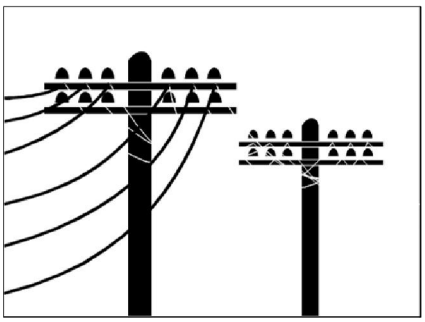
# บทที่ 6
# การต่อลงดิน



1

## 6.1 บทนำ

การต่อลงดิน( Grounding หรือ Earthing )
เป็นข้อกำหนดที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของ
การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า

NEC Article 250 “ Grounding ”

IEC 364-5-54 “ Earthing Arrangement
and Protective Conductors ”

วสท. บทที่ 4 “ การต่อลงดิน ”

2

## การต่อลงดิน มีประโยชน์อยู่ 2 ประการ คือ

1. เพื่อป้องกันอันตราย ที่จะเกิดกับบุคคล ที่บังเอิญไปสัมผัสกับส่วนที่เป็นโลหะ ของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า และส่วนประกอบอื่น ๆ ที่มีแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากการรั่วไหล หรือ การเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า

2. เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับอุปกรณ์หรือ ระบบไฟฟ้า เมื่อเกิดการลัดวงจรลงดิน

3

## 6.2 ชนิดการต่อลงดินและส่วนประกอบต่าง ๆ

การต่อลงดินสามารถแบ่งออกได้
เป็น 2 ชนิด คือ

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า
   ( System Grounding )

2. การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า
   ( Equipment Grounding )

4

## การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

- หมายถึง การต่อส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้า ที่มีกระแสไหลผ่านลงดิน เช่น การต่อจุดนิวทรัล ( Neutral Point ) ลงดิน

## การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

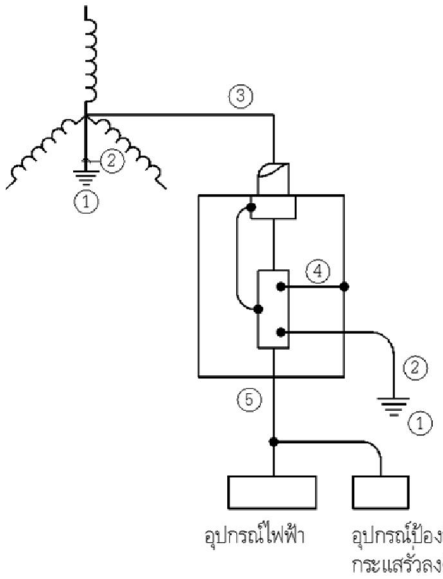
- หมายถึง การต่อส่วนที่เป็นโลหะ ที่ไม่มีกระแสไหลผ่านของ อุปกรณ์ต่าง ๆ ลงดิน

5

## การต่อลงดินมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

1. หลักดิน หรือ ระบบหลักดิน
   ( Grounding Electrode or Grounding Electrode System )
2. สายต่อหลักดิน
   ( Grounding Electrode Conductor )
3. สายที่มีการต่อลงดิน
   ( Grounded Conductor )
4. สายต่อฝากหลัก
   ( Main Bonding Jumper )
5. สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า
   ( Equipment Grounding Conductor )

6




**รูปที่ 6.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบการต่อลงดิน**

7

## 6.3 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า ( System Grounding )

**จุดประสงค์ของการต่อลงดินของระบบไฟฟ้ามีดังต่อไปนี้ คือ**

1. **เพื่อจำกัดแรงดันเกิน ( Over Voltage ) ที่ส่วนต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้า ซึ่งอาจเกิดจากฟ้าผ่า ( Lightning ) Surge ในสาย ( Line Surge ) หรือ สัมผัสกับสายแรงสูง ( H.V. Lines ) โดยบังเอิญ**
2. **เพื่อให้ค่า แรงดันเทียบกับดินขณะระบบทำงานปกติมีค่าอยู่ตัว**
3. **เพื่อ ช่วยให้อุปกรณ์ป้องกัน กระแสเกินทำงานได้รวดเร็วขึ้น เมื่อเกิดการลัดวงจรลงดิน**

8

## 6.3.1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

**( AC System Grounding )**

**การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ**

**1. ระบบซึ่งทำงานที่ระดับแรงดันต่ำกว่า 50 V**

**2. ระบบซึ่งทำงานที่ระดับแรงดันตั้งแต่ 50 - 1000 V**

**3. ระบบซึ่งทำงานที่ระดับแรงดันตั้งแต่ 1 kV ขึ้นไป**

9

## การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีระดับแรงดันต่ำกว่า 50 V ( NEC )

**ไม่มีในมาตรฐาน วสท.**

**แต่มีใน มาตรฐาน NEC**

10

**ระดับแรงดันต่ำกว่า 50 V จะต้องทำการต่อลงดินเมื่อ**

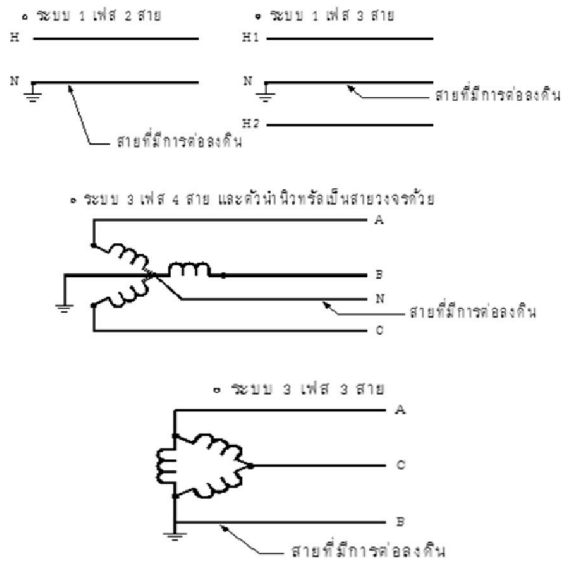
- แรงดันที่ได้รับไฟจากหม้อแปลง ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟแรงดันเกิน 150 V
- หม้อแปลงได้รับจากไฟแหล่งจ่ายไฟที่ไม่มีการต่อลงดิน ( Ungrounded System )
- ตัวนำแรงดันต่ำ ติดตั้งแบบสายเหนือดินนอกอาคาร

11

**การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับแรงดันตั้งแต่ 50 -1000 V**

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแบบนี้
มีลักษณะดังรูป 6.2
ซึ่งเป็นตัวอย่างการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า
ชนิด 1 เฟส 2 สาย
1 เฟส 3 สาย
3 เฟส 3 สาย
และ 3 เฟส 4 สาย

12




**รูปที่ 6.2 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับแรงดันตั้งแต่ 50 V-1 kV**

13

## การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับแรงดันตั้งแต่ 1 kV ขึ้นไป

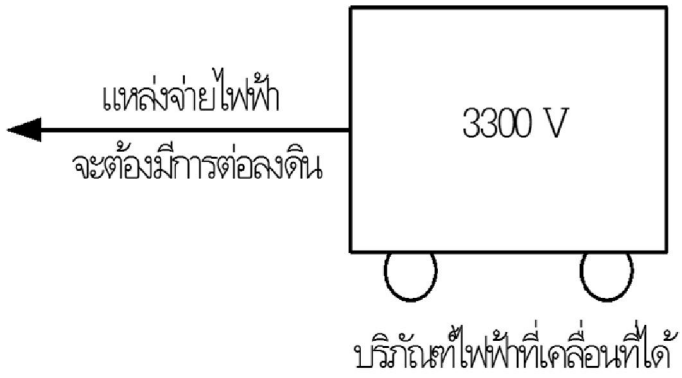
**บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่เคลื่อนย้ายได้**

**( Mobile Portable Equipment )**

**ซึ่งได้รับไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า**

**ที่มีแรงดัน ตั้งแต่ 1 kV ขึ้นไป ต้องต่อลงดิน**

14

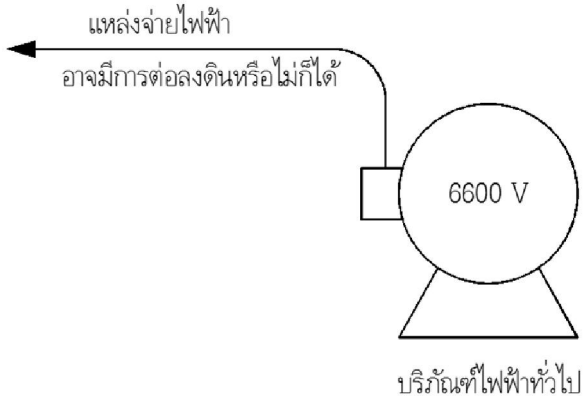



**รูปที่ 6.3 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่เคลื่อนย้ายได้ ซึ่งรับไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าแรงสูง**

15

**สำหรับระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันตั้งแต่ 1 kV ขึ้นไป**
**ซึ่งจ่ายไฟให้กับบริภัณฑ์ทั่วไป**
**อาจต่อลงดินได้ตามต้องการ**
**ดังแสดงในรูปที่ 6.4**

16




**รูปที่ 6.4 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งรับไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าแรงสูง**

17

## 6.3.2 สายต่อหลักดิน ( Grounding Electrode Conductor )

**สายต่อหลักดิน หมายถึง ตัวนำที่ใช้ต่อระหว่างหลักดินกับส่วนทั้งสามต่อไปนี้ คือ**

1. **สายที่มีการต่อลงดิน**

   **( Grounded Conductor )**

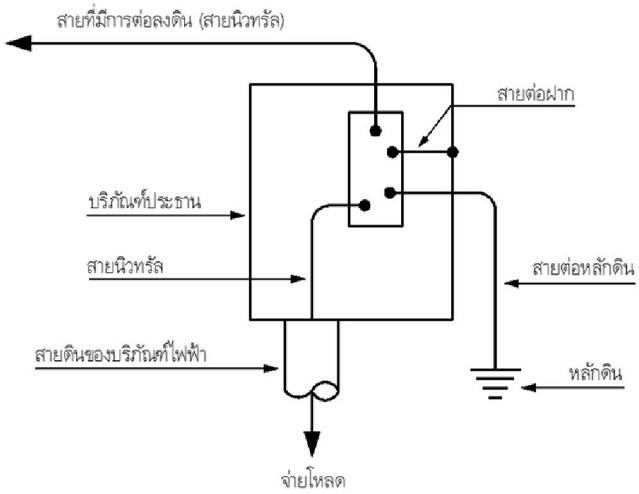
2. **สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า**

   **( Equipment Grounding Conductor )**

3. **สายต่อฝากที่บริภัณฑ์ประธาน**

   **( Main Bonding Jumper )**

18




**รูปที่ 6.5 สายต่อหลักดิน**

19

## ชนิดของสายต่อหลักดิน

**มีคุณสมบัติดังนี้**

- **เป็นตัวนำทองแดง ตัวนำเดี่ยว หรือ ตีเกลียวหุ้มฉนวน**
- **ต้องมีฉนวนหุ้ม**
- **ต้องเป็น สายเส้นเดียวยาวต่อเนื่องตลอด ไม่มีการตัดต่อ แต่ถ้าเป็นบัสบาร์ อนุญาตให้มีการต่อได้**

20

**การติดตั้งและป้องกัน ( NEC )**

**มีการ ป้องกันทางกายภาพ ดังนี้**

- **ถ้าสายต่อหลักดิน ไม่ได้เดินในสิ่งห่อหุ้ม จะต้องเดินสายให้ยึดติดกับพื้นผิว**
- **ถ้าสายต่อหลักดินเดิน ในสิ่งห่อหุ้ม จะต้องยึดสิ่งห่อหุ้มนั้นติดกับพื้นผิว**
- **ท่อสายที่ใช้สำหรับ ป้องกันทางกายภาพ ได้แก่ ท่อ RMC , IMC , PVC , EMT หรือเกราะสายเคเบิล**

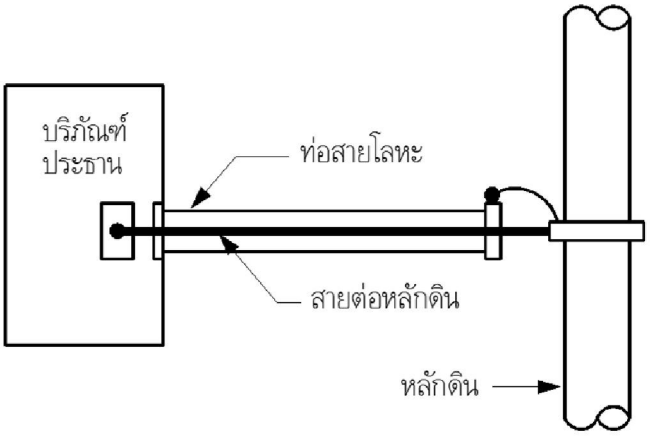
21

**การป้องกันสายดินจากสนามแม่เหล็ก**

**เมื่อใช้สิ่งห่อหุ้มสายต่อหลักดินแล้ว เพื่อป้องกันสายดิน จากสนามแม่เหล็กต้องคำนึงถึง**

- **ต้องมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าจากบริภัณฑ์ไฟฟ้าไปยัง หลักดิน**
- **สิ่งห่อหุ้มต้องยึดติดกับระบบหลักดิน ดังแสดงในรูปที่ 6.6**
- **ถ้าสายต่อหลักดินไม่ได้มีสิ่งห่อหุ้มตลอดความยาว ปลายทั้งสองของสิ่งห่อหุ้มจะต้องต่อเชื่อมเข้ากับสายต่อ หลักดิน ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดความร้อนมากเกินไปขณะเกิด การลัดวงจรลงดิน**

22




**รูปที่ 6.6 การต่อท่อสาย ( Raceway ) และสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดิน**

23

## การต่อสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดิน

- **สายต่อหลักดินจะต้อง ไม่มีการตัดต่อใด ๆ ทั้งสิ้น**

- **การต่อสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดิน จะต้องเป็น การต่อที่เข้าถึงได้**

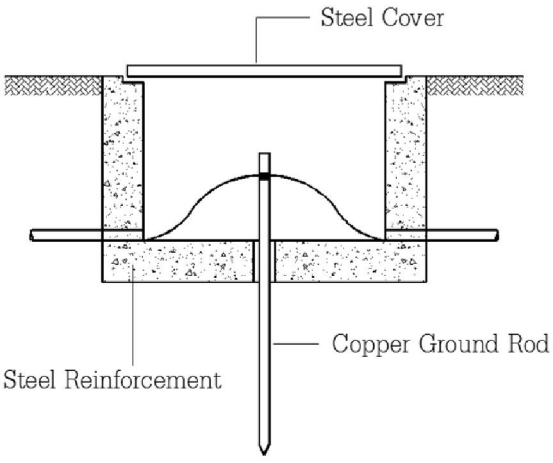
24

## การต่อสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดิน ( ต่อ )

- แต่ถ้าระบบ หลักดินเป็นแบบฝังใต้ดิน
  การต่อก็ไม่จำเป็นต้องเป็นแบบเข้าถึงได้
  เช่น ระบบหลักดินที่ตอกลึกเข้าไปในดิน
  และระบบหลักดิน ที่ฝังตัวอยู่ในคอนกรีต เป็นต้น

- เพื่อการวัดความต้านทานดิน และบำรุงรักษา
  ควรต่อหลักดินเข้ากับ **Grounding Pit**

25




**รูปที่ 6.7 Grounding Pit**

26

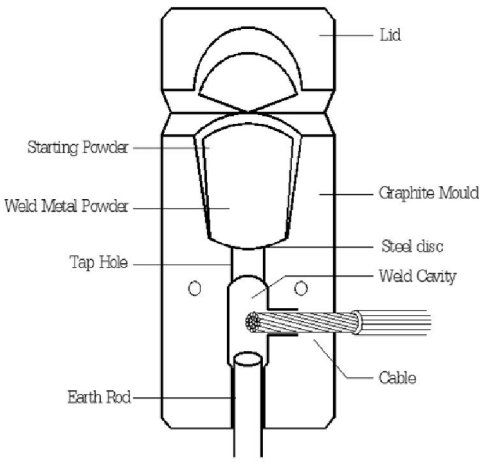
**<u>การต่อสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดินอาจทำได้โดย</u>**

- **การเชื่อมติดด้วยความร้อน**

  **( Exothermic Welding )**
- **หูสาย , หัวต่อแบบบีบอัด**
- **ประกับต่อสาย**
- **สิ่งอื่นที่ระบุให้ใช้เพื่อการนี้**
- **ห้ามต่อโดยใช้การบัดกรีเป็นหลัก**

**การต่อสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดิน วิธีที่ดีที่สุด คือ**
**วิธี Exothermic Welding**

27




**รูปที่ 6.8 Exothermic Welding**

28

**ชนิดของสายต่อหลักดิน**

**สายต่อหลักดินต้องมีคุณสมบัติดังนี้**

- **เป็นตัวนำทองแดง เดี่ยวหรือตีเกลียว**
- **ต้องหุ้มฉนวน**
- **ต้องเป็น สายเดียวยาวตลอด ไม่มีการตัดต่อ แต่ถ้าเป็นบัสบาร์อนุญาตให้มีการต่อได้**

29

**ขนาดสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ**

- **ใช้ตามตารางที่ 6.1 เป็นเกณฑ์**
- **เลือกตาม ขนาดสายประธานของระบบ สายประธานของแต่ละเฟสที่ต่อขนานกัน ให้คิดขนาดรวมกัน แล้วนำมาหา ขนาดสายต่อหลักดิน**

30

**ตารางที่ 6.1 ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ**

| ขนาดตัวนำประธาน (ตัวนำทองแดง) ($mm^2$) | ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน (ตัวนำทองแดง) ($mm^2$) |
|---|---|
| ไม่เกิน 35 | 10 (หมายเหตุ) |
| เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50 | 16 |
| " 50 " 95 | 25 |
| " 95 " 185 | 35 |
| " 185 " 300 | 50 |
| " 300 " 500 | 70 |
| เกิน 500 | 95 |

<u>หมายเหตุ</u> แนะนำให้ติดตั้งในท่อโลหะหนา ท่อโลหะหนาปานกลาง ท่อโลหะบาง หรือ ท่ออโลหะ

31

**<u>ตัวอย่างที่ 6.1</u>** บ้านหลังหนึ่งใช้ไฟฟ้ามิเตอร์ 15 ( 45 ) A 1 เฟส 2 สาย ใช้สายไฟขนาด 2 x 16 $mm^2$ ตาราง 4 สายต่อหลักดินจะใช้ขนาดเท่าใด

**<u>วิธีทำ</u>**

จากตารางที่ 6.1

สายเมนขนาด 16 $mm^2$

ใช้สายต่อหลักดิน ขนาด 10 $mm^2$

32

**ตัวอย่างที่ 6.2** สถานประกอบการแห่งหนึ่ง ใช้ไฟฟ้ามิเตอร์ 400 A 3 เฟส 4 สาย ใช้สายไฟตารางที่ 4 ขนาด 2 ( 4 x 85 $mm^2$ ) ในท่อขนาดกลาง ( IMC ) 2 x 80 mm ( 3" ) สายต่อหลักดินจะใช้ขนาดเท่าใด

33

**วิธีทำ**

สายเฟสใช้ขนาด 2 x 185 = 370 $mm^2$

จากตารางที่ 6.1

สายประธานขนาด 300 - 500 $mm^2$

ใช้สายต่อหลักดิน ขนาด 70 $mm^2$

34

**ตัวอย่างที่ 6.3** สถานประกอบการใช้หม้อแปลงขนาด
**1000 kVA 22 kV / 400-230 V**
**3 เฟส 4 สาย ทางด้านแรงดันต่ำ**
**จะต้องใช้สายต่อหลักดินขนาดเท่าใด**

35

**วิธีทำ**

**หม้อแปลง 1000 kVA แรงดันด้านแรงต่ำ 230 / 400V**

$$I_n = \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 1443 \text{ A}$$

$$I_c \geq 1.25 \times 1443 = 1804 \text{ A}$$

**ใช้สายตามตาราง 4 เดินบนรางเคเบิล**

**6 ( 3 x 150, 1 x 95 mm$^2$ )**

**ขนาดสายเฟสรวม 6 x 150 = 900 mm$^2$**

**จากตาราง 6.1 ขนาดสายประธานเกิน 500 mm$^2$**

**ใช้สายต่อหลักดิน ขนาด 95 mm$^2$**

36

## 6.3.3 สายที่มีการต่อลงดิน ( Grounded Conductor )

- คือ สายของวงจรไฟฟ้าที่มีส่วนหนึ่งส่วนใด ต่อถึงดินอย่าง จงใจ ในกรณีที่เกิดกระแสลัดวงจรลงดิน

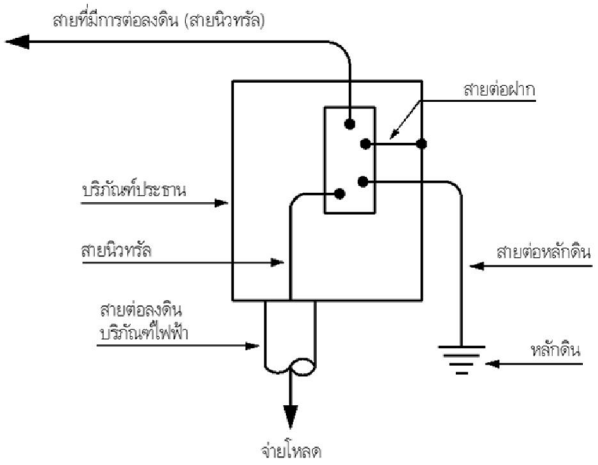
- สายที่มีการต่อลงดิน จะทำหน้าที่เป็นสายดินของอุปกรณ์ด้วย เพื่อนำกระแสลัด วงจรกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟ

37

## สายที่มีการต่อลงดิน ( Grounded Conductor ) ( ต่อ )

- ในระบบไฟฟ้าโดยทั่วไป สายที่มี การต่อลงดินคือ สาย **Neutral** แต่ไม่จำเป็นต้องเป็นสาย **Neutral** เสมอไป ดังแสดงในรูปที่ **6.9**

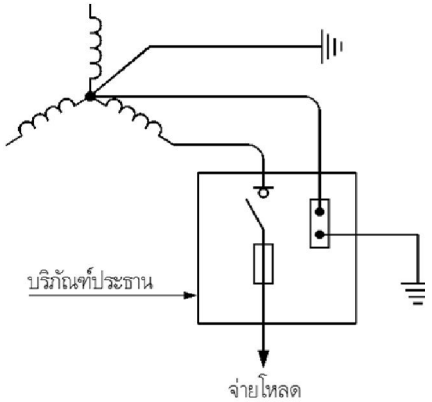
38




**รูปที่ 6.9 สายที่มีการต่อลงดิน ( สายนิวทรัล )**

39

**สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันกว่า 1 kV และ เป็นระบบที่มีการต่อลงดิน จะต้องเดินสายที่มีการต่อลงดินจากหม้อแปลงมายังบริภัณฑ์ ประธานเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 6.10**




**รูปที่ 6.10 หม้อแปลงที่มีการต่อลงดินต้องเดินสายที่มีการต่อลงดินมายังบริภัณฑ์ประธานด้วย**

40

## ขนาดสายที่มีการต่อลงดิน

สายที่มีการต่อลงดินที่เดินจากหม้อแปลงจ่ายมายังบริภัณฑ์ประธานต้องมีขนาดดังนี้

1. ถ้าสายที่มีการต่อลงดิน ใช้เป็นสายดินอย่างเดียว ไม่ได้ใช้เป็นสายของวงจร ( สายนิวทรัล ) ให้คิดขนาดสายตาม ตารางที่ 6.1 ถ้าสายเฟสรวมกันมากกว่า 500 $mm^2$ ให้คิด 12.5% ของสายประธาน

41

## ขนาดสายที่มีการต่อลงดิน

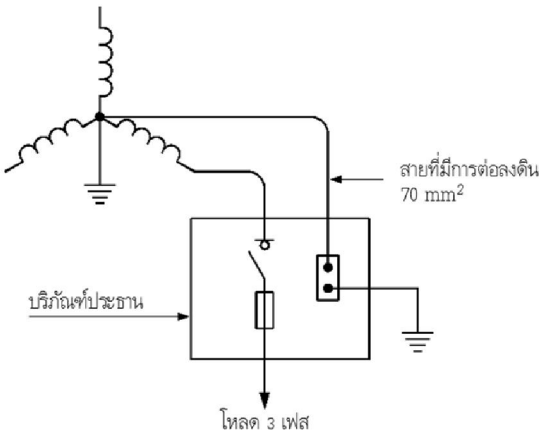
2. ถ้าสายที่มีการต่อลงดินนี้ใช้เป็นสายของวงจร ( สายนิวทรัล ) ให้คิดขนาดสายตาม วิธีการเลือกสายนิวทรัล

42

**ตัวอย่างที่ 6.4** จงหาขนาดสายที่มีการต่อลงดิน
ที่ไม่ได้ใช้เป็นสายวงจรใน
ระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยแต่ละเฟส
ใช้สาย 500 $mm^2$ 1 เส้น

43

**วิธีทำ** จากตารางที่ 6.1 กรณีขนาดสาย 300-500 $mm^2$
ใช้สาย 70 $mm^2$ ดังรูป




44

**ตัวอย่างที่ 6.5** จงหาขนาดสายที่มีการต่อลงดิน
ที่ไม่ได้ใช้เป็นสายวงจร
ในระบบ 3 เฟส
โดยแต่ละเฟสใช้ สาย 500 $mm^2$ 3 เส้น

45

**วิธีทำ**

เนื่องจากแต่ละเฟส ใช้สาย 500 $mm^2$ 3 เส้น

ขนาดสายรวม = 3 x 500 = 1500 $mm^2$

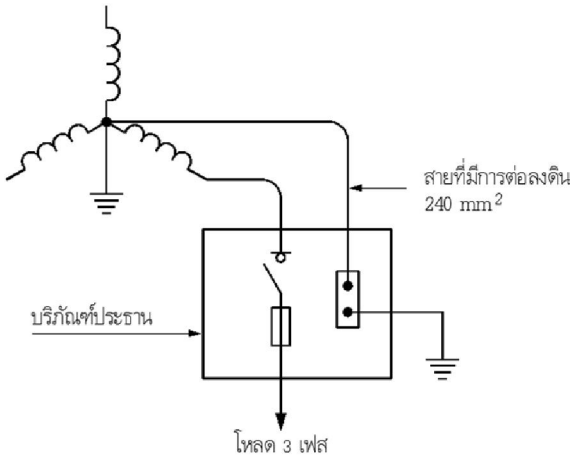
ขนาดสายมีขนาดใหญ่กว่า 500 $mm^2$

ขนาดสายที่มีการต่อลงดิน = 0.125 x 1500

= 187.5

ใช้สาย ขนาด 240 $mm^2$

46




**การใช้สายขนาด 12.5% ของสายประธานเป็นสายที่มีการต่อลงดิน เมื่อสายที่มีการต่อลงดินไม่ได้ใช้เป็นสายของวงจร**

47

## การหาขนาดสายที่มีการต่อลงดินที่ใช้เป็น สายวงจร ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย

- คือ สาย **Neutral** นั่นเอง
- ต้องทำตามข้อกำหนดสาย **Neutral**

48

**การหาขนาดสายที่มีการต่อลงดินที่ใช้เป็นสายวงจร ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย**

สำหรับสาย **Neutral** ของหม้อแปลง

- โดยทั่วไปใช้ขนาดประมาณ **50 %** ของสายเฟส
- จากตัวอย่างที่ **6.3** หม้อแปลง **1000 kVA**

  **LV 230/400 V 3** เฟส **4** สาย

  ใช้สาย **6 ( 3 x 150 , 1 x 95 $mm^2$ )**
- สายที่มีการต่อลงดินคือ

  สาย **Neutral** ขนาด **6 ( 1 x 150 $mm^2$ )**

49

## 6.4 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ประธาน ( Service Equipment Grounding )

- หมายถึง การต่อสิ่งห่อหุ้มโลหะต่าง ๆ

  และ สาย **Neutral**

  ที่บริภัณฑ์ประธานลงดิน

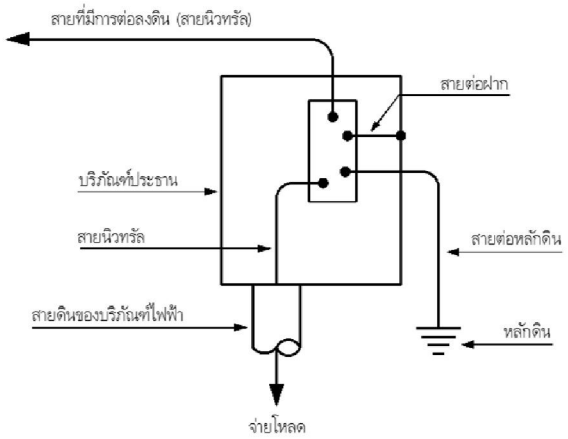
50

บริภัณฑ์ประธานจะเป็น จุดต่อรวม ของสายดินดังต่อไปนี้

1. สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า
   ( Equipment Grounding Conductors )
2. สายที่มีการต่อลงดิน ( Grounded Conductors )
3. สายต่อฝากหลัก ( Main Bonding Jumper )
4. สายต่อหลักดิน ( Grounding Electrode Conductors )

51

การต่อลงดินของบริภัณฑ์ประธาน จะต้องกระทำทางด้านไฟเข้าเสมอ ( Supply Side ) ดังแสดงในรูปที่ 6.11

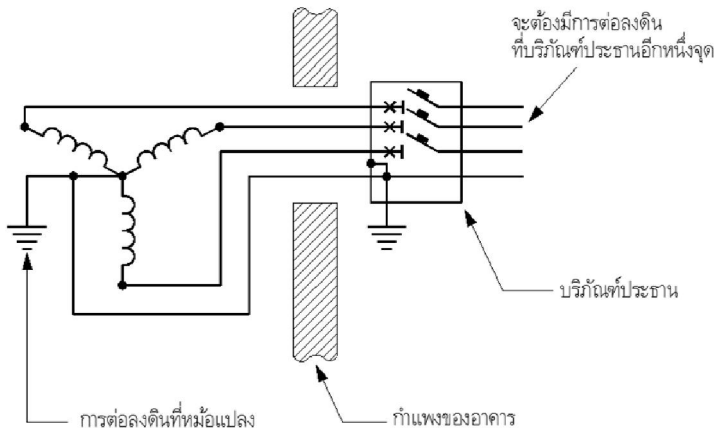



รูปที่ 6.11 แสดงสายต่าง ๆ ที่บริภัณฑ์ประธาน

52

- สถานประกอบการที่รับไฟฟ้า
- ผ่านหม้อแปลงที่ติดตั้งนอกอาคาร
- จะต้องมีการ ต่อลงดิน 2 จุด
- คือ ที่ใกล้หม้อแปลงหนึ่งจุด
- และที่บริภัณฑ์ประธานอีกหนึ่งจุด

53



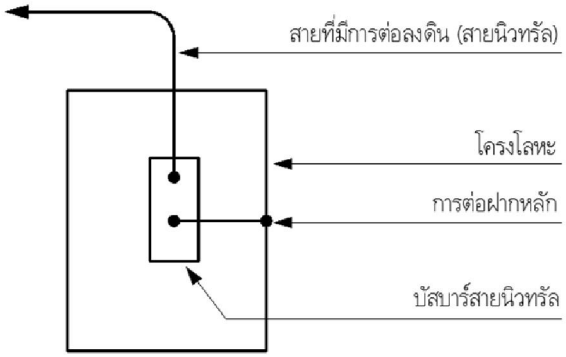

**รูปที่ 6.12 การต่อลงดินที่หม้อแปลง นอกอาคารและที่บริภัณฑ์ประธาน**

54

## 6.4.1 การต่อฝากหลัก ( Main Bonding Jumper )

การต่อฝากหลัก ( Main Bonding Jumper )
ซึ่งหมายถึง การต่อโครงโลหะของบริภัณฑ์ประธาน
เข้ากับตัวนำที่มีการ ต่อลงดิน

55




รูปที่ 6.13 ความหมายของการต่อฝากหลัก

56

## ขนาดสายต่อฝากหลัก

- สายต่อฝากจะต้องเป็นตัวนำทองแดง
- ขนาดคิดตาม ตารางที่ 6.1
- ถ้าสายเฟสรวมเกิน 500 $mm^2$ ให้คิด 12.5 % ของสายเฟสรวม

57

## การต่อสายฝากหลัก

การต่อสายฝากหลักอาจทำได้โดย

- การเชื่อมด้วยความร้อน ( Exothermic Welding )
- หัวต่อแบบบีบ
- ประกับจับสาย
- วิธีอื่นที่ได้รับการรับรองแล้ว
- ห้ามต่อโดยการใช้ตะกั่วบัดกรีเพียงอย่างเดียว

58

**ตัวอย่างที่ 6.6** จงหาขนาดสายต่อฝากหลัก

ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

โดยแต่ละ เฟสใช้

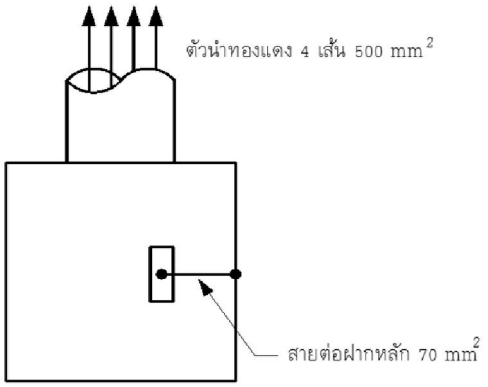
สายตัวนำทองแดงขนาด 500 $mm^2$ 1 เส้น

59

**วิธีทำ**

จากตารางที่ 6.1 กรณี 300-500 $mm^2$

ใช้สายต่อฝากหลัก ขนาด 70 $mm^2$




60

**ตัวอย่างที่ 6.7** จงหาขนาดสายต่อฝากหลัก
ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส
โดยแต่ละเฟสใช้สายตัวนำทองแดง
ขนาด 400 $mm^2$ จำนวน 2 เส้น

61

**วิธีทำ**

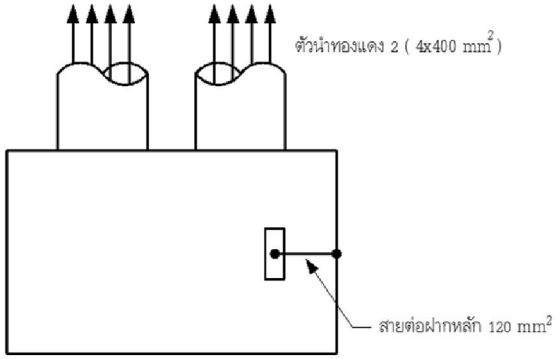
ขนาดสายเฟสรวม = 2 x 400 = 800 $mm^2$

เนื่องจากขนาดสายเฟสรวม
มีขนาดใหญ่กว่า 500 $mm^2$

ขนาดสายต่อฝากหลัก = 0.125 x 800
= 100 $mm^2$

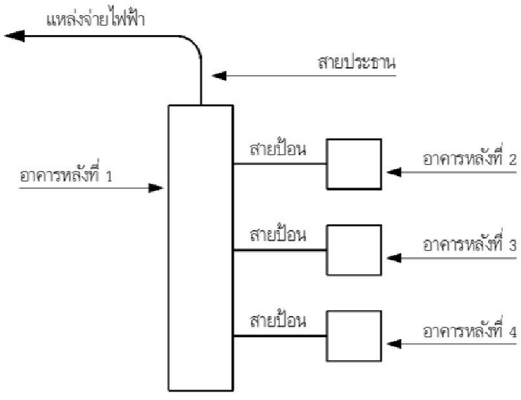
ใช้สายต่อฝากหลัก 120 $mm^2$

62




63

## 6.4.2 การต่อลงดินของวงจรที่มีบริภัณฑ์ประธานชุดเดียว จ่ายไฟ ให้อาคาร 2 หลังหรือมากกว่า



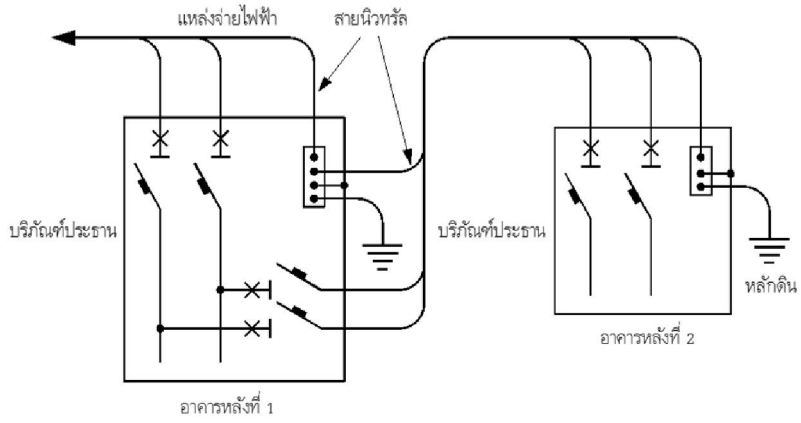

**รูปที่ 6.14 การจ่ายไฟฟ้าของอาคารประธานให้กับอาคารหลังอื่น ๆ**

64

**การต่อลงดินของสถานประกอบการแบบนี้**
**มีข้อกำหนดดังนี้**

- **อาคารประธาน ( อาคารหลังที่ 1 )**
  **การต่อลงดินให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ**
  **การต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธาน**
- **อาคารหลังอื่น จะต้องมีหลักดินเป็นของตนเอง**
  **และมีการต่อลงดินเช่นเดียวกับบริภัณฑ์ประธาน**
  **คือ สายที่มีการต่อลงดิน สายต่อฝาก สายต่อหลักดิน**
  **และ โครงโลหะของบริภัณฑ์ประธาน จะ**
  **ต้องต่อร่วมกัน และต่อเข้ากับหลักดิน**

65




**รูปที่ 6.15 อาคารแต่ละหลังต้องมีหลักดินเป็นของตัวเอง**

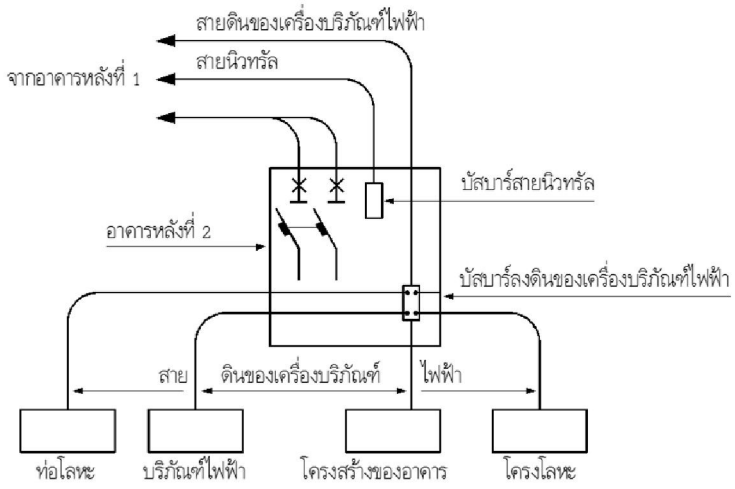
66

- อาคารหลังอื่นมีวงจรย่อยเพียงวงจรเดียว
  อนุญาตให้ไม่ต้องมีหลักดินได้
- กรณีที่เดินสายดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า
  ( Equipment Grounding Conductor )
  ไปพร้อมกับสายเฟสจากอาคารประธาน
  เพื่อการต่อลงดินของส่วนโลหะของบริภัณฑ์ไฟฟ้า
  ท่อโลหะ และ ส่วนโครงสร้างของอาคาร
  สายดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้านี้จะ
  ต้องต่อกับหลักดินที่มีอยู่

67

- ถ้าไม่มีหลักดินจะต้องสร้างขึ้น
  และจะต้องเป็นสายหุ้มฉนวนด้วย
- นอกจากนี้สาย Neutral ที่เดินมา
  จากอาคารประธาน
  อนุญาตให้
  ไม่ต้องต่อเข้ากับหลักดินที่อาคารหลังอื่นได้

68




**รูปที่ 6.16 การเดินสายดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าจากอาคารประธานไปยังอาคารหลังอื่น ๆ**

69

## 6.5 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก ( Separately Derive System )

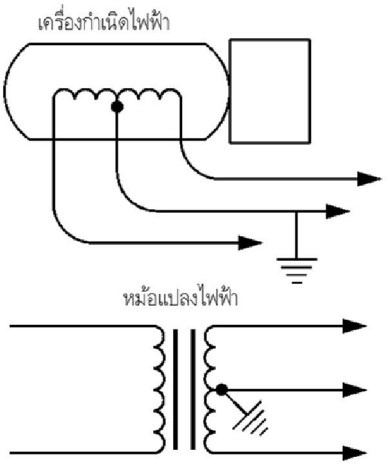
**คือระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟโดย**

- **เครื่องกำเนิดไฟฟ้า**
- **หม้อแปลงไฟฟ้า**
- **ขดลวดคอนเวอร์เตอร์**

**ไม่มีการต่อถึงทางไฟฟ้ากับระบบของการไฟฟ้า**

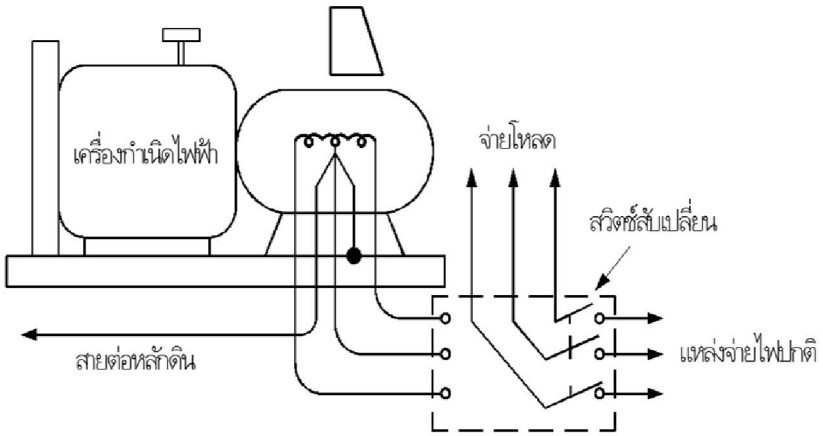
**แม้สาย Neutral ก็ต้องแยกกัน**

70



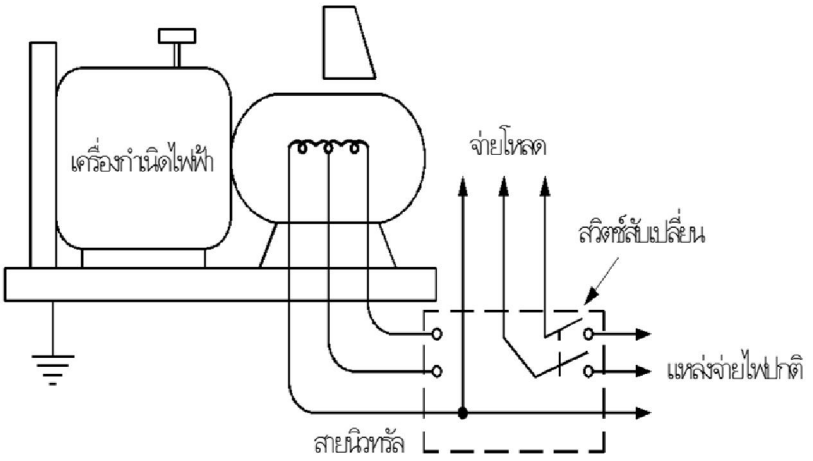

**รูปที่ 6.17 ระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก**

71




**รูปที่ 6.18 ระบบไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็น ตัวจ่ายแยกต่างหากพร้อมสวิตช์สับเปลี่ยน**

72




**รูปที่ 6.19 ระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พร้อมสวิตช์สับเปลี่ยน แต่ไม่มีการตัดสายนิวทรัล ระบบนี้ไม่ใช่ระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก**

73

## การต่อลงดิน

- ถึงแม้จะไม่ใช่ระบบประธาน ( Service ) ถือว่าเป็นระบบประธาน
- ใช้ตามหลักการของบริภัณฑ์ประธาน
- สายต่อฝากหลัก สายต่อหลักดิน จะต่อร่วมกันเข้ากับหลักดิน

74

## 6.6 การต่อลงดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า ( Equipment Grounding )

- คือ การต่อส่วนที่เป็นโลหะ ที่ไม่มีกระแสไหลผ่าน ของสถานประกอบการให้ถึงกันตลอด แล้วต่อลงดิน

75

## จุดประสงค์ดังนี้ คือ

1. เพื่อให้ส่วนโลหะที่ต่อถึงกันตลอด มีศักดาไฟฟ้าเท่ากับดิน ทำให้ปลอดภัยจากการโดนไฟดูด

76

**จุดประสงค์ดังนี้ คือ ( ต่อ )**

2. เพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงาน ได้รวดเร็วขึ้น เมื่อตัวนำไฟฟ้าแตะเข้ากับส่วนโลหะใด ๆ เนื่องจากฉนวนของสายไฟฟ้าชำรุด หรือเกิดอุบัติเหตุ

3. เป็นทางผ่านให้กระแสรั่วไหล และกระแสเนื่องมาจากไฟฟ้าสถิตลงดิน

77

**6.6.1 เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน**

ประเภทของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่จะต้องต่อลงดินมีดังต่อไปนี้

1. เครื่องห่อหุ้มที่เป็นโลหะของสายไฟฟ้า แผงบริภัณฑ์ประธาน โครง และ รางปั้นจั่นที่ใช้ไฟฟ้า โครงของตู้ลิฟต์ และลวดสลิงยกของที่ใช้ไฟฟ้า

78

เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน ( ต่อ )

2. สิ่งกั้นที่เป็นโลหะ
รวมทั้งเครื่องห่อหุ้ม
ของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าในระบบแรงสูง

79

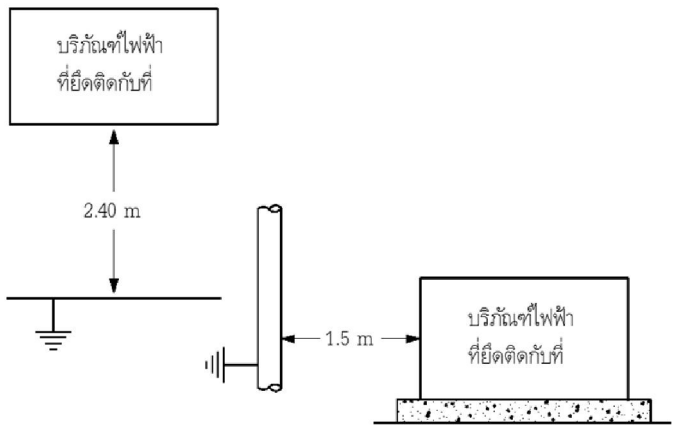
3. เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า
ที่ยึดติดอยู่กับที่ ( Fixed Equipment )
และชนิดที่มีการเดินสายถาวร ( Hard Wires )
ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งซึ่งปกติไม่มีไฟฟ้า
แต่อาจมีไฟฟ้ารั่วถึงได้
ต้องต่อลงดิน

80

**ต้องต่อลงดิน ถ้ามีสภาพตามข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้**

- **อยู่ห่างจากพื้น หรือ โลหะที่ต่อลงดินไม่เกิน 8 ฟุต ( 2.40 m ) ในแนวตั้ง หรือ 5 ฟุต ( 1.5 m ) ในแนวนอน และบุคคลอาจ สัมผัสได้ ( ในข้อนี้ถ้ามีวิธีติดตั้ง หรือ วิธีการป้องกันอย่างอื่น ไม่ให้บุคคลไปสัมผัสได้ ก็ไม่ต้องต่อลงดิน ) ดังแสดงในรูปที่ 6.20**
- **สัมผัสทางไฟฟ้ากับโลหะอื่น ๆ ( เป็นโลหะที่บุคคลอาจสัมผัสได้ )**
- **อยู่ในสภาพที่เปียกชื้น และ ไม่ได้มีการแยกให้อยู่ต่างหาก**

**81**




**รูปที่ 6.20 ระยะห่างของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้ากับระบบหลักดิน ถ้ามีระยะห่างมากกว่านี้ไม่ต้องต่อลงดิน**

**82**

4. เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าสำหรับยึดติดกับที่ต่อไปนี้
ต้องต่อส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่ง
และ ปกติไม่มีกระแสไฟฟ้า ลงดิน
- โครงของแผงสวิตช์
- โครงของมอเตอร์ชนิดยึดอยู่กับที่
- กล่องของเครื่องควบคุมมอเตอร์ ถ้าใช้เป็นสวิตช์ธรรมดา และ มีฉนวนรองที่ฝาสวิตช์ด้านในก็ไม่ต้องต่อลงดิน
- เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าของลิฟต์ และ ปั้นจั่น
- ป้ายโฆษณา เครื่องฉายภาพยนต์ เครื่องสูบน้ำ

83

5. เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ใช้เต้าเสียบ
ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งของเครื่อง บริภัณฑ์ไฟฟ้า
ต้องต่อลงดินเมื่อมีสภาพ
ตามข้อใดข้อหนึ่งดังนี้
แรงดันเทียบกับดินเกิน 150 V
ยกเว้นมีการป้องกันอย่างอื่น
หรือ มีฉนวนอย่างดี

84

**เครื่องไฟฟ้าทั้งที่ใช้ในที่อยู่อาศัย และ ที่อยู่อื่น ๆ ดังนี้**

- ตู้เย็น ตู้แช่แข็ง เครื่องปรับอากาศ
- เครื่องซักผ้า เครื่องอบผ้า เครื่องล้างจาน เครื่องสูบน้ำทิ้ง
- เครื่องประมวลผลข้อมูล
- เครื่องใช้ไฟฟ้าในตู้เลี้ยงปลา

85

**เครื่องไฟฟ้าทั้งที่ใช้ในที่อยู่อาศัย และ ที่อยู่อื่น ๆ ดังนี้ ( ต่อ )**

- เครื่องมือที่ทำงานด้วยมอเตอร์ เช่น สว่านไฟฟ้า
- เครื่องตัดหญ้า เครื่องขัดถู
- เครื่องมือที่ใช้ในสถานที่เปียกชื้น เป็นพื้นดินหรือเป็นโลหะ
- โคมไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้

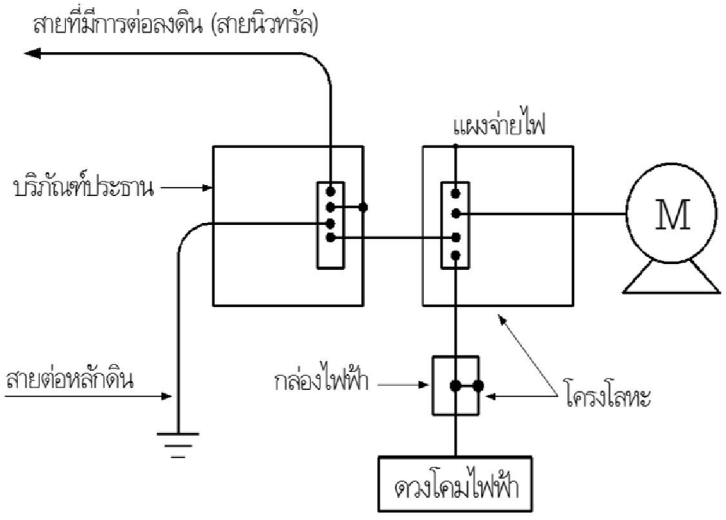
86

## 6.6.2 สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

**( Equipment Grounding Conductor )**

**ตัวนำที่ใช้ต่อส่วนโลหะ**
**ที่ไม่นำกระแสของบริภัณฑ์ลงดิน**

87




**รูปที่ 6.21 สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า**

88

## ทางเดินสู่ดินที่ใช้ได้ผลดี ( Effective Grounding )

การต่อลงดินให้ได้ผลดีต้องทำให้ได้ตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้ คือ

- ความต่อเนื่อง ( Continuity ) ส่วนโลหะทั้งหมดจะต้องต่อถึงกันตลอด
- อิมพีแดนซ์ต่ำ ( Low Impedance ) เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้สะดวก
- ทนต่อกระแสค่าสูงได้ ( Ampacity ) ขนาดพื้นที่หน้าตัดจะต้องใหญ่พอเพื่อให้ทนต่อกระแสสูง ๆ ได้เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้น

89

## ชนิดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ที่เดินสายร่วมไปกับสายของวงจร จะต้องเป็นดังนี้

- ตัวนำทองแดงจะหุ้มฉนวน หรือไม่หุ้มฉนวนก็ได้
- เปลือกโลหะของสายเคเบิลชนิด AC , MI และ MC
- บัสเวย์ที่ได้ระบุให้ใช้แทนสายสำหรับต่อลงดินได้

90

## 6.6.3 ขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

ขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า
ทำตามข้อต่าง ๆ ต่อไปนี้

- เลือกขนาดสายดินตาม
  ขนาดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน
  ตามตารางที่ 6.2

91

## ขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ( ต่อ )

- เมื่อเดินสายควบ
  ถ้ามีสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า
  ให้เดินขนานกันไป ในแต่ละท่อสาย

- ขนาดสายดินให้คิดตาม
  พิกัดของเครื่องป้องกัน กระแสเกิน

92

## ขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ( ต่อ )

- เมื่อมีวงจรมากกว่าหนึ่งวงจรเดินในท่อสาย อาจใช้สายดินของ บริภัณฑ์ไฟฟ้าร่วมกันได้ และให้ คำนวณขนาดสายดินตามพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกินตัวโตที่สุด

93

## ขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ( ต่อ )

- ขนาดสายดินของมอเตอร์ให้เลือกตาม พิกัดของเครื่องป้องกัน เกินกำลังของมอเตอร์ พิกัดของเครื่องป้องกันเกินกำลัง = 1.15 $I_n$ โดยที่ $I_n$ คือ พิกัดกระแสของมอเตอร์

- สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ไม่จำเป็นต้องโตกว่าสายเฟส

94

**ตารางที่ 6.2 ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า**

| พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกิน ไม่เกิน (A) | ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) ($mm^2$) |
|---|---|
| 20 | 2.5 * |
| 40 | 4 * |
| 70 | 6 |
| 100 | 10 |
| 200 | 16 |
| 400 | 25 |
| 500 | 35 |
| 800 | 50 |
| 1,000 | 70 |
| 1,250 | 95 |
| 2,000 | 120 |
| 2,500 | 185 |
| 4,000 | 240 |
| 6,000 | 400 |

95

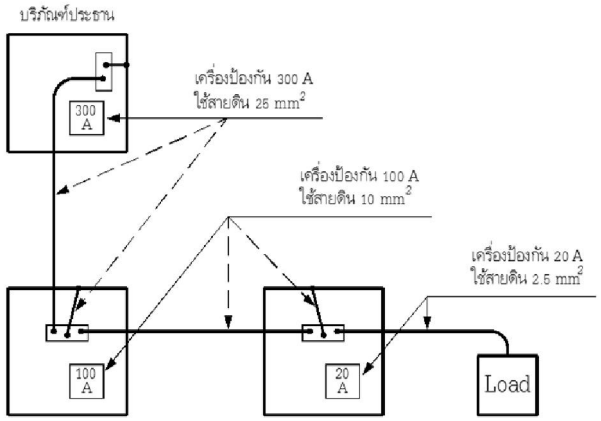
**<u>หมายเหตุ :</u>**

- **ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าใช้สำหรับที่อยู่อาศัย หรืออาคารของผู้ใช้ไฟที่อยู่ใกล้หม้อแปลงระบบจำหน่ายภายในระยะ 100 m**

- **กรณีที่ผู้ใช้ไฟอยู่ห่างจากหม้อแปลงระบบจำหน่ายเกิน 100 m ให้ดูภาคผนวก ฌ ของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของ วสท.**

96

**ตัวอย่างที่ 6.8** ระบบไฟฟ้าหนึ่งประกอบด้วย บริภัณฑ์ไฟฟ้า และ แผงจ่ายไฟ ดังรูป จงหาขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ที่เดินจากบริภัณฑ์ประธาน และ แผงจ่ายไฟ




97

## วิธีทำ

จากตาราง 6.2

ใช้ขนาดสายดิน ดังนี้

บริภัณฑ์ประธาน เครื่องป้องกัน 300 A ขนาดสายดิน 25 $mm^2$

แผงจ่ายไฟ 1 เครื่องป้องกัน 100 A ขนาดสายดิน 10 $mm^2$

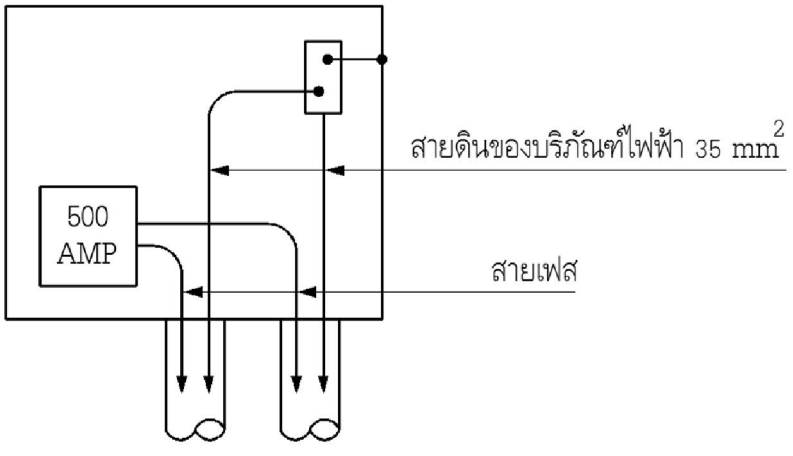
แผงจ่ายไฟ 2 เครื่องป้องกัน 20 A ขนาดสายดิน 2.5 $mm^2$

ขนาดสาย Bonding Jumper ที่แผงจ่ายไฟ ใช้เท่ากับขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่จ่ายมายังแผงจ่ายไฟนั้นด้วย

98

**ตัวอย่างที่ 6.9** บริภัณฑ์ประธานมีเครื่อง
ป้องกันกระแสเกิน **500 A**
ต่อกับวงจร ซึ่งประกอบด้วยสายควบ **2** ชุด
เดินในท่อร้อยสายท่อละ **1** ชุด ดังรูป
จงหาขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

99




100

**วิธีทำ**

วงจรประกอบด้วยสายควบ 2 ชุด
เดินในท่อร้อยสายท่อละ 1 ชุด
ดังนั้นจะต้องเดินสายดิน 2 เส้น
ในแต่ละท่อ โดยสายดินแต่ละเส้นเลือก
ตามขนาดเครื่องป้องกัน

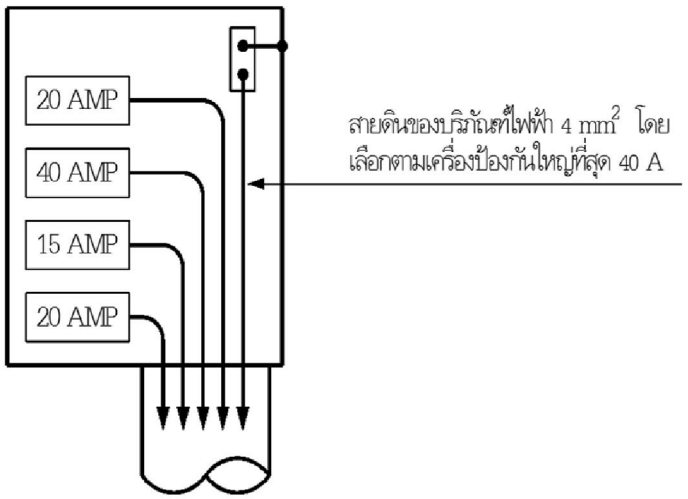
จากตาราง 6.2 กรณีเครื่องป้องกัน 500 A

ใช้ ขนาดสายดิน 35 $mm^2$

101

**ตัวอย่างที่ 6.10** วงจรจ่ายโหลด 4 วงจร
ที่ต่อจากแผงจ่ายไฟแห่งหนึ่ง
ต้องการเดินในท่อสายร่วมกัน
โดยแต่ละวงจรมีเครื่องป้องกันกระแสเกิน
20 A , 40 A , 15 A และ 20 A ดังรูป
จงหาขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า
ที่ใช้ร่วมกันในท่อสาย

102




103

## วิธีทำ

**ขนาดสายดินที่ใช้ร่วมกัน**

**จะต้องเลือกตามเครื่องป้องกัน**

**ที่มีขนาดใหญ่ที่สุด คือ 40 A**

**จากตารางที่ 6.2 กรณีเครื่องป้องกัน 40 A**

**ใช้สายดิน 4 $mm^2$**

104

**ตัวอย่างที่ 6.11** มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด

22 kW , 400 V , 44 A , 3 เฟส

จงหาขนาดสายไฟตารางที่ 4

เดินในท่อโลหะในอากาศ

105

**วิธีทำ**

$I_c \geq 1.25 \times I_n$

$\geq 1.25 \times 44$

$\geq 55$ A

สายไฟฟ้า IEC 01

3 x 16 $mm^2$ ( 60 A )

106

**วิธีทำ**

หาขนาดสายดิน

$I_L = 1.15 \times I_n$

$= 50.6\ A$

สายดิน 6 $mm^2$

สายวงจรมอเตอร์

3 x 16 $mm^2$

G - 6 $mm^2$

$\Phi$ 25 mm ( 1" )

107

## 6.7 ระบบหลักดิน ( Grounding Electrode System )

### 6.7.1 ดิน ( Earth )

- เป็นจุดอ้างอิงรองรับกระแสต่าง ๆ ที่รั่วไหลลงดิน
- เป็นที่ต่อของส่วนที่เป็นโลหะของสถานประกอบการต่าง ๆ
- ศักดาไฟฟ้า ของส่วนที่เป็นโลหะทั้งหมดเท่ากับดินคือเป็นศูนย์

108

## สภาพการนำไฟฟ้าของดิน ( $\rho$ )

ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- สัดส่วนของเกลือแร่ที่ละลายในดิน ( Saline Water )
- องค์ประกอบของดิน ( Compositions )
- ขนาดของอนุภาคดิน ( Size of Particles )
- ความหนาแน่นของดิน ( Compactness )
- อุณหภูมิ ( Temperature )
- ความชื้น ( Moisture )
- เงื่อนไขของสภาพภูมิอากาศ ( Weather Conditions )

109

ในการศึกษาสภาพการนำไฟฟ้าของดิน นั้น เราจะทำการศึกษาความต้านทานจำเพาะของดิน ( $\rho$ ) แทน

โดยที่

$$\rho = 1 / \sigma$$

$\rho$ คือ ความต้านทานจำเพาะของดิน ( $\Omega$-m )

$\sigma$ คือ สภาพการนำไฟฟ้าของดิน ( Mho/m )

ดินที่มีความต้านทานจำเพาะต่ำ (10-100 $\Omega$ - m ) แสดงว่ามีสภาพการนำไฟฟ้าดี

110

ตัวอย่าง ความต้านทานจำเพาะของดินชนิด ต่าง ๆ
ดังแสดงในตาราง

| ชนิดของดิน | ความต้านทานจำเพาะเฉลี่ย ( Ω-m ) |
|---|---|
| ดินผสมวัชพืชเปียก | 10 |
| ดินชื้น | 100 |
| ดินแห้ง | 1000 |
| ทราย | 500 - 1000 |
| หินแข็ง | 10000 |

111

## 6.7.2 หน้าที่ของระบบหลักดิน

### ระบบหลักดิน

- ประกอบด้วยหลักดินหลายแบบซึ่งต่อถึงกัน
ในสถานประกอบการหนึ่ง ๆ อาจมี
หลักดินแบบเดียวหรือหลายแบบก็ได้
ถ้าหลักดินมีหลายแบบ จะต้องต่อหลักดินนั้น ๆ
ให้ต่อเนื่องถึงกันตลอดเป็นระบบหลักดิน

112

## ระบบหลักดินมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

1. ทำให้เกิดการต่อถึงกันอย่างดีระหว่างดิน และส่วนที่เป็นโลหะที่ไม่มีกระแสไหลผ่าน ของสถานประกอบการ เพื่อให้ ส่วนโลหะเหล่านี้มีศักดาไฟฟ้าเป็นศูนย์ คือที่ระดับดิน

113

## ระบบหลักดินมีหน้าที่ดังต่อไปนี้ ( ต่อ )

2. เพื่อให้เป็นทางผ่านเข้าสู่ดินอย่างสะดวก สำหรับอิเล็กตรอน จำนวนมาก ในกรณีที่เกิดฟ้าผ่าหรือแรงดันเกิน

3. เพื่อถ่ายทอดกระแสรั่วไหล หรือ กระแสที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตลงสู่ดิน

114

**มักมีผู้เข้าใจผิดอยู่เสมอว่า**

- หลักดินมีหน้าที่ในการนำกระแสลัดวงจร เพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงาน
- แต่ในความเป็นจริงแล้ว หลักดินไม่อาจทำหน้าที่นี้ได้ เนื่องจากทางผ่านระหว่างหลักดินกับอุปกรณ์ป้องกันมี อิมพีแดนซ์สูง ทำให้กระแสไม่เพียงพอ ที่จะทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงาน

115

**6.7.3 ชนิดของหลักดิน**

หลักดินอาจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. หลักดินที่มีอยู่แล้ว ( Existing Electrode )

2. หลักดินที่ทำขึ้น ( Made Electrode )

116

## หลักดินที่มีอยู่แล้ว

- ทำขึ้น เพื่อจุดประสงค์อย่างอื่น ซึ่งไม่ใช่เพื่อการต่อลงดิน
  - ท่อโลหะใต้ดิน
  - โครงโลหะของอาคาร
  - เสาเข็มเหล็ก
  - โครงสร้างโลหะใต้ดิน

117

## หลักดินที่ทำขึ้น

จัดหาและติดตั้งสำหรับงานระบบการต่อลงดินโดยเฉพาะ

- แท่งดิน ( Ground Rods )
- หลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต ( Concrete Encased Electrode )
- แผ่นผัง ( Buried Plate )
- ระบบหลักดินแบบวงแหวน ( Ring )
- กริด ( Grid )

118

## หลักดินที่ทำขึ้น

จัดหาและติดตั้งสำหรับงานระบบการต่อลงดินโดยเฉพาะ

และ หลักดินที่นิยมใช้ มี 4 แบบ คือ

- หลักดินแบบแนวดิ่งหรือแท่งดิน ( Ground Rod )
- หลักดินแบบรัศมี ( Radial Electrode )
- หลักดินแบบวงแหวน ( Ring Electrode )
- หลักดินแบบฐานราก หรือหลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต

( Foundation Electrode or Concrete Encased Electrode )

119

## 6.7.4 ระบบหลักดิน

### 1. แท่งดิน ( Ground Rod )

- นิยมใช้กันมากที่สุด ราคาถูกและ ติดตั้งง่าย
- เส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า
  5/8 นิ้ว ( 16 mm )
- ความยาวไม่น้อยกว่า 2.4 m

120

## 6.7.4 ระบบหลักดิน

1. หลักดินแบบแนวดิ่งหรือแท่งดิน ( Ground Rod )

เป็นหลักดินที่ใช้แท่งตัวนำตอกเข้าไปในดิน

หลักดินแบบนี้ นิยมใช้มากที่สุด เพราะ ราคาถูก และ ติดตั้งง่าย

แท่งดินต้องมีคุณสมบัติอย่างต่ำดังนี้

- ยาวไม่น้อยกว่า 2.4 m
- เส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 16 mm

121

แท่งดินแบบแนวดิ่งที่นิยมใช้เป็นแบบ

- แท่งเหล็กหุ้มด้วยทองแดง
  ( Copper Clad or Copper Bonded Steel )
- แท่งเหล็กอาบสังกะสี
  ( Hot Dip Galvanized Steel )
- เหล็กกล้า
  ( Stainless Steel )

122

## แท่งเหล็กหุ้มด้วยทองแดง ( Copper - clad Steel )

- เส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5/8 นิ้ว ( 16 mm )
- ยาวไม่น้อยกว่า 2.40 m
- แกนเป็น Low Carbon Steel
  Tensile Strength ไม่น้อยกว่า 600 N / $mm^2$
- ทองแดงที่ใช้หุ้มมีความบริสุทธิ์ 99.9 %
- ความหนาทองแดงที่หุ้มที่จุดใด ๆ ไม่น้อยกว่า 250 μm
- ได้ตามมาตรฐาน UL - 467

123

## แท่งเหล็กอาบสังกะสี ( Hot-dip Galvanized Steel )

- เส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5/8 นิ้ว ( 16 mm )
- ยาวไม่น้อยกว่า 2.40 m
- ความหนาเฉลี่ยของสังกะสีไม่น้อยกว่า 85 μm

124

## แท่งเหล็กกล้า ( Stainless Steel )

- เส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5/8 นิ้ว ( 16 mm )
- ยาวไม่น้อยกว่า 2.40 m
- ทำด้วย Solid Stainless Steel
- ใช้ในที่ดินมีการกัดกร่อนสูง Highly Corrosive Soils
- อายุการใช้งานยาวถึง 50 ปี

125

## 2. หลักดินแบบรัศมี ( Radial Electrode )

เป็นหลักดินที่ตัวนำวางในแนวราบ ฝังใต้ดิน
และมีคุณสมบัติดังนี้

- ฝังอยู่ในดินลึกประมาณ 0.5 - 1.0 m
- ตัวนำทองแดงยาวไม่น้อยกว่า 6 m
- ตัวนำทองแดงขนาดไม่เล็กกว่า 35 $mm^2$

126

## 3. หลักดินแบบวงแหวน ( Ring Electrode )

หลักดินแบบนี้จะ ฝังอยู่รอบอาคาร

และมีคุณสมบัติเหมือนหลักดินแบบรัศมี คือ

- ฝังอยู่ในดินลึกประมาณ 0.5 - 1.0 m
- ตัวนำทองแดงยาวไม่น้อยกว่า 6 m
- ตัวนำทองแดงขนาดไม่เล็กกว่า 35 $mm^2$

127

## 4. หลักดินแบบฐานราก หรือหลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต

## ( Foundation Electrode or Concrete Encased Electrode )

หลักดินแบบนี้ใช้ตัวนำผังอยู่ในฐานรากคอนกรีตของ

อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างที่มีเหล็กเสริม ( Reinforcing Bar )

อยู่ด้วย หลักดิน แบบนี้มี

คุณสมบัติ คือ

- ตัวนำต้องหุ้มด้วยคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 50 mm.

  ใกล้ส่วนล่าง ของฐานรากซึ่งสัมผัสอย่างดีกับดิน

128

หลักดินแบบฐานราก ตาม NEC มีมิติดังนี้

- ถ้าใช้ ตัวนำแบบเหล็กเสริม หรือ แท่งเหล็ก
  ต้องยาว ไม่น้อยกว่า **6 m.**
  และเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า **13 mm.**
- ถ้าใช้ ตัวนำทองแดง ขนาดไม่เล็กกว่า **25 $mm^2$**
  ยาวไม่น้อยกว่า **6 m.**

129

## 5. กริด ( Grid )

- ใช้กับ สถานีไฟฟ้าย่อย
- ครอบคลุมไปทั่วสถานีไฟฟ้า อาจเลยรั่วออกไป
- ตัวนำฝังลึกประมาณ 0.5 ฟุต ( 0.15 m )
- จัดเป็นรูปตาข่ายสี่เหลี่ยม
  ขนาด 10-12 ฟุต ( 3.0-3.7m )
- ใช้หินกรวดโรยทั่วบริเวณ เพื่อ
  ลดแรงดันช่วงก้าว ( Step Voltage )

130

## 6.7.5 การคำนวณความต้านทานดิน

### 1. หลักดินแบบแท่งดินตามแนวลึก ( Deep Rod Earthing )

ความต้านทานดินของแท่งดินที่ฝังตามแนวลึกในเนื้อดินที่มีความสม่ำเสมอ คำนวณได้จากสูตร

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left[\ln\left(\frac{4L}{r}\right)-1\right]$$

โดยที่

R คือ ความต้านทานดิน ( $\Omega$ )

L คือ ความยาวของแท่งดิน ( m )

r คือ รัศมีสมมูลของหลักดิน ( m )

$\rho$ คือ ความต้านทานเฉพาะของดิน ( $\Omega$-m )

ln คือ Natural Logarithm

131

## สูตรโดยประมาณ

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\ln\frac{8L}{r}$$

หรือ

$$R = \frac{\rho}{L}$$

132

**ตัวอย่างที่ 6.12** แท่งดินมีรัศมี ( r ) 8 mm ยาว 3 m

$\rho$ = 100 $\Omega$ -m จงหาความต้านทานของดิน

**วิธีทำ**

L = 3000 mm

r = 8 mm

$$R = \frac{100}{2\pi \times 3}\left[\ln\left(\frac{4\times 3000}{8}\right)-1\right] = 33.5\ \Omega$$

133

**โดยประมาณ**

$$R = \rho / L$$

$$= 100 / 3$$

$$= 33.3\ \Omega$$

134

**2. หลักดินแบบรัศมี ( Radial Electrode )**

**หลักดินแบบนี้มีสูตรการคำนวณดังนี้**

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{d}$$

**<u>สูตรโดยประมาณ</u>**

$$R = \frac{2\rho}{L}$$

135

**<u>ตัวอย่างที่ 6.13</u>** **หลักดินแบบรัศมี**

**มีความยาว 20 m**

**ตัวนำมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm**

**ดินมีความต้านทาน จำเพาะ 200 Ω - m**

**จงหาความต้านทานของดิน**

136

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{d}$$

$$= \frac{200}{\pi \times 20} \ln \frac{2 \times 20 \times 1000}{20}$$

**= 24.2 Ω**

137

โดยประมาณ

$$R = \frac{2\rho}{L}$$

$$= \frac{2 \times 200}{20}$$

**= 20 Ω**

138

### 3. หลักดินแบบวงแหวน ( Ring Electrode )

หลักดินแบบวงแหวนมี สูตรการคำนวณ ดังนี้

$$R = \frac{\rho}{\pi^2 D} \ln \frac{2\pi D}{d}$$

โดยที่

**D** = เส้นผ่านศูนย์กลางของวงแหวน

**L** = $\pi$ **D**

**สูตรโดยประมาณ**

$$R = \frac{2\rho}{3D}$$

139

**ตัวอย่างที่ 6.14** หลักดินแบบวงแหวน
มีเส้นผ่านศูนย์กลางกว้าง **80 m**
ตัวนำมีเส้นผ่านศูนย์กลางกว้าง **20 mm**
และดินโดยรอบมี $\rho$ **= 100** $\Omega$ **- m**
ให้คำนวณหาความต้านดินของหลักดิน

140

**วิธีทำ**

$$R = \frac{\rho}{\pi^2 D} \ln \frac{2D}{d}$$

$$= \frac{100}{\pi^2 \times 80} \ln \frac{2 \times 80 \times 1000}{20}$$

**= 1.28 Ω**

141

**หรือ**

$$R = \frac{2\rho}{3D}$$

$$= \frac{2 \times 100}{3 \times 80}$$

**= 0.83 Ω**

142

## 4. หลักดินแบบฐานราก หรือหลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต

หลักดินแบบฐานรากมี สูตรการคำนวณ ดังนี้

$$R = \frac{\rho}{\pi D}$$

โดยที่ $D = 1.57\sqrt[3]{V}$

V = ปริมาตรของฐานราก ( $m^3$ )

$\rho$ = ความต้านทานจำเพาะของคอนกรีต ( $\Omega$ - m )

143

**ตัวอย่างที่ 6.15** ฐานรากคอนกรีตของอาคาร

มี W x L x D = 20 x 30 x 1 m

$\rho$ = 100 $\Omega$ - m

ให้คำนวณหาความต้านทานดิน

V = 20 x 30 x 1 = 600 $m^3$

$$D = 1.57\sqrt[3]{V}$$

$$= 1.57\sqrt[3]{600}$$

= 13.2 m

144

**ตัวอย่าง ( ต่อ)**

$$R = \frac{\rho}{\pi D}$$

$$= \frac{100}{\pi \times 13.2}$$

**= 2.4 Ω**

145

## 6.7.6 ดินตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของ วสท.

**หลักดินตามมาตรฐานของ วสท. มี**

1. **แท่งดิน ( Ground Rod )**
2. **แผ่นตัวนำ ( Buried Plate )**
3. **อาคารที่เป็นโครงโลหะ และการต่อลงดินอย่างถูกต้อง โดยมีค่าต้านทานของการต่อลงดินไม่เกิน 5 โอห์ม**
4. **หลักดินชนิดอื่น ๆ ต้องได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้า**

146

## 6.7.7 หลีกดินหลายหลักต่อขนานกัน

- ถ้าหลักดินแบบแนวดิ่งวัดแล้วมีความต้านดินมากเกินไป อาจลดความต้านดินได้ โดยการตอกหลักดินเพิ่ม การตอกเพิ่มต้องจัดให้ ระยะห่างระหว่างแท่งหลักดิน ต้อง ไม่น้อยกว่า ความยาวหลักดิน
- นิยมตอกเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า
- ในการตอกหลักดินเพิ่มแล้วต่อขนานกัน จะทำให้ความต้านทานดินลดลงดังนี้

ตามมาตรฐาน BS 7430 - 1998

147

| จำนวนหลักดิน | ตัวคูณ |
|---|---|
| 2 | 0.58 |
| 3 | 0.42 |
| 4 | 0.34 |
| 5 | 0.28 |
| 6 | 0.24 |
| 7 | 0.22 |
| 8 | 0.19 |
| 9 | 0.18 |
| 10 | 0.16 |

148

**ตัวอย่างที่ 6.16** หลักดินแบบแท่งยาว 3 m

เมื่อคอกลงดินแล้ววัดความต้านทานดินได้ 10 Ω

ถ้าต้องการความต้านทานไม่เกิน 5 Ω

จะทำอย่างไร

149

**วิธีทำ**

เมื่อความต้านทานดิน 1 หลัก เท่ากับ หนึ่งหน่วย
ถ้าใช้ 2 หลัก ใช้ตัวคูณลด เท่ากับ 0.58
ใช้ 3 หลัก ใช้ตัวคูณลดเท่ากับ 0.42

ถ้าตอกหลักดิน 1 หลัก วัดความต้านทานดินได้ 10 Ω
หลักดิน 2 หลัก จะได้ค่าความต้านทานดิน
เท่ากับ 10 x 0.58 = 5.8 Ω

หลักดิน 3 หลัก จะได้ค่าความต้านทานดิน
เท่ากับ 10 x 0.42 = 4.2 Ω

150

## 6.7.8 การวัดความต้านทานจำเพาะของดิน

## ( Measurement of Soil Resistivity )

- ใช้วิธีของ เวนเนอร์ ( Wenner )
  โดยอาศัยหลักการ
  การปรับเทียบแรงดันของ Bridge Meter

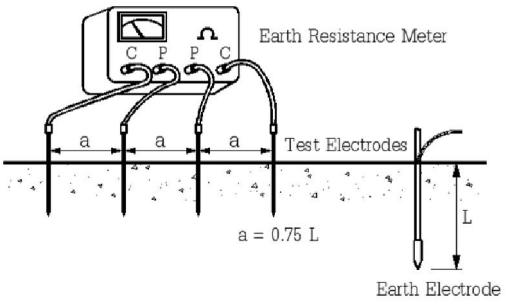
151

- เครื่องวัดชนิดนี้เรียกว่า " Earth Resistance Meter "
  ประกอบด้วยขั้วออก 4 ขั้ว พร้อมกับ
  อิเล็กโตรดช่วยอีก 4 ตัว อิเล็กโตรดจะถูก
  ตอกลงดินในแนวดิ่งด้วยระยะห่าง " a " เท่า ๆ กัน
  ลึกประมาณ 0.3 m-0.5 m

$$\rho = 2\pi a R \qquad (\Omega - m)$$

152

ระยะห่าง " a " เพิ่มขึ้น กระแสทดสอบจะไหลทะลุไปตามชั้นของ ดินที่ อยู่ลึกกว่า ดังนั้นค่าความต้านทานจำเพาะที่วัดได้ อาจจะเพิ่มขึ้นหรือ ลดลงก็ได้ ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานจำเพาะของดินของชั้นที่กระแสนั้น ไหลผ่าน




รูปแสดงวิธีการวัดความต้านทานจำเพาะของดิน โดยใช้ Earth Resistance Meter ใน ดินที่ไม่มีการแบ่งเป็นชั้น ความต้านทานจำเพาะของดินจะไม่ขึ้นอยู่กับระยะห่าง " a " ดังนั้นถ้าต้องการวัดที่ความลึก 1 ระยะห่างระหว่างโพรบ ( Probe ) ควรเป็น a = 0.75L

153

## 6.7.9 การวัดความต้านทานดินของหลักดิน

## ( Measurement of Earth Resistance )

- เครื่องวัดความต้านทานดินจะเป็น ชนิดเดียวกันกับเครื่องวัด ความต้านทานจำเพาะของดิน
- ความถูกต้องขึ้นอยู่กับความสามารถ ในการไหลของกระแสทดสอบ และ ลักษณะการวาง Current Electrode

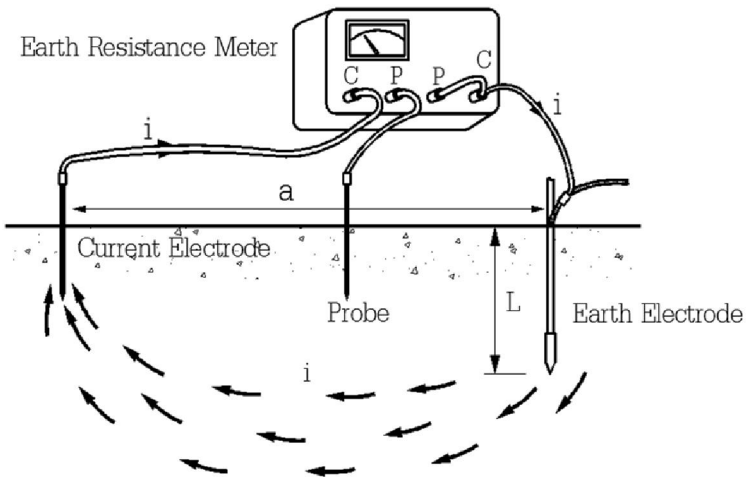
154

## การวัดความต้านทานดินของหลักดิน

## ( Measurement of Earth Resistance ) ( ต่อ )

- เมื่อทำการวัดในดินที่มีความต้านทานจำเพาะสูง ( มากกว่า 100 Ω-m ) ต้องลดความต้านทานที่ Current Electrode ลง เพื่อเพิ่มกระแสทดสอบ โดยการนำ Current Electrode หลาย ๆ ตัวมาต่อขนานกัน ทำให้ดินบริเวณ Current Electrode เปียกชื้นขณะที่กำลังทำการวัดได้ เมื่อทำให้การไหลของกระแสทดสอบเป็นไปด้วยดีแล้ว เราก็สามารถอ่านค่าความต้านทานได้จากมิเตอร์โดยตรง

155




รูปที่ 6.26 แสดงตำแหน่งการวาง Current Electrode และ Probe เพื่อทำการ วัดความต้านทานดินของหลักดิน

156

## ข้อพิจารณาในการวัดความต้านทานดิน

- **Current Electrode** และ **Probe** ต้องตอกในแนวดิ่ง และอยู่ในแนวเดียวกันกับ **Earth Electrode**
- ถ้าดินมีลักษณะการแบ่งเป็นชั้น จะต้องทำการวัดซ้ำ โดยเปลี่ยนระยะห่างของ **Electrode** แล้วเลือกใช้ค่าที่มากกว่า
- ความเชื่อถือได้ของเครื่องมือวัด จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของ **External Current Probe** และ **Probe**

157

- ค่าระยะห่างที่ให้ไว้ข้างล่างนี้ ตามปกติแล้วจะให้ผลการวัดที่ถูกต้อง เป็นที่ยอมรับได้

**Earth Electrode - Current Electrode = a**

**Earth Electrode - Probe = 0.6 a**

i) $a \geq 40$ m ถ้า $L \leq 4$ m

ii) $a \geq 10L$ m ถ้า $L > 4$ m

หรือ **a** ต้องไม่น้อยกว่า **40 m** นั่นเอง

158

## 6.8 ความต้านทานระหว่างหลักดินกับดิน ( Resistance to Ground )

- ค่าความต้านทานของ หลักดินต้องไม่เกิน 5 Ω
- สำหรับพื้นที่ที่ยากในการปฏิบัติ

  ถ้าความต้านทานของหลักดิน เกิน 5 Ω

  และทางการไฟฟ้าเห็นชอบ

  อาจกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 25 Ω ได้
- ถ้าในการวัดได้ค่าความต้านทานดิน สูงกว่า 25 Ω

  ทางแก้คือให้ ปักหลักดินเพิ่มอีก 1 แท่ง

159

## คำถามท้ายบท

1. การต่อลงดินของสถานประกอบการแบ่งเป็นกี่ชนิด อะไรบ้าง
2. จุดประสงค์ของการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าคืออะไร
3. ส่วนประกอบของการต่อลงดินมีอะไรบ้าง
4. จงเขียนวงจรการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย
5. การเลือกขนาดสายต่อหลักดินมีหลักการอย่างไรบ้าง

160

## คำถามท้ายบท...(ต่อ)

6. บ้านขนาดใหญ่หลังหนึ่งใช้ไฟฟ้ามิเตอร์ 30(100) A , 3 เฟส 4 สาย สายต่อหลักดินจะต้องมีขนาดเท่าใด
7. สถานประกอบการแห่งหนึ่งใช้หม้อแปลงขนาด 630 kVA , 22 kV / 230-400 V 3 เฟส 4 สาย ทางด้านแรงต่ำจะต้องใช้สายดินขนาดเท่าใด
8. การต่อฝากมีความสำคัญอย่างไร และหลักการหาขนาดสายต่อฝากหลักมีอย่างไร
9. ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย สายเมนบริภัณฑ์แต่ละเฟสใช้สายตัวนำทองแดงขนาด 300 $mm^2$ จำนวน 6 เส้น สายต่อฝากหลักต้องมีขนาดเท่าใด

161

## คำถามท้ายบท...(ต่อ)

10. จุดประสงค์ของการต่อลงดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าคืออะไร
11. สายดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าเลือกด้วยหลักการอย่างไร
12. มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 110 kW , 400 V , 205 A 3 เฟส ให้หาขนาดสายวงจรมอเตอร์ โดยใช้สาย IEC 01 เดินในท่อโลหะในอากาศ โดยใช้สายควบ 2 เส้น
13. หลักดินแบ่งเป็นกี่ชนิด

162

## คำถามท้ายบท...(ต่อ)

**14.** จงคำนวณหาความต้านทานดินของหลักดินแบบแท่ง

ถ้า $\rho$ = 100 $\Omega$ - m กำหนดให้หลักดิน

1) ยาว 3 m $\phi$ = 16 mm
2) ยาว 3 m $\phi$ = 26 mm
3) ยาว 5 m $\phi$ = 16 mm
4) ยาว 5 m $\phi$ = 26 mm

**15.** หลักดินแบบแท่งตามแนวผิวดินยาว 50 m $\Phi$ = 26 mm

$\rho$ = 200 $\Omega$ - m จะมี ความต้านทาน ดินเท่าใด

163