บทที่ 8

ระบบป้องกันฟ้าผ่า

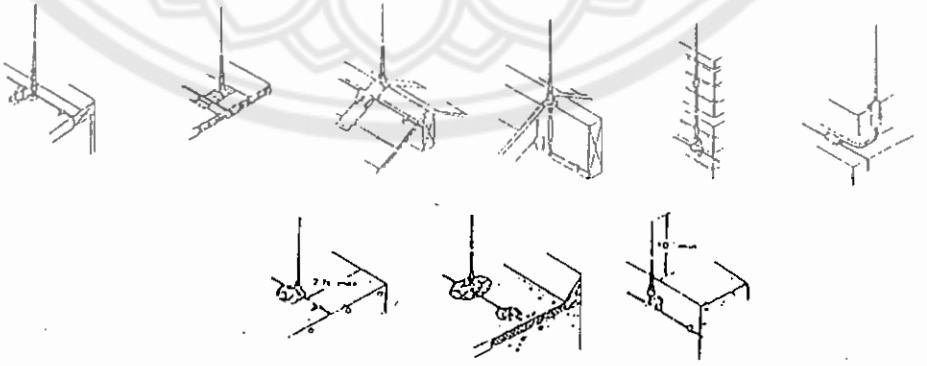
8.1 ระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับอาคาร

อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าจะประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

1). หลักล่อฟ้า (Air terminal) สำหรับระบบที่นิยมใช้กันมาก จะเป็นเสาแหลมหรือลักษณะที่เป็นสามง่ามเป็นหลักที่คอยรับประจุไฟฟ้า (สายฟ้า) โดยติดตั้งอยู่บนสุดของอาคาร หรือกระจายอยู่เพื่อให้มีรัศมีการป้องกันครอบคลุมตัวอาคารทั้งหมด

2). สายตัวนำลงดิน (Down conductor) ปกติใช้ลวดทองแดงที่มีขนาดใหญ่เพียงพอแก่การนำประจุไฟฟ้าลงดินได้อย่างรวดเร็ว โดยต่อสายตัวนำลงดินนี้เข้ากับหลักล่อฟ้าตามมาตรฐานสากล ตัวนำลงดินนี้จะสร้างขึ้นมาพิเศษเพื่อใช้กับระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยเฉพาะแต่สำหรับอาคารโดยทั่วไป โดยเฉพาะประเทศไทย มักจะใช้สายไฟฟ้าทองแดงเปลือยแทนเพราะหาซื้อง่ายและราคาถูก ขนาดจึงควรใช้ให้ใหญ่กว่ามาตรฐานปกติ คือขนาดพื้นที่หน้าตัดสายควรอยู่ระหว่าง 50 – 70 ตารางมิลลิเมตร

3). หลักสายดิน (Earth electrode หรือ ground rod) อาจใช้แท่งโลหะหรือแผ่นโลหะที่ไม่ผุกร่อนง่าย เช่น ทองแดง ฝังลึกลงไปในดินจนถึงชั้นของดินที่มีความชื้นเพื่อให้เกิดการถ่ายเทและกระจายประจุไฟฟ้าจากฟ้าผ่าลงดินได้อย่างรวดเร็ว มาตรฐานส่วนใหญ่จะกำหนดให้ความต้านทานของดินไม่เกิน 10 โอห์ม ดังนั้นการใช้แท่งโลหะ (ground rod) ตอกลงในดินจึงให้ผลดีมากกว่า

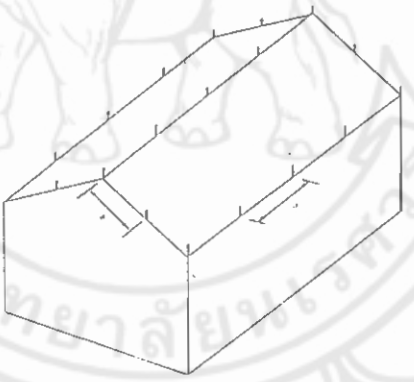


<u>รูปที่ 8.1</u> หลักล่อฟ้าแบบต่างๆ และการติดตั้ง

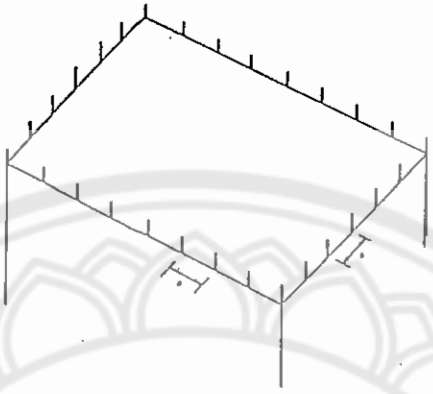
8.2. รัศมีการป้องกันของหลักล่อฟ้า

ตามมาตรฐาน BS จะกำหนดว่าหลักล่อฟ้าต้นหนึ่งจะมีรัศมีป้องกันเป็นกรวย โดยมุมแหลมของกรวยเท่ากับ 30 หรือ 45 องศา ทำมุมกับแกนของหลักล่อฟ้าแต่อย่างไรก็ตามมีผู้แนะนำว่ามุมตามรูปที่ 8.2 ควรจะเป็น 30 องศาเพื่อให้ได้ความมั่นใจในการป้องกันที่ดีกว่า

การติดตั้งหลักล่อฟ้าตามมาตรฐานทั่วๆ ไป จะกำหนดตามลักษณะส่วนบนหรือหลังคาของอาคาร ดังนั้น จำนวนของหลักล่อฟ้าของแต่ละอาคารจะไม่เท่ากัน แต่บางครั้งเราอาจจะสังเกตเห็นว่าอาคารบางแห่งมีหลักล่อฟ้าอยู่เพียงจุดเดียว ซึ่งในกรณีนี้ก็อาจเป็นไปได้ถ้าหลักล่อฟ้านั้นมีความสูงมากพอที่จะมีรัศมีคุ้มครองอาคารนั้นได้ทั้งหมด แต่ในบางครั้งอาคารทางด้านสถาปนิกอาจจะไม่พอใจนักสำหรับเสาสูงๆ บนหลังคาของอาคาร เราอาจหาทางออกบางแบบให้สถาปนิกได้บ้าง ซึ่งมาตรฐานได้กำหนดการติดตั้งหลักล่อฟ้าที่มีความสูงเพียง 30 – 60 เซนติเมตร ตามรูปที่ 8.2 และรูปที่ 8.3 แต่เป็นจำนวนมาก

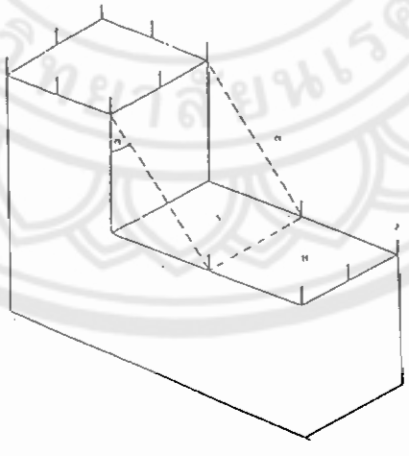


รูปที่ 8.2 จุดการวางหลักล่อฟ้าวสำหรับหลังคาจั่ว ระยะ a กำหนดไม่เกิน 25 ฟุตหรือ 7.60 เมตร



รูปที่ 8.3 ลักษณะการวางหลักล่อฟ้าสำหรับอาคารหลังคาราบ ระยะ a กำหนดไม่เกิน 25 ฟุตหรือ 7.60 เมตร

นอกจากอาคารที่มีหลังคาเพียงระดับเดียวแล้ว อาคารที่มีหลังคาอยู่หลายๆ ระดับลดหลั่นลงมา เช่นอาคารสมัยใหม่ทั้งหลายอาจจำเป็นต้องมีหลักล่อฟ้าบนหลังคาระดับต่ำๆ ลงมาด้วย ดังเช่นรูปที่ 8.4



รูปที่ 8.4 A เป็นพื้นที่ของหลังคาระดับล่างที่ถูกคุ้มครองโดยหลักล่อฟ้า (1) B เป็นพื้นที่ของหลังคาเกินรัศมีคุ้มครองของหลักล่อฟ้า (1) จึงต้องติดตั้งหลักล่อฟ้า (2) เพิ่มเติม

8.3. ระบบป้องกันฟ้าผ่าในอาคารสูงแบบฟาราเดย์เคจ (Faraday cage)

ระบบป้องกันฟ้าผ่าที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันสำหรับอาคารสูงๆ ซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านตัวนำลงดิน โดยไม่ใช้สายทองแดงหรือสายตัวนำอื่น เพิ่มขึ้นมาอีก มีหลักการดังนี้

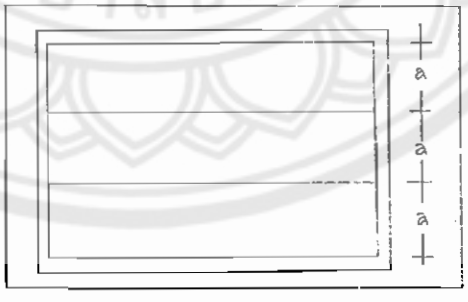
1). ใช้เหล็กโครงสร้างตามแนวดิ่ง (เสริมเสา) เป็นตัวนำลงดิน โดยเหล็กเสริมนี้ต้องต่อเชื่อมอย่างแข็งแรงและมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าตลอดความสูงของอาคารอย่างน้อยต้องเป็นเสาทั้ง 4 มุมของอาคาร แต่ถ้าอาคารมีขนาดกว้างมากจำเป็นต้องใช้เสาหลายต้น ซึ่งมีระยะห่างไม่เกิน 30 เมตร ตามมาตรฐานอังกฤษและระยะห่างไม่เกิน 18 เมตรตามมาตรฐาน NFPA

2). ทุกๆ ระดับความสูงของอาคาร 30 เมตร ต้องมีการเชื่อมเหล็กเสริมรอบนอกเป็นวงกลม และเชื่อมต่อเหล็กตามข้อ (1)

3). เสาเข็มซึ่งปกติจะมีเส้นลวดเสริมและตอกลึกลงไปในดินมากทำให้ค่าความต้านทานของการลงดินต่ำมากดังนั้นเส้นลวดนี้สามารถใช้แทนหลักสายดินได้ดี โดยการเชื่อมเส้นลวดนี้เข้ากับเหล็กเสริมเสาเข็ม

8.4. หลักล่อฟ้าแนวราบ

ในบางกรณีสถาปนิกไม่ต้องการให้มีหลักล่อฟ้าปรากฏที่บนสุดของอาคาร เราอาจใช้ระบบหลักล่อฟ้าแนวราบได้ โดยการใช้แถบตัวนำไฟฟ้าฝังราบกับผิวของพื้นชั้นหลังคามีแนวตามรูปที่ 8.5



รูปที่ 8.5 การวางแถบตัวนำบนหลังคาระยะ a ต้องไม่เกิน 18 เมตร

สำหรับตัวนำลงดินของหลักล่อฟ้าแบบนี้สามารถใช้กับระบบธรรมดาหรือฟาราเดย์เคจตามที่กล่าวมาแล้วรวมทั้งหลักสายดินด้วย

8.5. วัสดุที่นำมาใช้

วัสดุที่ถูกนำมาสร้างในระบบป้องกันต้องทนต่อการกัดกร่อนหรือต้านการกัดกร่อนได้ในระบบที่ยอมรับได้ ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้ คือ

1). ทองแดง จะมีความนำไฟฟ้าประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถูกหลอมให้อ่อนตัวแล้วทำให้ค่อยๆ เย็นลง แต่มีราคาแพง

2). โลหะผสมทองแดง จะมีความทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าทองแดงในสภาวะที่เหมือนกัน

3). อะลูมิเนียม เมื่อใช้อะลูมิเนียมเป็นวัสดุต้องระมัดระวังที่จะไม่ใช้ในการสัมผัสกับพื้นดินเพราะจะทำให้วัสดุนั้นเสื่อมลง

ถ้าอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าทำจากทองแดงจะไม่ติดตั้งบนหลังคาหรือบนพื้นผิวที่ทำจากอะลูมิเนียม เช่นเดียวกับอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าที่ทำจารอะลูมิเนียมก็จะไม่ติดตั้งบนหลังคาที่ทำจากทองแดง ขนาดและชนิดของตัวนำจะแสดงในตารางที่8.1 และตารางที่ 8.2 โดยที่ตารางที่ 8.1 จะแสดงวัสดุประเภทที่ 1 และตารางที่ 8.2 จะแสดงวัสดุประเภทที่ 2

<u>วัสดุประเภทที่ 1</u> จะแสดงขนาดเล็กที่สุดและเบาที่สุสำหรับหลักล่อฟ้าและตัวนำอื่นๆ สำหรับตึกหรือโครงสร้างที่สูงไม่เกิน 23 เมตร

<u>วัสดุประเภทที่ 2</u> จะแสดงขนาดเล็กที่สุดและเบาที่สุสำหรับหลักล่อฟ้าและตัวนำอื่นๆ สำหรับตึกหรือโครงสร้างที่สูงเกิน 23 เมตรขึ้นไป

ตารางที่ 8.1 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	0.64 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	29 mm^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	12.7 mm
Solid Strip	Width	1/2 inch	12.7 mm	1/2 inch	

ตารางที่ 8.2 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	283 g/m
	Cross Sect. Area	115,000 CM	58 mm^2	lbs/1000ft.	97 mm^2
Bonding Conductor, Cable	Min. Size ea. Strand	17 AWG		192,000 CM	
(solid or stranded)	Cross Sect. Area	26,240 CM		14 AWG	
Bonding Conductor,	Thickness	16 AWG		41,100 CM	
Solid Strip	Width	1/2 inch	12.7 mm	1/2 inch	12.7 mm

8.6. การเลือกระดับการป้องกันของระบบป้องกันฟ้าผ่า

1). ข้อกำหนดทั่วไป

1.1). ขอบเขตและวัตถุประสงค์ มาตรฐานนี้ให้ข้อมูลการแบ่งประเภทสิ่งปลูกสร้างตามผลที่เกิดเนื่องจากฟ้าผ่าและวิธีการเลือกระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ให้ระดับการป้องกันที่เพียงพอ

1.2). นิยาม

- กระแสฟ้าผ่า (i) คือกระแสไหลเข้าที่จุดฟ้าผ่า
- ค่ายอด (I) คือค่าที่มากที่สุดของกระแสฟ้าผ่าหนึ่งครั้ง
- ค่าความชันเฉลี่ยของกระแสฟ้าผ่า (di/dt) คือผลต่างระหว่างกระแสฟ้าผ่าขณะเริ่มต้นและขณะสิ้นสุดของช่วงเวลาที่กำหนดไว้ $[I(t_2) - I(t_1)]$ หารด้วยช่วงเวลาที่กำหนด $[t_2 - t_1]$
- ช่วงเวลาวาบฟ้าผ่า (T) คือระยะเวลาที่กระแสฟ้าผ่าไหลเข้าที่จุดฟ้าผ่า
- ประจุรวม (Q_{total}) คือการอินทิเกรตตามเวลาของกระแสฟ้าผ่าสำหรับช่วงเวลาวาบฟ้าผ่าทั้งหมด
- ประจุอิมพัลส์ (Q_{imp}) คือการอินทิเกรตตามเวลาของกระแสฟ้าผ่าสำหรับส่วนอิมพัลส์ของช่วงเวลาวาบฟ้าผ่า
- ค่าพลังงานจำเพาะ (W/R) คือพลังงานจากกระแสฟ้าผ่าซึ่งกระจายไปในหนึ่งหน่วยความต้านทาน มีค่าเท่ากับการอินทิเกรตตามเวลาของกระแสฟ้าผ่ายกกำลังสองภายในช่วงเวลาวาบฟ้าผ่า
- ความเสี่ยงต่อความเสียหาย คือความสูญเสียเฉลี่ยต่อปีที่เป็นไปได้ (ชีวิตและทรัพย์สิน) ในสิ่งปลูกสร้างเนื่องจากฟ้าผ่า
- ความน่าจะเป็นของความเสียหาย(p) คือความน่าจะเป็นของวาบฟ้าผ่าที่ทำความเสียหายให้กับสิ่งปลูกสร้าง
- ความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง (N_d) คือจำนวนเฉลี่ยที่คาดไว้ต่อปีของวาบฟ้าผ่าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง
- ความถี่ของความเสียหายเนื่องจากวาบฟ้าผ่าโดยตรง คือจำนวนเฉลี่ยของวาบฟ้าผ่าโดยตรงต่อปีที่สร้างความเสียหายกับสิ่งปลูกสร้าง
- ความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ (N_c) คือจำนวนเฉลี่ยสูงสุดที่ยอมรับได้ของวาบฟ้าผ่าต่อปี ซึ่งสามารถทำให้เกิดความเสียหายกับสิ่งปลูกสร้าง

- ประสิทธิภาพของระบบป้องกันฟ้าผ่า (E) คืออัตราส่วนของจำนวนวาบฟ้าผ่าโดยตรงเฉลี่ยต่อปีที่ไม่สามารถทำให้เกิดความเสียหายกับสิ่งปลูกสร้างต่อจำนวนวาบฟ้าผ่าโดยตรงที่ลงสิ่งปลูกสร้าง

2). การแบ่งประเภทสิ่งปลูกสร้าง

สิ่งปลูกสร้างสามารถแบ่งประเภทตามผลเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากฟ้าผ่าที่มีต่อสิ่งที่มีอยู่ภายในหรือสิ่งแวดล้อมของสิ่งปลูกสร้าง ผลโดยตรงของฟ้าผ่าซึ่งอาจเป็นอันตรายได้แก่ ไฟไหม้ ความเสียหายทางกล การบาดเจ็บของมนุษย์และสัตว์ และความเสียหายกับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ผลของการเกิดฟ้าผ่าอาจนำไปสู่ความโกลาหลหรือทำให้ถึงขั้นเกิดการระเบิด และการแพร่กระจายของสารอันตราย เช่น วัสดุกัมมันตภาพรังสี สารเคมี สารพิษ เชื้อโรคทางชีวเคมี แบคทีเรียและไวรัส

ผลของฟ้าผ่าอาจเป็นอันตรายโดยเฉพาะกับระบบคอมพิวเตอร์ ระบบควบคุม ระบบคุมค่า ระบบจ่ายไฟฟ้าสาธารณะ การสูญเสียข้อมูลทางด้านการผลิตและทางธุรกิจ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งไว้ภายในสิ่งปลูกสร้างทุกประเภทอาจต้องมีการป้องกันพิเศษ

2.1). สิ่งปลูกสร้างทั่วไป หมายถึงสิ่งปลูกสร้างที่ใช้สำหรับวัตถุประสงค์ทั่วไป ได้แก่ การพาณิชย์ อุตสาหกรรม การทำฟาร์ม การศึกษา พักอาศัย

2.2). สิ่งปลูกสร้างพิเศษ มี 4 ประเภท ดังนี้

2.2.1).สิ่งปลูกสร้างที่มีอันตรายอยู่ในวงจำกัดซึ่งวัสดุก่อสร้าง สิ่งที่อยู่ภายในหรือผู้ครอบครองทำให้สิ่งปลูกสร้างทั้งหมดไม่มั่นคงต่อผลที่ตามมาของฟ้าผ่า

2.2.2).สิ่งปลูกสร้างที่เป็นอันตรายต่อสังคม สิ่งปลูกสร้างซึ่งอาจทำให้เกิดการปล่อยสารชีวภาพ สารเคมีและสารกัมมันตภาพรังสีหลังจากถูกฟ้าผ่า

2.2.3).สิ่งปลูกสร้างที่เป็นอันตรายต่อสิ่งที่อยู่โดยรอบ สิ่งปลูกสร้างซึ่งสิ่งที่อยู่ภายในสามารถเป็นอันตรายต่อสิ่งที่อยู่รอบตัวถ้าถูกฟ้าผ่า

2.2.4).สิ่งปลูกสร้างลักษณะอื่นๆ สิ่งปลูกสร้างที่อาจพิจารณาให้มีการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าเป็นพิเศษ ประเภทสิ่งปลูกสร้างที่พบเห็นทั่วไปได้แก่ เต็นท์ แคมป์ สนามกีฬา สิ่งติดตั้งชั่วคราวและสิ่งปลูกสร้างที่กำลังก่อสร้าง.

8.7. พารามิเตอร์ฟ้าผ่า

พารามิเตอร์ฟ้าผ่าโดยปกติได้จากการวัดจากวัตถุสูง ข้อมูลที่ให้ไว้ในข้อแนะนำนี้รวมวาบฟ้าผ่าทั้งแบบขึ้นและลง อัตราส่วนขั้วบวกหรือลบของฟ้าผ่าขึ้นอยู่กับธรรมชาติของพื้นที่ถ้าไม่มีข้อมูลท้องถิ่นให้สมมุติเป็นฟ้าผ่าบวก 10 เปอร์เซ็นต์ และฟ้าผ่าลบ 90 เปอร์เซ็นต์ ค่าที่บันทึกในข้อแนะนำนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนขั้วบวก 10 เปอร์เซ็นต์ และขั้วลบ 90 เปอร์เซ็นต์

พารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าที่ใช้สำหรับกำหนดขนาดของระบบป้องกันฟ้าผ่า สมมุติวาบฟ้าผ่าบวก 10 เปอร์เซ็นต์ และวาบฟ้าผ่าลบ 90 เปอร์เซ็นต์ ค่าพารามิเตอร์ฟ้าผ่าที่สัมพันธ์กับระดับการป้องกันได้แสดงไว้ในตารางที่ 8.3

ตารางที่ 8.3 ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่ากับระดับป้องกัน

พารามิเตอร์ของฟ้าผ่า		ระดับการป้องกัน		
		1	2	3 – 4
กระแสค่ายอด (i)	กิโลแอมแปร์	200	150	100
ประจุรวม (Qtotal)	คูลอมบ์	300	225	150
ประจุอิมพัลส์ (Qimp)	คูลอมบ์	100	75	50
พลังงานจำเพาะ (W/R)	กิโลจูล/โอห์ม	10,000	5,600	2,500
ความชันเฉลี่ย (di/dt)	กิโลแอมแปร์/ไมโครวินาที	200	150	100