การทดสอบตัวสอฟ้า

ARRESTER EVALUATION

โดย

นายวิชิต แซ่เตีย 32 1299

นายศิวะ ศิวาดร 32 1335

นายศิริรตน์ เสตะพันธุ 32 1337

ปริญญานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบัน เทคโนโลยีพระจอม เกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032634

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2535

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การทดสอบตัวสอพ้า

ผู้จัดทำ

1. นายวิชิต แซ่เตีย
2. นายศิวะ ทิวาตรี
3. นายศิโรตม์ เส็ดะพันธุ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ นิทัศน์ กฤษณจินดา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032634

การทดสอบตัวล่อฟ้า

วิชิต แซ่เตีย

ศิวะ ทิวาตรี

ศิโรตม์ เสตะพันธุ์

อ. นิพัศน์ กฤษจินดา อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2535

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้กล่าวถึง การสร้างและการทดสอบเปรียบเทียบตัวล่อฟ้า เพื่อความเหมาะสมในการเลือกใช้ เพื่อป้องกันสายฟ้าผ่า ในที่นี้รูปร่างลักษณะของตัวล่อฟ้าชนิดต่างๆ ถูกเลือกใช้เพื่อทำการทดสอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง และเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ภายใต้ อิเลคโตรดทรงกลม (Sphere), อิเลคโตรดปลายแหลม (point) และอิเลคโตรดแผนราบ (Plane) จากการทดสอบเปรียบเทียบตัวล่อฟ้า แล้วนั้นพบว่า รูปร่างลักษณะของตัวล่อฟ้ามีผลต่อปรากฏการณ์เบรคดาวน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VICHIT SAETEA

SIVA TIWATRI

SIROT SETABANDHU

NITAT KRISNACHINDA ADVISOR

1992

ABSTRACT

THIS PROJECT CONCERNS THE CONSTRUCTIONS AND TESTS THAT LEADS TO THE SELECTION OF AIR TERMINAL FOR LIGHTING PROTECTION. HERE , SHAPES OF ROD ELECTRODES HAD BEEN SELECTED AND TESTED ON HV.DC AND IMPULSE VOLTAGES UNDER SPHERE, POINT AND PLANE POLARITY SOURCES. IT HAS BEEN FOUND THAT, HERE, THE SHAPE OF ELECTRODE IS QUITE SIGNIFICANT TO THE BREAKDOWN PHENOMENA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
บทที่ 2 LIGHTNIG PROTECTION	8
บทที่ 3 หลักการทดลอง	21
บทที่ 4 การทดสอบ	29
4.1 วิธีการทอลอง	29
4.2 ผลการทดสอบ	30
4.3 วิธีการทดสอบโดยใช Impulse Generator	41
4.4 ผลการทดสอบ	41
บทที่ 5 วิเคราะห์ สรุป และวิจารณ์	43
5.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบ	43
5.2 สรุปผลการทดสอบ	48
5.3 วิจารณ์การทดสอบ	49
ภาคผนวก	50
กิตติกรรมประกาศ	72
หนังสืออ้างอิง	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ประมาณว่า มีฟ้าผ่าเกิดขึ้นทั่วโลกประมาณ 50-100 ครั้งต่อวินาที และพลังงานที่สะสมอยู่ในพายุฟ้าคะนอง 1 ลูกนั้น เทียบได้กับระเบิดอะตอมิค 10 ลูก ทีเดียว แม้แต่ในประเทศที่ฝนตกไม่บ่อยนัก เช่น ในสหรัฐอเมริกา ฟ้าผ่าได้ฆ่าคนประมาณ 100 คนต่อปี และทำให้ 250 คน บาดเจ็บ ฟ้าผ่าทำให้หม้อแปลงและฉนวนเสียหาย เป็นมูลค่ากว่า 10 ล้านบาทต่อปี ในเมืองเทมปา รัฐฟลอริดาเมืองเดียว

ดังนั้นการป้องกันฟ้าผ่าจึงเกิดขึ้นเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นกับคน สัตว์ และทรัพย์สินต่างๆ ของมนุษย์

ก่อนอื่นเราจะขอกล่าวถึงการเกิดประจุบนก้อนเมฆและการเกิดฟ้าผ่า

เกิดฟ้าผ่า

ฟ้าผ่า คือ อิเลคตรอนจำนวนมากที่ไหลต่อเนื่องอย่างรวดเร็วจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง มีทฤษฎีหลายทฤษฎีที่อธิบายการเกิดการไหลอิเลคตรอนดังกล่าว แต่เราจะกล่าวถึงทฤษฎีที่เป็นที่ยอมรับกันที่สุด

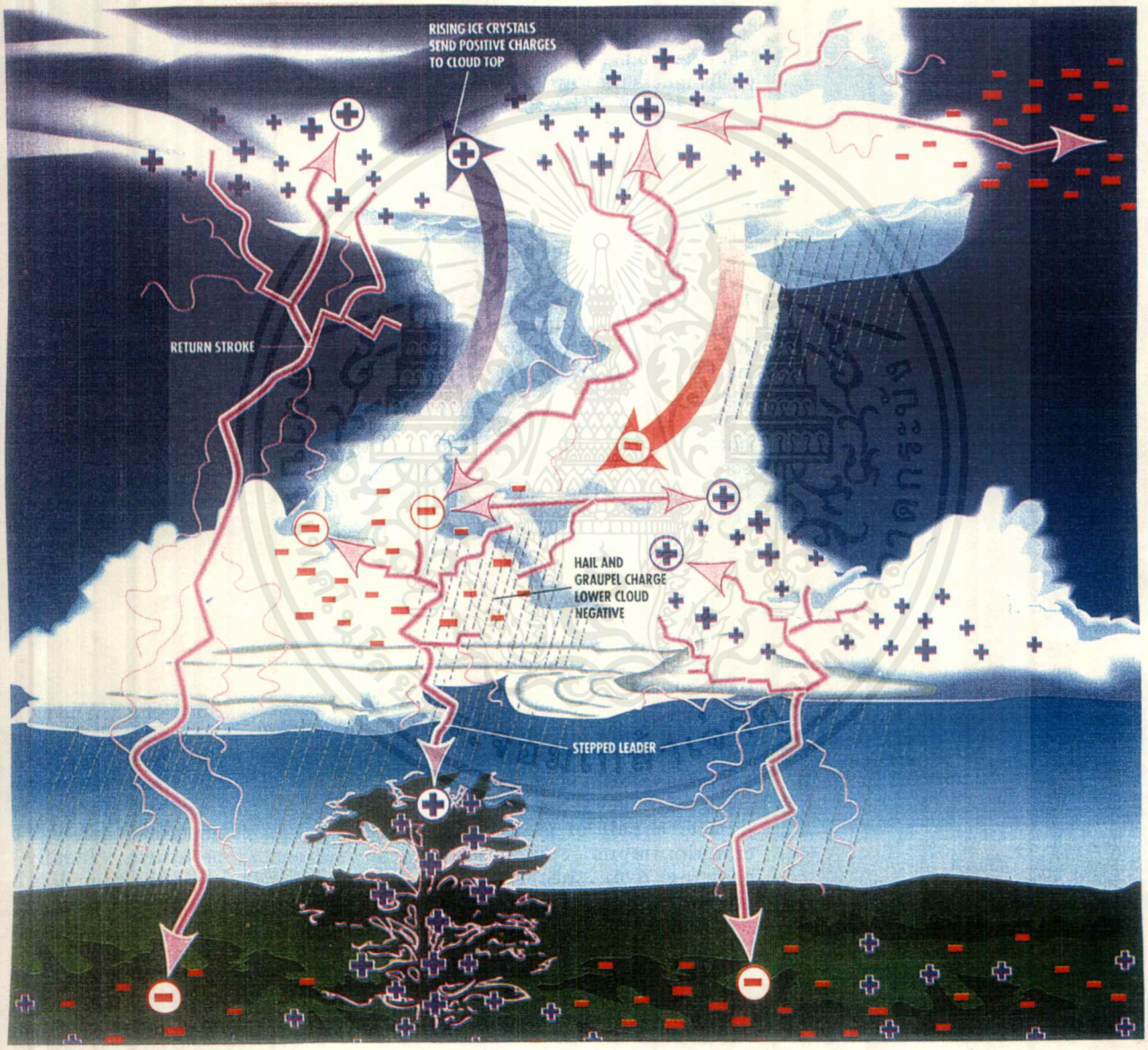
ขณะที่ฝนตกลงและถูกลมพัดกลับขึ้นไปตรงกลางของพายุฝนนั้น เม็ดฝนส่วนใหญ่จะแข็งตัวเป็นเกล็ดน้ำแข็ง มันจะถูกลมพัดให้ลอยสูงขึ้น ขณะที่ลอยสูงขึ้นมันจะสะสมความชื้นจนใหญ่ขึ้นและกลายเป็นลูกเห็บ ซึ่งก็จะลอยขึ้นและตกลงอยู่ในระหว่างพายุนั้น

ทุกครั้งที่ลูกเห็บตกลงมาในระดับต่ำในก้อนเมฆ มันจะปะทะกับเกล็ดน้ำแข็งเล็กๆ เหล่านั้น ซึ่งจะทำให้ลูกเห็บเหล่านั้นเกิดประจุลบขึ้น ในขณะที่เกล็ดน้ำแข็งเป็นประจุบวก จนในที่สุด ก้อนเมฆช่วงบนจะเต็มไปด้วยประจุบวก และช่วงล่างจะเต็มไปด้วยประจุลบ ซึ่งประจุลบส่วนล่างของเมฆจะไปเหนี่ยวนำให้พื้นดินมีประจุเป็นบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1 ลักษณะของฟ้าผ่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 การเกิดฟ้าผ่า

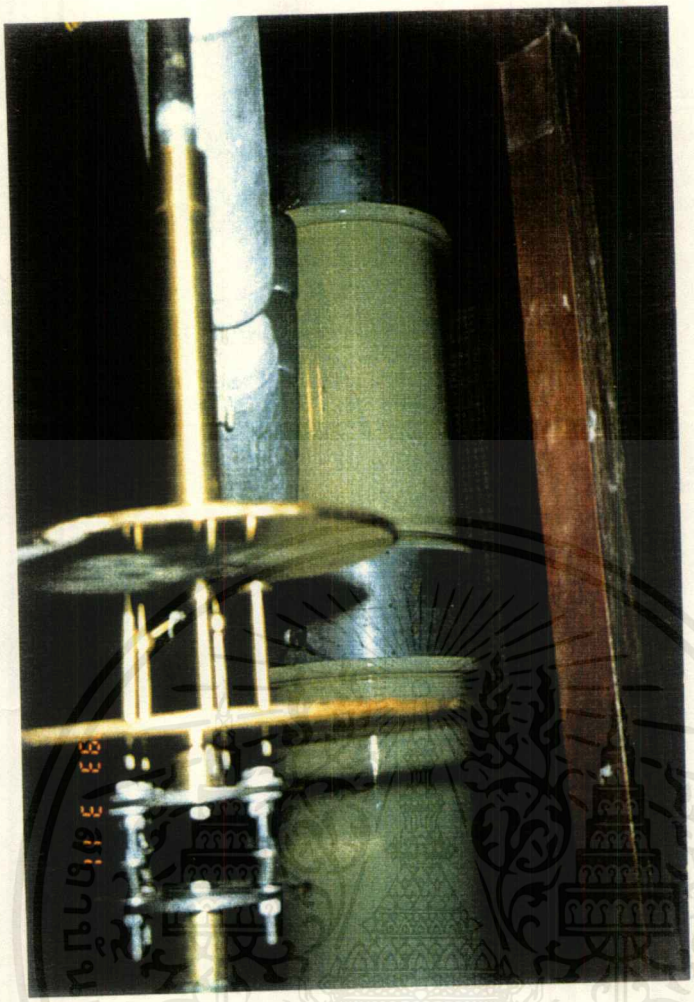
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นอิเลคตรอนบางส่วนจะไหลจากเมฆไปที่พื้นดิน ด้วยความเร็วประมาณ 60 ไมล์ต่อวินาที มันจะทำให้เกิด "ช่วงประจุ" เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว ช่องนี้มักจะแยกเป็นเหมือนรากไม้ โดยที่ช่องนี้มักจะมีกระแสไม่มากนัก ประมาณ 500 แอมแปร์เท่านั้น และแทบจะไม่มีแสงเกิดขึ้นเลย

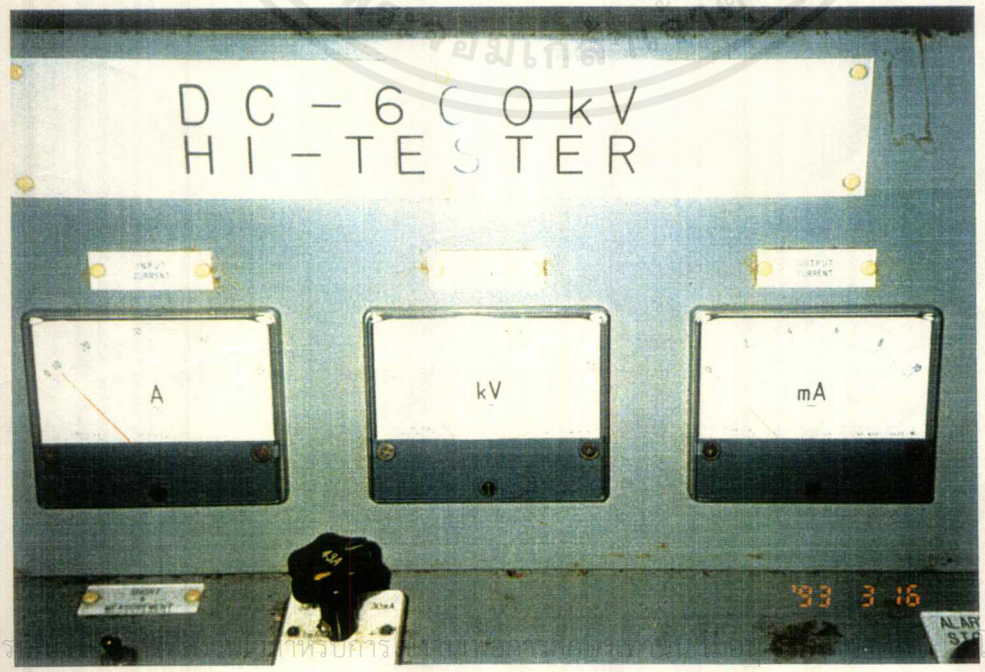
ในขณะที่ "ช่องประจุ" ได้แตกตัวถึงพื้นดิน ประจุบวกที่พื้นดินก็จะไหลผ่านปลายแหลม หรือส่วนใดๆ บนโลกที่ชี้ขึ้นฟ้าขึ้นไปพบกับช่องประจุ ซึ่งทำให้เกิดวงจรปิดขึ้น หลังจากนั้น "สายฟ้ากลับ" (Return Stroke) ก็พุ่งขึ้นกลับไปยังเมฆด้วยความเร็วครึ่งหนึ่งของความเร็วแสง และมีกระแสไหลประมาณ 30,000 แอมแปร์ และอากาศโดยรอบ จะร้อนขึ้นถึงประมาณ 60,000° F ซึ่งมีค่า 5 เท่าของความร้อนที่ผิวดวงอาทิตย์ มันจะเกิดแสงลุกขึ้นโดยรอบ และทำให้อากาศโดยรอบขยายตัวเกิดคลื่นเสียงหรือฟ้าร้องขึ้น

และส่วนมากหลังจากเวนช่วงเล็กน้อย จะเกิดดาร์ท ลีเดอร์ (dart leader) โดยจะยังใช้ทางของ "สายฟ้ากลับ" ฟาดลงมาอีกที และก็มีสายฟ้ากลับไหลกลับขึ้นไปเป็นอย่างนี้หลายๆ ครั้ง โดยที่แต่ละครั้งเกิดขึ้นในเวลาไม่กี่มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



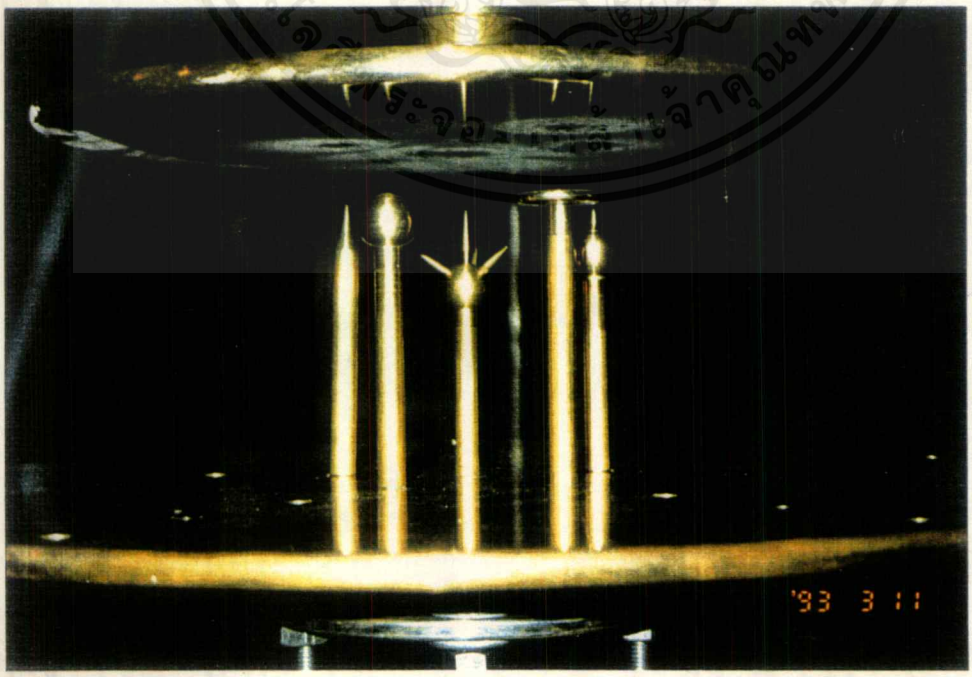
รูปที่ 3 ส่วนประกอบในการทดสอบ



เอกสาร ... สำหรับการ ... ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 เครื่องกำเนิดแรงสูงกระแสตรง

รูปที่ 5 ลักษณะตัวล่อฟ้าชนิดต่างๆ



รูปที่ 6 ลักษณะการติดตั้งตัวล่อฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

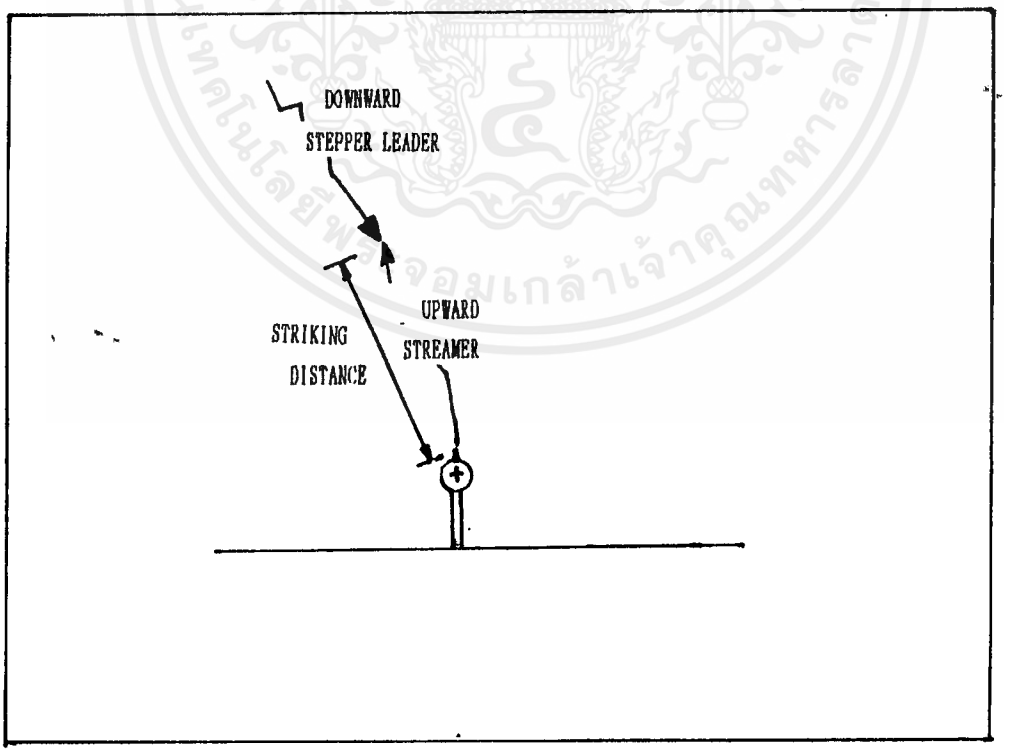
ในการเกิดฟ้าผ่า อาจจะประกอบไปด้วยสายฟ้า (Strokes) หลายๆ อัน ซึ่งแต่ละอันจะมีการผ่าที่เหมือนกันแต่เกิดถัดกันไปในเวลา 50 MS. ถึง 100 MS. ดังนั้นสายฟ้า (multi-stroke) บางครั้ง อาจประกอบไปด้วยสายฟ้า (Strokes) มากกว่า 10 อัน ซึ่งจะกินเวลาในการผ่าถึง 1 S. (แต่ไม่พบบ่อยนัก)

ซึ่งในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าค่าที่ควรสนใจก็คือ

$$I_{max} = 20 \text{ KA.}$$

$$\frac{dI}{dt}_{max} = 200 \text{ KA/us.}$$

รูปที่ 7 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง striking distance และกระแสค่าสูงสุดของการถ่ายเทประจุลงสู่พื้นดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

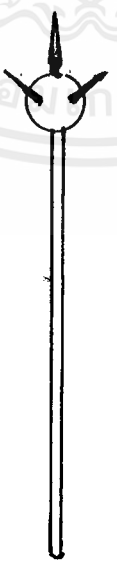
Lightning Protection

ในหัวข้อที่จะกล่าวถึงระบบป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ 1) Air Termination 2) Down Conductor 3) Earth Termination การออกแบบติดตั้งแต่ละส่วน ต้องทำให้ดี ถ้ามีส่วนหนึ่งส่วนใดล้มเหลว หรือให้ผลไม่ดี ก็จะทำให้ระบบป้องกันทั้งหมดใช้ไม่ได้ ต่อไปจะกล่าวถึงแต่ละหัวข้อโดยคร่าวๆ พอสังเขป

2.1) Air termination networks อาจจะประกอบไปด้วยแท่งตัวนำภที่ตั้งขึ้น (Vertical conductor) กับตัวนำในแนวราบ (horizantal conductor) หรือใช้ทั้งสองอย่างประกอบกัน จุดประสงค์ก็เพื่อที่ล่อให้การถ่ายเทประจุจากก้อนเมฆมาลงที่ตัวมันแทนที่จะลงไปยังตัวตึก สำหรับ vertical conductor นั้น แต่ก่อนนิยมใช้แท่งตัวนำปลายแหลม (Sharp Frankin rod) ดังรูปที่ 8

ส่วนรูปแบบอื่นๆ ก็เช่น รูปที่ 9

รูปที่ 8



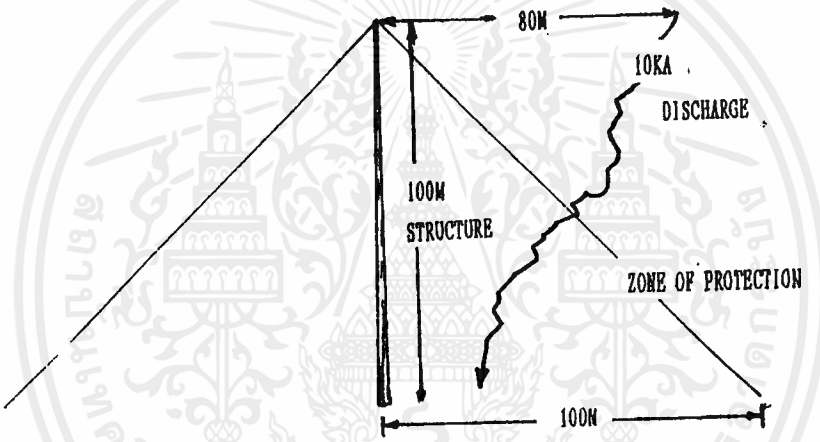
รูปที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

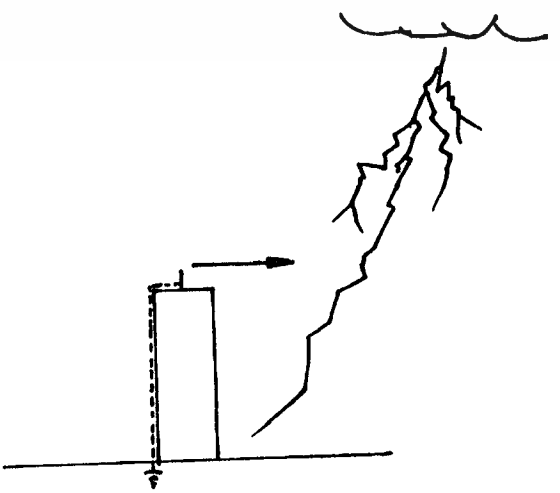
แต่จากประสพการณ์พบว่าการใช้ แท่งตัวนำแบบนี้ไม่ดีเสียแล้ว ดังรูปที่ 10

จะเห็นว่ากระแสจากประจุที่ถ่ายเทลงมาเป็น 10 kA ดังนั้น Striking distance ต้องเป็น 40 ม. จากรูปจะเห็นว่าระยะ 40 นี้น้อยไป ทำให้ upward streamer ไม่สามารถรวมกับประจุที่ถ่ายเทลงมาได้

ดังนั้นจึงเกิดการผ่าเข้าไปในขอบเขตของการป้องกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวตึกสูงๆ กับสายฟ้าที่ค่าความเข้มของประจุน้อย Striking distance จะมีค่าน้อย ทำให้ไปรวมกัน Stepped leader ไม่ถึงดังนั้นอาจมีการผ่าลงข้างๆ ของตึกได้ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 10

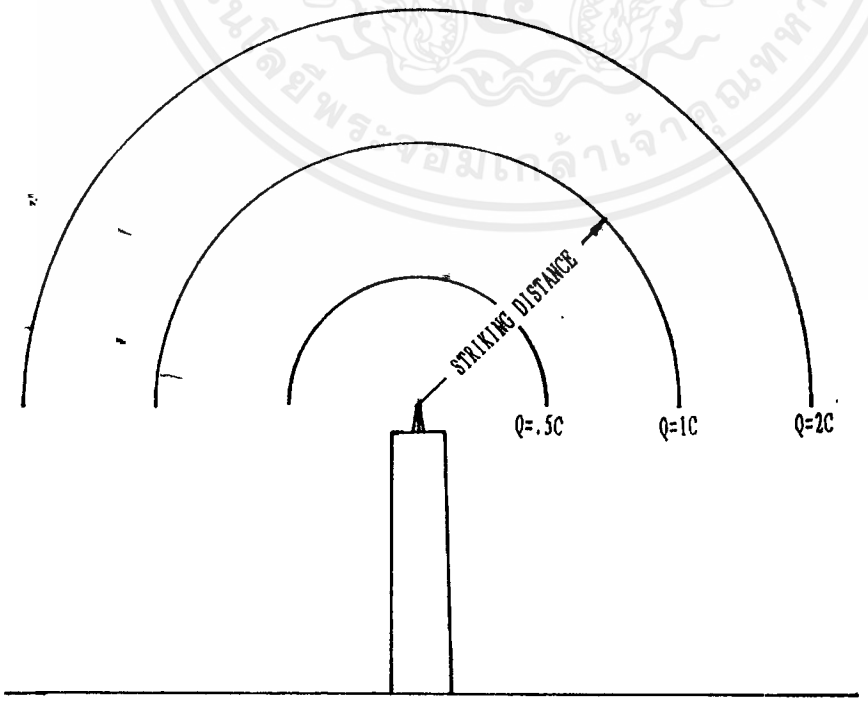


รูปที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
032634

วัสดุที่ใช้ทำเสาล่อฟ้าที่นิยมใช้มี 3 ชนิดได้แก่ ทองแดง อลูมิเนียม เหล็กชุบสังกะสี ทองแดงจะมีความต้านทานจำเพาะต่ำ ไม่สามารถทนสภาพการกัดกร่อนในสภาพที่เป็นกรด หรือด่างได้ ส่วนอลูมิเนียมมีความต้านทานสูงกว่าทองแดง และมีราคาถูกกว่าทองแดง แต่เราสามารถใช้มันได้ในส่วนอากาศเท่านั้น ใช้ในดินไม่ได้ และมีข้อจำกัดในการใช้หลายอย่าง เช่น ไม่สามารถใช้ในดิน หรือหลังคาที่ปูด้วยโลหะทองแดง นอกจากนี้ยังต้องมีตัวต่อที่จะเปลี่ยนจากโลหะอลูมิเนียมไปเป็นโลหะทองแดงสำหรับต่อสายนำลงดิน ส่วนเหล็กชุบสังกะสี สามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดี แต่มีความต้านทานจำเพาะสูงกว่าทองแดง แต่มีข้อได้เปรียบ คือ เหล็กชุบสังกะสีมีราคาถูกกว่าทองแดง และสามารถทนอุณหภูมิได้สูงกว่าทองแดง ส่วนใหญ่แล้ว จะพบเสาล่อฟ้าที่ทำด้วยทองแดงมากกว่าโลหะชนิดอื่นๆ เนื่องจากข้อดีของทองแดงก็คือ สามารถในการเป็นตัวนำของมันนั่นเอง ดังนั้นจะใช้เสาล่อฟ้าแบบทองแดงในการทดลองของเรา

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่า Zone of Protection เกิดความล้มเหลวในบางครั้ง ของการป้องกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 12



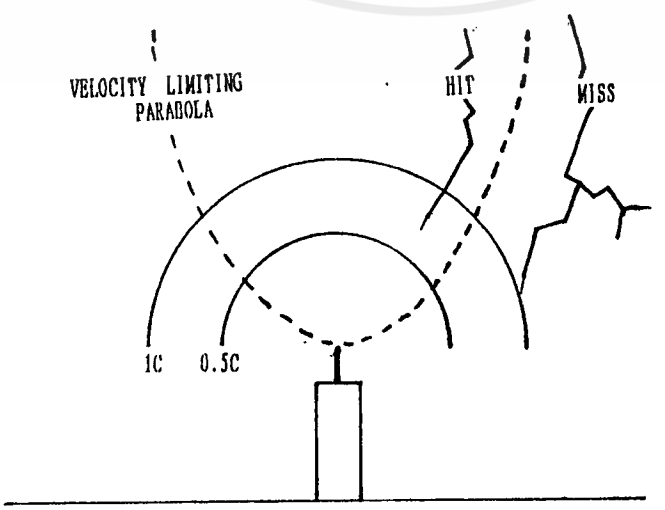
รูปที่ 12 ZONE OF PROTECTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

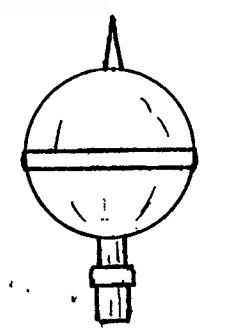
รูปที่ 12 จะแสดงถึง Striking distance ที่ขึ้นอยู่กับขนาดประจุที่ถูกถ่ายเทลงมา ยิ่งประจุมีค่ามาก ระยะทางก็จะมีความสัมพันธ์กับกระแสสูงสุด (peak current) ในการถ่ายเทประจุ เมื่อ down ward leader ผ่าลงมาถึงแนวเส้นวงกลม ที่มีค่า striking distance คู่กันกับมัน แต่เนื่องจากความเร็วของ downward leader ทำให้มันพุ่งเข้าไปยังวงกลมที่ถัดเข้าไป โดยไม่ได้รวมกับค่า striking distance ที่คู่กับมัน แต่จะไปรวมกับ positive upward streamer ที่มี striking distance ค่าอื่นแทนดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าบางโอกาสมันอาจผ่าเข้าไปโดยไม่มี positive upward streamer มายมกับมันก็ได้ดังนี้ zone or protection จะต้องมีข้อจำกัดเพิ่มเติม

รูปที่ 13 แสดงถึง Zone of protection แบบใหม่ โดยอาศัยความเร็วของ downward leader ด้วย จึงได้ขอบเขตของพาราโบลา เพิ่มขึ้นอีกและได้มีการเสนอรูปแบบของ Air Termination แบบใหม่ดังรูปที่ 14

ดังนั้นเราจะสนใจทดลองเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบนี้ กับ Frankin Rod ว่าแบบไหนจะได้ขอบเขตการป้องกันที่ดีกว่ากัน นี่ก็คือ จุดประสงค์ของโปรเจคนี้ ส่วนมาตรฐานการติดตั้งเราจะเขียนให้ละเอียดอีกทีในภายหลัง โดยจะอิงมาตราฐาน BS 6651 ปี 1986 เป็นหลัก



รูปที่ 13



รูปที่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) Down Conductor

จะเป็นทางเดินที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ เพื่อนำกระแสจากเสาล่อฟ้าลงสู่ดินได้อย่างปลอดภัย โดยทั่วๆ ไป ถ้าเราใช้ down conductor เป็นจำนวนมากขึ้น การเสี่ยงต่อ side-flashing และปรากฏการณ์ที่ไม่พึงปรารถนาอื่นๆ ก็จะน้อยลง การใช้จำนวน down conductor อาจใช้ได้ตามตารางต่อไปนี้

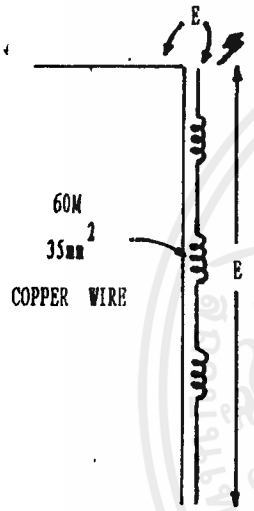
พื้นที่ฐานของตึก (m^2)	จำนวน down conductor
100 - 400	2
400 - 700	3
700 - 1000	4
1000 - 1300	5
1300 - 1600	6
1600 - 1900	7

ด้านมาตรฐานอังกฤษฉบับ 6651 กล่าวว่า down conductor ที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ลดการเสี่ยงต่อ side-flashing โดยเฉพาะถ้ามันหุ้มฉนวน และการใช้พวก Coaxial ก็ไม่ได้มีความแตกต่างมากมายไปจากการใช้ตัวนำขนาดเท่ากัน ที่มีจำนวนหุ้มเลย และการใช้ coaxial ก็ไม่สามารถที่จะลดจำนวน down conductor ในมาตรฐานนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติแล้วส่วนของโครงเหล็กในอาคาร อาจใช้เป็น down conductor ก็ได้สำหรับ BS 6651 บอว่าทุกระยะ 20 ม. รอบระดับหลังคาหรือพื้นดินควรติด down conducton เข้าไปหนึ่งตัว แต่ถ้าตึกสูงเกิน 20 ม. ระยะที่ติด down conductor จะเป็น 1 เส้น/เส้นรอบ พท. ยาว 10 เมตร

แต่มีเอกสารบางฉบับระบุถึงข้อเสียของ down conductor แบบเก่า และพูดถึงข้อดีของแบบ coaxiol ดังต่อไปนี้



$$E = IR + L\frac{di}{dt}$$

สำหรับ 30 KA PEAK DISCHARGE CURRENT

E =195+48000

=48195 V/m

SELF INDUCTANCE OF SIMPLE DOWN CONDUCTOR

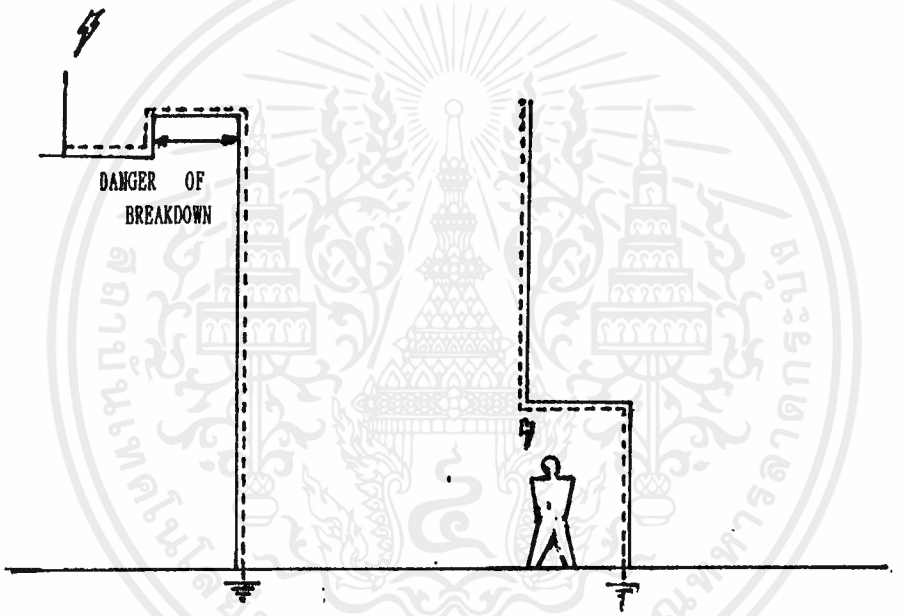
= 1.6 MICROHENRY/M

รูปที่ 15

จากรูปที่ 15 ให้ค่าอินดัคแตนซ์ เท่ากับ 1.6 uH/M ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างน้อย แต่เนื่องจาก di/dt สูงประมาณ 10^{10} A/S (BS 6651 ใช้ $di/dt_{max} = 2\times10^{11}$ A/S, i_{max} - 200 kA.) และในที่นี้จะใช้ 30 kA peak discharec current จะเห็นว่า L di/dt สูงถึง 48,000 v/m เมื่อคิดตลอดช่วงความยาวทั้งหมดของสายแรงดันตกคร่อมเกิน 1,000,000 v. ดังนั้นลักษณะการเป็นอินดัคแดนซ์นี่เองที่ทำให้แรงดันเคร่อมสายสูงมาก นี่ก็เป็นเหตุผลที่เราต้องใช้ down conductor มากกว่าหนึ่งตัว (เพื่อแบ่งกระแสกันและลดค่าอินดัคเตอนซ์) และเพื่อความสวยงามทางสถาปัตยกรรมของอาคารเราจะใช้ down counductor ต่อหยัก

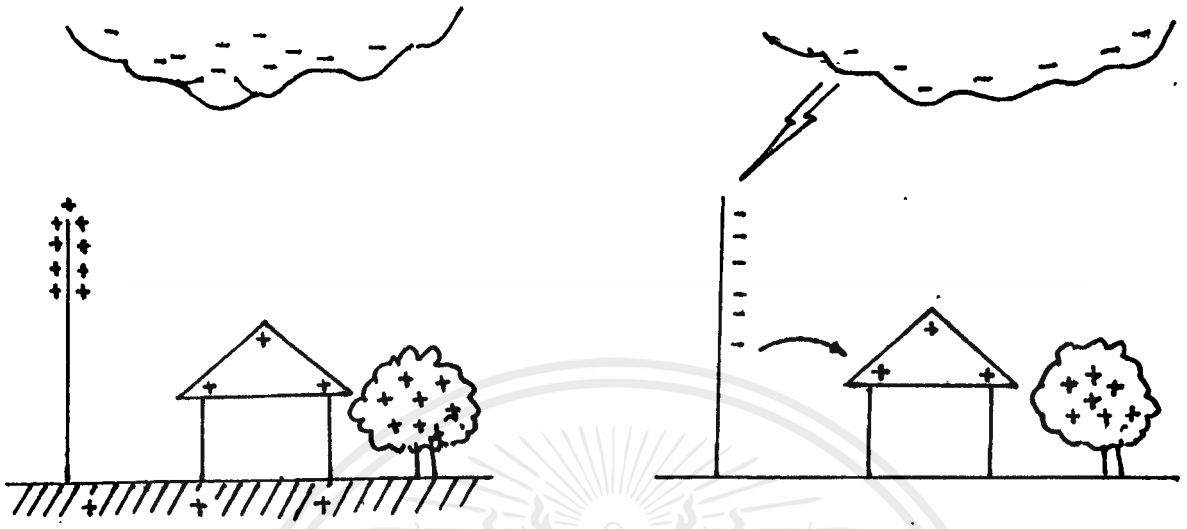
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

90° ตามขอบของอาคารก็ไม่ได้ เพราะจะเกิดอันตรายดังรูปที่ 16 และเนื่องจากโครงสร้างเหล็กในคอนกรีตอยู่ใกล้กับ down conductor ดังนั้นเมื่อมีกระแสจากการถ่ายเทประจุผ่าน down conductor ก็อาจจะเกิดการเบรคดาวน์ย้ายไปยังโครงสร้างเหล็กที่ต่อลงดิน และเนื่องจากโครงสร้างเหล็กเดินรอบทั่วอาคาร ดังนั้นจึงอาจมีโครงสร้างเหล็กบางส่วนอยู่ใกล้กับอุปกรณ์ไวต่อการกระตุ้น (sensitive equipment) ซึ่งอาจจะมีการเหนี่ยวนำแรงดันเกิดขึ้นหรือเกิด side flashing ทำให้เกิดความเสียหายหรือรบกวนพวกอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอื่นๆ และซ้ำร้ายอาจเกิด side flashing ทำอันตรายแก่เราก็ได้



รูปที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17 แสดงถึงอันตรายจาก side-flashing ในกรณีใช้ down conductor แบบเดิม

รูปที่ 18 แสดงถึง down conductor แบบ coaxial เอกสารได้ระบุว่าความปลอดภัยจาก side flashing ดังรูปที่ 19 เพราะตัวนำข้างนอกจะทำตัวคล้ายเกราะป้องกัน โดยประจุลบถ่ายเทไนตัวนำข้างใน ส่วนตัวนำข้างนอกก็จะมีประจุบวก ซึ่งวัตถุที่อยู่รอบนอกก็มีประจุบวกดังนั้นการเกิด side-flashing ก็เป็นไปยากและสืบเนื่องจากลักษณะของเกราะป้องกันนี้ทำให้เดินตัวนำแบ coaxial อยู่ภายใต้อาคารเลยได้ ไม่ทำความเสียหายให้เกิดขึ้นอุปกรณ์จำนวนอิเลคทรอนิกส์เพราะกระแสจะถ่ายเทไนตัวนำข้างใน ส่วนตัวนำข้างนอกกับโครงสร้างตึกจะมีศักย์ไฟฟ้าใกล้เคียงกัน ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดการเบรคดาวน์ไปสู่โครงสร้างเหล็กในอาคารก็ยาก จำนวน down conductor ที่ใช้น้อยกว่าแบบดั่งเดิม อาจใช้เพียงเส้นเดียว คู่กับแท่งตัวนำเพียงตัวเดียวก็ได้ ทำให้ค่าใช้จ่ายถูกลง

สำหรับว่าแบบไหนจะดีกว่ากันนั้นอยู่เหนือไปจากการทดลองของเราที่นำเสนอก็เพื่อที่จะให้ทราบถึงการพัฒนารูปแบบของ down conductor แต่จะดีกว่ากันหรือไม่นั้นต้องรอการทดสอบอีกต่อไปส่วนการติดตั้ง down conductor โดยทั่วไป down conductor ขนาดที่ใช้จะเป็น 35, 50 หรือ 70 ตารางมิลลิเมตร แบบสายเปลือย และแต่ละเส้นควรจะมีปลายสายดิน (Earthelectrode) เป็นอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3) Earth Terminations

สำหรับ Earth electrode นั้นพอที่แยกเป็น 3 อย่างใหญ่ๆ ได้ดังนี้ 1. แบบแท่ง (rod) 2. แบบแผ่น (plate) 3. แบบโลหะ (strip)

แท่งตัวนำที่ฝังดินแต่ละแท่งต้องมีความต้านทานไม่มากกว่า 10 เท่าของจำนวนแท่งตัวนำที่ฝังดินทั้งหมด (หน่วยเป็น) และระบบรวมของแท่งตัวนำที่ฝังดินทั้งหมด (เชื่อมต่อกันแล้ว) ต้องมีค่าไม่เกิน 10 ถ้าเกินการลดค่าความต้านทานก็อาจทำได้โดยการเพิ่ม earth electrode เข้าไป หรือเชื่อมต่อ earth electrode แต่ละตัวเข้าด้วยกัน โดยฝังตัวนำที่ใช้เชื่อมกันนี้ให้ต่ำกว่าพื้น 0.6 ม. ตัวนำที่ใช้เชื่อมต่อบางทีเรียกว่า right conductor ผลจากความต้านทานที่ลดลงนี้ทำให้ step voltage ลดลงไปดังรูปที่ 20 และยังอาจจะลดความเสี่ยงต่อ side-flashing ที่มีต่อโลหะในตัวตึกได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหัวข้อนี้จะเน้นถึงปัจจัยที่มีผลต่อระบบกราวน์ด เพื่อที่ทำให้ได้ระบบกราวน์ดที่ดี ดินจะต้องมีสภาพดังนี้

1. มีสภาพความต้านทานเฉพาะต่ำ
2. มีความชื้นสูง
3. อุณหภูมิของดินต้องคงที่เหนือจุดเยือกแข็ง

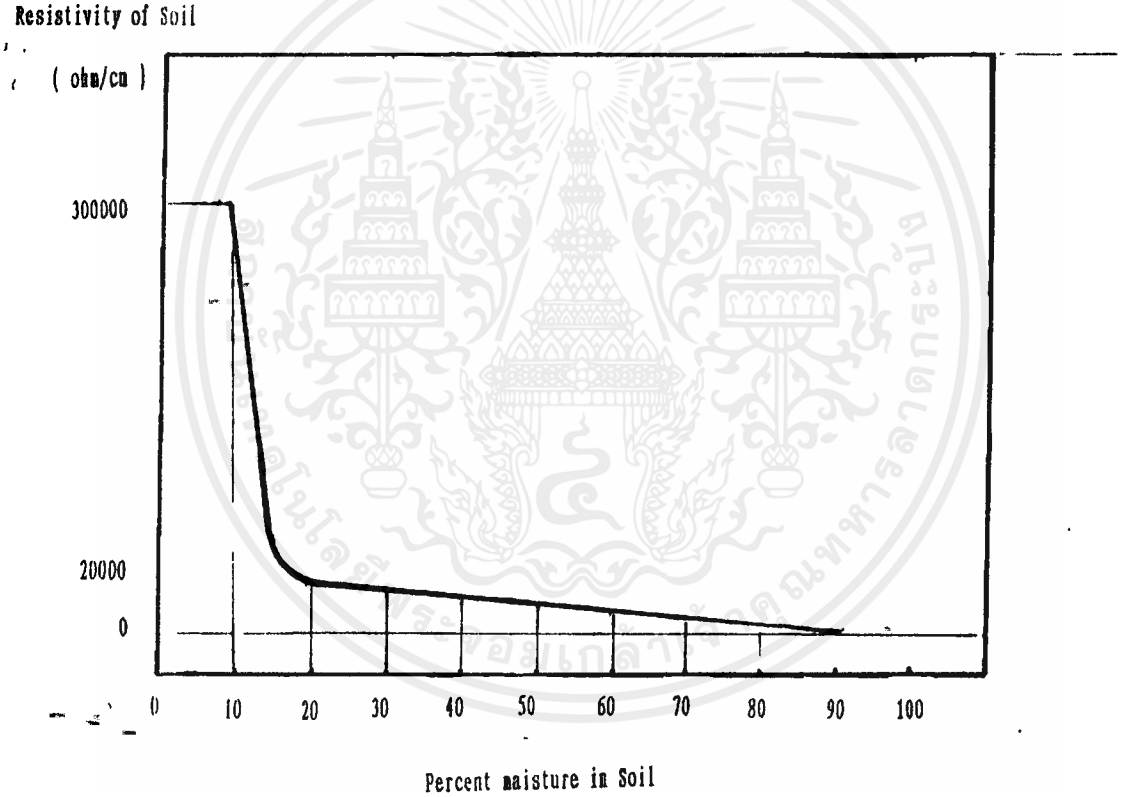
ต่อไปก็มากปัจจัยที่มีผลต่อสภาพความต้านทานของดิน

- ลักษณะองค์ประกอบทางกายภาพของมันเอง ดังตารางต่อไปนี้

Soil	Resistivity (.C.M.)
Marshy Ground	200-270
Loam and clay	400-15,000
Chalk	6,000-40,000
Sand	9,000-800,000
Peat	20,000 upwarcls
Sandy Gravel	30,000-50,000
Rook	100,000 upwarcls

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความชื้น เมื่อความชื้นเพิ่มความต้านทานของดินก็จะลดลง ดังรูปที่ 21 ดังนั้นเอาจกล่าวได้ว่า ดินที่เป็นสื่อไฟฟ้าที่ดีที่สุด คือ ดินเหนียว และดินซึ่งมีปุ๋ยอินทรียและปริมาณความชื้นช่วยให้ค่าความต้านทานของดินลดลง electrode จะต้องไม่วางแช่ไว้ในน้ำโดยตรง เพราะน้ำมีความต้านทานสูงมาก ควรจะฝังอยู่ในชั้นดินที่ชื้น โดยทั่วไปดินที่ใช้ในการเพาะปลูกได้ดีมักจะมีสภาพนำไฟฟ้าดีด้วย และบริเวณรอบๆ ตำแหน่งที่ฝัง earth electrode ควรจะให้ชื้นอยู่เสมอ เช่น ปลูกหญ้าคลุมให้ทึบ หรือทำเป็นแอ่งเก็บกักน้ำฝนเพื่อให้เกิดความชื้น



รูปที่ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สารประกอบตารางเป็นดิน จะมีดังตารางต่อไปนี้

Added salted (per cent by weight of moisture)	Resistivity (CM)
0	10,700
0.1	1,800
1.0	460
5	190
10	130
20	100

ซึ่งเป็นตารางสำหรับดินร่วมปนทราย (sandy loam) ความชื้น 15% พอจะกล่าวได้ว่า เมื่อเราเติมสารประกอบเกลือ (พวกเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือแมกนีเซียมซัลเฟต) จะทำให้ค่าความต้านทานของดินต่ำลงแต่ข้อเสียก็คือจะทำให้ eartn electrode ผุกร่อนเร็วกว่าปกติ และนอกจากนี้ถ้าเติมมากไปความต้านทานอาจสูงขึ้นก็ได้

- อุณหภูมิ เมื่อสภาพบรรยากาศมีอุณหภูมิต่ำมาก ดินชั้นบนจะเย็นมากจนถึงจุดเยือกแข็ง ดังนั้นเราต้องติดตั้ง earth electrode ลึกลงไปจากชั้นนี้ มิฉะนั้นระบบกราวน์ดจะไม่ค่อยมีประสิทธิภาพดังตาราง

Teaperature			Resistivity (M)
C	F		
20	60		7200
10	50		9900
0	32	(water)	13,800
0	32	(ice)	30,000
-5	23		79,000
-15	14		330,000

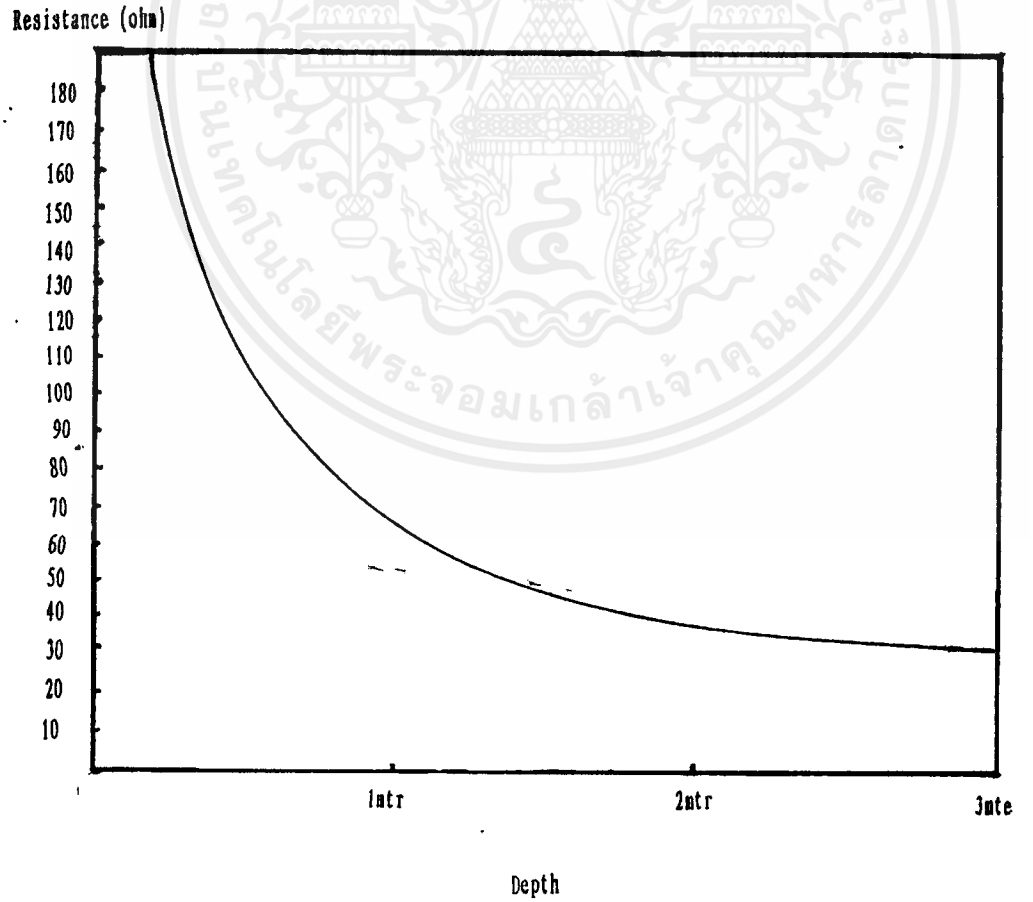
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นตารางสำหรับดินร่วมปนทราย ความชื้น 15.2

จะสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิของดินลดลงจาก +20°C เป็น -5°C สภาพต้านทานจะเพิ่มขึ้นมากกว่าสิบเท่า

- ฤดูกาล ซึ่งส่งผลกระทบต่อความชื้นและอุณหภูมิดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อความต้านทาน

การเลือกใช้งาน earth electrode ได้เหมาะสมกับงานนั้นอาจกล่าวคร่าวๆ ได้ดังนี้ จากที่กล่าวมาจะพบว่าสภาพที่จะทำให้ได้ Resistivity ของดินต่ำนั้นจะอยู่ลึก ดังรูปที่ 22 ดังนั้นเราจึงใช้นิยมใช้ earth electrode แบบ rod เจาะลงไปให้ลึกมากที่สุด เท่าที่จะทำได้ แต่ถ้าเป็นดินอาจใช้แท่งตัวนำสั้นๆ หลายตัวมาต่อขนานกัน และตอกให้ลึกเท่าที่จะทำได้ และการฝังตัวนำนั้น ระยะห่างระหว่างแท่งต้องมากกว่าความยาวของแท่งตัวนำ มิฉะนั้นประสิทธิภาพจะลดลง (ดูรูป 22)



รูปที่ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักใหญ่ของการทดลองในวิทยานิพนธ์ชุดนี้

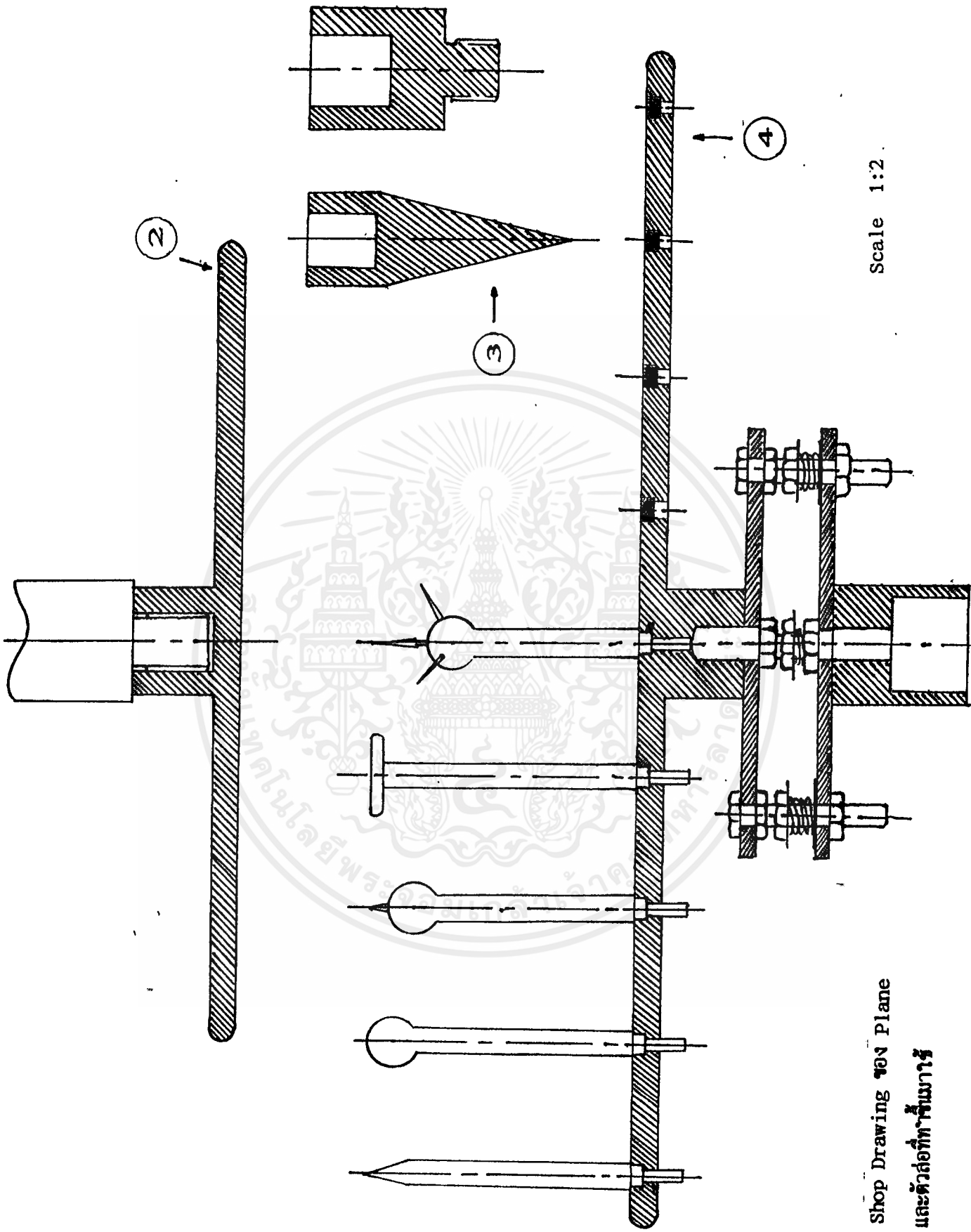
- จากความคิดแนวเก่าที่ว่า "การเกิดฟ้าผ่าจะขึ้นกับความสูงและประจุที่ถ่ายเทลงมา โดยที่รูปทรงตัวนำมีผลน้อยมาก ฉะนั้น แท่งตัวนำหรือตัวนำแนวราบ ก็จะให้ผลในการป้องกันเหมือนกัน" (BS6651) เราต้องการจะทำการทดสอบเพื่อพิสูจน์ว่ารูปทรงของตัวนำมีผลต่อการเกิดฟ้าผ่า และทดสอบอีกว่ารูปทรงที่นิยมใช้กันชนิดใดให้ผลในทางที่ดีที่สุดในการป้องกัน
- เรื่องฟ้าผ่านี้ความรู้ที่นักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันมีอยู่ยังมีน้อยมาก ส่วนใหญ่เป็นผลจากการตั้งสมมติฐาน จากสถิติการทดลองเท่านั้น ยังไม่สามารถพิสูจน์ได้อย่างแน่นอน
- การทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองในรูปแบบที่ยังไม่มีผู้ใดเคยทดลองมาก่อน ดังนั้นจึงมีข้อมูลน้อยมาก อีกทั้งผู้ทดลองเองก็ยังไม่มีความรู้ความสามารถเพียงพอที่จะสรุปเป็นสมมติฐาน หรือทฤษฎีใดๆ ได้ จึงขอนำเสนอเพียงข้อมูลดิบ และข้อมูลเบื้องต้นเพื่อให้ผู้วิจัยต่อๆ ไปนำไปใช้ประโยชน์ได้สืบไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์การทดสอบ

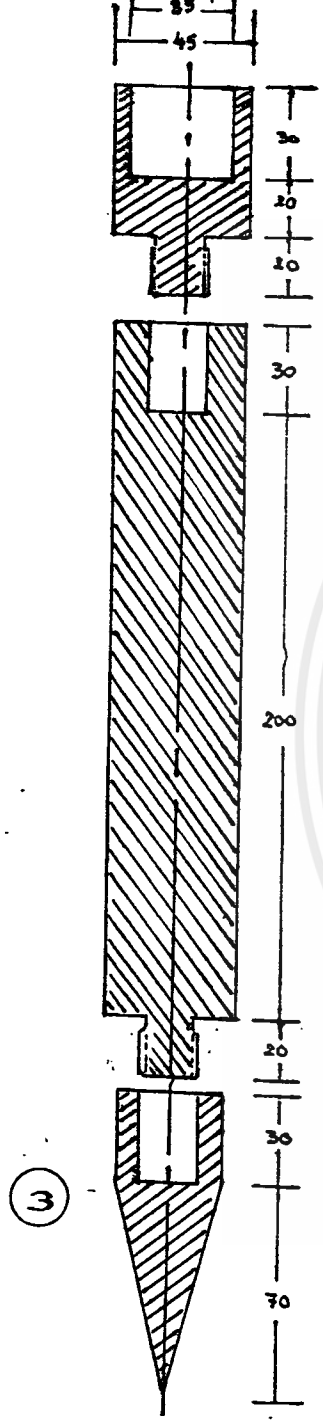
1. ลูกกลม Sphere
2. แผ่นกลม Plane
3. Point Source ปลายแหลม
4. Plane พร้อมช่องสำหรับเสียบตัวล่อ
5. ตัวล่อ แบบแท่งแหลม
6. ตัวล่อ ปลายทรงกลม
7. ตัวล่อ ปลายกลมแบน
8. ตัวล่อ ปลายทรงกลมมีปลายแหลม
9. ตัวล่อ ปลายทรงกลมมีปลายแหลม 4 แฉก
10. D.C.Hivolt Tester

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

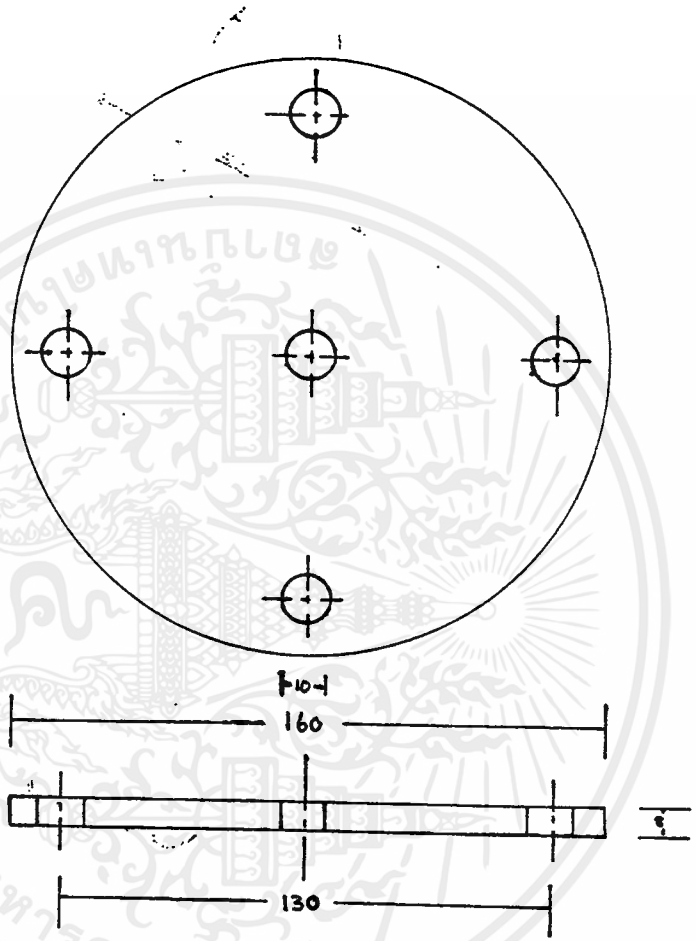


รูปแสดง Shop Drawing ของ Plane และตัวส่งกำลังมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

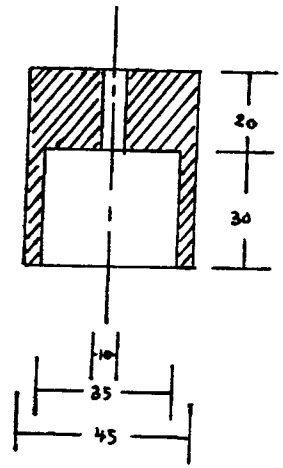


Scale 2:5

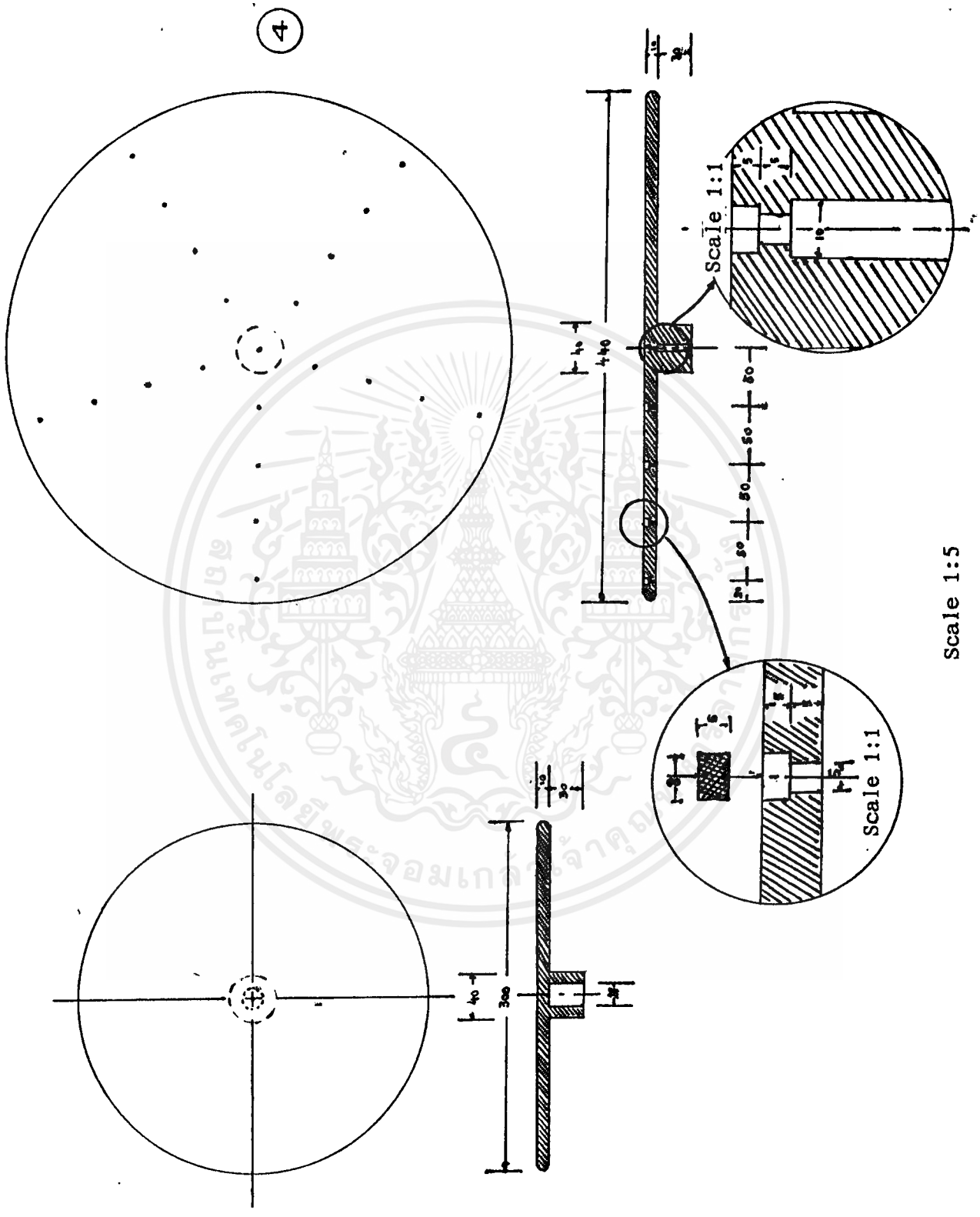


Scale 1:2

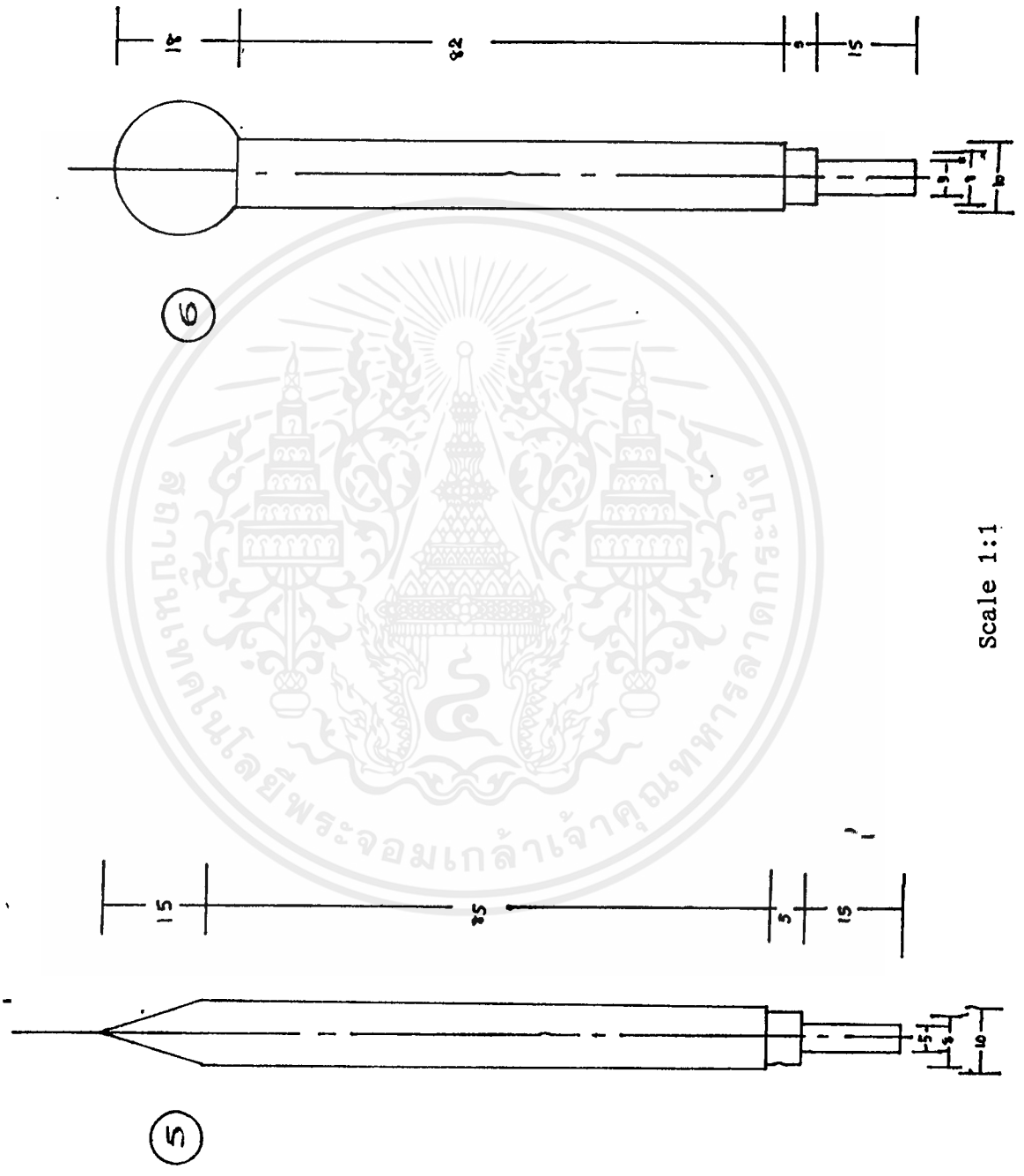
ตัวปรับระดับ



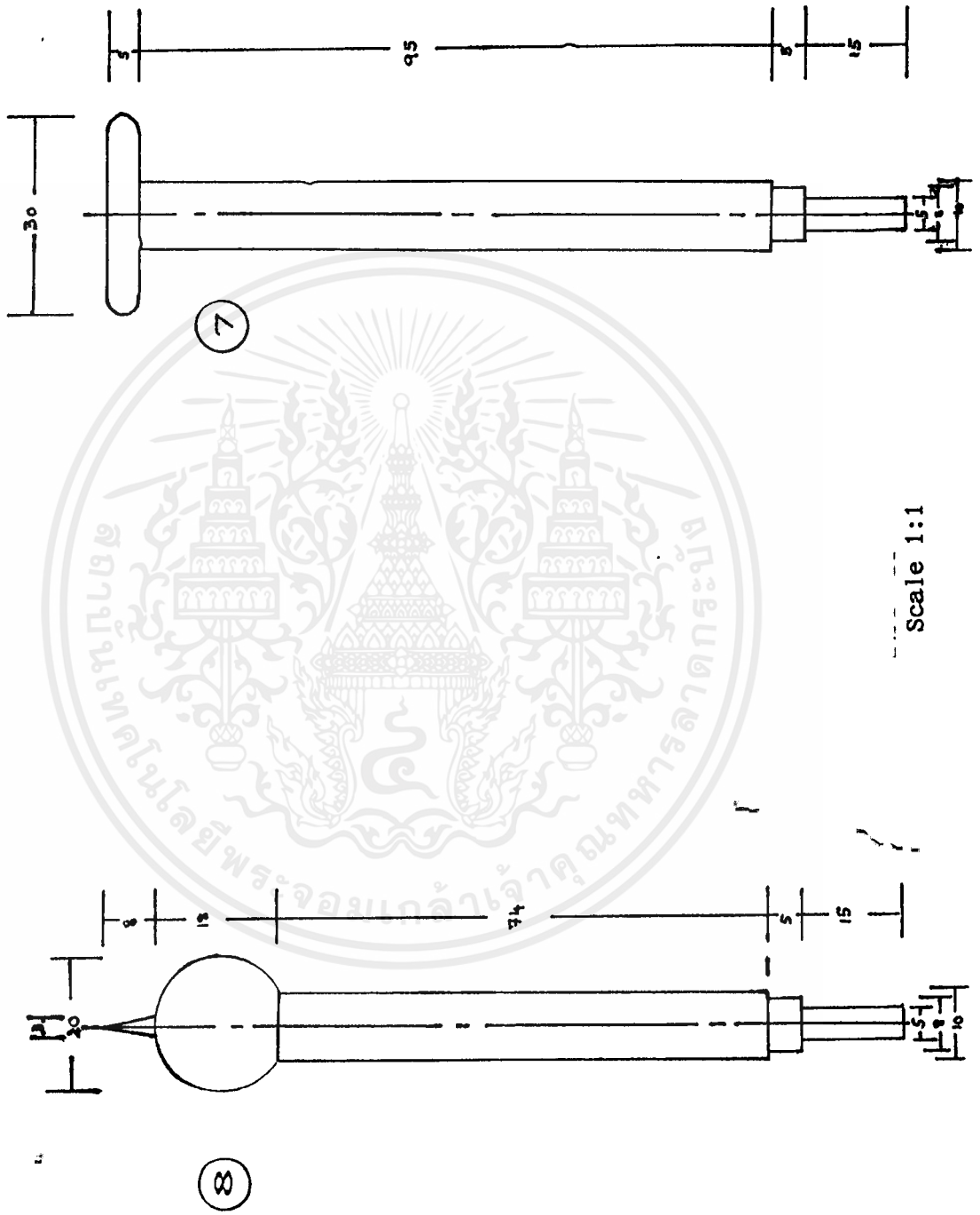
Scale 1:2



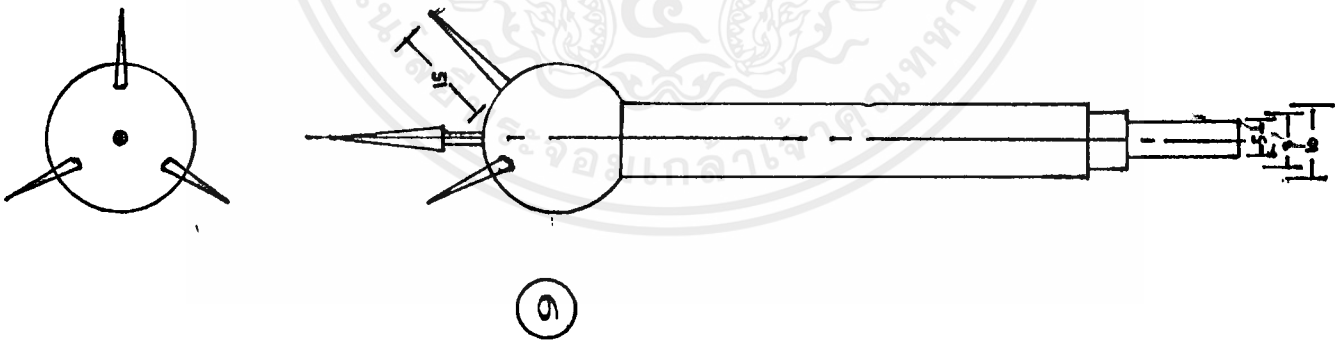
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



⑨

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

4.1 วิธีการทดสอบ

แบ่งการทดสอบเป็น 3 แบบ คล้ายๆ กัน โดยใช้อิเลคโตรด 3 แบบ คือ ทรงกลม แผ่นกลม และปลายแหลม

1. ใช้เครื่อง DC 600 KV จัดรูปแบบทดสอบ electrode 3 แบบ
2. เลือกชนิด electrode
3. เลือก Arres ter จัดไว้ที่ช่องกลาง เลือก gap 1 CM
4. ป้อนแรงดันและวัดหาค่าเฉลี่ย 6 ครั้ง (V_{Bd})
5. เปลี่ยนเป็น gap 2 CM และทำซ้ำข้อ 4 เปลี่ยน gap จนครบ 5 CM
6. ทำซ้ำข้อ 3 จน Arres ter ครบ 5 แบบ
7. จัดตั้ง Aresster 5 ตัว ไว้แนวรัศมีที่ 1
8. สับให้การจัดกลุ่มครบทุกแบบ (24 แบบ)
9. จัดตั้ง Aresster ไว้แนวรัศมีที่ 2 ทำข้อ 8 จัดไว้แนวรัศมีที่ 3-4
10. ปรับ gap ให้เพิ่มขึ้นทีละ 1 CM จนครบ 5 CM
11. กลับไปทำข้อ 2 โดยเปลี่ยนชนิด electrode จนครบ 3 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบ

ตาราง V_{Bd} ระหว่าง plane กับ plane

ครั้ง	V_{Bd} (KV) ที่ระยะแกป		
	1 cm	2 cm	3 cm
1	31	51	62
2	29.5	50.5	62
3	31	51	62.5
4	30	50	61.5
5	31	50.5	61.5
6	30.5	51	61.5
เฉลี่ย	30.5	50.7	61.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง V_{Bd} ระหว่าง Sphere กับ plane

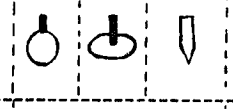
ครั้ง	V_{Bd} (KV) ที่ระยะแกป		
	1 cm	2 cm	3 cm
1	33.5	65	92
2	33.5	65	92
3	33.5	65.5	92
4	33.5	64.5	91.5
5	33.5	64.5	92
6	33.5	65	91.5
เฉลี่ย	33.5	64.9	91.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง V_{Bd} ระหว่าง point กับ plane

ครั้ง	V_{Bd} (KV) ที่ระยะแกป		
	1 cm	2 cm	3 cm
1	21	41	56
2	20.5	41	56
3	21	41	56
4	20.5	40.5	56
5	20.5	41	56
6	20.5	41	56
เฉลี่ย	20.7	40.9	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	V_{Bd} ที่ระยะแกป (KV)														
	1 Cm			2 Cm			3 Cm			4 Cm			5Cm		
															
1	14	17	10	24.5	24.5	27.5	33	32.5	37.5	41.5	41	49	49.5	48	61.5
2	14.5	17	9.5	24.5	25	24.5	33.5	32.5	37.5	42	41	50	49	47.5	61.5
3	13.5	17	10	25	25	24.5	33.5	32.5	37	42	40.5	50	50	48	61
4	14	17	10	25	25	25	33.5	33	37	42.5	40.5	49.5	50.5	48	61.5
5	14	17	10	24.5	24.5	25.5	33	33	37	42	40.5	49.5	49.5	48	61.5
6	14.5	17	9.5	25	24.5	24.5	33.5	33.5	37.5	42	40.5	49.5	50	47.5	61.5
เฉลี่ย	14	17	9.8	24.7	24.7	25.3	33.3	32.8	37.3	42	40.6	49.6	49.7	47.8	61.4

ตารางที่ 1 : แสดง V_{Bd} ที่ระยะแกปต่างๆ จาก Sphere, Plane และ point เมื่อทดสอบตัวล่อทรงกลมปลายแหลม 4 แฉก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	V_{Bd} ที่ระยะแกป (KV)														
	1 Cm			2 Cm			3 Cm			4 Cm			5Cm		
1	18	16	8.5	34	26.5	13.5	44	33	29	56	39	46	66	44.5	55
2	19	16.5	9	31	25.5	14	44.5	32.5	30	58	38	48	62	44.5	55.5
3	21	16	9	35	26	13.5	44.5	32.5	29.5	54	38.5	48	71	45	56
4	21	16	9	34.5	26	13.5	45.	33	30	59	38.5	47	71	44.5	55.5
5	20	16	9	33.5	25.5	13.5	44	33	30	58	38.5	48	72	45	55
6	20.5	16.5	8.5	34	26	13.5	45	33	29.5	58.5	39	47.5	71.5	45	55
เฉลี่ย	19.9	16.1	8.8	33.6	25.9	13.6	44.6	32.8	29.7	57.2	38.6	47.4	69	45.2	55.3

ตารางที่ 2 : แสดง V_{Bd} ที่ระยะแกปต่างๆ จาก Sphere, Plane และ point เมื่อทดสอบตัวล่อปลายแหลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	V_{Bd} ที่ระยะแกป (KV)														
	1 Cm			2 Cm			3 Cm			4 Cm			5Cm		
	○	⊖	▯	○	⊖	▯	○	⊖	▯	○	⊖	▯	○	⊖	▯
1	24	22.5	22	35	32.5	43	44	38.5	56	52	44.5	58	59.5	50	75.5
2	25	23.5	22.5	35.5	32.5	43	44.5	39.5	56	51.5	44	66	59.5	50.5	69.5
3	25	23	22	35.5	32.5	43	43.5	39	55.5	52	44	66	61	49.5	71.5
4	24.5	23	22	34.5	32.5	43	44.5	39	55.5	52	44	65.5	60.5	50	71
5	25.5	23	22	35	33	43	44.5	38.5	55.5	53	44	65	60	49.5	71
6	25	23	22.5	35	32.5	43	45	39.5	55.5	52.5	44	65.5	60.5	49.5	71.5
เฉลี่ย	24.8	23	22.2	35.1	32.6	43	44.3	39	55.7	52.2	44.1	64.3	60.2	49.8	71.7

ตารางที่ 3 : แสดง V_{Bd} ที่ระยะแกปต่างๆ จาก Sphere, Plane และ point เมื่อทดสอบตัวล่อปลายแผ่นกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	V_{Bd} ที่ระยะแกป (KV)														
	1 Cm			2 Cm			3 Cm			4 Cm			5Cm		
	○	⊙	▯	○	⊙	▯	○	⊙	▯	○	⊙	▯	○	⊙	▯
1	16.5	18.5	8.5	26.5	29.5	24.5	35	37.5	37	41	44	46	47.5	53	57.5
2	17	17.5	8.5	26	29	24.5	34	38	37.5	41.5	46	48.5	47	52	57.5
3	17	17.5	8.5	26.5	29.5	24	33.5	38	37	41	46	47.5	47	52.5	57.5
4	17	17.5	8.5	26	29	24	34	37.5	37	41	45.5	47	47	53	57.5
5	16.5	17	8.5	26	29.5	24.5	33.5	37.5	37.5	41.5	46	47.5	47.5	52.5	57.5
6	17	17.5	8.5	26.5	29	24.5	34	37.5	37.5	41.5	46	47.5	47.5	52.5	57.5
เฉลี่ย	16.8	17.6	8.5	26.2	29.2	24.3	34	37.6	37.3	41.2	45.6	47.3	47.2	52.6	57.5

ตารางที่ 4 : แสดง V_{Bd} ที่ระยะแกปต่างๆ จาก Sphere, Plane และ point เมื่อทดสอบตัวล่อทรงกลมปลายแหลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	V_{Bd} ที่ระยะแกป (KV)														
	1 Cm			2 Cm			3 Cm			4 Cm			5Cm		
	○	⊙	▽	○	⊙	▽	○	⊙	▽	○	⊙	▽	○	⊙	▽
1	30.5	28	18.5	45	40.5	32	55.5	49	45	63	56	57	71.5	61	69
2	30	28	18.5	45.5	41	32	56	49	44.5	63	56.5	56.5	71.5	62.5	69
3	32	28	19	45.5	40.5	31.5	55.5	49	45	63	56	57	71.5	62.5	69
4	31.5	28	18.5	45	40.5	31.5	55	48.5	44	62.5	56	57	71	62.5	69
5	32	28	19	45	41	31.5	55	49	45	63	57	56	71.5	62.5	69
6	30.9	28	19	45.5	40.5	31.5	55.5	49	45.5	63.5	56	57	71.5	62	69
เฉลี่ย	31.1	28	18.3	45.2	40.6	31.7	55.6	48.9	44.8	63	56.2	56.8	71.4	62.2	69

ตารางที่ 5 : แสดง V_{Bd} ที่ระยะแกปต่างๆ จาก Sphere, Plane และ point เมื่อทดสอบตัวล่อปลายทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_{Bd} (KV) และตัวที่ล่อได้

ตำแหน่ง	ครั้งที่	1 Cm	2 Cm	3 Cm	4 Cm	5 Cm
A B C D E	1	16B,16.5A	25A,26B	33A,33.5B,E	39A,40E,40.5B	44.5A,B,E
	2	17A	23A,24B	33A,34B,34.5E	38.5B,39.5A,E	47.5A,B,E
A B C E D	1	16.5A	26A	34E,34.5A	41A,42E,42.5B	49A,50B,50.5E
	2	16A	25.5A	34.5E,A,B	40.5A,41.5E,42B	48.5A,49B,50E
A C B E D	1	15.5A,16B,16.5E	24.5E,25.5A	33.5A,34.5B	41A	49E,49.5A
	2	15.5E,16A	25.5A,26E	33A	41.5A	48.5E,49.5A
A C E B D	1	14.5E,17A	25.5A,26E	33A,35E	40A,B,42E	49E,49.5A,50B
	2	15.5A,17E	25.5A,26E	33A,35B	42A,42.5B,44E	49E,50.5A,B
A C E D B	1	15.5A,16B	21A	33A,34.5E	41B,42A,E	48B,49.5A
	2	14.5A	21A,24B	33B,34.5A,35E	41A,41.5B,E	49A
A B C D E	1	15.5A	23.5A	32.5A,33B,33.5E	38E,38.5A,B	45E,45.5A,46B
	2	13.5A	23.5A	32.5A,33B,E	40A,40.5B	45A

ตารางที่ 6 : แสดง V_{Bd} ที่เกิดขึ้นกับตัวล่อและตัวถัดไป เมื่อเพิ่ม Vinput ที่รัศมี 5 cm จากจุดศูนย์กลาง plane ล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_{BD} (KV) และตำแหน่งที่ล่มได้

ตำแหน่ง	ครั้งที่	1 Cm	2 Cm	3 Cm	4 Cm	5 Cm
A B C D E	1	16.5A, 17B	25A, 25.5B	32.5A, 33B	39A, 40B	49B, 49.5A
	2	15.5B, 16.5A	25A,25.5B	32A, 33B, 33.5E	40A, 40.5B	45B, 47A
A B C E D	1	14.5A	25A	31.5A, 32.5B	38A, 39.5B	47.5B, 48A
	2	15A	24.5A	32A, 33B	39.5A	47B, 47.5A
A C B E D	1	14A, 14.5B	23B	30B, 31A	39B, 40A,E	43B
	2	14B	23B	29A, 29.5E	39B	44B
A C E B D	1	14E	24E, 24.5A	32E, 32.5A	38.5E, 41.5A	46.5A
	2	14E	24E	31E, 31.5A	40A, 41E	46A
A C E D B	1	14E	20E	34A, 34.5B, 35E	41A, 41.5E,B	48A, 48.5B
	2	15E	20E	31A, 34B, E	41A, 41.5E	48A,E
A E C D B	1	11A	22E, 23A	31A	37.5A, 39.5B	47A
	2	12A, 13B, 13.5E	22A	31A, 32E	37.5A, 39B	46A

ตารางที่ 7 : แสดง V_{BD} ที่เกิดขึ้นกับตัวล่อแรกและถัดไป เมื่อเพิ่ม Vinput ที่รัศมี 10 cm จากจุดศูนย์กลาง plane ล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_{Bd} (KV) และตำแหน่งที่ล่อได้

ตำแหน่ง	ครั้งที่	1 Cm	2 Cm	3 Cm	4 Cm	5 Cm
A B C D E	1	19E, 19.5B	24E,31A,31.5B	41A	46A, 47B	52A,E
	2	17E	27E,27.5A	39E, 39.5A	46A	52A, 53E
A E C B D	1	21B, 22A, 22.5E	30.5A,31.5E,D	41A,B,D	41A	47.5E, 48A
	2	15A	24.5A	32A, 33B		47E, 47.5A
A E D B C	1	19E, 21A, 21.5B,D	30.5A, 31B,D	30A, 40D	45.5A, 47B,E, 48D	52A, 52.5E, 54B,D
	2	19.5B	29.5A, 30B,D	38.5A, 41D	45.5A, 48D	52A, 53B
E A D B C	1	18.5A, 19B	25A	38A	47A, 48D, 48.5E,B	55.5D
	2	17A	25.5A	38A	46A, 48D	54A

ตารางที่ 8 : แสดง V_{Bd} ที่เกิดขึ้นกับตัวล่อแรกและถัดไป เมื่อเพิ่ม Vinput ที่วัดมี 15 cm จากจุดศูนย์กลาง plane ล่าง

Note : A = ตัวล่อทรงกลมปลายแหลม 4 แฉก

B = ตัวล่อทรงกลมปลายแหลม

C = ตัวล่อปลายทรงกลม

D = ตัวล่อปลายแผ่นกลม

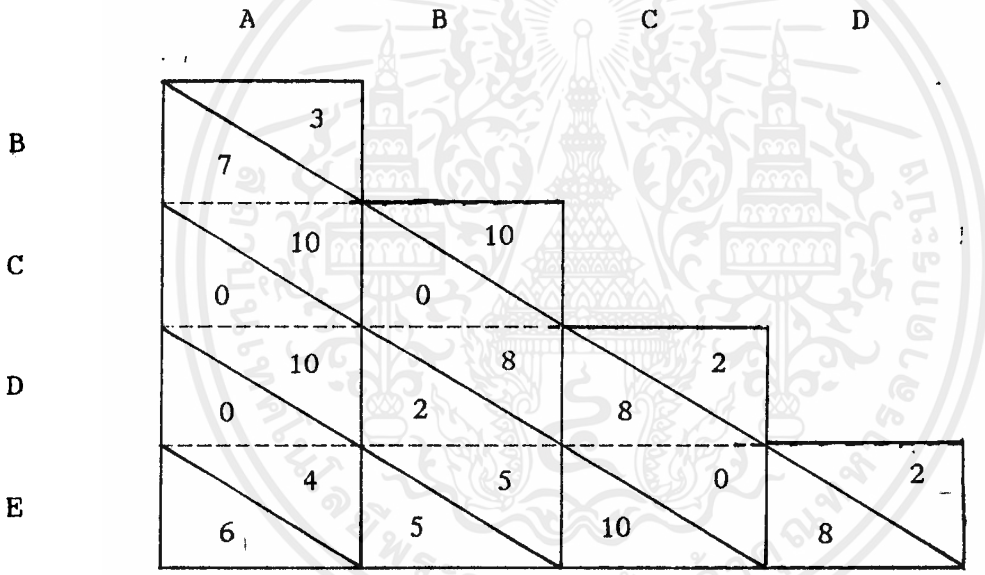
E = ตัวล่อปลายแหลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิธีการทดสอบ โดยใช้ Impulse Generater

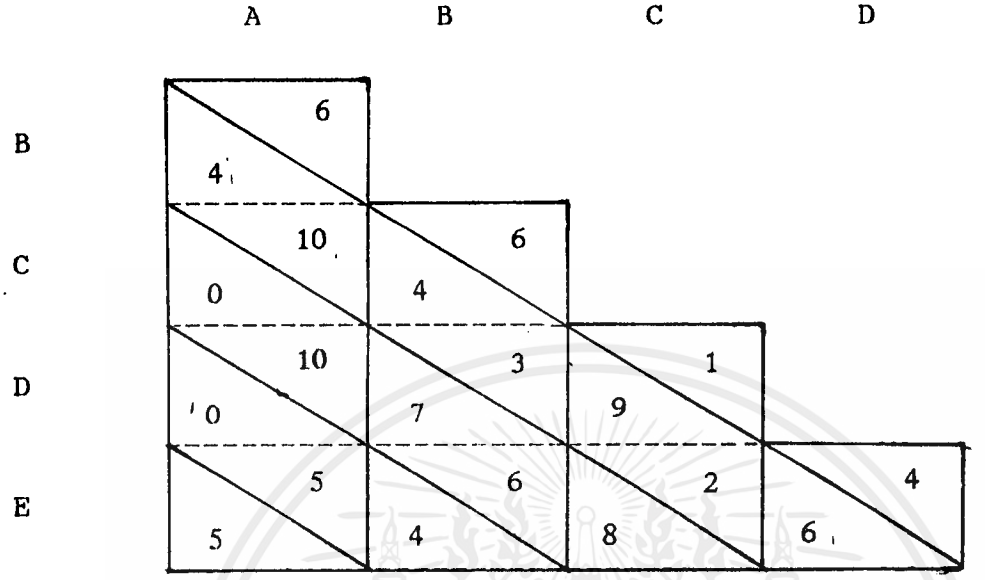
1. ใช้ Impulse Generater 1500 KV
2. ใช้ electrod ด้านบนเป็นชนิด plane
3. ทดสอบตัวล่อทั้ง 5 ชนิด
4. เลือกตัวล่อมาทดสอบครั้งละ 2 ชนิด
5. เปรียบเทียบจำนวนครั้งที่ตัวล่อแต่ละตัวรับได้ 10 ครั้ง

4.4 ผลการทดสอบ



แผนภาพแสดงจำนวนครั้งที่ตัวล่อล่อได้เทียบกันที่ 110 KV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนภาพแสดงจำนวนครั้งที่ตัวล่อล่อได้เทียบกันที่ 250 KV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

5.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบเราสรุปผลแยกออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ

5.1.1) ลักษณะแรก คือ การทดลอง ตัวนำเดี่ยวๆ และ

5.1.2) ลักษณะที่ 2 คือ การทดสอบตัวนำแบบผสม การวางในแนวรัศมี 5 แท่ง ซึ่งเราจะวิเคราะห์ผลจากการทดลองแบบเดี่ยวก่อน

5.1.1) 1. จากการทดลองแบบเดียว เรามีอิเลคโตรด 3 ชนิด คือ

- รูปทรงกลม (กราฟรูปที่ 1)
- แผ่นแบนกลม (กราฟรูปที่ 2)
- ปลายแหลม (กราฟรูปที่ 3)

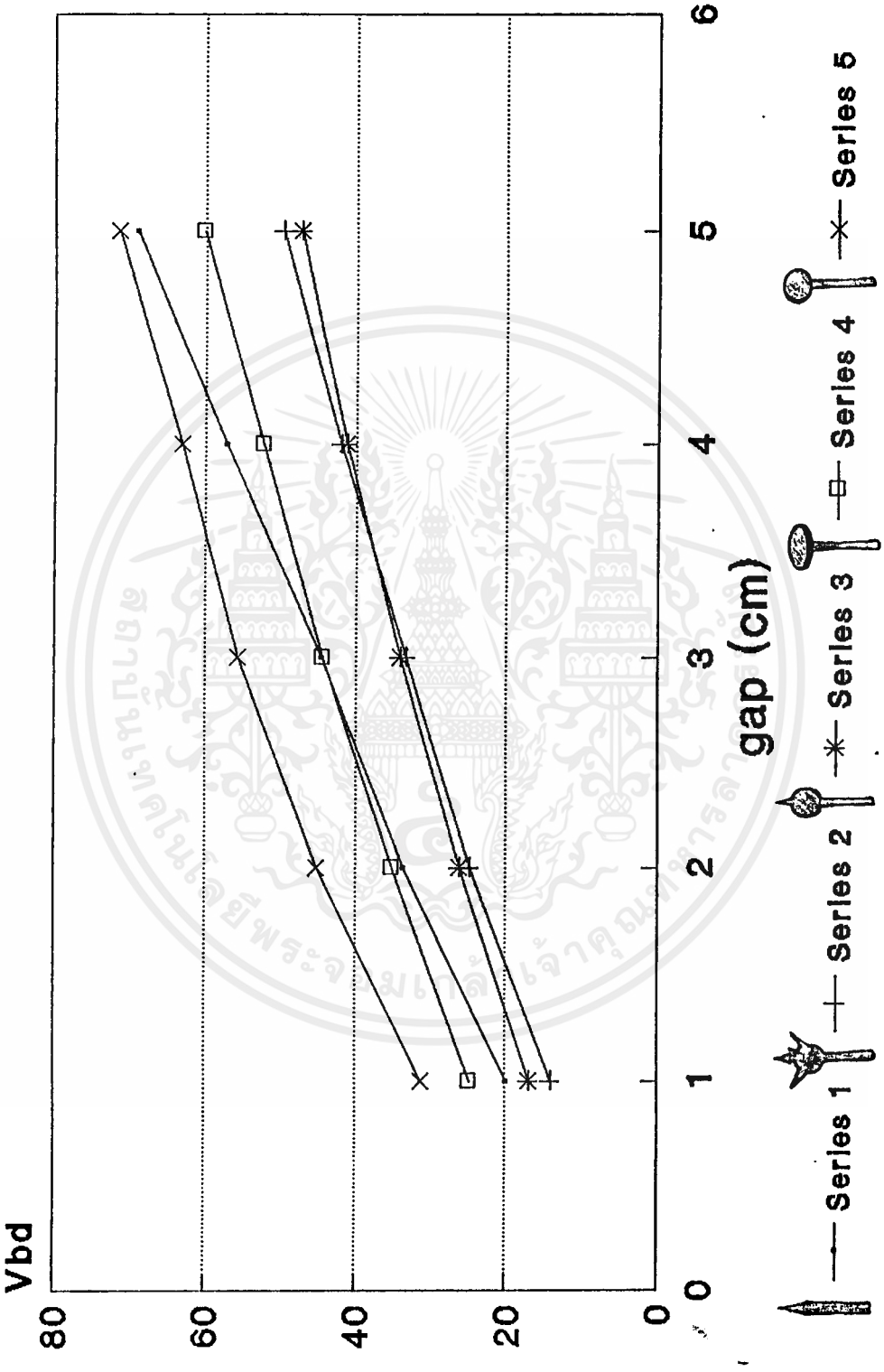
2. จากกราฟรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่ามีตัวนำอยู่ 2 ตัว ที่ให้แรงดันเบรกดาวน์ในระดับที่ต่ำกว่าตัวอื่นๆ 2 ตัวนั้นก็คือ ทรงกลมปลายแหลม 4 แฉก และทรงกลมปลายแหลม 1 แฉก ซึ่งเมื่อหาค่าเฉลี่ยของระยะแกนทั้ง 5 แล้ว จะพบว่ารูปทรงกลมปลายแหลม 4 แฉก จะให้ค่าเบรดดาวน์ที่ต่ำที่สุด

3. จากกราฟรูปที่ 2 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ารูปแท่งแหลม ให้แรงดันเบรกดาวน์ที่ต่ำกว่าตัวอื่นทั้งหมด

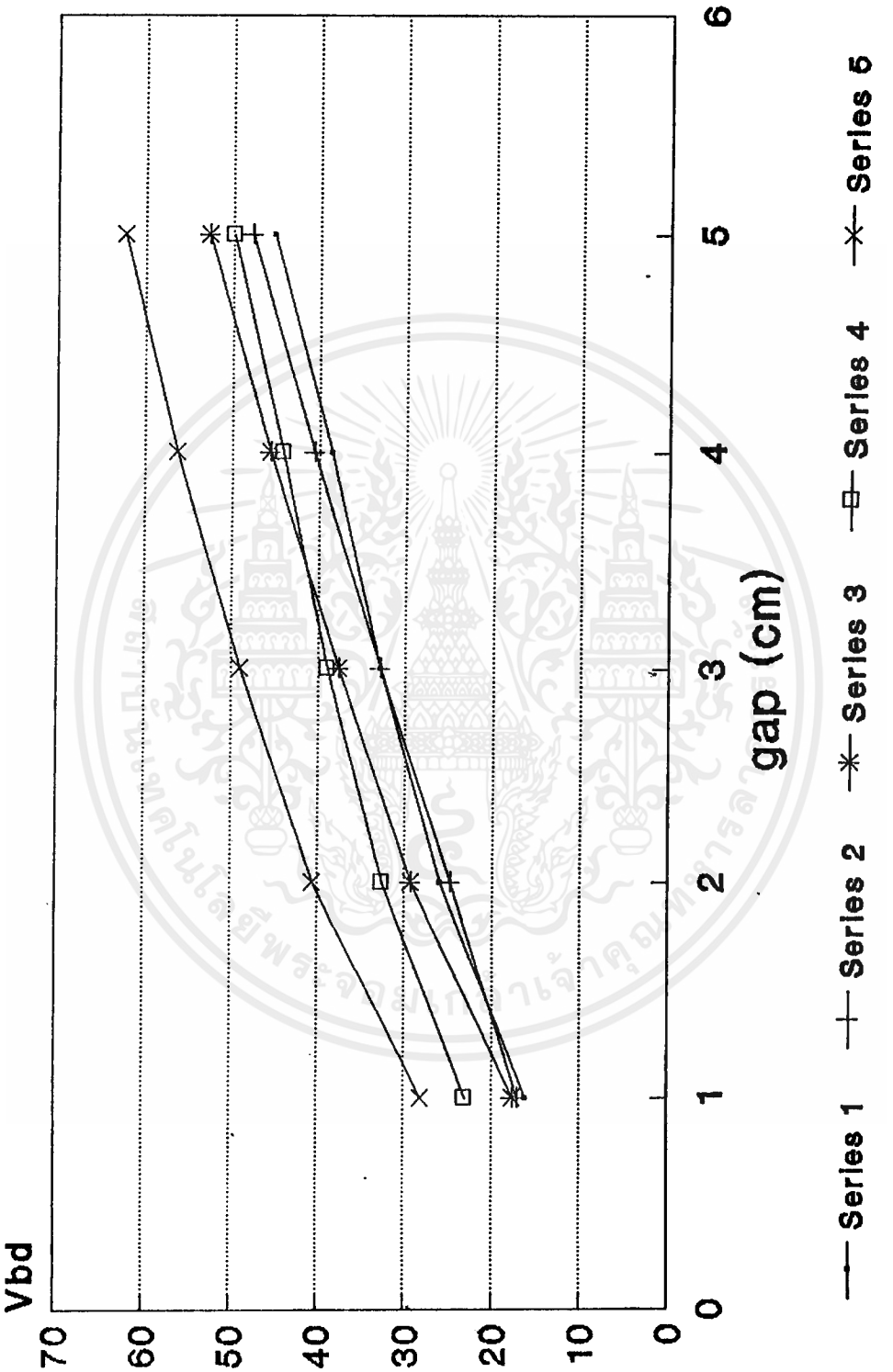
4. จากกราฟรูปที่ 3 ก็มีผลการทดลองเช่นเดียวกับกราฟรูปที่ 2 คือ รูปแท่งแหลมมีแรงดันเบรดดาวน์ที่ต่ำกว่าตัวอื่นๆ

5. จากการวิเคราะห์ดังที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่า แท่งปลายแหลมเป็นรูปทรงที่สามารถจะทำให้เกิดการเบรกดาวน์ผ่านอากาศลงมาด้วยแรงดันที่ต่ำที่สุดในกลุ่ม 5 ตัวนำนี้

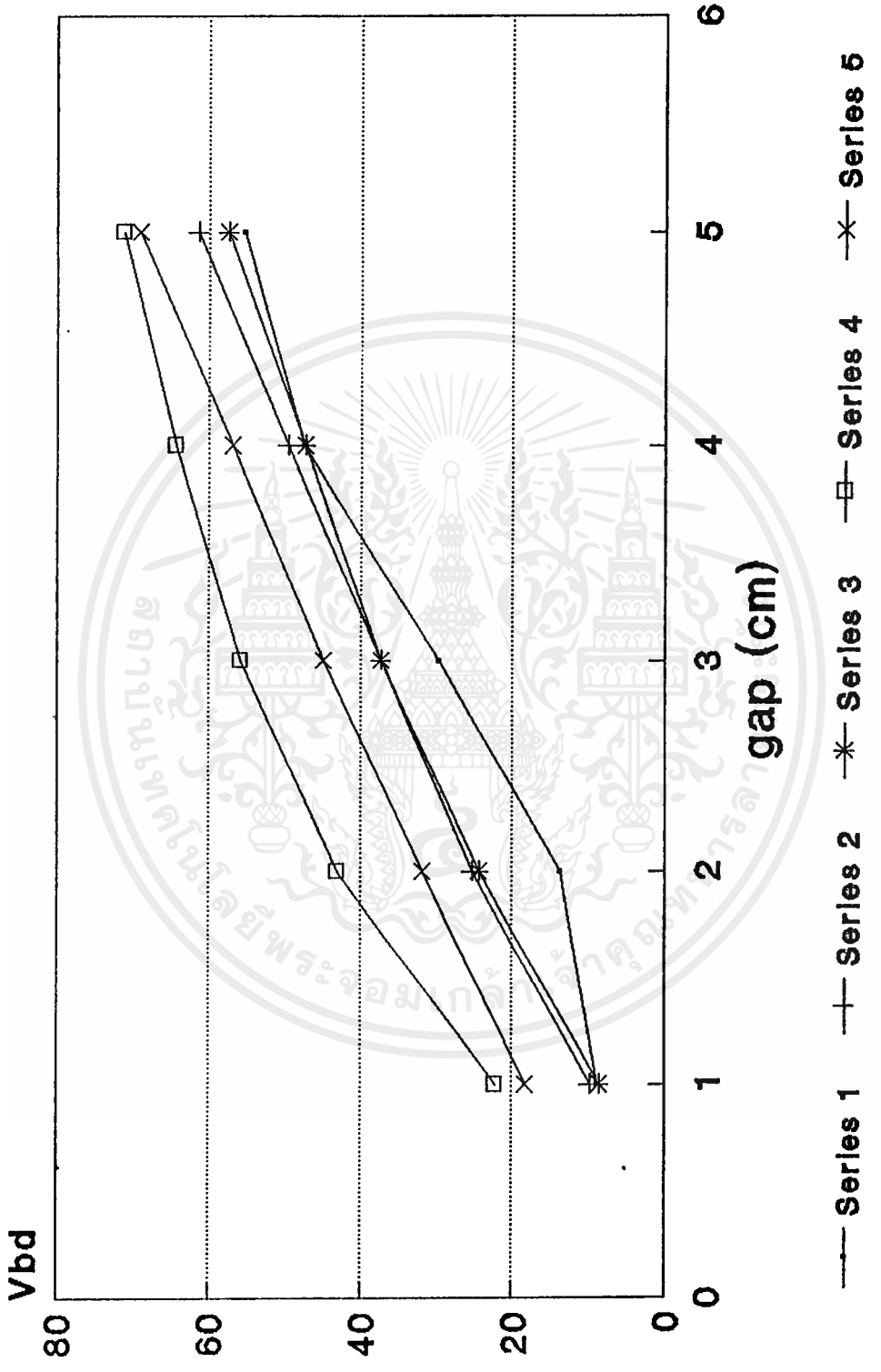
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2) 1. จากการทดลองแบบกลุ่มโดยตัวล่อแบบแท่งปลายแหลม 5 แบบ พบว่า การเบรกดาวน์เกิดขึ้นโดยสุ่ม ความน่าจะเป็นในการเกิดมีโอกาสเท่ากัน

2. ในการทดลองแบบกลุ่มโดยตัวล่อต่างกัน 5 แบบคือ

- ตัวล่อแบบปลายแหลม
- ตัวล่อทรงกลมมีปลายแหลม 4 แฉก
- ตัวล่อทรงกลมมีปลายแหม
- ตัวล่อปลายแผ่นกลม
- ตัวล่อปลายทรงกลม

พบว่าได้ผลดังตารางที่ 6 ; 7 และ 8

3. จากตารางจะเห็นได้ว่า ตัวล่อทรงกลมมีปลายแหลม 4 แฉก จะสามารถล่อสายฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ส่วนรองลงมา คือ ตัวล่อทรงกลมปลายแหลม และตัวล่อปลายแหลม ส่วนตัวล่อปลายแผ่นกลมจะสามารถล่อได้เป็นบางครั้งเท่านั้น และสำหรับตัวอย่างทรงกลมจะไม่สามารถล่อได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในวิทยานิพนธ์ชุดนี้ เราได้ทดสอบถึงผลของรูปทรงตัวล่อว่าจะมีผลเกี่ยวเนื่องกับความยากง่ายในการล่อฟ้าแตกต่างกันอย่างไร โดยที่เราได้จำลองการเกิดฟ้าผ่าโดยใช้ตัวล่อ ซึ่งได้ออกแบบขึ้นให้มีลักษณะเป็นพื้นโลกจำลองและเป็นเมฆจำลอง

เนื่องด้วยเราไม่สามารถจะรู้ได้แน่ชัดว่า ประจุบนก้อนเมฆนั้น เรียงตัวเป็นรูปอย่างไรแน่ เราจึงได้สร้างแบบจำลองไว้ 3 ชนิด ดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น ซึ่งผลการทดลองที่ทางผู้ทดสอบเห็นว่ามีความแน่นอนและเที่ยงตรงที่สุด คือ การใช้อีเลคโตรด รูปแผ่นระนาบ

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่ามีรูปทรงอยู่ 3 ชนิด ที่ให้ผลในการล่อประจุได้ดีกว่าตัวอื่น คือ ทรงกลมปลายแหลม 4 แฉก, ทรงกลมปลายแหลม 1 แฉก, แท่งปลายแหลม ซึ่งในการทดสอบแบบเดียวนั้นแบบแท่งปลายแหลมดูจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด แต่การทดลองแบบกลุ่มนั้นแท่งทรงกลมปลายแหลม 4 แฉก เป็นตัวที่เกิดการล่อประจุได้บ่อยครั้งที่สุด ซึ่งก็อาจจะอธิบายได้ว่า

- รูปทรงมีผลต่อการเกิดการเบรกดาวน์ได้ยากง่ายต่างกัน
- สนามไฟฟ้าข้างเคียงมีผลต่อการเบรกดาวน์ดังเช่นในการทดลองแบบกลุ่มซึ่งตัวข้างเคียงอาจมีผลต่อตัวใดตัวหนึ่งผิดกับการทดลองแบบเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 วิจารณ์การทดลอง

จากความเชื่อเก่าๆ ที่ว่า รูปทรงของตัวล่อฟ้าไม่มีผลในการล่อฟ้าผ่า แต่ความสูงจะมีมากกว่า เราได้มีการทดลองและมีผลทดสอบออกมาได้อย่างชัดเจนว่ารูปทรงมีผลต่อการล่อประจุได้อย่างแน่นอน

ซึ่งการทดลองนี้เป็นเพียงข้อมูลดิบ และการตั้งข้อสังเกตเบื้องต้น ไม่สามารถตั้งข้อสรุป สมมติฐาน หรือทฤษฎีใดๆ ก็ได้ จากผลการทดลองเพียงแค่นี้ ซึ่งผู้จัดทำก็หวังว่าผลจากการทดลองนี้จะเป็นประโยชน์เพื่อให้เกิดการวิจัยที่ละเอียดในขั้นสูงขึ้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ข้อบังคับในการติดตั้งระบบ LIGHTNING PROTECTION ตามมาตรฐาน BS

SECTION ONE : GENERAL

101. SCOPE ข้อบังคับนี้จะครอบคลุมถึงการปฏิบัติการติดตั้งที่ดี และการเลือกอุปกรณ์โดยพิจารณาถึงความจำเป็นในการป้องกันหรือลดความเสี่ยงของการถูกทำลายที่เกิดจากฟ้าผ่าให้น้อยที่สุด ข้อบังคับจะเป็นเรื่องเกี่ยวกับ, องค์ประกอบ, การต่อลงดิน, การทดสอบ

102. นิยามและอักษรย่อ

LIGHTNING PROTECTIVE SYSTEM : ระบบของตัวนำซึ่งใช้สำหรับป้องกันอาคารจากผลกระทบของฟ้าผ่า

AIR TERMINATION : ส่วนประกอบของระบบป้องกันฟ้าฟ่าที่ใช้สำหรับดึงดูดสายฟ้า (LIGHTNING DISCHARGE)

DOWN CONDUCTOR : ตัวนำซึ่งเชื่อมระหว่าง AIR TERMINATION และ EARTH TERMINATION

BOND : ตัวนำที่ใช้สำหรับเชื่อมระบบไฟฟ้าระหว่าง PROTECTIVE SYSTEM และชิ้นส่วนโลหะอื่น

JOINT : จุดเชื่อมทางไฟฟ้าหรือทางกลของชิ้นส่วนต่างๆ ของระบบป้องกัน

TESTING JOINT : จุดต่อซึ่งถูกออกแบบและติดตั้งเพื่อการต่อความต้านทานหรือเครื่องมือวัดได้อย่างต่อเนื่อง

EARTH TERMINATION : ส่วนของระบบป้องกันเพื่อใช้สำหรับคายประจุจากกระแสฟ้าผ่าลงสู่ดิน

EARTH LELCTRODE : ส่วนของ EARTH TERMINATION ที่สัมผัสดินโดยตรง

H.C. = HORIZONTAL CONDUCTOR

V.C. = VERTICAL CONDUCTOR

Z.P. = ZONE OF PROTECTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

103. EXCHANGE OF INFORMATION

ในการเตรียมแผนงานผู้ออกแบบโครงสร้างจะต้องร่วมมือกับวิศวกรผู้ควบคุมระบบป้องกันฟ้าผ่า เพื่อให้การจัดหาอุปกรณ์สอดคล้องตามข้อบังคับ และในขั้นแรกจะต้องมีข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับดินฟ้าอากาศ และลักษณะของดินในบริเวณนั้นด้วย

104. NEED FOR PROTECTION

อาคารที่ต้องการการป้องกันฟ้าผ่ามากที่สุด คือ อาคารที่มีลักษณะเสี่ยงต่อการระเบิด, โรงงานผลิตระเบิด, ที่เก็บดินระเบิด, ถังน้ำมัน, ข้อบังคับในการป้องกันอาคารเหล่านี้ดูได้จากข้อ 212

สำหรับโครงสร้างอื่นๆ นั้น การพิจารณาจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

- อยู่ใกล้แหล่งชุมชน
- เป็นสาธารณูปโภคที่จำเป็น
- มีโอกาสที่จะเกิดฟ้าผ่าได้มาก
- อาคารที่อยู่โดดเดี่ยวและสูงมาก
- โบราณสถานที่สำคัญ

105. ZONE OF PROTECTION

สำหรับ SINGLE VERTICAL CONDUCTOR โซนของการป้องกันจะเป็นรูปกรวยที่มียอดแหลมอยู่ที่จุดสูงสุดของแท่ง CONDUCTOR และจะมีมุมที่ทำกับแกน (PROTECTIVE ANGLE) คือ มุมการป้องกัน

จากประสบการณ์แสดงให้เห็นว่าตัวนำจะไม่สามารถให้ความเชื่อมั่นได้ในการป้องกันเพียงโซนเดียว แม้ว่ามุมจะครอบคลุมอย่างสมบูรณ์ก็ตาม ดังนั้น การสมมติให้ PROTECTIVE ANGLE ลดลงก็จะให้ผลในการป้องกันได้ดีกว่า

PROTECTIVE ANGLE ของชิ้นส่วนใดๆ บน AIR TERMINATION เพียงชิ้นเดียว ไม่ว่าจะเป็น VERTICAL หรือ HORIZONTAL CONDUCTOR ก็ตามจะพิจารณาให้มีค่า 45° (ดูรูป 1, 2) และระยะระหว่าง VERTICAL CONDUCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเว้นช่วงได้ไม่เกิน 2 เท่าของส่วนสูง ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ของ PROTECTION ANGLE อาจพิจารณาเป็น 60° กับแนวดิ่งได้ (ดูรูป 3)

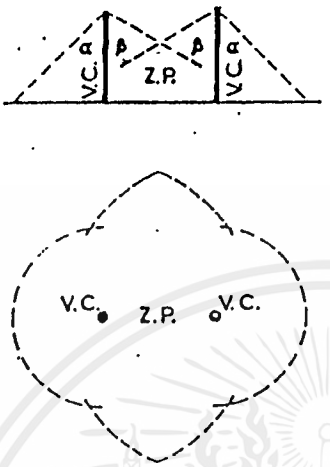


Fig. 3. Adjacent vertical conductors showing increased zone of protection between conductors

106. วัสดุ

วัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนของระบบป้องกันจะต้องเลือกตามตารางที่ 1

TABLE 1. MATERIAL FOR COMPONENT PARTS

Material	Specification or schedule*	Grade or type
Castings		
Leaded gunmetal	B.S. 1400	LG1-C or LG2-C
Aluminium alloy	B.S. 1490	LM6-M or LM8-M
Bars and rods		
Copper, hard-drawn or annealed	B.S. 2874	C101 or C102-PA2
Phosphor bronze	B.S. 2874	PB102
Naval brass	B.S. 2874	CZ112
Copper-silicon	B.S. 2874	CS101
Aluminium	B.S. 2898	E1E
Aluminium alloy	B.S. 2898	E91E
Strip		
Copper annealed	B.S. 2870	C101 or C102
Aluminium	B.S. 2898	E1E
Stranded conductors		
Copper, hard-drawn	B.S. 125	
Aluminium	B.S. 215	
Fixing bolts and screws for copper		
Phosphor bronze	B.S. 2874	PB102
Naval brass	B.S. 2874	CZ112
Copper-silicon	B.S. 2874	CS101
Fixing bolts and screws for aluminium and aluminium alloys		
Aluminium alloy	B.S. 1473	HB 30
Stainless steel	B.S. 970	En 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

107. DIMENSION

ส่วนประกอบของระบบป้องกันจะต้องมีขนาดไม่น้อยกว่าที่กำหนดในตาราง ที่ 2 และสำหรับการติดตั้งที่ทำการตรวจสอบหรือซ่อมแซมได้ยากจะต้องพิจารณาใช้ขนาดใหญ่กว่าขนาดเล็กที่สุดที่กำหนดในตารางไว้ก่อน

TABLE 2. MINIMUM DIMENSIONS OF COMPONENT PARTS

Component	Minimum Dimensions	
	in	mm
Air terminations (see Note 1)		
Aluminium and copper strip	¾ × ⅛	20 × 3
Aluminium, aluminium alloy copper and phosphor bronze rods	⅜ dia	10 dia
Stranded aluminium conductors	7/·102	
Stranded copper conductors	19/·064	19/1·80
Down conductors (see Note 2)		
Aluminium and copper strip	¾ × ⅛	20 × 3
Aluminium, aluminium alloy and copper rods	⅜ dia	10 dia
Earth terminations (see Note 3)		
Hard-drawn copper rods for direct driving into soft ground	½ dia	12 dia
Hard-drawn or annealed copper rods for indirect driving or laying in ground	⅜ dia	10 dia
Phosphor bronze rods for hard ground	½ dia	12 dia
Copper-clad steel for harder ground (not rock)	⅜ dia	10 dia
Fixed connections (bonds) in aluminium, aluminium alloy and copper		
External-strip	¾ × ⅛	20 × 3
rods	⅜ dia	10 dia
Internal-strip	¾ × 1/16	20 × 1·5
rods	¼ dia	6·5 dia
Stranded flexible connections (bonds)		
External, aluminium	428/·018	
External, annealed copper	416/·018	
Internal, aluminium	221/·018	
Internal annealed copper	248/·018	

SECTION 2: DESIGN

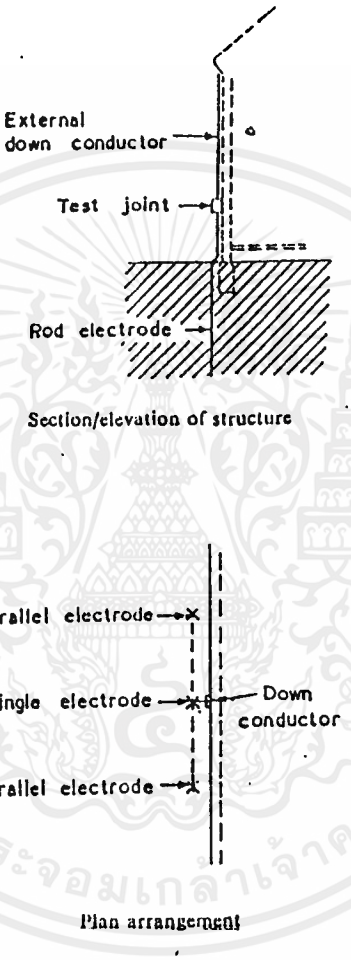
201. GENERAL CONSIDERATIONS

ก่อนที่จะทำการก่อสร้างจะต้องมีการตรวจตราแบบอย่างละเอียดตามข้อบังคับโดยเฉพาะ

- โลหะที่เป็นส่วนของหลังคา, กำแพง, โครงร่าง, แกนเหล็กในคอนกรีต ทั้งเหนือพื้นและใต้พื้น เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการเลือกจุดติดตั้งระบบป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B) ถ้าใช้แบบแท่งจะต้องวางไว้ใต้ดิน หรือวางให้ใกล้กับอาคารมากที่สุด (ดูรูป 5 A) และถ้าเป็นแบบแท่งซึ่งมีส่วนของสกูร การเชื่อมระหว่าง DOWN CONDUCTOR และ EARTH ELECTRODE ควรจะอยู่เหนือพื้น แต่ถ้าอยู่ใต้พื้นจะต้องอยู่ในกล่องสำหรับตรวจสอบ



C) ถ้าใช้แบบแผ่นจะต้องถูกฝังไว้ใต้พื้นหรือในหลุมที่ระดับความลึกที่เหมาะสมที่จะหลีกเลี่ยงความเสียหายอันเกิดจากการก่อสร้างหรือการเกษตรกรรม แผ่น ELECTRODE ควรวางแยกเป็น 2 ทิศทาง (หรือมากกว่า) จากจุดที่เชื่อมกับ DOWN CONDUCTOR แต่ถ้าไม่สามารถทำได้อาจวางแผ่น ELECTRODE ในทิศทางเดียวก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จะต้องมีหลายตำแหน่งในการติดตั้ง DOWN CONDUCTOR ที่ต้องมีค่าความต้านทานระหว่าง AIR TERMINATION และ EARTH TERMINATION ต่ำ

- ต้องทดสอบความต้านทานของดิน และการทดสอบ EARTH ROD ELECTRODE เพื่อการออกแบบ EARTH TERMINATION ที่เหมาะสม

- สาธารณูปโภคที่เข้าสู่อาคารทั้งเหนือดินและใต้ดิน

- บริเวณที่ติดตั้งวิทยุ, โทรทัศน์

- เสาธง, ห้องใต้หลังคา, ห้องมอเตอร์ลิฟท์, แท้งค์น้ำ หรือสิ่งที่ยื่นออกไปจากอาคาร

- โครงสร้างของหลังคา ในการพิจารณาติดตั้งตัวนำที่ปลอดภัยและซ่อมแซมบำรุงรักษาได้ง่าย

- การเตรียมช่องสำหรับยึดกับโครงเหล็กในคอนกรีต

- การเตรียมช่องโดยการเจาะผ่านอาคารเพื่อให้ทางเดินของตัวนำเป็นไปได้อย่างอิสระ

- ช่องสำหรับจุดทดสอบ

- การเตรียมการเขียนแบบโดยรวบรวมรายละเอียดที่กล่าวมาทั้งหมดและแสดงถึงตำแหน่งขององค์ประกอบที่สำคัญ

202. COMPONENT PART

องค์ประกอบที่สำคัญของระบบป้องกันฟ้าผ่า คือ

AIR TERMINATIONS, DOWN CONDUCTORS, JOINTS AND BONS, TESTING JOINTS, EARTH TERMINATIONS, EARTJH ELECTRODES

203. AIR TERMINATIONS

อาจจะติดตั้งตามแนวดิ่ง (VERTICAL) สำหรับการป้องกันแบบยอดแหลม และติดตั้งตามแนวนอน (HORIZONTAL) เช่น ตามแนวสันหลังคา สำหรับส่วนของอาคารที่ยื่นออกไปจะต้องจัดในรูปของ NETWORK แต่สำหรับหลังคาที่ราบเรียบจะใช้ TERMINATION อันเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับหลังคาที่มีแนวยาวจะใช้การติดตั้งแบบ HORIZONTAL CONDUCTOR ต่อเป็น NETWORK แบบขนาน รัศมีของการป้องกันของแต่ละ CONDUCTOR คือ 30 FT. (9 m.) ดังนั้นจะไม่มีส่วนของหลังคาที่ห่างจาก CONDUCTOR เกิน 30 FT. แต่ถ้าอยู่ ต่ำกว่าระดับ CONDUCTOR ก็อนุญาตให้เกินได้ 1 FT.

ชิ้นส่วนโลหะใดๆ ที่อยู่เหนือระดับหลังคาจะต้องต่อ (BOND) เข้ากับ AIRTERMINATION NETWORK

ถ้ามีการป้องกันที่หลายระดับต้องใช้ DOWN CONDUCTOR ของตัว TERMINATION ที่ระดับต่ำเชื่อมไปยัง DOWN CONDUCTOR ของ TERMINATION ที่อยู่ระดับสูงกว่า

204. DOWN CONDUCTOR

A) จำนวนของ DOWN CONDUCTOR สามารถพิจารณาได้จาก

1. ถ้าอาคารมีพื้นฐานไม่เกิน 1000 ตารางฟุต (100 ตร.ม.) ใช้ DOWN CONDUTOR 1 ตัว
2. ถ้าอาคารมีพื้นที่ฐานเกินจาก 1000 ตารางฟุต ให้พิจารณาดังนี้
   - ใช้ 1 DOWN CONDUCTOR และเพิ่มอีก 1 ทุกๆ 3000 ตารางฟุต
   - ใช้ 1 DOWN CONDUCTOR สำหรับรัศมีทุกๆ 100 ฟุต
3. ถ้าอาคารสูงเกิน 100 ฟุต ให้ดูตาม 210

B) ตำแหน่งการวาง DOWN CONDUCTOR จะต้องกระจายอยู่รอบๆ ผนังภายนอกของอาคารแต่จะต้องไม่อยู่ในแนวลิฟท์

C) ในกรณีที่การวางแนว DOWN CONDUCTOR ทำไม่ได้หรือไม่เหมาะสม เช่น อาคารที่ยกสูงขึ้นจากชั้นล่าง โดยมีเสารับน้ำหนักอย่างเดียว อาจติดตั้ง DOWN CONDUCTOR ในอากาศโดยใช้ NON METALLIC NON COMBUSTIBLE ร้อยท่อ

ชิ้นส่วนโลหะที่มีทิศดิ่งลงตามแนวตึกจะต้องถูกเชื่อมเข้ากับ DOWN CONDUCTOR ทั้งที่ยอดและที่ฐาน ยกเว้นเมื่อมีระยะห่างพอเพียงซึ่งดูได้จาก 209

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D) ในการวาง DOWN CONDUCTOR ควรวางเป็นแนวตรงจาก AIR TERMINATION ถึง EARTH TERMINATION

E) ถ้าอาคารก่อสร้างอยู่บนพื้นที่ที่เป็นหิน จะต้องพิจารณาให้มีอย่างน้อย 2 DOWN CONDUCTOR โดยแบ่งพื้นที่เท่าๆ กัน

205. JOINTS AND BONS

A) โลหะที่อยู่ภายนอกอาคารอาจจะได้รับการ DISCHARGE จากกระแสฟ้าผ่าอย่างเต็มที่ ดังนั้นในการเชื่อม (BOND) ของมันจะต้องมีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่าของตัวนำกระแสในส่วนนั้น

B) ในระบบป้องกันฟ้าผ่าควรจะพยายามให้มีจุดเชื่อมต่อน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะการเชื่อมต่อจะมีผลทางไฟฟ้า เช่น สกูร, BOLTED, หรือการเชื่อมด้วยไฟฟ้า ถ้าจุดที่จะเชื่อมมีการเหลื่อมล้ำกัน ความยาวของการเหลื่อมล้ำจะต้องไม่น้อยกว่า 3/4 นิ้ว ไม่ว่าตัวนำชนิดใด

การเชื่อมของโลหะต่างชนิดกันจะต้องป้องกันความชื้นโดยวิธี INERT TENACIOUS MATERIAL

C) ความความต้านทานระหว่างส่วนใดๆ ของระบบป้องกันกับดินจะต้องไม่เกินค่าใน 207

206. TESTING JOINTS

DOWN CONDUCTOR แต่ละตัวจะต้องมี TESTING JOINT ซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่สามารถติดตั้งเครื่องมือวัดได้สะดวกและต่อเนื่อง

207. EARTH TERMINATIONS

A) EARTH TERMINATION จะถูกเชื่อมติดกับ DOWN CONDUCTOR แต่ละตัวและจะต้องมีความต้านทานระหว่าง TERMINAL และ EARTH ไม่เกินผลคูณของ (จำนวน TERMINAL x 10) และระบบป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดจะต้องมีความต้านทานไม่เกิน 10 โอหม์ ขณะที่ยังไม่มีการเชื่อมกับโลหะใดๆ ภายนอก

B) ถ้าความต้านทานรวมของระบบป้องกันเกิน 10 โอห์ม การลดค่าความต้านทานจะทำได้โดยการต่อเชื่อมภายในระหว่าง EARTH TERMINATION และ CONDUCTOR ที่ติดตั้งอยู่ใต้ดิน หรือการใช้วิธี SALTING ก็จะลดค่าความต้านทานได้ชั่วคราว

C) การลดความต้านทานถึงดินให้ต่ำกว่า 10 โอหม์ มีข้อได้เปรียบในการลด POTENTIAL GRADIENT รอบๆ EARTH ELECTRODE ขณะที่มีการคายประจุลงสู่ดิน นอกจากนั้นยังลดผลของ SIDE FLASHING ไปยังโลหะในโครงสร้างด้วย

D) ถ้ามี EARTH ELECTRODE หลายตัวควรเชื่อมเข้าด้วยกันทั้งหมด

E) EARTH TERMINATIONS จะต้องสามารถแยก TEST แต่ละตัวได้

F) อาคารที่ตั้งอยู่บนพื้นที่ที่เป็นหิน จะต้องเตรียม CONDUCTOR ที่มีรูปโค้งกลมและเชื่อมติดกับระดับพื้นของอาคารและสัมผัสกับพื้นตามรูปร่างของพื้น และควรปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญ

208. EARTH ELECTRODES

A) EARTH ELECTRODES จะเป็นแผ่นหรือแท่งโลหะหรืออาจรวมทั้ง 2 ชนิดก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D) ถ้าในบริเวณรอบๆ โครงสร้างมีอุณหภูมิสูง ซึ่งมีผลกระทบต่อผิวดินแล้ว ควรติดตั้ง EARTH ELECTRODE ให้ห่างออกไปในที่ๆ ดินจะไม่แห้งจากอุณหภูมิสูงนี้

209. METAL IN, ON STRUCTURE

A) ขณะที่ฟ้าผ่าลงระบบป้องกัน ศักดาไฟฟ้าเมื่อเทียบกับพื้นดินจะเพิ่มสูงขึ้น (ยกเว้นเมื่อมีการเตรียมป้องกันไว้แล้ว) มันจะพยายามคายประจุลงดินโดยอาจเกิด SIDE FLASHING ไปยังชิ้นส่วนโลหะอื่นๆ ในอาคารมีวิธีป้องกันอยู่ 2 วิธีคือ

- ISOLATION คือ การติดตั้งระบบป้องกันให้ห่างจากโลหะอื่นๆ ในระยะที่ปลอดภัย ในการพิจารณาระยะที่ปลอดภัยจะมีการพิจารณาปัจจัย 2 อย่างคือ ศักดาตกคร่อมที่ EARTH TERMINATION และศักดาตกคร่อม DONW CONDUCTOR

  ระยะปลอดภัยที่ต้องการพิจารณาจากศักดาตกคร่อมความต้านทานโดยระยะที่ปลอดภัย 1 ฟุต ต่อความต้านทาน 1 โอห์ม ส่วนการพิจารณา DOWN CONDUCTOR นั้น กำหนดระยะปลอดภัย 1 ฟุตต่อ 15 ฟุต ของส่วนสูงของอาคาร

  ระยะปลอดภัยจะสามารถลดลงได้ถ้ามีการเชื่อมระหว่างคอนดัคเตอร์โดย คิดจากสูตร

$$D = \frac{R + H}{15} \text{ (ฟุต)} \quad \text{หรือ} \quad D = \frac{0.3R + H}{15} \text{ (เมตร)}$$

  D = ระยะปลอดภัย (ฟุต, เมตร)

  R = ความต้านทานหลังการเชื่อมระบบ EARTH TERMINATION เข้าด้วยกัน ( )

  H = ส่วนสูงของอาคาร (ฟุต, เมตร)

  = จำนวน DOWN CONDUCTOR ที่เชื่อมกับ AIR TERMINATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิธี BONDING

1. ถ้าอาคารมีส่วนของโลหะประกอบอยู่อย่างต่อเนื่อง เช่น หลังคา, กำแพง, ผนัง และพื้นโลหะเหล่านี้ควรจะมีการเชื่อมถึงกันเพื่อใช้เป็นส่วนของระบบป้องกันด้วยตามข้อ 203-208 ในกรณีที่โครงสร้างเป็นกรอบโลหะที่ไม่มีอะไรครอบคลุมแล้วไม่จำเป็นต้องติดตั้ง AIR TERMINATION หรือ DOWN CONDUCTOR เลย แต่ต้องแน่ใจว่ามีการเชื่อมต่อกันอย่างต่อเนื่อง และฐานจะต้องสัมผัสพื้นเพียงพอ (EARTHED) อาคารที่มีการเสริมเหล็กอาจมีความต้านทานต่ำเพียงพอที่จะเตรียมการป้องกันฟ้าผ่า โดยจะติดตั้ง AIR TERMINATION ที่ส่วนยอดของอาคารและเชื่อมเข้ากับโครงเหล็ก แต่ความต้านทานไม่ได้ดังที่ต้องการ จะต้องใช้ DOWN CONDUCTOR และ EARTH TERMINATION เข้ามาติดตั้งด้วย
2. ถ้าโครงสร้างของหลังคามีส่วนของโลหะอยู่ จะต้องเชื่อมตัวนำลงสู่พื้นอย่างต่อเนื่อง
3. ถ้าโลหะมีลักษณะยาวและขนานไปกับระบบป้องกัน เช่น บันได, ท่อน้ำ, รางน้ำฝน จะต้องเชื่อมเข้าสู่ระบบป้องกันทั้ง 2 ปลาย แต่ต้องอยู่เหนือ TESTING JOINT
4. โลหะที่เข้าหรือออกจากอาคารในลักษณะของเครื่องหุ้มห่อ หรือท่อสำหรับไฟฟ้า, แกส, น้ำ, โทรศัพท์, ไอน้ำ, ความดันอากาศ ถ้าเป็นไปได้แล้วจะต้องเชื่อมโดยตรงเข้ากับ EARTH TERMINATION ที่จุดเข้าหรือออกจากอาคาร
5. มวลโลหะในอาคาร เช่น ระฆังหอคอยโบสถ์ จะต้องเชื่อมเข้ากับ DOWN CONDUCTOR ที่ใกล้ที่สุดโดยทางเดินที่ตรงที่สุดเท่าที่จะทำได้
6. โลหะที่ห่อหุ้ม หรือม่านโลหะที่กำแพงที่มีการนำไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างต่อเนื่องในทุกทิศทาง อาจใช้เป็นส่วนของระบบป้องกันได้

210. อาคารที่สูงเกิน 100 ฟุต

A) NON-CONDUCTING STRUCTURES

อาคารที่ไม่มีส่วนนำไฟฟ้า ที่มีความสูงเรียงขึ้นไป เช่น ไบสถ์ การ DOWN CONDUCTOR เพียงตัวเดียวก็เพียงพอแล้ว เพราะ AIR TERMINATION ตัวเดียวก็ให้มุมการป้องกันครอบคลุมที่พอเพียงแล้ว แต่ถ้าความกว้างของยอดเกิน 5 ฟุต (1.5 เมตร) จะต้องใช้อย่างน้อย 2 DOWN CONDUCTOR เชื่อมกับปลอกโลหะ หรือตัวนำรอบๆ ยอดนั้น

B) CONDUCTING STRUCTURES

ในอาคารที่มีส่วนที่นำไฟฟ้าได้ ให้ใช้ตามข้อบังคับ 209 (B1) แต่ถ้าเส้นรอบอาคารไม่เกิน 50 ฟุต (15 เมตร) สามารถติดตั้ง DOWN CONDUCTOR อย่างน้อย 2 ตัว ในกรณีที่จำเป็นต้องติดตั้ง DOWN CONDUCTOR

C) ALLL TYPE OF TALL STRUCTURE

สำหรับโครงสร้างทุกชนิดที่ถูกขึงไว้ด้วยลวดสลิง จะพิจารณาเหมือนข้อ A และ B แต่ปลายด้านบนของลวดจะต้องเชื่อมเข้ากับระบบป้องกันและปลายล่างลงสู่ดิน

211. อาคารที่มีหลังคาที่สามารถติดไปได้ง่าย

A) อาคารที่มีการปูหลังคาด้วยฟางข้าว, อ้อ หรือหญ้า หรือวัตถุที่ลุกไหม้ได้ง่ายอื่นๆ จะต้องติดตั้ง AIR TERMINATION บนแผ่นไม้เนื้อแข็งหนาอย่างน้อย 3 นิ้ว หรืออาจเลือกใช้โปรแกรม AIR TERMINATION ไว้อย่างน้อย 1 ฟุต เหนือหลังคา

B) ตัวนำหรือการเชื่อที่ต้องทะลุผ่านหลังคาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จะให้ผ่านทางชายคาที่ไม่นำไฟฟ้าและไม่ลุกไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21.2 อาคารที่เก็บวัสดุระเบิดหรือเชื้อเพลิง

A) ข้อบังคับนี้จะใช้สำหรับอาคารที่บรรจุวัตถุระเบิดหรือเชื้อเพลิงไม่ว่าของแข็ง, ของเหลว, ก๊าซ, ไอ หรือผงสาร

B) อาคารในลักษณะนี้จะต้องป้องกันโดยวิธีเหล่านี้

1. การแขวน AIR TERMINATION NETWORK ไว้ที่ความสูงที่พอเพียงเหนือ พ.ท. ที่ต้องการป้องกัน ถ้าใช้

- HORIZONTAL CONDUCTOR ตัวเดียวจะพิจารณามุมการป้องกันคือ 30° แต่ถ้าใช้หลายๆ ตัวขนานกัน มุมภายในจะพิจารณาเป็น 45° แต่มุมภายนอกเป็น 30° ตามปกติ (ซึ่งเราสามารถพิจารณามุมให้มีค่า 60°, 45° ได้ในกรณีที่ผลของฟ้าผ่าที่มีต่อตัวอาคารมีความเสี่ยงอยู่ในขั้นที่ยอมรับได้) ระดับติดตั้งของ HORIZONTAL CONDUCTOR จะต้องไม่ทำให้เกิดการเสี่ยงต่อการเกิด FLASH OVER จากระบบป้องกันและตัวอาคาร

ส่วนที่ใช้ในการยึด NETWORK จะต้องต่อลงดินให้เรียบร้อย

2. ถ้าค่าใช้จ่ายในกรณีแรกสูงเกินไป และอาคารไม่มีความเสี่ยงจากการเกิดฟ้าผ่าแล้ว อาจพิจารณาใช้ขนาด MESH ของ NETWORK OF HORIZONTAL CONDUCTOR ขนาด 10-25 ฟุต ในการติดตั้งบนหลังคาก็ได้

3. อาคารเดี่ยวหรือกลุ่มของอาคารที่มีลักษณะเตี้ย ควรพิจารณาใช้ VERTICAL CONDUCTOR ในการป้องกันถ้าใช้ 1 CONDUCTOR จะพิจารณามุมการป้องกันเป็น 30° แต่ถ้าหลาย CONDUCTOR มุมระหว่าง CONDUCTOR คิดเป็น 45° และมุมภายนอกคิดเป็น 30° (ซึ่งเราสามารถพิจารณามุมให้มีค่า 60°, 45° ได้ในกรณีที่ผลของฟ้าผ่าที่มีต่อตัวอาคารมีความเสี่ยงอยู่ในขั้นที่ยอมรับได้) ดูรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อาคารที่อยู่ใต้ดินและไม่มีการเชื่อมกับการป้องกันเหนือพื้นอื่นๆ จะสามารถป้องกันได้โดยใช้ AIR TERMINATION NETWORK เหมือนกับข้อ 1 เพราะความเป็นจริงแล้วดินจะมีค่า IMPULSE BREAKDOWN STRENGTH ซึ่งจะต้องรวมไว้ในการพิจารณาด้านความเสี่ยงของการเกิด FLASH OVER จากระบบป้องกันไปยังตัวอาคารด้วย ถ้าความลึกของอาคารเป็นไปอย่างเหมาะสม แล้วอาจแทน AIR TERMINATION ด้วย NETWORK OF EARTHING STRIPS ที่จัดไว้บริเวณผิวนอกโดยให้สอดคล้องกับคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาย (ถ้าใช้วิธีนี้ในการป้องกันแล้วอาจไม่ต้องคำนึงถึงข้อ E-J ก็ได้)

C) อาคารเดี่ยวแต่ละหลังที่ใช้วิธีป้องกันตามข้อ B(2) จะต้องติดตั้ง DOWN CONDUCTOR 2 ตัว ตามข้อบังคับ 204

D) EARTH TERMINATION ของระบบป้องกันแต่ละระบบควรจะมีการเชื่อมถึงกันได้โดยใช้วงแหวน (RIGH CONDUCTOR) ซึ่ง RIGH CONDUCTOR ควรฝังไว้ให้ลึกอย่างน้อย 18 นิ้ว (50 ซม.) ค่าความต้านทานของ EARTH TERMINATION NETWORK ควรจะมีค่าคงที่เสมอโดยไม่เกิน 10 โอห์ม ถ้าเกิน 10 โอห์ม ก็ต้องใช้วิธีตามข้อ 207 หรืออาจเชื่อม RING CONDUCTOR เข้ากับระบบข้างเคียงจนกว่าค่าความต้านทานจะสามารถยอมรับได้

E) ชิ้นส่วนของโลหะที่สำคัญทั้งหมดของอาคารรวมไปจนถึงโลหะที่เป็นโครงสร้างเสริมคอนกรีตและโลหะตัวนำ ควรเชื่อมเข้ากับระบบป้องกันด้วย การเชื่อมดังกล่าวจะต้องทำอย่างน้อย 2 แห่ง หรือทำให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

F) MAJOR METALWORK ภายในอาคารจะต้องเชื่อมเข้ากับระบบป้องกัน

G) สายไฟฟ้าเข้าอาคารกรณีเป็น METAL CASED จะต้องมีการต่อลงดินที่จุดเข้าสู่อาคารที่ภายนอกของอาคารทางด้านแหล่งจ่ายและเชื่อมเข้าโดยตรงกับระบบป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H) ถ้าสายไฟถูกเชื่อมาจาก OVERHEAD ELECTRICITY SUPPLY LINE แล้วความยาวที่จะต้องฝังดินของสายชนิดที่มีปลอกโลหะคือระหว่าง OVERHEAD LINE และจุดทางเข้าสู่อาคาร, และ SURGE PROTECTIVE DEVICE จะต้องติดตั้งที่ TERMINAL ของ OVERHEAD LINE และต้องต่อขั้ว EARTH TERMINAL ของอุปกรณ์นี้เข้าโดยตรงกับปลอกโลหะ

J) ท่อโลหะ, ปลอกโลหะ, สลิง, รางรถไฟ พวกนี้จะมีหน้าสัมผัสกับดินอย่างไม่ต่อเนื่อง ซึ่งในการผ่านเข้าสู่อาคารจะต้องมีการเชื่อมไปยังระบบป้องกัน ซึ่งจะมีการเชื่อมลงดินที่จุดภายนอกอาคารอยู่ 2 จุด คือ ที่ประมาณ 250 ฟุต และถัดไปอีก 250 ฟุต

K) ส่วนของโลหะที่ตั้งตรงหรือมีเหล็กดัดที่รั้วที่อยู่ใกล้อาคารมากๆ จะต้องเชื่อมเข้าสู่ระบบป้องกันด้วย สำหรับโลหะที่ไม่ต่อเนื่องหรือติดตั้งอยู่บนฉนวนหรือสายไฟที่มีฉนวนหุ้มจะไม่เชื่อมก็ได้

M) ท่อของถังซึ่งบรรจุแก๊สที่ติดไฟหรือน้ำมัน หรือสารเคมีที่ติดไฟง่ายจะต้องติดตั้งอยู่บนวัตถุที่เป็นฉนวนหรือติดตั้งที่ดับเพลิงไว้

N) อาคารในกรณีนี้จะไม่ติดตั้งองค์ประกอบที่สูงแหลม เช่น เสาธง, เสาอากาศวิทยุ ไว้บนอาคาร และถ้าอาคารตั้งอยู่ใกล้กับต้นไม้จะต้องพิจารณาตามข้อ 214

213. FENCES : ข้อบังคับข้อนี้มีสำหรับความปลอดภัยของคนและสัตว์เลี้ยงที่อยู่ใกล้ชิดกับรั้วที่เป็นโลหะที่มีลักษณะยาว

1. โลหะเหล่านี้จะต้องถูกต่อลงดินโดยเว้นช่วงเป็นระยะๆ โดยต่อเข้ากับแท่งโลหะตรงลงไปในดิน หรือต่อกับ EARTH ELECTRODE แต่ละจุด การเว้นช่วงจะเว้นมากที่สุดไม่เกิน 250 ฟุต ในกรณีที่ดินแห้งและอาจเพิ่มระยะไปถึงไม่เกิน 500 ฟุต ในกรณีที่ดินชื้นมา
2. EARTH TERMINATION ของรั้วบริเวณทางข้างจะต้องวางห่างจากปลายของด้านตรงกันข้ามอย่างน้อย 25 ฟุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

214. TREES AND STRUCTURE NEAR TREES

เราจะทำการป้องกันต้นไม้จากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าก็ต่อเมื่อต้นไม้นั้นมีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ หรือเหตุผลที่สำคัญอื่นๆ ซึ่งจะมีวิธีป้องกันดังนี้

1. MAIN DOWN CONDUCTOR จะวางไว้จากยอดสุดของลำต้นลงไปจนถึง EARTH TERMINATION และต้องป้องกันการทำลายทางกลที่ GROUND ด้วย
2. ที่ปลายกิ่งต่างๆ จะถูกวางไว้ด้วย BRANCH CONDUCTOR ที่เชื่อมเข้ากับ MAIN DOWN CONDUCTOR
3. CONDUCTOR ที่ใช้จะเป็นลวดตัวนำเปลือย ถ้าเป็นทองแดงใช้ขนาด 7/.136 นิ้ว และถ้าเป็นอลูมิเนียมใช้ 7/.134 นิ้ว
4. ในการยึด CONDUCTOR นั้นจะปล่อยให้เป็นไปตามธรรมชาติของการเจริญเติบโตของต้นไม้ เช่น ปล่อยให้แกว่างตามลมพัดได้
5. อาจยกเลิกข้อ 206 ได้
6. EARTH TERMINATION จะใช้ชนิด ROD ฝังลงดินในด้านตรงข้ามกัน โดยให้ชิดกับลำต้นไว้ก่อน และจะฝัง EARTH ELECTRODE ชนิดแผ่น (STRIP) ไปรอบๆ รากของต้นไม้ โดยกำหนดรัศมีห่างจากต้นไม้อย่างน้อย 25 ฟุต และจะต้องเชื่อมเข้ากับ ELECTRODE แบบ ROD ทั้ง 2 ตัวด้วย

ค่าความต้านทานใช้ตามข้อ 207

7. ในกรณีที่ต้นไม้หลายต้นอยู่ใกล้กันมากจนเส้นรอบวงของ EARTH CONDUCTOR ทับกัน เราสามารถใช้เพียง 1 STRIP ในการล้อมรอบบริเวณรากของต้นไม้ทั้งหมดแล้วเชื่อมเข้าสู่ GROUND ROD ของแต่ละต้น
8. ในกรณีที่ต้นไม้อยู่ใกล้กับอาคาร ถ้าต้นไม้ต่ำกว่าอาคารก็ไม่ต้องพิจารณาป้องกัน แต่ถ้าต้นไม้สูงกว่าแล้วจะต้องพิจารณาระยะ CLEARANCE ระหว่างอาคารกับยอดสุดของต้นไม้ โดยพิจารณาระยะปลอดภัยดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A) สำหรับอาคารทั่วๆ ไประยะปลอดภัยคือ 1/2 ของความสูงของอาคาร

B) สำหรับอาคารที่บรรจุวัตถุระเบิดหรือวัสดุติดไฟง่าย ระยะปลอดภัยคือ 1 เท่าของอาคารสูงของอาคาร

ถ้าระยะปลอดภัยไม่เพียงพอและต้องการรักษาต้นไม้ การลดความเสี่ยงให้น้อยที่สุดจะทำได้โดยการติดตั้งระบบป้องกันตามข้อบังคับที่ผ่านมาและพยายามจัดให้ AIR TERMINATION หรือ DOWN CONDUCTOR ให้ใกล้กับส่วนของต้นไม้ที่อยู่ใกล้อาคารมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

215. STRUCTURES SUPPORTING OVERHEAD ELECTRIC SUPPLY TELEPHONE AND OTHER LINES.

ถ้ามีการยึดสายไฟฟ้า, สายโทรศัพท์, สายส่งสัญญาณวิทยุ ด้วยโลหะที่ยึดติดกับอาคารแล้วจุดที่ยึดจะต้องมีการต่อลงกราวน์และเชื่อมไปยังระบบป้องกันด้วย สำหรับอาคารที่เป็นจุดจ่ายสายออกไป จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ SURGE PROTECTIVE ระหว่างสายไฟฟ้าและดิน

216. STRUCTURE WITH SOUND RADIO & TELEVISION RECEIVER ANIALS.

A) ในข้อบังคับนี้จะกล่าวถึงอาคารที่มีเสาอากาศ เครื่องรับวิทยุ หรือโทรทัศน์อยู่ภายในโดยปราศจากการป้องกันระวังล่วงหน้า

B) อาคารที่ต้องการป้องกันฟ้าผ่าที่สอดคล้องกับข้อบังคับนี้อาจมีการติดตั้งเสาอากาศของวิทยุ, โทรทัศน์ ไว้ภายนอกอาคารโดยปราศจากการป้องกันล่วงหน้า

กำหนดว่าทุกส่วนของระบบเสาอากาศจะต้องอยู่ภายในโซนการป้องกันของระบบ

C) เมื่อเงื่อนไขในข้อ B ไม่สามารถทำได้อย่างครบถ้วนแล้ว การป้องกันล่วงหน้าเพื่อความมั่นใจว่ากระแสจากฟ้าผ่าจะถูกคายลงสู่ดินโดยไม่เกิดอันตรายต่ออาคารและสิ่งของภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โดยการมีจุดศูนย์กลางร่วมกันหรือกั้นแบ่ง DOWN LEAD หรือ FEEDER ซึ่งจะทำได้โดยการเชื่อมปลอกโลหะของ FEEDER เข้ากับระบบป้องกันที่จุดสูงสุดไปถึง
2. กรณีสายส่งเดี่ยวหรือคู่ของ DOWN LEAD หรือ FEEDER การป้องกันทำได้โดยการใส่ DISCHARGE DEVICE ระหว่าง CONDUCTOR กับ EARTH LEAD
3. เนื้อโลหะ, แท่นรับสาย, อุปกรณ์อื่นๆ ที่เหลือจะต้องเชื่อมเข้ากับระบบป้องกันทั้งหมด

217. MISSCELLANEOUS STRUCTURES

A) TENTS AND MANQUEES

เมื่อมีการจัดตั้งอาคารชั่วคราวขึ้น เช่น การจัดนิทรรศการหรืองานมหกรรมต่างๆ ที่มีผู้คนมาชุมชนกันมากๆ จะต้องมีการป้องกันภัยจากฟ้าผ่าไว้ โดยทั่วไปแล้วตัวอาคารเหล่านี้มักจะไม่เป็นโลหะและการป้องกันที่ง่ายที่สุดและใช้กันบ่อยๆ คือ การติดตั้ง HORIZONTAL AIR TERMINATION โดยแขวนไว้เหนืออาคารและเชื่อมลงสู่ดิน และในการติดตั้งอาจติดตั้งที่เสาค้ำทางแนวดิ่งที่อยู่สูงกว่าอาคารขึ้นไปโดยจะต้องพิจารณาระยะ CLEARANCE ระหว่าง CONDUCTOR และผ้าใบคลุมอาคารไม่น้อยกว่า 5 ฟุต

DOWN CONDUCTOR จะติดตั้งไว้นอกอาคาร และเชื่อมไปยัง EARTH ROD ซึ่งจะถูกเชื่อมอยู่กับ RING CONDUCTOR

ในกรณีที่มีโครงสร้างโลหะจะทำการเชื่อมลงดินโดยเว้นช่วงตามเส้นรอบวงไม่เกิน 100 ฟุต

B) METAL SCAFFOLDING AND SIMILAR STRUCTURES

เมื่อมีการตั้งโครงเหล็กสำหรับการสร้างตึกขึ้นในบริเวณสาธารณะโดยเฉพาะเมื่ออยู่ในบริเวณทางหลวง หรือที่นั่งพักในสวนสาธารณะจะต้องมีการเชื่อมลงสู่ GROUND วิธีง่ายๆ ในการเชื่อมโครงสร้างดังกล่าวโดยการติดตั้งแผ่นโลหะ (เช่น อลูมิเนียม 3/4 x 1/8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิ้ว) ด้านใต้และให้สัมผัสกับแผ่นรองฐานที่สอง โครงเหล็กอยู่และทำการ EARTH โดยเว้นช่วงได้ไม่เกิน 100 ฟุต

ส่วนที่พักสาธารณะนั้น จะทำการต่อลงดินเฉพาะชั้นส่วนโดยรอบเท่านั้น

C) TELL METAL MASTS, TOWERS, CARNES AND REVOLVING AND TRAVELLING STRUCTURE

เสาสูง, หอคอยติดไฟ หรือโครงสร้างอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายกันที่เป็นโลหะโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อยู่ในแหล่งชุมชนจะต้องถูกต่อลงดิน

ปั้นจั่นและสิ่งที่ใช้ยกของขึ้นที่สูงที่ใช้ในงานก่อสร้างหรือติดตั้งตามท่าเรือจะต้องทำการต่อลงดินด้วย สำหรับปั้นจั่นโครงสร้างที่หมุนรอบได้บนรางนั้นควรจะมีการต่อลงดินมากกว่า 1 จุด

D) FARM BUILDING IN AREA OF HIGH LIGHTNING INCIDENCE

ในบางพื้นที่ที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลซึ่งมีโอกาสเกิดปรากฏการณ์ฟ้าผ่าได้ง่าย ไม่ควรใช้ระบบป้องกันที่ทำด้วยทองแดงหรืออลูมิเนียม แต่ควรใช้เหล็กอ่อนที่เคยผ่านกระแสไฟฟ้าแล้ว ในการป้องกันแทน ในการป้องกันสิ่งก่อสร้างเล็กๆ ในฟาร์มหรือสิ่งก่อสร้างอื่นที่คล้ายกัน จะต้องติดตั้งลวดเส้นเดียวที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1/4 นิ้ว สำหรับโครงสร้าง 1 ชั้น ตามแนวหลังคาและมีปลายทั้งสองของสิ่งก่อสร้างและต่อไปยัง GROUND ที่ความลึก 18 นิ้ว เป็นระยะทาง 10 ฟุต โดยระยะ CLEARANCE 3 ฟุต ห่างจากหลังคา (ดูรูป 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

218. CORRROSION

ความผุกร่อนอาจมีสาเหตุมาจากสภาพบรรยากาศ, ทางเคมี, ทางไฟฟ้า หรือสาเหตุอื่นๆ ซึ่งจะทำให้บางส่วนของระบบป้องกันเกิดความไม่สมบูรณ์ขึ้นได้

การสัมผัสกันของโลหะต่างชนิดจะทำให้การผุกร่อนเกิดได้เร็วขึ้น ยกเว้นแต่จะทำให้ผิวสัมผัสแห้งสนิทหรือกันความชื้นไม่ให้เข้าไปได้เท่านั้น

การสัมผัสของโลหะต่างชนิดกันจะเกิดได้เมื่อมีการยึด CONDUCTOR ด้วยอุปกรณ์ยึดที่ทำด้วยโลหะชนิดอื่น และการผุกร่อนจะเพิ่มมากขึ้นถ้ามีน้ำที่ผ่านจากโลหะชนิดหนึ่งมาสัมผัสกับโลหะอีกชนิดหนึ่ง การป้องกันควรใช้หุ้มด้วยตะกั่วซึ่งสามารถป้องกันการผุกร่อนจากองค์ประกอบ SULPHUR โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่ไปถึงได้ยาก เช่น บนยอด ปล่องไฟเป็นต้น

ในการติดตั้งควรใช้โลหะที่มีความต้านทานผุกร่อนสูง จุดเชื่อมและข้อต่ออาจป้องกันโดยการหุ้มพลาสติกก็ได้

SECTION THREE : MISCELLANEOUS

301. WORKON SITE

ในระหว่างช่วงเวลาของการก่อสร้างอาคาร ส่วนที่เป็นงานโลหะหลักๆ เช่น โครงเหล็กรอบนอก, โครงเหล็กของอาคาร หรือปั้นจั่นจะต้องถูกเชื่อมลงดิน

งานขั้นแรกคือต้องติดตั้งระบบป้องกัน และ EARTH TERMINATION จะต้องมีการต่อเนื่องตลอดเวลา

ระหว่างการก่อสร้างทางเดินไฟฟ้าเหนือหัว จะสามารถลดอันตรายที่จะเกิดกับคนได้ โดยต้องแน่ใจว่ามีการต่อ EARTHING SYSTEM แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

302. INSPECTION

A) ระบบป้องกันฟ้าผ่าทุกระบบควรจะต้องถูกตรวจสอบโดยคนที่มีความสามารถหลังจากที่ติดตั้งสมบูรณ์แล้ว โดยทั่วไปจะทดสอบปีละครั้งเป็นอย่างน้อย

B) ถ้าค่าความต้านทานไปยังดินของระบบป้องกันเกินค่า 10 โอห์ม จะต้องลดค่าให้สิดคล้องตามข้อ 303

ถ้าความต้านทานในการวัดครั้งไม่เกิน 10 โอห์ม แต่สูงขึ้นกว่าปกติจะต้องค้นหาสาเหตุของมัน

303. TESTING

ในการติดตั้งที่สมบูรณ์แล้วหรือมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมระบบป้องกันนั้น ค่าความต้านทานถึงดินค่าใหม่ และความต้านทานของแต่ละ EARTH TERMINATION จะต้องถูกวัดค่าใหม่, ตรวจสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้าของตัวนำ, ตรวจสอบรอยเชื่อมต่าง และเงื่อนไขทางกลศาสตร์

การทดสอบต่างๆ จะต้องถูกบันทึกในข้อ 304

304. RECORDS

บันทึกต่างๆ จะถูกเก็บไว้ในที่ๆ ปลอดภัยหรือเก็บไว้โดยผู้ที่มีภาระหน้าที่ในการซ่อมบำรุง

ในบันทึกจะประกอบด้วย

1. การเขียนแบบโดยใช้อัตราส่วนย่อที่แสดงถึงรูปร่าง, ลักษณะและตำแหน่งของทุกส่วนของระบบป้องกัน
2. ลักษณะของดินและการวัด EARTHING พิเศษอื่นๆ
3. วันที่และการทำ SALTING (ถ้าใช้)
4. เงื่อนไขการทดสอบและผลการทดสอบที่สอดคล้องกับ 303
5. การเปลี่ยนแปลงหรือซ่อมแซมระบบ
6. ผู้รับผิดชอบในการติดตั้งหรือซ่อมแซมบำรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

305 MAINTENANCE

ถ้าปฏิบัติตามข้อแนะนำในข้อบังคับนี้แล้ว จะมีความต้องการการบำรุงรักษาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การตรวจสอบจากข้อ 302 และ 303 จะทำให้ทราบว่าต้องซ่อมบำรุงอะไรบ้าง จะต้องให้ความสนใจกับการ EARTHING ให้มาก เพราะผลจากการซ่อมแซมหรือการผุกร่อนอาจมีผลกระทบต่อระบบการป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์นิทัศน์ กฤษณจินดา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ทั้งในการออกแบบการทดสอบ การออกแบบอุปกรณ์และการแก้ปัญหาต่างๆ ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1) British standard code of practice for protection of Structures. Against lightning BS 6651 : 1985.

2) Chapter 16, Lightning Phenomena Transmission and Distribution.

3) Earthing, Lightning Protection & Overhead Line Equipment Furse.

4) System 300 Advanced Integrated Lightning Protection.

5) เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง พจนาท ศุภวันต์, ปัณฑิต งามขำ.

6) หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้าจำลอง ศุลี บรรจงจิตร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้