



ปริญญานิพนธ์การศึกษา 2531

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง " การทดสอบอุปกรณ์ป้องกันการเกิดฟ้าผ่า

ผู้จัดทำ

1. นายสมพร คีรมาศไสถียร

2. นายสุรพงษ์ อนุตรชัยสิริ

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ให้เกียรติ กฤษณจินดา)

อธิบายนทนาการ

บทคัดย่อ

โปรเจกต์นี้เป็นโปรเจกต์ทางด้านไฟฟ้าแรงดันสูง โดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะสร้างและทดสอบแท่งตัวนำป้องกันฟ้าผ่ารูปแบบต่าง ๆ เราจะจำลองปรากฏการณ์การเกิดฟ้าผ่าโดยใช้เครื่องไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรงแทนการใช้เครื่องอิมพัลส์ แล้วทำการบันทึกค่าแรงดันเบรคควาน์เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลในการที่จะดึงดูดประจุที่ถูกถ่ายเทลงมา ท้ายสุดเราก็จะสรุปผลของการทดสอบนี้พร้อมทั้งเสนอแนะบางสิ่งบางอย่างสำหรับการทดสอบครั้งต่อไปในอนาคต

ABSTRACT

In this H.V.project, we aim to construct and test of various lightning arrester (conductot rods). We simulate the lightning phenomenon by using DC high voltage instead of the impulse voltage then we record the breakdown voltages. The results in attraction with the lightning strokes of 3 types of conductors were compared. Finally, we conclude the result of this experiment and suggest something for the future work.

คำนำ

การเกิดฟ้าผ่า เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่น่ากลัวและไม่สามารถบอกได้ว่า จะเกิดขึ้นเมื่อใด อันตรายที่เกิดจากฟ้าผ่ามีมากมาย เช่น เป็นต้นเหตุของการเกิดเพลิงไหม้, ทำให้เกิดการเบรคดาวน์ของระบบไฟฟ้า, โทรทัศน์ และคอมพิวเตอร์, เป็นอันตรายต่อชีวิตคนและสัตว์

ดังนั้นเราควรมาคำความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ให้มากขึ้น แต่เป็นที่น่าเสียดายว่าปัจจุบันนี้ เรายังมีความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์ไม่ชัดเจนพอ ทำให้ระบบที่ใช้ในการป้องกันยังมีความไม่แน่นอนอยู่มาก ดังนั้นปริญญาโทฉบับนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ฟ้าผ่าที่มีอยู่ในปัจจุบัน และเสนอแนะแนวความคิดอันใหม่ในด้านรูปแบบของแท่งตัวนำที่มีผลต่อการดึงดูดประจุที่ถ่ายเทลงมา, การเปลี่ยนโชนของการป้องกันจาก cone of protection มาเป็นรูปทรงกลมที่มีพลาสมาโบลาคัด และท้ายสุดของปริญญาโทฉบับนี้จะเป็นการทดลองโดยใช้เครื่อง DC - HIGH VOLT ในการทดสอบ ถึงแม้ว่าผลการทดสอบที่ได้จะยังไม่สามารถแสดงความแตกต่างของการเปลี่ยนรูปแบบของแท่งตัวนำได้อย่างชัดเจนก็ตาม แต่ก็นับว่าเป็นก้าวแรกของการทดสอบในเรื่องนี้ ซึ่งเราหวังว่าปริญญาโทฉบับนี้จะให้ประโยชน์และเป็นแนวทางแต่ก้าวต่อ ๆ ไปได้บ้าง

สมพร ตีรมาศเสถียร
สุรพงษ์ อนุตรชัยสิริ

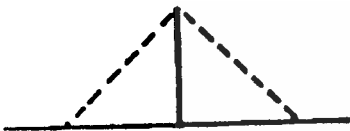
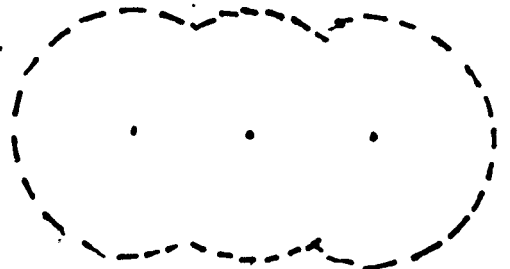
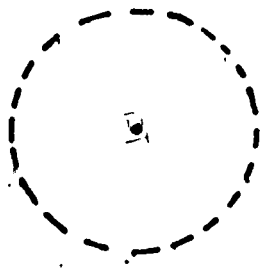
บทนำ

นับตั้งแต่ 1760 เป็นต้นมา วิธีที่นิยมใช้ในการป้องกันฟ้าผ่า ก็ได้แก่ การใช้ sharp (Franklin) rods หรือใช้ horizontal conductors (Faraday Cage) หรือใช้ทั้งสองอย่างร่วมกัน ดังรูปที่ 1 โดยพยายามกำหนดพื้นที่ป้องกันซึ่งก็ได้หลักการออกมาเรียกว่า Cone of Protection และ Rolling Sphere แต่โชคไม่ดี มาตรฐานต่าง ๆ ได้บอกว่า "จากประสบการณ์พบว่า conductor ไม่สามารถเชื่อได้ว่าจะป้องกันฟ้าผ่าได้อย่างแน่นอนภายในขอบเขตของการป้องกันของมัน จาก British Code BS 6651" และมาตรฐานเยอรมันบอกว่า "จากประสบการณ์แสดงให้เห็นว่า ยังมีความไม่แน่นอนของขอบเขตของการป้องกันของ lightning conductor" และภายในหลายร้อยปีที่ผ่านมา การปรับปรุงการออกแบบป้องกันฟ้าผ่ามีการพัฒนาไปน้อยมาก แต่ได้มีการปรับปรุงอุปกรณ์บันทึก (recording) และอุปกรณ์ตรวจจับ (Monitoring) ให้ดีขึ้น ซึ่งทำให้เรทราบกลไกในการเกิดฟ้าผ่าได้ดีขึ้นกว่าในอดีต แต่ก็ยังมีสิ่งที่ยังไม่รู้ยังเป็นจำนวนมาก ซึ่งยังต้องมีการวิจัยต่อไป ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึง ปรัชญาการเกิดฟ้าผ่า เช่น การเกิดประจุบนก้อนเมฆ , กลไกการคายประจุ upward streamer เป็นต้น , การพัฒนาเสาต่อฟ้า , การพัฒนา down conductor , การวัด Earth resistance และการปรับปรุง Earth resistance , ความล้มเหลวของ Cone of protection และทฤษฎีใหม่ที่เกิดขึ้น , มาตรฐานการติดตั้ง , พารามิเตอร์ต่าง ๆ และประเด็นสำคัญก็คือ การทดสอบแท่งตัวนำแฟรงคลิน กับตัวนำทรงกลมที่มีปลายแหลม ว่าแบบไหนจะให้ผลในการป้องกันดีกว่ากัน โดยการทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบของอังกฤษ เป็นต้น แต่การนำเสนอนี้จะคัดเฉพาะหัวข้อที่น่าสนใจ และบางหัวข้ออาจกล่าวคร่าว ๆ

1. การเกิดประจุบนก้อนเมฆ

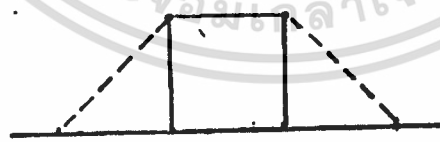
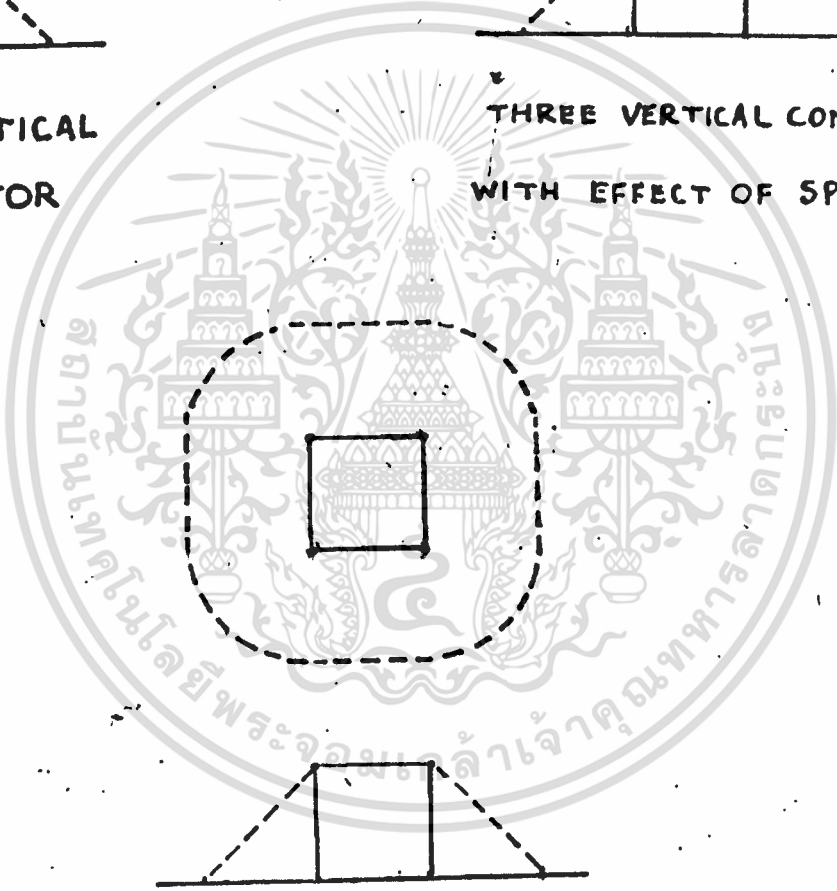
หัวข้อนี้จะพูดถึง 2 ทฤษฎีหลัก ๆ และการปรับปรุงแก้ไขทฤษฎีทั้งสอง

เอาก่อนที่จะกล่าวถึงทฤษฎีทั้งสอง เราจะพูดถึงลักษณะสภาพบรรยากาศของโลกก่อนในสภาพที่ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SINGLE VERTICAL
CONDUCTOR

THREE VERTICAL CONDUCTORS
WITH EFFECT OF SPACING



VERTICAL WITH HORIZONTAL CONDUCTOR

“ ZONE OF PROTECTION ”

FIG. 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรยากาศโลก (atmosphere) จะเต็มไปด้วยสปีดอนุภาคมากมาย ซึ่งมีทั้งอิเล็กตรอนบวก และอิเล็กตรอนลบ ซึ่ง อิเล็กตรอนเหล่านี้จะติดอยู่กับอนุภาคเล็กของฝุ่น และหยดน้ำเล็ก ๆ ในบรรยากาศ ซึ่งเราจะเรียกว่า Aitken nuclei ซึ่งจะทำให้ได้อิเล็กตรอนที่ใหญ่ขึ้น จำนวนของอิเล็กตรอนเล็ก จะมีค่าประมาณ 300 ถึง 1000 ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนอิเล็กตรอนขนาดใหญ่จะมีจำนวนประมาณ 1000 ถึง 80000 ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อิเล็กตรอนขนาดเล็กจะไม่มีบทบาทสำคัญในทฤษฎีของวิลสัน สำหรับทฤษฎีแรกที่จะพูดถึงได้แก่ ทฤษฎีของวิลสัน (Wilson's theory) ซึ่งกล่าวว่า ปกติสนามไฟฟ้าจะมีทิศทางพุ่งลง เมื่อหยดน้ำขนาดใหญ่ (รัศมีประมาณ 1 มม.) อยู่ในสนามไฟฟ้านี้ ก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดการแยกกัน ระหว่างประจุบวก และลบในหยดน้ำ โดยด้านบนของหยดน้ำจะมีประจุลบ ส่วนด้านล่างจะมีประจุบวก รูปที่ 2 หยดน้ำนี้ก็จะค่อย ๆ ตกลงมาเรื่อย ๆ ด้วยความเร็วประมาณ 590 ซม./วิ ซึ่งจะมีค่ามาก ถ้าเปรียบเทียบกับความเร็วของอิเล็กตรอนในบรรยากาศ อิเล็กตรอนก็จะถูกดึงดูดติดกับส่วนล่างของหยดน้ำ ส่วนอิเล็กตรอนบวก ก็จะผลักออกไปด้านบนของหยดน้ำ จะไม่มีอะไรเกิดขึ้น จากปรากฏการณ์นี้หยดน้ำจะสะสมประจุไปเรื่อย ๆ

เมื่อหยดน้ำที่มีขนาดเล็กกว่าตอนแรกตกลงมาตามด้วยความเร็วที่ช้ากว่า ซึ่งจะไม่เสถียรกับความเร็วของอิเล็กตรอนบวกนี้ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า หยดน้ำขนาดเล็กนี้จะรับประจุบวกเข้ามาโดยการกระทบกับอิเล็กตรอนบวกนี้ ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า หยดน้ำที่ใหญ่กว่า จะอยู่ส่วนล่างของก้อนเมฆ โดยมีประจุลบ ส่วนหยดน้ำที่เล็กกว่า จะอยู่ส่วนบนของก้อนเมฆ โดยมีประจุบวก ซึ่งกลไกการเกิดปรากฏการณ์นี้ได้ทำการทดลองโดย Geiger

ทฤษฎีที่สองได้แก่ทฤษฎีของซิมป์สัน โดยกล่าวว่า หยดน้ำที่มีขนาดรัศมีใหญ่กว่า 2.5 มม. จะมีลักษณะแบน และไม่มีเสถียรภาพ ดังนั้นเมื่อยัง ตกลงมา ก็จะทำให้เกิดเป็นหยดน้ำเล็ก ๆ แทน โดยความเร็วของหยดน้ำเล็ก ๆ ที่มีเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 0.25 ซม. จะมีความเร็ว 8 ม/ส. ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุด โดยเราจะไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRIC LINES OF FORCE

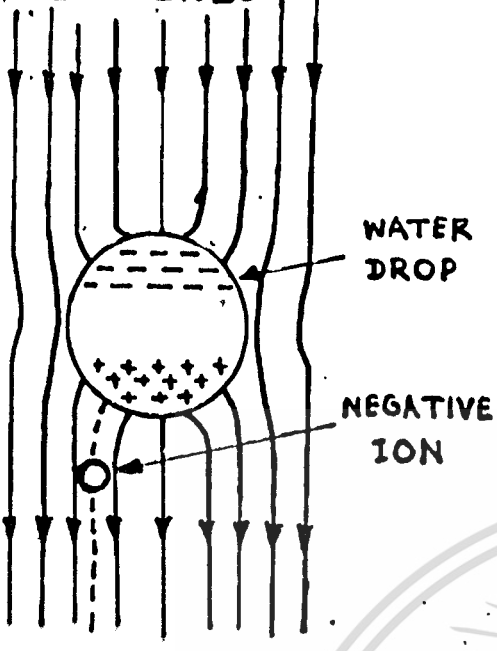
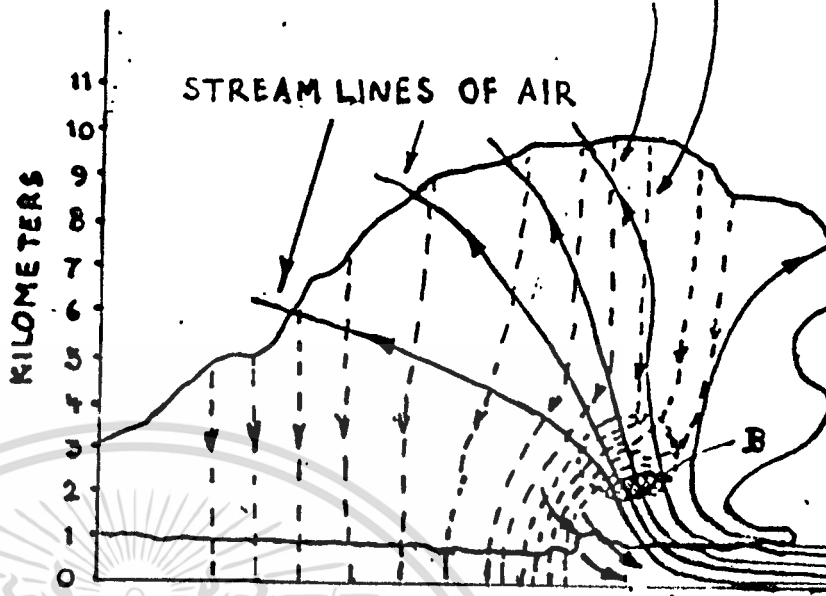


FIG. 2

PATHS OF WATER DROPLETS



Meteorological conditions within thunderclouds according to Simpson
FIG. 3

พบว่าเมื่อหยดน้ำขนาดใหญ่เกิดการแตกตัวเป็นหยดน้ำเล็ก ๆ จะทำให้หยดน้ำเล็ก ๆ นี้มีประจุบวก ส่วนอากาศบริเวณนั้นก็จะมีประจุลบ นี่เป็นผลจากการทดลอง

รูปที่ 3 แสดงถึงลักษณะภายในก้อนเมฆตามซิมป์สัน เส้นเต็มจะแสดงถึงการเคลื่อนตัวของอากาศ ซึ่งระยะทางระหว่างเส้นเหล่านี้จะเป็นปฏิภาคผกผันกับความเร็วลม และภายใน cross-hatched oval marked B จะมีองค์ประกอบของความเร็วยังคงตามแนวตั้งมากกว่า 8 ม./วิ. และนอกส่วนนี้จะมีค่าน้อยกว่านี้ ดังนั้นจะไม่มีหยดน้ำผ่าน oval B เข้าไปได้ เส้นประจะเป็นเส้นทาง ซึ่งหยดน้ำตกลงสู่โลกในส่วนกลม ๆ ที่อยู่ข้างบน oval B ความเร็วที่พุ่งขึ้นของลมก็ยังคงมีค่าสูงอยู่ จะมีเพียงหยดน้ำขนาดใหญ่เท่านั้นที่สามารถตกลงไปในบริเวณนี้ แต่ก็ไม่สามารถผ่านเข้าไปใน oval B ได้ เมื่อหยดน้ำขนาดใหญ่ตกลงเข้าไปในบริเวณนี้ จะเกิดการแตกตัวเป็นหยดน้ำเล็ก ๆ และถูกพัดขึ้น และจะรวมตัวกันใหม่ ตกกลับลงมาอีกครั้ง กระบวนการนี้จะดำเนินต่อไปอย่างนี้เรื่อย ๆ ส่วนการเกิดประจุจะพิจารณาจากรูปที่ 4 ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

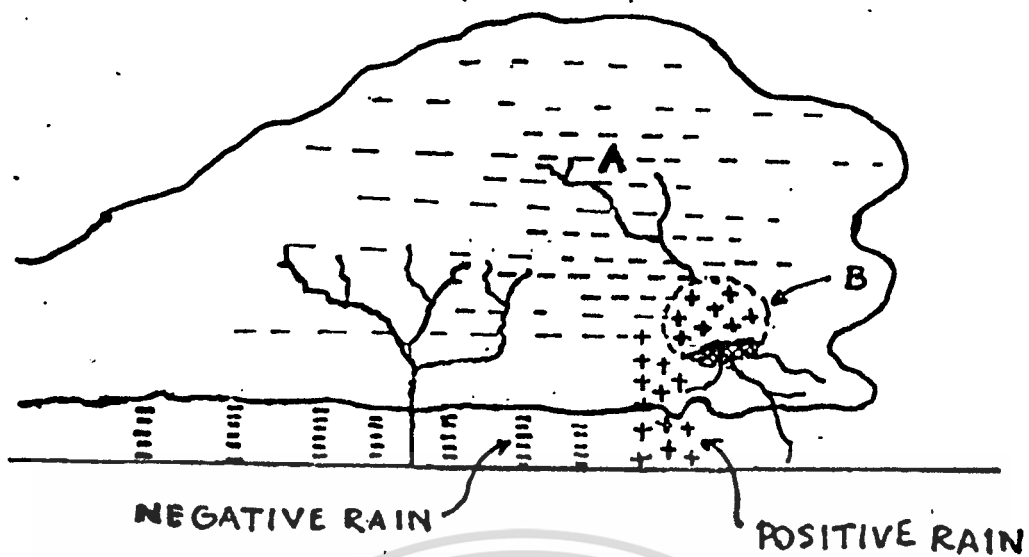
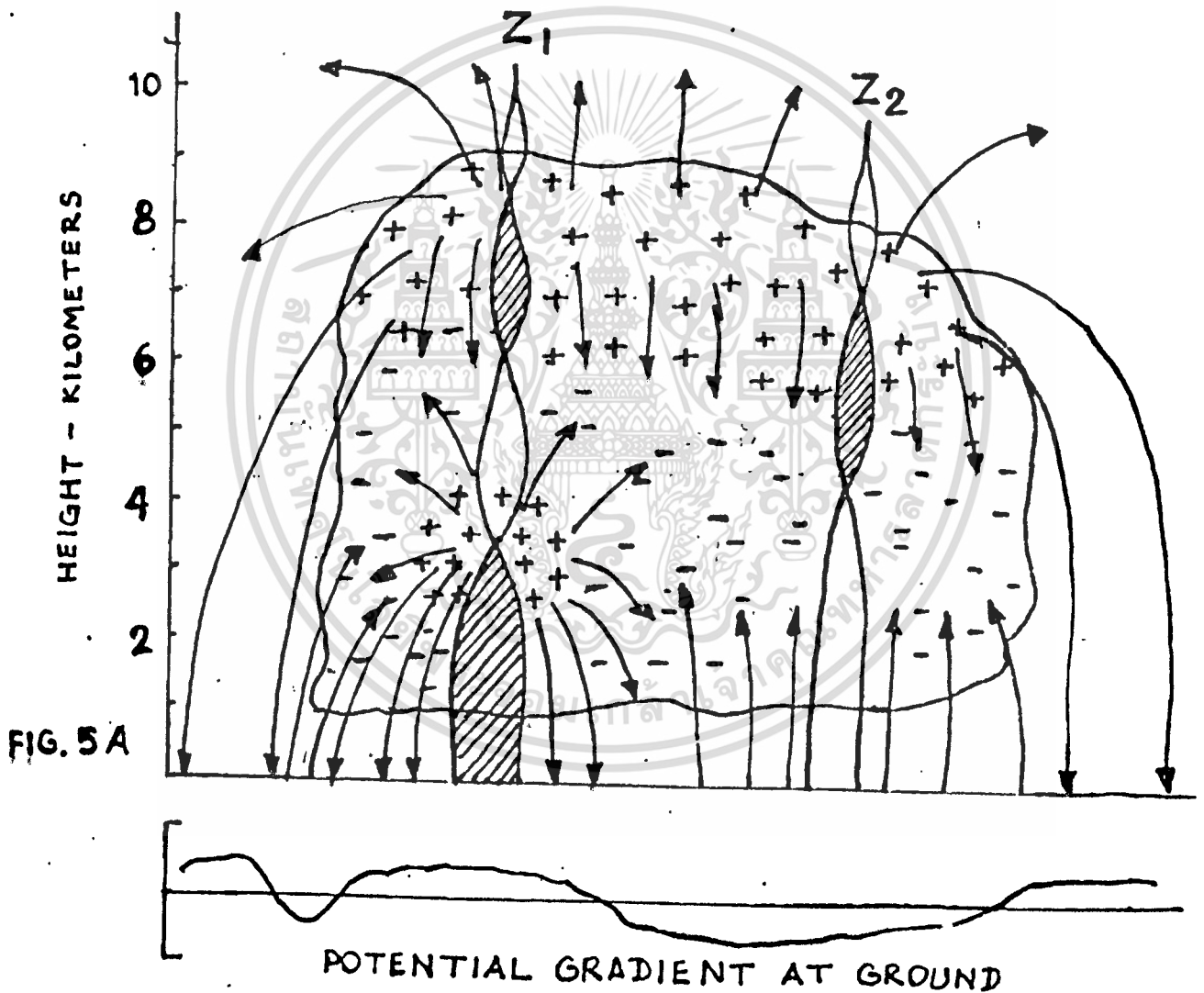


FIG. 4

ในบริเวณที่มีความเร็วลมตามแนวตั้งเกิน ๘ ม./วิ. จะไม่มีการสะสมของประจุไฟฟ้า ซึ่งก็ได้แก่พื้นที่ oval B ส่วนบริเวณทรงกลมที่เหนือพื้นที่ที่ขึ้นไป จะเกิดการแตกตัว และรวมตัวกันของหยดน้ำ (พื้นที่ B) ขณะที่หยดน้ำเกิดการแตกตัวเป็นหยดน้ำเล็ก ๆ, หยดน้ำเล็ก ๆ นี้จะมีประจุบวก ส่วนอากาศก็จะบีบอัด ซึ่งประจุลบในอากาศก็จะถ่ายเทให้แก่อนุภาคในก้อนเมฆ ซึ่งอนุภาคนี้ก็จะถูกกระแสอากาศพัดพาออกจากบริเวณนี้ ส่วนเจ้าหยดน้ำเล็ก ๆ ที่มีประจุบวกนี้จะออกจากพื้นที่ B ได้ยาก ก็จะเกิดการรวมตัวกัน และตกกลับลงมาใหม่ แล้วก็จะเกิดการแตกตัวอีก ทำให้มีประจุบวกเพิ่มขึ้น ดังนั้นพื้นที่ B จะมีประจุบวกสูงขึ้น ส่วนอากาศที่มีประจุลบ ก็จะผ่านออกจากพื้นที่ B กระจายไปตามส่วนต่าง ๆ ของก้อนเมฆ, พื้นที่ B เราจะเรียกว่า พื้นที่ที่เกิดการแยกตัว (the region of separation) ซึ่งเกิดการแยกตัวของประจุบวก และประจุลบ ดังนั้น สรุปได้ว่า นอกเขตของพื้นที่ B จะมีประจุลบอยู่เต็มไปหมด

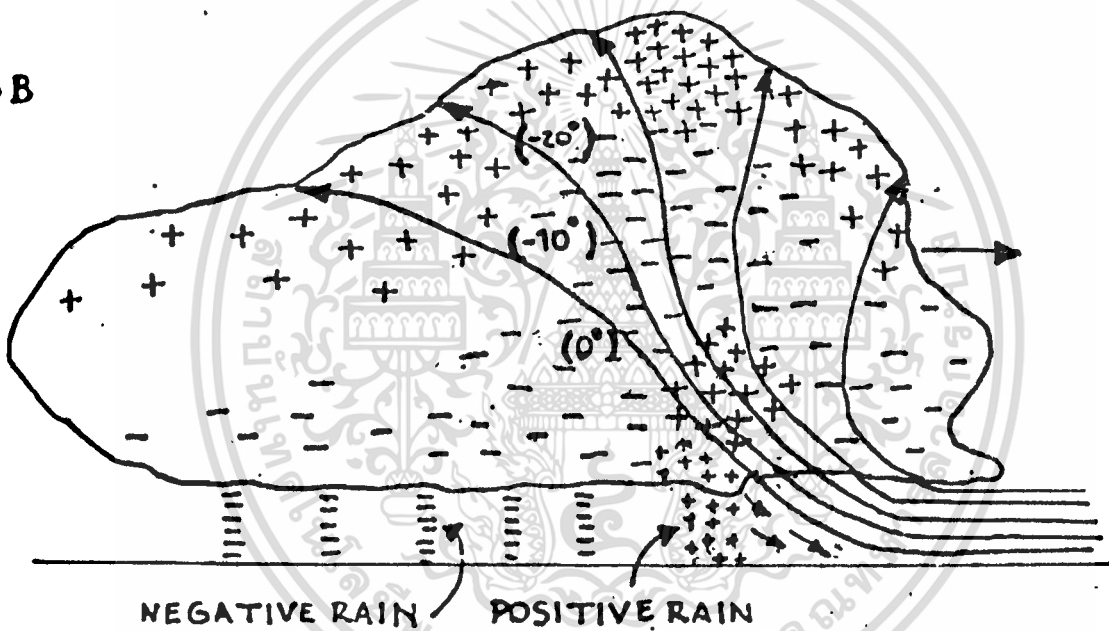
จะเห็นว่า ทั้งสองทฤษฎีนี้ขัดแย้งกัน ดังนั้น Simpson และ Scrase ได้ทำการตรวจสอบการกระจายประจุบนก้อนเมฆโดยตรงเลย โดยส่งอุปกรณ์ต่าง ๆ ติดไปกับบอลลูน โดยผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5 A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประจุบวกที่อยู่ส่วนบนของก้อนเมฆ จะทำให้เกิดทิศทางสนามพุ่งลงสู่พื้น ส่วนประจุลบที่อยู่ด้านล่าง จะเกิดสนามมีทิศพุ่งขึ้นข้างบน ส่วนประจุบวกด้านล่างที่รวมเป็นกลุ่มก็มีทิศของสนามพุ่งลง Simpson และ Scrase ยังได้ตรวจสอบต่อไปซึ่งได้ผลว่า การแยกชั้นของประจุบวกที่อยู่ด้านบน เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ส่วนประจุบวกด้านล่างที่รวมเป็นกลุ่ม แยกตัวออกจากประจุลบที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ดังรูป 5 B.

FIG. 5 B

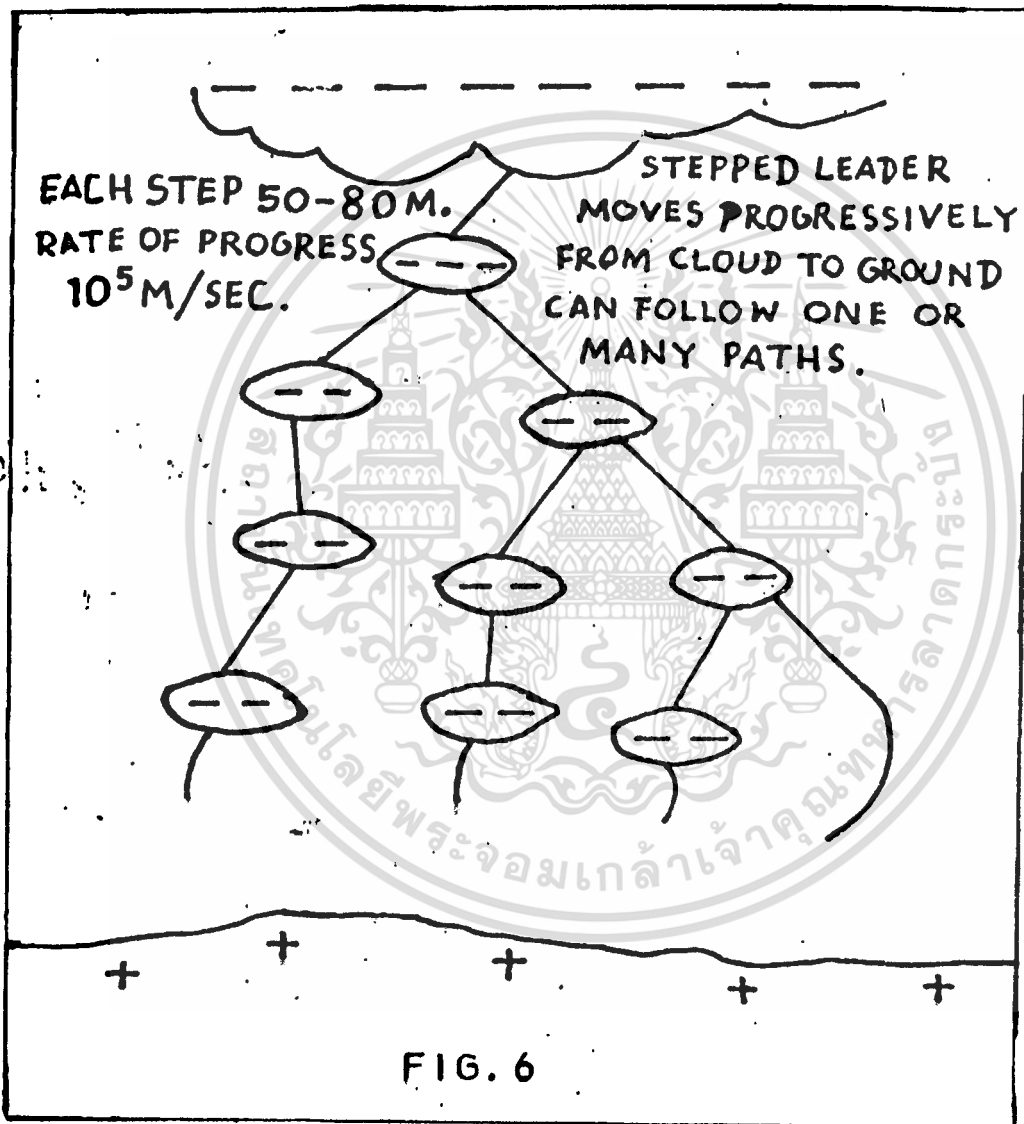


จะขอจบทฤษฎีของการเกิดประจุนก้อนเมฆไว้เพียงแค่นี้ แต่ทฤษฎีทั้งหมดที่กล่าวมาอาจไม่ถูกต้องก็ได้ เพราะขบวนการที่เกิดขึ้นมันยุ่งยากซับซ้อนมาก และก็อาจเป็นไปได้ด้วยว่า ทฤษฎีทั้งหมด คือ การแตกตัวของหยดน้ำ (ตามทฤษฎีของซิมป์สัน), หยดน้ำเกิดการเหนียวน้ำแล้วดึงฮีออลเลนเข้ามารวม (ทฤษฎีของริลสัน) และผลของลมที่มีต่อผลึกน้ำแข็ง (กรณี 3) ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง มีความเกี่ยวข้องกัน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The lightning discharge

ในการถ่ายเทประจุระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดินนั้น 90 % จะเป็นการถ่ายเทประจุจากก้อนเมฆลงสู่พื้นดิน ส่วนอีก 10 % ที่เหลืออาจจะเป็น การถ่ายเทประจุจากก้อนเมฆสู่พื้นดิน หรือการถ่ายเทประจุจากพื้นดินขึ้นสู่ก้อนเมฆ หรือการถ่ายเทประจุจากพื้นดินขึ้นสู่ก้อนเมฆ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะพูดถึงการถ่ายเทประจุจากก้อนเมฆลงสู่พื้นดินอย่างเดียวก่อน ดูรูปที่ 6



1%	OF STROKES	EXCEED	200 000 A
10%	"	"	80 000 A
50%	"	"	28 000 A
90%	"	"	8 000 A
99%	"	"	3 000 A

เอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมื่อก่อนเมฆมีประจุลบ ... จนถึงจุดหนึ่งที่ศักย์ไฟฟ้ามีค่า

พอที่ก่อให้เกิดการคายประจุ (neutralizing discharge) ขึ้นได้โดยอาจเกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆกับก้อนเมฆ หรือก้อนเมฆกับพื้นดิน ในกรณีหลังจะเกิดสายฟ้าจากก้อนเมฆลงสู่พื้น อย่างรวดเร็ว ขณะที่มันเคลื่อนที่เข้าหาพื้น ก็จะเกิดการแยกเป็นแขนงย่อยๆ (BRANCH) ซึ่งแขนงทั้งหมด จะเรียกว่า -

stepped leaders และแขนงทั้งหมดต่างก็พยายามลงสู่พื้นดิน (แขนงแต่ละอันจะมีความยาวประมาณ 50 - 80 ม. ความเร็วประมาณ 10^8 ม/ส.) ซึ่งจะทำได้

สนามไฟฟ้าบริเวณนั้นมีค่าสูงจนถึงจุดที่เกิดกระแสประจุบวก (positive upward streamer) รั้งออกจากพื้นดินขึ้นไปรวมกับแขนงที่ผ่าลงมา เมื่อทั้งสองอันเจอกัน จะเกิดการสว่างแวบขึ้น ตอนนี้จะเรียกส่วนนี้ว่า return stroke กระแสในขณะเกิด return stroke อาจแสดงค่าได้คร่าว ๆ ดังนี้

มีเพียง	1 %	เท่านั้น	ค่ากระแสเกิน	200,000 A
	10 %	ของการเกิดฟ้าผ่า	กระแสจะเกิน	80,000 A
	50 %	ของการเกิดฟ้าผ่า	กระแสจะเกิน	28,000 A
	90 %	ของการเกิดฟ้าผ่า	กระแสจะเกิน	8,000 A
	99 %	ของการเกิดฟ้าผ่า	กระแสจะเกิน	3,000 A

ส่วนความยาวของ positive upward streamer จะเรียกว่า striking distance จะมีค่าขึ้นอยู่กับประจุที่ถูกถ่ายเทลงมาจากก้อนเมฆ และสนามที่เพิ่มขึ้น (enhancement of the field) เนื่องจากรูปทรงเรขาคณิตของพื้นโลก ดังนั้นพอที่จะกล่าวได้ว่า striking distance จะมีค่ามากขึ้น ถ้าประจุที่ถ่ายเทลงมามีค่ามากขึ้น และสำหรับตึกสูง ๆ จะมีกรผ่าจากตึกขึ้นไปข้างบน เนื่องจากสนามที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าสูง

อนึ่ง กระแสที่ผ่าจะเป็นกระแสที่มีทิศทางเดียว และสำหรับกระแสที่

เกิดจากประจุลบ ถ่ายเทลงมา จะมีเวลาเพิ่ม (rise time) มากกว่า 10 μ s. มาก และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กระแสนี้จะลดลงสู่ค่าต่ำๆ ใน 100 μ s. หรือน้อยกว่านี้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่จะนำไปใช้

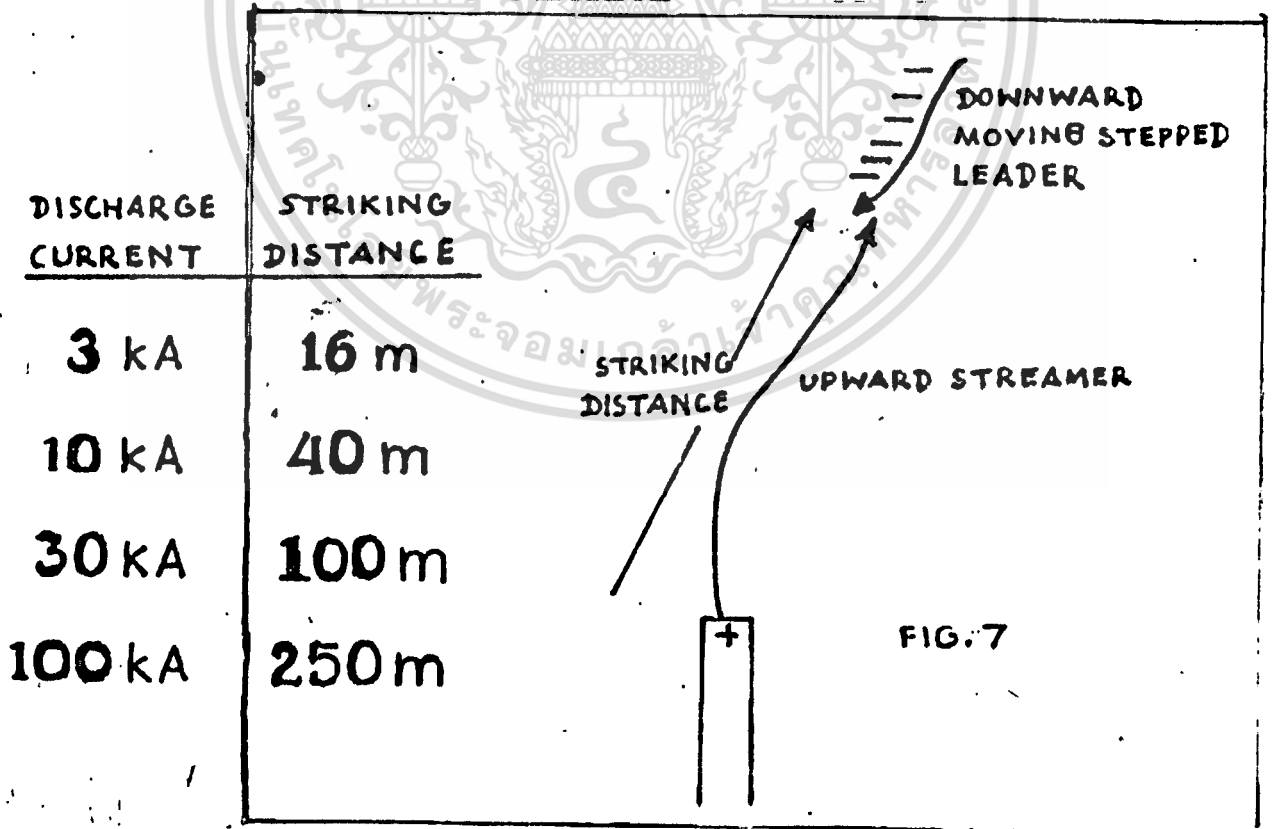
ในการเกิดฟ้าผ่า อาจ ประกอบไปด้วย สายฟ้า (strokes) หลายๆ อัน ซึ่งแต่ละอันจะมีการผ่าที่เหมือนกัน แต่เกิดต่อกันไปในเวลา 50 ms. ถึง 100 ms. ดังนั้นสายฟ้า (multi-stroke) บางครั้ง อาจ ประกอบไปด้วย สายฟ้า (strokes) มากกว่า 10 อัน ซึ่ง จะกินเวลาในการผ่าถึง 1 s. (แต่ไม่พบบ่อยนัก)

ซึ่งในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า ค่าที่การสนใจก็คือ

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

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{max} = 200 \text{ KA}/\mu\text{s.}$$

รูปที่ 7 จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง striking distance และกระแสค่าสูงสุดของการถ่ายเทประจุลงสู่พื้นดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

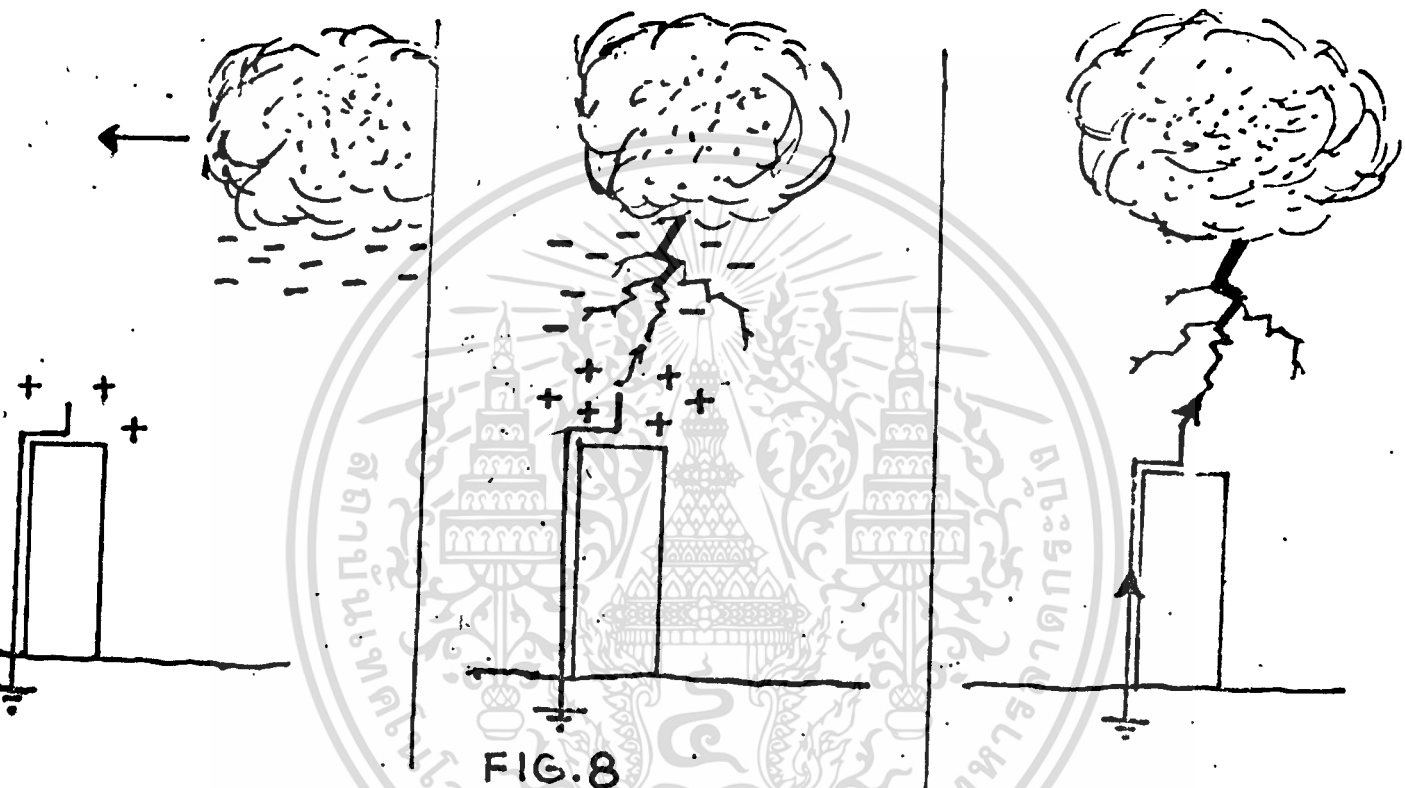


FIG. 8

ขั้นตอนในการเกิดฟ้าผ่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lightning Protection

ในหัวข้อที่จะกล่าวถึงระบบป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ 1) Air Termination 2) Down Conductor 3) Earth Termination การออกแบบติดตั้งแต่ละส่วน ต้องทำให้ดี ถ้ามีส่วนหนึ่งส่วนใดล้มเหลว หรือให้ผลไม่ดี ก็จะทำให้ระบบป้องกันทั้งหมดใช้ไม่ได้ ต่อไปจะกล่าวถึงแต่ละหัวข้อโดยคร่าว ๆ พอสังเขป

1) Air termination networks อาจจะประกอบไปด้วยแท่งตัวนำที่ตั้งขึ้น (Vertical conductor) กับตัวนำในแนวราบ (horizontal conductor) หรือใช้ทั้งสองอย่างประกอบกัน จุดประสงค์ก็เพื่อที่ล่อให้การถ่ายเทประจุจากก้อนเมฆมาลงที่ตัวมันแทนที่จะลงไปยังตัวตึก สำหรับ vertical conductor นั้น แต่ก่อนนิยมใช้แท่งตัวนำปลายแหลม (Sharp (Franklin) rod) ดังรูปที่ 9

ส่วนรูปแบบอื่น ๆ ก็เช่น รูปที่ 10

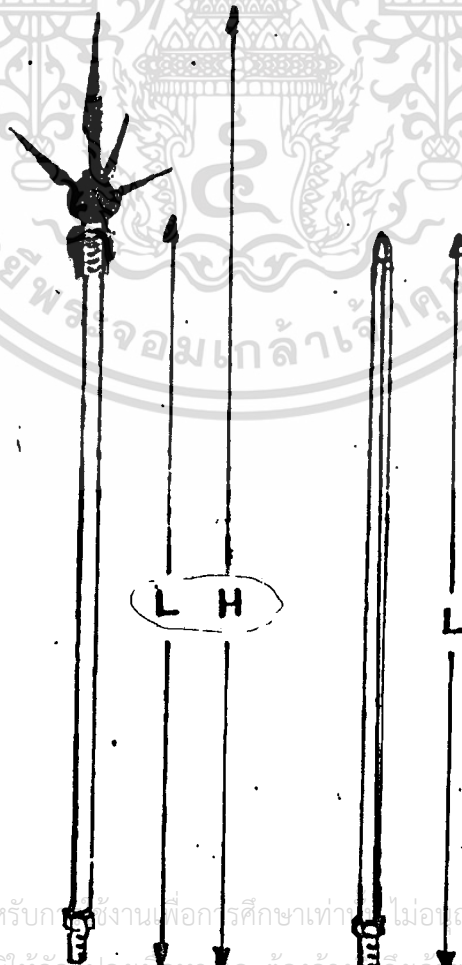


FIG. 10

FIG. 9

แต่จากประสบการณ์พบว่าการใช้ แท่งตัวนำแบบนี้ไม่ได้เสียแล้ว ดังรูปที่ 11

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

ดังนั้นจึงเกิดการผ่าเข้าไปในขอบเขตของการป้องกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวตักสูง ๆ กับสายฟ้าที่ค่าความเข้มของประจุน้อย Striking distance จะมีค่าน้อย ทำให้ไปรวมกับ stepped leader ไม่ถึงดังนั้นอาจมีการผ่าลงข้าง ๆ ของตักได้ ดังรูปที่ 12

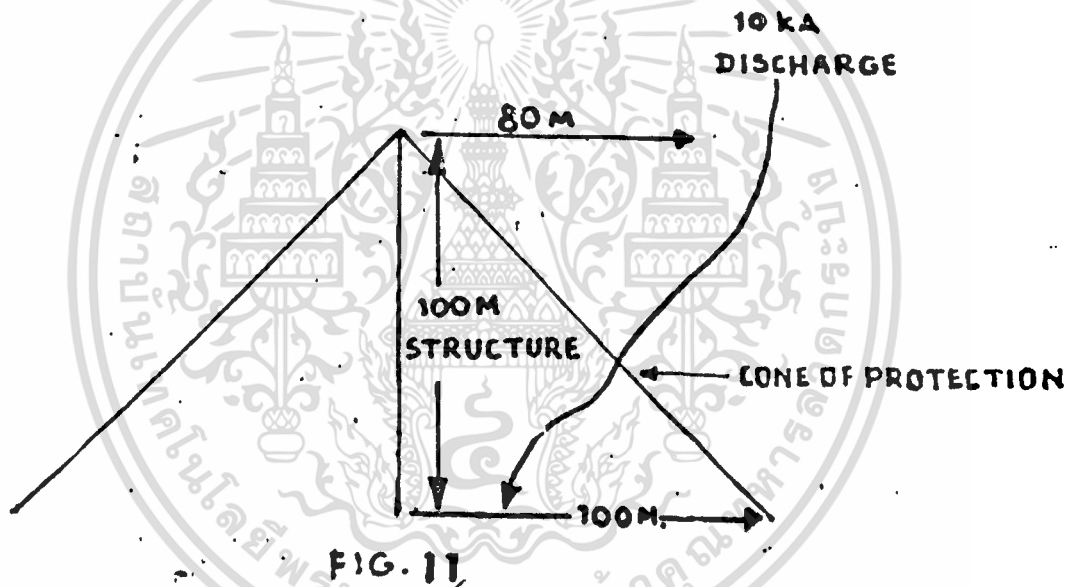


FIG. 11

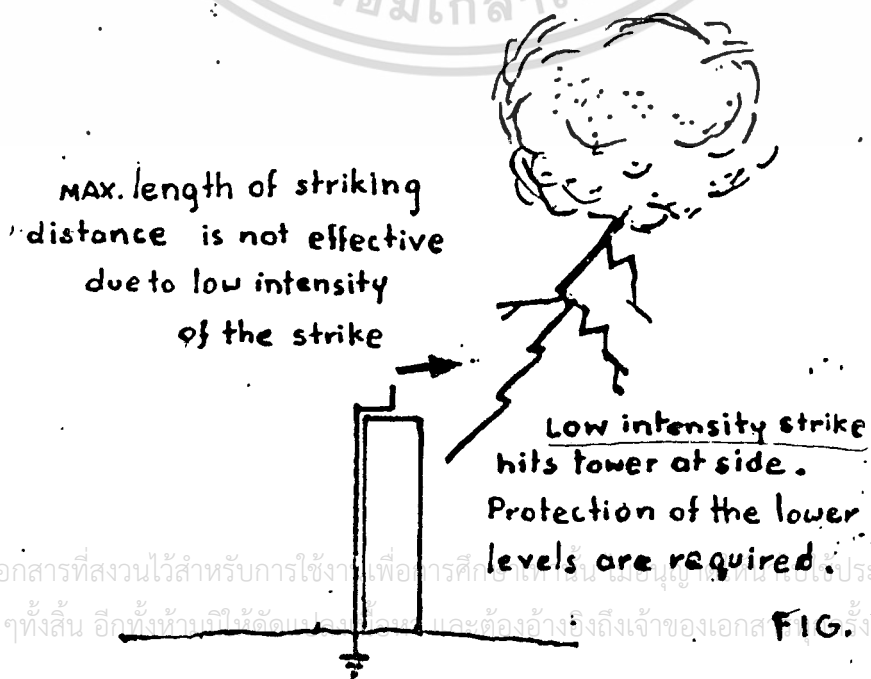
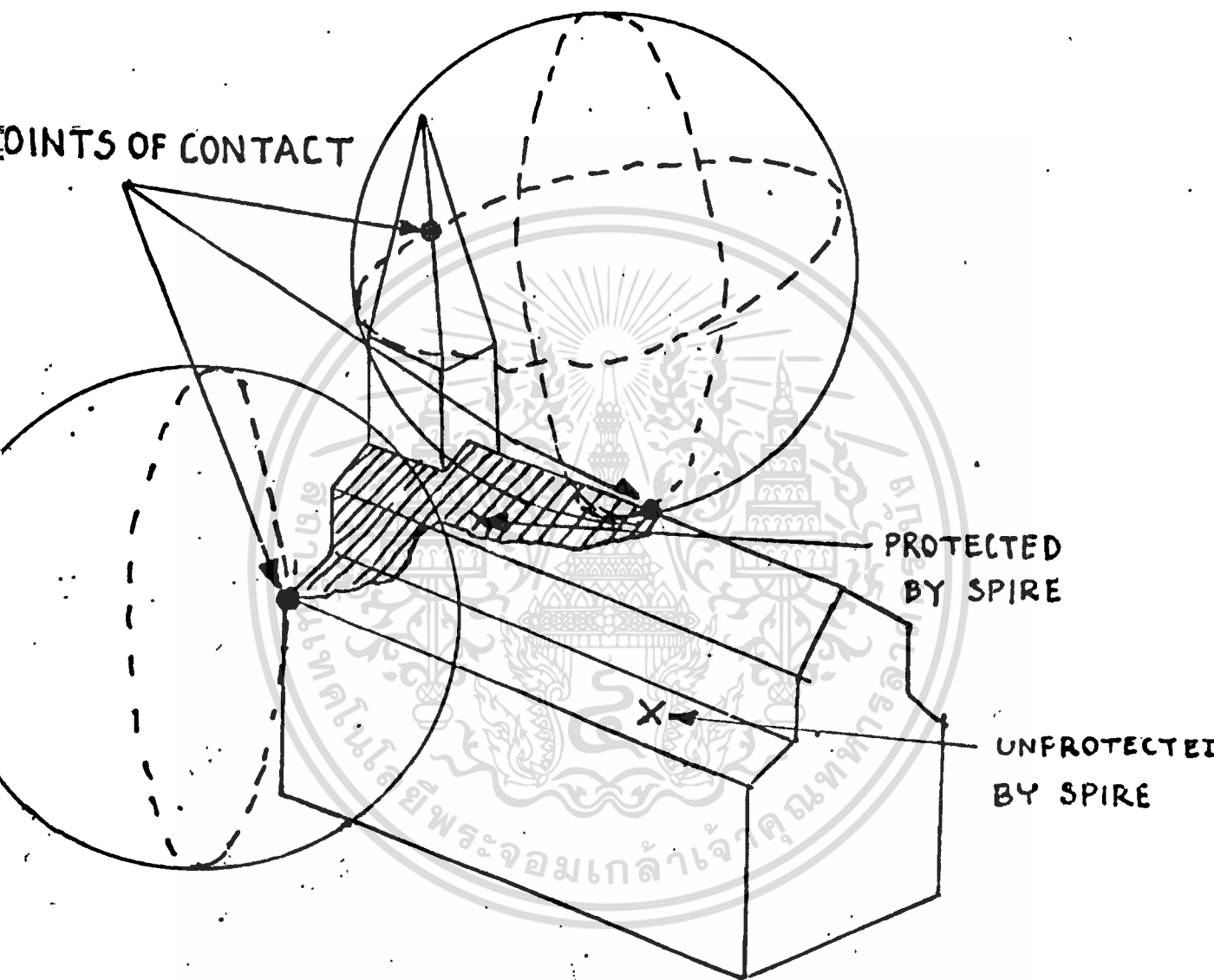


FIG. 12

สำหรับตึกสูงเกิน 20 ม. การออกแบบระบบป้องกันจะใช้ rolling

sphere method รูปที่ 13



EXAMPLE OF ROLLING SPHERE DEFINING AREA -

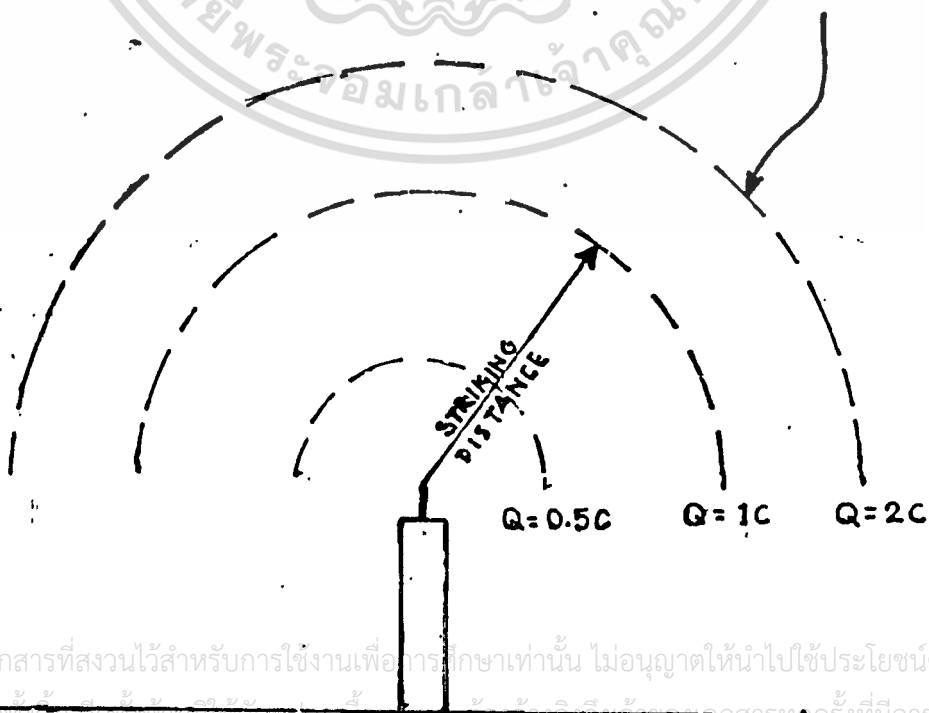
PROTECTED BY SPIRE

FIG.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่ใช้ทำเสาหล่อฟ้าที่นิยมใช้มี 3 ชนิดได้แก่ ทองแดง อลูมิเนียม และ เหล็กชุบสังกะสี ทองแดงจะมีความต้านทานการกัดกร่อนต่ำ ไม่สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่กัดกร่อนในสภาพที่เป็นกรด หรือต่างได้ ส่วนอลูมิเนียมมีความต้านทานการกัดกร่อนต่ำกว่าทองแดง และมีราคาถูกกว่าทองแดง แต่เราสามารถใช้งานได้ในส่วนอากาศเท่านั้น ใช้ไม่ได้ และมีข้อจำกัดในการใช้หลายอย่าง เช่น ไม่สามารถใช้ในดิน หรือหลังคาที่ปูด้วยโลหะทองแดง นอกจากนี้ยังต้องมีตัวต่อที่จะเปลี่ยนจากโลหะอลูมิเนียมไปเป็น โลหะทองแดงสำหรับต่อสายตัวนำลงดิน ส่วนเหล็กชุบสังกะสี สามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดี แต่มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงกว่าทองแดง แต่มีข้อได้เปรียบ คือ เหล็กชุบสังกะสีมีราคาถูกกว่าทองแดง และสามารถทนอุณหภูมิได้สูงกว่าทองแดง ส่วนใหญ่แล้ว จะพบเสาหล่อฟ้าที่ทำด้วยทองแดงมากกว่าโลหะชนิดอื่น ๆ เนื่องจากข้อดีของทองแดงก็คือ สามารถในการเป็นตัวนำของมันนั่นเอง ดังนั้นจะใช้เสาหล่อฟ้าแบบทองแดงในการทดลองของเรา

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่า cone of Protection เกิดความล้มเหลวในบางกรณี ของการขี้องกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 14



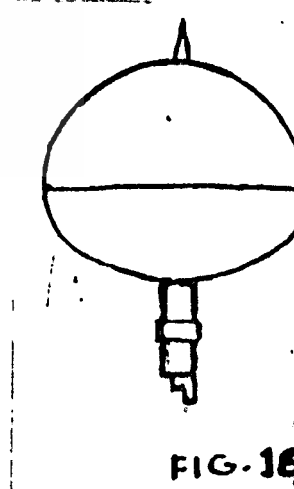
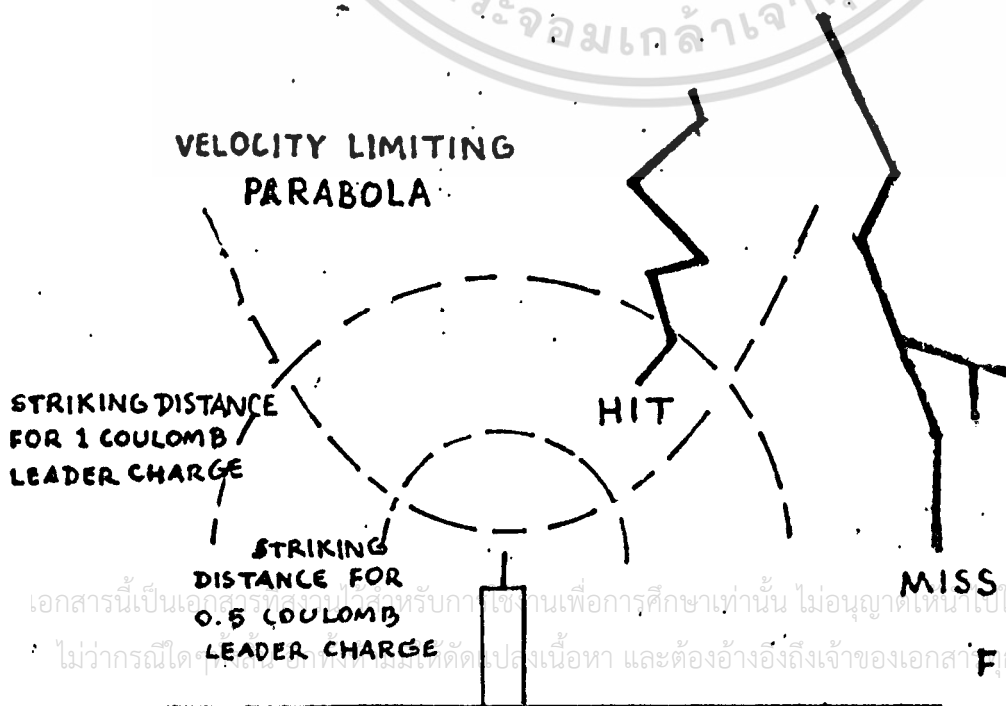
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่ที่เห็นเหตุเห็นผลเสีย และต้องขออนุญาตจากศูนย์ฯ นี้เสียก่อนจึงจะมีการนำไปใช้

FIG. 14

รูปที่ 14 จะแสดงถึง striking distance ที่ขึ้นอยู่กับขนาดประจุที่ถูกถ่ายเทลงมา ยิ่งประจุมีค่ามาก ระยะทางก็จะมีความสัมพันธ์กับกระแสสูงสุด (peak current) ในการถ่ายเทประจุ เมื่อ downward leader ฝ่าลงมาถึงแนวเส้นวงกลม ที่มีค่า striking distance คู่กันกับมัน แต่เนื่องจากความเร็วของ downward leader ทำให้มันพุ่งเข้าไปยังวงกลมที่ติดเข้าไป โดยไม่ได้รวมกับค่า striking distance ที่คู่กันกับมัน แต่จะไปรวมกับ positive upward streamer ที่มี striking distance ค่าอื่นแทนตั้งที่แท้จริงเป็นไปได้อย่างบางโอกาส มันอาจจะฝ่าเข้าไปโดยไม่มี positive upward streamer มารวมกับมันก็ได้ ดังนั้น zone of protection จะต้องมีการจำกัดเพิ่มเติม

รูปที่ 15 แสดงถึง Zone of protection แบบใหม่ โห่สกีซึ่งถึงความเร็วของ downward leader ด้วย จึงได้ขอบเขตของพาราโบลา เพื่อชี้แจงและได้มีการเสนอรูปแบบของ Air Termination แบบใหม่ดังรูปที่ 16

ดังนั้นเราจะสนใจทดลองเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบนี้ กับ Franklin Rod ว่าแบบใหม่จะให้ขอบเขตการป้องกันที่ดีกว่ากัน ในที่นี้ จุดประสงค์ของโป่งเงาที่ส่วนมาตรฐานการติดตั้งเราจะเขียนให้ละเอียดอีกทีในภายหลัง โห่สกีซึ่งมาตรฐาน ๘๙ เรน ปี ๑๙๖๕ เป็นหลัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตามหากมีผู้ฝ่าฝืนให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร นำไปใช้

FIG. 15

2) Down Conductor

จะเป็นทางเดินที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ เพื่อนำกระแสจากเสาหล่อฟ้าลงสู่ดิน
ได้อย่างปลอดภัย โดยทั่ว ๆ ไป ถ้าเราใช้ down conductor เป็นจำนวนมากขึ้น
การเสี่ยงต่อ side - flashing และปรากฏการณ์ที่ไม่พึงปรารถนาอื่น ๆ ก็
น้อยลง การใช้จำนวน down conductor อาจให้ได้ตามตารางต่อไปนี้

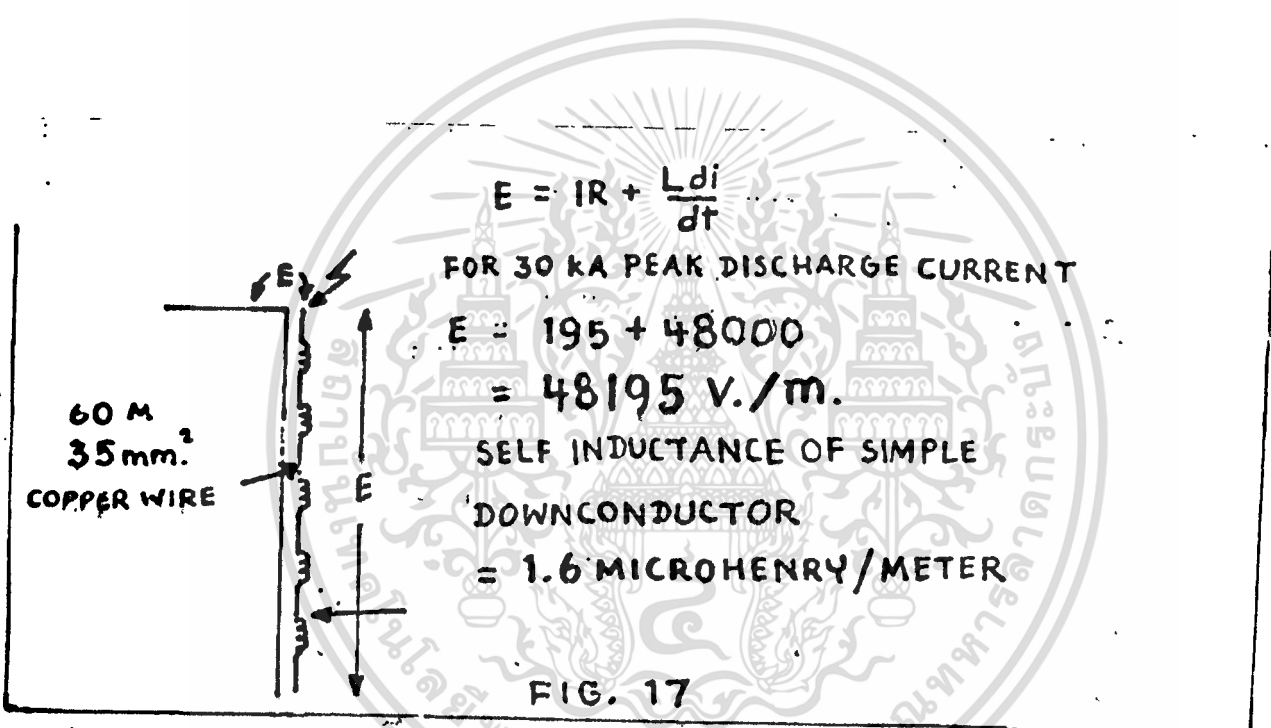
พื้นที่ฐานของตึก (m^2) , จำนวน down conductor

100 - 400	2
400 - 700	3
700 - 1000	4
1000 - 1300	5
1300 - 1600	6
1600 - 1900	7

ตามมาตรฐานอังกฤษฉบับ 6651 กล่าวว่า down conductor ที่มีขนาดใหญ่
ทำให้ลดการเสี่ยงต่อ side - flashing โดยเฉพาะถ้ามีหุ้มฉนวน และ
การใช้พวก coaxial ก็ไม่ได้มีความแตกต่างมากมายไปจากการใช้ตัวนำขนาดเท่า
กัน ที่มีฉนวนหุ้มเลย และการใช้ coaxial ก็ไม่สามารถที่จะลดจำนวน down
conductor ในมาตรฐานนี้ได้

ในทางปฏิบัติแล้วส่วนของโครงเหล็กในอาคาร อาจใช้เป็น down conductor ก็ได้
 ถ้ารับ 8S และ บวกว่าทุกระยะ 20 ม. รวมระดับหลังคาหรือระดับดินควรติด down conductor เข้าไป
 ที่ห้องแถว แยกจากกันสูงเกิน 20 ม. ระยะที่ติด down conductor จะเป็น 1 เส้น/เส้นรอบวง. ยาว
 10 เมตร

ถ้ามีอาคารบางที่มีระดับสูงของ down conductor แบบเก่าและผูกถึงมวกี
 ของแบบ coaxial ดังต่อไปนี้



จากรูปที่-17 ในค่าอินดักแทนซ์ เท่ากับ 1.6 $\mu\text{H/m}$ ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างน้อย แต่เนื่องจาก
 จาก di สูง ประมาณ 10^{10} A/s (BS 6651 ใช้ $\frac{di}{dt}_{max} = 2 \times 10^{11} \text{ A/s}$, $i_{max} = 200 \text{ kA.}$)
 และในที่จะใช้ 30 kA peak discharge current ในเวลา $L \frac{di}{dt}$ สูงถึง 48,000 v/m
 เมื่อเกิดตลอดความยาวทั้งหมดของสายแรงดันตกคร่อมเกิน 1,000,000 v. จึงได้ลักษณะการเป็นอิน-
 ดักแทนซ์ในเองที่ค่าในแรงดันคร่อมสายสูงมาก นี้ก็เป็นเหตุผลที่เราต้องใช้ down conductor มากกว่าที่จะ
 ทั่ว (เพื่อแบ่งกระแสเกินและลดค่าอินดักแทนซ์) และเพื่อความสวยงามทางสถาปัตยกรรมของอาคารเราจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ down conductor ๑๐ ตามขอบของอาคารก็ได้ เพราะจะเกิดอันตรายถึงรูปที่ ๑๖ และเนื่องจากโครงสร้างเหล็กในคอนกรีตอยู่ใกล้กับ down conductor ก็ทำให้มีกระแสจากการคายประจุตาม down conductor ก็อาจจะเกิดการเบรคทาวเข้าไปถึงโครงสร้างเหล็กที่ก่อกองกั้น และเนื่องจากโครงสร้างเหล็กเกิดรวมหัวอาคาร ดังนั้นจึงอาจมีโครงสร้างเหล็กบางส่วนอยู่ใกล้กับอุปกรณ์ที่ไวต่อการกระตุก (sensitive equipment) ซึ่งอาจจะมีกระแสที่ไหลผ่านแรงดันเกิดขึ้นหรือเกิด sideflashing ทำให้เกิดความเสียหายหรือรบกวนการทำงานของคอมพิวเตอร์และอื่น ๆ และน่าร้ายอาจเกิด sideflashing ทำอันตรายแก่เราก็คือ

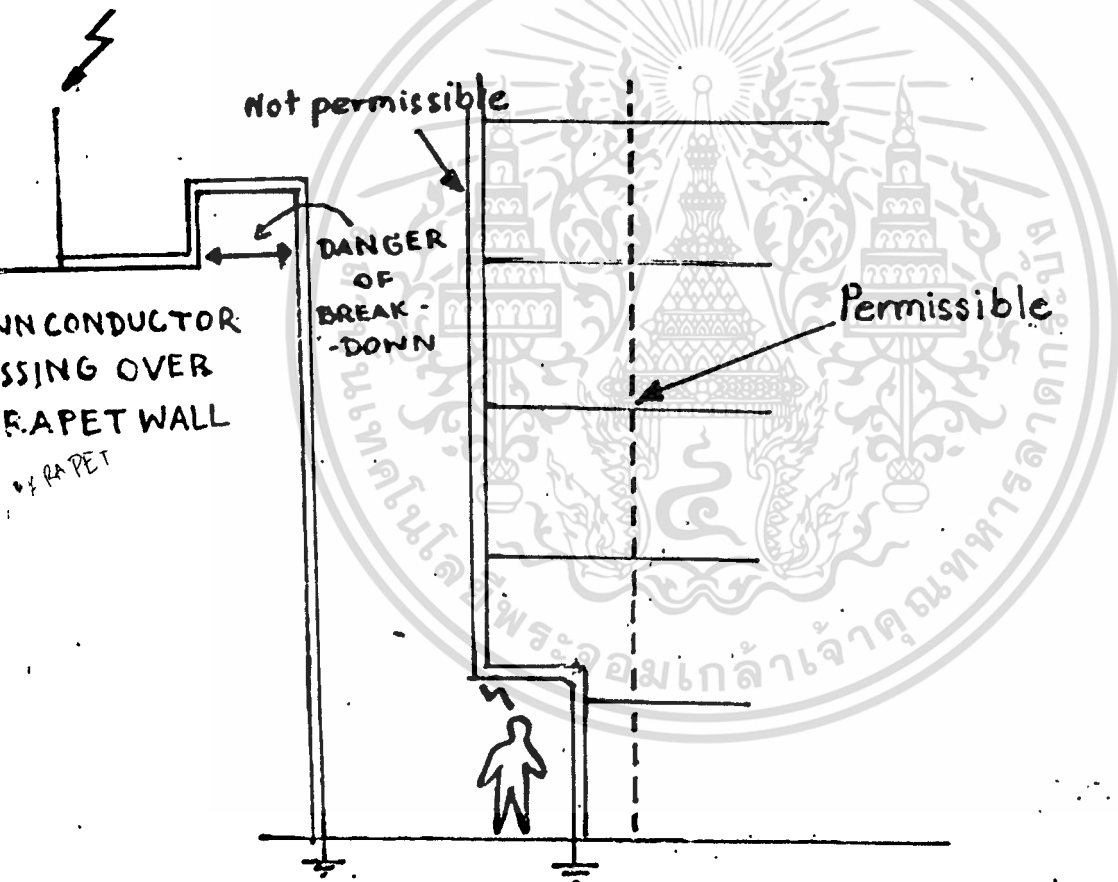
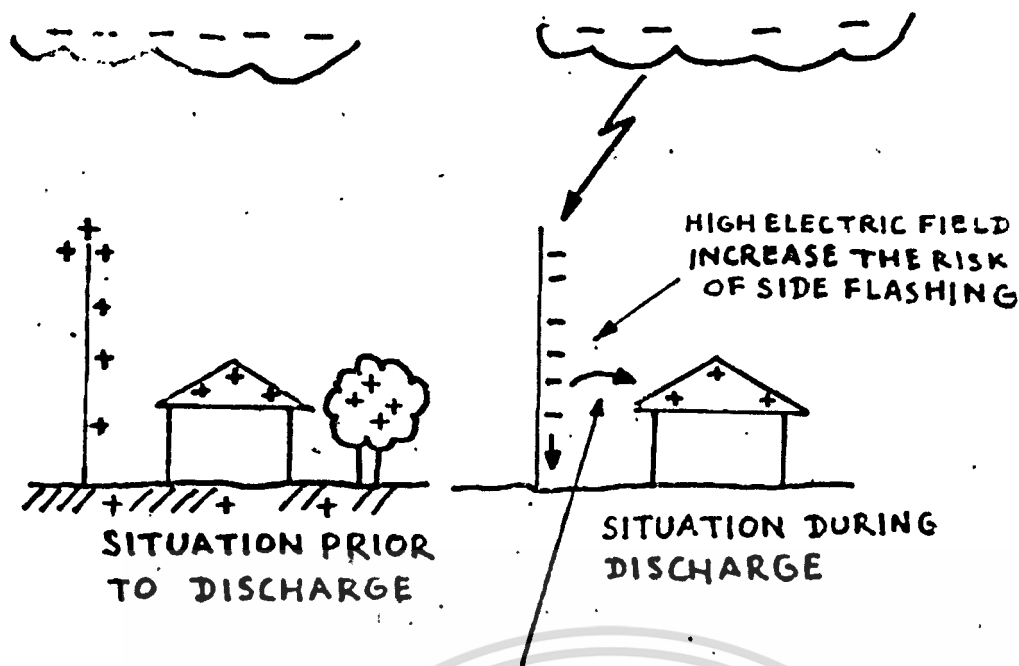


FIG. 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MINIMUM CLEARANCE 2 m.

FIG. 19

รูปที่ 19 แสดงถึงอันตรายจาก side-flashing ในกรณีใช้ down conductor

แบบแก้ไข

รูปที่ 20 แสดงถึง down conductor แบบ coaxial , เกล็ดสารไครมูวา

เพื่อหลีกเลี่ยงจาก side flashing ดังรูปที่ 21 เพราะตัวนำข้างนอกจะเข้าตัวกลางเพราะป้องกัน โดยประจุลบตามหัวในตัวนำข้างใน ส่วนตัวนำข้างนอกก็จะมีประจุบวก ซึ่งวัตถุที่อยู่รอบนอกก็จะมีประจุบวกถึงเห็น การเกิด side-flashing ก็เป็นไปยากและขึ้นเนื่องจากลักษณะของเกล็ดสารไครมูวาที่เข้าในเกิดตัว

นำแบบ coaxial อยู่ภายในอาคารเดิมโต, ไม่ทำความเสียหายให้เกิดขึ้นอุปกรณ์จำนวนอิเล็กทรอนิกส์

เพราะกระแสจะตามหัวในตัวนำข้างใน ส่วนตัวนำข้างนอกกับ โครงสร้างตึกจะมีด้วยไฟฟ้าใกล้เคียงกัน

ถึงเห็นโอกาสที่จะเกิดการเบรคความไม่ไปสู่อาคารตึกในอาคารที่ยาก, จำนวน down conductor

ที่น้อยกว่าแบบดั้งเดิม อาจใช้เพียงสามตัวก็พอ กับแท่งตัวนำเรียงตัวเดียวกันได้ ทำให้อาคารปลอดภัย

สำหรับว่าแบบใหม่จะดีกว่ากันหรือไม่ขึ้นอยู่กับการทดลองของเราที่ทำ เชนอกซ์ เพื่อที่จะให้ทราบ

ถึงการขึ้นรูปแบบของ down conductor แต่จะดีกว่าหรือไม่ขึ้นต่อวิธีการทดสอบอีกต่อไปส่วน

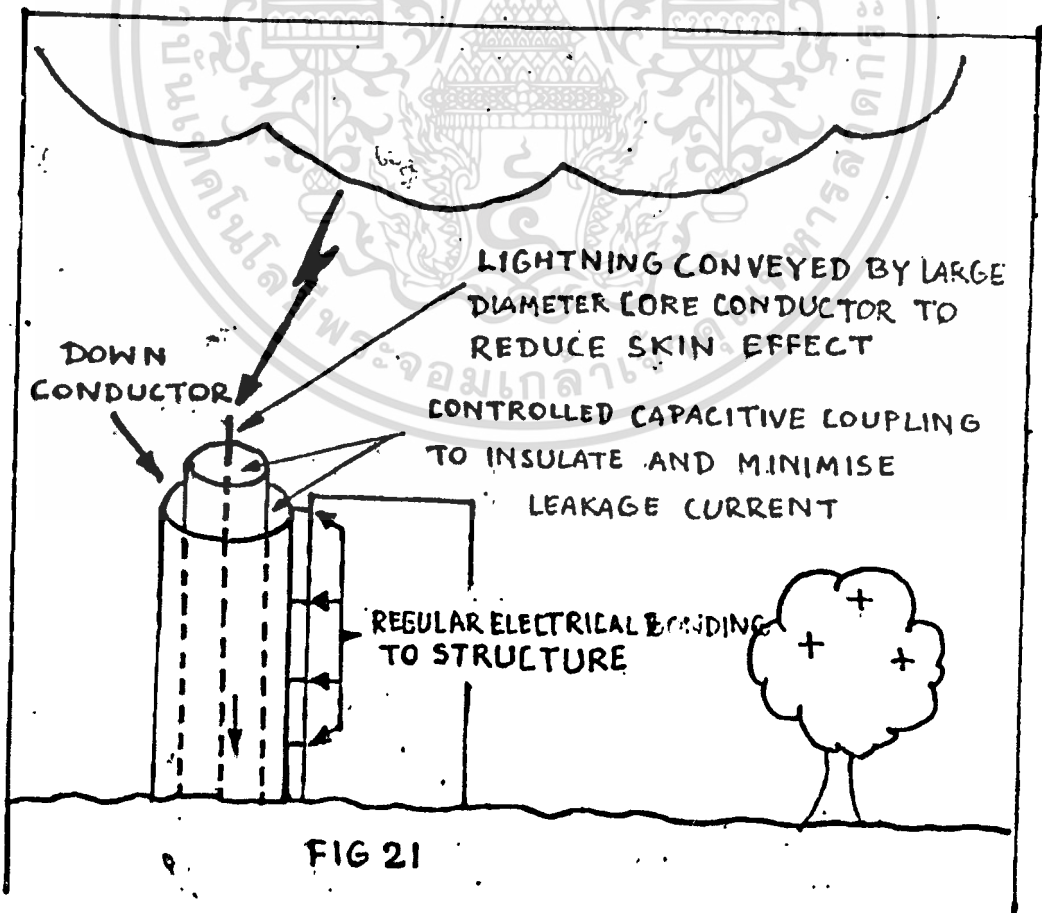
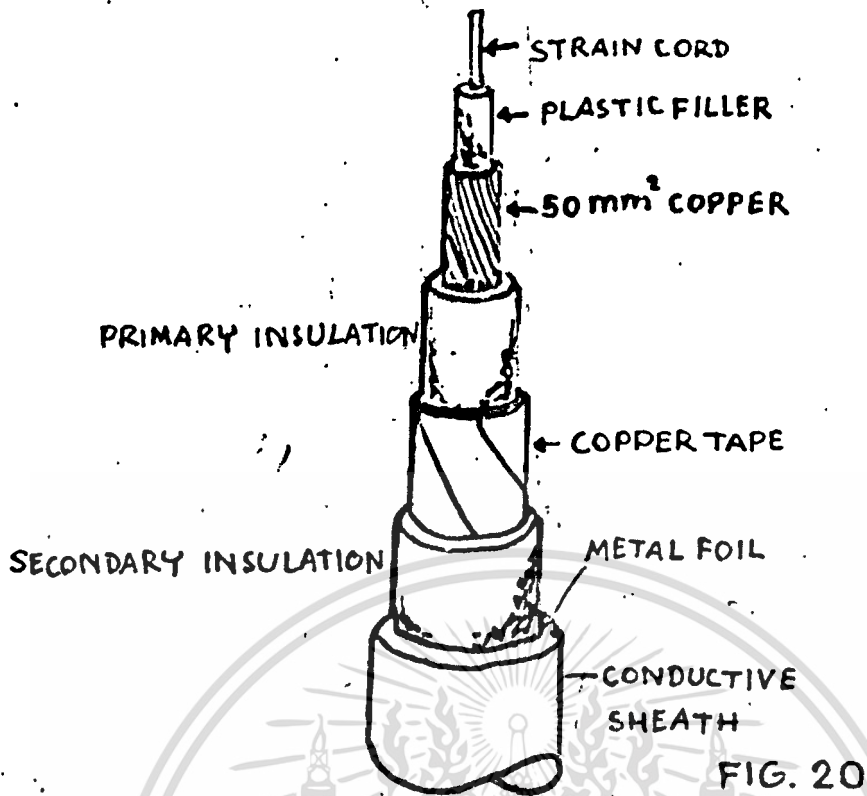
การติดตั้ง down conductor โดยทั่วไป down conductor

ขนาดที่ใช้จะเป็น 35, 50 หรือ 70 ตารางมิลลิเมตร แบบสายเปลือย และแต่ละเสาควรจะมีปลายสายดิน

(Earthelectrode) เป็นอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Earth Terminations

คำศัพท์ Earth electrode

นี้ขอแบ่งเป็น 3 อย่างใหญ่ ๆ ใกล้เคียงนี้

1. แท่งแท่ง (rod)

2. แผ่นแผ่น (plate)

3. แถบโลหะ (strip)

แท่งตัวนำที่ฝังดินแต่ละแท่งควรมีความต้านทานไม่มากกว่า 10 โอห์มของจำนวนแท่งตัวนำที่ฝัง
ดินทั้งหมด (เทียบเป็น Ω) และระบบซึ่งแท่งตัวนำที่ฝังดินทั้งหมด (เชื่อมต่อกันแล้ว) ต้องมีค่าไม่เกิน
10 Ω ถ้าเกิดการลดค่าความต้านทานเกินกว่าที่กำหนดโดยการเพิ่ม earth electrode เข้าไป
หรือเชื่อม earth electrode แต่ละตัวเข้าด้วยกัน โดยฝังตัวนำที่ฝังดินที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
0.6 ม. ตัวนำที่เชื่อมต่อกันนี้เรียกว่า ring conductor นอกจากนี้ความต้านทานที่ลดลง
นี้ทำให้เกิด step voltage ลดลงไปถึงรูปที่ 22 และยังมีอาจจะลดความเสี่ยงต่อ side-flashing
ที่มีท่อโลหะในตู้ตู้ที่ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

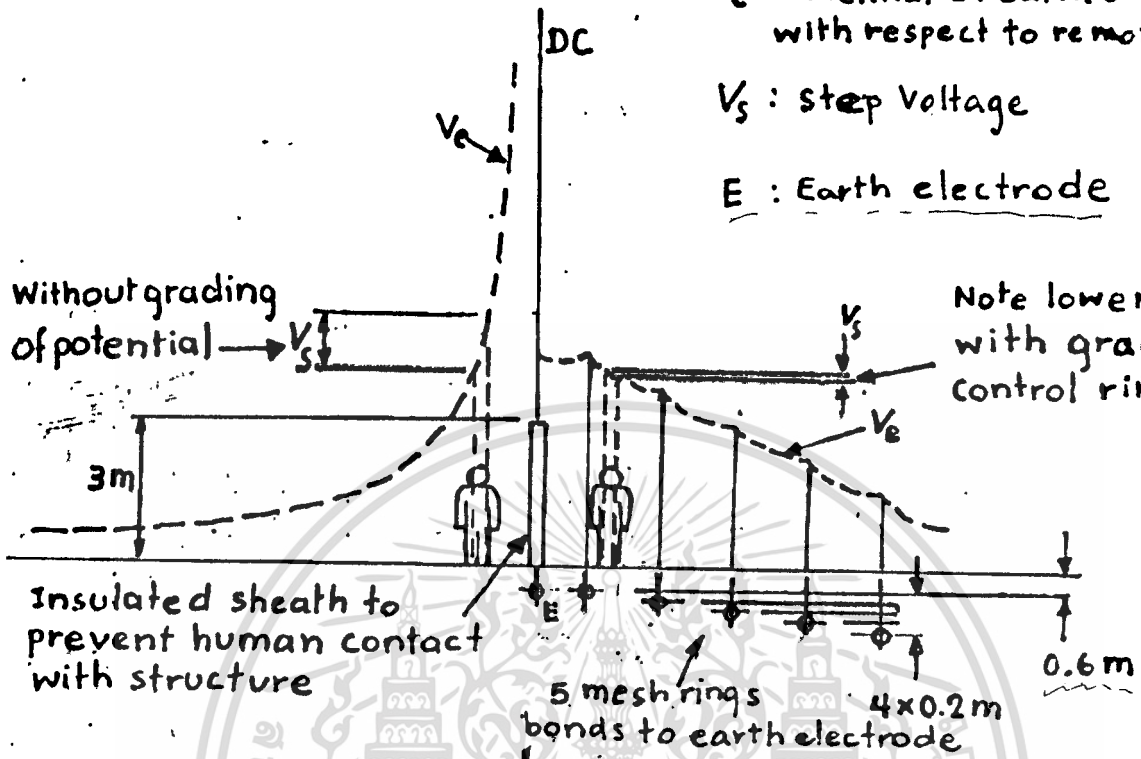
V_e : Potential of earth surface with respect to remote earth

V_s : step Voltage

E : Earth electrode

Without grading of potential $\rightarrow V_s$

Note lower V_s with grading control rings

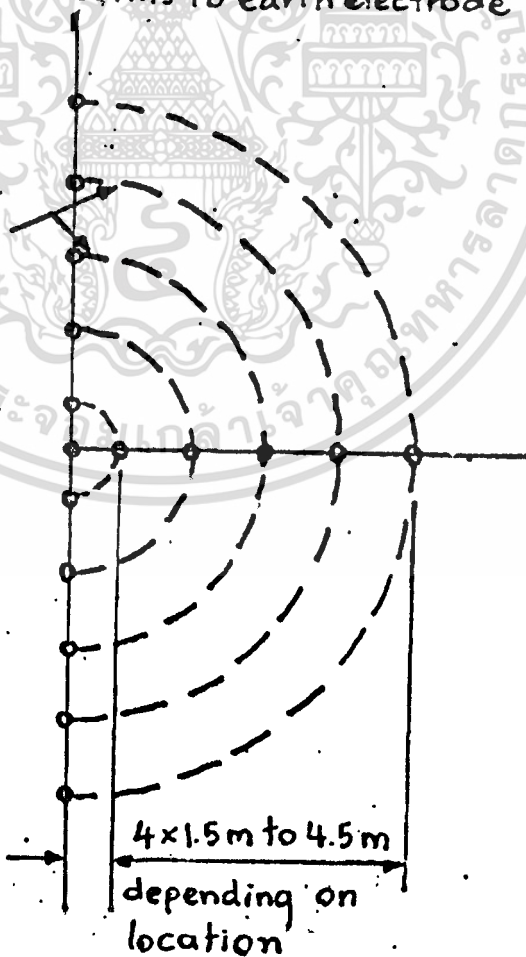


Insulated sheath to prevent human contact with structure

5 mesh rings bonds to earth electrode
4x0.2m

0.6 m

Ring electrodes of different diameter and depth buried in ground for controlling ground voltage gradient



1 m

4x1.5m to 4.5m
depending on location

FIG. 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีประกอบดังนี้

ในหัวข้อนี้จะเน้นถึงปัจจัยที่มีผลต่อระบบกราวด์, เพื่อให้ทำให้ระบบกราวด์ที่ดี ก็จะต้อง

1. วิธีกราวด์ความต้านทานแฉะระก้า
2. วิธีวางเส้นลู่
3. จุดประจุของดินแดงทงที่ เติโงจุดเบือกแข็ง

ถัดไปก็ภาคปัจจัยที่มีผลต่อระบบกราวด์ ความต้านทานของดิน

- ลักษณะของประเภทเมทางกายภาพของดินเอง ดังตารางต่อไปนี้

Soil	Resistivity (Ω.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 upwrc1s
Sandy Gravel	30,000-50,000
Rock	100,000 upwrc1s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความชื้น เมื่อความชื้นในดินมากขึ้น ความต้านทานจะลดลง ดังรูปที่ 23 ทั้งนี้เพราะความถี่ของดินที่เป็นไปได้อีกที่ขุดคือ ดินเหนียว และดินเหนียวอินทรีย์และบริเวณความชื้นจะช่วยให้ค่าความต้านทานของดินลดลง electrode จะคงไม่อาจเข้าใจได้โดยตรงเพราะถ้ามีความต้านทานสูงมาก ควรจะฝังอยู่ในชั้นดินเหนียว โดยทั่วไปดินเหนียวในการเพาะปลูกก็มักจะมีความชื้นในดินที่ต่ำ และบริเวณรวม ๆ ค่าแรงที่ฝัง earth electrode ควรจะใช้น้ำเกลือ เช่น ปลูกหญ้าคลุมไว้ด้วย หรือทำเป็นแถวเก็บกักน้ำฝนเพื่อให้เกิดความชื้น

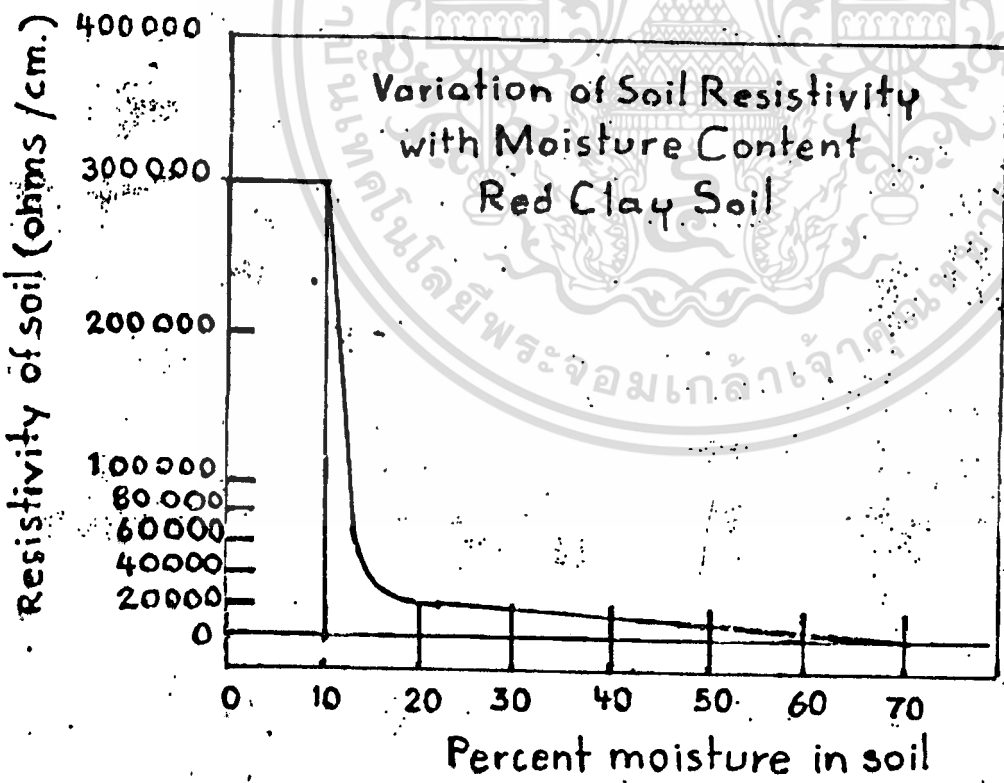


FIG.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทรายปนดินเหนียว (sandy loam) ความชื้น 15%

Added salted (per cent by weight of moisture)	Resistivity ($\Omega \cdot \text{cm}$)
0	10,700
0.1	1,800
1.0	460
5	190
10	130
20	100

ซึ่งเป็นตารางค่าสำหรับดินร่วนปนทราย (sandy loam) ความชื้น 15%, พบจะกล่าวได้ว่า
 เมื่อเราเติมสารละลายเกลือ (จากเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือแมกนีเซียมซัลเฟต) จะทำให้ค่าความต้าน
 ทานของดินลดลงตามข้อใดก็ควรระลึกไว้ earth electrode (ควรระวังค่าความปกติ และขนาดจากที่
 ภาชนะวัดค่าความต้านทานอาจสูงขึ้นไป)

- ความถี่ เมื่อเวลาบรรยากาศเปลี่ยนแปลง ค่าที่วัดจะเปลี่ยนแปลงได้จนยิ่ง ดังนั้นเรา
 ควรใช้ earth electrode ที่ฝังไปจากนี้ และใช้ระบบการหาเอาไปเป็นวิธีอื่นในภาค
 กังการาง

Temperature		Resistivity ($\Omega \cdot \text{M}$)
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	
20	68	7200
10	50	9900
0	32 (water)	13800
0	32 (ice)	30000
-5	23	79000
-15	14	330000

เมื่อตารางค่าสำหรับดินร่วนปนทราย ความชื้น 15.2%
 จะสังเกตเห็นว่าค่าความถี่ในรูปของอุณหภูมิ 20°C เป็น 7200 และถ้าหากเราใช้ค่านี้ไปใช้ในการคำนวณค่า
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติงานได้
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

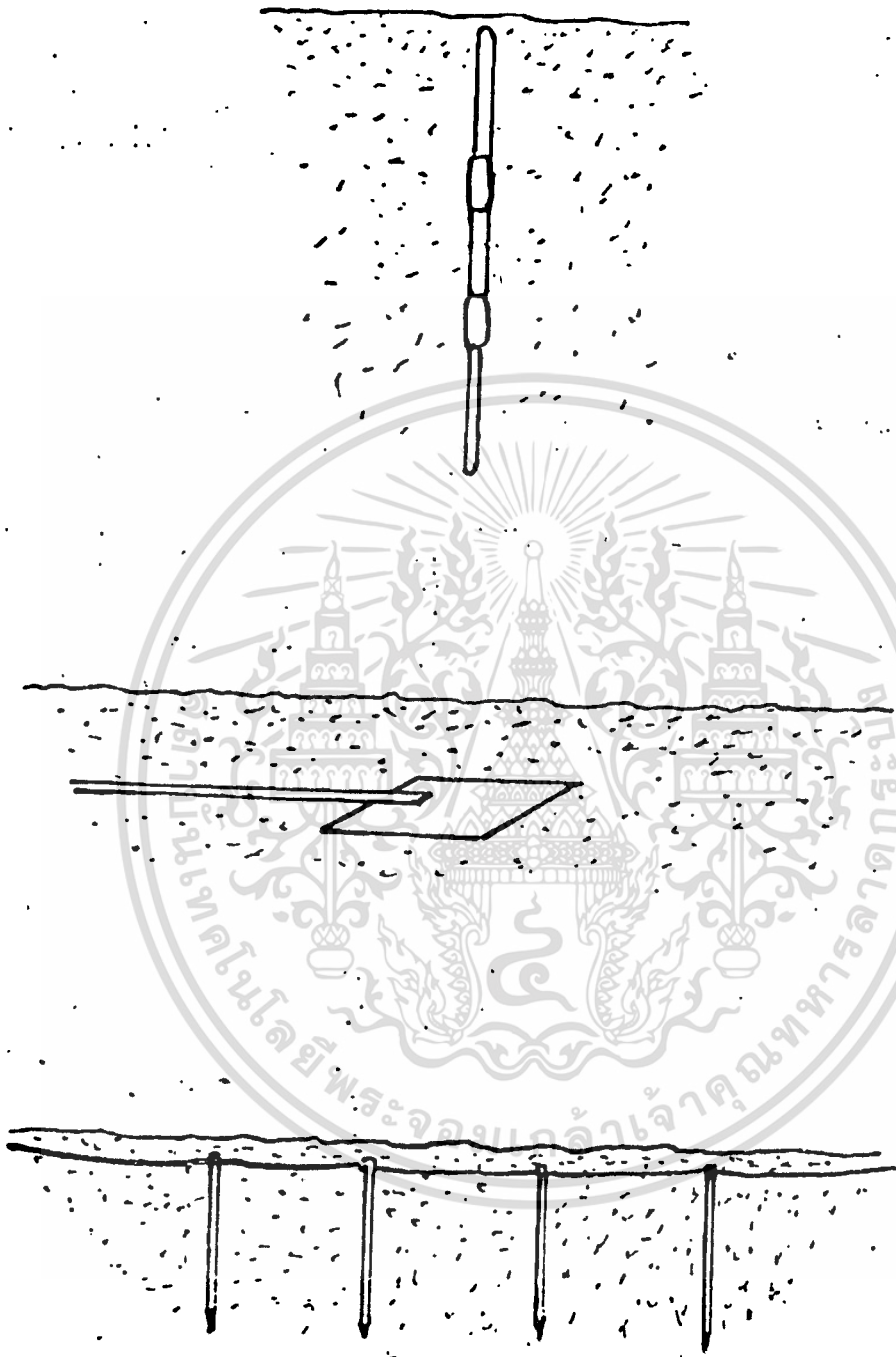


FIG. 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปถึงทาง ๆ ที่ใช้เข้ามาในขณะนี้

1. เป็นที่ทราบกันดีว่าเมื่อเพิ่มกำลังไฟหรือแรงดัน ขั้วแตกห่างระหว่างแนวความถี่กับค่าและแนวความถี่ใหม่ที่ได้รับเข้ามา
2. ทราบว่าเมื่อพูดถึง High voltage testing เพื่อที่จะเข้ามาใช้ตามแผนการทดลองในขณะนี้
3. ทราบว่าเมื่อพูดถึง Air terminations ทาง ๆ เพื่อที่จะใช้ดูว่ามีการแยกแยะและจะทำการแยกแยะออกมา
4. ทราบว่าเมื่อพูดถึงใหม่ที่จะเป็นผลพลอยได้ของ project นี้ เช่น การทราบการเกิดทั้งนี้ทั้งนั้นก็เป็นการไปประมาณว่ามีความถี่และความถี่ทาง ๆ ทั้งของปรากฏการณ์การเกิดไฟฟ้า

อุปสรรค

1. ระยะแรก ๆ ทราบว่าไม่ค่อยดี เพราะของเดิมโดยทั่วไปก็ไม่ได้ดีอยู่แล้วเกี่ยวกับเรื่องใหม่ เช่นของ Eriksson A.J. (เอริกสัน อี.เจ.) ซึ่งเขาไม่เจอเลย เจอแต่บทความที่รวบรวมเอาอย่างย่อ ๆ ซึ่งอ่านเข้าใจโดยยาก หรือใช้เวลาในการอ่านมาก
2. ความรู้เกี่ยวกับเรื่องนี้นั้นยังไม่มีความรู้แน่นอนเลยสักนิด ส่วนใหญ่ก็มาจากแนวทางที่ดีของการทดลองถึงนั้น ทราบว่าถ้าหากจะเข้ามาจะเข้าใจโดยยาก
3. เอกสารบางฉบับมุ่งเน้นทางการทำมากกว่าที่จะอธิบายให้เข้าใจเกี่ยวกับเรื่องต่าง ๆ อย่างแท้จริง

ข้อบังคับในการติดตั้งระบบ LIGHTNING PROTECTION ตาม BS

SECTION ONE : GENERAL

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

102. นิยามและอักษรย่อ

LIGHTNING PROTECTIVE SYSTEM : ระบบของตัวนำซึ่งใช้สำหรับป้องกันอาคารจากผลกระทบของฟ้าผ่า

AIR TERMINATION : ส่วนประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ใช้สำหรับดึงดูดสายฟ้า (LIGHTNING DISCHARGE)

DOWN CONDUCTOR : ตัวนำซึ่งเชื่อมระหว่าง AIR TERMINATION และ EARTH TERMINATION

BOND : ตัวนำที่ใช้สำหรับเชื่อมระบบไฟฟ้าระหว่าง PROTECTIVE SYSTEM และชิ้นส่วนโลหะอื่น ๆ

JOINT : จุดเชื่อมทางไฟฟ้าหรือทางกลของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบป้องกัน

TESTING JOINT : จุดต่อซึ่งถูกออกแบบและติดตั้งเพื่อการต่อความต้านทานหรือเครื่องมือวัดได้อย่างต่อเนื่อง

EARTH TERMINATION : ส่วนของระบบป้องกันเพื่อใช้สำหรับคายประจุจากกระแสฟ้าผ่าลงสู่ดิน

EARTH ELECTRODE : ส่วนของ EARTH TERMINATION ที่สัมผัสกับดินโดยตรง

H.C. = HORIZONTAL CONDUCTOR

V.C. = VERTICAL CONDUCTOR

Z.P. = ZONE OF PROTECTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

103. EXCHANGE OF INFORMATION

ในการเตรียมแผนงานผู้ออกแบบโครงสร้างจะต้องร่วมมือกับวิศวกรผู้ควบคุมระบบ
ป้องกันฟ้าผ่า เพื่อให้การจัดหาอุปกรณ์สอดคล้องตามข้อบังคับ และในขั้นแรกจะต้องมีข้อมูลข่าว
สารเกี่ยวกับดินฟ้าอากาศ และลักษณะของดินในบริเวณนั้นด้วย

104. NEED FOR PROTECTION

อาคารที่ต้องการการป้องกันฟ้าผ่ามากที่สุดคืออาคารที่มีลักษณะเสี่ยงต่อการระเบิด,
โรงงานผลิตระเบิด, ที่เก็บดินระเบิด, ถังน้ำมัน, ข้อบังคับในการป้องกันอาคารเหล่านี้ดูได้จาก
ข้อ 212

สำหรับโครงสร้างอื่น ๆ นั้น การพิจารณาจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- อยู่ใกล้แหล่งชุมชน
- เป็นสาธารณูปโภคที่จำเป็น
- มีโอกาสที่จะเกิดฟ้าผ่าได้มาก
- อาคารที่อยู่โดดเดี่ยวและสูงมาก
- โบราณสถานที่สำคัญ

105. ZONE OF PROTECTION

สำหรับ SINGLE VERTICAL CONDUCTOR โชนของการป้องกันจะเป็นรูปกรวยที่มี
ยอดแหลมอยู่ที่จุดสูงสุดของแท่ง CONDUCTOR และจะมีมุมที่ทำกับแกน (PROTECTIVE ANGLE)
คือมุมการป้องกัน

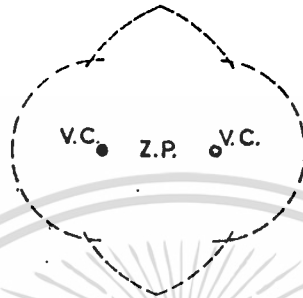
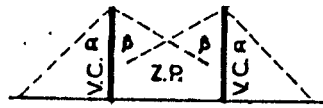
จากประสบการณ์แสดงให้เห็นว่าตัวนำจะไม่สามารถให้ความเชื่อมั่นได้ ในการ
ป้องกันเพียงโชนเดี่ยว แม้ว่ามุมจะครอบคลุมอย่างสมบูรณ์ก็ตาม ดังนั้นการสมมติให้ PROTEC-
TIVE ANGLE ลดลงก็จะให้ผลในการป้องกันได้ดีกว่า

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสูง ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ของ PROTECTION ANGLE อาจพิจารณาเป็น 60° กับแนวตั้งได้

(ดูรูป 3)



$\alpha = 45^\circ$
 $\beta = 60^\circ$

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

106. วัสดุ

วัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนของ ระบบป้องกันจะต้อง เลือกตามตารางที่ 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 PB102 CZ112 CS101
Phosphor bronze		
Naval brass		
Copper-silicon		
Aluminium	B.S. 2898	E1E E91E
Aluminium alloy		
Strip		
Copper annealed	B.S. 2870	C101 or C102 E1E
Aluminium	B.S. 2898	
Stranded conductors		
Copper, hard-drawn	B.S. 125	
Aluminium	B.S. 215	
Fixing bolts and screws for copper		
Phosphor bronze	B.S. 2874	PB102 CZ112 CS101
Naval brass		
Copper-silicon		
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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

107. DIMENSION

ส่วนประกอบของ ระบบป้องกันจะต้องมีขนาดไม่น้อยกว่าที่กำหนดในตารางที่ 2 และสำหรับการติดตั้งที่ทำการตรวจสอบหรือซ่อมแซมใดยากจะต้องพิจารณาใช้ขนาดใหญ่กว่าขนาดเล็กที่สุดที่กำหนดในตารางไว้ก่อน

TABLE 2. MINIMUM DIMENSIONS OF COMPONENT PARTS

Component	Minimum Dimensions	
	in	mm
<i>Air terminations (see Note 1)</i>		
Aluminium and copper strip	$\frac{3}{4} \times \frac{1}{8}$	20 x 3
Aluminium, aluminium alloy copper and phosphor bronze rods	$\frac{3}{8}$ dia	10 dia
Stranded aluminium conductors	7/-102	
Stranded copper conductors	19/-064	19/1.80
<i>Down conductors (see Note 2)</i>		
Aluminium and copper strip	$\frac{3}{4} \times \frac{1}{8}$	20 x 3
Aluminium, aluminium alloy and copper rods	$\frac{3}{8}$ dia	10 dia
<i>Earth terminations (see Note 3)</i>		
Hard-drawn copper rods for direct driving into soft ground	$\frac{1}{2}$ dia	12 dia
Hard-drawn or annealed copper rods for indirect driving or laying in ground	$\frac{3}{8}$ dia	10 dia
Phosphor bronze rods for hard ground	$\frac{1}{2}$ dia	12 dia
Copper-clad steel for harder ground (not rock)	$\frac{3}{8}$ dia	10 dia
<i>Fixed connections (bonds) in aluminium, aluminium alloy and copper</i>		
External-strip rods	$\frac{3}{4} \times \frac{1}{8}$ $\frac{3}{8}$ dia	20 x 3 10 dia
Internal-strip rods	$\frac{3}{4} \times \frac{1}{16}$ $\frac{1}{4}$ dia	20 x 1.5 6.5 dia
<i>Stranded flexible connections (bonds)</i>		
External, aluminium	428/-018	
External, annealed copper	416/-018	
Internal, aluminium	221/-018	
Internal annealed copper	248/-018	

SECTION TWO : DESIGN

201. GENERAL CONSIDERATIONS

ก่อนที่จะทำการก่อสร้างจะต้องมีการตรวจตราแบบอย่างละเอียดตามข้อบังคับโดย เฉพาะ

- โลหะที่เป็นส่วนของหลังคา, กำแพง, โครงร่าง, แกนเหล็กในคอนกรีต หั้ว เหนือพื้นและใต้พื้น เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการเลือกจุดติดตั้งระบบป้องกัน ไซ้ประโยชน์ด้านการค้า
- ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จะต้องมียุทธวิธีหลายตำแหน่งในการติดตั้ง DOWN CONDUCTOR ที่ต้องมีค่าความต้านทานระหว่าง AIR TERMINATION และ EARTH TERMINATION ค่า
 - ต้องทดสอบความต้านทานของดิน และการทดสอบ EARTH ROD ELECTRODE เพื่อการออกแบบ EARTH TERMINATION ที่เหมาะสม
 - สาธารณูปโภคที่เข้าสู่อาคารทั้งเหนือดินและใต้ดิน
 - บริเวณที่ติดตั้งวิทยุ, โทรทัศน์
 - เสาธง, ห้องใต้หลังคา, ห้องมอเตอร์ลิฟท์, แท็งก์น้ำ หรือสิ่งที่ยื่นออกไปจากอาคาร
 - โครงสร้างของหลังคา ในการพิจารณาติดตั้งตัวนำที่ปลอดภัยและซ่อมแซมบำรุงรักษาได้ง่าย
 - การเตรียมช่องสำหรับยึดกับโครงเหล็กในคอนกรีต
 - การเตรียมช่องโดยการเจาะผ่านอาคารเพื่อให้ทางเดินของตัวนำเป็นไปได้
- อย่างอิสระ
- ช่องสำหรับจุดทดสอบ
 - การเตรียมการเขียนแบบโดยรวบรวมรายละเอียดที่กล่าวมาทั้งหมด และแสดงถึงตำแหน่งขององค์ประกอบที่สำคัญ

202. COMPONENT PART

องค์ประกอบที่สำคัญของระบบป้องกันฟ้าผ่าคือ

AIR TERMINATIONS, DOWN CONDUCTORS, JOINTS AND BONDS, TESTING JOINTS, EARTH TERMINATIONS, EARTH ELECTRODES

203. AIR TERMINATIONS

อาจจะติดตั้งตามแนวตั้ง (VERTICAL) สำหรับการป้องกันแบบยอดแหลมและติดตั้งตามแนวนอน (HORIZONTAL) เช่น ตามแนวสันหลังคา สำหรับส่วนของอาคารที่ยื่นออกไปจะต้องจัดในรูปของ NETWORK แต่สำหรับหลังคาที่ราบเรียบจะใช้ TERMINATION อันเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ชิ้นส่วนโลหะใด ๆ 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 CONDUCTOR 1 ตัว
2. ถ้าอาคารมีพื้นฐานเกินจาก 1000 ตารางฟุต ให้พิจารณาดังนี้
 - ใช้ 1 DOWN CONDUCTOR และเพิ่มอีก 1 ทุก ๆ 3000 ตารางฟุต
 - ใช้ 1 DOWN CONDUCTOR สำหรับรัศมีทุก ๆ 100 ฟุต
3. ถ้าอาคารสูงเกิน 100 ฟุต ให้ดูตาม 210

B) ตำแหน่งการวาง DOWN CONDUCTOR จะต้องกระจายอยู่รอบ ๆ ผนังภายนอกของอาคารแต่จะต้อง ไม่อยู่ในแนวลิฟท์

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

ชิ้นส่วนโลหะใดที่มีทิศตั้งลงตามแนวตึกจะต้องถูกเชื่อมเข้ากับ DOWN CONDUCTOR ทั้งที่ยอดและที่ฐาน ยกเว้นเมื่อมีระยะห่างพอเพียงซึ่งดูได้จาก 209

D) ในการวาง DOWN CONDUCTOR ควรวางเป็นแนวตรงจาก AIR TERMINATION ถึง EARTH TERMINATION

- E) ถ้าอาคารก่อสร้างอยู่บนพื้นที่ที่เป็นหิน จะต้องพิจารณาให้มีอย่างน้อย 2 DOWN CONDUCTOR โดยแบ่งพื้นที่เท่า ๆ กัน

205. JOINTS AND BONDS

- A) โลหะที่อยู่ภายนอกอาคารอาจได้รับการ DISCHARGE จากกระแสฟ้าผ่าอย่างเต็มที่ ดังนั้นในการเชื่อม (BOND) ของมันจะต้องมีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่าของตัวนำกระแสในส่วนนั้น
- B) ในระบบป้องกันฟ้าผ่าควรจะพยายามให้มีจุดเชื่อมต่อที่น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะการเชื่อมต่อจะมีผลทางไฟฟ้า เช่น สกรู, BOLTED, หรือการเชื่อมด้วยไฟฟ้า ถ้าจุดที่จะเชื่อมมีการเหลื่อมล้ำกัน ความยาวของการเหลื่อมล้ำจะต้องไม่น้อยกว่า $\frac{3}{4}$ นิ้ว ไม่ว่าตัวนำชนิดใด

การเชื่อมของโลหะต่างชนิดกันจะต้องป้องกันความชื้นโดยวิธี INERT - TENACIOUS MATERIAL

- C) ค่าความต้านทานระหว่างส่วนใด ๆ ของระบบป้องกันกับดินจะต้องไม่เกินค่าใน 207

206. TESTING JOINTS

DOWN CONDUCTOR แต่ละตัวจะต้องมี TESTING JOINT ซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่สามารถติดตั้งเครื่องมือวัดได้สะดวกและต่อเนื่อง

207. EARTH TERMINATIONS

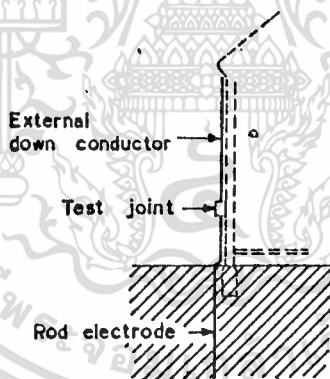
- A) EARTH TERMINATION จะถูกเชื่อมติดกับ DOWN CONDUCTOR แต่ละตัวและจะต้องมีความต้านทานระหว่าง TERMINAL และ EARTH ไม่เกินผลคูณของ (จำนวน TERMINAL x 10) และระบบป้องกันทั้งหมดจะต้องมีความต้านทานไม่เกิน 10 โอห์ม ขณะที่ยังไม่มีการเชื่อมกับโลหะใด ๆ ภายนอก

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

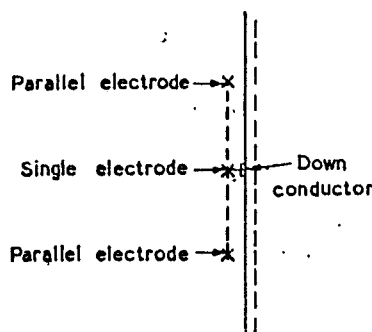
- C) การลดความต้านทานถึงดินให้ต่ำกว่า 10 โอห์ม มีข้อได้เปรียบในการลด POTENTIAL GRADIENT รอบ ๆ EARTH ELECTRODE ขณะที่มีการคายประจุลงสู่ดิน นอกจากนั้นยังลดผลของ SIDE FLASHING ไปยังโลหะในโครงสร้างด้วย
- D) ถ้ามี EARTH ELECTRODE หลายตัวควรเชื่อมเข้าด้วยกันทั้งหมด
- E) EARTH TERMINATIONS จะต้องสามารถแยก TEST แต่ละตัวได้
- F) อาคารที่ตั้งอยู่บนพื้นที่ที่เป็นหิน จะต้องเตรียม CONDUCTOR ที่มีรูปโค้งกลมและเชื่อมติดกับระดับพื้นของอาคารและสัมผัสกับพื้นตามรูปร่างของพื้น และควรปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญ

208. EARTH ELECTRODES

- A) EARTH ELECTRODES จะเป็นแผ่นหรือแท่งโลหะหรืออาจรวมทั้ง 2 ชนิดก็ได้
- B) ถ้าใช้แบบแท่งจะต้องวางไว้ใต้ดิน หรือวางให้ใกล้กับอาคารมากที่สุด (ดูรูป 5 A)

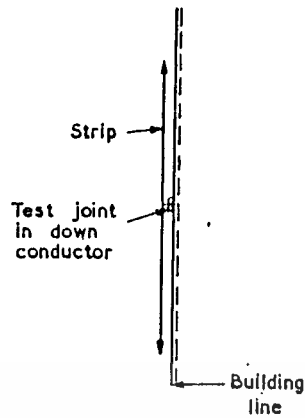


Section/elevation of structure



Plan arrangement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Plan arrangement for single strip bisected by down conductor

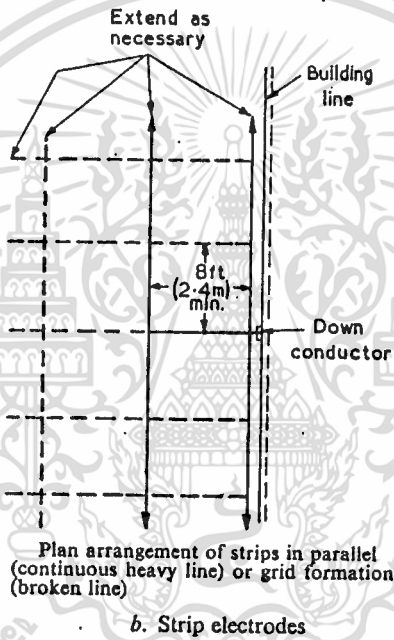


Fig. 5. Arrangement of earth electrodes

และถ้าเป็นแบบแท่งซึ่งมีส่วนของสกรู การเชื่อมระหว่าง DOWN CONDUCTOR และ EARTH ELECTRODE ควรจะอยู่เหนือพื้น แต่ถ้าอยู่ที่พื้นจะต้องอยู่ในกล่อง สำหรับตรวจสอบ

- c) ถ้าใช้แบบแผ่นจะต้องถูกฝังไว้ใต้พื้นหรือในหลุมที่ระดับความลึกที่เหมาะสมที่จะหลีกเลี่ยงความเสียหายอันเกิดจากการก่อสร้างหรือการเกษตรกรรม แผ่น ELECTRODE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควรวางแยกเป็น 2 ทิศทาง (หรือมากกว่า) จากจุดที่เชื่อมกับ DOWN CONDUCTOR แต่ถ้าไม่สามารถทำได้อาจวางแผ่น ELECTRODE ในทิศทางเดียวกันก็ได้

D) ถ้าในบริเวณรอบๆ โครงสร้างมีอุณหภูมิสูง ซึ่งมีผลกระทบต่อผิวคินแล้ว ควรติดตั้ง EARTH ELECTRODE ให้ห่างออกไปในที่ ๆ คินจะไม่แห้งจากอุณหภูมิสูงนี้

209. METAL IN, ON STRUCTURE

A) ขณะที่ฟ้าผ่าลงระบบป้องกัน คักตาไฟฟ้าเมื่อเทียบกับพื้นดินจะเพิ่มสูงขึ้น (ยกเว้นเมื่อมีการเตรียมป้องกันไว้แล้ว) มันจะพยายามคายประจุลงดินโดยอาจเกิด SIDE FLASHING ไปยังชิ้นส่วนโลหะอื่น ๆ ในอาคารมีวิธีป้องกันอยู่ 2 วิธีคือ

- ISOLATION คือการติดตั้งระบบป้องกันให้ห่างจากโลหะอื่น ๆ ในระยะที่ปลอดภัย ในการพิจารณา ระยะที่ปลอดภัยจะมีการพิจารณาปัจจัย 2 อย่างคือ คักตาตกคร่อมที่ EARTH TERMINATION และคักตาตกคร่อม DOWN CONDUCTOR ระยะปลอดภัยที่ต้องการพิจารณาจากคักตาตกคร่อมความต้านทานโดยระยะปลอดภัย 1 ฟุต ต่อความต้านทาน 1 โอห์ม ส่วนการพิจารณา DOWN CONDUCTOR นั้น กำหนดระยะปลอดภัย 1 ฟุตต่อ 15 ฟุต ของส่วนสูงของอาคาร ระยะปลอดภัยจะสามารถลดลงได้ถ้ามีการเชื่อมระหว่างคอนกรีตเตอร์โดยกีดจากสูตร

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

D = ระยะปลอดภัย (ฟุต, เมตร)

R = ความต้านทานหลังการเชื่อมระบบ EARTH TERMINATION
เข้าด้วยกัน (Ω)

H = ส่วนสูงของอาคาร (ฟุต, เมตร)

= จำนวน DOWN CONDUCTOR ที่เชื่อมกับ AIR TERMINATION

- วิธี BONDING

1. ถ้าอาคารมีส่วนของโลหะประกอบอยู่อย่างต่อเนื่อง เช่น หลังคา, กำแพง, หน้า และพื้น โลหะเหล่านี้ควรจะมีการเชื่อมถึงกันเพื่อใช้เป็นส่วนของระบบป้องกันด้วยตามข้อ 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. โลหะที่เข้าหรือออกจากอาคารในลักษณะของเครื่องหุ้มท่อ หรือท่อสำหรับไฟฟ้า, แก๊ส, น้ำ, โทรทัศน์, ใยแก้ว, ความดันอากาศ ถ้าเป็นไปได้แล้วจะต้องเชื่อมโดยตรงเข้ากับ EARTH TERMINATION ที่จุดเข้าหรือออกจากอาคาร
5. มวลโลหะในอาคาร เช่น ระงับนทอคอยโบสท์ จะต้องเชื่อมเข้ากับ DOWN CONDUCTOR ที่ใกล้ที่สุดโดยทางเดินที่ตรงที่สุดเท่าที่จะทำได้
6. โลหะที่หุ้ม หรือผ่านโลหะที่กำแพงที่มีการนำไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องในทุกทิศทาง อาจใช้เป็นส่วนของระบบป้องกันได้

210. อาคารที่สูงเกิน 100 ฟุต

A) NON-CONDUCTING STRUCTURES

อาคารที่ไม่มีส่วนนำไฟฟ้า ที่มีความสูงเรียงขึ้นไป เช่น โบสถ์ การ DOWN CONDUCTOR เพียงตัวเดียวก็เพียงพอแล้ว เพราะ AIR TERMINATION ตัวเดียวก็ให้มุมการป้องกันครอบคลุมที่พอเพียงแล้ว แต่ถ้าความกว้างของยอดเกิน 5 ฟุต (1.5 เมตร) จะต้องใช้อย่างน้อย 2 DOWN CONDUCTOR เชื่อมกับปลอกโลหะหรือตัวนำรอบ ๆ ยอดนั้น

B) CONDUCTING STRUCTURES

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

C) ALL TYPE OF TALL STRUCTURE

สำหรับโครงสร้างทุกชนิดที่ถูกขึงไว้ด้วยลวดสลิง จะพิจารณาเหมือนข้อ A และ B แต่ปลายด้านบนของลวดจะต้องเชื่อมเข้ากับระบบป้องกันและปลายล่างลงสู่ดิน

211. อาคารที่มีหลังคาที่สามารถติดไฟได้ง่าย

A) อาคารที่มีการปูหลังคาด้วยฟางข้าว, อ้อ หรือหญ้า หรือวัสดุที่ลุกไหม้ได้ง่ายอื่น ๆ จะต้องติดตั้ง AIR TERMINATION บนแผ่นไม้เนื้อแข็งหนาอย่างน้อย 3 นิ้ว หรืออาจเลือกใช้การแขวน AIR TERMINATION ไว้อย่างน้อย 1 ฟุต เหนือหลังคา

B) ควันหรือการเชื่อมที่ต้องทะลุผ่านหลังคาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จะให้ผ่านทางชายคาที่ไม่นำไฟฟ้าและไม่ลุกไหม้

212. อาคารที่เก็บวัสดุระเบิดหรือเชื้อเพลิง

A) ข้อบังคับนี้จะใช้สำหรับอาคารที่บรรจุวัตถุระเบิดหรือเชื้อเพลิงไม่ว่าของแข็ง, ของเหลว, ก๊าซ, ไขมัน หรือผงสาร

B) อาคารในลักษณะนี้จะต้องป้องกันโดยวิธีเหล่านี้

1. การแขวน AIR TERMINATION NETWORK ไว้ที่ความสูงที่พอเพียงเหนือพ.ท. ที่ต้องการป้องกัน ถ้าใช้

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

ส่วนที่ใช้ในการยึด NETWORK จะต้องต้องลงดินให้เรียบร้อย

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 ติดเป็น 45° และมุมภายนอกติดเป็น 30° (ซึ่งเราสามารถพิจารณามุมให้มีค่า 60° , 45° ได้ในกรณีที่มีผลของฟ้าผ่าที่มีต่อตัวอาคารมีความเสี่ยงอยู่ในชั้นที่ยอมรับได้) รูปที่ 3

4. อาคารที่อยู่ใต้ดินและไม่มี การเชื่อมกับการป้องกันเหนือพื้นอื่น ๆ จะสามารถป้องกันได้โดยใช้ AIR TERMINATION NETWORK เหมือนกับข้อ 1 เพราะความเป็นจริงแล้วดินจะมีค่า IMPULSE BREAKDOWN STRENGTH ซึ่งจะต้องรวมไว้ใน การพิจารณา คำนวณ ความเสี่ยงของการเกิด FLASH OVER จาก ระบบป้องกันไปยังตัวอาคารด้วย ถ้าความลึกของอาคารเป็นไปอย่างเหมาะสม

แล้วอาจแทน AIR TERMINATION ด้วย NETWORK OF EARTHING STRIPS

ที่จัดไว้บริเวณผิวนอกโดยให้สอดคล้องกับคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ (ถ้าใช้วิธีนี้
ในการป้องกันแล้วอาจไม่ต้องคำนึงถึงข้อ E - J ก็ได้)

- C) อาคารเดี่ยวแต่ละหลังที่ใช้วิธีป้องกันตามข้อ B(2) จะต้องติดตั้ง DOWN CONDUCTOR 2 ตัวตามข้อบังคับ 204
- D) EARTH TERMINATION ของระบบป้องกันแต่ละระบบควรจะมีการเชื่อมถึงกันโดย
ใช้วงแหวน (RING CONDUCTOR) ซึ่ง RING CONDUCTOR ควรฝังไว้ให้ลึกอย่างน้อย
น้อย 18 นิ้ว (50 ซม.) ค่าความต้านทานของ EARTH TERMINATION NET-
WORK ควรจะมีค่าคงที่เสมอโดยไม่เกิน 10 โอห์ม ถ้าเกิน 10 โอห์ม ก็ต้องใช้วิธี
ตามข้อ 207 หรืออาจเชื่อม RING CONDUCTOR เข้ากับระบบข้างเคียงจนกว่าค่า
ความต้านทานจะสามารถยอมรับได้
- E) ชั้นส่วนของโลหะที่สำคัญทั้งหมดของอาคารรวมไปจนถึงโลหะที่เป็นโครงสร้างเสริม
คอนกรีตและโลหะตัวนำ ควรเชื่อมเข้ากับระบบป้องกันด้วย การเชื่อมดังกล่าว
จะต้องทำอย่างน้อย 2 แห่ง หรือทำให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้
- F) MAJOR METALWORK ภายในอาคารจะต้องเชื่อมเข้ากับระบบป้องกัน
- G) สายไฟฟ้าเข้าอาคารกรณีเป็น METAL CASED จะต้องมีการต่อลงดินที่จุดเข้าสู่อา-
าคารที่ภายนอกของอาคารทางด้านแหล่งจ่ายและเชื่อมเข้าโดยตรงกับระบบป้องกัน
- H) ถ้าสายไฟถูกเชื่อมมาจาก OVERHEAD ELECTRICITY SUPPLY LINE แล้วความ
ยาวที่จะต้องฝังดินของสายชนิดที่มีเปลือกโลหะคือระหว่าง OVERHEAD LINE และ
จุดทางเข้าสู่อาคาร, และ SURGE PROTECTIVE DEVICE จะต้องติดตั้งที่ TER-
MINAL ของ OVERHEAD LINE และต้องต่อเข้า EARTH TERMINAL ของอุปกรณ์
นี้เข้าโดยตรงกับเปลือกโลหะ
- J) ท่อโลหะ, เปลือกโลหะ, สลิง, รางรถไฟ พวกนี้จะมีหน้าสัมผัสกับดินอย่างต่อเนื่อง
เนื่อง ซึ่งในการผ่านเข้าสู่อาคารจะต้องมีการเชื่อมไปยังระบบป้องกัน ซึ่งจะมี
การเชื่อมลงดินที่จุดภายนอกอาคารอยู่ 2 จุดคือ ที่ประมาณ 250 ฟุต และถัดไปอีก
250 ฟุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- K) ส่วนของโลหะที่ตั้งตรงหรือมีเหล็กค้ำที่รั่วที่อยู่ใกล้อาคารมาก ๆ จะต้องเชื่อมเข้ากับระบบป้องกันด้วย สำหรับโลหะที่ไม่ต่อเนื่องหรือติดตั้งอยู่บนฉนวนหรือสายไฟที่มีฉนวนหุ้มจะไม่เชื่อมก็ได้
- M) ท่อของถัง ซึ่งบรรจุ แก๊สที่ติดไฟหรือไวไฟ หรือสารเคมีที่ติดไฟง่ายจะต้องติดตั้งอยู่บนวัตถุที่เป็นฉนวนหรือติดตั้งที่ดับเพลิงไว้
- N) อาคารในกรณีนี้จะไม่ติดตั้งองค์ประกอบที่สูงแหลม เช่น เสาธง, เสาอากาศวิทยุ ไร่บนอาคาร และถ้าอาคารตั้งอยู่ใกล้กับต้นไม้จะต้องพิจารณาตามข้อ 214

213. FENCES : ข้อบังคับข้อนี้มีไว้สำหรับความปลอดภัยของคนและสัตว์เลี้ยงที่อยู่ใกล้ชิดกับรั้วที่เป็นโลหะที่มีลักษณะยาว

1. โลหะเหล่านี้จะต้องถูกต่อลงดินโดยเว้นช่วงเป็นระยะ ๆ โดยต่อเข้ากับแท่งโลหะตรงลงไปในดิน หรือต่อกับ EARTH ELECTRODE แต่ละจุด กว้างเว้นช่วงจะเว้นมากที่สุดไม่เกิน 250 ฟุต ในกรณีที่ดินแห้งและอาจเพิ่มระยะไปถึงไม่เกิน 500 ฟุต ในกรณีที่ดินชื้นมาก
2. EARTH TERMINATION ของรั้วบริเวณทางเข้าจะต้องวางห่างจากปลายของคานตรงกันข้ามอย่างน้อย 25 ฟุต

214. TREES AND STRUCTURE NEAR TREES

เราจะทำการป้องกันต้นไม้จากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าที่ต่อเนื่องเมื่อต้นไม้มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์หรือเหตุผลที่สำคัญอื่น ๆ ซึ่งจะมีวิธีป้องกันดังนี้

1. MAIN DOWN CONDUCTOR จะวางไว้จากยอดคสุดของลำต้นลงไปจนถึง EARTH TERMINATION และต้องป้องกันการทำลายทางกลที่ GROUND ด้วย
2. ที่ปลายกิ่งต่าง ๆ จะถูกวางไว้ด้วย BRANCH CONDUCTOR ที่เชื่อมเข้ากับ MAIN DOWN CONDUCTOR
3. CONDUCTOR ที่ใช้จะเป็นลวดตัวนำเปลือย ถ้าเป็นทองแดงใช้ขนาด 7/.136 นิ้ว และถ้าเป็นอลูมิเนียมใช้ 7/.134 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ในการยึด CONDUCTOR นั้นจะปล่อยให้เป็นไปตามธรรมชาติของการเจริญเติบโตของต้นไม้ เช่น ปล่อยให้แกว่งตามลมพัดได้
5. อาจยกเล็กข้อ 206 ได้
6. EARTH TERMINATION จะใช้ชนิด ROD ผังลงดินในด้านตรงข้ามกัน โดยให้ชิดกับลำต้นไม้ก่อน และจะฝัง EARTH ELECTRODE ชนิดแผ่น (STRIP) ไปรอบๆ รากของต้นไม้ โดยกำหนดรัศมีห่างจากต้นไม้อย่างน้อย 25 ฟุต และจะต้องเชื่อมเข้ากับ ELECTRODE แบบ ROD ทั้ง 2 ตัวด้วย

ถ้าความต้านทานใช้ตามข้อ 207

7. ในกรณีที่ต้นไม้หลายต้นอยู่ใกล้กันมากจนเส้นรอบวงของ EARTH CONDUCTOR ทับกัน เราสามารถใช้เพียง 1 STRIP ในการล้อมรอบบริเวณรากของต้นไม้ทั้งหมดแล้วเชื่อมเข้าสู่ GROUND ROD ของแต่ละต้น
8. ในกรณีที่ต้นไม้อยู่ใกล้กับอาคาร ถ้าต้นไม้ต่ำกว่าอาคารก็ไม่ต้องพิจารณาป้องกัน แต่ถ้าต้นไม้สูงกว่าแล้วจะต้องพิจารณา ระยะ CLEARANCE ระหว่างอาคารกับยอดสุดของต้นไม้ โดยพิจารณา ระยะปลอดภัยดังนี้

A) สำหรับอาคารทั่วไป ระยะปลอดภัยคือ $\frac{1}{2}$ ของความสูงของอาคาร

B) สำหรับอาคารที่บรรจุวัตถุระเบิดหรือวัสดุติดไฟง่าย ระยะปลอดภัยคือ 1 เท่าของความสูงของอาคาร

ถ้า ระยะปลอดภัยไม่เพียงพอและต้องการรักษาต้นไม้ไว้ การลดความเสี่ยงให้น้อยที่สุดจะทำได้โดยการติดตั้ง ระบบป้องกันตามข้อบังคับที่ผ่าน มาและพยายามจัดให้ AIR TERMINATION หรือ DOWN CONDUCTOR ให้ใกล้กับส่วนของต้นไม้ที่อยู่ใกล้อาคารมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

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

ถ้ามีการยึดสายไฟฟ้า, สายโทรศัพท์, สายส่งสัญญาณวิทยุ ด้วยโลหะที่ยึดติดกับอาคารแล้ว จุดที่ยึดจะต้องมีกานต่อลงกราวด์และเชื่อมไปยัง ระบบป้องกันด้วย สำหรับอาคารที่เป็นจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ่ายสายออกไป จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ SURGE PROTECTIVE ระหว่างสายไฟฟ้าและดิน

216. STRUCTURE WITH SOUND RADIO & TELEVISION RECEIVER ANIALS.

- A) ในข้อบังคับนี้จะกล่าวถึงอาคารที่มีเสาอากาศ เครื่องรับวิทยุ หรือโทรทัศน์อยู่ภายในโดยปราศจากการป้องกันระงับล่งหน้า
- B) อาคารที่ต้องการป้องกันฟ้าผ่าที่สอดคล้องกับข้อบังคับนี้อาจมีการติดตั้ง เสาอากาศของวิทยุ, โทรทัศน์ ไว้ภายนอกอาคารโดยปราศจากการป้องกันล่งหน้า

กำหนดว่าทุกส่วนของ ระบบเสาอากาศจะต้องอยู่ภายในโซนการป้องกันของระบบ

- C) เมื่อเงื่อนไขในข้อ B ไม่สามารถทำได้ครบถ้วนแล้ว การป้องกันล่งหน้าเพื่อความมั่นใจว่ากระแสจากฟ้าผ่าจะถูกคายลงสู่ดินโดยไม่เกิดอันตรายต่ออาคารและสิ่งของภายใน
1. โดยการมีจุดศูนย์กลางร่วมกันหรือกันแบ่ง DOWN LEAD หรือ FEEDER ซึ่งจะทำให้โดยการเชื่อมปลอกโลหะของ FEEDER เข้ากับระบบป้องกันที่จุดสูงสุดที่ไปถึง
 2. กรณีสายส่งเกี่ยวหรือคู่ของ DOWN LEAD หรือ FEEDER การป้องกันทำได้โดยการใส่ DISCHARGE DEVICE ระหว่าง CONDUCTOR กับ EARTH LEAD
 3. เนื้อโลหะ, แท่นรับสาย, อุปกรณ์อื่น ๆ ที่เหลือจะต้องเชื่อมเข้ากับระบบป้องกันทั้งหมด

217. MISCELLANEOUS STRUCTURES

A) TENTS AND MANQUEES

เมื่อมีการจัดตั้งอาคารชั่วคราวขึ้น เช่น การจัดนิทรรศการหรืองานบันเทิงต่าง ๆ ที่มีผู้คนมาชุมนุมกันมาก ๆ จะต้องมีการป้องกันภัยจากฟ้าผ่าไว้ โดยทั่วไปแล้วตัวอาคารเหล่านี้มักจะไม่เป็นโลหะและการป้องกันที่ง่ายที่สุดและใช้กันบ่อย ๆ คือการติดตั้ง HORIZONTAL AIR TERMINATION โดยแขวนไว้เหนืออาคารและเชื่อมลงสู่ดิน และในการติดตั้งอาจติดตั้งที่เสาทำทางแนวตั้งที่อยู่สูงกว่าอาคารขึ้นไปโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องพิจารณาระยะ CLEARANCE ระหว่าง CONDUCTOR และผ้าใบคลุมอาคาร
ไม่น้อยกว่า 5 ฟุต

DOWN CONDUCTOR จะติดตั้งไว้บนอาคาร และเชื่อมไปยัง EARTH ROD
ซึ่งจะถูกเชื่อมอยู่กับ RING CONDUCTOR

ในกรณีที่มีโครงสร้างโลหะจะทำการเชื่อมลงดินโดยเว้นช่องตามเส้นรอบวง
ไม่เกิน 100 ฟุต

B) METAL SCAFFOLDING AND SIMILAR STRUCTURES

เมื่อมีการตั้ง โครงเหล็กสำหรับการสร้างตึกชั้นในบริเวณสาธารณะโดยเฉพาะเมื่อ
อยู่ในบริเวณทางหลวง หรือที่นั่งพักในสวนสาธารณะ จะต้องมีการเชื่อมลงสู่
GROUND วิธีง่าย ๆ ในการเชื่อมโครงสร้างดังกล่าวโดยการติดตั้งแผ่นโลหะ
(เช่น อลูมิเนียม 3/4 x 1/8 นิ้ว) ต้านใต้และให้สัมผัสกับแผ่นรองฐานที่รอง
โครงเหล็กอยู่และทำการ EARTH โดยเว้นช่องได้ไม่เกิน 100 ฟุต

ส่วนที่นั่งพักสาธารณะนั้น จะทำการต่อลงดินเฉพาะชั้นส่วนโดยรอบเท่านั้น

C) TALL METAL MASTS, TOWERS, CRANES AND REVOLVING AND
TRAVELLING STRUCTURE

เสาสูง, หอคอยคิกไฟ หรือโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีลักษณะ คล้ายกันที่เป็นโลหะโดย
เฉพาะอย่างยิ่งที่อยู่ในแหล่งชุมชนจะต้องถูกต่อลงดิน

บันจันและสิ่งที่ยึดของ ชั้นที่สูงที่ใช้ในงานก่อสร้างหรือติดตั้งตามท่าเรือจะ
ต้องทำการต่อลงดินด้วย สำหรับบันจันโครงสร้างที่หมุนรอบได้บนรางนั้นควรมี
การต่อลงดินมากกว่า 1 จุด

D) FARM BUILDING IN AREA OF HIGH LIGHTNING INCIDENCE

ในบางพื้นที่ที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลซึ่งมีโอกาสเกิดปรากฏการณ์ฟ้าผ่าได้ง่าย ไม่
ควรใช้ระบบป้องกันที่ทำได้ด้วยทองแดงหรืออลูมิเนียม แต่ควรใช้เหล็กอ่อนที่เคยผ่าน
กระแสไฟฟ้าแล้ว ในการป้องกันแทนในการป้องกันสิ่งก่อสร้างเล็กๆ ในฟาร์มหรือ
สิ่งก่อสร้างอื่นที่คล้ายกัน จะต้องติดตั้งลวดเส้นเดียวที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อย-
กว่า 1/4 นิ้ว สำหรับโครงสร้าง 1 ชั้น ตามแนวหลังคาและมีปลายทั้งสองของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งก่อสร้างและต่อไปยัง GROUND ที่ความลึก 18 นิ้ว เป็นระยะทาง 10 ฟุต โดย ระยะ CLEARANCE 3 ฟุต ห่างจากหลังคา (ดูรูป 6)

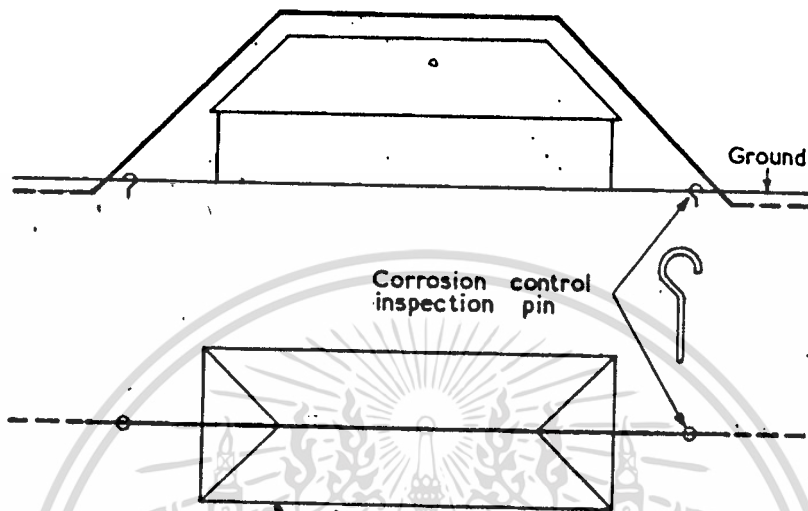


Fig. 6. Horizontal conductor for a farm building

218. CORROSION

ความสุกร้อนอาจมีสาเหตุมาจากสภาพบรรยากาศ, ทางเคมี, ทางไฟฟ้า หรือสาเหตุอื่น ๆ ซึ่งจะทำให้บางส่วนจากระบบป้องกันเกิดความไม่สมบูรณ์ขึ้นได้

การสัมผัสกันของโลหะต่างชนิดจะทำให้การสุกร้อนเกิดได้เร็วขึ้น ยกเว้นแต่จะทำให้ผิวสัมผัสแห้งสนิทหรือกันความชื้นไม่ให้เข้าไปได้เท่านั้น

การสัมผัสของโลหะต่างชนิดกันจะเกิดได้เมื่อมีการยึด CONDUCTOR ด้วยอุปกรณ์ยึดที่ทำด้วยโลหะชนิดอื่น และการสุกร้อนจะเพิ่มมากขึ้นถ้ามีน้ำที่ผ่านจากโลหะชนิดหนึ่งมาสัมผัสกับโลหะอีกชนิดหนึ่ง การป้องกันควรใช้หม้อด้วยตะกั่วซึ่งสามารถป้องกันการสุกร้อนจากองค์ประกอบ SULPHUR โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่ไปถึงได้ยากเช่น บนยอด ปล่องไฟ เป็นต้น

ในการติดตั้งควรใช้โลหะที่มีความต้านทานสุกร้อนสูง

จุดเชื่อมและข้อต่ออาจจะป้องกันโดยการหุ้มพลาสติกก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SECTION THREE : MISCELLANEOUS

301. WORK ON SITE

ในระหว่างช่วงเวลาของการก่อสร้างอาคาร ส่วนที่เป็นงานโลหะหลัก ๆ เช่นโครงเหล็กครอบนอก, โครงเหล็กของอาคาร หรือบันไดเงินจะตั้งมุงถูกเพ็ชรมลงดิน

งานชิ้นแรกก็ต้องติดตั้งระบบกราวด์กันแตะ ' EARTH TERMINATION ' จะต้องมีย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

ระหว่างการก่อสร้างทางเดินไฟฟ้า เสาไฟฟ้า จะสามารถยกได้ในทรายที่จะเกิดกับคนได้ โดยต้องแน่ใจว่ามีการต่อ EARTHING SYSTEM แล้ว

302. INSPECTION

A) ระบบป้องกันฟ้าผ่าทุกระบบควรจะต้องถูกตรวจสอบโดยคนที่มีความสามารถหลังจากที่ติดตั้งสมบูรณ์แล้ว โดยทั่วไปจะทดสอบปีละครั้ง เป็นอย่างน้อย

B) ถ้าค่าความต้านทานไปยังดินของระบบป้องกันเกินค่า 10 โอห์ม จะต้องลดค่าให้สอดคล้องตามข้อ 303

ถ้าความต้านทานในการวัดครั้งไม่เกิน 10 โอห์ม แต่สูง ขึ้นกว่าปกติจะต้องค้นหาสาเหตุของมัน

303. TESTING

ในการติดตั้งที่สมบูรณ์แล้วหรือมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมระบบป้องกันนั้น ค่าความต้านทานถึงดินค่าใหม่ และความต้านทานของแต่ละ EARTH TERMINATION จะต้องถูกวัดค่าใหม่, ตรวจสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้าของตัวนำ, ตรวจสอบรอยเชื่อมต่างๆ และเงื่อนไขทางกลศาสตร์

การทดสอบต่าง ๆ จะต้องถูกบันทึกในข้อ 304

304. RECORDS

บันทึกต่าง ๆ จะถูกเก็บไว้ในที่ ๆ ปลอดภัยหรือเก็บไว้โดยผู้ที่มีภาระหน้าที่ในการซ่อมบำรุง

ในวันที่จะประกอบตู้ย

1. การเขียนแบบโดยใช้อัตราส่วนย่อที่แสดงถึงรูปร่าง, ลักษณะ และตำแหน่งของทุกส่วนของระบบป้องกัน
2. ลักษณะของกินและการวัด EARTHING พิเศษอื่น ๆ
3. วันที่และการทำ SALTING (ถ้าใช้)
4. เงื่อนไขการทดสอบและผลการทดสอบที่สอดคล้องกับ 303
5. การเปลี่ยนแปลงหรือซ่อมแซมระบบ
6. ผู้รับผิดชอบในการติดตั้งหรือซ่อมแซมบำรุง

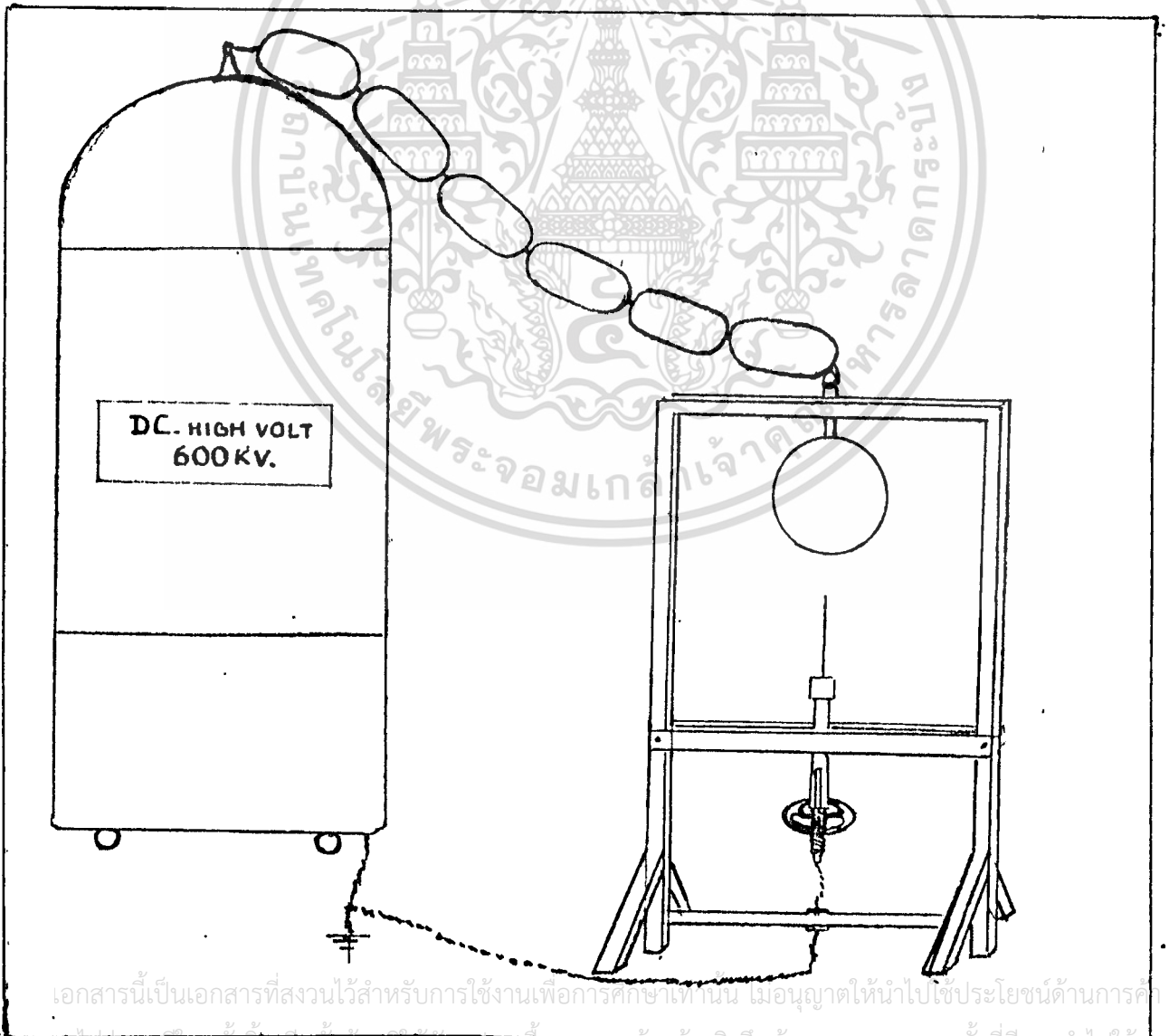
305. MAINTENANCE

ถ้าปฏิบัติตามข้อแนะนำในข้อบังคับนี้แล้ว จะมีความต้องการการบำรุงรักษาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การตรวจสอบจากข้อ 302 และ 303 จะทำให้ทราบว่าต้องซ่อมบำรุงอะไรบ้าง จะต้องให้ความสนใจกับการดูแลให้มาก เพราะผลจากการซ่อมแซมหรือการผูกพันอาจมีผลกระทบต่อบรรณการป้องกัน

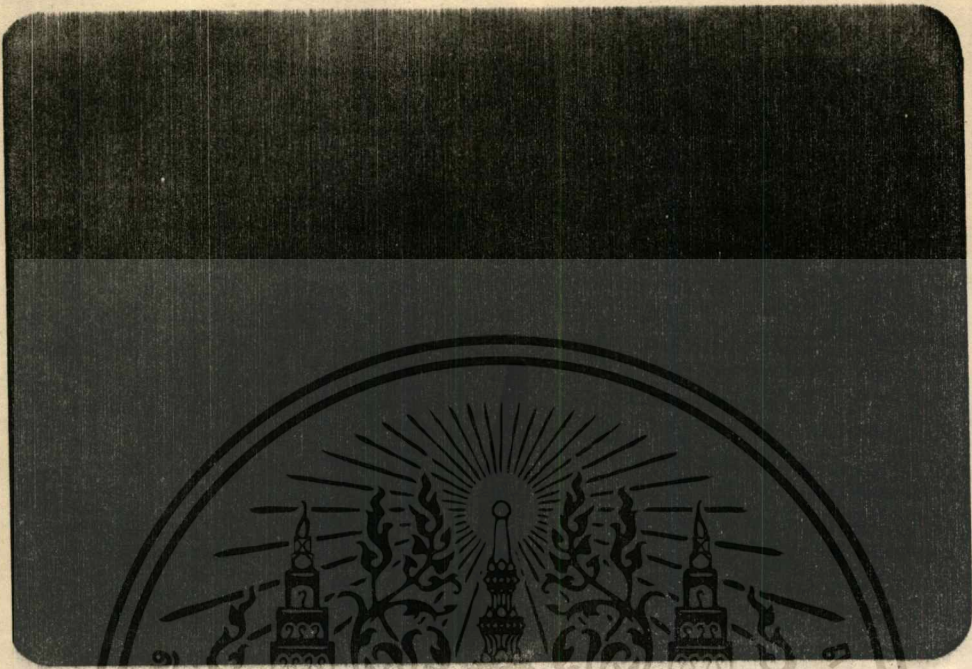
การทดสอบสายล่อฟ้า

วิธีการทดสอบ

1. ใช้เครื่อง DC. 600 KV. โดยจัดรูปแบบการทดสอบให้เป็นดังรูป โดยใช้ LIGHTNING ARRESTER ต่าง ๆ กัน 3 ชนิด
2. ระยะ gap ที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ระยะ 1, 2, 3, 4, 5 cm.
3. สำหรับระยะ gap แต่ละค่าทำการปรับแรงดันจนกระทั่งเกิดการเบรคควารม แล้วบันทึกค่าแรงดันเอาไว้
4. ทดลองซ้ำข้อ 3. เป็นครั้งที่สอง และบันทึกค่าแรงดันเอาไว้เพื่อจะนำไปหาค่าเฉลี่ย
5. เมื่อทดลองครบที่ระยะ gap 5 cm ก็เปลี่ยนเป็น air termination แบบใหม่ตามลำดับ แล้วก็ทดลองแบบเดิมจากข้อ 2 - 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

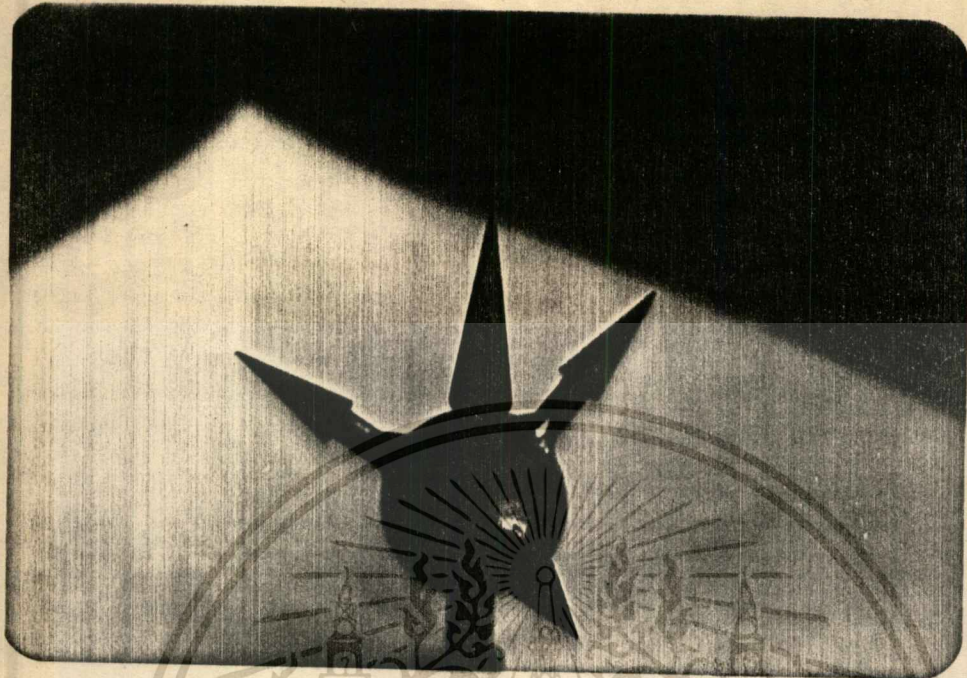


ผลการทดสอบ

1. สำหรับ air termination แบบที่ 1 ผลการทดสอบจะเป็นดังนี้

ระยะ gap (CM.)	1.		2.		3.		4.		5.	
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2
แรงดันเบรค คาวน (KV)	21	20	34	33	43	45	51	53	55	56
ค่าเฉลี่ย (KV)	21.5		33.5		44		52		55.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

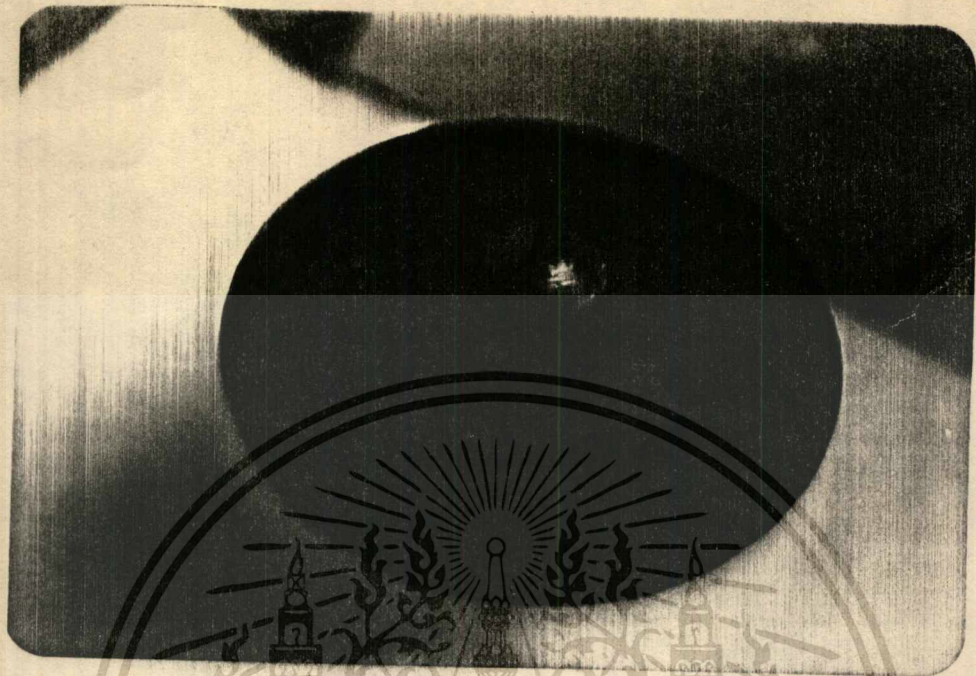


ผลกาทดสอบ

2. สำหรับ air termination แบบที่ 2 ผลการทดสอบจะเป็นดังนี้

ระยะ gap (CM.)	1		2		3		4		5	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
แรงดัน เบรคดาวน (KV.)	14	14	23	23	28	30	38	38	44	42
ค่าเฉลี่ย (KV.)	14		23		29		38		43	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



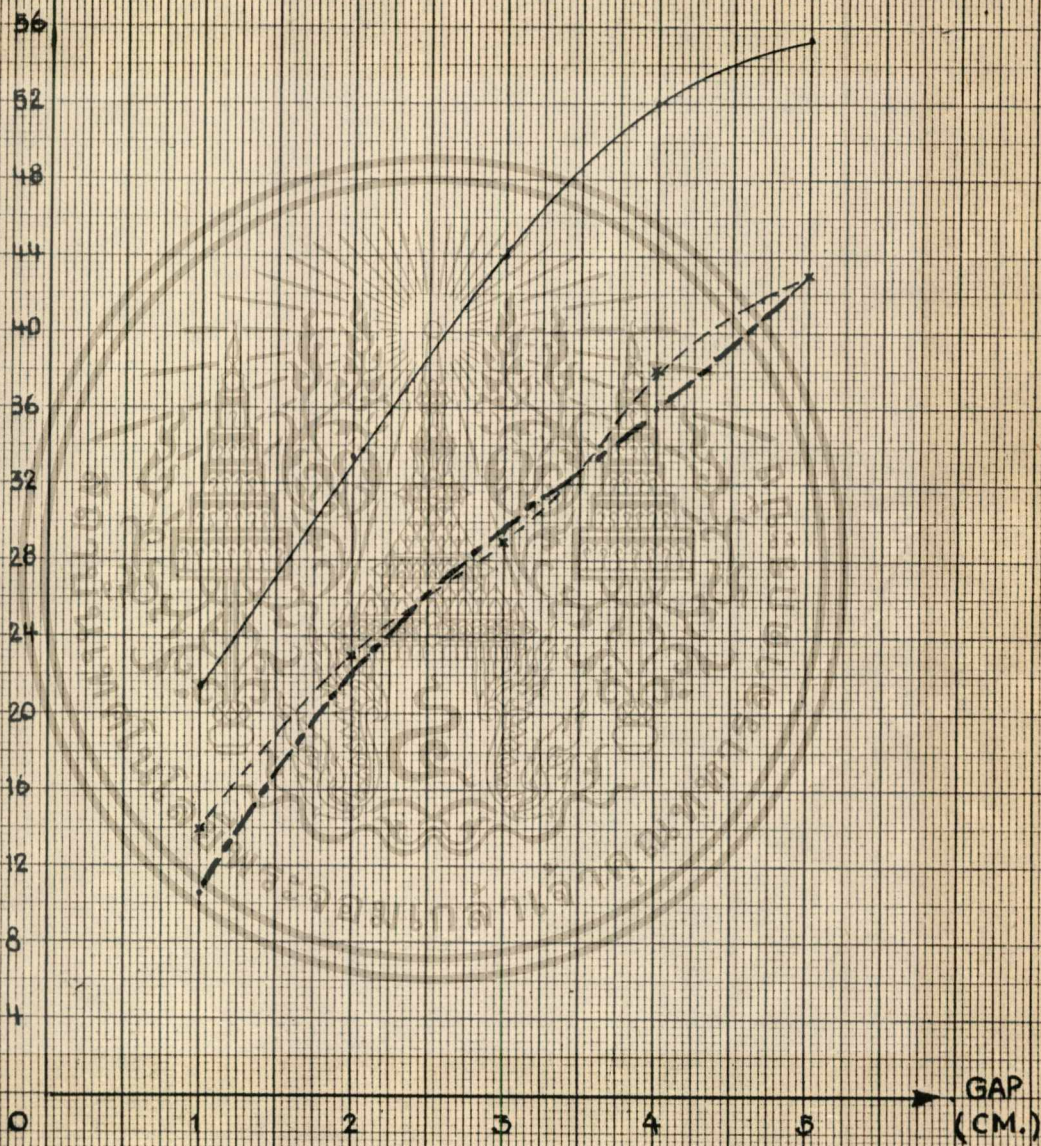
ผลการทดสอบ

3. สำหรับ air termination แบบที่ 3 ผลการทดสอบจะเป็นดังนี้

ระยะ gap (CM.)	1		2		3		4		5	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
แรงดัน เบรค ควาน์ (KV.)	11	10	23	21	30	29	35	37	44	42
ค่าเฉลี่ย (KV.)	10.5		22		29.5		36		43	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดัน
เบรคดาวน
(KV.)



ARRESTER ชนิดที่ 1

..... " " 2

----- " " 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวงวิไลหรือการเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่สัญญา ตัดสิน หรือข้อบังคับทางกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

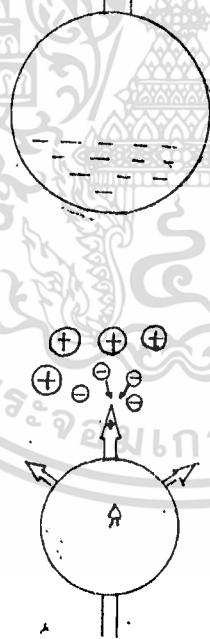
วิเคราะห์ผลการทดสอบ

1. จะเห็นว่า air termination แบบที่ 3 นั้น จะมีแรงดันเบรคดาวน์ต่ำกว่า รูปแบบอื่น ๆ ที่ระยะแก๊ปเดียวกัน

2. ในรูปแบบที่ 2 นั้น ก่อนจะเกิดการเบรคดาวน์ เราจะได้ยินเสียงซ่า ๆ อย่างชัดเจน, ส่วนรูปแบบที่ 3 นั้นเสียงซ่า ๆ จะไม่ค่อยได้ยินและรูปแบบที่ 1 นั้นก็ไม่ค่อยจะได้ยิน พอปรับถึง แรงดันค่าหนึ่งก็ได้ยินเสียงเปรี๊ยะเกิดการเบรคดาวน์เลย

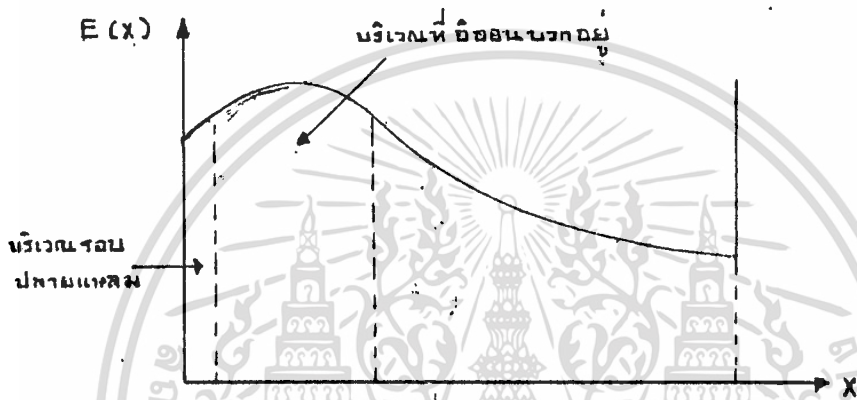
จากผลการทดลองทั้งสองข้อนี้พอที่จะวิเคราะห์ออกมาได้ดังนี้

รูปแบบที่ 3 นั้น จะมีปลายที่เรียงแหลมกว่ารูปแบบที่ 2 ดังนั้นที่ระดับแรงดันเดียวกัน ความเครียดสนามไฟฟ้าที่ปลายแหลมของรูปแบบที่ 3 จะมีค่ามากกว่ารูปแบบที่สอง และในรูปแบบที่ 3 จะมีทรงกลมครอบอยู่บนปลายแหลมทำให้สนามมีลักษณะสม่ำเสมอมากขึ้นกว่าแบบที่ 2 ดังนั้นเราจึงไม่ได้ยินเสียงซ่า ส่วนการเบรคดาวน์ในรูปแบบที่ 2 นั้น พอจะอธิบายได้ดังนี้



ที่ปลายแหลมจะมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง เมื่อเราปรับถึง แรงดันค่าหนึ่ง ซึ่งมีค่ามากพอที่จะดึงอิเล็กตรอนให้หลุดออกจากอะตอมของอากาศที่บริเวณใกล้ผิวของปลายแหลม ตอนนี้จะยังไม่เกิดเบรคดาวน์เพียงแต่จะมีการคิสซาร์จบางส่วน (Partial Discharge) ซึ่งเกิดจากการที่มีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอตลอดจนแนว ความยาว ของ ระยะแก๊ป เราเรียกการเกิด

ปรากฏการณ์ว่าโคโรนา (Corona) หรือพรีดิสชาร์จ (Preedischarge) จะเริ่มมีกระแส
 ค่าต่ำ ๆ ไหลซึ่งเราเรียกว่ากระแสโคโรนา (Corona current) ช่วงนี้เองที่เราได้ยินเสียง
 ช่า ๆ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนเข้าสู่ปลายแหลมก็จะทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้ารอบ ๆ ปลาย-
 แหลมลดลง ส่วนไอออนบวกซึ่งเคลื่อนตัวช้าก็จะออกกันอยู่ที่หน้าปลายแหลมทำให้ความเครียดสนาม
 ไฟฟ้าบริเวณนั้นมีค่าสูงชันแทน ทำให้ดูเหมือนกับว่าอิเล็กโตรดยาวขึ้น (ระยะแกปสั้นลง) เป็น
 ผลทำให้เกิดการเบรคควาร์นได้ง่ายขึ้น



ส่วนรูปแบบที่ 1,3 ไม่มีเสียงช่าก็พอจะอธิบายได้ว่าสนามไฟฟ้ามีลักษณะค่อนข้าง
 สม่ำเสมอ เวลาเกิดการไอออนในเซชันก็เกิดขึ้นพร้อมกันตลอดแนวความยาวของแกป ทำให้ไม่
 มีการเกิดโคโรนาขึ้นก่อนการเบรคควาร์น กล่าวคือเกิดการเบรคควาร์นเลย

ดังนั้นพอที่จะสรุปผลการทดสอบได้ว่า รูปทรงของตัวนำมีผลต่อการเกิดการเบรค
 ควาร์นของอากาศ

วิเคราะห์ผลการทดสอบเทียบกับทางทฤษฎี

ทางทฤษฎีบอกไว้ว่า ความยาวของ Striking distance จะขึ้นอยู่กับขนาด
 ของประจุที่ถูกถ่ายเทลงมาจากก้อนเมฆ และลักษณะของสนามที่เพิ่มขึ้น (enhancement of
 the field) ที่จุดนั้น

ตามการทดลองจะเห็นว่ารูปแบบที่ 3 นั้นมีแรงดันเบรคควาร์นต่ำกว่ารูปแบบอื่น ๆ
 เพราะรูปแบบที่ 3 มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่ารูปแบบอื่น ๆ ฉะนั้นลักษณะสนามของรูป-

แบบที่ 3 จึงมีค่ามากกว่ารูปแบบอื่น ๆ ดังนั้นพอที่จะคาดการณ์ได้ว่ารูปแบบที่ 3 จะมี Striking distance มากกว่ารูปแบบอื่น ๆ (กล่าวคือตั้งจุดประจุที่ถ่ายเทลงมาได้ดีกว่ารูปแบบอื่น ๆ)

แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือว่า การที่รูปแบบที่ 3 นั้นมีแรงดันเบรคความต่ำกว่ารูปแบบอื่น ๆ เป็นเพราะอะไรกันแน่

1. รูปแบบที่ 3 มีลักษณะปลายเรียวเล็กกว่าทุกรูปแบบ หรือ
2. รูปแบบที่ 3 มีทรงกลมครอบไว้อยู่ที่ปลาย

ซึ่งจะต้องดำเนินการทดลองต่อไป เพื่อให้ทราบสาเหตุว่าเกิดจากสาเหตุข้อใดกันแน่

สรุปผลที่ได้จากการทดสอบ

- 1) รูปปลายแหลมจะให้แรงดันเบรคความต่ำกว่ารูปแบบอื่น ๆ
- 2) ปลายยิ่งเรียวเล็ก แรงดันเบรคความก็จะยิ่งต่ำ (อาจจะต้องมีการทดลองต่อไป)
- 3) ทรงกลมที่ครอบจะทำให้ลักษณะ ของสนามสม่ำเสมอขึ้น (สังเกตจากการไม่มีเสียงซ่า)

ข้อเสนอแนะในการดำเนินการทดสอบครั้งต่อไป

- 1) ต้องสร้างกระแสที่ถ่ายเทลงมาที่สูง เพราะในการใช้เครื่อง D.C.High Voltage กระแสเบรคความหน่วยเป็น mA. แต่กระแสในฟ้าผ่า 99% ก็มากกว่า 3 KA. แล้วดังนั้นถ้ากระแสน้อยอาจจะไม่เกิดลักษณะ upward positive streamer ก็ย่อมได้กล่าวคืออาจจะไม่เกิด striking distance
- 2) ระยะแกปควรมีค่ามาก มิฉะนั้นอาจจะเกิด upward positive streamer ไม่ทันเนื่องจากความเร็วของกระแสที่ผ่าลงมาทำให้ไม่มี striking distance เกิดการพลาดเป้าหมายของการทดสอบได้
- 3) ควรทดสอบยืนยันปัญหาที่เกิดขึ้นในหัวข้อการวิเคราะห์ผลการทดสอบเทียบกับทางทฤษฎีเสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

สรุป

ถึงแม้ว่าการทดลองนี้จะไม่สามารถยืนยันออกมาแน่นอนได้ว่า รูปทรง ของตัวนำมีผล ในการดึงคู่ประจุที่ถ่ายเทลงมา แต่จากการทดลองจะเห็นว่าลักษณะ ของสนามจะขึ้นอยู่กับรูปทรง ของตัวนำ และถ้าทฤษฎีที่ว่า striking distance ขึ้นอยู่กับลักษณะ ของสนามที่เพิ่มขึ้น (enhancement of field) ที่จุดนั้น คำนึงนั้นก็พอจะเทียบเคียงได้ว่า รูปทรง ของตัวนำมีผลต่อ striking distance แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นจะต้องรอการทดสอบกันต่อไป เพราะในปัจจุบันนี้ เอกสารต่าง ๆ ก็ยังระบุแน่นอนกันไม่ได้ อย่างเช่น BS6651 บอกไว้ว่า "ปัจจุบันเชื่อว่า striking distance ขึ้นอยู่กับประจุที่ถ่ายเทลงมา และ รูปทรง ของตัวนำมีผลน้อยมาก ฉะนั้น แท่งตัวนำ (vertical conductor) กับตัวนำแนวนอน (Horizontal conductor) ก็จะทำให้ผลในการป้องกันเหมือนกันคั้งนั้นการที่เราจะใช้รูปแบบไหนในการป้องกันก็ไม่ใช่เป็นสิ่งสำคัญ" แต่เอกสารบางฉบับก็บอกว่า รูปทรง ของตัวนำมีผลต่อประจุที่ถ่ายเทลงมา คั้งนั้นเราควรจะทดลองกันต่อไป แล้วเก็บรวบรวมความจริงที่ได้ทั้งหมดมาหาผลสรุปเพื่อเป็นการพัฒนา ศาสตร์ทาง ค้านนี้

กติกกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอย่างสูงต่ออาจารย์นิทัศน์ กฤษณินคา อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ เป็นแนวทางในการทำโครงการมาโดยตลอด จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

และขอขอบคุณพี่จิง รัศมี บุญเสียง ที่มีส่วนช่วยเหลืออย่างมากในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งถ้าปราศจากบุคคลเหล่านี้แล้ว ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คงไม่สามารถสำเร็จลงด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- 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 3000 Advanced Integrated Lightning Protection.
- 5) เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง พงนาท สุภวันต์, บัณฑิต งามขำ.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้