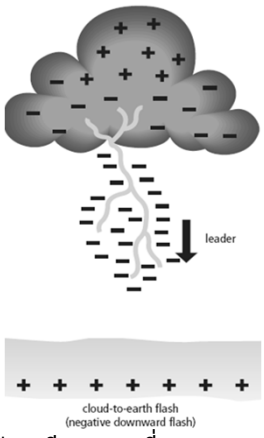
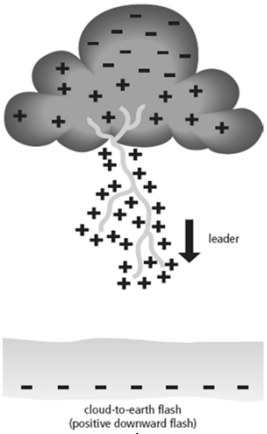
1

การเกิดฟ้าผ่า (ฟ้าผ่าลง)





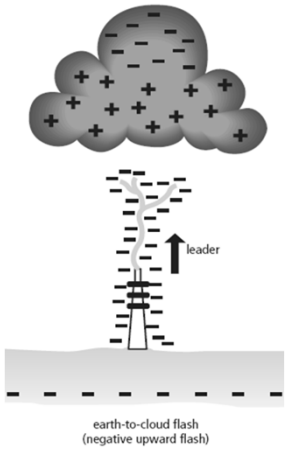
ฟ้าผ่าลบมีกระแสเฉลี่ยประมาณ 30 kA **ฟ้าผ่าบวกมีกระแสเฉลี่ยประมาณ 300 kA**

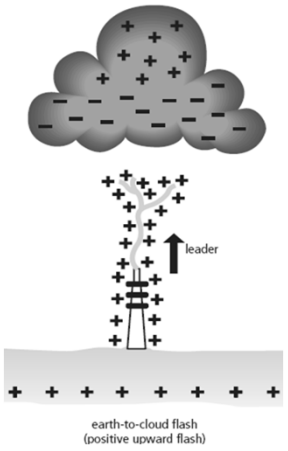
แรงดันอาจสูงถึง 1 ล้านโวลต์

การป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า...ลือชัย ทองนิล 2

2

การเกิดฟ้าผ่า (ฟ้าผ่าขึ้น)





3

การเกิดฟ้าผ่า

เมื่อลีดเดอร์เข้ามาใกล้พื้นโลก จะทำให้เกิดไอออไนซ์ เป็นสตรีมเมอร์ (Streamer) มีความยาว 1 เมตรถึง 100 เมตร วิ่งเข้าไปหาลีดเดอร์ คือหัวนำร่องจนมาพบกับ Upstream leader

ระยะสุดท้ายที่หัวนำร่องกระโดดเข้าหาสตรีมเมอร์เรียกว่าระยะฟ้าผ่า (Striking distance) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามขนาดของการแสฟ้าผ่า (ความรุนแรง)

4

การเกิดฟ้าผ่า

source: www.lightningtech.com/f_sets/facilities.html

การเกิดฟ้าผ่า

source: www.lightningtech.com/f_sets/facilities.html

การเกิดฟ้าผ่า

source: www.lightningtech.com/f_sets/facilities.html

7

การเกิดฟ้าผ่า

source: www.lightningtech.com/f_sets/facilities.html

8

การเกิดฟ้าผ่า

$$\text{ระยะฟ้าผ่า } (r) = 10 \times I^{0.65}$$

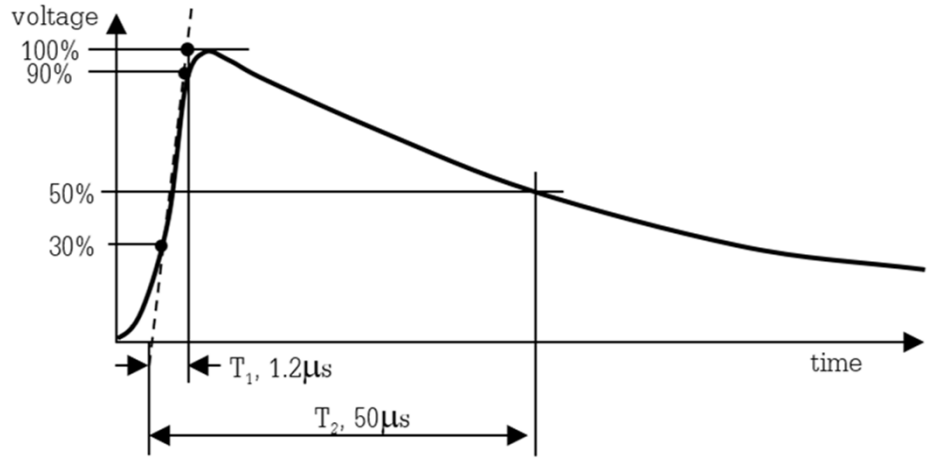
source: www.lightningtech.com/f_sets/facilities.html

9

10

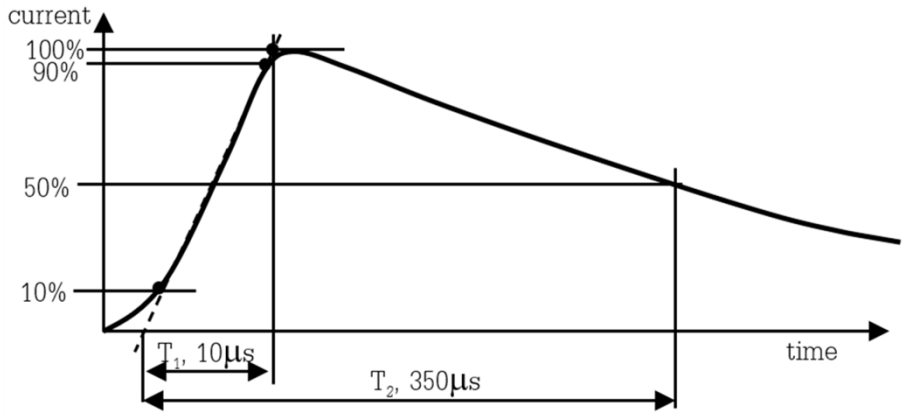
11

รูปคลื่นแรงดันฟ้าผ่า แบบ 1.2/50 μs

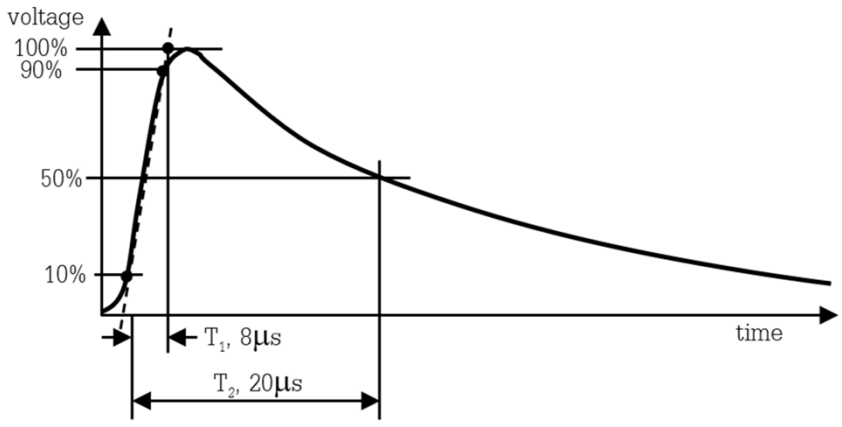


12

รูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า แบบ 10/350 μs



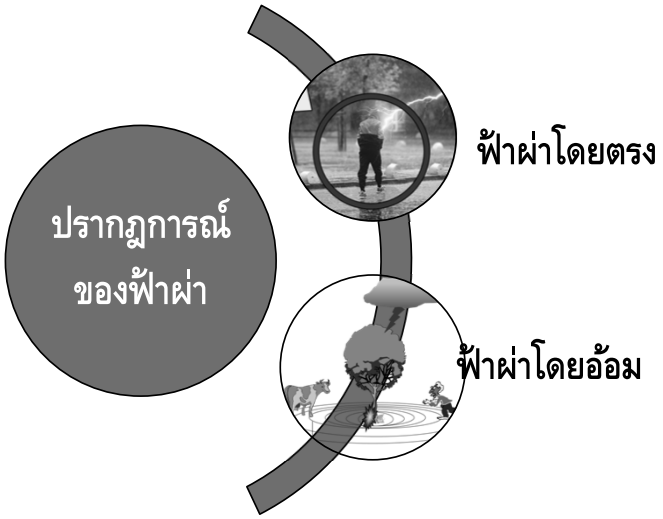
รูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า แบบ 8/20 μs



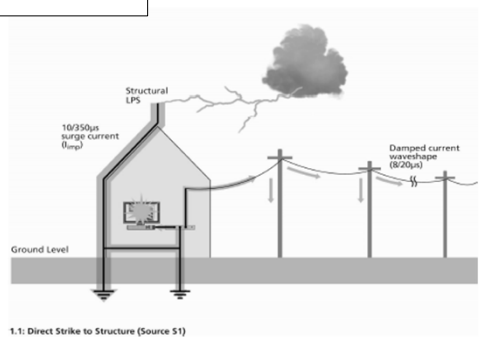
อันตรายจากฟ้าผ่า

ฟ้าผ่าเป็นอันตรายต่อทั้งชีวิตและทรัพย์สิน

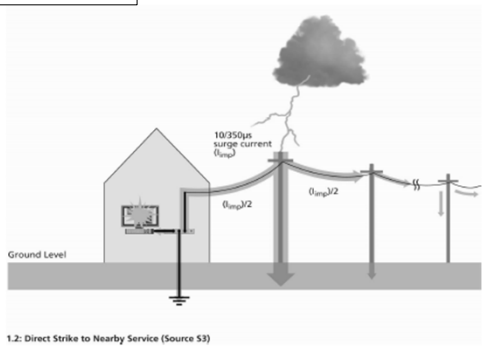
อันตรายของฟ้าผ่า



ปรากฏการณ์ฟ้าผ่าแบบผ่าโดยตรง (direct strike)

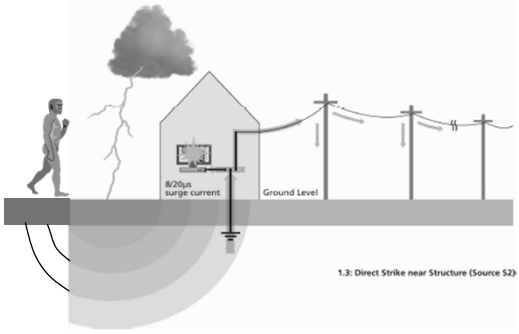


Direct strike to structure (Source S1)

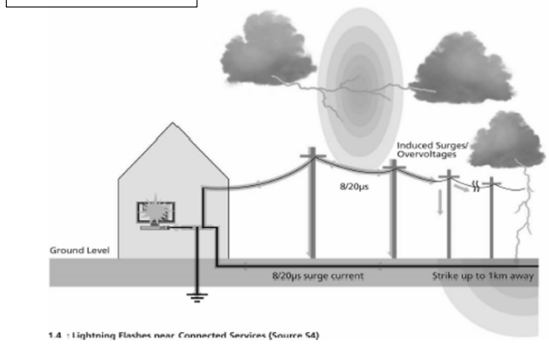


Direct strike to service line (Source S3)

ปรากฏการณ์ฟ้าผ่าแบบผ่าโดยอ้อม (indirect strike)

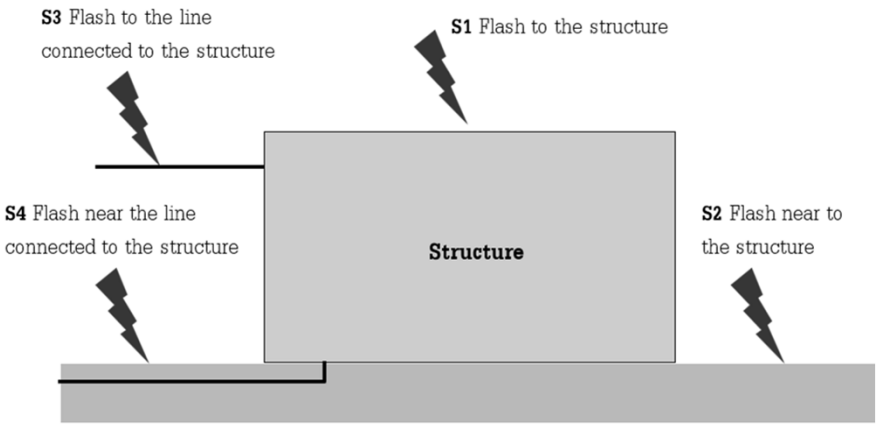


Direct strike near structure (Source S2)



Lightning flash near service line (Source S4)

สรุป....แหล่งที่มาของความเสียหาย (source of damage)



รูปแหล่งที่มาของความเสียหายที่เข้ามาที่อาคาร

19

20

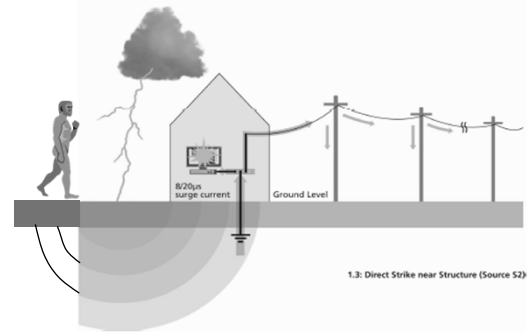
อันตรายจากฟ้าผ่า (สิ่งปลูกสร้าง) โดยตรง

21

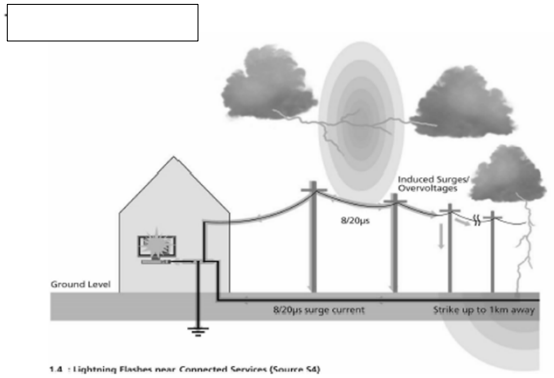
22

23

อันตรายจากฟ้าผ่าโดยอ้อม (indirect strike)



Direct strike near structure (Source S2)

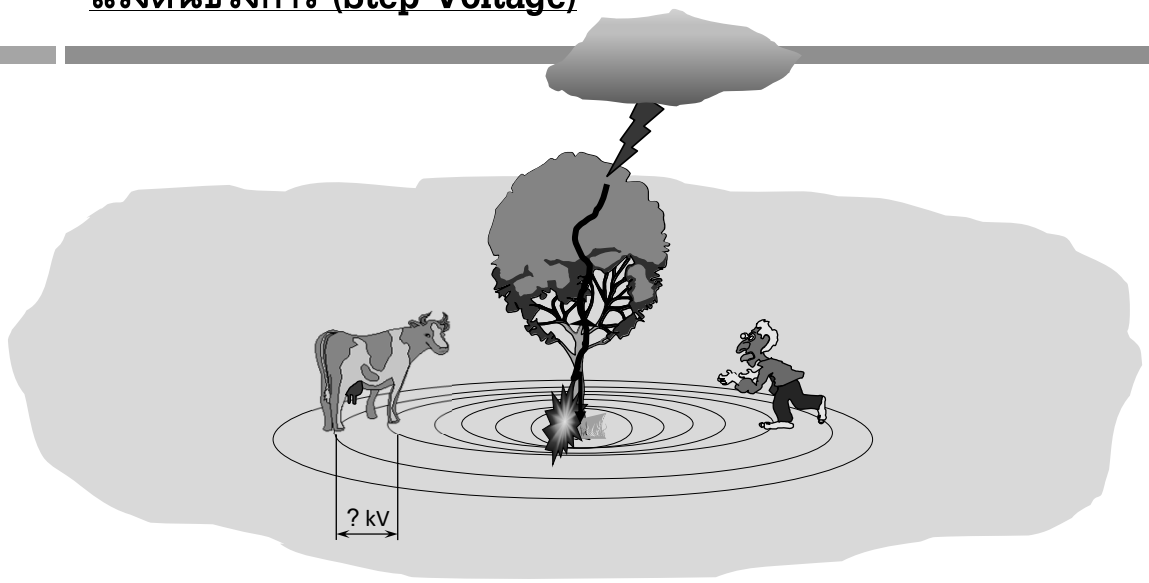


Lightning flash near service line (Source S4)

การป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า...ลือชัย ทองนิล 24

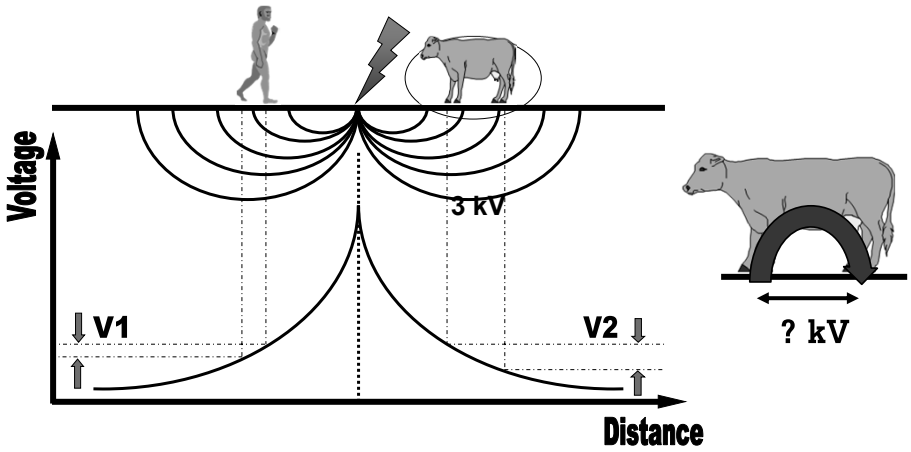
24

แรงดันช่วงก้าว (Step Voltage)



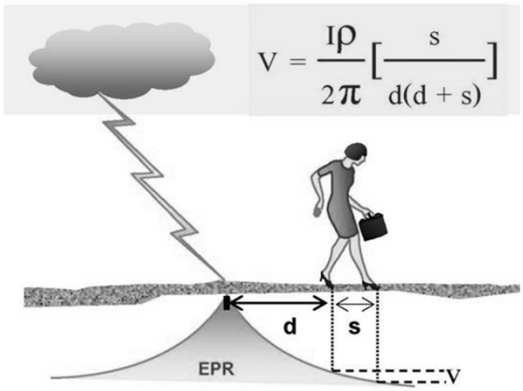
25

แรงดันช่วงก้าว (Step Voltage)



26

การคำนวณ Step Voltage



V = แรงดันช่วงก้าว (kV)

I = กระแสลงดิน (kA)

ρ = ความต้านทานจำเพาะของดิน (โอห์ม-เมตร)

d = ระยะห่างจากจุดที่กระแสลงดิน (เมตร)

s = ระยะก้าว (เมตร)

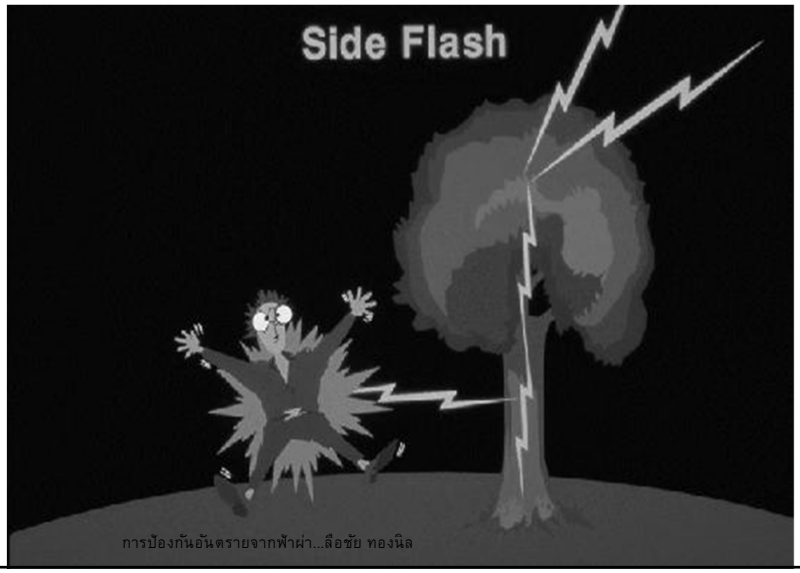
27

แรงดันสัมผัส (touch voltage)

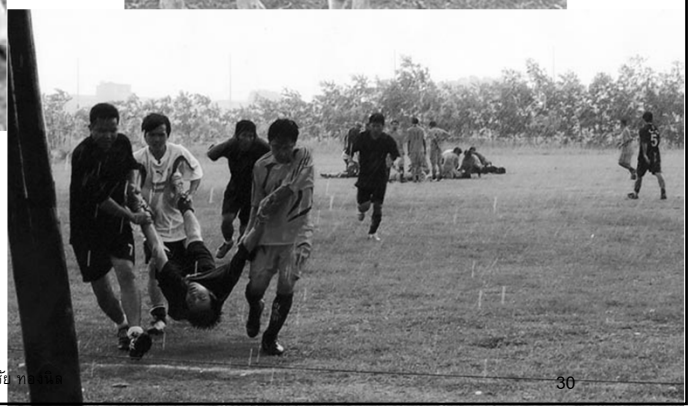
<u>หมายเหตุ</u> จะมีแรงดันช่วงก้าวรวมอยู่ด้วย

28

Side Flash



29



อันตรายต่อชีวิต

30

ท่านเชื่อหรือไม่?

31

แนวทางการป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า

สำหรับอาคารและสิ่งปลูกสร้าง

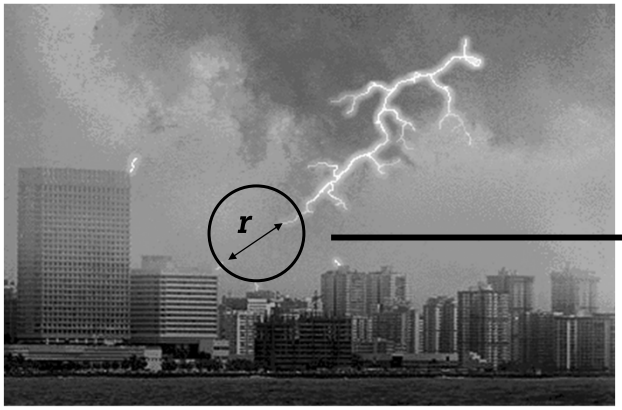
32

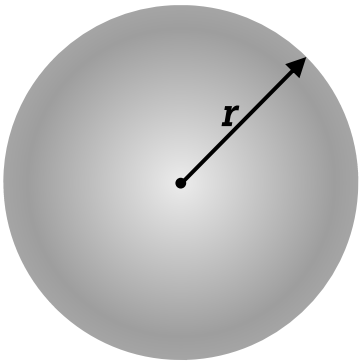
การคำนวณระยะฟ้าผ่า (Striking distance)

ระยะฟ้าผ่า (r) = 10 ✕ I $^{0.65}$

ถ้า I = 10 A จะได้

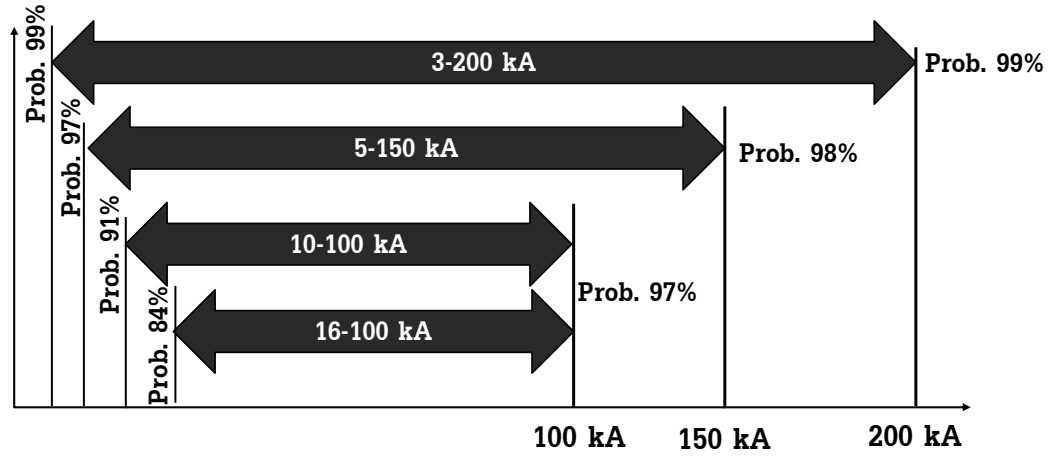
r = 10 ✕ 10 $^{0.65}$ = 44.67 m.





33

ความรุนแรงของฟ้าผ่า (แบ่งเป็น 4 ระดับ)



34

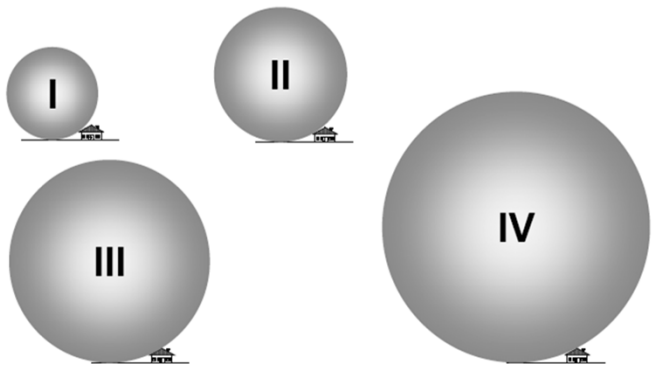
ชั้นการป้องกันฟ้าผ่า (ระดับ LPL) และรัศมีทรงกลมกลิ้ง

LPL	I	II	III	IV
Minimum current (kA)	3	5	10	16
Calculated radius of rolling sphere (m)	20.42	28.46	44.67	60.63
Adopted radius of rolling sphere (m)	20	30	45	60

$$\text{ระยะฟ้าผ่า } (r) = 10 \times I^{0.65}$$

35

ทรงกลมกลิ้งตามระดับการป้องกัน

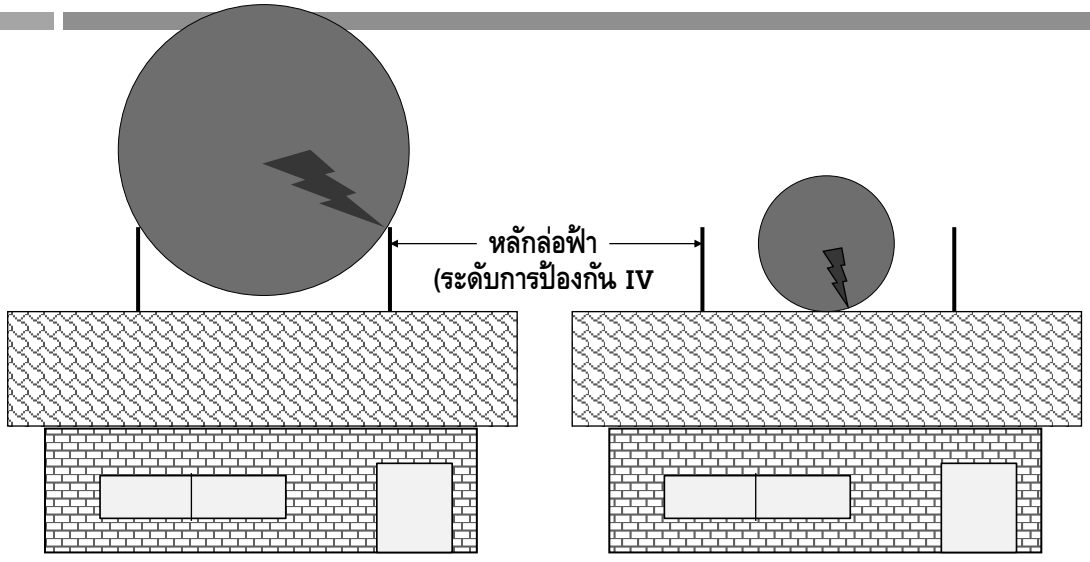


36

ระยะฟ้าผ่า และ กระแสฟ้าผ่า

37

ทำไมกระแสฟ้าผ่าค่าต่ำจึงอันตราย

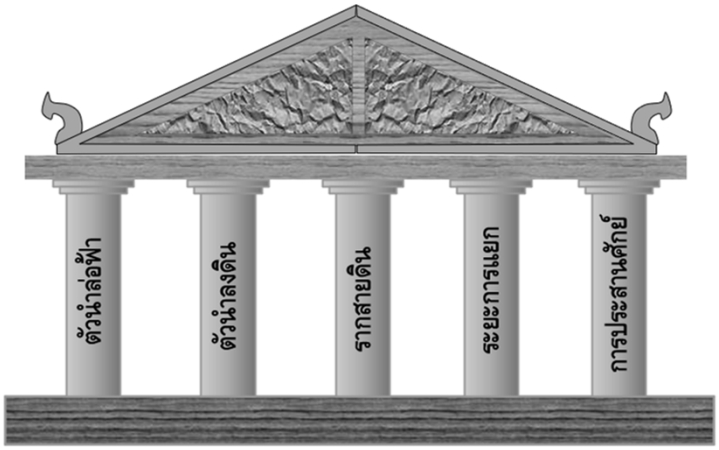


38

การป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าอาคารหรือสิ่งปลูกสร้าง

39

องค์ประกอบหลักที่ต้องพิจารณาของระบบป้องกันฟ้าผ่า



40

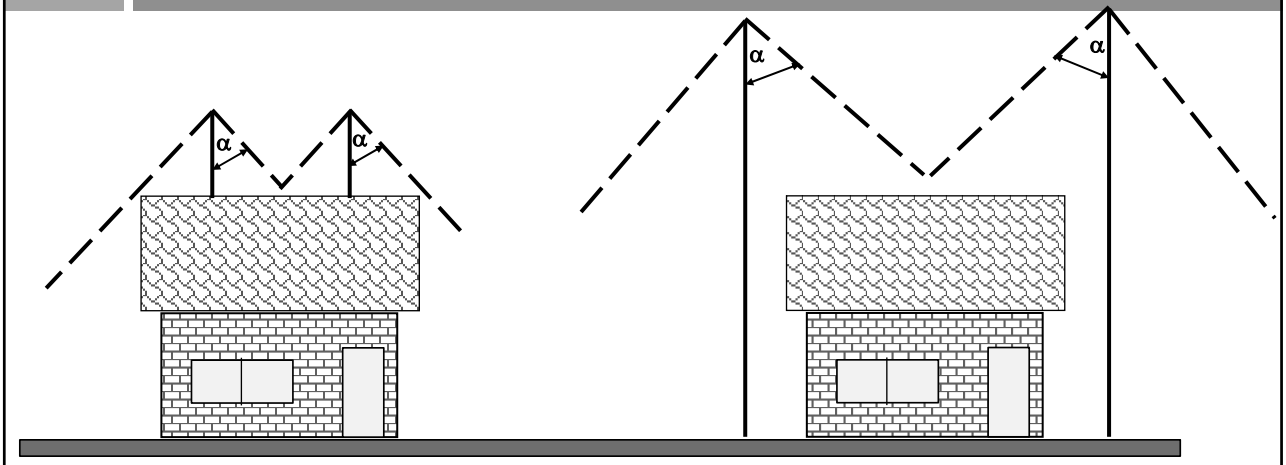
การติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า แบ่งเป็น

แบบไม่แยกอิสระ เป็นระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกที่ยึดติดกับสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกัน แต่ถ้าผลกระทบเนื่องจากความร้อนที่จุดฟ้าผ่าหรือบนตัวนำที่นำกระแสฟ้าผ่าอาจทำความเสียหายให้กับสิ่งปลูกสร้าง หรือสิ่งที่อยู่ภายในสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกัน ระยะห่างระหว่างตัวนำของระบบป้องกันฟ้าผ่ากับวัสดุที่ติดไฟได้ต้องมีค่าอย่างน้อย 0.1 เมตร

แบบแยกอิสระ เป็นระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ระบบตัวนำล่อฟ้า และระบบตัวนำลงดิน จัดวางในลักษณะที่ทางเดินของกระแสฟ้าผ่าไม่สัมผัสกับสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกัน แต่ก็ยังคงมีการต่อเข้ากับระบบรากสายดินที่ระดับดิน

41

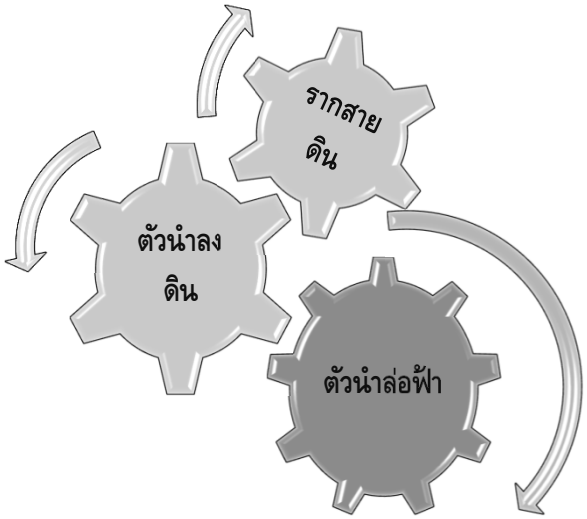
ตัวอย่าง ระบบไม่แยกอิสระ และแยกอิสระ



แบบไม่แยกอิสระ **แบบแยกอิสระ**

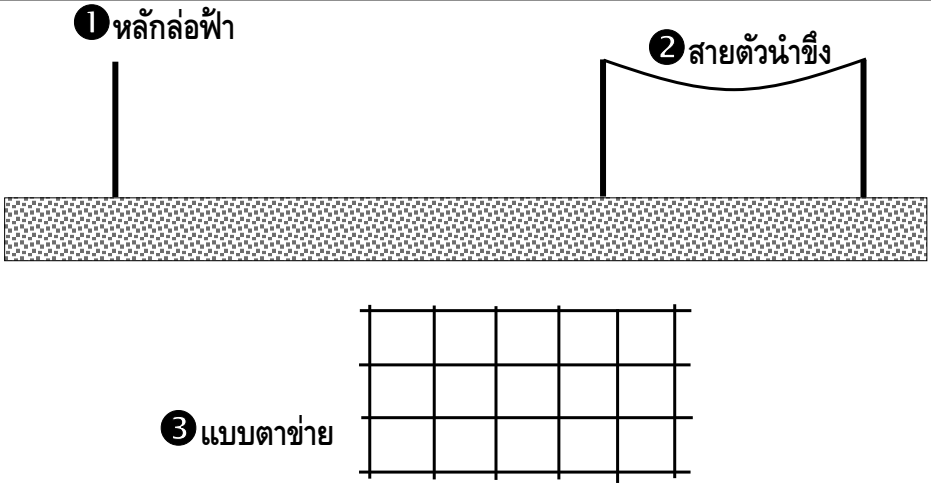
42

ส่วนประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่า



43

ตัวนำล่อฟ้า



44

การป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า

ตารางที่ 4.10 วัสดุ รูปแบบ และขนาดของตัวนำล่อฟ้า แท่งตัวนำล่อฟ้า และตัวนำลงดิน

วัสดุ	รูปแบบ	พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)	หมายเหตุ
ทองแดง หรือทองแดงเคลือบดีบุก	เทปตัน	50	-
	แท่งกลมตัน	50	หมายเหตุ 1
	ตีเกลียว	50	หมายเหตุ 1
	แท่งกลมตัน	176	หมายเหตุ 2
อะลูมิเนียม	เทปตัน	70	-
	แท่งกลมตัน	50	-
	ตีเกลียว	50	-
อะลูมิเนียมเจือ	เทปตัน	50	-
	แท่งกลมตัน	50	-
	ตีเกลียว	50	-
	แท่งกลมตัน	176	หมายเหตุ 2
ทองแดงเคลือบอะลูมิเนียมเจือ	แท่งกลมตัน	50	
เหล็กอาบสังกะสีแบบจุ่มร้อน	เทปตัน	50	-

แท่งกลมตัน	50	-	
ตีเกลียว	50	-	
แท่งกลมตัน	176	หมายเหตุ 2	
แท่งกลมตัน เทปตัน	50		
เทปตัน	50	หมายเหตุ 3	
แท่งกลมตัน	50	หมายเหตุ 3	
ตีเกลียว	70	-	
แท่งกลมตัน	176	หมายเหตุ 2	

หมายเหตุ 1. ขนาด 50 มม.^{2} (เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม.) อาจลดลงเป็น 25 มม.^{2} ในการประยุกต์ใช้งานบางอย่างที่ไม่ต้องการความแข็งแรงทางกล

2. ใช้เป็นตัวนำล่อฟ้า หรือเป็นตัวนำสู่ดิน กรณีที่แท่งตัวนำล่อฟ้าซึ่งไม่ต้องการความแข็งแรงทางกล เช่น จากแรงลม อาจใช้แท่งตัวนำยาว 1 ม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 มม. ได้

3. ถ้าพิจารณาแล้วว่าความแข็งแรงทางกลและผลของความร้อนมีผลกระทบที่สำคัญ ควรเพิ่มเป็น 75 มม.^{2}

4. รายละเอียดเพิ่มเติม ดูได้จากมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า วสท. หรือ IEC 62305

การใช้ตัวนำล่อฟ้าโดยธรรมชาติ

ส่วนประกอบของอาคารต่อไปนี้ใช้เป็นตัวนำล่อฟ้าได้ โดยถือเป็นตัวนำล่อฟ้าโดยธรรมชาติ ซึ่งต้องมีความหนาและความต่อเนื่องทางไฟฟ้าเป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐานฯ ได้แก่

- **แผ่นโลหะปกคลุมสิ่งปลูกสร้าง มีความหนาตามตารางที่ 4.7 (มาตรฐานฯ)**
- **องค์ประกอบโลหะของโครงสร้างหลังคาที่อยู่ใต้หลังคาอโลหะ**
- **ชิ้นส่วนโลหะเช่น รางน้ำ ราวลูกกรง ท่อ และแผ่นครอบกำแพงกันตก เป็นต้น**
- **ท่อและถังโลหะบนหลังคาที่มีความหนา ตามที่กำหนดในตารางที่ 4.10 ข้างต้น**
- **ท่อและถังโลหะที่บรรจุสารผสมที่พร้อมจะติดไฟหรือระเบิดซึ่งมีความหนาไม่น้อยกว่าค่า t ที่กำหนดในตารางที่ 4.7 และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ผิวด้านในตรงจุดฟ้าผ่าไม่ก่อให้เกิดอันตราย**

ตารางที่ 4.7 ความหนาต่ำสุดของแผ่นโลหะหรือท่อโลหะที่ใช้ในระบบตัวนำล่อฟ้า

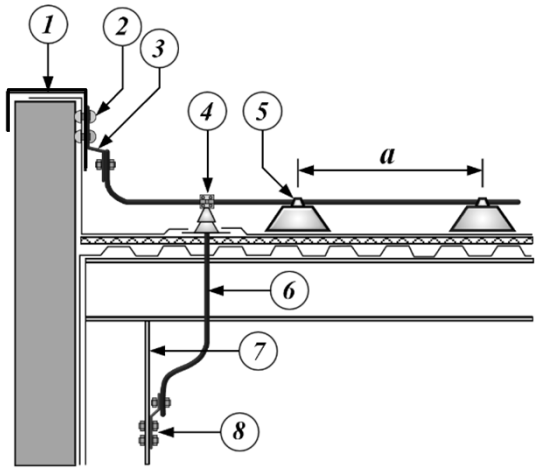
ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า	วัสดุ	ความหนาที่ป้องกันฟ้าผ่าทะลุ t (มิลลิเมตร)	ความหนาที่ยอมให้ฟ้าผ่าทะลุได้ t' (มิลลิเมตร)
I ถึง IV	ตะกั่ว	-	2.0
	เหล็ก (เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กอาบสังกะสี)	4	0.5
	ไทเทเนียม	4	0.5
	ทองแดง	5	0.5
	อะลูมิเนียม	7	0.65
	สังกะสี	-	0.7

ตัวอย่างการใช้โครงสร้างอาคารเป็นตัวนำล่อฟ้าโดยธรรมชาติ

- *แผ่นโลหะปกคลุมบริเวณป้องกัน*
  - *มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้า*
  - *แผ่นโลหะความหนาไม่ต่ำกว่ากำหนด*
  - *ไม่มีการเคลือบ ยกเว้นแอสฟัลต์ไม่เกิน 0.5 มม. หรือ พีวีซีไม่เกิน 1 มม.*
- *องค์ประกอบโลหะของโครงสร้างหลังคา*
- *ชิ้นส่วนโลหะ - รางน้ำ ราวลูกกรง*
- *ท่อและถังโลหะหนาไม่น้อยกว่า 2.5 มม.*

49

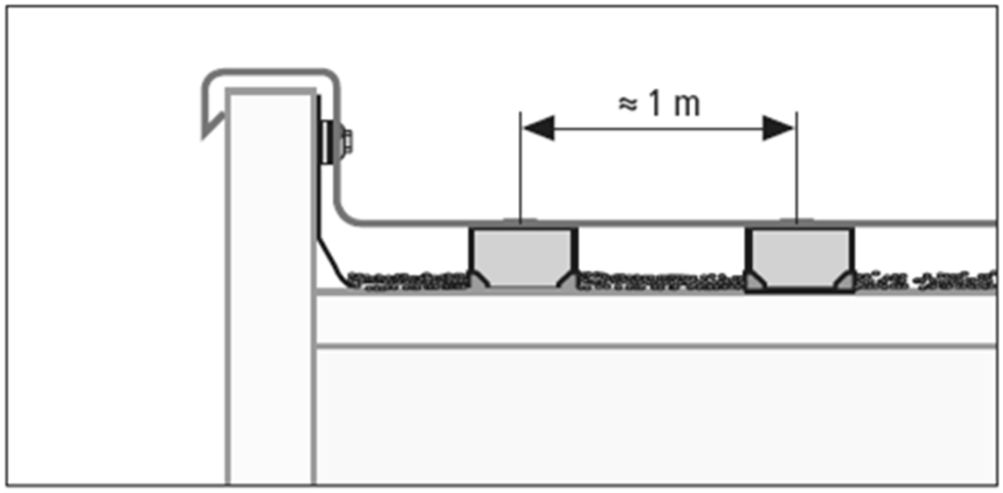
ตัวอย่างการใช้โครงสร้างอาคารเป็นตัวนำล่อฟ้าโดยธรรมชาติ



1 แผ่นโลหะครอบกำแพงกันตกบนหลังคากันน้ำ (ตัวนำล่อฟ้าโดยธรรมชาติ)
2 จุดต่อ
3 ตัวนำอ่อน
4 จุดต่อแบบตัวที
5 ตัวจับยึดตัวนำล่อฟ้า
6 ระบบป้องกันฟ้าผ่าผ่านทะลุปลอกกันน้ำ
7 คานเหล็ก
8 จุดต่อ

50

ตัวนำล่อฟ้าโดยธรรมชาติ



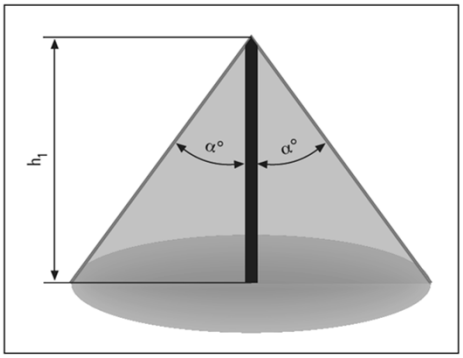
51

การออกแบบติดตั้งตัวนำล่อฟ้า แบ่งเป็น 3 วิธี

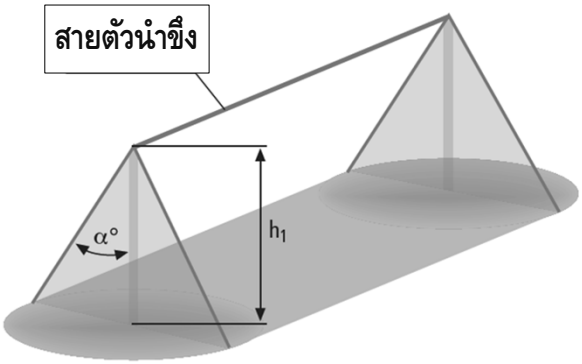
- วิธีมุมป้องกัน
- วิธีทรงกลมกลิ้ง
- วิธีตาข่าย

52

วิธีมุมป้องกัน หลักการป้องกัน



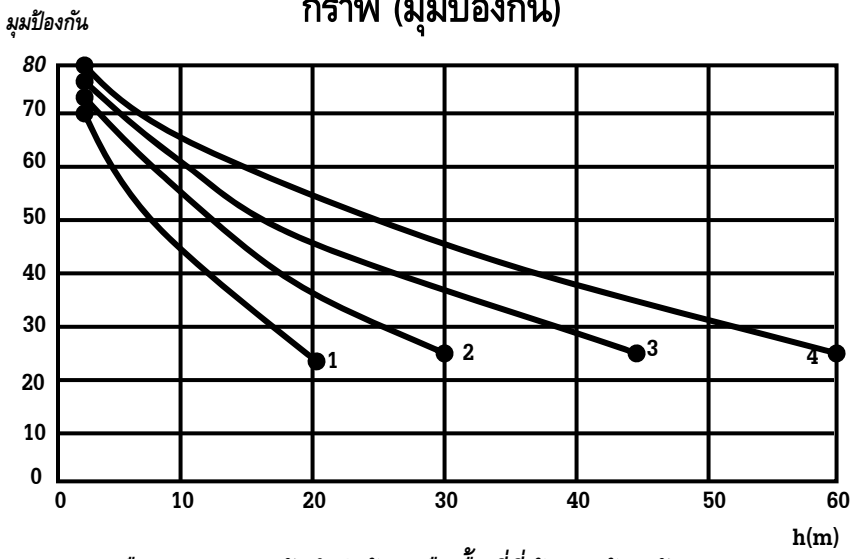
หลักล่อฟ้า



สายตัวนำขึง

53

กราฟ (มุมป้องกัน)



***h* คือความสูงของตัวนำล่อฟ้าเหนือพื้นที่ที่ต้องการป้องกัน**

54

ส่วนหนึ่งของตารางในมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า

ตารางที่ 4.1 แสดงเฉพาะ ความสูง มุมป้องกันที่เป็นองศา

ความสูงแท่งตัวนำล่อฟ้า h (เมตร)	ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า ระดับ I		ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า ระดับ II		ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า ระดับ III		ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า ระดับ IV	
	มุมป้องกัน α (องศา)	รัศมีของบริเวณป้องกัน (เมตร)	มุมป้องกัน α (องศา)	รัศมีของบริเวณป้องกัน (เมตร)	มุมป้องกัน α (องศา)	รัศมีของบริเวณป้องกัน (เมตร)	มุมป้องกัน α (องศา)	รัศมีของบริเวณป้องกัน (เมตร)
1	71	2.90	74	3.49	77	4.33	79	5.14
2	71	5.81	74	6.97	77	8.66	79	10.29
3	66	6.74	71	8.71	74	10.46	76	12.03
4	62	7.52	68	9.90	72	12.31	74	13.95
5	59	8.32	65	10.72	70	13.74	72	15.39
6	56	8.90	62	11.28	68	14.85	71	17.43
7	53	9.29	60	12.12	66	15.72	69	18.24
8	50	9.53	58	12.80	64	16.40	68	19.80
9	48	10.00	56	13.34	62	16.93	66	20.21
10	45	10.00	54	13.76	61	18.04	65	21.45
11	43	10.26	52	14.08	59	18.31	64	22.55
12	40	10.07	50	14.30	58	19.20	62	22.57
13	38	10.16	49	14.95	57	20.02	61	23.45
14	36	10.17	47	15.01	55	19.99	60	24.25
15	34	10.12	45	15.00	54	20.65	59	24.96
16	32	10.00	44	15.45	53	21.23	58	25.61
17	29	9.42	42	15.31	51	20.99	57	26.18

55

55

มุมป้องกัน (α) เหนือระนาบการป้องกัน

คำไข

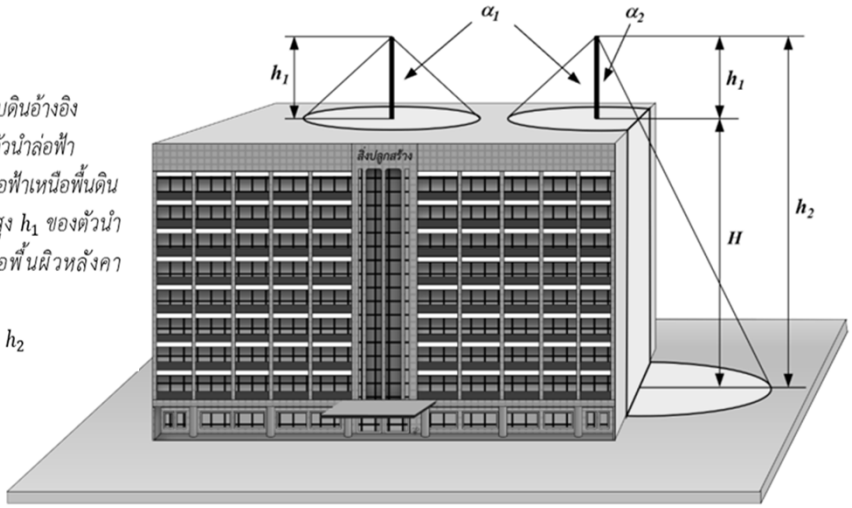
H คือ ความสูงของอาคารเหนือระนาบดินอ้างอิง

h_1 คือ ความสูงทางกายภาพของแท่งตัวนำล่อฟ้า

$h_2 = h_1 + H$ คือ ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้าเหนือพื้นดิน

α_1 คือ มุมป้องกันซึ่งสมนัยกับความสูง h_1 ของตัวนำล่อฟ้า ซึ่งเป็นความสูงเหนือพื้นผิวหลังคาที่จะวัด (ระนาบอ้างอิง)

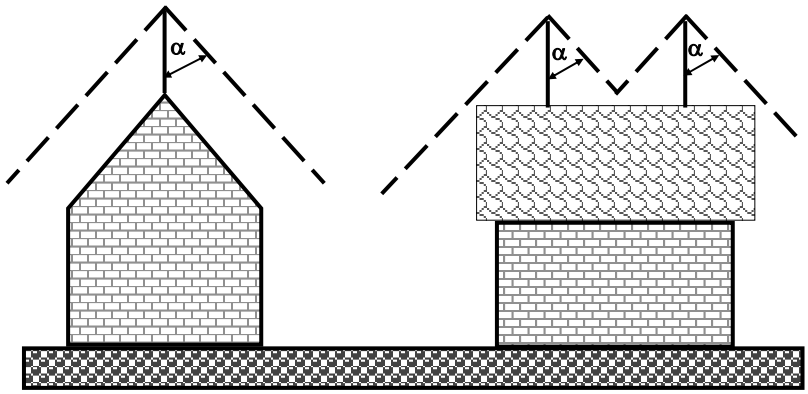
α_2 คือ มุมป้องกันซึ่งสมนัยกับความสูง h_2



แหล่งที่มา :- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า วสท.

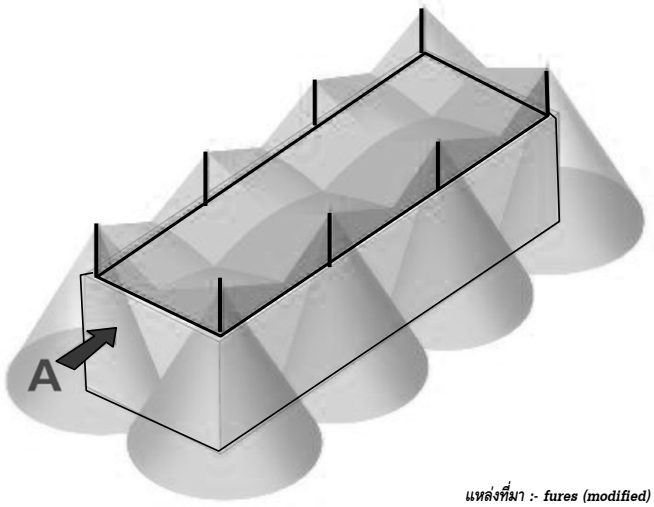
56

ตัวอย่างการออกแบบตัวนำล่อฟ้า (มุมป้องกัน)



57

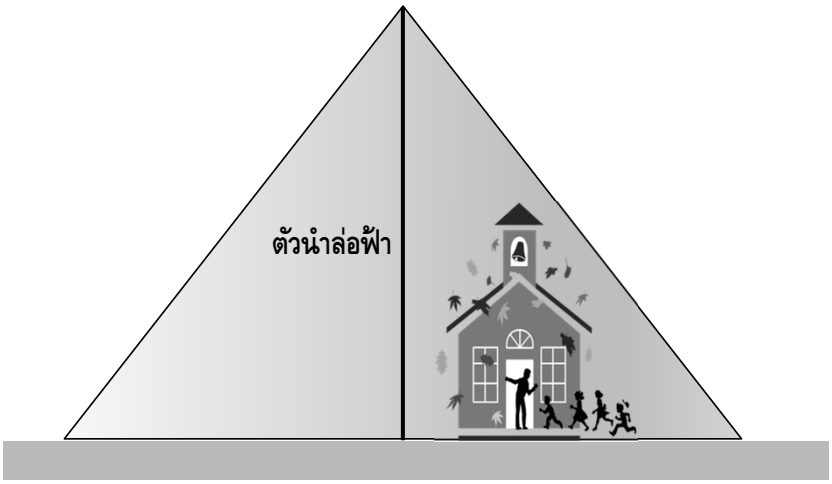
มุมป้องกันต้องครอบคลุมพื้นที่ป้องกันทั้งหมด



แหล่งที่มา :- fures (modified)

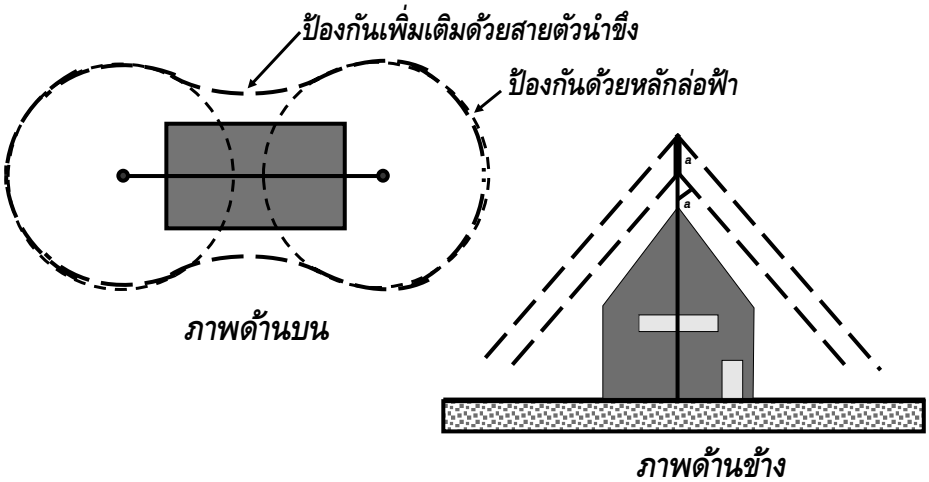
58

การติดตั้งหลักล่อฟ้าด้วยวิธีมุมป้องกัน แบบแยกอิสระ

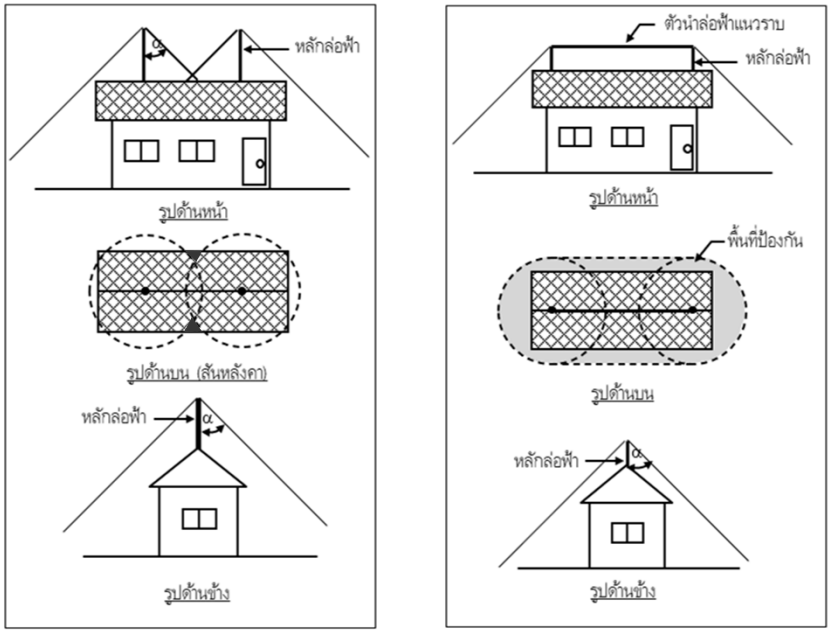


59

ตัวอย่างการออกแบบตัวนำล่อฟ้าวยวิธีมุมป้องกัน (สายตัวนำขึง) แบบแยกอิสระ



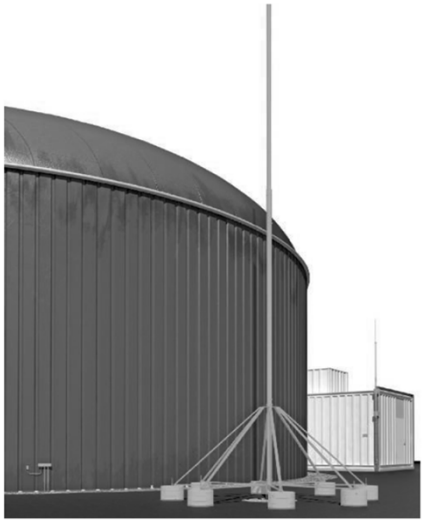
60



ตัวอย่างการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าโดยใช้วิธีมุมป้องกัน (ระบบไม่แยกอิสระ) 61

61

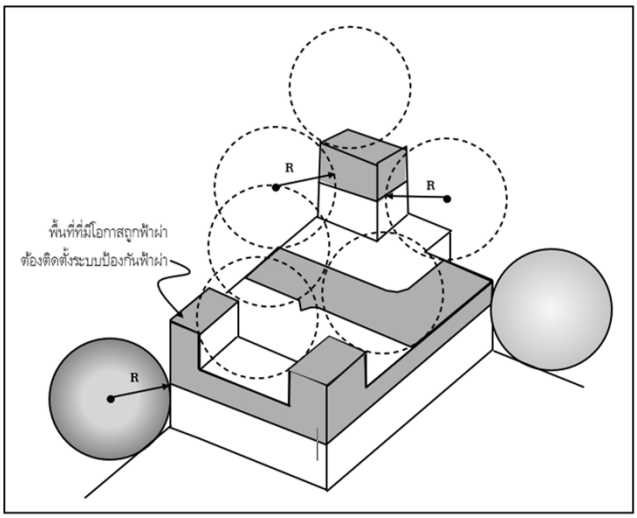
ตัวอย่างการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าแบบแยกอิสระ



การป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า...ลือชัย ทองนิล *แหล่งที่มา :- Lightning protection guide, OBO* 62

62

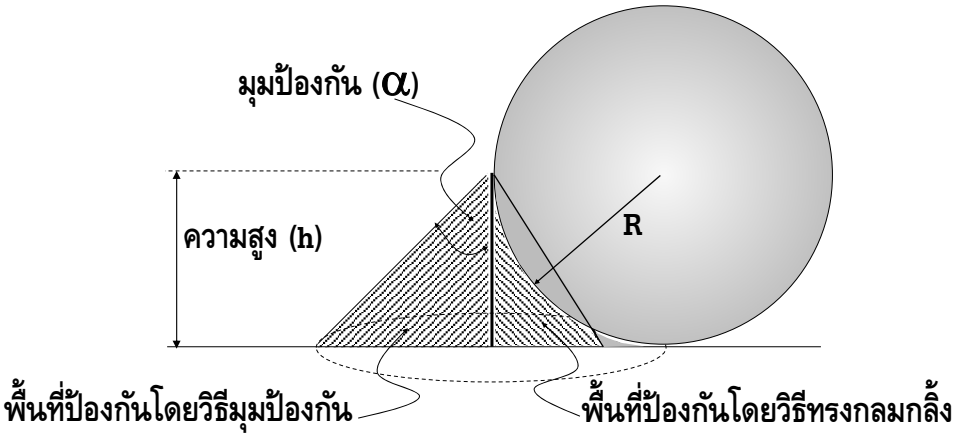
การออกแบบด้วยวิธีทรงกลมกลิ้ง



ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า	รัศมีของทรงกลมกลิ้ง (เมตร)
I	20
II	30
III	45
IV	60

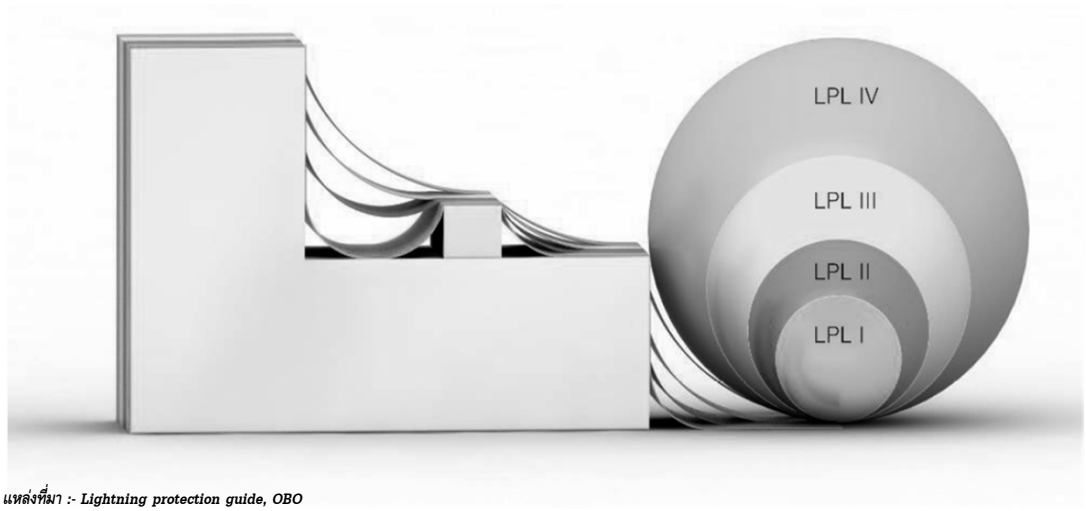
63

เปรียบเทียบมุมป้องกันกับปรงกลมกลิ้ง



64

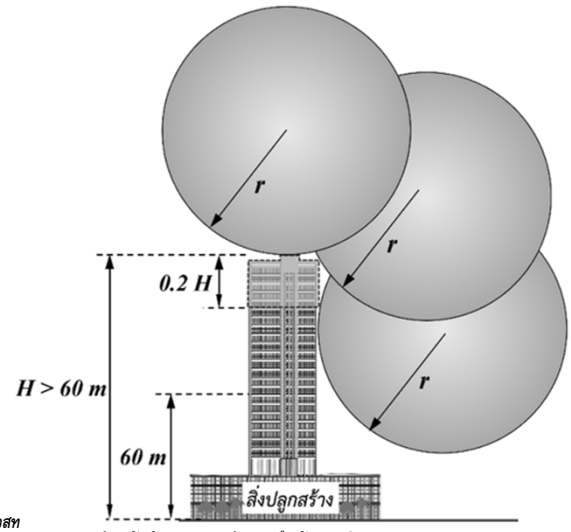
ทรงกลมกลิ้งที่ระดับการป้องกันต่างๆ



แหล่งที่มา :- Lightning protection guide, OBO

65

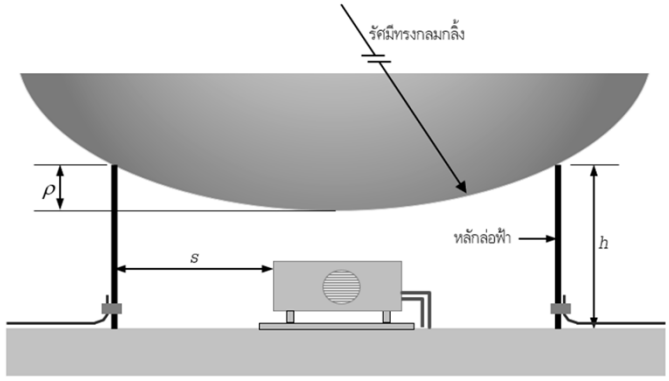
อาคารที่สูงเกิน 60 เมตร



แหล่งที่มา:- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า, วสท

66

ระยะล่วงล้ำ



h = ความสูงของหลักล่อฟ้าเหนือระนาบ
s = ระยะการแยก (ดูข้อ 10.4.3)
ρ = penetration distance

$$\rho = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{d}{2}\right)}$$

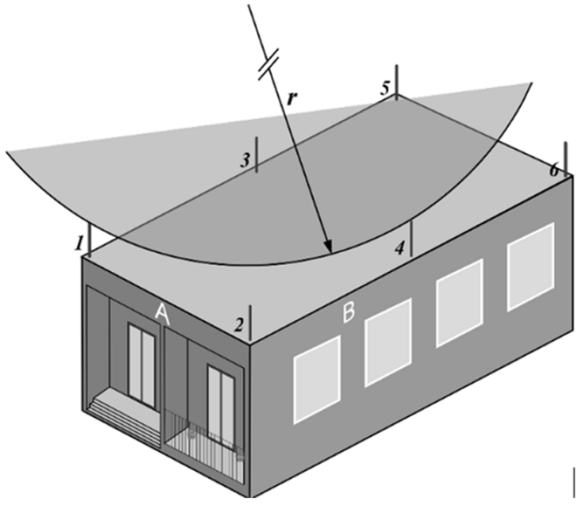
กำหนดให้

ρ = ระยะล่วงล้ำ (penetration distance) หน่วยเป็นเมตร

r = รัศมีทรงกลมกลิ้ง ตามระดับการป้องกัน หน่วยเป็นเมตร

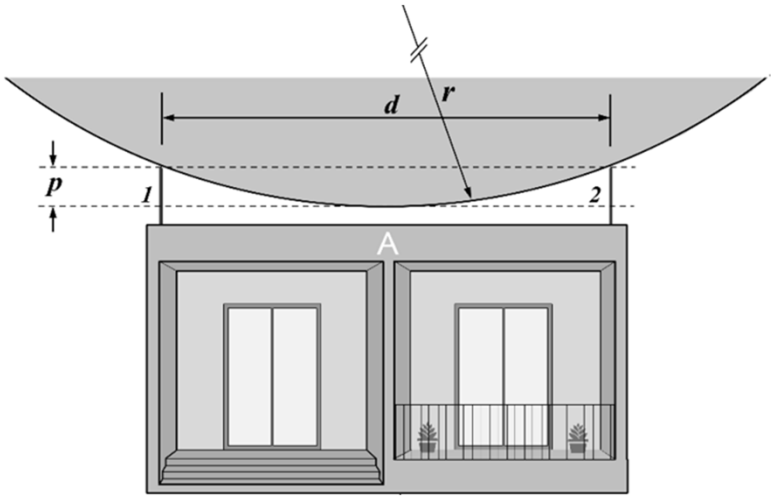
d = ระยะห่างระหว่างหลักล่อฟ้า (ตัวนำล่อฟ้า) หน่วยเป็นเมตร

การพิจารณาระยะล่วงล้ำ



แหล่งที่มา:- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า, วสท

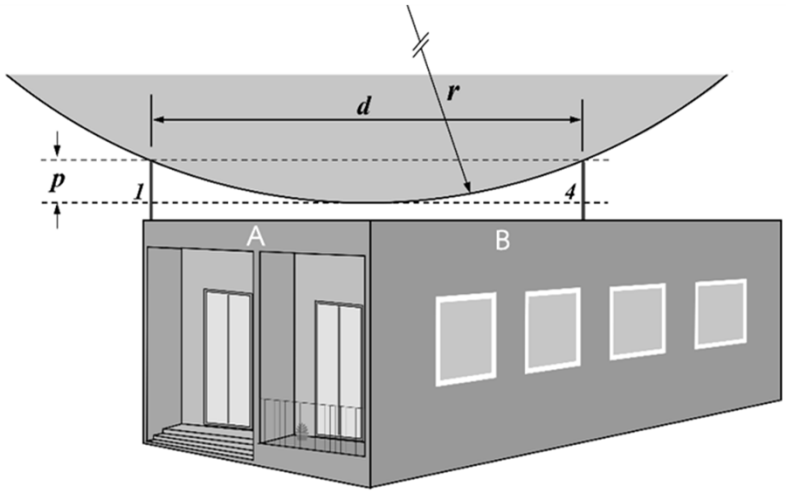
การพิจารณาระยะล่วงล้ำ



แหล่งที่มา:- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า, วสท

69

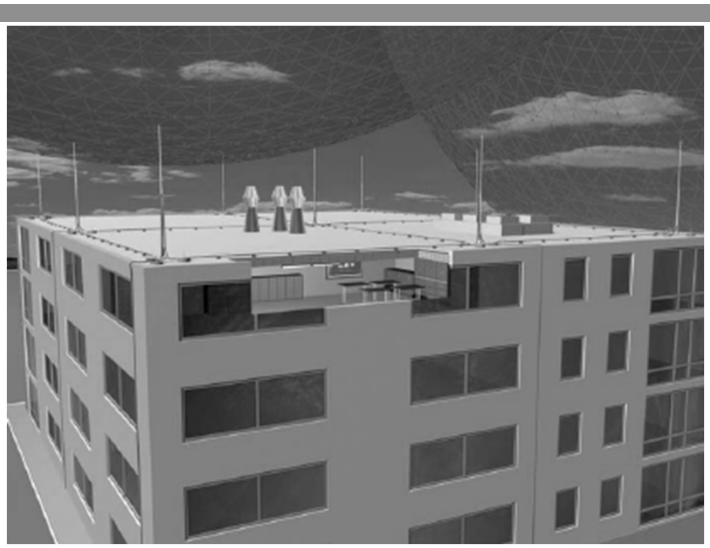
การพิจารณาระยะล่วงล้ำ



แหล่งที่มา:- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า, วสท

70

ทรงกลมกลิ้งเมื่อติดตั้งหลักล่อฟ้าแล้ว



การออกแบบด้วยวิธีตาข่าย

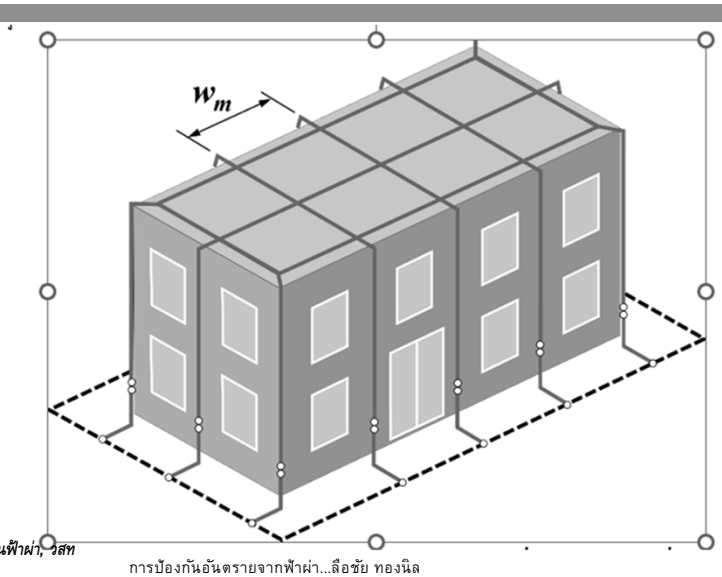
ขนาดตาข่ายเป็นไปตามตารางที่กำหนด

เมื่อออกแบบติดตั้งด้วยวิธีนี้แล้วจะไม่สามารถนำวิธีมุมป้องกันหรือวิธีทรงกลมกลิ้งมาจับได้ ถ้านำทรงกลมมากลิ้งจะพบว่ามีพื้นที่ที่ไม่สามารถป้องกันได้มาก เพราะวิธีตาข่ายนี้ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าในระดับเดียวกับส่วนบนของอาคารหรือสูงกว่าเล็กน้อยเท่านั้น จึงเหมาะกับพื้นผิวที่เป็นระนาบ

ค่าสูงสุดของขนาดตาข่ายตามชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า

ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า	ขนาดตาข่าย (เมตร)
I	5 × 5
II	10 × 10
III	15 × 15
IV	20 × 20

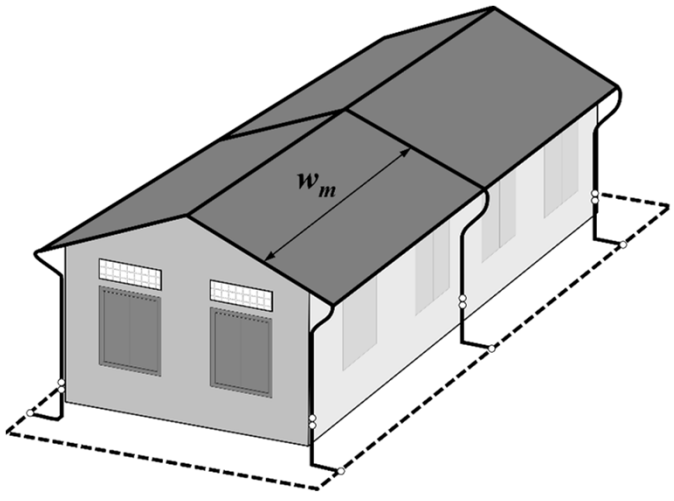
ตัวอย่าง การติดตั้งตัวนำล่อฟ้าแบบตาข่าย (หลังคาราบ)



แหล่งที่มา:- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า, วสท

73

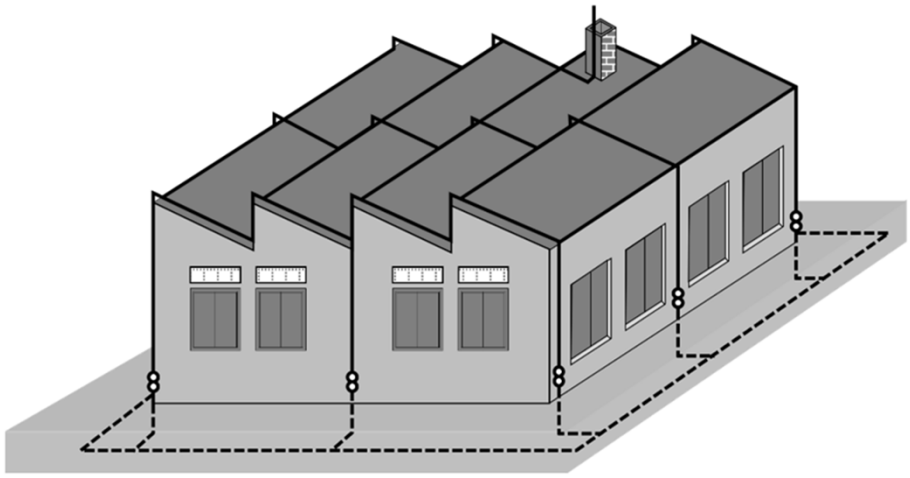
ตัวอย่าง การติดตั้งตัวนำล่อฟ้าแบบตาข่าย (หลังคาเอียง)



แหล่งที่มา:- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า, วสท

74

ตัวอย่าง การติดตั้งตัวนำล่อฟ้าแบบตาข่าย (หลังคาหยัก)



แหล่งที่มา:- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า, วสท

การป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า...ลือชัย ทองนิล 75

75

ตัวอย่าง การติดตั้งตัวนำล่อฟ้าแบบตาข่าย (แบบแยกอิสระ)

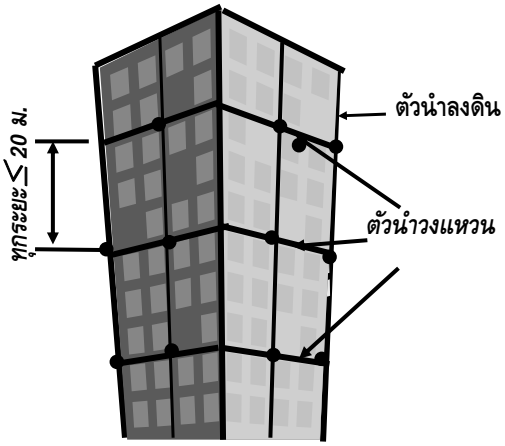
การป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า...ลือชัย ทองนิล 76

76

ระบบตัวนำลงดิน

ทำหน้าที่นำกระแสฟ้าผ่าลงสู่ดิน และเพื่อลดโอกาสการเกิดความเสียหายจากกระแสฟ้าผ่า ระบบตัวนำลงดินจึงเป็นดังนี้

- มีเส้นทางไหลของกระแสขนานกันหลายชุด
- มีความยาวของเส้นทางกระแสไหลสั้นที่สุด
- มีการประสานให้ศักย์เท่ากันกับตัวนำของสิ่งปลูกสร้าง
- มีการประสานศักย์ในแนวระดับทุกระยะไม่เกิน 20 ม.
- ขนาดและรูปแบบ เป็นไปตามตารางที่ 4.10



การป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า...ลือชัย ทองนิล 77

77

ระยะห่างระหว่างตัวนำลงดิน

ตารางที่ 4.8 ระยะห่างระหว่างตัวนำลงดินตามชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า

ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า	ระยะห่าง (เมตร)
I	10
II	10
III	15
IV	20

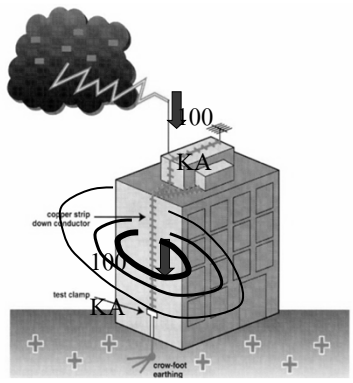
ตัวนำลงดินแบบไม่แยกอิสระ
แต่ละระบบต้องมีตัวนำลงดินไม่น้อยกว่า 2 เส้น กระจายโดยรอบตามเส้นรอบรูปสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกัน โดยมีระยะห่างไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 4.8
ตัวนำลงดินแบบแยกอิสระ
ระยะห่างระหว่างตัวนำลงดินกับส่วนโลหะใดๆ ต้องไม่น้อยกว่า ระยะการแยก (s)

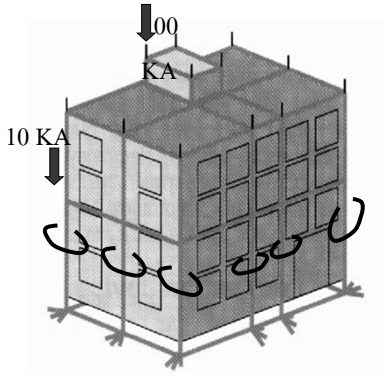
<u>หมายเหตุ</u> ถ้าเป็นไปได้ ตัวนำลงดินควรติดตั้งที่ทุกมุมเปิดโล่งของสิ่งปลูกสร้าง

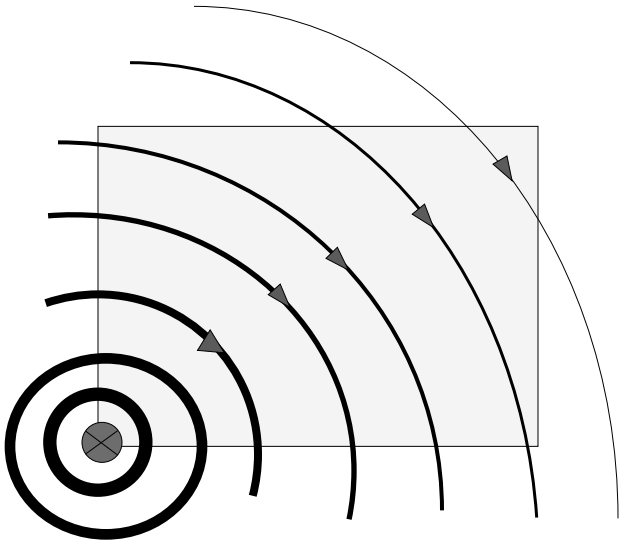
การป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า...ลือชัย ทองนิล 78

78

จำนวนตัวนำลงดินมีผลต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอย่างไร ?

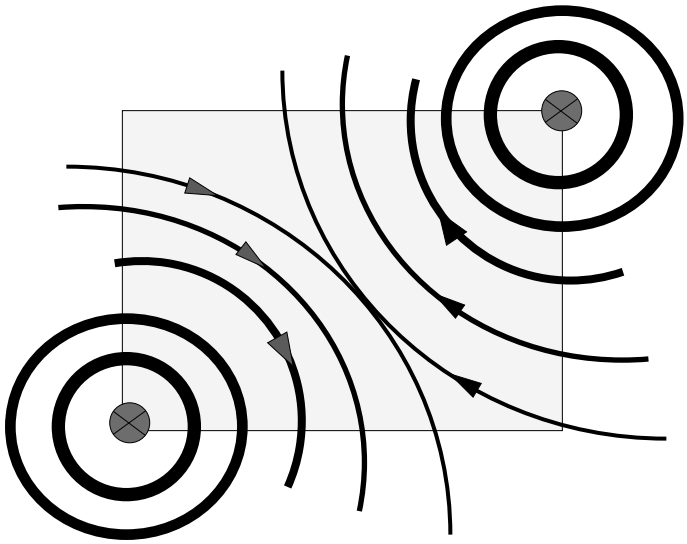






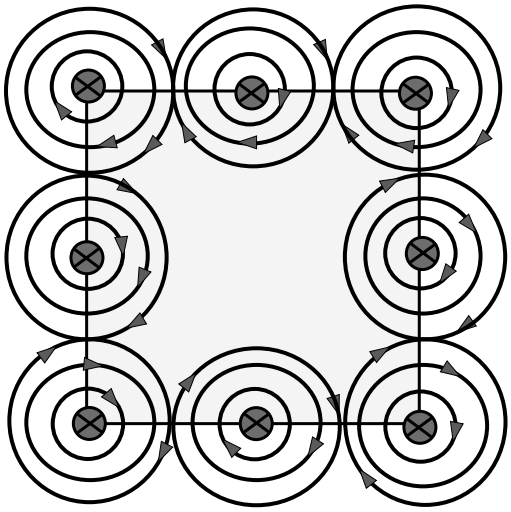
ตัวนำลงดินชุดเดียว ที่มุมสิ่งปลูกสร้าง ความเข้มสนามแม่เหล็กมีค่ามากที่บริเวณใกล้ตัวนำลงดิน

การป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า



ตัวนำลงดินสองชุดทำให้ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กลดลงประมาณครึ่งหนึ่งที่บริเวณใกล้ตัวนำลงดิน มีการหักล้างของสนามแม่เหล็ก

81

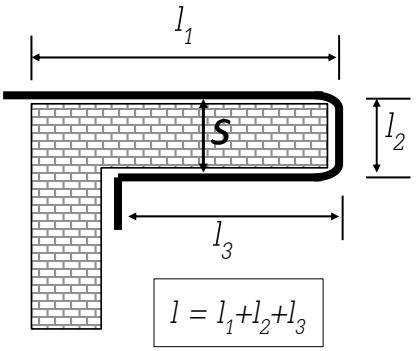


เมื่อเพิ่มจำนวนตัวนำลงดินมากขึ้น สนามแม่เหล็กลดลงอย่างมากภายในบริเวณกลางสิ่งปลูกสร้าง

82

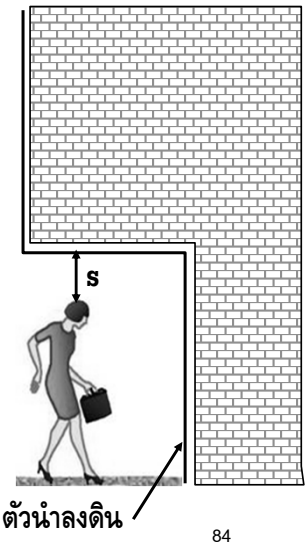
การติดตั้งตัวนำลงดิน

- ตัวนำลงดินต้องติดตั้งให้มีความต่อเนื่อง เส้นทางตรงในแนวดิ่งและสั้น
- ต้องหลีกเลี่ยงการติดตั้งที่ทำให้เกิดเป็นวงรอบ หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ต้องมีระยะการแยก (s) ไม่น้อยกว่าที่คำนวณได้
- ตัวนำลงดินไม่อนุญาตให้ติดตั้งในรางน้ำฝนหรือในท่อน้ำฝน เนื่องจากความชื้นทำให้เกิดการกัดกร่อน
- ตัวนำลงดินต้องติดตั้งห่างจากประตูและหน้าต่างตามระยะแยก (s)
- ตัวนำลงดินอนุญาตให้ทาสีเคลือบป้องกันบางๆ หรือใช้พีวีซีครอบบนตัวนำลงดินภายนอกได้



การติดตั้งตัวนำลงดิน

- ตัวนำลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่าไม่แยกอิสระจากสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกันต้องติดตั้งตามข้อกำหนดต่อไปนี้
  - ถ้าผนังทำด้วยวัสดุไม่ติดไฟหรือติดไฟยาก ตัวนำลงดินสามารถติดตั้งบนพื้นผิวหรือภายในผนังได้
  - ถ้าผนังทำด้วยวัสดุที่พร้อมติดไฟและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นของตัวนำลงดินเป็นอันตราย ต้องติดตั้งตัวนำลงดินให้ระยะห่างจากผนังไม่น้อยกว่า 0.1 เมตร ตัวยึดตัวนำอาจสัมผัสกับผนังได้ หรือใช้ตัวนำลงดินที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 100 ตร.มม.
  - ระยะห่างระหว่างจุดจับยึดของตัวนำลงดินให้เป็นไปตามตารางที่ 4.6

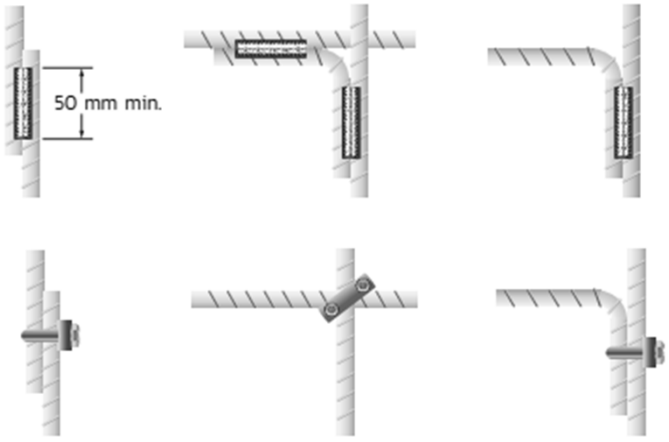


การใช้องค์ประกอบโดยธรรมชาติเป็นตัวนำลงดิน

- สิ่งติดตั้งโลหะที่มีลักษณะต่อไปนี้
  - ความต่อเนื่องทางไฟฟ้าระหว่างส่วนต่าง ๆ ได้ทำให้มีความคงทนตามที่มาตรฐานกำหนด
  - มิติต่าง ๆ มีค่าอย่างน้อยเท่ากับที่กำหนดในตารางที่ 4.10 สำหรับตัวนำลงดินมาตรฐาน
  - ระบบท่อส่งที่บรรจุสารผสมที่พร้อมจะติดไฟหรือระเบิดได้ต้องไม่ใช้เป็นตัวนำลงดินโดยธรรมชาติ ถ้าปะเก็นที่ข้อต่อไม่ใช่โลหะหรือไม่มีการประสานหน้าแปลนเหล่านั้นอย่างเหมาะสม
- ส่วนโลหะของโครงสร้างคอนกรีตเสริมแรงที่มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่เป็นโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง
- โครงโลหะของสิ่งปลูกสร้างที่มีการต่อถึงกัน
- ส่วนปิดหน้าอาคาร ราว และโครงย่อยโลหะของส่วนปิดหน้าอาคารที่มีลักษณะดังนี้
  - มิติต่าง ๆ เป็นไปตามข้อกำหนดของตัวนำลงดิน และกรณีเป็นแผ่นโลหะหรือท่อโลหะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร
  - ความต่อเนื่องทางไฟฟ้าในแนวดิ่งเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด

85

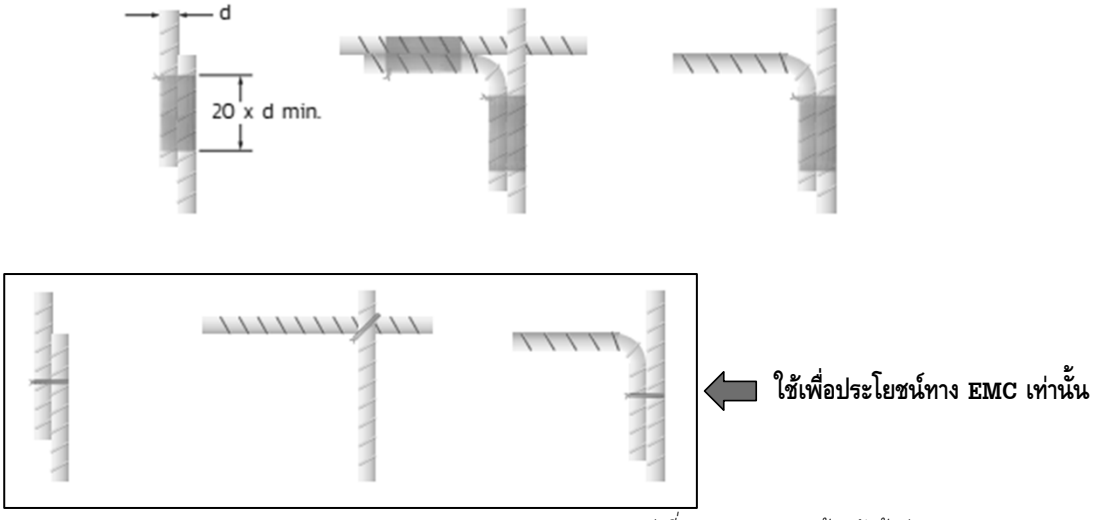
ความต่อเนื่องของงานเหล็กในสิ่งปลูกสร้าง



แหล่งที่มา:- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า วสท.

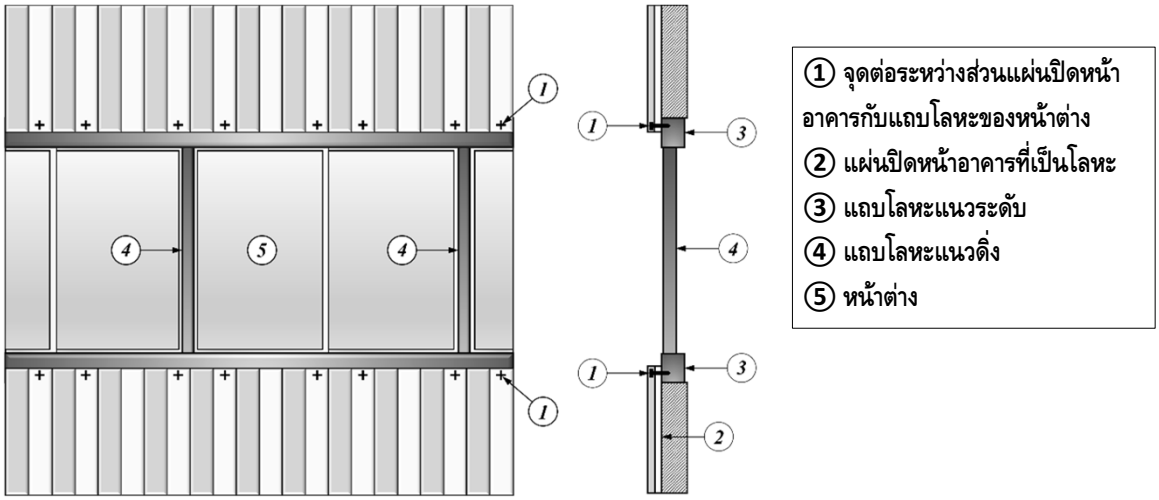
86

ความต่อเนื่องของงานเหล็กในสิ่งปลูกสร้าง



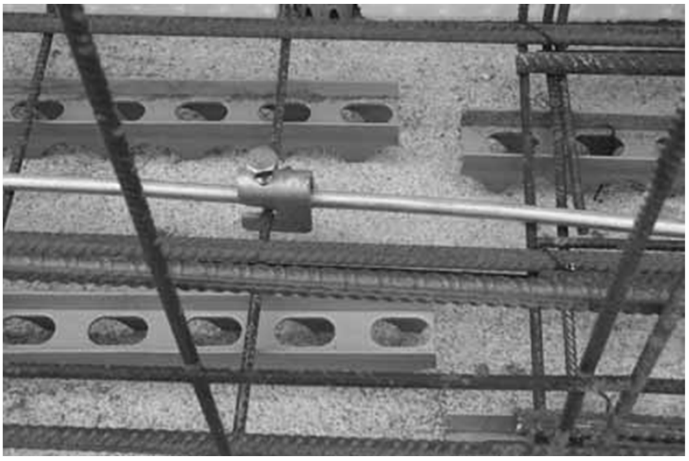
แหล่งที่มา:- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า วสท.

ตัวอย่าง การต่อของแถบต่อเนื่องของหน้าต่างเข้ากับส่วนปิดหน้าอาคารที่เป็นโลหะ



แหล่งที่มา:- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า วสท.

การติดตั้งตัวนำลงดินแยกต่างหากจากโครงสร้างเหล็ก



89

ระบบรากสายดิน

- ระบบรากสายดินทำหน้าที่กระจายกระแสฟ้าผ่าลงสู่ดินขณะเดียวกับการลดการเกิดแรงดันเกินอันตรายใด ๆ ให้น้อยที่สุด เกณฑ์ที่สำคัญ คือ รูปร่าง และมิติของระบบรากสายดิน
- ค่าความต้านทานดินควรต่ำกว่า 10 โอห์ม
- ระบบการป้องกันฟ้าผ่ากำหนดให้รากสายดินของทุกระบบต้องเป็นระบบเดียวกัน (การป้องกันฟ้าผ่า ระบบโทรคมนาคม ระบบไฟฟ้ากำลัง)
- ระบบรากสายดินต้องมีการประสานให้ศักย์เท่ากัน

90

ระบบรากสายดินแบ่งตามการจัดวาง

การจัดวางแบบ ก

การจัดวางแบบนี้ประกอบด้วยรากสายดินตามแนวระดับหรือแนวดิ่ง ติดตั้งด้านนอกสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกัน และต่อเข้ากับตัวนำลงดินแต่ละเส้น หรือรากสายดินฐานรากโดยไม่ทำให้เกิดเป็นวงรอบปิด (Closed loop)

จำนวนรากสายดินต้องไม่น้อยกว่า 2 ชุด

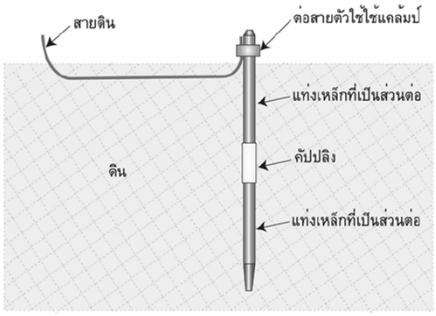
การจัดวางแบบ ข

การจัดวางแบบนี้ อาจจะประกอบด้วยตัวนำวงแหวนติดตั้งภายนอกสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกัน และมีส่วนสัมผัสกับดินอย่างน้อยร้อยละ 80 ของความยาวรวม หรือรากสายดินฐานรากที่ประกอบกันเป็นวงรอบปิด รากสายดินแบบนี้อาจมีการต่อกันเป็นตาข่ายได้ด้วย

91

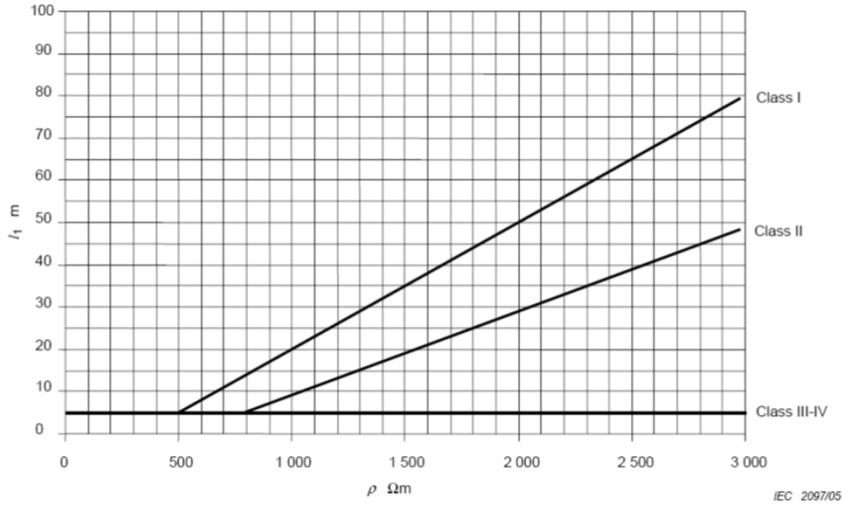
การจัดวางแบบ ก (รากสายดินแนวดิ่งหรือแนวรัศมี)

- ความยาวต่ำสุดของรากสายดินแต่ละชุดที่ปลายตัวนำลงดินแต่ละเส้นมีค่าดังนี้
  - l_1 กรณีรากสายดินแนวระดับ
  - $0.5l_1$ กรณีรากสายกินแนวดิ่ง (หรือรากสายดินแนวเอียง)
- โดยที่ l_1 คือความยาวต่ำสุดของรากสายดินตามรูปที่ 4.19
- กำหนดค่าความต้านทานดินต้องมีค่าต่ำกว่า 10 โอห์ม
- รากสายดินอาจมีความยาวน้อยกว่าความยาวต่ำสุดตามรูปที่ 4.19 ได้ ถ้าระบบรากสายดินมีค่าความต้านทานดินต่ำกว่า 10 โอห์ม



92

รูปที่ 4.19 ความยาวต่ำสุด *l* ของรากสายดินแต่ละชุด ตามชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า

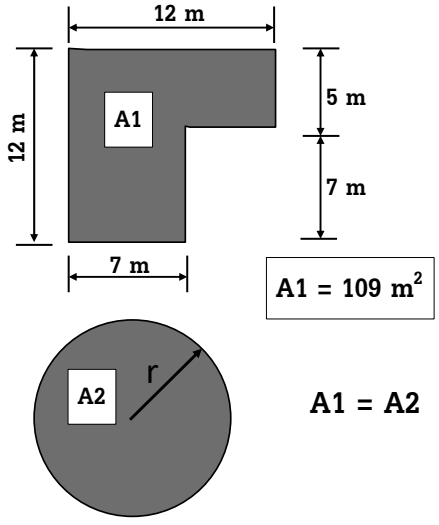


การจัดวางแบบ ข รากสายดินวงแหวน (หรือรากสายดินฐานราก)

- การจัดวางแบบนี้ อาจจะประกอบด้วยตัวนำวงแหวนติดตั้งภายนอกสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกัน และมีส่วนสัมผัสกับดินอย่างน้อยร้อยละ 80 ของความยาวรวม หรือรากสายดินฐานรากที่ประกอบกันเป็นวงรอบปิด รากสายดินแบบนี้อาจมีการต่อกันเป็นตาข่ายได้ด้วย
- รากสายดินวงแหวน (หรือรากสายดินฐานราก) ต้องให้รัศมีเฉลี่ย r_e ของพื้นที่ที่ล้อมรอบโดยรากสายดินวงแหวน (หรือรากสายดินฐานราก) นั้นมีค่าไม่น้อยกว่า l_1 $(r_e \geq l_1)$
- จำนวนรากสายดินต้องไม่น้อยกว่าจำนวนตัวนำลงดิน และมีจำนวนไม่น้อยกว่า 2 ชุด
- รากสายดินทั้งหลายที่เพิ่มเข้ามา ควรต่อเข้ากับรากสายดินวงแหวนที่จุด ซึ่งต่อกับตัวนำลงดิน และจัดให้มีระยะห่างเท่า ๆ กันเป็นจำนวนมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

รากสายดินแบบ ข

ตัวอย่าง



สมมติให้เป็น LPS Class III จากรูปที่ 4.19
ค่า l_1 = 5 m

จากรูปอาคารซายมือได้ A1 = 109 m² เขียนวงกลงที่พื้นที่ 109 m² หาค่า r จะได้

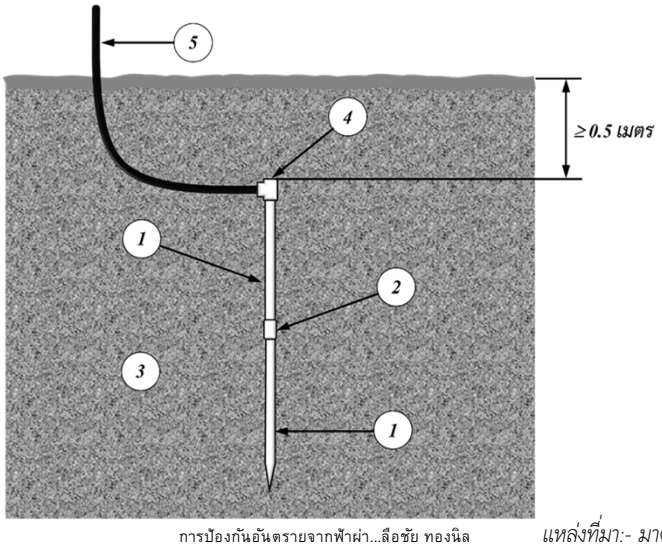
$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{109}{\pi}} = 5.89 \text{ m} = r_e$$

นั่นคือ $r_e \geq l_1$

ถือว่าใช้ได้ ไม่ต้องเพิ่มรากสายดินอีก

A1 = A2

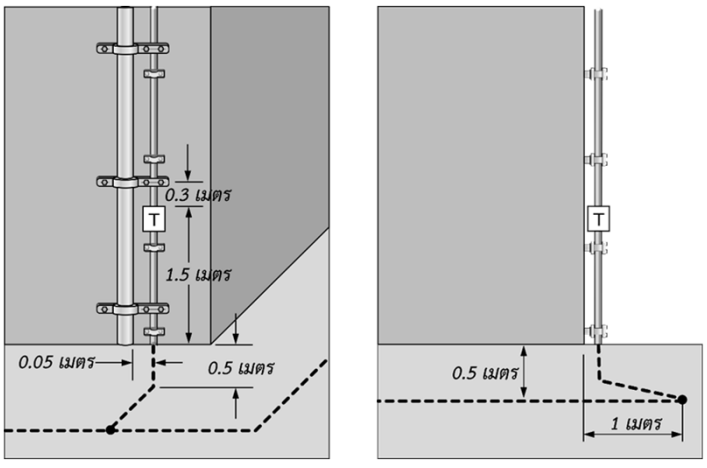
การติดตั้งรากสายดิน...แบบ ก



หมายเหตุ: ถ้ารากสายดินแบบ ก อยู่ในบ่อตรวจสอบ (inspection housing) หรือในทางหนึ่งคือ อยู่ในพื้นปูน (Paving) ที่มีความต้านทานสูงหรือในคอนกรีตที่วางต่อกัน ไม่จำเป็นต้องติดตั้งให้ลึกถึง 0.5 เมตรก็ได้

แหล่งที่มา:- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า วสท.

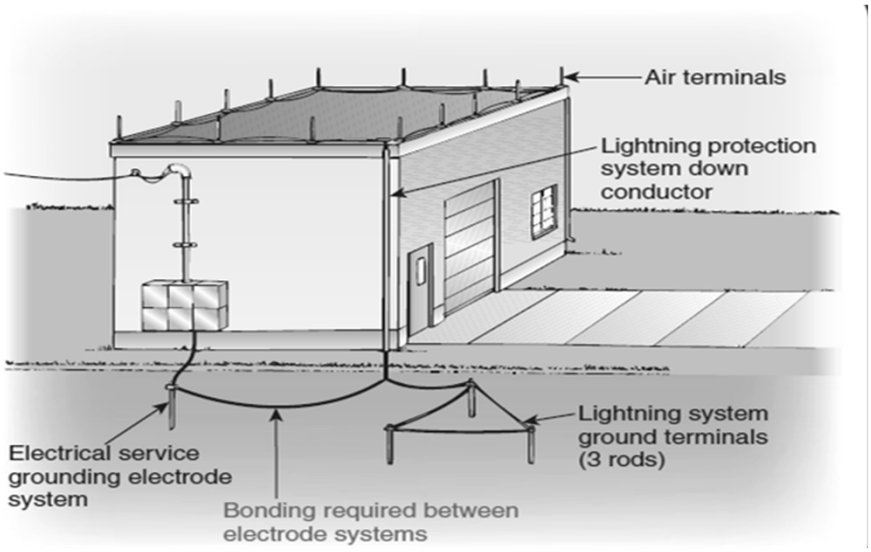
การติดตั้งรากสายดิน...แบบ ข หรือรากสายดินฐานราก



รากสายดินที่มีการจัดวางแบบ ข ต้องฝังดินที่ความลึกอย่างน้อย 0.5 เมตร และที่ระยะห่างประมาณ 1 เมตร จากผนังด้านนอกโดยรอบ

แหล่งที่มา:- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า วสท.

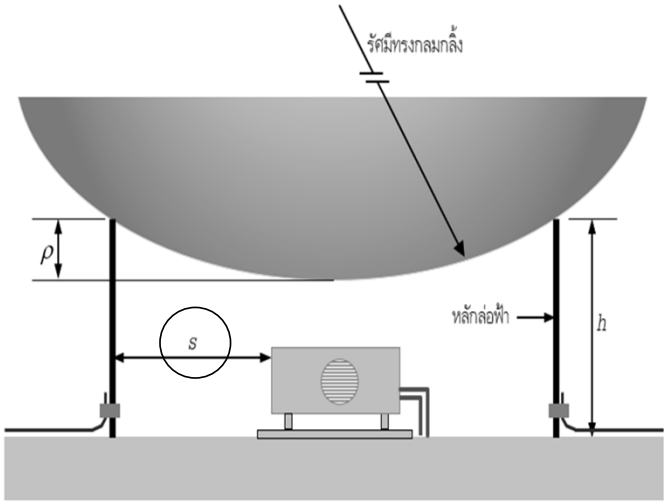
ระบบรากสายดินของระบบป้องกันฟ้าผ่าต้องต่อร่วมกับระบบไฟฟ้ากำลัง



99

ระยะการแยก (Separation Distance; S)

$$s = \frac{k_i}{k_m} \times k_c \times l \quad \text{(เมตร)}$$



100

ตารางที่ 5.4 การแยกห่างของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก – ค่าสัมประสิทธิ์ k_i

ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า	k_i
I	0.08
II	0.06
III และ IV	0.04

ตารางที่ 5.5 การแยกห่างของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก – ค่าสัมประสิทธิ์ k_m

วัสดุ	k_m
อากาศ	1
คอนกรีต, อิฐ, ไม้	0.5

ตารางที่ 5.6 การแยกห่างของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก – ค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์ k_c

จำนวนตัวนำลงดิน (n)	k_c
1 (ฉพาะกรณีระบบป้องกันภายนอกแบบแยกอิสระ)	1
2	0.66
3 และมากกว่า	0.44

101

ตัวอย่าง ถ้าเลือกที่ LPS 3

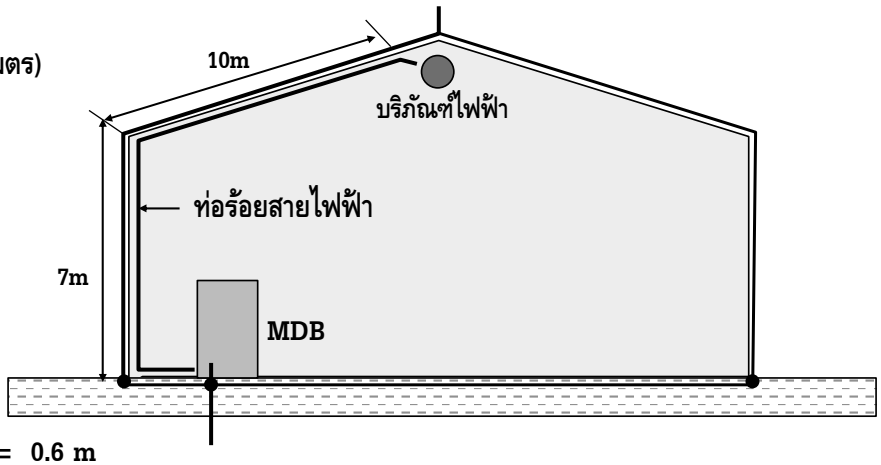
$$s = \frac{k_i}{k_m} \times k_c \times l \quad \text{(เมตร)}$$

K_i = 0.04

K_m = 0.5

K_c = 0.44

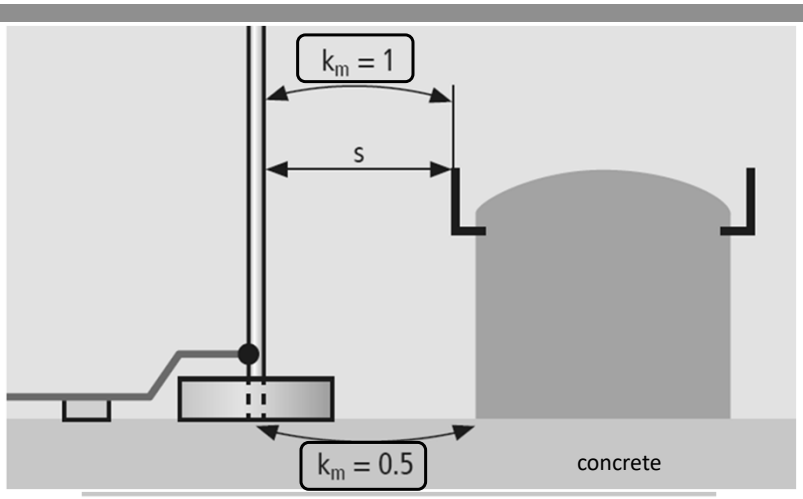
l = 17m



$$s = \frac{0.04}{0.5} \times 0.44 \times 17 = \textbf{0.6 m}$$

102

ค่าสัมประสิทธิ์ k_m



Material factors for an air-termination rod on a flat roof

แหล่งที่มา:- DEHN, Lightning protection guide (modified)

103

การประสานให้ศักย์เท่ากัน (*Equipotential Bonding)*

การทำให้ศักย์เท่ากันสามารถทำได้โดยการต่อถึงกันของระบบป้องกันฟ้าผ่าเข้ากับสิ่งต่อไปนี้คือ

- **สิ่งติดตั้งโลหะ**
- **ระบบภายใน**
- **ส่วนตัวนำภายนอกและสายต่าง ๆ ที่ต่อกับสิ่งปลูกสร้าง**

เมื่อมีการต่อประสานศักย์ของระบบป้องกันฟ้าผ่าเข้ากับระบบภายใน กระแสฟ้าผ่าบางส่วนอาจไหลผ่านเข้าไปในระบบดังกล่าว และต้องนำผลกระทบเหล่านี้มาพิจารณาด้วย การต่อถึงกันสามารถทำได้ดังนี้

- **ใช้ตัวนำประสาน ในที่ซึ่งไม่มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าโดยการประสานตามธรรมชาติ**
- **ใช้อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ ในที่ซึ่งการต่อโดยตรงด้วยตัวนำประสานไม่สามารถทำได้**
- **ช่องประกายกั้นแยก ในที่ซึ่งไม่อนุญาตให้ต่อโดยตรงด้วยตัวนำประสาน**

104

การประสานให้ศักย์เท่ากันของการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งติดตั้งโลหะ

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกแบบแยกอิสระ การประสานให้ศักย์เท่ากันต้องทำที่ระดับพื้นดินเท่านั้น

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกแบบไม่แยกอิสระ การประสานให้ศักย์เท่ากันต้องทำที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

- **ที่ชั้นใต้ดินหรือระดับดิน ตัวนำประสานต้องต่อเข้ากับบาร์ตัวนำประสานที่ทำขึ้น และสามารถตรวจสอบได้ บาร์ตัวนำประสาน ต้องต่อเข้ากับระบบรากสายดิน**
- **กรณีของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมระยะแยกได้**

การประสานให้ศักย์เท่ากันทางฟ้าผ่าต้องต่อโดยตรง และเป็นแนวตรงสั้นที่สุดเท่าที่ทำได้

105

ขนาดของตัวนำประสาน

ตารางที่ 5.1 ขนาดพื้นที่หน้าตัดขั้นต่ำของตัวนำที่ใช้ต่อกับบาร์ตัวนำประสานต่าง ๆ เข้าด้วยกันหรือที่ใช้ต่อกับบาร์ตัวนำประสานเข้ากับระบบรากสายดิน

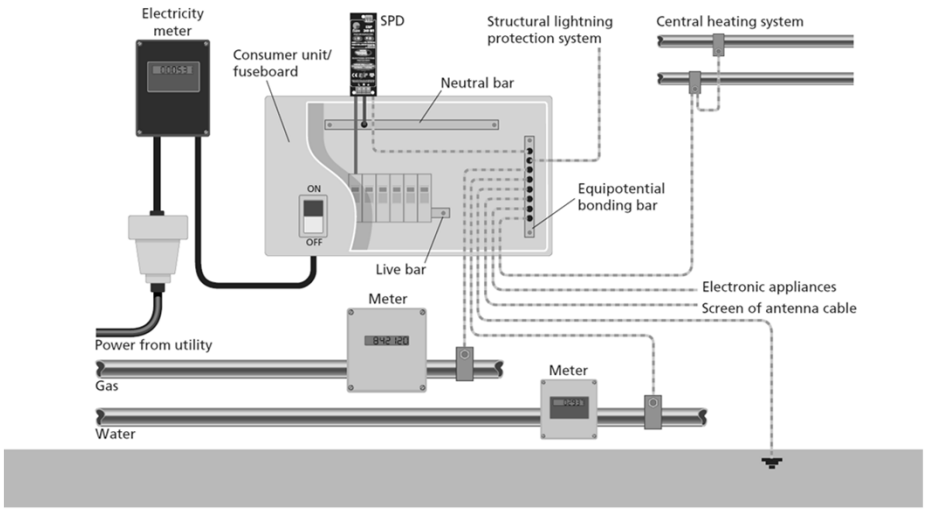
ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า	วัสดุ	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)
I ถึง IV	ทองแดง	16
	อะลูมิเนียม	25
	เหล็กกล้า	50

ตารางที่ 5.2 ขนาดพื้นที่หน้าตัดขั้นต่ำของตัวนำที่ใช้ต่อสิ่งติดตั้งโลหะภายในเข้ากับบาร์ตัวนำประสาน

ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า	วัสดุ	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)
I ถึง IV	ทองแดง	6
	อะลูมิเนียม	10
	เหล็กกล้า	16

106

ตัวอย่างการประสานให้ศักย์เท่ากัน



แหล่งที่มา:- furse.

มาตรการป้องกันอันตรายเนื่องจากแรงดันสัมผัส

บริเวณที่ใกล้กับตัวนำลงดินอาจเกิดแรงดันสัมผัสสูงจนเป็นอันตรายได้ ถึงแม้จะติดตั้งตามมาตรฐานฯ แล้วก็ตาม การติดตั้งที่ถือว่าพ้นจากความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายควรเป็นไปตามอย่างน้อยข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1. ต้องมีเครื่องป้องกันหรือป้ายเตือนอันตรายจากฟ้าผ่า ห้ามเข้าใกล้ในระยะ 3 ม. จากตัวนำลงดิน

2. ระบบป้องกันฟ้าผ่าที่มีตัวนำลงดินอย่างน้อย 10 ตัวนำ

3. ความต้านทานสัมผัสของชั้นผิวดินภายในระยะ 3 ม. ของตัวนำลงดินมีค่าไม่น้อยกว่า 100 kΩ

หมายเหตุ ชั้นของวัสดุฉนวน เช่น แอสฟัลต์ ความหนา 5 เซนติเมตร (หรือชั้นของกรวดหนา 15 เซนติเมตร) โดยทั่วไปลดอันตรายนี้ลงถึงระดับที่ทนได้

4. การหุ้มฉนวนตัวนำลงดินที่เปิดโล่ง ต้องมีความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ 1.2/50 μs ขนาด 100 kV เช่น XLPE หนา 3 mm

มาตรการป้องกันอันตรายจากแรงดันช่วงก้าว

บริเวณที่ใกล้กับตัวนำลงดินนอกสิ่งปลูกสร้างอาจเกิดแรงดันย่างก้าวที่เป็นอันตรายได้ถึงแม้จะติดตั้งตามมาตรฐานก็ตาม การติดตั้งที่ถือว่าพ้นจากความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายควรเป็นไปตามอย่างน้อยข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1. ต้องมีเครื่องป้องกันหรือป้ายเตือนอันตรายจากฟ้าผ่า ห้ามเข้าใกล้ในระยะ 3 ม. จากตัวนำลงดิน

2. ระบบป้องกันฟ้าผ่าที่มีตัวนำลงดินอย่างน้อย 10 ตัวนำ

3. ความต้านทานสัมผัสของวันดุปกคลุมดินภายในระยะ 3 ม. ของตัวนำลงดินมีค่าไม่น้อยกว่า 100 kΩ

หมายเหตุ ชั้นของวัสดุฉนวน เช่น แอสฟัลต์ ความหนา 5 เซนติเมตร (หรือชั้นของกรวดหนา 15 เซนติเมตร) โดยทั่วไปลดอันตรายนี้ลงถึงระดับที่ทนได้

- **4. ให้ทำตาข่ายประสานศักย์ลงดิน กรณีที่ตาข่ายเป็นลวดเหล็กไร้สนิมเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. ขนาดไม่เกิน 0.25 x 0.25 ม. ที่พื้นในระยะ 3 ม. จากตัวนำลงดิน**

THE END

Thank you for your attention

ลือชัย ทองนิล