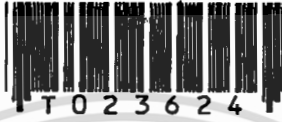


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ตัวนำล่อฟ้าในระบบป้องกันฟ้าผ่า

ANALYSIS OF AIR TERMINAL IN LIGHTNING PROTECTION SYSTEM



นายอนันต์ เจนเกรียงไกร
MR. ANUN JENKRAINGKAI

วิทยานิพนธ์
ห้ามนำออกนอกห้องสมุด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2538

ISBN 974-621-355-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เลขหมู่.....
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึง เลขทะเบียน..... 23624
วัน, เดือน, ปี..... 1 ส.ค. 2538

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ตัวนำล่อฟ้าในระบบป้องกันฟ้าผ่า
นักศึกษา	นายอนันต์ เจนเกรียงไกร
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. นihatัน กฤษณจินดา
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2538

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ใช้ตัวนำล่อฟ้า โดยจะกล่าวถึงสาระสำคัญในการใช้งานของตัวนำล่อฟ้า กระบวนการในการเกิดฟ้าผ่า หลักการเบื้องต้นของการป้องกันฟ้าผ่า บริเวณที่ป้องกันได้ของตัวนำล่อฟ้า การประมาณโอกาสที่จะเกิดฟ้าผ่าลงที่วัตถุ การคำนวณหาค่าการชิลด์ลัมเพลวของระบบตัวนำล่อฟ้า วิธีการที่นำเสนอนี้เป็นการคำนวณแนวใหม่ในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าแบบใช้ตัวนำล่อฟ้าซึ่งสามารถบอกได้ถึงความน่าประสิทธิภาพในการป้องกันของระบบป้องกันฟ้าผ่าแบบตัวนำล่อฟ้าได้ โดยจะมีการนำวิธีการนี้ไปใช้กับการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าที่ใช้ในการป้องกันบริเวณต่าง ๆ เช่น อาคาร สิ่งก่อสร้าง สายส่งกำลังไฟฟ้า ในการคำนวณจะใช้ทั้งพารามิเตอร์ที่สำคัญในกระบวนการเกิดฟ้าผ่า ตัวนำล่อฟ้า และวัตถุที่ป้องกันอยู่ ทำให้สามารถวิเคราะห์ระบบตัวนำล่อฟ้าในแง่มุมต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง ผลจากการคำนวณยังแสดงให้เห็นว่า ลักษณะการจัดวางแต่ละรูปแบบของตัวนำล่อฟ้ามีผลต่อการป้องกันด้วย การคำนวณในแต่ละส่วนมีวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน จึงมีการใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ วิธีการนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ถูกต้องเหมาะสมได้ซึ่งในปัจจุบันยังไม่ได้มีการจัดทำขึ้น

Thesis Title Analysis of Air Terminal in Lightning Protection System
Student Mr.Anun Jenkraingkai
Thesis Advisor Assoc. Prof. Nithus Krisanajinda
Level of study Master of Engineering in Electrical Engineer
Department Electrical Engineering
King MongKut's Institute of Technology Ladkrabang
Year 1995

Abstract

This thesis describes the analysis of air terminal in lightning protection system. It is the presentation of basic principle of lightning protection, estimation of lightning strike probability and estimation of the shielding failure of air terminal. This new method gives the effectiveness and fidelity of lightning protection system. The calculate function is not interpolated from observed data but it is based on the statistical distribution of lightning parameters and derives from the electrogeometrical model. It can be applied in varieties type of air terminal. The calculation result shows that lightning rods arrangement is influence with the protective efficiency. This method would be useful in lightning protection system development.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดีก็เพราะได้รับความเมตตาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์นิทัศน์ กฤษณจินดา รองศาสตราจารย์สุลี บรรจงจิตรที่กรุณาให้ความเมตตาช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยตลอดมา ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สำราญ สังข์สะอาด ที่กรุณาให้คำแนะนำที่มีประโยชน์มากแก่ ผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณสมชาย เกரியงอารีกุล ที่ได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดีทางด้าน โปรแกรมคอมพิวเตอร์จนวนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี

อนันต์ · เจนเกரியงไกร



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
สัญลักษณ์ตัวแปรในวิทยานิพนธ์	IX
บทที่	
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีเกี่ยวกับปรากฏการณ์ฟ้าผ่า	
การเกิดประจุในก้อนเมฆ	3
กระบวนการเกิดฟ้าผ่า	4
พารามิเตอร์ของการเกิดฟ้าผ่า	4
อันตรายจากฟ้าผ่า	7
อันตรายจากฟ้าผ่าต่อสิ่งมีชีวิต	8
3. หลักการของระบบป้องกันฟ้าผ่า	
การพิจารณาการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าแบบตัวนำล่อฟ้า	11
ตัวนำล่อฟ้า	11
สายนำลงดิน	15
รากสายดิน	15
ขอบเขตการป้องกัน	17
วิธีมุมป้องกัน	17
วิธี Rolling sphere	18
4. สถิติการกระจายทางฟ้าผ่า	
การกระจายของกระแสฟ้าผ่า	20
การกระจายของระยะฟ้าผ่า	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นของจำนวนฟ้าผ่า	23
การกำหนดระดับความเสี่ยง	25
การประมาณจำนวนฟ้าผ่าในมาตรฐานอังกฤษ	26
5. การประมาณจำนวนฟ้าผ่า	
แบบจำลองเรขาคณิตทางไฟฟ้าของตัวนำล่อฟ้า	27
รัศมีล่อฟ้า	28
วิธีการประมาณค่าจำนวนฟ้าผ่า	32
การประมาณจำนวนฟ้าผ่าที่รูปแบบต่าง ๆ	34
การประมาณจำนวนฟ้าผ่าที่เสาส่ง	34
การประมาณจำนวนฟ้าผ่าที่สายตัวนำขนานกับพื้น	39
การเปรียบเทียบผล	45
การประมาณจำนวนฟ้าผ่าที่อาคาร	49
6. การประยุกต์ใช้งาน	
การคำนวณค่าการชิลด์ลัมเหลว	53
การป้องกันฟ้าผ่าของสายส่ง	54
สายส่งไฟฟ้าแบบ 1 เฟส	55
สายส่งไฟฟ้าแบบ 3 เฟส	63
การป้องกันฟ้าผ่าของอาคาร	70
การป้องกันอาคารด้วยตัวนำล่อฟ้าแนวราบ	70
การป้องกันอาคารด้วยแท่งตัวนำล่อฟ้า	81
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	90
เอกสารอ้างอิง	92
ภาคผนวก ก โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ	93
ภาคผนวก ข ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนฟ้าผ่าและความสูงของวัตถุ	102
ประวัติผู้เขียน	103

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. แสดงค่าระยะฟ้าผ่า	7
2. แสดงความต้านทานของร่างกาย	8
3. แสดงขนาดอย่างต่ำของตัวนำล่อฟ้า	12
4. แสดงจำนวนสายนำลงดินกับขนาดของพื้นที่	15
5. แสดงความต้านทานของดิน	16
6. แสดงขนาดอย่างต่ำของตัวนำฝังดิน	16
7. แสดงค่าระดับการป้องกัน	25
8. แสดงค่าจำนวนฟ้าผ่าที่ค่ากระแสต่าง ๆ	35
9. แสดงเปรียบเทียบการประมาณจำนวนฟ้าผ่าที่เสาสูง	45
10. แสดงเปรียบเทียบการประมาณจำนวนฟ้าผ่าที่สายตัวนำ	47
11. แสดงค่าจำนวนฟ้าผ่าของอาคารขนาด 20x40x20 เมตร	50
12. แสดงค่าการชิลด์ลัมเพลวของตัวนำล่อฟ้าที่ความสูงต่าง ๆ	75

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ประจุในก้อนเมฆ	3
2 รูปร่างคลื่นแบบอิมพัลส์	5
3 Isokeraunic map	6
4 การเกิดแรงดันสัมผัส	9
5 ปรากฏฟ้าผ่าด้านข้าง	10
6 แรงคันท้าว	10
7 ตัวนำล่อฟ้าแบบแนวราบ	13
8 ตัวนำล่อฟ้าแบบแท่ง	13
9 การป้องกันอาคารเก็บสารอันตราย	14
10 มุมป้องกันของตัวนำล่อฟ้าแบบแท่ง	17
11 มุมป้องกันของตัวนำล่อฟ้าแบบแนวนอน	18
12 Rolling sphere	19
13 การกระจายของกระแสฟ้าผ่า	21
14 การกระจายของระยะฟ้าผ่า	23
15 Isokeraunic map ของประเทศไทย	24
16 แบบจำลองทางเรขาคณิตของตัวนำล่อฟ้า	27
17 $H > r$	28
18 $H < r$	29
19 กราฟของกระแสฟ้าผ่าและรัศมีล่อฟ้า	30
20 กราฟของรัศมีล่อฟ้าและระยะฟ้าผ่า	31
21 Flow chart คำนวณจำนวนฟ้าผ่า	33
22 พื้นที่สมมูลย์ของหอสูง	34
23 กราฟกระแสฟ้าผ่าที่เสาสูง 40 เมตร	35
24 แบบจำลองเรขาคณิตทางไฟฟ้าของสายตัวนำ	39
25 พื้นที่สมมูลย์ของสายตัวนำ	39
26 กราฟกระแสฟ้าผ่าที่สายตัวนำสูง 30 เมตร	40

27	เปรียบเทียบการประมาณจำนวนฟ้าผ่าที่เสาสูง	46
28	เปรียบเทียบการประมาณจำนวนฟ้าผ่าที่สายตัวนำ	48
29	พื้นที่สมมูลย์ของอาคารรูปสี่เหลี่ยม	49
30	กราฟจำนวนฟ้าผ่าที่อาคารขนาด 20x40x20 เมตร	50
31	พื้นที่การชิลด์ลัมเหลว	54
32	สายส่งไฟฟ้าแบบ 1 เฟส	55
33	รูปแบบทางเรขาคณิตของสายตัวนำล่อฟ้า	56
34	Flow chart การหาค่าการชิลด์ลัมเหลวของตัวนำล่อฟ้าแบบ 1 เฟส	57
35	กราฟของกระแสฟ้าผ่าและการชิลด์ลัมเหลว	58
36	กราฟของมุมป้องกันและการชิลด์ลัมเหลว	58
37	แบบจำลองเรขาคณิตทางไฟฟ้าของสายส่ง 3 เฟส	63
38	รูปแบบเรขาคณิตของสายส่ง 3 เฟส	64
39	สายส่ง 3 เฟส	65
40	กราฟกระแสฟ้าผ่าที่สายส่ง 3 เฟส	66
41	การป้องกันฟ้าผ่าด้วยตัวนำล่อฟ้าแนวราบ	70
42	ตัวนำล่อฟ้าแนวราบแบบ A	70
43	พื้นที่สมมูลย์ของตัวนำล่อฟ้าแนวราบแบบ A	71
44	ตัวนำล่อฟ้าแนวราบแบบ B	72
45	ตัวนำล่อฟ้าแนวราบแบบ C	73
46	ตัวนำล่อฟ้าแนวราบแบบ D	74
47	Flow chart การหาค่าการชิลด์ลัมเหลวของตัวนำล่อฟ้าแบบแนวราบ	76
48	ระบบแท่งตัวนำล่อฟ้าแบบ E	81
49	พื้นที่สมมูลย์เมื่อ R_a น้อยกว่า $L/2$ และ $W/2$	82
50	พื้นที่สมมูลย์เมื่อ $W/2 < R_a < L/2$	82
51	พื้นที่สมมูลย์เมื่อ $R_a > L/2 > W/2$	83
52	กราฟการชิลด์ลัมเหลวที่ค่ากระแสต่าง ๆ ของตัวนำล่อฟ้าแบบ E	84
53	กราฟการชิลด์ลัมเหลวที่ความสูงต่าง ๆ ของตัวนำล่อฟ้าแบบ E	84
54	ระบบแท่งตัวนำล่อฟ้าแบบ F	85
55	ระบบแท่งตัวนำล่อฟ้าแบบ G	86
56	ระบบแท่งตัวนำล่อฟ้าแบบ H	87
57	กราฟค่าการชิลด์ลัมเหลวที่ความสูงของตัวนำล่อฟ้ารูปแบบ E, F, G, H	88

สัญลักษณ์ตัวแปรในวิทยานิพนธ์

A_e	พื้นที่สมมูลย์ของบริเวณที่พิจารณา
A_f	พื้นที่สมมูลย์ของบริเวณการชิลด์ลัมเหลว
$A(r)$	พื้นที่บริเวณที่พิจารณาที่เป็นฟังก์ชันกับค่าระยะฟ้าผ่า
$A_f(r)$	พื้นที่การชิลด์ลัมเหลวที่เป็นฟังก์ชันกับค่าระยะฟ้าผ่า
H	ความสูงของวัตถุ
H_g	ความสูงของสายตัวนำล่อฟ้า
H_i	ความสูงของสายตัวนำ
I	ค่ายอดกระแสฟ้าผ่า
I_m	ค่ายอดกระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นด้วยโอกาส 50 %
I_s	ค่ายอดกระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นด้วยโอกาสประมาณ 16 %
L	ความยาวของสายตัวนำ
N	จำนวนฟ้าผ่าที่วัตถุ
N_f	ค่าการชิลด์ลัมเหลวหรือจำนวนฟ้าผ่าในบริเวณที่ป้องกัน
$9N_g$	ความหนาแน่นจำนวนฟ้าผ่า
N_1	จำนวนฟ้าผ่าที่สายส่งเฟส 1
N_2	จำนวนฟ้าผ่าที่สายส่งเฟส 2
N_3	จำนวนฟ้าผ่าที่สายส่งเฟส 3
$P(x>y)$	โอกาสที่ค่า x จะมากกว่าค่า y
$P(x<y)$	โอกาสที่ค่า x จะน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า y
Q	ค่าประจุไฟฟ้า
R_a	รัศมีล่อฟ้า
r	ระยะฟ้าผ่า
r_m	ค่ากึ่งกลางของการกระจายทางสถิติของระยะฟ้าผ่า
r_{min}	ระยะฟ้าผ่าที่น้อยที่สุด
r_{max}	ระยะฟ้าผ่าที่มากที่สุด
S	สัมประสิทธิ์เบี่ยงเบนของการกระจายแบบ logarithmic normal
T_d	จำนวนวันฝนฟ้าคะนองต่อปี
U	ศักดาไฟฟ้า
w	พลังงาน
$\frac{dp}{dr}$	ฟังก์ชันการกระจายของระยะฟ้าผ่า
$\phi(X)$	Guassian error function ของ X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ IX และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอย่างหนึ่งซึ่งสร้างความเสียหายให้แก่ชีวิตและทรัพย์สินได้เป็นอย่างมาก ดังนั้นมนุษย์จึงได้พยายามคิดค้นวิธีป้องกันฟ้าผ่าขึ้นมา ซึ่งก็คือ การป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าจากการวิจัยคิดค้นวิธีการป้องกันฟ้าผ่าที่คิดค้นมาตั้งแต่ยุคแรกจนถึงปัจจุบันก็ยังมีหลักการที่คล้ายคลึงกัน แต่ในยุคปัจจุบันนี้มีการป้องกันที่รัดกุมมากขึ้น ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยมากขึ้น ความจำเป็นในการป้องกันก็มีสูงขึ้น เนื่องจากสถานที่บางแห่งถ้าถูกฟ้าผ่าจะเกิดความเสียหายมีค่ามหาศาล เช่น คลังน้ำมันขนาดใหญ่ เสาส่งไฟฟ้าแรงสูง อาคารสถานที่บางแห่ง

การป้องกันฟ้าผ่าในปัจจุบันยังใช้วิธีใช้ตัวนำล่อฟ้าในการป้องกัน หลักการในการออกแบบและติดตั้งตัวนำล่อฟ้านั้นมีหลักการที่ง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบก็มีค่าคงที่และตัวแปรไม่กี่ตัว แต่ถ้าพิจารณาดูในจุดนี้แล้วจะพบข้อสงสัยหลายประการที่เกี่ยวกับระบบตัวนำล่อฟ้าที่ใช้อยู่ ปัญหาเหล่านี้ เช่น

ระบบป้องกันที่ใช้ยู่มีประสิทธิภาพเพียงใด ?

ระบบป้องกันได้ในขนาดของความแรงของฟ้าผ่าช่วงใด ?

ถ้าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวนำล่อฟ้าเปลี่ยนไป ผลการป้องกันจะเป็นอย่างไร ?

ปัญหาเหล่านี้ ถ้าดูจากหลักทฤษฎีในการออกแบบตัวนำล่อฟ้าแล้วคงไม่สามารถตอบได้ เนื่องจากในการออกแบบตัวนำล่อฟ้าที่ใช้ยู่กันไม่ได้เป็นฟังก์ชันหรือเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ทางฟ้าผ่าและโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยการศึกษาปัญหาเกี่ยวกับการป้องกันฟ้านั้นมีน้อยมาก ข้อมูลต่าง ๆ ก่อนข้างที่จะหายาก ซึ่งถ้ามีการศึกษาวิจัยอย่างมีหลักเกณฑ์แล้ว เราสามารถจะออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าให้ถูกต้องเหมาะสมได้ และช่วยลดความเสียหายจากการถูกฟ้าผ่าได้

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้ทำการค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง การวิเคราะห์ระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยได้ศึกษาหลักการในการเกิดฟ้าผ่า หลักการของการป้องกันฟ้าผ่า และรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับการป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งเมื่อนำมาศึกษาวิเคราะห์หาคำตอบแล้ว พบว่าปัญหาต่าง ๆ ที่กล่าวมาและอื่น ๆ เราสามารถจะหาคำตอบของปัญหาเหล่านี้ได้ โดยใช้หลักการพื้นฐานทั่วไปทางการป้องกันฟ้าผ่า และอาศัยข้อมูลของการเกิดฟ้าผ่ามาวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ได้ ซึ่งการวิเคราะห์นี้มีขั้นตอนในการคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อนจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ แต่ในการเขียนโปรแกรมคำนวณนั้นสามารถที่จะทำได้ไม่ยากนัก

การวิเคราะห์ตามวิธีการในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถนำไปใช้กับตัวนำล่อฟ้าที่ติดตั้งในแบบต่าง ๆ ได้ เช่น ตัวนำล่อฟ้าของอาคาร ตัวนำล่อฟ้าของสายส่งไฟฟ้าแรงสูง วิธีการนี้ยังใช้พารามิเตอร์ของกระบวนการเกิดฟ้าผ่าในการคำนวณด้วย ซึ่งทำให้เราสามารถเห็นถึงผลของการป้องกันฟ้าผ่าที่ค่ากระแสฟ้าผ่าต่าง ๆ หลักการที่นำมาใช้เป็นหลักการพื้นฐานทางการป้องกันฟ้าผ่าของ Whitehead ซึ่งเป็นหลักการที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าเป็นทฤษฎีเบื้องต้นทางฟ้าผ่าและข้อมูลทางสถิติต่าง ๆ ที่ใช้ก็มาจาก BS 6651 British Standard Institute ซึ่งเป็นที่ยอมรับกัน ดังนั้นวิธีการนี้จึงมีความน่าเชื่อถือได้

สำหรับเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึง

- ทฤษฎีพื้นฐานของการเกิดฟ้าผ่า กระบวนการเกิดฟ้าผ่า
- ลักษณะต่าง ๆ ที่สำคัญของฟ้าผ่า
- ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในการป้องกันฟ้าผ่า
- ลักษณะและคุณสมบัติของตัวนำล่อฟ้า ระบบตัวนำล่อฟ้าและองค์ประกอบในระบบ
- ข้อมูลทางสถิติของการเกิดฟ้าผ่าและลักษณะการกระจายของพารามิเตอร์ของฟ้าผ่า
- หลักการวิเคราะห์ระบบป้องกันฟ้าผ่าแบบตัวนำล่อฟ้าโดยใช้ แบบจำลองเรขาคณิตทางไฟฟ้า
- วิธีการประมาณค่าจำนวนฟ้าผ่าที่วัตถุหรือที่ตัวนำล่อฟ้า
- การเปรียบเทียบผลจากการคำนวณจากวิธีนี้กับวิธีจากงานวิจัยชิ้นอื่น
- วิธีการประมาณค่าการซีลด์ลัมเหลวหรือการหาประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้า
- ตัวอย่างการนำไปใช้งาน
- สรุปเนื้อหา



บทที่ 2

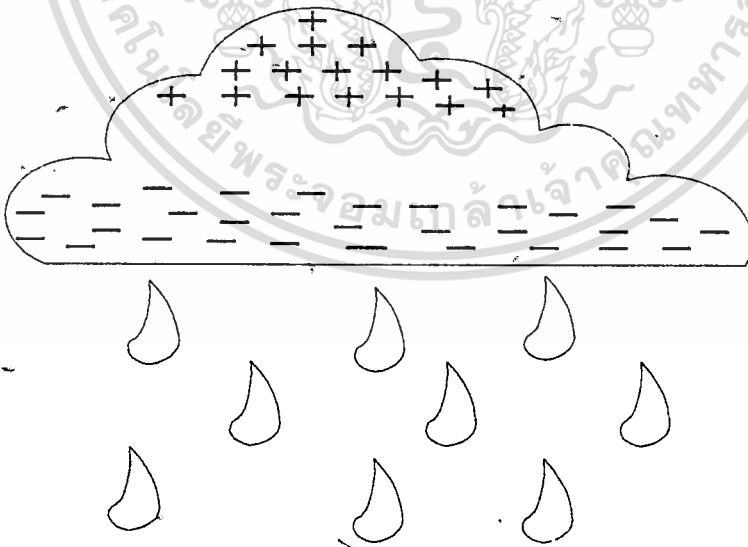
ทฤษฎีเกี่ยวกับปรากฏการณ์ฟ้าผ่า

ปรากฏการณ์ฟ้าผ่าคือการดิสชาร์จทางไฟฟ้าระหว่างก้อนเมฆที่มีประจุกับพื้นโลก หรือ ระหว่างก้อนเมฆกับก้อนเมฆ การศึกษาถึงกระบวนการเกิดฟ้าผ่านั้นมีนักวิจัยหลายคนได้ศึกษาและอธิบายถึงกระบวนการในการเกิดฟ้าผ่าไว้ ซึ่งทฤษฎีที่เป็นที่ยอมรับกันในการอธิบายถึง การเกิดประจุจากก้อนเมฆลงสู่พื้นโลกคือ ทฤษฎีของ Simpson ที่ได้อธิบายถึง การเกิดประจุในก้อนเมฆ

2.1 การเกิดประจุในก้อนเมฆ

การเกิดประจุสะสมอยู่ในก้อนเมฆนั้น เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดฟ้าผ่าขึ้น ซึ่งการเกิดประจุสะสมในก้อนเมฆนั้นสามารถอธิบายได้โดยทฤษฎีของ Simpson ซึ่งในปัจจุบันปรากฏการณ์อื่นนี้ยังไม่สามารถหาข้อสรุปอันแน่นอนได้ นอกจากอาศัยทฤษฎีที่ตั้งจากการศึกษาและวิจัยมา

โดยทั่วไปแล้วประจุที่สะสมในก้อนเมฆเกิดจากการเสียดสีระหว่างกระแสลมพายุกับละอองน้ำและก้อนเมฆในบรรยากาศ การเสียดสีทำให้ละอองน้ำมีประจุเป็นลบและบรรยากาศเป็นประจุบวก กระแสลมพัดพาขึ้นสู่เบื้องบนของก้อนเมฆ ทำให้ส่วนบนของก้อนเมฆมีประจุบวกอยู่มาก ส่วนละอองน้ำที่มีประจุลบเมื่อถูกพัดพาขึ้นไปกระทบกับอากาศเย็นที่อยู่ข้างบน ก็จะกลายเป็นเกล็ดน้ำแข็งตกลงมารวมกันด้านล่างทำให้ด้านล่างของก้อนเมฆมีประจุเป็นลบ [14]



รูปที่ 1 ประจุในก้อนเมฆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simpson ได้อธิบายว่า ในส่วนก้อนเมฆที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (-10°C) จะกลายเป็นเกล็ดน้ำแข็ง และเมื่อโดนอากาศเกล็ดน้ำแข็งเหล่านี้จะเก็บประจุลบไว้ ส่วนอากาศที่ลอยขึ้นไปจะมีประจุบวกทำให้ประจุบวกและประจุลบแยกออกจากกันในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ส่วนบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง หยดน้ำที่มีรัศมีมากกว่า 2.5 มม. จะไม่เสถียรภาพ ดังนั้นก็จะแตกตัวออกเป็นหยดน้ำเล็กและหยดน้ำเล็ก ๆ เหล่านี้มีประจุบวก และอากาศมีประจุลบ เนื่องจากความเร็วของหยดน้ำที่ขนาด 0.25 ซม. มีค่าเฉลี่ยประมาณ 8 เมตร/วินาที ดังนั้นถ้าความเร็วลมมีค่ามากกว่า 8 เมตร/วินาที หยดน้ำก็จะไม่ตกลงมา บนพื้นโลกอากาศที่พัดผ่านเข้าไปในก้อนเมฆจากด้านล่างมีความเร็วมากกว่า 8 เมตร/วินาที ทำให้หยดน้ำขนาดใหญ่ที่อยู่ทางด้านล่างจะแตกตัวออก และมีประจุบวกเกิดขึ้น ส่วนประจุลบจะถูกพัดพาขึ้นทางด้านบน หยดน้ำเล็ก ๆ ที่มีประจุบวกถูกพัดพาขึ้นไปด้านบนและรวมตัวกันตกลงมาอีก เป็นแบบนี้เรื่อย ๆ ไป ดังนั้นหยดน้ำจึงมีประจุบวกเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และประจุลบถูกพัดพาไปทั่วก้อนเมฆ [13]

2.2 กระบวนการเกิดฟ้าผ่า

เมื่อมีประจุสะสมในก้อนเมฆ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นระหว่างกลุ่มประจุบวกและกลุ่มประจุลบ หรืออาจทำให้เกิดประจุเหนี่ยวนำกับพื้นโลก ความเครียดสนามไฟฟ้ามีค่ามากขึ้น เมื่อค่าประจุสะสมมากขึ้น ซึ่งเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้ามีค่าสูง ถึงจุดวิกฤตแล้ว จะเกิดการเบรคดาวนึ้นมาได้ ซึ่งภายในก้อนเมฆที่มีความดันบรรยากาศต่ำ ความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตจะมีค่าน้อยกว่าในอากาศมาก ประมาณ 10 KV/cm ก็อาจเกิดการดิสชาร์จได้แล้ว เมื่อเริ่มมีการดิสชาร์จขึ้นภายในก้อนเมฆแล้วการดิสชาร์จนี้จะขยายตัวออกไปในลักษณะที่เป็นช่วงก้าว (Step) มีทิศทางแบบสุ่ม โดยมีลำประจุเป็นตัวขยายผลของการดิสชาร์จนี้ ซึ่งเรียกว่า ลีดเดอร์ (Leader) ลำประจุหรือลีดเดอร์ จะขยายตัวออกไปตามทิศทางที่เกิดการไอออไนเซชันได้ง่าย ซึ่งอาจจะวิ่งจากก้อนเมฆหนึ่งไปยังอีกก้อนเมฆหนึ่งหรือวิ่งจากก้อนเมฆลงสู่พื้นโลก ลีดเดอร์จะวิ่งเป็นช่วงก้าว ซึ่งแต่ละช่วงก้าวจะมีความยาวในช่วงก้าวตั้งแต่ 10 ถึง 150 เมตร โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณ 50 เมตร และความเร็วของลีดเดอร์ประมาณ 300 กม./นาทึ โดยมีจังหวะหยุด ก่อนจะวิ่งต่อไปเป็นเวลาประมาณหลายสิบล้านไมโครวินาที [14]

เมื่อลีดเดอร์วิ่งลงมายังพื้นโลก จะทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าที่พื้นโลกมีค่าสูง ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดสตรีมเมอร์ (Streamer) กับพื้นโลกหรือวัตถุที่อยู่บนพื้นโลก ซึ่งสตรีมเมอร์นี้จะมีประจุขั้วตรงข้ามกับลำประจุ เมื่อลีดเดอร์วิ่งมาบรรจบกับสตรีมเมอร์จะเกิดการเชื่อมถึงกันระหว่างก้อนเมฆกับพื้นโลกด้วยลำประจุที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงที่เป็นเมตรถึงหลายสิบลเมตร โดยมีแกนกลางเป็นพลาสมาไอออไนเซชันประจุในก้อนเมฆจะถ่ายเทสู่พื้นโลกตามแนวของลีดเดอร์ ซึ่งเกิดเป็นลำฟ้าผ่าลงมายังโลกและมีกระแสฟ้าผ่าค่ามหาศาล [7]

2.3 พารามิเตอร์ของการเกิดฟ้าผ่า

ในการเกิดฟ้าผ่ามีค่าพารามิเตอร์หลายค่าที่เกี่ยวข้องอยู่ในกระบวนการเกิดฟ้าผ่า การศึกษาถึงคุณลักษณะของพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาและป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า

2.3.1 กระแส

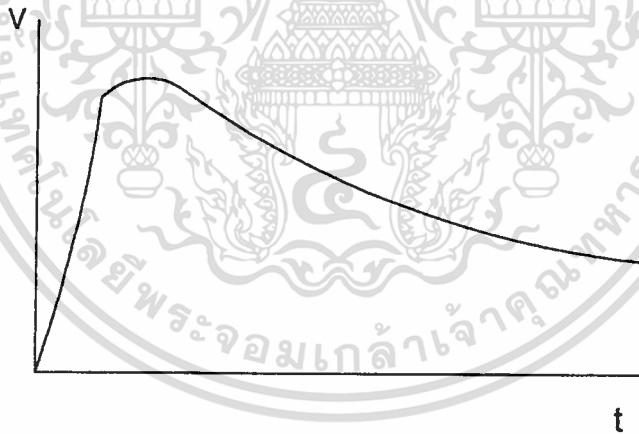
กระแสฟ้าผ่า เป็นค่าที่จำเป็นจะต้องรู้ในการออกแบบระบบป้องกันและการฉนวนของระบบ กระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นไม่ขึ้นกับความต้านทานทางพื้นดินนัก ความต้านทานระหว่างเส้นทางฟ้าผ่าลงมาถึงดิน มีค่าประมาณ 200-300 โอห์ม ส่วนความต้านทานบนพื้นดินจุดที่ฟ้าผ่าลงไปควรมีค่าไม่เกิน 30 โอห์ม (ถ้ามีการต่อลงดินดี) กระแสที่เกิดจากฟ้าผ่ามีขนาดที่อันตรายมากมีค่าอยู่ระหว่าง 2-200 KA ค่า rise time จาก 1-10 μ s และค่า duration time 100-1,000 μ s [13]

2.3.2 ศักดาไฟฟ้า

ศักดาไฟฟ้าของฟ้าผ่ามีค่าที่สูงมาก โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 5-50 ล้านโวลต์ ซึ่งเป็นขนาดที่มีอันตรายมาก สามารถสร้างความเสียหายให้เกิดขึ้นได้มาก [13]

2.3.3 รูปร่างของคลื่น

รูปร่างคลื่นของกระแสและศักดาไฟฟ้าเป็นแบบอิมพัลส์ ซึ่งการบอกถึงรูปร่างของอิมพัลส์ สามารถบอกได้ด้วยเวลาหน้าคลื่น (Front wave time) และเวลาหางคลื่น (Tail wave time) เช่น ลักษณะของคลื่นอิมพัลส์แบบ 1.2 / 50 หมายถึง เวลาที่ใช้สำหรับหน้าคลื่นที่ขึ้นจากศูนย์ไปถึงค่าสูงสุดใช้เวลา 1.2 μ s และเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มจนถึงขนาด 50% ของค่าสูงสุดทางด้านหลังคลื่นมีค่า 50 μ s ลักษณะของคลื่นฟ้าผ่าโดยทั่วไปมี เวลาหน้าคลื่นอยู่ระหว่าง 1-10 μ s และเวลาหลังคลื่นอยู่ระหว่าง 20-100 μ s [13]



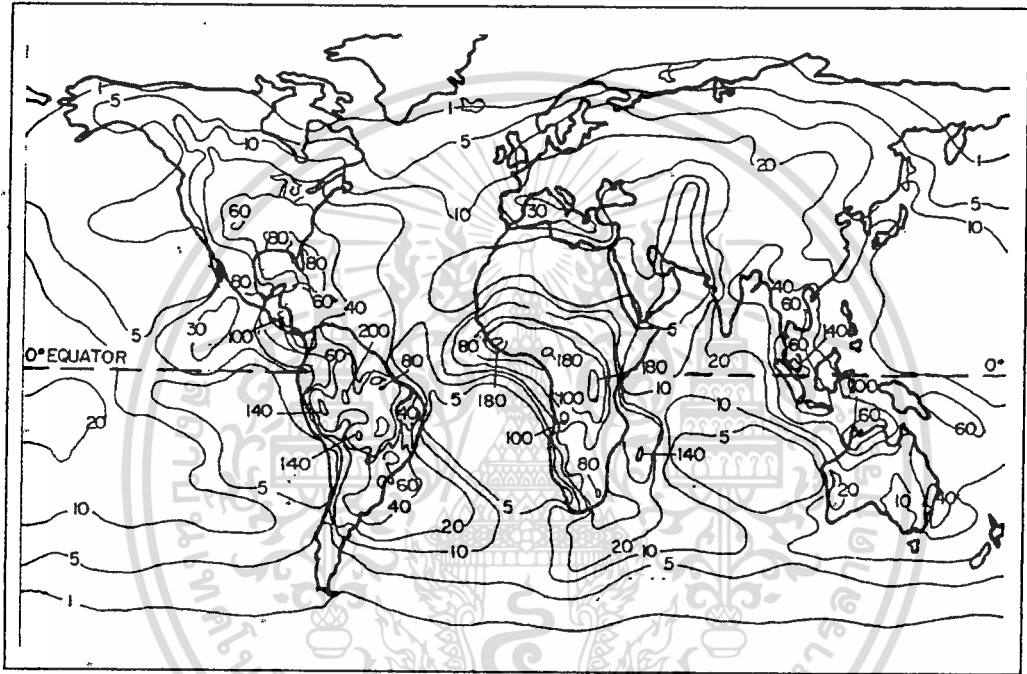
รูปที่ 2 รูปร่างคลื่นแบบอิมพัลส์

2.3.4 ชั่วและประจุ

จากการวัดชั่ว stroke ของฟ้าผ่าที่เกิดขึ้น เป็นจำนวนพัน ๆ ครั้ง พบว่าประมาณ 90% ของจำนวนฟ้าผ่าทั้งหมดมี stroke เป็นชั่วลบ ซึ่งหมายถึง ประจุที่อยู่ทางด้านล่างของก้อนเมฆโดยทั่ว ๆ ไปเป็นประจุลบ และเหนี่ยวนำให้เกิดประจุบวกขึ้นบนพื้นดิน ประจุของ stroke มีค่าอยู่ในช่วง 2-200 คูลอมป์ โดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 20 คูลอมป์ [13]

2.3.5 ความถี่ในการเกิด

การศึกษาความถี่ของการเกิดฟ้าผ่านั้น ทำให้สามารถทราบว่ามีบริเวณใดที่เกิดฟ้าผ่ามาก เพื่อการป้องกันให้มากขึ้น จำนวนของ stroke ที่เกิดขึ้นบนสายส่งโดยทั่วไปแล้ว มีจำนวนมากขึ้นเมื่อสายส่งมีความสูงเพิ่มขึ้น จำนวนฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นจริงนั้นวัดได้ยากมาก ดังนั้นในการศึกษาถึงความถี่ของฟ้าผ่าก็อาจใช้การพิจารณาได้จากจำนวนวันที่มีพายุฝนฟ้าคะนอง(Thunderday)ในปีหนึ่ง แม้วิธีนี้จะไม่บอกถึงจำนวนฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นจริงแต่ก็เป็นวิธีที่ทำได้ไม่ยากนัก แผนที่ที่แสดงถึงปริมาณวันที่เกิดฝนฟ้าคะนองในหนึ่งปีนี้เรียกว่า Isokeraunic map [2]



รูปที่ 3 Isokeraunic map [3]

2.3.6 ระยะฟ้าผ่า (Striking distance)

พารามิเตอร์สำคัญอีกค่าหนึ่งในกระบวนการเกิดฟ้าผ่าลงสู่พื้นโลกคือระยะฟ้าผ่า (Striking Distance) ซึ่งเป็นค่าที่สำคัญค่าหนึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

เมื่อก่อนเมฆมีประจุสะสมอยู่มาก ๆ จนเกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูงถึงค่าหนึ่ง ก็จะสร้างลำประจุหรือลีดเดอร์วิ่งลงมา ในขณะที่ลีดเดอร์วิ่งจากก้อนเมฆลงมา จะเกิดการเหนี่ยวนำประจุกับพื้นโลกหรือวัตถุบนพื้นโลก ซึ่งจะมีการสร้างสตรีมเมอร์ขึ้นมาเพื่อรับกับลีดเดอร์ที่วิ่งลงมา เมื่อมาถึงระยะหนึ่ง อากาศช่วงระหว่างลำลีดเดอร์กับบริเวณที่จะเกิดฟ้าผ่าจะกลายเป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดการถ่ายเทประจุลงสู่พื้นโลก หรือเกิดฟ้าผ่าลงที่บริเวณนั้น ซึ่งระยะนี้เรียกว่า ระยะฟ้าผ่า (Striking Distance) [7]

ค่าระยะฟ้าผ่านี้จะขึ้นกับประจุของก้อนเมฆหรือขึ้นกับกระแสฟ้าผ่านั่นเอง ถ้ากระแสฟ้าผ่ามีค่าสูง ค่าระยะฟ้าผ่าก็มาก ถ้าค่ากระแสฟ้าผ้าน้อยระยะฟ้าผ่าก็น้อย ระยะฟ้าผ่าจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 10-400

เมตร [1] ระยะฟ้าผ่านี้จะเป็นตัวกำหนดทิศทางของฟ้าผ่า และที่ค่ากระแสฟ้าผ่าค่าหนึ่งก็จะมีระยะฟ้าผ่าค่าหนึ่ง

กระแสฟ้าผ่า (KA)	ระยะฟ้าผ่า (เมตร)
3	16
10	40
30	101
100	266
150	368
200	460

ตารางที่ 1 ค่าระยะฟ้าผ่า

2.4 อันตรายจากฟ้าผ่า

จุดประสงค์ของการป้องกันฟ้าผ่า คือ การป้องกันอันตรายให้กับชีวิตมนุษย์ ทรัพย์สิน และความเสียหายต่าง ๆ ที่จะเกิดจากฟ้าผ่า ผลของฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นมีดังนี้

2.4.1. ผลทางด้านความร้อน

เมื่อวัตถุใดถูกฟ้าผ่าจะเกิดการถ่ายเทพลังงานมหาศาลอย่างรวดเร็ว ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้อาจสูงได้ถึง 30,000 องศาเซลเซียส ขึ้นกับขนาดกระแสฟ้าผ่า ซึ่งความร้อนขนาดสูงจะทำให้เกิดเพลิงไหม้หรืออาจเกิดระเบิดขึ้นได้ [14]

2.4.2 ผลทางด้านแรง

ฟ้าผ่านอกจากจะเกิดพลังงานความร้อนแล้วยังทำให้เกิดแรงทางกลขึ้นอีกด้วย ซึ่งเป็นแรงคูลอมปี ในตัวนำไฟฟ้าเมื่อมีกระแสไหลผ่าน ซึ่งกระแสฟ้าผ่ามีค่าที่สูงมากแรงนี้จึงมีค่ามาก แรงนี้อาจจะเป็นแรงดึง ดุดหรือแรงผลัก ขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสที่ไหลผ่าน การออกแบบระบบป้องกันจะต้องคำนึงถึงจุดนี้ด้วย แรงอีกแบบหนึ่งที่เกิดขึ้นคือ แรงที่เกิดจากความร้อนจวกฟ้าผ่า ซึ่งทำให้เกิดการขยายตัวของอากาศรอบ ๆ อย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้เกิดคลื่นเสียงแผ่ขยายออกไปรอบบริเวณ ซึ่งมีเสียงดังมาก [14]

2.4.3 ผลทางด้านไฟฟ้า

ผลอันนี้อาจถือได้ว่าเป็นผลข้างเคียงจากการเกิดฟ้าผ่า เมื่อเกิดฟ้าผ่าขึ้น จะมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปรบกวนระบบสื่อสารและระบบไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียง และยังเกิดศักย์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นเมื่อกระแสฟ้าผ่าไหลผ่านตัวนำ ซึ่งศักย์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำคำนวณได้ดังนี้ [14]

$$V = iR + L \frac{di}{dt} \quad \text{Volt.} \quad (1)$$

i คือ กระแสไฟฟ้า (A)

R คือ ความต้านทานของดิน (ohm)

L คือ ความเหนียวนำของสายนำลงดิน (Henry)

$\frac{di}{dt}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าต่อเวลา (A/s)

ค่าศักย์ไฟฟ้าเหนียวนำที่สูงพอ จะทำให้เกิดการสปาร์คด้านข้าง (side flashing) ได้ ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายรุนแรงขึ้นได้ นอกจากนี้เมื่อฟ้าผ่าลงบนสายตัวนำล่อฟ้าของสายส่งไฟฟ้ายังก่อให้เกิดแรงดันเสริจวิ่งตามสายส่งด้วย ซึ่งแรงดันเสริจนี้ ขึ้นกับความต้านทานเสริจของสายส่งด้วย [14]

2.5 อันตรายของฟ้าผ่าต่อสิ่งมีชีวิต

ร่างกายของคนมีความต้านทานต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า โดยทั่วไปกระแสไฟฟ้า 1 มิลลิแอมป์ก็สามารถทำให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อได้ ร่างกายของคนมีความต้านทานแตกต่างกันออกไปขึ้นกับสภาพผิวและ บริเวณที่เกิดการสัมผัสกับแรงดันไฟฟ้า Freiburger (พ.ศ. 2477) ได้ทำการศึกษาวิจัยที่แผนกเก็บศพพบว่า การป้อนแรงดันกระแสสลับขนาดต่างกัน ทำให้ความต้านทานของร่างกายมีค่าต่างกัน ความต้านทานจากมือข้างหนึ่งถึงขาข้างหนึ่งมีค่าดังในตารางที่ 1 [15]

แรงดัน AC (volt)	ความต้านทานของร่างกาย(โอห์ม)	
	ช่วงที่วัดได้	ค่าเฉลี่ย
350	945-2100	1500
500	700-1300	1200

ตารางที่ 2 ความต้านทานของร่างกาย

นอกจากนี้ ยังได้พบว่าค่าความต้านทานจะลดลงไป 25% หลังจากที่เวลาที่มีแรงดันผ่านไป 3 วินาที ดังนั้นที่แรงดันไม่เกิน 500 โวลท์จึงกำหนดให้ค่าความต้านทานเฉลี่ยของร่างกายประมาณ 900 โอห์ม ทำให้มีกระแสผ่านร่างกายจากช่วงมือถึงขาไว้สูงถึง 245 มิลลิแอมป์ ที่แรงดัน 220 โวลท์ สำหรับแรงดันฟ้าฟ้านิยมใช้ความต้านทานของร่างกายประมาณ 1,000 โอห์ม [15]

ร่างกายได้รับอันตรายจากกระแสไฟฟ้าโดยมีอาการที่เกิดขึ้นโดยทันที 3 อย่าง คือ

ก. การทำงานผิดปกติของกล้ามเนื้อหัวใจ

ข. การหยุดหายใจ

ค. การไหม้ในบริเวณที่มีกระแสไหลผ่านสูง

ฟ้าผ่าโดยทั่วไปมีแรงดันสูงถึง 10^7 โวลท์ และมีประจุไฟฟ้ามากถึง 20 คูลอมป์ ทำให้สามารถถ่ายเทพลังงานลงสู่ดินได้ถึง 20×10^7 วัตต์วินาที หรือ 55 กิโลวัตต์ชั่วโมง พลังงานนี้มีบางส่วนจำนวนน้อยใช้ไปในการทำให้อากาศสูญเสียสภาพฉนวนพลัน ทำให้เกิดความร้อนที่วัตถุที่ถูกฟ้าผ่า ฟ้าผ่าเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต อาจจำแนกออกตามลักษณะการถูกฟ้าผ่าได้ 4 ลักษณะ คือ

2.5.1 การถูกฟ้าผ่าโดยตรง (Direct strike)

การถูกฟ้าผ่าโดยตรงเป็นอันตรายอย่างมาก ถ้าร่างกายมีความต้านทาน 1,000 โอห์ม และกระแสฟ้าผ่ามีค่าประมาณ 1,000 แอมแปร์ แรงดันคร่อมคนที่ถูกฟ้าผ่าตรงศีรษะจึงมีค่าประมาณ 1,000 กิโลโวลต์ และทำให้เกิดการวาบไฟตามผิวหนังหรือการอาร์กในอากาศที่จะทำให้แรงดันตกคร่อมคนลดลง เช่น ความยาวของการอาร์กประมาณ 2 เมตรจะมีแรงดันคร่อมคนประมาณ 4 กิโลโวลต์ หรือ 20 โวลต์ต่อซม. ถ้าร่างกายยังมีความต้านทานเท่าเดิม กระแสที่ไหลผ่านร่างกายจะลดลงเป็น 4 แอมป์ ก็อาจจะทำให้คนที่ถูกฟ้าผ่าไม่เป็นอันตรายถึงชีวิต [15]

2.5.2 การเกิดแรงดันสัมผัส (Contact voltage)

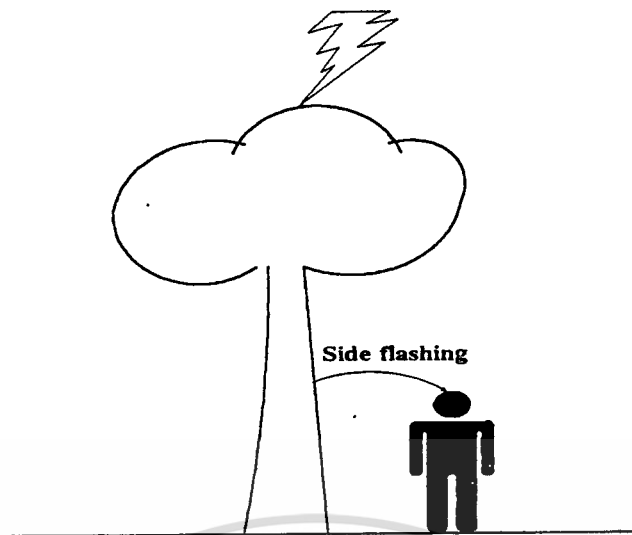
ในกรณีที่คนสัมผัสกับวัตถุที่ถูกฟ้าผ่า จะทำให้เกิดแรงดันสัมผัส (contact voltage) ได้ เช่น คนที่ยืนพิงต้นไม้ที่ถูกฟ้าผ่า คนสัมผัสกับท่อประปาขณะที่เกิดฟ้าผ่าและมีกระแสไหลผ่านท่อประปาลงสู่ดิน ถ้าแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงก็จะมีกระแสไหลผ่านร่างกายลงสู่ดิน [15]



รูปที่ 4 การเกิดแรงดันสัมผัส

2.5.3 การเกิดประกายฟ้าผ่าด้านข้าง (side flash)

ในกรณีที่คนยืนอยู่ใกล้กับวัตถุที่ถูกฟ้าผ่าจะเกิดประกายฟ้าผ่าด้านข้าง (side flash) ขึ้นได้ เช่น คนที่ยืนอยู่ใกล้ต้นไม้ที่ถูกฟ้าผ่า เนื่องจากต้นไม้มีความต้านทานสูง อาจเป็นกิโลโอห์ม ในขณะที่เกิดฟ้าผ่าลงที่ต้นไม้ คนที่ยืนอยู่ใกล้ ๆ ยังคงมีแรงดันเป็นศูนย์เท่ากับพื้นดิน ดังนั้นที่จุดระหว่างศีรษะกับต้นไม้จะมีแรงดันเนื่องจากฟ้าผ่า ซึ่งอาจมีขนาดสูงเพียงพอที่จะทำให้อากาศสูญเสียสภาพฉนวนและเกิดประกายฟ้าผ่าด้านข้างไปยังศีรษะ จึงมีกระแสไหลผ่านร่างกายลงสู่ดิน [15]

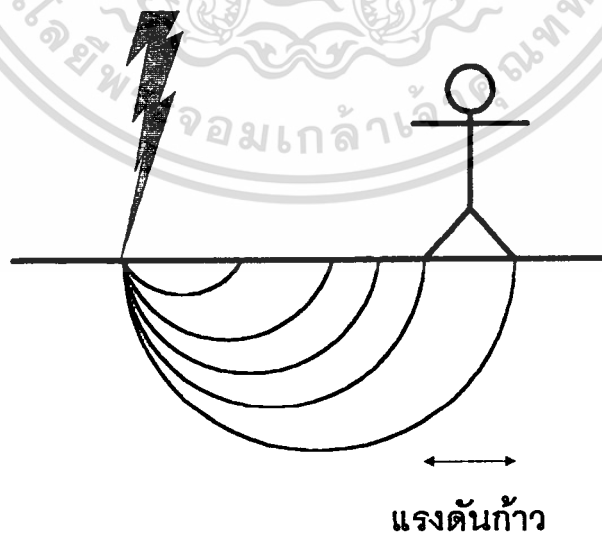


รูปที่ 5 ประกายฟ้าผ่าด้านข้าง

2.5.4 การเกิดแรงดันก้าว (step voltage)

การเกิดฟ้าผ่าลงสู่ดิน จะมีการไหลของกระแสลงสู่ดิน การกระจายของกระแสในดินทำให้เกิดความต่างศักย์ภายในดินและผิวดินรอบ ๆ ตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า แรงดันระหว่างช่วงเท้าหน้าและหลังจะมีความต่างศักย์เกิดขึ้น เรียกว่า แรงดันก้าว (step voltage)

แรงดันก้าวอาจทำให้เกิดกระแสไหลผ่านขาทั้งสองข้างและส่วนอื่น ๆ ของร่างกาย ถ้าคนยืนให้เท้าอยู่ชิดกันก็จะมีแรงดันก้าวต่ำลง และไม่เป็นอันตราย [15]



รูปที่ 6 แรงดันก้าว

บทที่ 3

หลักการของระบบป้องกันฟ้าผ่า

การป้องกันฟ้าผ่าจะทำในบริเวณที่มีโอกาสถูกฟ้าผ่า และจะเกิดความเสียหายขึ้นได้ การป้องกันฟ้าผ่ามีการทำกันมานานแล้ว การป้องกันอย่างมีหลักการนั้นเริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1760 เมื่อ เบญจามิน แฟรงคลิน (Benjamin Franklin) [12] ได้พบว่ามี การถ่ายเทประจุมหาศาลจากท้องฟ้าลงสู่พื้นโลก ดังนั้นจึงคิดประดิษฐ์ตัวนำล่อฟ้าขึ้นมาจากแนวความคิดที่ว่า ฟ้าจะผ่าลงสู่บริเวณหรือจุดที่อยู่สูงกว่า โดยใช้ตัวนำล่อฟ้าติดบนวัตถุหรือสิ่งที่ป้องกัน เพื่อให้ฟ้าผ่าที่แทงตัวนำนี้แทนที่ตัวนำที่ล่อฟ้านี้ นิยมเรียกกันว่า Franklin Rod ตามชื่อผู้คิดค้น การป้องกันฟ้าผ่าโดยใช้หลักการของ Franklin Rod นั้นเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันมากจนถึงปัจจุบันนี้ แต่ก็มี การพัฒนารูปแบบตัวนำล่อฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากตัวนำล่อฟ้าแบบ Franklin Rod นั้นเป็นตัวนำปลายแหลม ซึ่งเป็นผลให้การสร้างสตริมเมอร์ของตัวนำอาจ เกิดได้ยากกว่าบริเวณรอบข้าง ซึ่งจะเป็นผลให้มีฟ้าผ่าลงไปที่บริเวณรอบข้างได้ ดังนั้นการพัฒนาตัวนำล่อฟ้าในปัจจุบันนี้จึงพยายามให้ตัวนำล่อฟ้าที่ใช้มีศักยภาพในการสร้างสตริมเมอร์เท่ากับวัตถุอื่นที่อยู่รอบหรือดีกว่า อาจกล่าวได้ว่าตัวนำล่อฟ้าไม่ควรจะมีประจุโคโรนาที่ความเครียดไฟฟ้าสูง [10]

ในปี ค.ศ. 1876 เคลิก แมกเวลล์ (Clerk Maxwell) [12] ได้เสนอแนวคิดของกรงฟาราเดย์ (Faraday Cage) ในการป้องกันฟ้าผ่า กรงฟาราเดย์ คือ กรงโลหะที่ล้อมรอบสิ่งที่ต้องการป้องกันอยู่ให้ปลอดภัยจากอันตรายจากฟ้าผ่า กรงฟาราเดย์นี้ถ้ามีการออกแบบให้ถูกต้องแล้ว นอกจากจะป้องกันผลจากฟ้าผ่าโดยตรงแล้ว ยังช่วยป้องกันผลจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากฟ้าผ่าได้อีกด้วย ซึ่งในบริเวณที่มีความสำคัญ เช่น ห้องควบคุมการบิน จำเป็นต้องใช้กรงฟาราเดย์ในการป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า

3.1 การพิจารณาออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าแบบตัวนำล่อฟ้า

ในการพิจารณาดัดตั้งออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่านั้น สิ่งแรกที่ต้องพิจารณาคือ ความจำเป็นที่จะมีระบบป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งแต่ละสถานที่ก็มีความจำเป็นในการป้องกันไม่เท่ากัน ซึ่งในมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าของต่างประเทศ เช่น ในมาตรฐานของออสเตรเลีย [8] จะมีการกำหนดคำนวณค่าความเสี่ยงและชนิดของสถานที่เพื่อกำหนดการป้องกันไว้ มาตรฐานของเยอรมันจะกำหนดชนิดของอาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่ต้องมีการป้องกันไว้

ในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าแบบตัวนำล่อฟ้า นั้น จะต้องพิจารณาแต่ละส่วนของระบบป้องกัน ซึ่งระบบตัวนำล่อฟ้าจะประกอบไปด้วย

3.1.1 ตัวนำล่อฟ้า

ตัวนำล่อฟ้านี้อาจประกอบด้วยแท่งตัวนำในแนวตั้ง (Vertical Rod) หรือตัวนำในแนวราบ (Horizontal Conductor) หรืออาจใช้ทั้ง 2 อย่างทำงานร่วมกัน หน้าที่ของส่วนนี้ก็คือเป็นตัวล่อประจุจากก้อนเมฆให้มาลง

ที่ตัวมันแทนบริเวณที่มีการป้องกันไว้ ถ้าฟ้าผ่าที่ผ่าลงตัวนำล่อฟ้าจะก่อให้เกิดความร้อนสูงมากที่บริเวณจุดสัมผัส ซึ่งเป็นการอาร์คทางไฟฟ้า การอาร์คนี้มีศักดาไฟฟ้าตกคร่อมประมาณ 10-20 Volt ที่ผิวของตัวนำซึ่งค่าของศักดาไฟฟ้าขึ้นกับกระแสฟ้าผ่า พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นที่ตัวนำจะแสดงได้ดังนี้ [7]

$$W = U \int_0^Q idt = UQ \quad \text{Joule} \quad (2)$$

W คือ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น หน่วยเป็นจูล

U คือ ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวนำ หน่วยเป็นโวลต์

Q คือ ประจุที่ไหลผ่านตัวนำระหว่างถูกฟ้าผ่า หน่วยเป็นคูลอมบ์

ถ้าพลังงานนี้มีค่าสูงมากพออาจจะทำให้แท่งโลหะตัวนำหลอมเหลวได้ สำหรับโลหะที่นิยมทำแท่งตัวนำจะมีค่าหลอมเหลวต่อปริมาตร ดังนี้ [7]

อลูมิเนียม 7.3 mm³/coulomb

ทองแดง 3.4 mm³/coulomb

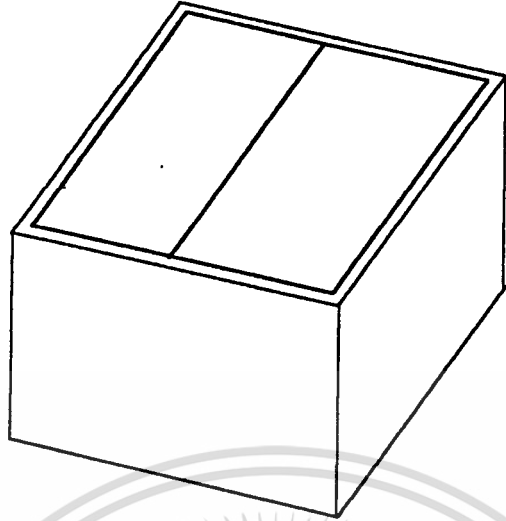
เหล็ก 1.9 mm³/coulomb

จากการเก็บข้อมูลทางด้านฟ้าผ่าพบว่า ประจุฟ้าผ่าสามารถมีค่าได้สูงสุดถึง 350 คูลอมบ์ ซึ่งการออกแบบตัวนำล่อฟ้าในส่วนนี้ ต้องคำนึงถึงผลของความร้อนนี้ด้วย ไม่ให้สูงเกินไปจนเกิดลุกติดไฟได้

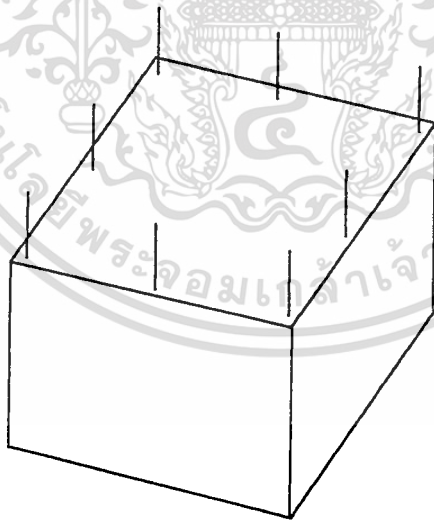
ในบางประเทศได้มีการกำหนดขนาดอย่างต่ำของตัวนำล่อฟ้าไว้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติไว้ เช่น ตามตารางข้างล่างนี้ [2][16]

ประเทศ	เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวนำ (mm)		
	Cu	Al	Fe
ออสเตรเลีย	10	10	10
ออสเตรีย	8	10	8
เยอรมัน	8	10	8
อังกฤษ	10	10	10
แอฟริกาใต้	6	6	6
สวีเดน	6	9	6
อเมริกา	6.5	-	-
ไทย	8	-	8

ตารางที่ 3 ขนาดอย่างต่ำของแท่งตัวนำล่อฟ้า



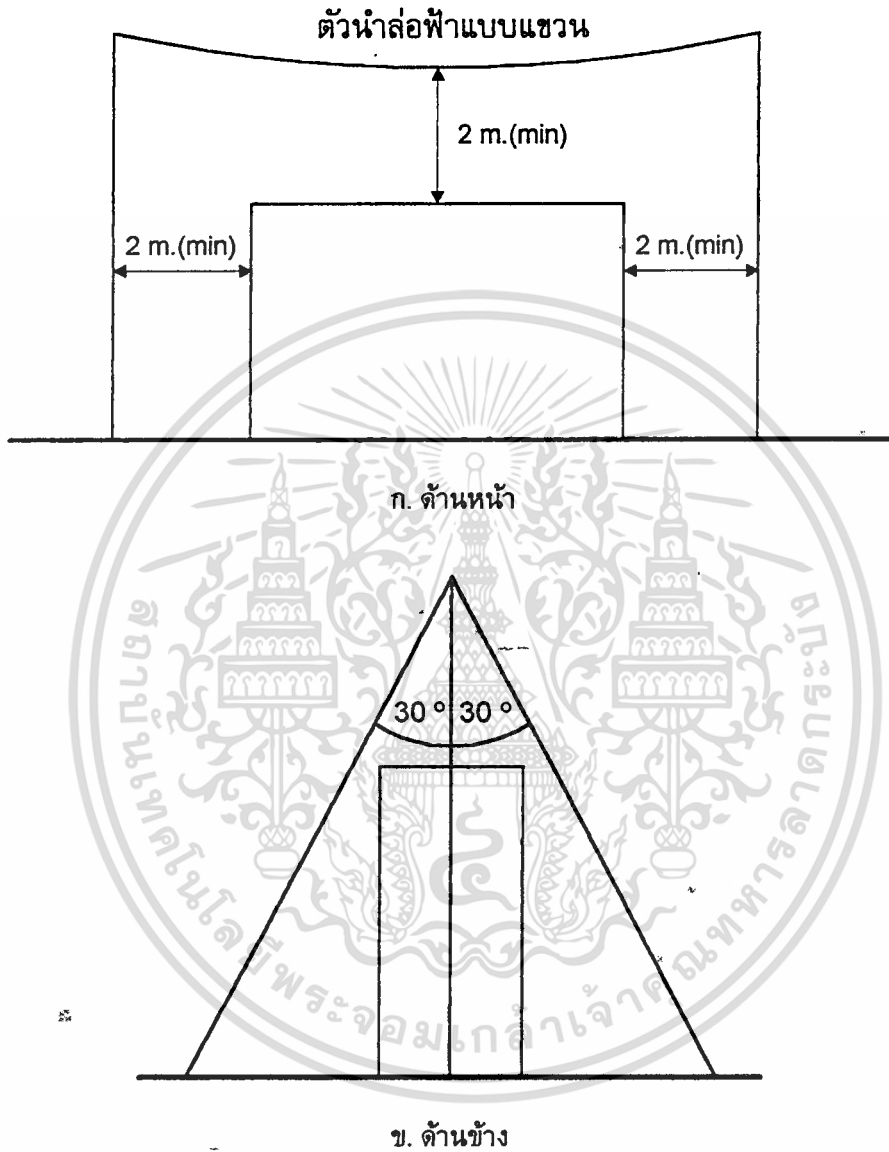
รูปที่ 7 ตัวนำหล่อฟ้าแบบแนวราบ



รูปที่ 8 ตัวนำหล่อฟ้าแบบแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อ**13** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน BS 6651 [9] ได้แนะนำรูปแบบการป้องกันแบบพิเศษสำหรับอาคารที่เก็บสารเคมีที่เป็นอันตรายหรือวัตถุไวไฟไว้ ซึ่งมีลักษณะตามรูปที่ 9



รูปที่ 9 การป้องกันอาคารเก็บสารอันตราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 สายนำลงดิน (Down Conductor)

สายนำลงดินทำหน้าที่นำประจุจากฟ้าผ่าถ่ายเทลงสู่ดิน สายนำลงดินต้องมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ การเดินสายนำลงดินควรจะใช้จำนวนเส้นให้น้อยที่สุด เพื่อป้องกันผลจากการเกิด Side Flashing ลักษณะสายตัวนำควรมีขนาดใหญ่และมีฉนวนหนาหุ้ม สายตัวนำควรเป็นเส้นเดียวกันตลอดไม่มีรอยต่อ ฉนวนระหว่างตัวนำของสายตัวนำลงดิน ต้องทนแรงดันอิมพัลส์ได้ไม่ต่ำกว่า 250 KV ที่รูปคลื่นแบบ 1/50 [15]

สายนำลงดินต้องสามารถทนผลของความร้อนจากกระแสฟ้าผ่าได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ในการใช้สายตัวนำลงดินหลายเส้น จะช่วยลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายตัวนำได้ แต่จำนวนสายนำลงดินไม่ควรเกินตามมาตรฐานที่มีการกำหนดไว้

ข้อกำหนดจำนวนของสายนำลงดินมีการกำหนดดังนี้ [15]

1. ถ้าอาคารสูงน้อยกว่า 30 เมตร พื้นที่อาคารมีขนาดไม่เกิน 100 ตารางเมตร ใช้สายนำลงดิน 1 เส้น
2. ถ้าอาคารสูงน้อยกว่า 30 เมตร พื้นที่อาคารมีขนาดเกิน 100 ตารางเมตร ให้เลือกใช้แบบใดแบบหนึ่งที่มีจำนวนสายนำลงดินน้อยกว่า
 - 2.1 ถ้าพื้นที่เพิ่มขึ้นทุก 300 ตารางเมตร ให้เพิ่มอีก 1 สาย
 - 2.2 ถ้าวัดโดยรอบได้ทุก 30 เมตร ให้มีสายนำลงดินเพิ่ม 1 สาย
3. ถ้าอาคารสูงกว่า 30 เมตร ให้มีจำนวนสายนำลงดินตามพื้นที่ของอาคารดังในตาราง [15]

พื้นที่ (ตารางเมตร)	จำนวนสายนำลงดิน
100-400	2
400-700	3
700-1000	4
1000-1300	5
1300-1600	6
1600-1900	7

ตารางที่ 4 จำนวนสายนำลงดินกับขนาดของพื้นที่

สายนำลงดินต้องต่อถึงกันทุกระยะความสูง 20 เมตร เพื่อลดผลการเกิดแรงดันเหนี่ยวนำ ควรแยกสายให้ห่างจากท่อแก๊สและท่อไฟฟ้าต่าง ๆ

อาคารสถานที่ที่มีโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือ เป็นโครงเหล็ก อาจใช้โครงเหล็กเป็นสายนำลงดินได้ โดยไม่ต้องเดินสายนำลงดิน โครงเหล็กที่ใช้เป็นสายนำลงดินต้องมีการต่อเชื่อมอย่างถูกต้องตลอดความยาวของเสา และโครงสร้างนี้ต้องเชื่อมต่อกับตัวนำล่อฟ้าอย่างถูกต้องด้วย [14]

3.1.3 รากสายดิน (Earth Terminal)

รากสายดินเป็นโลหะเปลือยที่ฝังหรือตกลงไปในดินลึก เพื่อการถ่ายเทประจุของกระแสฟ้าผ่าสู่ดินอย่างมีประสิทธิภาพ ความต้านทานของรากสายดิน คือ ค่าที่เป็นอัตราส่วนของความต่างศักย์ของตำแหน่งอิเล็กโทรดกับตำแหน่งที่ห่างออกไปตามพื้นดินต่อกระแสฟ้าผ่า ความต้านทานของรากสายดินจึงเป็นความต้านทานของดินบริเวณรอบอิเล็กโทรด ความต้านทานของรากสายดินนี้ ขึ้นกับขนาดของตัวนำที่ใช้ทำราก

สายดินและขึ้นกับสภาพความต้านทานดินในบริเวณนั้นด้วย [15]

สภาพของพื้นดิน	ความต้านทาน ($\Omega\text{-m}$)
น้ำทะเล	0.2
น้ำจืดตามธรรมชาติ	10-50
ดินแฉะ	30-50
ดินเหนียวที่เปียก	50
ดินชั้น	100
ดินปนทรายชั้น	150
ทรายชั้น	200
ดินกรวดชั้น	500
ดินปนกรวดทรายแห้ง	1000
หินภูเขา	1000-10000

ตารางที่ 5 ความต้านทานของดิน

ในทางปฏิบัติรากสายดินควรมีค่าความต้านทานต่ำให้มากที่สุด ไม่ควรมีค่าเกิน 10 ohm วัสดุที่ใช้ทำอาจจะทำจาก เหล็ก ทองแดงหรืออลูมิเนียม รูปร่างของรากสายดินอาจจะเป็นแบบแท่ง แบบแผ่น หรือแบบสายยาวฝังดิน รากสายดินควรฝังในดินให้ลึกลงสู่ที่ชื้น

การวางรากสายดิน อาจแบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ [15]

- ก. แบบตอกลงในแนวตั้งด้วยแท่งอิเล็กโทรด
- ข. แบบฝังอยู่ในแนวนอนใต้ดิน อาจใช้แผ่นอิเล็กโทรดสายตัวนำวางเป็นแนวเดียว หรือเป็นหลายแนว หรือวางเป็นวงแหวน
- ค. แบบฝังด้วยสายตัวนำยาวหรือที่เรียกว่า Counterpoise ซึ่งอาจจะมีการตอกแท่งอิเล็กโทรดลงในแนวตั้งที่ละช่วงเพื่อลดผลการเกิดอิมพีแดนซ์เสร็จ แบบนี้อาจนำมาใช้กับกรณีที่อยู่บนภูเขามีสั้หินมีมาก และอยู่ติดทะเล อาจฝังตัวนำลงสู่ทะเลที่มีสภาพความต้านทานต่ำมาก

บางประเทศได้มีการกำหนดขนาดอย่างต่ำของแท่งตัวนำที่ใช้เป็นอิเล็กโทรดต่อลงดิน ดังนี้ [2][16]

ประเทศ	เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวนำ(mm)	
	Cu	Fe
ออสเตรเลีย	10	-
ไทย	8	10
เยอรมัน	8	10
อังกฤษ	10	-
อัฟริกาใต้	6	6
สวีตเซอร์แลนด์	6	8

ตารางที่ 6 ขนาดอย่างต่ำของแท่งตัวนำฝังดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ 16 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

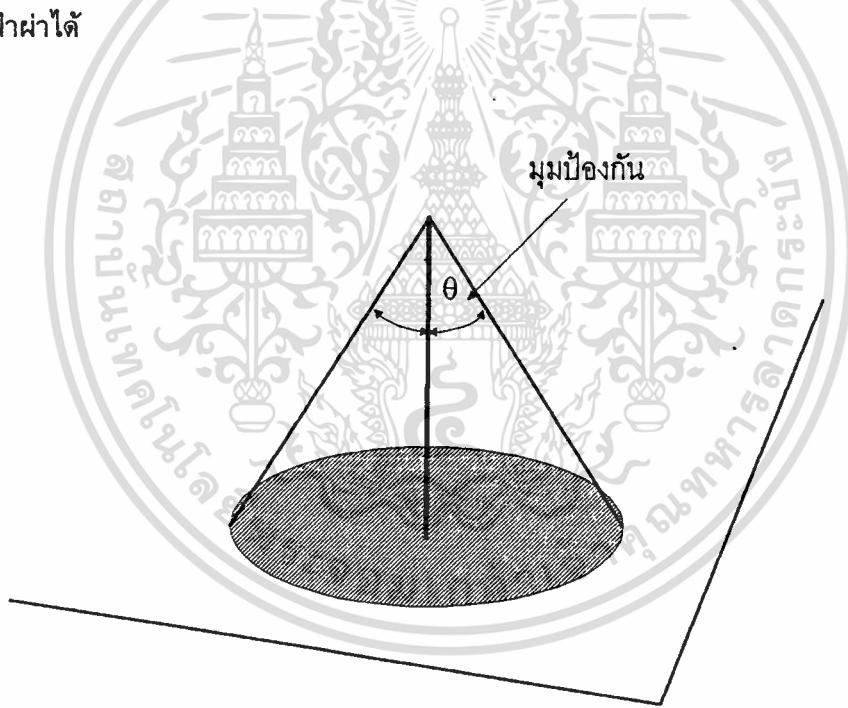
3.2 ขอบเขตของการป้องกัน (Zone of Protection)

แนวคิดหลักของการป้องกันฟ้าผ่า คือ ในบริเวณที่ได้ออกแบบป้องกันไว้ จะไม่มีฟ้าผ่าลง ในบริเวณนั้น ซึ่งถ้าตามแนวคิดนี้แล้ว วัตถุหรือบริเวณที่ป้องกัน จะไม่ถูกฟ้าผ่าเลย แต่ในทางปฏิบัติแล้ว พบว่าการป้องกันฟ้าผ่าแบบกำหนดขอบเขตการป้องกันก็ยังพบความผิดพลาดขึ้นได้

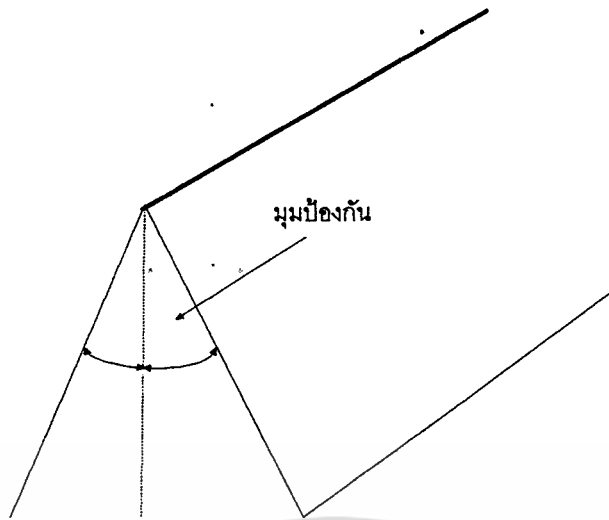
3.2.1 วิธีมุมป้องกัน (Protection Angle)

นักวิจัยหลายคนได้กำหนดบริเวณที่ป้องกันได้โดยใช้วิธีมุมป้องกัน (Protection Angle) มุมป้องกันนี้มีหลักการคือ เมื่อลากเส้นตรงจากยอดของตัวนำล่อฟ้าทำมุมกับยอดตัวนำเป็นค่ามุมป้องกัน แล้วเคลื่อนเส้นตรงนี้ไปรอบแท่งตัวนำ ก็จะได้พื้นที่การป้องกันของแท่งตัวนำล่อฟ้า หรือในกรณีที่เป็นตัวนำแนวนอนก็ลากเส้นตรงทำมุมกับแนวตั้งเป็นค่ามุมป้องกันจากยอดตัวนำ ซึ่งบริเวณที่อยู่ภายในเส้นตรงถือว่าอยู่ในขอบเขตของการป้องกัน ค่ามุมป้องกันปัจจุบันมักจะกำหนดให้มีค่า 45 องศา [8][9]

การออกแบบขอบเขตการป้องกันโดยวิธีมุมป้องกันนี้ เป็นที่นิยมใช้กันมาก การคำนวณออกแบบสามารถทำได้ง่าย ตัวนำล่อฟ้าแบบแท่งตัวนำหรือแบบสายตัวนำ ก็สามารถที่จะใช้วิธีนี้ในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าได้



รูปที่ 10 มุมป้องกันของตัวนำล่อฟ้าแบบแท่ง



รูปที่ 11 มุมป้องกันของตัวนำล่อฟ้าแบบแนวนอน

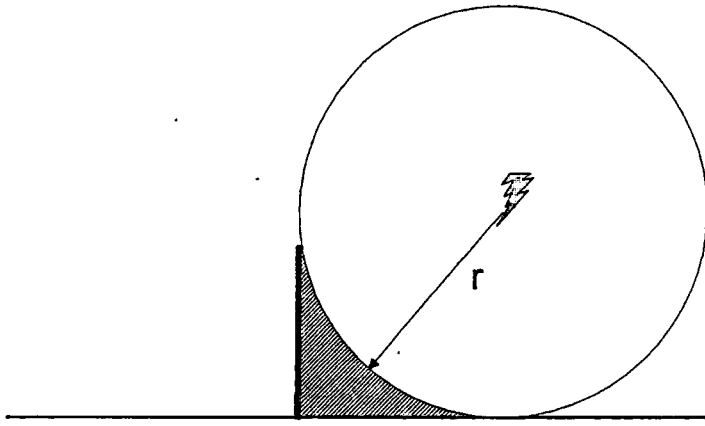
3.2.2 วิธี Rolling Sphere

สำหรับอาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่มีความสูงต่ำกว่า 20 เมตรใช้หลักการมุมป้องกันได้ แต่ถ้าอาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่มีความสูงเกินกว่า 20 เมตรแล้ว ควรใช้วิธี Rolling sphere [8]

สำหรับสิ่งก่อสร้างที่มีความสูงเกิน 20 เมตร ขอบเขตการป้องกันจะพิจารณาอย่างมีหลักการที่มากขึ้น การคิดขอบเขตการป้องกันแบบ Rolling sphere นี้ จะนำค่าระยะฟ้าผ่ามาใช้พิจารณาด้วย หลักการของวิธี Rolling sphere อธิบายได้คือ เมื่อลีดเดอร์วิ่งมาถึงค่าระยะฟ้าผ่าของมัน ถ้าลากเส้นทางจากตำแหน่งของลีดเดอร์ไปรอบ ๆ เป็นระยะฟ้าผ่า(r) จะได้ทางเดินของเส้นตรงเป็นรูปทรงกลม ซึ่งพื้นที่ได้ส่วนโค้งก็คือขอบเขตการป้องกันตามวิธีนี้

เมื่อพิจารณาดูแล้วจะเห็นว่า ขอบเขตการป้องกันของวิธี Rolling sphere นี้ เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าของสายส่งไฟฟ้ากำลัง เนื่องจากในสายส่งไฟฟ้าถ้าใช้วิธีมุมป้องกันนอกแบบขอบเขตการป้องกันแล้วอาจจะมีส่วนที่อยู่นอกขอบเขตการป้องกันวิธี Rolling sphere ได้

โดยทั่วไปแล้ว มักจะกำหนดค่ารัศมีของทรงกลม (Sphere) ให้มีค่า 50-60 เมตร เช่น มาตรฐานของออสเตรเลียกำหนดรัศมีทรงกลมไว้เท่ากับ 60 เมตร [8] มาตรฐานของอเมริกากำหนดให้เท่ากับ 50 เมตร ซึ่งที่เลือกค่านี้เพราะระยะฟ้าผ่าค่านี้และที่สูงกว่ามีโอกาสเกิดขึ้นได้มากกว่า 50% [8] ซึ่งถ้าต้องการความปลอดภัยสูงก็จะเลือกค่ารัศมีทรงกลมที่น้อยกว่านี้ ซึ่งอาจเลือกใช้ค่ารัศมีทรงกลมนี้เป็นการกำหนดค่าความเสี่ยงของระบบป้องกันฟ้าผ่าได้



รูปที่ 12 Rolling sphere



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา¹⁹ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

สถิติการกระจายทางฟ้าผ่า

ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่งที่ไม่สามารถกำหนดความแน่นอนได้ การศึกษาวิจัยในการป้องกันฟ้าผ่าจึงเป็นเรื่องของการประมาณตามหลักการทางวิชาการ ดังนั้นในการศึกษาจึงต้องมีความรู้ความเข้าใจในลักษณะของฟ้าผ่าในธรรมชาติ สถิติการกระจายของฟ้าผ่ามีการทำการเก็บรวบรวมข้อมูลกันไว้ และได้กำหนดไว้เป็นมาตรฐานเพื่อความสะดวกในการอ้างอิงถึง ซึ่งในหลาย ๆ มาตรฐานนั้น เมื่อเปรียบเทียบลักษณะข้อมูลแล้วก็มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งในที่นี้จะอ้างอิงถึงข้อมูลจากมาตรฐานของอังกฤษ (British Standard) BS 6651-1992 "Protection of Structure Against Lightning"[9] ซึ่งในงานวิจัยเกี่ยวกับฟ้าผ่าส่วนมากแล้วก็มีมักจะอ้างอิงถึงข้อมูลนี้

4.1 การกระจายของกระแสฟ้าผ่า

การศึกษาถึงลักษณะการกระจายของกระแสฟ้าผ่าตามธรรมชาติย่อมจะดีกว่าการใช้ค่าเฉลี่ยของกระแสฟ้าผ่าในการศึกษา เนื่องจากลักษณะกระแสฟ้าผ่าที่พบมา มีการกระจายค่าอยู่ในช่วงที่กว้างมากและพบว่ากระแสฟ้าผ่าที่ค่าต่าง ๆ มีโอกาสการเกิดที่ค่อนข้างแน่นอน ค่ายอดของกระแสฟ้าผ่าจะอยู่ในช่วงประมาณ 2-200 KA และการกระจายที่พบเห็นในธรรมชาติอยู่ในลักษณะ logarithmic normal distribution ซึ่งมีข้อมูลดังนี้ [9]

- 1% ของกระแสยอดฟ้าผ่ามีค่าเกิน 200 KA
- 10% ของกระแสยอดฟ้าผ่ามีค่าเกิน 80 KA
- 50% ของกระแสยอดฟ้าผ่ามีค่าเกิน 28 KA
- 90% ของกระแสยอดฟ้าผ่ามีค่าเกิน 8 KA
- 99% ของกระแสยอดฟ้าผ่ามีค่าเกิน 3 KA

ลักษณะการกระจายแบบ log normal distribution สามารถเขียนให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ ดังนี้ [7]

$$P(i > I) = 1 - \phi\left(\frac{1}{S} \ln \frac{I}{I_m}\right) \quad (3)$$

ซึ่งหมายถึงโอกาสที่ค่ากระแสฟ้าผ่า i จะน้อยกว่า I เท่ากับฟังก์ชัน ϕ ϕ คือ ฟังก์ชันการกระจายของ Gaussian error function I_m คือ ค่ากึ่งกลางของการกระจายหรือค่ากระแสที่มีโอกาสเกิดขึ้น 50% S คือค่าสัมประสิทธิ์การเบี่ยงเบนของการกระจาย []

Gaussian error function ของค่า X จะหาได้จาก [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x \exp(-t^2/2). dt \quad (4)$$

ซึ่งค่าต่าง ๆ ของฟังก์ชันนี้ คือ $\phi(-\infty) = 0$ $\phi(0) = 0.5$ $\phi(+\infty) = 1$
ค่า S หาได้จาก [7]

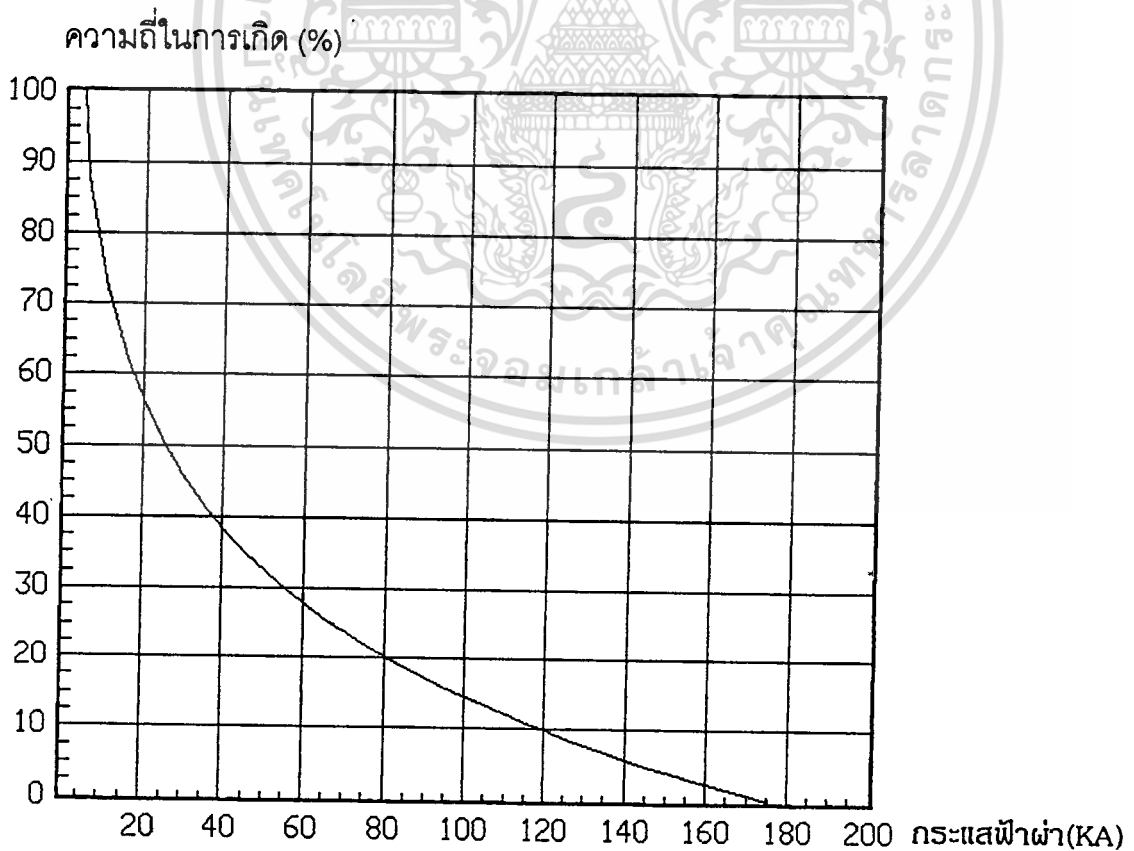
$$S = \ln \frac{I_s}{I_m} \quad (5)$$

เมื่อ I_s คือ ค่ายอดของกระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นด้วยโอกาส 0.1587 (ประมาณ 16 %)

I_m คือ ค่ายอดของกระแสที่เกิดขึ้นด้วยโอกาส 50 %

ดังนั้นหาค่า S ได้ประมาณ 1.22

จากข้อมูลจะเห็นว่า ค่ากระแสฟ้าผ่าที่ค่าสูงมากและต่ำมากมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก ซึ่งในระบบป้องกันฟ้าผ่าส่วนใหญ่ที่ออกแบบโดยต้องการลดค่าใช้จ่ายลง จะเลือกออกแบบที่ค่ากระแสฟ้าผ่าที่ต่ำลงเพื่อลดขนาดของตัวนำ สายตัวนำ และอื่น ๆ แต่ในระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูงก็จำเป็นต้องคิดที่กระแสสูงสุดเพื่อป้องกันอันตรายทั้งทางตรงและทางอ้อม ในระบบที่ต้องการประหยัดค่าใช้จ่ายอาจใช้จำนวนตัวนำล่อฟ้าให้น้อยลงหรือความยาวของตัวนำให้น้อยลง แต่ในระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูงก็จำเป็นต้องพิจารณาผลที่ค่ากระแสต่ำ ๆ ด้วย ซึ่งอาจเป็นการเลือกค่ามุมป้องกันที่น้อยลง หรือรัศมีของ Rolling Sphere ที่สั้นลง



รูปที่ 13 การกระจายของค่ากระแสฟ้าผ่า

4.2 การกระจายของระยะฟ้าผ่า

ค่าระยะฟ้าผ่าเป็นพารามิเตอร์ของกระบวนการเกิดฟ้าผ่าค่าหนึ่ง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับกระแสฟ้าผ่า โดยจากการศึกษาพบว่าค่ากระแสฟ้าผ่าค่าหนึ่งก็มีระยะฟ้าผ่าค่าหนึ่งโดยเฉพาะ ดังนั้นระยะฟ้าผ่าก็จะมีลักษณะการกระจายที่คล้ายกับกระแสฟ้าผ่า

ความสัมพันธ์ของระยะฟ้าผ่ากับกระแสฟ้าผ่าตามสมการของ Whitehead [1] คือ

$$r = 6.7 I^{0.8} \quad (6)$$

$$I/I_m = (r/r_m)^{1.25} \quad (7)$$

ฟังก์ชันการกระจายของระยะฟ้าผ่า(r) คือ

$$p(x < r) = \phi \left(K \ln \frac{r}{r_m} \right) \quad (8)$$

สมการที่ 8 หมายถึงโอกาสที่ระยะฟ้าผ่า X จะน้อยกว่าหรือเท่ากับ r คือค่าฟังก์ชันของ ϕ (Gaussian error function)

ค่า K ในสมการที่ 8 เท่ากับ $1.25/S = 1.02$ ซึ่ง S คือสัมประสิทธิ์เบี่ยงเบนของการกระจาย จากสมการที่ 5

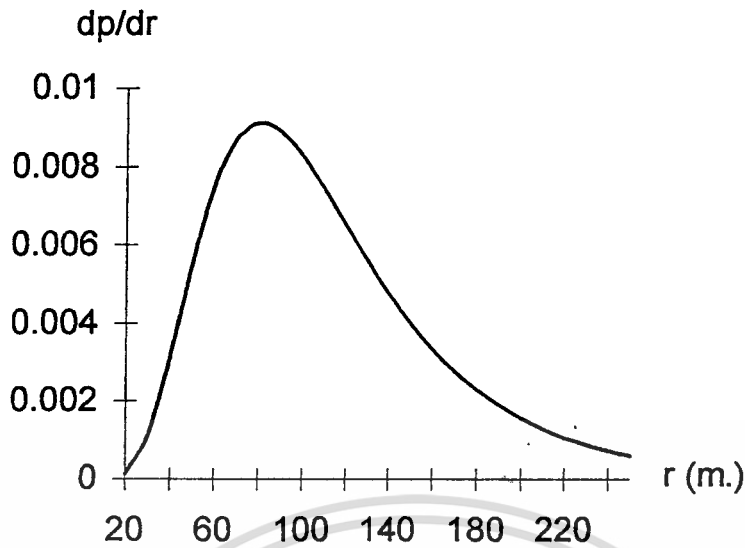
r_m มีค่าประมาณ 96 เมตร

การคำนวณหาความหนาแน่นในการกระจายของระยะฟ้าผ่า สามารถหาได้จากการอนุพันธ์สมการที่ 8 เทียบกับระยะทาง ซึ่งจะได้สมการคือ

$$\frac{dp}{dr} = \frac{K}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{r} \exp \left[-\frac{K^2}{2} \left(\ln \frac{r}{r_m} \right)^2 \right] \text{ strike / m.} \quad (9)$$

จากสมการนี้จะเห็นว่าค่าระยะฟ้าผ่าที่สั้นมากและยาวมากจะมีโอกาสเกิดได้ค่อนข้างน้อยมาก ซึ่งคล้ายกับในกรณีของกระแสฟ้าผ่า

ฟังก์ชัน $\frac{dp}{dr}$ จะบอกถึงโอกาสการเกิดระยะฟ้าผ่าที่ค่า r ต่อหนึ่งหน่วยระยะทาง



รูปที่ 14 การกระจายของระยะฟ้าผ่า

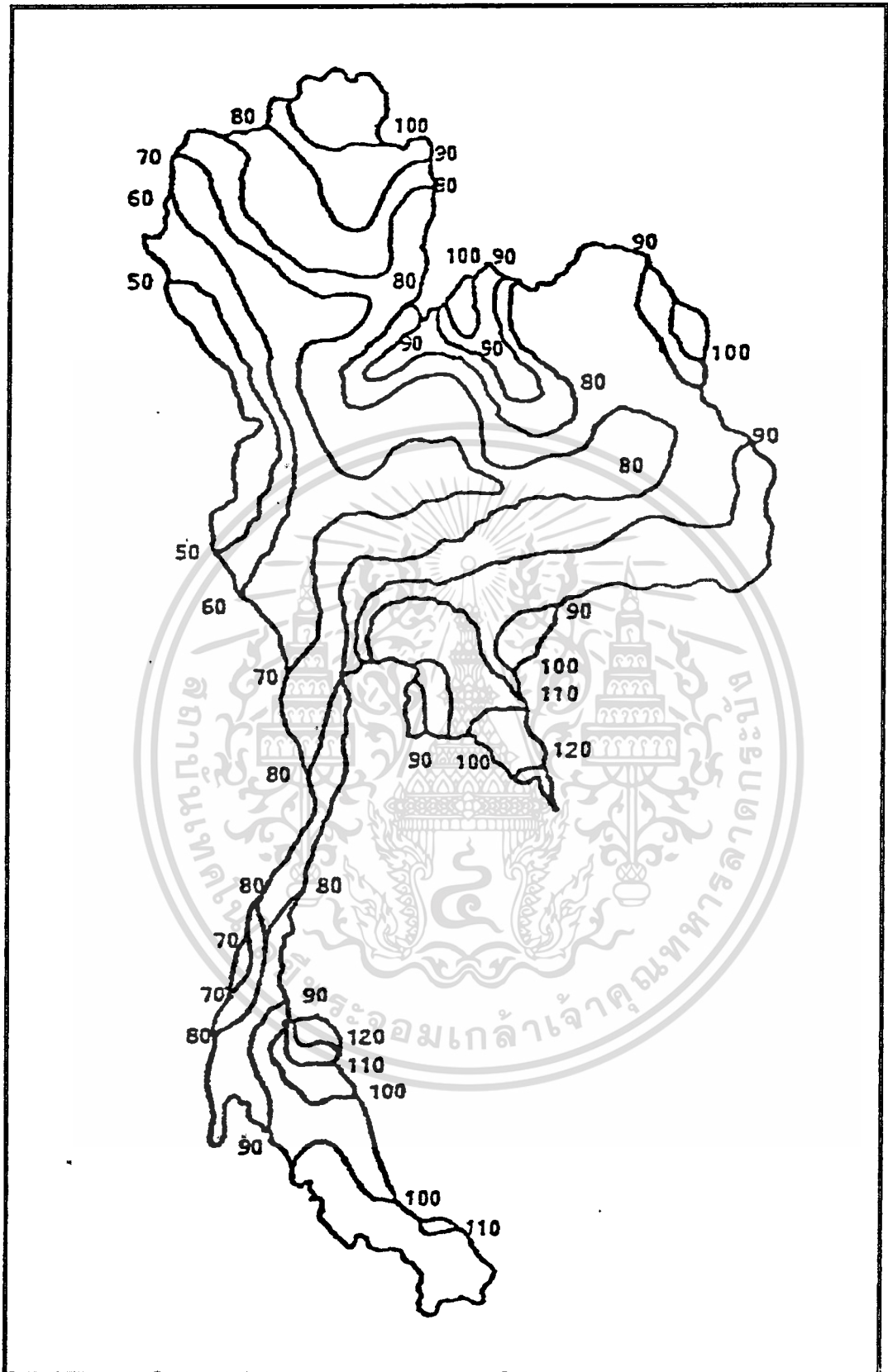
4.3 ค่าความหนาแน่นของจำนวนฟ้าผ่า (Ground flash density)

อัตราการเกิดฟ้าผ่าในแต่ละบริเวณของโลก มีค่าแตกต่างกันไป ขึ้นกับลักษณะทางภูมิศาสตร์ของบริเวณนั้น โดยในบริเวณที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงมีโอกาสเกิดฟ้าผ่าค่อนข้างมาก การวัดความหนาแน่นของจำนวนฟ้าผ่าหรือค่า Ground flash density จะแสดงในหน่วยของจำนวนฟ้าผ่าต่อปีต่อตารางกิโลเมตร (Strike/year/km²) ในการหาค่าความหนาแน่นของฟ้าผ่านั้น จะใช้จำนวนวันที่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง (Thunderday, TD) เป็นข้อมูลทางสถิติในการหาค่าเพื่อใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ระบบป้องกันฟ้าผ่า [2]

ความหนาแน่นจำนวนฟ้าผ่าหรือ Ground flash density, Ng ในเทอมของความสัมพันธ์กับค่า TD นั้น มีนักวิจัยหลายคนได้นิยามไว้แตกต่างกัน ซึ่งตามที่ IEC 1024-1-1(1993) [11] ได้นิยามการหาค่า Ground flash density ไว้โดยมีรูปแบบสมการ คือ

$$Ng = 0.04 Td^{1.25} \text{ Strike/km}^2/\text{year} \quad (10)$$

ค่า Thunderday ของแต่ละส่วนในโลกมีความแตกต่างกันไป ซึ่งแผนที่ที่แสดงค่า Thunderday ของแต่ละส่วนของโลกเรียกว่า Isokeraunic map



รูปที่ 15 Isokeraunic map ของประเทศไทย [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 24 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การกำหนดระดับความเสี่ยง

ในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า ค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าจะขึ้นกับขนาดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของฟ้าผ่าที่ใช้คำนวณในการออกแบบ ซึ่งถ้าต้องการความแน่นอนในการป้องกันสูงก็จะต้องคิดที่ค่าพารามิเตอร์ที่สูงด้วย ซึ่งทั้งนี้ขึ้นกับสถานที่หรือความจำเป็นในการป้องกันด้วย

การพิจารณาความเสี่ยงนั้น ในมาตรฐาน BS 6651 (1992) จะกำหนดค่าความเสี่ยง (risk factor) ไว้ตามปัจจัยหลักของสถานที่ไว้ เพื่อเป็นหลักเกณฑ์ในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าไว้ ปัจจัยเหล่านี้ คือ [9]

1. การใช้งานของสถานที่ เช่น โรงเรียน อาคารสถานที่ทำงาน จะกำหนดค่าความเสี่ยงที่สูง บ้านพักอาศัยทั่วไปจะมีค่าที่ต่ำ
2. ชนิดของโครงสร้าง ประเภทของวัสดุที่เป็นโครงสร้างของสถานที่ แต่ละแบบกำหนดค่าความเสี่ยงที่ต่างกันด้วย เช่น อาคารโครงเหล็ก หรือคอนกรีตจะกำหนดค่าความเสี่ยงต่ำ
3. ผลกระทบที่ตามมา สถานที่บางแห่งจะเกิดผลกระทบเสียหายมากเมื่อถูกฟ้าผ่า เช่น โรงพยาบาล พิพิธภัณฑ์ จึงกำหนดค่าความเสี่ยงไว้สูง
4. ความโดดเด่น อาคารสถานที่ที่มีความโดดเด่นมาก จะกำหนดค่าความเสี่ยงให้สูง เช่น อาคารสูงที่มีความสูงกว่าสิ่งที่อยู่ล้อมรอบมาก ๆ จะมีค่าความเสี่ยงที่สูง
5. ลักษณะทางภูมิศาสตร์ สถานที่ที่อยู่ในบริเวณที่เป็นเขาสูงจะมีค่าความเสี่ยงสูงกว่าสถานที่ที่อยู่ในบริเวณที่ราบ

เมื่อนำค่าความเสี่ยงในแต่ละปัจจัยมารวมกัน เทียบกับข้อกำหนดไว้ จะทราบถึงระดับความจำเป็นในการป้องกัน

การกำหนดค่าระดับการป้องกันนั้น พิจารณาที่ขนาดของกระแสฟ้าผ่าเป็นตัวกำหนดระดับการป้องกัน ซึ่งมีรายละเอียดคือ [6]

ระดับการป้องกัน	ช่วงของกระแสฟ้าผ่า
สูงมาก	3-180 KA
สูง	6-150 KA
มาตรฐาน	10-130 KA
ปานกลาง	15-130 KA
ต่ำ	20-130 KA

ตารางที่ 7 ค่าระดับการป้องกัน

ในอาคารหรือสิ่งก่อสร้างบางประเภทจำเป็นต้องมีระดับการป้องกันที่สูงมาก เช่น สถานที่เก็บสารเคมีที่เป็นอันตราย คลังน้ำมันหรือคลังเชื้อเพลิงอื่น ๆ โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ สถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์ โรงพยาบาลขนาดใหญ่ สนามกีฬา เป็นต้น

4.5 การประมาณจำนวนฟ้าผ่าในมาตรฐานอังกฤษ

ในมาตรฐานของ BS 6651-1992 ได้มีการประมาณจำนวนฟ้าผ่าลงบนสิ่งก่อสร้างใด ๆ ไว้เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการเลือกระดับของการป้องกัน โดยนิยามไว้คือ [11]

$$N = N_g A_e 10^{-6} \quad \text{ต่อปี} \quad (11)$$

N คือ ค่าจำนวนฟ้าผ่าที่วัตถุต่อปี

N_g คือ ค่า Ground flash density (strike/year/km²)

A_e คือ พื้นที่สมมูลย์ของวัตถุ(m²) พื้นที่สมมูลย์ของของวัตถุนิยามไว้คือ พื้นที่บริเวณพื้นผิวโลกที่มีความถี่ของฟ้าผ่าต่อปีเท่ากับค่า Ground flash density

ค่า A_e หาได้จากสมการ

$$A_e = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2 \quad \text{m}^2 \quad (12)$$

W คือ ความกว้างของสิ่งก่อสร้างหรือวัตถุ (m)

L คือ ความยาวของสิ่งก่อสร้าง (m)

H คือ ความสูงของสิ่งก่อสร้างเทียบกับระดับพื้นผิวโลก (m)

เช่น อาคารหลังหนึ่งมีขนาดกว้าง 20 เมตร ยาว 40 เมตร สูง 20 เมตร ค่าความหนาแน่นของฟ้าผ่าเท่ากับ 1 ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี สามารถคำนวณจำนวนฟ้าผ่าที่อาคารหลังนี้ได้เท่ากับ 0.0044 ครั้งต่อปี ซึ่งค่าระดับนี้ถือว่าสูง [9] ควรจะมีระบบป้องกันฟ้าผ่า

บทที่ 5

การประมาณค่าจำนวนฟ้าผ่า

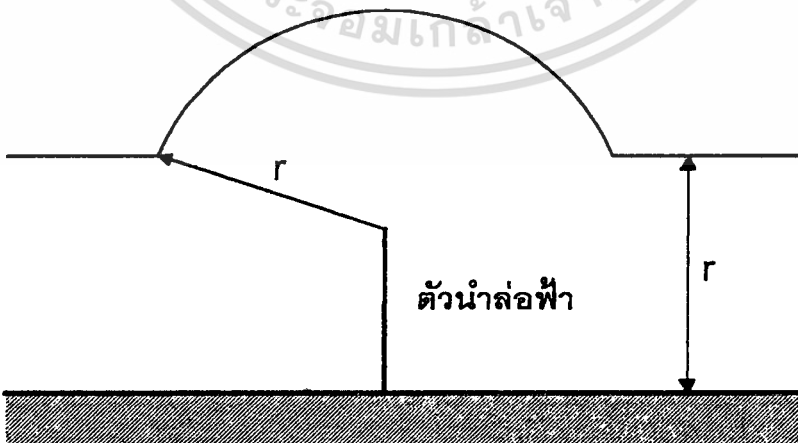
ในการหาค่าจำนวนฟ้าผ่าที่วัตถุหรือสิ่งก่อสร้างนั้น มีการศึกษาและหากันหลายวิธี แต่โดยมากแล้ววิธีเหล่านั้นจะใช้พารามิเตอร์ของวัตถุ และข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาวิเคราะห์และประมาณหาค่าจำนวนฟ้าผ่าลงบนวัตถุที่ใช้ศึกษาอยู่ ซึ่งวิธีการนี้ค่อนข้างมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานและยังขาดหลักการที่น่าเชื่อถือในการอธิบายวิธีการเหล่านั้นด้วย

ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะหาค่าจำนวนฟ้าผ่าลงบนวัตถุหรือบริเวณที่พิจารณา โดยใช้หลักการทางฟ้าผ่าและข้อมูลทางสถิติรวมทั้งพารามิเตอร์ของฟ้าผ่ามาใช้หาค่า

5.1 แบบจำลองเรขาคณิตทางไฟฟ้าของตัวนำล่อฟ้า

หลักการของแบบจำลองเรขาคณิตทางไฟฟ้าของตัวนำล่อฟ้า (Electrogeometrical model) ได้มีการนำเสนอโดย Whitehead [1] ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป หลักการนี้ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ของระยะฟ้าผ่าและความสูงของตัวนำล่อฟ้า

พิจารณาตัวนำล่อฟ้าจากรูป เมื่อมีลีดเดอร์หรือลำประจุที่มีค่าระยะฟ้าผ่า r วิ่งมาถึงแนวส่วนโค้งซึ่งมีรัศมี r ก็จะเกิดลำฟ้าผ่าลงที่ตัวนำล่อฟ้าหรืออาจกล่าวได้ว่าเกิดการเบรคดาวขึ้นที่ตัวนำล่อฟ้า แต่ถ้าลำประจุนี้วิ่งมาที่แนวเส้นตรงที่ขนานกับพื้นซึ่งมีระยะทาง r ก็จะเกิดฟ้าผ่าลงที่พื้นหรือเกิดการเบรคดาวที่พื้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่ารัศมีที่ป้องกันได้ของตัวนำล่อฟ้านี้คือขอบเขตในช่วงส่วนโค้งและขอบเขตการป้องกันนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามค่าระยะฟ้าผ่า [2]



รูปที่ 16 แบบจำลองทางเรขาคณิตของตัวนำล่อฟ้า

5.2 รัศมีล่อฟ้า (Attractive radius)

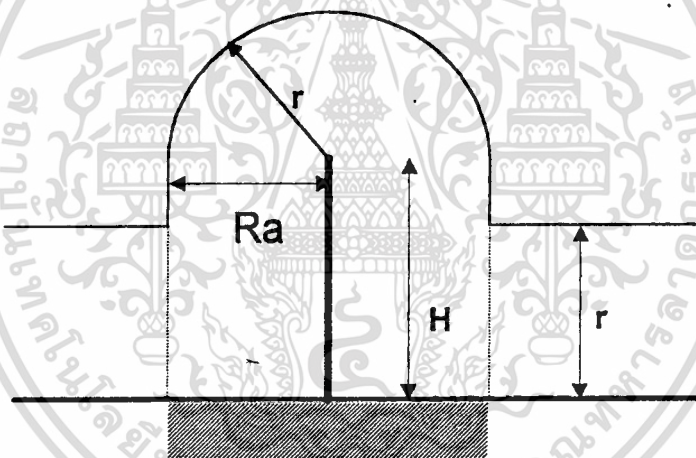
ค่ารัศมีล่อฟ้า หรือ Attractive radius คือ ค่าระยะทางตามแนวราบที่ป้องกันได้ของตัวนำล่อฟ้า รัศมีล่อฟ้าของตัวนำล่อฟ้าหรือวัตถุใด ๆ เป็นค่าที่เป็นฟังก์ชันกับค่าระยะฟ้าผ่า โดยใช้หลักการแบบจำลองเรขาคณิตทางไฟฟ้าและหลักการระยะทางสั้นที่สุด (minimum distance) ในการเบรคดาวร์ มาเป็นหลักในการหาค่ารัศมีล่อฟ้า

การหาค่ารัศมีล่อฟ้าของตัวนำล่อฟ้า จะแยกพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ

1. กรณีที่ความสูงของตัวนำล่อฟ้ามีค่ามากกว่าระยะฟ้าผ่า
2. กรณีที่ความสูงของตัวนำล่อฟ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะฟ้าผ่า

5.2.1 รัศมีล่อฟ้าที่ความสูงของตัวนำล่อฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับระยะฟ้าผ่า

เมื่อพิจารณาจากรูปแล้วจะเห็นว่า เมื่อมีลีดเดอร์ที่มีค่าระยะฟ้าผ่า r วิ่งมาถึงในบริเวณส่วนโค้งแล้ว จะอยู่ในรัศมีการป้องกันของตัวนำล่อฟ้า แต่ถ้าลีดเดอร์วิ่งมาในบริเวณที่เป็นเส้นตรงที่มีระยะทาง r ก็จะวิ่งลงสู่พื้น ซึ่งนอกขอบเขตการป้องกันของตัวนำล่อฟ้า



รูปที่ 17 $H > r$

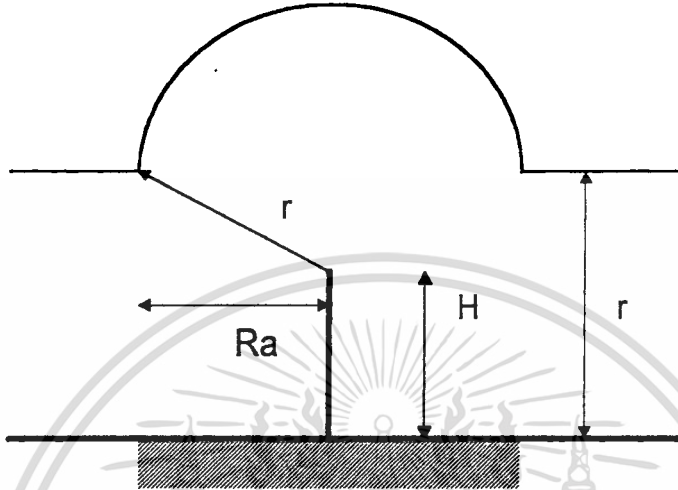
รัศมีล่อฟ้าในกรณีที่ความสูงของตัวนำ H มากกว่าหรือเท่ากับระยะฟ้าผ่า r คือ

$$R_a = r \quad (13)$$

ในกรณีที่ตัวนำล่อฟ้ามีความสูงมากกว่าหรือเท่ากับระยะฟ้าผ่า ค่ารัศมีล่อฟ้าจะเท่ากับระยะฟ้าผ่า ซึ่งหมายความว่า ระยะทางในแนวราบที่ป้องกันได้ของตัวนำล่อฟ้าเท่ากับค่าระยะฟ้าผ่า

5.2.2 รัศมีล่อฟ้าที่ความสูงของตัวนำล่อฟ้าน้อยกว่าระยะฟ้าผ่า

การหาค่ารัศมีล่อฟ้าในกรณีที่ความสูงของตัวนำล่อฟ้า H น้อยกว่าระยะฟ้าผ่า r สามารถคำนวณหาได้จากรูปที่



รูปที่ 18 $H < r$

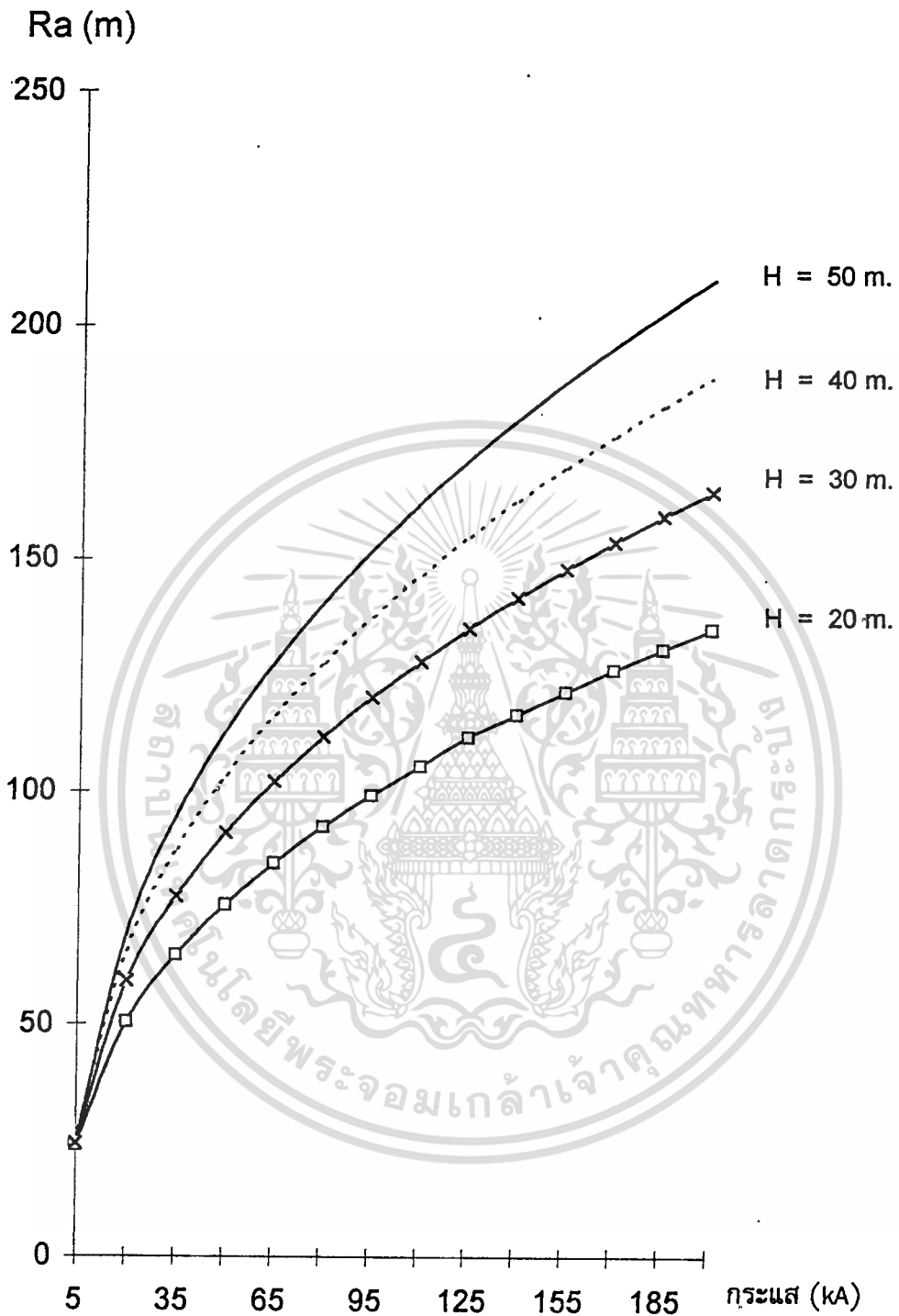
จากรูปจะหาค่ารัศมีล่อฟ้า R_a ได้ คือ

$$\begin{aligned}
 R_a^2 &= r^2 - (r - H)^2 \\
 &= r^2 - r^2 + 2Hr - H^2 \\
 &= 2Hr - H^2 \\
 R_a &= \sqrt{2Hr - H^2} \quad (14)
 \end{aligned}$$

ค่ารัศมีล่อฟ้า R_a ในกรณีที่ความสูงของตัวนำล่อฟ้าน้อยกว่าระยะฟ้าผ่าจะเป็นฟังก์ชันกับค่าความสูงของตัวนำและค่าระยะฟ้าผ่า ซึ่งที่ค่าระยะฟ้าผ่าค่าหนึ่งจะมีค่ารัศมีล่อฟ้าของตัวนำล่อฟ้าค่าหนึ่ง

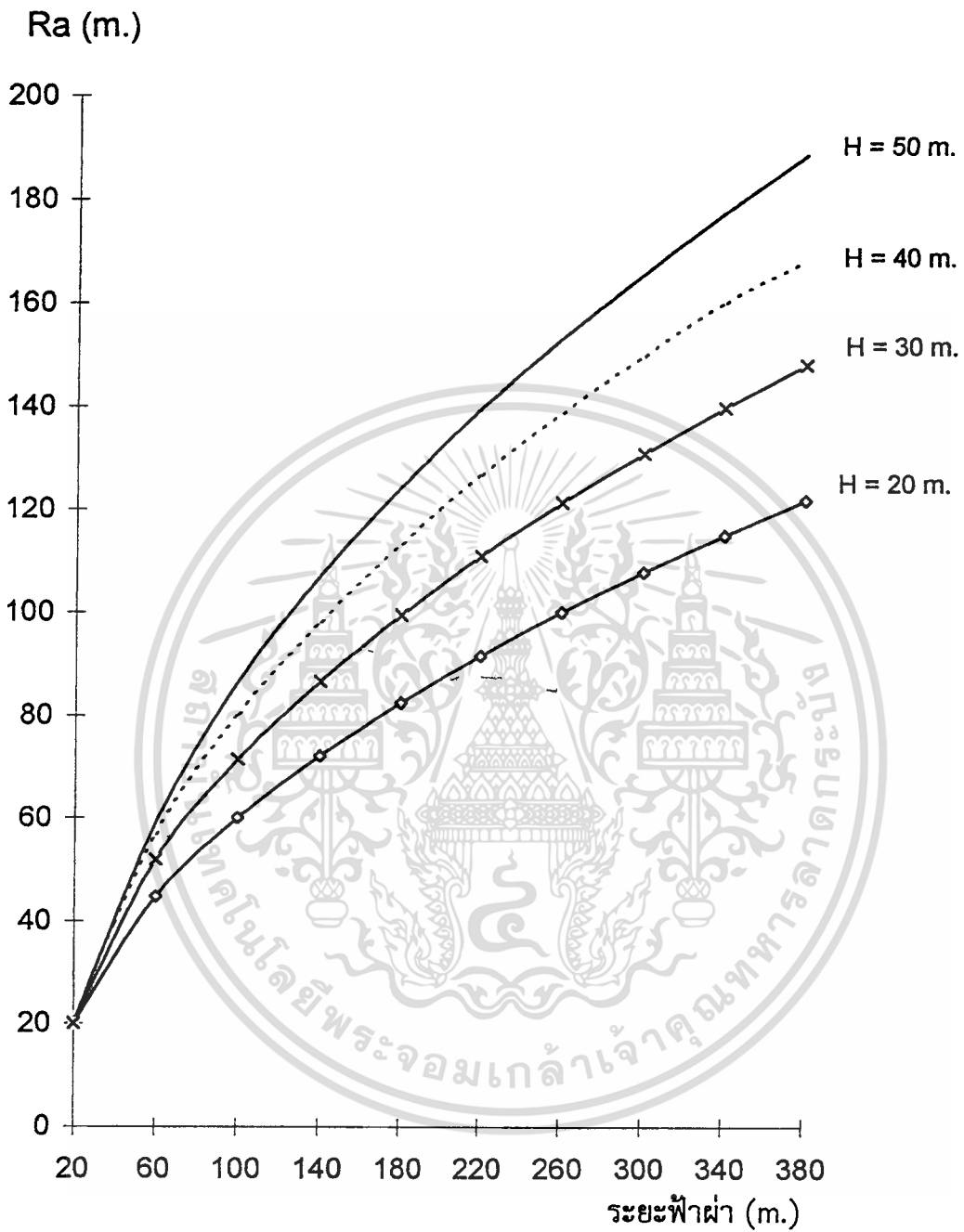
ในการใช้งานโดยทั่วไป สมการที่ 13 จะใช้กับเสาสูง ๆ หรือเสาส่งไฟฟ้าที่สูง ๆ เช่น ในการสมการที่ 14 สามารถนำไปใช้คำนวณจำนวนฟ้าผ่าที่เสาสูงได้ ส่วนสมการที่ 14 จะใช้กับแท่งตัวนำล่อฟ้าที่ใช้ในการป้องกันฟ้าผ่าอาคารหรือสิ่งก่อสร้างทั่วไป

การคำนวณค่า R_a จะเปลี่ยนไปตามรูปแบบเรขาคณิตของตัวนำล่อฟ้าหรือของบริเวณที่เราพิจารณาอยู่ แต่หลักการในการคำนวณจะคล้ายกัน ซึ่งหลักการนี้จะนำไปใช้วิเคราะห์ระบบป้องกันฟ้าผ่าในแง่มุมต่าง ๆ ได้



รูปที่ 19 กราฟของกระแสฟ้าผ่าและรัศมีล่อฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 20 กราฟของรัศมีล่อฟ้าและระยะฟ้าผ่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อ 31 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 วิธีการประมาณค่าจำนวนฟ้าผ่า

จากที่กล่าวมาในตอนต้นแล้ว เราสามารถที่จะประมาณค่าฟ้าผ่าที่วัตถุใด ๆ ตามหลักการที่สัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของฟ้าผ่าและลักษณะของวัตถุ โดยใช้สมการ

$$N = N_g A(r) \quad \text{ต่อปี} \quad (15)$$

N = ค่าจำนวนฟ้าผ่าลงบริเวณที่พิจารณาอยู่ ต่อปีต่อตารางกิโลเมตร

N_g = ค่า Ground flash density

$A(r)$ = พื้นที่สมมูลย์ของบริเวณที่พิจารณา (Km^2)

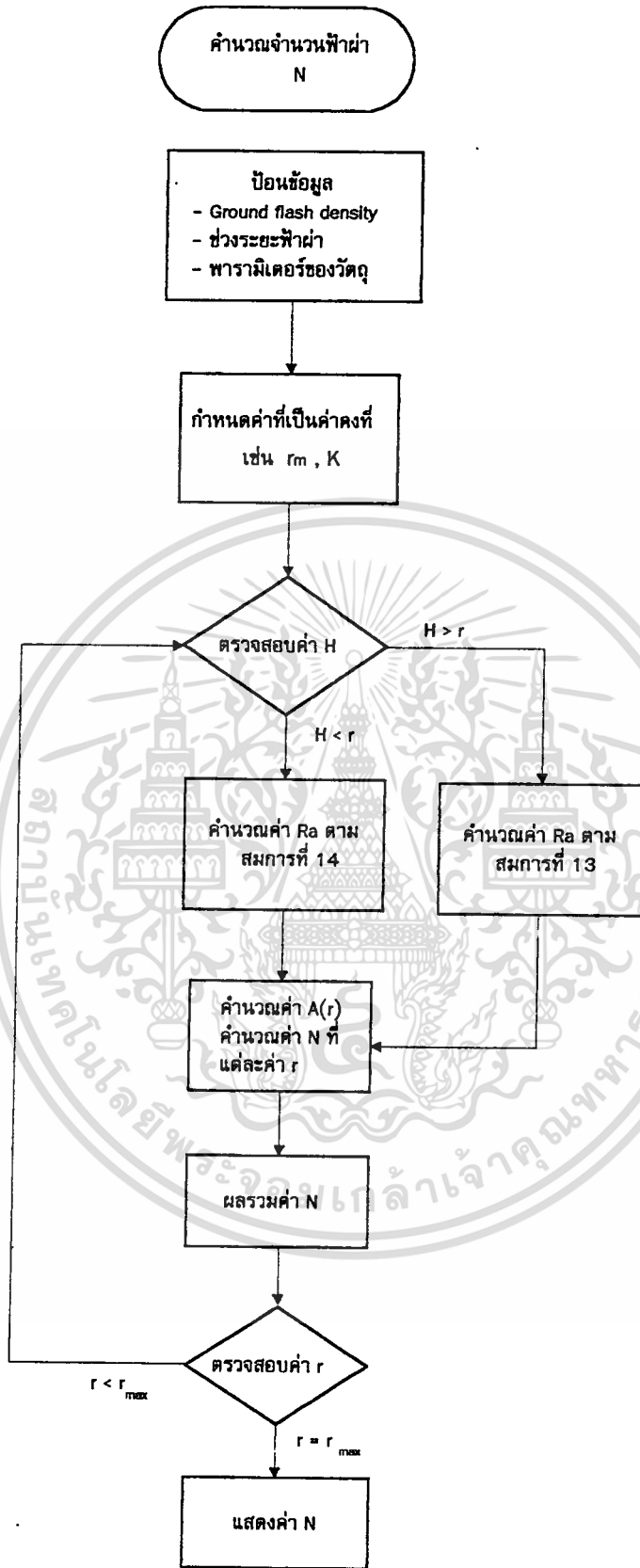
ค่า $A(r)$ หรือ Equivalent area ในที่นี้จะเป็บริเวณที่พิจารณาอยู่ ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับค่าระยะฟ้าผ่าและคำนวณได้จากรูปร่างลักษณะของพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะการป้องกันฟ้าผ่า

จากสมการที่ 15 ค่า $A(r)$ หรือพื้นที่สมมูลย์จะหาได้จากผลรวมของพื้นที่สมมูลย์ที่ค่าระยะฟ้าผ่าต่าง ๆ คูณกับโอกาสการเกิดของระยะฟ้าผ่าที่ค่าต่าง ๆ

$$N = N_g \int_{r_1}^{r_2} \frac{dp}{dr} A(r) dr \quad \text{ต่อปี} \quad (16)$$

สมการที่ 16 หมายความว่า จำนวนฟ้าผ่าที่วัตถุสามารถหาได้จากค่าความหนาแน่นของฟ้าผ่าคูณกับผลรวมของพื้นที่ที่จะถูกฟ้าผ่าจากการกระจายของระยะฟ้าผ่าที่ค่าต่าง ๆ การอินทิเกรตจะทำอยู่ในช่วงของระยะฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในธรรมชาติตามที่มีการเก็บข้อมูลกันมา

สมการนี้สามารถประยุกต์ใช้หาจำนวนฟ้าผ่าที่วัตถุต่าง ๆ ได้ เช่น อาคารสิ่งก่อสร้าง หอคอย ซึ่งจะเห็นว่า การหาค่าตามวิธีนี้มีหลักการที่แน่นอนกว่าวิธีตามที่ประมาณค่ากัน และวิธีการนี้ยังเป็นฟังก์ชันกับพารามิเตอร์ทางด้านฟ้าผ่าอีกด้วย และสามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับสภาพภูมิศาสตร์ต่าง ๆ กันด้วย



รูปที่ 21 Flow chart จำนวนจำนวนฟ้าผ่า N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ 33 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

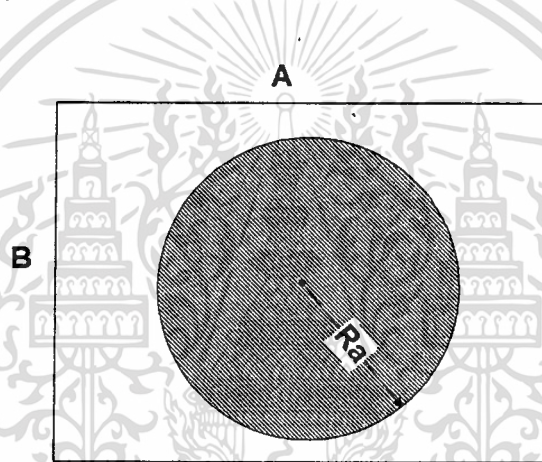
5.4 การประมาณจำนวนฟ้าผ่าในรูปแบบต่าง ๆ

ในการคำนวณหาค่าจำนวนฟ้าผ่าลงวัดตามสมการที่ 16 ควรใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณซึ่งจะสะดวกและรวดเร็วขึ้นมาก จำนวนตัวเลขและค่าต่าง ๆ ในการคำนวณนี้มีค่อนข้างมาก

ค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการคำนวณตามวิธีนี้ เป็นค่าที่ประมาณตามหลักการทางทฤษฎี ซึ่งเหมือนกับ การคำนวณค่าในงานวิจัยอื่น ทั้งนี้เนื่องจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถบอกค่าที่แน่นอนลงไปได้

5.4.1 การประมาณจำนวนฟ้าผ่าที่เสาสูง (Tower)

หอคอยหรือเสาสูง ๆ มักจะถูกฟ้าผ่าถล่มมาก เนื่องจากลักษณะที่สูงจากพื้นดินมาก ๆ จึงเป็นตัวล่อฟ้าอย่างดี การคำนวณหอคอยหรือเสาสูงในที่นี้จะถือว่าพื้นที่หน้าตัดของหอคอยหรือเสาสูงเมื่อเทียบกับความสูงและพื้นที่สมมูลย์ของการคำนวณจะถือว่าน้อยมาก จึงไม่นำมาพิจารณาเพื่อความสะดวกในการคำนวณจากสมการที่ 16 ในการแก้ปัญหาคือจะต้องหาค่า $A(r)$ ที่เป็นฟังก์ชันกับค่า r



รูปที่ 22 พื้นที่สมมูลย์ของหอสสูง

พื้นที่สมมูลย์ของตัวนำล่อฟ้าหรือ $A(r)$ คือพื้นที่แรงจากรูป ซึ่งค่า $A(r)$ คือ

$$A(r) = \pi R_a^2 \times 10^{-6} \text{ km}^2 \quad (17)$$

เมื่อ R_a คือรัศมีล่อฟ้า (Attractive Radius) หน่วยเป็นเมตร

พิจารณาหอคอยสูง 40 เมตร หาค่าจำนวนฟ้าผ่าที่หอคอยสูงนี้ต่อปี คิดที่ค่าระยะฟ้าผ่าของกระแส ในช่วง 2-200 KA ซึ่งค่าระยะฟ้าผ่าของกระแสช่วงนี้มีค่าประมาณ 15-460 เมตร ดังนั้นเลือกค่า $r_{\min} = 15$ เมตร และ $r_{\max} = 460$ เมตร ค่า Ground flash density = 1 ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี ค่า R_a ในกรณีนี้หาได้จาก สมการที่ 13 หรือ สมการที่ 14 ขึ้นกับเงื่อนไขตามสมการ

การคำนวณค่าจำนวนฟ้าผ่าที่เสาสูงนี้ จะใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ เมื่อแทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ก็ จะหาค่า N ได้ ซึ่งจะได้

$$N = N_g \pi \int_{r_m}^{r_m} \frac{dp}{dr} R_a^2(r) dr \quad \text{ครั้งต่อปี} \quad (18)$$

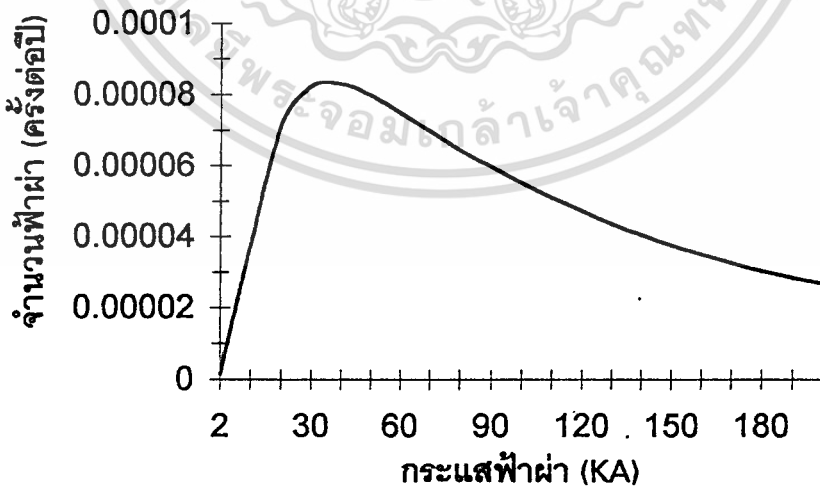
$$N = 0.0485 \quad \text{ครั้งต่อปี}$$

และในวิธีการของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เราสามารถแยกแยะค่ากระแสต่าง ๆ ของฟ้าผ่าที่ฟ้าใส่เสาสูงนี้ ได้ดังตาราง

กระแสฟ้าผ่า (KA)	จำนวนฟ้าผ่าต่อปี
2	0.0000015
10	0.0000380
20	0.0000721
50	0.0000796
80	0.0000644
120	0.0000470
150	0.0000375
180	0.0000304
200	0.0000267

ตารางที่ 8 ค่าจำนวนฟ้าผ่าที่ค่ากระแสต่าง ๆ

จากตารางจะเห็นว่า กระแสฟ้าผ่าที่ค่าต่ำ ๆ จะมีโอกาสฟ้าใส่เสาสูงน้อยกว่ากระแสฟ้าผ่าที่ค่าปานกลาง และที่ค่าสูง เนื่องจากกระแสฟ้าผ่าที่ค่าต่ำ ๆ จะมีโอกาสเกิดน้อย และมีรัศมีล่อฟ้าที่ต่ำ



รูปที่ 23 กราฟกระแสฟ้าผ่าที่เสาสูง 40 เมตร

Estimate Strike at Tower

Hieght of Tower (m.) = 10
 Initial Striking distance = 15
 Final Striking distance = 460
 Step of display = 10

r	I	Ra	N
15.00	2.74	14.14	0.0000027
25.00	5.19	20.00	0.0000076
35.00	7.90	24.49	0.0000123
45.00	10.81	28.28	0.0000161
55.00	13.90	31.62	0.0000189
65.00	17.12	34.64	0.0000209
75.00	20.48	37.42	0.0000222
85.00	23.94	40.00	0.0000229
95.00	27.51	42.43	0.0000232
105.00	31.18	44.72	0.0000233
115.00	34.94	46.90	0.0000231
125.00	38.77	48.99	0.0000227
135.00	42.69	50.99	0.0000222
145.00	46.68	52.92	0.0000217
155.00	50.74	54.77	0.0000210
165.00	54.86	56.57	0.0000204
175.00	59.05	58.31	0.0000197
185.00	63.30	60.00	0.0000190
195.00	67.60	61.64	0.0000184
205.00	71.96	63.25	0.0000177
215.00	76.38	64.81	0.0000170
225.00	80.84	66.33	0.0000164
235.00	85.36	67.82	0.0000158
245.00	89.92	69.28	0.0000152
255.00	94.53	70.71	0.0000146
265.00	99.19	72.11	0.0000140
275.00	103.89	73.48	0.0000135
285.00	108.63	74.83	0.0000129
295.00	113.42	76.16	0.0000124
305.00	118.24	77.46	0.0000120
315.00	123.11	78.74	0.0000115
325.00	128.01	80.00	0.0000111
335.00	132.96	81.24	0.0000106
345.00	137.94	82.46	0.0000102
355.00	142.95	83.67	0.0000099
365.00	148.00	84.85	0.0000095
375.00	153.09	86.02	0.0000091
385.00	158.21	87.18	0.0000088
395.00	163.36	88.32	0.0000085
405.00	168.55	89.44	0.0000082
415.00	173.77	90.55	0.0000079
425.00	179.02	91.65	0.0000076
435.00	184.30	92.74	0.0000073
445.00	189.61	93.81	0.0000071
455.00	194.95	94.87	0.0000068

Number of strike = 0.0130569 strike/year

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อห³⁶และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Estimate Strike at Tower

Hieght of Tower (m.) = 20
 Initial Striking distance = 15
 Final Striking distance = 460
 Step of display = 10

r	I	Ra	N
15.00	2.74	15.00	0.0000030
25.00	5.19	24.49	0.0000114
35.00	7.90	31.62	0.0000205
45.00	10.81	37.42	0.0000282
55.00	13.90	42.43	0.0000341
65.00	17.12	46.90	0.0000383
75.00	20.48	50.99	0.0000412
85.00	23.94	54.77	0.0000429
95.00	27.51	58.31	0.0000439
105.00	31.18	61.64	0.0000442
115.00	34.94	64.81	0.0000440
125.00	38.77	67.82	0.0000435
135.00	42.69	70.71	0.0000427
145.00	46.68	73.48	0.0000418
155.00	50.74	76.16	0.0000407
165.00	54.86	78.74	0.0000395
175.00	59.05	81.24	0.0000383
185.00	63.30	83.67	0.0000370
195.00	67.60	86.02	0.0000357
205.00	71.96	88.32	0.0000345
215.00	76.38	90.55	0.0000332
225.00	80.84	92.74	0.0000320
235.00	85.36	94.87	0.0000308
245.00	89.92	96.95	0.0000297
255.00	94.53	98.99	0.0000286
265.00	99.19	101.00	0.0000275
275.00	103.89	102.96	0.0000264
285.00	108.63	104.88	0.0000254
295.00	113.42	106.77	0.0000245
305.00	118.24	108.63	0.0000235
315.00	123.11	110.45	0.0000226
325.00	128.01	112.25	0.0000218
335.00	132.96	114.02	0.0000210
345.00	137.94	115.76	0.0000202
355.00	142.95	117.47	0.0000194
365.00	148.00	119.16	0.0000187
375.00	153.09	120.83	0.0000180
385.00	158.21	122.47	0.0000174
395.00	163.36	124.10	0.0000167
405.00	168.55	125.70	0.0000161
415.00	173.77	127.28	0.0000155
425.00	179.02	128.84	0.0000150
435.00	184.30	130.38	0.0000145
445.00	189.61	131.91	0.0000139
455.00	194.95	133.42	0.0000135

Number of strike = 0.0250133 strike/year

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Estimate Strike at Tower

Hieght of Tower (m.) = 40
 Initial Striking distance = 15
 Final Striking distance = 460
 Step of display = 25

r	I	Ra	N
15.00	2.74	15.00	0.0000030
40.00	9.33	40.00	0.0000328
65.00	17.12	60.00	0.0000627
90.00	25.72	74.83	0.0000761
115.00	34.94	87.18	0.0000797
140.00	44.68	97.98	0.0000780
165.00	54.86	107.70	0.0000739
190.00	65.44	116.62	0.0000687
215.00	76.38	124.90	0.0000632
240.00	87.63	132.66	0.0000579
265.00	99.19	140.00	0.0000528
290.00	111.02	146.97	0.0000481
315.00	123.11	153.62	0.0000438
340.00	135.44	160.00	0.0000399
365.00	148.00	166.13	0.0000364
390.00	160.78	172.05	0.0000332
415.00	173.77	177.76	0.0000303
440.00	186.95	183.30	0.0000277

Number of strike = 0.0457969 strike/year

Estimate Strike at Tower

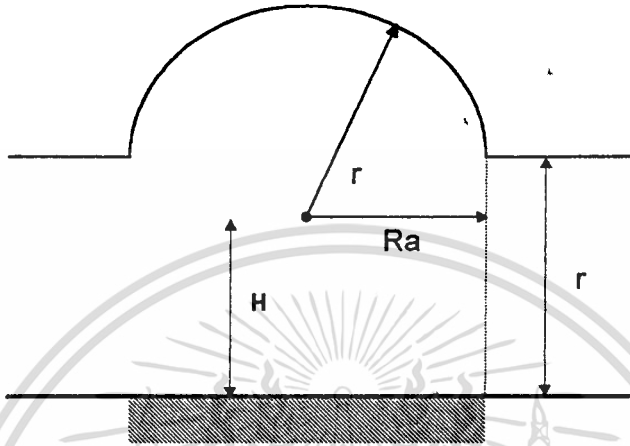
Hieght of Tower (m.) = 80
 Initial Striking distance = 15
 Final Striking distance = 460
 Step of display = 35

r	I	Ra	N
15.00	2.74	15.00	0.0000030
50.00	12.33	50.00	0.0000490
85.00	23.94	84.85	0.0001031
120.00	36.85	113.14	0.0001274
155.00	50.74	135.65	0.0001290
190.00	65.44	154.92	0.0001213
225.00	80.84	172.05	0.0001102
260.00	96.86	187.62	0.0000986
295.00	113.42	201.99	0.0000875
330.00	130.48	215.41	0.0000774
365.00	148.00	228.04	0.0000685
400.00	165.95	240.00	0.0000606
435.00	184.30	251.40	0.0000537

Number of strike = 0.0770212 strike/year

5.4.2 การประมาณจำนวนฟ้าผ่าที่สายตัวนำขนานกับพื้น

สายตัวนำที่ขึงตามยาวขนานไปกับพื้น เช่น สายส่ง สาย Overhead ground ซึ่งอยู่สูงจากระดับพื้นมีโอกาสที่จะถูกฟ้าผ่าสูง การคำนวณจำนวนฟ้าผ่าที่สายตัวนำแบบนี้ ก็สามารถใช้สมการที่ 16 คำนวณได้เช่นกัน โดยค่า Equivalent Area หรือ A_e ในแบบนี้จะแตกต่างไปจากแบบตัวนำในแนวตั้ง

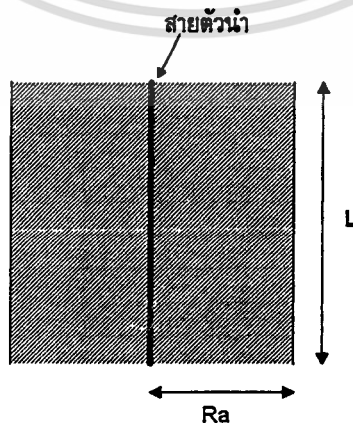


รูปที่ 24 แบบจำลองเรขาคณิตทางไฟฟ้าของสายตัวนำ

การคำนวณจำนวนฟ้าผ่าที่สายตัวนำแบบนี้ จะนิยมคิดกันต่อหน่วยความยาว 100 กิโลเมตรของสายตัวนำ ค่า A_e ในแบบนี้จะหาได้คือ

$$A_e = 2 R_a L \times 10^{-6} \text{ Km}^2 \quad (19)$$

L คือความยาวของสายตัวนำ หน่วยเป็นกิโลเมตร



รูปที่ 25 พื้นที่สมมูลของสายตัวนำ

เมื่อแทน A_e ลงในสมการที่ 16 จะได้เป็น

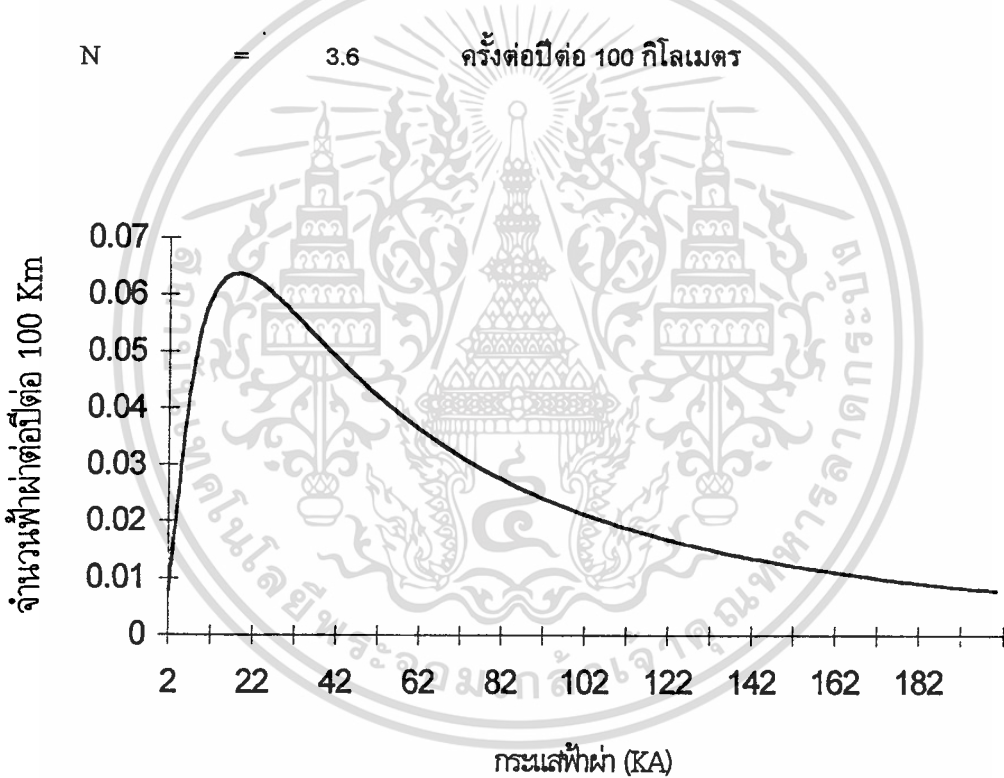
$$N = N_g \int_{r_m}^r 2L \frac{dp}{dr} R_a(r) dr \quad \text{ครั้งต่อปีต่อ 100 Km} \quad (20)$$

N_g กำหนดให้เท่ากับ 1 ครั้งต่อปีต่อตารางกิโลเมตร

L กำหนดให้เท่ากับ 100 กิโลเมตร

$\frac{dp}{dr}$ หาได้จากสมการที่ 9

R_a เป็นฟังก์ชันกับความสูงของสายตัวนำ H และระยะฟ้าผ่า r ซึ่งหาได้จากในสมการที่ 13 หรือสมการที่ 14 ค่า H ให้เท่ากับ 30 เมตร ค่า r อยู่ในช่วง 15-400 เมตร เมื่อคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์แล้วจะได้ค่าจำนวนฟ้าผ่าที่สายตัวนำนี้เท่ากับ



รูปที่ 26 กราฟกระแสฟ้าผ่าที่สายตัวนำสูง 30 เมตร

Estimate Strike at Line

Hieght of Line (m.) = 10
 Initial Striking distance = 15
 Final Striking distance = 460
 Step of display = 10

r	I	Ra	N
15.00	2.74	14.14	0.0126282
25.00	5.19	20.00	0.0252841
35.00	7.90	24.49	0.0335243
45.00	10.81	28.28	0.0380100
55.00	13.90	31.62	0.0399341
65.00	17.12	34.64	0.0402204
75.00	20.48	37.42	0.0394953
85.00	23.94	40.00	0.0381680
95.00	27.51	42.43	0.0365025
105.00	31.18	44.72	0.0346681
115.00	34.94	46.90	0.0327728
125.00	38.77	48.99	0.0308849
135.00	42.69	50.99	0.0290463
145.00	46.68	52.92	0.0272821
155.00	50.74	54.77	0.0256061
165.00	54.86	56.57	0.0240247
175.00	59.05	58.31	0.0225398
185.00	63.30	60.00	0.0211501
195.00	67.60	61.64	0.0198524
205.00	71.96	63.25	0.0186425
215.00	76.38	64.81	0.0175155
225.00	80.84	66.33	0.0164663
235.00	85.36	67.82	0.0154898
245.00	89.92	69.28	0.0145809
255.00	94.53	70.71	0.0137348
265.00	99.19	72.11	0.0129468
275.00	103.89	73.48	0.0122127
285.00	108.63	74.83	0.0115283
295.00	113.42	76.16	0.0108900
305.00	118.24	77.46	0.0102943
315.00	123.11	78.74	0.0097379
325.00	128.01	80.00	0.0092180
335.00	132.96	81.24	0.0087317
345.00	137.94	82.46	0.0082765
355.00	142.95	83.67	0.0078502
365.00	148.00	84.85	0.0074507
375.00	153.09	86.02	0.0070759
385.00	158.21	87.18	0.0067241
395.00	163.36	88.32	0.0063937
405.00	168.55	89.44	0.0060831
415.00	173.77	90.55	0.0057910
425.00	179.02	91.65	0.0055160
435.00	184.30	92.74	0.0052569
445.00	189.61	93.81	0.0050128
455.00	194.95	94.87	0.0047825

Number of strike = 16.5021511 strike/year-100km.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 41 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Estimate Strike at Line

Hieght of Line (m.) = 20
 Initial Striking distance = 15
 Final Striking distance = 460
 Step of display = 10

r	I	Ra	N
15.00	2.74	15.00	0.0133942
25.00	5.19	24.49	0.0309666
35.00	7.90	31.62	0.0432796
45.00	10.81	37.42	0.0502825
55.00	13.90	42.43	0.0535772
65.00	17.12	46.90	0.0544586
75.00	20.48	50.99	0.0538230
85.00	23.94	54.77	0.0522637
95.00	27.51	58.31	0.0501679
105.00	31.18	61.64	0.0477866
115.00	34.94	64.81	0.0452822
125.00	38.77	67.82	0.0427582
135.00	42.69	70.71	0.0402800
145.00	46.68	73.48	0.0378875
155.00	50.74	76.16	0.0356038
165.00	54.86	78.74	0.0334410
175.00	59.05	81.24	0.0314038
185.00	63.30	83.67	0.0294924
195.00	67.60	86.02	0.0277036
205.00	71.96	88.32	0.0260328
215.00	76.38	90.55	0.0244740
225.00	80.84	92.74	0.0230208
235.00	85.36	94.87	0.0216665
245.00	89.92	96.95	0.0204046
255.00	94.53	98.99	0.0192287
265.00	99.19	101.00	0.0181326
275.00	103.89	102.96	0.0171106
285.00	108.63	104.88	0.0161573
295.00	113.42	106.77	0.0152675
305.00	118.24	108.63	0.0144365
315.00	123.11	110.45	0.0136600
325.00	128.01	112.25	0.0129339
335.00	132.96	114.02	0.0122545
345.00	137.94	115.76	0.0116184
355.00	142.95	117.47	0.0110223
365.00	148.00	119.16	0.0104634
375.00	153.09	120.83	0.0099390
385.00	158.21	122.47	0.0094466
395.00	163.36	124.10	0.0089839
405.00	168.55	125.70	0.0085489
415.00	173.77	127.28	0.0081396
425.00	179.02	128.84	0.0077542
435.00	184.30	130.38	0.0073911
445.00	189.61	131.91	0.0070488
455.00	194.95	133.42	0.0067258

Number of strike = 22.6194201 strike/year-100km.

Estimate Strike at Line

Height of Line (m.) = 40
 Initial Striking distance = 15
 Final Striking distance = 460
 Step of display = 15

r	I	Ra	N
15.00	2.74	15.00	0.0133942
30.00	6.51	30.00	0.0401811
45.00	10.81	44.72	0.0600990
60.00	15.49	56.57	0.0686279
75.00	20.48	66.33	0.0700177
90.00	25.72	74.83	0.0678167
105.00	31.18	82.46	0.0639248
120.00	36.85	89.44	0.0593537
135.00	42.69	95.92	0.0546385
150.00	48.70	101.98	0.0500560
165.00	54.86	107.70	0.0457417
180.00	61.16	113.14	0.0417531
195.00	67.60	118.32	0.0381053
210.00	74.16	123.29	0.0347907
225.00	80.84	128.06	0.0317901
240.00	87.63	132.66	0.0290794
255.00	94.53	137.11	0.0266327
270.00	101.53	141.42	0.0244245
285.00	108.63	145.60	0.0224306
300.00	115.83	149.67	0.0206288
315.00	123.11	153.62	0.0189988
330.00	130.48	157.48	0.0175226
345.00	137.94	161.25	0.0161838
360.00	145.47	164.92	0.0149679
375.00	153.09	168.52	0.0138620
390.00	160.78	172.05	0.0128547
405.00	168.55	175.50	0.0119360
420.00	176.39	178.89	0.0110967
435.00	184.30	182.21	0.0103289
450.00	192.27	185.47	0.0096255

Number of strike = 29.9473187 strike/year-100km.

Estimate Strike at Line

Hieght of Line (ม.) = 50
 Initial Striking distance = 15
 Final Striking distance = 460
 Step of display = 15

r	I	Ra	N
15.00	2.74	15.00	0.0133942
30.00	6.51	30.00	0.0401811
45.00	10.81	45.00	0.0604735
60.00	15.49	59.16	0.0717728
75.00	20.48	70.71	0.0746391
90.00	25.72	80.62	0.0730633
105.00	31.18	89.44	0.0693361
120.00	36.85	97.47	0.0646792
135.00	42.69	104.88	0.0597449
150.00	48.70	111.80	0.0548776
165.00	54.86	118.32	0.0502513
180.00	61.16	124.50	0.0459462
195.00	67.60	130.38	0.0419900
210.00	74.16	136.01	0.0383819
225.00	80.84	141.42	0.0351063
240.00	87.63	146.63	0.0321402
255.00	94.53	151.66	0.0294578
270.00	101.53	156.52	0.0270329
285.00	108.63	161.25	0.0248404
300.00	115.83	165.83	0.0228568
315.00	123.11	170.29	0.0210606
330.00	130.48	174.64	0.0194322
345.00	137.94	178.89	0.0179543
360.00	145.47	183.03	0.0166111
375.00	153.09	187.08	0.0153886
390.00	160.78	191.05	0.0142746
405.00	168.55	194.94	0.0132579
420.00	176.39	198.75	0.0123287
435.00	184.30	202.48	0.0114783
450.00	192.27	206.16	0.0106989

Number of strike = 32.4089096 strike/year-100km.

5.5 การเปรียบเทียบผล

เนื่องจากวิธีการประมาณค่าตามหลักการในวิทยานิพนธ์นี้ ไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องในห้องปฏิบัติการได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือของวิธีการนี้ จะใช้การเปรียบเทียบกับค่าประมาณค่าในงานวิจัยอื่น ๆ ที่ได้รับการยอมรับกัน

5.5.1 การเปรียบเทียบจำนวนฟ้าผ่าที่เสาสูง

การประมาณค่าจำนวนฟ้าผ่าที่เสาสูงได้มีการประมาณค่ากันหลายวิธี ซึ่งแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

Eriksson ได้เสนอวิธีการประมาณค่าจำนวนฟ้าผ่าที่เสาสูงหรือหอสุง ซึ่งขนาดพื้นที่หน้าตัดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความสูง ไว้ดังนี้ [5]

$$N = N_g 2.4 H^{2.05} 10^{-5} \text{ Strike/year} \quad (21)$$

CCITT ได้กำหนดการหาค่าจำนวนฟ้าผ่าที่เสาสูงหรือหอสุง ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับความสูงของเสาสูง ไว้ดังนี้ [7]

$$N = N_g H^2 10^{-4} \text{ Strike/year} \quad (22)$$

N คือ จำนวนฟ้าผ่า หน่วยเป็น ครั้งต่อปี

H คือ ความสูง หน่วยเป็นเมตร

และในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประมาณค่าจำนวนฟ้าผ่าที่เสาสูงไว้ตามสมการที่ 18 ซึ่งสามารถเขียนในรูปฟังก์ชันของ H ได้ดังนี้

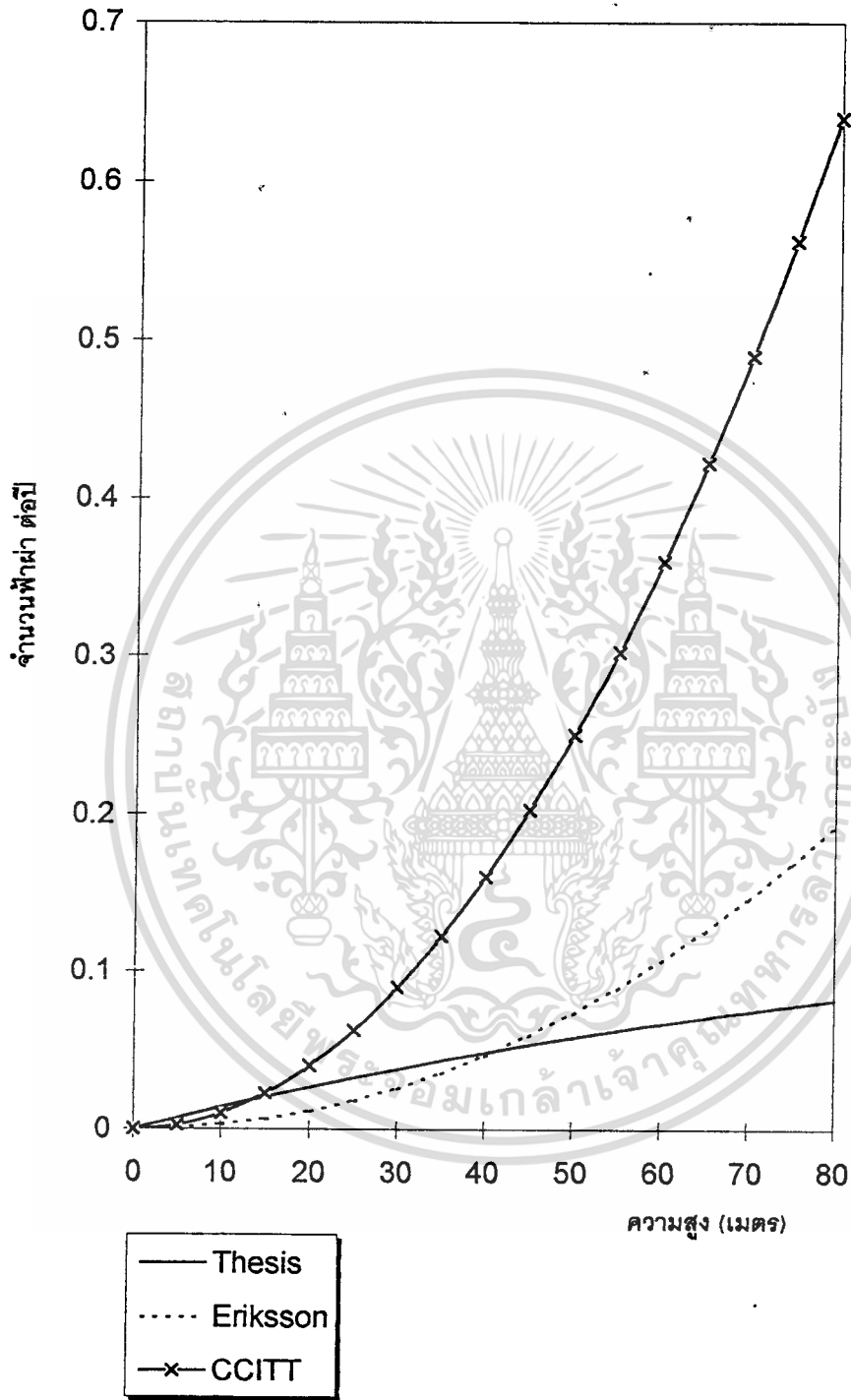
$$N = N_g (1.45H - 0.00063H^2) 10^{-3} \text{ ในกรณี } H < r_{\min} \quad (23)$$

$$N = 0.1386 \text{ ในกรณี } H > r_{\max} \quad (24)$$

เปรียบเทียบการประมาณค่าจำนวนฟ้าผ่าที่เสาสูง จากวิธีต่าง ๆ แสดงไว้ในตาราง

ความสูง (เมตร)	จำนวนฟ้าผ่าต่อปี		
	Thesis	Eriksson	CCITT
10	0.0139	0.0027	0.0100
20	0.0265	0.0112	0.0400
30	0.0380	0.0256	0.0900
40	0.0485	0.0462	0.1600
50	0.0580	0.0730	0.2500

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบการประมาณจำนวนฟ้าผ่าที่เสาสูง



รูปที่ 27 เปรียบเทียบการประมาณจำนวนไฟฟ้าที่เสาส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา⁴⁶ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 การเปรียบเทียบจำนวนฟ้าผ่าที่สายตัวนำ

ในส่วนนี้จะเปรียบเทียบผลจากการคำนวณจำนวนฟ้าผ่าที่สายตัวนำ เช่น สายส่งไฟฟ้า โดยใช้การเปรียบเทียบกับผลจากงานวิจัยของ Eriksson, IEEE Working group, CCITT

Eriksson ได้ประมาณค่าจำนวนฟ้าผ่าที่สายตัวนำ ไว้ดังนี้ [4]

$$N = N_g 1.4 H^{0.6} \quad \text{ครั้ง/ปี-100 km} \quad (25)$$

IEEE Working group ได้ประมาณค่าจำนวนฟ้าผ่าที่สายตัวนำ ไว้ดังนี้ [3]

$$N = N_g 0.2 H^{1.09} \quad \text{ครั้ง/ปี-100 km} \quad (26)$$

CCITT ได้ประมาณค่าจำนวนฟ้าผ่าที่สายตัวนำ ไว้ดังนี้ [7]

$$N = N_g 0.5 H \quad \text{ครั้ง/ปี-100 km} \quad (27)$$

และในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ประมาณค่าจำนวนฟ้าผ่าที่สายตัวนำไว้ตามสมการที่ 20 ซึ่งสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันได้ดังนี้

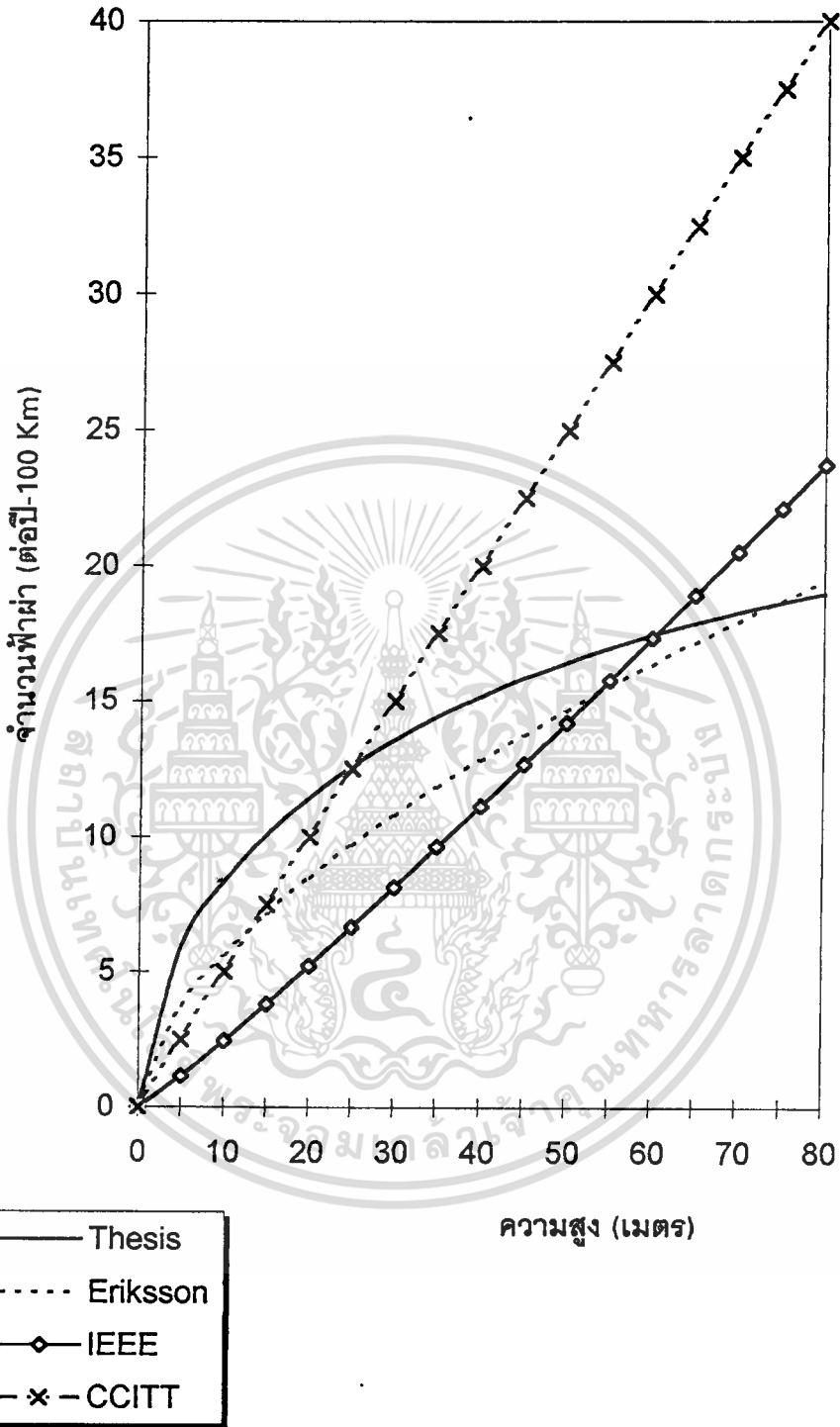
$$N = N_g 0.2 \int_H^r \frac{dp}{dr} \sqrt{2Hr - H^2} dr \quad \text{ในกรณี } H < r_{min} \quad (28)$$

$$N = N_g 0.2 \left(\int_{r_{min}}^H \frac{dp}{dr} r dr + \int_H^{r_{max}} \frac{dp}{dr} \sqrt{2Hr - H^2} dr \right) \quad \text{ในกรณี } H > r_{min} \quad (29)$$

ในการคำนวณจะใช้ค่า Ground flash density เท่ากับ 1 ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี ความยาวของตัวนำที่พิจารณาเท่ากับ 100 Km.

ความสูง (เมตร)	จำนวนฟ้าผ่าต่อปีต่อ 100 กิโลเมตร			
	Thesis	Eriksson	IEEE	CCITT
10	8.3838	5.5735	2.4605	5.0000
20	11.4797	8.4478	5.2378	10.0000
30	3.6007	10.7746	8.1488	15.0000
40	15.1937	12.8045	11.1500	20.0000
50	16.4441	14.6390	14.2203	25.0000
60	17.4522	16.3312	17.3466	30.0000

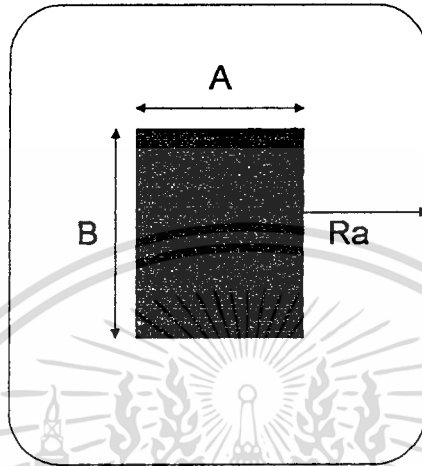
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบการประมาณจำนวนฟ้าผ่าที่สายตัวนำ



รูปที่ 28 เปรียบเทียบการประมาณจำนวนฟ้ายาที่สายตัวนำ

5.6 การคำนวณจำนวนฟ้าผ่าที่อาคาร

อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่ไม่มีการป้องกัน ก็จะเสี่ยงต่อการถูกฟ้าผ่ามาก ในที่นี่จะแสดงการประมาณจำนวนฟ้าผ่าที่อาคาร ซึ่งมีลักษณะพื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยม ในการคำนวณหาจำนวนฟ้าผ่าก็สามารถใช้หลักการตามที่ได้กล่าวไว้แล้ว



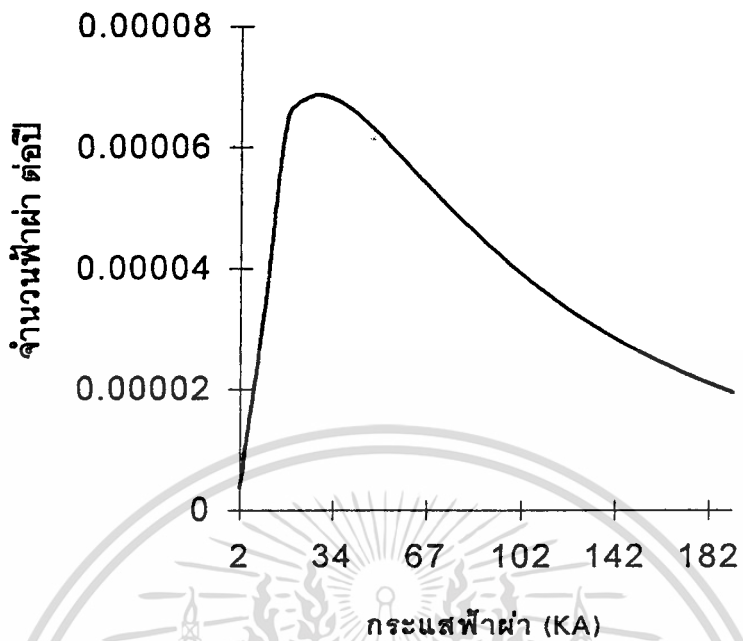
รูปที่ 29 พื้นที่สมมูลของอาคารรูปสี่เหลี่ยม

การหาฟังก์ชัน $A(r)$ ในกรณีนี้ สามารถหาได้โดยการพิจารณาจากรูป ซึ่งสามารถจะประมาณ $A(r)$ ได้คือ

$$A(r) = (2 R_a + A) \times (2 R_a + B) \times 10^{-6} \text{ Km}^2 \quad (30)$$

A และ B คือ ความกว้างและความยาวของอาคารตามลำดับ หน่วยเป็นเมตร
 R_a คือ รัศมีล่อฟ้า หน่วยเป็นเมตร

แทนค่าฟังก์ชัน $A(r)$ ลงในสมการที่ 16 จะสามารถคำนวณหาจำนวนฟ้าผ่าที่อาคารได้ ซึ่งจะเห็นว่าค่าจำนวนฟ้าผ่านี้จะใช้พารามิเตอร์ทั้งความกว้าง ความยาว ความสูงของอาคาร และพารามิเตอร์ของฟ้าผ่ามาใช้ในการคำนวณหา เช่น อาคารที่มีความกว้าง 20 เมตร ความยาว 40 เมตร ความสูง 20 เมตร ค่า ground flash density เท่ากับ 1 ครั้งต่อปีต่อตารางกิโลเมตร สามารถคำนวณหาจำนวนฟ้าผ่าที่อาคารนี้ได้เท่ากับ 0.0375 ครั้งต่อปี



รูปที่ 30 กราฟจำนวนฟ้าผ่าที่อาคารขนาด 20x40x20 เมตร

กระแสฟ้าผ่า (KA)	จำนวนฟ้าผ่าต่อปี
10	0.0000448
20	0.0000652
50	0.0000617
75	0.0000498
100	0.0000400
120	0.0000338
150	0.0000266
180	0.0000214
200	0.0000186

ตารางที่ 11 ค่าจำนวนฟ้าผ่าของอาคารขนาด 20x40x20 เมตร

Calculate Strike at Building

Widht of Building (m) = 20
 Lenght of Building (m) = 40
 Hieght of Building (m) = 20
 Initial Striking distance = 15
 Final Striking distance = 460
 Step of display = 10

r	I	N
15	2.74	0.0000067
25	5.19	0.0000214
35	7.90	0.0000360
45	10.81	0.0000477
55	13.90	0.0000562
65	17.12	0.0000620
75	20.48	0.0000657
85	23.94	0.0000677
95	27.51	0.0000685
105	31.18	0.0000685
115	34.94	0.0000677
125	38.77	0.0000666
135	42.69	0.0000650
145	46.68	0.0000633
155	50.74	0.0000614
165	54.86	0.0000594
175	59.05	0.0000573
185	63.30	0.0000552
195	67.60	0.0000532
205	71.96	0.0000512
215	76.38	0.0000492
225	80.84	0.0000473
235	85.36	0.0000454
245	89.92	0.0000436
255	94.53	0.0000419
265	99.19	0.0000403
275	103.89	0.0000387
285	108.63	0.0000371
295	113.42	0.0000357
305	118.24	0.0000343
315	123.11	0.0000329
325	128.01	0.0000316
335	132.96	0.0000304
345	137.94	0.0000292
355	142.95	0.0000281
365	148.00	0.0000270
375	153.09	0.0000260
385	158.21	0.0000250
395	163.36	0.0000241
405	168.55	0.0000232
415	173.77	0.0000223
425	179.02	0.0000215
435	184.30	0.0000208
445	189.61	0.0000200
455	194.95	0.0000193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calculate Strike at Building

Widht of Building (m) = 30
 Lenght of Building (m) = 50
 Hieght of Building (m) = 30
 Initial Striking distance = 15
 Final Striking distance = 460
 Step of display = 10

r	I	N
15	2.74	0.0000067
25	5.19	0.0000214
35	7.90	0.0000360
45	10.81	0.0000477
55	13.90	0.0000562
65	17.12	0.0000620
75	20.48	0.0000657
85	23.94	0.0000677
95	27.51	0.0000685
105	31.18	0.0000685
115	34.94	0.0000677
125	38.77	0.0000666
135	42.69	0.0000650
145	46.68	0.0000633
155	50.74	0.0000614
165	54.86	0.0000594
175	59.05	0.0000573
185	63.30	0.0000552
195	67.60	0.0000532
205	71.96	0.0000512
215	76.38	0.0000492
225	80.84	0.0000473
235	85.36	0.0000454
245	89.92	0.0000436
255	94.53	0.0000419
265	99.19	0.0000403
275	103.89	0.0000387
285	108.63	0.0000371
295	113.42	0.0000357
305	118.24	0.0000343
315	123.11	0.0000329
325	128.01	0.0000316
335	132.96	0.0000304
345	137.94	0.0000292
355	142.95	0.0000281
365	148.00	0.0000270
375	153.09	0.0000260
385	158.21	0.0000250
395	163.36	0.0000241
405	168.55	0.0000232
415	173.77	0.0000223
425	179.02	0.0000215
435	184.30	0.0000208
445	189.61	0.0000200
455	194.95	0.0000193

Number of strike = 0.0378749 strike/year

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การประยุกต์ใช้งาน

วิธีการคำนวณตามที่กล่าวมาแล้ว สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทั่วไปได้หลายรูปแบบ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระบบป้องกันฟ้าผ่า เป็นการช่วยปรับปรุงระบบป้องกันฟ้าผ่าให้ดีขึ้น ในบทนี้จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงการนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาของการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าในระบบที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าในแบบต่าง ๆ เช่น การหาประสิทธิภาพของระบบตัวนำล่อฟ้า ค่าการซีลด์ล้มเหลวของระบบป้องกันฟ้าผ่า เป็นต้น

6.1 ค่าการซีลด์ล้มเหลว

ค่าการซีลด์ล้มเหลว (shielding failure) หมายถึง โอกาสการป้องกันผิดพลาดของระบบที่มีการป้องกันอยู่ การศึกษาเกี่ยวกับการซีลด์ล้มเหลวนี้ ได้มีนักวิจัยหลายคนที่ได้ศึกษาวิจัยไว้ เพื่อเป็นหลักการในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ถูกต้องเหมาะสม แต่ในส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการศึกษาในด้านการป้องกันของสายส่งไฟฟ้า

การคำนวณค่าการซีลด์ล้มเหลวในวิทยานิพนธ์นี้ จะใช้หลักการคล้ายกับที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 แต่ในที่นี้จะเป็นการประมาณจำนวนฟ้าผ่าที่บริเวณที่ได้มีการป้องกันไว้ ซึ่งจะใช้สมการที่ 16 เป็นหลักในการคำนวณ มีรูปแบบสมการคือ

$$N_f = N_g A_f \text{ ครั้งต่อปี} \quad (31)$$

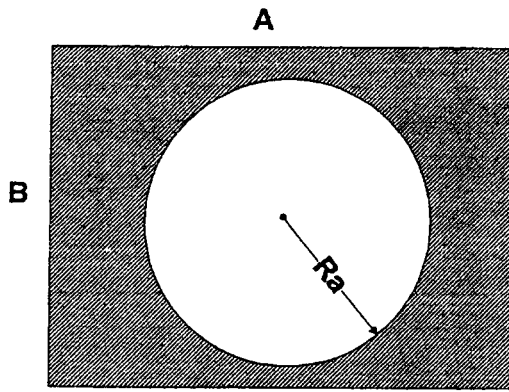
N_f คือ ค่าการซีลด์ล้มเหลว หน่วยเป็นครั้งต่อปี

N_g คือ Ground flash density หน่วยเป็นครั้งต่อปีต่อตารางกิโลเมตร

A_f คือ พื้นที่สมมูลย์ของบริเวณที่การซีลด์ล้มเหลวซึ่งเป็นฟังก์ชันกับระยะฟ้าผ่า หน่วยเป็นตารางกิโลเมตร

สมการที่ 31 หมายถึง ค่าการซีลด์ล้มเหลวคำนวณได้จากความหนาแน่นจำนวนฟ้าผ่าคูณกับพื้นที่ที่อยู่นอกขอบเขตการป้องกันซึ่งมีค่าแปรตามระยะฟ้าผ่า

ตัวอย่างการประมาณค่าการซีลด์ล้มเหลวของตัวนำล่อฟ้า จะพิจารณาหาค่าการซีลด์ล้มเหลวจากรูปที่ 31



รูปที่ 31 พื้นที่การชิลด์ลัมเหลว

จากรูปที่ 31 พื้นที่การชิลด์ลัมเหลว $A_f(r)$ ที่ระยะ r คือ บริเวณที่แรเงา ซึ่งคือ บริเวณที่อยู่นอกขอบเขตการป้องกันของตัวนำล่อฟ้า ค่า $A(r)$ คือ

$$A_f(r) = AB - \pi R_a^2 \quad (32)$$

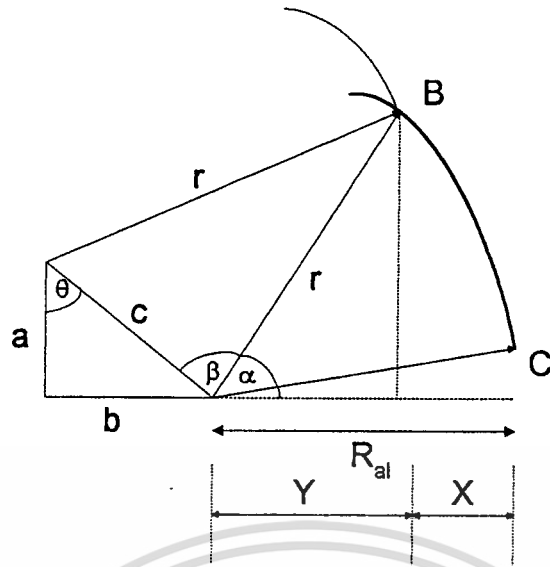
A และ B คือ ความกว้างและความยาวของพื้นที่ตามลำดับสมการของ $A_f(r)$ จะเปลี่ยนไปตามเงื่อนไขของ R_a และค่าการชิลด์ลัมเหลวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 16 ซึ่งในการคำนวณควรใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ

6.2 การป้องกันฟ้าผ่าของสายส่ง

ในการป้องกันฟ้าผ่าของสายส่งกำลังไฟฟ้านั้นจะใช้สายตัวนำล่อฟ้าหรือที่เรียกกันว่าสาย overhead ground wire ลากในแนวขนานให้อยู่เหนือสายส่ง โดยทำมุมกันเป็นค่ามุมป้องกันที่กำหนด โดยทั่วไปแล้วที่เสาสูง ๆ ค่ามุมป้องกันจะมีค่าน้อยลง ซึ่งที่เสาสูง ๆ โอกาสที่จะถูกฟ้าผ่าก็มีมากขึ้น

การป้องกันสายส่งด้วยตัวนำล่อฟ้านั้น บางครั้งก็ยังมีฟ้าผ่าลงที่บริเวณสายส่งได้ ซึ่งในสายส่งที่สูง ๆ นั้น จะกำหนดค่ามุมป้องกันให้น้อยลง เพื่อลดความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่า ค่ามุมป้องกันที่เหมาะสมนั้นจะเป็นฟังก์ชันกับความสูงของตัวนำ

การคำนวณค่าการชิลด์ลัมเหลวของสายตัวนำล่อฟ้าที่ป้องกันสายส่งนี้ ในการคำนวณจะใช้ได้ทั้งที่ค่าความสูงต่าง ๆ ของเสา และที่ค่ามุมป้องกันต่าง ๆ ของตัวนำล่อฟ้า หลักการคำนวณ จะใช้สมการที่ 31 และสมการที่ 16 ซึ่งจากสมการจะต้องคำนวณหาค่าพื้นที่สมมูลย์ในสมการก่อนโดยการแก้ปัญหาเรขาคณิตของรูปแบบที่เราพิจารณาอยู่



รูปที่ 33 รูปแบบทางเรขาคณิตของสายตัวนำล่อฟ้า

ค่า X สามารถหาได้ดังนี้

$$c = \frac{a}{\cos \theta} \quad (34-1)$$

$$\cos \beta = \frac{c^2 - r^2 - r^2}{2cr}$$

$$\beta = \cos^{-1}(c/2r) \quad (34-2)$$

$$\gamma = 90^\circ - \beta + \theta \quad (34-3)$$

$$Y = r \cos \gamma \quad (34-4)$$

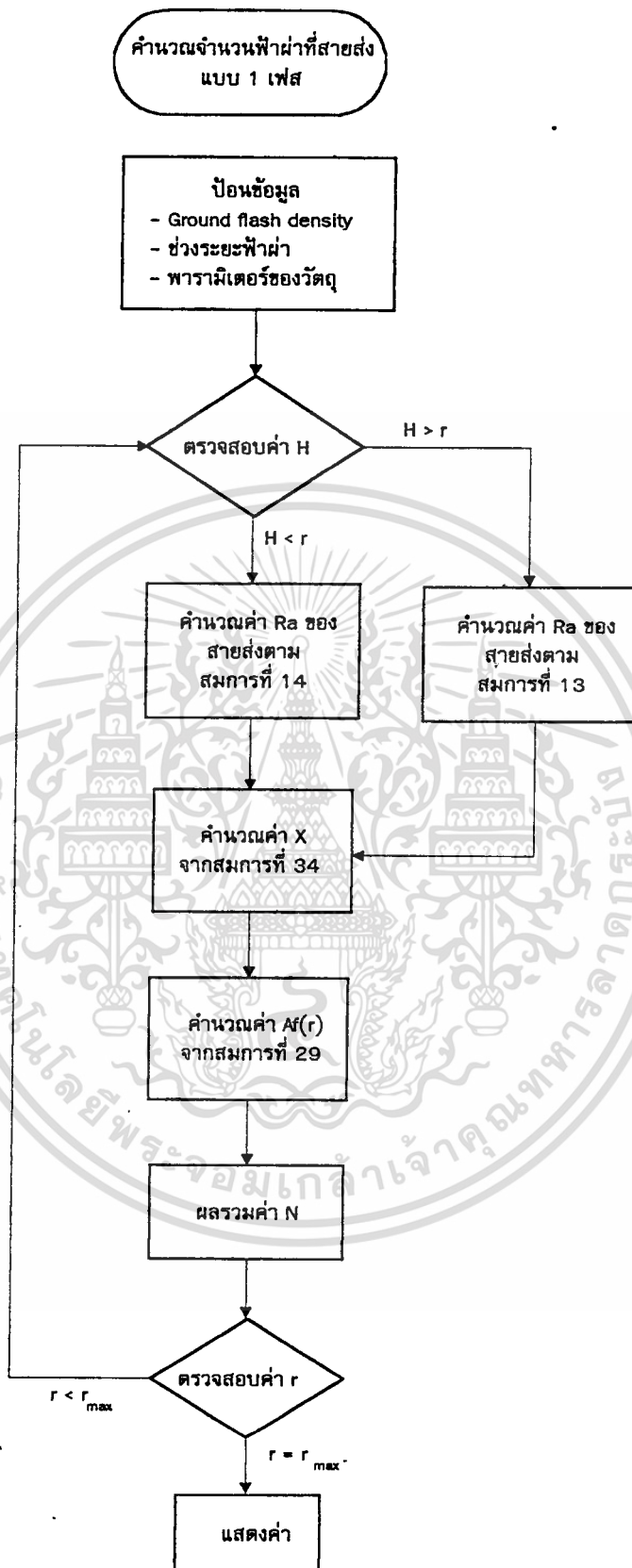
$$X = R_{al} - Y \quad (34-5)$$

θ คือ ค่ามุมป้องกัน หน่วยเป็นองศา

R_{al} คือ รัศมีล่อฟ้าของสายส่ง

ค่า X นี้จะเปลี่ยนไปตามระยะฟ้าผ่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูป จะเห็นว่าที่ค่ากระแสฟ้าผ่าสูง ๆ หรือที่ระยะฟ้าผ่ามาก ๆ แล้ว ค่า X จะกลายเป็นศูนย์ หมายความว่า ที่ค่ากระแสสูงการป้องกันจะได้ผลดี

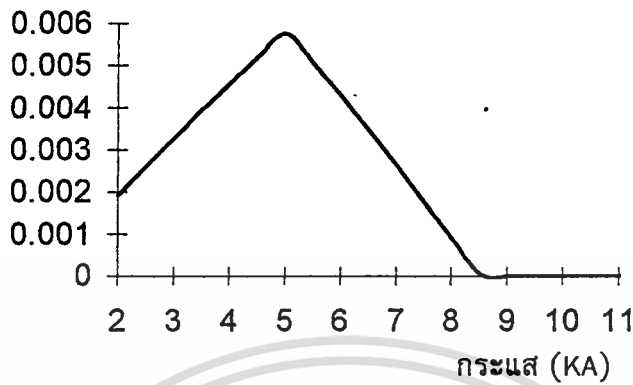
ในการนำไปใช้ออกแบบการป้องกันฟ้าผ่านั้น ส่วนโค้ง BC ควรจะไม่มีหรือค่า X ควรจะเป็นศูนย์ที่ค่ากระแสฟ้าผ่าขั้นต่ำสุดที่ยอมรับได้ ขึ้นอยู่กับการกำหนด เช่น อาจออกแบบมุมป้องกันที่ค่า X เป็นศูนย์ที่ค่ากระแส 5 KA.



รูปที่ 34 Flow chart การหาค่าการชิลด์ลัมเหลวของตัวนำล่อฟ้าแบบ 1 เฟส

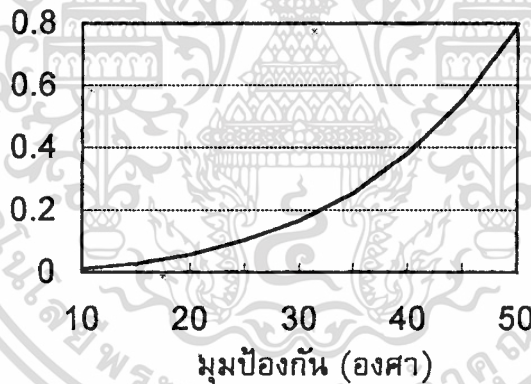
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อที่ 57 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการชิลด์ลัมเหลว
ครั้งต่อปี



รูปที่ 35 กราฟของกระแสดฟ้าผ่าและการชิลด์ลัมเหลว

ค่าการชิลด์ลัมเหลว
ครั้งต่อปี



รูปที่ 36 กราฟของมุมป้องกันและการชิลด์ลัมเหลว

กราฟรูปที่ 35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างและระหว่างกระแสดฟ้าผ่ากับค่าการชิลด์ลัมเหลวของเสาสูงที่มีความสูงของสายล่อฟ้า 30 เมตร ความสูงของสายส่ง 26 เมตร มุมป้องกัน 45 องศา ค่า ground flash density เท่ากับ 1 ครั้งต่อปี-Km² สามารถคำนวณค่าการชิลด์ลัมเหลวได้เท่ากับ 0.76 ครั้งต่อปี-100 Km และรูปที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมป้องกันกับค่าการชิลด์ลัมเหลวของสายส่งนี้

Calculate Transmission line Sheilding failuer

Height of Earth line (m)	=	15
Height of Line (m)	=	12
Protection angle (degree)	=	45
Initial striking distance	=	15
Final striking distance	=	460
Step of display	=	5
Ground flash density	=	5

r	I	Nf
15.00	2.74	0.012705
20.00	3.92	0.016178
25.00	5.19	0.016534
30.00	6.51	0.014497
35.00	7.90	0.010835
40.00	9.33	0.006177
45.00	10.81	0.000990
50.00	12.33	0.000000
55.00	13.90	0.000000
60.00	15.49	0.000000
65.00	17.12	0.000000
70.00	18.78	0.000000
75.00	20.48	0.000000
80.00	22.20	0.000000
85.00	23.94	0.9000000
90.00	25.72	0.000000
95.00	27.51	0.000000
100.00	29.34	0.000000

Number of strike to Line	=	0.726648	strike/y-100km
Number of strike to Earth Line	=	17.815708	strike/y-100km
Efficeincy of Sheilding	=	95.7143	%

Calculate Transmission line Sheilding failuer

Height of Earth line (m)	=	20
Height of Line (m)	=	16
Protection angle (degree)	=	45
Initial striking distance	=	15
Final striking distance	=	460
Step of display	=	5
Ground flash density	=	5

r	I	Nf
15.00	2.74	0.014684
20.00	3.92	0.021310
25.00	5.19	0.024496
30.00	6.51	0.024791
35.00	7.90	0.022972
40.00	9.33	0.019723
45.00	10.81	0.015579
50.00	12.33	0.010934
55.00	13.90	0.006073
60.00	15.49	0.001192
65.00	17.12	0.000000
70.00	18.78	0.000000
75.00	20.48	0.000000
80.00	22.20	0.000000
85.00	23.94	0.000000
90.00	25.72	0.000000
95.00	27.51	0.000000
100.00	29.34	0.000000
105.00	31.18	0.000000
110.00	33.05	0.000000
115.00	34.94	0.000000
120.00	36.85	0.000000
125.00	38.77	0.000000
130.00	40.72	0.000000
135.00	42.69	0.000000
140.00	44.68	0.000000
145.00	46.68	0.000000
150.00	48.70	0.000000

Number of strike to Line	=	1.557746	strike/y-100km
Number of strike to Earth Line	=	30.606756	strike/y-100km
Efficeincy of Sheilding	=	94.7167 %	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 60 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calculate Transmission line Sheilding failuer

Height of Earth line (m)	=	25
Height of Line (m)	=	21
Protection angle (degree)	=	45
Initial striking distance	=	15
Final striking distance	=	200
Step of display	=	5
Ground flash density	=	5

r	I	Nf
15.00	2.74	0.014684
20.00	3.92	0.022445
25.00	5.19	0.028776
30.00	6.51	0.031773
35.00	7.90	0.032156
40.00	9.33	0.030655
45.00	10.81	0.027863
50.00	12.33	0.024240
55.00	13.90	0.020123
60.00	15.49	0.015762
65.00	17.12	0.011330
70.00	18.78	0.006953
75.00	20.48	0.002713
80.00	22.20	0.000000
85.00	23.94	0.000000
90.00	25.72	0.000000
95.00	27.51	0.000000
100.00	29.34	0.000000
105.00	31.18	0.000000
110.00	33.05	0.000000
115.00	34.94	0.000000
120.00	36.85	0.000000
125.00	38.77	0.000000
130.00	40.72	0.000000
135.00	42.69	0.000000
140.00	44.68	0.000000
145.00	46.68	0.000000
150.00	48.70	0.000000
155.00	50.74	0.000000
160.00	52.79	0.000000

Number of strike to Line	=	2.634200	strike/y-100km
Number of strike to Earth Line	=	42.085953	strike/y-100km
Efficeincy of Sheilding	=	93.7118 %	

Calculate Transmission line Sheilding failuer

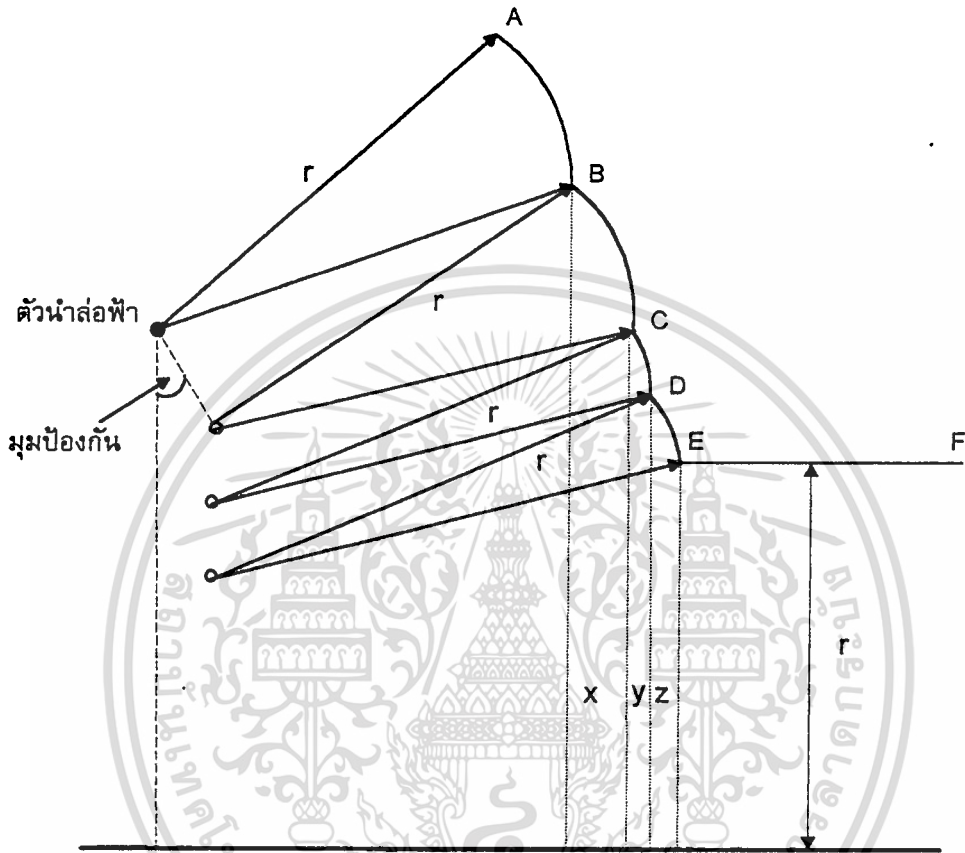
Height of Earth line (m)	=	25
Height of Line (m)	=	21
Protection angle (degree)	=	30
Initial striking distance	=	15
Final striking distance	=	200
Step of display	=	5
Ground flash density	=	5

r	I	Nf
15.00	2.74	0.007401
20.00	3.92	0.011079
25.00	5.19	0.013492
30.00	6.51	0.012933
35.00	7.90	0.010197
40.00	9.33	0.006021
45.00	10.81	0.000977
50.00	12.33	0.000000
55.00	13.90	0.000000
60.00	15.49	0.000000
65.00	17.12	0.000000
70.00	18.78	0.000000
75.00	20.48	0.000000
80.00	22.20	0.000000
85.00	23.94	0.000000
90.00	25.72	0.000000
95.00	27.51	0.000000
100.00	29.34	0.000000
105.00	31.18	0.000000
110.00	33.05	0.000000
115.00	34.94	0.000000
120.00	36.85	0.000000
125.00	38.77	0.000000
130.00	40.72	0.000000

Number of strike to Line	=	0.591479	strike/y-100km
Number of strike to Earth Line	=	42.085953	strike/y-100km
Efficeincy of Sheilding	=	98.5157 %	

6.2.2 สายส่งไฟฟ้าแบบ 3 เฟส

การหาค่าการชิลด์ลัมเพลวของสายส่งกำลังไฟฟ้าแบบ 3 เฟสนั้น จะมีหลักการคล้ายกับในกรณีสายส่งแบบ 1 เฟส แต่การหาพื้นที่การชิลด์ลัมเพลวในแบบ 3 เฟสจะมีความซับซ้อนกว่า จำนวนฟิวส์ที่สายส่งแต่ละเส้นก็จะต่างกันด้วย



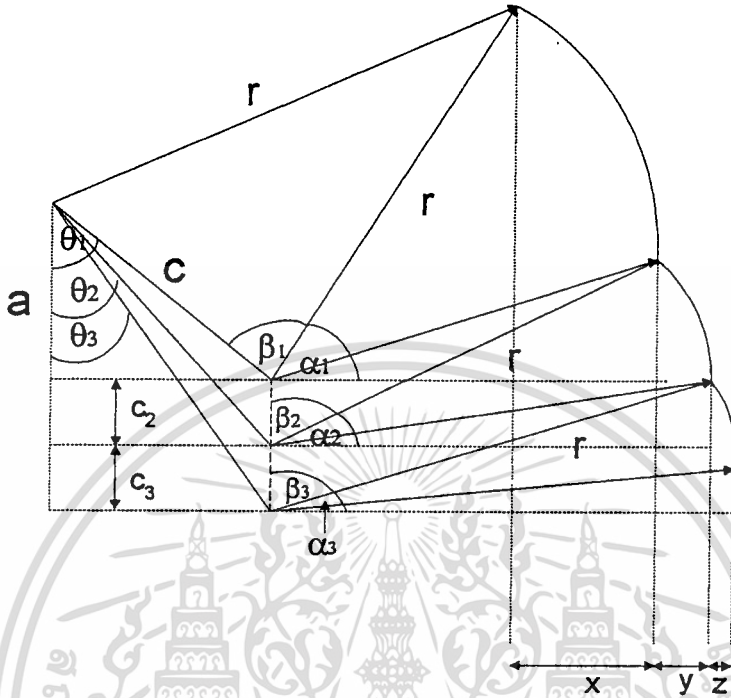
รูปที่ 37 แบบจำลองเรขาคณิตทางไฟฟ้าของสายส่ง 3 เฟส

เมื่อลำประจุที่มีค่าระยะฟิวส์ r รั้งมาในบริเวณสายส่ง ถ้าอยู่ในส่วนโค้ง AB ก็จะผ่าลงที่ตัวนำล่อฟ้า แต่ถ้ารั้งมาในแนวส่วนโค้ง BC จะผ่าลงที่สายส่งเฟสที่ 1 ถ้ารั้งมาที่แนวเส้นโค้ง CD ก็จะผ่าลงที่สายส่งเฟสที่ 2 ถ้ารั้งมาที่แนวเส้นโค้ง DE จะผ่าลงที่สายส่งเฟสที่ 3 และถ้ารั้งมาที่แนวเส้นตรง EF ก็จะผ่าลงที่พื้น

ดังนั้นในการประมาณจำนวนฟิวส์ที่สายส่งหรือการหาค่าการชิลด์ลัมเพลวจะต้องคำนวณหาพื้นที่การชิลด์ลัมเพลว $A_f(r)$ ในที่นี้คือค่าผลรวมของค่า x, y และ z คูณกับความยาวที่พิจารณา โดยทั่วไปเป็น 100 กิโลเมตร ซึ่งหาค่า $A_f(r)$ ได้คือ

$$A_f(r) = (x+y+z) L \quad (35)$$

ค่าการซัดล้มเหลวในที่จะคิดที่ด้านเดียวของเสาสูง ค่าของ x, y และ z หาได้จากการแก้ปัญหาทางเรขาคณิตของลักษณะสายส่ง



รูปที่ 38 รูปแบบเรขาคณิตของสายส่ง 3 เฟส

ค่า x หาได้จาก

$$\beta_1 = \cos^{-1}(c/2r) \quad (36)$$

$$\gamma_1 = 90^\circ - \beta_1 + \theta_1 \quad (37)$$

$$x = R_{a1} - r \cos \gamma_1 \quad (38)$$

ค่า y หาได้จาก

$$\beta_2 = \cos^{-1}(c_2/2r) \quad (39)$$

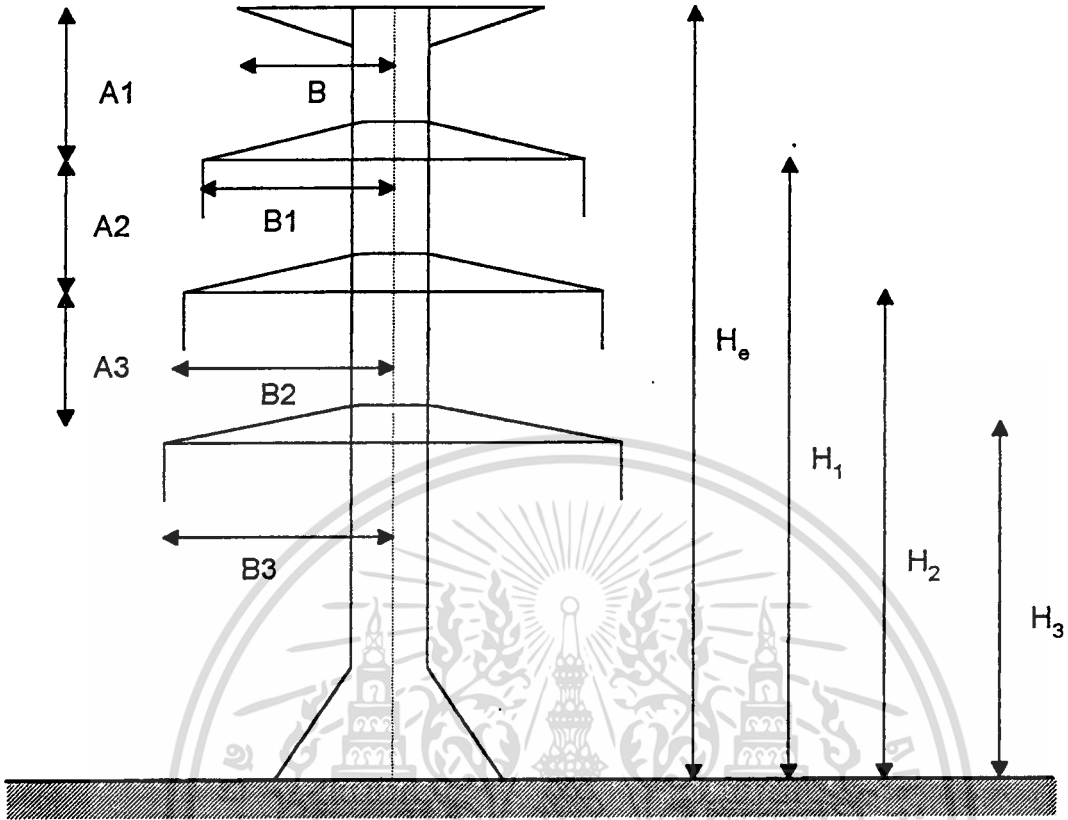
$$\gamma_2 = 90^\circ - \beta_2 + \theta_2 \quad (40)$$

$$y = R_{a2} - r \cos \gamma_2 \quad (41)$$

ค่า z หาได้จาก

$$\beta_3 = \cos^{-1}(c_3/2r) \quad (42)$$

$$z = R_{a3} - r \cos \gamma_3 \quad (43)$$



รูปที่ 39 สายส่ง 3 เฟสแบบ DA1

สายส่ง 3 เฟส 230 KV แบบ DA1 มีค่าต่าง ๆ ดังนี้

A1	=	4.5	เมตร
A2	=	5.5	เมตร
A3	=	5.5	เมตร
He	=	42.34	เมตร
H ₁	=	36	เมตร
H ₂	=	32	เมตร
H ₃	=	28	เมตร
B	=	2.8	เมตร
B1	=	4.780	เมตร
B2	=	4.880	เมตร
B3	=	5.345	เมตร

ค่า Ground flash density เท่ากับ 1 ครั้ง/ปี-ตารางกิโลเมตร ค่าระยะฟ้าผ่าคิดที่ช่วง 15-460 เมตร

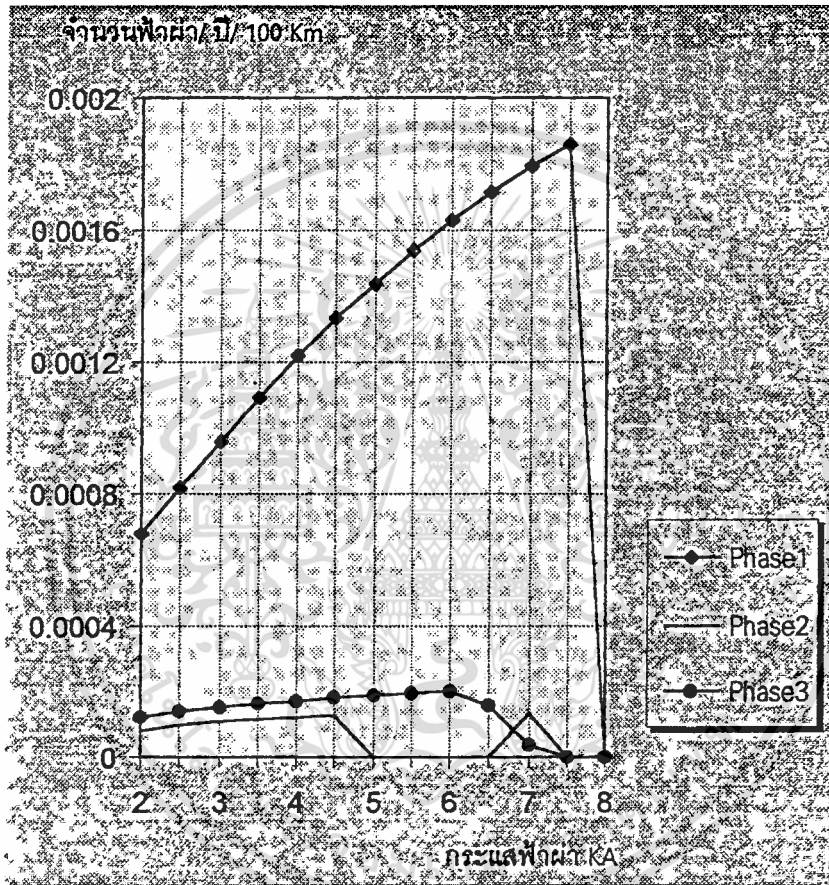
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณค่าการชิลด์ล้มเหลวของตัวนำล่อฟ้าแต่ละด้านได้เท่ากับ 0.085145 ครั้ง/ปี-100 Km

จำนวนฟ้าผ่าที่สายส่งเส้นที่ 1 เท่ากับ 0.071880 ครั้ง/ปี-100 Km. หรือคิดเป็น 84.42% ของการชิลด์ล้มเหลว

จำนวนฟ้าผ่าที่สายส่งเส้นที่ 2 เท่ากับ 0.001333 ครั้ง/ปี-100 Km หรือคิดเป็น 1.57% ของการชิลด์ล้มเหลว

จำนวนฟ้าผ่าที่สายส่งเส้นที่ 3 เท่ากับ 0.011933 ครั้ง/ปี-100 Km. หรือคิดเป็น 14.01% ของการชิลด์ล้มเหลว



รูปที่ 40 กราฟกระแสฟ้าผ่าที่สายส่ง 3 เฟส

จะเห็นว่าในเสาส่งแบบนี้ สายส่งเฟสที่ 1 จะมีโอกาสถูกฟ้าผ่ามากที่สุด และสายส่งเฟสที่ 2 มีโอกาสถูกฟ้าผ่าน้อยที่สุด ซึ่งถ้าต้องการลดความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่า ควรจะลดระยะห่างในแนวระดับของสายล่อฟ้ากับสายส่งลง

Calculate Three Phase Transmission line

Height of Earth line (m)	=	20
Height of Line 1 (m)	=	17
Height of Line 2 (m)	=	14
Height of Line 3 (m)	=	11
Horizontal distance from Earth line of line 1 (m)	=	3
Horizontal distance from Earth line of line 2 (m)	=	3
Horizontal distance from Earth line of line 3 (m)	=	3
Initial striking distance	=	15
Final striking distance	=	150
Step of increase	=	5
Ground Flash density	=	5

r	I	N1	N2	N3
15.00	2.74	0.013219	0.000000	0.000000
20.00	3.92	0.000000	0.000000	0.000000
25.00	5.19	0.000000	0.000000	0.000000
30.00	6.51	0.000000	0.000000	0.000000
35.00	7.90	0.000000	0.000000	0.000000
40.00	9.33	0.000000	0.000000	0.000000
45.00	10.81	0.000000	0.000000	0.000000
50.00	12.33	0.000000	0.000000	0.000000
55.00	13.90	0.000000	0.000000	0.000000
60.00	15.49	0.000000	0.000000	0.000000
65.00	17.12	0.000000	0.000000	0.000000
70.00	18.78	0.000000	0.000000	0.000000
75.00	20.48	0.000000	0.000000	0.000000
80.00	22.20	0.000000	0.000000	0.000000
85.00	23.94	0.000000	0.000000	0.000000
90.00	25.72	0.000000	0.000000	0.000000
95.00	27.51	0.000000	0.000000	0.000000
100.00	29.34	0.000000	0.000000	0.000000
105.00	31.18	0.000000	0.000000	0.000000
110.00	33.05	0.000000	0.000000	0.000000
115.00	34.94	0.000000	0.000000	0.000000
120.00	36.85	0.000000	0.000000	0.000000

Number of strike per year of Line 1	=	0.108259	/100km
	=	100.00	%
Number of strike per year of Line 2	=	0.000000	/100km
	=	0.00	%
Number of strike per year of Line 3	=	0.000000	/100km
	=	0.00	%
Total Number of strike per year	=	0.108259	

Calculate Three Phase Transmission line

Height of Earth line (m)	=	30
Height of Line 1 (m)	=	27
Height of Line 2 (m)	=	24
Height of Line 3 (m)	=	21
Horizontal distance from Earth line of line 1 (m)	=	3
Horizontal distance from Earth line of line 2 (m)	=	4
Horizontal distance from Earth line of line 3 (m)	=	5
Initial striking distance	=	15
Final striking distance	=	150
Step of increase	=	5
Ground Flash density	=	5

r	I	N1	N2	N3
15.00	2.74	0.012611	0.002232	0.003007
20.00	3.92	0.019235	0.002808	0.004447
25.00	5.19	0.025451	0.003161	0.004758
30.00	6.51	0.030998	0.003348	0.002324
35.00	7.90	0.035799	0.000000	0.000000
40.00	9.33	0.000000	0.000000	0.000000
45.00	10.81	0.000000	0.000000	0.000000
50.00	12.33	0.000000	0.000000	0.000000
55.00	13.90	0.000000	0.000000	0.000000
60.00	15.49	0.000000	0.000000	0.000000
65.00	17.12	0.000000	0.000000	0.000000
70.00	18.78	0.000000	0.000000	0.000000
75.00	20.48	0.000000	0.000000	0.000000
80.00	22.20	0.000000	0.000000	0.000000
85.00	23.94	0.000000	0.000000	0.000000
90.00	25.72	0.000000	0.000000	0.000000
95.00	27.51	0.000000	0.000000	0.000000
100.00	29.34	0.000000	0.000000	0.000000
105.00	31.18	0.000000	0.000000	0.000000
110.00	33.05	0.000000	0.000000	0.000000
115.00	34.94	0.000000	0.000000	0.000000
120.00	36.85	0.000000	0.000000	0.000000
125.00	38.77	0.000000	0.000000	0.000000
130.00	40.72	0.000000	0.000000	0.000000

Number of strike per year of Line 1	=	1.172464	/100km
	=	83.05	%
Number of strike per year of Line 2	=	0.107760	/100km
	=	7.63	%
Number of strike per year of Line 3	=	0.131600	/100km
	=	9.32	%
Total Number of strike per year	=	1.411824	

Calculate Three Phase Transmission line

Height of Earth line (m)	=	40
Height of Line 1 (m)	=	36
Height of Line 2 (m)	=	32
Height of Line 3 (m)	=	28
Horizontal distance from Earth line of line 1 (m)	=	4
Horizontal distance from Earth line of line 2 (m)	=	4
Horizontal distance from Earth line of line 3 (m)	=	4
Initial striking distance	=	15
Final striking distance	=	60
Step of increase	=	2
Ground Flash density	=	5

r	I	N1	N2	N3
15.00	2.74	0.014391	0.000000	0.000298
17.00	3.20	0.017515	0.000000	0.000293
19.00	3.68	0.020632	0.000000	0.000285
21.00	4.17	0.023696	0.000000	0.000275
23.00	4.67	0.026677	0.000000	0.000263
25.00	5.19	0.029552	0.000000	0.000251
27.00	5.71	0.032306	0.000000	0.000239
29.00	6.24	0.034930	0.000000	0.000170
31.00	6.79	0.037417	0.000000	0.000000
33.00	7.34	0.039765	0.000000	0.000000
35.00	7.90	0.041975	0.000000	0.000000
37.00	8.47	0.044047	0.000000	0.000000
39.00	9.04	0.000000	0.000000	0.000000
41.00	9.62	0.000000	0.000000	0.000000
43.00	10.22	0.000000	0.000000	0.000000
45.00	10.81	0.000000	0.000000	0.000000
47.00	11.42	0.000000	0.000000	0.000000
49.00	12.03	0.000000	0.000000	0.000000
51.00	12.64	0.000000	0.000000	0.000000
53.00	13.27	0.000000	0.000000	0.000000
55.00	13.90	0.000000	0.000000	0.000000
57.00	14.53	0.000000	0.000000	0.000000
59.00	15.17	0.000000	0.000000	0.000000

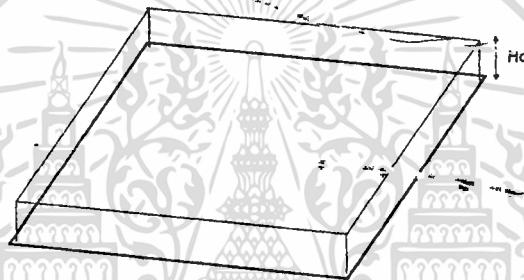
Number of strike per year of Line 1	=	1.408850	/100km
	=	99.45	%
Number of strike per year of Line 2	=	0.000000	/100km
	=	0.00	%
Number of strike per year of Line 3	=	0.007766	/100km
	=	0.55	%
Total Number of strike per year	=	1.416615	

6.3 การป้องกันฟ้าผ่าของอาคาร

การใช้ตัวนำล่อฟ้าในการป้องกันฟ้าผ่าอาคารนั้น โดยทั่วไปนิยมใช้กัน 2 แบบคือ ตัวนำล่อฟ้าแบบแท่ง (Lightning rod) และตัวนำล่อฟ้าแบบแนวราบ(Horizontal conductor) ในหลักการป้องกันของทั้ง 2 แบบจะเหมือนกัน

ค่าการซีลด์ลัมเหลวของตัวนำล่อฟ้าที่ป้องกันอาคารนั้น สามารถหาได้โดยการวิเคราะห์แบบจำลองเรขาคณิตทางไฟฟ้าของรูปแบบตัวนำล่อฟ้าที่พิจารณาอยู่ หาพื้นที่การซีลด์ลัมเหลวของระบบป้องกัน และคำนวณค่าการซีลด์ลัมเหลวได้จากสมการที่ 16 วิธีการนี้ทำให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของระบบตัวนำล่อฟ้าที่ใช้ได้อยู่ได้ การหาค่าการซีลด์ลัมเหลวในที่นี้คือการหาจำนวนฟ้าผ่าที่หลังคาอาคารที่เราออกแบบป้องกันอยู่

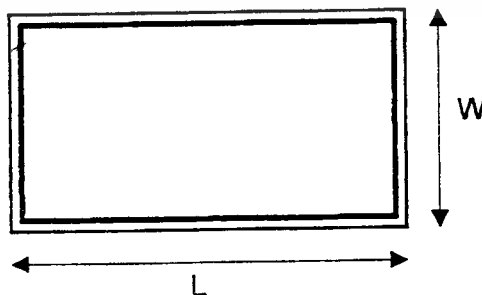
6.3.1 การป้องกันอาคารด้วยตัวนำล่อฟ้าแนวราบ



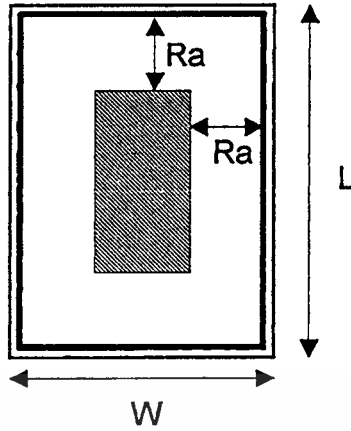
รูปที่ 41 การป้องกันฟ้าผ่าด้วยตัวนำล่อฟ้าแนวราบ

การหาค่าการซีลด์ลัมเหลวของตัวนำล่อฟ้าในแบบนี้ มีรูปแบบที่คล้ายกับการหาค่าการซีลด์ลัมเหลวของสายส่ง แต่ในที่นี้จะเป็นการประมาณค่าจำนวนฟ้าผ่าในบริเวณพื้นที่ที่เราออกแบบป้องกันไว้

การออกแบบติดตั้งตัวนำล่อฟ้าแบบนี้สามารถที่จะติดตั้งได้หลายรูปแบบ เช่น เดินสายที่ขอบอาคาร 2 ด้าน หรือเดินสายที่ขอบอาคารทั้ง 4 ด้านหรืออาจเดินสายที่แนวกลางด้วย ซึ่งเราสามารถที่จะใช้วิธีการนี้คำนวณประสิทธิภาพของแต่ละแบบได้ การคำนวณค่าการซีลด์ลัมเหลวในที่นี้ จะพิจารณาในแต่ละแบบ



รูปที่ 42 ตัวนำล่อฟ้าแนวราบแบบ A



รูปที่ 43 พื้นที่สมมูลย์ของตัวนำล่อฟ้าแนวราบแบบ A

จากรูปที่ 43 พื้นที่สมมูลย์ของการชิลด์ลัมเพลของระบบตัวนำล่อฟ้าแนวราบแบบ A คือพื้นที่แรงแวง ซึ่งพื้นที่นี้เป็นฟังก์ชันกับระยะฟ้าผ่า สามารถหาพื้นที่สมมูลย์ได้คือ

$$A_f(r) = LW - 2R_aL - 2(R_aW - 2R_a) \quad (44-1)$$

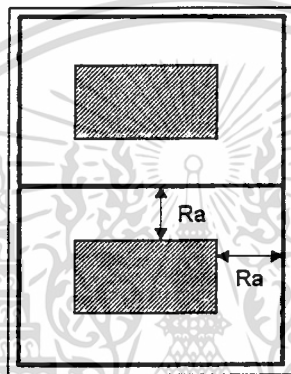
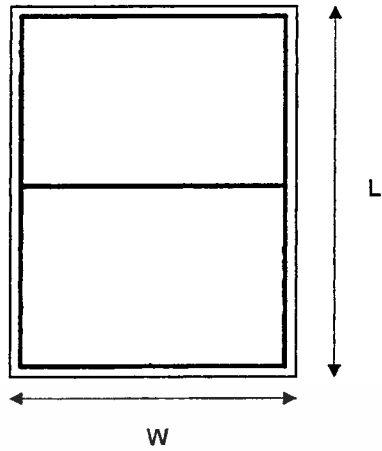
$$A_f(r) = LW - 2R_aL - 2R_aW + 4R_a \quad (44-2)$$

- $A_f(r)$ คือ พื้นที่สมมูลย์ หน่วยเป็นตารางเมตร
- w คือ ความกว้างของอาคาร หน่วยเป็นเมตร
- L คือ ความยาวของอาคาร หน่วยเป็นเมตร

ประมาณค่าการชิลด์ลัมเพลได้โดยคำนวณจากสมการ

$$N_f = N_g \int_{r_0}^{r_1} \frac{dp}{dr} A_f(r) dr \cdot 10^{-6} \text{ ครั้งต่อปี} \quad (45)$$

ถ้า L มีค่าเท่ากับ 40 เมตร W เท่ากับ 20 เมตร ค่า ground flash density เท่ากับ 1 ครั้งต่อปี-Km² ระยะฟ้าผ่าอยู่ในช่วง 15 - 460 เมตร ความสูงของตัวนำล่อฟ้าเท่ากับ 0.1 เมตร คำนวณค่าการชิลด์ลัมเพลได้เท่ากับ 0.0040 ครั้งต่อปี



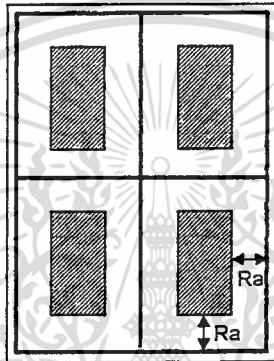
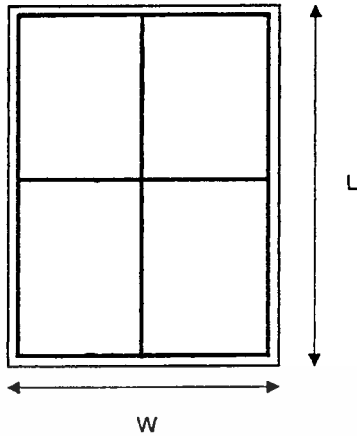
รูปที่ 44 ตัวนำล่อฟ้าแนวราบแบบ B

วางตัวนำล่อฟ้าแนวราบตามรูป ซึ่งกำหนดให้เป็นแบบ B การหาพื้นที่การชิลด์ลัมเหลวคือ หาพื้นที่บริเวณที่แรเงา ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$A_f(r) = LW - 4R_aW - 2R_aL + 8R_a^2 \quad (46)$$

และคำนวณค่าการชิลด์ลัมเหลวจากสมการ 45

เมื่อคำนวณค่าการชิลด์ลัมเหลว โดยมีค่าตัวแปรต่าง ๆ เหมือนกับในแบบ A สามารถคำนวณค่าการชิลด์ลัมเหลวได้เท่ากับ 0.0026 ครั้งต่อปี

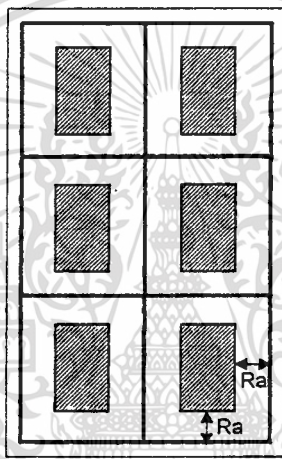
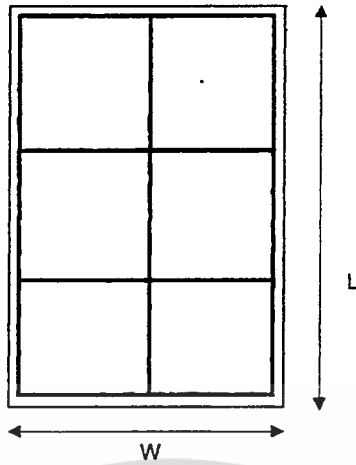


รูปที่ 45 ตัวนำล่อฟ้าแนวราบแบบ C

จากรูป หาพื้นที่การซีลด์ลัมเหลว $A_f(r)$ ได้คือ

$$A_f(r) = LW - 4R_aW - 4R_aL + 16R_a^2 \quad (47)$$

เมื่อคำนวณค่าการซีลด์ลัมเหลว โดยมีค่าตัวแปรต่าง ๆ เหมือนกับในแบบ A สามารถคำนวณค่าการซีลด์ลัมเหลวได้เท่ากับ 0.00070 ครั้งต่อปี



รูปที่ 46 ตัวนำล่อฟ้าแนวราบแบบ D

จากรูป หาพื้นที่การซีลด์ลัมเหลว $A_f(r)$ ได้คือ

$$A_f(r) = LW - 6R_aW - 4R_aL + 24R_a^2 \quad (48)$$

เมื่อคำนวณค่าการซีลด์ลัมเหลว โดยมีค่าตัวแปรต่าง ๆ เหมือนกับในแบบ A สามารถคำนวณค่าการซีลด์ลัมเหลวได้เท่ากับ 0.00050 ครั้งต่อปี

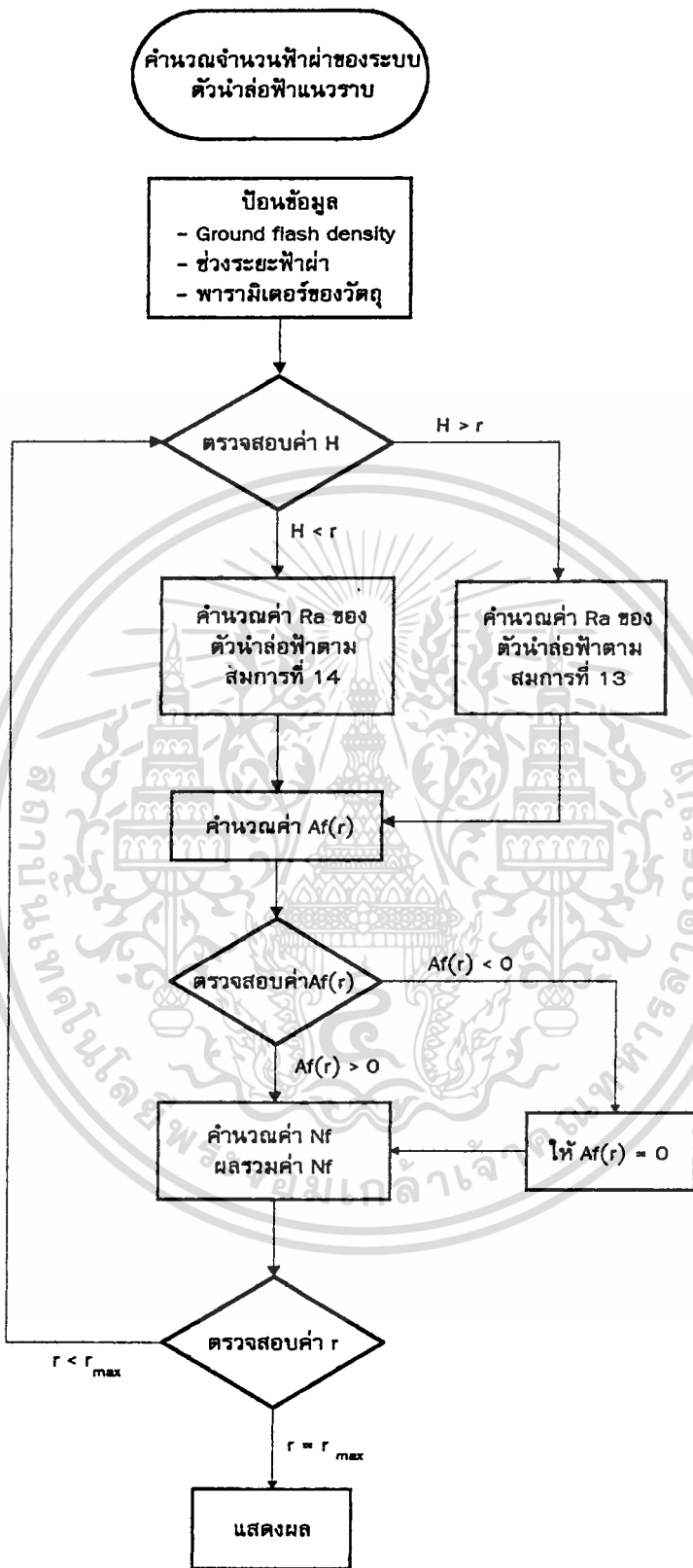
ในการเลือกติดตั้งตัวนำล่อฟ้าในรูปแบบใดนั้น ขึ้นกับความเหมาะสมและจำเป็นของสถานที่นั้น เช่น อาคารบางหลังอาจต้องการใช้เนื้อที่บนดาดฟ้า ก็อาจเลือกแบบ A ซึ่งจะมีพื้นที่ว่างตรงกลาง และถ้าต้องการความปลอดภัยมาก ก็อาจจะเพิ่มความสูงของตัวนำล่อฟ้า แต่บางอาคารก็อาจจะวางโครงข่ายตัวนำให้ถี่มาก และลดความสูงของตัวนำลงให้มากที่สุด

ตารางที่ 12 แสดงค่าความสูงของตัวนำกับค่าการซีลด์ล้มเหลว

ความสูงของตัวนำ (เมตร)	รูปแบบตัวนำล่อฟ้า			
	A	B	C	D
0.1	0.006320	0.004738	0.002010	0.001553
0.2	0.004017	0.002688	0.000705	0.000505
0.3	0.002779	0.001716	0.000295	0.000199
0.4	0.002017	0.001168	0.000131	0.000083
0.5	0.001512	0.000828	0.000057	0.000034
0.6	0.001160	0.000605	0.000022	0.000012
0.7	0.000906	0.000451	0.000006	0.000003
0.8	0.000717	0.000341	0.000001	0
0.9	0.000574	0.000262	0	0
1	0.000463	0.000203	0	0

ตารางที่ 12 ค่าการซีลด์ล้มเหลวของตัวนำล่อฟ้าแนวราบที่ความสูงต่าง ๆ

จากตาราง จะเห็นว่าที่ความสูงของตัวนำล่อฟ้าที่มากขึ้น ความปลอดภัยในการป้องกันจะมากขึ้น ซึ่งจากวิธีการนี้เราสามารถใช้ออกแบบกำหนดขนาดความสูงของตัวนำล่อฟ้าที่เหมาะสมที่สุดของระบบป้องกันฟ้าผ่าได้



รูปที่ 47 Flow chart การหาค่าการชิลด์ล้มเหลวของตัวนำล่อฟ้าแบบแนวราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Estimate sheilding failure of Lightning meshes at roof

Width of Building (m)	=	20
Length of Building (m)	=	40
Width of mesh (m)	=	20
Length of mesh (m)	=	40
Height of mesh (m)	=	0.2
Initial striking distance	=	12
Final striking distance	=	300
Ground flash density	=	5
Step of display	=	10

r	I	Nf
12.00	2.07	0.00000981
22.00	4.42	0.00001426
32.00	7.06	0.00001432
42.00	9.92	0.00001277
52.00	12.95	0.00001085
62.00	16.14	0.00000900
72.00	19.46	0.00000738
82.00	22.89	0.00000601
92.00	26.43	0.00000487
102.00	30.07	0.00000394
112.00	33.80	0.00000318
122.00	37.61	0.00000255
132.00	41.51	0.00000205
142.00	45.47	0.00000163
152.00	49.51	0.00000130
162.00	53.62	0.00000102
172.00	57.79	0.00000079
182.00	62.01	0.00000061
192.00	66.30	0.00000046
202.00	70.65	0.00000034
212.00	75.05	0.00000024
222.00	79.50	0.00000016
232.00	84.00	0.00000009
242.00	88.55	0.00000004
252.00	93.14	0.00000000
262.00	97.79	0.00000000
272.00	102.47	0.00000000
282.00	107.21	0.00000000
292.00	111.98	0.00000000

Number of strike per year = 0.00207306

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Estimate sheilding failure of Lightning meshes at roof

Width of Building (m)	=	20
Length of Building (m)	=	40
Width of mesh (m)	=	10
Length of mesh (m)	=	20
Heigth of mesh (m)	=	0.2
Initial striking distance	=	12
Final striking distance	=	250
Ground flash density	=	5
Step of display	=	10

r	I	Nf
12.00	2.07	0.00000620
22.00	4.42	0.00000683
32.00	7.06	0.00000498
42.00	9.92	0.00000291
52.00	12.95	0.00000125
62.00	16.14	0.00000006
72.00	19.46	0.00000000
82.00	22.89	0.00000000
92.00	26.43	0.00000000
102.00	30.07	0.00000000
112.00	33.80	0.00000000
122.00	37.61	0.00000000
132.00	41.51	0.00000000
142.00	45.47	0.00000000
152.00	49.51	0.00000000
162.00	53.62	0.00000000
172.00	57.79	0.00000000
182.00	62.01	0.00000000
192.00	66.30	0.00000000
202.00	70.65	0.00000000
212.00	75.05	0.00000000
222.00	79.50	0.00000000
232.00	84.00	0.00000000
242.00	88.55	0.00000000

Number of strike per year = 0.00039212

Estimate sheilding failure of Lightning meshes at roof

Width of Building (m)	=	20
Length of Building (m)	=	40
Width of mesh (m)	=	10
Length of mesh (m)	=	10
Height of mesh (m)	=	0.1
Initial striking distance	=	12
Final striking distance	=	200
Ground flash density	=	5
Step of display	=	5

r	I	Nf
12.00	2.07	0.00000672
17.00	3.20	0.00000796
22.00	4.42	0.00000803
27.00	5.71	0.00000747
32.00	7.06	0.00000663
37.00	8.47	0.00000571
42.00	9.92	0.00000481
47.00	11.42	0.00000399
52.00	12.95	0.00000326
57.00	14.53	0.00000263
62.00	16.14	0.00000209
67.00	17.78	0.00000164
72.00	19.46	0.00000127
77.00	21.16	0.00000096
82.00	22.89	0.00000071
87.00	24.65	0.00000052
92.00	26.43	0.00000036
97.00	28.24	0.00000024
102.00	30.07	0.00000015
107.00	31.93	0.00000009
112.00	33.80	0.00000004
117.00	35.70	0.00000001
122.00	37.61	0.00000000
127.00	39.55	0.00000000
132.00	41.51	0.00000000
137.00	43.48	0.00000000
142.00	45.47	0.00000000
147.00	47.48	0.00000000
152.00	49.51	0.00000000
157.00	51.56	0.00000000
162.00	53.62	0.00000000
167.00	55.69	0.00000000
172.00	57.79	0.00000000
177.00	59.89	0.00000000
182.00	62.01	0.00000000
187.00	64.15	0.00000000
192.00	66.30	0.00000000
197.00	68.47	0.00000000

Number of strike per year = 0.00062417

Estimate sheilding failure of Lightning meshes at roof

Width of Building (m)	=	20
Length of Building (m)	=	40
Width of mesh (m)	=	5
Length of mesh (m)	=	10
Height of mesh (m)	=	0.01
Initial striking distance	=	12
Final striking distance	=	400
Ground flash density	=	5
Step of display	=	10

r	I	Nf
12.00	2.07	0.00001021
22.00	4.42	0.00001515
32.00	7.06	0.00001549
42.00	9.92	0.00001407
52.00	12.95	0.00001216
62.00	16.14	0.00001028
72.00	19.46	0.00000859
82.00	22.89	0.00000714
92.00	26.43	0.00000592
102.00	30.07	0.00000490
112.00	33.80	0.00000405
122.00	37.61	0.00000335
132.00	41.51	0.00000278
142.00	45.47	0.00000230
152.00	49.51	0.00000190
162.00	53.62	0.00000157
172.00	57.79	0.00000129
182.00	62.01	0.00000106
192.00	66.30	0.00000087
202.00	70.65	0.00000071
212.00	75.05	0.00000058
222.00	79.50	0.00000046
232.00	84.00	0.00000037
242.00	88.55	0.00000029
252.00	93.14	0.00000022
262.00	97.79	0.00000017
272.00	102.47	0.00000012
282.00	107.21	0.00000008
292.00	111.98	0.00000005
302.00	116.79	0.00000002
312.00	121.65	0.00000000
322.00	126.54	0.00000000
332.00	131.47	0.00000000
342.00	136.44	0.00000000
352.00	141.44	0.00000000
362.00	146.48	0.00000000
372.00	151.56	0.00000000
382.00	156.67	0.00000000
392.00	161.81	0.00000000

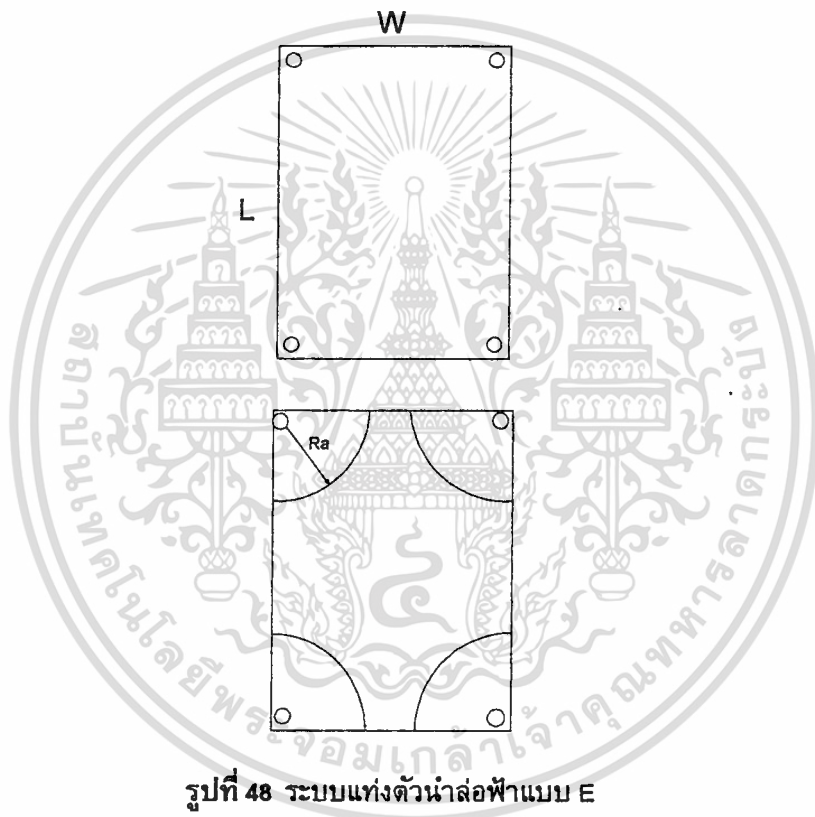
Number of strike per year = 0.00244036

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 80 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.2 การป้องกันอาคารด้วยแท่งตัวนำล่อฟ้า

วิธีการป้องกันฟ้าผ่าอาคารอีกแบบที่นิยมใช้กันมาก คือ การติดตั้งแท่งตัวนำล่อฟ้า วิธีการออกแบบระบบตัวนำล่อฟ้าแบบนี้ ส่วนมากแล้วจะใช้หลักการมุมป้องกัน ซึ่งมีวิธีการออกแบบง่าย ๆ ไม่ซับซ้อนนัก ในการออกแบบสามารถเลือกรูปแบบของระบบตัวนำล่อฟ้าได้หลายรูปแบบ ในส่วนนี้จะใช้วิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ประมาณหาค่าการชิลด์ลัมเพลวของระบบตัวนำล่อฟ้าหลายรูปแบบได้ซึ่งจะทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบได้ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกระบบตัวนำล่อฟ้าที่เหมาะสมได้

การคำนวณค่าการชิลด์ลัมเพลวของแท่งตัวนำล่อฟ้าในที่นี้ก็มีหลักการที่คล้ายกับของตัวนำล่อฟ้าแบบแนวราบ หลักการแก้ปัญหา ก็คือการหาพื้นที่การชิลด์ลัมเพลวของระบบตัวนำล่อฟ้า ซึ่งแต่ละรูปแบบก็จะมีวิธีการคำนวณที่แตกต่างกัน

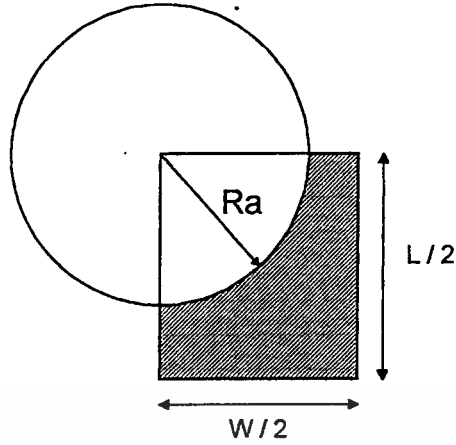


รูปที่ 48 ระบบแท่งตัวนำล่อฟ้าแบบ E

(การวางตัวนำล่อฟ้าตามรูปที่ 48 กำหนดให้เป็นแบบ E เพื่อความสะดวกในการอ้างถึง)

พื้นที่การชิลด์ลัมเพลวของระบบตัวนำล่อฟ้าแบบ E คือ พื้นที่ที่อยู่นอกบริเวณระยะล่อฟ้าของแท่งตัวนำล่อฟ้า ซึ่งคือพื้นที่ส่วนโค้งที่มีรัศมี R_a

การหาค่า A_f ของตัวนำล่อฟ้าแบบแท่งนี้มีการคำนวณที่ค่อนข้างซับซ้อนกว่าในแบบแนวราบซึ่งจะต้องมีเงื่อนไขในการคำนวณที่ค่าระยะฟ้าผ่าต่าง ๆ



รูปที่ 49 พื้นที่สมมูลย์เมื่อ R_a น้อยกว่า $L/2$ และ $W/2$

ในการหาพื้นที่การซัดล้มเหลวของตัวนำล่อฟ้ารูปแบบ E เราจะแบ่งพื้นที่ของบริเวณที่ป้องกันออกเป็น 4 ส่วนเท่ากัน แต่แต่ละส่วนมีพื้นที่เท่ากันซึ่งมีขนาด $W/2 \times L/2$ และค่า W น้อยกว่า L พื้นที่การซัดล้มเหลวคือพื้นที่บริเวณแรเงา

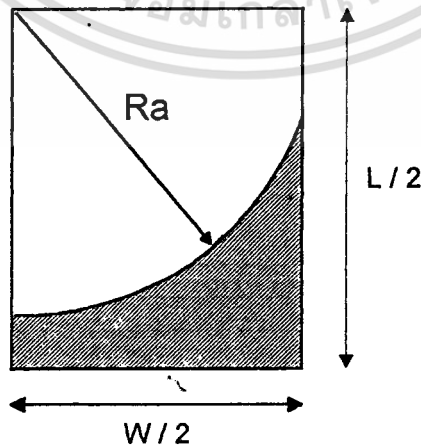
ในกรณีที่ $R_a < W/2 < L/2$

$$\frac{Af(r)}{4} = \frac{LW}{4} - \frac{\pi R_a^2}{4} \quad (49)$$

$$A_f(r) = \frac{LW - \pi R_a^2}{1} \quad (50)$$

W คือ ความกว้างของอาคาร

L คือ ความยาวของอาคาร



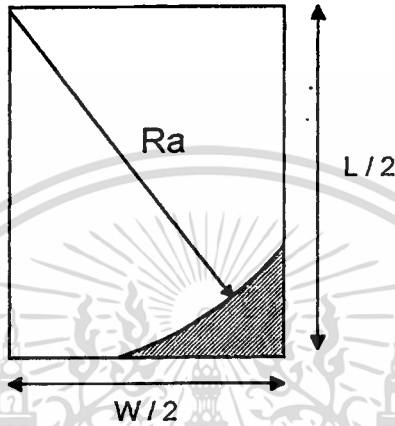
รูปที่ 50 พื้นที่สมมูลย์เมื่อ $W/2 < R_a < L/2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ $W/2 < R_a < L/2$

$$\frac{Af(r)}{4} = \frac{LW}{4} - \frac{R_a^2}{2} \sin^{-1} \frac{W/2}{R_a} - \frac{1}{2} \frac{W}{2} \sqrt{R_a^2 - (W/2)^2} \quad (51)$$

$$Af(r) = LW - 2R_a^2 \sin^{-1} \frac{W/2}{R_a} - W \sqrt{R_a^2 - (W/2)^2} \quad (52)$$



ในกรณีที่ $R_a > L/2 > W/2$

$$\frac{Af(r)}{4} = \frac{LW}{4} - \frac{R_a^2}{2} \left(\sin^{-1} \frac{W/2}{R_a} - \sin^{-1} \frac{L/2}{R_a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{W}{2} \sqrt{R_a^2 - (W/2)^2} + \frac{L}{2} \sqrt{R_a^2 - (L/2)^2} \right) \quad (53)$$

$$Af(r) = LW - 2R_a^2 \left(\sin^{-1} \frac{W/2}{R_a} - \sin^{-1} \frac{L/2}{R_a} \right) - W \sqrt{R_a^2 - (W/2)^2} - L \sqrt{R_a^2 - (L/2)^2} \quad (54)$$

ในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าที่จัดวางตัวนำล่อฟ้าตามรูปแบบ E เมื่อใช้วิธีมุมป้องกัน 45 องศา จะต้องใช้ค่าความสูงของตัวนำล่อฟ้าเท่ากับ

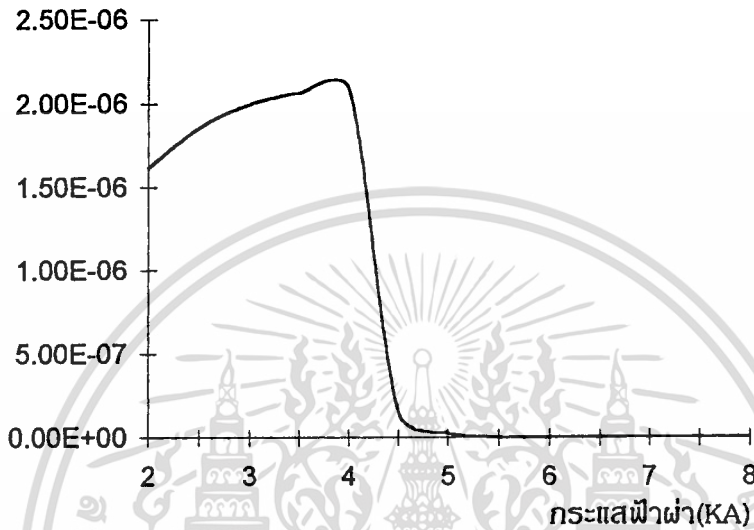
$$\tan 45^\circ = \frac{\sqrt{(W/2)^2 + (L/2)^2}}{h} \quad (55)$$

$$h = \sqrt{(W/2)^2 + (L/2)^2} \quad (56)$$

ถ้าอาคารที่มีขนาด W เท่ากับ 20 เมตร และ L เท่ากับ 40 เมตร ความสูงของตัวนำล่อฟ้าที่คำนวณได้จากสมการ 56 จะเท่ากับ 22 เมตร ซึ่งเป็นขนาดที่สูงมาก ในทางปฏิบัติอาจจะใช้การวางจำนวนตัวนำล่อฟ้าให้มากขึ้นหรืออาจติดตั้งนำล่อฟ้าบนวัตถุอื่นที่มีความสูง เช่น แท็งก์น้ำ แต่ในบางครั้งก็อาจมีการใช้ตัวนำล่อฟ้าที่มีความสูงน้อยกว่านี้ได้เพื่อความสะดวก

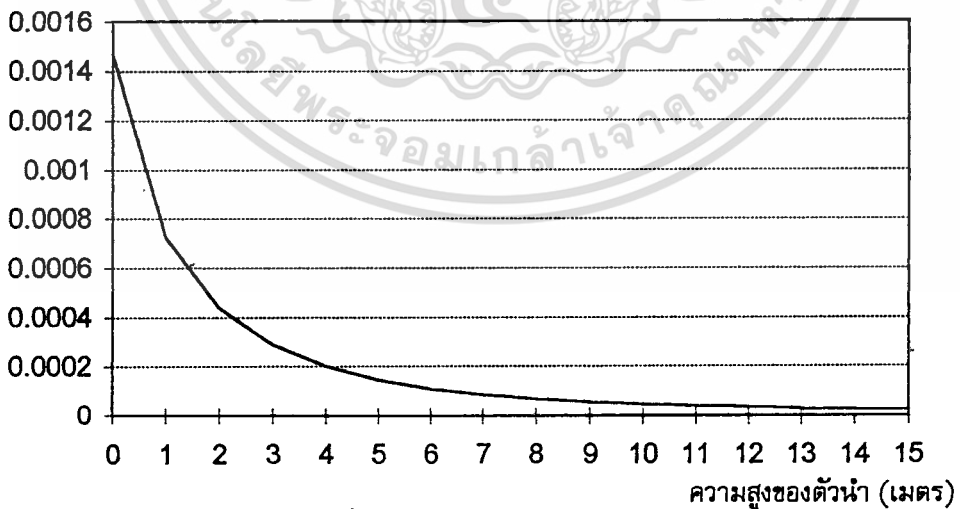
เมื่อกำหนดให้ค่า ground flash density เท่ากับ 1 ครั้งต่อปี-Km² สามารถคำนวณค่าการชิลด์ล้มเหลวของตัวนำล่อฟ้าที่วางในรูปแบบ E มีค่ามุมป้องกัน 45 องศา ได้เท่ากับ 3.28×10^{-5} ครั้งต่อปี ซึ่งขนาดนี้ตามมาตรฐานอังกฤษถือว่าอยู่ในขั้นปลอดภัยสูงแล้ว แต่ถ้าเป็นอาคารสิ่งก่อสร้างที่มีความสำคัญมากจะต้องมีค่าการชิลด์ล้มเหลวที่ต่ำกว่านี้ [9]

ค่าการชิลด์ล้มเหลว

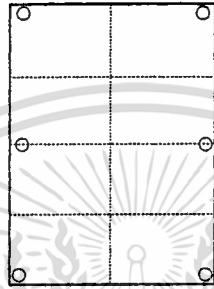
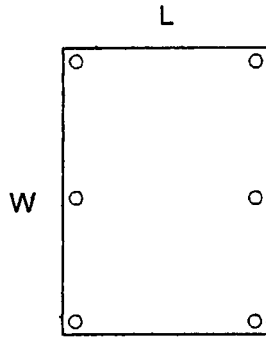


รูปที่ 52 กราฟการชิลด์ล้มเหลวที่ค่ากระแสต่าง ๆ ของตัวนำล่อฟ้าแบบ E

ค่าการชิลด์ล้มเหลว



รูปที่ 53 กราฟการชิลด์ล้มเหลวที่ความสูงต่าง ๆ ของตัวนำล่อฟ้าแบบ E



รูปที่ 54 ระบบแท่งตัวนำล่อฟ้าแบบ F

ระบบตัวนำล่อฟ้าตามรูปที่ 54 ซึ่งกำหนดให้เรียกว่าเป็นแบบ F การคำนวณค่าการซีลด์ลัมเหลวของแบบนี้ใช้หลักการที่เหมือนกับในแบบ E แต่ในแบบนี้จะแบ่งพื้นที่การป้องกันออกเป็น 8 ส่วนตามรูป ซึ่งแต่ละส่วนมีพื้นที่ขนาด $W/2 \times L/4$ ในการคำนวณหาค่า $A_f(r)$ จะต้องพิจารณาเงื่อนไขในการคำนวณที่ค่าระยะ ฟาผ่าต่าง ๆ ด้วย ในที่นี้พิจารณาที่ $W/2 < L/4$

ในกรณีที่ $R_a < W/2 < L/4$

$$\frac{A_f(r)}{8} = \frac{LW}{8} - \frac{\pi R_a^2}{4} \quad (57)$$

$$A_f(r) = LW - 2\pi R_a^2 \quad (58)$$

ในกรณีที่ $W/2 < R_a < L/4$

$$\frac{A_f(r)}{8} = \frac{LW}{8} - \frac{R_a^2}{2} \sin^{-1} \frac{W/2}{R_a} - \frac{1}{2} \frac{W}{2} \sqrt{R_a^2 - (W/2)^2} \quad (59)$$

$$A_f(r) = LW - 4R_a^2 \sin^{-1} \frac{W/2}{R_a} - 2W \sqrt{R_a^2 - (W/2)^2} \quad (60)$$

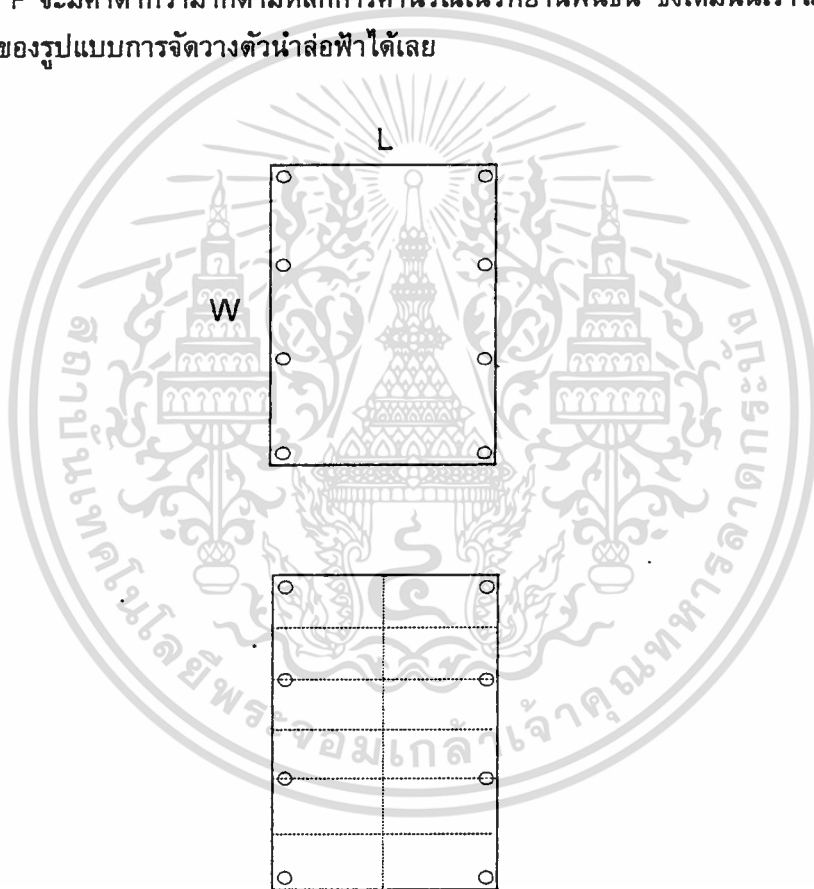
ในกรณีที่ $R_a > L/2 > W/2$

$$\frac{Af(r)}{8} = \frac{LW}{8} - \frac{R_a^2}{2} \left(\sin^{-1} \frac{W/2}{R_a} - \sin^{-1} \frac{L/4}{R_a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{W}{2} \sqrt{R_a^2 - (W/2)^2} + \frac{L}{2} \sqrt{R_a^2 - (L/4)^2} \right) \quad (61)$$

$$A_f(r) = LW - 4R_a^2 \left(\sin^{-1} \frac{W/2}{R_a} - \sin^{-1} \frac{L/4}{R_a} \right) - 2 \left(W \sqrt{R_a^2 - (W/2)^2} + L \sqrt{R_a^2 - (L/4)^2} \right) \quad (62)$$

ในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าที่จัดวางตัวนำล่อฟ้าตามรูปแบบ F เมื่อใช้วิธีมุมป้องกัน 45 องศา ถ้าอาคารที่มีค่า W เท่ากับ 20 เมตร และมีค่า L เท่ากับ 40 เมตร จะต้องใช้ค่าความสูงของตัวนำล่อฟ้าเท่ากับ 14 เมตร ซึ่งก็ยังคงจัดว่าเป็นขนาดที่สูงมาก

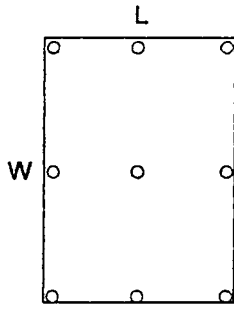
กำหนดให้ค่า ground flash density เท่ากับ 1 ครั้งต่อปี-Km² พิจารณาที่ค่ากระแสฟ้าผ่าในช่วง 2-200 KA สามารถคำนวณค่าการชิลด์ล้มเหลวของระบบตัวนำล่อฟ้าที่จัดวางตามรูปแบบ F โดยใช้ค่ามุมป้องกัน 45 องศาได้เท่ากับ 2.77×10^{-6} ครั้งต่อปี ซึ่งเมื่อเทียบกับแบบ E ที่ออกแบบโดยใช้วิธีเหมือนกัน ค่าการชิลด์ล้มเหลวของแบบ F จะมีค่าต่ำกว่ามากตามหลักการคำนวณในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งเดิมนั้นเราไม่สามารถบอกถึงความแตกต่างของรูปแบบการจัดวางตัวนำล่อฟ้าได้เลย



รูปที่ 55 ระบบแท่งตัวนำล่อฟ้าแบบ G

การคำนวณค่าการชิลด์ล้มเหลวของตัวนำล่อฟ้าในรูปแบบ G นั้นก็มีหลักการที่เหมือนกับในแบบ E และ F เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เหมือนกับในแบบ E และแบบ F ขนาดความสูงของตัวนำล่อฟ้าที่ใช้เท่ากับ 12 เมตร

ค่าการชิลด์ล้มเหลวของระบบตัวนำล่อฟ้ารูปแบบ G เท่ากับ 0

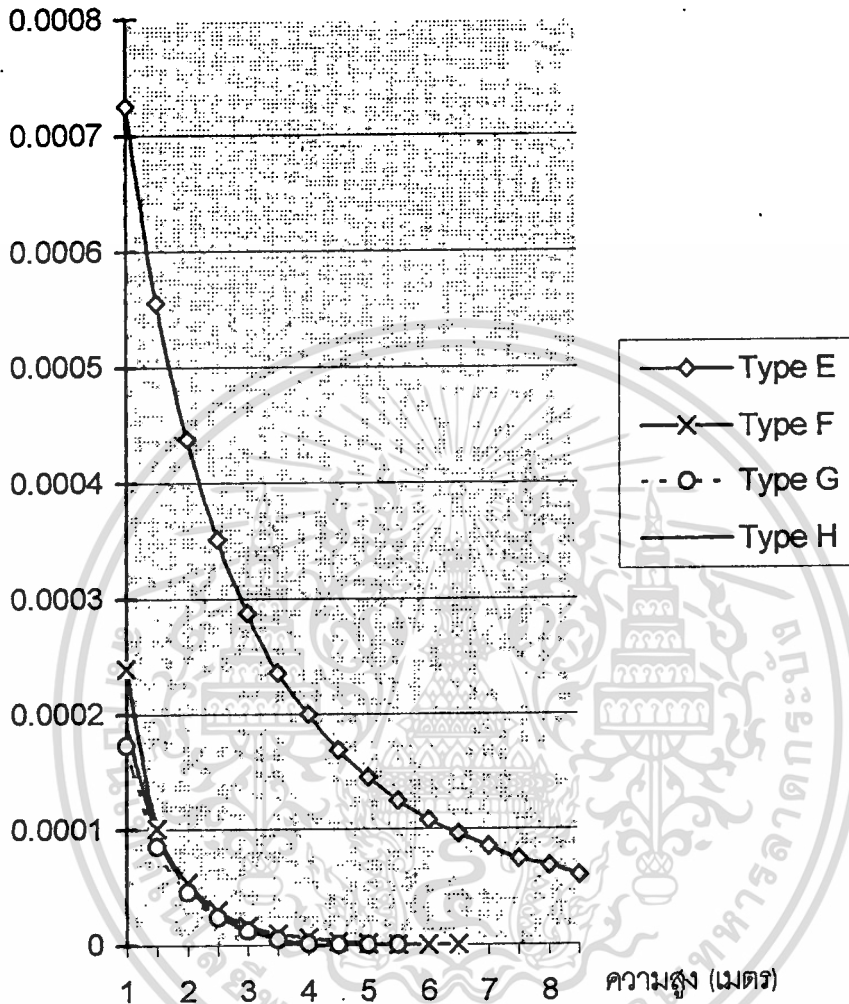


รูปที่ 56 ระบบแท่งตัวนำล่อฟ้าแบบ H

เมื่อจัดวางตัวนำล่อฟ้าตามแบบ H โดยใช้ค่ามุมป้องกัน 45 องศา และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เหมือนกับในแบบ E และแบบ F จะต้องให้แท่งตัวนำล่อฟ้ามีความสูงเท่ากับ 11 เมตร จำนวนค่าการซีลด์ลัมเหลวของระบบตัวนำล่อฟ้าแบบ H ได้เท่ากับ 0

ค่าการซีลด์ลัมเหลวของตัวนำล่อฟ้านั้นนอกจากจะขึ้นกับรูปแบบการจัดวางตัวนำล่อฟ้าแล้วยังขึ้นกับขนาดของพื้นที่ที่ป้องกันด้วย เช่น ในการวางตัวนำล่อฟ้าตามรูปแบบ G นี้ถ้าไปใช้กับอาคารที่มีขนาดพื้นที่ที่ป้องกัน 40x60 ตารางเมตร โดยใช้มุมป้องกัน 45 องศาเหมือนเดิม จะคำนวณค่าการซีลด์ลัมเหลวได้เท่ากับ 2.93×10^{-4} ครั้งต่อปี ซึ่งจัดว่าเป็นค่าที่สูงพอสมควรสำหรับอาคารสำคัญบางแห่ง ดังนั้นการออกแบบระบบตัวนำล่อฟ้านั้นควรพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ด้วย ซึ่งถ้าพื้นที่การป้องกันมีขนาดใหญ่มาก ควรจะติดตั้งตัวนำล่อฟ้าให้มากขึ้นเพื่อความปลอดภัยและเป็นการลดความสูงของตัวนำล่อฟ้าลงด้วย

ค่าการซึบดัดล้มเหลว



รูปที่ 57 กราฟค่าการซึบดัดล้มเหลวที่ความสูงของตัวนำล่อฟ้ารูปแบบ E, F, G, H

Estimate shielding failure lightning rods type E

Width of Building (m) = 20
 Length of Building (m) = 40
 Height of Rod(m) = 5
 Initial striking distance = 12
 Final striking distance = 120
 Step of display = 4
 Ground flash density = 5

r	I	Ra	Nf
12.00	2.07	9.75	0.00000883
16.00	2.97	11.62	0.00001123
20.00	3.92	13.23	0.00001279
24.00	4.93	14.66	0.00001352
28.00	5.98	15.97	0.00001367
32.00	7.06	17.18	0.00001344
36.00	8.18	18.30	0.00001294
40.00	9.33	19.36	0.00001229
44.00	10.51	20.37	0.00000078
48.00	11.72	21.33	0.00000019
52.00	12.95	22.25	0.00000000
56.00	14.21	23.13	0.00000000
60.00	15.49	23.98	0.00000000
64.00	16.79	24.80	0.00000000
68.00	18.12	25.59	0.00000000
72.00	19.46	26.36	0.00000000
76.00	20.82	27.11	0.00000000
80.00	22.20	27.84	0.00000000

Number of strike per year = 0.00078398

Estimate shielding failure lightning rods type F

Width of Building (m) = 20
 Length of Building (m) = 40
 Height of Rod(m) = 4
 Initial striking distance = 12
 Final striking distance = 100
 Step of display = 4
 Ground flash density = 10

r	I	Ra	Nf
12.00	2.07	8.94	0.00001046
16.00	2.97	10.58	0.00000559
20.00	3.92	12.00	0.00000221
24.00	4.93	13.27	0.00000039
28.00	5.98	14.42	0.00000000
32.00	7.06	15.49	0.00000000
36.00	8.18	16.49	0.00000000
40.00	9.33	17.44	0.00000000

Number of strike per year = 0.0001104857

บทที่ 7

สรุป

วิธีการวิเคราะห์ระบบป้องกันฟ้าผ่าแบบตัวนำล่อฟ้าที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถนำไปใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบการป้องกันฟ้าผ่าให้ดีขึ้น มีหลักเกณฑ์มากขึ้น เพื่อลดความเสี่ยงจากการเกิดอันตรายจากฟ้าผ่าลงได้ ทำให้สามารถออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าให้ถูกต้องเหมาะสมตามความต้องการได้ ในการคำนวณจะใช้พารามิเตอร์ที่สำคัญในกระบวนการเกิดฟ้าผ่าคือระยะฟ้าผ่า (striking distance) ซึ่งค่าระยะฟ้าผ่าเป็นค่าที่แปรตามกระแสฟ้าผ่า โดยการคำนวณจะพิจารณาถึงผลการกระจายตามธรรมชาติของค่ากระแสฟ้าผ่าด้วย ซึ่งจากการเก็บรวบรวมข้อมูลของหลายหน่วยงานในต่างประเทศ เช่น British Standard Institute, CIGRE พบว่าค่ากระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 2-200 KA และลักษณะการกระจายจะเป็นแบบ logarithmic normal distribution ซึ่งค่าที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งมีค่าประมาณ 30 KA เมื่อทราบข้อมูลทางด้านสถิติการกระจายของกระแสฟ้าผ่า จะใช้ในการประมาณโอกาสการเกิดค่าระยะฟ้าผ่าที่ค่าต่าง ๆ ได้

การหาความสัมพันธ์ของระยะฟ้าผ่าและลักษณะของวัตถุหรือของตัวนำล่อฟ้าจะอาศัยแบบจำลองเรขาคณิตทางไฟฟ้าของ Whitehead มาพิจารณา และเราสามารถจะหาค่าระยะทางในแนวราบที่ป้องกันได้ของตัวนำล่อฟ้าจากแบบจำลองนี้ ซึ่งจะเรียกว่ารัศมีล่อฟ้า (Attractive radius) ค่ารัศมีล่อฟ้าเป็นฟังก์ชันของระยะฟ้าผ่าและพารามิเตอร์ของตัวนำล่อฟ้า จากค่ารัศมีล่อฟ้า เราสามารถคำนวณพื้นที่ล่อฟ้าหรือพื้นที่ป้องกันในแนวราบของตัวนำล่อฟ้าได้ ซึ่งพื้นที่นี้จะขึ้นฟังก์ชันกับระยะฟ้าผ่าหรือค่ากระแสฟ้าผ่า และเราสามารถจะคำนวณหาค่ารัศมีล่อฟ้าหรือพื้นที่ป้องกันของตัวนำล่อฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ได้โดยการแก้ปัญหาวงเรขาคณิตของรูปแบบที่เราพิจารณาอยู่

พารามิเตอร์อีกค่าหนึ่งที่มีความสำคัญในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือค่า ground flash density ค่า ground flash density ในแต่ละแห่งของโลกจะมีค่าแตกต่างกันไป ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าที่บอกถึงความหนาแน่นของการเกิดฟ้าผ่าต่อปีต่อหน่วยพื้นที่ต่อปีของบริเวณนั้น การวัดค่า ground flash density จริงนั้นทำได้ยากมาก จึงมักจะใช้การคำนวณจากค่า Thunderday หรือวันที่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง

การประมาณค่าจำนวนฟ้าผ่าที่วัตถุหรือตัวนำล่อฟ้าสามารถคำนวณได้จากผลรวมของพื้นที่ล่อฟ้าของวัตถุหรือตัวนำล่อฟ้าที่ระยะฟ้าผ่าค่าต่าง ๆ คูณกับโอกาสการเกิดของระยะฟ้าผ่าที่ค่าต่าง ๆ คูณกับค่า ground flash density ก็จะประมาณจำนวนฟ้าผ่าที่วัตถุนั้นได้

การประมาณค่าการชิลด์ล้มเหลวของตัวนำล่อฟ้านั้นก็ใช้หลักการที่คล้ายกับการประมาณหาจำนวนฟ้าผ่าที่ตัวนำล่อฟ้า แต่ในกรณีนี้จะต้องหาพื้นที่การชิลด์ล้มเหลวหรือพื้นที่นอกขอบเขตการป้องกันของตัวนำล่อฟ้า

ในการเปรียบเทียบผลจากการคำนวณตามวิธีนี้กับการคำนวณจากงานวิจัยอื่นที่เป็นที่ยอมรับกันจะพบว่าค่าที่คำนวณได้มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งแน่นอนว่าค่าที่ได้ย่อมจะไม่เท่ากันเพราะว่าวิธีการทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี่เป็นการประมาณค่าโดยใช้ข้อมูลและหลักการทางทฤษฎี ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วเราไม่สามารถจะบอกจำนวนฟ้าผ่าที่แน่นอนได้ แต่ก็ใช้การวิเคราะห์ตามหลักการ เพื่อเป็นการพัฒนาการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าให้ดีขึ้น

การตรวจสอบค่าที่คำนวณได้ตามวิทยานิพนธ์นี้ ในทางปฏิบัตินั้นทำได้ยากมาก ต้องลงทุนและใช้เวลามาก และค่าที่ได้ก็คงจะไม่เท่ากับค่าที่ได้จากการคำนวณแน่ เนื่องจากค่าเหล่านี้เป็นค่าที่ไม่แน่นอน แต่วิธีการคำนวณในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการคำนวณโดยใช้ลักษณะทางสถิติในการกระจายของฟ้าผ่า ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่จะเกิดขึ้นที่ค่าต่าง ๆ

ข้อดีของวิธีการที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ มีข้อดีกว่าวิธีอื่นหลายประการ เช่น

- สามารถนำไปใช้กับตัวนำล่อฟ้ารูปแบบต่าง ๆ ได้ เช่น ตัวนำล่อฟ้าที่ใช้กับอาคารทั้งแบบแนวราบหรือแนวตั้ง ตัวนำล่อฟ้าที่ใช้ในระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า

- ในการคำนวณมีพารามิเตอร์ที่ใช้ค่อนข้างมาก ทำให้เราสามารถนำไปวิเคราะห์ระบบป้องกันฟ้าผ่าในด้านต่าง ๆ ได้ เช่น สามารถแยกแยะโอกาสการถูกฟ้าผ่าที่ค่ากระแสฟ้าผ่าต่าง ๆ ของระบบป้องกันฟ้าผ่าได้ สามารถหาความสัมพันธ์ของของมุมป้องกันกับประสิทธิภาพการป้องกันได้ สามารถหาผลของความสูงของตัวนำล่อฟ้ากับค่าการชิลด์ลัมเพลวได้ เป็นต้น

- ผลจากการคำนวณ ทำให้เราสามารถเห็นความแตกต่างของลักษณะการจั่ววางตัวนำล่อฟ้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการป้องกันได้ ตามที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 6 ของวิทยานิพนธ์นี้

ค่าการชิลด์ลัมเพลวที่คำนวณได้ในวิทยานิพนธ์นี้ อาจจะต่ำกว่าในความเป็นจริงมาก เนื่องจากตัวนำล่อฟ้าในทางปฏิบัตินั้นจะไม่เหมือนกับตัวนำล่อฟ้าในทฤษฎีแบบจำลองเรขาคณิตทางไฟฟ้า ซึ่งตัวนำล่อฟ้าจริงนั้นอาจจะมีประสิทธิภาพในการดึงดูดประจุจากลำประจุน้อยกว่าวัตถุอื่นที่อยู่รอบได้ เนื่องจากมีการเกิดประจุโคโรนารอบตัวนำล่อฟ้า ซึ่งจะขัดขวางการเบรคดาวนกับลำประจุได้ ทำให้ที่ระยะห่างระหว่างลำประจุกับตัวนำล่อฟ้าที่น้อยกว่าระยะระหว่างลำประจุกับวัตถุ ก็อาจเกิดฟ้าผ่าลงที่วัตถุได้ ซึ่งตัวนำล่อฟ้าแบบเดิมที่เป็นปลายแหลมนั้น พบว่าประสิทธิภาพในการป้องกันไม่ดีนัก ในปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาตัวนำล่อฟ้าให้มีคุณสมบัติตามทางทฤษฎี ซึ่งจากการคำนวณค่าการชิลด์ลัมเพลวของแท่งตัวนำล่อฟ้าตามวิธีการในวิทยานิพนธ์นี้ จะเห็นว่าที่ขนาดความสูงของตัวนำล่อฟ้าที่น้อยกว่าความสูงที่คำนวณจากวิธีมุมป้องกัน 45 องศา ค่าการชิลด์ลัมเพลวก็ยังมีค่าที่ต่ำมาก ซึ่งถ้าใช้ตัวนำล่อฟ้าที่มีคุณสมบัติตามทางทฤษฎีแล้วก็อาจจะไม่จำเป็นต้องใช้แท่งตัวนำล่อฟ้าที่มีความสูงมากหรือไม่ต้องติดหลายแท่ง

อีกจุดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อผลการคำนวณคือความสัมพันธ์ของกระแสฟ้าผ่าและระยะฟ้าผ่า ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะอ้างอิงตามงานวิจัยของ Whitehead [1] แต่ก็มีนักวิจัยอีกหลายคนที่ได้กำหนดความสัมพันธ์ของกระแสฟ้าผ่าและระยะฟ้าผ่าไว้แตกต่างกันไป เช่น ใน IEEE Working Group [3] หรือของ Glode [2] ซึ่งถ้าคำนวณตามสมการของนักวิจัยอื่นแล้วค่าที่ได้ก็จะแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ก็ยังใกล้เคียงกัน

บรรณานุกรม

1. H.R. Armstrong, E.R. Whitehead, " Field and analytical studies of transmission line shielding ," IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol PAS-87, pp. 270-281, 1968.
2. R.H. Golde, " Lightning Protection ," : Edward Arnold Publishers Ltd , 1973
3. IEEE Working Group on Lightning Performance of Transmission Line , " A Simplified Method for Estimating Lightning Performance of Transmission Line," IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol PAS-104, pp. 919-932 1985.
4. A.J. Eriksson, " The incidence of lightning strike to power lines, " IEEE Transaction on Power Delivery Vol. PWRD-2 , No.3 pp 859-870 , July 1987.
5. A.J. Eriksson, " An Improved Electromagnetic Model For Transmission Line Shielding Analysis ," IEEE Transaction on Power Delivery , Vol. PWRD-2 , No.3 pp 871-886 , July 1987.
6. LPI PN 01/90, " The statistical nature of lightning protection ," Lightning protection international PTY. LTD., 1990
7. Horvath Tibor , " Computation of Lightning Protection : Research studies press, 1991.
8. AS 1768-1991." Lightning Protection ," Australian Standard 1991
9. BS 6651-1992," Protection of structure against lightning ," British Standard Institute, 1992.
10. LPI PN 6/92, " Guide for the design of lightning protection system and surge/transient protection in accordance with NZS/AS1768/1991," Lightning protection international PTY. LTD., 1992
11. IEC 1024-1-1," Protection of structures against lightning ," International Electrotechnical Commission, 1993
12. Marvin M.Frydenlund, " Lightning protection for people and property " Van Nostrand Reinhold , 1993
13. ชำนาญ ห่อเกียรติ, วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พ.ศ. 2522
14. สำรวัย สังข์สะอาด, วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ.2528
15. สุรพล ดำรงเจริญกุล, วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง , ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , พ.ศ. 2535
16. สำนักงานพลังงานแห่งชาติ, มาตรฐานระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับอาคารและสิ่งปลูกสร้างประกอบอาคาร , พ.ศ.2523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ

โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณในวิทยานิพนธ์นี้ เขียนจากโปรแกรม Borland C Version 2.00

```
/**/ Program calculate Strike at Tower ***/
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>

float h,r,kt,si,sf,s,i ;
double ra,ne,nt,dp,ar ;
main()
{
    printf ("\n          Calculate Strike at Tower\n");
    printf ("\n Hieght of Tower (m.) = ");
    scanf ("%f",&h);
    printf (" Initial Striking distance = ");
    scanf ("%f",&si);
    printf (" Final Striking distance = ");
    scanf ("%f",&sf);
    printf (" Step of display = ");
    scanf ("%f",&s);
    printf ("\n          r          I          ");
    printf (" Ra          N\n");
    nt = 0; ne = 0; kt=si;
    for (r=si;r<=sf;r=r+0.5)
    {
        if (h>=r) ra = r ;
        if (h<r) ra = sqrt(2*h*r-pow(h,2));
        dp = 0.4087/r * exp(-0.5249*pow(log(r/96),2));
        ar = 22/7*pow(ra,2)*pow(10,-6) ;
        ne = dp*ar;
        nt = nt+ne ;
        if (r==kt)
        {
            i = pow(r/6.7,1.25) ;
            printf(" %6.2f ",r);
            printf(" %6.2f ",i);
            printf(" %6.2f ",ra);
            printf(" %10.7f \n",ne);
            kt=kt+s;
        }
    }
    printf (" \n Number of strike = %10.7f strike/year" ,nt);
    getch();
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/** Program calculate Strike at Line */
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>

float h,r,kt,si,sf,s,i ;
double ra,ne,nt,dp,ar ;
main()
{
    printf("\n          Estimate Strike at Line \n");
    printf("\n Hieght of Line (m)      =  ");
    scanf ("%f",&h);
    printf (" Initial Striking distance =  ");
    scanf ("%f",&si);
    printf (" Final Striking distance   =  ");
    scanf ("%f",&sf);
    printf (" Step of display                =  ");
    scanf ("%f",&s);
    printf("\n          r          I          ");
    printf (" Ra          N\n");
    nt = 0; ne = 0; kt=si;
    for (r=si;r<=sf;r=r+0.5)
    {
        if (h>=r) ra = r ;
        if (h<r) ra = sqrt(2*h*r-pow(h,2));
        dp = 0.4087/r * exp(-0.5249*pow(log(r/96),2));
        ar = 2*ra*0.1 ;
        ne = dp*ar;
        nt = nt+ne ;
        if (r==kt)
        {
            i = pow(r/6.7,1.25) ;
            printf ("          %6.2f ",r);
            printf ("          %6.2f ",i);
            printf ("          %6.2f ",ra);
            printf ("          %10.7f\n",ne);
            kt=kt+s;
        }
    }
    printf ("\n Number of strike =          %10.7f  strike/year-100km.",nt);
    getch();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/**/ Program calculate Strike at Building ***/
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>

float a,b,h,r,kt,si,sf,s,i ;
double ra,ne,nt,dp,ar ;
main()
{
printf ("      Calculate Strike at Building  \n");
printf ("  Widht of Building      =  ");
scanf ("%f",&a);
printf ("  Lenght of Building      =  ");
scanf ("%f",&h);
printf ("  Hieght of Building      =  ");
scanf ("%f",&h);
printf ("  Initial Striking distance =  ");
scanf ("%f",&si);
printf ("  Final Striking distance =  ");
scanf ("%f",&sf);
printf ("  Step of display      =  ");
scanf ("%f",&s);
printf ("\n      r      I      N \n");
nt = 0; ne = 0; kt=si;
for (r=si;r<=sf;r=r+0.5)
{
if (h>=r) ra = r ;
if (h<r) ra = sqrt(2*h*r-pow(h,2));
dp = 0.4087/r * exp(-0.5249*pow(log(r/96),2));
ar = (2*ra+a)*(2*ra+b)*pow(10,-6) ;
ne = dp*ar;
nt = nt+ne ;
i = pow(r/6.7,1.25) ;
if (r==kt)
{
printf ("      %4.0f  ",r);
printf ("      %6.2f  ",i);
printf ("      %10.7f  \n",ne);
kt=kt+s;
}
}
printf ("\n Number of strike = %10.7f strike/year", nt);
getch ();
}

```

```

/**/ Program calculate Transmission Line protection ***/
/**/ Earth line and one Wire line ***/

```

```

#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>

```

```

float a,he,hl,ri,rf,y,u,pa,rd,s,ng,ag1,ag2,d ;
double ar,r,rl,ra,dp,ne,nt,k,rt,pc,pb,c,ia,ef,nl,ns,nsh,rh,ah,nh,al ;
main()
{

```

```

clrscr();
printf (" Calculate Transmission line Sheilding failuer \n\n");
printf (" Height of Earth line (m) = ");
scanf ("%f",&he);
printf (" Height of Line (m) = ");
scanf ("%f",&hl);
printf (" Protection angle (degree) = ");
scanf ("%f",&pa);
printf (" Initial striking distance = ");
scanf ("%f",&ri);
printf (" Final striking distance = ");
scanf ("%f",&rf);
printf (" Step of display = ");
scanf ("%f",&s);
printf (" Ground flash density = ");
scanf ("%f",&ng);
a = he-hl ; rd = 3.141/180 ;
c = a/cos(pa*rd) ;
nt = 0; ns = 0; nsh = 0; rt = ri;
printf (" r I Nn");
for (k=ri;k<=rf;k=k+0.5)
{
ia = pow((k/6.7),1.25);
dp = 0.4087/k * exp(-0.5249*pow(log(k/96),2));
if (he>=k) rh = k ;
if (he<k) rh = sqrt(2*he*k-pow(he,2));
if (hl>=k) rl = k ;
if (hl<k) rl = sqrt(2*hl*k-pow(hl,2));
pb = acos(c/(2*k)) ; pc = (90*rd)-pb+(pa*rd) ;
y = k*cos(pc) ; ra = rl-y ;
if (ra<0) ra = 0;
ar = ra*0.1 ; al = rl*0.1 ; ah = rh*0.1 ;
ne = ng*dp*ar ;
nl = ng*dp*al ;
nh = ng*dp*ah ;
if (k==rt)
{
printf (" %6.2f",k);
printf (" %6.2f ",ia);
printf (" %10.6f\n",ne); rt = rt+s ;

```

```

    }
    nt = nt+ne ; ns = ns+nl ; nsh = nsh+nh ;
}
ef = ns/(nt+ns)*100 ;
printf ("\n Number of strike to Line      = %11.6f\n",nt);
printf (" Number of strike to Earth Line = %12.6f\n",nsh);
printf (" Efficeincy of Sheilding      = %8.4f\n",ef);
getch ();
}

```

```

/**/ Program calculate Transmission Line protection ***/
/**/ Three lines and one Earth line ***/

```

```

#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>

```

```

float  a1,a2,a3,he,h1,h2,h3,b1,b2,b3,ri,rf,kp,km,y1,y2,y3,u,rd,s,ng ;
double ar1,ar2,ar3,r3,r2,r1,ra1,ra2,ra3,dp,ne,ne1,ne2,ne3,nt1,nt2,nt3,ntt,
        k,t,c1,c2,c3,ia,pa1,pa2,pa3,pb1,pb2,pb3,pc1,pc2,pc3,rt1,rt2,rt3;

```

```

main()
{
  clrscr();
  printf ("      Calculate Three Phase Transmission line \n");
  printf (" Height of Earth line (m) = ");
  scanf ("%f",&he);
  printf (" Height of Line 1 (m)      = ");
  scanf ("%f",&h1);
  printf (" Height of Line 2 (m)      = ");
  scanf ("%f",&h2);
  printf (" Height of Line 3 (m)      = ");
  scanf ("%f",&h3);
  printf (" Horizontal distance from Earth line of line 1 (m) = ");
  scanf ("%f",&b1);
  printf (" Horizontal distance from Earth line of line 2 (m) = ");
  scanf ("%f",&b2);
  printf (" Horizontal distance from Earth line of line 3 (m) = ");
  scanf ("%f",&b3);
  printf (" Initial striking distance = "); scanf ("%f",&ri);
  printf (" Final striking distance   = "); scanf ("%f",&rf);
  printf (" Step of increase          = "); scanf ("%f",&s);
  printf (" Ground Flash density      = "); scanf ("%f",&ng);
  rd = 3.141/180 ;
  a1 = he-h1 ; a2 = h1-h2 ; a3 = h2-h3 ;
  c1 = sqrt(pow(a1,2)+pow(b1,2)); pa1 = atan(b1/a1) ;
  c2 = sqrt(pow(a2,2)+pow((b2-b1),2)); pa2 = atan((b2-b1)/a2) ;
  c3 = sqrt(pow(a3,2)+pow((b3-b2),2)); pa3 = atan((b3-b2)/a3) ;
  nt1 = 0; nt2 = 0; nt3 =0; ntt =0;
  t = ri ;
  for (k=ri;k<=rf;k=k+0.5)

```

```

ia = pow((k/6.7),1.25);
dp = 0.4087/k * exp(-0.5249*pow(log(k/96),2));
if (h3>=k) r3 = k ;
if (h3<k) r3 = sqrt(2*h3*k-pow(h3,2));
if (h2>=k) r2 = k ;
if (h2<k) r2 = sqrt(2*h2*k-pow(h2,2));
if (h1>=k) r1 = k ;
if (h1<k) r1 = sqrt(2*h1*k-pow(h1,2));
pb1 = acos(c1/(2*k)) ; pc1 = (90*rd)-pb1+pa1 ;
y1 = k*cos(pc1) ;
pb2 = acos(c2/(2*k)) ; pc2 = (90*rd)-pb2+pa2 ;
y2 = k*cos(pc2) ;
pb3 = acos(c3/(2*k)) ; pc3 = (90*rd)-pb3+pa3 ;
y3 = k*cos(pc3) ;
if (r1>=(y2+b2-b1))
  ra1 = y2+b2-b1-y1 ; else ra1 = 0 ;
if (r2>=(y3+b3-b2))
  ra2 = y3+b3-b2-y2 ; else ra2 = 0 ;
ra3 = r3-y3 ;
if (ra1<0) ra1 = 0 ;
if (ra2<0) ra2 = 0 ;
if (ra3<0) ra3 = 0 ;
ar1 = ra1*0.1 ; ar2 = ra2*0.1 ; ar3 = ra3*0.1 ;
ne1 = ng*dp*ar1 ;
ne2 = ng*dp*ar2 ;
ne3 = ng*dp*ar3 ;
ne = ne1+ne2+ne3 ;
if (k==t)
{
  printf ("\n %6.2f %6.2f",k,ia);
  printf (" %9.6f",ne1);
  printf (" %9.6f",ne2);
  printf (" %9.6f",ne3); t = t+s ;
}
  nt1 = nt1+ne1;
  nt2 = nt2+ne2;
  nt3 = nt3+ne3;
  ntt = nt1+nt2+nt3 ;
}
rt1 = nt1/ntt*100 ;
rt2 = nt2/ntt*100 ;
rt3 = nt3/ntt*100 ;
printf ("\n\n Number of strike per year of Line 1 = %9.6f ",nt1);
printf ("\n          = %9.2f ",rt1);
printf ("\n Number of strike per year of Line 2 = %9.6f ",nt2);
printf ("\n          = %9.2f ",rt2);
printf ("\n Number of strike per year of Line 3 = %9.6f ",nt3);
printf ("\n          = %9.2f ",rt3);
printf ("\n\n Total Number of strike per year = %9.6f",ntt);
getch ();
}
/**/ Program calculate Mesh Configuration */

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>

float l,w,lm,wm,ng,h,ri,rf,k,kp,km,s,t,u,rt,a,b,i ;
double ar,att,ra,rr,dp,ne,nt ;

main()
{
printf ( " Estimate sheilding failure of Lightning meshes at roof \n\n");
printf ( " Width of Building (m) = " );
scanf ("%f",&w);
printf ( " Length of Building (m) = " );
scanf ("%f",&l);
printf ( " Width of mesh (m) = " );
scanf ("%f",&wm);
printf ( " Length of mesh (m) = " );
scanf ("%f",&lm);
printf ( " Heigth of mesh (m) = " );
scanf ("%f",&h);
printf ( " Initial striking distance = " );
scanf ("%f",&ri);
printf ( " Final striking distance = " );
scanf ("%f",&rf);
printf ( " Ground flash density = " );
scanf ("%f",&ng);
printf ( " Step of display = " );
scanf ("%f",&s);
nt = 0; rt = ri;
a = w/wm ;
b = l/lm ;
for (k=ri;k<=rf;k=k+0.5)
{
dp = 0.4087/k * exp(-0.5249*pow(log(k/96),2));
ra = sqrt(2*h*k-pow(h,2));
rr = 2*ra ;
if (rr>=l/b||rr>=w/a) ar = 0;
else
ar = (l*w)-(2*b*w*ra)-(2*a*l*ra)+(4*a*b*pow(ra,2)) ;
ne = ng*dp*ar*pow(10,-6) ;
if (k==rt)
{
i=pow((k/6.7),1.25);
printf ( " %6.2f ",k);
printf ( " %6.2f ",i);
printf ( " %12.8f\n",ne);
rt = k+s;
}
nt=nt+ne;
}
printf ("\n Number of strike per year = %12.8f\n",nt);
}

```

```

    getch();
}

/**** Program calculate Lightning Rod configuration ****/
/**** Four rods at corner ****/

#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>

float a,b,av,bv,c,a1,b1,h,ri,rf,rt,k,i,ng,s,t,u ;
double ar,att,ra,dp,ne,nt ;
main()
{
    clrscr();
    printf("    Calculate 4 rods at corner  \n\n");
    printf(" Width of Building (m) = ");
    scanf("%f",&a);
    printf(" Length of Building (m) = ");
    scanf("%f",&b);
    printf(" Height of Rod(m) = ");
    scanf("%f",&h);
    printf(" Initial striking distance = ");
    scanf("%f",&ri);
    printf(" Final striking distance = ");
    scanf("%f",&rf);
    printf(" Step of display = ");
    scanf("%f",&s);
    printf(" Ground flash density = ");
    scanf("%f",&ng);
    av=a/2 ; bv=b/2 ;
    c = sqrt(pow(av,2)+pow(bv,2)) ;
    nt = 0; rt = ri; printf("\n");
    printf("\n    r    ");
    printf(" I    Nf    \n");
    if (bv>av) { b1=bv ; a1=av ;}
    if (bv<=av) { b1=av ; a1=bv ;}
    for (k=ri;k<=rf;k=k+0.5)
    {
        dp = 0.4087/k * exp(-0.5249*pow(log(k/96),2));
        if (h>=k) ra = k;
        if (h<k) ra = sqrt(2*h*k-pow(h,2));
        if (ra<=a1)
        { ar = (a*b)-(3.142*pow(ra,2)); }
        if( ra>a1 && ra<= b1)
        { ar = (a*b)-2*(a1*sqrt(pow(ra,2)-pow(a1,2)))+(pow(a1,2)*asin(a1/ra));}
        }
        if (ra>b1 && ra<c)
        { t = (a1*sqrt(pow(ra,2)-pow(a1,2)))+(b1*sqrt(pow(ra,2)-pow(b1,2)));
          u = pow(ra,2)*(asin(a1/ra)-acos(b1/ra)) ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ar = (a*b)-(2*t)-(2*u); }
if (ra >= c) ar = 0;
ne = ng*dp*ar*pow(10,-6);
if (k == rt)
{
i = pow(k/6.7,1.25);
printf(" %6.2f ",k);
printf(" %6.2f ",i);
printf(" %6.2f ",ra);
printf(" %12.8f\n",ne); rt = rt+s;}.
nt = nt+ne;
}
printf("\n\n Number of strike per year = %12.8f\n",nt);
getch();
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนฟ้าผ่าและความสูงของวัตถุ

ในงานวิจัยทั่ว ๆ ไปมักจะหาค่าจำนวนฟ้าผ่าที่วัตถุในรูปที่เป็นฟังก์ชันกับความสูงของวัตถุ ซึ่งมีรูปแบบฟังก์ชันที่แตกต่างกันไป ในงานวิจัยนี้ก็สามารถจะเขียนจำนวนฟ้าผ่าในรูปที่เป็นฟังก์ชันกับความสูงได้ ซึ่งในกรณีการหาจำนวนฟ้าผ่าที่เสาสูงสามารถหาได้จากสมการที่ 18 ในวิทยานิพนธ์

$$N = N_g \pi \int_{r_{min}}^{r_{max}} \frac{dp}{dr} R_a^2(r) dr \cdot 10^{-6} \text{ ครั้งต่อปี}$$

ที่ $H < r$ $R_a = \sqrt{2Hr - H^2}$

$$N = N_g \pi \int_{r_{min}}^{r_{max}} \frac{dp}{dr} (2Hr - H^2) dr \cdot 10^{-6} \text{ ครั้งต่อปี}$$

$$N = N_g \pi \left(\int_{r_{min}}^{r_{max}} \frac{dp}{dr} 2Hr dr - \int_{r_{min}}^{r_{max}} \frac{dp}{dr} H^2 dr \right) \cdot 10^{-6} \text{ ครั้งต่อปี}$$

$$N = N_g \pi \left(2H \int_{r_{min}}^{r_{max}} \frac{dp}{dr} r dr - H^2 \int_{r_{min}}^{r_{max}} \frac{dp}{dr} dr \right) \cdot 10^{-6} \text{ ครั้งต่อปี}$$

แทนค่า $r_{min} = 15$ เมตร และ $r_{max} = 450$ เมตร และฟังก์ชัน $\frac{dp}{dr}$ จากสมการที่ 9 ในวิทยานิพนธ์ เมื่อคำนวณจากสมการแล้วจะหาจำนวนฟ้าผ่าที่เป็นฟังก์ชันกับความสูงเมื่อค่า H น้อยกว่า r_{min} คือ

$$N = N_g (1.45H - 04.0063H^2) \cdot 10^{-3} \text{ ครั้งต่อปี}$$

และเมื่อ H มากกว่า r_{max} จะได้ค่า $H = 0.1386$ ครั้งต่อปี

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายอนันต์ เจนเกรียงไกร
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 13 มิถุนายน 2510
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์
สถานที่สำเร็จการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2532
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	เรื่อง การออกแบบสร้างตัวเก็บประจุไฟฟ้าแรงสูงแบบปรับค่าได้ เรื่อง การประมาณค่าความผิดพลาดในการป้องกันฟ้าผ่าของ ตัวนำล่อฟ้า
ประสบการณ์ทำงาน	วิศวกร บริษัท ฮิตาชิคอนซูมเมอร์โปรดักส์ประเทศไทย จำกัด เมื่อปี พ.ศ.2532 ถึง พ.ศ.2533

