

ชื่อเรื่อง : การวิเคราะห์แรงดันเกินในระบบกราวด์ ของสถานีไฟฟ้าแรงสูง โดยใช้โปรแกรมเอทีพี/อีเอ็มทีพี

ผู้วิจัย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนวัฒน์ ฉลาดสกุล

สังกัด : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาครุศาสตร์ไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์การเกิดแรงดันเกินในระบบกราวด์ ภายในสถานีไฟฟ้าแรงสูง จะทำการวิเคราะห์ที่สถานีบำเหน็จณรงค์ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยใช้โปรแกรม ATP Draw สร้างโมเดล (Model) ระบบกราวด์ของสถานี แล้วจำลองการเกิดแรงดันเกินจากฟ้าผ่า แล้วดูผลของแรงดันเกินที่เกิดขึ้นตำแหน่งต่างๆ ผลการทดลองที่ได้ จะใช้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการทำงานในการออกแบบระบบกราวด์ ภายในสถานีไฟฟ้าแรงสูง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ผลการศึกษาของระดับแรงดันเกินบนแบบจำลองระบบกราวด์ (Grid Potential Rise : GPR) พบว่า แบบจำลองระบบกราวด์แบบพายนจะทำให้ค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณ ตามมาตรฐาน IEEE Std. 80-2000 และผลของกระแสผิดพลาด (Fault Current) ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของระบบกราวด์จะทำให้ขนาดของแรงดันเกินสูงกว่าที่ตำแหน่งมุมของระบบกราวด์และผลของความต้านทานของสถานีไฟฟ้าแรงสูง (Ground Resistance : R_g) พบว่าขนาดของแรงดันเกินจะมีขนาดสูงขึ้นเมื่อความต้านทานของสถานีไฟฟ้าแรงสูงมีค่าสูง

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบกราวด์ของสถานีไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งสิ่งจำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์ไฟฟ้าสูง เพราะระบบกราวด์จะทำหน้าที่ระบายกระแสผิดพลาดที่เกิดขึ้นในสถานีไฟฟ้าสูง ให้ไหลลงดินให้รวดเร็วที่สุด ถ้าสถานีไฟฟ้าแรงสูงมีระบบกราวด์ไม่ดี จะทำให้กระแสผิดพลาดที่ไหลลงมายังคงอยู่บนระบบ ทำให้ระบบกราวด์มีแรงดันเกิดขึ้น ซึ่งแรงดันเกินนี้จะทำให้เกิดอันตราย ต่อชีวิตของผู้ปฏิบัติงาน คนที่อยู่ใกล้รั้วของสถานีไฟฟ้าแรงสูง และอุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหาย ทำให้ระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ามีความเชื่อถือได้ไม่ดี ดังนั้นในการออกแบบระบบกราวด์ จึงจำเป็นต้องทำด้วยความถูกต้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาวิเคราะห์การเกิดแรงดันเกิน ในระบบกราวด์แบบตาข่าย ของสถานีไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เมื่อมีกระแสผิดพลาดไหลลงสู่ระบบกราวด์ด้วยโปรแกรม ATP Draw

1.2.2 เพื่อศึกษา Model ของระบบกราวด์ที่ได้ผลใกล้เคียงกับการคำนวณ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาผลของแรงดันที่เกิดขึ้นบนระบบกราวด์แบบตาข่ายขณะที่มีกระแสผิดพลาด (Fault) ไหลสู่ระบบกราวด์แบบตาข่าย โดยใช้ข้อมูลของสถานีไฟฟ้าแรงสูง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยบนข้อกำหนดดังนี้

- พื้นที่ของสถานีไฟฟ้าแรงสูงมีขนาด 90 x 90 เมตร
- ลักษณะดินเป็นแบบเนื้อเดียว
- ไม่คำนึงถึงผลของสาย Overhead Ground Wire
- ลักษณะกราวด์แบบตาข่าย จะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส
- ใช้ Ground Rod ขนาด 3 เมตร ร่วมกับระบบกราวด์แบบตาข่าย
- กระแสผิดพลาด (Fault) ไหลจากปลายสายของดิน Take off Structure ลงสู่ระบบกราวด์แบบตาข่าย โดยไม่คำนึงถึงผลของค่า Impedance ของ Take off Structure
- กระแสผิดพลาด (Fault) ไหลลงที่ตำแหน่งมุมและกลางของระบบกราวด์

- ใช้โปรแกรม ATP Draw ทำการวิเคราะห์

1.3.2 ทำการเปรียบเทียบผลการจำลองจากโปรแกรม ATP Draw กับผลการคำนวณตาม IEEE Std. 80-2000

1.4 วิธีการดำเนินการ

- 1.4.1 ศึกษาเนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ
- 1.4.2 ศึกษาการใช้โปรแกรม ATPDraw
- 1.4.3 ศึกษา Model ของระบบกราวด์ ด้วยโปรแกรม ATPDraw
- 1.4.4 ทำการป้อนข้อมูลเพื่อจัดทำเป็น Base Case
- 1.4.5 ทำการทดลองตามโครงการ และบันทึกข้อมูล
- 1.4.6 สรุปผลการทดลอง

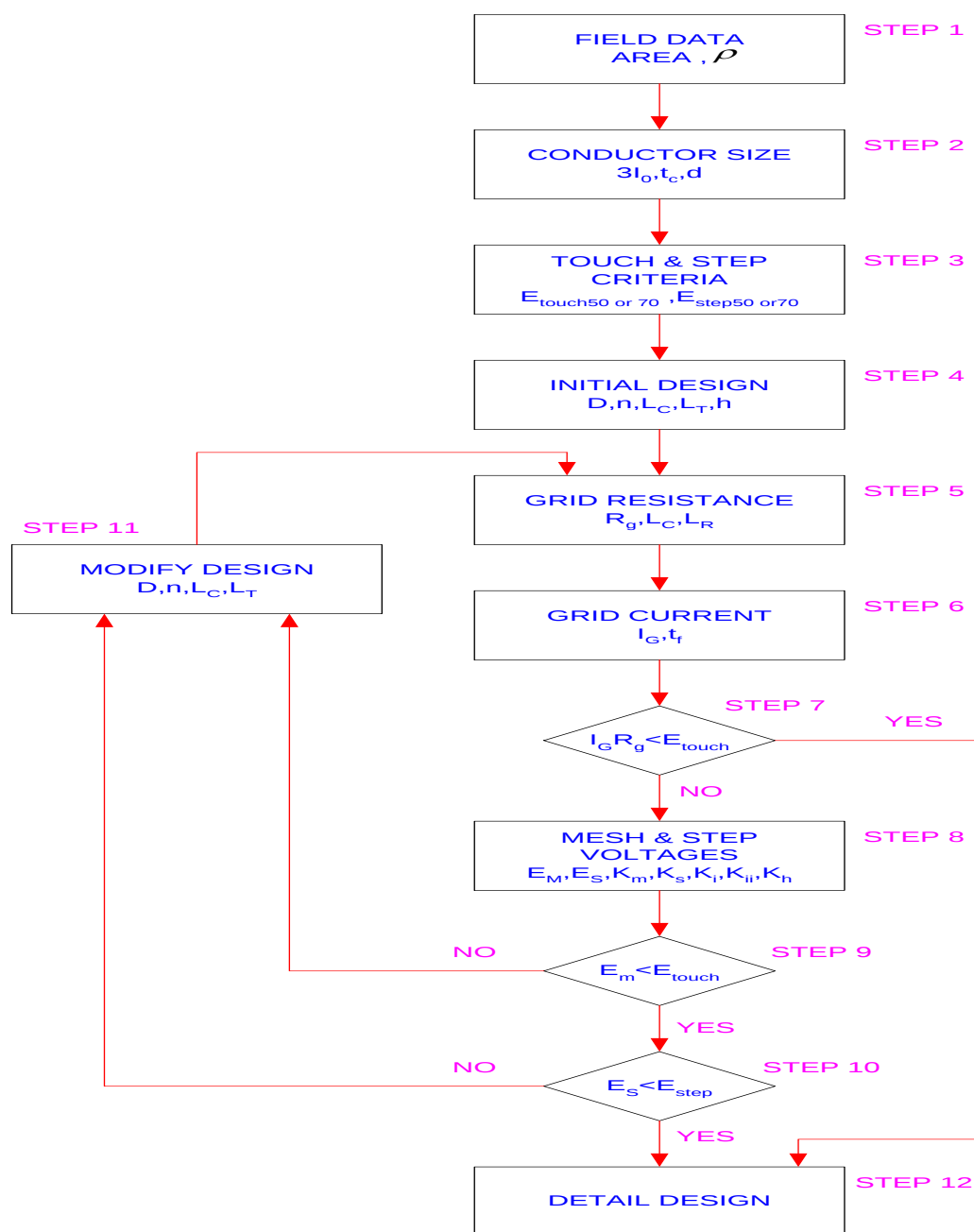
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 นำความรู้ที่ศึกษาได้มาใช้แก้ไขปัญหาในระบบกราวด์ ภายในสถานีไฟฟ้าแรงสูง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- 1.5.2 ทำให้เกิดประโยชน์และความมั่นคงในระบบไฟฟ้า ที่จะมีผลเสียต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย
- 1.5.3 นำความรู้ที่ได้มาประกอบการตัดสินใจในการปฏิบัติงานได้รวดเร็ว

2.ทฤษฎี

โปรแกรม EMTP ได้มีการพัฒนาและวิจัยโปรแกรม EMTPมาระยะเวลาเกือบ 30 ปี ในช่วงต้น ค.ศ. 1960 ได้มีการนำดิจิตอลคอมพิวเตอร์มาใช้งานอย่างกว้างขวางทั่วโลก การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าจึงเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงจากระบบอะนาล็อกมาใช้ดิจิตอลคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ Dr. Dommel แห่งมหาวิทยาลัย Munich ประเทศเยอรมันได้เริ่มพัฒนาโปรแกรมสำหรับการคำนวณทรานเซียนต์ในระบบไฟฟ้าแบบดิจิตอลนี้ขึ้น

การทำงานของโปรแกรม ATPDraw สามารถเขียนเป็นผังโฟว์ชาร์ตได้ดังรูปที่ 1

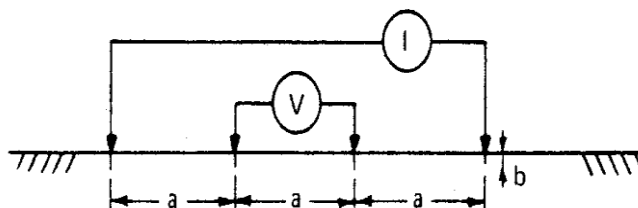


รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการออกแบบระบบสายดินสถานีไฟฟ้าแรงสูง

การออกแบบระบบสายดินของสถานีไฟฟ้าแรงสูง

ก่อนที่จะถึงวิธีการออกแบบระบบสายดินของสถานีไฟฟ้าแรงสูง เราจำเป็นต้องรู้ถึงวิธีการหาค่าความสามารถในการนำกระแสของดิน (Soil Resistivity, ρ) ก่อน ซึ่งทาง กฟผ. ได้ใช้วิธีการวัดตามมาตรฐาน IEEE Std. 81 แบบ Four Point Method ที่ระยะห่างระหว่าง Electrode เท่ากัน หรือเรียกอีกอย่าง

ว่า Wenner Arrangement วิธีนี้จะให้ค่าแม่นยำมากที่สุดในทางปฏิบัติ การวัดค่าความต้านทานด้วยวิธีนี้จะใช้แท่ง Electrode 4 แท่ง ฝังในดินเป็นแนวเส้นตรง โดยให้ Electrode แต่ละแท่งวางห่างกัน a และตอกลึกลงไปในดิน b นำกระแสทดสอบ I ต่อระหว่างแท่ง Electrode คู่นอกและ Potential ต่อระหว่างแท่ง Electrode คู่ใน และวัดค่าความต้านทาน(R) ด้วย Potentiometer หรือ High impedance voltmeter ซึ่งการวัดของเครื่องมือวัดเป็นการนำค่า V มาหารกับค่า I นั้นเอง



รูปที่ 2 การวัดค่าความต้านทานดินของสถานีไฟฟ้า

ในการวัดเราจะกำหนดจุดที่จะวัดให้ครอบคลุมพื้นที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงแต่ละจุดจะวัดออกไปเป็น 2 ทิศทาง และนำข้อมูลค่าความต้านทาน (R) ที่ได้มาเฉลี่ยและนำมาคำนวณหาค่า ρ ดังสมการ

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (1)$$

ในทางปฏิบัติค่า b จะไม่เกิน $0.1a$ ดังนั้น $b = 0$

$$\rho = 2\pi a R \quad (2)$$

และประมาณว่าค่า ρ ที่วัดได้นี้ เป็นการวัดค่า ρ ที่ความลึกเท่ากับ a เพราะกระแสจะไหลใกล้ผิวดินของแท่ง Electrode ที่ระยะห่างเท่ากับ a เมื่อวัดค่าที่ระยะต่างๆ ได้แล้ว ก็นำไป Plot กราฟ ก็จะทำให้เราสามารถแยกได้ว่าที่แต่ละความลึกของดินมีค่า ρ เป็นอย่างไร

คุณสมบัติและขนาดของสายตัวนำ

พื้นที่หน้าตัด	Awg	NO. 4/0
จำนวนเส้นและขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง	mm	19 , diameter 2.68
เนื้อที่ (คำนวณ)	mm ²	107.2
เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก	mm	13.4
น้ำหนักมาตรฐาน	kg/meter	0.9719
ความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรงที่ 20 ° C	Ω /km	0.1641
สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามเส้น x 10 ⁻⁶		16.9
จำนวนเส้น		19
เส้นผ่านศูนย์กลาง	mm	2.68

เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยอมให้ผิดพลาดได้

mm ± 0.0268

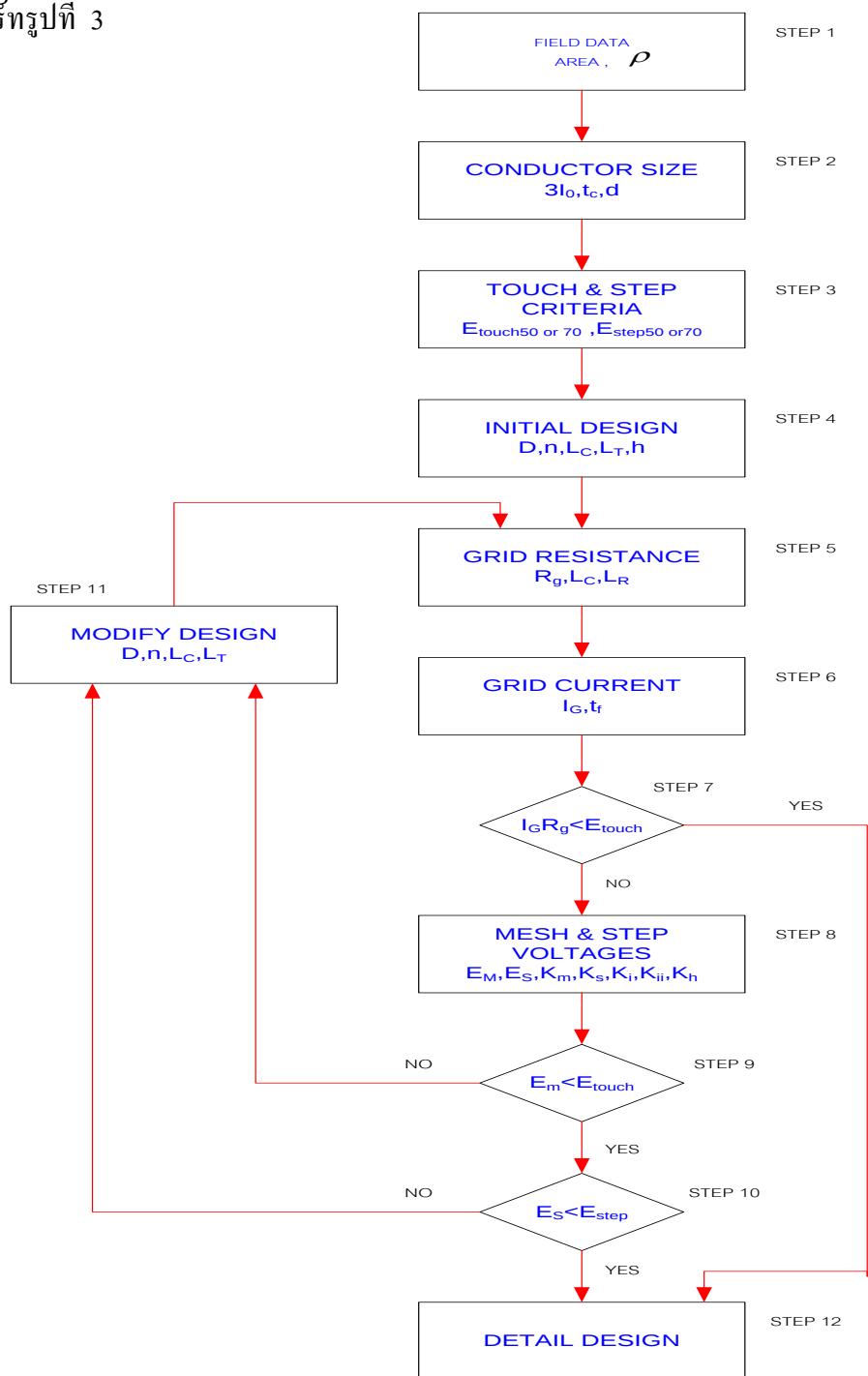
การยึดตัวใน 250 mm

% ไม่น้อยกว่า 30

ความเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ 20 °C

% ไม่น้อยกว่า 100

จากนั้นนำค่าที่ได้ไปใช้ในการออกแบบระบบสายดินของสถานีไฟฟ้าแรงสูงตามขั้นตอนตาม
โฟว์ชาร์ทรูปที่ 3



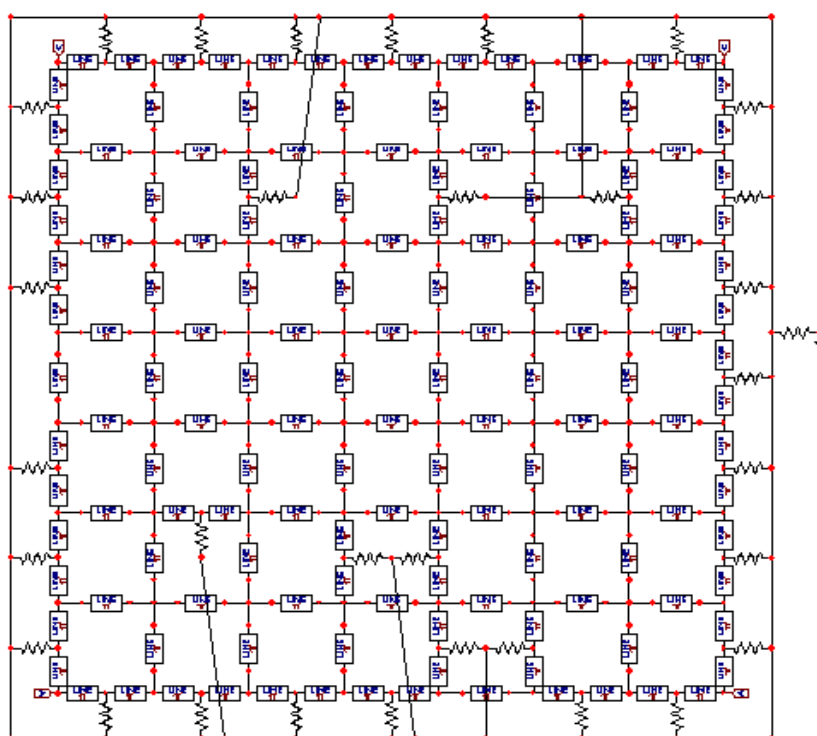
รูปที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบระบบสายดินสถานีไฟฟ้าแรงสูง

3.การออกแบบและการศึกษา

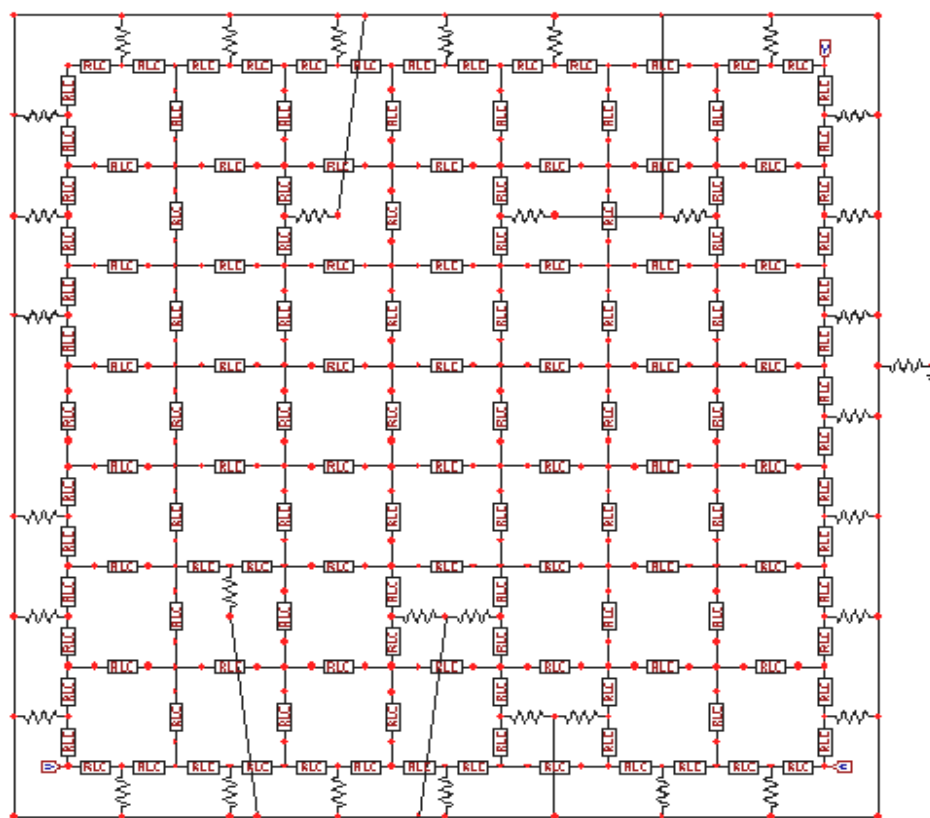
ในสถานีไฟฟ้าแรงสูงบ้านห้วยจระเข้มากของ กฟผ. ระบบกราวด์ได้ออกแบบตามมาตรฐาน IEEE Std 80 [6] เป็นระบบกราวด์แบบตาข่ายขนาด 12.80 x 12.80 เมตรและมีแท่งหลักดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ยาว 3 เมตร



รูปที่ 4 สถานีไฟฟ้าแรงสูงบ้านห้วยจระเข้มาก จังหวัดชัยภูมิ



รูปที่ 5 แบบจำลองระบบสายดินของสถานีไฟฟ้าแรงสูงบำเหน็จณรงค์เทียบเคียงแบบพายน



รูปที่ 6 แบบจำลองระบบสายดินของสถานีไฟฟ้าแรงสูงบำเหน็จณรงค์เทียบเคียงแบบกระจาย

4.ผลการศึกษา

ผลการศึกษากรณีจริงที่เกิดขึ้น แบ่งได้เป็น

- 1.ขนาดของแรงดันเกินที่เกิดขึ้นสูงสุดบนระบบกราวด์ โดยใช้แบบจำลองระบบกราวด์แบบพายน
- 2.ขนาดของแรงดันเกินที่เกิดขึ้นสูงสุดบนระบบกราวด์ โดยใช้แบบจำลองระบบกราวด์แบบกระจาย
- 3.ขนาดของแรงดันเกินที่เกิดขึ้นสูงสุดบนระบบกราวด์ โดยไม่มีแท่งหลักดิน (Ground Rod)
- 4.ขนาดของแรงดันเกินที่เกิดขึ้นสูงสุดบนระบบกราวด์ โดยค่าความต้านทาน ของสถานีไฟฟ้าแรงสูงมีค่าสูงขึ้น (ค่าความต้านทาน 5 โอห์ม)

ตารางที่ 1 แรงดันบนระบบกราวด์โดยใช้แบบจำลองระบบกราวด์แบบพายนน์ เมื่อเกิดแรงดันเกินที่มุมและที่ตรงกลาง โดยวัดค่าแรงดันเกินที่แนวทแยงมุม

โนด	แรงดันผิดปกติที่มุม	แรงดันผิดปกติที่กลาง
XX0143	0.17816 โวลต์	845.3 โวลต์
XX0206	0.03034 โวลต์	1277.5 โวลต์
XX0263	0.018039 โวลต์	0.43445 โวลต์
XX0056	0.0073252 โวลต์	0.007147 โวลต์

ผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่า การเกิดแรงดันผิดปกติที่กลางของระบบกราวด์ โดยวัดค่าแรงดันเกินที่แนวทแยงมุม จะมีแรงดันเกินสูงสุด ที่โนดXX0206คือ 1277.5 โวลต์

ตารางที่ 2 แรงดันบนระบบกราวด์โดยใช้แบบจำลองระบบกราวด์แบบกระจาย เมื่อเกิดแรงดันเกินที่มุมและที่ตรงกลาง โดยวัดค่าแรงดันเกินที่แนวทแยงมุม

โนด	แรงดันผิดปกติที่มุม	แรงดันผิดปกติที่กลาง
XX0102	0.030713 โวลต์	1446.5 โวลต์
XX0170	0.012915 โวลต์	2352.7 โวลต์
XX0238	0.0091069 โวลต์	142.68 โวลต์
XX0149	0.0088123 โวลต์	0.001368 โวลต์

ผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่า การเกิดแรงดันผิดปกติที่กลางระบบกราวด์ จะมีแรงดันเกินสูงสุดที่โนด XX0170 เท่ากับ 2352.7 โวลต์

ผลการเปรียบเทียบการเกิดแรงดันผิดปกติบนระบบกราวด์แบบพายนน์ และระบบกระจาย ดังแสดงใน **ตารางที่ 3**

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบการเกิดแรงดันผิดปกติบนระบบกราวด์แบบพายนน์ และระบบกระจาย

ชื่อโนด	แรงดันผิดปกติแบบกระจาย ขนาดแรงดัน (กิโลโวลต์)	แรงดันผิดปกติแบบพายนน์ ขนาดแรงดัน (กิโลโวลต์)
XX0102	1446.5 โวลต์	845.3 โวลต์
XX0170	2352.7 โวลต์	1277.5 โวลต์

XX0238	142.68 โวลท์	0.43445 โวลท์
XX0149	0.001368 โวลท์	0.007147 โวลท์

ผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่า การออกแบบการเกิดแรงดันผิดพลาดแบบพายนี เกิดแรงดันผิดพลาดใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณมากที่สุด คือ 1277.5 โวลท์

ศึกษาขนาดของแรงดันเกินที่เกิดขึ้นสูงสุดบนระบบกราวด์โดยใช้แบบจำลองระบบกราวด์แบบพายนี โดยไม่มีแท่งหลักดิน (Ground Rod) และค่าความต้านทานของสถานีไฟฟ้าแรงสูงมีค่าสูงขึ้น (ค่าความต้านทาน 5 โอห์ม) (เมื่อเกิดแรงดันเกินที่ตรงมุม วัดค่าที่แนวทแยงมุม)

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบการเกิดแรงดันผิดพลาดบนระบบที่ไม่มีแท่งหลักดินและมีแท่งหลักดิน

ชื่อโหนด	แรงดันผิดพลาดแบบไม่มีแท่งหลักดิน	แรงดันผิดพลาดแบบมีแท่งหลักดิน
	ขนาดแรงดัน (กิโลโวลท์)	ขนาดแรงดัน (กิโลโวลท์)
XX0143	1.4243 โวลท์	1.539.6 โวลท์
XX0203	1.8163 โวลท์	3.693 โวลท์
XX0263	0.0000157 โวลท์	0.9864 โวลท์

ผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่า เมื่อความต้านทานของสถานีไฟฟ้าแรงสูงเพิ่มขึ้น ค่าแรงดันที่ตกคร่อมในระบบกราวด์ก็มากขึ้นตามลำดับ

5.สรุปผลงานวิจัย

การรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ขนาดของแรงดันเกินบนระบบกราวด์ ของสถานีไฟฟ้าแรงสูงสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้ คือ

1. ผลการศึกษาของระดับแรงดันเกินบนแบบจำลองระบบระบบกราวด์ (Grid Potential Rise : GPR) พบว่า แบบจำลองระบบกราวด์แบบพายนีจะให้ค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณ ตามมาตรฐาน IEEE Std. 80-2000
2. ผลของกระแสผิดพลาด (Fault Current) พบว่ากระแสผิดพลาดไหลลงที่กลางของระบบกราวด์จะทำให้ขนาดของแรงดันเกินสูงกว่ากระแสผิดพลาดไหลลงที่มุมของระบบกราวด์
3. ผลของแท่งหลักดิน (Ground Rod) พบว่าการมีแท่งหลักดินทำให้ขนาดของแรงดันเกินมีค่าสูงกว่าการไม่มีแท่งหลักดิน

4. ผลของความต้านทานของสถานีไฟฟ้าแรงสูง (Ground Resistance : R_g) พบว่าขนาดของแรงดันเกินจะมีขนาดสูงขึ้นเมื่อความต้านทานของสถานีไฟฟ้าแรงสูงมีค่าสูง

6. ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อไป

จากผลการศึกษาที่งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในกรณีที่เกิดขึ้นจริงเพื่อสรุปผลการศึกษาให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิต ซึ่งจะถูกจำกัดตามพารามิเตอร์ของสถานีไฟฟ้าที่ศึกษา อย่างไรก็ตามในการศึกษาต่อไปอาจทำการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

1. ทำการศึกษาว่าช่วงระยะห่างของกราวด์กริดมีผลต่อขนาดของแรงดันเกินที่เกิดบนระบบกราวด์หรือไม่
2. ทำการศึกษาหาขนาดของแรงดันเกินที่เกิดขึ้นในดิน (Voltage Profile)

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Transmission Line Reference Book-200kV and Above , Third Edition Lightning and Grounding , Metal Tower and Reinforced Concrete Foundations
- [2] Leonid D. Grcev. "Computer Analysis of Transient Voltage in Large Grounding System". IEEE Transactions on Power Delivery. Vol.11 , No. 2 , April ,1999
- [3] Carlo Mazzetti, Giuseppe M. Veca. "Impulse Behavior of Ground Electrodes". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-102 , No.9 , September 1983
- [4] A.F. Otero, J. Cidras, J.L. Alamo. "Frequency – Dependent Grounding System Calculation by Means of a Conventional Nodal Analysis Technique". IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 14 , No. 3 , July 1999.
- [5] Frank E. , Leonid Grcev. "EMTP-Based Model for Grounding System Analysis. IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 9 , No. 4 , October 1994.
- [6] ANSI/IEEE Std. 80-2000. An American National Standard IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.