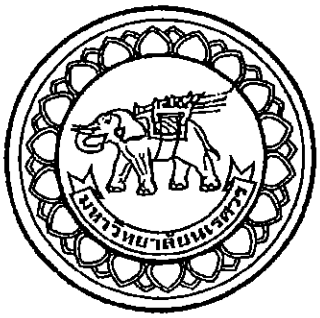


# ระบบสายดิน

# Grounding System


นางสาวกนกอร เงินหล่อ รหัส 40361701

นายณัฐพล กีรติไพบูลย์ รหัส 40362329



ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ ป... 12 6 มิ.ย. 2544
เลขหมู่ วศ 4400/85
เลขที่ กหน้าย่อ ... TK 3224
มหาวิทยาลัยนเรศวร ก 1258 2543

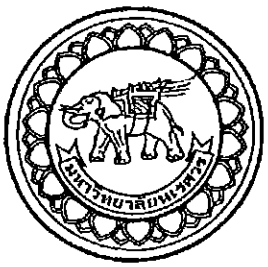
40435558


**โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**

**สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร**

**ปีการศึกษา 2543**



# ระบบสายดิน

## Grounding System


นางสาวกนกอร เงินหล่อ รหัส 40361701

นายณัฐพล กีรติไพบูลย์ รหัส 40362329


**โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**

**สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร**

**ปีการศึกษา 2543**

# ใบรับรองโครงงานวิจัย

หัวข้อโครงงาน : ระบบสายดิน

Performance : Grounding System

ผู้ดำเนินโครงงาน : นางสาวกนกอร เงินหล่อ รหัส 40361701

นายณัฐพล กีรติไพบูลย์ รหัส 40362329

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.วรศักดิ์ นิรัตมนาภรณ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : อ.แคทรียา อัตสูงเนิน

สาขา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิจัย

.....ประธานกรรมการ
(รศ. วรศักดิ์ นิรัตมนาภรณ์)

.....กรรมการ
(อ. สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

.....กรรมการ
( อ. พนัส นัถฤทธิ์ )

หัวข้อโครงงาน : ระบบสายดิน
ผู้ดำเนินโครงงาน : นางสาวกนกอร เงินหล่อ รหัส 40361701
นายณัฐพล กีรติไพบูลย์ รหัส 40362329
อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.วรศักดิ์ นิรัคฆนาภรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : อ.แคทรียา อัดสูงเนิน
สาขา : วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา : 2543

## บทคัดย่อ

โครงงานเรื่องระบบสายดินนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในระบบไฟฟ้า องค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของระบบสายดินคือค่าความต้านทานของดิน เนื่องจากระบบไฟฟ้าโดยทั่วไปมักมีความจำเป็นที่จะต้องต่อระบบสายดินเข้ากับระบบหรือวงจรไฟฟ้า เพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงานใกล้ๆ กับอุปกรณ์นั้นๆ และเพื่อให้ระบบไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพ สำหรับโครงงานนี้ได้ทำการวัดค่าความต้านทานของดินโดยใช้วิธีการใช้แท่งขั้วไฟฟ้า 3 แท่ง และเครื่องมือมีชื่อว่า " Surge Impedance Tester " เลือกวัดในสถานที่ต่างๆ 5 สถานที่ด้วยกันโดยการทดลองวัดค่าความต้านทานของดินในครั้งนี้จะนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการก่อสร้างอาคารของทางมหาวิทยาลัยในครั้งต่อไป

| | |
|---|---|
| Project Title | : Grounding System |
| Name | : Miss Kanokorn Ngernlaw ID. 40361701 |
| | Mr.Nutapol Keratipiboon ID. 40362329 |
| Project Advisor | : Assoc. Prof. Vorrasak Nirukkanaporn |
| Co-Project Advisor | : Miss Cattareeya Adsoongnoen |
| Field of Study | : Electrical Engineering |
| Department | : Electrical and Computer Engineering |
| Academic Year | : 2000 |


.....

## Abstract


Grounding System is very importance in electrical system. One importance factor of grounding system is grounding resistance. Most general electrical system must be connected with the grounding system, because it is safe for persons who work beside equipment or make system stable. The method which have efficiency and confident in this project is fall of voltage. The tool for test grounding resistance is called " Surge Impedance Tester ". In this project we test grounding resistance amount 5 point at the any area of Naresuan University. We can use the value of grounding resistance in this project for construction any building in the university because it can be used for the base detail.

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้จะคืบหน้าไม่ได้ ถ้าหากไม่ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างมากจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. วรศักดิ์ นิรัคมนาภรณ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.แคทรียา อัดสูงเนิน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางในการทำโครงงาน ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมาก ต่อมาขอขอบคุณ อ.มุทิตา สงฆ์จันทร์ ที่กรุณาสละเวลามาเปิด shop ให้กับนิสิตได้ทำงาน ขอบคุณเพื่อนที่ดีทั้งหลาย โดยเฉพาะเพื่อนกวาง และเพื่อนปลา ที่ช่วยพิมพ์รายงานฉบับนี้มิฉะนั้นคงจะไม่เสร็จทันเวลา และสุดท้ายต้องขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่ให้กำลังใจและส่งเสียเล่าเรียน

คุณค่าและประโยชน์อันพึงได้จากโครงงานนี้ ผู้ทำโครงงานขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวกนกอร เงินหล่อ

นายณัฐพล กีรติไพบูลย์

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| ใบรับรองโครงงานวิจัย | ก |
| บทคัดย่อ | ข |
| Abstract | ค |
| กิตติกรรมประกาศ | ง |
| สารบัญ | จ |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูปภาพ | ฌ |
| สารบัญกราฟ | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| บทนำ | 1 |
| วัตถุประสงค์ของโครงการ | 1 |
| ขอบเขตของโครงการ | 2 |
| ขั้นตอนการดำเนินงาน | 2 |
| วัตถุประสงค์ของการต่อลงดิน | 3 |
| ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| งบประมาณที่ใช้ | 3 |
| บทที่ 2 สายดิน | 4 |
| สายดิน | 4 |
| หลักดิน | 8 |
| เครื่องตัดไฟรั่ว | 10 |
| บทที่ 3 ความรู้ทั่วไปและมาตรฐาน | 12 |
| ความรู้ทั่วไปของการต่อลงดิน | 12 |
| การต่อลงดินตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าในประเทศไทย | 17 |
| บทที่ 4 ระบบป้องกันฟ้าผ่า | 35 |
| การป้องกันฟ้าผ่า | 35 |

# สารบัญ(ต่อ)


| | | หน้า |
|---|---|---|
| | สายล่อฟ้าจะป้องกันฟ้าผ่าได้อย่างไร | 35 |
| | ความต้องการการป้องกันฟ้าผ่า | 36 |
| | ระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับอาคาร | 43 |
| | รัศมีการป้องกันของหลักล่อฟ้า | 44 |
| | การติดตั้งสายตัวนำลงดิน | 45 |
| | การติดตั้งหลักสายดิน | 46 |
| | ระบบป้องกันฟ้าผ่าในอาคารสูงแบบ Faraday cage | 46 |
| | หลักล่อฟ้าแนวราบ | 47 |
| | วัสดุที่นำมาใช้ | 47 |
| | การเลือกระดับการป้องกันของระบบป้องกันฟ้าผ่า | 49 |
| | แรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัส | 55 |
| บทที่ 5 | การวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน | 57 |
| | วิธีการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน | 57 |
| | การวัดค่าความต้านทานของดิน | 61 |
| | การคำนวณค่าความต้านทานดิน | 62 |
| บทที่ 6 | การทดลองและการวิเคราะห์ผล | 67 |
| | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของดินกับตัวแปรต่าง ๆ | 69 |
| บทที่ 7 | บทสรุป | 77 |
| | สรุปผลการทดลอง | 77 |
| | ปัญหาและการแก้ไข | 78 |
| | ข้อเสนอแนะ | 78 |
| บรรณานุกรม | | 79 |
| ภาคผนวก | | 80 |
| | ภาคผนวก ก | 81 |
| | ภาคผนวก ข | 85 |

# สารบัญ(ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| ประวัติผู้ทำโครงงาน | 96 |

# สารบัญตาราง


| | | หน้า |
|---|---|---|
| ตารางที่ 1.1 | ขั้นตอนการดำเนินงาน | 2 |
| ตารางที่ 2.1 | ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน | 8 |
| ตารางที่ 3.1 | ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (สำหรับการไฟฟ้านครหลวง) | 31 |
| ตารางที่ 3.2 | ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) | 32 |
| ตารางที่ 4.1 | ความสัมพันธ์ระหว่าง thunder storm days per year และ lighting flashes per km2 per year | 37 |
| ตารางที่ 4.2 | ตัวแปรน้ำหนัก A ( ใช้สำหรับโครงสร้าง ) | 39 |
| ตารางที่ 4.3 | ตัวแปรน้ำหนัก B ( ชนิดของรูปทรง ) | 40 |
| ตารางที่ 4.4 | ตัวแปรน้ำหนัก C ( ผลกระทบต่ออุปกรณ์ภายใน ) | 41 |
| ตารางที่ 4.5 | ตัวแปรน้ำหนัก D ( ระดับของการป้องกัน ) | 41 |
| ตารางที่ 4.6 | ตัวแปรน้ำหนัก E ( ชนิดของภูมิประเทศ ) | 42 |
| ตารางที่ 4.7 | วัสดุประเภทที่ 1 | 48 |
| ตารางที่ 4.8 | วัสดุประเภทที่ 2 | 49 |
| ตารางที่ 4.9 | ตัวอย่างการแบ่งประเภทสิ่งปลูก | 52 |
| ตารางที่ 4.10 | สัมพันธ์ของพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่ากับระดับป้องกัน | 54 |
| ตารางที่ 6.1 | แสดงค่าความต้านทานในแต่ละพื้นที่ | 69 |
| ตารางที่ ก.1 | สัญลักษณ์ประกอบคำอธิบายรูปที่ ก.1 – ก.5 | 82 |

# สารบัญรูปภาพ


หน้า

รูปที่ 2.1 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ต้องมีการต่อสายดิน 4

รูปที่ 2.2 ไฟรั่วก่อนและหลังการต่อลงดิน 6

รูปที่ 2.3 การต่อหลักดินเข้ากับสายต่อหลักดิน 7

รูปที่ 2.4 การติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่ว 9

รูปที่ 3.1 การต่อลงดินของระบบ 3 เฟส 4 สาย (เดลต้าวาย) 17

รูปที่ 3.2 การต่อลงดินของระบบ 3 เฟส 4 สาย 18

รูปที่ 3.3 การต่อลงดินของระบบ 3 เฟส 4 สาย 18

รูปที่ 3.4 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า เมื่อมีหม้อแปลงอยู่ภายนอกอาคาร 19

รูปที่ 3.5 การต่อลงดินเมื่อใช้คัตเอาท์ 20

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการต่อลงดินแบบบริภัณฑ์ขนาดเล็ก เมื่อใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 20

รูปที่ 3.7 แต่ละอาคารต้องมีหลักดิน 21

รูปที่ 3.8 อาคารที่ 2 มีวงจรย่อยชุดเดียวและไม่มีบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ต่อลงดิน 21

รูปที่ 3.9 มีการเดินสายดินไปด้วยและอาคารที่ 2 มีบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน 22

รูปที่ 3.10 การต่อลงดินของระบบจ่ายไฟแยกต่างหาก 22

รูปที่ 3.11 การต่อลงดินกรณีติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และใช้ Transfer Switch ชนิด 4 ขั้ว (เป็นระบบจ่ายไฟแยกต่างหาก) 23

รูปที่ 3.12 การต่อลงดินกรณีติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และใช้ Transfer Switch ชนิด 3 ขั้ว (แบบนี้ไม่ถือเป็นระบบจ่ายไฟแยกต่างหาก) 23

รูปที่ 3.13 การลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่บริภัณฑ์ประธาน กรณีระบบไฟฟ้าต่อลงดิน 26

รูปที่ 3.14 ทางเดินกระแสลัดวงจร เมื่อเดินสายดินไปที่บริภัณฑ์ไฟฟ้า 26

รูปที่ 3.15 ทางเดินกระแสลัดวงจร เมื่อปักหลักดินที่บริภัณฑ์ไฟฟ้า 27

รูปที่ 3.16 การต่อสายดินเข้ากับสายนิวทรัล 27

รูปที่ 3.17 ระบบสายดินของวงจรไฟฟ้า 29

รูปที่ 3.18 ตัวอย่างการต่อลงดินที่บริภัณฑ์ไฟฟ้า สำหรับอาคารชุด 34

# สารบัญรูปภาพ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| รูปที่ 3.19 ตัวอย่างการทำจุดทดสอบการต่อลงดิน | 34 |
| รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงจำนานวันที่มีพายุ ต่อ ปี ทั่วโลก | 38 |
| รูปที่ 4.2 หลักล่อฟ้าแบบต่างๆ และการติดตั้ง | 43 |
| รูปที่ 4.3 จุดการวางหลักล่อฟ้า สำหรับหลังคาจั่ว ระยะ a กำหนดไม่เกิน 25 ฟุต หรือ 7.6 เมตร | 44 |
| รูปที่ 4.4 ลักษณะการวางหลักล่อฟ้า สำหรับอาคารหลังคาราบ ระยะ a ไม่เกิน 25 ฟุต หรือ 7.6 เมตร | 44 |
| รูปที่ 4.5 A เป็นพื้นที่ของหลังคาระดับล่างที่ถูกคุ้มครองโดยหลักล่อฟ้า (1) B เป็นพื้นที่ของหลังคาเกินรัศมีคุ้มครองของหลักล่อฟ้า (1) จึงต้องติดตั้งหลักล่อฟ้า (2) เพิ่มเติม | 45 |
| รูปที่ 4.6 ผังการตอกหลักสายดิน | 46 |
| รูปที่ 4.7 การวางแถบตัวนำบนหลังคาระยะ a ต้องไม่เกิน 18 เมตร | 47 |
| รูปที่ 4.8 แรงดันสัมผัสและแรงดันระยะก้าว | 56 |
| รูปที่ 5.1 ลักษณะของการปักแท่งขั้วไฟฟ้าในการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินของวิธีการของ wenner | 57 |
| รูปที่ 5.2 ลักษณะของการปักแท่งขั้วไฟฟ้าในการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินของวิธีการของ Schlumberger | 58 |
| รูปที่ 5.3 ลักษณะการปักแท่งขั้วไฟฟ้าของบริดจ์มิเตอร์วัดค่าความต้านทานแผ่กระจายของดิน Ra | 59 |
| รูปที่ 5.4 Ground rod จำนวน 1 แท่ง | 62 |
| รูปที่ 5.5 Ground rod จำนวน 2 แท่ง | 62 |
| รูปที่ 5.6 Ground rod จำนวน 3 แท่ง | 63 |
| รูปที่ 5.7 Ground rod จำนวน 4 แท่ง | 63 |
| รูปที่ 5.8 Ground rod จำนวน 5 แท่ง | 64 |
| รูปที่ 5.9 การต่อลงดินด้วยการฝังแท่งตัวนำ | 65 |

# สารบัญรูปภาพ (ต่อ)


หน้า

รูปที่ 5.10 การต่อลงดินด้วยการฝังแถบตัวนำ 65

รูปที่ 5.11 การต่อลงดินด้วยการฝังแผ่น plate วงรีใกล้ ๆ ผิวดิน 66

รูปที่ 6.1 เครื่องวัดความต้านทาน " Surge Impedance Tester " 67

รูปที่ ก.1 ระบบ TN-S 82

รูปที่ ก.2 ระบบ TN-C-S ตัวนำศูนย์และตัวนำป้องกันรวมกันเป็นตัวนำชุดเดียว ในส่วนหนึ่งของระบบ 82

รูปที่ ก.3 ระบบ TN-S ตัวนำศูนย์และตัวนำดินร่วมกันเป็นชุดเดียวกันในทั้งระบบ 83

รูปที่ ก.4 ระบบ TT 83

รูปที่ ก.5 ระบบ IT 84

รูปที่ ข.1 แท่งสายดินแบบวงแหวน ใช้ตัวนำแบบแบน มีความหนา b 86

รูปที่ ข.2 ค่าความต้านทานแผ่กระจายของแท่งสายดินแบบเส้น และแบบวงแหวน d = 2 cm 86

รูปที่ ข.3 ค่าความต้านทานแผ่กระจายของดินสำหรับแท่งสายดินแบบแฉก 4 แฉก d = 2 cm 87

รูปที่ ข.4 ลักษณะของแท่งสายดินแบบตาข่ายมีความกว้าง b ความยาว l และแต่ละช่องตาข่าย กว้าง a 88

รูปที่ ข.5 ค่าความต้านทานแผ่กระจายของดิน Ra เมื่อใช้แท่งสายดินแบบแท่งขึ้นอยู่กับความลึกของแท่งสายดิน L และค่าความต้านทานจำเพาะของดิน $\rho e$ คงตัว 91

รูปที่ ข.6 สัดส่วนค่าความต้านทานแผ่กระจาย K ของการขนานแท่งสายดินแบบแท่ง ก. แท่งสายดิน 2 แท่งขนานกัน 92

รูปที่ ข.7 สัดส่วนค่าความต้านทานแผ่กระจาย K ของการขนานแท่งสายดินแบบแท่ง ข. แท่งสายดิน 4 แท่งขนานกัน 93

รูปที่ ข.8 การต้านทานการแผ่กระจายของดินได้จากแท่งสายดินรูปสี่เหลี่ยมต่อเชื่อมกับแท่งสายดินแบบเส้นและต่อร่วมกันกับแท่งสายดินแบบแท่ง 94

รูปที่ ข.9 ค่าความต้านทานแบบแผ่กระจายของแท่งสายดินแบบ 4 แฉก ต่อร่วมกับแท่งสายดินแบบแท่งมีความยาว 5 เมตร 95

# สารบัญกราฟ


หน้า

กราฟที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของดินกับแท่ง ground rod 72

กราฟที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของดินกับความลึกของ ground rod 74

กราฟที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของดินกับระยะห่างของแท่ง ground rod 76

# บทที่ 1
# บทนำ

## บทนำ

ปัจจุบันไฟฟ้าเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมนุษย์มากขึ้น ซึ่งไฟฟ้าให้ประโยชน์แก่มนุษย์มากมาย แต่ในขณะเดียวกันหากไม่ระมัดระวังในการใช้แล้ว อันตรายร้ายแรงสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันความปลอดภัยแก่มนุษย์และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ มนุษย์จึงใช้พื้นดินเป็นเส้นทางให้กระแสลัดวงจรหรือกระแสผิดปกติ (Ground Fault Current) ไหลกลับเข้าสู่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสลัดวงจรสามารถไหลได้ครบวงจรอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ หรืออุปกรณ์ตัดตอนไฟฟ้าต่างๆก็จะสามารถตรวจความผิดปกติได้ และสั่งการให้ตรวจตัดวงจรที่ผิดปกตินั้นออกเพื่อป้องกันอันตราย

## วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยเริ่มมีการคำนึงถึงความปลอดภัยในการทำงานทางไฟฟ้ามากขึ้น ดังจะเห็นได้จากการที่การไฟฟ้านครหลวงได้ออกกฎบังคับให้ผู้ขอใช้ไฟฟ้าทุกประเภทหลังวันที่ 1 สิงหาคม 2539 จะต้องมีการเดินสายไฟให้มีการต่อลงดิน รวมทั้งเต้ารับทุกตัวให้เป็นชนิดที่มีขั้วสายดิน เช่น เต้ารับที่มี 3 รู เป็นต้น และสำหรับผู้ที่ขอเพิ่มกำลังไฟฟ้ากำหนดให้ต้องมีการต่อลงดินที่เมนสวิตซ์หรือที่แผงสวิตซ์รวมเป็นอย่างน้อย ซึ่งถึงแม้ว่าในปัจจุบันมีผลบังคับใช้เฉพาะในเขตปริมณฑลฯ แต่ก็มีแนวโน้มที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอาจจะนำมาบังคับกับส่วนภูมิภาคในอนาคต ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและติดตั้งระบบสายดิน จึงได้มีการจัดทำโครงงานนี้ขึ้น

วัตถุประสงค์ของโครงงานสามารถจำแนกได้เป็นข้อๆ ดังนี้

1. เพื่อศึกษาถึงระบบสายดิน
2. เพื่อรวบรวมมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการต่อลงดิน
3. เพื่อทำการรวบรวมสูตรการหาความต้านทานของระบบสายดินที่ใช้แท่งสายดินแบบต่างๆ

## ขอบเขตของโครงงาน

ขอบเขตของโครงงานจะเป็นการศึกษารูปแบบของการต่อลงดิน โดยเน้นรูปแบบการต่อลงดินแบบโดยตรง (Solidly Grounding) เนื่องจากเป็นรูปแบบที่นิยมใช้ในประเทศไทยและทำการรวบรวมมาตรฐานต่างๆ เกี่ยวกับการต่อลงดิน และนำสูตรการหาความต้านทานของดินรูปแบบต่างๆ มาศึกษาและทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณ

## ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

| กิจกรรม | เดือน-ปี | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | มี.ค.43 | เม.ย.43 | พ.ค.43 | มิ.ย.43 | ก.ค.43 | ส.ค.43 | ก.ย.43 | ต.ค.43 |
| 1.ศึกษาระบบสายดิน | ← | → | | | | | | |
| 2. ศึกษาการต่อลงดินแบบโดยตรง | | ← | → | | | | | |
| 3.ศึกษามาตรฐานต่าง ๆ และ ทฤษฎีการหาค่าความต้านทานของดิน | | ← | → | | | | | |
| 4.จัดทำรายงาน ยื่นแบบแสดงจำนงขอสอบโครงงาน และสอบโครงงาน | | | | ← | → | | | |
| 5.สร้างแบบจำลองของการวัดระบบการต่อลงดิน | | | | | ← | → | | |
| 6.เลือกสถานที่ทำการทดลอง | | | | | | ← | → | |
| 7.วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง จัดทำรูปเล่มสอบโครงงาน และส่งรายงานจริง | | | | | | | ← | → |

## วัตถุประสงค์ของการต่อลงดิน

ก. เพื่อประโยชน์ในด้านความปลอดภัย และการป้องกันอันตรายมิให้เกิดขึ้นกับคนหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ

ข. ป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องมือต่างๆ มิให้ชำรุดเมื่อเกิดความผิดปกติ (Electric Fault) ในระบบ

ค. เพื่อกำจัดแรงดันไฟฟ้าสูงเกินขนาด (Over Voltage)

ง. ทำให้มีความมั่นคงและความสม่ำเสมอในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า

จ. เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรลงดิน (Ground Fault) ขึ้นในระบบพลังงานไฟฟ้า รีเลย์ที่สถานีควบคุมการจ่ายไฟจะได้ตรวจพบและทำงานได้ผลดียิ่งขึ้น

## ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงการทำงานของระบบสายดิน
2. ทำให้ทราบค่าความต้านทานของระบบสายดินในรูปแบบต่าง ๆ ได้
3. ทำให้ทราบถึงมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการต่อลงดินได้

## งบประมาณที่ใช้

ค่าวัสดุอุปกรณ์ รวม 2,000 บาท

# บทที่ 2
# สายดิน

## สายดิน

1. สายดินคืออะไร

สายดิน คือ สายไฟเส้นที่มีไว้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อการใช้ไฟฟ้า ปลายด้านหนึ่งของสายดินจะต้องมีการต่อลงดิน ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับวัตถุหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการให้มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์เท่ากับพื้นดิน

2. ทำไมจึงต้องมีสายดิน

- สายดินช่วยป้องกันไม่ให้มีผู้ถูกไฟดูด เมื่อมีไฟรั่วจากเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยไฟฟ้าที่รั่วไหลลงดินผ่านทางสายดินแทนที่จะไหลผ่านร่างกาย
- เมื่อมีไฟรั่วสายดินจะช่วยให้เครื่องตัดกระแสไฟฟ้าอัตโนมัติตัดไฟออกทันที
- เครื่องใช้ไฟฟ้าบางประเภทหากไม่มีสายดินอาจทำงานได้ไม่สมบูรณ์ หรือชำรุดได้ง่าย เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์สื่อสารเป็นต้น

3. การติดตั้งระบบไฟที่มีสายดินจะมีประโยชน์อย่างไรในเมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าในท้องตลาดไม่มีสายดิน

คำถามดังกล่าวมักเกิดจากความเข้าใจผิดที่ว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดต้องมีสายดินเสมอ และเครื่องใช้ที่มีสายดินจะต้องใช้ปลั๊กไฟที่มีขา 3 ขาเท่านั้น ซึ่งจะขอทำความเข้าใจที่ถูกต้องเสียใหม่ ดังนี้

- เครื่องใช้ไฟฟ้าในท้องตลาดไม่จำเป็นต้องมีสายดินทั้งหมด มีบางประเภทเท่านั้นที่ต้องมีสายดิน
- ปลั๊กไฟที่มี 3 ขา นั้นเป็นเพียงรูปแบบหนึ่งของปลั๊กไฟที่มีสายดินแบบหนึ่งเท่านั้น ปลั๊ก 2 ขาแบบกลมที่มีสายดิน ก็มีอยู่มากมายในเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีในท้องตลาด เช่น ปลั๊กเตารีด เครื่องโทรสาร เครื่องซักผ้า เป็นต้น แต่ผู้ซื้อ / ผู้ใช้อาจไม่เข้าใจ จึงคิดว่าไม่มีสายดิน
- เครื่องใช้ที่จำเป็นต้องมีสายดินแต่ไม่มีสายดินถือว่าเป็นเครื่องใช้ที่มิได้มาตรฐานสากล ถือว่าไม่ปลอดภัยและไม่สมควรซื้อมาใช้งาน
- การติดตั้งระบบไฟที่มีสายดินตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงจะอำนวยความสะดวกให้สามารถใช้เครื่องไฟฟ้าที่จำเป็นต้องมีสายดินอย่างถูกต้องและปลอดภัย การเพิ่มเติมปรับ

ปรุงระบบไฟให้มีสายดินในภายหลังนั้นจะมีค่าใช้จ่ายสูงและไม่อาจทำได้โดยง่าย รวมทั้งไม่สวยงามอีกด้วย

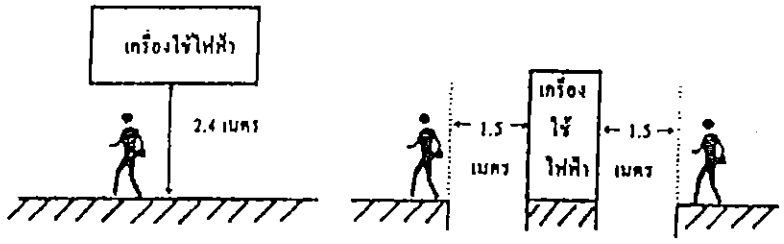
4. เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดใดจำเป็น / ไม่จำเป็น ต้องมีสายดิน

เครื่องใช้ไฟฟ้าที่จำเป็นต้องมีสายดิน ได้แก่ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มักมีไฟรั่วได้ง่าย มีส่วนภายนอกที่เป็นโลหะหรือเกี่ยวข้องกับน้ำ หรือความร้อน เช่น เตารีด ตู้เย็น เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว เครื่องปรับอากาศ กะทะไฟฟ้า ตู้แช่ เตาไฟฟ้า เตาไมโครเวฟ กระติกน้ำร้อน เครื่องทำน้ำร้อน / น้ำอุ่น เครื่องปิ้งขนมปัง เป็นต้น เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทนี้ เรียกว่าเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1

เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นต้องมีสายดิน ได้แก่เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการหุ้มด้วยฉนวนไฟฟ้าที่มีความหนาเป็น 2 เท่าของเครื่องใช้ฯ ที่ต้องมีสายดิน จึงมักเรียกว่าเป็น เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภท 2 หรือประเภทฉนวน 2 ชั้น โดยมีสัญลักษณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสซ้อนกัน 2 ชั้น ปรากฏอยู่บริเวณหน้าปัทม์ของเครื่อง ▣ บางครั้งก็มีสัญลักษณ์ ⧈ ตัวอย่างของเครื่องใช้ไฟฟ้าอีกประเภทนี้ ได้แก่ วิทยุ โทรทัศน์ พัดลม เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีเครื่อง ใช้ไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งที่ไม่ต้องมีสายดินได้แก่ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่แรงดันไม่เกิน 50 โวลต์ เช่น เครื่องโกนหนวดไฟฟ้า ประเภทนี้เรียกว่า เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภท 3 โดยมีสัญลักษณ์ ⧋

5. ดวงไฟฟ้าและอุปกรณ์ติดตั้งทางไฟฟ้า ต้องต่อสายดินด้วยหรือไม่

ดวงโคมไฟฟ้าแต่ละอุปกรณ์ติดตั้งทางไฟฟ้า เช่น รางโลหะ ท่อโลหะ หากอยู่ในระยะที่บุคคลทั่วไปสามารถสัมผัสหรือจับต้องได้ ต้องมีการต่อสายดินด้วย ยกเว้นว่าจะอยู่เกินระยะที่เอื้อมถึงก็ไม่ต้องมีสายดินดังรูปที่ 2.1 (เกินระยะความสูง 2.4 เมตร ในแนวดิ่งหรือเกินระยะ1.5 เมตร ในแนวราบ) อย่างไรก็ตามต้องไม่มีส่วนที่มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าลงมาอยู่ในระยะที่บุคคลทั่วไปสามารถสัมผัสได้ด้วย เช่น กรณีดวงโคมอยู่กับโครงเหล็กที่ต่อเนื่องลงมา เป็นต้น ก็ต้องต่อโครงเหล็กลงสายดินด้วย




รูปที่ 2.1 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ต้องมีการต่อสายดิน

6. เราจะตรวจสอบได้อย่างไรว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีอยู่ไม่ปลอดภัยหรือต้องมีสายดิน

หากเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภท 1 ตามที่กล่าวมาแล้วควรติดตั้งสายดินทุกเครื่อง ไม่ว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทใด จะมีสายดินอยู่แล้วหรือไม่ ให้ทดลองเสียบปลั๊กเปิดเครื่องฯ แล้วทดสอบด้วยไขควงลองไฟกับส่วนที่เป็นโลหะ จากนั้นกลับขั้วปลั๊กแล้วทดสอบอีกครั้ง หากมีไฟรั่วไม่ว่ากรณีใด (มีไฟแดงที่ไขควง) จะถือว่าไม่ปลอดภัย และต้องมีการแก้ไขปรับปรุงให้มีสายดินหรือ ไม่ให้มีไฟรั่วเกิดขึ้น

7. สัญลักษณ์และสีของสายดิน

- เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องมีสายดินจะมีสัญลักษณ์ ⏚ ไว้ที่ตัวเครื่องบริเวณตำแหน่งที่ต้องใช้ต่อสายดิน บางครั้งก็จะมีสีเขียวแต้มอยู่ด้วย
- สีที่ใช้สำหรับสายไฟเส้นที่เป็นสายดิน จะใช้ฉนวนที่เป็นสีเขียวหรือเป็นแถบสีเหลืองสลับกับแถบสีเขียว (เส้นไฟ = สีดำ ,เส้นศูนย์ = สีเทา)

8. เราจะทำสายดินให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ผู้ผลิตมิได้ ต่อสายดินไว้ด้วยตนเองได้หรือไม่

- ควรปรึกษาผู้ผลิต หรือช่างที่ชำนาญและมีเครื่องมือทดสอบเป็นการเฉพาะซึ่งจะต้องทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล เช่น
  - ทดสอบความต่อเนื่องคงทนของสายดินกับจุดต่อสายดิน ในขณะที่มีกระแสลัดวงจรลงสายดิน
  - ทดสอบระดับฉนวนระหว่างสายดินกับสายศูนย์และสายเส้นที่มีไฟ
  - ขนาดของสายดินที่ใช้ต้องมีขนาดมาตรฐาน
  - ปลั๊กที่ใช้กับเต้ารับต้องเป็นมาตรฐานเดียวกัน และต่อขั้วให้ถูกต้องตามมาตรฐานนั้น
- ถ้าเป็นเครื่องใช้ประเภท 2 หรือ 3ก็ไม่ต้องต่อสายดิน ยกเว้นว่าจะมีไฟรั่ว ซึ่งต้องมีการซ่อมแก้ไข
- ถ้าต่อสายดินในเครื่องจากผู้ผลิตแล้วขาดเพียงแต่หัวปลั๊กไฟ ก็ให้ใช้ชนิดเดียวกันกับเต้ารับ พร้อมต่อขั้วให้ถูกต้อง

9. เราจะต่อสายดินของเครื่องใช้ไฟฟ้าให้ลงดินอย่างถูกต้องได้อย่างไร

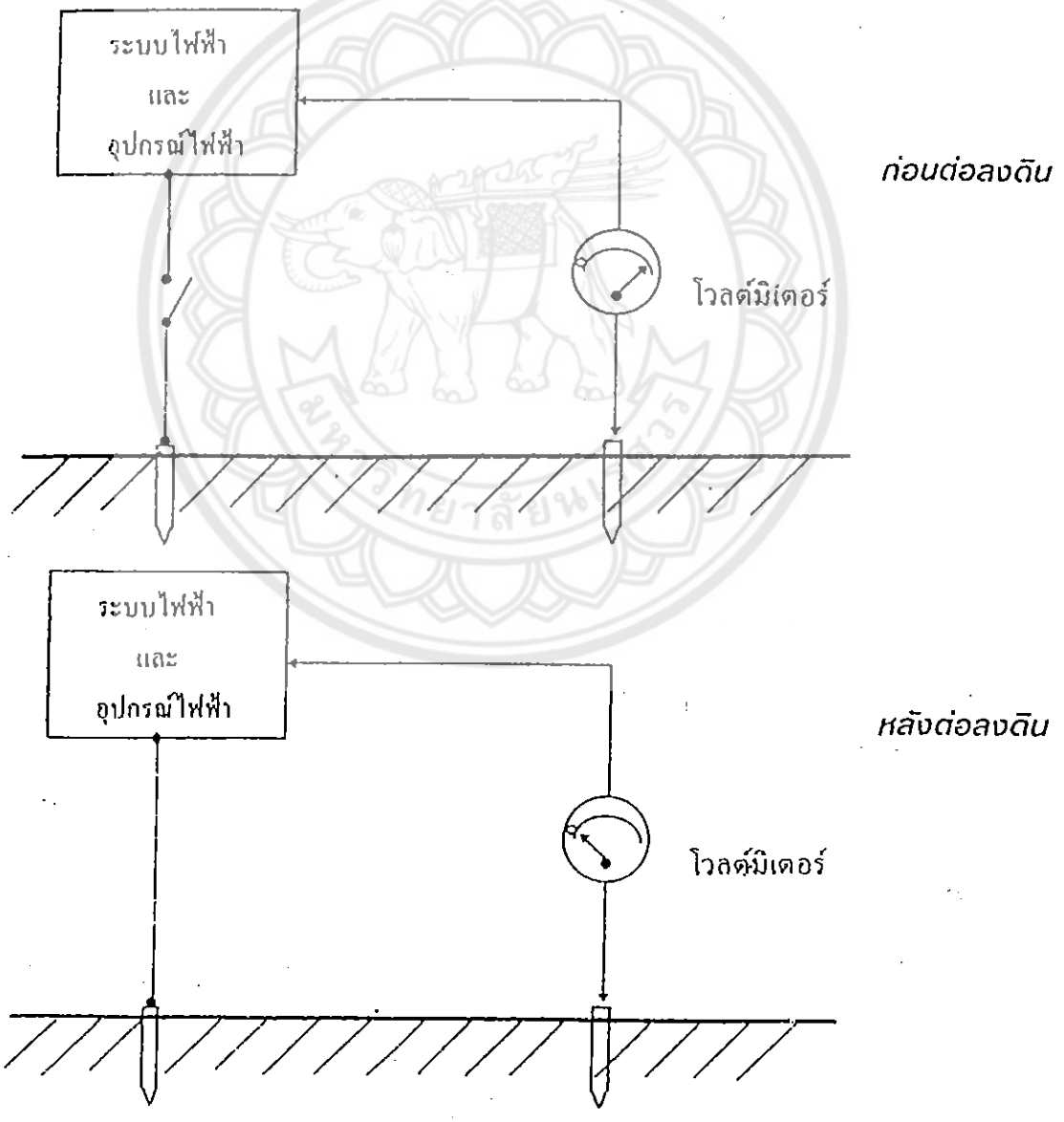
วิธีต่อสายดินให้ลงดินอย่างถูกต้องและปลอดภัย จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง โดยจะขออธิบายโดยย่อดังนี้

- สายดินของเครื่องใช้ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ติดตั้งทางไฟฟ้าทั้งหมดจะต้องเดินมารวมกันที่ขั้วต่อสายดินภายในตู้เมนสวิตซ์

- ขั้วต่อสายดินจะต้องต่อเข้ากับเส้นศูนย์ (เส้นที่ไม่มีไฟ) ทางด้านไฟเข้าของเมนสวิตช์ (ยกเว้นห้องชุดของอาคารชุดที่สายดินต้องต่อเข้ากับสายดินของอาคารชุด)
- ต่อสายจากขั้วต่อสายดิน ไปลงดินที่แท่งโลหะเรียกว่า " หลักดิน" ด้วยสายที่เรียกว่า "สายต่อหลักดิน"
- สายไฟที่ใช้เป็นสายดินหรือใช้ติดต่อกับอุปกรณ์สายดินทั้งหลายต้องมีขนาดเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง

10. การติดตั้งระบบสายดิน มีค่าใช้จ่ายสูงเท่าใด

ค่าใช้จ่ายจะสูงขึ้นประมาณ 10-20 % ของค่าใช้จ่ายการติดตั้งทางไฟฟ้าทั้งหมด




รูปที่ 2.2 ไฟรั่วก่อน และหลังการต่อลงดิน

## หลักดิน

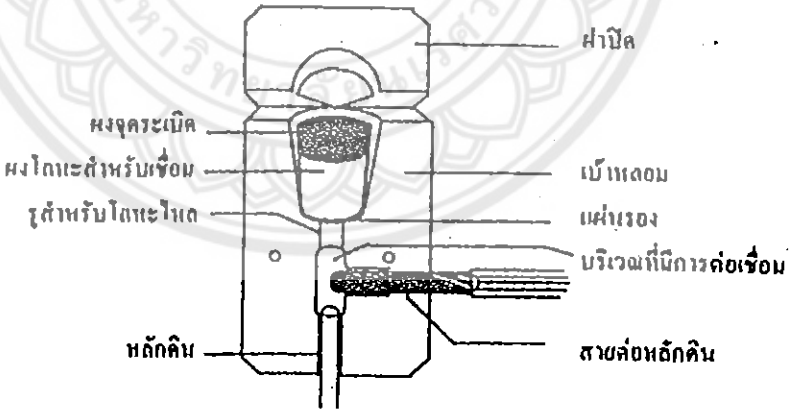
1. หลักดินมาตรฐานต้องมีลักษณะอย่างไร

- ทำด้วยโลหะที่ไม่เป็นสนิมหรือไม่ผุกร่อน เช่น แท่งทองแดง หรือแท่งเหล็กชุบหรือหุ้มด้วยทองแดง มีขนาดไม่ต่ำกว่า 5/8 นิ้ว และยาว 2.40 เมตร
- หากเป็นเหล็กชุบหรือหุ้มด้วยทองแดงต้องมีความหนาทองแดงไม่ต่ำกว่า 0.25 มม. และต้องหุ้มอย่างแนบสนิทเป็นเนื้อเดียวกันโดยไม่ล่อนหรือหลุดออกจากเหล็ก และไม่มีส่วนของเนื้อเหล็กโผล่ให้เห็น ซึ่งต้องผ่านการทดสอบมาตรฐาน UL – 467
- ห้ามใช้อลูมิเนียม หรือโลหะผสมของอลูมิเนียมเป็นหลักดิน

2. ตำแหน่งและสภาพพื้นดินที่ใช้ปักหลักดินควรเป็นอย่างไร

- ตำแหน่งหลักดิน ไม่ควรอยู่ใกลตู้เมนสวิตซ์มากนัก
- พื้นดินที่ใช้ปักหลักดินที่ดีควรเป็นดินแท้ๆ ที่ไม่มีทรายหรือหินปนอยู่และไม่ควรมีอุปสรรค เช่น เสา ผนัง หรือแผ่นคอนกรีตในดินขวางกั้นการแพร่กระจายของประจุไฟฟ้าในดิน
- สภาพดินที่ชื้นจะดีกว่าดินที่แห้ง แต่ต้องไม่มีน้ำท่วมขัง
- หากสภาพดินไม่อำนวยอาจใช้หลักดินมากกว่า 1 แท่ง และปักห่างกันเท่ากับความยาวของหลักดินแล้วต่อเชื่อมให้ถึงกัน

3. จะต่อสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดินอย่างไร




รูปที่ 2.3 การต่อหลักดินเข้ากับสายต่อหลักดิน

- วิธีที่ดีที่สุดคือ ใช้หัวต่อชนิดเผาให้หลอมละลาย (Exothermic welding) ซึ่งจะเชื่อมสายต่อหลักดินและหลักดินเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน
- อาจใช้หัวต่อชนิดที่ยึดด้วยแรงกล เช่น
  - หัวต่อชนิดขันน็อต (แบบแคลมป์)
  - หัวต่อแบบลิ่ม ( Wedge)

- ขนาดและชนิดของหัวต่อต้องสอดคล้องกับขนาด และชนิดของหลักดินและสายต่อหลักดินที่ใช้ มิฉะนั้นจะต่อไม่แน่นและมีปัญหาผุกร่อนทีหลัง

4. การตอกหลักดินควรตอกให้ลึกเท่าใด

- ควรตอกให้ลึกที่สุดเท่าที่จะลึกได้ ซึ่งหลักดินมาตรฐาน 2.40 เมตร ก็ควรตอกให้ลึก 2.40 เมตร
- ถ้าใช้หัวต่อหลักดินชนิดยึดด้วยแรงกล ควรให้หัวโผล่พ้นดินจากระดับที่น้ำจะท่วมถึง เพื่อหลีกเลี่ยงการผุกร่อนบริเวณหัวต่อ และควรให้สามารถตรวจสอบหัวต่อได้ง่ายด้วย (เป็นบ่อมีฝาปิด)
- ถ้าใช้หัวต่อชนิดเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกันสามารถตอกให้หัวจมดินได้แต่ต้องใช้สายต่อหลักดินเส้นใหญ่ที่หุ้มฉนวนมิดชิดเพื่อไม่ให้สายผุกร่อนได้ง่าย

5. ความต้านทานของหลักดินควรมีค่าเท่าใด

- ความต้านทานการต่อลงดินของหลักดินควรมีค่าต่ำที่สุด และไม่เกิน 5 โอห์ม
- สภาพพื้นดินในเขตบริการของ กฟน. นั้น หากใช้หลักดินมาตรฐานและไม่มีอุปสรรคในดินแล้วจะมีความต้านทานการต่อลงดินไม่เกิน 5 โอห์มเสมอ

6. สายต่อหลักดินควรมีขนาดเท่าใด

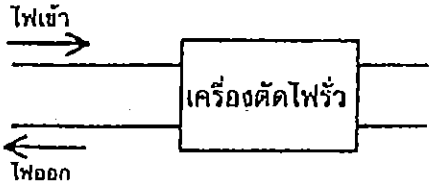
ขนาดของสายต่อหลักดินต้องทนกระแสลัดวงจรได้โดยมีขนาดดังตารางที่ 2.1 และขนาดเล็กที่สุดต้องไม่ต่ำกว่า 10 ตร.มม. สายต่อหลักดินต้องมีท่อหรือฉนวนหุ้มอยู่ด้วย

ตารางที่ 2.1 ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน

| ขนาดสายเมนเข้าอาคาร (ตร.มม.) | ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน (ตร.มม.) |
|---|---|
| ไม่เกิน 35 | 10(ควรเดินในท่อ) |
| เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50 | 16 |
| เกิน 50 แต่ไม่เกิน 95 | 25 |
| เกิน 95 แต่ไม่เกิน 185 | 35 |
| เกิน 185 แต่ไม่เกิน 300 | 50 |
| เกิน 300 แต่ไม่เกิน 500 | 70 |
| เกิน 500 | 95 |

## เครื่องตัดไฟรั่ว (RCD)

1. เครื่องตัดไฟรั่ว คืออะไร




รูปที่ 2.4 การติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่ว

- เครื่องตัดไฟรั่วหรือที่รู้จักกันว่า"เครื่องกันไฟดูด" นั้นคือ เครื่องตัดไฟฟ้าอัตโนมัติที่จะทำงานตัดไฟเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าและกลับออกจากเครื่องฯ มีค่าไม่เท่ากัน (นั่นคือ มีกระแสไฟฟ้าบางส่วนรั่วหายไป)

2. เครื่องตัดไฟรั่วมีประโยชน์อย่างไร
   - ใช้สำหรับตัดไฟเมื่อไฟรั่วเกิดขึ้นกับวงจรไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า (ป้องกันอัคคีภัย)
   - ใช้สำหรับตัดไฟเมื่อมีไฟรั่วไหลผ่านร่างกาย (ป้องกันไฟดูด)
3. เครื่องตัดไฟรั่วมีกี่ประเภท อะไรบ้าง
   - เครื่องตัดไฟรั่วมีอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการทำงานในที่นี้จะกำหนดเป็นประเภทใหญ่ๆ 2 ประเภทคือ
     1. เครื่องตัดไฟรั่วชนิดที่สามารถตัดกระแสลัดวงจรได้ (RCBO)
     - เครื่องชนิดนี้สามารถใช้งานได้โดยอิสระตัดได้ทั้งไฟรั่วและกระแสลัดวงจร
     2. เครื่องตัดไฟรั่วชนิดที่ไม่สามารถตัดกระแสลัดวงจรได้ (RCCB)
     - ต้องใช้ร่วมกับฟิวส์หรือเครื่องตัดกระแสลัดวงจรช่วยเสริมในกรณีที่ต้องตัดกระแสลัดวงจรด้วย
4. เครื่องตัดไฟรั่วกับสายดินอย่างไหนดีกว่ากัน
   - สายดิน เป็นความจำเป็นอันดับแรกที่ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องมีสำหรับป้องกันไฟฟ้าดูด เพื่อให้กระแสไฟฟ้ารั่วไหลลงสายดินโดยไม่ผ่านร่างกาย (ไฟไม่ดูด)
   - เครื่องตัดไฟรั่ว เมื่อใช้กับระบบไฟที่มีสายดินจะเป็นมาตรการเสริม เพื่อให้มีการตัดไฟรั่วก่อนที่จะเป็นอันตรายกับระบบไฟฟ้าหรือกับมนุษย์
   - เครื่องตัดไฟรั่ว ในระบบไฟที่ไม่มีสายดิน จะทำงานก็ต่อเมื่อมีไฟรั่วผ่านร่างกายแล้ว (ต้องถูกไฟดูดก่อน) ดังนั้นความปลอดภัยจึงขึ้นอยู่กับความไวในการตัดกระแสไฟฟ้า

- ระบบไฟฟ้าที่ดีจึงต้องมีทั้งระบบสายดินและเครื่องตัดไฟรั่ว เพื่อความปลอดภัยทั้งจากอัคคีภัยและการถูกไฟดูด

5. เครื่องตัดไฟรั่วชนิดที่ใช้สำหรับป้องกันไฟดูด ควรมีคุณสมบัติอย่างไร และใช้งานอย่างไร

- ขนาดกระแสไฟฟ้ารั่วที่กำหนด ต้องไม่เกิน 30 mA (มิลลิแอมป์)
- ระยะเวลาในการตัดกระแสไฟรั่ว ต้องไม่เกิน 0.04 วินาทีที่ไฟรั่ว 5 เท่า
- เครื่องตัดไฟรั่ว ต้องไม่ตัดไฟเมื่อมีไฟรั่วเพียงครึ่งหนึ่ง
- ควรติดตั้งเพื่อใช้ป้องกันอันตรายเฉพาะจุด ไม่ควรติดตั้งไว้ที่เมนสวิตช์ เช่น ให้ติดตั้งใน
  - วงจรเต้ารับที่เดินสายไฟไปใช้งานภายนอก
  - วงจรเต้ารับที่ใช้ในห้องครัว/ห้องน้ำ/ห้องที่มีเด็กๆ
  - วงจรย่อยที่ต้องการความปลอดภัยอื่นๆ

6. เครื่องตัดไฟรั่วชนิดที่ป้องกันอัคคีภัย ควรเลือกใช้งานอย่างไร

- ควรเลือกใช้ขนาด 100 mA หรือ 300 mA หากมีกระแสไฟรั่วโดยธรรมชาติมากอาจใช้ขนาด 500 mA ก็ได้
- การติดตั้งให้ติดตั้งไว้ที่แผงรวมหรือเมนสวิตช์ ควรเลือกชนิดที่มีการหน่วงเวลา (Type S) หากมีการใช้ร่วมกันกับพวกขนาด 30 mA ในวงจรย่อยเพื่อหลีกเลี่ยงการทำงานพร้อมกันทั้ง 2 ตัว

7. ทำไมเครื่องตัดไฟรั่วจึงมักตัดไฟบ่อย มีข้อแนะนำแก้ไขอย่างไร

- เครื่องตัดไฟรั่วตัดไฟบ่อยมักมีสาเหตุดังนี้
  - มีการชำรุด หรือไฟรั่วเกิดขึ้นจริงๆซึ่งต้องมีการตรวจสอบแก้ไข
  - เกิดจากฝนตก ฟ้าคะนอง หรือเมื่อมีการเปิด-ปิดสวิตช์ของเครื่องใช้ไฟฟ้า
- ข้อแนะนำสำหรับการแก้ไข
  - แยกประเภทอุปกรณ์ หรือวงจรไฟฟ้าที่มีไฟรั่วโดยธรรมชาติที่มีค่าค่อนข้างสูงออกเป็นหลายวงจร เพื่อใช้เครื่องตัดไฟรั่วในแต่ละวงจรซึ่งแต่ละวงจรไม่ควรมีค่าไฟรั่วโดยธรรมชาติเกินกว่า 10 mA ตัวอย่างอุปกรณ์ที่มีไฟรั่วมาก เช่น อุปกรณ์ที่มีมอเตอร์ เครื่องปรับอากาศ ตัวเก็บประจุ อุปกรณ์หรือการเดินสายไฟที่เปียกน้ำเป็นต้น
  - เปลี่ยนเครื่องตัดไฟรั่วขนาด 30 mA ให้ไปใช้กับวงจรย่อยส่วนที่แผงรวมให้ใช้ขนาด 100 mA หรือ 300 mA ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณไฟรั่วของวงจร

# บทที่ 3
# ความรู้ทั่วไปและมาตรฐาน

## ความรู้ทั่วไปของการต่อลงดิน

1. ต่อลงดินคืออะไร

การต่อลงดิน คือ การใช้ตัวนำต่อระหว่างวงจรไฟฟ้าหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า กับพื้นโลกหรือตัวนำอื่นที่มีขนาดใหญ่จนรับหน้าที่แทนโลกได้

การต่อลงดิน เป็นเพียงการต่อจุดเดียวหรือสายของระบบไฟฟ้าเพียงเฟสเดียว ในสภาวะปกติจึงไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลสู่ดินเนื่องจากไม่ครบวงจร

2. ต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย กำหนดให้ระบบไฟฟ้าต้องมีการต่อลงดิน และบริภัณฑ์ประธานที่มีขนาดกระแสเกิน 1,000 แอมแปร์ ต้องมีการติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน (Ground Fault Protection) เมื่อเกิดไฟฟ้ารั่วลงดิน เครื่องป้องกันกระแสเกินจะทำงานปลดวงจร ต้องทำการซ่อมแซมให้ดีเสียก่อนจึงจะใช้งานต่อไปได้ จึงเกิดคำถามว่า"ระบบไฟฟ้าต่อลงดิน กับไม่ต่อลงดินอย่างไหนดีกว่ากัน" เพราะหากอุตสาหกรรมขนาดใหญ่บางประเภทต้องหยุดงานแม้ในช่วงระยะเวลาอันสั้นอาจต้องเสียหายเป็นอันมาก

3. ระบบไฟฟ้าแบบต่างๆ

วิธีการต่อลงดินหรือไม่ต่อลงดินอาจต่อได้หลายแบบ แต่ละแบบจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป คงจะหาแบบที่ดีไปเสียทุกอย่างโดยไม่มีข้อเสียเลยไม่ได้ ในการใช้งานจึงควรเลือกแบบที่ให้ผลดีมากที่สุด ต่อไปนี้จะลองพิจารณาเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบไฟฟ้าบางระบบ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการเลือกใช้ระบบไฟฟ้าดังนี้

3.1 ระบบวายมีการต่อลงดินโดยตรง (Solid Grounded Wye)

ระบบนี้จะเป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย เส้นนิวทรัลต่อลงดินโดยตรง ไม่มีอิมพีแดนซ์ (แต่อาจมีได้โดยไม่จงใจ) ต่อระหว่างสายนิวทรัลกับสายดิน กรณีที่การใช้งานต้องใช้ไฟจากเส้นนิวทรัลด้วยอาจเนื่องจากผลทางแรงดันไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้ระบบนี้ แต่สายนิวทรัลอาจไม่ใช้งานก็ได้ ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย กำหนดให้สายนิวทรัลนี้ต้องเดินร่วมกันกับสายวงจรจากแหล่งจ่าย เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า หรือสายประธานของการไฟฟ้า ไปจนถึง

บริภัณฑ์ประธานไม่ว่าสายนิวทรัลจะใช้งานหรือไม่ก็ตาม เพื่อให้ทางเดินของกระแสผิดพร่อง (Fault current) มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ

ในระบบแรงต่ำที่มีแรงดันไฟฟ้า 380/220 โวลต์ จะมีแรงดันไฟฟ้าเส้นไฟวัดเทียบกับดินมีค่า 220 โวลต์ และสายนิวทรัลมีแรงดันไฟฟ้าวัดเทียบกับดินเป็นศูนย์โดยประธานที่บริภัณฑ์ประธานจึงต่อสายนิวทรัลผ่านเข้าไปโดยตรงได้เลยโดยไม่ต้องมีสวิตซ์ปลดวงจร และในระบบสายภายในยอมให้ต่อสายนิวทรัลลงดินที่บริภัณฑ์ประธานเพียงจุดเดียวเท่านั้น ห้ามต่อลงดินที่จุดอื่นๆ อีกภายใน จึงเป็นผลให้กระแสไฟฟ้าที่รั่วลงดินต้องไหลกลับมาครบวงจรที่ตัวจ่ายโดยผ่านจุดต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธานเพียงจุดเดียว จึงเป็นการสะดวกที่จะวัดค่ากระแสรั่วลงดินและทำการแก้ไข

ระบบวายที่มีการต่อลงดินมีข้อดีตรงที่แรงดันไฟฟ้าของเส้นไฟเมื่อวัดเทียบกับดินจะมีค่าคงตัวจึงช่วยป้องกันไม่ให้เกิดแรงดันเกินกระโชก (Transient Over Voltage) ดังที่เกิดกับระบบไม่ต่อลงดิน

ข้อเสียของระบบวายที่มีการต่อลงดิน ระบบวายที่มีการต่อลงดินมีข้อเสียคือ เมื่อสายไฟเส้นไฟเกิดรั่วอาจเนื่องจากฉนวนชำรุดแม้แต่เพียงจุดเดียวก็ตามก็จะเป็นเหตุให้เกิดกระแสไฟผิดพร่องลงดินได้ (Ground Fault) คือ วงจรไฟฟ้าจะครบวงจรและมีกระแสไหลกลับผ่านดินมายังตัวจ่ายไฟฟ้า ในกรณีที่เกิดกระแสผิดพร่องหรือรั่วลงดินแล้วสายละลายติดกัน ทางเดินของกระแสจะสะดวกขึ้น กระแสไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้นจนอาจทำให้เครื่องป้องกันกระแสเกินปลดวงจรได้ จึงเกิดความเสียหายไม่มากนัก โดยทั่วไปกระแสรั่วลงดินจะมีลักษณะเป็นประกายไฟ (Arc) ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมากทำให้บริภัณฑ์บริเวณใกล้เคียงเสียหายได้ในเวลาไม่ถึงวินาที การป้องกันความเสียหายนี้ต้องขจัดกระแสรั่วลงดินให้หมดภายใน 2-3 ไซเคิล หลังเกิดกระแสรั่ว หากทางเดินกระแสในวงจรที่เกิดกระแสรั่วลงดินมีค่าอิมพีแดนซ์สูง จะทำให้กระแสรั่วลงดินไหลไม่สะดวกจึงมีค่าต่ำซึ่งไม่มากพอที่จะทำให้เครื่องป้องกันกระแสเกินที่อยู่ต้นทางทำงานปลดวงจรได้อย่างรวดเร็ว เปรียบวงจรนี้เหมือนกับการเชื่อมด้วยไฟฟ้าที่มีโลหะหลอมละลาย ใช้กระแสประมาณ 100 แอมแปร์ เมื่อเทียบกับกรณีเกิดกระแสรั่วลงดินในระบบแรงดันไฟฟ้า 380/220 โวลต์ วงจรไฟฟ้าอาจมีกระแสหลายร้อยแอมแปร์จนอาจถึงหลายพันแอมแปร์ แม้กรณีนี้เครื่องป้องกันกระแสเกินจะทำงานปลดวงจรก็ตามแต่ก็อาจช้าเกินไปจนเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงได้ การป้องกันความเสียหายทำได้โดยการติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสรั่วลงดิน (Ground Fault protection) ซึ่งถ้ามีการออกแบบที่ดีก็จะป้องกันความเสียหายได้ สำหรับระบบที่มีการต่อลงดิน เมื่อเกิดกระแสรั่วลงดินเพียงจุดเดียว ก็จะต้องหยุดการจ่ายไฟเพื่อการซ่อมแซม ความไม่สะดวกนี้อาจไม่เห็นชัด ในระบบแรงดัน 380/220 โวลต์ เมื่อเกิดประกายไฟแล้วมักจะไม่ดับเอง แม้แต่เมื่อคลื่นกระแสจะลดลงผ่าน

ศูนย์ก็ตาม เนื่องจากการเกิดมีไฟกระโดดใหม่ (Restrike) แต่ถ้าเป็นระบบที่มีแรงดันต่ำกว่าก็อาจดับเองได้

ในระบบแรงดันสูงกว่า 1,000 โวลต์ ระบบวายที่มีการต่อลงดินจะมีทั้งข้อดีและข้อเสีย การตัดวงจรออกเมื่อมีกระแสไฟรั่วลงดินเพียงจุดเดียวทำได้ง่ายกว่าเนื่องจากแรงดันวัดเทียบกับดินมีค่าสูง ดังนั้นแรงดันลดลงที่จุดเกิดอาร์ก และอิมพีแดนซ์ของวงจรรั่วลงดินจึงมีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบแรงต่ำ การตรวจจับและการตัดวงจรรั่วลงดินออกจากวงจรจึงทำได้ง่ายกว่า

3.2 ระบบเดลต้าที่ไม่ต่อลงดิน

ระบบเดลต้าแบบ 3 เฟส 3 สาย ที่ไม่ต่อลงดินโดยผ่านคาปาซิเตอร์ (ระหว่างสายไฟฟ้ากับดินมีค่าคาปาซิแตนซ์อยู่) ระบบจึงเหมือนกับการต่อลงดินอย่างไม่จงใจ ด้วยเหตุนี้ความหมายของการต่อลงดินจึงหมายถึงมีการต่อระหว่างสายไฟฟ้ากับดินอย่างดีโดยจงใจด้วยตัวนำไฟฟ้า การมีค่าคาปาซิแตนซ์ระหว่างสายไฟฟ้ากับดินจึงไม่ถือเป็นการต่อลงดิน

ข้อดีที่สำคัญของระบบนี้คือ เมื่อเกิดกระแสรั่วลงดินเพียงจุดเดียวหรือเฟสเดียว ก็ไม่จำเป็นต้องรีบแก้ไข เนื่องจากไม่ครบวงจรจึงไม่มีกระแสไหล แต่โดยความเป็นจริงแล้วสายไฟทุกเส้นเหมือนกับถูกต่อลงดินโดยผ่านคาปาซิแตนซ์ เมื่อเกิดกระแสรั่วลงดินเพียงจุดเดียวจึงมีกระแสไหลผ่านประมาณ 1-2 แอมแปร์และอย่างมากไม่เกิน 5 แอมแปร์ จึงไม่จำเป็นต้องรีบแก้ไข

ข้อเสียของระบบเดลต้าที่ไม่ต่อลงดิน

1. เนื่องจากไม่มีจุดต่อลงดินที่ตายตัว จึงเป็นการยากเมื่อต้องการหาจุดที่เกิดรั่วลงดินจุดแรก และยากที่จะวัดกระแสรั่วลงดิน ระบบนี้เมื่อเกิดกระแสรั่วลงดินที่จุดแรกจึงเหมือนกับเป็นระบบเดลต้าที่สายไฟเส้นหนึ่งถูกต่อลงดินไว้แล้วโดยผ่านความต้านทาน

2. การเกิดกระแสรั่วลงดินจุดที่สองอาจหาได้ไม่ยาก เพียงแต่ตามไปหาตรงจุดที่เกิดประกายไฟหรือควัน กรณีนี้เกิดเมื่อการเกิดกระแสรั่วลงดินจุดแรกไม่ได้ทำการแก้ไขและการรั่วลงดินจุดที่สองเป็นคนละเฟสกับจุดแรก ในความเป็นจริงการรั่วลงดินจุดที่สองนี้มักเกิดคนละสายกับจุดแรก เนื่องจากการเกิดกระแสรั่วลงดินนี้ไหลครบวงจรโดยผ่านดินจึงน่าจะเรียกว่า Phase to Ground to Phase Fault ซึ่งวงจรจะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงมาก กระแสจึงมีค่าน้อยไม่เพียงพอที่จะทำให้เครื่องป้องกันกระแสเกินปลดวงจร แต่ถึงแม้กระแสจะน้อยแต่เปลวไฟหรือประกายไฟที่เกิดก็ยังมีพลังงานมากพอที่จะทำลายสิ่งที่อยู่ใกล้เคียงได้

3. การเกิดแรงดันเกินกระโชก (Transient Over Voltage) ระหว่างเส้นไฟกับดินระหว่างการเปลี่ยนค่าความต้านทานของจุดที่เกิดอาร์กหรือประกายไฟ หรือจากการสัมผัสแบบหลุดๆติดๆ ทำให้เกิดแรงดันเกินระหว่างสายไฟเส้นเฟสกับดิน แรงดันเกินวัดเทียบกับดินนี้อาจมี

ค่ามากถึงประมาณ 6 ถึง 8 เท่าของแรงดันระหว่างเฟส ต้นเหตุของการเกิดแรงดันเกินนี้เนื่องจากค่าความจุของคาปาซิเตอร์ระหว่างสายไฟของวงจรไฟฟ้ากับผิวโลกที่มีอยู่ตลอดความยาวสาย

เมื่อเกิดกระแสรั่วลงดิน คาปาซิเตอร์ระหว่างสายเส้นที่รั่วจะถูกลัดวงจรลงดิน ส่วนคาปาซิเตอร์ของอีกสองส่วนที่เหลือจะมีแรงดันเพิ่มขึ้นเท่ากับแรงดันระหว่างเส้นเฟส เมื่อสายเส้นที่เกิดกระแสรั่วลงดินหลุดออกเอง สายอีกสองเฟสจะมีแรงดันสูงมากกว่าปกติ จึงเป็นเหตุให้เกิดประกายไฟจากการกระโดดลงดิน กรณีที่กระแสรั่วลงดินหลุดออกเองในช่วงเวลาที่รูปคลื่นแรงดันขึ้นถึงจุดสูงสุด (Peak) จะทำให้มีแรงดันค้างอยู่ในสายไฟอีกสองเฟสที่เหลือ การเกิดแบบติดๆ หลุดๆ นี้จะทำให้แรงดันไฟฟ้าในสองเฟสที่เหลือสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งฉนวนทนไม่ได้ก็จะทะลุ อาการนี้เกิดขึ้นเป็นประจำกับระบบที่ไม่ต่อลงดิน ระบบนี้จึงหยุดความนิยมลงเรื่อยๆ

ระบบนี้ไม่มีสายนิวทรัล หากต้องการให้แรงดันไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างซึ่งมีแรงดันต่างออกไปก็จะต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อลดแรงดัน หรือหากต้องการใช้สายนิวทรัลก็อาจทำได้โดยไม่ต้องเดินสายนิวทรัลมา แต่ทำได้โดยใช้หม้อแปลงที่ต่อแบบซิกแซก (Zig Zag Transformer) ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนระบบวายที่มีการต่อลงดิน

3.3 ระบบวายที่ไม่ต่อลงดิน

ระบบ 3 เฟส 3 สาย ที่มีการต่อแบบวายที่ไม่ต่อลงดินนี้ จุดนิวทรัลจะปล่อยลอยไว้เฉยๆ ในการใช้งานห้ามต่อสายนิวทรัลไปใช้งานเนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าไม่เท่ากับดิน ระบบนี้จึงไม่นิยมใช้

3.4 ระบบเดลต้าที่มุมหนึ่งต่อลงดิน

ระบบ 3 เฟส 3 สาย ที่มุมหนึ่งของเดลต้าต่อลงดินโดยตรงจะมีลักษณะเหมือนระบบวายที่มีการต่อลงดิน เนื่องจากมีสายวงจรเฟสหนึ่งต่อลงดินไว้แล้ว จะทำให้อีกสองเฟสที่เหลือมีเสถียรภาพทางแรงดัน แต่ระบบนี้มีข้อเสียคือ เมื่อเกิดกระแสรั่วลงดิน จุดแรกซึ่งต่างเฟสกับที่ต่อลงดินไว้แล้ว จะมีกระแสไหลปริมาณมากจึงจำเป็นต้องรีบแก้ไข เพราะไม่สามารถจ่ายไฟต่อไปได้ ในการติดตั้งใหม่จึงไม่ควรใช้เพราะมีระบบอื่นที่ดีกว่า นอกจากจำเป็นจริงๆเท่านั้น

3.5 ระบบแบบไหนดีที่สุด

การเลือกใช้ระบบไฟฟ้าแบบไหนจึงต้องพิจารณาสิ่งต่อไปนี้ประกอบคือ

1. มีความเสียหายจากกระแสรั่วลงดินน้อยที่สุด
2. ความจำเป็นที่จะต้องดับไฟเพื่อซ่อมแซมน้อยที่สุด
3. มีความต่อเนื่องในการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด

ปัจจุบันพบว่าระบบไฟฟ้าแบบวายมีการต่อลงดินเป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากมีข้อดีหลายประการ ถึงแม้จะมีข้อเสียอยู่บ้าง แต่ก็สามารถแก้ไขได้ เช่น การใช้วงจรไฟฟ้าสำรองเป็นต้น

ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยกำหนดให้ระบบไฟฟ้าแรงต่ำต้องเป็นระบบไฟฟ้าที่ต่อลงดิน แต่กรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้ามีตัวจ่ายไฟฟ้าเป็นของตัวเอง เช่น มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า ก็อาจเลือกระบบไฟฟ้าที่ไม่ต่อลงดินก็ได้ แต่ถ้าผู้ใช้ไฟฟ้ารับไฟแรงดันต่ำจากการไฟฟ้าวิ่งเป็นระบบที่ต่อลงดินอยู่แล้ว ก็คงไม่มีทางเลือกเป็นอย่างอื่น

4. ทำไมระบบไฟฟ้าต้องต่อลงดิน

การต่อลงดินมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความปลอดภัยต่อสิ่งเหล่านี้

1. ระบบไฟฟ้า
2. บุคคล
3. บริภัณฑ์ไฟฟ้า
4. ทรัพย์สินอื่นๆ

การต่อลงดินจะทำหน้าที่หลักคือ

1. จำกัดแรงดันไฟฟ้าของวงจรเพื่อไม่ให้สูงจนอาจทำให้บริภัณฑ์ไฟฟ้าเสียหาย เมื่อเกิดแรงดันเกิน และลดแรงดันไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นที่บริภัณฑ์ไฟฟ้าหรือส่วนประกอบ เนื่องจากการรั่วหรือการเหนี่ยวนำ เพื่อลดอันตรายต่อบุคคลที่อาจไปสัมผัส

2. ลดความเสียหายของบริภัณฑ์ไฟฟ้า หรือระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน การต่อลงดินที่ถูกต้องจะช่วยให้เครื่องป้องกันทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้

การต่อลงดินทั่วไปอาจแยกออกได้เป็น

- การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า ( System Grounding)
- การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding)

จุดประสงค์ของการต่อระบบไฟฟ้าลงดิน

1. เพื่อลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากค่าคาปาซิแตนซ์ กรณีสายส่งยาวมากๆ
2. ลดแรงดันไฟฟ้าเกินเนื่องจากการลัดวงจร หรือจากฟ้าผ่า
3. เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าวัดเทียบกับดินมีค่าแน่นอน
4. เมื่อเกิดสายไฟขาดลงดิน หรือรั่วลงดินเพียงเส้นเดียว สามารถวัดหรือตรวจสอบได้

## การต่อลงดินตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าในประเทศไทย

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าในประเทศไทย ที่จัดทำโดยสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ กำหนดเรื่องการต่อลงดินไว้ในบทที่ 4 แยกการต่อลงดินสำหรับสายภายในอาคารออกเป็น การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding) และการต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding) มีสาระสำคัญสรุปได้ดังนี้

1. วงจรและระบบไฟกระแสสลับที่ต้องต่อลงดิน

ระบบไฟฟ้าภายในอาคารต้องต่อลงดิน สายเส้นที่ต่อลงดินต้องเป็นสายเส้นเดียวกับที่การไฟฟ้าต่อลงดินไว้แล้ว ปกติคือสายนิวทรัล หากผู้ใช้ไฟฟ้ามีระบบของตนเอง เช่น มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือใช้ไฟแรงสูงจากการไฟฟ้าและมีการตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ามีข้อกำหนดดังนี้

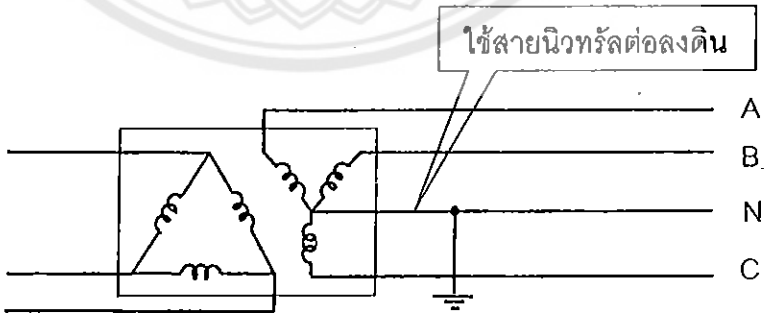
1.1 ระบบไฟฟ้าแรงดันตั้งแต่ 50 โวลต์แต่ไม่ถึง 1,000 โวลต์ ต่อไปนี้ต้องต่อลงดิน

(1) เป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย ซึ่งสายนิวทรัล (Neutral) ใช้เป็นสายเส้นหนึ่งของวงจรด้วย กรณีนี้ให้ใช้สายนิวทรัลต่อลงดิน

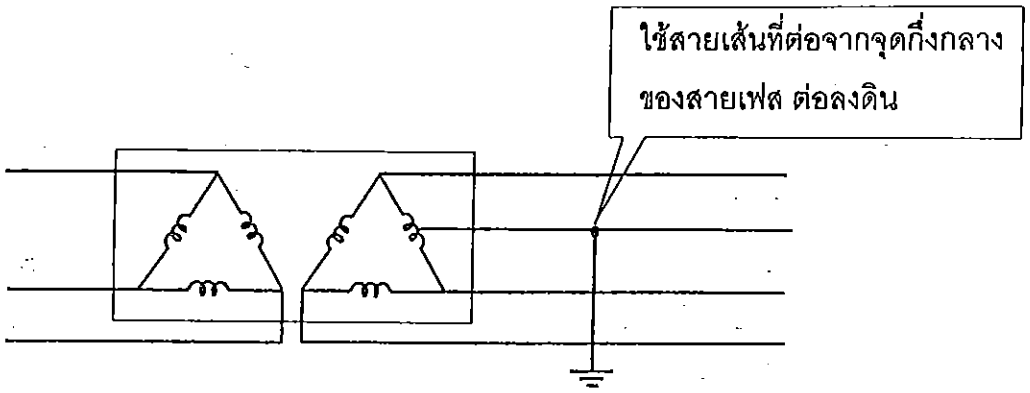
(2) เป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย และจุดกึ่งกลางของเฟสใดเฟสหนึ่งใช้เป็นสายวงจรด้วยให้ใช้เส้นที่ต่อจากจุดกึ่งกลางนั้นเป็นเส้นต่อลงดิน

(3) เป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย ใช้สายเฟสใดก็ได้ต่อลงดิน

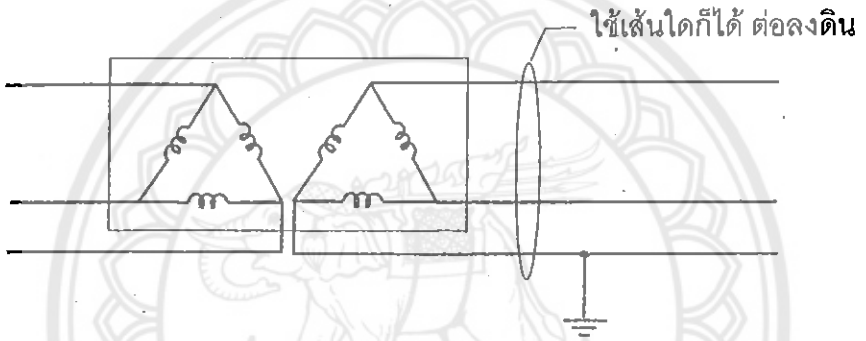
(4) เป็นระบบ 1 เฟส 2 สาย หรือ 3 สาย ใช้สายนิวทรัลเป็นเส้นต่อลงดิน




รูปที่ 3.1 การต่อลงดินของระบบ 3 เฟส 4 สาย (เดลต้าวาย)




รูปที่ 3.2 การต่อลงดินของระบบ 3 เฟส 4 สาย




รูปที่ 3.3 การต่อลงดินของระบบ 3 เฟส 3 สาย

1.2 ระบบไฟฟ้าแรงดันตั้งแต่ 1,000 โวลต์ขึ้นไป ระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้บริภัณฑ์ไฟฟ้าชนิดเคลื่อนที่ได้ต้องต่อลงดิน แต่ถ้าจ่ายไฟให้บริภัณฑ์ไฟฟ้าอื่นจะต่อลงดินหรือไม่ก็ได้ กรณีที่ต้องการต่อลงดิน การต่อลงดินต้องไม่ขัดกับข้อกำหนดเรื่องการต่อลงดินนี้

2. วงจรและระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ห้ามต่อลงดิน

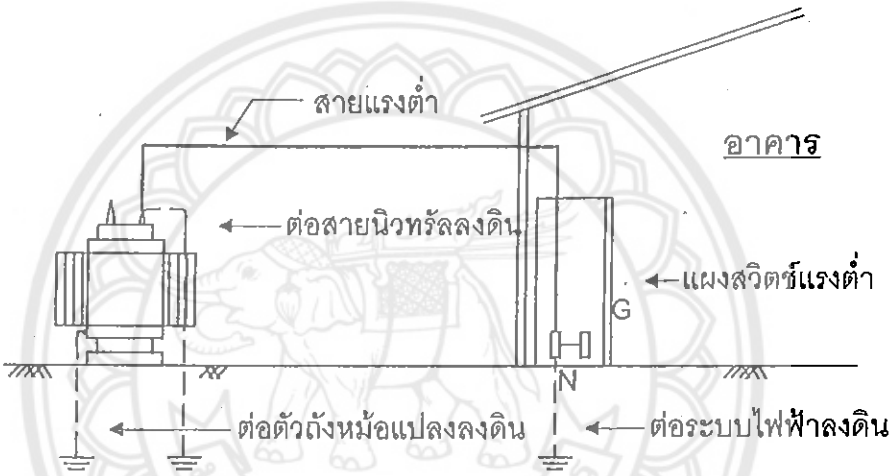
ระบบไฟฟ้าต่อไปนี้ห้ามต่อลงดิน

1. วงจรของปั้นจั่นที่ใช้งานอยู่เหนือวัสดุเส้นใยที่อาจลุกไหม้ได้ ซึ่งอยู่ในสถานที่อันตราย
2. วงจรที่กำหนดให้ใช้สำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อรักษาสุขภาพ

3. การต่อลงดินของระบบประธาน

ผู้ขอใช้ไฟที่รับไฟฟ้าแรงต่ำจากการไฟฟ้า ต้องใช้ระบบไฟฟ้าที่ต่อลงดินเพราะระบบของการไฟฟ้าเป็นระบบที่ต่อลงดิน การต่อลงดินต้องต่อระบบไฟฟ้าลงดินที่บริภัณฑ์ประธานและการต่อลงหลักดิน (Ground Rod) นี้ ทำเฉพาะที่บริภัณฑ์ประธานทางด้านไฟเข้าเท่านั้น ห้ามต่อระบบไฟฟ้าลงดินอีก เพราะอาจทำให้เครื่องป้องกันไฟรั่วทำงานผิดพลาดได้

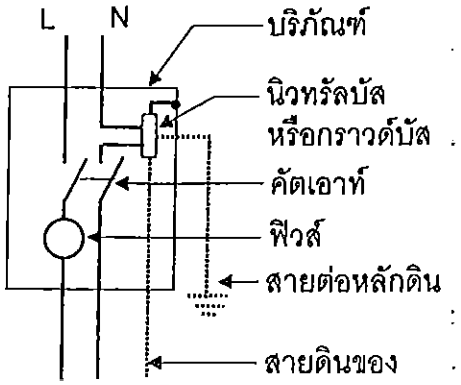
ผู้ใช้ไฟฟ้าที่รับไฟแรงสูงจากการไฟฟ้า ซึ่งต้องมีการติดตั้งหม้อแปลง ทางด้านไฟออกของหม้อแปลงต้องต่อลงดิน สายเส้นที่จะต่อลงดินนี้ต้องเดินไปที่แผงบริภัณฑ์ประธานแรงต่ำด้วยไม่ว่าจะใช้งานหรือไม่ก็ตามและต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธานนี้ ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าติดตั้งอยู่ภายนอกอาคารที่หม้อแปลงจะต้องต่อลงดินเพิ่มอีกหนึ่งจุด จุดลงดินนี้ถ้าต่อที่หม้อแปลงไม่สะดวกจะทำที่จุดอื่นก็ได้ภายนอกอาคารดังรูป




รูปที่ 3.4 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า เมื่อมีหม้อแปลงอยู่ภายนอกอาคาร

ระบบไฟฟ้าที่ต่อลงดินต้องต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธาน และบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดินก็ต้องเดินสายดินมาที่บริภัณฑ์ประธานด้วยและต่อฝากเข้ากับสายนิวทรัล ในแผงสวิตซ์บางตัวนิวทรัลบัสจะยึดติดโดยตรงกับกล่องของแผงบริภัณฑ์ประธาน ถ้าการยึดแน่นหนาพอ มีการต่อทางไฟฟ้าที่ดีก็สามารถใช้แทนการต่อฝากได้ และไม่ต้องใช้สายต่อฝากกล่องของบริภัณฑ์ประธานนี้เข้ากับนิวทรัลบัสก็ได้

ในแผงสวิตซ์ขนาดใหญ่อาจใช้นิวทรัลบัสแยกกับบัสบาร์ต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าหรือกราวด์บัส การต่อลงดินทำได้โดยต่อสายต่อหลักดินเข้ากับนิวทรัลบัส และต่อฝากกราวด์บัสเข้ากับนิวทรัลบัส กรณีนี้สายต่อหลักดินอาจต่อเข้ากับกราวด์บัสแทนการต่อที่นิวทรัลบัสก็ได้




รูปที่ 3.5 การต่อลงดินเมื่อใช้คัตเอาท์

การต่อลงดินเมื่อใช้ 2-Pole CB การต่อลงดินเมื่อใช้ 1-Pole CB

**รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการต่อลงดินแบบบริภัณฑ์ประธานขนาดเล็กเมื่อใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์**

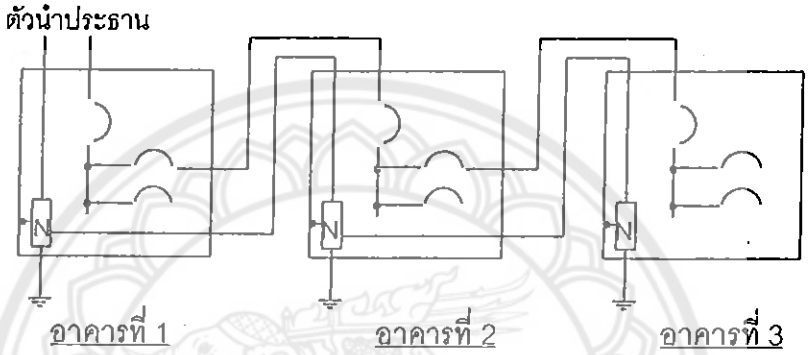
4. **บริภัณฑ์ประธานชุดเดียวจ่ายไฟให้อาคารหลายหลัง**

**ถ้ามีบริภัณฑ์ประธานชุดเดียวแต่จ่ายไฟให้อาคารมากกว่า 1 หลัง อาคารแต่ละหลังแยกออกจากกันอย่างชัดเจน ที่บริภัณฑ์ประธานต้องต่อลงดิน และที่แต่ละอาคารต้องมีหลักดินเพื่อต่อระบบไฟฟ้าลงดินรวมทั้งเครื่องห่อหุ้มเครื่องปลดวงจรประจำอาคารด้วย**

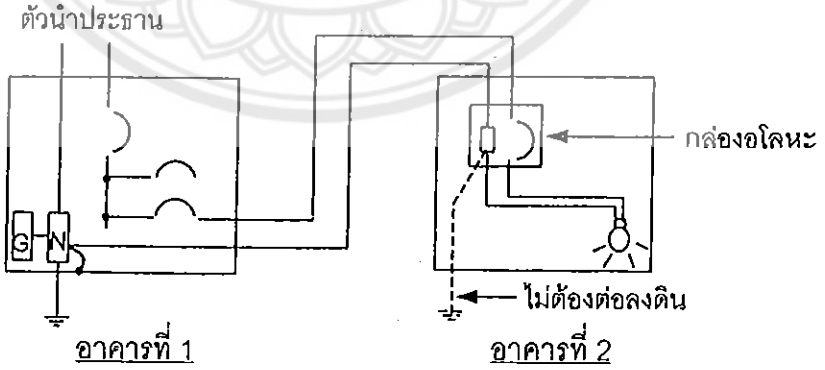
อาจทำหลักดินที่อาคารหลังแรกแห่งเดียวก็พอถ้าเป็นไปตามข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1. อาคารที่แยกออกมาเป็นอาคารขนาดเล็ก มีวงจรย่อยเพียงชุดเดียวและวงจรย่อยนี้ไม่ได้จ่ายไฟให้บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดินหรือ

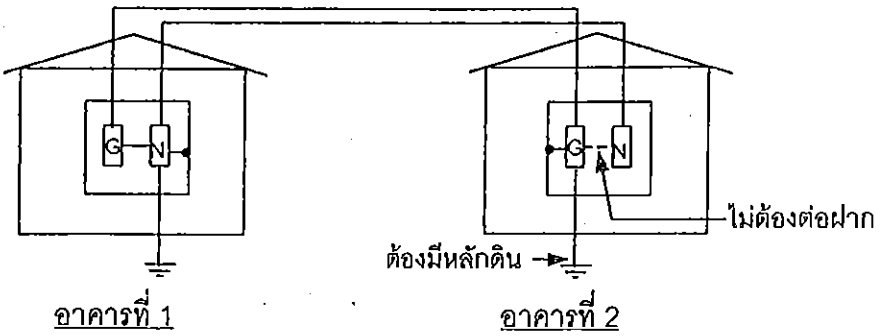
2. มีการเดินสายดินสำหรับบริภัณฑ์ไฟฟ้าไปที่อาคารหลังที่แยกออกมาและต่อฝากลงดินที่อาคารหลังที่แยกออกมานี้ด้วย




รูปที่ 3.7 แต่ละอาคารต้องมีหลักดิน




รูปที่ 3.8 อาคารที่ 2 มีวงจรย่อยชุดเดียวและไม่มีบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ต่อลงดิน




รูปที่ 3.9 มีการเดินสายดินไปด้วยและอาคารที่2 มีบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน

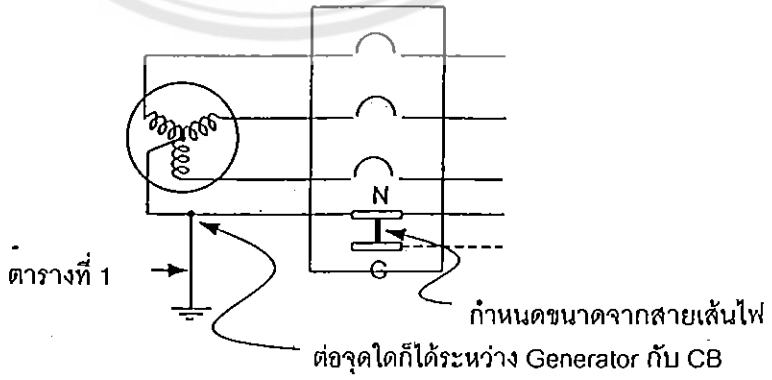
5. การต่อลงดินสำหรับระบบจ่ายไฟแยกต่างหาก

ระบบไฟฟ้ากระแสสลับชนิดจ่ายแยกต่างหากต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

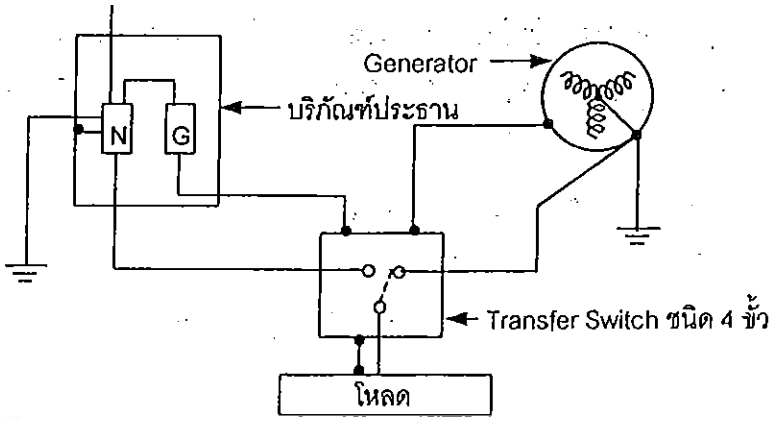
1. ต้องใช้สายต่อฝากลงดิน (ซึ่งกำหนดขนาดจากสายเส้นไฟของระบบจ่ายแยกต่างหาก) เชื่อมต่อสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า(ของระบบจ่ายแยกต่างหาก) เข้ากับสายตัวนำที่มีการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

2. มีสายต่อหลักดินที่เชื่อมต่อหลักดินเข้ากับสายตัวนำที่มีการต่อลงดินของระบบจ่ายแยกต่างหากให้ใช้ขนาดตามตารางที่ 1 ซึ่งกำหนดขนาดจากสายเส้นไฟของระบบจ่ายแยกต่างหาก

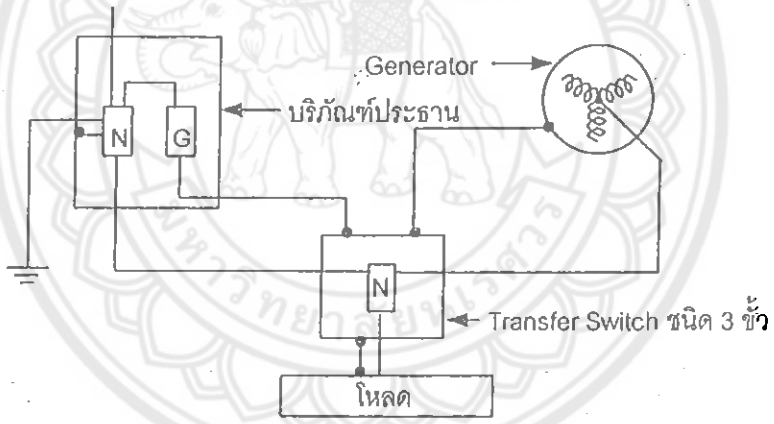
3. หลักดินต้องอยู่ใกล้จุดต่อลงดินมากที่สุดเท่าที่จะทำได้




**รูปที่ 3.10 การต่อลงดินของระบบจ่ายไฟแยกต่างหาก**




รูปที่ 3.11 การต่อลงดินกรณีติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและใช้ Transfer Switch ชนิด 4 ขั้ว (เป็นระบบจ่ายไฟแยกต่างหาก)




รูปที่ 3.12 การต่อลงดินกรณีติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและใช้ Transfer Switch ชนิด 3 ขั้ว (แบบนี้ไม่ถือเป็นระบบจ่ายไฟแยกต่างหาก)

6. การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

6.1บริภัณฑ์ไฟฟ้าต่อไปนี้ต้องต่อลงดิน

1. เครื่องห่อหุ้มที่เป็นโลหะของสายไฟฟ้า แผงบริภัณฑ์ประธาน โครงและร่างปั้นจั่นที่ใช้ไฟฟ้า โครงของตู้ลิฟต์และลวดสลิงยกของที่ใช้ไฟฟ้า

2. สิ่งกั้นที่เป็นโลหะ รั้วโลหะ รวมทั้งเครื่องห่อหุ้มที่เป็นของบริภัณฑ์ไฟฟ้าในระบบแรงสูง

3. บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ยึดติดกับที่ และที่ต่ออยู่กับสายไฟฟ้าที่เดินถาวร ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งซึ่งปกติไม่มีไฟฟ้า แต่อาจมีไฟฟ้ารั่วถึงได้ต้องต่อลงดินถ้ามีสภาพตามข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

- อยู่ห่างจากพื้นหรือโลหะที่ต่อลงดินไม่เกิน 2.4 เมตร ในแนวตั้งหรือ 1.5 เมตร ในแนวนอน และบุคคลอาจสัมผัสได้ แต่ถ้าวิธีการติดตั้งหรือมีวิธีป้องกันอย่างอื่นที่ป้องกันบุคคลสัมผัสได้ก็ไม่ต้องต่อลงดิน
- สัมผัสทางไฟฟ้ากับโลหะอื่นที่บุคคลอาจสัมผัสได้ เช่น โครงสร้างอาคาร
- อยู่ในสถานที่เปียกหรือชื้น และไม่ได้มีการแยกให้อยู่ต่างหาก

4. บริภัณฑ์ไฟฟ้าชนิดยึดติดกับที่ต่อไปนี้ ต้องต่อส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งและสภาพปกติไม่มีกระแสไฟฟ้าลงดิน คือ

- โครงของแผงสวิตช์
- โครงของมอเตอร์ชนิดยึดติดกับที่
- กล่องของเครื่องควบคุมมอเตอร์แต่ถ้าใช้เป็นสวิตช์ธรรมดาและฉนวนรองที่ฝาสวิตช์ ด้านในก็ไม่ต้องต่อลงดิน
- บริภัณฑ์ของลิฟต์และปั้นจั่น
- บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่อู่จอดรถ โรงมหรสพ โรงถ่ายภาพยนต์ สถานีวิทยุ และโทรทัศน์
- ป้ายและบริภัณฑ์ประกอบซึ่งใช้ไฟฟ้า
- เครื่องฉายภาพยนต์
- เครื่องสูบน้ำที่ใช้มอเตอร์

5. บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ใช้เต้าเสียบส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ซึ่งปกติไม่มีไฟฟ้าต้องต่อลงดิน ยกเว้น บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ระบุว่าเป็นฉนวน 2 ชั้น หรือเทียบเท่า ถ้าอยู่ในสภาพตามข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

- แรงดันไฟฟ้าวัดเทียบกับดินเกิน 150 โวลต์ ยกเว้นมอเตอร์ที่มีการกั้นโครงโลหะของเครื่องใช้ไฟฟ้าทางความร้อนซึ่งมีฉนวนกั้นที่ถาวรระหว่างโครงโลหะกับดิน
- เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในสถานที่อยู่อาศัยต่อไปนี้
  - ■ ตู้เย็น ตู้แช่แข็ง เครื่องปรับอากาศ
  - ■ เครื่องซักผ้า เครื่องอบผ้า เครื่องล้างจาน เครื่องสูบน้ำทิ้ง และเครื่องใช้ไฟฟ้าในตู้เลี้ยงปลา
  - ■ เครื่องมือชนิดมือถือที่ทำงานด้วยมอเตอร์ เช่น สว่านไฟฟ้า

4400185
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
TK 25
3227
ก126ธ
2543

■ เครื่องเล็มต้นไม้ เครื่องตัดหญ้า เครื่องขัดถูชนิดใช้น้ำ ซึ่งทำงานด้วยมอเตอร์

■ ดวงโคมไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้

- เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในสถานที่ที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยต่อไปนี้

■ ตู้เย็น ตู้แช่แข็ง เครื่องปรับอากาศ

■ เครื่องซักผ้า เครื่องอบผ้า เครื่องล้างจาน เครื่องสูบน้ำทิ้ง เครื่องประมวลผลข้อมูลและเครื่องใช้ไฟฟ้าในตู้เลี้ยงปลา

■ เครื่องมือชนิดมือถือที่ทำงานด้วยมอเตอร์

■ เครื่องเล็มต้นไม้ เครื่องตัดหญ้า เครื่องขัดถูชนิดใช้น้ำซึ่งทำงานด้วยมอเตอร์

■ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในสถานที่เปียกหรือชื้นหรือบุคคลที่ใช้ยืนอยู่บนพื้นดินหรือพื้นโลหะหรือทำงานอยู่ในถังโลหะหรือหม้อน้ำ

■ เครื่องมือที่อาจนำไปใช้ในสถานที่เปียกหรือใช้ในบริเวณที่นำไฟฟ้าได้ดี

■ ดวงโคมไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้

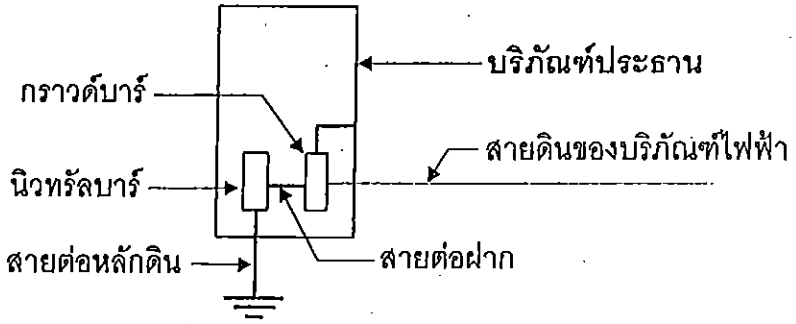
6.2 ระยะห่างจากสายล่อฟ้า

ท่อสาย เครื่องห่อหุ้ม โครงโลหะ และส่วนโลหะอื่นของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ไม่เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าต้องมีระยะห่างจากสายล่อฟ้าไม่น้อยกว่า 1.8 เมตร หรือต้องต่อฝากเข้ากับสายล่อฟ้า

6.3 วิธีต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

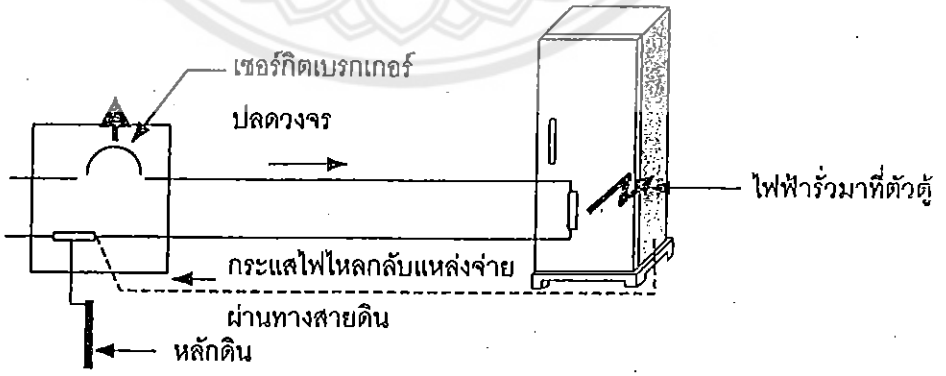
เมื่อไฟฟ้ารั่วกระแสไฟฟ้าจำนวนมากจะไหลครบวงจรโดยผ่านสายดินเนื่องจากมีความต้านทานต่ำ การมีหลักดินที่บริภัณฑ์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอเนื่องจากความต้านทานระหว่างหลักดินกับดินอาจมีค่าสูง เป็นผลให้เครื่องป้องกันกระแสเกินอาจปลดวงจรช้าหรือไม่ปลดวงจรก็ได้ การต่อเปลือกบริภัณฑ์ไฟฟ้าลงดินโดยตรงย่อมทำให้ได้เป็นการเพิ่มเติมเท่านั้น แต่ต้องมีการเดินสายดินไปต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธานด้วย และสายดินนี้ต้องเดินร่วมไปกับสายของวงจรด้วย

ถ้าเป็นระบบไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่เดินไปต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธานต้องต่อลงดินโดยใช้หลักดินเดียวกับของระบบไฟฟ้า

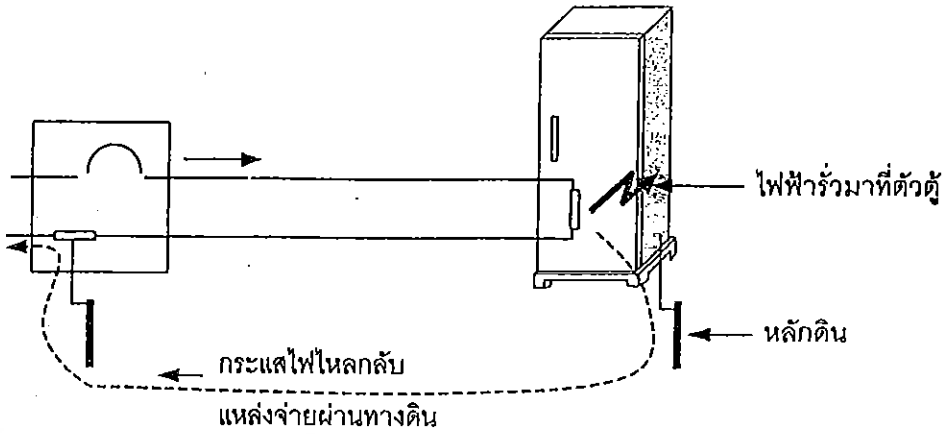



รูปที่ 3.13 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่บริภัณฑ์ประธาน กรณีระบบไฟฟ้าต่อลงดิน

การเดินสายดินไปต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธาน มีจุดประสงค์เพื่อให้เครื่องป้องกันกระแสเกินทำงานปลดวงจรได้ถูกต้องและรวดเร็ว ผู้ใช้ไฟฟ้าก็จะปลอดภัย แต่ถ้าต่อลงดินโดยต่อเปลือกบริภัณฑ์ไฟฟ้าลงดินโดยตรงที่จุดติดตั้ง เมื่อเกิดกระแสรั่วลงดิน เครื่องป้องกันกระแสเกินอาจไม่ปลดวงจรหรือปลดวงจรช้ากว่าที่ออกแบบไว้ เพราะกระแสรั่วลงดินต้องไหลผ่านหลักดินทำให้กระแสไฟฟ้ามีค่าน้อย ดังรูป

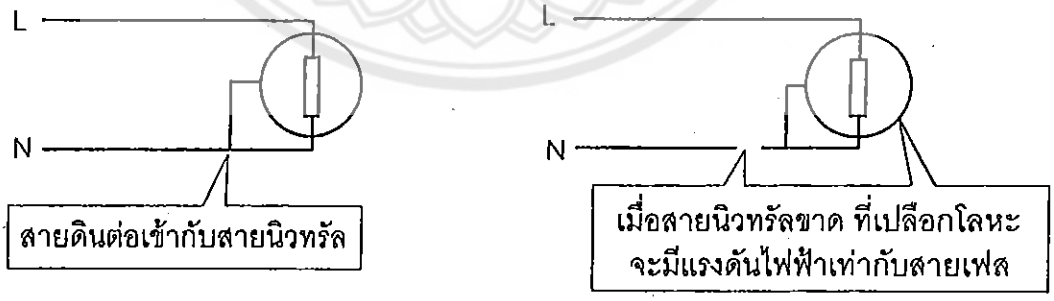



รูปที่ 3.14 ทางเดินกระแสลัดวงจร เมื่อเดินสายดินไปที่บริภัณฑ์ประธาน




รูปที่ 3.15 ทางเดินกระแสลัดวงจร เมื่อปักหลักดินที่บริภัณฑ์ไฟฟ้า

การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ห้ามต่อเปลือกหรือเครื่องห่อหุ้มโลหะของบริภัณฑ์ไฟฟ้าลงดินโดยวิธีการต่อเข้ากับสายนิวทรัล เพราะหากสายนิวทรัลขาดที่เปลือกหรือเครื่องห่อหุ้มของโลหะของบริภัณฑ์ไฟฟ้าจะมีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับสายเส้นไฟ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้ที่สัมผัสได้




รูปที่ 3.16 การต่อสายดินเข้ากับสายนิวทรัล

6.4 การใช้สายดินร่วมกัน

ถ้าระบบไฟฟ้ากระแสสลับมีการต่อลงดินเข้ากับหลักดินภายในอาคารหรือสถานที่ตามที่ได้กำหนดแล้วต้องใช้หลักดินนั้นสำหรับต่อเครื่องห่อหุ้มสายและส่วนที่เป็นโลหะของบริภัณฑ์ไฟฟ้าลงดินด้วย สำหรับอาคารที่รับไฟจากแหล่งจ่ายไฟแยกกันต้องใช้หลักดินร่วมกัน

6.5 บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ถือว่าต่อลงดินแล้ว

ส่วนที่เป็นโลหะของบริภัณฑ์ไฟฟ้าซึ่งไม่ได้เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้า เมื่อมีสภาพดังต่อไปนี้ ถือว่ามีการต่อลงดินแล้ว

1. บริภัณฑ์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ยึดแน่นและสัมผัสทางไฟฟ้ากับโครงสร้างโลหะที่รองรับและโครงสร้างโลหะนั้นต่อลงดินตามที่ได้กำหนดไว้แล้วไม่อนุญาตให้ใช้โครงสร้างโลหะของอาคารแทนสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้านั้น

2. โครงโลหะของตู้โดยสารลิฟต์ที่แขวนกับลวดสลิง ซึ่งคล้องหรือพันรอบเพลากว้านของมอเตอร์ลิฟต์ที่ต่อลงดินตามที่ได้กำหนดไว้แล้ว

7. การต่อฝาก

การต่อฝากต้องทำทุกจุดตั้งแต่ที่บริภัณฑ์ประธาน และตามจุดต่าง ๆ หลังจากบริภัณฑ์ประธาน เช่น ช่องเดินสายไฟฟ้าโลหะ แผงสวิตซ์ และกล่องต่อสาย เป็นต้น การต่อฝากอาจใช้เป็นสายทองแดงหรือบริภัณฑ์การเดินสายอื่นก็ได้ ถ้าเป็นสายไฟฟ้าจะกำหนดขนาด ดังนี้

7.1 การต่อฝากของบริภัณฑ์ไฟฟ้าทางด้านไฟเข้าของบริภัณฑ์ประธาน

คือ การต่อฝากก่อนที่จะถึงบริภัณฑ์ประธาน ส่วนที่เป็นโลหะซึ่งไม่ใช้เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้า ของบริภัณฑ์ไฟฟ้าต้องมีการต่อฝากอย่างดี ดังต่อไปนี้

1. บริภัณฑ์สำหรับการเดินสาย เช่น เดินสายไฟฟ้า สายเคเบิล และเปลือกเคเบิลที่เป็นโลหะ

2. เครื่องห่อหุ้มบริภัณฑ์ประธาน

3. ช่องเดินสายไฟฟ้าโลหะของสายต่อหลักดิน การต่อฝากต้องทำที่ทุก ๆ ปลายท่อ โดยต่อฝากช่องเดินสายไฟฟ้า กล่อง และเครื่องห่อหุ้มเข้ากับสายที่ต่อกับหลักดิน

วิธีต่อฝากที่บริภัณฑ์ประธานทางด้านไฟเข้าทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. โดยการใช้สายไฟฟ้าต่อสายนิวทรัลเข้ากับก่องโลหะของบริภัณฑ์ประธาน

2. ถ้าใช้ท่อโลหะหนาหรือท่อโลหะหนาปานกลางเดินมาเข้าบริภัณฑ์ประธานทางด้านไฟเข้าการต่อฝากทำได้โดยการใช้ข้อต่อแบบเกลียว ถ้ากล่องโลหะของบริภัณฑ์ประธานเป็นชนิดข้อต่อแบบมีเกลียว

3. ถ้าใช้ท่อโลหะบางให้ใช้ข้อต่อแบบไม่ต้องทำเกลียวต่อให้แน่นสนิท

4. ใช้สายต่อฝากตามจุดต่าง ๆ เพื่อให้มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่ดี

5. ใช้บริภัณฑ์อื่น ๆ เช่น บุชชิงแบบมีขั้วต่อสายดินพร้อมล็อกนัต

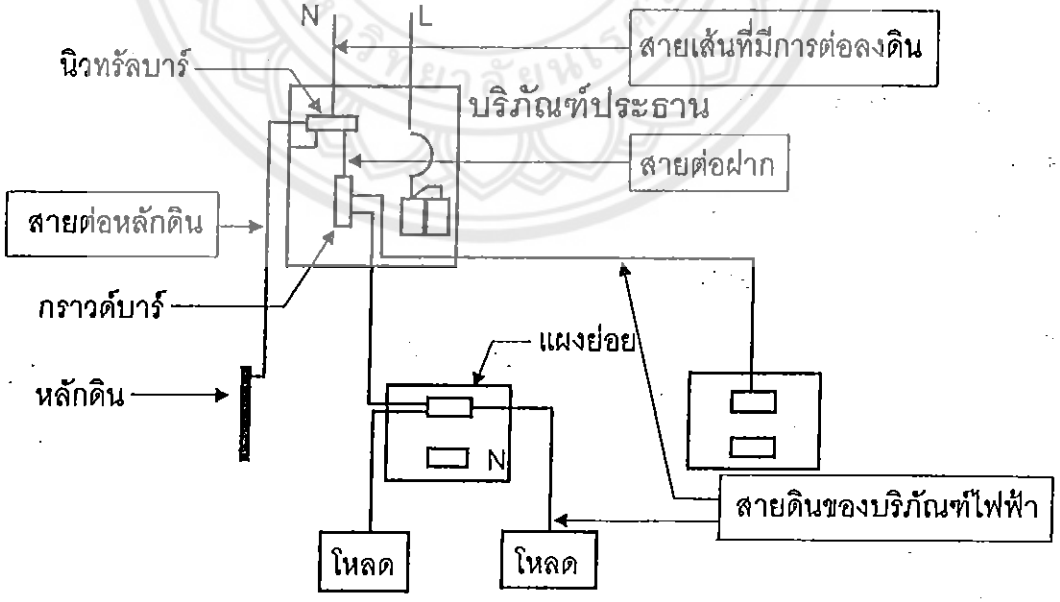
สายต่อฝากต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดสายต่อหลักดินที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.1 ถ้าเส้นไฟเป็นสายทองแดงที่มีขนาดโตกว่า 500 ตารางมิลลิเมตร สายต่อฝากต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 12.5%ของสายเส้นไฟที่ใหญ่สุดด้วย

สายประธานเข้าอาคารที่เดินในช่องเดินสายหรือ ใช้สายเคเบิลมากกว่าหนึ่งชุดควบคู่กันแต่ละช่องเดินสายหรือแต่ละสายเคเบิล ให้ใช้สายต่อฝากที่มีขนาดไม่เล็กกว่าที่กำหนดในตารางที่ 2.1 โดยคิดจากขนาดของสายในแต่ละช่องเดินสายหรือแต่ละสายเคเบิล

7.2 การต่อฝากของบริภัณฑ์ไฟฟ้าทางด้านไฟออกของบริภัณฑ์ประธาน

ส่วนที่เป็นโลหะซึ่งปกติไม่ใช้เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ต่อจากทางด้านไฟออกของบริภัณฑ์ประธานไปจนถึงโหลดต้องต่อฝากเข้าด้วยกันและต่อลงดิน ช่องเดินสายโลหะ สายเคเบิล เครื่องห่อหุ้ม โครงเครื่องประกอบการติดตั้งและส่วนที่เป็นโลหะอื่น ๆ ที่ไม่เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้า ถ้าใช้ทำหน้าที่แทนสายดินต้องต่อฝากถึงกัน และสามารถทนกระแสลัดวงจรได้ สายต่อฝากจะมีขนาดเท่ากับขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า โดยกำหนดจากตารางที่ 3.1 (สำหรับการไฟฟ้านครหลวง ) และตารางที่ 3.2 (สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค)

8. การกำหนดชนิดและขนาดของสายดิน




รูปที่ 3.17 ระบบสายดินของวงจรไฟฟ้า

สายดิน เป็นคำโดยทั่ว ๆ ไป สายดินในวงจรไฟฟ้าอาจแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน คือ

8.1 สายต่อหลักดิน ( Grounding Electrode Conductor )

8.2 สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ( Equipment Grounding Conductor )

8.3 สายเส้นที่มีการต่อลงดิน ( Grounded Conductor )

8.4 สายต่อฝาก ( Bonding Jumper )

สายต่อหลักดิน

1. ชนิดของสายต่อหลักดิน สายต่อหลักดินต้องเป็นสายทองแดงเท่านั้น และต้องเป็นสายเส้นเดียวกันตลอดความยาวโดยไม่มีการต่อระหว่างทาง กรณีที่ใช้เป็นบัสบาร์ต้องเป็นบัสบาร์ทองแดงเช่นกันแต่ยอมให้มีการต่อระหว่างทางได้

2. ขนาดของสายต่อหลักดิน ต้องไม่เล็กกว่าที่กำหนดในตารางที่ 2.1

สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

1. ชนิดสายดินและบริภัณฑ์ไฟฟ้า บริภัณฑ์เดินสายที่ยอมให้ใช้ทำหน้าที่เป็นสายดินได้มีดังต่อไปนี้
   - ท่อโลหะหนา
   - ท่อโลหะหนาปานกลาง
   - ท่อโลหะอ่อนที่ระบุให้ทำหน้าที่แทนสายดินได้
   - ท่อโลหะอ่อนที่ไม่ได้ระบุให้ทำหน้าที่แทนสายดินจะใช้เป็นสายดินได้ ถ้ามีความยาวไม่เกิน 1.80 เมตร ตัวนำในท่อใช้เครื่องป้องกันกระแสเกินขนาดไม่เกิน 20 แอมแปร์ และใช้กับเครื่องประกอบที่ระบุให้ใช้เพื่อการต่อลงดินได้
   - เปลือกโลหะของสายเคเบิลชนิด AC, MI และ MC
   - เปลือกของบัสเวย์ชนิดที่ระบุให้ใช้แทนสายดินได้

2. ขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าที่กำหนดในตารางที่ 3.1 สำหรับการไฟฟ้านครหลวง และตารางที่ 3.2 สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แต่ถ้าขนาดสายที่กำหนดจากตารางมีขนาดใหญ่กว่าขนาดสายของวงจรให้ใช้ขนาดเท่ากับสายของวงจรก็พอ

ตารางที่ 3.1 ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (สำหรับการไฟฟ้านครหลวง)

| พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกิน (แอมแปร์) | ขนาดเล็กสุดของสายดินของบริภัณฑ์ (ตัวนำทองแดง - ตร.มม.) |
|---|---|
| 6 - 16 | 1.5 |
| 20-25 | 4 |
| 30-63 | 6 |
| 80-100 | 10 |
| 125-200 | 16 |
| 225-400 | 25 |
| 500 | 35 |
| 600-800 | 50 |
| 1,000 | 70 |
| 1,200-1,250 | 95 |
| 1,600-2,000 | 120 |
| 2,500 | 185 |
| 3,000-4,000 | 240 |
| 5,000-6,000 | 400 |

ตารางที่ 3.2 ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค)

| พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกิน (แอมแปร์) | ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง - ตร.มม.) |
|---|---|
| 15 | 2.5 |
| 20 | 4 |
| 60 | 6 |
| 100 | 10 |
| 200 | 16 |
| 400 | 25 |
| 500 | 35 |
| 800 | 50 |
| 1,000 | 70 |
| 1,200 | 95 |
| 1,600 | 120 |
| 2,000 | 150 |
| 2,500 | 185 |
| 4,000 | 240 |
| 6,000 | 400 |

9. การกำหนดขนาดสายดินของวงจรมอเตอร์

ขนาดสายดินของวงจรมอเตอร์ กำหนดตามตารางที่ 3.1 โดยกำหนดจากขนาดเครื่องป้องกันโหลดเกิน ( Overload relay ) ของมอเตอร์

10. การต่อสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดิน

การต่อสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดินต้องใช้วิธีเชื่อมด้วยความร้อน ( Exothermic Welding ) หูสาย หัวต่อ แบบบีบอัด ประกับต่อสาย หรือสิ่งอื่นที่ระบุให้ใช้เพื่อการนี้ ห้ามต่อโดยอาศัยการบัดกรีเป็นหลัก ห้ามต่อสายต่อหลักดินมากกว่า 1 เส้นเข้ากับหลักดิน นอกจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อเป็นชนิดที่ออกแบบมาให้ต่อสายได้มากกว่า 1 เส้น

11. ความต้านทานระหว่างหลักดินกับดิน

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า ฯ กำหนดค่าความต้านทานระหว่างหลักดินกับดิน ต้องไม่เกิน 5 โอห์ม

12. การต่อลงดินสำหรับแผงสวิตช์แรงสูง

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย มีข้อกำหนดเพิ่มเติมเรื่องการต่อลงดินสำหรับแผงสวิตช์แรงสูง ดังนี้

ต้องจัดให้มีกราวด์บัสทำด้วยทองแดงที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่เล็กกว่า 95 ตร.มม. สำหรับแผงสวิตช์ขนาดแรงดัน 12 เควี และ 50 ตร.มม. สำหรับแผงสวิตช์ขนาดแรงดัน 24 เควี หรือทำด้วยอะลูมิเนียมที่มีขนาดกระแสไม่น้อยกว่าทองแดง ดังกล่าวข้างต้น

ถ้ามีกับดักฟ้าผ่า ( Lighting Arrester ) หรือเสิร์จอาเรสเตอร์ ( Surge Arrester ) สายต่อลงดินของอะเรสเตอร์ต้องต่อร่วมกับชิลด์ (Shield) ของสายเคเบิลแรงสูงในแผงสวิตช์ และต้องแยกออกจากบัสต่อลงดินของแผงสวิตช์ สายต่อลงดินของอาเรสเตอร์ต้องเป็นสายทองแดงหุ้มฉนวน ที่ทนแรงไม่น้อยกว่า 750 โวลต์ มีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 16 ตร.มม. ติดตั้งบนฉนวนที่มีระดับแรงดัน ( Voltage Class ) ไม่น้อยกว่า 1,000 โวลต์

13. หลักดิน ( Grounding Electrode )

ความต้านทานระหว่างหลักดินกับดินต้องมีค่าต่ำที่สุดเพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ง่าย และแรงดันของสายนิวทรัลมีค่าใกล้ศูนย์มากที่สุด หลักดินที่กำหนดมีค่ามาตรฐานไว้ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยข้อ 2.4 มีดังนี้

13.1 แท่งเหล็กอาบโลหะชนิดกันผุกร่อน หรือแท่งเหล็กหุ้มทองแดง หรือแท่งทองแดง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 16 มม. ยาวไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร ปลายข้างหนึ่งปักลึกลงดินไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร

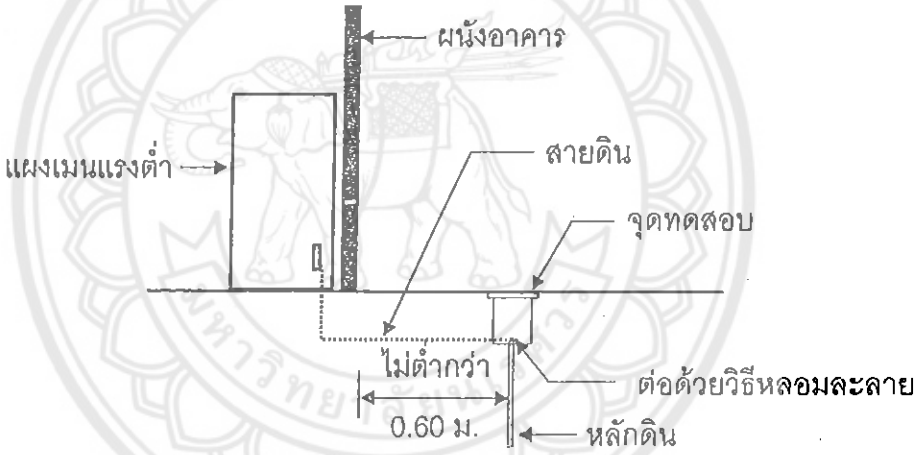
13.2 แผ่นโลหะที่มีพื้นที่สัมผัสไม่น้อยกว่า 1,800 ตร.มม. ถ้าเป็นเหล็กอาบโลหะชนิดผุกร่อนต้องหนาไม่น้อยกว่า 6 มม. ถ้าเป็นโลหะอื่นที่ทนต่อการผุกร่อนต้องหนาไม่น้อยกว่า 1.5 มม. ฝังลึกผิวดินไม่น้อยกว่า 1.6 เมตร

13.3 โครงอาคารที่เป็นโลหะ วัดค่าความต้านทานระหว่างหลักดินกับดินไม่เกิน 5 โอห์ม

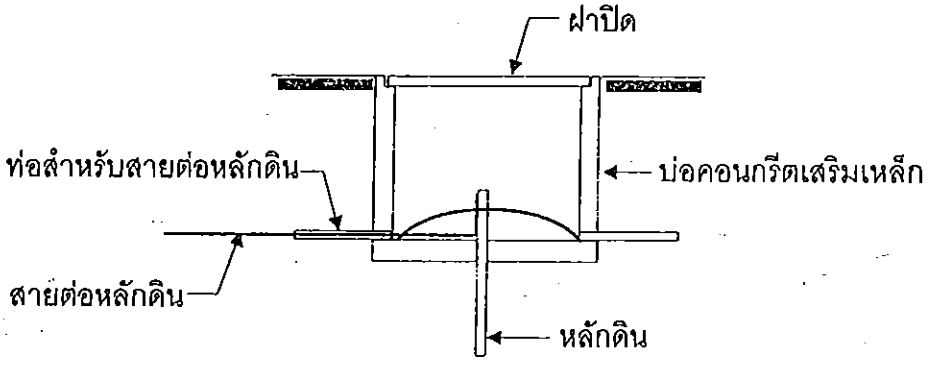
13.4 หลักดินชนิดอื่นต้องได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้านครหลวงก่อน

ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย กำหนดค่าความต้านทานของการต่อลงดินไว้ไม่เกิน 5 โอห์ม

จุดที่ต่อสายดินเข้ากับหลักดินต้องอยู่ในที่ซึ่งเข้าถึงได้ และการต่อต้องมั่นคง แข็งแรง แต่ถ้าจุดต่อนี้ฝังอยู่ในคอนกรีต ตอกหรือฝังในดิน ก็ไม่จำเป็นต้องให้เข้าถึงได้




รูปที่ 3.18 ตัวอย่างการต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธาน สำหรับอาคารชุด




รูปที่ 3.19 ตัวอย่างการทำจุดทดสอบการต่อลงดิน

# บทที่ 4
# ระบบป้องกันฟ้าผ่า

## การป้องกันฟ้าผ่า

ฟ้าผ่าเป็นสิ่งที่มีอันตรายจากธรรมชาติ โดยจะเกิดจากประจุไฟฟ้าที่ถูกสร้างจากส่วนที่เรียกว่า cells ในเมฆฝน ในจำนวน 1 ล้านของฟ้าผ่าอาจมีบางส่วนที่ทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคาร บ้านเรือน และสิ่งก่อสร้าง ทั้งยังเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ ไม่ว่าจะโดยทางตรงหรือทางอ้อม เช่น ทำให้เกิดไฟไหม้ การระเบิด เป็นต้น แต่สถิติของการเสียชีวิตโดยฟ้าผ่านั้นยังน้อยมาก ประมาณ 1 ใน 2 ล้านรายต่อปี

## สายล่อฟ้าจะป้องกันฟ้าผ่าได้อย่างไร

การป้องกันฟ้าผ่าไม่ได้หมายความว่าเป็นการห้ามไม่ให้มีฟ้าผ่าลงมา แต่เป็นการทำให้ฟ้าผ่าลงมาบนจุดที่กำหนดให้ แทนการผ่าลงมาบนสิ่งที่เราป้องกัน ดังที่ภาษาชาวบ้านไทยเรามักจะเรียกกันว่า " ล่อฟ้า " หรือ " ระบบล่อฟ้า " และโดยที่ฟ้าผ่ามักจะเกิดลงบนสิ่งที่สูงโดดเด่น เช่น ต้นไม้สูงในที่โล่งกว้าง, ยอดเขาสูง , ยอดอาคาร เป็นต้น โดยเฉพาะยอดแหลมต่าง ๆ จะเป็นจุดที่ฟ้าผ่ามากที่สุด ดังนั้นการป้องกันฟ้าผ่าจึงกระทำโดยการสร้างสิ่งที่เป็นยอดแหลม และสูงกว่าระดับสิ่งที่เราป้องกัน ซึ่งระบบป้องกันฟ้าผ่านี้ในแต่ละประเทศจะมีการกำหนดมาตรฐานไว้เช่น British Standard Code ของประเทศอังกฤษ Lighting Protection Code ใน National Fire Protection Association ( NFPE ) Code ของประเทศสหรัฐอเมริกา มาตรฐานการพลังงานแห่งชาติสำหรับประเทศไทย เป็นต้น ซึ่งมาตรฐานเหล่านี้จะมีเค้าโครงเช่นเดียวกันดังที่ได้กล่าวต่อไป

## ความต้องการการป้องกันฟ้าผ่า

ความต้องการนั้นจะขึ้นอยู่กับสิ่งก่อสร้างนั้น ๆ ว่า จะเสี่ยงต่อการเกิดระเบิดแค่ไหน เช่น โรงงานที่เกี่ยวกับวัตถุระเบิด, คลังสินค้า หรือถังน้ำมัน มีความจำเป็นที่จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

### ขั้นตอนการพิจารณาเลือกระบบป้องกัน

1. การประมาณความเสี่ยง

มีความเป็นไปได้ที่อาคาร หรือ สิ่งก่อสร้างจะถูกฟ้าผ่าเข้าสักครั้งหนึ่ง ซึ่งเป็นผลจากความหนาแน่นของการเกิดฟ้าผ่าและ effective collection area ของโครงสร้าง

ความหนาแน่นของการเกิดฟ้าผ่า ( lighting flash density ) , Ng , คือจำนวนของฟ้าผ่าต่อ ตารางกิโลเมตร ต่อปี ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 ส่วนค่า effective collection area (Ac) ของโครงสร้าง คือ พื้นที่แผนผังของโครงสร้างที่แผ่ขยายในแต่ละทิศทาง โดยคำนวณจากความสูงของโครงสร้างนั้น ซึ่งขอบเขตของ effective collection area จะขึ้นอยู่กับขอบเขตของโครงสร้างที่ส่วนนั้นว่าสูงแค่ไหน โดยจะมีสูตรคำนวณ คือ

$$Ac = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2$$

เมื่อ L – Length

W - Width

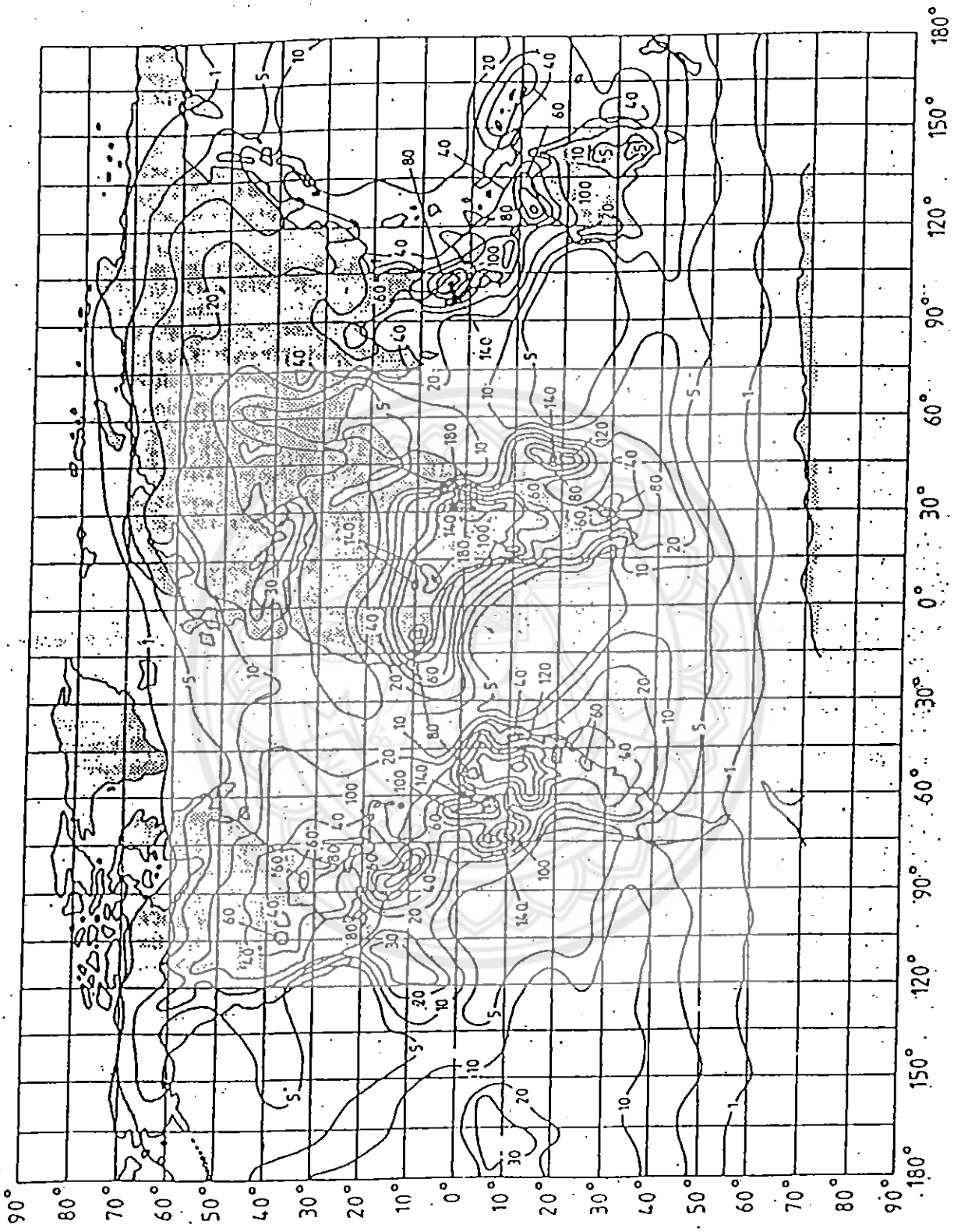
H - Hight

เพราะฉะนั้นความเป็นไปได้ที่จะเกิดฟ้าผ่าลงบนอาคารต่อปี (P) จะคำนวณได้จาก

$$P = Ac \times Ng \times 10^{-6}$$

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง thunderstorm days per year และ lighting flashes per $km^2$ per year

| Thunderstorm Day per year | Flashes per $km^2$ per year | |
|---|---|---|
| | Mean | Limits |
| 5 | 0.2 | 0.1 to 0.5 |
| 10 | 0.5 | 0.15 to 1 |
| 20 | 1.1 | 0.2 to 3 |
| 30 | 1.9 | 0.6 to 5 |
| 40 | 2.8 | 0.8 to 8 |
| 50 | 3.7 | 1.2 to 10 |
| 60 | 4.7 | 1.8 to 12 |
| 80 | 6.9 | 3 to 17 |
| 100 | 9.2 | 4 to 20 |



รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงจำนวนของวันที่มีพายุ ต่อ ปี ทั่วโลก

2. การประเมินความเสี่ยงทั้งหมด

เมื่อคำนวณค่าความเป็นไปได้ของจำนวนการเกิดฟ้าผ่า (P) ได้ ต่อมาก็คิดค่า " weight factor " (ค่าตัวแปรน้ำหนัก) ซึ่งจะได้จากตารางที่ 4.2 - 4.6 แล้วนำมาพิจารณาความเสี่ยง ถ้าสูงกว่า 10-5 ต่อปี จำเป็นที่ต้องมีการติดตั้งระบบป้องกัน

3. ตัวแปรน้ำหนัก (Weighting Factor)

ในตารางที่ 4.2 – 4.6 จะแสดงค่าตัวแปรน้ำหนัก ซึ่งแบ่งออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ตั้งแต่ A-E โดยจะขึ้นอยู่กับระดับความสำคัญหรือความเสี่ยงในกรณีนั้นๆ

ตารางที่ 4. 2 ตัวแปรน้ำหนัก A ( ใช้สำหรับโครงสร้าง )

| Use to which structure is put | Value of factor A |
|---|---|
| Houses and other buildings of comparable size | 0.3 |
| Houses and other buildings of comparable size with outside aerial | 0.7 |
| Factories workshops and laboratories | 1.0 |
| Office blocks ,hotels ,blocks of flats and other residential buildings other than those included Below | 1.2 |
| Places of assembly ,e.g. churches ,halls , theatres ,museums ,exhibitions ,department stores ,post offices ,stations ,airports ,and stadium structures | 1.3 |
| Schools ,hospitals ,children's and other Homes | 1.7 |

ตารางที่ 4.3 ตัวแปรน้ำหนัก B ( ชนิดของรูปทรง )

| Type of construction | Value of factor B |
|---|---|
| Steel framed encased with any roof other than metal* | 0.2 |
| Reinforced concrete with any roof other than metal | 0.4 |
| Steel framed encased or reinforced concrete with metal roof | 0.8 |
| Brick ,plain concrete or masonry with any roof other than metal or thatch | 1.0 |
| Timber framed or clad with any roof other than metal or thatch | 1.4 |
| Brick ,plain concrete ,masonry ,timber framed but with metal roofing | 1.7 |
| Any building with a thatched roof | 2.0 |
| *A structure of exposed metal which is continuous down to ground level is excluded from the table as it requires no lighting protection beyond adequate earthing arrangements | |

ตารางที่ 4.4 ตัวแปรน้ำหนัก C (ผลกระทบต่ออุปกรณ์ภายใน)

| Contents or consequential effects | Value of factor C |
|---|---|
| Ordinary domestic or office buildings ,factories and workshops not containing valuable or specially susceptible contents | 0.3 |
| Industrial and agricultural buildings with specially susceptible* contents | 0.8 |
| Power stations ,gas installations ,telephone exchanges, radio stations | 1.0 |
| Key industrial plants ,ancient monuments and historic buildings ,museum ,art galleries or other buildings with specially valuable contents | 1.3 |
| Schools ,hospitals ,children's and other homes places of assembly | 1.7 |
| *This means specially valuable plant or materials vulnerable to fire or the results of fire | |

ตารางที่ 4.5 ตัวแปรน้ำหนัก D (ระดับของการป้องกัน)

| Degree of isolation | Value of factor D |
|---|---|
| Structure located in a large area of structures or trees of the same or greater height ,e.g. in a large town or forest | 0.4 |
| Structure located in and area with few other structures or trees of similar height | 1.0 |
| Structure completely isolated or exceeding at least twice the height of surrounding structures or trees | 2.0 |

ตารางที่ 4.6 ตัวแปรน้ำหนัก E ( ชนิดของภูมิประเทศ)

| Type of country | Value of factor E |
|---|---|
| Flat country at any level | 0.3 |
| Hill country | 1.0 |
| Mountain country between 300 m and 900 m | 1.3 |
| Mountain country above 900 m | 1.7 |

4. การแปลความหมายของตัวแปลความเสี่ยงทั้งหมด

เมื่อได้ผลของตัวแปรความเสี่ยงทั้งหมด แล้วนำมาพิจารณาถ้าค่าที่ได้ต่ำกว่า $10^{-5}$ จะพิจารณาว่าไม่จำเป็นต้องมีระบบป้องกัน แต่ถ้าค่าที่ได้สูงกว่า $10^{-5}$ ก็จำเป็นจะต้องมีการติดตั้งระบบป้องกันเอาไว้

5. ตัวอย่างการพิจารณา

โรงพยาบาลในตอนกลางของ Norfolk มีความสูง 10 m และครอบคลุมพื้นที่ 70x12 m โรงพยาบาลนี้มีที่ตั้งใน flat country และ แยกออก ( isolate ) จากอาคารอื่น ๆ โครงสร้างเป็นอิฐและ คอนกรีต ซึ่งไม่มีหลังคาที่ทำจากโลหะ

ขั้นตอนการพิจารณา

1. หาค่า Ng โดยใช้รูปที่ 4.1 จะได้ค่า Ng = 0.7 flashes / $km^2$ ต่อปี
2. หาค่า Ag จากสูตร

$$Ag = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2$$

$$= (70x12) + 2(70x10) + 2(12x10) + (\pi x100)$$

$$= 2794\ m^2$$

3. หาค่า P จากสูตร

$$P = Ac \times Ng \times 10^{-6}$$

$$= 2794x0.7x10^{-6}$$

$$= 2.0x10^{-3}$$

4. คิดค่าตัวแปรน้ำหนัก จากข้อมูลที่ได้ จะได้

factor A = 1.7

factor B = 1.0

factor C = 1.7

factor D = 2.0

factor E = 0.3

**รวมค่าตัวแปรน้ำหนักทั้งหมด** = AxBxCxDxE =1.7

5. **รวมค่าตัวแปรความเสี่ยงทั้งหมด** = $2.0x1.7x\ 10^{-3} = 3.4X10^{-3}$

**ค่าที่ได้ มากกว่า** $10^{-5}$ **ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบป้องกัน**

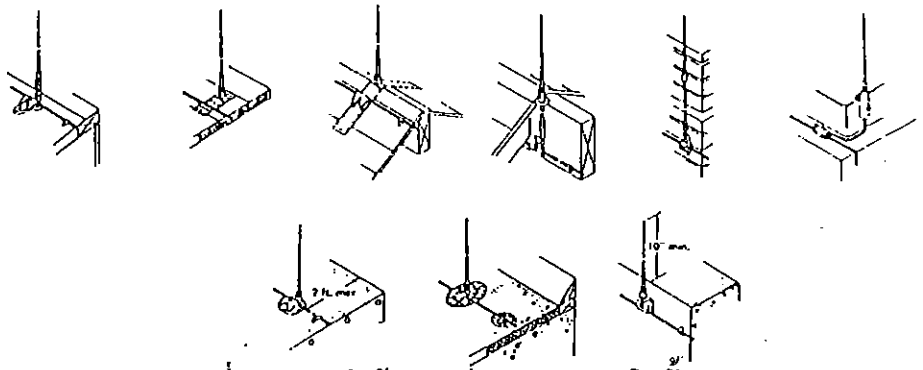
## ระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับอาคาร

อุปกรณ์ในระบบป้องกันฟ้าผ่าจะประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

1) หลักล่อฟ้า (air terminal) สำหรับระบบที่นิยมใช้กันมาก จะเป็นเสาแหลมหรือลักษณะที่เป็นสามง่ามเป็นหลักที่คอยรับประจุไฟฟ้า ( สายฟ้า ) โดยติดตั้งอยู่บนสุดของอาคาร หรือกระจายอยู่เพื่อให้มีรัศมีการป้องกันครอบคลุมตัวอาคารทั้งหมด

2) สายตัวนำลงดิน ( down conductor ) ปกติใช้ลวดทองแดงที่มีขนาดใหญ่เพียงพอแก่การนำประจุไฟฟ้าลงดินได้อย่างรวดเร็ว โดยต่อสายตัวนำลงดินนี้เข้ากับหลักล่อฟ้าตามมาตรฐาน สากลตัวนำลงดินนี้จะสร้างขึ้นมาพิเศษเพื่อใช้กับระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยเฉพาะแต่สำหรับอาคารโดยทั่วไปโดยเฉพาะประเทศไทย มักจะใช้สายไฟฟ้าทองแดงเปลือยแทนเพราะหาซื้อง่ายและราคาถูก ขนาดจึงควรใช้ให้ใหญ่กว่ามาตรฐานปกติ คือขนาดพื้นที่หน้าตัดสายควรอยู่ระหว่าง 50-70 ตารางมิลลิเมตร

3) หลักสายดิน (earth electrode หรือ ground rod) อาจใช้เป็นแท่งโลหะหรือแผ่นโลหะที่ไม่ผุกร่อนง่าย เช่น ทองแดง ฝังลึกลงไปในดินจนถึงชั้นของดินที่มีความชื้นเพื่อให้เกิดการถ่ายเทและกระจายประจุไฟฟ้าจากฟ้าผ่าลงในดินได้อย่างรวดเร็ว มาตรฐานส่วนใหญ่จะกำหนดให้ความต้านทานของดินไม่เกิน 10 โอห์ม ดังนั้นการใช้แท่งโลหะ (ground rod ) ตอกลงในดินจึงให้ผลดีมากกว่า

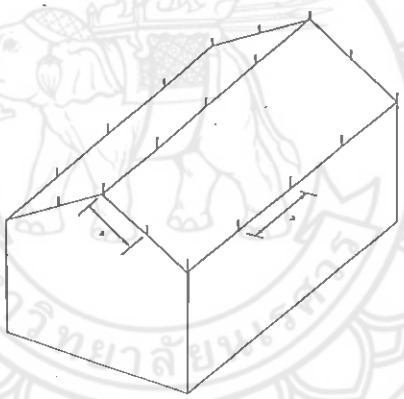


รูปที่ 4.2 หลักล่อฟ้าแบบต่าง ๆ และการติดตั้ง

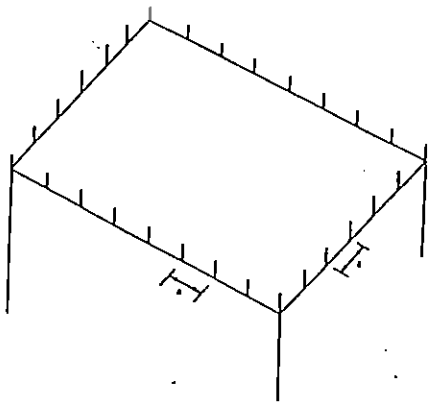
## รัศมีการป้องกันของหลักล่อฟ้า

ตามมาตรฐาน BS จะกำหนดว่า หลักล่อฟ้าต้นหนึ่งจะมีรัศมีป้องกันเป็นทรงกรวย โดยมุมแหลมของกรวยเท่ากับ 90 องศา หรือ 45 องศา ทำมุมกับแกนของหลักล่อฟ้าแต่อย่างไรก็ตาม มีผู้แนะนำว่ามุมตามรูปที่ 4.4 ควรจะเป็น 30 องศา เพื่อให้ได้ความมั่นใจในการป้องกันที่ดีกว่า

การติดตั้งหลักล่อฟ้าตามมาตรฐานทั่ว ๆ ไป จะกำหนดตามลักษณะส่วนบนหรือหลังคาของอาคาร ดังนั้น จำนวนของหลักล่อฟ้าของแต่ละอาคารจะไม่เท่ากัน แต่บางครั้งเราอาจจะสังเกตเห็นว่าอาคารบางแห่งมีหลักล่อฟ้าอยู่เพียงจุดเดียว ซึ่งในกรณีนี้ก็อาจเป็นไปได้ถ้าหลักล่อฟ้านั้นมีความสูงมากพอที่จะมีรัศมีคุ้มครองอาคารนั้นได้ทั้งหมด แต่ในบางครั้งอาคารทางด้านสถาปนิกอาจจะไม่พอใจนักสำหรับเสาสูง ๆ บนหลังคาของอาคาร เราอาจหาทางออกบางแบบให้กับสถาปนิกได้บ้าง ซึ่งมาตรฐานได้กำหนดการติดตั้งหลักล่อฟ้าที่มีความสูงเพียง 30-60 เซนติเมตร ตามรูปที่ 4.3และรูปที่ 4.4 แต่เป็นแบบที่ต้องใช้หลักล่อฟ้าจำนวนมาก

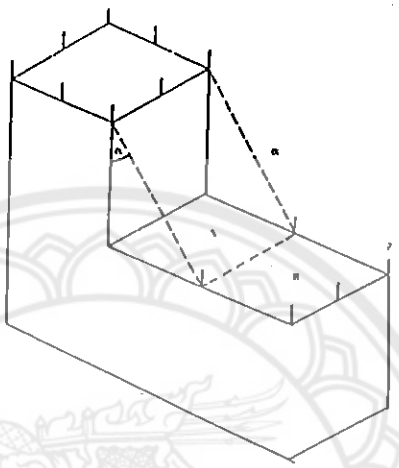


รูปที่ 4.3 จุดการวางหลักล่อฟ้าสำหรับหลังคาจั่ว ระยะ a กำหนดไม่เกิน 25 ฟุต หรือ 7.60 เมตร



รูปที่ 4.4 ลักษณะการวางหลักล่อฟ้าสำหรับอาคารหลังคาราบ ระยะ a ไม่เกิน 25 ฟุต หรือ 7.60 เมตร

นอกจากอาคารที่มีหลังคาเพียงระดับเดียวแล้ว อาคารที่มีหลังคาอยู่หลาย ๆ ระดับลดหลั่นลงมา เช่น อาคารสมัยใหม่ทั้งหลายอาจจำเป็นต้องมีหลักล่อฟ้าบนหลังคาระดับต่ำ ๆ ลงมาด้วย ดังเช่นรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 A เป็นพื้นที่ของหลังคาระดับล่างที่ถูกคุ้มครองโดยหลักล่อฟ้า (1)
B เป็นพื้นที่ของหลังคาเกินรัศมีคุ้มครองของหลักล่อฟ้า (1) จึงต้องติดตั้งหลักล่อฟ้า (2) เพิ่มเติม

## การติดตั้งสายตัวนำลงดิน

นอกจากการติดตั้งสายตัวนำลงดินให้มีค่าความต้านทานรวมทั้งหมดไม่เกิน 10 โอห์ม แล้วยังต้องคำนึงถึงเส้นทางเดินของประจุไฟฟ้าที่จะต้องให้สั้นที่สุดอีกด้วย ดังนั้นมาตรฐานทั่วไปจึงมีการกำหนดจำนวนเส้นทางของตัวนำลงดินไว้ ซึ่งตามมาตรฐานอังกฤษกำหนดไว้ว่า

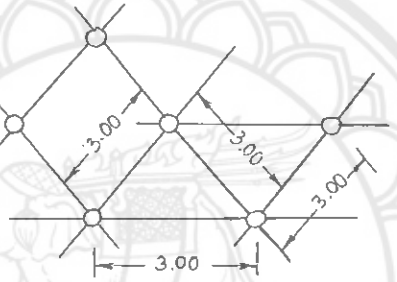
1) พื้นที่ของหลังคาอาคารไม่เกิน 100 ตารางเมตรต้องมีตัวนำลงดิน 1 ชุด ถ้าเกินจากพื้นที่นี้ต้องเพิ่มตัวนำลงดินอีก 1 ชุด และเพิ่มขึ้นเรื่อยไปในขนาดพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ ช่วง 300 ตารางเมตร

2) กำหนดให้มีตัวนำลงดินทุก ๆ ระยะ 30 เมตร ของเส้นรอบอาคาร ( หลังคา )

นอกจากนั้นแล้วอาคารสูง ๆ เกินกว่า 30 เมตร อาจจำเป็นต้องเพิ่มหลักล่อฟ้าในช่วงกลางระดับความสูงของอาคารซึ่งอาจถูกฟ้าผ่าได้

## การติดตั้งหลักสายดิน

ในปัจจุบันใช้หลักสายดินเป็นแท่งเหล็กกลมหุ้มด้วยทองแดงเพื่อป้องกันการผุกร่อนของเหล็กตอกลงไปในดิน จำนวนของหลักสายดินมากหรือน้อยขึ้นกับค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของระบบ และในกรณีที่ต้องการหลักสายดินมากกว่า 1 ต้น National Electrical Code ( NEC ) กำหนดให้มีระยะห่างระหว่างต้นไม่น้อยกว่า 6 ฟุต หรือ 1.80 เมตร ทั้งนี้เป็นการป้องกันการเกิด step voltage ซึ่งเป็นอันตรายต่อบุคคลที่เดินอยู่ใกล้กับหลักสายดิน การกระจายหลักสายดินให้ห่างกันจะช่วยให้การกระจายประจุไฟฟ้าสู่ดินได้ดี และเป็นวงกว้างทำให้ลดค่า step voltage โดยปกติมักมีการกำหนดให้ใช้ระยะ 3 เมตร ดังรูปที่ 4.6




รูปที่ 4.6 ผัง การตอกหลักสายดิน

การใช้หลักสายดินแบบตาข่ายถักเป็นตารางขนาดไม่น้อยกว่า 2.40 X 2.40 เมตร (strip electrode)ซึ่งมีข้อกำหนดอยู่ในมาตรฐานของอังกฤษ ระบบนี้นอกจากจะช่วยในระบบป้องกันฟ้าผ่าแล้วมีบางท่านแจ้งว่า เป็นระบบที่เหมาะสมกับอาคารที่มีการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ด้วย

## ระบบป้องกันฟ้าผ่าในอาคารสูงแบบ Faraday cage

ระบบป้องกันฟ้าผ่าที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันสำหรับอาคารสูง ๆ ซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านตัวนำลงดินโดยไม่ใช้สายทองแดงหรือสายตัวนำอื่น เพิ่มขึ้นมาอีก มีหลักการดังนี้

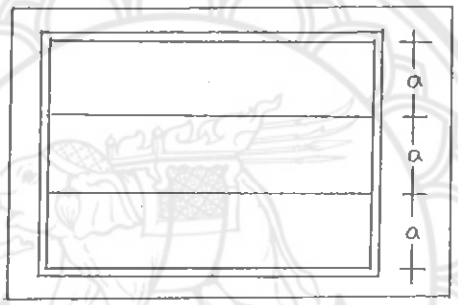
(1) ใช้เหล็กโครงสร้างตามแนวดิ่ง( เสริมเสา ) เป็นตัวนำลงดิน โดยเหล็กเสริมนี้ต้องต่อเชื่อมอย่างแข็งแรงและมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าตลอดความสูงของอาคารอย่างน้อยต้องเป็นเสาทั้ง 4 มุมของอาคารแต่ถ้าอาคารมีขนาดกว้างมากจำเป็นต้องใช้เสาหลายต้น ซึ่งมีระยะห่างไม่เกิน 30 เมตร ตามมาตรฐานอังกฤษ และ ระยะห่างไม่เกิน 18 เมตร ตามมาตรฐาน NFPA

(2) ทุกๆ ระดับความสูงของอาคาร 30 เมตร ต้องมีการเชื่อมเหล็กเสริมคานรอบนอกเป็นวงกลมและเชื่อมต่อเหล็กตามข้อ 1

(3) เสาเข็มซึ่งปรกติจะมีเส้นลวดเสริมและตอกลึกลงไปในดินมากทำให้ค่าความต้านทานของการลงดินต่ำมากดังนั้นเส้นลวดนี้สามารถใช้แทนหลักสายดินได้ดี โดยการเชื่อมเส้นลวดนี้เข้ากับเหล็กเสริมเสาเข็ม

## หลักล่อฟ้าแนวราบ

ในบางกรณีสถาปนิกไม่ต้องการให้มีหลักล่อฟ้าปรากฏที่บนสุดของอาคาร เราอาจใช้ระบบหลักล่อฟ้าแนวราบได้ โดยการใช้แถบตัวนำไฟฟ้าฝังราบกับผิวของพื้นชั้นหลังคามีแนวตามรูปที่ 4.7 ทั้งนี้แถบตัวนำดังกล่าวต้องมีค่าความนำไฟฟ้าเทียบเท่ากับตัวนำทองแดงที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาด 50 ตารางมิลลิเมตร




รูปที่ 4.7 การวางแถบตัวนำบนหลังคาระยะ a ต้องไม่เกิน 18 เมตร

สำหรับตัวนำลงดินของหลักล่อฟ้าแบบนี้สามารถใช้กับระบบธรรมดาหรือ Faraday cage ตามที่ได้กล่าวมาแล้วรวมทั้งหลักสายดินด้วย

## วัสดุที่นำมาใช้

วัสดุที่ถูกนำมาสร้างในระบบป้องกันต้องทนต่อการกัดกร่อนหรือต้านการกัดกร่อนได้ในระบบที่ยอมรับได้

วัสดุที่นำมาใช้ คือ

(1) ทองแดง จะมีความนำไฟฟ้าประมาณ 95% เมื่อถูกหลอมให้อ่อนตัวแล้วทำให้ค่อย ๆ เย็นลง แต่มีราคาสูง

(2) โลหะผสมทองแดง จะมีความทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าทองแดงในสภาวะที่เหมือนกัน

(3) อลูมิเนียม เมื่อใช้อลูมิเนียมเป็นวัสดุต้องระมัดระวังที่จะไม่ใช้ในการสัมผัสกับพื้นดินเพราะจะทำให้วัสดุนั้นเสื่อมลง

ถ้าอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าทำจากทองแดงจะไม่ติดตั้งบนหลังคาหรือบนพื้นผิวที่ทำจากอลูมิเนียม เช่นเดียวกับอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าที่ทำจากอลูมิเนียมก็จะไม่ติดตั้งบนหลังคาที่ทำจากทองแดง

ขนาดและชนิดของตัวนำ จะแสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8 โดยตารางที่ 4.7 จะแสดงวัสดุประเภทที่ 1 และตารางที่ 4.8 จะแสดงวัสดุประเภทที่ 2

วัสดุประเภทที่ 1 จะแสดงขนาดเล็กที่สุดและเบาที่สุดสำหรับหลักล่อฟ้าและตัวนำอื่น ๆ สำหรับตึกหรือโครงสร้างที่สูงไม่เกิน 23 m.

วัสดุประเภทที่ 2 จะแสดงขนาดที่เล็กที่สุดและเบาที่สุดสำหรับหลักล่อฟ้าและตัวนำอื่น ๆ สำหรับตึกหรือโครงสร้างที่สูงไม่เกิน 23 m. ขึ้นไป

ตารางที่ 4.7 วัสดุประเภทที่ 1

| Type of Conductor | | Copper | | Aluminum | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Standard | Metric | Standard | Metric |
| Air Terminal, Solid | Min. Diameter | 3/8 inch | 9.5 mm | 1/2 inch | 12.7 mm |
| Air Terminal, Tubular | Min. Diameter | 5/8 inch | 15.9 mm | 5/8 inch | 15.9 mm |
| | Min. Wall Thickness | .033 inch | 0.8 mm | .064 inch | 1.6 mm |
| Main Conductor, Cable | Min. Size ea. Strand | 17 AWG | | 14 AWG | |
| | Wgt. Per Length | 187 lbs/1000ft. | 278 g/m | 95 lbs/1000ft. | 141 g/m |
| | Cross Sect. Area | 57,400 CM | $29mm^2$ | 98,600 CM | $50 mm^2$ |
| Main Conductor, | Thickness | 16 AWG | | 14 AWG | |
| Solid Strip | Width | 1 inch | 25.4 mm | 1 inch | 25.4 mm |
| Bonding Conductor,Cable | Min. Size ea. Strand | 17 AWG | | 14 AWG | |
| (solid or stranded) | Cross Sect. Area | 26.240 CM | | 41,100 CM | |
| Bonding Conductor, | Thickness | 16 AWG | | 14 AWG | |
| Solid Strip | Width | 1/2 inch | 12.7 | 1/2 inch | 12.7 mm |

ตารางที่ 4.8 วัสดุประเภทที่ 2

| Type of Conductor | | Copper | | Aluminum | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Standard | Metric | Standard | Metric |
| Air Terminal, Solid | Min. Diameter | 1/2 inch | 12.7 mm | 5/8 inch | 15.9 mm |
| Main Conductor, Cable | Min. Size ea. Strand | 15 AWG | | 13 AWG | |
| | Wgt. Per Length | 375 lbs/1000ft. | 558 g/m | 190 lbs/1000ft. | 283 g/m |
| | Cross Sect. Area | 115,000 CM | 58 $mm^2$ | 192,000 CM | 97 $mm^2$ |
| Bonding Conductor,Cable | Min. Size ea. Strand | 17 AWG | | 14 AWG | |
| (solid or stranded) | Cross Sect. Area | 26,240 CM | | 41,100 CM | |
| Bonding Conductor, | Thickness | 16 AWG | | 1/2 inch | |
| Solid Strip | Width | 1/2 inch | 12.7 mm | | 12.7 mm |

**การเลือก**ระดับการป้องกันของระบบป้องกันฟ้าผ่า

1. ข้อกำหนดทั่วไป

1.1 ขอบเขตและวัตถุประสงค์

มาตรฐานนี้ให้ข้อมูลการแบ่งประเภทสิ่งปลูกสร้างตามผลที่**เกิดเนื่องจากฟ้าผ่า**และ**วิธีการ**เลือกระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ให้ระดับการป้องกันที่เพียงพอ

1.2 นิยาม

1.2.1 กระแสฟ้าผ่า (i)

กระแสไหลเข้าที่จุดฟ้าผ่า

1.2.2 ค่ายอด (I)

ค่าที่มากที่สุดของกระแสฟ้าผ่าหนึ่งครั้ง

1.2.3 ค่าความชันเฉลี่ยของกระแสฟ้าผ่า (di/dt)

ผลต่างระหว่างกระแสฟ้าผ่าขณะเริ่มต้นและขณะสิ้นสุดของช่วงเวลาที่กำหนดไว้ [ $i(t_2)-i(t_1)$] หารด้วยช่วงเวลาที่กำหนด [$t_2-t_1$]

1.2.4 ช่วงเวลาวาบฟ้าผ่า (T)

ระยะเวลาที่กระแสฟ้าผ่าไหลที่จุดถูกฟ้าผ่า

1.2.5 ประจุรวม ($Q_{total}$)

การอินทิเกรตตามเวลาของกระแสฟ้าผ่าสำหรับช่วงเวลาวาบฟ้าผ่าทั้งหมด

1.2.6 ประจุอิมพัลส์ ($Q_{impulse}$)

การอินทิเกรตตามเวลาของกระแสฟ้าผ่าสำกชหรับส่วนอิมพัลส์ของช่วงเวลาวาบฟ้าผ่า

1.2.7 ค่าพลังงานจำเพาะ (W/R)

พลังงานจากกระแสฟ้าผ่าซึ่งกระจายไปในหนึ่งหน่วยความต้านทาน มีค่าเท่ากับการอินทิเกรตตามเวลาของกระแสฟ้าผ่ายกกำลังสองภายในช่วงเวลาวาบฟ้าผ่า

1.2.8 ความน่าจะเป็นของความเสียหาย(p)

ความน่าจะเป็นของวาบฟ้าผ่าที่ทำความเสียหายให้กับสิ่งปลูกสร้าง

1.2.9 ความเสี่ยงต่อความเสียหาย

ความสูญเสียเฉลี่ยต่อปีที่เป็นไปได้(ชีวิตและทรัพย์สิน) ในสิ่งปลูกสร้างเนื่องจากวาบฟ้าผ่า

1.2.10 ความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง($N_d$)

จำนวนเฉลี่ยที่คาดไว้ต่อปีของวาบฟ้าผ่าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง

1.2.11 ความถี่ของความเสียหายเนื่องจากวาบฟ้าผ่าโดยตรง

จำนวนเฉลี่ยวาบฟ้าผ่าโดยตรงต่อปีที่สร้างความเสียหายกับสิ่งปลูกสร้าง

1.2.12 ความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ ($N_C$)

จำนวนเฉลี่ยสูงสุดที่ยอมรับได้ของวาบฟ้าผ่าต่อปีซึ่งสามารถทำให้เกิดความเสียหายกับสิ่งปลูกสร้าง

1.2.13 ประสิทธิภาพของระบบป้องกันฟ้าผ่า(E)

อัตราส่วนของจำนวนวาบฟ้าผ่าโดยตรงเฉลี่ยต่อปีที่ไม่สามารถทำให้เกิดความเสียหายกับสิ่งปลูกสร้างต่อจำนวนวาบฟ้าผ่าโดยตรงที่ลงสิ่งปลูกสร้าง

2. การแบ่งประเภทสิ่งปลูกสร้าง

สิ่งปลูกสร้างสามารถแบ่งประเภทตามผลเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากฟ้าผ่าที่มีต่อสิ่งที่มีอยู่ภายในหรือสิ่งแวดล้อมของสิ่งปลูกสร้าง

ผลโดยตรงของฟ้าผ่าซึ่งอาจเป็นอันตรายได้แก่ ไฟไหม้ ความเสียหายทางกล การบาดเจ็บของมนุษย์และสัตว์และความเสียหายกับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ผลของการเกิด

ฟ้าผ่าอาจนำไปสู่ความโกลาหลหรือทำให้ถึงขั้นเกิดการระเบิด และการแพร่กระจายของสารอันตราย เช่น วัสดุกัมมันตภาพรังสี สารเคมี สารพิษ เชื้อโรคทางชีวเคมี แบคทีเรียและไวรัส

ผลของฟ้าผ่าอาจเป็นอันตรายโดยเฉพาะกับระบบคอมพิวเตอร์ ระบบควบคุมระบบคุมค่า ระบบจ่ายไฟฟ้าสาธารณะ การสูญเสียข้อมูลทางด้านการผลิตและทางธุรกิจ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไว ซึ่งติดตั้งไว้ภายในสิ่งปลูกสร้างทุกประเภทอาจต้องมีการป้องกันพิเศษ

ตัวอย่างของการแบ่งประเภทสิ่งปลูกสร้าง 4 ประเภทได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 แต่สิ่งปลูกสร้างทั่วไปเท่านั้นที่จะพิจารณาในมาตรฐานนี้

2.1 สิ่งปลูกสร้างทั่วไป

สิ่งปลูกสร้างทั่วไปหมายถึง สิ่งปลูกสร้างที่ใช้สำหรับวัตถุประสงค์ทั่วไป ได้แก่ การพาณิชย์ อุตสาหกรรม การทำฟาร์ม การศึกษา พักอาศัย

2.2 สิ่งปลูกสร้างพิเศษ

สิ่งปลูกสร้างพิเศษมี 4 ประเภทดังนี้

2.2.1 สิ่งปลูกสร้างที่มีอัตรายอยู่ในวงจำกัด

สิ่งปลูกสร้างที่มีอันตรายอยู่ในวงจำกัดซึ่งวัสดุก่อสร้าง สิ่งที่อยู่ภายในหรือผู้ครอบครองทำให้สิ่งปลูกสร้างทั้งหมดไม่มั่นคงต่อผลที่ตามมาของฟ้าผ่า

2.2.2 สิ่งปลูกสร้างที่เป็นอันตรายต่อสิ่งที่อยู่โดยรอบ

สิ่งปลูกสร้างซึ่งสิ่งที่อยู่ภายในสามารถเป็นอันตรายต่อสิ่งที่อยู่รอบตัวถ้าถูกฟ้าผ่า

2.2.3 สิ่งปลูกสร้างที่เป็นอันตรายต่อสังคม

สิ่งปลูกสร้างซึ่งอาจทำให้เกิดการปล่อยสารชีวภาพ สารเคมีและสารกัมมันตภาพรังสีหลังจากถูกฟ้าผ่า

2.2.4 สิ่งปลูกสร้างลักษณะอื่นๆ

สิ่งปลูกสร้างที่อาจพิจารณาให้มีการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าเป็นพิเศษประเภทสิ่งปลูกสร้างที่พบเห็นทั่วไปได้แก่

- เต็นท์ แคมป์ และสนามกีฬา
- สิ่งติดตั้งชั่วคราว
- สิ่งปลูกสร้างที่กำลังก่อสร้าง

ตารางที่ 4.9 ตัวอย่างการแบ่งประเภทสิ่งปลูกสร้าง

| การแบ่งประเภทสิ่งปลูกสร้าง | ชนิดสิ่งปลูกสร้าง | ผลของฟ้าผ่า |
|---|---|---|
| สิ่งปลูกสร้างทั่วไป | ที่อยู่อาศัย-บ้าน | วัสดุอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือวัสดุอื่นๆเสียหาย การเกิดไฟไหม้ ความเสียหายซึ่งโดยทั่วไปจำกัดเฉพาะสิ่งของที่จุดฟ้าผ่าหรืออยู่ตามทางกระแสฟ้าผ่า |
| | เกษตรกรรม | ความเสี่ยงเบื้องต้นต่อการเกิดไฟไหม้และศักดาไฟฟ้าช่วงก้าวที่อันตราย ความเสี่ยงช่วงที่สองเนื่องจากไฟฟ้าดับ และอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเนื่องจากระบบควบคุมการระบายอากาศและการให้อาหารสัตว์เสียหายเป็นต้น |
| | โรงภาพยนต์<br>โรงเรียน<br>ห้างสรรพสินค้า<br>สนย์กีฬา | ความเสียหายของระบบไฟฟ้าที่ทำให้เกิดความโกลาหล เช่น ไฟฟ้าสว่าง ระบบแจ้งเหตุไฟไหม้ไม่ทำงานทำให้การดับเพลิงล่าช้า |
| | ธนาคาร<br>บริษัทประกันภัย<br>บริษัทพาณิชย์ | เหมือนข้างต้น รวมทั้งปัญหาที่เกิดเนื่องจากการสื่อสารขัดข้อง คอมพิวเตอร์ไม่ทำงานและการสูญหายของข้อมูล |
| | โรงพยาบาล<br>สถานพยาบาล<br>เรือนจำ | เหมือนข้างต้น รวมทั้งปัญหาของผู้ป่วยอาการหนักและความยุ่งยากต่อการช่วยเหลือผู้ถูกจองจำ |
| | อุตสาหกรรม | ผลเสียหายเพิ่มเติมเนื่องจากสิ่งที่อยู่ภายในโรงงาน ตั้งแต่ความเสียหายน้อยจนไปถึงความเสียหายที่รับไม่ได้และการสูญเสียการผลิต |
| | พิพิธภัณฑ์<br>โบราณสถาน | การสูญเสียมรดกทางวัฒนธรรมที่ไม่อาจทดแทนได้ |

| | | |
|---|---|---|
| สิ่งปลูกสร้างที่มีอันตรายอยู่ในวงจำกัด | ระบบโทรคมนาคม<br>โรงไฟฟ้า<br>อุตสาหกรรมที่ง่ายต่อการเกิดไฟไหม้ | การสูญเสียบริการสาธารณะ อันตรายที่เกิดกับสิ่งที่อยู่ใกล้เคียงโดยรอบเนื่องจากไฟไหม้ เป็นต้น |
| สิ่งปลูกสร้างที่เป็นอันตรายต่อสิ่งที่อยู่โดยรอบ | โรงกลั่น<br>สถานบริการเชื้อเพลิง<br>โรงงานดอกไม้เพลิง<br>งานคลังแสง | ไฟไหม้และการระเบิดที่เกิดขึ้นกับสิ่งปลูกสร้างและสิ่งที่อยู่โดยรอบ |
| สิ่งปลูกสร้างที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม | โรงผลิตเคมี<br>โรงผลิตนิวเคลียร์<br>ห้องปฏิบัติการและโรงผลิตชีวเคมี | ไฟไหม้และการทำงานที่ผิดพลาดของระบบภายในโรงงานซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมท้องถิ่นและโลก |

*<u>หมายเหตุ</u> - อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไวอาจติดตั้งในสิ่งปลูกสร้างทุกชนิด รวมทั้งสิ่งปลูกสร้างทั่วไป ซึ่งเสียหายได้ง่ายเนื่องจากแรงดันเกิดที่เกิดจากฟ้าผ่า*

*- การสูญเสียการบริการสาธารณะสามารถคิดได้จากผลคูณของเวลาที่ผู้ใช้บริการไม่สามารถใช้บริการคูณด้วยจำนวนผู้ใช้บริการที่เกี่ยวข้องต่อปี*

3. พารามิเตอร์ฟ้าผ่า

พารามิเตอร์ฟ้าผ่าโดยปกติได้จากการวัดจากวัตถุสูง ข้อมูลที่ให้ไว้ในข้อแนะนำนี้รวมวาบฟ้าผ่าทั้งแบบขึ้นและแบบลง

อัตราส่วนขั้วบวกหรือลบของฟ้าผ่าขึ้นอยู่กับธรรมชาติของพื้นที่ถ้าไม่มีข้อมูลท้องถิ่นให้สมมุติเป็นฟ้าผ่าบวก 10% และฟ้าผ่าลบ 90%

ค่าที่บันทึกในข้อแนะนำนี้ขึ้นกับอัตราส่วนขั้วบวก 10 % และ ขั้วลบ 90 %

3.1 พารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าที่ใช้สำหรับกำหนดขนาดของระบบป้องกันฟ้าผ่า

ผลทางกลและความร้อนของฟ้าผ่าสัมพันธ์กับกระแสค่ายอด(i) ประจุทั้งหมด ($Q_{total}$) ประจุอิมพัลส์ ($Q_{impulse}$) และพลังงานจำเพาะ (W/R) ค่าสูงสุดของพารามิเตอร์เหล่านี้เกิดขึ้นในวาบฟ้าผ่าบวก

ผลของความเสียหายที่เกิดจากศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำสัมพันธ์กับหน้าคลื่นกระแสฟ้าผ่า ในข้อแนะนำนี้การออกแบบใช้ความชันเฉลี่ยระหว่างค่า 30% และ 90% ของค่ากระแสยอด ค่าความชันสูงสุดที่เกิดขึ้นในฟ้าผ่าลบที่เกิดตามมา ฟ้าผ่าลบดังกล่าวเกิดขึ้นในวาบฟ้าผ่าลบเกือบทั้งหมดที่ผ่าลงสิ่งปลูกสร้าง

สมมุติวาบฟ้าผ่าบวก 10% และวาบฟ้าผ่าลบ 90%ค่าของพารามิเตอร์ฟ้าผ่าที่สัมพันธ์กับระดับการป้องกันได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่ากับระดับป้องกัน

| พารามิเตอร์ของฟ้าผ่า | | ระดับการป้องกัน | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3-4 |
| กระแสค่ายอด(i) | กิโลแอมแปร์ | 200 | 150 | 100 |
| ประจุรวม($Q_{total}$) | คูลอมบ์ | 300 | 225 | 150 |
| ประจุอิมพัลส์($Q_{impulse}$) | คูลอมบ์ | 100 | 75 | 50 |
| พลังงานจำเพาะ(W/R) | กิโลจูล/โอห์ม | 10,000 | 5,600 | 2,500 |
| ความชันเฉลี่ย(di/dt) | กิโลแอมแปร์/ไมโครวินาที | 200 | 150 | 100 |

**แรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัส**

แรงดันช่วงก้าวหมายถึงความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุดบนพื้นผิวดินที่มีกระแสไหลผ่านลงไป โดยที่สองจุดนั้นห่างกันเท่ากับช่วงก้าวของคน คือ เกิดความต่างศักย์ระหว่างซ้ายกับเท้าขวาในขณะก้าว ซึ่งมักจะคิดช่วงก้าวเท่ากับ 1 เมตร ส่วนแรงดันสัมผัส คือ ความต่างศักย์ระหว่างตัวนำหรือโครงสร้างที่กระแสไหลผ่านไปสู่รากสายดินที่คนมีโอกาสสัมผัสกับพื้นดินที่คนยืนอยู่

เมื่อมีกระแสไหลผ่านอิเลคโตรดรากสายดินแผ่กระจายออกไปในดิน จะเกิดแรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัสเป็นอันตรายแก่คนหรือก็ขึ้นอยู่กับแรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัสนั้น ทำให้กระแสไหลผ่านร่างกายเกินขีดกระแสที่อันตรายหรือไม่ มาตรการแห่งการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ได้กำหนดแรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัสอันตรายไว้เท่ากับ 50 โวลท์ ในประเทศเยอรมันและประเทศอื่นๆในยุโรปได้กำหนดแรงดันอันตรายนี้ไว้เท่ากับ 65 โวลท์ โดยคิดเวลาที่กระแสไหลผ่านไม่เกิน 5 วินาที

แรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัสที่ก่อให้เกิดอันตรายมีค่ามากน้อยขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ยืนและลักษณะของแรงดันกระจาย ( voltage distribution ) พิจารณาพื้นผิวรากสายดินแบบครึ่งวงกลมฝังดิน ซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าของรากสายดินเทียบกับจุดที่ไกลออกไปเท่ากับอนันต์ คือ

$$U_e = I\rho/2\pi r_0$$

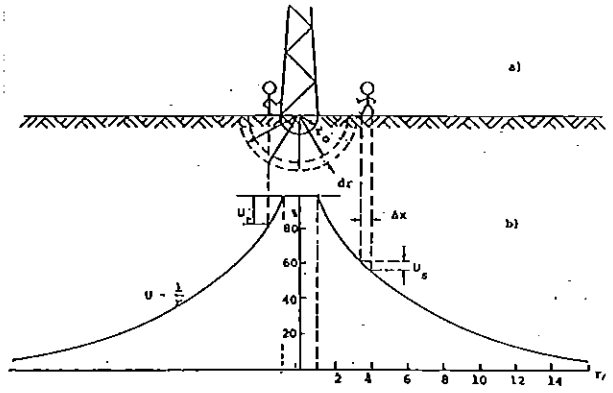
แรงดันที่จุดใดๆบนพื้นผิวดินก็คือ ศักย์ไฟฟ้า ณ จุดนั้นเทียบกับจุดที่ระยะอนันต์ คือ

$$U_r = I\rho/2\pi r$$

เมื่อคิดเทียบแรงดันที่ผิวรากสายดินจะได้ความสัมพันธ์

$$U_r/U_e = r_0/r$$

นั่นคือแรงดันจะลดลงเป็นสัดส่วนกลับกับระยะห่างออกไปจากรากสายดินดังในรูปที่ 4.8




รูปที่ 4.8 แรงดันสัมผัส และแรงดันระยะก้าว

a). เสาไฟฟ้ามีรากสายดินรูปครึ่งทรงกลมรัศมี $r_0$

b). เส้นกราฟแสดงแรงดันกระจายในเทอมระยะห่าง x

Us = แรงดันช่วงก้าว

Ut = แรงดันสัมผัส

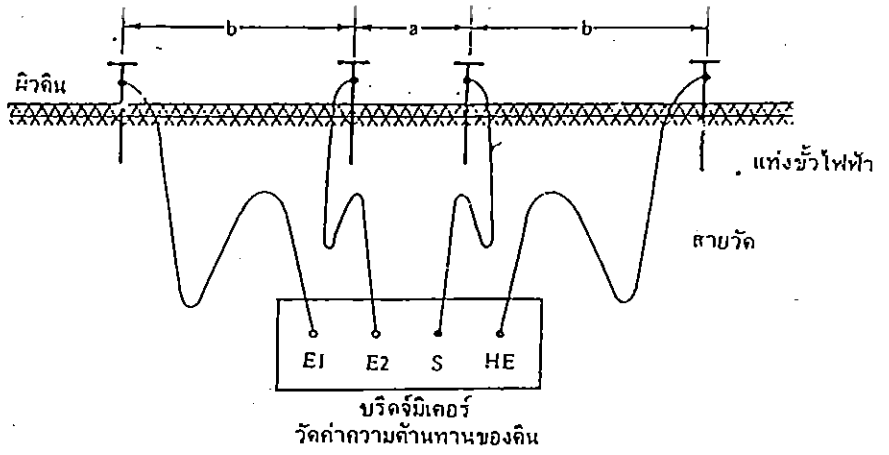
ในรูปที่ 4.8 เป็นกราฟแรงดันกระจายคิดเป็นอัตราส่วน $U_r/U_e$ ในเทอมของ $r/r_0$ เส้นกราฟจะได้สมมาตรรอบแกนดิ่งของรากสายดิน ในบริเวณใกล้ๆรากสายดินศักย์ไฟฟ้าจะสูงและจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงระยะใกล้ $r/r_0 < 3$ แต่เมื่อระยะห่างออกไปมากๆศักย์ไฟฟ้าจะค่อยๆลดลงเช่น ระยะห่าง $r/r_0 = 100$ ศักย์ไฟฟ้าจะลดลงเหลือเพียง 1% ของศักย์ไฟฟ้าที่รากสายดินแรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัสอาจจะจำกัดให้มีค่าต่ำโดยการออกแบบระบบรากสายดินให้มีความต้านทานของสายดินต่ำๆ ถ้าหากดินมีความต้านทานจำเพาะสูงก็ฝังรากสายดินให้ลึกมากขึ้นและมีจำนวนมากขึ้นและค่าโอห์มจะต่ำลงถ้าเชื่อมโยงรากสายดินเหล่านี้เข้าด้วยกันเป็นวงแหวน หรือเป็นตาข่าย ในกรณีใช้รากสายดินหลายอันระยะห่างระหว่างรากสายดินแต่ระอันจะต้องห่างมากพอเมื่อเทียบกับความยาวของรากสายดินที่ฝังลึกลงไป ถ้ารากสายดินเป็นแท่งฝังดิ่งระยะห่างระหว่างแท่งต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งเท่าของความยาวแท่งสายดิน

# บทที่ 5
# การวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน

ค่าความต้านทานจำเพาะของดินโดยธรรมชาติแล้วจะไม่ได้มีค่าเดียวกันทั่วทั้งบริเวณ แม้ว่าจะเป็นบริเวณใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ชนิดของดินต่างๆ ความชื้นของดินที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดกาล การวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินก่อนที่จะวางแผนการติดตั้งระบบต่อลงดินย่อมจะเป็นผลดีต่อการศึกษาและการเลือกชนิดของแท่งสายดินที่เหมาะสม (แท่งสายดินชนิดติดตั้งใกล้ผิวดิน หรือชนิดติดตั้งลงไปใต้ดิน) การวัดค่าความต้านทานจำเพาะภาคสนามนั้นมีอยู่หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้จะมีอยู่ดังนี้

1. วิธีการของ Wenner

วิธีการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินแบบ Wenner นี้เป็นวิธีการที่ใช้แท่งขั้วไฟฟ้า (Electrode) จำนวน 4 ขั้วปักไว้บนพื้นดินที่ต้องการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน โดยปักดินให้อยู่ในแนวเดียวกัน มีระยะห่าง a ระหว่างขั้วแท่งไฟฟ้าทั้ง 4 เท่ากัน และปักลงที่ความลึกไม่เกิน a/3 แท่งขั้วไฟฟ้าทั้ง 4 จะต่อเข้ากับบริดจ์มิเตอร์เพื่อวัดค่าความต้านทานของดิน ซึ่งมีขั้วต่อสาย 4 ขั้วเช่นกัน และมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าในตัวที่มีความถี่ของแรงดันไฟฟ้า ระหว่าง 90-110 Hz สายวัดที่ใช้เชื่อมต่อถึงกันระหว่างแท่งขั้วไฟฟ้ากับขั้วต่อของบริดจ์มิเตอร์ ปกติจะถูกม้วนเก็บเป็นขดไว้เพราะฉะนั้นเวลาใช้จะต้องคลายสายออกให้เป็นเส้นทั้งหมด เพื่อไม่ให้เกิดการเหนี่ยวนำใดๆ ขึ้นที่สายวัด ได้ดังแสดงในรูป 5.1




รูปที่ 5.1 ลักษณะของการปักแท่งขั้วไฟฟ้าในการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินของ Wenner

แท่งขั้วไฟฟ้า (Electrode) ที่อยู่ด้านนอกสุดทั้งสองจะถูกจ่ายไฟกระแสสลับ I จากบริดจ์มิเตอร์ ไหลลงสู่ใต้ดินและทำให้มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างแท่งขั้วไฟฟ้าด้านในทั้งสอง U ซึ่งภายในตัวบริดจ์มิเตอร์จะแสดงผลจากสัดส่วนของ U/I ซึ่งเท่ากับค่าความต้านทาน R และค่าความต้านทานจำเพาะของดินที่ปรากฏจากการวัด $\rho e$ ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของดินที่วัดได้ R จาก

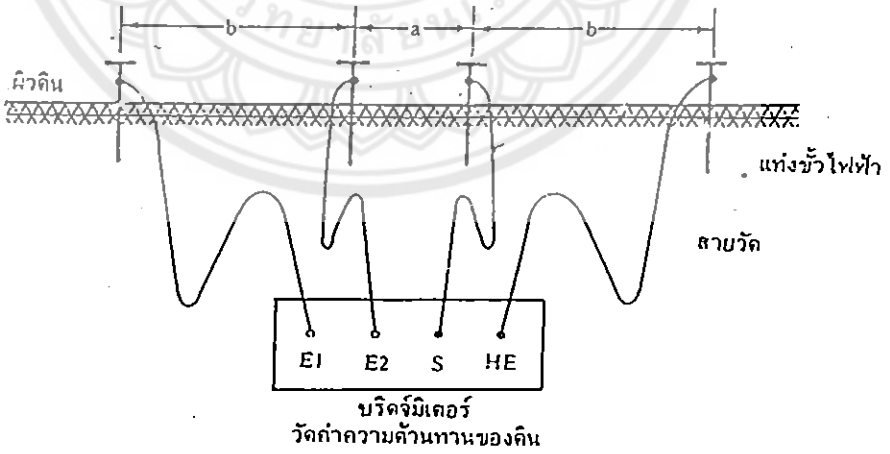
$$\rho e = 2\pi aR$$

(วิธีการของ Wenner นี้จะเป็นการวัดค่าความต้านทานของดิน จากผิวดินลงไปถึงความลึกเท่ากับระยะห่างของแท่งขั้วไฟฟ้า a)

2. วิธีการของ Schlumberger

วิธีการของ Schlumberger แตกต่างไปจากของ Wenner คือระยะห่างของแท่งขั้วไฟฟ้า (Electrode) ที่ปักอยู่ด้านในทั้งสองจะให้มีระยะห่าง a และแท่งขั้วไฟฟ้าที่ปักอยู่ด้านนอกทั้งสองให้ห่างจากแท่งขั้วไฟฟ้าที่ปักอยู่ด้านในเท่ากับ b ทั้งสองข้างดังแสดงในรูป 5.2 ซึ่งตลอดของการวัดซ้ำกันหลายๆครั้ง จะให้ระยะห่าง a คงที่ไว้เสมอ แต่จะเปลี่ยนระยะห่าง b ไปเรื่อยๆและเมื่อนำค่าความต้านทานของดินที่วัดได้ไปแทนสมการข้างล่างก็จะได้ค่า ความต้านทานจำเพาะของดิน

$$\rho s = \pi bR(1+b/a)$$

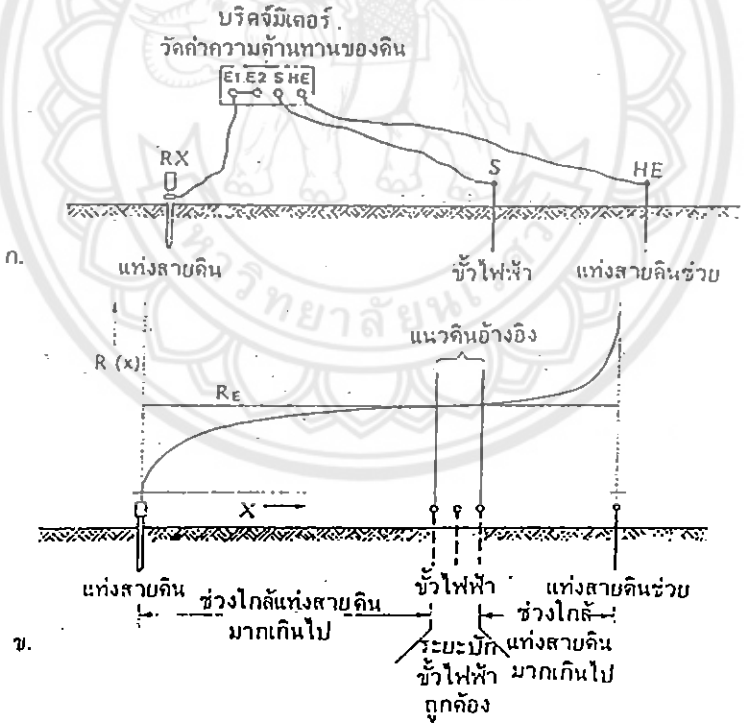



รูปที่ 5.2 ลักษณะของการปักแท่งขั้วไฟฟ้าในการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินของ Schlumberger

วิธีการของ Schlumberger เหมาะสมกับการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินในที่ที่มีบริเวณน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ที่ต้องการปักแท่งขั้วไฟฟ้าที่อยู่ด้านในทั้งสองมีจำกัด (ระยะ a) ผลลัพธ์ของการวัดด้วยวิธี Schlumberger จะได้ค่าความต้านทานจำเพาะของดินถึงที่ระดับความลึกเท่ากับระยะ b เมื่อ b>a แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างแท่งขั้วไฟฟ้าด้านในทั้งสองจะมีค่าต่ำ ดังนั้นการวัดค่าความต้านทานของดินนี้ถ้าระยะห่าง b มีค่ามากบริดจ์มิเตอร์จะต้องมีย่านวัด R ต่ำๆ จึงจะวัดได้

3. วิธีการใช้แท่งขั้วไฟฟ้า 3 แท่ง (Fall of voltage or Three point method)

บริดจ์มิเตอร์วัดค่าความต้านทานของดินโดยใช้แท่งขั้วไฟฟ้าเพียง 3 แท่งเท่านั้น เป็นที่นิยมมากในการวัดความต้านทานของดินของการต่อลงดินด้วยสายดินแบบแท่งสายดินแบบเส้นการต่อลงดินของเสาสายส่งไฟฟ้าและระบบต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย




รูป 5.3 ก. ลักษณะการปักแท่งขั้วไฟฟ้าของบริดจ์มิเตอร์วัดค่าความต้านทานแผ่กระจายของดิน Ra
ข. กราฟแสดงศักย์ไฟฟ้าระหว่างแท่งสายดินกับแท่งสายดินทั่ว

วิธีการวัดค่าความต้านทานของดินนั้นให้ต่อขั้วของบริดจ์มิเตอร์ E1 และ E2 รวมกันเข้ากับแท่งสายดินของระบบ และปักแท่งขั้วไฟฟ้า HE ให้ทำหน้าที่เป็นแท่งสายดินช่วย เมื่อบริดจ์มิเตอร์จ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (ความถี่ไฟฟ้าจะแตกต่างจากความถี่ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า และมีความถี่ไม่เกิน 150 Hz) ไหลผ่านแท่งสายดินทั้งสองลงสู่ดิน ทำให้ดินเกิดมีสนามกระแสไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 5.3 เมื่อนำแท่งขั้วไฟฟ้าต่อจากขั้ว S ของบริดจ์มิเตอร์ไปปักไว้ระหว่างแท่งสายดินของระบบ กับแท่งสายดินกับแท่งขั้วไฟฟ้า HE ซึ่งค่าความต้านทานแผ่กระจายของดินจะได้จากการวัดศักย์ไฟฟ้าระหว่างแท่งสายดินของระบบกับแท่งขั้วไฟฟ้า S ต่อการกระแสไฟฟ้าที่ไหลระหว่างแท่งสายดินของระบบกับแท่งสายดินช่วย HE ค่าความต้านทานที่ถูกต้องนั้นจะต้องให้แท่งขั้วไฟฟ้า S ไปปักอยู่ระหว่างแท่งสายดินของระบบกับแท่งสายดินช่วยที่เป็นจุดที่ความต้านทานมีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งตำแหน่งแท่งขั้วไฟฟ้า S จะต้องอยู่ห่างจากแท่งสายดินของระบบอย่างน้อย 20 เมตร จึงจะได้ผลลัพธ์ที่มีค่าผิดพลาดอยู่ในช่วงไม่เกิน 5% (เพื่อให้เกิดความสะดวกในการวัดค่าความต้านทานของดินโดยวิธีนี้ จึงได้มีการประดิษฐ์อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความต้านทานแบบนี้ขึ้นมาโดยมีขั้วไฟฟ้าอยู่ 3 ขั้วคือ ขั้วของแท่งสายดินที่ต้องการจะวัด ขั้ว auxiliary potential ( ขั้ว P) และขั้ว auxiliary current (ขั้ว C) ซึ่งจะต่างกับ บริดจ์มิเตอร์ที่ต้องใช้ขั้วไฟฟ้า 4 ขั้วแล้วต่อขั้ว E1 และขั้ว E2 เข้าด้วยกัน)

ซึ่งเมื่อวัดค่าความต้านทานของดินออกมาได้แล้วจะนำไปแทนค่าในสมการ

$$\rho_S = \frac{2\pi R}{\ln\left(\frac{8B}{d} - 1\right)}$$

เมื่อ $\rho_S$ : ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน [Ω.m]

R : ค่าความต้านทานที่วัดได้ [Ω]

B : ความลึกของแท่งอิเลคโทรดใต้ผิวดิน [m]

d : เส้นผ่าศูนย์ของแท่ง electrode [m]

หลังจากการทำการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินแล้ว ก็นำเอาค่าที่คำนวณจากการทดลองมาใช้ในการประกอบการพิจารณาเลือกใช้ ชนิดของ electrode แบบต่างๆเพื่อที่จะได้ค่าความต้านทานของระบบตามที่กำหนดไว้ และหลังจากที่ได้ออกแบบและติดตั้งระบบสายดินเสร็จแล้ว ก็จะต้องมีการทดลองวัดค่าความต้านทานของระบบอีกทีหนึ่ง เพื่อพิสูจน์ว่าระบบสายดินที่ติดตั้งไว้มีค่าความต้านทานตามที่ต้องการหรือผิดพลาดเพียงใด เพื่อที่จะได้ปรับปรุงแก้ไขได้ โดยการวัดค่าความต้านทานก็อาจใช้วิธีใดที่กล่าวมาข้างต้นแต่ที่นิยมคือ วิธี three point method

ซึ่งในโครงการนี้เราเลือกใช้วิธีการทดลองแบบ fall of voltage มาใช้ เนื่องมาจากมีเครื่องมือชนิดนี้อยู่ และการทดลองแบบ fall of voltage เป็นวิธีทดลองที่ไม่ยุ่งยากในการทดลอง ใช้การปักขั้วไฟฟ้าเพียงสามแท่งเท่านั้น

## การวัดค่าความต้านทานของดิน

ค่าความต้านทานของดินที่ได้จากการแบ่งชนิดของดินออกตามชั้นต่างๆกันนั้นจะได้เพียงแต่ความต้านทานอย่างคร่าวๆไม่ค่อยละเอียดนัก ดังนั้นการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของดินจึงเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญอย่างยิ่ง การทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของดินนี้จะต้องทำการทดสอบกันหลายจุดในบริเวณที่จะก่อสร้างโดยมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างของ electrode และด้วยความลึกต่างๆกันจึงจะสามารถรู้ว่าค่าความต้านทานของดินมีการเปลี่ยนแปลงอย่างใด ซึ่งบางครั้งค่าความต้านทานของดินมีค่าสูง ซึ่งจะเป็นข้อเตือนให้รู้ว่า ความปลอดภัยเป็นปัญหาที่จะต้องนำมาพิจารณาอย่างรอบคอบ

สำหรับวิธีวัดค่าความต้านทานของดินโดยทั่วๆไป ใช้วิธีของ U.S.BUREAU OF STANDARD ซึ่งเป็นวิธีของ Dr. F . Wenner วิธีนี้จะใช้แท่ง current electrode 2 อันและแท่ง Potential electrode 2 อันปักไว้ในดินระหว่างกลางของ Current electrode โดยให้ระยะห่างของแท่ง electrodes ห่างเท่าๆกันวิธีนี้มักจะใช้เครื่องมือทดสอบสำเร็จรูปซึ่งสามารถจ่าย Current และ Potential ได้ ซึ่งค่าความต้านทานจำเพาะของดินจะหาได้จากสูตรข้างล่าง

$$\rho = 2\pi * L * R$$

เมื่อ $\rho$ : ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน มีหน่วยเป็น โอห์ม-เมตร

R : ค่าความต้านทานที่อ่านได้จากเครื่อง megger Earth Tester

L : ระยะห่างระหว่างแท่งตัวนำแต่ละแท่ง มีหน่วยเป็น เมตร และค่า L ควรมากกว่าหรือเท่ากับ 5 เมตร

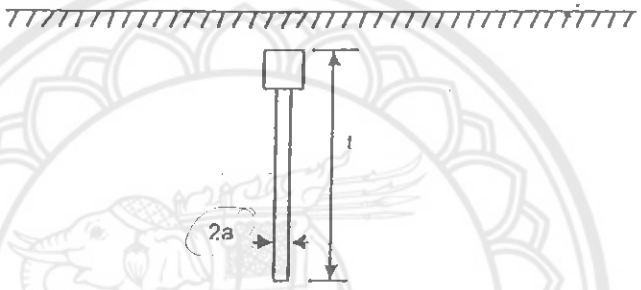
ทุกครั้งที่มีการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน จะต้องบันทึกค่าของอุณหภูมิ สภาพของดินว่าแห้งหรือมีความชื้นมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้ก็เพื่อดูว่าค่าความต้านทานจำเพาะ จะมีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด ตามเวลา และฤดูกาลอีกด้วย

## การคำนวณค่าความต้านทานดิน

การต่อลงดินแบบต่างๆสามารถคำนวณค่าความต้านทานได้ดังนี้

1. การต่อลงดินด้วย Ground Rod สามารถคำนวณหาความต้านทานดิน (R) ได้ตามจำนวนของแท่ง Ground rod

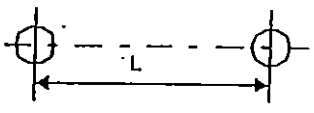
1.1 Ground rod จำนวน 1 แท่ง




$$R = R1 = \frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{4l}{a} - 1\right)$$

รูปที่ 5.4 Ground rod จำนวน 1 แท่ง

1.2 Ground rod จำนวน 2 แท่ง

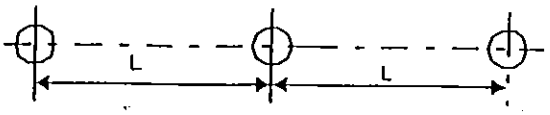



$$R=R1x\ \frac{1+m}{2}$$

รูปที่ 5.5 Ground rod จำนวน 2 แท่ง

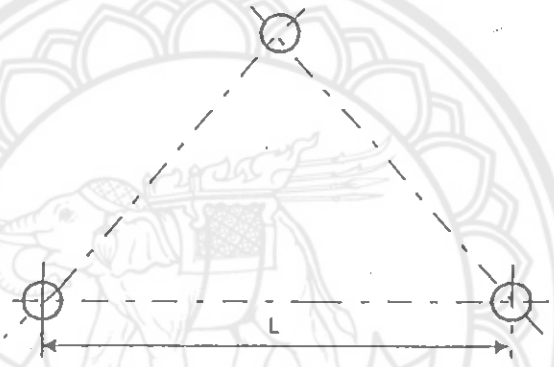
1.3 Ground rod จำนวน 3 แท่ง

1.3 ก)




$$R = R1 \times \frac{1-2m^{n}+n}{3-4m+n}$$

1.3 ข)



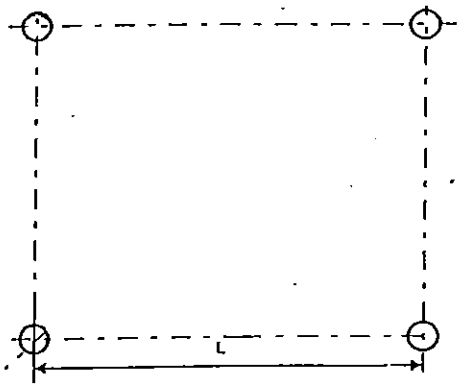

$$R=R1 \times \frac{1+2m}{3}$$

รูปที่ 5.6 Ground rod จำนวน 3 แท่ง

ก) แบบแนวระดับ

ข) แบบสามเหลี่ยม

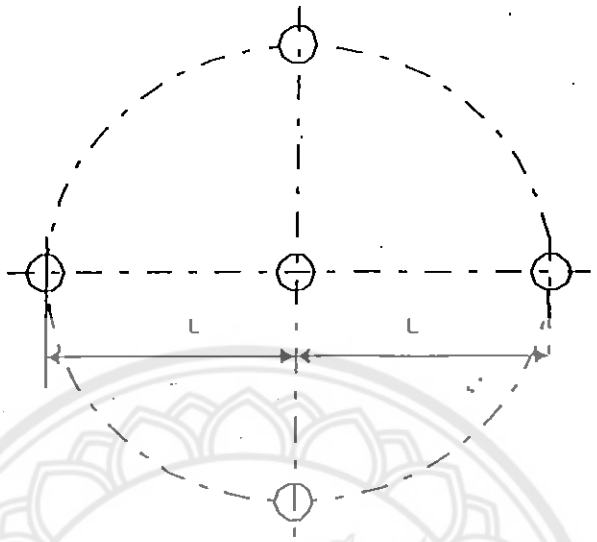
1.4 Ground rod จำนวน 4 แท่ง




$$R=R1 \times \frac{1+2m+q}{4}$$

รูปที่ 5.7 Ground rod จำนวน 4 แท่ง

1.5 Ground rod จำนวน 5 แท่ง




$$R = R1 \times \frac{1+2q+n-4m''}{5+2q+n-8m}$$

รูปที่ 5.8 Ground rod จำนวน 5 แท่ง

เมื่อ

a = รัศมีของหลักดิน

l = ความยาวของหลักดิน

$$m = \frac{\ln(x)}{\ln\left(\frac{l}{a}\right)}$$

$$n = \frac{\ln(y)}{\ln\left(\frac{l}{a}\right)}$$

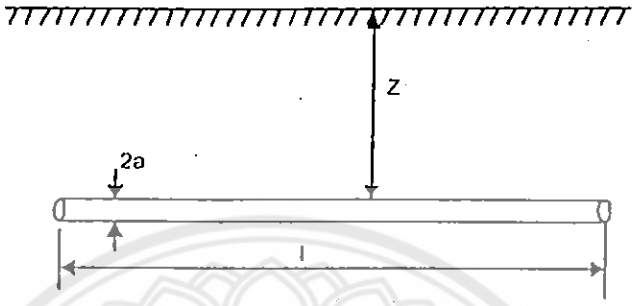
$$q = \frac{\ln(Z)}{\ln\left(\frac{l}{a}\right)}$$

$$x = \frac{(l+L)}{L}$$

$$y = \frac{(l+2L)}{2L}$$

$$z = \frac{\left(l+\sqrt{2L}\right)}{\sqrt{2L}}$$

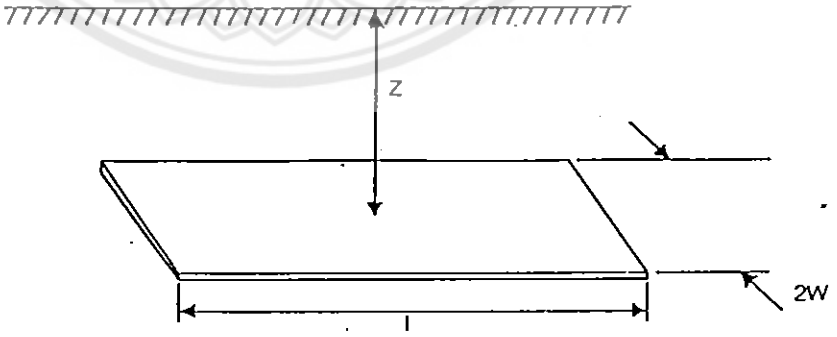
2. การต่อลงดินด้วยการฝังแท่งตัวนำ (Buried wire)




$$R = \frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{a} + \ln\frac{l}{2Z}\right)$$

รูปที่ 5.9 การต่อลงดินด้วยการฝังแท่งตัวนำ (Buried wire)

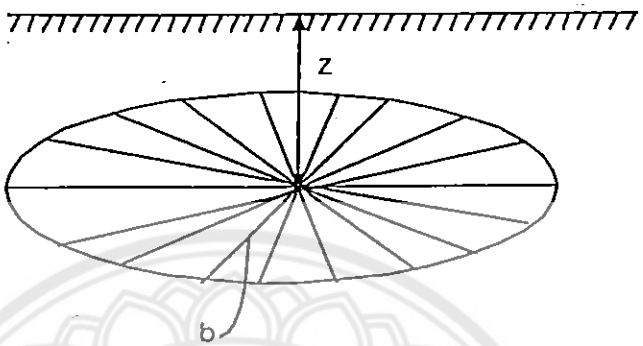
3. การต่อลงดินด้วยการฝังแถบตัวนำ (Buried strip)




$$R = \frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{W} + \ln\frac{l}{2Z}\right)$$

รูปที่ 5.10 การต่อลงดินด้วยการฝังแถบตัวนำ (Buried strip)

4. การต่อลงดินด้วยการฝังแผ่น plate วงรีใกล้ๆผิวดิน

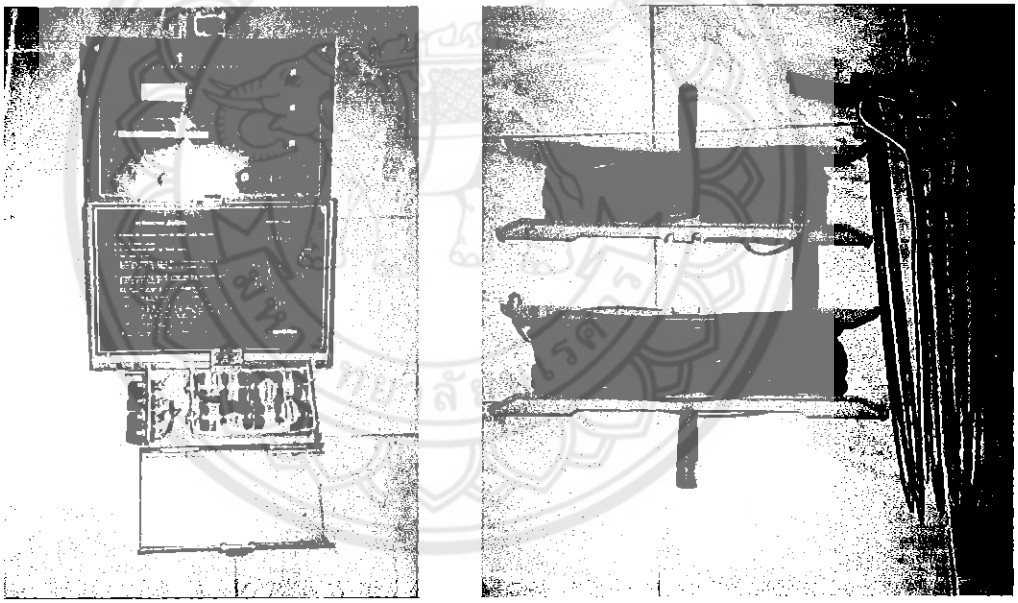



$$R=\frac{\rho}{4b}$$

รูปที่ 5.11 การต่อลงดินด้วยการฝังแผ่น plate วงรีใกล้ๆผิวดิน

# บทที่ 6
# การทดลองและการวิเคราะห์ผล

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ในโครงงานนี้เราได้เลือกใช้วิธีการแบบ fall of voltage โดยมีการใช้แท่ง Ground rod ปัก 3 จุด ห่างกันประมาณ 50 m และ Ground rod ที่ใช้เป็นแท่งเหล็กชุบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5/8 นิ้ว (15.87 มิลลิเมตร) ยาวประมาณ 15 นิ้ว ซึ่งวิธีนี้ง่ายและสะดวกในการทำการทดลอง โดยเครื่องนี้มีชื่อว่า "Surge Impedance Tester" ซึ่งมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 6.1 เครื่องวัดความต้านทาน " Surge Impedance Tester "

วิธีการวัดค่าความต้านทานของดิน

1. ดูรูปวิธีการวัด และต่อสายตัวนำทุกตัว
2. เปิดสวิทซ์ ON
3. เลือกค่า Measuring Time และ Range

4. กดปุ่ม start
5. ค่า Impedance ของดินที่ค่า Measuring Time จะแสดงที่หน้าจอ digital ควรทำการวัด 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย
6. สลับสายตัวนำของกระแส และ แรงดัน แล้วทำการวัดอีกครั้ง ถ้าได้ค่าเหมือนเดิมก็หยุด
7. ถ้าบนหน้าจอไม่แสดงค่าความต้านทาน แสดงว่าเกิดการผิดปกติ เช่น

   BATT : Batteries ไม่สมบูรณ์ ต้องทำการเปลี่ยน Batt

   OVER A : ค่า Resistance ของ current terminal สูงเกิน limit หรือต่อสายไม่ดี ควรตรวจสอบการเชื่อมต่อ ถ้าการเชื่อมต่อถูกต้องก็ต้องทำให้ค่า Resistance ของ current terminal ให้ต่ำลงโดยการเทน้ำลงรอบ ๆ ground rod

   OVER Ω : ค่า Impedance เกิด Range ให้ปรับ Range ใหม่

16. หลังจากเสร็จการวัดให้ปิดสวิทซ์ Power แล้วเก็บสายและ ground rod

<u>หมายเหตุ</u>

*Measuring Time (MT) : ค่าเวลาที่คลื่นจะสะท้อนกลับมา ถ้าวัดใกล้ ๆ ก็ใช้ค่าต่ำสุดและในกรณีนี้ ใช้ค่า MT = 1*

ซึ่งในการทำการวัดค่าความต้านทานในครั้งนี้ เราเลือก Zone ไว้ทั้งหมด 5 Zone ดังนี้

1. บริเวณระหว่างตึก IE กับ EE
2. บริเวณหน้าตึกเกษตร
3. บริเวณระหว่างตึกมนุษย์กับตึกมิ่งขวัญ
4. บริเวณตึกแพทย์
5. บริเวณตึกวิทยาศาสตร์

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าความต้านทานในแต่ละพื้นที่

| สถานที่ | ค่าความต้านทาน(Ω) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ยรวม |
| 1. บริเวณระหว่างตึก IE กับ EE | 23 | 22 | 24 | 23 |
| 2. บริเวณหน้าตึกเกษตร | 14 | 15 | 16 | 15 |
| 3. บริเวณระหว่างตึกมนุษย์กับตึกมิ่งขวัญ | 42 | 40 | 40 | 41 |
| 4. บริเวณตึกแพทย์ | 18 | 16 | 17 | 17 |
| 5. บริเวณตึกวิทยาศาสตร์ | 11 | 12 | 12 | 12 |

( ค่า Range = 100 , ค่า MT = 1 )

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของดินกับค่าตัวแปรต่างๆ

1.กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของดินกับจำนวนแท่ง ground rod

จากสูตรการคำนวณ บทที่ 5 เราจะได้ค่าความต้านทานในแต่ละที่ดังนี้

1.1 ที่ระหว่างตึก IE กับ EE

ค่าความต้านทานของ ground rod 1 แท่ง (R1)= $\frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{4l}{a}-1\right)$ = 23 Ω

ค่าความต้านทานของ ground rod 2 แท่ง (R2)= R1x $\frac{1+m}{2}$ = 12.12 Ω

ค่าความต้านทานของ ground rod 3 แท่ง (R3)= R1 x $\frac{1+2m}{3}$ = 8.487 Ω

ค่าความต้านทานของ ground rod 4 แท่ง (R4)= R1 x $\frac{1+2m+q}{4}$

= 6.601 Ω

ค่าความต้านทานจำเพาะ ($\rho$) = $\frac{R1(2\pi l)}{\ln\frac{4l}{a}-1}$ = 12.123 Ω/m

1.2 ที่หน้าตึกคณะเกษตรศาสตร์

ค่าความต้านทานของ ground rod 1 แท่ง (R1)= $\frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{4l}{a}-1\right)$ = 15 Ω

ค่าความต้านทานของ ground rod 2 แท่ง (R2)= R1x $\frac{1+m}{2}$ = 7.905 Ω

ค่าความต้านทานของ ground rod 3 แท่ง (R3)= R1 x $\frac{1+2m}{3}$ = 5.535 Ω

ค่าความต้านทานของ ground rod 4 แท่ง (R4)= R1 x $\frac{1+2m+q}{4}$

= 4.305 Ω

ค่าความต้านทานจำเพาะ $(\rho) = \frac{R1(2\pi l)}{\ln\frac{4l}{a}-1}$ = 7.906 Ω/m

1.3 ระหว่างตึกคณะมนุษย์ฯกับตึกมิ่งขวัญ

ค่าความต้านทานของ ground rod 1 แท่ง (R1)= $\frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{4l}{a}-1\right)$ = 41 Ω

ค่าความต้านทานของ ground rod 2 แท่ง (R2)= R1x $\frac{1+m}{2}$ = 21.607 Ω

ค่าความต้านทานของ ground rod 3 แท่ง (R3)= R1 x $\frac{1+2m}{3}$ =15.13 Ω

ค่าความต้านทานของ ground rod 4 แท่ง (R4)= R1 x $\frac{1+2m+q}{4}$

= 11.767 Ω

ค่าความต้านทานจำเพาะ $(\rho) = \frac{R1(2\pi l)}{\ln\frac{4l}{a}-1}$ = 21.610 Ω/m

1.4 ที่ตึกคณะแพทย์ศาสตร์

ค่าความต้านทานของ ground rod 1 แท่ง (R1)= $\frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{4l}{a}-1\right)$ = 17 Ω

ค่าความต้านทานของ ground rod 2 แท่ง (R2)= R1x $\frac{1+m}{2}$ = 8.96 Ω

ค่าความต้านทานของ ground rod 3 แท่ง (R3)= R1 x $\frac{1+2m}{3}$ = 6.27 Ω

ค่าความต้านทานของ ground rod 4 แท่ง (R4)= R1 x $\frac{1+2m+q}{4}$

= 4.88 Ω

ค่าความต้านทานจำเพาะ $(\rho) = \frac{R1(2\pi l)}{\ln\frac{4l}{a}-1}$ = 8.96Ω/m

1.5 ที่ตึกคณะวิทยาศาสตร์

ค่าความต้านทานของ ground rod 1 แท่ง (R1)= $\frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{4l}{a}-1\right)$ = 12 Ω

ค่าความต้านทานของ ground rod 2 แท่ง (R2)= R1x $\frac{1+m}{2}$ = 6.324 Ω

ค่าความต้านทานของ ground rod 3 แท่ง (R3)= R1 x $\frac{1+2m}{3}$ = 4.428 Ω

ค่าความต้านทานของ ground rod 4 แท่ง (R4)= R1 x $\frac{1+2m+q}{4}$

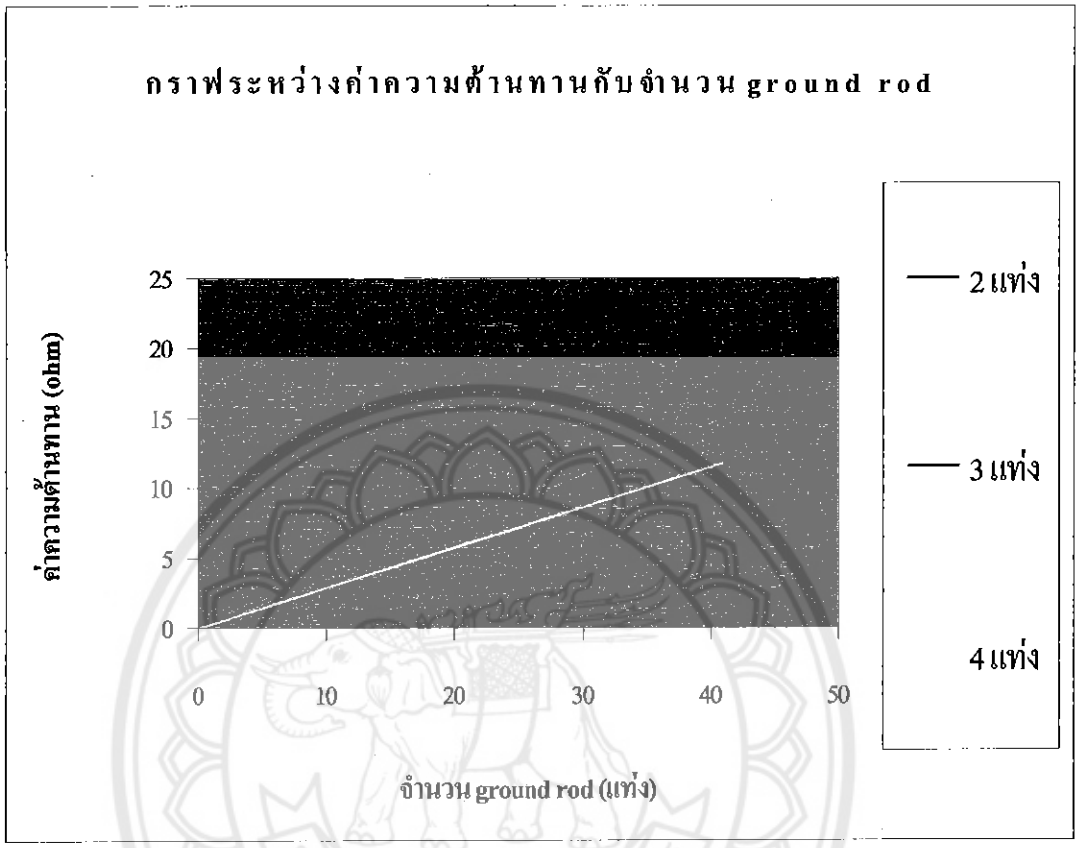
= 3.444 Ω

ค่าความต้านทานจำเพาะ $(\rho) = \frac{R1(2\pi l)}{\ln\frac{4l}{a}-1}$ = 6.539 Ω/m

เมื่อ l = 0.4 m

L= 1.5 m

a = 0.005 m




กราฟที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของดินกับจำนวนแท่ง ground rod

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของดินกับจำนวนแท่งตัวนำ แสดงให้เห็นว่า เมื่อเรานำค่าความต้านทานที่วัดได้มาคำนวณเพื่อหาค่าความต้านทานของดิน เมื่อใช้แท่ง ตัวนำมากขึ้นจะทำให้มีค่าความต้านทานที่ต่ำลง และในขณะเดียวกันหากเราทำการวัดโดยละเอียดมากขึ้น ผลที่ได้ก็จะลดต่ำลงตามลำดับ ทั้งนี้การลดลงก็จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับค่าความต้านทานของดินของพื้นที่นั้น ๆ ด้วย

2.กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของดินกับความลึกของ ground rod

โดยเลือกพิจารณาที่ตึกคณะวิทยาศาสตร์ จะได้ค่าความต้านทานต่างๆดังนี้

2.1 ค่าความต้านทานของ ground rod 1 แท่ง (R1) = $\frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{4l}{a}-1\right)$ Ω

2.2 ค่าความต้านทานของ ground rod 2 แท่ง (R2) = R1 x $\frac{1+m}{2}$ Ω

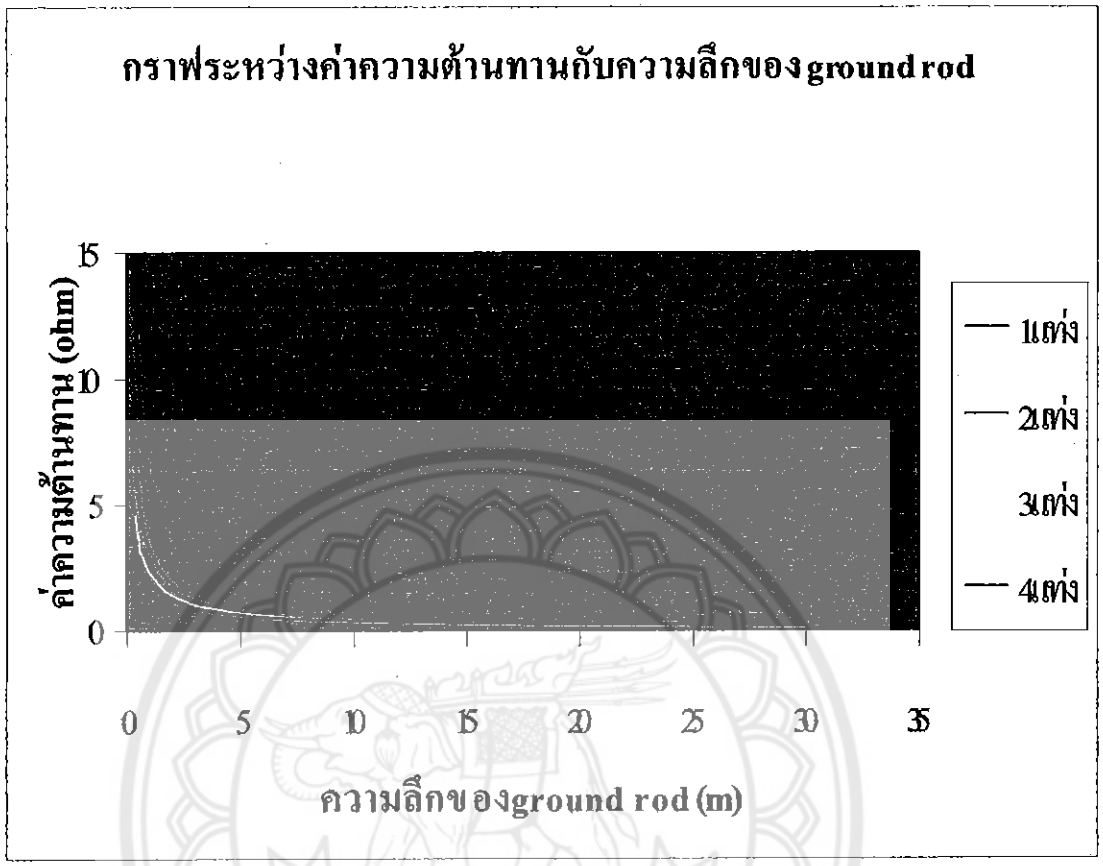
2.3 ค่าความต้านทานของ ground rod 3 แท่ง (R3) = R1 x $\frac{1+2m}{3}$ Ω

2.4 ค่าความต้านทานของ ground rod 4 แท่ง (R4) = R1 x $\frac{1+2m+q}{4}$ Ω

เมื่อ $\rho$ = 6.539 Ω/m

L = 1.5 m

a = 0.005 m




กราฟที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของดินกับความลึกของแท่ง ground rod

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของดินกับความลึกของแท่งตัวนำ แสดงให้เห็นว่า เมื่อเรานำค่าความลึกที่วัดได้มาคำนวณเพื่อหาค่าความต้านทานของดิน เมื่อเพิ่มความลึกของแท่งตัวนำมากขึ้นจะทำให้มีค่าความต้านทานที่ต่ำลง และในขณะเดียวกันหากเราทำการวัดโดยละเอียดมากขึ้น ผลที่ได้ก็จะลดต่ำลงตามลำดับ ทั้งนี้การลดลงก็จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับค่าความต้านทานของดินของพื้นที่นั้น ๆ ด้วย

3.กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของดินกับระยะห่างของแท่ง ground rod

โดยเลือกที่ตึกคณะวิทยาศาสตร์ จะได้ค่าความต้านทานต่างๆดังนี้

3.1 ค่าความต้านทานของ ground rod 1 แท่ง (R1) = $\frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{4l}{a}-1\right)$ = 12 Ω

3.2 ค่าความต้านทานของ ground rod 2 แท่ง (R2) = R1 x $\frac{1+m}{2}$ Ω

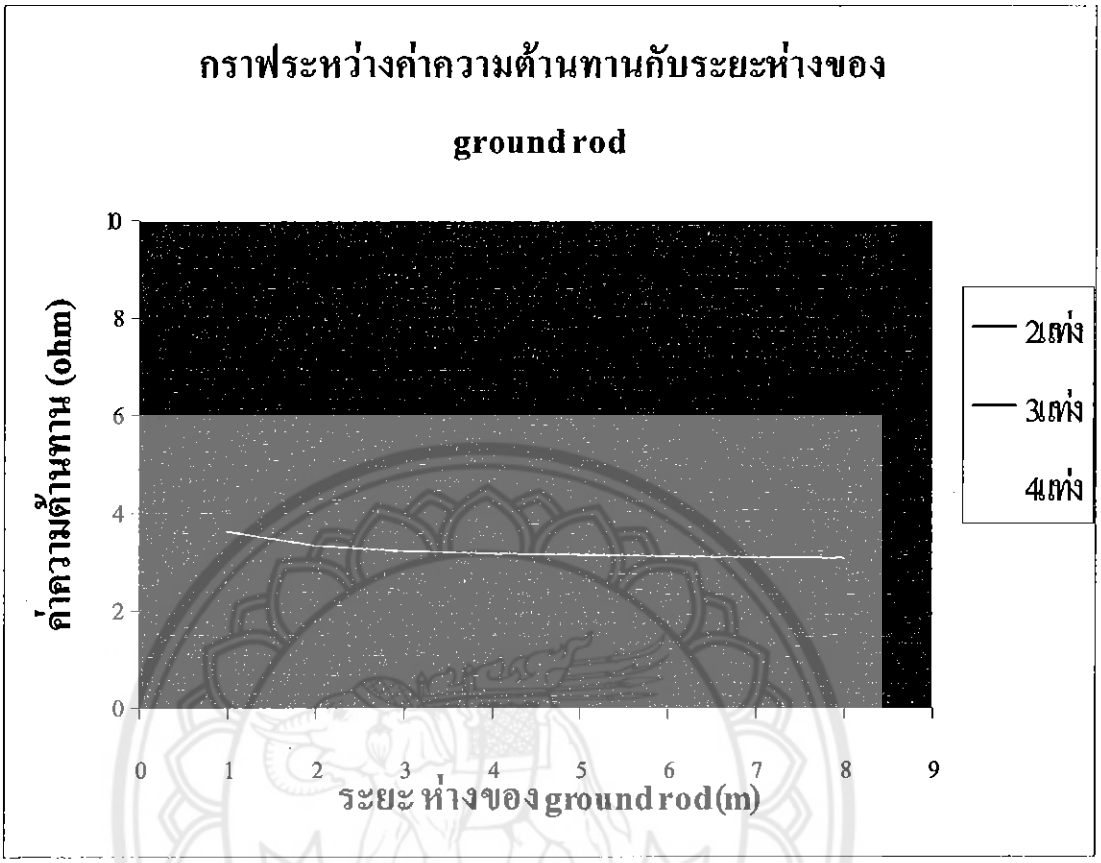
3.3 ค่าความต้านทานของ ground rod 3 แท่ง (R3) = R1 x $\frac{1+2m}{3}$ Ω

3.4 ค่าความต้านทานของ ground rod 4 แท่ง (R4) = R1 x $\frac{1+2m+q}{4}$ Ω

เมื่อ $\rho$ = 6.539 Ω/m

l = 0.4 m

a = 0.005 m




กราฟที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของดินกับระยะห่างของแท่ง ground rod

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของดินกับระยะห่างของแท่งตัวนำ แสดงให้เห็นว่า เมื่อเรานำค่าของระยะห่างของแท่งตัวนำ ที่วัดได้มาคำนวณเพื่อหาค่าความต้านทานของดิน เมื่อเพิ่มระยะให้มากขึ้นจะทำให้มีค่าความต้านทานที่ต่ำลง แต่เมื่อถึงช่วงหนึ่งค่าความต้านทานก็จะมีค่าคงที่ แม้ระยะห่างจะเพิ่มมากขึ้นก็ตาม และในขณะเดียวกันหากเราทำการวัดโดยละเอียดมากขึ้น ผลที่ได้ก็จะละเอียดมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้การลดลงก็จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับค่าความต้านทานของดินของพื้นที่นั้น ๆ ด้วย

# บทที่ 7
# บทสรุป

## สรุปผลการทดลอง

เราได้ศึกษามาแล้วว่า ค่าความต้านทานของดิน (Grounding Resistance) ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

1. ชนิดของดินว่ามีลักษณะเช่นไร ซึ่งจะมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่
2. ความชื้น หรือ ความเปียกชื้นของดินที่วัด โดยดินที่ใดมีความเปียกชื้นสูง ค่าความต้านทานของดินจะมีค่าต่ำ
3. ความหนาแน่นของดิน, อุณหภูมิ
4. ขนาดของเม็ดดิน
5. ความเข้มข้นของสารละลายเกลือในดิน

สำหรับค่าความต้านทานของดิน (Grounding Resistance) ของอาคารของแต่ละสถานที่ ที่เราได้ทำการวัดในครั้งนี้ ควรมีค่าไม่เกิน 5 Ω แต่เนื่องจากค่าความต้านทานที่วัดได้มีความแตกต่างกันมากเป็นผลมาจากช่วงนั้นมีฝนตกชุกและมีความชื้นสูง บางที่จึงมีค่าความต้านทานที่ต่ำและสูงต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของดินด้วย แต่การวัดค่าความต้านทานในครั้งนี้เป็นการวัดค่าความต้านทานระดับหนึ่ง ไม่ละเอียดมากนัก ซึ่งจะเห็นได้จากความชันของกราฟ แต่ผลที่ได้ก็เป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวไว้ข้างต้น และจากกราฟจะเห็นได้ว่าทั้งจำนวน ground rod, ความลึก และระยะห่างของแท่ง ground rod ก็มีผลต่อความต้านทานทั้งสิ้น คือ เมื่อใช้จำนวนแท่งตัวนำเพิ่มมากขึ้น จะทำให้มีค่าความต้านทานที่ต่ำลง, เมื่อเพิ่มความลึกของแท่งตัวนำให้มากขึ้น ค่าความต้านทานของดินก็จะลดต่ำลงตามไปด้วย และเมื่อเพิ่มระยะห่างให้มากขึ้น จะทำให้มีค่าความต้านทานที่ต่ำลงและเมื่อถึงช่วงหนึ่งค่าความต้านทานก็จะมีค่าคงที่ แม้ระยะห่างจะมากขึ้นก็ตาม

เราสามารถนำค่าความต้านทานของดินที่วัดได้ไปใช้ประโยชน์ คือ

- ❖ ทำให้สามารถทราบได้ว่าในแต่ละพื้นที่ควรใช้ ground rod จำนวนกี่แท่ง เพื่อจะให้ได้ค่าความต้านทานของดินที่ต่ำลง ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยแก่มนุษย์และทรัพย์สิน
- ❖ เมื่อเกิดแรงดันฟ้าผ่า ล่อฟ้าจะปล่อยประจุลงดินได้มาก ลดความเสียหายต่ออุปกรณ์และเครื่องใช้ต่าง ๆ รวมถึงความปลอดภัยของมนุษย์ด้วย
- ❖ ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการก่อสร้างอาคารของทางมหาวิทยาลัยต่อไป

**ปัญหาและการแก้ไข**

จากค่าความต้านทานที่วัดได้ในตารางที่ 6.1 จะเห็นว่าบางสถานที่มีค่าความต้านทานที่ต่างกันมาก ทั้งนี้เนื่องจากเราได้ทำการวัดในช่วงเดือนกันยายน ซึ่งเป็นหน้าฝนทำให้มีฝนตกชุกและบางที่มีน้ำท่วมขัง โดยจะเห็นได้จากค่าความต้านทานที่ต่ำลง ซึ่งความชื้นก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ค่าความต้านทานของดินต่ำลง และหากเราทำการวัดค่าความต้านทานของดินในสภาพที่แห้งจนเกินไป ก็จะมีผลทำให้ค่าความต้านทานของดินเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นเพื่อให้การวัดค่าความต้านทานของดินได้ค่าที่แม่นยำยิ่งขึ้นควรวัดค่าความต้านทานในสภาพที่เหมาะสม (ไม่ชื้นเกินไปหรือไม่แห้งจนเกินไป) และเราสามารถใช้สารเคมีช่วยในการลดค่าความต้านทานของดินที่สูงเกินไปได้ เช่น สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์, ผงถ่าน เป็นต้น

**ข้อเสนอแนะ**

ทางคณะผู้จัดทำคิดว่า ในการก่อสร้างอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างอื่น ๆ สมควรอย่างยิ่งที่จะทำการวัดค่าความต้านทานของดิน (Grounding Resistance) เพื่อจะใช้จำนวน ground rod ได้เหมาะสมกันในแต่ละพื้นที่ โดยจะเป็นการป้องกันความปลอดภัยให้กับมนุษย์และทรัพย์สิน ลดความเสียหายให้กับอุปกรณ์ รวมทั้งจะเป็นการง่ายสำหรับการใช้เครื่องตรวจวัดค่ากระแสลัดวงจรลงดิน เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการแก้ปัญหาได้ทันท่วงที

# บรรณานุกรม


1. การไฟฟ้านครหลวง ชีวิตปลอดภัยเมื่อติดตั้งระบบสายดิน กฟน.,2542.
2. บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด คู่มือวิศวกรไฟฟ้า กรุงเทพฯ : หจก.นำอักษรการพิมพ์
3. ลือชัย ทองนิล การออกแบบและการติดตั้งระบบไฟฟ้า ตามมาตรฐานของการไฟฟ้า พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพฯ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) : 2542
4. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ร่างมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า.,2535.
5. W.J.Furse & Co.Ltd , British Standard Code of practice for Protection of structures against lightning , W.J.Furse & Co.Ltd ,Nottingham : 1985

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

# การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

## การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าสามารถแยกออกได้ดังนี้

*หมายเหตุ 1. ระบบสามเฟสที่มีทั่วไปแสดงไว้ในรูปที่ ก.1 – ก.5*

*2. สัญลักษณ์ที่ใช้มีความหมายดังนี้*

ตัวอักษรตัวแรก - ความสัมพันธ์ของระบบกำลังกับดิน

T - การต่อโดยตรงของจุดหนึ่งของระบบกำลังกับดิน

I - แยกทุกส่วนที่มีไฟออกจากดิน หรือ ต่อจุดหนึ่งลงดินผ่านอิมพีแดนซ์

ตัวอักษรที่สอง - ความสัมพันธ์ของส่วนตัวนำเปิดโล่งของการติดตั้งกับดิน

T - การต่อลงดินโดยตรงทางไฟฟ้าของส่วนตัวนำเปิดโล่งกับดิน โดยไม่ขึ้นกับการต่อลงดินของจุดใดๆของระบบกำลัง

N - การต่อโดยตรงทางไฟฟ้าของส่วนตัวนำเปิดโล่งกับจุดที่ต่อลงดินของระบบกำลัง (ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ จุดที่ต่อลงดินของระบบกำลังโดยทั่วไป คือ จุดศูนย์หรือนิวทรัล หรือไม่มีจุดศูนย์ก็ใช้ตัวนำเฟส)

ตัวอักษรที่ต่อมา(ถ้ามี) – การจัดตัวนำศูนย์และตัวนำป้องกัน

S - การป้องกันโดยเตรียมตัวนำแยกจากตัวนำศูนย์หรือแยกจากสายที่ต่อลงดิน (หรือในระบบกระแสสลับก็คือเฟสต่อลงดิน)

C – ตัวนำศูนย์และตัวนำดินต่อรวมกันเป็นตัวนำเดียว(ตัวนำ PEN)

ระบบ TN

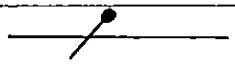
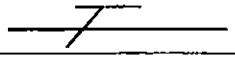
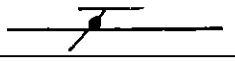
ระบบกำลัง TN มีหนึ่งจุดต่อลงดินโดยตรง ส่วนตัวนำเปิดโล่งของการติดตั้งต่อกับจุดนั้นด้วยตัวนำดิน ระบบ TN แบ่งออกเป็น 3 แบบตามการจัดรูปแบบของตัวนำศูนย์และตัวนำดิน ดังนี้

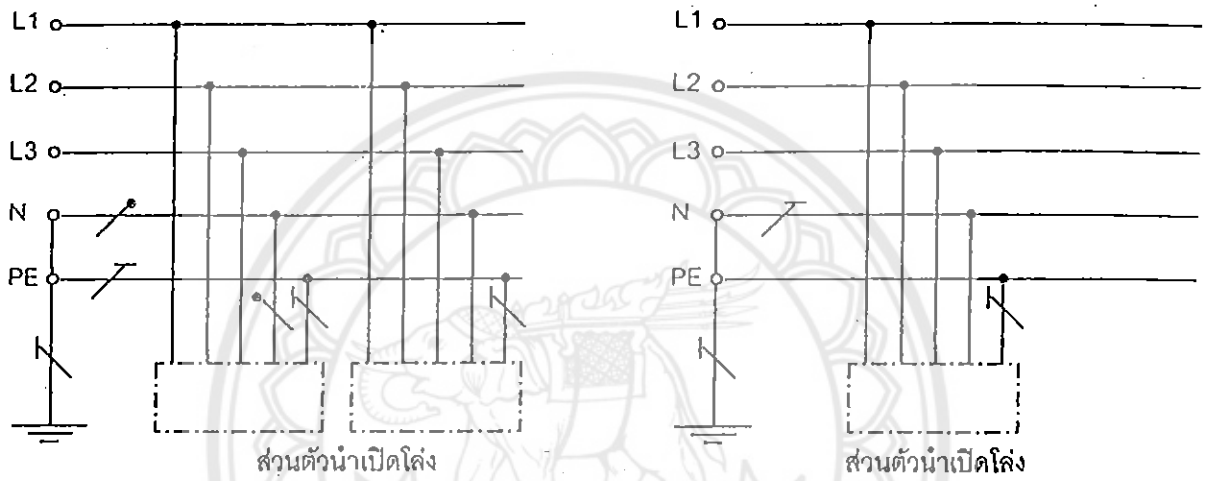
ระบบ TN-S - เป็นระบบซึ่งใช้ตัวนำดินแยกต่างหากทั้งระบบ

ระบบ TN-C-S - เป็นระบบซึ่งตัวนำศูนย์และตัวนำดินรวมกันเป็นตัวนำชุดเดียวในส่วนหนึ่งของระบบ

ระบบ TN-C - เป็นระบบซึ่งตัวนำศูนย์และตัวนำดินรวมกันเป็นตัวนำชุดเดียวตลอดทั้งระบบ

ตารางที่ ก.1 สัญลักษณ์ประกอบคำอธิบายรูปที่ ก.1 – ก.5

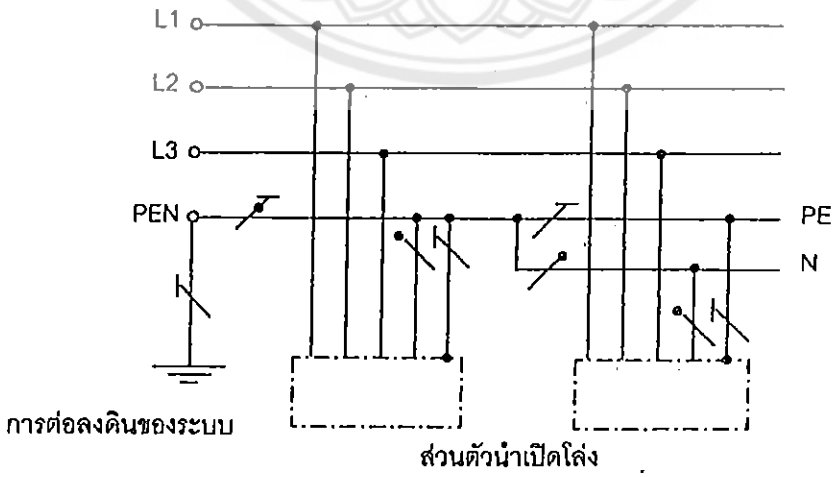
| สัญลักษณ์ | รายละเอียด |
|---|---|
|  | ตัวนำศูนย์ |
|  | ตัวนำดิน |
|  | ตัวนำดินและตัวนำศูนย์ |



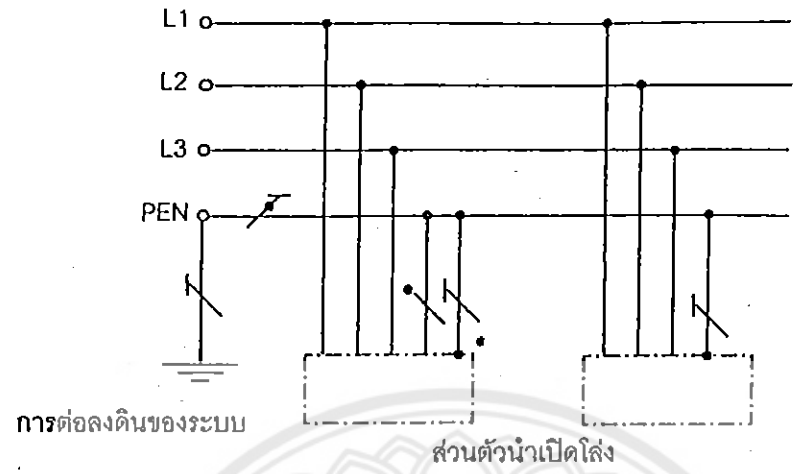

ระบบแยกตัวนำศูนย์และตัวนำดิน ออกจากกันทั้งระบบ

ระบบแยกตัวนำเฟสที่ต่อลงดินกับตัวนำดินออกจากกันทั้งระบบ

รูปที่ ก.1 ระบบ TN-S



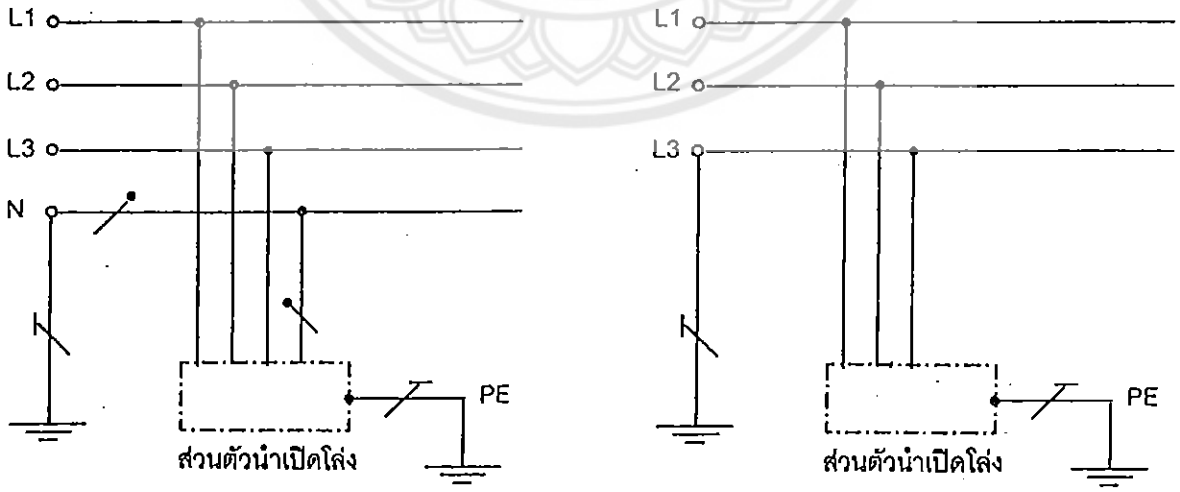

รูปที่ ก.2 ระบบ TN-C-S ตัวนำศูนย์และตัวนำป้องกันรวมกันเป็นตัวนำชุดเดียวในส่วนหนึ่งของระบบ




รูปที่ ก.3 ระบบ TN-C ตัวนำศูนย์และตัวนำดินร่วมกันเป็นตัวนำชุดเดียวในทั้งระบบ

ระบบTT

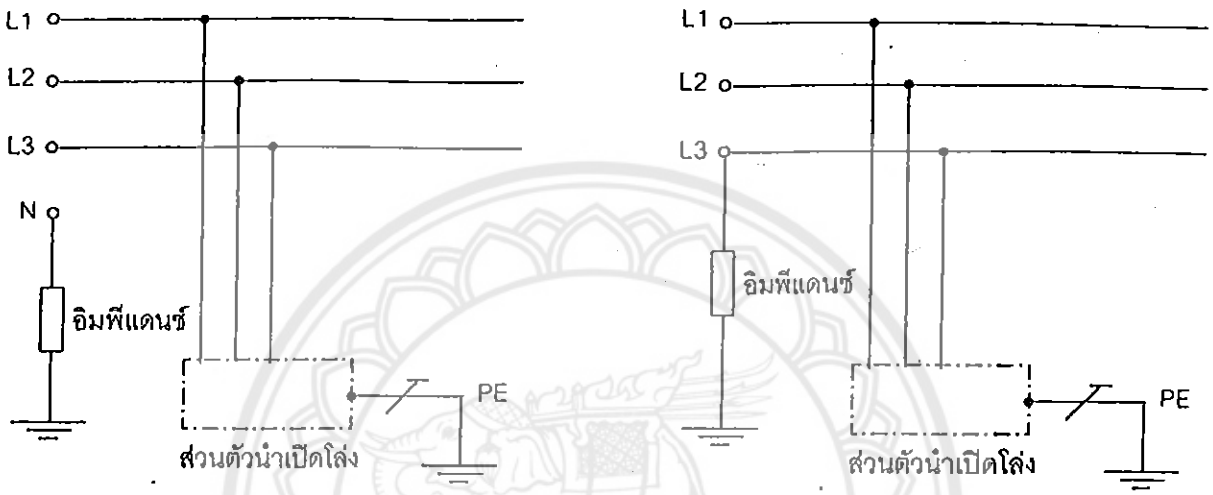
ระบบกำลัง TT มีหนึ่งจุดโดยตรงต่อลงดิน ส่วนตัวนำเปิดโล่งของการติดตั้งต่อกับรากสายดินทางไฟฟ้า โดยไม่เกี่ยวข้องกับรากสายดินของระบบกำลัง




รูปที่ ก.4 ระบบ TT

<u>ระบบ IT</u>

ระบบกำลัง IT มีส่วนที่มีไฟทั้งหมดแยกออกจากดินหรือจุดหนึ่งต่อกับดินผ่านอิมพีแดนซ์ ส่วนตัวนำเปิดโล่งของการติดตั้งไฟฟ้าต่อลงดินอิสระหรือต่อร่วมกันหรือต่อกับการต่อลงดินของระบบ




ระบบอาจแยกจากดิน ตัวนำศูนย์อาจจะต่อหรืออาจไม่ต่อกระจายไป

รูปที่ ก.5 ระบบ IT

# ภาคผนวก ข

# การต่อแท่งสายดินแบบต่าง ๆ

## การต่อแท่งสายดินแบบต่าง ๆ

### 1. แท่งสายดินฝังใกล้ระดับผิวดิน

แท่งสายดินฝังใกล้ระดับผิวดิน เป็นลักษณะของการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแบบหนึ่งที่แท่งสายดินถูกฝังอยู่ใต้ดินที่ระดับความลึกเพียง 0.5 ถึง 1 เมตรเท่านั้น ในการพิจารณาค่าความต้านทานแผ่กระจายของแท่งสายดินนี้ จะต้องคำนึงถึงความชื้นของดินใกล้ผิวดินที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพอากาศ ลักษณะของแท่งสายดินฝังใกล้ระดับผิวดินแบ่งออกเป็น

1) แท่งสายดินแบบเส้น ( ground wire ) เป็นแท่งสายดินเดียวที่มีลักษณะเป็นเส้นแบน หรือเป็นเส้นลวดฝังอยู่ใต้พื้นดิน ค่าความต้านทานแผ่กระจาย Ra ของแท่งสายดินนี้ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานจำเพาะของดิน $\rho_e$ และความยาวของแท่งสายดิน L(m) ดังแสดงในรูป ข.2 และเขียนสมการได้ดังนี้

$$Ra \text{ (เส้น)} = \frac{\rho_e}{\pi L} \ln \frac{2L}{d}$$

เมื่อ d : เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด (m)

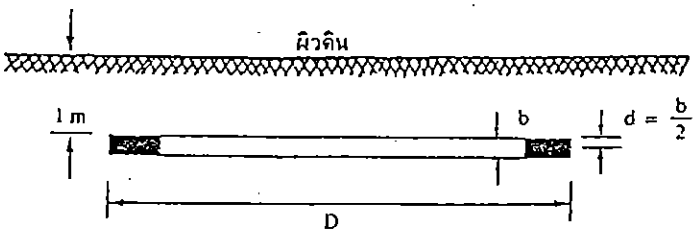
2) แท่งสายดินแบบวงแหวน ดังแสดงในรูป ข.1 ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วแท่งสายดินแบบวงแหวนจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 2 เมตร และค่าความต้านทานแผ่กระจายคำนวณได้จาก

$$Ra = \frac{\rho_e}{\pi^2 D} \ln \frac{2\pi D}{d}$$

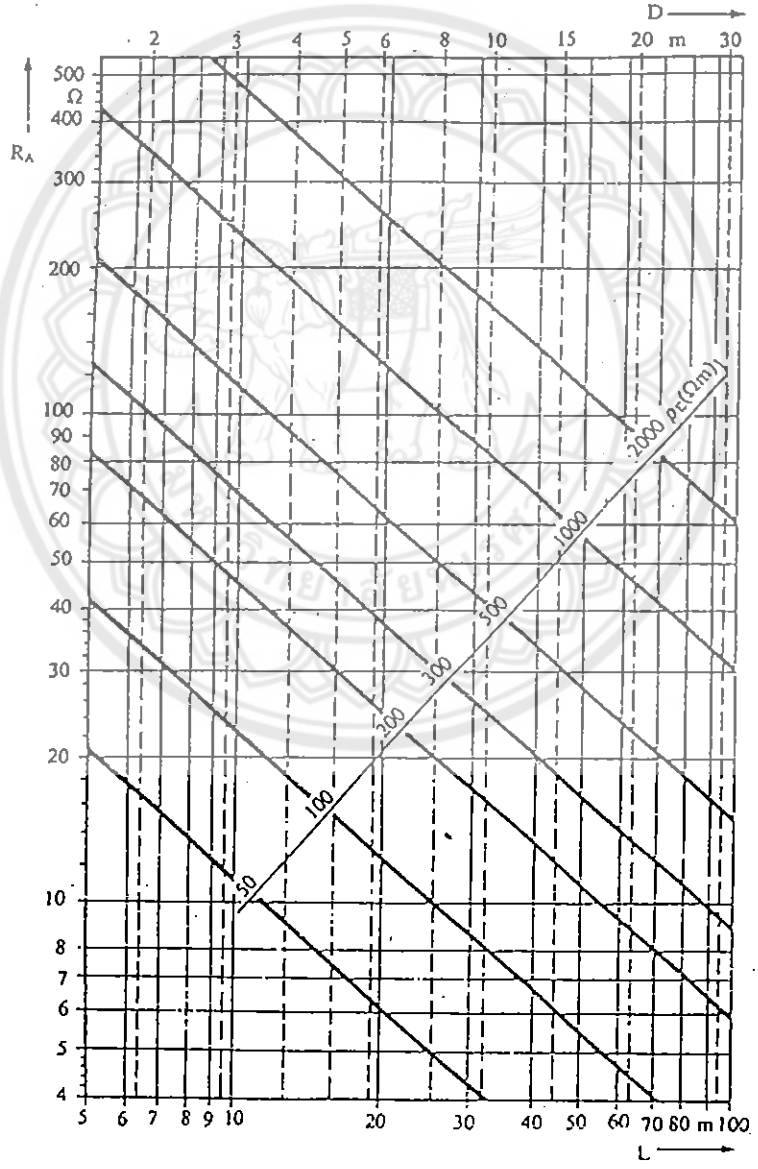
เมื่อ D : เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งวงแหวน (m)

d : เป็นเส้นผ่านศูนย์ของแท่งสายดิน มีลักษณะเป็นท่อ หรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความหนา b ของแบบเส้นแบน (m)

$\rho_e$: ความต้านทานจำเพาะของดิน ($\Omega$. m)




รูปที่ ข.1 แท่งสายดินแบบวงแหวน ใช้ตัวนำแบบแบน มีความหนา b

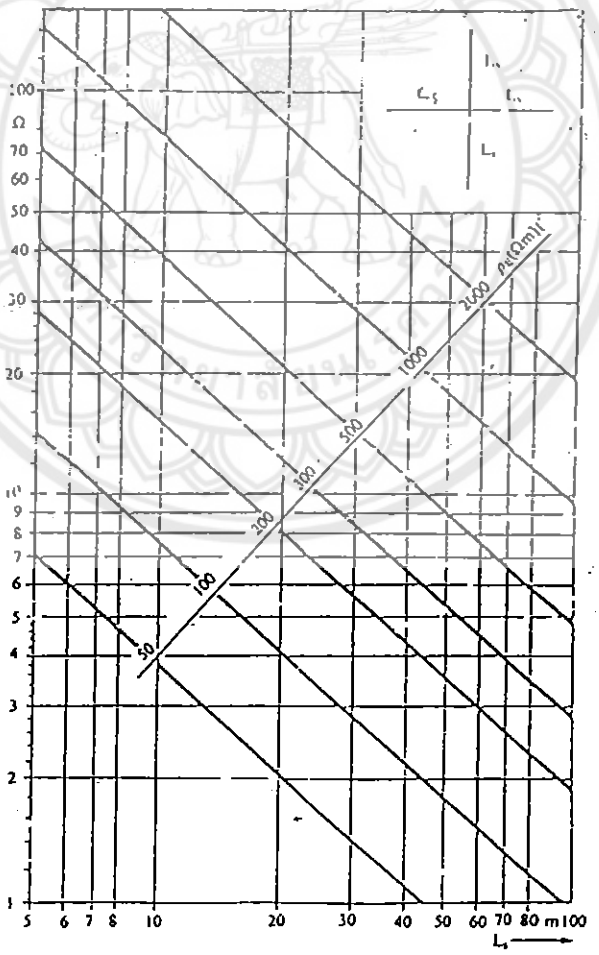



รูปที่ ข.2 ค่าความต้านทานแผ่กระจายของแท่งสายดินแบบเส้น และแบบวงแหวน d = 2 cm

3) แท่งสายดินแบบแฉก เป็นการใช้แท่งสายดินแบบเส้น หรือแบบท่อเชื่อมติดกันเป็นแบบแฉกโดยที่มุมระหว่างแฉกเป็นอย่างน้อย 60 องศา เพื่อที่จะได้มีผลของความต้านทานแผ่กระจายของดินลดลงไปได้ ค่าความต้านทานแผ่กระจายของดินขึ้นอยู่กับผลรวมของความยาวของแท่งสายดินแต่ละแฉก Ls ดังแสดงในรูปที่ ข.3 เมื่อ d เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งสายดินแบบท่อหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความหนาสำหรับแท่งสายดินแบบเส้นแบน ค่าความต้านทานแผ่กระจายสามารถคำนวณได้จาก

$$Ra = \frac{\rho e}{a\sqrt{\pi} Ls} \left( \ln \frac{als}{d} + 1.75 \right)$$

เมื่อ a : เป็นจำนวนแฉกของแท่งสายดินแบบแฉก




รูปที่ ข.3 ค่าความต้านทานแผ่กระจายของดิน สำหรับแท่งสายดินแบบแฉก 4 แฉก d = 2 cm

4) แท่งสายดินแบบตาข่าย (grid) เป็นแท่งสายดินที่นิยมใช้กับสถานีจ่ายไฟฟ้านอกอาคาร ค่าความต้านทานแผ่กระจายของดินมีค่าประมาณใกล้เคียงกับแท่งสายดินแบบแผ่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนช่องตาข่ายของแท่งสายดินเอง และกำหนดให้เป็นค่าประกอบการคูณ K สำหรับแท่งสายดินแบบตาข่าย จากสมการ

$$Ra(\text{ตาข่าย}) = \frac{\rho e.K}{2D}$$

เมื่อ D : เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งสายดินแบบตาข่าย เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ของแท่งสายดินแบบตาข่ายรูปสี่เหลี่ยมให้เป็นวงกลมมีพื้นที่ภายในเท่ากัน

$\rho e$ : เป็นค่าความต้านทานจำเพาะของดิน ( m )

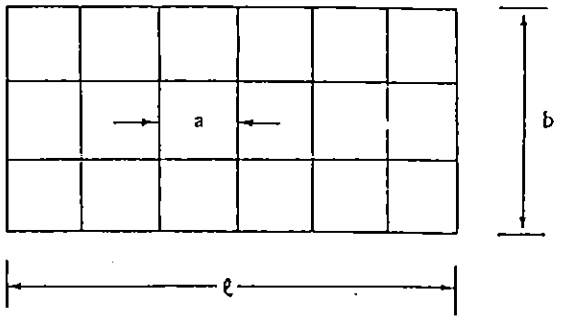
$$D = \sqrt{\frac{4bl}{\pi}}$$

I : ความยาวของแท่งสายดินแบบตาข่าย (m)

K : เป็นตัวประกอบการคูณของแท่งสายดินแบบตาข่าย ขึ้นอยู่กับความกว้างของช่องตาข่าย a เช่น

a $\Leftarrow \frac{1}{10}$ ค่าตัวประกอบ K = 1.3

a $\Leftarrow \frac{1}{10}$ ค่าตัวประกอบ K = 1.2




รูปที่ ข.4 ลักษณะของแท่งสายดินแบบตาข่ายมีความกว้าง b ความยาว l และแต่ละช่องตาข่ายกว้าง a

5) สูตรการคำนวณหาความต้านทานของ ground wire ตามมาตรฐาน IEEE Std 142-1972

(1) ground wire 1 เส้น

$$R = \frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{4L}{a} + \ln\frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} + \ldots\right)$$

โดยที่ $\rho$ : ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน ($\Omega$. m)

2L : ความยาวของ ground wire (cm.)

S/2 : ความลึกของ ground wire (cm.)

a : รัศมีของเส้นตัวนำ (cm.)

(2) ground wire แบบ 2 แฉก ( Right angle turn of wire )

$$R = \frac{\rho}{6\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a} + \ln\frac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2146\frac{s}{L} + 0.1035\frac{s^2}{L^2} - 0.0424\frac{s^4}{L^4} \ldots\right)$$

โดยที่ L : ความยาวของแฉกของ ground wire (cm.)

S/2 : ความลึกของ ground wire (cm.)

a : รัศมีของเส้นตัวนำ (cm.)

(3) Ground wire แบบ 3 แฉก ( Three point star )

$$R = \frac{\rho}{6\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a} + \ln\frac{2L}{s} + 1.071 - 0.209\frac{s}{L} + 0.238\frac{s^3}{L^3} - 0.054\frac{s^4}{L^4}\ L\right)$$

โดยที่ L : ความยาวของแฉกของ ground wire (cm.)

S/2 : ความลึกของ ground wire (cm.)

a : รัศมีของเส้นตัวนำ (cm.)

(4) Ground wire แบบ 4 แฉก ( Four point star )

$$R = \frac{\rho}{8\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a} + \ln\frac{2L}{s} + 2.912 - 1.071\frac{s}{L} + 0.645\frac{s^2}{L^2} - 0.145\frac{s^4}{L^4}L\right)$$

โดยที่ L : ความยาวของแฉกของ ground wire (cm.)

S/2 : ความลึกของ ground wire (cm.)

a : รัศมีของเส้นตัวนำ (cm.)

(5) Ground wire แบบ 6 แฉก ( Six point star )

$$R = \frac{\rho}{12\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a} + \ln\frac{2L}{s} + 6.851 - 3.128\frac{s}{L} + 1.758\frac{s^3}{L^3} - 0.490\frac{s^4}{L^4}L\right)$$

โดยที่ L : ความยาวของแฉกของ ground wire (cm.)

S/2 : ความลึกของ ground wire (cm.)

a : รัศมีของเส้นตัวนำ (cm.)

(6) Ground wire แบบ 8 แฉก ( Eight point star )

$$R = \frac{\rho}{16\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a} + \ln\frac{2L}{s} + 10.98 - 5.51\frac{s}{L} + 3.26\frac{s^3}{L^3} - 1.17\frac{s}{L^4}L^4\right)$$

โดยที่ L : ความยาวของแฉกของ ground wire (cm.)

S/2 : ความลึกของ ground wire (cm.)

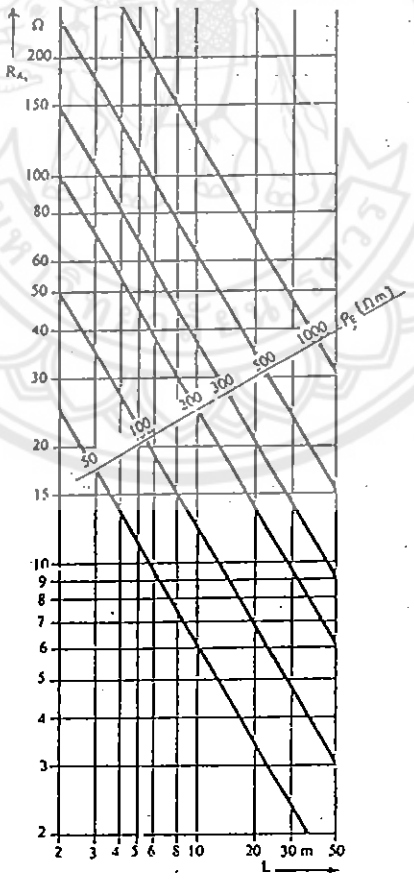
a : รัศมีของเส้นตัวนำ (cm.)

2. แท่งสายดินแบบฝังลึกลงใต้ลึก

แท่งสายดินแบบฝังลึกลงใต้ลึกนั้น มีลักษณะเป็นแท่งยาวรูปทรงต่าง ๆ เช่น เป็นแท่งตัน เป็นท่อหรือแท่งโลหะขึ้นรูป แท่งสายดินแบบฝังลึกลงใต้ดินจะถูกตอกลงใต้ดินที่ความลึก L ต่าง ๆ และสามารถคำนวณค่าความต้านทานแผ่กระจายของดิน Ra ( แท่ง ) ขึ้นอยู่กับความลึกของแท่งสายดิน L และค่าความต้านทานจำเพาะของดิน $\rho e$ (หน่วย $\Omega$. m) (ให้สมมติฐานว่าค่าความต้านทานแผ่กระจายของดินสมมาตรที่ความลึกต่าง ๆ ) ดังนั้นค่าความต้านทานแผ่กระจายของดิน จึงคำนวณได้จาก

$$Ra\ (\text{แท่ง}) = \frac{\rho e}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}$$

เมื่อ d : เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งสายดินรูปทรงกลมตัน หรือ ท่อ และเท่ากับครึ่งหนึ่งของความหนาสำหรับรูปทรงเหลี่ยม (m)

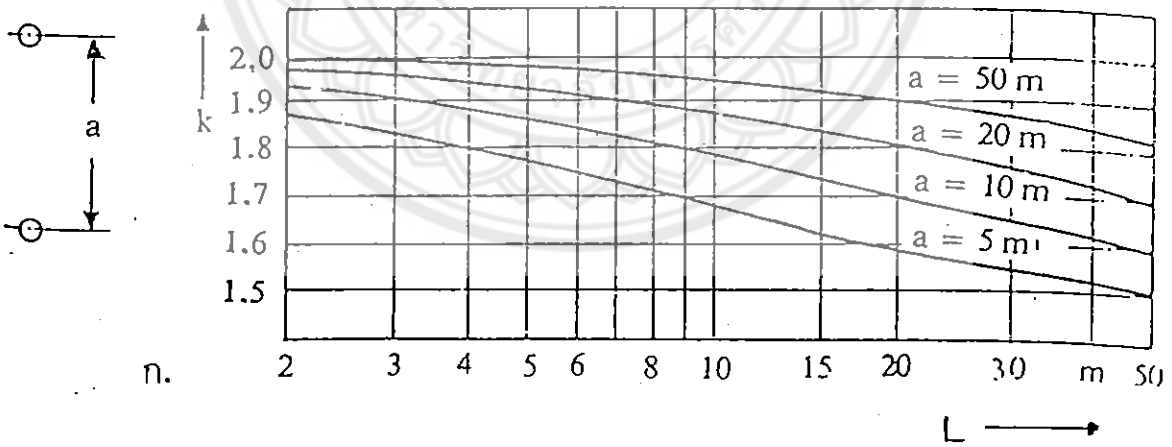



รูปที่ ข.5 ค่าความต้านทานแผ่กระจายของดิน Ra เมื่อใช้แท่งสายดินแบบแท่ง ขึ้นอยู่กับความลึกของแท่งสายดิน L และค่าความต้านทานจำเพาะของดิน $\rho e$ คงตัว

เนื่องจากแท่งสายดินแบบแท่งจะต้องตอกลึกลงไปในชั้นของดินชั้นต่าง ๆ ซึ่งที่จริงแล้วค่าความต้านทานจำเพาะของดินที่ความลึกระดับต่าง ๆ มักจะมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้น ในทางปฏิบัติแล้วค่าความต้านทานแผ่กระจายของดิน จะมีค่าต่ำสุดที่ความลึกระดับหนึ่งเท่านั้น เรียกความลึกของแท่งสายดินนี้ว่า "ความลึกประสิทธิผล Lw" ซึ่งสามารถหาได้ด้วยการวัดค่าความต้านทานแผ่กระจายของดิน

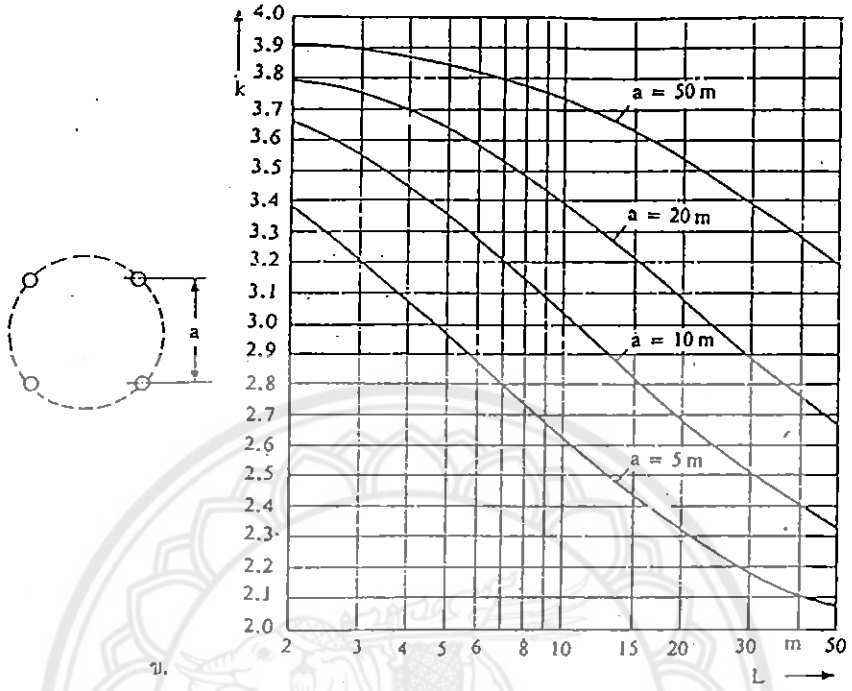
การใช้แท่งสายดินแบบแท่งจำนวนหลายแท่งต่อขนานกัน ก็สามารถทำให้ค่าความต้านทานแผ่กระจายของดินลดต่ำลงได้ ทั้งนี้ในการขนานแท่งสายดินแบบแท่ง จำเป็นจะต้องให้มีระยะห่างระหว่างแท่งสายดิน a อย่างน้อยที่สุดเท่ากับสองเท่าความลึกของแท่งสายดิน L ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดผลต่อต้านซึ่งกันและกัน จากรูปที่ ได้แสดงสัดส่วนค่าความต้านทานแผ่กระจายของดินจากการใช้แท่งสายดินแท่งเดียว และหลายแท่งขนานกันโดยมีระยะห่างแต่ละแท่ง a

สัดส่วนค่าความต้านทานแผ่กระจาย $K = \frac{Ra\,(1\ แท่ง)}{Ra(หลายแท่ง)}$




รูปที่ ข.6 สัดส่วนค่าความต้านทานแผ่กระจาย K ของการขนานแท่งสายดินแบบแท่ง

ก. แท่งสายดิน 2 แท่งขนานกัน

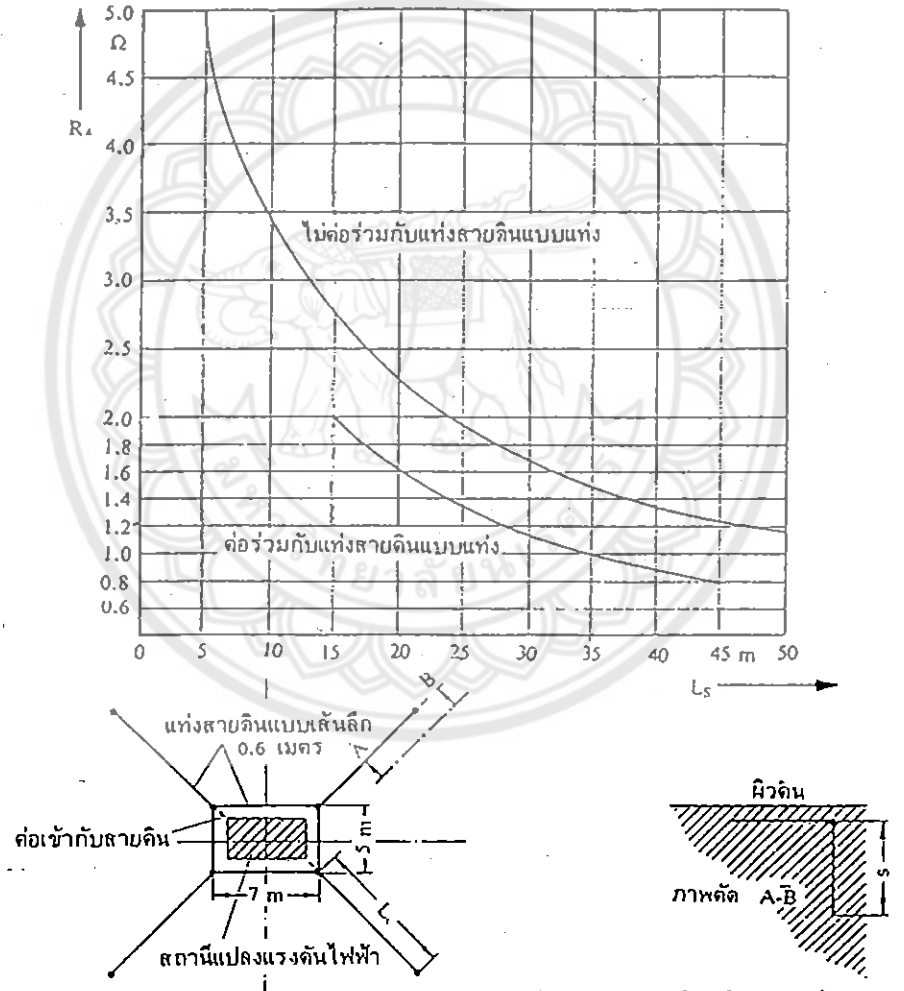



**รูป**ที่ ข.7 สัดส่วนค่าความต้านทานแผ่กระจาย K ของการขนานแท่งสายดิน**แบบแท่ง**
ข. แท่งสายดิน 4 แท่งขนานกัน
ขึ้นกับความลึกของแท่งสายดิน L และระยะห่าง a
(เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งสายดิน d = 2 cm)

3. แท่งสายดินผสม

แท่งสายดินผสม หมายถึงการนำแท่งสายดินชนิดต่าง ๆ มาต่อร่วมกัน เพื่อให้ได้ความต้านทานแผ่กระจายของดินต่ำลง ซึ่งวิธีการนั้นมีหลายแบบด้วยกัน และที่สำคัญคือ จะต้องรักษาให้สายดินสั้นเข้าไว้เพื่อให้ค่าความต้านทานแผ่กระจายนี้สามารถใช้ได้กับกรณีที่เกิดกระแสไฟฟ้ากระโชกลงดิน ซึ่งเกิดขึ้นจากฟ้าผ่า

รูปที่ ข.8 และ รูปที่ ข.9 แสดงการต่อแท่งสายดินแบบเส้นและแบบแท่งร่วมกันและเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่กระจายของดิน เมื่อใช้แท่งสายดินแบบเส้นปราศจากการต่อร่วมกันกับแท่งสายดินแบบแท่ง และมีการต่อร่วมกันกับแท่งสายดินแบบแท่ง

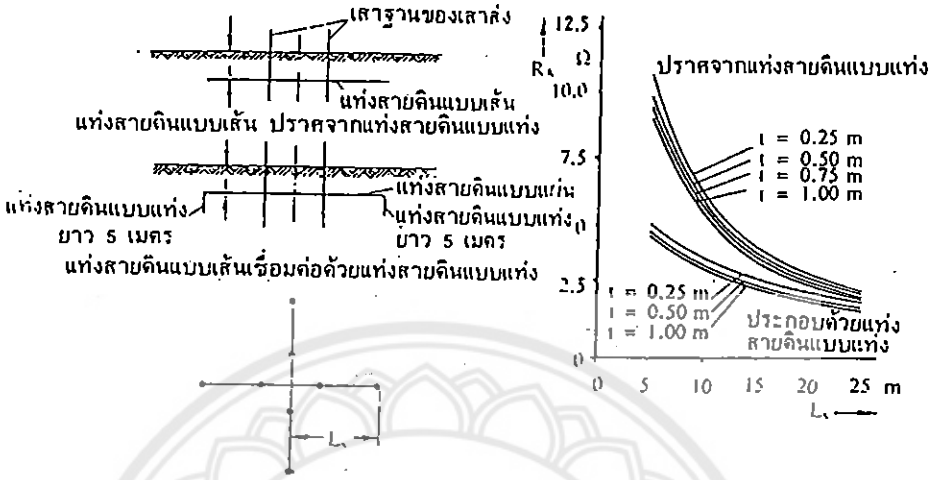



รูปที่ ข.8 ความต้านทานการแผ่กระจายของดินได้จากแท่งสายดินรูปสี่เหลี่ยมต่อเชื่อมกับแท่งสายดินแบบเส้นและต่อร่วมกับแท่งสายดินแบบแท่ง

ขนาดของแท่งสายดินรูปสี่เหลี่ยม 5x7 เมตร

แท่งสายดินแบบเส้นจำนวน 4 เส้น แต่ละเส้นยาว Ls (หน่วย m)

และแท่งสายดินแบบแท่ง 4 แท่ง ต่อที่ปลายของแท่งสายดินแบบเส้น มีความยาว S = 2Ls/3




**รูปที่ ข.9** ค่าความต้านทานแบบแผ่กระจายของแท่งสายดินแบบ 4 แฉก ต่อร่วมกับแท่งสายดินแบบแท่งมีความยาว 5 เมตร ความยาวของแท่งสายดินแบบแฉกแต่ละแฉกยาว Ls ติดตั้งที่ความลึก t และค่าความต้านทานจำเพาะของดิน $\rho e = 100\ \Omega/m$

# ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

**ชื่อ** นางสาวกนกอร เงินหล่อ

**วัน/เดือน/ปีเกิด** 20 พฤศจิกายน 2521

**ภูมิลำเนา** 47/39 ต.พิมาน ถ.สตูลธานี อ.เมือง จ.สตูล 91000

**ประวัติการศึกษา**

- ประถมศึกษา โรงเรียนอนุบาลตลาดพิมาน จ.สตูล
- มัธยมศึกษา โรงเรียนพิมานพิทยาสรรค์ จ.สตูล
- ปัจจุบัน กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

**ชื่อ** นายณัฐพล กีรติไพบูลย์

**วัน/เดือน/ปีเกิด** 8 มกราคม 2522

**ภูมิลำเนา** 158/57 ม.5 ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

**ประวัติการศึกษา**

- ประถมศึกษา :
  - ป.1 โรงเรียนสิ่นหมิน จ.พิษณุโลก
  - ป.2-ป.6 โรงเรียนปานะพันธ์วิทยา กรุงเทพฯ
- มัธยมศึกษา :
  - ม.1-ม.3 โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ กรุงเทพฯ
  - ม.4-ม.6 โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม จ.พิษณุโลก
- ปัจจุบัน กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร