บทที่ 5

ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างไม่เท่ากัน แบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อย

ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อยนั้น เป็นการพัฒนาระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้เกิดความสะดวกต่อผู้ปฏิบัติการ โดยสามารถคิดคำนวณภายในใจได้ โดยรู้ข้อมูลเบื้องต้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และสามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และบริเวณใกล้เคียงสถานีไฟฟ้าย่อย พร้อมทั้งยังช่วยประหยัดวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างจริงด้วย

ดังนั้นในบทนี้ จะกล่าวถึง การออกแบบ และการคำนวณหาการกระจายแรงดันบนผิวดินของระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต และแผนผังการออกแบบ

5.1 การคำนวณหาการกระจายแรงดันบนผิวดิน

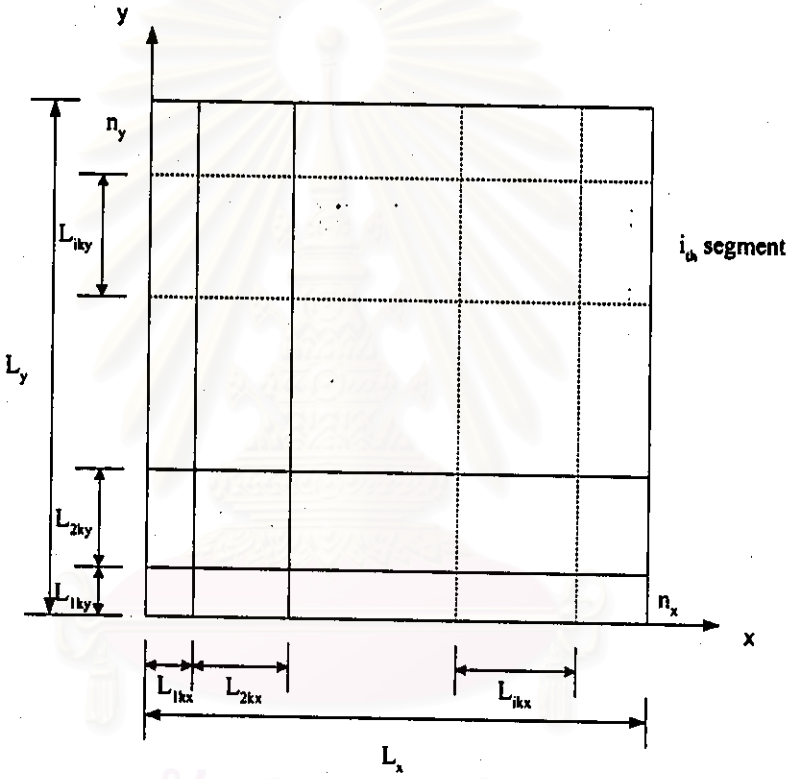
ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อยนั้น เป็นระบบโครงตาข่ายที่มีการพิจารณาถึงการกระจายกระแสไม่สม่ำเสมอจากลวดตัวนำลงสู่ดิน และกำหนดให้ระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่าไม่เท่ากัน แต่มีความสมมาตรกันทั้งด้านซ้าย-ขวา และ บน-ล่าง เช่นเดียวกับระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยในบทที่ 4 ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาความต่างศักย์ในแนวนอนระหว่างจุด x_1 และ x_2 ใดๆ ได้ด้วยการอินทิเกรตเกรเดียนที่เกิดขึ้นบนผิวดินตลอดพื้นที่ของสถานีไฟฟ้าย่อย เมื่อเกิดการผิดพร่อง โดย Recursive Point by Point Integration Method ดังสมการที่ 3.3 และได้ $\left[E_{x_1}\right]_{x_1}^{x_2}$ และ $\left[E_{x_2}\right]_{x_1}^{x_2}$ เช่นเดียวกับระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินทั้ง 2 แบบข้างต้น

เมื่อพิจารณาในแนวดิ่ง สามารถคำนวณค่าความต่างศักย์ในแนวดิ่งระหว่างจุด x_1 และ x_2 ใดๆ ได้ ดังสมการที่ 4.2

เนื่องจากความต่างศักย์ในแนวนอนมี 2 ทิศทาง คือ E_{x1} และ E_{x2} ดังนั้นความต่างศักย์ในแนวดิ่งที่เกิดขึ้นจึงมี 2 ทิศทางด้วย คือ Ey_1 และ E_{y2}

เพราะฉะนั้นขนาดของความต่างศักย์ระหว่างจุด x_1 และ x_2 ใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.11

สำหรับการกำหนดระยะห่างระหว่างตัวนำนั้น จะกำหนดโดยการนำแนวคิดของระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยมาประยุกต์ ดังนี้



รูปที่ 5.1 การกำหนดระยะห่างระหว่างตัวนำของระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต

พิจารณารูปที่ 5.1 และสมการที่ 4.3

$$S_{ik} = \frac{L_{ik}}{L} \times 100\%$$

สมการนี้สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$L = \frac{L_{ik}}{S_{ik}} \times 100\% \qquad (5.1)$$

พิจารณาช่องย่อยที่ 1 ของแกน x

$$L_x = \frac{L_{1k_x}}{S_{1k_x}} \times 100\% \qquad (5.2)$$

พิจารณาช่องย่อยที่ 2 ของแกน x

$$L_x = \frac{L_{2k_x}}{S_{2k_x}} \times 100\% \qquad (5.3)$$

เมื่อให้สมการ 5.2 เท่ากับสมการ 5.3 จะได้

$$\frac{L_{1k_x}}{S_{1k_x}} = \frac{L_{2k_x}}{S_{2k_x}} \qquad (5.4)$$

สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องย่อยที่ 1 และช่องย่อยที่ 2 ของแกน x ได้ดังนี้

$$L_{1k_x} = \frac{S_{1k_x}}{S_{2k_x}} \cdot L_{2k_x} \qquad (5.5)$$

พิจารณาช่องย่อยที่ i และ ช่องย่อยที่ i+1 ของแกน x ได้ดังนี้

$$L_{ik_x} = \frac{S_{ik_x}}{S_{(i+1)k_x}} \cdot L_{(i+1)k_x} \qquad (5.6)$$

โดยที่ $\frac{S_{ik_x}}{S_{(i+1)k_x}}$ คือ ค่าคงที่ค่าหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับของช่องย่อยลำดับที่ i และ i+1 ใดๆ กับจำนวนของช่องย่อยทั้งหมดในแกน x โดยในที่นี้จะเรียกว่า ค่าคงที่การลดลงในแต่ละขั้น (Step of Reducing Factor)

พิจารณาเฉพาะค่าคงที่การลดลงของช่องย่อยที่ i และ i+1 ใดๆ เช่น

$\frac{S_{1k_x}}{S_{2k_x}}, \frac{S_{2k_x}}{S_{3k_x}}, \frac{S_{3k_x}}{S_{4k_x}}, \ldots, \frac{S_{ik_x}}{S_{(i+1)k_x}}$ พบว่ามีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจาก S_{ik} ขึ้นอยู่กับลำดับที่ของช่องย่อย และ จำนวนของช่องย่อยทั้งหมด ซึ่งมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น โดยวิธีถูกนำไปใช้ในระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อย แต่สำหรับระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยแบบลำดับเรขาคณิตนี้ จะกำหนดให้ $\frac{S_{ik_x}}{S_{(i+1)k_x}}$ มีค่าเท่ากับค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งในที่นี้จะให้เท่ากับตัวแปร M

พิจารณาช่องย่อยที่ 1 และช่องย่อยที่ 2 ของแกน x ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างตัวนำสามารถเขียนได้เป็น

$$L_{1k_x} = ML_{2k_x}$$

พิจารณาช่องย่อยที่ 2 และช่องย่อยที่ 3 ของแกน x ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างตัวนำสามารถเขียนได้เป็น

$$L_{2k_x} = ML_{3k_x}$$

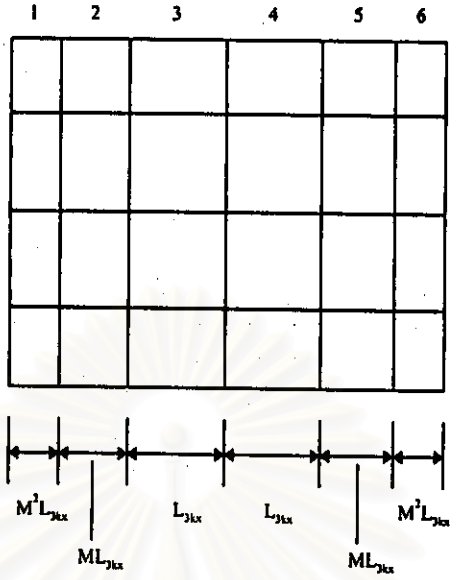
เพราะฉะนั้นความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างตัวนำของช่องย่อยที่ 2 และช่องย่อยที่ 3 ของแกน x สามารถเขียนได้เป็น

$$L_{1k_x} = M^2 L_{3k_x}$$

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างตัวนำของช่องย่อยใดๆ ของแกน x สามารถเขียนได้ดังสมการ และดังรูปที่5.2

$$L_{1k_x} = ML_{2k_x} = M^2 L_{3k_x} = M^3 L_{4k_x} = \ldots = M^{(i-1)} L_{ik_x} \quad (5.7)$$

โดยที่ M มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-0.9



รูปที่ 5.2 ระยะห่างระหว่างตัวนำของระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อย

ในทำนองเดียวกัน สำหรับแกน y สามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างตัวนำของช่องย่อยใดๆ ได้ดังสมการ

$$L_{1k_y} = ML_{2k_y} = M^2 L_{3k_y} = M^3 L_{4k_y} = \ldots = M^{(i-1)} L_{ik_y} \quad (5.8)$$

โดยที่ M มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-0.9

5.2 การออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อย

5.2.1 ขั้นที่ 1 จัดเก็บข้อมูลพื้นฐานของสถานีไฟฟ้าย่อย

5.2.1.1 สำรวจความกว้าง และความยาวของสถานีไฟฟ้าย่อย

5.2..1.2 วัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน

5.2.2 ขั้นที่ 2 คำนวณหาขนาดของลวดตัวนำที่เล็กที่สุด จากสมการที่ 2.21

5.2.3 ขั้นที่3 คำนวณหาศักดาไฟฟ้าสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 กิโลกรัม จากสมการที่ 2.19

5.2.4 ขั้นที่ 4 คำนวณหาความยาวทั้งหมดของลวดตัวนำของระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน จากสมการที่ 4.6

5.2.5 ขั้นที่ 5 คำนวณหาลวดตัวนำทั้งหมดของระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน

5.2.5.1 ถ้าโครงตาข่ายการต่อลงดินเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส จากสมการที่ 4.7

5.2.5.2 ถ้าโครงตาข่ายการต่อลงดินเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า จากสมการที่ 4.8

5.2.6 ขั้นที่ 6 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่ช่วยประหยัดการใช้วัสดุในการก่อสร้างระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน จากสมการที่ 4.9

5.2.7 ขั้นที่ 7 คำนวณหาลวดตัวนำทั้งหมดของระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน

5.2.7.1 ถ้าโครงตาข่ายการต่อลงดินเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส จากสมการที่ 4.12

5.2.7.2 ถ้าโครงตาข่ายการต่อลงดินเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า จากสมการที่ 4.13

5.2.8 ขั้นที่ 8 กำหนดระยะห่างระหว่างตัวนำของช่องย่อยบริเวณกึ่งกลางโครงตาข่าย

5.2.8.1 กำหนดระยะห่างระหว่างตัวนำของช่องย่อยบริเวณกึ่งกลางโครงตาข่าย โดยพิจารณาจากค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.3 และ 4.5

5.2.8.2 ถ้าไม่สามารถกำหนดระยะห่างระหว่างตัวนำของช่องย่อยบริเวณกึ่งกลางโครงตาข่ายได้ เนื่องจากจำนวนลวดตัวนำไม่อยู่ในช่วง 8 ถึง 21 เส้น สามารถกำหนดค่าได้โดยตรง

5.2.9 ขั้นที่ 9 กำหนดค่าคงที่การลดลง โดยอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.9

5.2.10 ขั้นที่ 10 คำนวณหาระยะห่างระหว่างตัวนำของช่องย่อยอื่นๆ จากสมการที่ 5.7 และ 5.8

5.2.11 ขั้นที่ 11 คำนวณค่าความต้านทานของระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย จากสมการ

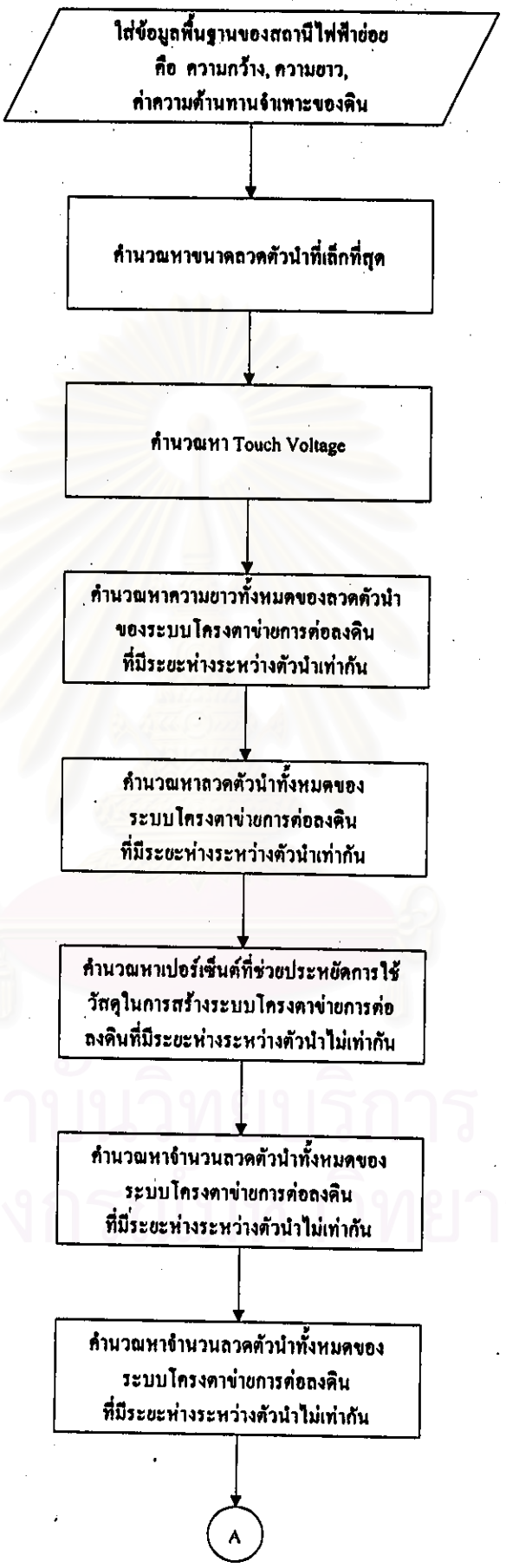
5.2.11.1 เมื่อลวดตัวนำวางลึกจากผิวดินน้อยกว่า 0.25 m จากสมการที่ 2.24

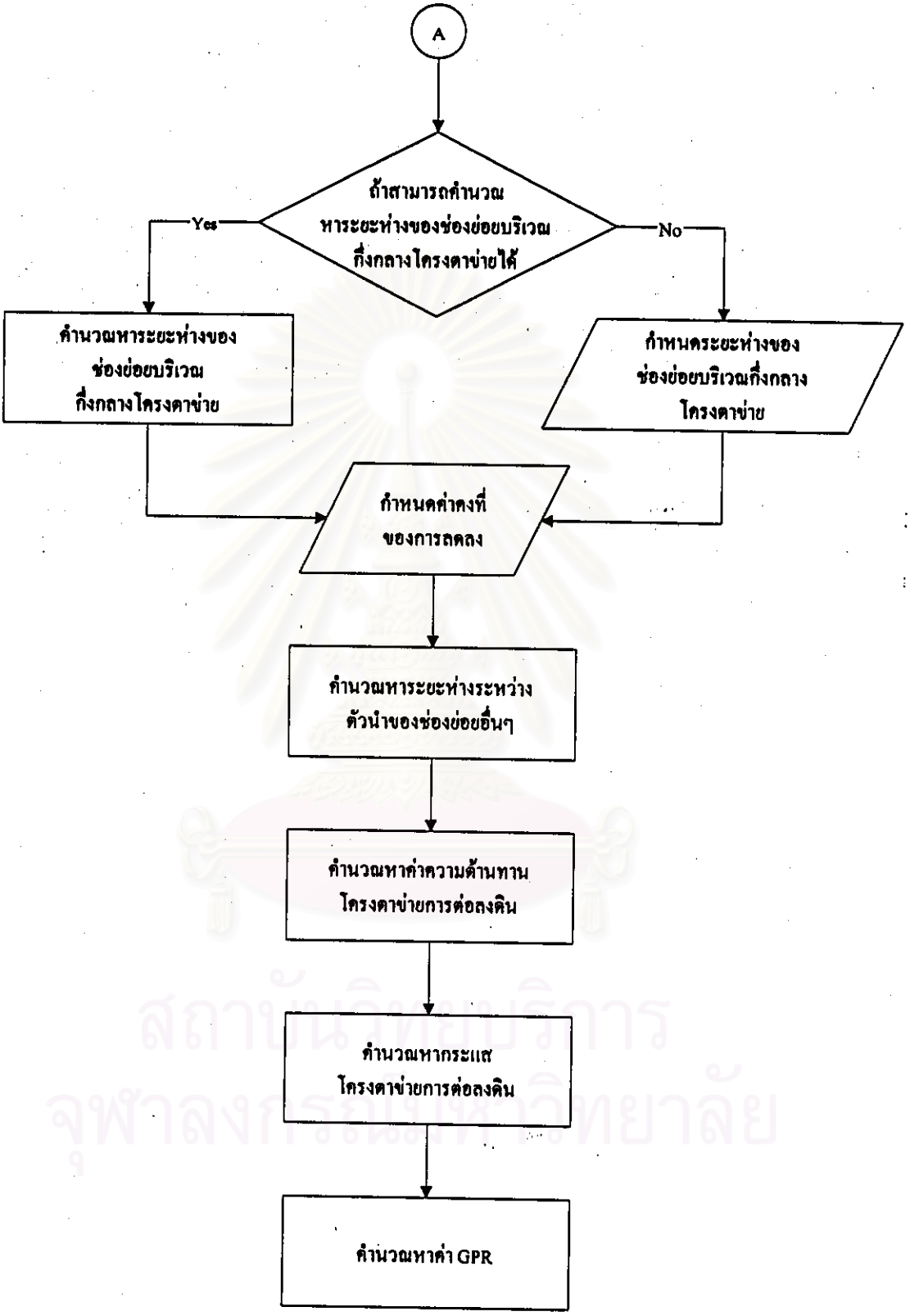
5.2.11.2 เมื่อลวดตัวนำวางลึกจากผิวดินในช่วง 0.25 - 2.5 m จากสมการที่ 2.25

5.2.12 ขั้นที่ 12 คำนวณหาค่ากระแสโครงตาข่ายการต่อลงดิน จากสมการที่ 2.26 หรือ 2.28

5.2.13 ขั้นที่ 13 คำนวณหาค่า GPR จากสมการที่ 2.29

ขั้นตอนในการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อย สามารถแสดงได้ด้วยแผนผังการออกแบบ ดังรูปที่ 5.3


ใส่ข้อมูลพื้นฐานของสถานีไฟฟ้าย่อย
คือ ความกว้าง, ความยาว,
ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน
คำนวณหาขนาดลวดตัวนำที่เล็กที่สุด
คำนวณหา Touch Voltage
คำนวณหาความยาวทั้งหมดของลวดตัวนำ
ของระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน
คำนวณหาลวดตัวนำทั้งหมดของ
ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน
คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่ช่วยประหยัดการใช้
วัสดุในการสร้างระบบโครงตาข่ายการต่อ
ลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน
คำนวณหาจำนวนลวดตัวนำทั้งหมดของ
ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน
คำนวณหาจำนวนลวดตัวนำทั้งหมดของ
ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน
A



รูปที่ 5.3 แผนผังการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อย