

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารทั่วไป



นายภูวนารถ ชุณหปราณ

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

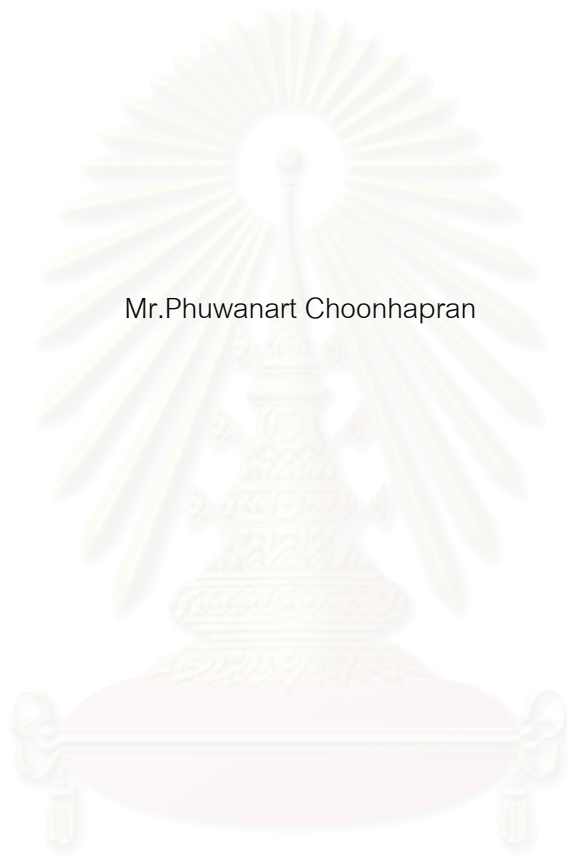
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0416-1

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPUTER AIDED PROGRAM FOR DESIGNING LIGHTNING PROTECTION SYSTEM
FOR COMMON STRUCTURES

Mr. Phuwant Choonhapran



สถาบันวิทยบริการ
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0416-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารทั่วไป
โดย นายภูวนารถ ชุณหปราณ
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรักษ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชำญญรงค์ บาลมงคล)

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภูวนารถ ชุณหปราณ : โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารทั่วไป. (A COMPUTER AIDED PROGRAM FOR DESIGNING LIGHTNING PROTECTION SYSTEM FOR COMMON STRUCTURES) อ.ที่ปรึกษา :อ.ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ , 60 หน้า. ISBN 974-13-0416-1

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารทั่วไป โดยเน้นที่การออกแบบระบบตัวนำล่อฟ้าและระบบตัวนำลงดิน ซึ่งเป็นระบบที่มีความสำคัญมากที่สุดในระบบป้องกันฟ้าผ่า เนื่องจากเป็นระบบที่จะต้องจับและนำกระแสฟ้าผ่าลงสู่ดิน

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าฯ นี้จะช่วยลดเวลาในการออกแบบ และช่วยให้การออกแบบเป็นไปตามมาตรฐาน โดยโปรแกรมจะมีความสะดวกในการป้อนข้อมูล สามารถเลือกมุมมองของอาคารได้หลายมุมมอง และแสดงผลจากการออกแบบ นอกจากนั้นยังสามารถช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถพิจารณาถึงระบบป้องกันฟ้าผ่าที่เหมาะสมกับอาคารนั้นๆ ได้ โดยการปรับเปลี่ยนระดับการป้องกัน และความสูงของตัวนำล่อฟ้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4070374321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : LIGHTNING PROTECTION/ AIR TERMINAL/ ROLLING SPHERE METHOD

PHUWANART CHOONHAPRAN: A COMPUTER AIDED PROGRAM FOR

DESIGNING LIGHTNING PROTECTION SYSTEM FOR COMMON

STRUCTURES. THESIS ADVISOR : DR. KOMSON PHETCHARAKS , 60 pp.

ISBN 974-13-0416-1

The thesis presents the development of a computer aided program for designing lightning protection system for common structures, which emphasizes on air termination system and down conductor system. These systems are the most important parts of lightning protection system, which capture and convey lightning current to ground.

Lightning protection aided program can save time for designing and makes the designs to be in accordance with the standard. The program is easy to input the data, select the various views and present the results. In addition, the program enables designers to determine the suitable lightning protection system for each structure by changing the lightning protection level and the height of air terminals.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering

Field study Electrical Engineering

Academic year 2000

Student's signature

Advisor's signature

Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือและคำแนะนำจากอาจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรวิรัช ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ช่วยตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นอกจากนี้ ต้องขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน

ขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ให้ทุนการศึกษาแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ Frank Oquendo, Ray Greene, Bernard Flavignard และทุก ๆ ท่านบน <http://discussion.autodesk.com> ที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะในการเขียนโปรแกรมด้วยดีมาตลอด และขอขอบคุณโปรแกรม AcadX.arx ของ Tony Tanzillo ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับโปรแกรม

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ภูวนารถ ชุณหปราณ

เมษายน 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญตาราง | ญ |
| สารบัญภาพ | ฎ |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน | 2 |
| 1.4 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์ | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ | 3 |
| 1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ | 3 |
| 2. ทฤษฎีเกี่ยวกับฟ้าผ่า | 4 |
| 2.1 การก่อกำเนิดของเมฆฝน (The Thundercloud formation) | 4 |
| 2.2 การเกิดดีสชาร์จแบบจุด (Point discharge) | 5 |
| 2.3 ลักษณะของฟ้าผ่า (Types of Lightning Discharges) | 6 |
| 2.3.1 ฟ้าผ่าลงชนิดที่มีประจุลบ (Negative leader, Cloud-to-ground) | 7 |
| 2.4 ระยะฟ้าผ่า (Striking distance) | 8 |
| 2.5 กระบวนการเกิดฟ้าผ่า (Interception of the lightning strike) | 9 |
| 2.6 ผลของกระแสฟ้าผ่า (Effects of lightning current) | 10 |
| 2.6.1 ผลทางความร้อน (Thermal effects) | 10 |
| 2.6.2 ผลทางกล (Mechanical effects) | 11 |
| 2.6.3 ผลทางไฟฟ้า (Electrical effects) | 11 |

| | |
|--|----|
| 3. หลักการป้องกันฟ้าผ่า | |
| 3.1 หลักการป้องกันฟ้าผ่า (Principle of lightning protection) | 13 |
| 3.2 ขั้นตอนการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าลงตัวอาคารตามมาตรฐาน IEC 1024-1 ... | 13 |
| 3.2.1 การพิจารณาประเภทของอาคารที่จะป้องกัน (Classification of structures) | 14 |
| 3.2.2 พิจารณาเลือกระดับการป้องกัน (Determination of protection level) | 17 |
| 3.2.3 พิจารณานชนิดของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก (Selection of type of exterior LPS) | 17 |
| 3.2.4 ตัวนำล่อฟ้า (Air terminal) | 19 |
| 3.2.4.1 ตัวนำล่อฟ้าแบบแฟรงกลิน (Franklin rod) | 20 |
| 3.2.4.2 ตัวนำล่อฟ้าแบบฟาราเดย์ (Faraday cage) | 20 |
| 3.2.4.3 ตัวนำล่อฟ้าแบบกำเนิดสตรีมเมอร์ก่อนเวลา (Early streamer emission air terminal) | 21 |
| 3.2.5 ระบบตัวนำล่อฟ้า (Air termination system) | 22 |
| 3.2.5.1 วิธีมุมป้องกัน (Protective angle method) | 23 |
| 3.2.5.2 วิธีทรงกลมกลิ้ง (Rolling sphere method) | 24 |
| 3.2.5.3 วิธีตาข่ายป้องกัน (Mesh method) | 25 |
| 3.2.5.4 วิธีป้องกันร่วม (Combined method) | 26 |
| 3.2.6 ระบบตัวนำลงดิน (Down conductor system) | 26 |
| 3.2.7 ระบบรากสายดิน (The earth-termination system) | 27 |
| 3.2.8 ระบบป้องกันภายในจากอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าของฟ้าผ่า (Interior LPS LEMP) | 29 |
| 3.3 การติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า (Lightning protection installation) | 30 |
| 3.3.1 การติดตั้งระบบตัวนำล่อฟ้า (Air termination installation) | 30 |
| 3.3.2 การติดตั้งตัวนำลงดิน (Down conductor installation) | 31 |
| 4. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า | 32 |
| 4.1 หลักการในการออกแบบโปรแกรม (Principles of design) | 32 |
| 4.2 ความสามารถของโปรแกรม (Program's features) | 32 |
| 4.3 ส่วนประกอบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า (Components of the program) | 33 |
| 4.3.1 ส่วนออกแบบอาคาร | 33 |
| 4.3.1.1 ส่วนออกแบบรูปทรงสี่เหลี่ยม (Box design) | 34 |

4.3.1.2 ส่วนออกแบบรูปทรงกระบอก (Cylinder design) 34

4.3.1.3 ส่วนออกแบบรูปทรงสามเหลี่ยม (Wedge design) 35

4.3.1.4 ส่วนที่ใช้ในการสร้างและดัดแปลงอาคาร (Modification section) ... 36

4.3.1.5 ส่วนที่ใช้ในการเลือกมุมมอง (View selection) 37

4.3.2 ส่วนที่ใช้ในการคำนวณ 37

4.3.3 ส่วนแสดงผล 39

4.4 หลักการทำงานของโปรแกรม 40

4.5 ตัวอย่างการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ 1 41

4.6 ตัวอย่างการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ 2 46

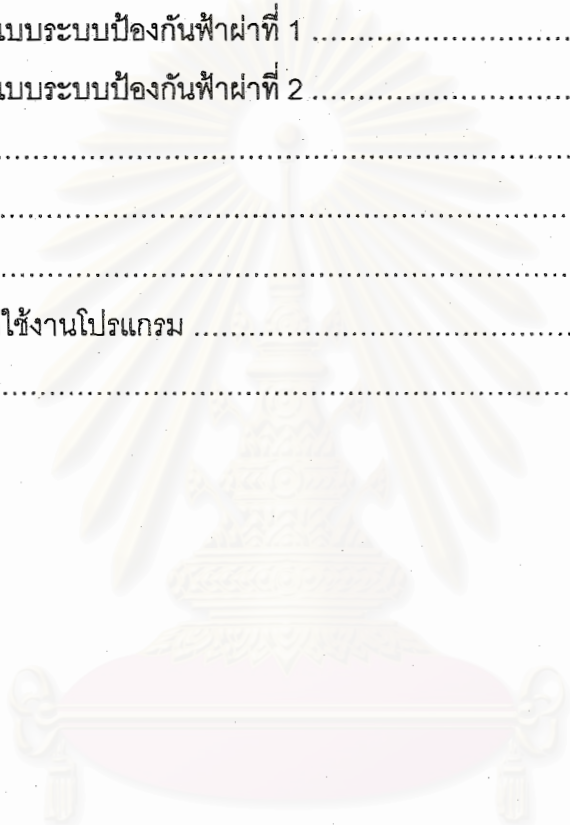
5. สรุปและข้อเสนอแนะ 54

 รายการอ้างอิง 56

 ภาคผนวก 58

 ก. การติดตั้งและเรียกใช้งานโปรแกรม 59

ประวัติผู้เขียน 60



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.1 ประเภทของอาคาร | 16 |
| 3.2 ประสิทธิภาพของการป้องกันในแต่ละระดับ | 17 |
| 3.3 ตำแหน่งการติดตั้งระบบตัวนำล่อฟ้าตามระดับการป้องกัน | 22 |
| 3.4 ระยะห่างระหว่างตัวนำลงดินในแต่ละระดับการป้องกัน | 27 |
| 3.5 พื้นที่หน้าตัดต่ำสุดที่ควรนำมาใช้ทำวัสดุในระบบป้องกันฟ้าผ่า | 30 |



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 เมฆฝน | 5 |
| 2.2 ลักษณะของฟ้าผ่า | 6 |
| 2.3 ระยะฟ้าผ่า d_r | 8 |
| 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสฟ้าผ่า (kA) ต่อระยะฟ้าผ่า (m) | 8 |
| 2.5 กระบวนการเชื่อมต่อ | 9 |
| 2.6 สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น | 10 |
| 2.7 การเกิดวาบไฟด้านข้าง | 11 |
| 3.1 ขั้นตอนการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC1024-1 | 15 |
| 3.2 ระบบป้องกันฟ้าผ่าแยกอิสระ | 18 |
| 3.3 ตัวนำล่อฟ้าแบบแฟรงกลิน (Franklin rod) | 20 |
| 3.4 ตัวนำล่อฟ้าแบบฟาราเดย์ | 21 |
| 3.5 ตัวแปรที่สอดคล้องกับตารางที่ 3.3 | 23 |
| 3.6 บริเวณป้องกันภายในกรวย | 23 |
| 3.7 หลักการพิจารณาส่วนสูง h | 24 |
| 3.8 การออกแบบโดยวิธีทรงกลมกลิ้ง | 24 |
| 3.9 ระยะ P เนื่องจากตัวนำล่อฟ้า 2 ตัววางขนานกัน | 25 |
| 3.10 ระยะห่างระหว่างตาข่าย ในกรณีที่ตาข่ายไม่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส | 25 |
| 3.11 การติดตั้งตัวนำล่อฟ้าโดยใช้วิธีป้องกันร่วม | 26 |
| 3.12 ขนาดความยาวต่ำสุด(l)ของรากสายดินตามระดับการป้องกันซึ่งมีความสัมพันธ์กับ ความต้านทานของดิน (soil resistivity) | 28 |
| 3.13 วงรอบของตัวนำลงดิน (ระยะ S ต้องมากกว่าระยะปลอดภัย) | 31 |
| 4.1 ส่วนออกแบบอาคาร | 33 |
| 4.2 ส่วนออกแบบรูปทรงสี่เหลี่ยมและตัวแปรที่ใช้ในการบ่อนข้อมูล | 34 |
| 4.3 ส่วนออกแบบรูปทรงกระบอกและตัวแปรที่ใช้ในการบ่อนข้อมูล | 35 |
| 4.4 ส่วนออกแบบรูปทรงสามเหลี่ยมและตัวแปรที่ใช้ในการบ่อนข้อมูล | 36 |
| 4.5 ส่วนที่ใช้ในการสร้างและดัดแปลงอาคาร | 36 |
| 4.6 ส่วนที่ใช้ในการเลือกมุมมอง | 37 |

| | |
|--|----|
| 4.7 ส่วนที่ใช้ในการคำนวณ | 38 |
| 4.8 ส่วนแสดงผล | 39 |
| 4.9 แผนภาพแสดงหลักการทำงานของโปรแกรม | 40 |
| 4.10 อาคารเรียนรูปตัว L | 41 |
| 4.11 ผลหลังจากการ Add ส่วนที่ 1 | 42 |
| 4.12 ผลหลังจากการ Add ส่วนที่ 2 ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นอาคารเรียนรูปตัว L | 42 |
| 4.13 ผลลัพธ์ที่ได้จากการ Union | 43 |
| 4.14 ผลที่ได้จากการวางทรงกลมกลิ้งให้สัมผัสกับอาคาร (Front_view) | 44 |
| 4.15 เมื่อทำการวางทรงกลมกลิ้งอันถัดไป (Front_view) | 44 |
| 4.16 ผลที่ได้ในมุมมอง Side_view | 44 |
| 4.17 ผลที่ได้ในมุมมอง Top_view | 45 |
| 4.18 ตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและตัวนำลงดิน | 45 |
| 4.19 อาคารชุดติดกัน 3 ตึกและมีทางเดินเชื่อมระหว่างตึก | 47 |
| 4.20 ผลหลังจากการ Add ส่วนที่ 1 | 47 |
| 4.21 ผลหลังจากการ Add ส่วนที่ 2 | 48 |
| 4.22 ผลหลังจากการ Add ส่วนที่ 3 | 48 |
| 4.23 ผลหลังจากการ Add ส่วนที่ 4 | 49 |
| 4.24 ผลหลังจากการ Add ส่วนที่ 5 | 49 |
| 4.25 ผลลัพธ์ที่ได้จากการ Union | 50 |
| 4.26 ผลที่ได้จากการวางทรงกลมกลิ้งให้สัมผัสกับโครงสร้าง (Front_view) | 51 |
| 4.27 เมื่อทำการวางทรงกลมกลิ้งอันถัดไป (Front_view) | 51 |
| 4.28 ผลที่ได้ในมุมมอง Side_view | 52 |
| 4.29 ผลที่ได้ในมุมมอง Top_view | 52 |
| 4.30 ตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและตัวนำลงดิน | 53 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการสร้างอาคาร บ้านเรือน ห้างสรรพสินค้า และโรงพยาบาลเพิ่มมากขึ้น เพื่อรองรับกับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น อาคารเหล่านั้นนอกจากจะต้องมีการออกแบบก่อสร้างตัวอาคารให้ปลอดภัยแล้ว ยังควรที่จะมีการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า(lightning protection system, LPS)ให้เหมาะสมและปลอดภัยด้วย เนื่องจากภัยพิบัติที่เกิดจากฟ้าผ่าลงอาคาร เช่น ไฟไหม้ ตัวอาคารแตกร้าว จะนำความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินมาให้แก่ผู้อยู่อาศัย เจ้าของอาคาร และบุคคลที่อยู่ใกล้เคียงอาคารนั้น ๆ นอกจากนั้นฟ้าผ่ายังสามารถทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ภายในตัวอาคารเกิดการทำงานผิดพลาด อันเนื่องมาจากการรบกวนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสฟ้าผ่าไหลผ่านตัวนำ

ในอดีตการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าจะใช้เวลานาน และในบางครั้งการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารเดียวกัน ก็จะแตกต่างกันไปตามวิธีที่ผู้ออกแบบแต่ละท่านใช้ ดังนั้นการนำเอาคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบโดยยึดตามมาตรฐานของ IEC1024-1 จะทำให้การออกแบบมีความสะดวกรวดเร็วและเป็นไปตามมาตรฐานเดียวกัน นอกจากนี้ยังสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการป้องกันฟ้าผ่าในระดับการป้องกันที่แตกต่างกันได้อีกด้วย

โดยปกติขั้นตอนการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าจะประกอบด้วย

1. พิจารณาประเภทของอาคารที่จะป้องกัน
2. ประเมินความเสี่ยงที่เกิดจากฟ้าผ่า
3. พิจารณาชนิดของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก
4. พิจารณาระบบตัวนำล่อฟ้า (Air termination system)
5. พิจารณาระบบตัวนำลงดิน (Down conductor system)
6. พิจารณาระบบรอกสายดิน (Earth termination system)
7. ระบบป้องกันภายในจากอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าของฟ้าผ่า (Interior LPS LEMP)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงนำเสนอการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารทั่วไป ซึ่งสามารถคำนวณหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งตัวนำล่อฟ้า

(air terminal) และตัวนำลงดิน(down conductor) ในอาคารนั้น ๆ ได้ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่พิจารณาถึงการออกแบบระบบบรากลสายดิน(Earth termination system) และการออกแบบระบบป้องกันภายในจากอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าของฟ้าผ่า (Interior LPS LEMP design)

สำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการพัฒนาขึ้นให้ใช้งานกับระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 98 บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) และทำการพัฒนาโดยใช้โปรแกรม VBA (Visual Basic for Application) ร่วมกับโปรแกรม Autocad ซึ่งได้แสดงวิธีใช้โปรแกรมดังกล่าวในบทที่ 4 ในส่วนของตัวอย่างการใช้โปรแกรม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อช่วยให้การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าเป็นไปตามมาตรฐานและมีความสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น
2. เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตัดสินใจเลือกระบบป้องกันฟ้าผ่าที่เหมาะสมกับความต้องการได้
3. เพื่อศึกษาระบบป้องกันฟ้าผ่าในลักษณะต่างๆ ให้เหมาะสมกับอาคาร

1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาขั้นตอนการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า
2. หาข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าที่มีในท้องตลาด
3. ศึกษาการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์
4. ออกแบบหลักการคำนวณระบบป้องกันฟ้าผ่า
5. ทดสอบการทำงานให้เป็นไปตามมาตรฐาน
6. สรุปลงและแก้ไขข้อบกพร่อง
7. ประเมินผลการดำเนินงาน
8. เรียบเรียงและจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์เพื่อเสนอต่อคณะกรรมการ

1.4 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์

พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าฯ ที่มีความสามารถดังนี้

1. สามารถใช้ได้กับอาคารทั่ว ๆ ไปที่มีความสูงไม่เกิน 60 m
2. สามารถระบุตำแหน่งที่จะติดตั้งตัวนำล่อฟ้าได้
3. สามารถเปลี่ยนความสูงของตัวนำล่อฟ้าได้

- 4.สามารถคำนวณระยะระหว่างตัวนำล่อฟ้าที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดได้
- 5.สามารถแสดงตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำลงดินได้
- 6.สามารถเลือกระดับการป้องกันและเปรียบเทียบได้
- 7.สามารถแสดงผลการออกแบบในรูปแบบของแผนภาพและตารางข้อมูล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

โปรแกรมที่ได้จะสามารถแสดงรูปร่างและโครงสร้างของอาคารในลักษณะ 3 มิติได้ พร้อมทั้งระบุตำแหน่งที่จะติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและตัวนำลงดิน สามารถปรับความสูงของตัวนำล่อฟ้าเพื่อดูผลที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งจะทำให้การออกแบบและการตัดสินใจเลือกระบบป้องกันฟ้าผ่ามีประสิทธิภาพและสะดวกรวดเร็ว

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งออกเป็น 5 บทดังนี้

บทที่ 1 บทนำ จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับฟ้าผ่า ซึ่งจะอธิบายขั้นตอนของการเกิดฟ้าผ่า ลักษณะของฟ้าผ่าที่เกิดขึ้น ความหมายของระยะฟ้าผ่า (Striking distance) และการเกิดฟ้าผ่าซ้ำ

บทที่ 3 จะกล่าวถึงหลักการป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งจะอธิบายถึงหลักการพื้นฐานของการป้องกันฟ้าผ่า ผลของกระแสฟ้าผ่า และขั้นตอนการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยยึดตามมาตรฐานของ IEC (IEC 1024-1)

บทที่ 4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าฯ ซึ่งจะอธิบายถึงแนวคิดในการออกแบบโปรแกรม และการเลือกใช้โปรแกรม VBA ร่วมกับโปรแกรม Autocad ในการออกแบบ นอกจากนี้ยังอธิบายถึงรายละเอียดต่าง ๆ ในโปรแกรม พร้อมยกตัวอย่างการออกแบบประกอบ

บทที่ 5 จะเป็นบทที่สรุปผลการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าฯ ข้อเสนอแนะและปรับปรุงของโปรแกรม

บทที่ 2

ทฤษฎีเกี่ยวกับฟ้าผ่า

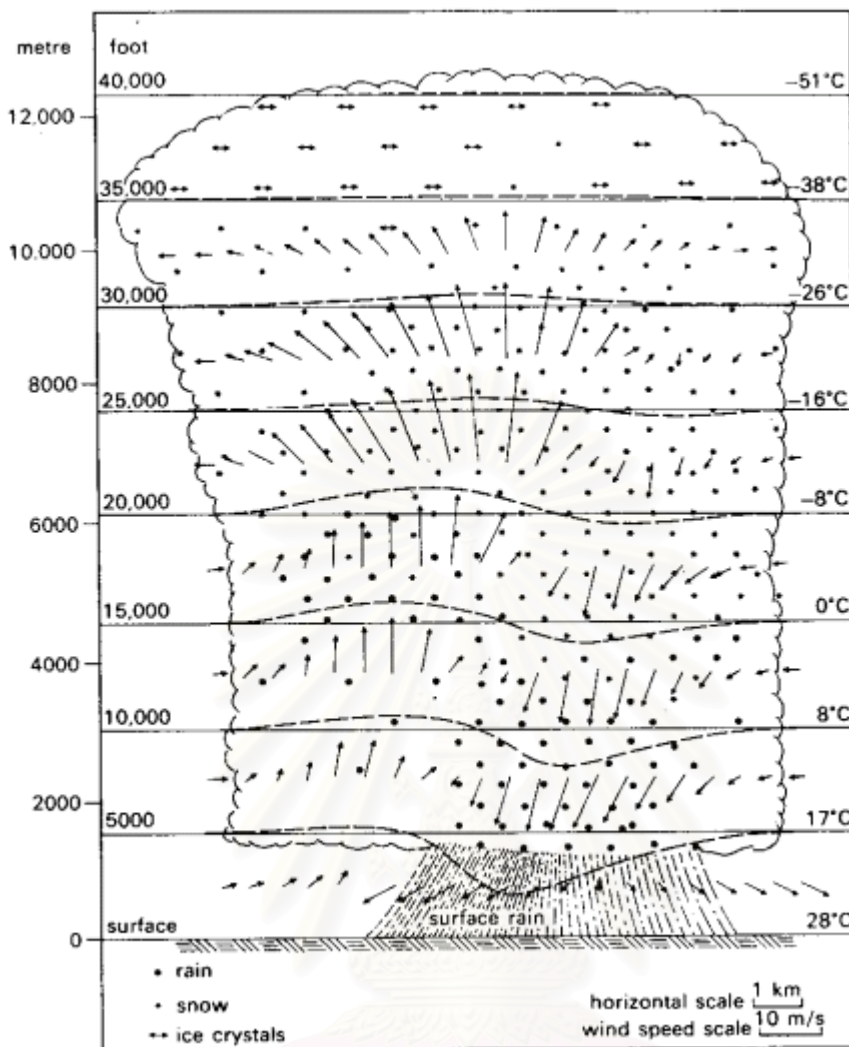
2.1 การก่อกำเนิดของเมฆฝน (The Thundercloud formation)

ความร้อนจากดวงอาทิตย์จะทำให้อากาศเคลื่อนตัวไปสู่ส่วนที่เย็นกว่า แล้วเกิดการระเหยของละอองน้ำ ในขณะที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก พื้นโลกจะถูกทำให้ร้อนขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดเมฆขึ้นในตอนบ่าย การระเหยของละอองน้ำ ณ ส่วนบนของก้อนเมฆ จะทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำและเป็นผลึกแข็งที่มีน้ำหนักมากขึ้น ถ้าหยดน้ำหรือผลึกน้ำแข็งนี้มีน้ำหนักเกินที่อากาศจะพยุงได้ ก็จะตกลงมาเป็นฝนสู่พื้นโลก และก่อให้เกิดพายุตามมา

พายุจะเกิดขึ้นบ่อยครั้งในบริเวณที่เป็นเขตร้อนชื้น และจะลดลงเมื่อเข้าไปใกล้ขั้วโลก ขนาดของเมฆฝนจะมีขนาดรัศมีตั้งแต่ 3 กิโลเมตรถึงมากกว่า 50 กิโลเมตร เมฆฝนจะต้องมีความหนาขนาด 3-4 กิโลเมตรขึ้นไปจึงจะก่อให้เกิดฟ้าผ่าได้ ยิ่งเมฆฝนมีความหนามากขึ้น ก็จะมีโอกาสเกิดฟ้าผ่าได้มากขึ้นด้วย

บริเวณผิวของพื้นโลกจะมีประจุตรงข้ามกับประจุที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างของก้อนเมฆ ซึ่งโดยปกติจะมีประจุเป็นลบ ประจุจะถูกนำพาผ่านเม็ดฝนลงสู่พื้นโลก เมฆฝนจะมีประจุบวกอยู่ด้านบน และประจุลบอยู่ด้านล่าง บริเวณที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าเกินกว่า 1.5-2 kV/m วัตถุที่มีขนาดเล็กหรือมีปลายแหลมจะเริ่มเกิดการดีสชาร์จแบบจุด (Point discharge) รูปของเมฆฝนได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 เมฆฝน [Marshall, 1973]

2.2 การเกิดดิสชาร์จแบบจุด (Point discharge)

ดิสชาร์จแบบจุดจะเกิดขึ้นบริเวณวัตถุที่มีปลายแหลม หยดน้ำที่อยู่ในก้อนเมฆหรือบนต้นไม้ เมื่อสนามไฟฟ้ามีค่ามากพอ จะทำให้อิเล็กตรอนถูกเร่งและไปชนกับโมเลกุลของก๊าซ เป็นผลให้อิเล็กตรอนเกิดการไอออไนซ์และก่อตัวเป็นโคโรนาดิสชาร์จ หลักการนี้ได้ถูกนำมาพัฒนา ระบบป้องกันฟ้าผ่าแบบกำเนิดสตรีมเมอร์ก่อนเวลา (Early Streamer Emission System) กระแสของการเกิดดิสชาร์จแบบจุดจะขึ้นอยู่กับ 3 ตัวแปร คือ ความสูงของวัตถุ รูปร่างของวัตถุ และสนามไฟฟ้าในบริเวณนั้น การดิสชาร์จจะเกิดขึ้นเมื่อสนามไฟฟ้าที่เกิดจากหัวนำร่องฟ้าผ่า (leader) มีค่ามากกว่าสนามไฟฟ้าต่ำสุดที่ก่อให้เกิดการดิสชาร์จ (E_{min}) กระแสที่เกิดจากการไอออไนซ์จะไป

ลดความเข้มสนามไฟฟ้า เหตุการณ์นี้สามารถเกิดขึ้นที่ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าต่ำ (2kV/m) ได้ กระแสที่เกิดจากการดีสชาร์จแบบจุดนี้จะเป็นตัวพาเอาประจุบวกซึ่งเป็นประจุที่ตรงข้ามกับประจุของหัวนำร่องฟ้าผ่าไป

2.3 ลักษณะของฟ้าผ่า (Types of Lightning Discharges)

ลักษณะของฟ้าผ่าจะแบ่งได้เป็น 4 ประเภทคือ

- ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นภายในก้อนเมฆ (Intra-cloud discharge)
- ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆ (Cloud-to-cloud discharge)
- ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆกับอากาศ (Cloud-to-air discharge)
- ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน (Cloud-to-ground discharge)

มากกว่า 50 % ของการเกิดฟ้าผ่าจะเกิดขึ้นภายในก้อนเมฆ มีเพียงส่วนน้อยที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆ ส่วนในกรณีของฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท [Uman, 1987] ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะของฟ้าผ่า [Uman, 1987]

มากกว่า 90% ของฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดินจะอยู่ในประเภทที่ 1 (ฟ้าผ่าลงที่เกิดจาก หัวนำร่องฟ้าผ่าประจุลบในก้อนเมฆ) ส่วนในประเภทที่ 3 (ฟ้าผ่าลงที่เกิดจากหัวนำร่องฟ้าผ่าประจุบวกในก้อนเมฆ) จะมีเพียงโอกาสเกิดขึ้นเพียง 5 % ส่วนในประเภทที่ 2 และ 4

(ฟ้าผ่าขึ้น) จะพบได้ยาก ซึ่งสามารถพบได้บริเวณยอดของภูเขาหรืออาคารสูง สำหรับในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า เราจะพิจารณาเฉพาะฟ้าผ่าลง

2.3.1 ฟ้าผ่าลงชนิดที่มีประจุลบ (Negative leader, Cloud-to-ground)

คุณสมบัติของหัวนำร่องฟ้าผ่าที่มีประจุลบ (Negative leader) [Uman, 1987]

- เวลาในการเคลื่อนที่ของหัวนำร่องฟ้าผ่าในแต่ละช่วงมีค่า $1 \mu\text{s}$
- ความยาวของหัวนำร่องฟ้าผ่าประมาณ 10-150 m หรือเฉลี่ยที่ 50 m [Berger, 1972]
- เวลาหยุดพักในแต่ละช่วงก้าวของหัวนำร่องฟ้าผ่าประมาณ 20-50 μs
- ความเร็วของหัวนำร่องฟ้าผ่าประมาณ $2 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$
- ค่าเฉลี่ยของกระแสหัวนำร่องฟ้าผ่าประมาณ 100-1000 A
- ก่อให้เกิดแขนงของลำฟ้าผ่า
- ค่าความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าระหว่างหัวนำร่องฟ้าผ่ากับพื้นดินเกินกว่า 10^7 V

คุณสมบัติของสตรีมเมอร์(streamer) หรือลำฟ้าผ่าย้อนกลับ (return stroke)

[Uman, 1989]

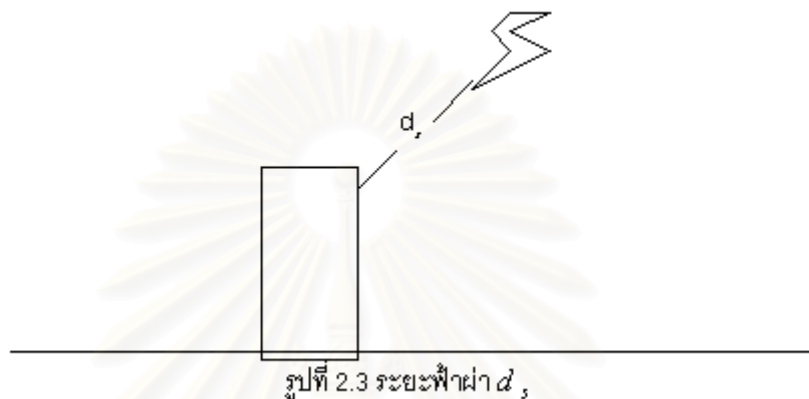
- มีความเร็วประมาณ 1/3 ของความเร็วแสงที่บริเวณพื้นโลกและจะลดลงเมื่อเข้าใกล้กับก้อนเมฆ
- จะใช้เวลาในการเดินทางจากพื้นโลกถึงก้อนเมฆอยู่ในช่วง 100 μs
- เวลาจากจุดเริ่มต้นจนถึงค่าสูงสุดมีค่าประมาณ 2-3 ms
- อุณหภูมิมีค่าประมาณ 30000 K
- จำนวนครั้งของลำฟ้าผ่าย้อนกลับ จะอยู่ในช่วง 1-30 ครั้ง เฉลี่ยที่ประมาณ 4 ครั้ง

สำหรับในกรณีของฟ้าผ่าลงชนิดที่มีประจุบวกจะมีข้อแตกต่างจากฟ้าผ่าลงชนิดที่มีประจุลบ คือ

- กระแสหัวนำร่องฟ้าผ่าของฟ้าผ่าลงชนิดที่มีประจุบวกจะมีค่าสูงกว่า ซึ่งมีค่าประมาณ 200-300 kA
- ฟ้าผ่าลงชนิดที่มีประจุบวกจะเป็นลำฟ้าผ่าเดียว

2.4 ระยะฟ้าผ่า (Striking distance)

หัวนําร่องฟ้าผ่าจะเคลื่อนตัวลงมาจากก้อนเมฆเป็นชั้น ๆ จนถึงจุดที่หัวนําร่องฟ้าผ่าเคลื่อนลงมาจนทำให้สตรีมเมอร์เริ่มก่อตัวขึ้นที่พื้นโลกหรือวัตถุบนโลก ณ ตำแหน่งนี้เราจะพิจารณาจุดที่จะถูกฟ้า โดยที่ระยะระหว่างหัวนําร่องฟ้าผ่ากับวัตถุที่เราพิจารณา เรียกว่า ระยะฟ้าผ่า ดังแสดงในรูปที่ 2.3

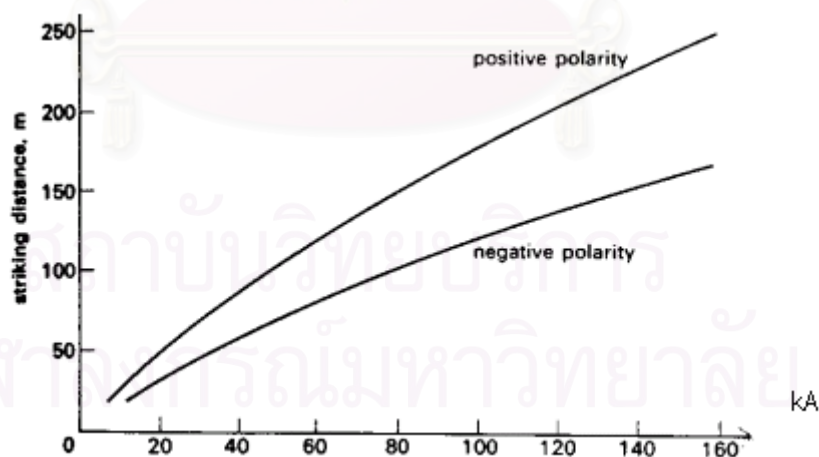


ระยะฟ้าผ่า(d_s) จะขึ้นกับขนาดของกระแสฟ้าผ่า(I) ดังสมการ [IEEE, 1992]

$$d_s = 10 I^{0.65} \quad (2.1)$$

d_s มีหน่วยเป็นเมตร (m), I มีหน่วยเป็นกิโลแอมแปร์ (kA)

กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสฟ้าผ่า ระยะฟ้าผ่า และชนิดของประจุฟ้าผ่า แสดงอยู่ในรูปที่ 2.4 [Golde, 1973]

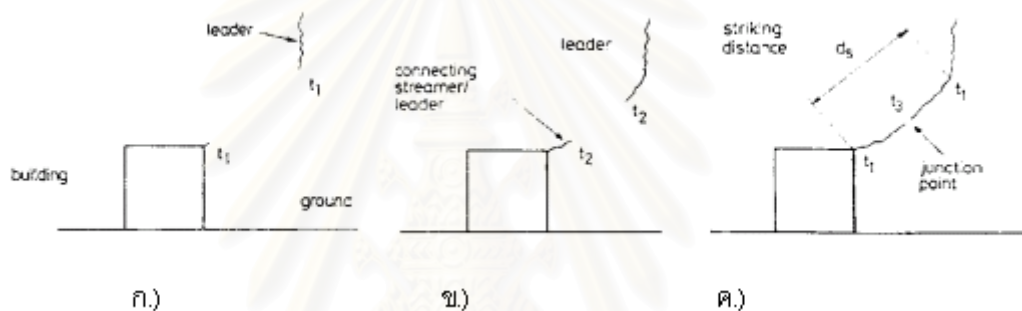


รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสฟ้าผ่า (kA) ต่อระยะฟ้าผ่า (m)[Golde, 1973]

2.5 กระบวนการเกิดฟ้าผ่า (Interception of the lightning strike)

ในขณะก่อนการเกิดฟ้าผ่า สนามไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันก็จะเกิดการไอออไนเซชัน (Ionization) ซึ่งอยู่ในรูปของการดีสชาร์จแบบจุด การเบรกดาวน์จะสามารถเกิดขึ้นเมื่อความแตกต่างของแรงดันระหว่างหัวนำร่องฟ้าผ่ากับพื้นโลกมีค่าเกิน 10^7 V ประจุจากพื้นโลกจะเริ่มเคลื่อนที่ไปตามหัวนำร่องฟ้าผ่าขาขึ้น (upward leader) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการเชื่อมต่อ (attachment process)

กระบวนการเชื่อมต่อนี้จะเริ่มต้นขึ้นเมื่อหัวนำร่องฟ้าผ่าขาขึ้นมีความสูงเหนือพื้นโลกหรือโครงสร้าง 100-200 m และจะเกิดขึ้นโดยใช้เวลาเพียง 1 ms หรือน้อยกว่านั้น ขั้นตอนการเกิดกระบวนการเชื่อมต่อนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 [Mackerras et al., 1997]



รูปที่ 2.5 กระบวนการเชื่อมต่อ [Mackerras et al., 1997]

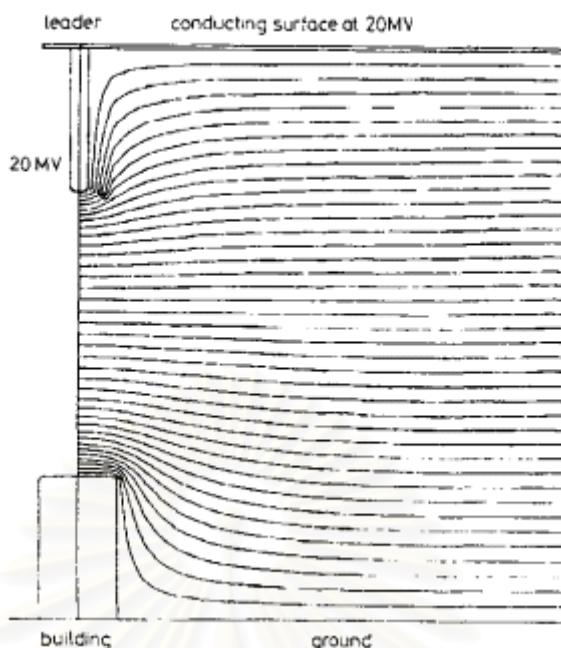
เมื่อหัวนำร่องฟ้าผ่าขาขึ้นพบกับหัวนำร่องฟ้าผ่าขาลง กระบวนการเชื่อมต่อนี้จะสิ้นสุดลง ลำฟ้าผ่าย้อนกลับก็จะเดินทางผ่านช่องทางที่เชื่อม (leader channel) นี้ กระแสสูงสุดจะมีค่าขึ้นกับประจุในช่องทางเชื่อมนั้น สามารถแสดงได้ดังสมการ [Berger, 1972]

$$I = 10.6Q^{0.7} \quad (2.2)$$

โดยที่ I มีหน่วยเป็นกิโลแอมแปร์ (kA) และ Q มีหน่วยเป็น คูลอมบ์

ในรูป ค.) ของรูปที่ 2.5 จะแสดงให้เห็นถึงระยะฟ้าผ่า ซึ่งเป็นระยะระหว่างหัวนำร่องฟ้าผ่ากับวัตถุที่พิจารณา สนามไฟฟ้าขึ้นกับประจุ และประจุขึ้นกับค่าของกระแสสูงสุด ดังนั้นสมการของระยะฟ้าผ่าจึงขึ้นกับค่าของกระแสสูงสุดดังสมการที่ (2.1)

ถ้าสามารถคำนวณค่าสนามไฟฟ้าระหว่างหัวนำร่องฟ้าผ่าขาลงกับวัตถุที่พิจารณาได้ ก็จะสามารถทำนายเส้นทางของหัวนำร่องฟ้าผ่าได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น [Zaengl]

จากรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่า สนามไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเข้าใกล้กับขอบของตัวอาคาร ซึ่งจะก่อให้เกิดโคโรนา เป็นผลให้อากาศบางส่วนที่บริเวณดังกล่าวเกิดการไอออไนซ์ และอากาศบริเวณนี้ก็จะมีความเป็นบวก จากจุดนี้เมื่อหัวนำร่องฟ้าผ่าเข้ามาในระยะ 100m สตรีมเมอร์จะก่อกำเนิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าสูง หลังจากนั้นสตรีมเมอร์ก็จะเปลี่ยนสภาพไปเป็นลำฟ้าผ่าย้อนกลับ ค่าสนามไฟฟ้าต่ำสุดที่จะก่อให้เกิดการเดินทางของหัวนำร่องฟ้าผ่าอย่างต่อเนื่องมีค่าเท่ากับ 0.5 MV/m [Golde, 1977]

2.6 ผลของกระแสฟ้าผ่า (Effects of lightning current)

2.6.1 ผลทางความร้อน (Thermal effects)

หัวนำร่องฟ้าผ่าจะประกอบด้วยแกนกลางซึ่งมีขนาดไม่กว้างนัก ล้อมรอบด้วยโคโรนา กระแสฟ้าผ่าจะมีความหนาแน่นสูงในบริเวณแกนกลางนี้ เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนกลางจะมีความกว้างประมาณ 10-20 mm และมีอุณหภูมิสูงถึง 30000K หรือมากกว่านั้น อุณหภูมิที่สูงขนาดนี้จะเกิดขึ้นในช่วง 2-3 ms เท่านั้น [Orville, 1968]

ผลทางความร้อนที่ต้องพิจารณาประกอบด้วย
 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของตัวนำเมื่อถูกฟ้าผ่า
 ความเสียหายที่ฟ้าผ่าจะเจาะทะลุแผ่นตัวนำ
 ผลกระทบต่อตัวนำที่เสื่อมสภาพหลังจากถูกฟ้าผ่า

พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$w = \int i^2 R dt \quad (2.3)$$

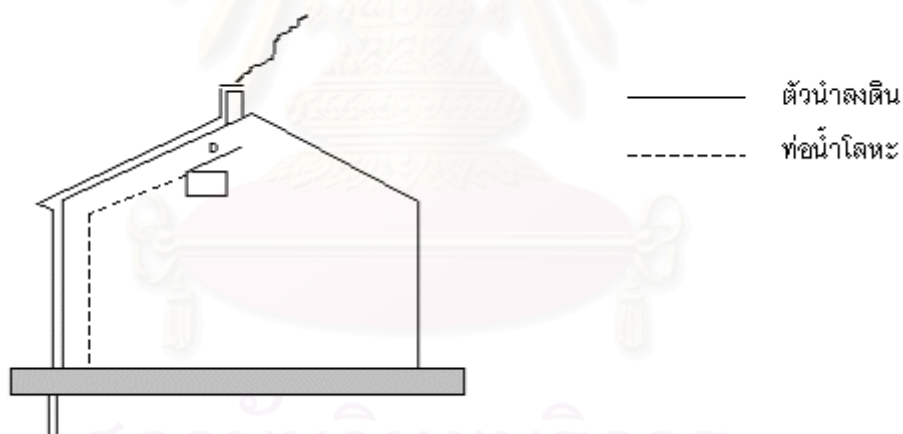
2.6.2 ผลทางกล (Mechanical effects)

ผลทางกลที่เกิดขึ้นประกอบด้วย คลื่นกระแทก (shock wave) และแรงบิดที่เกิดจากการไหลของกระแสไฟฟ้า เนื่องจากแกนกลางของหัวนำร่องฟ้าผ่ามีอุณหภูมิสูงมาก เป็นผลให้เกิดคลื่นกระแทกซึ่งอยู่ในช่วงซูเปอร์โซนิก (supersonic range)

ส่วนแรงบิดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำที่ขนานกัน จะแปรผันตามกำลังสองของขนาดกระแส และแปรผกผันกับระยะทางระหว่างตัวนำนั้น ๆ

2.6.3 ผลทางไฟฟ้า (Electrical effects)

ผลทางไฟฟ้าที่เห็นได้ชัดและเป็นที่น่าสนใจคือ การเกิดวาบไฟด้านข้าง (side flash) เพื่อการอธิบายให้เห็นภาพ การเกิดวาบไฟด้านข้างสามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเกิดวาบไฟด้านข้าง [Golde, 1973]

ในรูปที่ 2.7 แสดงทางเดินของตัวนำลงดิน (down conductor) ซึ่งต่อมาจากปล่องควัน ซึ่งเป็นจุดที่สูงที่สุด ส่วนแท่งกันน้ำจะต่อกับท่อน้ำที่เป็นโลหะ สมมติว่าปล่องควันถูกฟ้าผ่าที่มีกระแสฟ้าผ่าขนาด i กระแสฟ้าผ่าจะวิ่งผ่านตัวนำลงดินซึ่งมีความเหนี่ยวนำ L ลงสู่รากสายดิน (earth electrode) ซึ่งมีความต้านทาน R ดังนั้นจุดสูงสุดที่ถูกฟ้าผ่าจะมีแรงดัน (u) ตามสมการ

$$u = iR + L di / dt \quad (2.4)$$

เมื่อแรงดันที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมาก ก็จะมีประกายไฟผ่านช่องอากาศซึ่งมีระยะ D ปราบกฎการณีนีเองที่เรียกว่าการเกิดวาบไฟด้านข้าง

การป้องกันการเกิดเหตุการณ์เช่นนี้สามารถทำได้โดยการเชื่อมต่อแท่งกันน้ำที่เป็นโลหะเข้ากับตัวนำลงดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

หลักการป้องกันฟ้าผ่า

3.1 หลักการป้องกันฟ้าผ่า (Principle of lightning protection)

การป้องกันฟ้าผ่า คือ การป้องกันมิให้เกิดอันตรายต่อสิ่งก่อสร้างและบุคคล อันตรายนี้ อยู่ในรูปของความร้อน แรงกล และผลทางไฟฟ้า การป้องกันฟ้าผ่าสามารถทำได้โดยการจัดหาเส้นทางที่มีความต้านทานต่ำ ๆ ให้ฟ้าผ่าลงมาสู่ดินโดยไม่เกิดอันตราย

การป้องกันฟ้าผ่าสามารถทำได้ในทุก ๆ กรณีที่จะเกิดฟ้าผ่าและก่อให้เกิดความเสียหาย ในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าจะต้องคำนึงถึงหลักทางเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญ เช่น ถ้าติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าในพื้นที่ที่ไม่มีประวัติการถูกฟ้าผ่ามาเป็นเวลาสิบ ๆ ปี หรือติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าให้กับสิ่งก่อสร้างที่มีมูลค่าต่ำกว่าระบบป้องกันฟ้าผ่าก็เป็นการป้องกันที่ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ดังนั้นการพิจารณาว่าควรติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ และติดตั้งให้มีประสิทธิภาพสูงมากเท่าไรต้องพิจารณาจากหลายตัวแปร เช่น สถิติการเกิดฟ้าผ่าในบริเวณนั้น ๆ (Thunderstorm days) มูลค่าของสิ่งก่อสร้าง ฯ

ราคาค่าติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าจะขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ ความเที่ยงตรงหรือความถูกต้องของระบบป้องกันฟ้าผ่า นั้น ๆ และวัสดุที่นำมาใช้ ซึ่งอาจจะเป็น ทองแดง อลูมิเนียม หรือ เหล็กกันสนิม

ข้อมูลของความเสียหายที่เกิดจากฟ้าผ่าเป็นข้อมูลที่หาได้ยาก โดยมากจะได้มาจากบริษัทประกันหรือองค์กรของรัฐ ในประเทศที่อยู่ในเขตที่มีโอกาสเกิดฟ้าผ่าปานกลาง เบี้ยประกันอุบัติเหตุจากฟ้าผ่าจะมีราคาต่ำกว่าค่าติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า

3.2 ขั้นตอนการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าลงตัวอาคารตามมาตรฐาน IEC 1024-1

การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะยึดตามมาตรฐานของ IEC1024-1 ซึ่งจะใช้สำหรับการป้องกันอาคารทั่ว ๆ ไปที่มีความสูงไม่เกิน 60 m การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ

1. การพิจารณาประเภทของอาคารที่จะป้องกัน
2. พิจารณาเลือกระดับการป้องกัน(I,II,III,IV) ให้เหมาะสม
3. พิจารณาชนิดของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก
4. ระบบตัวนำล่อฟ้า(Air termination system)

- 5.ระบบตัวนำลงดิน(Down conductor system)
- 6.ระบบรากสายดิน(Earth termination system)
- 7.ระบบป้องกันภายในจากอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าของฟ้าผ่า(Interior LPS LEMP)

ขั้นตอนการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าลงตัวอาคารตามมาตรฐาน IEC 1024-1 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่ครอบคลุมในทุกหัวข้อ ในหัวข้อที่ 6 และ 7 จะไม่รวมอยู่ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าฯ

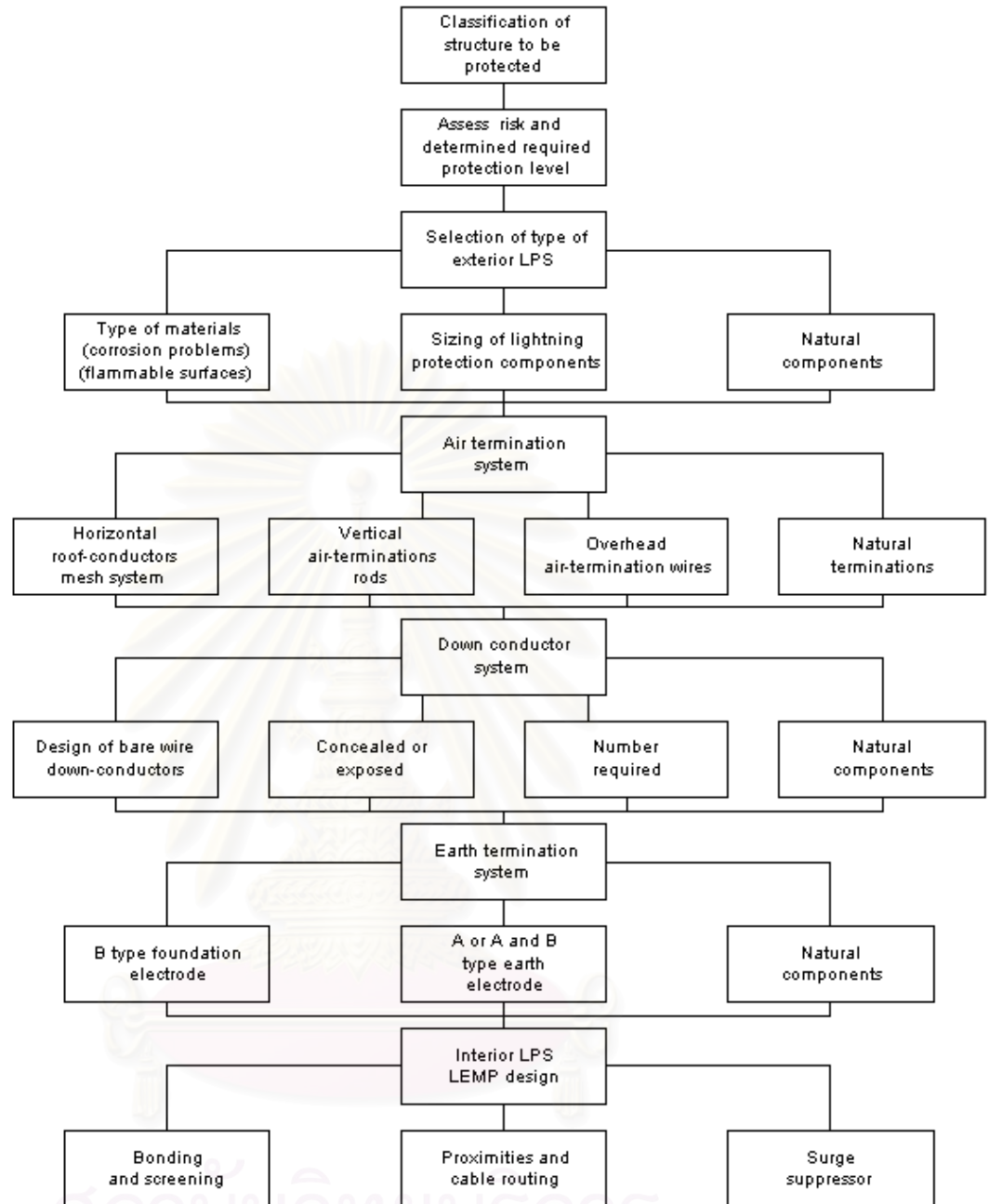
3.2.1 การพิจารณาประเภทของอาคารที่จะป้องกัน (Classification of structures)

การพิจารณาประเภทของอาคารจะพิจารณาจากผลกระทบที่ตามมาหลังจากเกิดฟ้าผ่าลงอาคารนั้น ๆ เช่น เกิดไฟไหม้ เกิดความเสียหายต่ออาคาร เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และผลทางอ้อมอื่น ๆ (ทำให้ผู้อาศัยเกิดความหวาดกลัว ตกใจ หรืออาจเกิดการระเบิดของวัสดุติดไฟ) ตามปกติอาคารจะถูกแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1.อาคารทั่วไป(Common structures) เป็นโครงสร้างหรืออาคารที่ใช้เพื่อจุดประสงค์ทั่วไป เช่น อาคารพาณิชย์ สถานศึกษา โรงงาน และที่อยู่อาศัย อาคารเหล่านี้ต้องมีความสูงไม่เกิน 60 m โปรแกรมช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าฯ จะพิจารณาเฉพาะอาคารในประเภทนี้เท่านั้น

2.อาคารแบบพิเศษ(special structures) ซึ่งประกอบด้วย

- อาคารที่มีอันตรายอยู่ในวงจำกัด(structures with confined danger)
- อาคารที่อาจเกิดอันตรายต่อสิ่งรอบข้าง(structures dangerous to their surroundings)
- อาคารที่อาจเกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม(structures dangerous to the environment)
- อาคารประเภทอื่น ๆ เช่น อาคารที่มีความสูงเกิน 60 m รายละเอียดของอาคารแต่ละประเภทแสดงไว้ในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC1024-1[IEC1024-1, 1990]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| ประเภทของอาคาร | ชนิดของอาคาร | ผลกระทบจากการเกิดฟ้าผ่า |
|--------------------------------------|---|--|
| อาคารทั่วไป | อาคารบ้านเรือน | การพังทลายของอุปกรณ์, ไฟไหม้ โดยปกติความเสียหายจะถูกจำกัดแค่จุดที่โดนฟ้าผ่าและจุดที่อยู่ในเส้นทางฟ้าผ่า |
| | ฟาร์ม โรงงาน | ผลโดยตรง : ไฟไหม้และอันตรายจากแรงดันช่วงก้าว ผลทางอ้อม: ไฟฟ้าดับ, ความเสียหายที่เกิดจากระบบควบคุมทำงานผิดพลาด |
| | โรงพยาบาล โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า พื้นที่การกีฬา | ระบบแสงสว่างขัดข้อง ซึ่งจะนำมาซึ่งความตกใจของผู้อาศัย อยู่ในตัวอาคาร ความผิดพลาดของระบบป้องกันเพลิงไหม้ |
| | ธนาคาร บริษัทประกัน | ความเสียหายต่อระบบสื่อสาร คอมพิวเตอร์และข้อมูล |
| | โรงพยาบาล เรือนจำ | เกิดอันตรายต่อชีวิตของผู้ป่วยหนักที่อยู่ในห้องฉุกเฉิน |
| | โรงงาน อุตสาหกรรม | ความเสียหายต่อการผลิต |
| | พิพิธภัณฑ์ โบราณสถาน | สูญเสียศิลปะและมรดกทางวัฒนธรรม |
| อาคารที่มีอันตรายอยู่ในวงจำกัด | อาคารสื่อสาร โรงจักรไฟฟ้า โรงงานเชื้อเพลิง | สูญเสียระบบจำหน่ายไฟฟ้า เกิดไฟไหม้ต่อสิ่งรอบข้าง |
| อาคารที่อาจเกิดอันตรายต่อสิ่งรอบข้าง | โรงกลั่น โรงงานดอกไม้ไฟ โรงงานดินปืน | เกิดไฟไหม้และระเบิดต่อโรงงานและสิ่งรอบข้าง |
| อาคารที่อาจเกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม | โรงงานเคมี โรงจักรนิวเคลียร์ โรงปฏิบัติการ ชีวเคมี | เกิดไฟไหม้ ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบร้ายแรงต่อสิ่งแวดล้อม |

ตารางที่ 3.1 ประเภทของอาคาร [IEC1024-1, 1990]

3.2.2 พิจารณาเลือกระดับการป้องกัน (Determination of protection level)

จุดประสงค์ของการเลือกระดับการป้องกันคือ เพื่อลดความเสี่ยงจากความเสียหายอันเนื่องมาจากฟ้าผ่า ความเสี่ยงของอาคารแต่ละชนิดจะถูกพิจารณาจาก ความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าตรงลงอาคารนั้นต่อปี(the annual frequency of lightning flashes to the structure, N_d) ซึ่งแสดงถึงความน่าจะเป็นของความเสียหายที่จะเกิดขึ้น โดยความเสี่ยงนี้ขึ้นกับตัวแปรหลายอย่าง เช่น การใช้งานของพื้นที่ที่ป้องกัน วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

เมื่อพิจารณาเลือกระดับความเสียหายสูงสุดที่ยอมรับได้แล้ว ก็สามารถประมาณค่าความถี่สูงสุดของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ต่อปี(The maximum accepted value of annual frequency lightning flashes, N_c) จากนั้นก็จะพิจารณาเลือกระดับการป้องกันที่เหมาะสมจากค่า N_d และ N_c โดยระดับการป้องกันจะแบ่งได้เป็น 4 ระดับ คือ I, II, III, IV ซึ่งระดับการป้องกันที่ I จะมีความปลอดภัยสูงสุด โดยประสิทธิภาพของการป้องกันในแต่ละระดับแสดงไว้ดังตารางที่ 3.2 ประสิทธิภาพนี้คิดจากโอกาสที่ฟ้าผ่าจะผ่าลงระบบป้องกันฟ้าผ่านั้น ๆ โดยไม่ผ่าลงโครงสร้างหรืออาคาร

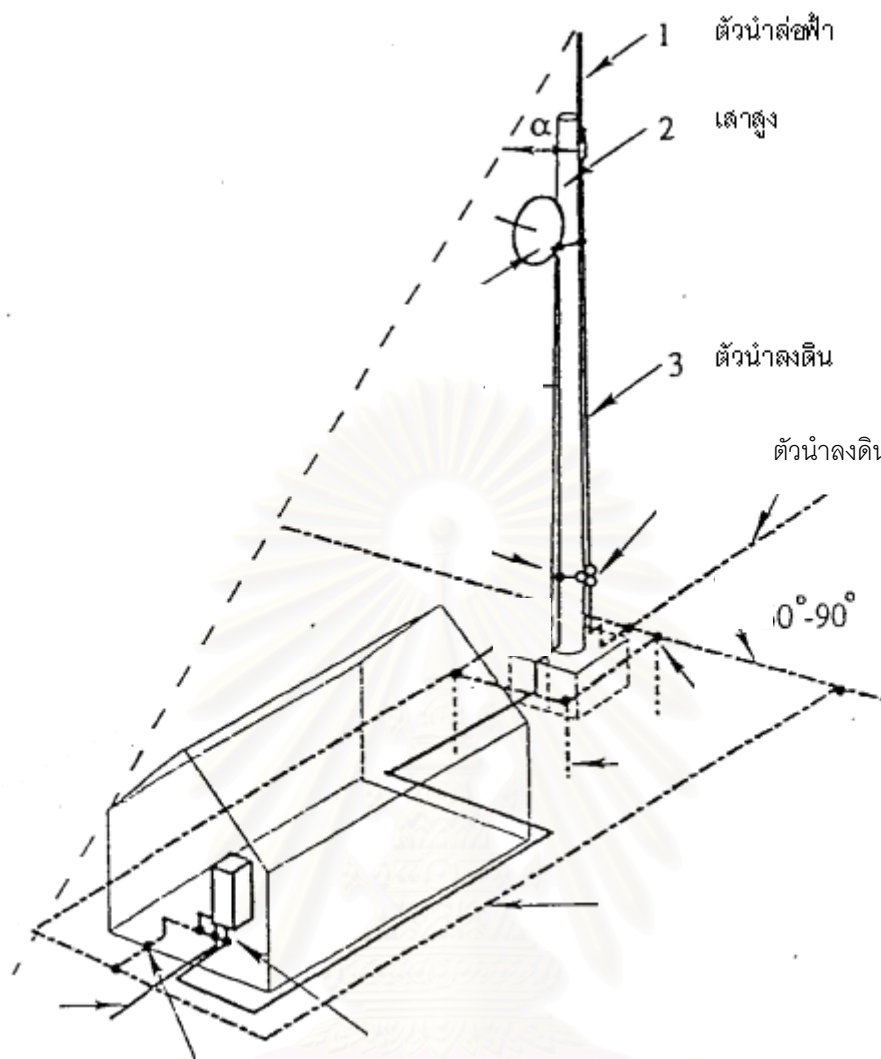
| ระดับการป้องกัน | ประสิทธิภาพ |
|-----------------|-------------|
| I | 0.98 |
| II | 0.95 |
| III | 0.90 |
| IV | 0.80 |

ตารางที่ 3.2 ประสิทธิภาพของการป้องกันในแต่ละระดับ [IEC1024-1, 1990]

3.2.3 พิจารณาชนิดของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก (Selection of type of exterior LPS)

ชนิดของระบบป้องกันฟ้าผ่าแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. ระบบป้องกันฟ้าผ่าแยกอิสระ(Isolated LPS) เป็นชนิดที่ระบบตัวนำล่อฟ้าและระบบตัวนำลงดินถูกติดตั้งในตำแหน่งที่เส้นทางของกระแสฟ้าผ่าไม่สัมผัสกับพื้นที่ที่จะป้องกัน โดยที่ระบบป้องกันฟ้าผ่าจะเชื่อมต่อกับส่วนประกอบของอาคารที่เป็นตัวนำ และระบบ การประสานให้ศักย์เท่ากัน (Equipotential bonding) ที่ระดับพื้นเท่านั้น ตัวอย่างของระบบป้องกันฟ้าผ่าแยกอิสระแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ระบบป้องกันฟ้าผ่าแยกอิสระ [IEC1024-1, 1990]

2. ระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ไม่แยกอิสระ (Non-isolated LPS) เป็นชนิดที่ระบบตัวนำล่อฟ้า และระบบตัวนำลงดินถูกติดตั้งในตำแหน่งที่เส้นทางของกระแสฟ้าผ่าสามารถสัมผัสกับพื้นที่ที่จะป้องกันได้ โดยส่วนภายนอกอาคารที่เป็นตัวนำจะถูกเชื่อมต่อกับระบบตัวนำล่อฟ้าและระบบรากสายดิน ซึ่งตัวนำนี้จะถูกใช้เป็นตัวนำลงดิน และแท่งตัวนำศักย์ไฟฟ้าเท่า (Equipotential bars) ด้วย ซึ่งสามารถช่วยลดผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนที่เกิดขึ้นได้

ในกรณีที่อาคารมีความสูงมากกว่า 20 m ทั้งสองระบบจะต้องทำการติดตั้งตัวนำวงแหวน(Ring conductor) เพิ่มเติมทุก ๆ ระยะ 20 m ซึ่งสามารถลดแรงดันตกคร่อม(Voltage drop) ในตัวนำลงดินได้ นอกจากนี้จะต้องพิจารณาเกี่ยวกับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำระบบป้องกันฟ้าผ่า ว่าสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้หรือไม่ พื้นผิวของโครงสร้างเป็นชนิดที่ติดไฟได้หรือไม่ พิจารณาด้วยว่าจะใช้ส่วนประกอบธรรมชาติ(Natural conductor) ซึ่งหมายถึงส่วนที่เป็นโลหะของโครงสร้าง มาทำเป็นส่วนหนึ่งของระบบตัวนำล่อฟ้าและระบบตัวนำลงดินหรือไม่ โดยปกติถ้าใช้ส่วนประกอบธรรมชาติมาทำเป็นส่วนหนึ่งของระบบป้องกันฟ้าผ่าจะต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องทางไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญ

ไม่ว่าจะเป็นระบบป้องกันฟ้าผ่าแยกอิสระหรือไม่แยกอิสระ จะต้องพิจารณาถึงระยะปลอดภัย(Safety distance,d) ด้วย โดยระยะ(S)ระหว่างระบบป้องกันฟ้าผ่ากับส่วนที่เป็นโลหะจะต้องมากกว่าระยะปลอดภัย

$$S \geq d$$

$$d = k_i \frac{k_c}{k_m} I \text{ (m)}$$

k_i : ขึ้นกับระดับการป้องกัน

k_c : ขึ้นกับมิติในการติดตั้ง

k_m : ขึ้นกับวัสดุที่แบ่งแยก

I (m) : เป็นระยะทางตลอดตัวจุดที่พิจารณาถึงจุดประสานให้ศักย์เท่ากัน (Equipotential bonding) ที่ใกล้ที่สุด

3.2.4 ตัวนำล่อฟ้า (Air terminal)

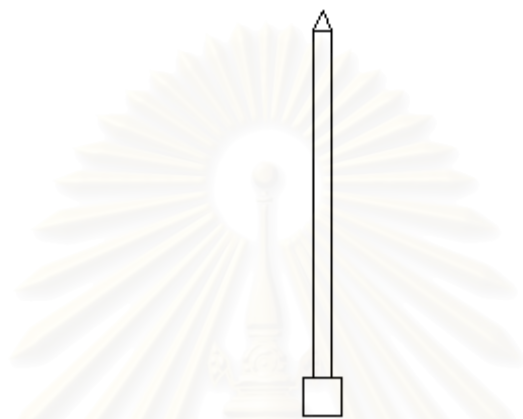
การออกแบบระบบตัวนำล่อฟ้าที่ดีจะช่วยลดความน่าจะเป็นที่จะถูกฟ้าผ่าลงได้ โดยระบบตัวนำล่อฟ้าประกอบไปด้วย

- แท่งตัวนำ (rods)
- สายตัวนำซึ่งตึง (stretched wires)
- ตัวนำตาข่าย (meshed conductor)

ชนิดของตัวนำล่อฟ้าที่ใช้กันในปัจจุบันมีอยู่ 3 ประเภทคือ

3.2.4.1 ตัวนำล่อฟ้าแบบแฟรงกลิน (Franklin rod)

ตัวนำประเภทนี้จะมีปลายแหลมเพื่อใช้ในการจับกระแสฟ้าผ่าและถ่ายเทประจุลงสู่ดิน หลักการของตัวนำล่อฟ้าชนิดนี้คือ ที่ปลายแหลมของตัวนำล่อฟ้าจะมีค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าในบริเวณอื่นๆ เนื่องจากปลายแหลมนี้จะเกิดโคโรนาที่สนามไฟฟ้าต่ำขนาด 100V/m ลักษณะของแท่งตัวนำประเภทนี้แสดงในรูปที่ 3.3

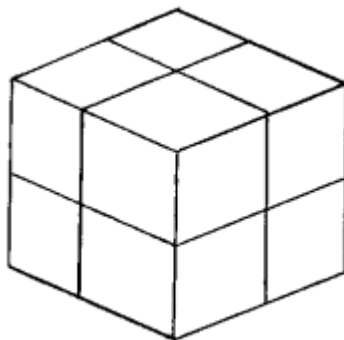


รูปที่ 3.3 ตัวนำล่อฟ้าแบบแฟรงกลิน (Franklin rod)

3.2.4.2 ตัวนำล่อฟ้าแบบฟาราเดย์ (Faraday cage)

ตัวนำล่อฟ้าแบบฟาราเดย์จะประกอบไปด้วย โลหะวัสดุซึ่งจะล้อมรอบอาคารหรือวัตถุที่จะป้องกัน มันจะทำหน้าที่สร้างเกราะกำบังสนามไฟฟ้าขึ้นรอบ ๆ วัตถุที่จะป้องกัน ยิ่งระยะระหว่างตัวนำใกล้กันมากเท่าไร ก็จะมีประสิทธิภาพในการป้องกันสนามไฟฟ้าได้มากขึ้นเท่านั้น เมื่อระยะของตัวนำเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการป้องกันก็จะลดลง จึงต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าแบบแฟรงกลินเสริมเข้าไป

ข้อเสียของตัวนำล่อฟ้าชนิดนี้คือ มีราคาแพง และขาดความสวยงาม ดังนั้นจึงนิยมใช้ร่วมกับตัวนำล่อฟ้าแบบแฟรงกลิน สำหรับอาคารที่มีโครงเหล็กเชื่อมต่อกันก็สามารถใช้หลักการของตัวนำล่อฟ้าชนิดนี้ได้ ตัวอย่างของตัวนำล่อฟ้าแบบฟาราเดย์แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวนำล่อฟ้าแบบฟาราเดย์

3.2.4.3 ตัวนำล่อฟ้าแบบกำเนิดสตรีมเมอร์ก่อนเวลา (Early streamer emission air terminal)

ตัวนำล่อฟ้าชนิดนี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

(1) ตัวนำล่อฟ้าที่กำเนิดกัมมันตภาพรังสี (Radioactive air terminal)

ตัวนำล่อฟ้าชนิดนี้มีหลักการอยู่ที่การใช้วัสดุที่สามารถปล่อยรังสี α, β, γ มาทำเป็นปลายของตัวนำล่อฟ้า เพื่อช่วยในการจับหัวนำร่องฟ้าผ่าขาลง (downward leader) ดังนั้นจึงดูเหมือนว่ามันจะได้เปรียบตัวนำล่อฟ้าแบบธรรมดา อย่างไรก็ตาม จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าตัวนำล่อฟ้าที่กำเนิดกัมมันตภาพรังสี จะมีความสามารถในการจับหัวนำร่องฟ้าผ่าขาลงดีกว่าตัวนำล่อฟ้าแบบธรรมดาเพียง 100 mm [Heary, 1988] ในขณะที่เส้นทางการเกิดฟ้าผ่ามีความยาวหลายสิบลเมตร จึงมีข้อได้เปรียบกันว่าตัวนำล่อฟ้าประเภทนี้ดีกว่าตัวนำล่อฟ้าแบบธรรมดาจริงหรือไม่ นอกจากนี้หลายประเทศยังห้ามนำเข้าตัวนำล่อฟ้าชนิดนี้

(2) ตัวนำล่อฟ้าที่มีรูปร่างพิเศษ และอุปกรณ์ที่สามารถกำเนิดสปาร์กได้ (Non-radioactive ionizing devices, sparking devices and special shapes of air terminal)

ตัวนำล่อฟ้าแบบนี้มีหลักการอยู่ที่การทำให้อากาศรอบ ๆ ตัวมันเกิดการไอออไนซ์โดยการทำให้เกิดการสปาร์กหรือด้วยรูปร่างลักษณะพิเศษของตัวมัน ตัวอย่างเช่นตัวนำล่อฟ้าแบบ spline-ball ความสูงของ spline-ball จะพิจารณาจากขนาดของโครงสร้างหรืออาคารที่จะป้องกันสนามไฟฟ้าที่บริเวณปลายแหลมจะมีค่าสูงขึ้นในขณะที่จะเกิดฝนตก เป็นผลให้ อากาศในบริเวณรอบ ๆ เกิดการไอออไนซ์ขึ้น และไอออนแตกตัวออกมาปกคลุมเส้นแรงสนามไฟฟ้าของอาคารวิธีนี้จะทำให้สนามไฟฟ้าที่อาคารลดลง ดังนั้นก็จะไม่เกิดฟ้าผ่าในบริเวณนี้

อุปกรณ์ก่อให้เกิดการไอออไนเซชันโดยใช้เลเซอร์ (laser-triggered ionizer) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการล่อฟ้าผ่า แสงเลเซอร์จะถูกกำเนิดจากท่อกำเนิดแสงเลเซอร์ที่มีกำลังสูง ซึ่งสามารถที่จะยิงลำแสงไปได้ถึง 60 m ซึ่งแสงเลเซอร์นี้มีความสามารถที่จะนำให้หัวนำร่องฟ้าผ่าลงมาสู่ตัวนำล่อฟ้าได้ [Abdel-Salam, 1997]

3) อุปกรณ์กำเนิดสตรีมเมอร์ก่อนเวลา (The early streamer emission devices)

อุปกรณ์ชนิดนี้จะทำหน้าที่กำเนิดแรงดันแบบพัลส์ขึ้นที่ตัวนำล่อฟ้า ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถของตัวนำล่อฟ้าในการดักฟ้าผ่า

3.2.5 ระบบตัวนำล่อฟ้า (Air termination system)

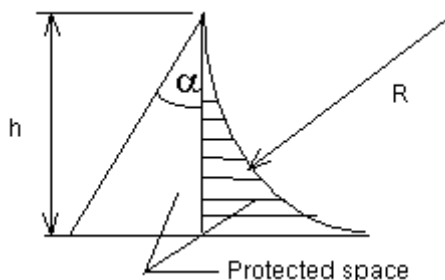
การออกแบบระบบตัวนำล่อฟ้ามีจุดประสงค์ให้ฟ้าผ่าลงมายังจุดที่เราต้องการ ซึ่งมีระยะที่อาจทำให้เกิดฟ้าผ่าได้คือ ระยะฟ้าผ่า (striking distance 'R') ซึ่งวัดจากปลายของหัวนำร่องฟ้าผ่ามายังโครงสร้างในแนวทรวงกลมรัศมี R หลักการในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่ามีอยู่ 4 วิธีคือ

- 1) วิธีมุมป้องกัน (Protective angle method)
- 2) วิธีทรงกลมกลิ้ง (Rolling sphere method)
- 3) วิธีตาข่ายป้องกัน (Mesh size method)
- 4) วิธีป้องกันร่วม (Combined method)

การออกแบบทั้ง 4 วิธีนี้จะยึดตามตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.5

| ระดับการป้องกัน | h(m) | 20 | 30 | 45 | 60 | ความกว้าง mesh(m) |
|-----------------|------|----------|----------|----------|----------|-------------------|
| | R(m) | α | α | α | α | |
| I | 20 | 25 | * | * | * | 5 |
| II | 30 | 35 | 25 | * | * | 10 |
| III | 45 | 45 | 35 | 25 | * | 15 |
| IV | 60 | 55 | 45 | 35 | 25 | 20 |

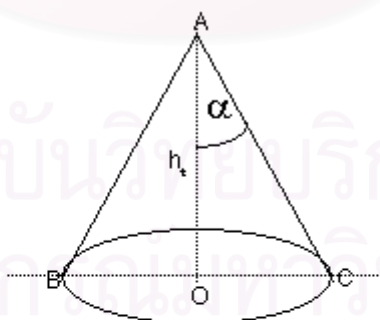
ตารางที่ 3.3 ตำแหน่งการติดตั้งระบบตัวนำล่อฟ้าตามระดับการป้องกัน [IEC1024-1, 1990]



รูปที่ 3.5 ตัวแปรที่สอดคล้องกับตารางที่ 3.3 [IEC1024-1, 1990]

3.2.5.1 วิธีมุมป้องกัน (Protective angle method)

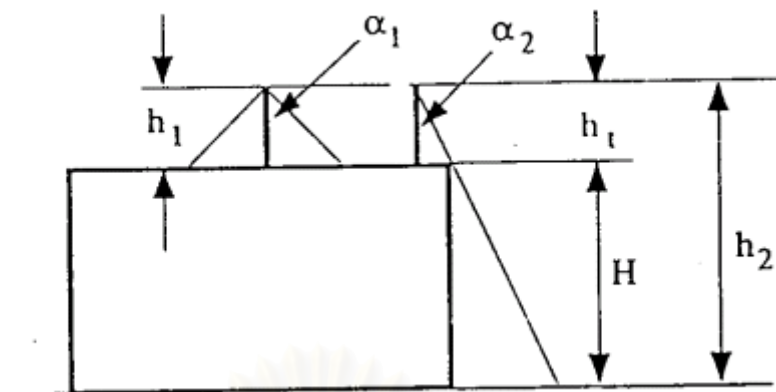
ตัวนำล่อฟ้าจะถูกติดตั้งในตำแหน่งที่ทำให้ทุก ๆ ส่วนของอาคารจะอยู่ภายในกรอบพื้นที่ที่เกิดจากการโปรเจกต์จากปลายของตัวนำล่อฟ้ามายังพื้นที่ที่อ้างอิงโดยทำมุม ' α ' กับแนวตั้ง แสดงดังรูปที่ 3.6 และมุม ' α ' ต้องเป็นไปตามเงื่อนไขในตารางที่ 3.3 ซึ่งพบว่ามุม ' α ' จะแตกต่างกันไปตามระดับการป้องกันและความสูงของอาคาร โดยในการพิจารณาควรพิจารณาความสูงของตัวนำล่อฟ้ารวมเข้าไปกับความสูงของอาคารด้วย ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าตัวนำล่อฟ้าที่ติดตั้งอยู่บริเวณส่วนกลางของหลังคาอาคาร ความสูง h ในตารางที่ 3.3 จะหมายถึงความสูงของตัวนำล่อฟ้าเท่านั้น ส่วนตัวนำล่อฟ้าที่ติดตั้งบริเวณขอบของหลังคาอาคาร ความสูง h ในตารางที่ 3.3 จะหมายถึงความสูงของตัวนำล่อฟ้ารวมกับความสูงของอาคาร ข้อจำกัดของวิธีมุมป้องกัน (Protective angle method) นี้คือไม่สามารถใช้ได้ในกรณีที่มีความสูงของอาคารมากกว่ารัศมีของทรงกลมกลิ้ง (Rolling sphere 'R')



รูปที่ 3.6 บริเวณป้องกันภายในกรวย [IEC1024-1, 1990]

OC : รัศมีของพื้นที่ที่ถูกป้องกัน

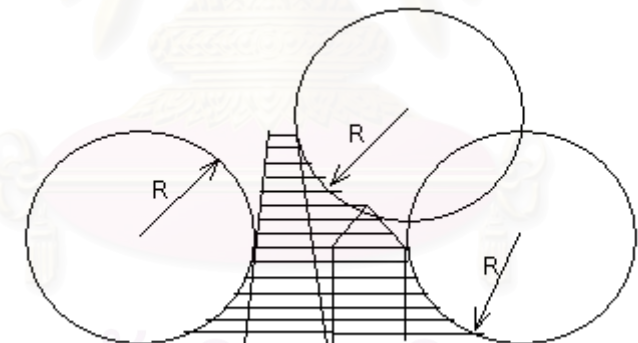
α : มุมป้องกันตามตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.7 หลักการพิจารณาส่วนสูง h [IEC1024-1, 1990]

3.2.5.2 วิธีทรงกลมกลิ้ง (Rolling sphere method)

ใช้แสดงพื้นที่ที่ถูกป้องกันที่นอกเหนือจากความสามารถของวิธีมุมป้องกัน (กรณีที่ความสูงของอาคาร h มีค่ามากกว่าค่า R ในตารางที่ 3.3) จุดที่ทรงกลมกลิ้งสัมผัสกับอาคารจะเป็นบริเวณที่มีโอกาสถูกฟ้าผ่าได้ ดังนั้นจึงต้องทำการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าลงไป ณ จุดดังกล่าว ตัวอย่างแสดงไว้ดังรูปที่ 3.8 โดยบริเวณที่แรเงาจะเป็นพื้นที่ที่ถูกป้องกัน

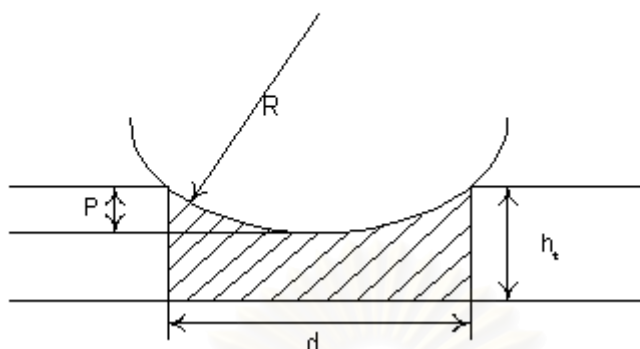


รูปที่ 3.8 การออกแบบโดยวิธีทรงกลมกลิ้ง [IEC1024-1, 1990]

ส่วนที่ทรงกลมกลิ้งสัมผัสกับอาคารจะต้องทำการติดตั้งตัวนำล่อฟ้า

ส่วนในกรณีที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าขนานกันจะทำให้เกิดระยะ P ซึ่งเป็นระยะที่วัดจากจุดยอดของตัวนำล่อฟ้าลงมาถึงผิวโค้งต่ำสุดของทรงกลมกลิ้ง ตามรูปที่ 3.9 ซึ่งจะทำให้เกิดพื้นที่ป้องกันในส่วนที่แรเงาตามภาพ โดยระยะ P ต้องน้อยกว่าความสูงของตัวนำล่อฟ้า (h) เราสามารถคำนวณหาระยะ P ได้จากสมการ

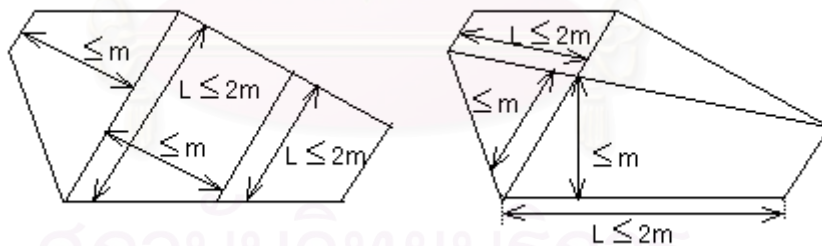
$$P = R - [R^2 - (d/2)^2]^{1/2} \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.9 ระยะ P เนื่องจากตัวนำล่อฟ้า 2 ตัววางขนานกัน [IEC1024-1, 1990]

3.2.5.3 วิธีตาข่ายป้องกัน (Mesh method)

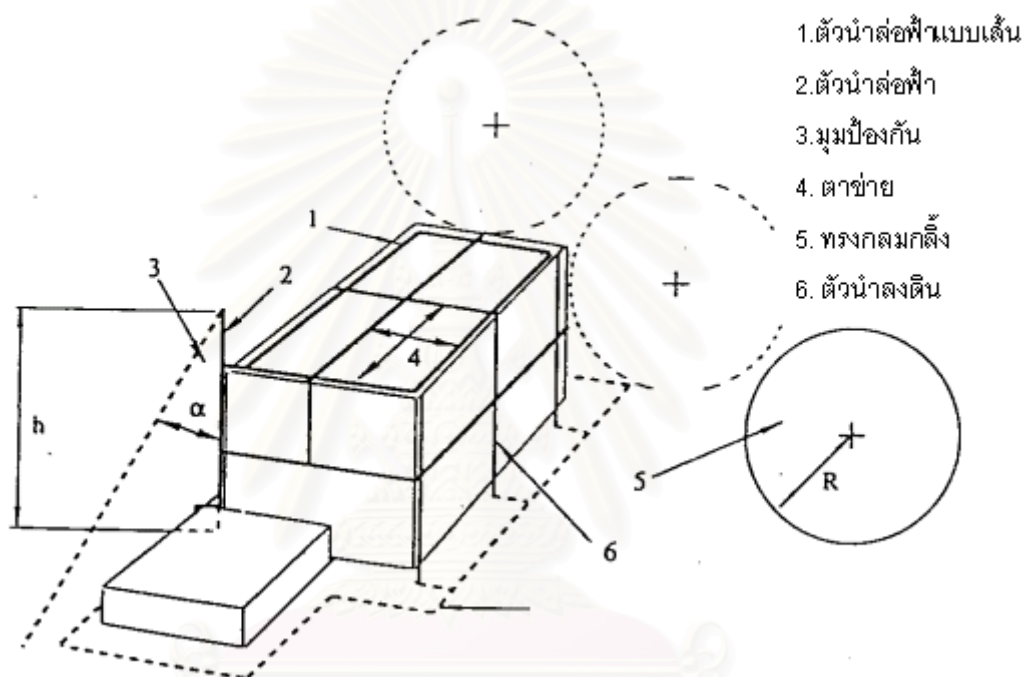
เกิดจากการนำตัวนำล่อฟ้าที่มีลักษณะเป็นรูปเหลี่ยมวงปิดที่มีแนวทางไปตามขอบของหลังคามาไขว้กันเพื่อสร้างตาข่าย ในกรณีของตาข่ายที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดความกว้างของตาข่าย จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 ส่วนในกรณีที่ตาข่าย ไม่ได้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ด้านที่ยาวที่สุดจะต้องไม่เกิน 2 เท่า ($\leq 2m$) ของค่าที่แสดงอยู่ในตารางที่ 3.3 และความยาวจากด้านที่ยาวที่สุดไปถึงจุดใด ๆ ในตาข่าย จะต้องไม่เกินความยาว m ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ระยะห่างระหว่างตาข่าย ในกรณีที่ตาข่ายไม่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส [IEC1024-1, 1990]

3.2.5.4 วิธีป้องกันร่วม (Combined method)

เป็นการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยรวมเอาทั้ง 3 วิธี (วิธีมุมป้องกัน วิธีทรงกลมกึ่ง และวิธีตาข่ายป้องกัน) เข้าด้วยกัน ในกรณีที่ใช้วิธีทรงกลมกึ่ง แล้วไม่สามารถป้องกันฟ้าผ่าได้ทุกส่วน ก็จำเป็นที่จะต้องใช้ตัวนำที่เป็นแบบตาข่ายเข้ามาช่วย ส่วนของอาคารที่อยู่นอกเหนือการป้องกันของตาข่าย ก็สามารถที่จะป้องกันด้วยตัวนำในวิธีมุมป้องกัน หรือวิธีทรงกลมกึ่งก็ได้ ตัวอย่างแสดงไว้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การติดตั้งตัวนำล่อฟ้าโดยใช้วิธีป้องกันร่วม [IEC1024-1, 1990]

3.2.6 ระบบตัวนำลงดิน (Down conductor system)

ตัวนำลงดิน(down conductor) ทำหน้าที่นำกระแสฟ้าผ่าจากระบบตัวนำล่อฟ้าลงสู่พื้นดิน โดยระบบนี้จะติดตั้งอยู่ระหว่างระบบตัวนำล่อฟ้าและระบบรากสายดิน ซึ่งควรจะสอดคล้องกันเพื่อให้เส้นทางไหลของกระแสมีระยะทางสั้นที่สุด และควรจัดให้มีเส้นทางหลาย ๆ เส้นทางให้กระแสผ่าน (IEC1024-1 กำหนดไว้ว่าจะต้องมีตัวนำลงดินอย่างน้อย 2 เส้นทางต่อ 1 อาคาร) นอกจากนั้นตัวนำลงดินควรจะต่อกับจุดบรรจบ(node) ของระบบตัวนำล่อฟ้าหลาย ๆ จุด และควรต่อกับจุดบรรจบของระบบรากสายดินแนวดิ่ง ระยะห่างระหว่างตัวนำลงดินจะแปรผันตามระดับการป้องกันซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 3.4

| Protection level | Average distance(m) |
|------------------|---------------------|
| I | 10 |
| II | 15 |
| III | 20 |
| IV | 25 |

ตารางที่ 3.4 ระยะห่างระหว่างตัวนำลงดินในแต่ละระดับการป้องกัน [IEC1024-1, 1990]

การเพิ่มจำนวนตัวนำลงดิน หรือเพิ่มขนาดของตัวนำลงดิน จะมีผลทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในอาคารลดลง ซึ่งทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ในอาคารนั้นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มจำนวนตัวนำลงดินจะช่วยลดระยะปลอดภัย (safety distance, d) ลงได้

การใช้ตัวนำลงดินแบบธรรมชาติ(Natural down conductor) สามารถช่วยเพิ่มเส้นทางที่กระแสฟ้าผ่าไหล มีผลทำให้แรงดันตกคร่อมในตัวนำลงดินและสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะไปรบกวนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลดลง อย่างไรก็ตามระบบจะต้องมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่สมบูรณ์

3.2.7 ระบบรากสายดิน (The earth-termination system)

ระบบรากสายดินมีหน้าที่ในการกระจายกระแสฟ้าผ่าลงสู่ดินโดยไม่เกิดอันตรายจากแรงดันไฟฟ้าเกินหรือแรงดันไฟฟ้าช่วงก้าว (step voltage) ในการออกแบบระบบรากสายดิน รูปร่างและมิติของระบบรากสายดินจะมีความสำคัญมากกว่าค่าความต้านทานของมัน อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานของดินควรจะมีค่าต่ำ ๆ

ในการเลือกชนิดของระบบรากสายดินควรพิจารณาจากคุณสมบัติของพื้นดินบริเวณนั้น ๆ เป็นสำคัญ เช่น ความเสมอกันของดิน ความต้านทานของดินในแต่ละชั้น ระบบน้ำใต้ดิน และค่าความนำของน้ำใต้ดิน

ระบบรากสายดินควรจะรวมกันเป็นระบบเดียวกัน แต่ถ้าจำเป็นต้องแยกกันจะต้องทำการเชื่อมให้เป็นระบบเดียวกันด้วยการประสานให้ศักย์เท่ากัน(equipotential bonding) นอกจากนี้วัสดุที่นำมาทำเป็นตัวเชื่อมต่อควรจะเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน มิฉะนั้นจะทำให้เกิดการผุกร่อน(corrosion)ได้ ชนิดของรากสายดิน(earth terminal) สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด

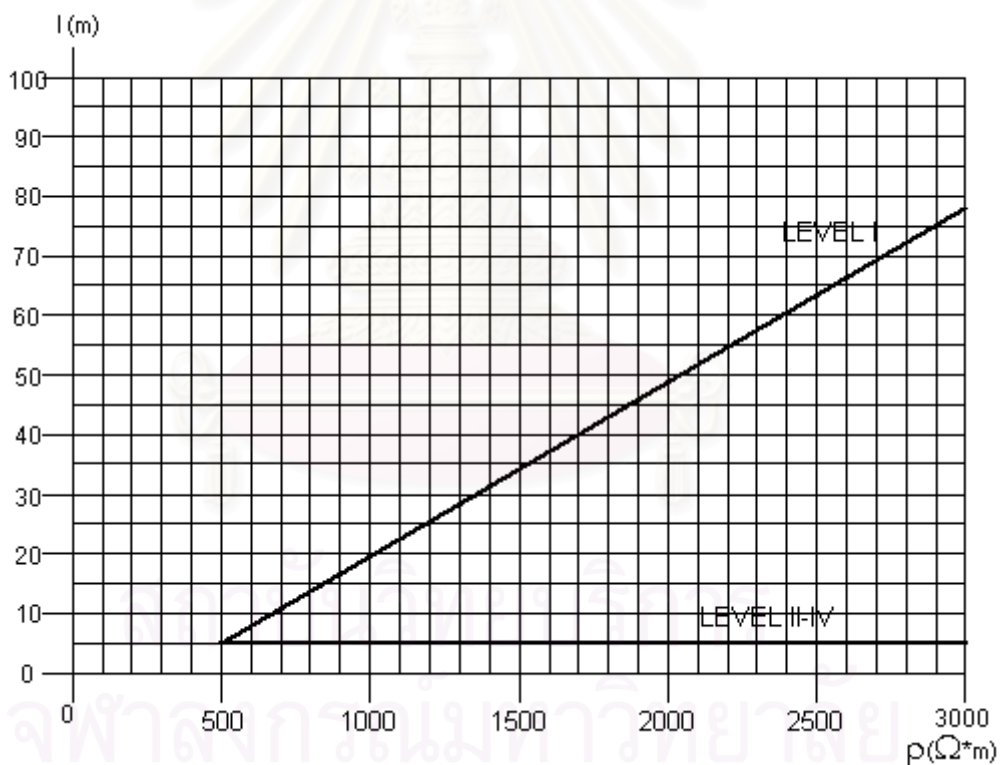
1. รากสายดินวงแหวน (Ring electrode)
2. รากสายดินแนวตั้ง (Vertical electrode)
3. รากสายดินแนวรัศมี (Radial electrode)
4. รากสายดินแบบฐานราก (Foundation earth electrode)

ในพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดการกัดเซาะได้ง่าย ไม่ควรรใช้รากสายดินที่เป็นแบบบางและเล็ก ส่วนการเลือกใช้รากสายดินแนวรัศมีและรากสายดินแนวตั้งจะต้องเลือกให้มีความยาวต่ำสุด เป็นไปตามระดับการป้องกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.12

ความยาวต่ำสุดของรากสายดินแนวรัศมี = l

ความยาวต่ำสุดของรากสายดินแนวตั้ง = $0.5 \cdot l$

นอกจากนั้นการปักรากสายดินให้ลึกลงไปดินจะมีประสิทธิภาพถ้าความต้านทานของดินในบริเวณนั้น ๆ ลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.12 ขนาดความยาวต่ำสุด(l)ของรากสายดินตามระดับการป้องกันซึ่งมีความสัมพันธ์กับความต้านทานของดิน (soil resistivity) [IEC1024-1, 1990]

การจัดวางระบบรากสายดินมี 2 แบบคือ

1.การจัดวางแบบ A (Type A arrangement)

ประกอบไปด้วยรากสายดินแนวรัศมีหรือรากสายดินแนวตั้ง โดยที่ตัวนำลงดินแต่ละอันจะต้องเชื่อมกับรากสายดินอย่างน้อยหนึ่งอัน โดยขนาดของรากสายดินแนวรัศมีและรากสายดินแนวตั้ง สามารถหาได้จากรูปที่ 3.12 ระบบรากสายดินแบบ A นี้เหมาะที่จะใช้กับอาคารขนาดเล็กและบริเวณที่มีความต้านทานของดินต่ำ ๆ

2.การจัดวางแบบ B (Type B arrangement)

เป็นการจัดวางโดยใช้รากสายดินวงแหวน โดยที่รัศมี (r) ของพื้นที่ที่ถูกล้อมรอบด้วยรากสายดินวงแหวนจะต้องไม่น้อยกว่าค่า l ที่แสดงในรูปที่ 3.12 ในกรณีที่ l มีความยาวมากกว่า r จะต้องทำการเพิ่มรากสายดินแนวรัศมีหรือรากสายดินแนวตั้งเข้าไป โดยที่ความยาวของรากสายดินแนวรัศมี(l_r) และความยาวของรากสายดินแนวตั้ง (l_v) เป็นไปตามสมการข้างล่างนี้

$$l_r = 1 - r \quad (3.2)$$

$$l_v = \frac{1 - r}{2} \quad (3.3)$$

การติดตั้งรากสายดินจะต้องฝังลงไป在地面ที่ความลึกไม่น้อยกว่า 0.5 m และต้องไม่อยู่ใกล้กำแพงเกินกว่า 1 m วัสดุที่นำมาทำรากสายดินจะต้องมีความสามารถในการทนการกัดกร่อนได้ดี ในบริเวณที่เป็นหิน ควรจะติดตั้งรากสายดินแบบ B

3.2.8 ระบบป้องกันภายในจากอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าของฟ้าผ่า(Interior LPS LEMP)

เนื่องด้วยปัจจุบันมีการนำเอาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์มาใช้กันมากขึ้น อุปกรณ์เหล่านี้มีความไวสูงต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสฟ้าผ่า ซึ่งอาจทำให้เกิดการทำงานผิดพลาด ดังนั้นการออกแบบระบบป้องกันภายในให้มีประสิทธิภาพจะสามารถช่วยลดปัญหานี้ได้ การออกแบบระบบป้องกันภายในนี้จะประกอบไปด้วย การเชื่อมต่อ(bonding) การจัดวางสายเคเบิล(cable routing) และการใช้อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกิน(surge suppressor)

3.3 การติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า (Lightning protection installation)

3.3.1 การติดตั้งระบบตัวนำล่อฟ้า (Air termination installation)

การติดตั้งตัวนำล่อฟ้าต้องยึดหลักต่อไปนี้

- ตัวนำล่อฟ้าต้องสามารถทนต่อแรงที่เกิดจากกระแสฟ้าผ่าได้ นอกจากนั้นยังต้องสามารถทนต่อแรงลม หิมะ ลูกเห็บ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และการกัดกร่อนได้
- อุณหภูมิสูงสุดของตัวนำล่อฟ้าต้องมีค่าไม่เกิน 150 C ดังนั้นจึงควรใช้วัสดุพื้นๆที่หน้าตัดตามตารางที่ 3.5

| ระดับการป้องกัน | ชนิดของวัสดุ | ตัวนำล่อฟ้า (mm ²) | ตัวนำลงดิน (mm ²) | รากสายดิน (mm ²) |
|-----------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| I to IV | ทองแดง (Cu) | 35 | 16 | 50 |
| | อลูมิเนียม (Al) | 70 | 25 | - |
| | เหล็กกล้าวไนซ์ (Fe) | 50 | 50 | 80 |

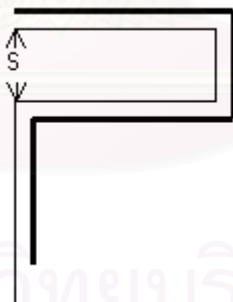
ตารางที่ 3.5 พื้นที่หน้าตัดต่ำสุดที่ควรนำมาใช้ทำวัสดุในระบบป้องกันฟ้าผ่า [IEC1024-1, 1990]

- ในการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าบนวัสดุที่ติดไฟ จะต้องปฏิบัติดังนี้เพื่อลดอุณหภูมิ
 - เพิ่มพื้นที่หน้าตัดของตัวนำล่อฟ้า
 - เพิ่มระยะห่างระหว่างตัวนำล่อฟ้ากับอาคาร
 - ใส่แผ่นป้องกันความร้อนระหว่างตัวนำล่อฟ้ากับอาคาร
- วัสดุที่นำมาทำตัวนำล่อฟ้าต้องมีความสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ เช่น ทองแดง อลูมิเนียม เหล็กกล้าวไนซ์ (เหล็กกันสนิม)
- ห้ามเชื่อมต่อวัสดุที่ต่างชนิดกัน เช่น ทองแดงกับเหล็กกล้าวไนซ์ เพราะจะทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ง่าย
- ห้ามใช้อลูมิเนียมมาทำรากสายดิน

3.3.2 การติดตั้งตัวนำลงดิน (Down conductor installation)

การติดตั้งตัวนำลงดินต้องยึดหลักต่อไปนี้

- สำหรับระบบป้องกันฟ้าผ่าแยกอิสระ(Isolated LPS) ระยะห่างระหว่างตัวนำลงดินและโลหะที่ใช้ติดตั้ง ควรจะมีค่ามากกว่าระยะปลอดภัย
- สำหรับระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ไม่แยกอิสระ ควรปฏิบัติตามดังนี้
 - ถ้าผนังทำด้วยวัสดุที่ไม่ติดไฟ ตัวนำลงดินสามารถติดตั้งบนพื้นผิวหรือในผนังได้
 - ถ้าผนังทำด้วยวัสดุที่ติดไฟ ตัวนำลงดินสามารถติดตั้งบนพื้นผิวของผนังได้ ถ้าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไม่เป็นอันตรายต่อวัสดุที่ใช้ทำผนังนั้น
 - ถ้าผนังทำด้วยวัสดุที่ติดไฟ และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นอันตรายต่อผนัง ตัวนำลงดินควรติดตั้งห่างจากผนัง และบริเวณที่ป้องกันมากกว่า 0.1 m โดยอุปกรณ์ที่ใช้แขวนตัวนำลงดินที่ทำจากโลหะอาจสัมผัสกับผนังได้
 - ไม่ควรติดตั้งตัวนำลงดินในรางน้ำฝน เพราะความชื้นจะก่อให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรง
- ควรติดตั้งตัวนำลงดินเป็นเส้นตรงและเป็นแนวตั้งเพื่อให้ได้ระยะทางที่สั้นที่สุด และหลีกเลี่ยงการจัดเป็นวงรอบ สำหรับบริเวณที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ระยะห่าง S ต้องมากกว่าระยะปลอดภัย (safety distance, d) ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วงรอบของตัวนำลงดิน (ระยะ S ต้องมากกว่าระยะปลอดภัย) [IEC1024-1, 1990]

บทที่ 4

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า

4.1 หลักการในการออกแบบโปรแกรม (Principles of design)

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า จะยึดตามมาตรฐาน IEC 1024-1 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ยอมรับกันแพร่หลายรวมทั้งในประเทศไทย การออกแบบโปรแกรม จะเน้นความสะดวกในการป้อนข้อมูล และการแสดงผลในรูปแบบของแผนภาพและตารางข้อมูล

การพัฒนาโปรแกรมจะใช้ภาษา Visual Basic ในการพัฒนาโปรแกรม โดยรวมเอาโปรแกรมที่ได้ออกแบบเข้ากับโปรแกรม Autocad ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการออกแบบโครงสร้างและอาคาร โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้โปรแกรม Autocad 2000 เป็นโปรแกรมหลัก และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า เป็นโปรแกรมที่ควบคุมการออกแบบ และการคำนวณ

สาเหตุในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า บนพื้นฐานของโปรแกรม Autocad มีดังนี้

- มีความสะดวกในการป้อนข้อมูล (รูปทรงของอาคาร) ในลักษณะ 3 มิติ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย
- รูปแบบของไฟล์ (file) ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบเดียวกับไฟล์ของ Autocad ซึ่งสามารถที่จะนำไปปรับปรุง หรือเปลี่ยนแปลงโดยใช้โปรแกรม Autocad ได้
- สามารถนำไฟล์ของอาคารที่ได้รับการออกแบบโดยโปรแกรม Autocad มาใช้ในการคำนวณระบบป้องกันฟ้าผ่าได้ทันที โดยไม่ต้องทำการแปลงชนิดของไฟล์

4.2 ความสามารถของโปรแกรม (Program's features)

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า มีความสามารถดังนี้

- สะดวกในการป้อนข้อมูล และสามารถแสดงผลในรูปแบบ 3 มิติ
- สามารถทำการปรับปรุง และเปลี่ยนแปลงลักษณะของอาคารได้ภายในตัวโปรแกรม
- สามารถแสดงผลได้หลายมุมมอง เช่น มุมมองด้านหน้า(top view) มุมมองด้านข้าง(side view) มุมมองด้านบน (top view) และมุมมองไอโซเมตริก (3D isometric view)
- สามารถเลือกระดับการป้องกัน ซึ่งมีอยู่ 4 ระดับได้

- สามารถคำนวณและบอกจุดติดตั้งตัวนำล่อฟ้าได้
- สามารถคำนวณระยะห่างระหว่างตัวนำล่อฟ้าที่ดีที่สุดได้ (optimum spacing)
- สามารถคำนวณตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำลงดินได้

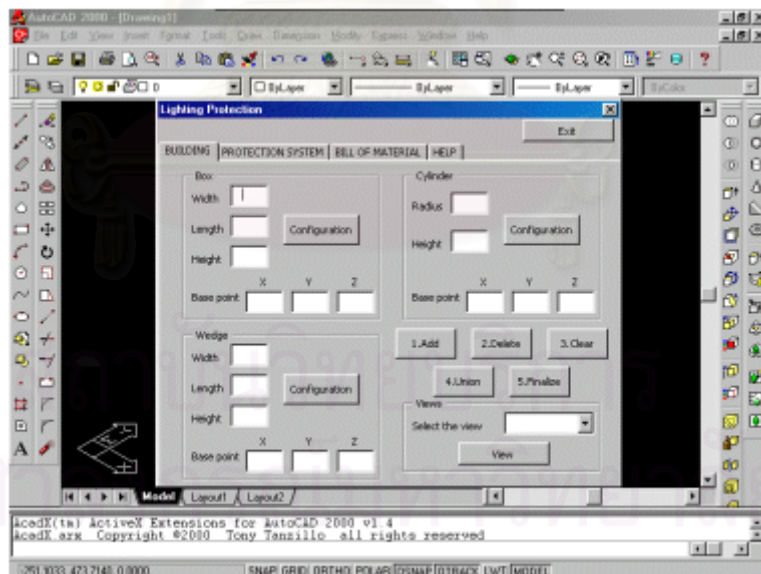
4.3 ส่วนประกอบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าฯ (Components of the program)

4.3.1 ส่วนออกแบบอาคาร

ส่วนออกแบบอาคารจะเป็นส่วนแรกของโปรแกรม มีหน้าที่ในการออกแบบและเปลี่ยนแปลงลักษณะของอาคาร โดยการออกแบบจะยึดตามรูปทรงเรขาคณิตพื้นฐาน 3 แบบ คือ

- รูปทรงสี่เหลี่ยม
- รูปทรงกระบอก
- รูปทรงสามเหลี่ยม

ส่วนออกแบบอาคารแสดงดังรูปที่ 4.1

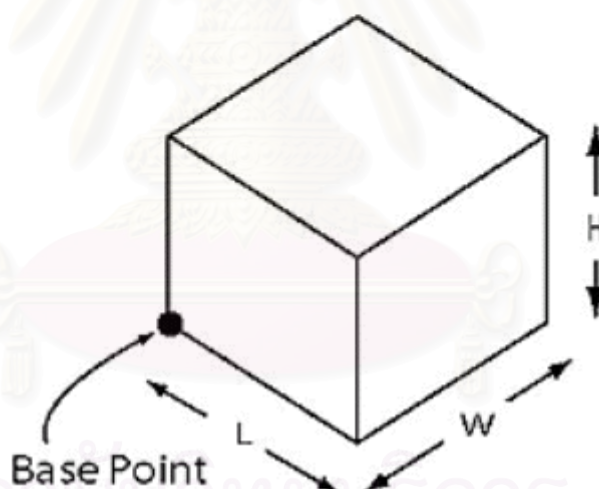
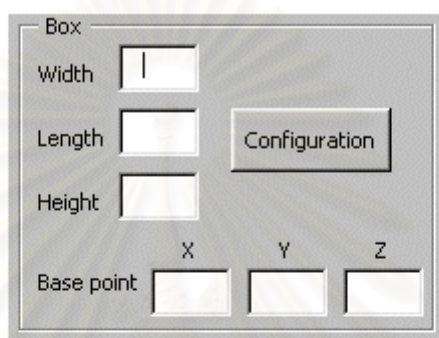


รูปที่ 4.1 ส่วนออกแบบอาคาร

อาคารที่ออกแบบจะต้องมีจุดเริ่มต้นที่ 0,0,0 ในระนาบ X,Y,Z เพื่อสะดวกในการคำนวณ และการอ้างอิงระยะ หน่วยที่ใช้ในโปรแกรมนี้เป็นหน่วยเมตร (meter)

4.3.1.1 ส่วนออกแบบรูปทรงสี่เหลี่ยม (Box design)

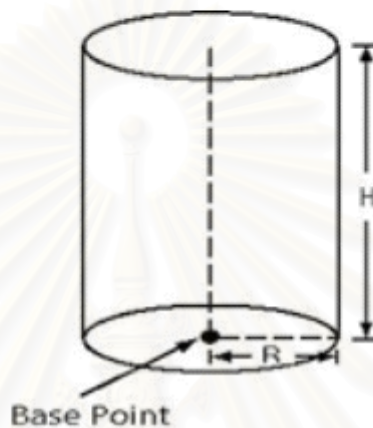
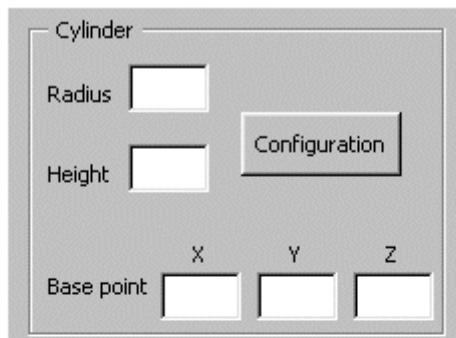
ส่วนออกแบบรูปทรงสี่เหลี่ยมและตัวแปรที่ใช้ในการป้อนข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.2 ส่วนออกแบบรูปทรงสี่เหลี่ยม (Box) จะอยู่ทางด้านบนซ้ายของส่วนที่ใช้ในการออกแบบอาคาร



รูปที่ 4.2 ส่วนออกแบบรูปทรงสี่เหลี่ยมและตัวแปรที่ใช้ในการป้อนข้อมูล

4.3.1.2 ส่วนออกแบบรูปทรงกระบอก (Cylinder design)

ส่วนออกแบบรูปทรงกระบอกและตัวแปรที่ใช้ในการป้อนข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.3 ส่วนออกแบบรูปทรงกระบอก (Cylinder) จะอยู่ทางด้านบนขวาของส่วนที่ใช้ในการออกแบบอาคาร

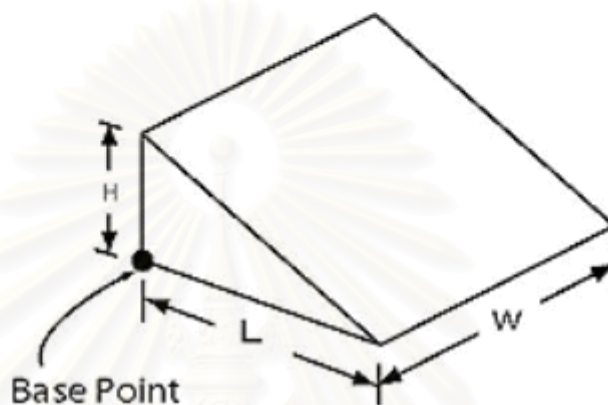
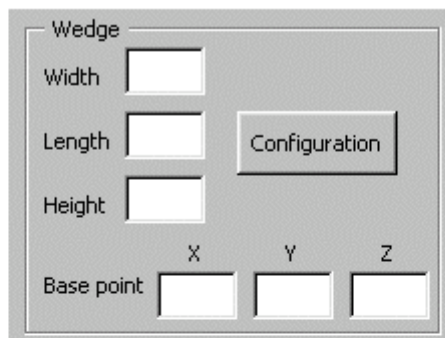


รูปที่ 4.3 ส่วนออกแบบรูปทรงกระบอกและตัวแปรที่ใช้ในการป้อนข้อมูล

4.3.1.3 ส่วนออกแบบรูปทรงสามเหลี่ยม (Wedge design)

ส่วนออกแบบรูปทรงสามเหลี่ยมและตัวแปรที่ใช้ในการป้อนข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.4 ส่วนออกแบบรูปทรงสามเหลี่ยม (Wedge) จะอยู่ทางด้านล่างซ้ายของส่วนที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้าง

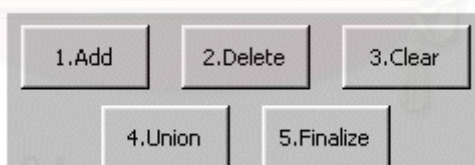
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 ส่วนออกแบบรูปทรงสามเหลี่ยมและตัวแปรที่ใช้ในการป้อนข้อมูล

4.3.1.4 ส่วนที่ใช้ในการสร้างและดัดแปลงอาคาร (Modification section)

ส่วนที่ใช้ในการสร้างและดัดแปลงอาคารจะประกอบด้วยคำสั่ง 5 คำสั่ง ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ส่วนที่ใช้ในการสร้างและดัดแปลงอาคาร

1. Add

คำสั่ง Add มีหน้าที่ในการเพิ่มรูปทรงที่ต้องการลงไปบนจอภาพ ตัวอย่างเช่น รูปลักษณะอาคารที่เป็นรูปตัว L ในการออกแบบอาคารจะต้องแบ่งอาคารออกเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม 2 รูป แล้วใช้คำสั่ง Add ใส่รูปทรงทั้ง 2 นั้นลงไปบนจอภาพ เพื่อจะได้อาคารรูปทรง L ตามที่ต้องการ รายละเอียดจะแสดงในตัวอย่างการออกแบบที่ 1

2. Delete

คำสั่ง Delete มีหน้าที่ในการลบรูปทรงที่ไม่ต้องการออกจากจอภาพ ยกตัวอย่างเช่น ทำการ Add รูปทรงกระบอกเข้าไปในจอภาพในตำแหน่งที่ไม่ต้องการ เราก็สามารถใช้คำสั่ง Delete ลบรูปทรงกระบอกนั้นออกได้

3. Clear

คำสั่ง Clear มีหน้าที่ในการลบจอภาพทั้งหมด ใช้เมื่อต้องการที่จะลบตัวอาคารทั้งหมดออกจากจอภาพ

4. Union

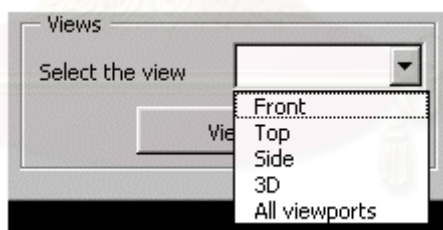
คำสั่ง Union มีหน้าที่ในการรวมรูปทรงต่าง ๆ ที่อยู่ในจอภาพให้เป็นวัตถุเดียวกัน เพื่อใช้ในการคำนวณ ดังนั้นก่อนการคำนวณระบบป้องกันฟ้าผ่า จะต้องแน่ใจว่าได้ทำการ Union รูปทรงต่าง ๆ ให้กลายเป็นวัตถุเดียวกันแล้ว

5. Finalize

คำสั่ง Finalize เป็นคำสั่งบังคับที่จะต้องทำการก่อนการคำนวณระบบป้องกันฟ้าผ่า มีหน้าที่เพื่อป้องกันตัวโปรแกรมให้รู้ถึงวัตถุที่จะใช้ในการคำนวณ

4.3.1.5 ส่วนที่ใช้ในการเลือกมุมมอง (View selection)

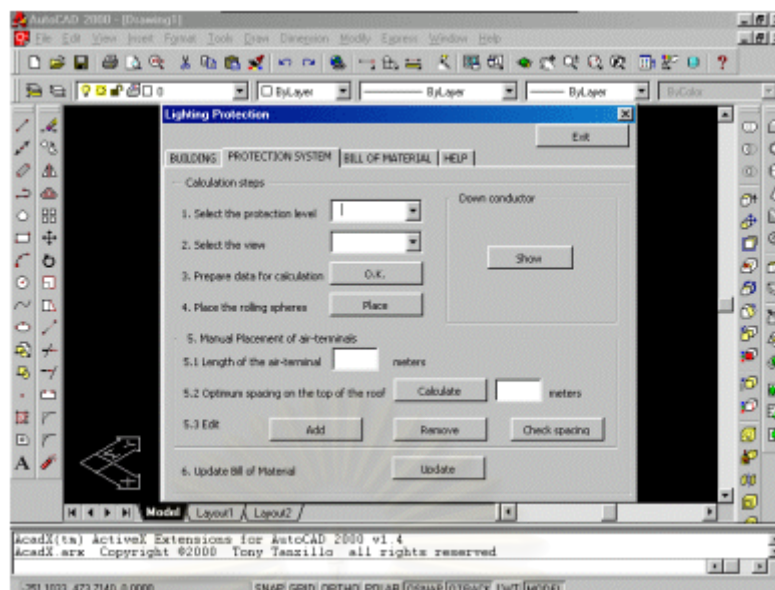
ส่วนที่ใช้ในการเลือกมุมมองแสดงดังรูปที่ 4.6 โดยส่วนนี้จะมีความสามารถเลือกมุมมองของโครงสร้างได้ 5 แบบ คือ มุมมองด้านหน้า มุมมองด้านบน มุมมองด้านข้าง มุมมองแบบไอโซเมตริก (isometric) และมุมมองที่แสดงทุก ๆ มุมมองในจอภาพเดียวกัน



รูปที่ 4.6 ส่วนที่ใช้ในการเลือกมุมมอง

4.3.2 ส่วนที่ใช้ในการคำนวณ

ส่วนที่ใช้ในการคำนวณจะอยู่ในหน้าที่ 2 ของโปรแกรม มีหน้าที่ในการคำนวณตำแหน่งติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและตัวนำลงดินที่ระดับการป้องกันต่าง ๆ และที่มุมมองต่าง ๆ กัน ส่วนที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ส่วนที่ใช้ในการคำนวณ

ส่วนที่ใช้ในการคำนวณมีรายละเอียดดังนี้

1. Select the protection level

เป็นคำสั่งที่ใช้เลือกระดับการป้องกันซึ่งมีอยู่ 4 ระดับ คือ ระดับ 1.R=20m ระดับ 2.R=30m ระดับ 3.R=45m และระดับ 4.R=60m โดยปกติการเลือกระดับการป้องกันจะพิจารณาจากการประเมินความเสี่ยง (risk assessment)

2. Select the view

เป็นคำสั่งที่ใช้ในการเลือกมุมมองที่จะทำการคำนวณตำแหน่งที่จะติดตั้งตัวนำล่อฟ้า ซึ่งจะต้องทำทั้ง 3 มุมมอง (มุมมองด้านหน้า มุมมองด้านข้าง และมุมมองด้านบน) เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่จะติดตั้งตัวนำล่อฟ้าที่สมบูรณ์

3. Prepare data for calculation

เป็นคำสั่งที่มีหน้าที่ในการเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ เช่น ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (ในจอภาพจะแสดงด้วยสีเหลือง) และระดับอ้างอิงหรือระดับพื้น

หมายเหตุ คำสั่ง Prepare data for calculation จะใช้เพียงครั้งแรก ในแต่ละมุมมอง เพื่อเตรียมข้อมูลในแต่ละมุมมอง

4. Place the rolling spheres

เป็นคำสั่งที่ใช้ในการวางทรงกลมกลิ้ง เมื่อทรงกลมกลิ้งสัมผัสหรือตัดกับระนาบสีเหลือง ก็จะมีจุดสีแดงปรากฏขึ้น ซึ่งแสดงถึงตำแหน่งที่ต้องทำการติดตั้งตัวนำล่อฟ้า จุดตัดหรือจุดสัมผัสนี้ จะแสดงค่าในส่วนแสดงผลด้วย

ในการทำการวางทรงกลมกลิ้งจะต้องทำทั้ง 3 มุมมอง ซึ่งจะได้ตำแหน่งที่จะติดตั้ง
ตัวนำล่อฟ้ารอบอาคารนั้น ๆ

5. Manual placement of air-terminals

เป็นคำสั่งที่ใช้วางตัวนำล่อฟ้าลงไปบนจอภาพ โดยตัวนำล่อฟ้าสามารถเปลี่ยนความ
สูงได้

5.1 Length of air-terminals ใช้กำหนดความสูงของตัวนำล่อฟ้า

5.2 Optimum spacing on the top of the roof เป็นคำสั่งที่ใช้คำนวณระยะห่างระหว่าง
ตัวนำล่อฟ้าบนหลังคาที่ดีที่สุด ค่านี้จะคำนวณมาจากความสูงของตัวนำล่อฟ้าและระดับการ
ป้องกัน ค่านี้คือระยะ d ในรูปที่ 3.9 ที่มากที่สุดที่ส่วนโค้งของทรงกลมจะสัมผัสกับตัวอาคารพอดี

5.3 Edit ประกอบด้วยคำสั่งที่ใช้ในการติดตั้ง(Add)และรีถอน(Delete)ตัวนำล่อฟ้า

5.4 Check spacing เป็นคำสั่งที่ใช้ตรวจสอบระยะระหว่างตัวนำล่อฟ้า

6. Update Bill of Material

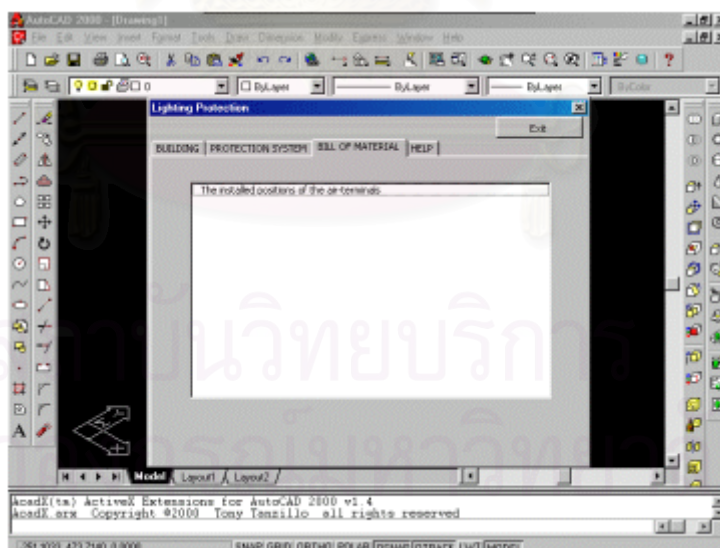
เป็นคำสั่งที่ใช้ลบข้อมูลที่แสดงอยู่ในส่วนแสดงผลออก

7. Down conductor

แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำลงดิน ซึ่งจะแปรผันตามระดับการป้องกัน (ตารางที่ 3.4)

4.3.3 ส่วนแสดงผล

ส่วนแสดงผลจะอยู่ในหน้าที่ 3 ของตัวโปรแกรม แสดงดังรูปที่ 4.8



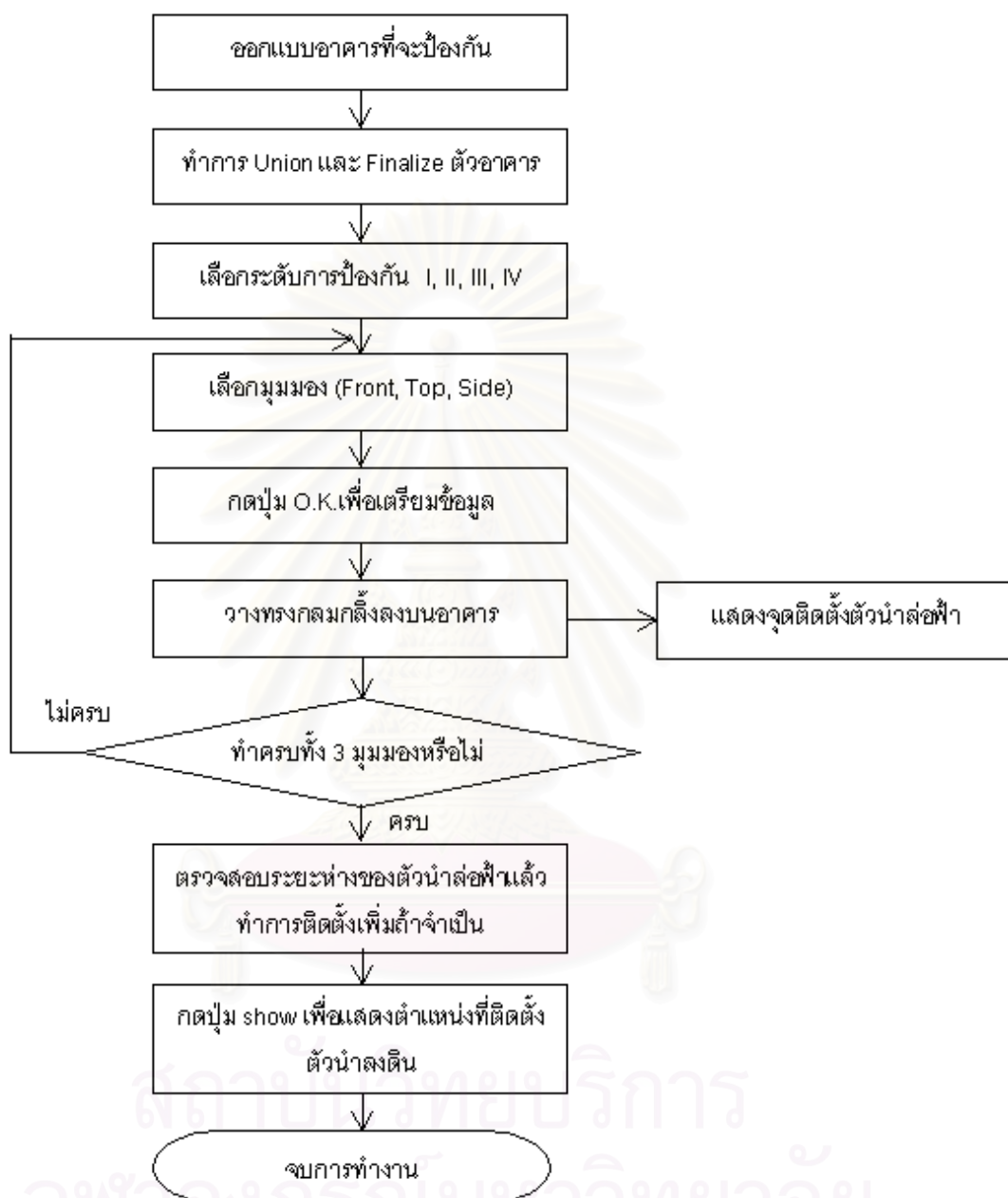
รูปที่ 4.8 ส่วนแสดงผล

ส่วนแสดงผลนี้จะแสดงตำแหน่งที่ใช้ในการติดตั้งตัวนำล่อฟ้า โดยผลการแสดงจะแสดง
อยู่ในรูปพิกัด X,Y,Z เนื่องจากการคำนวณระบบป้องกันฟ้าผ่าจะทำทั้ง 3 มุมมอง จะมีผลให้เกิด
จุดติดตั้งตัวนำล่อฟ้าที่ซ้ำกัน ในกรณีนี้จุดติดตั้งซ้ำกันก็จะพิจารณาเป็นจุดเดียวกัน

4.4 หลักการทำงานของโปรแกรม

การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า แสดงดังรูปที่

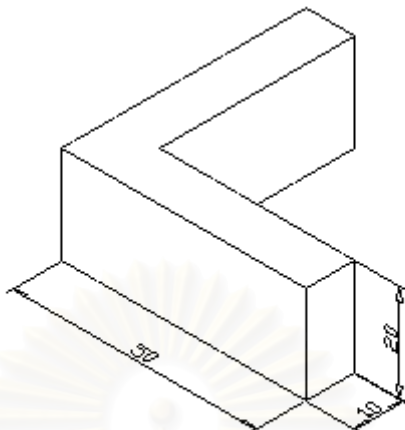
4.9



รูปที่ 4.9 แผนภาพแสดงหลักการทำงานของโปรแกรม

4.5 ตัวอย่างการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ 1

ตัวอย่างนี้เป็นอาคารประเภทอาคารเรียนรูปตัว L ซึ่งมีขนาดแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 อาคารเรียนรูปตัว L

วิธีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าฯ มีดังนี้

4.5.1 ออกแบบสร้างอาคารเรียนรูปตัว L

จากรูปที่ 4.10 อาคารจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยม เพื่อใช้ในการป้อนข้อมูลให้กับตัวโปรแกรม

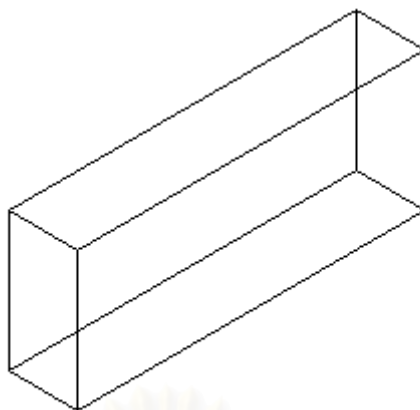
4.5.1.1 ป้อนข้อมูลของส่วนที่ 1 ดังนี้

Width = 50 Length = 10 Height = 20

Base point X=0, Y=0, Z=0

4.5.1.2 กดปุ่ม Add เพื่อแสดงผลลงไปในจอภาพดังรูปที่ 4.11

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



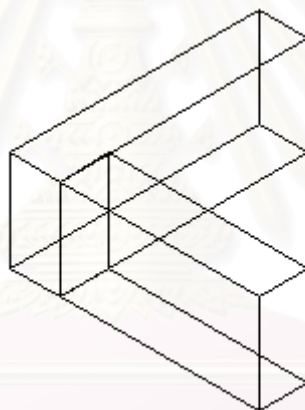
รูปที่ 4.11 ผลหลังจากการ *Add* ส่วนที่ 1

4.5.1.3 ป้อนข้อมูลของส่วนที่ 2 ดังนี้

Width = 10 Length = 40 Height = 20

Base point X=10, Y=0, Z=0

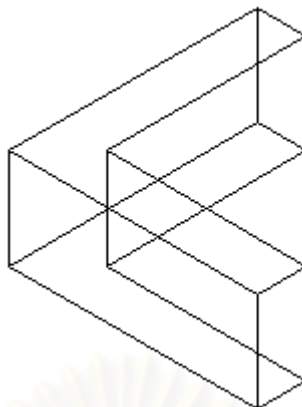
4.5.1.4 กดปุ่ม *Add* เพื่อแสดงผลลงไปในจอภาพดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ผลหลังจากการ *Add* ส่วนที่ 2 ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นอาคารเรียนรูปตัว L

4.5.1.5 กดปุ่ม *Union* เพื่อทำการรวมชิ้นส่วนทั้ง 2 ให้เป็นชิ้นเดียว ผลลัพธ์ของการ *Union* แสดงดังรูปที่ 4.13

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 ผลลัพธ์ที่ได้จากการ Union

4.5.1.6 กดปุ่ม *Finalize* แล้วใช้เมาส์คลิกไปที่ตัวอาคาร เพื่อให้โปรแกรมรับรู้ว่าจะต้องทำการคำนวณจากอาคารที่เป็นอาคารรูปตัว L

4.5.1.7 เลือكمุมมองและ กดปุ่ม *view* เพื่อแสดงผลของมุมมองที่ต้องการออกทางจอภาพ

4.5.2 หาดำแหน่งติดตั้งตัวนำล่อฟ้า

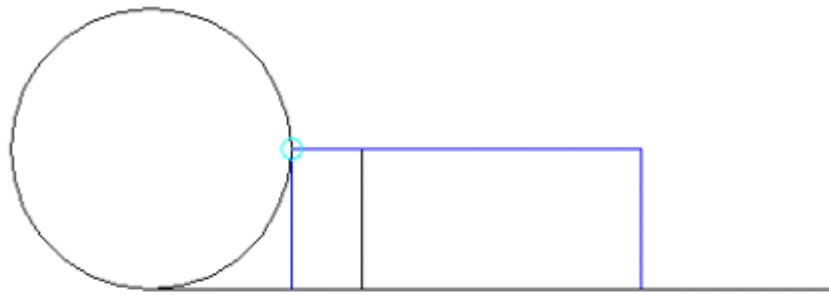
การหาดำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้ามีขั้นตอนดังนี้

4.5.2.1 เลือกระดับการป้องกัน (Select the protection level) โดยในกรณีนี้ เราจะเลือกระดับการป้องกันที่ $1.R=20\text{ m}$ ซึ่งเท่ากับส่วนสูงของอาคาร

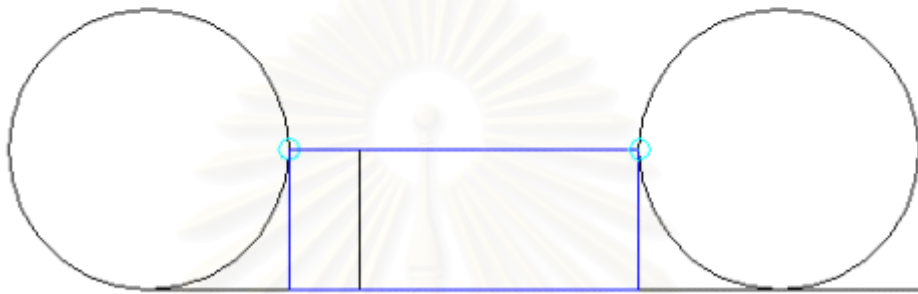
4.5.2.2 เลือكمุมมองในการคำนวณ (Select the view) ในขั้นแรกจะเลือกไปที่ *Front_view* เพื่อทำการคำนวณหาดำแหน่งติดตั้งตัวนำล่อฟ้า ณ มุมมองด้านหน้า

4.5.2.3 กดปุ่ม *O.K.* เพื่อทำการเตรียมข้อมูลที่จะใช้ในการคำนวณ ซึ่งประกอบด้วยระนาบที่ใช้ในการคำนวณ (ในจอภาพจะแสดงด้วยเส้นสีเหลือง) และระดับอ้างอิงหรือระดับพื้น

4.5.2.4 กดปุ่ม *Place* เพื่อทำการวางทรงกลมกลิ้งลงบนจอภาพ โดยมีหลักการคือให้ทรงกลมกลิ้งสัมผัสกับอาคาร (ในจอภาพจะแสดงด้วยเส้นสีเหลือง) โดยมีระยะพื้นเป็นระยะอ้างอิง เมื่อทรงกลมกลิ้งสัมผัสกับอาคาร ก็จะปรากฏจุดวงกลมสีแดง ซึ่งเป็นจุดที่จะต้องทำการติดตั้งตัวนำล่อฟ้า ตำแหน่งที่จุดนี้สามารถดูได้จากส่วนแสดงผล รูปที่ 4.14 และ 4.15 แสดงผลที่ได้จากการวาง ทรงกลมกลิ้ง



รูปที่ 4.14 ผลที่ได้จากการวางทรงกลมกลิ้งให้สัมผัสกับอาคาร (Front_view)



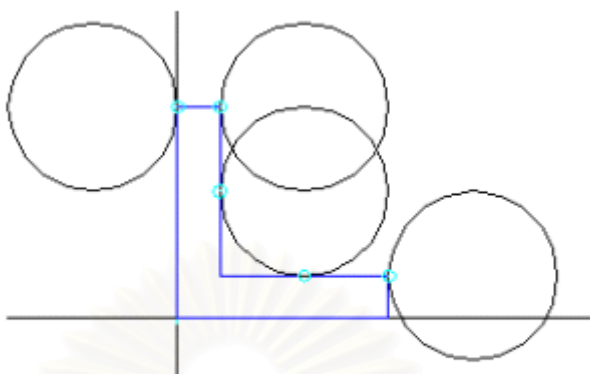
รูปที่ 4.15 เมื่อทำการวางทรงกลมกลิ้งอันถัดไป (Front_view)

4.5.2.5 ทำการเปลี่ยนมุมมองในหัวข้อที่ 4.5.2.2 เป็น Side_view แล้วทำตามขั้นตอนที่ 4.5.2.3 และ 4.5.2.4 ตามลำดับจะได้ผลดังรูปที่ 4.16



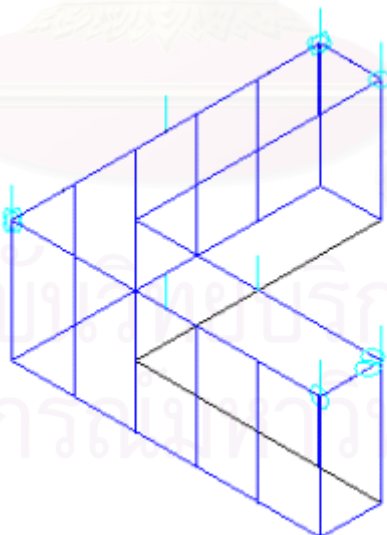
รูปที่ 4.16 ผลที่ได้ในมุมมอง Side_view

4.5.2.6 ทำการเปลี่ยนมุมมองในหัวข้อที่ 4.5.2.2 เป็น Top_view แล้วทำตามขั้นตอนที่ 4.5.2.3 และ 4.5.2.4 ตามลำดับจะได้ผลดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ผลที่ได้ในมุมมอง Top_view

4.5.2.7 สมมติว่าจะติดตั้งตัวนำล่อฟ้าซึ่งมีความสูง 5 เมตร จะได้ระยะห่างระหว่างตัวนำล่อฟ้าที่ดีที่สุดเป็น 26.46 เมตร (ค่านี้คิดที่ระดับการป้องกันระดับ $1.R=20m$) ทำการตรวจสอบระยะระหว่างตัวนำล่อฟ้าพบว่าจะต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าเพิ่มที่ตำแหน่งกึ่งกลางของขอบอาคารด้านนอกอีก 2 ตำแหน่ง และตำแหน่งมุมตึกด้านในอีก 1 ตำแหน่ง เมื่อทำการลบทรงกลมกลิ้งออกจากจอภาพแล้วทำการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและตัวนำลงดินจะได้ตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและตัวนำลงดินดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและตัวนำลงดิน

4.5.3 ส่วนแสดงผล

โปรแกรมแสดงตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าดังนี้

(0,0,20)*

(50,0,20)*

(0,0,20) รั้วกับตำแหน่งที่ 1

(0,50,20)*

(0,50,20) รั้วกับตำแหน่งที่ 4

(10,50,20)*

(10,30,20)*

(30,10,20)*

(50,10,20)*

นอกจากนี้ยังมีอีก 3 ตำแหน่งที่เป็นการติดตั้งเสริมคือ

(0,25,20)*

(25,0,20)*

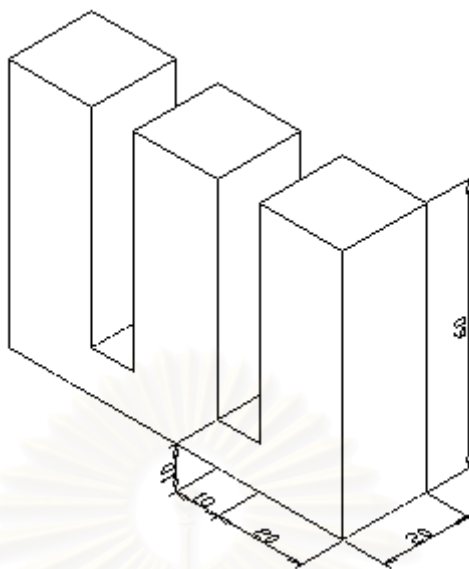
(10,10,20)*

ตำแหน่งที่มีเครื่องหมาย * เป็นตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้า

4.6 ตัวอย่างการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ 2

ตัวอย่างนี้เป็นโครงสร้างประเภทอาคารชุดติดกัน 3 ตึก และมีทางเดินเชื่อมระหว่างตึก ซึ่งมีขนาดแสดงดังรูปที่ 4.19

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.19 อาคารชุดติดกัน 3 ตึกและมีทางเดินเชื่อมระหว่างตึก

4.6.1 ออกแบบสร้างอาคารชุด

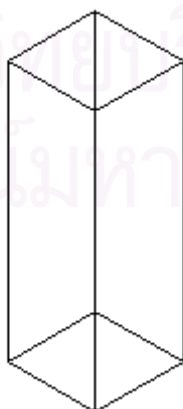
จากรูปที่ 4.19 อาคารจะถูกแบ่งออกเป็น 5 ส่วนที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยม เพื่อใช้ในการป้อนข้อมูลให้กับตัวโปรแกรม

4.6.1.1 ป้อนข้อมูลของส่วนที่ 1 ดังนี้

Width = 20 Length = 20 Height =
60

Base point X=0, Y=0, Z=0

4.6.1.2 กดปุ่ม Add เพื่อแสดงผลลงไปในจอภาพดังรูปที่ 4.20



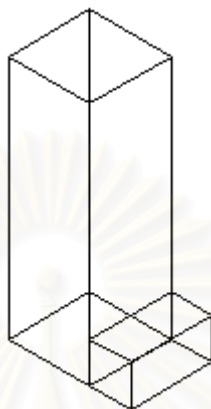
รูปที่ 4.20 ผลหลังจากการ Add ส่วนที่ 1

4.6.1.3 ป้อนข้อมูลของส่วนที่ 2 ดังนี้

Width = 20 Length = 10 Height = 10

Base point X=20, Y=0, Z=0

4.6.1.4 กดปุ่ม *Add* เพื่อแสดงผลลงไปในจอภาพดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ผลหลังจากการ *Add* ส่วนที่ 2

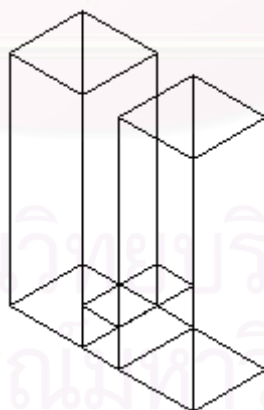
4.6.1.5 ป้อนข้อมูลของส่วนที่ 3 ดังนี้

Width = 20 Length = 20 Height

= 60

Base point X=30, Y=0, Z=0

4.6.1.6 กดปุ่ม *Add* เพื่อแสดงผลลงไปในจอภาพดังรูปที่ 4.22

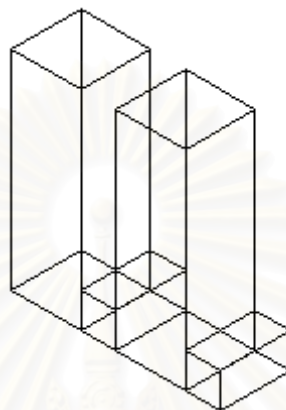


รูปที่ 4.22 ผลหลังจากการ *Add* ส่วนที่ 3

4.6.1.7 ป้อนข้อมูลของส่วนที่ 4 ดังนี้

| |
|--|
| Width = 20 Length = 10 Height = 10 |
| Base point X=50, Y=0, Z=0 |

4.6.1.8 กดปุ่ม *Add* เพื่อแสดงผลลงในจอภาพดังรูปที่ 4.23



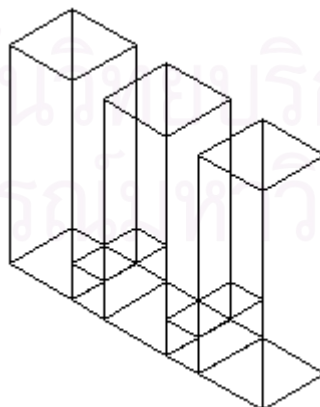
รูปที่ 4.23 ผลหลังจากการ *Add* ส่วนที่ 4

4.6.1.9 ป้อนข้อมูลของส่วนที่ 5 ดังนี้

Width = 20 Length = 20 Height
= 60

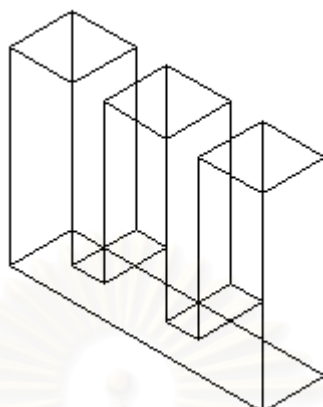
Base point X=60, Y=0, Z=0

4.6.1.10 กดปุ่ม *Add* เพื่อแสดงผลลงในจอภาพดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ผลหลังจาก *Add* ส่วนที่ 5

4.6.1.11 กดปุ่ม *Union* เพื่อทำการรวมชิ้นส่วนทั้ง 5 ให้เป็นชิ้นเดียวกัน ผลลัพธ์ของการ *Union* แสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการ *Union*

4.6.1.12 กดปุ่ม *Finalize* แล้วใช้เมาส์คลิกไปที่ตัวอาคาร เพื่อให้โปรแกรมรับรู้ว่าจะต้องทำการคำนวณจากอาคารที่เป็นอาคารชุด

4.6.1.13 เลือกมุมมองและ กดปุ่ม *view* เพื่อแสดงผลของมุมมองที่ต้องการออกทางจอภาพ

4.6.2 หาตำแหน่งติดตั้งตัวนำล่อฟ้า

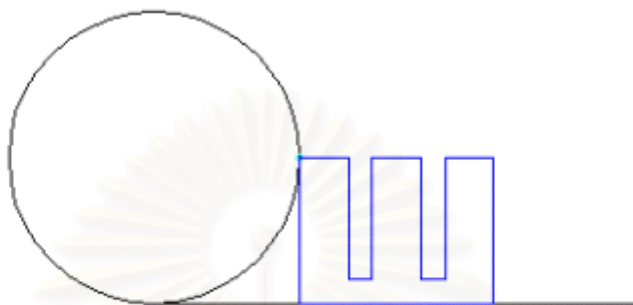
การหาตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้ามีขั้นตอนดังนี้

4.6.2.1 เลือกระดับการป้องกัน (Select the protection level) โดยในกรณีนี้ เราจะเลือกระดับการป้องกันที่ $4.R=60\text{ m}$ ซึ่งเท่ากับส่วนสูงของอาคาร

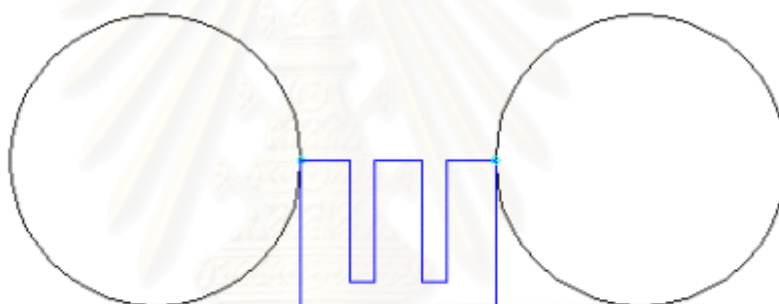
4.6.2.2 เลือกมุมมองในการคำนวณ (Select the view) ในขั้นแรกจะเลือกไปที่ *Front_view* เพื่อทำการคำนวณหาตำแหน่งติดตั้งตัวนำล่อฟ้า ณ มุมมองด้านหน้า

4.6.2.3 กดปุ่ม *O.K.* เพื่อทำการเตรียมข้อมูลที่จะใช้ในการคำนวณ ซึ่งประกอบด้วยระนาบที่ใช้ในการคำนวณ (ในจอภาพจะแสดงด้วยเส้นสีเหลือง) และระดับอ้างอิงหรือระดับพื้น

4.6.2.4 กดปุ่ม *Place* เพื่อทำการวางทรงกลมกลิ้งลงบนจอภาพ โดยมีหลักการคือให้ทรงกลมกลิ้งสัมผัสกับอาคาร (ในจอภาพจะแสดงด้วยเส้นสีเหลือง) โดยมีระยะพื้นเป็นระยะอ้างอิง เมื่อทรงกลมกลิ้งสัมผัสกับอาคาร ก็จะปรากฏจุดวงกลมสีแดง ซึ่งเป็นจุดที่จะต้องทำการติดตั้งตัวนำล้อฟ้า ตำแหน่งที่จุดนี้สามารถดูได้จากส่วนแสดงผล รูปที่ 4.26 และ 4.27 แสดงผลที่ได้จากการวางทรงกลมกลิ้ง

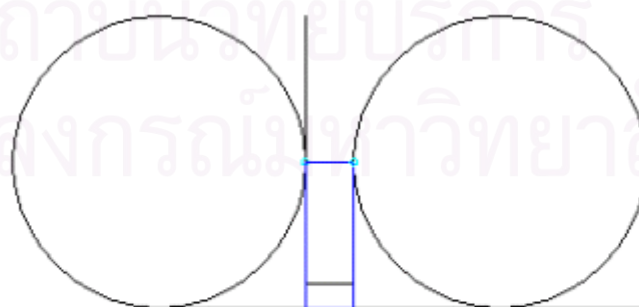


รูปที่ 4.26 ผลที่ได้จากการวางทรงกลมกลิ้งให้สัมผัสกับอาคาร (Front_view)



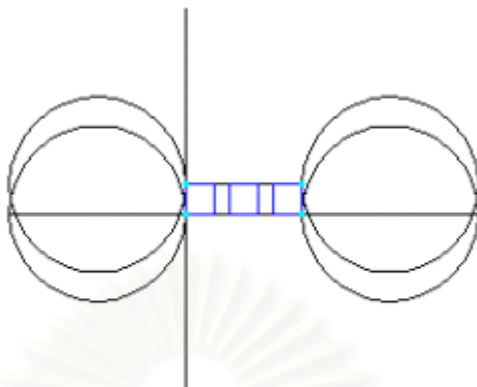
รูปที่ 4.27 เมื่อทำการวางทรงกลมกลิ้งอันถัดไป (Front_view)

4.6.2.5 ทำการเปลี่ยนมุมมองในหัวข้อที่ 4.6.2.2 เป็น *Side_view* แล้วทำตามขั้นตอนที่ 4.6.2.3 และ 4.6.2.4 ตามลำดับจะได้ผลดังรูปที่ 4.28



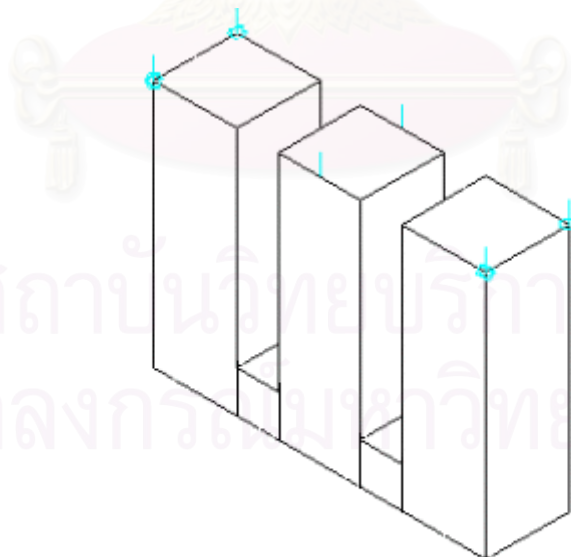
รูปที่ 4.28 ผลที่ได้ในมุมมอง *Side_view*

4.6.2.6 ทำการเปลี่ยนมุมมองในหัวข้อที่ 4.6.2.2 เป็น Top_view แล้วทำตามขั้นตอนที่ 4.6.2.3 และ 4.6.2.4 ตามลำดับจะได้ผลดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 ผลที่ได้ในมุมมอง Top_view

4.6.2.7 สมมติว่าจะติดตั้งตัวนำล่อฟ้าซึ่งมีความสูง 5 เมตร จะได้ระยะห่างระหว่างตัวนำล่อฟ้าที่ดีที่สุดเป็น 47.96 เมตร (คำนวณที่ระดับการป้องกันระดับ $4.R=60m$) ทำการตรวจสอบระยะระหว่างตัวนำล่อฟ้าพบว่าจะต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าเพิ่มที่ตำแหน่งกึ่งกลางของขอบอาคารอีก 2 ตำแหน่งคือที่ระยะ 40 เมตรห่างจากขอบตึกทั้ง 2 ด้าน เมื่อทำการลบทรงกลมกลิ้งออกจากจอภาพ แล้วทำการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและตัวนำลงดินจะได้ตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและตัวนำลงดินดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 ตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและตัวนำลงดิน

4.6.3 ส่วนแสดงผล

โปรแกรมแสดงตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าดังนี้

(0,0,60)*

(80,0,60)*

(0,0,60) รั้วกับตำแหน่งที่ 1

(0,20,60)*

(0,0,60) รั้วกับตำแหน่งที่ 1

(0,20,60) รั้วกับตำแหน่งที่ 4

(80,20,60)*

(80,0,60) รั้วกับตำแหน่งที่ 2

นอกจากนี้ยังมีอีก 2 ตำแหน่งที่เป็นารติดตั้งเสริมคือ

(40,0,60)*

(40,20,60)*

ตำแหน่งที่มีเครื่องหมาย * เป็นตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยเน้นไปที่การออกแบบเพื่อติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและตัวนำลงดินสำหรับตัวอาคารทั่วไปที่มีความสูงไม่เกิน 60 เมตร ซึ่งได้แก่ อาคารพาณิชย์ อาคารเรียน อาคารโรงงาน และอาคารที่พักอาศัย

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าฯ นี้ จะช่วยทำให้การคำนวณหาตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้ามีความสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าฯ นี้ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนที่ใช้ในการออกแบบอาคาร ส่วนที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและตัวนำลงดิน และส่วนแสดงผล

ในปัจจุบันการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าจะเป็นหน้าที่ของผู้ออกแบบหรือผู้รับเหมา ซึ่งมักจะใช้การคำนวณด้วยมือ (Manual) โดยมักจะใช้หลักการพื้นฐาน หรือความคุ้นเคยในการออกแบบ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบการป้องกันฟ้าผ่าลดลง หรือบางครั้งก็เป็นการออกแบบที่เกินความจำเป็น มีการใช้อุปกรณ์มากเกินไปเกินความจำเป็น ดังนั้นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบป้องกันฟ้าผ่าฯ จึงมีประโยชน์อย่างยิ่ง

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าฯ มีความสามารถดังนี้

- สามารถออกแบบอาคารในรูปแบบ 3 มิติได้ โดยใช้หลักการในการนำเอารูปทรงต่าง ๆ มาประกอบกัน
- สามารถทำการแก้ไขอาคารที่ทำการออกแบบได้ภายในตัวโปรแกรม
- สามารถเปลี่ยนมุมมองได้หลายมุมมอง เช่น มุมมองด้านหน้า มุมมองด้านข้าง มุมมองด้านบน และมุมมอง 3 มิติ
- สามารถทำการคำนวณระบบป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐานของ IEC1024-1 ได้
- สามารถเลือกกระดับการป้องกันและความสูงของตัวนำล่อฟ้าได้ เพื่อใช้เปรียบเทียบในเรื่องของการติดตั้ง
- สามารถแสดงผลในรูปแบบของข้อมูล และแผนภาพได้
- ใช้รูปแบบของข้อมูลเดียวกับโปรแกรม Autocad ซึ่งเป็นโปรแกรมออกแบบอาคารที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นจึงสามารถนำอาคารที่ออกแบบโดยโปรแกรม Autocad มาใช้ได้ทันที

อย่างไรก็ตามโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าฯ นี้ยังมีข้อจำกัดบางประการ ซึ่งมีข้อเสนอแนะและปรับปรุงดังนี้

1. ในส่วนของการออกแบบ สามารถที่จะเพิ่มรูปทรงในรูปแบบอื่น ๆ เช่น รูปทรงกรวย รูปครึ่งทรงกลม เพื่อให้โปรแกรมสามารถออกแบบอาคารที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้นได้
2. ในส่วนของการคำนวณ เป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ และการคำนวณยังอยู่ในรูปแบบ 2 มิติ เนื่องจากตัวโปรแกรม Visual Basic ที่ใช้ร่วมกับโปรแกรม Autocad ยังไม่มีฟังก์ชันในการคำนวณ 3 มิติ เช่น การหาจุดตัดของของรูปทรง 3 มิติ ในการแก้ปัญหาลักษณะนี้สามารถทำได้โดยการเขียนโปรแกรมด้วยโปรแกรมภาษา C++ เพื่อสร้าง ObjectARX มาใช้งาน ซึ่งมีความซับซ้อนมากเนื่องจากจะต้องเข้าใจโครงสร้างของภาษาและตัวโปรแกรมอย่างละเอียด
3. เนื่องจากโปรแกรมไม่สามารถทำการคำนวณในรูปแบบ 3 มิติได้ ดังนั้นการออกแบบจะต้องทำการคำนวณในทุก ๆ มุมมองเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าที่ถูกต้องที่สุด
4. เพื่อความสมบูรณ์ของการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า สามารถเพิ่มส่วนที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) และระบบรากสายดิน (Earth termination system)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2543.
2. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. ระบบป้องกันฟ้าผ่า. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
3. สำรวัย สังข์สะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.
4. Abdel-Salam, M. Simulation of Energized Franklin Rods for Lightning Protection. IEEE. Trans. On Industry Applications volume 33. No. 3 (1997): 651-659.
5. Allen, N.L. et al. Tests of the early streamer emission principle for protection against lightning. IEEE Proceeding of Science and Measurement Technology volume 145. No. 5 (1998): 200-206.
6. Berger, G. Testing to show a time advantage in production of a lightning upward leader-laboratory simulation of the connecting discharge from a lightning conductor. Lightning protection workshop. Hobart, 1992.
7. Berger, G. Determination of the inception electric field of lightning upward leader. Proceeding 8th international symposium on High voltage engineering Yokohama (1993): 70.02.
8. Berger, K. Methoden und Resultate der Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore bei Lugano in den Jahren 1963-1971. Bull. Schweiz Elektrotech. Version 63 (1972): 1403-1422.
9. Carpenter, Roy B. Jr. and Drabkin, M.M. Improvement of lightning protection. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (1997): 403-405.
10. Chalmers, I.D. et al. Consideration for the assessment of early streamer emission lightning protection. IEE Proceeding of Science and Measurement Technology volume 146. No.2 (1999): 57-63.
11. Golde, R.H. Lightning Protection. Great Britain: Edward Arnold Publishers, 1973.
12. Golde, R.H. (eds.) Physics of Lightning. Great Britain: Academic Press, 1977.
13. Golde, R.H. (eds.) Lightning Protection. 2nd printing. Volume 2. Great Britain: Academic Press, 1977.
14. Heary, K.P. et al. An experimental study of ionizing air terminal performance. IEEE/PES summer meeting Portland. Oregon (1988).
15. International Electrotechnical Commission. Protection of structures against lightning. Part 1:General principles: IEC1024.1. 1990.

16. Les Renardieres Group. Research on long air gap discharges at Les Renardieres-1973 results. Electra volume 35 (1974): 49-156.
17. Mackerras, D. et al. Standard and Non-standard Lightning Protection Methods. Journal of Electrical and Electronic Engineering Australia volume 7. No.2 (1987): 133-139.
18. Mackerras, D. et al. Review of claimed enhanced lightning protection of buildings by early streamer emission air terminals. IEE Proceeding of Science and Measurement Technology volume 144. No.1 (January 1997): 1-10.
19. Marshall, J.L. Lightning Protection. United States of America: Wiley-Interscience, 1973.
20. National Fire Protection Association. Lightning Protection Code: NFPA 780. 1986.
21. Omura, G. Mastering AutoCAD 2000. New Delhi: Kwaliti Offset Printing Press, 1999.
22. Sutphin, J. Autocad 2000 VBA. United States of America: Wrox Press, 1999.
23. Uman, M.A. The Lightning Discharge. United States of America: Academic Press, 1987.
24. Zipse, D.W. Lightning Protection Systems: Advantages and Disadvantages. IEEE Transaction on Industry Application volume 30. No.5 (1994): 1351-1361.
25. Zipse, D.W. Lightning Protection Methods: An Update and a Discredited System Vindicated. (2000): 155-170.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การติดตั้งและเรียกใช้งานโปรแกรม

การติดตั้งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าฯ มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการติดตั้งโปรแกรม Autocad 2000 โดยเลือกการติดตั้งแบบ Full
2. Copy ไฟล์ acad.dvb AcadX.arx และ AdcgSendCmdSync.arx เข้าไปไว้ในไดเร็กทอรีหลักของโปรแกรม Autocad ซึ่งเป็นไดเร็กทอรีที่ใช้ในการเรียกโปรแกรม Autocad หรือ ไดเร็กทอรีที่มีไฟล์ Acad.EXE อยู่
3. เรียกโปรแกรม Autocad
4. เลือกไปที่เมนูบาร์ *Tools* → *Load Application*
5. เลือกไปที่ไฟล์ AcadX แล้วกดปุ่ม *Load*
6. เลือกไปที่ไฟล์ AdcgSendCmdSync แล้วกดปุ่ม *Load*
7. กดปุ่ม *Close*

การเรียกใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าฯ มีขั้นตอนดังนี้

1. เรียกโปรแกรม Autocad
2. เปิด drawing ใหม่ในระบบเมตริก (Metric)
3. พิมพ์คำสั่ง “VBARUNEX” ที่บรรทัดคำสั่งซึ่งอยู่บริเวณด้านล่างของโปรแกรม Autocad
4. เลือกไปที่ไฟล์ acad.dvb!Module1.LPS แล้วกดปุ่ม *Run*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายภูวนารถ ชูณหปราณ เกิดวันที่ 19 มิถุนายน พ.ศ. 2519 ที่เขตลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ. 2540 และได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2540 โดยระหว่างการศึกษาในระดับปริญญาโทได้รับทุนการศึกษาจาก ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2542 ได้รับทุนรัฐบาลให้ไปศึกษาต่อสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ประเทศออสเตรเลีย ในปี พ.ศ. 2543 สำเร็จการศึกษา Master of Engineering Science สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าจาก University of New South Wales ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง วิศวกรนิเวศลิษฐ์ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ สังกัดกระทรวงวิทยาศาสตร์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย