รายงานการวิจัย

เรื่อง

การศึกษาและทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของระบบรากสายดิน

STUDYING AND TESTING OF LIGHTNING RESPONSE OF GROUNDING SYSTEM

สำเริง ฮินท่าไม้

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2559

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การศึกษาและทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของระบบรากสายดิน

STUDYING AND TESTING OF LIGHTNING RESPONSE OF GROUNDING SYSTEM

สำเริง ฮินท่าไม้

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2559

คำนำ

รายงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการสนับสนุนให้บุคลากรภายในมหาวิทยาลัยศรีปทุมได้มีโอกาสผลิตผลงานวิจัยที่มีคุณภาพและเผยแพร่ออกสู่ภายนอก โดยให้อาจารย์เสนอโครงการที่ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนางานวิจัย ซึ่งมีทั้งการวิจัยวิชาการและการวิจัยสถาบัน ทั้งนี้เพื่อให้คณาจารย์ได้พัฒนาความรู้และประสบการณ์ทางวิชาการอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการขอรับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากหน่วยงานภายนอกและนำไปสู่การขยายกรอบความร่วมมือทางวิชาการกับหน่วยงานภายนอกต่อไป

งานวิจัยนี้ เป็นการวิเคราะห์การตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของระบบรากสายดิน ที่มีผลต่อความต้านทานดินอิมพัลส์ โดยพิจารณาชนิดของดินและขนาดของกระแสฟ้าผ่า ซึ่งจะทำให้สามารถคาดคะเนค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ได้อย่างถูกต้อง และจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบเสาส่งไฟฟ้า เสาจำหน่ายไฟฟ้าและระบบการต่อลงดินของอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัยต่อไป

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิชาการในด้านการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสายส่งหรือระบบสายจำหน่ายไฟฟ้า และระบบการต่อลงดินของอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัยต่อไป และหากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้วิจัยต้องขออภัยไว้ณ ที่นี้ด้วยและยินดีน้อมรับคำแนะนำ เพื่อปรับปรุงแก้ไขต่อไป

สำเริง ฮินท่าไม้
ผู้วิจัย
มีนาคม 2562

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีปทุมอย่างสูงที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณทั้งหมดและได้ให้เวลาในการทำโครงการวิจัยนี้ รวมทั้งขอขอบคุณศูนย์ส่งเสริมและพัฒนางานวิจัยที่ได้อำนวยความสะดวกและประสานงานอย่างดีเยี่ยมในการดำเนินโครงการวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์เทพ เลาหชัย ผู้ทรงคุณวุฒิที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้สละเวลาให้คำแนะนำในการแก้ไขปรับปรุงตลอดการดำเนินงานและการเขียนรายงานวิจัยนี้

สำเริง ฮินท่าไม้
ผู้วิจัย
มีนาคม 2562

Acknowledgements

The author highly acknowledges Sripatum University for fully support of this research. Thanks are also expressed to his colleagues in the Bureau of Research for their kind and crucial cooperation. The author also wishes to express his profound and sincere thanks to Assoc.Pro.Dr. Pantep Laohachai, advisor of the research, for his valuable guidance and timely suggestions throughout the process of the research.

Samroeng Hintamai

Researcher

March 2562

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

1 บทนำ 1

ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
คำถามการวิจัย 3
สมมุติฐานการวิจัย 4
ขอบเขตของการวิจัย 4
นิยามศัพท์เฉพาะ 4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 7

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความต้านทานดิน 7
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย 17
ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23
สรุป 23

3 ระเบียบวิธีการวิจัย 25

รูปแบบการวิจัย 25
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 25
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 25
เครื่องมือการวิจัย 26
การทำการตรวจวัดความต้านทานดิน 26

4 ผลการตรวจวัดความต้านทานดิน 31

ผลการตรวจวัดความต้านทานดิน 31
วิเคราะห์ผลการตรวจวัด 39

5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 44

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

บรรณานุกรม 46

ประวัติย่อผู้วิจัย 48

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

1 แสดงความต้านทานจำเพาะของดิน (IEEE STD. 80-2013) 11

2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดและทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของระบบรากสายดิน 26

3 ผลการทดสอบ ณ อำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา 31

4 ผลการทดสอบ ณ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 33

5 ผลการทดสอบ ณ อำเภอศาลายา จังหวัดนครปฐม 34

6 ผลการทดสอบ ณ อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี 35

7 ผลการทดสอบ ณ อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง 36

8 ผลการทดสอบ ณ อำเภอเมืองสระบุรี จังหวัดสระบุรี 37

9 ผลการทดสอบ ณ อ.บางเสล่ จ.ชลบุรี 38

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

1 แรงดันฟ้าผ่าที่เกิดบนสายส่งและเสาส่งไฟฟ้า 2
2 แรงดันฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นที่ยอดเสา, แรงดันเหนี่ยวนำ 2
3 ส่วนประกอบความต้านทานรอบแท่งหลักดิน 8
4 ความหมายของความต้านทานจำเพาะของดิน (โอห์ม – เมตร) 9
5 ผลของความชื้น อุณหภูมิและเกลือที่มีต่อค่าความต้านทานจำเพาะของดิน 10
6 ความต้านทานดินแปรผกผันกับความลึกที่ฝังดิน 12
7 ความต้านทานดินของแท่งหลักดินที่ฝังในดินสองชั้น 13
8 คลื่นแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ t_1 / t_2 μS 14
9 อิมพีแดนซ์ของดิน เมื่อสัญญาณแรงดันและกระแสเป็นอิมพัลส์ 15
10 แท่งหลักดินในสภาวะที่มีกระแสสูงไหลผ่าน 16
11 ความต้านทานอิมพัลส์เทียบกับความต้านทานกระแสสลับ 16
12 แบบจำลองอย่างง่ายของบริเวณเกิดไอออไนเซชัน 18
13 พฤติกรรมแท่งหลักดินหลาย ๆ แท่ง เปรียบเสมือนครึ่งทรงกลม 18
14 ความต้านทานอิมพัลส์ครึ่งทรงกลม 19
15 แท่งหลักดินจะมีรูปทรงเป็นครึ่งทรงกลม ที่กระแสสูง 20
16 การจำลองความสัมพันธ์ของความต้านทานอิมพัลส์ของ KORSUNTCEV'S 21
17 แบบจำลองอย่างง่ายของ WECK เมื่อเปรียบเทียบกับ 22
18 ผลการเปรียบเทียบที่ได้จาก CIGRE WORKING GROUP 33.01 22
19 การประมาณค่าความต้านทานอิมพัลส์ เส้นประเป็นค่าโดยประมาณ 24
20 การวัดความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง ด้วยวิธีวัดแบบ 3 จุด 27
21 เครื่องทดสอบความต้านทานดินอิมพัลส์และวงจรการทดสอบ 28
22 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมแท่งหลักดินและรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า 29
23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับ 32
24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับ 33
25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับ 34
26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับ 35

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับ 36
28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับ 37
29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับ 38
30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับ 40
31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดิน, ... 41
32 วงจรสมมูลของระบบรากสายดินในสภาวะความถี่สูง(จากผลของกระแสฟ้าผ่า).... 42

หัวข้อวิจัย : การศึกษาและทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของระบบรากสายดิน
ผู้วิจัย : นายสำเริง ฮินท่าไม้
หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2562

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของระบบรากสายดิน โดยพิจารณาชนิดของดินและขนาดของกระแสฟ้าผ่าที่มีผลต่อความต้านทานดินอิมพัลส์ โดยการทดสอบการตรวจวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังด้วยเครื่องวัดความต้านทานดินด้วยวิธีการวัดแบบ 3 จุดและทำการทดสอบการตรวจวัดค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ด้วยเครื่องจำลองกระแสฟ้าผ่าแล้วนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานดินอิมพัลส์กับความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง จากผลการทดสอบการตรวจวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังด้วยเครื่องวัดความต้านทานดินด้วยวิธีวัดแบบ 3 จุด และค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ด้วยเครื่องวัดความต้านทานดินอิมพัลส์ โดยทำการสุ่มตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ พบว่ากรณีค่าความต้านทานจำเพาะของดิน, ρ มีค่าต่ำๆ และไม่เกิน 100 โอห์ม-เมตร ค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์, $R_{AC} < R_{impluse}$ ส่วนกรณีค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่ามากกว่า 100 โอห์ม-เมตร ค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์, $R_{AC} > R_{impluse}$ และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างค่าความต้านทานดินอิมพัลส์กับค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังในเทอมของสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดิน, $\alpha = R_{impluse} / R_{AC}$ กับค่าความต้านทานจำเพาะของดิน พบว่าสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดินจะมีค่าลดลง เมื่อค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าเพิ่มขึ้นนั่นก็หมายความว่ากรณีที่ค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่า $1.55 < \rho < 100$ โอห์ม-เมตร สัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดินจะมีค่าลดลงจาก 8.52 ลดลงมาประมาณ 1 ซึ่งทำให้ค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์, $R_{AC} < R_{impluse}$ และเมื่อค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่า $\rho > 100$ โอห์ม-เมตร สัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดินจะมีค่าน้อยกว่า 1 ก็จะทำให้ค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์, $R_{AC} > R_{impluse}$ ดังนั้นในการออกแบบระบบรากสายดิน ต้องทำการประเมินค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังและค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ โดยพิจารณาที่ค่าความต้านทานจำเพาะดิน เพื่อพิจารณาค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังหรือค่าความต้านทานดินอิม

พัลส์ค่าใดมีค่ามากกว่ากัน ซึ่งในทางปฏิบัติ เราสามารถทำการตรวจวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังได้โดยใช้เครื่องวัดความต้านทานดิน จากนั้นก็พิจารณาค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าน้อยกว่าหรือมากกว่า 100 โอห์ม-เมตร หากค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าน้อยกว่า 100 โอห์ม-เมตร ค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์, $R_{AC} < R_{impluse}$ เราจะต้องใช้ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบระบบรากสายดิน โดยคำนวณหาได้จากความสัมพันธ์ $R_{impluse} = \alpha R_{AC}$ แต่ถ้าค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่ามากกว่า 100 โอห์ม-เมตร เราก็สามารถใช้ค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังสำหรับการออกแบบระบบรากสายดินได้เลย ซึ่งจะทำให้สามารถคาดคะเนค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ได้อย่างถูกต้อง และจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบเสาส่งไฟฟ้าและเสาจำหน่ายไฟฟ้าและระบบการต่อลงดินของอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัยต่อไป

คำสำคัญ : ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน ความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง ความต้านทานดินอิมพัลส์ สัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดิน

Research Title	**:**	Studying and testing of lightning response of grounding system
Name of Researcher	**:**	Mr. Samroeng Hintamai
Name of Institute	**:**	Department of Electrical Engineering and Applied Electronic, Faculty of Engineering, Sripatum University
Year of Publication	**:**	B.E. 2562

ABSTRACT

This report proposes a study and testing of lightning response of grounding system by considered the type of earth and magnitude of lightning surge current to influence of power frequency grounding resistance and impulse grounding resistance. In the testing of power frequency grounding resistance using ground resistance tester by 3 points method and impulse grounding resistance using impulse tester. From the power frequency grounding resistance test using ground resistance tester by 3 points method and the impulse grounding resistance using impulse tester in many areas found that in the case of a soil resistivity have a very low value and less than 100 $\Omega - m$, the power frequency grounding resistance value less than the impulse grounding resistance value, $R_{AC} < R_{impluse}$. While the soil resistivity has a value more than 100 $\Omega - m$, the power frequency grounding resistance value will higher than the impulse grounding resistance value, $R_{AC} > R_{impluse}$. Moreover, when we considered in the impulse coefficient that the ratio of impulse grounding resistance and the power frequency grounding resistance, $\alpha = R_{impluse} / R_{AC}$ comparison with the soil resistivity show in the case of the soil resistivity have a value in the range of $1.55 < \rho < 100\ \Omega - m$, the impulse coefficient have a decrease value of 8.52 decrease to 1, so the power frequency grounding resistance value will less than the impulse grounding resistance value, $R_{AC} < R_{impluse}$. Meanwhile, in the case of the soil resistivity have a value in the range of $\rho > 100\ \Omega - m$, the impulse coefficient value less than 1, so the power frequency grounding resistance value will more than the impulse grounding resistance value, $R_{AC} > R_{impluse}$. Finally, should be estimated the power frequency grounding resistance and the impulse grounding resistance value in the grounding resistance system design. In practical can be measured the power frequency grounding resistance value and consider together with the soil resistivity to estimate the impulse grounding resistance value. So was the key in the grounding

design of lightning protection system of transmission line or distribution line and commercial and residential building later.

Keywords : Soil resistivity, Power frequency grounding resistance, Impulse grounding resistance, Impulse coefficient

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเขตร้อนชื้นที่มีอัตราการเกิดฝนฟ้าคะนองค่อนข้างสูง และมีผลทำให้ความหนาแน่นของจำนวนลำฟ้าผ่าลงสู่ภาคพื้นดินมีจำนวนสูงไปด้วย เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงเสาไฟฟ้าหรือสายล่อฟ้าโดยตรงหรือลงในบริเวณข้างเคียง จะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำตกคร่อมฉนวนลูกถ้วย ถ้ามีค่าสูงกว่าแรงดันวิกฤติที่ฉนวนลูกถ้วยทนได้ ก็จะทำให้เกิดวาบไฟขึ้นที่ฉนวนลูกถ้วย และนำไปสู่การเกิดไฟดับ และที่ผ่านมาก็ได้มีการพัฒนาวิธีการป้องกันความเสียหายจากฟ้าผ่าหลายวิธีด้วยกัน เช่นการจัดการฉนวนแบบไม่สมมาตรหรือเพิ่มจำนวนฉนวนลูกถ้วยให้มากกว่าปกติ การเพิ่มคับปลิงของสายดิน การลดมุมป้องกัน การลดความต้านทานดิน และการติดตั้งกับดักฟ้าผ่า เป็นต้น

คุณสมบัติของระบบรากสายดินภายใต้สภาวะฟ้าผ่า จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากต่อความปลอดภัยในชีวิต ทรัพย์สินและความเชื่อถือได้ในการทำของระบบไฟฟ้ากำลัง เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงที่เสาไฟฟ้าจะเกิดคลื่นเคลื่อนที่ไปทั้งตามสายและตามเสาไฟฟ้า เพื่อลงดินดังแสดงในภาพประกอบ 1 เสิร์จอิมพีแดนซ์ที่จุดฟ้าผ่าเป็นผลรวมของเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสา Z_T ขนานกับสายดินป้องกันฟ้าผ่า Z_g ค่าแรงดันที่หัวเสา V_T หาได้จาก (ชำนาญ ห่อเกียรติ์, 2549)

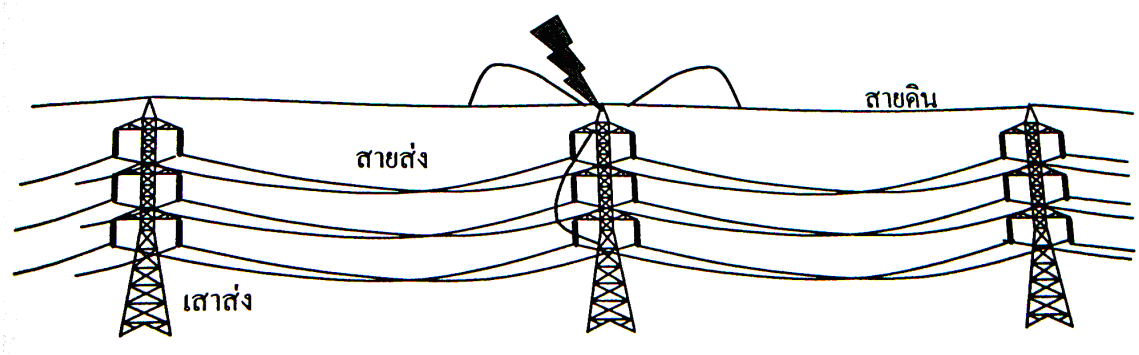
$$V_T = I_0 \left(\frac{Z_T}{1+\frac{2Z}{Z_g}} \right) \tag{1}$$

เมื่อ I_0 คือกระแสฟ้าผ่า

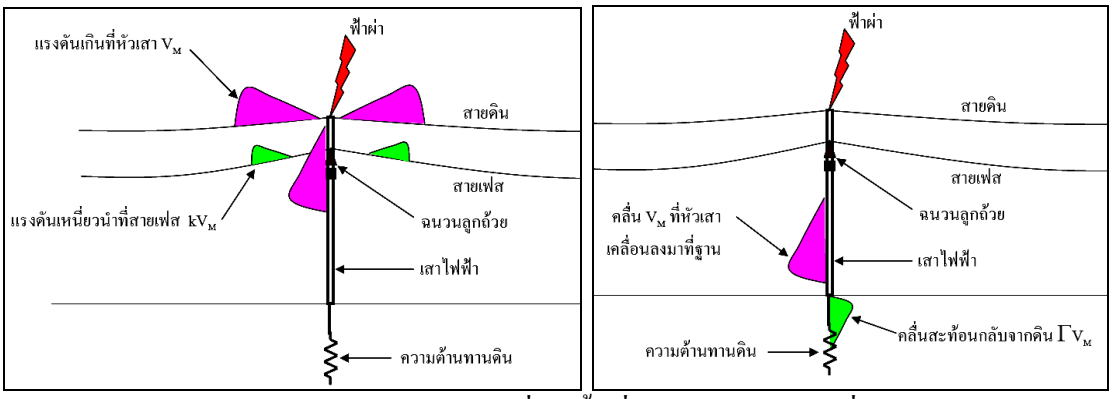
และแรงดันที่หัวเสาจะเปลี่ยนไปเมื่อมีคลื่นแรงดันสะท้อนจากฐานเสาและจากเสาข้างเคียง ซึ่งสามารถหาได้จากสัมประสิทธิ์การสะท้อน(Coefficient of reflection, Γ)

$$\Gamma = \frac{Z_T - R}{Z_T + R} \tag{2}$$

เมื่อ R คือความต้านทานดินที่ฐานเสา



ภาพประกอบ 1 แรงดันฟ้าผ่าที่เกิดบนสายส่งและเสาส่งไฟฟ้า



ภาพประกอบ 2 แรงดันฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นที่ยอดเสา, แรงดันเหนี่ยวนำ
ที่สายเฟสและคลื่นสะท้อนกลับจากดิน

ดังนั้นคุณสมบัติของระบบการต่อลงดินภายใต้สภาวะฟ้าผ่า จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากต่อความปลอดภัยในชีวิต ทรัพย์สินและความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงที่เสาไฟฟ้าจะเกิดคลื่นจรเคลื่อนที่ไปตามสายและตามเสาไฟฟ้าลงดินดังในภาพประกอบ 2 ถ้าความต้านทานดินที่ฐานเสามีค่าต่ำกว่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาถือว่าเป็นการออกแบบที่ดี เพราะคลื่นเคลื่อนที่ลงไปถึงจุดต่อระหว่างเสากับดิน ก็จะสะท้อนกลับด้วยคลื่นที่มีขั้วตรงข้าม (เป็นลบ) และเมื่อคลื่นสะท้อนกลับขึ้นมาถึงจุดต่อของคอนกับเสาหลังจากเวลาไม่กี่ไมโครวินาที ก็จะไปหักล้างกับคลื่นแรงดันที่หัวเสาขณะนั้น ทำให้ค่ายอดของแรงดันที่หัวเสาลดลง หากเวลาหน้าคลื่นยาวกว่าเวลาที่คลื่นสะท้อนใช้ในการเดินทาง จากยอดเสากลับขึ้นมาที่ยอดเสา คลื่นสะท้อนก็จะกลับมาถึงก่อนที่สัญญาณคลื่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นถึงค่ายอด ทำให้สามารถหักล้างค่ายอดส่วนเกินที่เกิดขึ้น และทำให้ขนาดของคลื่นฟ้าผ่ามีขนาดลดลง จากผลของความต้านทานดินที่ฐานเสาที่มีค่าน้อยกว่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสา และในทางกลับกัน หากค่าความต้านทานดินที่ฐานเสามีค่าสูงกว่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาส่ง จะส่งผลทำให้คลื่นสะท้อนกลับมีค่าเป็นบวก และจะไปเสริมกับคลื่นแรงดันที่เคลื่อนที่ลงมา ทำให้ขนาดของคลื่นแรงดันมีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดแรงดันเกินที่ยอดเสาสูง

มาก และเหนี่ยวนำทำให้แรงดันตกคร่อมฉนวนลูกสูงตามไปด้วย หากสูงเกินค่าแรงดันวาบไฟตามผิวที่ฉนวนลูกถ้วยทนได้ก็จะเกิดวาบไฟตามผิวฉวนลูกถ้วย

แรงดันที่หัวเสาเมื่อเกิดฟ้าผ่าลงเสาส่ง จะมีค่าเท่ากับคลื่นของแรงดันที่หัวเสาเคลื่อนที่ลงมาพบกับความต้านทานดินที่ฐานเสาแล้วทำให้เกิดคลื่นสะท้อนกลับขึ้นไปด้วยขนาดตามค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน และไปรวมกับแรงดันที่หัวเสาตอนเริ่มต้น ดังนั้นแรงดันที่หัวเสา จะเป็นไปตามสมการ

$$V_T' = \Gamma V_T \tag{3}$$

การต่อลงดินของเสาส่งและเสาจำหน่ายมีวัตถุประสงค์เพื่อให้แรงดันเกินที่เกิดขึ้นที่หัวเสาลดลงให้มากที่สุด ยิ่งความต้านทานที่เสาส่งหรือเสาจำหน่ายมีค่าต่ำมากเท่าใด แรงดันเกินที่หัวเสาก็จะยิ่งมีค่าน้อยลง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะทำการวิเคราะห์การตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของระบบรากสายดินที่มีผลต่อความต้านทานดินอิมพัลส์ โดยพิจารณาชนิดของดินและขนาดของกระแสฟ้าผ่า ซึ่งจะทำให้สามารถคาดคะเนค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ได้อย่างถูกต้องและจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบเสาส่งไฟฟ้าและเสาจำหน่ายไฟฟ้าต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการวิเคราะห์และทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของแท่งหลักดิน มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังต่อไปนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาและทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของระบบรากสายดิน โดยการพิจารณาชนิดของดินและขนาดของกระแสฟ้าผ่าที่มีผลต่อความต้านทานดินอิมพัลส์

1.2.2 เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินอิมพัลส์, $R_{impulse}$ และค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง, R_{AC}

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของความต้านทานจำเพาะของดิน, ρ ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดิน, $\alpha = R_{impulse} / R_{AC}$

1.3 คำถามการวิจัย

1.3.1 ชนิดของดินและขนาดของกระแสฟ้าผ่ามีผลต่อการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าแตกต่างกันอย่างไร

1.3.2 ความต้านทานดินอิมพัลส์มีค่าสูงหรือต่ำกว่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง

1.3.3 ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน มีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดินอย่างไร

1.4 สมมุติฐานการวิจัย

1.4.1 ชนิดของดิน จะมีผลต่อการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของแท่งหลักดินแตกต่างกันอย่างไร

1.4.2 ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ของระบบรากสายดิน, $R_{impulse}$ มีค่าต่ำกว่าค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง, R_{AC} ทุกกรณีหรือไม่

1.4.3 ค่าสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดิน, α จะมีความสัมพันธ์กับชนิดของดินอย่างไร

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 กลุ่มเป้าหมาย หรือประชากร

ในงานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาและทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของระบบรากสายดิน โดยทำการพิจารณาพารามิเตอร์ดังนี้

1. ขนาดของระบบรากสายดิน
2. ความต้านทานจำเพาะของดิน ซึ่งจะขึ้นกับชนิดของดิน โดยมีค่าระหว่าง 1-5,000 โอห์ม-เมตร
3. ขนาดของกระแสฟ้าผ่ามีค่าไม่เกิน 50 กิโลแอมแปร์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการจ่ายกระแสของเครื่องทดสอบอิมพัลส์

1.5.2 เนื้อหาของการวิจัย

ในที่นี้จะทำการศึกษาและทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ของระบบรากสายดิน โดยพิจารณาชนิดของดิน และขนาดกระแสฟ้าผ่า โดยทำการตรวจวัดค่าวามต้านทานดินที่ความถี่กำลัง และทำการทดสอบค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ แล้วผลลัพธ์ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ในเทอมของอัตราส่วนค่าสัมประสิทธิ์อิมพัลส์, $\alpha = R_{impulse} / R_{AC}$

1.5.3 ระยะเวลา 1 ปี

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

Lightning surge response	การตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่า คือ คุณลักษณะการตอบสนองของชิ้นส่วนหรือกลุ่มของชิ้นส่วนในระบบรากสายดินต่อคลื่นแรงดันที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด
Grounding Rod	รากสายดิน คือ ชิ้นส่วนหรือกลุ่มของชิ้นส่วนในระบบรากสายดินที่สัมผัสทางไฟฟ้าโดยตรงกับดิน และเป็นทางเดินของกระแสผิดพร่อง หรือกระแสฟ้าผ่าลงดิน

Grounding Resistance	ความต้านทานดิน คือ อัตราส่วนระหว่างค่ายอดแรงดันตกคร่อมรากสายดินเทียบกับกระแสที่ไหลผ่านรากสายดิน ซึ่งโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน
Impulse Grounding Resistance	ความต้านทานดินอิมพัลส์ คือ ค่าของอัตราส่วนระหว่างค่ายอดแรงดันตกคร่อมรากสายดินเทียบกับกระแสฟ้าผ่าที่ไหลผ่านรากสายดิน
Soil resistivity	ความต้านทานจำเพาะดิน คือ ค่าของอัตราส่วนระหว่างค่ายอดแรงดันตกคร่อมดินเทียบกับกระแสที่ไหลผ่านดิน เมื่อดินมีปริมาตรหนึ่งลูกบาศก์เมตร (1x1x1 เมตร)

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ทำให้ทราบถึงผลการตอบสนองต่ออิมพัลส์ของระบบรากสายดินตามชนิดของดินและขนาดของกระแสฟ้าผ่าที่มีผลต่อค่าความต้านทานดินอิมพัลส์

1.7.2 ทำให้ทราบว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์มีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง

1.7.3 ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดิน

1.7.4 ทำให้ทราบค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสายส่งหรือระบบสายจำหน่ายไฟฟ้า และระบบการต่อลงดินของอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัยต่อไป

1.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

William A. Chisholm และ Wasyl Janischewskyj (1989) ได้ทำการคำนวณและทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของ conducting ground plane โดยทำการพิจารณารูปทรงของรากสายดิน ชนิดของดิน การไออไนเซชันและการเคลื่อนที่ของคลื่นนำมารวมสรุปเพื่อสร้างแบบจำลองระบบรากสายดินที่ฐานเสาส่งไฟฟ้าสำหรับใช้ในการทำนายอัตราการเกิดไฟดับของสายส่งไฟฟ้าที่เดินในอากาศ พบว่าองค์ประกอบของความเหนี่ยวนำจะมีผลต่อการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของระบบรากสายดิน และเมื่อศึกษาโดยใช้ time-domain reflectometry ตรวจสอบ พบว่าการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของระนาบพื้นดิน เมื่อแทนเสาส่งด้วยรูปกรวยจะมีค่าไม่เป็นศูนย์ ในทางกลับกันถ้าแทนการเคลื่อนที่ของคลื่นด้วยรูปทรงกระบอก อิมพีแดนซ์จะมีค่าเริ่มต้นที่ 60 โอห์ม ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้มีค่าน้อยกว่าความเหนี่ยวของเสาส่ง แต่จะไปส่งผลให้แรงดันที่ฐานเสาส่งมีค่าสูงขึ้น

He Jin-Liang และคณะ (1993) ได้ทำการทดสอบด้วยการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในศึกษาการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของระบบรากสายดิน โดยการพิจารณาผลของกระแสฟ้าผ่า ความต้านทานจำเพาะดิน ขนาดและรูปทรงของรากสายดิน ความลึกและชนิดของวัสดุรากสายดิน พบว่าความต้านทานดินอิมพัลส์จะมีค่าลดลง เมื่อมีกระแสฟ้าผ่า ขนาดของรากสายดิน ความลึกในการปักรากสายดินมีค่าเพิ่มขึ้นและค่าความต้านทานดินอิมพัลส์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความต้านทานจำเพาะดินมีค่าเพิ่มขึ้น

S.Visacro (2009) ได้ทำการทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของแท่งรากสายดิน พบว่าในกรณีคลื่นกระแสฟ้าผ่าหน้าคลื่นชัน ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ของแท่งรากสายดินชนิดสั้นจะมีค่าน้อยกว่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง ในขณะที่แท่งหลักดินชนิดยาว (มีความยาวมากกว่าความยาวที่เหมาะสม) ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์จะมีค่ามากกว่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง

He Jin-Liang และคณะ(2012) ได้นำเสนอการทดสอบคุณสมบัติอิมพัลส์ของระบบรากสายดินภาคสนาม เพื่อพิจารณาผลกระทบของฤดูกาล ด้วยเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์พลังงานสูงแบบเคลื่อนที่ได้ จากผลการทดสอบพบว่าอิมพัลส์อิมพีแดนซ์ของรากสายดินกรณีทดสอบในฤดูหนาวจะมีค่ามากกว่าอิมพัลส์อิมพีแดนซ์กรณีทดสอบในฤดูร้อน ในขณะที่สัมประสิทธิ์อิมพัลส์กรณีทดสอบในฤดูหนาวและฤดูร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

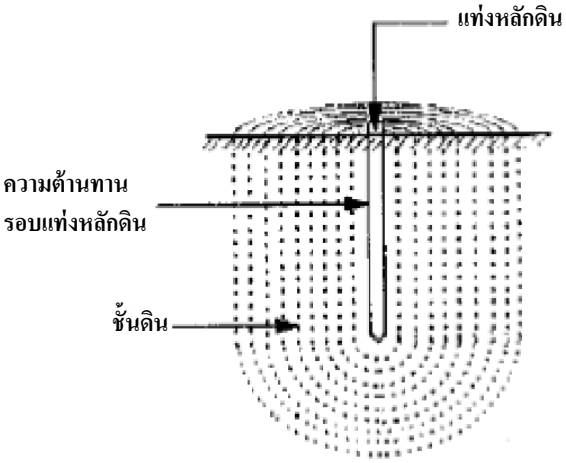
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความต้านทานดิน

ความต้านทานดินมีผลต่อการทำงานของระบบไฟฟ้า ในด้านคุณภาพไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีผลเกี่ยวข้องกับเรื่องความปลอดภัยในการทำงาน ถ้าต้องการให้มีการต่อลงดินที่ดีต้องให้มีความต้านทานดินต่ำความต้านทานดินขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณกระแสที่ลงดิน ถ้าเป็นความต้านทานดินหรือความต้านทานจำเพาะของดินที่วัดได้จากเครื่องวัดเป็นสัญญาณต่อเนื่อง แต่ถ้ากระแสที่ไหลลงดินมีสัญญาณเป็นอิมพัลส์ ค่าความต้านทานดินก็มีค่าเปลี่ยนแปลงไป

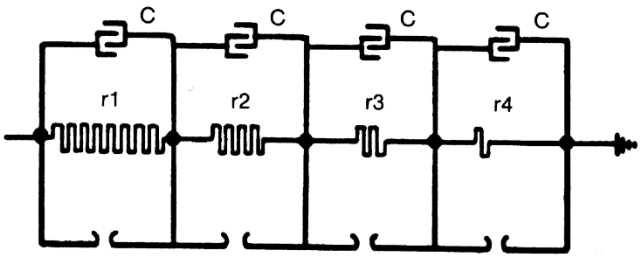
ค่าความต้านทานของดินคือ ค่าความต้านทานในการนำกระแสไฟฟ้าผ่านตัวมันเองซึ่งปกติจะมีค่าสูงกว่าตัวนำโลหะ เช่นสายทองแดง แต่ถ้าพื้นที่ที่กระแสไฟฟ้ามีผ่านมีขนาดใหญ่มาก ค่าความต้านของดินก็จะมีค่าต่ำมากจนสามารถกลายเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ การใช้แท่งหลักดินเป็นตัวนำสำหรับต่อลงดินเป็นวิธีที่นิยมใช้กันในทางปฏิบัติ เนื่องจากมีความสะดวกในการใช้งาน ราคาถูก การปฏิบัติไม่ยุ่งยากและได้ผลดี ค่าความต้านทานของการต่อลงดิน(Grounding Resistance) ของแท่งหลักดินที่ปักลงไปในดินนั้น จะหมายถึงความต้านทานที่ประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ

1. ความต้านทานแท่งหลักดิน และจุดต่อต่างๆ
2. ความต้านทานของผิวสัมผัสระหว่างแท่งหลักดินกับดินรอบๆ
3.ความต้านทานของดินรอบๆแท่งหลักดิน

ปกติแล้วความต้านทานของสองข้อแรกนั้น เมื่อนำมาพิจารณาจะมีผลต่อความต้านทานดินน้อยมาก ในขณะที่ความต้านทานของดินรอบๆแท่งหลักดินจะมีผลต่อค่าความต้านทานของการต่อลงดินทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของดิน (Type of Soil) ส่วนประกอบของสารเคมีในดิน (Chemical Ingredients) ระดับความชื้น (Moisture Level) และอุณหภูมิ (Temperature) ของดินรอบๆแท่งหลักดิน



ก) ความต้านทานรอบแท่งหลักดิน



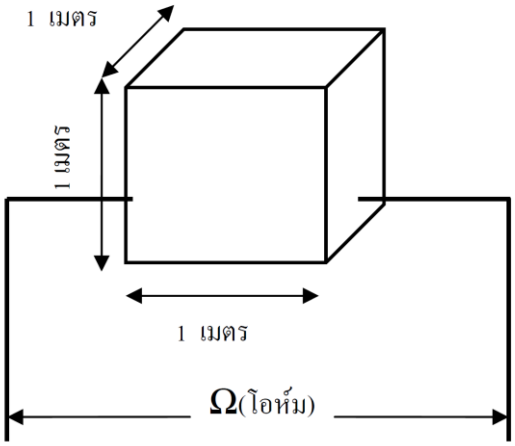
ข) แบบจำลองของดิน

ภาพประกอบ 3 ส่วนประกอบความต้านทานรอบแท่งหลักดิน
และแบบจำลองของดิน (IEEE Std. 80, 2013)

พฤติกรรมของแท่งหลักดินที่ฝังอยู่ในดินที่สามารถวิเคราะห์ได้โดยวิธีการของวงจรใน ภาพประกอบ 3 ดินส่วนใหญ่มีพฤติกรรมเป็นตัวนำ ความต้านทานและไดอิเล็กตริกในตัว ณ เวลาเดียวกัน ยกเว้นที่ความถี่สูงและคลื่นสูงชันเจาะทะลุวัสดุดินที่มีความต้านทานสูงๆ กระแสอัดประจุไม่นำมาคิดเมื่อเปรียบเทียบกับกับกระแสรั่วและดินสามารถนี้แสดงได้ด้วยความต้านทาน ความต้านทานดินจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ ความต้านทานจำเพาะของดิน ขนาดและความยาวของแท่งหลักดิน มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ความต้านทานจำเพาะของดิน (Soil Resistivity, ρ) (IEEE Std. 80, 2013)

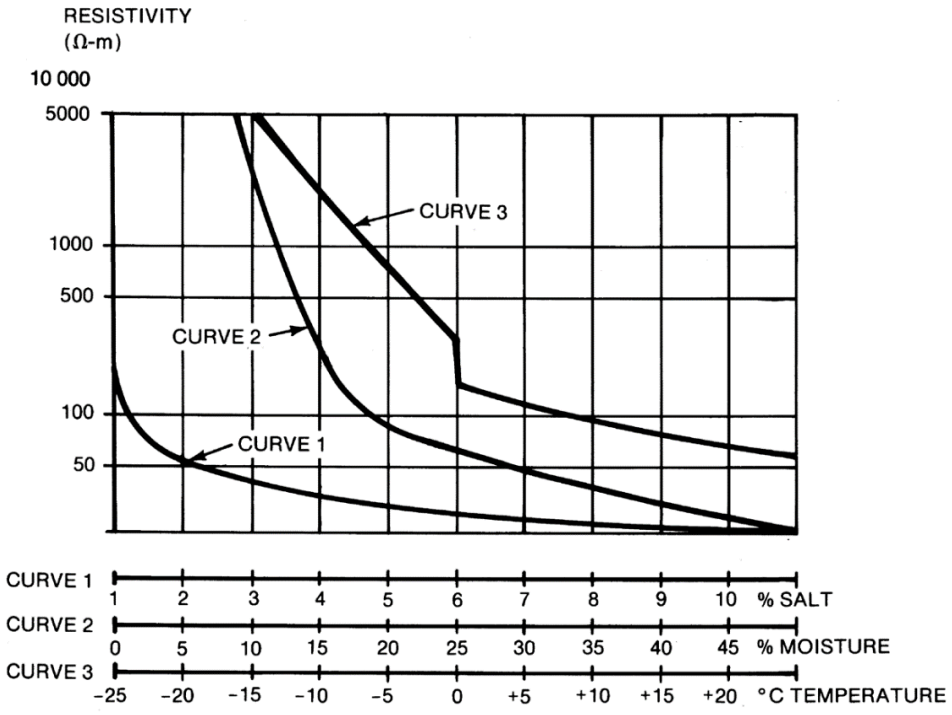
ความต้านทานจำเพาะของดินสามารถบอกถึงคุณภาพของการต่อลงดินได้ในระดับหนึ่ง มีหน่วยเป็น โอห์ม- เมตร ซึ่งค่าโอห์ม - เมตรหมายถึง ค่าความต้านทานของดินที่มีขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร โดยวัดระหว่างผิวหน้าตรงข้าม ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 ความหมายของความต้านทานจำเพาะของดิน (โอห์ม – เมตร)

ความต้านทานจำเพาะของดินไม่สามารถบอกได้ด้วยชนิดของดินเพราะค่าความต้านทานจำเพาะเป็นค่าที่เปลี่ยนไปเนื่องจากองค์ประกอบหลายอย่าง ทำให้ต้องวัดค่าความต้านทานจำเพาะแต่ละพื้นที่และแต่ละฤดูกาล ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อความต้านทานจำเพาะของดินอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความชื้น ดังนั้นการวัดความต้านดินจึงควรทำภายใต้สภาวะที่แห้งเพื่อให้เห็นถึงสภาวะที่เลวร้ายหรือสภาวะที่ดินมีความต้านทานจำเพาะสูงสุด ความต้านทานจำเพาะของดินเป็นปริมาณที่แปรค่า จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ และปัจจัยต่าง ๆ ที่มีดังนี้

- ชนิดของดิน
- ความชื้น
- ความเข้มข้นและส่วนประกอบของสารละลายเกลือ
- ความหยาบและความละเอียดของเนื้อดิน
- อุณหภูมิ
- ความอัดแน่น



ภาพประกอบ 5 ผลของความชื้น อุณหภูมิและเกลือที่มีต่อค่าความต้านทานจำเพาะของดิน

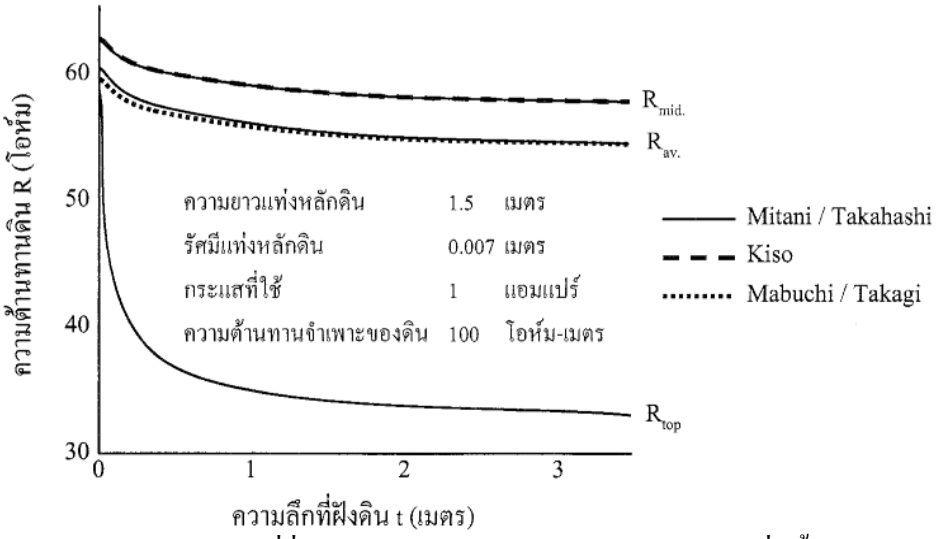
การนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในดินจะเป็นลักษณะอิเล็กโทรไลต์เป็นหลัก ด้วยเหตุนี้ความต้านทานของดินส่วนใหญ่จึงเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันแม้ว่าความชื้นจะมีสัดส่วนน้อยกว่า 15%โดยน้ำหนักดิน ปริมาณความชื้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดิน ความแน่นของดินและและความหลากหลายของขนาดของเม็ดดิน อย่างไรก็ตามจะเห็นว่า ความต้านทานจำเพาะของดินจะมีค่าลดลงน้อยมาก เมื่อปริมาณความชื้นสูงกว่าประมาณ 22% ดังแสดงตามกราฟเส้นโค้ง 2 ส่วนผลของอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเยือกแข็งจะมีผลกระทบต่อความต้านทานจำเพาะของดินน้อยมาก สำหรับที่อุณหภูมิที่ 0^{o}C, น้ำในดินเริ่มแข็งตัวและความต้านทานจำเพาะของดินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนกราฟเส้นโค้ง 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงทั่วไปสำหรับดินร่วนปนทรายที่มีความชื้น 15.2% โดยน้ำหนัก ส่วนองค์ประกอบและปริมาณเกลือที่อยู่ในดินจะมีผลกระทบต่อค่าความต้านทานจำเพาะของดิน ดังเช่นกราฟเส้นโค้ง 1 แสดงผลกระทบของเกลือต่อค่าความต้านทานของดินที่มีความชื้น 30% โดยน้ำหนัก

ตาราง 1 แสดงความต้านทานจำเพาะของดิน (IEEE Std. 80-2013)

ชนิดของดิน	$\rho\ (\Omega - m)$
ดินร่วนเปียก	10…30
ดินเหนียว	50
ดินร่วนชื้น	100
ดินปนทราย	150
ทรายชื้น	200
ทรายแห้ง	1,000
ดินกรวดชื้น	500
ดินกรวดแห้ง	1,000
หิน	3,000 - 10,000

2.1.2 ความต้านทานดินที่ความถี่กำลังในสภาวะคงตัว (ชำนาญ ห่อเกียรติ์, 2549)

ความต้านทานดินในสภาวะคงตัว นั้นหมายถึงค่าความต้านทานดิน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่ความถี่กำลัง(50/60 Hz) ไหลผ่านแท่งหลักดินลงไปในดิน เมื่อมีการใช้แท่งหลักดินเป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าลงดิน ค่าความต้านทานดินจะขึ้นอยู่กับขนาดและความยาวของแท่งหลักดิน ค่าความต้านทานดินจะมีค่าลดลงเมื่อมีการฝังแท่งหลักดินลึกมากขึ้นลงในดิน แต่เมื่อฝังลึกลงไปถึงจุดหนึ่งความต้านทานดินก็ไม่ลดลงอีก ด้วยเหตุนี้เองแท่งหลักดินจึงได้มีการทำออกมาให้มีความยาว 3 - 2 เมตร ความต้านทานกับความลึกของการฝังแท่งหลักดินในดินที่มีความต้านทานจำเพาะสม่ำเสมอสังเกตจะเห็นว่ากรณีนี้กระแสที่ใช้มีค่าต่ำมาก ดังนั้น ความต้านทานดินอิมพัลส์กับความต้านทานดินที่ได้จากการวัดจึงมีค่าเกือบเท่ากัน



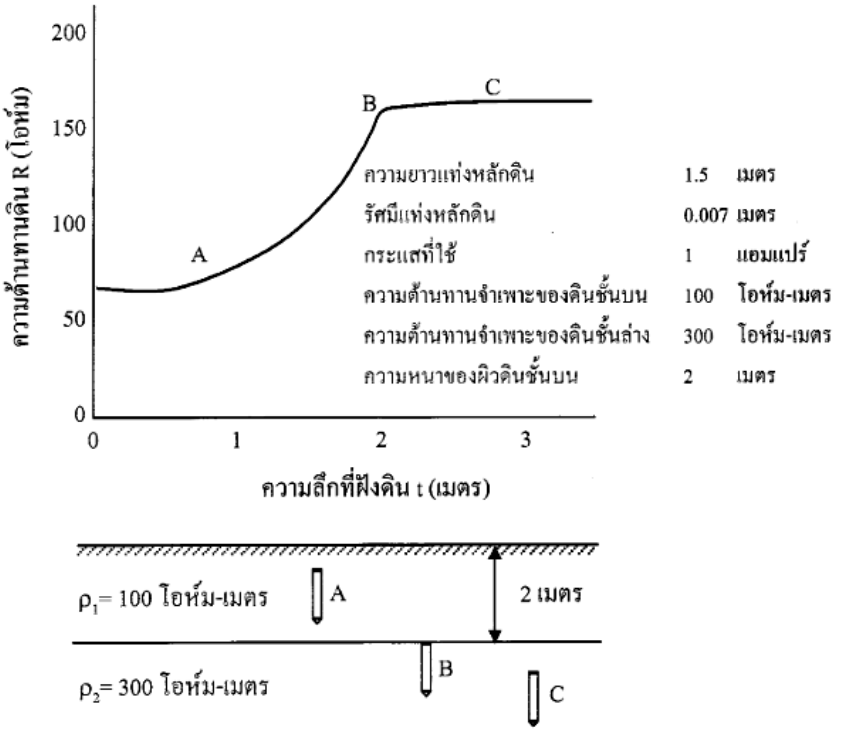
จากกราฟ R_{mid} ความต้านทานที่กึ่งกลางแท่งหลักดิน, R_{ac} ความต้านทานเฉลี่ยทั้งแท่งหลักดิน

R_{top} ความต้านทานที่โคนแท่งหลักดิน

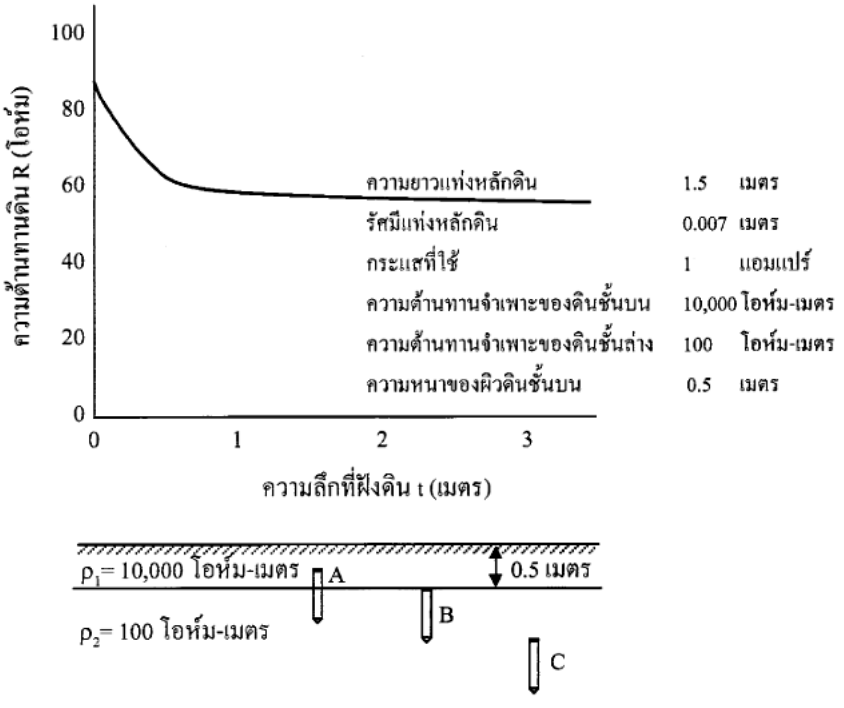
ภาพประกอบ 6 ความต้านทานดินแปรผกผันกับความลึกที่ฝังดิน

จากภาพประกอบ 6 ค่าความต้านทานดินเริ่มมีค่าคงที่เมื่อฝังแท่งหลักดินลึกลงไป 1.5 -2 เมตร นั่นคือ ปลายของแท่งหลักดินอยู่ลึกลงไปในพื้นดิน 3 -3.5 เมตร (ความยาวแท่งหลักดิน 1.5 เมตร) ด้วยเหตุนี้เองแท่งหลักดินที่ขายจึงมักมีความยาว 3 เมตร

สำหรับการฝังแท่งหลักดินในดินสองชั้นที่มีความต้านทานจำเพาะไม่เท่ากันจะได้ผลต่างกัน มีนักวิจัยทำการศึกษาและวิเคราะห์ระบบที่มีการฝังแท่งหลักดินที่ความลึกต่างๆในดินสองชั้นที่ความต้านทานจำเพาะของดินชั้นบนและชั้นล่างไม่เท่ากัน ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ในภาพประกอบ 7



ก) ดินสองชั้นที่ความต้านทานจำเพาะของดินชั้นบนต่ำกว่าของดินชั้นล่าง



ข) ดินสองชั้นที่ความต้านทานจำเพาะของดินชั้นบนสูงกว่าของดินชั้นล่าง

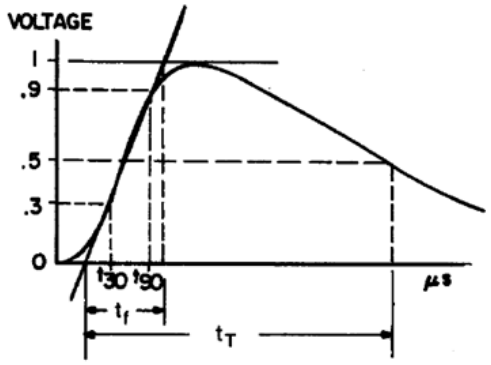
ภาพประกอบ 7 ความต้านทานดินของแท่งหลักดินที่ฝังในดินสองชั้น

ภาพประกอบ 7ก) แสดงการฝังแท่งหลักดินในดินสองชั้นโดยความต้านทานจำเพาะของดินชั้นบนมีค่าต่ำกว่าดินชั้นล่าง จากผลในรูปทำให้ทราบว่าเมื่อต้องการฝังแท่งหลักดินในกรณีนี้ควรพยายามให้แท่งหลักดินอยู่ในชั้นดินที่มีความต้านทานจำเพาะต่ำ และกรณีนี้ถ้าฝังลึกมากกลับให้ผลเสียมากกว่าผลดี

ภาพประกอบ 7ข) แสดงการฝังแท่งหลักดินในดินสองชั้นโดยความต้านทานจำเพาะของดินชั้นบนมีค่ามากกว่าดินชั้นล่างซึ่งในทางปฏิบัติก็มักเป็นเช่นนั้น เพราะจะมีการปรับพื้นด้านบนและโรยหินกรวดซึ่งมีความต้านทานจำเพาะสูงมาก กรณีนี้จำเป็นต้องพยายามฝังแท่งหลักดินให้ลึกเกินชั้นดินที่มีความต้านทานจำเพาะของดินสูงลงไปจนถึงชั้นดินที่มีความต้านทานจำเพาะของดินต่ำ

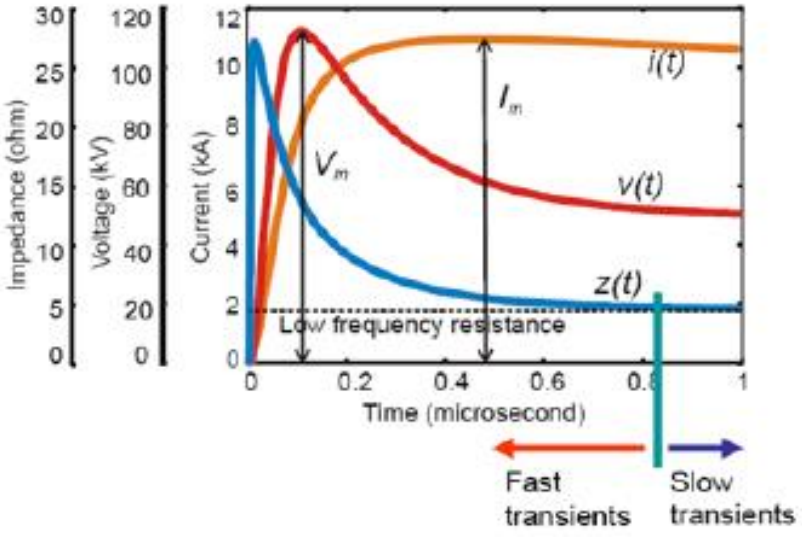
2.1.3 อิมพัลส์อิมพีแดนซ์ของดิน เมื่อกระแสอิมพัลส์ไหลผ่าน (Hileman, 1999)

อิมพีแดนซ์ของดิน หมายถึงค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นในขณะที่คลื่นอิมพัลส์ฟ้าผ่าไหลผ่านคลื่นแรงดันฟ้าผ่ามีลักษณะคลื่นที่ไม่เป็นรายคาบ เรียกว่าอิมพัลส์ (Impulse) คลื่นอิมพัลส์สามารถกำหนดขนาดโดยบอกเป็น t_1 / t_2 โดย t_1 คือ เวลาหน้าคลื่น และ t_2 คือเวลาหน้าคลื่น มีหน่วยเป็นไมโครวินาที t_2 ซึ่งเป็นเวลาหลังคลื่นนับจากเวลาเริ่มต้นจนถึงจุดที่แรงดันไฟฟ้าลดลงครึ่งหนึ่งของค่ายอดสูงสุดหรือเท่ากับ 0.5 p.u.



ภาพประกอบ 8 คลื่นแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ t_1 / t_2 μs

อิมพีแดนซ์ของดินเมื่อสัญญาณกระแสเป็นอิมพัลส์มีค่าไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับช่วงขณะสัญญาณแรงดันและกระแสในช่วงนั้นว่ามีค่าเท่าใด จากงานวิจัยที่ได้มีการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของดิน เมื่อป้อนด้วยสัญญาณอิมพัลส์ จะได้รูปร่างคลื่นแรงดัน กระแส และอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงตามเวลา และเมื่อต้องการนำอิมพีแดนซ์ของดินมาคิด ก็ให้คิดที่ค่าแรงดันและกระแสสูงสุดมาคำนวณอิมพีแดนซ์แม้ว่าจะไม่ได้เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันดังแสดงในภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 อิมพีแดนซ์ของดิน เมื่อสัญญาณแรงดันและกระแสเป็นอิมพัลส์

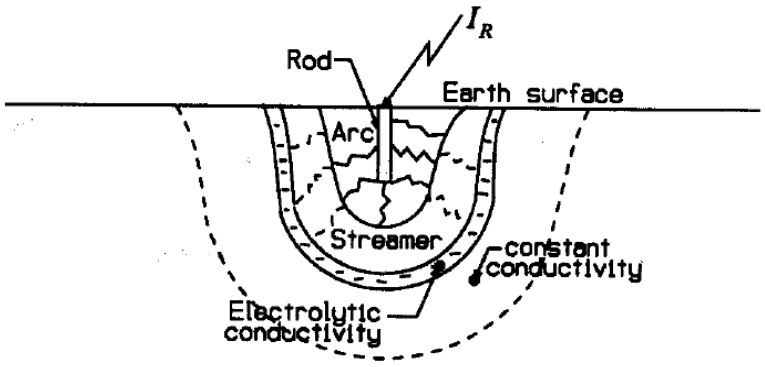
อิมพีแดนซ์ของดิน

$$Z = \frac{V_m}{I_m}$$

เมื่อพิจารณาอิมพีแดนซ์ที่ได้จากงานวิจัย ด้วยการป้อนสัญญาณกระแสอิมพัลส์ 8/20 μs 10 kA ทำให้ได้รูปร่างคลื่นแรงดัน กระแส และอิมพีแดนซ์ของดินแปรเปลี่ยนตามเวลา ดังแสดงในภาพประกอบ 9 โดยค่าอิมพีแดนซ์ที่มีค่ามากที่สุดไม่ได้เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณแรงดันหรือกระแสมีค่าสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากกระแสอิมพัลส์มีค่าไม่สูงมากพอที่จะทำให้ดินเกิดไอออไนซ์หรือแตกตัว จากภาพประกอบ 9 ต้องการให้ทราบเพียงว่าอิมพีแดนซ์ของดินมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาไม่ได้มีค่าคงที่เหมือนความต้านทานดินที่วัดได้จากเครื่องวัด

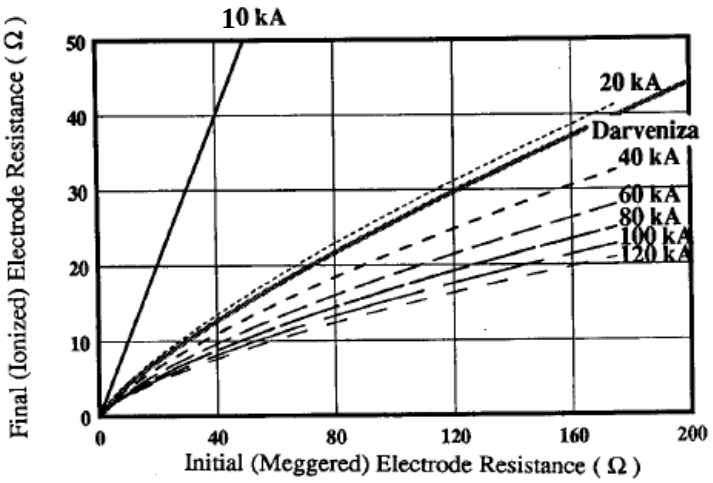
2.1.4 อิมพีแดนซ์ของดินเนื่องจากสัญญาณอิมพัลส์เทียบกับความต้านทานจากเครื่องวัด

อิมพีแดนซ์ของดินเนื่องจากสัญญาณอิมพัลส์มีค่าน้อยกว่าความต้านทานดินที่วัดได้จากเครื่องมือวัด ทั้งนี้เป็นเพราะกระแสอิมพัลส์ส่วนใหญ่มีขนาดสูงมากพอที่ทำให้ดินรอบแท่งหลักดินเกิดไอออไนซ์หรือแตกตัว ทำให้เสมือนกับแท่งหลักดินมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 10 ทำให้ความต้านทานดินมีค่าลดลง เพราะแท่งหลักดินที่มีขนาดใหญ่จะทำให้ความต้านทานดินลดลง



ภาพประกอบ 10 แท่งหลักดินในสภาวะที่มีกระแสสูงไหลผ่าน

ถ้าค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าสูงมาก ก็จะทำให้ความต้านทานดิน R มีค่าสูงด้วย ดังนั้นเมื่อมีกระแส I ไหลผ่าน ทำให้ $V = IR$ มีค่าสูงมากก็เกิดไอออไนซ์ได้ง่ายขึ้น นั่นคือดินที่มีความต้านทานจำเพาะสูง เมื่อมีกระแสฟ้าผ่าไหลผ่านจะทำให้ความต้านทานอิมพัลส์ลดลงได้มากกว่าเมื่อเทียบกับความต้านทานดินที่ได้จากเครื่องวัด และถ้ากระแสฟ้าผ่ามีค่ามากขึ้น แรงดัน V ที่ทำให้เกิดไอออไนซ์ก็มากขึ้น สรุปได้ว่าถ้ากระแสฟ้าผ่ามีค่าสูงขึ้น จะทำให้ความต้านทานอิมพัลส์ของดินลดลงได้มาก เมื่อเทียบกับความต้านทานดินที่วัดได้จากเครื่องวัด



ภาพประกอบ 11 ความต้านทานอิมพัลส์เทียบกับความต้านทานกระแสสลับ
เมื่อกระแสมีขนาดต่างๆ กันที่ความถี่กำลัง

ภาพประกอบ 11 (William A และคณะ,1989) แสดงค่าความต้านทานอิมพัลส์เทียบกับความต้านทานกระแสสลับขนาดต่างๆ ที่ความถี่กำลัง ซึ่งจากรูปจะสังเกตุเห็นว่ากระแสที่ 10 กิโลแอมแปร์ จะทำให้ค่าความต้านทานอิมพัลส์เท่ากับความต้านทานกระแสสลับ

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

เมื่อกระแสฟ้าผ่ามีค่าสูงๆไหลผ่านความต้านทานดิน จะมีผลทำให้ความต้านทานดินมีค่าลดลง แต่จะลดลงน้อยกว่ากรณีกระแสไฟฟ้าค่าต่ำๆไหลผ่าน แม้ว่าความรู้นี้จะทราบกันมานานแล้ว วิธีการประเมินสมรรถนะการป้องกันฟ้าผ่าก็ยังมิได้มีการกำหนดวิธีการประมาณค่าความต้านทานอิมพัลส์ เนื่องในเบื้องต้นขาดข้อมูลและขาดวิธีการคำนวณอย่างง่ายที่จะประมาณค่าความต้านทานอิมพัลส์ได้ แต่ทาง CIGRE Working Group 33.01 โดย Korsuntcevได้ทำการพัฒนาโดยการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของเกิดเบรกดาวน์ จนนำไปสู่สิ่งที่น่าสนใจใหม่และสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีความสัมพันธ์ที่เหมือนกันกับผู้แต่งคนอื่นที่ได้นำเสนอไว้ ต่อมา Weck ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดความต้านทานอิมพัลส์จากของ Berger จนนำมาสู่วิธีการคำนวณอย่างง่าย

2.2.1 ความต้านทานอิมพัลส์ของแท่งหลักดิน (Hileman, 1999)

กรณีกระแสมีค่าต่ำๆ ค่าความต้านทานที่ความถี่กำลัง, R_{AC} ของแท่งหลักดินยาว L และมีรัศมี r_0 ปักลงดินที่มีความต้านทานจำเพาะเท่ากับ ρ มีค่าเท่ากับ

$$R_{AC} = \frac{\rho}{2\pi L}\left[ln\frac{4L}{r_0} - 1 \right] \tag{3}$$

ความหนาแน่นของกระแส J ที่รัศมี r ใดๆ จากแท่งหลักดิน

$$J = \frac{I_R}{2\pi rL} \tag{4}$$

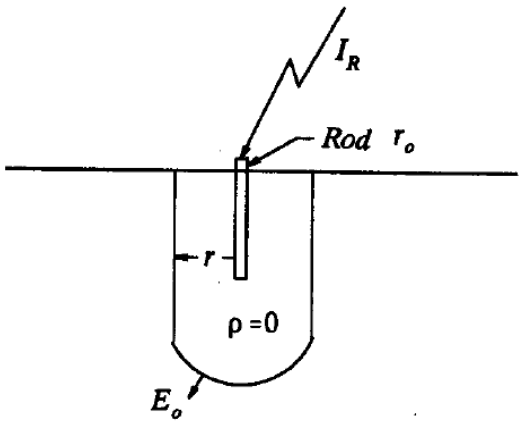
สนามไฟฟ้าที่แต่ละชั้นของแรงดันหาได้จาก

$$E = \rho J = \frac{\rho I_R}{2\pi rL} \tag{5}$$

สำหรับในกรณีกระแสฟ้าผ่ามีค่าสูงๆ สนามไฟฟ้าที่แต่ละชั้น จะมีค่าสูงค่ากว่าค่าแรงดันเบรกดาวน์วิกฤติของดิน กระบวนการดังกล่าวดังแสดงตามในภาพประกอบ 10

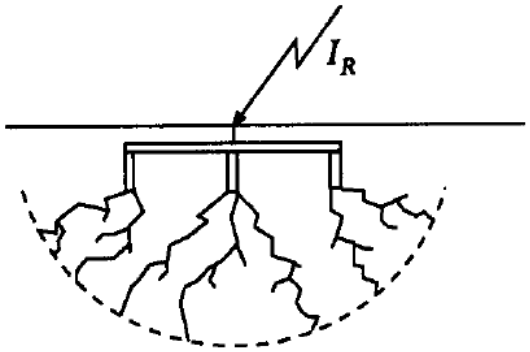
เมื่อกระแสที่ไหลผ่านดินที่มีความชื้นมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดสตรีมเมอร์และเบรกดาวน์ขึ้นภายในดินค่าความต้านทานจำเพาะจะมีค่าลดลง จนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นตัวนำที่สมบูรณ์ การเกิดเบรกดาวน์ของดินมีผลทำให้เสมือนเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของแท่งหลักดินเพิ่มมากขึ้น จากการตรวจสอบขบวนการดังกล่าวสามารถถูกแทนได้ด้วยแบบจำลองอย่าง

ง่ายได้ดังภาพประกอบ 10 เมื่อบริเวณที่เกิดสตรีมเมอร์และเบรกดาวน์ในแบบจำลองถูกแทนด้วยบริเวณไอออไนเซชันที่มีความต้านทานจำเพาะเท่ากับศูนย์ (บริเวณอิเล็กโตรไลตริกเล็กมาก สามารถตัดทิ้งไม่นำมาคิดได้) บริเวณเกิดไอออไนเซชันสามารถอธิบายได้ด้วยความคงทนต่อสนามไฟฟ้าวิกฤต (E_0) ที่รัศมีเท่ากับ r เมื่อขบวนการเกิดไอออไนเซชันมีค่าเพิ่มมากขึ้น รูปร่างของบริเวณดังกล่าวก็จะกลายเป็นทรงกลม ดังแสดงในภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 แบบจำลองอย่างง่ายของบริเวณเกิดไอออไนเซชัน

2.2.2 แท่งหลักดินครึ่งทรงกลม (The Hemisphere Electrode)



ภาพประกอบ 13 พฤติกรรมแท่งหลักดินหลาย ๆ แท่ง เปรียบเสมือนครึ่งทรงกลม

สำหรับแท่งหลักดินครึ่งทรงกลม ตามภาพประกอบ 13 มีรัศมีเท่ากับ r_0 สมการของความต้านทานดิน จะมีค่าเท่ากับ

$$R_{AC} = \frac{\rho}{2\pi r_0} \qquad (6)$$

$$J = \frac{I_R}{2\pi r^2}\ ,\quad E = \frac{\rho I_R}{2\pi r^2}$$

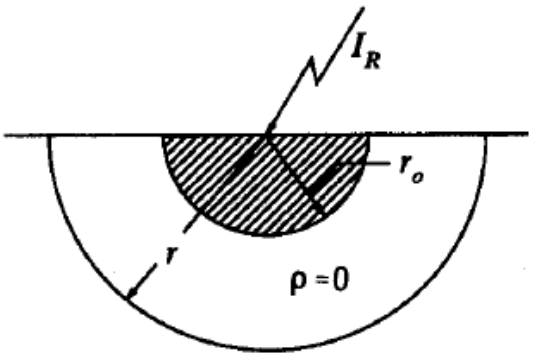
สมมติค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นภายในบริเวณไออไนเซชันจึงมีความหมายง่ายๆ เทียบเท่ากับตัวนำรัศมีครึ่งทรงกลมที่มีรัศมีขยายออกไปถึงรัศมี r เมื่อนิยามถูกกำหนดให้ $E = E_0$ ดังในสมการ (3) ดังนั้นเมื่อเราแทน $r = r_0$ ด้วยรัศมีค่าใหม่ และแสดงค่าความต้านทานในเทอมของความต้านทานอิมพัลส์($R_{impulse}$)

$$R_{impulse} = \sqrt{\frac{E_0 \rho}{2\pi I_R}} \tag{7}$$

หรือทำการใส่ log เข้าไปทั้งสองข้าง

$$ln\, R_{impulse} = \frac{1}{2}\left[ln \frac{E_0 \rho}{2\pi} - ln\, I_R \right] \tag{8}$$

ดังนั้นค่าความต้านทานอิมพัลส์มีค่าเป็นสัดส่วนผกผันกับรากที่สองของกระแส หรืออาจแสดงได้บนกราฟกระดาษ log-log ดังแสดงในภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 ความต้านทานอิมพัลส์ครึ่งทรงกลม

อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ไม่ได้มีอยู่จนกระทั่งมีกระแสมากพอที่จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าวิกฤต E_0 ที่ผิวของทรงกลม เพื่อทำการหากระแส I_g ด้วยการกำหนดให้ $r = r_0, E = E_0$ และ $I_R = I_g$ ดังนั้น

$$I_g = \frac{2\pi r^2 E_0}{\rho} = \frac{1}{2\pi} \frac{\rho E_0}{R_{AC}^2} \tag{9}$$

ดังนั้นทำการแทนสมการ (9) ลงในสมการ (7) จะได้

$$R_{impulse} = R_{AC} \sqrt{\frac{I_g}{I_R}} \tag{10}$$

จัดสมการ (7) และกำหนดให้ D คือเส้นผ่าศูนย์กลางของครึ่งทรงกลม

$$\frac{R_{impulse}D}{\rho} = \sqrt{\frac{E_0 D^2}{2\pi\rho I_R}} \tag{11}$$

และกำหนดให้

$$\prod_1 = \frac{R_i D}{\rho} \quad \text{และ} \quad \prod_2 = \frac{\rho I_R}{E_0 D^2} \tag{12}$$

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า

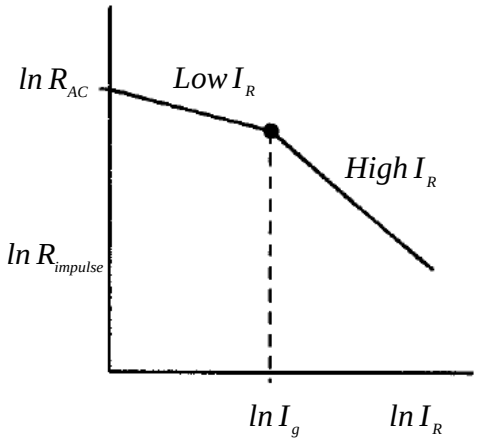
$$\ln \prod_1 = \frac{1}{2}\ln\frac{1}{2}\pi - \ln \prod_2 \tag{13}$$

2.2.3 แท่งหลักดินชนิดรอด (The Rod Electrode)

ดังเช่นเดียวกับแท่งหลักดินครึ่งทรงกลม แทน r ด้วย r_0 สำหรับที่ $E = E_0$ ความต้านทานของแท่งหลักดินจะมีค่าเท่ากับ

$$R_{impulse} = \frac{\rho}{2\pi L}\left[ln\frac{8\pi L^2 E_0}{\rho} - 1 - ln\, I \right] \tag{14}$$

ดังนั้นจะเห็นว่า $R_{impluse}$ เป็นฟังก์ชันของลอการิทึมของกระแส I เมื่อกระแสมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งบริเวณไอออไนเซชันจะมีรูปร่างเป็นทรงกลม และดังนั้นค่าความต้านทานอิมพัลส์ของดินจะมีค่าลดลง ดังแสดงตามในภาพประกอบที่ 15

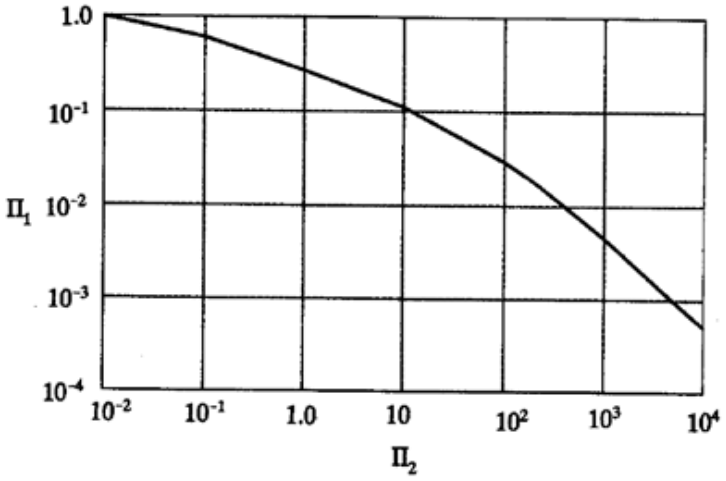


ภาพประกอบ 15 แท่งหลักดินจะมีรูปทรงเป็นครึ่งทรงกลมที่กระแสสูง

จากรูปทรงทางเรขาคณิตขนาดเล็กๆ ของแท่งหลักดิน กระแสที่ทำให้เกิดให้เกิดการไอออไนเซชันมีค่าน้อยมาก สามารถไม่นำมาคิดได้ ดังนั้นจากสมการ 13 จะได้ว่า

$$\prod_1 = \frac{1}{2\pi}\left[\ln 8\pi - 1 - \ln \prod_2\right] \qquad (15)$$

จากสมการ 12 เมื่อความยาว L สามารถแทนในเทอมของเส้นผ่าศูนย์กลาง D ดังนั้นจากทั้งสองกรณี สามารถนำข้อมูลมาเขียนกราฟในเทอมของ $\prod_1$ และ $\prod_2$ ได้ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 16



ภาพประกอบ 16 การจำลองความสัมพันธ์ของความต้านทานอิมพัลส์ของ Korsuntcev's

2.2.4 แบบจำลองอย่างง่าย (Hileman, 1999)

งานวิจัยของ Weck ได้นำเสนอแบบจำลองอย่างง่าย ซึ่งได้จากการทบทวนและตรวจสอบผลการทดสอบของ Berger และได้สรุปค่าความต้านทานอิมพัลส์ กรณีครึ่งทรงกลมจากสมการ (10) เมื่อจัดสมการเสียใหม่ดังนี้

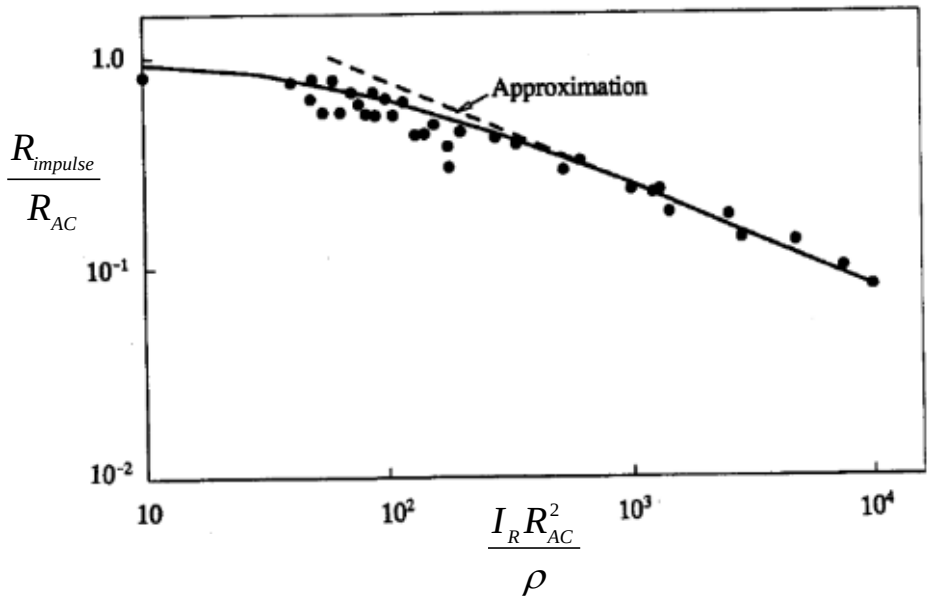
$$R_{impulse} = \frac{R_{AC}}{\sqrt{I_R / I_g}} \qquad (16)$$

จากสมการ (16) จะประยุกต์ใช้กับกรณีที่กระแสมีค่ามากกว่า I_g ดังนั้นหากต้องการปรับสมการนี้ให้สามารถใช้ได้กับแท่งหลักดินกรณีมีกระแสฟ้าผ่าสูงๆ ไหลผ่านนั้น แท่งหลักดินจะมีพฤติกรรมเป็นรูปครึ่งทรงกลม ดังนั้นมีบางส่วนของสมการที่จำเป็นต้องทำการปรับเปลี่ยน และจากงานวิจัยของ Weck ก็ได้เสนอสมการไว้ดังนี้

$$R_{impulse} = \frac{R_{AC}}{\sqrt{1+(I_R / I_g)}} \qquad (17)$$

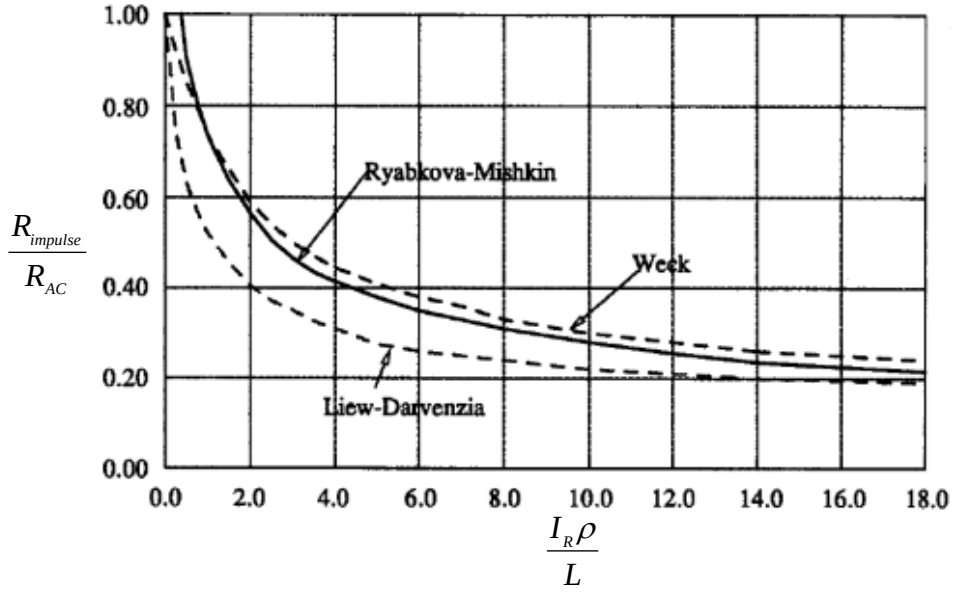
เมื่อ I_g สามารถหาได้จากสมการ (9)

และเมื่อทำการเปรียบเทียบสมการ (17) กับข้อมูลดังแสดงด้วยเส้นเต็มในภาพประกอบ 17 ส่วนเส้นประได้จากสมการ (9) สำหรับทรงกลม



ภาพประกอบ 17 แบบจำลองอย่างง่ายของ Weck เมื่อเปรียบเทียบกับ
ข้อมูลที่ได้จาก CIGRE Working Group 33.01

และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จาก Ryabkova และ Mishkin กับผลที่ได้จาก Liew และ Darveniza สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 ผลการเปรียบเทียบที่ได้จาก CIGRE Working Group 33.01

2.3 ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Liew and Darveniza(1974) ได้ทำการพัฒนาวิธีการ time and current-dependent algorithm ในวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้ ได้มีการพิจารณาเวลาการตอบสนอง 2 ตัวแปรเข้าร่วมด้วย คือเวลาคงตัวของการไอออไนเซชั่น, τ_1 และเวลาคงตัวหลังการเกิดไอออไนเซชั่น, τ_2 จากข้อมูลผลการทดสอบ τ_1 มีค่า 1.5 ถึง 2.0 μs และ τ_2 มีค่า 0.5 ถึง 4.6 μs ซึ่งค่าคงตัวเหล่านี้ไม่ได้มีการนำมาพิจารณาในสมการของ Weck

Oettle (1988) ได้ใช้ข้อมูลของ Popolansky และร่วมกับข้อมูลของเขา ทำการวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการรีเกรซชั่นได้สมการดังต่อไปนี้

$$\prod_1 = 0.22 \prod_2^{-0.29} \tag{18}$$

Oettle ได้นำเสนอแรงดันเบรกดาวน์ของดิน ควรมีค่าเท่ากับ 1,000 kV/m

Chisholm and Janischowsky (1989) ได้ใช้ข้อมูลของ Popolansky และค่าของ $\prod_2$ ที่ใช้ในทางปฏิบัติมีค่าระหว่าง 0.3 ถึง 10 และได้นำเสนอสมการไว้ดังนี้

$$\prod_1 = 0.26 \prod_2^{-0.33} \quad E_0 = 241 \rho^{0.215} \tag{19}$$

สำหรับสมการหาค่า E_0 ได้จากร่างรายงานของ Oettle ที่นำเสนอต่อ CIGRE Working Group และภายหลังร่างรายงานนี้ก็ถูกยกเลิกในการเผยแพร่ต่อสาธารณะ

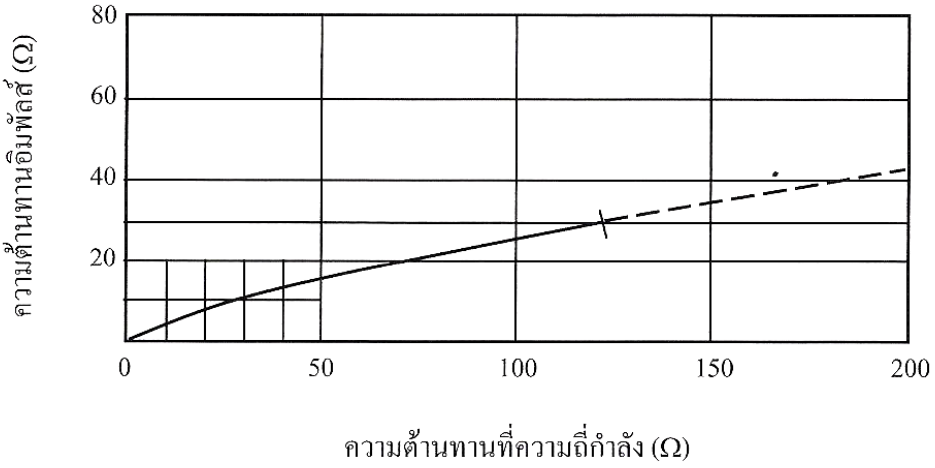
2.4 สรุป

ความต้านทานดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการวิเคราะห์เสิร์จฟ้าผ่าของระบบไฟฟ้ากำลังและมีผลกระทบต่ออัตราการเกิดไฟดับของระบบสายส่งและสายจำหน่ายไฟฟ้า

พารามิเตอร์อื่นๆที่สำคัญคือความต้านทานตามทางของกระแสฟ้าผ่าที่ไหลลงดินค่าความต้านทานของหลักดินที่ความถี่กำลังขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของหลักดินซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความต้านทานจำเพาะของดินค่าเฉลี่ยความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าประมาณ 100 โอห์ม-เมตรหรือน้อยกว่าสำหรับดินชื้นไปจนถึง 1,000 โอห์ม-เมตร สำหรับดินแห้งหรืออาจขึ้นไปสูง 10^7 ถึง โอห์ม-เมตรสำหรับดินหินการคำนวณและการวัดค่าความต้านทานดินได้มีผู้ทำการศึกษาไว้มากมายจึงมีความต้องการมาตรการในการที่จะลดความต้านทานดินที่มีค่าสูงๆลง โดยการใช้แท่งหลักดินในแนวดิ่งและหรือตัวนำฝังดินแนวนอน

ผลของความหนาแน่นกระแสสูงๆ ทำให้ดินรอบๆ แท่งหลักดินเกิดการแตกตัวหรืออาจเกิดเบรกดาวน์บางส่วน ด้วยเหตุนี้ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ที่โคนเสาหรือแท่งหลักดินจะมีค่าต่ำกว่า

ค่าที่วัดได้ที่มีความถี่กำลังผลดังกล่าวอาจไม่สร้างความแตกต่างมากนักสำหรับความต้านทานดิน ในช่วง 5-15 โอห์ม แต่ถ้าเป็นที่ความต้านทานดินสูงๆการลดลงของความต้านทานของดินอิมพัลส์ เมื่อเทียบกับความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีผลค่อนข้างมาก สามารถใช้ประมาณค่าความต้านทานดินอิมพัลส์เทียบกับค่าความต้านทานดินที่วัดที่ความถี่กำลัง



ภาพประกอบ 19 การประมาณค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ เส้นประเป็นค่าโดยประมาณ

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

ในที่นี้จะทำการศึกษาและทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ของระบบรากสายดิน โดยพิจารณาชนิดของดิน โดยทำการตรวจวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง และค่าความต้านทานดินอิมพัลส์แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปหาสัมประสิทธิ์อิมพัลส์, $\alpha = R_{impluse} / R_{AC}$ ซึ่งจะทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานดินอิมพัลส์ความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง และจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบระบบการต่อลงดินของอาคารสำนักงาน อาคารโรงงาน เสาส่งและเสาจำหน่ายไฟฟ้าต่อไป

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของระบบรากสายดิน โดยทำการพิจารณาพารามิเตอร์ดังนี้

1. รูปทรงของแท่งหลักดิน

2. ความต้านทานจำเพาะของดิน โดยจะขึ้นกับชนิดของดินอาจมีค่าระหว่าง 1-5,000 โอห์ม-เมตร

3. เครื่องทดสอบอิมพัลส์สามารถจ่ายกระแสฟ้าผ่าได้เท่ากับ 1 แอมแปร์ ด้วยเวลาหน้าคลื่นเท่ากับ 4 ไมโครวินาทีและแรงดัน 1000 โวลต์

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาและทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของระบบรากสายดิน จะมีขั้นตอนของการศึกษาและวิจัยดังนี้

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. ทำการวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานดิน โดยวิธีการวัดแบบ 3 จุด (Fall of Potential Method)

3. ทำการทดสอบค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ด้วยเครื่องจำลองกระแสฟ้าผ่า(Impulse generator)

4. หาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานดินอิมพัลส์กับความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง

3.4 เครื่องมือการวิจัย

ตาราง 2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดและทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ฟ้าผ่าของระบบรากสายดิน

รายการ	รุ่น	จำนวน(เครื่อง)
1. เครื่องวัดความต้านทานดิน	CHAUVIN C.A.6460	1
2. เครื่องวัดความต้านทานดินอิมพัลส์	WG-407	1

พื้นที่ที่ทำการทดสอบความต้านทานดิน

พื้นที่ที่ทำการตรวจวัดและทดสอบความต้านทานดินประกอบด้วยพื้นที่ที่มีค่าความต้านทานจำเพาะของดินหลากหลาย ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ภาคกลาง เช่น มหาวิทยาลัยศรีปทุม อำเภอลำลูกกา อำเภอธัญบุรี จังหวัดนครปฐม จังหวัดอยุธยา จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดลพบุรี จังหวัดสระบุรี จังหวัดราชบุรี และพื้นที่ภาคตะวันออก เช่น อำเภอบางเสล่ จังหวัดชลบุรี จังหวัดระยอง เป็นต้น

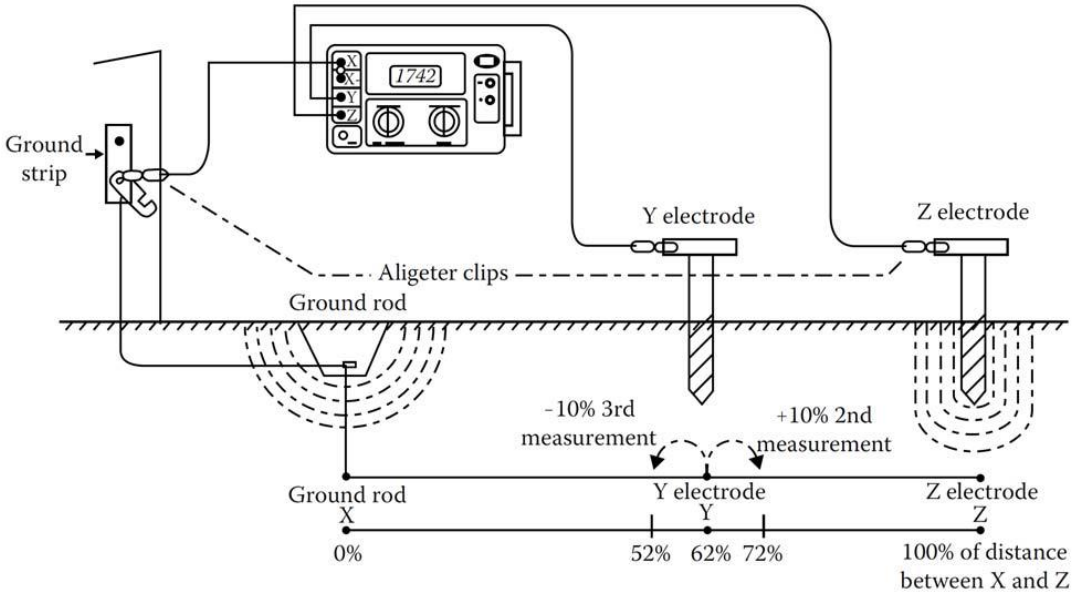
3.5 การตรวจวัดความต้านทานดิน

ในขั้นตอนการตรวจวัดความต้านทานดิน จะทำการตรวจวัดค่าความต้านทานดิน 2 ชนิดคือ ค่าความต้านทานดินที่ความที่กำลังและค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ ดังนี้

3.5.1 ทำการวัดความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง โดยการวัดความต้านทานดิน (Earth Ground Resistance Tester)

ในการวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง จะทำการวัดด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานดิน ด้วยวิธีการวัดแบบ 3 จุด (Fall of Potential Method) ดังแสดงในภาพประกอบ 20

ก) เครื่องวัดความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง



ข) การวัดแบบ 3 จุด (Fall of Potential Method)

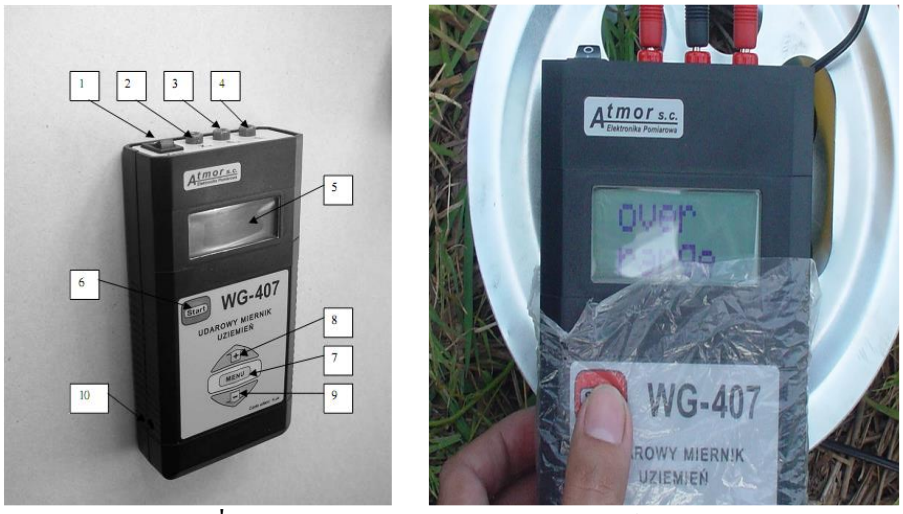
ภาพประกอบ 20 การวัดความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง ด้วยวิธีวัดแบบ 3 จุด

ขั้นตอนการวัดความต้านทานดินด้วยวิธีแบบ 3 จุด

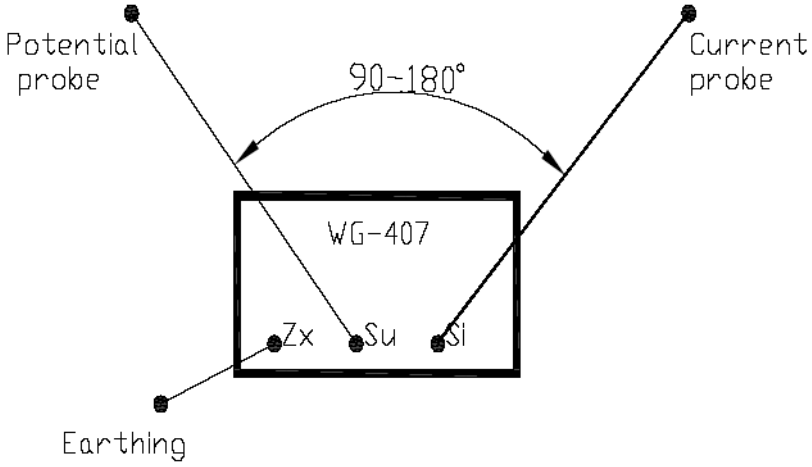
1. ปักหลักดินเสริมประกอบด้วย 2 ชุดโดยปักห่างจากหลักดินที่ต้องการทดสอบ ออกไปที่ระยะ 62% และ 100% ตามความยาวที่เครื่องวัดกำหนด
2. ต่อสายจากหลักดินที่ต้องการทดสอบ(X) ขั้วศักย์ไฟฟ้าเสริม(Y) และขั้วกระแสเสริม(Z) เข้ากับขั้ว E, P และ C ของเครื่องวัดตามลำดับ ดังแสดงตามภาพประกอบ 20
3. ตรวจสอบการต่อสายวัดผิดปกติหรือไม่ ถ้าเป็นเครื่องวัดแบบเข็ม จะมีหลอดไฟแสดงสภาวะ "OK LAMP" เมื่อมีการต่อสายได้ถูกต้องสมบูรณ์ แต่ถ้าเป็นเครื่องวัดแบบตัวเลขหน้าจอจะแสดง "....." แสดงว่าเกิดความผิดพลาดในการต่อสาย
4. กดปุ่มเพื่อทำการวัดค่าความต้านทานดิน

3.5.2 การวัดความต้านทานดินอิมพัลส์ ด้วยเครื่องจำลองกระแสฟ้าผ่า (Earthling Impulse Meter)

ในการวัดความต้านทานดินอิมพัลส์ จะทำการวัดด้วยเครื่องจำลองกระแสฟ้าผ่า ดังแสดงในภาพประกอบ 21



ก) เครื่องทดสอบความต้านทานดินอิมพัลส์ WG-407



ข) วงจรการทดสอบความต้านทานดินอิมพัลส์

ภาพประกอบ 21 เครื่องทดสอบความต้านทานดินอิมพัลส์และวงจรการทดสอบ

ส่วนประกอบของเครื่องวัดความต้านทานอิมพัลส์ (WG-407)

1 – สวิตช์เปิดและปิดเครื่องวัด

2 –“Zx” ขั้วที่ใช้ในการต่อกับแท่งหลักดิน

3 – “Su” ขั้วที่ใช้ต่อเข้ากับขั้วแรงดันของเครื่องวัด

4 – “Si” ขั้วที่ใช้ต่อเข้ากับขั้วกระแสของเครื่องวัด

5 – LCD จอภาพแสดงผล

6 – “Start” เป็นปุ่มเริ่มทำงานของฟังก์ชั่นต่างๆของเครื่อง

7 – “Menu” ปุ่ม เลือกหัวข้อการทำงาน

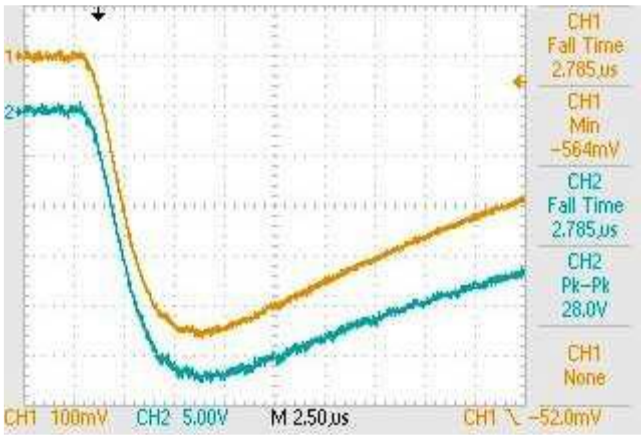
- หัวข้อสำหรับการวัดความต้านทานอิมพัลส์
-หัวข้อที่ใช้บันทึกข้อมูล
-หัวข้อที่ใช้อ่านข้อมูลที่บันทึก
-หัวข้อการทดสอบกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่

8 – “+” ปุ่มเพิ่มลำดับการบันทึกหรือแสดงผลบันทึก

9 – “-” ปุ่มลดลำดับการบันทึกหรือแสดงผลบันทึก

10 –ขั้วชาร์จแบตเตอรี่

เครื่องวัดความต้านทานดินอิมพัลส์นี้ สามารถจ่ายกระแสอิมพัลส์ได้เท่ากับ 1 แอมแปร์ ด้วยเวลาหน้าคลื่นเท่ากับ 4 ไมโครวินาทีและแรงดัน 1000 โวลต์ ซึ่งบริษัทผู้ผลิตได้ทำการตรวจวัดรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่าได้ตามช่องวัดที่ 1 และรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมแท่งหลักดินตามช่องวัดที่ 2 ตามภาพประกอบ 22



ภาพประกอบ 22 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมแท่งหลักดินและรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า

ขั้นตอนการวัดความต้านทานดินอิมพัลส์

กำหนดให้ขั้วกระแส(Current Probe) อยู่ห่างจากขั้วต่อหลักดินที่ต้องการทดสอบ(Earthing) ระยะทดสอบ 20 เมตร แล้วขั้วศักย์ไฟฟ้า(Potential Probe) ห่างจากหลักดินที่ต้องการทดสอบเท่ากับ 62%ของขั้วกระแส แล้วทำการทดสอบโดยการกดปุ่ม Start เครื่องจะทำปล่อยกระแสและแรงดันลงไปที่ขั้วทั้งสองก็จะได้ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ โดยเครื่องสามารถวัดค่าได้ตั้งแต่ 0 โอห์มถึง

199 โอห์ม แต่ถ้าค่าเกินกว่าที่กำหนด ค่าที่อ่านได้จะเป็น OVER RANGE โดยกระแสและแรงดันทดสอบจะอยู่ที่ 1 A และ 1,000 V ที่ความถี่ 250 kHz

การรวบรวมข้อมูล

ในงานวิจัยนี้จะทำการตรวจวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง, R_{AC} และค่าความต้านทานดินอิมพัลส์, $R_{impluse}$ จากสภาพพื้นดินที่มีความหลากหลาย ดังนั้นค่าความต้านทานจำเพาะของดินจะมีความแตกต่างกัน และสามารถหาสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดิน, $\alpha = R_{impluse} / R_{AC}$

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังและค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ จะใช้วิธีการข้อมูลด้วยวิธีการรีเกรทชั่น เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังและค่าความต้านทานดินอิมพัลส์

บทที่ 4

ผลการตรวจวัดความต้านทานดิน

ในที่นี้จะทำการศึกษาและทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ของระบบรากสายดิน โดยพิจารณาชนิดของดิน โดยทำการตรวจวัดค่าวามต้านทานดินที่ความถี่กำลัง และค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ ซึ่งพื้นที่ที่ทำการวัดค่าความต้านทานดินประกอบด้วยพื้นที่ที่มีค่าความต้านทานจำเพาะของดินที่แตกต่างกันไปประกอบด้วยภาคกลาง เช่น ณ อำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา ณ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี ณ อำเภอศาลายา จังหวัดนครปฐม ณ อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี ณ อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี และภาคตะวันออก เช่น ณ อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ณ อำเภอบางเสร่ จังหวัดชลบุรี เป็นต้น

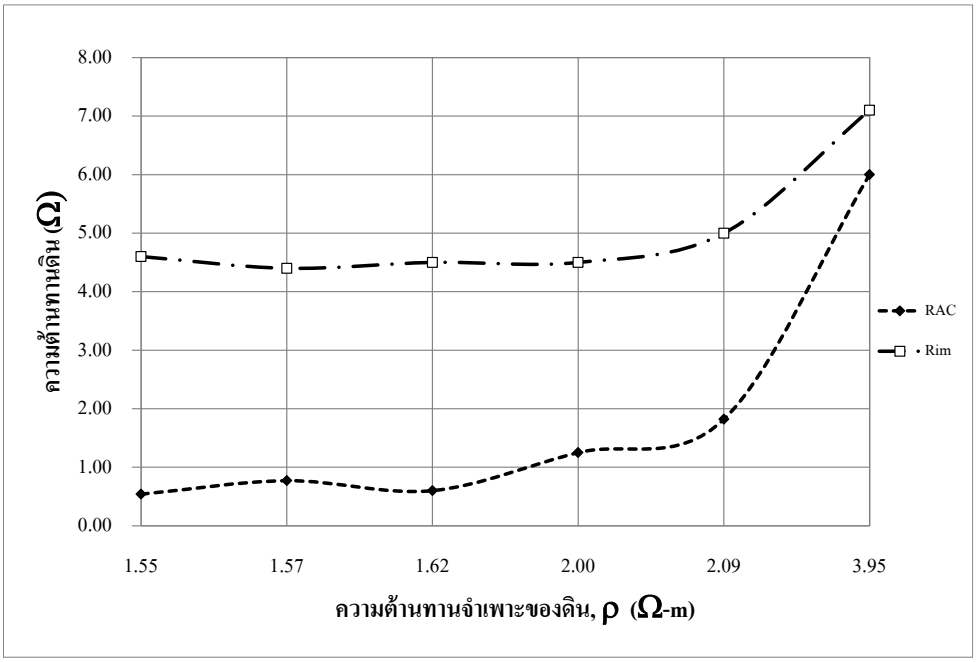
4.1 ผลการตรวจวัดความต้านทานดิน

ในการตรวจวัดค่าความต้านทานดิน จะทำการวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังและค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ โดยทำการปักหลักดินขนาด 5/8”(15.9 มม.) ด้วยความลึกเท่ากับ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3.0 เมตร ในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกตามข้างต้นโดยมีผลการตรวจวัดดังนี้

4.1.1 ผลการทดสอบ ณ อำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา

ตาราง 3 ผลการทดสอบ ณ อำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา

ความลึก (m)	R_{AC} (Ω)	R_{im} (Ω)	ρ (Ω - m)	α
0.5	6.00	7.10	3.95	1.18
1	1.82	5.00	2.09	2.75
1.5	1.25	4.50	2.00	3.60
2	0.77	4.40	1.57	7.50
2.5	0.60	4.50	1.62	5.71
3.0	0.54	4.60	1.55	8.52



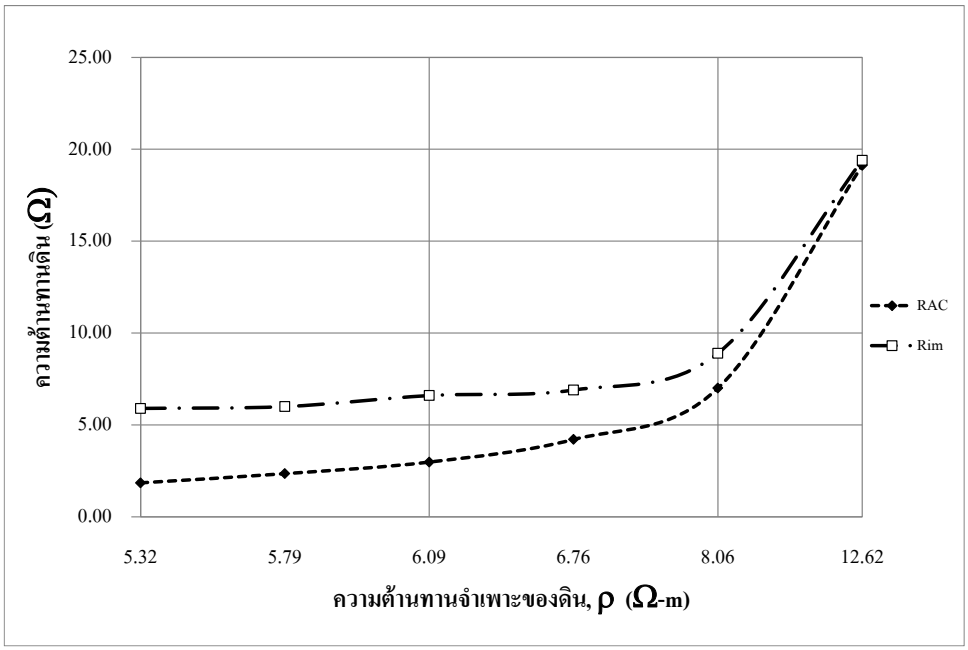
ภาพประกอบ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับ
ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน

จากผลการทดสอบการตรวจวัดค่าความต้านทานดิน ณ อำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทราในการทดสอบทำการปักแท่งหลักดินด้วยความลึกตั้งแต่ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3.0 เมตร พบว่าค่าความต้านทานจำเพาะของดิน จะมีค่ามากที่ชั้นดินด้านบนและลดลงเมื่อความลึกมากขึ้น ตามค่าแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งแสดงว่าดินในบริเวณมีหลายชั้นของดิน เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังและความต้านทานดินอิมพัลส์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความต้านทานจำเพาะของดิน และจากผลการตรวจวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินบริเวณนี้มีค่าอยู่ในช่วง 1.55 ถึง 3.95 โอห์ม-เมตร พบว่าความต้านทานดินอิมพัลส์จะมีค่ามากกว่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง และสัมประสิทธิ์อิมพัลส์มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.18 ถึง 8.52

4.1.2 ผลการทดสอบ ณ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี

ตาราง 4 ผลการทดสอบ ณ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี

ความลึก (m)	R_{AC} (Ω)	R_{im} (Ω)	ρ (Ω - m)	α
0.5	19.12	19.40	12.62	1.01
1	7.00	8.90	8.06	1.27
1.5	4.21	6.90	6.76	1.64
2	2.98	6.60	6.09	2.21
2.5	2.35	6.00	5.79	2.55
3.0	1.85	5.90	5.32	3.19



ภาพประกอบ 24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับค่าความต้านทานจำเพาะของดิน

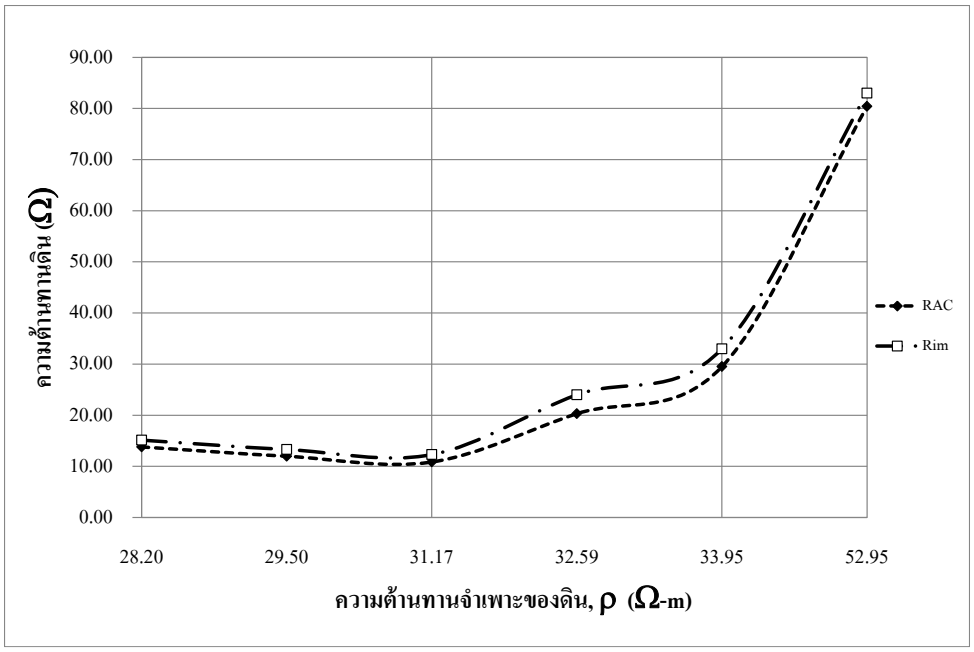
จากผลการทดสอบการตรวจวัดค่าความต้านทานดิน ณ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี พบว่าค่าความต้านทานจำเพาะของดิน จะมีค่ามากที่ชั้นดินด้านบนและลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังและความต้านทานดินอิมพัลส์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานจำเพาะของดิน และจากผลการตรวจวัดความต้านทานจำเพาะของดินในบริเวณนี้มีค่าอยู่ในช่วง 5.32 ถึง 12.62 โอห์ม-เมตร พบว่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่าน้อยกว่าความต้านทานดินอิมพัลส์ และความต้านทานดินทั้งสองมีค่าลู่เข้ามาใกล้เคียง

กัน เมื่อความความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าเพิ่มมีค่าเท่ากับ 12.62 โอห์ม-เมตร ซึ่งแตกต่างกันไม่เกิน 1.44% และสัมประสิทธิ์อิมพัลส์มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.01 ถึง 3.19

4.1.3 ผลการทดสอบ ณ อำเภอศาลายา จังหวัดนครปฐม

ตาราง 5 ผลการทดสอบ ณ อำเภอศาลายา จังหวัดนครปฐม

ความลึก (m)	R_{AC} (Ω)	R_{im} (Ω)	ρ (Ω - m)	α
0.5	80.40	83.00	52.95	1.03
1	29.50	33.00	33.95	1.12
1.5	20.30	24.00	32.59	1.18
2	13.80	15.13	28.20	1.10
2.5	11.98	13.30	29.50	1.11
3.0	10.85	12.30	31.17	1.13



ภาพประกอบ 25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับค่าความต้านทานจำเพาะของดิน

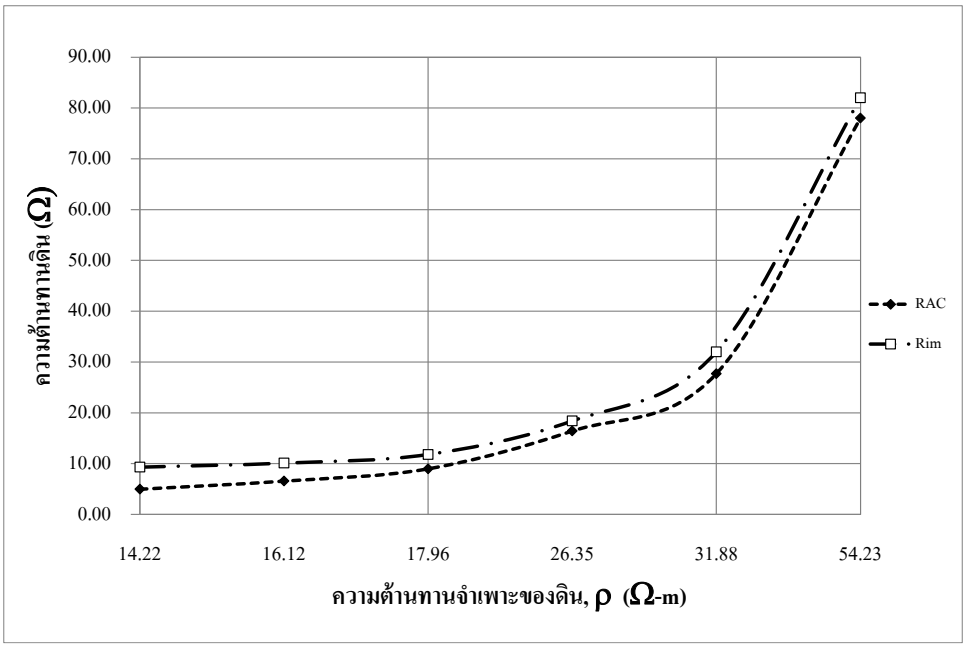
จากผลการทดสอบการตรวจวัดค่าความต้านทานดิน ณ อำเภอศาลายา จังหวัดนครปฐม พบว่าค่าความต้านทานจำเพาะของดิน จะมีค่ามากที่ชั้นดินด้านบนและจะลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังและความต้านทานดินอิมพัลส์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานจำเพาะของดิน จากผลการตรวจวัดความต้านทานจำเพาะของ

ดินในบริเวณนี้มีค่าอยู่ในช่วง 28.20 ถึง 52.95 โอห์ม-เมตร และพบว่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่าน้อยกว่าความต้านทานดินอิมพัลส์ และมีค่าใกล้เคียงกัน โดยแตกต่างกันไม่เกิน 11.79% ของความต้านทานดินอิมพัลส์และสัมประสิทธิ์อิมพัลส์มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.03 ถึง 1.13

4.1.4 ผลการทดสอบ ณ อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี

ตาราง 6 ผลการทดสอบ ณ อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี

ความลึก (m)	R_{AC} (Ω)	R_{im} (Ω)	ρ (Ω - m)	α
0.5	78.00	82.00	54.23	1.05
1	27.70	32.00	31.88	1.16
1.5	16.41	18.40	26.35	1.12
2	8.97	11.80	17.96	1.32
2.5	6.55	10.10	16.12	1.54
3.0	4.95	9.30	14.22	1.88



ภาพประกอบ 26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับค่าความต้านทานจำเพาะของดิน

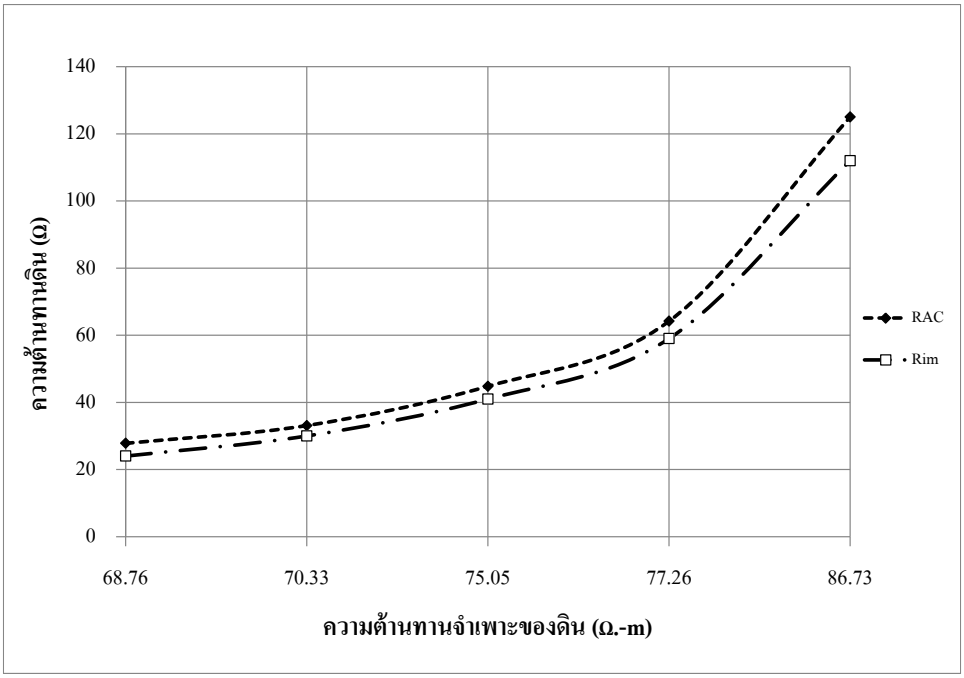
จากผลการทดสอบการตรวจวัดค่าความต้านทานดิน ณ อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี พบว่าค่าความต้านทานจำเพาะของดิน จะมีค่ามากที่ชั้นดินด้านบน และลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังและความต้านทานดินอิมพัลส์จะมีค่าเพิ่มขึ้น

ตามการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานจำเพาะของดิน และจากผลการตรวจวัดความต้านทานจำเพาะของดินในบริเวณนี้มีค่าอยู่ในช่วง 14.22 ถึง 54.23 โอห์ม-เมตร พบว่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่าน้อยกว่าความต้านทานดินอิมพัลส์และสัมประสิทธิ์อิมพัลส์มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.05 ถึง 1.88

4.1.5 ผลการทดสอบ ณ อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง

ตาราง 7 ผลการทดสอบ ณ อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง

ความลึก (m)	R_{AC} (Ω)	R_{im} (Ω)	ρ (Ω - m)	α
0.5	125	112	86.73	0.90
1	64.2	59	77.26	0.92
1.5	44.8	41	75.05	0.92
2	33.1	30	70.33	0.91
2.5	27.8	24	68.76	0.86



ภาพประกอบ 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับค่าความต้านทานจำเพาะของดิน

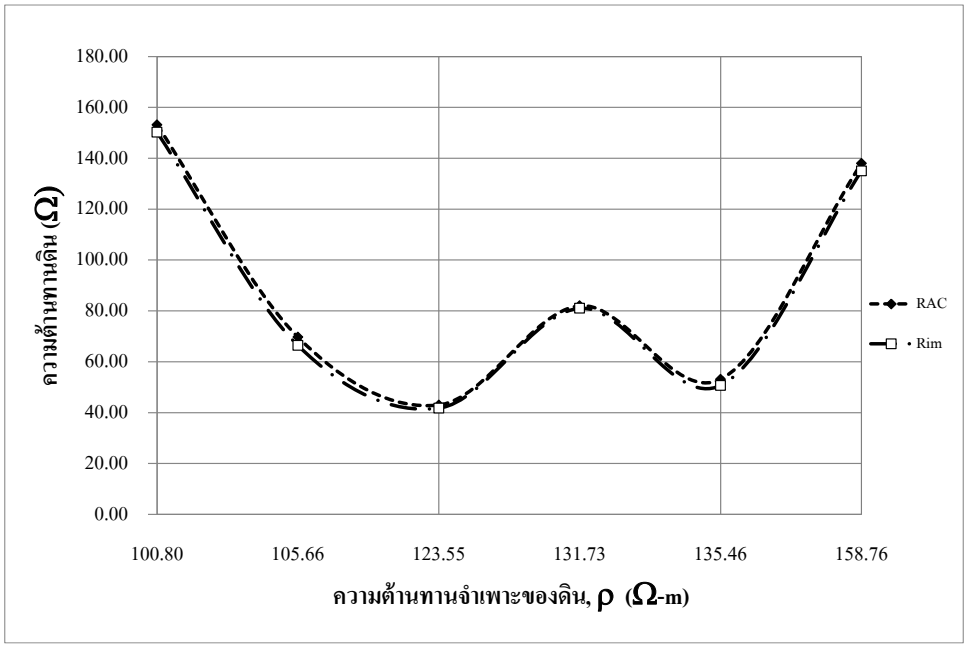
จากผลการทดสอบการตรวจวัดค่าความต้านทานดิน ณ อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง พบว่าค่าความต้านทานจำเพาะของดิน จะมีค่ามากที่ชั้นดินด้านบน และลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น

และเมื่อทำการวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังและความต้านทานดินอิมพัลส์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานจำเพาะของดิน และจากผลการตรวจวัดความต้านทานจำเพาะของดินในบริเวณนี้มีค่าอยู่ในช่วง 68.76 ถึง 86.73 โอห์ม-เมตร พบว่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่ามากกว่าความต้านทานดินอิมพัลส์และสัมประสิทธิ์อิมพัลส์มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.86 ถึง 0.90

4.1.6 ผลการทดสอบ ณ อำเภอเมืองสระบุรี จังหวัดสระบุรี

ตาราง 8 ผลการทดสอบ ณ อำเภอเมืองสระบุรี จังหวัดสระบุรี

ความลึก (m)	R_{AC} (Ω)	R_{im} (Ω)	ρ (Ω - m)	α
0.5	153.11	150.20	100.80	0.98
1	138.00	135.00	158.76	0.98
1.5	82.00	81.00	131.73	0.99
2	69.67	66.40	105.66	0.95
2.5	53.12	50.70	135.46	0.95
3.0	43.00	41.77	123.55	0.97



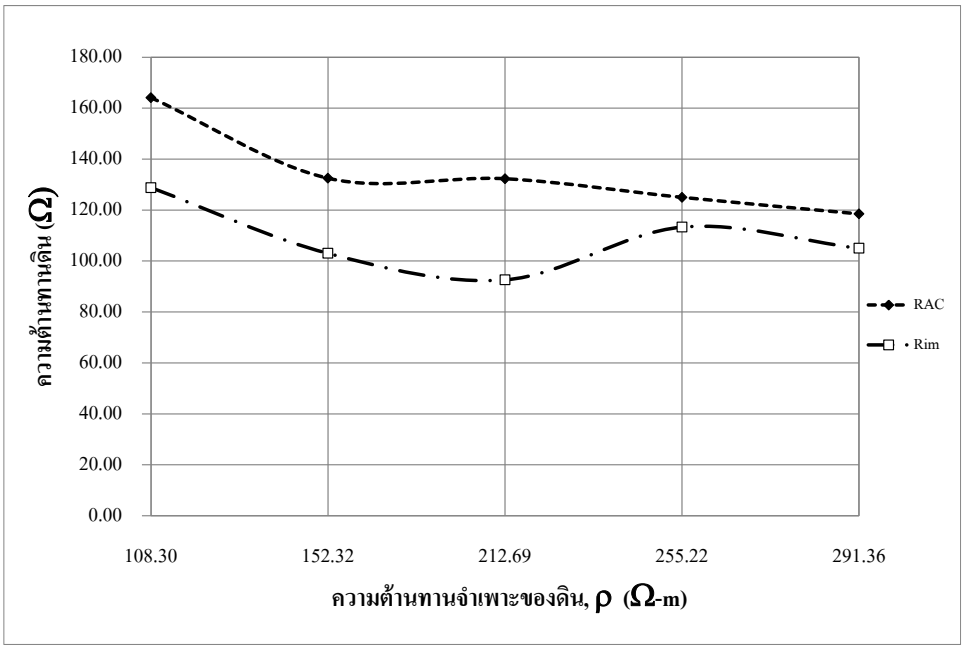
ภาพประกอบ 28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับค่าความต้านทานจำเพาะของดิน

จากผลการทดสอบการตรวจวัดค่าความต้านทานดิน ณ อำเภอเมืองสระบุรี จังหวัดสระบุรีพบว่าค่าความต้านทานจำเพาะของดิน จะมีค่ามากที่ชั้นดินด้านบน และลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังและความต้านทานดินอิมพัลส์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานจำเพาะของดิน และจากผลการตรวจวัดความต้านทานจำเพาะของดินในบริเวณนี้มีค่าอยู่ในช่วง 100.80 ถึง 123.55 โอห์ม-เมตร พบว่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่ามากกว่าความต้านทานดินอิมพัลส์ และสัมประสิทธิ์อิมพัลส์มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.97 ถึง 0.98

4.1.7 ผลการทดสอบ ณ อ.บางเสล่ จ.ชลบุรี

ตาราง 9 ผลการทดสอบ ณ อ.บางเสล่ จ.ชลบุรี

ความลึก (m)	R_{AC} (Ω)	R_{im} (Ω)	ρ (Ω - m)	α
0.5	164.10	128.80	108.30	0.78
1	132.50	103.00	152.32	0.78
1.5	132.30	92.60	212.69	0.70
2	125.00	113.30	255.22	0.91
2.5	118.50	105.00	291.36	0.89
3.0	113.50	93.00	324.97	0.82

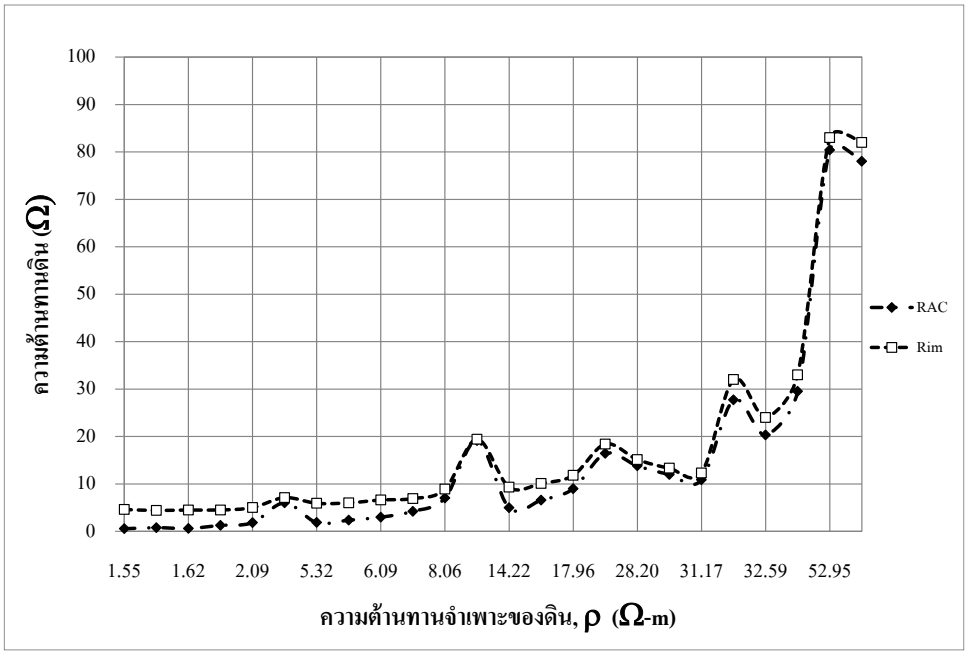


ภาพประกอบ 29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับค่าความต้านทานจำเพาะของดิน

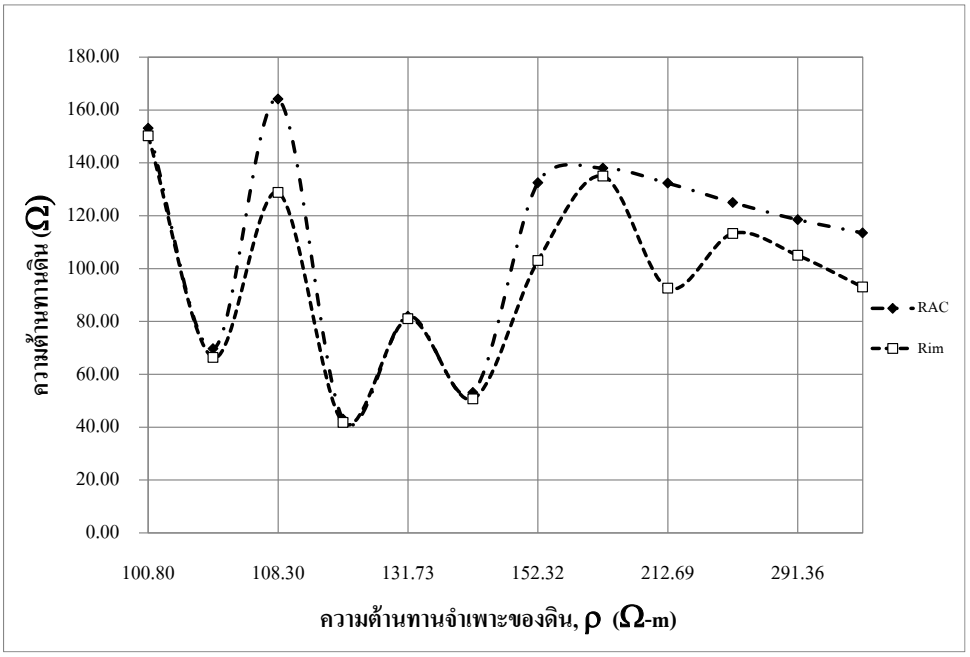
จากผลการทดสอบการตรวจวัดค่าความต้านทานดิน ผลการทดสอบ ณ อ.บางเสล่ จ.ชลบุรีพบว่าค่าความต้านทานจำเพาะของดิน จะมีค่ามากเมื่อความลึกมากขึ้น และเมื่อทำการวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังและความต้านทานดินอิมพัลส์จะมีค่าลดลงตามการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของดิน จากผลการตรวจวัดความต้านทานจำเพาะของดินในบริเวณนี้มีค่าอยู่ในช่วง 108.30 ถึง 291.36 โอห์ม-เมตร เมื่อค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าเพิ่มขึ้นพบว่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังและความต้านทานดินอิมพัลส์จะมีค่าลดลง และความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่ามากกว่าความต้านทานดินอิมพัลส์และสัมประสิทธิ์อิมพัลส์มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.78 ถึง 0.82

4.2 วิเคราะห์ผลการตรวจวัด

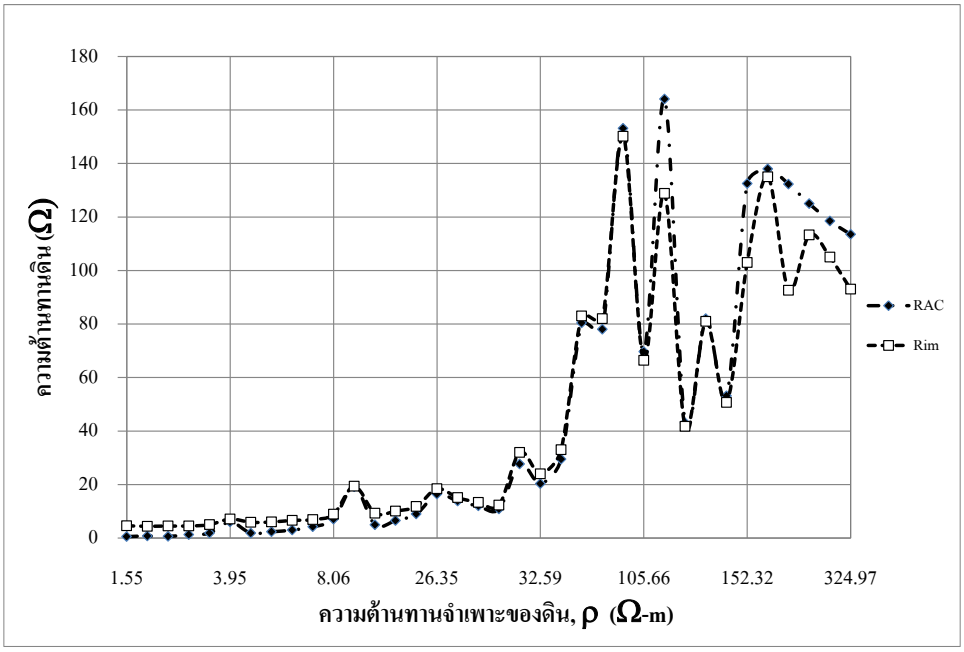
จากการทดสอบทำการตรวจวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังและค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ โดยทำการสุ่มตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ ตามผลการทดสอบข้างต้น เมื่อนำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังและค่าความต้านทานดินอิมพัลส์กับค่าความต้านทานจำเพาะของดิน ดังแสดงได้ในภาพประกอบ 30



ก) ผลการตรวจวัด $R_{AC} < R_{im}$



ข) ผลการตรวจวัด $R_{AC} > R_{im}$

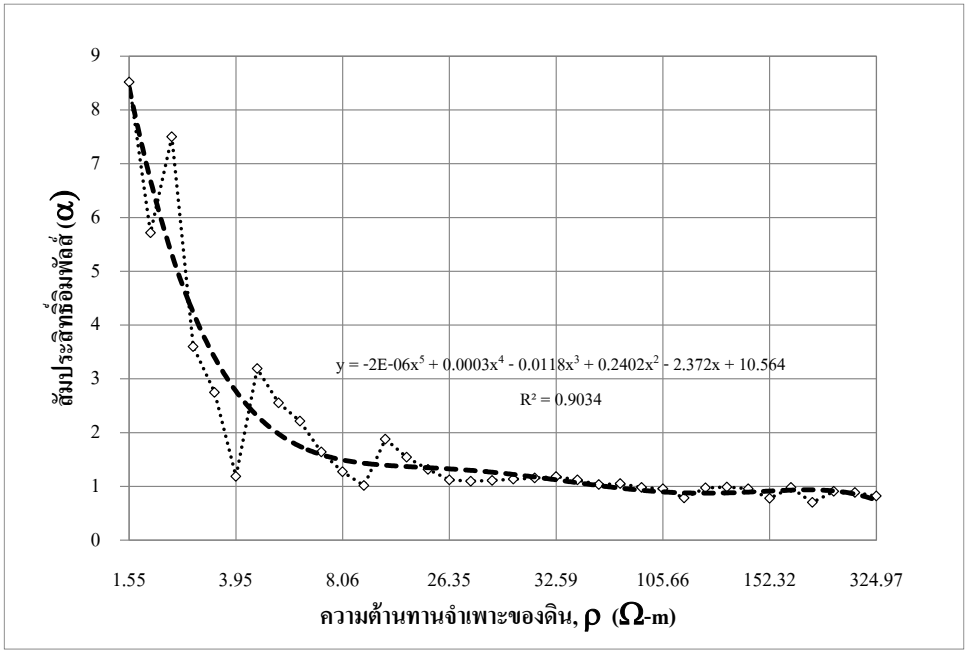


ค) ค่าความต้านทานจำเพาะของดินตลอดช่วงการทดสอบ

ภาพประกอบ 30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินกับค่าความต้านทานจำเพาะของดิน

จากผลการทดสอบการตรวจวัดค่าความต้านทานดิน พบว่าเมื่อค่าความต้านทานจำเพาะของดิน, ρ มีค่าน้อยกว่า 100.80 โอห์ม-เมตร ค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์, $R_{AC} < R_{im}$ ดังแสดงตามภาพประกอบ 30ก) ส่วนกรณีค่าความต้านทาน

จำเพาะของดิน, ρ มีค่ามากกว่า 100.80 โอห์ม-เมตร ค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์, $R_{AC} > R_{impulse}$ ดังแสดงตามภาพประกอบ 30ข) และสามารถแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างค่าความต้านทานดินอิมพัลส์กับค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังกับค่าความต้านทานจำเพาะของดินในเทอมของสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดิน, $\alpha = R_{impulse} / R_{AC}$ ได้ตามภาพประกอบ 31



ภาพประกอบ 31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดิน, α กับค่าความต้านทานจำเพาะของดิน, ρ

จากความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดิน, α กับค่าความต้านทานจำเพาะของดิน, ρ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดินจะมีค่าลดลงจาก 8.52 ลดลงมาอย่างไม่สม่ำเสมอจนมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าประมาณ 100 โอห์ม-เมตร แสดงว่าที่ค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าน้อยกว่า 100 โอห์ม-เมตร ดินจะมีการนำไฟฟ้าที่ดี จากความสัมพันธ์ของ

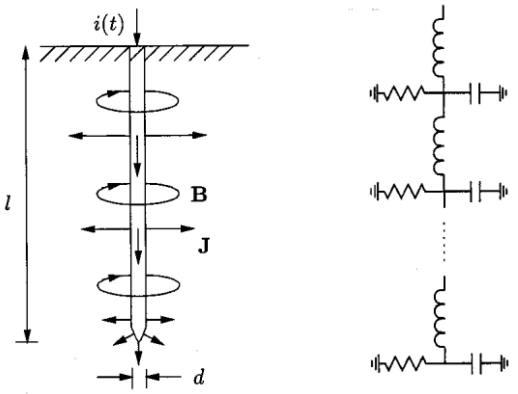
$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

เมื่อ σ คือความนำไฟฟ้า

และค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ในเทอมของความต้านทานจำเพาะของดิน และสภาพนำไฟฟ้าของดินได้ดังสมการ

$$R_{AC} = \frac{\rho l}{A} = \frac{l}{\sigma A}$$

ดังนั้นจากสมการความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง เมื่อค่าความความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าต่ำหรือน้อยกว่า 100 โอห์ม-เมตร ผลการทดสอบการตรวจวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ของดิน กรณีค่าความความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าสูงหรือมากกว่า 100 โอห์ม-เมตร เมื่อพิจารณาวงจรสมมูลของระบบรากสายดินสามารถแทนด้วยแบบจำลองที่ขึ้นกับความถี่ ซึ่งประกอบด้วยความเหนี่ยวนำ ความจุไฟฟ้า และความต้านทานของรากสายดิน[5] ดังแสดงตามภาพประกอบ 32



ภาพประกอบ 32 วงจรสมมูลของระบบรากสายดินในสภาวะความถี่สูง(จากผลของกระแสฟ้าผ่า)

จากวงจรสมมูลเมื่อกระแสอิมพัลส์ไหลผ่านรากสายดิน ค่ารีแอคแตนซ์จากความเหนี่ยวนำ, X_L จะมีค่าค่อยๆ เพิ่มและค่ารีแอคแตนซ์จากความจุไฟฟ้า, X_C จะมีค่าลงเมื่อความถี่มีค่าสูง ในขณะที่ความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความต้านทานจำเพาะของดิน ดังนั้นจากวงจรสมมูลของระบบรากสายดิน เมื่อค่าความต้านทานจำเพาะของดินมากกว่า 100 โอห์ม-เมตรและเมื่อความถี่สูงขึ้น ผลลัพธ์ของค่าความต้านทานดินที่เกิดขึ้น จะเป็นผลมาจากค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังมากกว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ จากผลการทดสอบตรวจวัดเราสามารถทำการประมาณความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์อิมพัลส์กับค่าความต้านทานจำเพาะของดิน ด้วยวิธีการประมาณเส้นกราฟโดยใช้โปรแกรม Excel ได้ดังนี้

$$\alpha = -2\times10^{-6}\rho^5 + 0.0003\rho^4 + -0.0118\rho^3 + 0.2402\rho^2 - 2.372\rho + 10.564$$

จากการผลการทดสอบตรวจวัดนี้สามารถนาไปใช้ในการประเมินค่าความต้านทานดินที่ ความถี่กำลังและค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ของดิน เพื่อใช้ในการออกแบบระบบการต่อลงดิน โดยพิจารณาที่ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน แล้วนำไปสู่การพิจารณาค่าความต้านทานดินที่ความถี่

กำลังหรือค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ว่าค่าใดมีค่ามากกว่ากัน ซึ่งในทางปฏิบัติ เราสามารถทำการตรวจวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังได้โดยใช้เครื่องวัดความต้านทานดิน ด้วยวิธีการวัดแบบ 3 จุดหรือ 4 จุด จากนั้นก็พิจารณาค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าน้อยกว่าหรือมากกว่า 100 โอห์ม-เมตร หากค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าน้อยกว่า 100 โอห์ม-เมตร ค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง, R_{AC} จะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์, $R_{impluse}$ เราต้องใช้ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ของดินเป็นค่าใช้การออกแบบระบบรากสายดิน จากความสัมพันธ์

$$R_{impluse} = \alpha R_{AC}$$

แต่ถ้าค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่ามากกว่า 100 โอห์ม-เมตร เราก็สามารถใช้ค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังในการออกแบบระบบรากสายดินได้เลย และจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสายส่งหรือสายจำหน่ายไฟฟ้า และระบบการต่อลงดินสำหรับอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัยต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทดสอบการตอบสนองต่ออิมพัลส์ของระบบรากสายดิน โดย พิจารณาชนิดของดินด้วยทำการทดสอบตรวจวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง และค่าความ ต้านทานดินอิมพัลส์ โดยทำการปักหลักดินขนาด 5/8"(15.9 มม.) ในพื้นที่ที่มีค่าความต้านทานจำเพาะ ของดินที่แตกต่างกันไป ประกอบด้วยภาคกลาง เช่น ณ อำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา ณ อำเภอ เมืองจังหวัดนนทบุรี ณ อำเภอศาลายา จังหวัดนครปฐม ณ อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี ณ อำเภอ เมือง จังหวัดสระบุรี และภาคตะวันออก เช่น ณ อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ณ อำเภอบางเสล่ จังหวัด ชลบุรี เป็นต้น

จากผลการทดสอบตรวจวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังด้วยเครื่องวัดความต้านทานดินโดยวิธีวัดแบบ 3 จุดและค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ด้วยเครื่องวัดความต้านทานดินอิมพัลส์ โดยทำการสุ่มตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ พบว่ากรณีค่าความต้านทานจา เพาะของดิน, ρ มีค่าน้อยกว่า 100 โอห์ม-เมตร ค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์, $R_{AC} < R_{impluse}$ ส่วนกรณีค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่ามากกว่า 100 โอห์ม-เมตร ค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์, $R_{AC} > R_{impluse}$ และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างค่าความต้านทานดินอิมพัลส์กับค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังในเทอมของสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดิน, $\alpha = R_{impluse} / R_{AC}$ กับค่าความต้านทานจำเพาะของดิน พบว่าสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดินจะมีค่าลดลง เมื่อค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าเพิ่มขึ้นนั่นก็หมายความว่ากรณีที่ค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่า $1.55 < \rho < 100$ โอห์ม-เมตร สัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดินจะมีค่าลดลง (> 1) นั่นแสดงว่าค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์, $R_{AC} < R_{impluse}$ และเมื่อค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่า $\rho > 100$ โอห์ม-เมตร สัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของดินจะมีค่าน้อยกว่า 1 นั่นแสดงว่าค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์, $R_{AC} > R_{impluse}$

ดังนั้นจากผลการทดสอบตรวจวัดสามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบรากสายดิน เพื่อประเมินค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังและค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ โดยพิจารณาที่ค่าความต้านทานจำเพาะดิน เพื่อพิจารณาค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังหรือค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ค่าใดมีค่ามากกว่ากัน ซึ่งในทางปฏิบัติ เราสามารถทำการตรวจวัดค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังได้ โดยใช้เครื่องวัดความต้านทานดิน จากนั้นก็พิจารณาค่าความต้านทานจำเพาะของ

ดินว่ามีค่าน้อยกว่าหรือมากกว่า 100 โอห์ม-เมตร หากค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าน้อยกว่า 100 โอห์ม-เมตร ค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังจะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานดินอิมพัลส์, $R_{AC} < R_{impluse}$ เราต้องใช้ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ของดินเป็นค่าใช้การออกแบบระบบรากสายดิน โดยคำนวณหาได้จากความสัมพันธ์ $R_{impluse} = \alpha R_{AC}$ แต่ถ้าค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่ามากกว่า 100 โอห์ม-เมตร แสดงว่า $R_{AC} > R_{impluse}$ เราก็สามารถใช้ค่าความต้านทานดินที่ความถี่กำลังในการออกแบบระบบรากสายดินได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสาหรับสายส่งหรือระบบสายจาหน่ายไฟฟ้า และระบบการต่อลงดินของอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัยต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2549. **การต่อลงดิน.** กรุงเทพมหานคร: โครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Hileman, A.R. 1999. **Insulation Coordination for Power Systems**, New York: Marcel Dekker.

Jinliang He, Jinpeng, Bo Zhang and Shaofeng Yu. 2012. " Field Testing for Observation off Seasonal Influence on Grounding Device at Impulse Condition." **Proceedings of Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility, APEMC 2012:** 445-448.

Jinliang He, Rong Zeng and Bo Zhang, 2013. **Methodology and Technology for Power System Grounding**. Singapore: John Wiley & Sons Singapore.

Jinliang He, Zeng Rong, Chen Shuiming, Li Siyun and Wu Weihan 1998. "Impulse Characteristics of Grounding Systems of Transmission-Line Towers in the Regions with High Soil Resistivity." **Proceeding of International Conference on Power System Technology, POWERCON '98**: 156-162.

Morshedy, A.El. 2000. **Grounding System**. New York: Marcel Dekker.

Substations Committee. 2015. **IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.** United States of America.: The Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Visacro, S, and Rosado, G. 2009. "Response of Grounding Electrodes to Impulsive Currents: An Experimental Evaluation." **IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility**: 161-164.

William A. Chisholm and Wasyl Janischewskyj, 1989. " Lightning Surge Response of Ground Electrodes." **IEEE Transaction on Power Delivery**: 1329-1337.

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นายสำเริง ฮินท่าไม้

วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2514

สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี

สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 101/908 หมู่ 4 หมู่บ้านซื่อตรง ถนนรัตนาธิเบศร์ ตำบลไทรม้า อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000

ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์

สถานที่ทำงานปัจจุบัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2536	วศ.บ. วิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยศรีปทุม
พ.ศ.2541	วศ.ม. วิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ.2548	วศ.ด. วิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์