



สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

วฟ.03

แบบเสนอโครงร่างปริญญานิพนธ์

นักศึกษากลุ่ม : ☒ ปกติ ☐ สมทบ
ประเภทของโครงงาน : ☐ โครงงานนวัตกรรม (section 1) ☒ โครงงานวิจัย (section 2)
ลักษณะโครงงาน : ☐ พัฒนาจากโครงงานเดิม ☒ โครงงานใหม่
เทคโนโลยีโครงงาน : ☐ Smart City ☐ Smart Farm ☐ Smart Med. ☒ Smart Lab.
: ☐ อื่น ๆ

ชื่อเรื่องภาษาไทย : การติดตั้งและการออกแบบระบบสายดินโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ : Implentation and Design of Grounding Systems using the Finite Element Method.

ผู้จัดทำ

1. ชื่อ-สกุล นายระวิदनัย คงพุ่ม รหัสนักศึกษา 164404130054 โทร. 0969069520
2. ชื่อ-สกุล นายเศรษฐวิชัย ผลทอง รหัสนักศึกษา 164404130064 โทร. 0641681744

เสนอต่อ

หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

1. ความสำคัญและที่มาหัวข้อวิจัย

ระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประชาชนและประเทศชาติ เนื่องจากเป็นสิ่งที่จำเป็นในเศรษฐกิจและการพัฒนาประเทศ ดังนั้นในปัจจุบันระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงของ กฟผ. จึงเป็นระบบที่มีการต่อลงดิน (Grounding or Earthing) ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประโยชน์ในเรื่องของความปลอดภัยต่อชีวิต และทรัพย์สินทั้งนี้ยังป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ไฟฟ้าแรงสูง เช่น สายส่งต่าง ๆ เมื่อเกิดเหตุฟ้าผ่าจากระบบไฟฟ้าแรงสูงขึ้นในระบบส่งผลให้เกิดฟ้าผ่า (Lightning) แรงดันไฟฟ้าฉับพลัน (Surge) หรือเกิดความผิดปกติ (Electrical Fault) รวมทั้งยังให้มีระบบรายงานได้อย่างดีในส่วนของข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้มาจากการทำงานของรีเลย์ช่วยให้การปฏิบัติงานของหน่วยงานวิศวกรรมสามารถส่งรวบรวมได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

จากการที่ระบบมีการต่อลงดินเมื่อเกิดเหตุผิดพลาดดังกล่าวขึ้นแล้วทำให้กระแสไฟฟ้าแรงสูงไหลผ่านตัวนำที่เรียกว่า ตัวนำดิน (Ground Conductor) ลงสู่ดินในตำแหน่งแท่งเหล็กดิน (Ground Rod or Earth Electrode) ดังนั้นความต้านทานของระบบสายดินต้องมีค่าต่ำ ซึ่งทำการกำหนดของระบบสายดินให้เหมาะสมกับ กฟผ. ให้มีค่ามาตรฐานอยู่ไม่เกิน 10 โอห์ม ค่าความต้านทานสายดินจะบอกหรือขึ้นอยู่กับสภาพของดินและความต้านทานเฉพาะของดิน (Soil Resistivity) รูปแบบและลักษณะการลงดินของแท่งเหล็ก

เหตุผลในการศึกษาหัวข้อวิจัยโครงการนี้เป็นปัจจัยที่ทำให้ค่าความต้านทานดินมีความแตกต่างกันขึ้นขึ้นอยู่กับสภาพของดินในพื้นที่ต่างๆ (Soil Resistivity) ลักษณะของตัวนำที่ใช้ในการเชื่อมต่อลงดิน (Ground Electrode) ความลึก และรูปแบบการติดตั้งตัวนำดิน ดังนั้นการศึกษาวัดค่าความต้านทานดินจึงมีความสำคัญเพื่อกำหนดแนวทาง และมาตรฐานที่เหมาะสมในการติดตั้งระบบสายดินให้มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความแตกต่างทางธรณีวิทยา ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบระบบไฟฟ้าให้มีความปลอดภัยให้เสถียรภาพมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาและวัดค่าความต้านทานดินของหลักดินแบบต่างๆ
- 2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าความต้านทานดินของแท่งหลักดินและการสร้างโมเดลการทดสอบ

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 3.1 ได้ศึกษาและวัดค่าความต้านทานดินของแท่งหลักดินแบบต่างๆ
- 3.2 ได้ค่าประสิทธิภาพของค่าความต้านทานดินของแท่งหลักดินในแบบต่างๆ
- 3.3 ได้ผลการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์วิเคราะห์ค่าความต้านทานหลักดิน

4. ทฤษฎีและหลักการ

4.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

วิศิษฐ์ ดีสวัสดิ์ และ สมชาติ จิรวิจากร (2553) ได้จัดทำการออกแบบระบบกราวด์กริดของสถานีไฟฟ้าเมื่อพิจารณาโครงสร้างชั้นดินแบบ Nonuniform Soil โดยใช้โปรแกรม MATLAB

ในการออกแบบระบบต่อลงดินสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยจะพิจารณาความปลอดภัยจากแรงดันไฟฟ้าสัมผัส Critical และแรงดันไฟฟ้าช่วงก้าว (Touch and Step Voltage Etouch , Estep) นำค่าแรงดันไฟฟ้าทั้งสองมาเปรียบเทียบกับค่า Maximum Mesh and Step Voltage : Em, Es เพื่อเป็นเกณฑ์ความปลอดภัย งานวิจัยจึงได้ศึกษาโครงสร้างชั้นดินกรณี Nonuniform Soil และวิเคราะห์ผลกระทบจาก Reflection Coefficient : K, Nonuniform Soil Correction Factor ซึ่งมีผลต่อการคำนวณค่าความต้านทานกริด (Gridt Resistance: Rg) Em, Es เปรียบเทียบกับการพิจารณาโครงสร้างชั้นดินกรณี Uniform Soil ผลจากงานวิจัยบอกได้ว่าการพิจารณาโครงสร้างของชั้นดินกรณี Nonuniform Soil ที่ K มีค่าเป็นลบ ($p_1 > p_2$) ค่า Rg, Em, Es จากการคำนวณมีค่าน้อยกว่าการพิจารณา K ที่มีค่าเป็นบวก ($p_2 > p_1$) และยังมีค่าน้อยกว่าการพิจารณาโครงสร้างชั้นดินที่เป็นกรณี Uniform Soil โดยผลจากการคำนวณตรงกับสมมติฐานที่อ้างตามทฤษฎี และเป็นที่น่าสนใจในการทดลองออกแบบใช้โปรแกรม Matlab ด้วยวิธีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ (Graphical User Interface: GUI) ซึ่งเหมาะสมในการนำไปใช้

ธิชา เลยหยุด จิระสุนทร เมืองอินทร์ อภิวัฒน์ อักษรพิมพ์ และพาททองแท้ ฤทธวรรณศรี (2567) ได้จัดทำการวัดค่าความต้านทานหลักดินด้วยวิธี 3-Point และวิธี Clamp-On ในระบบหลักดินที่ต่อลงดินแบบแนวตรงและแบบตาข่าย

บทความนี้นำเสนอการทดลองวัดค่าความต้านทานหลักดิน 2 วิธี คือ วิธี 3-Point และวิธี Clamp-On โดยนำผลการทดลองการตรวจวัดมาเปรียบเทียบเพื่อให้ทราบได้ว่าการวัดความต้านทานหลักดินด้วยวิธีการใดให้ค่าความต้านทานที่ดีที่สุด การทดลองแบ่งเป็น 2 รูปแบบคือ 1.) ต่อหลักดินจนวนบนกันเป็นแบบแนวตรง และ 2.) ต่อหลักดินแบบตาข่ายโดยในวิธี 3-Point ใช้การวัดค่าความต้านทานในระบบหลักดินอย่างเป็นระบบ ส่วนในวิธี Clamp-On สามารถทดลองได้โดยไม่ต้องตัดการต่อวงจรของหลักดิน โดยใช้วิธี Clamp-On จะได้ผลที่บ่งบอกถึงค่าความต้านทานที่เหมาะสมในพื้นที่นั้น ๆ จากการทดลองในบทความพบว่าการวัดความต้านทานหลักดินด้วยวิธีทั้งสองแบบมีผลต่างกันเล็กน้อย กล่าวคือในระบบที่ประกอบด้วย 4 หลักดินจะได้ค่าความต้านทานใกล้เคียงกัน โดยในวิธี 3-Point ให้ค่าที่ต่ำกว่า Clamp-On เล็กน้อยประมาณ 1.67%

นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ และ สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์ (2562) ได้จัดทำการออกแบบกราวด์กริดของสถานีจำหน่ายไฟฟ้าย่อย โดยมีสองสถานีในบริเวณเดียวกัน

การออกแบบกราวด์กริดของสถานีจำหน่ายไฟฟ้าย่อย และการออกแบบระบบกราวด์กริด โดยวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทางด้านกราวด์ แรงดันไฟฟ้าสัมผัสสูงสุด แรงดันไฟฟ้าช่วงก้าวสูงสุดเมื่อเกิดการลัดวงจร และมีกระแสสูงเกิดขึ้น เมื่อมีกระแสอาจทำให้เกิดอันตรายต่ออุปกรณ์ที่ติดตั้ง หรือผู้ปฏิบัติงานในบริเวณนั้น ซึ่งจะพิจารณาค่าสัดส่วนการปิดอัดตั้งแต่ 0.0 ถึง 1.0 เพื่อให้ค่าที่ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่

เพิ่มขึ้นทางด้านกราวด์ แรงดันไฟฟ้าสัมผัสสูงสุด แรงดันไฟฟ้าช่วงก้าวสูงสุดมีค่าที่ดีที่สุด โดยการวิเคราะห์ จะทำโดยใช้โปรแกรม Current Distribution Electromagnetic Interference Grounding and Soil Structure (CDEGS) เพื่อการศึกษาและวิเคราะห์ และนำผลของการออกแบบระบบกราวด์กริดในรูปแบบต่าง ๆ เมื่อผ่านไปปรับปรุงสมรรถนะแรงดันด้านกราวด์ของสถานีจำหน่ายไฟฟ้าย่อย เพื่อจัดทำเป็นมาตรฐานสำหรับการออกแบบ การปรับปรุงแก้ไขในโครงการที่จำเป็นเร่งด่วนนั้น ก็อาจใช้วัสดุที่ได้มาตรฐาน และมีคุณภาพมาปูพื้นที่ของบริเวณที่อาจเกิดอันตรายได้

4.2 การต่อหลักดิน (นายคณูรุจน์ หมาดหมื่น, 2567)

แท่งสายดิน (Ground rod or Earth electrode) มีหลายแบบ เช่น แท่งกลมยาว (Driven rod, pipe) ยาวอย่างน้อย 2.4 เมตร (8 ฟุต) แถบตัวนำ (Strip) ยาวอย่างน้อย 2.4 เมตร (8 ฟุต) แผ่นตัวนำ (Plate) มีพื้นที่อย่างน้อย 0.186 ตารางเมตร (2 ตารางฟุต) ตัวนำเปลือย (Bare conductor) และแบบต่อเป็นตาข่าย เป็นต้น แท่งสายดินนี้จะต่อจากสาย Ground lead ฝังลงไปใต้ดินเพื่อวัตถุประสงค์ในการนำกระแสไฟฟ้าจากสาย Ground lead ให้กระจายลงไปในดินให้ดีที่สุด ดังนั้นแท่งสายดินจึงควรทำด้วยโลหะที่นำไฟฟ้าได้ดี เช่น ทองแดง แต่เนื่องจากทองแดงมีราคาแพงจึงได้เปลี่ยนเป็นแท่งเหล็กกลมอาบทองแดงแทนได้

จุดต่อระหว่างแท่งสายดินกับสายดินมีความสำคัญเช่นเดียวกับจุดต่อทางไฟฟ้าอื่น ๆ ดังนั้นถ้าต้องการให้จุดต่อที่ดีที่สุดควรใช้วิธีการเชื่อมแท่งสายดินกับสายดินเข้าด้วยกันโดยใช้แบบความร้อนสูงเฉียบพลัน (Exothermic process)



ภาพที่ 1.1 แท่งหลักดิน

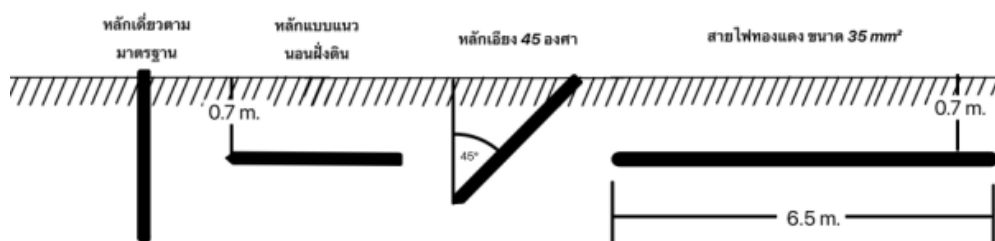
ที่มา : <https://www.safesiri.com/>

4.3 แท่งหลักดินหรือหลักดิน (นายคณูรุจน์ หมาดหมื่น, 2567)

แท่งหรือสายเคเบิลที่ฝังดิน (Buried strip or cable) กรณีที่บริเวณติดตั้งระบบสายดินที่มีทรายหรือมีชั้นหินอยู่ใกล้ผิวดินความชื้นจะน้อย และดินมีความต้านทานสูงไม่เหมาะกับการตอกแท่งดิน การติดตั้งหลักดินนั้นจะต้องทำการตอกลงไปในพื้นดินโดยตอกลงไปตรง ๆ ในแนวตั้ง แต่หากในพื้นที่ตอก

หลักดินลงไปมีวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่แข็ง และไม่สามารถตอกหลักดินให้ทะลุลงไปตรง ๆ กรณีนี้มาตรฐานได้อนุโลมให้ทิศทางที่ตอกลงไปดินสามารถเอียงไปได้ไม่เกิน 45 องศา หรืออาจใช้วิธีการขุดดินแล้วฝังแท่งหลักดินลงในแนวราบที่ความลึกไม่น้อยกว่า 0.75 เมตร สำหรับอาคารชุดอาคารสูง และอาคารขนาดใหญ่พิเศษการฝังแท่งหลักดินในแนวตั้งจะต้องมีระยะห่างจากขอบอาคารประมาณ 0.6 เมตร และฝังลึกไม่น้อยกว่า 0.3 เมตร การฝังแท่งหลักดินในแบบต่าง ๆ ถ้าเป็นไปได้ควรฝังไว้รอบอาคาร และแบบตัวนำทองแดงเปลือยยาวไม่น้อยกว่า 20 ฟุต (6 m.) ขนาดไม่เล็กกว่า 35 mm². มาخذเป็นวงแหวน และฝังลึกใต้ดินไม่น้อยกว่า 70 cm.

แผ่นฝัง (Buried Plate) หลักดินที่มีลักษณะเป็นแผ่นจะถูกนำมาใช้เมื่อไม่ต้องการขุดดินลงไปลึก ๆ การฝังแผ่นจะทำในแนวตั้ง หรือแนวนอนก็ได้ขนาดของแผ่นโลหะที่ใช้ต้องมีพื้นที่ผิวสัมผัสไม่น้อยกว่า 0.18 ตารางเมตร (หรือ 0.30 x 0.30 เมตร) และในกรณีที่ เป็นเหล็กอาบโลหะชนิดกันการผุกร่อน ต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 1.5 มม. โดยต้องฝังแผ่นโลหะลึกจากผิวดินไม่น้อยกว่า 1.6 เมตร



ภาพที่ 1.2 ภาพแสดงหลักดินต่างๆ

4.4 การติดตั้งแท่งหลักดินและส่วนประกอบของการต่อหลักดิน (เว็บไซต์มาตรฐานการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย, 2556)

แท่งหลักดินที่ดีจะต้องทำมาจากแท่งเหล็กหุ้มด้วยทองแดง (นิยมใช้งานมากที่สุด) หรือทำมาจากแท่งทองแดง หรือแท่งเหล็กอาบสังกะสี ซึ่งแท่งหลักดินประเภทนี้อายุการใช้งานจะสั้นจึงไม่นิยมนำมาใช้ งาน โดยมาตรฐานกำหนดไว้ว่าจะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่าขนาด 5/8 นิ้ว และมีความยาวไม่ต่ำกว่า 2.4 เมตร

การต่อสายต่อหลักดินกับแท่งหลักดินโดยวิธีที่ 1) คือการใช้ clamp ที่ผลิตสำเร็จรูปซึ่งมีหลายรูปร่างหลายแบบมาทำการเชื่อมต่อโดยการขันสกรูยึดสายต่อหลักดินกับหลักดินให้แน่นวิธีนี้จะทำงานสะดวกรวดเร็ว แต่มีข้อเสียเรื่องความแข็งแรง และความคงทนในการใช้งาน วิธีที่ 2) การเชื่อมต่อกันด้วย

ความร้อนวิธีนี้จะหลอมโลหะที่เป็นสายต่อหลักดินกับหลักดินให้ละลายติดเป็นเนื้อเดียวกันมีความแข็งแรงและความคงทนในการใช้งานดีกว่าวิธีการใช้ clamp แต่วิธีนี้จะต้องใช้อุปกรณ์ และเทคนิคในการเชื่อม

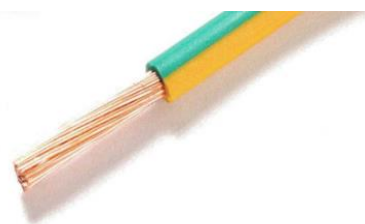
ส่วนประกอบของการต่อหลักดิน (ดร.สำรวย สังข์สะอาด, 2544)

4.4.1 จุดต่อลงดิน ในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าจะมีการต่อลงดินของสายดิน (Ground Wire) ของระบบแรงต่ำ ซึ่งจะช่วยให้ระบบการจ่ายดีขึ้นเนื่องจากการต่อลงดินมากจุดขึ้นกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากฟ้าผ่าจะไหลลงทางดินได้ดีขึ้น

4.4.2 สายดิน สายตัวนำที่นำกระแสไฟฟ้าไปลงดินโดยผ่านแท่งสายดิน ดังนั้นสายดินควรทำด้วยโลหะที่นำกระแสไฟฟ้าได้ดี เช่น ทองแดง แต่เนื่องจากทองแดงมีราคาแพงทำให้ต้องลงทุนสูงจึงอาจเปลี่ยนไปใช้สายเหล็กอาบสังกะสี หรือสายเหล็กอาบทองแดงที่มีทั้งแบบกลมแบบแบน และตีเกลียว แต่ที่ใช้ทั่วไปจะเป็นแบบสายเหล็กอาบทองแดงชนิดกลมข้อควรระวังสำหรับการต่อสายดินคือสายดินที่ติดตั้งควรมีจุดต่อที่สามารถถอดออกได้โดยง่าย และทำจากจุดตรวจสอบนี้จะต้องไม่มีการต่อสายใด ๆ นอกจากต่อที่จุดไปยังแท่งสายดิน



ภาพที่ 1.3 จุดต่อลงดิน
ที่มา : <https://chopanich.com/>



ภาพที่ 1.4 สายดิน
ที่มา : <https://th.sdxlxcable.com/>

4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานดิน (นายธนุรจน์ หมดหมื่น, 2567 ดร.สำรวย สังข์สะอาด, 2544)

4.5.1 ความต้านทานจำเพาะของดิน (Soil Resistivity) ความต้านทานของดินที่วัดระหว่างด้านตรงข้ามของดินขนาด $1 \times 1 \times 1$ ลูกบาศก์เมตร มีหน่วยเป็นโอห์ม.เมตร ($\Omega.m$) ค่าความต้านทานจำเพาะของดินจะแปรเปลี่ยนตามปัจจัยต่าง ๆ

4.5.2 ชนิดของดิน พื้นที่ที่ทำการตั้งเสาไฟฟ้าแรงสูงนั้นมักมีลักษณะ และชนิดของดินแตกต่างกันบางพื้นที่อาจมีลักษณะเป็นที่ราบลุ่ม ซึ่งมักจะพบว่าเป็นพวกดินร่วน หรือดินเหนียวบางพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นภูเขาชนิดของดินก็จะเป็นดินปนกรวด หรือหิน เป็นต้นดังนั้นการจัดเรียงตัวของเม็ดดินย่อมแตกต่างกัน

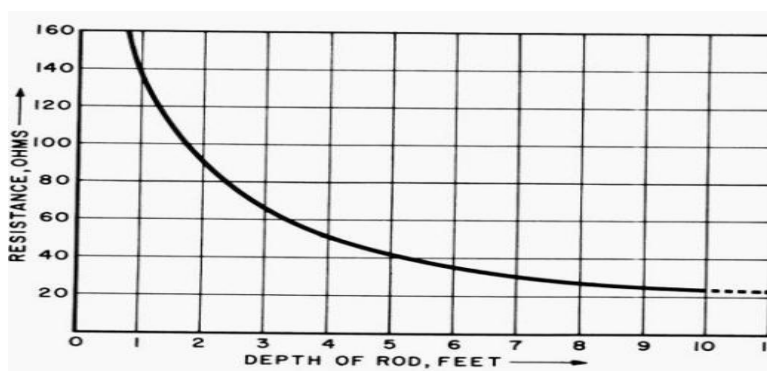
4.5.3 ความชื้น สิ่งที่เกี่ยวข้องกับความชื้นมากที่สุดคือปริมาณน้ำ หรือไอน้ำในดิน โดยจะพิจารณาถึงลักษณะพื้นที่ และสภาพภูมิอากาศเป็นสำคัญยกตัวอย่าง เช่น บริเวณที่ราบลุ่มมักจะมี ความชื้นมากกว่าบริเวณเชิงเขา ลักษณะอากาศที่มีฝนตกย่อมมีความชื้นมากกว่าที่มีอากาศร้อน โดยที่ ความชื้นมีผลกับความต้านทานจำเพาะโดยตรงก็คือถ้าดินบริเวณไหนมีความชื้นมากเท่าใดดินบริเวณนั้น นำไฟฟ้าได้ดีความต้านทานน้อย

4.5.4 ความเข้มข้นและส่วนประกอบของสารละลายเกลือ สารละลายเกลือในดินมีผล ต่อการนำไฟฟ้าของดิน โดยเฉพาะปริมาณไอออนของโซเดียม (Na), แมกนีเซียม (Mg), โพแทสเซียม (K)

4.5.5 อุณหภูมิ เป็นค่าที่มีความแปรเปลี่ยนมากที่สุดเนื่องจากว่าเครื่องมือที่วัดอุณหภูมิ ในดินแล้วให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำนั้นยังไม่มีอีกทั้งดินที่มีความลึกต่าง ๆ ย่อมมีอุณหภูมิไม่เท่ากัน และค่อนข้างที่จะไม่มีค่าคงตัว แต่จากการวิเคราะห์พบว่าดินที่มีอุณหภูมิสูงกว่าย่อมมีความต้านทานมาก

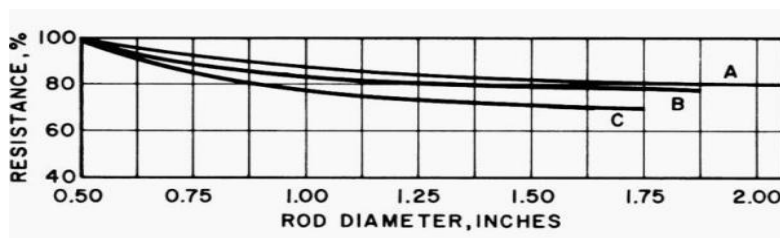
4.5.6 ความอัดแน่น ความอัดแน่นของเนื้อดินจะพิจารณาในเรื่องของชั้นดินเป็นสำคัญ ดินชั้นบนจะมีความอัดแน่นน้อยกว่าดินชั้นล่างเนื่องจากดินชั้นล่างจะถูกกดทับโดยดินชั้นบน ซึ่งดินที่มีค่า ความต้านทานน้อยนั้นคือดินที่มีความอัดแน่นน้อยโดยจะส่งผลให้การดูดซึมน้ำในดินไม่ดี

4.5.7 ความยาวของแท่งหลักดิน ความยาวของแท่งหลักดินเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าช่วยลด ความต้านทานได้ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ เส้นโค้งของภาพที่ 1.5 แสดงเอฟเฟกต์นี้ตัวอย่าง เช่น โปรด ทราบว่า แท่งหลักดินลง 2 ฟุต มีความต้านทานของ 88 Ω . ถ้าความยาวของแท่งหลักดิน 4 ฟุต มีความ ต้านทานประมาณ 50 Ω . ใช้กฎการลด 40 เปอร์เซ็นต์ $88 \times 0.4 =$ ลดลง 35 Ω . การคำนวณนี้ ถ้าหลัก 4 ฟุต จะมีความต้านทานของ $88 - 35$ หรือ 53 Ω เปรียบเทียบอย่างใกล้ชิดกับค่าเส้นโค้ง



ภาพที่ 1.5 เปรียบเทียบระหว่างความยาวของแท่งหลักดินกับความต้านทานการต่อลงดิน

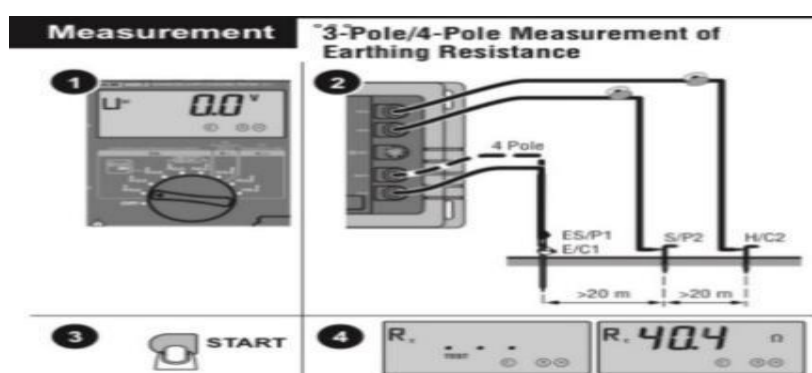
4.5.8 ขนาดพื้นที่หน้าตัดแท่งหลักดิน การเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งหลักดินจะทำให้ความต้านทานลดลง แต่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ถ้าความลึกเท่ากันเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งจะลดความต้านทานเป็นสองเท่าเพียงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ 1.6 แสดงความสัมพันธ์



ภาพที่ 1.6 กราฟเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งหลักดิน

4.6 วิธีการวัดค่าความต้านทานของแท่งหลักดินแต่ละแบบ (นายดนุรุจน์ หมาดหมื่น, 2567)

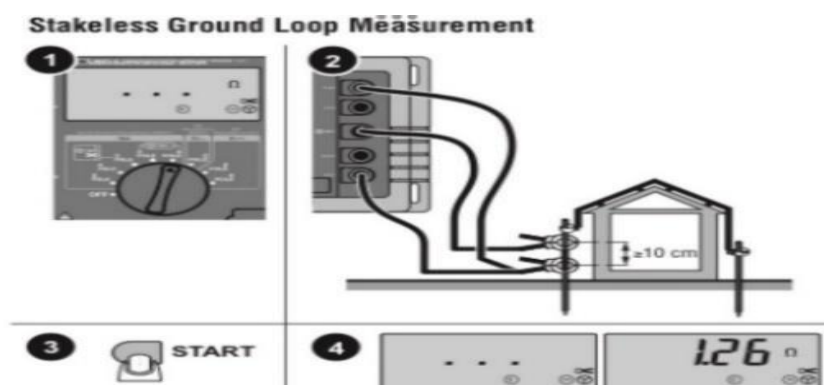
4.6.1 วิธี 3-pole และ 4-pole เป็นการตอกหลักที่เป็นแท่งโลหะขนานไปที่แท่งกราวด์ไฟฟ้าเพื่อให้เกิดลูปของไฟฟ้าเครื่องทดสอบความต้านทานดินจะปล่อยแรงดัน และกระแสที่มาจากหนึ่งไปที่ลูปไฟฟ้านั้นแล้วคำนวณกลับออกมาเป็นค่าความต้านทานการวัดค่าความต้านทานดินแบบใช้หลักสามารถทำได้ทั้งแบบ 3 สาย และ 4 สาย เนื่องจากการวัดค่าความต้านทานดินแบบใช้หลักจำเป็นต้องมีการตอกหมุดโลหะลงไปในดิน ดังนั้นการทดสอบวิธีนี้จึงเหมาะกับการใช้ออกแบบติดตั้งระบบใหม่



ภาพที่ 1.7 วิธีการต่อแบบ 3-pole และ 4-pole

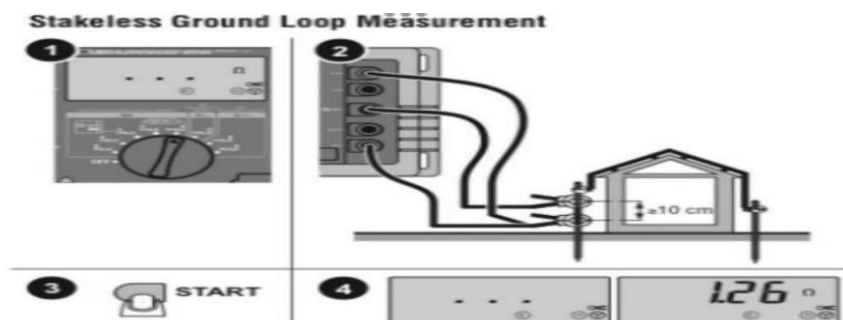
4.6.2 วิธีการวัดแบบ stake less เป็นวิธีการทดสอบแบบไม่ต้องใช้หมุดโลหะไม่จำเป็นต้องใช้หมุดโลหะวางแคลมป์กราวด์ เช่น ไวร์รอบ ๆ แกนแท่งหลักดิน หรือสายเชื่อมต่อแคลมป์ตัวหนึ่งจะเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าที่ทราบค่าในขณะที่อีกตัวหนึ่งจะวัดกระแสไฟฟ้าเครื่องทดสอบจะกำหนดความต้านทานของลูปกราวด์โดยอัตโนมัติที่จุดต่อกราวด์นอกจากนี้ยังสามารถทำการทดสอบ

ความต่อเนื่องวัดกระแสไฟรั่ว และตรวจสอบระบบป้องกันไฟลักษณะเดียวกัน โดยไม่ต้องตัด วงจร เทคนิคแบบไร้หมุดโลหะถือว่าในระบบขนาน/หลายสายดินความต้านทานสุทธิของเส้นทางสายดินทั้งหมดจะต่ำมากเมื่อเทียบกับเส้นทางเดียว (เส้นทางที่ทดสอบ) ดังนั้นความต้านทานสุทธิของความต้านทานเส้นทางกลับขนานทั้งหมดจึงเท่ากับศูนย์ การวัดแบบไร้เสาเข็มจะวัดความต้านทานของแท่งหลักดิน แต่ละแท่งในแบบขนานกับระบบกราวด์ดินเท่านั้นหากระบบกราวด์ไม่ขนานกับดินแสดงว่า มีวงจรเปิดหรือกำลังวัดความต้านทานของลูปกราวด์



ภาพที่ 1.8 วิธีการวัดแบบ stake less

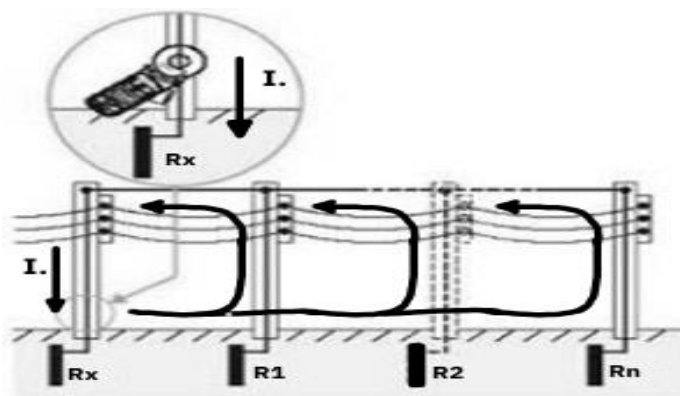
4.6.3 วิธีการวัดแบบ selective เป็นวิธีทดสอบแบบเลือกใช้แคลมป์ 1 ตัว และเสา 2 อัน สามารถวัดความต้านทานของพื้นดินที่ส่วนเฉพาะของการติดตั้งได้ โดยแยกระบบออกเพื่อตรวจสอบหรืออ้างอิงสิ่งที่อยู่ในสถานที่นั้นวิธีทดสอบแบบเลือกใช้แคลมป์กระแสในขณะที่แท่งหลักดินที่ต้องการยังอยู่ระหว่างการทดสอบแคลมป์มิเตอร์ใช้เพื่อแยกระบบทดสอบที่จ่ายเข้าไปในแท่งหลักดินที่กำลังทดสอบ ปักเสาดินสองต้นในดินในแนวตรงห่างจากแท่งหลักดินที่ต้องการ โดยปักติระยะห่าง 20 เมตร ก็เพียงพอ แคลมป์มิเตอร์เชื่อมต่อกับแท่งหลักดิน และวางแคลมป์มิเตอร์กราวด์ดินไว้รอบแท่งหลักดินเพื่อจัดผลกระทบของความต้านทานขนานในระบบกราวด์วิธีนี้ช่วยให้วัดได้เฉพาะแท่งหลักดินที่ต้องการเท่านั้น



ภาพที่ 1.9 วิธีการวัดแบบ selective

4.6.4 วิธีการใช้เครื่องมือวัด Ground clamp Fluke 1630-2 Fc Ground clamp

จะทำงานโดยการปล่อยสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำเข้าไปในแท่งหลักดินทำให้เกิดกระแสไหลผ่านแท่งหลักดินผ่านลงไปในดิน และหากมีแท่งหลักดินอื่น ๆ ที่ต่อขนานกันอยู่กระแสไฟฟ้าก็จะแบ่งไหลผ่านแท่งหลักดินทั้งหมดแล้วกลับมาครบวงจรที่แท่งหลักดินต้นที่ทำการวัด โดยเครื่องจะทำการคำนวณกระแสที่ไหลกลับมา และแปลงผลออกมาในแบบค่าความต้านดินของแท่งหลักดิน

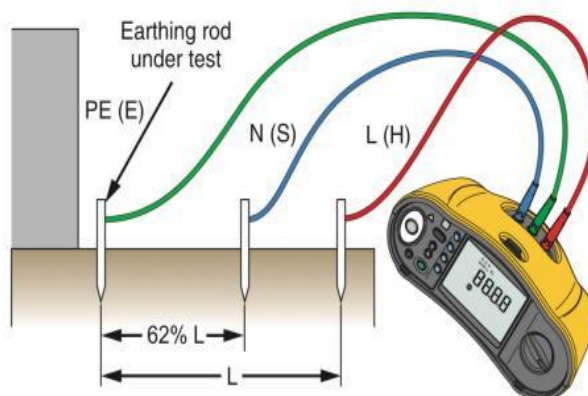


ภาพที่ 1.10 วิธีการวัดแบบแคลมป์

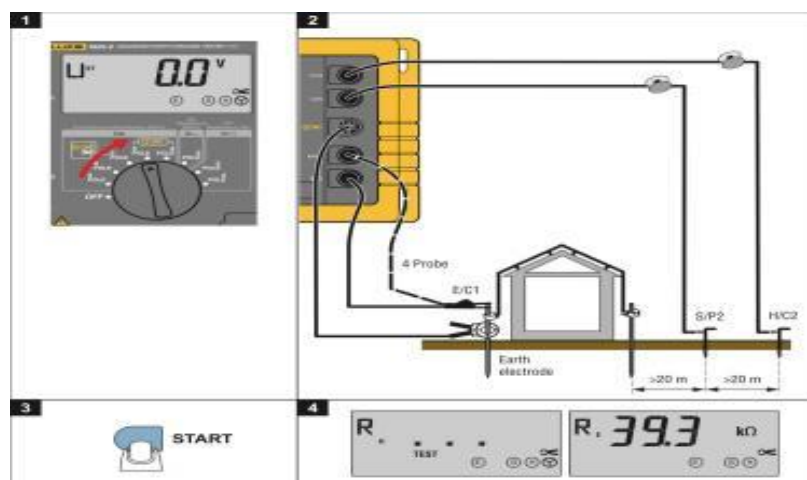
หลักการใช้งาน Ground clamp ทำงานเมื่อจุดต่อลงดิน มี 2 จุดขึ้นไป แต่ค่าที่วัดได้จะแม่นยำก็ต่อเมื่อจุดต่อลงดินมีหลาย ๆ จุด

4.6.5 วิธีการใช้เครื่องมือวัดแท่งหลักดิน (นายदनุรจน์ หมดหมื่น, 2567)

มิเตอร์รุ่น Fluke 1664 FC และมิเตอร์รุ่น Fluke 1625-2 Fc



ภาพที่ 1.11 วิธีการวัดด้วยมิเตอร์ 3Pole

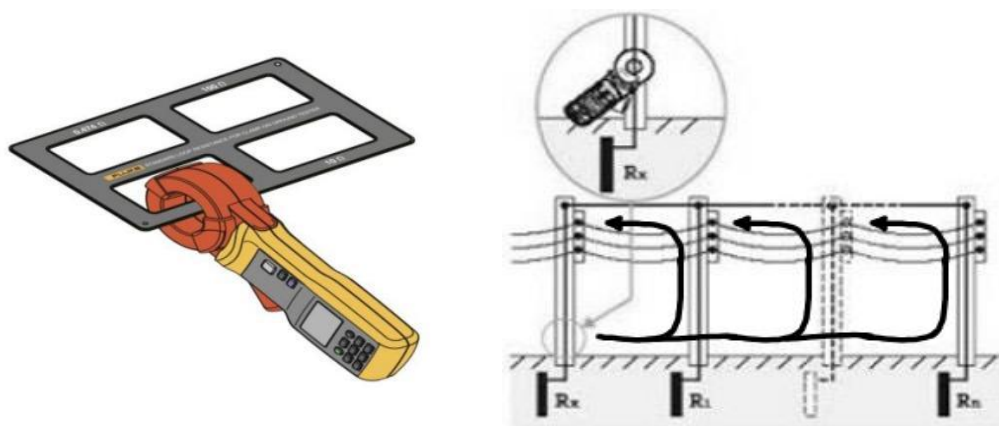


ภาพที่ 1.12 วิธีการวัดด้วยมิเตอร์ 4Pole

เสียบแท่งหลักดินมาตรฐานของเครื่องวัด โดยให้ห่างจากแท่งหลักดินที่เราต้องการทดสอบ แต่ละหลักห่างกันประมาณ 15-25 เมตร (บางรุ่นความยาวสาย N(S) -L(H) อาจจะไม่เท่ากัน)

1. ต่อสายวัด PE , N(S) , L(H) ของเครื่องวัดเข้ากับแท่งหลักดินตามภาพ
2. เช็กเพื่อดูการต่อสายวัดผิดปกติหรือไม่
3. ตั้งย่านวัดไปที่ RE เพื่อวัดค่าความต้านทานของแท่งหลักดิน
4. กดปุ่ม TEST เพื่อทำการวัดค่าความต้านทานดิน ซึ่งค่าที่ได้จะต้องมีค่าไม่เกิน 5 โอห์ม

แคลมป์ทดสอบกราวด์



ภาพที่ 1.13 แคลมป์ทดสอบกราวด์

การวัดค่าความต้านทานแบบแคลมป์

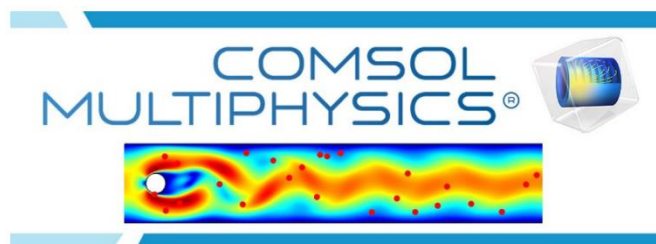
1. เปิดปากคืบ และตรวจดูว่าไม่มีฝุ่น สิ่งสกปรก หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ
2. ปิดแคลมป์
3. กด (A/Ω) เพื่อเลือกฟังก์ชัน Ω
4. ยึดแคลมป์เข้ากับแท่งหลักดิน (หันหัวลูกศรไปทางแท่งหลักดิน) อ่านค่าความต้านทานของแท่งหลักดินบนหน้าจอ

4.7 โปรแกรมที่ใช้จำลอง Comsol Multiphysics

COMSOL Multiphysics เป็นซอฟต์แวร์จำลองทางวิศวกรรม และวิทยาศาสตร์ที่ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เพื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และวิศวกรรมที่ซับซ้อนซอฟต์แวร์นี้ช่วยให้นักวิทยาศาสตร์ และวิศวกรสามารถสร้างแบบจำลองที่รวมหลายฟิสิกส์เข้าด้วยกัน (Multiphysics) เพื่อวิเคราะห์ และออกแบบระบบต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คุณสมบัติหลักของ COMSOL Multiphysics:

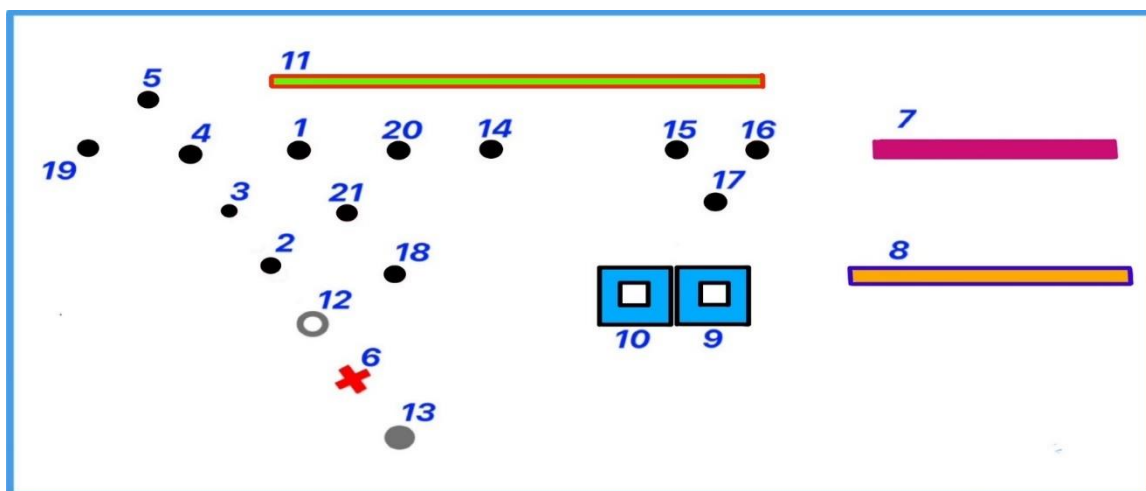
1. การจำลองหลายฟิสิกส์ (Multiphysics Simulation): สามารถรวมการจำลองฟิสิกส์หลายประเภท เช่น โครงสร้างกลศาสตร์, ไฟฟ้า, ความร้อน, ของไหล และเคมีในแบบจำลองเดียวกันเพื่อวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟิสิกส์ต่าง ๆ
2. ส่วนต่อประสานผู้ใช้ที่ยืดหยุ่น: มีอินเทอร์เฟซที่ใช้งานง่ายช่วยให้ผู้ใช้สามารถสร้าง และปรับแต่งแบบจำลองได้ตามความต้องการ
3. การสร้างแอปพลิเคชัน (Application Builder): ผู้ใช้สามารถพัฒนาแอปพลิเคชันจำลองเฉพาะทางด้วยอินเทอร์เฟซที่กำหนดเองเพื่อให้ผู้อื่นที่ไม่เชี่ยวชาญในการจำลองสามารถใช้งานได้
4. การจัดการข้อมูลการจำลอง (Model Manager): มีเครื่องมือสำหรับจัดการข้อมูลการจำลอง เช่น การควบคุมเวอร์ชัน และการจัดเก็บข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 1.14 โปรแกรมที่ใช้จำลอง

4.8 การออกแบบและขั้นตอนการดำเนินงาน

การออกแบบโครงสร้างของชุดทดลองการวัดค่าความต้านทานของแท่งหลักดินภาพที่แสดงถึง
การออกแบบโครงสร้างด้วยแอป CallaNote



ภาพที่ 1.15 แบบโครงสร้างที่วาดด้วยแอป CallaNote

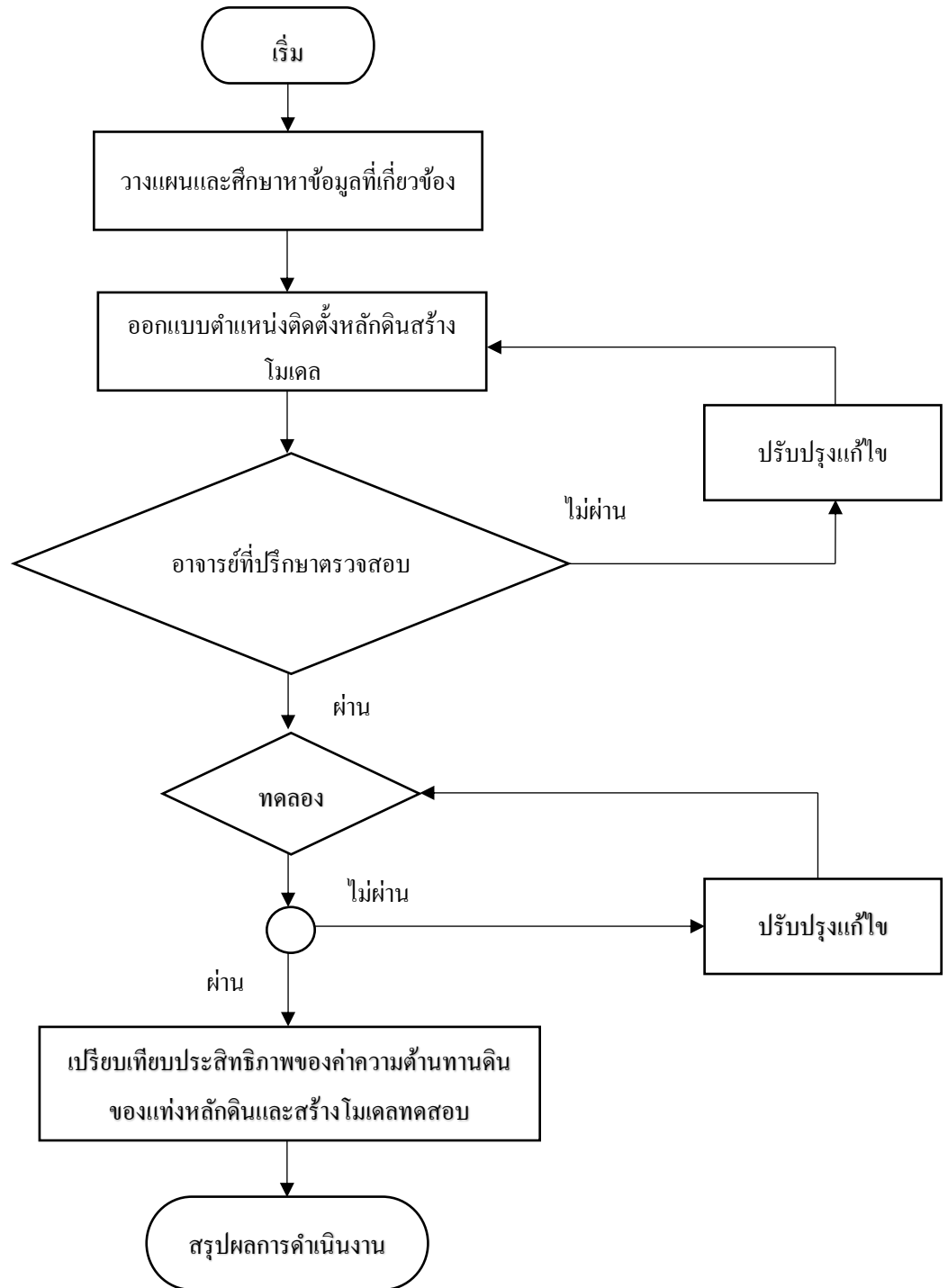
ตารางที่ 1-1 ตารางสัญลักษณ์ของหลักดิน

สัญลักษณ์ของหลัก	ชื่อของแท่งหลักดิน
●	เหล็กหุ้มทองแดง
○	เสตนเลสแบบกลวง
●	เสตนเลสแบบตัน
×	เหล็กแบบแฉก
□ □	แผ่นเพลท
▬ (green/yellow)	สายไฟขนาด 35mm ²
▬ (pink)	เหล็กหุ้มทองแดง (เอียง)
▬ (orange)	เหล็กหุ้มทองแดง (ลึก)

ตารางที่ 1-2 ตารางหมายเลขและขนาดของหลักดิน

หมายเลขของหลัก	ขนาด (นิ้ว)/ความยาว (เมตร)/(องศา)	ประเภท
1	5/8 x 2.4	เหล็กหุ้มทองแดง
2	4/8 x 2.4	เหล็กหุ้มทองแดง
3	5/8 x2	เหล็กหุ้มทองแดง
4	5/8 x 3	เหล็กหุ้มทองแดง
5	5/8 x 6	เหล็กหุ้มทองแดง
6	2½ x 2	เหล็กแบบแนก
7	5/8 x 2.4 (เอียง45°)	เหล็กหุ้มทองแดง
8	5/8 x 2.4(ลึก70cm.)	เหล็กหุ้มทองแดง
9	40x50cm ² x 1	แผ่นเพลท
10	40x50cm ² x 1.7	แผ่นเพลท
11	1x35mm ² x 6.5	สายไฟขนาด 35mm ²
12	2 x 2	สแตนเลสแบบกลวง
13	2 x 2	สแตนเลสแบบตัน
14	5/8 x 2.4	เหล็กหุ้มทองแดง
15	5/8 x 2.4	เหล็กหุ้มทองแดง
16	5/8 x 1	เหล็กหุ้มทองแดง
17	5/8 x 1	เหล็กหุ้มทองแดง
18	5/8 x 2.4	เหล็กหุ้มทองแดง
19	5/8 x 2.4	เหล็กหุ้มทองแดง
20	5/8 x 2.4	เหล็กหุ้มทองแดง
21	5/8 x 2.4	เหล็กหุ้มทองแดง

ขั้นตอนการดำเนินงาน



ภาพที่ 1.16 แผนผัง Flowchat

5. ขอบเขตของการวิจัย

- 5.1 สามารถตรวจวัดหลักดินได้ทั้งหมด 7 แบบ
- 5.2 ได้ผลการทดลองค่าความต้านทานหลักดินที่ถูกต้องแม่นยำ
- 5.3 สามารถสร้างโมเดลวิเคราะห์ความต้านทานหลักดินได้

6. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

- 6.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ
- 6.2 ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
- 6.3 ออกแบบโครงสร้างและหลักการดำเนินงาน
- 6.4 สอบหวัข้อปริญญานิพนธ์
- 6.5 วัดค่าและสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์
- 6.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าความต้านทานดินของแท่งหลักดิน
- 6.7 รายงานความก้าวหน้า
- 6.8 แก้ไขข้อบกพร่อง
- 6.9 จัดทำปริญญานิพนธ์
- 6.10 สอบจบโครงการ

7. แผนการดำเนินการ

ระยะเวลาดำเนินงาน	พ.ย. 67	ธ.ค. 67	ม.ค. 68	ก.พ. 68	มี.ค. 68	เม.ย. 68
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ						
2. ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ						
3. ออกแบบโครงสร้างและหลักการดำเนินงาน						
4. สอบหวัข้อปริญญานิพนธ์						
5. วัดค่าและสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์						

6. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ ค่าความต้านทานดินของแท่งหลัก ดิน						
7. รายงานความก้าวหน้า						
8. แก้ไขข้อบกพร่อง						
9. จัดทำปริญญานิพนธ์						
10. สอบจบโครงการ						

8. เอกสารอ้างอิง/บรรณานุกรม

- [1] ดร.สำรวย สังข์สะอาด. 2544. **ทฤษฎีการศึกษาค่าความต้านทานดิน**, 4. มหาวิทยาลัยนเรศวร. สำนักงานหอสมุด
- [2] นาย ดนุรจณ์ หมดหมื่น, นาย พลพล ขวัญทอง, นาย พิสิทธิ์พงษ์ เมื่อน้ำพราย. 2567. **ชุดสาริตถการวัดค่าความต้านทานของหลักดิน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรมคณะเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
- [3] สำนักงานกลางศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์. (2550). COMSOL Multiphysics เป็นซอฟต์แวร์จำลองทางวิศวกรรม. [<https://www.thep-center.org/en/>]. สืบค้นเมื่อ 17 ธันวาคม 2567
- [4] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2556). มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย. [<https://www.blockdit.com/>]. 27 ธันวาคม 2567
- [5] วิทิญ์ ดีสวัสดิ์, สมชาติ จีรวิจากร 2553. การออกแบบระบบกราวด์กริดของสถานีไฟฟ้าเมื่อพิจารณาโครงสร้างชั้นดินแบบ Nonuniform Soil โดยใช้โปรแกรม MATLAB. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [6] ถิชา เลยหยุด, จิระสุนทร เมืองอินทร์, อภิวันท์ อักษรพิมพ์, พาทองแท้ ฤทธวรรณศรี (2567) ได้ **จัดทำกรวัดค่าความต้านทานหลักดินด้วยวิธี 3-Point และวิธี Clamp-On ในระบบหลักดินที่ต่อลงดินแบบแนวตรงและแบบตาข่าย**. วิทยานิพนธ์ปริญญา สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
- [7] นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ, สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์ (2562). ได้ **จัดทำกรออกแบบกราวด์กริดของสถานีจำหน่ายไฟฟ้าย่อย โดยมีสองสถานีในบริเวณเดียวกัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญา สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

9. งบประมาณ

ลำดับที่	รายการ/วัสดุอุปกรณ์	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคารวม	ราคาทั้งหมด
1.	เหล็กหุ้มทองแดงขนาด 5/8	11 เส้น	235	2600	
2.	เหล็กหุ้มทองแดงขนาด 1/2	1 เส้น	100	100	
3.	สายไฟขนาด35mm ²	15 ม.	170	2500	
4.	เหล็กแบบแฉก	1 เส้น	400	400	
5.	แผ่นเพลท40x50cm ²	2 แผ่น	50	100	
					5700 บาท

ลงชื่อ.....นาย ระสิทธิ์ น้อย..... (นักศึกษา)

ลงชื่อ.....นาย เสริม ธรรม..... (นักศึกษา)

ลงชื่อ.......... (อาจารย์ที่ปรึกษา)

