดันที่จุดเชื่อมต่อ ในขณะที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะในระยะเวลา 200 ms ให้มีค่าเท่ากับ 1pu โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบและค่าคงที่ ตามตารางที่ 1 ดำเนินการจำลองการควบคุมการทำงานของ DVR โดยแบ่งการจำลองออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 จำลองการควบคุมการทำงานของ DVR ในสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ Single Phase to Ground ขนาด 0.6 p.u. ช่วงเวลา 200ms กรณีที่ 2 จำลองการควบคุมการทำงานของ DVR ในสภาวะแรงดันตกชั่วขณะแบบ Two Phase to Ground ขนาด 0.6 p.u. ช่วงเวลา 200 ms และกรณีที่ 3 จำลองการควบคุมการทำงานของ DVR ในสภาวะแรงดันตกชั่วขณะแบบ Symmetrical Three Phase to Ground ขนาด 0.6 p.u. ช่วงเวลา 200 ms



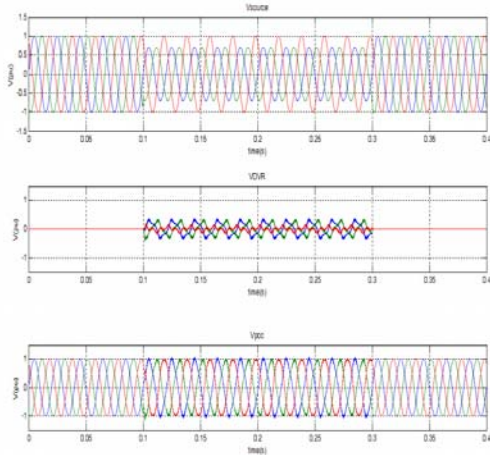
ภาพที่ 4 Vsource, Vdvr, Vpcc ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบ Single Phase to Ground



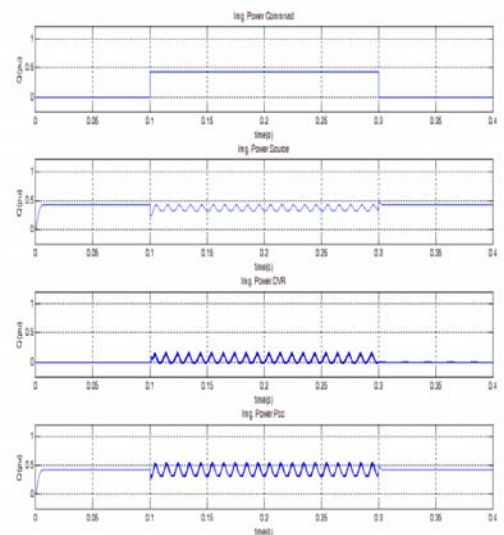
ภาพที่ 5 Pref., Psource, Pdvr, Ppcc ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบ Single Phase to Ground



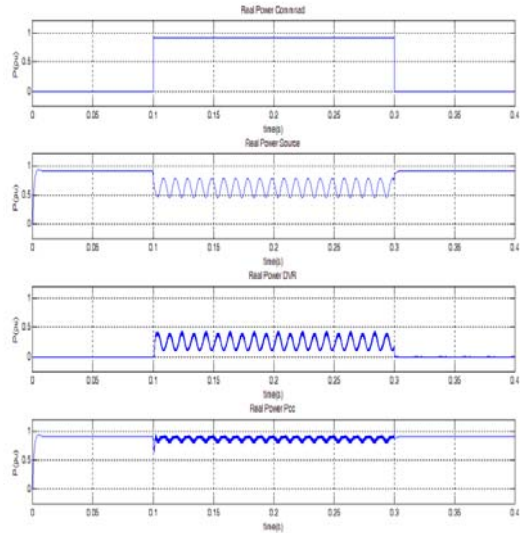
ภาพที่ 6 Qref., Qsource, Qdvr, Qpcc ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบ Single Phase to Ground



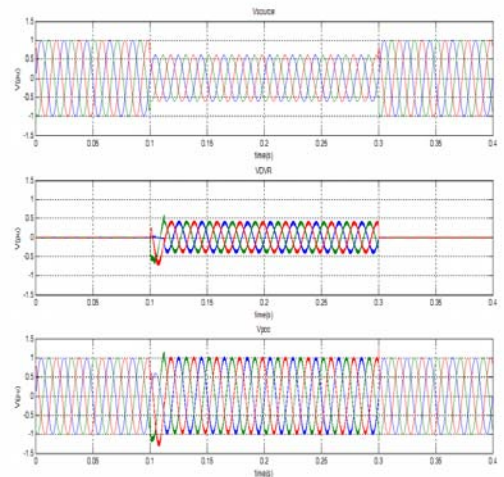
ภาพที่ 7 Vsource, Vdvr, Vpcc ขณะเกิดแรงดันตก
ช่วงขณะแบบ Two Phase to Ground



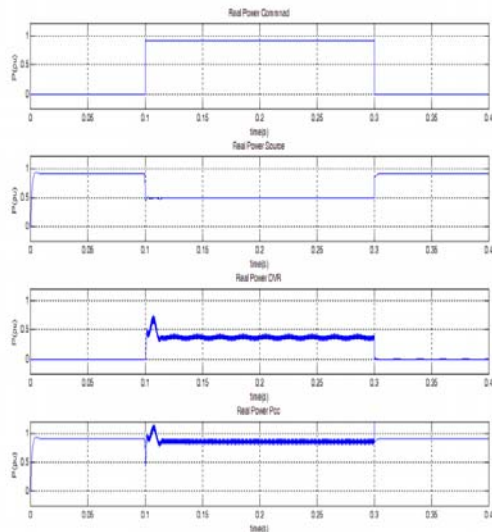
ภาพที่ 9 Qref., Qsource, Qdvr, Qpcc ขณะเกิด
แรงดันตกช่วงขณะ แบบ Two Phase to
Ground



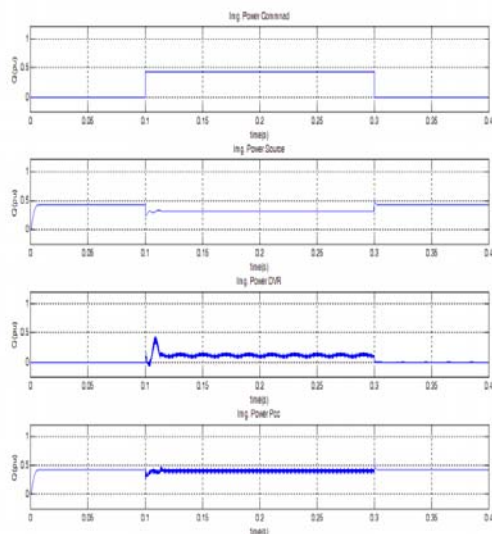
ภาพที่ 8 Pref., Psource, Pdvr, Ppcc ขณะเกิด
แรงดันตกช่วงขณะแบบ Two Phase to
ground



ภาพที่ 10 Vsource, Vdvr, Vpcc ขณะเกิดแรงดันตก
ช่วงขณะแบบ Symmetrical Three Phase
to Ground



ภาพที่ 11 Pref., Psource, Pdvr, Ppcc ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบ Symmetrical Three Phase to Ground



ภาพที่ 12 Qref., Qsource, Qdvr, Qpcc ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะ แบบ Symmetrical Three Phase to Ground

4. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้นำเสนอ การทำงานเชิงพลวัตของอุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรมหรือ DVR โดยทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วมในขณะที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ โดยจำลองบนโปรแกรม MATLAB /SIMULINK ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 DVR สามารถชดเชยแรงดันที่จุดต่อร่วมได้ตามกำหนดแสดงสมรรถนะของการควบคุมที่ดี ส่วนในกรณีที่ 3 เกิดการดีเลย์ที่เฟส a ที่เวลา 1/2 ไซเคิลแรก รวมทั้งเกิดแรงดันเกินชั่วขณะที่เฟส b และ c ขนาดประมาณ 1.1 pu และ 1.2 p.u. ที่เวลา 1/2 ไซเคิลแรก หลังจากนั้น DVR สามารถชดเชยแรงดันที่จุดต่อร่วมได้ตามกำหนด

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] H.Ezogi, A.Sheikholeslami, M.Tabasi, M.Saeednia "Simulation of Dynamics Voltage Restorer Using Hysteresis Voltage Control" European Journal of Scientific Reserch 2009.
- [2] RSOLI OMAR, NARUSDIN ABD RAHIM, MARIZAN SULIAMAN "Modeling and Simulation for Voltage Sags/Sweels Mitigation usin Dynamics Voltage Restorer (DVR) "Journal of Theoretical and Applied Information Technology 2005-2009" JATIT.
- [3] Jose' H.and Julie D.Zambrano "Control of Thyristor Controlled Series Capacitor Based on Instantaneous Power Theory" IEEE Journal 2008.
- [4] P.Booncham and N.Mithulananthan "Understanding of dynamics Voltage Restorers through MATLAB Simulation" Thammasat Int. J. Sc. Tech. Vol.11 N0.3 July-Sept 2006.
- [5] Hirofumi Akaki, Edson Hirokazu Watanabe, Mauricio Aredes"Instataneous Power Theory and Applications to Power Conditioner" Wiley-Interscience A John Wiley&son ,Inc., Plublication 2007.

วงจรกำเนิดสัญญาณควอเดรเจอร์โหมดกระแสที่ใช้ CCCCTA จำนวนหนึ่งตัว ร่วมกับอุปกรณ์ที่ต่อลงกราวด์

นรเศรษฐ์ ไทยแท้¹ ทศพล บำรุงโชค¹ และ วินัย ใจกล้า²

บทคัดย่อ— บทความนี้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณชานันแบบควอเดรเจอร์โหมดกระแสที่ใช้ CCCCTA เป็นอุปกรณ์แอกทีฟเพียงตัวเดียวร่วมกับอุปกรณ์พาสซีฟภายนอกที่ต่อลงกราวด์ จุดเด่นของวงจรถูกนำเสนอคือ สามารถปรับความถี่และเฟสในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกันด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างของวงจรมีซับซ้อน ประกอบไปด้วย CCCCTA จำนวน 1 ตัว ตัวต้านทานที่ต่อลงกราวด์ 1 ตัวและตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์อีก 2 ตัว วงจรถูกนำเสนอใช้เพียงอุปกรณ์ที่ต่อลงกราวด์ จึงเหมาะที่จะนำไปพัฒนาเป็นวงจรรวม นอกจากนี้แล้วด้วยความต้านทานที่เอาต์พุตมีค่าสูง วงจรถูกนำเสนอจึงสามารถนำไปต่อภาคเคจรในโหมดกระแสหรือขับโหลดได้โดยตรง ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSPICE พบว่าวงจรถูกนำเสนอได้สอดคล้องตามที่คาดการณ์ไว้ในทางทฤษฎี

คำสำคัญ วงจรกำเนิดสัญญาณชานัน โหมดกระแส CCCCTA

1. บทนำ

วงจรกำเนิดสัญญาณชานันเป็นวงจรถูกนำเสนอที่สำคัญและมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างการใช้งาน ได้แก่ ระบบสื่อสาร ระบบเครื่องมือวัด ระบบเครื่องมือแพทย์ ในห้องทดลองอิเล็กทรอนิกส์ ระบบประมวลผลสัญญาณ เป็นต้น ลักษณะเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณนิยามพัฒนาให้สามารถกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นชานันได้สองสัญญาณที่มีเฟสต่างกัน 90° หรือที่เรียกว่าสัญญาณควอเดรเจอร์ ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ในระบบสื่อสาร เช่น ในการมอดูเลตสัญญาณ SSB เป็นต้น [1] วงจรถูกนำเสนอในโหมดกระแสมีข้อดีคือ มีแบนด์วิดท์กว้าง

มีความเป็นเชิงเส้นสูง มีค่าพิสัยพลวัตกว้างและวงจรมีความง่ายเมื่อเทียบกับวงจรถูกนำเสนอในโหมดแรงดัน [2] ดังนั้นจึงมีวงจรถูกนำเสนอผลสัญญาณที่ทำงานในโหมดกระแสได้ถูกนำเสนอไว้มากมายในวารสารต่างๆ

โดยเฉพาะอย่างแล้ว วงจรถูกนำเสนอโหมดกระแสที่มีความต้านทานที่เอาต์พุตสูง ทำให้สามารถขับโหลดได้โดยตรง ไม่มีปัญหาในเรื่องของโหลดคิงเอฟเฟกต์ (Loading effected) และง่ายต่อการต่อภาคเคจรโดยไม่ต้องใช้วงจรกันชน (buffer) [3-4] รวมถึงการออกแบบวงจรถูกนำเสนอใช้ตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์มีข้อดีที่ทำให้ง่ายต่อการนำไปสร้างเป็นวงจรรวม [5-7]

จากการศึกษาพบว่าได้มีผู้เสนอวงจรกำเนิดสัญญาณโหมดกระแสโดยใช้อุปกรณ์แอกทีฟที่แตกต่างกันไป เช่น วงจรขยายความนำถ่ายไอออน [10, 16], วงจรสายพานกระแส [6], Four-Terminal Floating Nullors (FTFN) [3-4], วงจรตามกระแส [8-9], current controlled current differencing buffered amplifiers (CCCDDBA) [12], current controlled current differencing transconductance amplifiers (CCCDTA)

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคนครพนม มหาวิทยาลัยนครพนม 214 หมู่ 12 บ.ภูเขาทอง ต.หนองญาติ อ.เมือง จ.นครพนม 48000

โทรศัพท์: +66(42)-503-672 โทรสาร: +66(42)-511-484

E-mail: tosapol@npu.ac.th

²สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

โทรศัพท์: +66(2)-913-2500 โทรสาร: +66(2)-587-8255

E-mail: winai.ja@hotmail.com

[13-14], fully-differential second-generation current conveyor (FDCCII) [15] และ differencing voltage current conveyor (DVCCs) [11] เป็นต้น แต่วงจรเหล่านั้นยังมีข้อด้อยดังต่อไปนี้

- ใช้อุปกรณ์แอกทีฟและพาสซีฟจำนวนมากโดยเฉพาะตัวต้านทาน [3-4, 6, 11]
- ไม่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ [3-4, 6, 8-9, 11]
- ความต้านทานที่เอาต์พุตไม่สูง ดังนั้นกระแสเอาต์พุตจึงไม่สามารถต่อใช้งานกับโหลดได้โดยตรง [3-4, 6, 8-14, 16]
- ใช้ตัวเก็บประจุแบบลอยซึ่งไม่เหมาะสมที่จะสร้างเป็นวงจรรวม [11]
- ไม่สามารถควบคุมเก็อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกัน [8-10]

เมื่อเร็วๆ นี้ได้มีผู้นำเสนออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งสามารถทำงานได้ในโหมดกระแสที่มีชื่อว่า Current conveyor transconductance amplifier (CCTA) ที่เหมาะสมจะนำไปออกแบบวงจรประมวลสัญญาณแอนะล็อก [17] โดย CCTA สามารถทำงานได้ทั้งโหมดแรงดันและโหมดกระแส นอกจากนี้ยังมีข้อดีอีกหลายประการเช่น อัตราสรวูสูง แบนด์วิธกว้าง โครงสร้างวงจรที่ออกแบบโดย CCTA ไม่ซับซ้อน แต่เนื่องจาก CCTA ไม่สามารถควบคุมความต้านทานแฝงที่ขั้วอินพุตได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นเมื่อนำ CCTA ไปออกแบบวงจรจึงไม่สามารถควบคุมการทำงาน ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ บางวงจรต้องใช้ตัวต้านทานจำนวนหลายตัว ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปสร้างเป็นวงจรรวม ต่อมาจึงมีผู้นำเสนอ CCTA ที่สามารถควบคุมความต้านทานแฝงที่อินพุต ด้วยกระแสไบอัส และมีชื่อเรียกใหม่ว่า Current-controlled current conveyor transconductance amplifier (CCCCTA) [18]

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณควอเดรเจอร์โหมดกระแสที่ใช้ CCCCTA เก็อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณสามารถควบคุมได้อย่างอิสระจากกัน วงจรประกอบไปด้วยเพียง CCCCTA จำนวน 2 ตัว ตัวต้านทานที่ต่อลงกราวด์ 1 ตัวและตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์อีก 2 ตัว นอกจากนี้วงจรที่นำเสนอมีเอาต์พุตอินพีแดนซ์สูงจึงง่ายต่อการต่อคาสเคด ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSPICE สอดคล้องกับที่ได้คาดการณ์ไว้ในทางทฤษฎี

2. หลักการทำงานของวงจร

2.1 Current Controlled Current Conveyor Transconductance Amplifier (CCCCTA)

เนื่องจากวงจรที่นำเสนอประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ CCCCTA หัวข้อนี้จึงขอกกล่าวถึง CCCCTA พอสังเขป ซึ่งความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของ CCCCTA แสดงด้วยสมการในเชิงเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_y \\ V_x \\ I_z \\ I_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ R_x & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & g_m & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x \\ V_y \\ V_z \\ V_o \end{bmatrix} \quad (1)$$

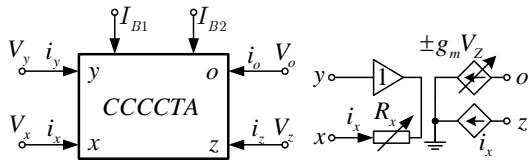
โดยที่ CCCCTA มีค่าความต้านทานแฝงทางด้านอินพุตของขั้ว x คือ R_x ในกรณี que สร้างจาก BJT มีสมการดังนี้

$$R_x = \frac{V_T}{2I_{B1}} \quad (2)$$

ค่าความนำถ่ายโอนของ CCCCTA สามารถควบคุมได้ที่ I_{B2} ดังแสดงได้ตามสมการที่ (3)

$$g_m = \frac{I_{B2}}{2V_T} \quad (3)$$

เมื่อ V_T เป็นศักดาความร้อน CCCCTA มีสัญลักษณ์และวงจรสมมูลดังภาพที่ 1 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

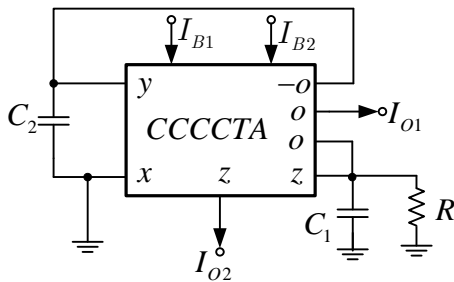


ภาพที่ 1 CCCTA (ก (สัญลักษณ์) ข (วงจรสวมมูล)

2.2 วงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ

โครงสร้างของวงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอได้แสดงดังภาพที่ 2 โดยที่ I_{B1} และ I_{B2} เป็นค่ากระแสไบอัสของ CCCCTA เมื่อพิจารณาวงจรในภาพที่ 2 และใช้คุณสมบัติของ CCCCTA ในหัวข้อที่ 2.1 จะได้สมการคุณสมบัติของวงจร (Characteristic Equation) เป็น

$$s^2 C_1 C_2 R_x R + s C_2 R_x - s C_2 R_x g_m R + g_m R = 0 \quad (4)$$



ภาพที่ 2 วงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ

จากสมการที่ 4 พบว่าวงจรจะสามารถให้กำเนิดสัญญาณได้ เมื่อ

$$1 = g_m R \quad (5)$$

สมการที่ (4) เรียกว่าเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ และสามารถหาความถี่ที่กำเนิดได้ดังนี้

$$\omega = \sqrt{\frac{g_m}{C_1 C_2 R_x}} \quad (6)$$

จากสมการที่ (6) และ (7) เมื่อ R_x และ g_m เท่ากับสมการที่ (2) และ (3) จะได้เงื่อนไขในการกำเนิด

สัญญาณและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณใหม่ดังนี้

$$I_{B2} = \frac{2V_T}{R} \quad (7)$$

และ

$$\omega_o = \frac{1}{V_T C} \sqrt{I_{B1} I_{B2}} \quad (8)$$

จากสมการที่ (7) และ (8) พบว่าสามารถปรับความถี่ในการกำเนิดสัญญาณและเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกันนั่นคือ ปรับเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณที่ I_{B2} กับ R ส่วนความถี่ในการกำเนิดสัญญาณปรับได้ที่ I_{B1}

เมื่อพิจารณาวงจรในภาพที่ 2 จะได้ฟังก์ชันโอนย้ายของ I_{O1} และ I_{O2} เป็น

$$\frac{I_{O2}(s)}{I_{O1}(s)} = \frac{1}{s C_2 R_x} \quad (9)$$

เมื่อพิจารณาในช่วงอยู่ตัวของสัญญาณไซน์จากสมการที่ (7) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$\frac{I_{O2}(j\omega)}{I_{O1}(j\omega)} = \frac{1}{\omega C_2 R_x} e^{-90^\circ} \quad (10)$$

จะพบได้ว่า I_{O1} และ I_{O2} จะมีเฟสต่างกัน

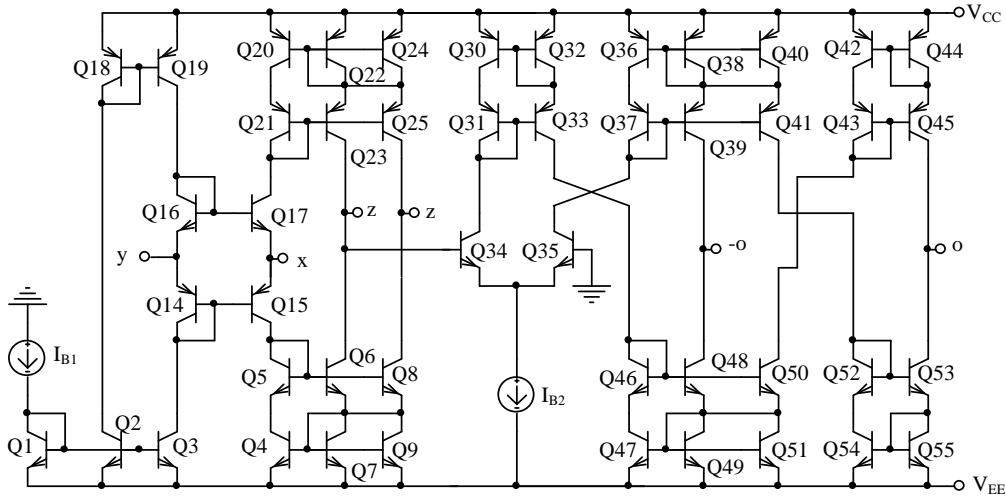
$$\phi = -90^\circ \quad (11)$$

3. ผลการจำลองการทำงาน

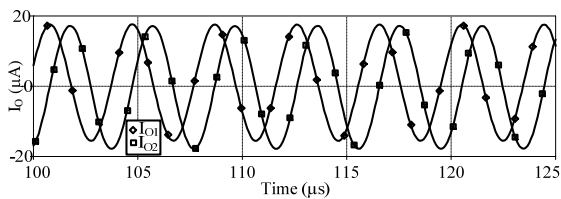
เพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะของวงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ จึงได้จำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice สำหรับทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจร ได้ใช้พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์เบอร์ PR200N และ NR200N ตามลำดับ ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์อาร์เรย์ ALA 400 ของ AT&T [17] โดยกำหนดให้ CCCCTA

ทำงานที่แรงดัน $\pm 2.5V$ และมีโครงสร้างภายในแสดงดังภาพที่ 3 ลำดับแรกปรับกระแสไบอัส $I_{B1} = 20\mu A$, $I_{B2} = 96.5\mu A$, $C_1 = C_2 = 1nF$ และ $R = 560\Omega$ ตามลำดับ ผลการจำลองการทำงานลำดับแรกแสดงในภาพที่ 4 เป็นกระแสเอาต์พุต I_{O1} และ I_{O2} จะพบว่าสัญญาณทั้งสองมีเฟสต่างกัน 90° ตามที่ได้วิเคราะห์ไว้

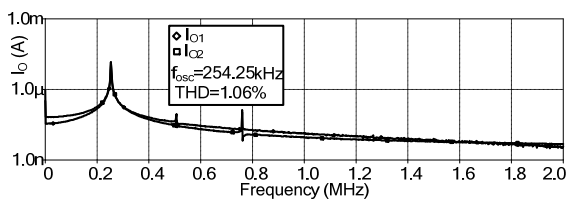
ในสมการที่ (11) ส่วนในภาพที่ 5 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ $254.05kHz$ ซึ่งมีค่าผิดเพี้ยนทางฮาร์โมนิกส์ (THD) เท่ากับ 1.06% ค่าความถี่ในการกำเนิดเมื่อเปลี่ยนค่ากระแสไบอัส I_{B1} และตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ให้มีค่าเท่ากันแสดงไว้ดังภาพที่ 6



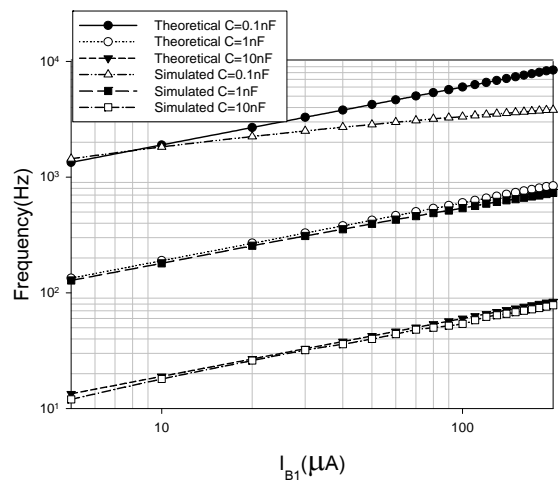
ภาพที่ 3 โครงสร้างภายในของ CCCCTA



ภาพที่ 4 สัญญาณเอาต์พุต



ภาพที่ 5 สเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ $254.25kHz$



ภาพที่ 6 ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับกระแสไบอัสและตัวเก็บประจุ

4. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้ได้นำเสนอ วงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอเดรเจอร์โหมดกระแสโดยใช้ CCCCTA ลักษณะเด่นของวงจรที่นำเสนอในบทความนี้คือสามารถให้ปรับค่าความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE พบว่าวงจรทำงานได้สอดคล้องกับที่คาดการณ์ไว้ วงจรมีอัตราการใช้พลังงาน 1.38mW ที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ± 2.5 โวลต์ นอกเหนือจากนี้ด้วยโครงสร้างของวงจรที่ประกอบไปด้วย CCCCTA จำนวน 1 ตัว ตัวต้านทาน 1 ตัวร่วมกับตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์อีก 2 ตัว จึงมีความเหมาะสมในการพัฒนาไปสู่วงจรรวมเพื่อนำไปใช้ระบบสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายกำลัง อีกทั้งความต้านทานที่เอาต์พุตมีค่าสูงจึงสามารถต่อโหลดหรือต่ออากาศได้โดยไม่ทำให้คุณสมบัติของวงจรเปลี่ยนแปลง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] I. A. Khan and S. Khawaja, "An integrable gm-C quadrature oscillator," *Int. J. Electronics*, vol. 87, no. 1, pp.1353-1357, 2000.
- [2] C. Toumazou, F.J. Lidgley and D.G. Haigh, *Analogue IC design: the current-mode approach*, Peter Peregrinus, London, 1990.
- [3] M. T. Abuelma'atti and H. A. Al-Zaher, "Current-mode sinusoidal oscillators using single FTFN," *IEEE Trans. Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Proc.*, vol. 46, pp. 69-74, 1999.
- [4] U. Cam, A. Toker, O. Cicekoglu, and H. Kuntman, "Current-mode high output impedance sinusoidal oscillator configuration employing single FTFN," *Analog Integrated Circuits and Signal Proc.*, vol. 24, pp. 231-238, 2000.
- [5] S. S. Gupta and R. Senani, "Realisation of current-Mode SRCOs using all grounded passive elements," *Frequenz*, vol. 57, pp. 26-37, 2003.
- [6] M. T. Abuelma'atti and A.A. Al-Ghumaiz, "Novel CCI-Based single-element-controlled oscillators employing grounded resistors and capacitors," *IEEE Trans. on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 43, pp. 153-155, 1996.
- [7] M. Bhusan and R.W. Newcomb, "Grounding of capacitors in integrated circuits," *Electronic Letters*, vol. 3, pp. 148-149, 1967.
- [8] J. J. Chen, C.C. Chen, H.W. Tsao, and S.I. Liu, "Current-mode oscillators using single current follower," *Electronics Letters*, vol. 27, pp. 2056-2059, 1991.
- [9] M.T. Abuelma'atti, "Grounded capacitor current-mode oscillator using single current follower," *IEEE Trans. Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 39, pp. 1018-1020, 1992.
- [10] S. Minaei and O. Cicekoglu, "New current-mode integrator, all-pass section and quadrature oscillator using only active elements," *1st IEEE Int'l Conf. Circuits and Systems for Communications*, vol. 26-28, pp.70-73, 2002.
- [11] J. W. Horng, "Current-mode quadrature oscillator with grounded capacitors and resistors using two DVCCs," *IEICE Trans. Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, vol. E86-A, pp. 2152-2154, 2003.
- [12] W. Jaikla and M. Siripruchyanan, "A Versatile quadrature oscillator and universal biquad filter using CCCDBAs," *Proceedings of ECTI con 2006*, Ubon-ratchathani, Thailand, pp.501-504, May 2006.

- [13] W. Jaikla and M. Siripruchyanun, "A versatile quadrature oscillator and universal biquad filter using dual-output current controlled current differencing transconductance amplifier," *Proceedings of ISCIT 2006*, Bangkok, Thailand, pp. 1072-1075, 2006.
- [14] W. Jaikla and M. Siripruchyanun, "CCCDTAs-based versatile quadrature oscillator and universal biquad filter," *The Proceedings of ECTI con 2007*, Chiang Rai, Thailand, pp. 1065-1068, 2007.
- [15] J. W. Horng, C. L. Hou, C. M. Chang, H. P. Chou, C. T. Lin and Y. H. Wen, "Quadrature oscillators with grounded capacitors and resistors using FDCCIIs," *ETRI Journal*, vol. 28, pp. 486-494, 2006.
- [16] K. Kumwachara and W. Surakamponorn, "An integrable temperature-insensitive gm-RC quadrature oscillator," *Int. J. Electronics*, vol. 90, no. 1, pp.599-605, 2003.
- [17] R. Prokop, V. Musil, "New modern circuit block CCTA and some its applications," *The Fourteenth International Scientific and Applied Science Conference - Electronics ET'2005*, Book 5. Sofia: TU Sofia, pp. 93-98, 2005.
- [18] M. Siripruchyanun and W. Jaikla, "Current controlled current conveyor transconductance amplifier (CCCCTA): a building block for analog signal processing," *Electrical Engineering*, vol. 90, pp. 443-453, 2008.
- [19] D. R. Frey, "Log-domain filtering: an approach to current-mode filtering," *IEE Proceedings of Circuit Devices Systems*, vol. 140, pp. 406-416, 1993.

การประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการพัฒนาฉนวนไฟฟ้า

นิติพงศ์ ปานกลาง¹

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้ นำเสนอการพัฒนาฉนวนสำหรับขั้วรับสายไฟฟ้าแบบพีจีชนิด 2 สลัก โดยประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการออกแบบ วิเคราะห์และจำลองผลของศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณโดยรอบของฉนวน อันเนื่องมาจากการใช้งาน ฉนวนขั้วรับสายไฟฟ้าที่พัฒนาทำจากยางธรรมชาติผสมยางอีพ็อกซีในอัตราส่วนยางธรรมชาติ 60% และยางอีพ็อกซี 40% ฉนวนดังกล่าว สามารถนำไปใช้กับขั้วรับสายไฟฟ้าแบบพีจีชนิด 2 สลักสำหรับสายไฟฟ้าขนาด 25 - 95 ตารางมิลลิเมตร จากผลการวิจัย พบว่า ยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางอีพ็อกซีที่ใช้ทำฉนวนมีค่าสภาพต้านทานเชิงปริมาตร (Volume Resistivity) มากกว่า $1.97 \times 10^9 \Omega - \text{cm}$ สภาพต้านทานเชิงผิว (Surface Resistivity) ประมาณ $5.6 \times 10^{10} \Omega / \text{cm}^2$ ในสภาวะก่อนบ่มแรง ฉนวนสามารถรับแรงดึงได้เท่ากับ $10.09 \pm 0.58 \text{ MPa}$ และหลังจากบ่มแรงสามารถรับแรงดึงได้เท่ากับ $7.77 \pm 1.20 \text{ MPa}$ และฉนวนมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ความถี่กำลังสูงสุดประมาณ 20 kV/mm ทั้งนี้ ฉนวนขั้วรับสายไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น เมื่อนำไปใช้กับระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้า จะช่วยป้องกันการลัดวงจรที่อาจเกิดขึ้นและลดการชำรุดเสียหาย ณ บริเวณจุดต่อสายไฟฟ้าได้ รวมถึงทำให้พนักงานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีความปลอดภัยในการปฏิบัติงานเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ ไฟไนต์เอลิเมนต์ ขั้วรับสายไฟฟ้าแบบพีจี ฉนวนไฟฟ้า

1. บทนำ

การต่อสายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแรงต่ำ 220/380V ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค นิยมใช้ขั้วรับสายไฟฟ้าแบบพีจี (Parallel Groove Clamp: PG Clamp) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การต่อแยกสายไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายแรงต่ำไปยังมิเตอร์รับไฟของผู้ใช้ไฟฟ้าตามบ้านพักอาศัย การต่อสายในลักษณะดังกล่าว บริเวณจุดต่อมักจะไม่มีฉนวนป้องกันหรือใช้เพียงเทปพันสายไฟฟ้าพันทับ ณ จุดต่อสายเท่านั้น [1] เมื่อใช้งานไปเป็นระยะเวลาานานๆ กอปรกับปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น แสงแดด

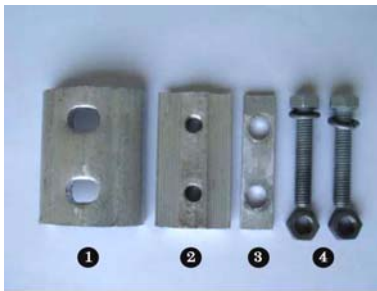
แสงอัลตราไวโอเล็ต บริเวณจุดต่อสายไฟฟ้าจะเกิดฟิล์มออกไซด์ ส่งผลต่อความต้านทานที่จุดสัมผัสระหว่างสายไฟฟ้ากับขั้วรับสายไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียและความร้อน จนก่อความเสียหายให้กับจุดต่อสาย [1] นอกจากนี้ การต่อสายไฟฟ้าด้วยขั้วรับสายไฟฟ้าแบบพีจีโดยไม่มีฉนวนป้องกัน ณ จุดต่อ ยังอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน เกิดการลัดวงจรอันไม่พึงประสงค์ และผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วไปรู้สึกถึงความไม่ปลอดภัย

บทความนี้ นำเสนอการออกแบบและพัฒนาฉนวนสำหรับขั้วรับสายไฟฟ้าแบบพีจีชนิด 2 สลัก สำหรับการต่อสายไฟฟ้าขนาด 25-95 ตร.มม. การออกแบบใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ผลเชิงตัวเลข รวมถึงมีการทดสอบคุณสมบัติของฉนวนตามมาตรฐาน ASTM D2240, ASTM D412, ASTM D257-99 และ ASTM D149-05 เพื่อแน่ใจได้ว่าวัสดุที่ใช้ทำฉนวน มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์: +66(2)-549-3420
E-mail: p.nitipong@gmail.com

2. ขั้วรัดสายไฟฟ้าแบบพีจี

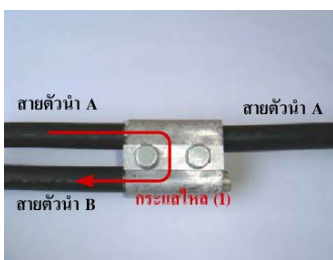
ขั้วรัดสายไฟฟ้าแบบพีจีเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อสายไฟฟ้าเพื่อส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าระหว่างตัวนำที่เชื่อมต่อกันอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบจำหน่ายแรงต่ำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มักใช้ขั้วรัดสายไฟฟ้าแบบพีจีเพื่อต่อแยกสายจากระบบจำหน่ายไปยังมิเตอร์ผู้ใช้ไฟฟ้าและต่อไปยังบ้านพักอาศัย ขั้วรัดสายไฟฟ้าแบบพีจี 2 สลักขนาด 25 - 95 ตร.มม. ประกอบด้วยส่วนสำคัญๆ 4 ส่วนคือ ขั้วรัดสายไฟฟ้าขึ้นบน, ขั้วรัดสายไฟฟ้าขึ้นล่าง, นอตและสลักเกลียว และแผ่นรองนอตและสลักเกลียว ส่วนประกอบต่างๆ แสดงในภาพที่ 1



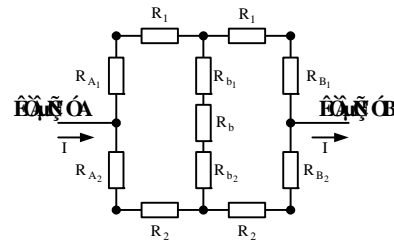
หมายเหตุ 1. ขั้วรัดสายไฟฟ้าขึ้นบน
2. ขั้วรัดสายไฟฟ้าขึ้นล่าง
3. เหนือโลหะรองนอตและสลักเกลียว
4. นอตและสลักเกลียว

ภาพที่ 1 ส่วนประกอบต่างๆ ของขั้วรัดสายไฟฟ้าแบบ

พีจีขนาด 25 - 95 ตร.มม.



ภาพที่ 2 ลักษณะการต่อสายไฟฟ้าด้วยขั้วรัดสายไฟฟ้าแบบพีจี



ภาพที่ 3 วงจรสมมูลการต่อสายไฟฟ้า

การต่อสายไฟฟ้าเข้ากับขั้วรัดสายไฟฟ้ามีลักษณะดังภาพที่ 2 โดยสายไฟฟ้าทั้งสองเส้นจะถูกประกบติดด้วยขั้วรัดสายไฟฟ้าขึ้นบนและขึ้นล่าง แล้วยึดด้วยนอตและสลักเกลียวสองตัว เมื่อมีกระแสไหลผ่านบริเวณจุดต่อ ขั้วรัดสายไฟฟ้าจะเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อวงจรระหว่างสายตัวนำ A กับสายตัวนำ B โดยทิศทางการไหลของกระแส (I) จะไหลจากสายตัวนำ A ไปยังสายตัวนำ B เมื่อกำหนดให้สายตัวนำ A เป็นสายเฟสในระบบจำหน่ายแรงต่ำแบบ 3 เฟส 4 สาย ส่วนสายตัวนำ B เป็นสายที่ต่อแยกไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย จากการต่อในลักษณะดังกล่าว และทิศทางการไหลของกระแสที่เกิดขึ้น เราสามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าที่จุดต่อได้ดังภาพที่ 3

วงจรสมมูลของการต่อสายไฟฟ้ามีลักษณะเป็นวงจรบริดจ์สมดุลที่ประกอบด้วยความต้านทานในแต่ละส่วนคือ R_1 และ R_2 เป็นความต้านทานรวมของขั้วรัดสายไฟฟ้าแบบพีจีขึ้นบนและล่าง, R_{A1} และ R_{A2} เป็นความต้านทานรวม ณ จุดสัมผัสระหว่างสายตัวนำ A กับขั้วรัดสายไฟฟ้าขึ้นบนและขึ้นล่าง, R_{B1} และ R_{B2} เป็นความต้านทานรวม ณ จุดสัมผัสระหว่างสายตัวนำ B กับขั้วรัดสายไฟฟ้าขึ้นบนและขึ้นล่าง, R_{b1} และ R_{b2} เป็นความต้านทานรวม ณ จุดสัมผัสระหว่างนอตและสลักเกลียวกับขั้วรัดสายไฟฟ้าขึ้นบนและขึ้นล่างตามลำดับ และ R_b เป็นความต้านทานรวมของนอตทั้งสองตัว จากวงจรสมมูลจะเห็นว่า สายตัวนำ A และสายตัวนำ B จะถูกเชื่อมต่อด้วยค่าความต้านทาน เมื่อมีการใช้งานไปเป็นเวลานาน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทาน ณ จุดดังกล่าว จากฟิล์มออกไซด์ที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากความชื้น

3. ฉนวนข้อรัดสายไฟฟ้าแบบพีจี

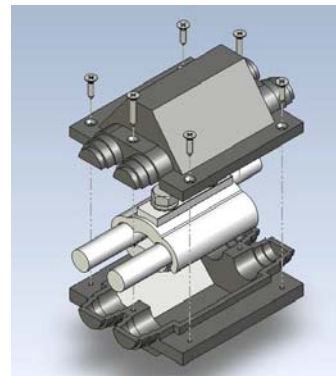
3.1 การออกแบบฉนวนและทดสอบคุณสมบัติ

วัสดุฉนวนที่ใช้ทำฉนวนสำหรับข้อรัดสายไฟฟ้าแบบพีจีชนิด 2 สลักขนาด 25 - 95 ตร.มม. ใช้วัสดุผสมระหว่างยางพารากับยางเออีลิน โพรพิลีน ไดอินหรือยางอีพีดีเอ็ม(EPDM Rubber) ในอัตราส่วน 60:40 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผสมยางทั้งสองชนิด[2,3] การผสมยาง อีพีดีเอ็มกับยางพาราเป็นการช่วยเพิ่มคุณสมบัติความทนทานต่อสภาพแวดล้อมให้กับวัสดุฉนวน วัตถุประสงค์และสารเคมีที่จำเป็นในการทำวัสดุฉนวนประกอบด้วย ยางพารา (เกรด STR 5L) ยางอีพีดีเอ็ม (Nordel IP 2340) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) กรดสเตียริก ไดไซโซลเฮกซิลเบนโซโทอะโซลซัลฟีนามิด (TBBS) เททระเมทิลไทูเรมไดซัลไฟด์ (TMTD) ผงกำมะถัน(S) และผงเขม่าดำ (Carbon-black:CB N330)

การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุฉนวนประกอบด้วย การทดสอบความแข็ง การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง การทดสอบสภาพต้านทานเชิงผิวและเชิงปริมาตร รวมถึงการทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า การทดสอบใช้ตัวอย่างวัสดุฉนวนขนาด 200×200×2.5 มิลลิเมตรและกระทำโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ และศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย อ้างอิงมาตรฐานในการทดสอบ ASTM D2240, ASTM D412, ASTM D257-99 และ ASTM D149-05 จากการทดสอบ พบว่า วัสดุฉนวนมีค่าความแข็งเท่ากับ 46.7 ± 3 Shore A ก่อนการบ่มเร่ง วัสดุฉนวนสามารถรับแรงดึงได้เท่ากับ 10.09 ± 0.58 MPa และหลังบ่มเร่ง วัสดุฉนวนมีความสามารถในการรับแรงดึงลดลงเหลือ 8.82 ± 1.58 MPa ความต้านทานจำเพาะเชิงผิวและเชิงปริมาตรของวัสดุฉนวนมีค่าเท่ากับ 1.9×10^{17} Ω/square และ 1.6×10^{15} Ω - cm ตามลำดับ และมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าประมาณ 17.9 kV/mm.

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของฉนวนยางพารา

ผสมยางอีพีดีเอ็ม	
คุณสมบัติ	
Hardness, Shore A	46.7 ± 3
Tensile Strength, MPa	8.82 ± 1.58
Elongation at Break, %	548 ± 29
Surface Resistivity, Ω /square	1.9×10^{17}
Volume Resistivity, Ω - cm.	1.6×10^{15}
Dielectric Strength, kV/mm.	17.9



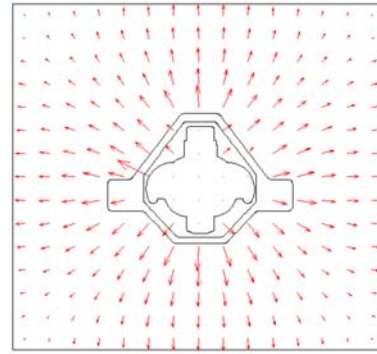
ภาพที่ 4 แบบจำลอง 3 มิติของฉนวนข้อรัดสายไฟฟ้าแบบพีจี

ฉนวนสำหรับข้อรัดสายไฟฟ้าแบบพีจีที่ออกแบบมีลักษณะดังภาพที่ 4 ประกอบด้วยฉนวนชั้นบนและฉนวนชั้นล่างที่สามารถประกบยึดติดเข้าหากันได้ การประกอบฉนวนเข้ากับข้อรัดสายไฟฟ้าแบบพีจี ข้อรัดสายไฟฟ้าแบบพีจีจะถูกห่อหุ้มอยู่ภายใน การประกบฉนวนเข้าหากันจะยึดติดด้วยสกรูสแตนเลส หัวฝัง บริเวณส่วนปลายทั้งสองของฉนวน มีช่องสำหรับรองรับสายไฟฟ้าทั้งสองด้านลักษณะเป็นครึ่งวงกลมประกบเข้าหากันและมีเส้นรัศมีที่แตกต่างกันสามระดับ ซึ่งสามารถตัดให้มีขนาดเหมาะสมกับสายไฟฟ้าได้

3.2 การวิเคราะห์ผลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จากแบบพิมพ์เขียน 3 มิติ ผู้เขียนนำไปสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายใต้สภาพการใช้งานเสมือนจริง แบบจำลองประกอบด้วยข้อรัดสายไฟฟ้าแบบพีจีและฉนวน การคำนวณกำหนดให้ข้อรัดสายไฟฟ้าแบบพีจี

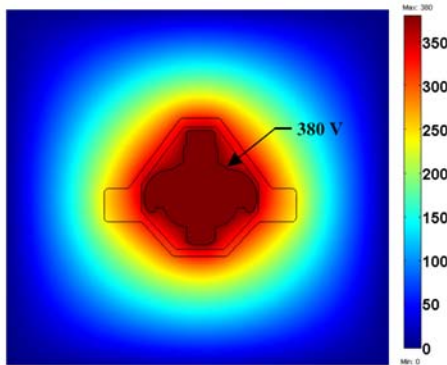
และสายไฟฟ้าเป็นตัวนำไฟฟ้า (ไม่คิดรอยต่อต่างๆที่เกิดขึ้นจากตัวข้อรัดสายไฟฟ้ากับ สายไฟฟ้า และ สลักยึด) มีค่าความนำไฟฟ้า (σ) เท่ากับ 3.774×10^7 และมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 380 โวลต์ ฉนวนห่อหุ้ม (ไม่คิดรอยต่อของฉนวน) กำหนดค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (ϵ_r) เท่ากับ 2.2[4] และมีค่าความนำไฟฟ้า (σ) เท่ากับ 0.507×10^{-9} โดยมีอากาศล้อมรอบข้อรัดสายไฟฟ้าและฉนวนฟ้า ในการคำนวณไม่คิดประจุค้าง (ρ_0) ที่เกิดขึ้นบริเวณตัวนำ ฉนวนและอากาศโดยรอบ การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนขียนยอมของผลเฉลยเท่ากับ $1 \times 10^{-6} \%$



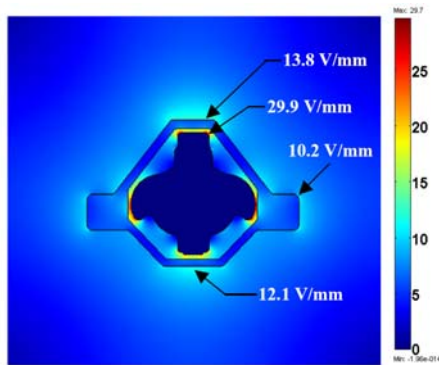
(ค) ทิศทางของสนามไฟฟ้า

ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์ศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้า

ผลการวิเคราะห์ศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าแสดงดังในภาพที่ 5 โดยจำลองการติดตั้งฉนวนข้อรัดสายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแรงต่ำ 3 เฟส 4 สาย ฉนวนระดับแรงดัน 380V/220V ภาพที่ 5 (ก) แสดงลักษณะการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันระหว่างสาย 380V จากภาพที่ 5 (ข) ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณนอตด้านบนมีค่าเท่ากับ 29.9 V/mm. ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นนี้ มีค่าไม่เกินความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของวัสดุฉนวน ซึ่งมีค่าสูงถึง 17.9 kV/mm. ฉนวนข้อรัดสายไฟฟ้าที่พัฒนาจากยางพาราผสมยางอีพ็อกซีเอ็มจึงสามารถทนความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้



(ก) ศักย์ไฟฟ้า



(ข) ความเครียดสนามไฟฟ้า

4. การทดสอบติดตั้งใช้งานจริงในระบบจำหน่าย

การขึ้นรูปฉนวนข้อรัดสายไฟฟ้าใช้วิธีกดอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C เพื่อให้วัสดุฉนวนเกิดการวัลคาไนซ์หรือเกิดการคงรูป ฉนวนข้อรัดสายไฟฟ้าที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้ว ผู้เขียนได้นำไปทดสอบติดตั้งใช้งานจริงในระบบจำหน่ายแรงต่ำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสระบุรี และระบบจำหน่ายแรงต่ำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอธัญบุรี ภาพที่ 6 แสดงลักษณะการประกอบฉนวนข้อรัดสายไฟฟ้าเข้ากับข้อรัดสายไฟฟ้า ตัวอย่างการติดตั้งฉนวนข้อรัดสายไฟฟ้า

ในระบบจำหน่ายแรงต่ำ แสดงดังภาพที่ 7 วัตถุประสงค์ของการทดสอบใช้งานจริงในระบบจำหน่ายแรงต่ำ เพื่อศึกษาผลกระทบของสภาพแวดล้อมที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุฉนวน และนำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงฉนวนข้อรัดสายไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต



(ก) ด้านใน

(ข) ด้านนอก

ภาพที่ 6 การประกอบฉนวนข้อรัดสายไฟฟ้า



ภาพที่ 7 การติดตั้งฉนวนข้อรัดสายไฟฟ้า ณ ระบบจำหน่ายแรงต่ำ

5. สรุปผลการวิจัย

ฉนวนสำหรับข้อรัดสายไฟฟ้าแบบพีจี 2 สลัก ขนาด 25 - 95 คม.มม. ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นช่วยให้การต่อสายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายมีความปลอดภัย ป้องกันการลัดวงจรที่อาจจะเกิดขึ้นและลดการชำรุดเสียหายบริเวณจุดต่อสายไฟฟ้าได้ รวมถึงทำให้พนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีความปลอดภัยในการปฏิบัติงานเพิ่มขึ้น วัสดุที่ใช้ทำฉนวนข้อรัดสายไฟฟ้าเป็นยางพาราผสมยางอีพิตีเอ็มในอัตราส่วน 60:40 เพื่อให้วัสดุฉนวนมีคุณสมบัติที่ทนทานต่อสภาวะแวดล้อม จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

พบว่า วัสดุฉนวนมีค่าความแข็งเท่ากับ 46.7 ± 3 Shore A ก่อนการบ่มแรง วัสดุฉนวนสามารถรับแรงดึงได้เท่ากับ 10.09 ± 0.58 MPa วัสดุฉนวนมีความสามารถในการรับแรงดึงลดลงเหลือ 8.82 ± 1.58 MPa เมื่อผ่านการบ่มแรง ความต้านทานจำเพาะเชิงผิวและเชิงปริมาตรของวัสดุฉนวนมีค่าเท่ากับ $1.9 \times 10^{17} \Omega/\text{square}$ และ $1.6 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ ตามลำดับ และมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าประมาณ 17.9 kV/mm.

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ณัฐพล นิพันธ์ไพศาล, “การศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นกับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้า”, วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [2] พงษ์ธร แซ่ฮุย และชาคริต สิริสิงห์, “การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล ความทนทานต่อความร้อนและความต้านทานโอโซนของยางผสม NR/EPDM”, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2548.
- [3] นพิตา หิญาชีระนันท์ และคณะ, “วัลคาไนเซชันของยางผสมยาง อีพิตีเอ็มและยางธรรมชาติโดยใช้เปอร์ออกไซด์เป็นสารวัลคาไนเซชันร่วม”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17, 2550.
- [4] Philippe Robert, “Electrical and Magnetic Properties of Materials”, Artech House Inc., Massachusetts, 1988.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอธวัชบุรีและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสระบุรีที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

การปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 22 kV

อ.เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี

คนัย ทองวัช และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์¹

บทคัดย่อ— บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 22 kV ในพื้นที่ อ.เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี ซึ่งอยู่ในความดูแลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดจันทบุรี จากกรณีศึกษา สามารถแบ่งออกได้ 2 กรณี คือ ก่อนการปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย และหลังจากปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับระบบจำหน่าย โดยทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ โดยวิธีการแพร่กระจายแบบถอยหลัง และเดินหน้า และการใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการคำนวณ เพื่อหาจุดที่มีปัญหาเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้ามากที่สุดในระบบจำหน่าย และหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดเพื่อติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าในระบบจำหน่าย จากผลลัพธ์ที่ได้ทั้งก่อนและหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้า มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้ ซึ่งจากการศึกษาในกรณีดังกล่าวพบว่าการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้า เข้ากับระบบจำหน่ายในจุดที่เหมาะสมนั้น สามารถแก้ปัญหาความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบจำหน่ายในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีปัญหาคล้ายกันได้อีกด้วย

คำสำคัญ การปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า การไหลของกำลังไฟฟ้า

1. บทนำ

กำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายนั้น สาเหตุหนึ่งเกิดจากการใช้กำลังของอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสองส่วนด้วยกัน ส่วนที่หนึ่งคือกำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงานจริง คือกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) อีกส่วนหนึ่งคือกำลังไฟฟ้าที่ไม่ก่อให้เกิดงานแต่ใช้สำหรับสร้างสนามแม่เหล็กให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งเรียกว่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive Power) ซึ่งกำลังไฟฟ้าทั้งสองนี้จะทำให้เกิดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ในระบบจำหน่าย ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้หากมีค่าต่ำก็จะทำให้เกิดปัญหาในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ เช่น เกิดการสูญเสียในระบบจำหน่าย แรงดันไฟฟ้าตก ระบบสามารถจ่ายโหลดได้

น้อยลง ซึ่งวิธีการลดการสูญเสียในระบบจำหน่ายสามารถทำได้โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุนานเข้ากับระบบจำหน่าย เพื่อเป็นการชดเชยกำลังไฟฟ้าจินตภาพให้กับระบบจำหน่าย ซึ่งเป็นวิธีที่มีความนิยมใช้สำหรับการปรับปรุงและชดเชยกำลังสูญเสียในระบบจำหน่าย

บทความที่ [1] ได้นำเสนอการใช้วิธี Fuzzy Logic ค้นหาตำแหน่งติดตั้งและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กในระบบจำหน่าย IEEE 33 บัส เพื่อเปรียบเทียบกับกรณีติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าพบว่าการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กในระบบจำหน่ายสามารถชดเชยการสูญเสียในระบบได้ดีกว่าการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้า ในบทความที่ [2] ได้นำเสนอการใช้วิธีการแพร่กระจายแบบเดินหน้าและถอยหลังในการคำนวณการไหลของโหลดในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล บทความที่ [3] แสดงถึงการใช้ load modeling ในการแก้ปัญหาเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล โดยใช้การจัดเรียงข้อมูลของระบบจำหน่ายใหม่เพื่อหาบัสที่มีโอกาสเกิดปัญหามาก

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ : 0-2549-3571

E-mail: dan_tao@hotmail.com

ที่สุด ในบทความที่ [4] ได้นำเสนอถึงการหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งวินด์เทอร์ไบน์ที่เหมาะสมเพื่อลดพลังงานสูญเสียในระบบจำหน่าย ซึ่งหากติดตั้งในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้ระบบมีการสูญเสียเพิ่มขึ้น และในบทความที่ [5] ได้นำเสนอถึงการหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจำนวน 3 ชนิด โดยการใช้วิธีกลุ่มอนุภาค ซึ่งวิธีกลุ่มอนุภาคสามารถหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมได้ และยังสามารถปรับปรุงแรงดันและกระแสในแต่ละสาขาได้อีกด้วย

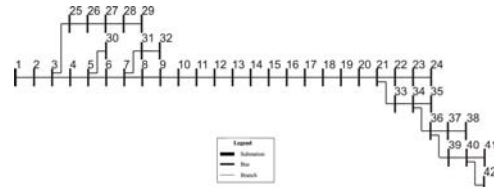
จากบทความดังกล่าวจะเห็นได้ว่าวิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และเป็นวิธีที่มีความรวดเร็ว อีกทั้งยังมีความถูกต้องค่อนข้างสูง

ดังนั้นบทความนี้ได้แสดงถึงการหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของตัวเก็บประจุไฟฟ้า โดยใช้วิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคเพื่อแก้ปัญหาความเสถียรภาพแรงดันในระบบจำหน่าย 22 kV ในพื้นที่ อ.เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี

ในบทความนี้จะประกอบไปด้วย ทฤษฎีเบื้องต้น การเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย ผลการจำลองระบบจำหน่าย 22 kV พื้นที่ อ.เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี ข้อสรุปของงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

2.ระบบไฟฟ้าในพื้นที่ อ.เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง 22 kV ในพื้นที่ อ.เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี นั้นอยู่ในความดูแลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดจันทบุรี มีลักษณะของระบบจำหน่ายเป็นแบบเรเดียล ต้นทางอยู่ที่สถานีไฟฟ้าจังหวัดจันทบุรี ปลายทางอยู่ที่ ต. จันเขลม อ.เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี ความยาวของสายส่งประมาณ 30 km สามารถแบ่งออกเป็น 42 บัส ดังนี้



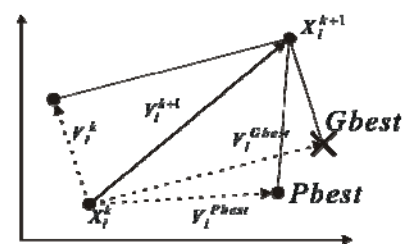
ภาพที่ 1 ระบบจำหน่าย 22 kV อ.เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี

3.ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

3.1 การเคลื่อนที่กลุ่มของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด

วิธีการการเคลื่อนที่กลุ่มของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (Particle Swarm Optimization, PSO) เป็นการค้นหาคำตอบที่มีพื้นฐานเลียนแบบพฤติกรรมทางสังคมและพลศาสตร์การเคลื่อนไหวของฝูงแมลง นก หรือปลา ซึ่งถูกนำเสนอโดย Kennedy and Eberhart เหมาะสำหรับปัญหาที่ตัวแปรมีค่าต่อเนื่องซึ่งประสบความสำเร็จในการนำไปใช้หาคำตอบของปัญหาที่หลากหลาย โดยมีข้อดีหลายประการ เช่น ใช้พารามิเตอร์ของอัลกอริทึมน้อย สามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก เป็นต้น ซึ่งคำตอบที่เหมาะสมที่สุด จะถูกค้นหาลงมาเป็นขั้นเป็นตอน โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค (particle) ตามเวลา ภายในสเปซของการค้นหา (search space) ซึ่งการเคลื่อนที่ของแต่ละอนุภาคจะขึ้นกับประสบการณ์ของมันเอง ซึ่งเรียกค่านี้ว่า Pbest และตามประสบการณ์ของอนุภาคที่อยู่ข้างเคียง เรียกค่านี้ว่า Gbest

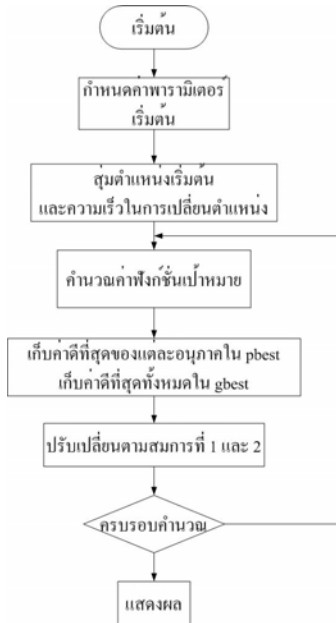
โดยความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่งของกลุ่มอนุภาคสามารถหาได้จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2 แสดงถึงตำแหน่งใหม่ของอนุภาคหลังเปลี่ยนตำแหน่งแล้ว



ภาพที่ 2 แนวคิดเบื้องต้นในการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

$$v_{id}^{t+1} = w \times v_{id}^t + rand_1 \times c_1 \times (pbest_{id} - x_{id}^t) + rand_2 \times c_2 \times (gbest_{id} - x_{id}^t) \quad (1)$$

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1} \quad (2)$$



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการคำนวณโดยวิธีกลุ่มอนุภาค

3.2 โหลดโพล์ในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

โดยปกติทั่วไปความยาวในระบบจำหน่ายส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบของสายส่งระยะสั้น (มีความยาวของสายส่งไม่เกิน 80 กิโลเมตร) และแรงดันในระบบจำหน่ายของสายส่งระยะสั้นจะมีค่าน้อย และเมื่อเปรียบเทียบเข้ากับสายส่งในรูปวงจร π แต่เนื่องจากรูปแบบของสายส่งระยะสั้นนั้นจะไม่พิจารณาค่าตัวเก็บประจุที่ต้องขนานอยู่กับสายส่ง แต่ในระบบจำหน่ายที่เป็นสายส่งระยะสั้นจะพิจารณาเฉพาะค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่ออนุกรมในสายส่งคู่กับความยาวของสายส่ง รูปแบบของวงจรไฟฟ้าเส้นเดียวในระบบจำหน่ายโดยสายส่งที่ระบบจำหน่ายจะไม่คำนึงถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องขนานเข้ากับสายส่ง แต่จะพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าในสายส่งมีกำลังไฟฟ้าจริงกับกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏที่โหนด i ไปยังบัส j ดังสมการที่ 3 และ 4

$$P_{ij} = -\frac{V_i^2}{R_{ij}} - \frac{V_i V_j}{R_{ij}} \cos \theta_{ij} + \frac{V_i V_j}{X_{ij}} \sin \theta_{ij} \quad (3)$$

$$Q_{ij} = -\frac{V_i^2}{X_{ij}} - \frac{V_i V_j}{X_{ij}} \cos \theta_{ij} + \frac{V_i V_j}{R_{ij}} \sin \theta_{ij} \quad (4)$$

จากสมการที่ 3 และ 4 สามารถคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดโพล์ของสายส่งรูปแบบเรเดียลในระบบจำหน่าย เมื่อให้ N เป็นจำนวนของบัสในระบบจำหน่ายและให้บัสที่หนึ่งคือบัสที่เชื่อมต่อไปยังสถานีจ่ายกำลังไฟฟ้าและทำการพิจารณาแรงดันไฟฟ้าที่โหนดต่างๆ เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าที่จะนำมาเชื่อมต่อในการเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าควรเชื่อมตั้งแต่บัสที่สองเป็นต้นไปตามสมการที่ 5 และ 6

$$P_{Li} = -\frac{V_i V_j}{R_{ij}} \cos \theta_{ij} - \frac{V_i V_j}{X_{ij}} \sin \theta_{ij} \quad (5)$$

$$Q_{Li} = \frac{V_i^2}{R_{ij}} + \left(\frac{V_i V_j}{R_{ij}} \cos \theta_{ij} + \frac{V_i V_j}{X_{ij}} \sin \theta_{ij} \right) \quad (6)$$

3.3 การคำนวณหากระแสและแรงดันในระบบเรเดียล

ในการคำนวณหาของโหลดโพล์มีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีคือ 1. วิธีแพร่กระจายถอยหลัง (Backward sweep) และ 2. วิธีแพร่กระจายเดินหน้า (Forward sweep) หลังจากทำการคำนวณจะทำการคำนวณจะตรวจสอบค่าของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายในระบบเรเดียล เพื่อตรวจค่าของแรงดันไฟฟ้าที่โหนดต่างๆ หลังจากการคำนวณหาค่าของโหลดโพล์และผลที่ได้เป็นค่าของกำลังไฟฟ้าสูญเสียของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าปรากฏในระบบจำหน่ายเมื่อใช้กระบวนการดังกล่าว

$$I_i^k = \left(\frac{S_i}{V_i^{(k-1)}} \right) - Y_i V_i^{(k-1)} \quad (7)$$

การคำนวณค่ากระแสในแต่ละสาขาโดยวิธีแพร่กระจายถอยหลังดังสมการที่ 7 การคำนวณกระแสที่เราจะเริ่มให้ขนาดแรงดันเป็น 1 pu. และมุมแรงดันเป็นศูนย์ ที่ทุกๆ โหนดส่วนของการคำนวณกระแสในสายจะเริ่มจาก การคำนวณที่เรียกว่าการแพร่กระจายถอยหลัง โดยที่รอบคำนวณที่ k เราจะคำนวณกระแส J

ในสายที่สุดท้ายเรื่อยเข้าสู่จุดโหนด (Root node) หรือ
รูตบัส (Rootbus)

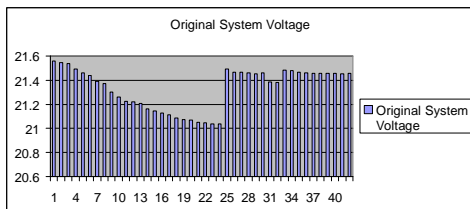
$$V_{L2}^{(k)} = V_{L1}^{(k)} - Z_L J_L^{(k)} \quad (8)$$

$$V_{ijk} = V_i - I_n Z_{ijk} \quad (9)$$

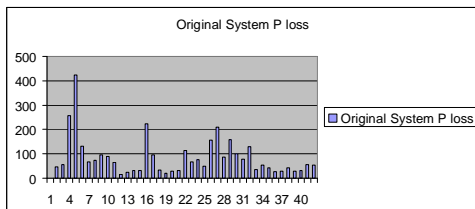
การคำนวณแรงดันจะมีลักษณะการแพร่กระจาย
แบบคืบหน้า โดยเริ่มต้นจากบัสอ้างอิง โดยที่ค่า
แรงดันกำหนดให้มีค่าคงที่และมุมเฟสเป็นศูนย์ ส่วน
ค่าแรงดันและมุมเฟสของแรงดันที่บัสอื่นๆ ถัดไปจาก
บัสอ้างอิงในรอบคำนวณที่ k จะถูกคำนวณค่าแรงดันที่
บัสเรื่อยไปสู่บัสสุดท้ายด้วยสมการที่ 8 และ 9 หลังจาก
นั้นทำการหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งของตัวเก็บประจุ
ในระบบจำหน่ายโดยวิธีกลุ่มอนุภาค

4. ผลการจำลองระบบจำหน่าย

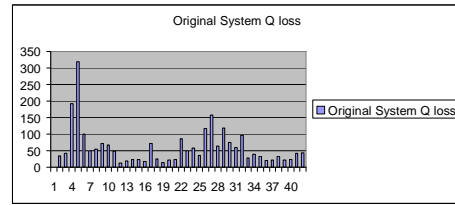
จากข้อมูลของระบบจำหน่าย 42 บัส เมื่อวิเคราะห์
การไหลของกำลังไฟฟ้าแล้วพบว่า ค่าแรงดันเฉลี่ยของ
ระบบจำหน่ายมีค่าเท่ากับ 21.56 kV และมีกำลังไฟฟ้า
สูญเสียจริง และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรีแอกทีฟในระบบ
เท่ากับ 31.9089 kW และ 22.5253 kVar ตามลำดับ



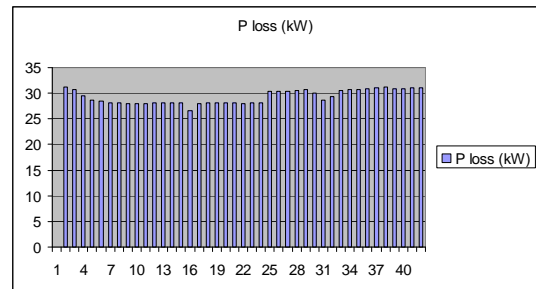
ภาพที่ 4 ค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส



ภาพที่ 5 กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงที่บัสต่างๆ

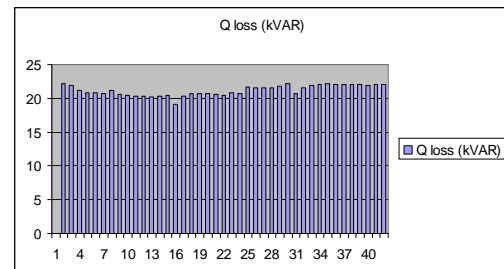


ภาพที่ 6 กำลังไฟฟ้าสูญเสียรีแอกทีฟที่บัสต่างๆ



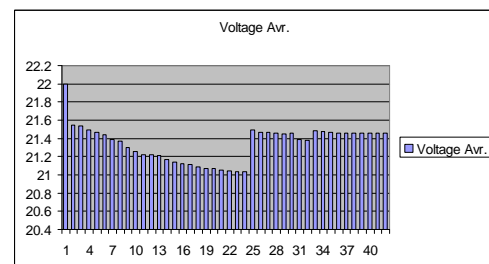
ภาพที่ 7 กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง

จากภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่าหลังจากทำการปรับปรุง
เสถียรภาพของระบบจำหน่ายโดยการติดตั้งตัวเก็บ
ประจุไฟฟ้าแล้ว การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าใน
ตำแหน่งบัสที่ 16 จะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงน้อยที่สุด
เพียง 22.64 kW เท่านั้น



ภาพที่ 8 กำลังไฟฟ้าสูญเสียรีแอกทีฟ

จากภาพที่ 8 จะเห็นได้ว่าการติดตั้งตัวเก็บประจุ
ในบัสที่ 16 สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียรีแอกทีฟลง
เหลือ 19.14 kVar



ภาพที่ 9 แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย

จากภาพที่ 9 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าในบัสที่ 16 ค่าแรงดันเฉลี่ยของระบบจำหน่ายมีค่าเท่ากับ 21.13 kV ในขณะที่ค่าแรงดันเฉลี่ยที่ดีที่สุดจะอยู่ที่ตำแหน่งบัสที่ 2 มีค่าเท่ากับ 21.55 kV

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาระบบจำหน่ายในพื้นที่ อ.เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี โดยวิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคสามารถหาได้ทั้งขนาด และตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของตัวเก็บประจุได้ โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าในตำแหน่งบัสที่ 16 สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรีแอกทีฟได้มากที่สุด ซึ่งสามารถลดกำลังไฟฟ้าจริงได้ 16.5% และสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียรีแอกทีฟได้ 15%

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A.Lakshmi Devi, B.Subramanyam “Optimal DG Unit placement For Loss Reduction in Radial Distribution System-A Case Study” ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, VOL 2, NO 6, December 2007
- [2] G. W. Chang, S. Y. Chu and H. L. Wang “An Improved Backward/Forward Sweep Load Flow Algorithm for Radial Distribution Systems” IEEE Transaction on Power System, VOL. 22, May 2007
- [3] M. Chakravorty, D. Das “Voltage stability analysis of radial distribution networks” Electrical Power and Energy System 23, 2001, Page(s):129-135
- [4] Pukar Mahat, Weerakron Ongsakul and Nadarajah Mithulananthan “Optimal Placement of Wind Turbine DG in Primary Distribution System for Real Loss Reduction” Energy for Sustainable, 2010
- [5] Wichit Krueasuk, Werakon Ongsakul “Optimal Placement of Distributed Generation Using Particle Swarm Optimization” Proceeding of the Australasian, 2006

มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของกลุ่มพาณิชย์กรรม ในประเทศไทย ด้วยวิธีการพีชชีโลจิก

ปริญญา สมเงิน¹ ธเนศ เดชโหมด¹ ภาณุวัฒน์ เทียนศรี¹ ระพีพัฒน์ ภาสบุตร¹ และ วรรัตน์ ปัตตประกร²

บทคัดย่อ— งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอวิธีการประเมินมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องด้วยวิธี พีชชีโลจิก จากการสำรวจกลุ่มผู้ใช้ไฟประเภทพาณิชย์กรรมจำนวน 81 ราย โดยใช้ตัวแปรในการออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทางด้านอินพุตของพีชชีโลจิกโมเดล 2 ตัวแปร คือ ค่าไฟต่อเดือนซึ่งแบ่งเป็น 4 ระดับ ได้แก่ 5,000-10,000 บาท/เดือน 10,001-30,000บาท/เดือน 30,001-50,000บาท/เดือน 50,001-100,000 บาท/เดือน และระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องซึ่งแบ่งเป็น 4 ระดับ ตั้งแต่ 1-6 นาที, 7-12 นาที, 13-30 นาที, 31-60 นาที ตัวแปรในการออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทางด้านเอาต์พุตของพีชชีโลจิกประกอบด้วย มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องกรณีแจ้งล่วงหน้าและกรณีไม่แจ้งล่วงหน้า ซึ่ง 5 ฟังก์ชันของพีชชีโลจิกโมเดลถูกเลือกสำหรับการออกแบบและประมวลผลโดยใช้ฟังก์ชัน Trimf Trapmf Gbellmf Gaussmf และ Gauss2mf จากผลการศึกษาพบว่า ฟังก์ชัน Gaussmf สามารถใช้ ออกแบบและประมวลผลมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของกลุ่มผู้ใช้ไฟประเภทพาณิชย์กรรมในประเทศไทย โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดอยู่ที่ 15.90% ซึ่งน้อยกว่าฟังก์ชันอื่นๆ นอกจากนี้ ค่าเฉลี่ยของมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องกรณีแจ้งล่วงหน้าและกรณีไม่แจ้งล่วงหน้ามีค่า 6,127 บาท/ครั้ง และ 25,010 บาท/ครั้ง ตามลำดับ

คำสำคัญ มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง, พีชชีโลจิก, เหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องกรณีแจ้งล่วงหน้าและไม่แจ้งล่วงหน้า

1. บทนำ

มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์[1] ไฟฟ้าขัดข้อง (Outage cost) คือมูลค่าความเสียหายเมื่อกระแสไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายมีขนาดแรงดันต่ำกว่า 0.1 pu. และมีระยะเวลาตั้งแต่ 1 นาทีขึ้นไป ส่งผลให้เกิดความเสียหายขึ้นไม่ว่าจะเป็นในทางเศรษฐศาสตร์ หรือ ความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้ากำลัง ดังนั้นการประเมินมูลค่าความเสียหายดังกล่าวจึงมักเป็นการประเมินค่าผ่านดัชนีที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายหรือการ

เกิดเหตุไฟฟ้าขัดข้องในระบบไฟฟ้า ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการประเมินดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละระดับชั้น เริ่มตั้งแต่ระบบผลิตไฟฟ้า (Generation System) ระบบสายส่ง (Transmission Line System) และระบบจัดจำหน่าย (Distribution System) ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นต่อการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของระบบไฟฟ้ากำลัง [1] จึงมีการศึกษาและทำการวิจัยเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและใช้ความสัมพันธ์ ทางคณิตศาสตร์ในการประเมินความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าขัดข้อง โดยเป็นสิ่งจำเป็นต่อการวางแผนการลงทุนในระบบผลิตและจำหน่าย การปรับปรุงคุณภาพและมาตรฐานอุปกรณ์ การปรับปรุงมาตรฐานการบำรุงรักษา

ปัญหาเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในประเทศไทยถือเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าทุก

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต 99 ถ.พหลโยธิน ต.คลองหลวง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

E-mail: Parinya.Som-Ngrean@wdc.com

ประเภท ทั้งในผู้ใช้ไฟประเภทที่อยู่อาศัย ผู้ใช้ไฟประเภทพาณิชยกรรม และผู้ใช้ไฟประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และผลที่ตามมาหลังจากเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องก็คือ มูลค่าความเสียหายที่เกิดจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีผู้ทำการศึกษาวิจัยถึงมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่แท้จริง [2] ซึ่งจากการศึกษาของสถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ดำเนินการศึกษาผลกระทบเนื่องจากไฟฟ้าขัดข้องในช่วงปี 2538 และ 2544 โดยร่วมมือกับ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) โดยมุ่งเน้น 2 ประเด็นคือ การหาแบบจำลองความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ และการประเมินความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ [3] และนอกจากนี้ยังมีการศึกษาความเสียหายจากเหตุไฟฟ้าขัดข้องในกลุ่มอุตสาหกรรมและกลุ่มธุรกิจบริการ ตามรูปแบบพีซซี และการหาค่าเฉลี่ย [4] ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่ายังไม่ได้ศึกษาในเชิงลึกของผู้ใช้ไฟประเภทพาณิชยกรรม

ดังนั้นบทความฉบับนี้จึงได้นำเอาหลักการและข้อดีของพีซซีลอจิกมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองการประเมินมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง โดยแบ่งเป็นช่วงตามอัตราค่าไฟฟ้า(บาท/เดือน) และระยะเวลาในการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง เพื่อประเมินมูลค่าความเสียหายได้อย่างละเอียดและถูกต้องแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการวางแผนและปรับปรุงระบบจำหน่ายเพื่อลดมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องได้ในแต่ละระดับของผู้ใช้ไฟฟ้าและทำให้สะท้อนถึงต้นทุนที่แท้จริงในการวางแผนและปรับปรุงระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง

2. วิธีการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการทำวิจัย

1) การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาทฤษฎีสำหรับการวิเคราะห์ผลของมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากบทความทั้งในและต่างประเทศ

2) การเลือกอาคารที่สนใจ จะทำการเลือกอาคารพาณิชยกรรมโดยการเลือกจากทุกภาคจากทั่วประเทศ

3) การศึกษาทฤษฎีพีซซีลอจิก เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง

4) การออกแบบสำรวจ จะทำการออกแบบสำรวจให้มีความเหมาะสมกับข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ผล และผู้กรอกต้องทำความเข้าใจได้ง่าย

5) การสำรวจข้อมูล ในการสำรวจข้อมูลจะใช้วิธีการสำรวจด้วยกัน 4 วิธีได้แก่ สอบถามโดยตรง สอบถามทางโทรศัพท์ ส่งแบบสอบถามทางไปรษณีย์ และจดหมายอิเล็กทรอนิกส์หรืออีเมล

6) การตรวจสอบแบบสอบถามที่ได้รับ จะทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของคำตอบที่ได้รับมา ว่ามีความถูกต้องเพียงใด ถ้าแบบสอบถามใดมีการตอบไม่สมบูรณ์หรือไม่ครบถ้วนควรให้ผู้กรอกตอบใหม่ให้ครบ

7) การจัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล จะทำการจัดเก็บข้อมูลที่สมบูรณ์ลงในฐานข้อมูลเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ผล

8) การวิเคราะห์ข้อมูลและการประมวลผล

2.2 ข้อมูลจากผู้ใช้ไฟประเภทพาณิชยกรรมที่ทำการศึกษา

จากการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากแบบสำรวจที่สมบูรณ์จำนวน 81 ราย โดยแบ่งตามช่วงอัตราค่าไฟฟ้า(บาท/เดือน) และจำนวนผู้ใช้ไฟ ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ศึกษา

ช่วงอัตราค่าไฟฟ้า (บาท/เดือน)	จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)
5,000-10,000	30
10,001-30,000	29
30,001-50,000	14
50,001-100,000	8
รวม	81

ตารางที่ 2 ค่าและความหมายของอินพุต

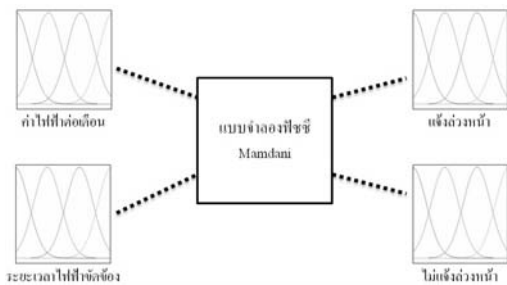
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต	อินพุต 1 (บาท/เดือน)	อินพุต 2 (นาที/ครั้ง)
mf1	5,000-10,000	1-6 นาที
mf2	10,001-30,000	7-12 นาที
mf3	30,001-50,000	13-30 นาที
mf4	50,001-100,000	31-60 นาที

2.3 กำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกให้กับอินพุตและเอาต์พุต ในแบบจำลองฟัซซี

1) การกำหนดอินพุต และเอาต์พุต ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

- อินพุตที่ 1 คือค่าไฟฟ้าต่อเดือน (บาท/เดือน)
- อินพุตที่ 2 คือระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง (นาที/ครั้ง)
- เอาต์พุตที่ 1 คือมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง กรณีแจ้งล่วงหน้า (บาท/ครั้ง)
- เอาต์พุตที่ 2 คือมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องกรณีไม่แจ้งล่วงหน้า (บาท/ครั้ง)

แบบจำลองฟัซซี สำหรับ 2 อินพุต 2 เอาต์พุต แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แบบจำลองฟัซซี 2 อินพุต 2 เอาต์พุต

2) ค่าและความหมายของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกค่า และจำนวนที่กำหนดให้กับฟังก์ชัน

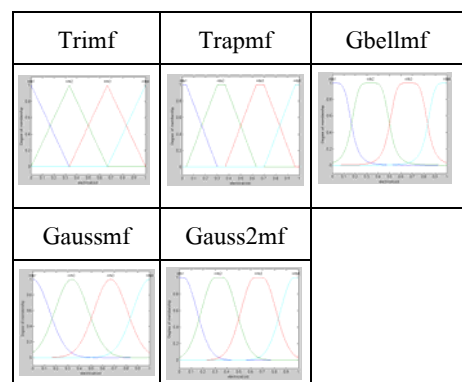
ความเป็นสมาชิกของอินพุตและเอาต์พุตแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ค่าและความหมายของเอาต์พุต

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต	เอาต์พุต 1 (บาท/ครั้ง)	เอาต์พุต 2 (บาท/ครั้ง)
mf1	0-2,500	0-5,000
mf2	2,500-5,000	5,001-10,000
mf3	50,001-10,000	10,001-50,000
mf4	10,001-50,000	50,000-100,000

2) การออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ในการประมวลผลด้วยวิธีฟัซซีลอจิก โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับการออกแบบและประมวลผลทางด้านอินพุตและด้านเอาต์พุต 5 ฟังก์ชัน ได้แก่ Trimf, Trapmf, Gbellmf, Gaussmf และ Gauss2mf ทั้ง 5 ฟังก์ชัน ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกอินพุต

2.4 กฎของฟัซซี (Fuzzy Rules)

ในการสร้างกฎของฟัซซี(Fuzzy rules) นั้นสามารถทำได้โดยใช้คำตอบที่ได้จากแบบสอบถามของอาการพาณิชยกรรมที่สมบูรณ์ ซึ่งผู้ทำวิจัยจะทำการตัดกฎที่ซ้ำกันและตัดกฎที่ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงออกจนเหลือกฎที่เหมาะสมที่สุด จะทำให้ได้กฎของฟัซซี แบบแจ้งล่วงหน้าและไม่แจ้งล่วงหน้า ดังตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 กฎฟัซซีแบบแจ้งล่วงหน้า

กฎที่	I1	I2	O1	กฎที่	I1	I2	O1
1	mf1	mf1	mf1	19	mf3	mf1	mf1
2	mf1	mf1	mf2	20	mf3	mf1	mf2
3	mf1	mf1	mf1	21	mf3	mf1	mf3
4	mf1	mf1	mf2	22	mf3	mf2	mf1
5	mf1	mf1	mf1	23	mf3	mf2	mf2
6	mf1	mf1	mf2	24	mf3	mf2	mf3
7	mf1	mf1	mf1	25	mf3	mf3	mf1
8	mf1	mf4	mf2	26	mf3	mf3	mf2
9	mf1	mf4	mf4	27	mf3	mf3	mf4
10	mf2	mf1	mf1	28	mf3	mf4	mf1
11	mf2	mf1	mf2	29	mf3	mf4	mf3
12	mf2	mf2	mf1	30	mf4	mf1	mf1
13	mf2	mf3	mf1	31	mf4	mf2	mf1
14	mf2	mf3	mf2	32	mf4	mf2	mf3
กฎที่	I1	I2	O1	กฎที่	I1	I2	O1
15	mf2	mf3	mf4	33	mf4	mf3	mf2
16	mf2	mf4	mf1	34	mf4	mf4	mf2
17	mf2	mf4	mf2	35	mf4	mf4	mf4
18	mf1	mf4	mf2				

เมื่อ : I1 และ I2 คือ Input Membership Function ที่ 1 และ 2, O1 คือ Output Membership Function ที่ 1

ตารางที่ 5 กฎฟัซซีแบบไม่แจ้งล่วงหน้า

กฎที่	I1	I2	O2	กฎที่	I1	I2	O2
1	mf1	mf1	mf1	21	mf2	mf4	mf4
2	mf1	mf1	mf2	22	mf3	mf1	mf1
3	mf1	mf2	mf1	23	mf3	mf1	mf2
4	mf1	mf2	mf2	24	mf3	mf1	mf3
5	mf1	mf3	mf1	25	mf3	mf2	mf2
6	mf1	mf3	mf2	26	mf3	mf2	mf2
7	mf1	mf3	mf3	27	mf3	mf2	mf3
8	mf1	mf4	mf1	28	mf3	mf2	mf4
9	mf1	mf4	mf2	29	mf3	mf3	mf1
10	mf1	mf4	mf3	30	mf3	mf3	mf2
11	mf2	mf1	mf1	31	mf3	mf3	mf3
12	mf2	mf1	mf2	32	mf3	mf4	mf2
13	mf2	mf2	mf1	33	mf3	mf4	mf4
14	mf2	mf3	mf1	34	mf4	mf1	mf1
15	mf2	mf3	mf2	35	mf4	mf1	mf3
16	mf2	mf3	mf3	36	mf4	mf1	mf4
17	mf2	mf3	mf4	37	mf4	mf2	mf1
18	mf2	mf4	mf1	38	mf4	mf2	mf4
19	mf2	mf4	mf2	39	mf4	mf3	mf3
20	mf2	mf4	mf3	40	mf4	mf4	mf3

เมื่อ : I1 และ I2 คือ Input Membership Function ที่ 1 และ 2, O2 คือ Output Membership Function ที่ 2

3. ผลจากการประมวลผลด้วยฟัซซีลอจิก

3.1 ค่าความผิดพลาดสมบูรณ์ของอินพุตฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

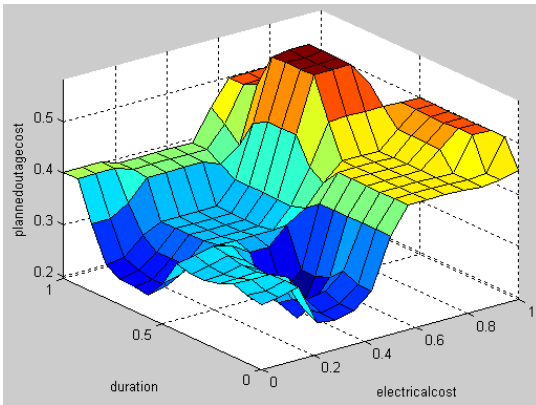
การหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ของแต่ละฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยใช้แบบสอบถามที่ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุดจำนวน 20 ราย มาทำการทดสอบทั้ง 5 ฟังก์ชัน จะได้ผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรอ์เซ็นต์ความผิดพลาดสมมุติของแต่ละฟังก์ชัน

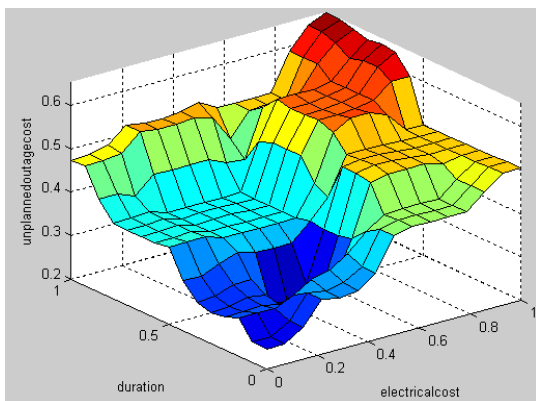
Trimf	Trapmf	Gbellmf	Gaussmf	Gauss2mf
17.19%	17.07%	15.95%	15.90%	16.30%

3.2 การประมวลผลมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องด้วยฟuzzy

จากการประมวลผลด้วยฟuzzyลอจิกโดยใช้ Gaussmf เป็นอินพุตฟังก์ชัน ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมมุติที่น้อยที่สุด จะทำให้ได้แบบจำลองมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ดังภาพที่ 3 และ 4



ภาพที่ 3 แบบจำลองมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องกรณีแจ้งล่วงหน้า

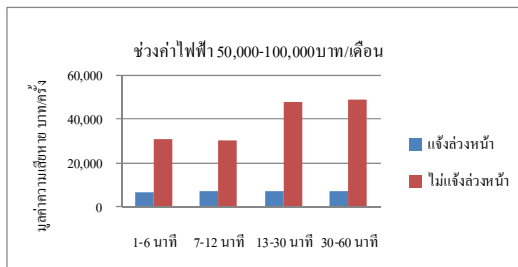
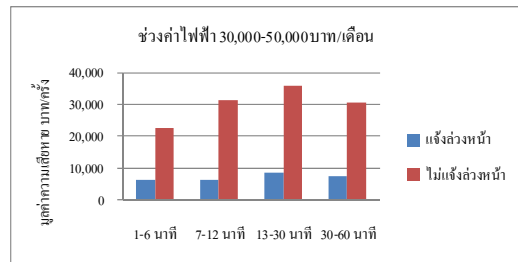
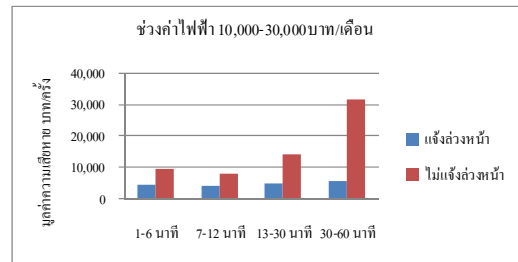
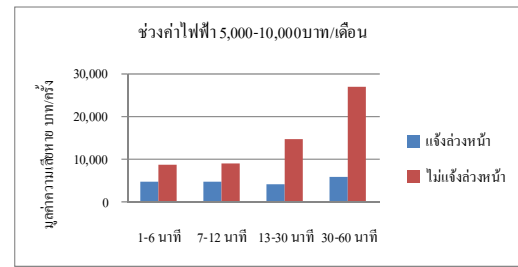


ภาพที่ 4 แบบจำลองมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องกรณีไม่แจ้งล่วงหน้า

3.3 มูลค่าความเสียหายโดยแบ่งตามช่วงอัตราค่าไฟฟ้า

เมื่อทำการแปลงค่าจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทางด้านเอาท์พุตเป็นมูลค่าความเสียหายจริงทั้งกรณีแจ้งล่วงหน้าและไม่แจ้งล่วงหน้า เมื่อนำมูลค่าความ

เสียหายมาเขียนกราฟโดยแบ่งตามช่วงอัตราค่าไฟฟ้าจะได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของผู้ใช้ไฟประเภทพาณิชย์กรรม

จากกราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงอัตราค่าไฟฟ้าและระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง ซึ่งจะเห็นว่ามูลค่าความเสียหายแปรผันตรงกับระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้องและเมื่อทำการเปรียบเทียบมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องด้วยแบบจำลองฟuzzy ระหว่างกรณีแจ้งล่วงหน้าและไม่แจ้งล่วงหน้า จะมีความแตกต่างอยู่ที่ 75.50%

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยของมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องกรณีแจ้งล่วงหน้า และกรณีไม่แจ้งล่วงหน้าด้วยวิธีฟัซซีโลจิกมีค่า 6,127 บาท/ครั้ง และ 25,010 บาท/ครั้ง ตามลำดับ โดยใช้ฟังก์ชัน Gaussmf ในการออกแบบและประมวลผลมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของกลุ่มผู้ใช้ไฟประเภทพาณิชย์กรรมในประเทศไทย โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดอยู่ที่ 15.90% ซึ่งน้อยกว่าฟังก์ชันอื่นๆ

งานวิจัยฉบับนี้ยังนำเสนอมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องโดยแบ่งตามช่วงค่าไฟฟ้า ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ไฟประเภทพาณิชย์กรรม โดยสามารถวิเคราะห์มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องได้ ในส่วนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคก็สามารถนำผลการวิเคราะห์ไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของการวางแผน การลงทุน และการตั้งค่าเป้าหมายของระดับความน่าเชื่อถือในระบบไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] .S. Choi, T.T. Tran, S.R. Kang, D.H. Jeon, C.H. Lee, R. Billinton, "A study on the optimal reliability criteria decision for a transmission system expansion planning", Power Engineering Society General Meeting, IEEE Volume 1, 6-10 June 2004, pp. 607 – 613.
- [2] B. Eua-arporn, "Fuzzy interrupted energy assessment rate based on actual system performance", Power Systems, IEEE Transactions on Volume 20, Issue 1, Feb. 2005 pp. 156 – 163.
- [3] "Electricity outage cost study", Energy Research Institute Chulalongkorn University, 2004.
- [4] Earl Juei Wang "Outage costs and strategy analysis for hi-tech industries: A fuzzy multiple goal approach", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol.19, No.8/9, 2002, pp. 1068 – 1087

การศึกษาการวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้โปรแกรม PSAT

จักรินทร์ วิเศษยา¹ และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์¹

บทคัดย่อ— บทความนี้นำเสนอการศึกษาการวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้โปรแกรม PSAT ศึกษาเพื่อหาค่าองค์ประกอบโหลดสูงสุดของระบบไฟฟ้าก่อนถึงสถานะแรงดันพังทลาย โดยการจำลองกับระบบไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 14 บัส ใช้วิธี Continuation Power Flow (CPF) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับ กำลังไฟฟ้า ทำให้สามารถรู้ตำแหน่งบัสที่มีความอ่อนแอ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันมากที่สุด และทราบตำแหน่งบัสที่มีความเหมาะสมของแรงดันในระบบไฟฟ้ากำลัง รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้าเพื่อยกระดับแรงดันให้มีเสถียรภาพยิ่งขึ้น ดังนั้นบทความนี้จึงมีประโยชน์โดยตรงต่อหน่วยงาน มหาวิทยาลัยที่มีการเรียนการสอนระดับบัณฑิตศึกษา

คำสำคัญ เสถียรภาพแรงดัน โปรแกรม PSAT ความต่อเนื่องการไหลของกำลัง

1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อันเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ทำให้ต้องมีการจัดสรรพลังงานไฟฟ้าให้สอดคล้องกับความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนประชากร การจัดสรรพลังงานต้องพิจารณาทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์และความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าเป็นอีกเรื่องหนึ่งที่มีผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดสถานะแรงดันพังทลาย [1] งานวิจัยที่ผ่านมา ปกติการศึกษาเสถียรภาพจะพบมากสำหรับการวิเคราะห์แบบสถิต เพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า ในการวิเคราะห์แบบพลวัต ส่วนใหญ่ที่ศึกษาเฉพาะในรูปคุณภาพไฟฟ้า [2] ดังนั้นในบทความ

นี้จะนำเสนอการศึกษาการวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้โปรแกรม (Power System Analysis Toolbox, PSAT) พัฒนาโดย Prof.Dr. Federico Milano [3-4]

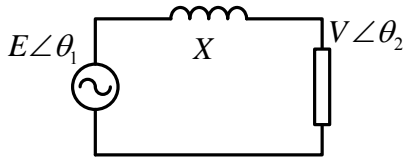
องค์ประกอบของการนำเสนอบทความนี้ประกอบด้วย ลำดับแรกจะกล่าวถึงคำจำกัดความของเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า การวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดัน โดยวิธีวิเคราะห์ความต่อเนื่องการไหลของกำลัง CPF หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังไฟฟ้าจริง เพื่อหาค่าองค์ประกอบโหลดสูงสุด โปรแกรม PSAT และการนำโปรแกรม PSAT ไปวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันระบบไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 14 บัส สุดท้ายจะกล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะต่างๆ สำหรับงานวิจัยลำดับต่อไป

2. เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า

เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า คือ ความสามารถของระบบในการรักษาระดับของแรงดันให้คงที่ทุกบัสในระบบหลังจาก เกิดปัญหาขึ้นภายในระบบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการรักษาและฟื้นฟูความสมดุลระหว่างโหลดกับแหล่งจ่ายพลังงานในระบบ [5] ความ

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์: +66(2)-549-3571 โทรสาร: +66(2)-549-3568
E-mail: paisan@rmutt.ac.th

ไม่มีเสถียรภาพของแรงดันนี้อาจเกิดขึ้นจากแรงดันที่ บัสลดลงเนื่องมาจากการสูญเสียที่โหลดหรือการ สูญเสียในสายส่งทำให้เกิดสภาวะแรงดันพังทลาย [6]



ภาพที่ 1 ระบบไฟฟ้ากำลัง 2 บัส

ภาพที่ 1 ที่ $E\angle\theta_1$ คือแรงดันที่จุดต่อของเครื่อง

กำเนิดไฟฟ้า (Sending End Bus), $V\angle\theta_2$ คือ แรงดันที่จุดต่อของโหลด (Receiving End Bus), X คือ ค่ารีแอกแตนซ์ของสาย สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟารีแอกตีฟ โดยที่ δ มีค่าเท่ากับ $\theta_1 - \theta_2$ เมื่อ $\theta_1 = 0$ จะได้สมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$P = \frac{EV}{X} \sin\delta \quad (1)$$

$$Q = -\frac{V^2}{X} + \frac{EV}{X} \cos\delta \quad (2)$$

จากสมการที่ (1) และ (2) แรงดันที่โหลดจะมีค่าดัง สมการ

$$V = \sqrt{\frac{E^2 - 2QX \pm \sqrt{(E^2 - 2QX)^2 - 4(P^2 + Q^2)X^2}}{2}} \quad (3)$$

3. การวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันโดยวิธี CPF

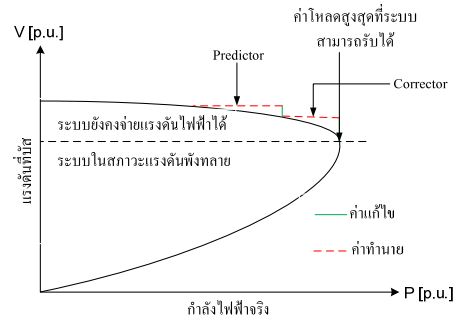
การศึกษาเสถียรภาพแรงดันของระบบไฟฟ้า เพื่อ หาขีดจำกัดของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยการหาค่า องค์ประกอบโหลดสูงสุดที่ระบบสามารถจ่ายได้ก่อน ถึงสภาวะแรงดันพังทลาย แรงดันที่บัสจะค่อยๆ ลดลง เมื่อความต้องการโหลดเพิ่มมากขึ้น การน็อคกำลังไฟฟ้า จริงและกำลังไฟฟารีแอกตีฟเข้าไปแต่ละบัสของระบบ ไฟฟ้ากำลัง สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4) และ (5)

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (4)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5)$$

เมื่อ P_i และ Q_i เป็นกำลังไฟฟ้าที่ออกไปที่บัส

$i, |Y_{ij}|$ และ θ_{ij} คือ ค่ายอดและมุมเฟสระหว่างบัส i และ j ที่เป็นองค์ประกอบของเมตริกซ์ $|V_i|$ และ δ_i คือ ค่ายอดและมุมเฟสของแรงดันที่บัส เพื่อแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าเมื่อ มีการคำนวณสมการแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยใช้วิธี Continuation Power Flow (CPF) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการคำนวณโดยวิธี CPF

ซึ่งวิธี CPF เป็นวิธีหาความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน กับ กำลังไฟฟ้าจริง ทั้งบนและล่างเพื่อหาค่า องค์ประกอบโหลดสูงสุด CPF จะทำงานเข้าไปเป็น ชั้นๆ คือการทำนายค่า (Predictor) และการหาค่าที่ ถูกต้อง (Corrector) โดยสมการจะคล้ายสมการโหลด โฟลว์ แต่จะมีการเพิ่ม โหลดคือเพิ่มค่าพารามิเตอร์ (λ) ต่อท้ายสมการโหลดโฟลว์ สำหรับการเริ่มต้นของการ เพิ่มโหลด สามารถเขียนสมการ (6) หรือ (7) ได้

$$F(\theta, V) = \lambda K \quad (6)$$

$$F(\theta, V, \lambda) = 0 \quad (7)$$

ค่า K คือลักษณะของโหลด และ λ คือค่าพารามิเตอร์ของโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมจนถึง ค่าโหลดสูงสุด V คือขนาดแรงดันบัส และ θ มุมของ แรงดันบัส จากสมการที่ (6) สามารถเขียนให้อยู่ในรูป ของสมการเชิงเส้นได้โดยการเทียบอนุพันธ์ ค่า พารามิเตอร์จากการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้า (λ) จะมีค่า เป็นบวกเมื่อ โหลดเพิ่มขึ้นและค่าแรงดันไฟฟ้ายังอยู่ใน สภาวะตามการเพิ่มขึ้นของโหลด แต่จะมีค่าเป็นลบเมื่อ ค่าของแรงดันไฟฟ้ามีค่าลดลงจากจุดที่ระบบ สามารถรับโหลดได้สูงสุด ค่าทำนาย หาได้จากสมการ

$$\begin{bmatrix} \theta \\ V \\ \lambda \end{bmatrix}^{\text{predict}} = \begin{bmatrix} \theta_0 \\ V_0 \\ \lambda_0 \end{bmatrix} + \sigma \begin{bmatrix} d\theta \\ dV \\ d\lambda \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} d\theta \\ dV \\ \dots \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vdots & & & \\ & J_{LF} & & \\ & \vdots & & K \\ & \vdots & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & [e_k] & \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

ค่า σ คือ ขนาดของขั้นการเปลี่ยนแปลงในการทำนายครั้งต่อไป ที่ค่าการเพิ่มขึ้นของโหลด $dx_k = 1$ จะได้ค่าดังสมการ(10) และค่าแก้ไขหาได้จากสมการ (11) ตามลำดับ

$$x_k^{\text{predict}} = x_{k0} + \sigma \quad (10)$$

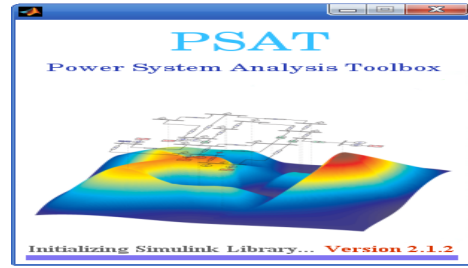
$$\begin{bmatrix} F(\theta, V, \lambda) \\ x_k - \eta \end{bmatrix} = [0] \quad (11)$$

เมื่อ x_k คือ ค่าพารามิเตอร์ของความต่อเนื่องที่เลือกใช้

4. โปรแกรม Power System Analysis

Toolbox (PSAT)

PSAT เป็นกล่องเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ในโปรแกรม MATLAB เพื่อการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังและการจำลองการทำงานของระบบ วิเคราะห์ได้ทั้งการวิเคราะห์แบบสถิต และการวิเคราะห์แบบพลวัต [6] สามารถวิเคราะห์การไหลของกำลัง (Power Flow, PF) ความต่อเนื่องการไหลของกำลัง (Continuation Power Flow, CPF) ความเหมาะสมการไหลของกำลัง (Optimal Power Flow, OPF) เสถียรภาพสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal Stability Analysis, SSSA) การจำลองในเชิงของเวลา (Time Domain Simulation, TDS) และการหาตำแหน่งของการติดตั้งหน่วยเครื่องวัดเฟสเซอร์ที่เหมาะสม (Phasor Measurement Units, PMU) องค์ประกอบการจำลองระบบต่างๆทั้งแบบสถิต (Static Model) และแบบพลวัต (Dynamic Model) จะอยู่ใน PSAT Simulink Library ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับการไหลของกำลัง ความต่อเนื่องและความเหมาะสมการไหลของกำลัง และอุปกรณ์อื่นๆ เช่น เซลล์เชื้อเพลิง (Solid Oxide Fuel Cell)



ภาพที่ 3 โปรแกรม PSAT

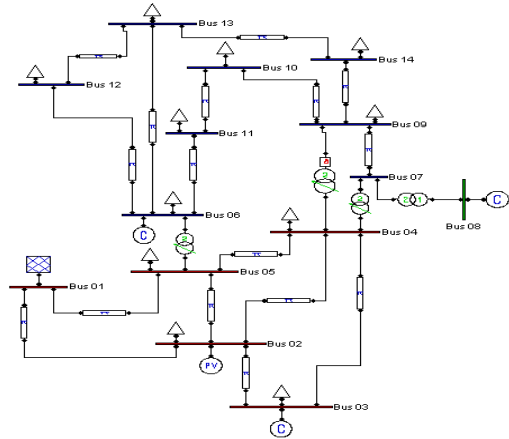
จุดเด่นของโปรแกรม PSAT เมื่อเทียบกับโปรแกรมต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในระบบกำลัง คือ ดีกว่า (Power Analysis Toolbox, PAT) ที่สามารถวิเคราะห์ความต่อเนื่องการไหลของกำลัง (CPF) ความเหมาะสมการไหลของกำลัง (OPF) และสามารถทำ (GUI) ได้ [7]

การใช้งานของโปรแกรม PSAT นี้จะใช้งานร่วมกับโปรแกรม MATLAB โดยนำกล่องเครื่องมือต่างๆ ที่มีอยู่ในโปรแกรม PSAT ไปวางไว้ใน Toolbox ของ MATLAB เพื่อให้โปรแกรม PSAT และ MATLAB สามารถส่งผ่านข้อมูลและติดต่อสื่อสารระหว่างโปรแกรมทั้งสองได้ เมื่อจะเรียกโปรแกรม PSAT ขึ้นมาใช้งาน ต้องหาโฟลเดอร์ที่เก็บกล่องเครื่องมือต่างๆ ของโปรแกรม PSAT ตรงโฟลเดอร์ Toolbox ในโปรแกรม MATLAB ออกมาใช้งานที่ Current Directory เพื่อจะสั่งโปรแกรม PSAT ขึ้นมาใช้งาน โดยพิมพ์คำสั่ง PSAT ที่หน้า Command Window ของโปรแกรม MATLAB แล้วโปรแกรม PSAT จะรันขึ้นมาอัตโนมัติพร้อมใช้งาน เลือกรูปวิเคราะห์ระบบต่างๆ ที่ต้องการจะวิเคราะห์ได้เช่น PF CPF OPF SSSA TDS PMU เป็นต้น บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ความต่อเนื่องการไหลของกำลัง CPF โดยเลือกระบบไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 14 บัส มาจำลอง

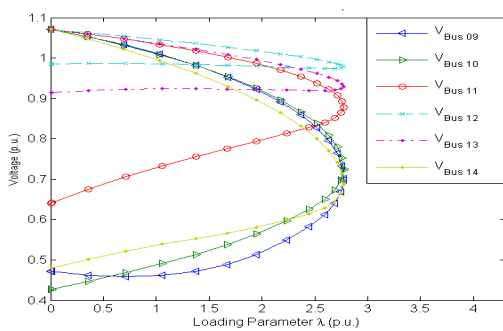
5. ผลและการอภิปรายผล

จากที่กล่าวข้างต้นว่าบทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันโดยใช้โปรแกรม PSAT ของระบบไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 14 บัส ด้วยวิธี CPF ค่าพารามิเตอร์ของโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมจนถึงค่าโหลดสูงสุดของระบบ (Maximum

Loading Parameter, Max.LP) มีค่าเท่ากับ 2.7699 บัสที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันมากที่สุด คือบัสที่ 14 ดังภาพที่ 5 จะเห็นว่าบัสที่ 14 คือบัสที่อ่อนแอที่สุดเนื่องจากเป็นบัสที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันมากที่สุด



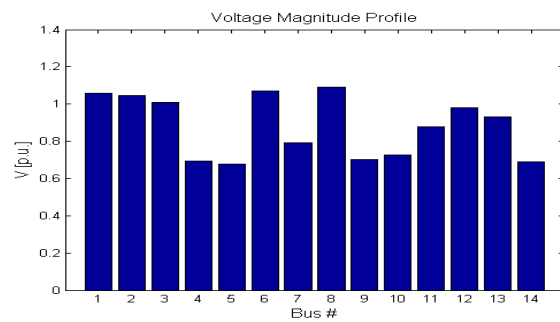
ภาพที่ 4 ระบบไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 14 บัส



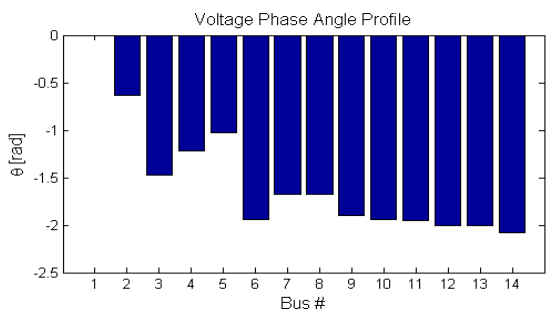
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกำลังไฟฟ้าจริงกับองค์ประกอบโหลดของมาตรฐาน IEEE 14 บัส

ผลจากการจำลองด้วยวิธี CPF พบว่าแรงดันที่เหมาะสมอยู่ที่บัสที่ 3 ได้ค่าแรงดันขนาด 1.0100 p.u. ดังรูปที่ 6 ซึ่งค่าใกล้เคียง 1.0 p.u. มากที่สุด และเฟสแรงดันมีค่าเท่ากับ -1.4777 rad. และมีเพียงบัสที่ 1 เท่านั้นที่ได้ค่าเฟสแรงดันเท่ากับ 0 rad. ดังรูปที่ 7 ได้ผลรวมของระบบค่ากำลังไฟฟ้าจริงเท่ากับ 22.3256 p.u. ค่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟ 5.5676 p.u. โดยแยกเป็นผลรวมค่ากำลังไฟฟ้าจริงของโหลดเท่ากับ 10.0438 p.u. ค่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟของโหลดเท่ากับ 3.1566 p.u. ผลรวมค่ากำลังไฟฟ้าจริงของการสูญเสียเท่ากับ 13.2818 p.u. และค่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟของการ

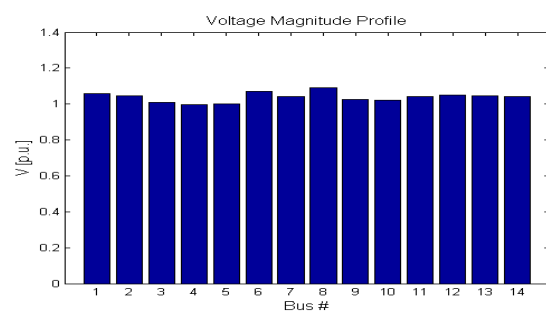
สูญเสียเท่ากับ 2.4110 p.u. แต่หลังจากติดตั้งอุปกรณ์ชดเชย STATCOM ±100 MVA 13.8 kV 50 Hz $-0.2 \text{ p.u.} \leq I \leq 0.2 \text{ p.u.}$ ที่บัส 14 แล้ว จะสามารถเปลี่ยนขนาดและเฟสของแรงดันไฟฟ้าได้ จะทำให้ขนาดแรงดันที่บัสแต่ละบัสดีขึ้น ค่าใกล้เคียง 1.0 p.u. ดังภาพที่ 8 และ ภาพที่ 9 ได้ผลรวมของระบบค่ากำลังไฟฟ้าจริงเท่ากับ 0.7418 p.u. ค่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟ 0.3003 p.u. โดยแยกเป็นผลรวมค่ากำลังไฟฟ้าจริงของโหลดเท่ากับ 3.7544 p.u. ค่ากำลังไฟฟ้า รีแอกทีฟของโหลดเท่ากับ 0.9722 p.u. ผลรวมค่ากำลังไฟฟ้าจริงของการสูญเสียเท่ากับ -3.0125 p.u. และค่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟของการสูญเสียเท่ากับ -0.67194 p.u.



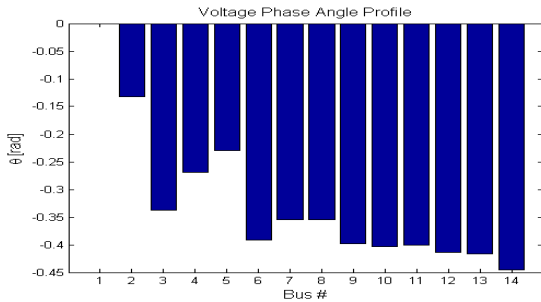
ภาพที่ 6 ขนาดแรงดันที่บัส



ภาพที่ 7 เฟสแรงดันที่บัส



ภาพที่ 8 ขนาดแรงดันที่บัสหลังติดตั้ง STATCOM



ภาพที่ 9 มุมเฟสแรงดันที่บัสหลังติดตั้ง STATCOM

6. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้โปรแกรม PSAT ช่วยวิเคราะห์และจำลองระบบไฟฟ้ากำลังตามมาตรฐาน IEEE 14 บัส ด้วยวิธี CPF พบว่าบัสที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันมากที่สุดคือบัสที่ 14 ดังภาพที่ 5 คือบัสที่อ่อนแอที่สุดเนื่องจากเป็นบัสที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันมากที่สุด ส่วนแรงดันที่เหมาะสมอยู่ที่บัสที่ 3 ได้ค่าแรงดันขนาด 1.0100 p.u และเฟสแรงดันมีค่าเท่ากับ -1.4777 rad. แต่หลังจากติดตั้งอุปกรณ์ชดเชย STATCOM ที่ 14 แล้ว จะสามารถเปลี่ยนขนาดและเฟสของแรงดันไฟฟ้าได้ขนาดของแรงดันไฟฟ้า AC สร้างโดย STATCOM เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดัน DC บัส จะทำให้ขนาดแรงดันที่บัสแต่ละบัสดีขึ้นค่าใกล้เคียง 1.0 p.u. นำผลที่ได้จากการจำลองระบบมาวิเคราะห์ปรับปรุงเพื่อพัฒนาและแก้ปัญหาเสถียรภาพแรงดันของระบบไฟฟ้า

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Sode-Yom, N. Mithulananthan, and K.Y. Lee, M. 2006. A Maximum Loading Margin Method for Static Voltage Stability in Power system. *IEEE Trans. Power System.*
- [2] K. Oudsup, P. Boonchaim, and A. Sode-Yom, O. 2009. Improve voltage stability of power systems when associated with induction generators. *32nd Electrical Engineering Conference.*
- [3] F. Milano, L. Vanfretti, and J.C. Morataya, F.2008. An Open Source Power System Virtual Laboratory The PSAT Case and Experience. *IEEE Trans Power Syst.*
- [4] F. Milano, A. 2003 .Pricing System Security in Electricity Market Models with Inclusion of Voltage Stability Constraints. *Thesis requirement for the degree of Doctor of Philosophy.*
- [5] P. Kundur, P.R. 1994. Power System Stability and Control. *New York :McGraw-Hill .*
- [6] F. Milano, J. 2008. Power System Analysis Toolbox . *Software and Documentation.*
- [7] K. Schoder, A. Hasanovic, A. Feliachi, and A. asanovic, F.2003. PAT: A power analysis toolbox for Matlab/Simulink. *IEEE Trans Power Syst.*

การเพิ่มประสิทธิภาพโครงข่ายประสาทเทียม LVQ โดยการเพิ่มจำนวนโหนดที่ใช้พิจารณา

จิราพร เกียรติวุฒิมอร์¹ และ กาญจน์ชญา พานิชเจริญ²

บทคัดย่อ—งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดหมวดหมู่ข้อมูลให้กับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ LVQ2 โดยในขั้นตอนการเรียนรู้จะทำการเพิ่มจำนวนโหนดที่นำมาพิจารณาปรับค่าน้ำหนักเพื่อเพิ่มการเรียนรู้ให้กับโหนดที่อยู่บริเวณเดียวกัน จากแนวคิดข้างต้นทำให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพในการทำนายกลุ่มของข้อมูลที่เพิ่มขึ้นจากการทดสอบแบบจำลองที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบ LVQ2 พบว่าแบบจำลองที่นำเสนอสามารถลดความผิดพลาดในการจัดหมวดหมู่เฉลี่ย 1.89 % จากข้อมูลทดสอบ 7 ชุด

คำสำคัญ โครงข่ายประสาทเทียมแบบ LVQ การจัดหมวดหมู่ข้อมูล โครงข่ายประสาทเทียม

1. บทนำ

ปัจจุบันการจัดหมวดหมู่ข้อมูล (Classification) โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) มีอยู่หลายวิธี แต่ละวิธีมีลักษณะเฉพาะของตัวเอง เช่น ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของโครงข่าย หลักการที่ใช้ในการคำนวณ และกลไกในการเรียนรู้ ซึ่งแต่ละวิธีจะให้ประสิทธิภาพในการทำนายกลุ่มของข้อมูลได้ถูกต้องในระดับหนึ่ง สำหรับงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาแบบจำลองการจัดหมวดหมู่ข้อมูลแบบใหม่โดยนำโครงข่ายประสาทเทียมแบบ LVQ2 ซึ่งถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในงานจัดหมวดหมู่ข้อมูลเนื่องจากมีประสิทธิภาพการเรียนรู้ที่รวดเร็วกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบอื่นๆ แต่ถ้าเปรียบเทียบด้านความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลอาจมีประสิทธิภาพน้อยกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบอื่น [2,3] ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลของ LVQ2 คือในขั้นตอนการปรับค่าน้ำหนักจะทำการพิจารณาจากโหนด 2 โหนดที่อยู่ใกล้ที่สุดซึ่งอาจ

ทำให้การปรับค่าน้ำหนักไม่ครอบคลุมค่าน้ำหนักของโหนดข้างๆ ใด้อีก ทั้งจำนวนโหนดที่อยู่ในชั้นแข่งขันอาจมีโหนดไม่ครอบคลุมข้อมูลที่เข้ามา โดยงานวิจัยนี้จะทำการเพิ่มจำนวนโหนดที่ถูกนำมาพิจารณาปรับค่าน้ำหนักเพื่อเพิ่มการเรียนรู้ให้กับโหนดที่อยู่บริเวณเดียวกัน

2. วิธีการวิจัย

2.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบ LVQ2 [1]

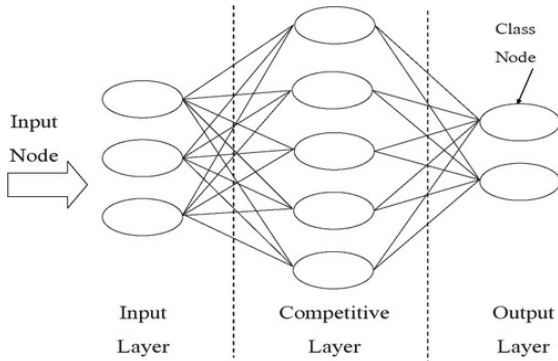
โครงข่ายประสาทเทียมแบบ LVQ2 ถูกนำเสนอโดย Kohonen [1] เป็นแบบจำลองทางด้านการจัดหมวดหมู่ข้อมูลที่ได้รับคามนิยมอย่างแพร่หลายในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ มีลักษณะเป็นโครงข่ายที่มีจำนวน 3 ชั้นคือ ชั้นอินพุต (Input Layer) ชั้นแข่งขัน (Competitive Layer) และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) มีลักษณะดังนี้

ชั้นที่ 1 คือ ชั้นอินพุต ทำหน้าที่รับอินพุตเข้ามาแล้วส่งต่อไปยังชั้นแข่งขัน

ชั้นที่ 2 คือ ชั้นแข่งขัน แต่ละโหนดในชั้นแข่งขันจะเชื่อมต่อบทบาทกับทุกโหนดในชั้นอินพุต

¹ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 หมู่ 3 ถ.พุทธมณฑลสาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์: +66(2)-889-4585 Ext. 2462

ชั้นที่ 3 คือ ชั้นเอาท์พุท แต่ละโหนดในชั้นนี้จะเป็นตัวแทนที่แสดงถึงประเภทหรือชนิด (class) ของข้อมูลที่เรากำลังการเรียนรู้



ภาพที่ 1 สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมแบบ LVQ2

การเรียนรู้ของ LVQ2 เริ่มต้นที่ชั้นอินพุทรับอินพุทเข้ามาจะส่งต่อไปยังชั้นแข่งขัน หลังจากนั้นโหนดแต่ละตัวในชั้นแข่งขันจะทำการแข่งขันกันโดยใช้ยูคลิเดียนดิสแทนซ์ (Euclidean distance) ดังสมการที่ 1 เพื่อหาว่าโหนดที่มีการตอบสนองการกระตุ้นดีที่สุด (โหนดที่มีระยะทางน้อยที่สุด) โหนดนั้นจะเป็นโหนดที่มีประสิทธิภาพหรือโหนดชนะ (winning node)

$$\|x - w_m\| = \min \{ \|x - w_i\| \} \quad (1)$$

โดย x คือรูปแบบอินพุท
 i คือจำนวนนิวรอนในชั้นเอาท์พุท
 m คือนิวรอนที่ชนะ (winning node)

ขั้นตอนการปรับปรุงค่าน้ำหนัก โดย Kohonen ได้เสนอวิธีในการปรับค่าน้ำหนัก โดยพิจารณาจากนิวรอนที่อยู่ใกล้กับอินพุท (x) มากที่สุด สองอันดับแรกคือ m_1 และ m_2 ตามลำดับ จากนั้นทำการปรับค่าน้ำหนักตามสมการที่ 2 และ 3

$$w_i(t+1) = w_i(t) - \alpha(t)(x_i - w_i(t)); \text{ if } c(m_1) \neq c(x) \quad (2)$$

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \alpha(t)(x_i - w_i(t)); \text{ if } c(m_1) = c(x) \quad (3)$$

โดย $w_i(t+1)$ คือค่าน้ำหนักใหม่ที่ได้จากการปรับค่า
 $w_i(t)$ คือค่าน้ำหนักก่อนการปรับค่า
 $\alpha(t)$ คืออัตราการเรียนรู้ที่เวลา t ใดๆ
 x_i คือรูปแบบอินพุท
 t คือรอบการทำงานปัจจุบัน
 c คือชนิดของข้อมูล (class)

2.2 แบบจำลองที่นำเสนอ

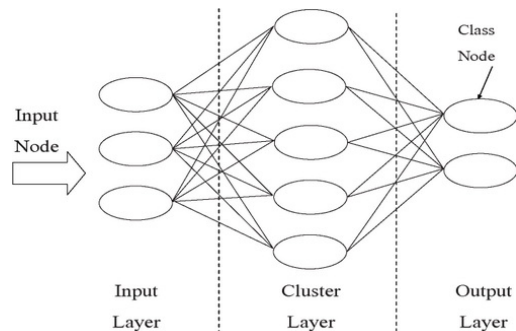
แบบจำลองที่นำเสนอเป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่ประกอบด้วย 3 ชั้น คือ ชั้นอินพุท (Input Layer) ชั้นคลัสเตอร์ (Cluster Layer) และชั้นเอาท์พุท (Output Layer) แต่ละชั้นมีลักษณะดังนี้

ชั้นที่ 1 ชั้นอินพุท ทำหน้าที่รับอินพุทขนาด N มิติแล้วส่งต่อไปยังชั้นคลัสเตอร์

ชั้นที่ 2 ชั้นคลัสเตอร์ แต่ละโหนดในชั้นคลัสเตอร์จะเชื่อมต่อกับทุกโหนดในชั้นอินพุทผ่านทางค่าน้ำหนัก โดยจำนวนโหนดในชั้นนี้สามารถเพิ่มและลดได้ในระหว่างกระบวนการเรียนรู้

ชั้นที่ 3 ชั้นเอาท์พุท แต่ละโหนดในชั้นนี้จะเป็นตัวแทนที่แสดงถึงประเภทหรือชนิดของข้อมูลที่เรากำลังการเรียนรู้ โดยจำนวนโหนดจะเท่ากับจำนวนประเภทหรือชนิดของข้อมูล

เนื่องจากกระบวนการนี้เป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน ดังนั้นค่าตอบหรือชนิดของข้อมูลจะถูกส่งเข้าไปในโครงข่ายพร้อมกับคุณลักษณะของอินพุท



ภาพที่ 2 สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอ

2.3 กระบวนการเรียนรู้

การเรียนรู้เริ่มจากชั้นอินพุตรับอินพุตเข้ามาจะส่งต่อไปยังชั้นคลัสเตอร์หลังจากนั้น โหนดแต่ละตัวในชั้นคลัสเตอร์จะทำการแข่งขันกัน โดยใช้ยูคลิเดียนดิสแตนซ์ ดังสมการที่ 1 แล้วดูว่าโหนดไหนมีการตอบสนองการกระตุ้นได้ดีที่สุด โหนดตัวนั้นจะเป็นโหนดชนะ ต่อมาขั้นตอนการปรับปรุงค่าน้ำหนัก โดยพิจารณาจากนิเวรอนที่อยู่ใกล้กับอินพุต (x) มากที่สุดมาจำนวนเท่ากับจำนวนชนิดของข้อมูล (class) จากนั้นทำการปรับค่าน้ำหนัก ณ เวลา t ใดๆ ตามสมการที่ 2 และ 3 ทำการเรียนรู้จนครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้

2.4 ขั้นตอนการทดสอบแบบจำลอง

ในขั้นตอนการทดสอบนี้จะนำค่าน้ำหนักที่ได้จากขั้นตอนการเรียนรู้แบบจำลองมาใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เมื่อรับอินพุตเข้ามาโหนดแต่ละตัวในชั้น คลัสเตอร์จะทำการแข่งขันกัน โดยใช้ยูคลิเดียนดิสแตนซ์ (Euclidean distance) โหนดที่มีระยะทางน้อยที่สุดจะเป็นโหนดชนะแล้วเปรียบเทียบคลาสของโหนดที่ชนะกับคลาส ของอินพุตที่เข้ามาว่าตรงกันหรือไม่จนครบทุกรูปแบบอินพุตของข้อมูลทดสอบ (testing data) คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยใช้สมการที่

$$error = \frac{(100 \times wrong)}{total} \quad (4)$$

โดยที่ *error* คือเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

wrong คือจำนวนข้อมูลที่ทายผิด

total คือจำนวนข้อมูลทดสอบ (Testing data)

2.5 ข้อมูลที่ใช้ทดสอบแบบจำลอง

ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองเลือกใช้ชุดข้อมูลจาก UCI [4] ซึ่งประกอบด้วย 7 ชุดข้อมูล คือ Iris, Wine, Balance sc, Image, Zoo, Glass และ Vehicle

ข้อมูล Iris ถูกเก็บโดย Anderson ในปี 1935 เป็นการเก็บข้อมูลขนาดของกลีบเลี้ยงและกลีบดอกของดอก Iris 3 ประเภท คือ Iris Setosa, Iris Virginica และ Iris Versicolour โดยแต่ละประเภทประกอบด้วยข้อมูลตัวอย่างจำนวน 50 ตัวอย่างเพื่อนำมาศึกษาจำแนกจากข้อมูลที่กำหนดให้เป็นดอก Iris ชนิดใด ตัวอย่างชุดข้อมูลเช่น

7.2, 3.2, 6.0, 1.8, Iris-Virginica

ข้อมูล Wine ถูกเก็บโดย Stefan Aeberhard สถาบัน Institute of Pharmaceutical and Food Analysis and Technologies ในเดือนกรกฎาคม ปี 1991 ข้อมูล Wine เป็นชุดข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีของเหล้าไวน์ในประเทศอิตาลี 3 ประเภทคือประเภทที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งแบ่งตามการเพาะปลูกที่แตกต่างกันในแต่ละข้อมูลตัวอย่างประกอบด้วย 13 คุณลักษณะซึ่งเป็นรายละเอียดของส่วนผสมของไวน์ ตัวอย่างชุดข้อมูลเช่น

1,13.72,1.43,2.5,16.7,108,3.4,3.67,.19,2.04,6.8,.89,2.87,1285

ข้อมูล Balance-scale ถูกเก็บโดย Siegler, R. S. ในปี 1994 ข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ชุดข้อมูลที่ประกอบด้วย 4 คุณลักษณะตัวอย่างชุดข้อมูลเช่น

1 1 1 3 3

ข้อมูล Image ถูกเก็บโดย Vision Group ในเดือนพฤศจิกายน ปี 1990 ข้อมูล Image แบ่งออกเป็น 11 ประเภท ชุดข้อมูลที่ประกอบด้วย 19 คุณลักษณะตัวอย่างชุดข้อมูลเช่น

110,9,0,0,1.7222224,5.3518505,2.6666667,1.0222229,17.925926,18.88889,21.444445,13.444445,2.8888888,10.555555,-,13.444445,21.444445,0.36884832,-1.3450956,1

ข้อมูล Zoo ถูกเก็บโดย Richard Forsyth ในเดือนพฤษภาคม ปี 1990 ข้อมูล Zoo แบ่งออกเป็น 7 ประเภท ชุดข้อมูลที่ประกอบด้วย 17 คุณลักษณะซึ่งเป็นรายละเอียดของสัตว์แต่ละชนิดตัวอย่างชุดข้อมูล เช่น

bear,1,0,0,1,0,0,1,1,1,1,0,0,4,0,0,1,1

duck,0,1,1,0,1,1,0,0,1,1,0,0,2,1,0,0,2

ข้อมูล Glass ถูกเก็บโดย B. German ในปี 1987 ข้อมูล Glass เป็นส่วนประกอบของแก้ว ข้อมูลแบ่งออกเป็น 6 ประเภทประกอบด้วย 10 คุณลักษณะตัวอย่างชุดข้อมูล เช่น

70,1.52300,13.31,3.58,0.82,71.99,0.12,10.17,0.00,0.03,1

ข้อมูล Vehicle ถูกเก็บโดย Drs.Pete Mowforth และ Barry Shepherd สถาบัน Turing Institute ในปี 1993 ข้อมูลแบ่งออกเป็น 4 ประเภทประกอบด้วย 18 คุณลักษณะตัวอย่างชุดข้อมูลเช่น

95,48,83,178,72,10,162,42,20,159,176,379,184,70,6,16,187,197

3. ผลและการอภิปรายผล

ในการทดลองจะทำการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง โดยทำการเปรียบเทียบกับ Learning Vector Quantization (LVQ) ผลการทดลองแสดงเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยของชุดข้อมูลทดสอบ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองที่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมือนกันทั้งหมด 5 ครั้งโดยในแต่ละครั้งจะมีการสุ่มเลือกค่าน้ำหนักเริ่มต้นที่แตกต่างกัน โดยใช้เกณฑ์การหยุดเรียนรู้เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการเรียนรู้เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์หรือเมื่อเรียนรู้ครบ 1,000 รอบ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองของชุดข้อมูล

ชุดข้อมูล	LVQ		Proposed model	
	Correct (%)	Cluster	Correct (%)	Cluster
Iris	100	3	100	3
Wine	93.18	3	92.05	3
Balance-scale	85.77	3	85.58	3
Image	84.33	7	85.29	7
Zoo	92.25	7	91.84	7
Glass	39.43	6	49.14	6
Vehicle	57.82	4	62.13	4

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองของแบบจำลองที่นำเสนอกับ LVQ พบว่าแบบจำลองที่นำเสนอให้ผลการทดลองในชุดข้อมูลทดสอบ [3] ที่ดีกว่า LVQ จำนวน 3 ชุดข้อมูล คือ Image, Glass และ Vehicle เทียบเท่ากับจำนวน 1 ชุดข้อมูล คือ Iris แบบจำลองที่นำเสนอสามารถลดความผิดพลาดในการจัดหมวดหมู่โดยเฉลี่ย 1.89 จากข้อมูลทดสอบ 7 ชุด แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่นำเสนอให้ผลการจัดหมวดหมู่ข้อมูลที่ดีกว่า LVQ

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดหมวดหมู่ข้อมูลให้กับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ LVQ2 โดยในขั้นตอนการเรียนรู้จะทำการเพิ่มจำนวนโหนดที่นำมาพิจารณาปรับค่าน้ำหนักเพื่อเพิ่มการเรียนรู้ให้กับโหนดที่อยู่บริเวณเดียวกัน จากการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนายกลุ่มของข้อมูลได้ผลเป็นที่น่าพอใจ แนวทางในอนาคตอาจทำการพัฒนาเงื่อนไขในการปรับค่าน้ำหนักหรือทำการเพิ่มจำนวนคลัสเตอร์ที่เป็นตัวแทนข้อมูลเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนาย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kohonen,T.(1990a).Improved versions of learning vectorquantization. In Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), volume 1, pages 545-550, San Diego, California
- [2] Michael Negnevitsky. 2001 **Artificial Intelligence : A Guide to Intelligent Systems**. Addison-Wesley
- [3] Jiawei Han and Micheline Kamber. 2001, *Data Mining: Concept and Techniques*. San Francisco : Morgan Kaufmann (an imprint of Academic Press).
- [4] **UC Irvine Machine Learning Repository**, (1998) <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.html>

การปรับปรุงพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ (particle filter) สำหรับการติดตามวัตถุภาพโดยใช้ แบบจำลองวัตถุภาพแบบ non Gaussian

ไกรฤกษ์ เขยชื่น¹ และ โกสินทร์ จ่านงไทย²

บทคัดย่อ— บทความนี้ เสนอวิธีการทำนายตำแหน่งสำหรับการติดตามวัตถุภาพซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบรักษาความปลอดภัยอัตโนมัติจากกล้องวิดีโอ การติดตามวัตถุภาพใช้หลักการทำนายตำแหน่ง ซึ่งใช้พาร์ติเคิลฟิลเตอร์ (particle filter) เป็นส่วนสำคัญ ในงานวิจัยนี้เราพยายามลดความซับซ้อนของพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ (ลดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง) โดยใช้ข้อมูลสมมติฐานจากแบบจำลองวัตถุที่ถูกเสนอ แบบจำลองวัตถุนี้ใช้กล่องสี่เหลี่ยมล้อมรอบวัตถุเป็นพื้นฐานและกล่องสี่เหลี่ยมล้อมรอบวัตถุถูกนิยามจากตำแหน่งของวัตถุ, ความกว้างรีเคอร์ซีฟและความสูงรีเคอร์ซีฟ ซึ่งค่ารีเคอร์ซีฟนี้ถูกนิยามบนพื้นฐานของ non Gaussian formula ในการสร้างกลุ่มตัวอย่างสำหรับ พาร์ติเคิลฟิลเตอร์ พารามิเตอร์ในส่วนของความกว้างและความสูงของกล่องล้อมรอบวัตถุจะถูกแทนที่ด้วยค่าความกว้างและความสูงรีเคอร์ซีฟ โดยในการทดลองผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบกับพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของสี ผลการทดลองพบว่าวิธีการที่เสนอช่วยลดการสร้างจำนวนกลุ่มตัวอย่างสำหรับพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ ลงได้ในขณะที่ยังคงรักษาความถูกต้องของการติดตามวัตถุ

คำสำคัญ การปรับปรุงพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ การติดตามวัตถุภาพ แบบจำลองวัตถุแบบ non-Gaussian ระบบรักษาความปลอดภัยอัตโนมัติจากกล้องวิดีโอ

1. บทนำ

พาร์ติเคิลฟิลเตอร์เป็นเครื่องมือหนึ่งที่สำคัญมาในการประมาณค่าแบบจำลองทางสถิติและสามารถถูกนำไปใช้ในหลายสาขางานวิจัย เช่น การติดตามยานพาหนะจากกล้อง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนและคอมพิวเตอร์ หรือในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เป็นต้น

ในบทความนี้ เราประยุกต์ใช้พาร์ติเคิลฟิลเตอร์กับการติดตามวัตถุภาพสำหรับระบบรักษาความปลอดภัยอัตโนมัติจากกล้องวิดีโอ เริ่มต้น วัตถุภาพที่เคลื่อนที่ ถูกตรวจจับโดยใช้การลบพื้นหลังกับแบบจำลองพื้นหลัง แบบปรับค่าได้ [1] และวัตถุที่ถูกตรวจจับได้ถูกแทนที่ โดยใช้ ลักษณะเด่นที่ปรากฏ (Appearance feature) ซึ่งเราจะใช้ลักษณะเด่นนี้ ในการติดตามวัตถุภาพในเฟรมถัดไป แบบจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุภาพถูกนิยามและถูกใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของวัตถุภาพนี้ สำหรับตัวอย่าง Bremond [2] ใช้การประมาณเชิงเส้น (linear approximation) ของวิถีการเคลื่อนที่แทนแบบจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุภาพเพื่อใช้ในการทำนายตำแหน่งของวัตถุภาพวิธีการนี้ใช้ได้กับวัตถุภาพที่มีการเคลื่อนที่แน่นอนหรือวิถีการเคลื่อนที่เรียบ อย่างไรก็ตาม

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 หมู่ 3 ต. ศาลายา อ. พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์: +66(2)-889-4585-7 ต่อ 2640
โทรสาร: +66(2)-889-4585-7 ต่อ 2641
E-mail: kairoek.c@rmutr.ac.th

²ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
โทร. 0-2427-0039, 0-2470-8000
E-mail: kosin.cha@kmutt.ac.th

ก็ตามในความเป็นจริงการเคลื่อนที่ของวัตถุภาพบ่อยครั้งที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนของระบบ เช่น สัญญาณรบกวนที่เกิดจากฮาร์ดแวร์

เพื่อกรองลักษณะเด่นปลอม (สัญญาณรบกวน) ออกจากลักษณะเด่นที่แท้จริง สัญญาณรบกวนซึ่งมีผลต่อลักษณะเด่นของวัตถุภาพที่กำลังถูกติดตามนี้ถูกประมาณจากเทคนิคการประมาณค่าสถานะ (state estimation) การประมาณค่าสถานะแบบดั้งเดิมที่นิยมคือ Kalman filter ซึ่งถูกใช้สำหรับการเคลื่อนที่แบบเป็นเชิงเส้นและ extended Kalman filter สำหรับการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้นทั้ง 2 วิธีถูกใช้บน โดเมนพารามิเตอร์ และใช้สมมุติฐานว่าสัญญาณรบกวนที่ถูกวัดได้เป็นแบบ เกาส์เซียน (Gaussian) อย่างไรก็ตามวิธีการที่อยู่บนพื้นฐานของ Kalman filter ไม่สามารถถูกใช้ภายใต้ฉากพื้นหลังที่วุ่นวาย (cluttered background) เพราะสัญญาณรบกวนมีการกระจายตัวไม่เป็นแบบ เกาส์เซียน ในการทดลองบ่อยครั้งพบว่าบริเวณของวัตถุภาพไม่สมบูรณ์ เช่น วัตถุภาพอาจถูกแบ่งเป็นมากกว่า 1 ส่วน, วัตถุภาพหลายวัตถุอาจรวมกันเป็นวัตถุเดียว หรือ อาจเกิดทั้ง 2 เหตุการณ์ พร้อมๆ กัน คือ วัตถุภาพอาจถูกแบ่งเป็นมากกว่า 1 ส่วนพร้อมๆ กับ วัตถุภาพหลายอันรวมกัน

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว นักวิจัยนิยมใช้ พาร์ติเคิลฟิลเตอร์ พาร์ติเคิลฟิลเตอร์ใช้การประมาณค่าโดยอยู่บนพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งยอมให้การกระจายตัวของสัญญาณรบกวนและการเปลี่ยนสถานะ (state) ของวัตถุภาพเป็นแบบทั้งที่ไม่เป็นเกาส์เซียน และไม่เชิงเส้นตามลำดับ อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพของพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ถูกเสนอโดย Isard [3] พวกเขาใช้เทคนิค Monte carlo สำหรับการเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีศักยภาพเพื่อเพิ่มลักษณะเด่นเพิ่มเติมอื่นๆ เข้าไปในกระบวนการของพาร์ติเคิลฟิลเตอร์, ใน [4] ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบสำคัญ วิธีนี้เพิ่มความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างของวัตถุภาพสำหรับการติดตามวัตถุภาพแบบหลายวัตถุ ข้อเสียของพาร์ติเคิลฟิลเตอร์วิธีนี้ คือเกิดความซับซ้อนทางการคำนวณใน

ขั้นตอนของการวัดลักษณะเด่น (measurement step) ถ้าจำนวนของลักษณะเด่นเพิ่มเติมเพิ่มขึ้น ความซับซ้อนทางการคำนวณก็จะเพิ่มขึ้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว Li et al. [5] ใช้แนวคิดการตรวจจับแบบเป็นลำดับ (cascade) เพื่อลดความซับซ้อนทางการคำนวณ

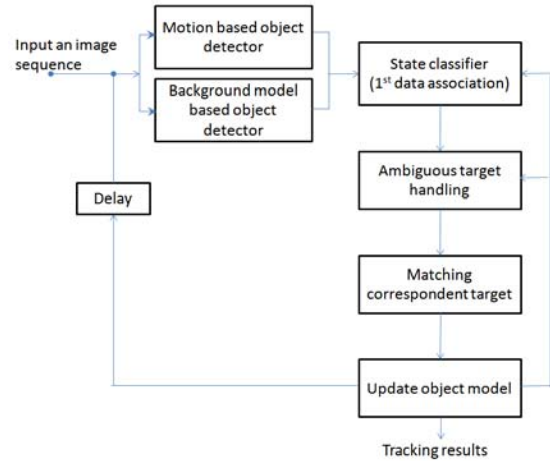
ในบทความนี้ ผู้วิจัยเสนอวิธีการใหม่เพื่อลดความซับซ้อนทางการคำนวณของพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ เราพยายามลดมิติของกลุ่มตัวอย่างในกระบวนการของพาร์ติเคิลฟิลเตอร์โดยใช้สารสนเทศจากแบบจำลองวัตถุที่ถูกเสนอใหม่ แบบจำลองวัตถุถูกพัฒนาอยู่บนพื้นฐานของลักษณะเด่นจากกล่องสี่เหลี่ยม (bounding box) กล่องสี่เหลี่ยมถูกนิยามจากพิกัด (x,y) และความกว้างและความสูงรีเคอร์ซีฟ ความกว้างและความสูงรีเคอร์ซีฟถูกปรับโดยใช้ Non-stationary Gaussian ผู้วิจัยใช้ความกว้างและความสูงรีเคอร์ซีฟ แทนการสร้างกลุ่มตัวอย่างของความกว้างและความสูง ในกระบวนการพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ ตามลำดับ วิธีนี้สามารถลดจำนวนของการสร้างกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งส่งผลให้ลดเวลาในการประมวลผลสำหรับกระบวนการของพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ได้ด้วย

2. วิธีการวิจัย

ภาพรวมของระบบการติดตามวัตถุภาพของผู้วิจัยถูกแสดงในรูปที่ 1 ลำดับแรก เมื่อมีวัตถุภาพเคลื่อนที่จากภาพหนึ่งถูกตรวจจับได้โดยใช้ตัวตรวจจับวัตถุภาพแบบใช้แบบจำลองพื้นหลัง ร่วมกับตัวตรวจจับวัตถุภาพแบบใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ ตัวตรวจจับวัตถุภาพแบบใช้แบบจำลองพื้นหลังใช้แบบจำลองพื้นหลังแบบปรับค่าได้และใช้การลบพื้นหลังดังที่แสดงใน [1] วิธีการดังกล่าวสามารถจัดการปัญหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงแบบไดนามิกของภาพพื้นหลังได้เช่น การเปลี่ยนสภาพแสงของสภาพแวดล้อมนอกอาคาร เป็นต้น อย่างไรก็ตามผู้วิจัยยังคงต้องการวิธีการกรองสัญญาณรบกวนอื่นๆ มาเพิ่มเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนจากการลบพื้นหลังเช่น morphological operator และ connected component analysis ลำดับต่อมาวัตถุภาพที่

ตรวจจับได้จะถูกแทนด้วยแบบจำลองวัตถุภาพโดยใช้ลักษณะเด่นจากกล่องสี่เหลี่ยมและบริเวณวัตถุภาพที่ถูกต้องหว้าง (expected object region) [6, 8] เมื่อแบบจำลองวัตถุภาพนี้ยอมให้บางส่วนแบบจำลองถูกบัง แบบจำลองที่ไม่ถูกบังจะถูกใช้เพื่อการตรวจจับวัตถุภาพแบบใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองมาจากข้อมูลพื้นหน้า (foreground information) ในบทความวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้พาร์ติเคิลฟิลเตอร์ ในฐานะของตัวแทนตำแหน่งวัตถุภาพซึ่งสามารถถูกใช้ได้ในฐานะของตัวตรวจจับวัตถุภาพแบบจำลองที่ได้จากการตรวจจับวัตถุภาพทั้ง 2 แบบจะถูกนำมาเปรียบเทียบโดยใช้ตัวแยกแยะสถานะอย่างที่ถูกแสดงใน [8]

สำหรับการจัดการวัตถุภาพที่คลุมเครือ (ambiguous target handling) เช่น ถูกบังนั้น ผู้วิจัยแบ่งวัตถุที่ที่คลุมเครือเป็น บริเวณวัตถุภาพที่ถูกรวมกัน บริเวณวัตถุภาพที่ถูกแบ่งแยกและบริเวณวัตถุแบบผสมของบริเวณวัตถุภาพที่ถูกรวมกันและบริเวณวัตถุภาพที่ถูกแบ่งแยก ในกระบวนการนี้เราพยายามจับคู่ความตรงกันของวัตถุภาพในเฟรมติดกันโดยใช้ข้อมูล สถิติจาก วัตถุภาพที่ถูกตรวจจับได้ซึ่งถูกนิยามจากแบบจำลองวัตถุภาพ ในตอนท้ายสุด วัตถุภาพที่ถูกจับคู่ความตรงกันนี้จะถูกปรับ โดยใช้แบบจำลอง non-stationary Gaussian อย่างที่ถูกแสดงใน [9] เหตุที่ผู้วิจัยเลือกที่จะสร้างลักษณะเด่นของวัตถุภาพแบบนี้ เพราะลักษณะเด่นของวัตถุภาพมีการเปลี่ยนแปลงแบบไดนามิกและมันเป็นเรื่องยากในการนิยามแบบจำลองวัตถุภาพแบบออนไลน์ด้วย แบบจำลอง เกาส์เซียนสำหรับการเปลี่ยนแปลงลักษณะเด่นของวัตถุภาพ ในบทความนี้ผู้วิจัยมุ่งพิจารณาที่การตรวจจับวัตถุภาพแบบใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพ ของการติดตามวัตถุภาพ



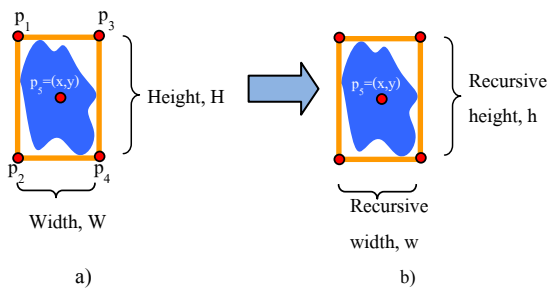
ภาพที่ 1 ภาพรวมของระบบการติดตามวัตถุภาพที่ถูกใช้ในงานวิจัยนี้

A. แบบจำลองวัตถุและการปรับปรุงแบบจำลองวัตถุ (The Object Model and Update Object Model)

การใช้โครงสร้างที่แท้จริงสำหรับการติดตามวัตถุภาพภายใต้สภาพแวดล้อมที่วุ่นวายเป็นสิ่งที่ยาก เพราะวัตถุภาพมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเด่นของมันตลอดเวลา ดังนั้นแทนการใช้โครงสร้างที่แท้จริงของวัตถุภาพ เราเลือกใช้สถิติของกล่องสี่เหลี่ยม ในฐานะของแบบจำลองของวัตถุภาพซึ่งสามารถถูกใช้เพื่อแทนได้วัตถุภาพที่เป็นคนและรถซึ่งได้จากกล้องวิดีโอรักษาความปลอดภัย แบบจำลองของกล่องสี่เหลี่ยมของวัตถุภาพที่ตรวจจับได้ประกอบด้วยจุดศูนย์กลางและจุดที่มุมของกล่องสี่เหลี่ยมเมื่อวัตถุถูกตรวจจับได้ถูกจับคู่ โดยการจับคู่ความตรงกันกับเป้าหมาย วัตถุภาพที่ถูกจับคู่จะถูกใช้ปรับข้อมูลโดยการคำนวณ ความกว้างและความสูงรีเคอร์ซีฟ โดยแบบจำลอง non-stationary Gaussian อย่างที่ถูกแสดงในภาพที่ 2 จุดมุมกล่องสามารถถูกกู้กลับคืนมาได้หลังจากที่เราสามารถได้รับความกว้างและความสูงรีเคอร์ซีฟค่าใหม่

เพื่อคำนวณความกว้างและความสูงรีเคอร์ซีฟ ผู้วิจัยสมมุติว่าแบบจำลองมีการกระจายตัวเป็นแบบ non-stationary Gaussian [9] เพราะวัตถุภาพอาจเป็นวัตถุที่มีรูปร่างไม่แน่นอนอย่างเช่นมนุษย์ ทำให้กล่องสี่เหลี่ยมที่ใช้แทนวัตถุภาพดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และอาจอยู่ในสภาพแวดล้อมที่วุ่นวาย ซึ่งทำให้วัตถุภาพบางส่วนหายไปเช่น สีของวัตถุพื้นหลัง

และพื้นหน้าคล้ายกัน เป็นต้น เหตุการณ์ดังกล่าวเป็นเรื่องยากในการได้รับบริเวณวัตถุภาพที่สมบูรณ์มากกว่านั้นแบบจำลองภาพซึ่งใช้การปรับปรุงแบบออนไลน์เป็นสิ่งที่ยากที่จะถูกนิยามจากลักษณะเด่นของวัตถุภาพหลายลักษณะเด่น ดังนั้นมันเป็นไปได้น้อยที่จะประสบความสำเร็จในการติดตามวัตถุภาพจากแบบจำลอง Gaussian อย่างที่ถูกริบายไว้ในทฤษฎี Central limit ในการปรับปรุงแบบจำลองวัตถุภาพ (update object model) หลังจากเราสามารถติดตามวัตถุภาพหนึ่งๆ ได้แล้วแบบจำลองวัตถุภาพที่ตรงกันจะถูกปรับปรุงโดยใช้การแบบจำลองการกระจายตัวแบบ non-stationary Gaussian รูปแบเบรีเคอร์ซีฟดังนี้



ภาพที่ 2 แบบจำลองวัตถุภาพ: a) วัตถุภาพที่ตรวจจับได้ b) วัตถุภาพที่ถูกปรับปรุง

$$\mu_{t+1} = \alpha\mu_t + (1-\alpha)z_{t+1} \quad (1)$$

$$\sigma_{t+1}^2 = \alpha(\sigma_t^2 + (\mu_{t+1} - \mu_t)^2) + (1-\alpha)(z_{t+1} - \mu_{t+1})^2 \quad (2)$$

เมื่อ μ_{t+1} , σ_{t+1}^2 แทนค่าเฉลี่ยใหม่และค่าความแปรปรวนใหม่ของความกว้างและความสูงรีเคอร์ซีฟตามลำดับ, z_{t+1} แทนความกว้างและความสูงของกล่องสี่เหลี่ยมที่ถูกรวบรวมได้ อัลฟา, α , ถูกใช้เพื่อควบคุมอัตราการลื่นของขนาดของกล่องสี่เหลี่ยมฯ (ความกว้างและความสูงรีเคอร์ซีฟ) ของเป้าหมาย ถ้าอัลฟามีค่ามาก ค่าเก่าๆ ของกล่องสี่เหลี่ยมฯ จะค่าๆ เลื่อนไปอย่างช้าๆ

B. พาร์ติเคิลฟิลเตอร์ที่ใช้แบบจำลอง non Gaussian (Non Gaussian Object Model-based Particle Filter)

พาร์ติเคิลฟิลเตอร์ ถูกใช้เพื่อประมาณสถานะของวัตถุภาพโดยเฉพาะตำแหน่งของวัตถุ ขั้นตอนการทำซ้ำของ

พาร์ติเคิลฟิลเตอร์ประกอบด้วยการเลือกตัวอย่างที่มีศักยภาพ (potential sample selection), การแพร่ตัวอย่าง (sample propagation), การวัดการกระจายตัว (distribution measurement) และการประมาณสถานะของวัตถุภาพ (object state estimation) ผู้วิจัยนิยาม (x, y, w, h) ในฐานะของสถานะของเป้าหมายเมื่อ (x, y) คือจุดศูนย์กลางของแบบจำลองกล่องสี่เหลี่ยมและ (w, h) คือความกว้างและความสูงรีเคอร์ซีฟของ แบบจำลองกล่องสี่เหลี่ยมฯ ที่ถูกปรับปรุง สำหรับพาร์ติเคิลฟิลเตอร์แบบดั้งเดิม [3] ใช้วิธีสร้างกลุ่มตัวอย่างสำหรับทุกมิติของสถานะของวัตถุภาพ สำหรับพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ที่ถูกเสนอในบทความนี้ เฉพาะกลุ่มตัวอย่างของ (x, y) เท่านั้นที่ถูกสร้างในขั้นตั้งต้น สำหรับกลุ่มที่มีศักยภาพจะถูกเลือกโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างสำคัญจากกลุ่มตัวอย่างก่อนหน้าพร้อมด้วยน้ำหนักถ่วงของมัน $S_{t-1} = \{(s_{t-1}^{(n)}, \pi_{t-1}^{(n)}) | n = 1, 2, \dots, N\}$ หลังจากนั้นกลุ่มตัวอย่างที่มีศักยภาพ, s_t' , จะถูกแพร่โดยใช้แบบจำลองไดนามิกดังนี้

$$s_t = As_t' + \omega_t \quad (3)$$

เมื่อ s_t คือตัวอย่างหนึ่งในกลุ่มตัวอย่างที่ถูกแพร่, A คือองค์ประกอบที่แน่นอนของแบบจำลองไดนามิก และ ω_t คือเวกเตอร์หนึ่งของตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียนในขั้นตอนของการวัดการกระจายตัว น้ำหนักถ่วงใหม่ $\pi_t^{(n)}$ ถูกคำนวณโดยใช้แบบจำลองเกาส์เซียนและความแปรปรวนของมัน ดังนี้

$$\pi_t^{(n)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

$$d = \|S - P\| \quad (5)$$

เมื่อ d คือ ระยะยูคลิดีเซียน (Euclidean distance) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ถูกแพร่ $s_t^{(n)} = (x_t, y_t, w_t, h_t)$ และแบบจำลองกล่องสี่เหลี่ยมจากการตรวจจับวัตถุภาพซึ่งอยู่บนพื้นฐานของพื้นหลัง $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}$ (รูปภาพที่ 2 ประกอบ) กลุ่มตัวอย่างที่ถูกแพร่สามารถคำนวณได้จากกลุ่มตัวอย่างของสถานะของวัตถุ

$s_i^{(n)} = (x_i, y_i, w_i, h_i)$ เมื่อ $s_i = (x_i, y_i) =$ จุดศูนย์กลางของกล่องสี่เหลี่ยม ระยะยูกิเดียนนี้สามารถถูกทำให้สมมูลทั้งตำแหน่งและขนาดของแบบจำลองกล่องสี่เหลี่ยมๆ ในขั้นตอนการประมาณสถานะของวัตถุภาพสถานะของสถานะที่ถูกคาดหวังของวัตถุภาพถูกคำนวณดังนี้

$$E[S_i] = \frac{1}{\sum_{n=1}^N \pi_i^{(n)}} \sum_{n=1}^N \pi_i^{(n)} s_i^{(n)} \quad (6)$$

ในขณะที่เราได้ตำแหน่งของวัตถุที่ถูกทำนายและค่าสถิติของความกว้างและความสูงแล้ว แบบจำลองนี้จะถูกใช้เพื่อแยกแยะสถานะของเป้าหมายและแก้ปัญหาเป้าหมายที่คลุมเครืออย่างที่ถูกริบายใน [6]

3. ผลและการอภิปรายผล

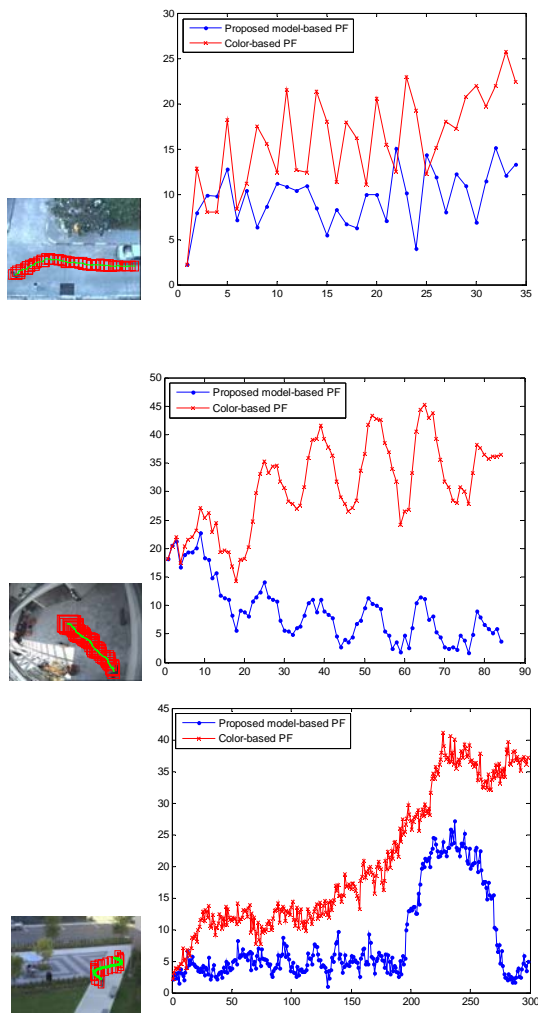
เพื่อพิสูจน์พาร์ติเคิลฟิลเตอร์ที่ถูกเสนอ ผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบพาร์ติเคิลฟิลเตอร์กับที่ถูกเสนอให้กับพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ที่อยู่บนพื้นฐานของ [7] ในการทดลองของพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ๆสี่ ตัวอย่างหนึ่งในกลุ่มตัวอย่างถูกนิยามจากจากกล่องสี่เหลี่ยมของวัตถุภาพ (จุดศูนย์กลาง (x, y) และความกว้างและความสูง (w, h) ซึ่งกลุ่มตัวอย่างจะถูกสร้างในขั้นตอนตั้งต้น อย่างสุ่มค่าสถานะที่ถูกประมาณ (สถานะใหม่) ถูกคำนวณจากค่าคาดหวังของกลุ่มตัวอย่างที่ถูกแพร่พร้อมกับ ฮิสโตแกรมสี่ที่ถูกถ่วงน้ำหนักตรงกลาง แต่สำหรับพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ที่ถูกเสนอนั้น กลุ่มตัวอย่างจะถูกตัดแปลงโดยแทนความกว้างและความสูงด้วย ความกว้างและความสูงรีเคอร์ซีฟ (ดูรูปที่ 2 ประกอบ) ในลำดับถัดมาเราสร้างกลุ่มตัวอย่างของจุด (x, y) และใช้ความกว้างและความสูงรีเคอร์ซีฟแทนการสร้างกลุ่มตัวอย่างจากความกว้างและความสูง สำหรับพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ๆสี่ เราลองกลุ่มตัวอย่างขนาด 500 พร้อมด้วย $diagonal\{\sigma_x=5, \sigma_y=5, \sigma_w=3, \sigma_h=3\}$ เมื่อ $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_w$ and σ_h คือความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างของ $(x, y, width$ and $height)$ ตามลำดับ. สำหรับแบบที่จำลองที่ถูกเสนอ เรา

ลองจำนวนของกลุ่มตัวอย่าง 500 เช่นเดียวกันพร้อมด้วย $diagonal\{\sigma_x=5, \sigma_y=5\}$.

ผลการทดลองเชิงเปรียบเทียบถูกแสดงในภาพที่ 3 ค่าที่แท้จริงของสถานะเป้าหมายถูกแสดงในคอลัมน์ซ้าย ในขณะที่ ระยะยูกิเดียนของค่าที่แท้จริง และค่าความผิดพลาดจากการติดตามๆ ถูกแสดงในคอลัมน์ขวา เส้นจุด (dot mask) แสดงระยะของพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ๆ ที่ถูกเสนอ ส่วนเส้นกากบาท (cross mask) แทนระยะของพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ๆ สี่ ซึ่งระยะของพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ๆ ที่ถูกเสนอจะให้ผลการทดลองที่ดีกว่าคือระยะๆ ความผิดพลาด น้อยกว่าของ พาร์ติเคิลฟิลเตอร์ๆ สี่ เราสามารถอนุมาน ได้ว่าแบบจำลองวัตถุที่ถูกเสนอนั้นสามารถถูกใช้เพื่อแทน ขนาดวัตถุ (ความกว้างและความสูงของกล่องสี่เหลี่ยม) ในกระบวนการของพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ มากกว่านั้น

4. สรุปผลการวิจัย

ในบทความนี้ ผู้วิจัยพยายามเพื่อลดความซับซ้อนการคำนวณของกระบวนการพาร์ติเคิลฟิลเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากแบบจำลองวัตถุภาพ แบบจำลองวัตถุภาพประกอบด้วยจุดศูนย์กลาง (x, y) และความกว้างและความสูงรีเคอร์ซีฟของกล่องสี่เหลี่ยม ความกว้างและความสูงรีเคอร์ซีฟ ถูกคำนวณจาก แบบจำลอง non-stationary Gaussian ในขั้นตั้งต้นพารามิเตอร์ (x, y) ของกลุ่มตัวอย่างถูกสร้างอย่างสุ่ม และพารามิเตอร์ที่เหลือถูกทำให้คงที่ (ความกว้างและความสูง) ซึ่งทำให้พาร์ติเคิลฟิลเตอร์ที่ถูกเสนอสามารถลดความซับซ้อนในการคำนวณได้แต่ยังคงรักษาความถูกต้องไว้ได้



ภาพที่ 3 ผลการทดลองเชิงเปรียบเทียบของพาร์ติเคิลฟิลเตอร์ที่ถูกเสนอในบทความนี้กับพาร์ติเคิลฟิลเตอร์อื่น ๆ

5. เอกสารอ้างอิง

[1] I. Haritaogru, D. Harwood and L. Davis, "W⁴: Real-Time Surveillance of people and their activities," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, No.8, pp. 809-830, Aug. 2000.

[2] F. Bremond and T. Thonnat, "Tracking Multiple Nonrigid Object in Video Sequence," IEEE Trans. on Circuit and System for Video Technology, Vol. 8, No. 5, pp. 585-591, Sep. 1998.

[3] M. Isard and A. Blake, "Condensation – Conditional Density Propagation for Visual Tracking," Int. J. of Computer Vision, Vol. 29, No.1, pp. 5-28, 1998.

[4] M. Isard and A. Blake, "Icondensation: Unifying low-level and high-level tracking in a stochastic framework," Proc. European Conf. Computer Vision, Vol. 1, pages 893–908, 1998.

Y. Li, H. Ai, T. Yamashita, S. Lao and M. Kawade, "Tracking in Low Frame Rate Video: A Cascade Particle Filter with Discriminative Observers of Different Lifespans," CVPR2007, pp.1-8, June 2007.

[5] K. Choeychuen, P. Kumhom and K. Chamnongthai, "An Efficient Implementation of Nearest Neighbor Based Visual Object Tracking," IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication System, 2006.

[6] K. Numiaro, E. Koller-Meier, and L. Gool, "An adaptive color-based particle filter," Int. J. of Image and Vision Computing, Vol.21, Issue 1, Jan. 2003.

[7] K. Choeychuen, P. Kumhom, K. Chamnongthai, "Robust ambiguous target handling for visual object tracking," AEU - International Journal of Electronics and Communications, In Press, Corrected Proof, Available online 8 November 2009, ISSN 1434-8411, DOI: 10.1016/j.aeue.2009.10.005.

[8] S. McKenna, S. Jabri, Z. Doric, H. Wechsler, and A. Rosenfeld, "Tracking groups of people," Journal of Computer Vision and Image Understanding, 2000, 42–56.

การสร้างเครื่องให้อาหารปลาในกระชังแบบอัตโนมัติ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

กรณีศึกษา ตำบลเกาะยอ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

ปิยะ ประสงค์จันทร์¹ เจริญชัย ฮวดอุป² และ เสนอ สะอาด²

บทคัดย่อ— งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอเครื่องให้อาหารปลาในกระชังแบบอัตโนมัติในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยใช้เทคนิคการป้อนลมในการลำเลียงอาหารปลาให้ไหลไปตามท่อจนถึงกระชังบ่อปลา ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถตั้งเวลาและปรับปริมาณอาหารได้อย่างอิสระและสามารถโปรแกรมเวลาให้อาหารได้สูงสุด วันละ 6 เวลา มีระบบเตือนเมื่ออาหารหมด ตัวถังบรรจุอาหารปลาได้สูงสุด 35 กิโลกรัม ใช้กับขนาดของอาหารเม็ดได้ทุกขนาด เครื่องถูกออกแบบให้มีความสามารถในการให้อาหารปลาที่เลี้ยงในกระชังบ่อปลาได้จำนวน 4 กระชัง จากผลการทดลองปรากฏว่าเครื่องให้อาหารปลาสามารถจ่ายอาหารได้เที่ยงตรงโดยมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสูงสุด 5 เปอร์เซ็นต์ (ทดลองที่ 100 กรัม) เครื่องให้อาหารปลาสามารถทำงานได้ทั้งจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 โวลต์ และจากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

คำสำคัญ เครื่องให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เทคนิคการป้อนลม

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีทรัพยากรธรรมชาติที่ความอุดมสมบูรณ์ ดังคำกล่าวที่ว่า“ในน้ำมีปลา ในนามีข้าว” แต่ในปัจจุบันทรัพยากรดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภคในจำนวนที่สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติได้ลดน้อยลง ดังนั้นการเลี้ยงปลาในกระชัง จึงเป็น

แนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มปริมาณสัตว์น้ำให้เพียงพอต่อปริมาณผู้บริโภคตลอดจนสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรเป็นอย่างมาก ในจังหวัดสงขลาบริเวณ ตำบลเกาะยอ -อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ลุ่มน้ำทะเลสาบตอนล่างซึ่งจะเป็นบริเวณที่มีลักษณะน้ำกร่อย มีความอุดมสมบูรณ์เหมาะสมกับการเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ มากมาย ปลาทับทิมเป็นปลาอีกชนิดหนึ่งที่ประชาชนนิยมนำมาเลี้ยงในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เนื่องจากโตเร็ว มีราคาสูง ทนต่อสภาพภูมิอากาศ

ปัจจุบันการเลี้ยงปลาทับทิมนิยมเลี้ยงในกระชัง และมีการให้อาหารเม็ดชนิดลอยน้ำ โดยให้อาหารปลาเป็นประจำทุกวันๆ ละ 2-3 ครั้ง โดยสัญชาตญาณของปลาทับทิมจะเป็นปลาที่กินอาหารอยู่ตลอดเวลา ทำให้มีการคิดค้นเครื่องให้อาหารปลาขึ้นมาทำหน้าที่ทดแทนแรงงานคนและให้มีการจ่ายอาหารได้ตรงเวลาในปริมาณที่เหมาะสม โดยได้มีการพัฒนาเครื่องให้อาหารปลากึ่งอัตโนมัติ [1] เครื่องมีความสามารถใน

¹สาขาวิชาไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

1 หมู่ 5 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อหยาง อ.เมือง จ.สงขลา

โทรศัพท์: +66(74)-317-100 ต่อ 1537 โทรสาร: +66(74)-322-531

E-mail: piya.p@rmutsv.ac.th

²หลักสูตรวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

1 หมู่ 5 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อหยาง อ.เมือง จ.สงขลา

โทรศัพท์: +66(74)-317-162 โทรสาร: +66(74)-317-163

E-mail: saner.s@rmutsv.ac.th

การให้อาหารปลาได้ไกลสุดประมาณ 15 ถึง 20 เมตร บรรจุอาหารเม็ดได้ 15 กิโลกรัม การทำงานของเครื่องเป็นการทำงานด้วยเครื่องยนต์เล็กเบนซิน 5 แรงม้า อย่างไรก็ตามเครื่องดังกล่าวก็ยังต้องใช้แรงงานคนในการทำหน้าที่จ่ายอาหาร ต่อมาได้มีการออกแบบเครื่องให้อาหารสัตว์น้ำอัตโนมัติ [2] ซึ่งสามารถให้อาหารปลาได้อัตโนมัติ อย่างไรก็ตาม เครื่องดังกล่าวยังมีปัญหาเรื่องพื้นที่ในการให้อาหารและระยะทางในการจ่ายอาหาร นอกจากนี้ ยังได้มีการพัฒนาเครื่องเลี้ยงปลาโซลาร์เซลล์ [3] เครื่องสามารถจ่ายอาหารได้ดี โดยออกแบบให้ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์และใช้วิธีให้เครื่องลอยอยู่ในบ่อเลี้ยงปลา อย่างไรก็ตาม เครื่องดังกล่าวยังมีปัญหาในการเติมอาหารปลาลงในเครื่อง และสามารถจ่ายอาหารได้เพียงกระชังเดียวต่อเครื่องเท่านั้น

ด้วยด้วยเหตุนี้ทำให้คณะผู้วิจัยได้มีแนวคิดที่จะสร้างเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อลดภาระของเกษตรกรและการประหยัดพลังงาน โดยออกแบบเครื่องให้อาหารปลาที่สร้างขึ้นมีความสามารถในการตั้งเวลาในการให้อาหารปลาได้ และสามารถปรับปริมาณอาหารในแต่ละครั้งได้อย่างอิสระ สามารถให้อาหารได้สูงสุดมากถึง 4 กระชัง เครื่องให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติที่นำเสนอสามารถทำงานได้ทั้งจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 โวลต์ และจากแหล่งจ่ายแสงอาทิตย์

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

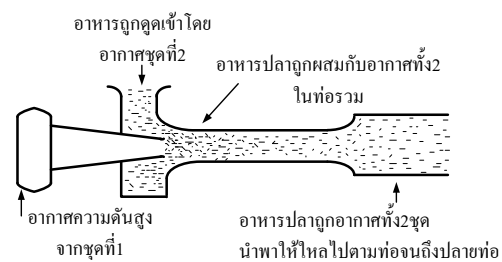
2.1 การออกแบบท่อลม [4]

หลักการทั่วไปในการออกแบบท่อลม คือ พยายามเดินแนวท่อลมในทิศทางที่ง่ายที่สุดเท่าที่จะทำได้ และพยายามให้ระบบท่อลมนั้นสมมาตร ตำแหน่งที่จะจ่ายลมออกมาควรตั้งอยู่ในตำแหน่งที่จะทำให้การกระจายลมภายในห้องเป็นไปได้ดีที่สุดในกรณีที่ไม่ไปชนกับสิ่งกีดขวางใด ๆ ยกเว้นในกรณีที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ในการออกแบบระบบท่อลมความเร็วสูง การเลือกชนิดของ

ข้อต่อ และตำแหน่งของข้อต่อต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ เพื่อกันไม่ให้เกิดการสูญเสียความดัน (Pressure Drop) สูงเกินไป

2.2 เครื่องอัดอากาศและแอร์เจ็ทปั๊ม [4]

การทำงานของเครื่องอัดอากาศ ใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของอากาศโดยใช้ใบพัดหมุนอากาศความเร็วสูงและเหวี่ยงออกไปในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนที่ทั้งทิศทางและอากาศใหม่ก็จะถูกดูดเข้าไปแทนที่โดยบริเวณที่อากาศเข้าตรงกลางเพลาลมจะมีปริมาณมากกว่าบริเวณที่อากาศออก ทำให้ได้แรงดันของอากาศที่สูงพอสมควร ดังนั้นเมื่อนำอาหารปลาเข้าไปผสมในชุดดูดอากาศที่ถูกดูดเข้าไปในส่วนที่สอง และถูกส่งไปกันในท่อรวมอากาศ (Mixing Throat) แล้วส่งอากาศทั้ง 2 ส่วนนี้ไปยังท่อเพื่อส่งอากาศไปยังเป้าหมาย ก็จะส่งผสมอาหารปลาและส่งไปยังปลายทางได้ หลักการดังกล่าวถูกเรียกว่าแอร์เจ็ทปั๊ม ดังแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การจำลองการทำงานของชุดเครื่องอัดอากาศและแอร์เจ็ทปั๊ม

2.3 สเต็ปมอเตอร์ (Stepping motor) [5]

สเต็ปมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ ลักษณะการขับเคลื่อน จะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา มีลักษณะไม่ต่อเนื่องแต่มีลักษณะเป็นสเต็ปโดยแต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ประมาณ 1-2 องศาแล้วแต่โครงสร้างของมอเตอร์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ (1) โรเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนที่หมุนหรือเคลื่อนที่ได้ (2) สเตเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่กับที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เป็นส่วนที่ใช้พันขดลวดของมอเตอร์ การควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ทำได้โดยการจ่ายกระแส

ไฟฟ้าเข้าไปให้กับสเต็ปมอเตอร์ทีละ 1 เฟสให้กับ สเตเตอร์แต่ละตัว ตามลำดับวิธีการคือการจ่าย กระแสไฟฟ้าเข้าไปให้กับขดลวดสเตเตอร์เฟสที่ 1 จากนั้นก็ทำการกระตุ้น เฟสที่ 2 เฟสที่ 3 และเฟสที่ 4 ตามลำดับจากนั้นก็วนกลับไปกระตุ้นขดลวดสเตเตอร์ เฟสที่ 1 อีกครั้งมอเตอร์จะหมุนไปที่ละสเต็ป [6] ดัง แสดงในภาพที่ 2 และตารางที่ 1 ตามลำดับ

2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) [7]

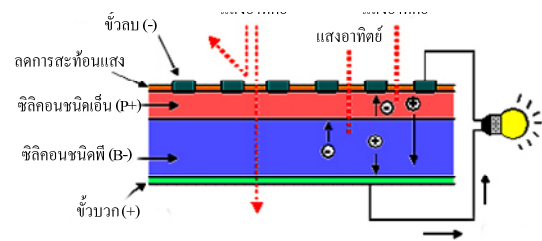
เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงาน แสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ประเภทซิลิคอน และเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจาก สารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน หลักการทำงานของ เซลล์แสงอาทิตย์เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสง เป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจาก แสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าขึ้นใน สารกึ่งตัวนำจึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้างดกล่าวไปใช้ งานได้ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 2 สเต็ปมอเตอร์แบบไบโพลาร์

ตารางที่ 1 การควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบฟูลสเต็ป 1 เฟส

สเต็ป	Coil 4	Coil 3	Coil 2	Coil 1
Data	8	4	2	1
a.1	ON	OFF	OFF	OFF
a.2	OFF	ON	OFF	OFF
a.3	OFF	OFF	ON	OFF
a.4	OFF	OFF	OFF	ON



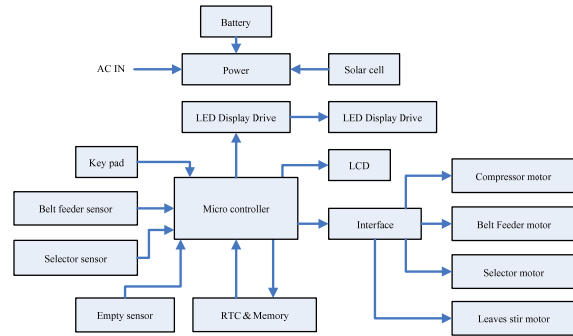
ภาพที่ 3 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) [8] - [10]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ อุปกรณ์ควบคุมที่มีขนาดเล็กภายในประกอบด้วย อุปกรณ์ควบคุมที่มีความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบ คอมพิวเตอร์ ได้รวมเอาหน่วยประมวลผลกลางหรือ ซีพียู หน่วยความจำและส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ตเข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไปไว้ใน ตัวถังเดียวกัน สามารถต่อร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกและ สั่งงานโดยการเขียน โปรแกรมควบคุมการทำงาน ส่งผลทำให้การทำงานของระบบเป็นแบบอัตโนมัติ โครงสร้างโดยทั่วไปของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงดังในภาพที่ 4



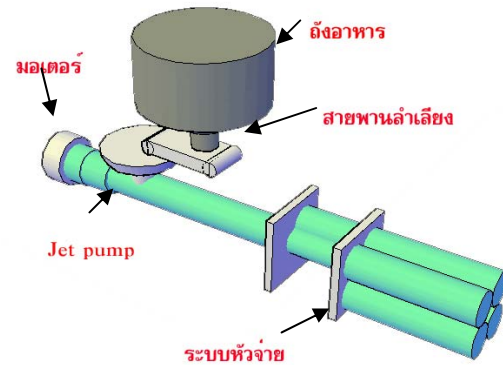
ภาพที่ 4 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ของบอร์ด ET-BASE PIC8722



ภาพที่ 5 ไลอะแกรมเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ

3. การออกแบบเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ

ภาพที่ 5 แสดงการทำงานของเครื่องให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติทั้งระบบ มีไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็นมันสมองทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน และมีการอินเตอร์เฟสกับอุปกรณ์ภายนอกที่ทำหน้าที่ลำเลียงและจ่ายอาหารปลา มีระบบเซนเซอร์ตรวจสอบและแสดงผลสถานะการทำงาน นอกจากนั้นได้มีการออกแบบระบบจ่ายไฟสำรองจากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ เครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติมีหลักการการทำงานคือ อาหารในถังอาหารจะไหลทางท่อลงที่ก้นถังอาหารมารอที่พื้นผิวสายพาน เมื่อถึงเวลาการจ่ายอาหารที่ได้ตั้งไว้ (ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์) สายพานลำเลียงจะทำหน้าที่ลำเลียงอาหารออกมา อาหารในถังก็จะไหลลงมาแทนที่อาหารที่ถูกลำเลียงออกไป อาชุดสายพานลำเลียงจะจัดส่งอาหารไปยังชุดแอร์เจ็ทปั๊มเพื่อขับเคลื่อนอาหารปลาให้ไหลไปตามท่อจนถึงกระชัง โดยมีระบบเซนเซอร์ควบคุมปริมาณอาหารให้ได้ตามที่กำหนด ระบบสายพานลำเลียงก็จะหยุดทำงาน ระบบหัวจ่ายหรือชุดเล็อกบ่อก็จะทำหน้าที่สลับการเชื่อมต่อไปยังบ่อในลำดับถัดไปจนครบทั้ง 4 กระชัง โดยสามารถแสดงภาพจำลองการทำงานได้ดังภาพที่ 6



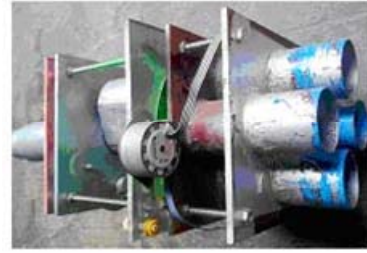
ภาพที่ 6 การจำลองระบบการทำงานของเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ

3.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ



ภาพที่ 7 ชุดเครื่องอัดอากาศและแอร์เจ็ทปั๊มที่ได้ออกแบบ

1) **ชุดแอร์เจ็ทปั๊ม** เป็นชุดผสมอาหารปลาเข้าไปในท่อของเครื่องอัดอากาศ โดยปล่อยอาหารเข้าไปยังท่อดูดอากาศส่วนที่ 2 ซึ่งอากาศส่วนที่ 2 จะนำพาอาหารเข้าไปผสมกับอากาศส่วนแรกที่ได้จากเครื่องอัดอากาศในท่อรวมอากาศ โดยชุดแอร์เจ็ทปั๊ม แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 9 ชุดเลือกป้อ

2) **ระบบสายพานลำเลียง** การขนถ่ายอาหารปลาที่อยู่ในถังจำนวนมากโดยการค่อย ๆ ขนถ่ายออกมาจนหมดถึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากไม่สามารถต่อท่อส่งอาหารจากถังใส่อาหารลงไปยังชุดแอร์เจ็ทปั๊มได้โดยตรง เพราะจะทำให้ทางเข้าอาหารของชุดแอร์เจ็ทปั๊มตันได้ จึงได้นำระบบสายพานลำเลียงมาใช้โดยมีหลักการการทำงานคือ อาหารจะถูกส่งออกมาจากถังมารออยู่ที่สายพานลำเลียง โดยอาหารจะไม่ไหลออกมาจนกว่าสายพานลำเลียงทำงานและเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ในขณะที่เดียวกันอาหารปลาที่อยู่ในถังจะไหลลงมาแทนที่เดิมเรื่อยไปจนหมด การควบคุมปริมาณอาหารสามารถควบคุมได้โดยการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของสายพานร่วมกับเซนเซอร์แสง (Optical Sensor) ใช้หลักการหมุนของแผ่นเกรตติงดิส (Grating Disc) ที่ต่อกับเพลาล้อสายพาน หมุนขัดลำแสงเป็นจังหวะ ๆ ตามแตร็กของเกรตติงดิส แล้วส่งไปนับประมวลผลน้ำหนักรอาหารต่อจำนวนรอบของล้อสายพานในไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ชุดสายพานลำเลียงอาหาร

3) **ชุดเลือกป้อ** ในการให้อาหารปลาในกระชังทั้ง 4 กระชัง ได้มีการออกแบบให้มีท่อจำนวน 4 ชุด ที่ต้องจ่ายอาหารในกระชัง ทำให้ต้องมีเครื่องมือที่ทำหน้าที่สลับท่อทั้ง 4 ท่อเพื่อเชื่อมต่อท่อจ่ายอาหารเข้ากับท่อจากชุดแอร์เจ็ทปั๊มเพื่อจ่ายอาหารให้กับกระชังจนครบทั้ง 4 กระชัง แสดงดังภาพที่ 9

จากส่วนประกอบแต่ละส่วนถูกนำมาประกอบเข้ากับวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ชุดแอร์เจ็ทปั๊ม ชุดลำเลียงอาหาร ชุดเลือกป้อ มีเซนเซอร์ตรวจสอบสภาวะการทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นมันสมองของระบบและแสดงผลผ่านชุดแสดงผล ชุดเครื่องให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติหลังจากประกอบเข้าระบบแสดงดังในภาพที่ 10

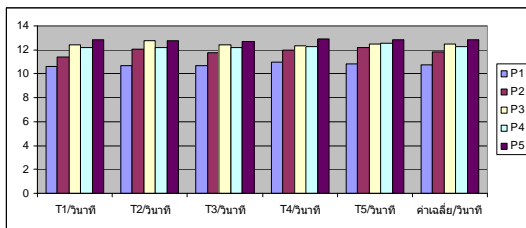


ภาพที่ 10 เครื่องให้อาหารปลาในกระชังแบบอัตโนมัติ

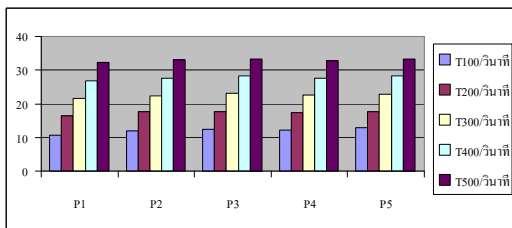
4. ผลและการอภิปรายผล

ในการออกแบบเครื่องให้อาหารปลาในกระชังแบบอัตโนมัติ ถูกนำมาติดตั้งและทดสอบการทำงานในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ตำบลเกาะข่อย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ซึ่งมีผู้เลี้ยงปลาในกระชังจำนวนมาก ได้ทำการทดลองพร้อมกันในกระชังเลี้ยงปลาทั้บทีมจำนวน 4 กระชัง ได้ทำการทดลองจ่ายอาหาร

ผ่านท่อลำเลียงอาหาร 5 ลักษณะดังนี้ P1 คือ ขนาดท่อตรงยาว 4 เมตร P2 คือ ขนาดท่อตรงยาว 8 เมตร P3 คือ ขนาดท่อตรงยาว 12 เมตร P4 คือ ขนาดท่องอ 90 องศา 8 เมตร (4+4 เมตร) และ P5 คือ ขนาดท่องอ 90 องศา ยาว 12 เมตร (4+4+4 เมตร) ตามลำดับ เพื่อตรวจสอบระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละครั้ง ภาพที่ 11 แสดงผลการทดลองการจ่ายปริมาณอาหารจำนวน 100 กรัมในท่อ P1-P5 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าขนาดความยาวท่อและรูปแบบการท่อที่เพิ่มข้อต่องอ 90 องศา เวลาในการจ่ายอาหารในท่อแต่ละแบบมีค่าใกล้เคียงกันโดยท่อขนาดสั้นสุดจะใช้เวลาน้อยที่สุดประมาณ 10 วินาที ภาพที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยในการปล่อยอาหารปลาตามความยาวท่อที่ความยาวแตกต่างกันเมื่อใช้ปริมาณอาหารจำนวน 100 กรัม 200 กรัม 300 กรัม 400 กรัม และ 500 กรัม ตามลำดับ



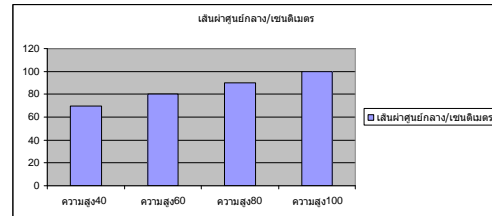
ภาพที่ 11 การทดลองการจ่ายปริมาณอาหารโดยใช้ความยาวท่อลำเลียงที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 12 การทดลองการปล่อยอาหารปลาตามความยาวท่อที่ความยาวแตกต่างกันปริมาณอาหารที่แตกต่างกัน

ภาพที่ 13 แสดงการทดลองในการหาค่าเส้นผ่าศูนย์กลางการกระจายของอาหารตามระดับความสูงที่ต่างกัน โดยกำหนดระดับความสูงที่ 40 เซนติเมตร

60 เซนติเมตร 80 เซนติเมตร และ 100 เซนติเมตร ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเมื่อให้ระยะสูงของหัวจ่ายอาหารจะแปรผันตรงกับเส้นผ่าศูนย์กลางระยะการกระจายอาหาร ภาพที่ 14 แสดงการจ่ายของหัวจ่ายอาหารระดับความสูงในกระชังเลี้ยงปลา



ภาพที่ 13 ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางการกระจายของอาหารตามระดับความสูงของหัวจ่ายอาหารในระดับที่แตกต่างกัน

5. สรุปผลการวิจัย

เครื่องให้อาหารปลาในกระชังแบบอัตโนมัติโดยใช้เทคนิคการป้อนลมในการลำเลียงอาหารปลาให้ไหลไปตามท่อจนถึงกระชังบ่อปลา สามารถให้อาหารปลาในกระชังได้ตามเวลาและปริมาณที่กำหนดจำนวน 4 กระชัง การตั้งเวลาและปริมาณอาหารแต่ละบ่อทำได้อย่างอิสระ สามารถโปรแกรมเวลาให้อาหารได้สูงสุดวันละ 6 เวลา ตัวถังอาหารสามารถบรรจุอาหารปลาได้สูงสุด 35 กิโลกรัม ใช้กับขนาดของเม็ดอาหารได้เกือบทุกขนาด เมื่ออาหารหมดจะมีเสียงเตือนเป็นจังหวะๆ สามารถปรับระดับความดังได้ เครื่องให้อาหารปลาสามารถจ่ายอาหารได้เที่ยงตรงโดยมีความผิดพลาดเฉลี่ยสูงสุด 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถทำงานได้ทั้งจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 โวลต์ และจากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ จึงเหมาะสำหรับเกษตรกรและผู้เลี้ยงปลาในกระชังจะนำไปใช้เพื่อลดต้นทุนในการเลี้ยงปลาในกระชังต่อไป



ภาพที่ 14 หัวจ่ายอาหารตามระดับความสูงในกระชังเลี้ยงปลา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศุทธิณี กล่อมแสร้. 2549. เครื่องให้อาหารปลาแก้อัตโนมัติ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://industrial.uru.ac.th/~library1/PDF/manufac49/p7.pdf> (15 มกราคม 2552)
- [2] ชูพันธ์ วิวัฒน์ชัยเศรษฐ. เครื่องให้อาหารสัตว์น้ำอัตโนมัติ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.nicaonline.com/webboard/index.php?topic=2693.0> (15 มกราคม 2552)
- [3] นักศึกษาอาชีวศึกษากาญจนบุรี. เครื่องเลี้ยงปลาโซลาร์เซลล์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.kanchanaburi.com/kannews/01927.html> (15 มกราคม 2552)
- [4] หลักการออกแบบท้อลม. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/Air%20Conditioning/uples5.1.htm (15 ตุลาคม 2552)
- [5] Artificial Motion. สเต็ปมอเตอร์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.school.net.th/library/webcontest2003/100team/dlnes137/am/robo_site.html (22 กรกฎาคม 2552)

- [6] คอมพิวเตอร์ในงานอุตสาหกรรม. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://com.indus.tripod.com/index2.htm> (22 กรกฎาคม 2552)
- [7] เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ กองพัฒนาพลังงานทดแทนฝ่ายพัฒนาและแผนงานโรงงานการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. เซลล์แสงอาทิตย์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm> (22 ธันวาคม 2551)
- [8] ประจัน พลังสันติกุล. 2537. PIC Works Example and C Source Code. บริษัทแอมพอพีแอนด์เทค จำกัด, กรุงเทพฯ.
- [9] ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง. 2543. PIC Microcontroller Learning By Doing ด้วยภาษา C ฉบับรวมโปรแกรมและอุปกรณ์ครบชุด. ห้างหุ้นส่วนสามัญสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, กรุงเทพฯ.
- [10] Thaimicrotron. 2552. การเขียนโปรแกรมภาษาซีสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.thaimicrotron.com> (22 กุมภาพันธ์ 2552)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีโทรคมนาคมในการเก็บข้อมูลและมีส่วนร่วมในการดำเนินงานอย่างขยันขันแข็ง ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

การออกแบบวงจรอินทิเกรเตอร์แบบไม่สูญเสียที่มีอัตราขยายสูง ทำงานภายใต้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงขนาด 1.5 โวลต์

เสนอ สะอาด^{1*} และ ดร.ณิชา ชัยทอง¹

บทคัดย่อ บทความนี้นำเสนอวงจรอินทิเกรเตอร์แบบไม่สูญเสียโดยใช้ซีมอสทรานซิสเตอร์ทำงานในโหมดกระแสแบบขยายผลต่างถูกสร้างขึ้นจากวงจรสะท้อนกระแสที่มีความต้านทานอินพุตต่ำสามารถทำงานได้ภายใต้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงต่ำและมีการชดเชยการสูญเสียที่เกิดขึ้นในวงจรอินทิเกรเตอร์ส่งผลให้มีอัตราขยายสูง วงจรอินทิเกรเตอร์ดังกล่าวถูกนำมาออกแบบเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่ 3 โดยใช้เทคโนโลยีซีมอสขนาด 0.5 ไมครอน ที่ความถี่คัตออฟเท่ากับ 200 เมกะเฮิร์ตซ์ สามารถปรับจูนความถี่ได้ในช่วง 92 - 250 เมกะเฮิร์ตซ์ นอกจากนี้วงจรกรองความถี่ยังได้ถูกออกแบบให้สามารถปรับจูนได้อย่างอิสระ ส่งผลทำให้ได้วงจรกรองความถี่ที่มีความแตกต่างกันภายในโครงสร้างวงจรเดียวกัน ดังแสดงให้เห็นในผลการทดลอง เช่น แบบบัตเตอร์เวิร์ทและแบบเชบีเชฟ

คำสำคัญ การจำลองการทำงานเลียนแบบวงจรกรองความถี่แบบขั้นบันได วงจรสะท้อนกระแส วงจรอินทิเกรเตอร์แบบขยายผลต่าง วงจรกรองความถี่ทำงานในโหมดกระแส

1. บทนำ

ในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ปัจจุบันได้มุ่งเน้นให้วงจรสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงภายใต้แหล่งจ่ายแรงดันต่ำและมีการสูญเสียกำลังงานน้อย ดังนั้นวงจรที่ทำงานในโหมดกระแสจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ทั้งนี้เนื่องจากวงจรที่ทำงานในโหมดกระแส สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง นอกจากนี้ การบวกลบกระแส การคัดลอกกระแส และการกำหนดอัตราส่วนกระแสสามารถทำได้ง่ายภายใต้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงต่ำ [1] วงจรกรองความถี่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์อีกวงจรหนึ่งที่มีความสำคัญ ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานหลากหลาย เช่น การประมวลผล

สัญญาณเสียงและภาพ ระบบการวัด เครื่องมือวัด ระบบการอ่านแถบแม่เหล็กและระบบการสื่อสาร โทรคมนาคม [2]-[4] วงจรกรองความถี่ที่ถูกสร้างจากวงจรอินทิเกรเตอร์ ด้วยวิธีการจำลองการทำงานเลียนแบบวงจรกรองความถี่แบบขั้นบันไดจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาออกแบบใช้งานกันอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตาม วงจรกรองความถี่ใน [5]-[6] ถูกสร้างจากวงจรอินทิเกรเตอร์แบบขั้วเดียว ซึ่งจำเป็นต้องกลับเฟสกระแสเพื่อสร้างวงจรอินทิเกรเตอร์แบบไม่สูญเสีย ทำให้วงจรต้องสิ้นเปลืองกำลังงานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความผิดพลาดของโมดูลัสรวมยังมีค่าสูงอีกด้วย วงจรใน [7]-[8] ถูกนำเสนอโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานในวงจรที่เป็นแบบผสมระหว่างอนาล็อกและดิจิทัล วงจรใน [9] เป็นวงจรกรองความถี่แบบขยายผลต่าง วงจรต้องการแรงดันเพียง 2.5 โวลต์ สามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงถึง 320 เมกะเฮิร์ตซ์ อย่างไรก็ตาม วงจรต้องการกำลังงานสูญเสียสูงถึง 210 มิลลิวัตต์

¹ ศึกษานิเทศก์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 1 หมู่ 5 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000 โทรศัพท์: +66(74)-317-162 โทรสาร: +66(74)-317-163 E-mail: saner.s@rmutsv.ac.th

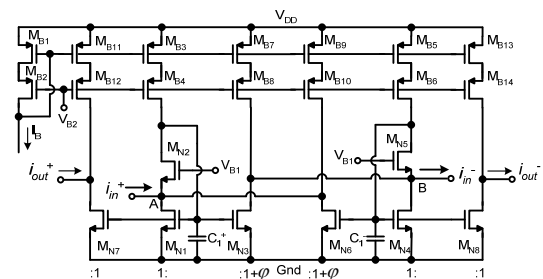
วงจรกรองความถี่ที่ถูกนำเสนอใน [10] สามารถทำงานได้ที่แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงขนาด ± 1.5 โวลต์ มีความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวมต่ำต้องการกำลังงานสูญเสียเพียง 1.2 มิลลิวัตต์ แต่อย่างไรก็ตาม วงจรถูกออกแบบให้ทำงานได้ที่ความถี่ 1 เมกะเฮิร์ตซ์เท่านั้น วงจรใน [11] เป็นวงจรกรองความถี่แบบขยายผลต่างถูกสร้างจากวงจรสะท้อนกระแสแบบง่ายที่มีการต่อป้อนกลับแบบลบที่อินพุตโดยใช้โอทีเอเพื่อลดความต้านทานทางด้านอินพุตของวงจร การที่ต้องใช้วงจรโอทีเอทำให้ต้องสิ้นเปลืองกำลังงานเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้แหล่งจ่ายแรงดันในวงจร ยังขึ้นอยู่กับความต้องการของโอทีเออีกด้วย (5 โวลต์)

จากปัญหาดังกล่าว บทความนี้จึงได้นำเสนอวงจรอินทิเกรเตอร์แบบขยายความผลต่าง ที่มีความต้านทานอินพุตต่ำ ความต้านทานเอาต์พุตสูงทำงานได้ที่ความถี่สูงภายใต้แหล่งจ่ายแรงดันขนาด 1.5 โวลต์ วงจรที่นำเสนอถูกสร้างขึ้นจากวงจรสะท้อนกระแสที่มีความต้านทานอินพุตต่ำ [12] โดยใช้เทคนิคป้อนกลับแบบลบที่อินพุต โดยไม่ทำให้สูญเสียกำลังงานเพิ่ม นอกจากนี้วงจรยังได้ออกแบบให้วงจรอินทิเกรเตอร์มีการชดเชยการสูญเสียที่เกิดขึ้นในวงจรเนื่องจากค่าความนำด้านเอาต์พุต ส่งผลให้อัตราการขยายของวงจรอินทิเกรเตอร์มีค่าสูงและได้นำวงจรอินทิเกรเตอร์มาออกแบบเป็นวงจรกรองความถี่ จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม H-spice พบว่าวงจรกรองความถี่สามารถทำงานได้ที่ความถี่ 200 เมกะเฮิร์ตซ์ มีความต้านทานอินพุตต่ำความต้านทานเอาต์พุตสูง ความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวมน้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ กำลังงานสูญเสีย 1.2 มิลลิวัตต์ต่อหนึ่งโพลที่กระแสไบอัส 100 ไมโครแอมป์ นอกจากนี้วงจรอินทิเกรเตอร์ที่นำเสนอยังสามารถปรับค่าทรานคอนดักแตนซ์ได้อย่างอิสระด้วยการปรับเปลี่ยนกระแสไบอัสโดยไม่ทำให้วงจรอินทิเกรเตอร์ที่ต่อร่วมกันเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ ดังนั้นวงจรกรองความถี่ที่ถูกสร้างขึ้นสามารถปรับค่าคงตัวเวลา (Time constant) ได้อย่างอิสระ ส่งผลทำให้ได้วงจร

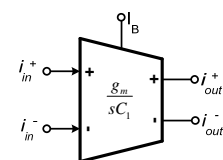
กรองความถี่แบบบัตเตอร์เวิร์ทและแบบเชบีเชฟโดยใช้โครงสร้างวงจรเดียวกัน

2. วงจรอินทิเกรเตอร์ที่นำเสนอ

ภาพที่ 1 แสดงวงจรอินทิเกรเตอร์แบบขยายผลต่างที่นำเสนอ วงจรมีการป้อนสัญญาณอินพุต 2 อินพุต (i_{in}^+ และ i_{in}^-) ที่กลับเฟสกันเข้าที่ โหนด A และ โหนด B ตามลำดับ ถูกสร้างจากวงจรสะท้อนกระแสที่มีความต้านทานอินพุตต่ำต่อร่วมกับตัวเก็บประจุไฟฟ้าจำนวน 2 ชุด ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ M_{N1} - M_{N6} และตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_1^+ และ C_1^- ตามลำดับ วงจรมีการป้อนกลับสัญญาณแบบบวกกลับเข้ายังไปอินพุตเพื่อชดเชยการสูญเสียที่เกิดขึ้นในวงจร ได้วงจรอินทิเกรเตอร์เป็นแบบไม่สูญเสีย โดยมีทรานซิสเตอร์ M_{N7} และ M_{N8} ทำหน้าที่สะท้อนกระแสเอาต์พุตของวงจร ได้ฟังก์ชันการถ่ายโอนในโหมดขยายผลต่าง และฟังก์ชันการถ่ายโอนในโหมดคร่อม ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ



(a)



(b)

ภาพที่ 1 วงจรอินทิเกรเตอร์แบบขยายผลต่าง

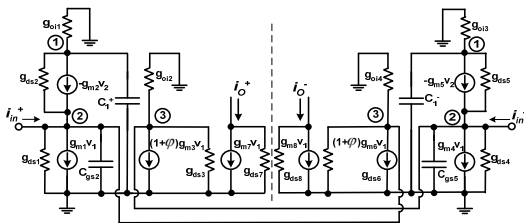
(a) วงจรที่นำเสนอ (b) บล็อกไดอะแกรม

$$\frac{i_{out}^+ - i_{out}^-}{i_{in}^+ - i_{in}^-} = \frac{g_m}{sC} \quad (1)$$

$$\frac{i_{out}^+ + i_{out}^-}{i_{in}^+ + i_{in}^-} = \frac{g_m}{sC + 2g_m} \quad (2)$$

โดยที่ g_m คือ ค่าทรานคอนดักแตนซ์ของทรานซิสเตอร์ M_{N1} มีค่าเท่ากับ $(2\mu C_{ox} (\frac{W}{L})_{M_{N1}} I_B)^{\frac{1}{2}}$ และ C คือ ตัวเก็บประจุไฟฟ้ามีขนาดเท่ากับ C_1^+ และ C_1^- ตามลำดับ

จากฟังก์ชันการถ่ายโอนในสมการที่ (1) และ (2) จะเห็นได้ว่ายังไม่ได้พิจารณาผลกระทบตัวเก็บประจุแฝง (C_{gs}) และค่าความนำไฟฟ้าด้านเอาต์พุต (g_{ds}) ของทรานซิสเตอร์ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้พิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากปรสิตดังกล่าว ภาพที่ 2 แสดงวงจรจำลองสัญญาณขนาดเล็กของวงจรอินทิเกรเตอร์เมื่อพิจารณาผลของตัวเก็บประจุแฝง (C_{gs}) และค่าความนำไฟฟ้าด้านเอาต์พุต (g_{ds}) ของทรานซิสเตอร์ เมื่อกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ M_{N1} กับ M_{N3} มีขนาดเท่ากัน จากวงจรทำการวิเคราะห์โดยใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟท์ ได้ฟังก์ชันการถ่ายโอนในโหมคขยายผลต่างดังแสดงในสมการที่ (3)



ภาพที่ 2 วงจรจำลองสัญญาณขนาดเล็กของวงจรอินทิเกรเตอร์

$$\frac{i_{out}^+ - i_{out}^-}{i_{in}^+ - i_{in}^-} = \frac{g_m \left(1 + \frac{g_{ds}}{g_m}\right)}{sC \left(1 + \frac{2g_{ds}}{g_m} + \frac{sC_{gs}}{g_m}\right) + \left(\frac{g_{ds}^2}{g_m} + \frac{g_{ds}sC_{gs}}{g_m}\right)} \quad (3)$$

ในการออกแบบวงจรอินทิเกรเตอร์ หากสามารถทำให้ค่าความนำด้านเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ (g_{ds}) มีค่าต่ำหรือสามารถกำจัดฟังก์ชัน $\left(\frac{g_{ds}^2}{g_m} + \frac{g_{ds}sC_{gs}}{g_m}\right)$ ใน

สมการที่ (3) ได้ จะทำให้อัตราการขยายของวงจรอินทิเกรเตอร์มีค่าสูงขึ้น ดังนั้นในการออกแบบวงจรอินทิเกรเตอร์จึงได้กำหนดให้อัตราการส่วนของทรานซิสเตอร์ M_{N1} กับ M_{N3} ในวงจรสะท้อนกระแสของวงจรในรูปที่ 1 มีอัตราส่วนเป็น $1:1+\varphi$ หรือทรานซิสเตอร์ M_{N3} เท่ากับ $(1+\varphi)M_{N1}$ โดยที่ค่า φ ที่เพิ่มเข้าไปในทรานซิสเตอร์ M_{N3} ก็เพื่อชดเชยการสูญเสียเนื่องจากค่าความนำไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรเตอร์นั่นเอง ส่งผลให้อัตราการขยายของวงจรอินทิเกรเตอร์มีค่าสูง ได้ฟังก์ชันการถ่ายโอนในโหมคขยายผลต่างดังแสดงในสมการที่ (4)

$$\frac{i_{out}^+ - i_{out}^-}{i_{in}^+ - i_{in}^-} = \frac{g_m \left(1 + \frac{g_{ds}}{g_m}\right)}{sC \left(1 + \frac{2g_{ds}}{g_m} + \frac{sC_{gs}}{g_m}\right) + \left(\frac{g_{ds}^2}{g_m} + \frac{g_{ds}sC_{gs}}{g_m} - \varphi g_m\right)} \quad (4)$$

เมื่อ φ คือ ขนาดของทรานซิสเตอร์ที่มีค่าเพิ่มขึ้น จากสมการที่ (4) จะเห็นได้ว่าค่า φg_m ที่เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการขยายของวงจรอินทิเกรเตอร์ที่นำเสนอมีค่าสูงขึ้น ตัวประกอบคุณภาพของวงจรอินทิเกรเตอร์ เป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถบ่งบอกประสิทธิภาพของวงจรอินทิเกรเตอร์ได้ จากฟังก์ชันถ่ายโอนในสมการ (3) และนิยามตัวประกอบคุณภาพ [5] สามารถหาตัวประกอบคุณภาพได้ คือ

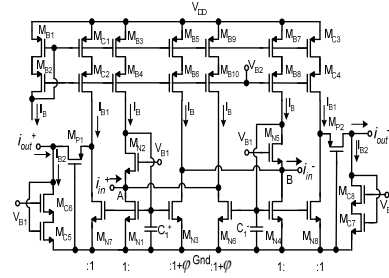
$$Q = \frac{\omega C (g_m + 2g_{ds})}{g_{ds}^2 - \varphi g_m^2} \quad (5)$$

เมื่อพิจารณาที่ความถี่ที่ทำให้อัตราขยายมีค่าเท่ากับหนึ่ง จะได้ว่า

$$Q(\omega_T) = \frac{2 \left[\mu C_{ox} \frac{W}{L} + \lambda (2\mu C_{ox} \frac{W}{L} I_B)^{\frac{1}{2}} \right]}{\lambda^2 I_B - \varphi (2\mu C_{ox} \frac{W}{L})} \quad (6)$$

เมื่อ λ คือ ค่าคงที่ผลของความยาวช่องทางเดินกระแสของทรานซิสเตอร์ (Channel length modulation coefficient) จากสมการที่ (6) พบว่าตัวประกอบคุณภาพจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าเพิ่มขนาดของทรานซิสเตอร์ M_{N3} (φ) นอกจากนี้ตัวประกอบคุณภาพยังเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับขนาดของทรานซิสเตอร์ ($\frac{W}{L}$) กระแสไบอัสทรานซิสเตอร์ I_B และขนาดความยาวของช่องทางเดิน

กระแส (λ) อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบวงจรอินทิเกรเตอร์หากตัวประกอบคุณภาพมีค่ามากกว่า 20 ก็เพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ที่ความถี่สูง [5] จากวงจรที่นำเสนอในรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าความต้านทานเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{g_{ds}}$ ในการออกแบบวงจรอินทิเกรเตอร์สามารถทำให้ความต้านทานเอาต์พุตมีค่าสูงขึ้นได้โดยใช้เทคนิคการต่อคาสโคดแบบพับ ส่งผลทำให้ความต้านทานเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ $\frac{g_m}{g_{ds}^2}$ ดังแสดงในภาพที่ 3



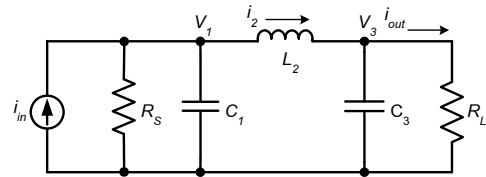
ภาพที่ 3 วงจรอินทิเกรเตอร์แบบขยายผลต่างที่มีค่าความต้านทานเอาต์พุตสูง

3. การออกแบบวงจรกรองความถี่

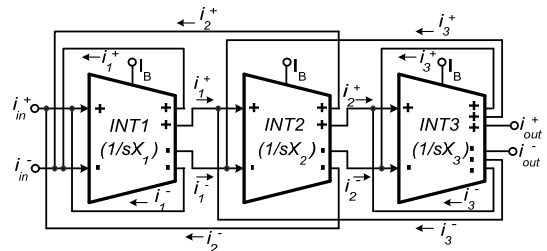
วงจรอินทิเกรเตอร์ที่ได้แนะนำออกมานี้เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่ 3 แบบแอคทีฟ โดยใช้วิธีการจำลองการทำงานเลียนแบบวงจรกรองความถี่แบบขั้วขนั้ว โดยใช้โครงสร้างของวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟที่มีตัวต้านทานสิ้นสุดคู่เป็นโครงสร้างพื้นฐานในการสังเคราะห์ดังแสดงในภาพที่ 4 เนื่องจากมีค่าความไวของวงจรต่ำและสามารถส่งผ่านกำลังงานได้สูงสุด [13] จากวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน โดยจัดให้อยู่ในรูปแบบสมการกระแสซึ่งสามารถนำมาออกแบบเป็นวงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟได้ ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยการแทนฟังก์ชันการถ่ายโอนของวงจรอินทิเกรเตอร์ (C/g_m) ที่ได้ในสมการที่ (1) ลงในสมการกระแสของวงจรกรองความถี่ที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ วงจรอินทิเกรเตอร์แต่ละชุดทำหน้าที่เสมือนอุปกรณ์แต่ละตัวในวงจรกรองความถี่พาสซีฟที่เป็นวงจรต้นแบบเมื่อค่าความจุไฟฟ้าของวงจรอินทิเกรเตอร์ INT_i คือ

$$C_i = X_i g_m \quad (7)$$

เมื่อ X_i คือ ค่าอุปกรณ์ของวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ สาขา i



ภาพที่ 4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบพาสซีฟ



ภาพที่ 5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอคทีฟที่ถูกรออกแบบจากวงจรอินทิเกรเตอร์ที่นำเสนอ

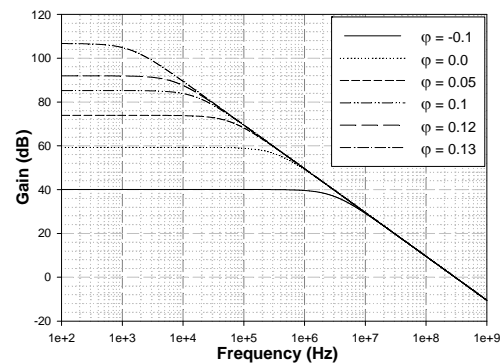
จากวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟที่แสดงในภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่าหากเลือกค่าอุปกรณ์ (ตัวเก็บประจุและขดลวดเหนี่ยวนำ) ที่แตกต่างกันจะทำให้ได้ชนิดของวงจรกรองความถี่ที่แตกต่างกัน บทความนี้จึงได้ออกแบบให้วงจรอินทิเกรเตอร์สามารถปรับค่าทรานคอนดักแตนซ์ได้อย่างอิสระต่อกันด้วยการปรับค่ากระแสไบอัสของวงจร โดยไม่ทำให้ค่าทรานคอนดักแตนซ์ (ค่าคงตัวเวลา) ของวงจรอินทิเกรเตอร์ชุดอื่นเปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถปรับค่าคงตัวเวลาของวงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟได้อย่างอิสระ การที่วงจรกรองความถี่สามารถปรับค่าคงตัวเวลาของวงจรอินทิเกรเตอร์แต่ละ

ชุดได้อย่างอิสระ ส่งผลให้ได้วงจรรองความถี่ที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันในโครงสร้างวงจรเดียวกัน

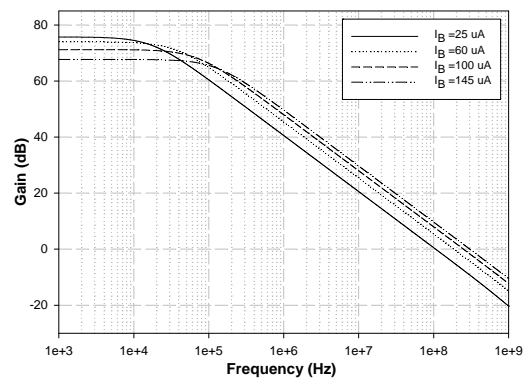
4. ผลการทดลอง

วงจรรวมที่เกรเตอร์และวงจรรองความถี่ที่นำเสนอ ถูกนำมาจำลองการทำงานเพื่อทดสอบประสิทธิภาพภายใต้แหล่งจ่ายแรงดันขนาด 1.5 โวลต์ โดยใช้โปรแกรม H-spice (level 49) ร่วมกับเทคโนโลยีมอสทรานซิสเตอร์ขนาด 0.5 ไมครอน ภาพที่ 6 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรรวมที่เกรเตอร์ เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของทรานซิสเตอร์ $M_{N1} : M_{N3}$ ให้มีค่าเท่ากับ $1 : (1 + \varphi)$ โดยที่กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลง φ ให้มีค่าต่างๆ จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มค่า φ ให้มีค่าสูงขึ้น ทำให้อัตราการขยายของวงจรรวมที่เกรเตอร์มีค่าสูง เนื่องจากค่ากระแสที่เพิ่มขึ้นจะไปชดเชยการสูญเสียที่เกิดจากค่าความนำไฟฟ้าด้านเอาต์พุต (g_{ds}) ของวงจรรวมที่เกรเตอร์ ภาพที่ 7 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรรวมที่เกรเตอร์ในโหมดขยายผลต่าง ค่าอัตราขยายของวงจรมีค่าเท่ากับ 70 เดซิเบล ที่กระแสไบอัส 100 ไมโครแอมป์ ในการออกแบบใช้ค่า φ ขนาด 0.05 สามารถปรับจูนความถี่ได้ตั้งแต่ 100-300 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยการปรับกระแสไบอัสระหว่าง 25-145 ไมโครแอมป์ ภาพที่ 8 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่ 3 แบบบัตเตอร์เวิร์ทท์กับแบบเชบีเชฟที่ความถี่คัตออฟ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ ภายใต้การปรับค่ากระแสไบอัส (หรือค่า g_m) ที่แตกต่างกันโดยอิสระ เมื่อปรับเพิ่มค่ากระแสไบอัสในวงจรรวมที่เกรเตอร์ในชุดแรก (I/sX_1) และชุดที่สาม (I/sX_3) และวงจรรวมที่เกรเตอร์ในชุดที่สอง (I/sX_2) จะถูกปรับค่าลดลง ทำให้ได้วงจรรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ทท์ในทำนองเดียวกัน วงจรรองความถี่ต่ำผ่านแบบเชบีเชฟได้จากการปรับลดค่ากระแสไบอัสในชุดแรกและชุดที่สามของวงจรรวมที่เกรเตอร์ และเพิ่มค่ากระแสไบอัสในวงจรรวมที่เกรเตอร์ในชุดที่สองตามลำดับ ภาพที่ 9 แสดงการตอบสนองความถี่ของ

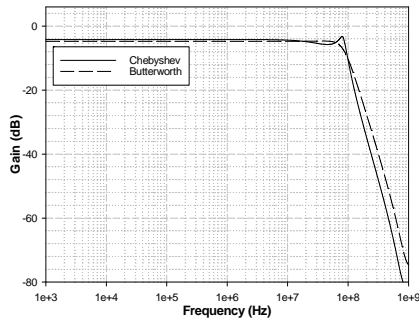
วงจรรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่ 3 แบบบัตเตอร์เวิร์ทท์ที่ความถี่คัตออฟ 200 เมกะเฮิร์ตซ์ วงจรสามารถปรับค่าความถี่คัตออฟได้ตั้งแต่ 92-250 เมกะเฮิร์ตซ์ ด้วยการปรับค่ากระแสไบอัสวงจรพร้อมๆกัน ตั้งแต่ 30-140 ไมโครแอมป์ ภาพที่ 10 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวมของวงจรรองความถี่ที่ค่าความถี่และขนาดของสัญญาณกระแสอินพุตค่าต่างๆ ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวมที่ได้มีค่าน้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อป้อนอัตราส่วนของสัญญาณกระแสอินพุตต่อกระแสไบอัสมีค่าเท่ากับ 0.6



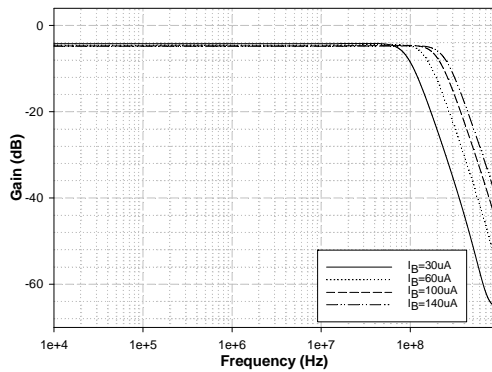
ภาพที่ 6 การตอบสนองความถี่ของวงจรรวมที่เกรเตอร์เมื่อปรับเปลี่ยนขนาดของทรานซิสเตอร์ $M_{N1} : M_{N3}$ ให้มีค่าเป็น $1 : 1 + \varphi$



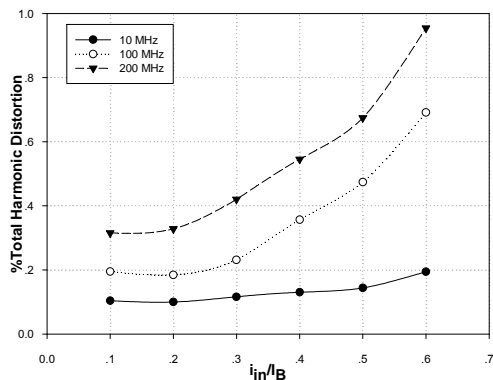
ภาพที่ 7 การตอบสนองความถี่ของวงจรรวมที่เกรเตอร์แบบขยายผลต่าง เมื่อปรับกระแสไบอัสค่าต่างๆ



ภาพที่ 8 การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่ 3 แบบบัตเตอร์เวิร์ทและแบบเชบีเชฟ



ภาพที่ 9 การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ทเมื่อปรับกระแสไบอัสค่า



ภาพที่ 10 ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกสร่วมของวงจรกรองความถี่แบบบัตเตอร์เวิร์ท

5. สรุปผลการวิจัย

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 3 แบบแอกทีฟทำงานในโหมดกระแสแบบบัตเตอร์เวิร์ทและแบบเชบีเชฟ ถูกสร้างมาจากวงจรอินทิเกรเตอร์ที่นำเสนอด้วยวิธีการจำลองการทำงานเลียนแบบวงจรกรองความถี่แบบขั้นบันได วงจรสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงภายใต้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงขนาด 1.5 โวลต์ สามารถปรับจูนความถี่คัตออฟได้ง่ายและสูญเสียกำลังงานต่ำจึงเหมาะสำหรับนำไปใช้งานกับอุปกรณ์ที่ต้องการพลังงานจากแบตเตอรี่ นอกจากนี้วงจรยังสามารถปรับค่าคงตัวเวลาของวงจรอินทิเกรเตอร์แต่ละชุดได้อย่างอิสระ ส่งผลทำให้มีความอิสระในการออกแบบวงจรกรองความถี่ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันในโครงสร้างวงจรเดียวกัน ดังแสดงให้เห็นในผลการจำลองการทำงานคือ วงจรกรองความถี่แบบบัตเตอร์เวิร์ทและแบบเชบีเชฟ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Toumazou, C., Lidgey, F.J. and Haigh, D.G. 1990. Analog IC design: the current-mode approach, Peter Peregrinus, London, U.K.
- [2] Korotkov, A.S., Morozov, D.V., Tutyshkin, A.A. and Hauer, H. 2005. Channel filters for microelectronic receivers of wireless systems. Emerging Technologies: Circuits and Systems for 4G Mobile Wireless Communications, June. 23-24, 2005: 24-31.
- [3] Minaei, S., Sayin, O.K. and Kuntman, H. 2006. A new CMOS electronically tunable current conveyor and its application to current mode filter. IEEE J. Circuits and Systems, 53: 1448-1457.

- [4] Tangsrirat, W., Dumawipata, T., Unhavanich, S. and Surakampotorn, W. 2003. Relization of lowpass and bandpass leapfrog filters using OAs and OTAs. SICE 2003, Aug. 4-6, 2003. 3: 2984-2989.
- [5] Lee, S.S., Zele H.R. and Allstot D.J. 1993. CMOS continuous-time Current-Mode Filter for High-frequency Applications. IEEE J. Solid-State Circuits, 28: 323-329.
- [6] Zele, R.H., and Allstot, D.J. 1996. Low-power CMOS continuous-time filters. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 31: 157-168.
- [7] Fujii, N. 1998. High frequency low voltage current mode analog integrable filters. Bipolar/BiCMOS Circuits and Technology Meeting, Proceedings of the 1998, Sept. 1998: 47-52.
- [8] Chul AHN, J. and Fujii, N. 1996. Current-Mode Filters Continuous-Time Filters Using Complementary Current Mirror Pairs. IEICE Trans. Fundamentals, E78-A: 168-175.
- [9] Xi Zhu., Yichuang Sun. and Moritz, J. 2007. A 0.18 μm CMOS 300MHz Current-Mode LF Seventh-order Linear Phase Filter for Hard Disk Read Channels. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, May. 27-30, 2007: 3307-3310.
- [10] Galvez-Durand, F. 1996. Low-voltage current-mode filters. IEEE 39th Midwest symposium on Circuits and Systems, 2, Aug. 1996., 2:911-914.
- [11] Yang, Z., Hinck, T., Cohen, H.I. and Hubbard, A.E. 2003 Current-mode integrator for voltage-controllable low frequency continuous-time filters. Electronics Letters, 39: 883-884.
- [12] Torralba, A., Carvajal, R.G., Galan J. and Ramirez-Angulo, 2003. A New Compact Low-Power High Slew Rate Class AB CMOS Buffer. *ISCAS '03*, May. 2003: I237-I240.
- [13] Deliyannis, T., Yichuang, S. and Fidler, J.K. 1999. Cotinuous-Time Active Filter, CRC Press LLC, London, U.K.

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิชาการนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

การวิเคราะห์ความเข้มของสีใบข้าวด้วยซอฟต์แวร์เวกเตอร์สำหรับการถดถอย เพื่อลดต้นทุนในการผลิต

เอกลักษณ์ สุมนพันธุ์¹ และ ประมูล บัวน้อย²

บทคัดย่อ— เกษตรกรนิยมปลูกข้าวพันธุ์ผสมไม่ไวต่อช่วงแสง โดยเลือกใส่ปุ๋ยในโตรเจนในนาข้าวเพื่อเพิ่มผลผลิต แต่เนื่องจากปุ๋ยในโตรเจน(ยูเรีย) เป็นปุ๋ยที่สูญเสียง่ายในสภาพน้ำขัง ดังนั้นเพื่อให้การใช้ปุ๋ยในโตรเจนในนาข้าว ที่มีสภาพน้ำขังตลอดปีมีประสิทธิภาพคุ้มค่ากับปริมาณปุ๋ยที่ใช้ จึงมีการแนะนำเกษตรกรแบ่งใส่ปุ๋ยในโตรเจนให้ตรงกับความต้องการของข้าว โดยใช้แผ่นเทียบสีในการวัดสีใบข้าวเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจใส่ปุ๋ยในโตรเจนในนาข้าว ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นเกษตรกรจำเป็นต้องเลือกใบข้าวอย่างน้อย 10 ใบสุ่มทั่วแปลงข้าว นำมาวัดเทียบกับแผ่นเทียบสีที่สามารถวัดได้เพียงครั้งละ 1 ใบ จึงเกิดความไม่สะดวกและการวัดสีใบข้าวกลางแจ้ง สีใบข้าวอาจเปลี่ยนไปได้เนื่องจากการสะท้อนของแสงแดดเข้าสู่สายตาผู้วัด หรือเกษตรกรที่สายตาดูดสีก็จะไม่สามารถใช้ระบบดังกล่าวได้ นอกจากนี้กรณีที่ทำกรวัดได้ค่าสีกึ่งกลางระหว่างแถบสีก็เป็นการยากที่จะบอกได้ว่าสีใบข้าวมีความเข้มของสีอยู่ในช่วงใด งานวิจัยชิ้นนี้ได้้นำแผ่นเทียบสีใบข้าวที่มี 4 แถบสี จำนวน 2 แผ่นมาทำการสแกนเก็บเป็นไฟล์ข้อมูลภาพ จากนั้นนำไปทำการคัดแยกสีใบข้าวด้วยพีชซีซีมีน จากกลุ่มสีใบข้าวนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยสี RGB เก็บเป็นลักษณะเด่นที่ใช้กับซอฟต์แวร์เวกเตอร์สำหรับการถดถอย เพื่อประมาณค่าสีใบข้าว เป็นการเพิ่มความแม่นยำในการกำหนดปริมาณปุ๋ยในโตรเจนที่ต้องใส่เพิ่มในนาข้าว จากผลการทดลองได้นำค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยมาเป็นเกณฑ์วัดความถูกต้องของระบบ จากผลการทดลองพบว่าวิธีการของซอฟต์แวร์เวกเตอร์สำหรับการถดถอยให้ผลรวมค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยและผลรวมเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยน้อยที่สุดในการทดสอบข้อมูลแบบบอด เมื่อเทียบกับการอ่านค่าสีใบข้าวจากแผ่นเทียบสีของผู้เชี่ยวชาญ

คำสำคัญ แผ่นเทียบสีใบข้าว ปุ๋ยในโตรเจน พีชซีซีมีน และซอฟต์แวร์เวกเตอร์สำหรับการถดถอย

1. บทนำ

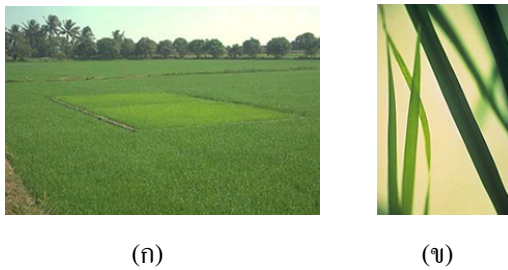
ภาคอุตสาหกรรมการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูกข้าว ในปัจจุบันในโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่

พบว่าขาดในนาข้าวทั่วไป โดยเฉพาะในนาดินทรายที่มีระดับอินทรีย์วัตถุต่ำ ซึ่งข้าวที่ขาดในโตรเจนจะมีใบแก่หรือบางครั้งใบทั้งหมดเป็นสีเขียวอ่อน ปลายใบเหลือง ถ้าขาดรุนแรงใบแก่จะตายเหลืองเพียงใบอ่อน ใบแคบสั้นและตั้งตรง มีสีเขียวปนเหลือง การขาดในโตรเจนมักเกิดในระยะข้าวแตกกอและระยะกำเนิดช่อดอก ซึ่งเป็นระยะที่ข้าวมีความต้องการในโตรเจนสูง การขาดในโตรเจนส่งผลให้การแตกกอลดลง [1] และ [2] ต้นข้าวแคระแกรนแตกกอมีเมล็ดดีต่อรวงลดลงทำให้ผลผลิตข้าวลดลง สาเหตุของการขาดในโตรเจนในข้าวเกิดจากดินนามีระดับในโตรเจนต่ำ การใส่ปุ๋ยไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ดินขาดน้ำ การใส่ปุ๋ย

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตาก 41 หมู่ 7 ต.ไม่งาม อ.เมือง จ.ตาก 63000 โทรศัพท์: 5551-5900-5 โทรสาร: 0-5551-1833 อีเมลล์: ekkalak@rmutl.ac.th

²สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตาก 41 หมู่ 7 ต.ไม่งาม อ.เมือง จ.ตาก 63000 โทรศัพท์: 5551-5900-5 โทรสาร: 0-5551-1833 อีเมลล์: pramoolb@rmutl.ac.th

ด้วยวิธีการและเวลาที่ไม่เหมาะสม การสูญเสียไนโตรเจนไปกับผลผลิตที่เก็บเกี่ยว รวมทั้งการที่ดินมีการสูญเสียไนโตรเจนจากขบวนการต่างๆ สูงการจัดการเพื่อการป้องกันและแก้ไขการขาดไนโตรเจนในข้าวสามารถทำได้โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้แก่ข้าวเป็นวิธีการที่รวดเร็วที่สุด โดยข้าวจะตอบสนองต่อปุ๋ยที่ใส่โดยมีใบเขียวขึ้น มีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นหลังจากใส่ปุ๋ย 2-3 วัน อย่างไรก็ตามการตอบสนองนี้จะขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ชนิดดิน สภาพภูมิอากาศ ชนิดปุ๋ยและปริมาณที่ใช้ รวมทั้งเวลาและวิธีการที่ใส่ ตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 (ก) แปลงที่ไม่ได้ใส่ไนโตรเจน ใบข้าวจะมีสีเขียวอ่อน (ข) ลักษณะใบข้าวที่ขาดไนโตรเจน ซึ่งใบจะเล็กกว่าและสีอ่อนกว่าใบข้าวที่ได้รับไนโตรเจนพอเพียง (ซ้ายมือ)

ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นปุ๋ยที่สูญเสียได้ง่ายในสภาพน้ำขัง ดังนั้นเพื่อให้การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าวมีประสิทธิภาพคุ้มค่ากับราคาปุ๋ยที่นับวันจะสูงขึ้นทุกวัน จึงได้มีคำแนะนำให้แบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจน แต่การแบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้มีประสิทธิภาพตรงต่อความต้องการของข้าว จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ช่วยในการตัดสินใจเพื่อให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนได้ตรงช่วงเวลาความต้องการของข้าวที่ข้าวจะสามารถดูดใช้ปุ๋ยได้มากที่สุด ซึ่งสามารถประหยัดปุ๋ยลงได้มากกว่า 30 %

จากหลักการดังกล่าวแม้เกษตรกรจะใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงในดินเพื่อเพิ่มผลผลิตแล้วตามคำแนะนำของศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าว แต่อัตราการใส่ปุ๋ยตามวันเวลาที่กำหนดจะใช้วิธีสังเกตความเข้มของสีใบข้าวเทียบกับแผ่นเทียบสี (LCC: Leaf Color Chart) [3] โดยเลือกใบข้าวสำหรับวัดแผ่นเทียบสี จำนวนอย่างน้อย 10 ใบตามจุดต่างๆกระจายทั่วแปลงซึ่งเลือกใบจากใบบน

ที่สมบูรณ์และแผ่นใบแก่เต็มที่ซึ่งเป็นใบที่โตเต็มวัย จากนั้นทำการวางใบข้าวที่จะวัดโดยให้แผ่นใบทาบตามแนวตั้งของใบลงบนแผ่นเทียบสี ดังรูปที่ 2



ภาพที่ 2 (ก) ทำการเลือกใบบนที่สมบูรณ์และโตเต็มวัย (ข) วางใบข้าวเทียบตามแนวตั้งทดสอบกับแผ่นเทียบสี

จากภาพที่ 2 ปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อเกษตรกรเทียบสีของใบข้าวกลางแจ้งกับแผ่นเทียบสี อาจทำให้สีเพี้ยนไปได้เพราะแสงแดดจะสะท้อนเข้าสู่สายตาผู้วัด หรือสีของใบข้าวที่ได้เมื่อนำไปทดสอบสีมีค่ากึ่งกลางระหว่างแผ่นเทียบสีที่ทดสอบ นอกจากนี้แล้วถ้าเกษตรกรขาดสติก็จะไม่สามารถใช้วิธีการดังกล่าวได้ จากเหตุผลต่างๆตามที่กล่าวมาจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่จะใช้หลักการคำนวณทางวิศวกรรมศาสตร์เพื่อช่วยเกษตรกรในการตัดสินใจระบุความเข้มของสีใบข้าวที่ได้ โดยการเก็บตัวอย่างของแผ่นเทียบสีใบข้าวที่ความเข้มขึ้นต่างๆ จากนั้นจะนำวิธีการประมวลผลภาพเพื่อเก็บคุณลักษณะเด่น (Feature) ของสีใบข้าวและแผ่นเทียบสี เก็บเป็นอินพุตของซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับการถอดอย ซึ่งเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่จะใช้ทดสอบความเข้มของสีใบข้าว วิธีการนี้จะช่วยให้การบอกระดับความเข้มของสีใบข้าวให้มีความแม่นยำมากขึ้น ช่วยให้เกษตรกรใส่ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนตรงตามปริมาณที่ต้องการ เป็นการประหยัดงบประมาณในการซื้อปุ๋ย ต้นข้าว โตสมบูรณ์เนื่องจากมีการใส่ปุ๋ยที่ถูกต้อง ผลผลิตที่ได้จึงเพิ่มตามไปด้วย

2. วิธีการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและชุดฝึกสอนระบบ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับใบข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 [4] จัดอยู่ในประเภทข้าวไม่ไวแสง ที่มีระยะการเติบโตได้ 30 วัน เลือกบริเวณช่วงกลางใบเพื่อ

นำมาทดสอบระบบโดยในแต่ละครั้งจะทำการสุ่มใบข้าวจำนวน 10 ใบที่แปลงข้าวเพื่อใช้ในการทดสอบระบบ สำหรับชุดฝึกสอนระบบได้นำแผ่นเทียบสีใบข้าวจำนวน 2 แผ่นมาทำการสแกนเพื่อเป็นชุดฝึกสอนระบบให้รู้จำความแตกต่างของแถบสีที่ความเข้มต่างๆ จำนวน 180 ภาพ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ไฟล์ภาพแผ่นเทียบสีใบข้าวที่ทำกาสแกนบนตำแหน่งต่างๆของเครื่องสแกน

2.2 ลักษณะของแผ่นเทียบสีใบข้าว [5]

แผ่นเทียบสีใบข้าวที่ใช้ในงานวิจัยมีจำนวน 4 แถบสี มีลักษณะดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผ่นเทียบสีใบข้าวที่ใช้ในงานวิจัย

การอ่านค่าแผ่นเทียบสีสำหรับข้าวสุพรรณบุรี 1 ถ้าค่าสีต่ำกว่าแถบที่ 3 (อยู่ในแถบที่ 2) ให้เริ่มใส่ปุ๋ย 4 กก.ต่อไร่ ถ้าค่าเฉลี่ยมากกว่าแถบที่ 3 (อยู่ในแถบที่ 4 หรือมากกว่า) ไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ย กรณีที่ค่าเฉลี่ยสีอยู่ในแถบที่ 5 เสี่ยงต่อการติดโรค และทุกครั้งที่ทำกรวัดแสงต้องใช้เงาบัง (ตัวบังแดด) โดยหลังจากการวัดครั้งที่ 1 (30 วัน) เมื่อต้องการควบคุมการเจริญเติบโตของต้นข้าวจะวัดสีทุก 7 วัน

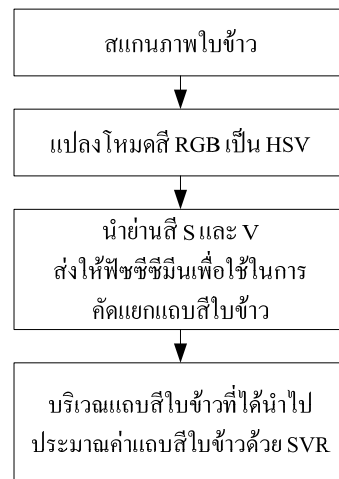
2.3 ภาพรวมของระบบ

งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องสแกนแคนนอนรุ่น N 640Pex ที่มีความละเอียด 400 จุดต่อตารางนิ้ว ที่ระดับโหมดสี 24 บิต เพื่อใช้ในการสแกนสีใบข้าวเก็บเป็นไฟล์ข้อมูลภาพ จากนั้นจะทำการคัดแยกเฉพาะ

ส่วนที่เป็นแถบสีใบข้าวเก็บเป็นข้อมูลอินพุตส่งให้กับซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับการถดถอยเพื่อใช้ในการประมาณสีความเข้มของใบข้าวเพื่อการตัดสินใจในการใส่ปุ๋ยในโตรเจนในนาข้าว

2.4 การแบ่งส่วนรูปภาพและการคัดแยกลักษณะเด่น

ภาพสีที่ได้จากเครื่องสแกนจะอยู่ในโหมดสี RGB ซึ่งจะมีแสงรวมอยู่กับแม่สีหลัก จึงจำเป็นต้องแปลงโหมดสี RGB เป็นโหมดสี HSV [6] จากนั้นจะใช้เฉพาะย่านสี S และ V เท่านั้นเป็นอินพุตป้อนให้กับพีชชีซีมิน [7] เพื่อใช้ในการคัดแยกเฉพาะบริเวณที่เป็นแถบสีใบข้าว สามารถแสดงขั้นตอนการทำงานได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 บล็อกไดอะแกรมการคัดแยกสีใบข้าว

ให้ $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ เป็นเซตของกลุ่มข้อมูลที่แต่ละกลุ่มข้อมูลมี p มิติ การปรับปรุงค่าของพีชชีซีมินเป็นไปตามสมการที่ 1 และ 2

$$c_i = \sum_{j=1}^N (u_{ij})^m x_j / \sum_{j=1}^N (u_{ij})^m \quad (1)$$

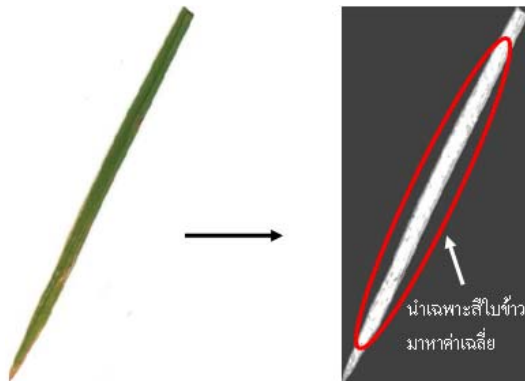
$$u_{ij} = 1 / \sum_{k=1}^C (d^2(x_j, c_i) / d^2(x_j, c_k))^{1/m-1} \quad (2)$$

จากสมการด้านบน u_{ij} เป็นค่าความเป็นสมาชิกของ x_j ในกลุ่มที่ i , c_i เป็นจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่ i และ $m \in [1, \infty)$ เป็นพีชชีพารามิเตอร์ ขั้นตอนการทำงานของพีชชีซีมินมีดังนี้

- กำหนดจำนวนกลุ่มข้อมูลที่ต้องการแบ่ง C
- กำหนดค่าของฟังก์ชันพารามิเตอร์ m
- กำหนดค่าเริ่มต้นของค่าความเป็นสมาชิก

- วนรอบปรับปรุงค่าของจุดศูนย์กลางและค่าความเป็นสมาชิกตามสมการที่ (1) และ (2) จนกระทั่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มข้อมูลไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่า

ในการทดลองกำหนดค่า $m = 2$ และ $c = 3$ อินพุตที่เป็นค่าของคุณลักษณะเด่นกำหนดจากย่านสี S และ V ของแต่ละพิกเซล จากกระบวนการของฟังก์ชันมินทำให้ได้กลุ่มข้อมูลของสีใบข้าวที่มีค่าใกล้เคียงกับสีเขียว ตามภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การคัดแยกส่วนที่ต้องการนำมาหาค่าเฉลี่ยสี

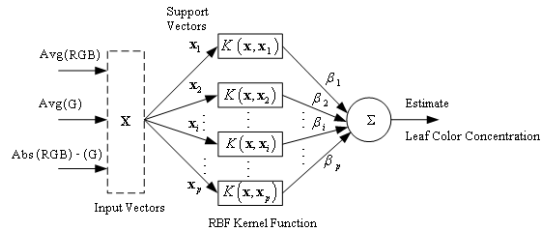
จากภาพที่ 6 นำเฉพาะบริเวณสีใบข้าวมาหาค่าเฉลี่ยในโหมดสี RGB ค่าเฉลี่ยเฉพาะย่านสี G และผลต่างของค่าทั้ง 2 เพื่อเก็บเป็น 3 ค่าคุณลักษณะเด่นป้อนให้กับซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอย [8] และ [9] เพื่อใช้ในการประมาณค่าความเข้มสีใบข้าวตามสมการที่ (3)

$$LeafColor = \sum_{n=1}^1 \beta_i \cdot K(x, x_i) + b \quad (3)$$

x_i เป็นซัพพอร์ตเวกเตอร์ $K(x, x_i)$ เป็นเคอร์เนลฟังก์ชัน β_i เป็นเวกเตอร์น้ำหนัก และ b เป็นค่าไบอัสจากการทดลองพบค่า ε ของฟังก์ชันการสูญเสีย (Loss Function) มีค่า $\varepsilon = 10^{-2}$ และเลือกฟังก์ชันเคอร์เนลเป็นเรเดียลเบสิสฟังก์ชัน (Radial Basis Function) ตามสมการที่ (4)

$$K(x, x_n) = \exp(-\|x - x_n\|^2 / 2\sigma^2) \quad (4)$$

โดยค่าของ σ กำหนดค่าเท่ากับ 2.2 สำหรับรูปแบบการประมวลผลในการประมาณค่าความเข้มของสีใบข้าวสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 สถาปัตยกรรมซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอยในการประมาณค่าความเข้มของสีใบข้าว

3. ผลและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้นำต้นข้าวสุพรรณบุรี 1 และแผ่นเทียบสีใบข้าว จากศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี เพื่อนำมาทดสอบระบบ โดยสแกนแผ่นเทียบสีข้าวที่ความละเอียด 150 จุดต่อตารางนิ้ว เป็นรูปแบบไฟล์ภาพ BMP สำหรับการทดสอบความแม่นยำของระบบได้เลือกวิธีการหาค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยและผลรวมเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย มาใช้ในการทดสอบความแม่นยำของระบบที่ประมาณค่าสีของใบข้าวเทียบกับการอ่านค่าสีจากผู้เชี่ยวชาญ ตามสมการที่ (5) และ (6)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |actual_i - value_i| \quad (5)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{actual_i - value_i}{actual_i} \right| \times 100 \quad (6)$$

โดยที่ n เป็นจำนวนของข้อมูลที่ทำการทดสอบ

เมื่อนำไฟล์ภาพแผ่นเทียบสีมาทำการอ่านค่าเฉลี่ยสี RGB จากแถบสีต่างๆ เพื่อใช้เก็บเป็นชุดฝึกสอนระบบค่าต่างๆแสดงดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยสี RGB ของแผ่นเทียบสีใบข้าว
ที่ระดับต่างๆ**

แถบสีใบข้าว	ค่าเฉลี่ยสี RGB	ค่าเฉลี่ยย่านสี G
แถบที่ 2	57.5611	86.8416
แถบที่ 3	49.7279	75.0981
แถบที่ 4	36.1959	54.7939
แถบที่ 5	32.0874	48.6312

การวัดประสิทธิภาพการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของซอฟต์แวร์วิเคราะห์สำหรับการถอดรอย จะใช้หลักการทำ 10% ครอสเวลิเดชัน (10% Cross Validation) โดยเลือกข้อมูลไฟล์ภาพจากแผ่นเทียบสีใบข้าวมาทำการทดลองผลที่ได้จะนำไปเทียบกับค่าแถบสีจริง วัดค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย จากแผ่นเทียบสีที่มีทั้งหมด 180 ภาพ จะถูกแบ่ง 10% เพื่อเก็บเป็นชุดข้อมูลแบบบอด (Blind Data) 18 ภาพเพื่อทำการทดสอบระบบโดยทำทั้งหมด 10 รอบ ซึ่งในแต่ละรอบการทดลองนั้นข้อมูลแบบบอดก็จะถูกวนสับเปลี่ยนตำแหน่งจากชุดข้อมูลทั้งหมด ผลการทดลองจาก 10% ครอสเวลิเดชันสามารถแสดงดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2 ผลเปรียบเทียบค่า MAE ของแถบสีที่
ประมาณค่าได้**

18 ชุด / รอบการทดลอง	ค่า MAE ที่ได้จาก SVR
ชุดข้อมูลที่ 1	0.0028
ชุดข้อมูลที่ 2	7.4033 e-004
ชุดข้อมูลที่ 3	0.0045
ชุดข้อมูลที่ 4	0.0015
ชุดข้อมูลที่ 5	0.0026
ชุดข้อมูลที่ 6	0.0138
ชุดข้อมูลที่ 7	3.6966 e-004
ชุดข้อมูลที่ 8	6.0237 e-004
ชุดข้อมูลที่ 9	0.0248
ชุดข้อมูลที่ 10	0.0666
ค่าผิดพลาดเฉลี่ย	0.00914

จากชุดข้อมูลที่ทำกรทดสอบระบบทั้งหมดพบว่าค่าผิดพลาดเฉลี่ยรวมในแต่ละรอบการทดลองมีค่าน้อยมาก ซึ่งสามารถนำชุดข้อมูลฝึกสอนระบบไปทำการประมาณค่าความเข้มของสีใบข้าวจริงได้

3.1 ผลของการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบงานเป็น โปรแกรมที่สามารถนำไฟล์ภาพใบข้าวจากเครื่องสแกน (10 ใบข้าว / การสแกน 1 ครั้ง) ส่งเข้าสู่ส่วนของการประมาณค่าความเข้มสีใบข้าว หน้าจอการทำงานแสดงตามภาพที่ 8



ภาพที่ 8 โปรแกรมการประมาณค่าความเข้มสีใบข้าว

จากชุดข้อมูลฝึกสอนระบบทั้งหมดที่ได้เมื่อนำไปทดสอบกับใบข้าวจริงจำนวน 10 ใบที่สุ่มหั่วแปลงข้าวที่โตได้ 30 วัน (สีใบข้าวที่ได้เมื่ออ่านเทียบกับแผ่นเทียบสีจะอยู่ในแถบที่ 2) กับ โปรแกรมที่ทำการพัฒนาเพื่อทำการทดสอบระบบ เทียบผลที่ได้จากการอ่านค่าสีใบข้าวของผู้เชี่ยวชาญ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประมาณค่าสีใบข้าว 10 ใบเพื่อกำหนด ปริมาณปุ๋ยในโตรเจนที่ต้องใส่ในนาข้าว

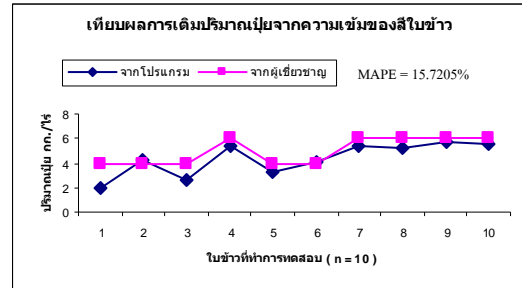
ลำดับใบข้าว	จากโปรแกรม		จากผู้เชี่ยวชาญ	
	A	B	A	B
ใบข้าวที่ 1	0.94607	1.8921	2	4
ใบข้าวที่ 2	2.091	4.1820	2	4
ใบข้าวที่ 3	1.3023	2.6046	2	4
ใบข้าวที่ 4	2.6963	5.3926	3	6
ใบข้าวที่ 5	1.6274	3.2548	2	4
ใบข้าวที่ 6	2.0587	4.1174	2	4
ใบข้าวที่ 7	2.7001	5.4002	3	6
ใบข้าวที่ 8	2.6299	5.2598	3	6
ใบข้าวที่ 9	2.8779	5.7558	3	6
ลำดับใบข้าว	จากโปรแกรม		จากผู้เชี่ยวชาญ	
	A	B	A	B
ใบข้าวที่ 10	2.7905	5.5810	3	6
ปริมาณปุ๋ยที่ต้องใส่ กก./ไร่	4.34403		5	

* A = ค่าแถบสี

B = ปริมาณปุ๋ยที่ต้องใส่ กก./ไร่

จากผลการทดลองที่ได้ในตารางที่ 3 จะพบว่า ปริมาณปุ๋ยที่ต้องใส่ในนาข้าวจะมีปริมาณเท่ากับ 4.3 กก./ไร่ ซึ่งจะมีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณปุ๋ยที่ต้องใส่เมื่อใช้แผ่นเทียบสีอ่านค่าเท่ากับ 5 กก./ไร่ เมื่อใช้ค่าวัดความถูกต้องเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยเทียบกับการอ่านจากแผ่นเทียบสีมีค่าเท่ากับ 15.7205% จากผลที่ได้ทำให้สามารถประมาณค่าได้ว่าเมื่อนาระบบดังกล่าวไปใช้ในการประมาณค่าความเข้มของสีใบข้าว จะช่วยเกษตรกรตัดสินใจการกำหนดปริมาณปุ๋ยในโตรเจนที่ต้องใส่ในนาข้าว ให้มี

ความแม่นยำมากขึ้นพร้อมกับปริมาณปุ๋ยที่ลดลง เป็นการประหยัดต้นทุนปุ๋ยที่ต้องใส่ในนาข้าว โดยสามารถแสดงผลความสัมพันธ์ของการกำหนดปริมาณปุ๋ยในรูปแบบของกราฟ ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กราฟแสดงอัตราการกำหนดปริมาณปุ๋ย

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำหลักการของซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ สำหรับการถดถอยมาประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าความเข้มของสีใบข้าวที่ได้ เพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำของเกษตรกรในการกำหนดปริมาณปุ๋ยในโตรเจนที่ต้องใส่ในนาข้าว โดยการทดลองได้เลือกใบข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่มีช่วงระยะเจริญเติบโต 30 วัน มาทำการทดสอบประมาณค่าความเข้มสีใบข้าวจากระบบที่ออกแบบเทียบกับการอ่านค่าจากแผ่นเทียบสีของผู้เชี่ยวชาญ พบว่าสามารถลดปริมาณปุ๋ยในโตรเจนที่ต้องใส่ในนาข้าวประมาณ 15% นอกจากนี้แล้วโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้นยังสามารถตรวจสอบความเข้มของสีใบข้าวที่เป็นไฟล์ข้อมูลภาพทั้งหมด 10 ใบที่ทำการเลือกมาได้ภายในครั้งเดียวที่ทำการวัดผล

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] งามชื่น คงเสรี. 2547. คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. กรุงเทพฯ: บริษัทจักรวัฒน์ เอ็กซ์เพรส จำกัด
- [2] ฉกรรจ์ แสงรักษาวงศ์. 2547. เอกสารวิชาการข้าว. กรมวิชาการเกษตร: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

- [3] สุรพล จัตุพร อมรัตน์ อินทร์มัน และ วลัยพร แสนวงศ์. 2547. การใช้แผ่นเทียบสีใบข้าวจัดการปุ๋ยไนโตรเจนให้แก่ข้าวนาสวนในเขตชลประทานภาคกลาง. ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 51 หน้า.
- [4] ประเสริฐ โกศัลวิตร. 2547. การผลิตข้าวคุณภาพดีเพื่อการส่งออก. กรมการข้าว: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- [5] วิจิตร เบนจสิตล. 2539. เอกสารวิชาการพันธุ์พืช. กรมวิชาการเกษตร: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- [6] Cheni, W. Shii, Y. Q. and Xuan, G. 2007. Identifying computer graphics using HSV color model and statistical moments of characteristic functions. *ICME*. pp 1123-1126.
- [7] Rezaee, M. R. and Reiber, J. H. C. 2000. A multiresolution image segmentation technique based on pyramidal segmentation and fuzzy clustering. *IEEE Transactions on image processing, VOL. 9, NO. 7*. pp1238-1248.
- [8] Smola, A. J. and Scholkopf, B. 1998. A tutorial on support vector regression. *Technical report. NC2-TR-1998-030, ESPRIT working group in neural and computational learning*. Oct. 1998.
- [9] Gunn, S. 1998. Support vector machines for classification and regression. *ISIS Technical Report ISIS-1-98, Image Speech & Intelligent Systems Research Group*. University of Southampton.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยสนับสนุนงบประมาณวิจัย 2553 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และ ข้อมูลสำหรับงานวิจัยตัวอย่างพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 และแผ่นเทียบสีใบข้าวได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก คุณเฉลิมชาติ ฤาไชยคาม เจ้าหน้าที่ศูนย์งานวิจัยระดับ 5 ประจำศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี 72000 โทรศัพท์: 0-3555-5340 โทรสาร: 0-3555-5276-5

การจำแนกข้อมูลโดยวิธีการรวมกลุ่มของเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมโดยการ เลือกตัวแทนที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

เดช ธรรมศิริ¹ และ พยุง มีสัจ²

บทคัดย่อ—ในปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากที่เสนอวิธีการคัดแยกข้อมูลยังไม่มีขั้นตอนวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการคัดแยกข้อมูล ในงานวิจัยนี้เสนอแนวคิดในการหาโมเดลที่เหมาะสมโดยเน้นให้มีประสิทธิภาพความแม่นยำสูงขึ้นในการจำแนกข้อมูล โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพด้วยข้อมูล Austrian Credit และ Bankruptcy Data โดยได้นำเอาเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมและการรวมกลุ่มของตัวจำแนกข้อมูลร่วมด้วยการเลือกตัวแทนที่เหมาะสมโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เปรียบเทียบผลการวิจัยกับ เทคนิคต้นไม้ช่วยตัดสินใจ เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม พบว่าเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมและการรวมกลุ่มของตัวจำแนกข้อมูลร่วมด้วยการเลือกตัวแทนที่เหมาะสมโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จะให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด สำหรับข้อมูล Austrian Credit ที่ 89.02% และ ข้อมูล Bankruptcy Data ที่ 68.05%

คำสำคัญ: เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม วิธีเชิงพันธุกรรม วิธีการรวมกลุ่ม

1. บทนำ

ปัจจุบันนักวิจัยจำนวนมากได้ให้ความสำคัญกับปัญหาที่ต้องการวิธีการจำแนกข้อมูลที่แม่นยำ โดยมีการนำเสนอวิธีการที่หลากหลาย วิธีการที่นำเอาวิธีการทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) มาประยุกต์ใช้ เช่น เทคนิคต้นไม้ช่วยตัดสินใจ (Decision Tree Models) [1] เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks หรือ ANN) [2] เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine หรือ SVM) [3] แต่ถึงแม้ว่าเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม จะเป็นโมเดลในการจำแนกข้อมูลที่ดี หากแต่มีความไวต่อ การกำหนดโครงสร้าง การเลือกใช้

ค่าพารามิเตอร์ (Parameter) การเลือกใช้ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer Function) และข้อมูลที่นำมาเรียนรู้ โดยทั่วไปแล้ว ตัวจำแนกข้อมูลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบโมเดลเดี่ยว (Single Model) นั้นจะมีการกำหนดกลุ่มของข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้รวมทั้งมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ตายตัว บางครั้งทำให้เกิดปัญหาความโน้มเอียง (Bias) ทำให้บางครั้งได้ประสิทธิภาพที่ไม่ดีนัก หนทางหนึ่งที่จะสามารถลดค่าความโน้มเอียงได้คือการใช้วิธีการเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม (Ensemble) ซึ่งวิธีการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มนั้น สามารถสร้างความหลากหลายและลดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากความแปรปรวนได้ และนอกจากนั้นยังมีความเชื่อที่ว่า สามารถที่จะสร้างโมเดลสำหรับจำแนกข้อมูลที่มีประสิทธิภาพที่ดีมากกว่าการใช้โมเดลแบบเดี่ยว ดังเช่นงานวิจัยของ Yao และคณะ [4] ได้นำเสนอการรวมกลุ่มช่วยในการตัดสินใจโดยใช้เทคนิคต้นไม้ช่วยตัดสินใจ ร่วมกับวิธีการ Boosting โดยได้ทดสอบประสิทธิภาพกับข้อมูลจาก UCI ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าวให้ประสิทธิภาพที่ดีมากกว่าโมเดล

¹ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
E-mail: dechit@msn.com

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
E-mail: pmeesad@gmail.com

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
เลขที่ 1518 ถนนพิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ
กรุงเทพฯ ๑ 10800

แบบเดี่ยว ส่วน Jian และคณะ [5] ได้ใช้เทคนิคการรวมกลุ่มตัดสินใจร่วมกับเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม เข้ามาใช้ในการแก้ปัญหาการวิเคราะห์ตัวเลขที่เขียนด้วยลายมือ โดยใช้เทคนิค Bagging ทำการรวมกลุ่มตัวจำแนกข้อมูลที่สร้างขึ้นมาจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Multilayer Feed Forward ผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับโมเดลแบบเดี่ยวทั้งในส่วนข้อมูลสอนและข้อมูลทดสอบพบว่า วิธีการที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่า จะเห็นได้ว่าเทคนิคการรวมกลุ่มสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับโมเดลได้ หากแต่ปัญหาที่พบคือ การใช้ตัวจำแนกจำนวนมากหรือทั้งหมดอาจไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้ ดังนั้นสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างตัวจำแนกข้อมูลให้หลากหลาย อีกทั้งการเลือกใช้ตัวจำแนกข้อมูลที่เหมาะสม โดยใช้วิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมสำหรับนำไปสร้างโมเดลใหม่ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อนำไปใช้สำหรับการจำแนกข้อมูล

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN)

การเรียนรู้ของนิวรอนเน็ตเวิร์ก [6] ทำได้โดยการส่งข้อมูลเข้ามายังส่วนที่เรียกว่าเพอร์เซ็ปตรอน (perceptron) สามารถเทียบได้กับเซลล์สมองของมนุษย์ โดยที่เพอร์เซ็ปตรอนทำการรับข้อมูลที่อยู่ในรูปของเมทริกซ์ซึ่งเป็นตัวเลข เข้ามาคำนวณ

Function ผลรวม (Summation Function)

มีการทำงานดังสมการที่ (1)

$$n = \sum_{i=1}^z x_i w_i + b \quad (1)$$

โดยที่ ตัวแปร n คือ ผลรวมที่ได้จากฟังก์ชันผลรวม

ตัวแปร x_i คือ ค่าข้อมูลเข้าตัวที่ i

ตัวแปร w_i คือ ค่าน้ำหนักของนิวรอนตัวที่ i

ตัวแปร z คือ จำนวนนิวรอนชั้นข้อมูลเข้า

ตัวแปร b คือ ค่าความโน้มเอียง

ตัวแปร i มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง z

การเรียนรู้แบบเพอร์เซ็ปตรอนมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เริ่มจากการสุ่มค่าน้ำหนัก w_i
- 2) เทียบเพอร์เซ็ปตรอนกับข้อมูลที่นำมาสอน ทำการปรับแก้ไขน้ำหนัก เมื่อเพอร์เซ็ปตรอนแยกตัวอย่างผิดพลาด
- 3) ทำการวนซ้ำข้อมูลที่ใช้สำหรับการสอน จนกระทั่งเพอร์เซ็ปตรอน แยกตัวอย่างถูกต้องทั้งหมด
- 4) น้ำหนักถูกปรับตาม $W_i \leftarrow W_i + \Delta W_i$

โดย $\Delta w_i = \alpha \times error \times input = \alpha(t - a)x_i$

เมื่อ t เป็นผลลัพธ์ที่ถูกต้อง a เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากเพอร์เซ็ปตรอน และ α เป็นค่าที่แสดงอัตราการเรียนรู้

2.2 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

เป็นเทคนิคสำหรับค้นหาผลเฉลย (Solutions) หรือคำตอบโดยประมาณของปัญหา โดยอาศัยหลักการจากทฤษฎีวิวัฒนาการจากชีววิทยา และ การคัดเลือกตามธรรมชาติ (Natural Selection) นั่นคือ สิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมที่สุดจึงจะอยู่รอด ด้วยตัวปฏิบัติการทางพันธุกรรม (Genetic Operator) [7] เช่น การถ่ายทอดพันธุกรรม (Inheritance) การคัดเลือกกลุ่ม (Selection) การกลายพันธุ์ (Mutation) และการ สลับสายพันธุ์ (Crossover) เป็นต้น

2.3 วิธีการเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม (Ensemble)

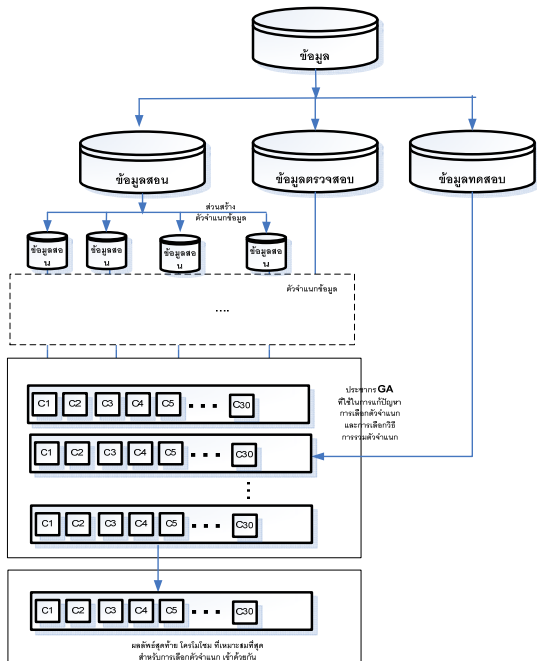
ในงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วย ตัวจำแนกข้อมูลที่ได้จากการเรียนรู้ด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้ได้ตัวจำแนกข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ จากนั้นนำตัวจำแนกข้อมูลเหล่านั้นมารวมกันตัดสินใจ โดยใช้วิธีการโหวตเสียงข้างมาก (Majority Vote) ซึ่งวิธีการนี้ง่ายต่อการใช้งาน มีวิธีการคือ กำหนดค่า f_k โดยที่ ($k=1, 2, \dots, K$) ซึ่ง K คือ จำนวนของตัวจำแนกข้อมูล และ $f_k(x) = c, c \in \{+1, -1\}$ โดยที่ฟังก์ชันในการ

ตัดสินใจจะตัดสินใจผลลัพธ์ที่ได้ว่าอยู่ในคลาส +1 หรือ คลาส -1 สุดท้ายนำค่าฟังก์ชัน $f_c(x)$ ที่ได้จากตัวจำแนกข้อมูลมาตัดสินใจร่วมกัน โดยดูที่เสียงข้างมากว่าตัดสินใจเป็นคลาส +1 หรือ คลาส -1 โดยมีสมการดังสมการที่ (2)

$$f_c(x) = \arg \max_c \sum_{k: f_k(x)=c} 1 \quad (2)$$

3. โมเดลที่นำเสนอ

ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอการสร้างโมเดลสำหรับจำแนกข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้วิธีการสร้างตัวจำแนกข้อมูลที่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์และกลุ่มข้อมูลสำหรับเรียนรู้ที่หลากหลาย เพื่อต้องการสร้างตัวจำแนกข้อมูลที่แตกต่างกัน จากนั้นทำการเลือกตัวจำแนกข้อมูลเหล่านั้นมาทำการช่วยกันตัดสินใจโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม



ภาพที่ 1 การสร้างตัวจำแนกข้อมูลรวมทั้งการเลือกใช้ตัวจำแนกข้อมูลด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม

3.1 ขั้นตอนการทำงานของโมเดล

วิธีการเข้ารหัสโครโมโซม กำหนดให้ตัวจำแนกทั้งหมด N ตัวในกลุ่มของตัวจำแนกแทนด้วยตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง N โดยที่สายของโครโมโซมจะประกอบไปด้วยตัวเลขแบบไบนารี จำนวน N ตัว โดยตำแหน่งของเลขไบนารีจะถูกกำหนดลำดับที่ i เลขไบนารีจะมีค่า 2 ค่าได้แก่ 0 ซึ่งมีความหมายว่าตัวจำแนกนั้นจะไม่ถูกเลือก และ 1 ซึ่งมีความหมายว่าตัวจำแนกนั้นจะถูกเลือกใช้ ตัวอย่างเช่น โครโมโซม = 1100010001 (เมื่อ $N = 10$) มีความหมายว่า ตัวจำแนกที่ 1, 2, 6 และ 10 ถูกเลือกมาใช้งาน ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2 โครโมโซม

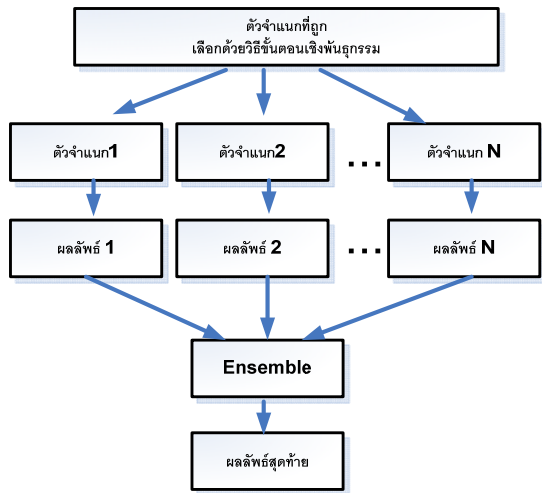


ภาพที่ 3 ตำแหน่งที่ในโครโมโซม



ภาพที่ 4 ตำแหน่งตัวจำแนกข้อมูลที่ถูกเลือกมาใช้งาน

จากนั้นนำตัวจำแนกข้อมูลที่ถูกเลือกในขั้นตอนก่อนหน้ามาทำการรวมกลุ่มกันเพื่อช่วยในการตัดสินใจ (Ensemble) การตัดสินใจเทคนิคการโหวตเสียงข้างมาก (Majority Vote) ผลลัพธ์ได้มาจากการวัดประสิทธิภาพความแม่นยำในการจำแนกข้อมูล (Accuracy) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 โมเดลการเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม (Ensemble)

สำหรับขั้นตอนเชิงพันธุกรรมได้ทำการกำหนดโครโมโซมเริ่มต้นที่ 30 โครโมโซม กำหนดจำนวนเจนเนอเรชั่น (Generation) ไว้ที่ 50 เจนเนอเรชั่น การไขว้ข้าม (Cross over) ใช้การไขว้ข้ามแบบสม่ำเสมอ กำหนดอัตราไว้ที่ 0.6 การเปลี่ยนค่า (Mutation) ใช้วิธีการแบบสุ่ม 1 จุด กำหนดอัตราไว้ที่ 0.1 การประเมินค่าความแข็งแรง (Fitness Evaluation) ใช้ค่า Mean Absolute Percent Error (MAPE) ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการรวมกันของตัวจำแนกข้อมูลด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมจากนั้นคัดเลือกเป็นประชากรรุ่นใหม่ ใช้วิธีการคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ตต์ (Roulette Wheel Selection) ร่วมด้วยวิธีการคัดเลือกชั้นยอด (Elitism Selection) กำหนดการคัดเลือกชั้นยอด (Elitism Selection) ไว้ที่ 5 โครโมโซม และการคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ตต์ (Roulette Wheel Selection) ไว้ที่ 25 โครโมโซม

3.2 ข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวัดประสิทธิภาพของโมเดล งานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้กลุ่มข้อมูล ทั้งสิ้น 2 กลุ่มข้อมูลซึ่งประกอบด้วยข้อมูลจาก UCI ซึ่งเป็นข้อมูลเปิดสำหรับนำไปทดสอบประสิทธิภาพอัลกอริทึมทางด้าน AI ได้แก่ฐานข้อมูล Austrian Credit [8] ข้อมูลอีกส่วนหนึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงในงานวิจัยของนักศึกษาระดับปริญญาเอก ได้แก่ข้อมูล Bankruptcy data [9] รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดข้อมูลที่ใช้

	ตัวอย่าง	แอตทริบิว	คลาส	คลาส
			ส +1	-1
Austrain Credit	690	14	307	383
Bankruptcy Data	240	30	128	112

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ซีพียู Intel Celeron M ความเร็ว 1.87 GHz. หน่วยความจำหลัก 1.5 Gb. สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาได้ใช้ LibSVM [10] ซึ่งเป็น Open Source สำหรับใช้ทดสอบเทคนิคซอฟต์แวร์แมชชีน

3.3. โมเดลที่ใช้เปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2 : รายละเอียดโมเดลที่ทดลอง

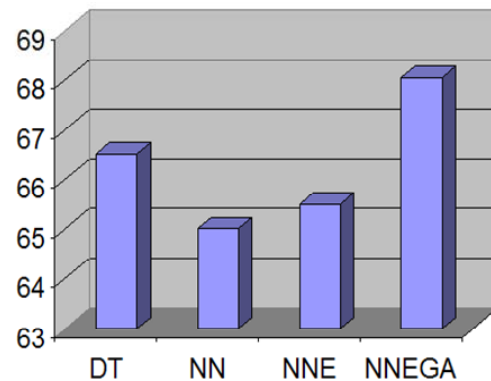
โมเดล	รายละเอียดโมเดลที่ทดลอง	ชื่อย่อ
1	Decision Tree	DT
2	Neural Network	NN
3	NN+Ensemble	NNE
4	NN+Ensemble+GA	NNEGA

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

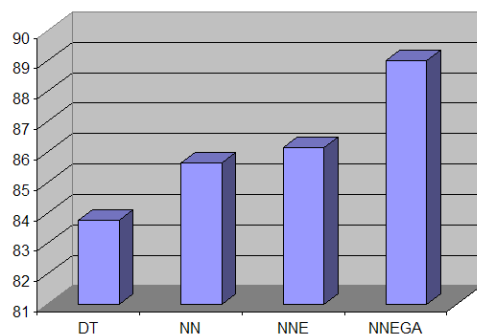
ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยสำหรับฐานข้อมูล Austrian Credit พบว่า โมเดล NNEGA ให้ผลความแม่นยำที่สูงที่สุด คือ 89.01% รองลงมาเป็นโมเดล GSVMC ให้ผลความแม่นยำ 86.93% โมเดล GSVM ให้ผลความแม่นยำที่ 86.13% โมเดล NN ให้ผลความแม่นยำที่ 85.65% และโมเดล DT ให้ผลความแม่นยำที่ 83.77% ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 และภาพที่ 6

ตารางที่ 3 : เปรียบเทียบผลที่ได้จากแต่ละโมเดล

ข้อมูล Austrian Credit	
โมเดล	ความแม่นยำ(%)
DT	83.77
NN	85.65
NNE	86.13
NNEGA	89.01



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบผลที่ได้จากแต่ละโมเดล



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบผลที่ได้จากแต่ละโมเดล

ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยสำหรับฐานข้อมูล Bankruptcy Data พบว่า โมเดล NNEGA ให้ผลความแม่นยำที่สูงที่สุด คือ 89.01% รองลงมาเป็นโมเดล GSVMC ให้ผลความแม่นยำ 86.93% โมเดล GSVM ให้ผลความแม่นยำที่ 86.13% โมเดล NN ให้ผลความแม่นยำที่ 85.65% และโมเดล DT ให้ผลความแม่นยำที่ 83.77% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4 และภาพที่ 7

ตารางที่ 4 : เปรียบเทียบผลที่ได้จากแต่ละโมเดล

ข้อมูล Bankruptcy Data	
โมเดล	ความแม่นยำ(%)
DT	66.50
NN	65.00
NNE	65.50
NNEGA	68.05

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองจะพบว่า แนวทางในการนำตัวจำแนกข้อมูลที่หลากหลายมาร่วมกันตัดสินใจสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำได้มากกว่าการใช้วิธีการแบบโมเดลเดี่ยว (Single Model) อันเนื่องมาจากการใช้เทคนิคการรวมกลุ่มสามารถลดการเกิดปัญหาความโน้มเอียง (Bias) ซึ่งปัญหานี้มักเกิดขึ้นจากการกำหนดกลุ่มของข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ รวมทั้งมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ตายตัว อีกทั้งในการทดลองยังพบว่า จำนวนตัวจำแนกที่มากไม่ทำให้โมเดลที่ได้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเสมอไป หากแต่การเลือกใช้ตัวจำแนกที่เหมาะสมจะช่วยให้โมเดลที่ได้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

5. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างโมเดลที่มีประสิทธิภาพ สำหรับการจำแนกข้อมูล ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการนำเอาเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม ร่วมกันตัดสินใจด้วยเทคนิคการรวมกลุ่ม โดยใช้วิธีการโหวตเสียงข้างมาก พบว่าเทคนิคการรวมกลุ่มช่วยกันตัดสินใจข้างต้นให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้เทคนิคแบบโมเดลเดี่ยว นอกจากนั้นยังพบอีกว่าการเลือกใช้ตัวจำแนกข้อมูลที่เหมาะสมในการรวมกลุ่มเพื่อตัดสินใจจะทำให้โมเดลที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพราะเมื่อนำตัวจำแนกข้อมูลที่หลากหลายมา

รวมกันด้วยวิธีการรวมกลุ่มของตัวจำแนกเป็นการลดปัญหาการเกิดไบแอสของข้อมูลและตัวจำแนกที่ดีแต่ละตัวช่วยกันเสริมประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลทำให้โมเดลที่ได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ในอนาคตผู้วิจัยมีแนวคิดในการนำเอาวิธีการอื่นมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งลดระยะเวลาในการทำงานของโปรแกรม

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Karine Zeitouni and Nadjim Chelghoum. 2001. "Spatial Decision Tree-Application to Traffic Risk Analysis," ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA'01), pp.0203,
- [2] เดช ธรรมศิริ ณรงค์ โพธิ วาทีนี นุ้ยเพียร ภัทราวุฒิ แสงศิริ ภรณ์ชา อำนวยรัตน์ และพยุ่ง มีสัจ. 2551. "การให้คะแนนสินเชื่อโดยวิธีการทำเหมืองข้อมูล ด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม แบบแพร่กระจายย้อนกลับ", NCCIT2008.
- [3] เดช ธรรมศิริ และพยุ่ง มีสัจ. 2553. "การจำแนกข้อมูลโดยวิธีการรวมกลุ่มของเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนโดยการปรับพารามิเตอร์ด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมรวมทั้งการเลือกใช้ลักษณะที่เหมาะสมด้วยวิธีการสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์", NCCIT2010.
- [4] Yao Yu, Fu Zhong-liang, Zhao Xiang-hui and Cheng Wen-fang. 2009. "Combining Classifier Based on Decision Tree," WASE International Conference on Information Engineering (ICIE'2009), vol. 2, pp.37-40.
- [5] Jian Wang, Jingfeng Yang, Shaofa Li, Qiufang Dai and Jiaying Xie. 2007. "Number Image Recognition Based on Neural Network Ensemble," Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007) vol. 1, pp.237-240,
- [6] พยุ่ง มีสัจ. 2553. *ระบบฟัซซีและโครงข่ายประสาทเทียม*, เอกสารประกอบการสอน คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [7] Holland, J. H. 1962. "Outline for a logical theory of Adaptive systems," Journal of the Association for Computing Machinery. Vol. 3, pp. 297-314, 1962.
- [8] Australian Credit Approval Data set. 2008. Retrieved February, 10, 2008, From <http://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/statlog/australian/>.
- [9] Pietruszkiewicz, W. 2004. Application of discrete Predicting structures in an earlywarning expert system for financial distress. Ph.D. Thesis, Szczecin, Technical University, Szczecin.
- [10] Chang, Chih-Chung., and Lin, Chih-Jen. 2008 Retrieved August, 8, 2008, from <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>.

วงจรกำเนิดสัญญาณชายน้ควอเดรเจอร์โหมดกระแสที่ใช้ CCCDTA กับ CCCII

ณัฐพันธ์ ดวงมัลย์¹ ปรัชญา พนมอุปถัมภ์¹ และ วินัย ใจกล้า²

บทคัดย่อ— บทความนี้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณชายน้แบบควอเดรเจอร์โหมดกระแสที่มีอิมพีแดนซ์ที่เอาต์พุตสูง ใช้ CCCDTA กับ CCCII เป็นอุปกรณ์แอกทีฟ จุดเด่นของวงจรที่นำเสนอคือ สามารถปรับความถี่และเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกันด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างของวงจรไม่ซับซ้อน ประกอบไปด้วย CCCDTA จำนวน 1 ตัว CCCII จำนวน 1 ตัวและตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์อีก 2 ตัว วงจรที่นำเสนอจึงเหมาะที่จะนำไปพัฒนาเป็นวงจรรวม ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSPICE พบว่าวงจรทำงานได้สอดคล้องตามที่คาดการณ์ไว้ในทางทฤษฎี

คำสำคัญ วงจรกำเนิดสัญญาณชายน้ โหมดกระแส CCCDTA CCCII

1. บทนำ

ในปัจจุบันนั้นจะพบว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาที่ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตมนุษย์เป็นอย่างมาก ดังนั้นวงจรที่อยู่ข้างในจะต้องสามารถใช้งานที่แรงดันต่ำๆ และดึงกำลังงานต่ำๆเพื่อให้สามารถใช้งานได้เป็นเวลานาน หนึ่งในเทคนิคที่นิยมนำมาออกแบบวงจรในอุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ เทคนิควงจรในโหมดกระแส โดยเทคนิคนี้มีข้อดีหลายประการ เช่น มีแบนด์วิดท์กว้าง มีความเป็นเชิงเส้นสูง มีค่าพิสัยพลวัตกว้างและวงจรมีความง่ายเมื่อเทียบกับวงจรที่ทำงานในโหมดแรงดัน [1] ดังนั้นจึงมีวงจรประมวลผลสัญญาณที่ทำงานในโหมดกระแสได้ถูกนำเสนอไว้มากมายในวารสารต่าง ๆ

วงจรกำเนิดสัญญาณชายน้เป็นวงจรที่สำคัญและถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ระบบสื่อสาร ระบบเครื่องมือวัด ระบบเครื่องมือแพทย์ ในห้องทดลองอิเล็กทรอนิกส์ ระบบประมวลผลสัญญาณ เป็นต้น ลักษณะเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณนิยมนำมาพัฒนาให้สามารถกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นชายน้ได้สองสัญญาณที่มีเฟสต่างกัน 90° หรือที่เรียกว่าสัญญาณควอเดรเจอร์ ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ในระบบสื่อสาร เช่น ในการมอดูเลตสัญญาณ SSB เป็นต้น [2]

โดยเฉพาะอย่างแล้ว วงจรกำเนิดสัญญาณโหมดกระแสที่มีความต้านทานที่เอาต์พุตสูง ทำให้สามารถขับโหลดได้โดยตรง ไม่มีปัญหาในเรื่องของโหลดดึงเอฟเฟกต์ (Loading effected) และง่ายต่อการต่ออากาศโดยไม่ต้องใช้วงจรกันชน (buffer) [3-4] รวมถึงการออกแบบวงจรที่ใช้ตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์มีข้อดีที่ทำให้ง่ายต่อการนำไปสร้างเป็นวงจรรวม [5-7]

จากการศึกษาพบว่าได้มีผู้เสนอวงจรกำเนิดสัญญาณโหมดกระแสโดยใช้อุปกรณ์แอกทีฟที่แตกต่างกันไป เช่น วงจรขยายความนำถ่ายไอออน [10, 16], วงจรสายพานกระแส [6], Four-Terminal Floating Nullors (FTFN) [3-4], วงจรตามกระแส [8-9], current controlled current differencing buffered amplifiers

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคนครพนม มหาวิทยาลัยนครพนม 214 หมู่ 12 บ.ภูเขาทอง ต.หนองญาติ อ.เมือง จ.นครพนม 48000

โทรศัพท์: +66(42)-503-672 โทรสาร: +66(42)-511-484

E-mail: tosapol@npu.ac.th

²สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

โทรศัพท์: +66(2)-913-2500 โทรสาร: +66(2)-587-8255

E-mail: winai.ja@hotmail.com

(CCCDTA) [12], current controlled current differencing transconductance amplifiers (CCCDTA) [13-14], fully-differential second-generation current conveyor (FDCCII) [15] และ differencing voltage current conveyor (DVCCs)

[11] เป็นต้น แต่วงจรเหล่านี้ยังมีข้อด้อยดังต่อไปนี้

- ใช้อุปกรณ์แอกทีฟและพาสซีฟจำนวนมากโดยเฉพาะตัวต้านทาน [3-4, 6, 11]
- ไม่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ [3-4, 6, 8-9, 11]
- ความต้านทานที่เอาต์พุตไม่สูง ดังนั้นกระแสเอาต์พุตจึงไม่สามารถต่อใช้งานกับโหลดได้โดยตรง [3-4, 6, 8-14, 16]
- ใช้ตัวเก็บประจุแบบลอยซึ่งไม่เหมาะสมที่จะสร้างเป็นวงจรรวม [11]
- ไม่สามารถควบคุมเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกัน [8-10]

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณควอแดรเจอร์โหนดกระแสที่ใช้ CCCDTA และ CCCII เงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณสามารถควบคุมได้อย่างอิสระจากกัน วงจรประกอบไปด้วยเพียง CCCDTA และ CCCII อย่าง 1 ตัวและตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์อีก 2 ตัว นอกจากนี้วงจรที่นำเสนอมีเอาต์พุตอินพุตที่แคบสูงจึงง่ายต่อการต่อคาสเคด ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSPICE สอดคล้องกับที่ได้คาดการณ์ไว้ในทางทฤษฎี

2. หลักการทำงานของวงจร

2.1 Current Controlled Current Differencing Transconductance Amplifier (CCCDTA)

CCCDTA ได้มีการนำเสนอครั้งแรกโดย [17] ซึ่งความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของ CCCDTA แสดงด้วยสมการในเชิงเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_y \\ V_x \\ I_z \\ I_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ R_x & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & g_m & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x \\ V_y \\ V_z \\ V_o \end{bmatrix} \quad (1)$$

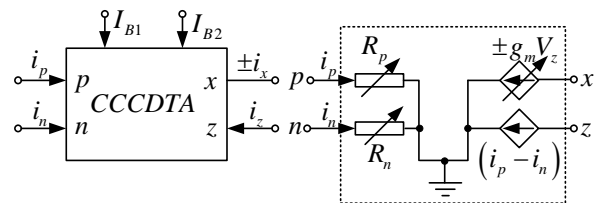
โดยที่ CCCDTA มีค่าความต้านทานแฝงทางด้านอินพุตของขั้ว p และ n คือ R_p และ R_n ในกรณีนี้ที่สร้างจากทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ มีสมการดังนี้

$$R_p = R_n = \frac{V_T}{2I_{B1}} \quad (2)$$

ค่าความนำถ่ายโอนของ CCCDTA สามารถควบคุมได้ที่ I_{B2} ดังแสดงได้ตามสมการที่ (3)

$$g_m = \frac{I_{B2}}{2V_T} \quad (3)$$

เมื่อ V_T เป็นศักดาความร้อน CCCDTA มีสัญลักษณ์และวงจรสมมูลดังรูปที่ 1 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



ภาพที่ 1 CCCDTA (ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรสมมูล

2.2 วงจรสายพานกระแสยุคที่สองที่ควบคุมด้วยกระแส (CCCII)

วงจรสายพานกระแสยุคที่สองที่ควบคุมด้วยกระแส เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โหนดกระแสที่มี 4 ขั้ว โดย CCCII ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Fabre และคณะ ในปี ค.ศ. 1995 [18] ซึ่งได้พัฒนามาจากวงจรสายพานกระแสยุคที่สอง (CCII) แต่ CCCII จะมีความสมบัติพิเศษกว่า CCII ที่สามารถควบคุมความต้านทานแฝงที่ขั้วอินพุตได้ด้วยกระแสไบแอสจากภายนอกซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดในลำดับต่อไป ในจำนวน 4 ขั้วของ CCCII สามารถแบ่งออกได้เป็นสามกลุ่มคือ ขั้วสัญญาณอินพุต 2 ขั้ว (x และ y) ขั้วกระแส

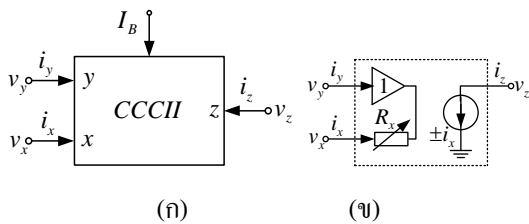
เอาต์พุต 1 ขั้ว (z) และขั้วกระแสควบคุม 1 ขั้ว (I_B) โดยสัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ CCCII แสดงได้ดังภาพที่ 2 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสที่ขา X, Y และ Z ของ CCCII ในอุดมคติ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการเมตริกซ์ ดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} i_y \\ v_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & R_x & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ i_x \\ v_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

เมื่อ CCCII ที่มีโครงสร้างเป็นทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ ความต้านทานที่ขั้ว x สามารถแสดงได้เป็น

$$R_x = \frac{V_T}{2I_B} \quad (5)$$

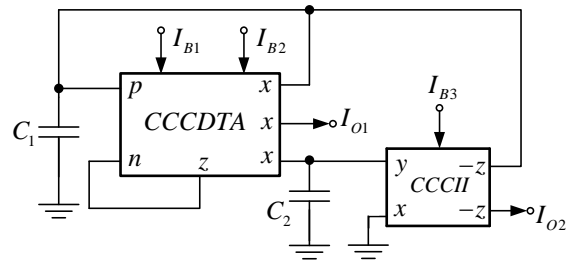


ภาพที่ 2 CCCII (ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรสมมูล

2.2 วงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ

โครงสร้างของวงจรกรองความถี่ที่นำเสนอแสดงได้ดังรูปที่ 3 โดยที่ I_{B1} และ I_{B2} เป็นค่ากระแสไบแอสของ CCCDTA ส่วน I_{B3} เป็นค่ากระแสไบแอสของ CCCII เมื่อพิจารณาวงจรในรูปที่ 2 และใช้คุณสมบัติของ CCCCTA และ CCCII ในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 จะได้สมการคุณสมบัติของวงจร (Characteristic Equation) เป็น

$$2s^2 C_1 C_2 R_x R_p + s C_2 R_x (2 - g_m R_n) + g_m R_n = 0 \quad (6)$$



ภาพที่ 3 วงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ

จากสมการที่ (4) เมื่อ $R_p = R_n = R$ พบว่าวงจรจะสามารถให้กำเนิดสัญญาณได้ เมื่อ

$$2 = g_m R \quad (7)$$

สมการที่ (7) เรียกว่าเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ และสามารถหาความถี่ที่กำเนิดได้ดังนี้

$$\omega_{osc} = \sqrt{\frac{g_m}{2C_1 C_2 R_x}} \quad (8)$$

จากสมการที่ (7) และ (8) เมื่อ R , g_m และ R_x เท่ากับสมการที่ (2), (3) และ (5) จะได้เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณใหม่ ดังนี้

$$I_{B2} = 8I_{B1} \quad (9)$$

และ

$$\omega_{osc} = \frac{1}{V_T} \sqrt{\frac{I_{B2} I_{B3}}{2C_1 C_2}} \quad (10)$$

จากสมการที่ (9) และ (10) พบว่าสามารถปรับความถี่ในการกำเนิดสัญญาณและเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกันนั่นคือ ปรับเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณที่ I_{B2} กับ I_{B1} ส่วนความถี่ในการกำเนิดสัญญาณปรับได้ที่ I_{B3}

เมื่อพิจารณาวงจรในรูปที่ 3 จะได้ฟังก์ชันโอนย้ายของ I_{O1} และ I_{O2} เป็น

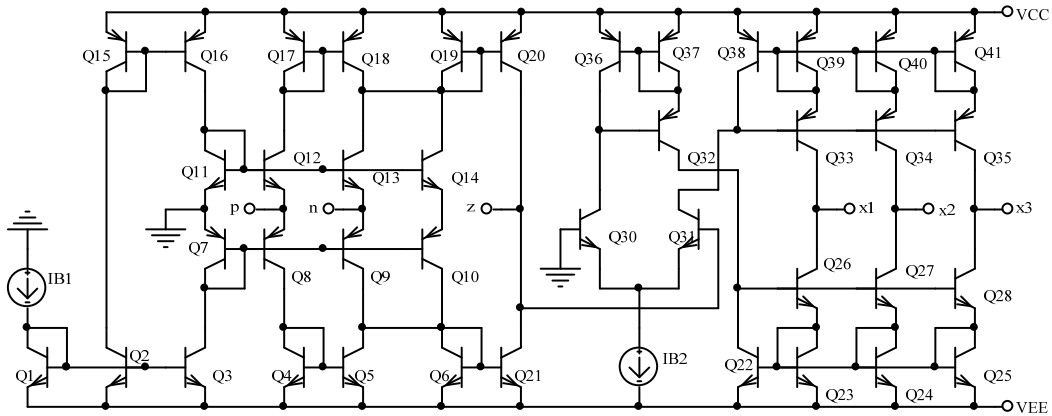
$$\frac{I_{O2}(s)}{I_{O1}(s)} = \frac{1}{sC_2R_x} \quad (11)$$

จะพบได้ว่า I_{O1} และ I_{O2} จะมีเฟสต่างกัน

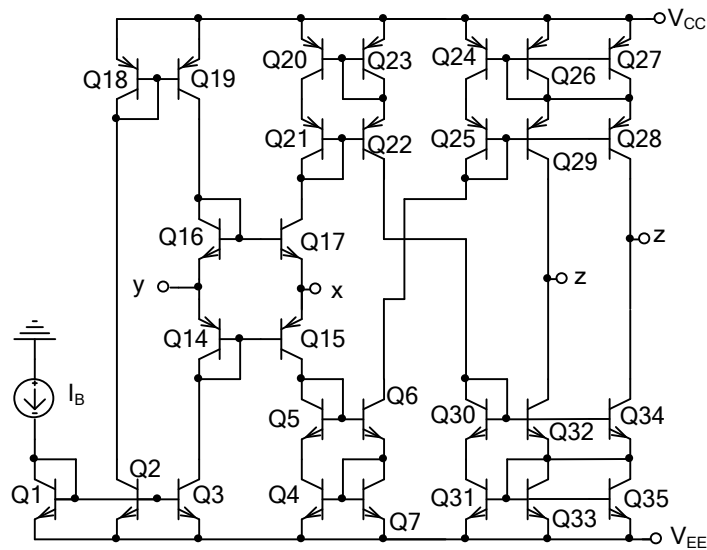
$$\phi = -90^\circ \quad (13)$$

เมื่อพิจารณาในช่วงอยู่ตัวของสัญญาณไซน์จากสมการที่ (7) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$\frac{I_{O2}(j\omega)}{I_{O1}(j\omega)} = \frac{1}{\omega C_2 R_x} e^{-90^\circ} \quad (12)$$



ภาพที่ 4 โครงสร้างภายในของ CCCDTA



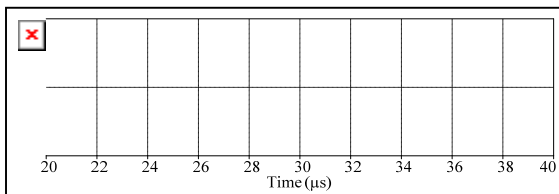
ภาพที่ 5 โครงสร้างภายในของ CCCII

3. ผลการจำลองการทำงาน

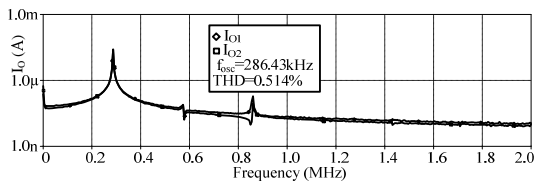
เพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะของวงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ จึงได้จำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice สำหรับทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจร ได้ใช้

พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์เบอร์ PR200N และ NR200N ตามลำดับ ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์อาร์เรย์ ALA400 ของ AT&T [17] โดยกำหนดให้วงจรทำงานที่แรงดัน $\pm 2.5V$ โดย CCCDTA และ CCCII มี

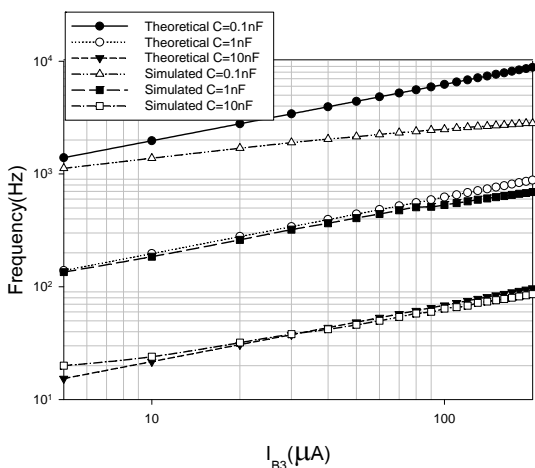
โครงสร้างภายในแสดงดังรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ เมื่อปรับกระแสไบอัส $I_{B1} = 25\mu A$, $I_{B2} = 204\mu A$, $I_{B3} = 25\mu A$ และ $C_1 = C_2 = 1nF$ ตามลำดับ ผลการจำลองการทำงานลำดับแรกแสดงในภาพที่ 6 เป็นกระแสเอาต์พุต I_{O1} และ I_{O2} จะพบว่าสัญญาณทั้งสองมีเฟสต่างกัน 90° ตามที่ได้วิเคราะห์ไว้ในสมการที่ (11) ส่วนในภาพที่ 7 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่มีความถี่ $286.43kHz$ ซึ่งมีค่าผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกส์ (THD) เท่ากับ 0.514% ค่าความถี่ในการกำเนิดเมื่อเปลี่ยนค่ากระแสไบอัส I_{B3} และตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ให้มีค่าเท่ากันแสดงไว้ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 6 สัญญาณเอาต์พุต



ภาพที่ 7 สเปกตรัมของสัญญาณที่มีความถี่ $286.43kHz$



ภาพที่ 8 ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับกระแสไบอัสและตัวเก็บประจุ

4. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้ได้นำเสนอ วงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอเดรเจอร์โหมดกระแสโดยใช้ CCCDTA และ CCCII ลักษณะเด่นของวงจรที่นำเสนอในบทความนี้คือ สามารถให้ปรับค่าความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE พบว่าวงจรทำงานได้สอดคล้องกับที่คาดการณ์ไว้ วงจรมีอัตราการใช้พลังงาน $4.26mW$ ที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ± 2.5 โวลต์ นอกเหนือจากนี้ด้วยโครงสร้างของวงจรที่ประกอบไปด้วย CCCDTA และ CCCII อย่างละ 1 ตัว ร่วมกับตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์อีก 2 ตัว จึงมีความเหมาะสมในการพัฒนาไปสู่วงจรรวม เพื่อนำไปใช้ในระบบสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายกำลัง อีกทั้งความต้านทานที่เอาต์พุตมีค่าสูงจึงสามารถต่อโหลดหรือต่ออากาศเคได้โดยไม่ทำให้คุณสมบัติของวงจรเปลี่ยนแปลง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Toumazou, F.J. Lidgey and D.G. Haigh, *Analogue IC design: the current-mode approach*, Peter Peregrinus, London, 1990.
- [2] I. A. Khan and S. Khawaja, "An integrable gm-C quadrature oscillator," *Int. J. Electronics*, vol. 87, no. 1, pp.1353-1357, 2000.
- [3] M. T. Abuelma'atti and H. A. Al-Zaher, "Current-mode sinusoidal oscillators using single FTFN," *IEEE Trans. Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Proc.*, vol. 46, pp. 69-74, 1999.
- [4] U. Cam, A. Toker, O. Cicekoglu, and H. Kuntman, "Current-mode high output impedance sinusoidal oscillator configuration employing single FTFN," *Analog Integrated Circuits and Signal Proc.*, vol. 24, pp. 231-238, 2000.

- [5] S. S. Gupta and R. Senani, "Realisation of current-Mode SRCOs using all grounded passive elements," *Frequenz*, vol. 57, pp. 26-37, 2003.
- [6] M. T. Abuelma'atti and A.A. Al-Ghumaiz, "Novel CCI-Based single-element-controlled oscillators employing grounded resistors and capacitors," *IEEE Trans. on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 43, pp. 153-155, 1996.
- [7] M. Bhusan and R.W. Newcomb, "Grounding of capacitors in integrated circuits," *Electronic Letters*, vol. 3, pp. 148-149, 1967.
- [8] J. J. Chen, C.C. Chen, H.W. Tsao, and S.I. Liu, "Current-mode oscillators using single current follower," *Electronics Letters*, vol. 27, pp. 2056-2059, 1991.
- [9] M.T. Abuelma'atti, "Grounded capacitor current-mode oscillator using single current follower," *IEEE Trans. Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 39, pp. 1018-1020, 1992.
- [10] S. Minaei and O. Cicekoglu, "New current-mode integrator, all-pass section and quadrature oscillator using only active elements," *1st IEEE Int'l Conf. Circuits and Systems for Communications*, vol. 26-28, pp.70-73, 2002.
- [11] J. W. Horng, "Current-mode quadrature oscillator with grounded capacitors and resistors using two DVCCs," *IEICE Trans. Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, vol. E86-A, pp. 2152-2154, 2003.
- [12] W. Jaikla and M. Siripruchyanan, "A Versatile quadrature oscillator and universal biquad filter using CCCDBAs," *Proceedings of ECTI con 2006*, Ubon-ratchathani, Thailand, pp.501-504, May 2006.
- [13] W. Jaikla and M. Siripruchyanun, "A versatile quadrature oscillator and universal biquad filter using dual-output current controlled current differencing transconductance amplifier," *Proceedings of ISCIT 2006*, Bangkok, Thailand, pp. 1072-1075, 2006.
- [14] W. Jaikla and M. Siripruchyanun, "CCCDTAs-based versatile quadrature oscillator and universal biquad filter," *The Proceedings of ECTI con 2007*, Chiang Rai, Thailand, pp. 1065-1068, 2007.
- [15] J. W. Horng, C. L. Hou, C. M. Chang, H. P. Chou, C. T. Lin and Y. H. Wen, "Quadrature oscillators with grounded capacitors and resistors using FDCCIs," *ETRI Journal*, vol. 28, pp. 486-494, 2006.
- [16] K. Kumwachara and W. Surakamponorn, "An integrable temperature-insensitive gm-RC quadrature oscillator," *Int. J. Electronics*, vol. 90, no. 1, pp.599-605, 2003.
- [17] W. Jaikla and M. Siripruchyanun, "Current Controlled Current Differencing Transconductance Amplifier (CCCDTA): A New Building Block and Its Applications," *Proceedings of ECTI conference 2006*, Ubon-ratchathani, Thailand, pp. 348-351, 2006.
- [18] A. Fabre, O. Saaïd, F. Wiest, and C. Boucheron, "Current controllable bandpass filter based on translinear conveyors," *Electronics Letters*, vol. 31, pp.1727-1728, 1995.
- [19] D. R. Frey, "Log-domain filtering: an approach to current-mode filtering," *IEE Proceedings of Circuit Devices Systems*, vol. 140, pp. 406-416, 1993.

การแก้ปัญหาการชนกันของเครื่องอ่าน RFID ที่มีการสื่อสารแบบเฟรมอะโลฮา

ธนัสถ์ นนทพุทธ¹ ขจรศักดิ์ พงษ์ชนะ¹ และวุฒิชัย วิจิตรกุลสวัสดิ์²

บทคัดย่อ— บทความฉบับนี้ นำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาการชนกันของแท็กข้อมูล ที่ตอบสนองพร้อมกัน ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของระบบ RFID โดยอาศัยการสร้างค่า P-persistent ให้กับระบบการทำงานของโปรโตคอล อะโลฮา (ALOHA Protocol) ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่ได้รับความนิยม ทำให้สามารถลดการชนกันของข้อมูล และเพิ่มค่าวิสัยสมารถให้กับระบบได้

คำสำคัญ การชนกัน RFID การสื่อสาร อะโลฮา

1. บทนำ

RFID (Radio frequency Identification) เป็นวิธีการเก็บข้อมูลหรือระบุข้อมูลของวัตถุแบบอัตโนมัติ ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการสัมผัส มีส่วนประกอบสำคัญสองส่วนคือ ตัวอ่านข้อมูล (reader) และแท็ก (tags) ซึ่งแท็กจะแบ่งออกเป็นสามประเภทคือ แท็กชนิดพาสซีฟ (passive tags) แท็กชนิดแอ็กทีฟ (active tags) และแท็กชนิดเซมิพาสซีฟ (semi-passive tags) โดยที่แท็กชนิดพาสซีฟ ทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล ไม่จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่ในตัวเอง แต่แท็กชนิดแอ็กทีฟ และแท็กชนิดเซมิพาสซีฟ จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายใน

สำหรับเป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กทำงานได้โดยปกติ

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยี RFID มาใช้งานในด้านอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย เช่น การรักษาความปลอดภัย การติดตามสัตว์ เป็นต้น โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะเพิ่มผลผลิต ลดความผิดพลาด ลดค่าใช้จ่าย และเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบสินค้า อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่มักเกิดขึ้นกับ RFID คือการชนกันของข้อมูลที่อยู่ภายในแท็ก จากกรณีที่มีแท็กจำนวนมากเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของตัวเครื่องอ่าน ซึ่งมีพื้นที่การอ่านซ้อนทับกัน อาจทำให้เกิดปัญหาการแทรกสอด (Interference) ระหว่างกันได้ หรือที่เรียกว่า ปัญหาการชนกันของเครื่องอ่าน RFID [1] ดังนั้นจึงมีโปรโตคอลสำหรับป้องกันปัญหาการชนกัน ของเครื่องอ่าน โดยรูปแบบของโปรโตคอลที่นิยมนำมาใช้งานคือ โปรโตคอล อะโลฮา (Aloha Protocol) [2] ในส่วนของบทความฉบับนี้ เป็นการศึกษาระบบ RFID ที่ใช้โปรโตคอลแบบ frame slot Aloha ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งอาศัยหลักการการทำงานของ P-persistent [3], [4] ทำให้ลดปัญหาการชนกันของข้อมูลที่เครื่องอ่าน RFID

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เลขที่ 1 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อหยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000

โทรศัพท์: +66(7)-431-7100 โทรสาร: +66(7)-431-7123

E-mail: thanat.n@rmutt.ac.th, pkajornsak@hotmail.com

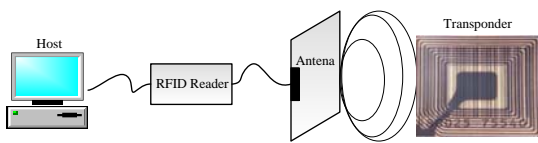
² ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เลขที่ 2 ถ.นางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

โทรศัพท์: +66(2)-287-9600 โทรสาร: +66(2)-286-3596

E-mail: pat_memo2003@hotmail.com

2. ระบบ RFID และปัญหาการชนกันของเครื่องอ่าน

RFID เป็นเทคโนโลยีสำหรับระบุตัวตนโดยอัตโนมัติ โดยใช้ลักษณะเฉพาะทางอิเล็กทรอนิกส์ของวัตถุแต่ละชิ้น จุดเด่นของ RFID คือความสามารถในการอ่านข้อมูลจากป้าย RFID โดยไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับป้ายและสามารถอ่านข้อมูลด้วยความเร็วสูง [5] ส่วนประกอบของระบบ RFID ประกอบด้วย ไอซีชิพและเสาอากาศ ที่จะเชื่อมต่ออยู่ด้วยกัน สำหรับรับ-ส่งข้อมูล



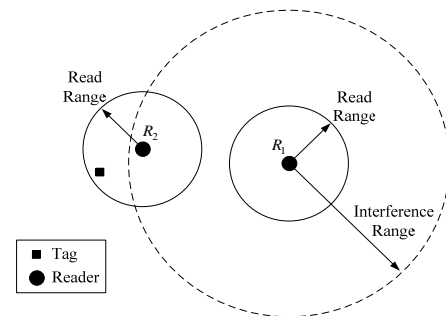
ภาพที่ 1 ระบบ RFID

หลักการเบื้องต้นสำหรับการติดต่อสื่อสารในระบบ RFID คือ เครื่องอ่าน RFID ส่งคลื่นวิทยุไปยังป้าย RFID ผ่านทางสายอากาศที่มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปล่อยออกมาตลอดเวลา เพื่อแสดงถึงความต้องการข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในแท็กส์ เมื่อแท็กส์เข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ก็จะทำการส่งข้อมูลที่มีอยู่ในแท็กส์กลับไปยังเครื่องอ่าน RFID ทั้งนี้ เครื่องอ่าน RFID สามารถรับข้อมูลจากแท็กส์หลายๆแท็กส์ในเวลาเดียวกันหรือพร้อมๆ กันได้ ตามความถี่ที่แตกต่างกันตามผู้ใช้ที่จะเลือกใช้งาน โดยทั่วไปย่านความถี่ที่นิยมใช้งานกันคือ ย่านความถี่ต่ำ ย่านความถี่ปานกลาง และย่านความถี่สูง คือ 125 KHz 13.56 MHz และ 2.4 GHz ตามลำดับ

ปัญหาการแทรกสอดกันในระบบ RFID แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของการแทรกสอด อันได้แก่ การแทรกสอดเนื่องจากเครื่องอ่าน RFID เครื่องหนึ่งเกิดการรบกวนกันทางความถี่กับเครื่องอ่าน RFID อีกเครื่องหนึ่ง เรียกการแทรกสอดนั้นว่า การ

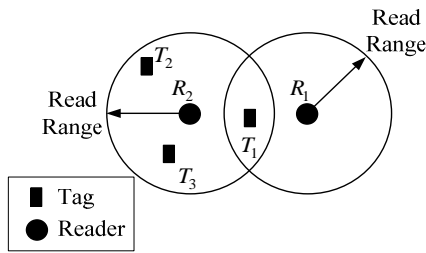
แทรกสอดแบบความถี่ของเครื่องอ่าน RFID รบกวนกันและการแทรกสอดเนื่องจากมีเครื่องอ่าน RFID หลายๆ เครื่องพยายามที่จะอ่านป้าย RFID ป้ายเดียวกัน เรียกว่าการแทรกสอดแบบเครื่องอ่าน RFID หลายๆ เครื่องรบกวนกับป้าย RFID

การแทรกสอดแบบความถี่ของเครื่องอ่าน RFID รบกวนกันเป็นการรบกวนกันของเครื่องอ่าน RFID ที่เกิดจากสัญญาณของเครื่องอ่าน RFID เครื่องหนึ่งรบกวนการทำงานกับอีกเครื่องหนึ่ง จนทำให้การติดต่อระหว่างเครื่องอ่าน RFID กับแท็กส์ที่ใกล้กันได้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งโดยปกติแล้วเครื่องอ่าน RFID จะมีพื้นที่รอบๆ ตัวที่ครอบคลุม ที่เรียกว่า พื้นที่การอ่านของเครื่องอ่าน RFID (Interrogation Zone) หากมีเครื่องอ่าน RFID มากกว่าหนึ่งเครื่องที่มีพื้นที่ซ้อนทับกันก็จะเกิดปัญหาดังกล่าวขึ้นดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การชนกันของเครื่องอ่าน RFID 2 เครื่อง ที่สัญญาณซ้อนทับกัน

การแทรกสอดแบบเครื่องอ่าน RFID หลายๆ เครื่องรบกวนกับป้าย RFID จะเกิดขึ้นเมื่อเครื่องอ่าน RFID มากกว่า 1 เครื่อง ทำการอ่านแท็กส์เดียวกัน โดยหากเครื่องอ่าน RFID ทำการส่งสัญญาณเพื่ออ่านแท็กส์เดียวกัน ที่เวลาเดียวกัน จึงทำให้เกิดการชนกันของข้อมูล ส่งผลให้ไม่มีเครื่องอ่าน RFID เครื่องใดสามารถอ่านแท็กส์นั้นๆ ได้ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การชนกันของเครื่องอ่าน RFID ที่อ่านแท็กส์เดียวกัน

3. P-Persistent Frame Slot Aloha

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงได้มีวิธีการป้องกันการชนกันของสัญญาณ พร้อมทั้งยังเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ RFID คือการใช้โปรโตคอลตามวิธีชั้น มัลติเพล็กซ์ แอ็กแซส (Time Division Multiple Access based protocols) โดยโปรโตคอลที่ได้รับความนิยมคือโปรโตคอล อะโลฮา (Aloha protocols) และได้พัฒนามาเป็น Frame Slot Aloha (FSA) ซึ่งสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบ Pure Aloha และ Slot Aloha โดยจะใช้การแบ่งช่วงเวลาสำหรับการส่งข้อมูลออกเป็นช่วงเวลาเล็กๆ หรือที่วา่สล็อต หลังจากนั้นก็ทำการรวมสล็อตเป็นกลุ่มเข้าไปเป็น 1 เฟรม แต่ละเฟรมจะมีขนาดตายตัวหรือเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการใช้งาน แท็กส์แต่ละตัวเมื่อทำการส่งข้อมูล จะทำการส่งข้อมูลได้ 1 ครั้ง ต่อ 1 เฟรม เมื่อมีการชนกัน แท็กส์ก็จะทำการหน่วงเวลาแบบสุ่ม เพื่อรอในเฟรมถัดไป

หลักการของค่า P-persistent คือการพัฒนาโปรโตคอล FSA โดยการสุ่มค่าความน่าจะเป็น P ให้กับแท็กส์ ทำให้ระบบมีการสุ่มค่าความน่าจะเป็น ที่มีทั้งหมดเป็น 9 ช่วงด้วยกัน คือ $P \geq 0.1$ ถึง $P \geq 0.9$ หากมีการสุ่มในช่วงค่า $P \geq 0.9$ ซึ่ง P มีค่าสูง แท็กส์แต่ละตัวจะมีการตอบสนองทันทีที่ได้รับคำสั่งจากตัวเครื่องอ่าน RFID เมื่อเกิดการชนกัน ข้อมูลของแท็กส์ก็จะหยุดการทำงานทันที เป็นระยะเวลาที่ไม่แน่นอน และจะมีการส่งข้อมูลใหม่ในเฟรมถัดไป แต่ถ้ามีการสุ่มในค่า $P \geq 0.1$ ซึ่ง P มีค่าต่ำ แท็กส์แต่ละตัว

ที่ได้รับคำสั่งจากตัวเครื่องอ่าน RFID แล้ว จะยังไม่ทำการส่งข้อมูลในทันที แต่จะรอระยะเวลาที่ไม่เท่ากัน และไม่แน่นอนในแต่ละแท็กส์ก่อน จากนั้นจึงทำการส่ง ระยะเวลาเหล่านี้ เป็นไปตามการสุ่มค่า P ในแต่ละรอบ ซึ่งจะมีผลต่อการเลือกสล็อต

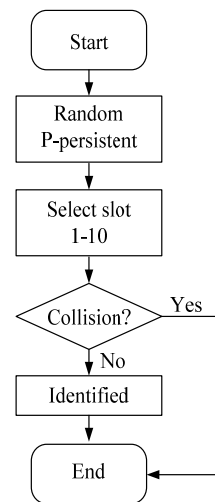
4. การจำลองรูปแบบ P-Persistent FSA

ระบบจะทำการสุ่มค่า P ให้กับแท็กส์แต่ละตัว ทำให้แท็กส์มีความต้องการในการตอบสนองที่ต่างกัน ส่งผลให้ระยะเวลาในการเลือกสล็อตที่ต่างกัน ขนาดของเฟรมคงที่ เท่ากับ 10 สล็อต โดยหากค่าวิสัยสามารถได้จาก

$$Thru = \frac{X_1}{X_i S} \quad (1)$$

- ซึ่ง X_1 = จำนวนแท็กส์ที่ทำการส่งสำเร็จ
- X_i = จำนวนแท็กส์ที่ส่งเข้ามาในระบบ
- S = จำนวนรอบในการทำงาน

P<0.1	P<0.2	P<0.3	P<0.4	P<0.5	P<0.6	P<0.7	P<0.8	P<0.9	P<1
Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6	Slot 7	Slot 8	Slot 9	Slot 10

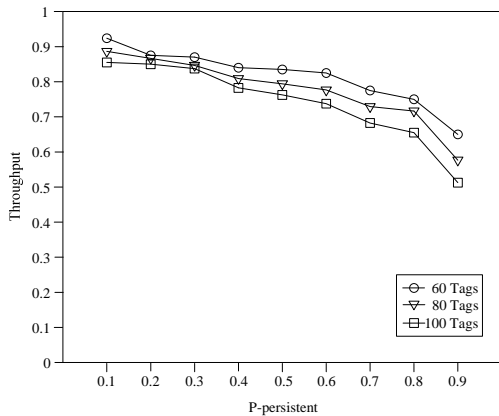


ภาพที่ 4 ขั้นตอนการเลือกสล็อต

5. ผลและการอภิปรายผล

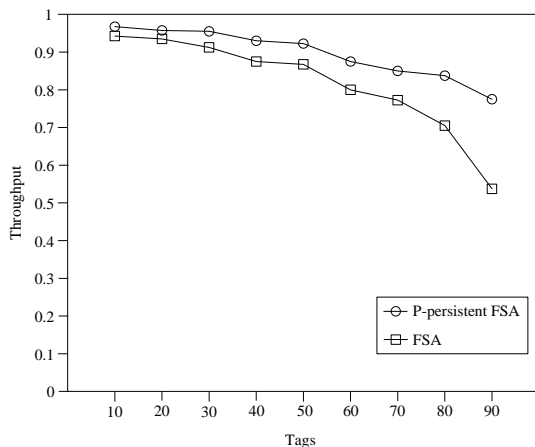
การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ ทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กำหนดอัตราการส่งข้อมูลที่ 10 Mbps จำนวนสล็อต 10 สล็อตต่อเฟรมและให้

ระบบมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนของแท็กส์ และค่าการ
 สุ่มของ P-persistent ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ค่าวิสัยสามารถของระบบ P-persistent FSA
 ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าแท็กส์จำนวน
 60 80 และ 100 แท็กส์ ตาม ลำดับ

จากผลการจำลองในภาพที่ 5 แสดงค่าวิสัยสามารถ
 (Throughput) ของระบบ P-persistent FSA เมื่อมีการ
 เปลี่ยนแปลงค่าแท็กส์ จะเห็นได้ว่า จำนวนแท็กส์ที่
 ทำการส่งข้อมูลเพิ่มมากขึ้น ค่าวิสัยสามารถ ของระบบจะ
 ลดลง เนื่องจากมีการตอบสนองของแท็กส์ที่เพิ่มมา
 ขึ้น แต่จำนวนสล็อตที่มีอยู่ยังเท่าเดิม ทำให้เกิดการชน
 กันของข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้นตามจำนวนของแท็กส์



ภาพที่ 6 ค่าวิสัยสามารถของระบบ P-persistent FSA
 เปรียบเทียบกับ FSA

จากภาพที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถ
 ของระบบ P-persistent FSA กับ FSA จะเห็นได้ว่าเมื่อ
 แท็กส์ที่ทำการส่งข้อมูลเพิ่มมากขึ้น ค่าวิสัยสามารถ
 ของระบบ P-persistent FSA กับ FSA จะลดลงเนื่องจาก
 มีการตอบสนองของแท็กส์ที่เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อ
 เปรียบเทียบกันระหว่างค่าวิสัยสามารถ ของระบบ
 P-persistent FSA กับ FSA จะเห็นได้ว่าค่าวิสัยสามารถ
 ของระบบ P-persistent FSA ยังคงมีค่าสูงกว่า FSA ใน
 จำนวนแท็กส์ที่เพิ่มมากขึ้นทุกกรณี

6. สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาโปรโตคอล FSA โดยการสุ่มค่าความ
 น่าจะเป็น P ให้กับแท็กส์หรือ P-persistent FSA เพื่อลด
 ปัญหาการชนกันของแท็กส์ข้อมูลในระบบ RFID ที่
 ตอบสนองพร้อมกัน ซึ่งผลจากการจำลองทำให้
 สามารถเพิ่มค่าวิสัยสามารถของระบบ RFID ได้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] วัชรกร หนูทอง. RFID คืออะไร [Online], Available:<http://www.geocities.com/kitalo17/research.htm>
- [2] D. W. Engels, S. E. Sarma, "The Reader Collision Problem," *IEEE international Conference on Syst. Man and Cybernetics*, vol. 3, Oct. 2002
- [3] Jain-Shing Liu Lin, C-H. R. Performance Improvement with a P-Persistent Enhanced DCF for WLANs, *Proceeding of IEEE 63rd Vehicular Technology Conference*, 2006. VTC 2006-Spring, vol. 3. page 1151-1155, 7-10 May 2006.
- [4] Wah Chun Chan. Performance Analysis of Telecommunication and Local Area Network. *The Springer International Series in Engineering and Communication Science*, vol. 553. page 488, 15 Feb, 2000.

- [5] วัชรกร หนูทอง และอนุกุล น้อยไม้. RFID หนึ่งในเทคโนโลยีที่น่าจับตามอง [Online], ศูนย์พัฒนาธุรกิจออกแบบวงจรรวม (TIDI) และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC), Available: http://gisportal.mot.go.th/motfgds/RFID_technology_final2.pdf

การจำลองการนำทางสำหรับหุ่นยนต์ถูพื้น

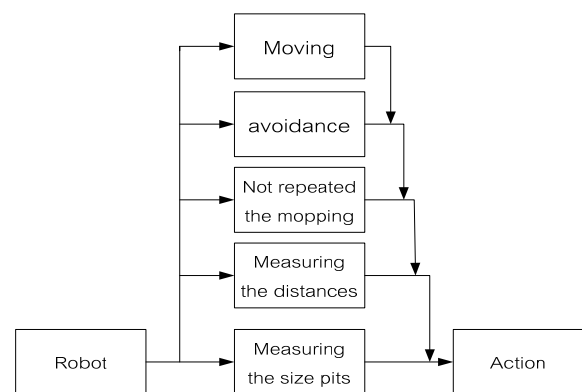
วิรัช กองสิน¹

บทคัดย่อ— เราออกแบบอัลกอริทึมการนำทางให้มีโครงสร้างเป็นแบบ Behavior-Based เพื่อต้องการครอบคลุมพื้นที่การทำงานให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยพื้นที่ที่ทำการถูพื้นน้อยที่สุด ผลของอัลกอริทึมจะถูกทดสอบโดยวิธีการจำลอง ผลลัพธ์ที่ Behavior-Based Algorithm เป็นหลัก โดยมีเงื่อนไขว่าบรรลุความสำเร็จมากพอ ขณะที่ใช้พลังงานน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น เช่น การนำทางแบบสุ่ม และ Zigzagging

คำสำคัญ หุ่นยนต์ การจำลองการถูพื้น วิธีการนำทาง

1. บทนำ

บ้านเรือนในไทยมักไม่มีพรมปูอยู่บนพื้นบ้าน เนื่องจากอากาศร้อนและชื้น ดังนั้นวิธีการทำความสะอาดส่วนมากจะใช้การถูพื้นด้วยผ้าเปียก ดังนั้นเราต้องการออกแบบหุ่นยนต์ถูพื้น เพื่อทำความสะอาดให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เราจะเสนออัลกอริทึมนำทางที่เหมาะสมสำหรับการถู โดยจะมีประสิทธิภาพในการถูครอบคลุมพื้นที่ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และต้องมีการถูซ้ำบริเวณเดิมให้น้อยที่สุดเพื่อไม่ให้บริเวณนั้นเปียกมากเกินไป



2. การวิจัยอัลกอริทึมนำทาง

2.1 พฤติกรรมการนำทาง

เราใช้ Behavior-Based [1] เพื่อกำหนดการทำงานให้เหมาะสมกับหุ่นยนต์ของเรา เราออกแบบให้หุ่นยนต์มีพฤติกรรมดังนี้

ภาพที่ 1 Behavior-Based ที่ใช้กับหุ่นยนต์

การเคลื่อนที่ (Moving) เป็นพฤติกรรมที่หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยรอบ ในระหว่างการเคลื่อนที่จะทำการสร้าง Map โดยขั้นตอนการเคลื่อนที่จะทำการสุ่มทิศทางที่จะเคลื่อนที่ไป ซึ่งเรากำหนดเป็น 4 ทิศทางคือ ขวา ซ้าย ล่าง บน เมื่อหุ่นยนต์สุ่มได้ทิศที่ต้องการแล้ว เซ็นเซอร์จะทำการตรวจว่าข้างหน้ามีสิ่งกีดขวางหรือไม่ ในกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางจะเก็บค่าข้อมูลตำแหน่งของสิ่งกีดขวางไว้ใน Map Model หุ่นยนต์จะทำการสุ่มหาทิศทางเคลื่อนที่ใหม่ ในกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่สุ่มไว้ เมื่อเคลื่อนที่ไปถึงจะเก็บค่าข้อมูลตำแหน่งของหุ่นยนต์ไว้ใน Map Model แล้วเริ่มทำการสุ่มหาทิศทางเพื่อจะเคลื่อนที่ต่อไปใหม่

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตตาด 41 ถ.พหลโยธิน ต.ไม่แกม อ.เมือง จ.ตาด 63000

โทรศัพท์: 055-511962

E-mail: wiruch_kongsin@yahoo.com

การหลบหลีก (Avoidance) เป็นพฤติกรรมเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางต่างๆ ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับสิ่งกีดขวางเพื่อหลบหลีกและในขณะที่เดียวกันยังเก็บค่าข้อมูลของสิ่งกีดขวางไว้ใน Map Model ด้วย

การไม่ซ้ำ (Not repeated The mopping) เป็นพฤติกรรมเพื่อหลีกเลี่ยงไปยังบริเวณที่ได้ทำความสะอาดแล้วหรือในบางกรณีที่ไม่ได้ก็ไปยังบริเวณนั้นให้น้อยที่สุด

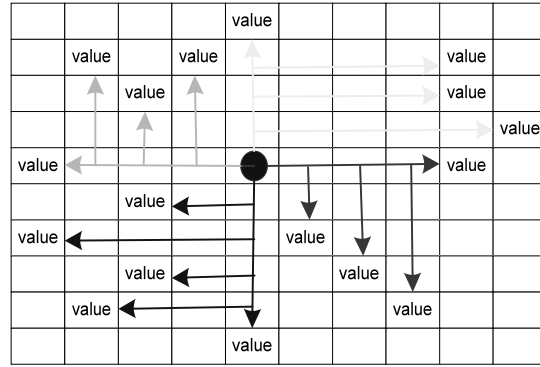
การวัดขนาดหลุม (Measuring The size pits) เป็นพฤติกรรมเพื่อค้นหาพื้นที่ว่างใน Map Model (พื้นที่ว่างใน Map Model ที่ไม่มีค่าเก็บไว้ในนั้น) เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่ว่างที่ใหญ่ที่สุด เราคำนวณขนาดพื้นที่ว่างจาก Map Model ปัจจุบันโดยใช้วิธี Component Labeling [2] เราจะทำการวัดขนาดหลุมทั้งหมดใน Map Model แล้วทำการระบุขนาดของหลุมโดยหลุมขนาดใหญ่ที่สุดเราให้เป็น 1 และขนาดเล็กลงมาให้เป็น 2 และทำการเพิ่มจำนวนเลขขึ้นไปเรื่อยๆจนครบทุกหลุม เพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งของการนำทาง

การวัดระยะทาง (Measuring The distances) เป็นพฤติกรรมเพื่อวัดสำหรับหาเส้นทางของพื้นที่ว่างที่ใกล้ที่สุดและต้องผ่านบริเวณเดิมที่เคลื่อนที่ผ่านมาแล้วให้น้อยที่สุด เส้นทางจะถูกแยกออกเป็น 4 เส้นทาง (4 เขตประกอบด้วย ขวา, ซ้าย, ล่าง, บน) ดังรูปที่ 5 แต่ละเส้นทางจะทำการบวกค่าไปเรื่อยๆจนกว่าจะเจอ 0 หรือ 10 ก็จะหยุดการวัด โดยแต่ละเส้นทางจะใช้สมการที่ (1) ในการคำนวณ เพื่อหาเส้นทาง

$$Distance_N^Z = \sum_{begin}^{End} value \text{ in MapModel} \quad (1)$$

เมื่อ N เป็นจำนวนของเส้นทางย่อยในแต่ละ Zone

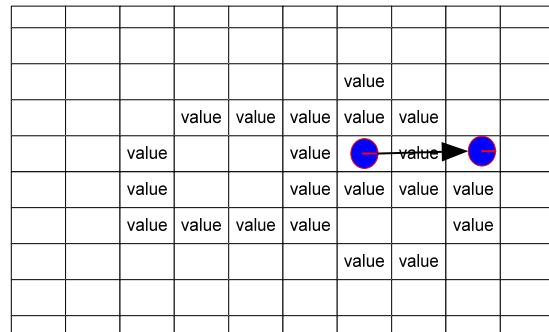
Z เป็นจำนวนของเส้นทางในแต่ละ Zone



ภาพที่ 2 วิธีการกระจายเพื่อหาเส้นทาง

2.2 คำนวณหาเส้นทางที่ดีที่สุด

หลักการคือนำค่าระยะทางที่ได้จากการกระจายบวกกับค่าของช่องว่างที่ได้จากการทำ Component Labeling ของแต่ละเส้นทาง โดยการเปรียบเทียบพิกัดที่เก็บไว้ใน Array ทั้งสอง แล้วนำค่าที่ได้ทั้งสองของแต่ละเส้นทางมาเปรียบเทียบกันเพื่อคำนวณหาเส้นทางที่ดีที่สุด เมื่อได้ค่าระยะทางที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณแล้วหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายนั้น ใช้ในกรณีเมื่อเกิดปัญหาดังภาพที่ 3



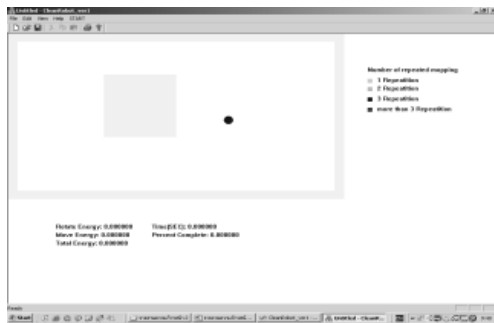
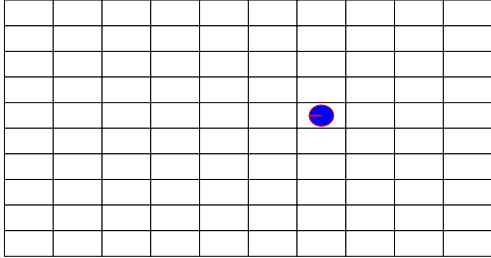
ภาพที่ 3 กรณีหุ่นยนต์หาทางออก

3. ผลการจำลอง

เริ่มต้นหุ่นยนต์จะทำการสุ่มเพื่อทำการเคลื่อนที่ ใน Map Model ค่าเริ่มต้นจะเป็น 0 ทั้งหมดในแบบจำลอง เราจะวัดประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ซึ่งประกอบด้วย พลังงานการหมุนของหุ่นยนต์, พลังงานการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งจะแสดงค่าให้เห็นในแบบจำลองในส่วนด้านล่าง โดยจะกำหนดหน่วยพลังเป็น "Unit" นอกจากนั้นยังวัดเปอร์เซ็นต์การครอบคลุมพื้นที่ในการทำความสะอาดมีหน่วยเป็น "%"

ในส่วนด้านข้าง เราจะบอกค่าจำนวนการถูกซ้ำ บริเวณเดิมโดยจะแบ่งเป็นค่าสี่คั้งนี้ สิ้นเงินถูกซ้ำหนึ่งครั้ง สีเขียวถูกซ้ำสองครั้ง สีแดงถูกซ้ำมากกว่าสองครั้งขึ้นไป

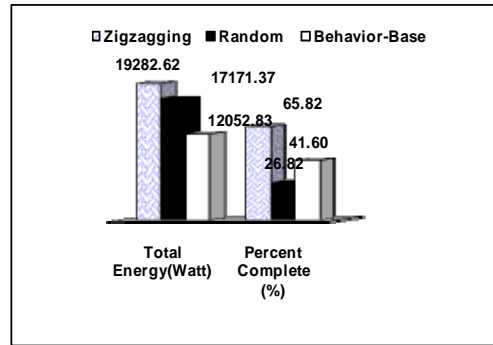
การทดลองจะกำหนดเวลาให้ 120 วินาทีในแต่ละครั้ง โดยแบ่งเป็น 2 การทดลองคือ แบบมีสิ่งกีดขวาง และ แบบไม่มีสิ่งกีดขวาง



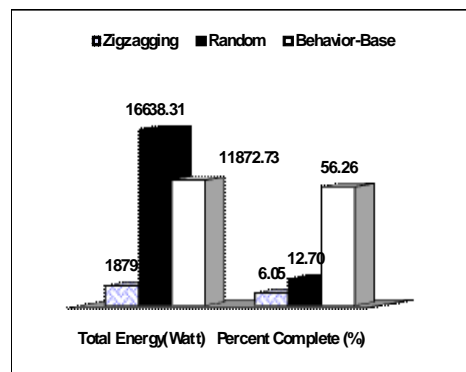
ภาพที่ 4 ก่อนเริ่มทำการจำลอง

การทดลองจะประกอบด้วย Zigzagging, Random, Behavior-based โดยการเคลื่อนที่แต่ละแบบเป็นดังนี้

1. แบบ Zigzagging จะเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา และข้างบนลงข้างล่าง
2. แบบ Random จะไม่มีทิศทางการเคลื่อนที่ที่แน่นอนขึ้นอยู่กับว่าจะสุ่มได้ทิศทางไหน
3. แบบ Behavior-based จะเคลื่อนที่คล้ายกับแบบ Random แต่จะเพิ่ม Map Model เพื่อใช้สำหรับการนำทางและไม่ถูกซ้ำ



ภาพที่ 5 กราฟผลลัพธ์พลังงานต่อเปอร์เซ็นต์ครอบคลุมพื้นที่แบบไม่มีสิ่งกีดขวาง



ภาพที่ 6 กราฟแสดงผลลัพธ์พลังงานต่อเปอร์เซ็นต์ครอบคลุมพื้นที่แบบมีสิ่งกีดขวาง

4. สรุปผลการวิจัย

ประสิทธิภาพของหุ่นยนต์สามารถวัดได้โดย 3 อัลกอริทึมนำทาง ประกอบด้วย Zigzagging, Random, Behavior-based เราพบว่าในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางน้อย แบบ Zigzagging จะมีเปอร์เซ็นต์การถูกซ้ำที่ต่ำที่สุด แต่ก็ใช้พลังงานมากตามไปด้วย พลังงานรวมแบบ Behavior-based ใช้น้อยกว่าแบบ Zigzagging และเปอร์เซ็นต์การถูกซ้ำต่ำลง แต่มากกว่าแบบ Random ในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางค่อนข้างมาก พลังงานรวมของแบบ Behavior-based ใช้น้อยกว่าแบบ Random และเปอร์เซ็นต์การถูกซ้ำที่ต่ำสุด ในส่วนของแบบ Zigzagging จะมีปัญหาเกี่ยวกับกรณีนี้คือไม่สามารถผ่านสิ่งกีดขวางได้จึงหาค่าไม่ได้เรา

สรุปจากทั้ง 3 แบบพบว่าแบบ Zigzagging จะใช้งานได้
ดีในพื้นที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง และแบบ Behavior-based ใช้
งานได้ดีในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] D.Langer, et al, "A behavior-base system for off-road navigation" IEEE Transactions on Robotic and Automation, Vol.10, no.6, pp. 776-783, 1994
- [2] Dr. Bai-ling Zhang,, School of Computer Science & Mathematics, Victoria University of Technology
- [3] Yong-Joo oh and Yoshio Watanabe, "Development of Small Robot for Home Floor Cleaning", Kanagawa University, Yokohama, Japan 2002
- [4] Joon Seop Oh, Jin Bae Park, Yoon Ho Choi, "Complete Coverage Navigation of Clean Robot based on Triangular Cell Map", Dept of Electrical & Computer Eng., Yonsei University and School of Electronic & Mechanical Eng., Kyonggi University, Pusan, KOREA 2001

การสร้างชุดติดตามกำลังงานสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยอัลกอริทึม แบบความนำส่วนเพิ่ม

เวลิน ปียรัดน์¹ ฉลอง โสตาบัน¹ และวิทยา ชัยสงคราม¹

บทคัดย่อ—บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างชุดติดตามจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracker; MPPT) ด้วยคาร์ดิเนเตอร์เฟส dSPACE เนื่องจากการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้น แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีจุดทำงานจุดหนึ่งที่เหมาะสมที่สุดซึ่งเรียกว่าจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิของเซลล์ ระดับความเข้มแสง และระดับแรงดันแผง บทความนี้ใช้วิธีความนำส่วนเพิ่ม (Incremental Conductance) เป็นอัลกอริทึมเพื่อติดตามจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สร้างอัลกอริทึมด้วยกล่องเครื่องมือ Stateflow บนโปรแกรม Matlab/Simulink แล้วเชื่อมโยงผ่านคาร์ดิเนเตอร์เฟสเพื่อควบคุมให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 75 วัตต์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว

คำสำคัญ : ชุดติดตามจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด แผงเซลล์แสงอาทิตย์

1. บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งสำคัญใน ส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวัน และนับวันจะหมดสิ้นไป อีกทั้งการใช้พลังงานบางชนิดก็ก่อให้เกิดปัญหามลพิษและปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา การรู้จักประเภทของพลังงานที่ใช้แต่ละชนิดช่วยให้ได้รับความรู้ถึงแหล่งที่มาของพลังงาน รวมทั้งการแสวงหาพลังงานทดแทนมาใช้ก็เป็นเรื่องที่สำคัญและมีความน่าสนใจมากในยุคปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น การนำเอาเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้กับแสงแดดจากธรรมชาติ เพื่อประโยชน์ในการใช้พลังงานรูปแบบต่างๆ หรือที่เรียกว่า พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นอกจากช่วยประหยัดพลังงานแล้วยังปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและมีอายุยาวนานอีกด้วย

ด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาในปัจจุบัน กระบวนการแปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้านับเป็นกระบวนการที่สะอาดและไร้มลภาวะและเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งในด้านการลงทุนเพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงาน โดยรวมถึงผลกระทบที่อาจมีต่อสิ่งแวดล้อมด้วยแล้ว เห็นได้ว่าต้นทุนพลังงานที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic) มีราคาไม่สูงกว่าแหล่งพลังงานประเภทอื่น และประการสำคัญก็คือ พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานที่มีความยั่งยืนอย่างไม่มีที่สิ้นสุด

ปัจจัยที่สำคัญของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ค่อนข้างสูงและประสิทธิภาพในการแปลงผันพลังงานที่ค่อนข้างต่ำ อันเนื่องมาจากความไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) และคุณลักษณะของกระแส-แรงดัน และ กำลังไฟฟ้า-แรงดัน ที่ขึ้นกับอุณหภูมิและความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงมีวิธีเพื่อปรับปรุงข้อเสียดังกล่าวคือ การปรับปรุงกระบวนการผลิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การควบคุมความเข้มแสงให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และ

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ 63 หมู่ 7 ถนนรังสิต-นครนายก อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120
โทรศัพท์ : +66(2)-649-5000 ต่อ 2401 โทรสาร : +66(37)-322-605
Email : chalong@swu.ac.th

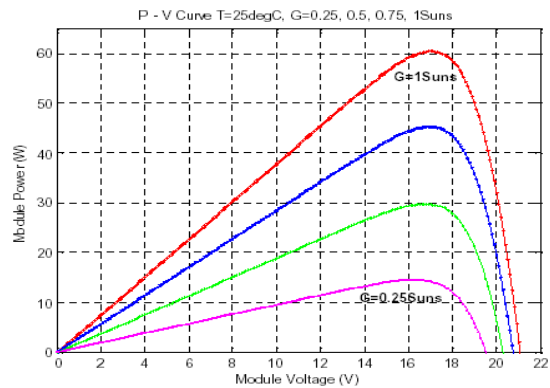
การทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพจากการใช้ชุดติดตามจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยความสำคัญและปัญหาดังกล่าวข้างต้น เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด จึงนำเสนอบทความในส่วนของ การออกแบบและสร้างชุดติดตามจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracker, MPPT) ซึ่งถือเป็นตัวที่กำหนดจุดทำงานของแผงเซลล์หรือชุดแผงเซลล์ที่จุดให้กำลังงานสูงสุดโดยต่อไปใช้คำว่า MPPT แทน โดยใช้ทฤษฎีความนำส่วนเพิ่ม (Incremental Conductance, IncCond)

2. ทฤษฎี

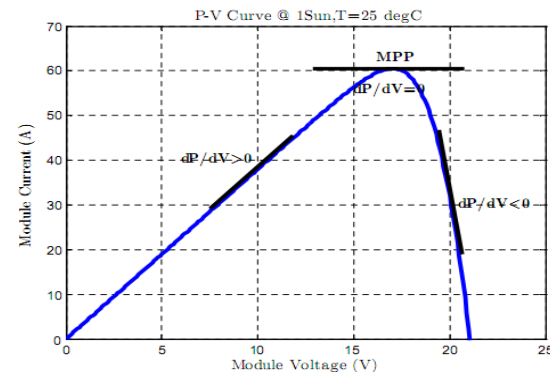
2.1 หลักการของการติดตามจุดให้กำลังงานสูงสุด

ชุดติดตามจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดถูกนำมาควบคุมการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของกระแส-แรงดัน และกำลังไฟฟ้า-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีเป้าหมายของชุดติดตามจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดก็เพื่อให้แน่ใจว่าระบบทำงานใกล้เคียงกับจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่ออยู่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม และรักษาการติดตามในช่วงกว้างของสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงและให้ค่าเอาต์พุตกับโหลดได้ตามต้องการ คุณลักษณะของกำลังไฟฟ้า-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้มาจากคุณลักษณะของกระแส-แรงดันและความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต โดยกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตมีค่าลดลงอย่างมาก สำหรับการลดลงของความเข้มแสง และกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตถูกลดลงโดยการเพิ่มอุณหภูมิของแสง ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่กำหนดของแรงดัน (V_{oc}) เห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิและความเข้มแสงเพียงอย่างเดียว แต่มันมีผลอย่างมากกับแรงดัน ณ จุดปฏิบัติการ จุดของกำลังไฟฟ้าถูกแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นจุดปฏิบัติการที่ต้องการสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ความชันเป็น 0 หรือ $\frac{dP}{dV} = 0$ แต่หากแรงดันต่ำกว่าหรือสูงกว่าแรงดันที่จุด

ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ก็จะส่งผลให้ $\frac{dP}{dV} > 0$ หรือ $\frac{dP}{dV} < 0$ ตามลำดับ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 (ก) เส้นโค้งกำลังไฟฟ้า-แรงดัน (P-V) ที่ระดับความเข้มแสง

(ข) จุดปฏิบัติการที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดและจุดปฏิบัติการอยู่ต่ำและสูงกว่าจากเส้นโค้งกำลังไฟฟ้า-แรงดัน (P-V)

2.2 อัลกอริทึมความนำส่วนเพิ่ม (Incremental Conductance Algorithm)

วิธีความนำส่วนเพิ่มเป็นวิธีในการค้นหาจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีรบกวนและสังเกตการณ์ รวมทั้งไม่ขึ้นกับอุปกรณ์หรือวิธีการทางกายภาพของแรงดันและกระแสเอาต์พุตจากแหล่งจ่ายถูกควบคุม ซึ่งชุดควบคุมชุดติดตามจุดให้กำลังสูงสุดอาศัยการคำนวณค่าความนำและค่าความนำส่วนเพิ่ม แล้วทำการตัดสินใจที่จะลดหรือเพิ่มค่าแรงดันจากคิวตี้ไซเคิล โดยใช้เซนเซอร์ในการวัดแรงดันและกระแสที่จุดปฏิบัติการของแผงเซลล์อาทิตย์

กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$P = VI \quad (1)$$

เมื่อใช้กฎลูกโซ่กับสมการกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตจะได้

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(VI)}{dV} \quad (2)$$

$$\frac{dP}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (3)$$

$$\frac{dP}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (4)$$

จะได้
$$\left(\frac{1}{V}\right) \frac{dP}{dV} = \left(\frac{I}{V}\right) + \frac{dI}{dV} \quad (5)$$

เมื่อกำหนดให้ความนำของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ

$$G = \frac{I}{V} \quad (6)$$

และค่า
$$\Delta G = \frac{dI}{dV} \quad (7)$$

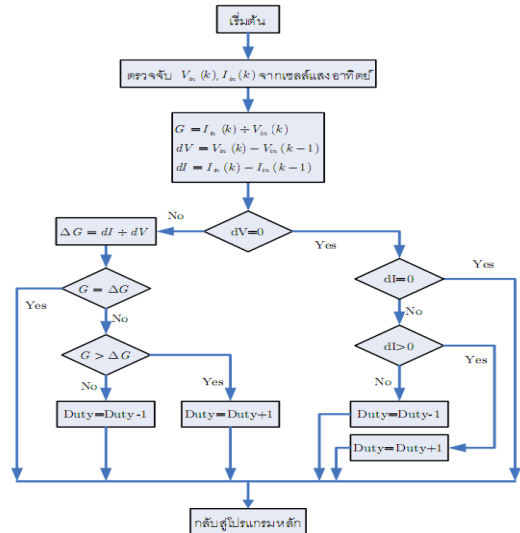
โดยปกติแรงดันเอาต์พุตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็นบวก จากสมการ (5) แสดงว่าแรงดันที่จุดปฏิบัติงานอยู่ต่ำกว่าแรงดันที่จุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ถ้าความนำมีค่ามากกว่าความนำส่วนเพิ่มดังนั้นหน้าที่หลักของอัลกอริทึมดังกล่าวคือการค้นหาจุดปฏิบัติงานของแรงดัน ณ จุดที่ความนำมีค่าเท่ากับความนำส่วนเพิ่มโดยสามารถแสดงได้ดังในสมการที่ (8) - (9)

$$-\frac{dP}{dV} > 0 \text{ ถ้า } G > \Delta G \quad (8)$$

$$-\frac{dP}{dV} < 0 \text{ ถ้า } G < \Delta G \quad (9)$$

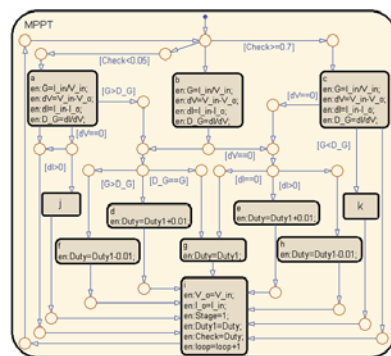
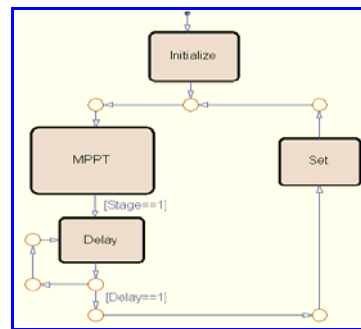
3. การออกแบบชุดติดตามกำลังสูงสุดด้วยวิธีความนำส่วนเพิ่ม

การออกแบบชุดติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดประกอบด้วย 2 ส่วนคือวงจรบรูสคอนเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าเพิ่มและลดระดับแรงดันจากควิดีไซเคิลและส่วนควบคุมซึ่งอัลกอริทึมของวิธีความนำส่วนเพิ่มสามารถแสดงได้ตามแผนผังในรูปที่ 2 ผู้วิจัยได้เลือกใช้อัลกอริทึมความนำส่วนเพิ่มในการติดตามจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยนำทฤษฎีการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดและเงื่อนไขในการตั้งการควบคุมๆ มาพิจารณาออกแบบโปรแกรมที่ทำหน้าที่เป็นอัลกอริทึมความนำส่วนเพิ่ม



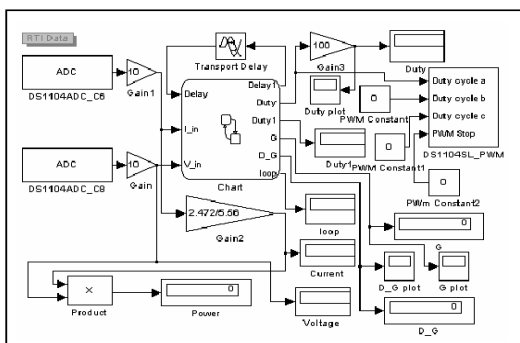
ภาพที่ 2 แผนผังการทำงานของวิธีความนำส่วนเพิ่ม

ผู้วิจัยได้เลือกใช้อัลกอริทึมความนำส่วนเพิ่มในการติดตามจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยนำทฤษฎีการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดและเงื่อนไขในการตั้งการควบคุมๆ มาพิจารณาออกแบบโปรแกรมที่ทำหน้าที่เป็นอัลกอริทึมความนำส่วนเพิ่ม โดยทำการออกแบบบน Stateflow เครื่องมือบน Matlab/Simulink โดยใช้แผนผังการทำงานในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 Stateflow ที่ออกแบบสำหรับอัลกอริทึมแบบความนำส่วนเพิ่ม

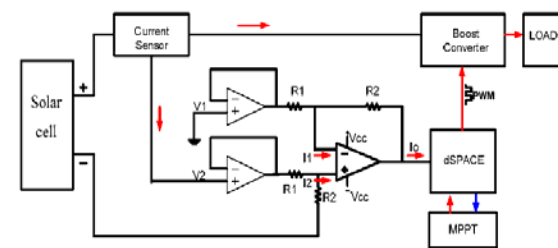
ในการออกแบบโปรแกรม ซึ่งโมดูล PWM ทำหน้าที่ในการส่งค่าอัตราส่วนคิดที่คำนวณได้จากโปรแกรมออกไปขับขาเกตของมอสเฟตในบวสคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งภายในบล็อกการซาร์จกระแสสูงมีการทำงาน สามารถแสดงได้ตั้งแต่แผนผังการทำงานในรูปซึ่งเห็นได้ว่าการหน่วงเวลา 1 นาที่เป็นการรอให้ฮาร์ดแวร์ทำงานเพื่อป้องกันการทำงานซ้ำซ้อนกันและภายในวงจรตรวจจับกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีความนำส่วนเพิ่ม มีอัลกอริทึมความนำส่วนเพิ่มอยู่ภายในซึ่งแสดงได้ตั้งแต่แผนผังการทำงานในภาพที่ 4 โดยเริ่มจากการวัดค่ากระแสและแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความนำและค่าความนำส่วนเพิ่ม ผลต่างของกระแสและผลต่างของแรงดัน จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้มาทำการประมวลผลว่าควรเพิ่มหรือลดค่าอัตราส่วนคิดดีโดยแบ่งออกเป็น 4 กรณีคือถ้า ค่าความนำมีค่ามากกว่าค่าความนำส่วนเพิ่ม ผลต่างของกระแสมีค่ามากกว่าศูนย์และผลต่างของแรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์ ทั้ง 2 กรณีนี้มีผลทำให้อัตราส่วนคิดดีเพิ่มขึ้น และถ้าค่าความนำมีค่าน้อยกว่าค่าความนำส่วนเพิ่ม ผลต่างของกระแสมีค่าน้อยกว่าศูนย์และผลต่างของแรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์ ทั้ง 2 กรณีนี้มีผลทำให้อัตราส่วนคิดดีลดลง โดยโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โปรแกรม Simulink ควบคุมระบบผ่านการ์ดอินเตอร์เฟส dSPACE

จากโปรแกรมในภาพที่ 4 เป็นการรับค่าผ่านการ์ด dSPACE โดยกระแสผ่านทางช่องสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลช่องที่ 6 ซึ่งมีค่า Gain = 1 เป็นอัตราส่วนเพื่อแปลงค่าจากค่าแรงดันที่ได้ให้เป็นค่ากระแสและแรงดันผ่านทางช่องสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

ช่องที่ 8 โดยการรับอินพุตเข้าสู่ dSPACE ต้องคูณด้วย 10 ส่วนค่าอัตราส่วนคิดดีที่ได้ออกมาต้องคูณด้วย 100 เพื่อให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ จากโปรแกรมในภาพที่ 4 ในบล็อก Initialize เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นของการคำนวณ บล็อกMPPT เป็นบล็อกที่ใช้ในการคำนวณค่าอัตราส่วนคิดดีโดยบล็อกนี้ถูกสร้างมาจากอัลกอริทึมความนำส่วนเพิ่มบล็อกDelayเป็นการหน่วงเวลาของโปรแกรม และบล็อก set เป็นบล็อกที่ใช้เคลียร์ค่าตัวแปรของโปรแกรม และในภาพที่ 3 ภายในประกอบด้วยเงื่อนไข 2 เงื่อนไขคือการเพิ่มค่าและการลดค่าของอัตราส่วนคิดดี และได้ทำการกำหนดค่าตั้งแต่ 5%–60% ในส่วนของ dSPACE มีบล็อกที่เรียกว่า DS1104SL_DSP_PWM3 จากรูป เมื่อรวมแหล่งกำเนิดรูปคลื่นสามเหลี่ยมและวงจรเปรียบเทียบสำหรับวงจรแปลงผันเพื่อสร้างสัญญาณพีดีบีแอลเอ็มแบบ 3 เฟสกับสัญญาณเอาต์พุตแบบธรรมดาและแบบกลับเฟส โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนคิดดีและการเปลี่ยนแปลงของเดดแบนด์ในแบบพีดีบีแอลเอ็มสมมาตร ดังนั้นเมื่อสร้างระบบเวลาจริง ใช้บล็อก dSPACE เพื่อจ่ายสัญญาณพีดีบีแอลเอ็ม อินพุตของ DS1104SL_DSP_PWM3 คืออัตราส่วนคิดดีของบวสคอนเวอร์เตอร์ โดยเอาท์พุตที่ได้จากอัลกอริทึมความนำส่วนเพิ่มนั้นออกมาในรูปของพัลส์วาทมอดคูเลชั่น



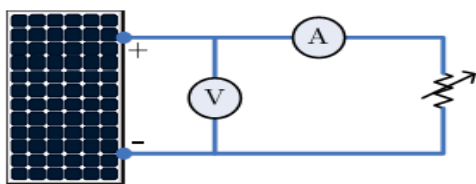
ภาพที่ 5 บล็อกไดอะแกรมของระบบทดสอบอัลกอริทึมที่นำเสนอ

4. ผลการทดลอง

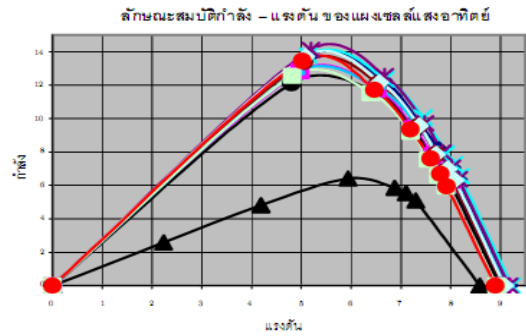
วงจบบวสคอนเวอร์เตอร์สามารถส่งกำลังไฟฟ้าอินพุตที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังโหลดได้สูงสุดจากการทดสอบพฤติกรรมของคอนเวอร์เตอร์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคิดดีไซเคิลนั้น

ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกำลังไฟฟ้าของวงจร ดังนั้น แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้ค่าแรงดันและกระแสที่คงที่ เพราะฉะนั้นอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการทดลองสามารถใช้ในการจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ และใช้ความต้านทาน 10 โอห์มและ 15 โอห์มเป็นโหลดที่เอาต์พุตของวงจร โดยการสร้างอัลกอริทึมด้วย Stateflow นั้นมีข้อดีคือสามารถสามารถแสดงให้การทำงานของอัลกอริทึมเหมือนกับแผนผังการทำงานและเหมาะสมสำหรับการสร้างระบบด้วยการควบคุมแบบทันเวลา

การทดสอบสมรรถนะของชุดติดตามจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดและระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยรวมจึงจำเป็นต้องทราบถึงลักษณะสมบัติ ณ จุดปฏิบัติงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในบทความก่อน โดยการประเมินลักษณะสมบัติของ กระแส – แรงดัน และกำลัง – แรงดัน ของแผงด้วยการเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์อนุกรมกับความต้านทานปรับค่าได้ แล้วทำการวัดกระแส และแรงดันของช่วงความต้านทาน $0-\infty\Omega$ จากรูปที่ 6 พบว่ากำลังสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายได้มีค่า 14.5 วัตต์ ที่ $I_{mp} = 2.59 \text{ A}$ และ $V_{mp} = 5.6 \text{ V}$ และจากการทดสอบพบว่าเมื่อปรับค่าความต้านทานที่ค่า 10 โอห์ม และ 15 โอห์ม ได้กำลังสูงสุดคือ 6.467 วัตต์โดยค่าดังกล่าวถูกใช้เป็นค่าอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบผลจากกรณีระบบมีและไม่มีชุดติดตามจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด



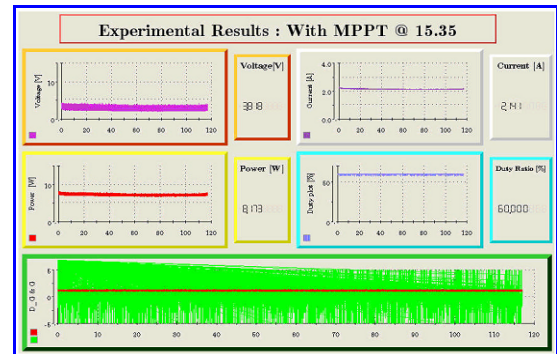
(ก)



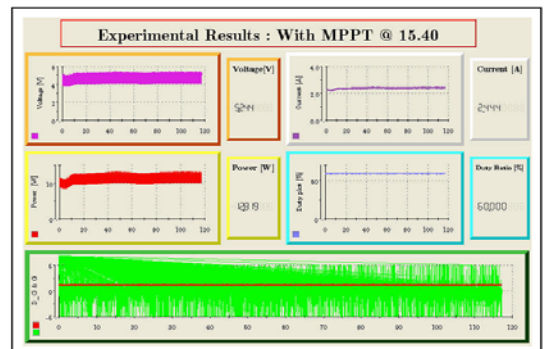
(ข)

ภาพที่ 6 (ก) วงจรทดสอบคุณสมบัติกระแสและแรงดัน

(ข) กราฟคุณสมบัติกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเปลี่ยนความต้านทาน โหลด $0-\infty\Omega$



ภาพที่ 7 การทดสอบขณะที่มีการทดสอบระบบจริงที่มีชุดติดตามให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่โหลดความต้านทาน 10Ω



ภาพที่ 8 การทดสอบขณะที่มีการทดสอบระบบจริงที่มีชุดติดตามให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่โหลดความต้านทาน 15Ω

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบระบบเมื่อขณะที่ไม่มี MPPT สังเกตได้ว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ในขณะนั้นมีค่าอยู่ที่ประมาณ 6.467 วัตต์และเมื่อทำการทดสอบในขณะที่มี MPPT สังเกตได้เช่นกันว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้มีค่าอยู่ที่ 12.819 วัตต์ ซึ่งเป็นจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดขณะนั้น จากผลการเปรียบเทียบดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ระบบที่มี MPPT มีจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สูงกว่าระบบที่ไม่มี MPPT เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดพฤติกรรมของจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับบทความนี้ MPPT ถูกสร้างขึ้นโดยการใช้วงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟตรงแบบบัส ซึ่งถูกออกแบบที่จุดปฏิบัติงานภายใต้โหมดการทำงานที่สภาวะต่อเนื่อง และใช้ Stateflow เครื่องมือบนโปรแกรม Matlab/Simulink ในการควบคุมสัญญาณ PWM ที่ออกจาก dSPACE ให้กับวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟตรงแบบบัส โดยอัลกอริทึมความนำส่วนเพิ่มถูกเลือกเป็นอัลกอริทึมในการควบคุมใน MPPT จากผลการทดสอบแสดงว่า MPPT มีประสิทธิภาพทางกำลังไฟฟ้าที่ 85.538% และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้มากถึง 49.55%

6. เอกสารอ้างอิง

1. Xuejun, L. "An Improved Perturbation and Observation Maximum Power Point Tracking Algorithm for PV Panels", Thesis, 2004, Concordia University.
2. Castaner, L. and S. Silvestre, S. "Modelling Photovoltaic Systems using PSpice", Universidad Politecnica de Cataluna, Barcelona, Spain, John Wiley&Sons, LTD.
3. Hansen, A. D., Sorensen, P., Hansen, L. H. and Bindner, H. "Models for a Stand-Alone PV System" Roskilde, Riso National Laboratory.
4. วรพล กัณณีย์ และ รัฐมนต์ พุ่มพวงค์, "การพัฒนาแบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแยกอิสระด้วย MATLAB/SIMULINK", ปรินญา นิตยสาร, 2547, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการจัดระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อทดสอบอัลกอริทึมรวมทั้งนายจตุรงค์ ประทุมวงษ์ นายฉันทชัย ธีระเกียรติ และนายวิระยุทธ บุญรอง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ที่ได้ทุ่มเทช่วยเหลือจัดทำและทดสอบระบบวงจรกำลัง

การศึกษาและวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง PEMFC 1.2 kW

ปนัดดา แสงแก้ว¹ และ บุญยัง ปลั่งกลาง²

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้ได้ พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้วยโปรแกรม MathLab เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ขนาดกำลังไฟฟ้า 1.2 kW และได้ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงในห้องปฏิบัติการชนิด เมมเบรน แลกเปลี่ยนโปรตอน (PEMFC) ขนาด 1.2 kW 46A โดยประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงนั้น จะขึ้นอยู่กับความดันของก๊าซไฮโดรเจน อุณหภูมิการทำงาน อัตราการไหลของอากาศและก๊าซไฮโดรเจน และความชื้นของอากาศ ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และทดลองการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงในห้องปฏิบัติการซึ่งในสภาวะไร้โหลด แรงดันขาออกของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีค่า 97.21% กำลังงานที่ได้ของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีค่า 100% แต่ในขณะที่มีโหลดสูงสุดแรงดันขาออกของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีค่า 90.19% กำลังงานที่ได้ของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่า 83.61% เมื่อเทียบกับแบบจำลอง เพื่อทราบหลักการการทำงานในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งพบว่าความดันของก๊าซไฮโดรเจนมีผลต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง และการทดลองการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงในห้องปฏิบัติการมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

คำสำคัญ เซลล์เชื้อเพลิง แบบจำลอง เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง

1. บทนำ

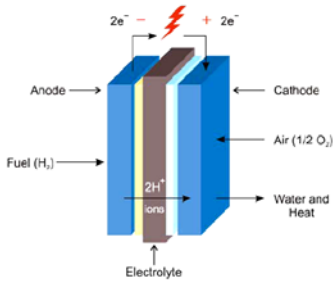
พลังงานและมลพิษเป็นปัญหาที่ร้ายแรงที่สุดในโลกในช่วงนี้ บางครั้งวิกฤตการณ์ของโลกอาจทำให้ประเทศไทยมีผลกระทบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เพราะปัจจุบันความต้องการทางด้านไฟฟ้าของประชาชนในประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในอนาคตอันใกล้เชื้อเพลิงที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันก็กำลังจะหมดไป และราคาก่อนข้างสูง ดังนั้น พลังงานใหม่และพลังงานสะอาดจึงถูกนำมาพิจารณาเพื่อทดแทนและลดการเกิดมลภาวะต่างๆ ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงจึงเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งในอนาคต ที่จะนำมาทำเป็นพลังงานไฟฟ้า

เซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานสูงถึง 50–70% สำหรับการเปลี่ยนรูปเป็นไฟฟ้า และ 90% เมื่อรวมพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ และเซลล์เชื้อเพลิงสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย และปัจจุบันการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงยังเป็นเพียงในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อการวิจัยและพัฒนา ซึ่งยังไม่มีการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เท่าใดนัก ทำให้ราคาเริ่มต้นของเซลล์เชื้อเพลิงยังคงสูงอยู่มาก [1]

การทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM ขนาด 1.2 kW โดยการปรับอัตราการไหลของป้อนลม พัดลม เครื่องควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ ในสภาวะโหลดคงที่ โหลดตัวแปร (วิเคราะห์ผลกระทบชั่วคราว) และระยะยาว ทดสอบการเปลี่ยนแปลงโหลด (เพื่อทดสอบสมการความร้อนของสแต็ค) เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลอง ผลที่ได้ก็จะขึ้นอยู่กับการควบคุมอินพุตค่าต่าง ๆ ซึ่งก็สามารถได้ผลการทดลองเป็นไปในทางเดียวกับข้อมูลจำลอง [2]

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110
โทร 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422
E-mail:panudda09@hotmail.com, pboonyang@hotmail.com

เซลล์เชื้อเพลิง คืออุปกรณ์ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนด้วยกระบวนการ “Electrochemical” โดยการรวมตัวกันระหว่างเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ (ไฮโดรเจน ก๊าซธรรมชาติ โพรเพน) และอากาศ (ออกซิเจน) ผลของกระบวนการดังกล่าวยังทำให้ได้น้ำ ซึ่งเป็นเสมือนไอเสียของระบบด้วย เซลล์เชื้อเพลิงสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องตราบเท่าที่มีเชื้อเพลิงป้อนให้ระบบ ไม่ต้องการการประจุใหม่เหมือนแบตเตอรี่ นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการแปลงรูปพลังงานที่สูงกว่าเทคโนโลยีการแปลงรูปพลังงานอื่น ๆ ที่ใช้กันอยู่ การทำงานปราศจากการเผาไหม้จึงไม่มีมลพิษ ไม่มีการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์

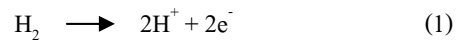


ภาพที่ 1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM (Ref: BALLARD Power to charge theworld)

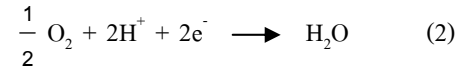
หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแลกเปลี่ยนโปรตอนเริ่มต้นจากการอัดก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen) เข้าสู่ขั้วบวกของเซลล์เชื้อเพลิง โดยใช้ความดันเพื่อให้ผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาไปได้ หลังจากก๊าซไฮโดรเจน ผ่านชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยาไปแล้วจะทำการปล่อยอะตอมขั้วบวก (H+) ไปสู่ขั้วลบของเซลล์เชื้อเพลิง และปล่อยอิเล็กตรอน (e-) ผ่านขั้วออกมาไปสู่ระบบวงจรภายนอกเพื่อสร้างกระแสและย้อนกลับสู่ขั้วลบของ เซลล์เชื้อเพลิง สำหรับออกซิเจนจะถูกดันผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาเช่นกันแต่ผ่านทางขั้วลบแทน โดยทำหน้าที่ดึงดูดอะตอมของ H+ ผ่านชั้นเมมเบรนเข้ามา และรับอิเล็กตรอนอิสระ (e-) จากวงจรภายนอกแล้วทำปฏิกิริยากันได้ผลลัพธ์คือ โมเลกุลของน้ำ (H₂O)

ดังภาพที่ 1

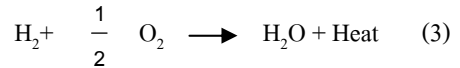
ปฏิกิริยาเคมีของขั้วแอโนด



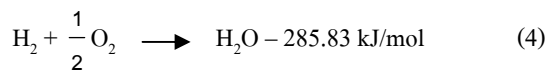
ปฏิกิริยาเคมีระหว่างขั้วแคโทด



ปฏิกิริยาเคมีรวม



ปฏิกิริยาเคมีระหว่างก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนเป็นปฏิกิริยาที่ปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งความร้อนหรือเอนทัลปีของการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ปล่อยออกมาจากระบบ คือ ผลต่างระหว่างความร้อนของการเกิดผลิตภัณฑ์กับสารตั้งต้น ซึ่งความร้อนของการเกิดสารผลิตภัณฑ์ (น้ำ) จากปฏิกิริยาเคมีข้างต้นมีค่าเท่ากับ -285.83 kJ/mol และค่าความร้อนของการเกิดสารตั้งต้น (ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจน) มีค่าเท่ากับ 0 kJ/mol ทำให้สมการที่ (3) สามารถเขียนได้ใหม่ดังสมการที่ (4)



ในงานทางด้านเซลล์เชื้อเพลิง พลังงานที่ปล่อยออกมาจากระบบ จะอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยปริมาณทางอุณหพลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงดังสมการที่ (5)

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (5)$$

โดยที่ H คือ ค่าเอนทัลปี S คือ ค่าเอนโทรปี และ G คือ ค่าพลังงานอิสระของกิบส์

สำหรับงานทางไฟฟ้าที่ได้รับจะอยู่ในรูปของประจุไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (6)

$$W_{el} = qE \quad (6)$$

$$q = n_e N_{avg} q_{el} \quad (7)$$

โดยที่ W_{cl} คือ ค่างานทางไฟฟ้า, q คือ ค่าประจุ, E คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า, n_c คือ ค่าจำนวนอิเล็กตรอนต่อโมเลกุล $H_2 = 2$, N_{avg} คือ ค่าจำนวนโมเลกุลต่อโมล = 6.022×10^{23} และ F คือ ค่าฟาราเดย์ = 96,485

ดังนั้นงานทางไฟฟ้าหาได้จากสมการที่ (8) และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์กับค่าพลังงานอิสระของกิบส์ (Gibbs free energy), ΔG ได้ดังสมการที่ (9)

$$W_{cl} = n_c F E \quad (8)$$

$$W_{cl} = -\Delta G \quad (9)$$

จากสมการที่ (8) และ (9) สามารถจัดรูปใหม่ และเขียนให้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และ Gibbs free energy, ΔG ดังสมการที่ (10)

$$E = \frac{-\Delta G}{n_e F} \quad (10)$$

$$E = \frac{237,340 \text{ J/mol}}{2 \times 96,485 \text{ A.s/mol}}$$

$$E = 1.23 \text{ volts}$$

สำหรับศักย์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์เชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับค่าพลังงานอิสระของกิบส์ (Gibb's free energy) ของก๊าซเชื้อเพลิง ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา และกระแสไฟฟ้าที่ถูกดึงเมื่อนำแต่ละเซลล์เชื้อเพลิงมาต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรมแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้นตามจำนวนชั้นของเซลล์เชื้อเพลิงที่ต่อกัน กระแสไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันขึ้นกับขนาดของพื้นที่ทำปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิง คุณสมบัติของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

ปฏิกิริยาขั้วแม่เหล็ก (Polarization Characteristics) เป็นความคิดในอุดมคติว่า แรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงในภาวะที่ดีที่สุดตามทฤษฎีควรจะเป็น 1.2 V หากแต่ในความเป็นจริง เซลล์เชื้อเพลิงจะสำเร็จเมื่อได้แรงดันไฟฟ้าที่สูงที่สุดจากผลผลิต เมื่อสู่นาวงโคจร

และแรงดันไฟฟ้าก็จะต่ำลง เมื่อวัตถุดิบที่ได้เพิ่มขึ้น สิ่งเหล่านี้เองถูกเรียกว่า Polarization โดยจะแสดงให้เห็นผ่านกราฟโพลาริเซชัน

ลักษณะสมบัติสภาวะอยู่ตัวเซลล์เชื้อเพลิงในการดำเนินงานจริงนั้นจะเป็นระบบที่ผันกลับไม่ได้หรือโดยทั่วไปมักเรียกว่า กระบวนการโพลาริเซชัน (Polarization) เป็นภาวะที่แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากกระบวนการตามความเป็นจริงมีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าที่คำนวณได้ตามทฤษฎี หรือเกิดค่าแรงดันไฟฟ้าเกินตัวที่ต้องนำมาหักลบ โดยแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ที่ได้จริง (V_{cell}) สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$V = E_{thermo} - \Delta E_{act} - \Delta E_{ohmic} - \Delta E_{conc} \quad (11)$$

โดยที่ E_{thermo} คือ ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานเมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้ามาตรฐาน หรือศักย์ไฟฟ้าตามทฤษฎี ΔE_{act} คือ ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวจากโพลาริเซชันเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี ΔE_{ohmic} คือ ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวจากโพลาริเซชันเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้า ΔE_{conc} คือ ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวจากโพลาริเซชันเนื่องจากการถ่ายโอนมวล โดยศักย์ไฟฟ้าเกินตัวทั้ง 3 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E_{thermo} = E_{thermo}^0 - \left[\frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{p_{H_2O}}{p_{H_2} \times \sqrt{p_{O_2}}} \right) \right] \quad (12)$$

โดยที่ E_{thermo}^0 คือ ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์เชื้อเพลิง R คือ ค่าคงที่สัมประสิทธิ์ของก๊าซ T คือ อุณหภูมิ หน่วยของศาเคลวิน n คือ จำนวนของอิเล็กตรอนต่อโมเลกุล F คือ ค่าคงที่ของฟาราเดย์ p_{H_2O} คือ ค่าความดันของน้ำ p_{H_2} คือ ค่าความดันของไฮโดรเจน p_{O_2} คือ ค่าความดันของออกซิเจน

โพลาริเซชันเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี (Activation Polarization) เป็นการสูญเสียเนื่องมาจากแรงต้านทานของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ศักย์ไฟฟ้าส่วนหนึ่งถูกใช้ไปกับการขับเคลื่อนปฏิกิริยาเคมี เขียนได้ดังสมการ

$$\Delta E_{act} = \left(\frac{RT}{\alpha F} \right) \ln \left(\frac{i + i_{loss}}{i_0} \right) \quad (13)$$

โดยที่ α คือค่าสัมประสิทธิ์ของปฏิกิริยาเคมี, i_{loss} คือค่ากระแสสูญเสีย, i_0 คือค่าความหนาแน่นคงที่ของกระแส, i คือค่าความหนาแน่นของกระแสที่ออกแบบ

โพลาริเซชันเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้า (Ohmic Polarization) คือการสูญเสียเนื่องมาจากความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุที่นำมาใช้เป็นอิเล็กโทรดและเมมเบรน

$$\Delta E_{ohmic} = i(R_{ohmic}) \quad (14)$$

โดยที่ R คือค่าความต้านทานสูญเสีย

โพลาริเซชันเนื่องจากการถ่ายโอนมวล (Mass transport or Concentration Polarization) คือการสูญเสียเนื่องมาจากแรงต้านทานอันเกิดจากความเข้มข้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยาที่ผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา ลดต่ำลงเมื่อเพิ่มค่าความหนาแน่นกระแส เพราะสารถูกใช้ในอัตราที่สูง แต่การถ่ายเทมวลสารเข้าไปทำปฏิกิริยาเป็นไปได้ช้า

$$\Delta E_{conc} = \left(\frac{RT}{nF} \right) \ln \left(\frac{i_L}{i_L - i} \right) \quad (15)$$

โดยที่ i_L คือค่าความหนาแน่นของกระแสจำกัด, และ i คือค่าความหนาแน่นของกระแสที่ออกแบบ

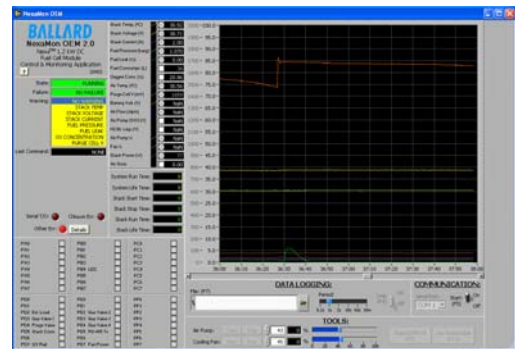
2. วิธีการวิจัย

ได้ศึกษาการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) ขนาด 1.2 kW, 46 A ยี่ห้อ Nexa™ Power Module User's Manual รุ่น MAN5100078 ดังภาพที่ 2



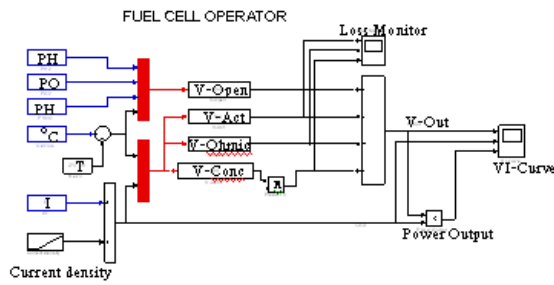
ภาพที่ 2 การติดตั้งส่วนประกอบต่างๆ ของ Module ที่ทำการทดสอบ

เปิดคอมพิวเตอร์ โปรแกรม BALLARD Nexa Mon OEM 2.0 Control & Monitoring Application เพื่อบันทึกข้อมูลการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำการทดสอบ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โปรแกรม BALLARD Nexa Mon OEM 2.0 Control & Monitoring Application แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นการพัฒนาบนพื้นฐานของสมการแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ที่ได้จริง (V_{cell}) ซึ่งในภาพที่ 4 แสดงโครงสร้างแบบจำลองของเซลล์เชื้อเพลิงใน MATLAB

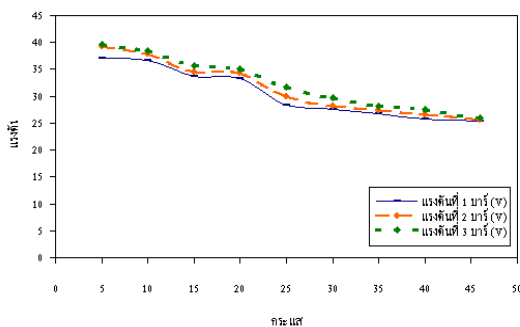


ภาพที่ 4 โครงสร้างแบบจำลองของเซลล์เชื้อเพลิง

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเซลล์เชื้อเพลิง

Parameters	Value
R (J/mol K)	8.3144
F (C/mol, R)	96,500
N	2
α	15
P_{H_2} (bar)	1.25
P_{O_2} (bar)	0.16
i_0 (A)	6.54×10^{-3}
i_L (A)	230×10^{-3}

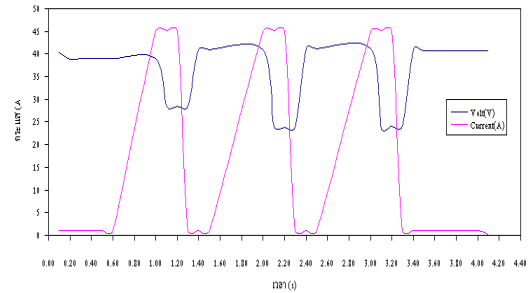
3. ผลและการอภิปรายผล



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันเมื่อความดันเปลี่ยนแปลง

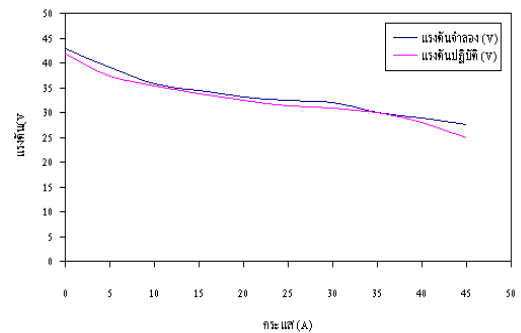
จากผลการทดลองในภาพที่ 5 เมื่อเพิ่มกระแสขึ้นครั้งละ 5 A โดยปรับความดันของก๊าซไฮโดรเจน

เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 บาร์ จนถึง 3 บาร์ จะมีผลทำให้ค่าแรงดันที่ได้จะแตกต่างกันมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากข้อจำกัดของการแพร่ของก๊าซ โดยในระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่มีความดันสูงกว่า ก๊าซจะสามารถแพร่เข้าไปทำปฏิกิริยาได้มากกว่าระบบที่มีความดันต่ำกว่า



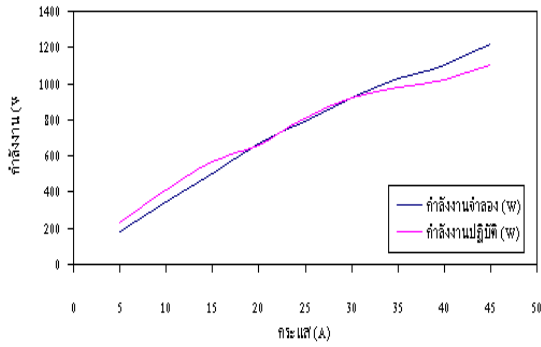
ภาพที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบฉับพลัน

จากผลการทดลองในภาพที่ 6 เมื่อมีการป้อนกระแสที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จาก 1 A เป็น 46 A ที่เวลาทุก 10 วินาที ทำให้แรงดันที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่คงที่ซึ่งเกิดการกระเพื่อมของค่าแรงดัน



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบแรงดันระหว่างแบบจำลองกับปฏิบัติ

จากผลการทดลองในภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างแบบจำลองกับปฏิบัติ ซึ่งผลที่ได้ในสภาวะไร้โหลดในแบบจำลองมีค่า 43 V ส่วนในแบบปฏิบัติมีค่า 41.8 V และในสภาวะมีโหลดสูงสุดในแบบจำลองมีค่า 27.5 V ส่วนในแบบปฏิบัติมีค่า 24.8 V ซึ่งผลในทางปฏิบัติจะมีค่า error มากกว่าในแบบจำลอง ซึ่งเกิดจากค่าตัวแปรต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปนั่นเอง



ภาพที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบกำลังงานระหว่างแบบจำลองกับปฏิบัติ

จากผลการทดลองในภาพที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบกำลังงานระหว่างแบบจำลองกับปฏิบัติ ซึ่งผลที่ได้ในการปรับกระแสเริ่มต้นที่ 5 A ในแบบจำลองมีค่า 180 W ส่วนในแบบปฏิบัติมีค่า 230 W และในสภาวะมีโหลดสูงสุดในแบบจำลองมีค่า 1,220 W ส่วนในแบบปฏิบัติมีค่า 1,020 W ซึ่งผลในทางปฏิบัติจะมีค่า error มากกว่า ในแบบจำลอง ซึ่งเกิดจากค่าตัวแปรต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปนั่นเอง

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรน แลกเปลี่ยนโปรตอน ในงานวิจัยนี้ พบว่า ความดันของไฮโดรเจนมีผลต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งในขณะไร้โหลด แรงดันจะมีค่า 90.70% แต่ในขณะมีโหลดสูงสุด แรงดันมีค่า 76.92% เมื่อเทียบกับแรงดันตามทฤษฎี และทดสอบการเปลี่ยน โหลดของเซลล์เชื้อเพลิงในสภาวะไร้โหลด แรงดันจะมีค่า 97.21%, กำลังงานมีค่า 100% แต่ในขณะมีโหลดสูงสุด แรงดันจะมีค่า 90.19%, กำลังงานจะมีค่า 83.61% เมื่อเทียบกับแบบจำลอง เซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงาน สูงถึง 50 – 70% สำหรับ การเปลี่ยนรูปเป็นไฟฟ้าและ 90% เมื่อรวมพลังงานความร้อนที่ผลิตได้เซลล์เชื้อเพลิงสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น ระบบ

คอมพิวเตอร์ ศูนย์กระจายข่าว ศูนย์สื่อสารศูนย์ประมวลผลข้อมูล โรงงานอุตสาหกรรม รถยนต์ส่วนบุคคล รถโดยสารเครื่องบิน ใช้ในพื้นที่หรือเขตที่มีมาตรฐานของการปลอดภัยมลพิษที่เข้มงวด และพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] นิพนธ์ เกตุจ้อย, วัฒนพงษ์ รัถย์วิเชียร และ สุขฤดี นาคกรณกุล, “เซลล์เชื้อเพลิง: เทคโนโลยีพลังงานสำหรับอนาคต”, Naresuan University Journal.
- [2] Alejandro J. del Real, Alicia Arce, Carlos Bordons, 2007, “Development and experimental validation of a PEM fuel cell dynamic model”, Journal of Power Sources 173(2007) 310-324.
- [3] P. Thounthong and P. Sethakul, “Fuel Cell Power Generator”, in EECON 29 : 2549.
- [4] Winai Chanpeng and Yottana Khunatorn “Simulation of Dynamic Behavior of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell”, International Conference on Green and Sustainable Innovation 2009.
- [5] I. Sadli *, P. Thounthong, J.-P. Martin, S. Ra’el, B. Davat “Behaviour of a PEMFC supplying a low voltage static converter”, Journal of Power Sources xxx(2005).

แบบจำลองแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ใช้สำหรับพลังงานทดแทน

นพรุจ ฤทธานนท์¹ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภคิตพิชญ์¹ บุญยัง ปลั่งกลาง¹ และวารุณี อริยวิริยะนันท์²

บทคัดย่อ—บทความนี้นำเสนอแบบจำลองแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทนซึ่งมีการใช้อย่างกว้างขวาง และเป็นอุปกรณ์สะสมพลังงานสำหรับอุตสาหกรรมอื่นๆ ปัญหาของแบตเตอรี่ในปัจจุบันที่พบก็คืออายุการใช้งานสั้นอันเนื่องมาจากการควบคุมการประจุไม่ดีพอ การบำรุงรักษาไม่สม่ำเสมอประกอบกับผู้ใช้มีความรู้เรื่องแบตเตอรี่ไม่เพียงพอ ดังนั้น ในบทความนี้จึงต้องการแสดงแบบจำลองของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดโดยอาศัยองค์ประกอบพื้นฐานของวงจรไฟฟ้าแทนที่ เพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสถานะการอัดประจุและสถานะการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ซึ่งมีผลโดยตรงต่อสถานะสภาพอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด การศึกษาแบบจำลองของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาหรือการออกแบบวงจรการประจุเพื่อให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่เพิ่มมากขึ้นและเป็นประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนต่อไป

คำสำคัญ แบบจำลองของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด พลังงานทดแทน

1. บทนำ

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเป็นแบตเตอรี่ที่ได้รับความนิยมสำหรับอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนในปัจจุบัน เพราะแบบมีอยู่หลายชนิดแล้วแต่ความเหมาะสมกับงานที่นำไปใช้แต่แบตเตอรี่แต่ละชนิดมีสถานะภาพและขอบเขตในการใช้งานแตกต่างกัน แต่แนวทางในการพัฒายังคงต้องมีต่อไปเพราะปัญหาที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่หลายๆองค์ประกอบ กล่าวคือ เรานำแบตเตอรี่ที่มีอยู่ไปประยุกต์กับงานทางด้านพลังงานทดแทนปัญหาที่เกิดขึ้น เราต้องไขปัญหาแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ในการประยุกต์ให้สอดคล้องกับสมรรถนะของแบตเตอรี่มากที่สุดด้วย แต่ถ้าเราสามารถจำลองเห็นการ

ในการทำงานในโหนดหนักๆ เราก็จะสามารถพัฒนาหรือสร้างแบตเตอรี่เพื่อให้เหมาะสมกับงานที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านพลังงานทดแทนได้ บทความที่[1] ได้นำเสนอเซลล์แบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็ก 1Ah, 2Ah, 2.5Ah เปรียบเทียบรูปทรงของเซลล์แบตเตอรี่ที่แตกต่างกันระหว่างรูปทรงกระบอกและรูปทรงเซลล์แผ่นตามมาตรฐาน IEC ได้ทำการหาค่าอิมพีแดนซ์ในเซลล์แบตเตอรี่ที่มีอยู่ทั้งสองชนิดเพื่อเป็นแนวทางในการหาค่าสถานะในการอัดประจุ (State-of-Charge, SOC) ของแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรด (Valve Regulated Lead-Acid ,VRLA) โดยใช้ค่ากำหนดทางมาตรฐานIEC61056 ด้วยเรื่องของขนาดและชนิดของเซลล์ บทความที่[2] ได้นำเสนอบทความเกี่ยวกับการทำนายผลทางไฟฟ้าจากการจำลอง วัดค่าอิมพีแดนซ์เพื่อหาค่า สถานะภาพการอัดประจุ (State-of-Charge, SOC) สถานะภาพของแบตเตอรี่ (State-of-health, SOH) ใน เพื่อเป็นพื้นฐานรูปแบบแบตเตอรี่ที่ทำงานในช่วงพลวัต ของระบบผสมผสาน บทความที่ [3] นำเสนอรูปแบบของแบตเตอรี่ที่ใช้งานในช่วง

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ²ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ : 0-2549-3571

E-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

พลวัต เพื่อเปรียบเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ภายในบ้าน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาคุณภาพแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดให้เหมาะสมกับงานและนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านพลังงานทดแทนให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด แต่ผลกระทบในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด หรือ คุณสมบัติทางสมรรถนะของแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรด ยังมีข้อเสีย ต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งาน

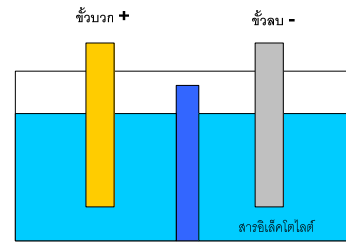
ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอการวิเคราะห์หาผลแบบจำลองแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบพลวัต เพื่อให้สอดคล้องเหมาะสมกับงานด้านพลังงานทดแทนและเป็นแนวทางในการหาค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดให้เหมาะกับงานที่นำไปประยุกต์ใช้งาน จึงต้องการวิเคราะห์และพัฒนาให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพ และอายุการใช้งานให้เหมาะสมกับงานด้านพลังงานทดแทนต่อไป

บทความนี้ประกอบด้วย 5 หัวข้อ หัวข้อที่ 1 ได้กล่าวถึงบทบาทของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด หัวข้อที่ 2 นำเสนอทฤษฎีแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดที่นิยมใช้กับด้านพลังงานทดแทน หัวข้อที่ 3 นำเสนอโครงสร้างแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดอย่างละเอียด หัวข้อที่ 4 นำเสนอแบบจำลองแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด หัวข้อที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

2. แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด คือ อุปกรณ์ใช้เก็บพลังงานที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยตรงด้วยการใช้ เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte solution) แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์หรือมากกว่าก็ได้ รูปที่ 1 เป็นรูปเซลล์พื้นฐานประกอบด้วย ขั้วบวก ขั้วลบ มีสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) และมีแผ่นกั้นเพื่อไม่ให้ขั้วบวกและลบสัมผัสกันโดยตรง ภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ให้แรงดันประมาณ 2 V

แบตเตอรี่ 12 V จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรม เซลล์ทั้ง หกอาจบรรจุอยู่ในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้



ภาพที่ 1 รูปเซลล์พื้นฐานของแบตเตอรี่

ปัจจุบันมีแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดผลิตออกมาจำหน่ายหลายชนิด ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นชนิดที่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบพลังงานทดแทน โดยจะมีด้วยกัน 2 ชนิด คือ (ก) แบบเติมสารละลาย (Flooded Lead Acid Battery) (ข) แบบสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (VRLA Battery) โดยสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

2.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบเติมสารละลาย

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบเติมสารละลายสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด ดังนี้

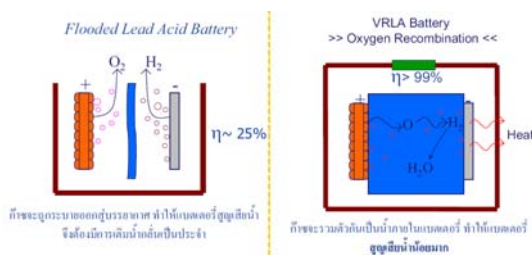
- 1) แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้สารแอนติโมนี (Sb) ผสมกับตะกั่วในแผ่นผสมสารเคมี แบตเตอรี่ชนิดนี้เหมาะที่จะใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์มากเนื่องจากมีความสามารถในการคายประจุได้ดี และมีข้อดีและข้อเสียดังนี้ คือ ข้อดี ของแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือ แผ่นผสมสารเคมี มีความแข็งแรงทนทาน ทำให้สามารถคายประจุได้ดี ข้อเสีย คือ การมีอัตราการคายประจุในตัวเองสูง ทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นบ่อยๆ และขึ้นกับอุณหภูมิและจำนวนครั้งประจุ
- 2) แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดตะกั่ว-แคลเซียม เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้สารแคลเซียม (Ca) ผสมกับตะกั่วในแผ่นกริด ข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือ มีอัตราการคายประจุในตัวเองต่ำ และลดผลการเกิดก๊าซ ทำให้มีการสูญเสียให้น้อยลง การบำรุงรักษาก็ลดลงด้วย ข้อเสีย คือ มีคุณสมบัติการประจุที่ไม่ดีในสภาวะที่

คายประจุมาก ๆ และเมื่อนำไปใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูง แบตเตอรี่ชนิดนี้ สามารถแบ่งได้ 3 ชนิด คือ 1) Open Vent ใช้งานกับระบบรถไฟฟ้าส่วนใหญ่, 2) Sealed Vent ใช้งานกับรถยนต์, และ 3) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี/แคลเซียม ไฮบริด

2.2 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสารละลายอิเล็กโทรไลต์

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดชนิดนี้ ถ้าเกิดสภาวะประจุเกิน ช่องระบายอากาศจะเปิด โดยแรงดันอากาศภายใน แบตเตอรี่ส่วนใหญ่แล้วจะเรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้ว่า (Valve Regulated Lead-Acid, VRLA) แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่นิยมนำมาใช้กับระบบพลังงาน เพราะได้รับการพิสูจน์ใช้งานแล้วและสะดวกต่อการขนส่ง และที่สำคัญคือไม่ต้องเติมน้ำกลั่นซึ่งเป็นแบตเตอรี่ในอุดมคติในพื้นที่ห่างไกล แต่มีข้อเสียคือห้ามประจุเกินและใช้งานสภาวะอุณหภูมิสูง และยังแบ่งได้อีก 2 ชนิด คือ

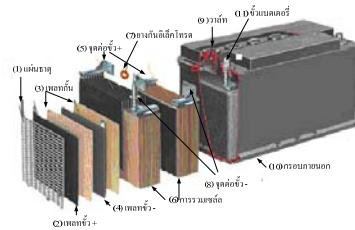
- 1) แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบเจล (Gelled battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้ ออกแบบสำหรับใช้ในงานเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป
- 2) แบตเตอรี่ตะกั่วกรด Absorbed Glass Mat (AGM) ลักษณะเด่นของแบตเตอรี่แบบ AGM คือ ปรากฏการณ์การรวมตัวของก๊าซภายใน เมื่อเราทำการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดใกล้ถึงสภาวะประจุเต็ม จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนรวมตัวกลับเป็นน้ำอีกครั้ง ดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดนี้จะปิดสนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียและก๊าซที่เกิดขึ้นภายใน นิยมนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่แบบ สารละลาย กับ สารละลายอิเล็กโทรไลต์

3. โครงสร้างแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด อย่างละเอียด

รูปทรงของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่หาได้ตามท้องตลาดที่นิยมนำมาใช้งานทางด้านพลังงานทดแทนจากภาพที่ 3 เป็นรูปตัวอย่างของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดเต็มสาร ซึ่งต้องการให้เห็นองค์ประกอบภายในโดยรวมของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ดังในภาพที่ 3



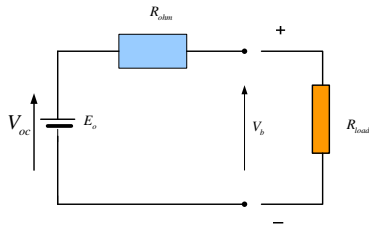
ภาพที่ 3 โครงสร้างแบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด

จากภาพในลำดับที่ 1 แผ่นผสมสารเคมี ทำจากตะกั่วผสม (แอนติโมนี แคลเซียม ซิลิเนียม) ลำดับที่ 2 และ 4 คือแผ่นขั้วภายในของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ลำดับที่ 3 คือ แผ่นเพลทกัน คุณสมบัติที่ดีต้องมีความพรุนให้ออxygen ผ่านได้สะดวกและไม่ทำปฏิกิริยากับกรดหรือแผ่นผสมสารเคมี ลำดับที่ 5 และ 8 คือ จุดต่อขั้วบวกและลบตามลำดับ ลำดับที่ 6 แสดงรูปให้เห็นขณะรวมแผ่นเพลทเข้ากันเป็น 1 เซลล์ ลำดับที่ 7 คือ ยางกันอิเล็กโทรดขณะประกอบเซลล์แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ลำดับที่ 9 คือ วาล์วเอาไว้เปิดปิด ลำดับที่ 10 คือ กรอบภายนอก ลำดับที่ 11 คือ ขั้วของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

4. แบบจำลองแบตเตอรี่

4.1 แบบจำลองพื้นฐานของแบตเตอรี่

จากรูปวงจรพื้นฐานนำมาเขียนให้เห็นในรูปวงจรทางไฟฟ้าให้ง่ายต่อการเห็นภาพจากรูป R_{ohm} คือ ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดซึ่งเกิดจากองค์ประกอบภายในของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



ภาพที่ 4 แบบจำลองพื้นฐานแบตเตอรี่

การประจุของรูปแบบแบตเตอรี่ค่าความต้านทาน R_{ohm} เป็นฟังก์ชันของการชาร์จ(SoC) มีรูปแบบดังภาพที่ 4 สามารถหาค่าความสัมพันธ์ของวงจรได้จากสมการดังนี้

$$V_b = V_{oc} - I_b \cdot R_{ohm} \quad (1)$$

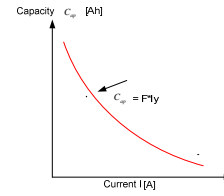
$$I_b = \frac{V_{oc}}{R_{ohm} + R_{load}} \quad (2)$$

$$R_{ohm} = \frac{R_o}{S^k} \quad (3)$$

$$S = 1 - \frac{Ah}{C_n} \quad (4)$$

เมื่อ S คือ ตัวแปรระหว่างประจุ และคายประจุ สามารถปรับค่าได้ (0 ถึง 1) ตามลำดับ, (Ah) A คือ กระแสที่คายประจุ h คือ ชั่วโมงที่คายประจุ, C คือ ขนาดของกระแสที่คายประจุ, n คือ จำนวนชั่วโมงที่คายประจุ, V_{oc} คือ สภาวะขณะสมดุลของวงจร, V_b คือ แรงดันขณะมีโหลด, I_b คือ กระแสขณะมีโหลด, R_{ohm} คือ ค่าความต้านทานในแต่ละช่วงของแรงดัน, R_o คือ ค่าความต้านทานในขณะที่ไม่ประจุเต็ม, R_{load} คือ ค่าความต้านทานโหลด, S^k คือ ปรับค่าระดับในการประจุ (0-1) เมื่อประจุเต็ม(0), คายออก(1)

จากภาพที่ 5 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ในการคายประจุเมื่อค่าความจุของคาปาซิเตอร์มากเมื่อคายประจุน้อยก็จะคายประจุได้นานตรงกันข้ามเมื่อคาปาซิเตอร์คายประจุมากก็จะมีระยะเวลาในการคายประจุน้อย จากแนวแกน x และ แนวแกน y มีค่าของความสัมพันธ์ของเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง



ภาพที่ 5 ค่าความจุแบตเตอรี่กับการคายประจุออก

จากภาพค่าคาปาซิเตอร์ที่มีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อชั่วโมงซึ่งทำหน้าที่เก็บประจุสามารถหาค่าความสัมพันธ์โดยมีกระแสขณะคายประจุกับเวลาเป็นตัวแปรสามารถหาค่าคาปาซิเตอร์ได้จากสมการที่ 5

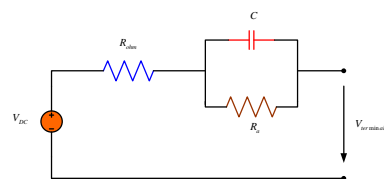
$$C_{ap} = F * I^y \quad (5)$$

เมื่อ C_{ap} คือ ค่าความจุของแบตเตอรี่ (Ah) I คือ ค่ากระแสคายประจุในแนวแกน y (A) คือ ค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลง (h)

4.2 แบบจำลองแบตเตอรี่ตามสมการเทวินิน

พฤติกรรมของแบตเตอรี่เมื่อเราอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ถึงช่วงระยะเวลาขณะหนึ่งเมื่อกระแสเต็มมันจะหยุดทำงานทันที แต่ก่อนที่กระแสจะหยุดทำงาน (Current interruption) ซึ่งเราสามารถหาค่าความสัมพันธ์คำนวณหาได้จากสมการเทวินิน ดังภาพที่ 6

จากภาพที่ 6 วงจรทางไฟฟ้าจากสมการเทวินินได้จำลองรูปแบบภายในแบตเตอรี่โดยมี R และ RC ขนานสามารถเห็นภาพทางวงจรไฟฟ้า หาค่าความสัมพันธ์ของวงจรได้ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แบบจำลองแบตเตอรี่ตามสมการเทวินิน

จากภาพวงจรทางไฟฟ้าหาค่าความสัมพันธ์ภายในวงจรทางไฟฟ้าของเทวินินได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$R_{ohm} = \frac{\Delta V_{ohm}}{I} \quad (6)$$

$$I = \frac{V_{DC}}{R_{ohm}} - V_C \quad (7)$$

$$R = \frac{\Delta V_a}{I} \quad (8)$$

$$V_C = \int \frac{1}{C} \cdot (I - \frac{V_C}{R_a}) \cdot dt \quad (9)$$

$$C = \frac{\tau}{R} \quad (10)$$

$$V_{bat} = V_{oc} - V_L - V_{Rohm} - V_{C1} - V_{C2} \quad (11)$$

$$v_L = L \cdot \frac{dI}{dt} \quad (12)$$

$$V_{Rohm} = R_{ohm} \cdot I \quad (13)$$

$$V_{C1} = \int \frac{1}{C_1} \cdot (I - \frac{V_{C1}}{R_1}) \cdot dt \quad (14)$$

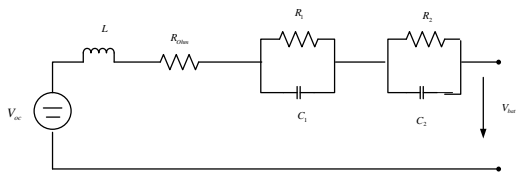
$$V_{C2} = \int \frac{1}{C_2} \cdot (I - \frac{V_{C2}}{R_2}) \cdot dt \quad (15)$$

ΔV_{ohm} คือ ค่าแรงดันในแต่ละช่วงของ, SOC คือ ค่าแรงดันส่วนต่างของแรงดันสูงสุด, R_{ohm} คือ ค่า คตท. ในแต่ละช่วงของ SOC, R_a คือ ค่าความต้านทานในขณะที่แบตเตอรี่เต็ม, I คือ ค่ากระแสในวงจร, C คือ ค่าความจุของแบตเตอรี่, τ คือ ช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

จากภาพที่ 6 ได้แบบจำลองให้เห็นภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดโดยมี คาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นจากรูปวงจรทางไฟฟ้าพื้นฐานจำลองเหตุการณ์ว่าคาปาซิเตอร์

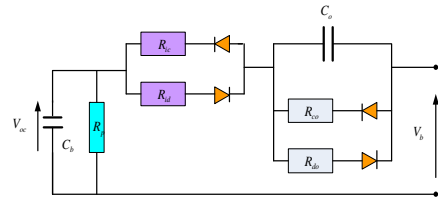
4.3. แบบจำลองวงจรแบตเตอรี่แบบไม่เชิงเส้นขณะทำงานในช่วง พลัด

คุณสมบัติในสถานะการประจุแบตเตอรี่ อยู่ในสถานะหยุดนิ่ง ไม่มีการประจุ หรือไม่มีการคายประจุแรงดัน หรือเรียกช่วง (Voltage Open Circuit, V_{oc}) จะขึ้นกับลักษณะการออกแบบแบตเตอรี่ความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิ (V_{oc}) สามารถหาค่าช่วงประจุ และ คายประจุจากวงจรสมมูลดังต่อไปนี้ ภาพที่ 7 แบบจำลองวงจรสมมูลช่วงพลัดไม่เชิงเส้นของแบบจำลองแบตเตอรี่ เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรสมมูลเทวินิน จะเห็นว่ามีค่าตัวแปร อินดักแตนซ์ C_2 และ R_2 เข้ามาเกี่ยวข้อง สามารถหาค่า ความสัมพันธ์ของวงจรได้จากสมการดังต่อไปนี้



ภาพที่ 7 แบบจำลองวงจรแบตเตอรี่ขณะทำงานอยู่

V_{oc} คือ สถานะขณะสมมูลของวงจร V_{bat} คือ แรงดันขณะมีโหลด คือ กระแสขณะมีโหลด คือ ค่าความต้านทานในแต่ละช่วงของแรงดัน V_L คือ แรงดันตกคร่อมอินดักแตนซ์ คือ แรงดันตกคร่อม R_{ohm} และ V_{C1}, V_{C2} คือ แรงดันตกคร่อม R_1, C_1 และ R_2, C_2 ตามลำดับ



ภาพที่ 8 แบบจำลองวงจรสมมูลช่วงพลัดไม่เชิงเส้นของรูปแบบแบตเตอรี่

จากภาพวงจร C_b คือ คาปาซิเตอร์แบบเตวินิน ทำหน้าที่แหล่งจ่ายเสมือนแบตเตอรี่สามารถบรรยายผลรวมการเก็บประจุ สามารถออกแบบในการควบคุมแหล่งจ่ายแรงดันที่เป็นจริงในสมการคณิตศาสตร์ที่ควบคุมความสัมพันธ์กันของการชาร์ตแบตเตอรี่จนถึงสถานะหยุดนิ่ง (V_{oc}) หาได้จากสมการที่ 16

$$V_b = V_{oc} - I_b R_p - I_b R_b - V_{Co} \quad (16)$$

สามารถหาค่าความสัมพันธ์ของการป้องกันการคายประจุได้ดังต่อไปนี้

$$\Delta E = E_{max} (1 - SOC) \quad (17)$$

$$R_p = \frac{V_{oc}}{I_b} \quad (18)$$

$$I_p = \frac{\Delta E}{V_{oc} \cdot t} \quad (19)$$

ΔE คือ แรงดันป้องกันการคายประจุ E_{max} คือ แรงดันสูงสุด R_p คือ ค่าความต้านทานป้องกันการคายประจุ I_p คือ กระแสป้องกันการคายประจุ

รายการ	แบบจำลอง			
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4
R_{Serial}	/	/	/	/
L_{Serial}			/	
C_{Serial}				
$R_{Parallel}$				/
$RC_{Parallel}$		/	//	/

ตารางที่ 1

หมายเหตุ

แบบที่ 1 คือ ภาพที่ 4 แบบที่ 2 คือ ภาพที่ 6
แบบที่ 3 คือ ภาพที่ 7 แบบที่ 4 คือ ภาพที่ 8

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาแบบจำลองที่แตกต่างกันทางวงจรไฟฟ้าในแบบจำลองพื้นฐาน วงจรไม่ซับซ้อนมาก มีข้อดีคือง่ายต่อความเข้าใจในการเห็นภาพโดยรวมภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด มีค่าความต้านทานภายในของตัวมันเองซึ่งอาจจะเกิดจากสาเหตุใช้วัสดุไม่ได้คุณภาพหรือการบรรจุสารไม่ดีพอ ในแบบจำลองที่ 2 แบบเทวินินมีข้อดีกว่าแบบพื้นฐาน คือ จากแบบจำลองทางไฟฟ้าจำแนกให้เห็นเพิ่มเติมมีคาปาซิเตอร์ ทำให้สามารถจินตนาการจากรูปได้ว่าภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดมิได้มีแค่ความต้านทานภายในเท่านั้นแต่ยังมี คาปาซิเตอร์ที่ทำหน้าที่ประจุและคายประจุภายในตัวแบตเตอรี่เอง แบบจำลองในแบบที่ 3 ได้บ่งบอกให้เห็นความชัดเจนมากขึ้นว่าภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดยังมีอิมพีแดนซ์เข้ามาเกี่ยวข้องเมื่อนำไปต่อใช้งานกับโหลดซึ่งอาจจะเกิดจากวงจรแปลงสัญญาณหรืออุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ และได้จำลองเหตุการณ์ขณะทำงานในช่วงพลวัต ทำให้สามารถเข้าใจเพิ่มมากขึ้นจากแบบจำลองที่ 1 และ 2 แบบจำลองแบบที่ 4 มีค่าความต้านทานต่อขนานเพิ่มมาเพื่อป้องกันกระแสของประจรรั่วไหลขณะคายประจุซึ่งเป็นข้อดีของ

แบบจำลองที่ 4 และ ขยายภาพความต้านทานให้เข้าใจมากยิ่งขึ้นว่าแรงดันช่วงประจุและคายประจุมิค่าไม่เท่ากัน จากรูปวงจรที่นำเสนอทั้งหมดนี้เป็นแนวทางในการจำลองแบบทางไฟฟ้า เพื่อช้อนกับไปหาค่าพารามิเตอร์ภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะได้เป็นแนวทางในการสร้างแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับงานด้านพลังงานอีกต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Salkind, T. Atwater, “ Dynamic characterization of Small lead – acid cells” Journal of power Sources 96 (2001) 151-159.
- [2] H. Blanke, O.Bohlen, S.Buller, “Impedance measurements on lead-acid batteries for state-of-charge, state-of-health and cranking capability prognosis in electric and hybrid electri vehicles” Journal of power Sources 144 (2005) 418-425
- [3] M.Durr, A.Cruden, “Dynamic model of a lead-acid battery for use in a domestic fule cell systram” Journal of power Sources 161(2006) 1400-1411.
- [4] S.Buller, M.Thele, E.Karden “ Impedance-based non-linear dynamic battery modeling for automotive applications” Journal of power Sources 113(2003) 422-430.
- [5] Amir Vasebi ✱, Maral Partovibakhsh, S. Mohammad Taghi Bathaee “ A novel combined battery model for state-of-charge estimation in lead-acid batteries based on extended Kalman filter for hybrid electric vehicle applications ” Journal of power Sources 174(2007) 30-40.
- [6] Lucia Gauchia Babe, Javier Sanz Feito, “Nonlinear dynamic per-unit models for electrochemical energy systems. Application to a hardware-in-the-loop hybrid simulation”, Universidad carlos III de Madrid, Leganes, 2009

การศึกษาความเป็นไปได้ของการบูรณาการระบบจัดการพลังงาน สำหรับอาคารควบคุมในประเทศไทย

เอกตระกูล นาคปลัด¹ และ อภิธิรงค์ อินทรจินดา²

บทคัดย่อ—อ้างอิงจากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งมีการปรับปรุงแก้ไขพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 โดยกำหนดให้โรงงานและอาคารควบคุมจะต้องมีวิธีการจัดการพลังงาน รายงานผลการจัดการพลังงานและเสนอแนวทางการลดใช้พลังงานต่อกระทรวงพลังงานทุกปี อีกทั้งจะต้องมีการตรวจสอบการจัดการพลังงานจากผู้ตรวจสอบภายนอกนั้น อย่างไรก็ตาม โรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมที่ดำเนินการเกี่ยวกับระบบการจัดการพลังงานตามพระราชบัญญัติอาจส่งผลให้เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายให้กับองค์กร ดังนั้นระบบการจัดการแบบบูรณาการจึงถูกนำเสนอเพื่อลดความต้องการทรัพยากร สำหรับโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมให้ต่ำที่สุด ในบทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับระบบ ISO9000 และ ISO14000 ซึ่งเกี่ยวข้องกับด้านคุณภาพและกับระบบการจัดการพลังงาน โดยเปรียบเทียบความสอดคล้องและความแตกต่างกับระบบการจัดการพลังงานตามพระราชบัญญัติ ซึ่งเป็นโครงการนำร่องของกระทรวงพลังงาน พบว่ามีข้อกำหนดที่สอดคล้องและสามารถดำเนินการไปพร้อมกันได้ 8 ข้อกำหนด หรือประมาณร้อยละ 40 ของข้อกำหนดในระบบ ISO9000และ ISO14000 สำหรับข้อกำหนดที่ไม่สอดคล้องจะเพิ่มเติมข้อกำหนดตามระบบการจัดการพลังงานเข้าไปแล้วจัดทำเอกสารหรือคู่มือการดำเนินงาน จากการนำระบบการจัดการแบบบูรณาการมาประยุกต์ใช้จะทำให้อาคารควบคุมมีศักยภาพในการลดการใช้ทรัพยากรได้

คำสำคัญ พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โรงงานควบคุม อาคารควบคุม ISO9000 ISO14000

1. บทนำ

ในโลกปัจจุบันได้มีการจัดกลุ่มความร่วมมือทางการค้าระหว่างกันเกิดขึ้น การพัฒนาประเทศที่มีระบบเศรษฐกิจของแต่ละประเทศต่างกันได้ก่อให้เกิด ปัญหาขึ้นมากมาย กล่าวคือ ประเทศที่พัฒนาแล้วในด้านอุตสาหกรรมจะมีความพร้อมทางการพัฒนาและวิธีการปรับตัวไปสู่การพัฒนาเศรษฐกิจยุคใหม่ได้

ดีกว่าประเทศที่กำลังพัฒนา เช่น ประเทศไทยเราซึ่งจะขาดทั้ง โอกาส วัตถุดิบ บุคลากร และ เทคโนโลยีสมัยใหม่ในเวทีโลกจึงต้องมี การสร้างมาตรฐานทางด้านภาษีศุลกากรและ มาตรฐาน ในการส่งสินค้าเข้า-ออกขึ้นมาบังคับใช้เพื่อ สร้างความเป็นธรรมทางการค้าระหว่างประเทศโดยจัดตั้งองค์การการค้าโลก (World Trade Organization : WTO) ขึ้นมาแต่ยังไม่สามารถหาข้อยุติทางด้านเศรษฐกิจและการค้าได้อย่างลงตัว ทั้งนี้เพราะประชากรของแต่ละประเทศมีความเชื่อ วัฒนธรรมที่แตกต่างกันและมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทุกวัน เวทีการค้าโลกจึงต้องมี การจัดระเบียบรูปแบบการค้าเพื่อไม่ให้มีการเอาเปรียบกัน โดยองค์การการค้าโลกเป็นองค์กรกลางในการกำหนดและตัดสินข้อ ได้เปรียบและเสียเปรียบต่าง ๆ ซึ่งในมาตรฐานที่ องค์การการค้าโลกต้องกำหนดจะมี

¹ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, พลโยธิน อ.คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12110

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, พลโยธิน อ.คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12110

E-mail: enek403@hotmail.com

องค์การระดับโลกอีกองค์การหนึ่งเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย คือ องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (ISO: International Organization for Standardization) มีหน้าที่ในการกำหนดหรือปรับมาตรฐานนานาชาติของสินค้าทุกประเภทของแต่ละประเทศให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน (ยกเว้นด้านไฟฟ้า ซึ่งเป็นหน้าที่ของ IEC) เช่น ข้อบังคับเกี่ยวกับมาตรฐาน ISO 9000 เป็น อนุกรมมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของสินค้าและกรรมวิธีการผลิตที่ได้มาตรฐาน ISO 14000 เป็น อนุกรมมาตรฐานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม และ อนุกรมมาตรฐานอุตสาหกรรม ISO 18000 เกี่ยวข้องกับ เรื่องความปลอดภัยในการทำงาน ชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในสถานประกอบการ

ในบงองค์กรที่มีมาตรฐานมากกว่าหนึ่งมาตรฐาน อยู่ในองค์กร ทำให้ต้องมีการจัดการกับมาตรฐานแยกตามแต่ละประเภทยกตัวอย่างเช่น ระบบมาตรฐาน ISO 9000 กับ ISO 14000 หรือระบบมาตรฐาน ISO 9000 กับ ISO 14000 และ ISO 18000 ทำให้เกิดการยุ่งยากในการจัดการทั้งในเรื่องการจัดเก็บเอกสารและการตรวจสอบจากผู้ตรวจสอบภายนอก จึงมีการบูรณาการระบบต่าง ๆ เข้าด้วยกัน มีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษว่า Integrated Management System (IMS) ทำให้ลดความยุ่งยากในการจัดการ ระบบมาตรฐานที่มีมากกว่าหนึ่งระบบในองค์กรได้เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานเพื่อตอบสนองการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศได้เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง อันเป็นภาระแก่ประเทศในการลงทุนเพื่อจัดหาพลังงานทั้งในและนอกประเทศไว้ใช้ตามความต้องการที่เพิ่มขึ้นดังกล่าว และปัจจุบันการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานเพื่อให้มีการผลิตและการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ ตลอดจนการก่อให้เกิดการผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงและวัสดุที่ใช้ในการอนุรักษ์พลังงานขึ้นภายในประเทศนั้น ยังไม่สามารถเร่งรัดดำเนินงานให้บรรลุเป้าหมายได้ด้วยเหตุนี้กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) จึงได้ยกร่างกฎหมายส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานขึ้นมา เพื่อกำหนดมาตรการในการกำกับดูแล ส่งเสริม และช่วยเหลือเกี่ยวกับการ

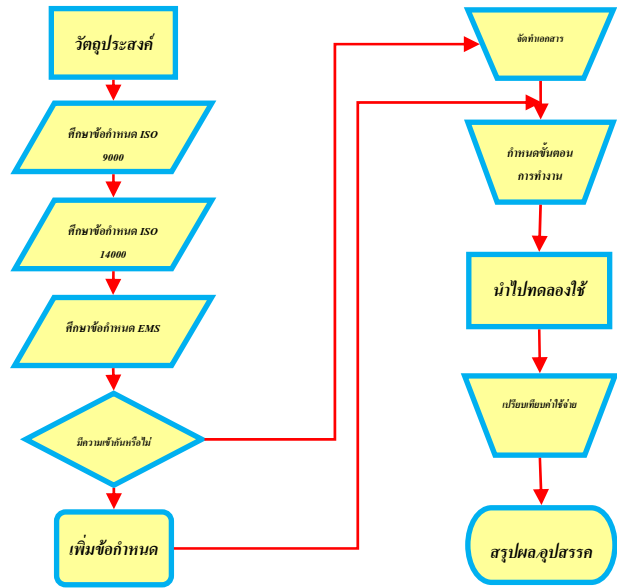
ใช้พลังงาน โดยมีการกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน เป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน การตรวจสอบและวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงาน วิธีปฏิบัติในการอนุรักษ์พลังงาน การกำหนดระดับการใช้พลังงานในเครื่องจักรและอุปกรณ์ การจัดตั้งกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อให้การอุดหนุนช่วยเหลือ ในการอนุรักษ์พลังงาน การป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงาน ตลอดจนการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับพลังงาน และกำหนดมาตรการเพื่อส่งเสริมให้มีการอนุรักษ์ หรือผลิตเครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง หรือวัสดุเพื่อใช้ในการอนุรักษ์พลังงานในท้ายที่สุด

พรบ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 เป็นนโยบายที่ส่งเสริมให้อาคารควบคุม และโรงงานควบคุมประหยัดการใช้พลังงาน โดยมีงบประมาณช่วยเหลือในมาตรการต่างๆ ที่ช่วยในการประหยัดการใช้พลังงาน โดยกำหนดต้องส่งรายงานผลการจัดทำต่อกระทรวงพลังงาน 3 ปีต่อ 1 ครั้ง แต่จากการเปรียบเทียบการใช้งบประมาณกับพลังงานที่สามารถประหยัดได้ จากการกระทำดังกล่าวอยู่ในลักษณะที่ไม่คุ้มทุนเพราะอาคารควบคุม และ โรงงานควบคุมไม่ดำเนินการอย่างจริงจัง จึงมีการแก้ไข พรบ.ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ครั้งที่1 ในปี พ.ศ.2548 โดยมุ่งเน้นให้มีการส่งรายงานผล การใช้พลังงาน และการจัดการ ต่อกระทรวงพลังงานปีละ 1 ครั้ง แต่ก็ไม่ได้ได้รับความร่วมมือจากอาคารควบคุม และ โรงงานควบคุมอย่างจริงจัง จึงไม่คุ้มกับงบประมาณที่ใช้ในการประหยัดพลังงาน จึงนำ พรบ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับเดิมมาแก้ไขครั้งที่ 2 ใน ปี พ.ศ. 2550 โดยให้อาคารควบคุม และ โรงงานควบคุมต้องมีระบบการจัดการลดการตรวจสอบ การดำเนินการ ปัญหาและแนวทางการแก้ไข แล้วต้องส่งการการจัดการพลังงานกับผลการตรวจสอบการจัดการพลังงานจากผู้ตรวจสอบ ให้กับกระทรวงพลังงานปีละครั้ง ถ้าอาคารควบคุมและโรงงานควบคุมใด ไม่ปฏิบัติตาม ถือว่ามีความผิดตามกฎหมายซึ่งคิดว่าจะช่วยให้การใช้พลังงานจะลดน้อยลง

การจัดทำ พรบ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน อาคารควบคุม และ โรงงานควบคุมนั้น หากทำกันอย่างจริงจัง ก็สามารทำให้ประเทศมีปริมาณการใช้พลังงานในทางที่ดีขึ้น แต่ต้นทุนในการจัดทำนั้นอาจจะสูงแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับระบบการทำงานหรือลักษณะการประกอบธุรกิจของอาคารควบคุมและ โรงงานควบคุมนั้น ๆ แต่โดยทั่วไปในอาคารควบคุมและ โรงงานควบคุมจะมีระบบ ISO เป็นระบบควบคุมมาตรฐานการทำงานซึ่งนับได้ว่าเป็นมาตรฐานเดียวกันที่แต่ละอาคารควบคุมและ โรงงานควบคุมต้องปฏิบัติเพื่อผ่านตามข้อกำหนดของ ISO กำหนด ฉะนั้น หากนำระบบการจัดการของ ISO มาเปรียบเทียบการทำงานกับพรบ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ของแต่ละ Procedure ว่า Procedure ใดมีลักษณะการทำงานที่คล้ายกัน หรือสามารถทำงานร่วมกันได้ในของ 2 ระบบ เพื่อลดขั้นตอนการทำงานที่เหมือนกัน โดยการเพิ่มความรับผิดชอบของผู้รับผิดชอบในตำแหน่ง นั้น ๆ ก็จะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดทำพรบ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

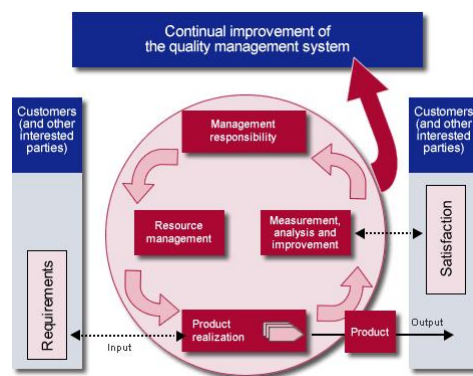
จากการที่ภาครัฐบังคับใช้ พรบ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อให้มีการจัดการพลังงานกับอาคารควบคุม ซึ่งสามารถทำให้สามารถลดการใช้พลังงานโดยรวมของประเทศลงได้ แต่ก็ทำให้เป็นการเพิ่มภาระให้กับองค์กร ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้ จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการ บูรณาการระบบจัดการพลังงานเข้ากับระบบมาตรฐาน ISO 9000 และ ISO 14000 โดยอาศัยสมมุติฐานที่ว่าระบบจัดการพลังงานถูกออกแบบมาบนพื้นฐานเดียวกันกับระบบมาตรฐาน ISO 9000 และ ISO 14000

2. วิธีการวิจัย



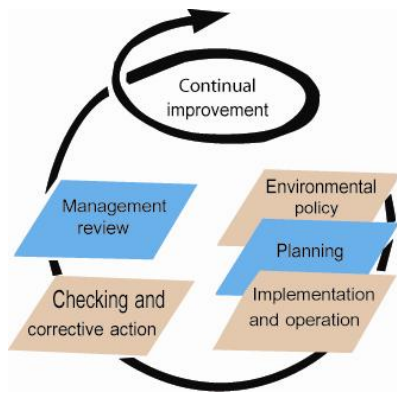
3. ผลและการอภิปรายผล

ระบบการบริหารงานของด้านคุณภาพ (ภาพที่ 1) ซึ่งเป็นกระบวนการการดำเนินงานหลักของระบบ Quality model (SLLC, 2000) เริ่มจากความต้องการของลูกค้าก่อนจะเข้าสู่ กระบวนการผลิตออกมาเป็นสินค้าตลอดจนการส่งมอบให้ลูกค้า ผู้การพัฒนากระบวนการทำงานอย่างต่อเนื่อง



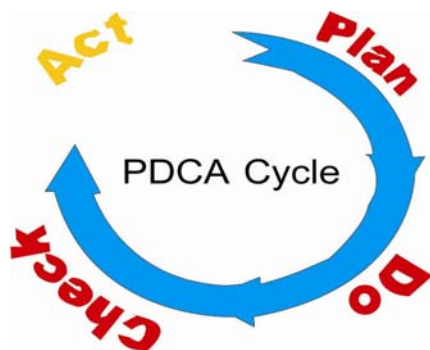
ภาพที่ 1 QMS model (Six Sigma, 2000)

ISO 14000 มาตรฐานระบบการจัดการแบบ สิ่งแวดล้อม (ภาพที่ 2) และมุ่งเน้นที่ผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นของกิจกรรมขององค์กรและ กระบวนการเช่น มลพิษของเสียอันตรายการบริโภค ทรัพยากรธรรมชาติและสุขภาพของพนักงาน (Hale, 1997)



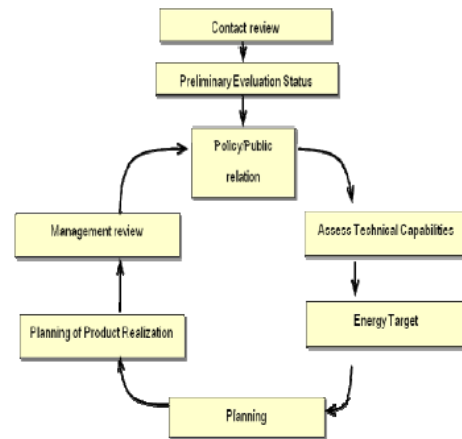
ภาพที่ 2 Environmental management system model (Hale, 2000)

ขั้นตอนการดำเนินงานของระบบคุณภาพ หรือ ISO 9000 มีการดำเนิน 'Plan, Do, Check, Act' (PDCA) (LLC, 2000) และ (C, D, 1999) โดยเริ่มจากการเขียนแผนงานสู่การปฏิบัติตามแผนงานที่วางไว้และการตรวจสอบแผนงานที่ดำเนินการไป และมีการแก้ไขข้อบกพร่องที่นำไป โดยแต่ละขั้นตอนมีการเพิ่มในส่วนของการจัดการด้านพลังงานไปด้วย (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 Deming's Plan-Do-Check-Act cycle (Millidge, 1999)

ส่วนขั้นตอนการทำงานของ พรบ.การส่งเสริม การอนุรักษ์พลังงาน มีขั้นตอนการทำงาน 8 ขั้นตอน สำนักงานนโยบาย และแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2552) โดยขั้นตอนการทำงานมุ่งเน้นไปในด้านของ การบริหารการจัดการด้านพลังงาน และหาวิธีหรือ มาตรการเพื่อการประหยัดและอนุรักษ์ พลังงานตลอดจน การประเมินการใช้พลังงานในขบวนการผลิต (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานตามพระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

การบูรณาการระบบการทำงานระหว่างระบบ ISO 9000 และพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์ พลังงาน เพื่อลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน J.C., D.A. (2002) ซึ่งปรากฏว่าในระบบของ ISO 9000 และ ISO 14000 มีข้อกำหนดที่มีลักษณะการทำงานที่คล้าย และสามารถดำเนินงานไปพร้อมกันได้ประมาณ 40%

4. สรุปผลการวิจัย

1. Communication ซึ่งในระบบ ISO 9000 และ ISO 14000 มีการสื่อสารเรื่องของคุณภาพใน กระบวนการผลิตให้กับบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ทราบ โดยเริ่มจากผู้บริหารมีการประชุมผู้จัดการและ หัวหน้างานที่รับผิดชอบ เพื่อไปอบรมบุคลากรเพื่อให้ มีแนวทางในการผลิตในทางเดียวกัน ซึ่งในข้อกำหนด นี้ในขั้นตอนการดำเนินงานมีการสอดแทรกในด้าน

พลังงาน ตั้งแต่การประชุมตลอดจนถึงขั้นตอนการอบรมบุคลากรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะช่วยลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อนและลดเวลาจำนวนบุคลากรในการจัดจ้างที่ใช้ให้น้อยลง โดยการเพิ่มบทบาทหรือความรับผิดชอบของพนักงานในตำแหน่งนั้น ๆ ให้ครอบคลุมข้อกำหนดของพลังงาน

2. Document and data control ในระบบ ISO 9000 และ ISO 14000 มีการจัดเก็บเอกสารที่เกี่ยวข้องด้านคุณภาพในแต่ละหน่วยงานในองค์กร การบูรณาการสามารถทำได้โดยการออกแบบฟอร์มของเอกสารเพื่อให้มีการบันทึกค่าต่างๆ ด้านพลังงานจะสามารถช่วยลดจำนวนคน และความซ้ำซ้อนของเอกสาร

3. Operational control ในการควบคุมการปฏิบัติงานของระบบ ISO 9000 และ ISO 14000 ซึ่งมีผู้หัวหน้างานแต่ละแผนก ควบคุมดูแลการปฏิบัติเพื่อให้ได้คุณภาพตามข้อกำหนดด้านคุณภาพการเพิ่มบทบาทหน้าที่ดูแล การใช้พลังงานในการผลิตโดยการสร้างจิตสำนึก ในการใช้พลังงานแก่บุคลากรจะทำให้สามารถลดจำนวนคน เวลาที่ใช้ในการทำตลอดจนลดขั้นตอนการทำงานลงได้ก็จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจัดทำระบบการจัดการพลังงานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

4. Audit ในการตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการกระบวนการผลิต ด้านคุณภาพของระบบ ISO 9000 และ ISO 14000 หากมีการสอดแทรกในเรื่องของประสิทธิภาพของพลังงานที่ใช้ในการผลิต เริ่มตั้งขั้นตอนของการประชุมเพื่อวางแผน และกระบวนการผลิต ตลอดจนถึงการบันทึกการใช้พลังงานในการผลิต ซึ่งจะช่วยลดในส่วนของการทำงานที่ซ้ำซ้อนและจำนวนของบุคลากรที่ใช้ในการจัดทำพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานได้

5. Performance measurement and monitoring โดยปกติในระบบ ISO 9000 และ ISO 14000 ในการผลิตจะมีขั้นตอนการติดตามผลการผลิตเพื่อควบคุมในด้านคุณภาพทุกเพิ่มบทบาทของบุคลากรในตำแหน่งนั้น

ให้มีการติดตามตรวจวัดและตรวจเช็คการใช้พลังงานควบคู่ไปด้วยก็จะทำให้ช่วยลดขั้นตอนการทำงานและจำนวนคนให้น้อยลง

6. Checking and corrective action การตรวจเช็คและการแก้ไขเพื่อให้สินค้าที่ผลิตได้มาตรฐานเป็นข้อกำหนดในระบบ ISO 9000 และ ISO 14000 ซึ่งต้องปฏิบัติอยู่แล้ว หากเพิ่มให้มีการตรวจเช็คการใช้พลังงานควบคู่ไปด้วย ในขั้นตอนการตรวจเช็คคุณภาพสินค้า จะช่วยให้ลดในเรื่องของเวลา และจำนวนคนที่ใช้ในการจัดทำพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

7. Records การจดบันทึกเป็นข้อกำหนดที่มีอยู่ในระบบ ISO 9000 และ ISO 14000 ซึ่งมีการบันทึกเกี่ยวกับด้านคุณภาพของระบบการผลิต ในการจดบันทึกข้อมูลต่างๆ ลงในแบบฟอร์ม หากมีการออกแบบฟอร์มใหม่โดยกรเพิ่มเนื้อหาของแบบฟอร์มให้มีการเก็บหรือบันทึกข้อมูลของพลังงานเข้าไปในแบบฟอร์ม เพื่อที่จะสามารถช่วยลดในส่วนการทำงานที่ซ้ำซ้อนและความสับสนเปลืองด้านทรัพยากรอื่นๆ เช่น กระดาษ และบุคลากรที่ทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลของพลังงานได้ เป็นต้น

8. Management review การทบทวนของผู้บริหาร ซึ่งปกติในระบบ ISO 9000 และ ISO 14000 จะมีการประชุมเพื่อหาแนวทางการปฏิบัติที่จะเพิ่มคุณภาพให้ดียิ่งขึ้น การเพิ่มวาระหรือส่วนของพลังงานเข้าไปก็จะช่วยลดความซ้ำซ้อนและประหยัดในส่วน of ทรัพยากรอื่นๆ หากมีการประชุม 2 ครั้ง คือเรื่องของคุณภาพและพลังงาน เช่น เอกสารการประชุมค่าไฟฟ้า ในระหว่างการประชุม เป็นต้น ขณะนี้อยู่ในช่วงการดำเนินการ โดยนำคู่มือการจัดทำพระราชบัญญัติการอนุรักษ์พลังงาน ที่บูรณาการจากระบบ ISO 9000 และ ISO 14000 ไปใช้กับอาคารตัวอย่าง

ส่วนปัญหาและอุปสรรคในการนำคู่มือการจัดการพลังงานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานที่ได้ใช้ระบบการจัดการแบบบูรณาการไปใช้กับ อาคารตัวอย่างมีดังนี้

- สภาพเศรษฐกิจที่อยู่ในช่วงการชะลอตัว ทำให้บริษัทหรืออาคารควบคุมไม่ให้ความสนใจ เนื่องจากต้องใช้จ่ายเงินในการลงทุน

- ความไม่ชัดเจนในการประกาศใช้ระบบ EMS จึงทำให้บริษัทหรืออาคารควบคุมไม่ให้ความสำคัญในการจัดทำ

- พนักงานในองค์กรไม่ค่อยให้ความสำคัญร่วมมือในการจัดทำ เนื่องจากมีภาระงานที่เพิ่มขึ้น

บทสรุป

ผลจากการบูรณาการระบบการทำงานระหว่าง ISO 9000 กับพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานจากข้อกำหนด 17 ข้อ ของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน มีจำนวน 8 ข้อ หรือประมาณ 40% จากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ที่มีลักษณะการทำงานที่เหมือนกันหรือคล้ายกันและสามารถดำเนินงานร่วมกันได้ซึ่งจะทำให้สามารถช่วยลด ในส่วนของความซ้ำซ้อนและเอกสารของแต่ละขั้นตอนการดำเนินงาน จำนวนคนตลอดจนทรัพยากรอื่น ๆ ที่ใช้เพื่อจะดำเนินงานใน ส่วน ของ การจัดทำพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน.[Online] <http://www.eppo.go.th/index-T.html>, 27 ตุลาคม พ.ศ. 2552.
- [2] กระทรวงพลังงาน.”นโยบายพลังงาน” [Online] . <http://www.energy.go.th/moen/Index.aspx?MenuID=16>, 27 กันยายน พ.ศ. 2552.
- [3] Millidge, C. and Smith, D. (1999). “Unifyingmanagement systems”. Manufacturing Engineer,78(3):98-100.
- [4] Millidge, C. and Smith, D. (1999). “Unifying management systems”. Manufacturing Engineer, 78(3):98-100.
- [5] Six Sigma LLC (2000). “An Introduction to ISO 9000,9002,ISO9000:2000”[Online].<http://www.sixsigma.com/library/content/c000917a.asp>., 18 June 2002.
- [6] Wilkinson, G. and Dale, B.G. (1999). “Integrationmanagement system: An examination of theconcept and theory”. TQM Magazine, 11(2):95-104.
- [7] Wilkinson, G. and Dale, B.G. (2000).” Managementsystem standards: The key integration issues.Proceedings of the institution of MechanicalEngineers”, Part B: Journal of EngineeringManufacture, 214(9):771-780.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ผศ.ดร.วรรัตน์ ปีตรประกร ดร.พระระพีพัฒน์ ภาสบุตร และ คุณฤทธิรงค์ อินทรจินดาในการให้คำแนะนำและ ข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ในการแก้ไขข้อบกพร่อง ต่างๆของการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่าง ยิ่งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

การศึกษาความเหมาะสมในการออกแบบและประยุกต์ใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กตามแนวแกนกับจักรยานออกกำลังกายเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า

อานนท์ พวงชิงงาม¹ ดนุพล คำปัญญา¹ พระพิพัฒน์ ภาสบุตร² และวิจิต เครือสุข³

บทคัดย่อ—ในบทความนี้เป็นการนำเสนอผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กตามแนวแกน (AFPMG) เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการออกแบบและการนำไปประยุกต์ใช้งานกับจักรยานออกกำลังกายในการเก็บสะสมพลังงานที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ โดยการทดสอบจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กตามแนวแกนชนิดแม่เหล็กถาวร จำนวน 12 คู่ขั้ว ที่มีขดลวดจ่ายไฟฟ้าจำนวน 3 ชุด ทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ของความเร็วรอบในการหมุนและแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับตัวขับเคลื่อนกำลังที่สามารถปรับความเร็วรอบได้เสมือนเป็นการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้กำลังจากมนุษย์ ผลการทดสอบเห็นได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กตามแนวแกน มีความเหมาะสมและสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ในการสร้างพลังงานไฟฟ้าจากจักรยานออกกำลังกายได้ดี และสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมภายนอกเพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้และนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

คำสำคัญ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กตามแนวแกน จักรยานออกกำลังกาย

1. บทนำ

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าการออกกำลังกายมีส่วนสำคัญในการสร้างเสริมสุขภาพที่ดีของมนุษย์ แต่ในสภาวะปัจจุบันที่คนส่วนใหญ่ต้องอาศัยอยู่ในเมืองจึงมีข้อจำกัดทางด้านของเวลาและสถานที่ในการออกกำลังกาย จึงทำให้เกิดความต้องการที่จะใช้สถานที่ออกกำลังกายที่สะดวกและมีอุปกรณ์ในการออกกำลังกายที่ครบครัน โดยส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ที่ใช้

ออกกำลังกายจะเน้นหนักให้ผู้ออกกำลังกายนั้น สูญเสียพลังงานไปกับอุปกรณ์ทางกลต่างๆ เช่น เครื่องยกน้ำหนักหรือจักรยานออกกำลังกาย ทำให้ในการออกกำลังกายในแต่ละครั้งจะต้องสูญเสียพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์ จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีแนวคิดที่จะนำพลังงานที่เสียไปดังกล่าวมากลับมาใช้ใหม่ โดยการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับจักรยานออกกำลังกาย โดยในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับจักรยานออกกำลังกายมาบ้างแล้ว แต่ในการเลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งกับจักรยานนั้น ยังคงเลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบทั่วไปที่มีจำนวนของขั้วแม่เหล็กน้อยคือ 2 หรือ 4 ขั้ว ซึ่งในการทำงานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าง่ายๆดังกล่าวจะต้องการความเร็วรอบในการหมุนสูง [1] ทำให้ต้องอาศัยการทรอบทางกลเข้าช่วยเป็นเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นทางเลือกดังกล่าวจึงมิใช่แนวทางที่เหมาะสมที่สุด

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ 450 หมู่ 6 ต. ย่นยาว อ. สามชุก จ.สุพรรณบุรี 72130

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 99 หมู่ 18 พหลโยธิน อ. คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

³ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม 61 พหลโยธินเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

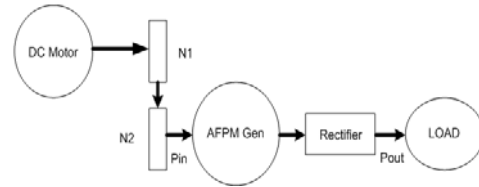
จากปัญหาดังกล่าวทางคณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะนำเอาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นิยมใช้ในการผลิตพลังงานทดแทนคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดสนามแม่เหล็กตามแนวแกน (Axial Flux Permanent Magnet Generator; AFPM) ซึ่งมีคุณสมบัติในการผลิตไฟฟ้าได้ดีที่ความเร็วรอบในการหมุนต่ำ โดยได้ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นเพื่อทำการทดสอบ เมื่อทำการทดสอบแล้วได้ผลว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้สร้างขึ้นสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ดีที่ความเร็วรอบในการหมุนใกล้เคียงการปั่นจักรยานของมนุษย์

สำหรับการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นในบทความนี้ จะเป็นการทดสอบเพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของความเร็วและแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับจักรยานในการผลิตไฟฟ้าจากการออกกำลังกาย ซึ่งผลการทดสอบสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับติดตั้งกับจักรยานออกกำลังกาย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับช่วงอายุและกำลังของผู้ใช้งาน ได้อย่างเหมาะสมต่อไป

2. วิธีการวิจัย

ในการทดสอบนั้น จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับความเร็วรอบในการหมุนได้อิสระเพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กตามแนวแกนที่ได้สร้างขึ้น โดยมีรายละเอียดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นชนิด 12 ขั้วแม่เหล็ก 9 ขดลวดโดยขดลวดทั้งหมดจะถูกแบ่งการต่อวงจรออกเป็น 3 เฟสอิสระต่อกัน โดยสามารถเลือกต่อวงจรเพื่อจ่ายไฟฟ้าจากขดขดลวดในชุด A , AB หรือ ABC ทั้งหมดได้ โดยมีการวัดและบันทึกค่าของความเร็วรอบ แรงบิดที่มอเตอร์ตัวขับใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งการทดลองได้ปรับให้มอเตอร์เพิ่มความเร็วรอบขึ้นเรื่อยๆ เสมือนเป็นการเพิ่มความเร็วในการปั่นของมนุษย์ ซึ่งในการทดสอบนั้นจะทำการต่อขดลวดจ่ายไฟฟ้าทั้ง 3 แบบโดยผลการทดสอบนั้นจะเห็นได้ว่าแรงบิดและความเร็วรอบที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้ในการสร้างพลังงานไฟฟ้ามีความแตกต่างกันออกไป ทำให้เรา

สามารถเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการปั่นเสมือนการสร้างแรงบิดด้วยวิธีทางกล แต่ด้วยวิธีนี้เราสามารถนำพลังงานที่จะต้องเสียไปกับความฝืดและความร้อนเปลี่ยนกลับมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้หมด โดยแผนผังการทดสอบแสดงตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนผังการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

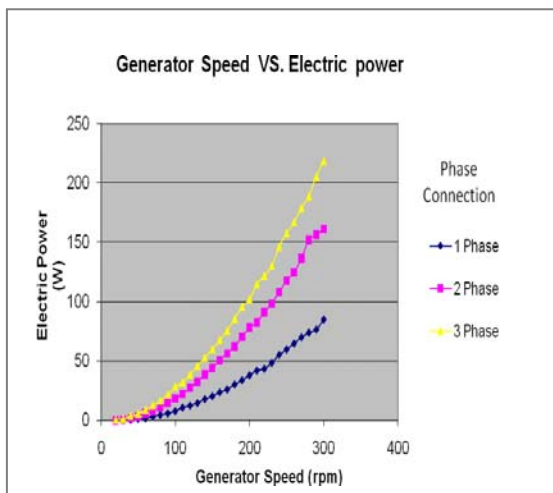
3. ผลและการอภิปรายผล

จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถบันทึกผลความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ กำลังไฟฟ้า และแรงบิดได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Phase A			Phase A and B			Phase A,B and C		
Speed	Pout	torque	Speed	Pout	Torque	Speed	Pout	Torque
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.00	0.10	0.55	10.00	0.15	0.65	10.00	0.25	0.67
20.00	0.12	0.69	20.00	0.17	0.64	20.00	0.40	0.69
30.00	0.25	0.78	30.00	0.70	0.83	30.00	1.17	0.83
40.00	0.54	0.88	40.00	1.80	1.03	40.00	3.60	1.18
50.00	1.30	0.90	50.00	3.24	1.13	50.00	5.52	1.23
60.00	1.80	0.93	60.00	6.24	1.28	60.00	8.84	1.32
70.00	3.24	1.18	70.00	8.00	1.28	70.00	12.60	1.37
80.00	4.60	1.18	80.00	10.80	1.32	80.00	16.64	1.52
90.00	5.88	1.28	90.00	15.00	1.47	90.00	21.70	1.52
100.00	7.82	1.28	100.00	18.56	1.57	100.00	28.50	1.72
110.00	10.80	1.42	110.00	22.44	1.67	110.00	32.00	1.72
120.00	12.42	1.37	120.00	27.38	1.77	120.00	38.64	1.81
130.00	14.56	1.37	130.00	32.76	1.81	130.00	46.00	1.86
140.00	18.00	1.47	140.00	38.64	1.91	140.00	52.80	2.01
150.00	20.48	1.42	150.00	44.00	1.91	150.00	60.00	2.11
160.00	23.80	1.47	160.00	50.60	1.91	160.00	67.60	2.16
170.00	26.18	1.57	170.00	56.40	1.96	170.00	75.60	2.21
180.00	30.34	1.52	180.00	62.50	1.96	180.00	85.50	2.35
190.00	33.82	1.72	190.00	70.20	2.01	190.00	95.70	2.35
200.00	38.00	1.72	200.00	78.30	2.21	200.00	102.00	2.40
210.00	42.00	1.77	210.00	82.50	2.26	210.00	114.70	2.40
220.00	43.43	1.86	220.00	91.20	2.35	220.00	121.60	2.50
230.00	48.40	1.91	230.00	98.60	2.31	230.00	130.00	2.50
240.00	55.20	1.91	240.00	108.00	2.31	240.00	146.20	2.65
250.00	59.80	1.96	250.00	117.80	2.35	250.00	157.50	2.65
260.00	64.80	2.01	260.00	124.80	2.50	260.00	166.85	2.65
270.00	70.00	2.01	270.00	136.50	2.50	270.00	178.85	2.75
280.00	73.95	2.11	280.00	151.80	2.50	280.00	188.70	2.80
290.00	76.50	2.11	290.00	156.40	2.55	290.00	205.20	2.84
300.00	84.80	2.11	300.00	161.00	2.55	300.00	218.40	2.84

จากตารางบันทึกผลจะเห็นได้ว่าเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกขับให้หมุนที่ความเร็วรอบมากขึ้นจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มากขึ้นตามไปด้วย และในกรณีที่มีการปรับเพิ่มเฟสของขดลวดจ่ายไฟฟ้าจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องการความเร็วรอบในการขับเคลื่อน เช่น จากตารางถ้าต้องการกำลังไฟฟ้าประมาณ 75 วัตต์เมื่อต่อขดลวดเฟส A จะต้องใช้รอบในการขับ 280 รอบแต่เมื่อต่อขด B และขด C เข้าไปตามลำดับจะส่งผลทำให้รอบลดลงเหลือ 200 และ 170 ตามลำดับ โดยที่แรงบิดที่ใช้ในการขับมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถกำหนดค่าความเร็วในการปั่นได้หลายระดับขึ้นอยู่กับช่วงอายุและสมรรถนะของผู้ออกกำลังกาย โดยคุณลักษณะของความเร็วรอบและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้แสดงตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กตามแนวแกน เห็นได้ว่าเราสามารถนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้ไปประยุกต์ใช้กับจักรยานออกกำลังกายเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการออกกำลังกายได้ เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าวสามารถทำงานได้ดีที่ความเร็วรอบในการหมุนต่ำใกล้เคียงกับ

ความเร็วรอบในการปั่นจักรยานของมนุษย์ อีกทั้งยังสามารถปรับเปลี่ยนการต่อชุดของขดลวด เพื่อสร้างแรงดันการหมุนให้เหมาะสมกับช่วงอายุและสมรรถนะของผู้ใช้งาน เสมือนการสร้างแรงดันในจักรยานออกกำลังกายทั่วไป ต่างกันที่จักรยานออกกำลังกายทั่วไปการสร้างแรงดันทางกลจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อน แต่การสร้างแรงดันของจักรยานออกกำลังกายผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กตามแนวแกนนั้นเราสามารถนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิจิต เครือสุข นิमित บุญภิรมย์ และปรีชา กอเจริญ "สวนจักรยานออกกำลังกายเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าสำหรับชุมชนในชนบทที่ห่างไกล" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31 (EECON-31), 2551
- [2] Chan, C.C., "Axial-Field Electrical Machines – Design and Applications," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. EC-2, No. 2, pp. 294-300, 1987.
- [3] Sitapati K., and Krishnan R., "Performance comparisons of radial and axial field permanent magnet brushless machines," IEEE Trans, IA-37(5), pp.1219-1226, 2001.

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ในการเอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า เพื่อใช้ในการเก็บผลการทดสอบ และบุตรสาวที่น่ารักของข้าพเจ้าที่คอยให้กำลังใจตลอดมา

ระบบเฝ้าสังเกตการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และกักเก็บด้วย พืชี

นภัทร วัฒนเทพินทร์¹ และ ไชยยันต์ บุญมี¹

บทคัดย่อ— บทความนี้กล่าวถึงการออกแบบและพัฒนา ระบบเฝ้าสังเกตการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บด้วย พืชี เพื่อสนับสนุนต่อการวิจัยของห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานทดแทนของคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ระบบเฝ้าสังเกตนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดและแสดงพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและข้อมูลสถานะอากาศของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 4.872 kW และระบบผลิตไฟฟ้าจากกักเก็บขนาด 1 kW จำนวน 2 ตัว ระบบเฝ้าสังเกตนี้ได้พัฒนาขึ้นนี้สามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์และสามารถวัดและแสดงผลค่าต่างๆ ได้ดังนี้คือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดกักเก็บ และระบบจำหน่าย ค่าพลังงานไฟฟ้า ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ ความเร็วลม และทิศทางลม อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และความชื้นสัมพัทธ์ ระบบการตรวจสอบที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ใช้คอมพิวเตอร์เก็บข้อมูลและสร้างรายงาน และซอฟต์แวร์ของระบบพัฒนาขึ้นโดยโปรแกรม LabVIEW

คำสำคัญ ระบบเฝ้าสังเกตด้วย พืชี LabVIEW

1. บทนำ

การออกแบบระบบเฝ้าสังเกตของระบบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของเจ้าของระบบฯและเทคโนโลยีของเซ็นเซอร์ หรือเครื่องมือวัดที่ใช้ในโครงการนั้นๆ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บ ส่วนมากจะเฝ้าสังเกต การทำงานเพื่อประเมินสมรรถนะของระบบ โดยใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์แบบต่างๆ ประกอบกับการสร้างซอฟต์แวร์ที่เหมาะสมร่วมกับระบบคอมพิวเตอร์จะเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่สุด ระบบเฝ้าสังเกตการทำงานของระบบในปัจจุบัน กรณีที่ต้องการทำงานและการตรวจสอบระยะไกล การออกแบบระบบเฝ้าสังเกต

การทำงานที่ดีจะต้องส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์น้อยที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานของระบบเฝ้าสังเกตนั้นไม่ควรเกินกว่า ร้อยละ 5 ของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของระบบการผลิตไฟฟ้านั้น [1] ระบบเฝ้าสังเกตการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บนั้น เปรียบเสมือนผู้ดูแลระบบการผลิตไฟฟ้าดังกล่าวว่ายังคงทำงานอยู่ในสภาวะปกติหรือไม่ โดยปกติควรจะเฝ้าสังเกตการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าทุกวันและสามารถรายงานผลการผลิตได้ทั้งในรูปแบบของข้อมูลรายวัน รายเดือน และรายปี ดังนั้นวิธีการวัดและเฝ้าสังเกตการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญ เนื่องจากเป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นต้องใช้ซอฟต์แวร์ที่มีความยืดหยุ่นสูง สามารถใช้กับฮาร์ดแวร์ที่หลากหลาย และต้องเป็นซอฟต์แวร์ที่พัฒนาง่าย โปรแกรมด้วยภาษากากราฟิกแบบโมดูล (Modular graphical programming language) ซึ่งซอฟต์แวร์ที่มี

¹ห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานทดแทน คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี 7/1 ถ.นนทบุรี1 ต.สวนใหญ่ อ.เมืองนนทบุรี จ.นนทบุรี 11000

คุณสมบัติเหล่านี้มีหลากหลาย แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในกลุ่มนักวิจัยและวิศวกร คือ ซอฟต์แวร์ LabVIEW [2]

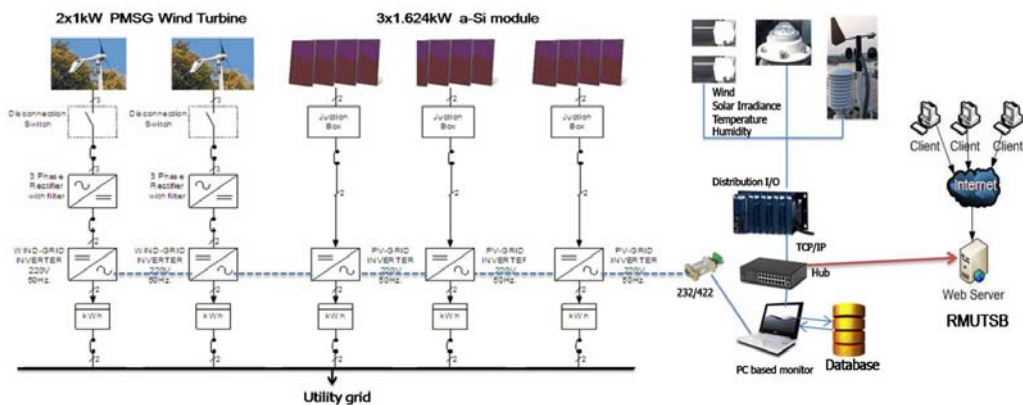
การใช้ซอฟต์แวร์ดังกล่าวในการพัฒนาโปรแกรมที่จะใช้เฝ้าสังเกตการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บพลังงานเป็นทางเลือกที่ดี การที่จะสร้างระบบเฝ้าสังเกตที่มีเสถียรภาพสูง ผู้วิจัยจำเป็นต้องเลือกฮาร์ดแวร์ที่เหมาะสมกับซอฟต์แวร์ที่เลือกใช้ และการอินเตอร์เฟซฮาร์ดแวร์ต่างๆ ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ภายใต้โปรโตคอล TCP/IP ได้ การพัฒนาจะทำได้พร้อมกันกับการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้า การปรับแต่งและแก้ไขโปรแกรมทำได้ง่ายโดยไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ [3]

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ดำเนินการโครงการวิจัยการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์ดังกล่าวจนถึงปัจจุบัน(2553) โดยใช้ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟิสซิลิคอน ขนาด 4.872 kWp แบ่งออกเป็นสามชุดที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าเท่ากัน โดยแต่ละชุดจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงให้กับอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว ขนาด 2.2 kW 220 V / 50 Hz อินเวอร์เตอร์ทั้งสามเครื่องผลิตไฟฟ้ากระแสสลับต่อตรงเข้ากับระบบจำหน่ายสามเฟสของการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งจ่ายให้กับอาคารที่ทำกรวิจัยสำหรับกักเก็บผลผลิตไฟฟ้าได้ติดตั้งขนาด 1 kW จำนวน 2 ตัว ต่อเอาต์พุตของแต่ละตัวเข้า

กับวงจรเรียงกระแสสามเฟสเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์แบบต่อเข้าระบบ 2 เครื่อง แต่ละเครื่องมีขนาดกำลังไฟฟ้า พิกัด 550W ดังแสดงในภาพที่ 1 ระบบดังกล่าวยังไม่มีระบบเฝ้าสังเกตการทำงานของระบบฯ ที่สมบูรณ์ เนื่องจากคงวัดและแสดงผลได้เฉพาะค่าประมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้า และพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าบางส่วนเท่านั้น ไม่สามารถตรวจวัดค่าสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่มีผลต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าจากระบบดังกล่าวได้ คณะผู้วิจัยจึงออกแบบและสร้างระบบเฝ้าสังเกตการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าดังกล่าว ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บ และสามารถสร้างรายงานเกี่ยวกับสมรรถนะของระบบ เพื่อนำข้อมูลมาใช้เป็นสารสนเทศทางการวิจัยได้อย่างเหมาะสมและ สามารถแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บได้

ในบทความนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรที่ต้องการวัดและเฝ้าสังเกตตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยจำนวนทั้งสิ้น 18 ตัวแปร ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. แรงดันไฟฟ้าของชุดเซลล์แสงอาทิตย์
2. กระแสไฟฟ้าของชุดเซลล์แสงอาทิตย์
3. กำลังไฟฟ้าของชุดเซลล์แสงอาทิตย์
4. แรงดันไฟฟ้าของกักเก็บผลผลิตไฟฟ้า



ภาพที่ 1 ระบบไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บแบบต่อเข้าระบบ และระบบเฝ้าสังเกตด้วยพีซี

5. กระแสของกังหันลมผลิตไฟฟ้า
6. กำลังไฟฟ้าของกังหันลมผลิตไฟฟ้า
7. แรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์
8. กระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์
9. กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์
10. พลังงานไฟฟ้าที่ระบบจ่ายออกมาทั้งหมด
11. เวลา / วันที่ / เดือน / ปี
12. ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์แนวระนาบ
13. ความเร็วลม
14. ทิศทางลม
15. อุณหภูมิแวดล้อม
16. อุณหภูมิที่ผิวหน้าเซลล์แสงอาทิตย์
17. อุณหภูมิที่ผิวด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์
18. ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

2. วิธีการวิจัย

2.1 การออกแบบระบบเฝ้าสังเกต

1. ส่วนฮาร์ดแวร์

ระบบเฝ้าสังเกตในโครงการนี้ ออกแบบให้สามารถรับข้อมูลอินพุตได้สองส่วน ข้อมูลสถานะอากาศบริเวณอาคารที่ทำการวิจัย และ ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลม

1.1 เซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์ (Sensors) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น อุณหภูมิ แสง สี การเคลื่อนไหว ฯลฯ และส่งสัญญาณที่วัดได้ แปลงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ในบทความนี้ประกอบไปด้วย [4]

1. ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Wm^{-2}) ของ NovaLynx รุ่น 240-8102 วัดความเข้มแสงอาทิตย์ 0-1500 Wm^{-2} เอาต์พุต 4-20 mA

2. เซ็นเซอร์อุณหภูมิ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้วิจัยเลือกแบบ PRTD (Platinum Resistance Temperature Devices) ของ NovaLynx รุ่น 210-4470A เอาต์พุตถูกแปลงสัญญาณแรงดันเป็นกระแสไฟฟ้า ด้วยอุปกรณ์รุ่น 210-405000

3. เซ็นเซอร์อุณหภูมิแวดล้อม และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity/Temperature Probe) เลือกใช้ผลิตภัณฑ์ของ NovaLynx รุ่น 41382LC/LF

4. เซ็นเซอร์ความเร็วลมและทิศทางลม (Wind speed / Direction sensor) เพื่อวัดความเร็วลม และ วัดทิศทางลม จากผลิตภัณฑ์ของ NovaLynx รุ่น 200-WS-22

1.2 อุปกรณ์เก็บรวบรวมข้อมูลและควบคุมการอินเตอร์เฟซ

อุปกรณ์เก็บรวบรวมข้อมูลและควบคุมการอินเตอร์เฟซ (Data acquisition and controller interfaces) จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ทุกตัว ซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อก แปลงเป็นดิจิทัล และส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบแลน (LAN) ผู้วิจัยเลือกอุปกรณ์ตัวรับและกระจายข้อมูล ของเนชั่นแนลอินสตรูเมนต์ มีรายละเอียดของโมดูลต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. โมดูลแอนะล็อกอินพุต รุ่น CFP-AI-110 เป็นแบบอินพุตแอนะล็อก 8 แชนเนล

2. โมดูลควบคุมการอินเตอร์เฟซ รุ่น CFP-2000 ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลมาจากโมดูลแอนะล็อกอินพุต และส่งข้อมูลไปยังพีซีที่ใช้เป็นฐานข้อมูล ผ่านทาง LAN

3. ตัวต่อสายสัญญาณ รุ่น CFP-CB-1 เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ต่อสายสัญญาณจากเซ็นเซอร์เข้าไปยังโมดูลแอนะล็อกอินพุต

4. โมดูล Backplanes รุ่น CFP-BP-4 โมดูลนี้เป็นส่วนที่ใช้จับยึดโมดูลอื่นๆ ทุกตัวไว้ในแผงเดียวกัน

1.3 การเชื่อมต่อ

เนื่องจากระยะทางระหว่างคอมพิวเตอร์เก็บข้อมูล และจัดทำรายงาน อยู่ห่างจากเซ็นเซอร์และชุดควบคุม อินเทอร์เน็ตประมาณ 50 เมตร ผู้วิจัยจึงกำหนดการ อินเทอร์เน็ตออกเป็นสองส่วน คือ

1. การเชื่อมต่อระหว่างพีซีกับอินเวอร์เตอร์ในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มี 3 ชุด และอินเวอร์เตอร์ในระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมมี 2 ชุด แต่ละชุดมีเอาต์พุตพอร์ตแบบ RS-232 จึงต้องแปลงเป็น RS-422 โดยใช้โมดูลแปลงสัญญาณ RS-232/422 รุ่น ET-RS422/485 เพื่อให้ใช้งานได้ในระยะไกล ผู้วิจัยติดตั้งการ์ดอินเทอร์เน็ต PCI-485/4 เพื่อรับข้อมูลที่มาจาก RS-422 เข้าพีซีที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและประมวลผล

2. การเชื่อมต่อระหว่างพีซี และอุปกรณ์เก็บรวบรวมข้อมูลและควบคุมการอินเทอร์เน็ตเฟซ ใช้วิธีการเชื่อมต่อผ่านโปรโตคอล TCP/IP ผ่านอีเทอร์เน็ต

2. ส่วนซอฟต์แวร์

ระบบเฝ้าสังเกตด้วยพีซี (PC-based monitor system) คือ ส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่เป็นทั้งระบบฐานข้อมูล การแสดงผลและการจัดทำรายงาน พีซีนี้จะต้องมีโปรแกรมที่ติดตั้งอยู่ 2 ส่วน คือ

ก. โปรแกรม RMUTSB-H1 โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เพื่อให้สามารถอ่านและบันทึกข้อมูลของระบบ และสร้างรายงานเพื่อแสดงถึงสารสนเทศทางการวิจัยที่ผู้วิจัยต้องการ โปรแกรมนี้พัฒนาด้วย LabVIEW

ข. โปรแกรมฐานข้อมูล MS MySQL นำมาใช้เพื่อทำหน้าที่เป็นระบบฐานข้อมูล เนื่องจากเป็นโปรแกรมแบบ Open Source

2.1 โปรแกรมเฝ้าสังเกต RMUTSB-H1

การพัฒนาโปรแกรม ดังกล่าวมีหน้าที่ของโปรแกรมไว้ 2 ส่วนหลัก คือ โปรแกรมอ่านและเก็บ

ข้อมูล และ โปรแกรมสร้างรายงานกำหนดให้มีหน้าที่ติดต่อกับส่วนฮาร์ดแวร์ทุกส่วนที่ส่งข้อมูลเข้ามาเก็บในพีซี ประกอบไปด้วย โปรแกรมย่อย 4 โปรแกรม คือ

ก. โปรแกรม Data acquire and logging

ข. โปรแกรม Setting parameter

ค. โปรแกรม Status Checking

ง. โปรแกรม Report

การทำงานของโปรแกรม Data acquire and logging จะเริ่มจากการตรวจสอบการเข้าใช้งานของผู้ใช้ และตั้งค่าการติดต่อกับอุปกรณ์รับส่งข้อมูล จากนั้นโปรแกรมจะเริ่มต้นจากการอ่านค่าข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการผลของการอ่านข้อมูลจะนำไปแสดงบนจอภาพของพีซี และจัดเก็บลงในฐานข้อมูล แล้วรอเวลาจนครบวนการอ่านครั้งต่อไป (ตั้งไว้รอบละ 5 นาที)

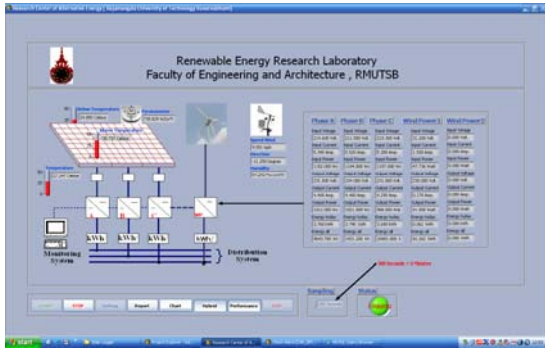
2.2 โปรแกรมสร้างรายงาน

โปรแกรมสร้างรายงานจะนำข้อมูลที่เก็บไว้แล้วในฐานข้อมูลมาสร้างเป็นรายงานได้อย่างรวดเร็วและเป็นอัตโนมัติ ในส่วนของโปรแกรมสร้างรายงานนี้พัฒนาโดย LabVIEW เช่นกัน โดยใช้ Toolkit ของ SQL ในการติดต่อไปยังฐานข้อมูลด้วย ODBC (Open Database Connectivity) เพื่อให้โปรแกรม LabVIEW ติดต่อกับวินโดวส์ผ่านไปยังตัวโปรแกรมฐานข้อมูลได้

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 การทำงานของโปรแกรมเฝ้าสังเกต

โปรแกรมจะแสดงหน้าจอดังภาพที่ 2 โดยแสดงผลของข้อมูลแบบเวลาจริงจากอุปกรณ์การวัดต่างๆ และสามารถกำหนดเวลาเก็บข้อมูลได้ สามารถเลือกข้อมูลมาทำรายงาน และสามารถแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมซึ่งออกแบบให้แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในปัจจุบัน และที่ผลิตได้สะสมได้

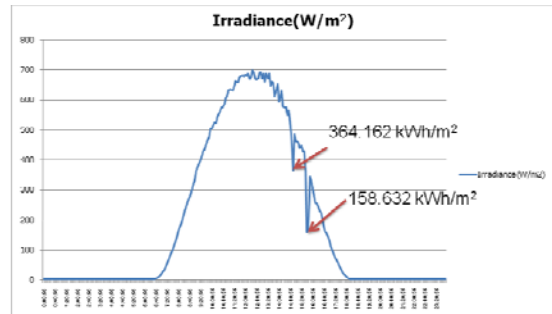


ภาพที่ 2 หน้าจอการทำงานของโปรแกรม

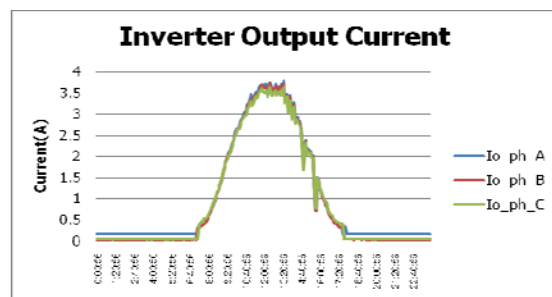
3.2 ผลการเฝ้าสังเกต

การทำงานของโปรแกรมที่นำข้อมูลมาเป็นผลการเฝ้าสังเกตในบทความนี้ สุ่มข้อมูลระหว่างปี 2551-2552 ตัวอย่างข้อมูลการแสดงผลรายวัน ผู้วิจัยสุ่มเลือกข้อมูลวันที่ 15 มกราคม 2552 และวันที่ 30 สิงหาคม 2551 โดยบันทึกข้อมูลทุก 5 นาที ผลของค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่วัดได้ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 697.972 kWh/m^2 ที่เวลา 12.25.56 ระบบเฝ้าสังเกตแสดงให้เห็นว่า ช่วงเวลาที่มีเมฆมากความเข้มของแสงอาทิตย์จะลดลงมาก เช่น ที่เวลา 14.16.56 ลดลงเหลือ 364.162 kWh/m^2 และที่เวลา 15.40.56 เหลือเพียง 158.632 kWh/m^2 ดังแสดงในภาพที่ 3 สำหรับกราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์สามเครื่องอ่านค่าได้สูงสุด 3.7A 3.74A 3.64A ที่เวลา 12.25.56 น. และจะลดต่ำลงในช่วงเวลาที่ความเข้มของแสงอาทิตย์ลดลงดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับกราฟภาพที่ 3 ส่วนกราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตและอินพุตของอินเวอร์เตอร์สามเครื่องดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 5 ส่วนภาพที่ 6 แสดงกราฟอุณหภูมิที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิแวดล้อมของสถานที่วิจัยแสดงให้เห็นว่า ความแตกต่างระหว่างค่าของอุณหภูมิด้านบนและด้านล่าง ของเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างเวลาที่อุณหภูมิแวดล้อมมากกว่า 20°C คือระหว่างเวลา 10.00-16.00น. มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 9.618°C และมีค่าความ

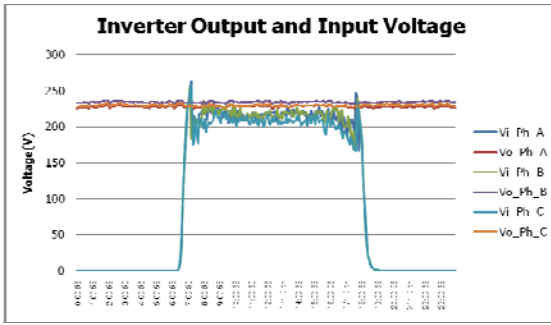
แตกต่างสูงสุดเท่ากับ 11.96°C ที่เวลา 14.45.56 น. พฤติกรรมนี้น่าสนใจเพราะความแตกต่างของอุณหภูมิ น่าจะนำไปแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้แม้จะมีค่าเพียงเล็กน้อยก็ตาม การเฝ้าสังเกตการณ์ทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าผู้วิจัยสุ่มเลือกข้อมูลจากวันที่ 30 สิงหาคม 2551 โดยโปรแกรมทำการบันทึกข้อมูลทุก 5 นาที พบว่า ความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 5.829 mph และกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดเท่ากับ 90.015 วัตต์ ที่ความเร็วลมเท่ากับ 15.148 mph ที่เวลา 16:40:55 ดังภาพที่ 7 การสังเกตค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุตที่อินเวอร์เตอร์ทำงานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.236V และแรงดันเอาต์พุตที่ระบบจำหน่ายมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 229.291V ดังแสดงในภาพที่ 8 ผลของการเลือกข้อมูลเพื่อแสดงรายงานในลักษณะการเปรียบเทียบ เช่น ข้อมูลของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยรายวัน (kWh/Day) ของอินเวอร์เตอร์ของชุดผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสามเครื่อง ในรอบ 1 เดือน โดยบันทึกข้อมูลทุก 5 นาที ในเดือน มกราคม 2552 จะได้กราฟ



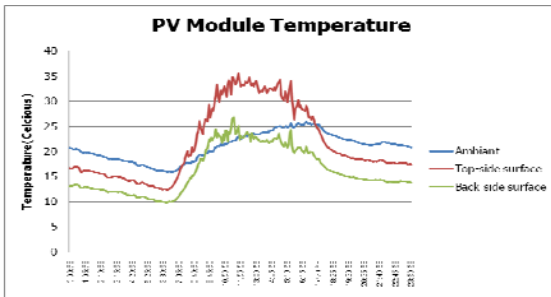
ภาพที่ 3 ความเข้มแสงอาทิตย์ของวันที่ 15 ม.ค. 2552



ภาพที่ 4 กระแสไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ 3 เครื่องระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (15 ม.ค. 2552)

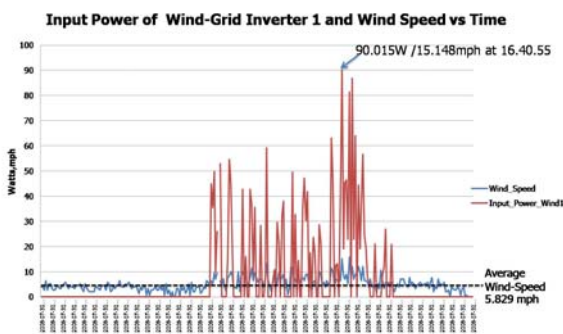


ภาพที่ 5 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ 3 เครื่อง จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (15 ม.ค. 2552)

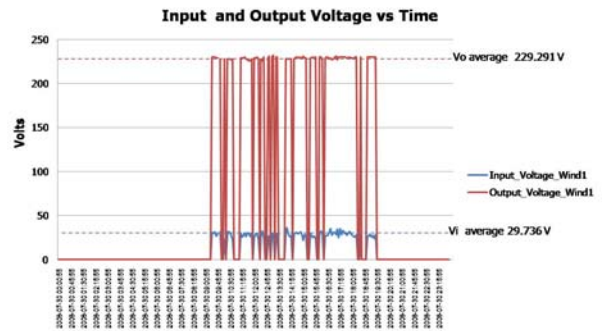


ภาพที่ 6 อุณหภูมิที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิแวดล้อมของสถานที่วิจัย วันที่ 15 ม.ค. 2552

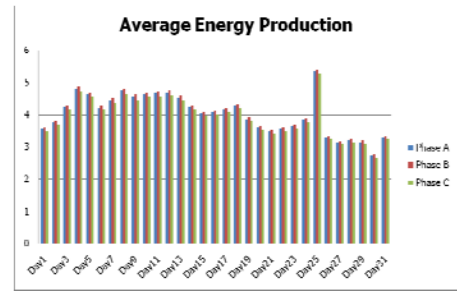
ข้อมูลเฉลี่ยรายวันในรอบหนึ่งเดือนดังภาพที่ 9 และ กราฟแสดงข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยในรอบหนึ่งปีดังภาพที่ 10 พบว่าค่าความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 3.5322 mph สูงสุดในเดือนกันยายน 2551 เท่ากับ 4.4034 mph ต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม เท่ากับ 2.6735 mph



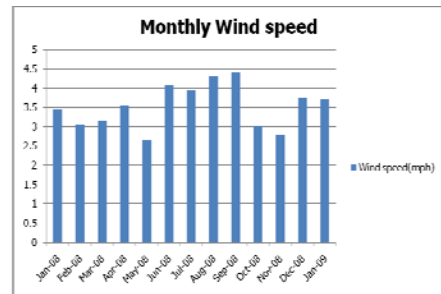
ภาพที่ 7 ความเร็วลมเฉลี่ยและกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของกังหันลมผลิตไฟฟ้า วันที่ 30 สิงหาคม 2551



ภาพที่ 8 แรงดันไฟฟ้าอินพุต และเอาต์พุตของกังหันลมผลิตไฟฟ้า วันที่ 30 สิงหาคม 2551



ภาพที่ 9 ค่าพลังงานจากชุดผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ในแต่ละวัน ของเดือนมกราคม 2552



ภาพที่ 10 ความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนในรอบหนึ่งปี

4. สรุปผลการวิจัย

ระบบเฝ้าสังเกตการทำงานของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถวัดและเก็บข้อมูลสารสนเทศทางการวิจัยได้ตามวัตถุประสงค์และสามารถสร้างสารสนเทศการวิจัยในรูปแบบของรายงานได้ โดยข้อมูลที่ได้อาจจะแสดงให้เห็นพฤติกรรมการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าแบบเวลาจริง การเฝ้าสังเกตนี้จะสามารถบอกได้ถึงความคิดปกติของระบบผลิตไฟฟ้าได้ และสามารถเข้าถึงข้อมูลระยะไกลได้จากระบบอินเทอร์เน็ต ทำให้เกิดความสะดวกในการวิเคราะห์การทำงานของระบบ อย่างไรก็ตามระบบยังคงต้องการบุคลากรที่จะเข้าไปตรวจสอบระบบฯ ทุกวันเพื่อบริหารจัดการระบบฯ ในระยะต่อไปผู้วิจัยจะพัฒนาระบบเฝ้าสังเกตให้สามารถแจ้งเตือน ข้อผิดพลาดจากการทำงานของระบบไปยังผู้ดูแลได้โดยตรงแบบทันที จะช่วยลดการสูญเสียพลังงานจากการหยุดเดินระบบได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Didier Thevenare, Michael Ross and Gordon Howell. "A CHECKLIST FOR PV SYSTEM MONITORING" Renewable Energy Technology in Cold Climates' 98, CANADA (pp. 273- 278)
- [2] Cor J. Kalkman "LabVIEW : A software system for data acquisition, data analysis and instrument control" Journal of Clinical Monitoring and Computing, 2005, P.51-58
- [3] <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3278>
- [4] นภัทร วัจนเทพินทร์ และเฉลิมพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์ "ระบบเฝ้าสังเกตการณ์ทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าระบบ" การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, พ.ศ. 2550

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ระบบแสงสว่างพลังงานแสงอาทิตย์

ธนวัฒน์ พันธุ์ชัย¹

บทคัดย่อ—บทความนี้นำเสนอ การออกแบบสร้าง ระบบแสงสว่างพลังงานแสงอาทิตย์ร่วม สำหรับการใช้งานใน สำนักงาน องค์กร เกษตรกรรมหรือบ้านพักที่มีความจำเป็นการใช้แสงสว่างในตอนกลางวัน เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าง โดยระบบแสงสว่างประกอบด้วย ชุดแสงสว่างหลอดเรืองแสงหรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ 12 โวลต์ เซลล์แสงอาทิตย์ 2oWp คาปาซิเตอร์แบบเตอร์รี่ แบตเตอรี่ 12 โวลต์ ชุดควบคุมและแหล่งจ่ายร่วม โดยระบบจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงโดยตรงเมื่อมีการใช้แสงสว่างในตอนกลางวันและประจุแบตเตอรี่ และในตอนกลางคืนใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เป็นลำดับแรก จนเหลือค่าแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงเท่ากับ 10.5 โวลต์ จึงเปลี่ยนไประบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากกระแส สลับ 240 โวลต์ ระบบใช้บัสเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีวงจรอินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่อิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 12 โวลต์ 7 วัตต์จำนวน 1 หลอด ระบบติดตามดวงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เบสิกแอสมป์ 2SP40 และ วงจรประจุแบตเตอรี่ ประจุแบบPWMและMPPTควบคุมด้วยไอซี TL494 ร่วมกับวงจรหมิตริกเกอร์ ทำงานที่ความถี่สุ่ม 40 กิโลเฮิร์ตซ์ มีประสิทธิภาพมากกว่า 95 % ทำการจำลองด้วยโปรแกรมและทดลองใช้ระบบ กับไฟสนามหน้าแผนกอิเล็กทรอนิกส์และ ห้องน้ำสาธารณะ ที่มีความถี่ในการปิดเปิดแสงสว่างตามสภาพการใช้งานสูงสุด พบว่าระบบแสงสว่างพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมที่สร้างขึ้น สามารถทำงานได้เป็นที่พอใจ

คำสำคัญ ไฟแสงสว่าง พลังงานแสงอาทิตย์ โซล่าเซลล์

1. บทนำ

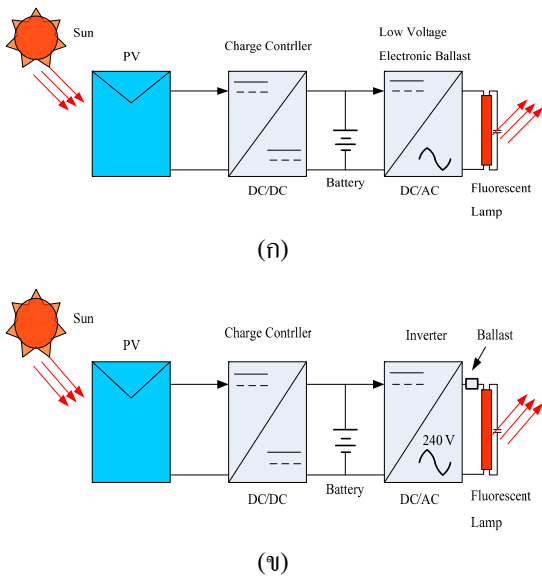
พลังงานทดแทน เป็นจุดที่สนใจในปัจจุบันมีการนำมาใช้อย่างกว้างขวาง มีสองรูปแบบ รูปแบบแรกใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงใช้แล้วหมดไป หรือพลังงานสิ้นเปลืองเช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น รูปแบบที่สองเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน หรือเรียกว่าพลังงานหมุนเวียน เช่น แสงอาทิตย์ ลม น้ำ ชีวมวล เป็นต้น ซึ่ง

เป็นพลังงานสะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อให้มีการผลิต และการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายเหมาะสม มีการส่งเสริมใช้งานมากขึ้น

การใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์โดยเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานมีหลากหลาย เช่นด้านแสงสว่าง ด้านอำนวยความสะดวก(เครื่องใช้ไฟฟ้า) ด้านสูบน้ำ เป็นต้น ส่วนระบบแสงสว่างด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นต้องแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เก็บ ไปยังแบตเตอรี่และแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับ (Inverter Circuit) มีสองแบบดังในภาพที่ 1 คือ แบบแรกใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำ น้อยกว่า 48-100 โวลต์ แปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แรงดันต่ำ และแบบที่สองคือใช้แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับปกติ 220-240 Vac 50Hz

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เขตพื้นที่เชียงใหม่ 99 หมู่ 10 ต.ทรายขาว อ.พาน จ.เชียงใหม่ 57250
โทรศัพท์: +66(53)-729-600 ต่อ4204
โทรสาร: +66(53)-729606-7
E-mail: ptanawat@yahoo.com

แล้วใช้บัลลาสต์แกนเหล็กหรือบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ซึ่งแบบแรกจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบที่สอง แต่ความสะดวกต่อการใช้งาน จะเป็นแบบที่สอง แต่อย่างไรก็ดี แบบที่หนึ่งคงช่วยให้ใช้พลังงานอย่างประหยัดและคุ้มค่า ลดความซับซ้อนของระบบฯ ลงเหมาะสมกับระบบฯ ที่ขนาดเล็กและปานกลาง ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเสนอระบบแสงสว่างด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จ่ายด้วยไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำ

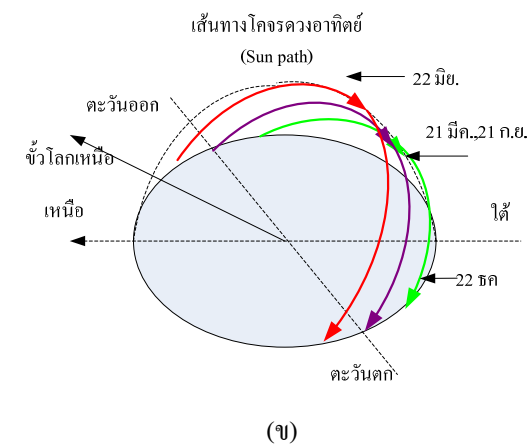
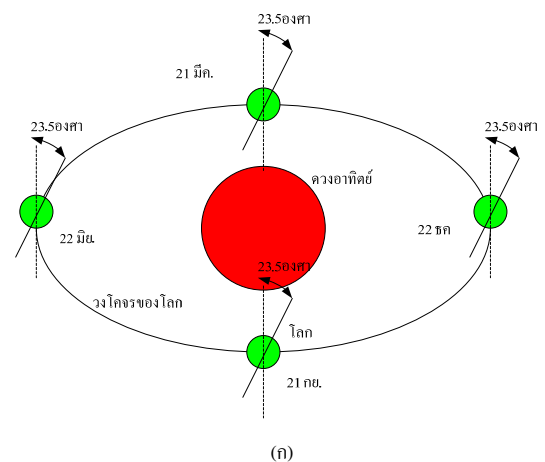


ภาพที่ 1 ระบบแสงสว่างพลังงานแสงอาทิตย์
 ก).ใช้บัลลาสต์ ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำ
 ข).ใช้บัลลาสต์ ไฟฟ้ากระแสสลับ

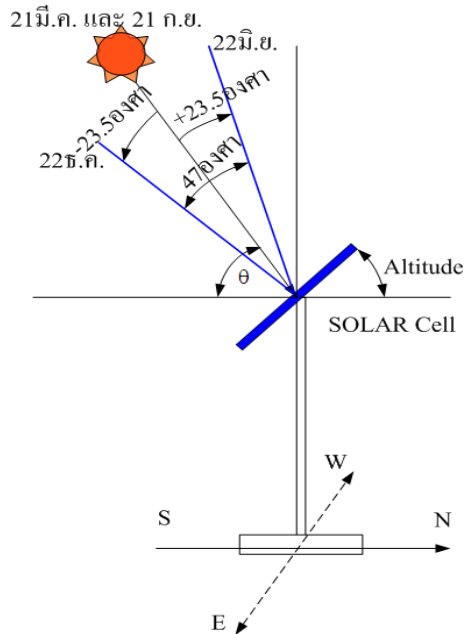
2. วิธีการวิจัย

การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เปลี่ยนไปตามฤดูกาลและเวลา โดยที่ดวงอาทิตย์ทำมุมกับโลกมีการเปลี่ยนแปลงมุมองศาเหนือ 23.5 องศาและองศาใต้ 23.5 องศา เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวมีมุมเอียงเท่ากับ 23.5 องศา ตามภาพที่ 2

การคำนวณมุมก้มเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ เวลาเที่ยงตรงของท้องถิ่น เมื่อวันที่ 21 มี.ค.และวันที่ 21 ก.ย. หาค่าเวลาจริงจากสมการที่ 1 ถึง สมการที่ 2 และหามุมก้มเงย(Altitude) ตามสมการที่ 5 ดังนั้นมุมก้มเงยตอนเที่ยงวัน วันที่ 21 มี.ค.และ 21 ก.ย.ของทุกปี โดยมีเปลี่ยนแปลง แต่ละเดือนละ 7.833 องศาและ สัปดาห์ละ 1.958 องศา ในงานนี้การติดตามแบบสองแกน โดยมุมก้มเงยใช้วิธีการปรับด้วยมือตามตารางเวลาที่กำหนดทุก ๆ สัปดาห์คือปรับทีละ 1.958 องศา อาศัยการสังเกตจากเวลาที่เที่ยงวันหรือใช้เครื่องมือวัดมุม



ภาพที่ 2 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ตามเวลา และฤดูกาล



ภาพที่ 3 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ตามเวลาและฤดูกาล ในมุมก้มเงย (Altitude)

$$LAT = LST + Long + E \quad (1)$$

$$LST = LAT + Long - E \quad (2)$$

$$\theta = 90^\circ - LocalLatitude \quad (3)$$

$$Altitude = 90 - \theta \quad (4)$$

$$\therefore Altitude = LocalLatitude \quad (5)$$

เมื่อ

LAT - Local apparent time

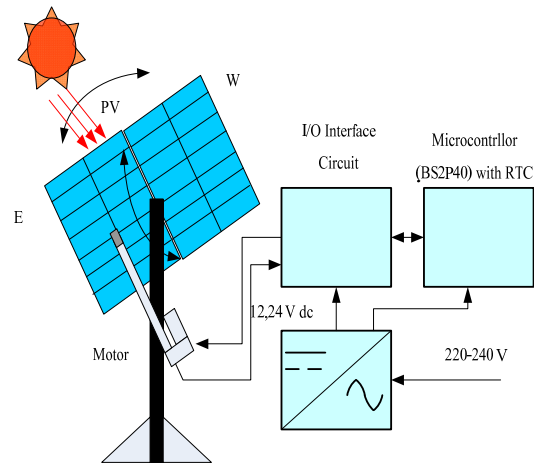
LST - Local Stand time

Long - Longitude east

E - Equation (+12,0,-12h)

θ - มุมตกกระทบที่วันที่ 21 มี.ค. และ 21 ก.ย. ของทุกปี

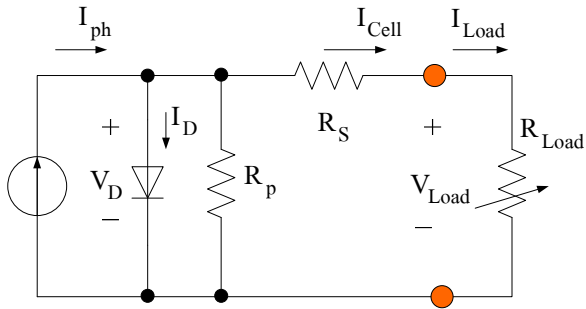
Altitude มุมก้มเงยตอนเที่ยงวัน วันที่ 21 มี.ค. และ 21 ก.ย. ของทุกปี โดยมีเปลี่ยนแปลงแต่ละเดือนละ 7.833 องศา และสัปดาห์ละ 1.958 องศา



ภาพที่ 4 ระบบติดตามดวงอาทิตย์ (Solar Tracking System) ที่ออกแบบเคลื่อนที่ตามเวลาจริง

ระบบแสงสว่างด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบ ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20 Wp 17V จำนวน 2 แผง เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงควบคุมทิศทางการรับแสง (Tacking) แบบสองแกน (Dual Axis Trackers) ควบคุมด้วยไมโครโทรลเลอร์จับมุมกวาดด้วยมอเตอร์เกียร์มีสวิตช์แม่เหล็ก ใช้ในการนับรอบของมุมกวาด จ่ายด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ดังภาพที่ 4

ระบบติดตามดวงอาทิตย์ดังกล่าว ออกแบบมุมกวาด (Azimuth Axis) จาก ทิศตะวันออก ไปยังทิศตะวันตก ได้ 120 องศา (-48 องศา, 0 องศา, +72 องศา) โดยที่ 0 องศาเป็นเวลาเที่ยงตรงของเวลาที่ท้องถิ่น และมุมก้มเงย (Altitude) ปรับด้วยมือ ปรับตามเดือนที่กำหนด เดือนละ 7.8 องศาหรือ 1.95 องศาต่อสัปดาห์ สามารถปรับได้สูงสุด ± 23.5 องศา และการเคลื่อนที่มุมกวาดด้วยความเร็วเชิงมุม ด้วยเวลา 10 นาทีต่อ 2.5 องศา เริ่มที่เวลา 8.20 น. แล้วเคลื่อนที่ทุกๆ 10 นาที ทีละ 2.5 องศา ถึงเวลา 16.50 น. โดยใช้ฐานเวลาจริง (Real-time clock : RTC) ไอซี เบอร์ DS1307 ควบคุมด้วยไมโครโทรลเลอร์เบสิกแพลตฟอร์ม BS2P40



ภาพที่ 5 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโหลด

จากภาพที่ 5 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโหลด ก็หาค่ากระแสของเซลล์โดยสมการที่ 6 ส่วนการหาจุดกำลังงานสูงสุด (MPP) จากภาพที่ 7 ก็จะสามารถหาค่าแรงดันและกระแสเซลล์ที่ให้กำลังงานสูงสุดได้จากความสัมพันธ์ของสมการ R_{SM} และ R_{PM} เมื่อบทความนี้เลือกใช้ เซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อ CAPNETPRO รุ่น CNP 20 W มีค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ เซลล์แสงอาทิตย์ CNP 20 W “CAPNETPRO”

CAPNETPRO รุ่น CNP 20 Wp	
Short circuit current (I_{short})	1.27 A
Open circuit current (I_{short})	21.7 V
Rated Current (I_{MPP})	1.14 A
Rated voltage (V_{MPP})	17 V

$$I_{cell} = I_{ph} - I_0 \left(\frac{q}{eAkT} (V_{Load} + I_{cell} R_s) \right) \frac{V_{Load} + I_{cell} R_s}{R_p} \quad (6)$$

เมื่อ

I_{cell} - กระแสเอาต์พุตของเซลล์ (A)

I_{ph} - กระแสที่กำเนิดจากแสง (A)

I_0 - กระแสย้อนกลับ(A)

q - ประจุอิเล็กตรอน (1.6×10^{-19} C)

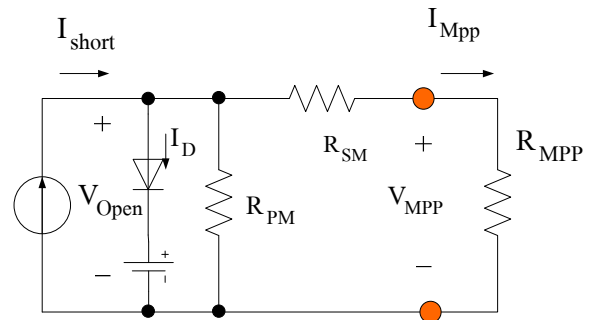
V_{Load} - แรงดันที่โหลด (V)

A - Ideality Constant

K - Boltzmann's constant

(8.65×10^{-5} eV / K)

T - อุณหภูมิของเซลล์ (K)

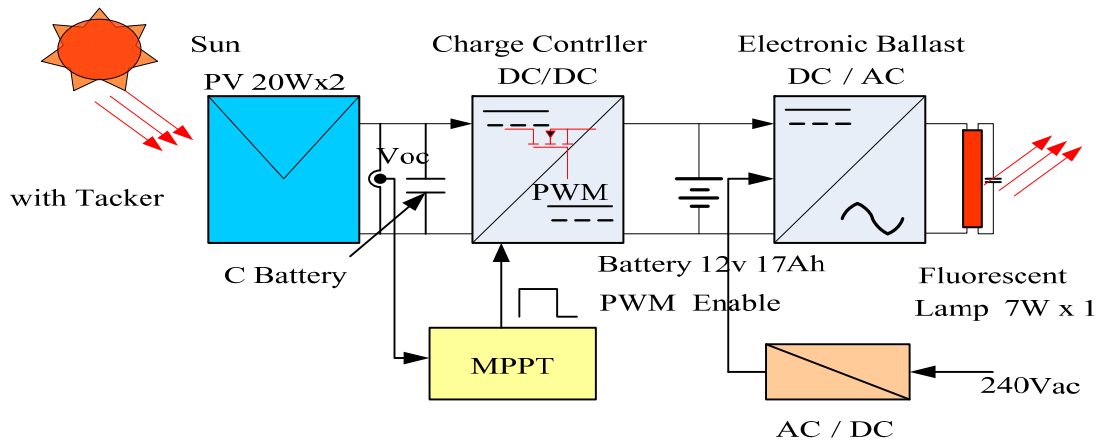


ภาพที่ 6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จุดที่กำลังงานสูงสุด (MPP)

$$R_{SM} = \frac{V_{open} - V_{MPP}}{I_{MPP}} \quad (7)$$

$$R_{PM} = \frac{V_{open}}{I_{short} - I_{MPP}} \quad (8)$$

$$R_{MPP} = \frac{V_{MPP}}{I_{MPP}} \quad (9)$$



ภาพที่ 7 ระบบแสงสว่างพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมที่นำเสนอ

การออกแบบโดยมีภาระโหลดมากที่สุดคือ หลอดไฟแสงสว่าง ขนาด 7W 12V จำนวน 1 หลอด กำลังงานเอาต์พุตสูงสุด P_{Out} เท่ากับ 7 W และกระแส โหลดสูงสุด เท่ากับ 0.67A ประสิทธิภาพการประจุ แบตเตอรี่ มากกว่าหรือเท่ากับ 95% จากกราฟ คุณลักษณะของแบตเตอรี่ใช้เวลา 20 ชั่วโมงจะมี ประสิทธิภาพสูงสุดอายุการใช้งานนานที่สุดเมื่อกระแส คายประจุของแบตเตอรี่เท่ากับ 5% ดังนั้น กระแส โหลดสูงสุด เท่ากับ 5% Ah ของแบตเตอรี่ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{Battery capacity} &= \frac{I_L}{0.05} \\ &= \frac{0.67A}{0.05} = 13.4Ah \\ &\cong 17Ah \end{aligned} \quad (10)$$

เมื่อแบตเตอรี่ 12 V/17Ah กระแสในการประจุ สูงสุด 40% เท่ากับ 6.8A และการประจุเร็ว 25% เท่ากับ 4.25 A ที่แรงดัน 14.5-15 V และประจุต่อเนื่อง 15% เท่ากับ 2.55 A ที่แรงดัน 13.8 V และกระแสรอ การใช้งาน 20 – 50 mA

จากค่าประสิทธิภาพ[1] เมื่อเทียบ P_{Bat} กับ P_{Out}

$$P_{Bat} = \frac{P_{Out}}{\eta} = \frac{P_{Lamp}}{\eta} \quad (11)$$

∴ ดังนั้น กำหนด $\eta \geq 0.95(95\%)$

$$Ah_L = \frac{P_{Bat} \times t_{Func}}{V_{Bat}} \quad (12)$$

$$Ah_{PV} = \frac{I_{RS} \times R_{med}}{R_S} \quad (13)$$

$$N_{PV} = \frac{Ah_L \times V_{Bat}}{Ah_{PV} \times V_{MPP}} \quad (14)$$

$$C_{Bat} = \frac{Ah_L \times d \times V_{Bat}}{Ah_{PV} \times DC} \quad (15)$$

เมื่อแสงอาทิตย์ความเข้มปานกลางเฉลี่ย $725W/m^2 / 10$ ชั่วโมง สถิต 4 ปีจากงานวิจัย[2] หรือ $7,250W/m^2$ ต่อวัน ดังนั้น คำนวณ ได้ $P_{Lamp} = 7W$ และ $P_{Bat} = 7.368W (\eta \geq 95\%)$ $Ah_L = 7.368Ah, Ah_{PV} = 8.265Ah$ เมื่อเวลาใช้ งาน 12 ชั่วโมง เวลาที่มีแสงเฉลี่ยเท่ากับ 10 ชั่วโมง ดังนั้นจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ 0.89 แผง ประมาณ 1 แผง ในงานนี้กำหนดใช้ 12 V จำนวน 2 แผง เพื่อในวันที่มีปริมาณแสงน้อย

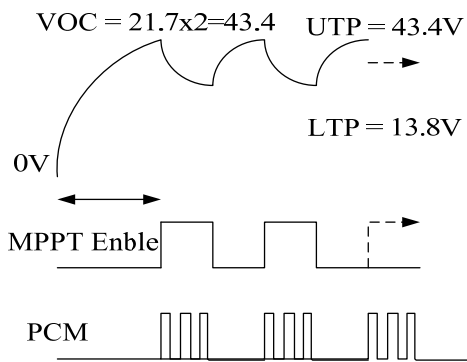
เนื่องจาก กระแสแผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายสูงสุดได้ ไม่เกิน 1.14A งานนี้ได้บทความออกแบบ Current Boots ใช้ Capacitor ความจุสูงเก็บประจุเป็นแบตเตอรี่ Capacitor Battery

$$\text{กำหนด ใช้ } C_{Battery} = \frac{I_{MPP} \times Tch}{V_{OC} - VD} \quad (16)$$

เมื่อ ใช้ Capacitorตามท้องตลาด ค่า 0.18F/63V
 ดังนั้น $T_{ch} = 3.22$ วินาทีเมื่อคายประจุกระแสสูงสุด

$$I_{dis} = \frac{C_{Battery}(V_{oc}-V_D)}{T_{PCM}} \quad \text{หากประจุด้วย}$$

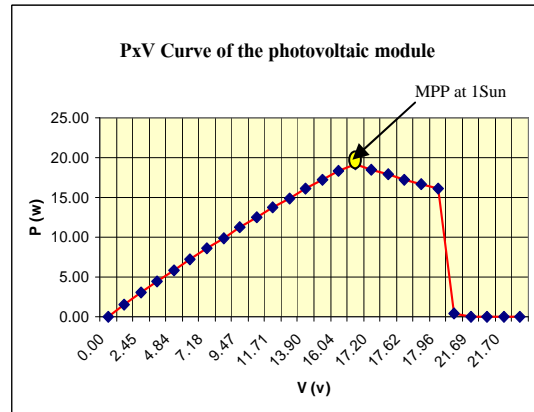
กระแสสูงสุด เท่ากับ 6.8 A ใช้เวลา $T_{dis} = 1.13$ วินาที
 หลักการ MPPT ใช้แรงดัน V_{OC} ที่สีกคาทริกเกอร์
 ระดับสูง UTP (Upper tiger Potential) ที่ 43 โวลต์และ
 ระดับต่ำสุด LTP (Lower tiger potential) ดังภาพที่ 8



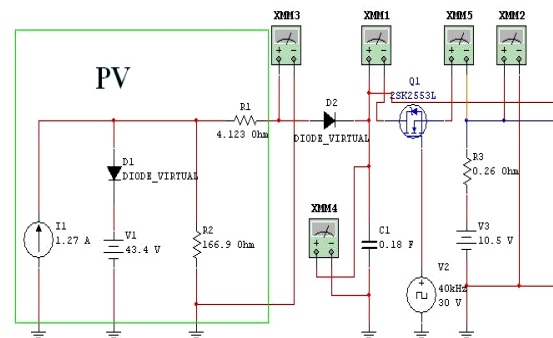
ภาพที่ 8 แรงดันรีปเปลที่Capacitor Battery จาก
 แรงดัน V_{oc} แปลงเป็นสัญญาณMPP ให้
 วงจรทระดับแรงดัน (PCM)

3.ผลและการอภิปรายผล

ผลการจำลองหาคณสมบัตินของเซลล์แสงอาทิตย์จาก
 วงจรสมมูลย์จากภาพที่ 7 สามารถหาค่า R_{SM} และ
 R_{PM} ดังสมการ 7 ถึง 9 ผลการคำนวณใช้ค่า
 คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ ยี่ห้อ CAPNETPRO
 รุ่น CNP 20 W ได้ ค่า $R_{SM} = 4.123\Omega$ ค่า
 $R_{PM} = 166.9\Omega$ และ ค่า $R_{MPP} = 14.912\Omega$
 นำไปจำลองด้วยโปรแกรมจำลองการทำงานทางไฟฟ้า
 และอิเล็กทรอนิกส์ ผลการจำลองดังภาพที่ 8 ที่ค่ารังสี
 ของดวงอาทิตย์ เท่ากับ 1Sun หรือ เท่ากับ $1,000 W / m^2$



ภาพที่ 9 ผลการจำลองคุณลักษณะของแผงเซลล์
 แสงอาทิตย์ CADNETPRO รุ่น CNP 20W



ภาพที่ 10 การจำลองระบบแสงสว่างพลังงานแสง
 อาทิตย์ขณะประจุแบตเตอรี่

ผลการจำลองพบว่า เมื่อเก็บข้อมูลตามวิธีประจุ
 ทั้งสามแบบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการจำลองการประจุแบตเตอรี่

Charger Type	$I_{Chager} /$ A	$V_{Chager} /$ V	D %
Boots Max40%Ah	6.8	12.314	11.5
Boots 25% Ah	4.25	11.621	7.5
Float 15%Ah	2.635	11.185	4.5
Float 15%Ah (90%)	2.568	12.314	5.25
Standby	30mA	13.8	0.25

4.สรุปผลการวิจัย

ผลการจำลองเมื่อการMPPT ที่กำลังงานสูงสุด สามารถประจุแบตเตอรี่ได้มากกว่า 95% ประสิทธิภาพโดยรวมสามารถส่งกำลังงานไปยังโหลดได้ตามที่โหลดต้องการ โดยที่โหลดโหลดตลอดฟลูออเรสเซนต์ 7 W 12 V

5.เอกสารอ้างอิง

- [1] Edilson Mineiro ,Photovoltaic system for supply public illumination in Eletrical Energy demand peak,2004,IEEE
- [2] ทาริกา บุญพันธ์ และคณะ,ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่าย, EENET2009

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเขตพื้นที่เชียงใหม่ ที่สนับสนุนเงินค่าวัสดุกลุ่มวิจัย โดยใช้งบประมาณผลประโยชน์ 2/2552 ดังกล่าวมา ณ ที่นี้

เครื่องเติมออกซิเจนผิวน้ำแบบทุ่นลอยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

รุ่งโรจน์ ะมันจา¹ ปรีชา มหาไม้¹ ยุทธนา มูลกลาง¹ ภาณุ วัชรนฤมล¹ และ สมบัติ สันกวาน¹

บทคัดย่อ— เครื่องเติมออกซิเจนผิวน้ำแบบทุ่นลอยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สร้างขึ้นเพื่อต้องการนำไปใช้สำหรับเพิ่มออกซิเจนในบ่ออนุบาลลูกปลาของเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาโดยการประยุกต์ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนให้เกิดประโยชน์ ด้วยวิธีการนำโซล่าเซลล์มาใช้เป็นแหล่งกำเนิดของพลังงานไฟฟ้าและสามารถเคลื่อนที่ตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์เพื่อนำพลังงานที่ได้ไปประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ วงจรอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ จากแบตเตอรี่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับปั๊มออกซิเจนเพื่อทำงานเพิ่มออกซิเจนในน้ำผลการทดลองเครื่องเติมออกซิเจนในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถเก็บพลังงานและเติมออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นได้คิดเป็นปริมาณร้อยละ 5 และคิดเป็นปริมาณ 0.23 mg/l ภายในเวลา 1 ชั่วโมงตามลำดับ

คำสำคัญ เครื่องเติมออกซิเจนผิวน้ำแบบทุ่นลอย พลังงานแสงอาทิตย์

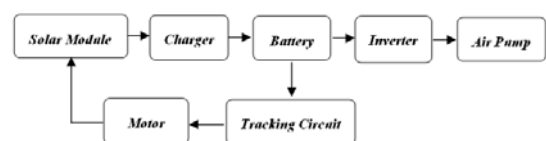
1. บทนำ

ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นเสมอกับเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาในบ่อคือ ปัญหาน้ำเสียในบ่อปลา กล่าวคือ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) มีค่าน้อยลงกว่า 3 mg/l จากสาเหตุต่าง ๆ อันมีผลต่อการเจริญเติบโต การดำรงชีพ การขยายพันธุ์ ๆ อันอาจเป็นสาเหตุให้ปลาตายได้ เกษตรกรจึงต้องใช้เครื่องบำบัดน้ำเสียเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ ซึ่งเครื่องบำบัด ๆ ส่วนใหญ่เป็นระบบเปลวหมุน ใช้พลังงานจากไฟฟ้า ทำให้เกิดความยุ่งยากมากในกรณีที่บ่อเลี้ยงปลาอยู่ไกลจากชุมชน ไม่มีระบบไฟฟ้าพื้นฐาน หรือเกษตรกรอาจใช้พลังงานจากเครื่องยนต์มาหมุนเพลาก็ทำให้ต้นทุนสูงขึ้นมาอีกทั้งมีปัญหาเรื่องเสียงดังจากเครื่องยนต์ด้วย จากปัญหาดังกล่าว จึงได้เกิดแนวความคิดในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำด้วยพลังงาน

แสงอาทิตย์ ซึ่งใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์มากำเนิดไฟฟ้าเพื่อปั๊มอากาศลงสู่บ่อเลี้ยงปลา เป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้และช่วยปรับสภาพน้ำให้ดีขึ้นเพื่อลดสภาวะน้ำเสีย โดยขณะทำงานเครื่องจะไม่เกิดเสียงดังรบกวน และเครื่องสามารถปรับมุมของการรับแสงของแผงโซล่าเซลล์ให้ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์เพื่อให้ได้รับแสงแดดมากที่สุดโดยอัตโนมัติ ทำให้ได้กำลังงานสูงสุด นอกจากนั้นในกรณีที่น้ำในบ่อปลาเป็นปกติ ไม่มีความจำเป็นต้องเติมอากาศ เกษตรกรสามารถนำไฟฟ้าที่ได้ไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ เช่น ระบบไฟแสงสว่างในฟาร์ม เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กอื่น ๆ เป็นต้น

2. วิธีการวิจัย

ส่วนประกอบทางระบบไฟฟ้าของเครื่องเติมออกซิเจนผิวน้ำแบบทุ่นลอยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังบล็อกไดอะแกรมภาพที่ 1



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมระบบไฟฟ้า

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 41 หมู่ 7 ต.โม่งงาม อ.เมือง จ.ตาก 63000

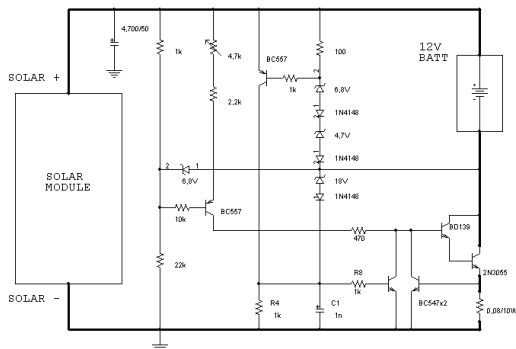
โทรศัพท์: +66(55)-515-900

โทรสาร: +66(55)-511-833

ส่วนประกอบที่สำคัญทางระบบไฟฟ้าประกอบด้วย

1. แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 120 W
2. วงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่
3. แบตเตอรี่
4. อินเวอร์เตอร์
5. วงจรควบคุมการปรับแผงโซลาร์เซลล์
6. มอเตอร์
7. ปั๊มออกซิเจน

จากบล็อกไดอะแกรม การทำงานของเครื่องเติมออกซิเจนผิวน้ำแบบทุ่นลอยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เริ่มจากในเวลากลางวัน แผงโซลาร์เซลล์จะจ่ายแรงดัน 17.28 Vdc ให้กับวงจรชาร์จแบตเตอรี่เพื่อชาร์จแบตเตอรี่และแบตเตอรี่ก็จ่ายแรงดันไฟให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ และวงจรปรับแผงโซลาร์เซลล์ตามดวงอาทิตย์ ส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์ทำงานโดยแปลงแรงดันไฟ 12Vdc ให้เป็น 220Vac เพื่อจ่ายให้ปั๊มออกซิเจนทำงาน และในส่วนของวงจรปรับแผงโซลาร์เซลล์ทำงานโดยการใช้ LDR เป็นเซนเซอร์ในการเปรียบเทียบแรงดันเพื่อปรับแผงตามดวงอาทิตย์



ภาพที่ 2 วงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่

วงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ดังวงจรภาพที่ 2 ทำงานโดยตรวจสอบแรงดันและกระแสที่แบตเตอรี่ได้รับ แบตเตอรี่จะถูกชาร์จที่กระแส 6A วงจรจะทำการตัดการชาร์จเมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่มีค่าถึง 14.4V แผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้มีคุณสมบัติโดยทั่วไป ดังนี้

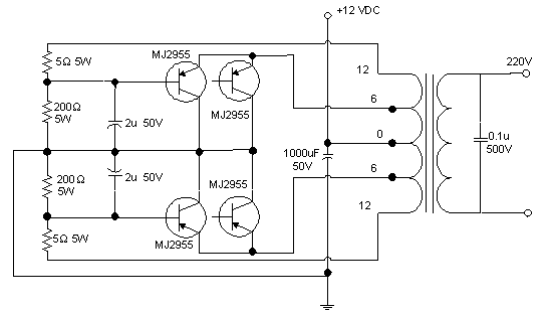
- Peak Power 120 W
- Maximum Voltage V_m 18V
- Max Working Current 6.67A

- Open Circuit Voltage 42.48V

- Short Circuit Current 7.33A

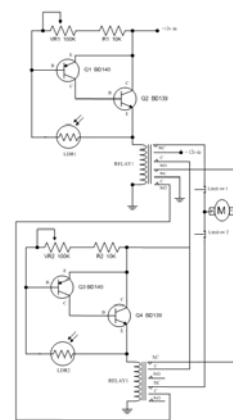
แบตเตอรี่เป็นขนาด 10V 100-120Ah เป็นแบบที่ใช้งานทั่วไป เนื่องจากมีราคาถูกกว่าแบตเตอรี่แบบ Deep Cycle

Cycle



ภาพที่ 3 อินเวอร์เตอร์

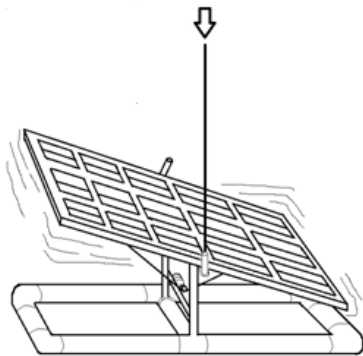
วงจรอินเวอร์เตอร์ในภาพที่ 3 ถูกออกแบบให้ทำงานอย่างง่าย และทนทาน มีการใช้อุปกรณ์น้อยทำงานโดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบ PNP จำนวน 2 คู่เบอร์ MJ2955 ทำงานในลักษณะสลับการทำงานของทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัว โดยการให้ไบอัสจากการชาร์จและดิสชาร์จของตัวเก็บประจุทั้งสองตัว ทรานส์ฟอร์มเมอร์เป็นแบบ 12-6-0-6-12V, 5A แรงดันไฟฟ้าที่ได้เป็นแบบ Modified Sine Wave มีแรงดันช่วง 190-230V ความถี่ช่วง 50-60Hz แปรเปลี่ยนไปตามสภาพแบตเตอรี่ ซึ่งแรงดันนี้สามารถใช้งานกับปั๊มอากาศขนาด 220V 150W ที่ใช้กันทั่วไปตามบ่อเลี้ยงปลาสวยงามได้



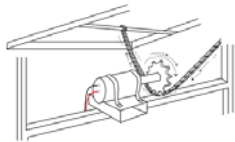
ภาพที่ 4 วงจรควบคุมการปรับแผงโซลาร์เซลล์

แผงโซลาร์เซลล์จะถูกควบคุมโดยอัตโนมัติจาก

วงจรควบคุมซึ่งใช้ LDR เป็นเซ็นเซอร์ ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ในท่อขนาดเล็กติดกับแผงโซลาร์เซลล์ 1 ตัวทำหน้าที่ปรับแสงตามดวงอาทิตย์ และติดตั้งงอที่เพื่อตรวจสอบกลางวัน-กลางคืน 1 ตัว โดยแผงโซลาร์เซลล์จะทำการหันตามการเคลื่อนที่ของอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกเพื่อให้แสงแดดตั้งฉากกับแผงเสมอ โดยเมื่อแผงโซลาร์เซลล์หันไปจนสุดทางทิศตะวันตก วงจรจะควบคุมให้แผงโซลาร์เซลล์หันตัวเองกลับมารอแสงอาทิตย์ในเช้าวันใหม่ทางด้านทิศตะวันออกเสมอ วงจรแสดงไว้ในภาพที่ 4 และการติดตั้ง LDR ดังภาพที่ 5 การปรับแสงอาทิตย์การหมุนจากมอเตอร์ปิดน้ำฝนรถยนต์ 12V ดังภาพที่ 6 โดยการวางตำแหน่งให้แผงโซลาร์เซลล์ให้อยู่บนจุดหมุนบนแกนกลางและอยู่ในสถานะสมดุลย์ จะใช้แรงหมุนของมอเตอร์เพียงเล็กน้อยเท่านั้นก็สามารถหมุนแผงให้หันตามดวงอาทิตย์ได้



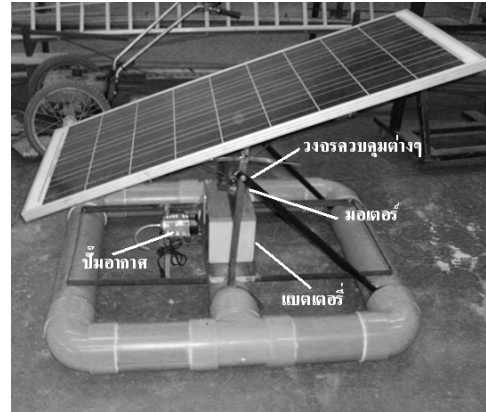
ภาพที่ 5 การติดตั้ง LDR ทั้งสองตัว



ภาพที่ 6 การปรับแสงด้วยมอเตอร์ปิดน้ำฝน

ชุดแพลงกลอยสร้างขึ้นจากท่อน้ำ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6" ต่อร่วมกับข้อต่อประเภทต่าง ๆ เมื่อประกอบดังรูปแล้วมีขนาดกว้างxยาวเมื่อวัดกลางท่อประมาณ 120X90 cm. เมื่อลอยน้ำจะสามารถรับน้ำหนักของอุปกรณ์ทั้งหมดที่ติดตั้งไว้ได้ดังภาพที่ 7

การเติมอากาศลงในน้ำใช้วิธีการต่อท่อจากเครื่องปั๊มอากาศสู่อุปกรณ์ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5" ยาว 1 เมตร ปิดหัวท้ายแล้วเจาะรูขนาดเล็ก 1/64" ตลอดแนวความยาวเพื่อให้อากาศออก แล้วจุ่มลงในน้ำ 30 cm ข้างแพทูลอยทั้งสองข้าง



ภาพที่ 7 การติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ บนแพทูลอย

3. ผลและการอภิปรายผล

การทดสอบการทำงานของเครื่องเติมออกซิเจนผิวน้ำแบบทูลอยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ทำการทดสอบคุณลักษณะที่สำคัญสองประการ คือ

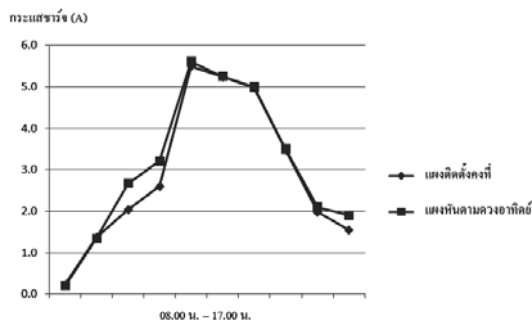
1. อัตราการชาร์จแบตเตอรี่
2. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

ในการทดสอบอัตราการชาร์จแบตเตอรี่ทำโดยการวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันที่ชาร์จแบตเตอรี่ เริ่มทำการทดสอบในขณะที่แบตเตอรี่ไม่มีประจุ ทำการทดสอบในช่วงเวลา 08.00 น. ถึงเวลา 17.00 น. การทดสอบทำการเปรียบเทียบระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งคงที่ในตำแหน่งขนานกับพื้น ไม่เอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง เทียบกับแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ระบบการหันแผงตามดวงอาทิตย์ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 1

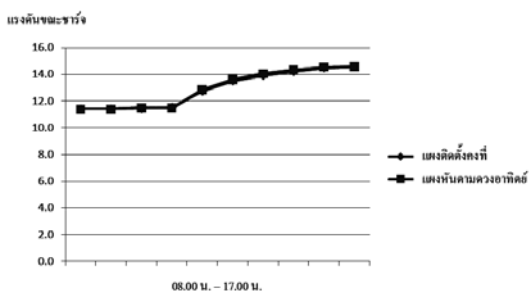
ตารางที่ 1 อัตราการชาร์จแบตเตอรี่

เวลา (น.)	แสดงติดตั้งครั้งที่		แสดงที่ตามดวงอาทิตย์	
	กระแส(A)	แรงดันชาร์จ (V)	กระแส(A)	แรงดันชาร์จ (V)
8.00	0.2	11.4	0.2	11.4
9.00	1.4	11.4	1.4	11.4
10.00	2.0	11.5	2.7	11.5
11.00	2.6	11.5	3.2	11.5
12.00	5.5	12.7	5.6	12.9
13.00	5.2	13.5	5.3	13.6
14.00	5.0	13.9	5.0	14.1
15.00	3.5	14.2	3.5	14.3
16.00	2.0	14.5	2.1	14.6
17.00	1.6	14.6	1.9	14.6

อัตรากระแสชาร์จแบตเตอรี่สามารถแสดงดังกราฟภาพที่ 8 และแรงดันขณะชาร์จแบตเตอรี่แสดงดังกราฟภาพที่ 9 จากกราฟจะเห็นว่าแสงโซลาร์เซลล์ที่หันตามดวงอาทิตย์จะสามารถให้กระแสไฟฟ้าได้มากกว่าแสงที่ติดตั้งคงที่ได้มากที่สุดในช่วงเวลา 10.00 น.-11.00 น. มีค่าการแสไฟฟ้าต่างกันสูงสุดเฉลี่ย 0.65A ส่วนช่วงเวลาอื่นปริมาณกระแสไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนแรงดันขณะชาร์จแบตเตอรี่นั้นมิต่างแตกต่างกันน้อยมากระหว่างแสงโซลาร์เซลล์ที่หันตามดวงอาทิตย์และแสงที่ติดตั้งคงที่

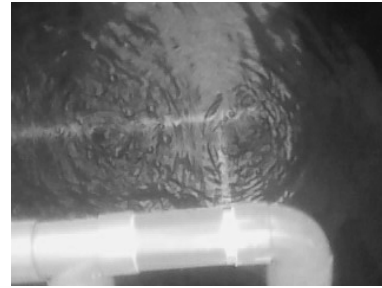


ภาพที่ 8 ปริมาณกระแสชาร์จแบตเตอรี่



ภาพที่ 9 แรงดันขณะชาร์จแบตเตอรี่

ในการทดสอบคุณสมบัติการเติมอากาศได้ทำการทดลองในบ่อเลี้ยงปลาชนิดขนาด 25 ลูกบาศก์เมตร ทำการทดลอง 2 วัน โดยวันแรกเก็บข้อมูลน้ำในสภาพธรรมชาติ และวันที่ 2 เก็บข้อมูลน้ำโดยเติมอากาศด้วยเครื่องเติมออกซิเจนฟิวน์แบบหมุนลอยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น ดังภาพที่ 10

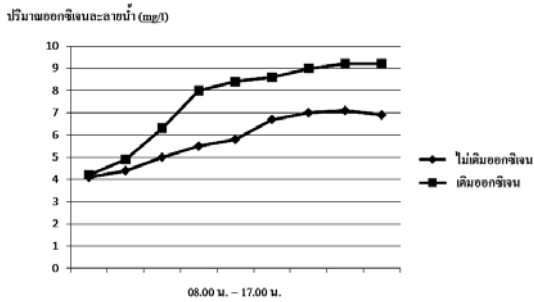


ภาพที่ 10 การเติมอากาศลงน้ำ

ตารางที่ 2 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

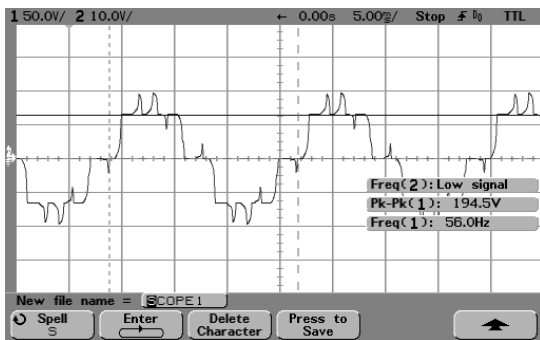
เวลา (น.)	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)	
	ไม่เติมออกซิเจน	เติมออกซิเจน
8.00	4.1	4.2
9.00	4.4	4.9
10.00	5	6.3
11.00	5.5	8
12.00	5.8	8.4
13.00	6.7	8.6
14.00	7	9
15.00	7.1	9.2
16.00	6.9	9.2

จากตารางที่ 2 และกราฟภาพที่ 11 จะเห็นว่าแม้ไม่ได้ใช้เครื่องเติมออกซิเจน ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำก็จะมี การเพิ่มขึ้นเองในแต่ละช่วงของวันตามปริมาณแสงแดดที่บ่อเลี้ยงปลาได้รับ แต่เมื่อใช้เครื่องเติมอากาศช่วยก็จะพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีปริมาณแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ในเวลา 12.00 น.ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าแตกต่างกันถึง 2.6 mg/l



ภาพที่ 11 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

ในส่วนของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากอินเวอร์เตอร์มีลักษณะเป็นแบบ Modified Sine Wave มีแรงดันช่วง 190-230V ความถี่ช่วง 50-60Hz ซึ่งแรงดันและความถี่นี้จะแปรเปลี่ยนไปตามสภาพแบตเตอรี่ กล่าวคือ หากแบตเตอรี่ได้รับการชาร์จเต็มที่ แรงดันไฟฟ้าที่ได้ก็จะมีแรงดันสูง แต่หากแบตเตอรี่มีประจุไฟน้อย แรงดันที่ได้ก็จะน้อยลงตามไป แสดงรูปสัญญาณดังภาพที่ 12 สัญญาณที่วัดได้มีขนาด 194.5V(p-p) หรือ 137.5V(rms) มีความถี่ 56Hz



ภาพที่ 12 รูปสัญญาณที่ได้จากอินเวอร์เตอร์

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากโซลาร์เซลล์ที่หันตามดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับแผงที่ติดตั้งคงที่มีผลต่างกันไม่มากนัก กล่าวคือกระแสไฟฟ้าเมื่อหันแผงตามดวงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยต่อวัน 3.69A ในขณะที่แผงติดตั้งคงที่มีค่าเฉลี่ย 3.61A การสร้างเพื่อใช้งาน หากตัดส่วนของการติดตามดวงอาทิตย์ออกก็จะทำให้การสร้างเครื่องง่ายขึ้น และประหยัดค่าใช้จ่ายลงไปได้ ในขณะที่การใช้งานไม่พบความแตกต่างกัน ซึ่งสาเหตุดังกล่าวนี้อาจเป็นเพราะสภาพบ่อเลี้ยงปลาอยู่

กลางแจ้ง ได้รับแสงแดดแรงเต็มที่ แผงโซลาร์เซลล์จึงให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าใกล้เคียงกัน การเติมอากาศลงในน้ำให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ โดยน้ำในบ่อเลี้ยงปลาเมื่อไม่เติมออกซิเจนมีค่าเฉลี่ยในช่วงกลางวันอยู่ที่ 5.8 mg/l ขณะที่เมื่อเติมออกซิเจนมีค่าเฉลี่ยถึง 7.5 mg/l แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากอินเวอร์เตอร์สามารถงานได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก มีขนาดไม่เกิน 150W เช่น หลอดไฟไส้ทั้งสแตน หลอดตะเกียบ หลอดฟลูออเรสเซนต์ พัดลม เป็นต้น

แนวทางการพัฒนาในอนาคตสามารถทำได้หลายส่วน เช่น การพัฒนาแพทุ่นลอยให้มีน้ำหนักเบา การพัฒนารูปแบบการปล่อยพองอากาศ เป็นต้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] นภัทร วจินเทพินทร์, 2550, การผลิตไฟฟ้าโรงงานไฟฟ้า และพลังงานทดแทน, ปทุมธานี: สกายบุ๊กส์.
- [2] ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี, 2553, การวิเคราะห์ห่อออกซิเจนละลายน้ำ[Online], Available : <http://www.fisheries.go.th/cf-chan/visit-water-room/oxygen/oxygen-page.htm> [5 ก.ย. 53].
- [3] ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ, 2538, แหล่งจ่ายไฟสำหรับอิเล็กทรอนิกส์ ชุดแบตเตอรี่และเครื่องชาร์จ . กรุงเทพฯ : เม็ดทรายพรินติ้ง.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เสร็จลุล่วงลงได้โดยได้รับความกรุณาจากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดตาก ที่กรุณาอนุเคราะห์เรื่องการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

การวิเคราะห์การทำงานของโช้คอัพด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ศุภโชค สุมาวรรณ¹ และ วิรัตน์ จอมขวา²

บทคัดย่อ โช้คอัพเป็นส่วนประกอบของรถที่มีความสำคัญส่วนหนึ่ง ทำหน้าที่ลดการสั่นสะเทือน ทำให้ขับขี่ได้อย่างนุ่มนวล และปลอดภัย ซึ่งในการผลิต และออกแบบนั้น ต้องมีความเหมาะสม ระหว่างน้ำหนักรถ กับความสามารถในการหน่วงของโช้คอัพ หาก 45u โช้คอัพแข็งเกินไปก็จะไม่สามารถลดการสั่นสะเทือนได้ งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์การทำงานของโช้คอัพแบบกระบอกชั้นเดียว และกระบอกสองชั้น โดยจะทำการจำลองชิ้นงานในคอมพิวเตอร์ และวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ จากโปรแกรม ANSYS โดยจะทำการวิเคราะห์แบบ Static และ Transient Dynamic เพื่อพิจารณาค่าความเค้น ระยะยุบตัว ความเร็ว และความเร่งที่เกิดขึ้น เพื่อกำหนดความเหมาะสมระหว่างค่าสปริงคงตัว และค่าคงตัวของการหน่วงในการใช้งาน และการออกแบบ จากการวิเคราะห์แบบ Static พบว่า เมื่อเพิ่มระยะพิชต์ของสปริง จะทำให้จำนวนคอยล์ลดลง เมื่อความยาวเท่าเดิม จะมีผลทำให้ค่าสปริงคงตัวเพิ่มขึ้น เมื่อวัสดุเป็นวัสดุเดียวกัน และเกิดความเค้นเฉือนสูงสุดที่ผิวด้านในของคอยล์สปริง ในการวิเคราะห์แบบ Transient Dynamic ผลที่เกิดขึ้นพบว่า ความสัมพันธ์ที่ทำให้มีผลในการทำงานของโช้คอัพ คือน้ำหนักรถ น้ำหนักบรรทุก ความเร็ว ค่าสปริงคงตัว ค่าคงตัวของการหน่วง เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ ระหว่างค่าสปริงคงตัว และค่าคงตัวของการหน่วง โดยคำนึงถึงการรักษาสมดุลของโช้คอัพขณะทำงานพบว่า เมื่อค่าสปริงคงตัว มีค่าสูงกว่าค่าคงตัวของการหน่วงจะทำให้โช้คอัพรักษาสมดุล และทำงานได้ดี

คำสำคัญ จำนวนคอยล์ ระยะพิชต์ ค่าสปริงคงตัว ค่าคงตัวของการหน่วง

1. บทนำ

โช้คอัพสามารถแบ่งการทำงานออกได้เป็น 2 ส่วน หลักๆ คือ การทำงานของสปริง โดยจะมีสปริงที่ทำหน้าที่ยืดหด เพื่อรับน้ำหนัก เมื่อสปริงยืดหรือหดนั้นจะทำให้เกิดแรง [1] ซึ่งแรงที่เกิดขึ้น ก็คือ

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ถนนพิบูลสงคราม เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์: +66(2)-913-2500 ต่อ 2406-2408
โทรสาร: +66(2)-587-4357 โทรศัพท์เคลื่อนที่: 081-4901664
E-mail: s_sumawan@hotmail.com

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ถนนพิบูลสงคราม เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์: +66(2)-913-2500 ต่อ 2406-2408
โทรสาร: +66(2)-587-4357 โทรศัพท์เคลื่อนที่: 081-3084901
E-mail: vrc@kmutnb.ac.th

ความชันของกราฟ ระหว่างแรงกับระยะทาง ความชันนั้นก็คือ ค่าสปริงคงตัว (Spring Constant) $F_s = kx$ ทำให้เกิดการยืดหยุ่นสปริงตัวระหว่างพื้นถนนกับตัวรถ และแรงกดกระทกและมิชูด ตัวหน่วง (Damper) ทำหน้าที่ให้ความนุ่มนวล และลดแรงกระทกของสปริง ลักษณะการทำงานของชุดตัวหน่วง นั้นจะอาศัยการวิ่งผ่านรูของลูกสูบที่มีขนาดเล็กของน้ำมันไฮดรอลิก ที่มีความหนืด (Viscosity) แรงที่เกิดขึ้นกับตัวหน่วงจะขึ้นอยู่กับความเร็วเท่านั้น ไม่ขึ้นกับระยะทาง ซึ่งความชันของกราฟระหว่างแรงกับความเร็วนั้น ก็คือ ค่าคงตัวของการหน่วง (Damping Constant) $F_c = c \dot{x}$ [2] เมื่อสองส่วนนี้ทำงานพร้อมกันจะทำให้สามารถรับแรงกระทกได้อย่างนุ่มนวล ซึ่งแบ่งตามลักษณะของการผลิต และ

การออกแบบได้เป็น แบบกระบอกชั้นเดียว (Single Tube) จะแก่ชั้นเดียว โดยการใช้งานนั้นต้องใช้



ภาพที่ 1 โช้คอัพแบบกระบอกชั้นเดียว

ตัวครอบ (Cover) หรือใช้สปริงที่มีระยะพิชท์ที่ค่อนข้างถี่ เพื่อป้องกันไม่ให้มีสิ่งใดกระแทกตัวหน่วง และแบบกระบอกสองชั้น (Double Tube) จะมีกระบอกของตัวหน่วงสองชั้น ซึ่งชั้นนอกจะทำหน้าที่ป้องกันกระบอกชั้นใน ซึ่งในการออกแบบสำหรับใช้งานนั้นต้องให้มีความเหมาะสมระหว่างสปริง และตัวหน่วง ในขณะที่จอดอยู่กับที่ และขณะเคลื่อนที่ ซึ่งปัญหานี้ ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรก ซึ่งขณะที่รถเคลื่อนที่จะมีน้ำหนัก และความเร็วกระทำกับโช้คอัพตลอดเวลา หากโช้คอัพที่ใช้งานนั้นควบคุมการสั่นสะเทือนได้ไม่ดีก็จะมีผลกับความปลอดภัยได้ ปัญหาชิ้นส่วนต่างๆ ของชุดตัวหน่วง โช้คอัพที่เสียหายจากการใช้งานผิดประเภท เช่น แตรกร้าว เสียรูป เป็นต้น [3] ปัญหาของสปริง



ภาพที่ 2 โช้คอัพแบบกระบอกสองชั้น

ที่ให้ค่าความแข็งไม่คงที่ตามมาตรฐานที่กำหนดทำให้มีปัญหาการทำงานของโช้คอัพ เช่น ดูดกลืนแรงกระแทกได้น้อย และไม่ดูดกลืนแรงกระแทกเลย ซึ่งไม่เหมาะสมกับการใช้งาน และยังทำให้อายุการใช้งาน

งานของโช้คอัพสั้นลง ทำให้เกิดปัญหากับผู้ผลิตโช้คอัพในอุตสาหกรรมยานยนต์

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์การทำงานของโช้คอัพแบบกระบอกชั้นเดียว และกระบอกสองชั้น โดยจะทำการจำลองชิ้นงานในคอมพิวเตอร์ และวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ จากโปรแกรม ANSYS โดยจะทำการวิเคราะห์แบบ Static และ Transient Dynamic [5] เพื่อพิจารณาค่าความเค้นเฉือน [6] ระยะขยุบตัว ความเร็ว และความเร่งที่เกิดขึ้น เพื่อกำหนดความเหมาะสมระหว่างค่าสปริงคงตัว และค่าคงตัวของการหน่วงในการใช้งาน และการออกแบบ

2. วิธีการวิจัย

สร้างแบบจำลองเป็นแบบสามมิติ ซึ่งตัวสปริงจะจำลองเป็นชิ้นงานสมจริง (Solid modeling)



ภาพที่ 3 ภาพจำลองสปริงโช้คอัพกระบอกชั้นเดียว



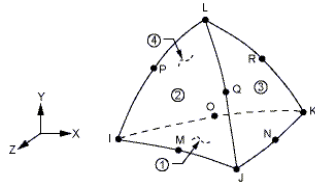
ภาพที่ 4 ภาพจำลองสปริงโช้คอัพกระบอกสองชั้น

สร้างแบบจำลองเป็นเอลิเมนต์แบบเส้น (Line Element)



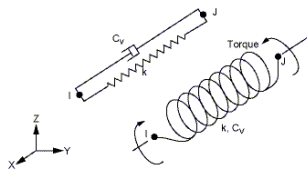
ภาพที่ 5 ภาพจำลองเอลิเมนต์แบบเส้น

กำหนดชนิดของเอลิเมนต์ของสปริงเป็นแบบ
ทรงสามเหลี่ยมซึ่ง เป็นเอลิเมนต์แบบ 3 มิติ 10 โหนด
3 Degree of Freedom (DOF)



ภาพที่ 6 รูปร่างของชนิดเอลิเมนต์ทรงสามเหลี่ยม

ในการวิเคราะห์แบบ Transient Dynamic จะใช้
เอลิเมนต์แบบสปริงแดมเปอร์ ซึ่งเป็นเอลิเมนต์แบบ
2 โหนด 6 Degrees of Freedom (DOF)



ภาพที่ 7 รูปร่างของชนิดเอลิเมนต์แบบสปริงแดมเปอร์

ตารางที่ 1 แสดงชนิดของวัสดุที่ใช้ทำสปริง

ชื่อของสปริง	มาตรฐาน	ชนิดของวัสดุ
1. สปริงของโช้คอัพแบบ กระบอกชั้นเดียว	JIS G 3522 (1991)	SWP-B
2. สปริงของโช้คอัพแบบ กระบอกสองชั้น	JIS G 3521 (1991)	SW-C

SWP-B = Piano Wires เกรด B

SW-C = Hard Drawn Steel Wires เกรด C

เหล็กทั้งสองชนิดนี้จะขึ้นรูปด้วยวิธีการรีดเย็น
จะมีค่า $E=205 \text{ GPa}, G=79 \text{ GPa}, \nu=0.29$

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติความต้านทานแรงดึง

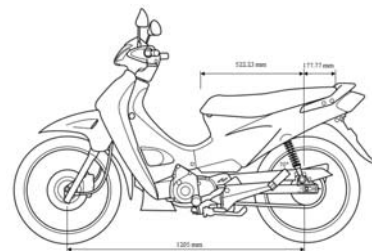
สัญลักษณ์	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	ความหนาแน่น (kg / m^3)
SWP-B	1670 to 1810	7850.2
SW-C	1420 to 1620	7850.4

ตารางที่ 3 ค่าที่ต้องการในการคำนวณของตัวหน่วง

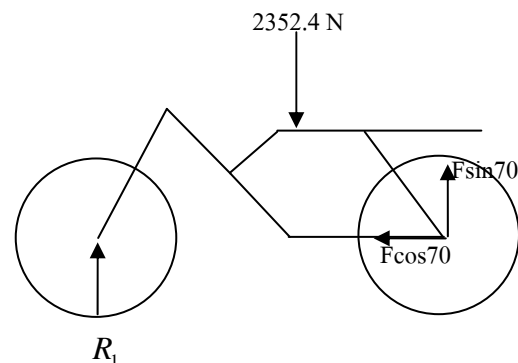
ชนิดของโช้คอัพ	ค่าคงตัวของการหน่วง (Ns/m)
1. ตัวหน่วงของโช้คอัพแบบกระบอกชั้นเดียว	1515.1
2. ตัวหน่วงของโช้คอัพแบบกระบอกสองชั้น	2430.7

โหนดที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นจะสามารถคำนวณ
หาได้ ดังนี้

- 1) ความยาวที่นั่ง 700 mm
- 2) ความยาวช่วงรถ 1205 mm
- 3) ระยะที่นั่งส่วนหน้าก่อนถึงโช้คอัพ 522.2 mm
- 4) ระยะที่นั่งส่วนหลังที่เลยโช้คอัพไป 177.7 mm
- 5) น้ำหนักรถ 97.6 kg
- 6) โช้คอัพเอียงทำมุมกับ swing arm 70°
- 7) มาตรฐานน้ำหนักของคนไทยโดยเฉลี่ย 71.1 kg (วารสารมาตรฐานไซส์คนไทย NECTEC สวทช.)
- 8) น้ำหนักของผู้โดยสารและผู้ขับขี่ 142.2 kg
- 9) น้ำหนักช่วงหน้ารถ 40 kg
- 10) น้ำหนักช่วงหลังรถ 52.5 kg



ภาพที่ 8 แสดงระยะความยาวของช่วงล้อ ที่นั่ง และ
องศาการติดตั้งโช้คอัพที่ใช้คำนวณโหนด
จะสามารถคำนวณโหนดที่กระทำกับโช้คอัพ
ดังนี้



$$\sum MR_i = 0; 2352.4(876.2) + F \sin 70 (1205) = 0$$

$F = 1820.4 \text{ N}$ ซึ่งใช้คัพเป็นชนิดแบบคู่ ดังนั้น จะได้เท่ากับ 910.2 N

3. ผลและการอภิปรายผล

ในการวิเคราะห์ค่าการขยับตัว และความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นของสปริงนั้น จะพิจารณาผลเนื่องจากรับน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงของระยะพิศ ซึ่งได้ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม ดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นของสปริงใช้คัพ

ชนิดกระบอกชั้นเดียวแต่ละแบบ

ชนิดของสปริง	ค่าความเค้นเฉือนที่เกิด	ระยะขยับตัว	ค่าสปริงคงตัว
	$\frac{N}{mm^2}$	(mm)	$\frac{N}{mm}$
1. สปริงต้นแบบ	547.5	59.12	15.40
2. เพิ่มระยะพิศ 1 มม.	562.8	55.74	16.33
3. เพิ่มระยะพิศ 2 มม.	550.9	52.68	17.28
4. เพิ่มระยะพิศ 3 มม.	532.9	50.69	17.96
5. เพิ่มระยะพิศ 4 มม.	555.1	48.43	18.79
6. เพิ่มระยะพิศ 5 มม.	505.4	47.52	19.15

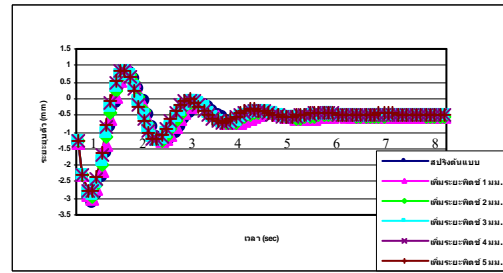
จากตารางที่ 4 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของสปริงแต่ละแบบที่รับน้ำหนักจากทางด้านบน ซึ่งจะเห็นว่าสปริงต้นแบบจะมีระยะขยับตัวมากที่สุด เพราะมีค่าสปริงคงตัวน้อยที่สุด ที่การเพิ่มระยะพิศ 1 มม. จะมีค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่ขอบด้านในของคอยล์สปริง และที่การเพิ่มระยะพิศ 5 มม. จะใช้ความยาวของลวดน้อยที่สุด เมื่อนำผลของค่าสปริงคงตัวที่ได้จากการคำนวณตามตารางที่ 4 มาทำการวิเคราะห์การทำงานของใช้คัพจะได้ผลดังนี้

ในการวิเคราะห์การทำงานของใช้คัพโดยนำค่าระยะขยับตัว ค่าความเร็ว ค่าความเร่ง มาทำการวิเคราะห์ โดยนำผลของค่าสปริงคงตัวที่ได้จากตารางที่ 4 มาพิจารณาและมีเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

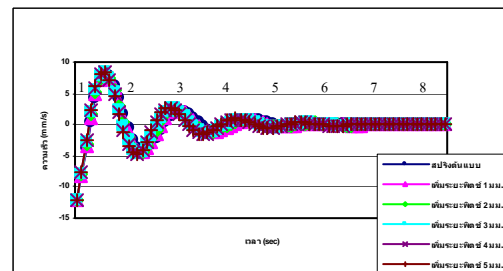
- 1) ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ 50 km/hr
- 2) โหลดที่กระทำ 910.2 N

3) ค่าคงตัวของการหน่วง 1515.1 Ns/m

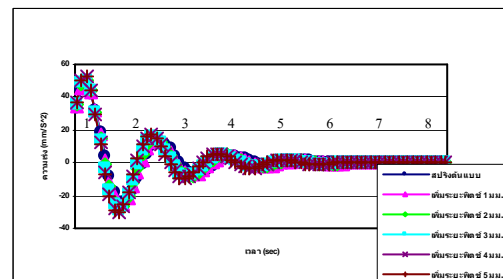
4) เวลาที่พิจารณา 8 วินาที



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะขยับตัวเทียบกับเวลาที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมของใช้คัพชนิดกระบอกชั้นเดียว



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเทียบกับเวลาที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมของใช้คัพชนิดกระบอกชั้นเดียว



ภาพที่ 11 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งเทียบกับเวลาที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมของใช้คัพชนิดกระบอกชั้นเดียว

จากภาพที่ 9 ถึง 11 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะขยับตัว ความเร็ว ความเร่ง ของใช้คัพที่มีการใช้ค่าสปริงคงตัวตามตารางที่ 4 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อพิจารณา ระยะขยับตัว ใช้คัพชนิดใช้สปริงต้นแบบจะมีระยะขยับตัวมากที่สุด ในทางกลับกัน ใช้คัพชนิดใช้สปริงเพิ่มระยะพิศ 5 มม. จะมีระยะขยับตัวน้อยที่สุด เนื่องจากมีค่าสปริงคงตัวมากที่สุด

เมื่อพิจารณาความเร็วจะเห็นว่าใช้คอปทั้ง 6 แบบมีค่าที่ใกล้เคียงกันแต่ใช้คอปชนิดใช้สปริงเพิ่มระยะพิชช 5 มม. จะมีค่าความเร็วสูงสุดเนื่องจากมีค่าสปริงคงตัวมากที่สุด และใช้คอปต้นแบบ จะมีค่าความเร็วต่ำที่สุด

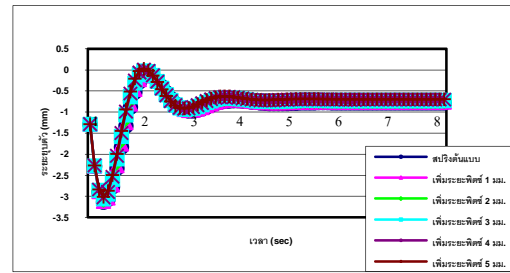
และพิจารณาค่าความเร่งที่ได้จากโปรแกรมค่าความเร่งสูงสุดจะเป็นใช้คอปชนิดใช้สปริงเพิ่มระยะพิชช 5 มม. และน้อยที่สุดจะเป็นใช้คอปต้นแบบ ซึ่งความเร่งที่ได้นั้นจะมีค่าน้อยลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น นั่นหมายความว่าใช้คอปจะลดความเร่งที่เกิดขึ้นขณะใช้งาน

ตารางที่ 5 แสดงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นของสปริงใช้คอปชนิดกระบอกสองชั้นแต่ละแบบ

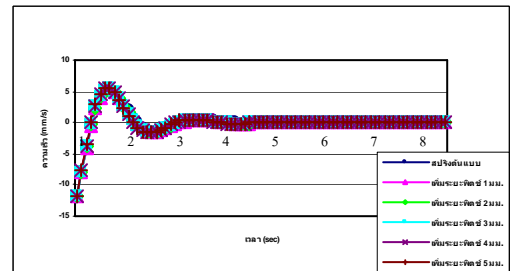
ชนิดของสปริง	ค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้น ($\frac{N}{mm^2}$)	ระยะยุบตัว (mm)	ค่าสปริงคงตัว ($\frac{N}{mm}$)
1. สปริงต้นแบบ	623	80.05	11.37
2. เพิ่มระยะพิชช 1 มม.	642.1	78.24	11.63
3. เพิ่มระยะพิชช 2 มม.	652.9	76.07	11.96
4. เพิ่มระยะพิชช 3 มม.	619.4	73.76	12.34
5. เพิ่มระยะพิชช 4 มม.	640	72.06	12.63
6. เพิ่มระยะพิชช 5 มม.	650.6	70.84	12.84

ในการวิเคราะห์การทำงานของใช้คอปชนิดกระบอกสองชั้น โดยจะพิจารณาขณะใช้คอปทำงาน โดยจะนำค่าระยะยุบตัว ค่าความเร็ว ค่าความเร่ง มาทำการพิจารณา โดยการนำผลของค่าสปริงคงตัวที่ได้จากตารางที่ 5 มาพิจารณาและมีเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

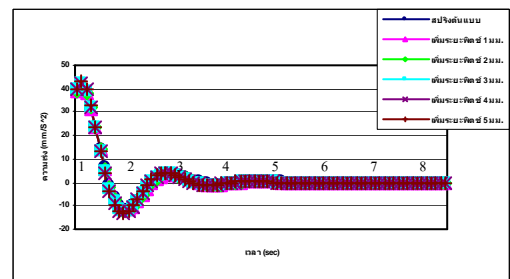
- 1) ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่
- 2) โหลดที่กระทำ 910.2 N
- 3) ค่าคงตัวของการทำงาน 2430.7 Ns/m
- 4) เวลาที่พิจารณา 8 วินาที



ภาพที่ 12 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวเทียบกับเวลาที่ไดจากการคำนวณของโปรแกรมของใช้คอปชนิดกระบอกสองชั้น



ภาพที่ 13 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเทียบกับเวลาที่ไดจากการคำนวณของโปรแกรมของใช้คอปชนิดกระบอกสองชั้น



ภาพที่ 14 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งเทียบกับเวลาที่ไดจากการคำนวณของโปรแกรมของใช้คอปชนิดกระบอกสองชั้น 50 km/hr

จากภาพที่ 11 ถึง 14 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัว ความเร็ว ความเร่ง ของใช้คอปชนิดกระบอกสองชั้นที่มีการใช้ค่าสปริงคงตัวตามตารางที่ 5 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อพิจารณา ระยะยุบตัว ใช้คอปชนิดใช้สปริงต้นแบบ จะมีระยะยุบตัวมากที่สุด เนื่องจากมีค่าสปริงคงตัวน้อยที่สุดในทาง

กลับกัน ไซ้คอปชนิดใช้สปริงเพิ่มระยะพิตซ์ 5 มม. จะมีระยะยวบตัวน้อยที่สุด เนื่องจากมีค่าสปริงคงตัวมากที่สุด

เมื่อพิจารณาความเร็วจะเห็นว่า ไซ้คอปทั้ง 6 แบบมีค่าที่ใกล้เคียงกันแต่ ไซ้คอปชนิดใช้สปริงเพิ่มระยะพิตซ์ 5 มม. จะมีค่าความเร็วสูงสุดเนื่องจากมีค่าสปริงคงตัวมากที่สุด และ ไซ้คอปชนิดใช้สปริงต้นแบบ จะมีค่าความเร็วที่น้อยที่สุด

และพิจารณาค่าความเร่งที่ได้จากโปรแกรมทั้ง 6 แบบ จะเห็นว่าค่าที่ได้ก็ใกล้เคียงกันเมื่อพิจารณาค่าความเร่งสูงสุดจะเป็น ไซ้คอปชนิดใช้สปริงเพิ่มระยะพิตซ์ 5 มม. และน้อยที่สุดจะเป็น ไซ้คอปชนิดใช้สปริงต้นแบบ ซึ่งความเร่งที่ได้นั้นจะมีค่าน้อยลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ค่าการยวบตัว และความเค้นเมื่อรับน้ำหนักของสปริง ไซ้คอป ผลจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของระยะยวบตัวสปริงนั้นจะมีค่าสูงสุด และต่ำสุดขึ้นอยู่กับจำนวนคอยล์ และระยะพิตซ์ ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางลวด ความโต และความสูงของสปริงเท่ากันรวมถึงวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุชนิดเดียวกัน และความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นจะเกิดที่ขอบด้านในของคอยล์สปริง ระยะยวบตัวของ ไซ้คอป จะเห็นว่า ไซ้คอปที่มีค่าสปริงคงตัวต่ำที่สุด จะมีผลทำให้ระยะยวบตัวของ ไซ้คอปสูง นั้นหมายความว่า ไซ้คอปจะสามารถรับน้ำหนัก และแรงกระแทกได้ดี แต่จะให้ผลในด้านการทรงตัวในการขับขี่ไม่ดีนัก เนื่องจากมีระยะยวบตัวสูง ซึ่งผู้ผลิต ไซ้คอปนั้นสามารถเลือกสปริงโดยการพิจารณาค่าสปริงคงตัว โดยให้เหมาะสมกับค่าคงตัวของการหน่วง ซึ่งจากการวิเคราะห์จะเห็นว่าผลของระยะยวบตัวที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถพิจารณาเลือกสปริงใช้งาน เพื่อลดต้นทุนการผลิต ไซ้คอปได้ ความเร็วของ ไซ้คอป ความเร็วของ ไซ้คอปเมื่อรับน้ำหนักนั้น จะเห็นว่า ไซ้คอปที่มีค่าสปริงคงตัวสูงจะมี

ความเร็วเมื่อยวบตัวสูงด้วย ดังนั้นจะทำให้ ไซ้คอปสามารถรับแรงกระแทกได้น้อย ผู้ออกแบบนั้นสามารถพิจารณาค่าความเร็วของ ไซ้คอปขณะยวบตัว จะเห็นว่าค่าความเร็วของ ไซ้คอปทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถทำให้ผู้ออกแบบเลือกใช้สปริงที่มีระยะพิตซ์มากกว่าสปริงต้นแบบได้ เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต ไซ้คอปความเร่งของ ไซ้คอป เมื่อพิจารณาความเร่งของ ไซ้คอป จะเห็นว่าความเร่งที่เกิดขึ้นของ ไซ้คอปที่มีค่าสปริงคงตัวสูง จะทำให้มีค่าความเร่งสูงด้วย ซึ่งในกรณีความเร่งสูงนี้จะมีผลทำให้ ไซ้คอปเกิดการกระแทกเมื่อรับน้ำหนัก และกระด้าง ซึ่ง ไซ้คอปที่มีความเร่งสูงนั้นไม่ควรใช้ในการผลิต ซึ่งจากการวิเคราะห์สามารถเลือกพิจารณาออกแบบ โดยเลือกใช้สปริงที่มีค่าสปริงคงตัวน้อยลง

ข้อเสนอแนะ

ในการสร้างแบบจำลองโมเดลนั้น ถ้าสร้างเป็นแบบสามมิติ ควรเลือกใช้เอเลิเมนต์แบบ 3 D ผลการคำนวณที่ออกมาจะให้ค่าที่สมจริงมากกว่า แต่จะสิ้นเปลืองหน่วยความจำ และใช้เวลาในการคำนวณ ผลานาน การออกแบบสปริงนั้นค่าสปริงคงตัว และรูปร่างของสปริงจะมีความสำคัญมากในการใช้งาน ผู้ผลิตควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชุดตัวหน่วงของ ไซ้คอปสำหรับการผลิตสปริงนั้นถึงสำคัญอีกสิ่งหนึ่งคือต้นทุนเราควรเลือกสปริงที่มีค่าสปริงคงตัวเหมาะสมและสามารถใช้งานได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] เจริญชัย บุญยะกุล. ระบบกันสะเทือนและเบรก. กรุงเทพฯ : ศูนย์การพิมพ์แก่นจันทร์, 2542.
- [2] ธนู ฤชฉาย. การสิ้นสะเทือนเชิงกล. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ . สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2544.

- [3] Dary L. Logan. A First Course in the Finite Element Method. 3rd ed. University of Wisconsin- Platteville, c2001.
- [4] Frank L. Stasa. Applied Finite Element Analysis for Engineers. CBS International ed. Florida Institute of Technology, 1986.
- [5] Geopge W. Housner and Donald E. Hudson. Applied Mechanics Dynamics. California Institute of Technology, 1966.
- [6] Nicholas P. Chironis. Spring Design and Application. McGraw-Hill Book Company, c1961.

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. วิรัตน์ จอมขวา
อาจารย์ผู้ควบคุมให้คำปรึกษา และผู้ที่มีได้เอื้อนาม
ทุกท่าน

อิทธิพลของความเร็วในการทดสอบแรงดึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304

ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกล

เฉลิมพล คล้ายนิล¹ และ ทศพร เงินเนตร²

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของความเร็วในการทดสอบแรงดึงเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด AISI 304 ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกล โดยมีการกำหนดความเร็วในการทดสอบแรงดึงที่แตกต่างกันแบ่งออกเป็น 10 ระดับ คือตั้งแต่ 10 ถึง 100 มิลลิเมตรต่อนาที และมีการเตรียมชิ้นทดสอบให้มีศูนย์กลางรวมความเค้นที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ได้แก่ชิ้นทดสอบที่ไม่เจาะรู ชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์กลาง ชิ้นทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์กลาง และชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเชื่อมศูนย์กลาง ซึ่งชิ้นทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E8 และกำหนดค่าให้ที่จุดศูนย์กลางรวมความเค้นรูเจาะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ผ่านการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงของวัสดุ Zwick รุ่น Z020 ผลการทดลองพบว่าความเร็วในการทดสอบแรงดึง และรูปแบบของศูนย์กลางรวมความเค้นที่เปลี่ยนไป จะส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงดึงแตกต่างกัน ซึ่งชิ้นทดสอบที่รับแรงดึงได้สูงสุด คือชิ้นทดสอบที่ไม่เจาะรู รองลงมาคือชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์กลาง ชิ้นทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์กลาง และชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเชื่อมศูนย์กลาง ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มลดลงทั้งหมด เมื่อมีการเพิ่มค่าความเร็วในการทดสอบแรงดึงให้สูงขึ้น โดยเฉพาะชิ้นทดสอบที่มีการเจาะรูเพื่อทำให้เกิดศูนย์กลางรวมความเค้นในรูปแบบต่างๆ เนื่องจากบริเวณขอบรูเจาะ จะเกิดความเค้นสูงสุด และพื้นที่หน้าตัดในการรับแรงดึงน้อยลงด้วย

คำสำคัญ : เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก ความเร็วในการทดสอบแรงดึง ศูนย์รวมความเค้น

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆ ในประเทศไทย มีการพัฒนาทางด้านระบบการผลิต และการมุ่งพัฒนาผลิตภัณฑ์สูงมากขึ้น เพื่อให้สินค้ามีคุณภาพ ต้นทุนการผลิตต่ำ และคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งาน โดยเฉพาะอุตสาหกรรมทางด้านการผลิตชิ้นส่วนจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) ซึ่งสามารถนำไปใช้

งานได้อย่างกว้างขวางในทางวิศวกรรม เช่น อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ และอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอาหาร เป็นต้น โดยก่อนที่จะได้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปในการนำไปใช้งานนั้น กระบวนการที่สำคัญอย่างหนึ่งคือกระบวนการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการใช้งาน และต้องรับต่อภาระกรรม (Load) ต่างๆ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยของผู้บริโภค และความเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ด้วยการทดสอบสมบัติด้านทานแรงดึง (Tensile testing) จัดเป็นการทดสอบทางกลแบบทำลายประเภทหนึ่งเพื่อหาค่าความแข็งแรงของวัสดุ (Strength) โดยจำเป็นต้องเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึง (Tensile specimen) ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ปกติแล้วการทดสอบจะรับแรงดึงแบบสม่ำเสมอตามข้อกำหนดในแต่ละ

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110 โทรศัพท์: 0-3261-8500 โทรสาร: 0-3261-8570 E-mail: chalermpon1@hotmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.เมือง จ. ตาก 63000 โทรศัพท์: 0-5551-5900 E-mail: tasaporn1@yahoo.co.th

มาตรฐาน ในหนึ่งทิศทาง (Uni-axial) จนชิ้นงานขาดออกจากกัน ระหว่างการทดสอบเครื่องจะวัดการยืดตัวของชิ้นงานอย่างต่อเนื่อง แล้วทำการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำ และการยืดตัวในรูปของกราฟความเค้นและความเครียด (Stress - strain curve) และคำนวณค่าต่างๆ เช่นงวิวิศวกรรม อันได้แก่ ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength) ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate strength) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation) [1] แต่ในการประยุกต์ไปใช้งานจริงๆ ของ โครงสร้างหรือชิ้นส่วนต่างๆ เช่น ข้อต่อสายลวดเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel turnbuckle) โช้ ลวดสลิงประเภทต่างๆ จะมีการรับภาระแรงดึงขนาดที่ไม่เท่ากัน หรือความเร็วของแรงที่มากระทำต่อโครงสร้างแตกต่างกัน โดยจะมีผลกระทบต่อสมบัติด้านทานแรงดึงของวัสดุ ซึ่งอาจเกิดการแตกหักเสียหายได้เนื่องจากภาระกรรม (Load) ที่มากกระทำไม่เหมาะสมหรือเกินพิกัด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญและปัญหาดังกล่าว จึงเกิดแนวคิดที่จะศึกษาอิทธิพลของความเร็วที่แตกต่างกัน ในการทดสอบแรงดึงวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด AISI304 ที่มีผลต่อพฤติกรรมทางกล ทั้งนี้เพื่อนำข้อมูลจากการศึกษา และผลทางสถิติที่ได้ไปเป็นมาตรฐานในการประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสมและถูกต้องต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 การออกแบบการทดลอง

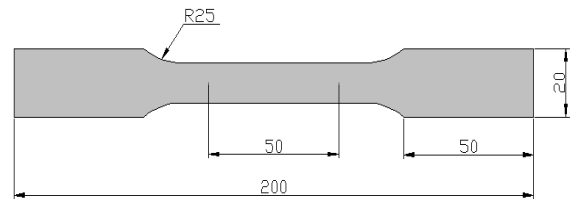
ในการศึกษาผลกระทบของความเร็วในการทดสอบและศูนย์รวมความเค้นที่มีต่อความแข็งแรง ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

2.1.1 การทดลองแบบที่ 1 การศึกษาผลกระทบของความเร็วในการทดสอบซึ่งมีการกำหนดค่าให้แตกต่างกัน 10 ระดับ คือ ตั้งแต่ 10 มิลลิเมตรต่อนาที ถึง 100 มิลลิเมตรต่อนาที

2.1.2 การทดลองแบบที่ 2 การศึกษาศูนย์รวมความเค้น แต่ละแบบ ที่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นทดสอบ โดยมีปัจจัยเดียว (Single factor) คือรูปแบบ

ลักษณะของการเจาะรูบนชิ้นทดสอบ ซึ่งเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable factor) โดยได้ทำการศึกษาจำนวน 4 รูปแบบ ได้แก่

- รูปแบบที่ 1 ชิ้นทดสอบที่ไม่มีการเจาะรู
- รูปแบบที่ 2 ชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์
- รูปแบบที่ 3 ชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์
- รูปแบบที่ 4 ชิ้นทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์



ภาพที่ 1 แสดงชิ้นงานทดสอบมาตรฐาน

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

2.2.1 เตรียมชิ้นทดสอบตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ ได้แก่ ชิ้นทดสอบที่ไม่มีการเจาะรู ชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์ ชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์ และชิ้นทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์

2.2.2 ใช้เวอร์เนียสคาลิปเปอร์วัดขนาดความยาวพิกัด (Gauge length) และความกว้างของชิ้นทดสอบ ก่อนและหลังการทดสอบ เพื่อนำไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation)

2.2.3 จับยึดชิ้นทดสอบเข้ากับตัวจับยึด (Grip) ของเครื่องทดสอบแรงดึงให้ถูกต้อง

2.2.4 ป้อนค่าความเร็วที่ใช้ทดสอบตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้

2.2.5 ทำการเริ่มต้นทดสอบ โดยที่มีการแสดงผลกราฟ Stress-strain บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ทำการบันทึกค่าผลการทดลอง และอ่านค่าความเค้นจากกราฟ ประกอบกับผลจากที่เครื่องคอมพิวเตอร์คำนวณได้ โดยใช้ค่าความแข็งแรงแรงดึงสูงสุดของวัสดุ (Ultimate strength) และจุดครากตัว (Yield point)

2.2.6 นำชิ้นทดสอบที่เกิดการแตกหักเสียหาย ไปศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะการแตกหักเสียหาย เนื่องจากแรงดึง

2.2.7 นำผลที่ได้จากการทดลองไปคำนวณค่าต่างๆ เช่น เปอร์เซนต์การยืดตัว (% Elongation)

2.3 วัสดุและเครื่องมือในงานวิจัย

2.3.1 ชิ้นทดสอบในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด AISI304 (Austenitic stainless steel AISI304) เป็นเหล็กแผ่นบางมีความหนา 1 มิลลิเมตร โดยมีขนาดความยาว (L_0) = 200 มิลลิเมตร ความกว้าง (b) = 12.5 มิลลิเมตร ความยาวพิงัด (L_c) = 50 มิลลิเมตร รัศมีของบ่า (R) = 25 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM E8

2.3.2 เครื่องทดสอบแรงดึงของวัสดุ (Tensile test) ยี่ห้อ Zwick รุ่น Z020 ดังแสดงในภาพที่ 2



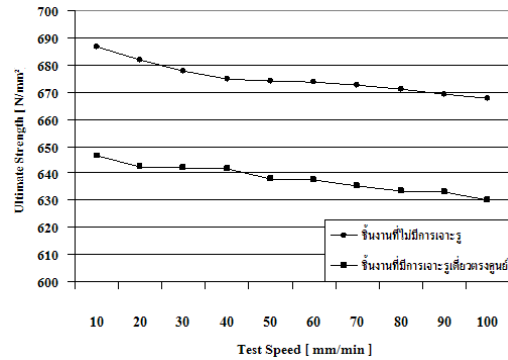
ภาพที่ 2 แสดงเครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุ

3. ผลและการอภิปรายผล

การศึกษาอิทธิพลของความเร็วในการทดสอบแรงดึงเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 304 โดยกำหนดความเร็วในการทดสอบแรงดึงที่แตกต่างกัน 10 ระดับ คือ ตั้งแต่ 10-100 มิลลิเมตรต่อนาที และลักษณะ

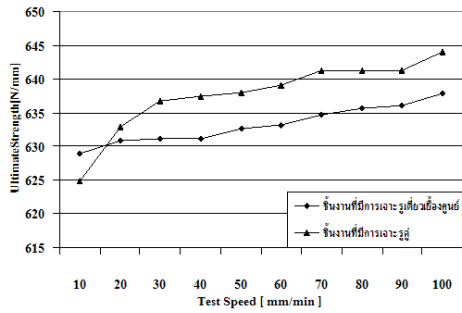
ของชิ้นงานทดสอบ 4 แบบ ได้แก่ ชิ้นทดสอบที่ไม่มีการเจาะรู ชิ้นทดสอบที่มีการเจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์กลาง ชิ้นทดสอบที่มีการเจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์กลาง และชิ้นทดสอบที่มีการเจาะรูคู่ตรงศูนย์กลาง ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E8 มีขนาดรูเจาะคือ 1 มิลลิเมตร เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ผลการศึกษาความแข็งแรงดึงสูงสุด (UTS)



ภาพที่ 3 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า UTS ที่ไม่มีการเจาะรูกับเจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์กลาง

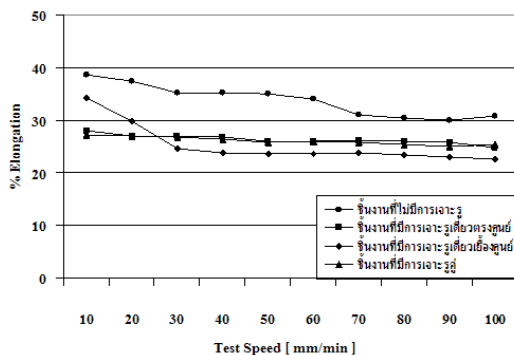
จากภาพที่ 3 เป็นกราฟเปรียบเทียบแสดงผลการทดลองในการศึกษาอิทธิพลของความเร็วในการทดสอบแรงดึงระหว่างชิ้นทดสอบที่ไม่มีการเจาะรู และชิ้นทดสอบที่มีการเจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์กลาง ผลการศึกษาพบว่าความเร็วในการทดสอบแรงดึงมีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (UTS) ซึ่งทำให้ความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วต่ำพบว่าค่าความเค้นคราก (Yield stress) จะสูง ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดสูงด้วย แต่เมื่อเพิ่มความเร็วในการทดลอง พบว่าค่าการครากตัว และค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลง เป็นผลมาจากความเร็วในการดึงที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความเค้นครากจะเกิดเร็วขึ้นหรือมีค่าลดลง โดยที่ชิ้นทดสอบที่ไม่มีการเจาะรู มีค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงสูงสุดมากกว่าชิ้นทดสอบที่มีการเจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์กลาง



ภาพที่ 4 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า UTS ที่มีการเจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์กลางกับเจาะรูคู่ตรงศูนย์กลาง

จากภาพที่ 4 เป็นกราฟเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างชิ้นทดสอบที่มีการเจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์กลาง และชิ้นทดสอบที่มีการเจาะรูคู่ตรงศูนย์กลาง ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการดึงให้สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าการครากตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหรือมีค่าลดลง เนื่องจากการกระจายตัวของความเค้นไม่สม่ำเสมอเพราะเกิดศูนย์รวมความเค้นสูงขึ้นบริเวณขอบรูเจาะ ซึ่งพื้นที่บริเวณด้านข้างส่วนที่มีเนื้อที่น้อยกว่าจะเริ่มเกิดการขาดก่อน และจะขยายตัวไปยังพื้นที่บริเวณหน้าตัดขนาดใหญ่ [2] โดยผลการทดลองกลับส่งผลให้ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (UTS) มีแนวโน้มสูงขึ้น และชิ้นทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์กลางกลาง ไม่มีผลต่อการกระจายตัวของจุดรวมความเค้น เพราะเจาะรูใกล้กันจนเกินไป ดังนั้นจึงทำให้ผลของจุดรวมความเค้นมีค่าสูงขึ้นที่บริเวณรูเจาะทั้งสอง

3.2 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation)



ภาพที่ 5 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า %Elongation

จากรูปที่ 5 เป็นกราฟเปรียบเทียบผลการทดลองเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว พบว่ามีแนวโน้มลดลงทั้งหมดเมื่อค่าความเร็วในการดึงสูงขึ้น โดยชิ้นทดสอบที่ไม่มีรูเจาะจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการยืดตัว = 33.79 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์กลางมีค่าเฉลี่ยการยืดตัว = 26.36 เปอร์เซ็นต์ ชิ้นทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์กลางมีค่าเฉลี่ยการยืดตัว = 26.13 เปอร์เซ็นต์ และชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์กลางมีค่าเฉลี่ยการยืดตัว = 25.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4. สรุปผลการวิจัย

4.1.1 ผลการทดลองพบว่าชิ้นทดสอบที่ไม่เจาะรูจะมีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด รองลงมาคือชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์กลาง ชิ้นทดสอบที่เจาะรูคู่ และชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์กลาง ตามลำดับ

4.1.2 ชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์กลาง จะเริ่มขาดบริเวณด้านข้างที่มีพื้นที่บริเวณหน้าตัดน้อยกว่าก่อน เนื่องจากขนาดพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหัน ทำให้เกิดศูนย์รวมความเค้นขึ้นสูง และผลการทดลองพบว่าการครากตัวที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหรือลดลง เมื่อความเร็วในการดึงสูงขึ้น กลับส่งผลให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

4.1.3 ชิ้นทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์กลาง ไม่มีผลต่อการกระจายตัวของจุดรวมความเค้น เพราะเจาะรูใกล้กันจนเกินไป ดังนั้นจึงทำให้ผลของจุดรวมความเค้นมีค่าสูงขึ้น

4.1.4 เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของชิ้นทดสอบมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มค่าความเร็วในการดึงให้สูงขึ้น โดยเฉพาะชิ้นทดสอบที่มีการเจาะรูในรูปแบบต่างๆ เนื่องจากบริเวณขอบของรูจะเกิดความเค้นสูงสุด และพื้นที่ในการรับแรงดึงน้อยลงด้วย

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 ควรศึกษารูปแบบชิ้นทดสอบที่ทำให้เกิดศูนย์รวมความเค้นอื่นๆ นอกเหนือจากการทดลองนี้ เช่นรอยบาก การเปลี่ยนแปลงขนาดรูเจาะ และความลึกของรูเจาะ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์ และคณะ, 2548. วัสดุศาสตร์และวิศวกรรมวัสดุพื้นฐาน. กรุงเทพฯ: ท็อป.
- [2] กุลวดี จันทธาดา และคณะ, 2542. การศึกษาผลกระทบของศูนย์ความเค้นในแผ่นเหล็ก SS400 เจาะรู. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

การพัฒนาต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอ ในประเทศไทย

สุวิทย์ ธรรมแสง¹ สุนทร นาคโนนหัน² และ อารีรัตน์ เชื้อบุญเกิด³

บทคัดย่อ— การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย โดยใช้กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ คณะวิจัยได้ศึกษาข้อมูลจากเอกสาร งานวิจัย เอกสารทั้งในต่างประเทศ และศึกษาข้อมูลการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอจากสถานประกอบการ แล้วนำผลมาประมวลเป็นกระบวนการความคิดและกระบวนการวิจัย จากนั้นดำเนินการออกแบบและสร้างต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมโดยใช้หลักการของการออกแบบความสัมพันธ์ของการทำงาน ระบบการผลิตแบบลีน การวิเคราะห์ทางการเงิน เพื่อนำมาสร้างเป็นกระบวนการต้นแบบการผลิตและระบบควบคุม โปรแกรมวิเคราะห์ทางการเงิน และ โปรแกรมวิเคราะห์การผลิตและระบบควบคุม จากนั้นดำเนินการทดลองและปรับปรุงแก้ไข การทดลองประเมินต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอ ณ สถานประกอบการ โดยใช้แบบประเมินที่ออกแบบครอบคลุมทั้งด้านคุณภาพและประสิทธิภาพและหาความเที่ยงตรงของเนื้อหาแล้ว เป็นเครื่องมือประเมิน ใช้ผู้ประเมิน 3 ท่าน ที่มีความรู้และประสบการณ์ด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอ จากนั้นหาคุณภาพและประสิทธิภาพของต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมผลการประเมินต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอ ปรากฏว่าได้คุณภาพ 87.83 % และประสิทธิภาพ 89.56% ปรากฏว่ามีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย จากนั้นคณะวิจัยได้ถ่ายทอดผลการวิจัยสู่กลุ่มตัวอย่าง 4 สถานประกอบการ

คำสำคัญ ต้นแบบการผลิต, ระบบควบคุม, อุตสาหกรรมสิ่งทอ

1. บทนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่น่าจะสร้างรายได้ และช่วยพัฒนาเศรษฐกิจของไทยให้มี

ความเติบโตมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มและเสื้อผ้าสำเร็จรูป ปัจจุบันมีโรงงานประมาณ 2,666 แห่ง คิดเป็น 58.5% ของอุตสาหกรรมสิ่งทอทั้งหมด มีมูลค่าการส่งออก 3,205 ล้านดอลลาร์สหรัฐ และสามารถก่อให้เกิดการจ้างงานที่มีมากที่สุดเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่น คือประมาณ 865,000 คน จุดแข็งของอุตสาหกรรมสิ่งทอของไทยคือมีการผลิตที่ครบวงจร ตั้งแต่อุตสาหกรรมต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ มีการรวมกลุ่มตั้งสมาคมเพื่อพัฒนาและแก้ไขปัญหาอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งกันและกันอย่างเข้มแข็งผู้ประกอบการไทยมีประสบการณ์ด้านสิ่งทอยาวนานมากกว่า 30 ปี ทำให้ผู้ซื้อมีความเชื่อมั่น และสินค้าส่วนใหญ่เป็นที่ยอมรับในตลาดโลก อย่างไรก็ตามหากมองภาพรวมระดับโลกจะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมสิ่งทอและ

¹สาขาวิชาการออกแบบการผลิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น 150 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000 โทรศัพท์ : 085-0131032 โทรสาร : 043-338867 E-mail : s_suwit5@hotmail.com

²สาขาวิชาการออกแบบการผลิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น 150 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000 โทรศัพท์ : 086-6411136 โทรสาร : 043-338867 E-mail : s_suntorn@hotmail.com

³สาขาวิชาการตลาด คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น 150 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000 โทรศัพท์ : 081-7178870 โทรสาร : 043-338867 E-mail : cheuboon@hotmail.com

เครื่องนุ่งห่มขณะนี้มีการแข่งขันทวีความรุนแรงมากขึ้น สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้สรุปภาพรวมอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มของไทย คาดว่าปัจจัยลบจะมาจากการชะลอตัวในภาคการส่งออก เนื่องจากการชะลอตัวด้านเศรษฐกิจของตลาดหลัก เช่น สหรัฐอเมริกา การแข็งค่าของค่าเงินบาทและมาตรการทางการค้า ทั้งนี้ปัญหาและอุปสรรคของอุตสาหกรรมสิ่งทอของไทยคือประสิทธิภาพการผลิตต่ำ อันเนื่องมาจากเครื่องจักรเก่า ขาดบุคลากรที่มีทักษะขาดความเชื่อมโยงในอุตสาหกรรม, ต้นทุนการผลิตสูง ค่าแรงสูงขึ้น ปัญหาด้านโครงสร้างภาษี ค่าขนส่งระหว่างเรือสูง ค่าสาธารณูปโภค นอกจากนี้ยังมีอุปสรรคที่สำคัญคืออุตสาหกรรมสิ่งทอขาดการส่งเสริมและการลงทุนพัฒนา การลงทุนจากต่างประเทศยังมีน้อย ขาดเครือข่ายและศูนย์ข้อมูลสิ่งทอที่มีประสิทธิภาพ การส่งเสริม การวิจัย และพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอยังไม่เพียงพอ ขาดการวิจัยและพัฒนาโดยเฉพาะการพัฒนาคุณภาพและรูปแบบให้มีความหลากหลาย

จากปัญหาและอุปสรรคของอุตสาหกรรมสิ่งทอของไทย ทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่ว่า หากพัฒนาจุดแข็งและขจัดจุดอ่อนรวมถึงปัญหาและอุปสรรคในอุตสาหกรรม เครื่องนุ่งห่มและเสื้อผ้าสำเร็จรูป โดยใช้กลยุทธ์การพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตทางอุตสาหกรรม จะนำไปสู่การลดต้นทุนการผลิต และพัฒนาศักยภาพการผลิต การส่งออกของอุตสาหกรรมนี้ด้วยการวิจัยและพัฒนาอย่างเพียงพอที่จะเอื้อประโยชน์ต่อการดำเนิน ธุรกิจอย่างยั่งยืนและเพิ่มคุณภาพประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มและเสื้อผ้าสำเร็จรูป และทำให้ประเทศไทยจะสามารถก้าวเป็นผู้นำด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอได้ในอนาคต ซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 10 ในการปรับ โครงสร้าง เศรษฐกิจให้สมดุลและยั่งยืน โดยมุ่งเน้นการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศให้ยั่งยืนและมั่นคงในระยะยาว โดยอาศัยการพึ่งพาและร่วมมือกัน ในการปรับโครงสร้างการผลิตให้เศรษฐกิจภายในประเทศที่มาจาก

วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมมีฐานการผลิตที่ใหญ่ขึ้นและเข้มแข็งยิ่งขึ้น ฉะนั้นกลยุทธ์สำคัญของการแข่งขันในสถานะเศรษฐกิจไร้พรมแดนจึงขึ้นอยู่กับความสามารถที่จะผลิตสินค้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในเชิงคุณภาพ คุณค่า รูปแบบที่แตกต่าง มีความน่าเชื่อถือ และมีราคาที่สามารถแข่งขันได้ ดังนั้นจึงต้องมีการ ศึกษาถึงกลยุทธ์การพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตทางอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ลดต้นทุนการผลิต และการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตที่ได้มาตรฐานและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2. วิธีการวิจัย

การดำเนินโครงการวิจัย การพัฒนาต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย คณะวิจัยได้จัดวางแผนดำเนินการเป็นขั้นตอน เพื่อให้การดำเนินการเป็นไปในทางที่ถูกต้องและมีหลักการตามหลักของวิชาการที่จะแก้ปัญหาในการดำเนินงาน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

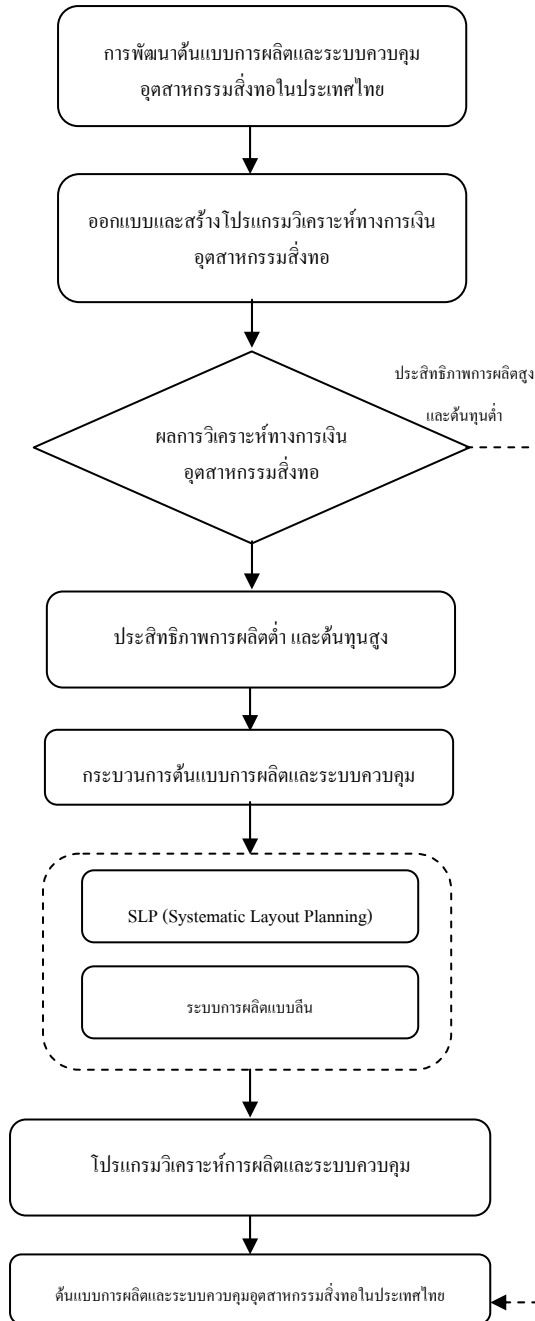
2.1 การกำหนดแนวความคิด และกระบวนการวิจัย ดังภาพที่ 1

2.2 การออกแบบและสร้างต้นแบบการผลิตและระบบควบคุม

1. ศึกษาสภาพปัจจุบันของอุตสาหกรรมสิ่งทอ (กรณีศึกษาบริษัทนุษย์บงการเมนท์)จากการศึกษาปัญหาหลักของบริษัทต้นแบบ จะสอดคล้องกับปัญหาที่พบมากของอุตสาหกรรมสิ่งทอ นั่นคือ ปัญหาด้านประสิทธิภาพ และปัญหาด้านต้นทุนการผลิต ซึ่งสาเหตุหลักคือ การขาดระบบการผลิตและระบบควบคุมที่ชัดเจน ดังนั้นเมื่อทราบข้อมูลเบื้องต้น คณะวิจัยจึงได้กำหนดแนวทางแก้ไข การออกแบบและสร้างต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมอุตสาหกรรมสิ่ง

2. ออกแบบและสร้างต้นแบบระบบการผลิตและระบบควบคุม ซึ่งองค์ประกอบของการออกแบบและสร้างต้นแบบระบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอ ประกอบด้วย

- การออกแบบและสร้างโปรแกรมวิเคราะห์ทางการเงิน อุตสาหกรรมสิ่งทอ ผลที่ได้คือ โปรแกรมวิเคราะห์ทางการเงินฯ ดังภาพที่ 2

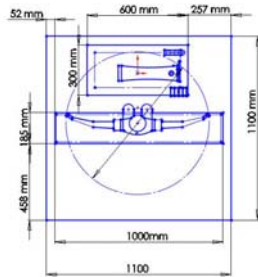
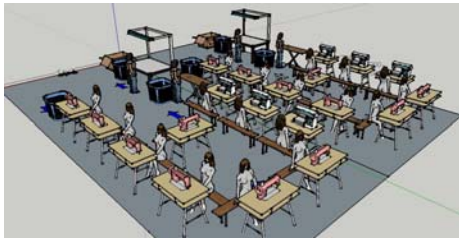


ภาพที่ 1 แนวความคิด และกระบวนการวิจัย



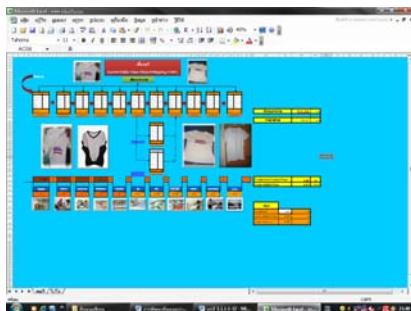
ภาพที่ 2 โปรแกรมวิเคราะห์ทางการเงินฯ

- การออกแบบและสร้างระบบการผลิตและระบบควบคุมโดยใช้แนวทางระบบ การผลิตแบบลีน
 - การออกแบบและสร้างการบันทึกผล กำหนดคุณค่าของผลิตภัณฑ์ ผลที่ได้คือ ตารางบันทึกผลคุณค่าของผลิตภัณฑ์และแนวทางการให้ความรู้โดยการฝึกอบรมสัมมนาผู้บริหารและพนักงานเกี่ยวกับ ระบบการผลิตแบบลีน กิจกรรม 6 ส การพัฒนางานตามแบบ ECRS เป็นต้น
 - การออกแบบและสร้างแผนผังคุณค่าของผลิตภัณฑ์ ผลที่ได้คือ แผนผังคุณค่าของผลิตภัณฑ์ VSM (Value Stream Mapping) การพัฒนากระบวนการทำงาน การกำหนดหัวข้อปัญหา การหาสาเหตุการกำหนดแนวทางแก้ไข โดยการระดมสมองของผู้บริหารและพนักงาน ดำเนินการแก้ไขปัญหา โดยใช้หลักการของลีน, ECRS ฯลฯ
- การออกแบบและสร้างความสัมพันธ์ของการทำงาน ผลที่ได้ คือ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ SLP (Systematic Layout Planning) ของการทำงาน ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทำงาน

- การออกแบบและสร้าง โปรแกรมวิเคราะห์การผลิตและระบบควบคุม ผลที่ได้ คือ โปรแกรมฯ ที่แสดงรายละเอียด ดังภาพที่ 4 -6



ภาพที่ 4 โปรแกรมวิเคราะห์การผลิตและระบบควบคุม

โดยใช้แนวคิดจากแผนผังคุณค่าของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 5 โปรแกรมวิเคราะห์การผลิตและระบบควบคุม ส่วนของการวิเคราะห์กำลังการผลิตกระบวนการเย็บ โดยใช้ OPC (Outline Process Chart)

Flow Process Chart (FPC)

Company Name :
 Process Flow Chart Station Name: ไลน์งานเย็บ
 Inspection Date: วัน เดือน ปี

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	Symbol	จำนวน	หมายเหตุ
นำผ้ามาเย็บ	○	2	
รีดผ้า	□	3	
นำผ้าไปใส่	△	1	
ตรวจสอบผ้า	▽	5	
นำผ้ามาเย็บ	○	4	ใช้มือ
รีดผ้า	□	3	
นำผ้าไปใส่	△	5	ใช้มือ
รีดผ้า	□	3	
นำผ้าไปใส่	△	1	
รวม		73	
OT	3	4	1
Operation Time (OT)*		73	
Standard Time (ST)*		82	

Abbreviation Time (AT):

Symbol	Meaning	OT	ST
○	Operation	1.0	1.0
□	Hold	0.0	0.0
△	Transport	0.2	0.2
▽	Inspection	0.1	0.1
○	Operation	0.2	0.2
OT		1.0	1.0

Standard Time = OT+AT = 82



ภาพที่ 6 โปรแกรมวิเคราะห์การผลิตและระบบควบคุม ส่วนของการวิเคราะห์เวลามาตรฐานของขั้นตอนการเย็บ โดยใช้ FPC (Flow Process Chart)

เมื่อวิเคราะห์เวลามาตรฐานกระบวนการเย็บแต่ละ Station เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการควบคุมโดยเครื่องมือที่ใช้ คือ ตารางแกนต์เพื่อควบคุมกำลังการผลิต ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางเพื่อควบคุมกำลังการผลิต แผนกเย็บ

ว/ค/ป	รายการ	ตารางเปรียบเทียบผลผลิต(ตัว)								รวม
		8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	
	ชนิด: เป้า									
	ลูกค้า: เสริม									
	ชนิด: เป้า									
	ลูกค้า: เสริม									
	ชนิด: เป้า									
	ลูกค้า: เสริม									
	ชนิด: เป้า									
	ลูกค้า: เสริม									

2.1 การทดสอบต้นแบบการผลิตและระบบควบคุม

ขั้นตอนการทดสอบต้นแบบการผลิตและระบบควบคุม คณะวิจัยได้รับความร่วมมือกับ บริษัทนุชบงการ์เมนท์ โดยมีผลการทดสอบต้นแบบการผลิตระบบ

ควบคุม ดังนี้

1. ผลวิเคราะห์ทางการเงินของบริษัทบุษบกการ์เมนท์ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางการเงินอุตสาหกรรม สิ่งทอ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ผลประกอบการบริษัทบุษบกการ์เมนท์

รายการ	จำนวน	หน่วย
1. จำนวนยอดขาย/ปี	16,800	ตัว
2. ราคาขาย	300	บาท
3. รายได้	5,040,000	บาท/ปี
4. ต้นทุนรวม	5,008,045	บาท/ปี
5. กำไรเบื้องต้นก่อนหักภาษี	31,955	บาท/ปี
6. จ่ายภาษีเงินได้ (30%)	9,587	บาท/ปี
7. กำไรสุทธิหลังหักภาษี	22,369	บาท/ปี

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงกำไรสุทธิของผลประกอบการ โดยเป็นภาพรวมตลอดทั้งปีของการประกอบการ คือ 22,369.- บาท / ปี หรือเฉลี่ย 1,864.08 บาท/เดือน ซึ่งถือว่าต่ำมาก ต้องได้รับการปรับปรุงอย่างเร่งด่วน ทั้งด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และการลดต้นทุน

2. กำหนดคุณค่า (Value) ของผลิตภัณฑ์และแนวทางการให้ความรู้ โดยการฝึกอบรมสัมมนาผู้บริหาร ซึ่งการกำหนดคุณค่า (Value) ของผลิตภัณฑ์จะได้ในรูปแบบของตารางประกอบด้วย ผลของการดำเนินงาน เช่น ผลการส่งมอบไม่ทันเวลา ประสิทธิภาพการผลิต 50% ผลการวิเคราะห์ SWOT ผลประเมิน TOWS Matrix เพื่อกำหนดกลยุทธ์ คือ การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยการขอให้ผู้เชี่ยวชาญจากสถานศึกษาเข้าให้คำปรึกษา

จากนั้นฝึกอบรมสัมมนาผู้บริหารและพนักงาน เพื่อให้เข้าใจแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การพัฒนาาร่วมกัน ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ฝึกอบรมสัมมนาผู้บริหารและพนักงาน



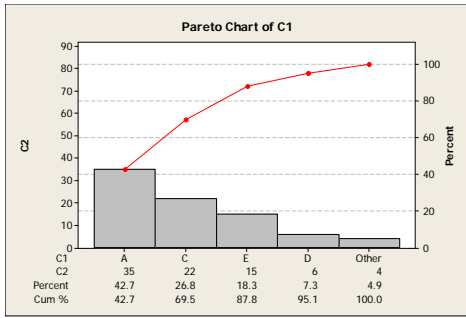
ภาพที่ 8 ฝึกอบรมการใช้งานโปรแกรมฯ

จากภาพที่ 7- 8 เมื่อฝึกอบรมสัมมนาผู้บริหารและพนักงาน ขั้นตอนต่อไปคือ การฝึกให้ ผู้บริหาร เข้าใจถึงการแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ ดังนี้

กำหนดหัวข้อปัญหา : ส่งงานลูกค้าไม่ทันตามกำหนด
กำหนดระดมสมองหาสาเหตุ : ใช้แผนภาพก้างปลา ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การระดมสมองหาสาเหตุ



ภาพที่ 10 การวิเคราะห์ความเสถียรภาพของสาเหตุ

เมื่อวิเคราะห์สาเหตุจะเห็นได้ว่า ระบบการผลิตไม่มีมาตรฐาน เป็นสาเหตุรากเหง้าของปัญหา ดังนั้นคณะวิจัยจึงกำหนดแนวทางแก้ไขโดยใช้แนวคิดการผลิตแบบลีน โดยการออกแบบ Layout โดยใช้แนวคิดของ SLP ลดวิธีการทำงานใช้แนวคิดของ ECRS ลดขั้นตอนและวิธีการทำงาน ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ คือ OPC และ FPC

จากการระดมสมอง เพื่อปรับปรุงระบบการผลิต กำหนดให้ เปลี่ยน Layout จากที่ไม่มีระบบการจัด Layout ดังภาพที่ 11 เปลี่ยน Layout เป็นแบบการผลิตแบบเซลล์ลาร์ (Cellular Manufacturing)



ภาพที่ 11 การจัด Layout เป็นแบบการผลิตแบบเซลล์ลาร์

2. กรอกข้อมูลลงในโปรแกรมวิเคราะห์การผลิตและระบบควบคุม

- 2.1 กรอกข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์ลงใน FPC
- 2.2 ข้อมูลเวลามาตรฐานจะแสดงที่ OPC
- 2.3 OPC จะแสดงถึงกำลังการผลิต
- 2.4 กำลังการผลิต จะแสดงที่หน้าหลัก VSM ของโปรแกรมหน้าหลัก VSM จะแสดงถึงรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

- ต้นทุนต่อหน่วย
- ราคาขาย
- Lead Time รวม

3. สรุปผลการดำเนินงาน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปผลการดำเนินงาน

หัวข้อ	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	หมายเหตุ
ต้นทุนต่อหน่วย	92%	77%	ลดลง 15%
ประสิทธิภาพการผลิต	50%	90%	เพิ่มขึ้น 40%
กำลังการผลิต	25 ตัว / วัน	45 ตัว / วัน	ใช้พนักงานและเครื่องจักรเท่าเดิม

3. ผลและการอภิปรายผล

การประเมินผลคุณภาพและประสิทธิภาพของโครงการจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ การประเมินคุณภาพของโครงการวิจัย และการประเมินประสิทธิภาพของโครงการวิจัย โดยขั้นตอนแรกคือการกำหนดข้อคำถามในการประเมินของโครงการ การประเมินความเที่ยงตรงของคำถาม และประเมินผลโครงการ ซึ่งได้ผลการประเมินดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประเมินผลโครงการวิจัย

สมมุติฐานของโครงการ	ผล
1. ได้ต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย	1. ได้กระบวนการต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย
2. ต้นแบบการผลิตและระบบฯ มีความคุณภาพมากกว่าหรือเท่ากับ 80%	2. กระบวนการต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอมีคุณภาพ 87.83 %
3. ต้นแบบการผลิตและระบบฯ มีประสิทธิภาพมากกว่าหรือเท่ากับ 80%	3. กระบวนการต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอมีประสิทธิภาพ 89.56 %

จากการดำเนินงานและทดสอบกระบวนการต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอ สามารถอภิปรายผลการดำเนินงานได้ดังต่อไปนี้ การอภิปรายผลด้านคุณภาพ

3.1 จากการประเมินด้านคุณภาพโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านได้ระดับคะแนนที่ 87.83 % ซึ่งอยู่ในช่วงระดับคะแนนที่ดี ทั้งนี้เนื่องมาจากคณะวิจัยได้วางแผนและออกแบบอย่างเป็นระบบ โดยการนำแนวคิดของหลักการระบบการผลิตแบบลีนใช้ในการออกแบบกระบวนการผลิต จากนั้นคณะวิจัยและผู้บริหารบริษัททอของกาเม้นท์ มีแนวคิดให้กระบวนการต้นแบบนี้สามารถให้ใช้งานได้ง่ายและรวดเร็ว จึงได้ประยุกต์ใช้กับโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อให้โปรแกรมวิเคราะห์ผลให้ ซึ่งผลที่ได้ทำให้ผู้ประกอบการทราบต้นทุนต่อหน่วยที่แท้จริง รอบเวลาในการผลิต สามารถกำหนดวันส่งผลิตภัณฑ์ได้อย่างแม่นยำ

3.2 การอภิปรายผลด้านประสิทธิภาพ จากการประเมินด้านประสิทธิภาพ โดยการทดสอบหาประสิทธิภาพ และการให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ทำการประเมิน ได้ระดับคะแนนที่เฉลี่ย 89.56 % ซึ่งอยู่ในช่วงระดับคะแนนที่ดี ทั้งนี้เนื่องมาจากคณะวิจัยได้สร้างกระบวนการต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอ อย่างเป็นขั้นตอน โดยเริ่มต้น

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของกิจการ กำหนดคุณค่า (Value) ของผลิตภัณฑ์โดยใช้ตารางตารางบันทึกผลการกำหนดคุณค่า (Value) ของผลิตภัณฑ์ การวิเคราะห์ SWOT การกำหนดกลยุทธ์ การฝึกอบรมสัมมนาผู้บริหารและพนักงาน เพื่อให้เข้าใจแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตการพัฒนา ร่วมกัน การฝึกอบรมการใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์ทางการเงิน และโปรแกรมวิเคราะห์การผลิตและระบบควบคุม อุตสาหกรรมสิ่งทอ ให้กับผู้บริหาร ซึ่งเมื่อนำไปทดลองใช้สามารถลดต้นทุนต่อหน่วยได้ 15 % ดังนั้นผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญจึงอยู่ในระดับดี

4. สรุปผลการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ คณะวิจัยได้ออกแบบและสร้างต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย ซึ่งได้รับความร่วมมือกับบริษัททอของกาเม้นท์ เป็นบริษัทต้นแบบในการดำเนินงาน เมื่อได้กระบวนการต้นแบบฯ จากนั้นได้ทดสอบต้นแบบฯ เพื่อ ประเมินหาคุณภาพและประสิทธิภาพ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์และสรุปผลโครงการ โดยการดำเนินโครงการเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ จากนั้นได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับต้นแบบสถานประกอบการอีก 4 แห่ง โดยการดำเนินงานครั้งนี้ คณะวิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มและเสื้อผ้าสำเร็จรูป มีประมาณ 2,666 แห่ง คิดเป็น 58.5% ของอุตสาหกรรมสิ่งทอทั้งหมด และมีประมาณ 50% ที่เป็นอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดเล็ก ไม่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบการผลิตและระบบควบคุม ดังนั้นหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้องควรเร่งส่งเสริมสนับสนุนให้อุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดเล็กมีส่วนร่วมในการพัฒนา ซึ่งกระบวนการต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต จะนำไปสู่การลดต้นทุนการ

ผลิตต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชุมพล ศฤงคารศิริ. 2541. การวางแผนและควบคุมการผลิต. กรุงเทพฯ : บริษัท ประชาชน จำกัด.
- [2] นิพนธ์ บัวแก้ว. 2548. รู้จักระบบการผลิตแบบลีน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
- [3] สุวิทย์ ธรรมแสง. 2549. การควบคุมคุณภาพเชิงปฏิบัติการ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น.
- [4] สุนทร นาคโนนหัน. 2547. การออกแบบระบบการผลิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น.
- [5] Douglas C. Montgomery. And George C. Runger. 1999. APPLIED STATISTICS AND PROBABILITY FOR ENGINEERS
- [6] JAMES B. DILWORTH. 1993. PRODUCTION AND OPERATIONS MANAGEMENT :
- [7] Gerald M. Smith. 2004. STATISTICAL PROCESS CONTROL AND IMPROVEMENT : New Jersey Columbus : Ohio
- [8] Michael L. GEORGE. 2003. LEAN SIX SIGMA FOR SERVICE : New York : McGraw – HILL
- [9] PHILIP E. HICKS. 1994. INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT : New York
- [10] McGRAW – HILL INTERNATIONAL EDITONS

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงวิจัย การพัฒนาต้นแบบการผลิตและระบบควบคุมของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย ผู้ดำเนินงานขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่กรุณาให้งบประมาณการดำเนินงาน และขอขอบคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม ที่ให้คำปรึกษาต่างๆ และบริษัทนุษขงกามาเน็น เข้าร่วมโครงการวิจัยเป็นบริษัทต้นแบบ จนการดำเนินงานครั้งนี้เสร็จสิ้นโดยสมบูรณ์

Conceptual Combat Aircraft Design Using Multivariate Optimization

Gullachat Thammachat * Boonchai Watjatrakul **

Abstract — The design of a combat aircraft is an extremely complex task, due to large range of design variables available. A fundamental understanding of the effects of changes to these variables, and to changes in design and performance requirements is necessary to achieve a balanced design. So we use developed and use Multi-Variate Optimisation (MVO) programs a rapid assessment tools, enabling the effects of variations in design variables and performance requirements, in terms of overall aircraft sizing and geometric shape, to be quickly demonstrated.

1. INTRODUCTION

The design of a modern combat aircraft is complex task due to the large number of design variables available. The selection of key parameters such as the wing planform, mission performance and their thrust, the degree of stability and stealth required and the means of attaining it, requires a careful and systematic approach to ensure that a satisfactorily integrated design is achieved. In addition to meeting sorties performance requirements, the design will also be required to meeting performance requirements, the design will also be required to meet some other 'measure of success' such as minimum aircraft mass. The optimum configuration will be one which not only meets the requirements, but which also achieves the best 'measure of success'. The process of optimizing the configuration the configuration is complicated by the subtle interrelation between the design variables, the performance obtained and the measure of success employed.

The MVO method for conceptual aircraft design consist of a specific aircraft design synthesis program, which is linked to a general program, constrained non-linear optimization. MVO gives a rapid method for initial design aircraft sizing and trade-off studies in advance of going to detailed design. The mass and aerodynamics estimation methods employed are simple and based mainly on empirical correlations, but with sufficient accuracy for work at this level. With the advent of aircraft such as the F-22, JSF and other future combat aircraft concepts. It was clear that requirements for low observables (LO), were having a considerable effect on combat aircraft design. The MVO methodology needed to take account of LO constraints, combat aircraft concepts. It was clear that requirements

for low observables (LO), were having a considerable effect on combat aircraft design. The MVO methodology needed to take account of LO constraints, particularly with respect to radar and infrared signatures. Designing for low radar signature requires very careful attention to the entire airframe shape shape, (and may well influence the choice of airframe materials). This paper describes the program and gives examples from some recent design trade-off studies to illustrate its use and versatility.

2. METHODOLOGY / EXPERIMENTAL DESIGN

This program has been developed for design combat aircraft. It aims to design geometry of combat aircraft designs, include that required for sorties performance, aerodynamics stability structural mass and also low signature while still remaining within the confines of optimum solution. It does not however include the calculation of the signature themselves. This complex task requires specialist software tools and definition of aircraft shapes and features to a much greater level of detail even than that used in this program.

The following geometry features can be modeled by the program:

- internal weapons carriage bay
- canted fuselage sides and option for twin canted tailfins
- forebody chine
- aligned planform edge
- wing and tailplane in same horizontal plane
- scard and raked air intake
- options for two dimensional engine exhaust nozzles
- options for tailplane and/or tailfin trailing-edge to extend beyond nozzle exit

Aircraft such as the F-22, T-50 and F-35 concepts are clearly stealth configuration designs. However in terms of their basic configuration they are retain a fairly distinct wing body, aft tailplane, air intakes mounted on or near to fuselage side, and a straight tapered trapezoidal wing.

* Gullachat Thammachat, M.Sc Student of Aeronautics and Aerospace Engineering, Graduate College, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

** Boonchai Watjatrakul, Ph.D., Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Fuselage

External configuration

By using cubic spline to smooth longitudinal variations curve in fuselage cross-sectional area. Perimeter and area of each fuselage sections is defined by Bezier splines and super-ellipses, and this detailed geometry definition enables both enhanced visualization of the concept and improved accuracy of the internal volume, mass and aerodynamic estimations.

Internal Layout

In order to define the internal layout, the user must select component in fuselage. The main component in this combat aircraft design is:

- Radar
- One seat cockpit.
- Gun
- Twin engine
- One inner weapon bay
- Two outer weapon bays.
- Two side intakes.
- Two main landing gears
- Internal fuel tank

Then user must consider how these component are arranged together in the internal fuselage, cause all these components compete for space.

Aircraft configuration

The fuselage is modeled via the 10 stations shown in Fig 3. These stations is selected cause it is the major changes of fuselage cross section and fuselage longitudinal geometry. The location of these stations is given below.

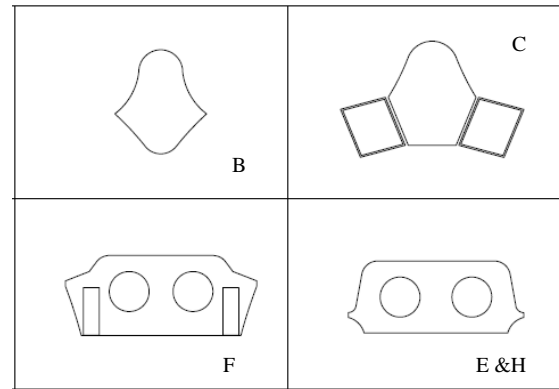
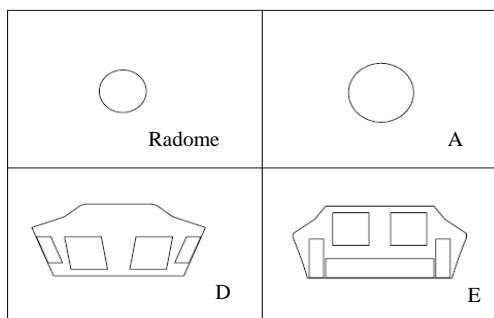


Figure 1 Fuselage Station

- Radome: Radar
- Section A: Front cockpit
- Section B: Pilot cockpit
- Section C: Intake inlet face
- Section D: Front of outer weapons bays
- Section E: Front of main landing gear bays
- Section F: Engine inlet face
- Section G: Rear of engine gas
- Section H: Start of nozzles
- Section I: End of nozzles

* Section E & H have the same configurations except if E is have 2D nozzle it shape change to rectangular shape nozzle.

Fuselage Volume

Fuselage volume is obtained from integrating each fuselage cross-sectional area along the length of the fuselage. This parameter is necessary in the estimation of volume available for mass of each internal component and fuel, and supersonic drag.

Fuselage Wetted Area

Fuselage wetted area is obtained from integrating each fuselage perimeter along the length of the fuselage. This parameter is necessary in the estimation of the mass fuselage external shell, and subsonic drag.

Wing

The wing airfoil section is a NACA 64 series and is defined by the parameters

- Area
- Quarter chord sweep
- Thickness to chord ratio
- Taper ratio
- Aspect ratio

Wing fuel volume

By integrating the wing section chordwise between the front and rear spars and spanwise between the fuselage side and a specified maximum spanwise position, the maximum available volume for fuel tanks is calculated by this calculation.

Empennage

Input values of fin and tail volume coefficients define the size of fin. Tailplane are designed to be all-moving surface for highly maneuvering, so no elevator are modeled. The mass and geometry of the rudder are calculated using input values of fractional chord and fractional span.

Mass Estimation

Empirical mass estimation methods are used to calculate masses of both structural components and systems. These methods for fuselage, wing, empennage, take conventional aluminium structure as the baseline, with 'technology factors' employed to account for another materials (e.g. composites material). The addition mass such as internal weapons bays, associated with structural cut-outs, support structure, bay doors, actuators etc, is calculated within the program.

Aerodynamic

The Howe method^[1] Aerodynamic estimations are used within this program.

Total drag is made up of four components, which expressed in coefficient form are:

- Drag due to the shape and surface friction of the aircraft in incompressible flow condition.
- Compressibility wave drag due to the volume of the aircraft to give total zero lift drag
- Vortex drag, or lift induce drag, in incompressibility
- Wave drag due to lift.

The aerodynamic drag coefficient of the aircraft is given by the expression:

$$C_D = C_{DZ} + C_{DI}$$

In practical it is found that C_{DI} is approximately a function of C_L^2 and conventionally the total drag coefficient is written as:

$$C_D = C_{DZ} + K_V C_L^2$$

Where

C_{DZ} = Total zero lift drag

K_V = Induce drag factor

Zero-lift drag (subsonic) is calculated using empirical equations includes contributions from wing, tail, fin and fuselage.

Zero-lift wave drag is calculation at transonic and super-sonic speed and is using empirical equations includes contributions from wing, tail, fin and fuselage. The mainly contribution of zero-lift wave drag is both fuselage and wing volume contribution.

Drag due to lift depend on lift coefficient and K_V factor K_V is often assumed to be a constant in a given flight condition but this can give erroneous drag values at both very high and very low values of lift coefficient. C_{DZ} and K_V must be based on the drag coefficient at moderate values of C_L . C_{DZ} derive in this way is often less than the true minimum value of drag coefficient. If C_{DZ} and K_V are deduced from experimental results a C_D vs C_L^2 analysis should always be used.

The components of drag for a given speed and lift are depend upon some, or all, of the following design parameters:

1. Wing reference area, SW , which is a fundamental unknown in the synthesis process. It is therefore avoided as far as possible in evaluation of the drag, although a relatively insensitive function of, SW , namely $SW^{0.1}$ is used.
2. Aspect ratio
3. Thickness to chord ratio.
4. Quarter chord sweep angle.
5. Degree of wing laminar flow, defined by c_1 (as fraction of chord). Natural laminar flow is more easily achieved on unswept lifting surfaces operating at relatively lower Reynolds number.
6. Overall effective length, of aircraft.
7. Effective fuselage cross-section diameter.

The maximum usable lift coefficient, C_{LMAX} , is a further parameter which is difficult to estimate empirically. For the purpose of conceptual design, intended to lead to an initial synthesis of an aircraft configuration, it is desirable to reduce the input information to as little as possible. With this in mind the estimation of lift characteristic is limited to the following phases of the flight:

1. Take-off, unstuck lift coefficient and value appropriate to initial climb out.
2. Cruise, lift coefficient as limited buffet, Mach number effects and climb ceiling.
3. Manoeuvre, maximum available lift coefficient for combat sorties.
4. Landing, approach lift coefficient based on the maximum achievable value with the high lift devices fully deployed.

In addition to the selection of the basic aircraft configuration the prediction of lift coefficients requires the knowledge of, or the assumption of, some or all of the following:

- Sweep
- Type of high lift system
- Aspect ratio
- Mach number

Engine

Engine data input are gross thrust, geometry bypass ratio and mass of reference scale.

The engine size is varied from the reference using a scale factor based on thrust. This scale factor is an independent variable in the optimization process. Engine diameter is scaled with the square root of this scale; the lengths and masses of the gas generator, afterburner and nozzle are adjusted according to slightly more complex scaling laws.

Design synthesis

The design synthesis describe the aircraft baseline configuration in mathematical form by means of semi-empirical and sometimes analytical design relationships.

Initially, using design input data, the sizing of the aircraft basic items is performed. Basic items are all the "standard" parts of the aircraft such as radome, cockpit, landing gear, internal weapon bay, gun bay, intake diffusers, engine, wing, empennage. These parts are determined by input design data, and, in this sense, are considered basic items within the design synthesis. In the optimization, as it will be discussed later, many of these items may vary.

Next, the geometry of the aircraft is evaluated. Use of input design data is made taking into consideration the related basic items so that the aircraft can contain all the specified basic items.

From the basic items and the geometry, perimeter, cross section area, wetted surface, volume, mass and centre of gravity are calculated. The aerodynamics follow, based on the geometry and the input aerodynamic dat.

At the end, after having established all the characteristics of the aircraft, and using the sorties profile specifications, the aircraft point performance is calculated. The below table is the example of simple sorties profile and point performance specification.

Table 1 Mision Specification

MISSION LEG	MISSION LEG DESCRIPTION
1.	Start up, Taxi, Take-off not over 600 m, Climb to cruise altitude
2.	Cruise at 11000 m. M = 0.7 for 700 km.
3.	Cruise at 70 m. M = 0.8 for 100 km
4.	Combat at 70 m. M = 0.8 at 4.0 g
5.	Combat at 70 m. M = 0.6 at 6.0 g
6.	Cruise at 70 m. M = 0.8 for 100 km
7.	Cruise at 11000 m. M = 0.7 for 700 km.
8.	Descent to Landing, and taxi to hangar.

Optimization

The optimization of the combat aircraft baseline configuration is carried out by interfacing the aircraft design synthesis with an optimization code that was used is FMINCON. This was built in toolbox of MATLAB. FMINCON is a general numerical multi-variate optimization code. It is designed to solve constraint optimization problems, that is to minimize or maximize a function, subject to a number of constraints and upper and lower bound imposed on designated variables. FMINCON use a sequential quadratic programming (SQP) method. In this method, the function solves a quadratic programming (QP) sub problem at each iteration. FMINCON updates an estimate of the Hessian of Lagrangian at each iteration using the BFGS formula. FMINCON performs a line search using a merit function. The QP subproblem is solve using an active set strategy. See also SQP implementation in MATLAB help for more details on algorithm used.

Design variables

The selected design variable (independent variable) for this study are in Table %%% below

Table 2 Independent Variables

No.	IV DESCRIPTION
1.	Wing area
2.	Wing aspect ratio
3.	Wing taper ratio
4.	Wing quarter-chord sweep
5.	Wing Thickness to chord ratio
6.	Front spar position
7.	Wing position
8.	Fractional span of trailing edge flap
9.	Fractional span of net wing-box containing fuel tank
10.	Fuselage length from nose to nozzle exit
11.	Wing quarter chord position after of nose
12.	Fuel volume fraction of forward fuselage
13.	Fuel volume fraction of center fuselage
14.	Fuel volume fraction in rear fuselage
15.	Fin quarter chord position aft of nose
16.	Tail quarter chord position aft of nose
17.	Engine separation distance
18.	Engine scale factor

The Objectives Function

In this design problem, the aircraft take-off mass, MTTC, was selected as the objective function to be minimized. The MTTC was defined to consist of the following components:

$$MTTC = M_{FIXED} + M_{VARIABLE}$$

where $M_{FIXED} = M_{PAY} + M_{OP}$

$$M_{VARIABLE} = M_{FUS} + M_{WING} + M_{EMP} + M_{SYS} + M_{FUEL} + M_{ENG}$$

M_{OP} is mass of operational items such as pilot, safety equipment

M_{FUS} is fuselage mass structure

M_{WING} is wing mass

M_{EMP} is empennage mass

M_{SYS} is mass of the airframe systems, equipment, landing gears, etc, which are not include in M_{PAY} .

M_{FUEL} is total mass of fuel.

From the above MTTC definition, There are two major group in MTTC: fixed and variable mass. The fixed mass group consists of payload and operational mass that are fixed to be constant all the time during evaluate according to specified requirements in optimization process. The variable mass group consist of fuselage, wing, empennage, system, fuel and engine mass are varied all the time during evaluate according to design variables in optimization process. M_{WING} depend on wing, flap, aileron, fuel volume in wing box, parameters. $M_{EMPENNAGE}$ depend on tailplane, fin and ruder parameters. M_{ENG} depend on required thrust of specified sorties profile and point performance requirement. M_{FUEL} is evaluated along the specified sorties profile and depend on aerodynamic configuration of aircraft and engine characteristics. M_{SYS} depend on take-off mass of aircraft. M_{FUS} depend on many items mass, including all of above, that compete for space in assembly together.

Constraints

The selected design and performance constraints for this study are three main group below:

1. Configuration constraints
2. Mission performance constraints
3. Variable constraints.

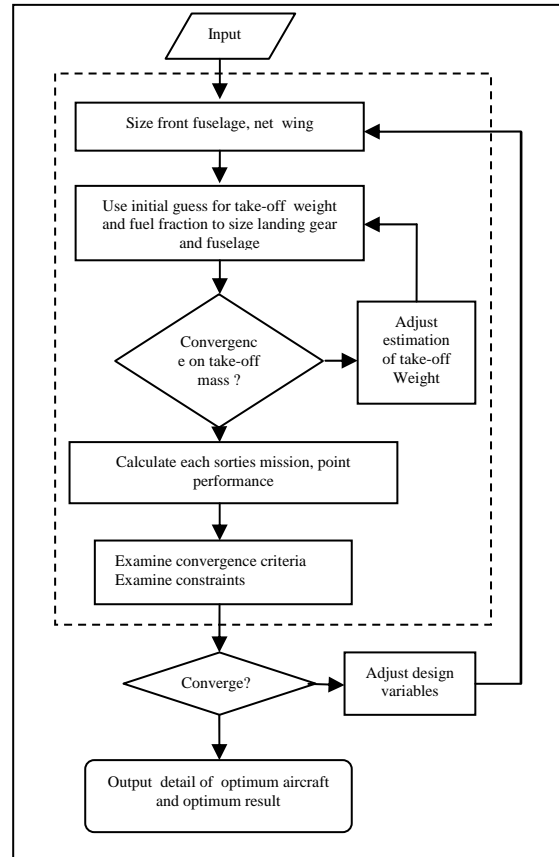


Figure 2 Optimization Flow Chart

3. RESULTS AND DISCUSSION

The result of optimization in the final part of this paper cause there are many data to show so I represent only the necessary data.

Variation of Combat Radius

Optimum design can use to conduct trade studies. This study combat radius was varied to study the effect on objective function, in this case the maximum take off gross weight, or MTTC,

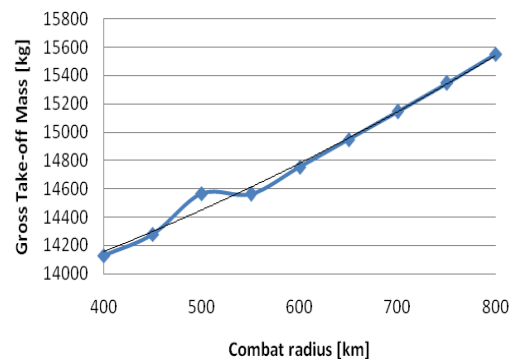


Figure 3 Mass versus Combat Radius

Gross take-off mass increase about 1.2% as combat radius increase every 50 km. cause aircraft must use more fuel for mission, so structure weight increase to support increased weight including fuselage and wing.

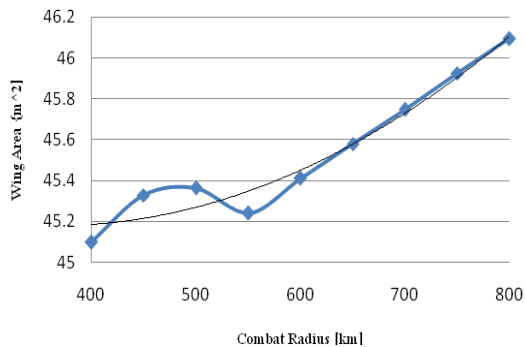


Figure 4 Wing Area versus Combat Radius

Wing area increase about 0.27% as combat radius increase every 50 km. cause wing must have equivalent distribution weight of aircraft per wing area for each range in the same velocity.

4. CONCLUSION

MVO design synthesis pro has been develop which is capable of modeling combat aircraft. Incorporated with a programming for constrained optimization, the resulting MVO program has been demostated to be a powerful tool for conceptual aircraft design study, and for illustrating the effect of advancing technologies and varying performance requirements.

5. REFERENCES

- D. A. Lovell. (1988), The Application of Multivariate Optimazation to Combat Design. Farnborough.
- D. Howe. (2000), Aircraft Conceptual Design Synthesis, Professional Engineering Publishing Limited, Suffolk, U.K..
- D. Howe. (1991), Introduction to the basic technology of stealth aircraft (part 1&2), ASME/90-GT-116&117 in Transactions of ASME Journal of engineering for gas turbines and power, Vol 113, no 1, New York.
- D.P. Raymer. (1999), Aircraft Design: A conceptual approach, 3rd ed, AIAA Education Series, DC, USA.
- E. Torenbeek. (1988), Synthesis of Subsonic Airplane Design, Delft University Press, Delft, Netherlands.
- J.A. Kirk. (1992), The use of multi-variate analysis to optimize design parameters for extend-range combat aircraft, AIAA 92-4707 September 1992
- J.E. Chacksfield. (1984), "Multivariate Optimization as Applied to Aircraft Project Design." 13th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, ICAS-84-4-4.8.2.
- A. Kirk. (1992), The use of multi-variate analysis to optimize design parameters for extend-range combat aircraft, AIAA 92-4707 September 1992
- W. Boonchai (2005), "Study of Aircraft Design Problem Using Multivariate Optimization." 19th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailan., Thailand.

การควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ สำหรับกระบวนการอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิได้

อนุสรณ์ เราท่า¹ วิบูลย์ ช่างเรือ² สัมพันธ์ ไชยเทพ³ และ วีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล⁴

บทคัดย่อ--- วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อประเมินผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในการควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิได้โดยพิจารณาค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง และระดับกำลังการให้ความร้อนตลอดช่วงเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราส่วนของพลังงานต่อมวลมีผลต่อการปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาการให้ความร้อน คือ การให้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำจาก 28 เป็น 50 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนของพลังงานต่อมวล 0.5, 1, 1.5 และ 2 วัตต์ต่อกรัม จะใช้พลังงานไฟฟ้า 1.5, 1.3, 1.2 และ 1.0 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง และ ระยะเวลา 5.24, 2.33, 2.03 และ 1.30 นาที ตามลำดับ เปลี่ยนอุณหภูมิน้ำจาก 28 เป็น 60 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนของพลังงานต่อมวล 0.5, 1, 1.5 และ 2 วัตต์ต่อกรัม จะใช้พลังงานไฟฟ้า 2.0, 1.6, 1.6 และ 1.4 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง และ ระยะเวลา 6.20, 3.31, 2.06 และ 1.54 นาที ตามลำดับ และเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำจาก 28 เป็น 70 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนของพลังงานต่อมวล 0.5, 1, 1.5 และ 2 วัตต์ต่อกรัม จะใช้พลังงานไฟฟ้า 2.9, 2.4, 2.3 และ 2.1 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง และ ระยะเวลา 9.07, 5.05, 3.30 และ 2.4 นาที ตามลำดับ จากผลการทดสอบการควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิได้สามารถเลือกค่ากำลังการให้ความร้อนกับวัสดุ และใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำจึงมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเทคนิคการอบแห้งต่อไป

คำสำคัญ การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ป้อนกลับค่าผลอุณหภูมิที่ตรวจจับได้ และ ตัวตรวจจับอินฟราเรด

1. บทนำ

กระบวนการของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟประกอบไปด้วย แหล่งกำเนิดคลื่น

¹หลักสูตรอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 128 ถนนห้วยแก้ว ต.ขามเฒ่า อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

³ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

⁴ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

โทรศัพท์: 0-5392-1444 ต่อ 2111 โทรสาร: 0-5321-3183

E-mail: anusornel_rmutl@hotmail.com

ส่วนแพร่กระจายคลื่น ส่วนจ่ายกำลังงานไฟฟ้า และ ส่วนโครงสร้างของเตาอบ ตัวอย่างเช่น เตาอบไมโครเวฟเชิงพาณิชย์ที่ใช้ทั่วไปในครัวเรือนสำหรับให้ความร้อนแก่วัตถุประเภทอาหาร ประกอบด้วยหลอดแมกนีตรอนที่ใช้เป็นตัวผลิตความถี่คลื่นไมโครเวฟและปล่อยกำลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (กำลังงานตั้งแต่ 200 – 1200 วัตต์) ท่อนำคลื่น (Wave guide) เป็นตัวส่งผ่านกำลังงานไปแพร่กระจายสู่ห้องใช้งาน (Heating chamber) โดยปกติเตาอบไมโครเวฟเชิงพาณิชย์ที่ใช้ทั่วไปในครัวเรือนในส่วนของ การให้ความร้อนกับวัสดุภายในห้องอบถูกควบคุมด้วยระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยเทคนิคการควบคุมเวลาซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การให้กำลังไมโครเวฟอย่าง

ต่อเนื่อง และการให้กำลังแบบเป็นจังหวะ (ปิด-เปิด) ปัจจุบัน ได้มีการศึกษาถึงการประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นแหล่งให้กำลังความร้อนกับกระบวนการอบแห้งจำนวนมาก (กิตินันท์และวารินทร์ (2550), คำนึ่ง (2545) จาดุงพส์และคณะ (2547) นพวรรณ และคณะ (2549) โสกา (2546) อัสวิน (2546) Changrue *et al.* (2004)

อุณหภูมิ มีความสำคัญต่อกระบวนการอบแห้ง เนื่องจากการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรและอาหารเป็นกระบวนการลดความชื้นจนถึงระดับที่

จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ เพื่อให้วัสดุมีรูปทรงที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาด้วยการถ่ายเทความร้อนและมวลสารไปพร้อม ๆ กัน การอบแห้งวัสดุ โดยทั่วไปมักจะใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการพาความชื้นออกไปจากวัสดุ (สมชาติ, 2540) ดังนั้นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการอบแห้งจึง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการไหลของอากาศ ทั้งนี้ค่าอุณหภูมิในเครื่องอบแห้งจะมีการแปรผันกับชนิดของวัสดุและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง ผลของอุณหภูมิและวิธีในการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพหลังการอบแห้งของสมุนไพรบางชนิด แสดงไว้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ช่วงค่าอุณหภูมิและวิธีในการอบแห้ง

ชนิดเครื่องอบแห้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ชนิดสมุนไพร	ผู้วิจัย
ตู้อบลมร้อน	75 - 80	โสมมะกรูด ตะไคร้	พรทิมลและสิริมา (2550)
แบบบ่มความร้อน	45	โสมมะกรูด	วศิน (2548)
ลมร้อนแบบลาด	50	โสมมะกรูด	วิษณุวดีและคณะ (2550)
ตู้อบไฟฟ้า	80	ตะไคร้	ภูมิศักดิ์และคณะ (2548)
	70	โสมมะกรูด โสมพะเทศ โสมโหระพาพริกข่า	

จากการตรวจเอกสารพบว่ากระบวนการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟเชิงพาณิชย์ตามบ้านเรือนยังพบปัญหาจากอุณหภูมิที่ปรากฏบนวัสดุอบแห้งสูงขึ้นตามระยะเวลาการอบและกำลังการให้ความร้อนขณะทำการอบแห้งสูงจนทำให้วัสดุเกิดความเสียหายนอกจากนี้ยังไม่มีรายงานถึงการควบคุมอุณหภูมิในวัสดุขณะทำการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่ง Contreras *et al.* (2008) รายงานว่าอุณหภูมิสูงระหว่างการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟมีผลทำให้เกิดการสลายของรงควัตถุในวัสดุมากยิ่งขึ้น แม้ว่าอัตราการระเหยของน้ำจะเพิ่มขึ้นตามระดับกำลังงานไมโครเวฟ และเวลาของการอบแห้งรวมจะลดลงตามระดับกำลังงานไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นก็ตาม อีกทั้งงานศึกษาการควบคุมกำลังงานการให้ความร้อนโดยทั่วไป มีการรายงานระดับกำลังงานของไมโครเวฟที่ใช้ยังไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยรายงานเป็นระดับกำลังงานที่มีหน่วยเป็นกำลัง (วัตต์) และความเข้มของกำลังงาน (วัตต์ต่อกรัม) (Changrue *et al.*,2004).

งานศึกษานี้จึงต้องการสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิสำหรับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้พลังงานไมโครเวฟการให้ความร้อนสำหรับงานที่ต้องการอุณหภูมิที่แน่นอน เช่น การอบแห้ง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ความร้อนที่เกิดขึ้นในวัสดุภายในเตาอบไมโครเวฟเป็นผลมาจากอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุที่มีโมเลกุลเชิงขั้ว โดยสามารถหาค่ากำลังงานออกมาในรูปวัตต์ต่อตารางเมตร ดังสมการที่ 1

$$P = 2\pi f \epsilon_r \epsilon_0 \tan \delta |E_i|^2 \quad (1)$$

เมื่อ E_i = ขนาดของความเข้มสนามไฟฟ้า, โวลต์/เมตร

f = ความถี่คลื่นของเตาอบไมโครเวฟ, เฮิรตซ์

ϵ_0 = ค่าความนำทางไฟฟ้าของอากาศ, ฟาราด/เมตร

ϵ_r = ค่าความนำทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุ

$\tan \delta$ = การสูญเสียกำลังงานในวัสดุ

ความสมดุลทางความร้อนที่เกิดขึ้นในวัสดุ สัมพันธ์โดยตรงกับกำลังไฟฟ้า (P) และมวลวัสดุ (M) ดังแสดงในสมการที่ 2

$$P = M \frac{d\theta}{dt} s \quad (2)$$

เมื่อ P = กำลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้, วัตต์

M = มวลของวัสดุ, กรัม

$\frac{d\theta}{dt}$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลา

องศาเซลเซียส / วินาที

s = ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุ

จูล / (กรัม)(องศาเซลเซียส)

การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิบนวัสดุในขณะที่ ได้รับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ สามารถหาได้จาก สมการที่ 3

$$\Delta T = \frac{P}{sM} \quad (3)$$

เมื่อ ΔT แทนอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

ดังนั้นอุณหภูมิและกำลังการให้ความร้อนจึงเป็น ปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาประกอบใน การอบแห้งวัสดุด้วยคลื่นไมโครเวฟ งานวิจัยนี้จึงได้ นำเสนอแนวคิดการพัฒนากระบวนการอบแห้งด้วย คลื่นไมโครเวฟที่มีการควบคุมกำลังของการให้ความ

ร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยอาศัยการตรวจจับ อุณหภูมิบนวัสดุภายในเตาอบไมโครเวฟใช้ป้อนกลับ ค่าผลอุณหภูมิที่ตรวจจับได้ (Power Control of Microwave Heating by Detected Temperature Feedback) มาควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าสู่หลอดแมกนีตรอนอย่าง อัตโนมัติเพื่อให้ค่าคงที่อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการ อบแห้งตลอดกระบวนการอบแห้ง

2. วิธีการวิจัย

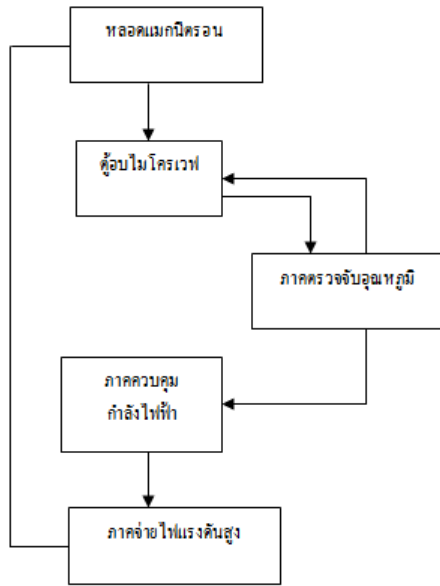
2.1 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อประเมินผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในการควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิได้โดยพิจารณาค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง และระดับกำลังการให้ความร้อน ตลอดช่วงเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

2.2 อุปกรณ์และวิธีการ



ภาพที่ 1 ควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิได้



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงการทำงาน

2.2.1 เทคนิคการตรวจจับอุณหภูมิ

เทคนิคการตรวจจับอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสจะอาศัยตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบอินฟราเรดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลการตรวจจับเพื่อแสดงอุณหภูมิ และควบคุมการทำงานของระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเตาอบไมโครเวฟโดยทำการตัดแปลงเตาอบไมโครเวฟยี่ห้อ Toshiba รุ่น ER-A7C (S) ความจุ 30 ลิตรความถี่คลื่น 2450 เมกะเฮิร์ตซ์ กำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ และเทอร์โมมิเตอร์ยี่ห้อ Nicety รุ่น DT811A ที่ใช้เทอร์มोकัปเปิล ชนิด เค เป็นอุณหภูมิควบคุมหรืออุณหภูมิเพื่อเปรียบเทียบ

ในงานวิจัยนี้ ได้นำเสนอการใช้เทอร์มอโพลีที่ประกอบด้วยเทอร์มोकัปเปิล 8 ชุด เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส โดยรังสีความร้อนจะตกกระทบบนรอยต่อด้านหนึ่งของปลายรอยต่อเทอร์มोकัปเปิล เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างปลายร้อนและปลายเย็นอีกด้านหนึ่งทำให้เกิดแรงเคลื่อน ไฟฟ้า ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะบอกปริมาณรังสีความร้อนที่ถูกดูดไว้ ก่อนส่งต่อมายังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล แสดงอุณหภูมิ

2.2.2 ส่วนควบคุมการจ่ายกำลัง (Control Power Unit)

ทำการออกแบบให้เป็นระบบควบคุมอัตโนมัติโดยอาศัยการตรวจจับอุณหภูมิบนวัสดุภายในเตาอบไมโครเวฟใช้ป้อนกลับค่าผลอุณหภูมิที่ตรวจจับได้แบบทันเวลา มาควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าสู่หม้อต้มไอน้ำอย่างอัตโนมัติ แบบ เปิด - ปิด ที่ความเข้มของกำลัง 1.5 วัตต์ต่อกรัม น้ำ ตามสมการที่ 3

2.3 การทดสอบ

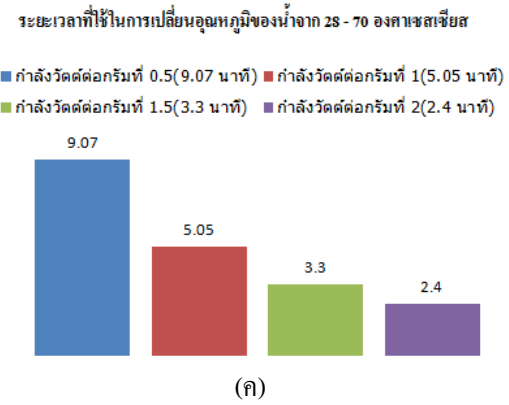
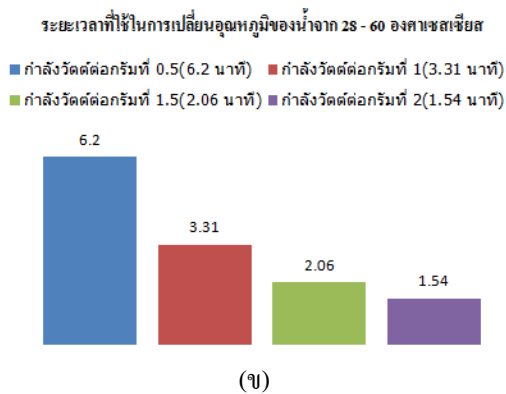
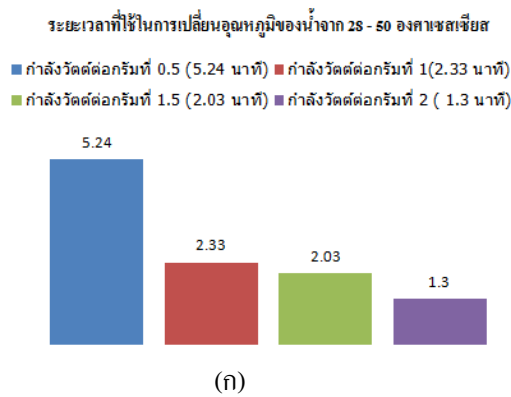
ใช้น้ำเป็นวัสดุตัวอย่างในการทดสอบ เนื่องจากมีการกระจายความร้อนดีและไม่มีความแตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิผิวและอุณหภูมิภายใน ทำการวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและรวบรวมผล การให้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำจาก 28 เป็น 50,60 และ 70 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนของพลังงานต่อมวล 0.5,1,1.5 และ 2 วัตต์

3. ผลและการอภิปรายผล

ตารางที่ 2 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ

อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิควบคุม (องศาเซลเซียส)	กำลังงาน (วัตต์ / กรัม)	ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)
28	50	0.5	5.24
28	60	0.5	6.20
28	70	0.5	9.07
28	50	1.0	2.33
28	60	1.0	3.31
28	70	1.0	5.05
28	50	1.5	2.03
28	60	1.5	2.06
28	70	1.5	3.30
28	50	2.0	1.30
28	60	2.0	1.54
28	70	2.0	2.40

จากผลการทดลองดังตารางที่ 2 พบว่าการให้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำจากอุณหภูมิเริ่มต้นเป็นอุณหภูมิสุดท้ายที่กำหนดนั้นช่วงระยะเวลาการให้ความร้อนจะแปรผันตรงกับการเพิ่มค่าอุณหภูมิ คือ ถ้าให้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำจาก 28 เป็น 50 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนของพลังงานต่อมวล 0.5 1 1.5 และ 2 วัตต์ต่อกรัม จะใช้ระยะเวลา 5.24 2.33 2.03 และ 1.30 นาที ตามลำดับ เปลี่ยนอุณหภูมิน้ำ จาก 28 เป็น 60 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนของพลังงานต่อมวล 0.5 1 1.5 และ 2 วัตต์ต่อกรัม จะใช้ระยะเวลา 6.20 3.31 2.06 และ 1.54 นาที ตามลำดับ และเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำ จาก 28 เป็น 70 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนของพลังงานต่อมวล 0.5 1 1.5 และ 2 วัตต์ต่อกรัม จะใช้ระยะเวลา 9.07 5.05 3.30 และ 2.4 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 3 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนกับน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตารางที่ 3 การใช้พลังงานไฟฟ้ากับพลังงานความร้อนที่จ่ายให้กับน้ำ

อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิความคุมสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	อัตราการจ่ายกำลังงานต่อมวล (วัตต์ / กรัม)	ระยะเวลาที่ให้ทดสอบ (นาที)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง)
28	50	0.5	120	1.5
		1.0	120	1.3
		1.5	120	1.2
		2.0	120	1.0
28	60	0.5	120	2.0
		1.0	120	1.6
		1.5	120	1.6
		2.0	120	1.4
28	70	0.5	120	2.9
		1.0	120	2.4
		1.5	120	2.3
		2.0	120	2.1

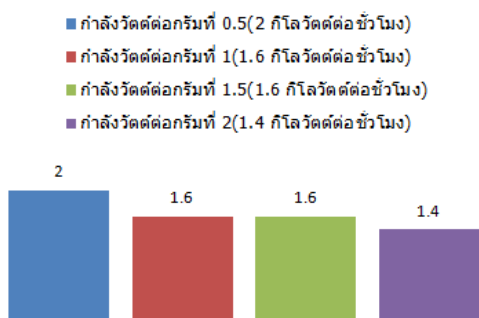
จากผลการทดลองดังตารางที่ 3 พบว่าการให้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำจากอุณหภูมิเริ่มต้นเป็นอุณหภูมิสุดท้ายที่กำหนดนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้การให้ความร้อนจะแปรผกผันกับอัตราการจ่ายพลังงานต่อมวล คือ ถ้าให้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำจาก 28 เป็น 50 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนของพลังงานต่อมวล 0.5 1 1.5 และ 2 วัตต์ต่อกรัม จะใช้พลังงานไฟฟ้า 1.5 1.3 1.2 และ 1.0 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ที่การให้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำจาก 28 เป็น 60 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนของพลังงานต่อมวล 0.5 1 1.5 และ 2 วัตต์ต่อกรัม จะใช้พลังงานไฟฟ้า 2.0 1.6 1.6 และ 1.4 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง และการให้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำจาก 28 เป็น 70 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนของพลังงานต่อมวล 0.5 1 1.5 และ 2 วัตต์ต่อกรัม จะใช้พลังงานไฟฟ้า 2.9 2.4 2.3 และ 2.1 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงตามลำดับ

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำจาก 28 - 50 องศาเซลเซียส



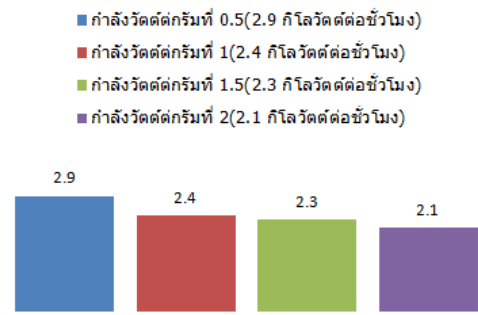
(ก)

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำจาก 28 - 60 องศาเซลเซียส



(ข)

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำจาก 28 - 70 องศาเซลเซียส



(ค)

ภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในการให้ความร้อนกับน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ

4. สรุปผลการวิจัย

4.1 การป้อนกลับค่าอุณหภูมิที่ตรวจจับได้แบบทันทีที่ได้พัฒนาโดยใช้อินฟราเรดตรวจจับมีความเที่ยงตรง 100 % เมื่อเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์ ยี่ห้อ Nicety รุ่น DT811A ดังนั้นสามารถนำการตรวจจับนี้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

4.2 การควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟโดยการป้อนกลับค่าอุณหภูมิที่ตรวจจับได้ ทันเวลาตลอดกระบวนการที่ระยะการทดสอบเพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำจากอุณหภูมิเริ่มต้นเป็นอุณหภูมิสุดท้ายที่กำหนดนั้นช่วงระยะเวลาการให้ความร้อนจะแปรผันตรงกับการเพิ่มค่าอุณหภูมิ

4.3 การควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟโดยการป้อนกลับค่าอุณหภูมิที่ตรวจจับได้ ทันเวลาตลอดกระบวนการที่ระยะการทดสอบเพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำจากอุณหภูมิเริ่มต้นเป็นอุณหภูมิสุดท้ายที่กำหนดนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้การให้ความร้อนจะแปรผกผันกับอัตราการจ่ายพลังงานต่อมวล

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตินันท์ รัตนพิทักษ์กุล และวารินทร์ พิมพ์า. 2550.ผลของการใช้กระบวนการไมโครเวฟก่อนการอบด้วยลมร้อนต่อคุณภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของกล้วยอบแห้งวารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 38(6)(พิเศษ):335-338.
- [2] กุลยา จันทร์อรุณ, เกษณี แก้วชูเชิด และพิชัย ปัญญา.2538. กรรมวิธีผลิตสมุนไพรแห้ง.รายงานวิจัยภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์,เทคโนโลยีสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม.
- [3] พรพิมล เทพบรรทม และสิริมา ชินสาร. 2550. ผลของการอบแห้งแบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอนต่อ คุณภาพของใบมะกรูดและตะไคร้.วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 38(6) (พิเศษ) : 135-138.
- [4] ภูมิศักดิ์ อินทนนท์, ธนุชัย กองแก้ว, วิภา หอมหวาน จตุรพร รักษ์งาร, มยุรี กระจายกลาง และ พิระศักดิ์ ฉายประสาท. 2548. เทคโนโลยีการผลิตพืชเครื่องปรุงอาหารไทยเพื่อการส่งออก
- [5] วสิน เรืองกำเนิด. 2548. การประเมินสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- [6] วิชญวดี ศรีนุเคราะห์, สิงหนาท พวงจันทน์แดง และบวรศักดิ์ ลีนานนท์. 2550.การทำแห้งใบมะกรูดโดยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบ.วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 38(5)(พิเศษ)
- [7] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและ อาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- [8] Changrue V. ,Sunjka P.S., Gariepy Y., Raghavan G.S.V and Wang N. 2004. Real – Time Control of Microwave Drying Process. Proceeding of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004). Sao PauLo, Brazil. 22-25 August 2004. pp.941-948.
- [9] Contreras, C., M. E. MartIn-Esparza, A. Chiralt and N. MartInez Navarrete.drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. Journal of Food Engineering Vol. 88: 55-64.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เชียงใหม่ ที่สนับสนุนทุนวิจัยและหลักสูตรอิเล็กทรอนิกส์
ทรอนิกส์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาควิชาฯ เชียงใหม่ ที่เอื้อเพื่อ
สถานที่และอุปกรณ์ทำการวิจัย

พฤติกรรมการสึกหรอของผิวเคลือบชุดคมตัดสำหรับงานแม่พิมพ์ตัดขาด

มานอช รัตนโย¹ และ ชานนท์ บุณนท์²

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสึกหรอของสารเคลือบผิวแม่พิมพ์ทำจากเหล็ก SKD11 ด้วยสารเคลือบ TiAlN(PVD) TiCN(CVD) TiCN(PVD) TiC(CVD) และ TiN(PVD) วัสดุชิ้นงาน (Sheet material) ทำด้วยเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1012 รูปร่างสี่เหลี่ยมขนาด 10x10 มิลลิเมตร ความหนา 3 มิลลิเมตร โดยใช้ค่าช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ (Clearance) คงที่เท่ากับ 7% ของความหนาวัสดุชิ้นงาน พันซ์แต่ละชนิดป้อนตัดชิ้นงานจำนวน 10,000 ชิ้นงาน วัดผลการสึกหรอโดยการชั่งน้ำหนัก วัดระยะการสึกหรอ และวัดผลจากผิวรอยตัดชิ้นงาน (Shear band)

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อป้อนตัดชิ้นงานไม่เกิน 1,000 ครั้ง พบว่าพันธเคลือบผิวด้วยสารเคลือบทั้ง 5 ชนิด สามารถช่วยลดการสึกหรอของพันธได้ 99.69% และความเร็วป้อนตัดมีผลต่อการการสึกหรอของพันธเล็กน้อย เมื่อจำนวนครั้งการป้อนตัดที่ 10,000 ครั้ง พบว่าความเร็วป้อนตัดที่ 80 SPM ทำให้เกิดการสึกหรอของพันธน้อยที่สุด โดยพันธที่เคลือบด้วยสาร TiC(CVD) สึกหรอน้อยที่สุด เท่ากับ 0.61% รองลงมาคือ TiCN(CVD) เท่ากับ 0.72%, TiN(PVD) เท่ากับ 0.93%, TiAlN(PVD) เท่ากับ 1.02% และพันธที่เคลือบด้วยสาร TiCN(PVD) เกิดการสึกหรอมากที่สุด เท่ากับ 1.12% ตามลำดับ สำหรับสารเคลือบ TiCN(PVD) มีแนวโน้มทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวได้ง่าย ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการสึกหรอมากขึ้นได้เช่นกัน

คำสำคัญ: พันซ์ การสึกหรอ การเคลือบผิว ความเร็วป้อนตัด

1. บทนำ

อุตสาหกรรมแม่พิมพ์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมโดยรวมของประเทศ ประเทศไทยมีโรงงานผลิตแม่พิมพ์ประมาณ 1016 ราย ร้อยละ 90 เป็นโรงงานผลิตแม่พิมพ์โลหะและแม่พิมพ์พลาสติก ปัจจุบันอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ของไทยมีความสามารถการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการ เห็นได้จากมูลค่าการนำเข้าแม่พิมพ์มากกว่า

การส่งออก โดยเฉพาะอย่างยิ่งแม่พิมพ์คุณภาพสูง องค์ความรู้หนึ่งที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ คือปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของคมตัดแม่พิมพ์ (พันธและตาย) การตัดเดือนชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ต้องให้ความสำคัญต่อชิ้นงานที่มีค่ามากเพียงพอที่ทำให้ชิ้นงานขาดออกจากกัน ทำให้เกิดความเค้นกระทำต่อคมตัดแม่พิมพ์เช่นกัน ส่งผลให้คมตัดแม่พิมพ์เกิดการสึกหรอ ที่ผ่านมา [3] ศึกษาการสึกหรอของคมตัดแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุที่มีปริมาณคาร์บอนต่างกัน ได้แก่ เหล็ก JIS SKD11 SKS3 SKH51 และ S50C ออบชุบด้วยวิธีแพ็คคาร์บูไรซิ่ง (Pack Carburizing) [7] ศึกษาความเหมาะสมของสารเคลือบผิวสำหรับงานดึงและงานรีดเหล็กแผ่น ด้วยการทดสอบแบบการดึงแผ่นเหล็ก พบว่า Tin-sputtered

¹⁾ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

²⁾ สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 744 ถ.สุรนารายณ์ ต. ในเมือง อ. เมือง จ.นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์: 0-4423-3063 โทรสาร: 0-4423-3064

Email: manote@rmuti.ac.th

เหมาะสมกับงานดึง [8] ศึกษาสารเคลือบผิวที่มีผลต่อการลดแรงเสียดทานและลดการสึกหรอของคมตัดแม่พิมพ์ 5 ชนิด ได้แก่ Nitriding, TiN, TiCN, TiBN และ TiAlN โดยกรรมวิธี PACVD [1] ศึกษาชนิดของการเคลือบและปรับสภาพผิวแม่พิมพ์ที่มีผลต่อการลากขึ้นรูปเหล็กไร้สนิมเกรด SUS304 ด้วยการเคลือบผิวแม่พิมพ์ด้วยสาร TiC, TiCN, TiN, TiAlN และ Hardchrome และปรับสภาพผิวด้วยวิธี Nitriding [2] ศึกษาผลของการปรับสภาพผิวและการเคลือบผิวด้วย TiCN (TiN/TiCN -Double layer) กรรมวิธี PVD, TiCN (TiC/TiN-Multilayer) กรรมวิธี CVD, TiC กรรมวิธี CVD และปรับสภาพผิวด้วย VC กรรมวิธี TD โดยจำลองการสึกหรอด้วยเครื่อง Tribometer แบบ Ball-on-disk และ [6] ศึกษาการยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์เจาะรูด้วยการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่ปรากฏมีผู้วิจัยศึกษาผลของความเร็วป้อนตัดที่มีผลต่อการสึกหรอของคมตัดแม่พิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสึกหรอของคมตัดแม่พิมพ์ที่มีตัวแปรด้านความเร็วป้อนตัดมาเกี่ยวข้อง ซึ่งคมตัด

แม่พิมพ์ทำด้วยเหล็ก JIS SKD 11 เคลือบผิวด้วยสารเคลือบ 5 ชนิด ได้แก่ TiAlN(PVD), TiCN(CVD), TiCN(PVD), TiC(CVD) และ TiN(PVD)

2. วิธีการวิจัย

อุปกรณ์

พินซ์ทำจากเหล็ก JIS SKD 11 เคลือบผิวด้วยกรรมวิธี TiAlN(PVD), TiCN(CVD), TiCN(PVD), TiC(CVD) และ TiN(PVD) รายละเอียดดังตารางที่ 1 และ 2 โดยใช้เครื่องป้อน รุ่น NC 1-800 ถ่ายภาพการสึกหรอของพินซ์และรอยตัดเดือนด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 20 เท่า บันทึกภาพรอยตัดเดือนของชิ้นงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ วัดขนาดรอยตัดเดือนของด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งน้ำหนักพินซ์ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล Sartorius รุ่น BP221S ความละเอียดระดับทศนิยม 4 ตำแหน่ง ความแม่นยำ เท่ากับ 0.001 กรัม

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทดลอง

ลำดับ	รายการ	เงื่อนไขการทดลอง
1	ขนาดพินซ์	9.79 x 9.79 mm
2	ขนาดคาย	10 x10 mm
3	วัสดุทำแม่พิมพ์	JIS SKD 11
4	วัสดุชิ้นงาน	AISI 1012 (t = 3 mm)
5	จำนวนป้อนตัด	10,000 ชิ้นต่อสารเคลือบผิว
6	อุณหภูมิป้อนตัด	อุณหภูมิห้อง
7	สารหล่อลื่น	ไม่มี
8	ความเร็วป้อนตัด	60, 70, 80, 90, 100 SPM

ตารางที่ 2 กรรมวิธีการเคลือบผิวพินซ์

ลำดับ	เงื่อนไขการทดลอง	ชนิดของสารเคลือบ				
		TiAlN (PVD)	TiC (CVD)	TiCN (CVD)	TiCN (PVD)	TiN (PVD)
1	ความเรียบผิว (Ra)	0.1500	0.2800	0.3300	0.0800	0.1600
2	ความแข็งผิวเคลือบ (HV)	2,600	3,800	3,000	2,800	2,400
3	ความหนาผิวเคลือบ (µm)	1.8000	9.2333	13.6000	1.5000	1.3333

วิธีการวิจัย

ป้อนตัดชิ้นงานด้วยความเร็วการป้อนตัด ดังตารางที่ 1 มีเงื่อนไขดังนี้ ป้อนตัดชิ้นงานชิ้นที่ 1 ถึง 500 เก็บข้อมูลการสึกหรอทุก 50 ครั้ง ป้อนตัดชิ้นงานชิ้นที่ 500 ถึง 1,000

เก็บข้อมูลการสึกหรอทุก 100 ครั้ง ป้อนตัดชิ้นงานชิ้นที่ 1,000 ถึง 5,000 เก็บข้อมูลการสึกหรอทุก 500 ครั้ง และป้อนตัดชิ้นงานชิ้นที่ 5,000 ถึง 10,000 เก็บข้อมูลการสึกหรอทุก 1,000 ครั้ง

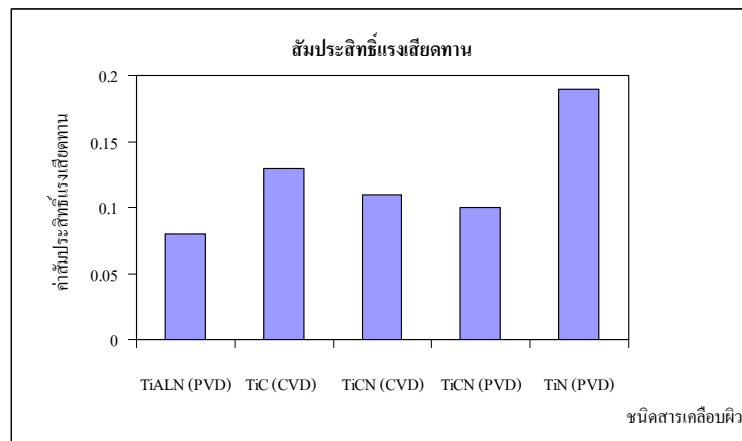
3. ผลและการอภิปรายผล

สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

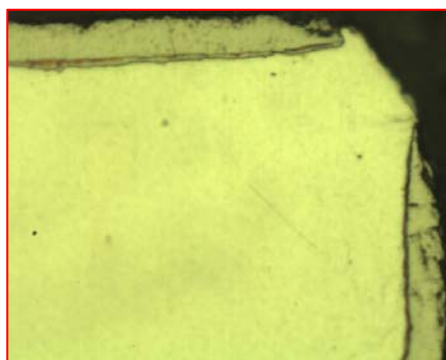
ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพันธ์เคลือบผิวด้วยสารเคลือบทั้ง 5 ชนิด พบว่า TiAlN (PVD) มีค่าน้อยที่สุด TiC (CVD), TiCN (CVD) และ TiCN (PVD) มีค่าใกล้เคียงกัน และ TiN (PVD) มีค่ามากที่สุด ดังภาพที่ 1

ลักษณะการสึกหรอของพันธ์

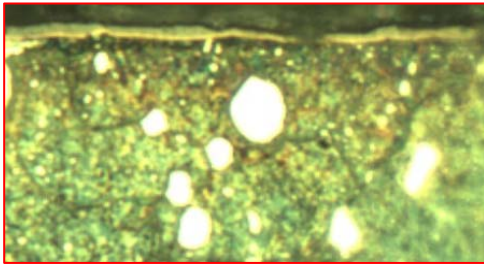
พันธ์เคลือบผิวด้วยสารเคลือบทั้ง 5 ชนิด มีการสึกหรอบริเวณด้านข้างแม่พิมพ์ (Flank Wear) ดังภาพที่ 2 แบบการขัดถู (Abrasive Wear) ซึ่งเกิดจากพฤติกรรมการทำงานที่มีลักษณะการขีดข่วน ถูและกระแทก ทำให้เนื้อวัสดุหลุดออกมาในลักษณะอนุภาคเล็กๆ ดังภาพที่ 3 ซึ่งค่าการสึกหรอพบว่าช่วงแรกของการป้อนพบว่าอัตราการสึกหรอเกิดขึ้นสูงต่อจากนั้นอัตราการสึกหรอเริ่มลดลงและมีแนวโน้มคงที่ ซึ่งมีลักษณะการสึกหรอแบบที่ 2 (Type II)



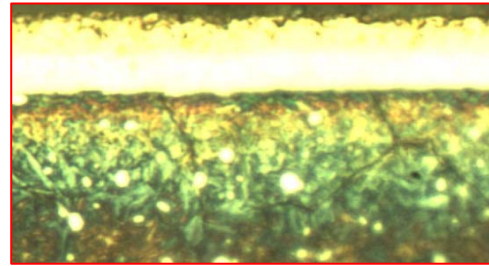
ภาพที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพันธ์



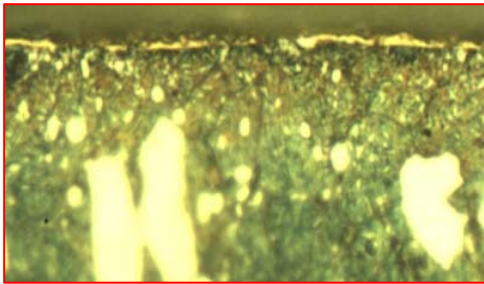
ภาพที่ 2 ลักษณะการสึกหรอของพันธ์



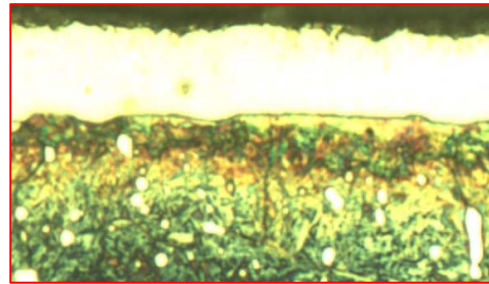
(ก) สารเคลือบ TiAlN(PVD)



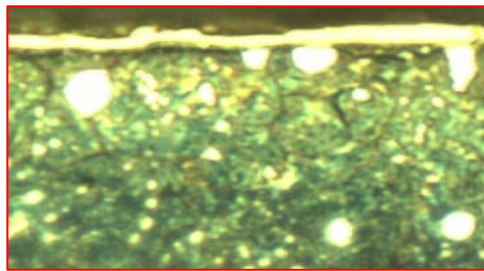
(ข) สารเคลือบ TiCN(CVD)



(ค) สารเคลือบ TiCN(PVD)

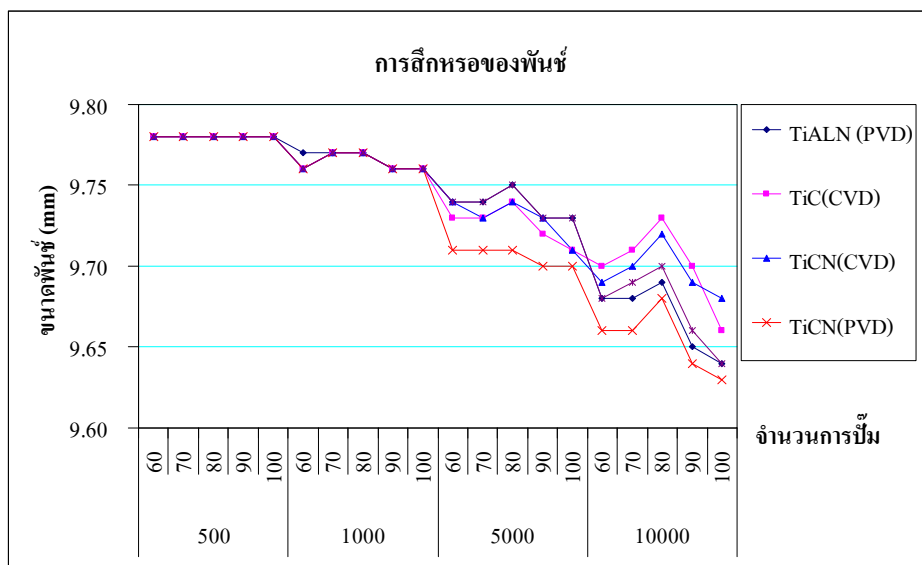


(ง) สารเคลือบ TiC(CVD)



(จ) สารเคลือบ TiN(PVD)

ภาพที่ 3 ภาพถ่ายชั้นผิวสารเคลือบแต่ละชนิด



ภาพที่ 4 การสึกหรอของฟันซ์

ผลของความเร็วป้อนต่อการสึกหรอของพันธ

พิจารณาจากรูปที่ 4 เมื่อป้อนตัดชิ้นงานไม่เกิน 1,000 ครั้ง พบว่าพันธเคลือบผิวด้วยสารเคลือบทั้ง 5 ชนิด สามารถช่วยลดการสึกหรอของพันธได้ 99.69% และความเร็วป้อนตัดมีผลต่อการการสึกหรอของพันธเล็กน้อย

เมื่อจำนวนครั้งการป้อนตัดเพิ่มขึ้น พบว่า ความเร็วป้อนตัดที่ต่ำและสูงเกินไปมีผลโดยตรงต่อสึกหรอของพันธ เมื่อพิจารณาจำนวนครั้งการป้อนตัดที่ 10,000 ครั้ง พบว่าการป้อนตัดที่ความเร็ว 80 SPM ทำให้พันธสึกหรอน้อยที่สุด ซึ่งพันธเคลือบด้วยสาร TiC(CVD) สึกหรอน้อยที่สุด เท่ากับ 0.61% รองลงมาคือ TiCN(CVD) เท่ากับ 0.72%, TiN(PVD) เท่ากับ 0.93%, TiALN(PVD) เท่ากับ 1.02% และพันธเคลือบด้วยสาร TiCN(PVD) เกิดการสึกหรอมากที่สุด เท่ากับ 1.12% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจำนวนครั้งการป้อนตัดที่ 10,000 ครั้ง พบว่าการป้อนตัดที่ความเร็ว 100 SPM ทำให้พันธสึกหรอมากที่สุด ซึ่งพันธเคลือบด้วยสาร TiCN(CVD) สึกหรอน้อยที่สุด เท่ากับ 1.12% และพันธเคลือบด้วยสาร TiCN(PVD) สึกหรอมากที่สุด เท่ากับ 1.63% ซึ่งอธิบายได้จากในขณะที่พันธเคลือบที่ด้วยความเร็วป้อนตัดวัสดุชิ้นงาน ทำให้เกิดแรงเสียดทานที่มีค่าสูงมากมีลักษณะเป็นแรงเฉือนกระทำกับผิวของพันธและคาย กรณีพันธที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีแรงยึดเหนี่ยวต่ำทำให้สารเคลือบเกิดการหลุดได้ง่าย

เมื่อพิจารณาค่าความเรียบผิวพบว่าการเคลือบผิวพันธด้วยสารเคลือบแต่ละชนิดทำให้ได้ค่าความเรียบผิวแตกต่างกัน ซึ่งความเรียบของคู่สัมผัสมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน กล่าวคือ เมื่อค่าความเรียบผิวสูง (ผิวหยาบ) ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย [4] จากการวัดค่าความเรียบผิวของพันธ พบว่า TiCN(PVD) มีค่าความเรียบผิวน้อยที่สุด เท่ากับ 0.0800 (ผิวเรียบมากที่สุด) แต่พบว่าการการสึกหรอของพันธเคลือบด้วยสารเคลือบ TiCN(PVD) มากที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายได้จากเหตุผลของผิวเคลือบที่มีความเรียบมากทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวได้ง่าย เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่สัมผัสจึงต้องการแรงเฉือนมากขึ้นเพื่อ

ทำลายแรงยึดเหนี่ยว ส่งผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมากขึ้น [5] ผลของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีค่ามากทำให้เกิดการสึกหรอมากขึ้น

4. สรุปผลการวิจัย

การป้อนตัดชิ้นงานไม่เกิน 1,000 ครั้ง พบว่าพันธเคลือบด้วยสารเคลือบทั้ง 5 ชนิด สามารถช่วยลดการสึกหรอของพันธได้

เมื่อจำนวนครั้งการป้อนตัดที่ 10,000 ครั้ง พบว่าความเร็วป้อนตัดที่ 80 SPM ทำให้พันธสึกหรอน้อยที่สุด

ผลการศึกษาพบว่า พันธเคลือบผิวด้วยสาร TiC(CVD) มีค่าการสึกหรอน้อยที่สุด รองลงมาคือ TiCN(CVD) TiN(PVD) TiALN(PVD) และพันธเคลือบด้วยสาร TiCN(PVD) มีค่าการสึกหรอมากที่สุด ตามลำดับ สำหรับสารเคลือบ TiCN(PVD) มีแนวโน้มทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวได้ง่าย ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการสึกหรอมากขึ้นได้เช่นกัน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] คมกริช ละครวรรณพงษ์ พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์ วารุณี เปรมานนท์ และ กฤษณ์ ประสงค์เจริญ. 2550. ชนิดของการเคลือบและปรับสภาพผิวแม่พิมพ์ที่มีผลต่อการลากขึ้นรูปเหล็กไร้สนิม. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 30 ฉบับที่ 3: 475-488.
- [2] จิราพร ศรีประเสริฐ อนุธรรม ชันชะชวณะ วารุณี เปรมานนท์ และ พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์. 2550. การสึกหรอของผิวคู่สัมผัสระหว่าง SKD11 ที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ กับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304. ว.สงขลานครินทร์ วทท. ปีที่ 29 ฉบับที่ 6: 1591-1598.
- [3] พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์ วารุณี เปรมานนท์ รัชนิไพศาล และชาญยุทธ มะกา. 2548. อิทธิพลของชนิดเหล็กเครื่องมือที่มีต่อการสึกหรอของ

- แม่พิมพ์ตัด. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 28 (2) : 169-182.
- [4] ฉันทนันท์ มูลสระคู พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์ อนวรรณ ชันชะชวณะ และวารุณี เปรมานนท์. 2548. การศึกษาพฤติกรรมด้านไทรบอโลยีของผิวคู่สัมผัสระหว่างบอลเหล็กกล้ากับผิวเคลือบ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19 วันที่ 19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดภูเก็ต.
- [5] ปนัดดา นิรินาทล้ำพงศ์ ผกามาศ แซ่ห้วง วารุณี เปรมานนท์ สุรพล ราษฎร์นุ้ย สิทธิชัย วิโรจน์ปัทม์ และ Pearce John T.H. 2545. การศึกษา. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- [6] สมภพ เตชะนักรัชนี ฮาโตะ และวารุณี เปรมานนท์. 2552. การยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์เจาะรูโดยเทคนิคการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็ง. ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23 วันที่ 4-7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่.
- [7] Mitterer, C., Holler, F., Reiterger, D., and R. Kullmer, 2003, "Industrial Applications of PACVD Hard Coatings", Journal of Surface and Coatings Technology, Vol. 163 – 164 , pp. 716 – 722.
- [8] Murakawa, M., Koga, N., and Kurmagai, T., 1995, "Deep – Drawing of Aluminum Sheets without Lubricant by Use of Diamond-like Carbon Coated Dies", Journal of Surface and Coatings Technology, Vol. 76 – 77, Part 2. pp. 553 – 558.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสานที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณคณะกรรมการประเมินผลงานวิจัย บุคลากรของสถาบันวิจัยและฝึกอบรมทุกท่าน ไว้ ณ โอกาสนี้

การพัฒนาสมบัติในการต้านทานการติดไฟของยางธรรมชาติ โดยใช้เบนโทไนซ์ และ ซีโอไลต์

ฉันททิพ คำนวนทพย์¹ วิษพงศ์ อินทร์ช่วย¹ เกียรติศักดิ์ ทองสม¹ และ ฐาปกรณ์ จันทคาม¹

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการใช้ซีโอไลต์และเบนโทไนซ์ในการเป็นสารหน่วงไฟของยางธรรมชาติ ตลอดจนผลของสารดังกล่าวที่มีต่อสมบัติต่างๆ ทั้งสมบัติกายภาพและสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ ในงานวิจัยนี้ทำการผสมยางธรรมชาติกับซีโอไลต์ในปริมาณ 40, 80 และ 120 phr และทำการผสมยางดังกล่าวกับเบนโทไนซ์ในปริมาณ 5-20 phr แล้วนำไปทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 160 °C และทำการทดสอบสมบัติต่างๆของยางทั้ง ความหนืดมูนี พฤติกรรมการคงรูป สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และการติดไฟ จากผลการทดลองพบว่ายางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ในปริมาณ 120 phr มีผลการทดสอบระดับการติดไฟตามมาตรฐานการทดสอบ UL 94 แบบ V-TEST ในระดับ V-0 และยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ในปริมาณตั้งแต่ 80 phr ขึ้นไป จะมีผลการทดสอบระดับการติดไฟตามมาตรฐานการทดสอบ UL 94 แบบ HB-TEST มีค่าอัตราเร็วของการเผาไหม้ (Burning Rate) ต่ำกว่า 30 mm/min แต่การเติมซีโอไลต์ลงไปในยางธรรมชาติจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติลดลง และการเติมเบนโทไนซ์ลงไป ในยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ เบนโทไนซ์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นสารหน่วงไฟให้กับซีโอไลต์ โดยช่วยชะลออัตราเร็วของการเผาไหม้ของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ให้ช้าลง และนอกจากนี้การเติมเบนโทไนซ์ยังช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะสมบัติในเรื่องความทนต่อแรงดึงและการฉีกขาด

คำสำคัญ ยางธรรมชาติ การต้านทานการติดไฟ เบนโทไนซ์ และซีโอไลต์

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติ รายใหญ่ของโลก แนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการเพิ่มมูลค่าให้แก่ยางธรรมชาติ คือ การวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ ให้มีสมบัติที่เหมาะสมในการใช้งานที่หลากหลายยิ่งขึ้น เช่น ใช้เป็นวัสดุในงานก่อสร้าง ใช้

เป็นชิ้นส่วนของรถยนต์ ใช้ในการหุ้มสายไฟหรือสายเคเบิลต่างๆ สายพานลำเลียงต่างๆ เป็นต้น ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลที่ดีเยี่ยม แต่ก็มีสมบัติที่เป็นข้อด้อย เช่น มีความทนทานต่อการติดไฟที่ต่ำ เป็นต้น [1] ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใช้สารเติมแต่ง (additive) เพื่อช่วยในการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติ สำหรับการปรับปรุงสมบัติในเรื่องความทนทานต่อการติดไฟนั้นจำเป็นต้องใช้สารเติมแต่ง ที่เรียกว่า สารหน่วงไฟ (flame retardant) เพื่อช่วยในการชะลอการติดไฟของยาง หรือทำให้ยางนั้นไม่ลุกไหม้ติดไฟได้เอง หรือสามารถดับไฟได้เองเมื่อเกิดการลุกไหม้เกิดขึ้น สารหน่วงไฟที่ใช้กันในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น อันติโมนีออกไซด์ (antimony oxide) เป็นสารหน่วงไฟที่เหมาะสมสำหรับยางที่มีองค์ประกอบของธาตุฮาโลเจน

¹ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์: +66(2)-549-3482 โทรสาร: +66(2)-549-3483
E-mail: chuntipk@yahoo.com

อยู่ หรือถ้าไม่มี เช่น ยางธรรมชาติ ก็ต้องมีการใส่สารเติมแต่งที่มีองค์ประกอบของฮาโลเจน เช่น chlorinated rubber powder ลงไป เพื่อจะเกิดการทำงานร่วมกันกับอันติโมนีออกไซด์ เพราะถ้ามีมีธาตุฮาโลเจนอยู่ในระบบจะไม่มีผลต่อการต้านทานการลวกคิดไฟ [2] สารหน่วงไฟอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ คือ อลูมินาไฮเดรท (alumina hydrate) โดยสารหน่วงไฟชนิดนี้จะปลดปล่อยน้ำออกมาที่อุณหภูมิประมาณ 210-220 องศาเซลเซียส อันจะทำให้เปลวไฟจางลงพร้อมกับอุณหภูมิของเปลวไฟจะค่อยๆ ลดลง ทำให้การคิดไฟเกิดยากขึ้น แต่เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงต้องใช้เป็นปริมาณมาก เช่น ยางธรรมชาติ ต้องใช้ในปริมาณถึง 80-250 phr

สารซีโอไลต์ (zeolite) ซึ่งมีโมเลกุลของน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างเป็นจำนวนมาก เมื่อได้รับอุณหภูมิที่สูงก็จะสามารถปลดปล่อยโมเลกุลของน้ำเหล่านั้นออกมา อันจะเป็นการลดอุณหภูมิของระบบ และทำให้เปลวไฟจางลงได้ แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าต้องใช้ซีโอไลต์ ในปริมาณสูงจึงจะมีประสิทธิภาพในการเป็นสารหน่วงไฟ แต่ในขณะที่เดียวกันสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติก็ต่ำลง เนื่องจากไม่มีการเสริมแรงกันระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติกับซีโอไลต์ [3]

จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์หลายๆ ท่านพบว่าการใช้สารตัวเติมนาโนเติมลงในวัสดุพอลิเมอร์เพื่อทำเป็นวัสดุนาโนคอมโพสิตนั้นจะช่วยปรับปรุงสมบัติต่างๆ ให้ดีขึ้น เช่น วัสดุจะมีความใส เพราะอนุภาคนาโนเมตจะเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงมาก จึงไม่ทำให้แสงแตกกระเจิง ไม่เกิดความขุ่น แต่จะโปร่งแสง วัสดุจะมีความทนแรงดึง (tensile strength) และมีโมดูลัส (modulus) สูงขึ้น วัสดุจะมีความทนต่อความร้อนได้ดีขึ้น และมีการทนต่อการคิดไฟได้ดีขึ้น [4-6]

ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการใช้สารหน่วงไฟชนิดใหม่ในยางธรรมชาติ อันได้แก่ สารจำพวก nano clay ในกลุ่มของ layer silicate เพื่อเข้ามา

ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านทานการคิดไฟของยางธรรมชาติ เนื่องจากมีรายงานการวิจัยพบว่า nano clay นั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านทานการคิดไฟในเทอร์โมพลาสติกบางชนิดได้ และนอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยว่า layer silicate clay ยังช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของยางได้อีกด้วย และในรายงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งพบว่าเมื่อใช้ layer silicate ร่วมกับซีโอไลต์ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านทานการคิดไฟในเทอร์โมพลาสติกบางชนิดได้อีกด้วย [7] โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ เบนโทไนซ์ ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียว ในกลุ่ม Smectite clay ซึ่งอยู่ในตระกูล phyllosilicate ซึ่งมีศักยภาพที่จะพัฒนาเป็น nano clay ได้ มาใช้เป็นสารหน่วงไฟร่วมกับซีโอไลต์ ซึ่งคาดหวังที่จะพัฒนาประสิทธิภาพในการต้านทานการคิดไฟและสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ

2. วิธีการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุหลักที่ใช้ได้แก่ ยางธรรมชาติ (STR20) ผลิตโดย บริษัท ยางไทยปิคนิค จำกัด ซีโอไลต์ประเภทโซเดียมอลูมิโนซิลิเกต (sodium aluminosilicate) มีสูตรโครงสร้าง $\text{Na}_{12}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8] \cdot 27\text{H}_2\text{O}$ และมีชื่อทางการค้าคือ Advera 401PS ผลิตโดยบริษัท พีคิว เคมีคอลส์ (ประเทศไทย) จำกัด และเบนโทไนซ์ เป็นแร่ดินเหนียว มอนท์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite) มีสูตรโครงสร้างเคมีทั่วไป $\text{Na}_{0.2}\text{Ca}_{0.1}\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_{10}$ มีชื่อทางการค้าคือ Mac-Gel เกรด SAC ผลิตโดยบริษัท ไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด

การผสมยางธรรมชาติกับสารเคมี

ผสมยางธรรมชาติกับสารที่ทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ และสารหน่วงไฟ โดยใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (two roll mill) อัตราส่วนของสารเคมีต่างๆที่ใช้ในการผสมแสดงในตารางที่ 1 หลังจากนั้นนำยางไปผ่านการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 160 °C

การทดสอบสมบัติของยาง

- ความหนืดมูนี (Mooney Viscosity) โดยใช้เครื่อง Mooney Viscometer ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1646
- เวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางนั้นมาจากการหาค่าเวลาในการคงรูป (cure time) ที่ได้จากการหาพฤติกรรมการคงรูปของยางโดยใช้เครื่อง Oscillating Disk Rheometer (ODR) ตามมาตรฐาน ASTM D 2084
- ความหนาแน่น (Density) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 792
- ความทนแรงดึง (Tensile Properties) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 412
- ความทนต่อการฉีกขาด (Tear Strength) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 624
- การทดสอบการติดไฟ (Flammability) ทดสอบตามมาตรฐาน UL 94
- การทดสอบหาค่าอุณหภูมิในการปลดปล่อยโมเลกุลของน้ำ และปริมาณน้ำที่ปลดปล่อยออกมา ทดสอบโดยใช้เครื่อง Thermogravimetry Analyzer (TGA) โดยช่วงอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบอยู่ที่ 0-500 °C อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 10 °C/min.

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของสารเคมีต่างๆ

สารเคมี	ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ผสมในยางธรรมชาติ (phr)
ยางธรรมชาติ	100
ซิงค์ออกไซด์	5
กรดสเตียริก	2
MBT	0.5
DPG	0.2
กำมะถัน	3
ซีโอไลต์	40, 80 และ 120
เบนโทไนซ์	5, 10, 15 และ 20

3. ผลและการอภิปรายผล

ตารางที่ 2 แสดงค่าความหนืดมูนี ของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์และเบนโทไนซ์ในปริมาณต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณซีโอไลต์เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าความหนืดมูนีของระบบสูงขึ้นตามไปด้วย และเมื่อเพิ่มการเติมเบนโทไนซ์ปริมาณเบนโทไนซ์ที่เพิ่มขึ้นก็ส่งผลให้ ค่าความหนืดมูนีของระบบสูงขึ้นตามไปด้วย ค่าความหนืดมูนีมีแนวโน้มมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของซีโอไลต์และเบนโทไนซ์ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะซีโอไลต์และเบนโทไนซ์ที่เติมลงไปเป็นอนุภาคของแข็งจึงเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนไหวของสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ [3,8] อันเป็นการส่งผลให้ความหนืดมูนีของยางมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย จากผลการทดลองในการหาค่าเวลาในการคงรูป (cure time) ของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์และเบนโทไนซ์ในปริมาณต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า ปริมาณซีโอไลต์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการคงรูปลดลง แต่เมื่อมีการเติมเบนโทไนซ์ลงไปจะส่งผลทำให้ เวลาที่ใช้ในการคงรูปของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์มีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 2 ค่าความหนืดมูนีของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์และเบนโทไนซ์

เบนโทไนซ์ (phr)	ความหนืดมูนี (ML(1+4) 100 °C)		
	ซีโอไลต์ 40 phr	ซีโอไลต์ 80 phr	ซีโอไลต์ 120 phr
0	47.42	53.42	59.34
5	46.91	61.44	61.85
10	54.49	62.92	62.46
15	57.89	63.02	63.90
20	60.04	67.11	67.66

ตารางที่ 4 แสดงค่าความหนาแน่น ของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์และเบนโทไนซ์ในปริมาณต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณซีโอไลต์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อมีการเติมเบนโทไนซ์ลงไปส่งผลทำให้ ความหนาแน่นของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์มีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 เวลาในการคงรูปของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์และเบนโทไนซ์

เบนโทไนซ์ (phr)	Cure Time (min.)		
	ซีโอไลต์ 40 phr	ซีโอไลต์ 80 phr	ซีโอไลต์ 120 phr
0	4.10	3.53	3.57
5	4.88	4.56	4.52
10	4.97	4.73	4.42
15	4.75	4.62	4.27
20	4.57	4.50	4.22

ตารางที่ 4 ความหนาแน่นของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์และเบนโทไนซ์

เบนโทไนซ์ (phr)	ความหนาแน่น (g/cm ³)		
	ซีโอไลต์ 40 phr	ซีโอไลต์ 80 phr	ซีโอไลต์ 120 phr
0	1.12	1.23	1.31
5	1.33	1.34	1.35
10	1.33	1.34	1.35
15	1.34	1.34	1.35
20	1.34	1.35	1.35

ตารางที่ 5 แสดงค่า 300% Modulus ของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์และเบนโทไนซ์ในปริมาณต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของซีโอไลต์ลงในยางธรรมชาติจะทำให้ค่า 300% Modulus เพิ่มขึ้น และเมื่อมีการเติมเบนโทไนซ์ลงไปส่งผลทำให้ ค่า 300% Modulus ของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า 300% Modulus มีแนวโน้มมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของซีโอไลต์และเบนโทไนซ์ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะซีโอไลต์และเบนโทไนซ์ที่เติมลงไปเป็นอนุภาคของแข็งจึงเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนไหวของสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ ทำให้ยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์และเบนโทไนซ์มีความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากยิ่งขึ้น [3,8] อันเป็นการส่งผลให้ค่า 300% Modulus ของยางมีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 5 ค่า 300% Modulus ของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์และเบนโทไนซ์

เบนโทไนซ์ (phr)	300% Modulus (psi)		
	ซีโอไลต์ 40 phr	ซีโอไลต์ 80 phr	ซีโอไลต์ 120 phr
0	627.36	624.55	615.90
5	709.31	729.90	704.40
10	870.29	798.67	729.58
15	917.14	889.44	823.15
20	1,008.02	925.18	860.82

ตารางที่ 6 ความทนแรงดึงของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์และเบนโทไนด์

เบนโทไนด์ (phr)	ความทนแรงดึง (psi)		
	ซีโอไลต์ 40 phr	ซีโอไลต์ 80 phr	ซีโอไลต์ 120 phr
0	2,189.73	1,664.50	1,055.08
5	2,972.87	1,781.21	1,604.51
10	3,219.26	2,054.61	1,394.66
15	3,295.13	2,166.06	1,355.31
20	3,357.50	2,063.70	1,644.53

ตารางที่ 6 แสดงค่า ความทนต่อแรงดึง (tensile strength) ของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์และเบนโทไนด์ในปริมาณต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของซีโอไลต์ลงในยางธรรมชาติจะทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่าซีโอไลต์เป็นสารตัวเติมที่ไม่มีการเสริมแรงให้กับยางธรรมชาติ การเติมซีโอไลต์ลงในยางธรรมชาติในปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้ค่าการทนแรงดึงของยางธรรมชาติมีค่าลดลง [3] แต่เมื่อมีการเติมเบนโทไนด์เพียง 5-20 phr ลงไปในยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ กลับพบว่าค่าความทนต่อแรงดึงของยางมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่า การเติม layer silicate clay เป็นสารตัวเติมในยางจะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางให้ดีขึ้น [4-6,9] และการกระจายตัวของเบนโทไนด์ในยางมีแนวโน้มที่จะมีบางส่วนเป็นแบบ exfoliation บางส่วนเป็นแบบ intercalation จึงช่วยทำให้สมบัติเชิงกลของยางดีขึ้น [4,6] จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการเติมเบนโทไนด์ในปริมาณเล็กน้อยลงในยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ จะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางให้ดีขึ้น ทั้งในเรื่องความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยพิจารณาจากค่า 300% Modulus ที่เพิ่มขึ้น และมีความทนทานต่อแรงดึงมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 7 ความทนต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์และเบนโทไนด์

เบนโทไนด์ (phr)	ความทนแรงดึง (lbf)		
	ซีโอไลต์ 40 phr	ซีโอไลต์ 80 phr	ซีโอไลต์ 120 phr
0	14.63	12.75	10.64
5	15.50	14.20	11.84
10	15.54	14.36	11.97
15	17.65	14.69	12.32
20	17.72	15.03	13.50

ตารางที่ 7 แสดงค่า ความทนต่อการฉีกขาด (tear strength) ของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์และเบนโทไนด์ในปริมาณต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของซีโอไลต์ลงในยางธรรมชาติจะทำให้ค่าความทนต่อการฉีกขาดลดลง เนื่องจากซีโอไลต์เป็นสารตัวเติมที่ไม่มีการเสริมแรงให้กับยางธรรมชาติ แต่เมื่อมีการเติมเบนโทไนด์ ลงไปในยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ พบว่าค่าความทนต่อการฉีกขาดของยางมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่า การเติม layer silicate clay เป็นสารตัวเติมในยางจะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางให้ดีขึ้น [4-6,9] ซึ่งสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกับผลของการทดสอบการทนต่อแรงดึง

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบการติดไฟ (Flammability) ตามมาตรฐาน UL94 แบบ V-TEST ของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์และเบนโทไนซ์

เบนโทไนซ์ (phr)	Flame Test (V-Test)		
	ซีโอไลต์ 40 phr	ซีโอไลต์ 80 phr	ซีโอไลต์ 120 phr
0	N/A	N/A	V-0
5	N/A	N/A	V-0
10	N/A	N/A	V-0
15	N/A	N/A	V-0
20	N/A	N/A	V-0

หมายเหตุ: N/A คือ ผลการทดสอบไม่อยู่ในมาตรฐาน

จากผลการทดลองในตารางที่ 8 พบว่ายางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ในปริมาณตั้งแต่ 120 phr ขึ้นไปจะมีผลการทดสอบระดับการติดไฟตามมาตรฐานการทดสอบ UL 94 แบบ V-TEST ในระดับ V-0 ซึ่ง ถ้ามีการเติมซีโอไลต์ในปริมาณ 40 และ 80 phr จะให้ผลการทดสอบที่ไม่อยู่ในมาตรฐาน ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [3]

จากผลการทดลองในตารางที่ 9 พบว่ายางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ในปริมาณตั้งแต่ 80 phr ขึ้นไป ขึ้นไปจะมีผลการทดสอบระดับการติดไฟตามมาตรฐานการทดสอบ UL 94 แบบ HB-TEST มีค่าอัตราเร็วของการเผาไหม้ (Burning Rate) ต่ำกว่า 30 mm/min และเมื่อมีการเติมเบนโทไนซ์ลงไปในช่วงธรรมชาติในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้อัตราเร็วของการเผาไหม้ก็จะยิ่งลดลง โดยยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ในปริมาณตั้งแต่ 120 phr จะไม่ติดไฟเมื่อถูกเผาเป็นเวลานาน 30 วินาที การที่เติมเบนโทไนซ์ลงไปในช่วงธรรมชาติในปริมาณมากขึ้นทำให้อัตราเร็วของการเผาไหม้ลดลง เพราะเบนโทไนซ์ที่ใช้เป็น layersilicate

clay ซึ่งซิลิเกตจะมีสมบัติทนความร้อนสูงได้ดี เมื่อเผาไหม้จะให้ถ่าน (char) ปกคลุมผิวหน้าจึงไม่ลามไฟ และช่วยให้ไฟดับอย่างรวดเร็ว [10] ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [3]

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบการติดไฟ (Flammability) ตามมาตรฐาน UL94 แบบ HB-TEST ของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์และเบนโทไนซ์

เบนโทไนซ์ (phr)	Flame Test (HB-Test) : Burning Rate (mm/min)		
	ซีโอไลต์ 40 phr	ซีโอไลต์ 80 phr	ซีโอไลต์ 120 phr
0	N/A	29.05	U/F
5	N/A	28.99	U/F
10	N/A	26.45	U/F
15	N/A	22.87	U/F
20	N/A	19.76	U/F

หมายเหตุ: N/A คือ ผลการทดสอบไม่อยู่ในมาตรฐาน

U/F คือ ไม่ติดไฟ

ผลการทดลองที่ได้จากการนำยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ ไปศึกษาการสลายตัวด้วยความร้อน จากเครื่อง Thermogravimetry Analysis (TGA) แสดงในตารางที่ 10 พบว่ายางที่มีการเติมซีโอไลต์ จะปลดปล่อยโมเลกุลของน้ำออกมาในปริมาณมาก ทำให้มีประสิทธิภาพในการเป็นสารหน่วงไฟมากยิ่งขึ้น ซึ่งการปลดปล่อยน้ำออกมาจากโมเลกุลจะช่วยให้ความร้อนลดลง และช่วยลดอุณหภูมิของเปลวไฟลง ทำให้ชะลอการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ลงได้ [7,11,12]

ผลการทดลองที่ได้จากการนำยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ 120 phr และเบนโทไนซ์ในปริมาณต่างๆ ไปศึกษาการสลายตัวด้วยความร้อน จากเครื่อง Thermogravimetry Analysis (TGA) แสดงในตารางที่ 11 จากผลการทดลองพบว่า เมื่อมีการเติมเบนโทไนซ์

ในปริมาณที่มากขึ้นลงในยางธรรมชาติที่มีการเติม ซีโอโลต์ 120 phr ส่งผลให้อุณหภูมิที่มีการปลดปล่อย น้ำออกมาลดลง

ตารางที่ 10 ตารางแสดงค่าอุณหภูมิที่มีการปลดปล่อย น้ำและปริมาณน้ำที่ปลดปล่อยออกจาก โครงสร้างของ ซีโอโลต์ ที่มีการเติมลงใน ยางธรรมชาติ

ปริมาณของซีโอโลต์ (phr)	อุณหภูมิที่ปลดปล่อยน้ำ (°C)	ปริมาณการปลดปล่อยน้ำ (%)
40	259.32	8.57
80	209.82	10.14
120	134.33	12.22

ตารางที่ 11 ตารางแสดงค่าอุณหภูมิที่มีการปลดปล่อย น้ำและปริมาณน้ำที่ปลดปล่อยออกจาก โครงสร้างของ ซีโอโลต์ 120 phr ที่มีการเติมลงในยางธรรมชาติที่มีการเติมเบนโทไนซ์ในปริมาณต่างๆ

ปริมาณของซีโอโลต์ (phr)	อุณหภูมิที่ปลดปล่อยน้ำ (°C)	ปริมาณการปลดปล่อยน้ำ (%)
0	134.33	12.22
5	122.42	11.59
10	121.82	11.55
15	119.17	11.10
20	118.21	11.25

4. สรุปผลการวิจัย

ยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอโลต์ในปริมาณ 120 phr มีผลการทดสอบระดับการติดไฟตามมาตรฐานการทดสอบ UL 94 แบบ V-TEST ในระดับ V-0 และยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอโลต์ในปริมาณตั้งแต่ 80 phr ขึ้นไปมีผลการทดสอบระดับการติดไฟตามมาตรฐานการทดสอบ UL 94 แบบ HB-TEST มีค่าอัตราเร็วของการเผาไหม้ (Burning Rate) ต่ำกว่า 30 mm/min และเมื่อเพิ่มปริมาณของสารหน่วงไฟมากขึ้นอัตราเร็วของการเผาไหม้ก็จะยิ่งลดลงโดยยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอโลต์ในปริมาณตั้งแต่ 120 phr จะไม่ติดไฟเมื่อถูกเผาเป็นเวลานาน 30 วินาที จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่าซีโอโลต์มีประสิทธิภาพในการเป็นสารหน่วงไฟได้ แต่การเติมซีโอโลต์ลงไปยางธรรมชาติจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติลดลง เมื่อมีการเติมเบนโทไนซ์ลงไปยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอโลต์ เบนโทไนซ์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นสารหน่วงไฟให้กับซีโอโลต์ โดยช่วยชะลออัตราเร็วของการเผาไหม้ของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอโลต์ให้ช้าลงและนอกจากนี้การเติมเบนโทไนซ์ยังช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอโลต์ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะสมบัติความทนต่อแรงดึงและการฉีกขาด

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] พงษ์ธร แซ่อูย .2547. ยาง : ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). ปทุมธานี
- [2] Dick, J. S. 2001. Rubber Technology : Compounding and Testing for Performance. Hanser Publishers. Munich.
- [3] Kumnuantip, C., Sreetano, S., Phanturat, T. and Sanuthut,B. 2006. The Effects of Loading Zeolite as a Flame Retardant on the Natural Rubber Properties. Asian Workshop on Polymer Processing 2006 (AWPP 2006). Japan Society of

- Polymer Processing. 6-8 December. Bangkok, Thailand : 29-32.
- [4] Varghese, S., Karger-Kocsis, J. and Gatos, K.G. 2003. Melt Compounding Epoxidized Natural Rubber/Layered Silicate Nanocomposite: structure-Properties Relationship. *Polymer*. 44: 3977-3983.
- [5] Varghese, S. and Karger-Kocsis, J. 2003. Natural Rubber-based Nanocomposite by Latex Compounding with Layered Silicates. *Polymer*. 44: 4921-4927.
- [6] Magaraphan, R., Thajaroen, W. and Lim-Ochakun, R. 2003. Structure and Properties of Natural Rubber and Modified Montmorillonite Nanocomposites. *Rubber Chemistry and Technology*. 74(3) : 406-418.
- [7] Patra, P. K., Warner, S.B., Kim, Y.K., Fan, Q. and Adanur, S. 2002. Nano Engineered Fire Resistant Composite Fibers. *National Textile Center Annual Report* . November: 1-9.
- [8] Sombatsompop, N. 1999. Rheological Behaviour of Unvulcanised Natural Rubber Compounded with Cryogenically Pulverised Polyurethane Foam Particles. *Journal of Elastomers & Plastics*. 31 (3): 271-284.
- [9] Teh, P.L., Ishak, Z.A.M., Hashim, A.S. Karger-Kocsis, J. and Ishiaku, U.S. 2004. Effect of epoxidized Natural Rubber as a Compatibilizer in Melt Compounded Natural Rubber-Organoclay Nanocomposite. *European Polymer Journal*. 40: 2513-2521.
- [10] รัตนาวรรณ มกรพันธ์. นาโนเคลย์/นาโนคอมโพสิต. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://thaiscience.com/lab_vol/p18/NANOCLAY.asp. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 14 มีนาคม 2551)
- [11] Demir, H.M Arkis, E., Balköse, D. and Ülkü, S. 2005. Synergistic Effect of Natural Zeolites on Flame Retardant Additives .*Polymer Degradation and Stability*. 89(3): 478-483.
- [12] พรพรรณ นิธิอุทัย .2528. สารเคมีสำหรับยาง. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, ปัตตานี

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา ภายใต้สัญญาเลขที่ RDG5050070

การปรับปรุงความแข็งของแผ่นอะคริลิกด้วยการเคลือบฟิล์มอะคริลิก ที่มีการเติมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

สิงห์โต สกุลชมฤทัย¹ อรุณโรจน์ กุลสิริบวร² ดวงหทัย พิบูลย์¹ และ กิตติ โพธิ์สุวรรณ²

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการปรับปรุงสมบัติความแข็งของโพลีเมทิลเมทาคริเลต หรืออะคริลิก โดยทำการเคลือบฟิล์มของโพลีเมทิลเมทาคริเลต หรืออะคริลิก ที่มีการเติมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไป ในการเคลือบฟิล์มดังกล่าวนี้ทำโดยใช้เมทิลเมทาคริเลต โอลิโกเมอร์เป็นสารตั้งต้น ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเป็นฟิล์มบางของโพลีเมทิลเมทาคริเลตเคลือบบนผิวของแผ่นอะคริลิก โดยใช้ azo-bis-2,4-dimethyl valeronitrile (ABVN) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา โดยทำการเติมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณ 0.01-0.1 % โดยน้ำหนักของเมทิลเมทาคริเลต โอลิโกเมอร์ เคลือบฟิล์มบางลงบนแผ่นอะคริลิกโดยใช้วิธีการจุ่ม โดยทำการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการแช่แผ่นอะคริลิกในสารจุ่มเคลือบเป็นเวลา 5, 20 และ 40 วินาทีตามลำดับ หลังจากนั้นนำไปให้ความร้อนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเปลี่ยนเมทิลเมทาคริเลต โอลิโกเมอร์ ไปเป็นโพลีเมทิลเมทาคริเลตที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการทดสอบ ความแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM D 785-98 ความทนทานต่อการตัดโค้ง ตามมาตรฐาน ASTM D 798-98 ความขุ่นตามมาตรฐาน ASTM D 1003-00 และ การยึดติดของฟิล์มตามมาตรฐาน ASTM D 3359-02 จากผลการทดลองพบว่าแผ่นอะคริลิกที่เคลือบฟิล์มของโพลีเมทิลเมทาคริเลตที่มีการเติมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ มีค่าความแข็ง ความต้านทานต่อการตัดโค้ง และความแข็งแรงต่อการหักงอ มีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ แผ่นอะคริลิกมีค่าความขุ่นที่เพิ่มขึ้น เวลาในการแช่แผ่นอะคริลิกในสารจุ่มเคลือบมีผลต่อสมบัติการยึดติดของฟิล์มเคลือบ โดยเวลาในการแช่แผ่นอะคริลิกในสารจุ่มเคลือบนานขึ้นส่งผลให้สมบัติการยึดติดของฟิล์มเคลือบกับแผ่นอะคริลิกดีขึ้น

คำสำคัญ โพลีเมทิลเมทาคริเลต อะคริลิก ความแข็ง และ นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

1. บทนำ

จากสภาพความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและ
สภาวะการแข่งขันทางการค้าสูง ทำให้การโฆษณาหรือ

การมีภาพลักษณ์ที่น่าดึงดูดใจของร้านค้าและสถาน
บริการต่างๆ กลายเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เกิด
ความสำเร็จในการดำเนินธุรกิจ แผ่นป้ายโฆษณาหรือ
แผ่นป้ายชื่อร้านค้าหรือสถานบริการต่างๆ จึงเป็น
องค์ประกอบหลักอย่างหนึ่ง ที่ใช้ในการแสดง
ภาพลักษณ์ที่น่าดึงดูดใจของสินค้า หรือมีส่วนเชิญ
ชวนให้ผู้บริโภคเข้าไปใช้บริการในร้านค้าและสถาน
บริการต่างๆ รวมไปถึงการมีผลต่อการแสดง
เอกลักษณ์และทำให้ผู้บริโภคสามารถจดจำและสังเกต
ในเอกลักษณ์ที่โดดเด่นของสินค้า ร้านค้าและสถาน
บริการต่างๆ ได้อย่างชัดเจน

¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี
จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: +66(2)-549-3539 โทรสาร: +66(2)-577-5038

E-mail: singto_rmutt@hotmail.com

²ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต. คลองหก
อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โพลีเมทิลเมทาคริเลต(Poly(methyl methacrylate), PMMA) หรืออะคริลิก (Acrylic) เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกที่นิยมนำมาผลิตแผ่นป้ายโฆษณาหรือแผ่นป้ายชื่อ เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษคือเมื่อได้รับความร้อนสูงจะอ่อนตัว จึงตัดหรือขึ้นรูปเป็นแบบต่างๆ ได้ และเมื่อเย็นตัวลงจะแข็งตัวและคงสภาพ มีความเหนียว น้ำหนักเบา ทนแรงกระแทกได้ดี ทนกรดและสารเคมีต่าง ๆ ยกเว้นตัวทำละลายบางตัว สามารถแกะสลัก ฟันสี ระบาย หรือทำซิลค์สกรีน (silk screen) เป็นรูปหรือลวดลายได้ตามความต้องการ อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความต้านทานต่อการเกิดรอยขีดข่วน เนื่องจาก อะคริลิกมีความแข็ง (Hardness) ไม่สูง [1] เมื่อนำไปใช้ทดแทนกระจกในงานเฟอร์นิเจอร์ งานตกแต่งต่าง ๆ ก็จะพบกับปัญหาเกิดรอยขีดข่วนได้ง่ายทำให้ความสวยงามลดลงไปอย่างมาก

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงแผ่นอะคริลิกที่มีความแข็งสูงขึ้น และทำให้มีสมบัติต้านทานการเกิดรอยขีดข่วนที่ดีขึ้น โดยใช้หลักการในการเคลือบผิวของวัสดุด้วยวัสดุที่มีความแข็งสูงกว่า จากงานวิจัยที่ผ่านมา [2] พบว่าการเคลือบผิวด้วยวัสดุที่มีความแข็งที่สูงขึ้นจะทำให้วัสดุนั้นๆ มีความต้านทานต่อการเกิดรอยขีดข่วนมากยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาแผ่นอะคริลิกที่มีความแข็งสูงขึ้น โดยทำการเคลือบผิวของแผ่นอะคริลิกด้วยฟิล์มอะคริลิกที่มีการเติมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ เนื่องจาก ไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไทเทเนียม ซึ่งเป็นโลหะทรานซิชัน ไทเทเนียมไดออกไซด์ได้รับความสนใจอย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เนื่องจากมีความเสถียรต่อสารเคมี ไม่มีความเป็นพิษ[3] และเป็นอนุภาคของแข็งที่มีความแข็งสูงกว่าวัสดุโพลีเมอร์

2. วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมแผ่นอะคริลิก

เตรียมแผ่นอะคริลิกก่อนการเคลือบผิว โดยนำแผ่นอะคริลิกมาแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เข้มข้น 10% โดยปริมาตร เป็นเวลา 20 นาที

2.2 การเตรียมสารเคลือบ

ผสมเมทิลเมทาคริเลต โอลิโกเมอร์ (methyl methacrylate oligomer: MMA) และ azo-bis-2,4-dimethyl valeronitrile (ABVN) กวนให้เข้ากัน จากนั้นเติม นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (P-25) ที่ปริมาณต่างๆ ตั้งแต่ 0.01-0.1 % โดยน้ำหนักของเมทิลเมทาคริเลต โอลิโกเมอร์ กวนให้เข้ากัน เป็นเวลา 25 นาที จึงนำแผ่นอะคริลิกที่เตรียมดังข้อ 2.1 มาทำการจุ่มเคลือบ (Dip coating) โดยทำการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการแช่แผ่นอะคริลิกในสารจุ่มเคลือบเป็นเวลา 5, 20 และ 40 วินาที ตามลำดับ หลังจากนั้นนำไปให้ความร้อนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันเปลี่ยนเมทิลเมทาคริเลตโอลิโกเมอร์ เป็นโพลีเมทิลเมทาคริเลตที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

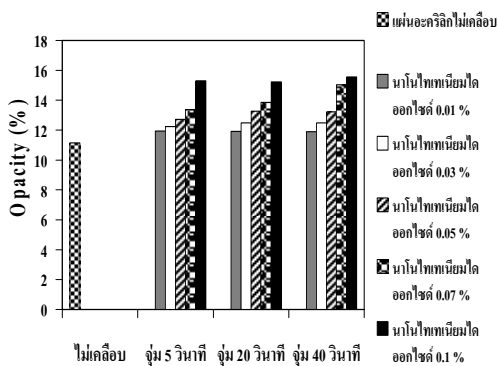
นำแผ่นอะคริลิกที่ผ่านการเคลือบ มาทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ทำการทดสอบ ความแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM D 785-98 ความทนทานต่อการตัดโค้ง ตามมาตรฐาน ASTM D 798-98 ความขุ่นตามมาตรฐาน ASTM D 1003-00 และการยึดติดของฟิล์มตามมาตรฐาน ASTM D 3359-02 วัดความหนาของชั้นเคลือบวัดโดยใช้ไมโครมิเตอร์ และศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

3. ผลและการอภิปรายผล

จากการศึกษาผลของปริมาณ นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เติมลงในสารเคลือบปริมาณต่าง ๆ กันตั้งแต่ 0-0.1% ที่มีผลต่อค่าความขุ่นของแผ่น

อะคริลิกดังแสดงในภาพที่ 1 พบว่า ความขุ่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของ นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ในสารเคลือบเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่า แผ่นอะคริลิกที่เคลือบโดยใช้สารเคลือบที่เติม นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.01% มีความขุ่นใกล้เคียงกับแผ่นอะคริลิกที่ไม่เคลือบผิว เนื่องจากนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นของแข็งที่มีอนุภาคขนาดเล็กที่ไม่สามารถละลายใน MMA หรือ PMMA ได้ จึงไม่ได้ละลายเป็นเนื้อเดียวกับฟิล์มที่ใช้เคลือบ และอนุภาคของแข็งดังกล่าวยังบดบังการส่องผ่านของแสง จึงทำให้ความขุ่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของ นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ในสารเคลือบเพิ่มขึ้น

จากการทดสอบการวัดความหนาของฟิล์มเคลือบโดยใช้เครื่องไมโครมิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า เวลาในการแช่แผ่นอะคริลิกในสารเคลือบจะมีผลต่อความหนา คือ เวลาในการแช่แผ่นอะคริลิกในสารเคลือบนานขึ้นจะทำให้ความหนาของฟิล์มเคลือบลดลง เนื่องจากสารเคลือบ คือ MMA มีค่าพารามิเตอร์การละลายใกล้เคียงกับ PMMA [4,5] ทำให้สามารถละลายแผ่นอะคริลิกได้ เมื่อนำไปทำการเคลือบโดยการจุ่มโดยใช้เวลาแช่นาน จะทำให้บริเวณผิวหน้าของแผ่นอะคริลิกละลาย และรวมตัวกับสารเคลือบได้ดีขึ้น โดยสามารถสังเกตได้จากผลการทดสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้ SEM ดังแสดงในรูปที่ 2 และพบว่าปริมาณนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เติมลงไปไม่มีผลต่อความหนาของฟิล์มเคลือบ

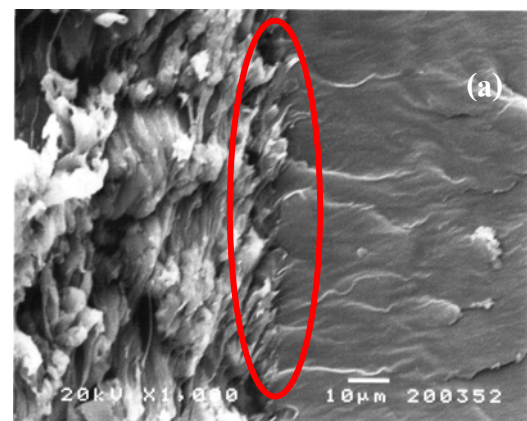


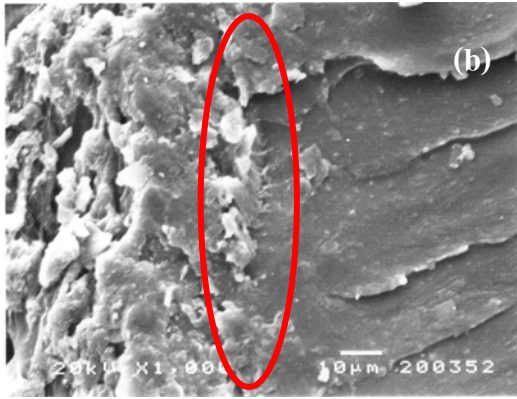
ภาพที่ 1 กราฟแสดงค่าความขุ่นของแผ่นอะคริลิก

ตารางที่ 1 ความความหนาของฟิล์มเคลือบ

เวลาในการแช่แผ่นอะคริลิกในสารเคลือบ (วินาที)	ความหนาของชั้นเคลือบ (μ)
5	26-29
20	23-26
40	20-23

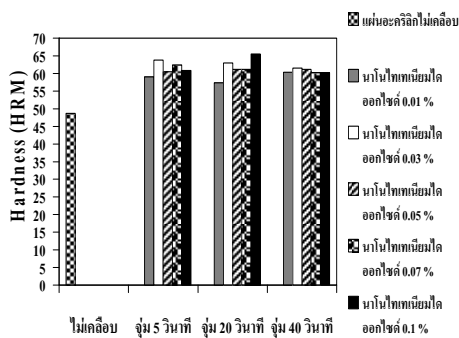
เมื่อทำการทดสอบสมบัติการยึดติดของฟิล์มพบว่าปริมาณนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เติมลงไปไม่มีผลต่อสมบัติการยึดติดของฟิล์มเคลือบ แต่การยึดติดของฟิล์มเคลือบจะดีขึ้นเมื่อเวลาในการแช่แผ่นอะคริลิกในสารเคลือบนานขึ้น โดยแผ่นอะคริลิกที่จุ่มในสารเคลือบเป็นเวลา 5 วินาที นั้นจะมีการหลุดลอกของฟิล์ม ที่ 5-15 % แผ่นอะคริลิกที่จุ่มในสารเคลือบ 20 วินาที มีการหลุดลอกของฟิล์มน้อยกว่า 5 % และแผ่นอะคริลิกที่จุ่มในสารเคลือบ 40 วินาที ไม่มีการหลุดลอกของฟิล์ม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในตารางที่ 1 และภาพที่ 2



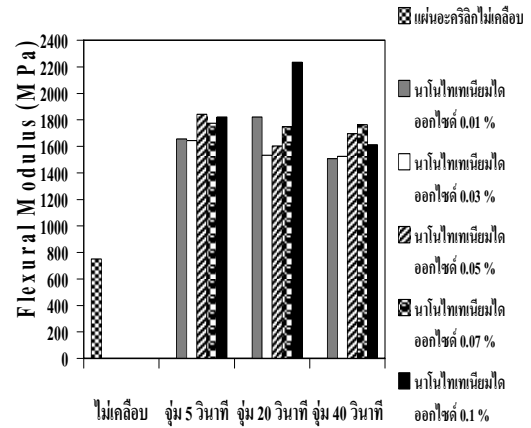


ภาพที่ 2 ภาพถ่ายโดยใช้ SEM กำลังขยาย 1,000 เท่า ที่บริเวณพื้นที่หน้าตัดของแผ่นอะคริลิก (a) เคลือบผิวด้วย TiO_2 0.1% เวลาจุ่มสารเคลือบ 20 วินาที และ (b) เคลือบผิวด้วย TiO_2 0.1% เวลาจุ่มสารเคลือบ 40 วินาที

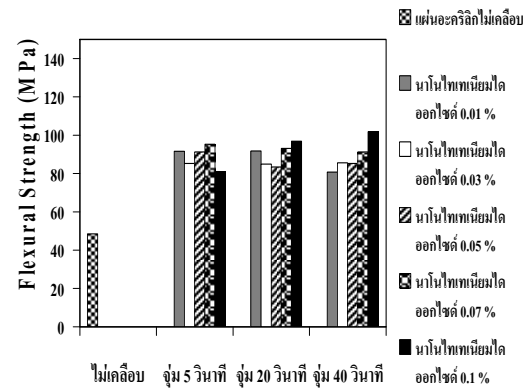
ภาพที่ 3 แสดงค่าความแข็งที่ได้จากการทดสอบสมบัติความแข็ง Rockwell สเกล HRM ของแผ่นอะคริลิกที่เคลือบฟิล์มอะคริลิกที่มีการเติมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ปริมาณต่างๆ พบว่า แผ่นอะคริลิกที่เคลือบฟิล์มอะคริลิกที่มีการเติมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าความแข็งสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นอะคริลิกที่ไม่ได้เคลือบผิว ส่วนเวลาในการแช่แผ่นอะคริลิกในสารเคลือบ ไม่มีผลต่อค่าความแข็ง



ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าความแข็งของแผ่นอะคริลิก



ภาพที่ 4 กราฟแสดงค่าความต้านทานต่อการดัดโค้งของแผ่นอะคริลิก



ภาพที่ 5 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงต่อการหักงอของแผ่นอะคริลิก

ภาพที่ 4 และ 5 แสดงค่าความต้านทานต่อการดัดโค้ง และความแข็งแรงต่อการหักงอของแผ่นอะคริลิกที่เคลือบฟิล์มอะคริลิกที่มีการเติมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ปริมาณต่างๆ พบว่า แผ่นอะคริลิกที่เคลือบฟิล์มอะคริลิกที่มีการเติมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าความต้านทานต่อการดัดโค้งและความแข็งแรงต่อการหักงอสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นอะคริลิกที่ไม่ได้เคลือบผิว ส่วนเวลาในการแช่แผ่นอะคริลิกในสารเคลือบ ไม่มีผลต่อค่าความต้านทานต่อการดัดโค้งของแผ่นอะคริลิก

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการปรับปรุงสมบัติความแข็งแรงของโพลีเมทิลเมทาคริเลต หรือ อะคริลิก ทำการเคลือบฟิล์มของ โพลีเมทิลเมทาคริเลต หรืออะคริลิก ที่มีการเติมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไป เคลือบฟิล์มบางลงบนแผ่นอะคริลิกโดยใช้วิธีการจุ่ม โดยทำการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการแช่แผ่นอะคริลิกในสารจุ่มเคลือบจากผลการทดลองพบว่าแผ่นอะคริลิกที่เคลือบฟิล์มของโพลีเมทิลเมทาคริเลต ที่มีการเติมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ มี ค่าความแข็งแรง ความต้านทานต่อการตัดโค้ง และความแข็งแรงต่อการหักงอ มีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ แผ่นอะคริลิกมีค่าความขุ่นที่เพิ่มขึ้น เวลาในการแช่แผ่นอะคริลิกในสารจุ่มเคลือบ มีผลต่อสมบัติการยึดติดของฟิล์มเคลือบ โดยเวลาในการแช่แผ่นอะคริลิกในสารจุ่มเคลือบนานขึ้นส่งผลให้สมบัติการยึดติดของฟิล์มเคลือบกับแผ่นอะคริลิกดีขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] The University of Southern Mississippi. Kinds of Polymer. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://pslc.ws/macrog/kidsmac/pmma.htm> (วันที่สืบค้นข้อมูล : 7 กุมภาพันธ์ 2551)
- [2] Tanglumlert, W., Prasassarakich, P., Supaphol, P. and Wongkasemjit, S. 2006. Hard-Coating Materials for Poly(methyl methacrylate) from Glycidoxypropyl-trimethoxysilane - modified Silatrane via Sol-gel Process. Surface & Coatings Technology. 200: 2784-2790.

- [3] [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://ruby.colodo.edu/~smyth/min/tio2.html>(วันที่สืบค้นข้อมูล : 28 กุมภาพันธ์ 2551)
- [4] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตต์. วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [5] Polymer Solutions: Solvent and Solubility Parameters. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.sigmaaldrich.com/etc/medialib/docs/Aldrich/General_information/polymer_solutions.Par.0001.File.tmp/polymer_solutions.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล : 30 มกราคม 2552)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2551 เลขที่โครงการ I251A05014 ขอขอบคุณบริษัทแพนเอเชียอุตสาหกรรม จำกัด และภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีสำหรับเครื่องมือในการทดสอบ

เทคโนโลยีการแบ่งเซลล์ด้วยเทคนิคเลเซอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดฟิล์มบางซิลิคอนบนพื้นที่ขนาดใหญ่

สุทธิมงคล กอสัมพันธ์ วิจิต แสงสุวรรณทร์ ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์ นพดล สิทธิพล ชาญณรงค์ ภิรมจิตร
อมรรัตน์ ถัมมณี จรรย์ ศรีธาราธิคุณ และ กอบศักดิ์ ศรีประภา

บทคัดย่อ—งานวิจัยนี้นำเสนอการปรับค่าความสูงของหัวเลเซอร์ ซึ่งใช้ในกระบวนการตัดชั้นต่างๆในเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้เซลล์ต่อกันแบบภายใน เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน โครงสร้างอะมอร์ฟัส/อะมอร์ฟัสซิลิคอน (a-Si:H/a-Si:H) ในหนึ่งเซลล์จะมีค่าศักย์ไฟฟ้าเปิด (open-circuit voltage) ประมาณ 1.75 V ซึ่งเมื่อต้องการให้ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะต้องนำเซลล์มาต่ออนุกรมกัน โดยในงานวิจัยนี้ใช้แสงสีเขียวความยาวคลื่น 532 nm สำหรับตัดฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน และศึกษาผลการปรับระดับความสูงของหัวเลเซอร์จาก -85.5 ถึง -82.5 cm เมื่อนำฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอนไปวิเคราะห์หาความลึกของเส้นเลเซอร์ที่ตัดด้วยเครื่องวัดความหนา step profile พบว่ารูปร่างความลึกของฟิล์มอะมอร์ฟัสที่ถูกตัดจะมีลักษณะเปลี่ยนจากรูปตัววีเป็นรูปตัวยู และเมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับขั้นตอนการตัดเซลล์ด้วยเลเซอร์ของเส้น P_2 (ชั้นอะมอร์ฟัส) และเส้น P_3 (ชั้นนำไฟฟ้าด้านหลัง) ในกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้าง a-Si:H/a-Si:H ขนาดพื้นที่ 0.79 m² พบว่าที่ระดับความสูงของหัวเลเซอร์เส้น P_2 และเส้น P_3 เท่ากับ -82.5 cm ได้ค่าศักย์ไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 65 V และกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 55 W

คำสำคัญ : เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน เทคโนโลยีเลเซอร์กับเซลล์แสงอาทิตย์

1. บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัส/อะมอร์ฟัสซิลิคอนได้ถูกพัฒนาและมีการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีจุดเด่นหลายประการ อาทิเช่น มีราคาถูก ต้นทุนในการผลิตต่ำ สามารถสร้างได้บนพื้นที่กว้าง และใช้วัตถุดิบในการผลิตน้อยเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนทั่วไป ซึ่งกระบวนการสร้างที่เป็นที่นิยมคือสร้างด้วยวิธี RF-PECVD (Radio Frequency-Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) ในห้องเคลือบ

แบบเดี่ยว (Single chamber)[1] เนื่องจากสามารถสร้างบนพื้นที่ขนาดใหญ่ ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการแบ่งเซลล์ให้มีจำนวนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้แผงเซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยทำการแบ่งเซลล์ด้วยเทคโนโลยีเลเซอร์ซึ่งประกอบไปด้วยสองความยาวคลื่น คือ 1064 nm ที่ใช้สำหรับแบ่งชั้นชั้นนำไฟฟ้าโปร่งแสง (Transparent Conductive Oxide, TCO) และ 532 nm ใช้สำหรับแบ่งชั้นฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน ซึ่งการควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น Power ของเลเซอร์หรือความสูงของหัวเลเซอร์ (Focus) เป็นต้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสิ้น

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงเงื่อนไขในการแบ่งชั้นฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอนด้วยเลเซอร์ความยาวคลื่น 532 nm โดยทำการศึกษาผลของระยะการซ้อนทับกัน

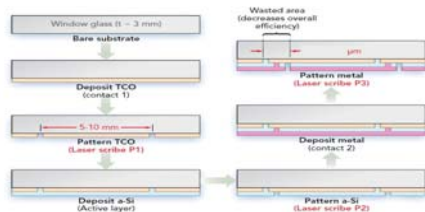
สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์, สำนักงาน
พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111 ถ.พหลโยธิน
ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
โทร 0-2564-7000 ต่อ 2722 โทรสาร 0-2564-7059
E-mail: suttimongkol@nstda.or.th

ของควมถี่เลเซอร์ Power ของเลเซอร์และ Focus ของเลเซอร์เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน

2. วิธีการวิจัย

2.1 กระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์

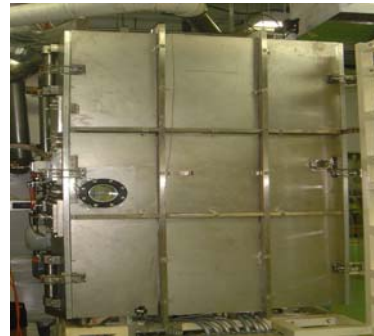
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโครงสร้าง glass/ SnO₂/ p-a-SiO₂/ i-a-Si/ n-μc-Si/ p-μc-Si/ i-a-Si/ n-μc-Si/ ZnO/ Al จะถูกใช้ในงานวิจัยนี้โดยกระบวนการทดลองแสดงดังภาพที่ 1 เริ่มจากการใช้กระจก TCO ขนาด 0.79 m² เป็นฐานรองสำหรับสร้างฟิล์มบางซิลิคอน กระบวนการแรกทำการตัดชั้นฟิล์มนำไฟฟ้าโปร่งแสงด้วยเครื่อง Laser Scribe แสดงดังภาพที่ 2 โดยใช้ด้วยความยาวคลื่น 1064 nm เรียกว่า P1 จากนั้นนำแผ่นฐานรองไปทำการสร้างฟิล์มบางซิลิคอนด้วยวิธี RF-PECVD ในห้องเคลือบแบบเดี่ยว (Single chamber) ดังภาพที่ 3 หลังจากเสร็จกระบวนการเคลือบฟิล์มบางซิลิคอนครบทุกชั้นแล้วเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกนำไปตัดด้วยแสงเลเซอร์โดยเครื่อง Laser Scribe อีกครั้งที่ความยาวคลื่น 532 nm เรียกว่า P2 เพื่อทำการแบ่งชั้นฟิล์มบางซิลิคอน จากนั้นนำไปเคลือบชั้นนำไฟฟ้า (ZnO และ Al) ด้วยเครื่อง PVD (Physical Vapor Deposition) เพื่อเป็นชั้น Back contact เสร็จแล้วนำไปตัดด้วยเลเซอร์ความยาวคลื่น 532 nm ครั้งสุดท้ายเรียกว่า P3 เพื่อตัดชั้นชั้นนำไฟฟ้าแบ่งเป็นจำนวนเซลล์ตามต้องการ แล้วจึงวัดประสิทธิภาพภายใต้แสง AM 1.5, 1000 W/m² ที่ 25 °C



ภาพที่ 1 กระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน



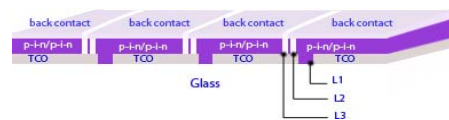
ภาพที่ 2 เครื่อง Laser Scribe



ภาพที่ 3 ห้องเคลือบระบบ Plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) แบบ Single chamber

2.2 กระบวนการแบ่งเซลล์ด้วยเครื่อง Laser Scribe

ภาพที่ 4 แสดงภาพตัดขวางของกระบวนการแบ่งเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบไปด้วย P1, P2, P3 [2] โดยทิศทางการไหลของกระแสจะเริ่มจาก Back contact ของขั้วบวก ผ่าน TCO แล้วเชื่อมต่อไปยังชั้นฟิล์มของเซลล์ถัดไป จนไปถึงขั้วลบของเซลล์สุดท้ายโดยแต่ละเซลล์จะต่ออนุกรมกัน ฉะนั้นเงื่อนไขในการแบ่งชั้นฟิล์มจึงส่งผลต่อความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย เนื่องจากกระบวนการแบ่งชั้นฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอนส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ จึงได้มีนักวิจัยทำการศึกษาอย่างแพร่หลาย



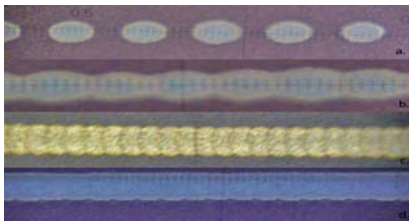
ภาพที่ 4 แสดงภาพตัดขวางเซลล์แสงอาทิตย์หลังตัด P1, P2 และ P3

เงื่อนไขในการแบ่งชั้นฟิล์มอะมอร์ฟิสดิจิตอลที่ทำการศึกษาค้นคว้าได้แก่ ผลของการซ้อนทับกันของเลเซอร์ โดยทำการศึกษาโดยทำการปรับความถี่ของเลเซอร์ ต่อมาได้ทำการศึกษาผลการตัดชั้นฟิล์มอะมอร์ฟิสดิจิตอลด้วย Power ค่าต่างๆ และสุดท้ายทำการปรับ Focus ของเลเซอร์ โดยแสดงผลด้วยเครื่อง Step Profile

3. ผลและการอภิปราย

3.1 ผลของการซ้อนทับกันของเลเซอร์

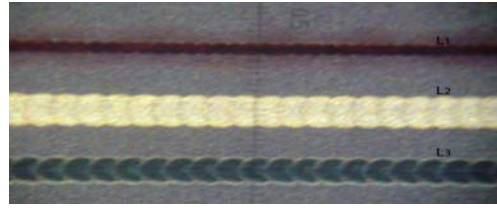
ได้มีการศึกษาพบว่าที่การซ้อนทับกันของเลเซอร์ 30% ให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุด [3] เนื่องจาก Power ของเลเซอร์ที่ลงไปยังพื้นที่ซ้ำกันมากๆ จะส่งผลต่อชั้นฟิล์มให้มีความต้านทานไม่สม่ำเสมอ เมื่อทำการปรับความถี่ของเลเซอร์ ด้วยเงื่อนไขจาก 1.2 - 6.0 kHz พบว่าการซ้อนทับกันของเลเซอร์ มีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น โดยที่ความถี่ 2.5 kHz การซ้อนทับกันของเลเซอร์มีค่าประมาณ 30 % แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 a.) No. Overlab at 1.2 kHz, b.) Overlab 10% at 1.8 kHz, Overlab 30% at 2.5 kHz, d.) Overlab 70-80% at 6 kHz

3.2 ผลของ Power ของเลเซอร์

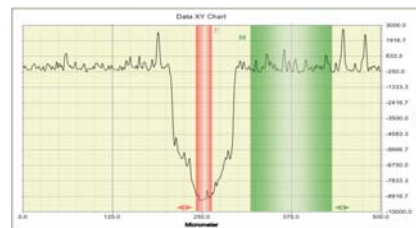
ได้มีการศึกษาโดยทำการปรับ Power ของเลเซอร์ค่าต่างๆ พบว่าค่า Power ของเลเซอร์ส่งผลต่อความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่ Power 200 mW มีค่าความต้านทานอนุกรมต่ำสุด[4] จากการทดลองพบว่า ที่ค่ากระแส 21.5 A ให้ Power 200 mW โดยผลการตัดฟิล์มอะมอร์ฟิสดิจิตอลแสดงดังภาพที่ 6



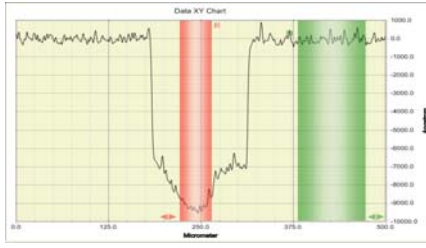
ภาพที่ 6 แสดงฟิล์มอะมอร์ฟิสดิจิตอลที่ตัดด้วยเลเซอร์ P1 - P3

3.3 ผลของ Focus ของเลเซอร์

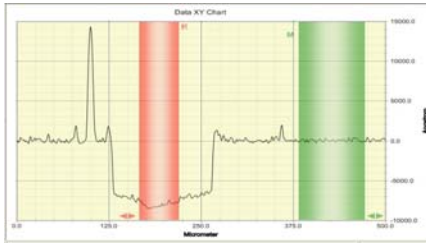
ทำการศึกษาโดยทำการปรับ Focus ตั้งแต่ -85.5 ถึง -82.5 พบว่าเมื่อทำการปรับ Focus ไปที่ -85.5 ผลฟิล์มที่วัดด้วยเครื่อง Step Profile มีลักษณะเป็นรูปตัววี ดังภาพที่ 7 โดยความต้านทานอนุกรมของเซลล์มีค่าสูง เนื่องจากบีมเลเซอร์ 532 nm ที่มีความเข้มสูงตัดทะลุไปยังชั้นจิวน่าไฟฟ้าและเมื่อปรับ Focus ที่ -84.5 ดังภาพที่ 8 ความต้านทานอนุกรมมีค่าลดลงแต่ยังมีพลังงานของบีมเลเซอร์ที่เข้มอยู่ที่ยังสามารถตัดทะลุจิวน่าไฟฟ้า ต่อมาทำการปรับ focus ที่ -83.5 ดังภาพที่ 9 พบว่าความต้านทานมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ด้วยพลังงานของบีมเลเซอร์ที่เข้าไปตัดยังชั้นจิวต้นวนน้อยลง เป็นผลให้ความต้านทานอนุกรมของเซลล์ต่ำลงแต่ยังไม่สม่ำเสมอทำให้เซลล์ยังคงเป็นรูปตัววีให้เห็นอยู่ สุดท้ายทำการปรับ focus ลงไปที่ -82.5 ดังภาพที่ 10 พบว่าพลังงานของบีมเลเซอร์ไม่ตัดเข้าไปยังชั้นจิวต้นวนไฟฟ้า เส้นมีลักษณะเป็นรูปตัวยูและความต้านทานอนุกรมต่ำสุดเนื่องจากฟิล์มหลุดออกอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งผลการตัดของชั้นฟิล์มที่ Focus -82.5 ให้ผลการตัดชั้นฟิล์มดีสุด



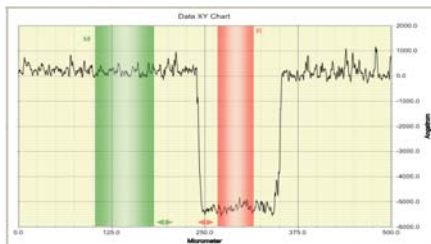
ภาพที่ 7 Focus -85.



ภาพที่ 8 Focus -84.5

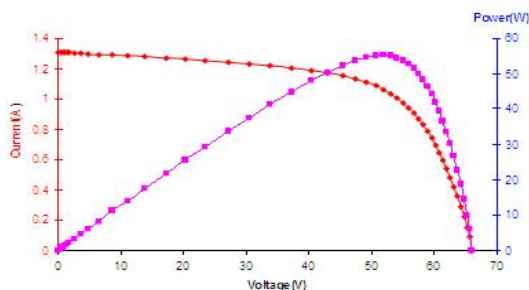


ภาพที่ 9 Focus -83.5



ภาพที่ 10 Focus -82.5

เมื่อนำเงื่อนไขที่ได้จากการทดลอง Frequency 2.5 kHz Power 200 mW Focus -82.5 ไปตัดเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดถึง 55 W แสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มความถี่ การซ้อนทับกันของเลเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยที่ความถี่ 2.5 kHz ให้การซ้อนทับกัน 30 % เมื่อนำมาปรับค่า Power ต่อที่ค่ากระแส 21.5 A ให้ Power 200 mW สุดท้ายทำการปรับค่า Focus ของเลเซอร์ โดยที่ Focus -82.5 ผลการทดลองจากเครื่อง Step Profile พบว่ามีการหลุดของชั้นฟิล์ม อะมอร์ฟัสซิลิคอนที่สม่ำเสมอ และเมื่อนำเงื่อนไขที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการตัดเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน โครสร้างเซลล์ซ้อน (multi-junction) แบบอะมอร์ฟัส/อะมอร์ฟัสซิลิคอน (a-Si:H/a-Si:H) บนฐานรองกระจก ขนาด 0.79 m² พบว่าให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 55.2 W, V_{oc} 64.72 V, I_{sc} 1.34 A จากผลการทดลองดังกล่าวยังสามารถพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้นอีกได้โดยการลดพื้นที่ของ Dead area โดยลดระยะห่างและขนาดความกว้างของเส้นเลเซอร์ P1,P2,P3 ที่ใช้ในการแบ่งเซลล์

5.เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Nii, T. Kase and P. Sichanugrist “High efficiency a-Si:H solar cells by single chamber method,”
- [2] Proc. 23th IEEE Photovoltaic Specialists Conf., pp. 941-945, 1993.
- [3] Corey M. Dunskey and Finlay Colville “Scribing thin-film solar panels” Industrial laser solutions., February 2008 edition
- [4] Per Oskar Westin “Optimisation of Laser Scribing of Back Contact for Photovoltaic Modules.”Luleå University
- [5] of Technology Department of Applied Physics and Mechanical Engineering
- [6] H.Stiebig, S. Hass and A. Gordijin “Laser patterning of thin – film silicon modules.” Institute of Energy
- [7] Research 5 – Photovoltaic, Research Centre JÜlich Wihelm-Johnen-Straße. JÜlich, Germany

การวิเคราะห์ปริมาณบิสฟีนอล เอ ไดโกลซิดิลอีเทอร์ที่ปนเปื้อนในท่อน้ำประปอง: ผลของระยะเวลาการเก็บ

บุศรินทร์ สุดสุข¹ นันทนิตย์ ยี่มวาสนา¹ และ กนกพร บุญทรง¹

บทคัดย่อ— การศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณบิสฟีนอล เอ ไดโกลซิดิลอีเทอร์ที่ปนเปื้อนในท่อน้ำประปอง โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทดลองด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงที่มีตัวตรวจวัดชนิดวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 275 นาโนเมตร ใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นอะซิโตนในโทรัสกับน้ำในอัตราส่วน 65 : 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 1.0 มิลลิเมตรต่อนาที ทำการแยกด้วยคอลัมน์ชนิด C18 (ขนาด 150 x 4.6 มิลลิเมตร) ได้คุณลักษณะทางเคมีวิเคราะห์ที่ดี โดยมีขีดจำกัดการวิเคราะห์ต่ำสุดเท่ากับ 6 ไมโครกรัมต่อลิตร และมีช่วงความเข้มข้นของการตรวจวิเคราะห์อยู่ระหว่าง 20 ถึง 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร วิธีการดังกล่าวได้นำไปประยุกต์สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณบิสฟีนอล เอ ไดโกลซิดิลอีเทอร์ในท่อน้ำประปองและทวนสอบความถูกต้องของเทคนิคโดยการหาค่าการกลับคืนและการทำซ้ำ พบว่าค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วงระหว่าง 95.89 ถึง 103.38 จากการศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บท่อน้ำประปองต่อการแพร่ของปริมาณบิสฟีนอล เอ ไดโกลซิดิลอีเทอร์ลงไปในพื้นที่ พบว่าการเก็บท่อน้ำประปองในน้ำมันนานมากกว่า 6 เดือนจะทำให้มีปริมาณบิสฟีนอล เอ ไดโกลซิดิลอีเทอร์สูงขึ้น (126.3 ไมโครกรัมต่อลิตร) เมื่อเปรียบเทียบกับท่อน้ำในน้ำ น้ำเกลือ โซลิมะเช็ทและในมายองเนส นอกจากนี้ปริมาณของบิสฟีนอล เอ ไดโกลซิดิลอีเทอร์ที่พบจะมีค่าน้อยมาก (น้อยกว่า 30 ไมโครกรัมต่อลิตร) เมื่อเก็บรักษาน้อยกว่า 6 เดือนสำหรับท่อน้ำประปองทุกประเภทที่ทำการศึกษา

คำสำคัญ บิสฟีนอล เอ ไดโกลซิดิลอีเทอร์ ท่อน้ำประปอง โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

1. บทนำ

BADGE เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างบิสฟีนอล เอกับอีพอกซีโพลีเอสเตอร์ ซึ่งโมเลกุล BADGE นั้นจะเกิดปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้สามารถเกิดการเคลื่อนย้ายจาก epoxy - based ลงไปปนเปื้อนกับอาหาร นอกจากนี้ในสารเคลือบกระป๋องประเภท PVC - Organosol นั้น BADGE อาจทำปฏิกิริยากับคลอรีนในอาหารหรือไฮดรอกลอริกซึ่งปนอยู่ในแอลกอฮอล์

ทำให้เกิดเป็นอนุพันธ์ BADGE·HCl, BADGE·2HCl BFDGE·HCl BFDGE·2HCl อนุพันธ์เหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในดวงกลางที่เป็นน้ำกลายเป็นอนุพันธ์ใหม่ที่ประกอบด้วยหมู่ H₂O และ HCl เนื่องจากอนุพันธ์ของ BADGE มีโครงสร้างคล้ายสารก่อมะเร็งจึงเป็นที่น่าสงสัยว่าสารอนุพันธ์ที่เกิดขึ้นและปนเปื้อนอยู่ในอาหารนั้นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งกับผู้บริโภคได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้การวิเคราะห์หาปริมาณการปนเปื้อนบิสฟีนอล เอ ไดโกลซิดิลอีเทอร์ในอาหารกระป๋องมีความสำคัญในระดับอุตสาหกรรมส่งออกและสุขภาพอนามัยของผู้บริโภค

¹สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เลขที่ 2 ถ.นางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
โทรศัพท์/โทรสาร: +66(2)-287-9600 ต่อ 1205
E-mail: kanokporn.b@rmutk.ac.th

2. วิธีการวิจัย

ในการวิเคราะห์หาปริมาณบิสฟีนอล เอ ไดโกลซิดิล – อีเทอร์ในพลาสติกป้องกันโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง โดยใช้ตรวจวัดชนิดยูวี-วิสิเบิล ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์พลาสติกป้องกันที่มีอายุการเก็บรักษาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6 เดือนและมากกว่า 6 เดือน

อุปกรณ์และสารเคมี

- คอลัมน์ชนิด symmetry C18 ขนาด 150 x 4.6 mm
- n-heptane (Fisher Scientific : HPLC grade)
- Acetonitrile (Fisher Scientific : HPLC grade)
- Standard BADGE 97% (Fluka : Switzerland)

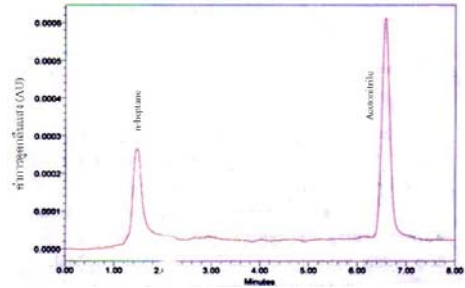
การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างไปปั่นให้ละเอียดจนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่ง 5.0 กรัม หลังจากนั้นผสมด้วยเฮปเทน 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปตกตะกอนด้วยเครื่อง Centrifuge โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง นำสารละลายที่ได้ไปประเหตตัวทำละลาย (เฮปเทน) ออกให้เหลือประมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วให้นำสารละลายที่ได้ไปสกัดด้วยอะซิโตนไทรล์ 10 มิลลิลิตร จากนั้นจึงนำสารละลายไปกรองด้วย microfilter ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.45 ไมครอน แล้วนำสารละลายไปทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

สถานะที่เหมาะสม ในการวิเคราะห์หาปริมาณ BADGE ในพลาสติกป้องกันโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง เฟสเคลื่อนที่ คือ Acetonitrile : Water (Milli Q) ในอัตราส่วน 65 : 35 , อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ความยาวคลื่น 275 นาโนเมตร ปริมาตรการฉีด 20 ไมโครลิตร, เครื่องตรวจวัด ยูวี - วิสิเบิล

3. ผลและการอภิปรายผล

1) ผลการศึกษาการเตรียมกราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ BADGE

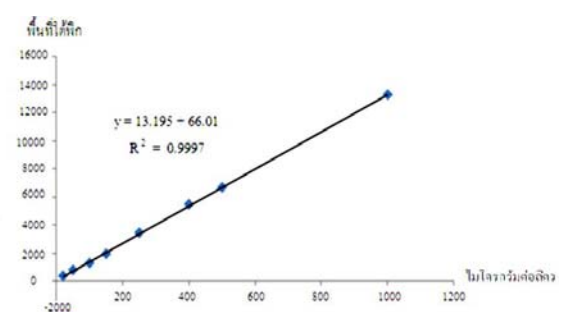


ภาพที่ 1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน BADGE เข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อลิตร สถานะที่เหมาะสม: คอลัมน์ชนิด symmetry C18 ขนาด 150 x 4.6 mm เฟสเคลื่อนที่: Acetonitrile : H₂O (65 : 35), อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที, ความยาวคลื่น 275 นาโนเมตร

จากโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน BADGE ที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่า พิกอะซีโตนไทรล์มีค่า retention time 1.54 นาที และพิก BADGE มีค่า retention time เท่ากับ 6.56 นาที

2) ผลการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity)

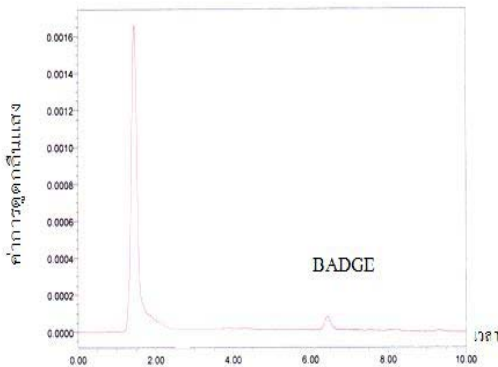
จากการทดลองได้ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐาน BADGE ที่ความเข้มข้น 20-1000 ไมโครกรัมต่อลิตร และนำมาวิเคราะห์โดยเทคนิค HPLC เครื่องตรวจวัดยูวี - วิสิเบิล ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ได้แสดงผลไว้ในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน BADGE กับพื้นที่ที่ได้พิก

จากกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน BADGE ที่ความเข้มข้น 20 - 1000 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่ามีความเป็นเส้นตรง ซึ่งได้สมการเส้นตรง $y = 13.196x + 66.01$ โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.018 ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้และได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.9997

3) ผลการศึกษาขีดจำกัดการวิเคราะห์ (Limit of Detection : LOD)



ภาพที่ 3 โครมาโทแกรมสารละลายมาตรฐาน BADGE ความเข้มข้น 6 ไมโครกรัมต่อลิตร

จากโครมาโทแกรมแสดงไว้ในภาพที่ 3 พบว่าสารละลายมาตรฐาน BADGE ที่ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ คือ 6 ไมโครกรัมต่อลิตร

4) ผลการศึกษาความถูกต้อง (Accuracy) และความแม่นยำ (Precision)

ตารางที่ 1 การทดสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ BADGE ที่ความเข้มข้น 50 และ 100 ไมโครกรัมต่อลิตร (n= 10)

ความเข้มข้นที่เติม (ไมโครกรัมต่อลิตร)	ปริมาณที่ตรวจพบ (ค่าเฉลี่ย) (ไมโครกรัมต่อลิตร)	ค่าร้อยละกลับคืน % Recovery (ค่าเฉลี่ย ± SD)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ % RSD
50	51.69	103.38 ± 0.89	1.72
100	95.89	95.89 ± 0.82	0.85

จากการทดสอบในการพิสูจน์ความถูกต้องและความแม่นยำโดยใช้ค่าร้อยละการกลับคืน (%Recovery) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) เป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการยอมรับ พบว่าค่าร้อยละการกลับคืนของ BADGE ความเข้มข้น 50 และ 100 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าร้อยละการกลับคืนเท่ากับ 103.38 และ 95.89 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือ ค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วงร้อยละ 80 - 110 ส่วนความแม่นยำจะทำการวิเคราะห์ ในสภาวะเดียวกัน โดยใช้วิธีเดียวกันในห้องปฏิบัติการเดียวกัน เครื่องมือชุดเดียวกันและผู้ทำการวิเคราะห์คนเดียวกันพบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ มีค่าเท่ากับ 1.72 และ 0.85 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือน้อยกว่าหรือเทียบเท่ากับร้อยละ 2

5) การวิเคราะห์การปนเปื้อน BADGE ในเนื้อปลา
 ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของสาร BADGE ในปลากระป๋องประเภทต่าง ๆ (สิงหาคม 2550 – ตุลาคม 2551)

ประเภทปลากระป๋อง	ชนิดแล็กเกอร์	ปริมาณความเข้มข้นของ BADGE (ไมโครกรัมต่อลิตร)			
		ต่ำกว่า 6 เดือน		สูงกว่า 6 เดือน	
		ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด
น้ำมันพืช	E	< 20.0	< 20.0	126.3	< 20.0 - 301.9
มายองเนส	E	27.8	25.5 - 30.1	46.5	< 20.0 - 46.5
น้ำเกลือ	E	25.2	< 20.0 - 25.2	38.1	< 20.0 - 41.4
ซอสมะเขือเทศ	E	29.0	< 20.0 - 39.4	60.4	< 20.0 - 101.7

จากตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของสาร BADGE ในปลากระป๋องประเภทต่าง ๆ พบว่าปลาในน้ำมันพืชที่มีอายุการเก็บรักษาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6 เดือน มีปริมาณ BADGE โดยเฉลี่ยน้อยกว่า 20 ไมโครกรัมต่อลิตร และที่มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 6 เดือน มีปริมาณ BADGE เท่ากับ 126.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนปลาในมาของเนสที่มีอายุการเก็บรักษาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6 เดือน มีปริมาณ BADGE โดยเฉลี่ยเท่ากับ 27.8 ไมโครกรัมต่อลิตร และที่มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 6 เดือน มีปริมาณ BADGE เท่ากับ 46.5 ไมโครกรัมต่อลิตร ปลาในน้ำเกลือที่มีอายุการเก็บรักษาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6 เดือน มีปริมาณ BADGE โดยเฉลี่ยเท่ากับ 25.2 ไมโครกรัมต่อลิตร และที่มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 6 เดือน มีปริมาณ BADGE เท่ากับ 38.1 ไมโครกรัมต่อลิตร ปลาในซอสมะเขือเทศที่มีอายุการเก็บรักษาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6 เดือน มีปริมาณ BADGE โดยเฉลี่ยเท่ากับ 29.0 ไมโครกรัมต่อลิตร และที่มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 6 เดือน มีปริมาณ BADGE เท่ากับ 60.4 ไมโครกรัมต่อลิตร

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้วิธีตรวจวัดการปนเปื้อนของบิสฟีนอล เอ ไดโกลซิดิล-อีเทอร์ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นสามารถวิเคราะห์ปริมาณบิสฟีนอล เอ ไดโกลซิดิล-อีเทอร์ ได้อย่างมีความถูกต้องและแม่นยำสูง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Jan , P., Lenka, D., Jana, H., Katerina, H., Ivana, P., 2007. Determination and occurrence of bisphenol A, bisphenol A diglycidyl ether, and bisphenol F diglycidyl ether, including their derivatives, in canned foodstuffs from the Czech Retail Market. Czech J. Food Sci. 25(4). 221-229.
- [2] Paseiro-Losada, P., Lopez-Fabal, M., Perez-Lamela, C., Sanmartin-Fenollera, P., Paz-Abuin, S., 1999. Two RP-HPLC methods to quantify and identify bisphenol A diglycidyl ether (BADGE): European union fatty food simulant (olive oil). Cienc. Tecnol. Aliment. 2(4). 202-209.
- [3] Abida, T., Ismat, N., 2009. Review on analysis of bisphenol A diglycidylether (BADGE) in canned food. Researcher. 1(4). 90-92.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

การวิเคราะห์ปริมาณ Stemofoline จากรากหนอนตายหยาก ที่ปลูกภายใต้การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกัน

จตุพร เผ่าพงษ์ไทย¹ อัญชลี สงวนพงษ์² สุพัฒน์ เผ่าพงษ์ไทย¹ นิตยา โจ้ววัฒนา¹
ปราณี รัตนานูพงษ์³ และ ธนิต รัตนานูพงษ์³

บทคัดย่อ---หนอนตายหยากเป็นพืชในสกุล Stemonaceae เป็นไม้เลื้อย ใบเดี่ยว เรียงสลับรูปหัวใจ ปลายแหลม กว้าง 5-6 ซม. สามารถขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ดหรือใช้เหง้าปักชำ จากการสำรวจพบว่า พืชในสกุลหนอนตายหยากมี 29 ชนิด สำหรับประเทศไทยพบ 4 ชนิดคือ *Stemona tuberosa* Lour., *Stemona collinsae* Craib, *Stemona curtisii* Hook, และ *Stemona burkillii* Prain จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาพบว่ารากหนอนตายหยาก ชนิด *Stemona collinsae* Craib และชนิด *Stemona curtisii* Hook มีสารออกฤทธิ์ Stemofoline ซึ่งมีคุณสมบัติในการฆ่าลูกน้ำยุง หนอนแมลงวัน และมีฤทธิ์ในการควบคุมแมลงศัตรูพืชได้ ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทดลองแยก Stemofoline จากรากหนอนตายหยาก เพื่อใช้เป็น marker ในการวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ในรากหนอนตายหยาก ชนิด *Stemona curtisii* Hook

จากการศึกษาชนิดและอัตราปุ๋ยที่มีผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ในรากหนอนตายหยาก โดยใช้ชนิดปุ๋ยที่แตกต่างกัน 4 ชนิดคือ มูลไก่เนื้อ มูลโค มูลสุกร ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และไม้ใส่ปุ๋ย อัตราปุ๋ย 2 ระดับ 50 และ 100 กิโลกรัม ในโตรเจนต่อไร่ โดยวางแผนการทดลองแบบ 4×2+1 factorial in RCBC ทำ 3 ซ้ำ ทำการทดลองแปลงวิจัยภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ นครศรีธรรมราช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และทำการวิเคราะห์ปริมาณ Stemofoline จากรากหนอนตายหยากที่อายุ 1 ปี 18 เดือน และ 2 ปี เตรียมตัวอย่างโดยการสกัดหนอนตายหยากด้วย ไดคลอโรมีเทน เขย่า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และวิเคราะห์ปริมาณ Stemofoline ด้วยเทคนิค HPTLC (High Performance Thin - Layer Chromatography) ใช้ Ethylacetate : Methanol (85:15) เป็น mobile phase พบว่าหนอนตายหยากที่ปลูกเป็นระยะเวลา 1 ปี โดยใส่ปุ๋ยมูลสุกร อัตราส่วน 50 กิโลกรัมในโตรเจนต่อไร่ มีปริมาณ Stemofoline มากที่สุด

คำสำคัญ หนอนตายหยาก Stemofoline HPTLC

1. บทนำ

หนอนตายหยากเป็นพันธุ์ไม้ในตระกูล Stemonaceae เป็นพวกพันธุ์ไม้เถา สามารถเลื้อยไปตามพื้นดิน หรืออาจพันขึ้นต้นไม้ตามต้นไม้ชนิดอื่น มีรากเป็น

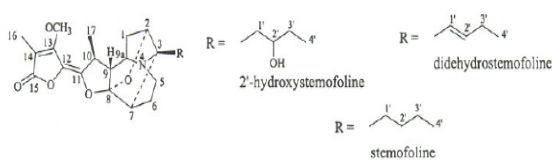
พวกคล้ายกระชาย ใบเดี่ยว เรียงสลับรูปหัวใจ ปลายแหลม กว้าง 5-6 ซม. สามารถขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ดหรือใช้เหง้าปักชำ หนอนตายหยาก เป็นพืชที่พบได้ทั่วไปในแถบเอเชีย เช่น ประเทศจีน ญี่ปุ่น อินโดนีเซีย มาเลเซีย ลาว ไทย ฯลฯ ในประเทศไทยพบกระจายไปทั่วทุกภาค ซึ่งในแต่ละท้องถิ่นมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เช่น จังหวัดเชียงใหม่เรียก โป่งมดงาม ภาคกลางเรียกหนอนตายหยาก ภาคตะวันออกและจังหวัดประจวบคีรีขันธ์เรียก กะเพียด ส่วนภาคใต้เรียก รากลิง เป็นต้น [1] หรือชื่ออื่น ๆ เช่น ปงซ้าง [2,3] จากการสำรวจพบว่าพืชใน

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110

²คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110

³ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ. ห้วยใหญ่ จ. นครศรีธรรมราช

สกุลหนอนตายหยากมี 29 ชนิด สำหรับประเทศไทย พบ 4 ชนิดคือ *S. tuberosa* Lour. , *S. collinsae* Craib , *S. curtisii* Hook, และ *S. burkillii* Prain [1] ประโยชน์ที่ทราบจากแพทย์แผนโบราณทางภาคใต้ ใช้หนอนตายหยากเป็นยารักษาหิด เหา และยาถ่ายพยาธิ แต่ถ้ารับประทานเข้าไปมาก ๆ อาจเป็นอันตรายถึงตายได้จากหนังสือรายชื่อพืชสมุนไพร ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ และสถาบันวิทยาศาสตร์ประยุกต์ได้จัดรากหนอนตายหยากไว้เป็นพวกยาถ่ายพยาธิ นอกจากนี้ในสมัยก่อนชาวบ้านรู้จักนำรากหนอนตายหยากมาผสมกับปูนขาว ใช้ฆ่าหนอนที่เกิดในบาดแผลของสัตว์เลี้ยง เช่น วัว ควาย ชาวไร่พริกไทยในจังหวัดจันทบุรี ใช้รากหนอนตายหยาก ตำละลายน้ำ ใช้เป็นยาฆ่าแมลงที่กินใบต้นพริกไทย [1] Brigitte Brem และคณะได้ทำการทดลองเปรียบเทียบสารเคมีที่มีอยู่ในหนอนตายหยากพันธุ์ *Stemona curtisii* และ *Stemona tuberosa curtisii* พบสาร Stemofoline, didehydrostemofoline และ 2'-hydroxystemofoline ในหนอนตายหยากพันธุ์ *Stemona curtisii* โครงสร้างดังรูปที่ 1 โดยการสกัดผงแห้งของรากพันธุ์ *Stemona curtisii* ด้วย Methanol และ CHCl_3 และนำสารสกัดส่วนนี้มาแยกโดยใช้เทคนิค Column Chromatography โดยใช้ Solvent system คือ hexane , Ethylacetate และ Methanol และนำส่วนที่มีสาร(100% EtOAc -25%EtOAc in MeOH) มาแยกอีกครั้งโดยใช้ MPLC Solvent system คือ 80% EtOAc-100% Hexane และ preparative TLC ตามลำดับ ได้สาร Stemofoline และ 2'-hydroxystemofoline [4]



ภาพที่ 1 โครงสร้างของสาร Stemofoline, didehydrostemofoline และ 2'-hydroxystemofoline[4]

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทดลองแยก Stemofoline ที่มีฤทธิ์ในการควบคุมแมลงศัตรูพืช รวมทั้งสกัดสารออกฤทธิ์ให้ได้ปริมาณมากพอเพื่อใช้เป็น marker ในการวิเคราะห์ปริมาณ Stemofoline ในรากหนอนตาย

หยาก ชนิด *Stemona. curtisii* Hook ซึ่งได้จากการศึกษาชนิดและอัตราปุ๋ยที่มีผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ในรากหนอนตายหยาก ทำการทดลองที่แปลงวิจัยภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์นครศรีธรรมราช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

2. วิธีการวิจัย

2.1 การสกัด Stemofoline จากรากหนอนตายหยากเพื่อใช้เป็น Marker

นำรากหนอนตายหยากบดแห้งน้ำหนัก 2,000 กรัมมาสกัดด้วยเครื่อง Super critical fluid extraction (SFE) ใช้ความดันตั้งแต่ 150 – 400 bar เวลา 3 ชั่วโมง ในแต่ละความดันและปรับความดันครั้งละ 50 bar จากนั้นทำการสกัดสาร Alkaloid โดยนำกากของหนอนตายหยากที่ผ่านการสกัดด้วยเทคนิค SFE แล้วน้ำหนัก 1,700 กรัม สกัดด้วย CH_2Cl_2 โดยใช้เครื่อง Shaker (Thermo Forma model 481) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จำนวน 2 ครั้งระเหยตัวทำละลายออก และเติม Ethyl acetate นำสารละลาย Ethyl acetate มาสกัดด้วย 2 M HCl กรองและนำสารละลายที่ได้มาตกตะกอนด้วย

2.2 การเตรียมตัวอย่างรากหนอนตายหยาก และการสกัด เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ Stemofoline

ปลูกหนอนตายหยากชนิด *Stemona. curtisii* Hook ณ แปลงวิจัยภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ นครศรีธรรมราช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย โดยใช้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 4 ชนิดคือ มูลไก่เนื้อ มูลโค มูลสุกร ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และไม่ใส่ปุ๋ย อัตราปุ๋ย 2 ระดับ 50 และ 100 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ โดยวางแผนการทดลองแบบ $4 \times 2 + 1$ factorial in RCBC ทำ 3 ซ้ำ เก็บตัวอย่างรากหนอนตายหยาก ที่อายุ 1 ปี 18 เดือน และ 2 ปี จากนั้นอบรากหนอนตายหยากสดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท นำมาบดเป็นผงแล้วชั่งผงตัวอย่างหนอนตายหยาก 7 กรัม เติม CH_2Cl_2 70 ml และเขย่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง กรองแล้วนำสารสกัดที่ได้มาระเหยด้วยเครื่อง Rotary NH_3

กรองตะกอนที่ได้ และล้างด้วย NH_3 และน้ำตามลำดับ จากนั้นทำบริสุทธิ์ โดยใช้ Column Chromatography และใช้ Ethyl acetate : Methanol (85:15) เป็น mobile phase evaporator (Buchi) ให้เหลือ 3 ml เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ Stemofoline

2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณ Stemofoline ด้วยชุดวิเคราะห์ HPTLC (High Performance Thin-Layer Chromatography)

นำสารสกัดที่ได้จากข้อ 2.2 ถัดลงบนแผ่น HPTLC 20x10 cm Silica gel 60 F₂₅₄ (Merck) ด้วยเครื่อง Automatic TLC sampler 4 (Camag) โดยฉีดตัวอย่างละ 3 μl เทียบกับสารมาตรฐาน (Stemofoline) จำนวน 4 ความเข้มข้น จากนั้นนำแผ่น HPTLC ไป develop ด้วยเครื่อง Automatic Developing Chamber (Camag, ADC 2) ใช้ Ethyl acetate : Methanol (85:15) เป็น mobile phase และวิเคราะห์ปริมาณ Stemofoline ด้วยเครื่อง TLC Scanner 3 densitometer (Camag) ที่ความยาวคลื่น 200nm

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 ผลการสกัด Stemofoline จากรากหนอนตายหยาก เพื่อใช้เป็น Marker

เนื่องจากปริมาณ Stemofoline ที่ได้จากการสกัดด้วย เทคนิค SFE มีปริมาณน้อย และจากการวิเคราะห์ TLC พบว่ายังมี Stemofoline เหลืออยู่ในกากหนอนตายหยากที่ผ่านการสกัดด้วย SFE แล้ว จึงได้สกัดกากหนอนตายหยากซ้ำโดยใช้วิธีการสกัดสารประเภท Alkaloid และนำไปแยกด้วยเทคนิค Column Chromatography จึงได้ Stemofoline ในปริมาณที่มากพอสำหรับใช้เป็น marker ในการวิเคราะห์ ปริมาณต่อไป

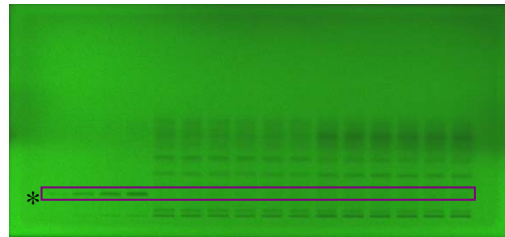
3.2 ผลการเตรียมตัวอย่างรากหนอนตายหยาก และการสกัด เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ Stemofoline

การสกัดรากหนอนตายหยากโดยใช้เครื่องเขย่าพบว่า สกัดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง 300 รอบ/นาที จะมีปริมาณ Stemofoline มาก

ที่สุด และยังคงมี Stemofoline บางส่วนเหลืออยู่ในกากหนอนตายหยาก แต่เป็นปริมาณที่น้อยมาก

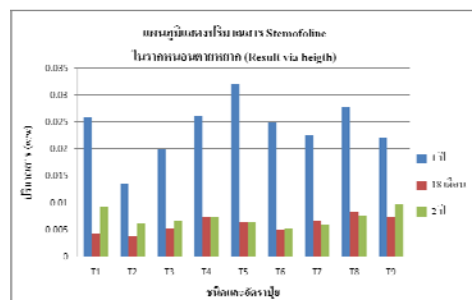
3.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ Stemofoline ด้วยชุดวิเคราะห์ HPTLC (High Performance Thin-Layer Chromatography)

ปริมาณ Stemofoline (%w/w) ได้มาจากการคำนวณความสูง (Result via height) ของ peak ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3



ภาพที่ 2 HPTLC fingerprints แสดงการวิเคราะห์หาปริมาณ Stemofoline (T9R2 ต้น 1-T9R1 ต้น 2) จากรากหนอนตายหยาก *Stemona curtisii* Hook. ที่อายุการเก็บเกี่ยว 1 ปี, ไม่ได้ใส่ปุ๋ย, mobile phase : Ethyl acetate, Methanol (85:15) UV 254 nm. Tracks 1 ถึง 4, สารมาตรฐาน Stemofoline ; Tracks 5 ถึง 10 . สารสกัดจากรากหนอนตายหยากต้นที่ 1; Tracks 11 ถึง 16, สารสกัดจากรากหนอนตายหยากต้นที่ 2

* แถบสารมาตรฐาน Stemofoline เทียบกับ Stemofoline ในตัวอย่างรากหนอนตายหยากจากการวิเคราะห์ปริมาณ



ภาพที่ 3 ปริมาณสาร Stemofoline ในรากหนอนตายหยาก * T1; มูลไก่เนื้อ 50 กก./ไร่, T2; มูลไก่เนื้อ 100 กก./ไร่, T3; มูลโค 50 กก./ไร่, T4; มูลโค 100 กก./ไร่, T5; มูลสุกร 50 กก./ไร่, T6; มูลสุกร 100 กก./ไร่, T7; ปุ๋ยเคมี 15-15-15 50 กก./ไร่, T8; ปุ๋ยเคมี 15-15-15 100 กก./ไร่, T9; ไม่ใส่ปุ๋ย

4. สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสาร Stemofoline ในรากหนอนตายหยาก ที่อายุ 1 ปี, 18 เดือน และ 2 ปี พบว่า หนอนตายหยากที่ปลูกเป็นระยะเวลา 1 ปี มีปริมาณ Stemofoline มากที่สุด และการใส่ปุ๋ยมูลสุกร อัตราส่วน 50 กิโลกรัมในโตรเจนต่อไร่ (T5) มีปริมาณ Stemofoline มากที่สุด รองลงมาคือ มูลไก่เนื้อ (T1) ปุ๋ยเคมี (T7) และมูลโค (T3) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปุ๋ยที่อัตราส่วน 50 กิโลกรัมในโตรเจนต่อไร่ แต่เมื่อเทียบที่อัตราส่วนปุ๋ย 100 กิโลกรัมในโตรเจนต่อไร่ การใส่ปุ๋ยเคมี (T8) จะมีปริมาณ Stemofoline มากที่สุด รองลงมาคือ มูลโค (T4) มูลสุกร (T6) และมูลไก่เนื้อ (T2) ตามลำดับ ส่วนรากหนอนตายหยากที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ย มีปริมาณ Stemofoline ปานกลาง

ดังนั้นในการปลูกหนอนตายหยากชนิด *Stemona curtisii* Hook เพื่อให้ได้สาร Stemofoline ปริมาณมาก จึงควรปลูกเป็นเวลา 1 ปี และใส่ปุ๋ยมูลสุกร 50 กิโลกรัมในโตรเจนต่อไร่ หรือใส่ปุ๋ยชนิดอื่น หรือไม่ใส่ปุ๋ยก็ได้ เนื่องจากไม่ทำให้ปริมาณ Stemofoline ต่างกันมากนัก

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thirapatsakun L, Phan-urai P. 1977. Bull Dept Med Sci ;19(4):217-27.
- [2] นันทวัน บุญยประภัศร และอรนุช โชคชัยเจริญพร, 2544. สมุนไพรไม้พื้นบ้าน(5). บริษัทประชาชน จำกัด. กรุงเทพฯ.
- [3] เต็ม สมิตินันท์. 2533. ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย. โรงพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัดพันธ์พิไลซึ่ง. กรุงเทพฯ. 515 หน้า.
- [4] Brigitte Brem et.al., 2002 . J.Agric.Food Chem., ครั้งที่ 50, น. 6383-6388.

การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำผิวดินโดยฟิล์มชีวภาพแบคทีเรีย

ประดัดรัฐ ประจันเขตต์¹ วรวิ หุมวราญี¹ วัชรพงษ์ วรเศรษฐพงษ์² และ สิริแข พงษ์สวัสดิ์¹

บทคัดย่อ ปัญหาการเน่าเสียของน้ำผิวดินในปัจจุบันมีเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ศึกษาฟิล์มชีวภาพแบคทีเรียในการกำจัดสารอินทรีย์เพื่อบำบัดน้ำผิวดิน โดยศึกษาการสร้างฟิล์มชีวภาพของแบคทีเรียที่ผิววัสดุตัวกลางพลาสติกและทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของฟิล์มชีวภาพแบคทีเรียที่เกิดขึ้น ผลการวิจัยพบว่าการสะสมของแบคทีเรียบนวัสดุตัวกลาง แบคทีเรียที่พบส่วนใหญ่เป็นแกรมบวก รูปท่อน สร้างเอนโดสปอร์ นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียแกรมลบ รูปท่อน ที่เจริญเป็นฟิล์มชีวภาพและมีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำได้ จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำในระบบทั้งทางกายภาพและเคมีบางประการ พบว่าค่า pH อยู่ในช่วง 5.31 – 7.51 ค่า DO อยู่ในช่วง 4.2 – 6.0 mg/L ค่า BOD อยู่ในช่วง 5.2 – 8.8 mg/L ค่า COD อยู่ในช่วง 80 – 276 mg/L และค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 468 – 680 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ฟิล์มชีวภาพแบคทีเรียที่เกิดขึ้นบนวัสดุตัวกลางมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำผิวดิน จึงทำให้น้ำในระบบบำบัดมีคุณภาพดีขึ้น แสดงให้เห็นว่าการใช้ฟิล์มชีวภาพแบคทีเรียเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาด้านการบำบัดน้ำเสียต่อไป

คำสำคัญ สารอินทรีย์ น้ำผิวดิน ฟิล์มชีวภาพ แบคทีเรีย

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาแหล่งน้ำผิวดิน (surface water) เกิดการเน่าเสียจนไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ มีสาเหตุเกิดจากการใช้แหล่งน้ำเป็นที่รองรับของเสียจากกิจกรรมต่างๆ ในการดำรงชีวิตและการประกอบอาชีพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน เช่น น้ำเสียจากบ้านเรือน ร้านค้า ตลาด โรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน สำนักงาน ซึ่งน้ำเสียในชุมชนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารอินทรีย์ (organic substance) [1] การบำบัดน้ำเสียในแหล่งน้ำจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้สามารถนำกลับมาใช้ในการอุปโภคบริโภคได้ นอกจากนี้สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือการบำบัดน้ำเสียก่อนการปล่อยลงสู่แหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติ [2]

โดยทั่วไปกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพใช้กำลังของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ กระบวนการบำบัดทางเคมีเป็นการกำจัดสารอินทรีย์และปรับสภาพความเป็นกรดด่าง ส่วนกระบวนการบำบัดทางชีวภาพเป็นการกำจัดสารอินทรีย์โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ วิธีการที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในทศวรรษที่ผ่านมาคือการทำให้จุลินทรีย์ในแหล่งน้ำธรรมชาติเพิ่มปริมาณในระบบบำบัดเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ โดยใช้วัสดุตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ (supporting media) เกิดเป็นฟิล์มชีวภาพ (biofilm) [3] ข้อดีของวิธีการดังกล่าว คือ จุลินทรีย์ในระบบจะมีปริมาณคงที่ ปฏิกิริยาการย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ดีและสม่ำเสมอ ระบบบำบัดสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมภายนอกได้ดี วัสดุตัวกลางในระบบจะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการยึดเกาะของ จุลินทรีย์ ป้องกันจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาฟิล์มชีวภาพแบคทีเรียในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำผิวดิน โดยศึกษาการสร้างฟิล์มชีวภาพของแบคทีเรียที่ยึดเกาะบนวัสดุ

¹ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

² ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: +66(2)-549-4180 โทรสาร :+66(2)-549- 4179

E-mail: pradabrat@rmutt.ac.th

ตัวกลางพลาสติกและทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของฟิล์มชีวภาพแบคทีเรียที่เกิดขึ้น

2. วิธีการวิจัย

2.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำผิวดินที่ระดับความลึก 1 เมตร จากคลองรังสิตที่ 6 ในเขตพื้นที่ ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี ปริมาตร 20 ลิตร (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แหล่งน้ำผิวดินบริเวณคลองรังสิตที่ 6

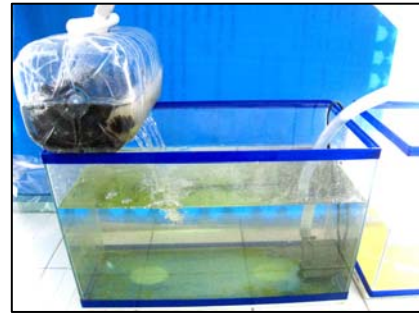
2.2 ระบบบำบัดและวัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง

ระบบบำบัดที่ใช้เป็นระบบหมุนเวียนน้ำ (recirculation)

ปริมาตรรวม 20 ลิตร ประกอบด้วยส่วนประกอบ คือ

- 1.) ถังเก็บน้ำ (reservoir) ซึ่งบรรจุน้ำปริมาตร 15 ลิตร
- 2.) ถังเลี้ยงฟิล์มชีวภาพ (biofilm reactor) ซึ่งบรรจุน้ำปริมาตร 5 ลิตร
- 3.) ลูกบอลชีวภาพ (bioball) ซึ่งเป็นวัสดุตัวกลางพลาสติก
- 4.) ปั๊มน้ำ (submerged filter pump) และสายยาง ความยาว 1 เมตร

ดำเนินระบบโดยการปั๊มน้ำไปรอบๆ วัสดุตัวกลางพลาสติกที่บรรจุอยู่ในถังเลี้ยงฟิล์มชีวภาพ จากนั้นเมื่อน้ำถูกกรองผ่านวัสดุตัวกลาง จากนั้นน้ำจะถูกไหลเวียนกลับลงสู่ถังเก็บน้ำอีกครั้ง (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ระบบบำบัดน้ำปริมาตร 20 ลิตร ขนาดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale)

2.3 ศึกษาการสร้างฟิล์มชีวภาพบนวัสดุตัวกลาง

ติดตามการเกิดฟิล์มชีวภาพแบคทีเรียโดยการสุ่มเก็บวัสดุตัวกลางในถังเลี้ยงฟิล์มชีวภาพทุก 48 ชั่วโมง นำมาแช่ใน 0.85 % NaCl ปราศจากเชื้อ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที นาน 15 นาที เพื่อแยกฟิล์มชีวภาพออกจากวัสดุตัวกลาง เจือจางสารละลายที่ได้จากการแช่ใน 0.85 % NaCl ปราศจากเชื้อ ให้ได้ความเจือจางที่เหมาะสม (10^{-1} – 10^{-8}) ปีเปดต์สารละลายแต่ละความเจือจางปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเทอาหาร Plate Count Agar ลงในจานเพาะเชื้อ ผสมให้เข้ากัน บ่มเลี้ยงที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 24 ชั่วโมง นับจำนวนเซลล์แบคทีเรียที่เจริญบนอาหาร Plate Count Agar (CFU/ml.)

2.4 ศึกษาพื้นฐานวิทยาของแบคทีเรีย

คัดแยกโคโลนีของแบคทีเรียที่เจริญบนอาหาร Plate Count Agar จากขั้นตอน 2.3 นำมาขีด (streak) บนอาหาร Nutrient Agar ให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ จากนั้นนำมาข้อมแกรมเพื่อศึกษารูปร่างของเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบ

2.5 ทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของฟิล์มชีวภาพ

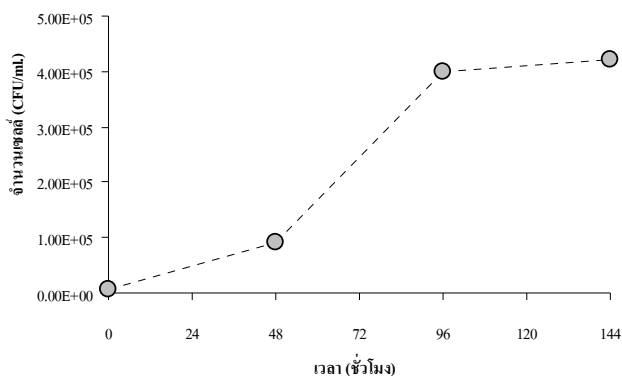
เมื่อฟิล์มชีวภาพแบคทีเรียเจริญบนวัสดุตัวกลางทำการทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ ทุก 24 ชั่วโมง โดยการเก็บตัวอย่างน้ำ นำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ดังต่อไปนี้

- วัดอุณหภูมิ โดยใช้ Thermo meter
 - วัดค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) โดยใช้ conductivity meter
 - วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH meter
 - วัดปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) โดยใช้ DO meter
 - วัดค่า BOD [4] วิเคราะห์โดย 5 Days incubation And azide modification of the Winkler method
 - วัดค่า COD โดยวิธี Closed reflux colorimetric [4]
- เปรียบเทียบผลการทดลองกับชุดควบคุม คือ ระบบบำบัดที่ไม่มีวัสดุตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 การสร้างฟิล์มชีวภาพบนวัสดุตัวกลาง

จากการตรวจวัดปริมาณเซลล์แบคทีเรียที่เจริญบนวัสดุตัวกลาง พบปริมาณแบคทีเรียอยู่ในช่วง 7.8×10^3 ถึง 4.2×10^5 CFU/ml. จากกราฟแสดงให้เห็นว่า เมื่อปล่อยตัวอย่างน้ำไหลผ่านวัสดุตัวกลางและพักน้ำในถังเลี้ยงฟิล์มชีวภาพจนท่วมวัสดุตัวกลางพบว่าจุลินทรีย์ในน้ำมีการยึดเกาะบนวัสดุตัวกลางอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาที่ 48 และ 96 โดยตรวจวัดปริมาณเซลล์ได้ 9.0×10^4 CFU/ml. และ 4.0×10^5 CFU/ml. ตามลำดับ จากนั้นการเจริญของแบคทีเรียมีแนวโน้มคงที่ (ภาพที่ 3)



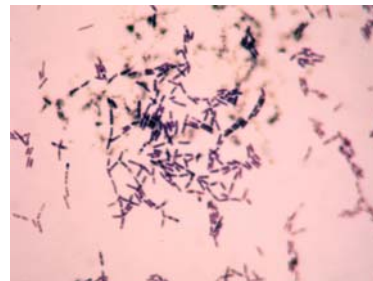
ภาพที่ 3 การเจริญของแบคทีเรียบนวัสดุตัวกลางในช่วงเวลาต่างๆ

3.2 ลักษณะวิทยาของแบคทีเรีย

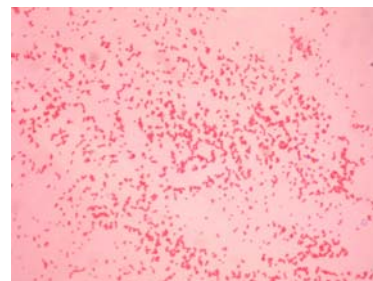
ลักษณะโคโลนีที่พบส่วนใหญ่เป็นโคโลนีสีขาว ขุ่น ขอบหยัก ผิวเรียบ และโคโลนีสีเหลือง มันวาว ขอบและผิวโคโลนีเรียบ เมื่อนำมาข้อมแกรม พบว่าในแหล่งน้ำมีทั้งแบคทีเรียแกรมบวก รูปท่อน สร้างเอนโดสปอร์ และแบคทีเรียแกรมลบ รูปท่อนสั้น (ภาพ 4)



ก)



ข)



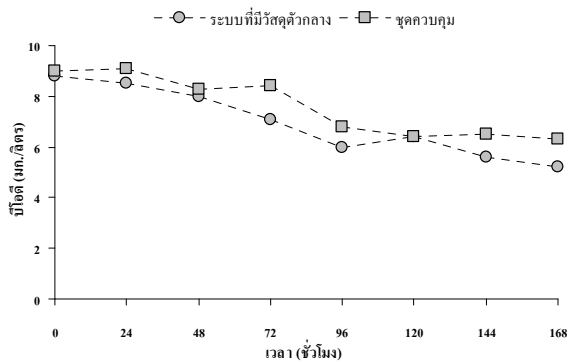
ค)

ภาพที่ 4 ก) โคโลนีที่เจริญบน Plate Count Agar ข) และ ค) รูปร่างเซลล์ของแบคทีเรียที่ตรวจพบในระบบ

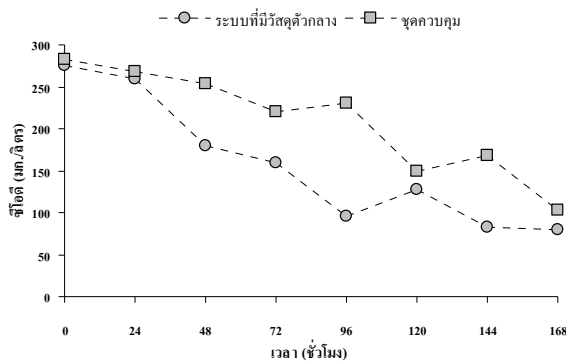
3.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของฟิล์มชีวภาพ

จากการศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ พบว่า อุณหภูมิของน้ำในระบบบำบัดที่มีวัสดุตัวกลาง อยู่ในช่วง $28 - 35$ °C ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ อยู่ในช่วง $468 - 680$ $\mu\text{s/cm}$. ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำ อยู่ในช่วง $5.31 - 7.51$ ปริมาณออกซิเจนละลาย

ในน้ำ อยู่ในช่วง 4.2 – 6.0 mg/L. ค่า BOD ตรวจวัดได้ ในช่วง 5.2 – 8.8 mg/L. (ภาพที่ 5) และค่า COD ตรวจวัดได้ในช่วง 80 – 276 mg/L. (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 5 ค่า BOD ของน้ำในระบบบำบัดในช่วงเวลาต่างๆ



ภาพที่ 6 ค่า COD ของน้ำในระบบบำบัดในช่วงเวลาต่างๆ

จากภาพที่ 5 และ 6 แสดงให้เห็นว่าค่า BOD และ COD มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยระบบบำบัดที่มีจุลินทรีย์ยึดเกาะอยู่บนวัสดุตัวกลางมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำได้มากกว่าชุดควบคุมซึ่งไม่มีวัสดุตัวกลางอยู่ในระบบ

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์โดยฟิล์มชีวภาพแบคทีเรียเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำผิวดิน พบว่าในแหล่งน้ำผิวดินบริเวณคลองรังสิตที่ 6 มีปริมาณ

แบคทีเรียอยู่ในช่วง $7.8 \times 10^3 - 4.2 \times 10^5$ CFU/ml. และพบว่าวัสดุตัวกลางในระบบบำบัดมีการสะสมของแบคทีเรียเกิดขึ้น เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ พบว่าฟิล์มชีวภาพแบคทีเรียที่เกิดขึ้นบนวัสดุตัวกลางมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ ที่ปนเปื้อนในน้ำผิวดินได้ ทำให้น้ำในระบบบำบัด มีคุณภาพดีขึ้น ดังนั้นการใช้ฟิล์มชีวภาพแบคทีเรียร่วมกับวัสดุตัวกลางจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้บำบัดน้ำเสีย ซึ่งแนวทางการศึกษาต่อไปในอนาคต ควรมีการเพิ่มขนาด (up scale) ระบบบำบัดให้สามารถรองรับน้ำเสียปริมาณมากขึ้น เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่จริงได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวด. 2538. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [2] ชงชัย พรรณสวัสดิ์ และ วิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิสักดิ์. 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- [3] V. Lazarova and J. Manem. 1995. Biofilm Characterization and Activity Analysis in Water and Wastewater Treatment. *Wat. Res.* Vol. 29, 10, pp. 2227-2245.
- [4] APHA, AWWA and WPCF. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. (18th ed.). Washington D.C., American Public Health Association.

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

การรู้จำใบหน้าแบบประมวลผลกราฟแสดงค่าความถี่ของระดับสีด้วยการใช้ คุณลักษณะทั้งใบหน้าและเฉพาะส่วน โดยใช้แบบจำลองเชิงเรขาคณิตสามเหลี่ยม ของตาและปากร่วมกับแบบจำลองใบหน้าเชิงเรขาคณิต

สมปอง เวฬุวนาธร¹ และ สุพจน์ นิตย์สุวัฒน์²

บทคัดย่อ— การพิสูจน์ทราบและระบุยืนยันตัวตนด้วยการรู้จำใบหน้าส่วนใหญ่จะใช้ภาพใบหน้าทั้งใบหน้าที่ในการรู้จำ แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการรู้จำยังไม่ดีเท่าที่ควร งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพ การพิสูจน์ทราบตัวตนด้วยการรู้จำใบหน้า โดยการใช้คุณลักษณะของใบหน้าทั้งใบหน้าที่ร่วมกับคุณลักษณะเฉพาะส่วน ของใบหน้าที่ด้วยแบบจำลองเชิงเรขาคณิตสามเหลี่ยมของตาและปากร่วมกับแบบจำลองใบหน้าเชิงเรขาคณิตในการค้นหา ตำแหน่งเฉพาะส่วนของใบหน้า 4 ส่วน คือ ตาซ้าย ตาขวา จมูก และปาก งานวิจัยนี้ใช้ภาพใบหน้า 110 ภาพ เพื่อการ เรียนรู้และทดสอบ การรู้จำใบหน้าใช้วิธีการประมวลผลกราฟแสดงค่าความถี่ของระดับสี พบว่าสามารถเพิ่ม ประสิทธิภาพการรู้จำมากขึ้น

คำสำคัญ การรู้จำใบหน้า แบบจำลองเชิงเรขาคณิตสามเหลี่ยมของตาและปาก แบบจำลองใบหน้าเชิงเรขาคณิต ประมวลผลกราฟแสดงค่าความถี่ของระดับสี

1. บทนำ

ปัจจุบันจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีระบบรักษา ความปลอดภัยสำหรับสถานที่ต่างๆ ซึ่งต้องใช้ระบบที่ สามารถพิสูจน์ทราบ และระบุยืนยันตัวตนได้ ระบบ รู้จำใบหน้า (Face Recognition) เป็นอีกระบบหนึ่งที่สามารถพิสูจน์ทราบและระบุยืนยันตัวตนได้ และ

ได้รับความนิยมในการนำมาประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัยตามสถานที่ต่างๆ เช่น ด้าน ตรวจคนเข้าเมือง สนามบิน ธนาคาร เป็นต้น

ซึ่งเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ไม่ปกติ ก็จะนำภาพ หลักฐานที่ได้จากการบันทึกเหตุการณ์ เช่น กล้องวิดีโอ วงจรปิด (CCTV) หรือภาพนิ่ง (Still Image) มา ประมวลผลในระบบรู้จำใบหน้าเพื่อให้ได้ภาพที่จะใช้ เป็นหลักฐานใกล้เคียงมากที่สุด งานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ ศึกษาและพัฒนาการแยกคุณลักษณะของภาพใบหน้า (Face Feature Extraction) ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วน หนึ่งของระบบรู้จำใบหน้า งานวิจัยทั่วไปที่ผ่านมาส่วน ใหญ่ใช้คุณลักษณะของใบหน้าทั้งใบหน้าที่อย่างเดียว (Global Face Feature) แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพ ในการรู้จำยังไม่ดีเท่าที่ควร ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาวิธีการ เพิ่มประสิทธิภาพการรู้จำโดยใช้คุณลักษณะของ ใบหน้าทั้งใบหน้าที่ร่วมกับคุณลักษณะเฉพาะส่วนของ ใบหน้า (Local Face Feature) เพิ่มอีก 4 ส่วน คือ ตา

¹คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนพิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

โทรศัพท์: +66(8)-1878-3182

E-mail: scsompva@hotmail.com

²ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนพิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ

กรุงเทพฯ 10800

โทรศัพท์: +66(2)-913-2500

E-mail: sns@kmutnb.ac.th

ซ้าย ตาขวา จมูก และปาก เป็นทั้งหมด 5 ส่วนเพื่อใช้ในการรู้จำให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบรู้จำใบหน้าแบบประมวลผลกราฟแสดงค่าความถี่ของระดับสีโดยใช้คุณลักษณะของใบหน้าทั้งใบหน้าร่วมกับคุณลักษณะเฉพาะส่วนของใบหน้าและเปรียบเทียบกับแบบใช้คุณลักษณะของใบหน้าทั้งใบหน้าเพียงอย่างเดียว โดยมีขอบเขตของการวิจัย ดังต่อไปนี้

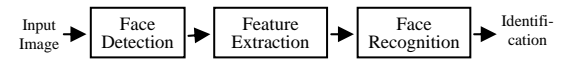
- ภาพที่ใช้ในการทดลองเป็นภาพนิ่งและเป็นภาพสี
- ภาพที่ใช้ในการทดลองเป็นภาพที่มีพื้นหลังไม่ซับซ้อน
- ภาพที่ใช้ในการทดลองเป็นภาพหน้าตรงและมีการแสดงออกทางอารมณ์ (Expression) บนใบหน้า เช่น ยิ้ม หัวเราะ พุด เป็นต้น
- ภาพที่ใช้ในการทดลองเป็นภาพที่มีสภาพแวดล้อมของแสงสว่างไม่เท่ากัน
- ภาพที่ใช้ในการทดลองเป็นภาพเดี่ยวของชายหรือหญิง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ระบบรู้จำใบหน้า

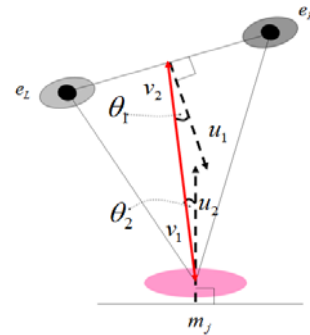
ระบบรู้จำใบหน้า [1], [2] มีองค์ประกอบหลักของการทำงานอยู่ 3 ส่วน คือ ส่วนแรกการค้นหาตำแหน่งของใบหน้า (Face Detection) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการค้นหาตำแหน่งของใบหน้าทั้งหมดในภาพ ส่วนที่สอง การแยกคุณลักษณะส่วนต่างๆ ของภาพใบหน้า (Feature Extraction) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการแยกคุณลักษณะต่างๆ บนภาพใบหน้าแล้วเก็บไว้ในฐานข้อมูลหรือเปรียบเทียบกับข้อมูลคุณลักษณะส่วนต่างๆ ของภาพใบหน้าในกรณีที่เป็นขั้นตอนของการค้นคืน และส่วนที่สาม คือการรู้จำใบหน้า (Face Recognition) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่นำข้อมูลคุณลักษณะส่วนต่างๆ ของภาพใบหน้าที่ได้จากส่วนที่สอง มาทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลคุณลักษณะส่วนต่างๆ ของ

ภาพใบหน้าในฐานข้อมูล แล้วแสดงผลภาพใบหน้าที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงองค์ประกอบหลักของการทำงานของระบบรู้จำใบหน้า

2. แบบจำลองเชิงเรขาคณิตสามเหลี่ยมของตาและปาก (Geometry model of an eye-mouth triangle)



ภาพที่ 2 แสดงแบบจำลองเชิงเรขาคณิตสามเหลี่ยมของตาและปาก

$$OW(e_L, e_R, m_j) = \prod_{r=1}^2 \exp(-3(1 - \cos^2(\theta_r))) \quad (1)$$

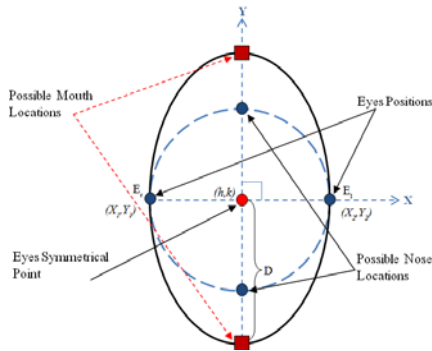
$$\theta_r = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{u}_r \cdot \vec{v}_r}{\|\vec{v}_r\|} \right) \quad (2)$$

แบบจำลองเชิงเรขาคณิตสามเหลี่ยมของตาและปาก [3] ประกอบด้วย สามจุด คือ ตาซ้าย (e_L) ตาขวา (e_R) และปาก (m_j) ให้ v_1 และ v_2 เป็นเวกเตอร์ระหว่างจุดกึ่งกลางของ $e_L e_R$ กับ m_j ที่ $v_1 = -v_2$ ซึ่งแสดงความเอียงของสามเหลี่ยม ให้ u_1 เป็นเวกเตอร์ที่มีต้นกำเนิดที่จุดกึ่งกลางของ $e_L e_R$ ที่ตั้งฉากกับเวกเตอร์ $\vec{e_L e_R}$ และให้ u_2 เป็นเวกเตอร์ที่มีต้นกำเนิดที่ m_j ที่ตั้งฉากกับแนวราบ ให้ θ_1 และ θ_2 เป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ $u_1 v_1$ และ $u_2 v_2$ ตามลำดับ ซึ่งจากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าถ้า θ_1 มีขนาดเข้าใกล้ 0 มุมที่จุดยอด e_L และ e_R จะมีขนาดใกล้เคียงกันและจะเท่ากันเมื่อ θ_1 เท่ากับ 0 และถ้า θ_1 และ θ_2 มีขนาดเข้าใกล้ 0 สามเหลี่ยมจะค่อยๆ มีสมมาตรจนเป็นสามเหลี่ยมหน้าจั่วเมื่อ $\theta_1 = \theta_2 = 0$ ซึ่งในสมการที่ (1) เป็นการหาน้ำหนักของสามเหลี่ยมที่มีความเอียงน้อยที่สุด

3. แบบจำลองใบหน้าเชิงเรขาคณิต (Geometric Face Model)

แบบจำลองใบหน้าเชิงเรขาคณิต เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นักวิจัยหลายคนนำมาประยุกต์ใช้ในการช่วยหาคำแหน่งต่างๆ บนภาพใบหน้า Cheddad et al. [4] ได้ใช้เทคนิคนี้ในการคำนวณหาคุณลักษณะเฉพาะส่วนของใบหน้าคือ ตา ปาก และจมูก จากภาพโทนสีเทา แล้วใช้ Distance Transform ในการแยกคุณลักษณะเฉพาะส่วน ทำให้สามารถบอกตำแหน่งของ ตา ปากและจมูกได้อย่างแม่นยำ และไม่ขึ้นอยู่กับทิศทาง การหมุนภาพและขนาดของใบหน้า

แบบจำลองใบหน้าเชิงเรขาคณิต ประกอบด้วย วงกลมและวงรี ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงแบบจำลองใบหน้าเชิงเรขาคณิต

จุดตัดของวงกลมและวงรีจะเป็นส่วนในการหาคำแหน่งของตา จมูก และปาก ดังนี้

- ระยะห่างระหว่างจุดตัดบนแกน X ของวงกลมและวงรีทั้งสองจุด (E_r และ E_l) หาได้จากสมการ

$$\overline{E_r E_l} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (3)$$

- จุดกึ่งกลางระหว่างจุดตัดบนแกน X ของวงกลมและวงรี (h, k) หาได้จากสมการ

$$(h, k) = \left(\frac{(X_2 - X_1)}{2}, \left(\frac{(Y_2 - Y_1)}{2} \right) \right) \quad (4)$$

- จุดตัดบนแกน X ของวงกลมและวงรี คือ ตำแหน่งของตาซ้ายและตาขวา

- จุดตัดบนแกน Y ของวงรีที่ตั้งฉากกับแกน X ด้วยระยะห่างเท่ากับ D คือ ตำแหน่งของปาก ซึ่งมีโอกาสเป็นได้ทั้งจุดบนและจุดล่าง

- จุดตัดบนแกน Y ของวงกลม ด้วยระยะห่าง 0.6D คือ ตำแหน่งของจมูก ซึ่งมีโอกาสเป็นได้ทั้งจุดบนและจุดล่าง

จุดค้อยของแบบจำลองใบหน้าเชิงเรขาคณิตคือ ต้องทราบตำแหน่งของตาทั้งสองข้างมาก่อนแล้ว จึงจะสามารถคำนวณหาตำแหน่งของจมูกและปากได้

4. ประมวลผลกราฟแสดงค่าความถี่ของระดับสี (Histogram processed)

การประมวลผลกราฟแสดงค่าความถี่ของระดับสี [5], [6] เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในระบบรู้จำใบหน้า เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อนแต่ให้ผลการรู้จำได้ดี อาศัยหลักการทำงานของการหาค่าความถี่ของแต่ละระดับสีของแต่ละภาพ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการแปลงจากภาพสีให้เป็นโทนสีเทา จึงมีระดับสีเทาเป็น 256 ระดับ จากนั้นคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความถี่ 9 ความถี่ที่ต่อเนื่องกัน ทั้งหมด 29 ช่วง คือ 1-9, 10-18, ..., 248-256 แล้วหาค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วง เก็บลงในฐานข้อมูลไว้สำหรับเรียนรู้

ส่วนขั้นตอนของการทดสอบก็จะทำการหาค่าความถี่ของแต่ละระดับสีของภาพใบหน้าทดสอบ จากนั้นคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความถี่ 9 ความถี่ที่ต่อเนื่องกัน ทั้งหมด 29 ช่วง แล้วหาค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วง เก็บเป็นข้อมูลภาพใบหน้าทดสอบ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพใบหน้ากลุ่มเรียนรู้

ในการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อมูลภาพใบหน้าทดสอบกับข้อมูลภาพใบหน้ากลุ่มเรียนรู้นั้น จะหาข้อมูลภาพใบหน้าจากกลุ่มเรียนรู้ที่มีค่าความต่างน้อยที่สุดมาแสดงผลการรู้จำ

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Basavaraj et al. [7] ใช้เทคนิคของแบบจำลองเชิงเรขาคณิต ในการคำนวณหาคุณลักษณะเฉพาะส่วนของใบหน้าคือ ตา ปาก จมูก คาง และหู ซึ่งสามารถเพิ่ม

ประสิทธิภาพการหาคุณลักษณะเฉพาะส่วนของใบหน้าได้มากขึ้นกว่าเดิม 8% Khan et al. [8] ใช้เทคนิคของ Wavelet transform และ Binary threshold ในการหาตำแหน่งและพื้นที่ของตา และปาก แล้วใช้ Geometrical information หาตำแหน่งจมูก ซึ่งทำให้สามารถหาได้ทั้งในภาพที่สวมแว่นตา ปิดตา และการแสดงอารมณ์ด้วยตาและปาก

Elham Bagherian et al. [9] ใช้เทคนิคแบบจำลองเชิงเรขาคณิตในการหามุม (Corner detection) ของตา จมูกและปากจากภาพนิ่ง เพื่อจำแนกการแสดงอารมณ์ทางใบหน้า 4 อารมณ์ คือ ปกติ เศร้า มีความสุข และประหลาดใจ ซึ่งสามารถหาได้ทั้งหน้าตรง หน้าเอียง และหลายอารมณ์

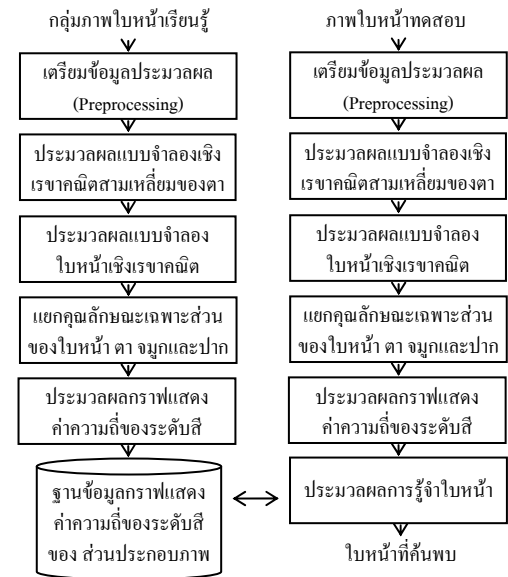
Mohammad H. Mahoor et al. [10] ได้ปรับปรุงเทคนิค Active Shape Model (ASM) เพื่อใช้กับคุณลักษณะเฉพาะส่วนของใบหน้า โดยใช้ Color Information หาตำแหน่งกึ่งกลางของตาและปากเพื่อแก้ไขปัญหาการ Initialize ของ Shape Model ซึ่งเป็นปัญหาหลักของ ASM ทำให้ ASM ทำงานได้แม่นยำและถูกต้องมากกว่าเดิม

Yu et al. [11] ใช้เทคนิค Fourier transform หาพื้นที่ส่วนที่เป็นคุณลักษณะของใบหน้าทั้งใบหน้า และใช้เทคนิคของ Gabor wavelet transform หาพื้นที่ส่วนที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะส่วนของใบหน้าเพื่อใช้ในการรู้จำร่วมกันทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการรู้จำมากขึ้น

Chengzhi et al. [12] ใช้เทคนิคของ Active Shape Model มาปรับปรุงให้เป็น Enhanced Active Shape Model เพื่อใช้ในการหาคุณลักษณะของใบหน้าทั้งใบหน้าและคุณลักษณะเฉพาะส่วนของใบหน้า ทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม แต่ทำให้การประมวลผลซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

2. วิธีการวิจัย

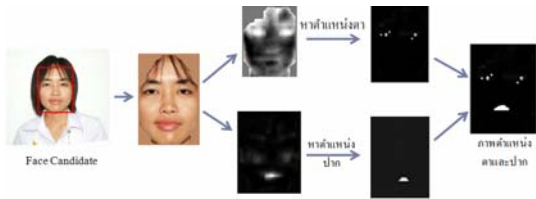
วิธีการดำเนินการวิจัยของการรู้จำใบหน้าแบบใช้คุณลักษณะทั้งใบหน้าและเฉพาะส่วนด้วยแบบจำลองเชิงเรขาคณิตสามเหลี่ยมของตาและปากร่วมกับแบบจำลองเชิงเรขาคณิต มีขั้นตอนดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลประมวลผล (Preprocessing)

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลภาพใบหน้า ITSCUBU ของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ขนาด 480x360 พิกเซล จำนวน 250 ภาพ มีทั้งชายและหญิง หนึ่งคนมีหลายภาพ แต่ละคนมีจำนวนภาพไม่เท่ากัน บางภาพมีการแสดงอารมณ์ทางใบหน้า เช่น ยิ้ม หัวเราะ และพูด เป็นต้น เป็นภาพโทนสี นำภาพทั้งหมดมาประมวลผลคัดแยกสีผิว (Skin Classifiers) ด้วยแบบจำลองของเกาส์แบบเดี่ยว (Single Gaussian Model) เพื่อหาตำแหน่งใบหน้า จากนั้น ทำการหาตำแหน่งความน่าจะเป็นของตาและปากด้วยเทคนิคคณิตศาสตร์มอร์โฟโลจิก (Mathematical Morphology) ดังแสดงในภาพที่ 5

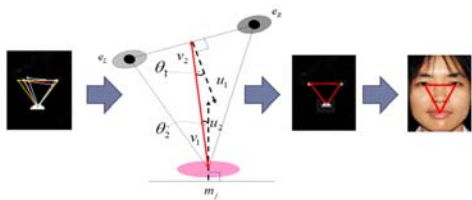


ภาพที่ 5 แสดงการหาตำแหน่งความน่าจะเป็นของตาและปากด้วยเทคนิคคณิตศาสตร์มอร์โฟโลจิก

จะได้ตำแหน่งความน่าจะเป็นของตาและปากซึ่งอาจมีค่ามากกว่าสองจุดและตำแหน่งที่คาดว่าจะเป็นปากอาจมีมากกว่าหนึ่งจุดดังนั้นจึงต้องนำไปประมวลผลด้วยแบบจำลองเชิงเรขาคณิตสามเหลี่ยมของตาและปากในขั้นตอนต่อไป

2.2 ประมวลผลแบบจำลองเชิงเรขาคณิตสามเหลี่ยมของตาและปาก

ในขั้นตอนนี้จะทำการสร้างสามเหลี่ยมระหว่างจุดที่คาดว่าจะเป็นตากับปากทั้งหมด แล้วนำแต่ละสามเหลี่ยมมาคำนวณหาน้ำหนักความสัมพันธ์ (Correlation) ของดวงตาในแต่ละสามเหลี่ยมกับข้อมูลตัวอย่างค่าเฉลี่ยของภาพดวงตาและน้ำหนักความเอียงของสามเหลี่ยมที่ได้จากสมการที่ (1) รวมเป็นน้ำหนักในการเลือกสามเหลี่ยมตาและปาก โดยเลือกสามเหลี่ยมที่มีค่ามากที่สุดเป็นสามเหลี่ยมที่เหมาะสมที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงการหาตำแหน่งตาและปากด้วยแบบจำลองเชิงเรขาคณิตสามเหลี่ยมของตาและปาก

เมื่อผ่านขั้นตอนนี้แล้วจะได้สามเหลี่ยมที่บอกระยะห่างของตาทั้งสองข้างและปากได้ ซึ่งในส่วนของการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของปากที่ได้จากการประมวลผลนั้น มีโอกาสที่จะเอียงซ้ายหรือเอียงขวาบ้าง ดังแสดงในภาพที่ 7 เนื่องจากลักษณะของปากมีความกว้างกว่าตา ดังนั้น จึงต้องมีการปรับปรุงตำแหน่ง

ของปากใหม่และหาตำแหน่งของจมูกเพิ่มอีกด้วยแบบจำลองใบหน้าเชิงเรขาคณิตในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 7 แสดงภาพตัวอย่างที่ได้จากการประมวลผลเชิงเรขาคณิตสามเหลี่ยมตาและปาก

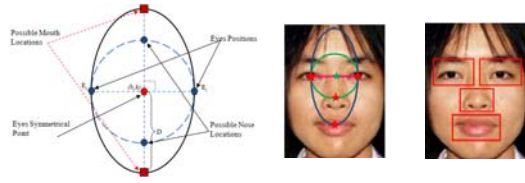
2.3 ประมวลผลแบบจำลองใบหน้าเชิงเรขาคณิต

นำภาพใบหน้าที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองเชิงเรขาคณิตสามเหลี่ยมของตาและปากขนาด 120x 160 พิกเซล จำนวน 110 ภาพ 22 คน คนละ 5 ภาพ มีทั้งชายและหญิง บางภาพมีการแสดงอารมณ์ทางใบหน้า เช่น ยิ้ม หัวเราะ และพูด เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 9 มาประมวลผลด้วยแบบจำลองใบหน้าเชิงเรขาคณิต เพื่อคำนวณหาตำแหน่งของปากและจมูกโดยสร้างความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากตำแหน่งของตาทั้งสองข้างตามขั้นตอน ดังนี้

- หาจุดกึ่งกลางระหว่างตำแหน่งตาทั้งสองข้าง
- สร้างวงกลมโดยมีรัศมีเป็นครึ่งหนึ่งของระยะห่างระหว่างตาทั้งสองข้าง จะได้จุดตัดบนแกน Y ของวงกลม กำหนดให้เป็นตำแหน่งของจมูกซึ่งมีโอกาสเป็นไปได้ทั้งจุดบนและจุดล่าง แต่ในการทดลองนี้ใช้เป็นภาพแบบหน้าตรงจึงใช้จุดด้านล่างเพียงจุดเดียวมาพิจารณา

- สร้างวงรีโดยให้แกนโท (ตามแนวแกน X) มีความยาวเท่ากับระยะห่างระหว่างตาทั้งสองข้างและแกนเอก (ตามแนวของแกน Y) มีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของระยะห่างของตาทั้งสองข้างหารด้วย 0.6 จะได้จุดตัดบนแกน Y ของวงรี กำหนดให้เป็นตำแหน่งของปาก ซึ่งมีโอกาสเป็นไปได้ทั้งจุดบนและจุดล่างเช่นเดียวกับจมูก

- ใช้ตำแหน่งพิกัดต่างๆ ที่คำนวณได้เป็นจุดศูนย์กลางในการแยกส่วนประกอบของภาพใบหน้า ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงตำแหน่งของจมูกและปากที่คำนวณได้จากแบบจำลองใบหน้าเชิงเรขาคณิต

2.4 แยกคุณลักษณะเฉพาะส่วนของใบหน้า ตา จมูก และปาก

เมื่อได้ตำแหน่งของตา จมูกและปากแล้ว ในขั้นตอนนี้จึงได้ทำการแยกคุณลักษณะเฉพาะส่วนของใบหน้าออกเป็น 4 ส่วน คือ ตาซ้าย ตาขวา จมูก และปาก ดังแสดงในภาพที่ 10 รวมกับภาพใบหน้าทั้งใบหน้าอีก 1 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 9 นำคุณลักษณะทั้ง 5 ส่วนมาประมวลผลกราฟแสดงค่าความถี่ของระดับสี แล้วเก็บเป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการเรียนรู้และทดสอบการรู้จำ



ภาพที่ 9 แสดงภาพตัวอย่างใบหน้าทั้งใบหน้า

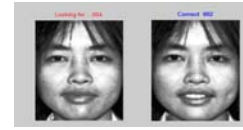


ภาพที่ 10 แสดงภาพตัวอย่างคุณลักษณะเฉพาะส่วนของใบหน้า ตา จมูก และปาก

2.5 การทดสอบการรู้จำใบหน้า

ทดสอบการรู้จำใบหน้าแบบประมวลผลกราฟแสดงค่าความถี่ของระดับสี โดยการเลือกภาพที่ต้องการทดสอบทีละ 1 ภาพ ส่วนภาพใบหน้าที่เหลือเป็นภาพใบหน้าสำหรับกลุ่มเรียนรู้ ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ คือ ทดสอบแบบใช้คุณลักษณะของใบหน้าทั้งใบหน้าเพียงอย่างเดียวและทดสอบแบบใช้คุณลักษณะของใบหน้าทั้งใบหน้าร่วมกับคุณลักษณะเฉพาะส่วนของใบหน้าอีก 4 ส่วน ทั้งสองแบบทำการประมวลผลเปรียบเทียบใบหน้า

ทดสอบกับกลุ่มภาพใบหน้าเรียนรู้ในฐานข้อมูล จะได้ผลลัพธ์ภาพใบหน้าที่มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 11 และภาพที่ 12 ตามลำดับ

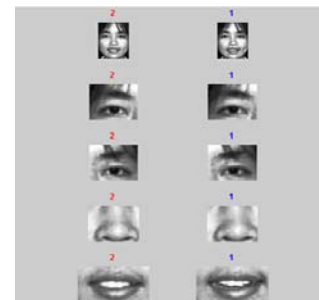


ภาพที่ 11 แสดงผลการทดสอบการรู้จำใบหน้าแบบใช้คุณลักษณะของใบหน้าทั้งใบหน้าเพียงอย่างเดียว

3. ผลและการอภิปรายผล

จากการทดลองประมวลผลข้อมูลภาพใบหน้าเพื่อหาตำแหน่งของตาและปากด้วยแบบจำลองเชิงเรขาคณิตสามเหลี่ยมของตาและปาก จำนวน 250 ภาพ มีอัตราความถูกต้อง 98.4%

ส่วนการทดลองการรู้จำใบหน้า เมื่อนำภาพใบหน้ามาทดสอบทีละภาพ จากจำนวนทั้งหมด 110 ภาพ ผลการทดลองการรู้จำใบหน้าแบบประมวลผลกราฟแสดงค่าความถี่ของระดับสี แบบใช้คุณลักษณะของใบหน้าทั้งใบหน้าเพียงอย่างเดียว มีอัตราความถูกต้อง 70.90 % และผลการทดลองการรู้จำใบหน้าแบบประมวลผลกราฟแสดงค่าความถี่ของระดับสีแบบใช้คุณลักษณะของใบหน้าทั้งใบหน้าร่วมกับคุณลักษณะเฉพาะส่วนของใบหน้าอีก 4 ส่วน มีอัตราความถูกต้อง 79.09 %



ภาพที่ 12 แสดงผลการทดสอบการรู้จำใบหน้าแบบใช้ลักษณะของใบหน้าทั้งใบหน้าและเฉพาะส่วน

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองการรู้จำใบหน้าแบบใช้คุณลักษณะของใบหน้าทั้งใบหน้าเพียงอย่างเดียวเปรียบเทียบกับ การรู้จำใบหน้าแบบใช้คุณลักษณะของใบหน้าทั้ง ใบหน้าร่วมกับคุณลักษณะเฉพาะส่วนของใบหน้าอีก 4 ส่วน พบว่าการรู้จำใบหน้าแบบใช้คุณลักษณะของ ใบหน้าทั้งใบหน้าร่วมกับคุณลักษณะเฉพาะส่วนของ ใบหน้าอีก 4 ส่วน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการ รู้จำมากขึ้น 8.19 %

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Liu, S.-S., Y.-T. Tian, and D. Li. 2009. New research advances of facial expression recognition. *Machine Learning and Cybernetics, 2009 International Conference.* 2, 1150 - 1155.
- [2] Zhao, W., R. Chellappa, P.J. Phillips, and A. Rosenfeld. 2003. Face recognition: A literature survey. *ACM Comput. Surv.* 35, 399-458
- [3] R.-L. Hsu. 2002. Face Detection and Modeling for Recognition. *Ph.D. Thesis, Dept. of Computer Science & Engineering, Michigan State University.*
- [4] Cheddad, A., D. Mohamad, and A.A. Manaf. 2008. Exploiting Voronoi diagram properties in face segmentation and feature extraction. *Pattern Recognition.* 41, 3842-3859.
- [5] Swain, M.J., Ballard and D.H. 1990. Indexing Via Color Histograms. *Proceedings, Third International Conference on Computer Vision (ICCV).* 390 – 393.
- [6] Fazl-e-Basit, Javed M.Y. and Qayyum U. 2007. Face Recognition using Processed Histogram and Phase-Only Correlation (POC). *International Conference on ICET 2007.* 242-238.
- [7] Basavaraj, A., and P. Nagaraj. 2006. The Facial Features Extraction for Face Recognition Based on Geometrical Approach. *Electrical and Computer Engineering, 2006. CCECE '06. Canadian Conference.* 1936-1939.
- [8] Khan, A., and I. Ihtesham Ul. 2008. A Novel Method for Facial Features Extraction Using Bilateral Filtering and Wavelet Transform. *in Convergence and Hybrid Information Technology, 2008. ICCIT '08. Third International Conference.* 887-892.
- [9] Elham Bagherian, R.W.R., Nur Izura Udzir. 2009. Extract of Facial Feature Point. *International Journal of Computer Science and Network Security.* 9, 49-53.
- [10] Mohammad H. Mahoor , M.A.-m., A-nasser Ansari 2006. Improved Active Shape Model for Facial Feature Extraction in Color Images. *Journal of multimedia.* 1, 21-28.
- [11] Yu, S., S. Shiguang, C. Xilin, and G. Wen. 2009. Hierarchical Ensemble of Global and Local Classifiers for Face Recognition. *Image Processing, IEEE Transactions.* 18, 1885-1896.
- [12] Chengzhi, S., and X. Mei. 2008. An enhanced Active Shape Model for facial features extraction. *Communication Technology, 2008. ICCT 2008. 11th IEEE International Conference.* 661-664.

ความเป็นไปได้ในการนำตะกอนดินจากน้ำประปามาผสมกับมอร์ตาร์ซีเมนต์

อูธร หนูแก้ว อติสรณ์ พงษ์สุวรรณ¹ และ สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ¹

บทคัดย่อ— วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาการนำตะกอนดินมาผสมกับมอร์ตาร์ซีเมนต์ เพื่อหาสัดส่วนที่เป็นไปได้ในการนำไปผลิตบล็อกมวลเบา ซึ่งทำการทดสอบโดยการนำตะกอนดินมาใช้ผสมกับมอร์ตาร์ซีเมนต์ ในสัดส่วน 1 : 3 , 1 : 4 และ 1 : 5 โดยน้ำหนัก โดยผสมน้ำที่สภาพขีดจำกัดเหลวของดิน เท่ากับร้อยละ 60.15 ในทุกสัดส่วน เติมฟองอากาศเทียบกับปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 40 , 50 , และ 60 บ่มที่ 3 , 14 , 28 และ 56 วัน จากนั้นทำการทดสอบกำลังอัด ประลัย และการดูดซึมน้ำตามเกณฑ์มาตรฐานของ มอก. 1505 – 2541 [1] จากผลทดสอบพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของมอร์ตาร์ในงานวิจัยนี้ คือ สัดส่วนเท่า 1:3 และ เติมฟองอากาศร้อยละ 50 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 109.61 กก./ตร.ซม. มีความหนาแน่นอยู่ที่ 921 กก./ลบ.ม. และการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 402.5 กก./ลบ.ม. โดยสัดส่วนดังกล่าวมีคุณสมบัติผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานของ มอก. 1505 – 2541 [1] ที่ชั้นคุณภาพที่ 8 ชนิดที่ 1 กำหนดค่ากำลังอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 101.94 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ยอยู่ที่ 910 ถึง 1000 กก./ลบ.ม. และอัตราการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 500 กก./ลบ.ม. ผลทดสอบในงานวิจัยนี้เห็นได้ว่า ตะกอนดินจากน้ำประปามีความเป็นไปได้ในการนำไปผลิตบล็อกมวลเบาในขั้นตอนต่อไป

คำสำคัญ บล็อกมวลเบา ตะกอนดิน กำลังอัดประลัย

1. บทนำ

การผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำประปาบางเขนจะมีตะกอนประปาดักจากกระบวนการผลิตวันละประมาณ 300 ตันแห้งในฤดูแล้ง และ 700 ตันแห้งในฤดูฝน ซึ่งดินตะกอนที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำประปา เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในน้ำดิบกับสารเคมีที่เติมลงไปในการสร้างตะกอน เช่น สารส้ม ซึ่งระบายออกจากถังตะกอนเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดปัญหาในการจัดการและการกำจัด ทั้งในด้านพื้นที่ที่จำเป็นต้องใช้ในการกำจัด เช่น การใช้บ่อกักตะกอน (Sludge lagoon) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการหากสามารถนำดินตะกอนเหล่านี้กลับไปใช้ประโยชน์ได้ ย่อมเป็นการลดปัญหาของการ

จัดการตะกอน รวมทั้งลดต้นทุนการผลิตน้ำประปาได้อีกส่วนหนึ่ง ในปัจจุบัน ได้มีแนวความคิดในการใช้ประโยชน์จากดินตะกอนของระบบผลิตน้ำประปาอยู่หลายรูปแบบ เช่น การนำไปใช้ในการปลูกพืช การผลิตเครื่องปั้นดินเผา และอื่นๆ แต่ละแนวทางอาจประสบปัญหากับคุณสมบัติเฉพาะของดินตะกอนที่ไม่เหมาะสม เช่น มีการหดตัวสูงความเหนียวต่ำ กำลังการรับแรงเปลี่ยนแปลงตามความชื้น นอกจากนี้ยังพบว่า การนำดินตะกอนไปใช้ในการปลูกพืชโดยตรงมีปัญหาด้านปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอในการใช้งานต้องนำไปผสมกับปุ๋ยเพิ่ม ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ในรูปแบบนี้ไม่มีความเหมาะสมมากนัก ปัจจุบันสามารถกล่าวได้ว่างานทางด้านวิศวกรรมโยธาเกือบทุกประเภทจะมีคอนกรีตเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเสมอ เนื่องจากคอนกรีตมีคุณสมบัติที่สามารถกำหนดความแข็งแรงได้ และสามารถหล่อเป็นรูปร่างลักษณะและขนาด ตามความต้องการได้โดยง่าย แต่ข้อเสียของคอนกรีต คือ มีน้ำหนักมาก ซึ่งยังไม่เหมาะสมนักกับการใช้งานใน

¹ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนพิบูลสงคราม แขวง
วงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
โทรศัพท์: +66(2)-913-2500 ต่อ 6511

ส่วนของโครงสร้างที่มีความต้องการรับแรงอัดน้อย วิศวกรจึงได้พยายามหาทางในการแก้ไขปัญหาดังนี้ ได้มีการคิดค้นที่จะหาวัสดุที่มีน้ำหนักเบา แต่ยังสามารถรับแรงอัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เพื่อนำไปใช้กับส่วนของอาคารที่รับแรงน้อย เช่น กำแพง ผนัง โดยปกติแล้วคอนกรีตเบาจะมีน้ำหนักอยู่ ระหว่าง 300 – 1,400 กก./ลบ.ม. ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้และมวลรวมที่ใช้ วัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตเบาจะเป็นวัสดุผสมนำเข้ามาจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น ถ้าสามารถนำวัสดุผสมที่มีอยู่ในประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นวัสดุเหลือใช้หรือสามารถหาได้ง่าย อย่างเช่น ตะกอนดินมาทดแทนโดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมแล้ว จะสามารถทำให้น้ำหนักของคอนกรีตลดลงได้หากค่าความแข็งแรงและคุณสมบัติต่างๆ ภายหลังจากการผสม อยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ก็น่าที่จะสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุ ก่อสร้างได้ตามความเหมาะสมต่อไปได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติ พื้นฐานของดินตะกอน และศึกษาแนวทางและความ เป็นไปได้ในการนำดินตะกอนไปใช้ในอุตสาหกรรม ก่อสร้าง โดยการหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำบล็อก มวลเบา ในขั้นตอนต่อไป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์ ซีเมนต์ผสมตะกอนดินจากน้ำประปาในอัตราส่วนผสม ต่างๆ โดยใช้เกณฑ์ตาม มอก. 1505-2541 [1]

2.2 ทำให้ทราบสัดส่วนที่เหมาะสมของมอร์ตาร์ ซีเมนต์ผสมตะกอนดินจากน้ำประปาที่มีความเป็นไปได้ ในการทำบล็อกมวลเบา ในขั้นตอนต่อไป

2. วิธีการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่ใช้การทดสอบ ใช้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตาม มอก. 15 เล่ม 1-2532 [2]

2. ตะกอนดินได้ตัวอย่างจากลานตากตะกอน C ของโรงผลิตน้ำประปาบางเขน ลักษณะจะเป็นก้อน ต้อง นำมาทุบ ให้ตะกอนดินมีขนาดเล็กลงแล้วจึงนำไปร่อน ผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ตาม ASTM C 33-99 [3]

3. สารกักกระจายฟองอากาศ

4. ถังผสมฟองอากาศ (ภาพที่ 1)

5. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า

6. เครื่องผสมไฟฟ้า ที่มีความเร็ว 140 - 285 รอบ/วินาที โดยหม้อผสมเป็นโลหะที่ไม่เกิดสนิมมีความจุ 4.73 ลิตร

7. แบบหล่อทองเหลือง ขนาดมาตรฐาน ASTM C 109 / C 109 M-99 [4] ขนาด 50 x 50 x 50 มม. (ภาพที่ 2)

8. คู่มือไฟฟ้า

9. เครื่องทดสอบกำลังอัดประลัย



ภาพที่ 1 ถังผสมฟองอากาศ



ภาพที่ 2 แบบหล่อทองเหลือง ขนาดมาตรฐาน ASTM C 109 / C 109 M-99 [4]

อัตราส่วนผสม

1. อัตราส่วนในการผลิตมอร์ตาร์ซีเมนต์ผสมตะกอนดินจากน้ำประปาโดยทั่วไปจะมีค่าเท่ากับ 1:7 (ปูนซีเมนต์ : มวลรวมละเอียด) งานวิจัยนี้จะนำตะกอนดินจากน้ำประปามาแทนที่มวลรวมละเอียด ที่ (ปูนซีเมนต์ : มวลรวมละเอียด) 1 : 3 , 1 : 4 , และ 1 : 5

2. ในแต่ละอัตราส่วนของมอร์ตาร์ผสมน้ำที่สภาพขีดจำกัดเหลวของดิน เท่ากับร้อยละ 60.15 ในทุกสัดส่วน

3. ตัวอย่างการทดสอบเติมฟองอากาศร้อยละ 40 , 50 , และ 60 ในแต่ละอัตราส่วนตามลำดับ

4. ตัวอย่างการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ใช้ระยะเวลาการบ่ม 3 , 14 , 28 และ 56 วัน

วิธีการทดสอบมอร์ตาร์

ทดสอบการรับกำลังอัดประลัยและการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ จะทดสอบที่อายุ 3, 14, 28 และ 56 วัน ของมอร์ตาร์ (ภาพที่ 3) โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

ก. การทดสอบกำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ มีวิธีเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 109 / C 109 M-99 [4] ทดสอบเพื่อหาลำดับอัดประลัยต่อพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ มีหน่วยเป็น กก./ตร.ซม.

ข. การทดสอบหาความหนาแน่นแห้งในอากาศของมอร์ตาร์ ทำได้โดยคิดจาก น้ำหนักต่อปริมาตร ของตัวอย่างมอร์ตาร์แห้งในอากาศ

ค. การทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ มีวิธีเป็นไปตาม ASTM C 127-88 [5] ทดสอบเพื่อหาอัตรา

การดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบ โดยทั้งสามกรณีค่าที่ได้ต้องผ่านเกณฑ์มอก. 1505-2541 [1]

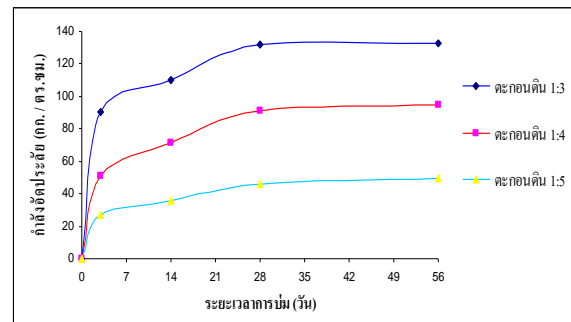


ภาพที่ 3 ตัวอย่างทดสอบมอร์ตาร์

3. ผลและการอภิปรายผล

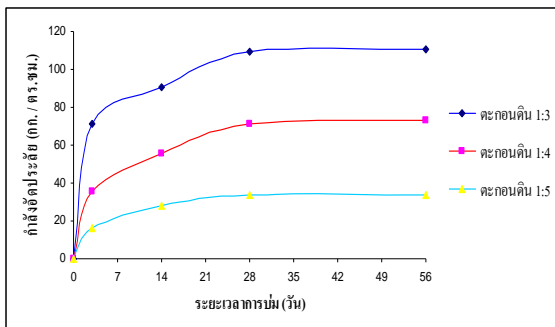
3.1 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์

การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ เป็นการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกมวลเบา ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำปูนซีเมนต์ผสมกับตะกอนดินที่สัดส่วน 1:3, 1:4 และ 1:5 ตามลำดับ และใช้อัตราส่วนน้ำเท่ากับขีดจำกัดเหลวของดิน โดยน้ำหนัก และเติมฟองอากาศร้อยละ 40 50 และ 60 ในแต่ละอัตราส่วนตามลำดับ โดยแสดงรายละเอียดตามภาพที่ 4, 5, และ 6



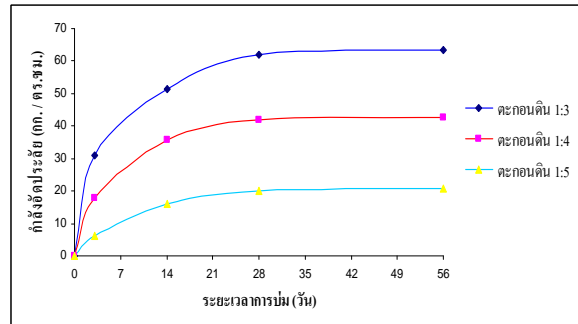
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับระยะเวลาการบ่มโดยเติมฟองอากาศร้อยละ 40

จากภาพที่ 4 พบว่าระยะเวลาการบ่มมีผลต่อกำลั งอัดของมอร์ตาร์คือ ถ้าระยะเวลาการบ่มมากขึ้นจะทำให้ กำลั งอัดมากขึ้นตามไปด้วย โดยกำลั งอัดสูงสุดอยู่ที่ สั ดส่วนตะกอนดิน 1:3 อายุการบ่ม 28 วัน เท่ากับ 131.7 กก./ตร.ซม. และกำลั งอัดน้อยที่สุดอยู่ที่ สั ดส่วนตะกอน ดิน 1:5 มีค่าเท่ากับ 26.67 กก./ตร.ซม. ผลการทดสอบ กำลั งอัดพบว่ากำลั งอัดจะลดลงตามการเพิ่มสั ดส่วน ตะกอนดิน และมีกำลั งอัดที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการ บ่มจนถึง 28 วัน หลังจาก 28 วัน จนถึง 56 วัน มีกำลั ง อัดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลั งอัดประลั ยกับ ระยะเวลาการบ่มโดยเติมฟองอากาศร้อยละ 50

ภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าการเติมฟองอากาศที่ร้อยละ 50 มีความสอดคล้องกับการเติมฟองอากาศร้อยละ 40 โดยระยะเวลาการบ่มมีผลต่อกำลั งอัดของมอร์ตาร์คือ ถ้าระยะเวลาการบ่มมากขึ้นจะทำให้กำลั งอัดมากขึ้นตาม ไปด้วย โดยกำลั งอัดสูงสุดอยู่ที่ สั ดส่วนตะกอนดิน 1:3 อายุการบ่ม 28 วัน เท่ากับ 109.61 กก./ตร.ซม. และ กำลั งอัดน้อยที่สุดอยู่ที่ สั ดส่วนตะกอนดิน 1:5 มีค่า เท่ากับ 16.02 กก./ตร.ซม. ผลการทดสอบกำลั งอัด พบว่ากำลั งอัดจะลดลงตามการเพิ่มสั ดส่วนตะกอนดิน และมีกำลั งอัดที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มจนถึง 28 วัน หลังจาก 28 วัน จนถึง 56 วัน มีกำลั งอัดเพิ่มขึ้นเพียง เล็กน้อยเท่านั้น

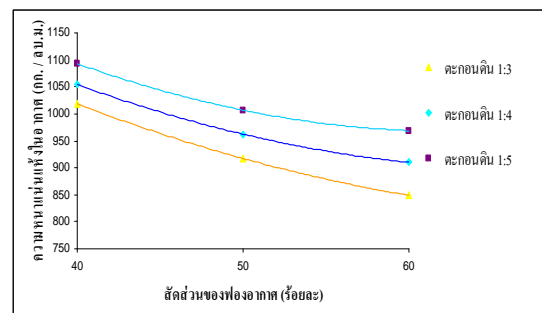


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลั งอัดประลั ยกับ ระยะเวลาการบ่มโดยเติมฟองอากาศร้อยละ 60

ภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการบ่มมีผลต่อ กำลั งอัดของมอร์ตาร์คือ ถ้าระยะเวลาการบ่มมากขึ้นจะ ทำให้กำลั งอัดมากขึ้นตามไปด้วยซึ่งมีความสอดคล้อง กับการเติมฟองอากาศร้อยละ 40 และ 50 โดยกำลั งอัด สูงสุดอยู่ที่ สั ดส่วนตะกอนดิน 1:3 อายุการบ่ม 28 วัน เท่ากับ 61.81 กก./ตร.ซม. และกำลั งอัดน้อยที่สุดอยู่ที่ สั ดส่วนตะกอนดิน 1:5 มีค่าเท่ากับ 6.09 กก./ตร.ซม. ผลการทดสอบกำลั งอัดพบว่ากำลั งอัดจะลดลงตามการ เพิ่มสั ดส่วนตะกอนดิน และมีกำลั งอัดที่เพิ่มขึ้นตาม ระยะเวลาการบ่มจนถึง 28 วัน หลังจาก 28 วัน จนถึง 56 วัน มีกำลั งอัดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

3.2 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นแห้งในอากาศของ มอร์ตาร์

ผลการหาความหนาแน่นแห้งในอากาศของมอร์ตาร์ที่ สั ดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อตะกอนประปาลีใน สั ดส่วนต่าง ๆ แสดงตามภาพที่ 7



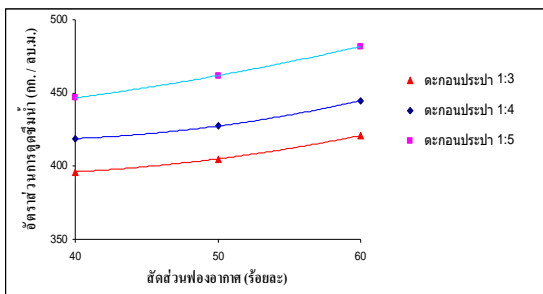
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับ อัตราส่วนฟองอากาศ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

ภาพที่ 7 แสดงผลของสัดส่วนของฟองอากาศต่อความหนาแน่นแห้งในอากาศของมอร์ตาร์กล่าวคือ ถ้าเพิ่มฟองอากาศมากขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นแห้งในอากาศลดลง โดยความหนาแน่นแห้งในอากาศสูงสุดที่สัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อตะกอนดิน 1:5 ปริมาณฟองอากาศร้อยละ 40 เท่ากับ 1093 กก./ลบ.ม. และความหนาแน่นแห้งในอากาศน้อยที่สุดที่สัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อตะกอนดิน 1:3 ฟองอากาศร้อยละ 60 เท่ากับ 843 กก./ลบ.ม. ผลการทดลองพบว่าความหนาแน่นแห้งในอากาศจะลดลงตามการเพิ่มปริมาณร้อยละของฟองอากาศต่อปูนซีเมนต์

จากผลการทดสอบดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าค่าทดสอบกำลังอัดที่มากที่สุดอยู่ที่ความหนาแน่นแห้งในอากาศที่มากที่สุด และการเพิ่มฟองอากาศส่งผลให้ความหนาแน่นแห้งในอากาศลดลง รวมถึงกำลังอัดของมอร์ตาร์ก็ลดลงตามไปด้วย ดังนั้นสัดส่วนผสมที่มีปูนซีเมนต์ต่อตะกอนดิน ที่ 1:3 และปริมาณฟองอากาศร้อยละ 50 ให้กำลังอัดตามมาตรฐานของ มอก. 1505 – 2541 [1] ที่ชั้นคุณภาพที่ 8 ชนิดที่ 1 กำหนดค่ากำลังอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 101.94 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ยอยู่ที่ 910 ถึง 1000 กก./ลบ.ม.

3.3 ผลการทดสอบหาการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อตะกอนประปาในสัดส่วนต่าง ๆ แสดงตามภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์กับร้อยละของฟองอากาศที่ระยะการบ่ม 28 วัน

เมื่อสัดส่วนตะกอนดินมากขึ้นการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์จะมีค่ามากขึ้นตาม และเมื่อร้อยละของฟองอากาศเพิ่มจะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์เพิ่มตาม ไปด้วย จากภาพที่ 8 อัตราส่วนตะกอนดินที่ 1:5 ร้อยละของฟองอากาศเท่ากับ 60 มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 473.98 กก./ลบ.ม. ซึ่งมีค่ามากที่สุด ส่วนค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดได้แก่ ตัวอย่างทดสอบที่มีอัตราส่วนตะกอนดินที่ 1:3 ร้อยละของฟองอากาศเท่ากับ 40 ซึ่งมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 396.16 กก./ลบ.ม. กรณีที่เพิ่มสัดส่วนตะกอนประปาแล้วค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้น เพราะ ตะกอนประปามีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูง เมื่อนำไปเป็นส่วนผสมทำบล็อกรวมแล้ว จึงส่งผลทำให้บล็อกรวม มีคุณสมบัติดูดซึมน้ำสูงตามไปด้วย

4. สรุปผลการวิจัย

ผลทดสอบพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมที่มีความเป็นไปได้ในการผลิตบล็อกรวมแล้ว คือ สัดส่วนที่ 1:3 (ปูนซีเมนต์ต่อตะกอนดิน) โดยเติมฟองอากาศร้อยละ 50 ซึ่งมีกำลังอัดอยู่ที่ 109.61 กก./ตร.ซม. โดยมีความหนาแน่นแห้งในอากาศที่ 921 กก./ลบ.ม. และการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 402.5 กก./ลบ.ม. ซึ่งสัดส่วนดังกล่าวมีคุณสมบัติที่ผ่านตามาตรฐานของ มอก. 1505 – 2541 [1] ที่ชั้นคุณภาพที่ 8 ชนิดที่ 1 กำหนดค่ากำลังอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 101.94 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ยอยู่ที่ 910 ถึง 1000 กก./ลบ.ม. และอัตราการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 500 กก./ลบ.ม.

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบา มีฟองอากาศ – อบไอน้ำ มอก. 1505-2541
- [2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. 15-2532., 2532

- [3] American Society for Testing Materials. Standard Specification for Concrete Aggregates ASTM C 33-99. The United States of America, 1999
- [4] American Society for Testing Materials. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars ASTM C 109/C 109M-99. The United States of America, 1999
- [5] American Society for Testing Materials. Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate ASTM C 127-88. The United States of America, 1999

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการประสานครหลวง (กปน.) ที่สนับสนุนทางด้านวัสดุในการทดสอบวิจัย และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่สนับสนุนทางด้านสถานที่ในการทดลองวิจัย

ศึกษาวิเคราะห์และการแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของดินถมคอสะพาน

พิชญคม์ จรัสบำรุงโรจน์¹

บทคัดย่อ— การทรุดตัวของดินคอสะพานข้ามคลองในจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งบริเวณคอสะพานมีลักษณะเป็นดินถมใช้วัสดุบดอัดแน่น การวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษา “วิเคราะห์การแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของดินถมคอสะพาน” มีวัตถุประสงค์ 1) ศึกษาคุณสมบัติวัสดุที่นำมาใช้แก้ไขปัญหาการทรุดตัวของคอสะพาน 2) ศึกษาวิเคราะห์การทรุดตัวของดินถมคอสะพาน 3) ศึกษาการแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของดินถมคอสะพานจากการวิจัยพบว่า การเลือกวัสดุที่นำมาใช้ทำพื้นทางต้องมีลักษณะเบา มีความแน่นที่ศีรษะการบดอัด มีค่า CBR เท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมและมีต้นทุนที่ถูก จึงพบว่า หินคลุกเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสม เนื่องจาก หินคลุกมีขนาดละเอียดดี ทำให้การบดอัดมีประสิทธิภาพดีกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ มีการซึมผ่านของน้ำได้ดีและเป็นที่ยอมรับนำมาใช้ในการบดอัดผิวทางในปัจจุบัน

คำสำคัญ Settlement Soil reclamation Cosapoan

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอาชีพเกษตรกรรม ดังนั้นพื้นที่ส่วนใหญ่จึงเป็นที่ราบลุ่มติดแม่น้ำ พื้นที่ที่ใช้ทำเกษตรกรรมจะเป็นดินอ่อน หรือดินเลน ต่อมาประเทศไทยได้มีการก่อสร้างถนนไปตามหัวเมืองต่างๆ เพื่อกระจายความเจริญสู่ส่วนกลางไปสู่หัวเมืองต่างๆ ของประเทศ พร้อมนำสินค้าเกษตรกรรมที่อยู่ตามหัวเมืองต่างๆกลับมาจำหน่ายที่ส่วนกลาง หรือส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ การก่อสร้างถนนไปตามสถานที่ต่างๆจะต้องมีการผ่านคูคลองที่ขวางกั้นทางที่จะดำเนินการก่อสร้าง จึงมีการสร้างสะพานข้ามคูคลองเพื่อให้เกิดการสัญจรได้สะดวกมากยิ่งขึ้น การก่อสร้างสะพานข้ามคูคลองส่วนใหญ่จะประสบปัญหาการเคลื่อนตัวพังทลายของคันดิน การแอ่นตัวถนน การทรุดตัวต่างระดับและเกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวของผิวทาง จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าวจึงเป็นที่มาของ

การศึกษาการแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของดินถมคอสะพาน เพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องให้ลดน้อยลง พร้อมทั้งช่วยประหยัดงบประมาณที่ใช้ในการบำรุงรักษาได้อีกวิธีหนึ่ง

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาคุณสมบัติวัสดุที่นำมาใช้แก้ไขปัญหาการทรุดตัวของคอสะพาน
2. ศึกษาวิเคราะห์การทรุดตัวของดินถมคอสะพาน
3. ศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของดินถมคอสะพาน

ขอบเขตการดำเนินงาน

1. ศึกษาคุณสมบัติวัสดุที่นำมาใช้ในการแก้ไขปัญหา การทรุดตัวของคอสะพานได้แก่ ดิน หินคลุก และซีเมนต์ลอย
2. ศึกษาการบดอัดพื้นถนนที่มีต่อกับส่วนของคอสะพานข้ามคลองบางกระเทียม
3. ศึกษาวิเคราะห์การทรุดตัวของดินถมคอสะพาน และการแก้ไขปัญหาสะพานข้ามคลองบางกระเทียม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 1761 ถ.พัฒนาการ แขวงสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

โทรศัพท์: +66(2)-321-6930 โทรสาร: +66(2)-321-6930

E-mail: b_pichayut@yahoo.com

1. สามารถเลือกวัสดุที่นำมาใช้แก้ไขปัญหาคาทรุดตัวของดินถมคอสะพานได้อย่างถูกต้อง
2. เข้ามาถึงสาเหตุปัญหาการทรุดตัวของดินถมคอสะพาน
3. สามารถแก้ไขปัญหาคาทรุดตัวของดินถมคอสะพานได้อย่างถูกต้อง
4. ช่วยให้ประหยัดงบประมาณในการซ่อมแซมในแต่ละปี

2. วิธีการวิจัย

1. เก็บรวบรวมข้อมูลทางธรณีวิทยา วัสดุแต่ละประเภท เช่น ดิน หินคลุก และซีเมนต์
2. วัดระดับน้ำใต้ดิน การทรุดตัวในแนวตั้ง การทรุดตัวในแนวราบ
3. วัดหน่วยแรงในชั้นดิน หาค่า Total Pressure และ Stress Distribution ในมวลดิน
4. ตรวจสอบการเคลื่อนตัวของชั้นดิน
5. วิเคราะห์เปรียบเทียบผลการคำนวณกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในงานก่อสร้าง

3. ผลและการอภิปราย

1. คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้งานเป็นดินถมคอสะพาน สามารถแยกได้ดังต่อไปนี้
 - 1.1 ดิน สามารถนำมาเป็นวัสดุถมบริเวณด้านข้างผิวทางได้ เนื่องจากดินมีลักษณะขนาดคละกัน ตามมาตรฐานที่กำหนดมีค่าความเชื่อมั่นดี
 - 1.2 หินคลุก มีลักษณะประกอบไปด้วยมวลรวมประมาณ 70 – 85 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรมวลรวมที่นำมาใช้เป็นมวลรวมที่ได้จากนำหินมาย่อยแล้วร่อนผ่านตะแกรง มีคุณสมบัติในการรับน้ำหนักได้ดี
 - 1.3 ซีเมนต์ เป็นวัสดุที่ไม่มีความเชื่อมั่น และมือน้ำหนักเบา ยូบตัวได้ดี บดอัดง่ายโดยไม่ต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ในการบดอัดเพราะจะทำให้เสถียรภาพของการรับน้ำหนักเสียไป

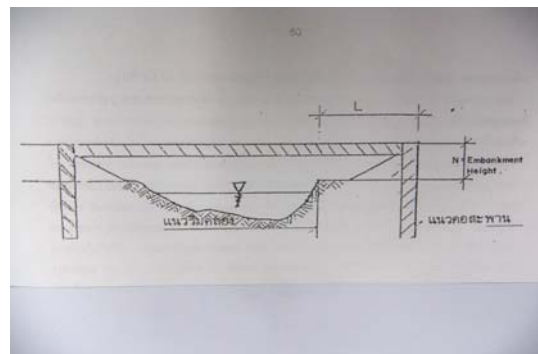
การนำหินคลุกมาใช้งานจะเกิดประโยชน์สูงสุดเมื่อเทียบกับดินและซีเมนต์ เนื่องจากวัสดุมีขนาดคละกัน มีความเชื่อมั่น ระบายน้ำได้ดี รับน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นจากขบวนพาหนะได้สูงกว่าวัสดุทั้ง 2 ชนิด

2. การทรุดตัวของดินถม มีเหตุผลดังนี้ คือ

2.1 ดินถมสูงเกินไป น้ำหนักของดินถมจะส่งผลให้เกิดการทรุดตัว

2.2 ดินถมต่ำเกินไป น้ำหนักของรถที่วิ่งผ่านจะส่งผลให้เกิดการทรุดตัว

2.3 ดินอ่อน จะมีค่าการรับรู้อ่อนและมีความแข็งแรงต่ำ ในส่วนการรับน้ำหนักจึงไม่เหมาะที่จะนำมาก่อสร้างถนนเพราะจะเกิดปัญหากับโครงสร้างของดินจนเกิดการวิบัติได้ การแก้ไขปัญหานั้นในปัจจุบันคือ การทำ Beam Embankment ซึ่งเหมาะกับสภาพของถนนที่มีการก่อสร้างไปแล้ว และเกิดการทรุดตัวมากในภายหลัง เพราะทำได้สะดวกไม่ต้องรื้อสิ่งก่อสร้างราคาค่าก่อสร้างถูก เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ให้ผลคล้ายคลึงกัน การทำ Beam Embankment ควรทำทั้ง 3 ด้าน 2 ด้านแรกเป็นการกระทำด้านข้างถนน ส่วนอีก 1 ด้านเป็นการป้องกันการไหลของดินลงสู่ลำคลอง ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงมาก



ภาพที่ 1 รูปตัดสะพาน



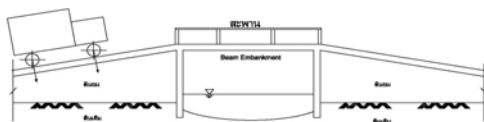
ภาพที่ 2 การขุดเปิดหัวเสาเข็ม



ภาพที่ 3 การหล่อ Beam Embankment

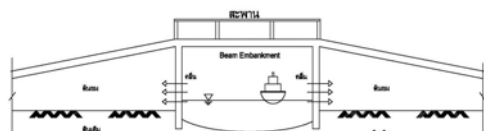
3. การวิเคราะห์การทรุดตัวของดินถมคอสะพาน บริเวณดินถมคอสะพานมีลักษณะลาดชัน และอยู่ติดกับแม่น้ำลำคลองซึ่งเป็นส่วนที่ได้รับแรงกระทำ 3 ส่วน

1. เกิดจากน้ำหนักบรรทุกของขยวดยานพาหนะ



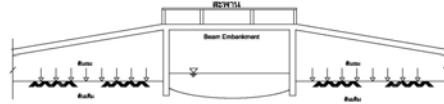
ภาพที่ 4 น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อลาดคอสะพาน

2. เกิดจากคลื่นในแม่น้ำลำคลอง



ภาพที่ 5 แรงที่เกิดจากคลื่นในแม่น้ำ ลำคลอง

3. เกิดจากน้ำหนักของมวลดินเอง



ภาพที่ 6 น้ำหนักที่เกิดจากมวลดินเอง

ปัญหาการทรุดของดินถมคอสะพาน ถนนที่ก่อสร้างบนชั้นดินอ่อนในภาคกลาง และภาคใต้จะประสบปัญหาการทรุดตัวของดินถมพื้นทางและดินถมคอสะพาน ทำให้ความสามารถในการขบขี้วดขยายสูญเสียไป ส่งผลทำให้เกิดอุบัติเหตุและอันตรายต่อผู้ขบขี้วดขยาย รวมไปถึงหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสูญเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเป็นจำนวนมาก

ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการเพิ่มเสถียรภาพของดินซึ่งสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ

3.1 Incremental Load เป็นการถมดินทีละชั้นๆ โดยแต่ละชั้นจะทิ้งช่วงเวลารอให้ดินฐานรากมีกำลังเพิ่มขึ้นเพียงพอและมีค่าการรับน้ำหนักตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ปริมาณดินที่ถมจะต้องไม่มากเกินไปทำให้เกิดแรง Stress ในชั้นดินสูงกว่ากำลังของดินฐานรากเพราะจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินฐานรากได้

3.2 Preloading เป็นการถมดินในปริมาณที่มากกว่าดินคันทางที่ออกแบบไว้ โดยที่ไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวของดิน แล้วปล่อยให้ทิ้งไว้ให้เกิดการทรุดตัวตามธรรมชาติ จนกระทั่งปริมาณการทรุดตัวคงที่ และอยู่ในระดับที่ต้องการ หลังจากนั้นจึงทำการตัดดินส่วนที่เกินออกให้เหลือเพียงระดับคันดินที่ต้องการ

การสร้างถนนและคอสะพานบนชั้นดินอ่อนจะเกิดการทรุดตัวมากกว่าตัวสะพานที่ก่อสร้างบนเสาเข็ม เนื่องจากตัวถนนและคอสะพานเกิดการทรุดตัวจาก Consolidation และ Shear Deformation โดยที่ไม่จำกัดความสูงของดินถม

การทรุดตัวของดินถมเกิดขึ้นจาก

1. ดินถมสูงเกินไป น้ำหนักของดินถมจะส่งผลทำให้เกิดการทรุดตัว

2. ดินถมต่ำเกินไป น้ำหนักของรถที่วิ่งผ่านส่งผลทำให้เกิดการทรุดตัว

3. ดินอ่อน จะมีค่าการรับรู้อ่อนและมีความแข็งแรงต่ำ ในส่วนการรับน้ำหนักจึงไม่เหมาะที่จะนำมาก่อสร้างถนน เพราะจะเกิดปัญหาเกี่ยวกับโครงสร้างของดินจนเกิดการวิบัติได้ การแก้ไขปัญหาในปัจจุบันคือ การทำ Beam Embankment ซึ่งเหมาะกับสภาพของถนนที่มีการก่อสร้างไปแล้วและเกิดการทรุดตัวมากในภายหลัง เพราะทำได้สะดวกไม่ต้องรื้อสิ่งก่อสร้าง ราคาต่ำ ก่อสร้างถูก เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ที่ให้ผลคล้ายคลึงกัน การทำ Beam Embankment ควรทำทั้ง 3 ด้าน 2 ด้านแรกเป็นการกระทำด้านข้างถนน ส่วนอีก 1 ด้านเป็นการป้องกันการไหลของดินลงสู่ลำคลอง ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงมาก

4. สรุปผลการวิจัย

4.1 จากการศึกษาคุณสมบัติวัสดุที่นำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาคือดินถมคอกสะพานข้ามคลองบางกระเทียม สรุปได้ว่า

4.1.1 ดิน มีคุณสมบัติทางวิศวกรรม แต่จะต้องขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ เช่น สภาพภูมิอากาศอายุการใช้งาน ฤดูร้อน และการพัดพา โดยทั่วไปดินสามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภท ได้แก่

1. ดินกรวด (Gravel) มีขนาดอยู่ระหว่าง 2.00 – 6.00 มิลลิเมตร
2. ดินทราย (Sand) มีขนาดอยู่ระหว่าง 0.05 – 2.00 มิลลิเมตร
3. ดินทรายละเอียด (Silt) มีขนาดอยู่ระหว่าง 0.005 – 0.05 มิลลิเมตร
4. ดินเหนียว (Clay) มีขนาดเล็กกว่า 0.005 มิลลิเมตร

ดินที่นำมาใช้งานก่อสร้าง ประกอบด้วยดิน 2 ประเภท คือ

1. ดิน Silly Clay มีลักษณะสีน้ำตาลปนเหลืองมีขนาดเล็ก มีแหล่งวัสดุอยู่ที่จังหวัดสิงห์บุรี

2. ดิน Silly Sand เป็นวัสดุที่ได้จากการปรับขนาดละเอียดของดิน Soil – Aggregate ตามมาตรฐาน ASTM D 1241

4.1.2 หินคลุก มวลรวมที่นำไปใช้ในการก่อสร้าง เป็นมวลรวมที่ได้จากกรรมวิธีการนำหินมาย่อยหรือไม่ แล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนเพื่อคัดขนาดของมวลรวม

มวลรวมที่นำมาใช้จะต้องประกอบด้วยมวลรวมแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้

ก. มวลรวมหยาบ คือ มวลรวมที่ค้ำบนตะแกรง 2.36 มม. เสถียรภาพของส่วนผสมได้จากการขัดสีของมวลรวมหยาบและแรงเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุ

ข. มวลรวมละเอียด คือ มวลรวมขนาดอนุภาคลอดผ่านตะแกรงขนาด 2.36 มม. ค้ำบนตะแกรงขนาด 75 มม. มวลรวมละเอียดเป็นส่วนที่เข้าไปแทรกในช่องว่างระหว่างมวลรวมหยาบ เป็นส่วนที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับมวลรวมหยาบ

ค. ฝุ่นหิน คือ มวลรวมละเอียดที่ลอดผ่านตะแกรงขนาด 75 มม. เป็นส่วนที่ทำหน้าที่อุดช่องว่างระหว่างมวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียดเป็นตัวที่เพิ่มความหนืดและความแข็งแรงให้กับแอสฟัลท์เคลือบผิววัสดุ

มวลรวมหินคลุกที่นำมาทำการทดสอบ เป็นวัสดุที่เก็บคัดแยกเป็น 4 ขนาด หิน 3/4", หิน 1/2", หิน 3/8" และ หินฝุ่นในอัตราส่วน 10 : 15 : 25 : 50 ตามลำดับ เพื่อนำมาทดสอบหาค่าการสึกหรอ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าการดูดซึมน้ำ และ ค่าดัชนีความแบน ค่าดัชนีความยาว และค่า Soundness

4.1.3 ขี้เถ้าลอย มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมมีค่าที่เหมาะสมกับงานทางจะต้องมีค่า CBR ของเถ้าลอยลิกไนต์ ผสมปูนขาว 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ 28 วัน เท่ากับ 540 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงเคียงกับค่า CBR ของดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ 7 เปอร์เซ็นต์ มีค่า CBR เท่ากับ 573 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า Unconfined Compressive Strength เท่ากับ 50.50 กิโลกรัมต่อ

ตารางเซนติเมตร จะเห็นได้ว่าซีเมนต์ผสมปูนขาวกับลูกรังผสมปูนซีเมนต์ มีคุณสมบัติและความสามารถในการรับน้ำหนักใกล้เคียงกัน

การเลือกวัสดุมาใช้เป็นวัสดุพื้นทางจะต้องมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมครบถ้วน ประกอบกับต้องสามารถปฏิบัติงานง่าย เช่น การบดอัด น้ำสามารถซึมผ่านได้ดี และขนย้ายได้สะดวก เป็นต้น

การเลือกวัสดุมาใช้จะต้องพิจารณาถึงต้นทุน ค่าก่อสร้างและความปลอดภัยจากการใช้งาน

4.2 ผลของการทรุดตัวของดินถมคอสะพาน

การทรุดตัวของดินถมคอสะพาน เป็นผลจากปัจจัยต่างๆที่เกิดจากการกระทำที่มาจากภายนอก ซึ่งประกอบไปด้วย

4.2.1 ดินถมบริเวณคอสะพานเกิดการเคลื่อนตัวออกทางด้านข้าง ทำให้เกิดการพังทลายของดินถม

4.2.2 ความสามารถในการรับกำลังของดินต่ำ

4.2.3 โครงสร้างสะพานเกิดความเสียหายเนื่องจากการทรุดตัวของดินถมคอสะพาน

4.3 การแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของดินถมคอสะพาน

4.3.1 สะพานข้ามคลองบางกระเทียมที่ต้องการรักษา Slope Sign Distance ในแนวตั้ง แนวทางการแก้ไข ออกแบบให้ดินถมคอสะพานทรุดตัวน้อยโดยการใช้เสาเข็มตอกหยั่งลงไปในพื้นที่ดินแข็งเพื่อผ่อนการทรุดตัว

4.3.2 ดินถมคอสะพานสูงมาก เป็นเหตุให้ดินเกิดการเคลื่อนตัว แนวทางการแก้ไข ขยายความยาวสะพานออกไปเพื่อลดความสูงของดินถมคอสะพาน

4.3.3 ดินถมคอสะพานคุณภาพต่ำ ทรุดตัวได้ง่ายเมื่อรับน้ำหนักกด แนวทางการแก้ไข เลือกวัสดุที่นำมาถมต้องเป็นวัสดุที่มีคุณภาพ เมื่อมีแรงมากระทำเกิดการทรุดน้อย ได้แก่ ทราย หินคลุก และซีเมนต์ลอย

4.4 การปรับปรุงคุณภาพดิน (Stabilization of Soil)

การปรับปรุงคุณภาพดิน เพื่อช่วยให้ดินเดิมหรือดินถมใหม่มีคุณภาพดีขึ้น โดยการนำวัสดุ เช่น กรวด หรือทรายมาผสมรวมกับวัสดุเดิม หรือใช้สารเคมี เช่น ปูนซีเมนต์ และปูนขาว เพื่อช่วยทำให้การรับน้ำหนักเพิ่มขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ขงยุทธ แต่ศิริและคณะ, 2540. พฤติกรรมการทรุดตัวของถนนพระราม 2. *วารสารวิชาการกรมทางหลวง*, ฉบับที่ วว.160 : หน้า 5 – 18.
- [2] วิชาญ กุฬพัฒน์, 2515. การออกแบบชั้นทางและเทคนิคธรณีเดิม 4. *วารสารวิชาการกรมทางหลวง*, ฉบับที่ วว. 13/2515 : หน้า 25 – 28.
- [3] สุชาติ จินคัมสัน, 2522. การออกแบบชั้นทางและเทคนิคธรณีเดิม 3. *วารสารวิชาการกรมทางหลวง*, ฉบับที่ วว. 13/2522 : หน้า 3 – 15.
- [4] สุพจน์ หวลถนอมและคณะ, 2538. การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการทรุดตัวของคันทางทดลองบนถนนพระราม 2. *วารสารวิชาการกรมทางหลวง*, ฉบับที่ วว. 142 : หน้า 5 – 20.
- [5] Terzaghi, K and Peck, R.B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering*, John Wiley and Sons, New York, P. 269 – 288.
- [6] Brajam M. Das. (1995). *Principle of Foundation Engineering*, Third Edition, PWS Publishing Company, P. 467 – 526

การใช้เถ้าทิ้งเป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์

ถำเรง รุกซ้อน^{1*} ฉัตรชัย เรียรหิรัญ² นิโรจน์ เงินพรหม³ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ⁴

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากำลั้งอัดและการแทรกซึมคลอไรด์ของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้บดละเอียด (RHBA) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) แทนที่ด้วย RHBA ที่อัตราร้อยละ 0–40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ใช้อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 2.75 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) ด้วยค่าคงที่เท่ากับ 0.5 ใช้สารลดน้ำพิเศษในทุกส่วนผสมเพื่อควบคุมค่าการไหลแผ่เท่ากับร้อยละ 110 ± 5 โดย RHBA มีปริมาณน้ำหนักข้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 0–5 โดยน้ำหนัก ทดสอบหาคำกำลังอัดและการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ตาร์ ผลการทดสอบพบว่ามอร์ตาร์ที่ผสม RHBA ให้ค่ากำลังอัดที่สูงเทียบเท่าปูนซีเมนต์ล้วน กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้อยู่ในช่วงร้อยละ 82–96 ของมอร์ตาร์ OPC ในทุกอายุการทดสอบ นอกจากนี้การใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้เป็นวัสดุประสานด้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ได้ดี

คำสำคัญ กำลังอัด คลอไรด์ เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ มอร์ตาร์

1. บทนำ

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช ทรงพระราชทานพระบรมราโชวาท เรื่องเศรษฐกิจพอเพียง แก่พสกนิกรชาวไทย และทรงมีพระราชดำริว่า การพัฒนาใดๆ ที่ไม่ซับซ้อน ใช้วิธีการที่เรียบง่าย ประหยัด เหมาะสมกับสภาพท้องถิ่น จะก่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้พัฒนาวัสดุเหลือทิ้งจากผลพลอยได้ด้านอุตสาหกรรมมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในการผลิตคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ ทำให้ประหยัดการใช้ปูนซีเมนต์ ลดต้นทุนการผลิตคอนกรีต เป็นไปตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง ในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด และรวมทั้งการใช้เถ้าทิ้งจากผลพลอยได้ในโรงงานอุตสาหกรรมให้เกิดคุณค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด

เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยการใช้เถ้าแกลบ 2 ส่วนและเปลือกไม้ 1 ส่วน เป็นเชื้อเพลิงและเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 800–900 องศาเซลเซียส [1] เถ้าทิ้งจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเถ้าแกลบและเปลือกไม้ดังกล่าวเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกำจัดทิ้ง โดยกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าดังกล่าวได้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ประมาณ 300,000 ตันต่อปีซึ่งไม่ได้ใช้ประโยชน์ [1] กระทั่งเริ่มนำเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ดังกล่าวมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตแต่ยังมีการศึกษาวิจัยถึงคุณสมบัติและกลสมบัติเชิงกลไว้ไม่มากนัก งานวิจัยนี้จึงได้นำเถ้าแกลบ-เปลือกไม้มาบดละเอียด นำไปแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ศึกษากำลังอัดและการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ตาร์

^{1*} สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร (พระนครเหนือ)
E-mail: remg197@rmu.ac.th (Corresponding author)

² สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ถนนสามเสน ดุสิต กรุงเทพฯ 10300

³ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร (พระนครเหนือ)

⁴ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ต. ในเมือง อ. เมือง จ. ขอนแก่น

2. วิธีการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดสอบ

2.1 วัสดุที่ใช้วิจัย

วัสดุเหลือทิ้งใช้เก่าแกลบ-เปลือกไม้จากโรงไฟฟ้า บริษัท ไทย เพาเวอร์ ซัพพลาย จังหวัดฉะเชิงเทรา ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 วัสดุมวลละเอียดใช้เป็นทรายแม่น้ำมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.65 และโมดูลัสความละเอียดของทรายเท่ากับ 2.82 ใช้สารลดน้ำพิเศษชนิด F (SP) สำหรับปรับค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์เก่าแกลบ-เปลือกไม้ นำมาบดละเอียดเป็น RHBA มีปริมาณข้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก สมบัติทางกายภาพของเก่าแกลบ-เปลือกไม้ และองค์ประกอบทางเคมี แสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของวัสดุ

Physical properties	OPC	RHBA
Median particle size (μm), d_{50} – ไมครอน	21.0	19.5
Retained on a sieve No. 325 (%)	N/A	0-5
Specific Gravity	3.14	2.25
Blaine Fineness (cm^2/gm) - ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	3,600	12,000

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ

Oxides (%)	OPC	RHBA
CaO (%)	55.0	5.5
SiO ₂ (%)	25.1	76.3
Al ₂ O ₃ (%)	5.5	1.6
Fe ₂ O ₃ (%)	5.9	1.5
MgO (%)	3.4	0.01
K ₂ O (%)	0.5	3.9
SO ₃ (%)	4.7	0.9
LOI (%)	0.9	8.24
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)	—	79.4

2.2 การเตรียมส่วนผสมของมอร์ตาร์

OPC แทนที่ด้วยเก่าแกลบ-เปลือกไม้ในอัตราร้อยละ 0-40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ใช้ทรายในอัตราส่วนต่อวัสดุประสานเท่ากับ 2.75 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานใช้คงที่เท่ากับ 0.5 ใช้ SP ปรับค่าการไหลแผ่ให้ได้เท่ากับร้อยละ 110 \pm 5 ตัวอย่างมอร์ตาร์เก็บในตู้ควบคุมที่อุณหภูมิเท่ากับ 23 องศาเซลเซียส หลังจากหล่อมอร์ตาร์ 24 ชั่วโมงถอดแบบและบ่มในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิเท่ากับ 23 องศาเซลเซียส จนได้อายุการทดสอบ ส่วนผสมมอร์ตาร์ ใช้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ส่วนผสมของมอร์ตาร์ โดยน้ำหนัก

Mix.	W/B	OPC	RHBA
OPC	0.5	100	0
10RHBA	0.5	90	10
20RHBA	0.5	80	20
40RHBA	0.5	60	40

2.3 การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดใช้แบบหล่อมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์ขนาดเท่ากับ 50 \times 50 \times 50 มิลลิเมตร ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7, 28 และ 90 วัน ตามลำดับ การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C109 [2] ค่ากำลังอัดคำนวณด้วยการใช้ตัวอย่างทดสอบ 3 ตัวอย่างและหาค่าเฉลี่ย

2.4 การทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์

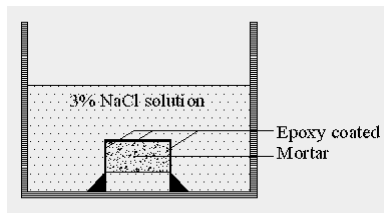
2.4.1 การทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่ง

ใช้แบบหล่อมอร์ตาร์รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 100 มิลลิเมตร สูงเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C39 [3] หลังจากหล่อมอร์ตาร์ให้ถอดแบบใน 24 ชั่วโมง จากนั้นบ่มในน้ำสะอาดเป็นเวลา 27 วัน นำมาตัดที่กึ่งกลางให้มีความหนา 50 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C1202 [4] ใช้

ตัวอย่างมอร์ตาร์ 2 ก้อน และนำไปเคลือบด้วยอีพอกซี (Epoxy coated) โดยรอบทรงกระบอก จากนั้นทิ้งไว้อีก 1 วัน นำไปทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่ง

2.4.2 การทดสอบคลอไรด์แบบเร่ง

การทดสอบแบบเร่ง ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 3 การติดตั้งการทดสอบใช้ตามภาพที่ 1 คล้ายกับหลายงานวิจัยที่ผ่านมา [5] ใช้แบบหล่อมอร์ตาร์รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 100 มิลลิเมตร สูงเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C39 [3] หลังการบ่มตัวอย่างที่อายุ 27 วัน ตัดตัวอย่างที่กึ่งกลางให้หนาเท่ากับ 50 มิลลิเมตร เหมือนในหัวข้อ 2.4.1 นำมาเคลือบด้วยอีพอกซีโดยรอบทรงกลมและเหลือไว้เพียงด้านเดียวเพื่อให้มีการแทรกซึมทิ้งไว้อีก 1 วัน นำตัวอย่างแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เป็นเวลา 30 วัน ใช้ความสูงจากผิวของสารละลายถึงด้านบนตัวอย่างมอร์ตาร์ประมาณ 10 เซนติเมตร จากนั้นหาความลึกคลอไรด์ด้วยการหักมอร์ตาร์และฉีดพ่นด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 โมลลาร์ หรือ 0.1 M AgNO₃ [6] เพื่อตรวจสอบการแทรกซึมคลอไรด์และวัดระยะความลึก สำหรับการวัดความลึก ใช้การวัดระยะแนวการแทรกซึมที่หน้าตัดมอร์ตาร์ประมาณ 6 จุดและหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 1 การทดสอบคลอไรด์แบบเร่ง

3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

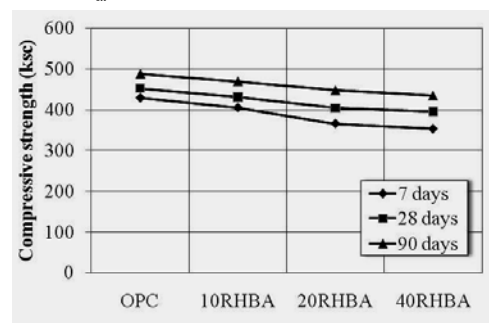
3.1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ

ความละเอียดของ OPC และเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ แสดงไว้ในตารางที่ 1 ความละเอียดของ OPC ซึ่งหาโดยวิธีของเบลน (Blaine fineness) มีค่าเท่ากับ 3,600 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ความละเอียดของ RHBA มีค่าเท่ากับ 12,000 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ความ

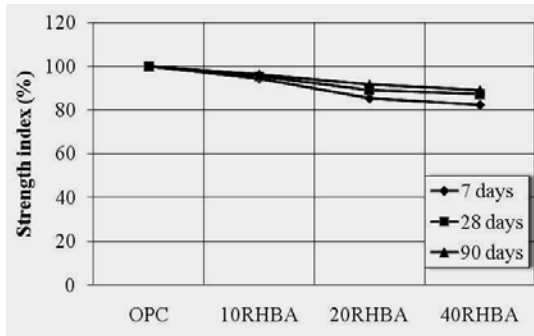
ถ่วงจำเพาะของ OPC และ RHBA เท่ากับ 3.14 และ 2.25 ตามลำดับ ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ OPC และ RHBA เท่ากับ 21 และ 19.5µm ตามลำดับ องค์ประกอบเคมีของวัสดุประสานแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ RHBA มี SiO₂ เท่ากับร้อยละ 76.3 มี CaO ร้อยละ 5.5 ส่วน LOI มีค่าเท่ากับร้อยละ 8.24 ซึ่งไม่สูงมากนักเนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสมและผลรวมของ SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ เท่ากับร้อยละ 79.4 และจัดเป็นวัสดุปอซโซลานชนิดทั่วไปตามมาตรฐาน ASTM C618 [7]

3.2 กำลังอัด

ภาพที่ 2 และ 3 เป็นผลการทดสอบกำลังอัดและร้อยละกำลังอัดของมอร์ตาร์ในแต่ละส่วนผสม พบว่าการเพิ่มปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ RHBA ในอัตราร้อยละ 40 ส่งผลให้ค่ากำลังอัดลดลงในอายุต้นของ มอร์ตาร์ อย่างไรก็ตาม กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 90 วันเทียบเท่ามอร์ตาร์ OPC แสดงให้เห็นว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดขึ้นช้าในอายุต้น และกำลังอัดของมอร์ตาร์สูงขึ้นเมื่ออายุทดสอบสูงขึ้นที่ 90 วัน การใช้ RHBA ในมอร์ตาร์ส่งผลให้เกิดการอัดตัวในเฟสต้นและทำให้มอร์ตาร์มีความที่บแน่นขึ้นเนื่องจากความละเอียด และพื้นที่ผิวจำเพาะที่สูงของ RHBA ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานที่มากขึ้น [5] ส่วนร้อยละกำลังอัดของมอร์ตาร์มีค่าระหว่างร้อยละ 82-96 ของมอร์ตาร์ OPC ในทุกอายุการทดสอบ ดังในรูปที่ 2 ซึ่งพบว่ามากกว่าร้อยละ 75 ของ OPC หรือมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ล้วน จึงถือว่าเถ้าแกลบ-เปลือกไม้บดละเอียด RHBA สามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้ตามมาตรฐาน ASTM C618 [7]



ภาพที่ 2 กำลังอัดของมอร์ตาร์

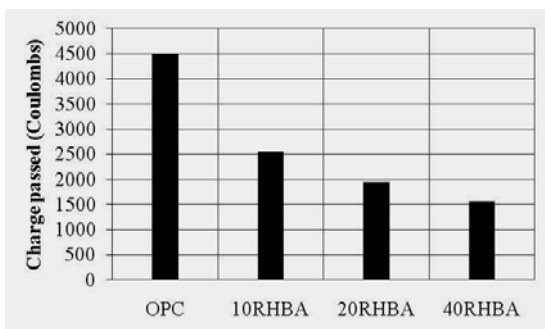


รูปที่ 3 ร้อยละกำลังอัดของมอร์ตาร์

3.3 การแทรกซึมคลอไรด์

3.3.1 ผลทดสอบคลอไรด์แบบแรง

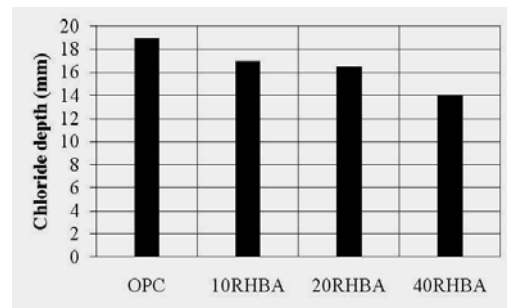
ผลการทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์แบบแรง แสดงไว้ในภาพที่ 4 การศึกษาครั้งนี้พิจารณาปริมาณการซึมผ่านคลอไรด์ ซึ่งมีหน่วยการวัดเป็นคูลอมบ์ (Coulomb) จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าปริมาณการซึมผ่านคลอไรด์ของมอร์ตาร์ลดลงเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วย เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ [5] โดย RHBA มีองค์ประกอบหลักคือ SiO_2 ผลผลิตจากปฏิกิริยาปอซโซลานระหว่าง Ca(OH)_2 กับ SiO_2 คือ CHS [8] ซึ่งเพิ่มความทึบแน่นกับมอร์ตาร์ สำหรับมอร์ตาร์ OPC มีปริมาณการซึมผ่านคลอไรด์เท่ากับ 4492 คูลอมบ์ (Coulomb) การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย RHBA พบว่าปริมาณการซึมผ่าน คลอไรด์น้อยกว่า OPC เนื่องจากทั้งวัสดุ RHBA มีปริมาณ SiO_2 ที่สูงจึงได้ผลผลิต CSH ที่มากและสามารถดูดซับไอออนคลอไรด์ช่วยลดการซึมผ่าน [9] นอกจากนี้ SiO_2 ที่เหลือจากปฏิกิริยายังสามารถต้าน ไอออนคลอไรด์ได้ [8,9]



ภาพที่ 4 การแทรกซึมคลอไรด์แบบแรง

3.3.2 ความลึกคลอไรด์แบบแช่

ผลทดสอบความลึกคลอไรด์ด้วย IMT แสดงในรูปที่ 5 มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับผลทดสอบแบบแรงในข้อ 3.3.1 แตกต่างกันเพียงค่าที่ได้จากการทดสอบเท่านั้น และพบว่ามอร์ตาร์ผสมด้วย RHBA ด้านทานคลอไรด์ได้ดี การทดสอบด้วยการแช่เป็นการวัดค่าความลึกคลอไรด์โดยตรงแบบธรรมชาติด้วยการแช่ตัวอย่างทดสอบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ขณะที่การทดสอบแบบแรงในข้อ 3.3.1 เป็นวิธีการแบบแรงผลทดสอบ อย่างไรก็ตามผลทดสอบชี้ให้เห็นว่าการทดสอบแช่ สามารถใช้เป็นวิธีการทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์ได้ และประหยัดเวลาในการทดสอบ



ภาพที่ 5 การแทรกซึมคลอไรด์แบบแช่

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่ามอร์ตาร์ผสม RHBA ให้ค่ากำลังอัดเทียบเท่า OPC และการใช้ RHBA ในมอร์ตาร์สามารถต้านทานคลอไรด์ได้ดี การทดสอบแบบแช่สามารถใช้เป็นวิธีการทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์เทียบกับแบบแรงได้และประหยัดเวลาในการทดสอบ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sata, V., Jaturapitakkul, C. and Kiattikomol, K. 2007. Influence of pozzolan from various by-product materials on mechanical properties of high-strength concrete. *Construction and Building Materials*, 21(7): 1589-1598.
- [2] ASTM C109/C109M-99., 2001. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in or [50 mm] cube specimens), *Annual Book of ASTM Standards* 04.01, p. 83–88.
- [3] ASTM C39: (2001), Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM C39M-01, *Annual Book of ASTM Standards* 04.02, p. 18–22.
- [4] ASTM C 1202: (2001), Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, ASTM C1202-97, *Annual Book of ASTM Standards* 04.02, p. 646–651.
- [5] Chindaprasirt, P., Rukzon, S., and Sirivivatnanon, V. 2007. Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash. *Construction and Building Materials*, 22: 932–938.
- [6] Otsuki, N, Nagataki, S, and Nakashita, K. 1993. Evaluation of $AgNO_3$ solution spray method for measurement of chloride penetration into hardened cementitious matrix materials. *Construction and Building Materials*, 7(4):195–201.
- [7] ASTM C618–00: (2001), Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in concrete, *Annual Book of ASTM Standards* 04.02, p. 310–313.
- [8] Neville, AM. 1995. *Properties of concrete*. 4th and Final Edition. Malaysia: Longman Group Limited.
- [9] Leng, F., Feng, N., Lu, X. 2000. An experimental study on the properties of resistance to diffusion of chloride ions of fly ash and blast furnace slag concrete. *Cement and Concrete Research*, 30(6): 989-992.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนทุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ได้รับสนับสนุนห้องปฏิบัติการจากศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และสาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

สังเวย เสวกวิหารี¹ วันดี มาตสถิตย์² และ นิภาพร ปัญญา³

บทคัดย่อ— การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำวัสดุเหลือทิ้ง เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนฟืนและถ่านไม้จากธรรมชาติ โดยมีกาบแปงเป็ยกเป็นตัวประสาน ผ่านกระบวนการอัดแท่งด้วยเครื่องอัดมือ พบว่าเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สามารถนำมาเผาด้วยเตาเผาแบบอังโล่ เตาเผาแบบอุณหภูมิสูง และเตาเผาแบบแผ่นเหล็ก ได้ถ่านเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์คงรูปร่างลักษณะเดิม นำมาเข้าเครื่องบดละเอียดได้เป็นผงถ่าน ผสมผงถ่านกับแป้งมัน ในอัตราส่วน 5 : 1 (โดยละลายแป้งมันในน้ำร้อน 1 ลิตร จนเป็นกาบแปงเป็ยก) ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน นำมาเข้าเครื่องอัดแท่ง ด้วยเครื่องอัดมือ ได้แท่งเชื้อเพลิงทรงรูปไม้แตกหัก เมื่อนำไปตากแดดจนแห้งสนิท แล้วนำมาทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงพบว่า เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ ใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงในครัวเรือน ในชุมชนแทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟืนและถ่านไม้จากธรรมชาติ และเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สามารถใช้งานหุงต้มได้ดี ไม่แตกปะทุ ติดไฟได้ดีมาก ให้ค่าความร้อนสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิง เพื่อใช้ในครัวเรือน ชุมชน หรือผลิตเพื่อการค้า และการอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากถ่านไม้และฟืน

คำสำคัญ : พลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่ง เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

1. บทนำ

มะม่วงหิมพานต์ เป็นไม้ผลยืนต้นตระกูลเดียวกับมะม่วงปลูกมากทางภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย จัดเป็นพืชอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศ ผลมะม่วงหิมพานต์มีลักษณะประหลาด เนื่องจากส่วนที่เป็นผลคือก้านของดอกที่ขยายตัวพองขึ้น ส่วนที่เป็นผลจริง ๆคือเมล็ดที่มีรูปร่างคล้ายไตติดอยู่ตรงปลายสุด

เมื่อยังอ่อนจะมีสีเขียวและขยายเติบโตจนมีขนาดใหญ่กว่าผลใน เมื่อหยุดเจริญเติบโตจะเปลี่ยนสีเป็นสีเทา ส่วนที่เป็นผลปลอมก็ขยายตัวพองโตขึ้นจนใหญ่กว่าเมล็ด เมล็ดจะมีความยาวประมาณ 3 เซนติเมตร ถ้าผ่าเมล็ดออก เปลือกจะหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร เมล็ดในมีสีขาวประกบกัน 2 ซีก เป็นส่วนที่ใช้รับประทาน มีคุณค่าทางอาหารสูง ส่วนของเปลือกมีได้นำมาใช้ประโยชน์จึงปล่อยทิ้งเป็นของเสีย หรือมีบ้างที่นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มแทนฟืนและถ่าน แต่ก็มีปัญหาในเรื่องของเถ้า และเกิดควันขณะเผาไหม้

การนำเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จะช่วยลดปัญหาขยะเหลือทิ้งจากผลผลิตทางการเกษตร ลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากน้ำมัน ลดปัญหาการใช้ฟืน และถ่านไม้จากธรรมชาติ และลดปัญหาภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย

¹สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

²สาขาวิชาเทคโนโลยีเสื้อผ้า คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ดุสิตกรุงเทพฯ 10300

³สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

2.วัตถุประสงค์

1. เพื่อนำวัสดุเหลือทิ้ง เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่ง
2. เพื่อศึกษาค่าความร้อนของพลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์



ภาพที่ 1 เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

2. วิธีการวิจัย

2.1 อุปกรณ์ ประกอบด้วย

1. เตาเผาถ่าน
2. เครื่องบดละเอียด
3. เครื่องอัดแท่ง
4. เครื่องชั่ง
5. ถาดอะลูมิเนียม
6. หม้ออะลูมิเนียม
7. ถังพลาสติก
8. กะละมัง
9. โถพร้อมฝาปิด
10. บีกเกอร์
11. แท่งแก้ว
12. ตะกร้าพลาสติก



ภาพที่ 2 เตาเผาแบบอั้งโล่

2.2 วิธีการ

2.2.1 ศึกษาการเผาเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

ด้วยเตาเผาแบบต่าง ๆ

1.1 เตาเผาแบบเตาอั้งโล่ นำเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หนัก 1 กิโลกรัม เข้าเตาเผา ปล่อยให้เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ลุกไหม้ติดไฟประมาณ 30 นาที ปิดฝาเตาให้มิดชิดเพื่อไม่ให้ออกซิเจนเข้าไปในเตาได้ ใช้เวลาในการเผานาน 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นเปิดฝาเตา จะได้อ่างเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์คงรูปลักษณะเดิม และมีเถ้า เมื่อนำมาชั่งน้ำหนักได้อ่างเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 400 กรัม ดังภาพที่ 1 – 4



ภาพที่ 3 ปิดฝาเตา



ภาพที่ 4 ถ่านเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

1.2 เตาเผาอุณหภูมิสูง (muffle furnace) นำเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หนัก 1 กิโลกรัมเข้าเตาเผาอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้อ่างเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์คงรูปลักษณะเดิม ไม่มีเถ้า เมื่อนำมาชั่งน้ำหนักได้อ่างเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 381.14 กรัม ดังภาพที่

5 – 6



ภาพที่ 5 เตาเผาแบบอุณหภูมิสูง



ภาพที่ 8 ถ่านเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์



ภาพที่ 6 ถ่านเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

1.3 เตาเผาแบบแผ่นเหล็ก นำเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หนัก 1 กิโลกรัม เข้าเตาเผาปล่อยให้เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ลุกไหม้ติดไฟประมาณ 30 นาที ปิดฝาเตาให้มิดชิดเพื่อไม่ให้ออกซิเจนเข้าไปในเตาได้ ใช้เวลาในการเผานาน 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นเปิดฝาเตา จะได้ถ่านเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์รูปลักษณะเดิม และมีเถ้า เมื่อนำมาชั่งน้ำหนักได้ถ่านเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 375 กรัม ดังภาพที่ 7-8



ภาพที่ 7 เตาเผาแบบแผ่นเหล็ก

2.2.2 ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

นำถ่านเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่ได้จากการเผาในข้อ 1 มาบดด้วยเครื่องบดละเอียดจนเป็นผงถ่านละลายแป้งมัน 200 กรัม ในน้ำร้อน 1 ลิตรจนเป็นกาวแป้งเปียก ผสมกาวแป้งเปียกลงในผงถ่าน 1 กิโลกรัม ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน นำไปเข้าเครื่องอัดแท่งด้วยเครื่องอัดมือ ได้ถ่านอัดแท่งขนาดแท่งละประมาณ 4.5 ซม จำนวน 44 ก้อน น้ำหนักเฉลี่ยก้อนละ 42.49 กรัม นำถ่านอัดแท่งไปตากแดดจนแห้งสนิท น้ำหนักเฉลี่ยก้อนละ 25.56 กรัม ดังภาพที่ 9-10



ภาพที่ 9 ผงถ่าน



ภาพที่ 10 ก้อนถ่านอัดแท่ง

2.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิง อัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

นำถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่
ตากแดดจนแห้งสนิท มาศึกษาประสิทธิภาพการใช้งาน
หุงต้ม โดยทดสอบการต้มน้ำ ซึ่งใช้หม้อต้มน้ำ
อะลูมิเนียมเบอร์ 20 พร้อมฝา กับเตาหุงต้ม ใช้
น้ำ 1529.90 กรัม (ปริมาตรของน้ำประมาณ ¾ ของ
ปริมาณความจุของหม้อ) และน้ำหนักถ่านอัดแท่งจาก
เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 500 กรัม ทำการทดลองใน
ห้องที่ไม่มีลมพัด สังเกต การแตกปะทุของถ่าน ปริมาณ
ควันของถ่านขณะติดไฟ วัดอุณหภูมิของน้ำจนกระทั่ง
น้ำเดือด แล้วบันทึกเวลาที่ใช้ไป พร้อมทั้งเปิดฝาทิ้ง
จากนั้นปล่อยให้ น้ำเดือดต่อไปอีก 30 นาที (จิระพงษ์
กุหาภาญณ์)

คำนวณค่างานที่ได้ อัตราการเผาไหม้ และ
ประสิทธิภาพ การใช้งานของถ่านอัดแท่งจากเปลือก
เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ดังนี้

$$\text{งานที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไป}}{\text{น้ำหนักของถ่านที่ใช้}}$$

สุทธิ

$$\text{การเผาไหม้} = \frac{\text{น้ำหนักของถ่านที่ใช้สุทธิ (กรัม)}}{\text{ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด (นาที)}}$$

อัตราประสิทธิภาพการใช้งานจากสูตร Hu

$$= \frac{[MC_p (T_2 - T_1) + (M - M_1) L] \times 100}{(M_f H_1 + M_k H_2)}$$

เมื่อ Hu = ประสิทธิภาพการใช้งาน (%)

M = น้ำหนักน้ำเริ่มต้น (กรัม)

M₁ = น้ำหนักน้ำที่เหลืออยู่ (กรัม)

M_f = น้ำหนักเชื้อเพลิง
(ถ่านอัดแท่งเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์)

M_k = น้ำหนักเชื้อไฟ (เศษไม้ กิ่งไม้แห้ง)

C_p = ความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 1
แคลอรี / กรัม

T₁ = อุณหภูมิของน้ำก่อนตั้งไฟ

(องศาเซลเซียส)

T₂ = อุณหภูมิของน้ำเดือด (องศาเซลเซียส)

L = ความร้อนแฝงของน้ำเท่ากับ 540

แคลอรี / กรัม

H₁ = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

(ถ่านอัดแท่งเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์)

H₂ = ค่าความร้อนของเชื้อไฟซึ่งมีค่า

4280 แคลอรี / กรัม

3. ผลและการอภิปรายผล

1. เปรียบเทียบเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเตาเผา
แบบอั้งโล่ ได้ถ่านเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มี
รูปร่างลักษณะเดิม มีไหม้เป็นจี๋เข้าข้างเล็กน้อย ส่วน
เตาเผาอุณหภูมิสูงได้ถ่านเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์
มีรูปร่างลักษณะเดิม คงรูปไม่เปาะ ไม่มีจี๋เข้า แต่มีส่วน
ที่เป็นน้ำมันเหนียว ๆ สีดำ ส่วนเตาเผาแบบแผ่นเหล็ก
ได้ถ่านเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีรูปร่างลักษณะ
เดิม และมีไหม้เป็นจี๋เข้ามากกว่าเตาเผาแบบอื่น ๆ

2. ผลผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วง
หิมพานต์ โดยใช้ส่วนผสมของผงถ่าน แป้งมันและน้ำ
โดยทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสม จนได้สูตรที่
เหมาะสมในการอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้เป็นสูตรที่ 1 ส่วน
สูตรที่ 2 ทดลองใช้ ผงถ่าน แป้งมัน กลีเซอรีน และน้ำ
อัดเป็นแท่งด้วยเครื่องอัดมือ ได้แท่งเชื้อเพลิงจาก
เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในการทดลองนี้ 2 สูตร
ในสูตรที่ 1 ใช้ผงถ่านหนัก 1 กิโลกรัมอัดเป็นแท่ง
เชื้อเพลิงได้ 44 ก้อน น้ำหนักเฉลี่ยก้อนละ 42.49 กรัม
นำไปตากแดดจนแห้งสนิทใช้เวลา 3 – 5 วัน นำมาชั่ง
น้ำหนักเหลือน้ำหนักก้อนละ 25.56 ส่วนสูตรที่ 2 ใช้
ผงถ่าน 1 กิโลกรัมอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ 45 ก้อน
น้ำหนักเฉลี่ยก้อนละ 43.78 กรัม นำไปตากแดดให้แห้ง
สนิทใช้เวลาประมาณ 5 – 7 วัน ทดลองใช้มือบีบก้อน
ถ่านทั้งสองสูตร พบว่าสูตรที่ 1 ก้อนถ่านแห้งสนิทไม่
แตกหัก แข็งคงรูปเป็นแท่งถ่าน ส่วนสูตรที่ 2 บีบแล้ว
แตกหักได้ง่าย ไม่แข็งคงรูปเท่าสูตรที่ 1 และต้องใช้
เวลาในการตากแดดนานมากกว่าสูตรที่ 1

3. ประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ถ่านเชื้อเพลิงที่ได้จากสูตรที่ 1 สามารถทำให้น้ำ 1525.90 กรัมเดือดในเวลาเฉลี่ย 14.5 นาที อัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 11.24 กรัม / นาที ค่าประสิทธิภาพการใช้งานเฉลี่ย 16.72 % ถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีการติดไฟดีมาก ไม่มีการแตกปะทุ มีควันเล็กน้อย ไม่มีเขม่า ขณะใช้งาน ส่วนถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สูตรที่ 2 สามารถทำให้น้ำ

1500 กรัมเดือดในเวลาเฉลี่ย 12 นาที อัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 11.90 กรัม / นาที ค่าประสิทธิภาพการใช้งานเฉลี่ย 18.01 % ถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีการติดไฟดี ไม่มีการแตกปะทุ มีควัน และมีเขม่าบ้างเล็กน้อย ขณะใช้งาน จึงจัดว่าถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สูตรที่ 2 ไม่เหมาะสำหรับใช้งานหุงต้มในครัวเรือนเท่ากับสูตรที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

ถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่ง	จากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (สูตรที่ 1)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
ค่าที่ใช้ในการคำนวณและผลที่ได้รับ			
น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไป	799.30 g	753.47 g	776.39 g
น้ำหนักน้ำที่เหลืออยู่	726.60 g	772.43 g	749.52 g
น้ำหนักถ่านที่ใช้สุทธิ	500 g	500 g	500 g
ระยะเวลาที่ใช้จนน้ำเดือด	14 นาที	15 นาที	14.5 นาที
ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด	44 นาที	45 นาที	44.5 นาที
อุณหภูมิของน้ำก่อนตั้งไฟ	32 °C	32 °C	32 °C
ค่าความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิง	4280 cal/g	4280 cal/g	4280 cal/g
งานที่ทำได้	1.60	1.51	1.56
อัตราการเผาไหม้	11.36 g/นาที	11.11 g/นาที	11.24 g/นาที
ค่าประสิทธิภาพการใช้งาน	17.12 %	16.32 %	16.72 %
การแตกปะทุของถ่าน	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
การติดไฟ	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก
ควัน	มีเล็กน้อย	มีเล็กน้อย	มีเล็กน้อย
เขม่า	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

ถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่ง	จากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (สูตรที่ 2)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไป	832.47 g	775.75 g	804.11 g
น้ำหนักน้ำที่เหลืออยู่	667.53 g	724.25 g	695.89 g
น้ำหนักถ่านที่ใช้สุทธิ	500 g	500 g	500 g
ระยะเวลาที่ใช้จนน้ำเดือด	12 นาที	12 นาที	12 นาที
ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด	42 นาที	42 นาที	42 นาที
อุณหภูมิของน้ำก่อนตั้งไฟ	33 °C	32 °C	32.5 °C
ค่าความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิง	4280 cal/g	4280 cal/g	4280 cal/g
งานที่ทำได้	1.66	1.5511.90 g/ นาที	1.61
อัตราการเผาไหม้	11.90 g/ นาที	17.52 %	11.90 g/ นาที
ค่าประสิทธิภาพการใช้งาน	18.51 %	ไม่มี	18.01 %
การแตกประทุของถ่าน	ไม่มี	ดี	ไม่มี
การติดไฟ	ดี	มีเล็กน้อย	ดี
ควัน	มีเล็กน้อย	มีเล็กน้อย	มีเล็กน้อย
เขม่า	มีเล็กน้อย	มีเล็กน้อย	มีเล็กน้อย

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาพลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เพื่อเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง แทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟืนและถ่านไม้จากธรรมชาติ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้ง สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่งได้
2. เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ สามารถใช้งานหุ้มน้ำได้ดี ไม่แตกปะทุ ติดไฟได้ดีมาก ไม่มีเขม่า มีควันเล็กน้อยในตอนเริ่มต้นใช้งาน และให้ค่าความร้อนสูง
3. เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สามารถผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง ใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงในครัวเรือน และใช้ในชุมชนเป็นพลังงานทดแทน แทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟืน และถ่านไม้จากธรรมชาติ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] จิระพงษ์ คูหากาญจน์ 2550. ศักยภาพทางด้านพลังงานของถ่านคอรากยางพารา การสัมมนาทางวิศวกรรมวิทยา ครั้งที่ 8 เทคโนโลยีวันวิวัฒน์ เพื่อขจัดความยากจน กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ สำนักวิชาการ ป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ ฯ
- [2] ฐานิตย์ เมธิยานนท์, ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์ และสมชาติ โสภณธนฤทธิ์ 2549 การผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากถ่านไม้ยางพารา ด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทราซัน โดยใช้แปรงเปียกเป็นตัวประสาน “การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2” วันที่ 27 – 29 กรกฎาคม 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

- [3] สุภาวดี สวัสดิ์พิรพัฒน์ , กิตติพงษ์ ตันมิตร , อานาจ สุขศรี และบรรจงศรี จิระวิบูลวรรณ 2549 การใช้ประโยชน์ขานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล เพื่อผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง “การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2” วันที่ 27 – 29 กรกฎาคม 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
- [4] สุวิทย์ เพชรห้วยลึก , ฉัตร ผลนาค, ธัญญรัตน์ อินทร์เจริญ และพชิตา เป่าเล .สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ป่าลมน้ำมัน “การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2” วันที่ 27 – 29 กรกฎาคม 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
- [5] อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ, ทิปรุณ คุณาพรวิวัฒน์ , พิสุทธิรัตน์ เสนวงษ์ , จักรพันธ์ กันทา วรพจน์ พันธุ์คง การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมขี้ข้าวโพด และกะลามะพร้าว ด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชัน โดยใช้แปรงเป็ยกเป็นตัวประสานการประชุมวิชาการ เครือข่ายการวิจัยของสถาบันอุดมศึกษา 17 – 19 มกราคม 2551 จังหวัดขอนแก่น

- [6] S.R. Richards , 1990 “Physical testing of fule briquettes” Fule Processing Technology , Vol 25 , Issue 2 pp. 89 – 100

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ให้ทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ให้การสนับสนุนการใช้ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ จนงานวิจัยสำเร็จตามระยะเวลาที่กำหนด ขอขอบคุณนาย อบต. และชาวบ้าน เกาะพยาม จังหวัดระนอง ที่สนใจและอำนวยความสะดวกในการลงพื้นที่ในการถ่ายถอดผลงานวิจัย และ ขอขอบคุณทุกกำลังใจ ทุกคำแนะนำ และทุกความช่วยเหลือ ที่ให้กับผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

การควบคุมการปรับค่าแรงดันต่ำของเครื่องมือวัดค่าอัตราการเกิดสนิม ของเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตแบบโพรไครด์เซชันเชิงเส้น

จักรพันธ์ แสงสุวรรณ¹ และ สุภชัย หอวิมานพร²

บทคัดย่อ— การวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าเพื่อทำการวิเคราะห์การเกิดสนิมเหล็กในโครงสร้างคอนกรีตแบบไม่ทำลายได้รับความนิยมและแพร่หลาย เพราะสามารถทำนายอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีความสำคัญในการวิเคราะห์หาค่าโพรไครด์เซชัน ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีคุณลักษณะที่เฉพาะให้ความละเอียดสูง บทความนี้เป็นการพัฒนาการควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยผสมเอาข้อดีข้อเสียของหลักการมารวมกันเพื่อจ่ายแรงดันและผลการตอบสนองของกระแสไฟฟ้า จากการทดสอบวัดค่ากระแสไฟฟ้าของการเกิดสนิมของเหล็กที่ฝังอยู่ในคอนกรีตเพื่อหาค่าอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริม โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่มีค่าต่ำมาก ให้กับคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อหาค่าความต้านทานแฝง ตัวอย่างที่ทดสอบใช้การจำลองสภาพแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กให้อยู่ในสภาวะสิ่งแวดล้อมทะเลด้วยการใช้คลอไรด์เป็นส่วนผสมอยู่ในคอนกรีตแทนน้ำทะเลจริง และเร่งการเกิดสนิม เพื่อทำการวัดค่าอัตราการเกิดสนิมเหล็ก ผลที่ได้จากการควบคุมการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟที่ออกแบบ สามารถให้ผลในการจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ คอนเวอเตอร์, ความต้านทานโพรไครด์เซชันและอัตราการเกิดสนิม

1. บทนำ

การบำรุงรักษาและการบูรณะซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับความนิยมเสียหายจากการเกิดสนิมในเหล็กเสริมให้กลับมามีความแข็งแรงเหมือนสภาพเดิมนั้นต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะโครงสร้างที่อยู่ในสภาวะสิ่งแวดล้อมทะเล ซึ่งการกำหนดต้นทุนค่าก่อสร้างในแต่ละปีจะประกอบไปด้วยงบประมาณที่ใช้ในการบำรุงรักษาและบูรณะซ่อมแซมโครงสร้างที่เสื่อมสภาพเนื่องจากสนิม ซึ่งใช้งบประมาณในการก่อสร้างมีมูลค่ามากกว่าโครงการ

ก่อสร้างใหม่ การเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต ดังนั้นการพัฒนาเครื่องมือเพื่อใช้ตรวจสอบหาค่าอัตรา ซึ่งเป็นการตรวจสอบด้วยวิธีทดสอบแบบไม่ทำลาย สามารถบอกเตือนให้ทราบล่วงหน้าของการเกิดสนิม ด้วยการวัดค่าอัตราการเกิดสนิมของเหล็กซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ โดยทั่วไปเครื่องมือที่นิยมใช้อาจแบ่งตามวิธีการเป็น 3 วิธีการคือ วิธีการศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (half-cell potential) วิธีการวัดค่าความต้านทานของคอนกรีต (Concrete Resistivity) และวิธีการวัดค่าความต้านทานโพรไครด์เซชัน (Polarization Resistance) ซึ่งวิธีสุดท้ายนี้ต้องทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ขนาดต่ำเพื่อตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าในคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อหาความต้านทานโพรไครด์เซชัน เพื่อคำนวณหาอัตราการกัดกร่อนเพื่อให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าค่าต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีปริมาณกระแสไหลต่อเนื่องตลอดเวลาและทุกย่านการวัดแรงดัน การออกแบบรวมเอาข้อดีของสวิตซ์โหมดเพาเวอร์ซัพ

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 399 ถ.สามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กทม. 10300 โทรศัพท์: 022829009

E-mail: chak_sn@hotmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 399 ถ.สามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กทม. 10300 โทรศัพท์: 022829009

E-mail: suppachaiyo@hotmail.com

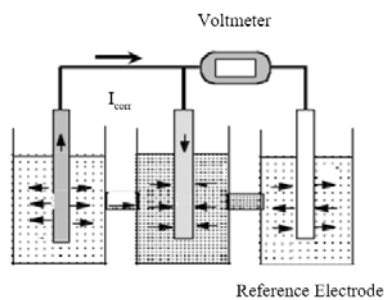
พลายและวิธีการแบ่งค่าแรงดันแบบใช้ความต้านทาน ตกรวมจึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่า ใช้แบบหนึ่งแบบใด และให้หันต่อสภาพแวดล้อมและปัจจัยอื่นในการวัด และสามารถส่งแรงดันและกระแสค่าได้อย่างถูกต้อง และแม่นยำ

2. วิธีการวิจัย

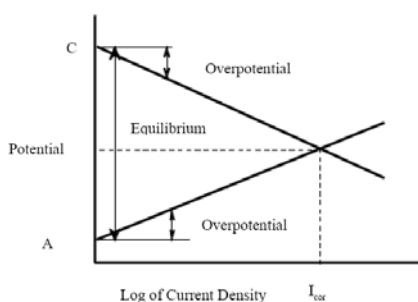
2.1 การวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากปฏิกิริยาไฟฟ้า

2.1.1 โพรราไรต์เซชัน (Polarization)

เมื่อตัวนำไฟฟ้ามีกระแสไฟฟ้าที่อยู่ภายนอกครบวงจร ทำให้สามารถหาค่าอัตราการเกิดสนิมของขั้วไฟฟ้า anode ได้ และจากภาพที่ 1 แสดงถึงเซลล์ตัวนำไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับขั้วไฟฟ้าและโวลต์มิเตอร์ที่มีความละเอียดสูงค่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ได้มาจากโวลต์มิเตอร์ได้มาจากศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาซึ่งเป็นความต่างศักย์ของวงจรไฟฟ้าแบบเปิด (Open-circuit Potential) การวัดค่าความต่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าโดยมีขั้วไฟฟ้าอ้างอิงและอ่านค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าด้วยโวลต์มิเตอร์ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าอยู่ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของขั้วไฟฟ้า ซึ่งที่ขั้วไฟฟ้า anode จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกมากกว่าและที่ขั้วไฟฟ้า cathode จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบมากกว่า



ภาพที่ 1 การวัดค่าต่างศักย์ไฟฟ้าแบบโพรราไรต์เซชัน



ภาพที่ 2 อัตราการกัดกร่อนของสนิมเหล็กในคอนกรีต

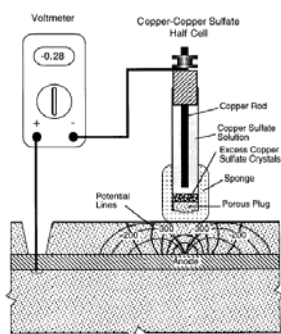
เส้นโค้งโพรราไรต์เซชันเหล่านี้เป็นค่าที่ยอมรับได้สามารถที่จะนำไปหาค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า การเกิดสนิม (Corrosion current density) และ ศักย์ไฟฟ้า การเกิดสนิม (corrosion potential) ของ Short-Circuited electrolytic cell เมื่อเซลล์ไฟฟ้ามีความเสถียรภาพ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกจากขั้วบวก มีค่าเท่ากับ กระแสไฟฟ้าที่รับเข้าของขั้วลบ ดังนั้นจุดที่ตัดกันของเส้นโค้งโพรราไรต์เซชันจะกำหนดให้เป็นศักย์ไฟฟ้าการเกิดสนิม (E_{cor}) และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการเกิดสนิม (i_{cor}) ของเซลล์ตัวนำไฟฟ้า และจากภาพที่ 2 เส้นกราฟทั้งสองค่ามีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการเกิดสนิมเท่ากันที่เงื่อนไขความสมดุลของครึ่งเซลล์ (ที่จุด A และ C) ในความเป็นจริงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่จุด A และ C แทนด้วยความสมดุลของกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงและไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากัน

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความสมดุลของศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของแต่ละขั้วไฟฟ้า ความแตกต่างระหว่างความสมดุลของศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และความต่างศักย์ของขั้วไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเป็นศักย์ไฟฟ้าส่วนเกิน (Overpotential) ในระบบของการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันซึ่งจะต้องมีความเข้าใจถึงกลไกของการกัดกร่อนสามารถอธิบายได้จากขบวนการของเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) และเซลล์อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic Cell) โดยที่เซลล์ไฟฟ้าเคมีเมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ในขณะที่เซลล์อิเล็กโทรไลต์เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ต้องผ่านกระแสไฟฟ้าจากภายนอกเข้าไปจึงจะเกิดปฏิกิริยาเคมี และจากภาพที่ 1 แสดงแผนภูมิการเกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก โดยที่โลหะที่เกิดการกัดกร่อนเป็นขบวนการที่เกิดจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (การรับและเสียอิเล็กตรอน) เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านสื่อตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ภายนอกและการเคลื่อนที่ของไอออนที่อยู่ภายใน โดยมีสารละลายเป็นตัวนำ โดยแนวคิดพื้นฐานนี้เป็นที่นิยมใช้กันและจะต้องเข้าใจถึงกลไกของการกัดกร่อนเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาสื่อตัวนำทาง

ไฟฟ้าในระบบของเซลล์กัลวานิก ในระบบนี้จะประกอบไปด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ชนิด เมื่อพิจารณาการเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยที่ขั้ว anode ของโลหะ A จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำหน้าที่เป็นขั้วลบสูญเสียอิเล็กตรอน (e) กลายเป็นไอออน (Aⁿ⁺) ในสารละลายซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกันและอิเล็กตรอน (e) ที่สูญเสียไปจะเคลื่อนที่ผ่านตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ภายนอกไปยังขั้ว cathode เป็นขั้วไฟฟ้าที่รับอิเล็กตรอนเรียกปฏิกิริยานี้ว่าปฏิกิริยารีดักชัน

2.1.2 วิธีการศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (Half-Cell Potential)

หลักการพื้นฐานในการเกิดสนิมของเหล็กในคอนกรีตที่กล่าวมาแล้วเราสามารถที่จะตรวจสอบเพื่อพิสูจน์ได้ โดยนำเอาวิธีการนี้มาใช้ในการประเมินสภาพการเกิดสนิมของเหล็กเสริมใน โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ในกรณีเมื่อเหล็กเสริมถูกกัดกร่อนก็จะเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าอยู่ทั่วในคอนกรีต (การแพร่กระจายของไอออน) ระหว่างปฏิกิริยาที่ขั้วบวกและขั้วลบโดยมีศักย์ไฟฟ้าการเกิดสนิมโดยรอบเหล็กเสริม แสดงให้เห็นถึงแนวเส้นของศักย์ไฟฟ้าที่ตัดผ่านกันจากผิวคอนกรีตถึงเหล็กเสริมและทุกๆจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าสามารถวัดค่าได้ด้วยวิธีการของศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์โดยเขียนแผนที่เส้น ชั้นความสูงของศักย์ไฟฟ้าบนผิวคอนกรีตจะแสดงให้เห็นที่สัดส่วนต่างๆของโครงสร้างที่เกิดสนิมค่อนข้างสูงจะแสดงให้เห็นว่าบริเวณดังกล่าวจะมีศักย์ที่เป็นลบสูง



ภาพที่ 3 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับใช้ทดสอบด้วยวิธีการศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ตามมาตรฐาน ASTM C 876 โดยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของคอนกรีตที่มา : (ASTM C 876, 2002)

เครื่องมือประกอบด้วย Copper-Copper Sulfate มีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วัดค่าแรงดันประสิทธิภาพสูง ในส่วนของ half-cell มีแท่งทองแดงแช่อยู่ในสารละลายเกลือที่มีความอิ่มตัวใช้สำหรับวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเหล็กที่ฝังอยู่ในคอนกรีต การวัดทำได้โดยการเชื่อมต่อปลายที่ขั้วบวกของ Voltmeter ต่อกับเหล็กเสริมและขั้วลบต่อเข้ากับ Copper-copper sulfate half-cell เป็นการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าทำได้โดยใช้ Copper-copper sulfate half-cell เชื่อมต่อที่ผิวคอนกรีตเพื่อให้เกิดวงจรไฟฟ้าโดยใช้ฟองน้ำที่เปียกชื้นและสารละลาย detergent เป็นสื่อตัวนำไฟฟ้า ถ้าหากว่าเหล็กยังเกิดสนิมแสดงว่าการไหลของอิเล็กตรอนในเหล็กจะมีแนวโน้มไหลจากเหล็กเสริมไปยัง half-cell เพราะทางด้านปลายของ Voltmeter เชื่อมต่อกับวงจรไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่าแรงดันจะมีค่าเป็นลบ ในการวัดค่า half-cell potential เป็นการวัดแบบ open circuit potential เพราะว่าเป็นการวัดค่าภายใต้เงื่อนไขของการไม่มีการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร ค่าที่อ่านได้ของศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของคอนกรีตจะมีค่าเป็นลบมากกว่าสามารถอธิบายได้ว่าเหล็กเสริมที่ฝังในคอนกรีตยังมีอิเล็กตรอนส่วนเกินอีกมากจึงมีความเป็นไปได้ที่เหล็กเสริมจะยังเป็นสนิมต่อไปอีก ในการอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าแสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมที่อยู่ภายใต้ Copper-copper sulfate half-cell สำหรับคอนกรีตและเหล็กที่ถูก epoxy เคลือบไว้ที่ผิวไม่สามารถที่จะใช้วิธีการวัดค่าด้วย half-cell potential ได้ โดยปกติวิธีเตรียมการทดสอบทำโดยกำหนดจุดเป็นตารางให้มีระยะห่างตามความเหมาะสมของลักษณะโครงสร้าง ถ้าความแตกต่างของแรงดันระหว่างจุดที่อยู่ใกล้กันเกินกว่า 150 มิลลิโวลต์ให้ถือว่าระยะห่างนั้นใช้ได้ อย่างไรก็ตามระยะห่างของจุดที่ใช้ได้สมควรจะประมาณครึ่งหนึ่งของค่าที่อ่านได้จะให้ความน่าเชื่อถือในการประเมินค่าของการเกิดสนิม ความน่าเชื่อถือในการทดสอบที่ยอมรับได้คือคอนกรีตต้องมีความชื้นอย่างน้อยพอเป็นเหตุผลที่สำคัญในการวัดค่า คอนกรีตที่มีความชื้นเพียงพอในการทดสอบค่าที่วัดได้ไม่ควรเปลี่ยนแปลงมากกว่า ± 20 มิลลิโวลต์ ภายใน 5 วินาที

2.1.3 สมการของความต้านทานโพราไรต์เซชัน

โดยส่วนมากวิธีการที่ใช้วัดค่าอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีตจะใช้ความสัมพันธ์ของ Stern-Geary ใช้สำหรับการพิจารณาทดสอบแบบไม่ทำลายหาค่าอัตราการเกิดสนิม (i_{corr}) จากสมการที่ 1

$$i_e = \frac{B}{R_p} \quad (1)$$

เมื่อ $B =$ ค่าคงที่

$R_p =$ Polarization Resistance

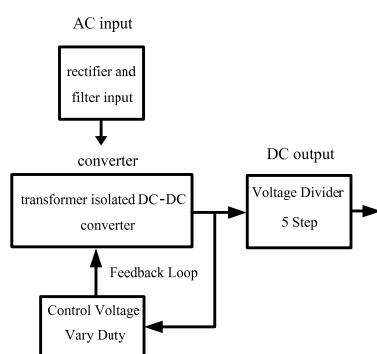
ได้มาจากการทดลองค่าของ R_p ที่คำนวณได้ถูกต้องขึ้นอยู่กับพื้นผิวสัมผัสที่ดีเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าระหว่างพื้นผิวของคอนกรีตกับ Probe สำหรับที่จุดเชื่อมต่อผิวสัมผัสของคอนกรีตไม่ดีค่า R_p จะไม่แน่นอนทำให้ค่าของกระแสไฟตกต่ำลง (I_{Rdrop}) ซึ่งทำให้ผลที่ได้ไม่มีความน่าเชื่อถือ

ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่าง $\Delta E/\Delta I$ เรียกว่า ความต้านทานโพราไรต์เซชัน (R_p) ดังสมการที่ 2

$$R_p = \frac{\Delta E}{\Delta I} \quad (2)$$

ความต้านทานไฟฟ้าจะแสดงในเทอมต่อหน่วยพื้นที่โดยที่ (R_p) มีหน่วยเป็น โอห์มพื้นที่ (ohms.cm²)

2.2 การปรับระดับแรงดันในย่านต่ำ



ภาพที่ 4 โดอะแกรมการทำงาน

2.2.1 วงจรสวิตช์โหมดเพาเวอร์ซัพพลาย

คอนเวอร์เตอร์นับว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดในสวิตช์เพาเวอร์ซัพพลาย มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ และสามารถคง

ค่าแรงดันได้คอนเวอร์เตอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจับวงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป การจะเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์แบบใดสำหรับสวิตช์เพาเวอร์ซัพพลายนั้นมีข้อควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบดังนี้คือ ลักษณะการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์ ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน การรักษาระดับแรงดันในกรณีที่คอนเวอร์เตอร์มีเอาต์พุตหลายค่าแรงดัน การกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI/EMI ของคอนเวอร์เตอร์

จากข้อพิจารณาดังกล่าว การเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาคอนเวอร์เตอร์ในภาพแบบต่างๆ โดยสามารถเลือกปรับเอาต์พุตได้ดังสมการที่ 3

$$V_o = V_{in} \frac{D}{1-D} \frac{N_2}{N_1} \quad (3)$$

D คือ วัฏจักรงาน (duty cycle)

f คือความถี่ในการสวิตช์

N_1 และ N_2 คือจำนวนรอบปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบค



ภาพที่ 5 คอนเวอร์เตอร์ไฟฟ้าต้นแบบที่เลือกใช้

โดยคอนเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ใช้เป็นแบบฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมวงจรที่เลือกมาใช้ออกแบบ มีรายละเอียดคุณสมบัติทางไฟฟ้า

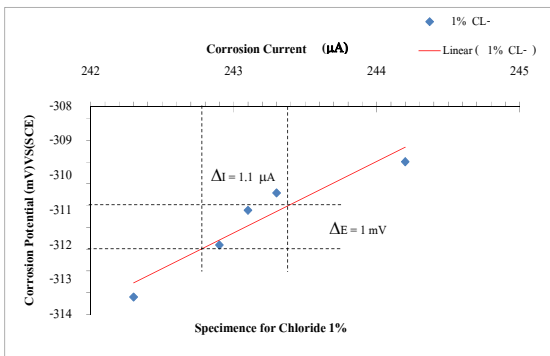
ดังนั้น ขนาดแรงดันไฟฟ้าเข้าคือ $198-242 V_{rms}$
 ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ให้ออกมาคือ $5 V$
 ขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสเพื่อเอาท์พุทไม่เกิน 10% ของ
 แรงดันเอาท์พุทที่คิดกระแสไฟฟ้าของโหลดคือ $1 A$

2.2.2 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า



ภาพที่ 6 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบใช้ความต้านทาน

3. ผลและการอภิปรายผล



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าของการเกิด
 สนิม (E_{corr}) กับกระแสไฟฟ้าของการเกิดสนิม
 (I_{corr}) สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีคลอไรด์
 ผสมร้อยละ 1

จากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นถึงค่าความต้านทาน
 โพรวาไรด์เซชัน (R_p) ซึ่งหาได้โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้า
 จากแหล่งจ่ายไฟผ่านเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในคอนกรีต
 ดังภาพที่ 10 โดยให้มีอัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้า
 อยู่ในช่วง 10-30 มิลลิโวลต์ และอ่านค่าผลการตอบสนอง

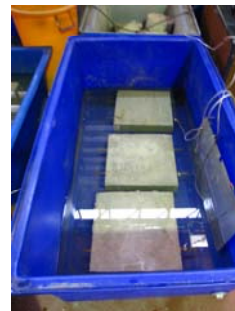
ของกระแสไฟฟ้าของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมจาก
 เครื่องมือวัดที่มีความละเอียดสูงซึ่งค่าความต้านทาน
 โพรวาไรด์เซชันที่หาได้จากสมการที่ 2 ค่าของ (E_{corr})
 และ (I_{corr}) ที่กำหนดให้เป็นการจ่ายแรงดันไฟฟ้าหรือ
 จ่ายกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมากและหลังจากที่ได้
 ประยุกต์ใช้วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าสามารถทำให้เพิ่ม
 ประสิทธิภาพในการควบคุมได้ทั้งแรงดันไฟฟ้าและ
 กระแสไฟฟ้างดภาพที่ 10-12

3.1 การเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าในช่วง 10-30 มิลลิโวลต์
 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมากสามารถให้ค่าการตอบสนองของ
 กระแสไฟฟ้าที่มีค่าต่ำได้ดี เมื่อใช้วงจรแบ่ง
 แรงดันไฟฟ้างดภาพที่ 8

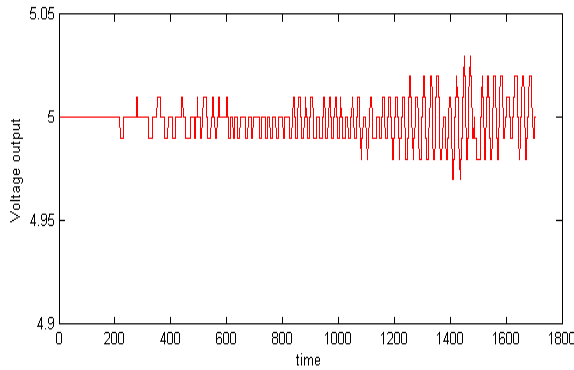


ภาพที่ 8 การวัดปริมาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า

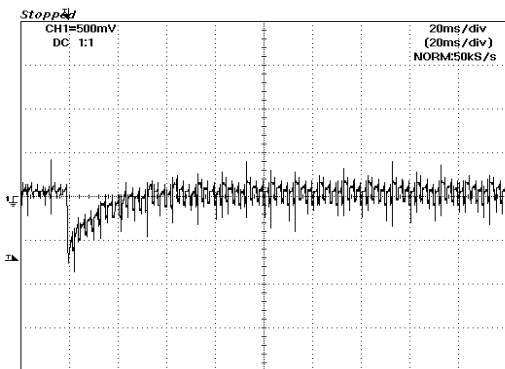
3.2 จากเหล็กเกิดสนิมและการเพิ่มขึ้นของ
 แรงดันไฟฟ้าจะมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่วัดค่าได้
 จากเหล็กเสริมจะมีแนวโน้มของความต้านทาน
 เพิ่มมากขึ้น



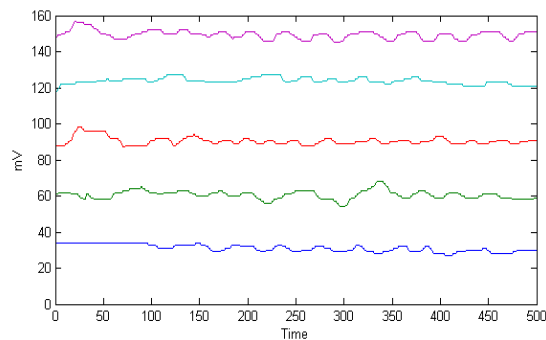
ภาพที่ 9 ตัวอย่างคอนกรีตสำหรับวัดค่าอัตราการ
 เกิดสนิมของเหล็กเสริม



ภาพที่ 10 แรงดันเอาต์พุตสวิตช์โหมคเพาเวอร์ซัพพลาย



ภาพที่ 11 ผลตอบสนองเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น 30 mV



ภาพที่ 12 แรงดันเอาต์พุตที่เพิ่มขึ้น 30 mV

4. สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากการวัดค่าความต้านทานโพลาไรซ์เซชันของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในคอนกรีตมีค่าต่ำมากและเครื่องมือที่มีอยู่ในปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพงมาก ดังนั้นจากการวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงเครื่องมือที่มีอยู่ในปัจจุบันให้สามารถวัดค่าได้ด้วยการเพิ่มวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าซึ่ง

สามารถทำให้การควบคุมแรงดันไฟฟ้าและการตอบสนองของกระแสไฟฟ้ามืดค่าที่เสถียรมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ การควบคุมตัวอย่างที่ใช้ทดสอบในการวัดค่าเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าที่ต่ำมากดังนั้นปัจจัยสำคัญที่ควรให้ความสนใจคือความชื้นซึ่งเป็นสื่อตัวนำไฟฟ้าที่มีผลต่อการวัดค่าความต้านทานมากจึงต้องมีการควบคุมที่ดี

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Hand, R. S., Comparisons and Stability Analysis of Linearized Equations of Motion for a Basic Bicycle Model, MSc Thesis, Cornell University, May 1988.
- [2] Meijaard, J. P., "Direct determination of periodic solutions of the dynamical equations of flexible mechanisms and manipulators," International Journal for Numerical Methods in Engineering 32, 1991, pp. 1691–1710.
- [3] Sharp, R. S., "The Stability and Control of Motorcycles," Journal of Mechanical Engineering Science, 13(5), 1971, pp. 316–329.
- [4] Feliu, S., J.A. Gonzalez, S. Feliu, Jr., and M. C. Andrade. "Polarization Resistance in Reinforced Concrete." ACI Materials Journal No. 87-M47 (Sept./Oct. 1990): 457-460.
- [5] Andrade, C., V. Castelo, C. Alonso, and Y. Gonzalez. ASTM STP 906. Philadelphia, PA: ASTM, 1984, pp. 43-63.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำงานวิจัยขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ของคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมที่ให้คำแนะนำสิ่งที่เป็นประโยชน์ในการทดลองและอาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองวิจัยครั้งนี้

เทคนิคการนำแรงแม่เหล็กไฟฟ้ามาพัฒนาอุปกรณ์ยิงตะปูในงานไม้

อนุสรณ์ เราท่า¹ มานัส สุนันท์¹ โชคมงคล นาดิ¹ พินิจ เนื่องภิรมย์¹และ ดิเรก มณีวรรณ²

บทคัดย่อ— แนวคิดของเทคนิคการนำแรงแม่เหล็กไฟฟ้ามาพัฒนาอุปกรณ์ยิงตะปูในงานไม้ที่ได้ทำการวิจัยในโครงการนี้ คือ ทำการปรับปรุงเครื่องยิงตะปู ในส่วนของกลไกให้สอดคล้องกับต้นกำลังการสร้างแรงกระแทกจากเดิมที่ใช้แรงดันลมมาเป็นแรงแม่เหล็กไฟฟ้า ผลจากการพัฒนาอุปกรณ์ยิงตะปูโดยใช้แรงแม่เหล็กไฟฟ้าจะได้ ตัวปืนยิงตะปู ชุดประจุแบตเตอรี่ ชุดตรวจสอบปริมาณแบตเตอรี่ แบตเตอรี่และกระเปาะบรรจุใช้งาน ส่วนการทำงานของอุปกรณ์ยิงตะปูโดยใช้แรงแม่เหล็กไฟฟ้า ผลทดสอบพบว่าที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 25.20 โวลต์ กระแส 6.4 แอมป์ต่อชั่วโมง สามารถยิงตะปูที่มีความยาวตั้งแต่ 10 มิลลิเมตร ถึง 20 มิลลิเมตรกับชนิดของไม้ประเภทเนื้ออ่อน (ไม้ไผ่ ไม้อัด ปาดิเกิล ไม้ทำเฟอร์นิเจอร์) ความสามารถนี้ทดสอบที่การยิงต่อเนื่อง (ยิง – หยุดยิง เว้นช่วงเวลา 2 วินาที) ระยะเวลาการใช้งานต่อแบตเตอรี่ 1 ชุดสามารถใช้ยิงตะปูได้ 750 ตัว การประจุแบตเตอรี่ขนาด 11.1 โวลต์ 2,150 มิลลิแอมป์ใช้เวลา 3 ชั่วโมงในการประจุแต่ละครั้ง

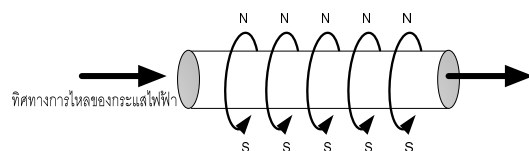
คำสำคัญ อุปกรณ์ยิงตะปู แรงแม่เหล็กไฟฟ้า

1. บทนำ

ปืนยิงตะปูสำหรับงานไม้เป็นเครื่องช่างชนิดหนึ่งสำหรับอำนวยความสะดวกลดจนเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้กับช่างผู้ใช้งาน ปกติโดยทั่วไปปืนยิงตะปูจะอาศัยแรงดันลมจากเครื่องอัดลม โดยมีโครงสร้าง คือ กลไกกระแทกตัวตะปู สวิตช์ควบคุมการปล่อยแรงดันลม ตัวโครงสร้างปืนยิงตะปู สายลม และเครื่องอัดลม (Air compressor) ปืนยิงตะปูด้วยแรงดันลมในการใช้งานแต่ละครั้ง ต้องใช้แรงดันลมประมาณ

6 – 8 บาร์ ตัวอย่างปืนยิงตะปูด้วยแรงดันลม เช่น ปืนยิงตะปูด้วยแรงดันลม F30 สามารถยิงลูกตะปูที่มีขนาดตั้งแต่ 10 มิลลิเมตร ถึง 30 มิลลิเมตร และปืนยิงตะปูด้วยแรงดันลม F50 สามารถยิงลูกตะปูที่มีขนาดตั้งแต่ 10 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร

ปืนยิงตะปูด้วยแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า นั้นอาศัยแรงกระแทกตัวตะปูจากท่อน ในขดลวด โซลินอยด์ (ขดลวดพันรอบๆ แกนสารแม่เหล็ก) ที่เกิดจากแรงแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปรากฏบนเส้นลวดตัว คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดตัวนำใด ๆ ก็ตามจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ตัวนำนั้น ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ทิศทางและสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไหลผ่านเส้นลวด

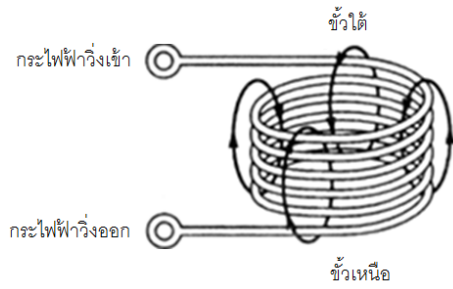
เมื่อนำเส้นลวดมาขดเป็นวง ๆ หลาย ๆ วงก็จะเกิดลักษณะของขดลวดขึ้น ดังภาพที่ 2

¹ หลักสูตรอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 128 ถนนห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

² หลักสูตรอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 128 ถนนห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

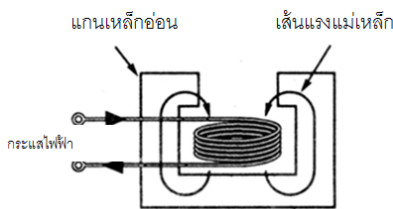
โทรศัพท์: 0-5392-1444 ต่อ 2111 โทรสาร:0-5321-3183

E-mail: anusornel_rmutil@hotmail.com



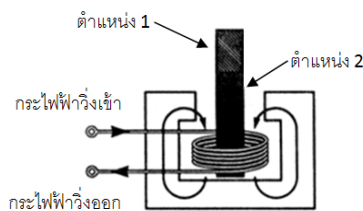
ภาพที่ 2 ทิศทางและสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดที่มีกระแสไหล

จากภาพที่ 2 พบว่าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดแต่ละขด จะอยู่ในทิศทางเสริมกัน และก่อ กำเนิดเป็นเส้นแรงของสนามแม่เหล็กแท่งหนึ่ง ซึ่งพร้อมที่จะดูดสารแม่เหล็กทันที แต่เนื่องจากสภาพรอบ ๆ ขดลวดอาจเป็นอากาศ ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กมีไม่มากนัก ดังนั้นเพื่อที่จะไม่ให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น เกิดการกระจัดกระจาย จึงใส่แกนเหล็กอ่อน รูปตัว C เข้ามารอบ ๆ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเพิ่มเหล็กอ่อนเข้ามาเพื่อเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก

เมื่อนำแกนกระทุ้ง (Plunger) มาใส่เข้าไปตรงกลางขดลวดในตำแหน่งที่ 1 แกนกระทุ้งจะถูกดูด ให้เหล็กเข้ามาจนสนิทในตำแหน่งที่ 2 ยิ่งระยะทางใกล้มากเท่าไรแรงดูดก็จะมากขึ้นเท่านั้นแสดงดังภาพที่ 4

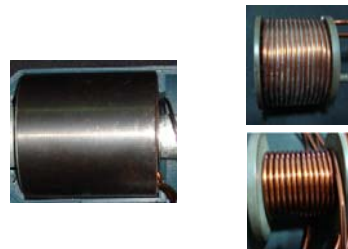


ภาพที่ 4 การเคลื่อนที่ของแกนกระทุ้ง

2. วิธีการวิจัย

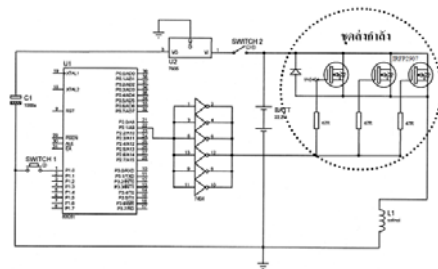
2.1 ทำการศึกษาเทคนิคการนำแรงแม่เหล็กไฟฟ้า มาประยุกต์พัฒนาอุปกรณ์ยังตะปูในงานไม้โดยทำการปรับปรุงพัฒนาต้นกำลังแรงการยิงตะปูที่ใช้แรงดันลมมาจากเครื่องอัดลมมาเป็นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าจากขดลวดโซลินอยด์โดยทำการออกแบบชุดขดลวดโซลินอยด์เพื่อใช้สร้างแรงแม่เหล็กไฟฟ้าโดยมีเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์เป็นตัวควบคุมการจ่ายปริมาณกระแสไฟฟ้าทำงานร่วมกับไมโคร โปรเซสเซอร์เพื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าที่สม่ำเสมอในการเปลี่ยนเป็นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละครั้งที่ยิงตะปู อาศัยแบตเตอรี่ชนิดที่สามารถประจุซ้ำ เป็นแหล่งจ่ายไฟ

2.1.1 ออกแบบขดลวดโซลินอยด์ ใช้สำหรับสร้างแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยเลือกทำจากลวดทองแดงเบอร์ 15 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.45 มิลลิเมตร มีลักษณะแสดงดังภาพที่ 5



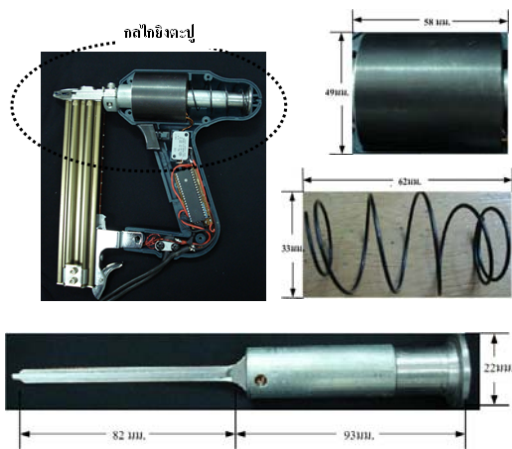
ภาพที่ 5 เส้นลวดทองแดงเบอร์ 15

2.1.2 เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการจ่ายปริมาณกระแสไฟฟ้าทำงานร่วมกับไมโคร โปรเซสเซอร์โดยใช้เพาเวอร์ มอสเฟต เบอร์ IRFP2907 จำนวน 3 ตัวถูกควบคุมการทำงานด้วยไมโคร โปรเซสเซอร์ ลักษณะวงจรแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 วงจรควบคุมการจ่ายปริมาณกระแสไฟฟ้า

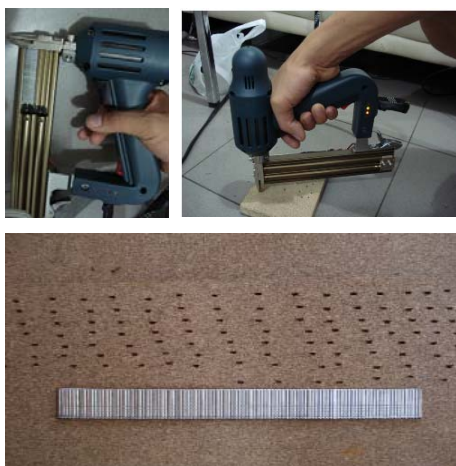
2.1.3 ภาคกลไกการยิงตะปู ทำการดัดแปลง กลไก ให้สามารถใช้กับแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แรงดันไฟตรงได้ ตัวกลไกแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กลไกการยิงตะปู ปืนยิงตะปู

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

2.2.1 ทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงาน ของตัวปืนยิงตะปูด้วยแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทำการทดสอบการยิงลูกตะปู ที่ขนาดความยาว 15 มิลลิเมตร ทำการยิงลงในไม้อัดปาติเกิลที่มีขนาดความหนา 17 มิลลิเมตร ที่ขนาดแรงดันแบตเตอรี่สูงสุดที่ 25.20 โวลต์และแรงดันแบตเตอรี่ต่ำสุดที่ 20 โวลต์ ว่าสามารถยิงได้ที่ปริมาณกี่นัด



ภาพที่ 8 การทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวปืน

2.2.2 ทดสอบความสามารถในการยิงชนิดของไม้ โดยการทดสอบความสามารถในการยิงลูกตะปู ที่มีขนาดตั้งแต่ 10 มิลลิเมตร ถึง 20 มิลลิเมตรกับไม้ 3 ชนิด คือ ไม้ไผ่ ไม้อัดปาติเกิล และไม้ทำเฟอร์นิเจอร์ โดยมีขนาดความหนาของไม้ที่แตกต่างกันตามธรรมชาติของชนิดไม้เพื่อดูความสามารถและประสิทธิภาพการยิง

2.2.3 ทดสอบสถานะระดับของแบตเตอรี่ ขณะใช้งานเพื่อที่ในการใช้งานจะได้ทราบระดับพลังงานคงเหลือของแบตเตอรี่ และระดับแรงดันที่เหมาะสมในการนำไปประจุแบตเตอรี่ใหม่ เพื่อหาจำนวนตะปูต่อครั้งในการประจุแบตเตอรี่เต็ม

2.2.4 ทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่เพื่อดูความสามารถในการประจุพลังงาน

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงาน ของตัวปืนยิงตะปูด้วยแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทำการทดสอบการยิงลูกตะปู ที่ขนาดความยาว 15 มิลลิเมตร จำนวน 100 นัด ทดสอบยิงลงในไม้อัดปาติเกิลที่มีความหนา 17 มิลลิเมตร ที่ขนาดแรงดันแบตเตอรี่สูงสุดที่ 25.20 โวลต์ และแรงดันแบตเตอรี่ต่ำสุดที่ 20 โวลต์ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบยิงจำนวนตะปูที่ระดับแรงดันต่างๆ ของแบตเตอรี่

ระดับแรงดันแบตเตอรี่ (โวลต์)	จำนวนลูกตะปูที่ยิงได้ (นัด)
25.20	1 - 50
24.20	51 - 100
24.14	101 - 150
23.92	151 - 200
23.68	201 - 250
23.52	251 - 300
23.36	301 - 350
23.24	351 - 400
23.08	410 - 450
22.94	451 - 500

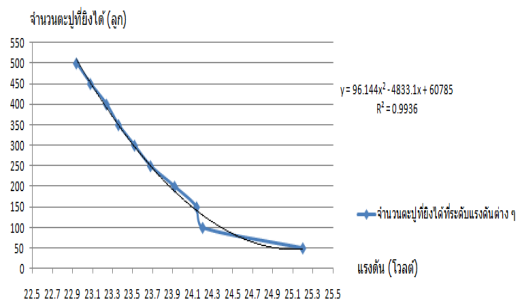
จากตารางที่ 1 เป็นการทดสอบยิงที่ทุก ๆ 50 นัด ต่อเนื่องแล้วพัก 5 นาที (เพื่อช่วยระบายลดความร้อนที่เกิดบนขดลวดโซลินอยด์) ใช้ตะปูขนาดความยาว 15 มิลลิเมตร ทำการยิงลงในไม้อัดปาดิเกลที่มีขนาดความหนา 17 มิลลิเมตร พบว่าที่ขนาดแรงดันแบตเตอรี่สูงสุดที่ 25.20 โวลต์สามารถยิงได้ทีปริมาณมากกว่า 500 นัด จึงมีความเป็นไปได้สูงต่อการนำไปใช้งานจริงได้โดยอาศัยสมการที่ 1 บ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนลูกตะปูที่ยิงได้กับระดับแรงดันแบตเตอรี่

$$y = 96.144x^2 - 4833.1x + 60785 \quad (1)$$

โดยที่

y แทนจำนวนลูกของตะปูที่ยิงได้

x แทนระดับแรงดันแบตเตอรี่ที่ถูกใช้งาน



ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนลูกตะปูที่ยิงได้กับระดับแรงดันที่ใช้ทดสอบ

3.2 ผลการทดสอบโดยยิงตะปูกับไม้ทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการทดสอบโดยยิงลงในเนื้อไม้จำนวน 30 นัดแล้วสังเกตผลการทดสอบ

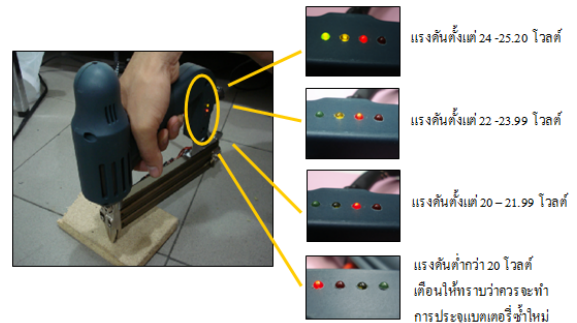


ก) ไม้ไผ่ ข) ไม้อัดปาดิเกล ค) ไม้ทำเฟอร์นิเจอร์

ภาพที่ 10 ผลจากการทดสอบความสามารถในการยิงไม้ทั้ง 3 ชนิด

จากผลการยิงไม้ทั้ง 3 ชนิด พบว่าไม่มีรอยแตกร้าวเกิดขึ้นกับเนื้อไม้และตะปูสามารถวิ่งเข้าสู่เนื้อไม้ได้ดี

3.3 ผลการทดสอบสถานะระดับของแบตเตอรี่ขณะใช้งานเพื่อที่ในการใช้งานจะได้ทราบระดับพลังงานคงเหลือของแบตเตอรี่ และระดับแรงดันที่เหมาะสมในการนำไปประจุแบตเตอรี่ใหม่ เพื่อหาจำนวนตะปูต่อครั้งในการประจุแบตเตอรี่



ภาพที่ 11 ผลการทดสอบสถานะระดับของแบตเตอรี่

ป็นยิงตะปูนี้สามารถมีการบ่งบอกสถานะระดับแรงดันให้ผู้ใช้ทราบทราบได้ตลอดเวลาที่ต้องการทำให้สามารถรู้ถึงจำนวนตะปูที่ยังใช้งานได้จึงมีความสะดวก และคล่องตัวในการนำไปใช้งานสูง

3.4 ผลการทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่เพื่อนำไปใช้งานจริงในการทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่ได้ออกแบบและสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ จำนวน 3 ก้อน โดยมีไดโอดเปล่งแสงสีแดงจำนวน 3 หลอด แสดงสถานะกำลังประจุแบตเตอรี่อยู่ โดยแต่ละก้อนเมื่อทำการประจุเต็มจะได้แรงดันที่ประมาณ 12.6 โวลต์ ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 สถานะกำลังประจุแบตเตอรี่

4. สรุปผลการวิจัย

เทคนิคการนำแรงแม่เหล็กไฟฟ้ามาพัฒนาอุปกรณ์ยังตะปูในงานไม้โดยอาศัยหลักการของขดลวดโซลินอยด์ สร้างแรงแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการควบคุมปริมาณของกระแสที่ไหลเข้าขดลวดโดยใช้การควบคุมด้วยวงจรเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ร่วมกับไมโครโปรเซสเซอร์พบว่ามีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการนำไปใช้งานได้จริง รวมถึงมีความคล่องตัวในการพกพาสูงเพราะน้ำหนักเบา (1.5 กิโลกรัม) และยังเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานสูงกว่าแบบเดิมที่อาศัยแรงดันลมจากการผลอยังตะปูโดยไม่ได้ตั้งใจเพราะอุปกรณ์ยังตะปูชิ้นนี้หากไม่ทำการกดจุดที่จ่ายตะปูออกกับชิ้นงานให้แน่นแรงที่ได้จะไม่มากตามที่ออกแบบและไม่อันตรายกับผู้ใช้งานและผู้ที่อยู่รอบข้าง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Hayt , W. H. , Jr .2540. Engineering Electromagnetics.
- [2] Durney, Carl H. and Johnson, Curtis C. 1969. *Introduction to modern electromagnetics.*

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ภาคพายัพ ที่ให้การสนับสนุนโครงการวิจัยเงินผลประโยชน์ ปี ๒๕๕๓ ภายในการบริหารของคณะวิศวกรรมศาสตร์และขอขอบคุณสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ที่กรุณาให้ใช้สถานที่ในการทดสอบวิจัย สุดท้ายขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยทุกท่าน และนักศึกษาช่วยงาน คือ นางสาวประภาพร เทพกัน และ นายรุ่งโรจน์ ดอกดวง ที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เครื่องทำลายเข็มฉีดยาโดยใช้การอาร์กไฟฟ้า

บุญช่วย เจริญผล¹ สรรรพพล คุ่มทรัพย์¹ และ ชาญฤทธิ ธาราสันติสุข¹

บทคัดย่อ— บทความนี้นำเสนอเครื่องทำลายเข็มฉีดยา ซึ่งใช้หลักการของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง วงจรเรียงกระแสที่ใช้เป็นวงจรเรียงกระแส 1 เฟส โดยใช้เอสซีอาร์ควบคุมแบบเต็มคลื่น ซึ่งสามารถปรับมุมการนำกระแสได้ จึงเป็นการปรับค่ากระแสและแรงดันที่จะทำการอาร์ก และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F877A มาควบคุมกลไกการทำงานให้เป็นแบบอัตโนมัติ ทั้งการอาร์กไฟฟ้า การจับเข็มฉีดยาและพัดลมดูดควันจากการอาร์ก และในขณะที่ทำการอาร์กจากไฟฟ้านั้น จะทำให้เกิดความร้อนที่จะฆ่าเชื้อโรคและยังสามารถทำลายเข็มฉีดยาให้ละลายได้ ทำให้ความคมของเข็มไม่เป็นอันตรายต่อผู้ที่ปฏิบัติงาน ซึ่งเครื่องทำลายเข็มฉีดยาโดยใช้การอาร์กไฟฟ้า สามารถทำลายเข็มฉีดยาตั้งแต่เบอร์ 18-27 ซึ่งเป็นขนาดเข็มฉีดยาที่ใช้โดยทั่วไปตามโรงพยาบาล หรือในทางการแพทย์ โดยเวลาที่ใช้ในกระบวนการทำลายไม่เกิน 1 นาที ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวของเข็มที่จะทำการทำลาย

คำสำคัญ เครื่องทำลายเข็มฉีดยา PIC เบอร์ 16F877A การอาร์กไฟฟ้า

1. บทนำ

บุคลากรทางการแพทย์จัดเป็นทรัพยากรที่สำคัญ และมีคุณภาพ องค์การอนามัยโลกประเมินว่ามีการใช้เข็มฉีดยาประมาณ 16 พันล้านครั้งต่อปี การใช้เข็มฉีดยาเหล่านี้ก่อให้เกิดความไม่ปลอดภัยทั้งต่อผู้ป่วยและบุคลากรทางการแพทย์ ประมาณ 3 ล้านคนของบุคลากรทางการแพทย์ จะมีประสบการณ์ได้รับการบาดเจ็บจากการถูกเข็มฉีดยา พบว่า 16,000 ราย ป่วยด้วยโรคไวรัสตับอักเสบบี 66,000 ราย ป่วยด้วยโรคไวรัสตับอักเสบบี และติดเชื้อ เอชไอวี ประมาณ 200 – 5,000 รายต่อปี มากกว่าร้อยละ 90 พบในประเทศกำลังพัฒนา กลุ่มเสี่ยงในบุคลากรทางการแพทย์มีความเสี่ยงสูง ได้แก่ พยาบาล แพทย์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ กลุ่มเสี่ยงอื่นๆ ได้แก่ คนทำความสะอาด คนเก็บขยะ สัตว์สวนการติดเชื้อไวรัสตับอักเสบบี ซี และเอชไอวีในบุคลากรทางการแพทย์ จากการสัมผัสเข็มฉีดยา มีผู้สัมผัสเข็มราว 2 ล้านคนต่อปี

ขั้นตอนรวบรวมเข็มฉีดยาที่ใช้แล้วไปทำลายอาจเกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคได้ เพราะเข็มฉีดยาไม่ได้ถูกทำลายในทันที ซึ่งเชื้อโรคที่อยู่ในเข็มอาจจะเป็นโรคติดต่อที่ร้ายแรงก็เป็นไปได้ ซึ่งหากเกิดข้อผิดพลาดเพียงเล็กน้อยก็อาจจะส่งผลที่ร้ายแรงต่อผู้

ปฏิบัติงาน จึงเป็นที่มาของแนวคิด เครื่องทำลายเข็มฉีดยาโดยใช้การอาร์กไฟฟ้า ซึ่งสามารถใช้ทำลายเข็มฉีดยาได้ทันที หลังจากการใช้งาน เครื่องทำลายเข็มฉีดยาโดยใช้การอาร์กไฟฟ้านั้นจะใช้หลักของการอาร์กไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดความร้อนที่จะฆ่าเชื้อโรคและยังสามารถละลายเข็มฉีดยาได้ทำให้ไม่มีความคมที่จะทำอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน โดยการควบคุมการทำงานของเครื่องทำลายเข็มฉีดยา จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการอาร์กไฟฟ้า การจับเข็มฉีดยา และการดูดควันจากการอาร์กโดยอัตโนมัติซึ่งเพิ่มความสะดวกในการทำลายเข็มฉีดยา

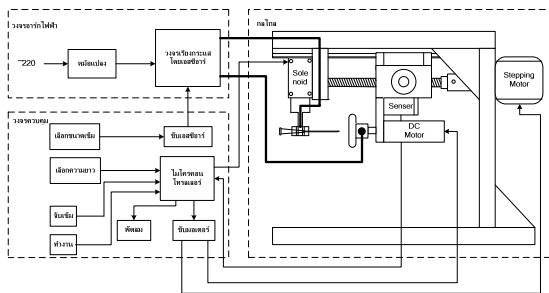
2. วิธีการวิจัย

เครื่องทำลายเข็มฉีดยาโดยใช้การอาร์กไฟฟ้าจะแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ บล็อกไดอะแกรมวงจรอาร์กไฟฟ้า บล็อกไดอะแกรมวงจรควบคุม และบล็อกไดอะแกรม

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพฯ 2 ถ.นางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120 โทรศัพท์ 089-9226826, chanrit.t@rmutk.ac.th

กลไกการทำงาน ดังภาพที่ 1 การทำงานของเครื่องทำลายเข็มฉีดยาจะสามารถเลือกขนาดและความยาวของเข็มฉีดยาที่เราจะทำลายได้ โดยการเลือกความยาว การจับเข็มและการทำงานจะเป็นสัญญาณอินพุตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกลไกการทำลาย ซึ่งประกอบไปด้วยโซลินอยด์ทำหน้าที่จับเข็ม ดิจิตอลมอเตอร์ทำหน้าที่หมุนฐานอาร์ก สเต็ปป์มอเตอร์ทำหน้าที่เคลื่อนฐานอาร์ก และพัลลคมทำหน้าที่ดูดควัน

ส่วนวงจรขับเอสซีอาร์จะรับอินพุตจากการเลือกขนาดเข็ม เพื่อนำมาเปลี่ยนมุมการกระตุ้นการนำกระแสของเอสซีอาร์ในวงจรเรียงกระแส 1 เฟส โดยใช้เอสซีอาร์ควบคุมแบบเต็มคลื่น และแรงดันที่ได้จากวงจรเรียงกระแสจะต่อกับตัวจับเข็มและฐานอาร์กเพื่อที่จะทำการอาร์กเข็มที่ต้องการทำลาย



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมเครื่องทำลายเข็มฉีดยาโดยใช้การอาร์กไฟฟ้า

2.1 ออกแบบและเลือกหม้อแปลงไฟฟ้า

การเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้านั้น จะต้องคำนึงถึงกระแสและแรงดันที่ใช้งาน ซึ่งในการทดลองพบว่ากระแสและแรงดันที่ใช้จะมีค่าแตกต่างกันไปตามขนาดของเข็มฉีดยาแต่ละเบอร์ แต่เนื่องจากเข็มฉีดยาที่ต้องการทำลายมีทั้งหมด 10 เบอร์ คือ 18 – 27 ดังนั้นจึงได้แบ่งช่วงของขนาดเข็มแต่ละเบอร์ออกเป็น 4 ช่วง ซึ่งแต่ละช่วงสามารถใช้กระแสและแรงดันเดียวกันได้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กระแสและแรงดันที่ใช้อาร์กเข็มฉีดยา

	เบอร์ของเข็มฉีดยา			
	18-19	20-22	23-24	25-27
กระแส (A)	11	10	8	6
แรงดัน (V)	35	30	25	20
กำลังไฟฟ้า (W)	385	300	200	120

จากตารางพบว่าต้องการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยได้สูงสุดที่ 11A แรงดันเฉลี่ยสูงสุด 35V เนื่องจากว่าวงจรอาร์กไฟฟ้าที่ใช้นั้นเป็นวงจรเรกติฟายบริดจ์แบบเต็มคลื่น ดังนั้นการคำนวณหาขนาดกระแสและแรงดันของหม้อแปลงสามารถทำได้ดังนี้

$$I_{DC} = 0.636I_m \quad (1)$$

$$\text{และ } I_m = \frac{I_{rms}}{0.707} \quad (2)$$

แทนค่ากระแสลงในสมการที่ 3 จะได้

$$I_{DC} = \frac{0.636I_{rms}}{0.707} \quad (3)$$

$$\text{ย้ายข้างสมการจะได้ } I_{rms} = \frac{0.707I_{DC}}{0.636}$$

$$\text{เมื่อแทนค่าจะได้กระแส } I_{rms} = 12A$$

การคำนวณหาขนาดแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$U_{DC} = 0.636U_m - U_{scr1,scr4} - U_{scr2,scr3} \quad (4)$$

$$\text{และ } U_m = \frac{U_{rms}}{0.707} \quad (5)$$

$$\text{แทนค่า } U_{scr1,scr4} \quad U_{scr2,scr3} = 0.7$$

$$U_{rms} = \frac{0.707(U_{DC} + 1.4)}{0.636} \quad (6)$$

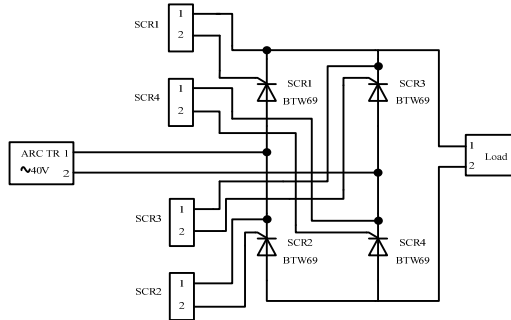
$$\text{แทนค่า ในสมการ (6) จะได้ } U_{rms} = 40V$$

เลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด $U_{rms} = 40V$ และ

$$I_{rms} = 12A$$

2.2 วงจรอาร์กไฟฟ้า (Electrical Arc Circuit)

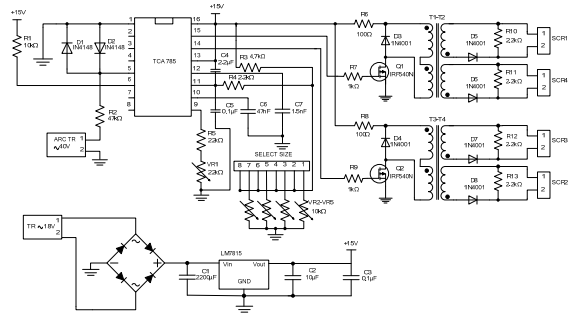
วงจรอาร์กไฟฟ้า ใช้วงจรเรียงกระแส 1 เฟสโดยใช้เอสซีอาร์ควบคุมแบบเต็มคลื่น ซึ่งสามารถปรับแรงดันเอาต์พุตที่จ่ายให้กับโหลดได้โดยการควบคุมมุมการนำกระแสของเอสซีอาร์นั้น จะควบคุมด้วยวงจรควบคุมเฟส ซึ่ง SCR1 กับ SCR4 ทำงานพร้อมกันที่เวลา $\omega t = 0^\circ - 180^\circ$ และ SCR2 กับ SCR3 ทำงานพร้อมกันที่เวลา $\omega t = 180^\circ - 360^\circ$ จึงทำให้กระแสไหลผ่านโหลด



ภาพที่ 2 วงจรอาร์กไฟฟ้า

2.3 วงจรควบคุมเฟส (Phase Control Circuit)

วงจรควบคุมเฟสจะใช้ไอซี TCA785 ซึ่งเป็นไอซีที่สามารถควบคุมเฟสได้ และยังให้เอาต์พุตในการควบคุมเฟส ออกมา 2 สัญญาณ ซึ่งทั้ง 2 สัญญาณจะมีการต่างเฟสกัน 180 องศาตลอด ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการควบคุมเฟสวงจรเรียงกระแส 1 เฟสโดยใช้เอสซีอาร์ควบคุมแบบเต็มคลื่น การควบคุมให้เอสซีอาร์นำกระแส นั้นจะต้องจ่ายแรงดันไฟบวกครบรอบมาเกตและแคโทด SCR1 กับ SCR4 ต้องทำงานพร้อมกันที่เวลา $\omega t = 0^\circ - 180^\circ$ และ SCR2 กับ SCR3 ต้องทำงานพร้อมกันที่เวลา $\omega t = 180^\circ - 360^\circ$ ดังนั้นต้องแยกพัลส์จุดชนวนเป็น 2 ชุด ทำโดยการใช้หม้อแปลงพัลส์ 2 ตัวมาต่อขนานกัน 2 ชุด ซึ่งจะใช้หม้อแปลงพัลส์ทั้งหมด 4 ตัว จึงจะทำงานพร้อมกันได้อย่างปลอดภัย และสามารถควบคุมการนำกระแสของเอสซีอาร์ได้



ภาพที่ 3 วงจรควบคุมเฟส

2.4 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

เครื่องทำลายเข็มฉีดยาโดยใช้การอาร์กไฟฟ้านั้น ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F877A มาควบคุมการทำงานของกลไกการทำลาย โดยใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรมควบคุม ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

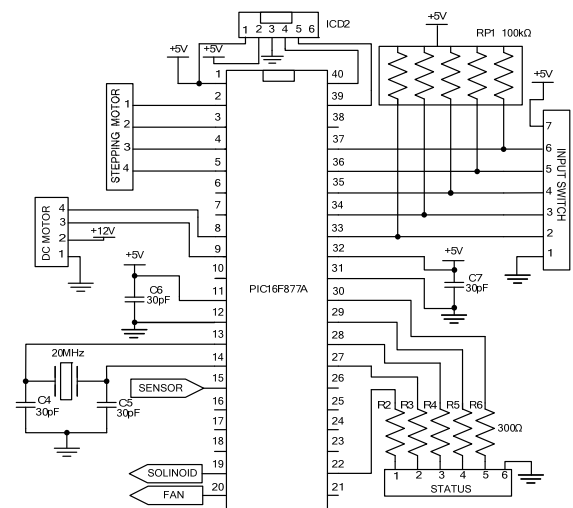
2.4.1 โซลินอยด์ทำหน้าที่จับเข็ม

2.4.2 พัดลมทำหน้าที่ดูดควัน

2.4.3 ดีซีมอเตอร์ทำหน้าที่หมุนฐานอาร์ก

2.4.4 สเต็ปป์มอเตอร์ทำหน้าที่เลื่อนฐานอาร์ก

2.4.5 เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำทำหน้าที่ตรวจสอบระยะฐานอาร์ก



ภาพที่ 4 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

2.5 วงจรสวิตช์เลือกขนาด เลือกความยาว จับเข็ม ทำงาน และหลอด LED แสดงสถานะต่างๆ

การทำงานของเครื่องทำลายเข็มฉีดยานั้น จะต้องมีกำหนดขนาดของเข็มฉีดยา เพื่อกำหนดกระแส และแรงดันที่เหมาะสมให้กับการอาร์ก และมีการเลือกความยาวเพื่อที่จะได้เดือนฐานการอาร์กให้เหมาะสมกับความยาวเข็ม มีสวิตช์จับเข็มและทำงาน เพื่อที่จะสั่งให้เครื่องทำงาน และมีหลอด LED เพื่อแสดงสถานะต่างๆของการทำงาน

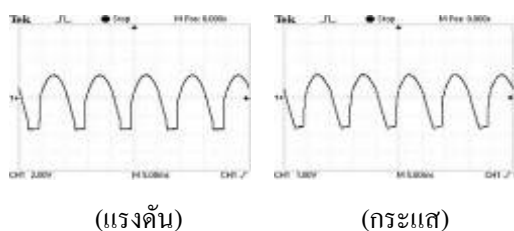
2.6 กลไกการทำลาย

กลไกการทำลายของเครื่องทำลายเข็มฉีดยา มีอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ กลไกการเลื่อนฐานอาร์ก และกลไกการจับเข็ม ดังภาพที่ 5 และภาพที่ 6 โดยกลไกการเลื่อนฐานอาร์ก จะทำหน้าที่เลื่อนฐานอาร์ก ไปอาร์กเข็มฉีดยาแล้วเลื่อนกลับ ซึ่งจะควบคุมด้วยสตีปปีงมอเตอร์ โดยมีเซ็นเซอร์คอยเช็คระยะของฐานอาร์ก ส่วนกลไกการจับเข็ม ได้ใช้โซลินอยด์มาทำการจับเข็มโดยลักษณะการกดทับ

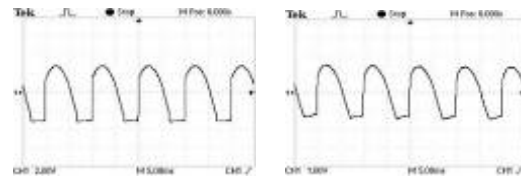
3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 วงจรอาร์กไฟฟ้า

วงจรอาร์กไฟฟ้าทำหน้าที่เรียงกระแสไฟฟ้า 40V/12A จากหม้อแปลงไฟฟ้า ด้วยวงจรเรียงกระแส 1 เฟส โดยใช้เอสซีอาร์ควบคุมแบบเต็มคลื่น ซึ่งสามารถเรียงกระแสไฟฟ้าได้และสามารถปรับมุมการนำกระแสโดยใช้สัญญาณกระตุ้นจากวงจรควบคุมเฟส ทำให้สามารถปรับสัญญาณเอาต์พุตออกจากวงจรเรียงกระแส ตามที่ได้กดสวิตช์เลือกขนาดเข็ม ซึ่งแสดงในภาพที่ 5



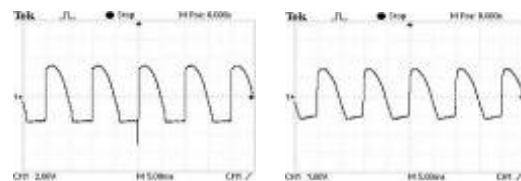
(ก) แรงดันและกระแสเมื่อกดสวิตช์เบอร์ 18-19



(แรงดัน)

(กระแส)

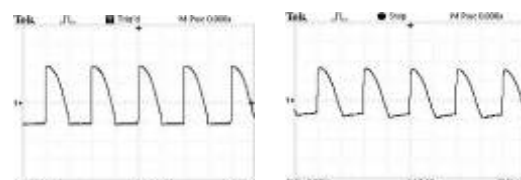
(ข) แรงดันและกระแสเมื่อกดสวิตช์เบอร์ 20-22



(แรงดัน)

(กระแส)

(ค) แรงดันและกระแสเมื่อกดสวิตช์เบอร์ 23-24



(แรงดัน)

(กระแส)

(ง) แรงดันและกระแสเมื่อกดสวิตช์เบอร์ 25-27

ภาพที่ 5 สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรอาร์กไฟฟ้าเมื่อกดสวิตช์เลือกเบอร์เข็มฉีดยาขนาดต่างๆ

3.2 เศษของเข็มฉีดยาที่ผ่านการอาร์ก

การทดสอบการทำลายเข็มฉีดยา พบว่าเศษจากการอาร์กจะมีลักษณะ 3 แบบด้วยกันคือ ส่วนที่เป็นสะเก็ดเม็ดเล็กๆ ส่วนที่ยังเป็นแท่งสั้น และส่วนที่เป็นแท่งยาว ซึ่งส่วนที่เป็นแท่งสั้นเกิดจากการอาร์กแล้วเข็มจะขาดเป็นท่อนๆ และส่วนที่เป็นแท่งยาวเกิดจากความร้อนที่เกิดขึ้นในการอาร์กมีมากจนทำให้เข็มขาดเป็นแท่งยาว โดยแสดงเศษของเข็มฉีดยาที่ผ่านการอาร์กในภาพที่ 6 แต่เศษเข็มทั้ง 3 แบบจะไม่อันตรายต่อผู้ใช้งาน เนื่องจากเศษเข็มนั้นไม่มีความคม ส่วนเศษเข็มที่เป็นแท่งยาวก็จะเป็นเศษเข็มที่มีความคม และเกิดเฉพาะเข็มที่มีขนาดเล็ก ทำให้ไม่อันตรายต่อผู้ที่นำไปกำจัดอีกชั้นตอนหนึ่ง



ภาพที่ 6 เศษเข็มนิโคตยาที่ผ่านการอาร์ก

3.3 เวลาที่ใช้ในการทำลาย

เครื่องทำลายเข็มนิโคตยาสามารถที่จะทำลายเข็มนิโคตยาได้ซึ่งเวลาในการทำลายอยู่ระหว่าง 42-44 วินาที ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความยาวของเข็ม จากการทดลองเข็มที่มีความยาว 0.5 นิ้ว 1 นิ้ว และ 1.5 นิ้ว อย่างละ 5 อัน พบว่าเวลาที่ใช้ในการทำลายจะมีค่าดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เวลาที่ใช้ในการทำลายเข็มนิโคตยาที่มีความยาวต่างกัน

ความยาวเข็มนิโคตยา	เวลาที่ใช้ในการทำลายเข็มนิโคตยา (วินาที)					เวลาเฉลี่ย (วินาที)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
0.5 นิ้ว	42	43	42	42	43	42.4
1 นิ้ว	44	43	43	43	43	43.2
1.5 นิ้ว	44	44	43	44	44	43.8



ภาพที่ 7 เครื่องทำลายเข็มนิโคตยาโดยใช้การอาร์กไฟฟ้า

4. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้เป็นการสร้างเครื่องทำลายเข็มนิโคตยาโดยใช้การอาร์กไฟฟ้า ซึ่งใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 220V 50Hz สามารถทำลายเข็มนิโคตยาได้ ตั้งแต่เบอร์ 18-27 ความยาว 0.5 นิ้ว 1 นิ้ว และ 1.5 นิ้ว ซึ่งเป็นขนาดของเข็มนิโคตยาที่ใช้โดยทั่วไปในทางการแพทย์ เวลาที่ใช้ในกระบวนการทำลายอยู่ระหว่าง 42-44 วินาที ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวของเข็มที่จะทำลาย การทำงานของเครื่องทำลายเข็มนิโคตยานี้ สามารถเลือกขนาดและความยาวของเข็มนิโคตยาที่จะทำลายได้ และมีกลไกในการควบคุมการทำงานโดยอัตโนมัติ ซึ่งกลไกนี้ถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F877A เมื่อกดสวิตซ์ทำงาน เครื่องก็จะทำลายเข็มโดยอัตโนมัติ โดยมีพัลลมเพื่อจุดควันที่เกิดขึ้นจากการอาร์ก และมีกลองในการเก็บเศษเข็ม

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ฉันทพงศ์ หัตถิ. 2543. เครื่องเชื่อมโลหะอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้วงจร แปลงผันไฟตรงแบบเต็มบริดจชนิดพีดับบลิวเอ็มเลื้อนเฟสและสวิตซ์ที่แรงดันศูนย์. วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [2] คำเกิง ภวังค์กระรัต. 2542. เครื่องเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์ แบบอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง. วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [3] เดชฤทธิ์ มณีธรรม และสำเร็จ เต็มราม. 2549. คำภีร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC. กรุงเทพฯ: คอมพ์ แอนด์คอนซัลท์.
- [4] ประจัน พลังสันติกุล. 2551. PIC C Programming with CCS C Compiler. กรุงเทพฯ: แอปซอพท์เทค.
- [5] ประจัน พลังสันติกุล. 2537. PIC Works กรุงเทพฯ:แอปซอพท์เทค.
- [6] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2540. มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก 1398 เล่ม 2-2540.

การออกแบบตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ พลาตฟอร์MLEวที่สูด

เรืองยศ เกตุรักษา¹ เริงชาย สมประษา¹ เจริญ มิตรเวกิน¹ และ กฤษชัย วิถีพานิช²

บทคัดย่อ— การควบคุมคงทนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Robust Nominal Model Following Control : RNMFC) อาศัยหลักการสามส่วนที่สำคัญคือ การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นแบบจำลองอ้างอิง การออกแบบตัวควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model Controller) เพื่อกำหนดสัญญาณอ้างอิง และการปรับค่าพีไอดี (PID Correction Mechanism) เพื่อลดค่าความผิดพลาดทางพลวัตระหว่างพลาตฟอร์MLEวที่สูดจริงกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ได้มากที่สุด และประการที่สองสำหรับการจำลองความไม่แน่นอนเชิงพารามิเตอร์ (Parametric Uncertainty) โดยการติดตั้งการเข้ากับมอเตอร์ ซึ่งจะทำให้การควบคุมมีผลตอบสนองทางพลวัตค่อนข้างน้อย จากนั้นทำการทดลองโดยนำโครงสร้างของ RNMFC มาประยุกต์ใช้กับการจำลองความไม่แน่นอนเชิงพารามิเตอร์ของมอเตอร์ ส่งผลให้ผลการทดลองของพลาตฟอร์MLEวที่สูดมีประสิทธิภาพ และความคงทนต่อความไม่แน่นอน

คำสำคัญ ตัวควบคุมแบบคงทน การปรับค่าพีไอดี แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ความไม่แน่นอน

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การควบคุมแบบที่ปรับตัวได้ [1,2] เป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นวิธีการควบคุมขั้นสูงสำหรับ พลาตฟอร์MLEวที่สูดที่มีความไม่แน่นอน และยังสามารถสร้างกฎการควบคุมที่มีความซับซ้อนในทางปฏิบัติด้วยคอมพิวเตอร์ได้ กรณีในพลาตฟอร์MLEวที่สูดของเซอร์โวมอเตอร์นั้น การควบคุมชนิดติดตามแบบจำลองที่ปรับตัวได้ ได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นเทคนิคการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ [3,4] เนื่องจากอุปกรณ์ควบคุมขั้นสูงที่่ายในพลาตฟอร์MLEวที่สูดดังกล่าวมีผลตอบสนอง

ทางพลวัตที่เร็ว ดังนั้นต่อมาตัวควบคุมที่มีผลตอบสนองที่เร็วจึงเป็นสิ่งที่ต้องการในการควบคุมพลาตฟอร์MLEวที่สูดถึงแม้ว่าทฤษฎีการควบคุมชนิดติดตามแบบจำลองแบบที่ปรับตัวได้ จะได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง แต่โครงสร้างที่ง่ายของพลาตฟอร์MLEวที่สูดควบคุมและการลดความซับซ้อนของกฎการปรับตัวก็ยังคงเป็นสิ่งที่ต้องการในการวิจัยเพิ่มเติมต่อไป ในปัจจุบันมีความพยายามอีกมากมายเพื่อจะหาวิธีในการเลือกแบบจำลองอ้างอิงที่เหมาะสม และลดความซับซ้อนของกฎการปรับตัว ดังนั้นบทความฉบับนี้จึงนำเสนอหลักการควบคุมคงทนที่มีพื้นฐานบนหลักการการควบคุมชนิดติดตามแบบจำลองแบบที่ปรับตัวได้ นั่นคือการออกแบบตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ วิธีการควบคุมดังกล่าวมีความแตกต่างและมีโครงสร้างการควบคุมพลาตฟอร์MLEวที่สูดที่ง่ายกว่า การควบคุมชนิดติดตามแบบจำลองแบบที่ปรับตัวได้เนื่องจากเป็นการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Nominal model) ของพลาตฟอร์MLEวที่สูดเป็นแบบจำลองอ้างอิง (Model Reference)

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ (สาขาลาย) ถ.พุทธมณฑลสาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170 โทร. 0-2889-4585-7 ต่อ 2641

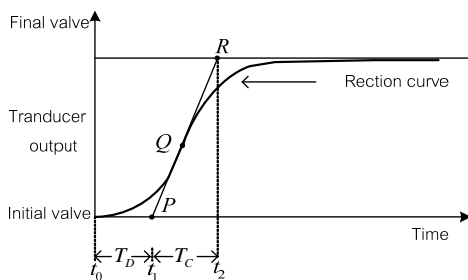
²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)ถ. รังสิต คลอง 16 ต.องครักษ์ อ. องครักษ์ จ.นครนายก 26120 โทร.0-2649-5000 ต่อ 2051

โดยตรงจากนั้นสัญญาณอินพุตของแบบจำลองอ้างอิงและพลาเน็ตจะไม่ใช้สัญญาณที่ป้อนจากสัญญาณอ้างอิง แต่เป็นสัญญาณจากตัวควบคุมแบบจำลองซึ่งออกแบบโดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของพลาเน็ต โดยเงื่อนไขการติดตามของพลาเน็ตกับแบบจำลองอ้างอิงเมื่อพิจารณาการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ที่มีความไม่แน่นอน ความไม่แน่นอนนี้สามารถที่จะประกันด้วยสัญญาณที่เพิ่มเข้ามา จากตัวปรับแก้ซึ่งมีโครงสร้างแบบพีไอดีพื้นฐาน ซึ่งสัญญาณอินพุตของกลไกการปรับแก้ดังกล่าวก็คือค่าความผิดพลาด (Error) ระหว่างพลาเน็ตกับแบบจำลองอ้างอิงนั่นเอง

2. วิธีการวิจัย

2.1 การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในบทความฉบับนี้เลือกใช้วิธีการทดสอบโดยการหาฟังก์ชันถ่ายโอนของ พลาเน็ตการควบคุม [1,2] ด้วยการป้อนสัญญาณแบบขั้นบันไดให้กับ พลาเน็ตการควบคุม เพราะสามารถที่จะใช้อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ภายใน ตัวของพลาเน็ตที่มีค่าความไม่แน่นอนได้ และในหัวข้อนี้จะถูกใช้อ้างอิง ในการหาฟังก์ชันถ่ายโอนของดีซีมอเตอร์ในลำดับต่อไป



ภาพที่ 1 วิธีการหาผลตอบสนองแบบขั้นบันได

การทดสอบหาฟังก์ชันถ่ายโอนของพลาเน็ต [2] มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดเข้าสู่พลาเน็ตดูเปิด และวัดผลตอบสนองที่ได้

- จากภาพที่ 1 เป็นผลตอบสนองที่ได้ ขั้นตอนต่อไปคือลากเส้น PR สัมผัสตำแหน่งกราฟที่มีความชันมากที่สุด ซึ่งก็คือจุด Q แล้วลากไปตัดกับเส้นค่าสุดท้ายของผลตอบสนองที่จุด R
- ลากเส้นตั้งฉากระหว่างค่าเริ่มต้น และตำแหน่งที่เส้นค่าสุดท้ายตัดกับเส้น PR นั่นคือจุด R
- จากกราฟจะได้ค่า T_D และค่า T_C โดยที่ T_D เป็นค่าตั้งแต่ t_0 ถึง t_1 และ T_C เป็นค่าตั้งแต่ t_1 ถึง t_2
- จะได้ค่าเวลาคงตัว (τ) ก็คือ t_2
- $D.C. Gain$; K'_m คือผลตอบสนองที่สภาวะคงตัว
- กระบวนการที่ใช้ในบทความฉบับนี้เป็นกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีค่าหน่วงเวลา ซึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอนดังภาพฟอร์มต่อไปนี้

$$G_p(s) = \frac{K'_m}{\tau_m s + 1} \quad (2.1)$$

โดยที่อัตราขยายของมอเตอร์ (K'_m) หาได้จากสมการ

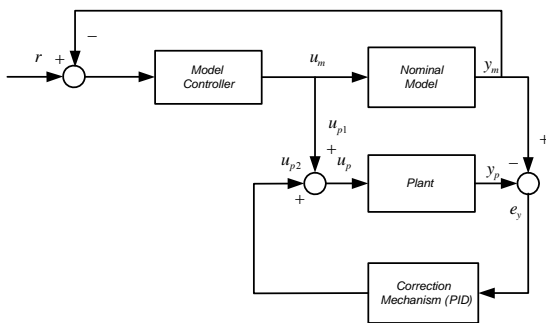
$$K'_m = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \quad (2.2)$$

และค่าเวลาคงตัวของมอเตอร์ (τ_m) ซึ่งโดยปกติการหาค่าเวลาคงตัวจะคิดที่ 63.2 %

2.2 การควบคุมคงทนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในหัวข้อนี้อธิบายถึงแนวความคิดในการเลือกใช้แบบจำลองของพลาเน็ตเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อ้างอิงโดยตรงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ซึ่งมีโครงสร้างที่แตกต่างไปมาก เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างเดิมของการควบคุมชนิดติดตามแบบจำลองที่ปรับตัวได้[3] โดยค่ากลางที่ได้จากการจำลองของพลาเน็ต จะทำหน้าที่เป็นแบบจำลองอ้างอิงในพลาเน็ต ตัวควบคุมแบบจำลอง (Model Controller) คือ ตัวควบคุมที่ออกแบบมาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเลือกใช้เทคนิคในการออกแบบใดๆ ก็ได้และมีหน้าที่หลักสองประการคือ

เพื่อประกันสัญญาณออก y_m ให้เป็นไปตามข้อ กำหนดทางสมรรถนะ ทั้งหมดที่ตั้งโดยผู้ออกแบบอีกหน้าที่หนึ่งคือเป็นส่วนในการสร้างสัญญาณเข้าเพื่อใช้ควบคุมพลาเน็ต และตัวปรับแก้ชนิดพีไอดี (PID Correction Mechanism) จะเป็นตัวสร้างสัญญาณเพิ่มเข้ามาในพลาเน็ต เพื่อปรับแก้ให้สัญญาณออกของ พลาเน็ตจริง ยังคงติดตามสัญญาณออกของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยพิจารณาในภาพค่าความผิดพลาดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 2 โครงสร้างของการออกแบบตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากภาพที่ 2.2 กำหนดให้ $y_p = y_m$ นั่นคือพลาเน็ตติดตามแบบจำลองอ้างอิงอย่างสมบูรณ์แบบและทำให้ $e_y = 0$ $u_{p2} = 0$ และ $u_p = u_{p1} = u_m$ ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า u_{p2} คือสัญญาณการติดตามแบบจำลองที่สมบูรณ์แบบ ในขณะที่ u_{p1} ซึ่งเป็นสัญญาณปรับแก้ที่เพิ่มเข้าจะมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากการพิจารณากรณีพลาเน็ตทางคณิตศาสตร์ เมื่อเปรียบเทียบกับ การควบคุมชนิดติดตามแบบจำลองแบบที่ปรับตัวได้จะพบว่าจุดที่คล้ายคลึงกับ การออกแบบตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ สัญญาณเข้าของพลาเน็ตจริงจะประกอบด้วย สองสัญญาณคือ ส่วนการติดตามแบบจำลองที่สมบูรณ์แบบ u_{p1} และสัญญาณปรับแก้ที่เพิ่มเข้ามา u_{p2} โดยสัญญาณการติดตามแบบจำลองที่สมบูรณ์แบบ u_{p1} จะเท่ากับสัญญาณเข้าเพื่อควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ u_m และสัญญาณปรับแก้ที่เพิ่มเข้ามา u_{p2} จะถูกสร้างโดยตัวปรับแก้ สัญญาณปรับแก้ดังกล่าวมีหน้าที่ทำให้

สัญญาณออกของพลาเน็ต y_p ติดตามสัญญาณออกของแบบจำลอง y_m เมื่อพิจารณาความไม่แน่นอนเชิงพารามิเตอร์ของพลาเน็ต

โดยหลักการแล้วตัวปรับแก้ที่เพิ่มเข้ามาในพลาเน็ตนั้นสามารถออกแบบด้วยเทคนิคใดก็ได้เพื่อประกันการติดตามแบบจำลองที่สมบูรณ์แบบ ดังได้กล่าวไว้จากหลายๆ บทความ [1,2-6] ถึงความยากและความซับซ้อนต่างๆ ของกฎการปรับตัวซึ่งรวมถึงการสร้างจริงที่ต้องใช้เวลามากของการควบคุมชนิดติดตามแบบจำลองแบบที่ปรับตัวได้ ดังนั้นเพื่อลดขั้นตอนในการออกแบบตัวปรับแก้จึงเลือกใช้หลักการควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งเป็นเทคนิคที่ง่ายและเป็นที่รู้จักกันดีมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวปรับแก้ โดยตัวปรับแก้ชนิดพีไอดีมีโครงสร้างดังนี้

$$u_{p2} = k_{pa} \left(e_y + \frac{1}{T_{ia}} \int e_y d\tau + T_{da} \frac{de_y}{dt} \right) \quad (2.3)$$

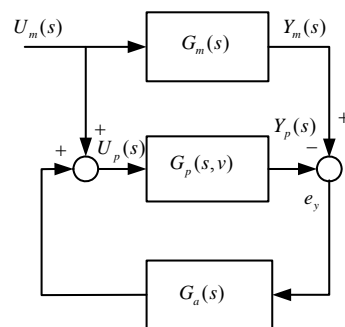
เมื่อ k_{pa} คืออัตราขยายของตัวปรับแก้ชนิดพีไอดี

T_{ia} คือค่าเวลาอินทิกรัลของตัวปรับแก้พีไอดี

T_{da} คือค่าเวลาอนุพันธ์ของตัวปรับแก้พีไอดี

2.2.1 เงื่อนไขการติดตามแบบจำลองอย่างสมบูรณ์แบบ

กำหนดให้แบบจำลองอ้างอิงของพลาเน็ต และตัวปรับแก้ชนิดพีไอดี สามารถแทนด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน $G_m(s)$, $G_p(s, v)$ และ $G_a(s)$ ดังแสดงในภาพที่ 3 โดย v แทนเวกเตอร์พารามิเตอร์ของพลาเน็ต



ภาพที่ 3 โครงสร้างอย่างง่ายของการออกแบบตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.2.2 ทฤษฎีเงื่อนไขการติดตามแบบจำลองอย่างสมบูรณ์แบบ

สัญญาณออกของพลาเน็ต $y_p(t)$ จะติดตามสัญญาณออกของแบบจำลอง $y_m(t)$

1. เงื่อนไขที่ 1 เมื่อแบบจำลองและพลาเน็ตจะต้องไม่รวมโพลที่อยู่ในระนาบฝั่งขวา และที่อยู่บนแกนจินตภาพโดยขกเว้นกรณีที่จุดออริจิน
2. เงื่อนไขที่ 2 พลาเน็ตควบคุมป้อนกลับซึ่งประกอบด้วยพลาเน็ตและตัวปรับแก้ชนิดพีไอดีดังกล่าวซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมป้อนกลับมี "เสถียรภาพ"
3. เงื่อนไขที่ 3 สัญญาณออกของตัวควบคุมแบบจำลองมีขอบเขตเมื่อเข้าสู่สแตนด์ หรือ

$$\lim_{t \rightarrow \infty} u_m(t) = k, \quad (2.4)$$

ข้อพิสูจน์ จากภาพที่ 4

$$Y_m(s) = G_m(s)U_m(s), \quad (2.5)$$

$$Y_p(s) = G_p(s, v)[U_m(s) + G_a(s)e_y(s)], \quad (2.6)$$

$$e_y(s) = Y_m(s) - Y_p(s) \quad (2.7)$$

ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนของค่าผิดพลาดสัญญาณออก

$e_y(s)$ ต่อสัญญาณเข้าของแบบจำลอง $U_m(s)$ คือ

$$\frac{e_y(s)}{U_m(s)} = \frac{G_m(s) - G_p(s, v)}{1 + G_p(s, v)G_a(s)} \quad (2.8)$$

กำหนดให้

$$G_m(s) = \frac{N_m(s)}{D_m(s)} \quad (2.9)$$

$$G_p(s, v) = \frac{N_p(s, v)}{D_p(s, v)} \quad (2.10)$$

$$G_a(s) = \frac{N_a(s)}{D_a(s)} \quad (2.11)$$

และจากเงื่อนไขสามารถแสดงในเทอมของส่วนคือ

$$D_m(s) = s^n D'_m(s), \quad (2.12)$$

$$D_p(s, v) = s^n D'_p(s, v), \quad (2.13)$$

เมื่อ n คือจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ โดยในที่นี้กำหนดให้พลาเน็ต และแบบจำลองมีจำนวนของโพลที่ออริจินเท่ากัน และ $D'_m(s)$, $D'_p(s)$ คือ โพลิโนเมียลที่เสถียร จากนั้นสมการที่ (2.8) สามารถแสดงในเทอมของโพลิโนเมียลข้างต้นนี้

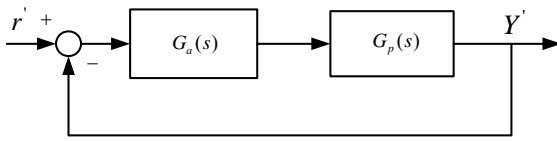
$$\frac{e_y(s)}{U_m(s)} = \frac{D_a(s)[D'_p(s, v)N_m(s) - D'_m(s)N_p(s, v)]}{D'_m(s)[D_p(s, v)D_a(s) + N_p(s, v)N_a(s)]} \quad (2.14)$$

กำหนดพลาเน็ต ป้อนกลับพลาเน็ตหนึ่งซึ่งประกอบด้วยพลาเน็ต และตัวปรับแก้พีไอดีซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมป้อนกลับดังแสดงในภาพที่ 4 และมีฟังก์ชันถ่ายโอนวงรอบปิดดังนี้

$$\frac{Y'(s)}{r'(s)} = \frac{N_p(s, v)N_a(s)}{D_p(s, v)D_a(s) + N_p(s, v)N_a(s)} \quad (2.15)$$

เนื่องจาก $D'_m(s)$ คือโพลิโนเมียลที่เสถียร ดังนั้นจากสมการที่ (2.14) และ (2.15) พบว่าค่าความผิดพลาดของสัญญาณออก e_y ในตัวควบคุมวงทวนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ก็มีคุณสมบัติของความเสถียร เช่นเดียวกับพลาเน็ตควบคุมป้อนกลับซึ่งประกอบด้วยพลาเน็ตและตัวปรับแก้ชนิดพีไอดีที่เหมือนกันดังแสดงในภาพที่ 4 นั่นคือถ้าพลาเน็ตควบคุมป้อนกลับ ดังกล่าวเสถียรและค่าความผิดพลาดของสัญญาณออก e_y ในตัวควบคุมวงทวนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะได้สมการใหม่คือ

$$\lim_{s \rightarrow 0} se_y(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{D_a(s) [D_p'(s, v) N_m(s) - D_m'(s) N_p(s, v)]}{D_m'(s) [D_p(s, v) D_a(s) + N_p(s, v) N_a(s)]} s U_m(s) \quad (2.16)$$



ภาพที่ 4 พลาเน็ตควบคุมป้อนกลับ

เมื่อพิจารณาเงื่อนไข สามารถเรียบเรียงสมการที่ (2.17) ได้ใหม่ดังนี้

$$\lim_{s \rightarrow 0} se_y(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{D_a(s) [D_p'(s, v) N_m(s) - D_m'(s) N_p(s, v)]}{D_m'(s) [D_p(s, v) D_a(s) + N_p(s, v) N_a(s)]} \lim_{s \rightarrow 0} s U_m(s) \quad (2.17)$$

และจากสมการที่ (2.6) เทอมของส่วนของตัวปรับแก้ชนิด พีไอคือ

$$u_{p2} = k_{pa} \left(e_y + \frac{1}{T_{ia}} \int_0^1 e_y d\tau + T_{da} \frac{de_y}{dt} \right) \quad (2.18)$$

นั่นคือ

$$D_a(s) = T_{ia}(s) \quad (2.19)$$

ดังนั้น

$$\lim_{s \rightarrow 0} se_y(s) = 0 \quad (2.20)$$

จากเงื่อนไขและสมการที่ (2.14) จะปรากฏขอบเขตที่จำกัดบนค่าความผิดพลาดของสัญญาณออก $e_y(t)$ เมื่อเวลาเข้าสู่อนันต์ดังนี้

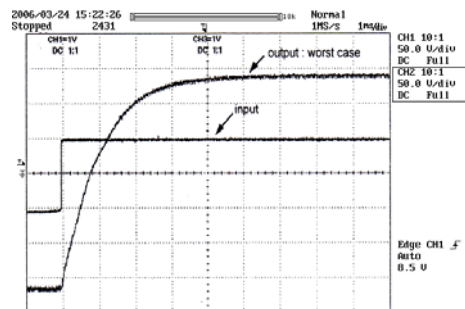
$$\lim_{t \rightarrow \infty} e_y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} se_y(s) = 0 \quad (2.21)$$

เพราะฉะนั้นด้วยเงื่อนไข ทฤษฎีตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถบรรลุเงื่อนไข การติดตามแบบจำลองที่สมบูรณ์แบบ

2.3 การออกแบบระบบควบคุม

2.3.1 การทดสอบเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การทดสอบเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ พลาเน็ตการควบคุมดิซิมอเตอร์ ซึ่งอยู่ในภาพฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับหนึ่ง ทำโดยการป้อนสัญญาณทดสอบแบบขั้นบันไดด้วยแรงดันขนาด 1 โวลต์ให้กับพลาเน็ตการควบคุมดิซิมอเตอร์ (ซึ่งได้อ้างอิงวิธีการทดสอบไว้ในหัวข้อที่ 2.2) แล้ววัดผลตอบสนองซึ่งจะได้ผลตอบสนองดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลตอบสนองรูปเปิดของพลาเน็ตการควบคุมตำแหน่งของดิซิมอเตอร์กรณีเร็วที่สุด

จากผลตอบสนองในภาพที่ 5 เมื่อป้อนสัญญาณทดสอบแบบขั้นบันไดด้วยแรงดันขนาด 1 โวลต์ สามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของพลาเน็ตการควบคุมดิซิมอเตอร์ ได้จากทฤษฎีการหาฟังก์ชันถ่ายโอน (แสดงไว้ในหัวข้อที่ 2.2) มีสมการดังต่อไปนี้

$$G_m(s) = \frac{K'_m}{\tau'_m s + 1} = \frac{3.6}{0.02s + 1} \quad (3.1)$$

เมื่ออ่านค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของพลาเน็ตได้แทนค่าลงในสมการ

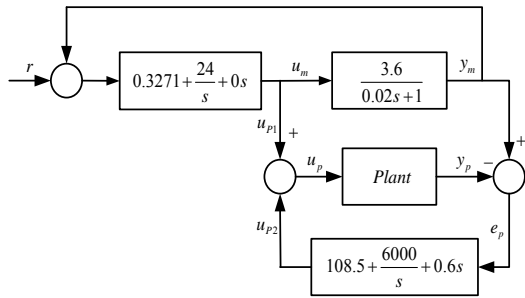
$$K'_m = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{14.5}{4} = 3.6 \quad (3.2)$$

$$\tau'_m = 0.02 \quad (3.3)$$

2.3.2 โครงสร้างของตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

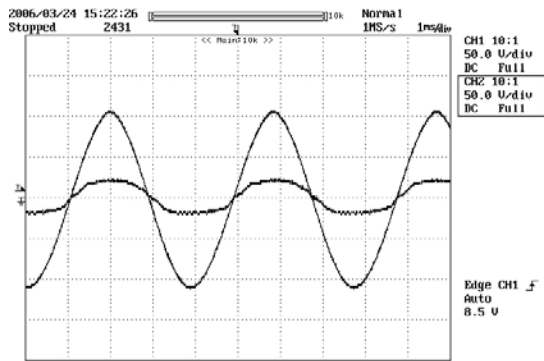
จากการทดสอบ เพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การออกแบบตัวควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การออกแบบตัวควบคุมปรับแก้ชนิดพีไอดี และจากการทดสอบจะได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมต่างๆ ซึ่งนำมาประกอบรวมเป็นโครงสร้างของตัวควบคุมคอนทนต์ติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งหลักการ และทฤษฎีการทำงานของโครงสร้างนี้ได้อธิบายไว้แล้วใน หัวข้อที่ 2 ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวแสดงได้ดังภาพที่ 6

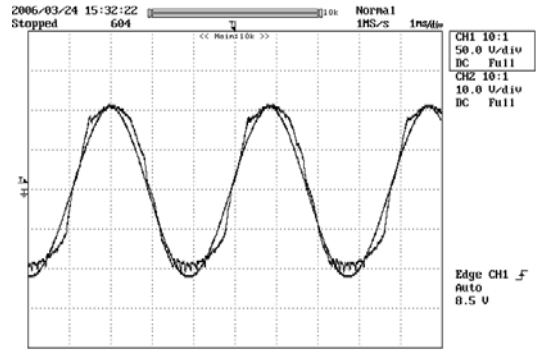


ภาพที่ 6 โครงสร้างของตัวควบคุมคอนทนต์ติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

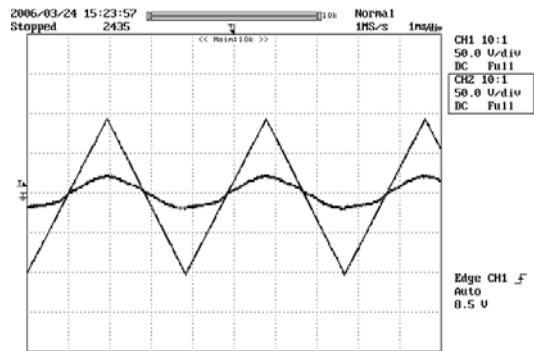
3. ผลและการอภิปรายผล



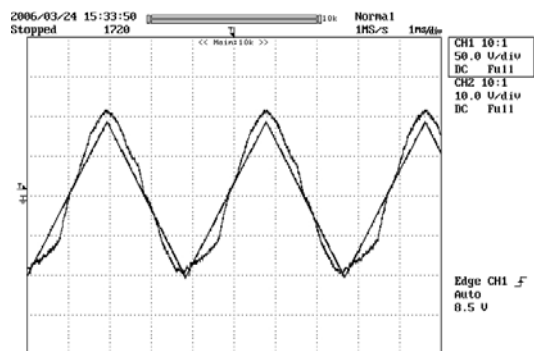
ภาพที่ 7 แสดงการป้อนสัญญาณไซน์ (Sine) ให้กับระบบควบคุมกรณีเร็วที่สุด



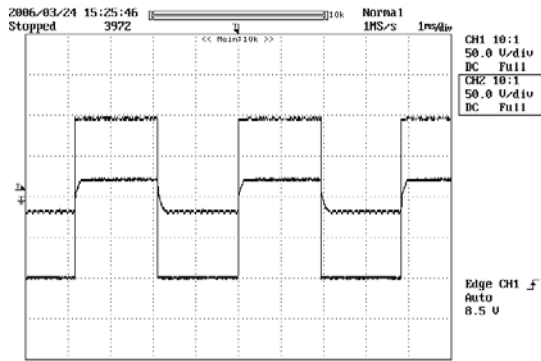
ภาพที่ 8 แสดงการป้อนสัญญาณไซน์ (Sine) ให้กับระบบควบคุมคอนทนต์ติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



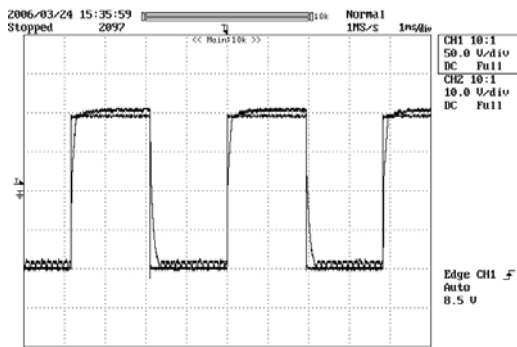
ภาพที่ 9 แสดงการป้อนสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle) ให้กับระบบควบคุมกรณีเร็วที่สุด



ภาพที่ 10 แสดงการป้อนสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle) ให้กับระบบควบคุมคอนทนต์ติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 11 แสดงการป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square) ให้กับระบบควบคุมกรณีเร็วที่สุด



ภาพที่ 12 แสดงการป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square) ให้กับระบบควบคุมคงทวนชนิดติดตาม การควบคุมแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์

4. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้เป็นนำเสนอ การควบคุมคงทวนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (RNMFC) สำหรับพลานต์กรณีเร็วที่สุด จากตัวอย่าง เป็นวิธีการออกแบบ เพื่อให้ได้มาซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Nominal Model) และผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงวิธีการดำเนินงานและการสังเคราะห์ตัวควบคุมเพื่อทำให้ระบบเกิดเสถียรภาพคงทวนเกิดขึ้นในกรณีเร็วที่สุด

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Ackermann, *Robust Control: Systems with Uncertain Physical Parameters*, Springer-Verlag, London, 1993.
- [2] T. E. Djaferis, *Robust Control Design : A Polynomial Approach*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1995.
- [3] B. R. Barmish, *New Tools for Robustness of Linear Systems*, McMillan, New York, 1993.
- [4] J. C. Doyle, B. A. Francis, A. R. Tannenbaum, *Feedback Control Theory*, Macmillan, New York, 1992.
- [5] J. C. Doyle, J. E. Wall, G. Stein, "Robustness and Performance Analysis for structured Uncertainty," Proceedings IEEE CDC, Orlando, FL, 1982, pp. 624-636.
- [6] S. Agmon, "The Relaxation Method for Linear Inequalities," Canadian Journal of Mathematics, vol. 6, 1954, pp. 382-392.
- [7] S. Weerasooriya, M. A. El-Sharkawi, "Adaptive Tracking Control for High Performance DC Drives," *IEEE Trans. Energy Conver.*, Vol. 4, pp. 502-508, 1989.
- [8] E. Cerruto, A. Consoli, A. Raciti, A. Testa, "A Robust Adaptive Controller for PM Motor Drives in Robotic Application," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 10, pp.62-71,1995
- [9] J. Ackermann, *Robust Control: Systems with Uncertain Physical Parameters*, Springer-Verlag, London,2001.

- [10] D. Banjerdpongchai, *Parametric Robust Controller Synthesis Using Linear Matrix Inequalities*. PhD thesis, Stanford University, Stanford, October 1997.
- [11] J. Jeeranuch, *Analysis of Uncertainties in dynamical models and Robust controller design for load frequency control*. Master thesis, Chulalongkorn University, Bangkok, 2547.
- [12] “*Uncertainty of Measurement (Theory & Case Study)*” Technology Promotion Institute, Education and Training Department, 19-20 September 1998.

เครื่องมือวัดเสมือนพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสและ หม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสด้วยโปรแกรม LabVIEW

ศุภชัย อรุณพันธ์¹ พรชัย แคล้วอ้อม¹ และ สมพันธ์ อำพวัน¹

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องมือวัดเสมือนพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส และหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสด้วยโปรแกรม LabVIEW ตัวแปรที่ใช้อ้างอิง คือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และมุมต่างเฟสระหว่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ด้วยวิธีการตรวจจับผ่านศูนย์ โปรแกรมจะวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เป็นวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสและหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส พร้อมทั้งมีระบบรายงานผลการวัดค่าพารามิเตอร์ผ่านทางจอคอมพิวเตอร์ ผลจากการทดลองใช้เครื่องมือวัดเสมือนพารามิเตอร์กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส และหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส พบว่ามีความแม่นยำและน่าเชื่อถือเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน อีกทั้งช่วยลดความยุ่งยาก ในการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส และหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส ได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ เครื่องมือวัดเสมือนพารามิเตอร์ วิธีการตรวจจับผ่านศูนย์ โปรแกรม LabVIEW

1. บทนำ

ปัจจุบันการวัดและหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส และหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส มีความยุ่งยากและต้องใช้อุปกรณ์การวัดจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้น เพื่ออำนวยความสะดวกในการวัดและหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสและหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส ตัวแปรที่ใช้อ้างอิงคือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และมุมต่างเฟสระหว่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ด้วยวิธีการตรวจจับผ่านศูนย์ โดยสัญญาณแรงดันจะรับค่ามาจากตัวตรวจจับแรงดัน ซึ่งเป็นแรงดันเฟส และสัญญาณกระแสจะรับค่ามาจาก ตัวตรวจจับกระแส จากนั้นนำสัญญาณทั้งสองเข้าสู่วงจรป้องกัน แล้วผ่านไปยัง Data Acquisition [1] หรือเรียกแบบย่อว่า DAQ คือ กระบวนการอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแบบอัตโนมัติโดยจะเปลี่ยน

สัญญาณที่อยู่ในสภาพอนาล็อกเป็นดิจิทัลโปรแกรมจะวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสและหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส พร้อมทั้งมีระบบรายงานผลการวัดค่าพารามิเตอร์ผ่านทางจอคอมพิวเตอร์ของคอมพิวเตอร์

2. วิธีการวิจัย

2.1 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสและวงจรเทียบเคียง [2]

การคำนวณคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ลงในวงจรเทียบเคียงค่าพารามิเตอร์เหล่านี้หาได้จากการทดสอบขณะไม่มีโหลด และการทดสอบฮีดโรเตอร์

2.1.1 การตรวจวัดมุมต่างเฟส

งานวิจัยนี้ใช้ วิธีการตรวจจับผ่านศูนย์ เริ่มต้นจะสร้างสัญญาณที่มีทั้งขนาดและมุมเฟสออกมาสองสัญญาณดังภาพที่ 1 และใช้สัญญาณที่สร้างเองนี้ส่งไปยังโปรแกรมวิเคราะห์มุมต่างเฟส ผลที่ได้จะแสดง

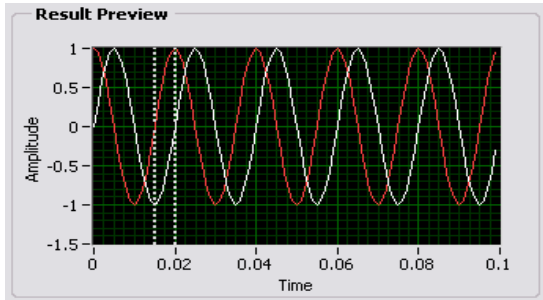
¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

1 ถ.ราชดำเนินนอก ต. บ่อทราย อ. เมือง จ.สงขลา 90000

E-mail: k_pomchais@yahoo.com

ออกมาเป็นตัวเลขซึ่งความละเอียดของโปรแกรมนี้จะอยู่ในช่วงทศนิยม 6 หลัก



ภาพที่ 1 คลื่นสัญญาณที่มีมุมเฟสต่างกันเทียบกับสัญญาณอ้างอิง

สัญญาณเส้นสีขาว คือ สัญญาณอ้างอิงที่โปรแกรมสร้างขึ้นและสัญญาณเส้นสีแดง คือ สัญญาณที่เกิดจากการสร้างสัญญาณจำลองจากตัวโปรแกรม ซึ่งจากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่าโปรแกรมจะตรวจจับช่วงเวลาระหว่างสัญญาณเส้นสีแดงและสัญญาณเส้นสีขาวว่ามี ช่วงเวลาห่างกันเท่าไรแล้วจึงนำไปคำนวณมุมเฟส ซึ่งจะคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

ความถี่ที่ใช้ในการทดสอบนี้มีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ต่อวินาที

$$T = \frac{1}{50} \quad (1)$$

$$T = 0.02 \text{ S} \quad (2)$$

แสดงว่า 1 เฮิร์ตซ์จะมีความเท่ากับ 0.02 S

ให้ A เท่ากับมุมต่างเฟสระหว่าง 2 สัญญาณ

$$360^\circ = 0.02 \text{ S}$$

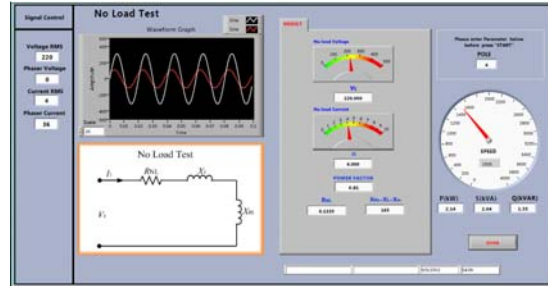
$$A = (4.18888889E - 3)S$$

$$A = \frac{(4.18888889E - 3) \times 360^\circ}{0.02} = 74.5^\circ$$

ดังนั้นจากช่วงเวลาที่ได้สมมุติขึ้นจะมีมุมต่างเฟสระหว่างสัญญาณเท่ากับ 74.5 องศา

2.1.2 โปรแกรมจำลองและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะไม่มีโหลด ดังภาพที่ 2

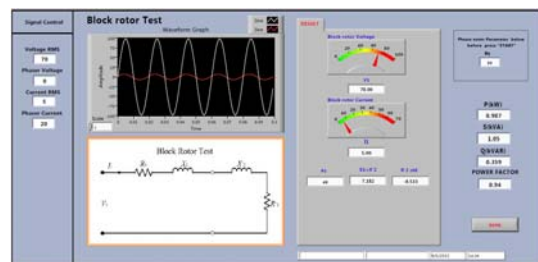
โปรแกรมจะทำการสร้างสัญญาณขาอินพุตสองขั้วมาสองสัญญาณที่มีขนาดและมุมเฟสต่างกัน และวิเคราะห์หาค่าความต้านทานของชุดขดลวดสเตเตอร์ R_{NL} และค่ารีแอกแตนซ์ของชุดขดลวด X_{NL}



ภาพที่ 2 โปรแกรมจำลองและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะไม่มีโหลด

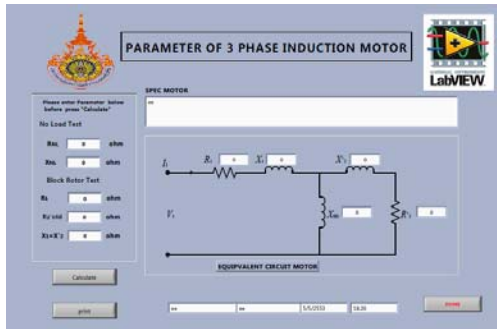
2.1.3 โปรแกรมจำลองและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะยึดโรเตอร์ ดังภาพที่ 3

จะทำการวิเคราะห์ค่าความต้านทานต่อเฟสของขดลวดที่สเตเตอร์ R_1 และค่ารีแอกแตนซ์ต่อเฟสของขดลวดที่สเตเตอร์ X_1 และค่ารีแอกแตนซ์ของโรเตอร์ที่ย้ายค่ามายังด้านสเตเตอร์ X'_2 และความต้านทานของโรเตอร์ที่ย้ายค่ามายังด้านสเตเตอร์ R'_2



ภาพที่ 3 โปรแกรมจำลองและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะยึดโรเตอร์

2.1.4 โปรแกรมรายงานผลการทดสอบมอเตอร์ ดังภาพที่ 4



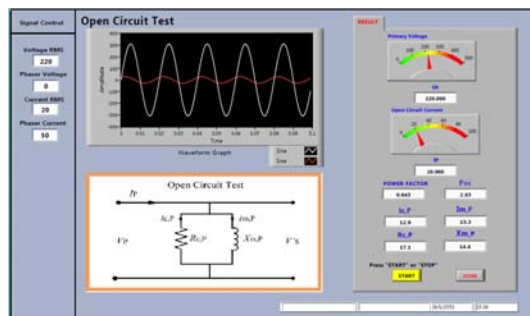
ภาพที่ 4 โปรแกรมรายงานผลการทดสอบมอเตอร์

2.2 ค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสและวงจรเทียบเคียง [3]-[4]

การทดสอบหาวจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าจะสามารถหาได้โดยการทดสอบขณะเปิดวงจร และการทดสอบขณะลัดวงจร โดยนำข้อมูลจากการทดสอบมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรเทียบเคียง

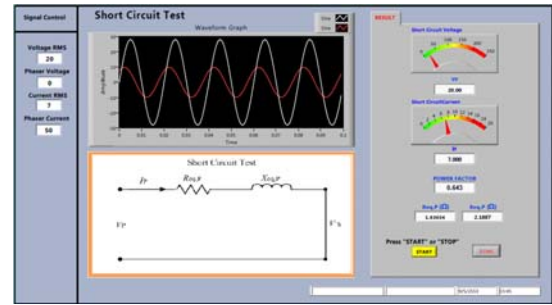
2.2.1 โปรแกรมจำลองและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสขณะทดสอบเปิดวงจร ดังภาพที่ 5

จะทำการวิเคราะห์ค่าความต้านทานของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดทางด้านปฐมภูมิ ($R_{c,p}$) และค่ารีแอกแตนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดทางด้านปฐมภูมิ ($X_{m,p}$)



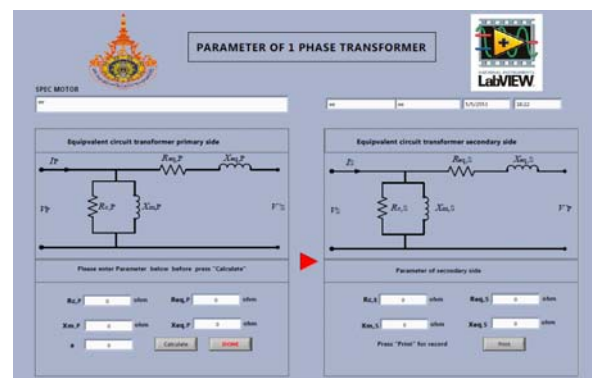
ภาพที่ 5 โปรแกรมจำลองและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสขณะทดสอบเปิดวงจร

2.2.2 โปรแกรมจำลองและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสขณะลัดวงจร ดังภาพที่ 6 จะทำการวิเคราะห์ค่าความต้านทานของหม้อแปลงไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิขณะลัดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ($R_{c,p}$) และค่ารีแอกแตนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิขณะลัดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ($X_{c,p}$)



ภาพที่ 6 การจำลองและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสขณะลัดวงจร

2.2.3 โปรแกรมรายงานผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส



ภาพที่ 7 โปรแกรมรายงานผลการทดสอบหม้อแปลง

3. ผลและการอภิปรายผล

ในการทดสอบมอเตอร์เห็นย่นสามเฟสจะแบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน คือ No-load Test และ Block rotor Test โดยการทดลองกับมอเตอร์หลายๆ พิกัด แบ่งเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอกและมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์

3.1 ผลการทดสอบกับมอเตอร์ขนาด 0.37 kW

ข้อมูลของมอเตอร์ LN 2662-3U 3 Phase 0.37 kW 3000 rpm 400Y 2.9A $\cos\theta$ 0.35 ทำการวัดความต้านทานด้านสเตเตอร์ $R_{d.c.} = 5.7$ โอห์ม

การทดลอง No-load Test จะทำการทดลองจำนวน 5 ครั้งโดยทำการบันทึกผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW และจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke-43B ดังตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1 ผลการทดลอง No-load Test จากโปรแกรม LabVIEW

ครั้งที่	V_{rms} (V)	I_{rms} (A)	Pf.	P (kW)	S (kVA)	Q (kVAR)	X_{NL} (Ω)
1	220.024	2.186	0.120	0.170	1.440	1.430	100.646
2	220.125	2.172	0.120	0.180	1.430	1.420	100.545
3	220.596	2.175	0.120	0.180	1.440	1.430	100.627
4	220.600	2.200	0.120	0.180	1.450	1.440	99.503
5	220.493	2.193	0.120	0.180	1.450	1.440	99.767

ตารางที่ 2 ผลการทดลอง No-load Test จาก Fluke-43B

ครั้งที่	V_{rms} (V)	I_{rms} (A)	Pf.	P (kW)	S (kVA)	Q (kVAR)	X_{NL} (Ω)
1	220.300	2.180	0.120	0.180	1.430	1.420	100.263
2	220.500	2.170	0.120	0.180	1.430	1.420	100.811
3	220.600	2.170	0.120	0.180	1.430	1.420	100.857
4	220.600	2.200	0.150	0.210	1.440	1.430	99.224
5	220.400	2.190	0.150	0.210	1.450	1.430	99.575

การทดลอง Block rotor Test ทำการทดลอง 5 ครั้ง โดยทำการบันทึกผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW และจาก Fluke-43B ดังตารางที่ 3-4

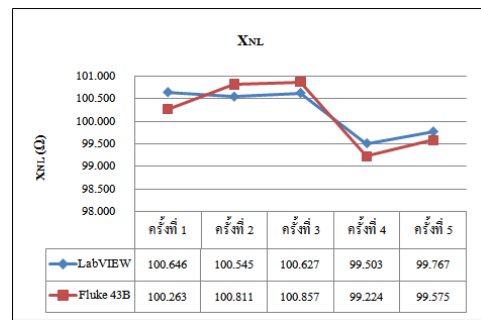
ตารางที่ 3 ผลการทดลอง Block rotor Test จากโปรแกรม LabVIEW

ครั้งที่	V_{rms} (V)	I_{rms} (A)	Pf.	P (kW)	$X_1=X'_2$ (Ω)	X_M (Ω)	R'_2 (Ω)
1	42.770	2.820	0.832	0.302	4.177	96.469	3.852
2	50.410	2.850	0.842	0.360	4.863	95.683	6.243
3	44.320	2.830	0.715	0.269	5.475	95.152	2.322
4	41.630	2.790	0.845	0.293	4.038	95.466	3.723
5	45.820	2.890	0.843	0.335	4.261	95.506	4.638

ตารางที่ 4 ผลการทดลอง Block rotor Test จาก Fluke-43B

ครั้งที่	V_{rms} (V)	I_{rms} (A)	Pf.	P (kW)	$X_1=X'_2$ (Ω)	X_M (Ω)	R'_2 (Ω)
1	42.830	2.840	0.830	0.300	4.293	95.970	3.578
2	50.310	2.880	0.830	0.360	4.895	95.916	5.907
3	44.370	2.850	0.720	0.270	5.468	95.389	2.192
4	41.770	2.800	0.830	0.290	4.199	95.026	3.500
5	45.900	2.900	0.830	0.330	4.456	95.119	4.339

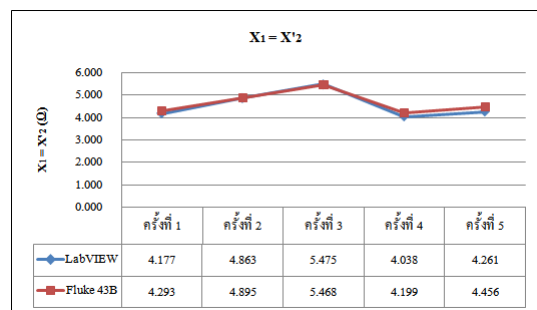
ผลจากการทดลอง No-load Test และ Block rotor Test จำนวน 5 ครั้ง จากโปรแกรม LabVIEW และจากเครื่องมือวัด Fluke-43B สามารถนำค่าพารามิเตอร์มาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ดังภาพที่ 8-11 และตารางที่ 5-8



ภาพที่ 8 ผลการวัด X_{NL} จากโปรแกรม LabVIEW และ Fluke-43B

ตารางที่ 5 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของ X_{NL} จากโปรแกรม LabVIEW เทียบกับ Fluke-43B

%Error	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
X_{NL} (Ω)	0.382	0.263	0.228	0.281	0.192

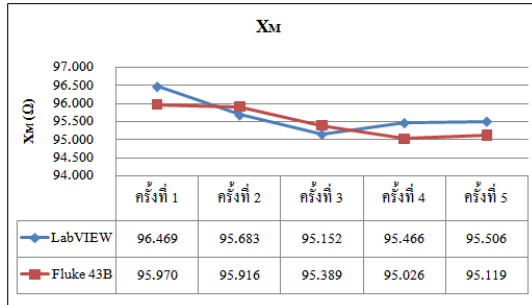


ภาพที่ 9 ผลการวัด $X_1 = X'_2$ จากโปรแกรม LabVIEW เทียบกับ Fluke-43B

ตารางที่ 6 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของ $X_1 = X'_2$ จาก

โปรแกรม LabVIEW เทียบกับ Fluke-43B

%Error	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
$X_1 = X'_2$	2.703	0.657	0.130	3.832	4.388

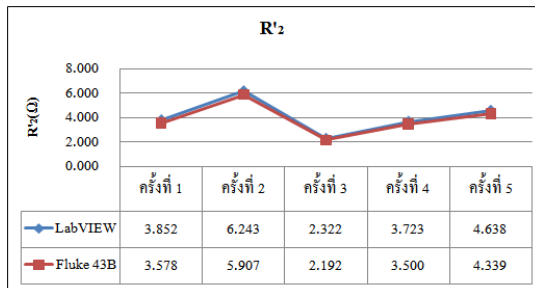


ภาพที่ 10 ผลการวัด X_M จากโปรแกรม LabVIEW เทียบกับ Fluke-43B

ตารางที่ 7 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของ X_M จาก

โปรแกรม LabVIEW เทียบกับ Fluke-43B

%Error	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
X_M	0.520	0.243	0.249	0.463	0.407



ภาพที่ 11 ผลการวัด R'_2 จากโปรแกรม LabVIEW และ Fluke-43B

ตารางที่ 8 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของ R'_2 จาก

โปรแกรม LabVIEW เทียบกับ Fluke-43B

%Error	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
R'_2	7.644	5.683	5.938	6.375	6.871

3.2 ผลการทดสอบกับหม้อแปลงพิกัดขนาด 1200VA

การทดลอง Open Circuit Test จำนวน 5 ครั้ง โดยบันทึกผลการวัดค่าพารามิเตอร์ ที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW และจาก Fluke-43B ดังตารางที่ 9-10

ตารางที่ 9 ผลการทดลอง Open Circuit Test จาก

โปรแกรม LabVIEW

ครั้งที่	Vp (V)	Ip (A)	Pf.	Poc (kW)	Ic,p (A)	Im,p (A)	Rc,p (Ω)	Xm,p (Ω)
1	220.579	0.147	0.758	0.0245	0.111	0.0956	1980	2310
2	220.981	0.148	0.759	0.0247	0.112	0.0961	1970	2300
3	220.400	0.146	0.758	0.0245	0.111	0.0954	1990	2310
4	220.540	0.147	0.761	0.0247	0.112	0.0952	1970	2320
5	220.846	0.147	0.758	0.0246	0.112	0.0959	1980	2300

ตารางที่ 10 ผลการทดลอง Open Circuit Test จาก

Fluke- 43B

ครั้งที่	Vp (V)	Ip (A)	Pf.	Poc (kW)	Ic,p (A)	Im,p (A)	Rc,p (Ω)	Xm,p (Ω)
1	221.4	0.150	0.830	0.0276	0.125	0.0837	1778.313	2646.283
2	221.1	0.150	0.730	0.0242	0.110	0.1025	2019.178	2156.714
3	220.7	0.150	0.780	0.0258	0.117	0.0939	1886.325	2351.201
4	220.9	0.150	0.770	0.0255	0.116	0.0957	1912.554	2308.096
5	220.8	0.150	0.640	0.0212	0.096	0.1153	2300.000	1915.731

การทดลอง Short Circuit Test ทำการทดลอง 5 ครั้ง โดยบันทึกผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ ที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW และจาก Fluke-43B ดังตาราง 11-12

ตารางที่ 11 ผลการทดลอง Short Circuit Test จาก

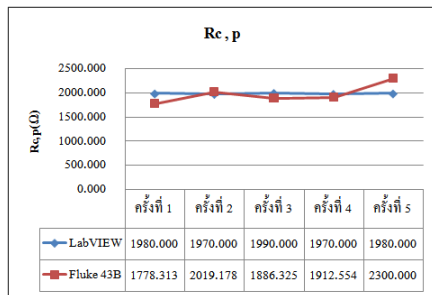
โปรแกรม LabVIEW

ครั้งที่	Vsc (V)	Isc (A)	Pf.	Req (Ω)	Xeq (Ω)
1	9.420	4.750	0.948	1.896	0.627
2	9.470	4.672	0.950	1.958	0.635
3	9.570	4.570	0.950	1.898	0.631
4	9.630	4.613	0.950	1.950	0.625
5	9.520	4.627	0.950	1.930	0.637

ตารางที่ 12 ผลการทดลอง Short Circuit Test จาก Fluke-43B

ครั้งที่	Vsc (V)	Isc (A)	Pf.	Req (Ω)	Xeq (Ω)
1	9.430	4.880	0.950	1.836	0.603
2	9.500	4.670	0.960	1.953	0.570
3	9.470	4.720	0.950	1.906	0.626
4	9.540	4.680	0.960	1.957	0.571
5	9.450	4.780	0.950	1.878	0.617

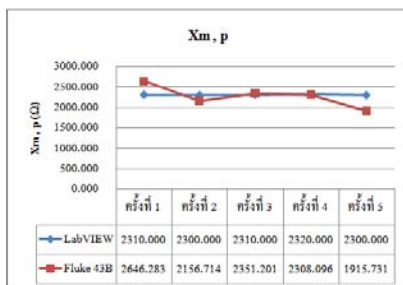
ผลจากการทดลอง Open Circuit Test และ Short Circuit Test จำนวน 5 ครั้ง จากโปรแกรม LabVIEW และจากเครื่องมือวัด Fluke-43B สามารถนำค่าพารามิเตอร์ มาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ดังภาพที่ 12-15 และตาราง 13-16



ภาพที่ 12 ผลการทดลอง $R_{c,p}$ จากโปรแกรม LabVIEW และ Fluke-43B

ตารางที่ 13 เปอร์เซนต์ความผิดพลาดของ $R_{c,p}$ จากโปรแกรม LabVIEW เทียบกับ Fluke-43B

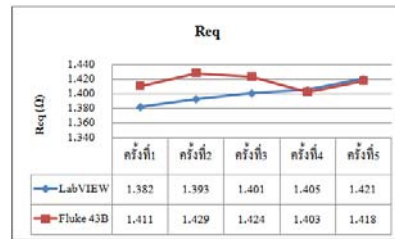
%Error	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
$R_{c,p}$	11.341	2.436	5.496	3.004	13.913



ภาพที่ 13 ผลการทดลอง $X_{m,p}$ จากโปรแกรม LabVIEW และ Fluke-43B

ตารางที่ 14 เปอร์เซนต์ความผิดพลาดของ $X_{m,p}$ จากโปรแกรม LabVIEW และ Fluke-43B

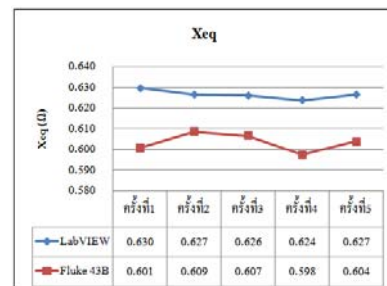
%Error	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
$X_{m,p}$	12.708	6.644	1.752	0.516	20.059



ภาพที่ 14 ผลการทดลอง R_{eq} จากโปรแกรม LabVIEW และ Fluke-43B

ตารางที่ 15 เปอร์เซนต์ความผิดพลาดของ R_{eq} จากโปรแกรม LabVIEW เทียบกับ Fluke-43B

%Error	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
R_{eq}	4.783	2.939	3.169	4.403	3.750



ภาพที่ 15 ผลการทดลอง X_{eq} จากโปรแกรม LabVIEW และ Fluke-43B

ตารางที่ 16 เปอร์เซนต์ความผิดพลาดของ X_{eq} จากโปรแกรม LabVIEW เทียบกับ Fluke-43B

%Error	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
X_{eq}	4.783	2.939	3.169	4.403	3.750

4. สรุปผลการวิจัย

ผลจากการทดลองใช้เครื่องมือวัดเสมือนพารามิเตอร์กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส และหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส พบว่ามีความแม่นยำและน่าเชื่อถือเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน อีกทั้งช่วยลดความยุ่งยาก ในการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส และหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส ได้เป็นอย่างดี

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] กิจไพบูลย์ ชิวพันธุ์ศรี. (2550). การออกแบบแอปพลิเคชันในระบบกราฟิกด้วย LabVIEW. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- [2] กฤษ เฉยไสย และประยงค์ เสาร์แก้ว. (2550). การหาค่าพารามิเตอร์เพื่อจำลองการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://triton.elk.itu.edu.tr/~ozdemir/trf1.pdf>. (วันที่ค้นหาข้อมูล : 25 ธันวาคม 2552).
- [3] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. หม้อแปลงไฟฟ้า. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://eerg.eng.rmutp.ac.th/E_Learning/Electric%20Machines%201/chapter/3/index.html (วันที่ค้นหาข้อมูล : 10 มกราคม 2553).
- [4] Transformers. [Online]. Available : <http://triton.elk.itu.edu.tr/~ozdemir/trf1.pdf>. (Access date : January 4 ,2010).

เครื่องเติมลมแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยพีซีลोजิก

พรชัย แคล้วอ้อม¹ ศุภชัย อรุณพันธ์¹ และ ลัญญา ผาสุข¹

บทคัดย่อ— จากความยุ่งยากของการเติมความดันลมในแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้เครื่องเติมลมของที่มีไว้ให้บริการตามสถานีบริการน้ำมันหรือสถานบริการตรวจซ่อมรถตามสถานที่ต่างๆ จะสังเกตพบว่าการใช้งานเครื่องเติมความดันลมของแต่ละแบบมีความยุ่งยากและหากผู้ใช้ที่ไม่มี ความชำนาญหรือไม่ทราบมาตรฐานของความดันลมยาง ก็อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุในการขับขี่ยานพาหนะ งานวิจัยนี้ได้นำกลไกของพีซีมาประยุกต์ใช้เป็นตัวควบคุมการจ่ายความดันลมของเครื่องเติมลมยางล้อรถแบบอัตโนมัติโดยสร้างจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ลักษณะการใช้งานจะมีอยู่ 4 โหมดคือ รถจักรยาน รถจักรยานยนต์ รถยนต์ส่วนบุคคล และรถกระบะบรรทุก โดยแต่ละโหมดจะมีค่าความดันลมที่เป็นค่าใช้งานมาตรฐานกำกับอยู่และผู้ใช้สามารถเพิ่มหรือลดค่าความดันลมได้ตามความเหมาะสมของสภาพยางล้อรถแต่ละประเภท

ผลจากการใช้เครื่องเติมลมแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยพีซีลोजิก จะสามารถควบคุมความดันลมตามที่ผู้ใช้ต้องการอย่างแม่นยำและรวดเร็ว เหมาะแก่สภาพสตรี หรือผู้ใช้ที่ไม่มี ความชำนาญหรือไม่ทราบมาตรฐานของความดันลมยาง

คำสำคัญ ระบบพีซีลोजิก เครื่องเติมลมแบบอัตโนมัติ ความดันลมยางมาตรฐาน

1. บทนำ

จากความยุ่งยากของการเติมความดันลมในแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้เครื่องเติมลมของยางล้อรถตั้งแต่ราคาไม่กี่ร้อยบาท ตลอดจนการใช้เครื่องเติมลมที่มีไว้ให้บริการตามสถานีบริการน้ำมันหรือสถานบริการตรวจซ่อมรถตามสถานที่ต่างๆ ซึ่งจะพบว่าการใช้งานเครื่องเติมลมยางดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ในแต่ละแบบมีความยุ่งยากในการเติมความดันลมและหากผู้ใช้ที่ไม่มี ความชำนาญเกี่ยวกับการใช้งานหรือไม่ทราบมาตรฐานของความดันลมยางก็อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุในการใช้ยานพาหนะในการขับขี่ได้

จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีแนวความคิดที่จะพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเติมความดันลมยางของล้อรถแบบอัตโนมัติและเป็นไปตามมาตรฐานของความดัน

ลมยาง และสามารถเคลื่อนย้ายเครื่องเติมลมได้อย่างสะดวก โดยอาศัยหลักการควบคุมแบบพีซีลोजิกซึ่งสร้างจากไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล PIC สืบเนื่องจากการควบคุมแบบพีซีลोजิกถือได้ว่าเป็นระบบการควบคุมที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมและงานระบบควบคุมแบบอัตโนมัติในปัจจุบัน ดังนั้นจึงได้มีความคิดที่จะนำระบบควบคุมแบบพีซีลोजิกมาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องเติมลมยางแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำมาใช้งานกับรถจักรยาน รถจักรยานยนต์ รถยนต์หรือยานพาหนะประเภทต่างๆ ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน โดยงานวิจัยนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้ยานพาหนะและยังทำให้ได้ลมยางของล้อรถตามความเหมาะสมกับขนาดยางที่ใช้ของรถแต่ละประเภท เพื่อเป็นการป้องกันอุบัติเหตุที่มีสาเหตุเกิดมาจากยางของรถและเป็นการช่วยประหยัดพลังงานในการใช้เชื้อเพลิงตลอดจนช่วยยืดอายุการใช้งานของยางรถอีกด้วย

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
1 ถ.ราชดำเนินนอก ต. บ่อทราย อ. เมือง จ.สงขลา 90000
E-mail: k_pomchais@yahoo.com

2. วิธีการวิจัย

การออกแบบและสร้างตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก [1-6]

2.1 การออกแบบตัวควบคุมความดันลมของเครื่องเติมลมอัตโนมัติ โดยอาศัยทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก

ขั้นตอนที่ 1 การฟัซซี่ฟิเคชันของอินพุต

เป็นการหาอินพุตของระบบและหาช่วงฟัซซี่ของอินพุต และทำการสร้างระดับความเป็นสมาชิกที่เป็นไปได้ ในที่นี้จะกำหนดให้มีอินพุตของระบบ 2 ตัวคือ

1. ค่าความผิดพลาด (Error, E) ซึ่งหาได้จากความแตกต่างระหว่างค่าความดันจากล้อรถ (Tire Pressure, P_T) กับค่าความดันอ้างอิง (Reference Pressure, P_{ref})

$$E = P_{ref} - P_T \quad (1)$$

2. ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด (Error Change, E_{ch}) ซึ่งหาได้จากความแตกต่างระหว่างค่าความผิดพลาดล่าสุด (Lasted Error, E_L) กับค่าความผิดพลาดก่อนหน้านั้น (Previous Error, E_p)

$$E_{ch} = E_L - E_p \quad (2)$$

โดยตัวแปรทางอินพุตทั้ง 2 ตัวนี้ต้องนำมาผ่านขั้นตอนการฟัซซี่ฟิเคชันในภาพของฟัซซี่ของอินพุต โดยการเปรียบเทียบค่าตัวแปรทางอินพุตกับตารางที่ 1 ซึ่งเป็นค่าควอนไทซ์ (Quantized) ที่กำหนดขึ้นมาทำให้สามารถลดจำนวนของอินพุตที่จะนำมาทำฟัซซี่ฟิเคชันได้

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดตัวแปรเอาต์พุตฟัซซี่ การสร้างระดับการเป็นสมาชิกที่เป็นไปได้ในแต่ละช่วง

โดยจะกำหนด ตัวแปรทางเอาต์พุตฟัซซี่ 1 ตัว เพื่อที่จะนำไปหาค่าเวลาที่ใช้ในการควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วจ่ายความดันลมให้กับล้อรถตามที่ความดันลมอ้างอิง และมีการกำหนดค่าจุดศูนย์กลาง (Assigned value) ของเอาต์พุตฟัซซี่เพื่อให้สามารถทำการดีฟัซซี่ฟิเคชันได้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าควอนไทซ์ของ Error และ Error

Change ของระบบควบคุมความดันลม

Error (E)	Error Change (Ech)	Quantized Value
$E > 25$	$Ech > 2$	5
$10 \leq E < 25$	$1.5 \leq Ech < 2$	4
$5 \leq E < 10$	$1 \leq Ech < 1.5$	3
$2 \leq E < 5$	$0.5 \leq Ech < 1$	2
$0.5 \leq E < 2$	$0.25 \leq Ech < 0.5$	1
$(-0.5) \leq E < 0.5$	$(-0.25) \leq Ech < 0.25$	0
$(-2) \leq E < (-0.5)$	$(-0.5) \leq Ech < (-0.25)$	-1
$(-5) \leq E < (-2)$	$(-1) \leq Ech < (-0.5)$	-2
$(-10) \leq E < (-5)$	$(-1.5) \leq Ech < (-1)$	-3
$(-25) \leq E < (-10)$	$(-2) \leq Ech < (-1.5)$	-4
$E \leq (-25)$	$Ech \leq (-2)$	-5

ตารางที่ 2 ค่าจุดศูนย์กลาง (Assigned Value) ของเอาต์พุตฟัซซี่

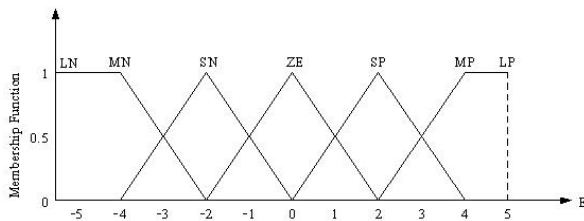
Output Status	Assigned Value
LN	-0.3
MN	-0.2
SN	-0.1
ZE	0
SP	0.1
MP	0.2
LP	0.3

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดขอบเขตเชิงภาษา (Fuzzy Linguistic) และการกำหนดค่าความเป็นสมาชิก (Grade of Membership Function) ของ Fuzzy Subset ต่างๆ ที่

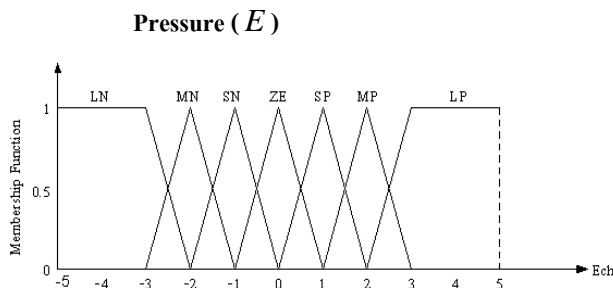
ระดับการควอนไทซ์ที่แตกต่างกัน การกำหนดขอบเขตเชิงภาษาซึ่งเป็นภาษาที่ใช้ในระบบการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกในที่นี้จะแบ่งเป็นระดับของฟัซซี่ที่ใช้กับตัวแปรเอาต์พุตได้ 7 ภาษา ดังนี้

- Large Negative (LN) : ความดันน้อยมาก
- Medium Negative (MN) : ความดันน้อยปานกลาง
- Small Negative (SN) : ความดันน้อย
- Zero (ZE) : ความดันศูนย์
- Small Positive (SP) : ความดันสูง
- Medium Positive (MP) : ความดันสูงปานกลาง
- Large Positive (LP) : ความดันสูงมาก

โดยการกำหนดรูปร่างกราฟของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุตทั้ง 2 ตัวดังภาพที่ 1 และ 2



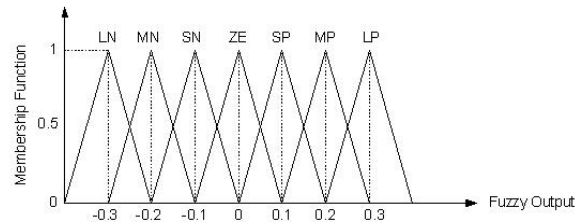
ภาพที่ 1 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุต Error



ภาพที่ 2 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุต Error

Change (E_{ch})

กำหนดรูปร่างของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเอาต์พุตฟัซซี่ลอจิกนั้นทำได้โดยการนำค่าจุดศูนย์กลาง (Assigned Value) จากตารางที่ 2 ซึ่งแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเอาต์พุตฟัซซี่

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างเงื่อนไขหรือกฎการควบคุมหรือการหากฎเกณฑ์และเงื่อนไขที่สามารถนำค่าจากอินพุต มาประมวลผลออกไปได้

เมื่อได้ทำขั้นตอนในข้างต้นแล้ว ก็จะเป็นการสร้างเงื่อนไขที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก เพื่อให้สามารถควบคุมความดันลมภายในล้อรถได้ตามจุดประสงค์ ขั้นตอนนี้จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เพราะจะเป็นการจำลองพฤติกรรมของระบบที่เป็นไปได้หรือเป็นการกำหนดให้ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกปฏิบัติการควบคุมเมื่อค่าความดันลมมีการเปลี่ยนแปลงนั่นเอง โดยจะได้ค่าเอาต์พุตฟัซซี่เพื่อนำไปหาค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นค่าของเวลาที่จะใช้

		Error Change (E_{ch})						
		LN	MN	SN	ZE	SP	MP	LP
Error Pressure (E)	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
	MN	LN	LN	LN	MN	MN	MN	SN
	SN	LN	LN	MN	SN	SN	SN	SN
	ZE	MN	SN	N	ZE	ZE	SP	SP
	SP	SP	SP	SP	MP	MP	MP	LP
	MP	MP	MP	MP	LP	LP	LP	LP
	LP	MP	MP	MP	LP	LP	LP	LP

ในการตั้งควบคุมการเปิดปิดของวาล์วซึ่งจะเป็นค่าเท่าไรนั้นก็ขึ้นอยู่กับค่าอินพุตทั้ง 2 ตัวที่เปลี่ยนแปลงไปตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เงื่อนไขที่กำหนดขึ้นของเอาต์พุตฟัซซีในการควบคุมการทำงานของวาล์วเมื่ออินพุตมีการเปลี่ยนแปลง

ขั้นตอนที่ 5 การดีฟัซซีฟิเคชันของเอาต์พุต การกำหนดวิธีการรวมผลของฟัซซี เพื่อให้ได้ค่าของเอาต์พุตที่เป็นค่าจริงในภาพคริสป์เซต (Crisp Set) เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ของค่าเอาต์พุต จะเห็นว่าในแต่ละอินพุตจะได้ค่าเอาต์พุต ออกมาหลายค่า เราจึงต้องหาค่าที่แม่นยำเพียงค่าเดียวเพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตที่แท้จริงของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก ซึ่งจะใช้กรรมวิธีการหาค่าศูนย์กลางเพื่อหาค่าเซนทรอยด์ โดยหาได้จากสูตร

$$Y = \sum_{n=1}^n (\mu_n * Y_n) / \sum \mu_n \quad (3)$$

เมื่อ $Y = \text{Crisp Output}$

$\mu = \text{Membership Function}$

$n = \text{Number of Membership}$

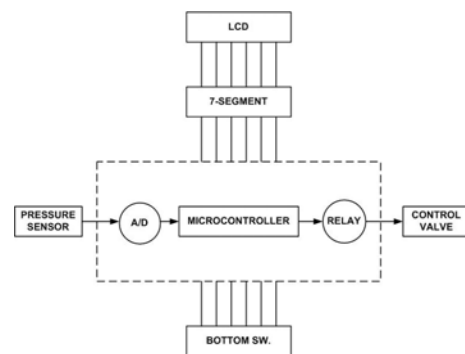
หลังจากได้ค่าของเอาต์พุตที่เป็นค่าจริงในรูปคริสป์เซต (Crisp Set) จะต้องทำการแปลงค่าของเอาต์พุตนั้นให้เป็นค่าของเวลาในการควบคุมการเปิด-ปิดวาล์ว มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที ซึ่งการคำนวณเวลาจะต้องทำการทดลองเพื่อให้ได้ค่าเวลาที่เหมาะสมกับค่าที่ตั้งไว้ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเอาต์พุตฟัซซีกับเวลาที่ใช้ในการเปิด-ปิดวาล์ว

ประเภทของรถและระยะเวลาการเปิด-ปิดวาล์ว (มิลลิวินาที)				
Fuzzy Output	รถจักรยาน	รถจักรยานยนต์	รถยนต์	รถกระบะ
-0.30	700	950	40000	40000
-0.25	500	750	20000	20000
-0.2	400	600	10000	10000
-0.15	300	550	3000	2500
-0.1	200	250	700	1500
-0.05	100	200	500	1000
0	180	180	1000	1000
0.05	70	100	100	50
1	80	150	900	150
1.5	100	400	1400	600
2	300	500	1700	800
2.5	400	700	2000	900
3	800	1000	3000	1000

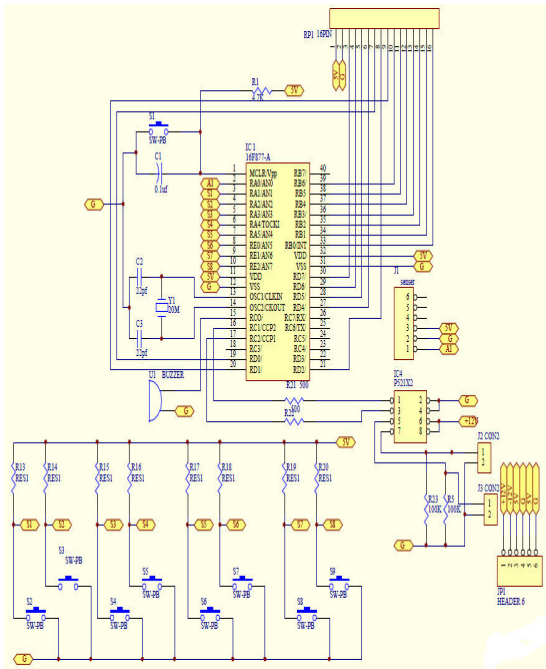
2.2 การออกแบบโครงสร้างการทำงานเครื่องเติมลมอัตโนมัติควบคุมฟัซซี

ในการออกแบบเครื่องเติมลมอัตโนมัติสามารถเขียนเป็นไดอะแกรมการทำงานได้ตามภาพที่ 4

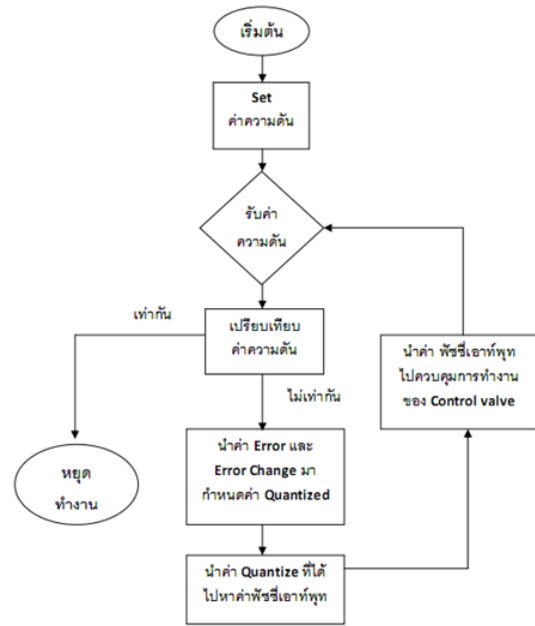


ภาพที่ 4 ไดอะแกรมการออกแบบเครื่องเติมลมอัตโนมัติโดยจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ระบบคือ

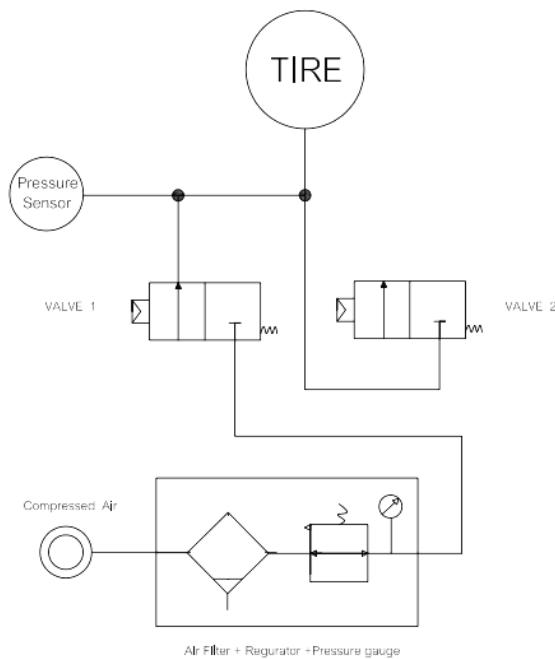
1. ระบบวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
2. ระบบนิวแมติกส์



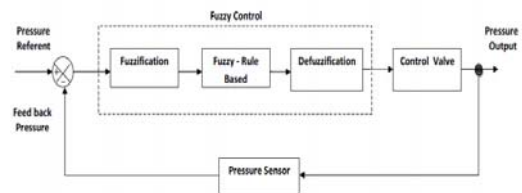
ภาพที่ 5 ตัวอย่างวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องเติมลมอัตโนมัติ



ภาพที่ 6 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม



ภาพที่ 6 วงจรของระบบนิวแมติกส์



ภาพที่ 7 ใตอะแกรมระบบควบคุมเครื่องเติมลมอัตโนมัติระบบฟัซซี่ลอจิก

3. ผลและการอภิปรายผล

เครื่องเติมความดันลมยางล้อรถแบบอัตโนมัติ จะมีการใช้งานอยู่ 4 โหมด คือ รถจักรยาน รถจักรยานยนต์ รถยนต์ส่วนบุคคล และรถกระบะบรรทุก โดยแต่ละโหมดจะมีย่านความดันลมที่เป็นค่าใช้งานมาตรฐานกำกับอยู่และผู้ใช้สามารถเพิ่มหรือลดค่าความดันลมได้ตามความเหมาะสมของสภาพยางล้อรถแต่ละประเภท

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ลักษณะการทำงานโดยทั่วไปของโปรแกรมของเครื่องเติมลมจะทำงานตามโฟลว์ชาร์ตภาพที่ 6

การทดลองบันทึกเวลาการเติมลมของเครื่องเติมลม

อัตโนมัติด้วยตัวควบคุมพีซีซีลอจิก

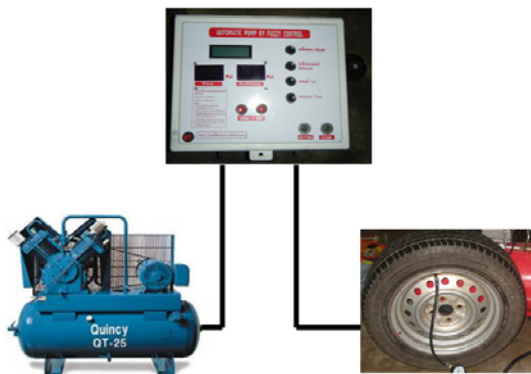
เป็นการทดลองหาค่าเวลาที่ใช้ในการเติมลมยาง ล้อรถประเภทต่าง ๆ ตามระดับความดันลมที่ต้องการ แตกต่างกัน ดังภาพที่ 9 และ 10 เช่น

ย่านความดันลมของรถจักรยาน คือ 20-28 psi

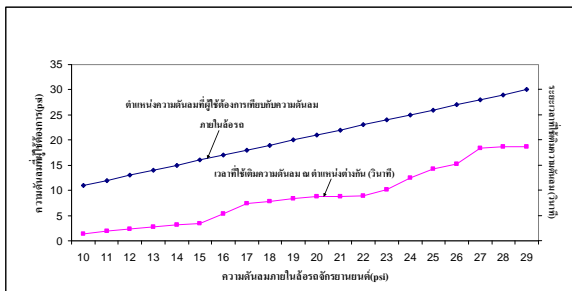
ย่านความดันลมของรถจักรยานยนต์ คือ 25-32 psi

ย่านความดันลมของรถยนต์ คือ 28 - 40 psi

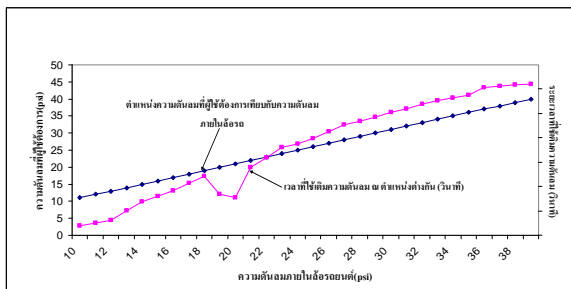
ย่านความดันลมของรถยนต์กระบะ คือ 40 - 60 psi



ภาพที่ 8 ตัวอย่างการต่อใช้งานเครื่องเติมลมอัตโนมัติ



ภาพที่ 9 ตัวอย่างบันทึกเวลาที่ใช้ในการเติมความดันลมของรถจักรยานยนต์



ภาพที่ 10 ตัวอย่างบันทึกเวลาที่ใช้ในการเติมความดันลมของรถยนต์

4. สรุปผลการวิจัย

ผลจากการเติมความดันลมยางล้อรถประเภทต่าง ๆ ด้วยเครื่องเติมลมแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยพีซีซีลอจิกจะสามารถควบคุมความดันลมตามที่ผู้ใช้ต้องการอย่างแม่นยำและรวดเร็ว เหมาะแก่สภาพสตรี หรือผู้ใช้ที่ไม่มีความชำนาญหรือไม่ทราบมาตรฐานของความดันลมยาง โดยแต่ละโหมบจะมีย่านความดันลมที่เป็นค่าใช้งานมาตรฐานกำกับอยู่และผู้ใช้สามารถเพิ่มหรือลดค่าความดันลมได้ตามความเหมาะสมของสภาพยางล้อรถแต่ละประเภท การเติมลมในช่วงของค่าความดันที่ต้องการกับค่าความดันที่มีอยู่เดิมในล้อรถไม่เกิน 10 psi จะใช้เวลาในการเติมเฉลี่ย 8 วินาที (รถยนต์) แต่หากค่าความดันลมแตกต่างกันมากการทำงานก็จะใช้เวลานานมากขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Lotfi A. Zadeh. 1997. Fuzzy and Neural Approaches in Engineering. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Ramakant A. Gayakwad. 1983. Op-Amps and Linear Integrated Circuits. London: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] F. L. Lewis, C. T. Abdallah and D. M. Dawson. 1993. Control of Robot Manipulators. Macmillan Publishing, Co.
- [4] L-X Wang. 1994. Adaptive Fuzzy Systems and Control: Design and Stability Analysis. Prentice-Hall.
- [5] C. C. Lee. 1990. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part, IEEE Trans. Syst. Man Cybern., vol. 20, no.2, pp. 404-435.
- [6] Liang-Jong Huang and Masayoshi Tomizuka. 1990. A Self-Paced Fuzzy Tracking Controller for Two-Dimensional Motion Control, IEEE Trans. Syst. Man Cybern., vol. 20, no.5, pp.1155-1124.

การวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าของเครื่องเชื่อมไฟฟ้า

อาทิตย์ ยาวุฒิ¹ พานิช อินต๊ะ¹ และวิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ²

บทคัดย่อ— ในอดีตงานเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าสามารถทำได้โดยใช้เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบขดลวด ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ในเชิงพาณิชย์มากขึ้น ความแตกต่างระหว่างเครื่องเชื่อมแบบขดลวดและแบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถพิจารณาได้หลายด้าน คุณลักษณะทางไฟฟ้าเป็นด้านที่มีความสำคัญเนื่องจากเครื่องเชื่อมไฟฟ้าทั้งสองแบบต่างเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าที่มีโหลดทางไฟฟ้าชนิดอื่นต่อร่วมอยู่ คุณภาพกำลังไฟฟ้าจึงเป็นตัวแปรสำคัญในการพิจารณาเลือกใช้งานเครื่องเชื่อมไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าน้อยที่สุด การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องตรวจวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า Fluke435 สามารถวัดและบันทึกผลการวัดปริมาณแรงดัน กระแส กำลังงานไฟฟ้า และฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้า เป็นต้น การทดลองทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าของเครื่องเชื่อมแบบขดลวดและแบบสวิตซ์ ซึ่งผลการทดลองพบว่า เครื่องเชื่อมแบบขดลวดได้เปรียบเครื่องเชื่อมแบบอิเล็กทรอนิกส์ในเรื่องฮาร์มอนิกที่เกิดในระบบไฟฟ้าต่ำกว่าเครื่องเชื่อมแบบอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนเครื่องเชื่อมแบบอิเล็กทรอนิกส์ได้เปรียบเครื่องเชื่อมแบบขดลวดคืออัตราการใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่า กำลังงานสูญเสียที่น้อยกว่า และมีระดับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่สูงกว่า ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดสอดคล้องกับทฤษฎี

คำสำคัญ เครื่องเชื่อม ไฟฟ้าแบบขดลวด เครื่องเชื่อมแบบ อิเล็กทรอนิกส์ คุณภาพกำลังไฟฟ้า

1. บทนำ

การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ เป็นกระบวนการเชื่อมเกิดขึ้นจากการอาร์คระหว่างปลายสุดของลวดเชื่อมกับชิ้นงาน ทำให้เกิดความร้อนสูงประมาณ 3,300–5,500 องศาเซลเซียส ทำให้แผ่นโลหะตรงจุดนั้นหลอมละลายเป็นแอ่ง ขณะเดียวกันปลายของลวดเชื่อมจะหลอมละลายและหยดเค็กลงในแอ่ง [1] เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบขดลวดนิยมใช้กันอย่าง

แพร่หลายเนื่องจากคุณลักษณะเด่นคือโครงสร้างไม่ซับซ้อน ใช้งานง่ายและราคาไม่แพง อย่างไรก็ตามเครื่องเชื่อมแบบดังกล่าวมีส่วนประกอบของขดลวดที่ทำให้มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียและมีอัตราการกินกระแสไฟฟ้าที่สูง เครื่องเชื่อมแบบอินเวอร์เตอร์เป็นเครื่องเชื่อมที่เอาวงจรอินเวอร์เตอร์เข้ามาช่วยในการแปลงแรงดันไฟฟ้าทำให้สามารถควบคุมค่ากระแสไฟฟ้าในการเชื่อมทำให้ไม่มีการสูญเสียพลังงานขณะทำการเชื่อม ลดการสูญเสียได้ถึง 50% มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบากว่าเครื่องเชื่อมแบบขดลวด [2] วงจรอินเวอร์เตอร์มีการทำงานโดยใช้การสวิตซ์ความถี่สูงของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีลักษณะการทำงานโดยดึงกระแสจากระบบไฟฟ้าเป็นช่วง (Pulse Current) ซึ่งเป็นผลให้เกิดฮาร์มอนิกส์ลำดับที่สามและลำดับอื่นที่สูงมาก [3] ฮาร์มอนิกส์เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้าและเมื่อระบบไฟฟ้ามีคุณภาพต่ำย่อมส่งผลเสียโดยรวมต่ออุปกรณ์ควบคุมและอุปกรณ์ที่ต่อร่วมในระบบ

¹วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 128 ถนนห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 57120

E-mail yartit@hotmail.com

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 99 หมู่ 10 ต.ทรายขาว อ.พาน จ.เชียงราย 57120

โทรศัพท์ 053-729-600-5

ไฟฟ้านั้นๆ [4]การวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าของเครื่องเชื่อมจึงเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้ทราบถึงระดับคุณภาพกำลังไฟฟ้าได้แก่แรงดัน กระแส เพาเวอร์แฟกเตอร์ กำลังสูญเสีย และฮาร์มอนิกส์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกใช้งานเครื่องเชื่อม และใช้เป็นข้อมูลในการป้องกันผลเสียที่จะเกิดแก่ระบบไฟฟ้าโดยรวมอย่างถูกต้องวิธี บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าของเครื่องเชื่อมแบบขดลวดและเครื่องเชื่อมแบบอินเวอร์เตอร์ โดยใช้เครื่องบันทึกระบบคุณภาพกำลังไฟฟ้า Fluke 435 ทำการบันทึกคุณภาพกำลัง ไฟฟ้าของเครื่องเชื่อมทั้งสองแบบจากนั้นนำข้อมูลที่ได้อมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เครื่องเชื่อมไฟฟ้า (Welding machines) ใช้กำลังงานไฟฟ้าอินพุตกระแสสลับขนาด 220 โวลต์ ตามบ้านเรือน แล้วแปลงเป็นแรงดันต่ำระดับ 40-100 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับอาร์คของขดลวดเชื่อมขณะทำการเชื่อม โดยสามารถควบคุมและจ่ายกระแสไฟฟ้าที่มีขนาดตั้งแต่ 150 , 200 , 300 , 400 แอมแปร์ [1] เครื่องเชื่อมไฟฟ้าทำงานด้วยความถี่ 50 Hz ใช้หลักการทำงานแบบหม้อแปลงไฟฟ้าคือมีการเหนี่ยวนำทำให้มีกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการเชื่อมโดยมีการเหนี่ยวนำอยู่ตลอดเวลาทำให้เกิดการสูญเสียที่ขดลวดและแกนเหล็ก มีประสิทธิภาพในการใช้งานและด้านพลังงานค่อนข้างต่ำ [2]

เครื่องเชื่อมแบบอินเวอร์เตอร์ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบอินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้า โดยมีความถี่ในการทำงานประมาณ 5 – 100 kHz มีการควบคุมกระแสไฟฟ้าขณะทำการเชื่อม ทำให้สามารถลดการสูญเสียกำลังงานไฟฟ้าขณะทำการเชื่อมได้ [2]

คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality) เป็นค่าที่พูดถึงบ่อยในเรื่องของความมั่นคงการจ่ายไฟฟ้าของระบบจากการไฟฟ้าและกรณีเมื่อเกิดปัญหาอุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาด หรือหยุดการทำงานจาก

ผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเห็นได้ว่าค่านิยามของค่าว่าคุณภาพกำลังไฟฟ้าระหว่างการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟจะพูดถึงในกรณีที่แตกต่างกันไป แต่ในความเป็นจริงแล้วมีความหมายเดียวกันซึ่งนิยามของคุณภาพกำลังไฟฟ้าตามมาตรฐานสากล IEC และ IEEE ให้ความหมายของคุณภาพกำลังไฟฟ้า คือ คุณลักษณะกระแส แรงดันและความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหาย [3]

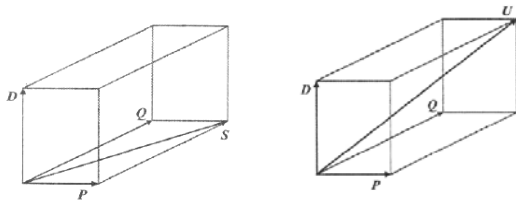
โหลดทางไฟฟ้าที่มีส่วนประกอบของขดลวดข้อมทำให้เกิดค่าตัวประกอบกำลังมูลฐาน (Displacement Power Factor; DPF) ต่ำ ในสมการที่ 1 (ภาพที่ 1 ก.) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน (S) ในกรณีที่กระแสไฟฟ้าไม่ลื่นไหลไปจากรูปคลื่นไซน์ข้อมทำให้เกิดค่ากำลังไฟฟ้าลื่นไหล (D) และกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนจะมีค่าเท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (U) ที่ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า (การ ไฟฟ้า) ต้องผลิต โดยหากค่า DPF มีค่ามาก นั้นหมายความว่า การไฟฟ้าต้องผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้แก่ระบบไฟฟ้าให้เท่ากับระดับกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (U) ซึ่งแท้จริงแล้วผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการเพียงแค่อำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของโหลด (P; watt) เท่านั้น [4]

ความลื่นไหลของรูปคลื่นแรงดันหรือกระแสในระบบไฟฟ้ามีสาเหตุหลักมาจากโหลดไม่เป็นเชิงเส้น โหลดแบบนี้จะจ่ายกระแสไฟฟ้าเมื่อมีค่าระดับแรงดันสูงเกินค่าพิคกิ้งที่กำหนด มักพบในวงจรที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนประกอบ [3]

กรณีที่เกิดกระแสฮาร์มอนิกหรือกระแสไฟฟ้าในระบบมีความลื่นไหลไปจากรูปคลื่นไซน์ ทำให้เกิดค่ากำลังไฟฟ้าลื่นไหล (D) และส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (U) มีค่าเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาได้จากสมการที่ (2) และภาพที่ 1 ข. [4]

$$U = S = \frac{P}{DPF} \quad (1)$$

$$U = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (2)$$



ก).

ข).

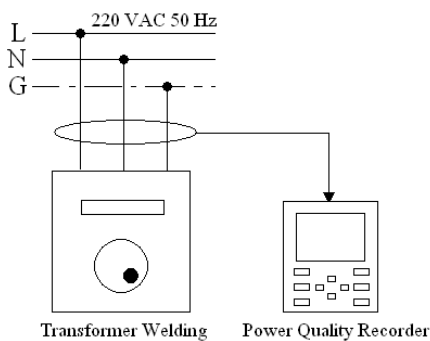
ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (P)

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน (S) กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) และกำลังไฟฟ้าผดเพี้ยน (D)

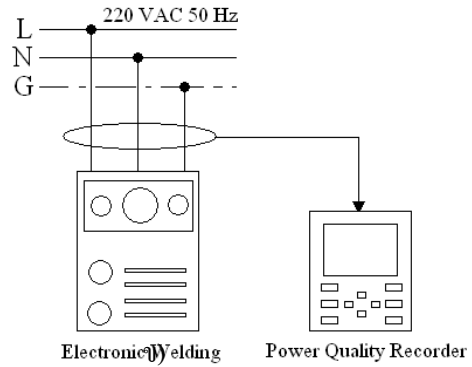
การวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งสำหรับการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีความมั่นคงและมีคุณภาพ รวมถึงการวิเคราะห์และหาสาเหตุของการเกิดปัญหาต่างๆ เพื่อการแก้ไข [5]

เครื่องบันทึกคุณภาพกำลังไฟฟ้า Fluke 435 มีความสามารถในการตรวจค้นปัญหา และทำได้อย่างรวดเร็วด้วยการแสดงผลเหตุการณ์ทางไฟฟ้าบนจอภาพ พร้อมทั้งสามารถบันทึกเหตุการณ์ทางไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง มีความสามารถพื้นฐานตามมาตรฐานของ IEC Standard เช่นการตรวจหาค่า Flicker, Harmonics และ Power Quality เป็นต้น [5]

2. วิธีการวิจัย



ก)



ภาพที่ 2 การต่อวงจรเครื่องบันทึกคุณภาพกำลังไฟฟ้าร่วมกับเครื่องเชื่อมไฟฟ้า

การตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าเริ่มจากต่อวงจรเครื่องบันทึกคุณภาพกำลังไฟฟ้าร่วมกับภาคอินพุตของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าดังรูปที่ 2 (รูปที่ 2 ก. เครื่องเชื่อมแบบขดลวด รูปที่ 2 ข. เครื่องเชื่อมแบบอิเล็กทรอนิกส์) จากนั้นทำการบันทึกจำนวน 3 ช่วงเวลา โดยช่วงที่ 1 เป็นการบันทึกเพื่อใช้ประเมินคุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบก่อนใช้งานเครื่องเชื่อม ช่วงที่ 2 ทำการบันทึกขณะที่เครื่องเชื่อมอยู่ในสภาวะพร้อมใช้งานเพื่อดูค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย และช่วงที่ 3 ทำการบันทึกขณะใช้งานเครื่องเชื่อม ทำการเชื่อมชิ้นงานและดูพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าค่าต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้า

3. ผลและการอภิปรายผล

ผลการทดลองก่อนการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เครื่องเชื่อมทำงานพบว่าระบบไฟฟ้าที่ใช้ทดลองมีค่าระดับแรงดันระหว่าง 235-236 V และเครื่องเชื่อมแบบขดลวดมีกระแสเริ่มเดินที่ 17.228 A น้อยกว่ากระแสเริ่มเดินของเครื่องเชื่อมแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีค่า 21 A

ผลการทดลองขณะที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้เครื่องเชื่อมไฟฟ้าพร้อมใช้งานเครื่องเชื่อมแบบขดลวดมีการใช้กระแสไฟฟ้าถึง 7.629 A ในขณะที่เครื่องเชื่อมแบบอิเล็กทรอนิกส์ใช้กระแสไฟฟ้า 0 – 1 A แสดงให้เห็นว่าเครื่องเชื่อมแบบขดลวดมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากกว่าแบบอิเล็กทรอนิกส์ สอดคล้องกับทฤษฎีการสูญเสียที่

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้า

คุณลักษณะของคุณภาพกำลังไฟฟ้า		เครื่องเชื่อมแบบขดลวด	เครื่องเชื่อมแบบอิเล็กทรอนิกส์
แรงดันไฟฟ้าก่อนเปิดใช้งาน (V)		236	235
กระแสไฟฟ้าเริ่มเปิดเครื่อง (A)		17.228	21
ขณะเครื่องพร้อมใช้งาน	แรงดันไฟฟ้าอินพุต (V)	235.5	234.7
	กระแสไฟฟ้าอินพุต (A)	7.629	0-1
	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kVA)	1.382	0
	เพาเวอร์แฟกเตอร์	0.19	0
	กระแสฮาร์มอนิก L (THD; %)	11.845	70
	กระแสฮาร์มอนิก N (THD; %)	18	70
	แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วเชื่อม (V)	65-70	70-100
ใช้เชื่อมชิ้นงานต่อเนื่อง	แรงดันไฟฟ้าอินพุต (V)	230.5	233
	กระแสไฟฟ้าอินพุต (A)	36-41	11 - 18
	เพาเวอร์แฟกเตอร์	0.4	0.6
	กระแสฮาร์มอนิก L (THD; %)	24.8	81
	กระแสฮาร์มอนิก N (THD; %)	30.2	80
	แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วเชื่อม (V)	27 – 35	20 – 26

ขดลวดและแกนเหล็ก เนื่องจากการเหนี่ยวนำของหม้อแปลงอยู่ตลอดเวลา และพบว่าเครื่องเชื่อมแบบอิเล็กทรอนิกส์มีค่าความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (Total Harmonic Distortion; THD) ที่สายศูนย์อยู่ที่ระดับ 70% ซึ่งมากกว่าค่าของเครื่องเชื่อมแบบขดลวดสุด โดยผลดังกล่าวคือตรงกับทฤษฎีความผิดเพี้ยนของ

กระแสจากผลการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับแรงดันระหว่างขั้วเชื่อมเอาต์พุตของเครื่องเชื่อมแบบขดลวดมีค่าระหว่าง 65 – 70 V ส่วนของเครื่องเชื่อมแบบอิเล็กทรอนิกส์มีค่าระหว่าง 70 – 100 V

ผลการทดลองขณะทำการเชื่อมชิ้นงานพบว่าระดับแรงดันอินพุตของเครื่องเชื่อมแบบขดลวดตกลงมากกว่าเครื่องเชื่อมแบบอิเล็กทรอนิกส์ สอดคล้องกับผลกระแสไฟฟ้าของเครื่องเชื่อมแบบขดลวดที่มากกว่าที่ระดับ 36 – 41 A ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของเครื่องเชื่อมแบบขดลวดมีค่าน้อยกว่า สอดคล้องกับทฤษฎีโหลดแบบขดลวดเหนี่ยวนำที่มีมุมเฟสของกระแสไฟฟ้าล่าหลังแรงดัน (Lagging) และค่าความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (THD) ที่สายศูนย์ของเครื่องเชื่อมแบบอิเล็กทรอนิกส์มีค่า 80 % สูงกว่าค่าของเครื่องเชื่อมแบบขดลวด โดยสอดคล้องกับทฤษฎี สำหรับแรงดันระหว่างขั้วเชื่อมเอาต์พุตของเครื่องเชื่อมแบบขดลวดลดลงมาที่ระหว่างค่า 27 – 35 V ส่วนของเครื่องเชื่อมแบบอิเล็กทรอนิกส์มีค่าระหว่าง 20 – 26 V โดยผลการทดลองแสดงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าทำให้ทราบว่าเครื่องเชื่อมแบบขดลวดมีข้อดีกว่าเครื่องเชื่อมแบบอิเล็กทรอนิกส์ในเรื่องผลกระทบต่อความผิดเพี้ยนของกระแสไฟฟ้า (ฮาร์มอนิก) ที่เกิดกับระบบไฟฟ้าต่ำกว่าเครื่องเชื่อมแบบอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนเครื่องเชื่อมแบบอิเล็กทรอนิกส์มีข้อดีกว่าเครื่องเชื่อมแบบขดลวดคืออัตราการใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่า กำลังงานสูญเสียที่น้อยกว่า และมีระดับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่สูงกว่า ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดสอดคล้องกับทฤษฎีทุกประการ

การวิเคราะห์ด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าในบทความนี้ไม่สามารถหาเครื่องเชื่อมที่สามารถปรับอัตรากระแสเชื่อมได้เท่ากัน จึงไม่สามารถวิเคราะห์ผลด้านอัตราใช้กำลังงานและการสูญเสียของกำลังงานขณะใช้งานเชื่อมชิ้นงาน การทดลองในอนาคตควรหาเครื่อง

เชื่อมที่สามารถปรับกระแสขณะเชื่อมให้ได้ใกล้เคียงกันมากที่สุดเพื่อช่วยในการวิเคราะห์

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] การเชื่อมโลหะ 1, ประภาส เกตุไทย, มปป., มปป.
- [2] เอกสารประกอบ “โครงการศึกษาและจัดทำแบบอย่างการลงทุนเพื่อเผยแพร่ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต”, บ.ซีเอ อินเทอร์เน็ตอินฟอเมชัน จำกัด.
- [3] รายงานวิจัยเรื่องการศึกษาระดับคุณภาพกำลังไฟฟ้า ในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ มทร.ล้านนา เชียงราย, อาทิตย์ ยาวุฑฒิและวิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มทร.ล้านนา เชียงราย 2552
- [4] วิบูล ชื่นแจก, ฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลัง, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มจพ., พิมพ์ครั้งที่ 2 มิถุนายน 2549.

- [5] การตรวจวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าสำหรับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์, วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ อาทิตย์ ยาวุฑฒิ ชรินทร์ มณีวรรณ การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล (EENET2008).

การศึกษาระดับคุณภาพระบบไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์

มทร.ล้านนา เขตพื้นที่เชียงราย

วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ¹ และ อาทิตย์ ยาวุฒิ²

บทคัดย่อ— คอมพิวเตอร์เข้ามาสนับสนุนการทำงานของมนุษย์ในทุกๆ ด้าน เช่นอุตสาหกรรม การศึกษาและข้อมูลข่าวสาร เป็นต้น ทั้งนี้คอมพิวเตอร์ในปัจจุบันใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power Supply) ซึ่งประกอบไปด้วยชุดเรียงกระแสชนิดพาสซีฟ (Passive Rectifier) ที่ใช้ไดโอดและคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ซึ่งมีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสขาเข้าหรือกระแสฮาร์มอนิกมีค่าสูง อันส่งผลให้ค่าตัวประกอบไฟฟ้าทางด้านขาเข้าวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าของคอมพิวเตอร์มีค่าต่ำลงจนเป็นสาเหตุให้ คุณภาพของพลังงานไฟฟ้า (Power Quality) ลดลง ปัญหาของคุณภาพพลังงานไฟฟ้าอาจเป็นสาเหตุให้เกิดความร้อนเกินขีดจำกัดในสายนิวตรอล (Over Heat) ของระบบส่งจ่ายไฟฟ้าและของหม้อแปลงในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ารวมไปถึงการทำงานผิดพลาดของวงจรรีเลย์ทรานซิสเตอร์อย่างเช่นกระแสฮาร์มอนิกสูงอาจจะเป็นสาเหตุทำให้อุปกรณ์ตัดวงจร (Circuit Breaker) และฟิวส์ทำงานผิดพลาด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่เชียงราย เป็นสถาบันการศึกษาที่มีห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ที่แหล่งกำเนิดของกระแสฮาร์มอนิกเป็นจำนวนมาก จำเป็นต้องมีการตรวจวัดระดับคุณภาพระบบไฟฟ้า เพราะใช้เป็นข้อมูลในการจัดการด้านพลังงานไฟฟ้าภายในเขตพื้นที่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

การตรวจวัดคุณภาพพลังงานไฟฟ้าของห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ มทร. ล้านนา ใช้เครื่องบันทึกคุณภาพระบบไฟฟ้า 3 เฟส Fluke รุ่น 435 ทำการตรวจวัดคุณลักษณะของพลังงานไฟฟ้าต่างๆเช่นระดับแรงดันไฟฟ้า ปริมาณกระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าเริ่มเดิน ความถี่ กำลังงานไฟฟ้าของโหลดระดับแรงดันกระแสเพื่อม แรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าเกิน และระดับกระแสฮาร์มอนิก เป็นต้น ขณะไม่มีการใช้งานโหลดไฟฟ้าเปรียบเทียบกับขณะที่มีการใช้งานโหลดทางไฟฟ้าภายในห้องสูงสุด ณห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ ประจำอาคารอำนวยการและห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

ผลการวิจัยพบว่าเกิดปัญหาการรวมตัวของกระแสฮาร์มอนิกที่สายศูนย์เป็นจำนวนมากถึง300% ที่ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ Self Access ทั้ง 2 ห้อง ซึ่งเกินระดับมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงควรเร่งดำเนินการปรับลดกระแสฮาร์มอนิกส่งโดยทันที สำหรับห้องปฏิบัติการภาษา Sound Lab และห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์อาคารวิศวกรรมไฟฟ้า มีค่ากระแสฮาร์มอนิกอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

คำสำคัญ เครื่องเชื่อมไฟฟ้า กระแสฮาร์มอนิกส์

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่เชียงราย
99 หมู่ 10 ต.ทรายขาว อ.พาน จ.เชียงราย 57210
โทรศัพท์ 0-5372-9600-5

E-mail: Wichet_thip@rmutl.ac.th

²วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 128 ถ.ห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300
โทรศัพท์ 0-53921-444

E-mail: Yartit@rmutl.ac.th

1. บทนำ

คอมพิวเตอร์เข้ามาสนับสนุนการทำงานของมนุษย์ในทุกๆ ด้าน เช่นอุตสาหกรรม การศึกษา และข้อมูลข่าวสาร เป็นต้น ทั้งนี้คอมพิวเตอร์ในปัจจุบันใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power Supply) ซึ่งประกอบไปด้วยชุดเรียงกระแสชนิดพาสซีฟ (Passive Rectifier) ที่ใช้ไดโอดและคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ซึ่งมี

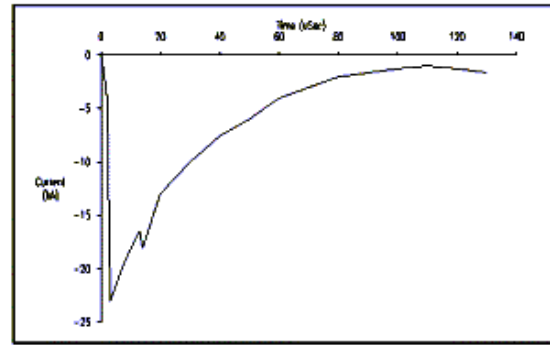
คุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของรูปคลื่นกระแสขาเข้าวงจรหรือกระแสร็อมอนิกมีค่าสูง อันส่งผลให้ค่าตัวประกอบไฟฟ้าทางด้านขาเข้าวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าของคอมพิวเตอร์มีค่าต่ำลงจนเป็นสาเหตุให้ คุณภาพของพลังงานไฟฟ้า (Power Quality) ลดลง ปัญหาของคุณภาพพลังงานไฟฟ้าอาจเป็นสาเหตุให้เกิดความร้อนเกินขีดจำกัดในสายนิวตรอล (Over Heat) ของระบบส่งจ่ายไฟฟ้าและของหม้อแปลงในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ารวมถึงการทำงานผิดพลาดของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ยกตัวอย่างเช่นกระแสร็อมอนิกส์ อาจจะเป็นสาเหตุทำให้อุปกรณ์ตัดวงจร (Circuit Breaker) และฟิวส์ทำงานผิดพลาด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่เชียงราย เป็นสถาบันการศึกษาที่มีห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ที่แหล่งกำเนิดของกระแสร็อมอนิกเป็นจำนวนมาก จำเป็นต้องมีการตรวจวัดระดับคุณภาพระบบไฟฟ้า เพราะใช้เป็นข้อมูลในการจัดการด้านพลังงานไฟฟ้าภายในเขตพื้นที่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับชนิดของคุณภาพระบบไฟฟ้า [1]

1.1 สภาวะชั่วคราว (Transient)

คือปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพไฟฟ้า (แรงดัน กระแส) ในเวลาทันทีทันใดจากสภาพปกติ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Impulsive Transients และ Oscillatory Transients

1.1.1 อิมพัลส์ชั่วคราว (Impulsive Transients) คือขนาดกระแสและแรงดันที่มีค่าความชันสูงมากเกิดขึ้นในทันทีทันใด ไม่มีความถี่เปลี่ยนแปลง กำหนดให้มีชั่วทิศทางเดียวหรือเรียกว่าเสิร์จ (Surge) ดังภาพที่ 1 มีสาเหตุเกิดจากฟ้าผ่า ซึ่งอาจเกิดได้โดยตรงหรือในบริเวณใกล้เคียง ผลทำให้อุปกรณ์ในระบบได้รับความเสียหายจากแรงดันไฟฟ้าเกิน



Lightning Stroke Current Impulsive Transient

ภาพที่ 1 กระแสที่เกิดขึ้นจากการเกิดอิมพัลส์ชั่วคราวเกินโดยฟ้าผ่า

มาตรฐาน IEEE STD 1159 - 1995 มีการกำหนดค่าอิมพัลส์ตามช่วงระยะเวลาที่เกิดกับค่าระยะเวลาที่แรงดันเริ่มสูงขึ้น (Rise Time) ดังตารางที่ 1

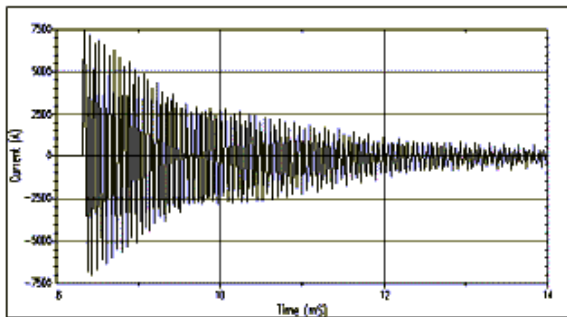
ตารางที่ 1 แสดงค่าระยะเวลาที่แรงดันเริ่มสูงขึ้นกับช่วงระยะเวลาการเกิดของอิมพัลส์

อิมพัลส์ภาวะชั่วคราว	ระยะเวลาที่แรงดันเริ่มสูงขึ้น (Rise Time)	ช่วงระยะเวลาการเกิด (Duration)
Nanosecond	5 ns	< 50 ns
Microsecond	1 us	50 ns - 1 ms
Millisecond	0.1 ms	> 1 ms

1.1.2 ออสซิลเลทชั่วคราว (Oscillatory Transient) คือลักษณะของแรงดันหรือกระแสแรงดันมีค่าสูงเกิดขึ้นในทันทีทันใด ไม่มีความถี่เปลี่ยนแปลง มีการเปลี่ยนแปลงชั่ว (บวก ลบ) ของรูปคลื่นอย่างรวดเร็ว ดังภาพที่ 3 และ 4 มีสาเหตุเกิดจากการสวิตชิงของอุปกรณ์ในระบบ ผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้รับความเสียหายและฉนวนของอุปกรณ์มีการเสื่อมสภาพหรือมีการสูญเสียความเป็นฉนวนเร็วขึ้น มาตรฐาน IEEE STD 1159 - 1995 มีการแบ่งการเกิดออสซิลเลทในภาวะชั่วคราวตามขนาดแรงดันและช่วงระยะเวลาการเกิดตามความถี่ดังตารางที่ 2

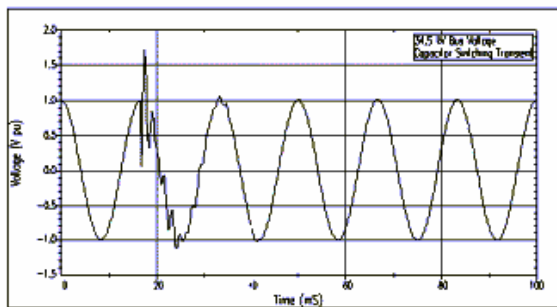
ตารางที่ 2 แสดงขนาดแรงดันและช่วงเวลาตามความถี่
ของสวิตช์ชั่วคราว

ออสซิลเลทใน ภาวะชั่วคราว	ความถี่	ช่วง ระยะเวลา การเกิด	ขนาด แรงดัน
Lower Frequency	< 5 kHz	0.3-50 ms	0.4 pu.
Medium Frequency	5-500 kHz	5-20 ms	0.8 pu.
High Frequency	0.5-5MHz	0-5 ms	0.4 pu.



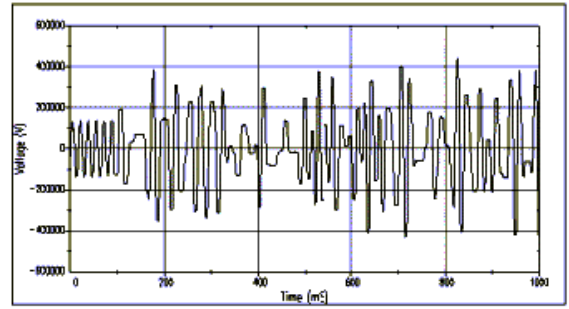
Oscillatory Transient Current Caused by Back-to-Back Capacitor Switching

ภาพที่ 2 กระแสออสซิลเลทชั่วคราวที่เกิดจากการสวิตซ์
คาปาซิเตอร์แบบ Back-to-Back



Low Frequency Oscillatory Transient Caused by Capacitor-Bank Energization

ภาพที่ 3 แรงดันออสซิลเลทความถี่ต่ำชั่วคราวที่เกิดจากการ
สวิตซ์คาปาซิเตอร์แบบเข้าระบบ



Low Frequency Oscillatory Transient Caused by Ferroresonance of an Unloaded Transformer

ภาพที่ 4 แรงดันออสซิลเลทความถี่ต่ำชั่วคราวที่เกิดจาก
เฟอโรเรโซแนนซ์ในสถานะหม้อแปลงไม่มี
โหลด

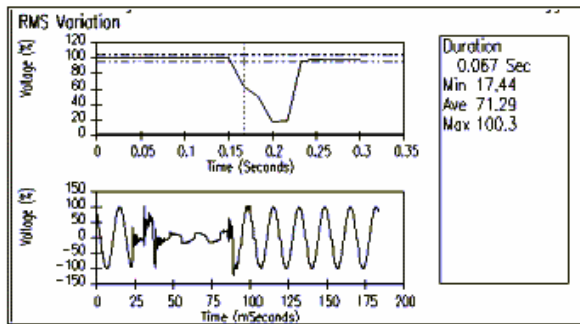
1.2 การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันช่วงระยะสั้น (Short Duration Voltage Variation)

คือการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดัน rms ที่มีระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงค่าไม่เกิน 1 นาที มีสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากสภาวะความผิดปกติ (Fault) ทางไฟฟ้า ทำให้เกิดเหตุการณ์แรงดันตก (Voltage Sag หรือ Voltage Dip) แรงดันเกิน (Voltage Swell) และไฟดับ (Interruptions) มาตรฐาน IEEE STD 1159-1995 มีการเรียกชื่อแรงดันดังกล่าวตามระยะเวลาที่เกิดคือเวลาดำเนินทันทีทันใด (Instantaneous) ชั่วขณะ (Momentary) และชั่วคราว (Temporary) ดังตารางที่ 3

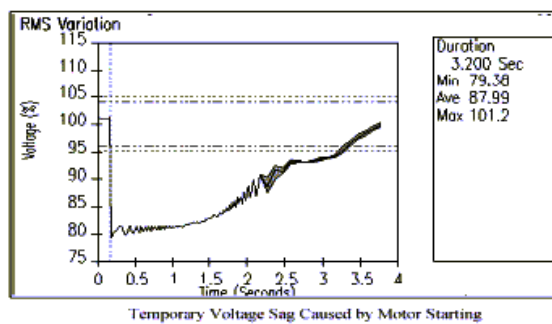
ตารางที่ 3 แสดงระยะเวลาการเกิดแรงดันตก แรงดันเกินและไฟดับของการเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงเวลานั้นๆ

Voltage Sag &swell		
Instantaneous	Momentary	Temporary
10 ms - 1 sec	1 sec - 3sec	3 sec - 1 min
Interruption		
Momentary		Temporary
10 ms - 3 sec		3 sec - 1 min

1.3 แรงดันตกช่วงสั้น (Voltage Sag) คือค่าแรงดัน rms มีขนาดลดลงระหว่าง 0.1-0.9 pu. ในช่วงเวลา ระหว่าง 10 ms - 1min มีสาเหตุส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับ เฟสที่เกิดความผิดปกติของไฟฟ้า ดังภาพที่ 5 ทำให้แรงดันมีค่าลดลงเหลือ 0.2 pu. ของแรงดันปกติ (80% sag) ในช่วงเวลา 3 ไซเคิล และภาพที่ 6 แรงดันมีค่าลดลงจากผลของการสตาร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่ ซึ่งมอเตอร์อินตักชันขณะสตาร์ทจะมีกระแสสูงสูงถึง 6-10 เท่าของกระแสโหลดปกติ ผลทำให้อุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของแหล่งจ่ายไฟ มีการทำงานผิดพลาดหรือหยุดการทำงาน



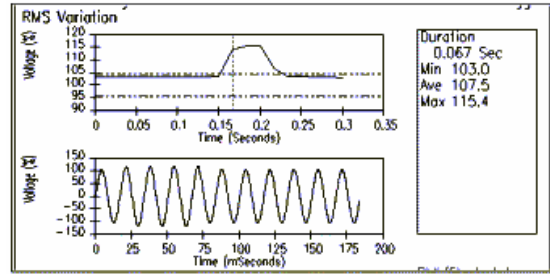
ภาพที่ 5 Voltage Sag จากสาเหตุการเกิดความผิดปกติของไฟฟ้าลงดิน



ภาพที่ 6 Voltage Sag จากผลของการสตาร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่

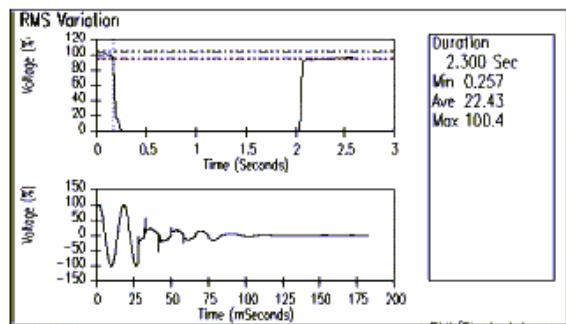
1.4 แรงดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell) คือค่าแรงดัน rms มีขนาดเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.1-1.8 pu. ในช่วงเวลา ระหว่าง 10 ms - 1min ดังรูปที่ 7 มีสาเหตุส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นกับเฟสที่ไม่ได้เกิดความผิดปกติของไฟฟ้าโดยตรง หรืออาจเกิดจากการปลดโหลด

ขนาดใหญ่ออกจากระบบ หรือมีการต่อคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่เข้าระบบ ผลทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหาย หรือทำให้อุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของแหล่งจ่ายไฟมีการทำงานผิดพลาดหรือหยุดการทำงาน



ภาพที่ 7 Voltage Swell จากสาเหตุการเกิดความผิดปกติของไฟฟ้าลงดิน

1.5 ไฟดับช่วงสั้น (Voltage Interruption) คือค่าแรงดัน rms มีค่าลดลงต่ำกว่า 0.1 pu. ในช่วงระหว่าง 10 ms - 1 min มีสาเหตุเกิดจากสถานะความผิดปกติของไฟฟ้าในระบบ ทำให้อุปกรณ์ป้องกันมีการตัดวงจรแหล่งจ่ายไฟออก ดังภาพที่ 8 แสดงการเกิดไฟดับช่วงระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 1.8 Sec จากการดำเนินงานของรีโคสเซอร์ตัดวงจรแหล่งจ่ายออกจากระบบก่อนจะมีการต่อวงจรเข้าไปได้เดิมอีกผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าหยุดการทำงาน



ภาพที่ 8 ไฟฟ้าดับช่วงสั้นจากสาเหตุรีโคสเซอร์มีการทำงานเนื่องจากการเกิดความผิดปกติของทางไฟฟ้า

2. วิธีการวิจัย

การตรวจวัดและบันทึกข้อมูล

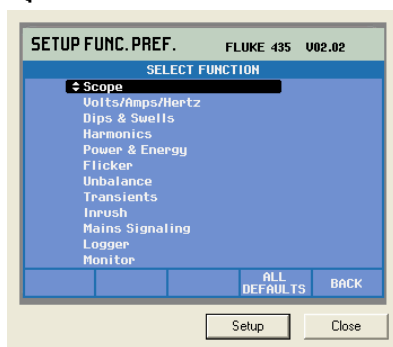
เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องบันทึกคุณภาพไฟฟ้าระบบไฟฟ้า

เครื่องบันทึกคุณภาพระบบไฟฟ้า 3 เฟสรุ่น Fluke 435 ตามภาพที่ 9 มีความสามารถในการตรวจวัดและบันทึกค่าทางไฟฟ้าต่างตามภาพที่ 10 โดยมีรายละเอียดดังนี้



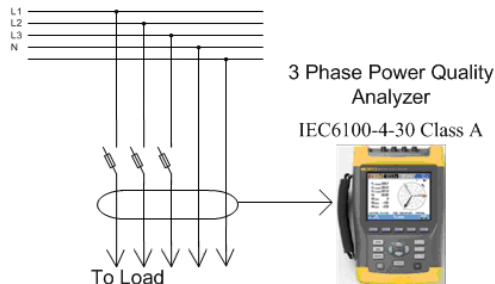
ภาพที่ 9 เครื่องวัดและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า 3 เฟส รุ่น Fluke 435



ภาพที่ 10 เครื่องวัดและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า 3 เฟส รุ่น Fluke 435

การดำเนินการตรวจวัด

3 Phase 4 Wire 220/380 VAC



ภาพที่ 11 การต่อวงจรเพื่อบันทึกระบบคุณภาพไฟฟ้า 3 เฟส



ภาพที่ 12 การต่อวงจรเครื่องมือวัดที่ห้องปฏิบัติการ

Sound Lab อาคารอำนวยการ



ภาพที่ 13 การต่อวงจรเครื่องมือวัดที่ห้องปฏิบัติการ

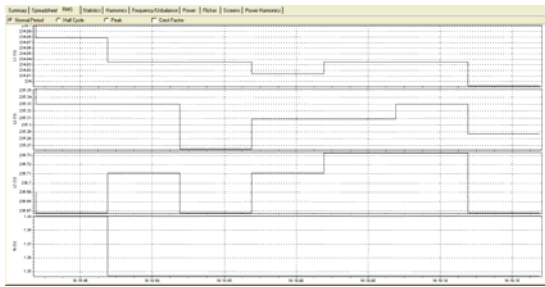
Self Access1 อาคารอำนวยการ

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 ระดับคุณภาพไฟฟ้าก่อนใช้งานห้องปฏิบัติการ

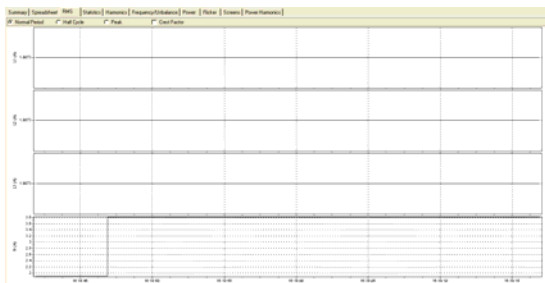
ในการวิเคราะห์คุณภาพระบบไฟฟ้าหากพบว่ามีสัญญาณทางไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จากเครื่องบันทึกมีค่าผิดเพี้ยนไปจากค่าที่ควรจะเป็นในทางทฤษฎี เราจะสามารถวิเคราะห์ได้ทันทีว่าสิ่งที่ผิดเพี้ยนไปนี้เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในระบบไฟฟ้าที่ทำกรวัด แต่แท้จริงแล้วพลังงานไฟฟ้าในระบบมิได้เป็นไปตามหลักทฤษฎี กล่าวคือ จะมีสัญญาณผิดเพี้ยนอื่นๆ เช่น ฮาร์มอนิกส์ ความไม่คงที่ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าและมุมต่างเฟส เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจวัดระดับคุณภาพไฟฟ้าในขณะที่ยังไม่ได้มีการใช้งานโหลดทางไฟฟ้าของห้องที่ต้องการตรวจวัดก่อน

ห้องปฏิบัติการ Sound Lab



ภาพที่ 14 ลักษณะของแรงดันเฟส L1 L2 L3 และสายศูนย์ก่อนใช้โหลดในห้อง

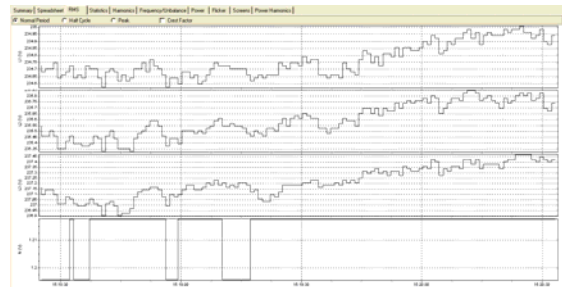
ในภาพที่ 14 พบว่าระดับแรงดันเฟส L1 มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 234 – 234.1 โวลต์ แรงดันเฟส L2 มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 235.27 – 235.35 โวลต์ แรงดันเฟส L3 มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 236.67 – 236.73 โวลต์ และแรงดันในสายศูนย์มีค่าประมาณ 1.39 โวลต์ ทำให้ทราบว่าระดับแรงดันที่สายเฟสทั้งสามมีค่าเกินมาตรฐานที่การไฟฟ้ากำหนดไว้ และแรงดันที่เกิดขึ้นบนสายศูนย์มีค่าน้อยมากแสดงให้เห็นว่าขณะที่ทำการตรวจวัดการใช้กระแสไฟฟ้าในระบบมีความสมดุลมาก



ภาพที่ 15 ลักษณะของกระแสเฟส L1 L2 L3 และสายศูนย์ก่อนใช้โหลดในห้อง

ในภาพที่ 15 พบว่ามีกระแสไหลในสายเฟสในขณะที่ยังไม่มีการใช้งานโหลดภายในห้องปฏิบัติการคือเฟส L1 L2 และ L3 อยู่ในช่วง 0 – 1.9 แอมแปร์ แสดงให้เห็นว่าผู้ควบคุมระบบไฟฟ้านี้จ่ายไฟให้กับห้องปฏิบัติการนี้เพียงอย่างเดียวและสายศูนย์มีค่ากระแสไหล 2 – 3.8 แอมแปร์ แสดงว่าขณะที่ทำการตรวจวัดมีการใช้กระแสไฟฟ้าของโหลดอื่นๆ ในระบบไม่สมดุลเพียงเล็กน้อย

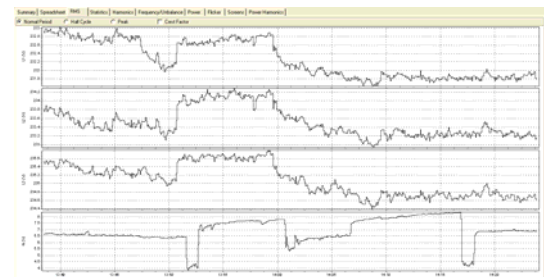
ห้องปฏิบัติการ Self Access1



ภาพที่ 16 ลักษณะของแรงดันเฟส L1 L2 L3 และสายศูนย์ก่อนใช้โหลดในห้อง

ในภาพที่ 16 พบว่าระดับแรงดันเฟส L1 มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 234.6 – 235 โวลต์ แรงดันเฟส L2 มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 233.30 – 235.85 โวลต์ แรงดันเฟส L3 มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 236.9 – 237.45 โวลต์ และแรงดันในสายศูนย์มีค่าประมาณ 1.2 โวลต์ ทำให้ทราบว่าระดับแรงดันที่สายเฟสทั้งสามมีค่าเกินมาตรฐานที่การไฟฟ้ากำหนดไว้ และแรงดันที่เกิดขึ้นบนสายศูนย์มีค่าน้อยมากแสดงให้เห็นว่าขณะที่ทำการตรวจวัดการใช้กระแสไฟฟ้าในระบบมีความสมดุลมาก

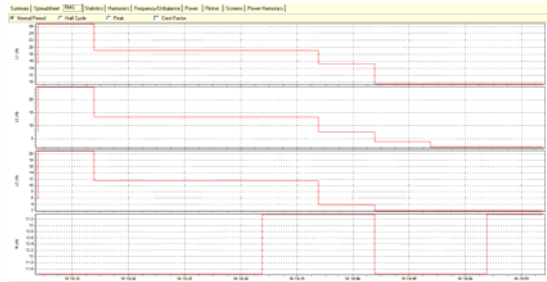
3.2 ระดับคุณภาพไฟฟ้าหลังใช้งานห้องปฏิบัติการ
ห้องปฏิบัติการ Sound Lab



ภาพที่ 17 ลักษณะของแรงดันเฟส L1 L2 L3 และสายศูนย์ระหว่างที่มีการใช้โหลดในห้อง

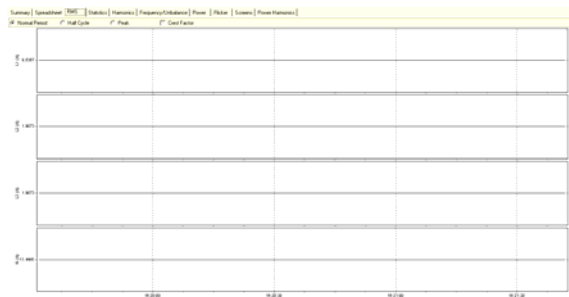
ในภาพที่ 17 พบว่าระดับแรงดันเฟส L1 มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 231.5 – 233 โวลต์ แรงดันเฟส L2 มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 233 – 234.2 โวลต์ แรงดันเฟส L3 มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 234.4 – 235.6 โวลต์ และแรงดันในสายศูนย์มีค่าประมาณ 4 – 8.5 โวลต์ ทำให้ทราบว่าระดับแรงดันที่สายเฟสทั้งสาม

มีค่าเกินมาตรฐานที่การไฟฟ้ากำหนดไว้ และแรงดันที่เกิดขึ้นบนสายศูนย์มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากการเริ่มใช้โหลดทางไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ

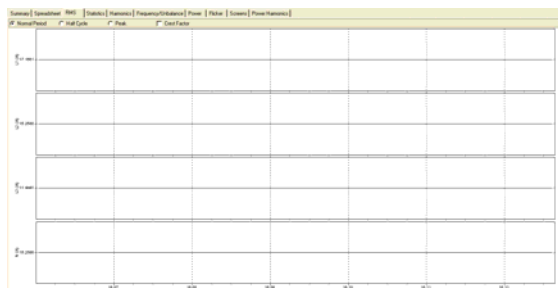


ภาพที่ 18 ลักษณะของกระแสเฟส L1 L2 L3 และสายศูนย์ของเครื่องปรับอากาศ

สำหรับการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการใช้วิธีการเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าทีละชนิด เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของพลังงานไฟฟ้า ในภาพที่ 18 พบว่าเครื่องปรับอากาศถูกต่อกับเฟสทั้งสาม (L1 L2 L3) โดยขณะใช้งานมีกระแสเริ่มเดินที่ 26.5 25 21 แอมแปร์ตามลำดับ และกระแสใช้งานเท่ากับ 19 14 13 แอมแปร์ตามลำดับ

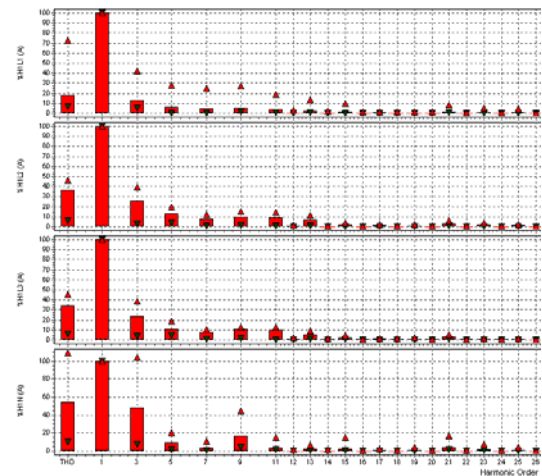


ภาพที่ 19 ลักษณะของกระแสเฟส L1 L2 L3 และสายศูนย์ของหลอดไฟแสงสว่าง



ภาพที่ 20 ลักษณะของกระแสเฟส L1 L2 L3 และสายศูนย์ของเครื่องคอมพิวเตอร์

ในภาพที่ 19 พบว่าโหลดไฟฟ้าแสงสว่างถูกต่อเข้ากับเฟส L1 มีการใช้กระแสไฟฟ้าขนาด 9.5 แอมแปร์ และกระแสในสายศูนย์เท่ากับ 11.44 แอมแปร์ (ไม่สมดุลเนื่องจากใช้งานเฟส L1 เพียงเฟสเดียว) ในภาพที่ 20 พบว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ถูกต่อเข้ากับเฟสทั้งสาม โดยมีการใช้กระแสไฟฟ้าเฟส L1/L2/L3 เท่ากับ 17.17/15.26/14.44 แอมแปร์ตามลำดับ และกระแสที่สายศูนย์เท่ากับ 15.25 แอมแปร์



ภาพที่ 21 ลักษณะของฮาร์มอนิกสักระแสเฟส L1 L2 L3 และสายศูนย์ขณะใช้งาน

4. สรุปผลการวิจัย

4.1 ห้องปฏิบัติการทางภาษา Sound Lab

ห้องปฏิบัติการทางภาษา Sound Lab มีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานประมาณ 40 เครื่อง และเป็นเครื่องใหม่ที่ได้รับการจัดสรรในปีงบประมาณ พ.ศ. 2550 โดยมีการเริ่มใช้งานมาตั้งแต่ต้นปี พ.ศ. 2551 มีการจัดสมดุลการใช้ไฟฟ้าให้แก่โหลดคอมพิวเตอร์ ส่งผลให้การกระจายตัวของกระแสฮาร์มอนิกสัในสายเฟสมีค่าใกล้เคียงกัน และเนื่องจากเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ใหม่ จึงมีปริมาณกระแสฮาร์มอนิกสั THD ไม่เกิดค่า Fundamental

4.2 ห้องปฏิบัติการ Self Access 1 (ฝั่งทิศตะวันตก)

ห้องปฏิบัติการ Self Access 1 มีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานประมาณ 40 เครื่อง โดยมีจอรับภาพ (Monitor)

เป็นชนิด CRT (ชนิด CRT มีการใช้กระแส ไฟฟ้าที่สูงกว่าชนิด LCD) การใช้งาน โหลดคอมพิวเตอร์ มีการจัดสมดุลที่สายเฟส แต่ยังคงมีกระแสไม่สมดุลที่สายศูนย์ สำหรับการแฮร์มอนิกส์ THD ที่สายเฟส มีค่าไม่เกิด Fundamental แต่สำหรับกระแสแฮร์มอนิกส์ที่สายศูนย์มีค่าสูงถึง 300% ของ Fundamental ซึ่งส่งผลโดยตรงกับคุณภาพระบบไฟฟ้าของอาคาร ควรมีการดำเนินการแก้ไขแฮร์มอนิกส์ที่สายศูนย์ให้ลดลง เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า และ โหลดไฟฟ้าอื่นๆ ที่ต่อร่วมในระบบ

4.3 ห้องปฏิบัติการ Self Access 2

ห้องปฏิบัติการ Self Access 2 มีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานประมาณ 40 โดยมีเครื่องจอภาพ (Monitor) เป็นชนิด LCD (ชนิด CRT มีการใช้กระแสไฟฟ้าที่สูงกว่าชนิด LCD) การใช้งาน โหลดคอมพิวเตอร์มีการจัดสมดุลที่สายเฟส แต่ยังคงมีกระแสไม่สมดุลที่สายศูนย์ สำหรับการแฮร์มอนิกส์ THD ที่สายเฟส มีค่าเกิด Fundamental คือ 115/120/115 % ตามลำดับและกระแสแฮร์มอนิกส์ที่สายศูนย์มีค่าสูงถึง 330% ของ Fundamental ซึ่งส่งผลโดยตรงกับคุณภาพระบบไฟฟ้าของอาคาร ควรมีการดำเนินการแก้ไขแฮร์มอนิกส์ที่สายศูนย์ให้ลดลง เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า และ โหลดไฟฟ้าอื่นๆ ที่ต่อร่วมในระบบ

4.4 ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์อาคารคณะวิศวกรรมไฟฟ้า

ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์มีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานประมาณ 15 เครื่อง เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์จอภาพชนิด CRT รุ่นเก่า ไม่มีการจัดสมดุลการใช้พลังงานของโหลดคอมพิวเตอร์ ทำให้เกิดกระแสแฮร์มอนิกส์ไหลที่เฟส L1 และสายศูนย์ แต่เนื่องจากมีปริมาณเครื่องคอมพิวเตอร์น้อยเมื่อเทียบกับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ อาคารอำนวยการ จึงมีระดับกระแสแฮร์มอนิกส์ THD ไม่เกิน Fundamental

ข้อเสนอแนะ

จากการตรวจวัดคุณภาพระบบไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ จำนวน 4 แห่ง ใน มทร. ล้านนา เขตพื้นที่ เชียงราย พบว่า ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ที่เป็นเครื่องรุ่นเก่า ไม่มีการจัดสมดุลการใช้พลังงาน และห้องที่มีเครื่องคอมพิวเตอร์รวมเป็นจำนวนมาก จะเกิดแฮร์มอนิกส์ THD มากเกินค่า Fundamental ส่งผลกระทบโดยตรงต่อระบบไฟฟ้า เช่นอาจทำให้ โหลดทางไฟฟ้าอื่นๆ ที่ต่อในระบบเดียวกัน ทำงานผิดปกติ หรือชำรุด ได้ นอกจากนี้ยังอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความร้อนสูงที่สายศูนย์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานผิดปกติ

ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ จำนวน 3 ห้อง ณ อาคารอำนวยการ มีการสร้างกระแสแฮร์มอนิกส์ ให้แก่สายศูนย์ในระบบเป็นจำนวนมาก ควรริบดำเนินการปรับปรุงพื้นที่ โดยอาจจัดหาอุปกรณ์ ปรับปรุงคุณภาพระบบไฟฟ้า เช่น Power Stabilizer มาติดตั้งในระบบ หรือติดตั้งให้แก่อุปกรณ์อื่นๆ ที่ไวต่อแฮร์มอนิกส์ หรืออาจจัดโซนการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลด โดยการแยกโหลดเครื่องคอมพิวเตอร์ออกจากโหลดทางไฟฟ้าที่ไวต่อแฮร์มอนิกส์

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศักดิ์ชัย นรสิงห์, แผนกวิจัยระบบจำหน่ายกองวิจัย, ฝ่ายพัฒนาระบบไฟฟ้า, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 2552
- [2] มาตรฐานแฮร์มอนิกและแรงดันกระเพื่อม, <http://www.pea.or.th/powerquality/harmonic.htm>, เมษายน 2552
- [3] กิรติ ชยะกุลศิริ, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม E-mail: keerati@spu.ac.th
- [4] ปัญหาเรื่องแรงดันตกชั่วขณะ, http://www.geocities.com/oa_nickname/, เมษายน 2552

- [5] วิบูล ชื่นแขก, ฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลัง, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มจพ., พิมพ์ครั้งที่ 2 มิถุนายน 2549
- [6] Fluke 43B, Power Quality Analyzer, Application Guide, April 2001
- [7] การตรวจวิเคราะห์คุณภาพระบบไฟฟ้าสำหรับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์, อาทิตย์ ยาวุฑฒิ วิเศษฐ ทัพย์ประเสริฐและชรินทร์ มณีวรรณ, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล EENET2008, 20-21 พฤศจิกายน 2551, หอประชุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [8] การตรวจวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าในอาคารด้วยภาพถ่ายความร้อน, อาทิตย์ ยาวุฑฒิ วิเศษฐทัพย์ประเสริฐ และชรินทร์ มณีวรรณ, วันวิชาการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครั้งที่ 4, 19 - 21 ธันวาคม 2551, หอประชุมมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่.

คู่มือแนะนำเส้นทางอัจฉริยะ

สมชาย เบียนสูงเนิน¹ และ ศิริชัย ต่อสกุล²

บทคัดย่อ— คู่มือแนะนำเส้นทางอัจฉริยะเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมการท่องเที่ยวในประเทศไทยและเพิ่มความสะดวกให้กับนักท่องเที่ยวในการเดินทางโดยได้ทำการออกแบบโครงสร้างให้มีความสวยงาม ทันสมัย และเป็นที่น่าสนใจของนักท่องเที่ยว การใช้งานโปรแกรมง่าย ไม่ซับซ้อน และสามารถพิมพ์ใบแนะนำเส้นทางเพื่อให้นักท่องเที่ยวนำติดตัวไประหว่างการเดินทางสู่สถานที่ท่องเที่ยว คู่มือแนะนำเส้นทางอัจฉริยะได้ทดสอบติดตั้ง ณ พิพิธภัณฑ์แห่งชาติเจ้าสามพระยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ระบบสามารถแสดงแผนที่ของสถานที่ที่น่าสนใจในบริเวณใกล้เคียงตามประเภทของสถานที่ ได้แก่ ศาสนสถาน สถานที่ราชการ ร้านอาหาร แหล่งท่องเที่ยว และผลิตภัณฑ์พื้นเมือง แสดงระยะเวลาการเดินทางในตำแหน่งที่ผู้ใช้งานเลือกโดยภาพรวมผู้ทดลองใช้งานคู่มือแนะนำเส้นทางอัจฉริยะ มีความพึงพอใจในระดับดี

คำสำคัญ คู่มือแนะนำเส้นทาง แหล่งท่องเที่ยว แผนที่ จีพีเอส

1. บทนำ

ประเทศไทยถือเป็นประเทศที่สวยงาม มีแหล่งท่องเที่ยว สถานที่ผลิตและจำหน่ายสินค้าพื้นบ้านมากมาย การท่องเที่ยวเป็นแหล่งทำรายได้เข้าประเทศเป็นอันดับต้น ๆ ดังนั้นรัฐบาลไทยได้ให้ความสำคัญด้านการท่องเที่ยวมากขึ้น โดยได้มอบนโยบายให้กับทางการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย (ททท.) ในการจัดทำโครงการท่องเที่ยวในรูปแบบต่างๆ ทั้งการจัดทำแผนการท่องเที่ยวระยะยาว และบูรณะแหล่งท่องเที่ยว¹ เพื่อดึงดูดนักท่องเที่ยวต่างประเทศ ส่งเสริมให้คนไทย

เที่ยวเมืองไทยมากขึ้น การท่องเที่ยวในเมืองไทยสำหรับคนต่างชาติหรือคนไทยเอง บางครั้งยังประสบปัญหาในการเดินทางไปแหล่งท่องเที่ยวของเมืองต่าง ๆ แม้ว่ามีป้ายบอกเส้นทางหรือแผนที่การเดินทาง แต่แผนที่แนะนำเส้นทางส่วนใหญ่จะแนะนำเฉพาะแหล่งท่องเที่ยวหลัก ในขณะที่แหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมหรือสถานที่สำคัญขนาดเล็ก เช่น วัด งานหัตถกรรม วิถีชีวิต สถานที่ผลิตและจำหน่ายสินค้าพื้นบ้าน ยังไม่มีการแนะนำเส้นทางที่ละเอียดเพียงพอ ทำให้สถานที่เหล่านั้นขาดโอกาสในการหารายได้ ดังนั้นการที่อำเภอต่าง ๆ มีคู่มือแนะนำสถานที่ท่องเที่ยว สถานที่ผลิตและจำหน่ายสินค้า OTOP และของดีในพื้นที่ รวมทั้งมีแผนที่แนะนำเส้นทางและแสดงจุดที่ตั้งสถานที่ท่องเที่ยว ตลอดจนมีรูปแสดงสถานที่เที่ยว หรือร้านอาหาร จะเป็นการส่งเสริมการท่องเที่ยวของท้องถิ่นได้เป็นอย่างดี ไม่เฉพาะแต่คนที่ชอบท่องเที่ยวเท่านั้น คนทั่วไปที่เดินทางสัญจรไปมา เมื่อต้องการหาจุดพักผ่อนหรือแวะซื้อสินค้าพื้นบ้าน ณ สถานที่ผลิต ก็จะได้รู้จักถึงแหล่งท่องเที่ยวสำคัญในพื้นที่เขตต่างๆ ซึ่งอาจไม่เคยรู้จักมาก่อน การส่งเสริมการท่องเที่ยวในประเทศจะทำให้เกิดการใช้จ่ายใช้สอย มีเงินหมุนเวียน กระตุ้นเศรษฐกิจของประเทศได้อีกทางหนึ่ง

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: +66(2)-549-3420 โทรสาร: +66(2)-549-3422

E-mail: bsnsomchai@yahoo.com

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: +66(2)-549-3440 โทรสาร: +66(2)-549-3442

E-mail: storsakul@yahoo.com

จากปัญหาดังกล่าวนี้เอง ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการออกแบบตู้แนะนำเส้นทางอัจฉริยะด้วยระบบคอมพิวเตอร์ขึ้น เพื่อแก้ปัญหาของนักท่องเที่ยวทั้งคนไทยและคนต่างชาติในการเดินทางท่องเที่ยวไปยังแหล่งท่องเที่ยว หรือ ศูนย์ OTOP ให้มีความสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยตู้แนะนำเส้นทางอัจฉริยะจะถูกติดตั้งในสถานที่ที่เป็นเส้นทางทางการเดินทาง เช่น ปั้มน้ำมัน และสถานที่ท่องเที่ยวต่างๆ โดยมีหลักการทำงานง่าย ไม่ซับซ้อน และสามารถพิมพ์ใบแนะนำเส้นทางให้นักท่องเที่ยวมาติดตัวไประหว่างการเดินทางสู่สถานที่ต่างๆ กรอบแนวความคิดในการออกแบบตู้แนะนำเส้นทางอัจฉริยะ คือ ต้องการตู้ที่มีเด่นชัด ข้อมูลถูกต้อง และการใช้งานง่าย

2. ขั้นตอนการออกแบบและผลิตชิ้นงาน

การออกแบบตู้แนะนำเส้นทางอัจฉริยะ ต้องออกแบบรูปทรงทันสมัย เป็นที่สนใจของนักท่องเที่ยว ทางคณะผู้จัดทำจึงออกแบบโครงสร้างตู้แนะนำเส้นทางอัจฉริยะ ให้ดึงดูดสายตาผู้พบเห็น โดยการออกแบบโครงสร้างแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การออกแบบโครงสร้างผู้ครอบ (Cover) และการออกแบบตู้แสดงข้อมูล (KIOS)



ก) ภาพร่างส่วนผู้ครอบ ข) ภาพร่างตู้แสดงข้อมูล

ภาพที่ 1 ภาพโครงสร้างตู้แนะนำเส้นทาง

2.1 โครงสร้างผู้ครอบส่วนผนัง

การออกแบบโครงสร้างส่วนครอบ เลือกใช้วัสดุอะคริลิกทำโครงสร้าง เนื่องจากอะคริลิกมีคุณสมบัติพิเศษตรงกับความต้องการ[1] เช่น ง่ายต่อการ

ขึ้นรูป มีความโปร่งใส และมีน้ำหนักเบา โดยเลือกใช้อะคริลิกทำโครงสร้างรอบข้างขนาด 300 x 172 x 0.6 cm. โครงสร้างประตูขนาด 105 x 172 x 0.6 cm. และโครงสร้างหลังคาขนาด \varnothing 130 x 0.6 cm. ขึ้นภาพอะคริลิกตามแบบแล้วนำมาเชื่อมติดกัน

2.2 โครงสร้างผู้ครอบส่วนโครงเหล็ก

การออกแบบโครงเหล็ก[2]เลือกใช้วัสดุเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษตรงกับความต้องการ เช่น ทนต่อการกัดกร่อน น้ำหนักเบา มีลักษณะมันวาว โดยใช้เพลากรงเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 ซึ่งมี 4 ขนาด ใช้ทำโครงสร้างเสาขนาด \varnothing 3.81 cm, ใช้ทำโครงสร้างยึดอะคริลิก \varnothing 2.54 cm., ทำมือจับบานประตูขนาด \varnothing 1.90 cm. ใช้ทำโครงเลื่อนบานประตู \varnothing 1.27 cm. ตัดเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 ตามแบบแล้วทำการเชื่อมติดกับ โครงสร้างโดยวิธีการเชื่อม TIG

2.3 โครงสร้างตู้แสดงข้อมูล

การออกแบบตู้แสดงข้อมูล ซึ่งเป็นส่วนสำหรับยึดอุปกรณ์แสดงผล ส่วนประมวลผลและเครื่องพิมพ์ เลือกใช้วัสดุแผ่นเหล็ก St 37 ซึ่งมีความหนา 3 ขนาด คือ ใช้ทำส่วนของตู้ขนาด 1 mm. ใช้ทำเสาโครงตู้ 2 mm., ใช้ทำฐานตู้ขนาด 3 mm. เชื่อมติดกันโดยวิธีการเชื่อม TIG



ก) โครงสร้างตู้แสดงข้อมูล ข) ติดตั้งจอแบบสัมผัส

ภาพที่ 3 โครงสร้างตู้แสดงข้อมูลและอุปกรณ์ประกอบ



ภาพที่ 4 ตู้แนะนำเส้นทางอัจฉริยะ

ลากเส้นและแบบบรรยายเป็นตัวอักษร สำหรับการบรรยายเส้นทางเป็นตัวอักษรสามารถสั่งพิมพ์ออกเครื่องพิมพ์ได้ การเข้าโปรแกรมครั้งแรกจะแสดงขั้นตอนใช้งานดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 หน้าต่างโปรแกรมสำหรับการเข้าครั้งแรก

3. การออกแบบหน้าจอแสดงผล

การใช้งานจะกระทำผ่านหน้าจอแบบสัมผัส การนำเสนอข้อมูลของสถานที่ท่องเที่ยวใช้เทคโนโลยี Google Maps[3] ระบบพัฒนาโดยใช้โปรแกรม MySQL ในการจัดระบบฐานข้อมูล ใช้ภาษา PHP HTML JavaScript และ Google Maps API ในการแสดงผลข้อมูลแผนที่ และใช้โปรแกรม VB6 สำหรับจัดการการแสดงผลและการสั่งพิมพ์ หน้าจอแสดงผลถูกออกแบบให้ใช้งานง่าย สามารถเลือกแบบภาษาไทยและแบบภาษาอังกฤษ มีหน้าแสดงผล 2 ส่วน คือส่วนเลือกสถานที่และส่วนแสดงเส้นทาง โดยส่วนเลือกสถานที่ จะใช้ในการเลือกประเภทของสถานที่ แสดงรายชื่อสถานที่ และแสดงภาพสัญลักษณ์ของประเภทสถานที่ลงแผนที่ตามตำแหน่งที่ได้จากฐานข้อมูล สำหรับส่วนแสดงเส้นทางจะมีการแสดงรายละเอียดของสถานที่ที่เป็นภาพจุดเด่นของสถานที่นั้นๆ ข้อความบรรยายเบอร์โทรศัพท์ ตำแหน่ง GPS และแสดงเส้นทางจากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายที่ต้องการทั้งภาพแบบการ

3.1 ส่วนเลือกสถานที่

ส่วนเลือกสถานที่ที่จะใช้ในการเลือกประเภทของสถานที่ แสดงรายชื่อสถานที่ และแสดงภาพสัญลักษณ์ของประเภทสถานที่ลงแผนที่ตามตำแหน่งที่ได้จากฐานข้อมูล การแสดงผลจะเป็นแบบเต็มจอโดยผู้ใช้งานไม่สามารถเข้าใช้โปรแกรมอื่นได้ หน้าต่างส่วนเลือกสถานที่ที่มีทั้งการแสดงผลเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยเลือกผ่านปุ่มเปลี่ยนภาษา ในหน้านี้เข้าสู่ขั้นตอนการใช้งานได้ด้วย



ภาพที่ 6 ส่วนประกอบของหน้าต่างเลือกสถานที่

ส่วนประกอบของหน้าต่างเลือกสถานที่มีรายละเอียดดังนี้

หมายเลข 1 ส่วนเลือกประเภทสถานที่แบ่งเป็น 5 ประเภท ได้แก่ ศาสนสถานแทนด้วยภาพวัด ร้านอาหารแทนด้วยรูปจาน แหล่งท่องเที่ยวแทนด้วยรูปรถตุ๊กตุ๊ก สถานที่ราชการแทนด้วยรูปธงชาติ และผลิตภัณฑ์พื้นแทนด้วยรูปเมืองโบราณ หรือเลือกทุกประเภท

หมายเลข 2 กรอบรายชื่อสถานที่ แสดงรายการสถานที่ โดยกดเลือกชื่อสถานที่เพื่อดูรายละเอียด

หมายเลข 3 กรอบอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับสถานที่พร้อมภาพ

หมายเลข 4 หมุดแสดงตำแหน่งของสถานที่ หมุดจะต่างกันตามประเภทสถานที่

หมายเลข 5 ส่วนกดเลือกแสดงเส้นทาง กดเพื่อเข้าหน้าต่างแสดงเส้นทางของสถานที่

3.2 ส่วนแสดงเส้นทาง

ส่วนแสดงเส้นทางจะแสดงเส้นทางจากจุดเริ่มต้น ไปยังเป้าหมายที่ต้องการทั้งรูปแบบการลากเส้นและแบบบรรยายเป็นตัวอักษร มีการแสดงรายละเอียดของสถานที่ สำหรับการบรรยายเส้นทางเป็นตัวอักษรสามารถสั่งพิมพ์ออกเครื่องพิมพ์แบบความร้อนได้



ภาพที่ 7 ส่วนประกอบของหน้าต่างแสดงเส้นทาง

ส่วนประกอบของหน้าต่างแสดงเส้นทางแบ่งย่อยเป็น 7 ส่วน แต่ละส่วนอธิบายได้ดังนี้

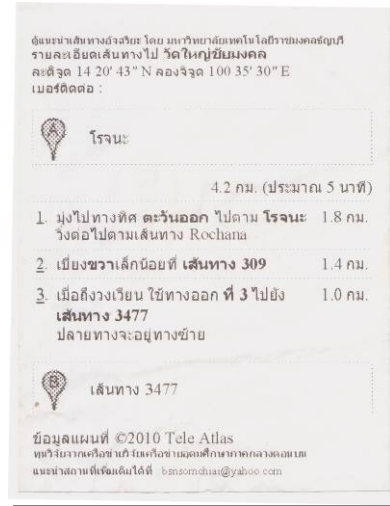
หมายเลข 1 รายละเอียดการเดินทาง

หมายเลข 2 เส้นทางสู่สถานที่เป้าหมาย

หมายเลข 3 คำอธิบายรายละเอียดพร้อมรูป

หมายเลข 4 แสดงค่าระยะจุดและลงจุดจุด

หมายเลข 5 ปุ่มพิมพ์รายละเอียดการเดินทาง

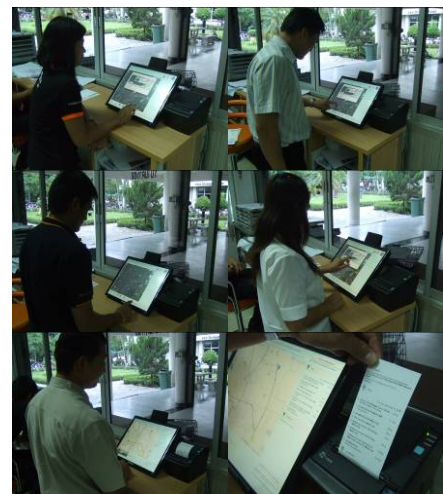


ภาพที่ 8 ใบแนะนำเส้นทางจากการสั่งพิมพ์

4. การทดสอบและการวิเคราะห์ผล

4.1 ทดสอบการใช้งานโปรแกรม

เป็นการทดสอบใช้งานโปรแกรมเพื่อพัฒนาให้การใช้งานไม่ซับซ้อน ผลการทดสอบครั้งแรกให้คะแนนการใช้งานง่ายในระดับปานกลาง หลังการปรับแก้ให้คะแนนการใช้งานง่ายในระดับดี



ภาพที่ 9 การทดสอบใช้งานโปรแกรม

4.2 ผลวิเคราะห์จากแบบสอบถามความคิดเห็น

เมื่อติดตั้งจริงในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ได้ทำแบบสอบถาม เพื่อวิเคราะห์ว่าผู้แนะนำเส้นทางอัจฉริยะสามารถใช้งานได้จริง มีประโยชน์ต่อการเดินทางไปยังสถานที่ต่างๆ จากการรวบรวมแบบสอบถามที่ได้สอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นของผู้ทดลองใช้ผู้แนะนำเส้นทางอัจฉริยะจำนวน 100 คน มีผลสรุปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลจากแบบสอบถาม

รายละเอียด	ความพึงพอใจ	คิดเป็น
1. รูปแบบและสถานที่ติดตั้ง		
1.1 ดูสวยงามดูทันสมัย	มากที่สุด	90.00%
1.2 ดูมีความแข็งแรงและทนทาน	มาก	82.40%
1.3 ใช้อุปกรณ์ที่ทันสมัย	มาก	85.20%
1.4 มีขนาดที่พอเหมาะ	มาก	82.40%
1.5 สถานที่ติดตั้งมีความเหมาะสม	มาก	80.00%
2. โปรแกรม (Software)		
2.1 ใช้งานได้ง่าย	มาก	73.80%
2.2 จำนวนสถานที่ที่แนะนำ	มาก	73.40%
2.3 แนะนำเส้นทางได้อย่างถูกต้อง	มาก	77.60%
3. ทำให้การเดินทางสะดวกสบาย	มาก	78.60%
4. ภาพโดยรวม	มาก	80.00%

4.3 ทดสอบเดินทางตามใบแนะนำเส้นทาง

เริ่มต้นการเดินทางตามใบแนะนำเส้นทาง จากพิพิธภัณฑ์แห่งชาติเจ้าสามพระยาไปยังวัดใหญ่ชัยมงคล การเดินทางใช้รถยนต์วัดระยะทางเทียบกับข้อมูลในใบแนะนำเส้นทางตามภาพที่ 8 ผลการทดสอบได้ระยะตามที่ระบุในใบแนะนำเส้นทาง



ภาพที่ 10 การทดสอบเดินทางตามใบแนะนำเส้นทาง

5.สรุปผล

การทดสอบการทำงานของระบบเป็นไปตามที่ออกแบบ การประเมินแบบสอบถามพบว่าผู้แนะนำเส้นทางอัจฉริยะมีจำนวนสถานที่ที่แนะนำในระดับความพึงพอใจมาก ในด้านการออกแบบผู้แนะนำเส้นทางอัจฉริยะมีภาพร่างดูสวยงามดูทันสมัย มีความพึงพอใจมากที่สุด ด้านสถานที่ติดตั้งมีความเหมาะสมมีความพึงพอใจมาก ในด้านโปรแกรมของผู้แนะนำเส้นทางอัจฉริยะ มีความพึงพอใจมาก โดยภาพรวมแล้วผู้ทดลองใช้งานผู้แนะนำเส้นทางอัจฉริยะ มีความพึงพอใจมาก

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญรักษ์ กาญจนวราวิชย์.2551.อะคริลิกพลาสติก. [ออนไลน์] เข้าได้จาก: <http://www.mtec.or.th> (17 ตุลาคม 2552)
- [2] เหล็กกล้าไร้สนิม, [ออนไลน์] เข้าได้จาก: <http://th.wikipedia.org/wiki/เหล็กกล้าไร้สนิม> (17 ตุลาคม 2552)
- [3] Google Map, [ออนไลน์] เข้าได้จาก: [www. Googlemap.com](http://www.Googlemap.com) (25 มิถุนายน 2552)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเครือข่ายวิจัยเครือข่ายอุดมศึกษาภาคกลางตอนบน สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ให้ทุนสนับสนุนวิจัยประจำปี 2552

มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าแบบรายงานผลด้วยเสียงพูด

สมชาย เบียนสูงเนิน

บทคัดย่อ— บทความนี้นำเสนอการออกแบบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับติดตั้งตามบ้านพักอาศัยที่สามารถรายงานหน่วยการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าระหว่างเดือน การประมวลผลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ชุดวัดพลังงานไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าโดยการรับค่ากระแสและแรงดันจากหม้อแปลงเครื่องวัด กับส่วนแสดงผลซึ่งจะรับข้อมูลแบบไร้สายจากส่วนคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า การรายงานค่าไฟฟ้าเป็นแบบใช้เสียงพูดเมื่อมีคนเดินผ่านหรือกดปุ่มแสดงข้อมูล ผลการทดสอบตัวตรวจวัดการเคลื่อนไหวนำสามารถส่งข้อมูลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีคนเดินผ่านได้ การทดสอบวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 1 % ส่วนควบคุมการรายงานผลด้วยเสียงพูดสามารถรายงานตัวเลขตรงตามข้อมูลที่ได้รับ

คำสำคัญ เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า การส่งข้อมูลแบบไร้สาย ไอซีบันทึกเสียง การคำนวณค่าไฟฟ้า

1. บทนำ

จากวิกฤตพลังงานและสถานะเศรษฐกิจที่ซบเซา ทำให้คนส่วนใหญ่เริ่มคิดถึงการบริหารจัดการด้านพลังงานในระดับครอบครัว โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า แต่ยังคงขาดข้อมูลสำหรับการบริหารจัดการ เพราะค่าไฟฟ้าจะถูกส่งให้ทราบเมื่อครบ 1 เดือน ทำให้การกระตุ้นจิตด้านการอนุรักษ์พลังงานไม่ทันสถานการณ์ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการสร้างเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าพร้อมประมวลผลค่าไฟฟ้าสำหรับรายงานผลให้ทราบตลอดเวลาที่ต้องการ การรายงานผลโดยทั่วไปเป็นแบบตัวเลข จึงออกแบบจุดเด่นของเครื่องนี้ให้การรายงานผลข้อมูลทางไฟฟ้าที่สำคัญด้วยเสียงพูด ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถฟังได้ขณะทำกิจกรรมอื่นได้ด้วย ในทางปฏิบัติเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจะต้องถูกติดตั้งที่ตู้เมนไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งที่เข้าถึงข้อมูลลำบาก

ดังนั้นจึงได้เพิ่มส่วนแสดงผลที่รับข้อมูลจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าให้นำมาติดตั้งในตำแหน่งที่ต้องการ โดยส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านคลื่นวิทยุ 2.4 GHz ทำให้เพิ่มความสะดวกในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

2. วิธีการวิจัย

ค่ากระแสของไฟฟ้ากระแสสลับที่ทำให้เกิดงานเท่ากับไฟฟ้ากระแสตรง หากได้จากค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยยกกำลังสองหรือเรียกว่าค่าประสิทธิผล (Root-Mean-Square ,RMS) ค่าแรงดันก็คำนวณเช่นเดียวกัน โดยมีเตอร์วัดค่ากระแสและแรงดันของไฟฟ้ากระแสสลับจะถูกวัดมาในรูปของค่า RMS กำลังไฟฟ้ขณะใดๆที่จ่ายให้โหลดหาจากการคูณของกระแส(i) และแรงดัน(v) อย่างไรก็ตามในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับค่าผลคูณขณะใดๆจะแปรเปลี่ยนไปตลอดเวลา ทำให้การคำนวณค่ากำลังเฉลี่ยเป็นเรื่องที่ซับซ้อนกว่ากรณีไฟฟ้ากระแสตรง เพราะไม่สามารถนำค่า V_{rms} และ I_{rms} มาคูณกันเพื่อให้ได้เป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการ ค่ากระแสและแรงดันจะถูกเก็บหลายๆ ค่า ในหนึ่งคาบเวลา(T) ที่ระยะห่างเท่ากัน จากนั้นนำมาคำนวณค่า RMS และค่ากำลังไฟฟ้าตามสมการที่ 1 ถึง สมการที่ 3

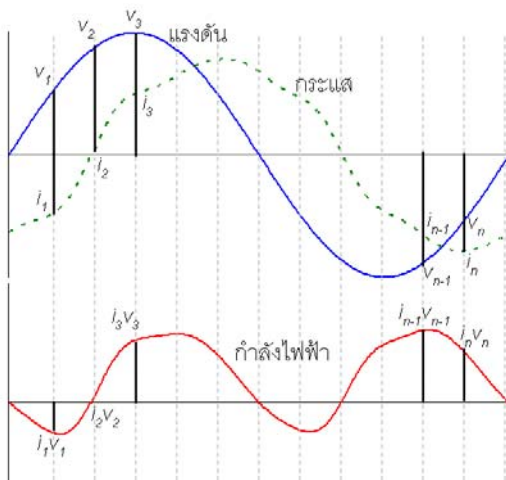
¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์: +66(2)-549-3420 โทรสาร: +66(2)-549-3422
E-mail: bsnsomchai@yahoo.com

โดยที่ n คือจำนวนข้อมูลที่ถูเก็บในหนึ่งคาบเวลา

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{i_1^2 + i_2^2 + \dots + i_n^2}{n}} \quad (1)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n}} \quad (2)$$

$$P = \frac{v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3 + \dots + v_n i_n}{n} \quad W \quad (3)$$



ภาพที่ 1 การสุ่มสัญญาณกระแสและแรงดัน

จากภาพที่ 1 แสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่แปรตามเวลา ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ในช่วงเวลา T กำหนดตามสมการที่ 4

$$E = \frac{\sum_{k=1}^N (v_k i_k)}{1,000 \times 3,600 \times Fs} \quad kWh \quad (4)$$

เมื่อ

E คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kW-hr)

$v(t)$ คือ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ณ เวลา k (V)

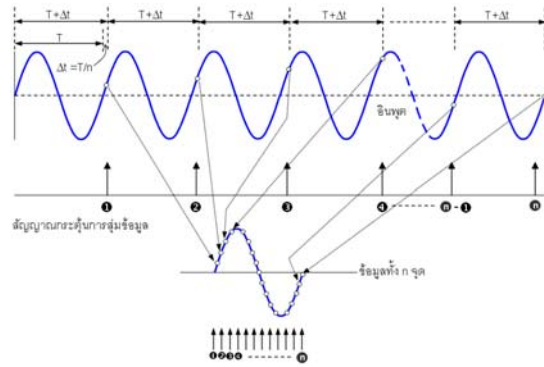
$i(t)$ คือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ณ เวลา k (A)

n คือ จำนวนช่องเวลาที่แบ่งเท่าๆ กันในคาบเวลา T

Fs คือ อัตราการสุ่มข้อมูล (ครั้งต่อวินาที)

พลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาตรการใช้กำลังไฟฟ้าจริงต่อหน่วยเวลา การใช้พลังงานไฟฟ้า 1 หน่วยหมายถึงการใช้กำลังไฟฟ้าขนาด 1 kW ใน 1 ชั่วโมง หรือ 1 หน่วยเท่ากับ 1 kWh ดังนั้นการคิดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจะถูกคำนวณแบบสะสมตลอดเวลา โดยจะคำนวณในระดับวินาที การคำนวณแบบดิจิทัลจะใช้การหาค่ากำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาที่กำหนด ถ้าระบบมีความถี่ 50 Hz ในหนึ่งวินาทีก็จะต้องคำนวณทั้งหมด

50 ครั้ง เพื่อลดการคำนวณอาจจะใช้วิธีการสุ่มข้อมูลมารอบละหนึ่งค่า โดยในแต่ละรอบก็ให้สุ่มข้อมูลในความห่างของเวลาที่เท่ากัน นั่นคือที่ความถี่ 50 Hz มีการสุ่มข้อมูลมาทั้งสิ้น 50 ค่า เมื่อนำค่าที่สุ่มได้มาจัด



ภาพที่ 2 การสุ่มข้อมูลสำหรับหาค่าสัญญาณเฉลี่ย

เรียงกันก็จะได้เป็นสัญญาณเฉลี่ย ตามภาพที่ 2 จากนั้นนำสัญญาณเฉลี่ยมาคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าในเวลา t วินาที เมื่อ t คือค่าเวลาที่ใช้ในการสุ่มข้อมูลครบตามที่ต้องการ จากนั้นก็คำนวณแบบนี้ไปเรื่อยๆ แล้วนำค่าที่ได้มาบวกกันจนครบรอบการคิดหน่วยการใช้ไฟฟ้า ปกติจะอยู่ที่ 1 เดือน ซึ่งค่าหน่วยการใช้ไฟฟ้าจะเป็นการคำนวณแบบสะสมทำให้ค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นการคิดหน่วยไฟฟ้าก็จะนำหน่วยการใช้ไฟฟ้าสะสม ณ เดือนที่พิจารณาบวกด้วยค่าหน่วยไฟฟ้าสะสมช่วงเดือนก่อน คล้ายกับการจดหน่วยการใช้ไฟฟ้าของผู้ให้บริการไฟฟ้า

ช่วงห่างของค่าเวลาที่ใช้ในการสุ่มข้อมูลแต่ละครั้งจะขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลที่ต้องการสุ่มและคาบเวลาของสัญญาณที่ทำกรวัด ถ้าต้องการจำนวนข้อมูล N ข้อมูล และคาบเวลาของสัญญาณมีค่า T วินาที ตำแหน่งการสุ่มในแต่ละครั้งจะต้องไม่ใช่ตำแหน่งเดิมของรูปสัญญาณ ช่วงห่างเวลาสำหรับสุ่มข้อมูลเขียนได้ตามสมการที่ 5

$$\text{ช่วงห่างสุ่มข้อมูล} = T + \frac{T}{N} = T \left(1 + \frac{1}{N} \right) \quad \text{วินาที} \quad (5)$$

และเวลาที่ใช้ไปสำหรับการสุ่มข้อมูลให้ครบ N ข้อมูลเขียนเป็นสมการได้ตามสมการที่ 6

เวลาหนึ่งรอบการคำนวณ

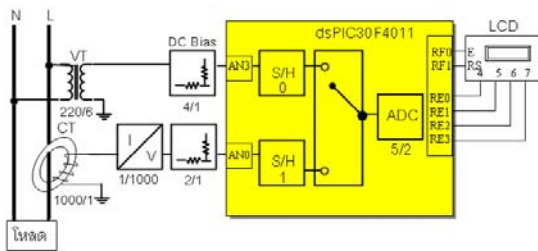
$$= N \times T \left(1 + \frac{1}{N} \right) = T(N+1) \text{ วินาที} \quad (6)$$

ในหนึ่งรอบการคำนวณได้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ P วัตต์ พลังงานไฟฟ้าหาได้จากสมการที่ 7

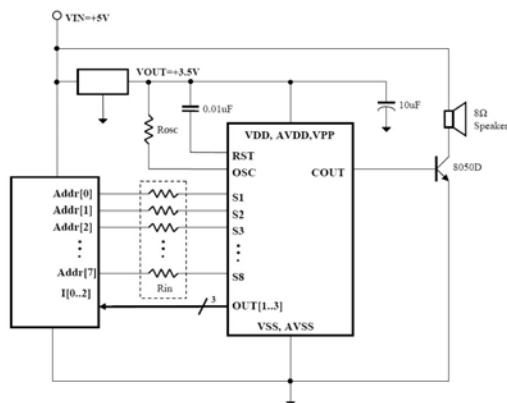
$$\text{พลังงานไฟฟ้า} = \frac{P}{1000} \times \frac{T(N+1)}{3600} \text{ kWh} \quad (7)$$

การออกแบบชุดวัดพลังงานไฟฟ้า [1]

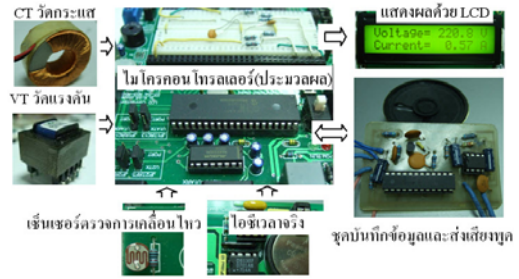
ชุดวัดพลังงานไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าโดยการรับค่ากระแสและแรงดันจากหม้อแปลงเครื่องวัด กับส่วนแสดงผลที่รับข้อมูลแบบไร้สายจากส่วนคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า ซึ่งการรายงานค่าไฟจะเป็นแบบใช้เสียงพูดเมื่อมีคนเดินผ่านหรือกดปุ่มแสดงข้อมูล ชุดคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนวัดค่ากระแสและแรงดัน ส่วนปรับสัญญาณ ส่วนแสดงผลด้วย LCD และส่วนประมวลผลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011



ภาพที่ 3 วงจรวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า



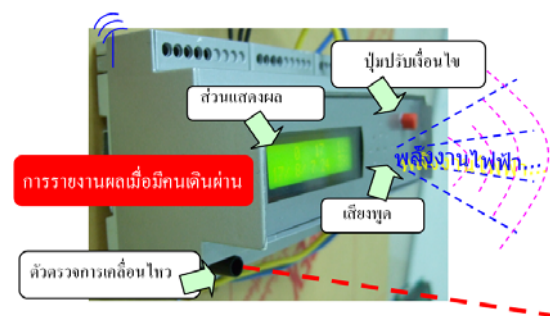
ภาพที่ 4 วงจรรายงานผลด้วยเสียง



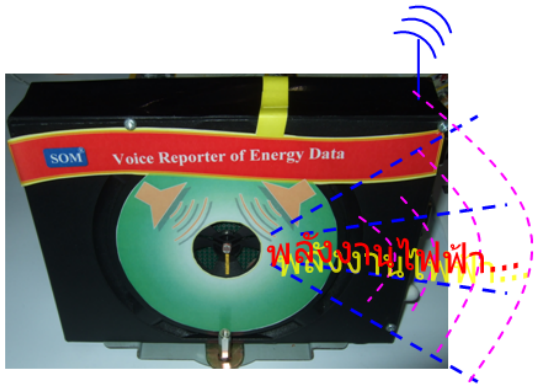
ภาพที่ 5 ส่วนประกอบของชุดวัดพลังงานไฟฟ้า

สำหรับส่วนแสดงผลแบบเสียงพูดใช้ไอซีบันทึกเสียงแบบ OTP โดยบันทึกค่าพูดตัวเลขและคำพูดข้อความผ่านคอมพิวเตอร์ จากนั้นบันทึกเก็บเข้าที่ตัวไอซีตามตำแหน่งคำพูดที่ออกแบบ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ส่งตำแหน่งที่จะให้เล่นเสียงตามการประมวลผล

สำหรับการประมวลผลคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าเริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่ากระแสและแรงดันแบบขั้วกระดัดสัญญาณ ทุกครั้งที่สุ่มจะนำค่าของกระแสกับแรงดันคูณกันและบวกสะสมไปจนครบ 50 ค่า จึงจะคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและคำนวณหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยช่วงเวลาการคำนวณต้องใช้เวลาน้อยกว่าหนึ่งคาบเวลาถึงจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่องตลอด การคำนวณหาค่าเวลาในการสุ่มข้อมูลแต่ละครั้งก็จะขึ้นอยู่กับความถี่และจำนวนข้อมูลที่ต้องการ ที่ใช้ความถี่ 50 Hz หรือคาบเวลา 0.02 วินาที และจำนวนข้อมูล 50 ค่า จากสมการที่ 5 จะได้ค่าเวลาในการสุ่มเท่ากับ 0.0204 วินาที



ภาพที่ 6 มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า



ภาพที่ 7 ส่วนรายงานผลแบบไร้สาย

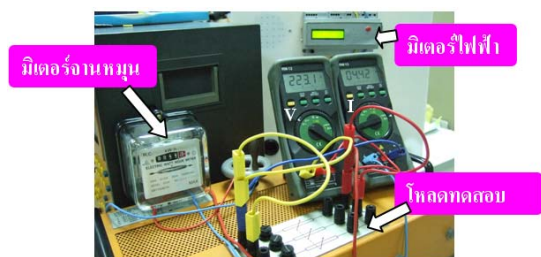
3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 การทดสอบความถูกต้องของมิเตอร์

ทดสอบจ่ายโหลดคงที่ 1 kW บันทึกค่า ทุก ๆ 30 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 1 มีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 1 %

ตารางที่ 1 ผลทดสอบวัดพลังงานไฟฟ้าแบบสะสม

นาทีที่	มิเตอร์ที่สร้าง (kWh)	เลขมิเตอร์มาตรฐาน
เริ่มต้น	-	2.0
30	0.5	2.5
60	1.0	3.0
90	1.5	3.5
120	2.0	4.0



ภาพที่ 8 การต่อวงจรทดสอบการวัดพลังงานไฟฟ้า

3.2 การทดสอบระยะการส่งข้อมูล

การทดสอบระยะการส่งข้อมูลแบบไร้สายเพื่อให้ทราบระยะห่างสูงสุดของส่วนคำนวณพลังงานไฟฟ้ากับส่วนแสดงผล การส่งแบบไร้สายใช้มาตรฐาน Zigbee ตามคุณสมบัติผู้ผลิตระยะการส่งข้อมูลกรณีติดตั้ง

ภายในมีพิกัดที่มากกว่า 100 เมตร [2] ผลทดสอบส่งได้ที่ 150 เมตร ซึ่งเพียงพอในการติดตั้งภายในบ้าน

ตารางที่ 2 การทดสอบระยะการส่งข้อมูล

ระยะทดสอบ (เมตร)	ผลการทดสอบ
50	ได้
100	ได้
150	ได้
200	ไม่ได้

3.3 การทดสอบคำนวณค่าไฟฟ้า

การคำนวณค่าไฟฟ้าใช้อัตราปกติหน่วยเกิน 150 หน่วย การทดสอบเป็นการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเทียบกับมิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ครั้งที่ 1 วัดได้ 2.85 kWh ในขณะที่เครื่องวัดที่สร้างขึ้นอ่านได้ 1.74 kWh ครั้งที่ 2 วัดได้ 3.15 kWh ในขณะที่เครื่องวัดที่สร้างขึ้นอ่านได้ 2.04 kWh นั่นคือทั้งคู่วัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ทดสอบอยู่ที่ 0.3 หน่วย จากค่าไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 48.84 บาท จึงคิดเป็นค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น $49.71 - 48.84 = 0.97$ บาท



ภาพที่ 9 การทดสอบกับมิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์

4. สรุปผลการวิจัย

การทดสอบวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามีความผิดพลาดน้อยกว่า 1 % ส่วนตรวจวัดการเคลื่อนไหวสามารถส่งข้อมูลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีคนเดินผ่านได้ ส่วนควบคุมการรายงานผลด้วยเสียงพูดสามารถรายงานตัวเลขตรงตามข้อมูลที่รับมา การรับส่ง

ข้อมูลระหว่างมิเตอร์กับส่วนรายงานผลผ่านระบบ
ไร้สาย Zigbee ด้วยความเร็ว 9,600 บิตต่อวินาที ทำงาน
ได้ในระยะที่ติดตั้งภายในบ้าน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชาย เบ็ญสูงเนิน, การประยุกต์ใช้งาน
ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับระบบไฟฟ้า,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี,
ปทุมธานี , 2552.
- [2] MaxStream, XBee/XBee-PRO OEM RF Modules ,
[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : www.MaxStream.net

การแยกก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำด้วยไฟฟ้า สำหรับเครื่องยนต์การเกษตร

สิทธิชัย จินะวงษ์¹ และ สุจิตรา จินะวงษ์¹

บทคัดย่อ—การแยกก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำด้วยไฟฟ้า สำหรับเครื่องยนต์การเกษตร ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนชุดแยกก๊าซจะมีกล่องเซลล์แยกก๊าซและมีแผ่นเซลล์อยู่ข้างในกล่องซึ่งทำมาจากสแตนเลสเพื่อป้องกันสนิม และส่วนวงจรควบคุมปริมาณการเกิดก๊าซไฮโดรเจน โดยใช้วงจร Pulse Width Modulation เป็นตัวควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับชุดแยกก๊าซไฮโดรเจน ในการทดลองนี้ วงจร Pulse Width Modulation จะเป็นวงจรที่กำเนิดสัญญาณพัลส์ที่สามารถควบคุมปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตออกมาได้ เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่แยกก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำ จะใช้กระแส 11.2A ได้ก๊าซไฮโดรเจน 17.96 ml ส่วนการทดสอบกับเครื่องยนต์การเกษตร พบว่าเครื่องยนต์ที่วิ่งโดยใช้น้ำมัน จะได้ระยะทาง 15 กิโลเมตร ต่อน้ำมัน 1 ลิตร แต่ถ้าเครื่องยนต์ที่วิ่งโดยใช้น้ำมันและก๊าซไฮโดรเจน จะได้ระยะทาง 19.5 กิโลเมตร ต่อน้ำมัน 1 ลิตร แสดงว่าสามารถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ถึง 30%

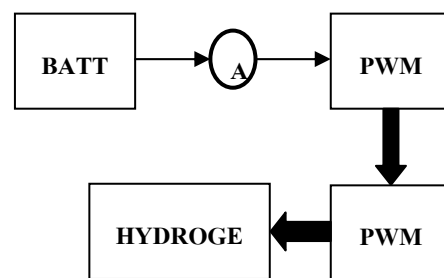
คำสำคัญ ก๊าซไฮโดรเจน การมอดูเลตแบบพัลส์ เครื่องยนต์การเกษตร

1. บทนำ

จากปัญหาด้านพลังงานบนโลกได้ลดลงและเกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม การนำก๊าซไฮโดรเจนมาใช้เป็นพลังงานร่วมกับน้ำมัน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ก๊าซไฮโดรเจนที่เผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ จะเผาไหม้ได้หมดสิ้น และไม่เหลือก๊าซที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเนื่องจากในน้ำมีองค์ประกอบของก๊าซไฮโดรเจนอยู่ตามสมการเคมีคือ H_2O จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ หากเราสามารถแยกก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทดลองแยกก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำด้วยไฟฟ้า เพื่อทดลองใช้งานกับเครื่องยนต์การเกษตร

2. วิธีการวิจัย

การแยกก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำด้วยไฟฟ้าจะแบ่งหลักการทำงานออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนเซลล์แยกก๊าซและส่วนวงจรควบคุม ปริมาณการก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งหลักการทำงานแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการแยกก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำด้วยไฟฟ้า

แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสและแรงดันผ่านแอมป์มิเตอร์เพื่อแสดงผลว่ามีอัตราการสิ้นเปลืองของกระแสไฟฟ้ามากน้อยเพียงใด จากนั้นวงจร PWM จะเป็นตัวควบคุมกระแสให้กับเซลล์แยกก๊าซ การแยกก๊าซในลักษณะนี้เราสามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเซลล์แยกก๊าซ โดยแรงดันและกระแสจากแบตเตอรี่จะ

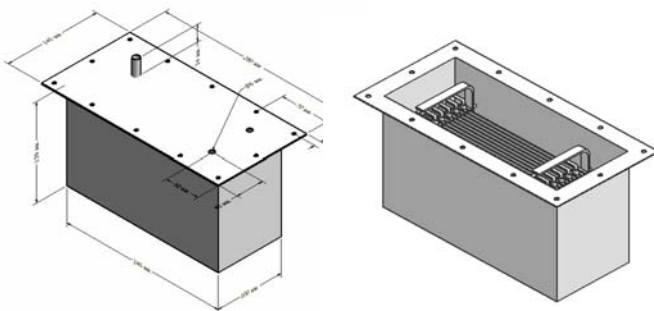
¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่เชียงใหม่ 99 หมู่ 10 ถ.พหลโยธิน ต.ทรายขาว อ.พาน จ.เชียงใหม่ 57120
โทรศัพท์ : 053-729600-5
E-mail: sithichai19@hotmail.com, phahongsa@hotmail.com

เข้ามาในตัวเซลล์แยกก๊าซ ซึ่งกระแสไฟฟ้าจะทำให้เกิดปฏิกิริยาของเหลวที่อยู่ในตัวเซลล์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาการถ่ายเทประจุทั้งขั้วบวกและขั้วลบ ประจุที่เกิดขึ้นก็จะผลิตก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนออกมาตามปริมาณของกระแสไฟฟ้า หมายความว่า ถ้ากระแสไฟฟ้ามากก็จะได้ก๊าซมาก แต่ถ้ากระแสไฟฟ้าน้อยก็จะได้ก๊าซน้อยตาม

2.1 เครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำ

คุณสมบัติวัสดุของกล่องที่นำมาใช้ซึ่งจะใช้สเตนเลสเบอร์ 361 L มีความหนาของสเตนเลส 1 มิลลิเมตร ความกว้างของกล่อง 100 มิลลิเมตร ความยาวของกล่อง 240 มิลลิเมตร ความสูงของกล่อง 140 มิลลิเมตร มีพื้นที่ของบ่า $(140 \times 280) - (100 \times 240) = 15,200$ มิลลิเมตร ขนาดของกล่องทั้งหมดมีขนาด กว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 240 มิลลิเมตร สูง 140 มิลลิเมตร รวม 336,000 มิลลิเมตร มีพื้นที่ฐาน 24,000 มิลลิเมตร

โครงสร้างภายในของกล่องเซลล์ ในลักษณะที่เปิดฝาออก จะเห็นได้ชัดว่า จะมีแผ่นเพลตเรียงตัวกันอยู่ โดยที่จะมี 2 ขั้ว ลักษณะของแผ่นเพลตจะเรียงตัวสลับกันจนครบคู่ของแผ่นเพลต โดยที่กำหนดให้ แผ่นที่ 1 3 5 7 9 11 จะเป็นขั้วบวกและ 2 4 6 8 10 12 จะเป็นขั้วลบ

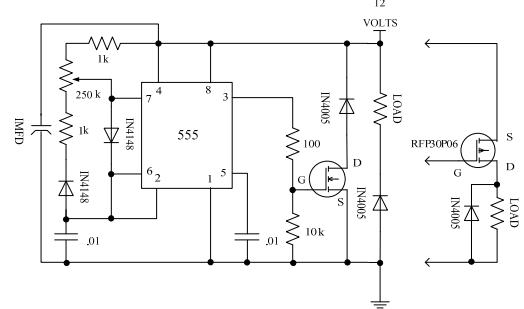


ภาพที่ 2 กล่องแยกก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำ

2.2 วงจรควบคุมกระแสไฟฟ้าแบบ PWM

วงจร PWM จะมี VR เป็นตัวกำหนดรูปแบบของ Duty Cycle โดยใช้ IC 555 ผลิตสัญญาณพัลส์ไปจุดชนวนขา Gate ของ MOSFET เบอร์ IRF540 เพื่อเป็นตัวควบคุมกระแสให้กับโหลดในการทำงาน เมื่อเราปรับเปลี่ยน t_{on} ก็จะทำให้ปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้น

ตามกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนตามไปด้วย โดยเมื่อปรับ t_{on} มากจะทำให้ได้ปริมาณก๊าซมาก แต่เมื่อ t_{on} น้อยก็จะทำให้ปริมาณก๊าซน้อยตามไปด้วย เมื่อนำชุดแยกก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำด้วยไฟฟ้าที่มีการควบคุมกระแสแบบ PWM ไปทดลองใช้กับเครื่องย่นการเกษตร ผลปรากฏว่าสามารถช่วยประหยัดน้ำมันได้



ภาพที่ 3 วงจรควบคุมปริมาณการผลิตก๊าซไฮโดรเจนแบบ PWM

ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองจะใช้กับเครื่องย่นการเกษตร เพราะว่า ปัจจุบันนี้มีการทำอุตสาหกรรมการเกษตรกันอย่างแพร่หลายและเนื่องจากต้องมีเครื่องจักร เพื่อช่วยในการแบ่งเบาภาระของเกษตรกร โดยได้เลือกใช้เครื่องจักรที่ใช้กันอยู่ในพื้นที่เป็นจำนวนมาก คือ รถบรรทุกการเกษตรหรือเรียกเป็นภาษาชาวบ้านว่า “รถอู่เต็น” โดยจะติดตั้งชุดแยกก๊าซไฮโดรเจนไว้กับเครื่องย่นการเกษตรที่ทำการทดสอบ ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. เติมน้ำมันเครื่องย่น จำนวน 1 ลิตร
2. ทดลองวิ่ง โดยใช้เฉพาะน้ำมัน จนน้ำมันหมดแล้ววัดระยะทางที่ได้
3. ติดตั้งชุดแยกก๊าซไฮโดรเจนเข้ากับเครื่องย่น
4. เติมน้ำมันเครื่องย่น จำนวน 1 ลิตร
5. ทดลองวิ่ง โดยใช้ น้ำมันและก๊าซไฮโดรเจนแล้ววัดระยะทางที่ได้

3. ผลและการอภิปรายผล

ตารางที่ 1 ทดสอบเครื่องยนต์ใช้งานภายในห้องเดิน
ยี่ห้อ KUBOTA ขนาด 14 แรงม้า

	เครื่องยนต์วิ่งโดยใช้น้ำมัน	เครื่องยนต์วิ่งโดยใช้น้ำมันและก๊าซไฮโดรเจน
ระยะทางที่เครื่องยนต์ใช้	15 กิโลเมตร	19.5 กิโลเมตร
ใช้น้ำมัน	1 ลิตร	1 ลิตร
ใช้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่	-	9 A



ภาพที่ 6 การติดตั้งชุดแยกก๊าซไฮโดรเจนกับตัวเครื่องยนต์

4. สรุปผลการวิจัย

1. สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำด้วยไฟฟ้าได้
2. สามารถใช้วงจร PWM มาควบคุมปริมาณการเกิดก๊าซไฮโดรเจนได้
3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์การเกษตร หรือเครื่องยนต์ดีเซลได้
4. สามารถช่วยลดมลพิษทางอากาศได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร.บัณฑิต ฟูงธรรมสาร. 2548. งานวิจัยเชิงนโยบายเพื่อส่งเสริมพลังงานหมุนเวียนและประสิทธิภาพพลังงาน, ประชาคมวิจัย ฉบับที่ 63, หน้า 18-21
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. พลังงานไฮโดรเจนและเซลล์เชื้อเพลิง (online). 2551. Available: http://www.dede.go.th/dede/index.php?com_content&view=category&layout=blog&Itemid (2 ส.ค.2551).



ภาพที่ 4 รถบรรทุกการเกษตร



ภาพที่ 5 การต่อแบตเตอรี่เข้ากับชุดแยกก๊าซไฮโดรเจน

- [3] Scheible, G., Solmecke, H., and Hackstein, D.
Low cost soft switching DC-DC converter with autotransformer for photovoltaic hydrogen systems. In Industrial Electronics, Control and Instrumentation, 1977. IECON 97. 23rd International Conference. Page(s) : 780-785 vol.2.
- [4] Soliman, M., Puppala, A.K and Safiuddin, M.
Dynamic analysis of microturbine/fuel cell for peak power shaving. In Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE
- [5] นภัทร วจินเทพินทร์. ทฤษฎีและการออกแบบ วงจรพัลส์. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ สกายบุ๊กส์. 2541

เครื่องอบพริกพลังงานไฟฟ้าร่วมกับแสงอาทิตย์

นครินทร์ ศรีปัญญา¹ และ สุริยา แก้วอาษา²

บทคัดย่อ— กลุ่มเกษตรกรในตำบลสว่าง และตำบลพอกน้อย อำเภอพรหมนิคม จังหวัดสกลนคร มีอาชีพปลูกพริก เป็นส่วนใหญ่ ปัญหาที่เกษตรกรพบ คือ ราคาพริกสดในตลาดไม่คงที่ และพริกสดมีอายุในการเก็บรักษาน้อย ดังนั้น เกษตรกรจึงนำพริกส่วนหนึ่งมาตากแห้ง โดยจะใช้เวลาในการตากแห้งพริก 4-5 วัน ซึ่งเกษตรกรจะต้องระวังในเรื่อง ของความชื้นที่จะเกิดขึ้นในขณะตากซึ่งมาจากละอองฝน น้ำค้างในตอนเช้า ที่จะทำให้เกิดเชื้อรา และปัญหาที่พบอีก อย่างคือเรื่องของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในขณะตาก และพื้นที่ในการตากแห้งพริกกลุ่มผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการสร้าง เครื่องอบพริก ซึ่งได้ศึกษาจากเครื่องอบพริกพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีข้อดีคือจะให้ความร้อนได้ดีกว่าการตากแดด ธรรมดา และป้องกันในเรื่องของความชื้น กับฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นขณะตาก แต่ยังใช้ระยะเวลาที่นานกว่าจะได้ผลผลิต ดังนั้นทางกลุ่มผู้จัดทำจึงคิดทำเครื่องอบพริกพลังงานไฟฟ้าร่วมกับแสงอาทิตย์ และได้ออกแบบตู้อบที่รับความร้อนจาก แหล่งกำเนิดสองส่วน คือแสงอาทิตย์ และไฟฟ้า ซึ่งจะให้ความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นหลัก และใช้ไฟฟ้าเป็นตัวปรับ อุณหภูมิช่วยในกรณีที่แสงอาทิตย์ไม่สามารถ ให้ความร้อนได้ตามต้องการ (40-60 องศาเซลเซียส) ผลการทดลอง กลุ่ม ผู้จัดทำได้ทำการอบพริกสดน้ำหนัก 5 กิโลกรัมทำการอบโดยใช้พลังงานร่วมจะสามารถลดเวลาในการตากแห้งพริกจาก 4 – 5 วัน ให้เหลือเพียง 25 ชั่วโมง และใช้พลังงานไฟฟ้าในการอบ ประมาณ 3 หน่วย หรือประมาณ 6-7 บาทต่อการ อบแห้งพริก 1 ครั้ง

คำสำคัญ เครื่องอบพริก พลังงานไฟฟ้าร่วมกับแสงอาทิตย์

1. บทนำ

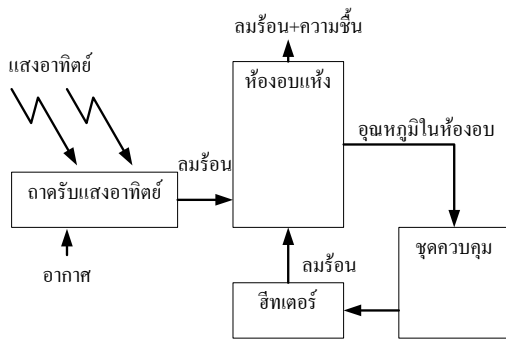
พริกเป็นพืชที่นิยมปลูกมาในประเทศไทยแถบร้อน ขึ้นโดยเฉพาะประเทศไทย ซึ่งพริกจะเป็นพืชเศรษฐกิจ ที่ ปลูกได้ตลอดปี จากการศึกษาข้อมูลในพื้นที่ตำบล พอกน้อย และตำบลสว่าง อำเภอพรหมนิคม จังหวัด

สกลนคร ซึ่งจะมีเกษตรกรทำการเพาะปลูกพริกเป็น จำนวนมาก ซึ่งจะมีพ่อค้าคนกลางเข้ามารับซื้อพริก ซึ่งราคาของพริกก็จะขึ้นอยู่กับความต้องการของตลาดใน แต่ละฤดูกาล ซึ่งจากปัญหาการขึ้นลงที่ไม่แน่นอนของ ราคาพริกสด จึงทำให้เกษตรกรได้หันมาพริกแห้งเพื่อ ขายแทนพริกสดโดยการนำพริกมาตากแดดซึ่งจากการ สืบค้นพบว่าวิธีการตากพริกของเกษตรกรจะใช้เวลาใน การตากพริกนานประมาณ 4-5 วัน ซึ่งไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับ สภาวะอากาศ ประกอบกับการตากพริกจำเป็นต้องใช้ พื้นที่ในการตากพริกเป็นจำนวนมาก ทำให้เกษตรกรมี ข้อจำกัดในด้านพื้นที่ อีกทั้งยังมีปัญหาในเรื่องของ ความชื้นที่เกิดจากน้ำค้างในช่วงเช้า และฝนในบาง ฤดูกาล และมีปัญหาในเรื่องของฝุ่นละอองในการตาก ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดจะออกแบบเครื่องอบพริกพลังงาน ร่วมเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว และสามารถกำหนดระยะเวลา อบแห้งพริกให้เกษตรกร

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร 199 หมู่ 3 ต. พังโคน อ. พังโคน จ. สกลนคร 47160
โทรศัพท์: +66(42)-772-2391 โทรสาร: +66(42) - 772-2392
E-mail: nakarin.sr@rmuti.ac.th

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร 199 หมู่ 3 ต. พังโคน อ. พังโคน จ. สกลนคร 47160
โทรศัพท์: +66(42)-772-2391 โทรสาร: +66(42) - 772-2392
E-mail: suriya_ka@hotmail.com

2. วิธีการวิจัย



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ

จากภาพที่ 1 เครื่องอบพริกพลังงานไฟฟ้าร่วมกับแสงอาทิตย์ ทำงานโดยถาดรับรังสีแสงอาทิตย์รับแสงอาทิตย์เข้ามาซึ่งด้านล่างของถาดรับแสงอาทิตย์จะมีช่องสำหรับอากาศเข้า เมื่ออากาศไหลผ่านถาดรับรังสีแสงอาทิตย์อากาศจะนำความร้อนไปยังห้องอบ แล้วนำความร้อนจากพริกออกไปยังช่องลมด้านบนของห้องอบ ในกรณีที่อุณหภูมิภายในห้องอบต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ในชุดควบคุม ชุดควบคุมจะทำการเปิดขดลวดความร้อน เพื่อกำเนิดความร้อนช่วยในการอบ

2.1 ชุดอบแห้งพริกพลังงานแสงอาทิตย์

สำหรับชุดอบแห้งพริกพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้ออกแบบสำหรับอบแห้งพริกให้สามารถอบแห้งพริกได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม และจะมีองค์ประกอบในการออกแบบเครื่องอบดังนี้

ความชื้นเริ่มต้น = ร้อยละ 0.6

ความชื้นหลังอบแห้ง = ร้อยละ 0.25

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม = ร้อยละ 0.8

อุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้ง = 45 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิทางเข้าเครื่องอบแห้งเฉลี่ย = 30 องศาเซลเซียส

ซึ่งจากการออกแบบจะได้ขนาดของเครื่องอบดังต่อไปนี้

ความสูงของเครื่องอบ ($h_1 + h_2$) = 2m

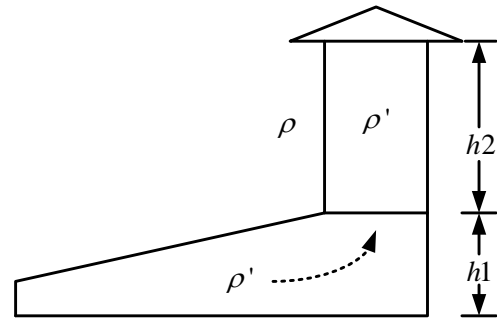
ช่องลมเข้าใต้ถาดรับแสงอาทิตย์ $2,212\text{cm}^2$

ช่องลมออกด้านบนห้องอบ 855cm^2

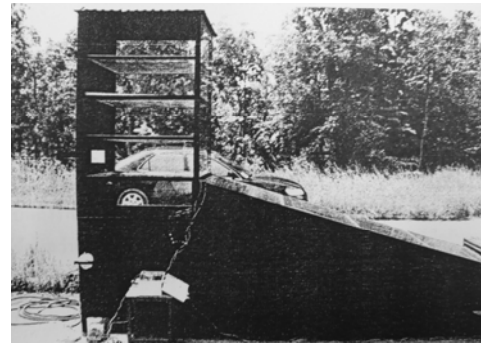
จำนวนตะแกรงใส่พริก 4 ชั้น

ขนาดตะแกรง $84\text{cm} \times 84\text{cm}$

ขนาดของถาดรับแสงอาทิตย์ $2.3\text{m} \times 1\text{m}$

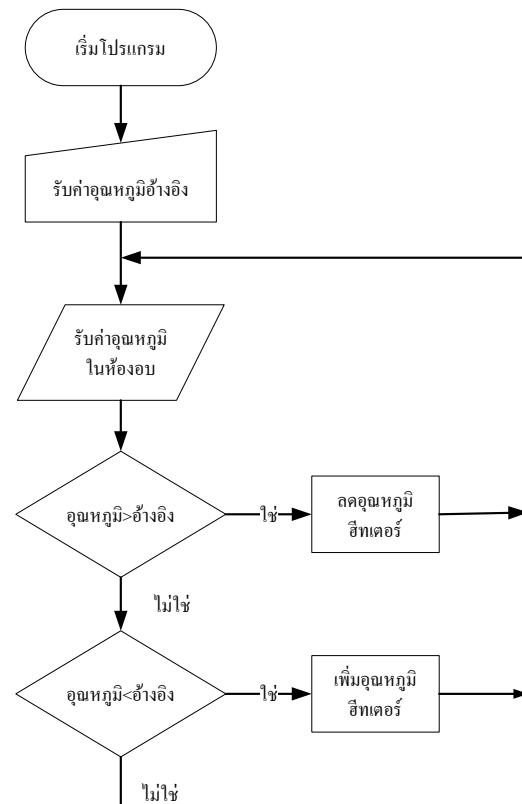


ภาพที่ 2 โครงสร้างเครื่องอบ



ภาพที่ 3 เครื่องอบพริกพลังงานไฟฟ้าร่วมกับแสงอาทิตย์

2.2 ชุดควบคุมและชุดให้ความร้อน



ภาพที่ 4 ผังการทำงานโปรแกรมเครื่องอบพริก

สำหรับชุดให้ความร้อนได้เลือกใช้ฮีทเตอร์แบบ
กริบขนาด 3,000 วัตต์

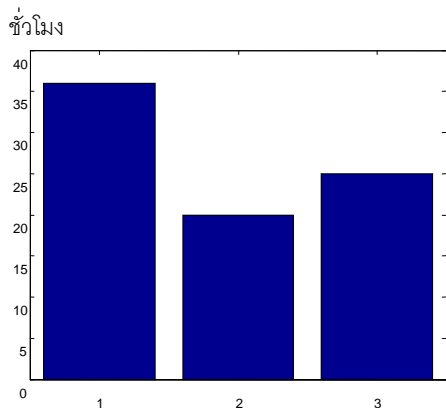
2.3 ขั้นตอนการทดลอง

สำหรับการทดลองจะทำการทดลอง 3 แบบคือ

1. อบอุ่นเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว
2. อบอุ่นเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นโดยใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว
3. อบอุ่นเครื่องอบแห้งด้วยระบบพลังงานร่วมไฟฟ้าร่วมกับแสงอาทิตย์

โดยจะใช้ฟริกสด 10 กิโลกรัมในการทดลอง และทำการทดลองตั้งแต่เวลา 07.00 น. – 17.00 น. โดยจะทำการเปรียบเทียบการทดลองทั้ง 3 ในด้านของเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบ (สำหรับการอบพลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว เปรียบเทียบกับการอบพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ และกำหนดอุณหภูมิในการอบแห้งอยู่ที่ 45 องศาเซลเซียส)

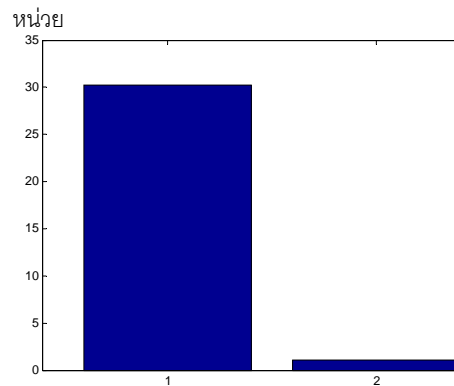
3. ผลและการอภิปรายผล



ภาพที่ 5 กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

จากภาพกราฟแท่งหมายเลข 1 คือ การอบพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ซึ่งจะใช้เวลาในการอบประมาณ 36 ชั่วโมง หมายเลข 2 คือการอบพลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 20 ชั่วโมง และหมายเลข 3 คือการอบแห้งโดยใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับแสงอาทิตย์ จะใช้เวลาใน

การอบ 25 ชั่วโมง จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการอบไฟฟ้า และพลังงานร่วมใช้เวลาแตกต่างกันเพียง 20%



ภาพที่ 6 กราฟแสดงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง

จากภาพที่ 6 กราฟแท่งที่ 1 แสดงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งฟริกต่อ 1 ครั้ง ของการอบพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ซึ่งจะใช้ปริมาณไฟฟ้าในการอบ 30.2 หน่วย และกราฟแท่งหมายเลข 2 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องอบพลังงานร่วม ซึ่งจะใช้ไฟฟ้าในการอบต่อครั้งเพียง 1.1 หน่วย

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองทั้งด้านระยะเวลาในการอบ และปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการอบจะเห็นได้ว่า เครื่องอบพลังงานร่วมสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งฟริกจากการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวได้ถึง 27.78 % และยังใช้ปริมาณไฟฟ้าน้อยกว่าการอบแห้งด้วยไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวมากกว่า 90%

อย่างไรก็ตามปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องอบพลังงานร่วมอาจจะเพิ่มขึ้นได้ ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในขณะที่ใช้งาน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และสมยศ เชิญอักษรม,
“ความขึ้นสมดุลและจลศาสตร์การอบแห้งของ
ไพล”, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, เทคโนโลยี
พลังงาน, วิศวกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
สุรนารี, 2552
- [2] วรวิทย์ รุ่งจิราภรณ์, “การศึกษาแบบอบ
แห้งแบบต่างๆ” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต,
เทคโนโลยีพลังงาน, วิศวกรรมศาสตร์,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538

การประจุแบตเตอรี่ด้วยเทคนิคการติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน

ปรีชา มหาไม้¹ ยุทธนา มุลกลาง² นำพร ปัญญใหญ่² และ ภาสวรรณ วัชรดำรงศักดิ์³

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้นำเสนอระบบเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ มีจุดมุ่งหมาย เพื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการรับพลังงานแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันถูกติดตั้งอยู่กับที่นั่นเป็นปัญหาที่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถรับพลังงานได้อย่างเต็มที่ตลอดทั้งวัน จึงได้เสนอวิธีการที่ง่าย ในการออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สามารถเคลื่อนที่ตามตำแหน่งทิศทางของดวงอาทิตย์ครอบคลุมทั้งแนวอัลติจูดและแนวอะซิมุท โดยวิธีการตรวจวัดค่าความเข้มของแสงจากเซ็นเซอร์จำนวน 4 จุดใช้ตัวต้านทานแปรค่าตามแสง (LDR) ติดตั้งในท่ออลูมิเนียม สำหรับวัดความเข้มแสงสามารถติดตามดวงอาทิตย์ลักษณะเป็นช่วงได้โดยช่วงของการติดตามสามารถกำหนดได้จากความลึกของการติดตั้งตัวต้านทานแปรค่าตามแสง (LDR) ในท่ออลูมิเนียมที่ติดตั้งไว้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละด้านค่าความเข้มแสงที่ได้จะถูกป้อนให้กับชุดควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 16F877-20P ทำการประมวลผลสัญญาณผ่านชุดควบคุมสั่งให้มอเตอร์กระแสตรงทำงาน หมุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 แนวแกน ไปยังจุดที่มีความเข้มแสงสูงสุด โดยทดลองการประจุแบตเตอรี่แรงดัน 12 V 120 Ah พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่มีการเคลื่อนที่ สามารถเก็บพลังงานได้มากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ คิดเป็นร้อยละ 17.73

คำสำคัญ เทคนิคการติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน การประจุแบตเตอรี่ ไมโครคอนโทรลเลอร์

1. บทนำ

¹เทคนิคและวิธีการสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่องโดยจำแนกตามวิธีการที่ใช้ในการติดตาม[1] สามารถจำแนก การควบคุมออกได้อยู่ 3 ลักษณะ คือ ระบบ

ติดตามดวงอาทิตย์แบบเชิงกลเป็นระบบที่ไม่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วิธีการควบคุมลักษณะนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงของของเหลว น้ำหนักของของเหลวที่ถ่ายเทไปมาจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปเสมือนว่าเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ข้อดีของระบบติดตามดวงอาทิตย์ลักษณะนี้คือไม่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าในการเคลื่อนที่ การบำรุงรักษาน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบอื่นข้อเสียคือระบบมีความแม่นยำค่อนข้างต่ำแบบที่สองระบบติดตามดวงอาทิตย์ควบคุมด้วยวงจรรอนาล็อกเป็นแบบควบคุมการติดตามด้วยอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นอนาล็อกในการควบคุมการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจจับระดับความเข้มแสง เช่น โฟโตไดโอด โฟโตทรานซิสเตอร์หรือ แอลดีอาร์ โดยจะรับค่าแรงดันจากอุปกรณ์ ตรวจวัดระดับความเข้มแสงมาเข้าสู่เปรียบเทียบแรงดัน โดยใช้อปแอมป์อาศัยการเปลี่ยนสถานะ

¹สาขา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก 41 อ.พหลโยธิน ต.ไม้งาม อ.เมือง จ. ตาก 63000

โทรศัพท์: +66(55)-515900-5 โทรสาร: +66(55)-511833

E-mail: nung_honda@hotmail.com

²สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290 โทรศัพท์: +66(53)-875869-71 โทรสาร: +66(53)-878113

³สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 98 ต.ป่าป้อ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์: +66(53)-266522 โทรสาร: +66(53)-266516

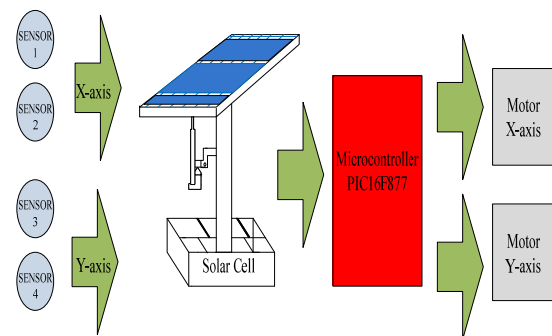
E-mail: wao_narong@yahoo.com

ทางด้านเข้าที่พุทที่ได้ไปควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ข้อดีของการติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ลักษณะนี้คือไม่มีความซับซ้อนของวงจรควบคุมสามารถปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ตั้งฉากกับแสงที่มาตกกระทบข้อเสียคืออุปกรณ์ตรวจจับแสงมีความไวต่อแสงมากทำให้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ทำงานตลอดเวลาแม้ว่าความแตกต่างระดับความเข้มแสงเพียงเล็กน้อยทำให้หน้าสัมผัสสรีเลย์เกิดการอาร์คหรือเกิดออกไซด์แบบที่สามระบบติดตามดวงอาทิตย์ควบคุมด้วยวงจรดิจิทัลเป็นระบบที่ทำงานร่วมกับตัวตรวจวัดระดับความเข้มของแสงเช่นโฟโตไดโอดโฟโตทรานซิสเตอร์และแอลดีอาร์ระบบจะถูกออกแบบให้สัญญาณจากตัวตรวจวัดความเข้มแสงมีลักษณะเป็นดิจิทัลป้อนให้ระบบควบคุมที่เป็น วงจรดิจิทัลโดยตรงอาศัยการเปลี่ยนสถานะด้านเข้าที่พุทไปควบคุมการเคลื่อนที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ข้อดีของระบบควบคุมลักษณะนี้คือมีความแม่นยำในช่วงจรดิจิทัลพื้นฐานสามารถสร้างวงจรได้ง่ายแต่การควบคุมลักษณะนี้มีข้อเสียคือจะเกิดการผิดพลาดได้ง่ายในกรณีที่แสงมีความเข้มไม่มากพอที่จะทำให้สภาวะของลอจิกเกิดการเปลี่ยนแปลงและสิ่งสำคัญถ้าจะปรับปรุงระบบให้ดีขึ้นจะต้องออกแบบวงจรควบคุมใหม่จากปัญหาการสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่กล่าวมางานวิจัยนี้จึงได้นำข้อดีในหลายๆด้านมาสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์ขึ้นมาใหม่ที่ใช้ตัวตรวจวัดความเข้มแสงทำงานร่วมกับไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมส่วนสำคัญของเทคนิคการติดตามดวงอาทิตย์ในลักษณะนี้คือ ความแม่นยำในการติดตามดวงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงระบบอาจไม่ทำงานเมื่อความเข้มแสงน้อย เช่น เมื่อเกิดการบังเงาของเมฆ หรือสภาพท้องฟ้ามีดซึ่งจะเป็นลักษณะการติดตามเป็นช่วงและลดการสูญเสียพลังงานของระบบติดตามดวง

อาทิตย์ เป็นวิธีการง่ายและค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบต่ำอีกทั้งยังเป็นการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ให้กว้างยิ่งขึ้นสำหรับในงานควบคุมเพราะเป็น ซีพียูที่มีขนาดเล็กกระทัดรัดเหมาะสำหรับงานควบคุมภาคสนาม

2. วิธีการวิจัย

2.1 โครงสร้างการควบคุม



ภาพที่ 1 โครงสร้างการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์

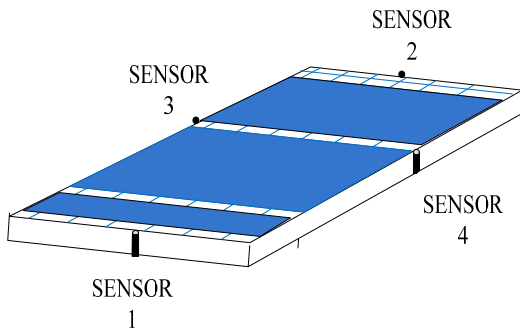
2.2 การออกแบบ

ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นอาศัยหลักการตามรังสีตรงของแสงอาทิตย์ที่มาตกกระทบโดยตัวตรวจจับความเข้มแสงจะถูกติดตั้งอยู่ที่ขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จุดกึ่งกลางทั้งสี่ด้านอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสงสร้างจากแอลดีอาร์โดยมอเตอร์กระแสตรงทำหน้าที่ขับเคลื่อนชุดติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์การออกแบบจะแยกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนตรวจจับความเข้มของแสงอาทิตย์ ส่วนขับเคลื่อนชุดติดตามตำแหน่งและส่วนโครงสร้างทางกล

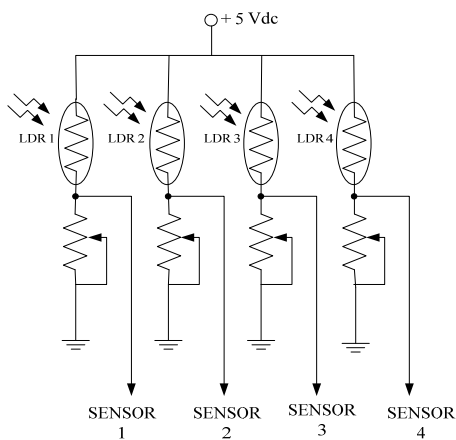
2.2.1 อุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสงอาทิตย์

งานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวต้านทานแปรค่าตามแสงหรือแอลดีอาร์เป็นอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสงเนื่องจากใช้งานง่ายราคาถูกโดยถูกวางอยู่ในท่ออลูมิเนียมเล็ก 10 มิลลิเมตรสำหรับการบังเงาของแสงอาทิตย์จะถูกติด

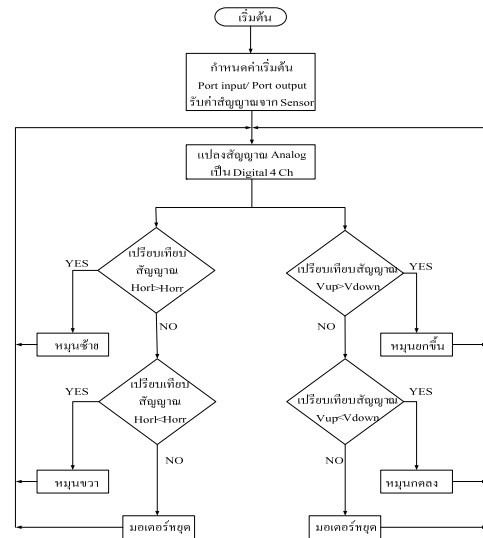
ตั้งอยู่ที่ขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งกลางทั้งสี่ด้าน ดังภาพที่ 2 โดยมีหลักการคือเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งตรงตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แอลดีอาร์ทั้งสองตัวจะอยู่ในสถานะ “High” ทั้งคู่และเมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิมจะทำให้เกิดการบังเงาแอลดีอาร์ที่เกิดการบังเงาจะอยู่ในสถานะ “Low ” โดยกำหนดให้ สถานะ “ High” ให้มีระดับแรงดัน 2.5 โวลต์และสถานะ “ Low ” ให้มีระดับแรงดัน 0 โวลต์ ในแนวอัลติจูดสำหรับในแนวอะซิมุทสามารถใช้หลักการเดียวกันในการออกแบบตัวตรวจวัดความเข้มแสงดังภาพที่ 3 โดยจะส่งค่าสัญญาณที่อ่านได้ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลตามผังงานโปรแกรมที่เขียนไว้ [2,4] ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 2 การติดตั้งตัวตรวจวัดความเข้มแสงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์



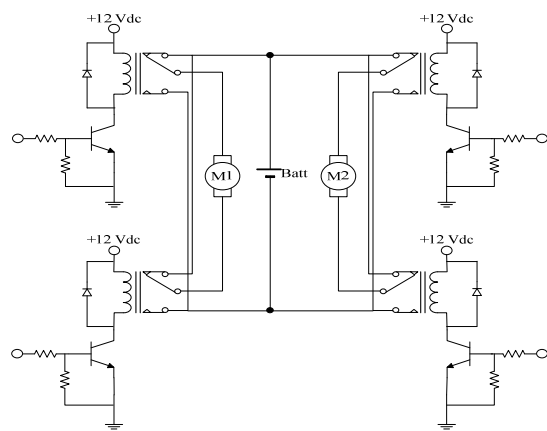
ภาพที่ 3 วงจรตรวจวัดความเข้มแสงอาทิตย์



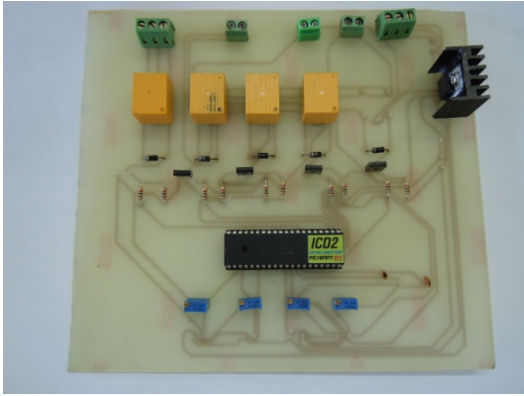
ภาพที่ 4 โฟลว์ชาร์ทขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม

2.2.2 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

ส่วนขับเคลื่อนของระบบติดตามดวงอาทิตย์จะใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นต้นกำลังทั้งสองแนวแกนในแนวอัลติจูดจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ มีการทดรอบด้วยเกียร์สเกดที่ความเร็วรอบ 15 รอบต่อนาที ส่วนการขับเคลื่อนในแนวอะซิมุทจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระบอกเกียร์ขนาด 12 โวลต์เช่นเดียวกันวงจรโดยวงจรขับเคลื่อนแนวอัลติจูดและวงจรขับเคลื่อนแนวอะซิมุทจะใช้วงจรขับเคลื่อนลักษณะเดียวกันดังภาพที่ 5 และ 6



ภาพที่ 5 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ของระบบติดตามดวงอาทิตย์



ภาพที่ 6 ชุดขับมอเตอร์ของระบบติดตามดวงอาทิตย์

2.2.3 โครงสร้างทางกลของระบบติดตามดวงอาทิตย์

โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์[3]ส่วนเคลื่อนที่แนวอัลติจูดจะใช้ท่อโลหะเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้วยึดติดกับเพลากลางพร้อมฐานเพลายึดติดกับตั้บลูกปืนเฟืองโซ่ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับ โดยมีฟันเฟืองอัตราทดที่ 1:2 ยึดติดกับเฟืองโซ่อีกชั้นดังภาพที่ 7 (ก) ส่วนเคลื่อนที่แนวอะซิมูทจะใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบกระบอกเกียร์หวดในปลายยึดติดกับ โครงเหล็ก ส่วนรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับดึงหรือยก ส่วนรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังภาพที่ 7 (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 7 โครงสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์

- (ก) ส่วนเคลื่อนที่แนวอัลติจูด
- (ข) ส่วนเคลื่อนที่แนวอะซิมูท



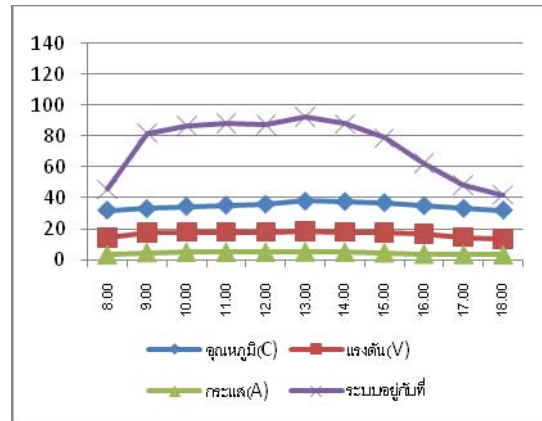
ภาพที่ 8 ระบบเมื่อติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3. ผลและอภิปรายผล

จากภาพที่ 8 เป็นการทดสอบระบบทำงานจริง โดยทดสอบคุณลักษณะสำคัญคือปริมาณการประจุพลังงานแบตเตอรี่เวลาที่ใช้ทดสอบระหว่างช่วงเวลา 8.00 น.ถึงเวลา 18.00 น. ของวันที่ 6 พฤษภาคม 2553 ภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบฟ้าโปร่งมีเมฆเป็นบางเวลามีลมพัดเบาบางเริ่มทดสอบโดยการประจุแบตเตอรี่เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งอยู่กับที่บันทึกผลทุกๆหนึ่งชั่วโมงผลการทดสอบที่ได้ดังตารางที่ 1 และการประจุแบตเตอรี่เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่ติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ผลการทดสอบที่ได้ดังตารางที่ 2 โดยการทดสอบเริ่มทดสอบพร้อมกันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบมีขนาดผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด 120 วัตต์แบตเตอรี่ที่ใช้ประจุขนาด 120 แอมแปร์ ชั่วโมงจากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดสอบนำไปพล็อตกราฟดังภาพที่ 9 และ 10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการประจุพลังงานในภาพของกำลังไฟดังภาพที่ 11

ตารางที่ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งอยู่กับที่

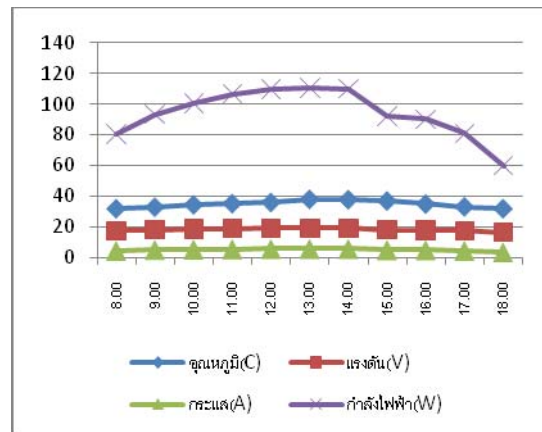
เวลา	อุณหภูมิ (C)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
8.00	32	14.12	3.22	45.47
9.00	33	17.69	4.63	81.90
10.00	34.5	17.80	4.85	86.33
11.00	35.3	17.92	4.91	87.98
12.00	36	17.90	4.89	87.53
13.00	38	18.21	5.12	92.23
14.00	37.8	17.91	4.90	87.85
15.00	37	17.40	4.52	78.65
16.00	35	16.87	3.71	62.58
17.00	33.2	14.48	3.34	48.36
18.00	32	13.56	3.10	42.03
เฉลี่ย	34.9	16.71	4.29	72.81



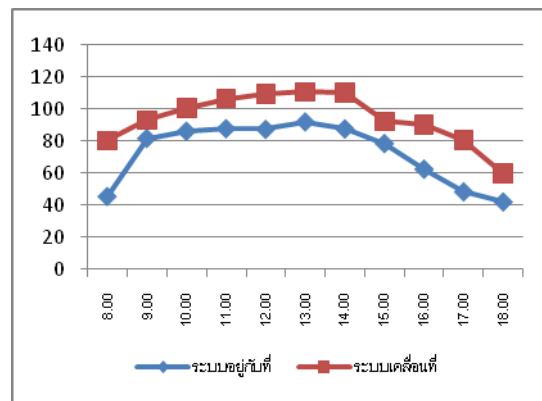
ภาพที่ 9 กราฟแสดงระบบประจุกติดตั้งอยู่กับที่

ตารางที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตามดวงอาทิตย์

เวลา	อุณหภูมิ (C)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
8.00	32	17.50	4.59	80.33
9.00	33	18.22	5.12	93.29
10.00	34.5	18.65	5.40	100.71
11.00	35.3	18.94	5.63	106.63
12.00	36	19.12	5.74	109.74
13.00	38	19.20	5.77	110.78
14.00	37.8	19.15	5.75	110.11
15.00	37	18.15	5.09	92.38
16.00	35	18.00	5.01	90.18
17.00	33.2	17.55	4.61	80.91
18.00	32	16.53	3.62	59.84
เฉลี่ย	34.9	18.35	5.17	94.08



ภาพที่ 10 กราฟแสดงระบบประจุกที่ติดตามดวงอาทิตย์



ภาพที่ 11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า

จากการทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมที่นำเสนอสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้ตามการออกแบบระบบประจุกแบบติดตั้งอยู่กับที่ที่สามารถประจุกำลังไฟฟ้าได้เฉลี่ย 72.81 วัตต์ ส่วนระบบประจุกแบบมีการติดตามดวงอาทิตย์สามารถประจุกำลังไฟฟ้าได้เฉลี่ย 94.08 วัตต์ ซึ่งระบบที่มีการติดตามดวงอาทิตย์จะ

สามารถเก็บพลังงานได้มากกว่าสอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะรับพลังงานได้สูงสุดเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับดวงอาทิตย์และในกรณีที่ความเข้มแสงน้อยหรือฟ้าปิดระบบควบคุมจะสั่งให้วงจรควบคุมหยุดทำงานเป็นการประหยัดพลังงานของระบบการติดตามซึ่งจะทำให้ระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์เป็นช่วงได้

4. สรุปผลการวิจัย

ระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมในงานวิจัยนี้สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้ตามการออกแบบสอดคล้องกับทฤษฎี โดยระบบประจุแบบติดตั้งอยู่กับที่สามารถประจุกำลังไฟฟ้าได้เฉลี่ย 72.81 วัตต์ ส่วนระบบประจุแบบมีการติดตามดวงอาทิตย์สามารถประจุกำลังไฟฟ้าได้เฉลี่ย 94.08 วัตต์ กำลังไฟฟ้าที่ได้มากกว่าระบบที่ติดตั้งอยู่กับที่คิดเป็นร้อยละ 17.73

ในงานวิจัยนี้ปัญหาหลักของการทดสอบ คือ สภาพภูมิอากาศที่แปรปรวนเมื่อมีการบดบังของเมฆหรือลมพัดแรงความเข้มแสงน้อยประสิทธิภาพการประจุของโซลาร์เซลล์จะลดลงทันทีประกอบกับค่าผิดพลาดทางกลของโครงสร้างซึ่งต้องมีการปรับปรุงแก้ไขในโครงสร้างส่วนระบบการประจุควรใช้วิธีการประจุแบบประสิทธิภาพสูงที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) นอกจากจะมีประสิทธิภาพสูงแล้วยังรักษาแบตเตอรี่ไม่ให้เสื่อมสภาพเร็วกว่ากำหนด

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Konar, M Phil and A.K. Mandel.IEE Proceedings-A. 1991. Microprocessor base automatic sun tracker.
- [2] Woolf,H.M.,164,USA, 1968 “On the Computation of Solar Evaluation Angles and the Determination of Sunrise and Sunset Times” National Aeronautics and Space Administration Report
- [3] Guanghui Li, Xinchun Shi and Chao Fu Guoliang Zhou.IEEE Transection on.2009(26112615).Design and implementation of a novel MPPT controller base on sun tracking technology.
- [4] ณัฐพล วงศ์สุนทรชัย และชัชวรินทร์ ลิ้มพรจิตรวิไล. เรียบรู้การปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628. กรุงเทพฯ กเพอริเมนต้อินโนเวตีฟ เอ้ ., ม.ป.ป.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยประยุกต์ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกนควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแหล่งพลังงานต้นกำลังสำหรับระบบให้น้ำลำใยอัตโนมัติ ซึ่งได้ทุนอุดหนุนวิจัยประจำปี พ.ศ.2553 โครงการวิจัยเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยี จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

การสร้างและทดสอบอุปกรณ์เตือนภัยอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วในที่สาธารณะ

จิระพงศ์ ศรีวิชัย¹ และ วินัย พงษ์ชะวัน²

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาออกแบบและสร้างอุปกรณ์เตือนภัยกระแสไฟฟ้ารั่วอันตราย โดยอาศัยการตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่ว และการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จากกระแสไฟฟ้ารั่วกับขดลวดตรวจจับเพื่อให้เกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และส่งไปยังวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อประมวลผล และแสดงผลด้วยสัญญาณเสียง แสงไฟกระพริบ การเปรียบเทียบระดับกระแสไฟฟ้ารั่ว อาศัยกระแสไฟฟ้ารั่วลงสายดินของหม้อแปลงจำหน่าย ณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เปรียบเทียบกับผลการสอบเทียบค่ากระแสไฟฟ้ารั่วในห้องปฏิบัติการ ผลการทดสอบพบว่า อุปกรณ์มีความสามารถตรวจวัดหากระแสไฟฟ้ารั่วได้ในย่าน 1 mA ถึง 1 A และสามารถกำหนดการทำงานของอุปกรณ์เตือนภัยในระดับกระแสไฟฟ้ารั่วได้ตั้งแต่ 30mA ถึง 1A โดยอุปกรณ์มีความผิดพลาดของความไม่เป็นเชิงเส้นน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่ายอมรับได้

คำสำคัญ : กระแสไฟฟ้ารั่ว ไฟฟ้าดูด อุปกรณ์เตือนภัย

1. บทนำ

ไฟฟ้าที่มนุษย์สร้างขึ้นจัดว่าเป็นสิ่งที่มีคุณประโยชน์มากมายนานัปการ แต่ถ้าหากมีการป้องกันไม่ถูกต้องหรือไม่ดีพอ ย่อมจะทำให้โทษอย่างมหันต์แก่ชีวิตและทรัพย์สิน ดังเช่นกรณีกระแสไฟฟ้ารั่ว ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า พบว่าส่วนหนึ่งเกิดจากเหตุการณ์ สภาพการเกิดดิสชาร์จตามผิวฉนวนของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ฉนวนเสื่อมคุณภาพเนื่องจากความชื้น ความสกปรก สารที่ทำให้ฉนวนเสื่อมคุณภาพ, ความเสียหายทางกลเกิดจากเจาะทะลุ (puncture) และจำนวนฟอลท์ที่เกิดจากสายตัวนำขาดตกที่ไม่ได้รับการกำจัดอย่างถูกต้อง เป็นต้น จากเหตุการณ์ข้างต้น นับว่า

มีจำนวนมากพอสมควรซึ่งถือว่าเป็นข้อกังวลที่สำคัญยิ่ง เพราะเหตุการณ์เหล่านี้ อันมีผลทำให้สาธารณชนเกี่ยวข้องกับสถานการณ์ที่เป็นอันตรายอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตามก็ยังมีการบาดเจ็บและการเสียชีวิตจากกระแสไฟฟ้า [1] ซึ่งมีการศึกษาถึงการตอบสนอง การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่อกระแสไฟฟ้าในปริมาณต่างๆ กัน โดยระดับกระแสไฟฟ้า 5 ถึง 20 mA จะเกิดอาการกระตุกของกล้ามเนื้อลายหากเมื่อมีการสัมผัสอุปกรณ์ที่มีกระแสไฟฟ้ารั่ว ก็ยังสามารถถึงส่วนที่สัมผัสออกได้ ทำให้เกิดความรุนแรงและการบาดเจ็บไม่มาก แต่ถ้าได้รับกระแสไฟฟ้ามากกว่า 20 mA จะทำให้เกิดการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ ส่งผลให้ไม่สามารถดึงมือหรือส่วนที่สัมผัสออกจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าได้ การบาดเจ็บจะรุนแรงมากขึ้นจนอาจเสียชีวิตได้ ดังนั้นจะเห็นว่าปัญหาที่เกิดจากกระแสไฟฟ้ารั่ว ควรได้รับการแก้ไขอย่างทันทั่วทั้งที่จากเหตุการณ์ข้างต้นทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดออกแบบสร้างอุปกรณ์ที่สามารถเตือนภัยอันตรายเพื่อป้องกันมิให้มีกระแสไฟฟ้ารั่วตามบริเวณที่สาธารณะในย่านที่เป็นอันตรายต่อร่างกายคน ซึ่งจะสามารถช่วยลดอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วได้มากในแต่ละปี โดยมุ่งหวังว่าอุปกรณ์ดังกล่าวนี้จะเป็น

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตคลองหลวง 199 หมู่ 3 ถ.พืงโค่น-วาริชภูมิ ต.พืงโค่น อ.พืงโค่น จ.สกลนคร 47160 โทรศัพท์ 042734724-5 โทรสาร 042734723

E-mail:geerapongs@gmail.com

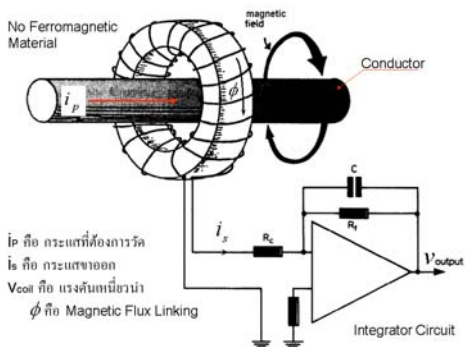
²ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถ.พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทรศัพท์ 02-942-8555

ประโยชน์และบรรเทาภัยอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่ว เพื่อสาธารณชน และที่สำคัญอย่างยิ่งยังเป็นการส่งเสริมความปลอดภัยทางไฟฟ้าได้อีกทาง

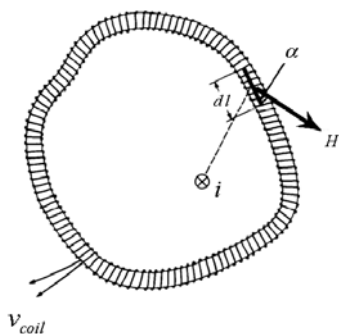
2. วิธีการวิจัย

2.1 ทฤษฎีและหลักการ

เทคนิคการวัดกระแสไฟฟ้า บทความนี้นำเสนอการใช้ขดลวดโรโกฟก็แสดงดังภาพที่ 2 เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำจะเกิดฟลักซ์แม่เหล็กล้อมรอบตัวนำไปคาบเกี่ยวกับขดลวดโรโกฟก็ที่พันรอบแกนวัสดุไม่เป็นสารแม่เหล็ก ถ้าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นก็จะแปรเปลี่ยนไปตามเวลาด้วยเช่นกัน ฟลักซ์แม่เหล็กที่คล้องผ่านขดลวดจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ปลายของขดลวดโรโกฟก็เมื่อนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำดังกล่าวไปผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์ที่เหมาะสม จะได้ค่ากระแส (i_p) ที่ต้องการวัดตามกฎของแอมแปร์ [2] ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การวัดกระแสไฟฟ้าด้วยขดลวดโรโกฟก็



ภาพที่ 2 หลักการวัดกระแสไฟฟ้าของขดลวดโรโกฟก็

จากภาพที่ 2 อธิบายโดยการใช้อีกกฎของแอมแปร์ (Ampere's Law) ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำ จะมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1

$$\oint H \cos \alpha dl = i_p \quad (1)$$

ถ้าขดลวดมีจำนวน N รอบต่อเมตรและมีพื้นที่หน้าตัดเป็น A วางอยู่ล้อมรอบตัวนำที่มีกระแส i_p ไหลผ่าน เมื่อพิจารณาในช่วงความยาว dl จะได้จำนวนรอบเท่ากับ Ndl และจะได้เส้นแรงแม่เหล็กที่คล้องผ่านในช่วงความยาว dl และ $d\phi$ ซึ่งมีค่าเป็น

$$d\phi = \mu_0 H N A dl \cos \alpha \quad (2)$$

โดยที่ α คือ มุมระหว่างสนามแม่เหล็ก (H) กับความยาว dl ของขดลวด เมื่อทำการอินทิเกรตตลอดความยาวครบรอบขดลวดจะได้เส้นแรงแม่เหล็กที่คล้องผ่านขดลวดทั้งหมด [2] ดังสมการที่ 3 นั่นคือ

$$\phi = \mu_0 N A \int H \cos \alpha dl = \mu_0 N A i_p \quad (3)$$

จากกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) จะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive Force) ที่เกิดขึ้นปลายของขดลวด v_{coil} [2] สามารถอธิบายได้ตามสมการที่ 4 และ 5 นั่นคือ

$$v_{coil} = -\frac{d\phi}{dt} = -\mu_0 N A \frac{di_p}{dt} \quad (4)$$

$$v_{coil} = -M \frac{di}{dt} \quad (5)$$

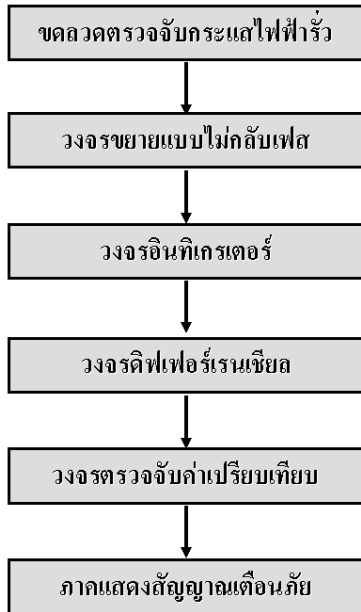
โดยที่ M คือ ความเหนี่ยวนำร่วมของขดลวด จากนั้นจะใช่วงจรอินทิเกรเตอร์ในการรวมสัญญาณเพื่อให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าขาออกที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้างดังสมการที่ 6

$$v_{out} = -\frac{1}{\tau} \int v_{coil} dt \quad (6)$$

โดยที่ τ คือ ค่าคงตัวทางเวลาของอินทิเกรเตอร์ ($\tau = CR_c$)

2.2 การออกแบบและสร้าง

จากทฤษฎีที่ได้นำเสนอเพื่อนำมาออกแบบสร้างอุปกรณ์ดังกล่าว สามารถแสดงโครงสร้างหลักในบล็อกไดอะแกรมภาพที่ 3



ภาพที่ 3 บล็อกไดอะแกรม

จากภาพที่ 3 จะประกอบไปด้วย (1) วงจรในส่วน of ขดลวดที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (2) วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (3) วงจรอินทิเกรเตอร์ (4) วงจรดีฟเฟอร์เรนเชียล (5) วงจรตรวจจับค่าเปรียบเทียบ และ (6) ภาคแสดงสัญญาณเตือนภัยอันตรายกระแสไฟฟ้ารั่ว สามารถอธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์เตือนภัยกระแสไฟฟ้ารั่วได้ดังนี้

- ขดลวดตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่ว ขดลวดที่สร้างขึ้นจะกำหนดรัศมีของขดลวดให้เท่ากับ 6 cm. จำนวนรอบของขดลวดเท่ากับ 400 รอบ ทำให้สามารถคำนวณพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดได้จากสมการที่ 7 ซึ่งเท่ากับเส้นลวดทองแดงเบอร์ 23 หลังจากนั้นจึงทำการพันขดลวดโดยใช้เทคนิคการพันแบบย้อนกลับเข้าไปในแกนขดลวดเพื่อให้เกิดการหักล้างกันของเส้นแรงแม่เหล็กช่วยลดผลจากแรงดันเหนี่ยวนำที่อาจเกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กภายนอก

$$d = \frac{2\pi r}{N} \quad (7)$$

โดยที่ d คือ พื้นที่หน้าตัดของเส้นลวด r คือ รัศมีของขดลวด และ N คือ จำนวนรอบของขดลวด

- วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบไปด้วยวงจขยายแบบไม่กลับเฟส วงจรอินทิเกรเตอร์ วงจรดีฟเฟอร์เรนเชียล และวงจรตรวจจับค่าเปรียบเทียบเพื่อทำการแสดงผลต่อไป ซึ่งอธิบายได้จากการรับสัญญาณกระแสไฟฟ้ารั่วที่ตรวจจับได้ด้วยขดลวดเหนี่ยวนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะผ่านเข้าสู่วงจขยายแบบไม่กลับเฟสจากการทดลองและคำนวณค่าอัตราขยายมีค่าเท่ากับ 101 mV/A แล้วทำการรวมสัญญาณด้วยวงจรวจรอินทิเกรเตอร์ หลังจากนั้นจึงนำสัญญาณดังกล่าวผ่านวงจรดีฟเฟอร์เรนเชียลเพื่อทำหน้าที่ลดสัญญาณรบกวนที่มาจาก การเหนี่ยวนำของขดลวดและอัตราขยายเท่ากับ 1 และทำการเรียงกระแสแบบครึ่งลูกคลื่นออกมา ในส่วนของวงจรตรวจจับสัญญาณเปรียบเทียบ จะขึ้นอยู่กับ การตั้งสัญญาณในการเปรียบเทียบเพื่อส่งต่อไปยังส่วนแสดงผลคือส่วนชุดแสดงผลทาง LED แสดงผลทั้งหมด 10 แอต์พุต โดยจะแสดงค่าตามระดับสัญญาณที่ตรวจจับออกมา และส่วนชุดแสดงผลเตือนภัยทางเสียงจะใช้คลื่นความถี่เสียงที่ 20 ถึง 100 kHz และแสงไฟกระพริบสีแดง เพื่อแสดงผลการเตือนภัยอันตราย เมื่อกระแสไฟฟ้ารั่วที่วัดได้มีค่ามากกว่าค่าที่วงจรตรวจจับค่าเปรียบเทียบตั้งไว้ สามารถแสดงต้นแบบของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นในภาพที่ 4

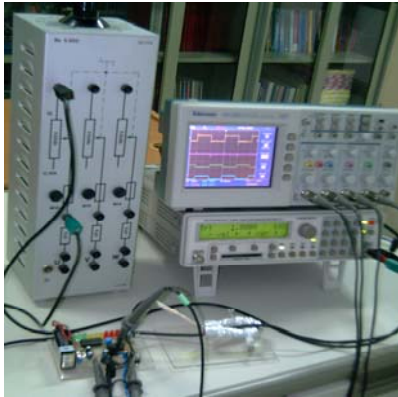


ภาพที่ 4 อุปกรณ์เตือนภัยกระแสไฟฟ้ารั่วที่สร้างขึ้นมา

2.3 วิธีการทดสอบ

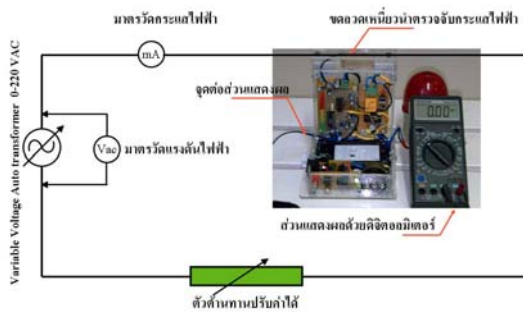
ในบทความนี้นำเสนออุปกรณ์เตือนภัยกระแสไฟฟ้ารั่วที่สร้างขึ้นมา ซึ่งสามารถแสดงวิธีการทดสอบได้ดังนี้

2.3.1 การทดสอบสัญญาณต่างๆ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ทดสอบสัญญาณต่างๆ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์

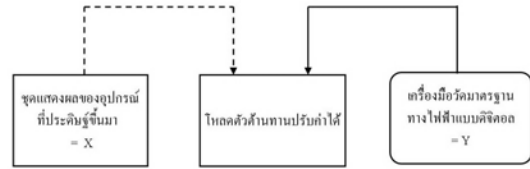
2.3.2 การทดสอบการสอบเทียบวัดกระแสไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6 จากนั้นทำการปรับแต่งสอบเทียบด้วยเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าดิจิตอลแบบแคลมป์แล้วดูค่าที่วัดได้ ทำการอ่านค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่าที่ทำการวัดจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 วงจรสอบเทียบของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมา

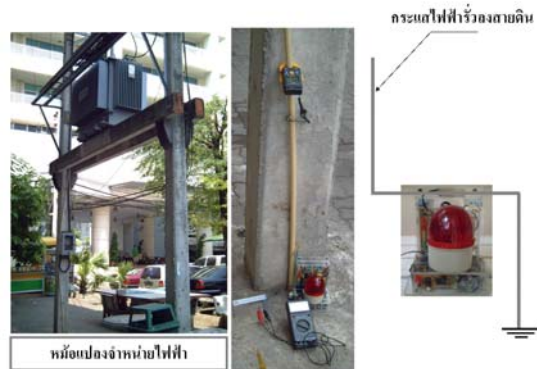
ในส่วนการสอบเทียบกระแสไฟฟ้าสามารถทำการปรับแต่งได้สมการเส้นตรงตามสมการที่ 8

$$Y = X \quad (8)$$



ภาพที่ 7 การสอบเทียบของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมา

2.3.3 การทดสอบเปรียบเทียบระดับกระแสไฟฟ้ารั่วลงสายดิน การทดสอบครั้งนี้จะทดสอบโดยทำการวัดระดับกระแสไฟฟ้ารั่ว อาศัยกระแสไฟฟ้ารั่วลงสายดินของหม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้าโดยนำเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอลวัดระดับกระแสไฟฟ้ารั่วเปรียบเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้ารั่วที่อ่านได้จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมา สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 8



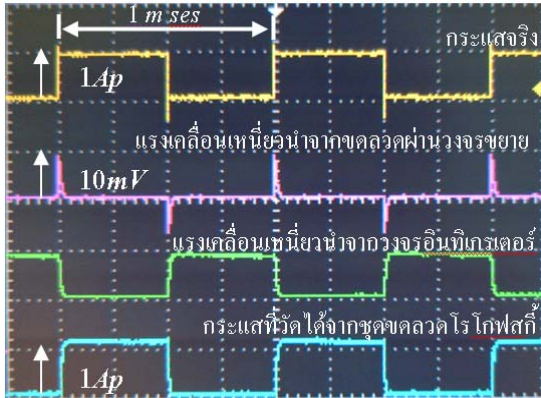
ภาพที่ 8 ทดสอบเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้ารั่ว

ไหลลงสายดินของหม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า

2.3.4 การทดสอบเพื่อกำหนดการเตือนภัยกระแสไฟฟ้ารั่วอันตรายของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น จะทำการปรับตั้งเมื่ออุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถตรวจจับปริมาณกระแสไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 30 mA ซึ่งจะแสดงผลเตือนภัยกระแสไฟฟ้ารั่วอันตรายด้วยสัญญาณเสียงและแสงไฟกระพริบ

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบของอุปกรณ์ที่จัดสร้างขึ้นสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 9

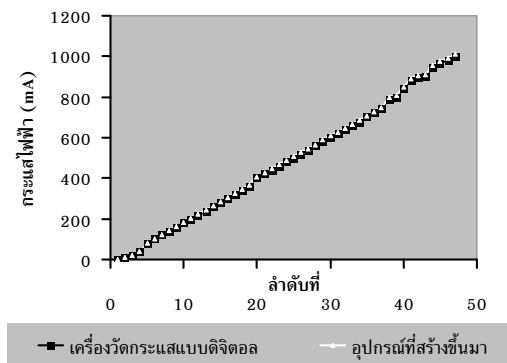


ภาพที่ 9 ทดสอบสัญญาณของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

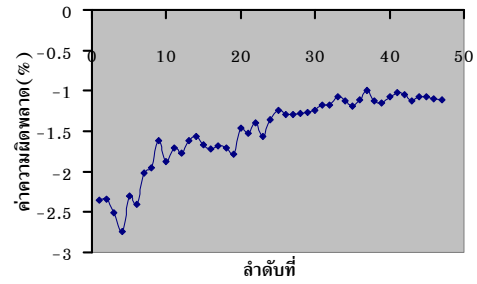
จากภาพที่ 9 แสดงการทดสอบสัญญาณต่างๆ ของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมา ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ผ่านวงจรขยายและสัญญาณเอาต์พุตหลังจากผ่านวงจรดิฟเฟอเรนเชียล

3.2 ผลการสอบเทียบวัดกระแสไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ

เมื่อนำข้อมูลของการทดสอบมาพล็อตกราฟสามารถแสดงความสัมพันธ์ของสมการที่ 8 ดังนี้



ภาพที่ 10 กราฟเปรียบเทียบความเที่ยงตรงในการอ่านค่ากระแสไฟฟ้า

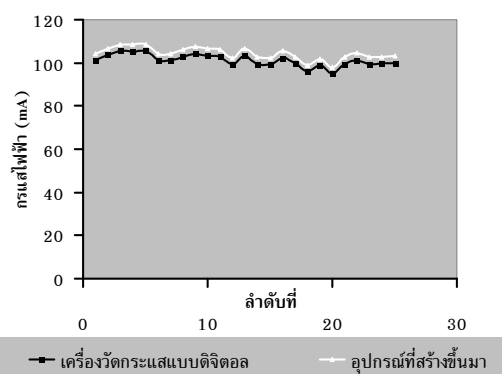


ภาพที่ 11 ค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมา

ผลการสอบเทียบกระแสไฟฟ้า เมื่อพิจารณาข้อมูลการเปรียบเทียบความเที่ยงตรงในการอ่านค่ากระแสไฟฟ้าในภาพที่ 10 สามารถแสดงค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นได้ดังภาพที่ 11 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อนำค่าความผิดพลาดทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 2.12 %

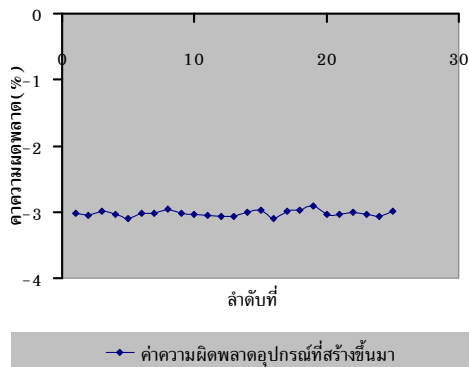
3.3 ผลการทดสอบเปรียบเทียบระดับกระแสไฟฟ้าวางสายดิน การทดสอบครั้งนี้จะทดสอบโดยทำการวัดระดับกระแสไฟฟ้าว อาศัยกระแสไฟฟ้าวางสายดินของหม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า โดยนำเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอลวัดระดับกระแสไฟฟ้าวเปรียบเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าวที่อ่านได้จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาสามารถแสดงค่าต่างๆ ในกราฟภาพที่ 12 และกราฟภาพที่ 13

ผลการทดสอบเปรียบเทียบระดับกระแสไฟฟ้าวางสายดิน การทดสอบครั้งนี้จะทดสอบโดยทำการวัดระดับกระแสไฟฟ้าว อาศัยกระแสไฟฟ้าวางสายดินของหม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า โดยนำเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอลวัดระดับกระแสไฟฟ้าวเปรียบเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าวที่อ่านได้จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาสามารถแสดงค่าต่างๆ ในกราฟภาพที่ 12 และกราฟภาพที่ 13



ภาพที่ 12 กราฟเปรียบเทียบความเที่ยงตรงในการอ่านค่าระดับกระแสไฟฟ้าวางสายดิน

การอ่านค่าระดับกระแสไฟฟ้ารั่วลงสายดิน



ภาพที่ 13 ค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น กรณีวัดระดับกระแสไฟฟ้ารั่วลงสายดิน

ผลการทดสอบเปรียบเทียบระดับกระแสไฟฟ้ารั่วลงสายดิน เมื่อพิจารณาข้อมูลจากกราฟในภาพที่ 12 สามารถแสดงค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น ได้ดังภาพที่ 13 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อนำค่าความผิดพลาดทั้งหมดมาทำการหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 3.02 % ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งเกิดจากความผิดพลาดของสัญญาณที่ต้องการตรวจจับมีความถี่ไม่คงที่และเป็นที่น่าสังเกตว่าสัญญาณกระแสไฟฟ้ารั่วที่ตรวจจับได้ ไม่ได้มีรูปแบบเดียวกันตลอด

3.4 ผลการทดสอบเพื่อกำหนดการเตือนภัยกระแสไฟฟ้ารั่วอันตราย สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเพื่อกำหนดการเตือนภัยกระแสไฟฟ้ารั่วอันตราย

ปริมาณกระแสไฟฟ้า (mA)	ผลการแสดงแจ้งเตือนของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น	
	ไม่แสดงการแจ้งเตือน	แสดงการแจ้งเตือน
200	/	
250	/	
300		/
500		/
1000		/

4. สรุปผลการวิจัย

บทความวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบสร้างอุปกรณ์เตือนภัยอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วซึ่งหลักการการทำงานจะอาศัยการตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่วและการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากกระแสไฟฟ้ารั่วกับขดลวดตรวจจับเพื่อให้เกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและส่งไปยังวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อประมวลผลและแสดงผลด้วยสัญญาณเสียงและแสงไฟกระพริบ จากการทดสอบพบว่าผลการสอบเทียบกระแสไฟฟ้ารั่วในห้องปฏิบัติการ มีความถูกต้องมากที่สุด โดยค่าความผิดพลาดทั้งหมดไม่เกิน $\pm 2.8\%$ นำค่าความผิดพลาดทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 2.12 % และผลการทดสอบเปรียบเทียบระดับกระแสไฟฟ้ารั่วลงสายดินพบว่าอุปกรณ์ทดสอบมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 3.15\%$ เมื่อนำค่าความผิดพลาดทั้งหมดมาทำการหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 3.02 % ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ส่วนหนึ่งเกิดจากความผิดพลาดของสัญญาณที่ต้องการตรวจจับ มีความถี่ไม่คงที่ และเป็น

น่าสังเกตว่าสัญญาณกระแสรั่วไหลที่ตรวจจับได้ ไม่ได้มีรูปแบบเดียวกันตลอด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าผลการทดสอบตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่วสามารถทำได้เป็นอย่างดีเมื่อทำการเปรียบเทียบกับเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าดิจิทัลแบบแคลมป์ ซึ่งจะเป็ประโยชน์โดยเฉพาะความแม่นยำในการตรวจจับและแจ้งเตือนภัยอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่ว ในระดับที่เป็นอันตรายต่อร่างกายคน จากงานวิจัยในครั้งนี้สามารถพัฒนาเพื่อนำเสนอให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยสามารถปรับปรุงในการติดตั้งใช้งาน ส่วนแหล่งจ่ายพลังงานสามารถนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาประยุกต์ใช้เพื่อประจุแบตเตอรี่ให้กับอุปกรณ์ได้อย่างต่อเนื่อง และรูปแบบการตรวจจับกระแสรั่วในย่านอันตราย ทำการประมวลผลและส่งสัญญาณในลักษณะออนไลน์ไปยังสถานีหรือหน่วยงานที่รับผิดชอบของระบบจำหน่ายไฟฟ้าซึ่งจะทำให้รับทราบข้อมูลที่รวดเร็วยิ่งขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Vongpaisamsin K. 2005. Injuries and death from the electricity. Chula Med J; 49(8): 467 - 74
- [2] Ward, D.A. and Exon, J.La T.1993. Using Rogowski Coils for Transient Current Measurement. Engineering Science and Education Journal. :105-11

ตัวควบคุมพีซีปรับค่าเกนพีไอดีในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ จักรยานไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

ศุภชัย หอวิมานพร¹ และ กฤษณ์ เจ็ดวรรณนะ²

บทคัดย่อ— ตัวควบคุมแบบพีไอดีเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยสามารถทำการควบคุมปริมาณเอาต์พุตที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงานที่เป็นระบบเชิงเส้น ส่วนในลักษณะของงานที่มีความไม่แน่นอน และเที่ยงตรง ของตัวแปรต่างๆ ในการควบคุม ค่าเกนที่ใช้ในตัวควบคุมแบบพีไอดีอาจจะไม่เหมาะสม ในงานวิจัยนี้จึงใช้ตัวควบคุมพีซีลจิกปรับค่าเกนตัวของควบคุมแบบพีไอดีเมื่อความเร็วของมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงและเนื่องจากพฤติกรรมทางด้านพลศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานมีความไม่แน่นอนของตัวแปรเกิดขึ้นขณะที่มอเตอร์ทำงาน ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีการนำตัวควบคุมแบบพีซีลจิกมาปรับเกนของตัวควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และทำการเปรียบเทียบผลการควบคุมเพียงลำพัง และแบบทำงานร่วมกัน ซึ่งงานวิจัยนี้จึงได้ทำศึกษาเสถียรภาพและความทนทานของระบบ ทำให้ผลการตอบสนองเมื่อมีการรบกวนจากภายนอกเกิดขึ้น จะทำให้ระบบเปลี่ยนไป จากผลการทดลอง ให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าเมื่อใช้ตัวควบคุมร่วมกันร่วมกัน

คำสำคัญ พีซี พีไอดี

1. บทนำ

ตัวควบคุมแบบพีไอดีเป็นตัวควบคุมที่พบเห็นได้บ่อยในงานการควบคุมเอาต์พุตเนื่องจากสามารถแก้ปัญหาของระบบให้มีเสถียรภาพและผลตอบสนองได้ดี โดยเลือกค่าเกนตัวควบคุมค่าที่เหมาะสมลงในระบบแต่ละระบบ ซึ่งในงานต่างๆ ในอุตสาหกรรม ในส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงก็เป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายในงานต่างๆ ปัญหาอย่างหนึ่งที่พบในการควบคุมมอเตอร์คือ พลศาสตร์มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง และมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ขณะที่มีการ

เปลี่ยนแปลง ความเร็ว ทำให้การควบคุม ความเร็วของมอเตอร์ให้มีความถูกต้องและแม่นยำเป็นไปได้ยาก เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการคิดค้นทฤษฎีการควบคุมต่างๆ เพื่อรักษาการทำงานในช่วงย่านที่ไม่เป็นเชิงเส้นของตัวควบคุมต่างๆ เช่น ตัวควบคุมแบบปรับค่าได้ ตัวควบคุมแบบทนทาน แต่การควบคุมในแบบต่างๆ ผู้ออกแบบจะต้องรู้ค่าพารามิเตอร์ของระบบ ซึ่งในทางปฏิบัติ ไม่สามารถรู้ค่าเหล่านี้ที่แม่นยำได้ ตัวควบคุมแบบพีซีลจิกจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ออกแบบตัวควบคุมที่ไม่จำเป็นต้องทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แต่จะพิจารณาการควบคุมบนพื้นฐานพฤติกรรมของระบบที่จะควบคุม ทำให้ตัวควบคุมแบบพีซีลจิกเข้าใจได้ง่าย ในงานวิจัยนี้จึงได้นำตัวควบคุมแบบพีซีมาปรับค่าเกนของตัวควบคุมแบบพีไอดี เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากตัวควบคุมพีซีปรับเปลี่ยนได้ไม่ยาก และความคล้ายคลึงกับการตัดสินใจของมนุษย์ ซึ่งความไม่แน่นอนและไม่ชัดเจนของการนิยามสิ่งของหนึ่งๆ เนื่องจากความไม่ชัดเจนของเอาต์พุตเหล่านั้น

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

399 ถ.สามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กทม. 10300

โทรศัพท์: 0-2282-9009

E-mail: suppachaiyo@hotmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

399 ถ.สามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กทม. 10300

โทรศัพท์: 0-2282-9009

E-mail: jedwanna@yahoo.com

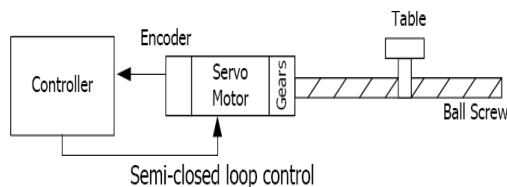
ในรูปของฟัซซีเซต โดยฟัซซีเซตก็จะขึ้นกับฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ซึ่งจะทำการแบ่งระดับความเป็นสมาชิกให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 จากนั้น ฟัซซีเซตต่างๆก็จะถูกนำมาสร้างความสัมพันธ์และแปรความหมายออกมาอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากเมื่อเราได้ค่าปริมาณค่าแกนของตัวควบคุมฟีดแบ็ค มาใช้ร่วมกันซึ่งสามารถควบคุมได้ดีขึ้นในย่านของการเปลี่ยนความเร็วรอบ ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการทดสอบตัวควบคุมแบบ ฟัซซีลอจิกร่วมกับฟีดแบ็ค จะทำการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 250 วัตต์ และใช้เอ็นโค้ดเดอร์ในการวัดค่าความเร็วมอเตอร์ ที่ใช้การขับเคลื่อน

2. วิธีการวิจัย

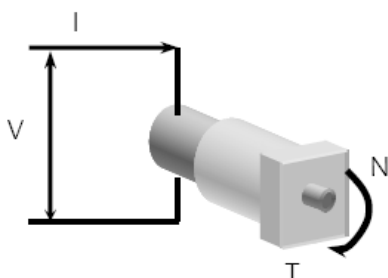
การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

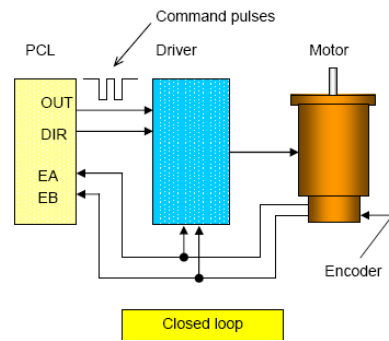
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถปรับค่าความเร็วได้จากการเปลี่ยนแรงดันอินพุตโดยพฤติกรรมถ้าต้องการควบคุมความเร็วและตำแหน่ง จะถูกติดตั้งตัวตรวจจับซึ่งในภาพที่ 1 และ 2 แสดงไคอะแกรมและการเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ ลักษณะการรับค่าสัญญาณที่ได้จากเอ็นโค้ดเดอร์แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 1 ไคอะแกรมของการตรวจจับความเร็วมอเตอร์



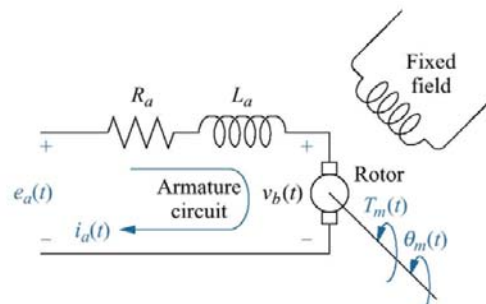
ภาพที่ 2 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความเร็วรอบ



ภาพที่ 3 วงจรการรับสัญญาณ Encoder

พฤติกรรมทางพลศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้า

การสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 4 ถ้าต้องการในโดเมนความถี่ (frequency domain) เนื่องจากระบบที่แสดงด้วยสมการดิฟเฟอเรนเชียลในการจำลองและวิเคราะห์สามารถหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันได้ดังสมการที่ 1



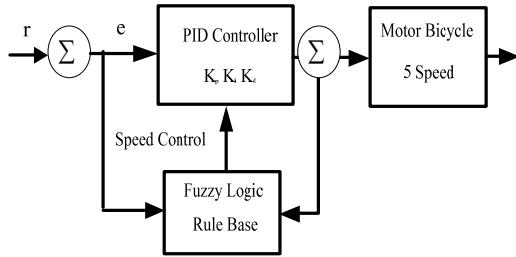
ภาพที่ 4 แผนภาพมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์
$e_a(t)$	Applied voltage
L_a	Armature inductance
$i_a(t)$	Armature current
R_a	Armature resistance
$v_b(t)$	Back emf
J_m	Rotor inertia
$T_m(t)$	Motor torque
D_m	Viscous-friction coefficient
$\theta_m(t)$	Rotor displacement
k_T	Torque constant
$\omega_m(t)$	Rotor angular velocity
k_b	Back-emf constant

$$\frac{\theta_m(s)}{E_a(s)} = \frac{k_m}{(L_a + R_a)(J_m s^2 + D_m s) + k_m k_b s} \quad (1)$$

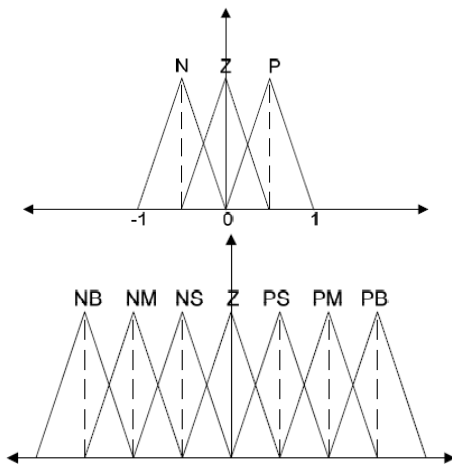
2.2. ตัวควบคุม



ภาพที่ 5 โดอะแกรมการทำงาน

2.2.1 การปรับปรุงตัวควบคุมแบบฟัซซี

ในส่วนการออกแบบการปรับค่าเกน K_p , K_i และ K_d ในการเลือกค่า ณ จุดสถานะคงตัวให้กับการทำงาน ทำการกำหนดค่าที่ต้องควบคุมให้กับตัวควบคุมแบบฟัซซี โดยจะทำการรับค่าอินพุตความเร็วจากความเร็วของมอเตอร์และค่าที่ใช้ในแต่ละย่านของฟัซซีเซต จากการทดลองหาค่าเกนที่เหมาะสมจากตัวควบคุมฟัซซีที่ความเร็วแต่ละระดับความเร็วที่ต้องการ ผลรวมของค่าความผิดพลาดของเรื่อนำมาหาจำนวนสมาชิกของค่าที่กำหนด ภาพที่ 6 แสดงการแบ่งสมาชิกของฟัซซีเซต



ภาพที่ 6 การแบ่งจำนวนสมาชิกของค่าเกน

กำหนดให้สมาชิกของค่าเกนมี 3 เทอม [N, Z, P] และ 7 เทอม โดยมี [NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB]

		Error, e(t)				
		NB	NS	Z	PS	PB
Change of Error, Δe(t)	PB	PM	PS	NM	NB	NB
	PS	PM	PS	NS	NB	NB
	Z	PB	PM	Z	NM	NB
	NS	PB	PB	PS	NS	NM
	NB	PB	PB	PM	NS	NM

ตารางที่ 2 แสดงกฎที่ใช้ในการกำหนดค่าเกนให้กับระบบตามค่าความเร็วรอบของมอเตอร์

2.2.2 ตัวควบคุมแบบพีไอดี

การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีนั้น จะอยู่บนพื้นฐานของการกำหนดอัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์ของสมการคุณลักษณะ และการกำหนดค่าคงตัวเวลาทั่วไป ซึ่งอัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์ของสมการคุณลักษณะและค่าคงตัวเวลา ใช้ค่า จะเป็นสิ่งที่กำหนดสมการคุณลักษณะของระบบควบคุม ดังนั้นจึงทำให้สามารถออกแบบผลตอบสนองทางเวลาตามที่ต้องการได้

$$u(t) = K_p e(t) + k_d \frac{d(e(t))}{d(t)} + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2)$$

โดย $u(t)$ คือ เอาท์พุต (Output) ของระบบ, e คือค่าความผิดพลาด (error)

2.2.3. การปรับตัวควบคุม

ในการปรับความเร็วผลตอบสนองของระบบควบคุม สามารถทำได้โดยการปรับค่า จากกฎของตัวควบคุมแบบฟัซซี โดยใช้พารามิเตอร์สามตัวขึ้นอยู่กับค่าของการปรับความเร็วมอเตอร์ของระบบควบคุมที่ต้องการซึ่งวิธีการปรับค่า K_p , K_i และ K_d แสดงดังภาพที่ 6 สมมุติให้ฟังก์ชันถ่ายโอนป้อนกลับของระบบควบคุมที่ได้ออกแบบไว้ในตอนแรกคือ

วิธีการปรับค่าด้วยตนเองของการทดลองในครั้งนี้ จะใช้การปรับค่า สเกลของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต โดยใช้ เปลี่ยนค่าของความผิดพลาด และ อัตราความผิดพลาด ค่าที่ได้จากการทดลองนี้สร้างโดย

อาศัยตัววัดความเร็วของเป้าหมาย ในการนำตัวควบคุม ฟิชซี-ฟิวอี้ ไปใช้ในการควบคุมความเร็วนั้น จำเป็น จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขตัวควบคุม เนื่องจากระบบ มีการเปลี่ยนแปลงของสถานะแวดล้อมเข้ามา เกี่ยวข้อง ดังนั้นพารามิเตอร์ต่างๆที่ออกแบบไว้ตอนแรก เช่น ค่า ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต หรือค่ากฎ ต่างๆจำเป็นจะต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไข เพื่อที่จะ ให้สามารถรักษาเสถียรภาพของความเร็วให้ได้

3. ผลและการอภิปรายผล

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในการทดลองขับ มอเตอร์ของจักรยานต้นแบบที่ได้สร้างขึ้นโดยได้ทำ การติดตั้งมอเตอร์ พร้อมเอ็นโค้ดเดอร์ ดังภาพที่ 7 ใน ส่วนของการควบคุมได้ส่งค่าความเร็วมอเตอร์ที่ได้รับ ผ่าน อุปกรณ์ควบคุมในงานวิจัยนี้เลือก พีแอลซี Omron รุ่น CPIL แบบเพาส์เทรนโดยการส่งความถี่ของสัญญาณ เพาส์เทรน ไปยังเซอร์โวไดรเวอร์แบบเพาส์เทรนอินพุต เพื่อประมวลผลโดยโปรแกรม



ภาพที่ 7 แสดงการนำไปใช้ควบคุมความเร็วจักรยาน

โดยโปรแกรมที่เขียนตัวควบคุม แบบ PID ใน ภาพที่ 8 เลือกเขียนเป็นแบบ Ladder Diagram ส่วนตัว ควบคุมแบบฟิชซีในภาพที่ 9 เลือกเขียน โปรแกรมแบบ

Structure Text และค่าที่ได้จากโปรแกรมจะทำการส่ง ค่าที่จากการกำหนดกฎไปยัง หน่วยความจำ ที่แสดงใน ภาพที่ 10 ซึ่งค่า K_p , K_i และ K_d แสดงในช่องหน่วย ความจำที่ D11, D12 และ D13 ของโปรแกรมการ ควบคุม



ภาพที่ 8 การเขียนโปรแกรมรับค่าความเร็วเพื่อ

กำหนดค่าแกน PID

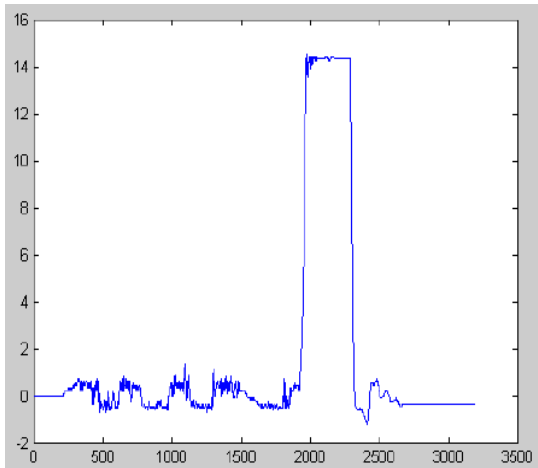
Name	Data Type	AT
EN	BOOL	
score	REAL	
setover	REAL	
setunder	REAL	

Internals	Inputs	Outputs	In Out	Externals
<pre>(*created date 3-5-10*) IF score > setover THEN underNG := FALSE; OK := FALSE; overNG := TRUE; ELSIF score < setunder THEN underNG := FALSE; ok := FALSE; underNG := TRUE; ELSE underNG := FALSE; overNG := FALSE; ok := TRUE; END_IF;</pre>				

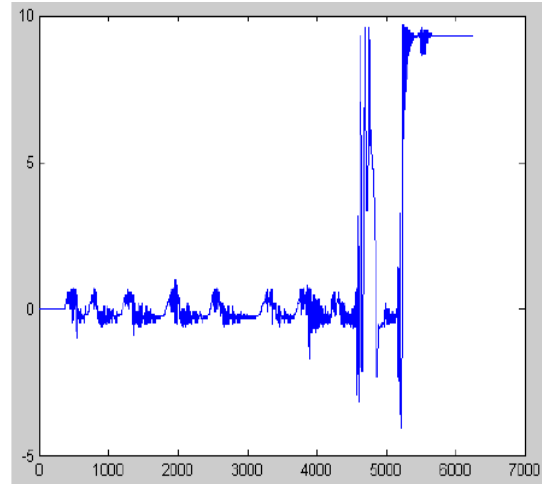
ภาพที่ 9 โปรแกรมฟิชซีแบบ ST Program

	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9
D00000	0000	0000	0000	0000	0000	0D00	0000	0000	0000	0000
D00010	0000	0071	0140	0FA0	0000	0000	0000	0000	0000	0000
D00020	0054	0036	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
D00030	0032	0064	0064	0000	0001	0000	0014	0000	0000	0032
D00040	002D	6CEB	0000	0401	BEB1	4126	0000	0000	0000	0004
D00050	0031	FFFF	00A0	0000	0001	9999	0000	0000	0000	0000
D00060	0002	88DF	0002	88DF	0058	B67E	000A	0000	0FFF	0000

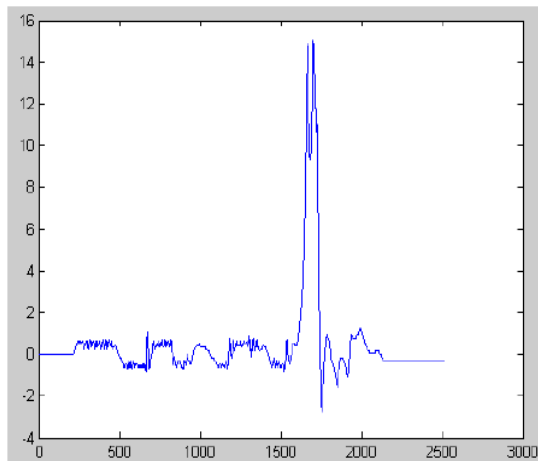
ภาพที่ 10 หน่วยความจำของ controller ที่ใช้ส่งค่าเป้าหมาย



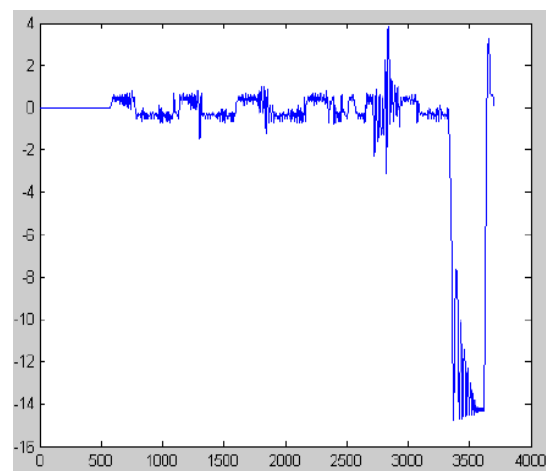
ภาพที่ 11 ตัวควบคุมด้วย PD controller



ภาพที่ 14 ตัวควบคุมด้วย Fuzzy+PD controller



ภาพที่ 12 ตัวควบคุมด้วย PID controller



ภาพที่ 13 ตัวควบคุมด้วย Fuzzy+PID controller

จากกราฟผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของตัวควบคุมกับเสถียรภาพที่แสดงในภาพที่ 11 12 13 และ 14 กราฟในแนวแกนตั้งแสดงค่าความเร่งซึ่งผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 1,200 รอบเท่ากันและทำการเปลี่ยนความเร็วรอบ เพื่อรักษาความเร่งให้ได้เท่ากับศูนย์ ตัวควบคุมทุกแบบสามารถรักษาระดับความเร็วได้ดี จากภาพที่ 11 จะพบว่าตัวควบคุมด้วย PD จะมีการแกว่งตัวของสัญญาณมากกว่า และเมื่อมีสัญญาณรบกวน จะกลับสู่ระบบได้ช้ากว่า ในภาพที่ 12 ที่ใช้ PID control

ส่วนในภาพที่ 13 และ 14 คือการทำงานร่วมกันของตัวควบคุม Fuzzy ร่วมกับ PD และ Fuzzy ร่วมกับ PID สัญญาณที่ได้จะมีการแกว่งน้อยกว่ามาก และทนทานต่อการสัญญาณรบกวนได้ดี

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่าระบบการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน โดยการเลือกใช้ตัวควบคุม แบบ PD, PID, Fuzzy และใช้ร่วมกัน โดยการปรับตัวควบคุมฟัซซี่-พีไอดี แบบปรับค่าได้ สามารถที่จะใช้ควบคุมเสถียรภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดีกว่าใช้ตัวควบคุมแบบใดแบบหนึ่งเพียงอย่างเดียว

โดยในการทดสอบกับจรวดยานไฟฟ้าต้นแบบ สามารถที่จะปรับค่าตามกฎที่กำหนด แต่อย่างไรก็ดีในการทดสอบยังเพียงการทดสอบแบบยังไม่มีการใส่โหลด (จับจี๋จริง) ซึ่งจะมีละเอียดยมากขึ้น การพัฒนาระบบขั้นต่อไปคือใช้ในขณะจับจี๋ และเพิ่มการควบคุมอื่นเข้าไปอีกด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Zadeh, L.A., 1965, Fuzzy set, Information and control. Vol.8, pp. 338 – 353.
- [2] Puntunan, S. and Parnichkun, M., 2005, Self-tuning precompensation of PID based heading control of a flying robot, Advanced Robotics and its Social Impacts. IEEE Workshop, pp. 226 – 230.
- [3] Sanchez, E.N., Becerra, H.M., and Velez, C.M., 2005, Combining fuzzy and PID control for an unmanned helicopter, Fuzzy Information Processing Society, 2005. NAFIPS 2005. Annual Meeting of the North American, pp. 235 – 240.
- [4] Takaki, T. and Sugeno, M., 1985, Fuzzy Indentification of system and its application to modeling and control, IEEE Transactions on Systems Man and Sybernetics, Vol. 15, pp. 116-132.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ออมรอน ประเทศไทยจำกัด ที่อนุเคราะห์ให้ยืมอุปกรณ์ควบคุมเพื่อใช้ในการทดสอบ

การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 600 โวลต์ สำหรับรถไฟฟ้า 4 ที่นั่ง ที่รับไฟด้านบน

ศักดิ์สิทธิ์ ดีอ่ำ¹ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์¹ ศิริชัย แดงเอม¹

เทอดเกียรติ ลิ้มปิที่ปราการ² สถาพร ทองวิค² จักริ ศรีนนท์ฉัตร³ สมชัย หิรัญวโรดม¹

บทคัดย่อ— แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับรถไฟฟ้า 4 ที่นั่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งที่ใ้ใช้การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าโดยใช้หม้อแปลงและใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังชนิดอื่นๆ เพื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบให้หน้าเชื่อถือได้ ในบทความนี้นำเสนอแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ และการควบคุมแรงดันไฟฟ้าจ่ายให้กับรถไฟฟ้าขนาด 4 ที่นั่งที่ควบคุมการขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 5kW ด้วยอินเวอร์เตอร์ การจ่ายไฟฟ้าสู่ตัวรถไฟฟ้าใช้การจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับในด้านบนขนาด 600 VAC การจ่ายไฟจริงเข้ารถไฟฟ้าได้มีการแสดงในบทความนี้ ผลการทดสอบสามารถนำไปพัฒนาระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้าในอนาคต

คำสำคัญ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ รถไฟฟ้า

1. บทนำ¹

ปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าในอุตสาหกรรมรถไฟฟ้าได้มีการเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะระบบการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งองค์ประกอบหลักๆ ประกอบด้วย เทคโนโลยีคอนเวอร์เตอร์กำลังที่สถานีจ่ายไฟฟ้า, วงจรจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่รางทั้งระบบไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ และโครงสร้างอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็น โครงสร้างเหล็ก, วัสดุ, การวัด และการบำรุงรักษา การจ่ายไฟฟ้าเข้ารางได้มีการพัฒนามากกว่า 100 ปี แล้วตามประวัติศาสตร์รถไฟฟ้าที่ได้บันทึกไว้ [1] และในปัจจุบันเทคโนโลยีการขับเคลื่อนมอเตอร์ไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากอดีตมากนัก แต่การออกแบบและพัฒนาทางด้านพิกัดกำลังไฟฟ้าได้ถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องไม่ว่าจะเป็นการพัฒนา

การจ่ายไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูง, ความสามารถในการควบคุมความเร็วได้อย่างแม่นยำ และความปลอดภัยของผู้โดยสาร เป็นต้น ความสามารถที่กล่าวเหล่านี้ถูกพัฒนาเพื่อการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าสมัยใหม่ให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นต่อไป

บทความนี้กล่าวถึงระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าสู่สายป้อนไฟฟ้าด้านบน ซึ่งประเทศที่พัฒนาได้มีการใช้ข้อมูลจากการสืบค้นข้อมูล จะเห็นได้ว่าแรงดันมีหลายระดับตั้งแต่ 150V จนถึง 3,000V สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสตรง และ 380V จนถึง 50kV สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ พิกัดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายไฟฟ้าอยู่ที่ 3,000V ถูกใช้มากกว่าที่สุดในโลกสำหรับประเทศไทย รถไฟฟ้าทั้ง 2 ระบบใช้การจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่รางที่สาม ที่ 750V ที่แรงดันไฟฟ้าต่ำเพราะเราเลือกใช้เทคโนโลยีของรถไฟฟ้าในเมืองจากบริษัท SIEMENS สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องซึ่งเกิดขึ้นครั้งแรกในทวีปยุโรป โดยการใช้มอเตอร์หนึ่งเฟส และมอเตอร์แบบซิงคอมมิวเตอ์ปัจจุบันสามารถพัฒนาระบบไฟฟ้าให้ใช้ได้กับมอเตอร์หลากหลายชนิด โดยเฉพาะมอเตอร์

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

²ภาควิศววิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ภาควิศววิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เหนียวนำ สำหรับความถี่การทำงานของสายส่งเราไม่สามารถเลือกได้อย่างอิสระ เพราะมันขึ้นอยู่กับระบบไฟฟ้าของแต่ละประเทศ ขนาดความถี่ที่ใช้กันอยู่ปัจจุบันมีตั้งแต่ 50Hz, 60 Hz, 25 Hz และ 16.66 Hz

ซึ่งบทความนี้นำเสนอแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 600 V จ่ายเข้าสู่ตัวรถจากด้านบนเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส โดยจ่ายผ่านหน้าสัมผัสแปร่งถ่านที่มีการยึดหยุ่นได้ เข้าสู่อินเวอร์เตอร์เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับภายในรถไฟฟ้า การควบคุมแรงดันไฟฟ้าและระบบป้องกันถูกมีการออกแบบให้สามารถจ่ายโหลดภายในรถยนต์อย่างเพียงพอและปลอดภัย

ลำดับขั้นการนำเสนอในบทความประกอบด้วย ลำดับแรกจะกล่าวถึงการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ต่อจากนั้นจะนำเสนอการควบคุมแรงดันไฟฟ้า การออกแบบ การจำ และผลการวัดจริง ถูกนำเสนออย่างละเอียด และสุดท้ายจะกล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะเพื่อที่จะพัฒนาต่อไป

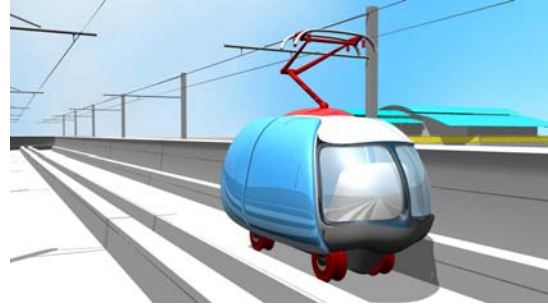
2. วิธีการวิจัย

รถไฟฟ้า

บทความนี้ได้การออกแบบรถไฟฟ้าขนาด 4 ที่นั่ง จะประยุกต์ใช้ทฤษฎีของการออกแบบรถยนต์ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกันเนื่องจากต้นแบบที่จะสร้างขึ้นจะมีล้อเป็นล้อยาง ภาพที่ 1 แสดงภาพรวมของต้นแบบรถไฟฟ้าที่รับไฟฟ้าจากด้านบนที่มีเสาไฟฟ้าเป็นตัวยึดสายส่งกระแสไฟฟ้าเพื่อจ่ายไฟให้กับตัวรถไฟฟ้าที่วิ่งอยู่ด้านล่าง และ ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างของภาพรวมของต้นแบบรถไฟฟ้าที่รับกระแสไฟจากด้านบน โครงของรถไฟฟ้าถูกออกแบบเพื่อสามารถรับแรงกระทำจากภายนอกโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในกรณีที่ต้องการความแข็งแรงทนทาน หรือออกแบบเพื่อสามารถดูดซับแรงกระแทกโดยคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้โดยสารเป็นสิ่งสำคัญ

ในรถยนต์ที่ใช้ระบบรองรับอิสระ ล้อค้ำหน้าและด้านซ้ายจะไม่ต่อกันโดยตรงโดยเพลาระบบรองรับจะติดอยู่กับตัวถังและโครงรถในลักษณะที่ล้อทั้งสอง

สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระไม่ขึ้นต่อกัน ระบบรองรับแบบอิสระไม่นิยมใช้กับรถยนต์นั่งหรือรถบรรทุกขนาดเล็ก ในขณะที่เดียวกันก็มีใช้กับล้อหลังของรถยนต์นั่งเป็นจำนวนมาก ระบบรองรับแบบอิสระนี้ จะมีส่วนประกอบซับซ้อนกว่าระบบรองรับแบบคานแข็ง จะทำให้ความนิ่มนวลในการขับขี่มากกว่า



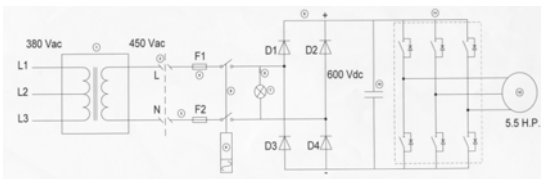
ภาพที่ 1 ต้นแบบรถไฟฟ้าที่รับไฟฟ้าจากด้านบน การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้านบนขนาด 600 V

การออกแบบระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับรถทrolleyบัส ขนาด 4 ที่นั่งจำเป็นต้องมีการออกแบบองค์ประกอบต่างๆ ที่สำคัญ ดังนี้ 1. ระบบแหล่งจ่ายป้อนหลักและระบบป้องกัน (AC Feeding System) 2. ออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อที่จะแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้น (Step-up Transformer) ขนาดพิกัด 220/700 Vac : 6 kVA 3. ด้านเข้าไฟฟ้ากระแสสลับตามที่ระบบต้องการ (Transformer Design) 4. วงจรจ่ายไฟและป้องกันเพื่อป้อนแรงดันให้ระบบขนส่งมวลชนแบบทrolleyบัส 5. ออกแบบสายรับไฟฟ้ากระแสสลับของทrolleyบัส (AC Overhead Wire Design) 6. แหล่งจ่ายไฟฟ้าเสริมกระแสสลับ (Booster Transformer Design) และ 7. ออกแบบระบบความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าและระบบควบคุมทั้งระบบ (Operation and Safety Design)

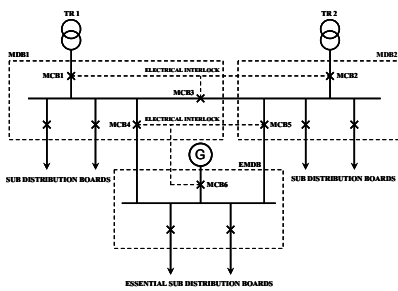
ซึ่งระบบต่างๆ ที่กล่าวมาดังภาพที่ 2 มีความสำคัญเท่าเทียมกัน ดังนั้นการออกแบบจึงต้องพิจารณาอย่างละเอียดและรอบคอบ โครงการวิจัยนี้จะเน้นไปที่การออกแบบวงจรป้องกันการจ่ายไฟฟ้าผ่านสายส่งนำไฟฟ้าเป็นหลัก เนื่องจากต้องมีระบบป้องกันที่ดีเป็นการลดความเสี่ยงจากอันตรายที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า

แรงต่ำ เพื่อเป็นการสร้างความน่าเชื่อถือให้กับระบบ จึงไม่สามารถละเลยได้ ต่อจากนี้เราจะอธิบายองค์ประกอบต่างๆ ของแต่ละส่วนให้ละเอียดเพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น

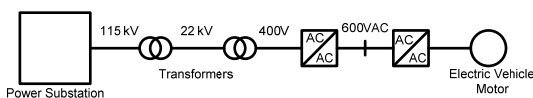
โดยทั่วไปการวางระบบไฟฟ้ากำลังสำหรับรถไฟฟ้าจำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายสองสายป้อนเพื่อป้องกันไฟฟ้าขัดข้องกันจากสายป้อนหลัก และควรมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองในกรณีไฟฟ้าขัดข้องทั้งสองสายป้อนเพื่อนำรถกลับสู่สถานี ภาพที่ 3 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบป้อนหลักของระบบรถไฟฟ้า BTS ในกรุงเทพมหานครส่วนต่ออ่อนนุช-แบร์ริง โดยระบบจะรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวงขนาด 24 kV จ่ายให้กับหม้อแปลงแบบแห้ง แรงดันด้านเข้า 24 kV และด้านออก 400/230 kV 3 เฟส 4 สาย ขนาดของหม้อแปลงมีค่าเท่ากับ 630 kVA โดยสามารถจ่ายโหลดเกินได้ 25% จ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ห้องควบคุม



ภาพที่ 2 ระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 600 V



ภาพที่ 3 ระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าของ BTS



ภาพที่ 4 ไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า

การกำหนดพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินจะต้องทราบลักษณะสมบัติของเครื่องป้องกันกระแสเกินว่าปลดวงจรตามขนาดที่ระบุหรือไม่ ปกติเครื่องป้องกันกระแสเกินเมื่อนำมาติดตั้งใช้งานอาจมีตัวคูณลดเนื่องจากสภาพการใช้งานต่างจากสภาพที่ทำการทดสอบ ไม่ว่าจะเป็นอย่างนั้นโดยรอบและการระบายอากาศ ค่านี้แตกต่างกันตามมาตรฐานการผลิต ดังนั้นในการกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินจึงควรเผื่อขนาดไว้บ้างประมาณ 25% เมื่อคำนวณแล้วได้ขนาดไม่ตรงกับขนาดมาตรฐานที่มีขายในท้องตลาดให้เลือกใช้ขนาดใกล้เคียงที่ตรงกับขนาดตามท้องตลาดเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{พิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน} = 1.25 \times \text{โหลด (I)}$$

สายป้อนคือตัวนำของวงจรไฟฟ้าระหว่างตู้ MDB กับตู้เมนสวิตช์ของระบบรถไฟฟ้าที่มีเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรไฟฟ้าทั้งระบบ การคำนวณหาขนาดสายป้อนยอมให้ใช้ค่าดีมานด์แฟกเตอร์ได้ค่าดีมานด์แฟกเตอร์ที่จะกล่าวต่อไปนี้อาจไม่ใช่ก็ได้ถ้าผู้ออกแบบพิจารณาแล้วว่าการใช้งานจริงมีโอกาสใช้โหลดมากกว่าค่าดีมานด์แฟกเตอร์ที่กำหนดไว้ สายไฟฟ้าของสายป้อนต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าพิกัดเครื่องป้องกันกระแสแต่ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 4 ตร.มม. ในวงจร 3 เฟส 4 สาย กระแสที่ไหลในสายนิวทรัลปกติจะไม่เท่ากับสายเฟส การกำหนดขนาดสายนิวทรัลจึงต่างไปจากสายเฟส โดยกำหนดจากปริมาณกระแสที่คาดจะไหลในสายนิวทรัลเนื่องจากโหลดไม่สมดุล โหลดที่ทำให้มีกระแสไหลในสายนิวทรัลคือโหลด 1 เฟสที่ต่ออยู่ในวงจร 3 เฟส เลือกใช้เฟสที่มากที่สุด

หม้อแปลงไฟฟ้าต้องกำหนดให้มีขนาดเพียงพอกที่จะจ่ายโหลดได้โดยไม่เกิดโหลดเกินสำหรับโหลดทั่วไปและจากข้อแนะนำของ IEC ในการกำหนดขนาดหม้อแปลงจึงควรกำหนดให้จ่ายที่ประมาณ 80% แต่

ไม่ใช่ข้อกำหนดของมาตรฐาน โหลดที่ใช้ในการกำหนดขนาดหม้อแปลงควรเป็นโหลดที่คำนวณโดยการใช้ค่าดีมานด์แฟกเตอร์แล้วทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยที่โหลดที่คำนวณได้ไม่ตรงกับขนาดหม้อแปลงที่มีขายตามท้องตลาด การเลือกขนาดให้ตรงกับขนาดตามท้องตลาดอาจเลือกขนาดใกล้เคียงที่สูงขึ้นหรือต่ำลงก็ได้ ซึ่งควรพิจารณาให้เหมาะสม ปกติจะเลือกค่าตัวเลขที่ใกล้กว่า การเลือกขนาดให้ตรงขนาดมาตรฐานควรดูรายละเอียดของโหลด และลักษณะการทำงานของเครื่องจักรประกอบด้วยเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด การคำนวณหาขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าจึงควรคิดจากกระแสโหลดซึ่งจะได้ค่าถูกต้องกว่าคิดจากแอมป์ของโหลด จำได้สมการหาขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า ดังนี้

$$kVA_{transf} = \frac{1.732 \times V \times I_{load}}{1,000} \quad (2)$$

ถ้าออกแบบให้หม้อแปลงจ่ายโหลด 80% จะได้

$$kVA_{transf} = \frac{1.25 \times 1.732 \times V \times I_{load}}{1,000} \quad (3)$$

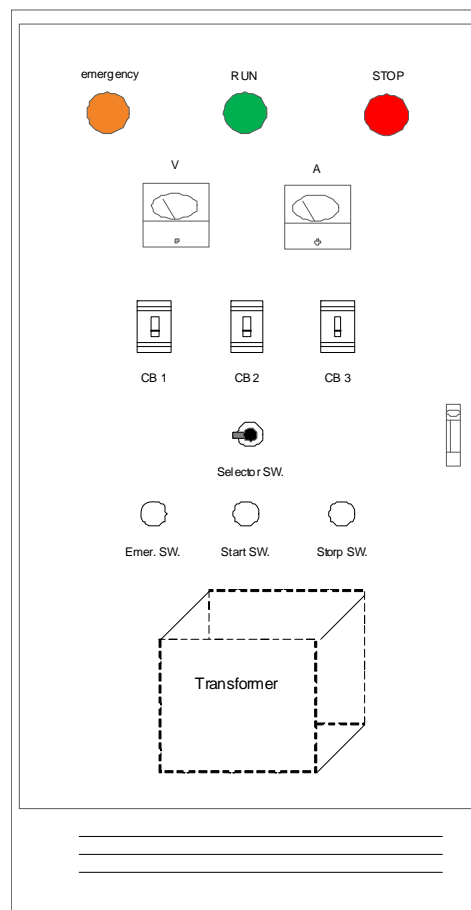
กำหนดให้ kVA_{transf} = ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า เป็น kVA, V = แรงดันไฟฟ้าด้านออกของหม้อแปลงเมื่อจ่ายโหลด เป็น V, และ I_{load} = กระแสโหลดที่คำนวณได้เมื่อใช้ดีมานด์แฟกเตอร์แล้ว เป็น A

3. ผลและการอภิปรายผล

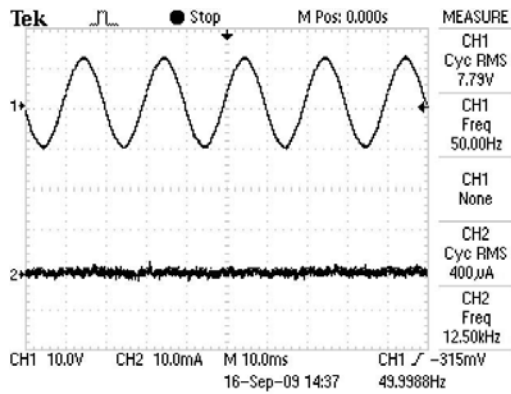
ระบบรถไฟฟ้าได้ออกแบบและติดตั้งจริง ณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บริเวณลานจอดรถ โดยใช้มาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในการติดตั้ง

ตารางที่ 1 รายการอุปกรณ์สำหรับตู้

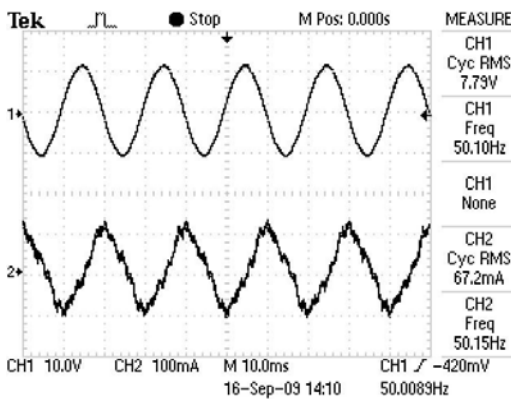
รายการ	จำนวน
- MCB 2P 16AT/50AF	3
- Control Fuse	5
- Magnetic Contactor LC1-D09	3
- Overload relay	3
- Pilot light	4
- Push button switch	2
- Voltmeter	1
- Voltage Transformer	1
- Emergency Stop	1
- Amp. Meter	1
- Current Transformer 30/5 A	1
- Cable wiring and accessories	1



ภาพที่ 6 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้า



ภาพที่ 7 แรงดันและกระแสขณะไม่มีโหลด



ภาพที่ 8 แสดงผู้ควบคุมที่ได้มีการออกแบบโดยในขณะนี้ได้มีการติดตั้งจริง และภาพที่ 7 และ 8 แสดงภาพคลื่นแรงดันและกระแสที่สายต่อด้านบน ขนาด 600 V ขณะไม่มีโหลดและมีโหลดตามลำดับ

4. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้ได้ศึกษาและออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า สำหรับรถไฟฟ้าที่นำเอาไฟฟ้ากระแสไฟสลับ 600V จ่ายไปที่สายด้านบนรถไฟฟ้า และควบคุมการจ่ายไฟ ด้านบนด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าและใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังชนิดอื่นๆ เพื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบให้นำเชื่อถือได้ การควบคุมแรงดันไฟฟ้าจ่ายให้กับรถไฟฟ้าขนาด 4 ที่นั่งที่ควบคุมการขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 5Kw ด้วยอินเวอร์เตอร์

การจ่ายไฟฟ้าสู่ตัวรถไฟฟ้าใช้การจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับในด้านบนขนาด 600 VAC การจ่ายไฟจริงเข้ารถไฟฟ้าได้มีการแสดงในบทความนี้ ผลการทดสอบสามารถนำไปพัฒนาระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้าในอนาคต

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] D.G. Holmes and B.P. McGrath, "Opportunities for harmonic cancellation with carrier-based PWM for a two-level and multilevel cascaded inverters," *IEEE Transaction Industry Applications*, vol. 37, no. 2, March/April 2001, pp.574-582.
- [2] M. Saedifard and A. Bakhshai, "Low Switching Frequency Space Vector Modulators for High Power Multimodule Converters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 20, no. 6, Nov. 2005, pp.1310-1318.
- [3] J. Ghaisari and A. Bakhshai, "Exact harmonics elimination in PWM multi-module converters," in *APEC 2005, Twentieth Annual IEEE*, vol. 3, March 2005, pp. 1845-1850.
- [4] B. Mwinyiwiwa and Z. Wolanski, "Microprocessor-Implemented SPWM for Multiconverters with Phase-Shifted Triangle Carriers," *IEEE Transactions Industry Applications*, vol. 34, no.3, May/June 1998, pp487-494.
- [5] Third Rail Configuration, Subway Systems, (<http://science.howstuff.com/subway.htm>)
- [6] Jia,S.G,et.at.,Sliding Wear Behavior of Copper Alloy Contact Wire Against Copper Based Strip for High-Speed Electrified Railways, *Wear*, No 262, 2007, pp. 72-77.
- [7] Annual Report Technical Research Institute,2007.
- [8] Zhao,h.,et,al., Friction and Wear in High Speed Sliding With and Without Electrical Current, *Wear*, Vol. 249, no5-6, 2001, pp. 409-414.

- [9] Philip T. Krein, Elements of Power Electronics, 1st edition, 1998.
- [10] J. Kassakian, M. Schlecht and G.Vergese, Principles of Power Electronics, 1st edition, 1991.

กิติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะสำเร็จไม่ได้ถ้าขาดทุนทรัพย์และกำลัง ดังนั้นผู้แต่งจึงขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ใช้ทุนอุดหนุนงานวิจัยงบประมาณประจำปี 2552 และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้สถานที่ทำงานและสถานที่ทำวิจัยตลอดมาหลายปี

การศึกษาอิทธิพลของคลื่นความถี่วิทยุย่าน 2.4 GHz ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ ต้นกล้าถั่วเขียว

ปิยะ ประสงค์จันทร์^{1*} ไชยยะ ธนพัฒน์ศิริ¹ และ เสนอ สะอาด²

บทคัดย่อ— บทความวิจัยนี้นำเสนอผลกระทบที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุ 2.4 GHz ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าถั่วเขียว โดยการป้องกันคลื่นความถี่ 2.4 GHz ให้กับต้นกล้าถั่วเขียวในสถานะที่แตกต่างกันแบ่งได้เป็น 3 กรณี ดังนี้ (1) ไม่แพร่กระจายคลื่นให้กับต้นกล้าถั่วเขียว (2) แพร่กระจายคลื่นให้กับต้นกล้าถั่วเขียววันเว้นวัน (3) แพร่กระจายคลื่นให้กับต้นกล้าถั่วเขียวตลอดเวลา ภายใต้การควบคุมสภาพแวดล้อมเดียวกัน ผลที่ได้จากการทดลองถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าความเชื่อมั่นทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SAS ได้ค่าความเชื่อมั่น 12.54 จากการศึกษาพบว่าการแพร่กระจายคลื่นให้กับต้นกล้าถั่วเขียวแบบวันเว้นวันมีผลทำให้รากของถั่วเขียวเจริญเติบโตมากกว่าปกติในระยะสองถึงสามวันแรก

คำสำคัญ คลื่นความถี่วิทยุ การเจริญเติบโตของต้นกล้าถั่วเขียว

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีด้านระบบสื่อสารโทรคมนาคม เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่นับวันมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีการแพร่กระจายคลื่นความถี่ในปริมาณความถี่เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้การแพร่กระจายคลื่นสามารถทำได้ที่ย่านความถี่สูงมากขึ้น จึงมีกังวลถึงปริมาณความเข้มของคลื่นความถี่ในชั้นบรรยากาศ ที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต คลื่นความถี่ในย่านความถี่ 10 kHz จนถึง 300 GHz ถูกนำมาใช้ในการสื่อสารโทรคมนาคม

โดยเฉพาะอย่างยิ่งคลื่นความถี่ในย่าน 300 MHz-3 GHz ได้ถูกนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวางในระบบโทรศัพท์มือถือและการสื่อสารอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย [1] [2]

ผลการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ในโลกนับจากช่วงทศวรรษ 1980 พบว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีผลต่อต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยพบว่าคลื่นความถี่ ตั้งแต่ 0 Hz ถึง 300 GHz สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ได้ หากรับคลื่นแรงเกินควรหรือเป็นเวลานานเกินไป [3] ต่อมาจึงได้มีองค์กรที่ทำหน้าที่ กำหนดหลักเกณฑ์หรือขีดจำกัดในการแพร่กระจายคลื่นในย่านความถี่ต่างๆ ให้ชื่อว่า The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection หรือ ICNIRP ในประเทศไทยได้ประกาศหลักเกณฑ์ที่ใช้ตามประกาศของสำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) เรื่อง “หลักเกณฑ์และมาตรการกำกับดูแลความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์” ตั้งแต่ 4 พฤษภาคม 2550 [4] นักวิจัยในสถาบันวิทยาศาสตร์ไวส์แมนน์ (Weizmann Institute of Science) [5] ของอิสราเอล ได้ศึกษาพบว่าการคุยโทรศัพท์มือถือต่อเนื่องนานเพียง 10 นาที ก็เพียงพอต่อการก่อตัวของเซลล์

¹สาขาวิชาไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

1 หมู่ 5 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อียง อ.เมือง จ.สงขลา

โทรศัพท์: +66(74)-317-100 ต่อ 1537 โทรสาร: +66(74)-322-531

E-mail: piya.p@rmutsv.ac.th

²หลักสูตรวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

1 หมู่ 5 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อียง อ.เมือง จ.สงขลา

โทรศัพท์: +66(74)-317-100 ต่อ 1537 โทรสาร: +66(74)-322-531

E-mail: saner.s@rmutsv.ac.th

เนื่องอกในสมอง โดยแสดงให้เห็นว่าคลื่นความถี่ในโทรศัพท์มือถือ ล้วนมีผลการรบกวนของกระบวนการแบ่งเซลล์สมอง ไม่ว่าจะเป็นคลื่นความถี่สูงหรือต่ำ กระบวนการแบ่งเซลล์สมองที่ผิดปกตินี้เองที่จะนำไปสู่การเกิดก้อนเนื้อร้ายในอนาคต Dr. khurana [6] ได้ศึกษาพบว่าผู้ที่ใช้โทรศัพท์มือถือในระยะยาวจะมีโอกาสเกิดเนื้องอกในสมองมากขึ้น 2 – 4 เท่า ซึ่งเกิดจากเนื้อเยื่อในสมองได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากโทรศัพท์มือถือสนามแม่เหล็กนี้จะทำให้เกิดความร้อนหรือรบกวนการส่งสัญญาณของเซลล์ประสาทในสมอง นอกจากนี้ยังผลงานวิจัยของสุเมธ วงศ์พานิช [7] C. Childhood [8] Dr. Rony Seger [9] นายแพทย์ศักดิ์กะณ ตะกั่วทุ่ง [10] [11] ได้ศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเซลล์ในสมองหรือเนื้อเยื่อต่างๆ ในสัตว์อย่างใดก็ตามงานวิจัยเหล่านี้ยังไม่ได้ศึกษาผลกระทบที่กับการที่เกี่ยวกับพืชและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ

จากปัญหาดังกล่าว งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ศึกษาผลกระทบของการใช้คลื่นความถี่ 2.4 GHz ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าถั่วเขียว โดยทดลองปลูกต้นกล้าถั่วเขียว ภายใต้การกำหนดเงื่อนไขแบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ (1) การปลูกต้นกล้าถั่วเขียวในพื้นที่ที่ไม่มีมีการแพร่กระจายคลื่นความถี่ (2) การปลูกต้นกล้าถั่วเขียวในพื้นที่ที่มีการแพร่กระจายคลื่นความถี่ 2.4 GHz แบบวันเว้นวัน (3) การปลูกต้นกล้าถั่วเขียวในพื้นที่ที่มีการแพร่กระจายคลื่นความถี่ 2.4 GHz ตลอดระยะเวลาการทดลอง ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของข้อมูล อันจะส่งผลให้งานวิจัยดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือและเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาถึงผลกระทบที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในโลก ทั้งพืชและสัตว์และใช้เป็นแนวทางในการศึกษาถึงผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ต่อไปในอนาคต

2. วิธีการวิจัย

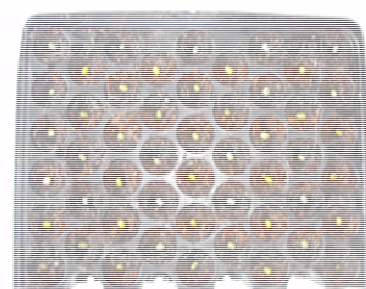
ในการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับการเจริญเติบโตของต้นกล้าถั่วเขียวเนื่องจากคลื่นความถี่วิทยุ 2.4 GHz ได้ดำเนินการทดลองแบ่งออกได้เป็น

4 ขั้นตอน คือ (1) การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (2) การเตรียมอุปกรณ์และการกำหนดสภาพแวดล้อมในการทดลอง (3) การทดลองและการเก็บข้อมูล และ (4) การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

การแพร่กระจายคลื่นความถี่ให้กับต้นกล้าถั่วเขียวทำได้โดยการป้อนความถี่ขนาด 2.4 GHz ที่ได้จาก Wireless Access point เข้ากับสายอากาศแบบไบควอด (Biquad Antenna) ที่ได้ออกแบบจากโลหะทองแดงและแผ่นอลูมิเนียม โดยสายอากาศแบบไบควอดเป็นสายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง มีทิศทางในการแพร่กระจายคลื่นอย่างชัดเจน โครงสร้างของสายอากาศมีลักษณะง่ายไม่ซับซ้อน ใช้วัสดุน้อย นอกจากนี้วัสดุที่นำมาใช้ยังสามารถสร้างจากวัสดุที่หาง่ายตามท้องตลาดทั่วไปและราคาถูกการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเมื่อเปลี่ยนระยะห่างระหว่างสายอากาศและตัวสะท้อนแบบมุมเป็นค่าต่างๆ ได้ ดังแสดงในภาพที่ 1



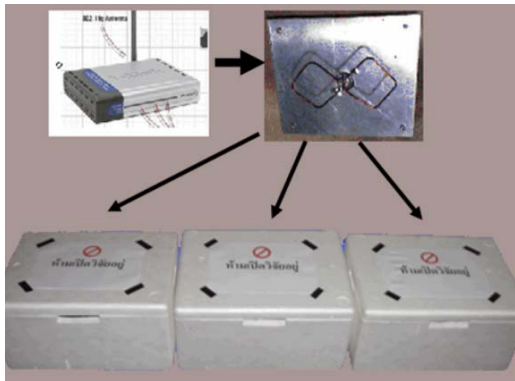
ภาพที่ 1 สายอากาศไบควอดที่ใช้แพร่กระจายคลื่น



ภาพที่ 2 การเพาะต้นกล้าถั่วเขียวลงในถาดหลุมก่อนบรรจุลงกล่อง

ในการเตรียมต้นกล้าถั่วเขียวเพื่อใช้ในการทดลอง ได้ดำเนินการคัดเลือกเมล็ดถั่วเขียวเฉพาะที่สมบูรณ์

และใช้กระบวนการเพาะถั้วเขียวตาม “วิธีการปลูกถั้วถอก” [12] ใส่ในถาดหลุม จำนวน 50 หลุมต่อถาด จำนวน 9 ถาด แล้วนำไปแยกการทดลองโดยทดลองพร้อมกัน 3 กรณี ๆ ละ 3 ถาด ดังแสดงในภาพที่ 2 และภาพที่ 3 ตามลำดับ ภายใต้การควบคุมสภาวะแวดล้อมเดียวกัน โดยทำการทดลองในระยะเวลา 4 วัน



ภาพที่ 3 การทดลองการเพาะถั้วถอกถั้วเขียวในกรณีที่มีการแพร่กระจายคลื่น

2.1 การทดลองการเจริญเติบโตของถั้วถอกถั้วเขียว

2.1.1 ลักษณะการทดลอง

ในการทดลองเพาะถั้วถอกถั้วเขียว สามารถแบ่งการทดลองได้เป็น 3 กรณี แต่ละกรณีทำการทดลองจำนวน 3 ชุด ดังนี้ (1) การเพาะถั้วถอกถั้วเขียวโดยปล่อยให้มีการเจริญเติบโตตามธรรมชาติโดยไม่มีการแพร่กระจายคลื่น (2) การเพาะถั้วถอกถั้วเขียวโดยการแพร่กระจายคลื่นความถี่แบบวันเว้นวัน และ (3) การเพาะถั้วถอกถั้วเขียวโดยการแพร่กระจายคลื่นความถี่ตลอดเวลาการทดลอง

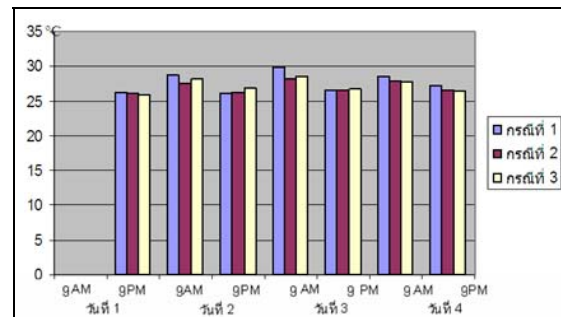
2.1.2 การควบคุมในการทดลอง

การทดลองการแพร่กระจายคลื่นผ่านสายอากาศแบบไบควอร์ดให้กับถั้วถอกถั้วเขียวแต่ละกรณี ได้ทำการทดลองต่างพื้นที่ เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนของคลื่นความถี่ที่อาจจะมากระทบต่อการทดลอง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องควบคุมตัวแปรต่างๆ เหล่านี้ให้มีค่าที่เท่ากันในแต่ละกรณี ตัวแปรที่สามารถควบคุมได้มีดังนี้

(1) การควบคุมอุณหภูมิ ในการควบคุมอุณหภูมิ จะทำการเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิพร้อม ๆ กับการเก็บค่าของถั้วเขียว โดยจะมีการเก็บเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบความแตกต่างในแต่ละกรณี ดังแสดงในภาพที่ 4

(2) การควบคุมการให้น้ำ จะมีการให้น้ำในปริมาณที่เท่ากันและในช่วงระยะเวลาเดียวกัน โดยให้ทุกๆ 4 ชั่วโมงวันละ 5 ครั้ง ตลอดระยะเวลาการทดลอง

การทดลองมีระยะเวลา 4 วัน มีการเก็บข้อมูลขนาดของส่วนต่างๆ ทั้งขนาดความยาวของราก ขนาดความยาวของต้นกล้า และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต้นกล้า โดยมีการเก็บข้อมูลทุกวันๆ ละ 2 ครั้ง คือ เวลา 09.00 น. และเวลา 21.00 น. ลักษณะการเก็บข้อมูลจะมีการเก็บแบบสุ่มสมบูรณ์นำเมล็ดถั้วเขียวในแต่ละถาด โดยนำเมล็ดจำนวน 5 เมล็ด ต่อหนึ่งถาด จำนวน 9 ถาดใน 3 กรณี มาทำการบันทึกข้อมูลขนาดของส่วนต่างๆ ของถั้วถอกถั้วเขียวเพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่าง



ภาพที่ 4 แผนภูมิความแตกต่างของอุณหภูมิในการทดลองแต่ละกรณี

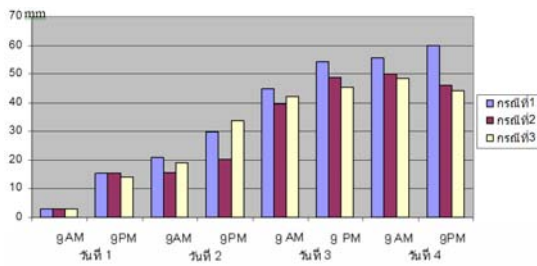
2.2 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลจะมีการเก็บแบบสุ่ม โดยการนำเมล็ดถั้วเขียวในแต่ละชุด (จำนวน 3 ชุด ในแต่ละกรณี) โดยนำถั้วถอกถั้วเขียว จำนวน 5 ต้นต่อหนึ่งถาด จำนวน 9 ถาดใน 3 กรณี มาทำการบันทึกข้อมูลขนาดของส่วนต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง จนครบระยะเวลาการทดลอง โดยมีการบันทึกข้อมูลดังนี้

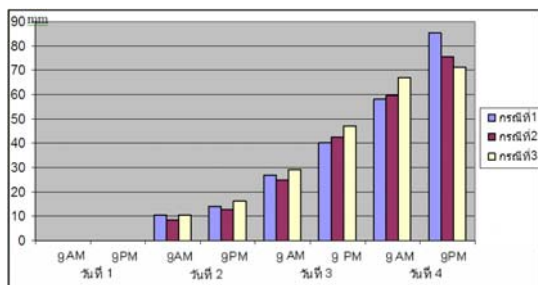
- (1) การวัดขนาดความยาวของรากแก้วเขียว (2) การวัดขนาดความยาวของต้นกล้าแก้วเขียวและ (3) การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต้นกล้าแก้วเขียว ตามลำดับ

3. ผลและการอภิปรายผล

ในการดำเนินงานศึกษาผลกระทบของการเจริญเติบโตของแก้วเขียวที่เกิดจากการแพร่กระจายคลื่นความถี่ 2.4 GHz โดยมีการทดลองปลูกแก้วเขียวในสถานะที่แตกต่างกัน 3 กรณี คือ (1) ต้นกล้าแก้วเขียวเจริญเติบโตตามธรรมชาติโดยไม่มีการแพร่กระจายคลื่น (2) ต้นกล้าแก้วเขียวได้รับการแพร่กระจายคลื่นความถี่แบบวันเว้นวัน และ (3) ต้นกล้าแก้วเขียวได้รับการแพร่กระจายคลื่นความถี่ตลอดเวลา ดังแสดงในภาพที่ 5 ภาพที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบความยาวรากต้นกล้าแก้วเขียว และ ภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกล้าแก้วเขียว ในการทดลองระยะเวลา 4 วัน ตามลำดับ



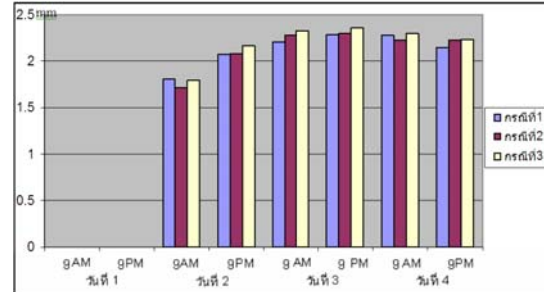
ภาพที่ 5 แผนภูมิเปรียบเทียบความยาวต้นกล้าแก้วเขียว ในระยะเวลา 4 วัน



ภาพที่ 6 แผนภูมิเปรียบเทียบความยาวรากต้นกล้าแก้วเขียว ในระยะเวลา 4 วัน

จากผลการทดลอง นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างของการเจริญเติบโตของแก้วเขียวทั้ง

สามกรณี โดยนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นทางสถิติได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 12.54 (CV คือ ค่าความน่าเชื่อถือทางสถิติ ซึ่งไม่เกิน 20 ถือว่ามีความน่าเชื่อถือ)



ภาพที่ 7 แผนภูมิเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต้นกล้าแก้วเขียวในเวลา 4 วัน

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเพื่อหาผลกระทบที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุ 2.4 GHz ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าแก้วเขียว โดยการป้อนคลื่นความถี่ 2.4 GHz ให้กับต้นกล้าแก้วเขียวในสถานะที่แตกต่างกัน ภายใต้การควบคุมสภาพแวดล้อมเดียวกัน 3 กรณี คือ (1) ไม่แพร่กระจายคลื่นให้กับต้นกล้าแก้วเขียว (2) แพร่กระจายคลื่นให้กับต้นกล้าแก้วเขียววันเว้นวัน (3) แพร่กระจายคลื่นให้กับต้นกล้าแก้วเขียวตลอดเวลา จากข้อมูลที่ได้ (ดังแสดงในภาพที่ 5 ถึงภาพที่ 7) จะเห็นว่าข้อมูลของแต่ละกรณีจะมีความแตกต่าง ซึ่งการเก็บข้อมูลดังกล่าวยังไม่สามารถสรุปได้ว่า การทดลองใน 3 กรณีมีความแตกต่างกัน จำเป็นต้องมีการนำข้อมูลส่วนนี้มาวิเคราะห์ทางสถิติ (ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS) พบว่า

1. การแพร่กระจายคลื่นให้กับต้นกล้าแก้วเขียววันเว้นวัน (กรณีที่ 2) มีผลกระทบต่อเจริญเติบโตของรากต้นกล้าแก้วเขียวระยะ 2-3 วันแรก และในระยะต่อมาการแพร่คลื่นไม่มีผลกระทบต่อเจริญเติบโตของรากต้นกล้าแก้วเขียว
2. การแพร่คลื่นในทุกกรณี ไม่มีผลกระทบต่อเจริญเติบโตทางด้านความยาวต้นกล้าแก้วเขียว

3. การแพร่คลื่นทุกกรณี ไม่มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางแก้ว เส้นใย

ปัญหาและแนวทางการพัฒนา

ในการทดลองครั้งนี้ยังไม่สามารถนำวัสดุที่มีคุณสมบัติกันคลื่นความถี่ 2.4 GHz ได้ จึงจำเป็นต้องมีการทดลองต่างพื้นที่ ทำให้มีปัญหาด้านการควบคุมอุณหภูมิที่มีความแตกต่างกัน และการทดลองได้ทำการทดลองเฉพาะเพียงพีชชนิดเดียวและใช้ระยะเวลาในการทดลองเพียงแค่ 4 วัน ดังนั้นในการทดลองหากสามารถหาวัสดุที่มีคุณสมบัติป้องกันคลื่นได้ก็จะสามารถทำให้การทดลองภายใต้ภาวะอุณหภูมิเดียวกันมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มชนิดของพีชและระยะเวลาที่นำมาใช้ในการทดลองจะส่งผลให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Nakamura, M. Takagi, H.; Einaga, K. Nishikawa, T. Moriyama, N. and Wasaki, K. 2008. Development of a 300 m 2.4 GHz frequency band leaky coaxial cable for wireless network access. In Proceedings of 2008 IEEE Radio and Wireless Symposium. Page 687 - 690.
- [2] Raychaudhuri, D. French, L.J. Siracusa, R.J. Biswas, S.K. Ruixi Yuan. Narasimhan, P. and Johnston, C.A. 1997. WATMnet: a prototype wireless ATM system for multimedia personal communication. IEEE Journal on Communications Volume: 15. Page 83 - 95.
- [3] สำนักงานสาธารณสุขด้านรังสี ประเทศสหรัฐอเมริกา. 2496. การใช้งานคลื่นวิทยุ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.eduzones.com/knowledge-2-14-27794.html> (25 กันยายน 2552)
- [4] สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. 2550. หลักเกณฑ์และมาตรการกำกับดูแลความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม. พระราชกฤษฎีกา

ประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. 4 พฤษภาคม 2550. Page 20 - 31.

- [5] สถาบันวิทยาศาสตร์วอล์กแมนน์. 2540. การคุยโทรศัพท์มือถืออาจทำให้สมองผิดปกติ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://bostaf.exteen.com/20050711/entry> (28 เมษายน 2552)
- [6] Vini, G. K. 2545. ภัยคลื่นโทรศัพท์มือถือร้ายไม่แพ้บุหรี่. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.dhammathai.org/wb_eng/view.php?No=232 (30 เมษายน 2552)
- [7] สุเมธ วงศ์พานิช. 2550. อันตรายจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.digitimes.com/telecom/a20060316A9052.html> (3 มิถุนายน 2552)
- [8] Childhood Cancer. 2004. ผลกระทบต่อสุขภาพจากเสาสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.fengshuitown.com/fengshuiforum/index.php?action=printpage;topic=1010.0> (5 มิถุนายน 2552)
- [9] ดร.ซีเกอร์ รอนนี่. 2004. คุยมือถือ 10 นาที มีโอกาสสมองผิดปกติ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.bloggang.com/viewblog.php?id=sarashare&date=06-05-2008&group=2&gblog=64> (10 มิถุนายน 2552)
- [10] สักกะ ณ ตะกั่วทุ่ง. 2550. เตือนผู้ชายอันตรายจากมือถือ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://guru.sanook.com/picfront/main/09012009054244.jpg> (12 กันยายน 2552)
- [11] สักกะ ณ ตะกั่วทุ่ง. 2550. ผลกระทบของไมโครเวฟต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://ieeexplore.Restrictionsapply>. (3 ตุลาคม 2552)

การศึกษาและพัฒนางจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อต่อยอดผลิตภัณฑ์กะลาโอท็อป (OTOP) และเพิ่มศักยภาพวิสาหกิจชุมชน กรณีศึกษากลุ่มหัตถกรรมกะลาลุงปลื้ม

ศ.ชัยบุรี อ.เมือง จ.พัทลุง

ไชยยะ ธนพัฒนศิริ^{1*} ปิยะ ประสงค์จันทร์¹ และ เสนอ สะอาด²

บทคัดย่อ— การศึกษาและพัฒนางจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อต่อยอดผลิตภัณฑ์กะลาโอท็อป และเพิ่มศักยภาพวิสาหกิจชุมชน กรณีศึกษากลุ่มหัตถกรรมกะลาลุงปลื้ม ศ.ชัยบุรี อ.เมือง จ.พัทลุง มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้เข้าร่วมโครงการให้ดีขึ้นจากการมีอาชีพเป็นของตนเอง ในการจัดทำได้มีการสุ่มแบบสอบถามความต้องการของชุมชนจำนวน 50 ตัวอย่างจากนั้นนำมาวิจัยประเมินผลออกมาเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการทั้งหมด 10 รูปแบบ คือ วงจรสวิตช์เปิด-ปิดไร้สัมผัส วงจรหรี่ไฟ วงจรสวิตช์เปิด-ปิดด้วยแสง วงจรสวิตช์เปิด-ปิดด้วยเสียง วงจรเครื่องรับวิทยุเอฟเอ็ม วงจรเสียงข้าง เสียงวีโออิเล็กทรอนิกส์ สวิตช์ไฟเอซี วงจรปลุกด้วยแสงตะวัน และวงจรลำโพง มีการทดสอบด้านประสิทธิภาพของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้ โดยชุดวงจรทดลองที่จัดทำขึ้นมาซึ่งได้ผลการทดลองเป็นที่พึงพอใจเหมาะสมในการนำไปใช้ต่อยอดกับผลิตภัณฑ์กะลาโอท็อป จากการดำเนินงานได้มีการประเมินผลความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้น โดยการสอบถามกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 50 ตัวอย่าง ผลปรากฏว่า มีความสวยงามมากที่สุดร้อยละ 94 มีคงทนแข็งแรงมากที่สุดร้อยละ 94 ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดร้อยละ 94 สะดวกในการนำไปใช้งานมากที่สุดร้อยละ 84 ควรมีการนำไปถ่ายทอดให้กับชุมชนมากที่สุดร้อยละ 90 ควรจัดส่งเสริมให้มีการจำหน่ายในเชิงพาณิชย์มากที่สุดร้อยละ 94 และสนใจอยากเป็นเจ้าของมากที่สุดร้อยละ 96

คำสำคัญ ผลิตภัณฑ์กะลา OTOP วิสาหกิจชุมชน วงจรอิเล็กทรอนิกส์

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นด้านเทคโนโลยี วิถีชีวิตและวัฒนธรรม ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนมีผลโดยตรงต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์

¹สาขาวิชาไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

1 หมู่ 5 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อทราย อ.เมือง จ.สงขลา

โทรศัพท์: +66(74)-317-100 ต่อ 1537 โทรสาร: +66(74)-322-531

E-mail: piya.p@rmutsv.ac.th

²หลักสูตรวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

1 หมู่ 5 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อทราย อ.เมือง จ.สงขลา

โทรศัพท์: +66(74)-317-162 โทรสาร: +66(74)-317-163

E-mail: saner.s@rmutsv.ac.th

ในสังคมยุคปัจจุบัน ในทางกลับกัน การพัฒนาไม่ได้ครอบคลุมไปทั่วทุกพื้นที่ของประเทศเพราะด้วยสภาพภูมิประเทศและเศรษฐกิจที่เกิดการขยายตัวเฉพาะในเขตเมืองใหญ่ ส่งผลให้รัฐบาลจึงได้จัดให้มีโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนกระบวนการพัฒนาท้องถิ่น สร้างชุมชนให้เข้มแข็งสามารถพึ่งตนเองได้ ประชาชนมีส่วนร่วมในการสร้างรายได้ด้วยการนำทรัพยากรภูมิปัญญาท้องถิ่น มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์และบริการที่มีคุณภาพ มีจุดเด่นและมูลค่าเพิ่มเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ

ผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทสินค้าหัตถกรรมจากกะลามะพร้าวซึ่งได้รับการส่งเสริมและได้ขึ้นทะเบียนรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์สินค้ากะลาโอท็อปในพื้นที่

ภาคใต้ เช่น กลุ่มอาชีพหัตถกรรมกะลาบ้านคอกวัว ตำบลชัยบุรี จังหวัดพัทลุง กลุ่มผลิตภัณฑ์กะลามะพร้าวบ้านควนขนุน ตำบลควนขนุน จังหวัดพัทลุง กลุ่มผลิตภัณฑ์กะลามะพร้าว ตำบลลาดชะโด จังหวัดสงขลา และกลุ่มผลิตภัณฑ์กะลามะพร้าว ตำบลปากน้ำ จังหวัดสตูล เป็นต้น ได้รับความนิยมนิยมและสร้างรายได้ให้กับชุมชนได้ดี อย่างไรก็ตาม จากการสังเกตการดำเนินงานของกลุ่มสินค้ากะลาโอท็อป พบว่า ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังมีความหลากหลายน้อยและประโยชน์ใช้สอยยังจำกัดอยู่เพียงการให้เป็นอุปกรณ์ประดับตกแต่งเพื่อความสวยงามเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นเพื่อให้สินค้ากะลาโอท็อปมีความหลากหลายจึงได้มีการพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้กระบวนการสำรวจโดยใช้แบบสอบถามมาวิจัยเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อนำมาใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์กะลามืออยู่ เช่น วงจรหรี่ไฟ วงจรสร้างสัญญาณเตือน วงจรเสียงสัตว์ วงจรเครื่องรับวิทยุ ฯลฯ ทำให้สามารถนำมาต่อยอดให้เป็นผลิตภัณฑ์กะลาโอท็อปแบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ประโยชน์ประดับตกแต่งและสามารถใช้งานได้จริง เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้ากะลาโอท็อป จากความหลากหลายด้านรูปแบบและประโยชน์ใช้สอย ทำให้เป็นการเพิ่มช่องทางการตลาดของผลิตภัณฑ์กะลาได้กว้างขึ้น เช่น กลุ่มธุรกิจสินค้าแฮนด์เมด โรงแรม สปา และรีสอร์ท เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ผลิตภัณฑ์กะลามะพร้าวสินค้าโอท็อป [1] - [3]

มะพร้าวถือเป็นพืชเศรษฐกิจของไทยที่มีความสำคัญต่อประเทศ เนื่องจากทุกส่วนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ผลิตภัณฑ์จากกะลาเป็นผลงานที่เกิดจากความคิดสร้างสรรค์และมีฝีมือของคนไทยในการนำกะลามะพร้าวมาดัดแปลงรูปร่างเป็นผลผลิตทางหัตถกรรมในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน เครื่องประดับ และของใช้เบ็ดเตล็ดต่าง ๆ เป็นต้น มะพร้าวเป็นพืชท้องถิ่นที่มีอยู่ทั่วไปในภาคใต้ ทำให้มีการร่วมกลุ่มของชุมชนในการผลิตผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าวในหลายชุมชน เช่น กลุ่มอาชีพ

หัตถกรรมกะลาบ้านคอกวัว ตำบลชัยบุรี จังหวัดพัทลุง กลุ่มผลิตภัณฑ์กะลามะพร้าว ตำบลลาดชะโด จังหวัดสงขลา กลุ่มผลิตภัณฑ์กะลามะพร้าว ตำบลปากน้ำ จังหวัดสตูล เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้มีการบูรณาการภูมิปัญญาท้องถิ่นร่วมกับการท่องเที่ยวทำให้สินค้าเป็นที่รู้จักแก่คนทั่วไปดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เตากระทานผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าว [1]

2. การวิจัยเชิงสำรวจ [4]

การวิจัยหมายถึง กระบวนการเสาะแสวงหาความรู้เพื่อตอบคำถามหรือปัญหาที่มีอยู่อย่างเป็นระบบและมีวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน โดยมีการกำหนดคำถามวิจัย ซึ่งอาจได้มาจากการศึกษาเอกสารหรือประสบการณ์ตรง มีการวางแผนการวิจัย หรือเขียนโครงการวิจัย สร้างเครื่องมือเพื่อรวบรวมข้อมูลในการวิจัย รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และเขียนรายงานการวิจัยเชิงสำรวจ การวิจัยที่เน้นการศึกษารวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกิดขึ้น การวิจัยเชิงสำรวจ เป็นวิธีการวิจัยที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด โดยอาศัยการสำรวจเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยทำการสุ่มตัวอย่างจำนวนหนึ่งมาจากประชากร เป้าหมายที่ต้องการศึกษาแล้วนำผลที่ได้จากการศึกษากลุ่มตัวอย่างนี้อ้างอิงหรือประมาณค่าไปยังประชากรทั้งหมดอีกครั้ง

3. การพัฒนารูปแบบและวิสาหกิจชุมชน [5]

วิสาหกิจชุมชน หมายถึง กิจการของชุมชนเกี่ยวกับการผลิตสินค้าและการให้บริการ ที่ดำเนินการโดยสมาชิกในชุมชนที่มีความผูกพัน มีวิถีชีวิตร่วมกัน และรวมตัวกันประกอบกิจการ เพื่อสร้างรายได้และการพึ่งพาตนเองของครอบครัว ชุมชนและระหว่าง

ชุมชน โดยมึลักษณะสำคัญของวิสาหกิจชุมชน คือ (1) ชุมชนเป็นเจ้าของและผู้ดำเนินการ (2) ริเริ่มสร้างสรรค์ เป็นนวัตกรรมของชุมชน (3) เป็นฐานภูมิปัญญาท้องถิ่น ผสมผสานภูมิปัญญาสากล (4) มีการดำเนินการแบบบูรณาการ เชื่อมโยงกิจกรรมต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ และ (5) มีกระบวนการเรียนรู้เป็นหัวใจ

2. วิธีการวิจัย

การศึกษาและพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อต่อ ยอดผลิตภัณฑ์กะลาโอท็อปและเพิ่มศักยภาพวิสาหกิจชุมชน มีขั้นตอนและวิธีดำเนินการดังนี้ (1) สำรวจความต้องการของประชาชนและชุมชน เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์กะลา (2) นำแบบสอบถามมาวิจัยประเมินผลเพื่อเลือกวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จะออกแบบลงในผลิตภัณฑ์กะลา (3) ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และทดสอบประสิทธิภาพร่วมกับผลิตภัณฑ์กะลา (4) สำรวจความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์กะลาโอท็อปแบบอิเล็กทรอนิกส์ และ (5) ถ่ายทอดความรู้ให้กับชุมชน ตามลำดับ

2.1 กรอบแนวความคิด

กรอบแนวความคิดของการศึกษาและพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อต่อยอดผลิตภัณฑ์กะลาโอท็อป โดยการนำเอาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีราคาต้นทุนประมาณ 200 บาท ต่อชุดนำมารวมเข้ากับผลิตภัณฑ์ของกลุ่มสมาชิกกะลาโอท็อปซึ่งมีราคาประมาณ 100 - 200 บาทต่อชิ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์กะลามีมูลค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 800 - 1,500 บาทต่อชิ้น ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กรอบแนวความคิดในการพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อต่อยอดผลิตภัณฑ์กะลาโอท็อป

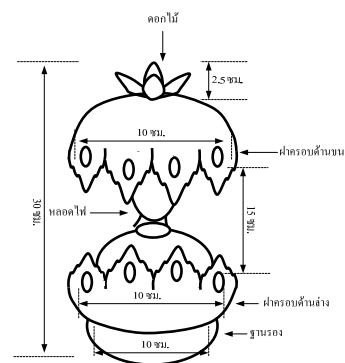
2.2 การออกแบบวงจร [6] - [8]

ผลจากการประเมินผลแบบสอบถาม ทำให้ได้

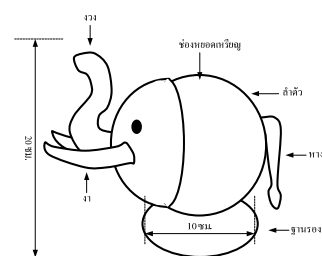
วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จะออกแบบลงในผลิตภัณฑ์กะลา โดยการเลือกวงจรที่ไม่สลับซับซ้อน สามารถสร้างได้ง่ายและมีราคาไม่สูง เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์กะลาจำนวน 10 วงจร คือ วงจรสวิตช์เปิด-ปิดไร้สัมผัส วงจรหรีไฟ วงจรสวิตช์เปิด-ปิดด้วยแสง วงจรสวิตช์เปิด-ปิดด้วยเสียง วงจรเครื่องรับวิทยุเอฟเอ็ม วงจรเสียงข้างเสียงว้าวอิเล็กทรอนิกส์ สวิตซ์ไฟเอซี วงจรปลุกด้วยแสงตะวัน และวงจรลำโพง ตามลำดับ

2.3 การออกแบบผลิตภัณฑ์

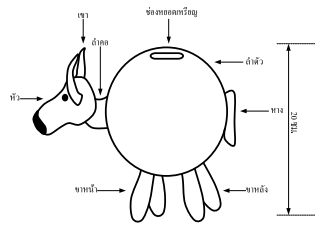
ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กะลาแบบอิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นที่จะต้องมึผลิตภัณฑ์กะลาที่มีความสวยงามเหมาะสมที่จะประกอบเข้ากับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยได้ออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ผลิตภัณฑ์คอมพิวเตอร์ ผลิตภัณฑ์กระปุกออมสินรูปช้าง ผลิตภัณฑ์กระปุกออมสินรูปช้างและกระปุกออมสินรูปวัว เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 3 ถึงภาพที่ 6 ตามลำดับ



ภาพที่ 3 แบบร่างผลิตภัณฑ์คอมพิวเตอร์กะลา



ภาพที่ 4 แบบร่างผลิตภัณฑ์กระปุกออมสินรูปช้าง



ภาพที่ 5 แบบร่างผลิตภัณฑ์กระปุกออมสินรูปวัว



ภาพที่ 6 ตัวอย่างการประกอบชิ้นงานผลิตภัณฑ์กระปุกออมสินรูปช้างร่วมวงจรรีเลย์ทรานซิสเตอร์เสียงช้าง

3. ผลและการอภิปรายผล

ผลการศึกษาและพัฒนาวงจรรีเลย์ทรานซิสเตอร์เพื่อต่อขอตผลิตภัณฑ์กะลาโอท็อป กรณีศึกษากลุ่มหัตถกรรมกะลาลุงปลื้ม ต.ชัยบุรี อ.เมือง จ.พัทลุง ได้ผลิตผลิตภัณฑ์กะลาโอท็อปแบบอิเล็คทรอนิกส์ 10 รูปแบบดังแสดงในภาพที่ 7 ถึงภาพที่ 14 ตามลำดับ ดังนี้



ภาพที่ 7 ผลิตภัณฑ์กระปุกออมสินเสียงช้าง



ภาพที่ 8 ผลิตภัณฑ์กระปุกออมสินเสียงวัว



ภาพที่ 9 ผลิตภัณฑ์เครื่องรับวิทยุเอฟเอ็มรูปวัว



ภาพที่ 10 ผลิตภัณฑ์ที่ใส่ปลุกด้วยแสงตะวัน



ภาพที่ 11 ผลิตภัณฑ์สวิตซ์ไฟกะลา



ภาพที่ 12 ผลิตภัณฑ์โคมไฟกะลาเปิด - ปิดด้วยเสียง
ผลิตภัณฑ์โคมไฟเปิด - ปิดด้วยแสงและ
ผลิตภัณฑ์โคมไฟเปิด - ปิดด้วยไร้สัมผัส



ภาพที่ 13 ผลิตภัณฑ์โคมไฟหรือไฟ



ภาพที่ 14 ผลิตภัณฑ์ลำโพงกะลา

3.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ

ผลิตภัณฑ์สินค้านี้จะลามาจะพร้าวที่ได้ออกแบบร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพและความคงทนเหมาะกับการใช้งานสามารถสรุปได้ดังนี้

(1) ผลิตภัณฑ์กระปุกอมสินเสียงวีวและเสียงข้าง โดยการหยอดเหรียญ เมื่อหยอดเหรียญ 1 ครั้งมีเสียงดังขึ้นหนึ่งรอบเป็นเวลา 6 วินาทีแล้วหยุด สามารถหยอดเหรียญมากกว่า 300 ครั้งโดยเสียงดังปกติ

(2) ผลิตภัณฑ์โคมไฟเปิด - ปิดด้วยเสียงปรบมือ วงจรสามารถทำงานได้ดีเมื่อมีเสียงเข้ามาในทิศทางตรงระยะ 1-10 เมตร ทดลองให้วงจรทำงานติดต่อกัน 100 ครั้งวงจรสามารถทำงานได้ตามปกติหลอดไฟไม่ขาด

(3) ผลิตภัณฑ์โคมไฟเปิด - ปิดไร้สัมผัส วงจรสามารถทำงานได้ดีเมื่อมีวัตถุมาบังในทิศทางตรงระยะ 1 - 14 เซนติเมตร ทดลองให้วงจรทำงานติดต่อกัน 100 ครั้งวงจรสามารถทำงานได้ตามปกติ

(4) ผลิตภัณฑ์โคมไฟเปิด - ปิดด้วยแสง วงจรสามารถทำงานได้ดีโคมไฟสามารถเปิด - ปิด ได้ตามความสว่างของแสง

(5) ผลิตภัณฑ์ไม้ปลูกด้วยแสงตะวัน เมื่อวงจรได้รับแสงจะมีเสียงดัง 1 รอบเป็นเวลา 6 วินาทีแล้วหยุด วงจรสามารถทำงานได้มากกว่า 200 ครั้ง โดยใช้แบตเตอรี่ 3 โวลต์

(6) ผลิตภัณฑ์สวิทช์ไฟกะลา จากการทดลองกดสวิทช์ติดต่อกันจำนวน 300 ครั้งวงจรสามารถทำงานได้ตามปกติ

(7) ผลิตภัณฑ์เครื่องรับวิทยุเอฟเอ็มรูปวัวและรูปช้าง วงจรสามารถทำงานติดต่อกันได้มากกว่า 10 ชั่วโมง

(8) ผลิตภัณฑ์โคมไฟกะลาหรือไฟ โดยการเปิดติดต่อกัน เป็นเวลา 20 ชั่วโมง เมื่อปรับระดับความสว่างไว้ที่ 0 % หลอดไฟไม่ไหม้สว่าง เมื่อปรับระดับความสว่างไว้ที่ 50 % หลอดไฟติดสว่างปานกลาง และเมื่อปรับระดับความสว่างไว้ที่ 100 % หลอดไฟติดสว่างสูงสุด โดยการทดลองติดต่อกันมากกว่า 20 ชั่วโมง วงจรทำงานได้ตามปกติ

(9) ผลิตภัณฑ์ลำโพงกะลา วงจรสามารถทำงานได้ดี โดยการเปิดติดต่อกันมากกว่า 24 ชั่วโมง

3.2 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์กะลาโถบแบบอิเล็กทรอนิกส์

จากการสอบถามผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 50 ตัวอย่าง แบ่งเป็นเพศชายร้อยละ 44 และเป็นเพศหญิงร้อยละ 56 มีอายุระหว่าง 31- 40 ปี ร้อยละ 14 และอายุมากกว่า 40 ปีขึ้นไปมีถึงร้อยละ 80 ผลประเมินความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ สรุปได้ดังนี้

(1) ผลิตภัณฑ์สวยงามมากที่สุดร้อยละ 94 และสวยงามมากร้อยละ 6

(2) ผลิตภัณฑ์มีความคงทนและแข็งแรงมากที่สุดร้อยละ 94 และมีความคงทนและแข็งแรงมากร้อยละ 6

(3) ผลิตภัณฑ์นี้สามารถนำไปใช้งานได้จริงมากที่สุด ร้อยละ 96 และสามารถนำไปใช้งานได้จริงมาก ร้อยละ (4) ผลิตภัณฑ์นี้มีความสะดวกในการนำไปใช้งานมากที่สุดร้อยละ 84 และมีความสะดวกในการนำไปใช้งานมากร้อยละ 16

(5) ผลิตรถยนต์นี้ไม่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ร้อยละ 94 และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก ร้อยละ 6

(6) ผลิตรถยนต์นี้มีรูปแบบสร้างสรรค์มากที่สุด ร้อยละ 90 และชิ้นงานนี้มีรูปแบบสร้างสรรค์และน่าสนใจ มาก ร้อยละ 10

(7) ผลิตรถยนต์นี้สามารถนำไปประกอบเป็นอาชีพ เสริมได้มากที่สุด ร้อยละ 80 ในระดับมากที่สุด ร้อยละ 10 และในระดับปานกลาง ร้อยละ 10

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาและพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อต่อ ยอดผลิตภัณฑ์สินค้ากะลาโอท็อปและเพิ่มศักยภาพ วิสาหกิจชุมชนมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบของ ผลิตภัณฑ์หัตถกรรมของชุมชน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ สินค้ากะลาโอท็อปแบบอิเล็กทรอนิกส์ มากกว่า 10 รูปแบบ ผลิตภัณฑ์มีความคงทนและสามารถทำงาน ได้ดี ผลการประเมินความพึงพอใจของประชาชน มากกว่าร้อยละ 90 มีความพึงพอใจสูงสุด อันจะส่งผล ทำให้กลุ่มหัตถกรรมกะลาโอท็อปสามารถเพิ่มมูลค่า ให้กับผลิตภัณฑ์ 300-500 บาทต่อชิ้น และช่วยเพิ่ม รูปแบบของผลิตภัณฑ์ให้ความหลากหลาย ทำให้ สมาชิกที่เข้าร่วมมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นจากการมีอาชีพที่ มั่นคง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] กลุ่มหัตถกรรมประดิษฐ์เต่ากระอาณ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.thaitambon.com/tambon/tsmepdesc.asp?Prod=04520141039&ID=910504&SME=045201415> (16 มีนาคม 2552)
- [2] โทรศัพท์กะลาสวยใช้งานได้จริง. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://news.sanook.com/education/education_57971.php (20 ตุลาคม 2552)
- [3] สินค้าโอท็อปภาคใต้. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.thainame.net/weblampang/peeootop/Pt2.htm> (15 สิงหาคม 2552)

[4] การวิจัยเชิงสำรวจ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.narinsite.com/knowledges/mc_306/14.ppt (15 กันยายน 2552)

[5] การพัฒนารูปแบบและวิสาหกิจชุมชน. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://coit.kru.ac.th/research/index.php?option=com_content&task=view&id=176&Itemid (20 กันยายน 2552)

[6] บุญชัช เนติศักดิ์. 2540. ทฤษฎีและปฏิบัติเครื่องรับวิทยุ AM/FM. การพัฒนารูปแบบและวิสาหกิจชุมชน. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[7] เครื่องรับวิทยุ FM แบบซูเปอร์เฮเทอโรได. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.hs8jyx.com/html/receiver.html> (15 กันยายน 2552)

[8] Hobby Electronics. 2545. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีโทรคมนาคมในการเก็บข้อมูลและมีส่วนร่วมในการดำเนินงานอย่างขยันขันแข็งและมีความตั้งใจ ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี และที่สำคัญต้องขอขอบคุณกลุ่มหัตถกรรมกะลาอุปถัมภ์ ค.ชัยบุรี อ.เมือง จ.พัทลุง ที่ให้ความช่วยเหลือคณะผู้วิจัยเป็นอย่างดี

การพัฒนาประสิทธิภาพย่านแถบความถี่กว้างด้วยซีร์ฟที่ไม่เป็นเชิงเส้น

ธนัสถ์ นนทพุท¹ วิชาญ เพชรธมณี¹ และจิรภัทร ภู่วัฒนทอง²

บทคัดย่อ— บทความฉบับนี้ นำเสนอซีร์ฟที่ไม่เป็นสัญญาณเชิงเส้นบนย่านแถบความถี่กว้าง จากผลการจำลองระบบที่ได้แสดงให้เห็นว่าซีร์ฟที่ไม่เป็นสัญญาณเชิงเส้น สามารถทำให้ย่านแถบความถี่กว้างมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับสัญญาณซีร์ฟที่เป็นเชิงเส้น

คำสำคัญ ซีร์ฟไม่เป็นเชิงเส้น แถบความถี่กว้าง ซีร์ฟเชิงเส้น

1. บทนำ

ย่านแถบความถี่กว้างหรือที่เรียกว่า UWB (Ultra-wideband) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายรูปแบบใหม่ที่ใช้การส่งผ่านข้อมูลแบบพัลส์ (Pulse) สั้นๆ ผ่านคลื่นวิทยุความถี่กว้าง ต่างจากการส่งผ่านข้อมูลผ่านคลื่นความถี่วิทยุแบบแถบความถี่แคบ (Narrowband) และการส่งผ่านข้อมูลผ่านคลื่นความถี่วิทยุแบบสเปกตรัม (Spread-Spectrum) [1] ซึ่งทำให้สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าในระยะเวลาที่เท่ากัน UWB มีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดถึง 480 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร และความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตร และได้รับการกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.3a [2] โดยมีย่านความถี่ที่ถูก

กำหนดโดย FCC (Federal Communications Commission) อยู่ที่ 3.1 - 10.6 GHz [3] เทคโนโลยี UWB ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ประเภทความบันเทิงภายในบ้าน เช่น การส่งรายการโทรทัศน์ไปยังหน้าจอโทรทัศน์ เครื่อง อื่นๆ ได้แบบไร้สายโดยไม่มีปัญหาการกระตุกของสัญญาณภาพ และหากเป็นการใช้งานภายในสำนักงาน UWB ก็จะเข้ามาช่วยลดความยุ่งยากในการติดตั้งสายเคเบิลต่างๆ ได้เป็นอย่างมาก นอกจากนี้ UWB ยังสนับสนุนการสร้างพื้นที่โครงข่ายส่วนบุคคลที่เรียกว่า PAN (Personal Area Network) ซึ่งช่วยให้เราสามารถจัดการข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ที่เคลื่อนที่ไปมาได้อย่างหลากหลาย เป็นต้น หากกล่าวถึงรูปแบบการมอดูเลตรูปคลื่นของ UWB นั้น มีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ แบบพัลส์และแบบซีร์ฟ [4] ซึ่งแต่ละแบบก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน แต่เมื่อมีการเปรียบเทียบกันทั้ง 2 แบบแล้วนั้น การมอดูเลตแบบซีร์ฟจะมีข้อได้เปรียบที่เยอะกว่า เช่น อัตราส่วนค่าเฉลี่ยสูงสุดมีค่ามากกว่า ราคาต่ำ และสามารถประยุกต์ใช้กับฮาร์ดแวร์ที่อัตราขยายสัญญาณรบกวนต่ำ เป็นต้น [5] บทความฉบับนี้ นำเสนอซีร์ฟการพัฒนาแบบการมอดูเลตรูปคลื่นของ UWB แบบซีร์ฟที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยทำการเปรียบเทียบกับการมอดูเลตซีร์ฟที่เป็นเชิงเส้น ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับ UWB ได้

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เลขที่ 1 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อयाง อ.เมือง จ.สงขลา 90000

โทรศัพท์: +66(7)-431-7100 โทรสาร: +66(7)-431-7123

E-mail: thanat.n@rmutt.ac.th, pkajornsak@hotmail.com

²สาขาวิชาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เลขที่ 1 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อयाง อ.เมือง จ.สงขลา 90000

โทรศัพท์: +66(7)-431-7100 โทรสาร: +66(7)-431-7123

E-mail : jirapat.p@rmuts.ac.th

2. ทฤษฎีเซิร์พ

ลักษณะรูปคลื่นของเซิร์พสามารถเขียนได้โดย [6]

$$c(t) = a(t) \cos[\Theta(t)] \quad (1)$$

โดย $\Theta(t)$ คือเฟสของสัญญาณ $a(t)$ ขนาดของสัญญาณเซิร์พ ซึ่งจะมีค่าเป็นศูนย์ในกรณีที่ขนาดของสัญญาณเซิร์พไม่ได้อยู่ในช่วงเวลา T_s ทั้งหมด ความถี่ชั่วขณะมีค่าเท่ากับ

$$f_c(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\Theta(t)}{dt} \quad (2)$$

และอัตราเซิร์พซึ่งเป็นส่วนสำคัญหาได้จาก

$$\mu(t) = \frac{df_c(t)}{dt} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2\Theta(t)}{dt^2} \quad (3)$$

เมื่ออัตราเซิร์พมีการเปลี่ยนแปลงโดยค่าความถี่ชั่วขณะ ลักษณะรูปคลื่นที่ได้จะเรียกว่าเซิร์พขาขึ้นในกรณีที่ $\mu(t) > 0$ และจะเรียกเซิร์พขาลงในกรณีที่ $\mu(t) < 0$

2.1 เซิร์พที่เป็นเชิงเส้น

เซิร์พที่เป็นเชิงเส้นหมายถึง เซิร์พที่มีอัตราเซิร์พเป็นค่าคงที่ค่าใดค่าหนึ่ง แล้วทำให้ความถี่ชั่วขณะเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นเมื่อเทียบกับค่าเวลา t ถ้ากำหนดให้รูปคลื่นเซิร์พที่เป็นเชิงเส้น ที่ค่าเวลา $t = 0$ สามารถเขียนเป็นสมการได้ คือ

$$c(t) = a(t) \cos\left[2\pi f_0 t + \pi\mu t^2 + \varphi_0\right] \quad (4)$$

เมื่อ f_0 คือความถี่กลาง $a(t)$ จะมีค่าเป็นศูนย์ในกรณีที่ $|t| > T_s/2$ ส่วนค่าแบนด์วิดท์จะมีค่าเท่ากับ

$$B = |\mu|T_s \quad (5)$$

2.2 เซิร์พที่ไม่เป็นเชิงเส้น

เมื่ออัตราเซิร์พเป็นค่าคงที่ค่าใดค่าหนึ่ง เซิร์พจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 2.1 แต่ถ้าหากทำให้อัตราเซิร์พเปลี่ยนแปลงในลักษณะของฟังก์ชันซึ่งไม่ได้เป็นค่าคงที่ค่าใดค่าหนึ่ง จะเรียกสัญญาณเซิร์พที่ได้นั้นว่า เซิร์พที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งบทความฉบับนี้นำเสนอเซิร์พที่ไม่เป็นเชิงเส้นในลักษณะที่เป็นฟังก์ชันของรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal Chirp Waveform)

เซิร์พที่ไม่เป็นเชิงเส้นรูปคลื่นไซน์

เซิร์พที่ไม่เป็นเชิงเส้นในลักษณะที่เป็นฟังก์ชันของรูปคลื่นไซน์นั้น จะมีค่าความถี่ชั่วขณะเท่ากับ

$$f_c(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\Theta(t)}{dt} = f_c + a \cos(bt + c) \quad (6)$$

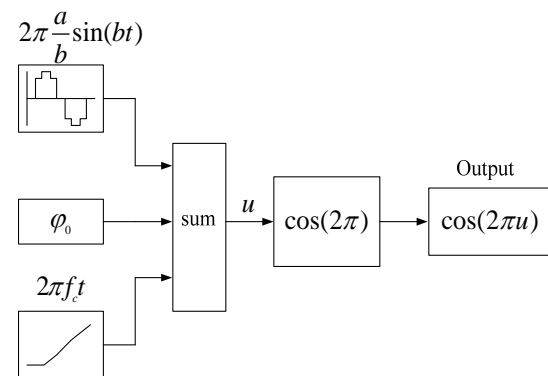
ค่า a และ b ไว้สำหรับปรับค่ารูปคลื่นของเซิร์พ ส่วนค่า c คือค่าจำนวนจริงคงที่ และสามารถหาอัตราเซิร์พของเซิร์พที่ไม่เป็นเชิงเส้นในลักษณะที่เป็นฟังก์ชันของรูปคลื่นไซน์ได้จาก

$$\mu(t) = \frac{df_c}{dt} = -ab \sin(bt) \quad (7)$$

ดังนั้นลักษณะรูปคลื่นของเซิร์พที่ไม่เป็นเชิงเส้นในฟังก์ชันที่เป็นรูปคลื่นไซน์ มีค่าเท่ากับ

$$c(t) = \cos[\Theta(t)] = \cos\left[2\pi f_c t + 2\pi \frac{a}{b} \sin(bt) + \varphi_0\right] \quad (8)$$

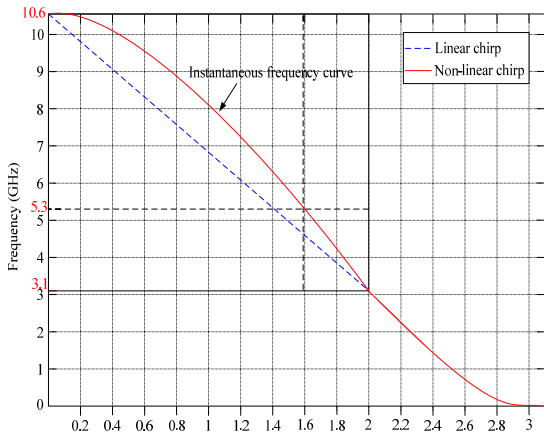
และจากสมการที่ (8) สามารถนำมาเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของเซิร์พแบบไม่เป็นเชิงเส้น

3. การจำลองการทำงาน

การจำลองการทำงานของ UWB ใช้สเปคตรัมในช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ดังภาพที่ 2 และค่าของตัวแปรต่างๆ ดังตารางที่ 1 ตามลำดับโดยค่า a และ b จะมีค่าที่แตกต่างกัน ดังสมการที่ (9)



ภาพที่ 2 สเปกตรัมช่วงความถี่ของเชิร์พแบบไม่เป็นเชิงเส้นและเป็นเชิงเส้นที่นำไปใช้งาน

ค่า a และ b หาค่าได้จาก

$$a = \begin{cases} 10.6 - f_c & \text{if } f_c \leq 6.85 \text{ GHz,} \\ 3.1 - f_c & \text{if } f_c > 6.85 \text{ GHz,} \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} \frac{1}{T_s} \arccos\left(\frac{3.1 - f_c}{10.6 - f_c}\right) & \text{if } f_c \leq 6.85 \text{ GHz, (9)} \\ \frac{1}{T_s} \arccos\left(\frac{10.6 - f_c}{3.1 - f_c}\right) & \text{if } f_c > 6.85 \text{ GHz,} \end{cases}$$

ตารางที่ 2 ค่าตัวแปรต่างๆ

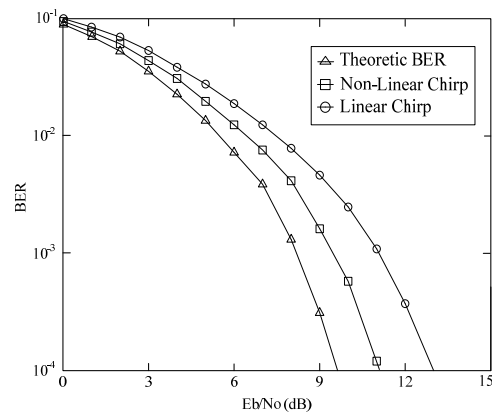
Parameters	Values
Available bandwidth	3.1-10.6 GHz
Number of chirp waveform/bits	8
Chirp waveform Length	10 ns
Channel Model	AWGN

4. ผลและการอภิปรายผล

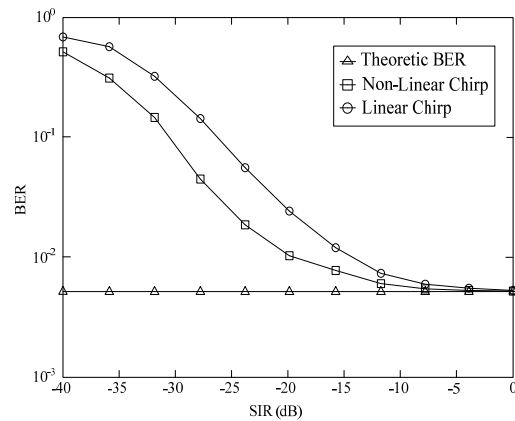
ในส่วนของผลและการอภิปรายผลการจำลองการทำงานที่ได้ นั้น จะเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ UWB ของเชิร์พที่ไม่เป็นเชิงเส้นในลักษณะที่เป็นฟังก์ชันของรูปคลื่นไซน์กับเชิร์พที่เป็นเชิงเส้น ผ่านทางช่องสัญญาณ AWGN

จากผลการจำลองที่แสดงในภาพที่ 3 เป็นการแสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ UWB โดยแสดงค่าของอัตราส่วนความผิดพลาด (Bit Error Rate)

กับอัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ต่อสัญญาณรบกวน (E_b/N_0) ซึ่งกำหนดให้ค่าของ อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณแทรกสอด (Signal to Interference Ratio) มีค่าเท่ากับ -30 dB เมื่อ E_b/N_0 ที่เพิ่มมากขึ้นนั้น เชิร์พที่ไม่เป็นเชิงเส้นมีประสิทธิภาพที่กว่าเชิร์พที่เป็นเชิงเส้น เพราะเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความผิดพลาดแล้ว เชิร์พที่เป็นเชิงเส้นมีอัตราความผิดพลาดสูงกว่าเชิร์พที่ไม่เป็นเชิงเส้น



ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพของ UWB ที่ใช้เชิร์พแบบไม่เป็นเชิงเส้นและเชิร์พที่เป็นเชิงเส้น ซึ่งมีค่า SIR เท่ากับ -30 dB



ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพของ UWB ที่ใช้เชิร์พแบบไม่เป็นเชิงเส้นและเชิร์พที่เป็นเชิงเส้น ซึ่งมีค่า E_b/N_0 เท่ากับ 5 dB

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ UWB โดยแสดงค่าระหว่างอัตราส่วนความผิดพลาดกับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณแทรกสอด ดังภาพที่ 4 นั้น กำหนดให้อัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ต่อสัญญาณ

รบกวน มีค่าเท่ากับ 5 dB จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเซิร์ฟแบบไม่เป็นเชิงเส้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเซิร์ฟที่เป็นเชิงเส้น

5. สรุปผลการวิจัย

การนำเซิร์ฟแบบไม่เป็นเชิงเส้นในลักษณะที่เป็นฟังก์ชันของรูปคลื่นไซน์มาใช้สำหรับการพัฒนาประสิทธิภาพของ UWB โดยทำการเปรียบเทียบกับเซิร์ฟแบบเป็นเชิงเส้นนั้น ประสิทธิภาพของ UWB ที่ใช้เซิร์ฟแบบไม่เป็นเชิงเส้น ดีกว่าเมื่อเทียบกับสัญญาณเซิร์ฟที่เป็นเชิงเส้น ในทุกกรณี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] X. Chu and R.D. Murch, "The Effect of NBI on UWB Time-Hopping Systems," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol. 3, no.5, Sep. 2004, pp.1341-1346.
- [2] ผู้จัดการออนไลน์. เตรียมประกาศใช้ "UWB" แทน "Bluetooth" กลางปีนี้ [Online], Available: <http://www.thelordofwireless.com:80/modules.php?name=News&file=article&sid=2>

- [3] อูมาวดี วงษ์มิตร. UWB (Ultra Wideband) [Online], Available: <http://gotoknow.org/blog/communicationtechnology/66293>
- [4] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse Radio: How It Works," *IEEE Commun. Letter*, vol. 2, no.1998, pp.36-38.
- [5] K. Doi, T. Matsumura, K. Mizutani, and R. Kohno, "Ultra-Wideband Ranging System Using Improved Chirp Waveform," *RAWCON*. 2003, pp. 207-210.
- [6] D. P. Morgan, *Surface Wave Devices for Signal Processing*, Elsevier, Amsterdam, 1985.

การออกแบบสายอากาศย่านความถี่ไวแมกซ์

ระพีพันธ์ ขัดปึก¹ เอกทัศน์ พุกขวรรณ¹ ผดุงศักดิ์ วงศ์แก้วเขียว¹ อนุสรณ์ เราเท่า¹ และ สมพล โกศลวิตร²

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศย่านความถี่ WiMAX หรือ Worldwide interoperability for Microwave Access ซึ่งได้ออกแบบให้มีคุณสมบัติ ครอบคลุมย่านความถี่ 2.3 ถึง 3.7 GHz ตามมาตรฐานที่ประกาศใช้ใน ประเทศไทย โดยมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบตัวในแนวราบ (Omni-directional) โดยสายอากาศ ประกอบด้วยแผ่นโลหะวงกลมสองแผ่นวางตั้งฉากกันอยู่เหนือระนาบกราวด์ (Ground Plane) และกระตุ้นสัญญาณด้วย โพรบไฟฟ้าระหว่างระนาบกราวด์กับแผ่นวงกลมบนนั้น โดยมีค่าสภาพเจาะจงทิศทาง 3.146 dBi ที่ความถี่กลางในย่าน ความถี่ที่ทำการทดลอง

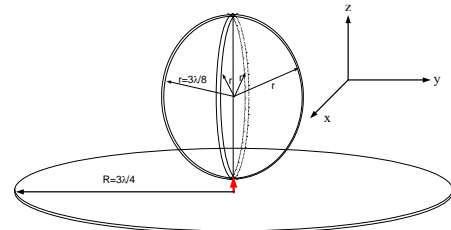
คำสำคัญ สายอากาศย่านความถี่ไวแมกซ์ สายอากาศโมโน โพลวงกลม แบบรูปการแพร่คลื่นรอบทิศทาง

1. บทนำ

มนุษย์ได้มีการคิดหาวิธีการสื่อสารในระยะทางไกลมา ตั้งแต่สมัยโบราณ ไม่ว่าจะเป็นการส่งสัญญาณควันไฟ ของชนเผ่าอินเดียนแดง การใช้การสะท้อนของกระจก การใช้สัญญาณธง เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าสภาพแวดล้อมได้มีอิทธิพลกับสถานะภาพของการสื่อสารเป็นอย่างมาก และในปัจจุบันก็ยังได้มีการคิดหาวิธีที่จะให้ได้การสื่อสารที่มีระยะทางไกลยิ่งขึ้น โดยได้อาศัยความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์มาช่วยในการสร้างเครื่องรับ และ เครื่องส่งสัญญาณ ไม่ว่าจะเป็นส่งสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณหรือ การส่งสัญญาณผ่านอากาศในกรณีของการสื่อสารไร้สาย(Wireless Communication) ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารไร้สาย นั่นคือ สายอากาศ โดยได้ออกแบบสายอากาศในย่านความถี่ Wi-MAX

2. วิธีการวิจัย

การออกแบบสายอากาศย่าน Wi-MAX ที่ความถี่ 2.3 – 3.7GHz ที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวโครงสร้างสายอากาศเป็นระนาบโมโนโพลวงกลมบนระนาบกราวด์ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของโครงสร้างเช่น รัศมีของระนาบโมโนโพล วงกลม รัศมีของระนาบกราวด์ จนได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยเริ่มจากการศึกษาสายอากาศโมโนโพลบนระนาบกราวด์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าความยาวของสายอากาศโมโนโพลที่หนึ่งในสี่ของความยาวคลื่น ($\lambda/4$) และที่รัศมีของระนาบกราวด์เท่ากับหนึ่งความยาวคลื่น (λ) จะให้ค่าคุณลักษณะของสายอากาศที่ดี แต่จะมีแถบความถี่ (Bandwidth) ที่แคบ จึงได้ทำการวิจัยสายอากาศระนาบโมโนโพลวงกลมบนระนาบกราวด์ซึ่งมีแถบความถี่ที่กว้างกว่าสายอากาศโมโนโพลบนระนาบกราวด์ โครงสร้างสายอากาศมีแผ่นวงกลมสองวงวางแบบตั้งฉากกันและอยู่เหนือระนาบกราวด์ แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างสายอากาศย่านความถี่ Wi-MAX

¹สาขาวิชาครุศาสตร์อิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 128 หมู่ 1 ต. ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

โทรศัพท์: 0-5392-1444 ต่อ 2111 โทรสาร: 0-5321-3183

E-mail: rapin56_1@hotmail.com

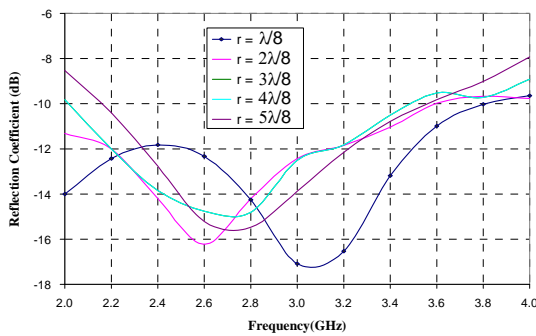
²ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เลขที่ 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530 โทรศัพท์: 0-2988-3655

3. ผลและการอภิปรายผล

เริ่มต้นจากการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น รัศมีของโมโนโพล และรัศมีของระนาบกราวด์ จนได้ค่าที่ดีที่สุดแล้วจึงนำค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นไปสร้างสายอากาศจริงและทดสอบการทำงานของสายอากาศที่สร้างขึ้น

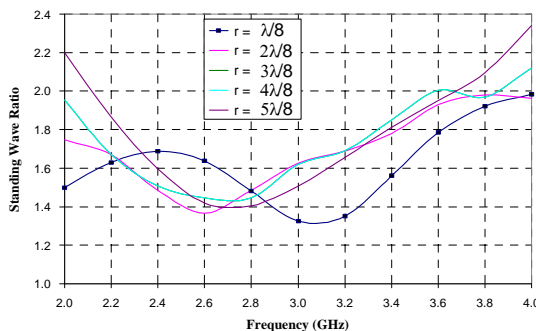
ผลการจำลอง

การหารัศมีของโมโนโพล



ภาพที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S11)

จากภาพที่ 2 เป็นการแสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ โดยจะเห็นได้ว่าที่รัศมีของสายอากาศโมโนโพลเท่ากับ หนึ่งในแปดของความยาวคลื่น ($\lambda/8$) หรือหมายความว่าโมโนโพลวงกลมมีความยาวเท่ากับหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่น ($\lambda/4$) ที่จะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ต่ำกว่าที่รัศมีอื่นๆ โดยในกรณีนี้ได้กำหนดค่ารัศมีของระนาบกราวด์มีค่าเท่ากับ $\lambda/4$

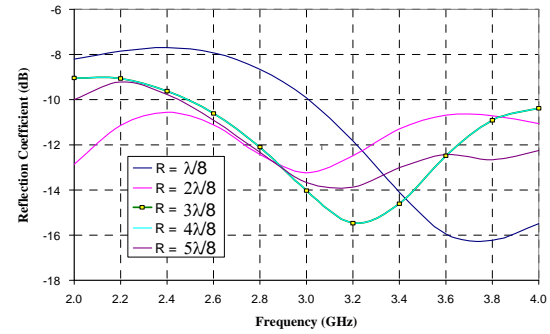


ภาพที่ 3 แสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง(SWR)

จากภาพที่ 3 เป็นการแสดงอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) โดยจะเห็นได้ว่าที่รัศมีของโมโนโพลเท่ากับ $\lambda/8$ ที่จะทำให้ได้ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ต่ำกว่าที่ค่า

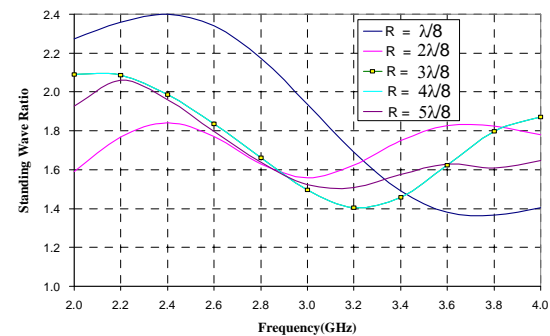
รัศมีอื่นๆ โดยในกรณีนี้ได้กำหนดค่ารัศมีของระนาบกราวด์มีค่าเท่ากับ $\lambda/4$ เช่นเดียวกับกับภาพที่ 2 จากภาพที่ 2 และ 3 ทำให้สามารถเลือกค่ารัศมีของโมโนโพลได้ว่ามีค่าเท่ากับ $\lambda/8$

การหารัศมีของระนาบกราวด์



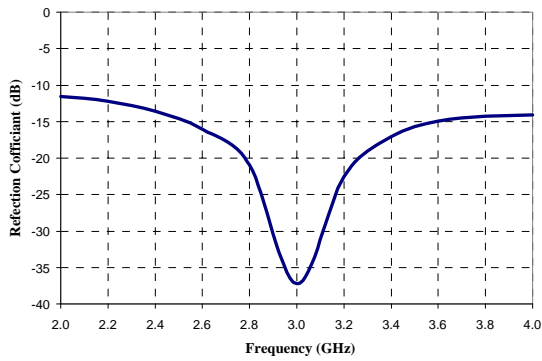
ภาพที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S11)

จากภาพที่ 4 เป็นภาพหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ เมื่อให้กำหนดให้โมโนโพลมีความยาวเท่ากับ $\lambda/4$ โดยได้เปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของระนาบกราวด์กระทั่งเห็นได้ว่าที่รัศมีของระนาบกราวด์เท่ากับ $3\lambda/8$ เป็นค่าที่ดีที่สุด และจะเห็นว่าที่ $R = 3\lambda/8$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับที่



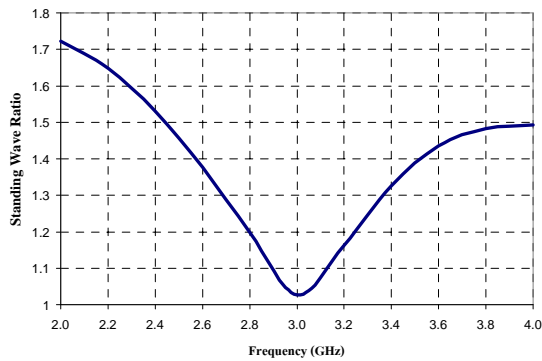
ภาพที่ 5 แสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง(SWR)

จากภาพที่ 5 เป็นภาพแสดงอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ซึ่งจะเห็นว่าสอดคล้องกับภาพที่ 4 ที่แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ และเป็นการยืนยันได้ว่าที่รัศมีของระนาบกราวด์เท่ากับ $R = 3\lambda/8$ เป็นค่าที่เหมาะสมกับเงื่อนไขที่ได้กล่าวมา



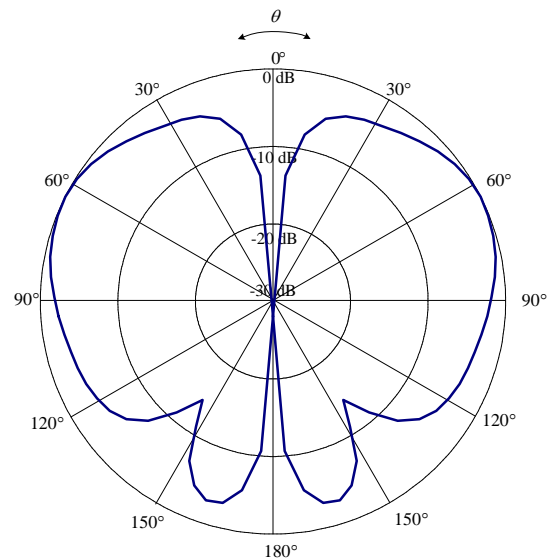
ภาพที่ 6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S11) เมื่อโมโนโพลมีค่าเท่ากับ $\lambda/8$ และระนาบกราวด์เท่ากับ $3\lambda/8$

หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์ของรัศมีของโมโนโพลรัศมีของระนาบกราวด์และค่าอื่นๆแล้ว ก็ได้ทำการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 6 ถึงภาพที่ 9 โดยภาพที่ 6 เป็นการแสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ จะเห็นได้ว่า โครงสร้างสายอากาศที่ได้ทำการจำลองสามารถใช้งานได้ดีตลอดย่านความถี่ที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งโดยทั่วไป ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับต้องน้อยกว่า -10dB



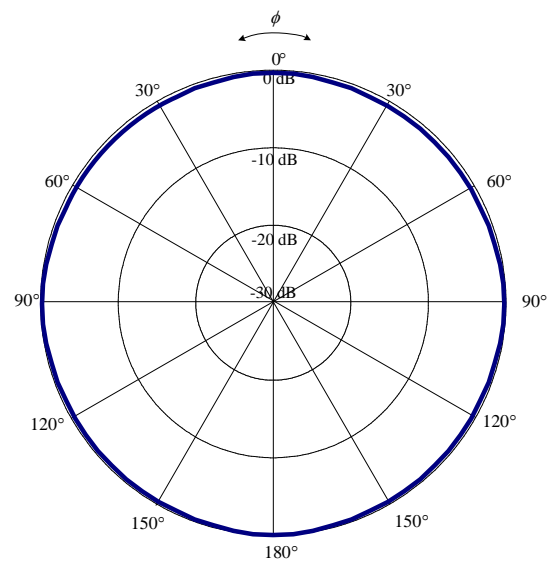
ภาพที่ 7 แสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง เมื่อโมโนโพลมีค่าเท่ากับ $\lambda/8$ และระนาบกราวด์เท่ากับ $3\lambda/8$

จากภาพที่ 7 เป็นรูปแสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ซึ่งสอดคล้องกันเป็นอย่างดีกับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในภาพที่ 6 โดยเห็นได้ว่าที่ความถี่เท่ากับ 3GHz จะเป็นความถี่ที่ดีที่สุดของสายอากาศที่ได้ทำการออกแบบนี้



ภาพที่ 8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของมุมเงย

จากภาพที่ 8 เป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของมุมเงยโดยที่มุมเงยหมายถึง การเปลี่ยนแปลงค่ามุมที่อยู่บนแกน z (มุมซิด้า theta: θ) และกำหนดให้มุมที่อยู่ระหว่างแกน x และแกน y (มุมไฟร์ phi : ϕ) มีค่าเท่ากับ 90 องศา

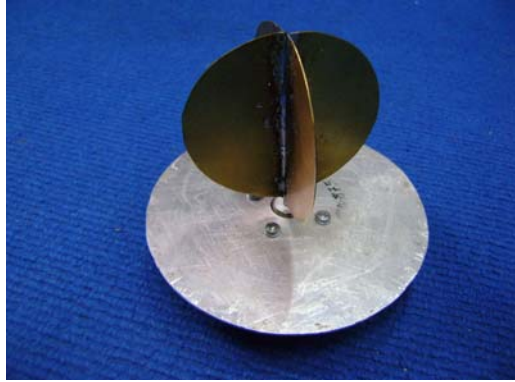


ภาพที่ 9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของมุมกวาด

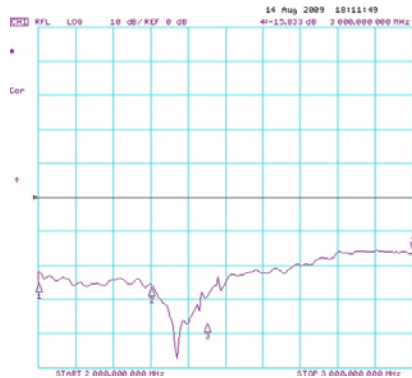
จากภาพที่ 9 เป็นแบบภาพการแพร่กระจายคลื่นของมุมกวาดโดยที่มุมกวาดหมายถึง การเปลี่ยนแปลงค่ามุมที่อยู่บนแกน x และแกน y (มุม ϕ) และกำหนดให้มุมที่แกน z (มุมซิด้า theta: θ) มีค่าเป็น 0 องศา

ผลการทดลอง

หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดแล้ว ก็ได้สร้างสายอากาศจริง โดยใช้ทองแดงที่มีรัศมีเท่ากับ $\lambda/8$ สองวงตั้งฉากกันอยู่เหนือระนาบกราวด์ เมื่อระนาบกราวด์มีค่ารัศมีเป็น $3\lambda/8$ ดังภาพที่ 10

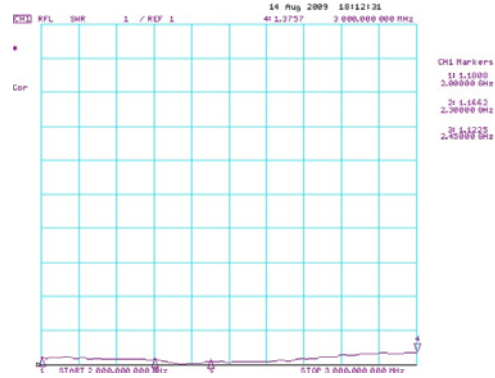


ภาพที่ 10 สายอากาศที่สร้างจากค่าที่ได้จากการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ



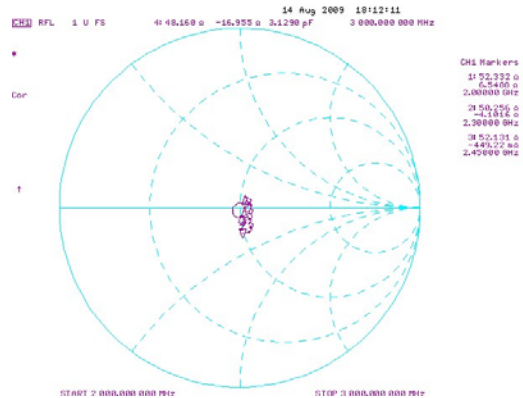
ภาพที่ 11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S11) ของสายอากาศที่สร้างขึ้นจริง

จากภาพที่ 11 เป็นการแสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับตั้งแต่ความถี่ 2 GHz ถึง 3GHz เนื่องจากไม่มีเครื่องมือที่จะสามารถวัดในย่านที่กำหนดไว้ แต่ก็ได้ทำการทดลองที่ย่าน 2.45 GHz แทน ซึ่งก็สมารถใช้งานได้



ภาพที่ 12 แสดงอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) ของสายอากาศที่สร้างขึ้นจริง

จากภาพที่ 12 เป็นค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ที่ความถี่ทดสอบคือ ความถี่ 2.45 GHz นั้น ได้ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งเท่ากับ 1 : 1.1225 ซึ่งโดยทั่วไปค่าอัตราส่วนที่ยอมรับกันทั่วไปคือ ไม่เกิน 1 : 1.5



ภาพที่ 13 แสดงอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของสายอากาศที่สร้างขึ้นจริง

จากภาพที่ 13 เป็นรูปสมิทชาร์ท (Smith Chart) แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่มีค่าเท่ากับ 48.160 - j16.955 โอห์ม ซึ่งสอดคล้องกับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของภาพที่ 12 เป็นอย่างดี

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอสายอากาศแบบระนาบโมโนโพล วงกลมที่ย่าน Wi-MAX ความถี่ 2.3 – 3.7 GHz ทำมาจากทองแดง ที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง และมีตัวสะท้อนแบบแผ่นวงกลมแบน ซึ่งทำมาจากอะลูมิเนียมเป็นระนาบกราวด์ อัตราการขยายของสายอากาศสูงกว่า 3.146 dBi มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งเท่ากับ 1:1.1225 และ S-Parameter มีค่าต่ำกว่า -37 dB ที่ความถี่ทดสอบ 2.45GHz โดยสายอากาศสามารถครอบคลุมย่านความถี่ WiMAX 2.3 -3.7 GHz

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] C.A. Balanis, Antennas Theory: Analysis and Design. USA:John Wiley & Sons, 1997.
- [2] H. Schantz, The Art and Science of Ultrawideband Antennas, Artech House, Norwood, MA, 2005.
- [3] โมไนย ไกรฤกษ์ ทฤษฎีสายอากาศ กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ 2535
- [4] Amin M. Abbosh and Marek E. Bialkowski, Design of Ultrawideband Planar Monopole Antennas of Circular and Elliptical Shape. In Proceedings of the IEEE transaction on antennas and propagation, vol. 56, no. 1, Januar 2008

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เป็นอย่างยิ่งที่ได้อนุเคราะห์ทุนในการทำงานวิจัยนี้

การประยุกต์ใช้เอฟพีจีเอสำหรับการบีบอัดข้อมูล

เฉลิมเกียรติ สุตาษา¹ อรรถพล เพ็ชรผลดีสกุล¹ และ จักรี ศรีนนท์ฉัตร¹

บทคัดย่อ— บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แก้ไขปัญหในงานโทรคมนาคมโดยการนำเทคโนโลยีเอฟพีจีเอ (Field Programmable Gate Arrays : FPGA) มาประยุกต์ใช้งานและนำรหัสฮาร์ดแวร์ที่เขียนขึ้นเป็นรหัสที่มีความยาวไม่คงที่ไปเข้ารหัสข้อมูลต้นกำเนิดเพื่อต้องการข้อมูลก่อนที่ทำการส่งเข้าสู่โครงข่ายโทรคมนาคม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณที่มีอย่างจำกัด โดยสร้างรหัสฮาร์ดแวร์ที่เขียนด้วยโปรแกรม MATLAB นำข้อมูลออกแบบและจำลองการทำงานลงบนชิพเอฟพีจีเอด้วยการเขียนบรรยายพฤติกรรมการทำงานด้วยภาษาวีเอสดีแอล (VHSIC hardware description language : VHDL) บนบอร์ด FPGA Discovery - III XC3S200F4 จากการศึกษาพบว่ารหัสฮาร์ดแวร์สามารถบีบอัดข้อมูลได้ถึง 15.3 เปอร์เซ็นต์เมื่อทำการเปรียบเทียบกับรหัสไบนารี (Binary Code) และ 57.65 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับรหัสแอสกี (American Standard Code for Information Interchange : ASCII)

คำสำคัญ เอฟพีจีเอ รหัสฮาร์ดแวร์ ระบบสื่อสารดิจิทัล การบีบอัดข้อมูล

1. บทนำ

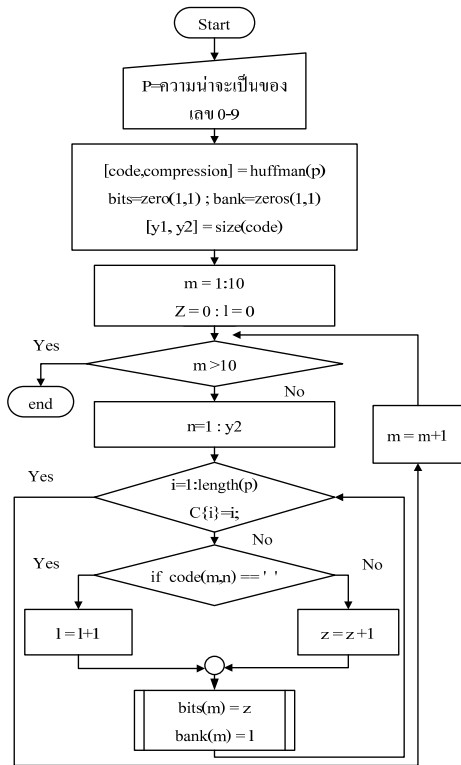
เทคโนโลยีเอฟพีจีเอเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดโปรแกรมได้ และนำไปโปรแกรมวงจรที่ได้จำลองการทำงานลงบนชิพเอฟพีจีเอด้วยการเขียนบรรยายพฤติกรรมการทำงานด้วยภาษาวีเอสดีแอลลงไปเพื่อให้ตัวอุปกรณ์เอฟพีจีเอ ซึ่งเอฟพีจีเอเป็นทางเลือกที่มีราคาไม่แพง ความถี่สัญญาณนาฬิกาสูง มีฟังก์ชันการทำงานตามที่ผู้ออกแบบต้องการ และนำไปประยุกต์ใช้งานพร้อมยังสามารถปรับปรุงและแก้ไขชุดคำสั่งได้ง่าย ดังนั้นบทความนี้จะนำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้เอฟพีจีเอสำหรับการบีบอัดข้อมูลเป็นการพัฒนาร่วมกันระหว่างซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์แก้ไขปัญหในงานโทรคมนาคม เนื่องจากโทรศัพท์ที่สื่อสารในชีวิตประจำวันมีจำนวนหลายล้านหมายเลข แต่

ปัจจุบันในโทรศัพท์มือถือ จะมีรูปแบบหมายเลขอยู่ในรูปแบบ 08 - xxxx - xxxx จะเห็นว่าจะเกิดการใช้เลข 08 ในเลขหมายซ้ำซ้อน จึงเป็นที่มาของการนำเสนอแนวทางของการบีบอัดข้อมูลด้วยรหัสฮาร์ดแวร์เป็นรหัสที่มีความยาวไม่คงที่เข้ารหัสข้อมูลต้นกำเนิด ซึ่งรหัสไบนารีหรือแอสกีซึ่งเป็นรหัสที่มีความยาวคงที่ แต่ถ้าเข้ารหัสข้อมูลต้นกำเนิดด้วยรหัสฮาร์ดแวร์โดยความยาวของรหัสจะแปรเปลี่ยนไปตามความน่าจะเป็นของการใช้งานของข้อมูลแต่ละชุด การเข้ารหัสข้อมูลต้นกำเนิดเพื่อต้องการลดขนาดของข้อมูลก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการทำการส่งเข้าสู่โครงข่ายโทรคมนาคม ซึ่งการเข้ารหัสฮาร์ดแวร์จะทำให้ขนาดข้อมูลลดลงและจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณที่มีอย่างจำกัดได้เพิ่มมากขึ้น ทำการทดสอบโดยจำลองการทำงานลงบนชิพเอฟพีจีเอด้วยการเขียนบรรยายพฤติกรรมการทำงานด้วยภาษาวีเอสดีแอล ทำการทดสอบผลบนคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งสามารถสังเคราะห์เป็นวงจรลอจิกไปที่ตัวชิพเอฟพีจีเอบนบอร์ด FPGA Discovery - III XC3S200F4

¹ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณภาคทฤษฎีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์: 02-549-3588
E-mail: pickup2530@hotmail.com

2. วิธีการวิจัย

เก็บข้อมูลหมายเลขโทรศัพท์ของนักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีจำนวน 500 เลขหมาย นำมาทำการคิดค่าในเชิงสถิติของตัวเลข 0 - 9 จำนวน 5000 ตัวเลข นำไปคำนวณทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ดังในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการสร้างรหัสฮัฟฟ์แมนด้วยโปรแกรม MATLAB

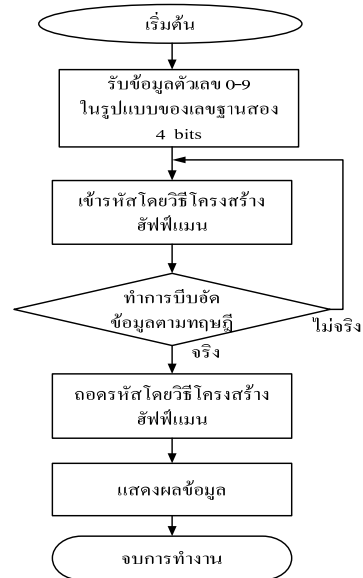
อัตราการบีบอัดข้อมูล (Compression Ratio) ของรหัสฮัฟฟ์แมนกับรหัสที่เปรียบเทียบสามารถคำนวณหาค่าดังสมการที่ 1

$$\text{Compression Ratio} = \frac{(D_N - D_H)}{D_N} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ D_N คือ ขนาดของรหัสข้อความที่เปรียบเทียบ

D_H คือ ขนาดของรหัสข้อความรหัสฮัฟฟ์แมน

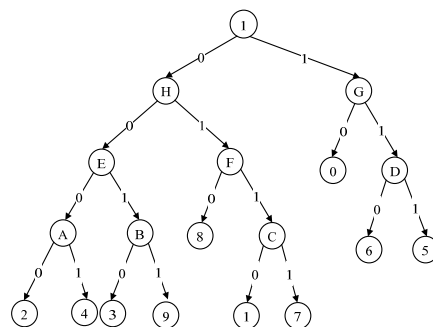
จากการทำงานดังภาพที่ 1 นำข้อมูลออกแบบดังภาพที่ 2 โดยการจำลองการทำงานลงบนชิพเอฟพีจีเอด้วยการเขียนบรรยายพฤติกรรมการทำงานด้วยภาษาวีเอสดีแอลไปที่ในตัวชิพเอฟพีจีเอด้วยโปรแกรม Xilinx ISE



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ออกแบบบนชิพเอฟพีจีเอ

3. ผลและการอภิปรายผล

จากการเก็บข้อมูลผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลหมายเลขโทรศัพท์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีจำนวน 500 เลขหมาย เมื่อคำนวณด้วยโปรแกรม MATLAB สร้างรหัสฮัฟฟ์แมนด้วยการใช้แผนภูมิต้นไม้สองทาง (Binary Tree) โดยมีสัญลักษณ์ที่ต้องการเข้ารหัสอยู่ที่บัพปลายสุดของกิ่ง (Leaf Node) ซึ่งจะได้รหัสฮัฟฟ์แมนสำหรับแต่ละสัญลักษณ์จากบนลงล่าง ดังภาพที่ 3 จะผลดังตารางที่ 1



ภาพที่ 3 แผนภูมิต้นไม้สองทางของรหัสฮัฟฟ์แมน

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลและคำนวณ ด้วยโปรแกรม MATLAB

สัญลักษณ์	ความถี่	ความน่าจะเป็น	รหัสฮัฟฟ์แมน
0	884	0.1768	10
1	433	0.0866	0110
2	343	0.0686	000
3	386	0.0772	0010
4	379	0.0758	0001
5	462	0.0924	111
6	436	0.0872	110
7	433	0.0866	0111
8	830	0.166	010
9	414	0.0828	0011
รวม	5000	1.00	-

เมื่อนำข้อมูลมาจากตารางที่ 1 คำนวณจะหาขนาดของรหัสข้อความที่ได้จากการเข้ารหัส จะได้ขนาดของข้อความดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขนาดของรหัสข้อความ

	รหัส แอสกี	รหัส ไบนารี	รหัส ฮัฟฟ์แมน
ขนาดของรหัส ข้อความ(บิต)	40000	20000	16940

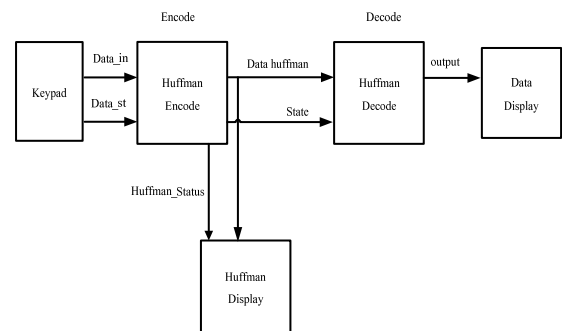
จากตารางที่ 2 จะได้อัตราการบีบอัดข้อมูลระหว่างรหัสไบนารีกับรหัสฮัฟฟ์แมนคือ

$$\text{Compression Ratio} = \frac{(2 \times 10^3 - 16940)}{2 \times 10^3} \times 100\% = 15.3\%$$

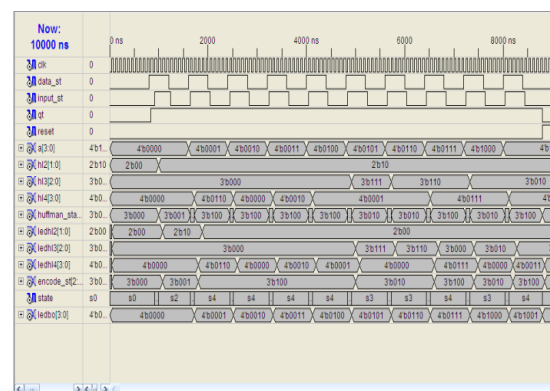
และจะได้อัตราการบีบอัดข้อมูลระหว่างรหัสแอสกีกับรหัสฮัฟฟ์แมนคือ

$$\text{Compression Ratio} = \frac{(4 \times 10^3 - 16940)}{4 \times 10^3} \times 100\% = 57.65\%$$

จากข้อมูลที่ได้ทำการออกแบบแบบโดยการจำลองการทำงานลงบนชิพเอฟพีจีเอด้วยการเขียนบรรยายพฤติกรรมการทำงานด้วยภาษาวีเอสดีแอลไปในตัวชิพเอฟพีจีเอด้วยโปรแกรม Xilinx ISE ซึ่งภาพที่ 4 ขั้นตอนการบีบอัดข้อมูลด้วยชิพเอฟพีจีเอ ส่งข้อมูลต้นกำเนิดด้วยเป็นกคตัวเลขระบบสัมผัสแล้วทำการส่งข้อมูลไปยังบอร์ดเอฟพีจีเอในส่วนการเข้ารหัส (Encode) จะทำการเปลี่ยนข้อมูลต้นกำเนิดไปเป็นรหัสฮัฟฟ์แมน ส่งข้อมูลไปยังภาคถอดรหัส (Decode) และภาคแสดงผล ส่วนภาคถอดรหัสจะทำการเปลี่ยนรหัสฮัฟฟ์แมนไปเป็นข้อมูลต้นกำเนิด ส่งข้อมูลไปยังภาคแสดงผล ซึ่งสามารถจำลองการทำงานของชิพเอฟพีจีเอด้วยโปรแกรม Xilinx ISE โดยนำข้อมูลจากตารางที่ 1 นำมาใช้ในการออกแบบ ได้ผลการจำลองดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการบีบอัดข้อมูลด้วยชิพเอฟพีจีเอ



ภาพที่ 5 ผลการจำลองการทำงานบีบอัดข้อมูลด้วยชิพเอฟพีจีเอ จากโปรแกรม Xilinx ISE

4. สรุปผลการวิจัย

ในการประยุกต์ใช้เอฟพีจีเอสำหรับการบีบอัดข้อมูล จากการศึกษาพบว่ารหัสฮัฟฟ์แมนสามารถบีบอัดข้อมูลได้ถึง 15.3 เปอร์เซ็นต์เมื่อทำการเปรียบเทียบกับรหัสไบนารี และ 57.65 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับรหัสแอสกี

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Buayen and J. Werapun, 2008. A New Efficient Parallel Huffman Coding Algorithm. In *Proceedings of the 5th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE2008)*. Kanjanaburi, Thailand, 7-9 May
- [2] ปราชญ์ ดาบบัง, 2551. การสื่อสารดิจิทัล (*Digital Communication*). ปทุมธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [3] ลัญฉกร วุฒิสี ทธิกุลกิจ และคณะ, 2549. เทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูลเบื้องต้น กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] ณรงค์ ทองฉิม และ เจริญ วงษ์ห่มเย็น, 2552. ออกแบบไอซีดิจิทัลด้วย FPGA และ CPLD ภาคปฏิบัติ โดยใช้ภาษา VHDL. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคมทุกท่าน บิดา มารดา ที่ช่วยให้คำปรึกษา และนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคมที่ช่วยในการทดสอบ

ระบบอนุรักษ์พลังงานในบ้านอัจฉริยะ

สุภาวณิ กรสิงห์¹ วิชาญ เพชรคงทอง¹ สักดิ์วิรา วรานุศิษฐ์¹ และ จักริ ศรีนนท์ฉัตร¹

บทคัดย่อ—บทความนี้เป็นการสร้างแบบจำลองบ้านอัจฉริยะ ที่ได้มีการนำโปรแกรม LabVIEW เข้ามาควบคุม อุปกรณ์ตรวจวัดหรือเซนเซอร์ (Sensor) เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ภายในบ้าน ให้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติและช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่างๆ ภายในบ้าน ในบทความนี้มีการนำเสนอขั้นตอนทดลองโดยการใช้เซนเซอร์อุณหภูมิ 1 ตัว และเซนเซอร์อินฟราเรด 5 ตัว เพื่อช่วยลดการใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน จากการวิเคราะห์พบว่าเวลาการทำงานของหลอดไฟน้อยลง การประหยัดพลังงานเพิ่มมากขึ้น

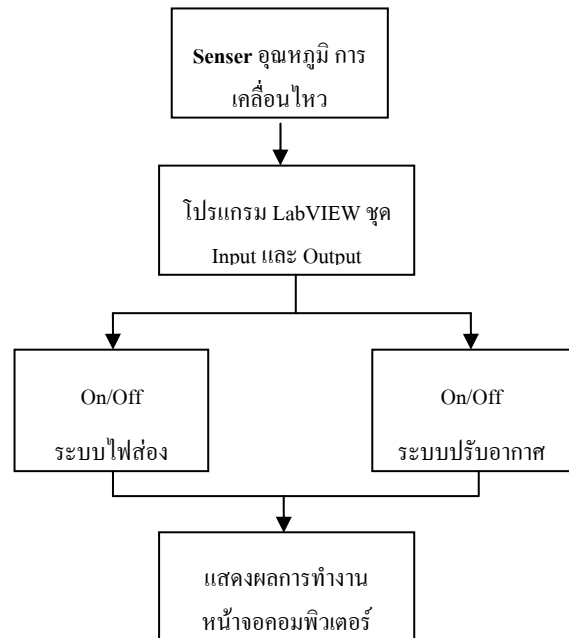
คำสำคัญ บ้านอัจฉริยะ เซนเซอร์ ระบบอนุรักษ์พลังงาน ระบบควบคุม

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบอัจฉริยะได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในยุคที่เต็มไปด้วยการแข่งขันทางด้านเทคโนโลยี จึงมักจะได้อินถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่หันมาใช้ระบบอัจฉริยะในการคิดประดิษฐ์เพื่ออำนวยความสะดวกและที่สำคัญสามารถที่จะประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี และไม่ต้องสงสัยว่าทำไมจึงมีระบบประหยัดพลังงานขึ้นมามากมาย ในปัจจุบันบริษัทใดสามารถผลิตสินค้าของตนที่สามารถประหยัดพลังงานได้มากก็ย่อมได้เปรียบคู่แข่งทางการค้าได้มากที่สุด

2. วิธีการวิจัย

การทำงานของบล็อกไดอะแกรมเริ่มจากเซนเซอร์รับค่า แล้วส่งค่าสัญญาณที่ได้ไปที่โปรแกรมก็จะสั่งให้ระบบไฟฟ้าและระบบปรับอากาศให้ทำงานอัตโนมัติ และแสดงการทำงานที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การทำงานของแบบจำลองบ้านอัจฉริยะ

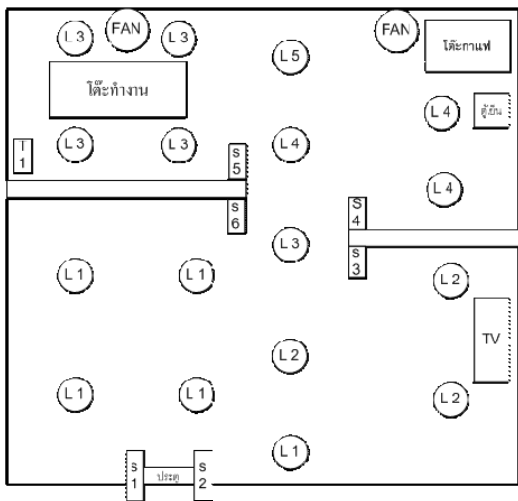
ในบทความนี้ได้ออกแบบและสร้างแบบจำลองบ้านอัจฉริยะควบคุมการทำงานโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ขึ้น ในการออกแบบโดยหัวใจสำคัญจะอยู่ที่บอร์ด DAQ USB-6008 กับโปรแกรม LabVIEW รวมทั้งเซนเซอร์ต่างๆ เพื่อประสิทธิภาพในการทำงาน การออกแบบระบบควบคุมนี้จะเป็นแบบจำลองโดยที่บ้านจำลองจะมีขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และสูง 20 เซนติเมตร ในการควบคุมการทำงานนั้นภายในบ้านจะมีเซนเซอร์ตรวจจับการ

¹ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: 02-549-3588

E-mail: top123354@hotmail.com

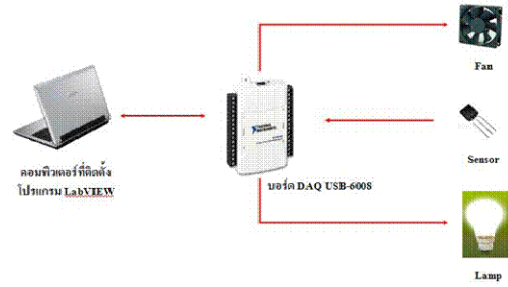
เคลื่อนไหวอยู่ 6 ตัวและมีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิอยู่ 1 ตัว เมื่อเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว M1 และ M2 ทำงานก็จะสั่งให้โปรแกรมทำงานโดยการเปิดระบบแสงสว่าง L1-L5 ติดขึ้นแล้วระบบก็จะนับคนเข้าออกไปพร้อมกันด้วย จากนั้นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิจะเช็คอุณหภูมิภายในห้อง โดยอุณหภูมิจะตั้งไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส พัดลม 25 เซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าก็จะทำงานเพื่อปรับอุณหภูมิภายในบ้านให้ได้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นถ้ามีคนเดินเข้าไปตามห้องเซนเซอร์ที่ทางเข้านั้นๆ จะเช็คและส่งค่าไปยังโปรแกรม โปรแกรมก็จะสั่งการทำงานไปยังระบบแสงสว่างภายในห้องนั้น และถ้าการเดินออกจากห้องระบบก็จะหน่วงเวลารอคอยคนเดินเข้ามา ถ้าไม่มีสัญญาณจากเซนเซอร์ที่ประตูภายในเวลาที่กำหนดโปรแกรมก็จะสั่งปิดระบบแสงสว่างของห้องนั้นๆ ลง หลังจากนั้นถ้ามีคนออกจากบ้านไป ตัวนับจำนวนก็จะเช็คว่ามีคนอยู่ในบ้านอีกหรือไม่ถ้าไม่มีแล้วระบบก็จะหน่วงเวลาตามที่ตั้งไว้ จากนั้นระบบก็จะทำการปิดระบบของบ้านจำลองทั้งหมดลง



ภาพที่ 2 แบบจำลองบ้านอัจฉริยะ

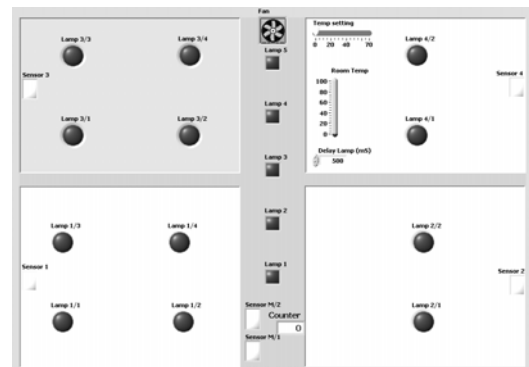
ในการทำโครงงานนี้ได้มีการออกแบบระบบการทำงานโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ควบคุมการทำงานทั้งหมดซึ่งมีบอร์ด DAQ USB-6008 เป็นตัวเชื่อมต่อการทำงานระหว่างโปรแกรม LabVIEW และอุปกรณ์

เซนเซอร์ตรวจจับต่างๆ ที่ติดตั้งไว้ โดยมีการแสดงผลการทำงานทั้งหมดผ่านคอมพิวเตอร์แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การทำงานของระบบควบคุมบ้านอัจฉริยะด้วยโปรแกรม LabVIEW

การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์เป็นการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานทั้งหมด โดยจะใช้โปรแกรม LabVIEW ควบคุมการทำงานซึ่งโปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่มีฟังก์ชันการทำงานต่างๆ มากมายสามารถใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง



ภาพที่ 4 Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW

3. ผลและการอภิปรายผล

ผลจากการคำนวณในการเปิด LED 17 ดวง ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง LED 1 ดวงกินกระแส 20 mA LED 17 ดวง กินกระแสรวม 340 mA ต่อชั่วโมง เมื่อเซนเซอร์ทำงาน LED ก็จะทำงานหลังจากนั้นเมื่อเซนเซอร์ทำงานอีกครั้ง LED แล้วดับไปจนกว่าเซนเซอร์จะทำงาน ผลจากสภาวะจริงในการเปิดหลอดไฟ 30 วัตต์ 10 ดวง ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง หลอดไฟใช้กำลังงาน 300 วัตต์ ต่อชั่วโมง ถ้าต่อเซนเซอร์หลอดไฟก็จะทำงานลดลงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์สถานะจริงในการใช้งานของ
หลอดไฟ 30 วัตต์

การทำงานของแบบจำลองบ้านในเวลา 60 นาที				
เปิด หลอดไฟ)นาที(เซนเซอร์ ทำงาน ปิดหลอดไฟ)นาที(พลังงาน ที่ใช้จริง)วัตต์(พลังงานที่ ประหยัด ได้)วัตต์(เปอร์เซ็นต์ การ ประหยัด พลังงาน
10	50	50	250	83.33%
15	45	75	225	75%
20	40	100	200	66.66%
25	35	125	175	58.33%
30	30	150	150	50%
35	25	175	125	41.66%
40	20	200	100	33.33%
45	15	225	75	25%
50	10	250	50	16.66%
55	5	275	25	8.33%
60	0	300	0	0%

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองบ้านอัจฉริยะ ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยใช้บอร์ดควบคุม DAQ USB-608 เป็นตัวรับส่งข้อมูลระหว่าง Sensor และโปรแกรม LabVIEW จากผลการวิเคราะห์สถานะจริงในการใช้งานหลอดไฟ 30 วัตต์ จำนวน 10 หลอด เปิดทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง หลอดไฟจะใช้กำลังงาน 300 วัตต์ต่อนาที ดังนั้นการต่อ Sensor จะทำให้การทำงานลดลง โดยการเปรียบเทียบในช่วงเวลาการใช้งาน 10 นาที หลอดไฟจะใช้พลังงาน 50 วัตต์ สามารถประหยัดพลังงานได้ 250 วัตต์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ประหยัดพลังงานเท่ากับ 83.33% และในช่วงเวลาการใช้งาน 40 นาที หลอดไฟจะใช้พลังงาน 200 วัตต์ สามารถประหยัดพลังงานได้ 100 วัตต์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ประหยัดพลังงานเท่ากับ 33.33% จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าที่เวลาการใช้งานของหลอดไฟน้อยลง การประหยัดพลังงานก็จะเพิ่มขึ้น

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้โปรแกรม Lab VIEW ควบคุมการทำงานจะได้ประสิทธิภาพและความสามารถในการทำงานที่สูง และปัจจุบันนี้ระบบอัจฉริยะได้เข้ามามีบทบาทสำคัญมากมาย โดยเฉพาะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่หันมาใช้ระบบอัจฉริยะ เพื่ออำนวยความสะดวกและที่สำคัญสามารถประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี และสำหรับการพัฒนาเพื่อใช้งานจริงๆ และเพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นควรเลือกใช้เซนเซอร์แต่ละชนิด ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน โดยพิจารณาจากคุณสมบัติว่าเหมาะสมกับการใช้งานทางด้านนั้นหรือไม่ เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] เจริญ เพชรมณี. 2547. *เรียนลัด LabVIEW*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ด ยูเคชั่น
- [2] กิจไพบุรย์ ชิวพันธุศรี. 2550. *การออกแบบระบบแอปพลิเคชันระบบกราฟฟิคด้วย LabVIEW*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ด ยูเคชั่น
- [3] อรรถพล บุญยะโกคา และคณะ. 2542. *เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : อินโนเวทีฟอิเล็กทรอนิกส์

การจำแนกลักษณะเสียงร้องไห้ของทารกแรกเกิดเพื่อแสดงอารมณ์

ลัทธิชัย จินะวงษ์ และ สุจิตรา จินะวงษ์

บทคัดย่อ— บทความนี้ นำเสนอการจำแนกลักษณะเสียงร้องไห้ของทารกแรกเกิดจนถึง 3 เดือน โดยการหารูปแบบของเสียงร้องไห้ในการบ่งบอกอารมณ์ความต้องการของทารก โดยใช้เสียงร้องไห้ที่มีลักษณะคล้ายคำว่า “เฮะ” ซึ่งหมายถึง รู้สึกเปียกชื้น “เอะ” ซึ่งหมายถึง มีลมในท้อง “อาว” ซึ่งหมายถึง ง่วงนอน และ “อินเนะ” ซึ่งหมายถึง หิวน้ำหรือนม การหาค่าลักษณะเด่นของเสียง จะหาจากการวิเคราะห์ระดับเสียง ความถี่ฟอร์แมนท และการหาค่าพลังงานของเสียงในย่านความถี่ต่างๆ ซึ่งพบว่าสามารถจำแนกรูปแบบของเสียงร้องไห้แต่ละเสียงได้อย่างชัดเจน ในส่วนของการจำแนก จะใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม ประเภทเพอเซปตรอนหลายชั้น (Multilayer perceptron : MLP) และ มีการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Backpropagation) สัญญาณเสียง ทางด้านอินพุต ได้มาจากเสียงทารกจำนวน 6 คน แยกออกเป็นเสียงร้องไห้ลักษณะต่างๆ จำนวนเสียงละ 40 เสียง จะได้ข้อมูลเสียงร้องไห้ 160 เสียง นำมาฝึกฝนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม ผลการทดลองพบว่า อัตราความถูกต้องของเสียงคำว่า “เฮะ” ได้ 70%, คำว่า “เอะ” ได้ 60%, คำว่า “อาว” ได้ 80% และคำว่า “อินเนะ” ได้ 70%

คำสำคัญ เสียงร้องไห้ของทารกแรกเกิด ระดับเสียง ความถี่กำหนด พลังงานของเสียงในย่านความถี่

1. บทนำ

ในช่วงเดือนแรกหลังคลอด ทารกจะต้องพยายามปรับตัวให้เข้ากับชีวิตนอกท้องแม่ การกำเนิดและการปรับตัวเข้าสู่ชีวิตหลังคลอดจะดึงอารมณ์ของทารกออกมา เป็นครั้งแรกที่ทารกต้องทำอะไรสักอย่างเพื่อให้ความต้องการของเขาได้รับการตอบสนอง ในเดือนแรกๆ ทารกไม่สามารถบอกความต้องการของเขาออกมาเป็นคำพูดได้ ในระหว่างที่ทารกไม่สามารถพูด “ภาษาของพ่อแม่” ได้ ทารกก็มีภาษาที่เป็นเอกลักษณ์ของเขาเองที่เรียกว่า “การร้องไห้” การร้องไห้ไม่ใช่แค่เสียง แต่มันคือสัญญาณที่ถูกออกแบบเพื่อความอยู่รอดของทารกและพัฒนาการของพ่อแม่ การไม่ตอบสนองต่อเสียงร้องไห้ทั้งพ่อแม่และทารกจะเสียประโยชน์ทั้งคู่ เมื่อทารกมี

ความต้องการ เช่น กระจายน้ำ หรือหิวนม ง่วงนอน ไม่สบายตัวจากความเปียกชื้น และเมื่อทารกรู้สึกเจ็บป่วย ความต้องการเหล่านี้จะไปกระตุ้นให้เกิดเสียงที่เราเรียกว่า เสียงร้องไห้ ผู้ที่เป็นพ่อแม่ต้องพยายามทำความเข้าใจถึงสาเหตุที่ทารกร้องไห้ แต่ก็เป็นความยากลำบากที่จะเข้าใจถึงสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้ทารกร้องไห้ โดยเฉพาะผู้ที่เพิ่งมีลูกคนแรก ซึ่งยังไม่มีประสบการณ์ ด้วยเหตุนี้การศึกษาถึงความหมายของเสียงร้องไห้ของทารกจึงเป็นความสำคัญ เพื่อที่จะได้ดูแลทารกให้มีความสุข ซึ่งก็หมายถึงความสุขของผู้เป็นพ่อแม่ด้วย

ด้านงานวิจัยเกี่ยวกับเสียงร้องไห้ของทารก ได้มีนักวิจัยและนักวิทยาศาสตร์ ได้ทำการค้นคว้าวิจัยในหลายลักษณะด้วยกัน ได้แก่ การค้นคว้าทดลองของพริสซิดา ดันสแตน [1] ผู้เชี่ยวชาญการสื่อสารภาษาเด็กทารกระดับโลก พบว่าเด็กทารกตั้งแต่แรกเกิดจนถึง 6 เดือน จะมีการสื่อสารด้วยภาษาสากลเดียวกัน ซึ่งได้รับการยอมรับจากสถาบันที่เกี่ยวข้องในสหรัฐอเมริกาและออสเตรเลีย สำหรับประเทศไทยพบว่าเสียงร้องไห้ที่เป็น

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่เชียงราย 99 หมู่ 10 อ.พหลโยธิน ต.ทรายขาว อ.พาน จ.เชียงราย 57120 โทรศัพท์ : 053-729600-5
E-mail: sithichai19@hotmail.com, phahongsa@hotmail.com

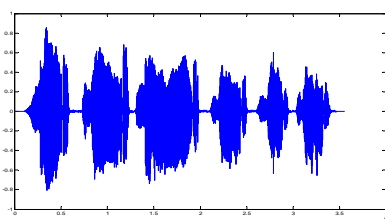
เอกลักษณ์สำหรับเด็กวัยนี้ มีทั้งหมด 4 เสียง ได้แก่ เสียง “อะ” เพื่อบอกว่ากำลังรู้สึกอึดอัด ไม่สบายตัว อันเกิดจากความเปียกชื้น ร้อน เหนียวตัว ขณะที่เสียง “อะ” บ่งบอกถึงอาการที่ทารกมีลมในท้อง ส่วนเสียง “อาว” เป็นสัญญาณบอกว่ากำลังง่วงนอน และสุดท้ายเสียง “อึนเนะ” คือเสียงร้องขอน้ำหรือนม นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ ที่ทำการศึกษา เสียงร้องไห้ของทารก ได้แก่ การวิเคราะห์ความถี่มูลฐานเสียงร้องไห้ของทารกจากการเจ็บป่วย [2] การประมาณค่าเสียงร้องไห้ของทารกจากการวิเคราะห์ความถี่เสียง [3] และกรณีศึกษาความถี่มูลฐานของเสียงร้องไห้จากความหิวสำหรับทารกแรกเกิด จนถึง 6 เดือน [4]

สำหรับงานวิจัยนี้ จะนำเสนอการจำแนกลักษณะเสียงร้องไห้ของทารกแรกเกิดเพื่อแสดงอารมณ์ความต้องการ ด้วยการวิเคราะห์ระดับเสียง (pitch) ความถี่ฟอร์แมนท์ (Formant) และการหาค่าพลังงานของเสียงในย่านความถี่ต่างๆ และจำแนกลักษณะเสียงร้องไห้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

2. วิธีการวิจัย

การหาลักษณะเด่นเสียงร้องไห้ของทารก

จากการค้นคว้าทดลองของ พรินซ์ดา คันสแตน [1] ผู้เชี่ยวชาญการสื่อสารภาษาเด็กทารก ซึ่งได้ทำการศึกษาวิจัยเสียงร้องไห้ของเด็กทารกกว่า 1,000 คน จาก 20 ประเทศทั่วโลก และได้ค้นพบว่าเด็กทารกตั้งแต่แรกเกิดจนถึง 6 เดือน จะมีการสื่อสารกับผู้เป็นพ่อแม่ ด้วยภาษาสากลเดียวกัน (Universal words) ซึ่งก็คือเสียงร้องไห้ของทารกนั่นเอง โดยจะสังเกตเสียงร้องไห้ที่มีความแตกต่างกัน จากการร้องเสียงนั้นซ้ำๆ ในการร้องไห้ครั้งนั้นๆ ของทารก



ภาพที่ 1 ตัวอย่างสัญญาณเสียงร้องไห้ของทารกแรกเกิด

สำหรับประเทศไทยพบว่าเสียงร้องไห้ที่เป็นเอกลักษณ์สำหรับทารก มีทั้งหมด 4 เสียง ซึ่งมีลักษณะของเสียงคล้ายคำในภาษาไทย ดังนี้

1. “อะ” ถือเป็นเสียงที่ทารกร้องบ่อยที่สุด เพื่อบอกว่าลูกกำลังรู้สึกไม่สบายตัว ซึ่งอาจจะเกิดจากความเปียกชื้น ร้อนและเหนียวตัว
2. “อะ” บอกลักษณะอาการที่ทารกมีลมในท้อง
3. “อาว” แสดงว่า ทารกกำลังง่วงนอนและต้องการพักผ่อน
4. “อึนเนะ” หรือ “อึนเงะ” เสียงร้องนี้มีความหมายว่าทารกกำลังกระหายน้ำหรือหิวนม

ในงานวิจัยนี้จะหาลักษณะเด่นของเสียงร้องไห้ 3 ประการด้วยกัน คือ

2.1 ระดับเสียง (Pitch)

เสียงพูดจะมีระดับ สูงหรือต่ำ อยู่ที่ความถี่พื้นฐานของเสียง (Fundamental Frequency) ถ้าความถี่ต่ำเสียงก็จะต่ำ อวัยวะส่วนที่ทำให้เสียงมีระดับ สูงหรือต่ำ คือ เส้นเสียง ดังนั้นระดับเสียง สูงหรือต่ำ ก็คืออัตราการสั่นสะบัดของเส้นเสียงนั่นเอง [5]

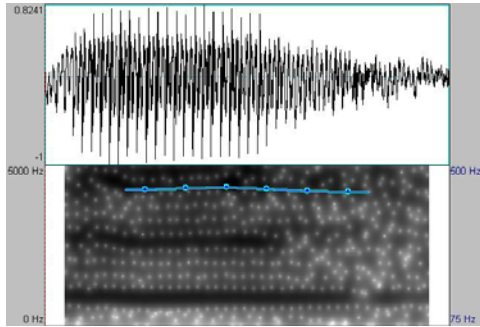
2.2 ความถี่ฟอร์แมนท์ (Formant Frequency)

ความถี่ฟอร์แมนท์ คือความถี่ก้ำกอน (Resonance Frequency) ของกลุ่มอวัยวะก้ำกอนเสียง ความถี่ฟอร์แมนท์ ของเสียงจะมีค่าเท่าใดขึ้นอยู่กับการบังคับขนาดและรูปร่างของอวัยวะส่วนนี้ อันเกิดเป็นเสียงความถี่ที่แตกต่างกันนั้น คือ เสียงพูดต่างๆ ความถี่ฟอร์แมนท์สำหรับเสียงพูดคำหนึ่งๆ อาจจะมีหลายค่า ตัวอย่างเช่น เสียง “อา” ซึ่งมีความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 2 3 และ 4 อยู่ ณ ตำแหน่งความถี่ ที่ 845 1544 2495 3658 เฮิรต์ ตามลำดับ [5]

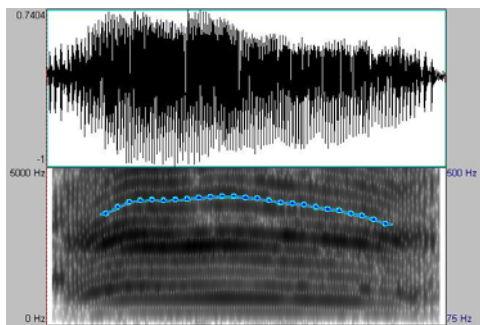
2.3 การหาค่าพลังงานของเสียงในย่านความถี่ต่างๆ

ในงานวิจัยนี้ ใช้ตัวกรองความถี่ในการแยกเสียงพูด ออกเป็น 4 ช่วงความถี่ แล้วนำส่วนประกอบของเสียงแต่ละช่วงความถี่นั้น มาหาค่าพลังงานของเสียงนั้น [6] โดย

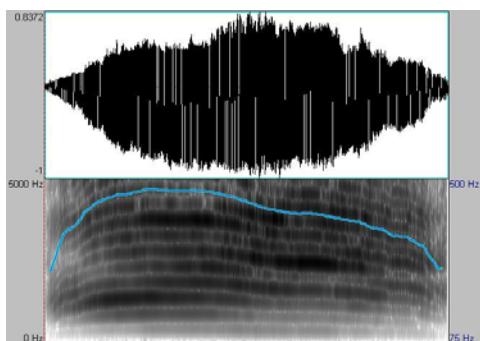
จากผลการทดลองพบว่าในช่วงความถี่ต่ำระหว่าง 0-800 Hz นั้น ค่าพลังงานของเสียงนั้นมีอยู่ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงได้แยกความถี่ช่วงนี้ออกเป็น 4 ช่วง ช่วงละ 200 Hz ได้แก่ 125-200 Hz, 200-400 Hz, 400-600 Hz, และ 600-800 Hz ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าพลังงานของเสียงในแต่ละช่วงความถี่ โดยค่าพลังงานของเสียงแต่ละเสียง จะมีค่าที่แตกต่างกัน ช่วงความถี่เสียงต่างๆ จึงสามารถใช้เป็นรูปแบบในการแยกเสียงได้



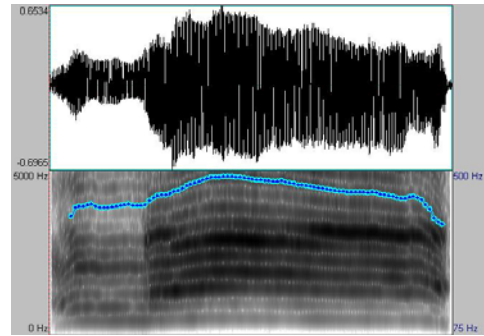
ภาพที่ 2 ตัวอย่างเสียงร้องให้คล้ายเสียง “เสะ”



ภาพที่ 3 ตัวอย่างเสียงร้องให้คล้ายเสียง “เอะ”



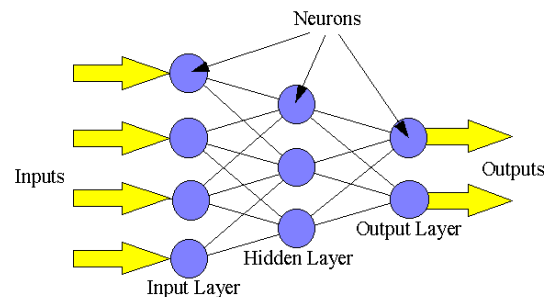
ภาพที่ 4 ตัวอย่างเสียงร้องให้คล้ายเสียง “อาว”



ภาพที่ 5 ตัวอย่างเสียงร้องให้คล้ายเสียง “อี้นะ”

โครงข่ายประสาทเทียมชนิดหลายชั้น (MLP)

โครงข่ายประสาทเทียมชนิดหลายชั้น (MLP) แบบแพร่กระจายกลับหลัง (Back Propagation) [7] โครงสร้างประกอบด้วย 3 ชั้น คือ ชั้นอินพุต (input layer) มีหน้าที่รับข้อมูลเข้ามา แล้วส่งข้อมูลต่อไปยังชั้นกลาง หรืออาจเรียกว่าเป็นชั้นที่ซ่อนอยู่ (hidden layers) ชั้นนี้อาจจะมีมากกว่า 1 ชั้น และชั้นสุดท้ายคือชั้นเอาต์พุต (output layer) เป็นส่วนที่นำผลออกไปใช้งานต่อไป

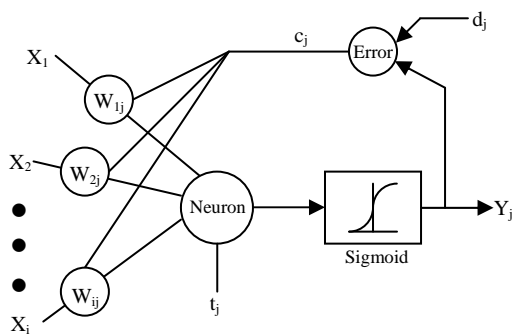


ภาพที่ 6 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม แบ่งเป็นสองส่วนหลักๆ คือ ส่วนการฝึกฝน (training) หรือสร้างระบบการทำงาน ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างและปรับโครงข่ายประสาทเทียมให้มีลักษณะการทำงานที่เหมาะสมกับอินพุตที่เข้ามา กระบวนการฝึกฝน จะเริ่มจากเมื่อมีสัญญาณอินพุตถูกป้อนเข้ามายังชั้นอินพุต โครงข่ายประสาทเทียมจะทำการกำหนดค่าน้ำหนัก (weights) ขึ้นมาประจำทุกเซลล์ที่อยู่ภายในอย่างสัมพันธ์กับอินพุตที่เข้ามา โดยจะมีเซลล์เดียวที่เหมาะสมกับอินพุตนั้นๆ ขณะที่ฝึกฝนจะเกิดค่าความผิดพลาด (error) ขึ้น ซึ่งก็คือค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุตที่เกิด

จากการกระทำของโครงข่ายประสาทเทียม ปกติแล้วค่า error นี้จะอยู่ในรูปของค่าผลรวมของค่าผิดพลาดกำลังสอง (sum square error) ค่าความผิดพลาดนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนที่สองก็คือส่วนการทดสอบ (testing) เป็นการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้งานจริงกับสัญญาณอินพุตที่เข้ามา

การแพร่กระจายกลับหลังเป็นการเรียกลักษณะการ training ของ MLP ที่มาจากการป้อนค่าความผิดพลาดกลับเข้าไปในขั้นตอนการ training เพื่อปรับค่าน้ำหนักของเซลล์ภายในโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งจะเป็นการทำงานซ้ำแบบวนรอบจนกระทั่งทำให้ค่าความผิดพลาดมีขนาดน้อยที่สุด



ภาพที่ 7 การป้อนกลับของโครงข่ายประสาทเทียม

3. ผลและการอภิปรายผล

การทดลองการหาค่าลักษณะเด่นเสียงร้องไห้ของทารกแรกเกิดจนถึง 3 เดือน ด้วยการวิเคราะห์ระดับเสียง (pitch) ความถี่ฟอร์แมนท์ (Formant) และการหาค่าพลังงานของเสียงในย่านความถี่ต่างๆ เพื่อหารูปแบบของเสียงร้องไห้ในการบ่งบอกอารมณ์ความต้องการของทารก โดยการบันทึกเสียงร้องไห้ของทารก จำนวน 6 คน ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงแรกเกิดจนถึง 3 เดือน จากนั้นนำมาแยกเป็นเสียงคำโดด ให้ได้เสียงที่มีลักษณะคล้ายคำว่า “อะ” จำนวน 40 เสียง คล้ายคำว่า “เอะ” จำนวน 40 เสียง คล้ายคำว่า “อ้าว” จำนวน 40 เสียง และคล้ายคำว่า “อินเนะ” หรือ “อินเงะ” จำนวน 40 เสียง จะได้ข้อมูลสัญญาณเสียงร้องไห้ทั้งหมดจำนวน 160 เสียง สัญญาณเสียงที่ใช้ในการทดลองนี้ทั้งหมดจะถูกบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์ โดยใช้อัตรา sampling ที่ 44,100 Hz ใช้

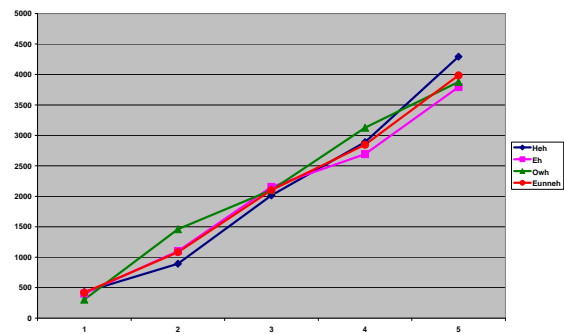
รหัสสัญญาณดิจิทัล 16 บิต ในการเก็บสัญญาณ 1 sampling

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยลักษณะเด่นของเสียงร้องไห้

เสียงร้องไห้	Pitch(Hz)	Formant (Hz)			
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
Heh	427.78	891.45	2015.01	2888.66	4291.14
Eh	399.93	1099.37	2152.55	2691.82	3791.26
Owh	302.63	1460.20	2100.02	3127.34	3876.82
EunNeh	418.89	1081.31	2101.26	2846.38	3983.51

สัญญาณเสียงร้องไห้ที่แยกเป็นเสียงคำโดดแล้ว จะถูกนำมาหาค่าลักษณะเด่นของเสียงร้องไห้ของทารก ตามหัวข้อ 2.1 และ 2.2 ซึ่งผลการทดลองแสดงเป็นค่าเฉลี่ยในตารางที่ 1

ผลจากการทดลอง ตามตารางที่ 1 จะเห็นว่า ด้วยวิธีการวิเคราะห์ระดับเสียง (Pitch) และการหาค่าความถี่ฟอร์แมนท์ จะให้ค่าที่ต่างกันอย่างชัดเจน โดยเฉพาะเสียงร้องไห้ที่คล้ายคำว่า “อ้าว” จะให้ค่าลักษณะเด่นที่แตกต่างจากเสียงอื่นอย่างมาก ซึ่งเมื่อนำค่าเฉลี่ยของทั้ง 4 เสียง มาวาดกราฟตามภาพที่ 7 จะยังทำให้เห็นรูปแบบของแต่ละเสียงอย่างชัดเจน



ภาพที่ 7 รูปแบบเสียงร้องไห้ของทารกแรกเกิดทั้ง 4 เสียง

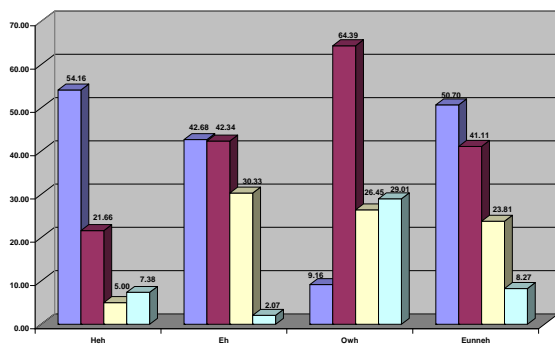
นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองหาค่าพลังงานของเสียงในย่านความถี่ต่างๆ โดยใช้ตัวกรองความถี่ในการแยกเสียง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ช่วงความถี่ ได้แก่ 125-200

Hz, 200-400 Hz, 400-600 Hz, และ 600-800 Hz ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าพลังงานของเสียงร้องให้ทั้ง 4 เสียง ในแต่ละช่วงความถี่ ดังแสดงได้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพลังงานเฉลี่ยของเสียงร้องให้นิยำน ความถี่ต่างๆ

เสียงร้องให้	ค่าพลังงานเฉลี่ยในย่านความถี่ต่างๆ (เปอร์เซ็นต์)			
	125-200 Hz	200-400 Hz	400-600 Hz	600-800 Hz
Heh	54.16	21.66	5.00	7.38
Eh	42.68	42.34	30.33	2.07
Owh	9.16	64.39	26.45	29.01
EunNeh	50.70	41.11	23.81	8.27

จากตารางที่ 2 เป็นการหาค่าพลังงานของเสียงร้องให้จากเสียงร้องให้ทุกเสียง จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานในแต่ละเสียง และในแต่ละช่วงความถี่ ซึ่งจากตารางจะเห็นว่า เสียงร้องให้ทั้ง 4 เสียง มีค่าพลังงานในช่วงความถี่ต่างๆ แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยเฉพาะเสียงร้องให้ที่คล้ายคำว่า “อาว” จะให้ผลที่ต่างจากเสียงอื่นอย่างมาก ซึ่งเมื่อนำค่าพลังงานเฉลี่ยของทั้ง 4 เสียง มาวาดกราฟตามภาพที่ 8 ก็จะได้รูปแบบของแต่ละเสียงอย่างชัดเจน



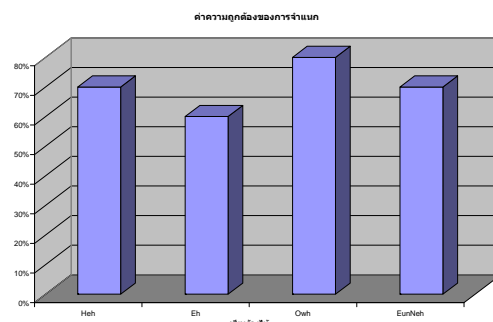
ภาพที่ 8 รูปแบบเสียงร้องให้ทั้ง 4 เสียง จากค่าพลังงานเฉลี่ยในย่านความถี่ต่างๆ

ส่วนการทดลองจำแนกเสียงร้องให้ของทารกนั้น จะใช้กระบวนการของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP

โดยมีข้อมูลเข้าคือ F_0 , F_1 , F_2 , F_3 , F_4 และค่าพลังงานของเสียงอีก 4 ช่วงความถี่ รวมเป็นข้อมูลเข้าทั้งหมด 9 ข้อมูล ดังนั้นจึงกำหนดชั้นซ่อนตัว (hidden layers) เท่ากับ 9 โหนด เพื่อให้เท่ากับข้อมูลอินพุตที่เข้ามา ส่วนขั้นตอนของการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม จะใช้ลักษณะเด่นของเสียงร้องให้ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว จำนวนเสียงละ 30 เสียง ส่วนที่เหลืออีก 10 เสียง จะใช้เป็นเสียงทดสอบ อัตราความถูกต้องของการจำแนก ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความถูกต้องของการจำแนกเสียงร้องให้

เสียงร้องให้	ค่าความถูกต้อง (%)
Heh	70%
Eh	60%
Owh	80%
EunNeh	70%



ภาพที่ 9 ความถูกต้องของการจำแนกเสียงร้องให้

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษา การหาค่าลักษณะเด่นเสียงร้องให้ของทารกแรกเกิดจนถึง 3 เดือน เพื่อหารูปแบบของเสียงร้องให้ในการบ่งบอกอารมณ์ความต้องการของทารก จากงานวิจัยของ พิรัชชิต่า ดันสแดน พบว่าเสียงร้องให้ของทารกจะมีเอกลักษณ์บางเสียงที่เกิดขึ้นซ้ำๆ กัน ในการร้องให้ของทารก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ตัดเสียงเอกลักษณ์เหล่านี้ มาทำการศึกษาหาค่าลักษณะเด่น ซึ่งเสียงร้องให้ที่มีเอกลักษณ์ที่ว่ามี ได้แก่

เสียงร้องไห้ที่มีลักษณะคล้ายคำว่า “เฮะ” ซึ่งหมายถึง รู้สึกเปียกชื้น, “เอะ” ซึ่งหมายถึง มีลมในท้อง, “อาว” ซึ่งหมายถึง ง่วงนอน, และ “อินเนะ” หรือ “อินเงะ” ซึ่งหมายถึง หิวน้ำหรือหิวนม จากการหารูปแบบของเสียงร้องไห้ ด้วยการวิเคราะห์ระดับเสียง การหาค่าความถี่ฟอร์แมนท์ และการหาค่าพลังงานของเสียงในย่านความถี่ต่างๆ พบว่าสามารถจำแนกรูปแบบของเสียงร้องไห้แต่ละเสียงได้อย่างชัดเจน และเมื่อนำเสียงร้องไห้มาจำแนกด้วยกระบวนการของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP ก็พบว่าสามารถจำแนกเสียงร้องไห้ของทารกได้ในระดับดี โดยเฉพาะเสียงร้องไห้ที่คล้ายคำว่า “อาว” จะให้ผลการจำแนกถูกต้องสูงถึง 80% ซึ่งในงานวิจัยต่อไปจะทำการบันทึกเสียงร้องไห้เพิ่มมากขึ้น และนำรูปแบบของเสียงร้องไห้ที่หาได้ในงานวิจัยนี้ มาทดลองเพื่อจำแนกเสียงร้องไห้ของทารกเพื่อใช้ในการบ่งบอกอารมณ์ความต้องการของทารกได้

- [5] L. R. Rabiner and B. –H. Juang, “Fundamentals of Speech Recognition”, A Oppenheim, Series Editor, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1993.
- [6] Tong Zhao. And Peng-Yung Woo., “Fuzzy Speech Recognition” IEEE on Intelligent Computing System. 1999., pp 2959-2961.
- [7] Neural Network toolbox user’s guide. 1998 : The MathWorks, Inc.

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Pricilla J. Dunstan, Susan Goodwyn, Linda Acredolo, “Child Sense” Random House Publishing Group, 2009.
- [2] H.M. Truby and J. Lind, “Cry sound of the newborn infant” , Acta Paediatr.Scand. Suppl., vol.163, pp.8-59. 1965
- [3] Mima, Y. Arakawa, K. Intelligent Signal Processing and Communications, 2006. ISPACS '06. International Symposium on 12-15 Dec. 2006, Page(s):29 – 32
- [4] Heidi Elisabeth Baeck, Marcio Nogueira de Souza, “Longitudinal Study of the Fundamental Frequency of Hunger Cries Along the First 6 Months of Healthy Babies” Journal of Voice, Volume 21, Issue 5, September 2007, Pages 551-559

ฉลากแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บกพร่องทางสายตา

ทินกร ก้อนสิงห์¹ วรวิทย์ เตจาคำ² และ สมชาย ชลายน³

บทคัดย่อ— งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาฉลากแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บกพร่องทางสายตา ได้จัดทำขึ้นเพื่อมุ่งหวังที่จะช่วยเหลือผู้บกพร่องทางสายตา อาทิ ผู้พิการทางสายตาโดยกำเนิดหรือจากอุบัติเหตุ ตลอดจนผู้สูงอายุที่มีปัญหาทางสายตา เป็นต้น ให้สามารถเข้าใจในตัวอักษรหรือข้อความที่ปรากฏบนฉลากได้ โดยใช้ประสาทสัมผัสในการรับฟังจากเสียงที่แปลงออกมาจากเครื่องอ่านฉลาก งานวิจัยใช้กรณีศึกษา ฉลากสำหรับผลิตภัณฑ์ยา ทั้งแบบถุงพลาสติกและแบบขวด โดยมีความสามารถในการบอกรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ยา ประเภทของผลิตภัณฑ์ยา รายละเอียดในการรักษา และระยะเวลาในการใช้ผลิตภัณฑ์ยา เป้าหมายของงานวิจัยคือ การช่วยผู้บกพร่องทางการมองเห็นให้สามารถช่วยเหลือตนเองได้ โดยเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ยาได้อย่างถูกต้องจากการฟังเสียง งานวิจัยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ผลการทดสอบการใช้งานจริงพบว่าฉลากแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บกพร่องทางสายตา สามารถทำงานตามที่กำหนดไว้ในวัตถุประสงค์ได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ ผู้บกพร่องทางสายตา เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี ไมโครคอนโทรลเลอร์

1. บทนำ

แนวโน้มของผู้สูงอายุในประเทศไทยมีปริมาณที่สูงขึ้นในทุกๆปี สิ่งอำนวยความสะดวกที่จะรองรับผู้สูงอายุในอนาคต ปัจจุบันยังมีจำกัดไม่สามารถรองรับได้ทั้งหมด ทั้งในเรื่องสุขอนามัย อาหาร ที่อยู่อาศัย การรักษาโรค เป็นต้น โดยเฉพาะเรื่องการมองเห็นของผู้สูงอายุ ทำให้ไม่มั่นใจเนื่องจากศักยภาพในการมองเห็นลดลง อ่านตัวอักษรหรือข้อความได้ไม่ชัดเจน ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ การรับประทานยาให้ถูกต้อง และตรงเวลาจะทำให้ลำบากมากเมื่อมีตัวยาหลายชนิด ต้องคอยอ่านข้อความที่ปรากฏบนฉลากว่าเป็นตัวยาชนิดไหน รับประทานเมื่อไหร่ ดังนั้นเพื่อมุ่งหวังที่จะช่วยเหลือผู้บกพร่องทางสายตา อาทิ ผู้สูงอายุที่มองเห็นตัวอักษรไม่ชัดเจน ตลอดจนผู้พิการทางสายตาโดย

กำเนิดหรือจากอุบัติเหตุ เป็นต้น ให้สามารถเข้าใจในตัวอักษรหรือข้อความที่ปรากฏบนฉลากได้ โดยใช้ประสาทสัมผัสในการรับฟังจากเสียง ที่แปลงออกมาจากเครื่องอ่านฉลาก งานวิจัยใช้กรณีศึกษา ฉลาก

สำหรับเวชภัณฑ์ทั้งแบบถุงพลาสติกและแบบขวด โดยมีความสามารถในการบอกรายละเอียดของเวชภัณฑ์ ประเภทของเวชภัณฑ์ รายละเอียดในการรักษา และระยะเวลาในการใช้เวชภัณฑ์ เป้าหมายของงานวิจัยคือการเน้นให้ผู้บกพร่องทางการมองเห็น ให้สามารถช่วยเหลือตนเองได้ โดยเลือกใช้เวชภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องจากการฟังเสียง กระบวนการดำเนินงานวิจัยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานร่วมกับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี โดยมีงานวิจัยที่ใช้เทคโนโลยีดังกล่าว อาทิ ระบบติดตามและตรวจสอบทรัพย์สินและบุคคลโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี [1] งานวิจัยฉลากยาพูดได้ของศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ [2] เป็นต้น ในส่วนของการรับส่งข้อมูลใช้เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี(Reader) รับค่าข้อมูลจากฉลากเวชภัณฑ์ที่มีการติดตั้งป้ายอาร์เอฟไอดีหรือที่เรียกว่าแท็ก (Tag) โดยเข้าถึงฐานข้อมูลเสียงที่ถูกจัดเก็บไว้ใน

¹สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่ 169 หมู่3 ตำบลหนองแก้ว อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่
โทรศัพท์: 0-5381-9999 โทรสาร: 0-5381-9998
E-mail: tinnakorn@northcm.ac.th

การ์ดหน่วยความจำประเภท SD CARD (Secure Digital Card) จากนั้นทำการประมวลผลให้มีการส่งเสียงคำพูดของฉลากเวชภัณฑ์ออกจากลำโพง เพื่อให้ ผู้บกพร่องทางการมองเห็น ได้รับข้อมูลจากการฟังเสียง

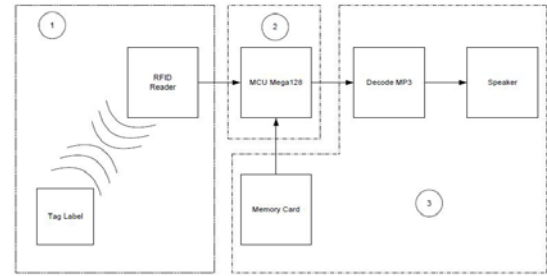
2. วิธีการวิจัย

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ระบบอาร์เอฟไอดี ในปัจจุบันมีลักษณะเป็นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Tag) ที่สามารถอ่านค่าได้โดยผ่านคลื่นวิทยุจากระยะห่าง เพื่อตรวจ ติดตามและบันทึกข้อมูลที่ติดอยู่กับป้าย ซึ่งนำไปฝังไว้ในหรือติดอยู่กับวัตถุต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ กล่อง หรือสิ่งของใดๆ สามารถติดตามข้อมูลของวัตถุ 1 ชิ้นว่า คืออะไร ผลิตที่ไหน ใครเป็นผู้ผลิต ผลิตอย่างไร ผลิตวันไหน และเมื่อไร ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนที่ขึ้น และแต่ละชิ้นมาจากที่ไหน รวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งของวัตถุนั้นๆ ในปัจจุบันว่าอยู่ส่วนใดในโลก โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการสัมผัส (Contact-Less) หรือต้องเห็นวัตถุนั้นๆ ก่อนทำงาน โดยใช้เครื่องอ่านที่สื่อสารกับป้ายด้วยคลื่นวิทยุในการอ่านและเขียนข้อมูล [3] [4] [5]

2.2 โครงสร้างฉลากแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บกพร่องทางสายตาระบบการทำงานประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

1. ส่วนของภาคส่งและภาครับ ประกอบด้วยแท็กที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลจากฉลากเวชภัณฑ์และเครื่องอ่านที่ทำหน้าที่ อ่านค่ารหัสจากฉลากเวชภัณฑ์
2. ส่วนของภาคประมวลผล ทำหน้าที่โดยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ส่วนของภาคแสดงข้อมูลด้วยเสียง โดยทั้งสามส่วน แสดงดังภาพที่ 1



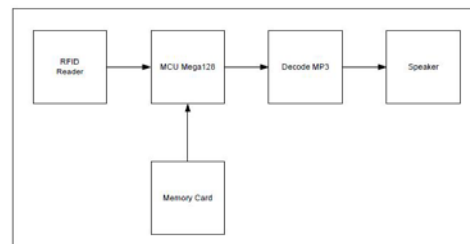
ภาพที่ 1 โครงสร้างโดยรวมของฉลากแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บกพร่องทางสายตา

2.3 อุปกรณ์ในฉลากแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บกพร่องทางสายตา ประกอบด้วย

- ตัวอ่านอาร์เอฟไอดีรุ่น SL031 Strong Link ระยะการอ่าน 5-10 เซนติเมตร
- ป้ายอาร์เอฟไอดี ชนิด Mifare 1k 13.56 MHz แบบ Passive
- วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega 128
- วงจรถอดรหัสเอ็มพี 3 (MP3)

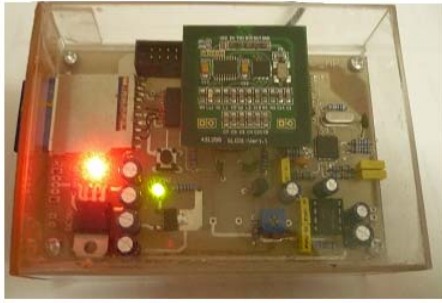
2.4 ขั้นตอนการออกแบบฉลากแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บกพร่องทางสายตา

1. ออกแบบโครงสร้างการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดีในการสร้างวงจรฉลากแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บกพร่องทางสายตา

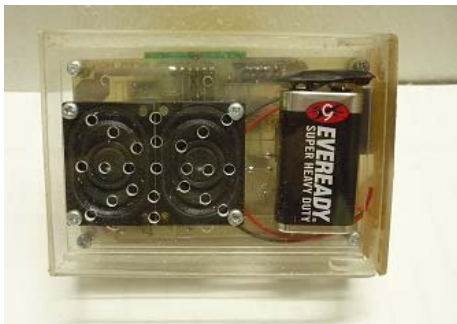


ภาพที่ 2 โครงสร้างการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดีหน่วยความจำ และส่วนของการถอดรหัสเอ็มพี 3

2. จัดทำชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ [6] สำหรับฉลากแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บกพร่องทางสายตา



ภาพที่ 3 ด้านหน้าของฉลากแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บกพร่องทางสายตา



ภาพที่ 4 ด้านหลังของฉลากแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บกพร่องทางสายตา

3.ติดตั้งแท็กสำหรับเวชภัณฑ์ชนิดต่างๆ



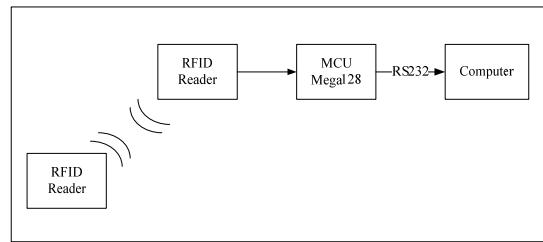
ภาพที่ 5 ตัวอย่างยาสามัญประจำบ้านที่ทำการติดตั้งแท็ก

3. ผลและการอภิปรายผล

ในการทดสอบฉลากแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บกพร่องทางสายตาได้มีการวางแผนการทดสอบเป็นขั้นตอนตามลำดับ โดยการอ่านข้อมูลจากฉลากเวชภัณฑ์ การอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำประเภท SD CARD การแสดงผลทางเสียง และการอัปเดตเสียงจากโปรแกรมอัปเดตเสียงฉลากแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บกพร่องทางสายตา โดยผู้วิจัยได้ทำการทดสอบ ตามหัวข้อดังนี้

3.1 การทดสอบทางด้านฮาร์ดแวร์

1. นำข้อมูลจากแท็กอาร์เอฟไอดีมาใช้ในการทำงาน เพื่อเป็นข้อมูลอินพุตส่งต่อไปยังส่วนประมวลผลและแสดงผลข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยทำการโหลดโปรแกรมลงใน MCU ATmega 128 นำแท็กอาร์เอฟไอดี ทำการทาบบนตัวอ่าน ในระยะไม่เกิน 10 เซนติเมตร จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลค่าในแท็ก แสดงผลผ่านโปรแกรม RS-232 Terminal



ภาพที่ 6 แสดงการรับ-ส่งข้อมูลอาร์เอฟไอดีกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega128 และแสดงผลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์

```

RS-232 Terminal v1.0 (Com1 -> 9600,n,8,1)
File Setting Connect ClearTerminal About

TEST MIFARE RFID

Card Activate
Mifare_Std_1K
-----Read Data Block -----
Value:0001
-----

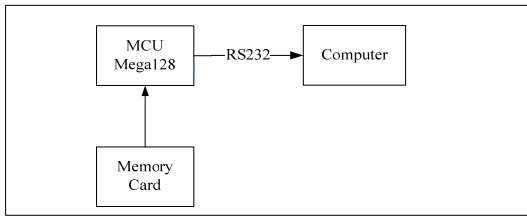
Card Activate
Mifare_Std_1K
-----Read Data Block -----
Value:0004
-----

Card Activate
Mifare_Std_1K
-----Read Data Block -----
Value:0010
-----
    
```

ภาพที่ 7 แสดงผลการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลอาร์เอฟไอดี

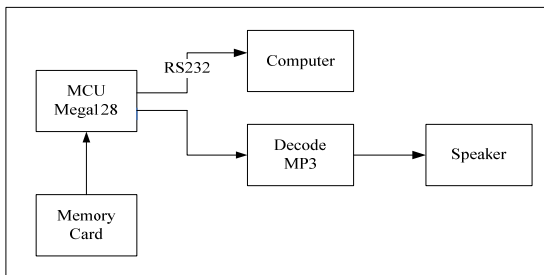
2. นำข้อมูลจากหน่วยความจำประเภท SD CARD เพื่อใช้เป็นข้อมูลส่งต่อไปยังส่วนประมวลผลเพื่อทำการถอดรหัสเอ็มพี 3 และแสดงผลบนหน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยการโหลดโปรแกรมลงใน MCU ATmega 128 นำหน่วยความจำประเภท SD CARD มาต่อร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ชุดทดสอบไมโคร

คอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลค่าข้อมูลในหน่วยความจำประเภท SD CARD และแสดงผลผ่านโปรแกรม RS-232 Terminal



ภาพที่ 8 แสดงการติดต่อข้อมูลหน่วยความจำประเภท SD CARD

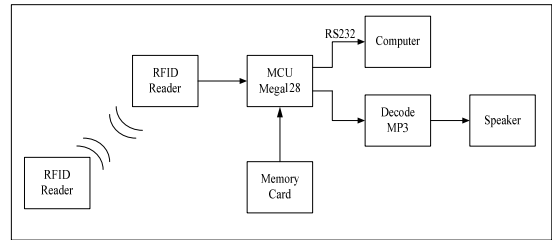
3. นำข้อมูลจากหน่วยความจำประเภท SD CARD เพื่อใช้เป็นข้อมูลส่งต่อไปยังส่วนประมวลผลให้ทำการถอดรหัสเอ็มพี 3 และแสดงผลบนหน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์ รวมถึงการแปลงเสียงออกจากลำโพง โดยการโหลดโปรแกรมลงใน MCU ATmega 128 นำหน่วยความจำประเภท SD CARD ต่อร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรถอดรหัสเอ็มพี 3 ที่เชื่อมต่อกับลำโพง ชุดทดสอบไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลค่าข้อมูลในหน่วยความจำ และแสดงผลผ่านโปรแกรม RS-232 Terminal พร้อมเล่นไฟล์เสียงที่อยู่ในหน่วยความจำประเภท SD CARD



ภาพที่ 9 แสดงการติดต่อข้อมูลหน่วยความจำกับชุดถอดรหัสเอ็มพี 3 แสดงผลทางบนเครื่องคอมพิวเตอร์และแปลงเสียงออกลำโพง

4. นำชุดทดสอบทั้งหมดมาผนวกกัน โดยการอ่านข้อมูลในแท็กอาร์เอฟไอดี นำมาประมวลผล ทำการเรียกไฟล์เสียงในหน่วยความจำประเภท SD CARD แสดงผลบนหน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์ และทางด้านเสียงโดยการโหลดโปรแกรมลงใน MCU ATmega 128 นำแท็กอาร์เอฟไอดีมาทาบบนตัวอ่าน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลข้อมูลในแท็ก ทำ

การเรียกไฟล์เสียงที่อยู่ในหน่วยความจำประเภท SD CARD และแสดงผลผ่านโปรแกรม RS-232 Terminal พร้อมเล่นไฟล์เสียงที่ถูกเรียกใช้งาน



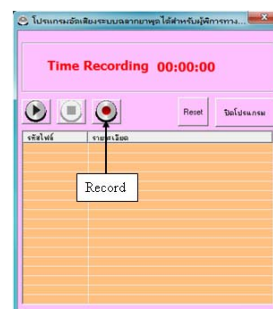
ภาพที่ 10 แสดงแผนผังไอโตะแกรมผลากแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บกพร่องทางสายตา



ภาพที่ 11 แสดงผลข้อมูลเมื่อมีการเรียกไฟล์เสียงจากหน่วยความจำประเภท SD CARD

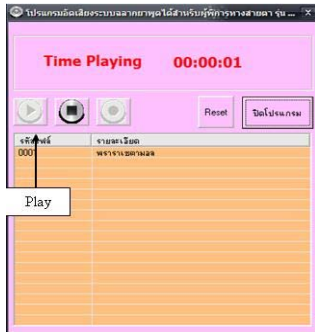
3.2 การทดสอบทางด้านซอฟต์แวร์

1. ทำการเริ่มต้น โปรแกรมเพื่อบันทึกเสียงโดยการกดปุ่ม Record



ภาพที่ 12 แสดงการเริ่มต้นการบันทึกเสียงของโปรแกรม

2. ทำการทดสอบเล่นไฟล์เสียง โดยการกดปุ่ม Play บนหน้าต่างควบคุมโปรแกรม



ภาพที่ 13 แสดงการเล่นไฟล์เสียงของโปรแกรม

3.3 ผลการทดสอบการแปลงเสียงจากลำโพงเมื่อทดลองใช้กับผลิตภัณฑ์ยา

ตารางที่ 1 ผลการการแปลงเสียงจากลำโพงเมื่อทดสอบกับผลิตภัณฑ์ยา

ข้อความที่แปลงออกมา	ผลิตภัณฑ์	ผลการทดสอบ
ยาหอมชนิดขวดใช้ทาน แก้วเวียนศรีระ หมดอายุ สิบห้า ตุลา สองพันห้าร้อยห้าสิบห้า		แสดงผลได้ตามต้องการ
ยาแก้ปวดชนิดของใช้ทาน แก้ปวดศรีระ หมดอายุ ห้า ธันวาคม สองพันห้าร้อยห้าสิบหก		แสดงผลได้ตามต้องการ
ยาแผลแดงใช้ทาภายนอก สำหรับแผลสด หมดอายุ สิบ กุมภาพันธ์ สองพันห้าร้อยห้าสิบสี่		แสดงผลได้ตามต้องการ
แอลกอฮอล์ล้างแผล ใช้ภายนอก สำหรับล้างแผล หมดอายุ สิบเจ็ด มีนาคม สองพันห้าร้อยห้าสิบสี่		แสดงผลได้ตามต้องการ
ยาแก้คัน ใช้ทาภายนอก แก้ผดผื่นคันแมลงสัตว์กัดต่อย หมดอายุ สอง เมษายน สองพันห้าร้อยห้าสิบสี่		แสดงผลได้ตามต้องการ
เครื่องดื่มเกลือแร่ชนิดผง ใช้ผสมน้ำดื่ม แก้โรควง หมดอายุ แปด กันยายน สองพันห้าร้อยห้าสิบสี่		แสดงผลได้ตามต้องการ
ยาแก้ปวดชนิดขวดใช้ทาน แก้ปวดศรีระ หมดอายุ สิบหก ธันวาคม สองพันห้าร้อยห้าสิบห้า		แสดงผลได้ตามต้องการ

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบชุดอุปกรณ์พบว่าสามารถทำงานตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้ หลังจากที่ได้ทดสอบเขียนโปรแกรมติดต่อเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี หน่วยความจำประเภท SD CARD และไอซีถอดรหัส เอ็มพี 3

ผลที่ได้ในส่วนของฮาร์ดแวร์คือ สามารถอ่านค่าในฉลาก (แท็กอาร์เอฟไอดี) ได้ และเล่นไฟล์เสียงที่อยู่ในหน่วยความจำที่ถูกเรียกใช้งานได้ในด้านซอฟต์แวร์สามารถบันทึกเสียงฉลากแปลงเสียงโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับผู้บริโภคทางสายตาได้ตามต้องการ ใช้งบประมาณทั้งสิ้น 2,000 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ฉลากยาพูดได้ของเนคเทคพบว่า ระบบที่ได้จัดทำจากการวิจัยมีคุณสมบัติที่ดีกว่าในด้าน 1.การประมวลผลที่รวดเร็วใช้ MCU ตระกูล AVR 32 บิต 2.มีการบันทึกในสื่อข้อมูลแบบ SD CARD ได้ 3.มีขนาดเล็กกะทัดรัด เหมาะสำหรับพกพา 4.ราคาประหยัดกว่า 1 เท่าตัว

ข้อเสนอแนะ

- 1.ควรจัดทำฐานข้อมูลเวชภัณฑ์ยาให้เป็นหมวดหมู่ชัดเจน เพื่อให้ง่ายต่อการจัดเก็บและค้นหา
- 2.ข้อจำกัดของไฟล์เสียงที่มีนามสกุล .MP3 มีขนาดที่ใหญ่ อาจต้องใช้หน่วยความจำที่มากขึ้นเมื่อต้องการเก็บข้อมูลเวชภัณฑ์ยาจำนวนมาก
- 3.ความชัดเจนของเสียงที่แปลงออกมาจากลำโพง ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการบันทึกเสียง ควรเลือกใช้ซอฟต์แวร์บันทึกเสียงที่มีการป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดี

5. เอกสารอ้างอิง

[1] กมลวัฒน์ สุวรรณพัฒน์. 2552. ระบบติดตามและตรวจสอบทรัพย์สินและบุคคลโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี, วรสารเทคโนโลยีสารสนเทศ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[2] ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค). 2549. ผลงานวิจัยฉลากยาพูดได้

[3] วัชรกร หนูทอง และคณะ. 2547. RFID เทคโนโลยีสารพัดประโยชน์. สาร NECTEC.

[4] Albert Puglia, Mike Puglia and V. Daniel Hunt. 2007. RFID a Guide to Radio Frequency Identification.

[5] Sam Polniak. 2007. The RFID Case Study Book. RFID Application Stories From Around The Globe.

[6] ชีร์วัฒน์ ประกอบผล. 2545. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ที่
ให้ความอนุเคราะห์ตีพิมพ์เพื่อเผยแพร่งานวิจัย

ชุดกลั่นเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้

อนุสรณ์ เราเท่า'มานัส' สุพันธ์' วีรุฒิ' ชันรัตน์' ภาณุวัฒน์' มาละแซม' ระพินทร์' ชัดปิก' และ ดิเรก มณีวรรณ'

บทคัดย่อ—น้ำส้มควันไม้ เป็นผลิตผลจากการเผาถ่านไม้ในเตาเผา โดยมีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวสีเหลืองถึง สีน้ำตาลแดง มีกลิ่นควันไม้ รสเปรี้ยว ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 1.5-3.7 น้ำส้มควันไม้ ถูกนำมาใช้ ประโยชน์หลายด้านตามสารประกอบที่สำคัญในน้ำส้มควันไม้ อาทิ กรดอะซิติกเป็นสารกลุ่มออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค เชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย และเชื้อไวรัส สารประกอบฟีนอล เป็นสารในกลุ่มควบคุมการเจริญเติบโตของพืชและสารฆ่าแมลงใช้ล้างแผล ทำยาฆ่าพวกแอสไพริน และทำวัตถุหลอมเหลว พอร์มัลดีไฮด์ เป็นสารในกลุ่มออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค และแมลงศัตรูพืช เอธิล เอ็น วาเลอเรต เป็นสารในกลุ่มเร่งการเจริญเติบโตของพืช เมธานอล แอลกอฮอล์ เร่งการงอกของเมล็ด และราก ใช้น้ำส้มควันไม้ได้และเป็นสารในกลุ่มออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค เชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย และเชื้อไวรัสอะซิโตน สารละลายวัตถุ ใช้ทำน้ำยาทาเล็บและเป็นสารเสพติด น้ำมันทาร์ เป็นสารจับใบช่วยลดการใช้สารเคมีแต่ก่อนที่จะนำไปใช้งานจะต้องผ่านการแยกน้ำมันดินโดยนิยมเก็บทิ้งไว้ 90 วัน เพื่อให้ตกตะกอนแยกชั้นน้ำมันดินที่ ตกค้างออก กระบวนการผลิตจึงต้องใช้ระยะเวลาาน งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อ สร้างชุดกลั่นน้ำส้มควันไม้ โดยใช้เทคนิคการถ่ายโอนมวลความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานโดยประยุกต์ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาช่วยวัด อุณหภูมิและควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการกลั่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกลั่นน้ำส้มควันไม้ให้พร้อมที่จะนำไปใช้ งานได้ทันทีโดยไม่ต้องทิ้งไว้นานถึง 3 เดือน ผลการสร้างชุดกลั่นน้ำส้มควันไม้ ประกอบด้วย หม้อต้มที่ควบคุม อุณหภูมิการต้มแบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถควบคุมค่าได้ระหว่าง 25 ถึง 100 องศาเซลเซียส รองรับปริมาณน้ำส้ม ควัน ไม้สูงสุดที่ 5 ลิตร มีสัญญาณเตือนเมื่อปริมาณน้ำส้มควัน ไม้ในหม้อเหลือค้าง 0.5 ลิตรเพื่อหยุดกระบวนการกลั่น ถึงพักน้ำเพื่อแลกเปลี่ยนมวลความร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิของน้ำในถังได้ระหว่าง 28 ถึง 32 องศาเซลเซียส รองรับปริมาณน้ำสูงสุดที่ 20 ลิตร มีการทำงานร่วมระหว่างปั้มน้ำขนาด 18 วัตต์ และพัดลม 45 วัตต์ถึงกลั่น ใช้การขาดของหลอดทองแดงขนาด 3 หุน ยาว 4 เมตร ขดแบบสปริง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร บรรจุลงในถังน้ำ ขนาด 45 ลิตร ในด้านผลการทดสอบกลั่นน้ำส้มควัน ไม้ให้ได้ปริมาณ 1 ลิตร โดยใช้น้ำส้มควัน ไม้ที่มีค่าความเป็นกรด- ด่างเริ่มต้น 2.75 ควบคุมอุณหภูมิหม้อต้ม 100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหม้อกลั่น 32 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการกลั่น 85 นาที พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 1.3 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ค่าความเป็นกรด- ด่างที่ได้หลังกระบวนการกลั่นอยู่ที่ 2.74

คำสำคัญ น้ำส้มควันไม้ การกลั่น ประสิทธิภาพ

1. บทนำ

น้ำส้มควันไม้ เป็นสารเกษตรอินทรีย์ธรรมชาติ ที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านไม้ในเตาเผา ภายใต้สภาวะจำกัดอากาศ น้ำส้มควัน ไม้มีลักษณะเป็น

ของเหลวสีเหลืองถึงสีน้ำตาลแดง สี มีกลิ่นควันไม้ มีรสเปรี้ยว มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 1.5-3.7 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำส้มควัน ไม้ดิบ (มผช.659/2547) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำส้มควัน ไม้กลั่น(มผช.660/2547)

ในกระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้ต่างๆ ไปพบว่าน้ำส้มควัน ไม้ที่ได้จะมีน้ำมันดิน (Tar) ผสมอยู่ในปริมาณสูง ทำให้ไม่สามารถนำน้ำส้มควัน ไม้ที่ได้

¹หลักสูตรอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 128 ถนนห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

ไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีหลังการผลิต ดังนั้นจึงจำเป็นต้องผ่านการแยกน้ำมันดินด้วยการวางน้ำส้มควันไม้ทิ้งไว้เป็นเวลา 90 วัน เนื่องจากน้ำมันดินจะก่อให้เกิดการอุดตันที่รูใบของพืชทำให้พืชตายได้และน้ำมันดินเป็นสารอันตรายที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในคนและสัตว์ ผู้ผลิตน้ำส้มควันไม้จึงต้องใช้เวลาในการผลิต ทำให้ไม่สามารถผลิตและขายน้ำส้มควันไม้ได้ทันกับความต้องการของตลาด

น้ำส้มควันไม้ที่ดีควรมีลักษณะใส ไม่ขุ่น มีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล หรือสีแดงอมน้ำตาล หรือสีที่มีลักษณะคล้ายชาดำ เบียร์หรือไวน์ น้ำส้มควันไม้ที่มีลักษณะขุ่น มีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่แสดงว่ามีคุณภาพต่ำไม่เหมาะต่อการนำไปใช้น้ำส้มควันไม้ที่บริสุทธิ์ต้องมีน้ำมันดินไม่เกิน 1% ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ง่ายโดยดูความใส หากมีน้ำมันดินเกิน 1% น้ำส้มควันไม้จะขุ่นและมีสีดำ น้ำส้มควันไม้ที่ดีจะมีลักษณะใส สีชา หรือน้ำตาลแดง แตกต่างกันไปตามชนิดของไม้ จึงมีวิธีการทำให้น้ำส้มไม้บริสุทธิ์ขึ้นคือ

1) การตกตะกอน

น้ำส้มควันไม้ที่เก็บมาได้นั้น จะเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในน้ำส้มควันไม้ตลอดเวลา ดังนั้นควรพักทิ้งไว้ 3-6 เดือน โดยนำน้ำส้มควันไม้มาเก็บในถังทรงสูง มีความสูงมากกว่าความกว้างประมาณ 3 เท่า โดยทิ้งให้ตกตะกอนประมาณ 90 วัน น้ำส้มควันไม้จะตกตะกอนแบ่งเป็น 3 ชั้น ชั้นบนสุดจะเป็นน้ำมันใส (Light Oil) ชั้นกลางเป็นของเหลวสีชา (Wood Vinegar) และชั้นล่างสุดจะเป็นของเหลวสีเข้มดำคือ น้ำมันดิน (Tar) หลังจากตกตะกอนจนครบกำหนดแล้ว 3 เดือน นำน้ำส้มควันไม้มากรองด้วยผ้ากรองแล้วนำไปใช้ประโยชน์ หากรีบนำมาใช้ประโยชน์เร็วเกินไป จะได้น้ำส้มควันไม้คุณภาพต่ำและยังมีน้ำมันดินปนอยู่จำนวนมากไปใช้ ซึ่งอาจก่อผลเสียในภายหลังได้

2) การกรอง

โดยการใช้ผ้ากรองหรือถังกรองที่ใส่ผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะได้คุณสมบัติแตกต่างกันไป เพราะ

ถ่านกัมมันต์จะลดความเป็นกรดของน้ำส้มควันไม้ และจะใช้วิธีนี้เพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบในการอุตสาหกรรม

3) การกลั่น

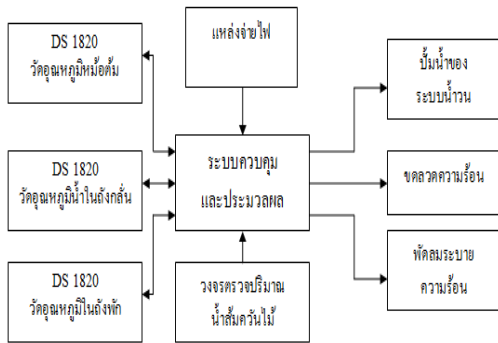
การกลั่นจะใช้วิธีการนำน้ำส้มควันไม้ที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านมาต้มเพื่อให้เปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ จากนั้นจึงทำให้ควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำ ซึ่งจะทำได้น้ำส้มควันไม้ที่มีความใส และมีน้ำมันดินเจือปนอยู่ในปริมาณน้อย มักใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยา

การกลั่น (Distillation) เป็นการแยกสารละลายที่เป็นของเหลวออกจากของผสม โดยอาศัยหลักการระเหยกลายเป็นไอและควบแน่นโดยที่สารบริสุทธิ์แต่ละชนิดเปลี่ยนสถานะได้ที่อุณหภูมิจำเพาะสารที่มีจุดเดือดต่ำจะเดือดเป็นไออออกมาก่อน เมื่อทำให้ไอของสารมีอุณหภูมิต่ำลงจะควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวอีกครั้ง การกลั่นมีหลากหลายวิธี อาทิ การกลั่นแบบธรรมดาหรือการกลั่นอย่างง่าย (Simple distillation) การกลั่นลำดับส่วน (Fractional distillation) การกลั่นน้ำมันดิบ (Refining) และการสกัดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ

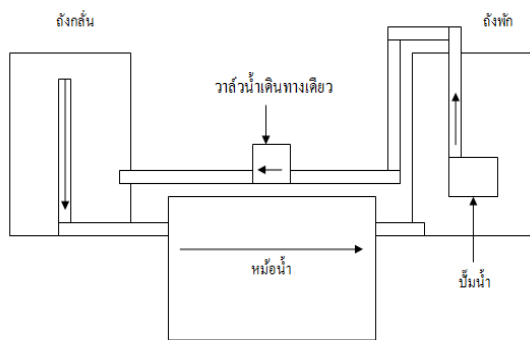
2. วิธีการวิจัย

2.1 ใช้เทคนิคการกลั่นแบบธรรมดา หรือ การกลั่นอย่างง่ายโดยประยุกต์ความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาช่วยในการควบคุมอุณหภูมิการกลั่น หลักการทำงานเบื้องต้น จะใช้อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิเบอร์ DS 1820 ในการตรวจวัดอุณหภูมิ 3 จุด คือ ภายในหม้อต้มน้ำส้มควันไม้ ภายในถังน้ำชุดควบแน่น และภายในถังพักน้ำ จากนั้นทำการส่งสัญญาณต่อไปยังภาคควบคุมเพื่อประมวลผล และควบคุมช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการต้มน้ำส้มควันไม้เพื่อให้ได้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ตรงตามที่ต้องการ ชุดควบคุมสามารถควบคุมระบบน้ำวน และพัดลมระบายอากาศ เพื่อระบายความร้อนของน้ำที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนของชุดควบแน่น โดยสามารถตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการให้ระบบน้ำวนทำงานได้ และมีการตรวจปริมาณของน้ำส้มควันไม้ในหม้อต้ม คือ เมื่อปริมาณ

น้ำส้มควันไม้ในหม้อต้มน้อยกว่า 0.5 ลิตร ชุดควบคุมจะสั่งให้หยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดทำความร้อน ดังนั้นการออกแบบหลักๆ จะเน้นขั้นตอนการสร้างตั้งแต่การออกแบบโครงสร้าง การออกแบบระบบน้ำวน การตรวจวัดอุณหภูมิ การตรวจปริมาณน้ำส้มควันไม้ วงจรของชุดควบคุมแต่ละภาค การออกแบบโปรแกรมควบคุมดังแผนผังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนผังการทำงานของเครื่องกลั่นน้ำส้มควันไม้



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของชุดกลั่นน้ำส้มควันไม้



ภาพที่ 3 เครื่องกลั่นน้ำส้มควันไม้



ภาพที่ 4 ชุดควบคุมเครื่องกลั่นน้ำส้มควันไม้

2.2. ทดสอบการให้ความร้อนของขดลวดทำความร้อนกับหม้อต้มน้ำส้มควันไม้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส -100 องศาเซลเซียส ใช้น้ำส้มควันไม้ปริมาณ 1.5 ลิตร โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ยี่ห้อ Keyence รุ่น TF1 และที่ขดลวดทำความร้อนขณะต้มน้ำส้มควันไม้ ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิภายในหม้อต้มโดยทำการทดลองต้มน้ำที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส

2.3 ทดสอบการทำงานของระบบน้ำวน โดยสังเกตการทำงานของพัดลมและปั๊มน้ำกำหนดอุณหภูมิที่จะให้ระบบน้ำวนทำงานและหยุดทำงาน

2.4 ทำการทดลองกลั่นน้ำส้มควันไม้ให้ได้ปริมาณ 1 ลิตร โดยใช้ปริมาตรการกลั่นแต่ละครั้งที่แตกต่างกัน คือ 1.5 - 4 ลิตร โดยควบคุมอุณหภูมิในการต้มน้ำส้มควันไม้ให้อยู่ในช่วง 95 องศาเซลเซียส-100 องศาเซลเซียส บันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าพร้อมวัดปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการบวนการกลั่น

3. ผลและการอภิปรายผล

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการนำความร้อนของหม้อต้ม

อุณหภูมิของน้ำส้มควันไม้ที่กำหนดจากชุดควบคุม (°C)	อุณหภูมิที่ขดลวดทำความร้อน (°C)	อุณหภูมิภายในหม้อต้ม (°C)
75	177	75
80	185	81
85	195	85
90	197	90
95	200	94
100	205	101

จากการทดสอบการให้ความร้อนของขดลวดทำ ความร้อนกับหม้อต้มน้ำส้มควันไม้พบว่าผลต่าง ระหว่างอุณหภูมิที่ขดลวดทำความร้อนกับอุณหภูมิ ภายในหม้อต้มมีค่าต่างกันมาก ซึ่งเป็นผลมาจากพื้น หน้าที่สัมผัสระหว่างขดลวดทำความร้อนกับตัวหม้อมี พื้นที่น้อย ทำให้ถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดี

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการทำงานของชุดควบคุม

ครั้งที่	ช่วงอุณหภูมิที่ตั้ง ในชุดควบคุม (°C)		อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ ขณะพักและปั้มน้ำ	
	ทำงาน	หยุดทำงาน	ทำงาน (°C)	หยุดทำงาน (°C)
1	28	26	28	26
2	30	28	30	28
3	32	30	32	30

จากการทดสอบตั้งอุณหภูมิให้ระบบนี้ว่าน ทำงานที่ 32 องศาเซลเซียสและหยุดทำงานที่ 30 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมินี้ในถังกลั่นยังไม่ถึง พัดลม และปั้มน้ำจะยังไม่ทำงาน จะเริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิ ถึง 32 องศาเซลเซียส และจะหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิ ลดลงถึง 30 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าชุดควบคุม สามารถทำงาน ได้ดีตรงตามที่กำหนดเงื่อนไขให้

ตารางที่ 3 ทดลองกลั่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้น้ำส้มควันไม้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง

2.75 ปริมาณ 1.5 ลิตร

ระยะเวลา (นาที)	อุณหภูมิภายใน หม้อต้ม (°C)	ปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ได้ และค่า pH		สถานะการทำงานของ เครื่อง	พลังงานที่ใช้ (kW/h)
		ปริมาณ (mL)	ค่า pH		
เริ่มต้น	29	-	-	ทำงาน	-
15	87	-	-	ทำงาน	0.2
30	100	200	2.91	ทำงาน	0.4
45	100	400	2.95	ทำงาน	0.7
60	100	650	2.75	ทำงาน	0.9
75	100	900	2.75	ทำงาน	1.1
85	100	1050	2.74	หยุดทำงาน	1.3

จากตารางที่ 3 สามารถนำมาสร้างเป็นสมการ ความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 1

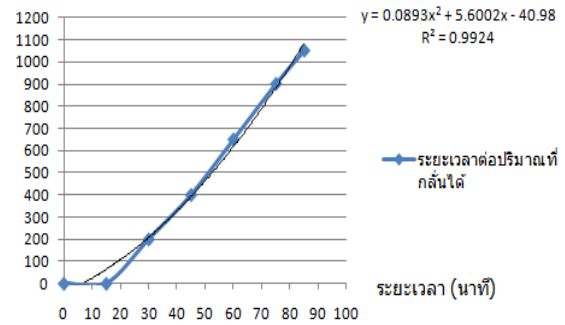
$$y = 0.0893x^2 + 5.6002x - 40.98 \quad (1)$$

โดยที่

y แทน ปริมาณน้ำส้มที่กลั่นได้

x แทน ระยะเวลาที่ใช้ในการกลั่น

ปริมาณที่กลั่นได้ (มิลลิเมตร)



ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ปริมาณที่กลั่นได้ กับระยะเวลาที่ใช้

ตารางที่ 4 ทดลองกลั่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้น้ำส้มควันไม้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.61 ปริมาณ 2 ลิตร

ระยะเวลา (นาที)	อุณหภูมิภายใน หม้อต้ม (°C)	ปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ได้ และค่า pH		สถานะการทำงานของ เครื่อง	พลังงานที่ใช้ (kW/h)
		ปริมาณ (mL)	ค่า pH		
เริ่มต้น	31	-	-	ทำงาน	-
15	80	-	-	ทำงาน	0.20
30	100	180	2.87	ทำงาน	0.40
45	100	380	2.64	ทำงาน	0.60
60	100	630	2.62	ทำงาน	0.80
75	100	880	2.62	ทำงาน	1.00
90	100	1110	2.62	ทำงาน	1.30
105	100	1310	2.60	ทำงาน	1.50
110	100	1350	2.60	หยุดทำงาน	1.60

ตารางที่ 5 ทดลองกลั่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ใช้น้ำส้มควันไม้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง

2.70 ปริมาณ 3 ลิตร

ระยะเวลา (นาที)	อุณหภูมิภายใน หม้อต้ม (°C)	ปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ได้ และค่า pH		สถานะการทำงาน ของเครื่อง	พลังงานที่ใช้ (kWh)
		ปริมาณ (mL)	ค่า pH		
เริ่มต้น	31	-	-	ทำงาน	-
15	68	-	-	ทำงาน	0.20
30	100	95	2.92	ทำงาน	0.40
45	100	230	2.80	ทำงาน	0.60
60	100	425	2.75	ทำงาน	0.80
75	100	615	2.75	ทำงาน	1.00
90	100	810	2.75	ทำงาน	1.20
105	100	1005	2.75	ทำงาน	1.40
120	100	1200	2.75	ทำงาน	1.60
135	100	1395	2.74	ทำงาน	1.80
150	100	1580	2.74	ทำงาน	2.00
165	100	1780	2.73	ทำงาน	2.20
180	100	1975	2.72	ทำงาน	2.40
195	100	2170	2.72	ทำงาน	2.60
210	100	2260	2.72	หยุดทำงาน	2.80

ตารางที่ 6 ทดลองกลั่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ใช้น้ำส้มควันไม้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง

2.45 ปริมาณ 4 ลิตร

ระยะเวลา (นาที)	อุณหภูมิภายใน หม้อต้ม (°C)	ปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ได้ และค่า pH		สถานะการทำงาน ของเครื่อง	พลังงานที่ใช้ (kWh)
		ปริมาณ (mL)	ค่า pH		
เริ่มต้น	31	-	-	ทำงาน	-
15	55	-	-	ทำงาน	0.20
30	100	120	2.70	ทำงาน	0.40
45	100	210	2.55	ทำงาน	0.60
60	100	400	2.49	ทำงาน	0.80
75	100	595	2.47	ทำงาน	1.00
90	100	785	2.47	ทำงาน	1.20
105	100	980	2.47	ทำงาน	1.40
120	100	1175	2.47	ทำงาน	1.60
135	100	1365	2.46	ทำงาน	1.80
150	100	1555	2.47	ทำงาน	2.00
165	100	1750	2.46	ทำงาน	2.20
180	100	1945	2.46	ทำงาน	2.40
195	100	2140	2.47	ทำงาน	2.60
210	100	2330	2.47	ทำงาน	2.80
225	100	2520	2.47	ทำงาน	3.00
240	100	2715	2.47	ทำงาน	3.20
255	100	2910	2.47	ทำงาน	3.40
270	100	3105	2.47	ทำงาน	3.60
285	100	3300	2.46	ทำงาน	3.80
300	100	3495	2.46	หยุดทำงาน	4.00

4. สรุปผลการวิจัย

การใช้เทคนิคการกลั่นแบบธรรมดา หรือ การกลั่นอย่างง่ายโดยประยุกต์ความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาช่วยในการควบคุมอุณหภูมิการกลั่น โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิเบอร์ DS 1820 ในการตรวจวัดอุณหภูมิ 3 จุด คือ ภายในหม้อต้ม ภายในถังน้ำของชุดควบคุม และภายในถังพักน้ำสามารถใช้ควบคุมระดับอุณหภูมิในการต้มน้ำส้มควันไม้ตามที่ผู้ใช้กำหนดได้จริง

ในการกลั่นน้ำส้มควันไม้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสใช้น้ำส้มควันไม้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.75 ให้ได้ปริมาณน้ำส้มควันไม้หลังจากการกลั่นปริมาณ 1 ลิตร พบว่าใช้ระยะเวลาเฉลี่ยประมาณ 85 นาที ใช้พลังงานไฟฟ้าไปทั้งสิ้น 1.3 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง โดยที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างหลังการกลั่นมีค่า 2.74 ส่วนความใสของสีน้ำส้มควันไม้สังเกตได้ชัดเจนว่าปราศจากตะกอนเมื่อเทียบกับสีก่อนการกลั่น แสดงให้เห็นว่ากระบวนการกลั่นที่ได้ทำการวิจัยสามารถลดตะกอนของดินน้ำมันออกจากน้ำส้มควันไม้ได้เมื่อเทียบกับการทิ้งระยะการเก็บน้ำส้มควันไม้ไว้ที่ 90 วัน เพื่อให้ดินน้ำมันในน้ำส้มควันไม้แยกตัวออกมาก่อนนำไปใช้งานจริง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] จันทิมา ชั่งสิริพร. 2551. เครื่องแยกน้ำมันดินออกจากน้ำส้มควันไม้.
- [2] ณัฐวุฒิ เลหาทะกาญจนศิริ. 2544. “การกลั่นลำดับส่วนของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสไม้ไผ่.
- [3] กฤษดา ยิ่งขยัน. 2549. ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51. กรุงเทพฯ.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เขตพื้นที่ภาคพายัพ ที่กรุณาให้ใช้สถานที่ในการทดสอบวิจัย สุดท้ายขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยทุกท่าน และนักศึกษาช่วยงาน คือ นายภาณุพันธุ์ รูปโถม และ นายวุฒิพงษ์ อนนทย์ ที่ให้ความช่วยเหลืองานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

โปรแกรมการคำนวณเพื่อการศึกษาและวิเคราะห์มาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน

รุ่งเพชร ก่องนอก¹ และ บุญยัง ปลั่งกลาง²

บทคัดย่อ — บทความนี้นำเสนอการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยนำเอาหลักการคำนวณทางด้านวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้เขียนโปรแกรมคำนวณด้านการอนุรักษ์พลังงานด้วยคอมพิวเตอร์ โปรแกรมคำนวณจะประกอบด้วย โปรแกรมคำนวณหลัก หน้าหลักเรียกโปรแกรมย่อย และโปรแกรมย่อย ซึ่งโปรแกรมย่อยจะมีทั้ง ด้านไฟฟ้า ด้านความร้อน ด้านเครื่องปรับอากาศ และมาตรการด้านอื่นๆ โปรแกรมนี้เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจในการเลือกโปรแกรมย่อยให้เหมาะสมกับหน่วยงานของตน จากการนำโปรแกรมที่ออกแบบไปใช้งานกับโรงงานอุตสาหกรรมพบว่าโปรแกรมสามารถใช้งานได้จริงและมีความถูกต้องสามารถใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารได้

คำสำคัญ วิธีคำนวณเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โปรแกรมคำนวณด้านการอนุรักษ์พลังงาน

1. บทนำ

จากปัญหาด้านพลังงานในปัจจุบัน ซึ่งเป็นปัญหาหลักที่ทุกภาคส่วนต้องตระหนักถึง ไม่ว่าจะเป็นด้านปัญหาการสูงขึ้นของน้ำมันดิบ ส่งผลให้ต้นทุนด้านการผลิตสูงขึ้น ยังผลให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูงขึ้นตาม จึงเป็นที่มาของการค้นคว้า และวิจัยเกี่ยวกับพลังงานทางเลือกอื่น ไม่ว่าจะเป็นการหาแหล่งพลังงานใหม่ที่สามารถหาได้ พลังงานทดแทนจากแหล่งต่างๆ ที่ถูกคิดค้นและนำมาใช้เพื่อทดแทนพลังงานหลัก เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม ไบโอดีเซล ก๊าซธรรมชาติซึ่งเกิดจากการผลิตจากธรรมชาติ เป็นต้น พลังงานทดแทนต่างๆ เหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้ในโครงการต่างๆ แต่ก็มีข้อจำกัดอยู่ที่พลังงานเหล่านี้ไม่สามารถจ่ายพลังงานให้กับโหลดได้อย่างต่อเนื่อง เพราะพลังงานทดแทนไม่ได้มีตลอดเวลา เช่น พลังงานสงอาทิตย์ก็มีเฉพาะตอนกลางวันอีกทั้งต้นทุนยังสูง

พลังงานลมในประเทศไทยก็ใช้ได้เฉพาะบางบริเวณ ดังนั้นบทความนี้ทางผู้วิจัยจึงนำเสนอการจัดการด้านพลังงานไฟฟ้า เพื่อให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุด

จากปัญหาดังกล่าว ผู้ทำวิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญในการจัดการพลังงานไฟฟ้าแบบมีส่วนร่วมซึ่งเป็นวิธีการอีกวิธีการหนึ่งที่จะใช้จัดการปัญหาด้านพลังงานไฟฟ้าให้สามารถลดการใช้ทรัพยากรในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ในส่วนของการใช้พลังงานส่วนที่ผู้วิจัยทำอยู่มีการใช้พลังงานด้านไฟฟ้าอยู่ในจำนวนที่มาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นควรที่จะหาวิธีการที่จัดการด้านพลังงานให้ลดลง หรือให้มีการใช้พลังงานด้านไฟฟ้าอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. วิธีการวิจัย

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงประโยชน์ของการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาค้นคว้าวิธีการด้านการอนุรักษ์พลังงานในด้านต่างๆ พร้อมทั้งออกแบบโปรแกรมคำนวณการอนุรักษ์พลังงานเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการอนุรักษ์พลังงาน โดยโปรแกรมที่ออกแบบได้นำเอามาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงานด้านต่างๆ มารวมไว้ในโปรแกรมเดียว เพื่อให้เกิดความสะดวกของผู้ใช้งาน ดังนี้

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 744 ถ.สุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 โทรศัพท์: +66(0)-4425-2659 โทรสาร: +66(0)-4425-2659 E-mail: krungphet@gmail.com

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต.คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: +66(2)-549-3571 โทรสาร: +66(2)-549-3568

E-mail: pboonyang@rmutt.ac.th

1. ด้านไฟฟ้า
2. ด้านความร้อน
3. ด้านเครื่องปรับอากาศ
4. มาตรการด้านอื่นๆ

จากมาตรการอนุรักษ์พลังงานในข้างต้น ผู้วิจัยขอเสนอมาตรการอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้าเพื่อใช้ประกอบบทความ มาตรการนี้เป็นมาตรการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งตามข้อกำหนดของการไฟฟ้า ได้กำหนดให้ผู้ประกอบการ หรือหน่วยงานที่ใช้ไฟฟ้า ต้องปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ให้อยู่ในเกณฑ์ตามที่ คณะกรรมการพิจารณานโยบายพลังงานในการประชุมเมื่อวันที่ 7 ธันวาคม 2542 ได้มีมติเห็นชอบการกำหนดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าระหว่าง กฟผ. และการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมระหว่างการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายที่เหมาะสมในปี 2544 ควรมีค่าระหว่าง 0.875-0.925 และในปี 2548 ควรมีค่าระหว่าง 0.900-0.950 โดยให้มีการกำหนดบทปรับเมื่อมีค่า P.F. ต่ำกว่า 0.875 และ 0.90 lagging โดยไม่ควรกำหนดให้มีการให้โบนัส เนื่องจากหากระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีการปรับปรุงค่า P.F. ให้สูงขึ้นอย่างเหมาะสม ผลประโยชน์ที่เกิดจากการลดลงของกำลังสูญเสียก็จะเกิดขึ้นแก่ระบบไฟฟ้าจำหน่ายเอง จากข้อกำหนดดังกล่าวผู้วิจัยจึงนำเสนอการอนุรักษ์พลังงานด้วยวิธีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ดังตัวอย่างที่ 2.1

ตัวอย่างที่ 2.1 โรงงานแห่งหนึ่งมีขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 3500 kVA ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า 98.5 % แรงดันไฟฟ้าด้านต่ำ 380 V มีค่า PF = 0.65 โดยใช้โหลดอยู่ที่ 2000 kW มีพลังงานสูญเสียที่แกนเหล็ก 0.8 : 0.2 ต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ให้ได้ค่า PF = 0.95 โรงงานแห่งนี้จะเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเท่าไร โดยคิดค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 2.75 บาท/kWh จำนวนวันทำงาน 30 วัน ตลอด 24 ชั่วโมง ค่าความสูญเสียที่ยังไม่ได้แก้ไข PF 0.65 คิดเป็นพลังงานไฟฟ้า P = 32.46 kW ค่าความสูญเสียหลังปรับแก้เป็น PF 0.95 P = 15.196 kW สามารถคิดเป็นค่า

ไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ 34459.92 บาท/เดือน คิดเป็นเงินที่สามารถประหยัดได้ 410191.77 บาท/ปี การคำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์

$$\text{ค่าตัว PF เดิม PF} = 0.65$$

$$\begin{aligned} \text{มุมระหว่างแรงดันและกระแส} &= \cos^{-1}(0.65) \\ &= 49.458 \text{ องศา} \end{aligned}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าปรากฏเดิม } S_1 = 3076.923 \text{ kVA}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าเสมือนเดิม } Q_1 = 2338.259 \text{ kVAR}$$

$$\text{ค่าตัว PF หลังปรับปรุง PF} = 0.95$$

$$\begin{aligned} \text{มุมระหว่างแรงดันและกระแส} &= \cos^{-1}(0.95) \\ &= 18.195 \text{ องศา} \end{aligned}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าปรากฏใหม่ } S_2 = 2105.263 \text{ kVA}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าเสมือนใหม่ } Q_2 = 657.373 \text{ kVAR}$$

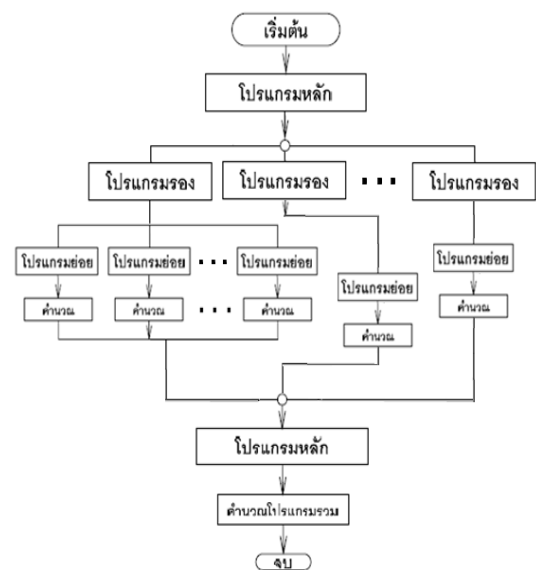
ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่ต้องปรับปรุง

$$Q = 1680.886 \text{ kVAR}$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง} = 588,000.00 \text{ บาท}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = 1.433 \text{ ปี}$$

จากตัวอย่างข้างต้นผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงาน ผู้วิจัยจึงนำความคิดดังกล่าวมาออกแบบ โปรแกรมการคำนวณเพื่อการศึกษาและวิเคราะห์มาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน โดยนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานเหล่านี้มาออกแบบ โปรแกรมการคำนวณเพื่อการศึกษาและวิเคราะห์มาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน ได้ดังภาพที่ 1



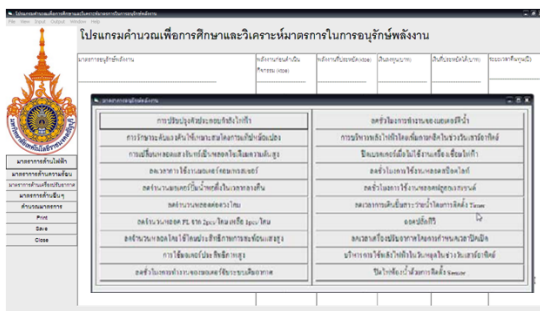
ภาพที่ 1 ผังการออกแบบโปรแกรมการ

จากผังงานดังกล่าวนำไปสู่การออกแบบการคำนวณเพื่อการศึกษาและวิเคราะห์มาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งประกอบด้วยหน้าโปรแกรมหลักซึ่งหน้าโปรแกรมหลัก ประกอบไปด้วยมาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ ซึ่งแบ่งออกได้ดังนี้ ด้านไฟฟ้า ด้านความร้อน ด้านเครื่องปรับอากาศ และมาตรการด้านอื่นๆ จากผังงานดังกล่าวผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบเพื่อให้ได้เครื่องมือช่วยตัดสินใจ โดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก 6 ในการออกแบบและดำเนินการสร้างโปรแกรม ดังตัวอย่างภาพที่ 2



ภาพที่ 2 หน้าโปรแกรมหลัก

จากภาพที่ 2 หน้าโปรแกรมหลักจะรวมมาตรการอนุรักษ์พลังงานหลักเอาไว้ด้วยกัน ซึ่งได้แก่ มาตรการด้านไฟฟ้า มาตรการด้านความร้อน มาตรการด้านเครื่องปรับอากาศ และมาตรการด้านอื่นๆ เมื่อผู้ใช้ต้องการใช้มาตรการที่เหมาะสมกับหน่วยงาน ผู้ใช้งานจะเลือกเอาเฉพาะมาตรการที่เหมาะสม และใกล้เคียงกับหน่วยงานของตน เพื่อดูผลการคำนวณซึ่งสามารถคาดเดาได้ว่ามาตรการที่เลือก สามารถประหยัดพลังงานได้มากน้อยเพียงใด และมีระยะเวลาคืนทุนช้าหรือเร็วเพียงใด



ภาพที่ 3 หน้าโปรแกรมรอง

จากภาพที่ 3 เป็นหน้าโปรแกรมรอง หลังจากเลือกมาตรการหลักเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้โปรแกรมต้องเลือกมาตรการรองอีกครั้ง เพื่อคำนวณหาผลของการอนุรักษ์พลังงานอีกครั้ง ในบทความนี้ผู้วิจัยนำเสนอมาตรการอนุรักษ์พลังงานด้วยการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การคำนวณโปรแกรมอนุรักษ์พลังงาน ๓

จากภาพที่ 4 ซึ่งเป็นการคำนวณมาตรการอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้า ซึ่งเป็นการคำนวณมาตรการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งจากมาตรการตัวอย่าง สามารถ

3. ผลและการอภิปรายผล

หลังจากการศึกษาวิธีการอนุรักษ์พลังงานทั้งทางทฤษฎี และปฏิบัติพร้อมทั้งได้ออกแบบเขียนโปรแกรมในบทที่วิจัยได้ดำเนินการทดสอบโปรแกรมที่ออกแบบโดยการนำผลจากการคำนวณของโปรแกรม มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ โปรแกรมด้วยมือ ซึ่งมีผลของการเปรียบเทียบการอนุรักษ์พลังงานในแต่ละมาตรการอนุรักษ์พลังงาน มีดังนี้

3.1 การเปรียบเทียบตัวอย่างมาตรการด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า

หลังจากออกแบบโปรแกรมคำนวณในบทที่ 3 ในส่วนนี้ผู้วิจัยจึงขอนำเฉพาะผลที่คำนวณได้ในมาตรการอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่คำนวณได้ เป็นมาตรการที่ใช้สมการคำนวณทางด้านวิศวกรรมเข้ามาช่วยในการบอกถึงผลประหยัดของการอนุรักษ์พลังงานในแต่ละมาตรการ ดังตัวอย่างที่การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ชื่อโหลด (Load Name)	กำลังไฟฟ้า (kW)	cos φ	กำลังไฟฟ้ารวม (kW)
เครื่องปรับอากาศ (Air Conditioner)	3000	0.8	3000
ตู้เย็น (Refrigerator)	300	0.8	300
พัดลม (Fan)	300	0.8	300
หลอดไฟ (Lighting)	300	0.8	300
มอเตอร์ (Motor)	300	0.8	300
เครื่องใช้ไฟฟ้า (Appliances)	300	0.8	300
รวม (Total)	3900	0.8	3900

4. สรุปผลการวิจัย

สำหรับการศึกษาและวิเคราะห์ด้านพลังงาน พบว่าการอนุรักษ์พลังงานเป็นส่วนหนึ่งซึ่งสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ โดยมีผลของการคำนวณด้านการอนุรักษ์พลังงานเป็นตัวชี้วัด จากการศึกษาวิจัยด้านการอนุรักษ์พลังงานทั้งในภาคอุตสาหกรรม และของกระทรวงพลังงาน แต่ยังคงขาดเครื่องมือที่ช่วยตัดสินใจเลือกมาตรการที่เหมาะสมกับหน่วยงาน ซึ่งจากการออกแบบ โปรแกรมคำนวณเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1.1 จากการศึกษาวิธีการอนุรักษ์พลังงานทั้งโดยหลักวิธีการอนุรักษ์พลังงาน และการอนุรักษ์พลังงานจริงในภาคอุตสาหกรรมยังขาดเครื่องมือช่วยตัดสินใจดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำปัญหานี้มาออกแบบเป็น โปรแกรมคำนวณเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

1.2 จากข้อที่กล่าวมา หลังได้ปัญหาที่ต้องการแก้ไขดังกล่าว ผู้วิจัยจึงศึกษาวิธีการออกแบบโปรแกรม โดยโปรแกรมที่ใช้ออกแบบคือโปรแกรม วิซวลเบสิก 6 ซึ่งสามารถทำเป็นโปรแกรมที่สามารถ ติดตั้งบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์เอ็กซ์พี ได้หลังจากออกแบบเรียบร้อยแล้วจึงทำการทดสอบโปรแกรม

1.3 การทดสอบโปรแกรมคำนวณเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบโปรแกรมที่ออกแบบขึ้นมา ด้วยการคำนวณด้วยมือ ซึ่งผลที่ได้เป็นค่าที่สามารถนำไปใช้ช่วยตัดสินใจในการอนุรักษ์พลังงานได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=204>
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน “ตราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ศพ. เล่ม 2)”
- [3] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ วารสารนโยบายพลังงาน ฉบับที่ 46 ตุลาคม-ธันวาคม 2542
- [4] ปิ่นฉัตร ศลิตฐนวัฒน์ รุ่งเพชร ก่องนอก ประเสริฐ หาชานนท์ สมชาย เบียนสูงเนิน และ บุญยัง ปลั่งกลางการศึกษามาตรการเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในโรงแรมขนาดกลาง : โรงแรมอานารีรีสอร์ทแอนด์สปา เกาะช้าง ; การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5, 29 เมษายน - 1 พฤษภาคม 2552 มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก
- [5] กิตติ ภักดีวัฒนกุล, จำลอง กระจุดตาสหะ “Visual basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์” บริษัท เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด ISBN 974-91402-1-4

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำในการดำเนินการออกแบบ โปรแกรมคำนวณและวิเคราะห์มาตรการในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม จนสำเร็จไปได้อย่างลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติม ขอขอบพระคุณบิดามารดา ขอขอบคุณเพื่อนๆ ภาควิชาไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ทุกท่าน ขอขอบคุณหัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ตลอดจนอาจารย์ทุกท่าน และเพื่อนๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา จึงขอประกาศขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ ด้วย

ประวัติผู้เขียนบทความ



รุ่งเพชร ก่องนอก ปริญญาตรี
วศบ.ไฟฟ้า สาขาวิชาวิศวกรรม
ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลอีสาน ปีการศึกษา 2548
ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรม
ไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลธัญบุรี, ปีการศึกษา 2550 สนใจด้านพลังงาน
ทดแทน อนุรักษ์พลังงาน



บุญยัง ปลั่งกลาง วศบ.ไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีราชมงคล คลอง 6,
ธัญบุรี, ปทุมธานี พ.ศ. 2539
MSc. in Electronics System
& Engineering Management
Uni-GH Paderborn, Soest Division, Germany, with
the cooperation of Bolton Institute of Higher
Education, UK พ.ศ. 2544 Doctor of Engineering (Dr.-
Ing.) University of Kassel, Germany พ.ศ. 2548

การผสมน้ำมันปาล์มใช้แล้วกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เพื่อผลิตไบโอดีเซล

วิชณี สอนสา¹ นันทนิตย์ ยี่มวาศนา¹ กนกพร บุญทรง¹ และ ศศิวิมล วุฒิกนกกาญจน์^{*1}

บทคัดย่อ— งานวิจัยเรื่องนี้เป็นศึกษาการผลิตไบโอดีเซลในรูปเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์จากการนำน้ำมันปาล์มใช้แล้วผสมกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผสมในน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มีค่าระหว่าง 80:20 - 20:80 และทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันเท่ากับ 12:1 โพลีเอสเตอร์ไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60^oC และเวลา 60 นาที ปริมาณเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ถูกวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค GC ผลการทดลองพบว่าปริมาณเอสเทอร์ลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันปาล์มใช้แล้วเพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มใช้แล้วกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เท่ากับ 20:80 ให้ปริมาณเมทิล-เอสเทอร์และปริมาณเอทิลเอสเทอร์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 97.2 (±0.7) และ 96.3(±1.2) โดยน้ำหนักตามลำดับ ที่อัตราส่วนเดียวกันปริมาณเมทิลเอสเทอร์เกิดมากกว่าปริมาณเอทิลเอสเทอร์ สมบัติอื่นของเมทิลเอสเทอร์ที่เตรียมจากอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันปาล์มใช้แล้วกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เท่ากับ 20:80 เช่น ค่าความหนืด ความหนาแน่น จุดวาบไฟ ปริมาณน้ำ ปริมาณความเป็นกรดรวม เป็นไปตามค่ามาตรฐานของประเทศไทย

คำสำคัญ ไบโอดีเซล น้ำมันปาล์มใช้แล้ว น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

1. บทนำ

ไบโอดีเซลคือมอนออัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันนิยมนผลิตจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์จะทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ในสภาวะที่มีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติของวัตถุดิบเริ่มต้นเกิดผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันและผลพลอยได้เป็นกลีเซอรอล แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะเป็นแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาเช่น เมทานอลเกิดไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์และเอทานอลเกิดไบโอดีเซลประเภทเอทิลเอสเทอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งที่มาของแอลกอฮอล์

เมทานอลเตรียมได้จากปิโตรเลียมในขณะที่เอทานอลเตรียมได้จากการพืชผลทางการเกษตรที่สามารถหมุนเวียนได้และมีความเป็นพิษน้อยกว่าจึงมีการศึกษาการใช้เอทานอลในการผลิตไบโอดีเซลมากขึ้น จากการรวบรวมงานวิจัยที่ผ่านมา[1] พบว่าวัตถุดิบที่สามารถใช้ผลิตไบโอดีเซลได้มีหลายชนิดทั้งน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และน้ำมันใช้แล้วจากการประกอบอาหาร การเลือกชนิดของวัตถุดิบที่เหมาะสมเพื่อผลิตไบโอดีเซลแตกต่างกันในแต่ละประเทศ สำหรับประเทศไทยวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลมาจากปาล์มน้ำมัน ในขณะที่น้ำมันใช้แล้วจากการประกอบอาหารจัดเป็นแหล่งวัตถุดิบที่น่าสนใจ ควรมีการนำมาใช้เพื่อผลิตไบโอดีเซล เพราะมีปริมาณมากและราคาถูกกว่าน้ำมันบริสุทธิ์ และที่สำคัญการใช้น้ำมันใช้แล้วเพื่อผลิตพลังงานจะป้องกันการนำน้ำมันดังกล่าวไปประกอบอาหารซ้ำทำให้ผู้บริโภคมีโอกาสที่จะได้รับสารหลายชนิดเช่น สารพีเอ-เอช, สารเอนพีเอเอชและสาร

¹สาขาวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

โทรศัพท์ : +66(2)-287-9600

E-mail: sasiwimol.w@rmutk.ac.th

ประกอบโพลาร์ ทำให้มีภาวะเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง ความดันโลหิตสูง ความผิดปกติต่อระบบสมอง ระบบประสาทและระบบภูมิคุ้มกัน [2]

อย่างไรก็ตามน้ำมันใช้แล้วจากการประกอบอาหารจะมีสมบัติไม่ดีเมื่อเทียบกับน้ำมันบริสุทธิ์เพราะเกิดการปนเปื้อนของน้ำ แป้ง และเครื่องปรุงต่างๆ น้ำมันในน้ำมันจะทำให้โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยาไฮโดร-ลิซีสได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันอิสระรวมทั้งอาจเกิดสารประกอบอื่นๆ เช่น สารประกอบพอลิเมอร์ เป็นต้น เป็นผลทำให้ในน้ำมันใช้แล้วจากการประกอบอาหารมีปริมาณน้ำและกรดไขมันอิสระสูงขึ้นไม่สามารถนำน้ำมันดังกล่าวมาผลิตไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เพราะจะเกิดสบู่และทำให้ปริมาณของเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นต่ำกว่าร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก[3] แต่ต้องเปลี่ยนไปใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่ง-ปฏิกิริยาซึ่งมีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการใช้ปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอนโดยการทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันและปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันซึ่งมีความยุ่งยากและใช้เวลาในการผลิตนานขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวเพื่อที่จะทำให้สามารถผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบที่เป็นน้ำมันใช้แล้วจากการประกอบอาหารผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนเดียวจึงนำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ผสมลงในน้ำมันปาล์มใช้แล้วเพื่อปรับปรุงสมบัติของวัตถุดิบเริ่มต้นให้ดีขึ้น โดยจะศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันปาล์มใช้แล้วกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ทำให้เกิดเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์สูงสุด รวมถึงเปรียบเทียบความหนืดของไบโอดีเซลที่อัตราส่วนต่างๆ ผลจากการใช้วัตถุดิบที่มีการผสมน้ำมันใช้แล้วจากการประกอบอาหารกับน้ำมันบริสุทธิ์จะเป็นทางเลือกใหม่ของวัตถุดิบที่ช่วยลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซล ลดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบของการใช้น้ำมันสำหรับการบริโภคมาผลิตพลังงาน ตลอดจนลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากน้ำมันประกอบอาหารใช้แล้วที่ทิ้งไม่ถูกต้อง

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

เนื่องจากน้ำมันพืชที่นิยมใช้ในการทอดอาหารและมีปริมาณเหลือทิ้งมากคือน้ำมันปาล์ม ในงานวิจัยจึงเลือกใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ใช้ในการประกอบอาหารโดยซื้อจากร้านค้าในกรุงเทพมหานคร น้ำมันปาล์มใช้แล้วซื้อจากร้านขายไก่ทอดหน้าห้างสรรพสินค้าย่านบางนา เมทานอลความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 ของบริษัท Merck เอทานอลความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 ของบริษัท Merck โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ของบริษัท Ajax Finechem สารมาตรฐานเมทิลเฮปตะเดคะ โนเอทความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ของบริษัท Sigma Aldrich

2.2 การเตรียมวัตถุดิบ

นำน้ำมันปาล์มใช้แล้วมากรองเศษอาหารและกากเขม่าดำด้วยผ้าขาวบาง 4 ชั้น และทำการกรองซ้ำด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บน้ำมันที่กรองเสร็จแล้วไว้ในขวดที่แห้ง สะอาดและมีฝาปิดสนิท ทดสอบสมบัติบางประการของน้ำมันปาล์มใช้แล้วและน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ดังนี้ปริมาณน้ำตามวิธีการมาตรฐาน EN ISO 12937 ปริมาณกรดไขมันอิสระตามวิธีการมาตรฐาน AOAC 940.28 ค่าแซฟโฟนีฟิเคชันตามวิธีการมาตรฐาน ASTM D558 และความหนืดตามวิธีการมาตรฐาน ASTM D 445 หลังจากนั้นจะนำน้ำมันปาล์มใช้แล้วผสมกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักดังนี้คือ 80:20 60:40 50:50 40:60 20:80 กำหนดน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันผสมและเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดมิดชิดที่อุณหภูมิห้อง

2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ในการทำปฏิกิริยาจะใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันเท่ากับ 12 :1 โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมันผสมเริ่มต้น [1] เหน้้ำมันผสมปริมาณ 50 กรัม ลงในขวดสามคอและตั้งชุดรีฟลักซ์ ให้ความร้อนกับน้ำมันผสม พร้อมทั้งมีการกวนน้ำมันที่ความเร็วรอบคงที่เท่ากับ 600 รอบต่อนาที [4] เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันผสมเท่ากับ

60 °ซ เทสสารละลายโพแทสเซียมอัลคอกไซค์ที่ถูกเตรียมขึ้นใหม่ลงในขวดสามคอ เริ่มจับเวลาในการทำปฏิกิริยาทันที ควบคุมให้มีอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 (±2) °ซ เป็นเวลา 60 นาที เมื่อครบกำหนดเวลาหยุดการกวนและการให้ความร้อน ในกรณีการเตรียมเมทิล-เอสเทอร์จะเทสารผสมทั้งหมดที่อยู่ในขวดสามคอลลงในกรวยแยกตั้งทิ้งไว้ค้างคืนเพื่อให้เกิดการแยกชั้นของ กลีเซอรอล แต่ในกรณีการเตรียมเอทิลเอสเทอร์เมื่อครบกำหนดเวลาในการทำปฏิกิริยาหยุดการให้ความร้อนทันทีและเทสารผสมทั้งหมดที่อยู่ในขวดสามคอลลงในกรวยแยก เมื่อเย็นเติมกลีเซอรอลบริสุทธิ์ปริมาณ 5 กรัม [5] เพื่อให้เกิดการแยกชั้นของกลีเซอรอลตั้งทิ้งไว้ค้างคืนเพื่อให้เกิดการแยกชั้นที่สมบูรณ์ การทำให้เอสเทอร์บริสุทธิ์จะทำการทดลองเหมือนกันทั้งเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ เริ่มจากไขชั้นของกลีเซอรอลแยกออก นำชั้นที่เป็นเอสเทอร์มาล้างด้วยน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 60 °ซ โดยใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างน้ำต่อน้ำมันเท่ากับ 1:1 ล้างซ้ำจนกระทั่งฟิเอชของน้ำล้างเป็นกลาง นำชั้นของเอสเทอร์มาระเหยแยกน้ำและแอลกอฮอล์ที่ยังตกค้างด้วยเครื่องระเหยแบบลดความดัน วิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์โดยเทคนิค GC ที่อุณหภูมิคอลัมน์เท่ากับ 200 °ซ อัตราการไหลของแก๊สพา 0.2 มล./นาที Split ratio 500:1 อุณหภูมิของส่วนฉีดสารตัวอย่าง 250 °ซ ตัวตรวจวัดชนิดฟเลมไอออไนเซชัน อุณหภูมิตัวตรวจวัด 250 °ซ คอลัมน์ชนิดแคปิลลารีความยาว 25 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.2 มิลลิเมตร เฟสอยู่กับที่ชนิด cross linked polyethylene glycol ระยะเวลาในการวิเคราะห์ 10 นาที สมบัติอื่นๆของเอสเทอร์ที่ทำการทดสอบคือค่าความหนืดตามวิธีการมาตรฐาน ASTM D 445 ปริมาณน้ำตามวิธีการมาตรฐาน EN ISO 12937 ความหนาแน่นตามวิธีการมาตรฐาน ASTM D 1298 จุดวาบไฟ ตามวิธีการมาตรฐาน ASTM D 93 ค่าความเป็นกรดรวมตามวิธีการมาตรฐาน ASTM D 664

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 สมบัติของน้ำมันปาล์มใช้แล้วและน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่นำมาใช้ในงานวิจัยผ่านการใช้งานในลักษณะการทอดอาหารซ้ำ 2 ครั้ง มีปริมาณน้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับร้อยละ 0.094 และ 1.80 โดยน้ำหนักตามลำดับซึ่งมีค่าสูงกว่าในน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.073 และ 0.26 โดยน้ำหนักตามลำดับ จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมา [3] พบว่าโดยทั่วไปน้ำมันประกอบอาหารใช้แล้วจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลมีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 2 โดยน้ำหนักยังสามารถใช้ตัวเร่ง-ปฏิกิริยาที่เป็นเบสได้ ในขณะที่เมื่อปริมาณน้ำในวัตถุดิบเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นลดลง [1] เมื่อทำการผสมน้ำมันใช้แล้วกับน้ำมันบริสุทธิ์ทำให้ปริมาณน้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระรวมลดลง นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มใช้แล้วจะมีสมบัติอื่นๆที่แตกต่างจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เช่น มีสีคล้ำจากเครื่องปรุง มีความหนืดสูงขึ้นเนื่องจากในการทอดอาหารทำให้เกิดสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ โดยความหนืดของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เท่ากับ 32.60 เซนติสโตกส์ในขณะที่ความหนืดของน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่นำมาใช้ในการทดลองเท่ากับ 38.40 เซนติสโตกส์ ในการทดลองมีการวิเคราะห์หาค่าแซฟอนิฟิเคชันเพื่อนำมาคำนวณน้ำหนักโมเลกุลน้ำมันปาล์มใช้แล้วมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 830.1 กรัม/โมล น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มีน้ำหนักโมเลกุล 823.3 กรัม/โมล ซึ่งเมื่อนำน้ำมันปาล์มใช้แล้วผสมกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ 80:20, 60:40 50:50 40:60 และ 20:80 และทำการคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันผสมในแต่ละอัตราส่วนมีค่า เท่ากับ 828.7 827.4 826.7 826.0 และ 824.7 กรัม/โมล ตามลำดับ น้ำหนักโมเลกุลของแต่ละอัตราส่วนจะใช้คำนวณปริมาณของแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา

3.2 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ในการทำปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะใช้สถานะเดียวกันในการเตรียมเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการเกิดเอสเทอร์ทั้ง 2 ชนิด การใช้อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันผสมเท่ากับ 12 : 1 มากกว่าค่าทางทฤษฎีที่เท่ากับ 3:1 เพื่อให้สมดุลของปฏิกริยาเลื่อนมาทางขวา และสามารถเติมปริมาณน้ำมันปาล์มใช้แล้วผสมลงไป ในน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ได้ในปริมาณสูง นอกจากเมื่อปริมาณของแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นจะช่วยให้ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดได้สมบูรณ์มากขึ้นเพราะความหนืดของน้ำมันผสมลดลง จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ในน้ำมันผสมทำให้ปริมาณเอสเทอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มที่เหมือนกันทั้งในกรณีของเมทิล-เอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ เป็นผลมาจากปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณน้ำในน้ำมันผสมลดลง น้ำและกรดไขมันอิสระเป็นปัจจัยที่สำคัญที่รบกวนการเกิดปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยน้ำจะไปทำให้โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เกิดปฏิกริยาไฮโดรลิซิสเกิดกรดไขมันอิสระในขณะที่กรดไขมันอิสระจะไปทำปฏิกริยากับเบสที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกริยาเกิดผลิตภัณฑ์เป็นสบู่มีผลทำให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกริยาตกลง ปฏิกริยาข้างเคียงดังกล่าวส่งผลให้ปริมาณเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นลดลง ในกรณีของเมทิลเอสเทอร์ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักน้ำมันปาล์มใช้แล้วกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เท่ากับ 20 : 80 ให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงสุดและผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งกำหนดให้ไบโอดีเซลมีปริมาณเอสเทอร์เท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับ การทำปฏิกริยาที่สถานะเดียวกันกับน้ำมันปาล์มใช้แล้วอย่างเดียพบพบว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ต่ำกว่าร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก

เมื่อทำการทดลองโดยใช้เอทานอลในการเตรียมไบโอดีเซล พบว่าที่อัตราส่วนเดียวกันปริมาณเอทิลเอสเทอร์เกิดได้น้อยกว่าเมทิลเอสเทอร์เนื่องจากเอทิลเอสเทอร์เกิดขึ้นได้ยากกว่าเมทิลเอสเทอร์ หรือ

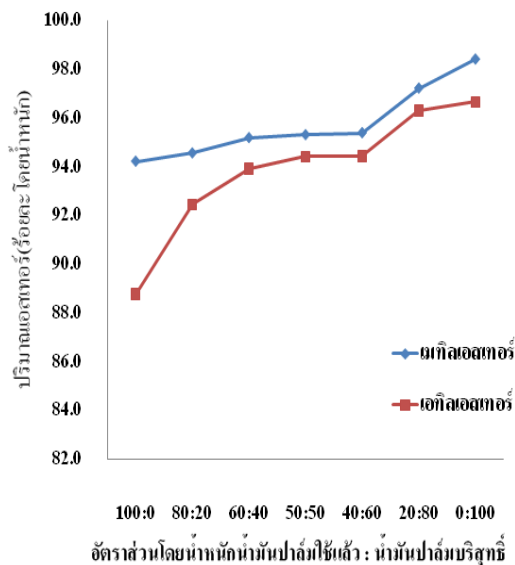
อาจกล่าวได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนโดยโมลที่เท่ากันเมทานอลที่มีขนาดโมเลกุลเล็กจะว่องไวในการทำปฏิกริยามากกว่า เอทานอล ในขณะที่เอทานอลมีความสามารถในการละลายในน้ำมันสูงกว่าเมทานอล ทำให้โอกาสที่กลีเซอรอลจะละลายอยู่ในชั้นของเอสเทอร์มีมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณของเอสเทอร์ลดลงที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มใช้แล้วกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เท่ากับ 20:80 เกิดเอทิลเอสเทอร์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 96.3 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้น้ำมันปาล์มใช้แล้วอย่างเดียวจะเกิดเอทิลเอสเทอร์ต่ำเพียงร้อยละ 88.8 โดยน้ำหนัก เมื่อพิจารณาจากปริมาณเอทิลเอสเทอร์พบว่าไม่มีที่อัตราส่วนใดที่ให้ปริมาณเอทิลเอสเทอร์เกินร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการนำน้ำมันใช้แล้วอย่างเดียวที่มีสิ่งปนเปื้อนต่างๆ โดยเฉพาะน้ำและกรดไขมันอิสระ ทำปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกริยาตามสถานะที่กำหนดจะได้ปริมาณเอสเทอร์ทั้งในรูปของเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ที่มีความบริสุทธิ์ไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นไบโอดีเซลแต่การผสมน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมช่วยให้สามารถผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ แนวโน้มของปริมาณเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นที่อัตราส่วนต่างๆแสดงดังภาพที่ 1

3.3 สมบัติของเอสเทอร์

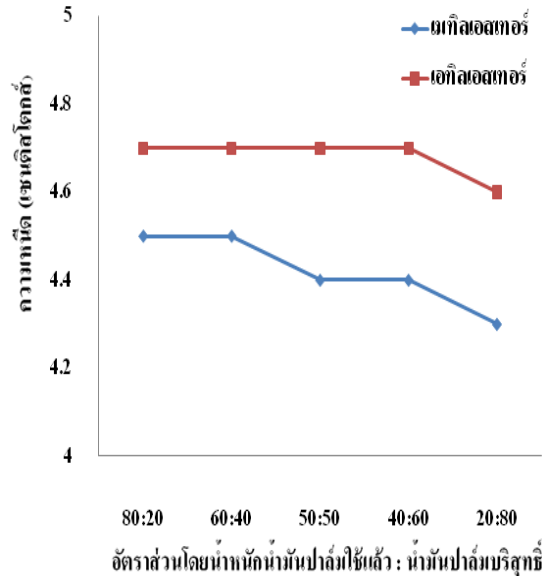
ในการทดลองได้ทำการวิเคราะห์ค่าความหนืดของเอสเทอร์ จากภาพที่ 2 พบว่าความหนืดของเอทิลเอสเทอร์อยู่ในช่วง 4.6-4.7 เซนติสโตกส์ ในขณะที่ความหนืดของเมทิลเอสเทอร์อยู่ในช่วง 4.3-4.5 เซนติสโตกส์ เอทิลเอสเทอร์จะมีความหนืดที่สูงกว่าเมทิลเอสเทอร์เพราะในโมเลกุลของเอทิลเอสเทอร์มีจำนวนคาร์บอนมากกว่า 1 อะตอม ค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ในทุกอัตราส่วนพบว่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานและลดลงจากความหนืดของน้ำมันเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองประมาณ 8 เท่า

ผลการทดสอบสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่เตรียมจากอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันปาล์มใช้แล้วกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เท่ากับ 20: 80 ดังแสดงในตารางที่ 1

พบว่าสมบัติที่ทำการทดสอบทุกรายการเป็นไปตามค่ามาตรฐานของประเทศไทย ผลการทดสอบปริมาณน้ำ จุกวบน้ำ ค่าความเป็นกรดรวมจะแสดงถึงความสมบูรณ์ของขั้นตอนการทำให้เอสเทอร์บริสุทธิ์ โดยจุกวบน้ำจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณเมทานอลที่เหลือในผลิตภัณฑ์ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้จุกวบน้ำต่ำลงและไม่ปลอดภัยในการใช้งาน ค่าความหนืดของไบโอดีเซลมีผลต่อการฉีดเป็นละอองฝอยของน้ำมันในเครื่องยนต์ ถ้าความหนืดสูงเกินไป การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะเกิดกาการคาร์บอนสะสมอยู่ที่ชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์



ภาพที่ 1 ปริมาณเอสเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆของน้ำมันปาล์มใช้แล้วกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เมื่อทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 12:1 โพลีเอทิลีนไดออกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60 °ซ เวลา 60 นาที



ภาพที่ 2 ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ ของเอสเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆ ของน้ำมันปาล์มใช้แล้วกับน้ำมันปาล์มใหม่เมื่อทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 12:1 โพลีเอทิลีนไดออกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60 °ซ เวลา 60 นาที

ตารางที่ 1 สมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่เตรียมจากอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันปาล์มใช้แล้วกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เท่ากับ 20: 80

สมบัติ	วิธีทดสอบ	ค่าที่วิเคราะห์ได้	
		ตามข้อกำหนด	จากการทดลอง
1. น้ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ENISO 12937	0.050	0.02
2. ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °ซ (กิโลกรัมลูกบาศก์เมตร)	ASTM D 1298	ไม่ต่ำกว่า 860 และ ไม่สูงกว่า 900	865.6
3. ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ (เซนติสโตกส์)	ASTM D 445	ไม่ต่ำกว่า 3.5 และ ไม่สูงกว่า 5.0	4.5
4. จุกวบน้ำ (°ซ)	ASTM D 93	ไม่ต่ำกว่า 120	มากกว่า 120
5. ค่าความเป็นกรดรวม (มก.KOH/กรัม)	ASTM D 664	ไม่สูงกว่า 0.50	0.30

4. สรุปผลการวิจัย

น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มใช้แล้วจากการประกอบอาหารกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์สามารถใช้เป็นทางเลือกใหม่ของวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลในรูปเมทิลเอสเทอร์ได้ โดยอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันปาล์มใช้แล้วกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เท่ากับ 20:80 ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลและน้ำมันผสมเท่ากับ 12:1 โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิ 60⁰ซ เวลา 60 นาที ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เท่ากับร้อยละ 97.2 โดยน้ำหนักที่สภาวะดังกล่าวค่าความหนืด ความหนาแน่น น้ำ จุดวาบไฟและค่าความเป็นกรดรวมเป็นไปตามค่ามาตรฐานของประเทศไทย ถึงแม้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมจะมีสัดส่วนของน้ำมันปาล์มใช้แล้วอยู่ในปริมาณน้อยแต่เมื่อคิดเป็นปริมาณที่ใช้ในการผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้มาก อย่างไรก็ตามถึงแม้ผลการศึกษานี้จะแสดงว่าการเตรียมไบโอดีเซลในรูปเอทิลเอสเทอร์ที่สภาวะดังกล่าวยังไม่เหมาะสมเพราะให้ปริมาณเอสเทอร์ต่ำ แต่ในอนาคตควรมีการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันผสมในรูปเอทิลเอสเทอร์ต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sharma, Y.C., Singh, B., Upadhyay, S.N., 2008. Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. Fuel. 87, 2355-2373.
- [2] “น้ำมันพืชใช้แล้วเหมาะสมที่สุดในการผลิตเป็นไบโอดีเซล” ว่าที่ร้อยตรี สมโชค ปิ่นแก้ว. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://learners.in.th/blog/biodiesel/73173> (วันที่สืบค้น 8 มกราคม 2553)
- [3] Gerpen, J.V. 2005. Biodiesel processing and production. Fuel Processing Technology.86, 1097-1107.
- [4] Meher, L.C., Dharmagadda Vidya S.S., Naik, S.N. 2006. Optimization of alkali-catalyzed transesterification of Pongamia pinnata oil for production of biodiesel. 97, 1392-1397.
- [5] Issariyakul, T. et.al. 2007. Biodiesel production from mixtures of canola oil and use cooking oil. Chemical Engineering Journal.140, 77-85.

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ ส่วนควบคุมคุณภาพ บริษัท ป.ต.ท จำกัด (มหาชน) เป็นอย่างสูง ที่อนุเคราะห์ในการทำการทดสอบสมบัติของน้ำมันทั้งหมดในงานวิจัยเรื่องนี้

การประมาณค่าการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์โดยปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ใน บรรยากาศของประเทศไทย

สายันต์ โพธิ์เกตุ¹

บทคัดย่อ— ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณหาปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ในบรรยากาศของประเทศไทยและวิเคราะห์หาการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์โดยปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ในบรรยากาศ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้จากข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิที่ได้จากการตรวจอากาศชั้นบนซึ่งมีการตรวจวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่ สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดอุบลราชธานี สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดสงขลา และกรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร ซึ่งทำการตรวจวัดต่อเนื่องกันในช่วงปี พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2550 เมื่อนำปริมาณไอน้ำที่ได้จากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนทั้ง 4 สถานีดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศซึ่งเป็นข้อมูลภาคพื้นดินที่สถานีเดียวกันในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลที่ได้พบว่ามีความสัมพันธ์ที่เชื่อถือได้ค่อนข้างสูง ค่าปริมาณไอน้ำที่ได้จากข้อมูลการตรวจอากาศชั้นบนจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าปริมาณไอน้ำ ที่ได้จากแบบจำลองโดยมีความแตกต่างในรูปแบบของ Root Mean Square Error (RMSE) เท่ากับ 0.311 เซนติเมตร จากนั้นผู้วิจัยนำแบบจำลองที่ได้ไปคำนวณค่าปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ที่สถานีอุตุนิยมวิทยา 85 แห่งทั่วประเทศ ผลที่ได้พบว่าปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้มีค่าน้อยในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – มีนาคม) และมีค่ามากในช่วงฤดูฝน (เมษายน – ตุลาคม) โดยมีค่าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 4.571 ± 0.107 เซนติเมตร เมื่อวิเคราะห์หาการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์โดยปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ในบรรยากาศที่ได้จากแบบจำลอง ผลที่ได้พบว่า การดูดกลืนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในบรรยากาศโดยมีค่าเฉลี่ยต่อปีคิดเป็นร้อยละ 15.49

คำสำคัญ การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ ปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ

1. บทนำ

ในการศึกษาพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ประโยชน์ในการวางแผนการใช้เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบต่างๆ จำเป็นต้องทราบค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่ ณ บริเวณที่ตั้งของระบบพลังงานแสงอาทิตย์นั้นๆ โดยปกติรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศเข้ามายังพื้นโลกจะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับรังสีที่อยู่นอกบรรยากาศ ทั้งนี้เนื่องจากบรรยากาศ

ของโลกมีการดูดกลืนและการกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ไอน้ำเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์ (Exell, 1978; Leckner, 1978; Iqbal, 1983; Christian, 1994) โดยทั่วไปไอน้ำเป็นองค์ประกอบของบรรยากาศที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของลมฟ้าอากาศ การก่อตัวของเมฆ และก่อให้เกิดฝน หมอก หิมะ ลูกเห็บฯ นอกจากนี้ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศมีอิทธิพลที่สำคัญต่อการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลก กล่าวคือไอน้ำในบรรยากาศจะดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (0.25-4.0 μm) ซึ่งการดูดกลืนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ (Gautier et al., 1980; Iqbal, 1983; Nunez, 1993) โดย

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตชอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดชอนแก่น 40000
E-mail: syphokate@hotmail.com

ปกติเราจะแสดงปริมาณไอน้ำในบรรยากาศในรูปของปริมาณไอน้ำที่กลั่นตัวได้ (Precipitable Water Vapor) ซึ่งจะบอกได้ในรูปของความสูงของน้ำในคอลัมน์ของบรรยากาศ โดยสมมติว่าไอน้ำที่แทรกตัวอยู่ในคอลัมน์ของบรรยากาศนั้นกลั่นตัวกลายเป็นน้ำ ปริมาณไอน้ำในอากาศโดยทั่วไปมักจะหาได้ยากและในประเทศไทยยังไม่มีการตรวจวัดปริมาณไอน้ำในอากาศ จากการศึกษาพบว่าปริมาณไอน้ำมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศที่ได้จากข้อมูลการตรวจอากาศชั้นบน (Upper Air Data) และมีการแปรค่าตามละติจูดและฤดูกาล (Exell, 1978; Iqbal, 1983; Christopherson, 1997) ในการตรวจวัดแต่ละครั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากและสถานีที่มีการตรวจวัดในประเทศไทยมีเพียง 4 สถานีเท่านั้น ผลการวิจัยที่ได้จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการหาค่าปริมาณไอน้ำสำหรับสถานีที่ไม่มีการตรวจอากาศชั้นบน ซึ่งในการศึกษาเกี่ยวกับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้ามาถึงพื้นโลกจำเป็นต้องทราบค่าปริมาณไอน้ำรวมทั้งคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของไอน้ำ (Brine & Iqbal, 1983) เพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องมือทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ และงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การหาการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก (Solar Radiation Mapping) จากภาพถ่ายดาวเทียม งานออกแบบอุปกรณ์ทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร หรือใช้ในงานอุทุนิยมวิทยา เช่น การสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น

2. วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยคำนวณปริมาณไอน้ำที่กลั่นตัวได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศที่ได้จากข้อมูลการตรวจอากาศชั้นบนซึ่งมีการตรวจวัด 4 สถานีได้แก่ สถานีอุทุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่ สถานีอุทุนิยมวิทยาจังหวัดอุบลราชธานี สถานีอุทุนิยมวิทยาจังหวัดสงขลา และสถานีอุทุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร ซึ่งใช้ข้อมูลเฉลี่ยย้อนหลัง 20 ปี (พ.ศ. 2535- พ.ศ. 2550) โดยใช้สมการ (Iqbal, 1983; Garrison & Adler, 1990)

$$w = \int_{p_0}^0 \left(\frac{M_p}{\rho g} \right) dp \quad (1)$$

เมื่อ w เป็นปริมาณไอน้ำที่กลั่นตัวได้ (Precipitable Water Vapor) ในหน่วยเซนติเมตร (cm)
 M_p เป็น Mixing Ratio ที่ระดับความดัน p ใดๆ
 g เป็นความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (986.665 cm/s^2)
 p_0 เป็นความดันบรรยากาศที่พื้นผิวโลก (mber)
 ρ เป็นความหนาแน่นของน้ำ (g/cm^3)

จากนั้นนำค่าปริมาณไอน้ำที่กลั่นตัวได้ (w) ที่คำนวณได้จากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับข้อมูลอุณหภูมิ (T) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ของอากาศซึ่งเป็นข้อมูลผิวพื้น (Surface Data) ที่สถานีเดียวกัน ผลที่ได้ให้นำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับนำไปใช้คำนวณปริมาณไอน้ำที่กลั่นตัวได้ตามสถานที่ต่างๆ ซึ่งผู้วิจัยได้ทดสอบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลของปี พ.ศ. 2551 ซึ่งเป็นข้อมูลอิสระไม่ได้ใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้น นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่กลั่นตัวได้ในบรรยากาศจากข้อมูลผิวพื้นที่มีการตรวจวัดตามสถานีอุทุนิยมวิทยา 85 แห่งทั่วประเทศ เพื่อวิเคราะห์หาการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของปริมาณไอน้ำโดยใช้สมการ Lacis and Hansen (1974 อ้างถึงใน Iqbal, 1983)

$$\alpha_w = \frac{2.9 \times U}{(1 + 141.5 \times U)^{0.638} + 5.925 \times U} \quad (2)$$

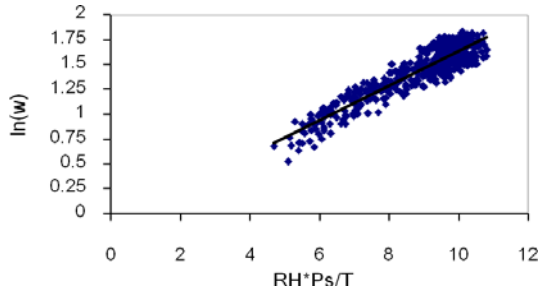
โดยที่ $U = w \times m_r$ (3)

และ $m_r = [\cos \theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z)^{-1.253}]^{-1}$ (4)

เมื่อ α_w เป็นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์
 w เป็นปริมาณไอน้ำที่กลั่นตัวได้
 m_r เป็นมวลอากาศมาตรฐาน (Iqbal, 1983)
 θ_z เป็นมุมซันิท (zenith angle)

3. ผลและการอภิปรายผล

ผู้วิจัยสร้างสมการเพื่อคำนวณค่าปริมาณไอน้ำของสถานที่ที่ไม่มีข้อมูลตรวจอากาศชั้นบน โดยการนำค่าปริมาณไอน้ำ(w) ที่ได้จากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบน มาหาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ (T) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ของอากาศที่สถานีเดียวกัน ผลที่ได้แสดงไว้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำ (w) กับอุณหภูมิ (T) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) และความดันไอน้ำอิ่มตัว (P_s)

จากภาพที่ 1 เราสามารถสร้างสมการเอมพิริคัล (Empirical) แทนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งเป็นข้อมูลผิวพื้น ได้ดังสมการที่ (5)

$$w = 0.90176 \exp \left[0.1738 \times \frac{RH \times p_s}{T} \right] \quad (5)$$

เมื่อ w เป็นปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ (cm)

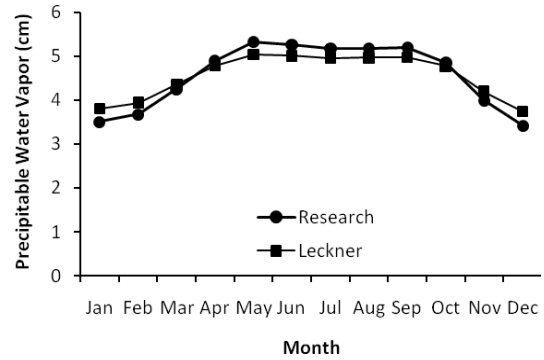
RH เป็นความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (decimal)

T เป็นอุณหภูมิของอากาศ (K)

P_s เป็นความดันไอน้ำอิ่มตัวของไอน้ำในอากาศ (mbar)

ค่าความดันไอน้ำอิ่มตัวของไอน้ำในอากาศ หาได้จากสมการ (Iqbal, 1983)

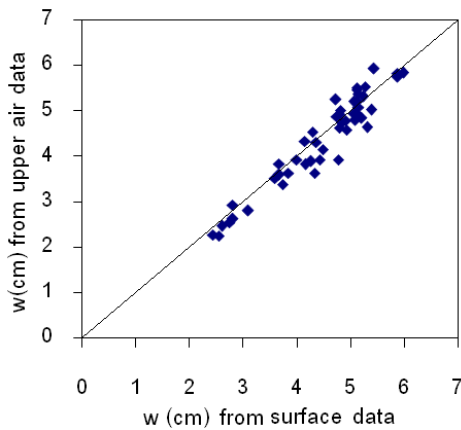
$$p_s = \exp \left(26.23 - \frac{5416}{T} \right) \quad (6)$$



ภาพที่ 2 แสดงค่าปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ เป็นค่าเฉลี่ยรายเดือนในช่วงปี พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2550 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากงานวิจัยกับสมการของ Leckner (1978)

จากภาพที่ 2 เมื่อนำสมการที่ (5) คำนวณค่าปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้จากข้อมูลปี พ.ศ. 2535-พ.ศ. 2550 ของ 85 สถานีทั่วประเทศนำมาหาค่าเฉลี่ยจะพบว่าปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปี โดยจะมีค่ามากในช่วงฤดูฝน (เมษายน-ตุลาคม) และจะมีค่าลดลงในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-มีนาคม) โดยมีค่าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 4.599 ± 0.107 เซนติเมตร มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard Error of the Mean) เท่ากับ 0.0547 เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ Leckner (1978) โดยใช้ข้อมูลในช่วงเวลาและสถานีเดียวกัน ผลที่ได้จากงานวิจัยมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปีสอดคล้องกัน

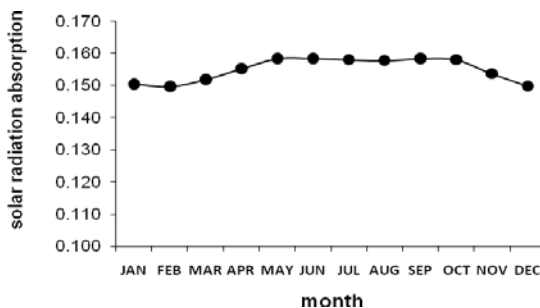
ในการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ (5) นี้ ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบค่าปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้จากแบบจำลองสมการที่ (5) และค่าที่ได้จากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบน โดยใช้ข้อมูลจาก 4 สถานี ดังกล่าวข้างต้นของปี พ.ศ. 2551 ซึ่งเป็นข้อมูลอิสระและไม่ได้ใช้ในการสร้างแบบจำลองมาทดสอบ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณไอน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลองตามสมการ (5) ซึ่งใช้ข้อมูลผิวพื้น กับปริมาณไอน้ำซึ่งได้จากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนตามสมการ (1) จากข้อมูลปี พ.ศ. 2551

จากภาพที่ 3 พบว่าค่าปริมาณไอน้ำที่ได้จากข้อมูลการตรวจอากาศชั้นบนส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับค่าปริมาณไอน้ำ ที่ได้จากแบบจำลองโดยมีความแตกต่างในรูปของ Root Mean Square Error (RMSE) เท่ากับ 0.311 cm และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มีค่าสูงกว่า 0.90 ซึ่งถือได้ว่าเป็นความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างสูง ผลการคำนวณดังกล่าวมีความละเอียดถูกต้องในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

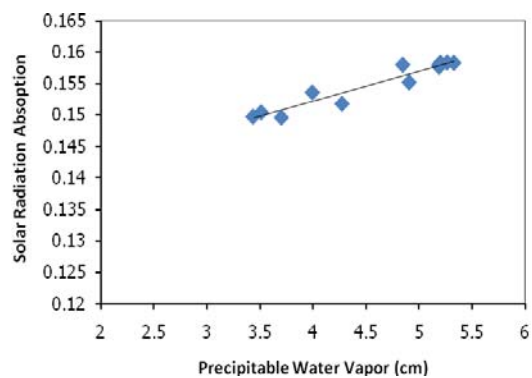
ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ในบรรยากาศ โดยใช้ค่าเฉลี่ยรายเดือนในรอบ 20 ปี ในช่วงปี พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2550 ได้ผลภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงค่าการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือนในช่วงปี พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2550

จากการวิเคราะห์หาการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้ค่าปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้เฉลี่ยต่อเดือนในรอบ 20 ปี พบว่าการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในบรรยากาศโดยมีค่าการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 0.1549 ± 0.0007 และมีความสัมพันธ์กับปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ดังสมการ (7) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.92

$$\alpha_w = 0.0048(w) + 0.1332 \quad (7)$$



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์กับปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนในช่วงปี พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2550

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการคำนวณพบว่าค่าปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้จะเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปี ซึ่งจะมีค่าสูงในช่วงฤดูฝนและจะลดต่ำลงในช่วงฤดูแล้ง โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุด 5.329 เซนติเมตร ในเดือนพฤษภาคม และเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 3.435 เซนติเมตรในเดือนธันวาคม ค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ในช่วง 4.571 ± 0.107 เซนติเมตร การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ โดยมีระดับความน่าเชื่อถือ (95% Confidence Level) ของค่าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 0.1549 ± 0.00074 และมีความสัมพันธ์กับปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ดังสมการ (7) จากการวิเคราะห์การแปรค่าของค่าปริมาณไอน้ำ

กลั่นตัวได้ในบรรยากาศตามละติจูดของสถานีพบว่า การแปรค่าในเดือนต่างๆ มีลักษณะแนวโน้มเป็นระบบ กล่าวคือค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศในเดือนเมษายน ถึง ตุลาคม ซึ่งเป็นฤดูฝนปริมาณไอน้ำมีค่ามาก ส่วน ในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึง มีนาคมซึ่งเป็นฤดูแล้ง ปริมาณไอน้ำจะลดลง จากการวิจัยนี้พบว่า การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของปริมาณไอน้ำโดยเฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่าร้อยละ 15.49 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nunez (1993) พบว่าไอน้ำในบรรยากาศจะดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (0.25-4.0 μm) ได้ถึง 15 % และการดูดกลืนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ

เนื่องจากการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้จากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนซึ่งมีอยู่จำกัดและจากการคำนวณทางทฤษฎีซึ่งเป็นวิธีการศึกษาทางอ้อม การศึกษาปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้อาจทำได้โดยการทำการศึกษาโดยใช้เครื่องมือวัดที่ทันสมัยและมีกระจายตามสถานีอุทกนิคมทั่วประเทศเพื่อนำข้อมูลมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงของลมฟ้าอากาศตลอดจนอิทธิพลของปริมาณไอน้ำที่มีต่อการลดลงของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งจะช่วยให้ผลที่ได้มีความละเอียดถูกต้องยิ่งขึ้น อันจะเป็นประโยชน์ต่องานด้านการทำนายสภาพอากาศและการศึกษาข้อมูลระยะไกลโดยใช้ดาวเทียมและงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Brine, D.T. and Iqbal, M. 1983. Diffuse and Global solar spectral irradiance under cloudless skies. *Solar Energy*. Vol. 30: 447-456.
- [2] Christian, G. 1994. "Analysis of Monthly Average Atmospheric Precipitable Water and Turbidity in Canada and Northern United States. *Solar Energy*. Vol. 53(1): 50-71.
- [3] Christopherson, R. W. 1997. *Geosystem: An Introduction to Physical Geography*. 3rd edition. Prentice Hall Inc.

- [4] Exell, R. H. B. 1978. The water content and turbidity of the atmosphere in Thailand. *Solar Energy*. Vol. 20: 429-430.
- [5] Garrison, D. and Adler, P. 1990. Estimation of precipitable water over the United States for application to The division of solar radiation into its direct and diffuse components. *Solar energy*. Vol. 44: 225-241.
- [6] Gautier, C.; Diak, G.; and Masse, S. 1980. A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data. *Journal Applied Meteorology*. Vol.36: 1005-1012.
- [7] Iqbal, M. 1983. *An Introduction to Solar Radiation*. New York: Academic Press.
- [8] Lacis, A.A. and Hansen, J.E. 1974. Parameterization : for the absorption of solar radiation in the Earth's Atmosphere. *Journal Atmospheric Science*. Vol. 19: 118-132.
- [9] Leckner, B. 1978. The spectral distribution of solar radiation at the earth's surface elements of a model. *Solar Energy*. Vol. 20(2): 143-150.
- [10] Nunez, M. 1993. The development of a satellite-based insulation model for the Tropical Pacific Ocean. *Journal of Climatology*. Vol.13: 607-627.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ในการวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่สนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

ไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ หลอด LED

เอกวิทย์ หายักวงษ์¹

บทคัดย่อ— ปัจจุบัน ในพื้นที่ชนบท หมู่บ้านซึ่งห่างไกลจากสายส่งของการไฟฟ้า ยังไม่มีการติดตั้งโคมไฟถนนทำให้การเดินทางในเวลากลางคืนไม่ได้รับความสะดวกและปลอดภัย เนื่องจากการติดตั้งชุดโคมไฟถนนที่ใช้สายส่งของการไฟฟ้ามีต้นทุนสูงมากไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนในการติดตั้ง การแก้ไขปัญหาเพื่อให้สามารถมีไฟส่องสว่างถนนในเวลากลางคืน คือการนำเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันมาประจุเก็บไว้ในแบตเตอรี่ เพื่อนำมาใช้กับโคมไฟถนนในเวลากลางคืน และเพื่อให้การใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เกิดการสูญเสียน้อย จึงได้นำเอาหลอด LED มาจัดทำเป็นโคมไฟถนนใช้งาน ซึ่งข้อดีของหลอด LED คือมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์และสามารถใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ได้โดยตรง จากการทดสอบการให้แสงสว่างของโคมไฟที่ใช้หลอด LED ให้ค่าความสว่างได้ดีกว่าโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ ประมาณ 30% ไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์หลอด LED มีการบำรุงรักษาที่น้อยมาก อีกทั้งยังสามารถติดตั้งได้ทุกพื้นที่แม้จะห่างไกลจากสายส่งของการไฟฟ้ามากที่สุดก็ตาม

คำสำคัญ ไฟถนน, แอลอีดี, พลังงานแสงอาทิตย์

1. บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญมากเนื่องจากสามารถนำมาใช้ได้เป็นระยะเวลาที่ยาวนาน ไม่มีวันหมด และไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษ การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในประเทศไทยมีด้วยกันหลายรูปแบบ สำหรับบทความนี้จะนำเสนอการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้กับไฟถนน เนื่องจากถนนในหลายๆ พื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะถนนที่ตัดผ่านภูเขาหรือชนบทที่ไม่มีสายส่งของการไฟฟ้าทำให้ไม่สามารถทำการติดตั้งไฟถนนปกติเพื่อให้แสงสว่างแก่ผู้ใช้ถนนในเวลากลางคืนได้ ดังนั้นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับไฟถนน น่าจะเป็นหนทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้ แต่การใช้ไฟถนนปกติที่ใช้

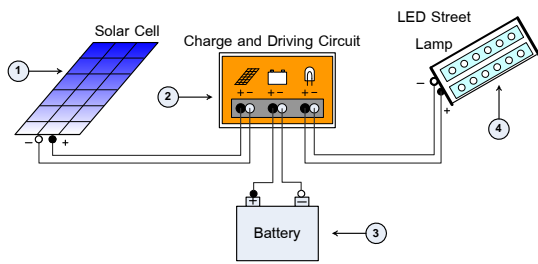
หลอดฟลูออเรสเซนต์ มีข้อเสียตรงที่ต้องใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้ต้องมีอินเวอร์เตอร์เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้เกิดความสูญเสียในระบบขึ้น ขนาดของแบตเตอรี่และเซลล์แสงอาทิตย์ก็ต้องมีขนาดพิกัดสูงขึ้นตาม เพื่อให้สามารถใช้งานได้ตลอดทั้งคืน แต่ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันทำให้หลอดแอลอีดีแบบสว่างมากพิเศษ (LED Super Bright) [1] มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ใช้พลังงานน้อย, มีประสิทธิภาพสูง และใช้ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่พิกัดต่ำ ทำให้เมื่อนำหลอด LED มาสร้างเป็นโคมไฟถนนจะใช้พลังงานที่น้อยมาก สามารถใช้แบตเตอรี่และเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดพิกัดเล็กลงได้ ราคาของระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์หลอดLED จึงมีราคาถูกกว่าระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์หลอดฟลูออเรสเซนต์มาก อีกทั้งโคมไฟถนนหลอด LED ยังมีประสิทธิภาพในการส่องสว่างมากกว่าโคมไฟถนนหลอดฟลูออเรสเซนต์อีกด้วย

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
199 ต.พิงโคน จ.สกลนคร 47160
โทรศัพท์: 0-4277-2391 โทรสาร: 0-4277-2392
E-mail: ekkawid@yahoo.com

2. วิธีการวิจัย

การออกแบบระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

ในระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ในงานวิจัยนี้ จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้ เซลล์แสงอาทิตย์ วงจรชาร์จประจุแบตเตอรี่และจ่ายโหลดอัตโนมัติ แบตเตอรี่และโคมไฟหลอด LED ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบแสดงให้เห็นในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์หลอด LED

การส่องสว่างไฟถนน ก็เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้ถนน ทั้งคนข้ามถนนและคนขับรถ ความส่องสว่างต้องให้มากพอเพื่อการใช้ถนน แต่ก็ไม่มากเกินไปจนไม่ประหยัด ความส่องสว่างไฟถนนตามมาตรฐาน IES [2] ซึ่งแยกตามขนาดถนน และแยกว่าเป็นถนนในตัวเมือง ชานเมืองหรือนอกเมืองจะเป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความส่องสว่างถนนตามมาตรฐาน IES

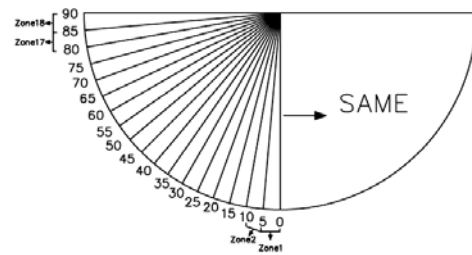
ขนาดถนน	ในเมือง	ชานเมือง	นอกเมือง
ถนนใหญ่	21.5 lx	13.0 lx	9.7 lx
ถนนกลาง	13.0 lx	9.7 lx	6.5 lx
ถนนเล็ก	9.7 lx	6.5 lx	2.2 lx

เมื่อต้องการไฟถนนไปใช้งานในพื้นที่ชนบท หรือบริเวณที่ห่างไกลสายส่งของการไฟฟ้า โคมไฟถนนหลอด LED ที่เราออกแบบจะต้องมีความส่องสว่างที่ประมาณ 10 ลักซ์ เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน IES

2.1 การออกแบบดวงโคมสำหรับติดตั้งหลอด LED [3]

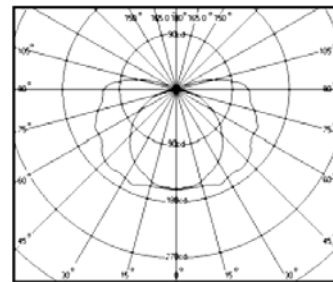
การออกแบบโคมไฟหลอด LED นั้น เราต้องใช้

ข้อมูลหลายๆ ค่า เนื่องจากคุณสมบัติของหลอด LED จะให้มุมลำแสงที่แคบไม่เหมือนหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีการกระจายแสงตลอดความยาวของหลอด การออกแบบโคมไฟหลอด LED จะใช้ทฤษฎี Zone Method แบ่งพื้นที่ในการคำนวณทั้งหมดออกเป็นช่วงเล็กๆ และจะใช้ค่าตรงกลาง Midzone ของแต่ละช่วงเป็นค่าเฉลี่ยสำหรับช่วงนั้น เพื่อนำมาใช้แทนค่าในการคำนวณหาค่าฟลักซ์การส่องสว่างดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การแบ่งโซนของดวงโคมออกเป็นช่วงเล็กๆ

เพื่อให้การออกแบบโคมไฟหลอด LED สามารถนำไปใช้แทนโคมไฟหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ จึงได้นำกราฟการกระจายแสงของโคมไฟถนนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ มาใช้ในการออกแบบ



ภาพที่ 3 กราฟการกระจายแสงของโคมไฟหลอด

ฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ 1 หลอด/โคม [4]

จากกราฟการกระจายแสงของโคมไฟหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ เราจะได้ข้อมูลความเข้มความส่องสว่างในแต่ละมุมออกมา ดังนั้นเราสามารถที่จะหาค่าฟลักซ์การส่องสว่างได้จากสมการที่ 1

$$\phi(\theta_1 - \theta_2) = \left(\frac{I(\theta_1) + I(\theta_2)}{2} \right) \Delta\omega \quad (1)$$

เมื่อ ϕ คือ ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)
 I คือ ความเข้มการส่องสว่าง (cd)
 θ คือ มุมตัน (Sr)
 $\Delta\omega$ คือ Zone Factor

โดยที่ค่า Zone Factor หาได้ตามสมการที่ 2

$$\Delta\omega = 2\pi(\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \quad (2)$$

จากการคำนวณ เมื่อได้ค่าฟลักซ์การส่องสว่างที่ได้จากมุม gamma (γ) ต่างๆ แล้วนำค่าฟลักซ์การส่องสว่างที่มุม gamma (γ) ต่างๆ มารวมกันก็จะได้ข้อมูลค่าฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ออกมา

เมื่อได้ค่าฟลักซ์การส่องสว่างทั้งหมดในแต่ละ Zone แล้วนำเอาค่าฟลักซ์การส่องสว่างของหลอด LED มาหารก็จะได้ค่าจำนวนหลอด เพื่อการคำนวณหาจำนวนหลอด LED ที่จะติดตั้งในแต่ละ Zone ตามสมการที่ (3)

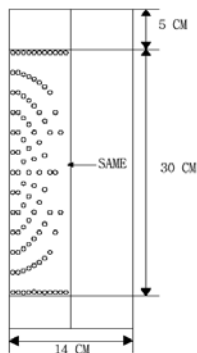
$$N = \frac{\phi_{Zone}}{\phi_{LED}} \quad (3)$$

เมื่อ N คือ จำนวนหลอด LED (N)

ϕ_{Zone} คือ ฟลักซ์การส่องสว่างในแต่ละ Zone (lm)

ϕ_{LED} คือ ฟลักซ์การส่องสว่างของหลอด LED (lm)

จากสมการที่ 3 จะได้จำนวนหลอด LED ในแต่ละโซนรวมกัน 308 ดวง เพื่อนำไปสร้างโคมไฟถนนหลอด LED ซึ่งจะมีลักษณะดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ดวงโคมไฟหลอด LED ที่ได้จากการออกแบบ

2.2 การคำนวณค่าพลังงานของโคมไฟหลอด LED

การต่อวงจรหลอด LED จะต่อแบบผสมเนื่องจากการใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ 12 V และมีหลอด LED ทั้งหมด 308 หลอด ดังนั้นโคมไฟหลอด LED จะมีพิกัดกำลังไฟฟ้า 16.632 วัตต์ ใช้งาน 12 ชม./วัน จะได้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการต่อวัน

$$\begin{aligned} \text{ค่าพลังงานไฟฟ้า/วัน} &= 16.632 \text{ วัตต์} \times 12 \text{ ชม.} \\ &= 199.584 \text{ Wh} \approx 200 \text{ Wh} \end{aligned}$$

2.3 การคำนวณหาขนาดเซลล์แสงอาทิตย์ [5]

ในแต่ละวันความเข้มแสงจะไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ดังนั้นใน 1 วัน แผงโซล่าเซลล์รับพลังงานแสงอาทิตย์เต็มที่ได้ประมาณ 6 ชั่วโมง คิดกำลังไฟฟ้าแผงโซล่าเซลล์ได้ ดังสมการ

$$P_{solarcell} = \frac{Energy/day}{6hr} \quad (4)$$

$$\text{แทนค่าสมการ} = \frac{200Wh}{6hr} = 33.264W$$

เมื่อ $P_{solarcell}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าแผงโซล่าเซลล์ ที่ความเข้มแสง 1000 W/m²

$Energy/day$ คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการต่อวัน

เนื่องจากประเทศไทย สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ 600-700 W/m² หากใช้เซลล์แสงอาทิตย์ใหม่ ที่ความเข้มแสง 600 W/m² ได้ประมาณ 55.44 W ดังนั้นเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous ขนาด 52 W มีพิกัดแรงดันไฟฟ้า 71.2 V และพิกัดกระแสไฟฟ้า 0.74 A

2.4 การคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่ [6]

โคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้พลังงานไฟฟ้าใน 1 วัน 200 Wh เลือกแบตเตอรี่ 12 V และค่า DOD 60% แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโคมไฟตลอดคืน 12 ชั่วโมงต่อวัน การหาค่าความจุของแบตเตอรี่ทำได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$Ah = \frac{\text{Energy / day}}{DOD \times V_{\text{battery}} \times \eta_{\text{battery}}} \quad (5)$$

เมื่อ Ah คือ ความจุของแบตเตอรี่

η_{battery} คือ ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

DOD คือ ระดับความลึกในการคายประจุ

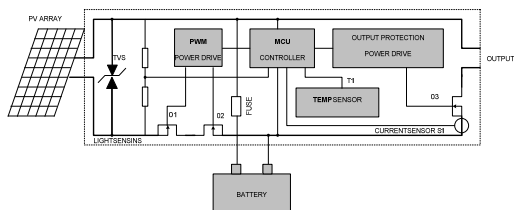
แทนค่าสมการ

$$Ah = \frac{200Wh}{0.6 \times 12V \times 0.85} = 32.68$$

ดังนั้นเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 V 33 Ah

2.5 การเลือกชุดชาร์จแบตเตอรี่และจ่ายโหลด

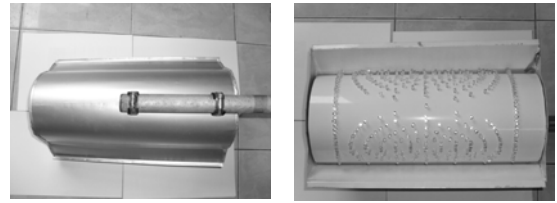
ชุดควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ ทำหน้าที่ประจุไฟฟ้าลงสู่แบตเตอรี่อย่างอัตโนมัติ และควบคุมกระแสให้มีปริมาณที่เหมาะสม เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ อีกทั้งยังต้องมีวงจรจ่ายโหลดไฟฟ้า กระแสตรงอย่างอัตโนมัติด้วย ดังนั้นจึงได้เลือกเครื่องควบคุมการประจุสำเร็จรูป ซึ่งสามารถทำงานได้อัตโนมัติ คือ ชาร์จได้ทั้งแรงดัน 12/24 V และสามารถรองรับพิกัดกระแสชาร์จได้ 5/10 A ซึ่งมีวงจรดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 วงจรการทำงานของชุดชาร์จแบตเตอรี่และจ่ายโหลดอัตโนมัติ

2.6 โคมไฟถนนหลอด LED ต้นแบบ

โคมไฟถนนหลอด LED ที่ได้ออกแบบจะประกอบไปด้วย 1) ฐานดวงโคมทำด้วยท่อพีวีซี ขนาด 6 นิ้ว ตัดตามขวาง ความยาว 30 cm มีรัศมี 7 cm 2) ดวงโคมซึ่งใช้หลอด LED ทั้งหมด 308 หลอด ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 โคมไฟถนนหลอด LED ต้นแบบที่สร้างขึ้น



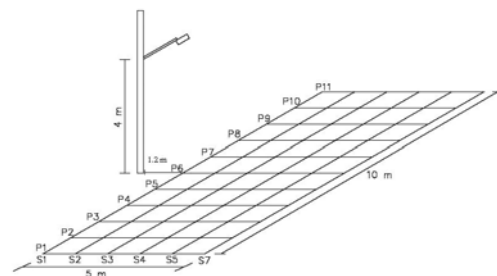
ภาพที่ 7 ไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์หลอด LED

3. ผลและการอภิปรายผล

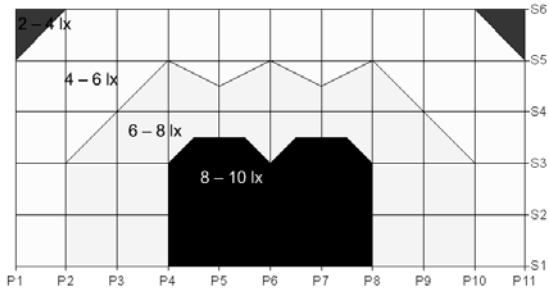
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการทดสอบผลการใช้งานโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ หลอด LED ดังนี้

3.1 การเปรียบเทียบความส่องสว่างของโคมไฟ

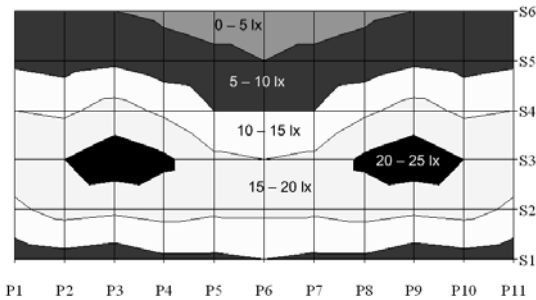
ทำการทดสอบวัดแสงสว่างตกกระทบพื้นถนน ที่ความสูง 4 เมตร โดยทำการวัดค่าความสว่างของชุดโคมไฟหลอดฟลูออเรสเซนต์ และชุดโคมไฟหลอด LED ตามจุดต่างๆ แต่ละจุดห่างกัน 1 เมตร เพื่อให้เห็นการกระจายแสงของโคมไฟถนนแต่ละชนิด ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การทดสอบการกระจายแสงของโคมไฟถนน



ภาพที่ 9 การกระจายแสงของโคมไฟหลอดฟลูออเรสเซนต์

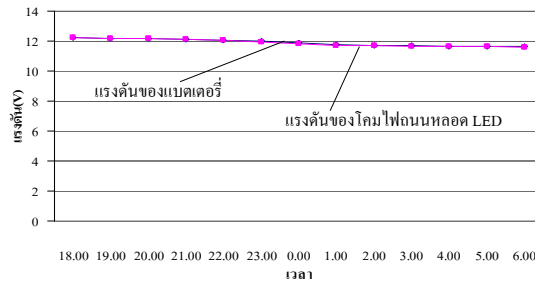


ภาพที่ 10 การกระจายแสงของโคมไฟหลอด LED

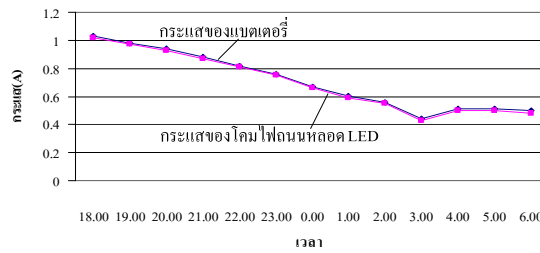
จากผลการทดสอบชุดโคมไฟถนนทั้งสองชนิดตามภาพที่ 9 และ 10 พบว่าการกระจายแสงของโคมไฟหลอด LED สามารถกระจายแสงออกไปตามแนวนอนได้ดีกว่าโคมไฟหลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่วัดจากจุดเดียวกัน ส่วนค่าความส่องสว่างจากโคมหลอด LED มีค่ามากกว่าโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2 - 4 lx

3.2 การจ่ายพลังงานให้โคมไฟถนนหลอด LED

การทดสอบจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ให้กับชุดโคมไฟถนนหลอด LED ในเวลา 12 ชม. คือตั้งแต่ไม่มีแสงอาทิตย์ วงจรควบคุมการจ่ายโหลดก็จะจ่ายไฟฟ้าแก่ชุดโคมไฟหลอด LED จนกว่าจะมีแสงอาทิตย์ วงจรควบคุมก็จะตัดการทำงาน แล้ววงจรชาร์จก็จะทำการประจุแบตเตอรี่ใหม่ จากกราฟภาพที่ 11 และ 12 แสดงให้เห็นว่าแบตเตอรี่ที่มีการประจุไฟจนเต็ม สามารถจ่ายโหลดได้เพียงพอต่อการใช้งาน 10-12 ชั่วโมงต่อวัน ค่าความส่องสว่างได้โคมที่วัดได้ประมาณ 18-13 lx โดยความส่องสว่างจะลดลงตามระยะเวลาการใช้งาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวันด้วยว่าทำให้การประจุแบตเตอรี่เต็มได้มากน้อยเพียงใด



ภาพที่ 11 แรงดันแบตเตอรี่และแรงดันที่โคมไฟ LED



ภาพที่ 12 แรงดันแบตเตอรี่และแรงดันที่โคมไฟ LED

4. สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบและสร้างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์หลอด LED ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้จริง โดยให้ค่าความส่องสว่างออกมาประมาณ 15-20 lx ซึ่งดีกว่ามาตรฐานที่กำหนดของไฟถนน และจากการทดสอบเปรียบเทียบการกระจายแสงในมุมต่างๆ ค่าที่ได้โดยรวมของโคมไฟหลอด LED มีมากกว่าโคมไฟหลอดฟลูออเรสเซนต์ประมาณ 30 % นอกจากนี้ไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์หลอด LED ยังสามารถทำการติดตั้งได้ทุกภูมิภาค โดยเฉพาะพื้นที่ชนบท หรือพื้นที่ตามหุบเขาซึ่งเป็นพื้นที่ที่ห่างไกลจากสายส่งของการไฟฟ้า และเมื่อเปรียบเทียบในด้านการลงทุนก็มีความคุ้มค่าที่จะลงทุนกว่า เพราะเมื่อเทียบกับการเดินสายส่งจากการไฟฟ้าเข้าไปในพื้นที่นั้นๆ แล้วก็ถือว่าประหยัดกว่ามาก และทางด้านจิตใจถือว่าเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับประชาชนและผู้ใช้ถนน เพราะได้มีไฟถนนใช้ในยามค่ำคืน ทำให้การสัญจรไปมาเกิดความสะดวกและปลอดภัย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Electronics Source. 2010. **Product Feather**. [Online]. Available: <http://www.es.co.th/detail.asp?Prod=LTW-2S3D7>.
- [2] ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2540. **เทคนิคการส่องสว่าง**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] โบนัส ทรงจิตร และ ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์. “โปรแกรมออกแบบการติดตั้งหลอด LED บนดวงโคมไฟฟ้า.” ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [4] Vichukorn Enterprise co. Ltd. **Fluorescent Luminaries Products and Specification Catalogue 2009-2010**.
- [5] Leonics. **Basic of Solar Cell**. [Online]. Available: http://www.leonics.com/support/article2_13j/articles2_13j_en.php
- [6] Leonics. **How to design Solar PV system**. [Online]. Available: http://www.leonics.com/support/article2_12j/articles2_12j_en.php

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายอาทิตย์ จันทร์วงศ์, นายวินัย จันทสิทธิ์ และนายเริงฤทธิ์ บ้านเป้า ที่ได้ร่วมวิจัยในงานนี้

โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิและความชื้นขนาดเล็กแบบเคลื่อนย้ายได้

ปณิธิ แสนจิตร¹ และ อำนาจ ผัดวัง²

บทคัดย่อ— โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิและความชื้นขนาดเล็กแบบเคลื่อนย้ายได้เป็นโรงเรือนแบบปิดมีขนาด 3 x 4 x 2.5 เมตรใช้ผ้าใบแบบทึบเป็นวัสดุในการคลุมโครงสร้างสามารถถอดประกอบได้ ใช้หัวกระจายน้ำฝอยเพื่อลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นของโรงเรือนโดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ควบคุมการทำงานของทั้งระบบ ใช้โซลินอยด์วาล์วในการควบคุมการปิด-เปิดน้ำของหัวกระจายน้ำฝอยจำนวน 6 ตัวเพื่อลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดอุณหภูมิ ส่วนการลดความชื้นจะใช้พัดลมดูดความชื้นขนาด 8 นิ้ว โรงเรือนปรับตั้งอุณหภูมิในการทำงานได้ตั้งแต่ 28-32 องศาเซลเซียส ปรับตั้งความชื้นได้ตั้งแต่ที่ 60-80 % ผลการทดลองโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสามารถลดอุณหภูมิในการทดลองได้สูงสุด 9.25 องศาเซลเซียส และต่ำสุด 1.25 องศาเซลเซียส ส่วนความชื้นพัดลมดูดความชื้นจะทำงานเมื่อความชื้นภายในโรงเรือนสูงกว่าที่ปรับตั้งไว้ ปริมาณการใช้น้ำของหัวกระจายน้ำฝอยทั้งวันสูงสุดอยู่ที่ 0.423 ลูกบาศก์เมตร

คำสำคัญ โรงเรือน หัวกระจายน้ำฝอย ไมโครคอนโทรลเลอร์

1. บทนำ

ในปัจจุบันเกษตรกรมีความนิยมปลูกพืชในโรงเรือนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเกษตรกรมักจะพบปัญหาในการดูแลพืชที่ปลูกในโรงเรือนไม่น้อยโดยเฉพาะเกษตรกรที่พึ่งปลูกโดยใช้โรงเรือนเป็นครั้งแรก เช่น อุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงเกินไปไม่สามารถลดอุณหภูมิได้ภายในโรงเรือนมีความชื้นไม่เพียงพอ ทำให้เกิดความเสียหายแก่พืชที่ปลูกเป็นอย่างมาก จึงได้มีการสร้างโรงเรือนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นขึ้นขึ้นแต่เนื่องจากโรงเรือนที่สร้างขึ้นมีขนาดใหญ่ซึ่งประมาณ

ในการสร้างและการบำรุงรักษาสูงอีกทั้งพืชบางชนิดที่ทำกรเพาะปลูกเมื่อทำการเพาะปลูกได้ประมาณ 1 ปี หรือ 2 ปี ก็ต้องทำการย้ายสถานที่ทำให้เกษตรกรเสียทั้งเวลาและเสียทั้งค่าใช้จ่ายในการในการเคลื่อนย้าย อีกทั้งอุปกรณ์บางอย่างอาจได้รับความเสียหายขณะเคลื่อนย้าย ผู้วิจัยจึงได้คิดค้นและพัฒนาโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้หัวกระจายน้ำฝอยเป็นอุปกรณ์ในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือนโดยจะควบคุมระบบการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

2. วิธีการวิจัย

2.1 หัวกระจายน้ำฝอย(ULEM) คือ เครื่องพ่นละอองน้ำที่ใช้เทคโนโลยี Ultra Low Energy Mist Technology เป็นอุปกรณ์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นในบรรยากาศรอบๆตัวโดยใช้หลักการของน้ำหยดกระทบลงบนจาน ที่หมุนด้วยความเร็วสูงเมื่อน้ำตกกระทบจานดังกล่าว จะเกิดการแตกตัวของหยดน้ำอย่างรุนแรงและรวดเร็ว จนทำให้เกิดละอองน้ำเป็นฝอยที่ละเอียดเล็กมาก ละอองน้ำที่ละเอียดเล็กมาก

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ลำปาง 200 หมู่ 17 ต. พิชัย อ. เมือง จ.ลำปาง 52000 โทรศัพท์: +66(5)-434-2547 โทรสาร: +66(5)-434-2549 E-mail: pan_rmutl@hotmail.com

² สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ลำปาง 200 หมู่ 17 ต. พิชัย อ. เมือง จ.ลำปาง 52000 โทรศัพท์: +66(5)-434-2547 โทรสาร: +66(5)-434-2549 E-mail: pw_arnaj@hotmail.com

เหล่านี้ จะสามารถระเหยไปในอากาศอย่างรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิรอบๆ ช่างลดลงและความชื้นเพิ่มขึ้น เมื่อจ่ายไฟกระแสตรง 12 โวลต์ให้หัวกระจายน้ำฝอยมอเตอร์ภายในจะหมุนด้วยความเร็วรอบสูง เมื่อเปิดวาล์วปรับปริมาณน้ำให้น้ำไหลผ่านท่อให้น้ำออก แล้วหยดมากระทบกับจาน ทำให้เกิดการแตกตัวของหยดน้ำเป็นละอองด้วยแรงหนีศูนย์กลาง หัวกระจายน้ำฝอยยังเป็นอุปกรณ์ที่สามารถปรับ และควบคุมความชื้นได้ โดยการปรับปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่จานความเร็วสูง คือ ถ้าน้ำไหลน้อย ละอองน้ำก็จะแตกตัวได้เร็วและละเอียด โดยละอองน้ำจะไม่ตกสู่พื้น แต่ถ้าปริมาณน้ำที่ไหลมามาก หัวกระจายน้ำฝอยจะทำหน้าที่เหมือนสปริงเกอร์ คือ ละอองน้ำที่แตกตัวจะมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้น จะตกลงสู่พื้นด้านล่าง แต่มีข้อดีกว่าสปริงเกอร์ คือ ความชื้นที่ได้ในด้านล่างจะสม่ำเสมอทุกพื้นที่การทำงานของ หัวกระจายน้ำฝอย



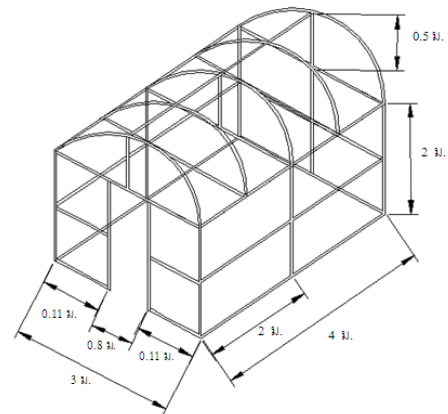
ภาพที่ 1 หัวกระจายน้ำฝอย

จากการทดสอบการกระจายน้ำของหัวกระจายน้ำฝอย โดยให้ทำงานเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เลือกใช้หัวกระจายน้ำฝอย แบบจานหน้ากว้าง ติดตั้งที่ความสูง 2 เมตร รัศมีการกระจายน้ำ 1.50-2.0 เมตร ละอองน้ำที่ได้ก็จะมี ความละเอียดมากกว่า

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบหัวกระจายน้ำฝอย

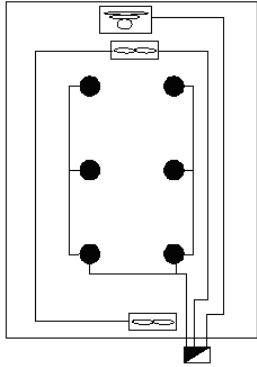
ลักษณะ หัวกระจายน้ำฝอย	ความสูง (ม.)	ปริมาณน้ำที่ใช้ (ลบ.ม.)	รัศมีการกระจายน้ำ (ม.)
แบบจานหน้า	1	0.010	1.0 - 1.20
กว้าง	1.5	0.010	1.20 - 1.50
	2	0.010	1.50 - 2.0

2.2 การออกแบบโครงสร้างโรงเรือนและวงจรควบคุม ได้ออกแบบเป็นโรงเรือนหลังคาครึ่งวงกลมใช้ผ้าเต็นท์แบบทึบแสงคลุมด้านนอกของโรงเรือน เนื่องจากการสร้างโรงเรือนคิดจากการกระจายน้ำของยูเลียมจึงออกแบบโรงเรือนให้มีขนาด กว้าง*ยาว*สูง เป็น 3*4*2.5 เมตร



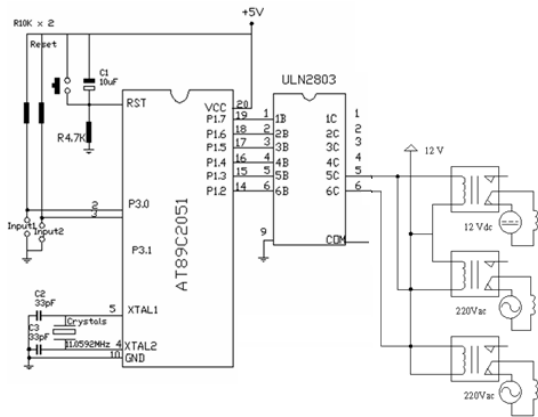
ภาพที่ 2 โครงสร้างของโรงเรือน

ติดตั้งหัวกระจายน้ำฝอยห่างกัน 1 เมตรเพื่อควบคุมการกระจายน้ำให้ทั่วทั้งโรงเรือน ติดตั้งพัดลมดูดความชื้น และพัดลมระบายความร้อนบริเวณด้านหน้าและด้านหลังของโรงเรือน โดยมีตู้ควบคุมอยู่บริเวณหน้าโรงเรือน



ภาพที่ 3 ตำแหน่งหัวกระจายน้ำฝอยและพัดลมในโรงเรือน

ออกแบบวงจรควบคุมการทำงานทั้งหมดของโรงเรือนเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นตัวควบคุมวงจรโดยรับอินพุตจากจาก 2 แหล่งคือเทอร์โมคัปเปิ้ลซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดอุณหภูมิและเครื่องวัดความชื้นใน วงจรออกแบบให้มี 2 เอาต์พุตเพื่อควบคุมการจ่ายน้ำของหัวกระจายน้ำฝอยทั้ง 6 ตัวพร้อมกับพัดลมดูดอากาศและอีกเอาต์พุตหนึ่งจะใช้ควบคุมพัดลมดูดความชื้น

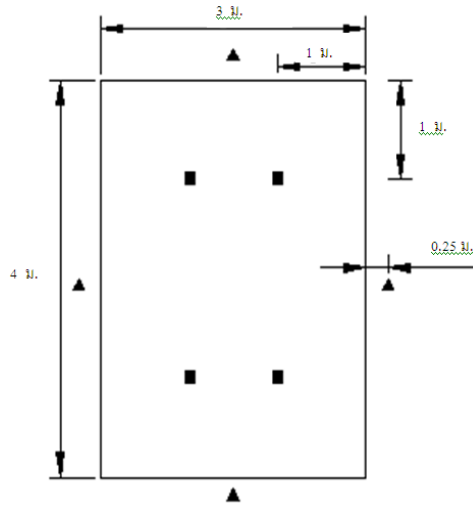


ภาพที่ 4 วงจรควบคุมการทำงานของโรงเรือน

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 ทดสอบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของโรงเรือน ทำการทดสอบเพื่อหาค่าการปรับตั้งอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยจะทำการปรับตั้งอุณหภูมิแล้วทำการทดลอง 2 วัน วันที่หนึ่งจะทำการปรับตั้งค่าอุปกรณ์ควบคุมความชื้นไว้ที่ 70 % วันที่สองตั้งไว้ที่ 80 % โดยจะทำการปรับตั้งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นครั้งละ 2 องศาทั้งหมด 6 ชั่วโมงอุณหภูมิเริ่มจากอุณหภูมิที่ 22 องศาถึง

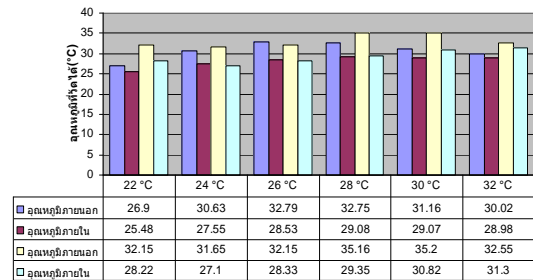
32 องศา เก็บข้อมูลทุก 1 ชั่วโมงของอุณหภูมิภายนอก 4 จุด อุณหภูมิภายใน 4 จุด เพื่อหาอุณหภูมิเฉลี่ย โดยจะเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 7.00 - 21.00 น.



■ คือ ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิภายในโรงเรือน
▲ คือ ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน

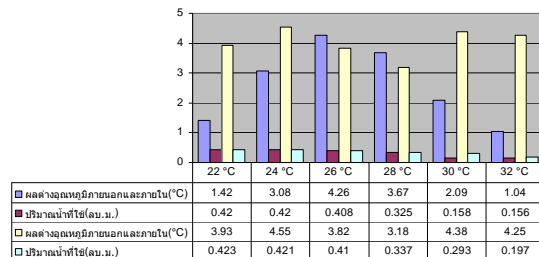
ภาพที่ 5 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของโรงเรือน

อุณหภูมิเฉลี่ยทุกจุดภายในและภายนอกของโรงเรือนในช่วงเวลาต่างๆ ที่วัดได้ตลอดทั้งวัน ปรับตั้งความชื้นที่ 70 % และ 80 %

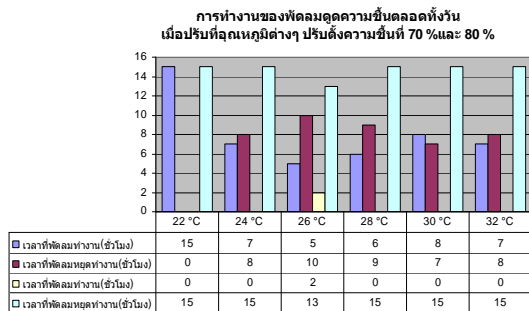


เมื่อปรับตั้งค่าความชื้นไว้ที่ 80 % ปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 28 องศา สามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 4 จุดของโรงเรือนได้มากที่สุดคือ 5.08 องศา เมื่อปรับตั้งค่าความชื้นไว้ที่ 70 % ปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 32 องศา ลดอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 4 จุดได้น้อยที่สุดคือ 1.39 องศา

ปริมาณน้ำเฉลี่ยตลอดทั้งวันเมื่อปรับตั้งอุณหภูมิต่างๆ ปรับตั้งความชื้นที่ 70 % และ 80 %



เมื่อปรับตั้งค่าความชื้นไว้ที่ 80 % ปรับตั้งอุณหภูมิที่ 22 องศา จำนวนการใช้น้ำมากที่สุด 0.423 ลูกบาศก์เมตร โดยปริมาณการใช้น้ำจะน้อยลงเมื่อปรับตั้งอุณหภูมิสูงขึ้น คือเมื่อปรับตั้งค่าความชื้นไว้ที่ 70 % ปรับตั้งอุณหภูมิที่ 32 องศา มีการใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุด 0.156 ลูกบาศก์เมตร



ทำการทดสอบการทำงานของพัดลมดูดความชื้นโดยให้ใช้งานวันละ 15 ชั่วโมงเมื่อปรับตั้งค่าควบคุมความชื้นที่ 70 % พัดลมดูดความชื้นจะทำงานเฉลี่ย 8 ชั่วโมง และหยุดการทำงานเฉลี่ย 7 ชั่วโมง และเมื่อปรับตั้งค่าควบคุมความชื้นที่ 80 % พัดลมดูดความชื้นจะทำงาน เพียง 2 ชั่วโมงเท่านั้น

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองพบว่าโรงเรือนสามารถปรับตั้งอุณหภูมิในการทำงานได้ตั้งแต่ 28-32 องศาเซลเซียส ปรับตั้งความชื้นได้ตั้งแต่ที่ 70-80 % สามารถลดอุณหภูมิในการทดลองได้สูงสุด 9.25 องศาเซลเซียส และต่ำสุดคือ 1.25 องศาเซลเซียส ส่วนความชื้นพัดลมดูดความชื้นจะทำงานเมื่อความชื้นภายในโรงเรือนสูง

กว่าที่ปรับตั้งไว้ ปริมาณการใช้น้ำของหัวกระจายน้ำฝอยทั้งวันสูงสุดอยู่ที่ 0.423 ลูกบาศก์เมตร อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับปรับตั้งค่าควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนอยู่ที่ 30-32 องศา ค่าความชื้นอยู่ที่ 80 % เนื่องจากเป็นช่วงอุณหภูมิที่มีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกทำให้หัวกระจายน้ำฝอยมีช่วงเวลาตัดการทำงาน โรงเรือนที่จัดสร้างขึ้นนี้เหมาะสำหรับปลูกพืชที่ไม่ต้องการแสงและต้องการความชื้นมาก

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] โรงเรือนปลูกพืชและวัสดุถุงหลังคา. Available : [<http://agri.wu.ac.th/msomsak/Soilless/Chapter07/Greenhouse.htm>]
- [2] ULEM. Available : [<http://www.ku.ac.th/e-magazine/mar49/agri/ulem.htm>].
- [3] ดอนสัน ปงผาบ 2550. ไมโครคอนโทรลเลอร์และการใช้งาน 1. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น

การใช้งานซูเปอร์คาปาซิเตอร์เป็นอุปกรณ์กักเก็บพลังงานสำรองร่วมกับ เซลล์แสงอาทิตย์

ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข¹ สุเทพ ชูผึ้ง¹ และ ทวีวัช ชัยพิพัฒน์¹

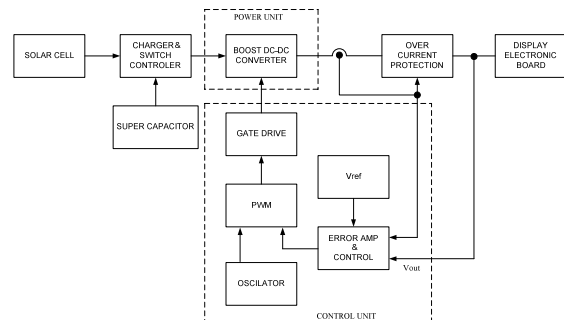
บทคัดย่อ--- บทความนี้เป็นการประยุกต์นำเอาซูเปอร์คาปาซิเตอร์มาใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าและเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโหลด โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์และซูเปอร์คาปาซิเตอร์เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงผ่านวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ ทำให้ระดับแรงดันเอาต์พุตคงที่ 24 V ใช้มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ในการสวิตช์ที่ความถี่ 100 KHz ใช้ไอซี UC3824 ในการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของมอสเฟส มีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมแบบเฟสนำ-เฟสตาม เพื่อรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F819 ในการควบคุมการประจุซูเปอร์คาปาซิเตอร์และสับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้า

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาผลกระทบที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงซึ่งเป็นพลังงานหลักในการผลิตกระแสไฟฟ้านั้นกำลังจะหมดไป จำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่มาทดแทน ระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจ เนื่องจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีข้อดีคือ สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะขณะใช้งานแต่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีข้อเสียคือ ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำแรงดันไม่คงที่ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง จากข้อจำกัดของเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวจึงได้มีแนวคิดที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยนำซูเปอร์คาปาซิเตอร์มาทำงานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ในการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าและเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโหลด ซึ่งซูเปอร์คาปาซิเตอร์ง่ายต่อการจัดเก็บพลังงาน มีน้ำหนักเบา อายุการใช้งานยาวนาน การเสื่อมเนื่องจากอุณหภูมิมีน้อยแวนโน้มในการนำมาใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองในระบบไฟฟ้า

2. วิธีการวิจัย

ระบบการทำงานของการใช้งานซูเปอร์คาปาซิเตอร์ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยผ่านวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์นั้นสามารถเขียนเป็นผังโครงสร้างของระบบได้ดังภาพที่ 1



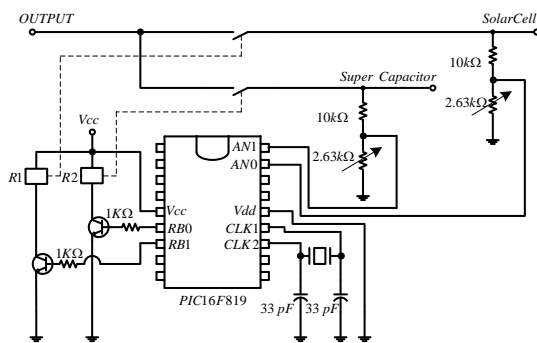
ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการใช้งานซูเปอร์คาปาซิเตอร์ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์

จากผังโครงสร้างของระบบประกอบไปด้วยภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นวงจรที่ทำหน้าที่สับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้าระหว่างซูเปอร์คาปาซิเตอร์กับเซลล์แสงอาทิตย์ ภาควงจรกำลังทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันเอาต์พุต ภาควงจรควบคุมทำหน้าที่ควบคุมวงจรกำลังให้รักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ ภาควงจรป้องกันกระแสเกินมีหน้าที่ปลดวงจรด้านเอาต์พุตออกเมื่อเกิดกระแสเกินและโหลดป้ายแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
2 ถ.นางลิ้นจี่ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

2.1 วงจรสับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้าและประจุ

วงจรจะทำหน้าที่สับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้าระหว่างซูเปอร์คาปาซิเตอร์กับเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าผ่านวงจรมอเตอร์และทำการประจุซูเปอร์คาปาซิเตอร์เมื่อแรงดันของซูเปอร์คาปาซิเตอร์มีค่าต่ำโดยที่แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่ามากเพียงพอที่จะสามารถทำการประจุได้ วงจรจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F819 ควบคุมการทำงานโดยตรวจวัดแรงดันจากซูเปอร์คาปาซิเตอร์และเซลล์แสงอาทิตย์นำมาเป็นตัวแปรให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำตามเงื่อนไขโดย วงจรสับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้าสามารถเขียนเป็นวงจรได้ดังภาพที่ 2

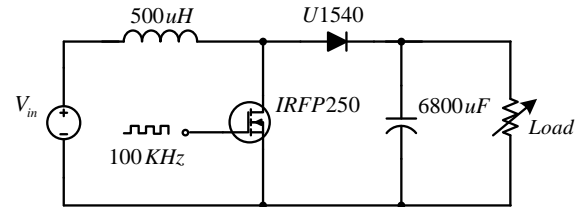


ภาพที่ 2 วงจรสับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้าและประจุ

เงื่อนไขการทำงานของวงจรสับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้าและประจุ จะเริ่มจากตรวจเช็คแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนเสมอถ้าแรงดันมากกว่า 15 โวลต์จะสั่งให้รีเลย์ R1 ทำงานจ่ายไฟจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังวงจรมอเตอร์จ่ายไฟให้โหลดหลังจากนั้นจะไปทำการตรวจเช็คแรงดันซูเปอร์คาปาซิเตอร์ถ้าต่ำกว่า 10 โวลต์จะสั่งให้รีเลย์ R2 ทำงานประจุซูเปอร์คาปาซิเตอร์จนแรงดันถึง 13.5 โวลต์รีเลย์ R2 จะหยุดทำงานเพื่อหยุดการประจุ ถ้าแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่า 15 โวลต์รีเลย์ R1 จะหยุดทำงานในขณะที่เดียวกันรีเลย์ R2 จะทำงานจ่ายไฟจากซูเปอร์คาปาซิเตอร์ไปยังวงจรมอเตอร์จ่ายไฟให้โหลดแทนโดยที่แรงดันของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ต้องไม่ต่ำกว่า 10 โวลต์

2.2 วงจรกำลัง

วงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรกำลังที่สามารถเพิ่มระดับแรงดันเอาต์พุตให้สูงกว่าแรงดันอินพุตได้ สามารถเขียนวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์ได้ดังภาพที่ 3



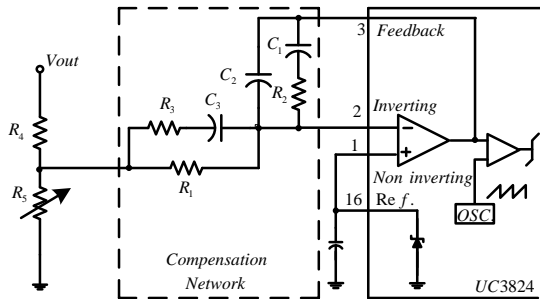
ภาพที่ 3 วงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์

วงจรกำลังของวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ คือตัวเหนี่ยวนำความถี่สูง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สวิตช์ ตัวเก็บประจุทางด้านเอาต์พุตและไดโอดกำลังความถี่สูง วงจรกำลังต้องมีความสามารถในการทำงานได้ปกติที่ขนาดพิกัดกระแสแรงดันและความถี่ที่ใช้งานนี้ที่ 100 kHz ซึ่งเป็นความถี่ในการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์ ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณและเทคนิคการเลือกอุปกรณ์ดังกล่าวให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ตัวเหนี่ยวนำใช้ขนาด 500 μ H อุปกรณ์ในการสวิตช์เลือกใช้ MOSFET IRFP250 ซึ่งสามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ถึง 500 kHz สามารถทนกระแสได้สูงถึง 38 แอมป์และทนแรงดันขณะหยุดนำกระแสได้ถึง 250 โวลต์ ตัวเก็บประจุเลือกใช้ที่ความจุ 6800 μ F 35 โวลต์ ไดโอดกำลังความถี่สูงเลือกใช้แบบ Ultrafast Recovery ซึ่งสามารถทนแรงดันขณะหยุดนำกระแสได้ถึง 400 โวลต์และทนกระแสได้ 15 แอมป์ แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแส 1.12 โวลต์

2.3 วงจรควบคุม

ทำหน้าที่ควบคุมวงจรกำลังให้รักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ จะใช้ไอซี UC3824 สามารถควบคุมการทำงานแบบ PWM โดยที่มีความถี่คงที่ ความถี่และคาบเวลาในการทำงานของเอาต์พุต การตรวจจับ

แรงดันเอาต์พุตจะใช้งานแบ่งแรงดัน ซึ่งเป็นสัญญาณบวกจะใช้ค่าความต้านทาน R1 และ R2 โดยอาศัยหลักการแบ่งแรงดันไปเข้ากับชุดชดเชยระบบเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_{ref} เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง จะทำให้ V_{error} มีค่ามากขึ้นและนำสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่าง V_{error} และ V_{ref} เพื่อใช้ในการปรับดีวี่ไซเคิล (Duty Cycle) (โดยจะนำสัญญาณ V_{error} ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณ Ramp Oscillator ทำให้ได้สัญญาณพัลส์ ไปควบคุมการเปิดและปิดของเพาเวอร์มอสเฟตวงจรนี้จะถูกควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้คงที่และชดเชยให้ระบบมีเสถียรภาพสามารถเขียนวงจรได้ดังภาพที่ 4

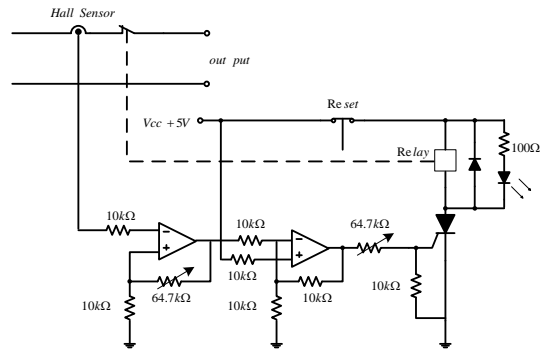


ภาพที่ 4 วงจรควบคุมวงจรถ้าล้าง

ในส่วนของวงจรชดเชยระบบค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุสามารถคำนวณได้จากการนำพารามิเตอร์ของวงจรถนุสไปทำการจำลองเพื่อหาผลตอบสนองต่อความถี่โดยโปรแกรม Pspice เพื่อนำค่า crossover frequency และ gain margin ไปทำการหาค่าอุปกรณ์ชดเชยดังกล่าว

2.4 วงจรป้องกันกระแสเกิน

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในวงจรป้องกันการลัดวงจรด้านเอาต์พุต คือ รีเลย์การใช้รีเลย์ในวงจรป้องกันกระแสเกินนั้น เนื่องจากการตอบสนองที่รวดเร็วกว่าการป้องกันด้วยฟิวส์ที่ป้องกันกระแสเกินเวลาเป็นนานและกระแสกระเพื่อมใหญ่ๆ มักจะเป็นลูกคลื่นที่มีความถี่สูงดังนั้นจึงต้องมีการตอบสนองที่มีความไวสูงสามารถเขียนวงจรได้ดังภาพที่ 5

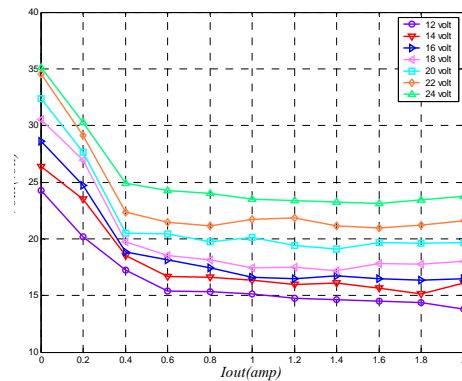


ภาพที่ 5 วงจรป้องกันกระแสเกิน

โดยออกแบบด้วยวิธีการนำสัญญาณกระแสมาควบคุมหน้าสัมผัสแม่เหล็ก โดยใช้การตรวจจับกระแสด้วย Hall Sensor เป็นตัวตรวจจับกระแส เมื่อเอาต์พุตเกิดการลัดวงจรขึ้นจะทำให้ Hall Sensor ส่งสัญญาณแรงดันมาผ่านวงจรถายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส โดยใช้โอปแอมป์ LM324 จากนั้นจึงผ่านวงจรรวมสัญญาณซึ่งจะได้สัญญาณผลต่างจากวงจรทั้งสองที่มีแรงดันโดยที่จะมีซีเนอร์ไดโอดเป็นตัวรักษาระดับแรงดันที่เหมาะสมที่จะทริกที่ขาเกตของเอสซีอาร์ เมื่อเอสซีอาร์ทำงานก็จะไปควบคุมขดลวดรีเลย์และทำการตัดวงจรที่หน้าสัมผัสปกติปิดและมี LED แสดงผลบอกสถานะ นอกจากนี้เอสซีอาร์จะรักษาสภาพหน้าสัมผัสไว้เพื่อไม่ให้เกิดการปิดวงจรอีกเมื่อตัดกระแสไฟไปแล้วจนกว่าจะมีการกดสวิตช์รีเซ็ตอีกครั้ง

3. ผลและการอภิปรายผล

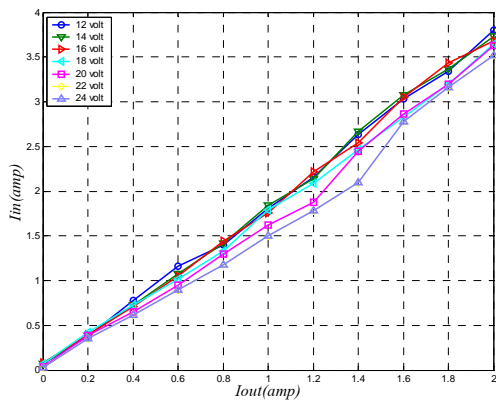
3.1 การทดสอบแรงดันเอาต์พุตเมื่อเปลี่ยนกระแสเอาต์พุตและแรงดันอินพุตแบบลูปเปิด



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเอาต์พุตกับแรงดันเอาต์พุตเมื่อทดสอบแบบลูปเปิด

จากการทดสอบเมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดและดังภาพที่ 6 โดยวิธีรูปเปิดที่แรงดันอินพุตค่าต่างๆ นั้น จะเห็นได้ว่าแรงดันเอาต์พุตจะค่อยๆ ลดลงเมื่อโหลดมีการดึงกระแสมากขึ้น ทำให้ระดับแรงดันเอาต์พุตไม่คงที่ ดังนั้นจึงต้องทำให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ โดยการควบคุมแรงดันด้วยวิธีรูปปิด จะใช้ไอซี UC3824 ในโหมดแรงดันเพื่อควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้คงที่

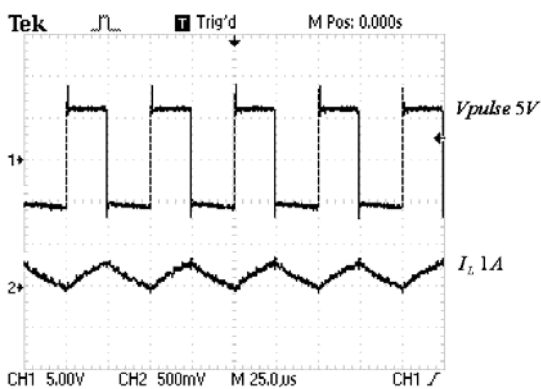
3.2 การทดสอบแรงดันเอาต์พุตเมื่อเปลี่ยนกระแสเมื่อเปลี่ยนกระแสเอาต์พุตและแรงดันอินพุต



ภาพที่ 7 กราฟกระแสอินพุตกับกระแสเอาต์พุต

จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอินพุตกับกระแสเอาต์พุตที่แรงดันค่าต่างๆ ทำให้ทราบว่าเมื่อโหลดมีค่าเพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลให้วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์จะใช้กระแสอินพุตสูงขึ้นตามไปด้วย

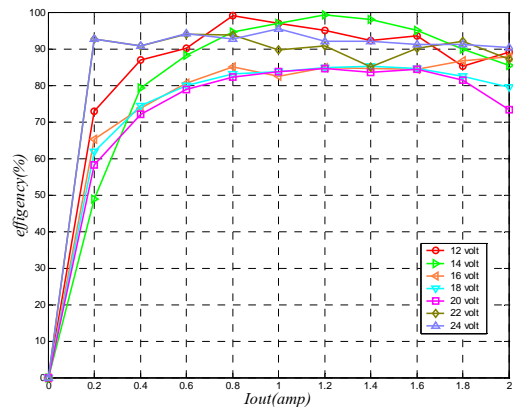
3.3 การทดสอบเปรียบเทียบสัญญาณคำสั่งสวิทช์และสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ



ภาพที่ 8 สัญญาณสวิทช์และสัญญาณกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำ

จากภาพที่ 8 แสดงให้เห็นถึงค่าสัญญาณจากชุดคำสั่งสวิทช์ที่ได้จากไอซี UC3824 ผ่านไอซีขับเกต TLP250 เปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ จากการทดสอบโดยใช้ความถี่ที่ 100KHz จะพบว่าสัญญาณจากชุดคำสั่งสวิทช์สามารถควบคุมสั่งงานให้เพาเวอร์มอสเฟสทำงานสวิทช์ได้และยังส่งผลให้กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าต่อเนื่อง

3.4 การทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์

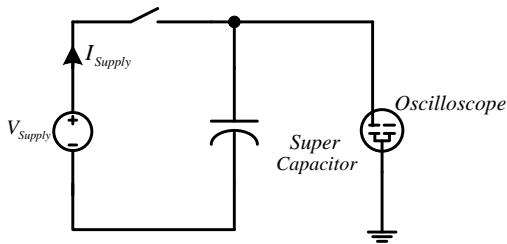


ภาพที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกระแสเอาต์พุตที่แรงดันอินพุต 12 – 24 โวลต์

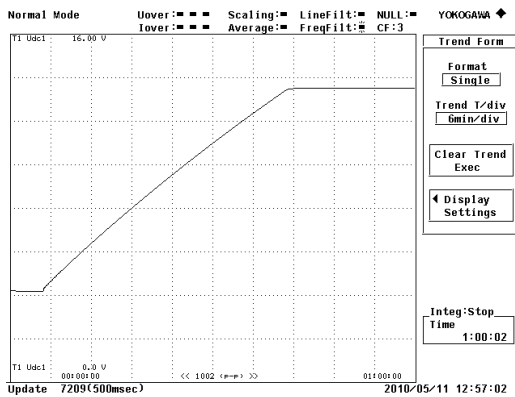
จากการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพที่กระแสเอาต์พุตค่าต่างๆ จะได้ประสิทธิภาพในช่วงกระแสเอาต์พุต 0.6–1.6 แอมป์มีค่าสูงที่สุดและเมื่อเพิ่มโหลดมากขึ้นประสิทธิภาพก็จะเพิ่มขึ้น แรงดันอินพุตที่มีระดับแรงดันสูงค่าประสิทธิภาพขณะกระแสพิกัดจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าระดับแรงดันอินพุตที่มีค่าต่ำกว่า เช่นที่แรงดัน 17 โวลต์ค่าประสิทธิภาพขณะกระแสพิกัดมีค่า 78.78% ในขณะที่แรงดันอินพุต 12 โวลต์ค่าประสิทธิภาพขณะกระแสพิกัดมีค่า 63.73%

3.5 การทดสอบการเก็บและคายพลังงานไฟฟ้าของซูเปอร์คาปาซิเตอร์

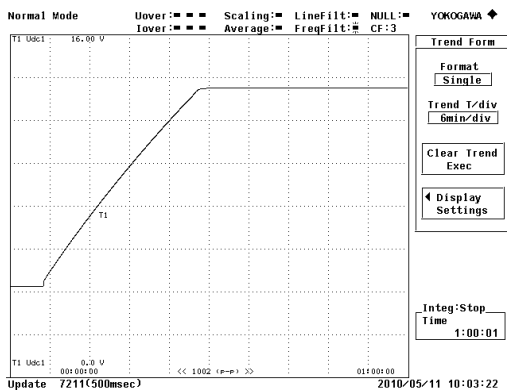
เป็นการศึกษาลักษณะการเก็บและคายพลังงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ว่าค่าแรงดันและกระแสต่างๆ มีผลต่อการเก็บและคายพลังงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์อย่างไร



ภาพที่ 10 วงจรทดสอบการเก็บพลังงานไฟฟ้าของซูเปอร์คาปาซิเตอร์

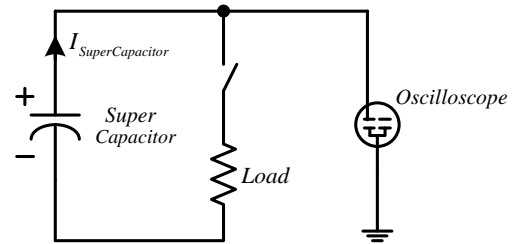


ภาพที่ 11 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าซูเปอร์คาปาซิเตอร์เก็บพลังงานไฟฟ้าที่แรงดัน 14 โวลต์ กระแส 2 แอมป์

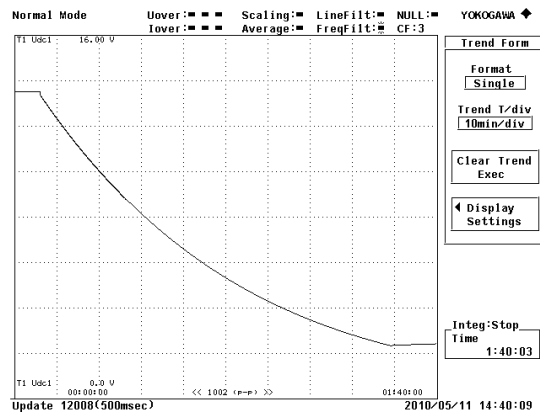


ภาพที่ 12 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าซูเปอร์คาปาซิเตอร์เก็บพลังงานไฟฟ้าที่แรงดัน 14 โวลต์ กระแส 3 แอมป์

จากการทดสอบการเก็บพลังงานไฟฟ้าของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ที่ค่าแรงดัน 14 โวลต์และค่ากระแสไฟฟ้าต่างๆ จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ค่ากระแสสูงในการเก็บพลังงานไฟฟ้าจะใช้เวลาในการเก็บพลังงานน้อยลงแต่เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าในการเก็บพลังงานมีค่าต่ำลงมาจะใช้เวลาในการเก็บพลังงานมากขึ้น



ภาพที่ 13 วงจรทดสอบการคายประจุของซูเปอร์คาปาซิเตอร์



ภาพที่ 14 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าซูเปอร์คาปาซิเตอร์คายพลังงานไฟฟ้าที่แรงดัน 14 โวลต์ กระแส 2 แอมป์

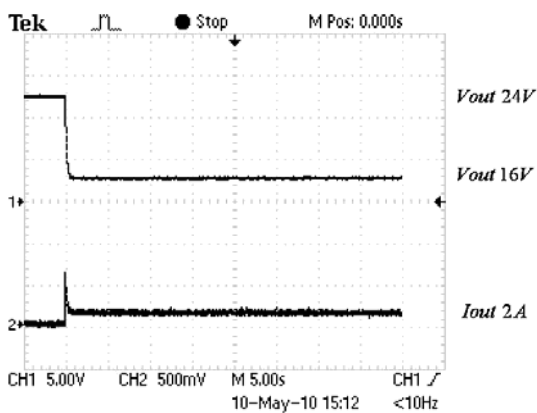


ภาพที่ 15 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าซูเปอร์คาปาซิเตอร์คายพลังงานไฟฟ้าที่แรงดัน 14 โวลต์ กระแส 3 แอมป์

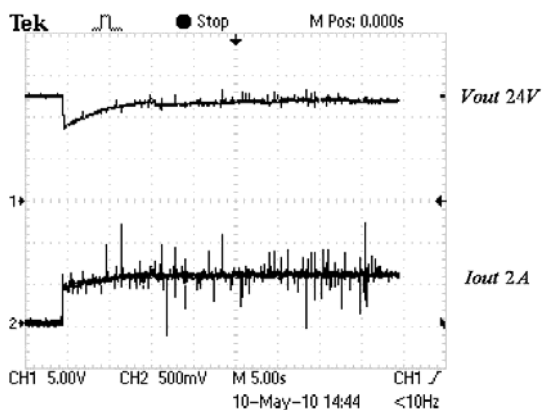
จากการทดสอบการคายพลังงานไฟฟ้าของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ที่ค่าแรงดัน 14 โวลต์และค่ากระแสไฟฟ้าต่างๆ จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ค่ากระแสสูงในการคายพลังงานไฟฟ้าจะใช้เวลาในการคายพลังงานน้อยลงแต่เมื่อมีโหลดน้อย ๆ หรือกระแสที่ต่ำ ๆ ก็จะทำให้เวลาการคายพลังงานมากขึ้นทำให้ซูเปอร์คาปาซิเตอร์นี้มี

คุณสมบัติเหมือนกับแบตเตอรี่ ภาพที่ 10 เมื่อจ่ายโหลดที่ทำให้มีกระแสไฟฟ้าที่ 3 แอมป์ จะทำให้เกิดการคายพลังงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์จนถึงแรงดันระดับคงที่ที่ 2.0 โวลต์ใช้เวลา 1 ชั่วโมง แต่ถ้าจ่ายกระแสโหลดที่ 2 แอมป์จะใช้เวลาถึง 1.50 ชั่วโมง ในโครงการจ่ายโหลดที่ 2 แอมป์ และแรงดันใช้งานอยู่ที่ 10–13.5 โวลต์ ดังนั้นจึงสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เป็นเวลาประมาณ 30 นาที

3.6 ทดสอบต่อใช้งานซูเปอร์คาปาซิเตอร์ผ่านบูสคอนเวอร์เตอร์และจ่ายโหลดแบบ step load



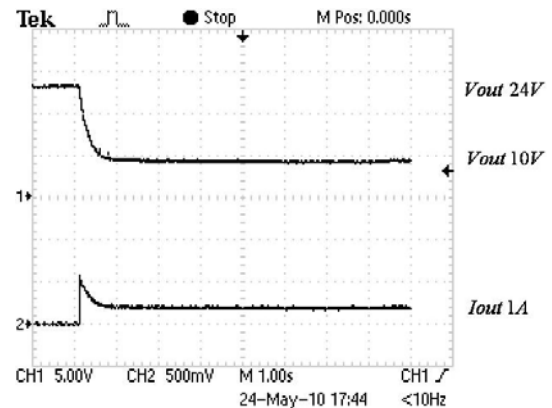
ภาพที่ 16 สัญญาณแรงดันและกระแสเมื่อจ่ายโหลด 100% ทันทันทีแบบรูปเปิด



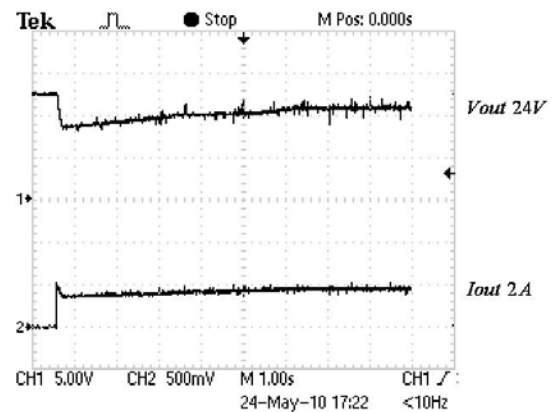
ภาพที่ 17 สัญญาณแรงดันและกระแสเมื่อจ่ายโหลด 100% ทันทันทีแบบรูปปิด

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าเมื่อจ่ายโหลดแบบ step ในกรณีรูปเปิดแรงดันเอาต์พุตจะลดลงทันทีทำให้ไม่สามารถรักษาระดับไว้ได้แต่ในกรณีรูปปิดแรงดันเอาต์พุตจะลดลงแล้วกลับมาคงที่

3.5 ทดสอบต่อใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านบูสคอนเวอร์เตอร์และจ่ายโหลดแบบ step load



ภาพที่ 18 สัญญาณแรงดันและกระแสเมื่อจ่ายโหลด 100% ทันทันทีแบบรูปเปิด

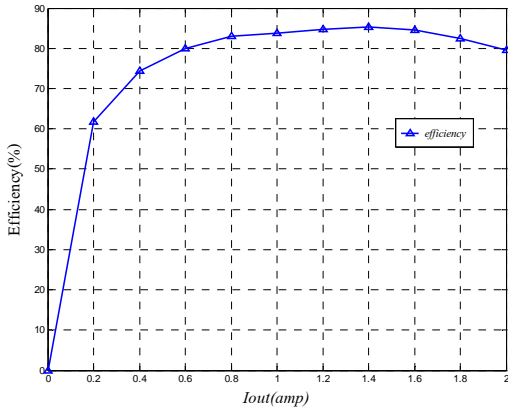


ภาพที่ 19 สัญญาณแรงดันและกระแสเมื่อจ่ายโหลด 100% ทันทันทีแบบรูปปิด

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าเมื่อจ่ายโหลดแบบ step ในกรณีรูปเปิดแรงดันเอาต์พุตจะลดลงทันทีทำให้ไม่สามารถรักษาระดับไว้ได้แต่ในกรณีรูปปิดแรงดันเอาต์พุตจะลดลงแล้วกลับมาคงที่แต่จะใช้เวลาในการเข้าที่ค่อนข้างช้ากว่าซูเปอร์คาปาซิเตอร์ ทั้งนี้เนื่องจากซูเปอร์คาปาซิเตอร์มีการจ่ายกระแสชั่วคราวได้ดี

3.7 ทดสอบหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อใช้งานร่วมกับวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์จ่ายโหลด

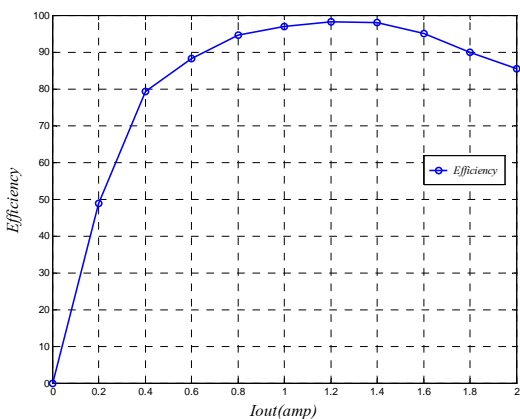
การหาค่าประสิทธิภาพเมื่อต่อใช้งานกับเซลล์แสงอาทิตย์ทำได้โดยการปรับค่ากระแสเอาต์พุตจากไม่มีโหลดจนถึงค่าระดับกระแสสูงสุดที่บูสคอนเวอร์เตอร์สามารถรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตไว้ได้



ภาพที่ 20 กราฟประสิทธิภาพที่กระแสเอาต์พุตต่างๆ เมื่อต่อใช้งานกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 70 วัตต์

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่า เมื่อใช้งานต่อเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์จ่ายโหลดที่ค่าของกระแสต่างๆ จะได้ค่าประสิทธิภาพที่สูงในช่วงของกระแส 0.6 – 1.8 แอมป์ นั้นหมายถึงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถใช้งานจ่ายโหลดโดยผ่านวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ได้ และในช่วงค่ากระแสสูงๆ จะมีประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่คี่มาก รวมถึงแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีค่าคงที่อีกด้วย

3.8 ทดสอบหาประสิทธิภาพของซูปเปอร์คาปาซิเตอร์ต่อใช้งานร่วมกับวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์จ่ายโหลด

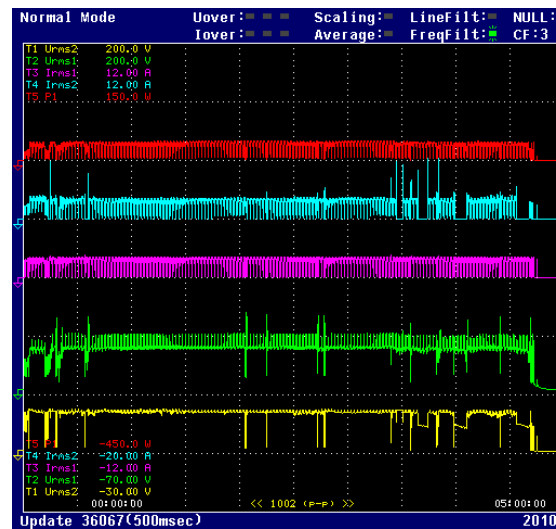


ภาพที่ 21 กราฟประสิทธิภาพที่กระแสเอาต์พุตต่างๆ เมื่อต่อใช้งานกับซูปเปอร์คาปาซิเตอร์

จากการทดสอบจะพบว่าเมื่อต่อใช้งานซูปเปอร์คาปาซิเตอร์ผ่านวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์จ่ายโหลด

ประสิทธิภาพในระบบจะมีค่าสูงในช่วง 0.6 – 1.8 แอมป์ ซูปเปอร์คาปาซิเตอร์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดได้โดยมีค่าประสิทธิภาพสูงที่ค่ากระแสสูงๆ ประสิทธิภาพของระบบจะดีกว่าการใช้งานต่อเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์จ่ายโหลด แต่แรงดันซูปเปอร์คาปาซิเตอร์จะลดลงค่อนข้างรวดเร็วเมื่อจ่ายโหลดที่ค่ากระแสสูงๆ

3.9 การทดสอบการทำงานรวมของระบบ



ภาพที่ 22 กราฟบันทึกผลการทำงานของระบบ

จากภาพที่ 22 เป็นการบันทึกผลการต่อใช้งานจริงของโครงงานเพื่อทดสอบว่าในแต่ละเวลาสามารถจ่ายพลังงานให้กับโหลดได้เป็นอย่างไร จากการบันทึกผลพบว่าถึงแม้ว่าแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงจนไม่สามารถจ่ายพลังงานให้กับระบบได้ แต่ยังมีพลังงานจากซูปเปอร์คาปาซิเตอร์จ่ายในช่วงเวลานั้นทำให้ยังสามารถจ่ายพลังงานให้โหลดได้ต่อไปอีก แต่ซูปเปอร์คาปาซิเตอร์ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้นานเนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของความจุ แต่สามารถจ่ายพลังงานได้ประมาณ 30 นาที เท่านั้น ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเล็กน้อย จะไม่มีผลต่อแรงดันเอาต์พุต เนื่องจากวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ สามารถรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่

4. สรุปผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับซูเปอร์คาปาซิเตอร์สำหรับป้ายแสดงผลแบบอิเล็กทรอนิกส์ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าและจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีคุณสมบัติในการเก็บและคายพลังงานไฟฟ้าอย่างรวดเร็วผ่านวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ (DC-DC Boost Converter) ทำให้ระดับแรงดันเอาต์พุตสูงกว่าระดับแรงดันอินพุต โดยการใช้ออสเฟสเป็นอุปกรณ์กำลังทำหน้าที่สวิตช์ทำงานที่ความถี่ 100 kHz ใช้ไอซี UC3824 ทำหน้าที่ผลิตพัลส์วิดท์ เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของมอสเฟตและมีการควบคุมแรงดันเอาต์พุตป้อนกลับ เพื่อรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ที่ 24 โวลต์ กระแสสูงสุดที่จ่ายให้โหลด 2.00 แอมป์ มีวงจรป้องกันกระแสเอาต์พุตเกิน ในการทดสอบได้ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 70 วัตต์ ที่แรงดัน 17.6 โวลต์ กระแส 4.38 แอมป์จากการทดสอบแหล่งจ่ายไฟนี้เมื่อต่อเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 70 วัตต์ สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 2 แอมป์แรงดันเอาต์พุต 24.44 โวลต์ ประสิทธิภาพ 74.56% หากจ่ายกระแสสูงกว่า 2 แอมป์ ก็จะไม่สามารถรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตไว้ได้ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์มีข้อจำกัดในการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เพียง 70 วัตต์หรือต่ำกว่าขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง และเมื่อทดสอบเปรียบเทียบกันระหว่างต่อเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านบัสคอนเวอร์เตอร์จ่ายกระแสให้กับโหลดแบบ Step Load และเซลล์แสงอาทิตย์ต่อขานานซูเปอร์คาปาซิเตอร์ผ่านบัสคอนเวอร์เตอร์จ่ายกระแสให้กับโหลดแบบ Step Load พบว่าเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ต่อขานานซูเปอร์คาปาซิเตอร์สามารถจ่ายกระแสให้โหลดได้ โดยที่แรงดันจากเซลล์แสงอาทิตย์ยังจ่ายได้อยู่ไม่ลดลงมา เพราะมีซูเปอร์คาปาซิเตอร์ช่วยในการเก็บและจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน . ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย, ออน-ไลน์
- [2] วีรเชษฐ์ ชันจิน วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง กรุงเทพฯ หจก. วี เจ พรินติ้ง, 2548
- [3] Adam Marcus Namisnyk A SURVEY OF ELECTROCHEMICAL SUPERCAPACITOR TECHNOLOGY University of Technology Sydney Faculty of Engineering, 2003
- [4] Phatiphat Thounthong Stephane Real and Bernard Davat Supercapacitor as an energy storage for fuel cell automotive hybrid electrical system France, 2005

การศึกษาและวิเคราะห์สมบัติของทองคำระดับสีเหลือง 18k

สุรเชษฐ์ ช้อนกลิ่น¹ สุรัตน์ วรรณศรี¹ เทวิล สกุลบุญยงค์²

บทคัดย่อ-- งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์ และทดสอบสมบัติต่างๆ ของทองคำระดับสีเหลือง 18k ผสมโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณส่วนผสมของธาตุเจือต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาคและระดับสีของทองคำระดับสีเหลือง 18k ที่ใช้สำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ การดำเนินการศึกษาวิจัยเริ่มจากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ หลอมผสมโลหะทองคำบริสุทธิ์กับโลหะเจือสำเร็จรูปเป็นชิ้นทดสอบทองคำระดับสีเหลือง 18k วิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมี สมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาคและความแตกต่างของระดับสีของทองคำระดับสีเหลือง 18k ผลจากการวิเคราะห์ทดสอบ พบว่า ส่วนผสมของโลหะเจือสำเร็จรูปประกอบด้วยสารเจือ 2 กลุ่มคือสารเจือหลักและสารเจือรอง ซึ่งสารเจือหลัก ซึ่งประกอบด้วย ทองแดง (Cu) ในช่วงประมาณ 44-84 wt% เงิน (Ag) ในช่วงประมาณ 13-57 wt% และสังกะสี ในช่วงประมาณ 1-10 wt% สำหรับในส่วนของสารเจือรองประกอบด้วย ซิลิกอน (Si) เหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) อลูมิเนียม (Al) รูบิเดียม (Rb) อินเดียม (In) สตรอนเทียม (Sr) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) และแบเรียม (Ba) ซึ่งธาตุเหล่านี้มีปริมาณน้อยกว่า 1 wt% ผลการวิเคราะห์หาค่าความแข็งของสารเจือต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของทองคำระดับสีเหลืองสำเร็จรูป พบว่า ค่าความแข็งของชิ้นทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมทางเคมี ค่าความแข็งที่ได้ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบมีความแตกต่างของธาตุเจือค่อนข้างมาก ทั้งในส่วนของคุณสมบัติของธาตุที่ผสมอยู่ภายในและปริมาณของธาตุแต่ละชนิดที่ผสมอยู่ภายใน สำหรับในส่วนของคุณสมบัติของโครงสร้างจุลภาค พบว่า ชิ้นทดสอบเกือบส่วนใหญ่มีโครงสร้างจุลภาคเป็นโครงสร้างเดนไดรต์ที่มีลักษณะเป็น Core Structure เกิดเป็น Coring ภายในเกรน ซึ่งเกิดจากการเย็นตัวเร็วกว่าสภาวะสมดุลและเม็ดเกรนที่ได้มีขนาดใหญ่มาก แต่ก็มีชิ้นทดสอบบางชิ้นที่เม็ดเกรนมีขนาดเล็กหลายเกรน มีลักษณะเป็นผลึกที่สมบูรณ์ภายในเกรน และมีเส้นแบ่งขอบเกรนที่ชัดเจน สำหรับในส่วนของคุณสมบัติของระดับสี พบว่า ชนิดและปริมาณของสารเจือที่แตกต่างกันมีผลทำให้ค่าระดับสีของทองคำระดับสีเหลือง 18 มีความแตกต่างกัน

คำสำคัญ ทองคำระดับสีเหลือง ทองคำเจือ โลหะเจือสำเร็จรูป สีทองคำเจือ

1. บทนำ

มาตรฐานการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับทองคำระดับสีเหลืองที่ผลิตออกจำหน่ายในปัจจุบันแบ่งออกเป็นเครื่องประดับทองคำระดับ 9k, 10k, 14k และ 18k ตามลำดับ [7] ซึ่งมาตรฐานเหล่านี้ได้รับการยอมรับทั่วโลกสำหรับการ

ผลิตเครื่องประดับทองคำรูปพรรณ ในกรณีของการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับทองคำระดับสีเหลือง 18k นั้นกำหนดให้มีปริมาณของเนื้อทองคำไม่ต่ำกว่า 58.33 wt% และมีปริมาณธาตุเจือไม่เกิน 41.67 wt% โดยธาตุเจือที่กล่าวถึงนี้อาจอยู่ในรูปของธาตุบริสุทธิ์หรือโลหะเจือสำเร็จรูปชนิดต่างๆ ซึ่งธาตุเจือต่างๆ เหล่านี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลและระดับสีของทองคำระดับสีเหลือง 18k

สำหรับการผลิตเครื่องประดับทองคำรูปพรรณของผู้ประกอบการส่วนใหญ่ในอิตาลีที่ผ่านมามีจนถึงปัจจุบันผู้ประกอบการส่วนใหญ่นำเข้าโลหะเจือสำเร็จรูปจากต่างประเทศมาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งโลหะเจือ

¹ห้องปฏิบัติการวัสดุตัวเรือนเครื่องประดับและการผลิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

โทรศัพท์: +66(44)-272-098 โทรสาร: +66(44)- 272-098

E-mail: surachade@hotmail.com

สำเร็จรูปเหล่านี้มีผลต่อสมบัติทางกลและระดับสีของทองคำกะรัตสีเหลือง 18k แตกต่างกันตามชนิดและปริมาณของธาตุต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบที่ผสมในโลหะเจือสำเร็จรูป และบ่อยครั้งที่ผู้ประกอบการมีความสับสนในเรื่องของการสื่อสารที่เกี่ยวข้องกับระดับสีของทองคำกะรัตสีเหลือง 18k ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันเกี่ยวกับการสื่อสารในเรื่องของระดับสีทองคำกะรัต และแก้ปัญหาการสื่อความหมายที่อาจผิดพลาดเกี่ยวกับระดับสีทองคำกะรัตที่เกิดจากการผสมโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศจากแหล่งต่างๆ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติของทองคำกะรัตสีเหลือง 18k ผสมโลหะเจือสำเร็จที่นำเข้ามาจากต่างประเทศจากแหล่งต่างๆ โดยเน้นไปที่การศึกษาอิทธิพลของธาตุเจือชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติทางกลและระดับสีของทองคำกะรัตสีเหลือง 18k ซึ่งคาดว่าผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยจะสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการศึกษาวิจัยเพื่อผลิตโลหะเจือสำเร็จรูปสำหรับผสมเป็นทองคำกะรัตสีเหลือง 18k ขึ้นมาใช้เองภายในประเทศ ทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศต่อไปในอนาคต

2. วิธีการวิจัย

วัสดุและขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัยประกอบด้วยทองคำบริสุทธิ์ 99.99 wt% และโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศจากแหล่งๆ ที่ได้รับการสนับสนุนจากผู้ประกอบการผลิตสินค้าทองคำรูปพรรณทองคำกะรัตสีเหลือง 18k

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัยประกอบด้วย

1. การศึกษาวิเคราะห์ส่วนประกอบและส่วนผสมทางเคมีของโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำมาจากต่างประเทศด้วยเทคนิค ICP และ AAS
2. ดำเนินการหล่อหลอมทองคำบริสุทธิ์ผสมกับโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ และหล่อขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบด้วยขบวนการ Investment casting
3. วิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางทางเคมีของชิ้นทดสอบด้วยเทคนิค fire assay, ICP และ AAS
4. วิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ
5. วิเคราะห์ทดสอบความแตกต่างระดับสีของทองคำกะรัต 18k ด้วยเครื่องวัดสีแบบคัลเลอร์ริมิเตอร์ (Colorimeter) โดยอ้างอิงปริภูมิสีระบบ L^*a^*b ของ CIELAB
6. สรุปผลการศึกษาวิจัย

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของโลหะเจือสำเร็จรูปสำหรับผสมทองคำกะรัตสีเหลือง 18k

No.	Code	Cu	Ag	Zn	Si	Mg	Al	K	Rb	In	Fe	Ni	Sr	Ba	SUM	Other	Total
1	18K-01	57.51	38.51	3.26	0.23	0.04	0.31	0.07	-	-	-	-	-	-	99.93	0.07	100.00
2	18K-02	83.80	13.54	2.22	0.21	0.02	-	0.07	0.04	-	-	-	-	-	99.99	0.10	100.00
3	18K-03	49.69	45.96	3.51	0.36	0.03	-	0.08	0.05	Trace	-	-	-	-	99.68	0.32	100.00
4	18K-04	43.77	52.85	2.61	-	0.01	0.03	0.05	0.02	Trace	0.05	-	-	-	99.39	0.61	100.00
5	18K-05	44.78	50.67	4.34	-	0.03	-	0.08	0.04	-	-	-	-	-	99.94	0.06	100.00
6	18K-06	59.68	29.95	9.78	0.30	0.03	-	0.08	0.06	-	-	-	-	-	99.88	0.12	100.00
7	18K-07	44.22	55.37	0.23	-	0.02	-	0.04	0.04	-	Trace	-	Minor	Trace	99.92	0.08	100.00
8	18K-08	47.46	47.07	3.97	0.08	-	0.91	-	-	-	-	-	Minor	Trace	99.49	0.51	100.00
9	18K-09	49.37	46.60	3.96	-	-	0.02	-	-	-	-	-	-	-	99.95	0.05	100.00
10	18K-10	(18K-01) 50%+(18K-02) 50%															
11	18K-11	40.03	56.84	3.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99.91	0.09	100.00
12	18K-12	46.85	49.53	3.58	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-	-	99.99	0.01	100.00
13	18K-13	50.02	30.45	9.98	-	-	-	-	-	Minor	-	-	-	-	90.45	9.55	100.00

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 ส่วนผสมทางเคมีของโลหะเจือสำเร็จรูป

จากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศสำหรับทองคำกระรัตสีเหลือง 18k ด้วยเทคนิค ICP และ AAS พบว่า ส่วนผสมของโลหะเจือสำเร็จรูปประกอบด้วยสารเจือ 2 กลุ่มคือ สารเจือหลัก และสารเจือรอง ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารเจือหลักประกอบด้วย ทองแดง เงิน และสังกะสี

โดยมีปริมาณทองแดง 44-84 wt% เงิน 13-57 wt% และสังกะสี 1-10 wt% สำหรับในส่วนของการสารเจือรองประกอบด้วย ซิลิกอน (Si) แมกนีเซียม (Mg) อลูมิเนียม (Al) โพแทสเซียม (K) รูบิเดียม (Rb) อินเดียม (In) เหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) สตรอนเทียม (Sr) และแบเรียม (Ba) ซึ่งธาตุต่างๆ เหล่านี้มีปริมาณการผสมน้อยกว่า 1% ดังรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 2 อัตราการผสมของธาตุเจือต่างๆ ของทองคำกระรัตสีเหลือง 18k ผสมโลหะเจือสำเร็จรูป

No.	Code	Au	Cu	Ag	Zn	Si	Mg	Al	K	Rb	In	Fe	Ni	Sr	Ba	SUM	Other	Total
1	18K-01	75.00	14.38	9.63	0.81	0.06	0.01	0.08	0.02		-	-	-	-	-	99.99	0.01	100.00
2	18K-02	75.00	20.95	3.39	0.55	0.05	0.01	-	0.02	0.01	-	-	-	-	-	99.98	0.02	100.00
3	18K-03	75.00	12.42	11.49	0.88	0.09	0.01	-	0.02	0.01	Trace	-	-	-	-	99.92	0.08	100.00
4	18K-04	75.00	10.94	13.21	0.64	-	0.01	0.01	0.01	0.01	Trace	0.01	-	-	-	99.84	0.16	100.00
5	18K-05	75.00	11.20	12.67	1.08	-	0.01	-	0.02	0.01	-	-	-	-	-	99.99	0.01	100.00
6	18K-06	75.00	14.92	7.49	2.44	0.07	0.01	-	0.02	0.01	-	-	-	-	-	99.96	0.04	100.00
7	18K-07	75.00	11.05	13.84	0.06	-	0.01	-	0.01	0.01	-	Trace		Minor	Trace	99.98	0.02	100.00
8	18K-08	75.00	11.87	11.77	0.99	0.02	-	0.23			-	-	-	Minor	Trace	99.88	0.12	100.00
9	18K-09	75.00	12.34	11.65	0.99	-	-	0.01			-	-	-		-	99.99	0.01	100.00
10	18K-10	75.00	(18K-01) 25%+(18K-02) 25%														100.00	
11	18K-11	75.00	10.01	14.21	0.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99.98	0.02	100.00
12	18K-12	75.00	11.71	12.38	0.89	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	99.99	0.01	100.00
13	18K-13	75.00	12.51	7.61	2.50	-	-	-	-	-	Minor	-	-	-	-	97.62	2.38	100.00

3.2 ส่วนผสมทางเคมีของทองคำกระรัตสีเหลือง 18k

หลังจากทราบส่วนผสมทางเคมีของโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศแล้ว สามารถนำมา

คำนวณหาส่วนผสมทางเคมีของทองคำกระรัตสีเหลือง 18k ผสมโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศที่ใช้ในการศึกษาวิจัยได้ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบทองคำกระรัตสีเหลือง 18k ผสมโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

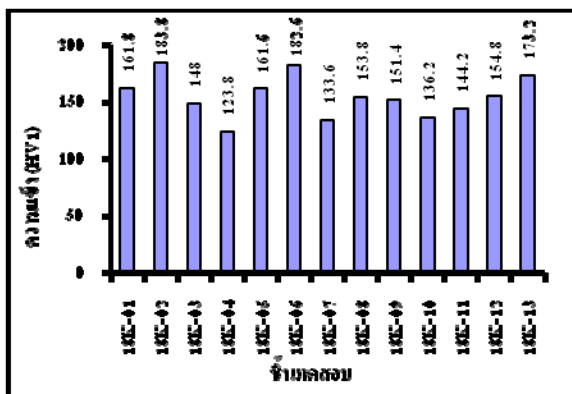
No.	Code	Au	Cu	Ag	Zn	Si	Mg	Al	K	SUM	Other	total
1	18K-01	75.03	14.20	9.83	0.57	0.13	0.01	0.14	0.05	99.96	0.04	100.00
2	18K-02	74.93	20.04	4.6	0.29	0.09	0.02	-	0.02	99.99	0.01	100.00
3	18K-03	75.18	12.17	11.9	0.55	0.14	0.01	-	0.02	99.97	0.03	100.00
4	18K-04	75.47	11.71	12.26	0.39	-	0.02	0.09	0.01	99.95	0.05	100.00
5	18K-05	75.32	11.80	12.02	0.75	-	0.01	-	0.01	99.91	0.09	100.00
6	18K-06	75.08	13.88	8.12	2.77	0.09	0.01	-	0.02	99.97	0.03	100.00
7	18K-07	75.14	11.74	12.88	0.09	-	0.01	-	0.02	99.88	0.12	100.00
8	18K-08	75.26	11.79	11.86	0.81	0.01	0.01	0.11	0.02	99.87	0.13	100.00
9	18K-09	75.11	11.39	11.47	0.84	-	0.02	0.07	0.02	98.92	1.08	100.00
10	18K-10	75.22	12.98	11.43	0.05	0.20	0.01	0.07	0.01	99.97	0.03	100.00
11	18K-11	75.14	12.46	11.33	0.65	0.18	0.03	0.06	0.03	99.88	0.12	100.00
12	18K-12	74.97	13.92	10.23	0.56	0.18	0.01	0.06	0.03	99.96	0.04	100.00
13	18K-13	75.03	14.72	7.99	2.06	-	-	0.06	-	99.86	0.14	100.00

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบจากการหล่อขึ้นรูปด้วยเทคนิค fire assay, ICP และ AAS พบว่า ธาตุที่ทำหน้าที่เป็นสารเจือรอง เช่น รูบิเดียม อินเดียม เหล็ก นิกเกิล สตรอนเทียม และแบเรียม ไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณที่หลงเหลือในทองคำระดับ 18k ได้ เนื่องจากมีปริมาณน้อยมาก แต่สารเจือรองซิลิกอนและแมกนีเซียมมีปริมาณลดลงเล็กน้อยจากการออกซิไดซ์ในขณะที่หล่อหลอม ยกเว้นอลูมิเนียมและโปแตสเซียมที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น สำหรับในส่วนของธาตุที่เป็นสารเจือหลักโดยส่วนใหญ่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ยกเว้น สังกะสีที่มีปริมาณลดลงจากการออกซิไดซ์ในขั้นตอนการหล่อหลอมขึ้นรูปขึ้นทดสอบเช่นเดียวกับธาตุที่เป็นสารเจือรอง

3.3 สมบัติทางกลของโลหะเจือทองคำระดับ 18k

ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าชิ้นทดสอบรหัส 18K-02 มีค่าความแข็งสูงสุดที่ 183.8 HV1 รองลงมาคือชิ้นทดสอบรหัส 18K-06 และ 18K-13 มีค่าความแข็ง 182.6 HV1 และ 173.2 HV1 ตามลำดับ

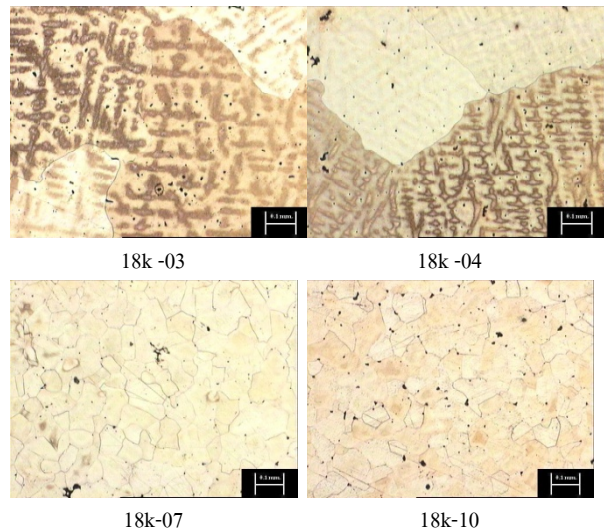
เมื่อวิเคราะห์ค่าความแข็งของชิ้นทดสอบเทียบกับส่วนผสมทางเคมี พบว่าค่าความแข็งที่ได้ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบมีความแตกต่างของธาตุเจือค่อนข้างมาก และปริมาณความแตกต่างธาตุเจือค่อนข้างกว้าง



ภาพที่ 1 แสดงค่าความแข็งของทองคำระดับสีเหลือง 18k ผสมโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

3.4 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเจือทองคำระดับ 18k

โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบทองคำระดับสีเหลือง 18k ผสมโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศเกือบทุกชิ้นมีโครงสร้างจุลภาคเป็นโครงสร้างเดนไดรต์ที่มีลักษณะเป็น Core Structure เกิดเป็น Coring ภายในเกรนจากการหล่อขึ้นรูปที่โลหะเจือเย็นตัวเร็วกว่าสมดุล ส่งผลให้ส่วนผสมภายในเกรนไม่สม่ำเสมอ ซึ่งลักษณะโครงสร้างจุลภาคแบบนี้มีผลทำให้สมบัติทางกลต่ำ ยกเว้น ชิ้นทดสอบรหัส 18K-07 และ 18K-10 ที่โครงสร้างจุลภาคมีโครงสร้างที่สมบูรณ์และการกระจายตัวของส่วนผสมภายในสม่ำเสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นเม็ดเกรนขนาดเล็กหลายเกรนของผลึกที่สมบูรณ์ภายในเกรน มีเส้นแบ่งขอบเกรนที่ชัดเจน เมื่อวิเคราะห์ลักษณะภายในเกรน ซึ่งธาตุเจือต่างๆ สามารถละลายเข้าด้วยกันได้ดีในลักษณะของสารละลายของแข็ง ดังลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่แสดงในภาพที่ 2



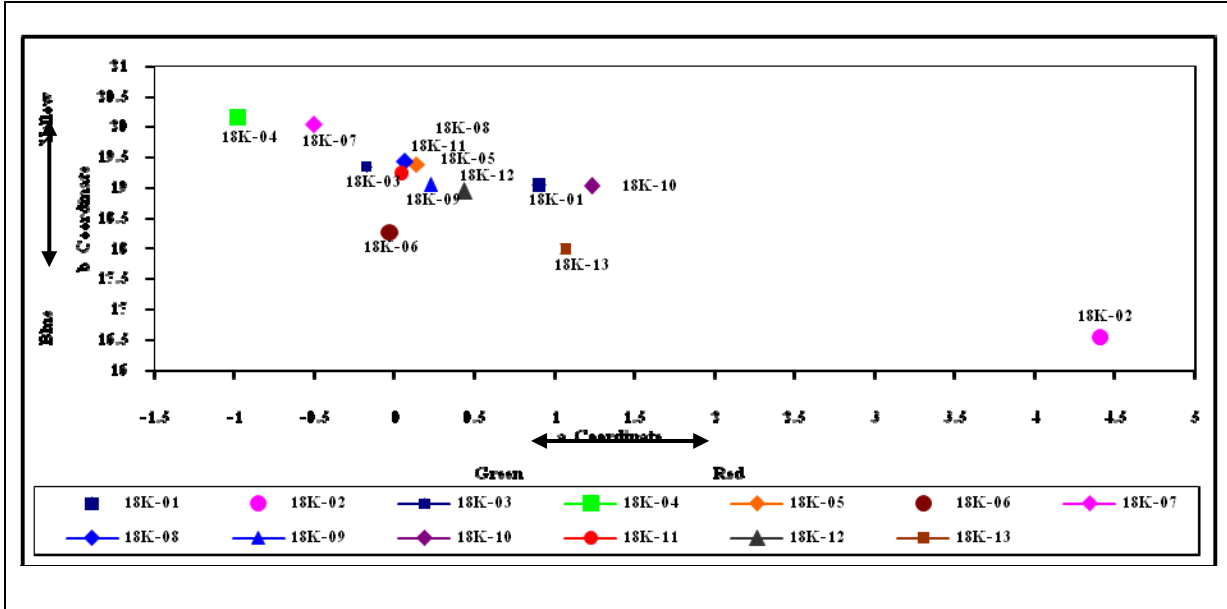
ภาพที่ 2 โครงสร้างจุลภาคทองคำระดับสีเหลือง 18k ผสมโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

3.5 ระดับสีของโลหะเจือทองคำระดับ 18k

ภาพที่ 3 แสดงความแตกต่างของระดับสีทองคำระดับสีเหลือง 18k ผสมโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศที่มีส่วนผสมทางเคมีของธาตุเจือชนิดเดียวกัน แต่มีปริมาณต่างกันที่มีผลทำให้ค่าระดับสีที่ได้

มีความแตกต่างกัน ซึ่งการวิจัยนี้ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าธาตุแต่ละชนิดมีผลต่อค่าระดับสีของทองคำระดับสีเหลือง 18k อย่างไร เนื่องจากส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบมีความแตกต่างของธาตุเจือก่อนข้างมากและ

ปริมาณความแตกต่างธาตุเจือก่อนข้างกว้าง จึงเป็นการยากที่จะวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับสีของทองคำระดับ



ภาพที่ 13 แสดงค่าปริภูมิสีของทองคำระดับสีเหลือง 18k ผสมโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

4. สรุปผลการวิจัย

1. ส่วนผสมทางเคมีของโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศสำหรับผสมกับทองคำระดับ 18k ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักหรือสารเจือหลักประกอบด้วยทองแดง เงิน และสังกะสี สำหรับในส่วนของคุณสมบัติอื่นๆ (ซิลิกอน เหล็ก แมกนีเซียม อลูมิเนียม รูบิเดียม อินเดียม สตรอนเทียม ฟอสฟอรัส โบรอน และแบเรียม) ซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อย ทำหน้าที่เป็นสารเจือรอง โดยธาตุที่เป็นสารเจือหลักมีปริมาณทองแดงอยู่ในช่วงประมาณ 44-84%wt เงินอยู่ในช่วงประมาณ 13-57%wt และสังกะสีอยู่ในช่วงประมาณ 1-10%wt

2. หลังจากทำการหล่อหลอมขึ้นรูปชิ้นทดสอบทองคำระดับสีเหลือง 18k ผสมโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ พบว่า สังกะสีและสารเจือรองต่างๆ มีปริมาณลดลงเล็กน้อยอย่างเห็นได้ชัดจากการสูญเพลิงที่เกิดขึ้นในระหว่างการหล่อหลอมขึ้นรูปชิ้นทดสอบ และนอกจากนี้การสูญเพลิงของธาตุสังกะสีและธาตุเจือรองต่างๆ ที่เกิดขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของทองคำและธาตุเจือ

หลักอื่นๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งทองคำมีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด ปริมาณทองคำเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 75.15 wt%

3. สมบัติทางกลของทองคำระดับสีเหลือง 18k ผสมโลหะเจือสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ พบว่า ชิ้นทดสอบรหัส 18K-02 มีค่าความแข็งสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 183.8 HV1 รองมาคือชิ้นทดสอบรหัส 18K-06 และ 18K-13 ที่มีค่าความแข็งเท่ากับ 182.6 HV และ 173.2 HV ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าความแข็งของชิ้นทดสอบเปรียบเทียบกับส่วนผสมทางเคมี พบว่าค่าความแข็งที่ได้ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบมีความแตกต่างของธาตุเจือก่อนข้างมากและปริมาณความแตกต่างธาตุเจือก่อนข้างกว้าง

4. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบทองคำระดับ 18k ผสมโลหะเจือที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เก็บอบทุกระหัส

มีโครงสร้างจุลภาคเป็นโครงสร้างเดนไดรท์ที่มีลักษณะเป็น Core Structure เกิดเป็น Coring ภายในเกรน ที่เกิดจากการเย็นตัวในสภาวะที่เร็วกว่าสมดุล และนอกจากนี้เม็ดเกรนที่ได้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ส่งผลให้ส่วนผสมภายในไม่สม่ำเสมอ ซึ่งลักษณะโครงสร้างจุลภาคแบบนี้มีผลทำให้มีสมบัติทางกลต่ำ ยกเว้น ซึ้นทดสอบรหัสน 18K-07 และ 18K-10 ที่โครงสร้างจุลภาคมีโครงสร้างผลึกที่สมบูรณ์และการกระจายตัวของส่วนผสมภายในสม่ำเสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นเม็ดเกรนขนาดเล็กหลายเกรนของผลึกที่สมบูรณ์ภายในเกรน มีเส้นแบ่งขอบเกรนที่ชัดเจน ซึ่งธาตุเจือต่างๆ สามารถละลายเข้าด้วยกันได้ดีในลักษณะของสารละลายของแข็ง

5. ระดับสีของทองคำระดับสีเหลือง 18k มีความแตกต่างกัน เนื่องจากอัตราส่วนผสมทางเคมีของธาตุเจือต่างๆ มีปริมาณแตกต่างกัน ซึ่งจากการวิจัยนี้ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าธาตุแต่ละชนิดมีผลต่อค่าระดับสีของทองคำระดับสีเหลือง 18k อย่างไร เนื่องจากส่วนผสมทางเคมีของซึ้นทดสอบมีความแตกต่างของธาตุเจือค่อนข้างมากและปริมาณความแตกต่างธาตุเจือค่อนข้างกว้าง จึงเป็นการยากที่จะวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับสีของทองคำระดับสีเหลือง 18 ขึ้นมาใช้เป็นแนวทางในการวิจัยพัฒนาเพื่อผลิตโลหะทองคำระดับสีเหลือง 18 ขึ้นมาใช้เองภายในประเทศ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] อรัญ หาญสืบสาย. มปป. การสื่อสารเรื่องสีอย่างแม่นยำ และการควบคุมสีจากการรับรู้อุปกรณ์วัดสี. Trinity Publishing Co.,Ltd., Thailand
- [2] ASM International. 1992. American Society of Material. Precious Metal Vol. 5. New York. pp. 679-683.
- [3] Cristian Cretu, Elma van der Lingen and Lizelle Glaner. 2000. Hard 22 Carat Gold Alloys. Gold Technology. Issue No. 29. World Gold Council. pp. 25-29.
- [4] Cristian Cretu and Elma van der Lingen. 2000. Coloured Gold Alloys. Gold Technology Issue No. 30. World Gold Council. pp 31-40.

- [5] Cristopher W. Corti. 1999. Metallurgy of Microalloyed 23 Carat Golds. Gold Bulletin Vol. 32. No. 2. pp. 39-47.
- [6] Dabala M., Magrini M., Poliero M. and Galvani R. 1999. Production and Characterization of 18 Carat White Gold Alloys Conforming to European Directive 94/27 CE. Gold Technology Issue No. 25. World Gold Council, pp. 29-31.
- [7] Dave Schneller. 1995. The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology. Santa Fe, New Mexico. USA.
- [8] Deusch Normen. 1996. DIN 8238 Colours of Gold.
- [9] Degussa AG, Frankfurt Huething.
- [10] McDonal A.S. and Sistare G.H. 1978. The Metallurgy of Some Carat Gold Jewelry Alloys. Gold Bulletin Vol. 11 No. 3. pp. 66-73.
- [11] Pearson W. 1991. The Metallurgy of Carat Gold Alloys. Gold Technology. Issue No. 4, World Gold Council. pp. 2-25.
- [12] Prince A., Raynor G.V. and D.S. Evans. 1990. Phase Diagrams of Ternary Gold Alloys. The Institute of Metals. London. UK.
- [13] Raykhtsaum, G. The Coloure of Gold. Gold Technology. Issue No. 22, World Gold Council, 1997, 25-30 pp.
- [14] Yu A. Volkov. 2002. Structure and Mechanical Properties of CuAu and CuAuPd Ordered Alloys. Gold Bulletin Vol. 37 No. 3-4. pp. 208-215.

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการศึกษาวิจัยโครงการวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัยจากชุดโครงการอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ฝ่ายอุตสาหกรรมสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ร่วมกับบริษัท ภัคดี แฟคตอรี จำกัดและบริษัท จีต้า แฟคตอรี จำกัด รหัสโครงการ RDG 4750023 และนอกจากนี้ยังได้รับการสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการวิจัยจากผู้ประกอบการทั้งสองราย

การศึกษาพฤติกรรมการตกตะกอนแข็งตามธรรมชาติของโลหะเงินสเตอร์ลิง

สุรัตน์ วรรณศรี¹ สุรเชษฐ์ ช้อนกลิ่น¹ และ เทวิล สกุลบุญยงค์²

บทคัดย่อ— วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาระยะเวลาของการเกิดการตกตะกอนแข็งที่สมบูรณ์ของอนุภาคของแข็งทองแดงภายในโลหะเงินสเตอร์ลิง จากขบวนการ Precipitation Hardening โดยวิธีการบ่มแข็งตามธรรมชาติ ขั้นตอนของการศึกษาวิจัยเริ่มจาก การหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบโลหะเงินสเตอร์ลิง (92.5%Ag 7.5%Cu) วิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมี สมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูป การอบละลายชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 780°C ด้วยระยะเวลา 10 20 30...100 นาที เพื่อศึกษาวิเคราะห์ทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบละลายที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ การบ่มแข็งขึ้นทดสอบด้วยวิธีการบ่มแข็งตามธรรมชาติด้วยระยะเวลา 5 10 15...65 นาทีตามลำดับ เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาระยะเวลาที่เหมาะสมของการเกิดพฤติกรรมการตกตะกอนแข็งที่สมบูรณ์ของอนุภาคของแข็งทองแดง เพื่อใช้เป็นทางเลือกในการปฏิบัติงานของช่างฝั่งอัญมณี

ผลการศึกษาวิจัยพบว่า ชิ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูปมีอัตราส่วนผสมของ 92.675%Ag 7.325% Cu มีค่าความแข็ง 77.0 HV1 ความต้านแรงดึง 235.00 MPa ค่าความยืด 26.21% ชิ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูปหลังจากผ่านการอบละลาย 780°C พบว่า โครงสร้างเดนไดรต์สามารถถูกจัดออกได้ทั้งหมดหลังจากผ่านการอบละลายเป็นเวลา 60 นาที โดยมีค่าความแข็งลดลงเหลือเท่ากับ 61.12 HV1 ค่าความต้านแรงดึงลดลงเหลือเท่ากับ 181.76 MPa ค่าความยืดมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 41.70% และ โครงสร้างจุลภาคที่ได้มีลักษณะเป็นโครงสร้างผลึกหรือเกรนที่สมบูรณ์ ซึ่งมีขนาดเกรนเท่ากับ 0.061 มม. สำหรับในส่วนของการบ่มแข็งตามธรรมชาติ พบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมและให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด คือ 30 นาที ซึ่งค่าความแข็งที่ได้มีค่าเท่ากับ 67.40 HV1 ค่าความต้านแรงดึงเท่ากับ 187.36 MPa ค่าความยืดมีค่าเท่ากับ 27.15% และเมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ของชิ้นทดสอบหลังจากผ่านการบ่มแข็ง พบว่า พฤติกรรมการบ่มแข็งตามธรรมชาติในช่วงเวลา 30 นาที อนุภาคของแข็งทองแดงจากการตกตะกอนแข็งมีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่ยังไม่มีการขยายตัวมากนักและยังไม่มี การรวมตัวกับอนุภาคของแข็งข้างเคียงที่ทำให้เกิดการแยกเฟสหรือผลึกภายในผลึกของโครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาที่มีความเหมาะสมในการปฏิบัติงานของช่างฝั่งอัญมณี คือ ช่วงเวลาหลังจากการอบละลายไม่เกิน 30 นาที เพราะถ้าหากปฏิบัติงานฝั่งอัญมณีหลังจากผ่านการตกตะกอนแข็งเป็นเวลา 30 นาที การปฏิบัติงานจะทำได้ค่อนข้างยากและมีโอกาสที่ชิ้นงานจะเกิดความเสียหายสูง เนื่องจากพฤติกรรมการตกตะกอนแข็งของอนุภาคของแข็งทองแดง β -Phase มีการขยายตัวมากขึ้นและรวมตัวกันแยกเฟสหรือผลึกภายในโครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน

คำสำคัญ โลหะเงินสเตอร์ลิง การบ่มแข็ง การตกตะกอนแข็ง

¹ห้องปฏิบัติการวัสดุตัวเรือนเครื่องประดับและการผลิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ : +66(44)-272-098 โทรสาร : +66(44)- 272-098

E-mail: swannasri_1@hotmail.com, swannasri@yahoo.com

1. บทนำ

กรรมวิธีการผลิตเครื่องประดับจากโลหะเงินสเตอร์ลิง หรือเงินสเตอร์ลิง 925 ที่ผู้ประกอบการส่วนใหญ่นิยมใช้คือ กรรมวิธีการหล่อขึ้นรูปด้วยขบวนการ

Investment Casting โดยเริ่มจากการออกแบบตัวเรือน สร้างชิ้นงานต้นแบบ (Master Pattern) การทำแม่พิมพ์ยาง การฉีดเทียนเพื่อให้ได้กระสวน (Pattern) การติดต้นเทียน การทำแบบปูนหล่อ การหล่อขึ้นรูป การขัดตกแต่ง ทำความสะอาดผิว การฝังอัญมณีหรือหินมีค่า (Gems Stone) การขัดผิวสำเร็จและการบรรจุภัณฑ์ตามลำดับ ขั้นตอนของกรรมวิธีการผลิตที่กล่าวถึงนี้มีอยู่ 2 ขั้นตอนที่ช่างผู้ปฏิบัติงานหรือพนักงานในสายการผลิตประสบปัญหาในการผลิต คือ ขั้นตอนการขึ้นรูปสร้างชิ้นงานต้นแบบ และขั้นตอนการฝังอัญมณี เนื่องจากค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่อาจส่งผลให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายหรือไม่สามารถทำการขึ้นรูปต่อไปได้อีก เพราะขั้นตอนการผลิตทั้งสองนี้เป็นใช้มือในการทำงานเพื่อขึ้นรูป ประกอบและฝังอัญมณีเข้ากับตัวเรือนที่ต้องทำการขัดขึ้นรูปตัวเรือน การโน้มหนามเตยให้เกาะยึดอัญมณี การจิกไขปลา การปั่นไขปลาและการรีดเนื้อโลหะเพื่อหุ้มอัญมณี ซึ่งวิธีการของขั้นตอนการผลิตเหล่านี้เครื่องจักรไม่สามารถทดแทนได้

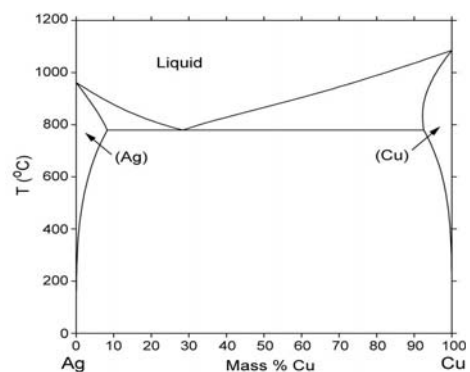
จากปัญหาค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่กล่าวถึงนี้ มีสาเหตุมาจากพฤติกรรมการตกตะกอนแข็งของอนุภาคทองแดงภายในโลหะเงินด้วยวิธีการบ่มแข็งตามธรรมชาติและที่ผ่านมายังไม่เคยมีการศึกษาวิจัยถึงพฤติกรรมการตกตะกอนแข็งด้วยวิธีการบ่มแข็งตามธรรมชาติของโลหะเงินสเตอร์ลิงหลังจากผ่านกระบวนการอบเนื้อเดียวหรืออบละลาย (Solution Heat Treatment) เป็นเฟสเดียวและผ่านการจุ่มชุบ (Quenching) ว่าจะต้องใช้ระยะเวลาเท่าใดจึงจะเกิดการตกตะกอนแข็งของอนุภาคทองแดงที่ให้ค่าความแข็ง, ความแข็งแรงสูงสุดจนไม่สามารถที่จะทำการขึ้นรูปหรือทำงานต่อไปได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาพฤติกรรมการตกตะกอนแข็งที่เกิดจากการบ่มแข็งตามธรรมชาติของโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 ซึ่งผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาสามารถใช้เป็นทางเลือกให้ช่างหรือผู้ปฏิบัติงานสามารถดำเนินการหรือปฏิบัติงานก่อนที่จะเกิดการตกตะกอนแข็งอย่างสมบูรณ์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาระยะเวลาของการเกิดการตกตะกอนแข็งที่สมบูรณ์ของอนุภาคทองแดงภายในโลหะเงินสเตอร์ลิง จากขบวนการ Precipitation Hardening โดยวิธีการบ่มแข็งตามธรรมชาติ

ทบทวนวรรณกรรม

โลหะเงินบริสุทธิ์ที่ใช้สำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องเงินมีสมบัติทางกลอ่อนนุ่ม ความสามารถในการคงรูปต่ำไม่เหมาะสมสำหรับขบวนการผลิตและการนำไปใช้งาน ด้วยสาเหตุนี้จึงต้องมีการผสมธาตุเจือเข้าไปเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกล สมบัติด้านการหล่อขึ้นรูปและเพิ่มความต้านทานการหมอง ซึ่งธาตุเจือที่ผสมเข้าไปจะต้องไม่ทำให้คุณค่าและความสวยงามของโลหะเงินลดลง ธาตุเจือหลักที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือทองแดง เนื่องจากทองแดงสามารถละลายรวมกับเงินได้ดีและช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะเงินเจือในลักษณะสารละลายของแข็ง (Solid Solution) ดังภาพที่ 1 และนอกจากนี้ทองแดงยังมีสมบัติช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะเงินจากการตกตะกอน (Precipitate) ของทองแดงด้วยขบวนการ Precipitation Strengthening



ภาพที่ 1 แผนภาพสมดุลเงิน-ทองแดง [1, 2, 3, 4]

จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการละลายของเงินเจือรวมกับทองแดงในสภาวะสารละลายของแข็ง ซึ่งมีจุดยูเทคติกที่ 28.1 wt% ทองแดง ความสามารถในการละลายทองแดงในเงินในลักษณะ

สารละลายของแข็งสูงสุดที่ 8.8 wt% ทองแดง โดยความสามารถของการละลายทองแดงในเงินจะลดลงตามการลดลงของอุณหภูมิ สำหรับในกรณีของโลหะเงินเจือทองแดงที่มีปริมาณของทองแดง 7.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักหรือโลหะเงินสเตอร์ลิง เมื่อทำการหลอมละลายรวมเข้าด้วยกันที่สภาวะสมดุลแล้วลดอุณหภูมิลงมาที่อุณหภูมิห้องอย่างช้าๆ โครงสร้างจุลภาคที่ได้ประกอบด้วย Primary Silver-rich Solid Solution (α), Secondary Copper-rich Solid Solution (β) ที่เกิดจากการตกตะกอนของทองแดงแยกผลึกออกมาและยังมีส่วนที่เป็นผลึกผสมที่เรียกว่า Silver-Copper Eutectic รวมอยู่ด้วย โดยที่อุณหภูมิสูงประมาณ 745°C ขึ้นไป โครงสร้างจะเป็น Primary Silver-rich Solid Solution (α) เพียงเฟสเดียว แต่ถ้าหากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 745°C อย่างช้าๆ ความสามารถในการละลายทองแดงในโลหะเงินสิ้นสุดลงตามเส้นขอบเขตการละลายทำให้เกิดโครงสร้าง Silver-Copper Eutectic และทองแดงตกตะกอนแยกผลึกเป็น โครงสร้าง Secondary Copper-rich Solid Solution (β) ซึ่งเม็ดเกรนของโครงสร้าง Secondary Copper-rich Solid Solution (β) ที่ได้จะมีขนาดใหญ่ และมีผลทำให้โลหะเงินเจือทองแดงมีสมบัติทางกลต่ำ

2. วิธีการวิจัย

วัสดุและขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัยประกอบด้วยโลหะเงินบริสุทธิ์ 99.99 wt% และทองแดงความบริสุทธิ์ 99.9 wt% นำมาหลอมเข้าด้วยกันและหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบด้วยเครื่องหล่อชุดสุญญากาศภายใต้สภาวะสุญญากาศและปกคลุมผิวหน้าโลหะด้วยก๊าซอาร์กอน

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัยประกอบด้วย

1. ทำการหลอมผสมโลหะเงินกับทองแดงและหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบ โดยมีอัตราการผสมของโลหะเงิน 92.5 wt% และทองแดง 7.5 wt%, ตามลำดับ

2. วิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมีของขึ้นทดสอบด้วยเทคนิคต่างๆซึ่งประกอบด้วย X-ray fluorescence spectroscopy (XRFS) Titration และ Atomic absorption spectrometer (AAS)

3. ศึกษาวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของขึ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูปและแปรรูปเย็นด้วยอัตราแปรรูป 64% 84% และ 96% RA.

4. ศึกษาวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของขึ้นทดสอบสภาพอบละลายที่อุณหภูมิ 780°C เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบละลาย

5. ทำศึกษาวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของขึ้นทดสอบสภาพบ่มแข็งตามธรรมชาติด้วยการบ่มแข็งที่อุณหภูมิห้อง เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการบ่มแข็ง

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี

จากการวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมีของขึ้นทดสอบด้วยเทคนิคต่างๆ พบว่า ขึ้นทดสอบหลังจากผ่านการหล่อขึ้นรูปมีปริมาณโลหะเงินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังค่าที่แสดงในตารางที่ 1 สำหรับการนำผลการวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมีที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสมบัติต่างๆ ที่จะดำเนินการต่อไปนั้น ผู้วิจัยเลือกใช้ผลการวิเคราะห์ทดสอบด้วยเทคนิค Titration ซึ่งมีอัตราส่วนผสม 92.675%Ag 7.325%Cu เป็นค่าอ้างอิง เนื่องจากเป็นค่าที่ได้จากวิธีการทดสอบที่ได้รับการยอมรับทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์ทดสอบหาปริมาณโลหะเงินในตัวเรือนเครื่องประดับและมีมาตรฐาน 21-2515 ให้การรับรอง

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของขึ้นทดสอบด้วยวิธีการต่างๆ

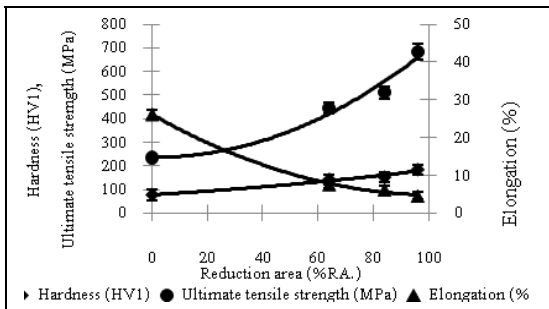
อัตราการผสม ธาตุต่างๆ ของ ขึ้นทดสอบ	ผลการวิเคราะห์ทดสอบด้วยวิธีการต่างๆ					
	XRFS		Titration		AAS	
	wt% Ag	wt% Cu	wt% Ag	wt% Cu	wt% Ag	wt% Cu
92.5%Ag 7.5%Cu	92.733	7.267	92.675	7.325	92.626	7.374

3.2 การทดสอบสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาค

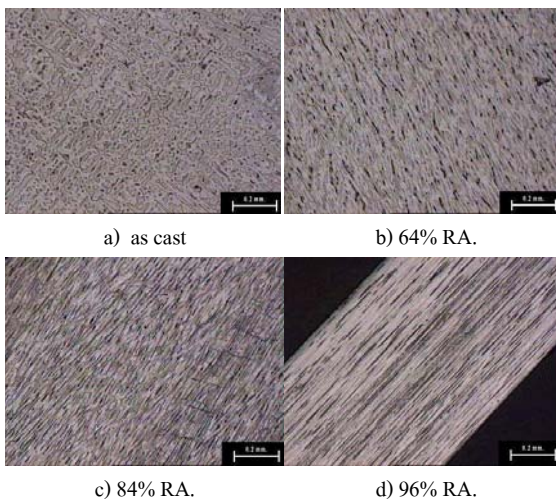
3.2.1 สมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของชิ้น

ทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูปและแปรรูปเย็น

จากการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูป พบว่า มีค่าความแข็ง ความต้านแรงดึง และความยืดเท่ากับ 77 HV1, 235.00 MPa และ 26.21% ตามลำดับ หลังจากขึ้นทดสอบผ่านการแปรรูปเย็นโดยการดึงขึ้นรูปเป็นเส้นลวดขนาดต่างๆ ด้วยอัตราแปรรูป 64, 84% และ 96%RA ตามลำดับ พบว่า อัตราแปรรูปที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าความแข็งและความต้านแรงดึงของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้นแปรผันตามอัตราแปรรูปที่เพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันอัตราแปรรูปที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความยืดของชิ้นทดสอบลดลงแปรผกผันกับอัตราแปรรูปที่เพิ่มขึ้น ดังกราฟสมบัติทางกลที่เปลี่ยนแปลงในภาพที่ 1



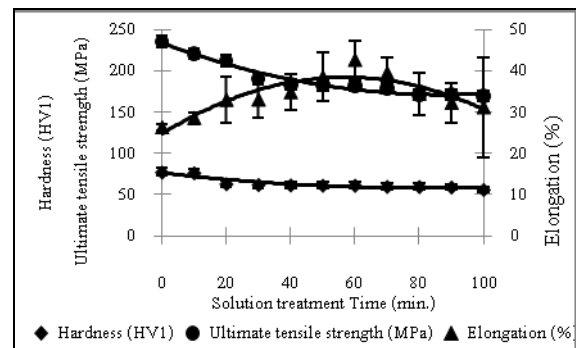
ภาพที่ 2 สมบัติทางกลของชิ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูปและแปรรูปเย็นที่อัตราแปรรูปต่างๆ



ภาพที่ 3 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูปและแปรรูปเย็น

โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูป มีลักษณะเป็นโครงสร้างเดนไดรต์และเกิด Coring ภายในเกรนที่เกิดจากการเย็นตัวเร็วกว่าสภาวะสมดุล และส่งผลให้มีสมบัติทางกลต่ำ สำหรับชิ้นทดสอบที่ผ่านการดึงขึ้นรูปเป็นเส้นลวดที่อัตราแปรรูปต่างๆ พบว่า โครงสร้างเดนไดรต์เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเกรนที่มีลักษณะยาวที่เรียกว่า Elongation Grain ดังแสดงในภาพที่ 2b, c, และ d

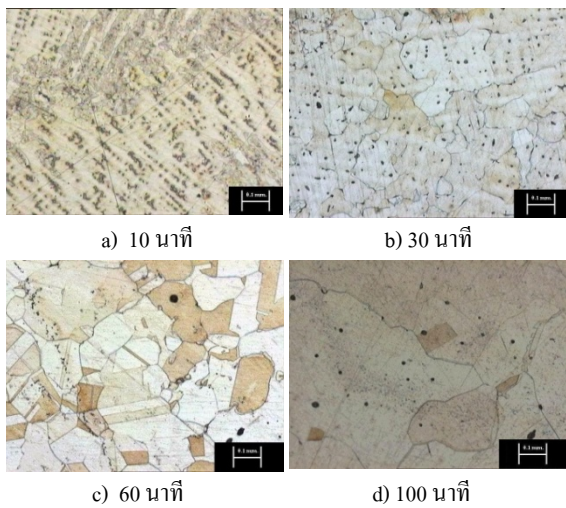
3.2.2 สมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบสภาพอบละลาย



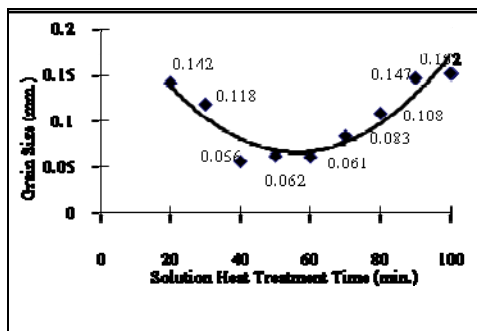
ภาพที่ 4 สมบัติทางกลของชิ้นทดสอบสภาพอบละลายที่อุณหภูมิ 780°C ด้วยระยะเวลาต่างๆ

ภาพที่ 3 แสดงค่าความแข็งและความต้านแรงดึงของชิ้นทดสอบมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดหลังจากผ่านการอบละลายที่อุณหภูมิ 780°C เป็นเวลา 10 นาที และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาของการอบเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มมีค่าค่อนข้างคงที่หลังจากผ่านการอบละลายเป็นเวลา 50 - 60 นาที ดังกราฟสมบัติทางกลที่แสดงในภาพที่ 3 ซึ่งค่าเท่ากับ 61.12 HV1 และ 181.76 MPa ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาของการอบละลายเพิ่มขึ้นมากกว่า 60 นาที ค่าความแข็งและความต้านแรงดึงของชิ้นทดสอบมีค่าลดลงเล็กน้อย สำหรับในส่วนของค่าความยืด พบว่า เวลาของการอบละลายที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความยืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 26.21% ที่สภาพหล่อขึ้นรูปจนมีค่าสูงสุด 42.70% หลังจากผ่านการอบละลายเป็นเวลา 60 นาที หลังจากนั้นระยะเวลาของการอบละลายที่เพิ่มขึ้นมีผล

ทำให้ค่าความยึดมีค่าลดลง เนื่องจากโครงสร้างเดนไดรต์เปลี่ยนเป็นผลึกหรือเกรนที่สมบูรณ์จากการอบละลายโดยกลไกการแพร่ของอะตอมในของแข็งเกิดเป็นสารละลายของแข็งอิมิตัวยิ่งยวด α ของทองแดงในโลหะเงินและขยายตัวหรือรวมตัวกับเกรนข้างเคียงเกิดเป็นเกรนที่มีขนาดใหญ่ที่เรียกว่า “เกรนโต หรือ Grain Growth” ดังแสดงในภาพที่ 5 และการเปลี่ยนแปลงขนาดเกรนดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบสภาพอบละลายที่อุณหภูมิ 780°C ด้วยระยะเวลาต่างๆ

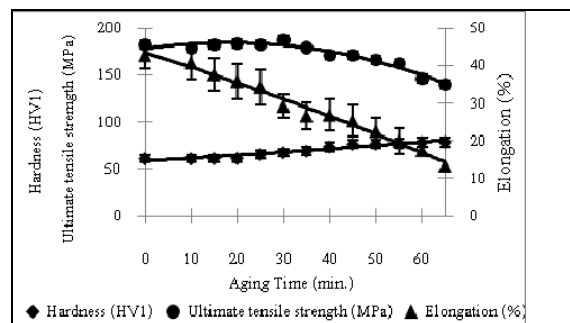


ภาพที่ 6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกรนของชิ้นทดสอบสภาพอบละลายที่อุณหภูมิ 780°C ด้วยระยะเวลาต่างๆ

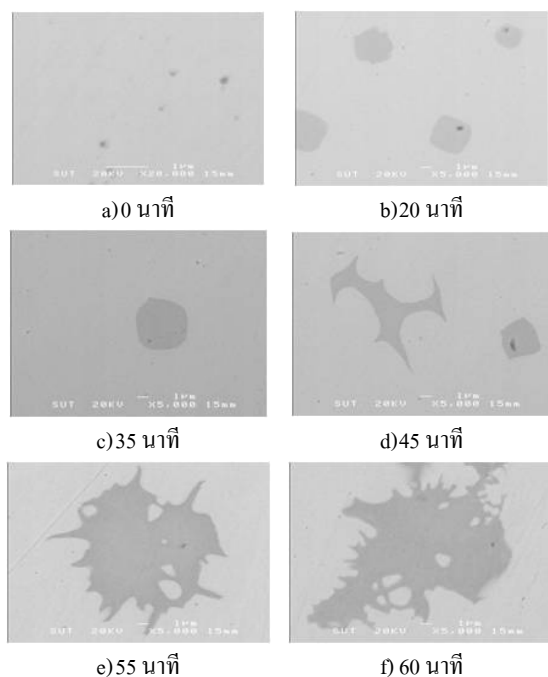
3.3 สมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบสภาพบ่มแข็งด้วยวิธีการบ่มแข็งตามธรรมชาติ

จากสภาพอบละลายค่าความแข็งและค่าความต้านแรงดึงของชิ้นทดสอบมีค่าเท่ากับ 61.12 HV1 และ

181.76 MPa ตามลำดับ พฤติกรรมการตกตะกอนแข็งโดยการบ่มแข็งตามธรรมชาติมีผลทำให้ค่าความแข็งและค่าความต้านแรงดึงมีแนวโน้มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาของการบ่มแข็งที่เพิ่มขึ้นดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 7 จนกระทั่งมีค่าความต้านแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 187.38 MPa หลังจากผ่านการบ่มแข็งเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นค่าความต้านแรงดึงมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง สำหรับในส่วนของคุณค่าความยึดพบว่า ระยะเวลาของการบ่มแข็งที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความยึดของชิ้นทดสอบมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจากสภาพอบละลายที่มีค่าความยึด 42.70% และลดลงเหลือ 13.22% หลังจากผ่านการบ่มแข็งเป็นเวลา 65 นาที



ภาพที่ 7 สมบัติทางกลของชิ้นทดสอบสภาพบ่มแข็งตามธรรมชาติที่อุณหภูมิห้องด้วยระยะเวลาต่างๆ



ภาพที่ 8 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบจาก SEM สภาพบ่มแข็งตามธรรมชาติด้วยระยะเวลาต่างๆ

ภาพที่ 8 แสดงโครงสร้างจุลภาคภายในชิ้นทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) พบว่า ชิ้นทดสอบที่ผ่านการอบละลายมีโครงสร้างจุลภาคภายในเกรนเป็นสารละลายของแข็งอิมมัตยิงยวด α ของทองแดงในโลหะเงินที่มีลักษณะเป็นเฟสเดี่ยวหรือมีลักษณะเป็นเนื้อเดียว หลังจากผ่านการบ่มแข็งเป็นเวลา 20 นาที จะเริ่มเกิดการตกตะกอนของอนุภาคของแข็งทองแดงที่เรียกว่า β -Phase ดังแสดงในภาพที่ 8b หลังจากนั้นอนุภาคของแข็งทองแดง β -Phase ที่เกิดขึ้นมีการขยายขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ดังแสดงในภาพที่ 8c ถึง 8f ตามลำดับ

4. สรุปผลการวิจัย

1. สภาพหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบมีค่าความแข็ง 77.0 HV1 ความต้านแรงดึง 235.00 MPa. ความยืดเท่ากับ 26.21% โครงสร้างจุลภาคมีลักษณะเป็นโครงสร้างเดนไดรท์

2. สภาพแปรรูปเย็นที่อัตราการแปรรูป 64%, 84% และ 96%RA ชิ้นทดสอบมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 141.79, 151.20 และ 183.05 HV1 ตามลำดับ ค่าความต้านแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 444.38, 511.09 และ 684.16 MPa. ตามลำดับ แต่ในทางกลับกันค่าความยืดมีค่าความยืดลดลง 7.54%, 6.14% และ 4.51% ตามลำดับ โครงสร้างจุลภาค พบว่า โครงสร้างเดนไดรท์จากการหล่อขึ้นรูปเปลี่ยนเป็นเกรนยาวที่เรียกว่า "Elongation Grain"

3. สภาพอบละลาย พบว่า ระยะเวลาของการอบละลายที่เหมาะสมที่สุดคือ 60 นาที ซึ่งชิ้นทดสอบมีค่าความแข็งเท่ากับ 61.12 HV1 ค่าความต้านแรงดึงเท่ากับ 181.76 MPa. ค่าความยืดมีค่าเท่ากับ 41.70% และ โครงสร้างจุลภาคที่ได้มีลักษณะเป็น โครงสร้างผลึกหรือเกรนที่สมบูรณ์ ซึ่งมีขนาดเกรนเท่ากับ 0.061 มม.

4. สภาพบ่มแข็งตามธรรมชาติ พบว่า ระยะเวลาของการบ่มแข็งที่สามารถเกิดพฤติกรรมตกตะกอนแข็งที่สมบูรณ์ คือ 30 นาที ซึ่งค่าความแข็งที่ได้มีค่าเท่ากับ 67.40 HV1 ค่าความต้านแรงดึงเท่ากับ 187.36 MPa ค่าความยืดมีค่าเท่ากับ 27.15% ซึ่งอนุภาคของแข็ง

ทองแดงเกิดการตกตะกอนแข็งมีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งขนาดเล็กและยังไม่มีการขยายตัวและรวมตัวกับอนุภาคของแข็งข้างเคียงที่ทำให้เกิดการแยกผลึกภายในโครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน ดังนั้น ระยะเวลาที่มีความเหมาะสมในการปฏิบัติงานของช่างฝังอัญมณีคือ ไม่เกิน 30 นาที เพราะถ้าหากปฏิบัติงานฝังอัญมณีหลังจากผ่านการบ่มแข็ง 30 นาที การปฏิบัติงานจะทำให้ได้ก่อนข้างยากและมีโอกาสที่ชิ้นงานจะเกิดความเสียหายสูง เนื่องจากพฤติกรรมตกตะกอนแข็งของอนุภาคของแข็งทองแดง β -Phase มีการขยายตัวมากขึ้นและรวมตัวกันแยกผลึกภายในโครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน ส่งผลให้ชิ้นทดสอบมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงหรือค่าความต้านแรงดึงและค่าความยืดของชิ้นงานลดลง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Aldo M. Reti. 1997. Understanding Sterling Silver. In proceeding of The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, New Mexico, USA.
- [2] Allison Butts. 1967. Silver Economics, Metallurgy and Use. London: D. Van Nostrand Company Inc.
- [3] Diego Pinton. 1999. Jewellery Technology, Centro Grafico Ricordi-Milano, Italy.
- [4] Gven Beck. 1995. Edelmetall-Taschenbuch. Degussa AG, Frankfurt Huething.
- [5] Mark F.Grimwade. 1990. Basic Metallurgy for Goldsmiths: Working and Annealing. Journal Gold Technology Issue No 2.

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยโครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (Mtec) รหัสโครงการ MT-S-46-MET-47-125-G และขอบคุณบริษัท อาร์ทิเฟค จำกัด และบริษัท มาร์เวล จิวเวลรี่ แมนูแฟคเจอร์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์และบุคลากรสำหรับการเตรียมชิ้นทดสอบ

ปัจจัยการเกิดไบโอฟิล์มของซูดอโมแนสบนเหล็กกล้าไร้สนิม

ปาริชาติ แสงสุวรรณ¹ รมณี สงวนดีกุล¹ และ สุเมธ ตันตระเชียร¹

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยในการเกาะติดและการเกิดไบโอฟิล์มของ *Pseudomonas fluorescens* TISTR 358 บนพื้นผิวสัมผัสอาหาร ได้แก่ ปริมาณเชื้อเริ่มต้นในตัวกลาง อุณหภูมิและชนิดของสารอาหาร พบว่าในสภาวะที่มีเชื้อจำนวนมาก (8 log CFU/mL) เพียงสัมผัส (0 นาที) ก็เพียงพอให้ *Pseudomonas fluorescens* สามารถเกาะติดบนแผ่นสแตนเลสสตีลเกรด 304 ชนิด 2B และตรวจพบเชื้อได้ ส่วนสภาวะที่มีเชื่อน้อย (3 log CFU/mL) ตรวจพบแบคทีเรียหลังจากทิ้งไว้ให้เพิ่มจำนวนเป็นเวลา 10 ชั่วโมง แบคทีเรียสามารถเกาะติดบนพื้นผิวสแตนเลสสตีลและเกิดไบโอฟิล์มได้ โดยพบว่า *Pseudomonas fluorescens* สามารถเกาะติดและเพิ่มจำนวนเซลล์บนพื้นผิวทดสอบหลังจากบ่มแผ่นทดสอบไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีจำนวนเซลล์ 3.72 ± 0.34 log CFU/cm² และมีจำนวนเซลล์บนแผ่นทดสอบมากที่สุดหลังจากการบ่มแผ่นทดสอบได้ 48 ชั่วโมงและมีค่า 5.05 ± 0.18 log CFU/cm² สำหรับในสภาวะที่มีเชื้อจำนวนมาก (8 log CFU/mL) *Pseudomonas fluorescens* สามารถเพิ่มจำนวนเซลล์ได้บนพื้นผิวสแตนเลสสตีลที่อุณหภูมิ 28 °C ดีกว่าที่อุณหภูมิ 20 และ 15 °C โดยมีค่าเท่ากับ 4.97 ± 0.22 , 4.85 ± 0.18 และ 4.22 ± 0.20 log CFU/cm² ที่ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนการเปลี่ยนแปลงแหล่งของสารอาหาร (น้ำเกลือปลอดเชื้อ, อาหารเลี้ยงเชื้อ TSB และสารละลาย soiling agent (beef meat 5% w/v)) พบว่า การเพิ่มจำนวนของเซลล์บนแผ่นทดสอบในน้ำเกลือปลอดเชื้อ, อาหารเลี้ยงเชื้อ TSB และสารละลาย soiling agent (beef meat 5% w/v) สามารถเกาะติดและเกิดไบโอฟิล์มได้ใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ การเกิดไบโอฟิล์ม *Pseudomonas fluorescens* STAINLESS STEE

1. บทนำ

ในปัจจุบันผู้บริโภคตื่นตัวในเรื่องความปลอดภัยของอาหารเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นความปลอดภัยทั้งทางด้านเคมีและจุลินทรีย์ ทำให้ผู้ผลิตอาหารต้องดำเนินกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวกับระบบการจัดการด้านความปลอดภัยอย่างเคร่งครัด ซึ่งระบบพื้นฐานที่ต้องจัดทำได้แก่ระบบ GMP (Good Manufacturing Practices) ที่ว่าด้วยการจัดการและควบคุมการผลิตอาหารให้ปลอดภัยและระบบ HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) เป็นระบบประกันคุณภาพด้านความปลอดภัยของอาหาร (Shia and Zhu, 2009) ไบโอฟิล์ม (Biofilm) เป็นปัญหาที่สำคัญทางด้านการสุขาภิบาล

ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากการเกาะติดของแบคทีเรียเกิดเป็นไบโอฟิล์มจะทำให้แบคทีเรียถูกกำจัดได้ยากเพราะสามารถทนทานต่อสารทำความสะอาดและสารฆ่าเชื้อ (Garrett, Bhakoo and Zhang, 2008) ไบโอฟิล์มสามารถเกิดขึ้นได้บนพื้นผิวในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารเมื่อพื้นผิวดังกล่าวผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดหรือการฆ่าเชื้อไม่ดีพอ โดยเฉพาะพื้นผิวที่สัมผัสอาหาร เช่น ผนัง พื้น ท่อน้ำทิ้ง พื้นผิววัสดุยาง สายพานการผลิตและเครื่องมือเครื่องใช้ในกระบวนการผลิต เป็นต้น (Kumar and Anand, 1998) Oulahal และคณะ (2007) รายงานว่าไบโอฟิล์มของแบคทีเรียทำให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพจึงให้ความสำคัญเกี่ยวกับการศึกษาการเกิดไบโอฟิล์มและการกำจัดไบโอฟิล์ม หากจุลินทรีย์ก่อโรคเหล่านี้ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์อาหารก็จะทำให้อาหารมีความไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์: +66(2)-218-5533 โทรสาร: +66(2)-218-5533
E-mail: zenfar_far@hotmail.com

ซูโดโมแนส เป็นเชื้อแบคทีเรียที่มีอยู่ในธรรมชาติ มีลักษณะเป็นแท่ง ดิคส์แกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ อยู่ในกลุ่มของ Psychrotrophs สามารถเจริญได้อย่างรวดเร็วในเนื้อสัตว์ที่อุณหภูมิ 2 – 15 °C (Gill and Newton, 1997) ส่วนใหญ่พบมากในอาหารสด โดยเฉพาะอาหารแช่เย็น เนื่องจากหลายสายพันธุ์เป็นแบคทีเรียประเภททนความเย็นและสามารถสร้างเอนไซม์ได้ เป็นแบคทีเรียที่ทำให้อาหารหลายชนิดเน่าเสียมีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส สี หรือเกิดเมือก และเนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าซูโดโมแนสเป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างไบโอฟิล์มได้ดี (Wiedmann et al., 2000; Olofsson, Ahme and Molin, 2007) ดังนั้นความสะอาดของพื้นผิวที่สัมผัสอาหารมีความสำคัญเป็นอย่างมากในกระบวนการผลิตอาหาร การศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยการเกิดไบโอฟิล์มของ *Pseudomonas* เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิจัยเพื่อพัฒนาสัญลักษณ์ของกระบวนการผลิตอาหาร สามารถควบคุมการเกิดซูโดโมแนสไบโอฟิล์มเพื่อแก้ปัญหาการเกิดไบโอฟิล์มในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะในแง่ความปลอดภัยของอาหาร

2. วิธีการวิจัย

1. การเตรียมเซลล์ *Pseudomonas fluorescens* และการนับจำนวนเซลล์

1.1 การเตรียมเซลล์ *P. fluorescens*

เตรียมเซลล์แบคทีเรียจากแบคทีเรียบริสุทธิ์ที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Nutrient Agar (NA) เอียงในหลอดทดลอง (slant) (เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส) โดยถ่ายเชื้อ 1 หลอดลงในอาหารเหลว Trypticase Soy Broth (TSB) 100 มิลลิลิตร เพาะเลี้ยงโดยการเขย่า 150 rpm ที่อุณหภูมิ 28 ± 2 °C เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง จากนั้นแยกตะกอนเซลล์โดยการหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3500 rpm เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 28 ± 2 °C เตรียมความเข้มข้นของปริมาณเซลล์สำหรับการทดสอบ ปริมาณเซลล์ตั้งต้นระดับสูง (8 log

CFU/mL) สำหรับการทดสอบปริมาณเซลล์ตั้งต้นระดับต่ำ (3 log CFU/mL)

1.2 การนับปริมาณเซลล์ *Pseudomonas fluorescens*

ตรวจนับปริมาณเซลล์เริ่มต้น ของแบคทีเรียด้วยวิธี spread plate technique ในจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30.5 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนิบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีระหว่าง 25-250 โคโลนี คำนวณหาปริมาณ *P. fluorescens* ทั้งหมดในสารละลาย 1 มิลลิลิตร ทดลอง 3 ซ้ำ

2. การเกาะติดและการเกิดไบโอฟิล์ม

2.1 การเตรียมพื้นผิวทดสอบ (stainless steel)

เตรียมพื้นผิวที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ stainless steel เกรด 304 ชนิด 2B ความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร โดยตัดพื้นผิวให้มีขนาด 1×7 เซนติเมตร ทำความสะอาดโดยแช่แผ่นสแตนเลสสตีลในอะซิโตน (acetone) เพื่อล้างคราบไขมันออก 30 นาที ล้างด้วยน้ำดีไอออไนซ์ (deionized water) 2 ครั้ง แช่ในกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 5 N เป็นเวลา 15 นาที ล้างด้วยน้ำดีไอออไนซ์ (deionized water) 2 ครั้งและแช่ในสารทำความสะอาด 30 นาที ล้างด้วยน้ำดีไอออไนซ์ (deionized water) นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C เวลา 15 นาที

2.2 การทดสอบการเกาะติด (Attachment) ของ *P. fluorescens*

ปีเปตสารสารแขวนลอยเซลล์ในอาหารเหลวที่เตรียมขึ้นตามวิธีในข้อ 1.1 ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำแผ่นพื้นผิวทดสอบ จุ่มลงในหลอดดังกล่าว บ่มที่อุณหภูมิ 28 ± 2 °C โดยแปรเวลาในการแช่ เป็นเวลา 0 ถึง 120 นาที เพื่อทดสอบการเกาะติดของ *P. Fluorescens* เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำแผ่นพื้นผิวทดสอบมาล้างด้วย 0.85% NaCl ปลอดเชื้อ 2 ครั้ง เพื่อล้างเซลล์ที่ไม่ได้เกาะติดบนพื้นผิวทดสอบออก แล้วนับปริมาณเซลล์ที่เกาะติดตามวิธีในข้อ 3 ทดลอง 3 ซ้ำ

2.3 การเกิด โอฟิล์ม (Biofilm formation)

ปีเปดสารสารแขวนลอยเซลล์ในอาหารเหลวที่เตรียมขึ้นตามวิธีในข้อ 1.1 ใส่ลงในหลอดปลอดเชื้อขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำแผ่นพื้นผิวทดสอบที่เตรียมขึ้น ใส่ลงในหลอดดังกล่าว บ่มที่อุณหภูมิ 28 ± 2 °C เป็นเวลา 30 วินาที ล้างเซลล์ที่ไม่ได้เกาะติดบนแผ่นผิวทดสอบออกด้วย 0.85% NaCl ปลอดเชื้อ 2 ครั้ง แล้วจึงนำแผ่นทดสอบไปใส่ในหลอดปลอดเชื้อหลอดใหม่ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB 10 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 28 ± 2 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำแผ่นผิวทดสอบมาล้างด้วย 0.85% NaCl ปลอดเชื้อ 2 ครั้ง เพื่อดึงเซลล์ส่วนเกินออก แล้วตรวจนับปริมาณ *P. fluorescens* ที่อยู่บนแผ่นผิวทดสอบ ตามวิธี 3 ทดลอง 3 ซ้ำ

2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดไบโอฟิล์ม

2.4.1 ศึกษาการเกิดไบโอฟิล์มของ *P. fluorescens* บนแผ่น stainless steelเกรด 304 ชนิด 2B โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.3 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิจากอุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส เป็น 15 ± 2 และ 20 ± 2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เชื้อเริ่มต้น $8 \log$ CFU/mL ทดลอง 3 ซ้ำ

2.4.2 ศึกษาการเกิดไบโอฟิล์มของ *P. fluorescens* บนแผ่นทดสอบที่มีแหล่งของสารอาหารที่เป็นตัวกลางแตกต่างกัน โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.3 แต่เปลี่ยนชนิดของอาหารเลี้ยงเชื้อจาก TSB เป็น 0.85% NaCl ปลอดเชื้อ และ soiling agent (beef meat 5%w/v) โดยใช้เชื้อเริ่มต้น $8 \log$ CFU/mL ทดลอง 3 ซ้ำ

3. การตรวจวิเคราะห์การเกาะติดและการเกิดไบโอฟิล์มบนพื้นผิวทดสอบ

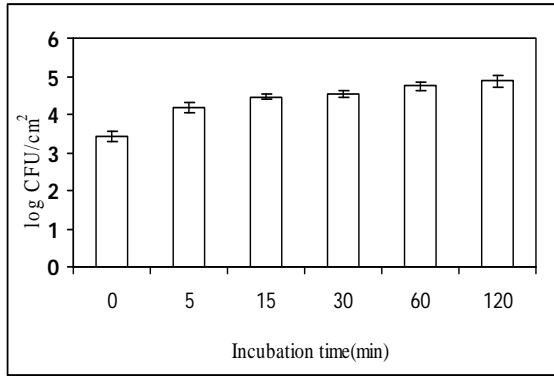
นับปริมาณจุลินทรีย์ที่เกาะติดและเกิดไบโอฟิล์มของ *P. fluorescens* บนแผ่นทดสอบ โดยการใช้น้ำปั่นสำลีปลอดเชื้อกวาดบนพื้นผิวทดสอบที่เกิด การเกาะติดและสร้างไบโอฟิล์ม ขนาดพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร จากนั้นนำไม้ปั่นสำลีไปใส่ใน 0.85% NaCl ปลอดเชื้อ

แล้วปั่นให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer ที่ความเร็วสูงสุดประมาณ 1 นาที นำสารละลายที่ มาเจือจางด้วย 0.85% NaCl ปลอดเชื้อ เพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA ด้วยวิธี spread plate technique บ่มที่อุณหภูมิ 30.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานเพาะเชื้อ คำนวณหาปริมาณเชื้อทั้งหมดต่อพื้นที่ของพื้นผิว 1 ตารางเซนติเมตร ทดลอง 3 ซ้ำ

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 ผลการศึกษาการเกาะติดของ *Pseudomonas fluorescens* บนแผ่นสแตนเลสสตีล

ระยะเวลาในการเกาะติดของเชื้อจุลินทรีย์เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องศึกษา เนื่องจากสามารถใช้เป็นตัวชี้บ่งระยะเวลาในการเกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์สู่ผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองตั้งแต่ 0 นาที (จุ่มแผ่นทดสอบแล้วยกขึ้นทันที) เป็นต้นไป เพื่อศึกษาการเกาะติดของ *P. Fluorescens* บนพื้นผิวสัมผัสอาหาร ทำการจุ่มแผ่นทดสอบลงในสารแขวนลอยเซลล์ในอาหารเหลว ทิ้งไว้ให้เกิดการเกาะติดที่เวลาต่างๆ แล้วตรวจสอบการเกาะติดพบว่า จำนวนเซลล์ของ *P. fluorescens* ที่เกาะติดบนแผ่นทดสอบที่ระยะเวลา 0 – 120 นาที ประมาณ $3.44 \pm 0.13 \log$ CFU/cm² และหลังจาก 0 นาที เชื้อสามารถเกาะบนแผ่นสแตนเลสสตีลได้มากขึ้นสังเกตได้จากกราฟในรูป 3.1 ในช่วงเวลา 0 – 15 นาที มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และถ้าทิ้งแผ่นสแตนเลสสตีลไว้ในอาหารเป็นเวลานานก็จะมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เกาะติดและเจริญบนแผ่นสแตนเลสสตีลเพิ่มมากขึ้นด้วย และที่เวลา 120 นาที ตรวจพบจำนวนเซลล์มีค่า $4.87 \pm 0.17 \log$ CFU/cm² (ภาพที่ 1)



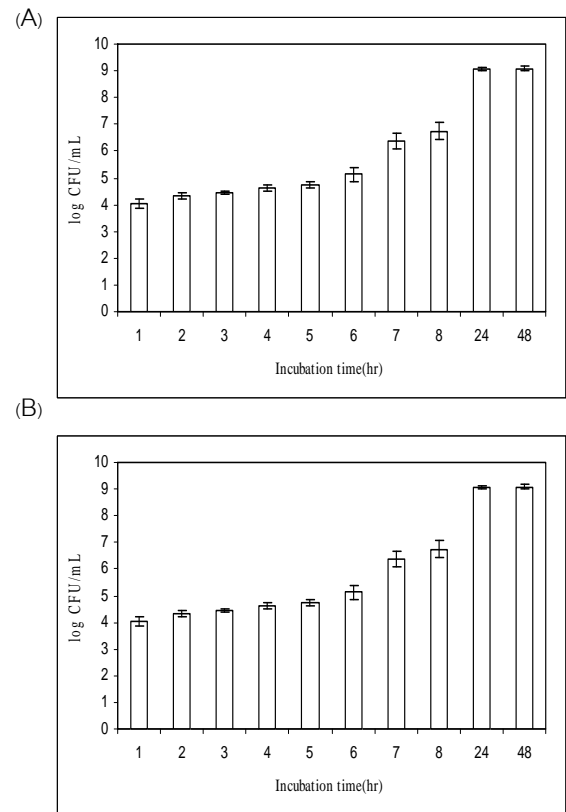
ภาพที่ 1 จำนวนเซลล์ของ *P. fluorescens* บนแผ่นสแตนเลสสตีล เกรด 304 ชนิด 2B ที่จุ่มในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB ที่มีปริมาณเชื้อ 8 log CFU/mL ณ เวลาต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส โดยวิธี spread plate technique

สำหรับในสารละลาย TSB ที่มีปริมาณเชื้อ 3 log CFU/mL พบว่าที่เวลา 0 - 120 นาที ไม่สามารถตรวจพบเชื้อบนพื้นผิวทดสอบด้วยวิธี spread plate technique ทั้งนี้ไม่ได้แสดงว่าไม่มีเซลล์ของ *Pseudomonas fluorescens* เกาะบนแผ่นสแตนเลสสตีล โดยพบว่ามิโคโลยีของ *P. fluorescens* บนจานเพาะเชื้อ แต่มีจำนวนเซลล์น้อยมาก ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าวิธีนี้ไม่เหมาะสมในการตรวจหาเชื้อบนแผ่นทดสอบที่มีปริมาณเชื้อระดับต่ำ เนื่องจากเซลล์เริ่มต้นมีปริมาณน้อย การเกาะติดของเชื้อบนแผ่นสแตนเลสสตีลในช่วงระยะนี้ 0 - 120 นาที มีการเกาะติดแบบหลวมๆ เซลล์แบคทีเรียจะต้องใช้เวลาในการสร้างเซลล์และเพิ่มจำนวนเซลล์

3.2 ผลการศึกษาการเกิด *Pseudomonas fluorescens* Biofilm บนแผ่นสแตนเลสสตีล เกรด 304 ชนิด 2B

จากการทดลองข้างต้น ทำให้พบว่าที่เวลา 0 นาที ก็เพียงพอที่จะทำให้ *P. fluorescens* สามารถเกาะติดบนแผ่นสแตนเลสสตีลได้ทันที ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงจุ่มแผ่นทดสอบในสารแขวนลอยเซลล์ของเชื้อ 8 log CFU/mL ทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าปริมาณเซลล์ของ *P. fluorescens* บนแผ่นสแตนเลสสตีล ในช่วงเวลา 1- 8 ชั่วโมงแรก พบว่า สามารถตรวจพบ

จำนวนเซลล์บนแผ่นทดสอบ มีค่า 3.56 ± 0.09 - 4.27 ± 0.07 log CFU/cm² หลังจากบ่มแผ่นทดสอบไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่ามีจำนวนเซลล์ 4.97 ± 0.22 log CFU/cm² และมีจำนวนเซลล์บนแผ่นทดสอบมากที่สุด หลังจากการบ่มแผ่นทดสอบได้ 48 ชั่วโมง พบว่ามีค่า 6.00 ± 0.12 log CFU/cm² (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 (A) จำนวนเซลล์ที่เจริญบนแผ่นสแตนเลสสตีล เกรด 304 ชนิด 2B เมื่อจุ่มในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB ที่มีปริมาณเชื้อ 8 log CFU/mL แล้วย้ายไปใส่อาหาร TSB หลอดใหม่ (B) จำนวนเซลล์อิสระของ *P. fluorescens* ภายในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส

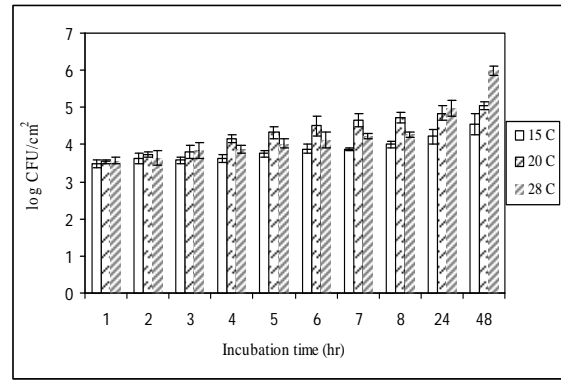
ในขณะที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้น 3 log CFU/mL ที่เวลา 1 - 9 ชั่วโมง ตรวจไม่พบเชื้อบนแผ่นสแตนเลสสตีล ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าเชื้อที่ติดมาบนแผ่นสแตนเลสสตีล น้อยมากเซลล์มีการเกาะติดแบบหลวมๆ มีผลทำให้เซลล์หลุดออกจากพื้นผิวสัมผัสได้ง่ายและหลุดไปอยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ จึงต้องอาศัยระยะเวลาพอสมควรที่

เชื้อเพิ่มจำนวน จะตรวจพบได้ในช่วงเวลา 12 ชั่วโมง สามารถตรวจพบ *P. fluorescens* ที่เกาะติดบนแผ่นสแตนเลสสตีลได้ $2.09 \pm 0.10 \log \text{CFU/cm}^2$ หลังจากบ่มแผ่นทดสอบไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่ามีจำนวนเซลล์ $3.72 \pm 0.34 \log \text{CFU/cm}^2$ และมีจำนวนเซลล์บนแผ่นทดสอบมากที่สุดหลังจากการบ่มแผ่นทดสอบได้ 48 ชั่วโมง พบว่ามีค่า $5.05 \pm 0.18 \log \text{CFU/cm}^2$

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ที่เกาะบนแผ่นทดสอบกับจำนวนเซลล์ที่เป็นอิสระภายในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีปริมาณเซลล์ที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า ปริมาณเซลล์ในอาหารเลี้ยงเชื้อมีมากกว่าที่สามารถตรวจวัดได้บนแผ่นทดสอบ และเมื่อมีการบ่มแผ่นทดสอบไว้เป็นเวลานานมากขึ้นจำนวนเซลล์ที่สามารถตรวจวัดได้กับจำนวนเซลล์ในอาหารเลี้ยงเชื้อก็ยังคงแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากเซลล์ที่มีการเกาะติดพื้นผิวแบบไม่ผันกลับ เซลล์ที่มีการเกาะติดแล้วจะมีการเพิ่มจำนวนมากขึ้นและอาจหลุดออกมาเป็นเซลล์อิสระ(planktonic cell) ในอาหารเลี้ยงเชื้อได้ ดังนั้นจึงตรวจพบจำนวนเซลล์ในอาหารเลี้ยงเชื้อได้มาก (Kumar and Anand, 1998)

3.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิและปริมาณเชื้อที่มีผลต่อการเกิดไบโอฟิล์มของ *Pseudomonas fluorescens* บนแผ่นสแตนเลสสตีล เกรด 304 ชนิด 2B

เมื่อพิจารณาถึงผลของอุณหภูมิต่อการเจริญของ *P. fluorescens* บนแผ่นทดสอบ พบว่าที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส *P. fluorescens* สามารถเจริญได้ดีและรวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิ 20 และ 15 องศาเซลเซียสตามลำดับ พบว่าที่เวลา 24 ชั่วโมง จำนวนเซลล์บนแผ่นทดสอบมีค่า 4.97 ± 0.22 , 4.85 ± 0.18 และ $4.22 \pm 0.20 \log \text{CFU/cm}^2$ ซึ่งแต่ละอุณหภูมิจะแตกต่างกันและพบว่ที่ เวลา 48 ชั่วโมง มีจำนวนเชื้อมากที่สุด มีค่า 6.00 ± 0.12 , 5.05 ± 0.12 และ $4.55 \pm 0.28 \log \text{CFU/cm}^2$ ที่อุณหภูมิ 28, 20 และ 15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ภาพที่ 3)



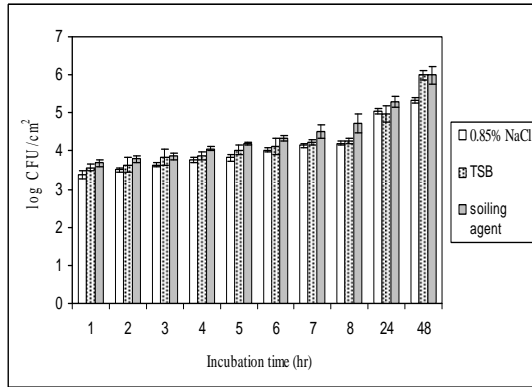
ภาพที่ 3 จำนวนเซลล์ของ *Pseudomonas fluorescens* บนแผ่นสแตนเลสสตีล เกรด 304 ชนิด 2B เมื่อจุ่มในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB ที่มีปริมาณเชื้อ $8 \log \text{CFU/mL}$ แล้วย้ายไปใส่ในอาหาร TSB หลอดใหม่ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 28 ± 2 , 20 ± 2 , 15 ± 2 องศาเซลเซียส ทำการตรวจนับโดยวิธี spread plate technique

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเกิดไบโอฟิล์มของจุลินทรีย์ต่าง เนื่องจากจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีความต้องการอุณหภูมิเพื่อการเจริญที่แตกต่างกัน ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญ(optimum temperature) จึงแตกต่างกันออกไปตามแต่ละชนิดของจุลินทรีย์ สำหรับ *P. fluorescens* พบว่าเจริญได้ดีที่อุณหภูมิหรือเรียกว่า Psychrotrophs โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 26 - 30.5 องศา

3.4 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารอาหารของตัวกลางชนิดเหลวต่อการเกิดไบโอฟิล์ม

สารอาหารเป็นปัจจัยสำคัญที่เอื้ออำนวยให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวน การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารอาหารตัวกลางต่อการเจริญไบโอฟิล์มเป็นปัจจัยที่ต้องทำการศึกษา จากการทดลองพบว่า เมื่อเปลี่ยนแหล่งของสารจากอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB เป็นน้ำเกลือปลอดเชื้อความเข้มข้นร้อยละ 0.85 (0.85 % NaCl) พบว่า เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงแหล่งของสารอาหารมาเปรียบเทียบกัน (ภาพที่ 4) จะเห็นได้ว่าช่วงแรกแม้จะมีการเปลี่ยนแปลง

ชนิดของอาหาร แต่จำนวนเซลล์บนแผ่นทดสอบก็ยังคงมีการเจริญ พร้อมทั้งมีการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนได้ และไม่มีการแตกต่างกันมากนัก เมื่อเปลี่ยนแหล่งของสารจากอาหารเลี้ยง



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบจำนวนเซลล์ที่เจริญบนแผ่นทดสอบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแหล่งของสารอาหารชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส

เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจะเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน จะเห็นได้ว่าที่หลังจากบ่มแผ่นทดสอบเป็นเวลา 48 ชั่วโมง การเจริญของเซลล์บนแผ่นทดสอบในน้ำเกลือปลอดเชื้อความเข้มข้นร้อยละ 0.85 เริ่มช้าลง แต่การเจริญของเซลล์บนแผ่นทดสอบในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB และสารละลาย soiling agent (beef meat 5%w/v) มีการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนได้ และไม่มีการแตกต่างกันมากนัก เนื่องจากมีสารอาหารที่สมบูรณ์ Garrett และคณะ(2008) รายงานเกี่ยวกับการเกาะติดและการเกิดไบโอฟิล์มบนพื้นผิว

4. สรุปผลการวิจัย

ในสภาวะที่มีเชื้อจำนวนมาก ($8 \log \text{ CFU/ml}$) เวลา 0 นาทีก็เพียงพอที่จะทำให้ *P.fluorescens* สามารถเกาะติดบนแผ่นสแตนเลสสตีลได้ ในสภาวะที่มีปริมาณเชื้อน้อย ($3 \log \text{ CFU/ml}$) พบว่าเซลล์เริ่มต้นมีปริมาณน้อย จะต้องอาศัยเวลาให้เซลล์มีการเพิ่มจำนวนถึงจะมีการตรวจพบได้ อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับการเพิ่มจำนวนของ *P. fluorescens* เนื่องจากจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีความต้องการอุณหภูมิเพื่อการเจริญที่ต่างกัน ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับ

การเจริญ(optimum temperature) จึงแตกต่างกันออกไปตามแต่ละชนิดของจุลินทรีย์ สำหรับ *P. fluorescens* พบว่าเจริญได้ดีที่อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 26 - 30.5 องศาเซลเซียส ส่วนการเปลี่ยนแปลงแหล่งของสารอาหาร (น้ำเกลือปลอดเชื้อ อาหารเลี้ยงเชื้อTSB และสารละลาย soiling agent (beef meat 5%w/v)) พบว่า เมื่อบ่มไว้ 48 ชั่วโมง การเจริญของเซลล์บนแผ่นทดสอบในอาหารเลี้ยงเชื้อTSB และสารละลาย soiling agent (beef meat 5%w/v) มีการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนได้และไม่มีการแตกต่างกันมากนักเนื่องจากมีสารอาหารที่สมบูรณ์ Garrett และคณะ(2008) รายงานเกี่ยวกับการเกาะติดและการเกิดไบโอฟิล์มบนพื้นผิวว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญ (optimum temperature) ในสภาวะที่มีอาหารสมบูรณ์ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเป็นไบโอฟิล์มได้อย่างรวดเร็ว

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Garrett, T. R., Bhakoo, M. and Zhang, Z. 2008. Bacterial adhesion and biofilms on surfaces. Progress in Natural Science.18: 1049-1056.
- [2] Gill, C.O. and Newton, K.G. 1997. The development of aerobic spoilage flora on meat stored at chill temperatures. Journal of Applied Bacteriology.43: 189-195.
- [3] Jessen, B. and Lammert, L. 2003. Biofilm and disinfection in meat processing plants. International Biodeterioration & Biodegradation. 51: 265-269.
- [4] Kumar, C.G., and Anand, S.K. 1998. Significance of microbial biofilms in food industry. International Journal of Food Microbiology. 42: 9-27.
- [5] Olofsson, T.C., Ahrne, S. and Molin, G. 2007. Composition of the bacterial population of refrigerated beef, identified with direct 16S rRNA

gene analysis and pure culture technique.
International Journal of Food Microbiology.
118:233-240.

- [6] Shia, X., Zhu,X. 2009. Biofilm formation and food safety in food industries. Trends in Food Science & Technology.Review: 1-7

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาล ประจำปีงบประมาณ ๒๕๕๒ ขอขอบคุณบริษัทไทยน็อกซ์สตีล จำกัด ที่อนุเคราะห์เหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับการวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาคเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในการอำนวยความสะดวกในการวิจัย

การออกแบบและสร้างเครื่องวอเตอร์อะตอมไมเซอร์เพื่อผลิตผงโลหะ

สุชาติ เย็นวิเศษ¹ และ ทวีชาติ เย็นวิเศษ¹

บทคัดย่อ— การผลิตผงโลหะโดยวิธีวอเตอร์อะตอมไมเซอร์ เป็นวิธีการหนึ่งที่เหมาะสมใช้ในการผลิตผงโลหะหลายชนิด โดยทั่วไปเครื่องวอเตอร์อะตอมไมเซอร์จะถูกรวบรวมให้ห้องพ่นโลหะเหลวในลักษณะแนวตั้งหรือแนวนอน ขึ้นอยู่กับการออกแบบหัวฉีด ห้องพ่นละอองโลหะเหลว และองค์ประกอบต่างๆที่เกี่ยวข้อง ซึ่งตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อภาวะควบคุมการทำงานของกระบวนการวอเตอร์อะตอมไมเซอร์ ซึ่งมีผลต่อขนาด รูปร่างและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงโลหะที่ได้จากการผลิต ตัวแปรที่สำคัญเช่น แรงดันของน้ำที่ใช้ อัตราการไหลของน้ำ อุณหภูมิเกินจุดหลอมของโลหะเหลว และอัตราการไหลของโลหะเหลวเป็นต้น เครื่องวอเตอร์อะตอมไมเซอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ ออกแบบให้สามารถปรับตั้งค่าตัวแปรต่างๆข้างต้นได้เป็นอย่างดี โดยได้ทำการทดลองผลิตผงโลหะชนิดต่างๆเช่น ทองแดง เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ซึ่งผลที่ได้คือ เครื่องวอเตอร์อะตอมไมเซอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้สามารถผลิตผงโลหะชนิดต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้คือสามารถผลิตผงโลหะชนิดต่างๆข้างต้นได้ขนาดเล็กลงกว่า 105 ไมครอน ในปริมาณไม่น้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำโลหะที่ใช้ในแต่ละครั้ง โดยผงโลหะที่ได้มีรูปร่างแบบ Irregular

คำสำคัญ วอเตอร์อะตอมไมเซอร์ ผงโลหะ วอเตอร์อะตอมไมเซอร์

1. บทนำ

โลหะกรรมผง (Powder metallurgy) หรือที่เรียกโดยย่อว่า P/M เป็นกระบวนการที่ประกอบด้วยการผลิตผงโลหะ (Powder fabrication) การจำแนกผงโลหะ (Powder characterization) และการขึ้นรูปผงโลหะด้วยวิธีต่างๆ เพื่อนำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนทางวิศวกรรม ซึ่งกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนแบบ P/M มีข้อดีกว่ากระบวนการผลิตแบบอื่นๆ คือ

1. ชิ้นงานที่ได้มีสมบัติเชิงกลสม่ำเสมอเท่ากันทั้งชิ้น ไม่มีปัญหาเรื่องการกระจายตัวของธาตุผสม
2. เป็นวิธีการผลิตชิ้นงานที่มีอัตราการผลิตสูง ปริมาณการสูญเสียต่ำ และทำให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่ำ

3. เป็นทางเลือกสำหรับการขึ้นรูป และการแปรรูปวัสดุที่ขึ้นรูปยาก เช่น โลหะหรือโลหะผสมที่ทนความร้อนสูงและวัสดุผสม

4. เป็นวิธีที่สามารถผลิตวัสดุใหม่ๆ (Novel materials) และวัสดุที่มีประสิทธิภาพสูง (High Performance materials)

นอกจากการนำผงโลหะมาขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีการนำผงโลหะไปใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น ใช้เป็นวัสดุฉนวนในการพ่นเคลือบทางความร้อน (Thermal spray) เพื่อทำให้ผิวของชิ้นงานที่ผ่านการพ่นเคลือบทนต่อการสึกหรอมากขึ้น ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของสี ใช้เป็นส่วนผสมของหมึกพิมพ์ และใช้เป็นวัสดุระเบิด เป็นต้น การผลิตชิ้นงานทางวิศวกรรมในปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบของกระบวนการผลิตขึ้นมากมาย[1]

สำหรับประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2533 ได้เริ่มมีการผลิตชิ้นส่วนทางวิศวกรรมชนิดต่างๆ จากผงโลหะ และมีปริมาณการผลิตเพิ่มมากขึ้นทุกปี ในขณะที่ผง

¹สาขาอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
1 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000
โทรศัพท์: +66(74)317-180 โทรสาร: +66(74)317-181
อีเมล: suchart_yen@hotmail.com

โลหะชนิดต่างๆ(วัตถุดิบ)ที่ใช้การผลิตส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้เป็นข้อจำกัดประการหนึ่งที่มีผลโดยตรงต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมทางด้านนี้ ในขณะที่แนวโน้มการขยายตัวของอุตสาหกรรมภายในประเทศซึ่งใช้เทคโนโลยีผงโลหะ เพื่อทำการผลิตชิ้นส่วนวิศวกรรมที่ใช้ในเครื่องจักรกล อุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องมือกลทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ในการผลิตผงโลหะชนิดต่างๆ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบดังกล่าวข้างต้น จึงมีกรรมวิธีในการผลิตด้วยวิธีการที่แตกต่างกันไปตามสมบัติเฉพาะของโลหะแต่ละชนิด โดยทั่วไปจะมีวิธีการผลิตผงโลหะสามวิธีคือ วิธีอะตอมไมเซชัน วิธีทางเคมี และวิธีทางกายภาพ แต่ละวิธียังแยกย่อยตามชนิด และสมบัติเฉพาะของโลหะแต่ละชนิด การผลิตผงโลหะด้วยวิธีอะตอมไมเซชันนับเป็นกระบวนการผลิตผงโลหะที่มีกระบวนการซับซ้อนแต่ให้ประสิทธิภาพสูง สามารถใช้ผลิตผงโลหะได้หลายชนิด โดยใช้หลักการทำให้โลหะหลอม (Molten metals/alloys or melts) แยกตัวเป็นหยดหรือละอองที่มีขนาดละเอียดมาก แล้วทำให้เย็นตัวจนละอองโลหะหลอมแข็งตัวกลายเป็นเม็ดผงโลหะที่มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กัน การทำให้โลหะหลอมเป็นละอองนั้นต้องมีแรงมากระทำต่อโลหะหลอมด้วยวิธีต่างๆ[3]

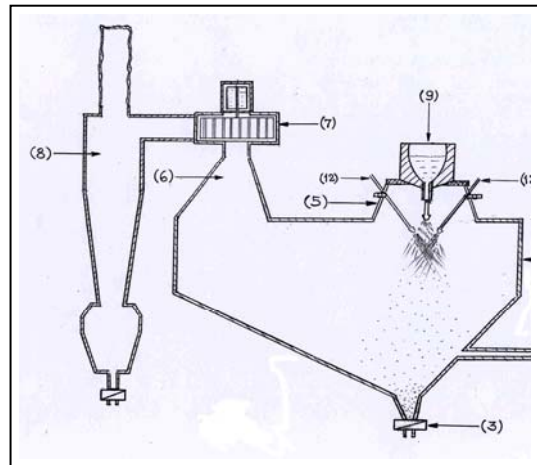
ในการทำวิจัยครั้งนี้เลือกใช้วิธีอะตอมไมเซชัน เนื่องจากเป็นวิธีการที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะกับโลหะที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวเกิน 1,000°C และต้องการผงโลหะที่มีรูปร่างเป็นแบบ Irregular ซึ่งการออกแบบและสร้างเครื่องสร้างอะตอมไมเซชันเพื่อผลิตผงโลหะนี้มีวัตถุประสงค์คือ

- เพื่อออกแบบ และสร้างเครื่องผลิตผงโลหะชนิดอะตอมไมเซชัน
- เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการผลิตผงโลหะด้วยวิธีอะตอมไมเซชัน
- เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาสู่การออกแบบสร้าง และทำการผลิตได้จริงในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

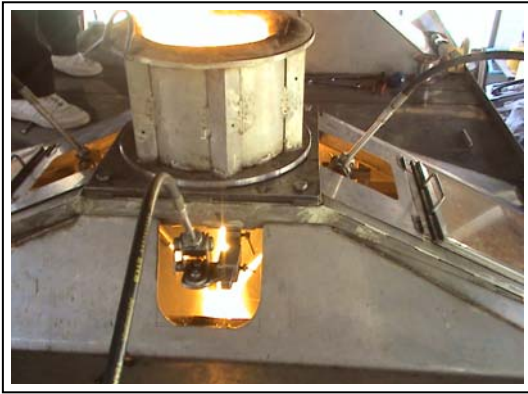
2. วิธีการวิจัย

การทดลองนี้เป็นการประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องผลิตผงโลหะด้วยกรรมวิธีอะตอมไมเซชัน โดยการใช้ น้ำแรงดันสูงฉีดพ่นกระแทกโลหะหลอมเหลวที่ถูกปล่อยให้ไหลเป็นลำลงในแนวตั้ง เพื่อให้โลหะหลอมเหลวแตกตัวเป็นละอองผงโลหะขนาดเล็ก ซึ่งสามารถทำให้ได้ผงโลหะขนาดต่างๆ ตามที่ต้องการนำไปใช้งาน ตัวเครื่องที่ออกแบบและสร้างมีลักษณะที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆดังนี้

- ท่อจ่ายโลหะหลอมเหลวแนวตั้งควบคุมปริมาณการไหล
- ชุดหัวฉีดพ่นน้ำแรงดันสูงเป็นรูปตัววี (V-jet nozzle) จำนวนสองชุด
- ชุดฉีดพ่นน้ำเป็นรูปทรงกรวยหงาย (Cone nozzle)
- ชุดปั๊มน้ำแรงดันสูง ออกแบบสร้างโดยใช้ปั๊มแรงดันสูงที่สามารถให้แรงดันน้ำได้สูงถึง 280 บาร์ ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อนาที จำนวน 4 ตัว ต่อรวมแบบขนาน สามารถควบคุมการทำงานปั๊มแต่ละตัวได้อย่างอิสระ



ภาพที่ 1 โครงสร้างเครื่องอะตอมไมเซชันที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลองนี้



ภาพที่ 2 การฉีดพ่นละอองโลหะด้วยหัวฉีดแบบ v-jet 2 คู่



ภาพที่ 3 หัวฉีดแบบ cone nozzle

ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาผลของตัวแปรควบคุม 3 ตัว ได้แก่ แรงดันน้ำ อุณหภูมิซูเปอร์ฮีท และเส้นผ่านศูนย์กลางปลายหัวจ่ายน้ำโลหะ ที่มีผลต่อลักษณะของผงโลหะที่ผลิตได้

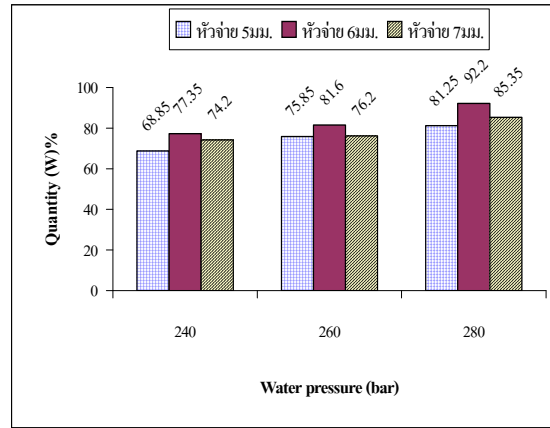
ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรควบคุมต่างๆที่กำหนดใช้ในงานวิจัยนี้กำหนดตามประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่มี

ตัวแปรควบคุม	ค่าที่กำหนด	หน่วย
แรงดันของน้ำ	(P ₁)=240 (P ₂)=260 (P ₃)=280	bar
อุณหภูมิซูเปอร์ฮีท	(T ₁)=90 (T ₂)=120 (T ₃)=150	°C
เส้นผ่านศูนย์กลางปลายหัวจ่ายโลหะเหลว	(d ₁)=5 (d ₂)=6 (d ₃)=7	mm

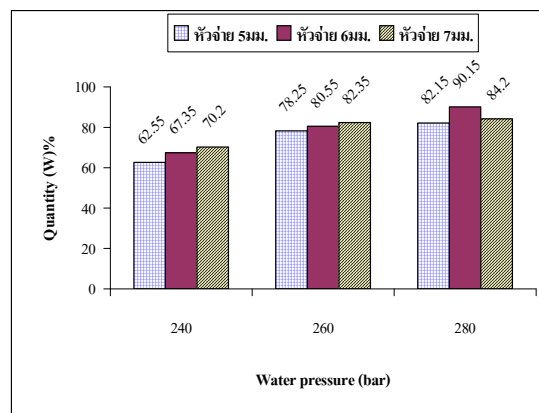
3. ผลและอภิปรายผล

ผลการทดลองผลิตผงโลหะชนิดต่างๆที่ดำเนินการตามค่าตัวแปรที่กำหนดตามตารางที่ 1 พบว่าค่าตัวแปรทุกตัวที่ปรับเปลี่ยนตามค่าที่กำหนดใช้ ล้วนมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องวอเตอร์อะตอมไมเซอร์นี้ ในการผลิตผงโลหะ จากผลการทดลองพบว่ากรณีที่ใช้หัวจ่ายโลหะเหลวขนาด \varnothing 5 และ 7 มม.(อัตราการไหลของโลหะเหลวต่ำสุดและสูงสุด) คู่กับการใช้อุณหภูมิซูเปอร์ฮีทต่ำกว่า 150°C และแรงดันน้ำต่ำสุดที่ 240 บาร์ จะได้ผงโลหะที่ขนาดเล็กกว่า 105 ไมครอน ในปริมาณที่ต่ำกว่า 50 % ของโลหะเหลวที่ใช้ต่อครั้ง โดยเฉพาะกรณีการใช้หัวจ่ายโลหะเหลวขนาด \varnothing 5 มม. คู่กับอุณหภูมิซูเปอร์ฮีทของโลหะเหลวต่ำสุด ในการทดลองคือ 90°C จะมีผลทำให้โลหะเหลวไม่สามารถไหลได้หมดจากเบ้าจ่าย (Tundish) โดยเกิดแข็งตัวติดค้างในเบ้าจ่ายบางส่วน (เบ้าจ่ายโลหะเหลวผ่านการเผาที่ร้อนที่ 800 °C) ทั้งนี้เป็นเพราะอัตราการไหลของโลหะเหลวที่ต่ำจะส่งผลให้ระดับอุณหภูมิซูเปอร์ฮีทของโลหะเหลวตกลงมากเป็นผลให้โลหะเหลวมีความหนืดมากขึ้น ส่วนกรณีใช้หัวจ่ายโลหะเหลวขนาด \varnothing 7 มม.ซึ่งเป็นอัตราการไหลของโลหะเหลวสูงสุด คู่กับอุณหภูมิซูเปอร์ฮีทของโลหะเหลวต่ำสุด ที่ 90°C และแรงดันน้ำต่ำสุดที่ 240 บาร์ พบว่าปริมาณน้ำและแรงดันของน้ำมีสัดส่วนไม่เพียงพอ (น้อย) เมื่อเทียบกับปริมาณของโลหะเหลว โดยทำการทดลองกับหัวฉีดทั้งแบบรูปตัววี และ แบบกรวยหงายปรากฏผล คือ มีโลหะเหลวบางส่วนที่ถูกน้ำกระแทกแตกออกเป็นเม็ดหรือละอองขนาดใหญ่กว่า 105 ไมครอนในปริมาณที่มาก นั้นหมายถึงว่าจะได้ผงโลหะที่มีขนาดเล็กกว่า 105 ไมครอนในปริมาณที่น้อยลง นอกจากนั้นการที่ใช้อัตราการไหลของโลหะเหลวสูงเมื่อเทียบกับอัตราการไหลของของน้ำแรงดันสูงที่ใช้ฉีดพ่นซึ่งมีสัดส่วนของน้ำต่อโลหะเหลวลดลงก็จะส่งผลให้อัตราการเย็นตัว(Cooling rate)ของอนุภาคผงโลหะช้าลงด้วย ซึ่งจะส่งผลให้รูปร่างของผงโลหะที่ได้เป็นแบบ Irregular ได้น้อยลง แต่จะมีแนวโน้มเป็น

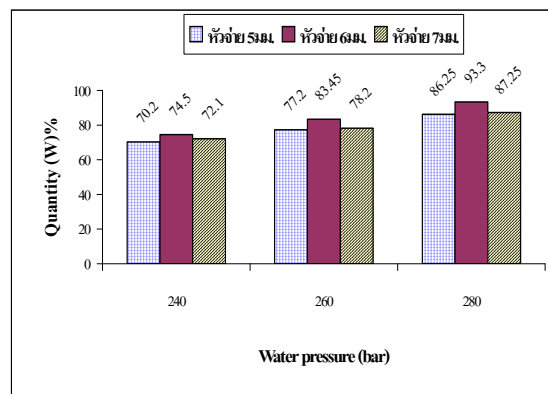
ลักษณะ Ligamental, Rounded ตลอดจน Spherical ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะด้วย สำหรับกรณีการใช้หัวจ่ายโลหะเหลวขนาด \varnothing 6 มม. คู่กับอณูมิซูเปอร์ฮีทของโลหะเหลวสูงสุดที่ 150°C และแรงดันน้ำสูงสุดที่ 280 บาร์ พบว่าจะเป็นภาวะการทำงานที่ดีที่สุดสำหรับเครื่องอะตอมไมเซอร์นี้ ซึ่งให้ผลดีกับการผลิตผงโลหะทั้งสามชนิดที่ใช้ทำการทดลอง ส่วนกรณีการใช้อณูมิซูเปอร์ฮีทของโลหะเหลวเป็น 90°C และ 120°C จะให้ผลที่ไม่ดีนัก คือผงโลหะที่ผลิตได้มีการกระจายตัวของขนาดที่ค่อนข้างกว้าง โดยเฉพาะเมื่อใช้คู่กับตัวแปรของแรงดันน้ำที่ลดลงจะมีแนวโน้มที่ทำให้ได้ผงโลหะมีขนาดเฉลี่ย (d_{50}) โตขึ้น ซึ่งจะเกิดกับการใช้อัตราการของโลหะเหลวทุกระดับในที่นี่จะแสดงเฉพาะผลการทดลองที่ใช้ค่าตัวแปรควบคุมการทำงานระหว่างค่าแรงดันของน้ำ 3 ระดับเทียบกับอัตราการไหลของโลหะเหลวทั้ง 3 ชนิดในอัตราต่างๆ โดยใช้ระดับอณูมิซูเปอร์ฮีทสูงสุดที่ 150°C ทำการฉีดพ่นน้ำด้วยหัวฉีดแบบรูปตัววี ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนผลการทดลองที่ใช้หัวฉีดน้ำทรงกรวยหงาย (Cone nozzle) โดยรวมแล้วให้ผลที่ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับการใช้หัวฉีดรูปตัววี เหตุผลสำคัญที่ทำให้การใช้หัวฉีดทรงกรวยหงายในการทดลองนี้ได้ผลไม่ดีเป็นเพราะมีข้อจำกัดในเรื่องของอัตราการไหลรวมของชุดปั้มน้ำแรงดันสูงที่จำกัดอยู่ที่ 80 ลิตรต่อนาที ซึ่งเมื่อจ่ายผ่านหัวฉีดแบบกรวยหงายแล้ว ปรากฏว่าแรงดันของน้ำที่ปลายหัวฉีดมีแรงดันลดลงมาก เป็นเพราะพื้นที่หน้าตัดรวมของร่องวงแหวนมีพื้นที่มากส่งผลให้ทั้งแรงดันและความเร็วของน้ำลดลงมากตามไปด้วย ค่าอัตราการไหลของโลหะเหลวที่ใช้ประมาณ 13 - 15 กิโลกรัม ต่อ นาที ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ และอัตราการไหลรวมของน้ำ 80 ลิตร ต่อ นาที



ภาพที่ 4 ปริมาณผงโลหะเคลือบถ่านคาร์บอนดำ



ภาพที่ 5 ปริมาณผงโลหะเคลือบถ่าน AISI 304



ภาพที่ 6 ปริมาณผงโลหะทองแดง

Y. Seki และคณะได้นำเสนอกระบวนการ High-Pressure Water Atomization (HPWA) ซึ่งจะต้องใช้แรงดันน้ำสูงถึง 70 MPa ได้รายงานการทดลองที่ผ่านมาสามารถผลิตผงโลหะได้ขนาดเฉลี่ยต่ำกว่า $10 \mu\text{m}$ [4] และเสนอ

รูปแบบสมการในการทำนายขนาดเฉลี่ยของอนุภาค
ผงโลหะที่ใช้หัวฉีดน้ำแรงดันสูง 2 ลักษณะดังนี้

$$D = 68P^{-0.056} \text{ สำหรับการฉีดแบบ V-jet Nozzle (1)}$$

$$D = 114P^{-0.058} \text{ สำหรับการฉีดแบบ Cone Nozzle (2)}$$

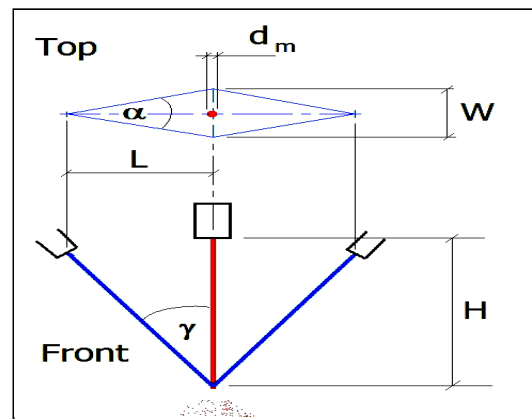
เมื่อ D คือขนาดเฉลี่ยของอนุภาคผงโลหะ (μm)
และ P คือ แรงดันของน้ำ (MPa) สำหรับเครื่องวอเตอร์
อะตอมไมเซอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้สามารถให้
แรงดันของน้ำสูงสุดที่ 280 บาร์ หรือ 28 MPa แทนค่าใน
สมการที่(1)

$$D = 68(28)^{-0.056} = 56.42 \mu m$$

ค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (1) มีค่า
เท่ากับ 56.42 หรือประมาณ 56 μm ซึ่งเมื่อเปรียบ
กับขนาดเฉลี่ยของอนุภาคผงโลหะที่ผลิตได้จริงด้วย
เครื่องวอเตอร์อะตอมไมเซอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้น
ภายใต้ภาวะควบคุมการทำงานที่กำหนดตามตารางที่ 1
ปรากฏผลที่ได้สอดคล้องกับกระบวนการ HPWA
ในขณะที่แรงดันของน้ำที่ใช้มีค่าต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์
ของกระบวนการ HPWA แต่สามารถทำการผลิตผง
โลหะทั้งสามชนิดได้ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคผงใกล้เคียง
กับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการที่ (1) ดัง
แสดงผลในตารางที่ 3 ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคผงโลหะ
(d_{50}) ที่ผลิตได้ ใช้วิธี Sieve Analysis ตามมาตรฐาน
ASTM E 11 [2]

ตารางที่ 2 แสดงขนาดเฉลี่ยของขนาดอนุภาคผงโลหะ
ที่ผลิตได้จากการใช้ภาวะควบคุมซูเปอร์ฮีทของ
โลหะเหลวสูงสุดที่ 150°C แรงดันน้ำสูงสุด
280 bar และอัตราการไหลของโลหะเหลวจาก
หัวจ่ายโลหะเหลว 3 ขนาด \varnothing 5, 6 และ 7 mm

ชนิดผงโลหะ	ขนาดเฉลี่ย (d_{50}) ที่ได้จาก การคัดแยกด้วยชุด ตะแกรงมาตรฐาน (μm)			ขนาดเฉลี่ย (d_{50}) ที่ได้ จากการ คำนวณ (μm)
	\varnothing 5 mm	\varnothing 6 mm	\varnothing 7 mm	
เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	61	58	68	56
เหล็กกล้าไร้สนิม 304	79	60	72	
ทองแดง	65	54	62	



ภาพที่ 7 รูปแบบแนวพ่นของน้ำจากหัวฉีดหลัก

4. สรุปผลการวิจัย

1. อัตราการไหลของโลหะหลอมเหลว ต่อ อัตราการไหลรวมของน้ำแรงดันสูงควรมีอัตราส่วนไม่น้อยกว่า 1:4 สำหรับกรณีที่ต้องการให้ผงโลหะที่ได้มีรูปร่างเป็นแบบ Irregular เครื่องที่ออกแบบและสร้างมีอัตราส่วนเฉลี่ยที่ 1 : 5.7

2. ระดับอุณหภูมิซูเปอร์ฮีทของโลหะเหลวอัตราการไหลของโลหะเหลว และแรงกระแทกของน้ำที่กระทำต่อลำโลหะเหลว(แรงดันน้ำ)จะส่งผลโดยตรงต่อขนาดเฉลี่ย(d_{50})ของอนุภาคผงที่ได้ ซึ่งภาวะควบคุมที่ดีที่สุดสำหรับเครื่องวอเตอร์อะตอมไมเซอร์นี้คือ ซูเปอร์ฮีท 150°C อัตราการไหลโลหะเหลวจากหัวจ่าย $\varnothing 6 \text{ mm}$ (13 - 15 กิโลกรัม ต่อ นาที ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ) และแรงดันน้ำ 280 bar ที่อัตราการไหลรวม 80 ลิตร ต่อ นาที หัวฉีดน้ำแบบรูปตัววี สามารถผลิตผงโลหะทั้งสามชนิดข้างต้น ได้ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคผงโลหะที่ $56 \mu\text{m}$ และมีรูปร่างของผงโลหะที่ได้เป็นแบบ Irregular

3. ตามข้อสรุป 1 และ 2 ของงานวิจัยนี้ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขประกอบที่สำคัญของลักษณะการกระแทกของน้ำแรงดันสูงที่กระทำต่อลำโลหะเหลว คือ อัตราส่วนระหว่าง $d_m : W : (L/\sin \gamma)$ เท่ากับ 1 : (5.5 – 6.5) : (25 – 35) ตามรูปที่ 7

4. การผลิตผงโลหะด้วยวิธีวอเตอร์อะตอมไมเซอร์ชั้นมีองค์ประกอบที่มีความสำคัญเรียงตามลำดับของขั้นตอนต่างๆ ตามทรรศนะของผู้วิจัย 35: 30: 25:10 คือเทคนิคการหลอมโลหะ การอะตอมไมเซอร์ การอบไล่ความชื้นออกจากผงโลหะ และการคัดแยกขนาด

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] เรืองเดช ชงศรี. 2544. **PM tech** (Particulate Materials Technology) ฉบับที่ 2 ปี 2544
- [2] ASM. **Metals Handbook Ninth Edition Volume 7 Powder Metallurgy**. 1984. Ohio.
- [3] R.M. German. **Powder Metallurgy Science**. 1984. Metal Powder Industries Federation Princeton, NJ, p.80
- [4] Y. Seki, S. Okamoto, H. Takisawa, and N. Kawai. 1990. **Metal Powder Report**, vol.45, p.38

เครื่องหันชิ้นมันเส้นแบบใบมีดหมุน

วิรัตน์ หวังเชื่อมกลาง¹ และกันญา โกสุมภ์¹

บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสร้างเครื่องหันชิ้นมันเส้นแบบใบมีดหมุน สำหรับเกษตรกรใช้ผลิตชิ้นมันเส้นสะอาดเพื่อใช้เป็นส่วนผสมอาหาร โคนม มีวิธีวิจัยคือ ศึกษาการใช้มันสำปะหลังในกระบวนการผลิตมันเส้นเป็นส่วนผสมอาหาร โคนม การออกแบบและสร้างเครื่อง การทดสอบและประเมินผล ได้ผลดังนี้

1. เกษตรกรต้องการเครื่องหันขนาดเล็ก สำหรับใช้หันหัวมันสำปะหลังเพื่อผลิตชิ้นมันเส้นสะอาดให้เหมาะสำหรับใช้ผสมอาหาร โคนม เพื่อให้เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมใช้เครื่องนี้ผลิตมันเส้นสะอาดใช้เอง ผู้ปลูกมันสำปะหลังใช้ผลิตมันเส้นสะอาดขาย ผู้มีอาชีพหันชิ้นมันเส้นขายใช้ทดแทนแรงงานคนหัน และส่งเสริมให้เกษตรกรมีอาชีพใหม่เพิ่มขึ้น

2. เครื่องหันที่ออกแบบสร้างมีหลักการการทำงานคือ ป้อนหัวมันสำปะหลังเข้าสู่ส่วนทำความสะอาดที่ใช้หลักการขัดสีของวัสดุกับผิววัตถุคิบน้ำเพื่อขัดผิวและล้างให้สะอาดแล้วลำเลียงส่งเข้าสู่ใบมีดที่ใช้หลักการเฉือนและหันหัวมันให้ได้เป็นชิ้นมันเส้นสะอาด โดยใช้ต้นกำลังขับเคลื่อนในเวลาเดียวกันทำให้ทุกส่วนทำงานต่อเนื่องพร้อมกัน จึงได้ผลผลิตชิ้นมันเส้นสะอาดและได้เครื่องหันชิ้นมันเส้นแบบใบมีดหมุนที่ทำงานต่อเนื่องกันตรงตามที่เกษตรกรทุกฝ่ายต้องการ

3. ผลการทดสอบการทำงาน ที่ความเร็วรอบเพลาชับ 50 รอบต่อนาที เครื่องสามารถทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังจนไม่พบเห็นดินทรายปนเปื้อน โดยมีเปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้างหลังการทำความสะอาด 14.44 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการหันชิ้นมันเส้น 1,457.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพการหันชิ้นมัน 85.6 เปอร์เซ็นต์ ในการหันหัวมันสำปะหลังมีชิ้นมันเส้นเต็ม และมีชิ้นแตกหัก 85.2 เปอร์เซ็นต์ และ 11.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ เครื่องหันชิ้นมันเส้นแบบใบมีดหมุน มันเส้นสะอาด

1. บทนำ

ราคามันสำปะหลังของไทยในปัจจุบันขึ้นอยู่กับตลาดต่างประเทศ ทำให้มีปัญหากับเกษตรกรเสมอมา จึงได้มีการแก้ปัญหาโดยการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ภายในประเทศหลายรูปแบบ วิธีการนำมันเส้นมาใช้เป็นอาหารสัตว์เป็นทางเลือกหนึ่ง ซึ่งเป็นอาหารประเภทแป้ง มีราคาถูก ดังนั้นการเพิ่มปริมาณ

การใช้ด้วยการปรับปรุงวิธีการผลิตมันเส้นให้สะอาดตามความต้องการของผู้เลี้ยงสัตว์ ผู้ผลิตอาหารสัตว์ ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ปลูกขายได้ราคาดีขึ้น และช่วยให้เกษตรกรมีอาชีพใหม่คือผลิตมันเส้นสะอาดขาย เป็นการช่วยเศรษฐกิจของประเทศได้อีกทางหนึ่ง (อุทัยและคณะ, 2545)

ในปัจจุบันเกษตรกรไทยเลี้ยงโคนมประมาณ 4.7 แสนตัว หากใช้มันเส้นผสมอาหาร เสริมจะมีคุณค่าพลังงานสูง ทำให้โคนมให้น้ำนมได้สูงขึ้น 13% ลดต้นทุนค่าอาหารลง 37% จึงมีความต้องการใช้มันเส้นผสมอาหารสัตว์มูลค่ากว่า 500 ล้านบาทต่อปี และมีแนวโน้มมากขึ้นตามการขยายตัวของอุตสาหกรรม

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ศูนย์กลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

โทรศัพท์: 044 242979 โทรสาร: 044 242217

E-mail: virutw@yahoo.com, kk_changnoi@yahoo.com

ผลิตอาหารสัตว์และการเลี้ยงสัตว์ภายในประเทศ ในปัจจุบันมีการนำมันเส้นที่ผลิตจากเครื่องจักรขนาดใหญ่ตามลานมันทั่วไปมาใช้ซึ่งเป็นมันเส้นที่ไม่สะอาด ทำให้มีผลเสียต่อคุณภาพอาหารสัตว์ที่ผสม ส่งผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์ การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสัตว์ลดลง (สุกัญญา, 2545)

ในกระบวนการผลิตขึ้นมันเส้นสะอาด มีขั้นตอนคือ การตัดหญ้า การล้างน้ำทำความสะอาด การหั่นห้วมันเป็นชิ้นด้วยมีด และการตากแดด ในส่วนของ การทำความสะอาดและหั่นเป็นชิ้น นับว่ามีความสำคัญมาก โดยทั่วไปต้องใช้แรงงานคนทำงาน จึงต้องใช้ต้นทุนสูง และเป็นอันตรายต่อมือคนหั่น ส่วนเครื่องหั่นมันที่ใช้ตามลานมันทั่วไปเป็นเครื่องขนาดใหญ่ซึ่งเป็นการตะกรุยหิวห้วมันด้วยลอนขูดให้ลักษณะเป็นเส้นยาว เป็นก้อน หรือฝอย ทำให้ได้ชิ้นมันที่ขนาดใหญ่ ตากไม่แห้งเป็นเชื้อราซึ่งสัตว์กินแล้วไม่ย่อยและ บางส่วนเล็กมากเป็นเศษฝุ่นผงผสมดิน มีผลเสียต่อ กระเพาะ จากการศึกษาพบว่าเกษตรกรต้องการเครื่อง หั่นขึ้นมันเส้นสะอาด ให้เป็นแผ่นบาง ทำให้ตากแห้งเร็ว ไม่มีเชื้อรา มีชิ้นเล็กไม่มากและไม่มีฝุ่นผงผสมกับ ดินหรือสิ่งเจือปนอื่นๆจะเหมาะกับการใช้ผสมอาหาร และจากการศึกษาหลักการทำความสะอาดวิธีที่ง่ายคือ แบบใช้ตะแกรงขัดสีกับวัตถุขูดเพื่อทำความสะอาด และหลักการลดขนาดวัตถุขูดเป็นแผ่นบางคือการใช้ กลไกเลื่อนหั่น เป็นชิ้น โดยการสร้างชุดใบมีดตาม รูปทรงที่ต้องการแล้วใช้กลไกขับให้หั่นวัตถุขูดให้ขาด และแยกชิ้นออกจากกันตามรูปแบบของใบมีดที่ตั้งไว้

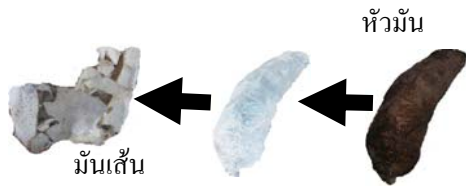
ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาออกแบบเครื่องหั่น สำหรับผลิตขึ้นมันเส้นสะอาด โดยมีเงื่อนไขในการทำงานคือสามารถทำความสะอาดและหั่นห้วมัน สำปะหลังเพื่อผลิตขึ้นมันเส้นสะอาด แบบทำงาน ต่อเนื่องในเครื่องเดียวกัน เครื่องมีขนาดเล็กเหมาะกับ เกษตรกรใช้คนเดียวควบคุมเครื่องทำงานได้ เคลื่อน ย้ายได้สะดวก ทดแทนคนหั่นสามารถผลิตขึ้นมันเส้น สะอาดให้มีปริมาณมากขึ้น

2. วิธีการวิจัย

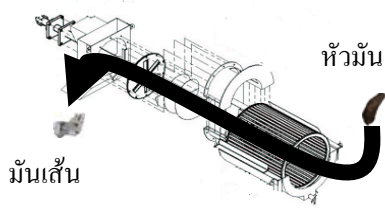
1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการใช้มันเส้น เป็นอาหารโคนม โดยการสอบถามข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับ ขบวนการผลิตมันเส้นเพื่อใช้ผสมอาหารโคนม การใช้มันเส้นผสมอาหารเลี้ยงโคนม ความต้องการ เครื่องหั่นขึ้นมันเส้นและข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้อง มี กลุ่มเป้าหมายคือหน่วยงานที่ทำงานเกี่ยวกับการวิจัยมัน สำปะหลัง เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง เกษตรกร ผู้ผลิตมันเส้น ลานมันที่มีการผลิตมันเส้น โรงงานผสม อาหารโคนม สหกรณ์โคนม เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม

2. ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของห้วมันสำปะหลัง ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องหั่นคือการวัดขนาดและชั่งน้ำหนัก เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาขนาดของช่องป้อนห้วมัน สำปะหลัง การวัดมุมเสียดทานเพื่อใช้ประกอบการ พิจารณามุมของช่องป้อนห้วมันสำปะหลังและวัดมุม เสียดทานของชิ้นมันเส้น

3. ออกแบบและสร้างเครื่องหั่นขึ้นมันเส้นแบบ ใบมีดหมุน โดยทำการกำหนดเกณฑ์ในการออกแบบ ดังนี้ เป็นเครื่องทำความสะอาดและหั่นห้วมันสำปะหลัง สำหรับผลิตขึ้นมันเส้น ที่มีขนาดเล็กเหมาะสมกับ เกษตรกร และสามารถเคลื่อนย้ายโดยรถกระบะ บรรทุกเล็กได้สะดวก มีชุดทำความสะอาดและหั่น ห้วมันสำปะหลัง สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 2) มีระบบการทำงานของเครื่องง่ายไม่ซับซ้อนมากเกินไป ผู้ปฏิบัติงานสามารถใช้งานได้ง่าย สะดวก ปลอดภัย และซ่อมแซมด้วยตนเองได้ การบำรุงรักษาง่าย ชิ้นส่วน อุปกรณ์ต่างๆ ในเครื่องเมื่อเกิดการชำรุดสามารถหาซื้อ และถอดเปลี่ยนได้ง่าย การทำงานของเครื่องใช้ต้นกำลัง จากมอเตอร์ไฟฟ้า หรือใช้เครื่องยนต์ของเกษตรกร โดยต่อผ่านพูลเลย์ สายพานและชุดเฟืองทดรอบ การ ปฏิบัติงานในขณะที่เดินเครื่องใช้ผู้ปฏิบัติงาน 1 คน หรือไม่เกิน 2 คน



ภาพที่ 1 แสดงผลการทำความสะอาดและหั่น



ภาพที่ 2 แสดงหลักการทำงานแบบต่อเนื่อง

4. การกำหนดรายละเอียดในการออกแบบมีส่วนประกอบหลัก และรายละเอียดดังนี้

โครงเครื่อง เนื่องจากโครงเครื่องต้องทำหน้าที่เป็นฐานหลักสำหรับติดตั้งอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ทั้งหมดจะต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงและสามารถรองรับน้ำหนักและแรงกระทำต่างๆ ได้ดีจึงใช้เหล็กฉากประกอบ โครงเชื่อมยึดด้วยการเชื่อมไฟฟ้าและสลักเกลียวในบางส่วน(ภาพที่ 1)

ชุดต้นกำลังมีชุดมอเตอร์สำหรับต่อเครื่องยนต์หรือเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ 2 แรงม้าเพื่อให้สามารถขับชุดทำความสะอาดและชุดโม่หั่นให้มีหลักการทำงานแบบต่อเนื่องได้พร้อมกัน (ภาพที่ 2)

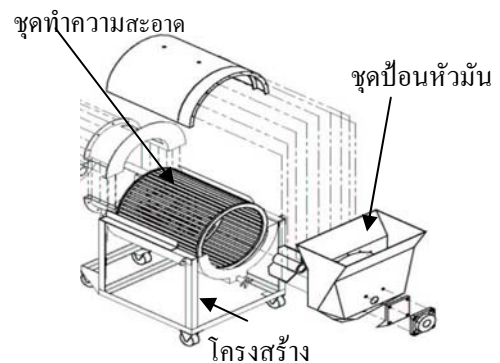
ระบบส่งกำลัง มีชุดทดรอบให้มีความเร็วที่เหมาะสมเพื่อขับอุปกรณ์ชุดทำความสะอาดและชุดหั่นมันเส้นให้สามารถทำงานได้พร้อมกัน

ชุดป้อนหัวมันเข้า อยู่ด้านบนของเครื่อง เป็นช่องทรงกระบอกทรงเหลี่ยม เพื่อให้ป้อนหัวมันขนาดใหญ่เข้าได้และปลอดภัย มีลิ้นเปิด ปิดสำหรับการหยุดป้อนหัวมันเข้าเครื่องเมื่อต้องการและเพื่อความปลอดภัยในการป้อนหัวมันสำหรับ(ภาพที่ 3)

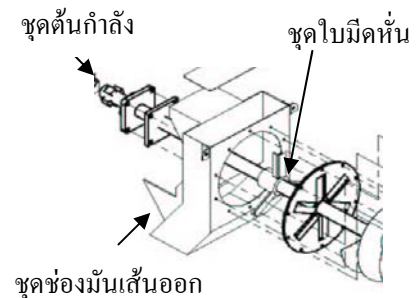
ชุดทำความสะอาด มีลักษณะเป็นตะแกรงทรงกลมหมุน มีน้ำหล่อเลี้ยง โดยใช้หลักการขัดสีของวัตถุติดกับผิวด้านในตะแกรงพร้อมน้ำล้างเพื่อให้สามารถทำการแยกสิ่งที่ไม่ปะปนมากับหัวมันสำหรับหลังจากออกให้มากที่สุดก่อนทำการหั่นซึ่งหมุนทำงานต่อเนื่องได้โดยไม่ต้องหยุดนำหัวมันเข้าหรือออก(ภาพที่ 3)

ชุดโม่หั่น โครงสร้างโม่หั่นและแท่นรองรับ ต้องมีความแข็งแรงมากเนื่องจากต้องรับแรงกดตลอดเวลา ชุดโม่หั่นต้องคม แข็งและไร้สนิม จึงเลือกใช้วัสดุเหล็กแอสแตนเลสแผ่นซึ่งเป็นวัสดุที่มีขายทั่วไปโดยการนำมาตัดแต่งและติดตั้งให้เข้ากับ โครงชุดโม่หั่น (ภาพที่ 4)

ชุดช่องมันเส้นออก อยู่ด้านล่างเพื่อระบายไขมันที่หั่นแล้วออกจากเครื่อง มีลิ้นเปิด ปิดสำหรับการหยุดปล่อยไขมันเส้นออกจากเครื่องเมื่อต้องการและเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 3 แสดงชุดทำความสะอาดหัวมันสำหรับและชุดป้อน



ภาพที่ 4 แสดงชุดโม่หั่นหัวมันสำหรับ

5. การสร้างเครื่อง ได้สร้างส่วนประกอบย่อยต่างๆ ตามแบบ โดยคำนึงถึงเมื่อเกิดการชำรุดจะต้องถอดส่วนประกอบเพื่อซ่อมหรือเปลี่ยนตามอายุได้ง่าย แล้วจึงทำการประกอบเป็นเครื่องขึ้น ทำการทดสอบการใช้งานเบื้องต้น และทำการปรับปรุงแก้ไข (ภาพที่ 5)

6. การทดสอบและประเมินผล มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ ในส่วนชุดทำความสะอาด ได้แก่ ความเร็วรอบตะแกรงทำความสะอาดหัวมัน ในส่วนชุดใบมีดหั่น ได้แก่ ความเร็วรอบเพลาคับใบมีด ค่าชี้ผลการศึกษา ในส่วนชุดทำความสะอาด ได้แก่เปอร์เซ็นต์เปลือกคืด ค้างหลังการทำมาสะอาด ในส่วนชุดใบมีดหั่น ได้แก่ ประสิทธิภาพการหั่นชิ้นมัน เปอร์เซ็นต์ชิ้นเต็ม เปอร์เซ็นต์ชิ้นแตกหัก เปอร์เซ็นต์ชิ้นขนาดเล็ก และความสามารถในการหั่น

7. วิธีการดำเนินการทดสอบ

ในชุดทำความสะอาดเลือกความเร็วรอบตะแกรง 3 ระดับ ทำการทดสอบเบื้องต้น โดยใช้หัวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 11 เดือน แบ่งขนาดหัวมันสำปะหลังเป็น 3 ขนาด คือ เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนโคนมีขนาดประมาณ 4 6 และ 8 เซนติเมตร โดยทั้งหมดมีความยาวเท่ากันคือ 8 เซนติเมตร ทำการทดสอบที่ความเร็วรอบเพลาคับ 3 ระดับ คือ 40 50 และ 60 รอบต่อนาที

ในชุดใบมีดหั่นเลือกความเร็วรอบเพลาคับใบมีด คือ 40 50 และ 60 รอบต่อนาที ทดสอบตามขนาดหัวมันสำปะหลังประมาณ 4 6 และ 8 เซนติเมตร สำหรับ 1 หน่วยทดสอบ ทำการสุ่มตัวอย่างหัวมันสำปะหลัง โดยใช้หัวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ผ่านการเก็บเกี่ยว ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเท่ากัน โดยทำการสุ่ม ตามจำนวนซ้ำที่กำหนด 3 ซ้ำ ปรับตั้งให้เครื่องทำงานจนเข้าสู่สภาพคงที่ก่อนที่จะเริ่มป้อนหัวมัน เริ่มป้อนหัวมันสำปะหลัง จับเวลาเริ่มต้นเมื่อใบมีดเริ่มหั่นหัวมันและหั่นจนหมดบันทึกเวลาที่ใช้หั่นในแต่ละชั่วโมงจนครบเพื่อนำไปหาความสามารถในการทำงาน และประสิทธิภาพการหั่นชิ้นมัน เก็บตัวอย่างชิ้นมันเส้นหลังการหั่นในแต่ละซ้ำ นำไปชั่งน้ำหนักทั้งหมด แล้วทำการแยกชิ้นเต็มด้วยการร่อนผ่าน

ตะแกรงใหญ่ 1.2 x 1.2 เซนติเมตร และทำการแยกชิ้นแตกหัก ออกจากชิ้นขนาดเล็กด้วยวิธีการนำไปร่อนผ่านตะแกรงสี่เหลี่ยมเล็กขนาด 0.6 x 0.6 เซนติเมตร นำแต่ละส่วนที่แยกออก (ภาพที่ 6) ไปชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการหั่นชิ้นมัน เปอร์เซ็นต์ชิ้นเต็ม เปอร์เซ็นต์ชิ้นแตกหักและเปอร์เซ็นต์ชิ้นขนาดเล็ก ทำการทดสอบตามกำหนดจำนวนซ้ำ แล้วเปลี่ยนค่าตัวแปรทุกระดับทุกตัวแปรและดำเนินการจนครบทุกระดับตัวแปร

8. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ ในชุดทำความสะอาดเป็นการทดสอบเบื้องต้น ส่วนในชุดใบมีดหั่นใช้หลักการทางสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ตามรูปแบบวิธีการดำเนินการทดสอบที่โดยทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และ 99 % ส่วนการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยใช้วิธี Least Significant Difference (LSD) เป็นตัวเปรียบเทียบ

3. ผลและการอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาการใช้มันสำปะหลังในกระบวนการผลิตชิ้นมันเส้นสะอาดผสมอาหาร โคนมพบว่าในสูตรอาหาร โคนมเกษตรกรใช้มันเส้นผสมประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ เพราะราคาถูกและทำให้โคนมให้ผลผลิตดี มีสุขภาพดี อาหารย่อยง่าย แต่จะมีปัญหาอันเนื่องจากมันเส้นที่ใช้ผสมนั้นมีคุณภาพไม่เหมาะสม ผู้เลี้ยงโคนมไม่ต้องการ จึงมีความต้องการมันเส้นที่มีคุณภาพดี สะอาด และมีความต้องการเครื่องหั่นมันสำปะหลังขนาดที่เหมาะสมกับเกษตรกรรายย่อย เพื่อผลิตชิ้นมันเส้นที่มีคุณภาพ หรือ เพื่อผลิตมันเส้นสะอาดขาย และผลิตใช้ผสมอาหารเอง สามารถทดแทนแรงงานคนและใช้ผลิตมันเส้นแห้งได้มากขึ้น สมาชิกสหกรณ์โคนมแต่ละแห่งมีจำนวนมากที่ใช้มันเส้นผสมอาหาร ซึ่งผู้เลี้ยงโคนมแต่ละรายจะมีโคนมประมาณ 30 ตัวขึ้นไป จะให้อาหารเสริมทั้งหมดไม่ต่ำกว่าวันละ 150 กิโลกรัม ซึ่งถ้ามีเครื่องหั่นชิ้นมันเส้นสะอาดก็จะส่งผลดีต่อทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

2. ผลการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของหัวมันสำปะหลังที่เกี่ยวข้อง คือหัวมันสำปะหลัง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ส่วนโคน ส่วนกลาง ส่วนปลาย และความยาว มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.28, 7.00, 3.34 และ 26.07 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีน้ำหนักโดยเฉลี่ยเท่ากับ 754.76 กรัม มีมุมเสียดทานเฉลี่ยของหัวมันบนเหล็กแผ่นวางหัวมันตามยาวเท่ากับ 28.90 องศา

3. ผลการออกแบบและสร้างเครื่องหั่นชิ้นมันเส้นแบบใบมีดหมุน ได้เครื่องขนาดเล็กเหมาะสมกับเกษตรกร และเคลื่อนย้ายโดยรถบรรทุกเล็กได้สะดวกมีชุดทำความสะอาดและหั่นหัวมันสำปะหลังทำงานได้อย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 5) มีรายละเอียดดังนี้

ชุดทำความสะอาดหัวมันสำปะหลัง เป็นตะแกรงทรงกลมหมุน โดยใช้หลักการขัดสีของวัตถุกับตะแกรงและมีระบบน้ำหล่อเลี้ยงภายใน เพื่อแยกสิ่งที่ไม่ปนมากับหัวมันสำปะหลังออกซึ่งหมุนทำงานต่อเนื่องได้โดยไม่ต้องหยุดนำหัวมันเข้าหรือออกจากตะแกรงทำความสะอาด

ชุดป้อนหัวมันเข้าชุดใบมีดหั่นเป็นเกลียวส่งเพื่อให้หัวมันขนาดใหญ่เคลื่อนเข้าได้สะดวก

ชุดใบมีดหั่น เป็นแบบการหั่นเฉือนเป็นรูปแผ่นบาง ส่วนใบมีดใช้วัสดุสแตนเลสที่มีขายทั่วไปนำมาตัดแต่งคมติดตั้งให้เข้ากับโครงสร้างของชุดใบมีด

ชุดต้นกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้า สามารถขับเคลื่อนทำความสะอาดและชุดใบมีดหั่นให้สามารถทำงานได้พร้อมกัน มีชุดเฟืองทดรอบให้ได้ความเร็วที่เหมาะสม

4. ผลการทดสอบและประเมินผลเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบใบมีดหมุน

ในส่วนชุดทำความสะอาด มีปัจจัยการทดสอบเบื้องต้น ได้แก่ ความเร็วรอบตะแกรงทำความสะอาด 3 ระดับ คือ 40 50 และ 60 รอบต่อนาที ผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ที่ตะแกรงหมุนด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที สามารถปอกเปลือกผิวนอกหัวมันออกได้โดยมีผลเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปลือกติดค้างหลังการทำความสะอาด 14.44 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนชุดใบมีดหั่นหัวมันสำปะหลัง มีปัจจัยการทดสอบ ได้แก่ ความเร็วรอบเพลาคับใบมีด 3 ระดับ คือ 40 50 และ 60 รอบต่อนาที และขนาดหัวมันสำปะหลัง 3 ระดับคือ 4 6 และ 8 เซนติเมตร จากผลการทดสอบมีปัจจัยที่เหมาะสมคือ ความเร็วรอบเพลาคับใบมีด 50 รอบต่อนาที และขนาดหัวมันสำปะหลัง 8 เซนติเมตร ซึ่งเครื่องสามารถทำงานได้เฉลี่ย 1,457.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพการตัดชิ้นมัน 85.6 เปอร์เซ็นต์ ได้ชิ้นมันเส้นที่มีชิ้นเต็ม 85.2 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 7) มีชิ้นแตกหัก 11.23 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 8) และมีชิ้นขนาดเล็ก 3.57 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1 แสดงผลเปลือกติดค้างหลังการทำความสะอาดหัวมันสำปะหลัง

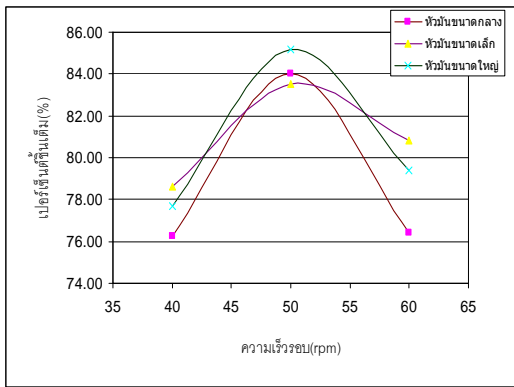
ความเร็วรอบตะแกรง (รอบต่อนาที)	เปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้าง	
	เฉลี่ย	
40	23.03 a	
50	14.44 b	
60	17.53 b	



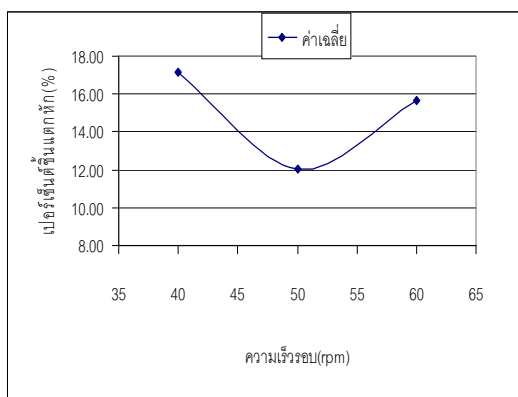
ภาพที่ 5 แสดงเครื่องที่สร้างขึ้นสำหรับการทดสอบ



ภาพที่ 6 แสดงชิ้นเต็ม ชิ้นแตกหัก และชิ้นขนาดเล็ก



ภาพที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ขึ้นเต็มทีระดับความเร็วรอบใบมีดและขนาดห้วมันต่างๆ



ภาพที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ขึ้นแตกหักทีระดับความเร็วรอบใบมีดต่างๆ

4. สรุปผลการวิจัย

1. เกษตรกรต้องการเครื่องหั่นขนาดเล็ก สำหรับใช้หั่นห้วมันสำปะหลังเพื่อผลิตชิ้นมันเส้นสะอาดที่เหมาะสมสำหรับใช้ผสมอาหารโคนม

2. เครื่องหั่นที่ออกแบบสร้างมีหลักการทำงานคือ ป้อนห้วมันสำปะหลังเข้าสู่ส่วนทำความสะอาดเพื่อขัดผิวและล้างให้สะอาดแล้วลำเลียงส่งเข้าสู่ชุดใบมีดหั่นห้วมันให้ได้เป็นชิ้นมันเส้นสะอาด ทำงานต่อเนื่องกันตรงตามที่เกษตรกรต้องการ

3. ผลการทดสอบการทำงาน ที่ความเร็วรอบเพลาคับ 50 รอบต่อนาที มีเปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้างหลังการทำสะอาด 14.44 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการหั่นชิ้นมันเส้น 1,457.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพการตัดชิ้นมัน 85.6 เปอร์เซ็นต์ มีชิ้นมันเส้นเต็ม 85.2 เปอร์เซ็นต์ และมีชิ้นแตกหัก 11.23 เปอร์เซ็นต์

จากการการทดสอบ มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม คือ ควรมีการตัดห้วมันออกก่อนทำการหั่น เพราะมีความแข็งมาก อาจจะทำให้เครื่องติดขัด เสียหายได้ และควรมีอุปกรณ์ลำเลียงห้วมันสำปะหลังจากพื้นลานกองส่งขึ้นสู่เครื่องเพื่อลดแรงงานในการปฏิบัติงาน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, วัชรเลิศมงคล. การแปรรูปและการใช้ประโยชน์มันสำปะหลัง. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2542
- [2] เจริญศักดิ์ โรจน์พิเชษฐ. มันสำปะหลัง. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2519
- [3] วิรัตน์ หวังเขื่อนกลาง. การศึกษาเครื่องสับมันสำปะหลังแบบใบมีดโยกสำหรับผลิตชิ้นมันเส้น. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต :มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2547
- [4] สนั่น จอกลอย. สถิติเพื่อการวิจัยทางการเกษตร. ขอนแก่น: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2535
- [5] สุกัญญา จิตคุพรพงษ์. การแก้ปัญหาห้วมันสำปะหลัง. นครราชสีมา: ในรายงานสมาคมผู้ผลิตมันสำปะหลังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. นครราชสีมา: สมบูรณ์การพิมพ์; 2544
- [6] อุทัย คันโช, สุกัญญา จิตคุพรพงษ์. การผลิตมันเส้นคุณภาพดี เกรตอาหารสัตว์. กรุงเทพฯ: มูลนิธิสถาบันมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย; 2545
- [7] Balasubramanian, V.M., Visanathan, R., and V.V. Screenarayanan. **Design, Development and Evaluation of A Cassava Chipper**; India: Tamil Nuda Agricultural University; agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America 1993; 24(1): 60-64

การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แรงเสียดทานเครื่องจักรกลซีเอ็นซีแนวตั้ง แบบออนไลน์

อดิศักดิ์ แห้งสาริกิจ¹ และ เจริญ มิตราวาทิน¹

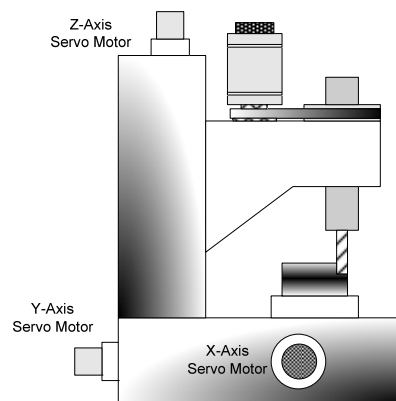
บทคัดย่อ— บทความนี้นำเสนอการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แรงเสียดทานเครื่องจักรกลซีเอ็นซีแนวตั้งแบบออนไลน์ ขั้นตอนแรกคือการกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนแกนของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีและกำหนดสัญญาณอินพุตที่ทำให้ระบบขับเคลื่อนแกนแสดงพฤติกรรมที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นออกมาให้มากที่สุด จากนั้นเก็บข้อมูลสัญญาณอินพุตและเอาพุตด้วยเวลาสุ่มคงที่ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของระบบขับเคลื่อนแกน ด้วยวิธีการประมาณค่ากำลังสองน้อยสุด ในการทดลองทำการทดลองระบบขับเคลื่อนแกน Z โดยผลการทดลองจะนำสัญญาณเอาพุตจริงกับเอาพุตของแบบจำลองมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งผลการทดลองมีความผิดพลาดน้อยกว่า 5 %

คำสำคัญ การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แรงเสียดทาน ซีเอ็นซีแนวตั้ง รีเคอร์ซีฟลิสแคว์

1. บทนำ

เครื่องจักรกลซีเอ็นซีเป็นส่วนหนึ่งของระบบอัตโนมัติได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุนและลดเวลาการผลิต ดังนั้นเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจึงเข้ามามีบทบาทมาช่วยในงานการผลิต ในกระบวนการผลิตจึงเป็นเรื่องยากและเป็นปัญหาในการตรวจสอบชิ้นงาน ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะทำงานตามโปรแกรมชิ้นงาน(Part Program) ที่ถูกป้อนโดยผู้ใช้ แต่เนื่องจากเครื่องจักรกลดังกล่าวเป็นระบบควบคุมแบบลูปปิด ที่ให้ความแม่นยำสูง และเที่ยงตรง แต่ทว่าเครื่องจักรกลซีเอ็นซีส่วนใหญ่ติดตั้งอุปกรณ์ป้อนสัญญาณกลับที่ตัวมอเตอร์แกน จะสังเกตเห็นว่าเป็น

การป้อนกลับแบบอ้อม ซึ่งมอเตอร์แกนจะต้องส่งกำลังผ่านบอลสกรู และรางสไลด์ เมื่อมีการเคลื่อนที่ของระบบขับเคลื่อนแกน จะทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้น ส่งผลให้การกัดชิ้นงานต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น หรือในบางงานที่ต้องการความละเอียดสูง อาจจะทำให้ชิ้นงานไม่เป็นไปตามที่ต้องการได้ ส่วนผลเสียที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีก็คือการสึกหรอ และเสียหายได้



ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างส่วนประกอบเครื่องกัดแนวตั้งซีเอ็นซี

สำหรับบทความนี้ นำเสนอการหาค่าแรงเสียดทาน โดยนำเอาสัญญาณอินพุตของระบบ

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 ม.3 ถ.พุทธมณฑล สาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์: 02-889-4585-7 ต่อ 2001 โทรสาร: 02-8894585-7
E-mail: kkadisak@hotmail.com

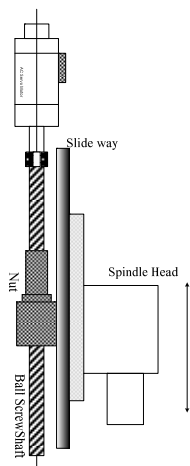
ขับเคลื่อนแกน และค่าตำแหน่ง โดยที่ค่าตำแหน่งจะใช้ เอนโค้ดเดอร์เป็นตัวอ่านค่าตำแหน่ง และส่งไปยัง วงจรรับสัญญาณ จากนั้นแยกสัญญาณ ชุดคือชุดที่ 2 และชุดที่สองส่งไปยังวงจรหนึ่งส่งไปยังระบบควบคุม นับเพื่อนำไปคำนวณหาตำแหน่งความเร็วและความเร่ง ส่วนสัญญาณอินพุทของระบบขับเคลื่อน แกนจะใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณ ดิจิตอล หลังจากนั้นคำนวณหาตำแหน่งเสียดทานแบบ ออนไลน์ของเครื่องกัดซีเอ็นซี ซึ่งแรงเสียดทานที่ได้ จะเป็นประโยชน์ในเรื่องของการตรวจสอบความ ผิดปกติของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี และยังรวมไปถึงการ นำค่าแรงเสียดทานไปใช้ในการชดเชยพารามิเตอร์ของ ระบบขับเคลื่อนแกน หรือนำไปออกแบบระบบ ควบคุมชดเชยแรงเสียดทาน

2. วิธีการวิจัย

การกำหนดรูปแบบของระบบขับเคลื่อนแกนและ กระแสไฟฟ้าของเซอร์โวมอเตอร์

2.1 รูปแบบทางฟิสิกส์

ระบบขับเคลื่อนแกนประกอบด้วยเซอร์โวมอเตอร์ บอลสกรู บอลนัท คัปปลิ่ง และหัวจับยึดสปิน เดิล ดังภาพที่ 2 โดยทั่วไปการทำงานของเครื่องจักรกล ซีเอ็นซีจะจับยึดชิ้นงาน และเคลื่อนที่เข้าหาดอกกัด โดยที่แกน Z จะขยับลงตามโปรแกรมชิ้นงาน (Part Program) ส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานเกิดขึ้น โดยแรง เสียดทานที่เกิดขึ้นจะมีพฤติกรรมที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 2 รูปแบบของระบบขับเคลื่อนแกน Z

สำหรับการประมาณหาค่าพารามิเตอร์ของ ระบบขับเคลื่อนแกนจะกระทำในระบบปิด ซึ่งขั้นตอน แรกจะกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ขับเคลื่อนแกนดังสมการที่ 1 แต่เนื่องเครื่องจักรกลที่ ใช้ในการทดลองมีระบบถ่วงน้ำหนักที่แกน Z ฉะนั้นไม่ ต้องเอาส่วนที่เป็นค่าที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงมาคิด

$$M\ddot{x} + d\dot{x} + Ff = u \quad (1)$$

โดยที่

M เท่ากับมวลของหัวสปินเดิล

d เท่ากับแดมปีงเรโซ

Ff เท่ากับแรงเสียดทาน

u เท่ากับสัญญาณควบคุม

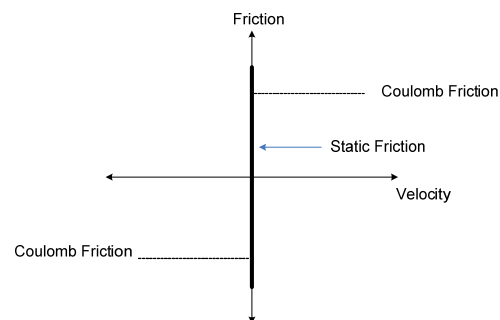
x เท่ากับค่าตำแหน่งของแกน Z

\dot{x} เท่ากับ ความเร็วของแกน Z

\ddot{x} เท่ากับ ความเร่งของแกน Z

2.2 คุณลักษณะของแรงเสียดทาน

ในระบบส่งกำลังของระบบขับเคลื่อนแกนจะมีแรงเสียดทานเกิดขึ้น ณ จุดที่มีการส่งกำลังระหว่างผิว ของวัตถุทั้งสองที่สัมผัสกัน จากการวิเคราะห์จะพบว่า ระบบขับเคลื่อนแกนมีแรงเสียดทานเกิดขึ้นตั้งแต่บอล สกรูกับบอลนัท และ Saddle ซึ่งแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น ประกอบด้วยแรงเสียดทานแบบสแตติก แบบคูลอมบ์ และวิสคอส โดยที่แรงเสียดทานแต่ละแบบจะมี พฤติกรรมที่ไม่เป็นเชิงเส้น แสดงออกมาแตกต่างกันดัง ภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงคุณลักษณะแรงเสียดทานแบบต่างๆ

ซึ่งแรงเสียดทานแบบสแตติกจะเกิดขึ้นขณะชิ้นงานไม่มีการเคลื่อนที่และพยายามจะเคลื่อนที่ แต่ถ้าชิ้นงานเคลื่อนที่แล้ว แรงเสียดทานแบบนี้จะเท่ากับศูนย์ ส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานแบบคูลอมป์และวิสคอส โดยแรงเสียดทานแบบคูลอมป์นั้นเกิดขึ้นจากแรงกระทำระหว่างผิวของวัตถุที่สัมผัสกัน ส่วนแรงเสียดทานแบบวิสคอสเกิดขึ้นขณะที่ชิ้นงานเคลื่อนที่โดยจะแปรผันโดยตรงกับความเร็ว ซึ่งแรงเสียดทานที่กล่าวส่งผลให้ความเร็วของชิ้นงานไม่คงที่และส่งผลให้แรงกัศมีค่าไม่คงที่เช่นกันสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F_f = f_{s-}(1-\mu) + f_{s+}\cdot\mu + f_{c-}(1-n) + f_{c+}\cdot n + f_v\dot{\theta} \quad (2)$$

เงื่อนไขการเกิดแรงเสียดทาน

$$\begin{aligned} \mu = 1; \dot{\theta} = 0_+ & \quad \mu = 0; \dot{\theta} = 0 \\ \eta = 1; \dot{\theta} < 0 & \quad \eta = 0; \dot{\theta} > 0 \end{aligned}$$

โดยที่

- f_{s-} เท่ากับแรงเสียดทานแบบสแตติกทิศทางลบ
- f_{s+} เท่ากับแรงเสียดทานแบบสแตติกทิศทางบวก
- f_{c+} เท่ากับแรงเสียดทานแบบคูลอมป์ทิศทางบวก
- f_{c-} เท่ากับแรงเสียดทานแบบคูลอมป์ทิศทางลบ
- f_v เท่ากับแรงเสียดทานแบบวิสคอส

2.3 ดิสครีตไอเซชัน (Discretization)

ระบบขับเคลื่อนแกนดังในสมการที่ 2 ประกอบด้วยฟังก์ชันที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น แต่ด้วยวิธีการ Discretization ที่เหมาะสมสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ของระบบได้ด้วยวิธีที่ใช้กับระบบเชิงเส้นได้ ด้วยวิธีรีเคอร์ซีฟลิสแควร์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ต่อแรงเสียดทาน ตามคุณลักษณะของแรงเสียดทานแบบคูลอมป์มีค่าคงที่ดังสมการที่ 3 ในช่วงเวลาการสุ่มที่ติดกันจะทำให้ได้ว่า $f_{c+}(k) = f_{c+}(k-1)$ และ $f_{c-}(k) = f_{c-}(k-1)$ สำหรับแรงเสียดทานแบบสแตติกจะเกิดขึ้นในช่วงที่

ความเร็วเท่ากับศูนย์ และเมื่อมีการเคลื่อนที่แรงเสียดทานแบบนี้จะหายไป จึงไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ ซึ่งจะไม่นำมาวิเคราะห์ด้วย ฉะนั้นแปลงลาปลาซในสมการที่ 2 จะได้สมการที่ 3

$$Ms^2X(s) + dsX(s) + f_{c-}(1-n) + f_{c+}\cdot n = U(s) \quad (3)$$

ผลการ Discretization ในสมการที่ 3 จะเท่ากับ

$$\begin{aligned} \theta(k) = (1+\alpha)\theta(k-1) - \alpha\theta(k-2) - \gamma f_{c+}\cdot n \\ - \gamma f_{c-}\cdot(1-n) \end{aligned} \quad (4)$$

โดยกำหนดให้

$$\alpha = e^{-\frac{d}{M}}, \quad \beta = 1 + \alpha \quad \text{และ} \quad \gamma = \frac{d}{M}$$

2.4 รีเคอร์ซีฟริสแควร์ (Recursive Least Square :RLS)

จากสมการที่ 4 สามารถเขียนเป็นเมตริกซ์สำหรับหาค่าพารามิเตอร์โดยใช้ลิสแควร์ แต่เนื่องจากในขบวนการหาค่าแรงเสียดทานเป็นแบบออนไลน์ จึงเลือกใช้รีเคอร์ซีฟริสแควร์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ในขณะกัศชิ้นงาน

$$Y(N) = C(N)X(N) + \varepsilon(N) \quad (5)$$

โดยที่

$$C(N) = \begin{bmatrix} \theta(2) & \theta(1) & \gamma\cdot n & \gamma\cdot(1-n) & \gamma & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \theta(k-2) & \theta(k-3) & \gamma\cdot n & \gamma\cdot(1-n) & \gamma & 1 \\ \theta(k-1) & \theta(k-2) & \gamma\cdot n & \gamma\cdot n & \gamma & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} Y(N) &= [\theta(3) \quad \dots \quad \theta(k-1) \quad \theta(k)]^T \\ X(N) &= [\delta \quad \alpha \quad \beta \quad f_{c+} \quad f_{c-}]^T \end{aligned}$$

จัดรูปใหม่เป็นให้ป็นรีเคอร์ซีฟริสแควร์

$$\begin{bmatrix} Y(N) \\ Y(N+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(N) \\ C(N+1) \end{bmatrix} X(N+1) + \begin{bmatrix} \varepsilon(N) \\ \varepsilon(N+1) \end{bmatrix}$$

และ

$$X(N+1) = X(N) + m(N+1)[y(N) - C(N+1)X(N)] \quad (6)$$

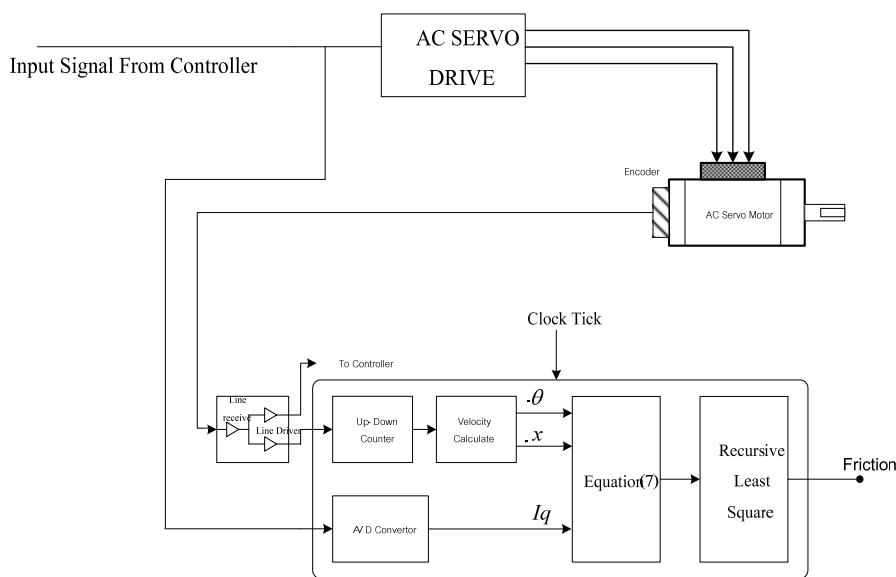
กำหนดให้

$$m(N+1) = \frac{[C^T(N)C(N)]^{-1}C^T(N+1)}{1 + C(N+1)[C^T(N)C(N)]^{-1}C^T(N+1)}$$

3. ผลและการอภิปรายผล

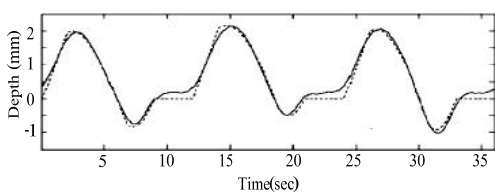
ในการทดลองการหาค่าแรงเสียดทานของระบบขับเคลื่อนแกนนี้กระทำบนเครื่องกัดแนวตั้งซีเอ็นซียี่ห้อ HURCO ระบบขับเคลื่อนแกน Z เป็น Servo Drive ยี่ห้อ Fanuc ขนาด 12 Nm. ในการทดลองจะใช้ดอกกัดแบบละเอียดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. (Ball End mill 10 mm) ส่วนพาร์ทโปรแกรมได้มาจากโปรแกรมมาสเตอร์ (Master Cam ;CAD/CAM) โดยจะกัดชิ้นงานไปด้วยและคำนวณค่าไปด้วยดังนี้

ภาพที่ X ค่าตำแหน่งจะใช้เอนโค้ดเดอร์ 3000 พัลส์ต่อรอบ (Pulse per Round) เป็นตัวอ่านค่าตำแหน่งและส่งไปยังวงจรับสัญญาณ จากนั้นแยกสัญญาณ ชุด 2 คือชุดที่หนึ่งส่งไปยังชุด CNC Controller และชุดที่สองส่งไปยังวงจรับนับเพื่อนำไปคำนวณหาค่าตำแหน่งความเร็ว และแรงเสียดทาน จากนั้นนำเอาตัวแปรทั้งหมดคำนวณหาค่าแรงเสียดทานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีได้



ภาพที่ 5 แสดงบล็อกไดอะแกรมที่ใช้ในการทดลอง

ผลการทดลองจะใช้ผลการเปรียบเทียบค่าตำแหน่งที่จากการประมาณกับค่าตำแหน่งจริงจากการเคลื่อนที่ของระบบขับเคลื่อนที่แกน Z ผลจากการทดลองทำให้ได้ว่าค่าผิดพลาดค่าตำแหน่งระหว่างรวมกับแรงเสียดทานที่ได้จากการประมาณกับค่าตำแหน่งจริงน้อยกว่า 5%



ภาพที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าตำแหน่งที่ได้จากการประมาณกับค่าตำแหน่งจริง (เส้นทึบ : ค่าตำแหน่งจริง)

4. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้นำเสนอการนำค่าเสียดทานของแกน Z ของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี โดยนำค่าสัญญาณอินพุตและค่าตำแหน่งของการเคลื่อนที่แกนของระบบขับเคลื่อนแกน Z เพื่อนำมาคำนวณหาค่าแรงเสียดทานได้ ซึ่งขั้นตอนแรกคือการกำหนดรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนแกนให้มีความใกล้เคียงกับระบบจริงมากที่สุด ทั้งนี้ต้องรวมพฤติกรรมของระบบที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นทั้งหมดของระบบขับเคลื่อนแกน นำมาวิเคราะห์ร่วมกัน โดยในการหาค่าแรงเสียดทานใช้วิธีการหาแบบ Recursive Least Square ซึ่งผลที่ได้เป็นที่

ยอมรับได้ง่ายต่อการนำไปพัฒนาและใช้งานจริงบน
เครื่องกัดแนวตั้งซีเอ็นซี

ขอขอบคุณบริษัท บีเอ็นเค เอ็นจินเนียริง จำกัดที่
ให้ความอนุเคราะห์ให้สถานที่ และเครื่องจักรกล
ซีเอ็นซีในการทำวิจัย

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดค่าตำแหน่งที่
รวมกับแรงเสียดทานและค่าตำแหน่ง

การทดลอง	RMSE	MBE
ผลต่างค่าตำแหน่งที่ได้จาก การประมาณกับค่า ตำแหน่งจริง	3.4%	0.036

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Lennart Ljung, "System Identification : Theory for the User", Prentice Hall, inc.. Englewood Cliffs, New Jersey
- [2] Rolf Johansson, "System Modeling and Identification", Prentice-Hall, International Editions
- [3] Katsuhiko Ogata, 1987 "Discrete-Time Control Systems", Prentice Hall,
- [5] Brian Armstrong-Helouvry, 1991 "Control of Machine with Friction", Kluwer Academic Publishers,
- [6] Lennart Ljung, Torkel Glad, 1994 "Modelling of Dynamic Systems", PTR Prentice-Hall,
- [7] David L. Smith, 1994 "Introduction to Dynamic Systems Modelling for Design", Prentice-Hall,
- [8] C.Nelson Dorny, "Unstanding Dynamic Systems : Approaches to Modelling, Analysis, and Design", Prentice-Hall, 1993
- [9] Weck, M., Verhaag, E., Gather, M.,: "Adaptive Control for Face-Milling with Strategies for Avoiding Chatter-Vibrations and for Automatic Cut Distribution," Annals of the CIRP., vol.24, pp. 405-409, 2004

กิตติกรรมประกาศ

การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล

ฉัตรแก้ว สุริยะภา¹

บทคัดย่อ— ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนทางเลือกที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการเกษตรในปัจจุบัน การวิจัยนี้จึงเน้นการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรด้วยวิธีการและเครื่องมือที่เหมาะสม แก่กลุ่มเกษตรกรผู้ใช้เครื่องยนต์ดีเซลในงานเกษตรและผู้สนใจทั่วไปในพื้นที่ชุมชนเป้าหมาย ผลการวิจัยพบว่า การถ่ายทอดเทคโนโลยีด้วยเทคนิค Tell-Show-Do และ On the job Training และ Coaching ในรูปแบบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ สำหรับกลุ่มชุมชนเป้าหมายทั้งหมด 14 หมู่บ้าน ได้ผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตและการใช้ไบโอดีเซลอยู่ในระดับดี หรือมีค่าระดับคะแนนประเมินเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 และได้รับความรู้เพิ่มขึ้นจากความรู้ก่อนเข้าร่วมกิจกรรมในระดับมากที่สุด หรือมีค่าระดับคะแนนเท่ากับ 4.68 อย่างมีนัยสำคัญ และมีผู้นำความรู้ที่ได้รับไปผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้เองและจำหน่ายคิดเป็นร้อยละ 21.10 จากผู้เข้าร่วมโครงการทั้งหมด ดังนั้นเพื่อให้เกษตรกรได้ใช้ไบโอดีเซลเพื่อลดต้นทุนการผลิตอย่างแท้จริง ควรได้รับการสนับสนุนแหล่งเงินทุน เครื่องมือเครื่องจักรสำหรับการผลิตไบโอดีเซล และผู้เชี่ยวชาญสำหรับให้คำแนะนำ ด้วยการกำหนดแนวนโยบายและการให้ความช่วยเหลือจากหน่วยงานราชการตั้งแต่ระดับท้องถิ่นเป็นต้นไป

คำสำคัญ พลังงานทดแทน ไบโอดีเซล เครื่องยนต์การเกษตร การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ

1. บทนำ

เชื้อเพลิงและพลังงานนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญยิ่งของประเทศไทยมาโดยตลอด ทั้งนี้เนื่องมาจากประเทศไทยมีแหล่งทรัพยากรธรรมชาติด้านพลังงานน้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ ซึ่งนับวันความต้องการก็จะสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามสภาพเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมที่เจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง มีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตอย่างสังเกตเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคเกษตรกรรม ที่ต้นทุนผลิตสูงขึ้นในขณะที่ราคาผลผลิตต่ำและมีแนวโน้มที่จะตกต่ำลงอย่างที่ประสบในปัจจุบัน จึงส่งผลให้กลุ่มเกษตรกร มีการประท้วง และเรียกร้องข้อเสนอต่างๆ จากสภาวะการขาดแคลนน้ำมันดังกล่าวมีส่วนผลักดันให้เกิดการค้นหายาทรัพยากรทดแทนน้ำมันเพิ่มมากขึ้น ทั้งที่เป็น 19

ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงการพัฒนาการจัดหาพลังงานทดแทน ดังนั้นในระยะยาวพลังงานทดแทนจะเข้ามามีบทบาทมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงมีผู้นำผลผลิตทางการเกษตรมาใช้เป็นพลังงานทดแทน และที่กำลังได้รับการกล่าวถึงมากที่สุดขณะนี้คือไบโอดีเซล (Biodiesel) ซึ่งภาครัฐบาลกำลังให้การสนับสนุน เพื่อผลิตเป็นพลังงานทดแทนน้ำมัน และลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ซึ่งงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรให้กับกลุ่มเกษตรกรและประชาชนที่สนใจในพื้นที่เป้าหมาย ด้วยเครื่องมือที่เหมาะสมและเทคนิควิธีการการถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบต่างๆ เพื่อให้กลุ่มเป้าหมายได้เข้าใจเข้าถึงเทคโนโลยีและได้ใช้พลังงานทดแทนในราคาประหยัดอย่างมีส่วนร่วม ทั้งยังเป็นแนวทางในการช่วยลดปัญหาต้นทุนการผลิตในภาคเกษตรกรรมจากวิกฤติด้านพลังงาน

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น 150 ถ. ศรีจันทร์ ต. ในเมือง อ. เมือง จ.ขอนแก่น 40000
โทรศัพท์: +66(4)-333-8867 โทรสาร: +66(4)-333-8868
E-mail: chatkaew_rmuti@hotmail.com

2. วิธีการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเป็นลักษณะการวิจัยเชิงประยุกต์ ใช้ทฤษฎีการผลิตไบโอดีเซลตามวิธีการทั่วไป [1,2,3] ด้วยวิธีการและเครื่องมือที่เหมาะสมที่สามารถหาใช้ได้ โดยง่ายในพื้นที่ กล่าวคือการผลิตไบโอดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมที่ประกอบด้วย น้ำมันที่ผ่านการประกอบอาหารแล้วจำนวนประมาณ 20 ลิตร แอลกอฮอล์ 5 ลิตร โซดาไฟ 100 กรัม โดยทำปฏิกิริยาของส่วนผสมต่างๆ ในภาชนะที่อุณหภูมิ ประมาณ 60-70 °C แล้วจึงกำจัดต่างด้วยการล้างน้ำกระทั่งไบโอดีเซลมีค่าเป็นกลางทางเคมี

2.1 ประชากรกลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเกษตรกรผู้ใช้เครื่องยนต์ดีเซลในงานเกษตร และประชาชนที่สนใจ ในพื้นที่ 14 หมู่บ้าน การถ่ายทอดเทคโนโลยีจำนวน 10 ครั้ง ครั้งละไม่เกิน 50 คน

2.2 เทคนิคของการถ่ายทอดเทคโนโลยี

การถ่ายทอดเทคโนโลยีครั้งนี้จัดอยู่ในรูปแบบของการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ดังแสดงตามรูปที่ 1



ก) การบรรยายแบบ Tell-Show-Do



ข) การการสอนงานแบบ on the job training



ค) การอธิบายและให้คำแนะนำแบบ coaching

ภาพที่ 1 การถ่ายทอดเทคโนโลยีด้วยเทคนิควิธีการต่างๆ

โดยใช้เทคนิคการบรรยายแบบ Tell-Show-Do พร้อมยกตัวอย่างประกอบด้วยของจริงและแผ่นภาพควบคู่กับการให้ผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีฯ ได้ทดลองปฏิบัติการผลิตไบโอดีเซลด้วยตนเอง โดยมีวิทยากรให้การดูแลอย่างใกล้ชิดด้วยเทคนิคการสอนงานรูปแบบ on the job training และมีเทคนิคการให้คำแนะนำขณะปฏิบัติการแบบ coaching

2.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

2.3.1 ด้านการถ่ายทอดเทคโนโลยี

- 1) ลักษณะทางประชากรศาสตร์
- 2) ความรู้ที่ได้รับจากการถ่ายทอดเทคโนโลยี
- 3) ความเหมาะสมของการถ่ายทอดความรู้
- 4) ความสามารถของวิทยากร
- 5) การนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ในอนาคต

2.3.2 ด้านผลหลังจากการจัดกิจกรรม

- 1) ผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้เอง
- 2) ผลิตไบโอดีเซลเพื่อจำหน่ายในชุมชน

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่ออธิบายผลการดำเนินงานจึงใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา (Descriptive Analysis) โดยอธิบายสภาพทั่วไปของผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยี และผลการนำความรู้ไปผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้และจำหน่าย เช่น เพศ อายุ อาชีพ และระดับการศึกษา ความพอใจต่อการใช้ไบโอดีเซล การผลิตเพื่อใช้เองหรือจำหน่าย วัตถุประสงค์รูปแบบการผลิต ราคาวัตถุดิบ และการจำหน่าย โดยนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาประมวลผลวิเคราะห์แจกแจงหาความถี่อัตราร้อยละ ค่าเฉลี่ย เป็นต้น

3. ผลและการอภิปรายผล

การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลให้แก่กลุ่มเป้าหมาย ในพื้นที่ทั้งหมด 14 หมู่บ้าน จำนวน 10 ครั้ง มีผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีจำนวนทั้งสิ้น 507 คน สรุปผลได้ดังนี้

3.1 ผลการสำรวจลักษณะทางประชากรศาสตร์

1) อัตราส่วนเพศชายต่อเพศหญิงในอัตราร้อยละ 93.89 และ 6.11 ตามลำดับ ซึ่งอาจมีเหตุผลมาจากผู้ชายมีลักษณะเป็นผู้นำและเป็นกำลังสำคัญของครอบครัว

2) อายุของผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีมากที่สุดมีอายุระหว่าง 36-45 ปี ในอัตราร้อยละ 36.69 ซึ่งอาจมีเหตุผลมาจากช่วงอายุดังกล่าวเป็นช่วงอายุของ คนวัยทำงานที่กำลังสร้างฐานะครอบครัว

3) อาชีพของผู้ที่เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีมากที่สุดคือ อาชีพเกษตรกร มีอัตราร้อยละ 58.97 ซึ่งตรงกับเป้าหมายของโครงการที่ต้องการถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่กลุ่มเกษตรกรเป็นสำคัญ และผู้มีอาชีพรับราชการและรัฐวิสาหกิจได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการผลิตไบโอดีเซลที่น้อยที่สุดในระดับร้อยละ 0.39

4) การศึกษาของผู้ที่เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีมากที่สุดอยู่ในระดับประถมศึกษา ซึ่งมีอัตราร้อยละ 30.18 ซึ่งสื่อให้เห็นได้ว่าการศึกษาร้อยละส่วนใหญ่ได้ผ่านการศึกษาระดับปริญญาตรีและสูงกว่า ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการผลิตไบโอดีเซลที่น้อย ในระดับร้อยละ 0.79 และ 0.00 ตามลำดับ

3.2 ผลการประเมินกิจกรรมการถ่ายทอดเทคโนโลยี ผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีมีความพึงพอใจรวมต่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตและการใช้ไบโอดีเซล อยู่ในเกณฑ์ดี หรือมีค่าระดับคะแนนประเมินเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 และสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) ด้านความรู้ที่ได้รับ ผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนเข้าร่วมกิจกรรมในระดับคะแนนมากที่สุด หรือมีค่าระดับคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.68 อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากผู้ร่วมโครงการส่วนใหญ่มีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับไบโอดีเซลค่อนข้างน้อย

2) ด้านความเหมาะสมของการถ่ายทอดเทคโนโลยีในรูปแบบการจัดฝึกอบรม การประเมินผลอยู่ในระดับพึงพอใจมาก หรือมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ

4.27 และมีค่าคะแนนความพึงพอใจมากที่สุด ในด้านความเหมาะสมของเอกสารประกอบการถ่ายทอดเทคโนโลยี และความพึงพอใจในภาพรวมของการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยมีค่าคะแนนเท่ากับ 4.55 และ 4.50 แต่มีค่าคะแนนความพึงพอใจน้อยที่สุดด้านระยะเวลา เท่ากับ 3.99 ซึ่งผู้เข้าร่วมกิจกรรมส่วนหนึ่งให้เหตุผลว่าเวลา 1 วัน สำหรับการจัดกิจกรรมน้อยเกินไป เป็นเหตุให้ไม่ได้กล่าวถึงเนื้อหาในบางส่วน

3) ด้านความสามารถของวิทยากรในการบรรยาย มีผลการประเมินอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด หรือมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าเทคนิคการบรรยายและถ่ายทอดเทคโนโลยี Tell-Show-Do ที่มีการบรรยายในเนื้อหาเกี่ยวกับพลังงานทดแทน ที่เน้นชนิดและการผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์[2,3] ควบคู่กับเทคนิคการสอนงานแบบ On the job Training ที่มีการสาธิตการผลิตไบโอดีเซล ควบคู่กับการให้ผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีได้ลงมือปฏิบัติจริง ประกอบ การให้คำแนะนำอธิบายขั้นตอน และรายละเอียดอย่างใกล้ชิดด้วยเทคนิคการแนะนำแบบ Coaching ซึ่งการนำเสนอและสอนงานด้วยเทคนิคดังกล่าว สามารถให้ผลสัมฤทธิ์ที่ดีต่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีเชิงปฏิบัติการ

4) ด้านการนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ในอนาคต มีผลการประเมินอยู่ในระดับพึงพอใจมาก หรือมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.86 โดยผู้ประเมินคาดว่าจะประโยชน์ต่อตนเองในอนาคตมากที่สุด จะผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้เองและจำหน่ายในลำดับถัดมา หรือมีค่าคะแนนเท่ากับ 4.36, 3.93 และ 3.30 ซึ่งสังเกตได้ว่าผู้เข้าร่วมโครงการมีความคาดหวังเกี่ยวกับการนำไปใช้ประโยชน์ไว้ค่อนข้างสูงมาก

เมื่อพิจารณาการตอบแบบสอบถามระดับ 5 ในการผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้เองและจำหน่าย ที่แสดงถึงแนวโน้มในการนำความรู้ที่ได้รับไปปฏิบัติงานจริง ด้านการผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้เองจำนวน 106 ราย หรือร้อยละ 20.91 และมีแนวโน้มที่จะนำความรู้ที่ได้รับไปต่อยอดสู่การผลิตเชิงธุรกิจในอนาคต จำนวน 27 ราย หรือ

คิดเป็นร้อยละ 5.33% จากผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีทั้งหมด

3.3 ผลการติดตามและประเมินผลหลังจากการถ่ายทอดเทคโนโลยี

เพื่อทวนสอบความรู้และสำรวจสถานภาพปัจจุบันของผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ให้คะแนนประเมินระดับ 5 ในนำความรู้ที่ได้รับไปผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้เองและเพื่อจำหน่ายในชุมชน จำนวนทั้งสิ้น 133 ราย หลังจากได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีแล้วประมาณ 3 เดือน พบว่ายังมีผู้ผลิตเพื่อใช้เองลดลงจากเดิม 106 ราย คงเหลือ 101 ราย สำหรับผู้ผลิตไบโอดีเซลเพื่อจำหน่ายในชุมชน ยังคงเหลือเพียง 6 ราย จากทั้งหมด 27 ราย ซึ่งในรายที่ไม่ผลิตแล้วให้เหตุผลว่าแหล่งวัตถุดิบมีจำนวนน้อย และมีการรวบรวมได้ยากในชุมชนท้องถิ่น ประกอบกับต้องใช้เวลาก่อนข้างนานในการผลิตแต่ละครั้งจึงยกเลิกการผลิตไป

ระดับความพึงพอใจภายหลังการใช้ไบโอดีเซลในกลุ่มผู้ผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้เองหรือจำหน่ายในชุมชนมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุดคิดเป็นอัตราส่วนจากทั้งหมด 133 ราย เท่ากับร้อยละ 87.97 และผู้ใช้ไบโอดีเซลส่วนใหญ่ให้เหตุผลคล้ายคลึงกันคือ สามารถผลิตได้ง่ายและใช้งานได้ปกติสมรรถนะการใช้งานไม่แตกต่างจากการใช้น้ำมันดีเซล แหล่งวัตถุดิบที่เป็นน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้วยังคงหาได้ภายในชุมชน แต่มีปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อการใช้งานมาก จึงเริ่มมีการนำเศษไขมันสัตว์มาทอดเพื่อให้ได้น้ำมันออกมาใช้ผลิตไบโอดีเซลสำหรับรูปแบบของการผลิตเพื่อใช้เองยังคงใช้เทคนิคการผลิตตามที่ได้รับ การถ่ายทอดเทคโนโลยีคือการผลิตในขวดพลาสติก และการผลิตในภาชนะขนาดใหญ่ เนื่องจากมีการผลิตในปริมาณที่ไม่มาก สำหรับผู้ผลิตเพื่อจำหน่ายในชุมชนยังคงใช้ภาชนะขนาดใหญ่ในการผลิต และมีการพัฒนาออกแบบเพื่อสร้างชุดเครื่องมือเพื่อให้สามารถผลิตได้ปริมาณที่มากขึ้นอีกด้วย แสดงให้เห็นถึงพัฒนาการและการประยุกต์ใช้เครื่องมือผลิตที่มีขึ้น ส่วนราคาวัตถุดิบและสารเคมีนั้นยังคงมีราคาที่ไม่สูง

มากหาซื้อได้แต่ต้องเดินทางเข้าสู่ตัวจังหวัดและซื้อเก็บสำรองไว้ใช้ และทำสุดในด้านของการจำหน่ายยังคงมีการจำหน่ายเฉพาะในกลุ่มที่รู้จักเนื่องจากยังสามารถผลิตได้ในปริมาณที่น้อย

4. สรุปผลการวิจัย

การผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล สามารถผลิตได้โดยง่ายด้วยอุปกรณ์ที่มีในครัวเรือน ซึ่งเกษตรกรและผู้สนใจทั่วไปสามารถเข้าใจได้ง่ายด้วยกระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เหมาะสมดังกรณีของโครงการวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการบรรยาย และถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบ Tell-Show-Do ที่มีการบรรยายอธิบายแนะนำในส่วนเนื้อหาของเนื้อหาควบคู่กับเทคนิคการสอนงานแบบ On the job Training ที่มีการสาธิตการผลิตไบโอดีเซลควบคู่กับการให้โอกาสแก่ผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีได้ลงมือปฏิบัติ ประกอบกับมีการให้คำแนะนำอธิบายขั้นตอน รายละเอียดเพิ่มเติม และเสริมส่วนที่ขาดตกในการบรรยายช่วงแรกด้วยเทคนิคการแนะนำแบบ Coaching ซึ่งให้ผลสัมฤทธิ์ที่ดี

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] กฤษณะ อินทโสภ และสงกรานต์ เดชชัยภูมิ. 2549. “การสร้างเครื่องผสมไบโอดีเซลระบบควบแน่น.” ปรินญาณิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น
- [2] กรมอุทกหารเรือ. 2550. “วิธีการผลิตไบโอดีเซล (Biodiesel) จากน้ำมันพืช.” [Online]. Available: <http://dock.navy.mi.th/biodiesel.html> (23 กุมภาพันธ์ 2550)
- [3] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. การดำเนินธุรกิจการผลิตไบโอดีเซลของชุมชน:กรณีน้ำมันใช้แล้ว เอกสารวิชาการ เลขที่ 302. กรุงเทพฯ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

- [4] กรมธุรกิจพลังงาน. 2549. ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ.2549. กรุงเทพฯ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ทุนสนับสนุนการดำเนินงานด้วยงบประมาณรายจ่ายประจำปี พ.ศ. 2551 ขอขอบพระคุณกลุ่มเกษตรกรและประชาชนในชุมชนตำบลโคกสี อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีและอำนวยความสะดวกสำหรับสถานที่ในการจัดกิจกรรม

การออกแบบและพัฒนาระบบการอบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศ สำหรับแปรรูปสมุนไพรและอาหารเพื่อสุขภาพ

ไพรัตน์ ศรีโยธา¹ และ ชาญวิทย์ ชัยอมฤต¹

บทคัดย่อ--- งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการศึกษาการออกแบบและพัฒนาระบบการอบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศสำหรับแปรรูปสมุนไพรและอาหารเพื่อสุขภาพ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ทดสอบกระบวนการผลิตในงานวิจัยนี้คือน้ำมะนาว การอบแห้งน้ำมะนาวด้วยวิธีนี้จะไม่ทำให้วิตามินและโครงสร้างของอาหารเกิดความเสียหาย ยังคงสภาพของสี กลิ่น และรสชาติของอาหารไว้ได้เป็นอย่างดี ในการทดสอบการทำงานของระบบจะใช้น้ำมะนาว 5 กิโลกรัม บรรจุในภาชนะใส่ถาดสเตนเลส 8 ใบ แต่ละใบมีความหนาของน้ำมะนาวประมาณ 10 มิลลิเมตร ขั้นตอนของการผลิตผงมะนาวมี 3 ขั้นตอน เริ่มจากการแช่แข็งน้ำมะนาวให้มีอุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส จากนั้น ทำการอบแห้งขั้นตอนที่ 1 โดยการให้ความร้อนแก่ผลึกน้ำมะนาวเยือกแข็งให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆเป็น -10 องศาเซลเซียส โดยประมาณ ภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ประมาณ 1 ทอร์ (torr) ซึ่งจะทำให้ส่วนขององค์ประกอบที่เป็นน้ำแข็งเกิดการระเหิดกลายเป็นไอ และขั้นตอนสุดท้าย ทำการอบแห้งขั้นตอนที่ 2 โดยให้ความร้อนแก่ส่วนประกอบของมะนาวที่เหลือให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 30 และ 40 องศาเซลเซียสตามลำดับ ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งจะให้ความชื้นส่วนที่เหลืออยู่เกิดการระเหยและถูกดูดออกไปโดยปั๊มสุญญากาศ จากการทดลองพบว่า เวลาที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการผลิตผงมะนาวด้วยการอบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศนั้นใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 21 ชั่วโมง โดยใช้เวลาในกระบวนการแช่แข็ง 3.5 ชั่วโมง กระบวนการอบแห้งขั้นที่หนึ่ง 7 ชั่วโมง และกระบวนการอบแห้งขั้นที่สอง 10.5 ชั่วโมง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของผงมะนาวพบว่า สี กลิ่น รสชาติ มีลักษณะที่ดีกว่าน้ำมะนาวสด ผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า ผงมะนาวมีค่า pH 3.84 pH-range มีกรดซิตริก(Citric acid) 47.14 กรัม/100กรัม และมีค่าวิตามินซี(Ascorbic acid) 302.74 มิลลิกรัม/100กรัม โดยผงมะนาวที่ได้มีความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 6.15 (มาตรฐานเปียก)

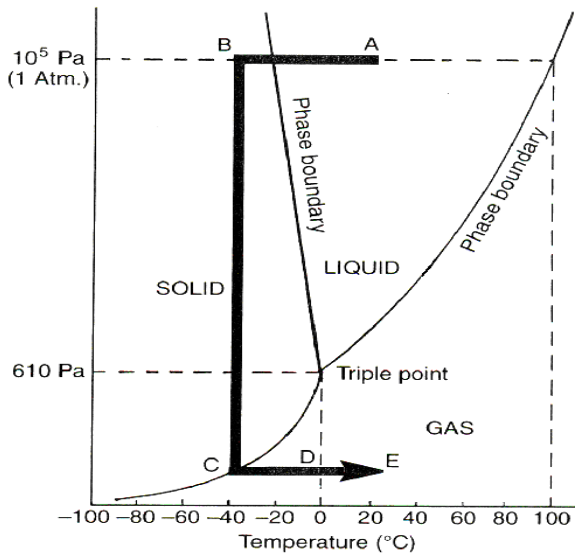
คำสำคัญ การอบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศ ผงมะนาว

1. บทนำ

การอบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศ เป็นการทำให้ความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์มีปริมาณลดลง โดยการแช่ผลิตภัณฑ์นั้นในห้องเย็นจนอยู่ในสภาวะเยือกแข็ง

แล้วทำให้อากาศโดยรอบของ ผลิตภัณฑ์มีสภาวะเป็นสุญญากาศ จากนั้นความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสภาวะเป็นน้ำแข็ง เกิดการระเหิดกลายเป็นไอแล้วเคลื่อนที่ออกไปก้นตัวที่อุปกรณ์ควบแน่นไอน้ำ มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีความชื้นลดลงโดยไม่ต้องให้ความร้อนสูงแก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำ ในกระบวนการอบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศ มีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 1

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตชอนแก่น 150 ถ.ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000
โทรศัพท์: 0-433-6371 ต่อ 2601 โทรสาร: 0-4323-7483
E-mail: saithong777@yahoo.com



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนสถานะของน้ำ ในกระบวนการ

อบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศ [3]

เมื่อนำกระบวนการนี้ไปใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ด้านอาหารจะทำให้วิตามิน และ โครงสร้างของอาหารเกิดความเสียหายน้อยมาก และยังคงสภาพของสีกลิ่นและรสชาติของอาหารไว้ได้ดีอีกด้วย ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางอาหารดีกว่าการอบแห้งด้วยวิธีการใช้ความร้อนทั่วไป เนื่องจากความร้อนจะเป็นตัวทำให้องค์ประกอบของโครงสร้างทางอาหารเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการอบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการอบแห้งและแปรรูปอาหารที่มีราคาแพง ซึ่งต้องการรักษากลิ่นหรือลักษณะเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างเปราะบาง เช่น อาหารเพื่อสุขภาพ เครื่องเทศ และ สมุนไพร เป็นต้น [1]

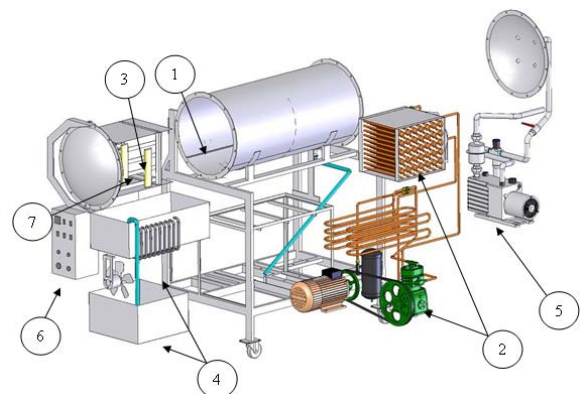
ปัจจุบันประเทศไทยได้ให้ความสำคัญกับพืชสมุนไพรเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการนำมาแปรรูปหรือสกัดเป็นยารักษาโรคและเนื่องจากวัตถุดิบสามารถหาและผลิตได้เองในท้องถิ่น ซึ่งหากมีการส่งเสริมให้กลุ่มเกษตรกรในแต่ละท้องถิ่นของประเทศสามารถแปรรูปผลิตภัณฑ์สมุนไพรและอาหารเพื่อสุขภาพ ตามกระบวนการที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ และมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยมาช่วยในกระบวนการผลิตจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สมุนไพรและอาหารเพื่อสุขภาพที่มีคุณภาพออกจำหน่ายสู่ท้องตลาด ซึ่งกรรมวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารด้วยวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงใน

ปัจจุบันประเทศไทยยังต้องอาศัยเครื่องมือและอุปกรณ์ราคาแพงที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นการศึกษาในงานวิจัยนี้ จึงเป็นการมุ่งเน้นด้านการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศโดยใช้วัสดุภายในประเทศในการสร้างเป็นหลัก ตลอดจนศึกษากรรมวิธีการแปรรูปน้ำมะนาวสด และผลการแปรรูปที่ได้จากเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการแปรรูปผลิตภัณฑ์สมุนไพร และอาหารเพื่อสุขภาพชนิดอื่นต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศ

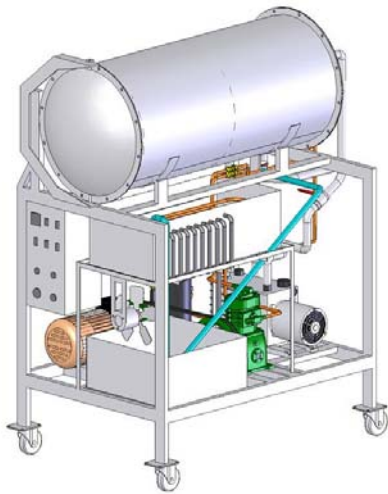
ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศ ได้มีการสร้างห้องอบจากแผ่นสแตนเลสหนา 3 มิลลิเมตร โดยมีผนังให้มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร ยาว 110 เซนติเมตร ภายในห้องอบประกอบไปด้วย ชั้นวางถาดน้ำมะนาว จำนวน 4 ชั้น โดยสามารถบรรจุน้ำมะนาวได้สูงสุดจำนวน 5 กิโลกรัม



- 1. ห้องอบแห้ง
- 2. ชุดทำความเย็น
- 3. ชุดทำความร้อน
- 4. ชุดระบายความร้อน
- 5. ปั๊มสุญญากาศ
- 6. ชุดควบคุมการทำงาน
- 7. ชั้นวางผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศ

มีชุดทำความร้อนแบบอินฟราเรดขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 4000 วัตต์ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ โดยตัวควบคุมอุณหภูมิแบบ พีไอดี ภายในห้องอบมีการควบคุมให้เกิดภาวะสุญญากาศที่ประมาณ 1 ทอร์ โดยปั๊มสุญญากาศขนาด 1 แรงม้า ซึ่งความชื้นที่เคลื่อนตัวออกจากนํ้ามะนาวจะถูกทำให้เกิดการควบแน่นโดยชุดดักจับความชื้น ที่อุณหภูมิประมาณ -40 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นทำความเสียหายแก่ปั๊มสุญญากาศ



ภาพที่ 3 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ภายในตัวเครื่องอบแห้ง

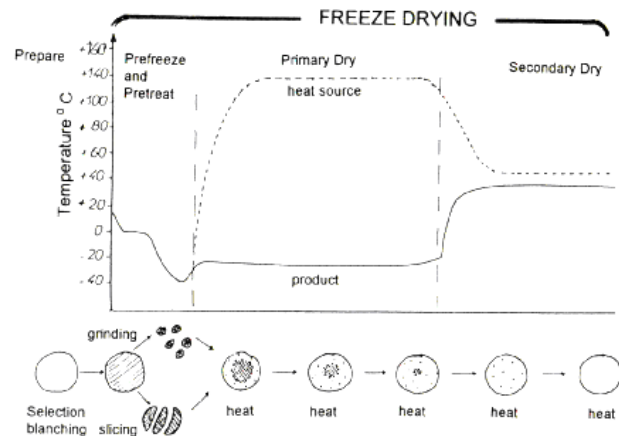


ภาพที่ 4 ลักษณะเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้น

2.2 การทดสอบกรรมวิธีการแปรรูปนํ้ามะนาว นำนํ้ามะนาวที่ได้จากการคั้น มากรองให้สะอาดโดยใช้ผ้าขาวบาง 2 ชั้นให้ได้นํ้ามะนาว 5 ก.ก. นำสารโซเดียม

คาร์บอเนต (Na_2CO_3) หรือที่เรียกในชื่อ ผงฟู ในปริมาณร้อยละ 2 ของนํ้าหนักนํ้ามะนาว มาเติมลงในนํ้ามะนาวแล้วคนให้เข้ากัน ซึ่งจะมีผลในการช่วยให้ไอนํ้าเคลื่อนที่ออกจากนํ้ามะนาวได้ง่ายขึ้น โดยที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค [2] จากนั้นจึงตวงนํ้ามะนาวใส่ลงในถาดสแตนเลสจำนวน 8 ใบ แต่ละใบมีความหนาของนํ้ามะนาวประมาณ 10 มิลลิเมตร แล้วทำการปิดประตูถังอบแห้งให้แน่นสนิท

ในการควบคุมอุณหภูมิกระบวนการอบแห้งทั้งหมด 3 ขั้นตอน มีการควบคุมอุณหภูมิให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นไปตามกราฟในภาพที่ 5 โดยขั้นตอนแรกเริ่มจากการแช่แข็งนํ้ามะนาวให้มีอุณหภูมิ ประมาณ -20 องศา

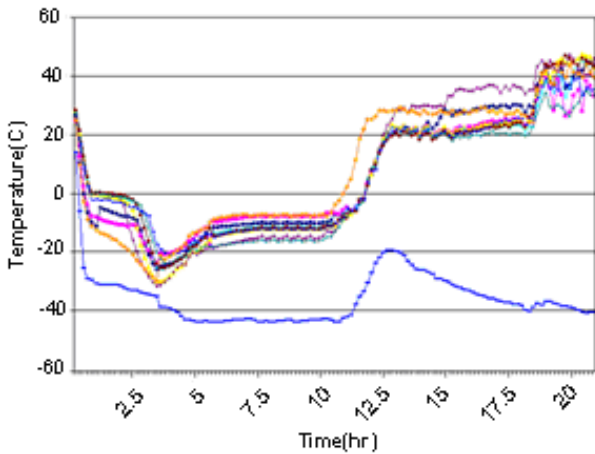


ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ในกระบวนการอบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศ [3] เซลเซียส

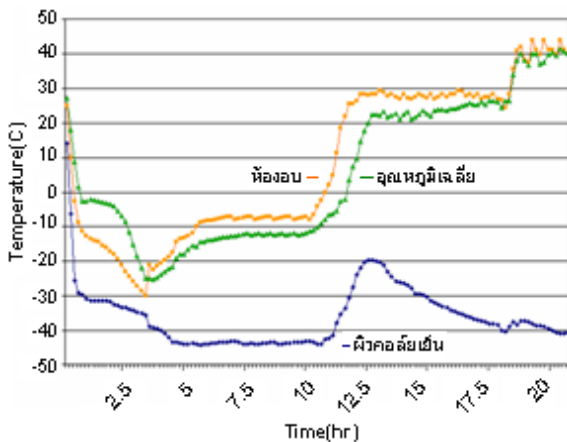
จากนั้น ทำการอบแห้งขั้นตอนที่ 1 โดยการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์นํ้ามะนาวเยือกแข็งให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เป็น -10 องศาเซลเซียสโดยประมาณภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ประมาณ 1 ทอร์ (torr) ซึ่งจะทำให้ส่วนขององค์ประกอบที่เป็นนํ้าแข็ง เกิดการระเหิดกลายเป็นไอนํ้า และขั้นตอนสุดท้าย ทำการอบแห้งขั้นตอนที่ 2 โดยให้ความร้อนแก่ส่วนประกอบของมะนาวที่เหลือให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 30 และ 40 องศาเซลเซียสตามลำดับ ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งจะทำให้ความชื้นส่วนที่เหลืออยู่เกิดการระเหยและถูกดูดออกไปโดยปั๊มสุญญากาศ

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำมะนาวในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ในการทดสอบกรรมวิธีการแปรรูปน้ำมะนาวให้กลายเป็นผงโดยกระบวนการอบแห้งแบบเยือกแข็งสูญญากาศ เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องอบดังแสดงในภาพที่ 6 และภาพที่ 7



ภาพที่ 6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำมะนาวในแต่ละถาดในระหว่างการอบแห้ง



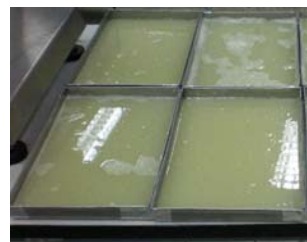
ภาพที่ 7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำมะนาวทั้งหมดในระหว่างการอบแห้งภายในห้องอบ

น้ำมะนาวที่นำมาใช้ในทดสอบการแปรรูปให้กลายเป็นผงมะนาว ใช้เวลาในการแปรรูปทั้งหมดประมาณ 21 ชั่วโมง ซึ่งน้ำมะนาวที่นำมาใช้ในทดสอบมีอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 28 องศาเซลเซียส เมื่อผ่านกระบวนการแช่แข็งให้อยู่ในสภาวะเยือกแข็งในเวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที จะทำให้น้ำมะนาวมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยต่ำสุด

ประมาณ -25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ผิวคอลล์เย็นมีค่าประมาณ -40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดภายในถังอบมีค่าประมาณ -30 องศาเซลเซียส และในกระบวนการอบแห้งขั้นที่ 1 อุณหภูมิภายในถังอบจะถูกควบคุมมีค่าประมาณ -20 ถึง -8 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาทั้งหมด 7 ชั่วโมง มีผลทำให้อุณหภูมิของมะนาวเยือกแข็งในถาดให้มีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ 25 ถึง -10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดที่ผิวคอลล์เย็นมีค่าประมาณ -45 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำหน้าที่ดักจับโมเลกุลของน้ำที่เคลื่อนที่ออกจากผลิตภัณฑ์

ในกระบวนการอบแห้งขั้นที่ 2 อุณหภูมิภายในถังอบจะถูกควบคุมมีค่าประมาณ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาทั้งหมด 8 ชั่วโมง มีผลทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์มะนาวในถาดมีค่าประมาณ 20 ถึง 25 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิภายในถังอบจะค่อยๆ ถูกควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึง 40 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาทั้งหมด 2 ชั่วโมง 30 นาที มีผลทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ผงมะนาวในถาดมีอุณหภูมิสุดท้ายเพิ่มขึ้นอยู่ที่ประมาณ 35 ถึง 40 องศาเซลเซียส

3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของน้ำมะนาวในระหว่างกระบวนการอบแห้ง



ภาพที่ 8 ลักษณะของน้ำมะนาวสดที่อยู่ในถาด



ภาพที่ 9 ลักษณะผงมะนาวที่ได้จากการแปรรูปโดยเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้น

จากภาพที่ 8 และภาพที่ 9 จะเห็นได้ว่าน้ำมะนาวที่นำมาใช้ในทดสอบการแปรรูปโดยเครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศที่สร้างขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งครบทุกขั้นตอนซึ่งใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 21 ชั่วโมง น้ำมะนาวสดที่อยู่ในภาสแตนเลสจะเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์มะนาวที่มีลักษณะเป็นแผ่นฟูติดอยู่ที่ก้นภาส ซึ่งจะต้องทำการชูดออกจากก้นภาสแตนเลสแล้วทำการบดให้กลายเป็นผง จากนั้นจึงนำไปบรรจุในถุงพลาสติกหรือภาชนะที่สามารถป้องกันความชื้นได้ และเมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ผลที่ได้คือผงมะนาวจะมีกลิ่นหอม มีสีเข้มและมีรสเปรี้ยวมากกว่าน้ำมะนาวสด

ตารางที่ 1 ความชื้นและสมบัติทางเคมีของผงมะนาวที่ได้จากการแปรรูปโดยเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้น

สมบัติทางเคมี	ผงมะนาว
pH	3.84(pH-range)
Moisture	6.15(g/100g)
Citric acid	47.14(g/100g)
Vitamin C (Ascorbic acid)	302.74(mg/100g)

หมายเหตุ: สมบัติทางเคมีของผงมะนาวทดสอบโดยบริษัทห้องปฏิบัติการกลางตรวจสอบผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหารจำกัด

เมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีบางประการของน้ำมะนาวสดทั่วไปจะมีค่า pH 2.1 (pH-range) กรดซิตริก (Citric acid) 7 – 8 % วิตามินซี(Ascorbic acid) 30 – 50 (mg/100g) [2] ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผงมะนาวที่ได้จากการแปรรูปโดยเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นจะเห็นว่าผงมะนาว มีค่า pH ลดลงเป็น 1.74 (pH-range) มีกรดซิตริก(Citric acid) เพิ่มขึ้นประมาณ 6 เท่า และมีค่าวิตามินซี (Ascorbic acid) เพิ่มขึ้นประมาณ 6-10 เท่า โดยผงมะนาวที่ได้มีความชื้นอยู่ที่ 6.15 g/100g

4. สรุปผลการวิจัย

เครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็งสุญญากาศที่ได้ออกแบบ สร้างขึ้นสามารถทำอุณหภูมิต่ำสุดที่ผิวคอลย์เย็นในถึงอบได้ประมาณ -45 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดภายในถึงอบทำได้ประมาณ -30 องศาเซลเซียส และสามารถทำสุญญากาศให้เกิดขึ้นภายในถึงอบได้ประมาณ 1 ทอร์ ซึ่งเมื่อนำน้ำมะนาวสดมาทำการทดสอบกระบวนการทำงานของเครื่องอบแห้งแต่ละขั้นตอน สรุปได้ว่าเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นสามารถทำการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากน้ำมะนาวสดให้กลายเป็นผงมะนาวได้ โดยน้ำมะนาวสดที่นำมาทำการทดสอบมีการเติมสาร โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ในปริมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักน้ำมะนาว เพื่อใช้ในการช่วยให้น้ำเคลื่อนของน้ำเคลื่อนที่ออกจากน้ำมะนาวได้ง่ายขึ้น ความหนาของชั้นน้ำมะนาวที่ทำการทดสอบคือ 10 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการแปรรูปทั้งหมดประมาณ 21 ชั่วโมง ซึ่งลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้คือผงมะนาวจะมีกลิ่นหอม มีสีเข้มและมีรสเปรี้ยวมากกว่าน้ำมะนาวสดในด้านสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ผงมะนาวที่ได้จากการแปรรูปนั้น มีปริมาณ มีค่า pH ลดลงเป็น 1.74 (pH-range) มีกรดซิตริก (Citric acid) เข้มข้นขึ้นประมาณ 6 เท่าและมีค่าวิตามินซี(Ascorbic acid) เข้มข้นขึ้นประมาณ 6-10 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวสดทั่วไป โดยผงมะนาวที่ได้มีความชื้นอยู่ที่อยู่ที่ร้อยละ 6.15 (มาตรฐานเปลือก)

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิไลย์ รังสาตทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [2] วรวิภา ทรัพย์เจริญศิวาภา, วรพันธ์ เดชะวรรวัฒน์ และ อติชาติ ไชยสุกรากุล. 2537. การผลิตมะนาวผงด้วยวิธีอบแห้งแบบแช่แข็ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [3] Christopher G.J. Baker. 1997. Industrial drying of food. Kuwait: Chemical Engineering Department, Kuwait University.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการ
วิจัยแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย
ครั้งนี้

การออกแบบและสร้างเครื่องแทงดีบัว

จตุรงค์ ลังกาพินธุ์^{*1} ภูรินทร์ อัครกุลธร² ธัญญา เสืออุดม¹ อนุชา ทองประสม¹
และ อัครินทร์ ว่องสิทธิโรจน์¹

บทคัดย่อ-- เครื่องแทงดีบัวถูกสร้างขึ้นเพื่อลดเวลาและแรงงานในการแทงดีบัว เครื่องต้นแบบประกอบด้วย ชุดเขี่ยรับ เมล็ดดีบัว ชุดเขี่ยแทงดีบัว ระบบถ่ายทอดกำลัง และใช้มอเตอร์เกียร์เป็นต้นกำลัง หลักการทำงานของเครื่องเริ่มจากผู้ทำงานป้อนเมล็ดดีบัวลงในเขี่ยรับเมล็ดดีบัวทางด้านท้ายของเครื่อง หลังจากนั้นเมล็ดดีบัวจะถูกลำเลียงเข้าสู่เขี่ยแทงดีบัว ดีบัวที่ถูกแทงจะร่วงลงสู่ช่องรับดีบัว ส่วนเมล็ดดีบัวจะเคลื่อนที่ไปกับชุดเขี่ยรับเมล็ดดีบัวและร่วงลงสู่ช่องรับเมล็ดดีบัวทางด้านหน้าของเครื่อง จากการทดสอบพบว่าเครื่องแทงดีบัวต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่ความเร็วของโซ่ลำเลียง 0.5 เมตรต่อวินาที มีความสามารถในการทำงาน 1.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ในการแทงดีบัว 70% เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ดดีบัว 13.3% และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 0.04 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และผลคำนวณการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าเมื่อใช้เครื่องแทงดีบัว 1,440 ชั่วโมงต่อปี จะมีระยะเวลาคืนทุน 0.23 ปี และการใช้งานที่จุดคุ้มทุน 82 ชั่วโมงต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคน

คำสำคัญ : บัวหลวง เมล็ดบัวหลวง ดีบัว เครื่องแทง

1. บทนำ

ดีบัว หรือ ใส่ในของลูกบัว คือส่วนที่มีสีเขียว ลักษณะเรียวยาวอยู่ใจกลางเมล็ดบัว มีรสขม เป็นผลพลอยได้ในกระบวนการการกะเทาะเมล็ดบัวออกจำหน่าย ในอดีตจะเป็นส่วนที่เหลือทิ้งเพราะไม่รู้¹ จะเก็บไว้ทำอะไร แต่ในปัจจุบันมีการเผยแพร่ว่าดีบัวเป็นยาสมุนไพรมีสรรพคุณ บำรุงหัวใจ ละลายไขมันในเลือด ลดความดันโลหิต และใช้เป็นยาขยายหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงหัวใจ [1] อีกทั้งยังมีการรับรองจากกระทรวงสาธารณสุข ดีบัวจึงเป็นที่นิยมนำมาบริโภคเพิ่มมากขึ้น โดยนำมาชงกับน้ำร้อนแล้วดื่มเป็นชา หรือปั่นเป็นเม็ดขนาด 0.5 กรัม กินครั้งละ 3-5 เม็ด ก่อนอาหารเช้าและเย็น นอกจากนี้ดีบัวยังสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

สินค้าโอท็อประดับ 5 ดาวของจังหวัดที่มีการทำนาบัว เช่น วิชาทกิจชุมชนกลุ่มสตรีบึงสีไฟ อ.เมือง จ.พิจิตร ผลิตภัณฑ์ “ดีบัวแคปซูล” โดยใช้วิธีการตากและอบแห้ง แล้วนำมาบดให้ละเอียดบรรจุลงในแคปซูล จำหน่ายให้กับนักท่องเที่ยวทั้งในจังหวัดพิจิตรและจังหวัดใกล้เคียง ซึ่งดีบัวแคปซูลและเมล็ดบัวอบแห้งกลายมาเป็นผลิตภัณฑ์สินค้าประจำจังหวัดพิจิตร มียอดจำหน่ายแต่ละปีกว่า 1.2 ล้านบาท [1]

วิธีการแกะเปลือกเมล็ดดีบัวและแทงดีบัวในปัจจุบันจะมีขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 1 โดยเกษตรกรจะใช้มีดกรีดรอบเมล็ดดีบัว ใช้มือแกะเปลือกและเขี่ยออก และใช้ไม้จิ้มฟันแทงดีบัวออกจากเมล็ด แล้วแยกเมล็ดดีบัวและดีบัวนำไปแปรรูปหรือจำหน่ายต่อไป ซึ่งจะเห็นว่าขั้นตอนดังกล่าวยังใช้แรงงานคนเป็นหลัก ทำให้เกษตรกรเสี่ยงต่อการถูกมีดบาด ใช้เวลาและแรงงานในการแกะค่อนข้างมาก จากการตรวจเอกสารพบว่ายังไม่มีเครื่องจักรกลเกษตรที่เหมาะสมมาใช้ในขั้นตอนนี้ในประเทศไทย โดยเครื่องแกะเมล็ดดีบัวนั้นมิใช่ใน

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

² ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปสภาวะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: +66(2)-549-3328 โทรสาร: +66(2)-549-3581

E-mail: *Leaw44@yahoo.com

ต่างประเทศ เช่นในประเทศจีน สำหรับในประเทศไทย ยังอยู่ในขั้นการวิจัยเพื่อให้ได้เครื่องที่เหมาะสมกับบัวที่ปลูกในประเทศ เนื่องจากเมล็ดบัวมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน ส่วนเครื่องแทงดีบัวยังไม่พบว่ามีการใช้ทั้งในและต่างประเทศ ดังนั้นจึงควรทำการวิจัยทั้งเครื่องแกะเมล็ดบัวและเครื่องแทงดีบัวเพื่อผ่อนคลายปัญหาดังกล่าวข้างต้น และช่วยพัฒนาผลิตภัณฑ์วิสาหกิจชุมชนของประเทศไทยให้มีความเข้มแข็งต่อไป ด้วยเหตุผลนี้จึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยเรื่องนี้

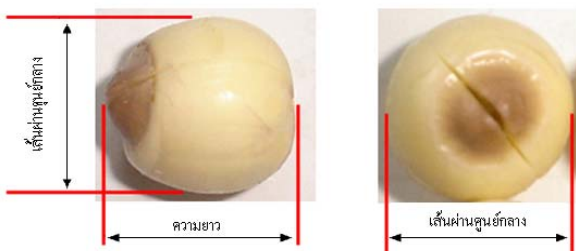


ภาพที่ 1 วิธีการแทงดีบัวของเกษตรกรในปัจจุบัน

2. วิธีการวิจัย

2.1 ศึกษาข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบ

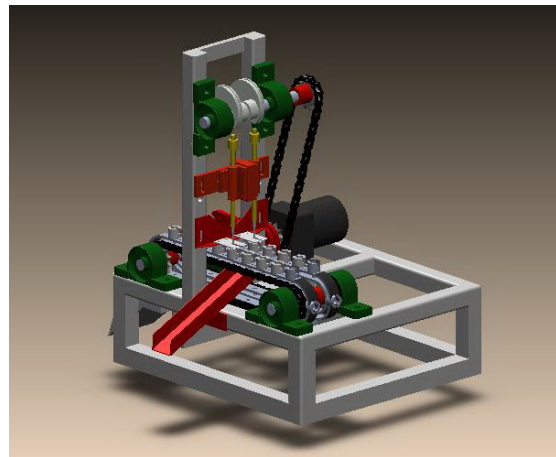
การศึกษาในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวหลวงสำหรับการใช้ในการออกแบบเข็กรองรับเมล็ดบัวดังภาพที่ 2 เมล็ดบัวหลวงที่ใช้ศึกษาเป็นเมล็ดบัวหลวงสด เก็บจากฝัก 30 วัน หลังจากที่ได้ดอกร่วงเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง จากการสุ่มวัดขนาดเมล็ดบัวจำนวน 100 เม็ด ได้เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 13 mm และความยาวเฉลี่ย 20 mm



ภาพที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวหลวง

2.2 ออกแบบและสร้างเครื่องแทงดีบัว

หลังจากการรวบรวมข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบเครื่องต้นแบบได้ถูกออกแบบโดยใช้หลักพื้นฐานทางวิศวกรรมและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องต้นแบบประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน คือ โครงสร้างของเครื่อง ชุดเข้าป้อนเมล็ดบัว หัวแทงดีบัว ระบบถ่ายทอดกำลัง และใช้มอเตอร์เกียร์เป็นต้นกำลัง แสดงดังภาพที่ 3(ก) หลักการทำงานของเครื่องเริ่มจากผู้ทำงานป้อนเมล็ดบัวหลวงลงในเข้าป้อนเมล็ดบัวทางด้านท้ายของตัวเครื่อง หลังจากนั้นเมล็ดบัวหลวงจะถูกลำเลียงเข้าสู่หัวแทงดีบัว ดีบัวที่ถูกแทงจะร่วงลงสู่ช่องรับดีบัว ส่วนเมล็ดบัวจะเคลื่อนที่ไปกับชุดเข้าป้อนเมล็ดบัวและร่วงลงสู่ช่องรับเมล็ดบัว และเครื่องต้นแบบที่สร้างเสร็จแสดงดังภาพที่ 3(ข)



ก) การออกแบบเครื่องต้นแบบด้วยโปรแกรมด้าน CAD



ข) เครื่องแทงดีบัวต้นแบบ

ภาพที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องแทงดีบัวต้นแบบ

2.3 การทดสอบและประเมินผล

หลังจากการทดสอบเบื้องต้นและแก้ไขข้อบกพร่องเครื่องแท่งตีบัวต้นแบบ จะถูกทดสอบและประเมินผล เพื่อหาสมรรถนะในการทำงาน และคุณภาพในการแท่งตีบัว โดยใช้ความสามารถในการทำงานจริงของเครื่องแท่งตีบัว เปรอร์เซ็นต์การแท่งตีบัว เปรอร์เซ็นต์ความสูญเสีย และอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นค่าชี้ผลการศึกษา ซึ่งมีสมการดังนี้

$$1. \text{ ความสามารถในการทำงานจริง (กิโลกรัม/ชั่วโมง)} \\ = \frac{\text{น้ำหนักของเมล็ดบัวที่แท่งตีบัวได้ทั้งหมด}}{\text{เวลาที่ใช้ทั้งหมด}} \quad (1)$$

$$2. \text{ เปรอร์เซ็นต์การแท่งตีบัว (\%)} \\ = \frac{\text{เมล็ดที่แท่งตีบัวออก}}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}} \quad (2)$$

$$3. \text{ เปรอร์เซ็นต์ความเสียหาย} \\ = \frac{\text{เมล็ดที่เสียหาย}}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}} \quad (3)$$

$$4. \text{ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (kW-hr)} \\ = \frac{IVt}{1000} \quad (4)$$

เมื่อ I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

V = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)

โดยใช้เมล็ดบัวหลวงปทุม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 9 - 13 มิลลิเมตร ความยาวเฉลี่ย 17 มิลลิเมตร (สุ่มวัด 100 เมล็ดด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์) ตลอดจนการทดสอบ ทดสอบที่ความเร็วรอบของโซ่ลำเลียง 0.5 , 0.6 และ 0.7 เมตรต่อนาที ตามลำดับ โดยแต่ละความเร็วรอบจะทำซ้ำกัน 3 ซ้ำ และบันทึกเวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า จำนวนเมล็ดที่แท่งตีได้และไม่ได้ และจำนวนเมล็ดบัวที่เสียหาย

2.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย

วิธีการประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวมเกี่ยวกับต้นทุนในการใช้งานเครื่องแท่งตีบัว สมมติว่า เกษตรกรซื้อเครื่องแท่งตีบัวแทนวิธีการใช้แรงงานคน ซึ่งค่าใช้จ่ายโดยรวมจะประกอบด้วยต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) โดยต้นทุนคงที่ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง (คิดค่าเสื่อมราคาโดยวิธีเส้นตรงเมื่อประมาณอายุการใช้งานของเครื่องแท่งตีบัวได้ 5 ปี) และค่าเสียโอกาสของเงินทุน (คิดอัตราดอกเบี้ย 10%) ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการแท่งตีบัว

การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period)

เป็นการคาดคะเนว่า เมื่อลงทุนใช้เครื่องแท่งตีบัวไปแล้ว จะได้รับผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไปแล้วภายในระยะกี่ปี โดยพิจารณาจากการทราบค่า $(i = 10$ เปรอร์เซ็นต์) แต่ไม่ทราบค่า n ทำการเปลี่ยน n ไปเรื่อยๆ จนค่าทั้งสองข้างของสมการเท่ากันก็จะได้ค่า n โดยที่ n คือระยะเวลาคืนทุน (ปี)

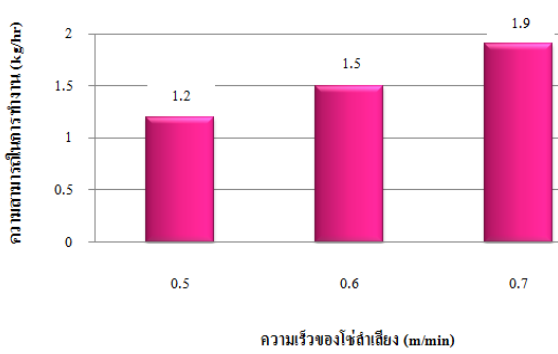
การคำนวณหาจุดคุ้มทุน (Break – even point)

เป็นการคำนวณเปรียบเทียบการแท่งตีบัว โดยใช้แรงงานคนกับเครื่องต้นแบบว่าสามารถใช้ต้นทุนในการทำงานเท่ากับต้นทุนของการแท่งตีบัวได้ปริมาณเท่าไร

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 ความสามารถในการทำงานจริงของเครื่องแท่งตีบัว

จากผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 4 พบว่าความสามารถในการทำงานของเครื่องแท่งตีบัวจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของสายพานลำเลียง ที่ความเร็ว 0.5, 0.6 และ 0.7 เมตรต่อนาที มีความสามารถในการทำงาน 1.2, 1.5 และ 1.9 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

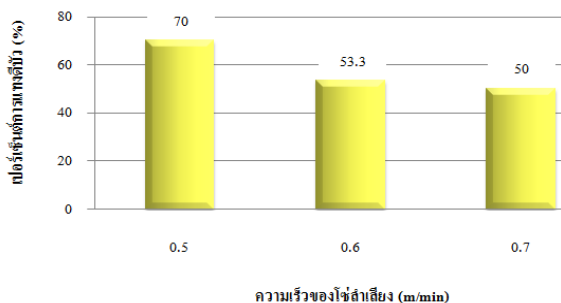


ภาพที่ 4 ความสามารถในการทำงานของเครื่องแท่งตีบัว ในรอบความเร็วของโซ่ลำเลียงต่างๆ

จากกราฟจะเห็นได้ว่าความสามารถในการทำงานของเครื่องแท่งตีบัวจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วของโซ่ลำเลียง แต่การเพิ่มความเร็วของสายพานลำเลียงที่มากเกินไป จะทำให้เมล็ดบัวเกิดความเสียหายได้ เนื่องจากแรงกระแทกจากชุดเข็มแทงทำให้เมล็ดบัวแตกเสียหาย

3.2 เปอร์เซ็นต์การแท่งตีบัว

ผลการทดสอบเครื่องแท่งตีบัวต้นแบบที่ความเร็วรอบของโซ่ลำเลียงต่างๆดังภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็ว 0.5, 0.6 และ 0.7 เมตรต่อนาที จะได้เปอร์เซ็นต์การแท่งตีบัว 70 53.3 และ 50% ตามลำดับ ซึ่งเปอร์เซ็นต์การแท่งตีบัวจะลดลงเมื่อความเร็วของโซ่ลำเลียงเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดแรงกระแทกระหว่างตัวเข็มกับเมล็ดบัว และเบ้าที่แข็ง ทำให้เมล็ดบัวแตกเสียหาย

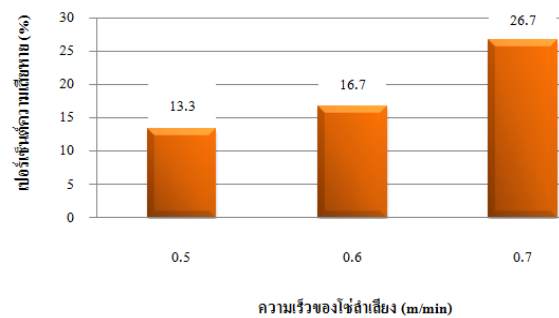


ภาพที่ 5 เปอร์เซ็นต์การแท่งตีบัวของเครื่องแท่งตีบัวใน รอบความเร็วของโซ่ลำเลียงต่างๆ

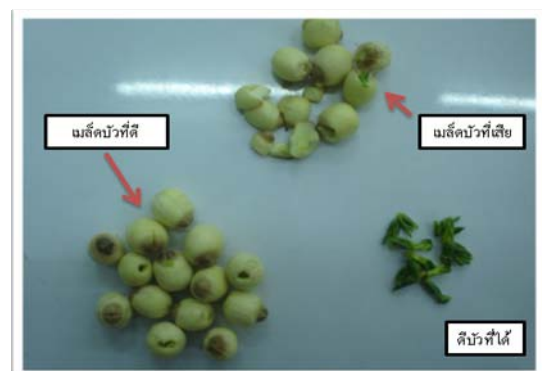
ผลการทดสอบเพื่อหาความเร็วของโซ่ลำเลียงที่ดีที่สุด จากการทดสอบพบว่าความเร็วรอบโซ่ลำเลียง 0.5 เมตรต่อนาที มีเปอร์เซ็นต์การแท่งตีบัว สูงกว่าความเร็วโซ่ลำเลียง 0.6 และ 0.7 เมตรต่อนาที เนื่องจากความเร็วของโซ่ลำเลียงที่มีค่าสูง จากที่กล่าวข้างต้นว่าการทำงานของชุดเข็มแทงกับชุดลำเลียงทำงานสัมพันธ์กัน ถ้าความเร็วของโซ่ลำเลียงมากการแทงก็จะเร็วตามไปด้วย ซึ่งส่งผลให้ตีบัวหักเสียหายภายในเมล็ด บางเมล็ดถึงกับแตกจากแรงของชุดเข็มแทงที่กระทำต่อเมล็ดบัว

3.3 เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย

ผลการทดสอบเครื่องแท่งตีบัวต้นแบบที่ความเร็วรอบของโซ่ลำเลียงต่างๆดังภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็ว 0.5, 0.6 และ 0.7 เมตรต่อนาที จะได้เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ดบัว 13.3, 16.7 และ 26.7 % ตามลำดับ เนื่องจากแรงกระแทกของเข็มที่กระทำต่อเมล็ดบัวทำให้เมล็ดบัวโดนกดอัดกับเบ้ารับเมล็ด เป็นผลทำให้เมล็ดบัวแตกเสียหายดังภาพที่ 7



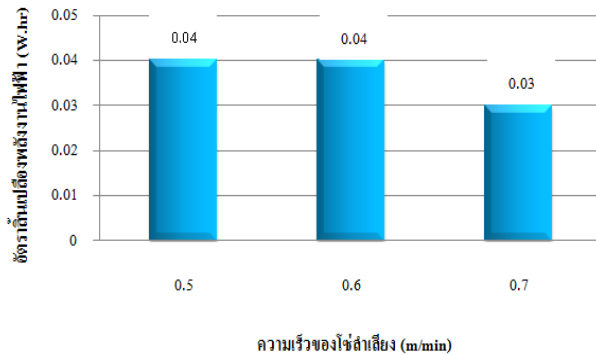
ภาพที่ 6 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายในการแท่งตีบัวใน รอบความเร็วของโซ่ลำเลียงต่างๆ



ภาพที่ 7 แสดงเมล็ดบัวที่เสียหายจากการแท่งตีบัว

3.4 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

จากภาพที่ 8 แสดงให้เห็นว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องแท่งตีบัว ทั้งความเร็วของโซ่ลำเลียงที่ 0.5, 0.6 และ 0.7 เมตรต่อนาที ใช้พลังงานต่ำ โดยที่ความเร็วรอบของโซ่ลำเลียงทั้ง 3 แต่ละความเร็วรอบจะใช้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าระหว่าง 0.03 – 0.04 kW-hr



ภาพที่ 8 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในรอบความเร็วของโซ่ลำเลียงต่างๆ

3.5 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยคิดที่ราคาเครื่องต้นแบบ 20,000 บาท อายุการใช้งาน 5 ปี อัตราดอกเบี้ย 10% ใช้ผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน ความสามารถในการทำงาน 1.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.04 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และทำงาน 1,440 ชั่วโมงต่อปี จะได้ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่อง 19 บาทต่อกิโลกรัม ระยะเวลาคืนทุน 0.23 ปี และจุดคุ้มทุน 82 ชั่วโมงต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องแท่งตีบัวด้วยแรงงานคน

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องแท่งตีบัวโดยใช้ค่าชี้วัดการศึกษา คือ ความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์การแท่งตีบัว เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย และอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า ปรากฏว่าเครื่องสามารถทำงานได้ดีที่สุด ที่ความเร็วรอบของชุดโซ่ลำเลียง 0.5 เมตรต่อนาที โดยเครื่องสามารถแท่งตีบัวได้ 1.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แท่งตีบัวได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหาย 13.3 เปอร์เซ็นต์ และใช้พลังงานไฟฟ้า 0.04 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] อร่าม อรรถเจดีย์. 2542. **พืชสมุนไพร**. ม.ป.ท. ม.ป.พ.
- [2] บัวหลวง [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.matichon.co.th/news>
- [3] กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2544. **พันธุ์พืชกรมวิชาการเกษตร**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- [4] มานพ ต้นตระกูลบัณฑิตย์. 2545. **การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 1**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ประชาชน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2552 ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้

การศึกษาการย่อยสลายได้ของแผ่นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ต่อขยะชุมชนในอัตราส่วนต่างๆ โดยกระบวนการหมักเพื่อทำปุ๋ย

อุดมศักดิ์ บุญมีรติ และ กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์

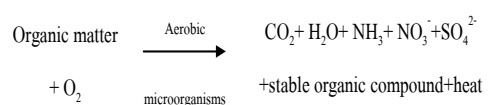
บทคัดย่อ— งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพประเภทโพลีเอสเตอร์ที่มีชื่อทางการค้าว่า Ecovio โดยดำเนินงานวิจัยในโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ขั้นครุภัณฑ์ เทศบาลนครนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี ทำการทดลองในกองปุ๋ยหมักขนาด 4,331.25 ลิตร จำนวน 2 กอง เป็นระยะเวลา 90 วัน แต่ละกองแบ่งตามความสูงออกเป็น 3 ชั้น (สูงกว่าขอบล่าง 10 เซนติเมตร กึ่งกลาง และต่ำกว่าขอบบน 10 เซนติเมตร) ในแต่ละชั้นจัดวางชุดการทดลองด้วยวิธีการสุ่มและใช้อัตราส่วนระหว่างวัสดุหมักต่อแผ่น Ecovio (โดยน้ำหนักแห้ง) เท่ากับ 6:1 6:2 6:3 และ 6:4 จากการทดลองพบว่า ในกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุดในแต่ละระดับชั้น คือ สูงกว่าขอบล่าง 10 เซนติเมตร กึ่งกลาง และต่ำกว่าขอบบน 10 เซนติเมตร โดยในกองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 56.74, 59.44, และ 61.10 องศาเซลเซียสตามลำดับ และในกองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 57.00, 60.16, และ 62.30 องศาเซลเซียสตามลำดับ และปุ๋ยหมักทั้ง 2 กองมีผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดลดลง และพบว่าแผ่นโพลีเอสเตอร์ย่อยสลายในอัตราส่วนต่างๆ เกิดการย่อยสลายที่แตกต่างกัน

คำสำคัญ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ Ecovio ขยะชุมชน กระบวนการหมักเพื่อทำปุ๋ย

1. บทนำ

ปัจจุบันพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้รับความสนใจและเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม Ecovio® L BX 8132 เป็นโพลีเอสเตอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย บริษัท บีเอเอสเอฟ, เยอรมันนี (BASF, Germany) เป็นโพลีเอสเตอร์ที่มีส่วนผสมระหว่าง Ecoflex® F BX 7011 และ PLA โดยมีส่วนผสมของ PLA ที่ผลิตได้จากวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้อยู่มากถึง 32% มีความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพตามข้อกำหนดของมาตรฐาน DIN EN 13432 [1] จากการพัฒนาโพลีเอสเตอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพอย่างต่อเนื่อง

ส่งผลทำให้มีแนวโน้มที่จะเกิดขยะพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมากขึ้น ซึ่งขยะพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องถูกคัดแยก และสามารถถูกรวบรวมมาพร้อมกับขยะชุมชนเพื่อนำมากำจัดด้วยกระบวนการหมักเพื่อทำปุ๋ย (Composting) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมในการกำจัดขยะอินทรีย์และขยะพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเหล่านี้ เนื่องจากเป็นกระบวนการทางชีวภาพ มีค่าใช้จ่ายต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยกระบวนการหมักเพื่อทำปุ๋ยเป็นกระบวนการที่ใช้อากาศ ซึ่งจะย่อยสลายสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปสารประกอบคงตัว ผลผลิตที่ได้อุดมไปด้วยแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช สามารถนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน [2] ดังสมการที่ 1



(1)

¹ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถ.พิบูลสงคราม วงศ์สว่าง บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์: +66(2)-587-8257 โทรสาร: +66(2)-587-8257
E-mail: udomsak_b@hotmail.com

ในการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์พลาสติกภายใต้สภาวะกระบวนการหมักเพื่อทำปุ๋ย มาตรฐาน ASTM D 5338 (2003) ได้กำหนดให้ใช้อัตราส่วนระหว่าง inoculum ต่อวัสดุทดสอบเท่ากับ 6:1 (โดยน้ำหนักแห้ง) แล้วทำการทดสอบให้ผ่านเกณฑ์ตามที่มาตรฐานกำหนด เพื่อบ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายได้จริงทางชีวภาพ [3] งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการนำอัตราส่วนที่ใช้ทดสอบความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งแนะนำไว้ตามมาตรฐาน ASTM D 5338 มาใช้ในกระบวนการหมักเพื่อทำปุ๋ยจริงในโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์นครนนท์ เทศบาลนครนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพด้วยการเพิ่มอัตราส่วนระหว่าง inoculum ต่อวัสดุทดสอบ (โดยน้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เพื่อเป็นองค์ความรู้ในการใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมในการกำจัดขยะพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

2. วิธีการวิจัย

2.1 กระบวนการหมักเพื่อทำปุ๋ย

ในการวิจัยได้ดำเนินการตามวิธีการของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์นครนนท์ ซึ่งใช้มูลฝอยอินทรีย์ (เศษผักและเปลือกผลไม้) ที่รวบรวมมาจากพื้นที่เทศบาลนครนนทบุรี ผสมรวมกับกิ่งไม้และใบไม้แห้งแล้วนำมาเป็นวัสดุหมัก ใช้ระยะเวลาในการหมักนาน 90 วัน โดยทำการทดลองในกองปุ๋ยหมักขนาด 4,331.25 ลิตร จำนวน 2 กอง แต่ละกองแบ่งตามความสูงออกเป็น 3 ชั้น (ต่ำกว่าขอบบน 10 เซนติเมตร กึ่งกลาง และสูงกว่าขอบล่าง 10 เซนติเมตร) ในแต่ละชั้นจัดวางชุดการทดลองด้วยวิธีการสุ่ม และใช้อัตราส่วนของวัสดุหมักต่อแผ่น Ecovio ขนาด 2x2 เซนติเมตร (โดยน้ำหนักแห้ง) เท่ากับ 6:1 6:2 6:3 และ 6:4

2.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ทำการวัดอุณหภูมิของปุ๋ยหมักทุกวัน และวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ตามวิธีการของสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน [4] และวิเคราะห์ปริมาณของแข็งระเหยได้ด้วยการเผาที่

อุณหภูมิ 550 °C [3]

2.3 การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของแผ่น Ecovio ทำการศึกษาความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของแผ่น Ecovio ในอัตราส่วนต่างๆ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM)

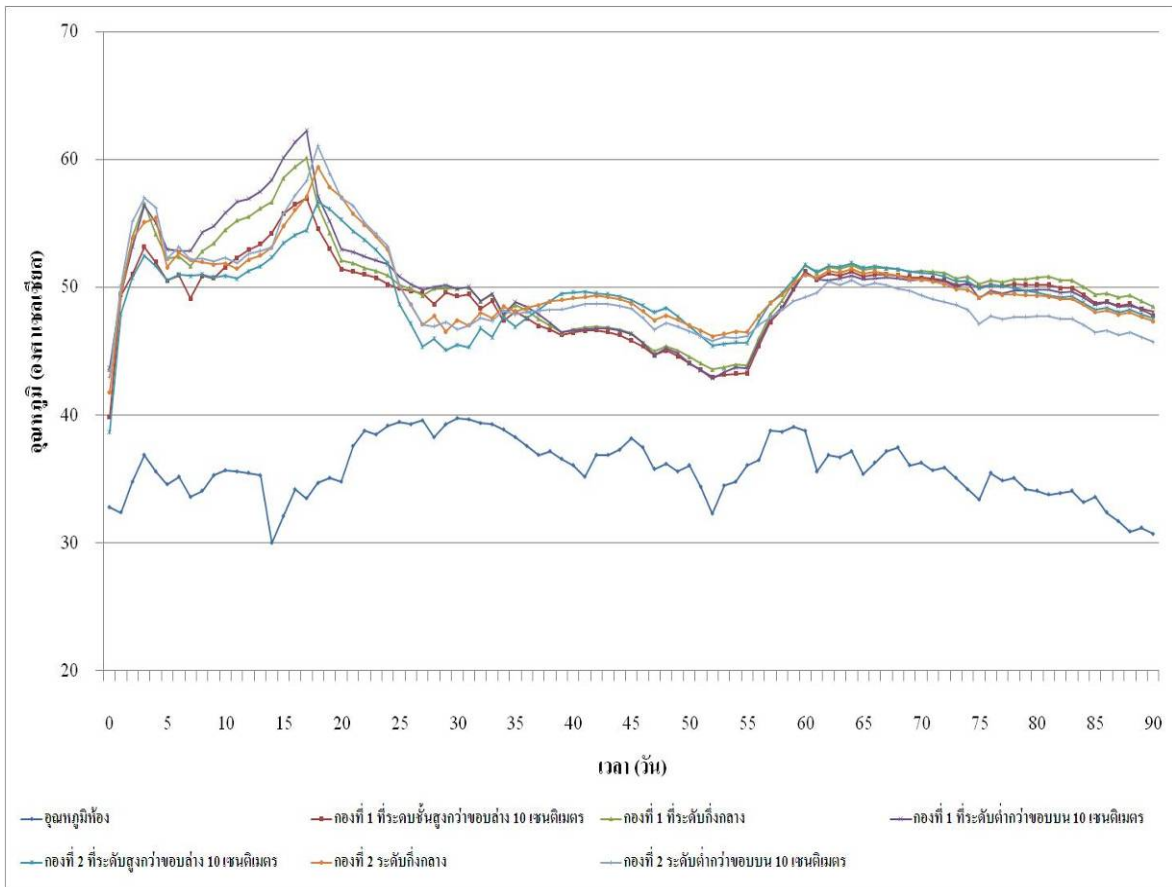
3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

3.1.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของปุ๋ยหมักกองที่ 1 มีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 39.90, 43.60 และ 43.76 °C และเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 17 มีค่าเท่ากับ 57.00, 60.16, และ 62.30 °C และอุณหภูมิของปุ๋ยหมักกองที่ 2 มีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 38.72, 41.82 และ 43.00 °C และเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 18 มีค่าเท่ากับ 56.74, 59.44, และ 61.10 °C ตามลำดับในแต่ละระดับชั้น คือ สูงกว่าขอบล่าง 10 เซนติเมตร กึ่งกลาง และต่ำกว่าขอบบน 10 เซนติเมตร หลังจากนั้นอุณหภูมิจึงเริ่มลดลงและคงที่ไปตลอดการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 1 เนื่องมาจากในช่วงแรกวัสดุหมักมีสารประกอบคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ง่ายเป็นองค์ประกอบอยู่จำนวนมากจึงทำให้มีอัตราการย่อยสลายสูง มีการผลิตความร้อนออกมามาก ส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิที่สูงขึ้นบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของกระบวนการหมักเพื่อทำปุ๋ย นอกจากนี้จะแสดงถึงกิจกรรมและจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นแล้ว ความร้อนที่เกิดขึ้นยังส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของวัสดุหมัก [5] หลังจากนั้นสารประกอบคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ง่ายซึ่งจุลินทรีย์ใช้เป็นแหล่งพลังงานมีปริมาณลดลง ส่งผลทำให้การเกิดและการตายของจุลินทรีย์มีปริมาณเท่ากัน ทำให้มีการผลิตความร้อนลดลงตามไปด้วย จึงทำให้อุณหภูมิลดลงและคงที่ไปตลอดการทดลอง

นอกจากนี้จากผลการทดลองยังพบว่า ในกองปุ๋ยหมักทั้ง 2 กอง อุณหภูมิในระดับชั้นที่ต่ำกว่าขอบบน 10 เซนติเมตรมีค่ามากที่สุด รองลงมา คือ ระดับชั้นกึ่งกลาง และในระดับชั้นสูงกว่าขอบล่าง 10 เซนติเมตร มีค่าต่ำที่สุด เป็นผลเนื่องมาจากการที่กองปุ๋ยหมักมี



ภาพที่ 1 แสดงอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักกองที่ 1 และกองที่ 2 ในแต่ละระดับชั้นตามความสูง

ระบบให้อากาศจากล่างขึ้นสู่บน ทำให้ในชั้นที่มีความสูงมากกว่าเกิดการสะสมความร้อน

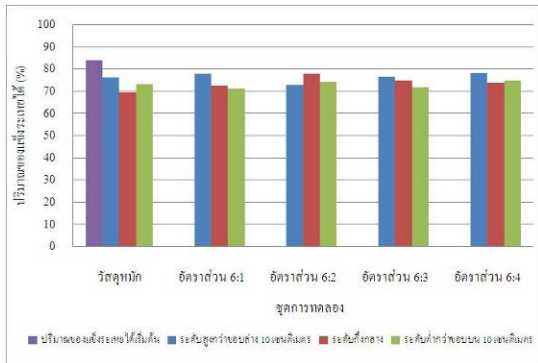
3.1.2 ปริมาณของแฉังระเหยได้

ปริมาณของแฉังระเหยได้เป็นปัจจัยที่แสดงถึงปริมาณสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ที่หลงเหลืออยู่ของกระบวนการหมักเพื่อทำปุ๋ย ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงอัตราการย่อยสลายของสารประกอบอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ ปริมาณของแฉังระเหยได้เริ่มต้นของปุ๋ยหมักทั้ง 2 กองมีค่า 83.93% ลดลงไปอยู่ในช่วง 68.39-78.16% ในปุ๋ยหมักกองที่ 1 และลดลงอยู่ในช่วง 67.89-78.93% ในปุ๋ยหมักกองที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 2

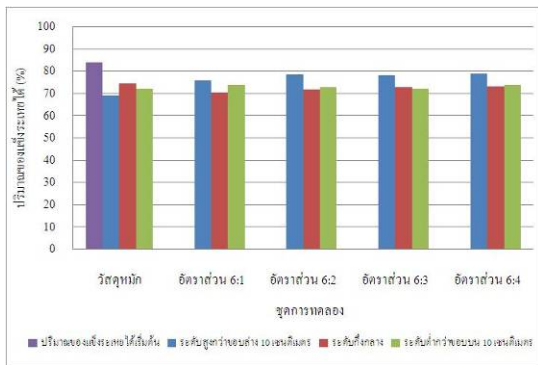
เมื่อเปรียบเทียบชุดการทดลองของแผ่น Ecovio ในแต่ละอัตราส่วน พบว่า ในกองปุ๋ยหมักกองที่ 1 อัตราส่วน 6:1 ที่ระดับต่ำกว่าขอบบน 10 เซนติเมตร ปริมาณของแฉังระเหยได้มีค่าต่ำที่สุด (71.04%) ในขณะที่อัตราส่วน 6:4 ที่ระดับสูงกว่าขอบล่าง 10 เซนติเมตร ปริมาณของแฉังระเหยได้มีค่าสูงที่สุด

(78.09%) และในกองปุ๋ยหมักกองที่ 2 อัตราส่วน 6:1 ที่ระดับกึ่งกลาง ปริมาณของแฉังระเหยได้มีค่าต่ำที่สุด (70.47%) ในขณะที่อัตราส่วน 6:4 ที่ระดับสูงกว่าขอบล่าง 10 เซนติเมตร ปริมาณของแฉังระเหยได้มีค่าสูงที่สุด (78.93%) ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวัสดุหมักที่อยู่ในกองปุ๋ยหมักทั้ง 2 กองในระดับสูงกว่าขอบล่าง 10 เซนติเมตรเกิดการย่อยสลายน้อยกว่าวัสดุหมักในระดับต่ำกว่าขอบบน 10 เซนติเมตร ซึ่งจะส่งผลต่อการย่อยสลายของแผ่น Ecovio ที่อยู่ในระดับนั้นๆ แต่อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างวัสดุหมักต่อแผ่น Ecovio จะพบว่า อัตราส่วน 6:1 ที่ระดับต่ำกว่าขอบบน 10 เซนติเมตรและระดับกึ่งกลางมีปริมาณของแฉังระเหยได้เหลืออยู่น้อยที่สุดเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 2 กอง ในขณะที่อัตราส่วน 6:4 ของทั้ง 2 กองมีปริมาณของแฉังระเหยได้เหลืออยู่มากที่สุดจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนระหว่างวัสดุหมักต่อแผ่น Ecovio มีผลต่อ

การย่อยสลายของแผ่นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมากกว่าระดับชั้นตามความสูงของกองปุ๋ยหมัก



(ก)



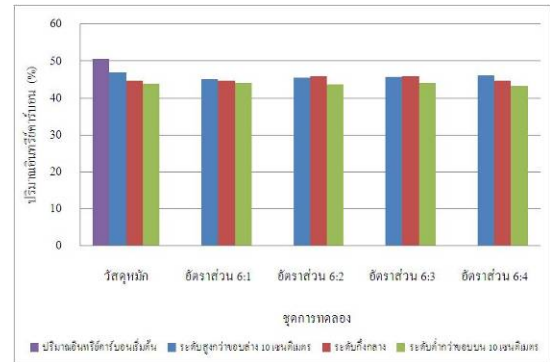
(ข)

ภาพที่ 2 แสดงปริมาณของแข็งระเหยได้ของวัสดุหมักแต่ละชุดการทดลอง ในแต่ละระดับชั้นตามความสูงของกองปุ๋ยหมักกองที่ 1 (ก) และกองที่ 2 (ข)

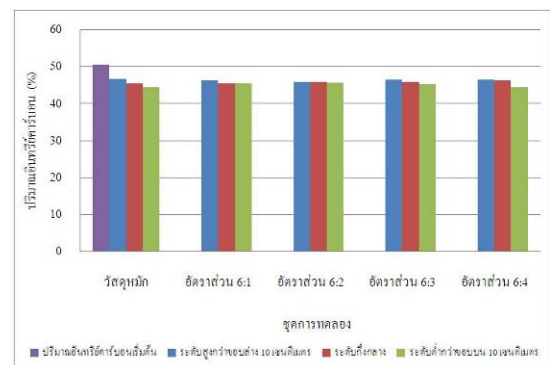
3.1.3 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ลดลงแสดงถึงกิจกรรมที่เพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนให้อยู่ในรูปของน้ำตาลและกรดอินทรีย์ซึ่งง่ายต่อการย่อยสลาย เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการเจริญเติบโต รวมทั้งทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนในกระบวนการผลิตพลังงาน และส่วนหนึ่งจะถูกจะปลดปล่อยออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่ส่วนที่เหลือที่ไม่สามารถย่อยสลายได้จะคงตัวอยู่ในรูปของปุ๋ยหมัก (compost) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดเริ่มต้นของปุ๋ยหมักทั้ง 2 กองมีค่า 50.61% ลดลงอยู่ในช่วง 43.16-46.86% ในปุ๋ยหมักกองที่ 1 และลดลงอยู่ในช่วง 44.44-47.70% ในปุ๋ยหมักกองที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 3

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในแต่ละระดับชั้น พบว่า กองปุ๋ยหมักทั้ง 2 กองมีแนวโน้มของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดเหมือนกัน คือ ที่ระดับ



(ก)



(ข)

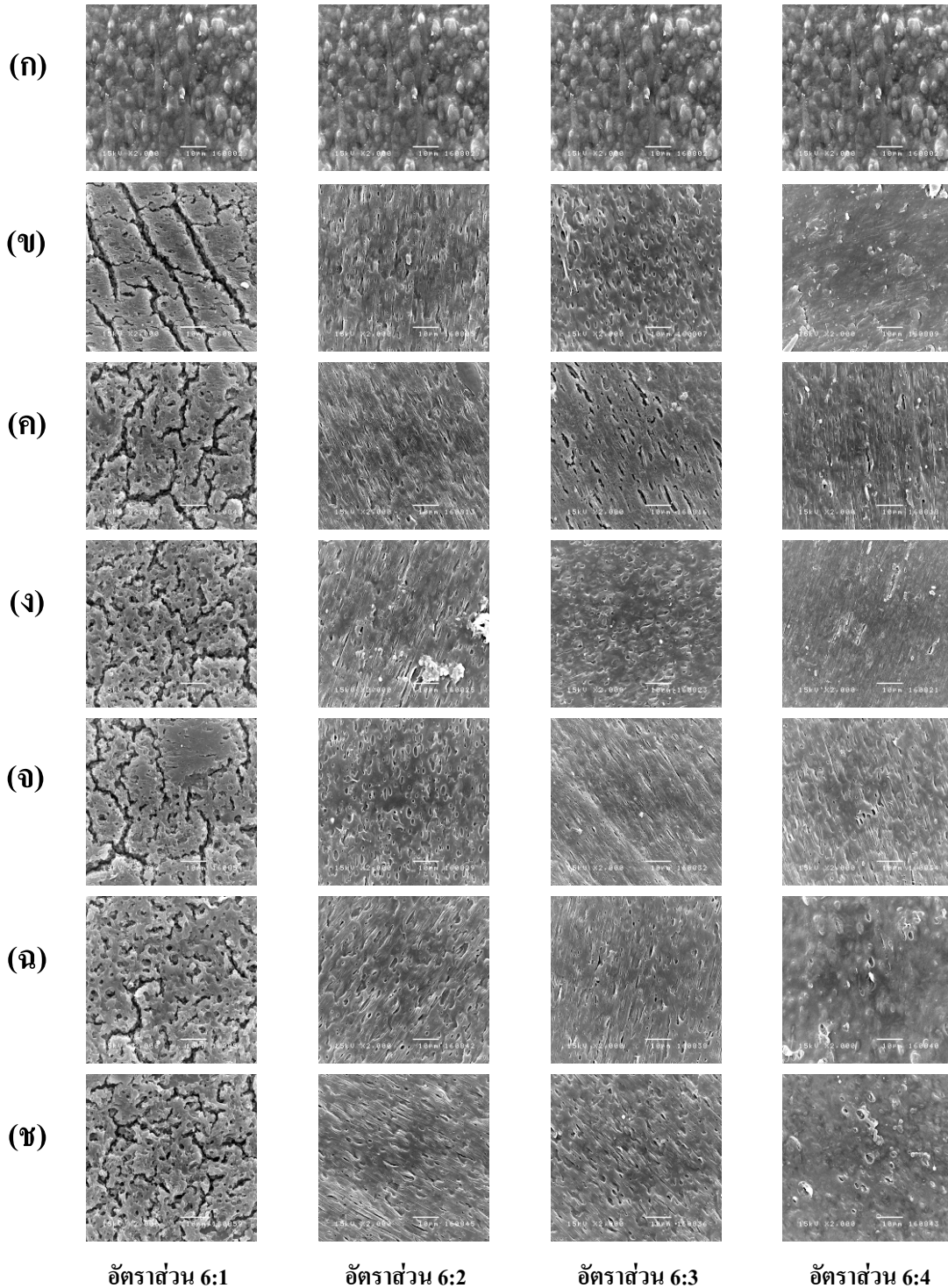
ภาพที่ 3 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดของวัสดุหมักแต่ละชุดการทดลอง ในแต่ละระดับชั้นตามความสูงของกองปุ๋ยหมักกองที่ 1 (ก) และกองที่ 2 (ข)

สูงกว่าขอบบ่อ 10 เซนติเมตร ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ ระดับกึ่งกลาง และที่ระดับต่ำกว่าขอบบ่อ 10 เซนติเมตร ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีค่าต่ำที่สุด แต่เมื่อพิจารณาในรูปอัตราส่วนระหว่างวัสดุหมักต่อแผ่น Ecovio พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่เหลืออยู่ในกองปุ๋ยหมักทั้ง 2 กองไม่มีความแตกต่างกันมากนัก แสดงให้เห็นว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ รวมกับอินทรีย์คาร์บอนที่ระเหยได้ เหลืออยู่ในกองปุ๋ยหมักทั้ง 2 กอง ในแต่ละอัตราส่วนมีปริมาณไม่แตกต่างกัน

3.2 ความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของแผ่น Ecovio โดยเทคนิค SEM

จากการศึกษาความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของแผ่น Ecovio โดยเทคนิค SEM ในภาพที่ 4

พบว่า ในอัตราส่วน 6:1 แผ่น Ecovio เกิดการย่อยสลายสูงที่สุด และเป็นไปในทิศทางเดียวกันในทั้ง 2 กอง และมีแนวโน้มเดียวกันในทุกระดับชั้นของกองปุ๋ยหมัก



ภาพที่ 4 ลักษณะการย่อยสลายของแผ่น Ecovio ในอัตราส่วนต่างๆ โดยเทคนิค SEM (ก) คือ แผ่น Ecovio เริ่มต้น (ข) คือ ปุ๋ยหมักกองที่ 1 ที่ระดับสูงกว่าขอบล่าง 10 เซนติเมตร (ค) คือ ปุ๋ยหมักกองที่ 1 ที่ระดับกึ่งกลาง (ง) คือ ปุ๋ยหมักกองที่ 1 ที่ระดับต่ำกว่าขอบบน 10 เซนติเมตร (จ) คือ ปุ๋ยหมักกองที่ 2 ที่ระดับสูงกว่าขอบล่าง 10 เซนติเมตร (ฉ) คือ ปุ๋ยหมักกองที่ 2 ที่ระดับกึ่งกลาง และ(ข) คือ ปุ๋ยหมักกองที่ 2 ที่ระดับต่ำกว่าขอบบน 10 เซนติเมตร

โดยเกิดการย่อยสลายลึกลงไปจากผิว ทำให้ผิวมีลักษณะขรุขระ รวมทั้งเกิดลักษณะเป็นร่องลึกแยกจากกัน ซึ่งแตกต่างจากแผ่น Ecovio เริ่มต้นที่มีลักษณะเป็นเม็ดกลมมนเรียงติดกันบริเวณผิวอย่างชัดเจน ในขณะที่อัตราส่วน 6:2 และอัตราส่วน 6:3 มีลักษณะการย่อยสลายเป็นไปในทิศทางเดียวกัน พบลักษณะการย่อยสลายเป็นแนวเส้น แต่ยังไม่พบลักษณะของร่องลึกลงไปจากผิวมากนัก อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบลักษณะกับผิวของแผ่น Ecovio เริ่มต้น พบว่า ทั้ง 2 อัตราส่วนเกิดการย่อยสลายคล้ายกัน คือ ไม่พบเม็ดกลมมนเรียงติดกัน แต่ในอัตราส่วน 6:4 เกิดการย่อยสลายเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ โดยยังคงพบลักษณะของเม็ดกลมมนบริเวณผิวอยู่บ้าง แต่มีปริมาณน้อยกว่าแผ่น Ecovio เริ่มต้น

จากการศึกษาลักษณะการย่อยสลายของแผ่น Ecovio พบว่า อัตราส่วน 6:1 มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของผิวมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ปริมาณของแข็งระเหยได้และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด โดยอัตราส่วน 6:1 มีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเหล่านี้มากที่สุด

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษา พบว่า ในอัตราส่วนระหว่างวัสดุหมักต่อแผ่น Ecovio เท่ากับ 6:1 ในปุ๋ยหมักทุกกองเมื่อพิจารณาด้วยเทคนิค SEM แผ่น Ecovio เกิดการย่อยสลายอย่างชัดเจนไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละระดับความสูง ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งระเหยได้ และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดอันเป็นผลมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ จากการวิจัยสรุปได้ว่าอัตราส่วนระหว่าง inoculum ต่อวัสดุทดสอบเท่ากับ 6:1 (โดยน้ำหนักแห้ง) ซึ่งแนะนำไว้ตามมาตรฐาน ASTM D 5338 (2003) สามารถนำไปใช้

ในการกำจัดขยะพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพประเภท Ecovio ได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยกระบวนการหมักเพื่อทำปุ๋ยตามตามวิธีการของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์นครนนท์ เทศบาลนครนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] BASF. 2008. Ecovio® L BX 8132-Biodegradable polyester for compostable film with 32% of renewable resources. *Preliminary Product Information, Version 1.1.*
- [2] Huang, G.F., Wu, Q.T., Wong, J.W.C., and Nagar, B.B. 2006. Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust. *Bioresource Technology*, 97(2006): 1834-1842.
- [3] ASTM DESIGNATION : D5338-98(Reapproved 2003). Standard test method for determining aerobic biodegradation of plastic materials under controlled composting conditions.
- [4] สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ยพืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 2.
- [5] Hu, Z., Lane, R., and Wen, Z. 2009. Composting calm processing wastes in a laboratory and pilot-scale. *Waste Management*, 29(2009): 180-185.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือผู้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

การศึกษาสมบัติความเป็นผลึกและการสะท้อนแสงของสีทาบ้าน ชนิดสีทาภายนอกที่มีขายในท้องตลาด

ตรีวุฒิ ลิ้มทโรภาส¹ ทวีชัย พลดงนอก¹ และ สายัณห์ ผุฒวัฒน์¹

บทคัดย่อ— ในปัจจุบันสีทาบ้านมีส่วนสำคัญในการสร้างความสวยงามให้อาคารบ้านเรือนและสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ซึ่งความต้องการของตลาดมากขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะสีทาภายนอกที่มีการแข่งขันกันสร้างสมบัติพิเศษ อันได้แก่ การป้องกันคราบสกปรก และทำลายเชื้อที่ก่อให้เกิดโรค เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการวิจัยพัฒนาสีที่สะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ โดยเฉพาะช่วงความยาวคลื่นความร้อนเพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการปรับอากาศ นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มที่จะพัฒนาสมบัติใหม่ๆ อย่างต่อเนื่อง บทความวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติความเป็นผลึกและการสะท้อนแสงของสีทาบ้านที่ขายตามท้องตลาด โดยพิจารณาสีทาภายนอก 3 ยี่ห้อ ซึ่งจะระบุสีแต่ละยี่ห้อเป็นดังนี้ Type A, Type B และ Type C ซึ่ง Type A กับ Type B เป็นสีที่ผ่านมาตรฐาน มอก. และได้รับความนิยม ในขณะที่ Type C เป็นสีที่ไม่ผ่าน มอก. แต่มีใช้ในตลาด โดยในการทดลองจะนำสีขาว สีเขียว สีแดง สีน้ำเงิน และสีดำ มาเคลือบด้วยวิธีการเคลือบแบบจุ่มบนกระจกสไลด์ หลังจากนั้นนำมาศึกษาความเป็นผลึกด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD) และระบุสีและการสะท้อนแสงในลักษณะเส้นสเปกตรัมด้วยเครื่องวัดสี นอกจากนี้ได้นำสีมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกลมเพื่อนำไปหาธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) จากการศึกษาพบว่าสีขาว ของทุกยี่ห้อ จะประกอบด้วยสารประกอบไททานเนียมไดออกไซด์เฟสรูไทล์ โดยมีระนาบ (110) เป็นระนาบหลัก และยังมีสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก โดยที่สีอื่นๆ ของ Type A และ Type B มีสารประกอบ แคลเซียมคาร์บอเนต และแบเรียมซัลเฟตเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ Type C จะประกอบด้วยสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นหลัก ในการตรวจสอบธาตุองค์ประกอบ สียี่ห้อ Type C มีธาตุตะกั่วเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง โดยสีเขียวมีตะกั่วเป็นธาตุองค์ประกอบถึง 20% ของธาตุโลหะหนักที่ตรวจพบ ในขณะที่ Type B มีปริมาณตะกั่วค่อนข้างน้อย โดยมีค่าน้อยกว่า 1% ในขณะที่ Type A ตรวจไม่พบสารตะกั่ว เมื่อพิจารณาการสะท้อนแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและช่วงตามองเห็นพบว่าสีขาวของทุกยี่ห้อ มีค่าการสะท้อนแสงสูงกว่า 85% ของทุกความยาวคลื่นในช่วงแสงตามองเห็นที่วัด (360-750 nm) ในขณะที่สีดำของทุกยี่ห้อ มีค่าการสะท้อนในทุกช่วงความยาวคลื่นของช่วงแสงตามองเห็นน้อยกว่า 20% สำหรับสีเขียว สีแดงและสีน้ำเงิน ก็จะทำให้ค่าการสะท้อนแสงสูงในช่วงที่ตามองเห็นเป็นสีนั้นๆ กล่าวคือ สีเขียว สีแดงและสีน้ำเงิน ให้ค่าการสะท้อนแสงสูงในช่วงความยาวคลื่น 450-580, 600-780 และ 380-500 nm ตามลำดับ โดยค่าการสะท้อนสูงสุดของสีแดงมีค่าประมาณ 60-75% ในขณะที่สีเขียวและสีน้ำเงินให้ค่าการสะท้อนแสงสูงสุดน้อยกว่า 35% ในการศึกษาข้างต้นทำให้ทราบว่าสีทาบ้านชนิดสีทาภายนอกในท้องตลาด มีสารประกอบที่เป็นผลึกประกอบด้วยสารใดบ้างและมีธาตุองค์ประกอบที่สำคัญอะไรบ้าง ที่อาจส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค ซึ่งสารประกอบที่ได้จากแม่สี ส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ โดยภายในประเทศยังต้องการการวิจัยและผลิตสีเอง อีกทั้งยังต้องการการพัฒนาสมบัติต่างๆ ของสีให้ เป็นไปตามความต้องการของตลาดพร้อมกับการเลือกใช้วัสดุที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

คำสำคัญ สีทาบ้าน สีทาภายนอก ผลึก การสะท้อนแสง

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต 99 หมู่ 18 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121

โทรศัพท์: +66(2)-564-4529 ต่อ 2500 โทรสาร: +66(2)-564-4484

E-mail: psayan@tu.ac.th

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีสีทาบ้านมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งมีการแข่งขันกันสูงทางด้านการตลาด ซึ่งจำเป็นต้องนำเสนอสมบัติใหม่ๆ และดีกว่าของกลุ่มแข่ง ดังนั้นจึงต้องมีการวิจัยพัฒนาสมบัติของสี และต้นทุนการผลิตแข่งขันกัน อันนำมาซึ่งประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท และตรงตามความต้องการของลูกค้า อย่างไรก็ตามสีทาบ้านมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งานเช่น สีทาภายนอก สีทภายใน สีทาเนื้อไม้ เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดได้รับการวิจัยพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะสีทาภายนอกซึ่งต้องสัมผัสกับอากาศ ความชื้น ความร้อน และวัสดุเปราะเปื้อนมากที่สุด จำเป็นต้องพัฒนาสมบัติให้สอดคล้องต่อการใช้งานในแต่ละพื้นที่ หรือต้องรองรับความหลากหลายของภูมิอากาศได้ การทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ สมบัติพิเศษต่างๆที่ต้องมีเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มจุดเด่น รวมทั้งการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าทางด้านอื่นๆ เช่น ความหลากหลายของเฉดสี ความสะดวกต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งล้วนแล้วเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับส่วนผสมของสีที่ต้องนำไปใช้ ดังนั้นในเบื้องต้นการศึกษาลงไปในส่วนผสมของเนื้อสีและสมบัติทางแสงจำเป็นสำหรับผู้เริ่มต้นที่จะศึกษาเนื่องจากข้อมูลส่วนผสมเหล่านี้เป็นข้อมูลที่ไม่ได้รับการเปิดเผยทางการค้า โดยส่วนใหญ่จะบอกเฉพาะสารที่ทำให้เกิดสมบัติพิเศษเท่านั้น เช่นเติมสารเทพลอนเพื่อป้องกันการจับเกาะของหยดน้ำ เป็นต้น ทำให้ผู้บริโภคไม่อาจรู้ได้ว่าสีที่ใช้อยู่นอกจากมีสมบัติของสีตามที่ผู้ผลิตได้โฆษณาแล้วยังมีส่วนประกอบที่อาจเป็นอันตรายกับผู้บริโภคได้หรือไม่

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้ทำวิจัยจึงได้พิจารณาที่จะศึกษาส่วนผสม (องค์ประกอบ) ความเป็นผลึกและสมบัติทางแสงของสีที่มีขายตามท้องตลาด โดยระบุสีแต่ละยี่ห้อเป็นดังนี้ Type A, Type B และ Type C ซึ่ง Type A กับ Type B เป็นสีที่ผ่านมาตรฐาน มอก. และได้รับความนิยมในท้องตลาด ในขณะที่ Type C เป็นสี

ที่ไม่ผ่าน มอก. แต่มีใช้ในท้องตลาด ซึ่งเป็นยี่ห้อที่นำมาศึกษาวิเคราะห์ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน ข้อดีข้อเสียของสีแต่ละยี่ห้อ และเป็นแนวทางในการวิจัยพัฒนาสีทาภายนอกต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

พิจารณาแบ่งเป็น 2 ส่วนซึ่งแบ่งตามการตรวจสอบคุณลักษณะ ได้แก่

การเตรียมสีเป็นฟิล์มเคลือบบนกระจกสไลด์
ซึ่งใช้สำหรับการตรวจสอบคุณลักษณะความเป็นผลึกและขนาดผลึกด้วยเครื่อง XRD และตรวจสอบสมบัติทางแสงด้วยเครื่องวัดสี โดยเคลือบสีลงบนวัสดุรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ (SAIL BRAND) ขนาด 76×26 mm ความหนา 1 mm กระจกสไลด์ ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น และอะซิโตนในเครื่องอัลตราโซนิก โดยทำซ้ำจนกว่าจะสะอาด และเป่าแห้งด้วยลมร้อน แล้วจัดเก็บในกล่องเพื่อใช้สำหรับการเคลือบสี

การเคลือบสีทำโดยการใช้เทคนิคการเคลือบแบบจุ่ม (Dip coating) โดยเครื่องเคลือบที่มีอัตราเร็วในการเคลือบ 0.2 cm/s และสีเคลือบบนกระจกในอากาศจนแห้ง หลังจากนั้นจึงนำไปตรวจสอบคุณลักษณะ

การเตรียมสีมีลักษณะแผ่นกลม

นำสีแต่ละยี่ห้อและแต่ละสีเทินด้วยขนาดเล็กและนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 60°C จนกว่าสีจะแห้ง และใช้มีดตัด ให้มีลักษณะเป็นแผ่นกลมคล้ายเหรียญ โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 cm มีความหนา 2 mm นำตัวอย่างที่ได้จากการเตรียม ไปวัดหาธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ด้วยเครื่อง XRF

2.2 การตรวจสอบคุณลักษณะของสีตัวอย่าง

ตรวจสอบธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิค XRF

ในการตรวจสอบธาตุองค์ประกอบในแต่ละสีทำโดยใช้เครื่อง XRF ยี่ห้อ PANalytical รุ่น Minipal 4 PW 4030 โดยจ่ายความต่างศักย์ให้แหล่งกำเนิดรังสีอิเล็กซ์เท่ากับ

20 kV โดยเครื่องดังกล่าวนี้มีความสามารถในการตรวจสอบหาธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 13 (อะลูมิเนียม-Al) ขึ้นไป โดยจะตรวจสอบเปรียบเทียบธาตุที่ตรวจพบออกมาในรูปของเปอร์เซ็นต์ที่ตรวจสอบเจอ รวมทุกธาตุองค์ประกอบที่ตรวจสอบเจอเป็น 100 %

ตรวจสอบความเป็นผลึกและขนาดผลึกด้วยเทคนิค XRD

ตรวจสอบความเป็นผลึกด้วยเครื่อง XRD ยี่ห้อ Bruker D8 Advance ซึ่งให้รังสีเอกซ์ Cu K α ที่มีความยาวคลื่น 0.1504 nm โดยวัดมุม $2\theta = 10-90^\circ$ มี Step Size = 0.02° และ Step Time = 1s โดยจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้กับแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ คือ 40 kV และ 40 mA ตามลำดับ ซึ่ง XRD Pattern ที่ได้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม (ปริมาณผลึก) กับ 2θ ส่วนการหาขนาดผลึก (crystallite size) ทำได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของ Scherer [1]

$$L = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta}$$

การระบุสีและการสะท้อนแสงด้วยเครื่องวัดสี

การระบุสีและการหาค่าการสะท้อนแสงของสีใช้เครื่องวัดสี UV-VIS Colori5 โดยการระบุสีใช้ CIE Lab Color Space และการสะท้อนแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 360-750 nm ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงแสงตามองเห็นซึ่งจะวัดค่าออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์การสะท้อนในแต่ละความยาวคลื่น

3. ผลและการอภิปรายผล

พิจารณาผลการทดลองออกเป็นสามส่วนตามเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบคุณลักษณะ ได้แก่ ธาตุองค์ประกอบความเป็นผลึก และการระบุสีและการสะท้อนแสงของสีแต่ละยี่ห้อและแต่ละสี

3.1 ธาตุองค์ประกอบ

ตารางที่ 1 แสดงธาตุองค์ประกอบต่างๆ ของสีแต่ละยี่ห้อและแต่ละสี จะเห็นว่าทุกสีและทุกยี่ห้อที่มีธาตุอะลูมิเนียม (Al) แคลเซียม (Ca) เหล็ก (Fe) และทองแดง (Cu) ผสมอยู่ สำหรับสีขาวของทุกยี่ห้อธาตุองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่ตรวจพบได้แก่ ไทเทเนียม (Ti) สำหรับสีอื่นๆ

ที่ไม่ใช่สีขาว พบว่าสียี่ห้อ Type A จะมีธาตุแบเรียม (Ba) เป็นธาตุหลัก สี Type B มี แคลเซียมและซิลิกอน (Si) เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก ในขณะที่สียี่ห้อ Type C มี แคลเซียมเป็นธาตุองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมีธาตุบางธาตุที่ตรวจพบในสีบางยี่ห้อ ได้แก่ โพแทสเซียม (K) ตรวจพบในสียี่ห้อ Type B กำมะถัน (S) ตรวจพบในสียี่ห้อ Type A ในขณะที่โคบอลต์ (Co) และตะกั่ว ตรวจพบเจอในสียี่ห้อ Type C โดยเฉพาะตะกั่วมีปริมาณค่อนข้างสูงใน Type C

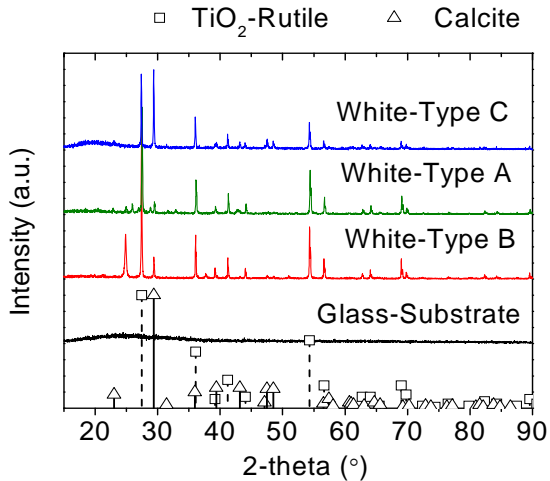
อย่างไรก็ตามธาตุองค์ประกอบต่างๆ ในแต่ละสีมักอยู่ในรูปสารประกอบ ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาเพื่อหาสารประกอบต่อไป และถ้าหากสารประกอบดังกล่าวมีความเป็นผลึกก็จะได้ศึกษาความเป็นผลึกและเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลโดยเทคนิค XRD อย่างไรก็ตามธาตุบางอย่างแม้อยู่ในรูปของสารประกอบแต่ไม่มีความเป็นผลึกจำเป็นต้องตรวจสอบด้วยใช้เทคนิคอื่นๆ ประกอบด้วย

3.2 ความเป็นผลึก

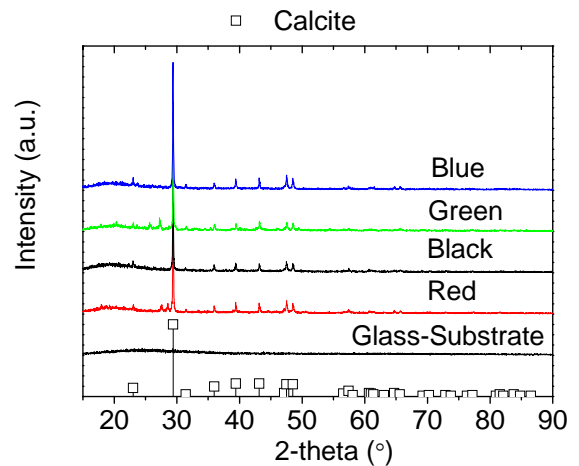
ในการตรวจสอบความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD ของสียี่ห้อต่างๆ นอกจากจะรู้ว่าสีประกอบด้วยสารประกอบที่มีความเป็นผลึกแล้ว ยังสามารถรู้ถึงส่วนประกอบของสียี่ห้อต่างๆ โดย XRD Pattern ที่ได้ มีการตรวจสอบกับฐานข้อมูลของไฟล์มาตรฐาน JCPDS files จากภาพที่ 1 แสดง XRD Pattern ของสีขาวของสีแต่ละยี่ห้อ ซึ่งพบว่า ประกอบด้วยผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO $_2$ -Rutile) เฟสรูไทล์เป็นหลักและองค์ประกอบรองประกอบด้วยผลึกของ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO $_3$; Calcite) ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับธาตุองค์ประกอบก็จะประกอบด้วย Ti และ Ca เป็นหลัก ภาพที่ 2 แสดง XRD Pattern แต่ละสีของสียี่ห้อ Type A ซึ่งประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต (BaSO $_4$; Barite) และแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นหลัก ภาพที่ 3 แสดง XRD Pattern แต่ละสีของสียี่ห้อ Type B ตรวจสอบเจอแคลเซียมคาร์บอเนตและองค์ประกอบหลักยังไม่สามารถเจอในฐานข้อมูล ในขณะที่ภาพที่ 4 แสดง XRD Pattern แต่ละสีของสียี่ห้อ Type C ซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ แคลเซียมคาร์บอเนตอย่างชัดเจนซึ่งสอดคล้องกับผล XRF ที่ตรวจพบธาตุ Ca เป็นหลัก

ตารางที่ 1 ธาตุองค์ประกอบของสีแต่ละยี่ห้อและแต่ละสีซึ่งตรวจสอบด้วยเทคนิค XRF

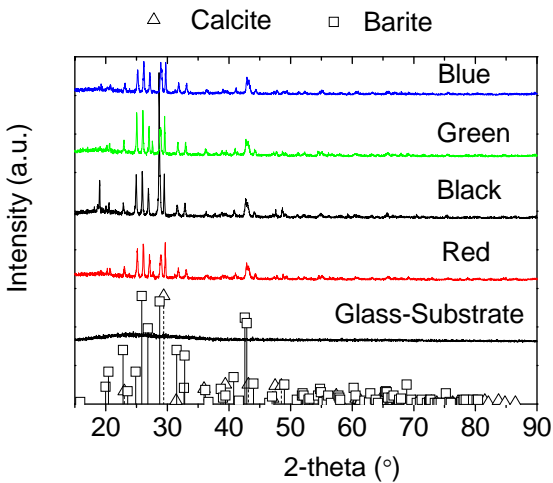
ธาตุ	ธาตุองค์ประกอบ (%)														
	สีขาว (White)			สีเขียว (Green)			สีแดง (Red)			สีน้ำเงิน (Blue)			สีดำ (Black)		
	Typ e A	Typ e B	Typ e C	Typ e A	Typ e B	Typ e C	Typ e A	Typ e B	Typ e C	Typ e A	Typ e B	Typ e C	Typ e A	Typ e B	Typ e C
Al	0.90	3.13	0.52	1.14	15.2	1.60	1.05	5.30	0.29	0.77	18.8	0.26	0.65	19.0	0.24
Si	0.61	3.29	-	2.17	30.5	-	1.76	-	-	1.67	39.2	-	3.76	44.0	-
P	0.94	0.13	-	0.28	-	9.95	0.97	28.9	-	1.69	-	-	1.99	-	-
K	-	-	-	-	0.62	-	-	-	-	-	0.69	-	-	0.53	-
S	1.01	2.36	-	4.37	-	-	3.89	-	-	3.68	-	-	4.99	-	-
Ca	4.06	6.03	26.2	11.3	15.6	52.2	12.1	31.9	73.3	13.1	20.8	80.3	13.0	22.4	86.0
Ti	90.9	83.1	65.5	10.7	12.8	3.08	7.34	0.57	0.01	2.97	9.43	2.65	-	1.46	-
V	-	-	-	-	0.34	-	-	-	-	-	0.31	0.06	-	-	-
Cr	-	-	-	-	0.08	-	-	-	2.25	-	0.16	0.22	-	0.28	-
Mn	-	-	-	-	-	0.03	-	-	0.07	-	-	0.03	-	0.03	-
Fe	0.27	0.33	0.09	0.62	4.08	0.62	0.97	26.0	0.13	0.67	6.33	0.17	1.68	7.95	0.25
Co	-	-	0.19	-	-	0.14	-	-	0.18	-	-	0.30	-	-	0.42
Ni	0.10	-	-	-	0.06	-	-	0.29	-	0.1	0.12	-	0.06	0.21	-
Cu	0.29	0.08	0.13	0.58	1.50	0.68	0.28	1.59	0.12	1.06	2.59	4.69	0.45	0.21	0.19
Zn	0.06	0.89	-	-	-	0.03	-	0.34	-	-	0.07	-	0.02	0.06	-
Ga	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-	0.04	-	-	0.03	-
As	-	0.01	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Br	-	0.22	-	-	14.7	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	-
Sr	0.32	-	0.04	1.84	-	0.12	1.59	-	0.12	1.10	0.06	0.15	2.02	0.10	0.10
Zr	-	-	0.42	0.09	0.24	-	0.07	-	-	0.05	0.13	-	0.10	-	-
Ru	-	-	1.25	1.75	3.32	1.79	-	-	-	-	-	-	-	-	2.41
Pd	-	-	-	0.63	0.87	-	1.11	-	0.95	-	0.84	-	0.98	1.00	-
Ba	-	-	-	64.4	-	7.45	68.8	5.07	1.46	73.0	-	0.48	70.3	2.57	-
Re	0.13	-	-	-	-	0.27	-	0.13	-	-	-	-	-	0.06	-
Os	0.26	-	-	0.03	0.11	0.03	0.03	-	-	0.10	0.19	0.34	-	-	-
Ir	-	-	0.07	-	-	-	-	-	0.10	-	-	0.07	-	0.12	0.19
Pt	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	-	0.34	5.48	-	-	20.0	-	-	20.9	-	-	10.2	-	-	10.2
Bi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	-	-	-	-
Th	-	-	-	-	-	0.12	-	-	0.08	-	-	0.11	-	-	0.05



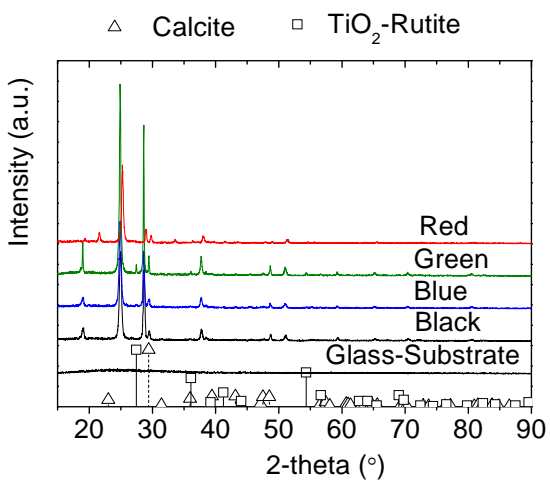
ภาพที่ 1 XRD Pattern ของสีขาวของสีแต่ละยี่ห้อ



ภาพที่ 4 XRD Pattern แต่ละสีของสียี่ห้อ Type C



ภาพที่ 2 XRD Pattern แต่ละสีของสียี่ห้อ Type A



ภาพที่ 3 XRD Pattern แต่ละสีของสียี่ห้อ Type B

จาก XRD Pattern ของแต่ละสีและแต่ละยี่ห้อ ได้เปรียบเทียบกับ XRD Pattern ของฐานข้อมูลดังนี้คือ โทเทเนียมไดออกไซด์เฟสรูไทล์ (JCPDS file No. 21-1276) แคลเซียมคาร์บอเนต (JCPDS file No. 5-586) และแบเรียมซัลเฟต (JCPDS file No. 24-1035)

เมื่อพิจารณาขนาดผลึกโดยประมาณซึ่งพิจารณาจากพีคที่มีความเข้มสูงสุดของ XRD Pattern ในแต่ละสีและแต่ละยี่ห้อ ได้ผลดังตารางที่ 2 ซึ่งเมื่อพิจารณาว่าขนาดผลึกโดยรวมของทุกสีจะเห็นว่าสียี่ห้อ Type B มีขนาดผลึกค่อนข้างเล็ก ในขณะที่ Type C มีขนาดผลึกที่สูงกว่า Type A และ B โดยสีดำของ Type C มีขนาดผลึกสูงที่สุด ประมาณ 50 nm ในขณะที่สีดำของ Type B มีขนาดผลึกเล็กที่สุดประมาณ 7 nm

3.3 สีและการสะท้อนแสง

ระบบสี CIE Lab จะระบุสีด้วยตัวแปรต่างๆ ได้แก่ L* ซึ่งมีค่าจาก 0 (มืด: dark) ถึง 100 (สว่าง: Light) บ่งบอกถึงความมืดและความสว่างของสี ตัวแปร a* กรณีสีมีค่าเป็น +a* บ่งชี้ถึงความเขียวและมีค่าเป็น -a* บ่งชี้ความเป็นสีเหลือง ตัวแปร b* กรณีสีมีค่าเป็น +b* บ่งชี้ความเป็นสีเหลือง กรณีสีเป็น -b* บ่งชี้ความเป็นสีน้ำเงิน จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ชัดเจนว่าสีขาวจะมีค่า L* ค่อนข้างสูงในขณะที่สีดำให้ค่า L* ค่อนข้างต่ำ ในขณะที่สีอื่นจะให้ค่าตัวแปรที่สอดคล้องกับสีนั้นๆ ซึ่งสีเขียวของทุกยี่ห้อจะให้ค่าตัวแปร a* มีค่าติดลบ

เช่น สีเขียว Type A มีค่า $a^* = -36.84$ เป็นต้น อย่างไรก็ตามสีแต่ละยี่ห้อยังมีเม็ดสีที่แตกต่างกันโดยระบุเป็นเบอร์ต่างๆ ของแต่ละสี ซึ่งจะช่วยให้ตัวแปรในระบบสี CIELab แตกต่างกันไปด้วย

ค่าการสะท้อนแสงซึ่งวัดอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 360-750 nm ภาพที่ 5 6 และ 7 แสดงค่าการสะท้อนแสงของแต่ละสีของสียี่ห้อ Type A Type B และ Type C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าลักษณะสเปกตรัมของสีเดียวกันของแต่ละยี่ห้อ มีลักษณะใกล้เคียงกัน ยกเว้นสีน้ำเงินของสี Type B ที่ความยาวในช่วง 400-500 nm มีค่าการสะท้อนสูงกว่า 10%

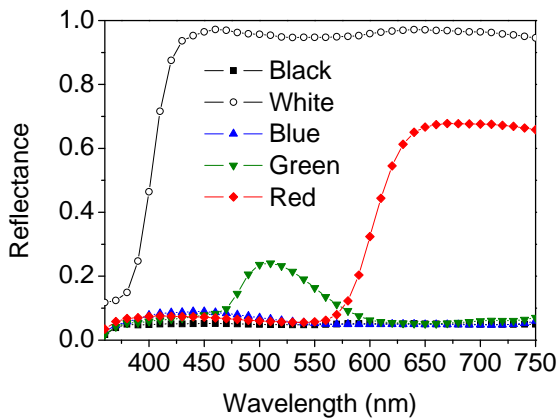
ตารางที่ 2 ขนาดผลึกของแต่ละสีของสียี่ห้อต่างๆ

ยี่ห้อ/สี	ขนาดผลึก (nm) (crystallite size)
Type A	
● สีดำ	19.5
● สีขาว	20.0
● สีน้ำเงิน	14.5
● สีเขียว	23.0
● สีแดง	17.5
Type B	
● สีดำ	7.0
● สีขาว	19.0
● สีน้ำเงิน	9.0
● สีเขียว	10.5
● สีแดง	8.5
Type C	
● สีดำ	50.0
● สีขาว	30.5
● สีน้ำเงิน	20.0
● สีเขียว	29.0
● สีแดง	30.0

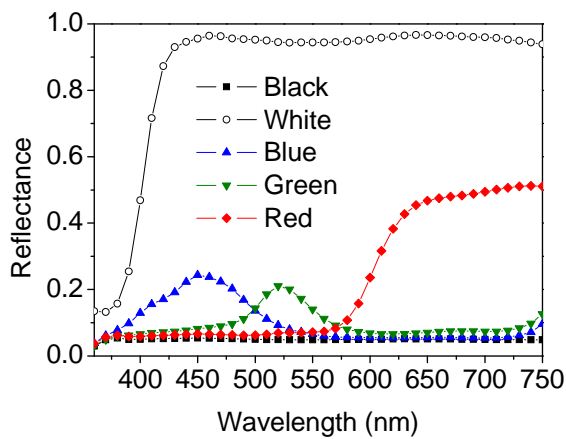
ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ในระบบสี CIE Lab ของแต่ละสีของสียี่ห้อต่างๆ

ยี่ห้อ/สี	L*	a*	b*
1. Type A			
<input type="checkbox"/> สีดำ	26.65	-0.76	1.24
<input type="checkbox"/> สีขาว	98.15	0.08	0.52
<input type="checkbox"/> สีน้ำเงิน	28.66	0.45	-11.13
<input type="checkbox"/> สีเขียว	44.84	-36.84	14.28
<input type="checkbox"/> สีแดง	45.08	48.81	22.76
2. Type B			
<input type="checkbox"/> สีดำ	26.64	0.94	-1.53
<input type="checkbox"/> สีขาว	97.99	0	0.71
<input type="checkbox"/> สีน้ำเงิน	35.07	2.77	-31.32
<input type="checkbox"/> สีเขียว	45.24	-32.96	4.20
<input type="checkbox"/> สีแดง	41.87	35.67	19.61
3. Type C			
<input type="checkbox"/> สีดำ	26.57	0.95	-1.68
<input type="checkbox"/> สีขาว	93.30	-1.32	3.18
<input type="checkbox"/> สีน้ำเงิน	27.41	0.92	-0.67
<input type="checkbox"/> สีเขียว	41.81	-26.11	11.43
<input type="checkbox"/> สีแดง	36.39	38.58	16.53

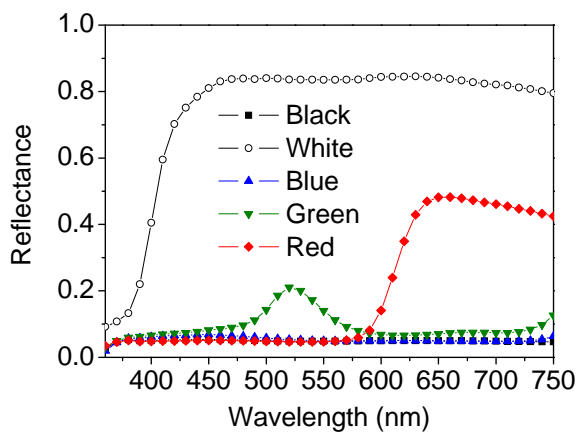
สีดำของสีแต่ละยี่ห้อ มีค่าการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นใกล้เคียงกันและมีค่าน้อยกว่า 10% สีน้ำเงินมีค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-750 nm น้อยกว่า 7% แต่ความยาวคลื่นในช่วง 400-550 nm สูงกว่า 7% ทำให้เห็นสีดังกล่าวเป็นสีน้ำเงิน ขณะที่สีเขียวมีค่าการสะท้อนสูงสุดที่ประมาณ 525 nm และที่ความยาวคลื่น 500-550 nm มีค่าการสะท้อนแสงสูงกว่า 15% สำหรับสีแดงของทุกยี่ห้อ มีค่าการสะท้อนแสงในช่วง 650-750 nm มีค่าการสะท้อนแสงสูงกว่า 40% ซึ่งทำให้เห็นสีแดงมีความสว่างสูงกว่าสีอื่นๆ ยกเว้นสีขาว



ภาพที่ 5 ค่าการสะท้อนแต่ละสีของสีหือ Type A ในช่วงความยาวคลื่น 360-750 nm



ภาพที่ 6 ค่าการสะท้อนแต่ละสีของสีหือ Type B ในช่วงความยาวคลื่น 360-750 nm



ภาพที่ 7 ค่าการสะท้อนแต่ละสีของสีหือ Type C ในช่วงความยาวคลื่น 360-750 nm

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาสมบัติความเป็นผลึกและการสะท้อนแสงของสีทาบ้านชนิดสีทาภายนอกที่มีขายในท้องตลาด ได้แบ่งสีตามยี่ห้อ เป็น 3 ยี่ห้อ คือ Type A Type B และ Type C ซึ่งแต่ละยี่ห้อ มีธาตุองค์ประกอบและความเป็นผลึกที่แตกต่างกัน โดยสีขาวของทุกยี่ห้อ มีไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสรูไทล์เป็นองค์ประกอบหลัก ในขณะที่สีอื่นๆ มีแคลเซียมคาร์บอเนตและแบเรียมซัลเฟตผสมอยู่ โดยเฉพาะสี Type C มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก อีกทั้งพบว่าขนาดผลึกของสี Type C มีขนาดใหญ่กว่า Type B และ A โดยสี Type B มีขนาดผลึกเล็กที่สุด ซึ่งขนาดผลึกและองค์ประกอบต่างๆ ของแต่ละสีได้ส่งผลต่อสเปกตรัมการสะท้อนแสงและค่าสีของแต่ละสีแต่ละยี่ห้อ อย่างไรก็ตามแต่ละสีมีสเปกตรัมการสะท้อนแสงไม่แตกต่างกันมากนัก โดยสเปกตรัมของแต่ละสีจะสอดคล้องกับความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นจากการสะท้อนของแต่ละสี อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสีเดียวกัน สี Type C ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐานมอก. มีค่าการสะท้อนแสงต่ำกว่าสียี่ห้ออื่นอีกทั้งยังมีธาตุองค์ประกอบที่เป็นตะกั่วสูง

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Atul Gupta, H.S. Bhatti, D. Kumar, N.K. Verma and R.P. Tandon. 2006. Nano and bulk crystals of ZnO: synthesis and characterization. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*. Vol.1. No.1. p.1-9.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และคณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม สำหรับการให้ความอนุเคราะห์ในการเครื่องมือวิเคราะห์

การศึกษาลายผ้าทอเกาะยอเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลผ้าทอพื้นเมือง

พันธัยศ วรเชษฐาวาตรี¹ และ พรโปยม วรเชษฐาวาตรี²

บทคัดย่อ-- การศึกษาลายผ้าทอเกาะยอ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลผ้าทอพื้นเมืองเนื่องจากจังหวัดสงขลามีลวดลายผ้าทอพื้นเมืองที่มีเอกลักษณ์ที่เป็นที่ประจักษ์ของคนทั่วทั้งประเทศ ซึ่งมีลวดลายผ้าทอที่สวยงามเป็นจำนวนมาก และเริ่มมีการสูญหายไป เนื่องจากการถ่ายทอดการทอ จะเป็นการถ่ายทอดแบบรุ่นต่อรุ่น เมื่อคนรุ่นใหม่ไม่สนใจจะสืบสานต่อจะทำให้ลวดลายที่ใช้ในการทอ ซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของผ้าทอเกาะยอจะสูญหายไปด้วย ผู้วิจัยจึงทำการรวบรวมลายผ้าทอพื้นเมืองของ ต.เกาะยอ จ.สงขลา สามารถนำเผยแพร่ และเป็นข้อมูลสำหรับผู้ที่สนใจผ้าทอเกาะยอ ลักษณะลวดลายผ้าที่เก็บรวบรวมไว้ สามารถที่จะรักษาให้คงอยู่สืบไว้ไม่ให้เลือนหาย และยังสามารถนำไปพัฒนาต่อไปให้มีความก้าวหน้าสืบต่อไป โดยทำการเก็บรวบรวมลวดลายของผ้าทอเกาะยอที่มีอยู่ และที่กำลังจะเลือนหายไป นำมาวิเคราะห์โครงสร้างการยกตะกอก และเขียนเป็นลายทอในรูปแบบกราฟฟิค ที่สามารถนำมาใช้ในการทอผ้าได้ ในรูปของผ้าทอ, โครงสร้างการทอ และบันทึกเป็นวิดีโอ ขั้นตอนการทอผ้า ประวัติของผ้าทอเกาะยอ

ผลการศึกษาพบว่าผ้าทอเกาะยอเป็นศิลปหัตถกรรมพื้นบ้านที่มีประวัติมายาวนานมีเอกลักษณ์ ลวดลายผ้าทอเกาะยอจำแนกได้ 2 แบบ คือลายผ้าทอเกาะยอแบบดั้งเดิม และลายผ้าทอเกาะยอปัจจุบัน ลายทอดั้งเดิมมี 2 แบบ แบบที่หนึ่งเล็กทอแล้ว เช่นลายพญาครุฑ ลายหน้านาง ฯลฯ เพราะผู้คิดค้นลายไม่ได้สืบทอดให้กับลูกหลาน แบบที่สองแบบดั้งเดิมที่ยังนิยมทออยู่ เช่น ลายราชวัตร ลายราชวัตรก้านแย่ง ฯลฯ ลายผ้าทอเกาะยอปัจจุบันที่นิยมทอมากในปัจจุบัน เช่นลายดาวกระจาย ลายสามหนั่ง ลายดอกมุก ฯลฯ โดยรวบรวมไว้ได้ 32 ลวดลาย โดยมีโครงสร้างการทอ 4 ตะกอก 6 ตะกอก 8 ตะกอกโดยแสดงโครงสร้างเป็นภาพกราฟฟิค และสื่อวิดีโอ ใช้สำหรับค้นคว้าสำหรับผู้สนใจ

คำสำคัญ ผ้าทอเกาะยอ ลายผ้า เกาะยอ

1. บทนำ

เนื่องจากจังหวัดสงขลามีลวดลายผ้าทอพื้นเมืองที่มีเอกลักษณ์ที่เป็นที่ประจักษ์ของคนทั่วทั้งประเทศ ผ้าทอเกาะยอ หรือ ผ้าเกาะยอ เป็นผ้าทอพื้นเมืองของตำบลเกาะยอ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ที่มีชื่อเสียง มีความประณีต และสีสันที่สวยงาม ถือเป็นเอกลักษณ์หัตถกรรมพื้นบ้านของภาคใต้ สืบสานตำนานจาก

ชาวเกาะยอและเริ่มมีการสูญหายไป เนื่องจากการถ่ายทอดการทอ จะเป็นการถ่ายทอดแบบรุ่นต่อรุ่น เมื่อคนรุ่นใหม่ไม่สนใจจะสืบสานต่อจะทำให้ลวดลายที่ใช้ในการทอซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของผ้าทอเกาะยอจะสูญหายไปด้วย ดังนั้นผู้วิจัยคิดที่จะรวบรวมลวดลายของผ้าทอเกาะยอที่มีอยู่และที่กำลังจะเลือนหายไป นำมาวิเคราะห์โครงสร้างการยกตะกอก และเขียนเป็นลายทอในรูปแบบกราฟฟิค เพื่อรวบรวมในรูปแบบเอกสาร และสื่ออิเล็กทรอนิกส์ สามารถใช้เป็นข้อมูลเผยแพร่ในเว็บไซต์ของสาขาวิชา ใช้ในการอ้างอิง เป็นสื่อการสอน และเป็นข้อมูลให้ชาวบ้านได้สืบทอดกันต่อไป

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องนุ่งห่ม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 1 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อียง อ.เมือง จ.สงขลา 90000

โทรศัพท์: 0891985315

E-mail: panyos.w@rmutsv.ac.th

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องนุ่งห่ม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 1 ถ.ราชดำเนินนอก ต. บ่อียง อ.เมือง จ.สงขลา 90000 โทรศัพท์: 0841960479

E-mail: pompayom.w@gmail.com

2. วิธีการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลผ้าทอเกาะขย
2. เก็บรวบรวมข้อมูลการทอผ้า
3. เก็บบันทึกภาพการทอผ้า
4. วิเคราะห์โครงสร้างและบันทึกลายผ้าทอ

3. ผลและการอภิปรายผล

การทอผ้าทอเกาะขยประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญหลายอย่าง จากการทอวิจัยได้แบ่งส่วนสำคัญออกเป็น 3 ด้าน ประกอบด้วยด้านวัสดุอุปกรณ์ ด้านกระบวนการทอผ้า และด้านลวดลายผ้าเส้นด้ายเป็นวัสดุสำคัญที่สุดในการทอผ้า เนื่องจากผ้าแต่ละผืนเกิดขึ้นจากการนำเส้นด้ายมาทอเข้าด้วยกันเส้นด้ายที่ทำมาจากใยฝ้ายชนิดสีขาวที่ชาวบ้านปลูกขึ้นใช้เองและใช้วิธีย้อมสีด้วยสีธรรมชาติ เช่น จากเปลือก ราก แก่น และผลของต้นไม้เป็นหลัก เช่น สีแดงจากรากของต้นขย สีเหลืองจากขมิ้นชันและแก่นเข (แลแก) สีม่วงอ่อนจากลูกหว้า สีทองอ่อนจากแกลง (มะพูด) สีส้มจากสะตือ สีสครามจากต้นคราม และสีเขียวจากเปลือกสมอ ใบหู กวาง คราม จากนั้นย้อมทับด้วย แกลงอีกครั้งหนึ่ง ปัจจุบันจึงไม่นิยมปลูกฝ้ายเพื่อใช้ทอผ้าเพราะฝนตกชุกทำให้เส้นใยฝ้ายเปื่อยง่าย ปัจจุบันจึงนิยมซื้อเส้นใยสำเร็จรูปหรือเส้นใยประดิษฐ์ เช่น โพลีเอสเตอร์และเรยอง ซึ่งชาวบ้านเรียกว่า “เส้นด้ายโทเร” และใช้เส้นไหมธรรมชาติ และไหมเทียมมาแทน ดังภาพที่ 1 แสดงการขึ้นด้ายยืนของชาวบ้านเกาะขย จ.สงขลา



ภาพที่ 1 แสดงการขึ้นเส้นด้ายยืน

การศึกษาลวดลายผ้าทอเกาะขยจำแนกผ้าทอเกาะขยได้ 2 แบบ คือ ลายผ้าทอเกาะขยแบบดั้งเดิม และลายผ้าทอเกาะขยแบบปัจจุบัน ลายผ้าทอเกาะขยแบบดั้งเดิม บางลายขาดการสืบและเลิกทอแล้ว เช่น ลายพญาครุฑ ลายหน้านาง เป็นต้น และบางลายยังคงมีการสืบทอดและได้รับความนิยมอยู่ใน เช่น ลายราชวัตร ลายราชวัตรก้านแย่ง ลายมะลิก้านต่อดอก ลายคชกริช ลายสมุกหรือลายโกเถียม ลายตะเครีขะ ลายก้านแย่ง ลายดอกพิกุลล้อม ลายข้าวหลามตัด ลายดอกพิกุลคชกริช ลายลูกแก้วประยุกต์ ลายพิกุลต่อดอก เป็นต้น ลายผ้าทอเกาะขยที่นิยมทอกันมากในปัจจุบัน จึงเกิดเป็นลายใหม่ๆ ที่ผู้ทอผ้าได้ผลิตคิดค้นขึ้นมาในชั้นหลัง ผ้าทอเกาะขยที่เป็นลายใหม่ เช่น ลายดาวกระจาย ลายสามหนึ่งหรือข้อเอื้อง ลายดอกมุก ลายดอกพิกุล 4 ตะกอ ลายดอกพิกุล 8 ตะกอ ลายดอกพิกุลจิว ลายดอกพิกุลผสม ลายดอกพิกุลจิวผสม ลายดอกพิกุลก้านกด ลายดอกพิกุลล้อมลายดอกจันทน์หอม ลายดอกโคม ลายลูกแก้ว 4 ตะกอ ลายลูกแก้ว 6 ตะกอ ลายดอกกรัก ลายห้าหนึ่ง ลายแก้วพิกุล ลายดอกสมุกหรือโกเถียม ลายรสสุคนธ์ ลายแมงคา ลายดอกชุก ลายขมนาศ ลายชวนชม ลายเกี๋ยปลา ลายพุดจิบ ลายพริกไทย ลายกฤษณา ลายเกร็ดแก้ว ลายลูกโซ่ ลายราชวัตรเล็ก ลายราชวัตรใหญ่ ลายผกากรอง ลายตะเครีขะ ลายกระดังงา ลายน้าหยด ลายช้องนาง ลายลูกพริก ลายดอกพะยอม ลายดอกกำแพง ลายดับเต่า ลายก้างปลา ลายลูกสน ลายสอง ลายสีเหลี่ยม ลายหก ได้เก็บรวบรวมตัวอย่างผ้าทอเกาะขย ทั้งหมด 32 ลาย ซึ่งมีดังนี้

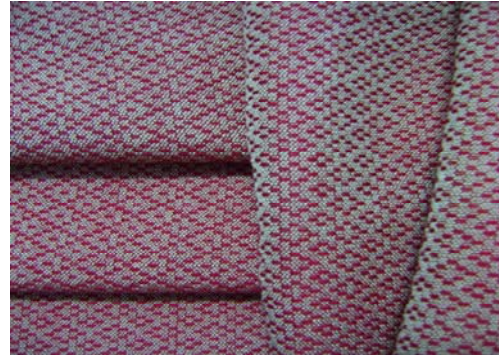
ลายผ้าทอเกาะขยแบบดั้งเดิม ดังภาพที่ 2- 4



ภาพที่ 2 ลายราชวัตร



ภาพที่ 3 ลายตะเครีเยาะ



ภาพที่ 7 ลายดอกโดม



ภาพที่ 4 ลายสมุก หรือโกเอี่ยม

ลายทอผ้าเกาะขยปัจจุบัน ดังภาพที่ 5-7

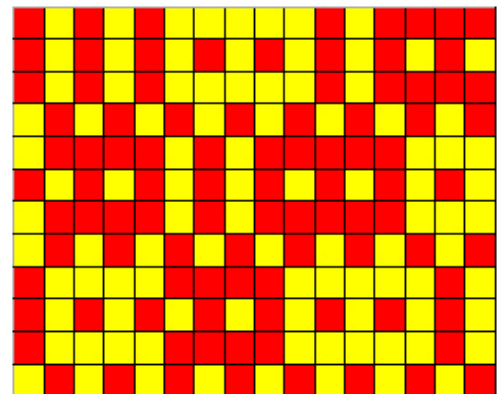


ภาพที่ 5 ลายดาวกระจาย

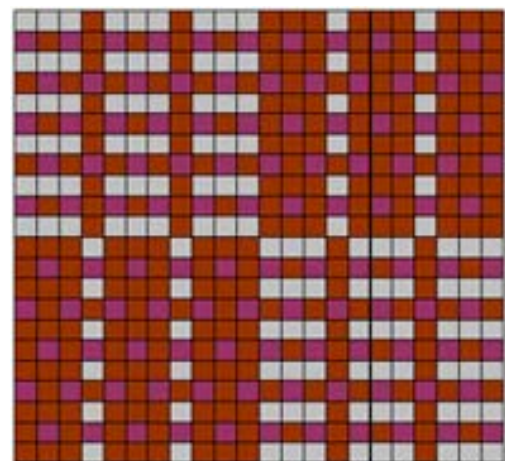


ภาพที่ 6 ลายพิกุลล้อม

การวิเคราะห์โครงสร้างลายทอ เพื่อรักษาลวดลาย การทอไว้ไม่ให้สูญหาย ได้ทำเป็นภาพกราฟฟิค ดัง แสดงภาพที่ 8 ภาพกราฟฟิค ลายดอกโดมและภาพที่ 9 ภาพกราฟฟิค ลายสมุกหรือลายโกเอี่ยม ได้รวบรวมลาย ผ้าทั้งหมดทำเป็นภาพกราฟฟิค บันทึกในรูปแบบ ข้อมูล อิเล็กทรอนิกส์ และได้ถ่ายทำในรูปแบบ ภาพเคลื่อนไหว ขึ้นการทอผ้าทั้งหมดไว้ เป็นแหล่งข้อมูลที่เก็บรักษา สำหรับผู้ที่สนใจ



ภาพที่ 8 ภาพกราฟฟิคลายดอกโดม



ภาพที่ 9 ภาพกราฟฟิคลายสมุกหรือโกเอี่ยม

4. สรุปผลการวิจัย

ผ้าเกาะขอบเป็นศิลปหัตถกรรมพื้นบ้านของชาวเกาะขอบ ตำบลเกาะขอบ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ลวดลายผ้าทอเกาะขอบจำแนกได้ 2 แบบ คือลายผ้าทอเกาะขอบแบบดั้งเดิม และลายผ้าทอเกาะขอบปัจจุบัน ลายทอดั้งเดิมมี 2 แบบ แบบที่หนึ่งเล็กทอแล้ว เช่นลายพญาครุฑ ลายหน้านาง ฯลฯ เพราะผู้คิดค้นลายไม่ได้สืบทอดให้กับลูกหลาน แบบที่สองแบบดั้งเดิมที่ยังนิยมทออยู่ เช่น ลายราชวัตร ลายราชวัตรก้านแย่ง ฯลฯ ลายผ้าทอเกาะขอบปัจจุบันที่นิยมทอมากในปัจจุบัน เช่น ลายดาวกระจาย ลายสามหนี่ง ลายดอกมุก ฯลฯ โดยรวบรวมไว้ได้ 32 ลวดลาย โดยมีโครงสร้างการทอ 4 ตะกอ 6 ตะกอ 8 ตะกอ ได้รวบรวมเก็บเป็นโครงสร้าง ภาพกราฟฟิก และสื่อวีดิโอ การทอผ้าเกาะขอบปัจจุบันใช้เส้นด้าย ที่สำเร็จจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นเส้นใยโพลีเอสเตอร์หรือใยสังเคราะห์ ซึ่งต่างจากผ้าพื้นเมืองในหลายๆพื้นที่ ไม่ว่าจะในภาคเหนือหรือภาคตะวันออกเฉียงใต้ ที่ส่วนใหญ่ปั่นด้ายใช้เองโดยใช้เส้นใยธรรมชาติ เช่น ฝ้าย หรือไหม ทำให้ความเป็นเอกลักษณ์ของผ้าพื้นเมืองดั้งเดิม ขาดหายไปบางส่วน ผู้วิจัยเห็นว่าควรมีการอนุรักษ์การใช้เส้นใยธรรมชาติดั้งเดิมเพื่อรักษาคุณค่าที่งดงามตลอดไป

5. เอกสารอ้างอิง

- (1) รัตน์ อุทัยผล. หัตถกรรมประจำถิ่น. กรุงเทพฯ ; โรงพิมพ์พิชการพิมพ์, 2523.
- (2) อำนวย จันเงิน. เพชรน้ำเอกของวงการทอผ้าแห่งล้านนาไทย. กรุงเทพฯ ; อมรินทร์ริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2545.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ประเภทเงินอุดหนุน ประจำปี พ.ศ. 2551

การพัฒนาการผลิตน้ำอบไทยด้วยชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องร่ำ

ปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง¹ นันทวัน กลิ่นจ๋า¹ และ นายอนุพันธ์ ดอนชัย¹

บทคัดย่อ—งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการผลิตน้ำอบไทยด้วยชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องร่ำ ศึกษาผลของชนิดของน้ำที่มีต่อการร่ำ ทำการทดลองโดยร่ำน้ำชนิดต่างๆ ด้วยชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องร่ำ ชนิดของน้ำที่ศึกษาได้แก่ น้ำกลั่น น้ำประปา และ น้ำเอมเรท วิเคราะห์การดูดซึมควันด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่าการดูดกลืนแสงของน้ำประปามีค่ามากที่สุด ศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อน้ำอบไทยที่ผลิตด้วยชุดอุปกรณ์โดยใช้น้ำต่างกัน ทดสอบความพึงพอใจน้ำอบไทยที่ผลิตได้จากการใช้น้ำดื่ม น้ำประปา น้ำกรอง น้ำจากแม่น้ำ และ น้ำจากสระน้ำ น้ำอบไทยที่ผลิตด้วยวิธีเดิม และ น้ำอบไทยจากตลาด พบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจในด้านสี กลิ่น และ ความรู้สึกเมื่อได้สัมผัสไม้แตกต่างกัน ศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อน้ำอบไทยที่ผลิตด้วยชุดอุปกรณ์โดยใช้เวลาในการร่ำต่างกัน โดยใช้เวลาร่ำ 5, 10, 15 และ 20 นาที พบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อน้ำอบไทยที่ผลิตได้และ น้ำอบไทยที่ผลิตด้วยวิธีเดิม และ น้ำอบไทยจากตลาด ในด้านสี กลิ่น และความรู้สึกเมื่อได้สัมผัสในระดับใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ น้ำอบไทย ชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องร่ำ และ เครื่องร่ำ

1. บทนำ

น้ำอบไทยเป็นเครื่องหอมชนิดหนึ่งที่มีมาแต่โบราณมีกลิ่นหอมรัญจวนหอมสดชื่นถือเป็นภูมิปัญญาของคนไทยสมัยก่อนที่รู้จักนำรากไม้และกลิ่นหอมของดอกไม้มาใช้นานาชนิดมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ผู้คนในอดีตใช้น้ำอบในชีวิตประจำวันหลังจากอาบน้ำเสร็จจะนำน้ำอบมาผสมกับแป้งร่ำหรือแป้งนวล นำมาประพรมตามเนื้อตัว นอกจากทำให้กลิ่นกายหอมสดชื่นแล้วยังทำให้เนื้อตัวลื่นสบายเหมาะสำหรับประเทศในแถบเมืองร้อน ปัจจุบันน้ำอบไทยยังคงนิยมใช้กันในงาน

ประเพณีสำคัญของไทย เช่น ประเพณีสงกรานต์ ใช้ในการสรงน้ำพระและใช้รดน้ำดำหัวผู้ใหญ่

วิธีผลิตน้ำอบไทยที่มีมาแต่โบราณนั้นต้องใช้นานานเนื่องจากวิธีการร่ำนั้นต้องปล่อยให้ควันเครื่องร่ำซึมลงในน้ำตามธรรมชาติซึ่งจะใช้เวลาวันและต้องทำซ้ำหลายครั้ง ปัจจุบันมีการนำน้ำอบไทยมาประยุกต์ใช้กันแพร่หลายทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น อุตสาหกรรมสปาและน้ำหอม งานวิจัยนี้จึงคิดค้นพัฒนาโดยนำเทคโนโลยีมาผสมผสานกับวิธีแบบโบราณเพื่อลดเวลาในการผลิตน้ำอบไทย โดยใช้ชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องร่ำเพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตให้ดีขึ้นกว่าเดิม ทำการทดลองศึกษาตัวแปรที่มีผลในการผลิตน้ำอบไทยด้วยชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องร่ำ ได้แก่ ผลของชนิดของน้ำที่มีต่อการร่ำ วิเคราะห์การดูดซึมควันด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อน้ำอบไทยที่ผลิตด้วยชุดอุปกรณ์โดยใช้น้ำต่างกัน และศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อน้ำอบไทยที่ผลิตด้วยชุดอุปกรณ์โดยใช้เวลาในการร่ำต่างกัน อันจะเป็นแนวทางในการผลิตน้ำอบไทยในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 2 แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

โทรศัพท์: +66(2)-287-9734 โทรสาร: +66(2)-287-9734

E-mail: pathumthip.t@rmutk.ac.th

²ศูนย์ศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพฯ 2 แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 1012

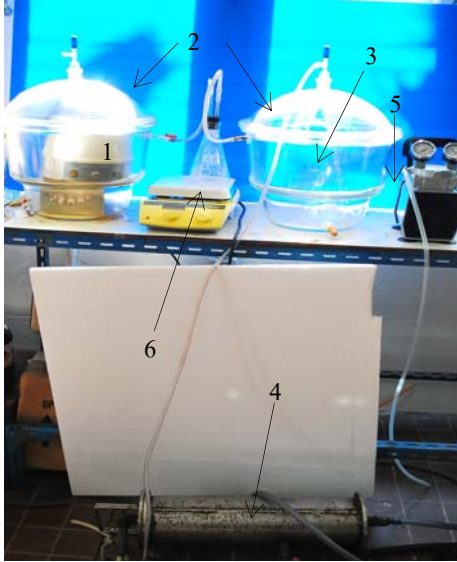
โทรศัพท์: +66(2)-287-9706 โทรสาร: +66(2)-287-9706

E-mail: nuntaone.k@rmutk.ac.th

2. วิธีการวิจัย

2.1 ชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องร่ำ

ชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องร่ำสำหรับผลิตน้ำอบไทยมีรายละเอียด ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องร่ำ

ชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องร่ำประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ และมีหน้าที่ดังนี้ 1) เครื่องให้ความร้อนแบบหลุมทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่ตะคัน 2) โถแก้วเก็บควันเครื่องร่ำ 3) ขวดรูปชมพู่ขนาด 1000 mL สำหรับใส่น้ำลอยดอกไม้เพื่อร่ำ 4) ท่อควมแน่นทำหน้าที่ควมแน่นไอสารป้องกันไม่ให้ไอสารควมแน่นในปั้ม 5) ปั้มลมทำหน้าที่ดูดอากาศออกจากโถใบที่ 2 ทำให้ควันเครื่องร่ำจากโถใบที่ 1 ถูกดูดผ่านท่อหน้าแก๊สซึ่งปลายอีกด้านหนึ่งจุ่มอยู่ใต้ระดับน้ำในขวดรูปชมพู่ทำให้เกิดฟองแก๊สของควันเครื่องร่ำทำให้น้ำสามารถดูดซึมควันจากเครื่องร่ำได้ดี 6) เครื่องกวนทำหน้าที่กวนแป้งเพื่อให้แป้งสัมผัสกับควันได้ทั่วถึง [4, 5]

2.2 การศึกษาผลของชนิดของน้ำ

ทำการทดลองศึกษาผลของชนิดของน้ำที่มีต่อการร่ำ โดยร่ำน้ำชนิดต่างๆ ด้วยชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องร่ำ ชนิดของน้ำที่ศึกษาได้แก่ น้ำกลั่น น้ำประปา และน้ำเอ็มเร่ท อย่างละ 500 mL นำน้ำที่ต้องการทดสอบใส่ในขวดรูปชมพู่ ในโถใบที่ 2 ของชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่อง

ร่ำใส่ตะคันในหลุมให้ความร้อนเปิดระดับความร้อนของเครื่องให้ความร้อนที่เบอร์ 5 ทิ้งไว้ 20 นาที จากนั้นโรยเครื่องร่ำที่ผสมกันแล้วบนตะคันปิดฝาให้สนิท ซึ่งส่วนผสมของเครื่องร่ำ มีดังนี้

ผิวมะกรูดแห้งบดละเอียด	0.2	g
กำยาน	0.7	g
ผงจันทเทศ	0.3	g
น้ำตาลทรายแดง	1.2	g
น้ำตาลทรายขาว	0.4	g
พิมเสน	0.4	g
จี๊ผึ้ง	0.025	g
น้ำมันชะมด	0.025	g

เปิดปั้มลมเพื่อดูดควันที่ได้จากการร่ำเป็นเวลา 20 นาที เก็บน้ำที่ผ่านการร่ำ นำน้ำร่ำที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ยี่ห้อ Thermo รุ่น AQUAMATE

2.3 การผลิตน้ำอบไทยวิธีเดิม

การผลิตน้ำอบไทยวิธีเดิมมี 3 ขั้นตอนคือ การต้มน้ำ การร่ำ และการผสมแป้ง การต้มน้ำเริ่มจากนำน้ำปริมาตร 500 mL ต้มกับไม้จันทเทศ 4 g ชะลูด 7 g พิมเสน 5 g ต้มจนเดือดจากนั้นต้มต่ออีก 20 นาทีและใส่ใบเตย 5 g ต้มต่ออีก 10 นาที จากนั้นทิ้งไว้อีก 30 นาทีกรองเอากากออก จากนั้นนำดอกกุหลาบไปลอยในน้ำที่ต้มไว้ทิ้งไว้ 1 คืน กรองเอากลิ่นดอกกุหลาบออกหลังจากนั้นนำน้ำที่ต้มได้มาร่ำด้วยควันเครื่องร่ำ โดยมีขั้นตอนการร่ำคือนำทวนมาเช็ดให้สะอาดวางในหม้อที่มีน้ำอบอยู่อีกหม้อมีแป้งอยู่ เฝ้าตะคันให้ร้อนแล้ววางลงบนทวน ตักเครื่องร่ำที่เตรียมไว้ โรยลงบนตะคันปิดฝามือรอจนควันเครื่องร่ำหมดซึ่งใช้เวลาประมาณ 30 นาที ทำเช่นนี้ประมาณ 10 ครั้ง หรือจนกว่าเครื่องร่ำจะหมด จากนั้นใช้เทียนอบอบ 3 ครั้งๆละ 5 นาที และกรองน้ำร่ำด้วยผ้าขาวบาง และผสมแป้งร่ำกับน้ำมันหอมระเหย โดยตวงน้ำมันหอมระเหยดังต่อไปนี้

กลิ่นกุหลาบ	2.5	mL
กลิ่นจำปี	1.25	mL
กลิ่นจำปา	1.25	mL

กลิ่นไยซาซิน	1.25	mL
กลิ่นพิกุล	1.25	mL
กลิ่นราตรี	1.25	mL
กลิ่นลำเจียก	1.25	mL
กลิ่นมะลิ	1.25	mL
กลิ่นกระเวก	1.25	mL

นำน้ำมันหอมระเหยผสมให้เข้ากันและนำไปผสมกับแป้งรำ 50 g ให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำแป้งรำที่ผสมน้ำมันหอมระเหยผสมลงในน้ำรำที่เตรียมไว้ คนให้เข้ากันแล้วพักไว้ 1 คืน บรรจุลงในภาชนะที่เตรียมไว้ [1, 2, 3]

2.4 การผลิตน้ำอบไทยด้วยชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องรำ
ผลิตน้ำอบไทยโดยการรำด้วยชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องรำ มี 3 ขั้นตอนเหมือนวิธีเดิม ต่างกันเฉพาะวิธีการรำ เริ่มจากการเตรียมน้ำลอยดอกไม้เหมือนกับวิธีเดิม หลังจากนั้นจึงรำด้วยชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นด้วยการนำน้ำที่ต้มไว้ในขวดรูปชมพู่ และนำแป้งที่บดแล้ว 50 g ใส่ในขวดรูปชมพู่อีกใบหนึ่งต่อเข้ากับชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องรำ นำตะคันใส่ในหลุมให้ความร้อนเปิดระดับความร้อนของเครื่องให้ความร้อนที่เบอร์ 5 ทิ้งไว้ 20 นาที จากนั้นโรยเครื่องรำลงบนตะคันแล้วปิดฝาให้สนิทจากนั้นเปิดปั๊มลมเพื่อดูดควันที่ได้จากการรำ จะได้น้ำที่ผ่านการรำ (น้ำรำ) และแป้งที่ผ่านการรำ (แป้งรำ) นำน้ำมันหอมระเหยผสมให้เข้ากันและนำไปผสมกับแป้งรำ 50 g ให้เข้ากัน จากนั้นนำแป้งรำที่ผสมน้ำมันผสมลงในน้ำรำที่เตรียมไว้ คนให้เข้ากันแล้วพักไว้ 1 คืน บรรจุลงในภาชนะที่เตรียมไว้

2.5 ผลของชนิดของน้ำที่มีผลต่อการผลิตน้ำอบไทย
ทดลองศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำอบไทย โดยแปรชนิดของน้ำ ได้แก่ น้ำดื่ม น้ำประปา น้ำกรองน้ำจากแม่น้ำ และน้ำจากสระน้ำ ทดลองโดยใช้น้ำชนิดต่างๆ เตรียมน้ำสำหรับลอยดอกไม้ 500 mL ทำการรำด้วยชุดอุปกรณ์ฯ ใช้เวลาในการรำ 20 นาที

2.6 ผลของเวลาในการรำที่มีผลต่อการผลิตน้ำอบไทย
ทดลองศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำอบไทย โดยแปรเวลาในการรำ ได้แก่ 5, 10, 15 และ 20 นาที ทดลองโดยใช้น้ำกรองเตรียมน้ำสำหรับลอยดอกไม้ 500 mL ทำการรำด้วยชุดอุปกรณ์ฯ ใช้เวลาในการรำตามที่กำหนด

2.7 ศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์โดยใช้แบบสอบถาม

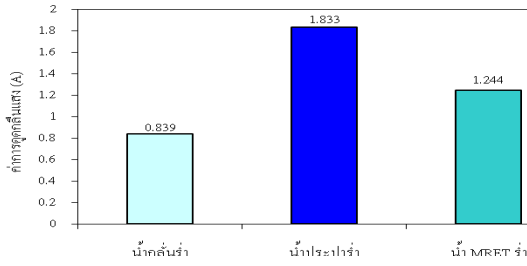
โดยออกแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้เพื่อเปรียบเทียบ กลิ่น สี และความรู้สึกเมื่อได้สัมผัสระหว่างน้ำอบไทยที่ผลิตได้จากวิธีเดิมกับน้ำอบไทยที่ผลิตได้จากการใช้ชุดอุปกรณ์ฯ และน้ำอบไทยที่ขายทั่วไป แบบสอบถามประกอบด้วย

- (1) ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภค เช่น เพศ อายุ การศึกษา อาชีพ เป็นต้น
- (2) ข้อมูลด้านพฤติกรรมการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำอบไทย
- (3) ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

โดยนำน้ำอบไทยตัวอย่างที่ได้จากการทดลองและสินค้าตามท้องตลาด โดยให้ผู้บริโภค 50 คน ทดสอบความพึงพอใจในด้านสี กลิ่น และความรู้สึกเมื่อได้สัมผัสโดยใช้วิธีให้คะแนนความชอบ 5 ระดับ

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 ผลของน้ำที่มีผลต่อการดูดซึมควันเครื่องรำ
ศึกษาผลของน้ำที่มีผลต่อการดูดซึมควันเครื่องรำ ทดลองโดยนำน้ำชนิดต่างๆที่ไม่ผ่านขั้นตอนการต้มและลอยน้ำดอกไม้ ไปรำแล้วนำไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ได้ผลดังภาพที่ 1



ภาพที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำร่ำชนิดต่างๆ

จากภาพที่ 2 จะเห็นว่าน้ำทุกชนิดมีค่าการดูดกลืนแสงเมื่อวัดเทียบกับน้ำที่ไม่ได้ร่ำ แสดงว่าการร่ำด้วยชุดอุปกรณ์ฯ เวลา 20 นาที ทำให้น้ำดูดซึมคว้นเครื่องร่ำได้ และจากการดมกลิ่นพบว่าน้ำร่ำที่ได้มีความหอมมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำกลั่นร่ำ น้ำประปา ร่ำและน้ำ MRET ร่ำ เท่ากับ 0.839, 1.833 และ 1.244 ตามลำดับ น้ำประปามีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุด อาจเนื่องมาจากน้ำประปามีสารที่ละลายในน้ำอาจจะมีผลต่อการดูดซึมคว้นเครื่องร่ำทำให้ดูดซึมคว้นได้ดี ได้วิเคราะห์สมบัติของน้ำ ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำ

Water Analysis Report

Memor. : _____ Date : _____
 Sampling Date : _____ Code : _____
 Ref. Code : _____ ATTN : _____

Analysis Results

PARAMETER	TYPE OF SAMPLE		
	น้ำกลั่น	น้ำประปา	น้ำดื่ม
Appearance	ใสไม่มี	ใสไม่มี	ใสไม่มี
pH (at 25°C)	6.61	7.49	5.92
Conductivity (µmhos/cm² @ 25°C)	1.31	318	48.9
Total Dissolved Solid (mg/L as CaCO ₃)	0.7	194	29.8
Total Hardness (mg/L as CaCO ₃)	-	198	4
Ca-Hardness (mg/L as CaCO ₃)	-	78	2
Mg-Hardness (mg/L as CaCO ₃)	-	32	2
Fe-Hardness (mg/L as CaCO ₃)	3	72	9
P-Hardness (mg/L as CaCO ₃)	-	-	-
Total Iron (mg/L as Fe)	0.01	0.01	0.01
Chloride (mg/L as Cl)	12	24	33
Sulfate (mg/L as SO ₄)	1.5	15.6	2.5
Phosphate (mg/L as PO ₄)	-	-	-

Analyzed by: *[Signature]* Approved by: *[Signature]*
 (Analytical Chemist) (Laboratory Manager)

จากผลการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของน้ำดังตารางที่ 1 พบว่าค่า pH, Conductivity, Total Dissolved Solid, Total hardness Ca-Hardness, Mg-Hardness M-

Alkalinity, Chloride และ Silica ของน้ำประปามีค่ามากกว่าของน้ำเอ็มเรทและน้ำกลั่น

3.2 การผลิตน้ำอบไทยวิธีเดิม

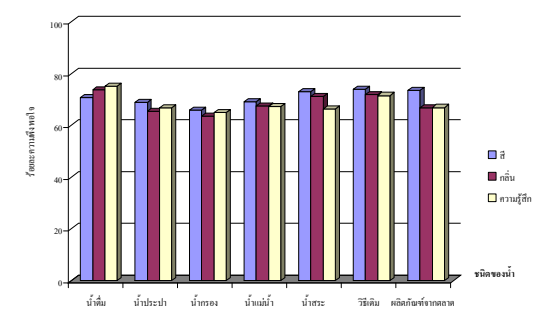
งานวิจัยนี้ได้นำภูมิปัญญาไทยในการผลิตน้ำอบไทยมาพัฒนาให้มีระยะเวลาในการผลิตสั้นลง จึงต้องมีการผลิตน้ำอบไทยวิธีเดิมเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระยะเวลาและคุณภาพของน้ำอบไทยที่ผลิตได้จากวิธีเดิมและวิธีใหม่ที่ผลิตด้วยชุดอุปกรณ์ดูดคว้นเครื่องร่ำ การผลิตน้ำอบไทยวิธีเดิมใช้เวลาในการร่ำประมาณ 6 ชั่วโมง น้ำอบไทยที่ผลิตได้ น้ำมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอมแดง แป้งสีขาวเนื้อมีกลิ่นหอม

3.3 การผลิตน้ำอบไทยด้วยชุดอุปกรณ์ดูดคว้นเครื่องร่ำ

ได้พัฒนาการผลิตน้ำอบไทยด้วยชุดอุปกรณ์ฯ ทำให้ใช้เวลาในการร่ำลดลงเหลือเพียง 20 นาที ในการผลิตน้ำอบไทยด้วยชุดอุปกรณ์ฯ น้ำอบไทยที่ได้มีลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้ เช่น สีของน้ำและสีของแป้ง คล้ายกับน้ำอบไทยที่ได้จากวิธีเดิม

3.4 ผลของชนิดของน้ำที่ใช้ผลิตน้ำอบไทยต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค

ผลิตน้ำอบไทยด้วยชุดอุปกรณ์ฯ โดยใช้น้ำชนิดต่างๆ



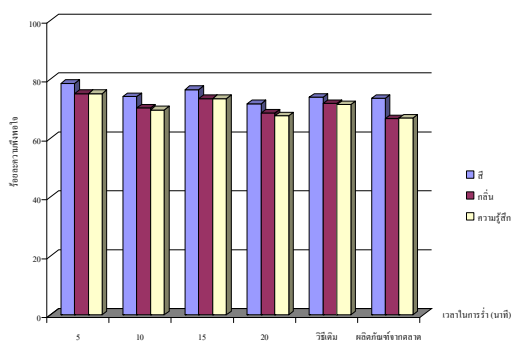
ภาพที่ 3 ผลของชนิดของน้ำที่ใช้ผลิตน้ำอบไทยต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค

จากภาพที่ 3 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อการทดสอบน้ำอบไทยที่ผลิตจากการใช้น้ำต่างกันด้วยชุดอุปกรณ์ พบว่าน้ำอบไทยที่ผลิตด้วยชุดอุปกรณ์ฯ โดยใช้น้ำดื่ม น้ำจากแม่น้ำ และน้ำสระน้ำ

ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในด้านสี กลิ่น และความรู้สึก เมื่อได้สัมผัสกลิ่นที่คล้ายกับน้ำอบไทยที่ผลิตจากวิธีเดิม และจากตลาด มากกว่าที่ผลิตจากน้ำประปาและน้ำกรองเล็กน้อย เนื่องจากในน้ำประปาและน้ำกรองมีสิ่งเจือปนอยู่มาก ทำให้สีน้ำอบไทยเข้มกว่าและ ครัน เครื่องสำอางเข้าไปในน้ำได้ไม่ดีเท่าที่น้ำกลั่น

3.5 ผลของเวลาในการร่ำที่ใช้ผลิตน้ำอบไทยต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค

ผลิตน้ำอบไทยด้วยชุดอุปกรณ์ฯ โดยใช้เวลาในการร่ำต่างกัน



ภาพที่ 4 ผลของเวลาในการร่ำที่ใช้ผลิตน้ำอบไทยต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค

จากภาพที่ 4 ผลการศึกษาความพึงพอใจน้ำอบไทยที่ผลิตได้ด้วยวิธีเดิม และด้วยชุดอุปกรณ์ที่ใช้เวลาในการร่ำต่างกัน พบว่าน้ำอบไทยที่ผลิตด้วยชุดอุปกรณ์ทุกช่วงเวลาที่ใช้ในการร่ำไม่ว่าจะเป็นเวลา 5 นาที หรือ 20 นาที ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในด้านสี กลิ่น และความรู้สึกเมื่อได้สัมผัสในระดับใกล้เคียงกันมาก และมีความพึงพอใจใกล้เคียงกับน้ำอบไทยที่ผลิตจากวิธีเดิม และจากตลาด

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตน้ำอบไทยด้วยชุดอุปกรณ์ชุดครันเครื่องสำอาง และศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำอบไทย ได้แก่ ชนิดของน้ำ และเวลาในการร่ำ นำน้ำที่ผ่านการร่ำวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่าน้ำทุกชนิดมีค่าการ

ดูดกลืนแสงเมื่อเทียบกับน้ำที่ไม่ได้ร่ำ แสดงว่าการร่ำด้วยชุดอุปกรณ์ฯ ทำให้น้ำดูดซึมครันเครื่องสำอางได้มาก และช่วยลดเวลาในการร่ำเหลือเพียง 20 นาที จากวิธีเดิมใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง ศึกษาความพึงพอใจต่อน้ำอบไทยที่ผลิตด้วยวิธีเดิมและผลิตด้วยชุดอุปกรณ์ฯ โดยใช้น้ำชนิดต่าง ๆ และเวลาในการร่ำต่างกัน และน้ำอบไทยที่ซื้อได้ตามท้องตลาดในด้าน สี กลิ่น และความรู้สึกเมื่อได้สัมผัสด้วยแบบสอบถาม โดยสุ่มจำนวนผู้บริโภค 50 คน พบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจในด้านสี กลิ่น และความรู้สึกเมื่อได้สัมผัสไม่แตกต่างกัน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] นันทวัน กลิ่นจำปา, 2545, เครื่องหอม ภูมิปัญญาไทย, แผนกวิชาคหกรรมศาสตร์ทั่วไป คณะวิชาคหกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ, ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด หน้า 97-98.
- [2] “น้ำอบไทย” 2550, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :http://www.joburl.com/vocation.php?voc_id=3 76 (วันที่สืบค้น 3 กันยายน 2552)
- [3] สุทธิศา ณ อัญชัน, 2548, สมุนไพร, เครื่องหอมไทย มรดกไทย วิถีไทย, ปีที่ 5 ฉบับที่ 51 ประจำเดือน มีนาคม 2548, หน้า 43-49
- [4] Christie J. Geankoplis, 1993, Transport Processes and Unit Operations, 3rd ed., Prentice Hall PTR Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 381-418.
- [5] William J. Thomson, 2000, Introduction to Transport Phenomena, Prentice Hall PTR Upper Saddle River, New Jersey, pp. 239-255.
- [6] “คุณสมบัติของน้ำ” 2549. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :<http://www.lesa.in.th/hydro/waterproperties/waterproperties.htm>. (วันที่สืบค้น 20 ตุลาคม 2552)

ดรรชนีรายชื่อผู้แต่ง (ภาษาไทย)

ก

กนกพร บุญทรง	278, 465	จิรภัทร ภู่วัญทอง	426
กฤษชัย วิถีพานิช	337	จิรฐิติ บรรจงศิริ	43
กฤษณ์ เจ็ดวรรณนะ	403	จิราพร เกียรติวุฒิมอสร	122
กฤษณเวช ทรงชนศักดิ์	546	จิระพงษ์ ศรีวิชัย	396
กฤษณ์ชนม์ ภูมิภคดิพิชญ์	89,106,117,187,409	เจริญ มิตราวะกิน	337, 525
กอบศักดิ์ ศรีประภา	274	เจริญชัย ฮวดอุปิต	133
กัญญา โกสุมภ์	519	จ	
กาญจน์ชญา พานิชเจริญ	122	ฉลอง โสดาบัน	83, 175
กิตติ โพธิ์สุวรรณ	269	ฉัตรแก้ว สุริยะภา	530
กุลชาติ ธรรมชาติ	241	ฉัตรชัย เขียรหิรัญ	308
เกียรติศักดิ์ ทองสม	261	ฉันททิพ คำนวนทิพย์	261
โกวิท บุญรอด	49	เฉลิมเกียรติ สุตาษา	435
โกสินทร์ จำนงไทย	127	เฉลิมพล คล้ายนิล	228
ไกรฤกษ์ เขยชื่น	127	ช	
ข		ชาญณรงค์ ภิรมจิตร	274
ขจรศักดิ์ พงศ์ธนา	166	ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข	331, 486
ค		ชาญวิทย์ ชัยอมฤต	535
คณโฑ ปานทองคำ	67	ชานนท์ บุณนท์	255
จ		ชิตพล พรหมวัง	17
จตุพร เผ่าพงษ์ไทย	282	เชิงชาย สมประชา	337
จตุพร ใจดำรงค์	67	ไชยยะ ธนพัฒน์ศิริ	415, 420
จตุรงค์ ลังกาพินธุ์	541	ไชยยันต์ บุญมี	202
จรัญ ศรีธาราธิคุณ	274	โชคมงคล นาคี	326
จรรยา เจริญเนตรกุล	12, 36	ฐ	
จักรพันธ์ แสงสุวรรณ	320	ฐาปกรณ์ จันทกาม	261
จักรินทร์ วิเศษยา	117	ด	
จักรี ศรีนนท์นัตร	409, 435, 439	दनัย ทองธวัช	106
จักรี ดิยะวงศ์สุวรรณ	43	دنุพล คำปัญญา	78, 199

คนุพัฒน์ ดวงม้าย	160	นพดล สิทธิพล	274
ครุณี ชายทอง	140	นพรุจ ฤทธานนท์	187
ดวงหทัย พิบูลย์	269	นภัทร วัจนเทพินทร์	202
ดิเรก มณีวรรณ	326, 454	นรเศรษฐ์ ไทยแท้	95
เดช ธรรมศิริ	154	นันทชัย ชูศิลป์	24
ด		นันทนิตย์ ยี่มวาสนา	278, 465
ตรีวุฒิ ลิ้มทโรภาส	552	นันทวัน กลิ่นจำปา	563
ถ		นำพร ปัญญาใหญ่	390
ถนอมศักดิ์ แก้วสกุณี	89	นิโรจน์ เงินพรหม	308
ถนัค รัตนานุกงส์	282	นิตยา ใจ้ววัฒนา	282
ท		นิติพงษ์ ปานกลาง	101
ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์	274	นิภาพร ปัญญา	313
ทวิชาดิ เย็นวิเศษ	513	บ	
ทวิวัช ชัยพิพัฒน์	486	บุญช่วย เจริญผล	331
ทวิชัย กาฬสินธุ์	17	บุญชัย วัจจะตรากุล	241
ทวิชัย พลดงนอก	552	บุญยัง ปลั่งกลาง	181, 187, 460
ทศพร เงินเนตร	228	บุศรินทร์ สุดสุข	278
ทศพล บำรุงโชค	95	ป	
ทินกร ก้อนสิงห์	448	ปณิธิ แสนจิตร	482
เทวิล สกุลบุญยงค์	494, 500	ปทุมทิพย์ ดันทับทิมทอง	563
เทอดเกียรติ ลิ้มปิติปรากฏ	409	ปนัดดา แสงแก้ว	181
ไทรท ศรีโยธา	535	ประดัดรัฐ ประจันเจตต์	286
ธ		ประภากร คลกิจ	7
ธเนศ เดชโหมด	111	ประมุข บัวน้อย	147
ธนวัฒน์ พันธุ์ชัย	209	ปรัชญา พนมอุปถัมภ์	160
ธัญญา เสืออุดม	541	ปราณี รัตนานุกงส์	282
ธনীศักดิ์ นนทพุทธ	166, 426	ปริญญา จินดาประเสริฐ	308
ธราธิป ภูระหงษ์	75	ปริญญา สมเงิน	111
ธันยธร นูนอิม	17	ปรีชา มหาไม้	216, 390
น		ปาริชาติ แสงสุวรรณ	506
นครินทร์ ศรีปัญญา	386	ปิยะ ประสงค์จันทร์	133, 415, 420

ผ		ฤ	
ผดุงศักดิ์ วงศ์แก้วเขียว	430	ฤทธิรงค์ อินทรจินดา	193
พ		ว	
พงศ์กรณ์ ปุบผาโสมตระกูล	55	วรงค์ ชุมวราฐายี	286
พยุง มีสัจ	154	วรรณพร ชีววุฒิพงษ์	67
พรโพยม วรเชษฐาวาวัตร์	559	วรรณัน ปัตร์ประกร	111
พรชัย แก้วอ้อม	345, 352	วรวิทย์ เตจาคำ	448
		วัชรพงษ์ วรเศรษฐพงษ์	286
พระพีพัฒน์ ภาสบุตร	111, 199	วันดี มาตสถิตย์	313
พันธ์ยศ วรเชษฐาวาวัตร์	559	วารุณี อริยวิริยะนันท์	187
พานิช อินต๊ะ	358	วิชณี สอนสา	465
พิชญุตม์ จรัสบำรุงโรจน์	31, 303	วิชาญ เพชรคงทอง	439
พินิจ เนื่องภิรมย์	326	วิชาญ เพชรมณี	426
ไพโรจน์ เล้าสมบุรณ์	78	วิจิต เกรือสุข	199
ภ		วิจิต แสงสุวรรณ	274
ภานุวัฒน์ มาละแซม	454	วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ	358, 363
ภานุ วัชรนฤมล	216	วิทยา ชัยสงคราม	175
ภานุวัฒน์ เทียนศรี	111	วิษพงษ์ อินทร์ช่วย	261
ภาสวรรณ วัชรดำรงศักดิ์	390	วินัย ใจกล้า	95, 160
ภูรินทร์ อัครกุลธร	541	วินัย พฤษะวัน	396
ม		วิบูลย์ ช่างเรือ	247
มานิช ริทินโย	255	วิรัช กองสิน	171
มานัส สุนันท์	326, 454	วิรัตน์ จอมขวา	221
ย		วิรัตน์ หวังเขื่อนกลาง	519
ยุทธนา มูลกลาง	216, 390	วิไลพร นุ่นภักดี	60
ร		วีรยศ นัมคนิสรณ์	55
รมณี สงวนดีกุล	506	วีรวุฒิ ชันรัตน์	454
ระพีพันธ์ ชัดปิก	430, 454	วีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล	247
รุ่งเพชร ก่องนอก	460	วุฒิชัย วิจิตรกุลสวัสดิ์	166
รุ่งโรจน์ ขะมันจา	216	เวคิน ปิยรัตน์	175
เรืองยศ เกตุรักษา	337		

ค		สำเนียง องค์กรพันธุ์กุล	43
ศรายุทธิ์ หลีแก้วสาย	60	สำเริง รักซ้อน	308
ศศิวิมล วุฒิกนกกาญจน์	465	สิงห์โต สกุลเขมฤทัย	269
ศักดิ์วรา วรานุกสิษฐ์	439	สิทธิชัย จินะวงษ์	382, 442
ศักดิ์สิทธิ์ คีอ่า	409	ศิริแข พงษ์สวัสดิ์	1, 286
ศิริชัย แดงเอม	409	สุเทพ ชูผึ้ง	486
ศิริชัย ต่อสกุล	372	สุเมธ ตันตระเชียร	506
ศิริพร ลุนพรม	1	สุจิตรา จินะวงษ์	382, 442
ศุภโชค สุมาวรรณ	221	สุชาติ เข็นวิเศษ	513
ศุภชัย หอวิมานพร	320, 403	สุทธิมงคล กอสัมพันธ์	274
ศุภชัย ปลายเนตร	75	สุนทร นาคโนนหัน	233
ศุภชัย อรุณพันธ์	345, 352	สุพจน์ นิตยสุวัฒน์	290
ค		สุพัฒน์ เผ่าพงษ์ไทย	282
สถาพร ทองวิก	409	สุภาณี กรสิงห์	439
สนธยา ทองอรุณศรี	60	สุรเชษฐ์ ช้อนกลิ่น	494, 500
สมชัย หิรัญวโรดม	409	สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์	67
สมชาย เบียนสูงเนิน	372, 377	สุรัตน์ วรรณศรี	494, 500
สมชาย ชลาชน	448	สุริยา แก้วอาษา	386
สมบัติ สันแก้ว	216	สุวิทย์ ธรรมแสง	233
สมบูรณ์ กงสมศักดิ์ศิริ	297	เสนอ สะอาด	133, 140, 415, 420
สมปอง เวฬุวนาธร	290	อ	
สมพล โกศลวิตร	430	อดิศักดิ์ แข็งสารกิจ	525
สมพันธ์ อำพวัน	345	อดิสรณ์ พงษ์สุวรรณ	297
สมยศ สีแสนชูย	75	อนุชา ทองประสม	541
สรรรพท คุ่มทรัพย์	331	อนุพันธ์ คอนชัย	563
สังเวช เสวกวิหารี	313	อนุสรณ์ เราเท่า	247, 326, 430, 454
สัญญา ผาสุข	352	อมรรัตน์ ลิ้มมณี	274
สัตตภาภูมิ ไทยพานิช	78	อรรถพล เพ็ชรผลศิสกุล	435
สัมพันธ์ ไชยเทพ	247	อรวรรณ ปัญญาภาค	60
สาขันธ์ สุควัฒน์	552	อรุณโรจน์ กุลศิริบรร	269
สาขนต์ โพธิ์เกตุ	471	อลงกรณ์ อนรรฆพรหม	55

อักรินทร์ ว่องสิทธิโรจน์	541
อัญชลี สงวนพงษ์	282
อาทิตย์ ขาวทผลิ	358, 363
อานนท์ พ่วงชิงงาม	78, 199
อารีรัตน์ เชื้อบุญเกิด	233
อำนาจ ผัดวัง	482
อุดมศักดิ์ บุญมีรติ	546
อุดร หนูแก้ว	297
เอกตระกูล นาคปลัด	193
เอกทัศน์ พฤกษ์วรรณ	430
เอกลักษณ์ สุมนพันธ์	147
เอกวิทย์ หายักวงษ์	476

Invited Speaker

Dr. Rohan Anthony NELSON

Director,

Offset Methodology Development

Australian Government

Department of Climate Change and Energy Efficiency

GPO Box 854 Canberra ACT 2601

AUSTRALIA

+61 (0) 425 622 916

E-mail: rohan.nelson@climatechange.gov.au



Bionote Dr Rohan Nelson specialises in making environmental science and economics relevant and useful to communities, industries and governments. He spans the boundary between science and policy agencies, and has worked to improve science-policy engagement from within research and policy institutions for most of his career.

Rohan is currently *Director, Offset Methodology Development* with the Australian Government Department of Climate Change and Energy Efficiency (DCCEE). He leads a multi-disciplinary team of policy analysts working with industry, governments and non-government organisations to implement the Australian Government's domestic carbon offsets programs - the Carbon Farming Initiative and the National Carbon Offset Standard.

Rohan's research and practice in science-policy engagement has been recognised through an affiliation with the Consortium for Science, Policy & Outcomes at Arizona State University.

Summary of expertise

- Mitigation policy, particularly carbon offsets.
- Integrating science effectively into policy processes.
- Spanning the boundary between science and policy, and science and the community.
- Designing and implementing improved processes for science/policy engagement, and creating opportunities for scientists and policy advisers to interact.
- Designing, implementing and evaluating integrated modelling systems that translate seasonal climate forecasts and climate change projections into socioeconomic impacts.
- Using *rural livelihoods analysis* to create operational measures of the vulnerability and adaptive capacity of rural communities to global change that inform both policy and community based natural resource management.
- The design, implementation and evaluation of socioeconomic surveys, from local to national scales.
- The application of *rural livelihoods analysis* and *diffusion of innovations* to understand and influence the adoption of sustainable farming practices.
- The development and participatory application of simulation models to improve the farming systems management.
- The design, management and evaluation of commodity forecasting systems, including data systems, modelling of Australian and world commodity markets

Research management

The design, monitoring and evaluation of large, multidisciplinary research programs, including the coordination of multiple funding partners & research providers
The leadership of large multidisciplinary teams, the preparation of research proposals, implementation and delivery of research, and staff development
Coordinating local and international communities of practice that enhance the development of innovative and societally relevant science

Qualifications BEc & BSc (Forestry) Australian National University
 PhD (Agricultural Economics) University of Queensland

Associations AARES ANZSEE & APEN

International Australia Bangladesh Philippines Papua New Guinea Indonesia Malaysia Singapore

Employment history

from December 2009 to...

Australian Government Dep't of Climate Change and Energy Efficiency
Director, Offset Methodology Development
 Leading a multi-disciplinary team of policy analysts working with industry, governments and non-government organisations to implement the Australian Government's domestic carbon offsets programs - the Carbon Farming Initiative and the National Carbon Offset Standard.
<http://www.climatechange.gov.au/en/government/initiatives/national-carbon-offset-standard.aspx>

from February 2009 to December 2009

Australian Government Dep't of Climate Change
Director, Agriculture & Economic Adviser, Adaptation
 Dual roles leading the development of agricultural mitigation policy in parallel with the development of Australia's emissions trading scheme, as well as advising on the socioeconomic dimensions of adaptation policy within the Australian Government.
<http://www.climatechange.gov.au/emissionstrading/agriculture/index.html>

from January 2006 to February 2009

CSIRO Sustainable Ecosystems
Research Group Leader & Resource Economist
 Leader of an interdisciplinary team of economists, ecologists, climatologists, statisticians and farming systems experts researching the vulnerability and adaptation of rural communities and industries to climate variability and change, and the adoption of sustainable farming practices.
www.cms.csiro.au/org/ClimateAdaptationFlagship.html

from February to December 2005

Land & Water Australia
Program Coordinator, Managing Climate Variability R&D Program
 Coordinated a \$6.5 million R&D program with 19 projects, developed a new program of DAFF/NHT climate projects (\$1 million, 4 projects), Theme 3 of SEACI (\$2 million, 10 projects), a Northern Australia project (\$0.5 million) and the LWW climate sub-program (~\$100k).
www.managingclimate.gov.au/ (On secondment from ABARE)

July 2004 to February 2005

Principal Economist, Natural Resource Economics and leader of research programs in *Climate Variability* and *Resilient Farming Systems*, integrating vulnerability to climate risk, the adoption of sustainable farming, and rural livelihoods analysis.

January 2004 to June 2004

ABARE
Manager, Agricultural Commodity Forecasting – Lead a team of 12 economists analysing Australian and world agricultural commodity markets, and organising national and regional *Outlook* conferences.
www.abareconomics.com (Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics)

Recent
publications

1. Nelson, R., Kokic, P., Crimp, S., Meinke, H., and Howden, M. 2010. The vulnerability of Australian rural communities to climate variability & change: Part I - Conceptualising and measuring vulnerability. *Environmental Science & Policy* 13: 8-17.
2. Nelson, R., Kokic, P., Crimp, S., Martin, P., Meinke, H., Howden, M., Devoil, P., and Nidumolu, U. 2010. The vulnerability of Australian rural communities to climate variability & change: Part II – Integrating impacts with adaptive capacity. *Environmental Science & Policy* 13: 18-27.
3. Nelson, R., Howden, S.M. & Stafford Smith M., 2008. Using adaptive governance to rethink the way science supports Australian drought policy. *Environmental Science & Policy* 11: 588-601.
4. Nelson, R., Kokic, P. and Meinke, H., 2007. From rainfall to farm incomes - transforming advice for Australian drought policy: Part II - Forecasting farm incomes. *Australian Journal of Agricultural Research* 58:10, 1004-1012.

Ms. Phakamon Supappunt
Assistant to Senior Officer, Marketing Office Thailand
Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization)
E-mail: phakamon@tgo.or.th



Ms. Phakamon Supappunt is an assistant to Senior Officer in the Carbon Marketing Office of the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) (TGO), which is the newly established governmental implementing agency on greenhouse gas (GHG) emission reduction and the Designated National Authority for CDM (DNA-CDM) office in Thailand.

Ms. Supappunt is responsible for encouraging manufacturers to take part in climate change mitigation by implementing Carbon Footprint. She is the Secretary of the Technical Committee on the Carbon Footprint of Products of Thailand. She is also responsible for providing the Carbon footprint information and current situation to companies and public.

Previously, she worked for the Federation of Thai Industries in Bangkok from 2007 to 2009 as Assistant to the Director of The Research and Development for Industry Institute, which promotes and supports the study, research, training and dissemination of technical knowledge and technology related to industries. From 1997-2008, she worked for the Thailand Environment Institute in the Business and Environment Program. She took part in the development of national sustainable development indicators for Thailand.

Dr. Shabbir H. GHEEWALA

Associate Professor

The Joint Graduate School of Energy and Environment

King Mongkut's University of Technology Thonburi

126 Pracha Uthit Road, Bangmod, Tungkru

Bangkok 10140, THAILAND

Tel: (66)(2)470 8309/10 ext. 4139

Fax: (66)(2)872 9805

E-mail: shabbir_g@jgsee.kmutt.ac.th



- Education D.Eng. (2001) in Environmental Engineering from the Asian Institute of Technology, Thailand
- M.Eng. (1995) in Environmental Engineering from Asian Institute of Technology, Thailand
- B.Eng. (1992) in Civil Engineering from Jadavpur University (First class honours), Calcutta, India
- Professional Positions Held since Mar. 2007 Associate Professor, Joint Graduate School of Energy and Environment (JGSEE), King Mongkut's University of Technology Thonburi
- 2004 – 2007 Assistant Professor, Joint Graduate School of Energy and Environment (JGSEE), King Mongkut's University of Technology Thonburi
- 2002 – 2004 Lecturer, Joint Graduate School of Energy and Environment (JGSEE), King Mongkut's University of Technology Thonburi
- 1995 – 2001 Researcher, Environmental Engineering Program, Asian Institute of Technology
- Current Research Interests
- Strategic Environmental Assessment of Energy Systems
 - Carbon Footprinting of Agricultural Products
 - Certification and Sustainability Assessment of Biomass Systems
- Recent publications
1. Silalertruksa T., Gheewala, S.H. (2010), Security of feedstocks supply for future bio-ethanol production in Thailand, *Energy Policy*, Vol. 38, No. 11, pp. 7476-7486
 2. Pasukphun, N., Vinitnantharat, S. and Gheewala, S.H. (2010), Investigation of decolorization of textile wastewater in an anaerobic/aerobic biological activated carbon system (A/A BAC), *Pakistan Journal of Biological Sciences*, Vol. 13, No. 7, pp. 316-324
 3. Lebel L., Mungkung R., Gheewala S.H., Lebel, P. (2010), Innovation cycles, niches and sustainability in the shrimp aquaculture industry in Thailand, *Environmental Science and Policy*, Vol. 13, No. 4, pp. 291-302
 4. Prueksakorn, K., Gheewala, S.H., Malakul, P., Bonnet, S. (2010), Energy analysis of Jatropha plantation systems for biodiesel production in Thailand, *Energy for Sustainable Development*, Vol. 14, No. 1, pp. 1-5
 5. Nguyen T.L.T., Gheewala, S.H., Sagisaka, M. (2010), Potential greenhouse gas benefits of promoting sugar cane as a bio-energy resource, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 18, No. 5, pp. 412-418
 6. Wangyao, K., Towprayoon, S., Chiemchaisri, C. Gheewala, S.H., Nopharatana, A. (2010), Application of the IPCC Waste Model to solid waste disposal sites in tropical countries: Case study of Thailand, *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 164, pp. 249-261.
 7. Suramaythangkoor, T. , Gheewala, S.H. (2010), Potential alternatives of heat and power technology application using rice straw in Thailand, *Applied Energy*, Vol. 87, No. 1, pp. 128-133

- Academic Positions
- Subject editor of the International Journal of Life Cycle Assessment
 - Co-editor (Energy and environmental policy) of the Journal of Sustainable Energy and Environment
 - Representative from Thailand on the GHG working group of the Roundtable on Sustainable Palm Oil
 - Chair of the technical committee on GHG emissions from the palm oil sector in Thailand
 - Member of the Thai Carbon Footprint methodology development committee

Dr. Hiroshi HONDA
Professor, Applied Entomology
Graduate School of Life and Environmental Sciences
College of Agro-Biological Resource Sciences,
University of Tsukuba
Ibaraki 305-8572, Japan
T. +81-29-853-4793
E-mail: hhonda@sakura.cc.tsukuba.ac.jp



Bionote Dr Hiroshi Honda is currently Professor in Applied Entomology with College of Agro-Biological Resource Sciences, University of Tsukuba. He researches on Insect Physiology and Ecology and also insect Pollinators.

Summary of expertise

- Insect Chemical Ecology.
- Biological Control based on Natural Insect.
- Development of New Technologies for Honeybee Disappearance Syndrome and Effective Pollination.

Qualifications

Ph.D. (Applied Entomology) University of Tokyo.
M.S. (Plant Protection) Tokyo University of Agriculture and Technology.
B.S. (Agricultural Science) Tokyo Agricultural University.

Associations APACE, Japanese Society of Applied Entomology and Zoology, International Society of Chemical Ecology

Recent publications

1. Xia W., and H. Honda (2010) Non-polar body waxes enhance sex pheromone activity in the yellow peach moth, *Conogethes punctiferalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae). *Appl. Entomol. Zool.* 45: 449-456.
2. Horiganne, M., T. Shinoda, H. Honda, D. Taylor (2010) Characterization of a Vitellogenin gene reveals two phase regulation of vitellogenesis by engorgement and mating in the soft tick *Ornithodoros moubata* (Acari: Argasidae). *Insect Molecul. Biol.* 19: 501-515.
3. Kawazu, K., S. Nakamura, H. Honda and T. Aadti (2010) Effects of photoregime on the diel rhythmicity of male responses to sex pheromones in *Glyphodes perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Appl. Entomol. Zool.* 45: 169-176.
4. Keiichi Honda, Takashi A. Inoue, Hiroshi Honda and Hisashi Ômura (2008) Fluorescent pupal secretion of the papilionid butterfly, *Luehdorfia japonica*. *Trans. Lepid. Soc. Jpn.* 59: 165-170.
5. Kamata N., K. Esaki, K. Mori, H. Takemoto, T. Mitsunaga and H. Honda (2008) Field trap treat for the bioassay of synthetic (1S, 4R)-4-isopropyl-1-methyl-2-cyclohexen-1-ol as an aggregation pheromone of *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platipodidae). *J. For. Res.* 13: 122-126.
6. Mizuno H., S.-H. Oh, O. Komagata, S. Kasai, H. Honda, Y. Kono and T. Tomita (2007)
Differential tissue distribution of two acetylcholine esterase transcripts in the German cockroach, *Blattella germanica*. *Appl. Entomol. Zool.* 42: 643-650.

7. Kawazu, K., H. Honda, S. Nakamura, T. Adati and M Hara (2007) Identification of sex pheromone components in box tree pyralid, *Glyphodes perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae). *J. Chemical Ecology*. 39: 1978-1985.
8. Kamata N., Takemoto H., Mori K., Mitsunaga T., H. Honda and K. Esaki (2007) Synthetic pheromone of *Platypus quercivorus*: Development process, present status and future scope. *Bull. Cent. For.* 55: 59-62. (in Japanese).
9. Horigane, M. K. Ogiwara, Y. Nakajima, H. Honda and D. Taylor (2007) Identification and expression analysis of an Actin gene from the soft tick, *Ornithodoros moubata* (Acari: Argasidae). *Arch. Insect Biochem.* 64:186-199.
10. Honda, H. (2007) Insect Physiology and Ecology, Chapter I.7: Reproduction, Chapter II: Host Selection of Herbivorous Insects, (eds Kono, Y and S. tatsuki), 277pp. Asakura, Tokyo Japan

Dr. Hans E. HUMMEL
 Professor,
 Department of Organic Farming,
 Institute of Agronomy and Plant Breeding II,
 Justus Liebig University Giessen,
 Karl-loeckner-Strasse 21 C,
 D-35394 Giessen –Germany
 T. +49-641-99-37731
hans.e.hummel@agrار.uni-giessen.de



- Bionote** Dr Hans E. Hummel is Professor with retirement status and voluntary research and lecturing obligations at Department of Organic Farming of J.Liebig University of Giessen.
- Summary of expertise**
- Chemical ecology of insects, insect pheromones and kairomones.
 - Plant-insect-relationships, with special emphasis on semiochemicals and plant natural products such as *Azadirachta indica* and *A. Excels*.
 - Instrumental analytical methods, spectrometry and chromatography, counter current chromatography for separation and purification of natural products.
 - Nanotechnology in agriculture.
 - *Diabrotica v.virgifera* as an invasive insect pest species in Europe.
- Qualifications**
- Ph.D. (physiological chemistry, insect physiology, and insect biochemistry)
 University of Marburg
- M.S. (organic chemistry and biochemistry) University of Marburg
 B.S. (general chemistry, mineralogy, chemical engineering, physics)
 University of Stuttgart
- Associations**
- Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte
 International Society of Chemical Ecology
- Recent publications**
1. Hein DF, Leithold G, Hummel HE, Lindner I, Vilcinskis A, Greiner A, Wendorff J, Dersch R, Hellmann C, Breuer M, Kratt A (2009): Nanofibers as novel carriers for semiochemicals in plant protection. *Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Ent.* 17, 105-108
 2. Hein DF, Leithold G, Hummel HE, Vilcinskis A, Greiner A, Wendorff JH, Dersch R, Hellmann C, Breuer M, Beer H, Schroer S, Kratt A, Kleeberg H, Schulze C, Wahl F (2009): Nanofasern als neuartige Träger für flüchtige Signalstoffe zur biotechnischen Regulierung von Schadinsekten im integrierten und ökologischen Landbau. In: MAYER J et al. (Hrsg.): *Werte – Wege – Wirkungen ... Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, Zürich, Schweiz, Band 1, 308-311, (Volltext abrufbar unter: <http://orgprints.org/14105/>)
 3. Hein DF, Leithold G, Hummel HE, Lindner I, Vilcinskis A., Greiner A, Wendorff JH, Dersch R, Hellmann Ch, Breuer M, Kratt A (2009). Nanofibers as novel carrier for semiochemicals in plant protection. *Mitt. Dtsch. Ges. Allg.Ang.Ent.* 17, pp. 105-108
 4. Hummel HE (2009): Botanical insecticides in sustainable crop protection as seen from a European perspective with emphasis on neem research and *Diabrotica* management. Abstract for International Tsukuba-Symposium, March 11, 2009, Tsukuba, Japan, p. 6

5. Hummel HE, Bertossa M (2009): Containment of the western corn rootworm *Diabrotica virgifera virgifera*: continued successful management 2008 in southern Switzerland by monitoring and crop rotation. Communications in Agricultural and applied biological sciences **74** (2), 289-296
6. Hummel HE, Bertossa M, Deuker A (2009): The current status of *Diabrotica virgifera virgifera* in selected European countries and Emerging Options for its pest Management. pp. 338-348. In: FELDMANN F, ALFORD DV, FURK C (eds.): Crop Plant Resistance to Biotic and Abiotic Factors: Current Potential and Future Demands. Proceedings of the 3rd International Symposium on Plant Protection and Plant Health in Europe, Berlin, Germany 14-16 May 2009, DPG Selbstverlag, Braunschweig. ISBN 978-3-941261-05-1
7. Hummel HE, Bertossa M, Wudtke A, Hein DF, Urek G, Modic S, Ulrichs C (2009): The western corn root worm *Diabrotica virgifera virgifera* en route to Germany. In: Strang R, Kleeberg H (Eds.: Biological Control of Plant, Medical and Veterinary Pests; Proceedings of the 14th Workshop, Wetzlar, Germany, Nov, 15-16, 2004, pp. 151-162; ISBN 3-925 614-29-X
8. Hummel HE, Deuker A (2009): Western corn rootworm *Diabrotica virgifera virgifera* in Europe: status and options for future management. Communications in Agricultural and applied biological sciences **74** (1), 271-278
9. Hummel HE, Deuker A, Leithold G (2009): The leaf beetle *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte: a merciless entomological challenge for agriculture. In: Tasin M, Witzgall P (eds.): Pheromones and other semiochemicals. IOBC/wprs Bulletin, **41**, 103-110
10. Hummel HE, Dinnesen S, Nedelev T, Grozea I, Badea AM, Ulrichs Ch (2009): Monitoring western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*) adults: situation in Romania 2008. Communications in Agricultural and applied biological sciences **74** (2), 297-308
11. Hummel HE, Shaw JT, Hein DF (2009): A promising biotechnical approach to pest management of *Diabrotica virgifera virgifera* in Illinois maize fields under kairomonal shielding with the new MSD technique. In: Strang R, Kleeberg H (Eds.: Biological Control of Plant, Medical and Veterinary Pests; Proceedings of the 14th Workshop, Wetzlar, Germany, Nov, 15-16, 2004, pp. 141-149; ISBN 3-925 614-29-X

Book

Techniques in Pheromone Research, with T.A. Miller as co-editor, Springer Verlag, New York, 1984

Werner KOSSMANN
Managing Director,
Pure Natural Power Co., Ltd.
110/6 Moo 5, Tambon Suthep,
Amphur Muang,
Chiang Mai 50200, Thailand
Tel. +66 53 810 816
Email :wk@pure-naturalpower.com



During the past 22 years Mr. Kossmann has been working for the German Technical Cooperation Agency (GTZ) www.gtz.de as Advisor and Senior Project Manager in the field of environmental management and renewable energy.

Among several project assignments in the field of biogas development, from 1988 – 1994 he was Advisor to the Thai-German Cooperation Program responsible for the development of a strategic and institutional framework for the National Biogas Promotion Program in Thailand.

As the responsible Project Manager for biogas technology in GTZ he has coordinated and steered biogas promotion activities in many countries and is Co-Author of the GTZ publication Biogas Digest <http://www.gate-international.org/documents/publications/webdocs/pdfs/biogasdigestvoll.pdf>.

Until recently he was the Principal Advisory for the Thai-German cooperation project “Improved Municipal Solid Waste Management for Phitsanulok”, in cooperation with Phitsanulok Municipality and Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand.

Mr. Kossmann is co-founder and Managing Director of PURE Natural Power Co. Ltd., a Thai-German Joint Venture Company exploring business opportunities in Carbon Emissions Reduction in Thailand and other Southeast-Asian countries.

Werner Kossmann holds a Master Degree in Agricultural Economics from the Technical University Berlin.

Dr. Sansanee CHAWANAKUL

Department of Biological Science,
Faculty of Science,
Ubon Ratchathani University,
Ubon Ratchathani 34190,
THAILAND

Tel: +66 45-433110-2

Ext. 4214, 4489

Email: sansanee@ubu.ac.th



- Academic background
- Ph.D (Environmental Technology), The Joint Graduate School of Energy and Environment (JGSEE), King Monkutt's University of Technology Thonburi (KMUTT), Thailand
- M.Sc (Environmental Toxicology), Environmental Science Interdisciplinary Program, Kasetsart University, Thailand.
- B.Sc (Microbiology), Faculty of Science, Kasetsart University, Thailand.
- Certificate in Special Research Topic, (Medicinal plants in Gifu Prefecture), Gifu University, Gifu, Japan. 2533-2535
- Intensive Course for IETLS (December-February 2542) and Certificate in University Entrance Certificate (CALUSA) (February-April 2542) for Ph.D Candidate at University of South Australia, Adelaide, Australia. 2541-2542
- Publications
1. Chawanakul, S., Aranyanark, J and Noparatnaraporn, N. (1995). Biodeterioration of bacterial and actinomycetes at Sukhothai Historical Park in Thailand. M.Sc Thesis. Kasetsart University, Bangkok. Thailand. 142 pps.
 2. Noparatnaraporn, N., Chawanakul, S and Aranyanark, J. (1995). Bacterial diversity of historical monuments in Thailand and their roles on Biodeterioration. Biodeterioration of Cultural Property 3. Proceeding of the 3rd International Conference. July 4-7, 1995. Hilton International Park, Bangkok. Thailand.
 3. Chawanakul, S., P. Chaiprasert, S. Towprayoon, O. Kerdchoechuen and M. Tanticharoen (2001) "Population Dynamics of Acetoclastic Methanogens and Methane Production in Flooded Rice Root Soils," BioThailand 2001: From Research to Market, 7-10 November 2001, Queen Sirikit National Convention Center, Thailand.
 4. Chawanakul, S., Chaiprasert, P., Kerdchoechuen, O., Towprayoon, S. and Tanticharoen, M. (2002). Methane production and Acetoclastic methanogens at rice rhizospheric soil. Proceeding on "3rd Non-Carbon dioxide Greenhouse Gas (NCGG-3) International Conference", January 21-23, 2002. Maastricht, The Netherlands.
 5. Chawanakul, S., Chaiprasert, P., Towprayoon, S. and Tanticharoen, M. (2002). Methane production and Acetoclastic methanogens population size at rice root. Proceeding at "World Congress of Soil Science Conference (WCSS)". International Queen Sirikit Convention Centre, Bangkok. Thailand.
 6. Chawanakul, S., Chaiprasert, P., Kerdchoechuen, O., Towprayoon, S. and Tanticharoen, M. (2005). Methane production and Methanogenic communities in paddy field. Ph.D Dissertation. The Joint Graduate School Of Energy and Environment (JGSEE). King Monkutt's University of Technology Thonburi (KMUTT). Bangkok.

7. Kakar, M. A., Maddocks, S., Chawanakul, S., Abbas, M., Kleemann., and Walker, S.K. 2004. Identifying nutritional signals in sheep before and after mating. Department of Animal Science, Adelaide University Roseworthy Campus, Roseworthy, South Australia 5371. Proceeding from the 11th International Congress on Biotechnology in Animal Reproduction. September 16-18, 2004. Czech Republic.
8. Chawanakul, S., Chaiprasert, P., Kerdchoechuen, O., Towprayoon, S. and Tantichar M. (2005). Methane production and Methanogenic communities in paddy field. I Dissertation. The Joint Graduate School Of Energy and Environment (JGSEE). I Monkutt's University of Technology Thonburi (KMUTT).
9. Chawanakul, S., Chaiprasert, P., Towprayoon, S., Kerdchoechuen, O., and Tanticharoen, M., 2004, "Methane Production by Acetate-utilizing Methanogens in Paddy Field", The 3rd Regional Conference on Energy Technology towards a Clean Environment "Sustainable Energy and Environment (SEE 2005)", December 1-3, Hilton Hua Hin Resort & Spa, Phachuapkhirikhan, Thailand, p. 778.
10. Sansanee Chawanakul, Pawinee Chaiprasert, Sirintornthep Towprayoon and Morakot Tanticharoen. .2009. Contributions of available substrates and activities of trophic microbial communities to methanogenesis in vegetative and reproductive rice rhizospheric soil. *J. of Environ. Biol.* 30 (1) 09.

Dr. Hee Young LEE

Director,
Institute of Materials Research
Professor, Materials Science and Engineering
School of Materials Science and Engineering
Yeungnam University,
Gyeongsan, 712-749, the Republic of Korea
Tel: +82-53-810-2562,
E-mail : hyulee@yu.ac.kr



- Bionote** Dr Hee Young Lee is currently Professor in Material Science and Engineering and also Director of Institute of Materials Research, Yeungnam University, Vice President of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Co-Editor-in-Chief of *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, published by the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers.
- Qualifications** Ph.D. (Materials Engineering Science) Virginia Polytechnic Institute and State University
M.S. (Ceramic Engineering) Seoul National University
B.S. (Ceramic Engineering) Seoul National University
- Present Positions**
- Professor, School of Materials Science and Engineering, Yeungnam University (March 1989-Present)
 - Teach courses in the field of electronic materials such as Electrical Properties of Materials, Semiconductor Materials and Devices, Electronic Measurements and Instrumentation, Thin-Film Technology, and Electroceramic Materials.
 - Director, Institute of Materials Research, Yeungnam University (Aug 2008-Present)
 - Associate Director, Green Energy Education and Research Center, Yeungnam University (June 2009-Present)
 - Group Leader, Regional Innovation Center for Solar Cell and Module, Yeungnam University (July 2008-Present)
- Associations** The Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, the Korean Ceramic Society, and the MRS-Korea.
- Honors and Activities**
- Award, “Best of Conference Paper Award”, at the 36th Electronic Components Activities Conference, May 5-7, 1986, Seattle, WA, U.S.A.
 - Member, the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, the Korean Ceramic Society, and the MRS-Korea.
 - Guest Coordinating Editor, Journal of Electroceramics (Special Edition for ICE2005 Proceedings)
 - Member of the Organizing Committee, International Conference on Electroceramics, June 12-16, 2005, KIST, Seoul, Korea.
 - Member of the Scientific Committee, the 9th Asian Conference on Solid State Ionics, June 6-11, 2004, KAL Hotel, Jeju, Korea.
 - Member of the Editorial Board, Journal of the Korean Ceramic Society (January, 2005-December, 2006)
 - Member of the Board of Directors, the Korean Institute of Electrical and Electronic

- Material Engineers (January, 2001-December, 2008)
- Vice President, the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers (January, 2010-December, 2010)
- Co-Editor-in-Chief, Transactions on Electrical and Electronic Materials, published by the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers (January, 2010-December, 2012)

- Current Research Interests
- Ion beam and pulsed laser deposition of ferroelectric thin films
 - Alternative TCO thin films for display and optoelectronic devices
 - Ceramic-metal composites for embedded device applications
 - Ion beam surface modification of polymer substrates
 - Electrical measurements and modelling.

Recent publications Available upon request

Dr. Seiichi KAWAHARA

Associate Professor,
Department of Chemistry, Faculty of Engineering,
Nagaoka University of Technology,
1603-1 Kamitomioka-machi, Nagaoka-shi,
Niigata 940-2188 Japan
Tel: +81-258-47-9301
Fax: +81-258-47-9300
kawahara@mst.nagaokaut.ac.jp



- Bionote** Dr Seiichi KAWAHARA currently teaches and researches in Chemistry with Faculty of Engineering, Nagaoka University of Technology.
- Summary of expertise**
- Preparation of Organic Materials from Natural Rubber as a Source
 - Science and Technology of Natural Rubber
- Qualifications**
- Ph.D. (Materials Engineering) Tokyo University of Agricultural and Technology.
M.S. (Materials Engineering) Tokyo University of Agricultural and Technology.
B.S. (Materials Engineering) Tokyo University of Agricultural and Technology.
- Recent publications**
1. Kawazura T, **Kawahara S** and Isono Y. Morphology and crystallization of NR in SBR/NR blends. *Nippon Gomu Kyokaishi* 2003; 76: 319-323.
 2. **Seiichi Kawahara**, Tetsuji Kawazura, Takumi Sawada and Yoshinobu Isono. Preparation and Characterization of Natural Rubber Dispersed in Nano-matrix. *Polymer* 2003; 44: 4527-4531.
 3. Yoshinobu Isono, **Seiichi Kawahara** and Toshio Kase. Nonlinear viscoelastic properties and change in entanglement structure of linear polymers 2. Double-step large shearing deformations at moderately long time-scale. *Journal of the Society of Rheology, Japan* 2003; 31: 201-206.
 4. Tetsuji Kawazura, **Seiichi Kawahara** and Yoshinobu Isono. Morphology and crystallization behavior of lightly cross-linked natural rubber in blend. *Rubber Chem. Technol.* 2003; 76: 1164-1176.
 5. Jintana Yunyongwattanakorn, Yasuyuki Tanaka, **Seiichi Kawahara**, Warunee Klinklai and Jitladda Sakdapipanich. Effect of Non-rubber Components on Storage Hardening and Gel Formation of Natural Rubber during Accelerated Storage under Various Condition. *Rubber Chem. Technol.* 2003; 76: 1228-1240.
 6. **Seiichi Kawahara**, Akinori Nagai, Takeo Kazama, Atsushi Takano and Yoshinobu Isono. Preparation of Poly(1,1-dimethyl silabutane) by Anionic Polymerization and Its Crystallization. *Macromolecules* 2004; 37: 315-321.
 7. **Seiichi Kawahara**, Warunee Klinklai, Hirofumi Kuroda and Yoshinobu Isono. Deproteinization of Natural Rubber with Urea. *Polym Adv. Technol.* 2004; 15:181-184.
 8. **Seiichi Kawahara**, Keiko Takano, Yoshinobu Isono, Masamichi Hikosaka, Jitladda T. Sakdapipanich and Yasuyuki Tanaka. Crystallization Behavior of Natural Rubber Purified by Deproteinization and Trans-esterification. *Polym. J.* 2004; 36: 361-368.
 9. Warunee Klinklai, **Seiichi Kawahara**, Tomonobu Mizumo, Masahiro Yoshizawa, Yoshinobu Isono and Hiroyuki Ohno. Ionic Conductivity of Highly Deproteinized Natural Rubber Having Epoxy Group Mixed with Alkali Metal Salts. *Solid State Ionics* 2004; 168: 131-136.
 10. Uzawa M, Sakurai K, Okuyama T, Asada S, Sakanoshita N, Tsukada H and Kawahara S. Studies on analysis of terpene resin in imported chewing gums. *Shokuhin Eiseigaku Zasshi* 2004; 45: 67-72.

Dr. Hiroyuki HAMADA

Professor, Division of Advanced Fibro Science
Head, Conventional Technological Education and Research Centre
Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8585, Japan
Division of Advanced Fibro Science,
Kyoto Institute of Technology (KIT),
Phone: (81) 75-724-7844
Fax No: (81) 75-724-7800
Email: hhamada@ipc.kit.ac.jp



Bionote Dr Hiroshi Honda is currently Professor in Materials Science & Engineering with Kyoto Institute of Technology (KIT). He researches on Fabrication of PP/PP and PE/PE Composites , Development of Bamboo Reinforced Bio-resorbable Polymer Composites, Processing Technique of Textile Fabric Reinforced Thermoplastic Composites, Recycle of PP Injection Moldings, Study of Novel Continuous Glass Fiber, Reinforced Thermoplastic Composites, Mechanical Properties of CF/LCP Injection Moldings, Basic Research of Braided Composites for Industrial and Medical Applications, Development of Energy Absorbable Crushing Composite Pipes.

Summary of expertise

- Materials Science.
- Textile Machinery.
- Editorial Board of Journal of Materials: Design and Applications, UK
- Editorial Board of Composites Part A: applied science and manufacturing, UK
- Editorial Board of Advanced Composites Letters, UK
- Editorial Board of International Journal of Crashworthiness, UK
- Editorial Board of Polymer and Polymer Composites, UK

Qualifications

Ph.D. (Textile Engineering) Doshisha University.
M.S. (Mechanical Engineering) Doshisha University.
B.S. (Mechanical Engineering) Doshisha University.

Award

1997 Best Paper Award (two papers) of the Composite Institute, USA on “Improvement of lateral compressive strength in braided pipe-new braided fabrication” and “Analysis of cure and flow behavior of SMC during compression molding”.
1996 Best Paper Award of Japan Reinforced Plastic Society, Japan on “Development of Energy Absorption Parts with FRP Tubes”.
1995 Best Paper Award of the Society of Fiber Science and Technology, Japan on “Study on interfacial properties of fiber reinforced composite materials”.
1993 Best Paper Award of Japan Society of Polymer Processing on “Press Pressure control on relationship between “applied control and filling time” of thermoplastic injection molding”.
1991 Best Paper Award of Japan Reinforced Plastic Society, Japan on “Fabrication and mechanical properties of braiding composite truss joint”.

Current Research Interests

- 1) Fabrication of PP/PP and PE/PE Composites
- 2) Development of Bamboo Reinforced Bio-resorbable Polymer Composites
- 3) Processing Technique of Textile Fabric Reinforced Thermoplastic Composites
- 4) Fracture Behaviors of Sandwich Injection Moldings
- 5) Strength Measurement of Plastic Film by Thermo-Mechanical Measurement

- 6) Recycle of PP Injection Moldings
- 7) Study of Novel Continuous Glass Fiber Reinforced Thermoplastic Composites
- 8) Mechanical Properties of CF/LCP Injection Moldings
- 9) Basic Research of Braided Composites for Industrial and Medical Applications
- 10) Development of Energy Absorbable Crushing Composite Pipes
- 11) Development of High Strength and Reliability Composites using Flexible Interphase

Professional Background

1998-now Professor, Division of Advanced Fibro Science, KIT

1990-1991 Visiting Scientist, Materials Science & Engineering, University of Cambridge, UK, "Crushing Fracture Mechanism of Polymer Composite Pipes"

1990-now Vice-Dean, (Dr.Eng. Program), Faculty of Textile Science, KIT

1987-1998 Associate Professor, Faculty of Textile Science, KIT

1986-1987 Research Associate, Faculty of Textile Science, KIT

1982-1986 Scientist, Osaka Municipal Technical Research Institute, Japan

Dr. Mervyn DOBBIN

Programme Leader for the MSc
International Business Suite of programmes
Department of Strategy and Management,
Leicester Business School,
De Montfort University,
UNITED KINGDOM
mdobbin@dmu.ac.uk



Bionote Dr. M. Dobbin is a Principal Lecturer and teaches on postgraduate and undergraduate programmes as module leader for the modules 'Ethical Management and Sustainability' and 'Greening Business'. One of his main responsibilities is the role of Overall Programme Leader for the MSc International Business Suite of programmes. He has particular responsibility for the management of the student dissertation process and the arrangements for student supervision. He supervises students to Doctoral level.

Summary of expertise Prior to joining DMU, Dr Dobbin worked as a professional town planner in public and private sector organisations responsible for the planning and development of urban areas. He was a member of the planning team in Milton Keynes Development Corporation, the organisation which planned and developed the new city of Milton Keynes, Buckinghamshire, England. He has also carried out a number of consultancy projects on environmental issues and urban development in Thailand, as adviser to the National Housing Authority. In DMU's Business School, he continues to focus on the environment through his teaching and on-going exploration of the issues around sustainable development with respect to business organisations.

Dr Dobbin's contribution to Faculty-wide strategy is through membership of the Faculty Academic Committee and the Faculty International Committee. His role in the Faculty's International Strategy is mainly through his work as Academic Adviser: Thailand and Taiwan. He facilitates on-going co-operation and partnership arrangements with Thai colleagues in the Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology, Thanyaburi, Thailand. He also has responsibility for student recruitment in Thailand and Taiwan and on the DMU campus provides additional support for students from both of these countries.

รายชื่อคณะกรรมการ

คณะกรรมการที่ปรึกษา

นายกสภามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
กรรมการสภามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
กรรมการสภาวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการอำนวยการ

รศ. ดร. นำยุทธ สงค์ธนาพิทักษ์	รศ. ดร. อัญชลี สงวนพงษ์
รศ. ดร. อรุณี อินทรไพโรจน์	รศ. ดร. ชนงกรณ์ คุณทลบุตร
ผศ. ดร. ปานเพชร ชินินทร	รศ. สยาม คำปรีดา
ผศ. ดร. สมหมาย ผิวสอาด	ผศ. ดร. สมชัย หิรัญวโรดม
ผศ. ปราณี พรรณวิเชียร	ผศ. ดร. วัลลภ พรหมทอง
ผศ. พูลเกียรติ นาคะวิวัฒน์	ผศ. ดร. สิริลักษณ์ หาญพัฒนานุกุล
นายสมภพ เพชรรัตน์	ผศ. ดร. เจริญ เจริญชัย
นางวนิดา ปอน้อย	ผศ. ดร. ศิรินันท์ เอี่ยมประภา
รศ. สุจิระ ขอบจิตต์เมตต์	ผศ. ธนา เหมวงษา
ผศ. ดร. สุภัทรา โพธิ์พ่วง	ผศ. ชีรวัลย์ วรรณโนทัย
ผศ. สุมานิการ์ จันทร์บรรเจิด	ผศ. พรศักดิ์ ตระกูลชีวะพานิตต์
ผศ. มนตรี น่วมจิต	ดร. วิชัย พยัคฆโส
นายวิรัช ไทตระไวศยะ	นางอลิสา โรจน์ธนานันต์

คณะกรรมการดำเนินงาน

รศ. ดร. อัญชลี สงวนพงษ์	ผศ. สมคิด สวานศรี
รศ. ดร. อรุณี อินทรไพโรจน์	ดร. วิชัย พยัคฆโส
รศ. ดร. ชนงกรณ์ คุณทลบุตร	ดร. ลิงห์โต สกุลเขมฤทัย
รศ. สยาม คำปรีดา	นายวิรัช ไทตระไวศยะ
ผศ. ดร. สมหมาย ผิวสอาด	นายสุรยุทธ เพ็ชรพลาย
ผศ. ดร. ธีรธรรม คุปพิทยานันท์	นายมังกร กิติพัฒน์มนตรี
ผศ. ดร. วารุณี อริยวิริยะนันท์	นางพัชรินทร์ จึงประวัติน
ผศ. ธนา เหมวงษา	นายประสิทธิ์ เคนสูงเนิน

ผศ. สุมานิการ์ จันทร์บรรเจ็ด
ผศ. วาสนา เจริญวิเชียรฉาย
ผศ. นที ภู่ออด
ผศ. รุ่งฤดี อภิวัฒน์สร
ผศ. ประทุมทอง ไตรรัตน์
นางสาวปาริชาติ พัฒนพงษ์
นางสาววิศวิมล อรชุน

นายวัชรกร เฉลิมวัฒน์
นายเอกชัย โถเหลื่อง
นางอลิสา โรจน์ธนาพันธ์
นางรุ่งอุษา อุดตมเสถียร
นายรัชชชัย เรืองฉาย
นางสาวปิยนาด ศรีสมเพ็ชร

คณะกรรมการด้านวิชาการ

ศ. ดร. ชัยยง พรหมวงศ์
รศ. ดร. พิพัฒน์ หิรัญย์วิชชากร
นางดาวรัตน์ ว่องวิทย์การ
รศ. ดร. ชนงกรณ์ กุลชลบุตร
ผศ. ดร. สมชัย หิรัญวโรดม
ผศ. ดร. เจริญ เจริญชัย
รศ. ดร. จุไรรัตน์ ดวงเดือน
รศ. ดร. อัญชลี สงวนพงษ์
ผศ. ดร. ฉัฐวรรณ กุปพิทยานันท์

ผศ. ดร. วาภูมิ อริยวิริยะนันท์
ผศ. ดร. สมพร เพลิ้นใจ
ดร. สิงห์โต สกุลเขมฤทัย
ดร. ปาริชาติ คลื่นสุวรรณ
ดร. กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักตติพิชญ์
ดร. จักรี ศรีนันท์ฉัตร
ดร. กมลนัทธ์ ธรรมรักจิตกุล
นางสาวเขาวเรศ เกตุแก้ว
นายกฤษฏ พุทธานู

ผู้ทรงคุณวุฒิอ่านผลงาน

รศ. ดร. อนุวัฒน์ ศิริวัฒน์
รศ. ดร. ชาวสวน กาญจนโนมัย
รศ. ดร. วิไลดา เตชะเวช
รศ. ดร. รัชต์ ดำนคำรงค์
รศ. โยธิน แสงวงดี
รศ. ดร. สุนีย์ กาศจำรูญ
รศ. ดร. มามะะ จิตตะสังกะ
รศ. วศินา จันทศิริ
รศ. วรรณภา โพธิ์น้อย
รศ. ดร. กิ่งพร ทองใบ
รศ. ดร. สำอาง สืบสมาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยรามคำแหง
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

คณะกรรมการจัดพิมพ์

นางสุทธิศรี ม่วงสวย

นางนฤมล จารุสัมฤทธิ์

นางสาวกชกร คาราพณิชย์

นางสาวคณชวัลย์ ศุภรัตน์ภักย์

นางสาวศศิวรรณ อินทรวงษ์

นางสรสุดา ชุกกลิ่น

นางสาวขวัญรัตน์ เป้ารัมย์

นางสาวสุนันทา หุ่นเรืองวงษ์

นางสาวนิธิตา อินทรสอาด

นางสาวพรทรัพย์ ถนัดไร่

นางสาวอริสรา สุดสระ

รายนามผู้สนับสนุนการดำเนินงาน

คุณพิพัฒ พะเนียงเวทย์

บริษัท ปองทรัพย์ จำกัด (มหาชน)

บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน)

บริษัท ซีทีอาร์เน็ตเวิร์ค จำกัด

บริษัท ไทยยามาฮ่ามอเตอร์ จำกัด

บริษัท วสันต์ โปรดักส์ จำกัด

ชมรมศิษย์เก่า เอ็ม บี เอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

นายสมาน สุทธิพงษ์เกษตร

บริษัท ที พี เอ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด

ห้างหุ้นส่วนจำกัด สุเทพ แอร์ ซิสเต็ม

บริษัท ยู เอฟ โอ จำกัด

บริษัท ไอโซ่ ดิจิตอล กรุ๊ป จำกัด

คุณสรรัฐ อนันต์ชัยพัทธนา หจก. ยูเนี่ยนปริ้นท์

หจก. ไมโคร ชัม เอ็นเตอร์ไพรส์

บริษัท บิลเลี่ยน บิวด์ แอนด์ ดีไซน์ จำกัด

ผู้จัดการห้างหุ้นส่วนจำกัด ตาร์โก้เน็ต

บริษัท อาศรม จำกัด



2nd RMUTIC 3rd RMUTCON

สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Tel. (66)2-549-4681-8
Fax. (66)2-549-4680
Email : ird_rmutt@hotmail.com
Website : www.ird.rmutt.ac.th