การศึกษาและปรับปรุงระบบป้องกันฟ้าผ่าของ ทีโอที

A Study and Improvement of Surge Protection for TOT

คำนำ

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาอุปกรณ์สื่อสาร ในระบบโทรคมนาคมให้มีขีดความสามารถในการทำงานสูงขึ้น โดยใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีความไวในการทำงานมาควบคุม เพื่อให้มีประสิทธิภาพและรองรับในการขยายตัวของระบบใหม่ๆให้ดี แต่จุดอ่อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ก็คือทนกำลังที่เกิดขึ้นจากเสิร์จได้ต่ำในระบบโทรคมนาคมที่มีระบบการต่อร่วมกับวงจร normal mode และวงจร common mode ไม่ดีจะมีผลทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกิดความเสียหาย เนื่องจากเสิร์จ (Surge)ในวงจร common mode ได้ง่ายซึ่งเกิดจากฟ้าผ่าโดยตรงหรือโดยอ้อมแล้ว ส่งผลกระทบเข้ามาทางแรงดันไฟฟ้าสลับ (ac line)หรือเกิดจาก ความผิดพร่องของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง

บริษัท TOT ได้ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นและพยายามลดเหตุเสียของระบบ ซึ่งในปัจจุบันบริษัท TOT ได้ออกแบบระบบป้องกัน(Surge) เพื่อเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยในการยกระดับคุณภาพการให้บริการ เนื่องจากระบบโทรคมนาคมถือเป็นหัวใจของการติดต่อสื่อสาร แต่ถ้าหากระบบโทรคมนาคมเกิดความเสียหายถึงขั้นต้องหยุดให้บริการ นอกจากความเสียหายที่เกิดกับอุปกรณ์โทรคมนาคมแล้วยังส่งผลกระทบต่อด้านธุรกิจ และภาพพจน์การให้บริการของบริษัท TOT อีกด้วย

ความสำคัญของปัญหาและมูลเหตุจูงใจ

1. ปัจจุบันอุปกรณ์ไฟฟ้าในสถานีชุมสายมักจะใช้อุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์เป็นชุดควบคุม ปัญหาเหตุเสียส่วนใหญ่เกิดจากฟ้าผ่าและไฟฟ้าเกิน

2. ลดการเสียหายของอุปกรณ์ในชุมสายให้น้อยลงโดยหาทางป้องกันและแก้ไข

3. ลดการนำเข้าอุปกรณ์จากต่างประเทศเพราะส่วนใหญ่มีราคาแพง

4. สถานีหรือชุมสายอยู่ห่างไกลยากต่อการเดินทางเข้าไปซ่อมดูแลบ่อยๆได้

5. หาอุปกรณ์ป้องกันใหม่ๆ ให้มีความสามารถป้องกันและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นจริง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอุปกรณ์ป้องกัน ac line protector เพื่อนำมาป้องกันเสิร์จจากฟ้าผ่าและ power line ได้

2. เพื่อนำมาเป็นข้อมูลประกอบในการตัดสินใจเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าในระบบสื่อสารโทรคมนาคมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและคุ้มค่าในการลงทุน

3. เพื่อลดงบประมาณในการใช้จ่ายเพื่อซื้อวัสดุอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าจากต่างประเทศ

4. เพื่อศึกษาแนวทางสลายพลังงานฟ้าผ่าและการควบคุมการเกิดศักย์ไฟฟ้า ตกคร่อมในดิน

5. เพื่อศึกษาแนวทางการลดระดับสัญญาณรบกวนและลดความต่างศักย์ไฟฟ้าการต่อลงดินของอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ ในอาคารชุมสายที่กระทำกับศูนย์รวมความนำไฟฟ้าของดิน

ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์วงจรกระแสฟ้าผ่าเพื่อนำกระแสฟ้าผ่าให้พ้นจากระบบสื่อสารโทรศัพท์และระบบไฟไปยังศูนย์รวมความนำไฟฟ้าของดิน

1.1 เพื่อทำการศึกษาการสลายพลังงานฟ้าผ่าได้อย่างรวดเร็ว

1.2 เพื่อศึกษาการควบคุมการเกิดศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมดินให้น้อยที่สุด

2. ศึกษาและวิเคราะห์การลดระดับสัญญาณรบกวนและลดความต่างศักย์ ไฟฟ้าการต่อลงดินของอุปกรณ์สื่อสารต่างๆในอาคารชุมสายที่กระทำกับศูนย์รวมความนำไฟฟ้าของดิน

3. ศึกษาและวิเคราะห์ผลของ ac line protector ที่นำมาติดตั้งที่ power line ที่ทำหน้าที่เสริมการป้องกันเสิร์จของระบบสื่อสาร

4. ศึกษาและวิเคราะห์ของการติดตั้งอุปกรณ์ใช้งานจริงตามสถานีโทรคมนาคมและชุมสายโทรศัพท์ tot ที่ติดตั้งเครื่องป้องกันและเครื่องวัดฟ้าผ่าไว้แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไข

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้อุปกรณ์นับและป้องกันเสิร์จที่มีขีดความสามารถป้องกันปัญหาได้ ตรงกับสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจริงในประเทศไทย (ปัจจุบัน TOT ได้นำผลการทดสอบนี้ใช้เป็นข้อกำหนดงานของ TOT แล้ว)

2. ลดความเสียหายของอุปกรณ์ไฟฟ้าและช่วยยืดอายุการใช้งาน

3. สามารถผลิตอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จภายในประเทศ

4. ช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา

5. สนับสนุนให้งานบริการของ TOT ดำเนินไปได้ต่อเนื่องไม่หยุดชะงัก

6. สามารถทำให้รู้ว่าสถานีนั้นมีฟ้าผ่าลงมามากน้อยแค่ไหนเพื่อนำมาป้องกันปรับปรุงและแก้ไข

7. ได้ข้อมูลจำนวนฟ้าผ่าที่สถานีต่างๆ ว่ามีมากน้อยเพียงใดเพื่อนำมาใช้วิเคราะห์การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน

การตรวจเอกสาร

องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยดำเนินการให้บริการโทรศัพท์มาเป็นเวลากว่า 46 ปีแล้ว ได้มีการพัฒนารูปแบบ และปรับปรุงการให้บริการที่ทันสมัยทัดเทียมต่างประเทศตลอดจนการนำอุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีสูงต่างๆ ในระบบสื่อสารโทรคมนาคมใช้งาน แต่พบว่าในระยะ 10 ปีเศษที่ผ่านมาอุปกรณ์สื่อสารโทรคมนาคมต่างๆ ที่นำมาใช้งานเหล่านั้นแม้จะเป็นอุปกรณ์ใหม่ก็ตามก็เกิดการชำรุดเสียหายได้บ่อยและมีเป็นจำนวนมากด้วย สิ่งเหล่านี้อาจทำให้ระบบการสื่อสารโทรศัพท์ต้องหยุดชะงักการให้บริการทันที หากว่าสภาพความเสียหายนั้นมีความรุนแรงสูงและเกิดขึ้นกับส่วนของอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในระบบ เช่น ชุมสายโทรศัพท์หรือ สถานีทวนสัญญาณของ TOT แม้ว่าในบางครั้งอุปกรณ์อาจไม่ชำรุดในทันทีแต่ก็ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการให้บริการลดลง โดยเฉพาะผลกระทบที่ได้จาก อัตราส่วนของ การคืนทุน/การลงทุน จึงจำเป็นต้องมีการค้นคว้าวิจัยเพื่อการแก้ไขปัญหา

ข้อมูลความเสียหายที่รับรายงานจากหน่วยงานของ TOT ที่มีในพื้นที่ต่างๆ เมื่อนำมาวิเคราะห์แล้วพบว่าประเด็นหลักที่สำคัญเกิดจาก

1. วงจรซึ่งร่วมความต่างศักย์ไฟฟ้า ของสนามไฟฟ้า หรือประจุไฟฟ้าในบรรยากาศ ระบบส่งกำลังไฟฟ้า และระบบโทรศัพท์โดยความต่างศักย์ไฟฟ้าทั้งหมดที่กล่าวมาต่อร่วมวงจรกัน ณ สภาพดินที่ให้ค่านำกระแสไฟฟ้าที่สูงที่สุด (Remote Earth หรือ True Earth) ซึ่งมีอยู่ใต้พื้นผิวดินที่ระดับความลึกค่าหนึ่ง และ

2. สภาพอิมพิแดนซ์ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ หรือสภาพอิมพิแดนซ์ที่มนุษย์สร้างขึ้นระหว่างระบบไฟฟ้าต่างๆ บนพื้นผิวโลกกับ Remote Earth

หลักการเพื่อแก้ปัญหาความเสียหายของอุปกรณ์ในระบบสื่อสารโทรศัพท์ ซึ่งได้นำมาใช้งานจริงแล้วและประสบความสำเร็จอย่างสูง ข้อสรุปในหลักการแก้ไขต้องมีความสำคัญตามลำดับดังต่อไปนี้คือ

1. การทำลายสภาพอิมพิแดนซ์ที่มีอยู่ระหว่างระบบโทรศัพท์ กับ Remote Earth และ
2. การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเสริม

สำหรับเนื้อหาต่อจากนี้จะกล่าวถึงหัวข้อ การทำลายสภาพอิมพิแดนซ์ที่มีอยู่ระหว่างระบบโทรศัพท์ กับ Remote Earth โดยวิธีสร้างระบบกราวนด์ ที่ใช้ค่าความต้านทานของกราวนด์ (Rg) Remote Earth ปัจจุบันได้นำไปใช้งานตามชุมสาย โทรศัพท์ และสถานีทวนสัญญาณของ TOT ในพื้นที่ต่าง ๆ

หลักและวิธีการนี้ ถูกนำไปขยายผลเพื่อใช้ป้องกันความเสียหายจากฟ้าผ่า ตามชุมสายโทรศัพท์ หรือสถานีทวนสัญญาณของ TOT ซึ่งปัจจุบันสามารถนำไปติดตั้งใช้งานจริงแล้ว โดยพบว่าสถานีที่ติดตั้งระบบดังกล่าวนี้ มีฟ้าผ่าลงมาแต่ไม่ส่งผล หรือสร้างความเสียหายแต่อย่างใดทั้งสิ้นต่อระบบหรืออุปกรณ์สื่อสารโทรศัพท์ของ TOT

ปัจจุบันระบบข่ายสายของ TOT มีขอบเขตและครอบคลุมพื้นที่กว้างขวางมาก และพื้นที่แต่ละแห่งก็มีการติดตั้งระบบข่ายสายท่ามกลางสภาพแวดล้อมทาวไฟฟ้าที่ไม่เหมือนกัน และสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติของพื้นที่แตกต่างกันมาก สภาพแวดล้อมทางไฟฟ้าและผลกระทบจากธรรมชาติมีองค์ประกอบหลายประการ ซึ่งการขยายผลเพื่อนำระบบกราวนด์ที่ใช้ค่าความต้านทานกราวนด์ (Rg) อ้างอิง Remote Earth ไปใช้งานในระบบข่ายสายของ TOT ได้วิเคราะห์และประเมินผลถึงสภาพความเหมาะสมทางไฟฟ้าและความสอดคล้องกับสภาวะทางธรรมชาติ

<u>ปรากฏการณ์ "ฟ้าผ่า"</u>

ฟ้าผ่า เป็นปรากฏการณ์ปกติธรรมดาของธรรมชาติประการหนึ่ง ปรากฏการณ์ฟ้าผ่าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปพลังงานซึ่งเริ่มต้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอุณหภูมิที่แตกต่างกันของบรรยากาศ โดยส่วนที่มีอุณหภูมิร้อน ไปปะทะกับส่วนที่มีอุณหภูมิเย็นกว่า แนวปะทะของอากาศจะสร้างสมละอองน้ำในบรรยากาศให้รวมตัวจนมีสภาพกลายเป็นก้อนเมฆ จากผลความแตกต่างของอุณหภูมิประกอบกับการผันผวนของบรรยากาศที่ทวีมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ด้วยแรงลมสามารถพัฒนาสภาพก้อนเมฆให้กลายเป็น "เมฆฟ้าผ่า" หรือ คิวมูโลนิมบัส คลาวด์ (Cumulonimbus Cloud) ซึ่งจะสร้างและสะสมให้เกิดเป็นศักย์ไฟฟ้าขึ้นในก้อนเมฆ เกิดเป็นผลต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างส่วนของยอดเมฆกับส่วนของฐานเมฆ เมื่อเมฆมีขนาดใหญ่ขึ้นหรือมีเมฆหลายก้อนอยู่รวมกัน สภาพศักย์ไฟฟ้าที่สะสมก็จะมากขึ้นจนกระทั่งสามารถถ่ายเทประจุไฟฟ้าภายในก้อนเมฆหรือระหว่างก้อนเมฆได้ และสามารถถ่ายเทประจุระหว่างเมฆกับพื้นโลกได้เช่นกัน ซึ่งก็คือปรากฏการณ์ "ฟ้าผ่า" นั่นเอง

การที่ส่วนฐานของก้อนเมฆลอยห่างจากพื้นดินไม่มากนัก แรงทางไฟฟ้าจากส่วนฐานเมฆก็สามารถส่งผลมากระทำต่อพื้นโลกได้

<u>แรงทางไฟฟ้ากระทำต่อพื้นโลก</u>

หากพื้นที่ใดบนโลกมีเมฆฟ้าผ่าเคลื่อนผ่าน แรงทางไฟฟ้าจากฐานเมฆก็จะกระทำกับพื้นโลกในบริเวณนั้นทันที เกิดเป็นสภาพสนามไฟฟ้าปกคลุมอยู่ระหว่างฐานเมฆ กับพื้นโลกหากว่าเมื่อใดศักย์ไฟฟ้าที่สะสมบนฐานเมฆกับพื้นโลกมีมากขึ้นเช่นเดียวกัน เมื่อสนามไฟฟ้ากระทำต่อพื้นโลกมากขึ้นจนเหนือสภาพการต้านทานของบรรยากาศ ก็ทำให้เกิดการ "เบรกดาวน์ไฟฟ้า" หรือปรากฏสภาพ "สายฟ้าผ่า" นั้นเอง

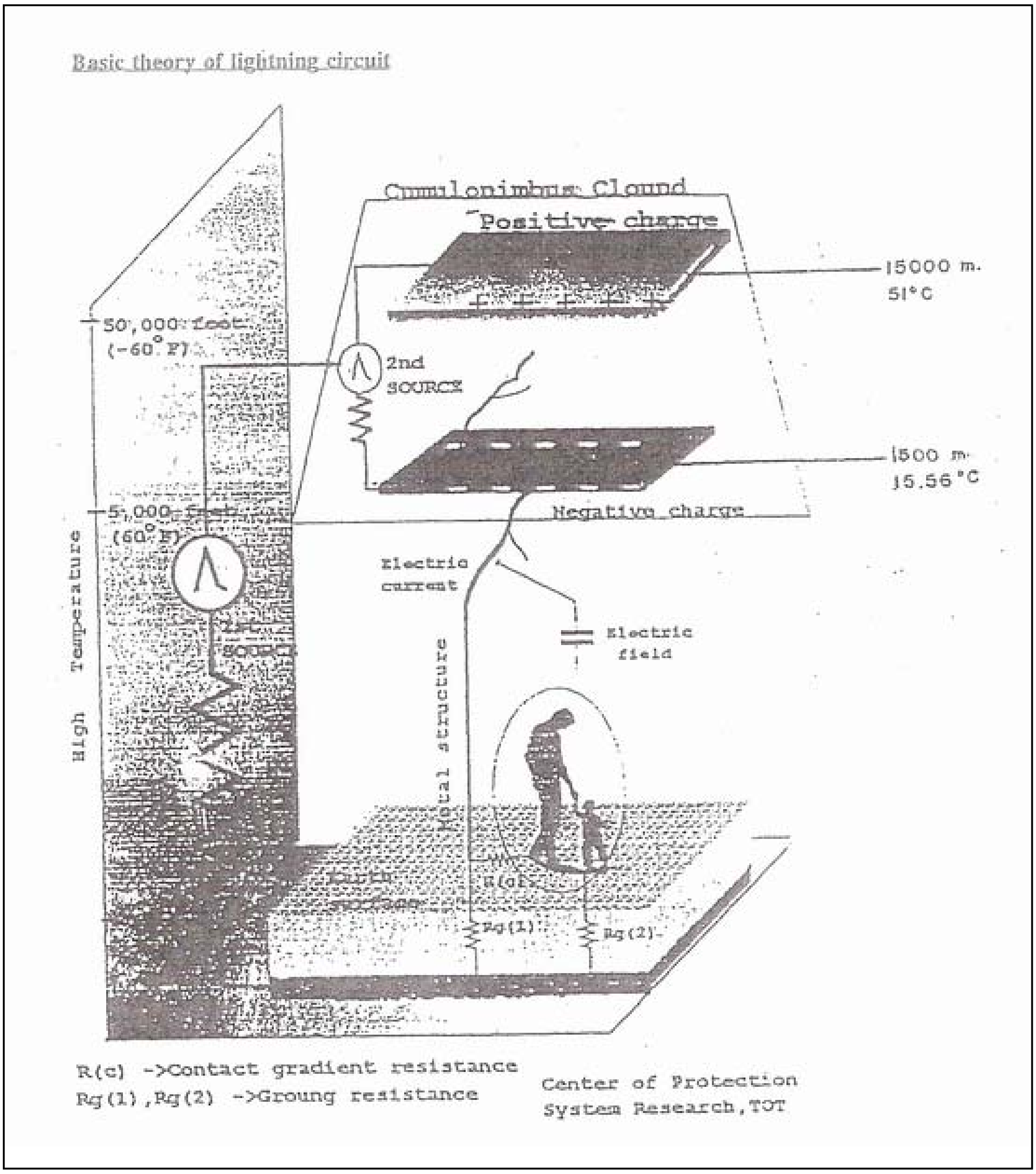
<u>หมายเหตุ</u> โลกของเรามีปริมาตรที่ใหญ่โตและมีศักย์ไฟฟ้าในตัวเองซึ่งมีความสามารถอย่างเพียงพอที่ให้ผลศักย์ไฟฟ้าทางบวก เทียบกับศักย์ไฟฟ้าทางลบบนฐานเมฆ

<u>การแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้า</u>

ช่วงเวลาการเกิด "สายฟ้าผ่า" ก็คือการครบวงจรไฟฟ้าระหว่างโลกกับฐานของเมฆฟ้าผ่าและเป็นการถ่ายประจุไฟฟ้าลบสู่พื้นดิน ในขณะเดียวกันนั้นประจุไฟฟ้าบวกบางส่วนจากพื้นโลกก็จะส่งถ่ายขึ้นไปบนส่วนฐานของเมฆด้วยเช่นกัน การแลกเปลี่ยนประจุกันเช่นนี้สามารถสลายศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณฐานของเมฆเข้าสู่สภาวะความเป็นกลางทางไฟฟ้า

การถ่ายเทประจุไฟฟ้าทำให้ศักย์ไฟฟ้าเดิมที่เคยมีอยู่บนส่วนฐานเมฆลดลงหรือกระทั่งสลายหมดไปแต่เมื่อใดหากว่าเหลือประจุไฟฟ้าสะสมค้างอยู่ในระดับที่สูง หรือหากว่าเมฆฟ้าผ่าสามารถสร้างศักย์ไฟฟ้าขึ้นมาใหม่จนเพียงพอภายในระยะเวลาที่รวดเร็ว ก็สามารถเกิดฟ้าผ่าขึ้นมาอีกครั้งหนึ่งภายในระยะเวลาอันกระชั้นชิดจากการผ่าในครั้งแรกได้ ปกติทั่วไป 98% ของฟ้าผ่าเป็นลักษณะฟ้าผ่าจากก้อนเมฆลงสู่ดิน โดยมีเพียง 2% เท่านั้นที่เป็นฟ้าผ่าจากดินขึ้นสู่ก้อนเมฆ สภาพวงจรพื้นฐานของการเกิดฟ้าผ่าแสดงในภาพ (สมพร, 2542)

<u>Basic theory of lightning circuit</u>

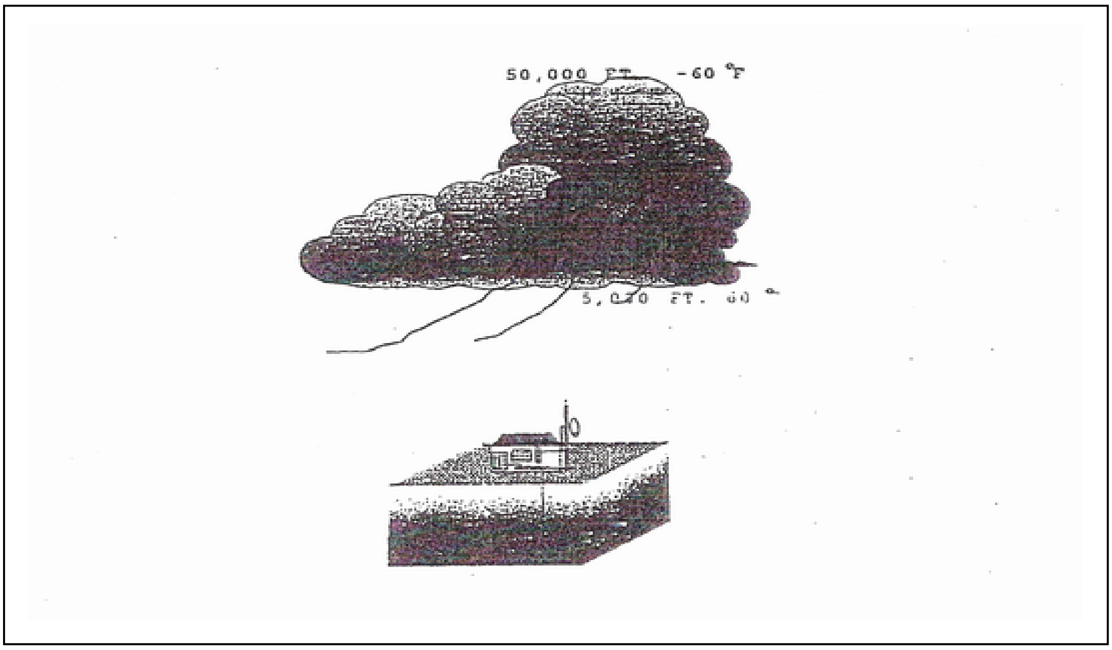


<u>ภาพที่ 1</u> แสดงภาพวงจรการเกิดฟ้าผ่า

ที่มา: สมพร (2542)

ปรากฏการณ์เรียกกันสั้น ๆ ว่า "ฟ้าผ่า" เราสามารถสัมผัสรับรู้ได้ด้วย ประสาทตา และประสาทหูจากแสงที่เราเห็นและเสียงที่เราได้ยิน แต่ประสาทที่รับสัมผัสนี้ มีประสิทธิภาพการรับรู้ได้เพียง หยาบ ๆ เท่านั้น ปรากฏการณ์ฟ้าผ่าเกิดขึ้นภายในระยะเวลาที่รวดเร็วมาก หากว่าต้องการทราบรายละเอียดหรือขั้นตอนต่าง ๆ อย่างชัดเจนจะต้องอาศัยอุปกรณ์ตรวจบันทึกอื่นๆ เข้าช่วยด้วย (National Geographic, 1993)

เราสามารถจำแนกลำดับของการเกิดฟ้าผ่า เป็นขั้นตอนต่าง ๆ ได้ 8 ขั้นตอน

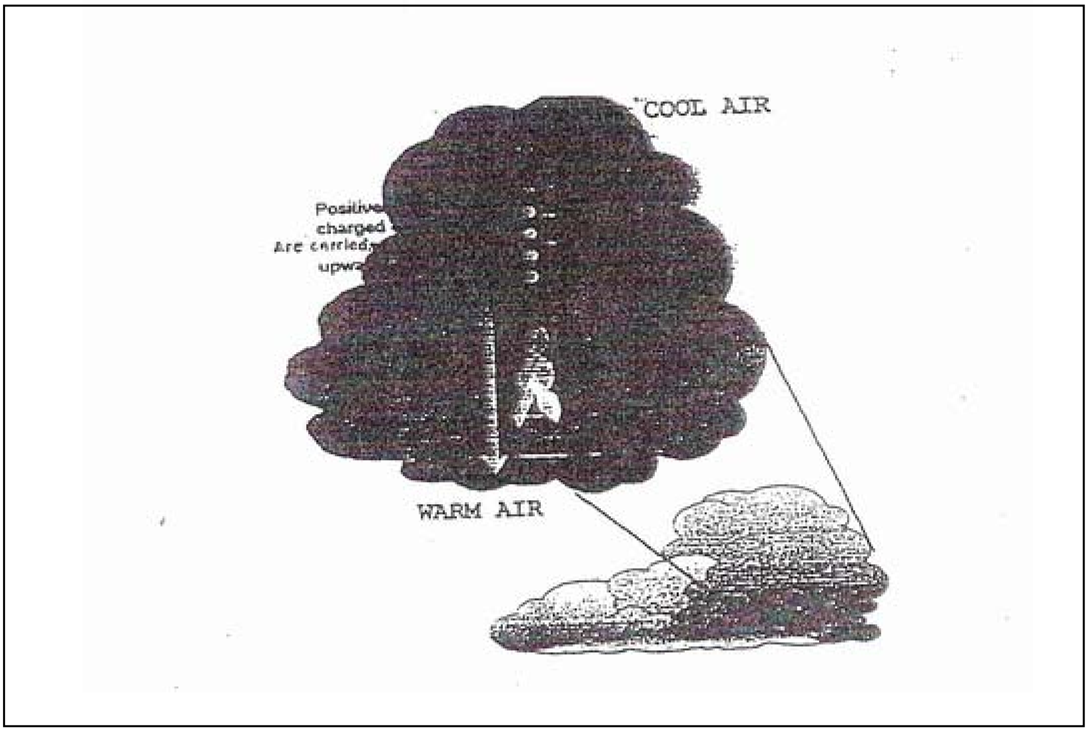


<u>ภาพที่ 2</u> แนวปะทะของอากาศทำให้เกิดสภาพ เมฆฟ้าผ่า
ที่มา: National Geographic (1993)

1. <u>เมฆฟ้าผ่า The thundercloud</u>

การปะทะกันระหว่างแรงลมที่เกิดจากมวลอากาศ ที่มีความร้อนกับมวลอากาศ ที่มีอุณหภูมิต่ำ ทำให้ละอองไอน้ำในบรรยากาศก่อตัวขึ้นเป็นก้อนเมฆ และหากว่าสามารถสะสมก่อตัวต่อไปเรื่อย ๆ จนมีขนาดที่ใหญ่โตมากขึ้นและมีส่วนยอดของก้อนเมฆอยู่ในระดับความสูงประมาณ 50,000 ฟุต เหนือผืนดินอุณหภูมิของอากาศในระดับความสูงของบริเวณยอดเมฆนี้มีค่า -60 องศาฟาเรนไฮน์และก้อนเมฆนี้มีส่วนฐานเมฆอยู่ในระดับสูงเหนือพื้นดินประมาณ 5,000 ฟุต ซึ่งอุณหภูมิของอากาศที่ค่าความสูงระดับฐานของเมฆที่ 60 องศาฟาเรนไฮน์ การปะทะของอากาศ

ก่อให้เกิดแรงลมพัดกรรโชกอย่างต่อเนื่องรุนแรงเกิดเป็นความแปรปรวนอยู่ภายในก้อนเมฆตลอดเวลา ละอองไอน้ำในก้อนเมฆถูกพัดพาให้เคลื่อนจากส่วนฐานเมฆขึ้นไปสู่ระดับความสูงมากขึ้น เข้าสู่ส่วนยอดเมฆ ระยะทางที่ละอองไอน้ำเคลื่อนที่ผ่านไปนั้น ต้องพบกับการเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 60 องศาฟาเรนไฮน์ ไปสุ่ระดับอุณหภูมิที่ -60 องศาฟาเรนไฮน์อย่างรวดเร็วมาก

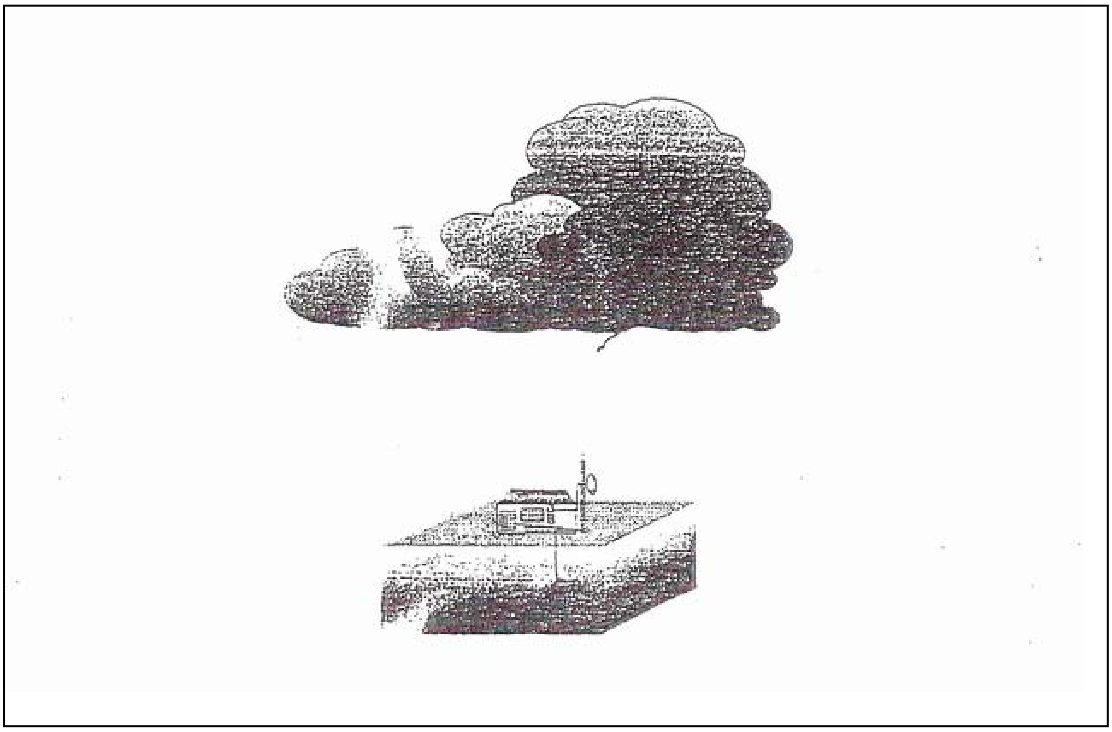


ภาพที่ 3 การเกิดประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆ
ที่มา: National Geographic (1993)

2. เกิดสภาพประจุไฟฟ้าภายในเมฆฟ้าผ่า Breaking ddrop inside the thundercloud

ละอองไอน้ำถูกพัดพาจากฐานเมฆขึ้นสู่ระดับที่มีความสูงขึ้น ต้องเผชิญกับสภาพอุณหภูมิที่ต่ำกว่าภายในระยะเวลาที่รวดเร็วมาก ละอองน้ำเกิดการควบแน่นรัดตัวอย่างรวดเร็วบีบไล่อากาศบางส่วนออกจากภายในและกลายสภาพเป็นเกร็ดน้ำแข็ง อากาศที่พุ่งออกมาจากภายในเกร็ดน้ำแข็งให้สภาพเป็นศักย์ไฟฟ้าลบเคลื่อนที่รวมเป็นกลุ่ม แสดงศักย์ไฟฟ้าลบและเคลื่อนไหลไปมาในบรรยากาศบริเวณส่วนของฐานเมฆเมื่อประจุไฟฟ้าลบเคลื่อนออกไป ทำให้ละอองเกร็ดน้ำแสดงศักย์ไฟฟ้าบวกและยังลอยสูงขึ้นสู่ส่วนยอดเมฆได้ด้วยแรงลม การอยู่รวมกันของละอองเกร็ด

น้ำแข็งในลักษณะกลุ่มที่มีสภาพค่อนข้างสงบนิ่ง แสดงผลรวมเป็นศักย์ไฟฟ้าบวกในบรรยากาศบริเวณยอดเมฆ การลอยปะทะสัมผัสกันและกันเกิดการจับรวมตัวสร้างเป็นเกร็ดน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากขึ้นด้วย เมื่อไม่สามารถต้านทานแรงดึงดูดของโลกจึงตกลงมาสู่ฐานเมฆด้านล่าง ขณะเคลื่อนผ่านบริเวณศักย์ไฟฟ้าลบทำให้ปรับสภาพเป็นศักย์ไฟฟ้าลบด้วย การเคลื่อนที่ต่ำลงจึงเข้าสู่เขตอากาศที่มีระดับอุณหภูมิสูง เกร็ดน้ำแข็งเหล่านั้นเกิดการหลอมละลายเป็นหยดน้ำและรวมตัวเข้าด้วยกันทำให้มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นอีกจึงค่อย ๆ ลอยต่ำลง ๆ นั่นหมายถึงสภาพศักย์ไฟฟ้าลบมีลักษณะเคลื่อนที่ต่ำลงมาพร้อม ๆ กับหยดน้ำเหล่านั้นด้วยฐานเมฆฟ้าผ่า ขณะนี้จะเต็มไปด้วยสภาพบรรยากาศที่มีศักย์ไฟฟ้าลบ พร้อมกับบรรดาเหล่าหยดน้ำจำนวนมากมายซึ่งจะค่อย ๆ เคลื่อนต่ำลงเข้ามาใกล้พื้นโลกในทุกขณะ

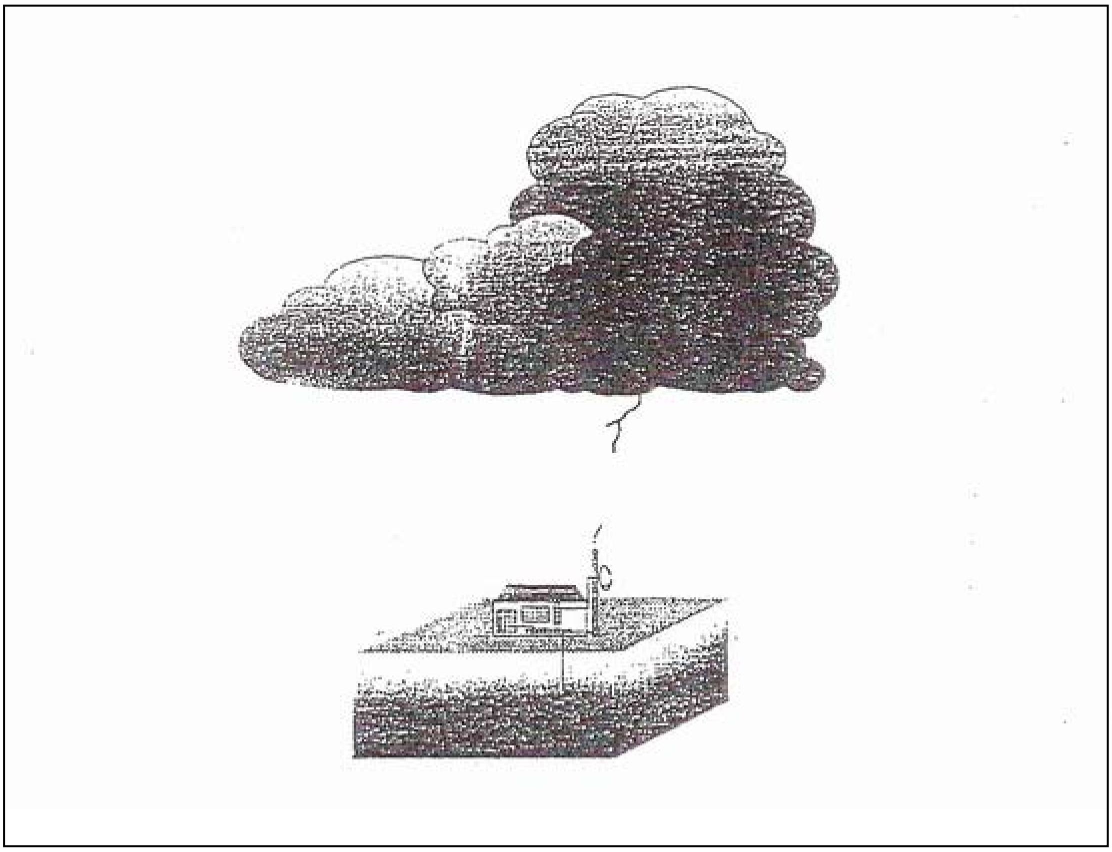


<u>ภาพที่ 4</u> การเพิ่มมากขึ้นของศักย์ไฟฟ้า

ที่มา: National Geographic (1993)

3. การเพิ่มลำดับศักย์ไฟฟ้า Step Leader

เมื่อเกิดสะสมรวมประจุไฟฟ้าลบที่มากขึ้นเรื่อย ๆ การแสดงผลศักย์ไฟฟ้าลบที่ส่วนฐานเมฆจะเพิ่มมากขึ้น แรงดันไฟฟ้าลบมีทิศทางกระทำกับพื้นโลก หากแรงดันที่เพิ่มมากขึ้นกว่า 20,000 โวล์ต ต่อเมตร ก็สามารถทำให้อากาศเกิดการแตกตัวมีสภาพเป็น “อิออนไฟฟ้า” ซึ่งมีสภาพเป็นเส้นเรืองแสงได้ (สายตาเปล่าอาจมองไม่ทัน ต้องอาศัยอุปกรณ์บันทึกภาพ เช่น วีดีโอ หรือภาพยนตร์ เข้าช่วย)

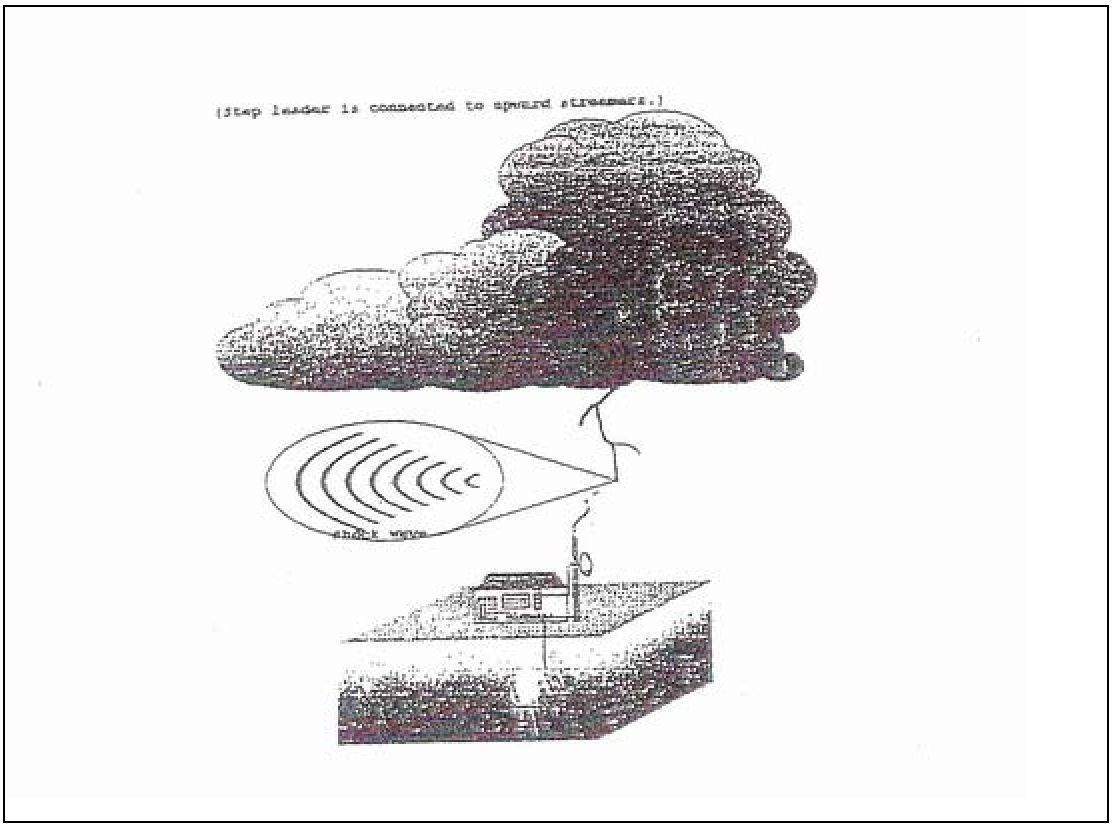


ภาพที่ 5 ศักย์ไฟฟ้าบวกแผ่กระจายขึ้นสู่อากาศ

ที่มา: National Geographic (1993)

4. ศักย์ไฟฟ้ากระจายสู่อากาศสนองตอบ Upward streamers

แรงทางไฟฟ้าจากศักย์ลบที่มากระทำต่อพื้นโลก จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ศักย์ไฟฟ้าบวกแผ่กระจายขึ้นจาก Remote Earth ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงไฟฟ้าโลกเคลื่อนขึ้นสู่พื้นผิวดินและอาศัยสิ่งปลูกสร้างบนพื้นดินที่มีสภาพนำไฟฟ้าเป็นทางผ่านการแพร่กระจายสู่อากาศ ปริมาณประจุไฟฟ้าบวกที่แพร่กระจายอากาศมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ สภาพเอื้ออำนวยของเส้นทางจากแหล่งอ้างอิงไฟฟ้า Remote Earth ไปจนถึง ณ ตำแหน่งหรือจุดที่เกิดการแพร่กระจายสู่อากาศ สิ่งขัดขวางดังกล่าว คือ สภาพความต้านทานไฟฟ้า (Rg) ในดินที่คั่นอยู่ ระหว่าง Remote Earth กับวัตถุนำไฟฟ้าบนพื้นผิวดินนั้น



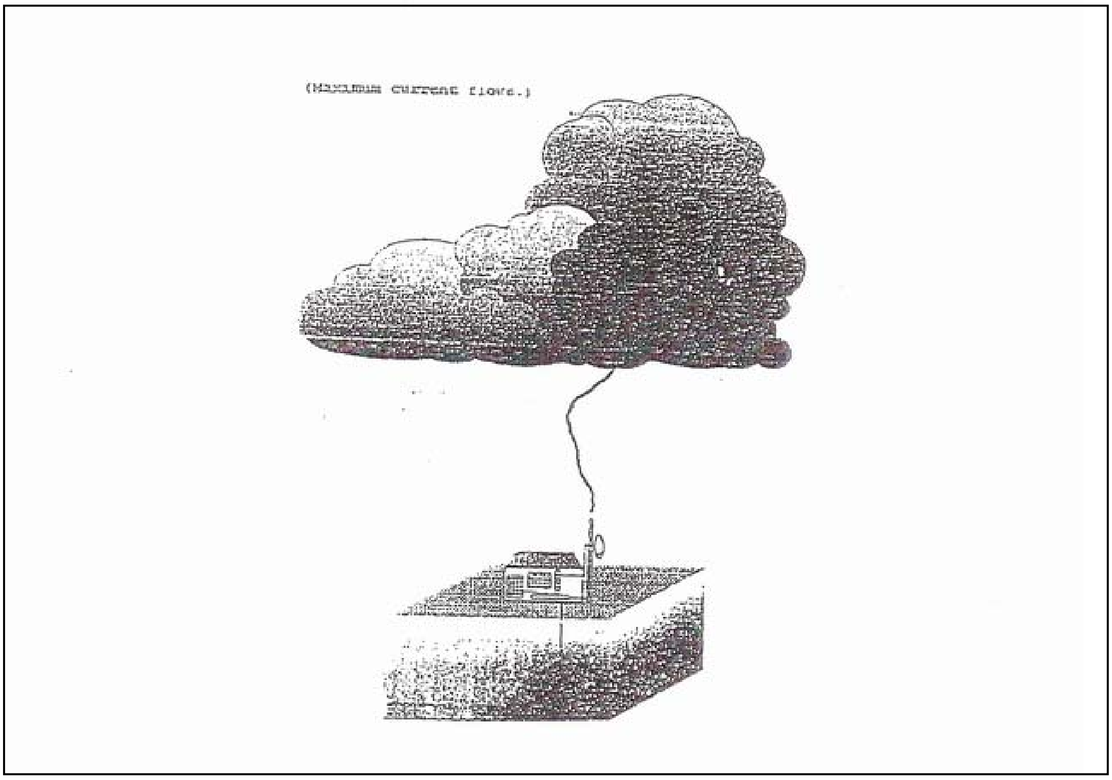
ภาพที่ 6 เส้นทางไหลของกระแสฟ้าผ่า

ที่มา: National Geographic (1993)

5. <u>เส้นทางไหลของกระแสฟ้าผ่า Lightning channel current</u>

เมื่อสนามไฟฟ้า ความเข้มสูงของศักย์ไฟฟ้าลบ แผ่มาบรรจบกับแนวการแพร่กระจายประจุไฟฟ้าบวกจากโลก ซึ่งเป็นผลจากการสัมผัสต่อเชื่อมกันได้ระหว่าง Step Leader กับ Upward Streamers นั่นเอง หากว่าเส้นทางไหลของกระแสฟ้าผ่าเกิดขึ้นอย่างกะทันหันจะทำให้เกิดการกระแทกชนกัน เกิดเป็นคลื่นกระแทรก (Shock wave) การเชื่อมแบบนี้จะกลายเป็น "เส้นทางไหลของกระแสฟ้าผ่า" และเกิดเป็น "สายฟ้าฟาด" หรือ "สายฟ้าผ่า" ในลำดับต่อไป

แต่ หากว่าเมื่อใดการสภาพการแพร่กระจายของ Up ward Streamers (ข้อ 4) มีลักษณะที่ต่อเนื่องสม่ำเสมออยู่ตลอดเวลาและมีปริมารที่เพียงพอแล้ว การบรรจบกันระหว่าง Step Leader กับ Upward Streamers ก็จะเป็นลักษณะค่อยเป็นค่อยไป จึงเป็นการถ่ายเทประจุไฟฟ้าอย่างค่อยเป็นค่อยไปและต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา เมื่อประจุไฟฟ้าบวกสามารถสลายศักย์ไฟฟ้าลบที่ส่วนฐานของเมฆลงได้ ก็จะทำให้ไม่มีการเกิดฟ้าผ่าขึ้นได้

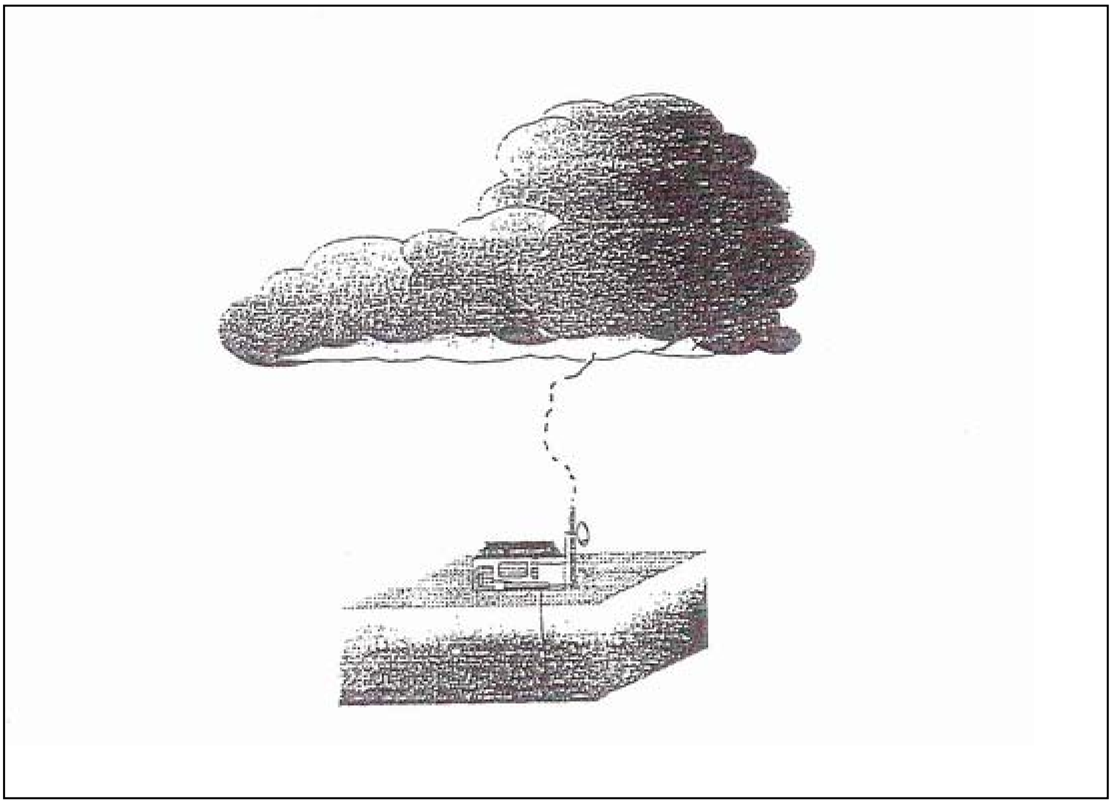


<u>ภาพที่ 7</u> กระแสฟ้าผ่า

ที่มา: National Geographic (1993)

6. กระแสฟ้าผ่า Return stroke

สายฟ้าผ่า ที่เกิดขึ้นคือ สภาพการถ่ายเทหรือแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าอย่างทันทีทันใดระหว่างฐานเมฆและพื้นโลกบนเส้นทางได้สร้างขึ้น (ตามข้อ 5) ไว้แล้ว ขณะที่ประจุไฟฟ้าลบถ่ายเหมายังพื้นโลกนั้นประจุไฟฟ้าบวกจากโลกก็จะเคลื่อนเข้าไปสู่ฐานเมฆได้ในเวลาเดียวกัน เหตุการณ์ที่เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าระหว่างฐานเมฆกับพื้นโลกก็คือ การไหลของกระแสฟ้าผ่า กระแสฟ้าผ่าจะไหลอย่างรวดเร็วและมีปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงมาก กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจะเผาไหม้อากาศทำให้เกิดความร้อนและขยายตัวกระแทกกับอากาศที่อยู่โดยรอบเส้นทางกระแสฟ้าผ่า ภายหลังจากกระแสฟ้าผ่าหยุดลงความร้อนก็ลดลงอากาศในบริเวณโดยรอบ จะรวมตัวเข้าหากันจึงเกิดเป็นการกระแทกกันของอากาศอีกครั้งหนึ่ง สภาพการเผาไหม้อากาศก็คือแสงที่เราเห็นและการกระแทกชนของอากาศสร้างเป็นเสียงที่เราได้ยินนั่นเอง

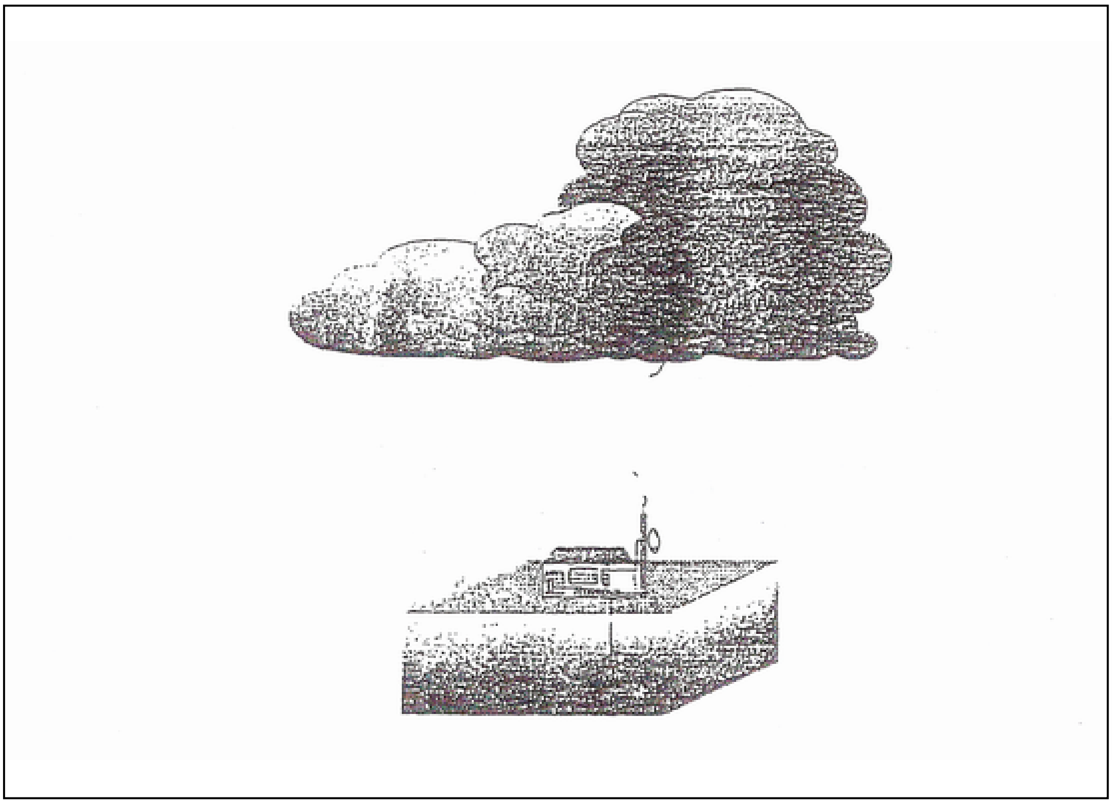


ภาพที่ 8 ปรากฏการณ์ Steamer

ที่มา: National Geographic (1993)

7. <u>เข้าสู่ภาพ Stremer Phenomena</u>

การถ่ายเทประจุไฟฟ้าลบ และประจุไฟฟ้าบวก จะสร้างให้เกิดสภาวะความสมดุลย์ศักย์ไฟฟ้าที่ฐานเมฆได้ ส่งผลให้บริเวณฐานเมฆกลับเข้าสู่สภาพเป็นกลางทางศักย์ไฟฟ้า แต่ขอบเขตแห่งสภาพความเป็นกลางอาจถูกจำกัดอยู่ภายในรัศมีบริเวณนิ่งที่แคบหรือกว้างก็ได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณของการถ่ายเทเพื่อสลายศักย์ไฟฟ้าในฐานเมฆ หากว่าเมฆส่วนอื่นที่อยู่ใกล้เคียงยังมีศักย์ไฟฟ้าลบอยู่ก็ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นได้กับเมฆใกล้เคียงนั้น จึงเกิดการเปลี่ยนประจุระหว่างฐานเมฆกับเมฆที่อยู่ข้างเคียงได้ ซึ่งช่วงขณะนี้สภาพเส้นทางการที่เคยใช้เป็นทางไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าเริ่มเสื่อมสภาพลงแล้ว



<u>ภาพที่ 9</u> พยายามเกิดการผ่าซ้ำใหม่

ที่มา: National Geographic (1993)

8. การพยายามเกิดซ้ำ Dart Leader

ฐานเมฆเมื่อรับการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้า จากเมฆใกล้เคียง (คล้ายกับว่าเมฆรับการชาร์จประจุไฟฟ้าจากเมฆข้างเคียง) ศักย์ไฟฟ้าในส่วนฐานเมฆที่เคยมีสภาพเป็นกลางสามารถมีศักย์ไฟฟ้าลบมากขึ้นได้อีก ระดับศักย์ไฟฟ้านี้ก็พยายามที่จะถ่ายเทลงมายังโลกอีกครั้ง แต่เนื่องจากช่องทางสำหรับให้กระแสไหลสู่โลกหมดความสามารถแล้ว และระดับศักย์ไฟฟ้าที่สะสมขึ้นใหม่นี้ก็ไม่มากพอ การผ่าครั้งที่สองก็จะไม่เกิดขึ้น การเกิดฟ้าผ่าก็ยุติและจบสิ้นลง

ลักษณะสมบัติและผลของฟ้าผ่า

สำรวย (2542) ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติ ซึ่งมนุษย์ได้รู้จัดเกี่ยวข้องกับความเป็นอยู่มาตั้งแต่สมัย ดึกดำบรรพ์ในสมัยโบราณมนุษย์เชื่อฟ้าผ่าในรูปของพระเจ้าต่าง ๆ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1752 เบนจามิน แฟรงคลิน (Benjamin Franklin) ได้พิสูจน์ทดลองและอธิบายให้ทราบว่า ฟ้าผ่านั้นเป็นผลของการเกิดดีสชาร์จของประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆ นับเป็นการเริ่มต้นของการศึกษาเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะสมบัติของฟ้าผ่า ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าแรงดันเนื่องจากประจุไฟฟ้าอันเกิดจากประจุในก้อนเมฆนั้นมีค่าสูงตั้งแต่ 10 เมกะโวลต์ถึง 100 เมกะโวลต์ จัดเป็นต้นกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่สูงมากที่มนุษย์ยังไม่เคยสร้างได้ถึง เครื่องกำเนิดแรงอันอิมพัลส์ที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อใช้งานทดสอบ และวิจัยอุปกรณ์ไฟฟ้ามีแรงดันสูงเพียง 6-7 เมกะโวลต์ และพลังงานก็น้อยกว่าพลังงานฟ้าผ่า

สิ่งต่างๆ ทั้งหลายในโลกนี้มักจะมีทั้งคุณและโทษอยู่ในตัว แต่ฟ้าผ่าท่าที่ทราบดูเหมือนจะมีแต่โทษฝ่ายเดียว เนื่องจากฟ้าผ่ามีความร้อนสูงโดยเฉพาะที่แกนลำฟ้าผ่ามีอุณหภูมิสูงถึง $30{,}000^{0}$ K จึงทำให้เกิดเพลิงไหม้แก่สิ่งที่ถูกฟ้าผ่าได้ จากการวัดค่ากระแสฟ้าผ่าก็มีค่านับเป็นหลายสิบเป็นร้อยกิโลแอมป์ ซึ่งกระแสขนาดนี้และเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้นและรวดเร็วย่อมทำให้เกิดแรงกลบิดและระเบิดได้มากมาย ฉะนั้นเมื่อฟ้าผ่าที่ใดก็มักจะทำให้สิ่งที่ถูกฟ้าผ่าเกิดระเบิดเสียหาย นอกจากนั้นแล้วการเปลี่ยนแปลงของกระแสฟ้าผ่ามีอัตราสูง จึงทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสาร เกิดแรงดันเหนี่ยวนำในระบบวงจรไฟฟ้าเป็นแรงดันเสิร์จและเป็นแรงดันเกิดเคลื่อนไปตามสายไฟเข้าไปสู่อุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า ก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวต่อแรงดันทรานเซียนต์ ส่วนกระแสฟ้าผ่าที่ไหลลงสู่ดิน ก็อาจเป็นอันตรายแก่สิ่งมีชีวิตอยู่ในบริเวณนั้น อันเนื่องมาจากแรงดันช่วงก้าว และแรงดันสัมผัสได้

แม้จะทราบว่าฟ้าผ่านั้นทำให้เกิดความพินาศเสียหาย และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตแต่มนุษย์ก็ไม่อาจห้ามการเกิดฟ้าผ่าได้ ในทางปฏิบัติจะทำได้ก็เพียงป้องกันมิให้เกิดอันตรายอันเนื่องจากผลของฟ้าผ่า โดยสร้างระบบป้องกันตามหลักวิชาการแต่การจะออกแบบระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าให้มีประสิทธิผลและประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องทราบและมีความเข้าใจดีเกี่ยวกับลักษณะสมบัติของฟ้าผ่า ซึ่งเป็นข้อมูลขั้นพื้นฐานสำคัญที่จะช่วยให้สามารถป้องกันได้เหมาะสมและมีความปลอดภัย

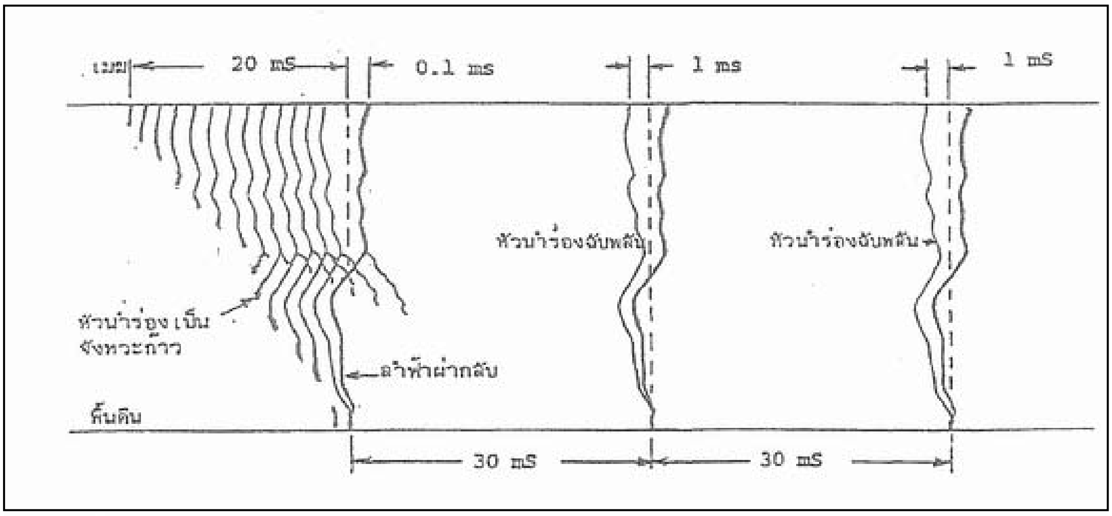
ลักษณะสำคัญของฟ้าผ่า

ลักษณะสมบัติที่สำคัญของฟ้าผ่าอาจกำหนดด้วยสิ่งดังต่อไปนี้ คือ

1. ฟ้าผ่าขึ้นหรือฟ้าผ่าลง
2. ขั้วของกระแสฟ้าผ่า
3. ลักษณะรูปคลื่นฟ้าผ่า
4. ขนาดของกระแสฟ้าผ่า
5. จำนวนครั้งฟ้าผ่าต่อเนื่อง

1. <u>ฟ้าผ่าขึ้นหรือฟ้าผ่าลง</u>

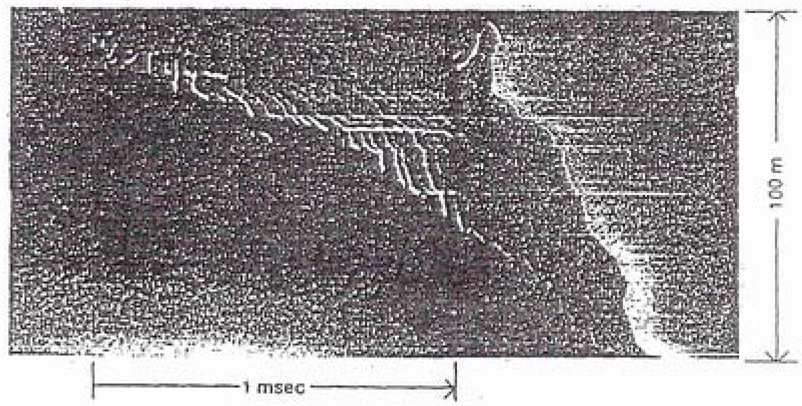
ฟ้าผ่าระหว่างก้อนเมฆกับพื้นโลก อาจเริ่มต้นที่ก้อนเมฆหรือที่พื้นโลกก็ได้ โดยจะเริ่มต้นก่อตัวจากจุดหรือบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟุถึงค่าวิกฤติของบรรยากาศที่ระดับพื้นโลก จะมีค่าประมาณ 25-30 kV/cm. แต่ในก้อนเมฆที่อยู่ระดับสูงเหนือพื้นโลกมีความดันอากาศต่ำ สนามไฟฟ้าวิกฤติจะมีค่าประมาณ 10 kV/cm. ฉะนั้นเมื่อจุดใด ๆ ในก้อนเมฆมีสนามไฟฟ้าถึงค่าวิกฤติก็จะเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดดีสชาร์จฟ้าผ่า ดีสชาร์จจะขยายตัวออกไปเป็นการกรุยทางนำร่องแบบสุ่ม ส่วนหน้ากรุยทางของดีสชาร์จนี้เรียกว่า ลีดเดอร์หรือหัวนำร่อง การนำทางของหัวนำร่องจะขยายตัวออกไปในทางที่เกิดไอออไนเซชันของอากาศได้ง่าย และมีลักษณะของการคืบหน้าเป็นจังหวะก้าว ดังภาพสเก็ตภาพที่ 10 แต่ละก้าวจะมีความยาวประมาณ 10-150 เมตร โดยเฉลี่ยประมาณ 50 เมตร และความเร็วของหัวนำร่องประมาณ 10 ถึง 100 km/sec มีช่วงพักก่อนที่จะกระโดดก้าวต่อไปราว 10 ถึง 50 usec ดูภาพถ่ายในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ภาพสเก็ตการขยายตัวของหัวนำร่อง
ที่มา: สำรวย (2542)

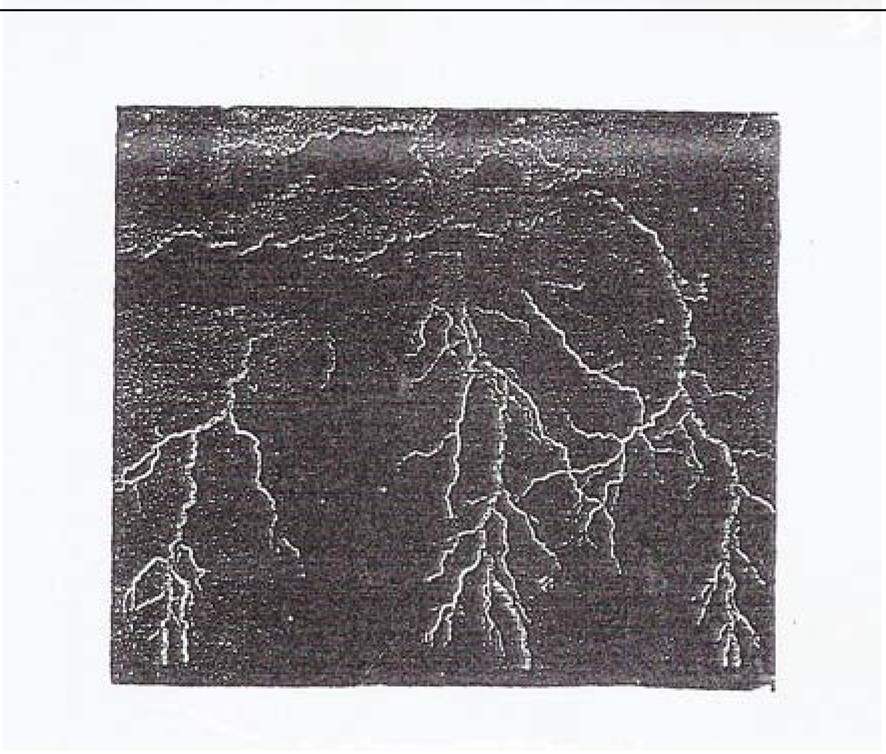
เมื่อหัวนำร่องวิ่งลงมาใกล้พื้นโลกก้าวสุดท้าย ทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าที่พื้นโลกมีค่าสูงเหนี่ยวนำให้เกิดสตรีมเมอร์ ซึ่งมีประจุที่มีขั้วตรงข้ามมีความมียาวเป็นสิบ ๆ เมตร วิ่งจากพื้นโลกเข้าหาหัวนำร่อง หัวนำร่องและสตรีมเมอร์วิ่งมาบรรจบเชื่อมต่อกันระหว่างก้อนเมฆกับพื้นโลกด้วยลำประจุที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นสิบสิบ ๆ เมตร โดยมีแกนกลางเป็นพลาสไอออไนเซซันสูง ฉะนั้นประจุจากก้อนเมฆจะดีสชาร์จลงสู่พื้นโลกตามแนวที่หัวนำร่องได้กรุยทางไว้ ด้วยความเร็วประมาณหนึ่งในสิบของความเร็วแสง ประจุดีสชาร์จนี้จะมีลักษณะเป็นลำแสงจ้า เรียกว่า ลำฟ้าผ่า (main stroke) และการเคลื่อนที่ของประจุในลำฟ้าผ่านี้ก็คือ กระแสฟ้าผ่า นั่นเอง

ปรากฏการณ์ที่ประจุในก้อนเมฆดีสชาร์จลงสู่พื้นโลก ตามกระบวนการที่กล่าวข้างต้นเรียกว่าฟ้าผ่าลง การเกิดฟ้าผ่ามีกระบวนการเป็นไปในช่วงระยะเวลาอันสั้นและรวดเร็ว ไม่อาจสังเกตเห็นขั้นตอนได้แต่อาจสังเกตดูจากลำแสงฟ้าผ่า ถ้าเป็นฟ้าผ่าลงจะมีลักษณะเป็นแขนงแตกจากลำฟ้าผ่ากระจายลงสู่พื้นโลก มีลักษณะคล้ายรากต้นไม้ดังในภาพที่ 12 ทั้งนี้เนื่องจากหัวนำร่องกรุยทางลงมานั้นขยายตัวลงมาหลาย ๆ ทางแล้วแต่ว่าทางใดจะขยายตัวได้ง่ายกว่า



ภาพที่ 11 ภาพถ่ายลำดับขั้นความคืบหน้าของหัวนำร่องเป็นจังหวะก้าวฟ้าผ่า

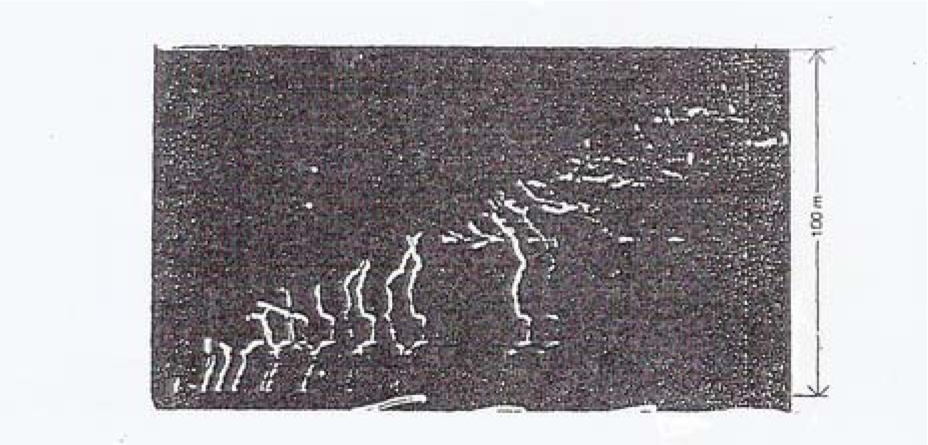
ที่มา: Berger (1972)



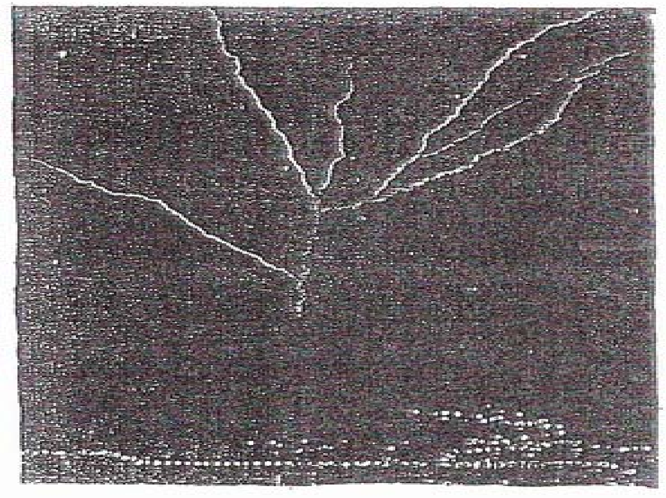
ภาพที่ 12 ลำฟ้าผ่า ถ่ายด้วยฟิล์มอยู่นิ่ง

ที่มา: Salanave (1980)

ฟ้าผ่าอาจจะเริ่มต้นจากพื้นโลกไปสู่ก้อนเมฆก็ได้ซึ่งเรียกว่า ฟ้าผ่าขึ้น คือหัวนำร่องจะเริ่มก่อตัวจากวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างสูง ๆ ในพื้นที่ราบจะเริ่มจากยอดโครงสร้างที่สูงจากพื้นดินตั้งแต่ 100 เมตรขึ้นไป เช่น ยอดเสาหรือหอคอยสูง ๆ หรือสิ่งก่อสร้างที่อยู่บนยอดเขาสูง และมีกระบวนการคืบหน้าเป็นจังหวะก้าวของหัวนำร่องในทิศทางขึ้นไปสู่ก้อนเมฆ ทำนองเดียวกับหัวนำร่องที่เริ่มก่อตัวจากก้อนเมฆแล้ววิ่งลงสู่พื้นโลกของฟ้าผ่าลง จากการสังเกตุจะพบว่าฟ้าผ่าขึ้นมักจะเป็นผลสืบเนื่องจากฟ้าผ่าลง ลักษณะของฟ้าผ่าขึ้นจะสังเกตุเห็นมีแขนงวิ่งขึ้นสู่เบื้องบนเหมือนรากไม้ชี้ขึ้น ดังในภาพที่ 13



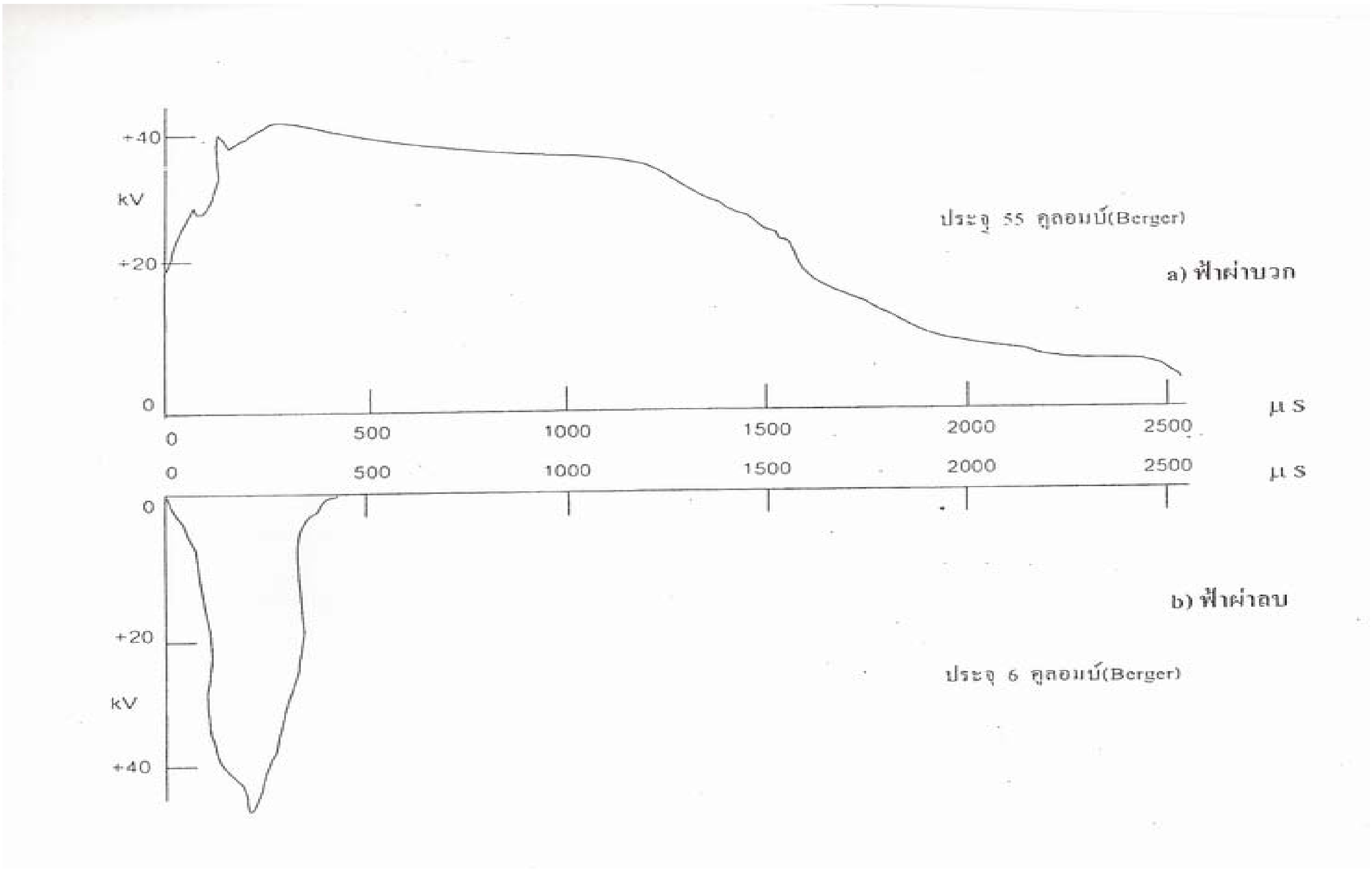
<u>ภาพที่ 13</u> ลำดับขั้นความคืบหน้าของหัวนำร่องฟ้าผ่าขึ้น
ที่มา: Berger (1972)



ภาพที่ 14 ลำฟ้าผ่าขึ้นจากยอดเสาส่งสัญญาณทีวีตั้งอยู่บนยอดเขา
ที่มา: Berger (1972)

2. ขั้วของกระแสฟ้าผ่า

กระแสฟ้าผ่าเป็นกระแสทรานเซี้ยน ที่ไหลทางเดียวอาจเป็นบวกหรือเป็นลบก็ได้ กระแสฟ้าผ่าบวก หมายถึง ลำฟ้าผ่าที่นำเอาประจุบวกจากก้อนเมฆดีสชาร์จลงสู่พื้นโลก ส่วนกระแสไฟฟ้าลบ หมายถึง ลำฟ้าผ่าที่นำเอาประจุลบจากก้อนเมฆดีสชาร์จลงสู่พื้นโลก ดังภาพที่ 15 จากการบันทึกรวบรวมข้อมูลฟ้าผ่าจะพบว่าประมาณร้อยละ 80 ของฟ้าผ่าสู่พื้นโลกเป็นฟ้าผ่าลบ และเป็นที่น่าสังเกตุประการหนึ่งชองลำฟ้าผ่า คือ ฟ้าผ่าลบสู่พื้นโลกมักจะเป็นฟ้าผ่าซ้ำต่อเนื่องหลายครั้ง ถ้าเป็นฟ้าผ่าบวกมักจะเป็นลำฟ้าผ่าเดี่ยว

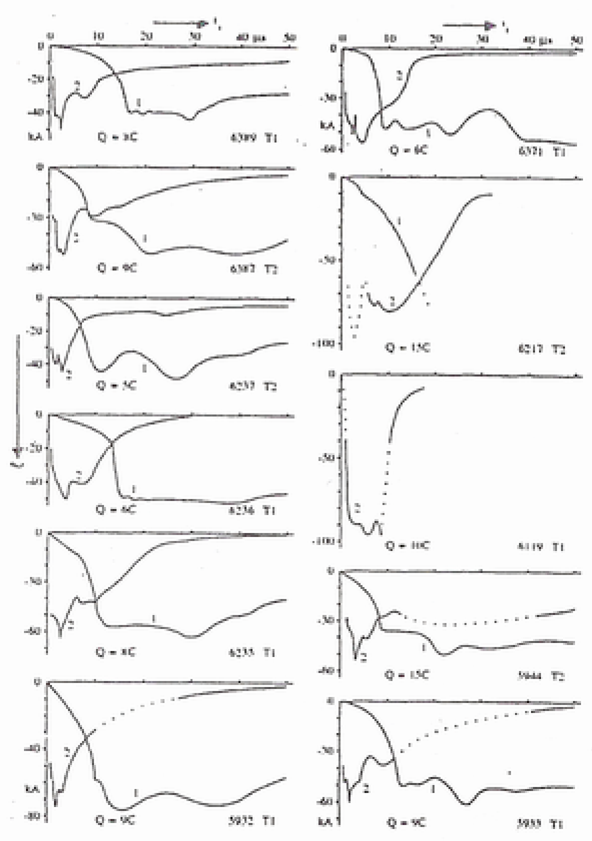


<u>ภาพที่ 15</u> คลื่นกระแสฟ้าผ่า

ที่มา: Berger (1972)

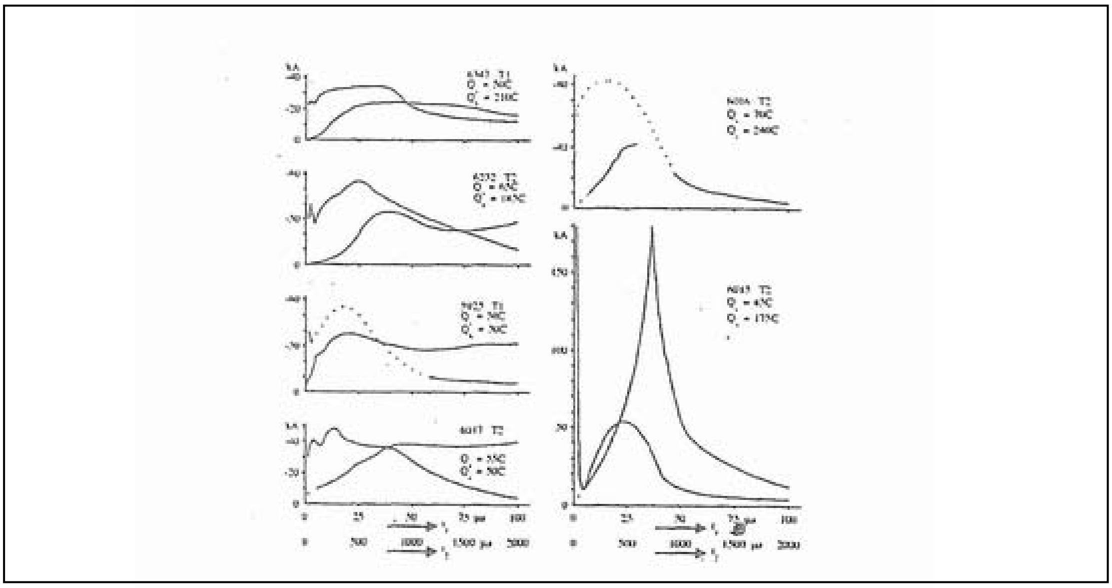
3. รูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า

ลักษณะรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่าอาจกำหนดด้วยเวลาช่วงหน้าคลื่น และเวลาช่วงหางคลื่น เวลาช่วงหน้าคลื่น หมายถึง เวลาที่กระแสเพิ่มขึ้นจากศูนย์จนถึงค่ายอดของคลื่น และเวลาช่วงหางคลื่น หมายถึง เวลาตั้งแต่เริ่มต้นคลื่น จนถึงค่าที่กระแสลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของค่ายอดลักษณะที่สำคัญของช่วงหน้าคลื่น คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของกระแส เรียกว่า ความชัน วัดเป็นกิโลแอมป์ต่อไมโครวินาที ซึ่งมีผลสำคัญที่ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำมากน้อยในสายตัวนำที่มีความเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบระบบสายล่อฟ้า



ภาพที่ 16 รูปคลื่นฟ้าผ่าลบ จากการบันทึกด้วยออสซิลโลสโคบ

ที่มา: Berger (1972)



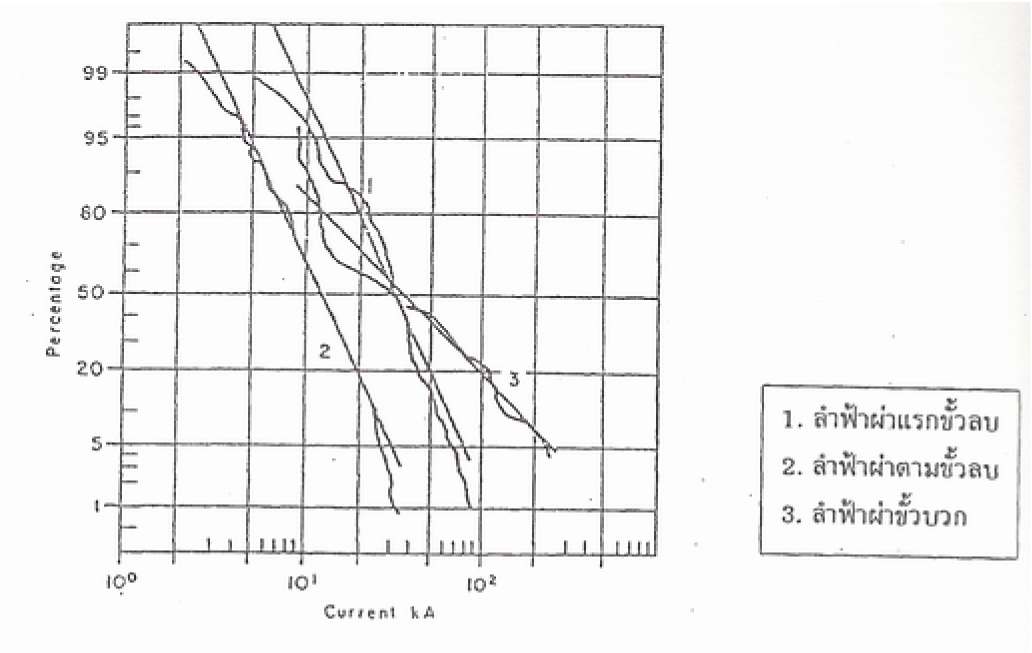
<u>ภาพที่ 17</u> รูปคลื่นฟ้าผ่าบวก จากการบันทึกด้วยออสซิลโลสโคบ
ที่มา: Berger (1972)

จากการบันทึกรูปคลื่นฟ้าผ่าเป็นจำนวนมาก จะพบว่าเวลาช่วงหน้าคลื่นและเวลาช่วงหางคลื่นจะมีค่าต่าง ๆ กัน และขึ้นอยู่กับขั้วของกระแสฟ้าผ่าว่าเป็นบวกหรือเป็นลบด้วย ดังในภาพที่ 16 กล่าวคือ ฟ้าผ่าลบจะมีช่วงหน้าคลื่นประมาณ 1 ถึง 18 ไมโครวินาที และช่วงหางคลื่นประมาณ 5 ถึง 120ไมโครวินาที ฟ้าผ่าบวกเวลาช่วงหน้าคลื่นจะอยู่ในช่วงประมาณ 3.5 ถึง 200 ไมโครวินาที เวลาช่วงทางคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 25 ถึง 2,000 ไมโครวินาที นั่นคือโดยเฉลี่ยฟ้าผ่าบวกจะมีความชันของรูปคลื่นน้อยกว่า และเวลาช่วงหางคลื่นน้อยกว่า และเวลาช่วงหางคลื่นยาวกว่าดังภาพที่ 17 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือจำนวนประจุของฟ้าผ่าบวกมากกว่าฟ้าผ่าลบ

4. <u>ขนาดกระแสฟ้าผ่า</u>

การวัดขนาดของกระแสฟ้าผ่า จะเป็นการวัดค่ายอดของรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า ขนาดกระแสฟ้าผ่าจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของประจุที่ดีสชาร์จ นั่นคือขึ้นอยู่กับขั้วของกระแสฟ้าผ่าว่าเป็นบวกหรือลบ ขึ้นอยู่กับฟ้าผ่าขึ้นหรือฟ้าผ่าลง จากการบันทึกของ Berger พบว่ากระแสฟ้าผ่าขั้วลบมีค่าสูงถึง 90 กิโลแอมป์ และขั้วบวกมีค่าสูงถึง 270 กิโลแอมป์ ในภาพที่ 18 แสดงถึงสถิติกระจายของกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานีวิจัยฟ้าผ่าบนยอดเขา San Salvatore ภาคใต้

ของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ระหว่างปี 1963 ถึง 1971 จากเส้นกราฟจะเห็นได้ว่ากระแสฟ้าผ่ามีค่าเฉลี่ย (ที่ความน่าจะเป็น 50%) ขั้วลบ ประมาณ 30 กิโลแอมป์ สำหรับฟ้าผ่าลำแรก และลำฟ้าผ่าตามขั้วลบประมาณ 12 กิโลแอมป์ และโดยเฉลี่ยของฟ้าผ่าบวกประมาณ 35 กิโลแอมป์



<u>ภาพที่ 18</u> ตัวอย่างสถิติของกระแสฟ้าผ่า
ที่มา: Berger (1972)

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของฟ้าผ่า คือ ค่ายอดกระแสไฟฟ้า ประจุในลำฟ้าผ่า ช่วงเวลาหน้าคลื่น และความชันของรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า ที่มีความน่าจะเกิดที่ร้อยละ 92, 50 และ 5 ซึ่งเป็นผลงานบันทึกของ Berger ดังแสดงในตารางที่ 1

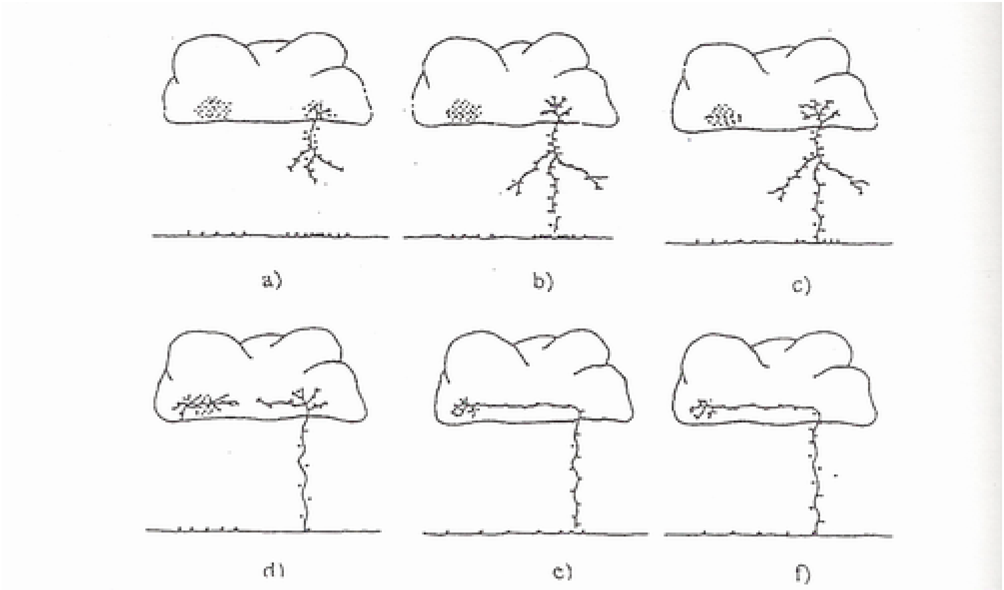
ตารางที่ 1 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของฟ้าผ่า

จำนวนฟ้าผ่า	พารามิเตอร์	หน่วย	ความน่าจะเกิดเป็นร้อยละ		
			95	50	5
	ค่ายอดกระแสฟ้าผ่า				
99	กระแสฟ้าผ่าลบลำแรก	kA	14	30	80
137	กระแสฟ้าผ่าลบลำผ่าตาม	kA	4.6	12	30
28	กระแสฟ้าบวก	kA	4.6	35	250
	ประจุไฟฟ้า				
91	ประจุฟ้าผ่าลบลำแรก	C	1.1	5.2	24
124	ประจุฟ้าผ่าลบลำผ่าตาม	C	0.2	1.4	11
88	ประจุฟ้าผ่าลบทั้งหมด	C	1.3	7.5	40
26	ประจุฟ้าผ่าบวก	C	20	80	350
	ประจุไฟฟ้าอิมพัลส์				
88	ประจุไฟฟ้าอิมพัลส์ลำแรก	C	1.1	4.5	20
119	ประจุไฟฟ้าอิมพัลส์ลำผ่าตาม	C	0.22	0.95	4.0
25	ประจุไฟฟ้าอิมพัลส์บวก	C	20.	16	150
	เวลาช่วงหน้าคลื่น				
87	ฟ้าผ่าลบลำแรก	µS	1.8	5.5	18
120	ฟ้าผ่าลบลำผ่าตาม	µS	0.22	1.1	4.5
19	ฟ้าผ่าบวก	µS	3.5	22	200
	ความชัน (di/dt)				
90	ฟ้าผ่าลบลำแรก	KA/µS	5.5	12	32
124	ฟ้าผ่าลบลำผ่าตาม	KA/µS	12	40	120
21	ฟ้าผ่าบวก	KA/µS	0.20	2.4	32

ที่มา: Berger (1972)

5. <u>ฟ้าผ่าซ้ำหลายลำ</u>

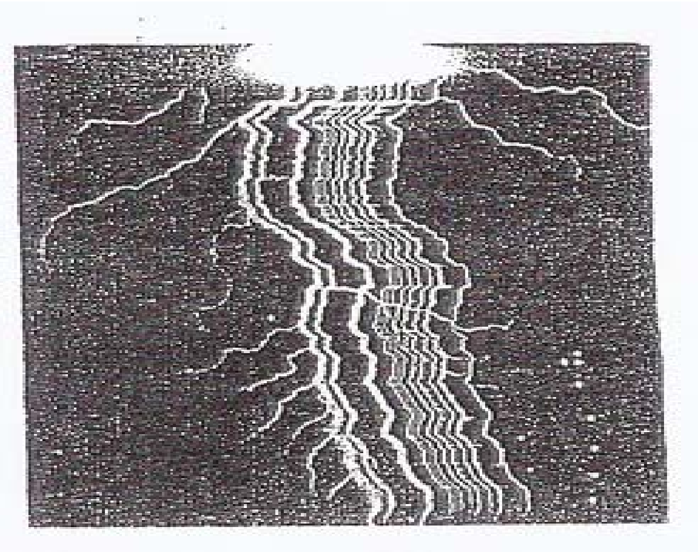
ถ้าสังเกตุดูลำฟ้าผ่าขณะที่เกิดฟ้าผ่ามักจะพบว่า มีลำฟ้าผ่าซ้ำตามแนวลำฟ้าผ่าครั้งแรก ๆ ซึ่งบางทีก็มีกาผ่าซ้ำหลายครั้ง ปรากฏการณ์เช่นนี้อาจอธิบายได้ว่าในก้อนเมฆอาจจะมีศูนย์กลางรวมกลุ่มของประจุหลายแห่ง เมื่อกลุ่มประจุใดมีความเครียดสนามไฟฟ้าถึงจุดวิกฤติก่อนก็จะดีสชาร์จลงสู่พื้นโลกเป็นลำฟ้าผ่าแรกดังที่ได้กล่าวมาแล้ว หลังจากกลุ่มประจุแรกดีสชาร์จไปหมดแล้วก็ทำให้เกิดสตรีมเมอร์ระหว่างกลุ่มประจุในก้อนเมฆ และเกิดดีสชาร์จลงสู่พื้นโลกตามแนวลำฟ้าผ่าลำแรก ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าอากาศในแนวลำฟ้าผ่าวิ่งลงมาก่อนนั้นยังคืนตัวสภาพฉนวนไม่ได้ทันที กล่าวคือยังมีสภาพนำไฟฟ้าเนื่องจากมีไอออนอยู่จึงทำให้ประจุในก้อนเมฆจากกลุ่มอื่นดีสชาร์จได้ง่ายตามแนวนี้ เรียกว่า ฟ้าผ่าซ้ำ ดังภาพที่ 19



<u>**ภาพที่ 19**</u> กระบวนการฟ้าผ่าซ้ำ
ที่มา: Cobine (1958)

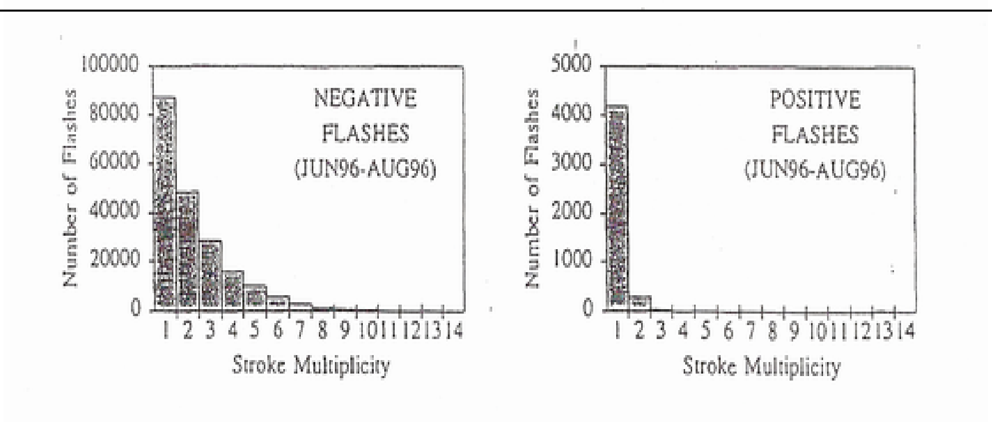
ฟ้าผ่าซ้ำนี้จะมีช่วงเว้นต่อเนื่องระหว่างครั้งประมาณ 5-30 มิลลิวินาที ฟ้าผ่าตามนี้จะสังเกตุเห็นได้ว่าไม่มีแขนง เพราะไม่มีการขยายตัวเป็นจังหวะก้าวของหัวนำร่อง เวลาช่วงหน้าคลื่นของฟ้าผ่าซ้ำนี้จะมีความชันสูงมากอาจถึง 120 กิโลแอมป์ต่อไมโครวินาที ซึ่งความชันของคลื่นกระแสฟ้าผ่าลำแรกจะมีค่าเพียง 32 กิโลแอมป์ต่ไมโครวินาที และความชันเฉลี่ยประมาณ 12 กิโลแอมป์ต่อ

ไมโครวินาที จากการบันทึกพบว่าการเกิดฟ้าผ่าซ้ำ ๆ หลายครั้ง จะมีหรือไม่ขึ้นอยู่กับภูมิประเทศ ในประเทศโซนหนาวจะมีฟ้าผ่าลำเดี่ยวเป็นส่วนใหญ่ แต่ในประเทศโซนร้อนจะมีจำนวนฟ้าผ่าซ้ำมากกว่า 2 ครั้ง ดังเช่นในประเทศอังกฤษจะมีผ้าผ่าแต่ละครั้ง 1-2 ลำฟ้าผ่าในอาฟริกาฟ้าผ่าซ้ำเฉลี่ย 4 ลำฟ้าผ่า และในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่ามีฟ้าผ่าซ้ำถึง 26 ลำต่อฟ้าผ่า 1 ครั้ง ตัวอย่างภาพถ่ายลำฟ้าผ่าซ้ำจำนวน 11 ลำดับ ดังภาพที่ 20



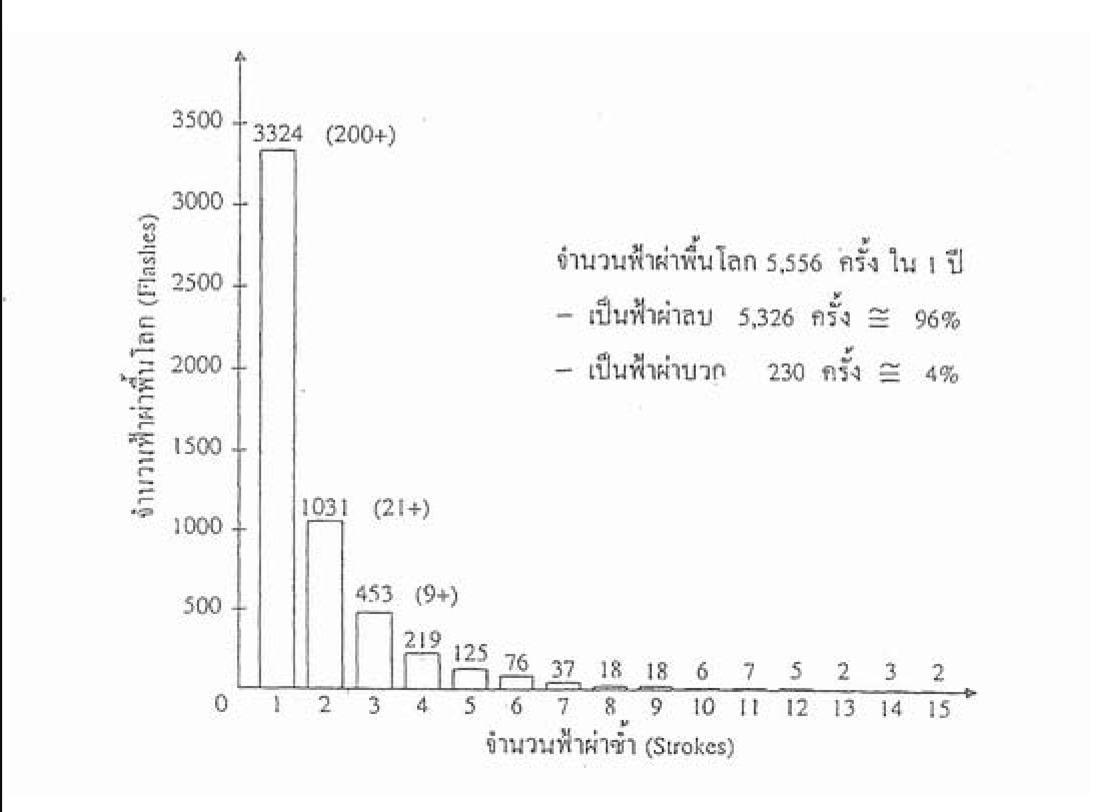
ภาพที่ 20 ฟ้าผ่าซ้ำหลายครั้ง
ที่มา: Salanave (1980)

ผลของการบันทึกข้อมูลพารามิเตอร์ของฟ้าผ่าในประเทศไทย ด้วยระบบตรวจจับและหาตำแหน่งฟ้าผ่าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในปี 2539 (มิถุนายน-สิงหาคม) ปรากฏว่าเกิดฟ้าผ่าบวกน้อยกว่า 4% ของจำนวนฟ้าผ่าทั้งหมด 528,677 ครั้ง และในจำนวนนี้พบว่าส่วนใหญ่ของฟ้าผ่าซ้ำเป็นขั้วลบ ซึ่งมีโอกาสเกิดฟ้าผ่าซ้ำสูงถึง 9 ครั้ง ส่วนฟ้าผ่าบวก ส่วนใหญ่จะเป็นฟ้าผ่าเดี่ยวผ่าซ้ำอย่างมากเพียง 2 ครั้ง ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 อีสโตรแกรมจำนวนฟ้าผ่าซ้ำสู่พื้นโลกของประเทศไทยในปี 2539 แยกเป็นขั้วลบและขั้วบวก
ที่มา: สำรวย (2542)

การศึกษาวิจัยนับจำนวนฟ้าผ่าซ้ำ ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้เครื่องนับฟ้าผ่าที่พัฒนาขึ้นมาจากวงจรเครื่องนับฟ้าผ่าของ CIGRE ให้สามารถนับจำนวนฟ้าผ่าซ้ำของฟ้าผ่าแต่ละครั้ง แยกเป็นขั้วลบขั้วบวกได้ และสามารถบันทึกวันเวลาที่เกิดขึ้นจริงได้ด้วย ผลของการใช้เครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำในช่วงวันที่ 19 กันยายน 2540 ถึง 18 กันยายน 2541 เป็นเวลา 1 ปีเต็ม พบว่ามีจำนวนฟ้าผ่าลงสู่พื้นโลก 5,556 ครั้ง เป็นฟ้าผ่าลบ 5,326 ครั้ง คิดเป็น 96% และเป็นฟ้าผ่าบวก 230 ครั้ง คิดเป็น 4% ในจำนวนนี้มีฟ้าผ่าซ้ำขั้วลบสูงถึง 14 ครั้ง (เกิดขึ้น 1 ครั้ง) จำนวนซ้ำ 2 ครั้ง คิดเป็น 21% ของฟ้าผ่าลบทั้งหมด และฟ้าผ่าซ้ำขั้วบวกอย่างสูงมีเพียง 3 ครั้งหรือคิดเป็น 4% ของจำนวนฟ้าผ่าบวกทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 22



<u>ภาพที่ 22</u> จำนวนฟ้าผ่าซ้ำขั้วลบขั้วบวกซึ่งนับด้วยเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำ

ที่มา: สำรวย (2542)

การต่อลงดิน

บทนำทั่วไป

ไฟฟ้าที่มนุษย์สร้างขึ้นจัดเป็นสิ่งที่ให้คุณประโยชน์มากมายนานับประการ ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฟ้าผ่าก็มีประโยชน์บ้างแต่จะมีโทษมากกว่าคุณ เพราะการเกิดฟ้าผ่าทำให้เกิดความพินาศเสียหายกับสิ่งที่ถูกผ่า เป็นอันตรายแก่คน สัตว์และทรัพย์สินหากไม่มีการป้องกัน หรือป้องกันไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ทำนองเดียวกันไฟฟ้าที่มนุษย์สร้างขึ้นก็อาจให้โทษได้อย่างมหันต์ถึงแก่ชีวิตได้ หากใช้ไม่ถูกวิธี หรือทำงานกับไฟฟ้าอย่างขาดความรอบคอบและระมัดระวัง หรือเกิดไปสัมผัสเข้าโดยที่ไม่รู้จัดไม่รู้ตัวอุบัติเหตุก็เกิดขึ้น ฉะนั้นเพื่อป้องกันอุบัติภัยจากไฟฟ้า จึงต้องมีมาตรการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าทั้งที่มนุษย์สร้างขึ้นและจากที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มาตรการที่สำคัญประการหนึ่งของการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าแก่คนก็คือ การต่อระบบสายดิน (1) และป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าด้วยระบบสายล่อฟ้าแบบฟาราเดย์ ซึ่งมีการต่อลงดินเป็นส่วนสำคัญยิ่งของระบบห้องกัน (2,3,4)

1. การต่อลงดินคืออะไร

คำว่า “การต่อลงดิน” ที่กำหนหดไว้ในมาตรฐานติดตั้งไฟฟ้าของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย วสท. 2001-24(5) แปลมาจากภาอังกฤษว่า Grounding ใน National Electrical Code 1980 ข้อ 250 อันเป็นมาตรฐานแห่งความปลอดภัยในทางปฏิบัติการใช้ไฟฟ้าของประเทศสหรัฐอเมริกา (6)

Lacy ได้ให้นิยามไว้ในคู่มือ Electronic Safety Produres (7) ว่า “A grpund is an electrical path to earth” นั่นคือ กรต่อลงดิน หมายถึงเส้นทางไฟฟ้าที่ต่อลงสู่ดิน ซึ่งการต่อลงดินนี้จำแนกออกเป็นสองแบบ คือ แบบหนึ่งเป็นการต่อลงดินแบบเจตนาจะมีความต้านทานต่ำ อีกแบบหนึ่งเป็นการต่อลงดินโดยไม่เจตนา ซึ่งมีความต้านทานสุงกว่ามาก การต่อลงดินแบบเจตนาจะต่อส่วนที่ต้องการต่อลงดินด้วยตัวนำไฟฟ้าขนาดโตพอเข้ากับตัวนำไฟฟ้าที่ฝังอยู่ในดินที่เรียกว่า รากสายดิน (Eatth electrode) ส่วนการต่อลงดินแบบไม่เจตนานั้น เส้นทางที่ต่อลงดินอาจต่อโดยผ่านพื้นคอนกรีตเปียก บันไดพาดพิงฝาผนังคอนกรีต โต๊ะเก้าอี้ โลหะบนพื้นคอนกรีต การต่อลงดินเหล่านี้ไม่ถือว่าเป็นการต่อสายดินที่ดี แต่ก็เป็นทางที่มีผลพอให้ครบวงจรเกิดไฟฟ้าดูดตายแก่ผู้ที่ไปสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าได้ ในขณะที่ร่างกายสัมผัสเข้ากับสิ่งที่ต่อลงดินโดยไม่เจตนาเหล่านี้

การต่อลงดินที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ทั้งหมดหากมิได้ระบุเป็นอย่างอื่น จะหมายถึงการต่อลงดินแบบเจตนาตั้งใจ เพื่อให้ผลของการต่อลงเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะแบบหรือประเภทของการต่อลงดิน

2. วัตถุประสงค์หลักของการต่อลงดิน

การต่อลงดินมีความมุ่งหมายหรือความต้องการอยู่หลายประการแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของสิ่งที่ต้องการต่อลงดิน อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์หลักของการต่อลงดินโดยทั่ว ๆ ไป อาจจะกล่าวรวม ๆ ได้ดังนี้ คือ

2.1 การต่อลงดินเพื่อให้สิ่งที่ต่อลงดินนั้นมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับดิน ไม่ว่าส่วนนั้นจะมีไฟฟ้าหรือไม่ก็ตาม โดยต่อด้วยตัวนำไฟฟ้าอย่างดี ตัวอย่างเช่น ตัวถังหรือฝาโลหะปิดหุ้มที่เรียกว่าเกิดไฟฟ้ารั่ว เช่นตู้เย็น เตารีด หม้อหุงข้าว เตาอบไฟฟ้า เป็นต้น ทำให้ตัวถังหรือฝาปิดหุ้มโลหะนั้นมีศักย์ไฟฟ้า และมีค่าสุงกว่าดิน ถ้าตัวถังนั้นมิได้ต่อลงดิน หรือต่อไว้ไม่ดีพอ เมื่อคนไปสัมผัสเข้ากับตัวถังโลหะในขณะที่ยืนอยู่บนดิน หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายสัมผัสกับดิน ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายลงสู่ดิน เกิดอันตรายในลักษณะที่เรียกว่าถูกไฟฟ้าดูด การต่อลงดินไว้ก็จะทำตัวถังหรือฝาปิดหุ้มโลหะเหล่านั้นมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับดิน หากใครบังเอิญไปสัมผัสเข้าอันตรายเพราะถูกไฟฟ้าดูดก็จะไม่เกิดขึ้น

ตัวอย่างที่สำคัญของการต่อลงดิน เพื่อให้มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับดินที่ใช้อยู่เสมอเป็นประจำสำหรับช่างไฟฟ้าขณะปฏิบัติงาน ก็คือ การต่อสายไฟบัสบาร์ ขั้วไฟฟ้าที่ตัดไฟออกแล้วลงดินด้วยสายดิน หรือตะขอสายดินอย่างดีก่อนที่จะปฏิบัติงาน ทั้งนี้เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากสายไฟ บัสบาร์ ขั้วไฟฟ้านั้นเกิดมีไฟฟ้าขึ้นมาด้วยเหตุใดก็ตาม การต่อลงดินในลักษณะนี้นอกจากจะทำให้มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับดินแล้ว ยังมีวัตถุประสงค์ทำให้เครื่องป้องกันกระแสเกิน เช่น ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรเกอร์ทำงาน เพราะทำให้เกิดลัดวงจรลงดินนั่นเอง

2.2 การต่อลงดินเพื่อให้เครื่องป้องกันกระแสเกิน ทำงานเมื่อเกิดผิดพร่องลัดวงจรลงดิน ขจัดส่วนที่ผิดพร่องลัดวงจรลงดินนั้นออกไป ส่วนอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวกับการผิดพร่องลัดวงจรยังสามารถใช้งานได้ต่อไป การต่อลงดินเพื่อวัตถุประสงค์นี้ได้แก่ ต่อลงดินของระบบส่งจ่ายจำหน่ายกำลังไฟฟ้า หรือแม้แต่ระบบไฟฟ้าภายในบ้านที่มีเครื่องตัดไฟฟ้ารั่วลงดิน (Earth Leakage

Interrupter) ถ้าเกิดไฟฟ้ารั่วผ่านร่างกายคนลงดินหรือเกิดผิดพร่องลงดินที่ใดก็ตาม เครื่องตัดไฟฟ้ารั่วก็จะทำงาน คือ ตัดวงจรทันที อันตรายจากไฟฟ้ารั่วก็จะไม่เกิดขึ้น

2.3 การต่อลงดินเพื่อป้องกันแรงดันเกิน ในระบบส่งจ่ายจำหน่ายกำลังไฟฟ้าอาจเกิดแรงดันเกินได้จากสาเหตุหลายประการ เช่น เกิดการผิดพร่องขึ้นในระบบ หรือเกิดการทำงานของสวิตช์ตัดตอน โดยมีผู้ปฏิบัติ หรือตัดตอนเองโดยอัตโนมัติ หรือเกิดจากสาเหตุเกี่ยวกับฟ้าผ่า แรงดันเกินเหล่านี้จะลดลงหรือถูกจำกัดได้โดยการต่อลงดินของระบบ

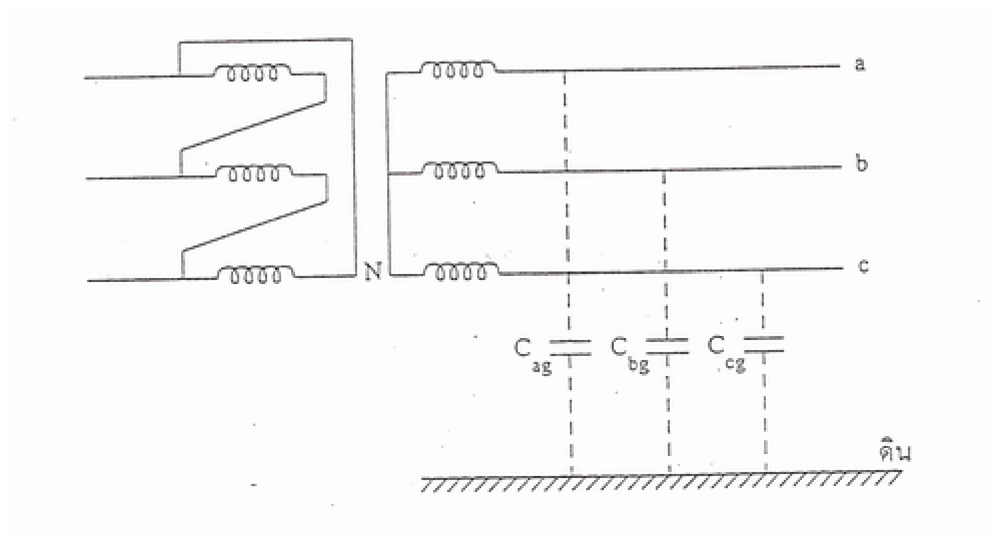
2.4 การต่อลงดินเพื่อปล่อยหรือดีสชาร์จประจุ การต่อลงดินลักษณะนี้เป็นการทำทางให้ประจุระบายลงสู่ดินได้สะดวก และไม่เกิดผลสืบเนื่องเสียหายจากการปล่อยประจุนั้น ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนก็คือ การต่อลงดินของระบบสายล่อฟ้า ซึ่งทำหน้าที่ให้กระแสฟ้าผ่าไหลลงสู่ดินได้สะดวก ไม่เกิดความเสียหายแก่สิ่งที่จะป้องกัน การต่อลงดินอุปกรณ์ที่เก็บประจุไว้ได้ เช่น เคเบิลแรงสูง ปลอกฉนวนนำสาย ตัวเก็บประจุเองหลังจากการใช้งานแล้ว ยังมีประจุค้างเหลืออยู่ จะเป็นอันตรายแก่ผู้ที่บังเอิญไปสัมผัสเข้า เมื่อต่อลงดินก็จะระบายประจุเหล่านี้จะไม่มีศักย์ไฟฟ้าเหลืออยู่ ตัวอย่างการต่อลงดินเพื่อระบายประจุที่เห็นอยู่ทั่วไป คือ การต่อลงดินของรั้วกั้นตามสถานีจ่ายไฟฟ้าหรือที่ติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง จะไม่เกิดอันตรายแก่ผู้ที่ไปสัมผัสรั้วกั้น

การต่อลงดินเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ดังกล่าวข้างต้น จะมีวิธีการต่อที่ถูกต้องเหมาะสมตามแต่ชนิดของสิ่งที่ต้องการต่อลงดิน ซึ่งอาจจะแยกเป็น การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า การต่อลงดินของอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้า การต่อลงดินของระบบสายล่อฟ้า ดังจะได้กล่าวถึงรายละเอียดของการต่อลงดินแต่ละประเภทในข้อต่อไป

3. <u>ผลของการไม่ต่อลงดิน</u>

ระบบที่ไม่ต่อลงดิน หมายถึง ระบบหรือวงจรหรืออุปกรณ์ที่ไม่มีการต่อลงดินแบบเจตนา จะมีเส้นทางที่เกี่ยวโยงกับดินที่เพียงผ่านทางอุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้า หรืออุปกรณ์อื่นใดที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูงมากหรือไม่ก็ผ่านทางความจุไฟฟ้ากระจายของขดลวดหรือตัวนำไฟฟ้า ในกรณีที่ไม่มีความผิดพร่องลัดวงจรลงดิน จุนิวตรัลของระบบที่ไม่ต่อลงดิน และอยู่ในสภาวะที่โหลดสมดุลจะมีศักย์ไฟฟ้าเท่า ๆ กับดิน ตราบเท่าที่ความจุไฟฟ้ากระจายของแต่ละเฟสกับดินมีค่าเท่า ๆ กัน ดังภาพที่ 23

ข้อดีของการทำงานของระบบที่จุดนิวตรัลไม่ต่อลงดินก็คือ ระบบยังสามารถทำงานจ่ายไฟต่อไปได้ตามปกติ ถึงแม้จะเกิดผิดพร่องลงดินของเฟสหนึ่ง การรบกวนต่อระบบสื่อสารโทรศัพท์จะลดน้อยลงเพราะไม่มีกระแสลำดับศูนย์ (Zero sequence current)



ภาพที่ 23 ระบบที่ไม่ต่อลงดิน

การต่อลงดินของระบบ (System grounding)

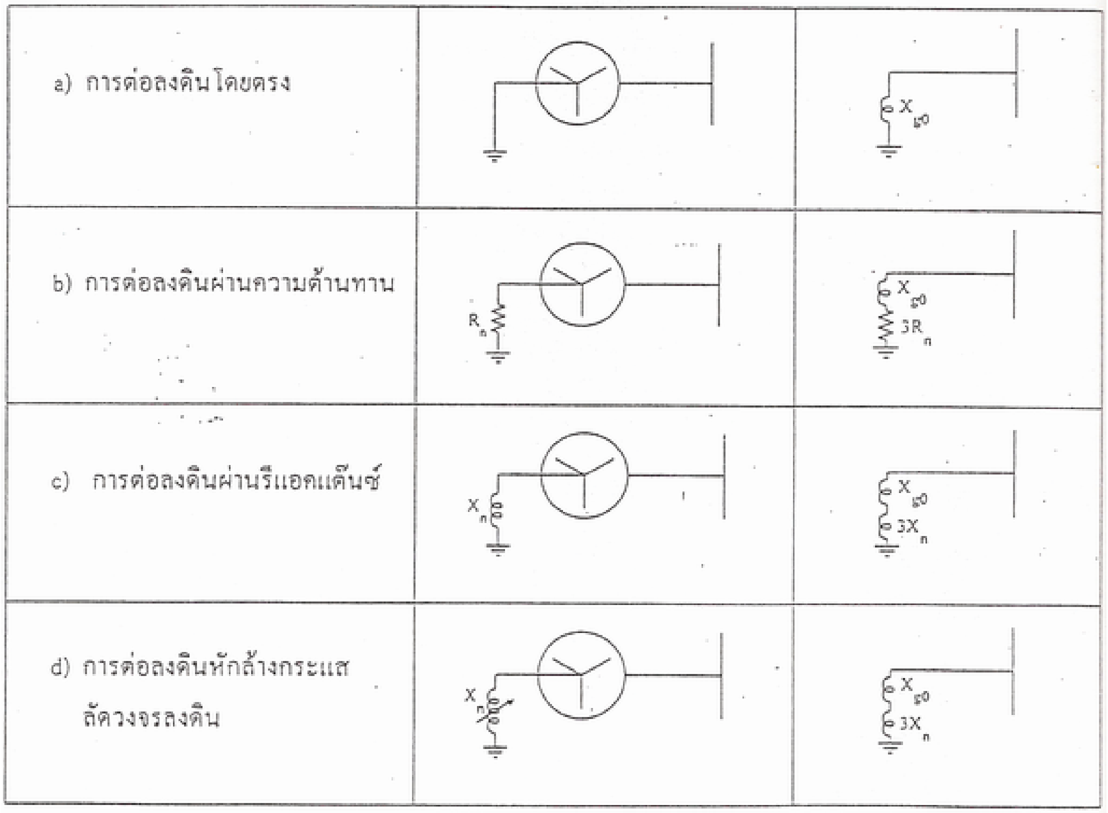
การต่อลงดินของระบบมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เครื่องป้องกันกระแสเกิน เมื่อเกิดลัดวงจรลงดินและป้องกันการเกิดแรงดันเกินในระบบดังที่กล่าวแล้วในข้อ 1.2 นั้นมีลักษณะวิธีการต่อลงดินที่ต่างกันตามแต่ความต้องการ

ระบบที่ต่อลงดินหมายถึง ระบบที่มีการต่อลงดินแบบเจตนาอย่างน้อยที่สุดจะต้องมีจุดใดจุดหนึ่งของระบบต่อลงดิน โดยปกติจะเป็นสายนิวตรัลหรือจุดนิวตรัล (Neutral point) เช่น จุดนิวตรัลของหม้อแปลงไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังรูปที่ 2-1 การต่อจุดนิวตรัลของระบบลงดิน แบ่งออกได้เป็น

1. การต่อลงดินโดยตรง (Solidly grounded)
2. การต่อลงดินผ่านความต้านทาน (Resistance grounding)
3. การต่อลงดินผ่านรีแอคแต๊นซ์ (Reactance grounding)
4. การต่อลงดินหักล้างกระแสลัดวงจรลงดิน (Ground fault neutralizer grounding)

1. <u>การต่อลงดินโดยตรง</u>

การต่อลงดินโดยตรง หมายถึง การต่อจุดนิวตรัลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังลงดินโดยตรงด้วยตัวนำไฟฟ้าอย่างดี ไม่มีค่าอิมพีแด๊นซ์เพิ่มเติมในสายต่อลงดิน อย่างไรก็ดีทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีค่าอิมพีแด๊นซ์อยู่ในตัว ซึ่งจะต่ออนุกรมกับวงจรที่ต่อจากนิวตรัล ฉะนั้นถึงแม้ว่าจะต่อจุดนิวตรัลลงดินด้วยตัวนำที่มีโอห์มต่ำมากถือว่ามีค่าโอห์มเป็นศูนย์ได้



<u>ภาพที่ 24</u> วงจรของระบบมีจุดนิวตรัลและวงจรสมมูลของการต่อลงดินที่จุดนิวตรัล

x_{go} = รีแอคแต๊นซ์ ลำดับศูนย์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือหม้อแปลง

แต่ในวงจรนิวตรัลลงดินจะมีค่าโอห์มไม่เป็นศูนย์ดังรูปที่ 24 ทำให้วัตถุประสงค์ของการต่อลงดินเพื่อป้องกันแรงดันเกินอาจจะไม่บรรลุเป้าหมายโดยสมบูรณ์ ฉะนั้นการต่อลงดินเช่นนี้อาจกล่าวเปรียบเทียบในเชิงประสิทธิผลของการต่อลงดินได้ คือ เปรียบเทียบค่ากระแสผิดพร่องลัดวงจรลงดินกับค่ากระแสผิดพร่องลัดวงจรสามเฟส ถ้ากระแสลัดวงจรลงดินยิ่งสูงเมื่อเทียบกับกระแสลัดวงจรสามเฟส ก็เรียกว่า ประสิทธิผลของการต่อลงดินสูงขึ้น ตาม IEEE-std. 142-1982 (8) ได้กำหนดว่า การต่อลงดินโดยตรงนั้นจะสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อ $R_0 \leq X_1, X_0 \leq 3X_1$ เมื่อ R_0, X_0 คือค่าความต้านทานและค่ารีแอคแต๊นซ์ลำดับศูนย์ และ X_1 คือ ค่ารีแอคแต๊นซ์ลำดับบวก ในทางปฏิบัติการต่อลงดินโดยตรงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะทำให้กระแสลัดวงจรลงดินเกินค่ากระแสลัดวงจรสามเฟสได้ ฉะนั้นการต่อจุดนิวตรัลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลงดินมักจะใส่ค่าอีพีแต๊นซ์ไว้ในวงจรต่อลงดิน เพื่อจำกัดกระแสลัดวงจรลงดินไม่ให้เกินกระแสลัดวงจรสามเฟส

2. <u>**การต่อลงดินผ่านความต้านทาน**</u>

การต่อลงดินของระบบผ่านความต้านทาน คือ การต่อจุดนิวตรัลของระบบของดินผ่านความต้านทาน ค่าความต้านทานที่ใส่ไว้ในวงจรต่อลงดินแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ ความต้านทานสูงและความต้านทานต่ำ ซึ่งแบ่งตามขนาดของกระแสลัดวงจรลงดิน ทั้งสองกรณีจะจำกัดแรงดันเกินทรานเซี้ยนต์ไว้ไม่เกิน 1.5 เท่าของแรงดันปกติ

โดยทั่วไปการต่อลงดินผ่านความต้านทานสูง ใช้ในกรณีที่ต้องการจำกัดกระแสลัดวงจรลงดินไม่ให้เกิน 10 แอมป์ แต่จะไม่ใช้ในกรณีที่จะขจัดความผิดพร่องลงดินทันควัน เพราะกระแสผิดพร่องถูกจำกัดต่ำมากอยู่ในย่าน 5 แอมป์ ซึ่งอย่างน้อยจะต้องเท่ากับกระแสอัดประจุลงดิน การป้องกันในระบบที่ต่อลงดินผ่านความต้านทานสูงจะเป็นไปในลักษณะตรวจจับและให้สัญญาณเตือนมากกว่าที่จะให้ตัดวงจรทันที

การต่อลงดินผ่านความต้านทานต่ำจะมีข้อดีในกรณีที่ต้องการตัดวงจรส่วนที่เกิดผิดพร่องลงดินทันทีหรือเลือกให้ตัดได้ กระแสผิดพร่องลงดินที่ต้องการจะต้องมีค่าสูงพอที่จะกระตุ้นให้รีเลย์ป้องกันผิดพร่องลงดินทำงานได้

ระบบที่ต่อนิวตรัลลงดินผ่านความต้านทานจะใช้กับดักแรงดันเกิน (Surge arrester) มีพิกัดแรงดันเท่ากับแรงดันระหว่างเฟสของระบบนั้น

การต่อลงดินผ่านความต้านทานโดยทั่วไปมีวัตถุประสงค์คือ

1. เพื่อลดการเกิดเผาไหม้หรือการละลายของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกิดผิดพร่อง เช่น สวิตซ์เกียร์ หม้อแปลงไฟฟ้า เคเบิล และเครื่องจักรกลไฟฟ้า

2. เพื่อลดแรงกลไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจร และอุปกรณ์ที่มีกระแสผิดพร่อง

3. เพื่อลดอันตรายแก่คน เนื่องจากกระแสผิดพร่องลงดินทำให้เกิดแรงดันช่วงก้าว และแรงดันสัมผัส

4. เพื่อลดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานหรือผู้อยู่ใกล้เคียงที่เกิดผิดพร่องลงดิน

5. เพื่อป้องกันแรงดันตกชั่วครู่เนื่องจากผิดพร่องลงดิน

6. เพื่อขจัดแรงดันเกินทรานเซี้ยนต์ และมิให้เกิดไฟฟ้าดับในวงจรที่เกิดผิดพร่องลงดิน

3. <u>การต่อลงดินผ่านรีแอคแต๊นซ์</u>

การต่อลงดินของระบบผ่านรีแอคแต๊นซ์ หมายถึง การต่อจุดนิวตรัลของระบบลงดินผ่านรีแอคแต๊นซ์เพื่อป้องกันมิให้เกิดแรงดันเกินทรานเซี้ยนต์ โดยให้กระแสผิดพร่องลงดินอย่างน้อย 25%-60% ของกระแสผิดพร่องสามเฟส ซึ่งจะมีค่ามากกว่าในกรณีต่อจุดนิวตรัลผ่านความต้านทาน

4. <u>การต่อลงดินผ่านรีแอคแต๊นซ์หักล้างกระแสลัดวงจรลงดิน</u>

การต่อลงดินหักล้างกระแสลัดวงจรลงดิน หมายถึง การต่อจุดนิวตรัลของระบบลงดินผ่านรีแอคแต๊นซ์ที่มีค่ารีแอคแต๊นซ์สูง ซึ่งสามารถเลือกปรับค่าได้ เมื่อเกิดผิดพร่องลัดวงจรลงดินของเฟสหนึ่ง ทำให้แรงดันระหว่างเฟสกับเฟสเป็นกลางตกคร่อมตัวรีแอคเตอร์หักล้าง เนื่องจากกระแสเหนี่ยวนำ (Inductive current) ที่มีขนาดเท่ากับกระแสอัดประจุของอีกสองเฟสที่ไม่ผิดพร่อง แต่มีทิศทางตรงกันข้าม (มีมุมต่างกัน 180^0) นั่นคือ กระแสเหนี่ยวนำ และกระแสอัดประจุจะหักล้างกัน จะเหลือกระแสอันเนื่องจากความต้านทานที่ไหลผ่านลงดิน ณ ตำแหน่งผิดพร่อง กระแสรั่วตามผิวฉนวน และกระแสโคโรนา ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ และมีมุมเฟสทับกับแรงดันเฟส นั่นคือกระแสและ

แรงดันผ่านศูนย์พร้อมกัน ยิ่งกว่านั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันฟื้นตัว RRRV (Rate of Rise of Recovery-Voltage) ของเฟสที่ผิดพร่องจะช้ามาก อาร์กจึงดับได้ง่าย โดยไม่เกิดอาร์กซ้ำ (Restrike) วาบไฟตามผิวก็ดับไปเองโดยไม่ต้องขจัดวงจรสวนที่เกิดผิดพร่องออกไปจากการจำหน่ายไฟฟ้า แต่หลักการหักล้างกระแสผิดพร่องนี้ใช้ไม่ได้กับกรณีที่เกิดผิดพร่องในฉนวนแข็ง เพราะเป็นการเสียการฉนวนอย่างถาวร

วิธีการต่อลงดินผ่านรีแอคเตอร์หักล้างกระแสผิดพร่องลัดวงจรลงดินนี้ เหมาะอย่างยิ่งสำหรับกรณีที่เกิดผิดพร่องในอากาศบ่อยครั้ง เช่น ระบบขึงสายในอากาศแรงสูง เพราะจะช่วยลดการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ในการขจัดความผิดพร่อง การส่งจำหน่ายไฟฟ้าก็จะเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เป็นการจำกัดกระแสผิดพร่องลงดิน ขจัดความเสียหายอันเนื่องจากกระแสอัดประจุ และลดขนาดแรงดันเกิน ทรานเซี้ยนต์ให้ต่ำลงอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย

การต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า

สายดินของอุปกรณ์ไฟฟ้าก็คือ สายตัวนำเส้นหนึ่งที่แยกต่างหากจากสานป้อนกำลังเป็นเส้นที่สามใช้ต่อตัวถังหรือฝาปิดหุ้มโลหะของเครื่องใช้ไฟฟ้า เดินสายผ่านบริเวณบ้านหรืออาคารไม่ต่อเข้ากับระบบสายดิน สายดินนี้จะเป็นตัวนำที่มีค่าอิมพีแด๊นซ์ต่ำมาก ๆ

วัตถุประสงค์ของการต่อลงดินอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้กล่าวแล้วในข้อ 2.1 ซึ่งเน้นในเรื่องความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญ ป้องกันมิให้เกิดอันตรายแก่คน เนื่องจากไฟฟ้าช็อต หรือถูกไฟฟ้าดูด จากข้อมูลสถิติอุบัติภัย มีจำนวนคนไม่น้อยเลยที่ถูกไฟฟ้าดูดตาย เพราะร่างกายไปสัมผัสเข้ากับถัง หรือฝาปิดหุ้มโลหะของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีไฟฟ้ารั่วอยู่ บางกรณีก็เกิดอันตรายเพราะไปสัมผัสโลหะอื่นทั้งที่ยามปกติจะไม่มีไฟฟ้าหรือไม่ได้เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าเลย แต่เพราะว่ามีสายไฟฟ้าที่ฉนวนชำรุดไปพาดสัมผัสเข้า ทำให้โลหะหรือตัวนำเหล่านั้นมีไฟฟ้าขึ้นมา ฉะนั้นการต่อลงดินอย่างมีประสิทธิผลของส่วนที่เป็นโลหะเหล่านี้จะช่วยลด หรือขจัดอันตรายจากไฟฟ้าได้

1. **เงื่อนไขและหลักการต่อลงดินอุปกรณ์ไฟฟ้า (แรงต่ำ)**

การต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์หลักก็เพื่อป้องกันอันตรายแก่คนที่มีสาเหตุมาจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า ทั้งภายในหรือนอกอาคาร การต่อลงดินที่ดีมีความปลอดภัย ควรมีเงื่อนไขและหลักการดังต่อไปนี้

1.1 ตัวนำที่ใช้ต่อลงดินจะต้องมีค่าอิมพีแด๊นซ์ต่ำมากพอ เป็นทางที่ให้กระแสรั่วไหลลงดินได้โดยตรง คือ จะไม่มีกระแสรั่วไหลผ่านร่างกายคนที่บังเอิญไปสัมผัสแตะต้องตัวถัง หรือฝาปิดครอบโลหะเข้า ถึงแม้เมื่อเกิดผิดพร่อง กระแสลัดวงจรลงดิน แรงดันตกคร่อมอิมพีแด๊นซ์ของสายดิน จะต้องไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่คน ไม่ว่าฟิวส์จะขาด เซอร์กิตเบรกเกอร์จะทำงานหรือไม่ก็ตาม (ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญในด้านนี้ (7) กำหนดว่าความต้านทานรวมทั้งสายตัวนำต่อลงดินและความต้านทานดินที่วัดจากรากสายดิน ไม่ควรเกิน 1 โอห์ม สำหรับป้องกันไฟฟ้าช็อต และควรต่ำกว่า 0.1 โอห์ม สำหรับความปลอดภัยที่สมบูรณ์ ระบบท่อน้ำประปาโลหะควรต่อเข้ากับระบบสายดิน เพราะจะทำให้ความต้านทานดินต่ำลง และมีความปลอดภัยสูงขึ้น)

1.2 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีสายป้อนกำลังสำหรับต่อเข้ากับเต้ารับเต้าเสียบของสายป้อนกำลัง จะมีสายดินขาเข้าเสียบที่เป็นสายดิน จะต้องยาวกว่าขาเต้าเสียบอันอื่น ทั้งนี้เพื่อว่าเมื่อเอาเต้าเสียบเสียบเข้าเต้ารับ (ที่มีรูต่อลงดินอยู่) ขาสายดินจะต้องสัมผัสลงดินก่อนที่ขาเต้าเสียบไฟจะสัมผัสถึงกัน หรือทางกลับกันเมื่อจะดึงเต้าเสียบออกจากเต้ารับเมื่อเลิกใช้อุปกรณ์ ขาดินจะขาดจากการสัมผัสเป็นขาสุดท้าย นั่นคือขาไฟจะขาดการสัมผัสก่อนขาดิน ในกรณีทีเต้ารับไม่มีรูขาดินจะต้องจัดทำที่ต่อสายดินของเต้าเสียบดังภาพที่ 25

1.3 สายดินจะต้องมีขนาดโตพอ เมื่อกระแสลัดวงจรไหลผ่านจะไม่ทำให้ร้อนจนหลอมละลายขาดจะไม่ทำให้เกิดสปาร์กหรืออาร์ก หรืออุณหภูมิสูงขึ้น จนเป็นเหตุให้เกิดเพลิงไหม้

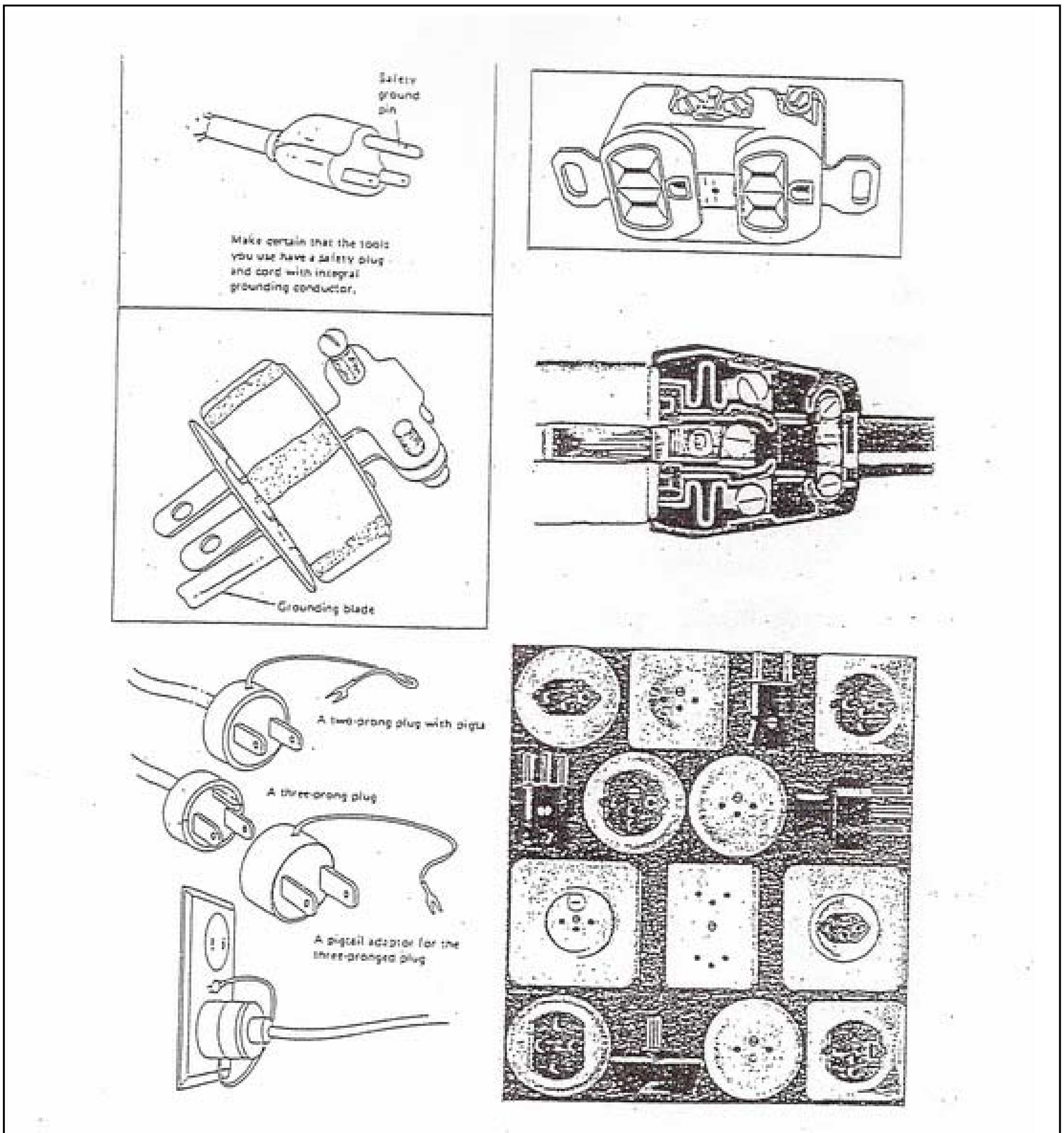
1.4 อิมพีแด๊นซ์ของสายดิน จะต้องไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน

1.5 ตัวนำต่อลงดินควรจะต่อเข้าสายดินของระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ต่อเข้ากับโครงสร้างหรือส่วนที่เป็นโลหะของอาคาร

2. <u>ต่อลงดินอุปกรณ์เก็บประจุ</u>

อุปกรณ์ที่สามารถเก็บหรืออัดประจุได้ เช่น เคเบิลแรงสูง ปลอกฉนวนนำสาย (Bushing) แรงสูง หรือ (Capacitor) แรงสูง หลังจากใช้งานแล้วตัดไฟฟ้าที่ป้อนออกแล้ว อาจจะมีประจุค้างเหลืออยู่ทำให้มีศักย์ไฟฟ้าสูงเป็นอันตรายแก่ผู้ที่ไปสัมผัสได้ เพื่อความปลอดภัยจึงควรปล่อยประจุโดยการต่อลงดินตัวเก็บประจุเหล่านี้เสีย ปกติจะใช้ตะขอดินทำการปล่อยหรือดีสชาร์จ

ประจุลงดินไป (ตะขอดินประกอบด้วยตัวนำใช้ต่อลงดินขนาดโตพอ เช่น สายทองแดงขวั้นเกลียว พื้นที่หน้าตัดอย่างน้อย 10 มม^2 ปลายข้างหนึ่งยึดไว้บนปลายด้ามฉนวน เช่น แท่งเบกะไลท์ แท่งแก้วไฟเบอร์ หรือไม้ไผ่อบแห้งก็ใช้ได้สำหรับเกี่ยว หรือทำเป็นแคล้มด้วยสปริง เพื่อให้สัมผัสแน่นไม่หลุดง่าย ส่วนอีกปลายหนึ่งต่อลงดินเข้ากับระบบสายดิน) เวลาใช้จะต้องต่อปลายตะขอลงดินให้แน่นเรียบร้อยเสียก่อน มือจับถือด้ามเกี่ยวตะขอที่ขั้วตัวเก็บประจุว่าทำงานเรียบร้อย เมื่อปล่อยประจุออกไปแล้วด้วยตะขอดิน ตัวเก็บประจุอาจจะกลับฟื้นคืนตัวมีศักย์ไฟฟ้ากลับขึ้นมาได้เพราะประจุค้างในไดอิเล็กตริก ทางที่ดีควรลัดวงจรที่ขั้วตัวเก็บประจุเหล่านี้เสียตราบเท่าที่ยังไม่มีการใช้งานอีก



ภาพที่ 25 ต่อลงดินอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านขาสายดินเต้าเสียบเต้ารับของสายป้อนกำลัง

<u>การต่อลงดินสายล่อฟ้า</u>

ดูบทที่ 5 เรื่องลักษณะสมบัติของฟ้าผ่า อันตรายจากฟ้าผ่าและการป้องกัน

<u>การวัดความต้านทานสายดิน</u>

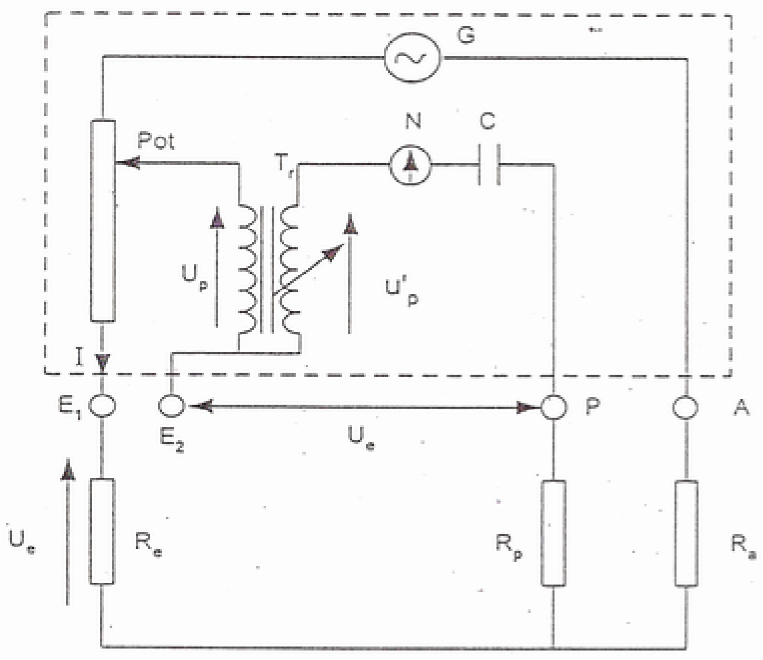
หลังติดตั้งระบบสายดินเรียบร้อยแล้ว หากต้องการทราบว่าความต้านทานของสายดินมีค่ามากน้อยเท่าใด ได้ค่าโอห์มต่ำดังที่ต้องการหรือไม่ หรือต้องการทราบค่าความต้านทานจำเพาะของดินในบริเวณที่ต้องการติดตั้งระบบสายดินป้องกัน สามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดความต้านทานดิน (Earth resistance meters) โดยปล่อยกระแสลงไปในดินผ่านอิเล็กโตรดสองอัน แล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างสองจุดที่อยู่ระหว่างอิเล็กโตรดทั้งสองนั้น เมื่อทราบกระแสที่ปล่อยลงไปและความต่างศักย์ ก็หาความต้านทานได้ ในทางปฏิบัติมักทำเป็นบริดจ์เปรียบเทียบแรงดัน ซึ่งสามารถอ่านค่าความต้านทานได้โดยตรง

1. **<u>หลักการของเครื่องวัดความต้านทานดิน</u>**

เครื่องวัดความต้านทานดินประกอบด้วยเครื่องกำเนิดแรงดัน G เป็นตัวจ่ายกระแส I ผ่านความต้านทานแบ่งแรงดันโพเทนชิโอมิเตอร์ Pot. ลงสู่ดินทางขั้วE ที่มีความต้านทานของดินคือ R_e และผ่านอิเล็กโตรดรากสายดินช่วยที่มีความต้านทานR_e ดังรูปที่ 26 กระแสที่ใช้ในการวัดนี้ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมความต้านทานสายดิน R_e เท่ากับ U_e โพรบ P เป็นอิเล็กโตรดรากสายดินวัดแรงดันตกคร่อม R_e หม้อแปลง T_r ทำหน้าที่กลับเฟสของแรงดันที่คร่อมโพเทนชิโอมิเตอร์U_P เป็นมุม 180 องศา เป็นกัลวานอมีเตอร์หรือมิเตอร์ชี้สมดุลย์ (Nulllindicator) N จะวัดผลต่างของแรงดันที่คร่อมความต้านทานดิน R_e กับแรงดันที่คร่อมโพเทนชิโอมิเตอร์ U_e- U_P ถ้าให้อัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลงเท่ากับ 1 ต่อ 1 และความต้านทาน Pot. เท่ากับ R_e เมื่อปรับวงจรจนกระทั่งกัลป์วานอมิเตอร์ชี้ศูนย์ คือ ได้สมดุล นั่นคือ $U_P = U_e$ ฉะนั้นความต้านทานของสายดิน R_e จึงอ่านได้โดยตรงจากสเกลของโพเทนชิโอมิเตอร์ Pot. ค่าความต้านทานที่วัดได้ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของกระแส ย่านสเกล (range) ของการวัดความต้านทานอาจปรับได้โดยการเปลี่ยนอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลง T_r เป็นขั้น ๆ ความต้านทานของอิเล็กโตรดช่วย A คือ R_a มีผลต่อขนาดค่ากระแสวัด นั่นคือมีผลต่อความไว ในการวัดนั่นเอง แต่ไม่มีผลกระทบต่อความถูกต้องในการวัด ซึ่งในทำนองเดียวกับความต้านทานของโพรบ P คือ R_p ไม่มีผลต่อความถูต้องของค่าที่วัดได้ แต่มีผลต่อความไวในการวัด

2. การต่อวงจรวัดความต้านทานดิน

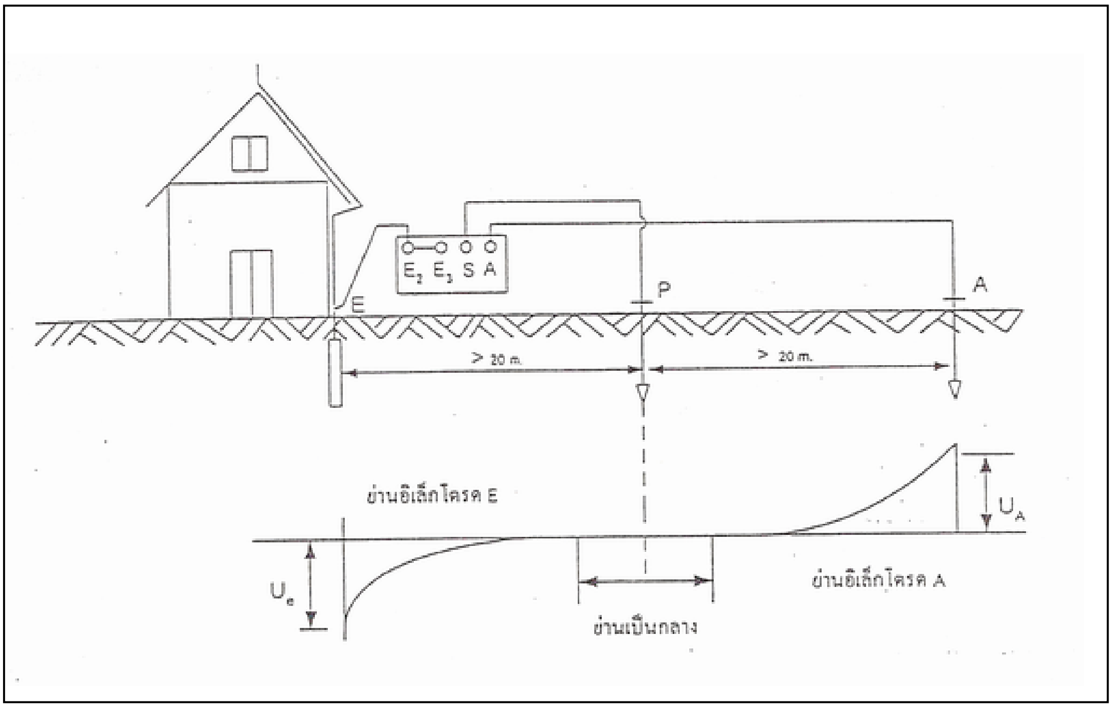
การต่อวงจรวัดความต้านทานสายดิน ให้ต่อขั้ว E หรือ E_1 ต่อกับ E_2 ของเครื่องวัดดินเข้ารากสายดินที่ต้องการวัด E ต่อขั้วP เข้ารากสายดินโพรบที่ปักห่างออกไปจากรากสายดินที่ต้องการวัดไม่น้อยกว่า 20 เมตร และต่อขั้วA เข้ากับรากสายดินช่วยที่ปักอยู่ในแนวเดียวกับรากสายดินที่ต้องการวัดกับโพรบ โดยห่างออกไปจากอิเล็กโตรดโพรบ P ไม่น้อยกว่า 20 เมตร นั่นคือ อิเล็กโตรดรากสายดินช่วย A จะอยู่ห่างจากรากสายดินที่ต้องการวัดไม่น้อยกว่า 20 เมตร หลักอิเล็กโตรด P และ A นี้จะปักลึกลงไปในดินประมาณ 40 ซม.



G	=	เครื่องกำเนิดแรงดันกระแสสลับความถี่ 100-150Hz	T_r	=	หม้อแปลงแรงดัน
Pot	=	โพเทนชิโอมิเตอร์	E_1,E_2	=	ขั้วต่อรากสายดินที่ต้องการวัด
N	=	กัลวานอมิเตอร์ หรือมิเตอร์สมดุลวงจร	A	=	ขั้วต่อของอิเล็กโตรดช่วย
P	=	ขั้วต่อของโพรบ	R_p	=	ความต้านทานโพรบ
R_e	=	ความต้านทานสายดินที่ต้องการวัด	I	=	กระแสที่ใช้วัด
R_a	=	ความต้าน	U_e	=	แรงดันคร่อม R_e
U_p	=	แรงดันคร่อม P			

ภาพที่ 26 วงจรเครื่องวัดดิน

การให้ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดรากสายดินช่วย A รากสายดินต้องการวัด E ห่างกันมากพอเช่นนี้ก็เพื่อมิให้ศักย์ไฟฟ้าจากอิเล็กโตรดไปรบกวนซึ่งกันและกัน ค่าความต้านทานที่วัดได้จะถูกต้อง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ต้องการให้อิเล็กโตรดโพรบ P อยู่ในย่านที่เป็นกลางดังรูปที่ 27



<u>ภาพที่ 27</u> การวัดความต้านทานสายดิน

ความถูกต้องของการวัดความต้านทานสายดินขึ้นอยู่กับลักษณะการวางอิเล็กโตรด A และโพรบ P ในกรณีที่ระบบรากสายดินเล็ก เช่น รากสายดินปักลึกในแนวดิ่งหรือแท่งรากสายดินในแนวนอนยาวไม่เกิน 10 เมตร หรือวงแหวนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 5 เมตร ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดประมาณ 20 เมตร ดังกล่าวแล้วข้างต้น แต่ถ้าเป็นระบบรากสายดินกว้างใหญ่จำเป็นต้องใช้ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดรากสายดินช่วย A และอิเล็กโตรดโพรบ P มากขึ้น โดยทั่วไปใช้ระยะประมาณ 3 ถึง 5 เท่า ของความยาวด้านที่ยาวที่สุดของระบบสายดิน ความต้านทานของระบบสายดินดังกล่าวมีค่าเพียงไม่กี่โอห์ม ฉะนั้นจะต้องปักอิเล็กโตรดโพรบ ให้อยู่ในย่านศักย์เป็นกลาง แนวทางการปักอิเล็กโตรดรากสายดินช่วย A กับโพรบ P ควรปักในแนวตั้งฉากกับแนวความยาวของระบบรากสายดิน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่วัดความต้านทานสายดินต่ำ ๆ ค่าความต้านทานของอิเล็กโตรดสายดินช่วย A ไม่ควรเกิน 500 โอห์ม

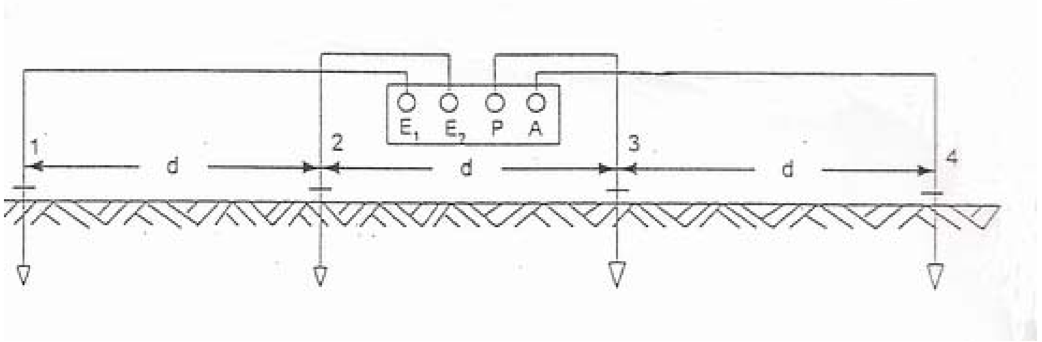
ถ้าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าสูง โดยเฉพาะที่ผิวดินแห้งความต้านทานที่รากสายดินช่วยจะสูงเกินไป อาจแก้โดยปักอิเล็กโตรด A ให้ลึกลงไปอีกหรืออาจจะต้องใช้อิเล็กโตรดปักหลายอัน ให้ระยะห่างกัน 1 ถึง 2 เมตร และต่อถึงกัน ถ้าจำเป็นต้องช่วยทำให้ผิวดินบริเวณหลักอิเล็กโตรด (PและA) มีความชื้น

3. <u>การวัดความต้านทานจำเพาะของดิน</u>

การหาความต้านทานจำเพาะของดินหาได้จากเครื่องมือวัดความต้านทานดินที่มีขั้วสี่ขั้วตามวิธีของ wenner คือ ใช้อิเล็กโตรดปักดิน 4 อันด้วยกัน ปักในแนวเส้นตรงเรียงกันให้ระยะห่างกันเท่า ๆ กัน เท่ากับ d จากอิเล็กโตรดปักดินทั้งสี่ต่อเข้ากับขั้วของเครื่องวัด ดังรูปที่31 อิเล็กโตรดโพรบ 2 และ 3 จะต้องปักให้ลึกได้ไม่เกิน 0.05 d แล้วปรับโพเทนชิโอมิเตอร์เพื่อสมดุลวงจรวัดความต้านทานดังที่กล่าวมาแล้ว จึงหาความต้านทานจำเพาะได้จากสมการ

$$P = 2dR$$

เมื่อ p = ความต้านทานจำเพาะของดิน
d = ระยะห่างระหว่างอีเลคโตรด
R = ความต้านทานที่วัดได้

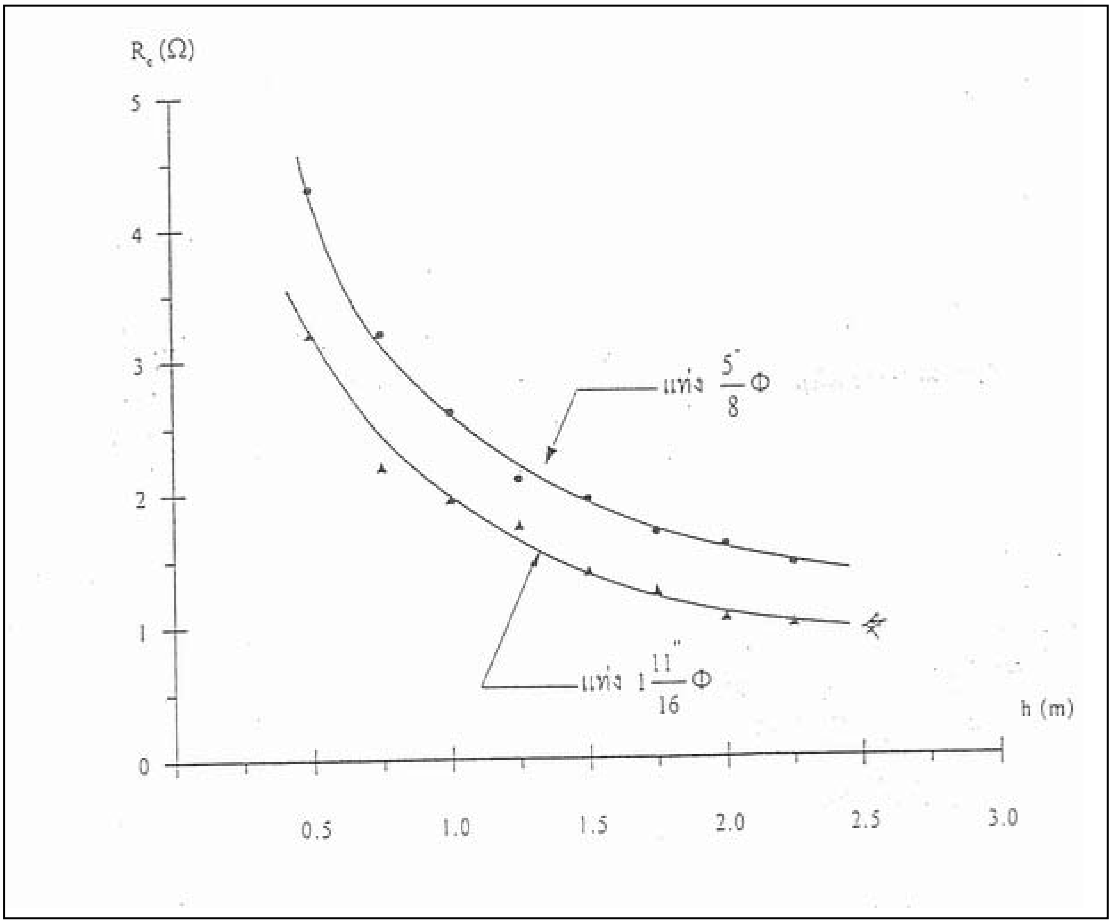


<u>ภาพที่ 28</u> การวัดความต้านทานจำเพาะของดิน

3.1 ผลของขนาดแท่งรากสายดินต่อความต้านทานดิน

เพื่อการศึกษาขนาดแท่งรากสายดินที่มีผลต่อความต้านทานดิน ได้ทำการทดลองฝังแท่งรากสายดินที่มีขนาดต่างกัน แท่งที่ 1 เป็นเหล็กกลมตันธรรมดา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{5}{8}$ นิ้ว แท่งที่ 2 เป็นท่อประปา เหล็กชุบสังกะสี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $1\frac{11}{16}$ นิ้ว ทำการทดลองฝังพร้อมกัน ห่างกัน 50 ซม. ใส่สารละลายเกลือแกงด้วย แล้ววัดความต้านทานดินที่ความลึก (h) เท่า ๆ กันทั้งสองแท่ง พบว่าขั้วดินขนาดใหญ่จะได้ความต้านทานดินที่ต่ำกว่าขั้วดินทีมีขนาดเล็ก แต่ค่าที่แตกต่างนี้ก็ไม่มากนัก ประมาณ 0.5 โอห์ม ซึ่งถ้าจะพิจารณาจากสูตร เราพบว่าความต้านทานดิน (R_c) จะลดลงถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางขั้วดินใหญ่ขึ้น

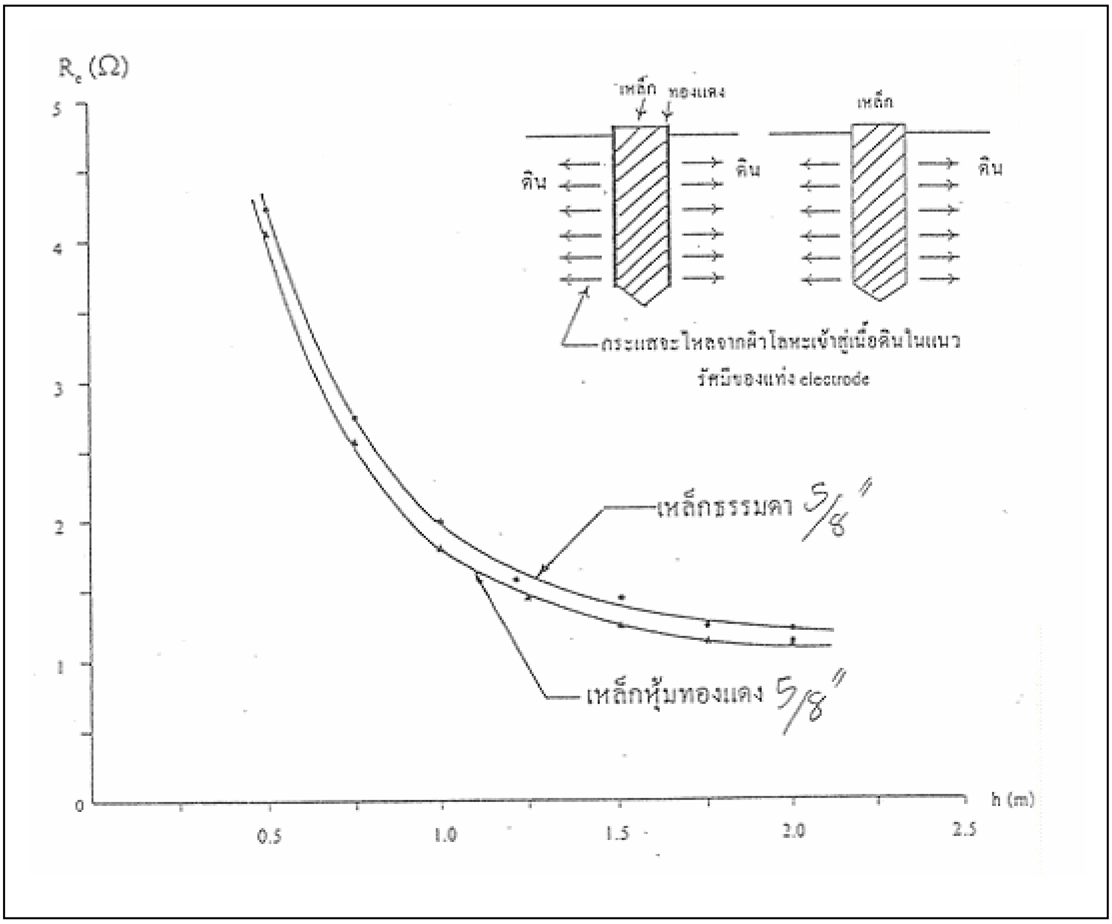
$$R_C = \frac{\rho}{2\pi h}\ln(2/r)$$



ภาพที่ 29 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานดิน (R_c) ของแท่งรากสายดินขนาดต่างกัน

3.2 ผลของชนิดโลหะที่ทำเป็นแท่งรากดิน

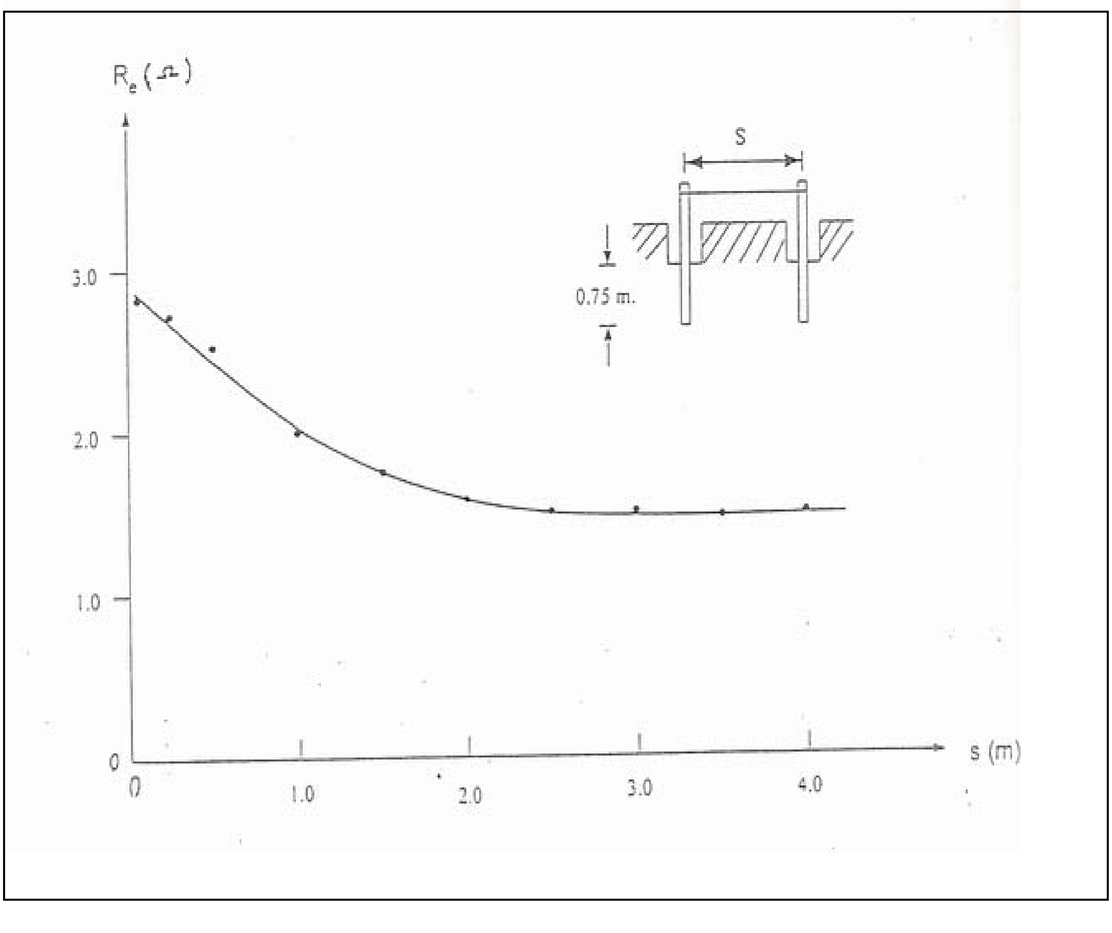
การทดลองเพื่อจะศึกษาถึงโลหะต่างชนิดที่นำมาทำเป็นแท่งรากสายดิน เปรียบเทียบระหว่างเหล็กกลมตันธรรมดา กับเหล็กกลมตันหุ้มทองแดง โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน เท่ากับ $\frac{5}{8}$ นิ้ว และความยาว 3 เมตรเท่ากัน จากการทดลองค่าความต้านทานดินที่วัดได้ มีค่าต่างกันไม่มากนัก ค่าที่ได้จากเหล็กธรรมดาสูงกว่าค่าที่ได้จากเหล็กหุ้มทองแดงเล็กน้อย เนื่องจากกระแสจะไหลจากผิวโลหะที่สัมผัสกับเนื้อดินกระจายลงไปในดินในแนวรัศมี ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity) ของทองแดงสูงกว่าเหล็ก จึงทำให้กระแสไหลลงสู่ดินได้สะดวกกว่า ในการทดลองก็ได้ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง โดยการเปลี่ยนตำแหน่งจุดที่ฝังแท่งรากสายดิน เพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลมีผลกระทบจากตำแหน่งที่ฝังแท่งรากสายดิน ผลการทดลองได้ผลเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 30 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานดินของเหล็กหุ้มทองแดง กับเหล็กธรรมดาที่ความลึกเท่า ๆ กัน

3.3 ผลของระยะห่างของการฝังแท่งรากสายดิน 2 แท่งขนานกัน

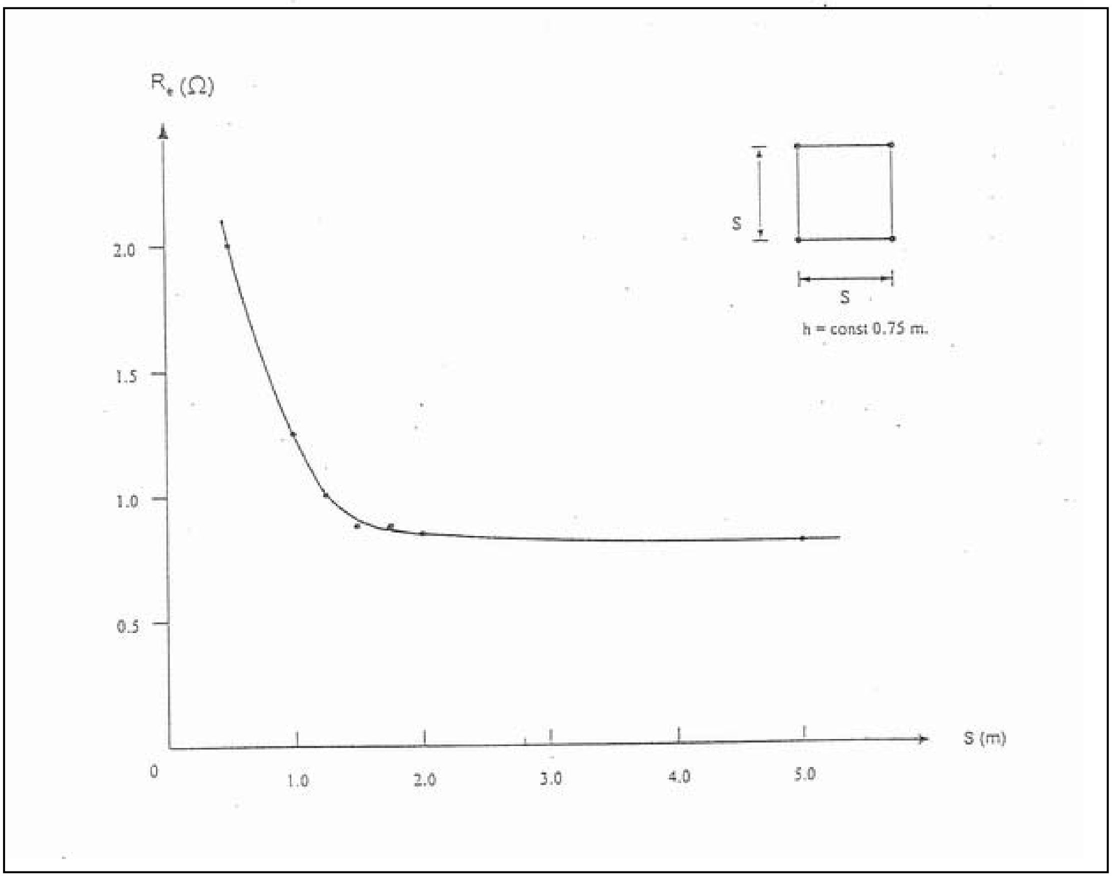
เพื่อศึกษาผลของระยะห่างระหว่างแท่งรากสายดิน จึงทำการทดลองโดยให้ความลึกของแท่งรากสายดินที่ฝังมีความลึกคงที่เป็น 75 ซม. แล้วทำการทดลองฝังแท่งรากสายดินห่างออกไปที่ค่าต่าง ๆ จะพบว่าความต้านทานดินของรากสายดิน(R_c) จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อแท่งรากสายดินอยู่ใกล้กันมากหรือเกือบชิดกัน ระยะห่างที่น้อย ๆ จะทำให้เสมือนเป็นขั้วดินเพียงแท่งเดียว มากกว่าที่จะเป็น 2 แท่ง ขนานกัน เมื่อขยับให้ระยะห่างมากขึ้น ความต้านทานจะค่อย ๆ ลดลงและจะคงที่หรือเกือบคงที่ ได้ค่าความต้านทานดินรวม (R_c) ที่ต่ำสุดเท่ากับ1.6 โอห์ม นั่นคือแม้ให้ระยะห่างมากขึ้นอีกความต้านทานก็จะไม่ลดต่ำลงกว่านี้อีก จุดที่เริ่มคงที่ระยะห่างได้ (S) เท่ากับ 1.5 เมตร หรือ 2 เท่าของความลึกที่ฝัง



ภาพที่ 31 กราฟแสดงค่าความต้านทานดิน(R_c) ในเทอมของระยะห่าง S ของการฝังแท่งรากสายดิน

3.4 ผลของระยะห่างของการฝังแท่งรากสายดิน 4 แท่งขนานกัน

ระยะห่างระหว่างแท่งรากสายดินมีผลต่อค่าความต้านทานดิน ถ้าหากปักใกล้กัน เมื่อเทียบกับความยาวของแท่งรากสายดินที่ฝังจะมีผลน้อย จากผลของการทดลองใช้แท่งรากสายดินยาว 0.75 ม. จำนวน 4 แท่ง ปักห่างกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส โดยเปลี่ยนระยะด้านสี่เหลี่ยมที่ S มีค่าต่าง ๆ จะได้ผล ดังแสดงในรูปกราฟจะเห็นได้ว่าความต้านทานจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มระยะ S มากขึ้นจนถึงค่าโดยประมาณ 2 เท่าของความยาวที่ฝังค่าความต้านทานดินมีค่าค่อนข้างคงที่



ภาพที่ 32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ความต้านทานดิน ในเทอมของระยะห่าง S

<u>แรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัส</u>

แรงดันช่วงก้าว หมายถึง ความต่างศักย์ระหว่างสองจุดบนพื้นผิวดินที่มีกระแสไหลผ่านลงไป โดยที่สองจุดนั้นห่างกันเท่ากับช่วงก้าวของคน คือ เกิดความต่างศักย์ระหว่างเท้าซ้ายกับเท้าขวาในขณะก้าว ซึ่งมักจะคิดช่วงก้าวเท่ากับ 1 เมตร ส่วนแรงดันสัมผัส หมายถึงความต่างศักย์ระหว่างตัวนำหรือโครงสร้างที่กระแสไหลผ่านไปสู่รากสายดินที่คนมีโอกาสสัมผัสกับดินที่คนยืนอยู่

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอิเล็กโตรดรากสายดินแผ่กระจายออกไปในดิน จะเกิดแรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัส จะเป็นอันตรายแก่คนหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับแรงดันช่วงก้าวหรือแรงดันสัมผัสนั้น ทำให้กระแสไหลผ่านร่างกายเกินขีดกระแสอันตรายหรือไม่ มาตราการแห่งการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ให้กำหนดแรงดัช่วงก้าวและแรงดันสัมผัสอันตรายไว้เท่ากับ 50 โวลท์ และในประเทศเยอรมันและประเทศอื่น ๆ ในยุโรปได้กำหนดแรงดันอันตรายนี้ไว้เท่ากับ 65 โวลท์ โดยคิดเวลาที่กระแสไหลผ่านไม่เกิน 5 วินาที

แรงดันช่วงก้าว และแรงดันสัมผัสที่จะก่อให้เกิดอันตรายมีค่ามากน้อยขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ยืน และลักษณะของแรงดันกระจาย (Voltage distribution) พิจารณาแรงดันที่ผิวรากสายดินแบบครึ่งทรงกลมฝังดิน ซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าของรากสายดินเทียบกับจุดที่ระยะไกลออกไปเท่ากับอนันต์คือ

$$U_e = \frac{\rho I}{2\pi r}$$

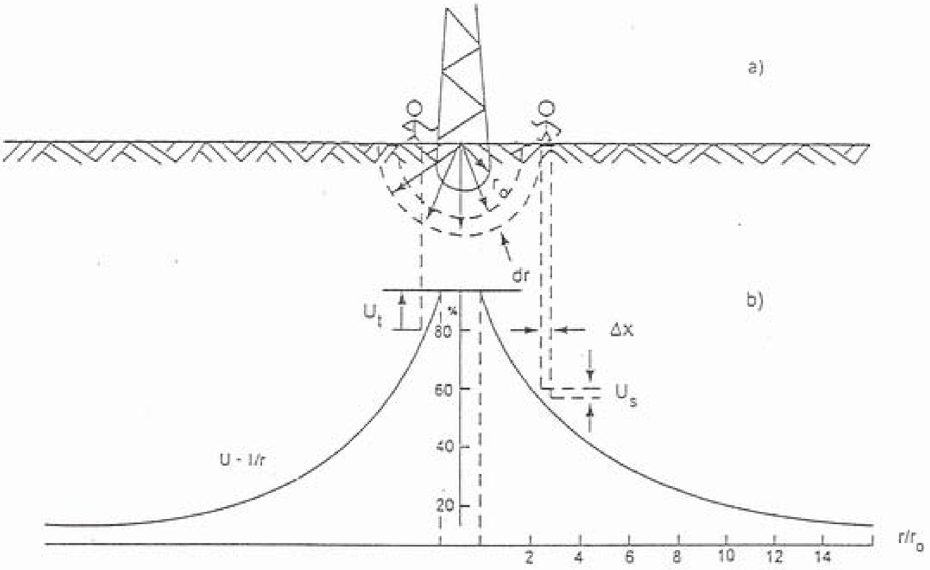
แรงดันที่จุดใด ๆ บนพื้นผิวดินก็คือ ศักย์ไฟฟ้า ณ จุดนั้นเทียบกับจุดที่ระยะอนันต์ คือ

$$U_r = \frac{\rho I}{2\pi r}$$

เมื่อคิดเทียบกับแรงดันที่ผิวรากสายดินจะได้ความสัมพันธ์

$$\frac{U_r}{U_e} = \frac{r}{r}$$

นั่นคือ แรงดันจะลดลงเป็นสัดส่วนกลับกับระยะห่างออกไปจากรายสายดิน ดังภาพที่ 33



a) เสาไฟฟ้ามีรากสายดินรูปครึ่งทรงกลม รัศมี r

b) เส้นกราฟแสดงแรงดันกระจายในเทอมระยะห่าง x

U_s = แรงดันช่วงก้าว

U_t = แรงดันสัมผัส

ภาพที่ 33 แสดงถึงแรงดันสัมผัส และแรงดันช่วงก้าว

ในรูป 33 เป็นกราฟแรงดันกระจายคิดเป็นอัตราส่วน $\frac{U_r}{U_e}$ ในเทอม $\frac{r}{r}$ เส้นกราฟนี้จะมีลักษณะสมมาตรรอบแกนดิ่งของรากสายดิน ในบริเวณใกล้ ๆ รากสายดินศักย์ไฟฟ้าจะสูงและจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงระยะใกล้ $\left(\frac{r}{r} < 3\right)$ แต่เมื่อระยะห่างออกไปมาก ศักย์ไฟฟ้าค่อยๆ ลดลงเช่น ระยะ $\frac{r}{r}$ = 100 ศักย์ไฟฟ้าจะลดลงเหลือเพียง 1% ของศักย์ไฟฟ้าที่รากสายดิน

ตัวอย่าง

กระแสลัดวงจรลงดิน	I	=	1000 A
อิเล็กโตรดรากสายดินครึ่งทรงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง	$2\,r_o$	=	2 m
ความต้านทานจำเพาะของดิน	ρ	=	$100\,\Omega - m$
ฉะนั้นความต้านทานของสายดิน		=	$\dfrac{\rho}{2\pi R_o}$
		=	$\dfrac{100}{2\pi I} = 15.9\Omega$
แรงดันที่รากสายดิน	U_e	=	$I \,.\, R_e$
		=	15.9 kV
ที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของรากสายดิน 2.5 เมตร นั่นคือ r		=	2.5 m

และ $\Delta r + r = 3.5$ m

แรงดันช่วงก้าวจะมีค่า U_s $= \dfrac{I}{2\pi}\left(\dfrac{I}{r1} - \dfrac{I}{r2}\right)$

$$= \frac{10^3 \times 10^2}{2\pi}\left(\frac{I}{2.5} - \frac{I}{3.5}\right)$$

= 1818.9 โวลต์

แรงดันช่วงก้าว U_s และแรงดันสัมผัส U_t อาจจำกัดให้มีค่าต่ำได้โดยออกแบบระบบสายดินให้มีความต้านทานของสายดินต่ำ ๆ ถ้าหากดินมีความต้านทานจำเพาะสูงก็ฝังรากสายดินให้ลึกมากขึ้น และมีจำนวนมากขึ้น และค่าโอห์มจะยิ่งต่ำลงถ้าเชื่อมโยงรากสายดินเหล่านี้เข้าด้วยกันเป็นวงแหวน หรือเป็นตาข่าย ในกรณีที่ใช้รากสายดินหลายอัน ระยะห่างระหว่างรากสายดินแต่ละอันจะต้องห่างมากพอเมื่อเทียบกับความยาวของรากสายดินที่ฝังลึกลงไป ถ้ารากสายดินเป็นแท่งฝังดิ่ง ระยะห่างระหว่างแท่งต้องไม่น้อยกว่าสองเท่าของความยาวของแท่ง

<u>กระแสทรานเซี้ยนต์ไหลลงสู่ดิน (Transient earth current)</u>

กระแสทรานเซี้ยนต์ หมายถึงกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดอย่างรวดเร็ว คือเป็นกระแสที่มีความชัน $\left(\text{steepness } s = \frac{\Delta i}{\Delta t}\right)$ สูง เกิดขึ้นในช่วงเวลาอันสั้นและไม่เป็นคาบ เช่น กระแสฟ้าผ่าเป็นต้นซึ่งบางทีก็เรียกว่ากระแสอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า หรือกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลัน

เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงสู่พื้นโลก หรือกระแสผิดพร่องอย่างฉับพลันลงสู่ดิน กระแสก็จะกระจายลงไปในดินในทำนองเดียวกันกระแสตรงและกระแสสลับสภาวะคงตัว (steady state) แต่ต่างกันตรงที่ว่า ในกรณีกระแสทรานเซียนต์นั้นความลึกที่กระแสไหลเข้าไปในพื้นดินนั้นขึ้นอยู่กับความถี่และลักษณะสมบัติของดินสมมติว่าดินเป็นตัวนำมีพื้นที่กว้างเป็นอนันต์ ความลึกที่กระแสความถี่สูงไหลเข้าไปในพื้นดินอาจคำนวณได้จากสมการ*

$$h_1 = \frac{I}{\sqrt{\pi f \sigma \mu}}$$

เมื่อ h_1 คือ ความลึกที่กระแสไหลเข้าไปในดินที่มีความหนาแน่นของกระแสเหลือเพียง 37% ของความแน่นกระแสที่ผิวดิน

f คือ ความถี่ของกระแส

σ คือ สภาพความนำของดิน

μ คือ เปอร์มีบิลลิตี้ของดิน $4 \text{x} 10^{7}$ H/m

เมื่อแทนค่า $\mu = 4\pi \text{ x} 10^{-7}$ H/m จะได้สมการของ h_1 เป็น

$$h_1 = \frac{10^4}{\sqrt{10\sigma^f}}$$

ขนาดความหนาแน่นของกระแสที่ความลึก $h_k = kh_1$ อาจหาได้จากความสัมพันธ์

$$^{J}hk = J_O^{e-k}$$

J_O = คือความหนาแน่นของกระแสที่ผิวดิน

ที่ความลึก h_1 คือ k_1 = 1 ความหนาแน่นกระแสเหลือ 37% และที่ความลึก2π เท่ากับ h_1 คือ k =2π ความหนาแน่นกระแสจะเหลือเพียง 0.19% ของกระแสที่ไหลเข้าที่ผิวดิน

ในตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างความลึกของกระแสที่ไหลเข้าไปในดิน h_1 โดยคิดที่ความต้านทานจำเพาะของดินสองชนิดคือ p =100 Ω - m เป็นทรายแห้ง ที่ความถี่ค่าต่าง ๆ จากความถี่พลังงาน 50 Hz ถึงความถี่สูง ๆ ซึ่งเป็นย่านความถี่ของกระแสฟ้าผ่า จะเห็นได้ว่าความถี่ 1 MHz ความลึกของกระแสที่ไหลลึกลงไปในดินเพียงไม่กี่เมตร ฉะนั้นรากสายดินของระบบป้องกันสำหรับกระแสฟ้าผ่าจึงไม่ควรใช้ลักษณะแถบยาว ๆ แต่ควรทำในลักษณะเป็นรัศมีสั้นแผ่กระจายออกไปได้ทุกทิศทาง ซึ่งจะช่วยให้ความหนาแน่นของกระแสเริ่มแผ่ไปสู่ดินที่มีค่าต่ำลงด้วย

<u>ตารางที่ 2</u> ความลึกของกระแสที่ไหลเข้าไปในดิน

ความถี่ของกระแส	ความลึก h_1*(m)	
F(Hz)	ρ** = 100 Ω-m	ρ = 100 Ω-m
50	711	2251
100	503	1592
1,000	159	503
10,000	50	159
100,000	16	50
1,000,000	5	16

<u>หมายเหตุ</u> *h_1 คือ ความลึกที่ความหนาแน่นกระแสลดลงเหลือ 1 ของที่ผิวดิน

**ρ คือ ความต้านทานจำเพาะของดิน ดูตารางที่ 3

<u>ตารางที่ 3</u> ความต้านทานจำเพาะของดินและน้ำ

ชนิดของดิน	ρ Ω- m
ดินร่วนเปียก	10….30
ดินเหนียว	50
ดินร่วนชื้น	100
ดินปนทราย	150
ทรายชื้น	200
ทรายแห้ง	1000
ดินกรวดชื้น	500
ดินกรวดแห้ง	1000
หิน	3000-10000
ซีเมนซ์บริสุทธิ์	50
ซีเมนซ์ 1 ทราย 3	150
ซีเมนซ์ 1 ทราย 5	400
น้ำทะเล	0.15
น้ำประปา	20
น้ำกลั่น	300

<u>สภาพศูนย์รวมการนำกระแสไฟฟ้าในดิน</u> (Remote Earth/Zero reference plane EARTH / True Eath)

<u>นิยาม</u>

1. **<u>resistivity, ρ</u>**

ด้วยเหตุ ที่สภาพพื้นฐานของรูปทรงก้อนปริมาตรขนาดใหญ่เกิดขึ้นได้จากก้อนปริมาตรขนาดเล็กมาต่อรวมกัน ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสะดวกในการอ้างอิงทางวิชาการ และความพยายามให้เกิดความสอดคล้องอย่างเป็นจริง จึงกำหนดความหมายของ ความต้านทางไฟฟ้าจำเพาะ (resistivity) ซึ่งพิจารณาเป็นสภาพความต้านทานที่เกิดขึ้นบนรูปทรงปริมาตรแบบ ลูกบาศก์ (Resistance on cubical)

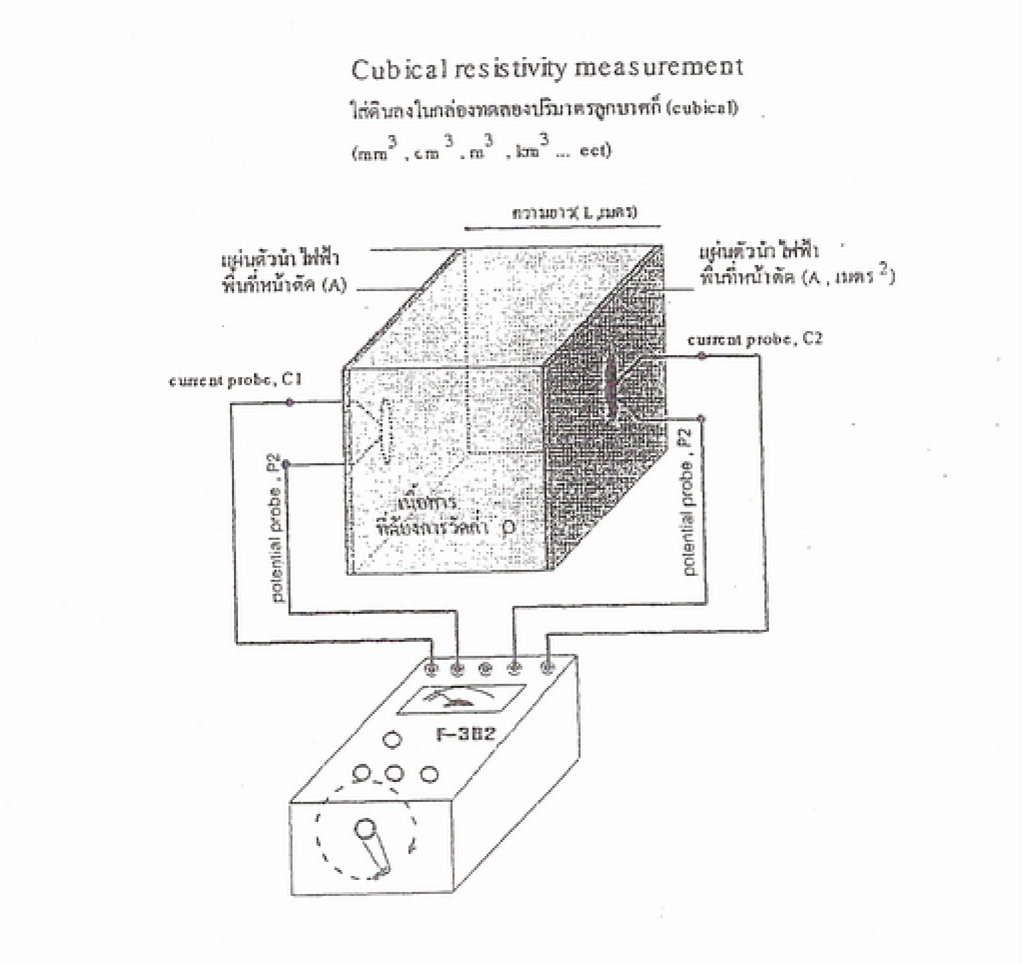
$$R = \rho \times \frac{L}{A}$$ ยกตัวอย่างในลักษณะ

หน่วยเมตรจะได้ดังนี้ (Resistance on cubical = ohm-metre x metre)

เหตุที่รูปทรงแบบลูกบาศก์ทำให้ $\frac{L}{A} = 1$ ทำให้เกิดความหมาย R = p (ohm = ohm - metre) ผู้ใช้จะต้องเข้าใจและอย่าลืมเป็นอันขาดว่าผลที่ได้เกิดจากพื้นฐานบนสภาพปริมาตร (Volume) พิจารณาด้วยรูปทรงลูกบาศก์ เพราะมิฉะนั้นทำให้ผู้ใช้เองเกิดความสับสนกับสภาพความต้านทาน (Resistance) ที่มีในตัวต้านทาน (Resistor) เพราะ Resistance มีหน่วยเป็น Ohm ไม่ใช่ Ohm-meter ดังเช่น หน่วยของ Resistivity หากกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ปริมาตรวัตถุซึ่งมีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Resistivity) ได้จำนวน 500 มิลลิแอมแปร์ เราก็ย่อมพิจารณาเห็นมุมมองได้อีกทางหนึ่งว่า ปริมาตรวัตถุมีค่าความนำไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านปริมาตรวัตถุนั้นได้ 500 มิลลิแอมแปร์ เห็นได้ว่า สภาพความนำกระแสไฟฟ้า และสภาพความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ของปริมาตรวัตถุจะมีความสัมพันธ์กันและกันสูง ซึ่งแต่ละท่านมักจะใช้คำศัพท์ที่ตัวเองคุ้นเคยเป็นหลัก เมื่อกล่าวถึงเรื่องดินเราก็ต้องพูดเกี่ยวกับ สภาพความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของดิน/สภาพความนำไฟฟ้าของดิน อย่างไรก็ตาม สิ่งดังกล่าวล้วนเป็นคุณสมบัติของสสาร และกล่าวได้ว่ามุมมองของคำทั้งสองมาจากจุดเริ่มต้นจากวัตถุเดียวกัน (เพียงแต่มองคนละมุม) (สัญลักษณ์ของความนำไฟฟ้ากับความต้านทานไฟฟ้าก็ใช้ **--/\/\/\--** เหมือนกัน) ผู้ที่นำไปใช้งานจะนำ “ความนำไฟฟ้า” และ/หรือ “ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ” ไปใช้ก็เป็นไปตามวัตถุประสงค์งานแต่ละงาน

การนิยาม “ค่าความนำไฟฟ้าของดินและ/หรือ SOIL RESISTIVITY” โดยเทียบเคียงใช้สภาพรูปทรง ของปริมาตรดินลูกบาศก์ที่มีลักษณะเรขาคณิต ปริมาตรที่ใช้ในการสร้างนิยามระบุให้มีหน่วยใช้งานเป็นลักษณะลูกบาศก์ ซึ่งลูกบาศก์ดังกล่าว ได้แก่ ลูกบาศก์เซนติเมตร,ลูกบาศก์ฟุต หรือลูกบาศก์เมตร ก็ได้

สาเหตุที่ต้องระบุใช้สภาพปริมาตรเป็นเกณฑ์เพื่อมุ่งหวังให้เกิดความสอดคล้องและถูกต้องตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด เพราะปริมาตรรูปทรงใด ๆ ต่างเกิดขึ้นได้จากการนำปริมาตรรูปทรงเลขาคณิต (ลูกบาศก์) มารวมเข้าด้วยกันทั้งสิ้น วิธีเพื่อกำหนดนิยามของ resistivity ดังภาพ



ภาพที่ 34 หลักการให้นิยาม RESISTIVITY(ρ) ด้วยการใช้ก้อนปริมาตรลูกบาศก์
ที่มา: สมพร(2542)

ภาพเป็นการแสดงการให้คำนิยามในห้องทดลอง ลักษณะเป็นชิ้นทดลอง (Shipment) ซึ่งจะเป็นพื้นฐานที่ทำให้เราเกิดความเข้าใจ ถึงลักษณะและสภาพความต้านทานที่เกิดบนปริมาตร (ต่างไปจากความค่าต้านทานบนตัว Resistor เราที่สนใจ Ohm อย่างเดียว)

การวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของผืนดิน และ/หรือ ความนำไฟฟ้าของผืนดินค่าที่เครื่องวัดแสดงออกมาก็จะเป็นไปตามกฎและหลักการ ของสภาพความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดบนรูปทรงปริมาตร (Resistance on volume) ซึ่งวิธีการวัดค่าดังกล่าวแบ่งได้ 2 กรรมวิธี คือ

1. Wenner method
2. Schlumberger method

หลักการวิธีวัดแบบ Schlumberger method ก็คือ การวัดแรงดันระหว่างแท่งหลักดิน เปรียบเทียบกับกระแสไหลในแท่งหลักดินที่มีค่าน้อยมาก

$$\text{ความต้านทานไฟฟ้า} = \frac{\text{แรงดันของแท่งหลักดินที่ต้องการวัด}}{\text{กระแสที่ไหลในแท่งหลักดิน}}$$

$$R(\Omega) = \frac{V}{I}$$

คนส่วนมากและรวมถึง ทศท. นิยมใช้กรรมวิธีวัดตามหลักของ Wenner เป็นหลัก เพราะกรรมวิธีนี้จะกำหนดและเน้นย้ำถึงความสำคัญของการวัดค่า บนสภาพปริมาตรโดยตลอด

หลักการของ สภาพความนำกระแสไฟฟ้า หรือค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ที่เกิดขึ้นในปริมาตรรูปทรงลูกบาศก์ (cubical) หรือ รูปทรงอื่นใด ก็ยังคงใช้สูตร $R = \rho\frac{L}{A}$ โดย

ความต้านทานไฟฟ้า = resissstivity ของเนื้อสาร x ระยะทางที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน/พื้นที่หน้าตัดที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

$$R(\Omega) = \rho \times \frac{L}{A} : (\Omega - m) \times (m) / (m^2) = \Omega$$

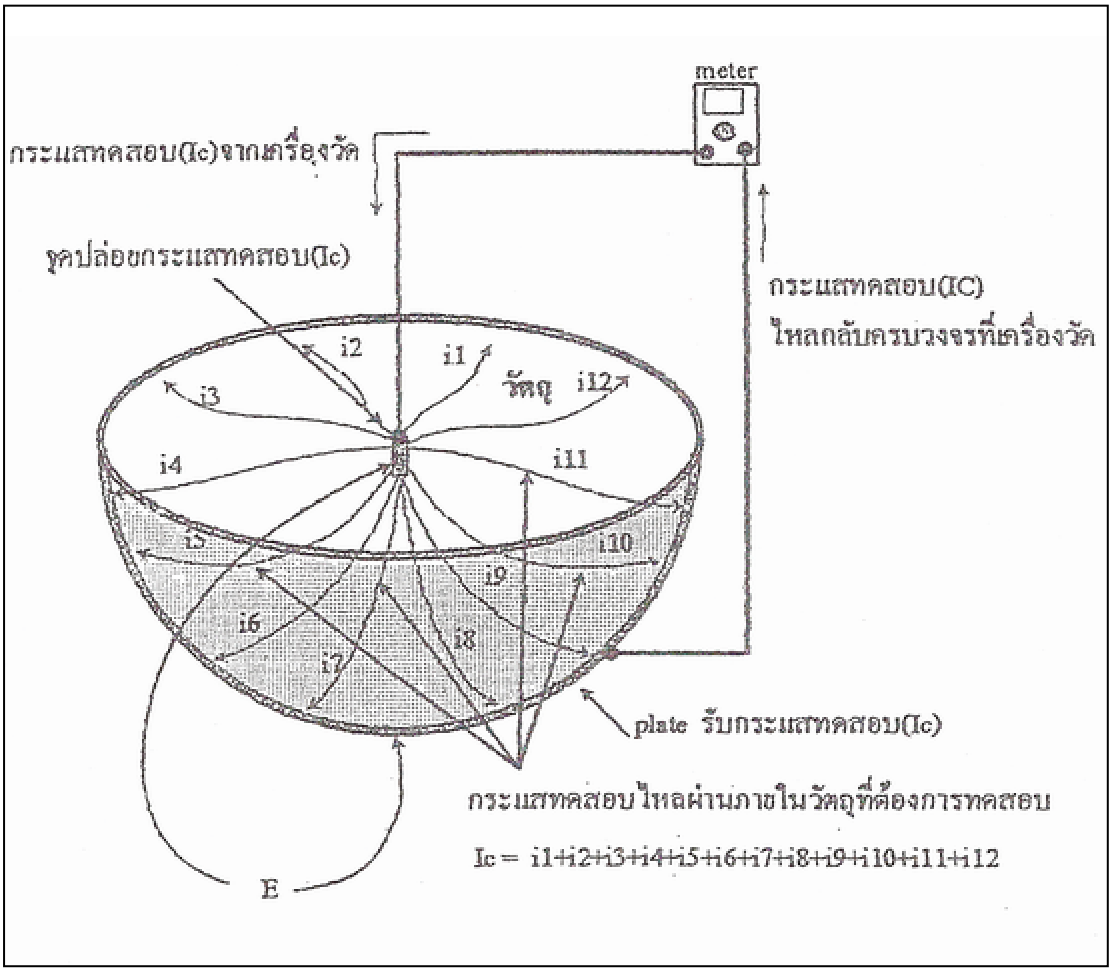
สัมพันธ์กับรูปทรง(shape)ด้วย

$$\rho = R \times \frac{A}{L} : (\Omega) \times (m^2) / (m) = \Omega - m$$

2. Hemispherical disperse

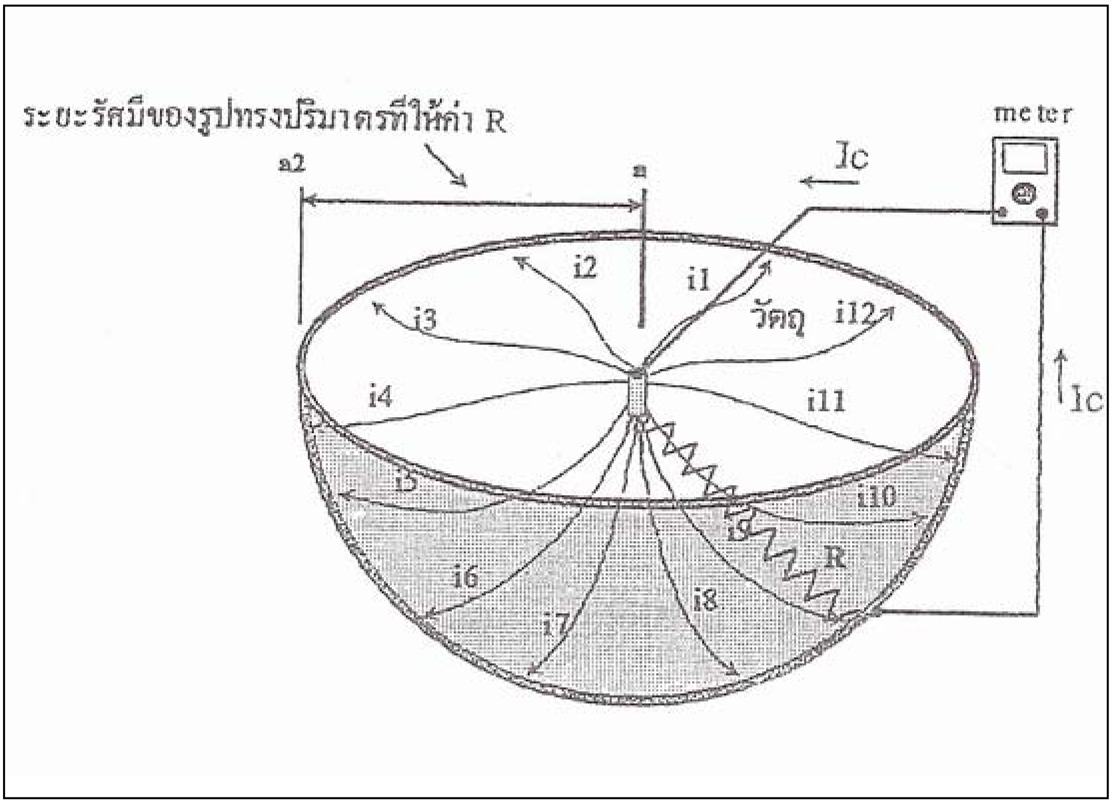
มีแนวคิดเชิงวิศวกรรมส่วนหนึ่ง กำหนดสร้างหลักเกณฑ์เป็นพื้นฐานเพื่อใช้ อธิบายปรากฏการณ์ ค่า อธิบายค่า R ที่เกิดบนรูปทรงปริมาตร โดยใช้เทคโนโลยี การวัด ความต้านทานไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นบนวัตถุลักษณะหนึ่ง ผู้เขียนขอเรียกแนวคิดนี้ว่า hemispherical disperse

$$R = \frac{E}{(i1 + i2 + i3 + i4 + i5 + i6 + i7 + i8 + i9 + i10 + i11 + i12)}$$



ภาพที่ 35 การอธิบาย ค่า R จากกระจายกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งทรงกลม
ที่มา: สมพร(2542)

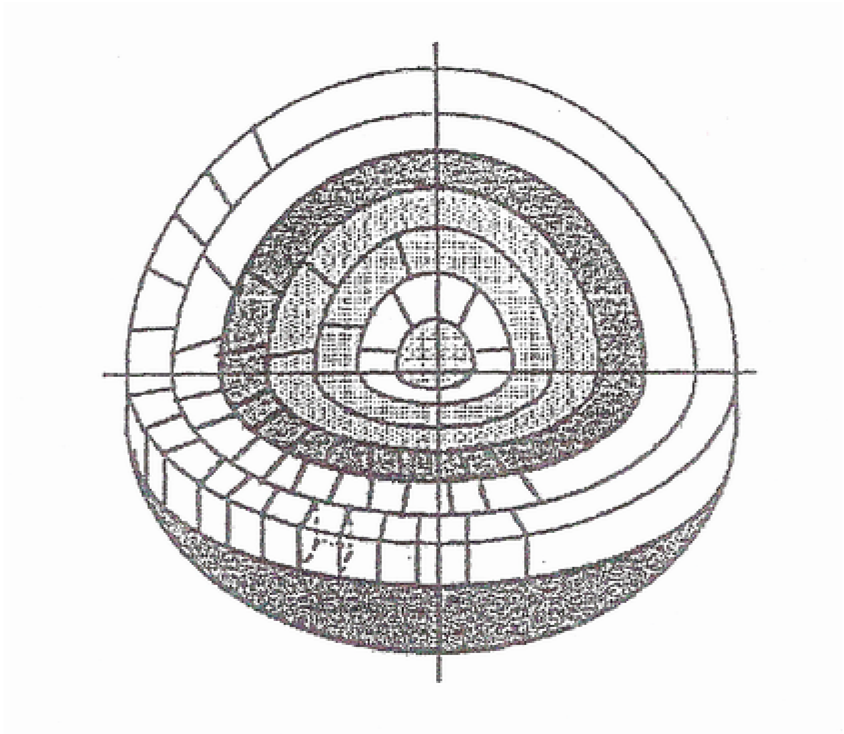
อธิบายค่า R ที่เกิดบนรูปทรงปริมาตร โดยแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างเทคโนโลยี การวัด และการคำนวณทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 36 การอธิบายค่าคำนวณ R ด้วยทฤษฎีทางคณิตศาสตร์
ที่มา: สมพร(2542)

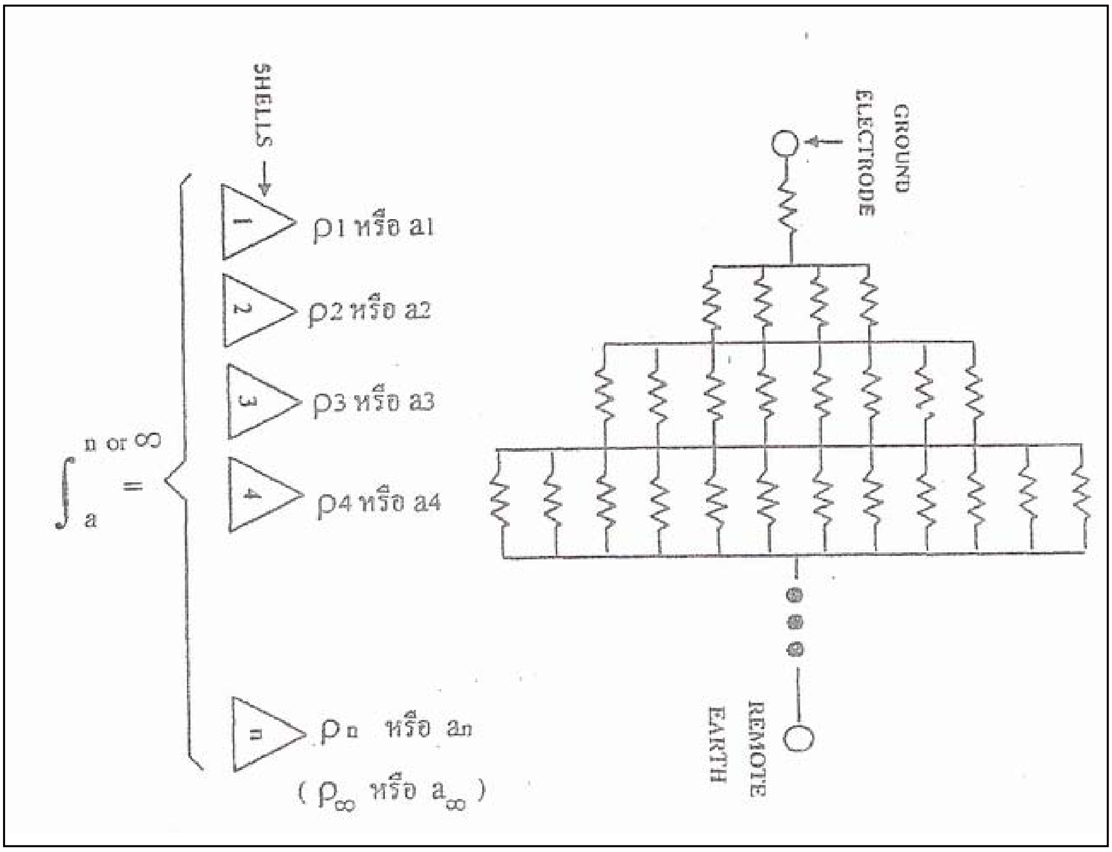
Cubical of soil on Earth (Earth model)

เมื่อก้อนปริมาตรลูกบาศก์ต่าง ๆ มาก่อตัวรวมกันจึงเกิดเป็นผืนดิน และโลกผืนแผ่นดินจึงเป็นสภาพการเกาะตัวอย่างต่อเนื่องไม่สามารถแบ่งดินขาดออกจากกันเป็นส่วน ๆ เนื่องจากดินทุกชนิดในผืนดินจากทุกส่วนของโลก จะต่อเนื่องถึงกันได้ทั้งหมด ซึ่งก็คือการก่อรวมตัวเชื่อมถึงกันอย่างต่อเนื่องด้วยหน่วยทางปริมาตร เช่น ลูกบาศก์เซนติเมตร ลูกบาศก์นิ้ว ลูกบาศก์ฟุต ลูกบาศก์เมตร หรือลูกบาศก์กิโลเมตร เป็นต้น



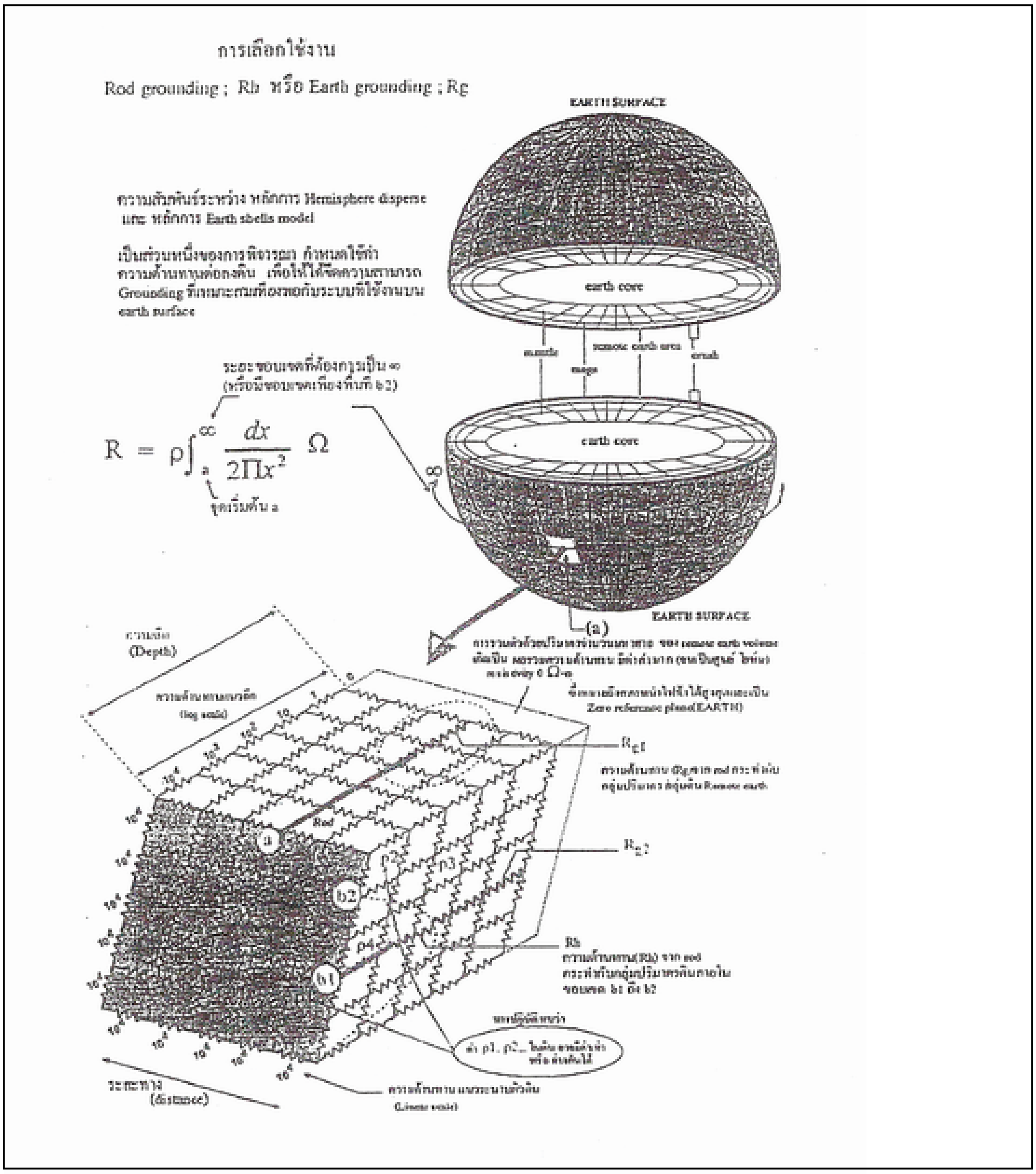
ภาพที่ 37 พิจารณาถึง cubical of soil ที่ประกอบขึ้นของผืนแผ่นดิน หรือโลก หรือเรียกว่า Earth model

ที่มา: abc of the telephone



ภาพที่ 38 การพิจารณาถึงความนำไฟฟ้า และ/หรือความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากปริมาตรชั้นดินที่ต่อร่วมถึงกัน หรือเรียกว่าแบบจำลองชั้นดิน

พิจารณาจากรูป เมื่อปัก แท่งหลักดิน (Ground electrode) ลงไปในระยะ a1,a2 หรือ a3 จะพบว่าแท่งหลักดินจะทะลุสัมผัสกับชั้นดินที่ให้ค่า $\rho 1$, $\rho 2$, $\rho 3$ ด้วย สภาพ ρ ต่าง ๆ ที่สัมผัส แท่งหลักดินจึงถือเป็นสิ่งสำคัญของการสร้างระบบต่อลงดิน เพราะต้องนำค่า ρ ไปพิจารณาหาค่าความต้านทานต่อลงดินที่เหมาะสมกับระบบ เพื่อให้เกิดสภาพ Grounding ที่มีขีดสามารถให้ความปลอดภัยและประสิทธิภาพสูงสุดต่อระบบดังที่ C.C.I.T.T ได้แนะนำไว้



<u>ภาพที่ 39</u> ผลรวมของปริมาตร (cubical) จำนวนมหาศาล ส่งผลเป็นสภาพความนำไฟฟ้า และ/หรือ ความต้านทานไฟฟ้า

Common resistivity on the earth

ความนำไฟฟ้าของดินส่วนต่าง ๆ ในโลก หรือ ความนำไฟฟ้าของโลกก็เป็นไปตามกฎเกณฑ์ของ RESISTIVITY และรูปทรงด้วย กล่าวแล้วว่าความนำไฟฟ้า และ/หรือ ความต้านทานไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นจากสภาพที่เป็นผลรวมจากเนื้อดิน ทุกชนิดที่มีอยู่ทั้งหมด

Earth impedance

ความนำไฟฟ้าของดินส่วนต่าง ๆ ในโลก หรือ ความนำไฟฟ้าของโลกก็เป็นไปตามกฎเกณฑ์ของ Resistivity ด้วยเช่นกัน จากสภาพปริมาตรอันเป็นผลรวม ของเนื้อดินทุกชนิดที่ต่อเชื่อมกันทั้งหมด เราอาจจะคาดการณ์ค่าความต้านทานได้โดยวิธีการคำนวณ รูปแบบหนึ่งของการคำนวณ อาจกระทำได้ดังนี้

$$dR = \frac{\rho dx}{2\pi x^2}$$

$$R(\Omega) = \rho \times \int_a^\infty \frac{dx}{(2\pi \times 2)} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\text{(โอห์ม)}$$

$$\frac{\rho}{2\pi}\left[\frac{I}{r} - \frac{I}{r_1}\right]$$

R = ความต้านทาน(ohm)

P = Earth resistivity ที่มีอยู่ภายใต้ขอบเขตปริมาตรที่กำหนดพิจารณา

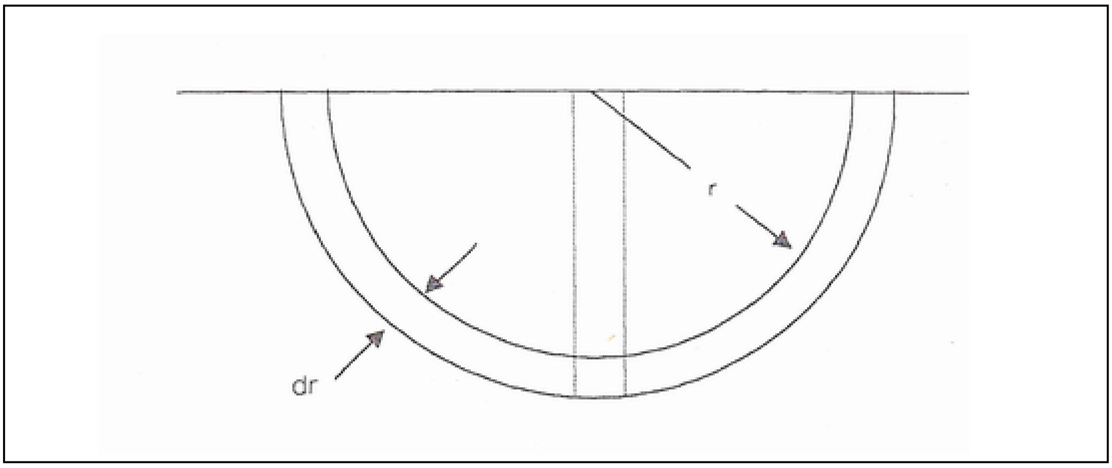
A = จุดพิจารณาเริ่มต้น

$\int$ = ผลรวมจากความต่อเนื่องของ ρ ภายใต้ขอบเขตปริมาตรที่กำหนดพิจารณา

∞ = ขอบเขตระยะสิ้นสุดที่ต้องการ (ในการใช้งานจริงเราอาจใช้เพียง a2

ซึ่งเป็นขอบเขตความต้องการเช่น ขอบเขตของพื้นที่ 30 เมตร ขอบเขตของพื้น 1 กม. หรือขอบเขตพื้นที่ 10 กม. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขอบเขตพื้นที่ในความรับผิดชอบ ขนาดของโครงข่าย หรือความสำคัญของงานแต่ละงาน)

$$\frac{dx}{(2\pi \times 2)}$$ = ระยะที่กระแสไหล / พื้นที่ ที่กระแสไหลผ่าน (note : รูปแบบสมการแปรผันตามรูปทรง เช่น ทรงกระบอก ครึ่งทรงกลม ฯลฯ)



ภาพที่ 40 อิคิววาเลนส์แบบครึ่งวงกลมของการฝังแท่งหลักดิน
ที่มา: Marshall (1913)

แท่งหลักดินต้นเดี่ยว (Single ground rod)

ได้มีการออกแบบรูปลักษณะหลักดินหลายลักษณะ ซึ่งแต่ละลักษณะของหลักดินถูกออกแบบเพื่อให้สามารถเกิดค่าความนำไฟฟ้าไดมากที่สุด อย่างไรก็ตามความนำไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้าของหลักดินแต่ละลักษณะก็จะเป็นไปตามกฎเกณฑ์ของ Resisivity และรูปทรงของหลักดินนั้น ๆ ตัวอย่างรูปทรงหลักดินต่าง ๆ เช่น แท่งหลักดิน (rod), แผ่นโลหะ (plate) เป็นต้น

อนึ่งต้องแยกประเด็นและไว้เสมอระหว่างความนำไฟฟ้าของหลักดิน ก็เป็นเรื่องของหลักดินความนำไฟฟ้าจาก Earth resistivity ก็เป็นอีกส่วนหนึ่ง อย่านำมาปะปนกันโดยขาดเหตุผลรองรับ สภาพ Earth resistivity ของผืนแผ่นดินจะเป็นส่วนหลักที่ ในการนำกระแสไฟฟ้าจากฟอลต์ต่าง ๆ ไหลครบวงจรยังแหล่งกำหนดของฟอล์ตแต่ละชนิด อย่างไรก็ตามมีคามจำเป็นต้องใช้ ความนำไฟฟ้าของหลักดิน ร่วมกับความนำไฟฟ้าจาก Earth resistivity มาใช้งานทันที เมื่อต้องสร้างระบบต่อลงดินเพื่อการใช้งาน Grounding รูปแบบหนึ่งของหลักดินซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ หลักดิน แบบ แท่ง หรือ Rod เมื่อสร้างระบบต่อลงดินโดยใช้หลักดินแบบแท่ง พอที่จะประเมินค่าความต้านทานต่อลงดินจากการคำนวณเป็นดังนี้

Resistance to Earth of Single electrode

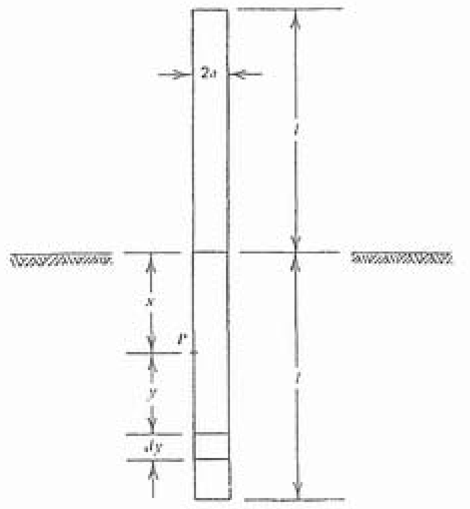
$$R = \frac{\rho}{2\pi a} \times \left(\ln\frac{4L}{a} - 1 \right) \text{------------------------(โอห์ม)}$$

R = ความต้านทาน(โอห์ม)

L = ความยาวแท่ง Rod (เมตร)

A = ระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง rod (เมตร)

P = ค่า Earth resistivity ที่แท่ง rod สัมผัส (โอห์ม-เมตร)



<u>ภาพที่ 41</u> แท่งหลักดินต้นเดี่ยว

ที่มา: Marshall(1913)

<u>หน้าที่ของหลักดิน</u>

หลักดินที่เราปักฝังหลักดินลงในผืนดิน จะทำหน้าที่เป็นตำแหน่งการต่อเชื่อมวงจรไฟฟ้า ระหว่างระบบและวงจรที่ใช้งานบนพื้นโลก ให้ต่อกับดินโดยดินจะทำหน้าที่เป็นเส้นให้ทาง กระแสไฟฟ้าไหลกลับครบวงจร(Return part current) ได้ต่อไป

ระบบและวงจรไฟฟ้าที่ใช้งานบนโลก ส่วนใหญ่มีสภาพการทำงาน แบบวงจร Normal mode (or Difference mode) ตัวอย่างอุปกรณ์ที่มีการทำงานแบบนี้ เช่น Generator ผลิตกระแสไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า, การส่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง 64kV(L-L), 22kV(L-L) และส่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ 380V(L-L), 230 V(L-N) เหล่านี้เป็นต้น อุปกรณ์ในระบบวงจรแบบ Normal mode ที่กล่าว จะมีต่อลงดินด้วย เช่น การต่อลงดินที่จุดสะเทินหม้อแปลงไฟฟ้าการต่อลงดินที่หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงของสถานีไฟฟ้าย่อย หรือแม้แต่ สถานีวิทยุ โทรทัศน์ ชุมสายโทรศัพท์ ก็ต้องมีการต่อลงดินด้วย

สำหรับหลักดินที่เราปักฝังหลักดินลงในผืนดิน จะทำหน้าที่เป็น ตำแหน่งการต่อเชื่อมวงจรไฟฟ้าระหว่าง ระบบและวงจรที่ใช้งานบนพื้นโลกให้ต่อกับดิน โดยดินจะทำหน้าที่เป็นเส้นให้ทางกระแสไฟฟ้าไหลกลับครบวงจร (Return part current) ของแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าแต่ละประเภทเหล่านั้น

ยกตัวอย่างเหตุการณ์ได้ดังนี้

1. เมื่อภาระไฟฟ้าแรงดันต่ำ เช่น เครื่องอาบน้ำอุ่นเกิดไฟฟ้ารั่วลงดิน หากว่าเครื่องทำน้ำอุ่นมีการทำหลักดินอย่างถูกต้องแล้วกระแสไฟฟ้าก็จะไหลผ่านหลักดิน กลับไปยังหลักดินของหม้อแปลงไฟฟ้าตัวที่จ่ายป้อนพลังงานกระแสให้กับเครื่องทำน้ำอุ่นเครื่องนั้น จากนั้นกระแสไฟฟ้าจะครบวงจร ณ จุดสะเทนของหม้อแปลงไฟฟ้าตัวนั้น

2. เมื่อสายส่งไฟฟ้าแรงดันสูงเกิดลัดวงจร (Fault) ลงดิน กระแสไฟฟ้า ณ ตำแหน่งลัดวงจรลงดินจะไหลผ่านดินกลับไปยังหลักดินของหม้อแปลงแรงดันสูงตัวนั้น เพื่อครบวงจร ณ สถานีไฟฟ้าย่อยต่อไป

3. สำหรับการเกิดฟ้าผ่า ซึ่งเป็นการดิสชาร์จของคาร์ปาซิเตอร์ขนาดใหญ่นั้น ขั้วไฟฟ้าขั้วหนึ่งจะอยู่ที่ปริมาตรส่วนฐานของก้อนเมฆและอีกขั้วหนึ่งจะอยู่ในกลุ่มปริมาตรดินของผืนดินใต้ฐานก้อนเมฆนั้น กระแสฟ้าผ่าที่ลัดวงจรผ่านอากาศทำให้ประจุไฟฟ้าเกิดการถ่ายเทระหว่างขั้วฟ้าทั้งสอง และสลายหมดไหได้หลักดินที่ปักฝังและสัมผัสกับกลุ่มปริมาตรดินดังกล่าวได้อย่างสมบูรณ์จะช่วยให้ประจุไฟฟ้าเกิดการสลายตัวได้รวดเร็ว และควบคุมศักย์ฟ้าตกคร่อมดินต่าง ๆ ของ Stepped potential หรือ Touch potential ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้

<u>วัตถุประสงค์ การต่อลงดินตาม CCITT Recommended</u>

The International telegraph and telephone Consutative Commettee (1976) ได้แนะนำถึงจุดประสงค์การต่อลงดิน ที่ครบถ้วนสมบูรณ์ ซึ่งต้องมีองค์ประกอบ 5 ประการด้วยกัน การปฏิบัติได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ คือ การได้มาซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดของการต่อลงดิน

จุดประสงค์ของการต่อระบบสื่อสารลงดิน ได้กล่าวว่า

การต่อระบบลงดินของระบบโทรคมนาคมเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดต้องปฏิบัติตาม 5 ประการด้วยกัน

1. เพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงานและการบำรุงรักษาของอุปกรณ์ในระบบสื่อสารโทรคมนาคม

2. ระบบต่อลงดินเพื่อให้อุปกรณ์ทำงานสมบูรณ์

3. ปฏิบัติตามกฎข้อบังคับของแต่ละประเทศ

4. เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากวงจรข้างเคียงและสัญญาณรบกวนตามค่าที่กำหนดของแต่ละประเทศในระบบสื่อสารโทรคมนาคม

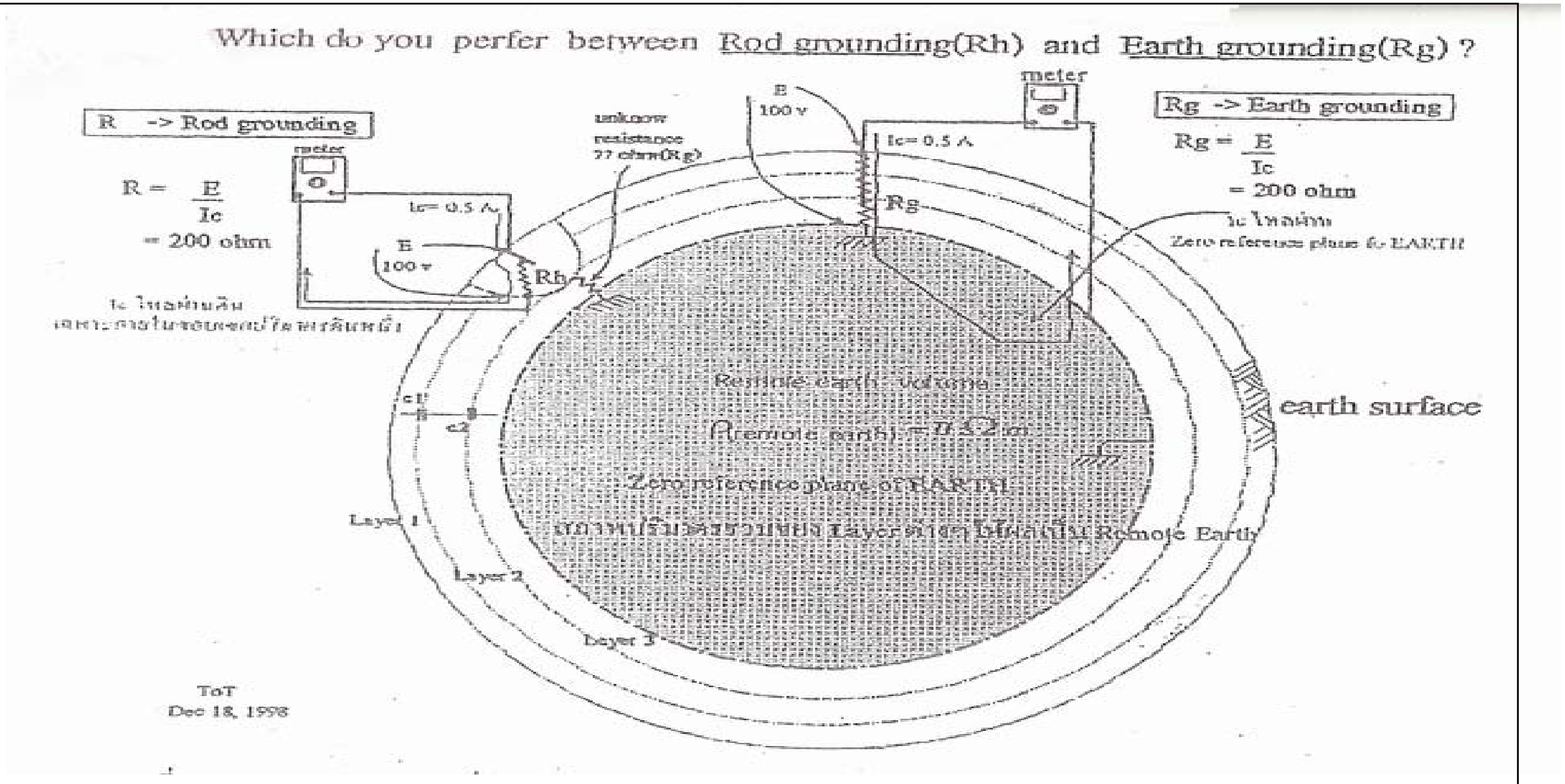
5. ใช้ดินเป็นเส้นทางตัวนำกระแสไหลย้อนกลับสู่ระบบสื่อสารโทรคมนาคม

Ground Potential ที่เกิดขึ้นบนระบบต่อลงดิน

การติดตั้งระบบต่อลงดิน ก็คือกระบวนการปฏิบัติเพื่อให้ได้มาซึ่งภาพ Grounding โดยลักษณะและสภาพ Grounding ที่ดีมีประสิทธิภาพ The International telegraph and telephone Consutative Commettee (1976) ในการประชุมที่กรุงเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เมื่อพิจารณาหัวข้อทั้ง 5 ประการแล้ว ย่อมพบว่าจุประสงค์หลักของการต่อลงดิน ก็เพื่อการลดค่าศักย์ไฟฟ้ากราวนด์ (Ground potential) ให้มีค่าต่ำที่สุด โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญส่งผลต่อศักย์ไฟฟ้ากราวนด์ คือ Ground resistance

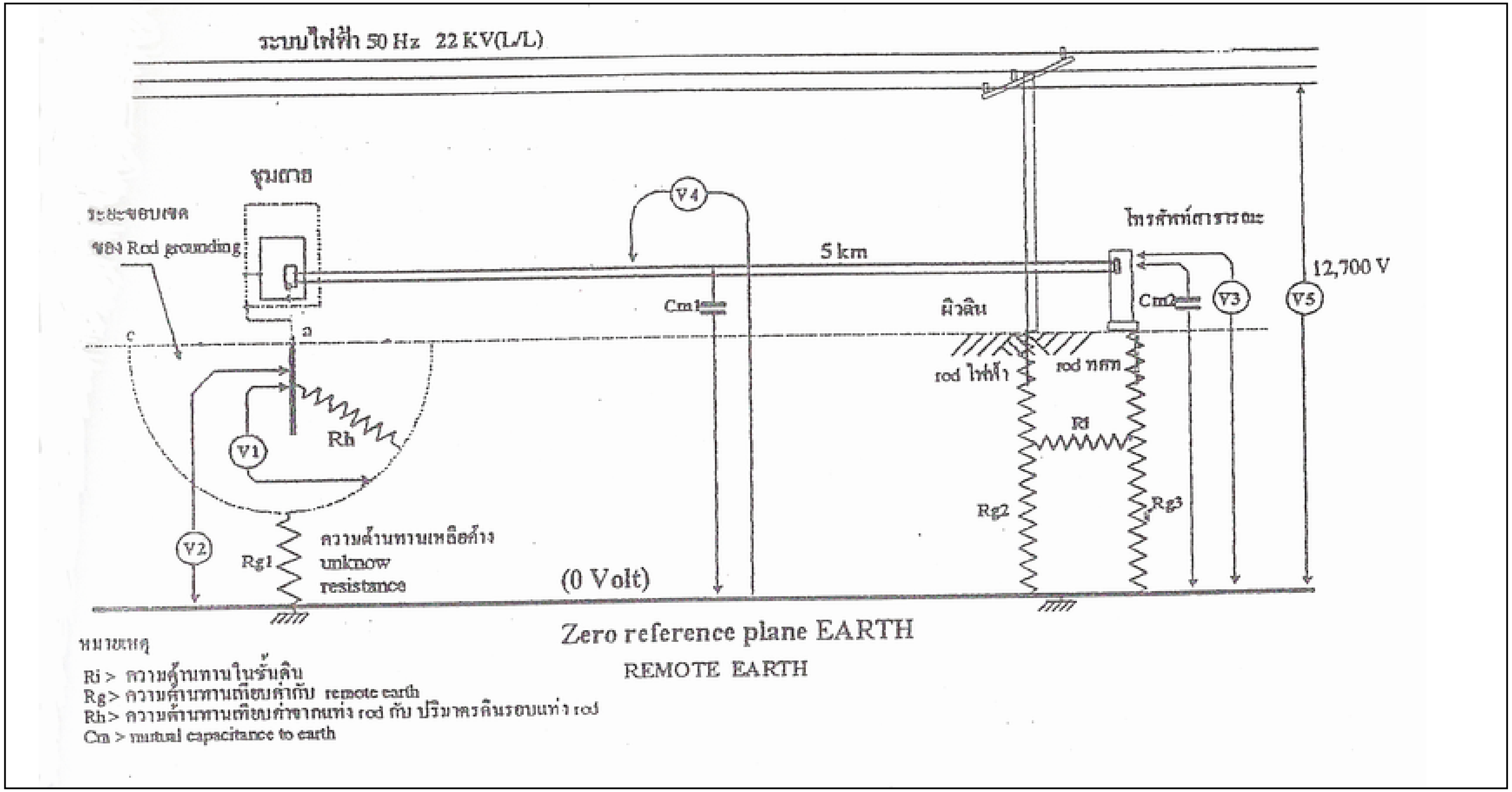
ปัจจุบันได้มีวิธีการ สร้างระบบต่อลงดินเพื่อการทำให้ได้มาของสภาพ Grounding แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ระบบ Rod Grounding ; Rh
2. ระบบ Earth Grounding ; Rg ดังภาพ



ภาพที่ 42 สภาพ Grounding ซึ่งแตกต่างกันระหว่าง ระบบ Rod Grounding และ ระบบ Earth Grounding

ที่มา: สมพร (2542)



ภาพที่ 43 ตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในส่วนต่าง ๆ และส่งผลต่อ ช.ส. ที่ใช้งาน Rod grounding

ที่มา: สมพร (2542)

ระบบ Rod grounding ค่า Ground resistance (Rh) เกิดจากแท่งหลักดินกระทำกับกลุ่มปริมาตรดิน ในระยะขอบเขตพื้นที่หนึ่ง อุปกรณ์ หรือโครงข่ายซึ่งติดตั้งและมีพื้นที่การใช้งานอยู่เฉพาะภายในขอบเขต ของปริมาตรดินส่วนนี้จะได้รับสภาพ Grounding ตามขอบเขตปริมาตรนั้น

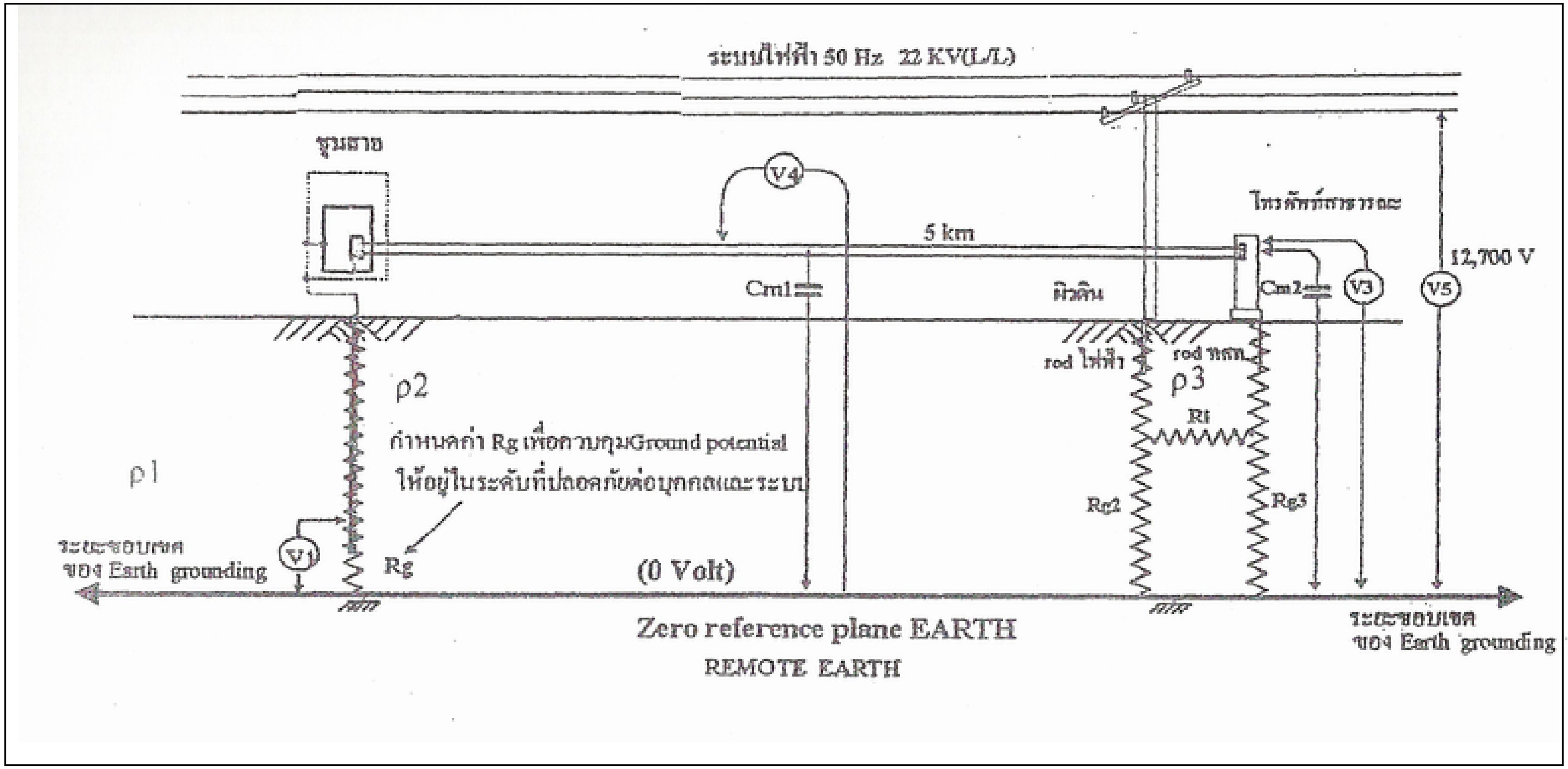
ความเกี่ยวกันร่วมทางสนามไฟฟ้า (Mutual capacitance) ของระบบที่ใช้งานอยู่บนปริมาตรของ Rod grounding ซึ่งกระทำต่อ Zero reference plane of Earth ย่อมมีอยู่เสมอเป็นปกติของธรรมชาติและมี <u>ความต้านทานเหลือค้าง</u> ซึ่งเป็น Unknown resistance อยู่ในระบบต่อไป(ดังในภาพ) ส่งผลเป็นศักย์ไฟฟ้า V2 ระหว่างอุปกรณ์และระบบบนปริมาตรของ Rod grounding ไปยังกลุ่มปริมาตรดินส่วนใหญ่ (Remote earth volume) ขึ้นได้ และหากแรงดัน V2 มีค่าสูงระดับหนึ่งก็อาจทำอันตรายต่อบุคคลทั่วไปหรือรบกวนการสร้างความเสียหายต่ออุปกรณ์และระบบได้

ระบบ Earth Grounding ค่า Ground resistance (Rg) เกิดจากแท่งหลักดิน กระทำกับกลุ่มปริมาตรดินส่วนใหญ่ (Remote earth volume) ของโลกซึ่งเป็น Common resistivity of earth ผลรวมของปริมาตรดินที่กว้างใหญ่ ให้ค่าความต้านทานไฟฟ้ารวมกลุ่มปริมาตรต่ำมากให้ผลเป็น Zero reference plane EARTH

ระบบ Earth Grounding ซึ่งใช้ปริมาตรดินส่วนใหญ่เป็น Grounding ทำให้สามารถรองรับระบบที่มีพื้นที่โครงข่ายกว้างใหญ่ได้ ทำให้ส่วนต่าง ๆ ทั่วทั้งโครงข่ายได้รับ reference voltage จากจุดอ้างอิงเดียวกันที่ Zero reference plane EARTH ส่งผลให้การจัดการ บริหารโครงข่าย ไม่ต้องกังวลต่อศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจาก <u>ความต้านทานเหลือค้าง</u> ที่เป็น Unknown resistance ดังเช่นระบบ Rod grounding

การสร้างระบบต่อลงดิน ก็เพื่อสร้างความปลอดภัยต่อบุคคล และทำให้อุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด วิธีการที่ง่ายและสะดวกเพื่อลดศักย์ไฟฟ้ากราวนด์ คือการลด Ground resistance และเมื่อมีค่า Ground resistance มีค่าต่ำย่อมทำให้ Ground potential มีค่าต่ำโดยอัตโนมัติ

การสร้างระบบต่อลงดินแต่ละครั้งจะต้องมีอุปกรณ์ประกอบมากมาย เช่น Bar ground, แท่งหลักดิน, สายต่อลงดิน, หางปลาต่อสาย, น๊อต ฯลฯ สิ่งสุดท้ายที่ต้องปฏิบัติคือ การวัดค่า Ground resistance ด้วยเครื่องวัดกราวนด์ ซึ่งจะเป็นตัวบอกเราว่า ระบบต่อลงดินที่เราสร้างขึ้นได้เป้าหมายและประสิทธิภาพสูงหรือต่ำ อย่างไรก็ตามผู้วัดค่า Ground resistance ก็ควรทราบว่า ค่าโอห์ม ที่ได้นั้น เป็นค่า R ของระบบ Rod grounding หรือเป็นค่า Rg ของระบบ Earth Grounding ด้วย



ภาพที่ 44 กำหนดค่า Rg ที่เหมาะสมเพื่อควบคุม Ground potential ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยเพื่อง่ายและสะดวกในการจัดการบริหารระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ที่มา: สมพร (2542)

Grounding profile

กราฟที่แสดงเป็นค่า Ground resistance ในพื้นที่จริงส่วนต่าง ๆ ของประเทศระหว่างปี พ.ศ. 2536-2538 บางพื้นที่มีสภาพเป็นภูเขาหิน หรือ หินล้วน มีเป้าหมายเพื่อต้องการทราบค่า Rg ของระบบ Earth Grounding เพื่อใช้งานกับ ช.ส. ของ ทศท. เพื่อให้เกิดความสะดวกและให้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่าที่จะทำได้ในขระนั้น พื้นที่บางส่วนจึงใช้เครื่องเจาะน้ำบาดาล ในการสร้างบ่อกราวนด์สำหรับการต่อลงดิน

ปกติเครื่องเจาะน้ำบาดาลทั่วไป แบ่งเป็น 2 ลักษณะ

1. แบบ ใช้น้ำไล่เศษดิน (หล่อก้านเจาะ) และ
2. แบบ ใช้ลมเป่าไล่เศษดิน

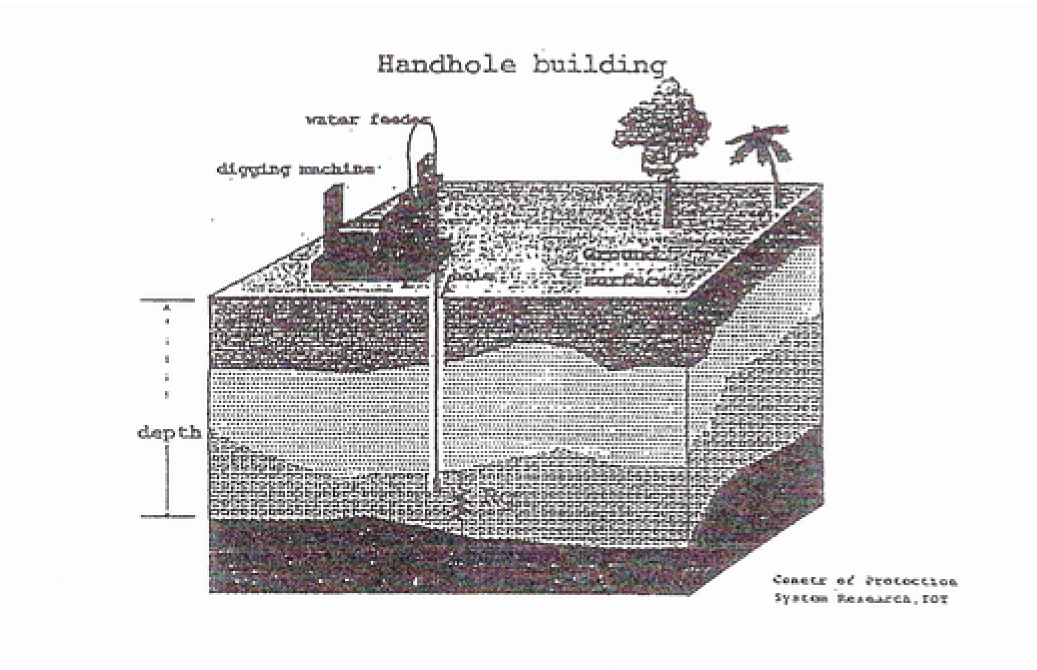
ภาษาท้องถิ่นเรียกว่า ใช้น้ำไล่ขี้ โดยการใช้น้ำหล่อก้านเจาะและไล่เศษดินเศษหิน สำหรับอีกลักษณะหนึ่งนั้นจะใช้ ลมไล่ขี้ คือการใช้ปั้มท์ลมขนาดใหญ่เป่าในบ่อเจาะ เพื่อไล่เศษทรายและหินขณะเจาะ บ่อกราวนด์สร้างขึ้นจากการขุดเจาะด้วย เครื่องเจาะน้ำบาดาล แบบใช้น้ำในช่วงเวลาเจาะต้องเป่าน้ำจากปลายหัวเจาะเพื่อไล่เศษดิน หินทรายต่าง ๆ ดังนั้นในขณะทำการเจาะจึงมีน้ำโคลน เอ่อท่วมอยู่รอบแกนเจาะโลหะของเครื่องตลอดเวลา แต่หากว่าหยุดพัก เช่น กินอาหาร หรือหยุดทำงาน น้ำโคลนที่เอ่อในบ่อเจาะจะไหลซึมไปในดินได้ เครื่องเจาะน้ำบาดาลแบบใช้ลมเป่า จะใช้ปั้มท์ลมแรงสูงเป่าไล่เศษ หินและทรายในบ่อเจาะให้ฟุ้งกระจาย เพื่อลดแรงเสียดทานก้านเจาะมิฉะนั้นก้านเจาะอาจจะขาดได้

กายภาพของการเจาะของเครื่องทั้งสองแบบจึงต่างกัน และส่งผลถึงสภาพความต้านทานที่วัดด้วย นอกจากนั้นพื้นที่บางส่วนของการสำรวจได้ทดลองปักฝังแท่งหลักดิน (แท่ง rod) โดยตรงโดยใช้การตอกด้วยค้อน

เครื่องมือขุดเจาะ

เนื่องจากสภาพดินที่เป็น Remote Earth นั้นเกิดจากการรวมตัวของปริมาตรเนื้อดินจำนวนมหาศาลที่ต่อเชื่อมถึงกันและเกิดอยู่ภายใต้พื้นผิวดินในค่าความลึกระดับหนึ่ง การทำลายหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสภาพดินย่อมทำลายสภาพความเป็นจริงของธรรมชาติและทำให้ได้รับผลที่

คาดเคลื่อนไปจากสภาพความเป็นจริงได้ ดังนั้นจึงเลือกกรรมวิธีเพื่อการมุ่งเข้า Remote Earth โดยก การใช้เครื่องขุดเจาะซึ่งไม่ทำลายสภาพธรรมชาติของดินมากนักและยังได้ค่าความลึกตามที่ต้องการได้ เครื่องมือขุดเจาะแสดงในภาพข้างล่างต่อไปนี้



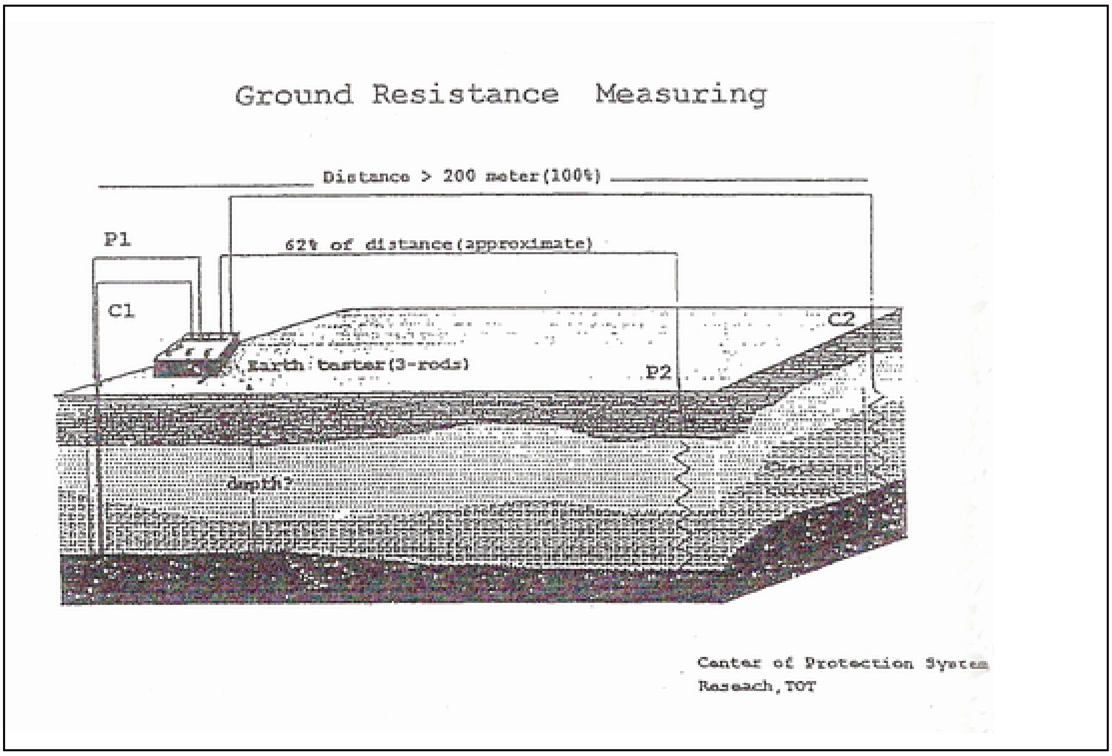
ภาพที่ 45 การใช้เครื่องมือขุดเจาะ

บ่อกราวนด์ที่ขุดเจาะได้นี้จะใช้สำหรับใส่แท่งตัวนำกราวนด์ (Ground Rod)เพื่อใช้งานต่อไป องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย เคยใช้แท่งทองแดงเป็นตัวนำกราวนด์ แต่เมื่อใช้งานแล้วพบว่าเกิด อ๊อกไซด์ในบริเวณผิวทองแดงซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของแท่งกราวนด์ลดลง ทศท. จึงได้เปลี่ยนมาใช้แท่งตัวนำกราวนด์ที่ทำด้วยท่อประปาเหล็กอาบสังกะสี เนื่องจากเหล็กยังให้คุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าดีและเหมาะสมกับงาน อีกทั้งสังกะสีที่เคลือบผิวยังช่วยป้องกันสนิมหรือการเกิดออกไซด์ได้เป็นอย่างดี แท่งกราวนด์เมื่อปักลงในบ่อ กราวนด์แล้วต้องทำให้ตลอดความยาวแท่งกราวนด์ตั้งแต่โคนจนถึงปลายสุดของผิวสัมผัสระหว่างผิวแท่งกราวนด์กับเนื้อดินอย่างแนบสนิทที่สุด เพราะว่าผิวของแท่งกราวนด์คือจุดผ่านของกระแสเสิร์จซึ่งจะระบายทิ้งไปในดิน สิ่งเหล่านี้เราสามารถทำได้โดยการใส่โคลนดินเหนียวผสมกับสารเบนโทรไนซ์กรอกลงในบ่อกราวนด์ ให้เต็มเรียกว่า “การซิลด์บ่อกราวนด์” โดยจะต้องทำในทันทีที่ติดตั้งแท่งตัวนำกราวนด์เรียบร้อย ความ

หนาสังกะสีที่เคลือบผิวแท่งตัวนำกราวนด์ต้นนั้นมีอายุการใช้งานที่นานมากขึ้นด้วย ในท้องตลาดปัจจุบันพบว่าท่อประปาเหล็กอาบสังกะสีแบบ “คาดสีน้ำเงิน” มีความหนาของสังกะสีที่เคลือบไว้หนามากกว่าแบบอื่น

<u>เครื่องมือวัดและการวัด</u>

การวัดค่าความต้านทานกราวนด์ ของอุปกรณ์ เอิร์ท เทสเตอร์ (Earth Tester) แบบ 3 จุด หรือ 3 Fall Potential เมื่อเครื่องมือวัดทำงานจะป้อนกระแสตรวจสอบวงจร (ดังในภาพ) ค่า ๆ หนึ่งลงดิน กระแสไฟฟ้าตรวจสอบจะไหลจาหมุด {C1} ลงไปในดิน สร้างเป็นแรงดันไฟฟ้าในดินกับแท่งกราวนด์ แล้วกระแสไฟฟ้าตรวจสอบไหลกลับครบวงจรที่หมุด {C2} ส่วนจุด {P2} ของเครื่องวัดจะตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมแท่งดิน อาศัยหลักการเทียบค่าความต้านทานแบบบริดจ์ภายในเครื่องวัดก็จะอ่านเป็นค่าความต้านทานได้ ค่าความต้านทานที่วัดค่าได้นี้จะอ้างอิงกับเส้นทางที่กระแสตรวจสอบไหลผ่านไป ดังภาพต่อไปนี้



<u>ภาพที่ 46</u> การใช้เครื่องมือวัด Earth Tester

หากว่าเส้นทางของกระแสตรวจสอบนี้ มีวัตถุประสงค์ให้ไหลไปผ่านเฉพาะส่วนนำไฟฟ้าของดินที่เป็น Remote Earth ความต้านทานที่วัดได้ก็เป็นค่าความต้านทานแท่งกราวนด์ที่เทียบค่ากับส่วนที่เป็น Remote Earth โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดเทียบ Remote Earth นี้จะมีค่าเท่ากันตลอดโดยรอบจากจุดวัด กล่าวคือ เมื่อเลื่อนหมุดวัด {C2} ไปยังตำแหน่งอื่นรอบแท่งกราวนด์ที่ต้องการวัดค่า (ภายในมุม 360 องศา) จะวัดได้ค่าความต้านทานกราวนด์ (Rg) ค่าเดียวกัน

ผลการตรวจวัดค่า คตท. ของการวัดเทียบ Remote Earth ผลการสำรวจค่าความต้านทานดินตามจังหวัดต่าง ๆ ในประเทศไทย โดยสำรวจตามชุมสายต่าง ๆ ขององค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยในหลายพื้นที่ของประเทศแผนสำรวจอาศัยการสร้างบ่อกราวนด์ด้วยเครื่องมือขุดเจาะ และได้รับค่าความต้านทานกราวนด์ดังภาพ

สำรวจภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ตัวอย่าง การสำรวจความต้านทานกราวนด์ Rg (แบบ Single Rod)
เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ภาพที่ 47)

สำรวจภาคเหนือ

ค่าความต้านทานกราวนด์ในกราฟที่แสดงเป็นค่ากราวนด์จากบ่อกราวนด์ โดยบ่อกราวนด์ได้จากเครื่องเจาะน้ำบาดาล แบบใช้น้ำ เช่นเดียวกับ ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กราฟเป็นดังนี้ (ภาพที่ 48)

สำรวจ ภาคกลาง กรุงเทพ และปริมณฑล

การสร้างกราวนด์ในพื้นที่ภาคกลาง ในการสำรวจมีการสร้างบ่อกราวนด์ 2 ลักษณะ คือ

1. การใช้เครื่องเจาะน้ำบาดาล แบบใช้น้ำ ในพื้นที่ชุมสาย ไพศาลี จังหวัดนครสวรรค์ บ.ดอนเมือง โทรเวย์ ถนนลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร ฝ่ายวิจัยและพัฒนาเทคนิค ทศท. จ.ปทุมธานี

2. การตอกด้วยค้อนไฟฟ้า ในเขตกรุงทพมหานคร และจังหวัดปทุมธานี บางส่วน กราฟเป็นดังนี้

1. การเจาะด้วยเครื่องเจาะบาดาล แบบใช้นำหล่อก้านเจาะ

<u>ตัวอย่าง</u> การสำรวจความต้านทานกราวนด์ Rg (แบบ Single Rod) เขตภาคกลาง และปริมณฑล และ กทม. (ภาพที่ 49)

2. การตอกด้วยค้อนไฟฟ้า

<u>ตัวอย่าง</u> การสำรวจความต้านทานกราวนด์ Rg (แบบ Single Rod) เขตปริมณฑล และ กทม. (ภาพที่ 50)

สำรวจ ภาคใต้

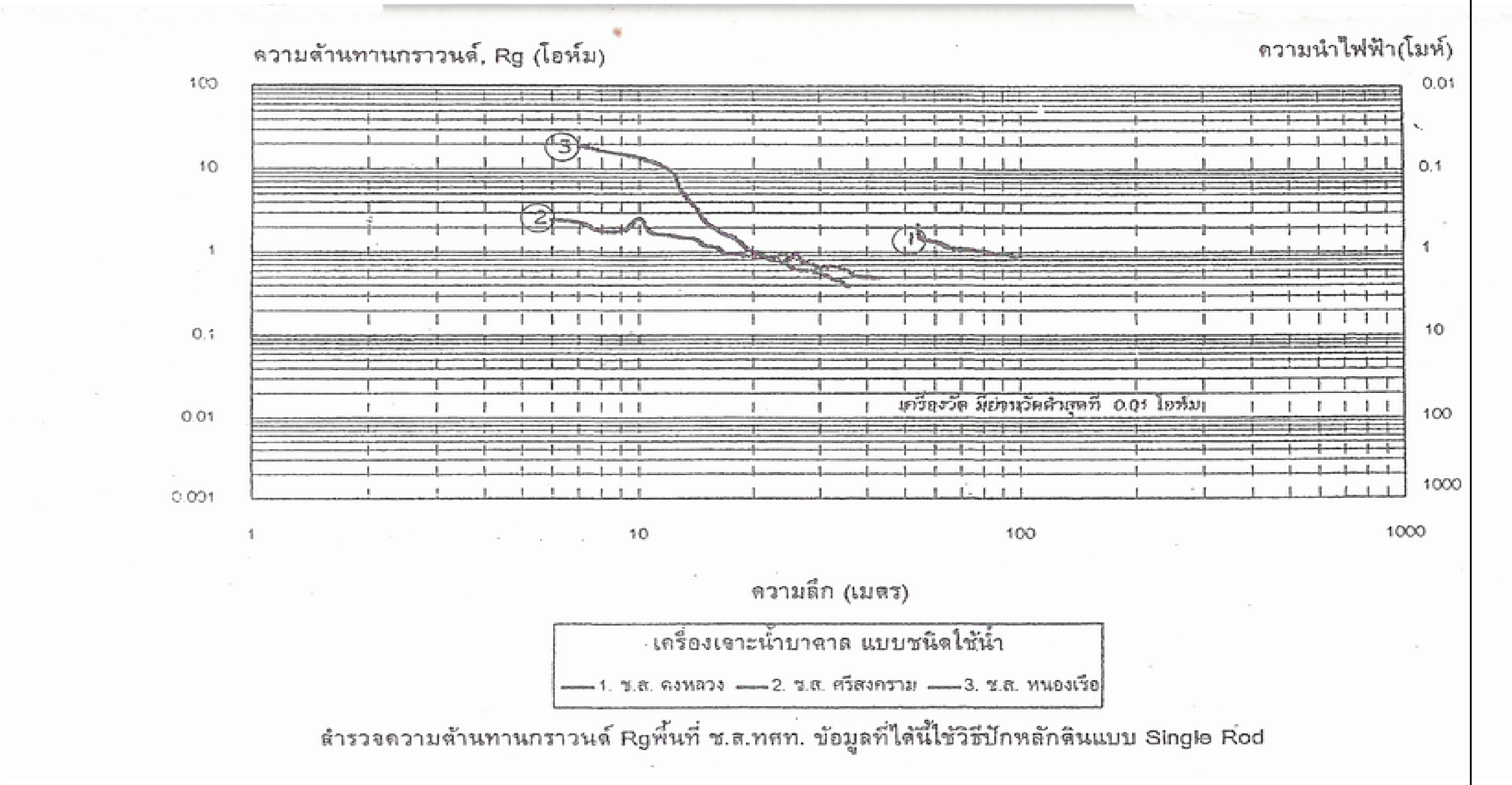
การสำรวจนี้เป็นผลการวัดค่ากราวนด์ จากจังหวัดภูเก็ต ซึ่งได้ใช้การเจาะสร้างบ่อกราวนด์ โดยเครื่องเจาะน้ำบาดาล แบบใช้ใช้ลมเป่าไล่เศษดิน เครื่องเจาะประเภทนี้สามารถสร้างบ่อกราวนด์ได้อย่างรวดเร็วมาก สำหรับพื้นที่ซึ่งเป็น หินและทราย แต่เนื่องจากเป็นระบบใช้ลมเป่าไล่เศษดิน ฉะนั้นจึงมีเพียงส่วนหัวของก้านเจาะเท่านั้น ที่สามารถสัมผัสกับดินที่ผนังหรือ ก้นบ่อกราวนด์ กราฟเป็นดังนี้

<u>ตัวอย่าง</u> การสำรวจความต้านทานกราวนด์ Rg (แบบ Single Rod) เขตภาคใต้ (ที่ จ.ภูเก็ต) (ภาพที่ 51)

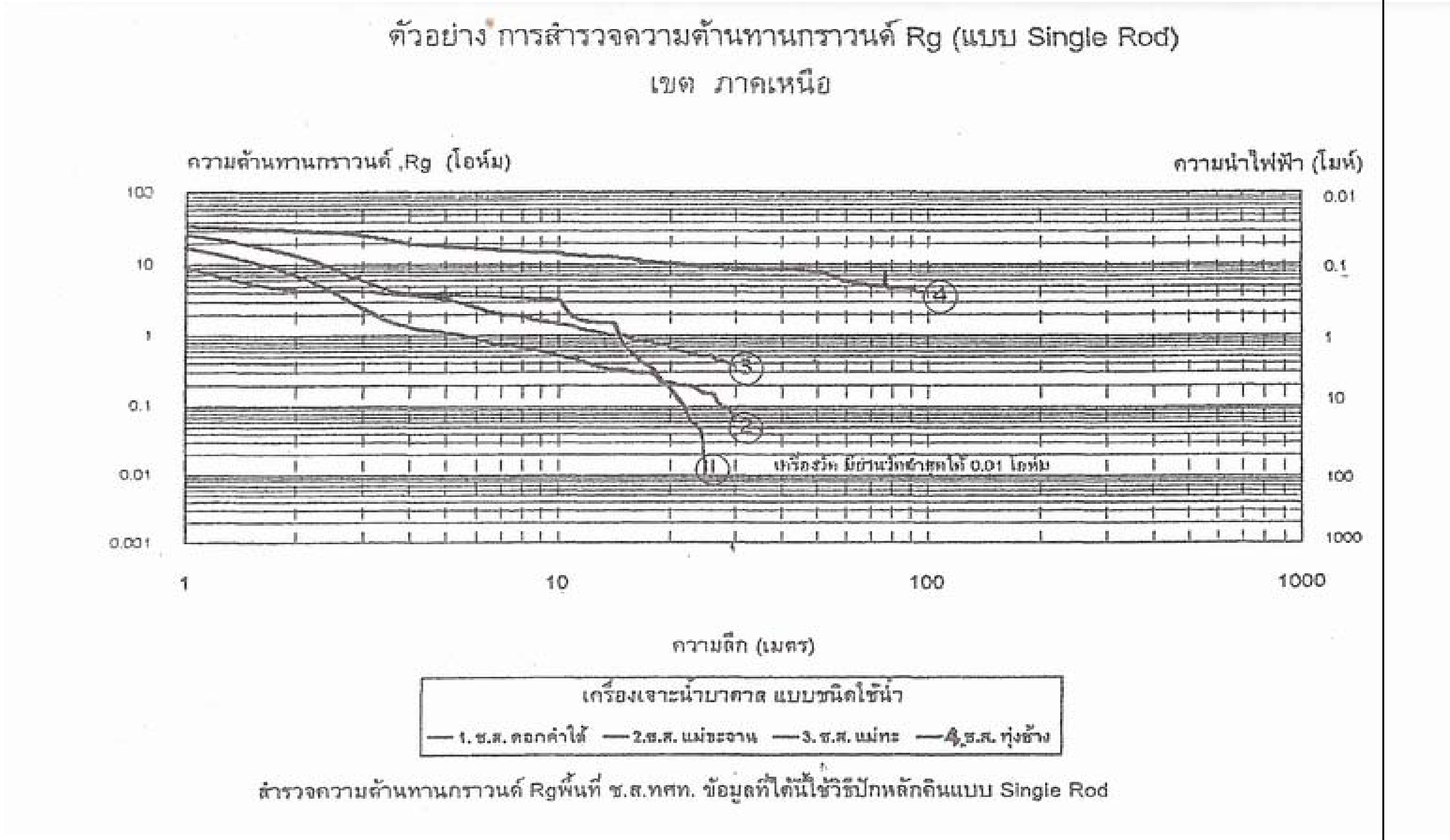
<u>แท่งหลักดินที่ ทศท. ใช้งาน</u>

ในอดีต ทศท. ใช้แท่งหลักดินที่ทำจากแท่งทองแดง แต่เมื่อใช้งานในพื้นที่หลายแห่งพบว่าเกิดออกไซด์ ที่ผิวแท่งหลักดิน ออกไซด์ที่เกาะเคลือบมีสภาพเป็นฉนวนไฟฟ้า ซึ่งขัดขวางและต้านทานการระบายกระแสไฟฟ้าลงดิน เกิดขีดจำกัดการระบายกระแสเสิร์จ อันเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่กระแสเสิร์จสามารถแพร่เข้ามาทำลายอุปกรณ์โทรคมนาคมให้เกิดความเสียหายได้ และเป็นสาเหตุต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ความไวการทำงานสูงถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ง่ายขึ้น

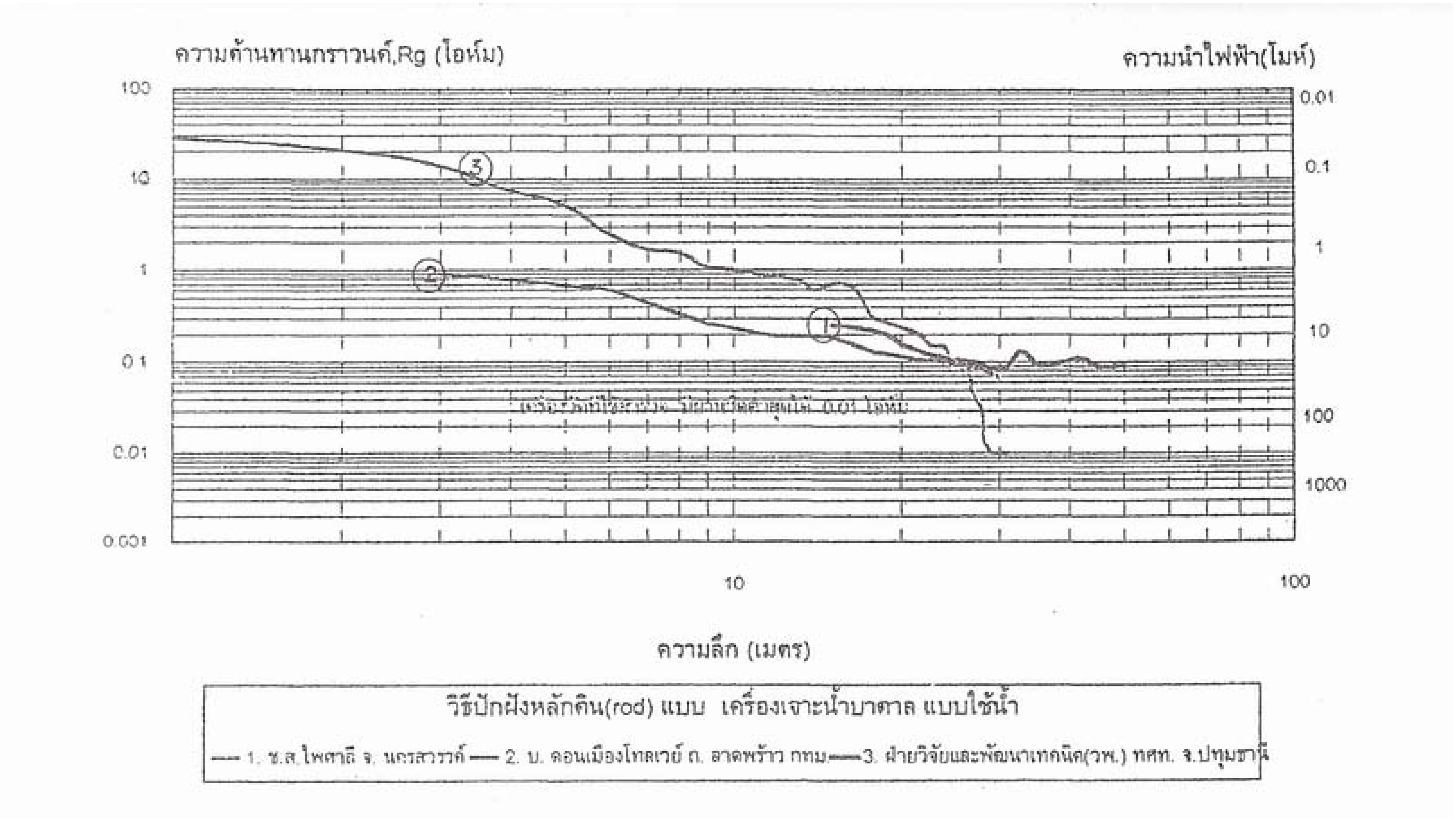
จากปัญหาใช้งานจึงหาแนวทางปรับปรุงแก้ไข โดยพิจารณาเห็นว่าท่อประปาเหล็กมีค่านำไฟฟ้าได้สูงสามารถนำไฟฟ้าดี และเคลือบผิวท่อด้วยสังกะสีเพื่อป้องกันการผุกร่อนได้ เมื่อตรวจสอบวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของท่อประปามีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำมากท่อประปาเหล็กเป็นวัสดุที่จัดหาใช้งานได้ง่าย, มีจำหน่ายทั้งในเขตพื้นที่เจริญและเขตชนบท ซึ่ง ทศท. มีความจำเป็นต้องสร้างชุมสายหรือสถานีโทรคมนาคม ในทุกพื้นที่ ทำให้สะดวกในการจัดหามาใช้งาน, การขนย้ายไม่ยุ่งยาก, ราคาไม่แพง, สามารถเปลี่ยนแท่งหลักดินต้นใหม่ได้ง่าย หากแท่งหลักดินเดิมหมดอายุหรือเสื่อมสภาพ



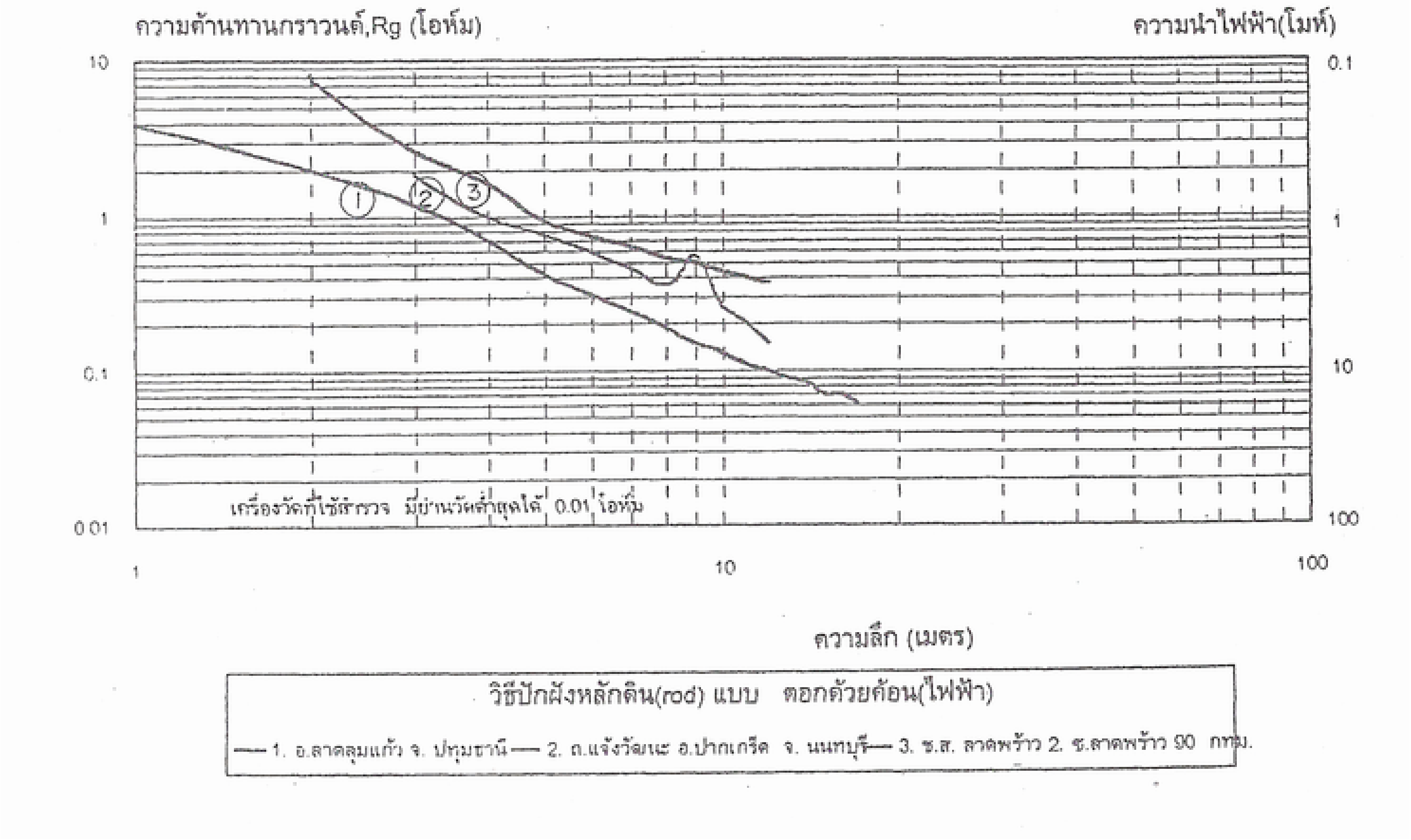
ภาพที่ 47 สำรวจความต้านทานดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ด้วยเครื่องเจาะบาดาล แบบใช้น้ำหล่อก้านเจาะ



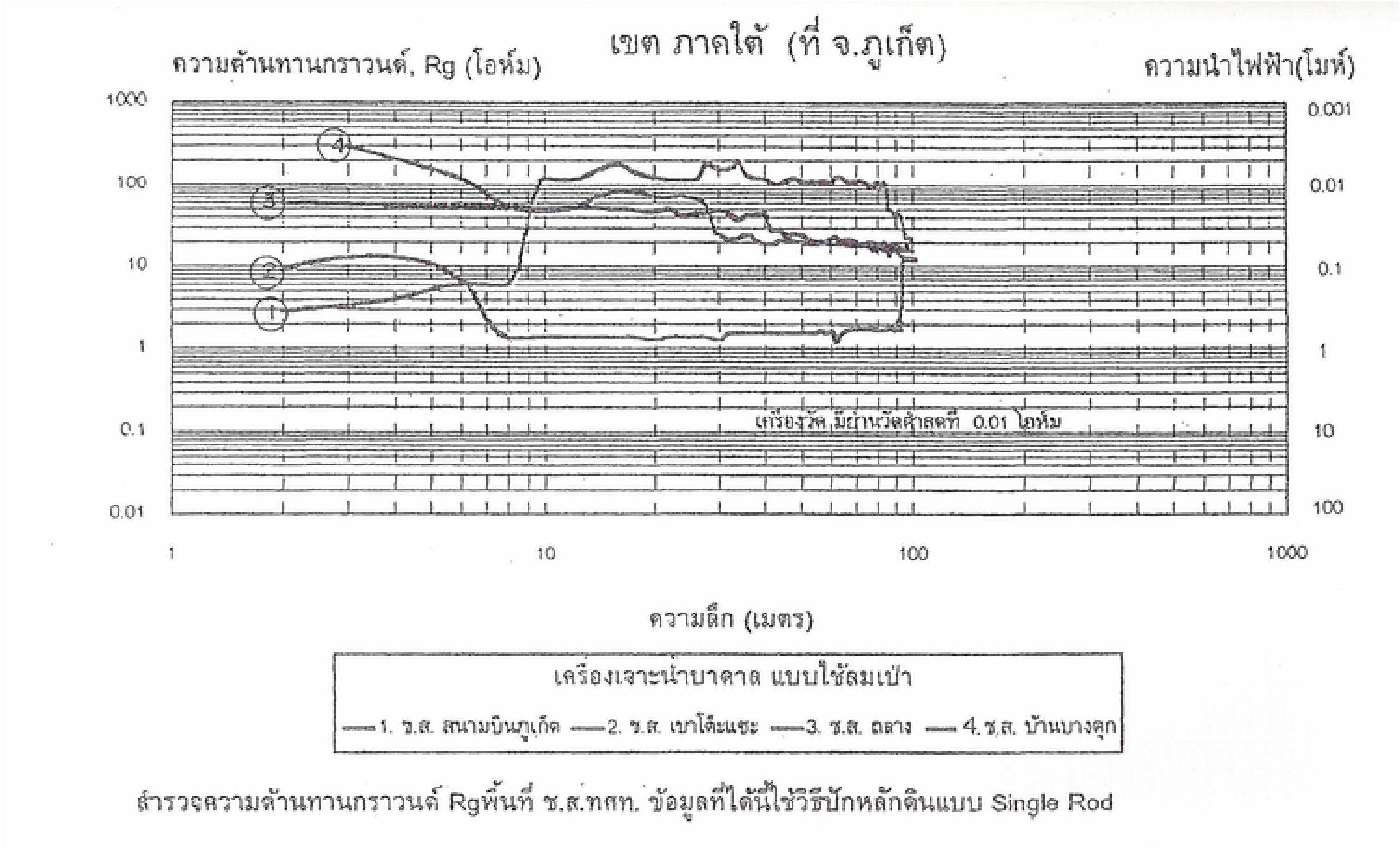
ภาพที่ 48 สำรวจความต้านทานดินภาคเหนือ ด้วยเครื่องเจาะบาดาล แบบใช้น้ำหล่อก้านเจาะ



ภาพที่ 49 สำรวจความต้านทานดินภาคกลาง กรุงเทพ ปริมณฑล ด้วยเครื่องเจาะบาดาล แบบใช้น้ำหล่อก้านเจาะ



ภาพที่ 50 สำรวจความต้านทานดินภาคกลาง กรุงเทพ ปริมณฑล โดยการตอกแท่งหลักดินด้วยค้อนไฟฟ้า



ภาพที่ 51 สำรวจความต้านทานดินภาคใต้ ด้วยเครื่องเจาะบาดาล แบบใช้ลมเป่าไล่เศษดิน

<u>ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าลงเสาอากาศและระบบสายดิน</u>

เป็นรูปแบบและวิธีการที่มีจุดมุ่งหมาย เพื่อการหยุดยั้งหรือระงับความเสียหายและอันตรายอันเกิดจากฟ้าผ่า โดยอาศัยหลักการของระบบล่อฟ้าแบบฟาราเดย์ ผลจากสภาพของ REMOTE EARTH ของดิน รวมทั้งข้อมูลจริงจากการปฏิบัติและติดตามบันทึกผลฟ้าผ่าที่เกิดกับหน่วยงานต่าง ๆ โดยนำมาศึกษาวิจัยและวิเคราะห์จนเข้าสู่การประยุกต์ทางเทคนิค เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพการใช้งานในประเทศไทยโดยมีรายละเอียดของระบบป้องกันอย่างย่อดังนี้ คือ

1. อุปกรณ์ AIR TERMINAL บนยอดเสาอากาศ

1.1 หัว AIR TERMINAL เป็นแบบฟาราเดย์ (MULTOPOINT) ทำด้วยทองแดงชุบดีบุก

1.2 ก้านต่อระหว่างหัว AIR TERMINAL กับสาย DOWN LEAD ทำด้วยทองแดงชุบดีบุก

1.3 ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าเซรามิค ใช้เป็นตัวแยก(ISOLATOR) ทางด้านไฟฟ้าระหว่างหัว AIR TERMINAL กับโครงสร้างเสาอากาศ กล่าวคือ เพื่อให้ทางเดินของกระแสฟ้าผ่าที่ไหลลงสู่ดินไหลผ่านเฉพาะที่หัว AIR TERMINAL และสาย DOWN LEAD ลงสู่ดินเท่านั้น ไม่ให้ผ่านโครงสร้างเสาอากาศ

1.4 ก้านยึด AIR TERMINAL เป็นท่อเหล็กอาบสังกะสี(HOT DIP GALVANIZE) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนา 2 มม. ยาว 4 เมตร โดยประมาณ ยึดติดอยู่บนยอดเสาอากาศ โดยส่วนปลายบนสุดของชุด AIR TERMINAL เป็นตำแหน่งที่สูงที่สุดของเสาอากาศ

2. สายตัวนำลงดิน (DOWN LEAD หรือ DOWN CONDUCTOR)

2.1 เป็นสายทองแดงหุ้มฉนวนสีดำขนาด 70 มม.^{2} ฉนวนมีอัตราทนแรงดันไฟฟ้า 750 VOLT สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 70 C

2.2 เดินสาย DOWN LEAD นี้จากบนยอดของเสาอากาศ โดยเชื่อมต่อกับก้านต่อ AIR TERMINAL แบบ EXOTHERMIC ลงมาตามโครงสร้างหลักของเสาอากาศ (MAIN LEG) ไปยังแท่งกราวนด์ฟ้าผ่า (LIGHTNNG GROUND)

2.3 ยึดสาย DOWN LEAD เข้ากับโครงเหล็กของเสาอากาศให้มั่นคงแข็งแรง และไม่ให้มีการแกว่งโดยใช้ CLSMP ยึดสายไฟฟ้าทุก ๆ ระยะ 3 เมตร

2.4 สาย DOWN LEAD และหัว AIR TERMINAL จะถูกแยกทางไฟฟ้า (ELECTRICAL ISOLATION) อย่างเด็ดขาดจากโครงสร้างเสาอากาศ กล่าวคือทางเดินของกระแสฟ้าผ่าลงสู่ดิน จะผ่านเฉพาะที่หัว AIR TERMINAL และสาย DOWN LEAD ลงสู่ดินที่แท่งกราวนด์ฟ้าผ่าเท่านั้น โดยไม่ผ่านโครงสร้างเสาอากาศ

2.5 (OPTION) มีอุปกรณ์ตรวจนับจำนวนครั้ง และขนาดของการเกิดฟ้าผ่า (LIGHTNING COUNTER) โดยติดตั้งเข้ากับสาย DOWN LEAD ในตำแหน่งที่สะดวกกับการตรวจสอบที่ฐานของเสาอากาศ และมีย่านการวัดกระแสฟ้าผ่า 3 ขนาด คือขนาดมากกว่า 1,000 แอมป์ 5,000 แอมป์ และ 10,000 แอมป์ (±20%at 8/20 μSec.waveform)ทำงานโดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟ

3. ระบบสายดิน(GROUNDING SYSTEM)

3.1 กราวนด์ฟ้าผ่า (LIGHTNING GROUND)

3.1.1 เป็นแท่งกราวนด์เดี่ยว ที่ทำจากท่อเหล็กอาบสังกะสี (HOT DIP GALVAIZE) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว ฝังลึกลงไปในดิน โดยกำหนดค่าความต้านทานดิน มีค่าน้อยกว่า 0.5 โอห์ม ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่วัดเทียบกับ REMOTE EARTH เท่านั้น

3.1.2 เป็นแท่งกราวนด์ ที่ถูกเชื่อมต่อกับสาย DOWN LEAD เพียงเส้นเดียว และเป็นการเชื่อมต่อแบบ EXOTHERMIC

3.1.3 ติดตั้งบ่อพักคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป (HAND HOLE) พร้อมฝาปิด ณ หัวแท่งกราวนด์

3.2 กราวนด์ระบบ (SYSTEM GROUND)

3.2.1 เป็นแท่งกราวนด์เดี่ยว ที่ทำจากท่อเหล็กอาบสังกะสี (HOT DIP GALVANIZE) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว ฝังลึกลงไปในดิน โดยกำหนดค่าความต้านทานดิน มีค่าน้อยกว่า 0.5 โอห์ม ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่วัดเทียบกับ REMOTE EARTH เท่านั้น

3.2.2 เป็นแท่งกราวนด์ที่ถูกเชื่อมต่อกับ MASTER GROUND BAR (MGB) ด้วยสายทองแดงหุ้มฉนวนสีเขียวขนาด 120 มม.^{2}

3.2.3 MASTER GROUND BAR (MGB) เป็นแผ่นทองแดงชุบดีบุก มีขนาดเหมาะสม โดยกำหนดให้เป็นจุดรวมในการเชื่อมต่อกับองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบข่ายสายดินทั้งหมดกับแท่งกราวนด์ของกราวนด์ระบบนี้ (SYSTEM GROUND) โดยสายดินทุกเส้นจะมีป้ายชื่อระบุตำแหน่งที่มาของสายดินนั้น

3.2.4 การเชื่อมต่อสายดินทุกจุดเป็นแบบ EXOTHERMIC

3.2.5 ติดตั้งบ่อพักคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป (HAND HOLE) พร้อมฝาปิด ณ หัวแท่งกราวนด์

3.3 การวัดค่าความต้านทานดิน

ในขณะดำเนินการและหลังจากการดำเนินการเจาะฝังแท่งกราวนด์แล้วเสร็จ จะทำการวัดค่าความต้านทานดินด้วยเครื่องมือ EARTH TESTER ที่สามารถวัดค่าได้ละเอียดถึง 0.01 โอห์ม โดยมีขั้นตอนในการวัดดังต่อไปนี้

3.3.1 ขณะดำเนินการเจาะฝังแท่งกราวนด์จะทำการวัดค่าความต้านทานดิน และจดบันทึกไว้ทุก ๆระยะ 3 เมตร จนถึงความลึกที่ระบุไว้ในข้อกำหนดของงาน

3.3.2 หลังจากฝังแท่งกราวนด์แล้วเสร็จ จะทำการวัดและจดบันทึกไว้ โดยค่าความต้านทานที่วัดได้ จะทำเป็น GROUND PROFILE และให้ไว้กับทางสถานีฯ

หมายเหตุ

1. การเชื่อมต่อแท่งกราวนด์เพื่อให้ได้ความยาวที่ต้องการ จะเป็นการต่อโดยCOUPLING สำเร็จรูป จากนั้นเชื่อมปิดรอยต่อด้วยไฟฟ้าและทาทับด้วยสีกันสนิม

2. แท่งกราวนด์ในข้อ 3.1 และ 3.2 จะต้องอยู่ห่างกันให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และแยกออกจากกันทางไฟฟ้าโดยเด็ดขาด

ปัจจุบัน ทศท. พิจารณาใช้ท่อประปาเหล็กอาบสังกะสีทำหน้าที่เป็นแท่งหลักดิน ดังนี้

1. System rod (แท่งหลักดิน ระบบสื่อสารชุมสาย)

2. Lightning rod (แท่งหลักดิน ฟ้าผ่า)

3. แท่งหลักดินในระบบต่อลงดิน แบบ Remote earth ใช้เป็นท่อขนาด$Ø \geq 1$ นิ้ว

4. ท่อประปามีความยาวท่อนละ 6 เมตร จึงมีการต่อท่อด้วย ข้อต่อ และเชื่อมติดด้วยไฟฟ้า แล้วทาสีกันสนิมรอบจุดต่อเชื่อม

5. ท่อประปาเหล็กที่ใช้เป็นตามมาตรฐาน มอก. 276 (ข้อ3.2) ท่อเหล็กสีน้ำเงิน

6. การอาบสังกะสีเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 277 หรือดีกว่า

7. ประเมินอายุแท่งหลักดินในพื้นที่เนื้อดินทั่วไป สามารถใช้ได้นาน 5-8 ปี หากเป็นพื้นที่ดินเค็มและมีความเป็นกรดด่างสูงประเมินอายุไว้นาน 4-5 ปี เป็นเบื้องต้น

การซิลด์บ่อกราวนด์

ผิวแท่งหลักดินต้องมีผิวสัมผัสกับดินอย่างแนบชิด ตลอดความยาวจากโคนจนถึงส่วนปลายหลักดิน การนำแท่งหลักดินใส่ลงในบ่อกราวนด์ ทำให้เกิดมีช่องว่างอากาศระหว่างแท่งหลักดินกับผนังบ่อกราวนด์ เราจะต้องอุดช่องว่างดังกล่าวให้เต็มตลอดความยาวหลักดิน ด้วยการซิลด์บ่อกราวนด์

1. สารซิลด์ บ่อกราวนด์ใช้โคลนดินเหนียวผสมเบนโทรไนท์

2. อัตราส่วนการผสมโดยปริมาตร 1:1

3. กรอกลงในบ่อกราวนด์ให้เต็ม

4. จุดประสงค์ที่ผสมเบนโทรไนท์ เพื่อต้องการให้ดินเหนียวในบ่อกราวนด์เกิดความชื้นสูง

5. กว่าดินผนังบ่อรอบ ๆ ซึ่งช่วยให้มีความนำไฟฟ้าได้สูงขึ้น ระหว่างผิวแท่งหลักดินกับดินผนังบ่อ

6. ต้องซิลด์บ่อกราวนด์ทันทีหลังติดตั้งแท่งหลักดิน

<u>เครื่องวัดฟ้าผ่า</u>

<u>บทนำ</u>

เครื่องวัดฟ้าผ่า (Lightning counter) ทำหน้าที่บอกขนาดกระแสฟ้าผ่า และจำนวนครั้งฟ้าผ่า โดยเครื่องมือเจาะรูไว้สำหรับร้อยสายนำลงดิน (Down Leader) และจะตรวยวัดปริมาณกระแสฟ้าผ่าที่ไหลผ่านสายนำลงดินโดยหลักการ Magnetic Coupling และจะแสดงผลการวัดด้วยการวัด (Count) เป็นจำนวนครั้ง โดยมีย่านการวัดค่าความรุนแรง
กระแสฟ้าผ่าได้ 3 ระดับ คือย่านวัด 10k,50k,100k

<u>จุดประสงค์/ประโยชน์ของเครื่องวัดฟ้าผ่าที่ออกแบบ</u>

เครื่องวัดฟ้าผ่าที่ออกแบบมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อต้องการรู้ระดับความรุนแรงของกระแสฟ้าผ่าด้วยการปฏิบัติโดยตรง (ไม่ใช้คาดการณ์) เพื่อนำกำหนดพิกัดของการป้องกันให้เพียงพอและสอดคล้องกับสภาพเป็นจริง

2. แบ่งย่านการวัดกระแสฟ้าผ่าเป็น 3 ย่านคือ 10k,50k,100k เพื่อให้เกิดความระเอียดของข้อมูล

3. เพื่อใช้ประเมินผล ระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ TOT ออกแบบใช้งาน

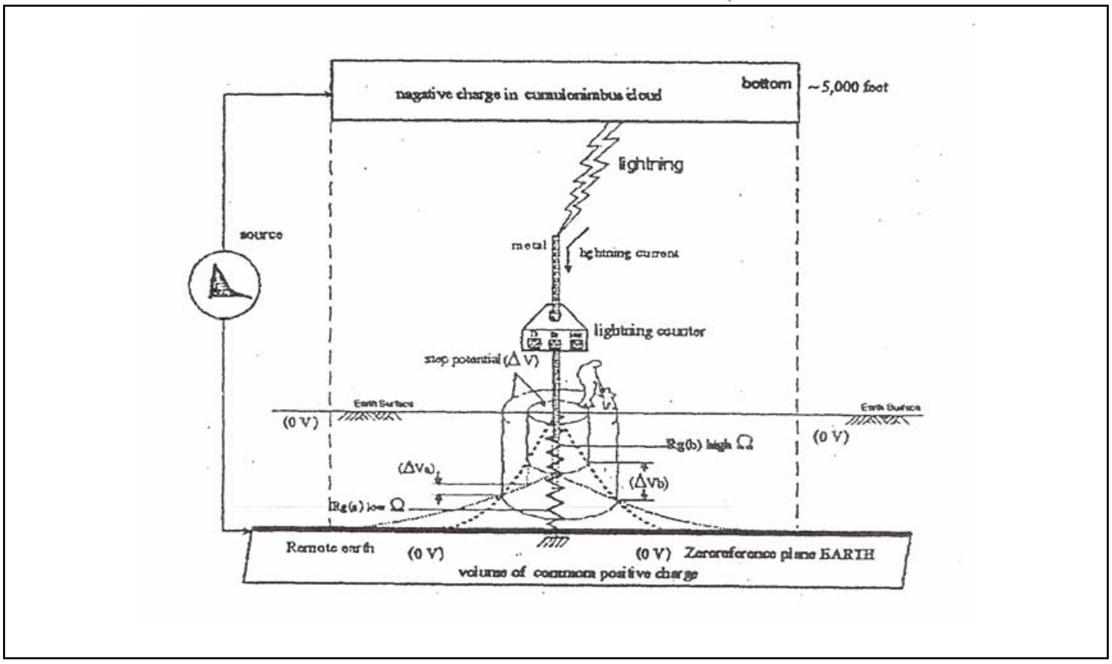
4. เครื่องวัดเป็นแบบ Passive เพื่อสะดวกในการใช้งาน และลดปัญหาในการซ่อมบำรุง

5. เครื่องวัดใช้การปรับเทียบกับเสิร์จฟ้าผ่าแบบ Standard wave form 10/350µS. ตาม International recommended

6. ความผิดพลาดของเครื่องวัด± 20%ของแต่ละย่านวัด

<u>ลักษณะการติดตั้งใช้งาน</u>

ติดตั้งโดยการร้อยสายนำลงดินผ่านเครื่องวัด เพื่อให้กระแสฟ้าผ่าที่ไหลในสายนำลงดินได้ไหลผ่านเครื่องวัดทั้งหมด วงจรการติดตั้ง เป็นดังนี้



<u>ภาพที่ 52</u> การติดตั้งใช้งานเครื่องวัดฟ้าผ่าที่ TOT ออกแบบ

<u>ตัวอย่างผลการใช้งาน</u>

LIGHTNING CURRENT COUNTER

<u>ภาพที่ 53</u> เครื่องวัดฟ้าผ่าที่ติดตั้งที่ สถานีโทรคมนาคม

<u>หมายเหตุ</u> 1. เครื่องวัดฟ้าผ่าเครื่องนี้ใช้งานร่วมกับระบบป้องกันฟ้าผ่า และระบบต่อลงดินตามที่ TOT ออกแบบสถานีโทรคมนาคมติดตั้งใช้งาน

2. ผลการทำงานของเครื่องวัดฟ้าผ่า ทำให้ทราบว่า ฟ้าผ่าครั้งนี้มีกระแสฟ้าผ่าประมาณเท่าไร โดยอุปกรณ์สื่อสารโทรคมนาคม TOT ไม่เสียหายทำงานได้เป็นปกติ

<u>อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี (AC line protector)</u>

ขีดความสามารถของอุปกรณ์ที่ TOT ต้องการ

อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี ในข้อกำหนดนี้หมายถึง อุปกรณ์ป้องกัน (Equipment) ที่สร้างขึ้นด้วยหลักการทางวิศวกรรม โดยการนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาสร้างและประกอบเป็นอุปกรณ์ป้องกัน (Equipment) มีขีดความสามารถดังที่ระบุไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งจะให้ขีดการป้องกันเสิร์จได้ 2 ลักษณะดังนี้

1. เสิร์จช่วงสั้น (Impulsive Surge) 10/350 μs.
2 เสิร์จช่วงยาว (SWELL) ที่เกิดจากธรรมชาติ และระบบไฟฟ้า 50 Hz

<u>ตารางที่ 4</u> ความสามารถ อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี

ความสามารถ	คุณสมบัติอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี
1. ความสามารถทั่วไป	Nominal Input Voltage pep phase (Line to Neutral) 230 v (rms)
	Frequency 50 Hz
	Temperature Range 0 to 60 C
	Cooling Natural Air
2. ความสามารถด้านการป้องกันเสิร์จ	STRATING VOLTAGE (ac) 250-275 V (rms)
	OPERATING VOLTAGE (dc) 320-350 V
	VARISTOR VOLTAGE (dc) 390-430 V
	LEAKAGE CURRENT ของอุปกรณ์ ≤ 5 mA.at AC Voltage 230 V (rms) (ไม่รวมค่ากระแสไฟฟ้าของระบบ ALARM)
	CONTINUOUS AC SURGE CURRENT 50 Hz > 10 A(rms) At 3 Sec with AC Voltage Test 300-600 V(rms)50Hz
	SURGE CURRENT (dc)>100KA at STANDARD WAVEFORM 10/350 μs Let Through Voltage (dc)<710 V(peak) ENERGY ABSORPTION CAPABILITY UP to 1,400 joule at STANDARD WAVEFORM 1/350 μs

<u>ตารางที่ 4</u> (ต่อ)

ความสามารถ	คุณสมบัติอุปกรณ์ป้อวกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี
	RESPONSE TIME < 25 nS.
	ALARMINDICATOR Show “NORMAL”or “FAULT”with Remote o/p Line
3. ความสามารถด้านฉนวน	ISOLATION RESISTANCE >100 MΩ at Test DC Voltage 100 V

<u>หมายเหตุ</u> 1. ขีดความสามารถอุปกรณ์ (ตารางที่2) กำหนดขึ้นเพื่อต้องการแก้ปัญหาความเสียหาย จากเสิร์จที่เกิดในสภาพแวดล้อมใช้งานจริง ขีดความสามารถของอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ

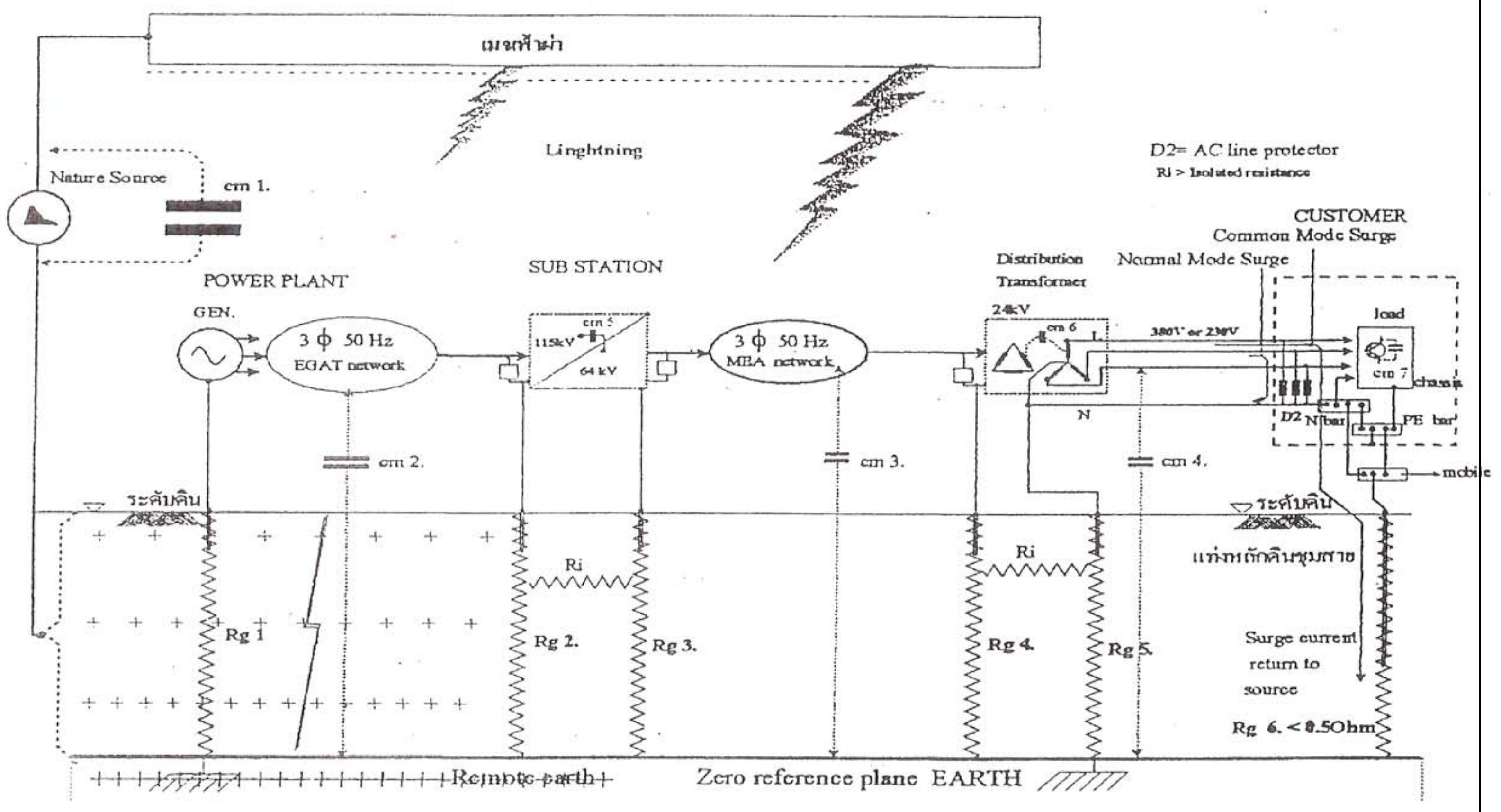
2. ไฟฟ้า เอซี ตารางที่2 นำมาจากหลักวิศวกรรมทุกข้อซึ่งได้ระบุไว้ใน IEEE C 62.41-1991 เป็นหลักเกณฑ์กำหนด

3. ช่วงเวลา 3 วินาทีได้จาก ค่าเฉลี่ยเวลาทำงานในการ Clear Fault ของ Recloser Switch ในระบบ Power Line

4. ข้อกำหนดนี้ไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ Filter เพิ่มเติม เนื่องจากได้ออกแบบการป้องกันความถี่ที่มากกว่า 50 Hz ไว้เป็นอย่างดีแล้วนอกจากนั้นการใส่ Filter เพิ่มเข้าไปอีกย่อมส่งผลกระทบต่อการเพิ่มโหลดในอนาคตด้วย

<u>วงจรใช้งานเพื่อป้องกันเสิร์จ</u>

อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี ทำหน้าที่ป้องกันเสิร์จที่จะเข้ามาทำความเสียหายต่อระบบอุปกรณ์สื่อสารของ TOT และอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี จะต้องต่อใช้งานร่วมกับระบบกราวนด์ แบบ REMOTE EARTH ด้วยจึงจะสามารถป้องกันเสิร์จที่เข้ามาทางวงจร Common Mode ได้ซึ่งในปัจจุบันสภาพความเสียหายอย่างรุนแรงที่เกิดกับ TOT เกิดจากปัญหาเสิร์จในวงจร Common Mode เป็นส่วนใหญ่



ภาพที่54 ปัญหาเสิร์จและการใช้งานอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี

<u>นิยาม ความสามารถ การป้องกัน/การใช้งาน</u>

อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี. ที่นำมาใช้งานต้องสามารถต่อใช้งานร่วมกับระบบไฟฟ้าและสภาพแวดล้อมของประเทศ ที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้ได้

<u>ความสามารถทั่วไป</u>

1. Norninal Input Voltage per phase (Line to Neutral) 230 V(rms.) หมายถึง สถาพแรงดันไฟฟ้าใช้งานปกติขนาด 230 V(rms.) ต่อเฟส

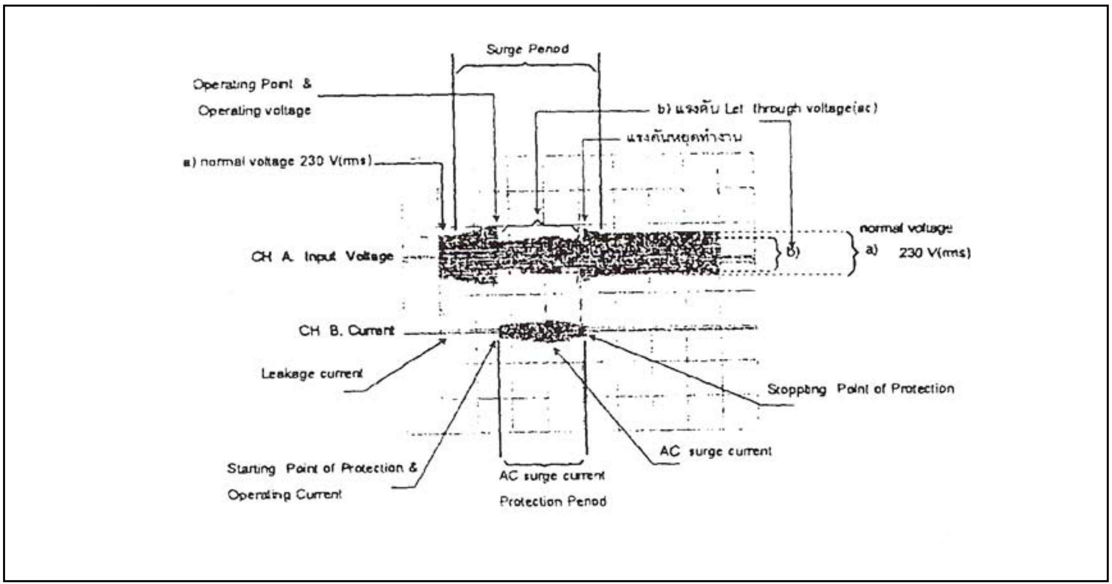
2. Frequency 50 Hz หมายถึง ขนาดความถี่ 50 Hz ในระบบไฟฟ้า

3. Temperature Range 0 to 60 C หมายถึง ขนาดความถี่ ย่านอุณหภูมิ 0 – 60 องศาเซลเซียส

4. Colling Natural Air หมายถึง ใช้บรรยากาศโดยรอบระบายความร้อน

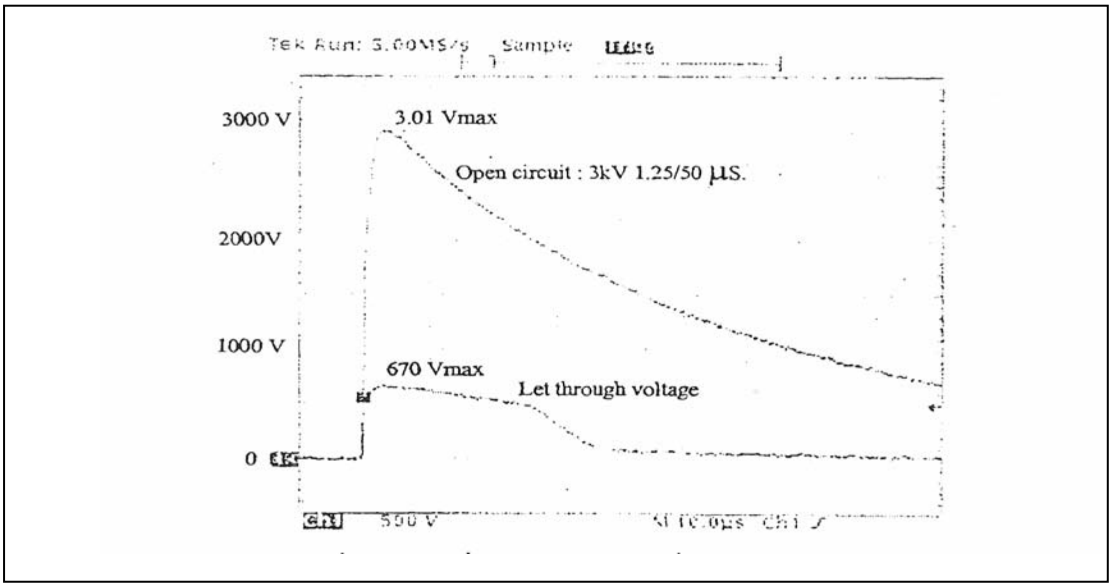
<u>ความสามารถ การป้องกันไฟฟ้า เอซี.</u>

สภาพการทำงานของ AC LINE PROTECTOR สามารถอธิบายได้ด้วยรูปคลื่นต่อไปนี้



ภาพที่ 55 รูปคลื่นของตัวป้องกันเมื่อทำงานทดสอบกับ สภาวะไฟฟ้าเอซี 50 Hz
(บน) สภาวะแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี.
(ล่าง) สภาวะกระแสไฟฟ้า ที่ไหลผ่าน อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี.

ความสามารถ การป้องกัน Impulsive Surge (เสิร์จฟ้าผ่า)



ภาพที่ 56 รูปคลื่นของตัวป้องกัน เมื่อทำการทดสอบสภาวะ Impulsive Surge หรือ เสิร์จฟ้าผ่า

อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี. ที่นำมาใช้งานต้องให้ประสิทธิภาพการป้องกันในหัวข้อต่างๆ ต่อไปนี้

1. Operating Voltage (ac) 250 – 275 V(rms.) หมายถึง ค่าแรงดันไฟฟ้า เอซี. ที่ AC LINE PROTECTOR เริ่มให้ขีดความสามารถการป้องกัน โดยตรวจสอบที่กระแสไหลผ่านตัวป้องกันตั้งแต่ 500 mA.(rms.) (ดูภาพ 55 ประกอบ)

2. Strating Voltage (dc) 320 – 350 V หมายถึง ค่าแรงดันไฟฟ้า ดีซี. ที่อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี. ให้ขีดความสามารถป้องกัน

3. Varistor Voltage (dc) หมายถึง ค่าแรงดันไฟฟ้า จุดเริ่มทำงานของ Protection Device บางตัว เช่น MOV ซึ่งนำมาใช้เป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งของ AC LINE PROTECTOR เพื่อทำให้ได้ขีดความสามารถตามตารางที่ 1.

4. LAKAGE CURRENT ของอุปกรณ์ $\leq$ 5 mA. at AC Voltage 230 V(rms.) หมายถึง เมื่อ AC LINE PROTECTOR ต่อใช้งานกับระบบไฟฟ้าปกติ 230 V(rms.) Protection Device ที่ประกอบสร้างอยู่ภายใน อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี. จะต้องไม่ทำงานซึ่ง(ในอุดมคติต้องไม่กินกระแสไฟฟ้าเลย) แต่เนื่องจาก Protection Device ต่างๆ ย่อมมีค่ากระแสรั่วไหล (Leakage) ได้และนอกจากนั้นแล้วหากว่า Protection Device เริ่มเสื่อมลงก็จะมีกระแสรั่วไหลเพิ่มมากขึ้นกว่าปกติได้ ทำให้ ทศท. ต้องจ่ายค่าไฟฟ้าสูงโดยไม่จำเป็น จากเทคโนโลยีปัจจุบันจึงกำหนดให้ อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี. มีค่ากระแสไฟฟ้ารั่วไหลได้ไม่เกิน 5 mA(rms.) โดยกระแสไฟฟ้าที่ระบุในหัวข้อนี้เป็นคนละส่วนกันกับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ ALARM ของอุปกรณ์

5. Continuous AC Surge Current 50 Hz > 10 A(rms.) หมายถึง อุปกรณ์ AC LINE PROTECTOR จะต้องมีความสามารถป้องกันและทนทานต่อ AC SURGE CURRENT ความถี่ 50 Hz ขนาดกระแสมากกว่า 10 A(rms.) ได้เป็นเวลานานกว่า 3 วินาที (ดูภาพ 55 ประกอบ)

6. Let Through Voltage (ac) < 320 V(rms.) at Test Current 10 – 15 A(rms.), 50 Hz หมายถึง ขณะที่อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี. สูงไม่เกิน 320 V(rms.) โดยกำหนดจากปริมาณกระแสเสิร์จขนาด 10 – 15 A(rms.) ที่ไหลผ่านตัวป้องกัน (ดูภาพ 55 ประกอบ)

<u>หมายเหตุ</u>

1. แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี. ก็คือแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม LOAD

2. ขณะที่แรงดันไฟฟ้า (L/N) หรือ (L,N / Earth) มีค่าสูงกว่า Strating Voltage อุปกรณ์ป้องกันจะเริ่มทำการป้องกัน

3. หากแรงดันตกคร่อมตัวป้องกัน หรือ Let through voltage (ac) สูงไม่เกิน 320 V(rms.) แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม LOAD ก็จะมีค่าไม่เกิน 320 V(rms.) ซึ่งทำให้ LOAD เกิดความปลอดภัยจากช่วงเวลาของเสิร์จได้

4. SURGE CURRENT (dc) kA at STANDARD WAVEFORM 10/350 µS หมายถึง อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี. ต้องมีความสามารถป้องกันเสิร์จช่วงสั้น (Impulsive Surge) ขนาดมากกว่า 100 kA ได้ โดยเสิร์จช่วงสั้นที่กล่าวคือ เสิร์จลักษณะเวฟฟอร์มแบบ DC STANDARD 10/350 µS

5. Let Through Voltage (dc) < 710 V(peak) at Test Current 1 – 3 kA (10/350 µS) หมายถึง ขณะที่ อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี. ทำงานภายใต้แรงดันเสิร์จแบบ DC STANDARD จะต้องมีแรงดันตกคร่อมสูงไม่เกิน 710 V(peak)

6. ENERGY ABSORPTION CAPABILITY Up to 1,400 หมายถึง อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี. จะต้องสามารถป้องกันและรองรับพลังงานสำหรับเสิร์จแบบ STANDARD WAVEFORM 10/350 µSec ได้มากถึง 1,400 Joule

7. RESPONSE TIME < 25 nS. หมายถึง อุปกรณ์ อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไฟฟ้า เอซี. จะต้องมีความไวในการทำงานเร็วกว่า 25 nS.

8. ALARM INDICATOR Show “NORMAL” or “FAULT” with Remote o/p Line หมายถึง AC PROTECTOR จะต้องมีส่วนการแสดงผล (Indication) ให้ผู้ใช้งานทราบว่าอุปกรณ์ป้องกันยังมีความสามารถ “ทำงานได้” และการบอกให้ผู้ใช้งานทราบว่าอุปกรณ์ป้องกัน “ชำรุด” ไปแล้ว

ภาพที่ 57 AC Surge ที่ติดตั้งใช้งานที่สถานีโทรคมนาคม แบบที่1

ภาพที่ 58 AC Surge ที่ติดตั้งใช้งานที่สถานีโทรคมนาคม แบบที่2

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (Protector) ซึ่งมีขีดความสามารถดังนี้
    1.1 ป้องกันแรงดันเสิร์จฟ้าผ่า (Impulse Surge Voltage)
    1.2 ป้องกันแรงดันเสิร์จไฟฟ้ากระแสสลับสูงเกินชั่วขณะ (AC 50 Hz Over Voltage)

2. แท่งหลักดินฟ้าผ่า (Lightning rod แบบ Single rod)โดยใช้ค่าความต้านทานต่อลงดินอ้างอิง Remote Earth (Rg) < 0.5 ohm

3. แท่งหลักดินชุมสาย (System rod)แบบ Single rod โดยใช้ค่าความต้านทานต่อลงดินอ้างอิง Remote Earth (Rg) < 0.5 ohm

4. เครื่องวัดกระแสฟ้าผ่า(COUNTER)

<u>หมายเหตุ</u> รายละเอียดวิธีปฏิบัติการด้านระบบต่อลงดินป้องกันชุมสายและระบบต่อลงดินป้องกันฟ้าผ่าได้ในภาคผนวก

วิธีการ

แผนวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์วงจรกระแสฟ้าผ่าเพื่อนำกระแสฟ้าผ่าให้พ้นจากระบบสื่อสารโทรศัพท์และระบบไฟไปยังศูนย์รวมความนำไฟฟ้าของดิน (Remote earth or zero reference Plane Earth)

    1.1 เพื่อทำการศึกษาการสลายพลังงานฟ้าผ่าได้อย่างรวดเร็ว

    1.2 เพื่อศึกษาการควบคุมการเกิดศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมดินให้น้อยที่สุด

2. ศึกษาและวิเคราะห์การลดระดับสัญญาณรบกวน และลดความต่างศักย์ไฟฟ้าการต่อลงดินของอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ ในอาคารชุมสายที่กระทำกับศูนย์รวมความนำไฟฟ้าของดิน (Remote Earth or zero reference Plane Earth)

3. ศึกษาและวิเคราะห์ผลของ AC Line Protector ที่ทำนำมาติดตั้งที่ Power line ที่ทำหน้าที่เสริมการป้องกันเสิร์จของระบบสื่อสาร

4. ศึกษาและวิเคราะห์ของการติดตั้งใช้งานจริงแล้ว โดยมีจำนวนสถานีโทรคมนาคมและชุมสายโทรศัพท์ ทศท. ที่ติดตั้งป้องกันและวัดฟ้าผ่าจำนวนทั้งสิ้น 180 สถานี โดยนำข้อมูลจากฝ่ายวิจัยและพัฒนาเทคนิค (วพ.) องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (จ.ปทุมธานี) ที่เก็บข้อมูลรวบรวมผลการใช้งานตั้งแต่ 2538 – 2548

5. การศึกษาการจำลองโมเดลการติดตั้งระบบป้องกันและจำกัดฟ้าผ่าขององค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ในจุดที่ต้องศึกษาเพื่อดูลักษณะการทำงานต่างๆ ของระบบป้องกันและจำกัดฟ้าผ่า

<u>เทคนิคการปฏิบัติงานติดตั้ง</u>

<u>ระบบต่อลงดิน</u>

1. การติดตั้งแท่งหลักดินชุมสาย (Terminated system rod) มีรายละเอียดดังนี้

1.1 แท่งหลักดินชุมสาย มีลักษณะเป็นหลักดินแบบ Single rod ต้องมีความลึกตามข้อกำหนด และมีค่าความต้านทานของแท่นหลักดินน้อยกว่า 0.5 โอห์ม โดยค่าความต้านทานนี้เป็นค่าความต้านทานที่วัดเทียบกับ Remote Earth เท่านั้น ดังนี้

1.1.1 ความลึกของแท่นหลักดินชุมสาย ผู้รับจ้างต้องคำนวณราคาเฉลี่ยของการเจาะฝังแท่งหลักดินชุมสายที่ระยะความลึก 100 เมตร และแจ้งราคาการเจาะฝังหลักดิน/เมตร ให้องค์การโทรศัพท์ทราบด้วย

1.1.2 ความลึกการเจาะฝังแท่งหลักดินชุมสาย จะสิ้นสุดได้ก่อนถึงระยะความลึก 100 เมตร ก็ต่อเมื่อเจ้าหน้าที่ขององค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ที่ได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบในการนี้ ทำการวัดค่าความต้านทานการต่อลงดินได้ค่าน้อยกว่า 0.5 โอห์ม

1.1.3 หากว่าเจาะฝังระยะความลึก 100 เมตร ความต้านทานแท่งหลักดินชุมสาย ยังไม่ต่ำกว่า 0.5 โอห์ม ให้สิ้นสุดการเจาะฝังหลักดินที่ระดับความลึก 100 เมตร

1.2 ขณะทำการเจาะฝัง แท่งหลักดินชุมสาย หากจำเป็นต้องดำเนินการตีปลอกสวมรูเจาะเพื่อกันผนังบ่อเจาะทะลาย ปลอกสวมที่ใช้สวมลงในรูเจาะต้องเป็นปลอกสวมที่ทำจากโลหะนำไฟฟ้าเท่านั้น และจะต้องถอนปลอกสวมโลหะนี้ออกทันที เมื่อสอดแท่งหลักดินชุมสายลงในรูเจาะเรียบร้อยแล้ว

1.3 วัสดุสร้างแท่งหลักดินชุมสาย ให้ใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสี (ท่อประปา) ขนาด Ø ไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว โดยประเภทท่อเหล็กที่ใช้ต้องเป็นท่อเหล็กชนิดสีน้ำเงิน เป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนด ม.อ.ก. 276 (ข้อ 3.2) และการอาบสังกระสีของท่อเหล็กให้เป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนด ม.อ.ก. 277 หรือดีกว่า

1.4 การต่อระหว่างท่อน เพื่อการยาวเพิ่มความยาวแท่งหลักดิน ทำโดยการใช้ Coupling สำเร็จรูปแบบเกลียว ขันยึดให้ท่อแต่ละด้านใน Coupling แนบสนิทกัน จากนั้นเชื่อมด้วยไฟฟ้าและทาสีกันสนิมปิดรอยเชื่อม (รายละเอียดระบุไว้ในแบบ)

1.5 การปักฝังแท่งหลักดินชุมสาย ต้องมีระยะฝังห่างจากแท่งหลักดินฟ้าผ่าอย่างน้อย 10 เมตร แต่ถ้าพื้นที่ใช้งานมีขีดจำกัด ที่ไม่สามารถดำเนินการเป็นไปตามที่กำหนดได้ ให้เจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบพิจารณาระยะห่างของแท่นหลักดิน ไปตามความเหมาะสมได้

1.6 แท่งหลักดินชุมสาย ให้ใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสีความยาวท่อไม่น้อยกว่า 6 เมตร/ท่อน

2. ตำแหน่งการเจาะฝังแท่งหลักดินชุมสาย เพื่อสร้างบ่อกราวนด์ชุมสาย (Exchange handhole)

2.1 บ่อกราวนด์ชุมสาย ให้กระทำ ณ บริเวณด้านหลังอาคาร ในตำแหน่ง 4 หรือ 6 ตามแบบที่กำหนดการเลือกตำแหน่ง 5 หรือ 6 ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ด้านหลังอาคารสถานีโทรคมนาคมหรือ ชุมสายโทรศัพท์ แต่ต้องเลือก ตำแหน่งเจาะฝังเพียงตำแหน่งเดียว (รายละเอียดระบุไว้ในแบบ)

2.2 ตำแหน่งที่เจาะฝังแท่งหลักดิน ของบ่อกราวนด์ชุมสายโทรศัพท์ ต้องได้รับความเห็นชอบจาก เจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบสถานีโทรคมนาคมหรือชุมสายโทรศัพท์ก่อน และให้มีความลึกของแท่งหลักดินชุมสายโทรศัพท์ เป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อ 1.1

3. สายต่อลงดินที่ต่อเข้ากับ แท่งหลักดินชุมสาย (Terminated System rod) ให้ใช้สายทองแดงขนาด 120 sq. mm. หุ้มฉนวน PVC สีเขียว ทนแรงดันไฟฟ้า 750 V (รายละเอียดระบุไว้ในแบบ)

3.1 ต่อเชื่อมสายต่อลงดิน เข้ากับแท่งหลักดินชุมสายโดยตรง โดยใช้วิธีการ ต่อเชื่อมแบบ Exothermic welding

3.2 เดินสายต่อลงดิน ด้วยการฝังดินให้ลึกจากระดับผิวดินเดิมไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร โดยนำปลายสายไปเชื่อมกับแผ่น Lug 2 รู เพื่อใช้ต่อยึดกับแผ่น O.C.G.B. ต่อไป

3.3 ใช้ Bolts และ Nuts ซึ่งทำจากโลหะไร้สนิม (Stainless steel) ขันยึดระหว่าง Lug กับ แผ่น O.C.G.B. ให้แน่น

4. การทำระบบ Ground ring รอบฐานเสาอากาศ (รายละเอียดต่างๆระบุไว้ในแบบ)

4.1 ฝังแท่งหลักดิน (Rod) ซึ่งเป็นแท่งเหล็กอาบสังกะสีขนาด Ø 5/8 นิ้ว ยาวไม่น้อยกว่า 3 เมตร โดยการตอกหรือเจาะฝังทั้ง 4 มุม ของฐานเสาอากาศ (Tower) ตามที่ระบุในแบบ

4.2 ฝังสาย Ground ring ด้วยสายทองแดงเปลือยขนาด 120 SQ.MM. โดยรอบฐานเสาอากาศตามที่ระบุในแบบ โดยต้องฝังสายให้ลึกจากระดับผิวดินเดิม ไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร

4.3 เชื่อมต่อระหว่างสาย Ground ring กับแท่งหลักดิน Rod หรือจุดต่ออื่นใดบนระบบสาย Ground ring ทุกจุดให้ใช้วิธีการเชื่อมต่อแบบ Exothermic ผังตำแหน่งปฏิบัติและจุดต่อเชื่อมสาย Ground ring กระทำตามแบบที่ได้กำหนดแสดงไว้

5. การต่อสายจากฐานเสาอากาศ ไปยังระบบ Ground ring (มีรายละเอียดระบุไว้ในแบบ)

5.1 สำหรับเสาอากาศแบบ Self support (ดูแบบประกอบ)

5.1.1 ใช้สายทองแดงเปลือยขนาด 120 SQ.MM. เชื่อมติดกับ Lug แบบ 2 รู ทำด้วยแผ่นทองแดงเรียบชุบดีบุก ขนาดตามที่ระบุในแบบ จำนวน 4 ชุด เพื่อนำไปต่อยึดด้วย Bolts และ Nuts ที่ขาเสาอากาศทั้ง 4 ขา ต่อไป <u>ห้ามเจาะรูฐานเสาอากาศโดยเด็ดขาด</u>

5.1.2 ก่อนขันยึด Lug เข้ากับฐานเสาอากาศต้องทำความสะอาดหน้าสัมผัสระหว่าง Lug กับฐานเสาอากาศเสียก่อน จากนั้นนำปลายสายอีกด้านหนึ่ง เชื่อมติดกับหัวแท่งหลักดิน (Rod) โดยปฏิบัติตามแบบที่กำหนดไว้จนครบถ้วน

5.1.3 การเชื่อมต่อทุกจุดให้ใช้วิธีการเชื่อมแบบ Exothermic และ ให้ทาสีกันสนิมที่รอยเชื่อมและจุดต่อทั้งหมด

5.1.4 หลังจากขันยึด Lug เข้ากับฐานเสาอากาศทั้ง 4 ขาจนแนบสนิทแล้วให้ทาสีกันสนิมคลุมทับด้วย

5.2 สำหรับเสาอากาศแบบ Guy Mast (ดูแบบประกอบ)

5.2.1 ใช้สายทองแดงเปลือยขนาด 120 SQ.MM. เชื่อมติดกับ Lug กับ 2 รูทำด้วยแผ่นทองแดงเรียบ ชุบดีบุก ขนาดตามที่ระบุในแบบ จำนวน 1 ชุด หรือ 2 ชุด หรือ 4 ชุด (ขึ้นอยู่กับว่าฐานเสาอากาศเดิมว่ามีจุดต่อลงดินกี่จุด) เพื่อนำไปขันยึดกับฐานเสาอากาศต่อไป <u>ห้ามเจาะรูฐานเสาอากาศโดยเด็ดขาด</u>

5.2.2 ก่อนขันยึด Lug เข้ากับฐานเสาอากาศ ต้องทำความสะอาดหน้าสัมผัสระหว่าง Lug กับฐานเสาอากาศให้สะอาดเสียก่อน

5.2.3 นำ Lug ไปขันด้วย Bolts และ Nuts กับเสาอากาศส่วนปลายทั้งสองข้างของสาย Ground ring ที่มาบรรจบกันนั้นให้เชื่อมติดกัน

5.2.4 การเชื่อมต่อทุกจุด ให้ใช้วิธีเชื่อมแบบ Exothermic และให้ทาสีกันสนิมที่รอยเชื่อม และจุดต่อยึดด้วย

5.2.5 หลังจากขันยึด Lug เข้ากับฐานเสาอากาศทั้ง 4 ขาจนแนบสนิทแล้ว ให้ทาสีกันสนิมคลุมทับด้วย

6. การตัดถ่ายสายต่อลงดินเดิม (ดูแบบประกอบ)

6.1 การตัดถ่ายสายลงดินเดิมภายนอกอาคาร

6.1.1 ตัดสายต่อลงดินของเดิมที่เดินไว้(ตามแบบที่แนะนำไว้)ให้ขาดออกจากกัน

6.1.2 แยกปลายสายที่ตัดขาดให้อยู่ห่างกันไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร

6.2 การตัดถ่ายสายต่อลงดินเดิมภายในอาคาร

6.2.1 ให้ปลดสายต่อลงดินของเดิมที่เคยต่อเข้ากับ Ground bar เดิม ภายในห้องการกำลังออก

6.2.2 ให้ปลดสายต่อลงดินของเดิมที่เคยต่อเข้ากับ Ground bar เดิม ภายในห้องวิทยุออก

7. การปฏิบัติในห้องการกำลัง (ดูแบบประกอบ)

7.1 ติดตั้งแผ่น G.W.B. (power room) ทำจากแผ่นทองแดงเรียบชุบดีบุก ตามที่ระบุในแบบ

7.2 ใช้ Lug แบบ 2 รูแบบเชื่อม Exothermic สำหรับต่อเข้ากับสายต่อลงดินแบบสายทองแดงขนาด 120 SQ.MM. มีฉนวนไฟฟ้าทนแรงดัน 750 V สีเขียว เพื่อเชื่อมต่อวงจรลงดินระหว่าง G.W.B. ไปยัง O.C.G.B.

7.3 ให้เดินสายทองแดงขนาด 120 SQ.MM. หุ้มฉนวนทนแรงดัน 750 V สีเขียวจาก Neutral bar ของตู้ Main switch supply ไปยังแผ่น O.C.G.B.

7.4 ให้เดินสายทองแดงขนาด 35 SQ.MM. หุ้มฉนวนทนแรงดัน 750 V สีเขียวจาก PE bar ของตู้ Main switch supply ไปยังแผ่น G.W.B. (power room) และเดินสายต่อระหว่าง PE bar เข้ากับ N bar ด้วย

7.5 ให้เดินสายลงดินจากอุปกรณ์ทั้งหมดที่มีในห้องการกำลัง ไปต่อลงดินที่แผ่น G.W.B. (power room) ที่ติดตั้งใหม่และให้เดินสายลงดินจากถังน้ำมันมาที่ G.W.B. ด้วย

8. การปฏิบัติในห้องวิทยุ (ดูแบบประกอบ)

8.1 ติดตั้งแผ่น G.W.B. (radio room) ทำจากแผ่นทองแดงเรียบชุบดีบุกตามที่ระบุในแบบ

8.2 ใช้ Lug แบบ 2 รู แบบเชื่อม Exothermic สำหรับต่อเข้ากับสายต่อลงดินแบบสายทองแดงขนาด 120 SQ.MM. มีฉนวนไฟฟ้าทนแรงดัน 750 V สีเขียว เพื่อเชื่อมต่อวงจรลงดินระหว่าง G.W.B. ไปยัง O.C.G.B.

8.3 ให้เดินสายลงดินจากอุปกรณ์ทั้งหมดที่มีในห้องวิทยุไปต่อลงดินที่แผ่น G.W.B. (power room) ที่ติดตั้งใหม่

9. การติดตั้งแผ่น O.C.G.B. ภายนอกอาคาร (ดูแบบประกอบ)

9.1 แผ่น O.C.G.B. ทำจากแผ่นทองแดงเรียบชุบดีบุก

9.2 ติดตั้งที่ ด้านหลังภายนอกอาคารเพื่อเป็นจุดการต่อร่วมสายลงดินทั้งหมดของระบบ (Bonding together system) ดูแบบประกอบ

9.3 สายต่อลงดินที่เดินมาลงดินที่ O.C.G.B. ต้องเป็นสายทองแดงขนาด 120 SQ.MM. หุ้มฉนวนทนแรงดันไฟฟ้า 750 V สีเขียว ตามที่ระบุในแบบ โดยใช้ร่วมกับ Lug 2 รู เชื่อมแบบ Exothermic ดูแบบประกอบ

9.4 สายต่อลงดินในส่วนต่างๆ ที่ต้องต่อเชื่อมวงจรเข้ากับ O.C.G.B. ดังนี้

9.4.1 ระบบสาย Ground ring ของฐานเสาอากาศ

9.4.2 G.W.B. (power room)

9.4.3 Neutral bar จาก Main switch supply ในห้องการกำลัง

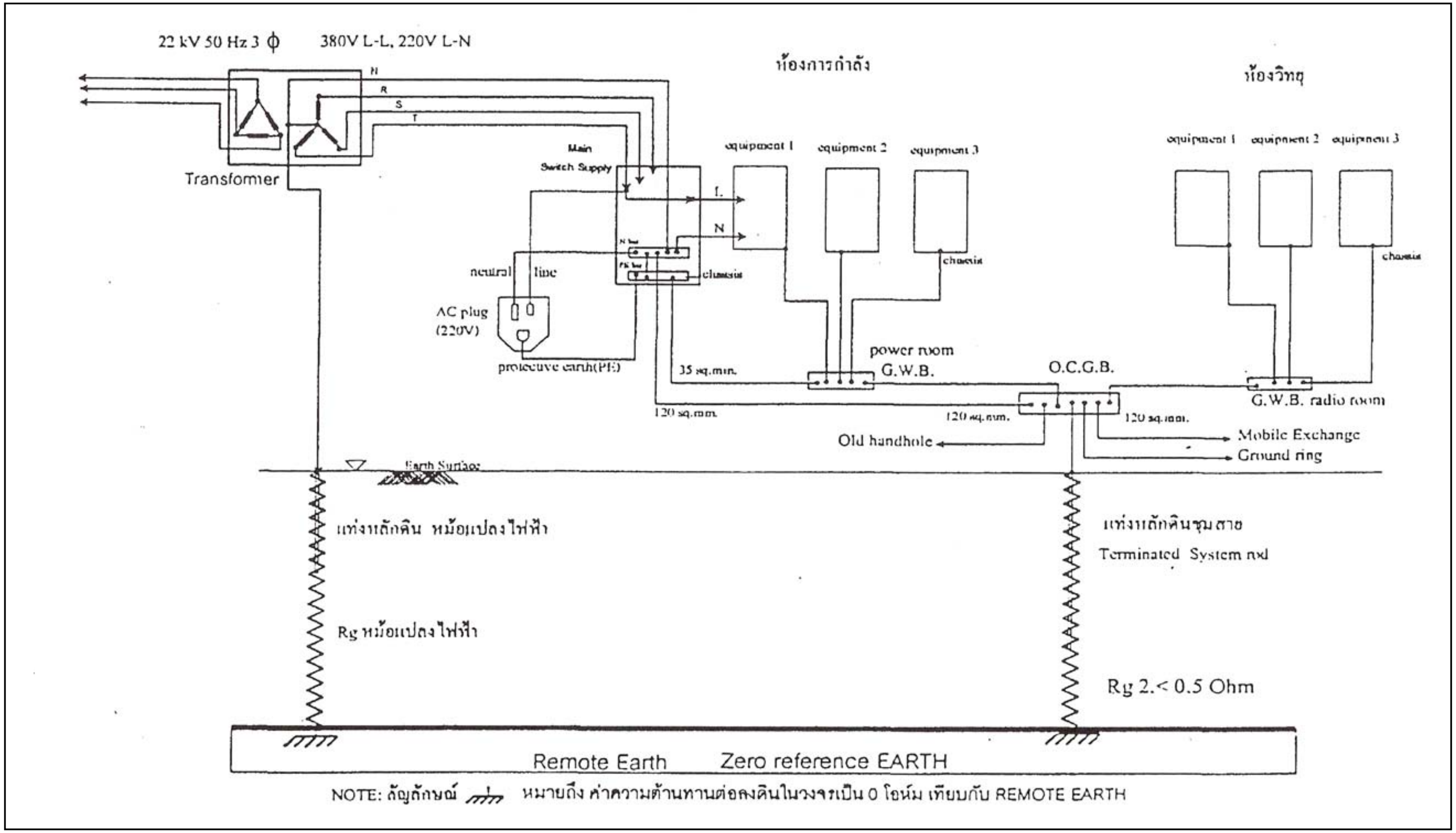
9.4.4 แท่งหลักดินชุมสาย (Terminated System rod)

9.4.5 G.W.B. (radio room)

9.4.6 PE Ground bar จากตู้ Mobile Exchange 1.

9.4.7 PE Ground bar จากตู้ Mobile Exchange 2. (ถ้ามี Mobile Exchange 2 หรือ 3….)

9.4.8 บ่อ Hand hole ของเดิมที่เคยมี



ภาพที่ 59 วงจรเดินสายต่อลงดินของอาคารชุมสายที่ต่อเข้า O.C.G.B

10. การทำป้าย หรือชื่อสายบนสายต่อลงดิน ที่ O.C.G.B. (ดูรายละเอียดในแบบ)

10.1 ให้ติดป้ายชื่อ หรือ ชื่อสายต่อลงดิน บนสายต่อลงดินที่นำมาต่อเข้ากับแผ่น O.C.G.B. ตามที่ระบุด้วย ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการดูแลบำรุงรักษา และเพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบระบบต่อลงดิน เมื่อใช้งานเป็นเวลานานๆ

10.2 อนุญาตให้ทำป้ายชื่อสายโดยการใช้เครื่องปั๊มความร้อน ปั๊มชื่อสายต่อลงดินต่างๆ ลงบนฉนวนหุ้มสายโดยตรงได้

10.3 อนุญาตให้ทำป้ายชื่อสายโดยปั๊มชื่อบนแผ่น stainless แล้วนำมามัดติดกับสายต่อลงดิน โดยรัดให้แน่นด้วยแถบ stainless เท่านั้น ห้ามรัดด้วยสายรัดพลาสติกเพราะอายุการใช้งานไม่ทนทาน

10.4 ไม่อนุญาตให้ใช้ วิธีการปั๊มชื่อสายลงดินลงบนแผ่นพลาสติกแล้วนำมาแปะติดกับสายต่อลงดินเพราะอายุการใช้งานของแผ่นป้ายจะสั้นและชำรุดได้ง่าย

10.5 ไม่อนุญาตให้ใช้ การปั๊มชื่อสายลงดินลงบนแผ่นพลาสติกแล้วใช้สายรัดพลาสติกมารัดกับสายต่อลงดิน เพราะอายุการใช้งานจะสั้นและชำรุดได้ง่าย

11. การซิลด์บ่อกราวนด์ ให้ซิลด์ช่องว่างระหว่างผนังบ่อกับแท่งหลักดินชุมสายให้เต็มด้วยการใช้ Bentonize ผสมกับโคลนดินเหนียว ในอัตราส่วน 20 : 80 เปอร์เซ็นต์ จนได้ระดับเสมอกับผิวดิน เพื่อให้เกิดผิวสัมผัสของแท่งหลักดินกับเนื้อดินโดยสมบูรณ์ และเก็บความชื้นรอบผิวแท่งหลักดินไว้ได้เป็นเวลานาน

12. ให้ยึดสายต่อลงดินซึ่งเดินที่ผนังภายในอาคาร Clamp รัดสายพลาสติก โดยระยะห่างระหว่าง Clamp ต้องไม่มากกว่า 40 เซนติเมตร

13. ขนาดปาก บ่อกราวนด์ชุมสาย (Exchange Hand hole) ให้ใช้บ่อสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 0.50X0.50X0.40 ม. ความหนาประมาณ 5 เซนติเมตร สร้างเป็นกรอบปากบ่อ เมื่อปิดฝาบ่อต้องได้ระดับเสมอกับพื้นดิน และฝาปิดปากบ่อเป็นแผ่นเหล็กอาบสังกะสีหนาไม่น้อยกว่า 1/4 นิ้ว พร้อมหูหิ้ว และทาสีกันสนิมด้วย

14. ขณะดำเนินการเจาะฝังแท่งหลักดิน และเมื่อปักฝังแท่งหลักดินเสร็จแล้ว ให้วัดค่าความต้านทานของแท่งหลักดิน ด้วยเครื่องมือวัดความต้านทานดิน (Earth Tester) แบบเข็ม ที่สามารถวัด Soil Resistivity ได้ ดังต่อไปนี้ คือ

14.1 ขณะดำเนินการเจาะฝังให้วัดค่าความต้านทานของแท่งหลักดินชุมสาย โดยทำการจดบันทึกค่าไว้ทุกๆ ระยะ 2 หรือ 3 เมตร หรือ ขึ้นอยู่กับระยะก้านเจาะ กระทำไปจนถึงค่าความลึกสุดท้ายของการเจาะฝังแท่งหลักดินชุมสาย

14.2 หลังจากปักฝังแท่งหลักดินชุมสาย และได้ทำการซิลด์บ่อกราวนด์เรียบร้อยครบถ้วนแล้ว ให้ตรวจวัดค่าความต้านทานต่อลงดินของแท่งหลักดินชุมสายสุดท้ายนี้อีกครั้งพร้อมทั้งบันทึกค่าความต้านทานครั้งสุดท้ายนี้ไว้ โดยห้ามลืมเด็ดขาด

14.3 ให้วัดค่าความต้านทานของระบบต่อลงดินรวมทั้งหมด และบันทึกไว้

15. รายงานผลต่อความต้านทานการต่อลงดินที่บันทึกไว้ทั้งหมด ให้กับหัวหน้าแผนกไฟฟ้าและการกำลังผู้รับผิดชอบ เพื่อเก็บบันทึกเป็นประวัติการทำ Grounding สำหรับชุมสายนั้นเพื่อประโยชน์ในภายหน้าต่อไป

<u>ระบบอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า</u>

1. ติดตั้งชุด อุปกรณ์ Air Terminal บนยอดเสาอากาศ โดยติดตามตำแหน่งที่ระบุในแบบ และรายละเอียดต่างๆ ของชุดอุปกรณ์ Air Terminal ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ (รายละเอียดระบุไว้ในแบบ)

1.1 ส่วนยอด Air Terminal ทำด้วยทองแดงชุบดีบุก หรือ ทองเหลืองชุบดีบุก หรือแบบอื่นที่ดีกว่า

1.2 ตัวก้านต่อ ระหว่างส่วนยอด Air Terminal กับ สายนำลงดิน (Down Leader) ตัวก้านต่อนี้ทำด้วยทองแดงชุบดีบุก หรือทองแดงชุบดีบุก

1.3 Isolation booting, ลูกถ้วยเซรามิค

1.4 ปลอกสวม Air Terminal เป็นท่อเหล็กอาบสังกะสีขนาด Ø ไม่น้อยกว่า 2 นิ้ว ความหนาไม่น้อยกว่า 3 มม. ความยาวไม่น้อยกว่า 4 เมตร และทาสีกันสนิม

2. ให้ตัดแท่ง Air Terminal ของเดิม โดยตัดที่ระยะ 1.50 เมตร เหนือ Tower แล้วนำ ชุดอุปกรณ์ Air Terminal ของใหม่ ข้อ 1) รัดกับของเดิม U – Clamp ชนิดโลหะไร้สนิม (Stainless steel) จำนวน 3 ตัว โดยให้ส่วนปลายยอด Air Terminal ที่ติดตั้งใหม่อยู่สูงที่สุดกว่าอุปกรณ์อื่นใดบนยอดเสา Tower (ดูแบบประกอบ)

3. สายนำลงดิน (Down Leader) ใช้สายทองแดงขนาด 70 SQ.MM. หุ้มฉนวนสีดำทนอุณหภูมิได้ถึง 70 องศาเซลเซียส อัตราทนฉนวนแรงดันไฟฟ้าที่ 750 Volt (รายละเอียดต่างๆ ระบุไว้ในแบบ)

3.1 เชื่อมปลายสายด้านหนึ่งเข้ากับ ตัวก้าน Air Terminal แบบ Exothermic แล้วเดินสายลอดผ่านปลอกสวม Air Terminal (ดูแบบประกอบ) ลงมาตามโครงสร้างหลักของเสาอากาศ (Main Leg) ด้านนอก และต้องยึดสายนำลงดินเข้ากับโครงเหล็กของเสาอากาศ ให้มั่นคงแข็งแรงไม่ให้มี การแกว่งได้ โดยใช้ Clamp โลหะยึดสายไฟฟ้าตามที่ระบุในแบบ ทุกๆ ระยะ 3 เมตร หรือดีกว่า

3.2 สายนำลงดิน ที่เดินตามโครงสร้างเสาลงมายังโคนเสา แล้วให้เดินฝังดินต่ำจากระดับพื้นดินเดิมไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร ไปยังบ่อกราวนด์ฟ้าผ่า (Lightning hand hole)

3.3 ให้เชื่อมปลายสายนำลงดินด้วยวิธี Exothermic เข้ากับแผ่น Lug ทำจากทองแดงเรียบชุบดีบุกชนิด 2 รู (ดูภาพประกอบ)

3.4 ใช้แผ่นรอง Lug ทำจากแผ่นทองแดงเรียบชุบดีบุก ชนิด 2 รู (ดูรายละเอียดในแบบ) โดยเชื่อมติดกับ แท่งหลักดินฟ้าผ่า ด้วยวิธี Exothermic

3.5 นำแผ่น Lug ของสายนำลงดิน ข้อ 3.3 ไปยึดติดเข้ากับ “แผ่นรอง Lug” ข้อ 3.4

3.6 ใช้ Bolts และ Nuts ที่ทำจากโลหะไร้สนิมขัดยึด ระหว่าง Lug กับ แผ่นรอง Lug ทองแดงให้แน่นสนิท

3.7 การเชื่อมต่อระหว่างสายนำลงดินกับแผ่น Lug และการเชื่อมต่อระหว่างแผ่นรอง Lug กับแท่งหลักดินฟ้าผ่า ให้ใช้วิธีการเชื่อม แบบ Exothermic เท่านั้น

4. ติดตั้งแท่นหลักดิน ฟ้าผ่า (Terminated Lightning rod) มีรายละเอียดดังนี้

4.1 แท่งหลักดินฟ้าผ่า มีลักษณะเป็นหลักดินแบบ Single rod ต้องมีความลึก ตามข้อกำหนดและมีค่าความต้านทานของแท่งหลักดินน้อยกว่า 0.5 โอห์ม โดยค่าความต้านทานนี้เป็นค่าความต้านทานที่วัดเทียบกับ Remote Earth เท่านั้น ดังนี้

4.1.1 ความลึกของแท่งหลักดินฟ้าผ่า ผู้รับจ้างต้องคำนวณราคาเฉลี่ยของการเจาะฝังแท่งหลักดินฟ้าผ่า ที่ระยะความลึก 100 เมตร และแจ้งราคาการเจาะฝังหลักดิน/เมตร ให้องค์การโทรศัพท์ทราบด้วย

4.1.2 ความลึกการเจาะฝังแท่งหลักดินฟ้าผ่า จะสิ้นสุดได้ก่อนถึงระยะความลึก 100 เมตร ก็ต่อเมื่อเจ้าหน้าที่ขององค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยที่ได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบในการนี้ ทำการวัดค่าความต้านทานการต่อลงดินได้ค่าน้อยกว่า 0.5 โอห์ม

4.1.3 หากเจาะฝังที่ระยะความลึก 100 เมตรแล้ว ผลยังแท่งหลักดินฟ้าผ่ายังไม่ต่ำกว่า 0.5 โอห์ม ให้บริษัทสิ้นสุดการเจาะฝังแท่งหลักดินฟ้าผ่าได้ที่ระยะความลึก 100 เมตร

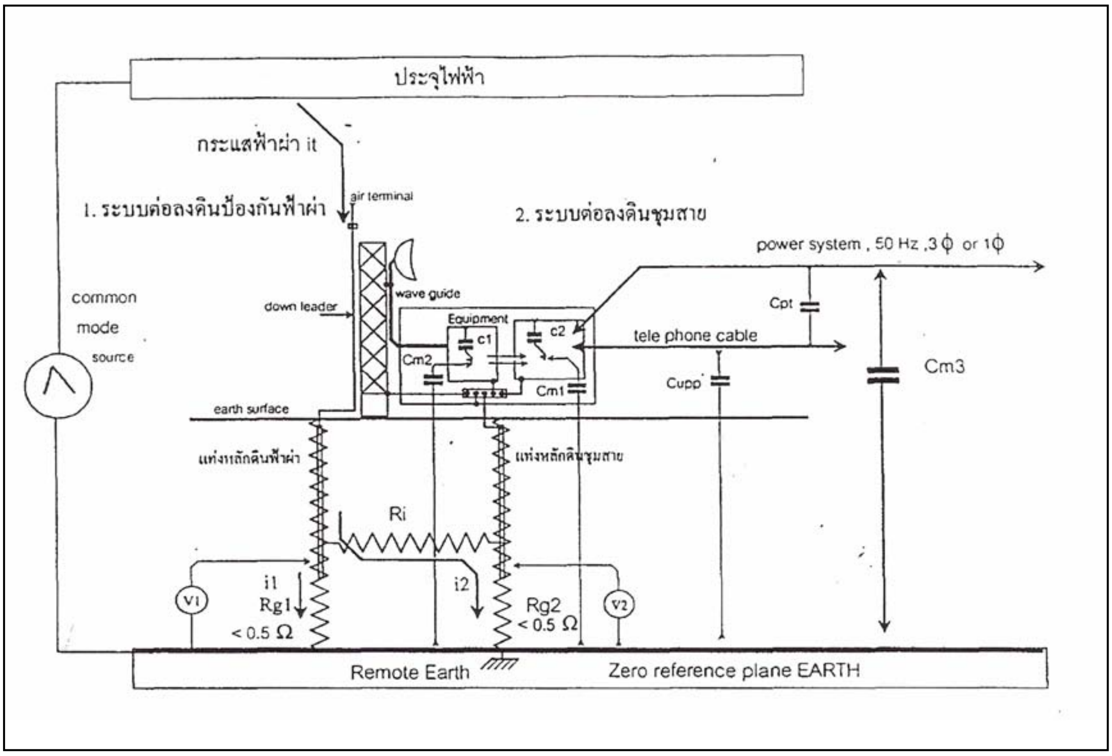
4.2 ขณะทำการเจาะฝังแท่งหลักดินฟ้าผ่า หากจำเป็นต้องดำเนินการตีปลอกสวมรูเจาะเพื่อกันผนังบ่อเจาะทะลาย ปลอกสวมที่ใช้สวมลงในรูเจาะต้องเป็นปลอกสวมที่ทำจากโลหะนำไฟฟ้าเท่านั้น และจะต้องถอนปลอกสวมโลหะนี้ออกทันที เมื่อสอดแท่งหลักดินฟ้าผ่าลงในรูเจาะเรียบร้อยแล้ว

4.3 วัสดุสร้างแท่งหลักดินฟ้าผ่า ให้ใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสี (ท่อประปา) ขนาด Ø ไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว โดยประเภทท่อเหล็กที่ใช้ต้องเป็นท่อเหล็กชนิดสีน้ำเงินเป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนด ม.อ.ก. 276 (ข้อ 3.2) และการอาบสังกะสีของท่อเหล็กให้เป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนด ม.อ.ก. 277 หรือดีกว่า

4.4 การต่อระหว่างท่อน เพื่อการยาวเพิ่มความยาวแท่งหลักดิน ทำโดยการใช้ Coupling สำเร็จรูปแบบเกลียว ขันยึดให้ท่อแต่ละด้านใน Coupling แนบสนิทกัน จากนั้นเชื่อมด้วยไฟฟ้าและทาสีกันสนิม ปิดรอยเชื่อม (รายละเอียดระบุไว้ในแบบ)

4.5 การปักฝังแท่งหลักดินฟ้าผ่า ต้องมีระยะฝังห่างจากแท่งหลักดินชุมสายอย่างน้อย 10 เมตร แต่ถ้าพื้นที่ใช้งานมีขีดจำกัด ที่ไม่สามารถดำเนินการไปตามที่กำหนดได้ ให้เจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบพิจารณาระยะห่างของแท่งหลักดิน ไปตามความเหมาะสมได้

4.6 แท่งหลักดินฟ้าผ่า ให้ใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสี ข้อ 4.3 ความยาวท่อไม่น้อยกว่า 6 เมตร/ท่อน



<u>ภาพที่ 60</u> วงจรต่อลงดินระบบป้องกันฟ้าผ่า แยกเป็นคนละส่วน (Isolated) กับวงจรต่อลงดินระบบชุมสาย

5. เลือกตำแหน่งการเจาะฝังแท่งหลักดินฟ้าผ่า เพื่อสร้างบ่อกราวนด์ฟ้าผ่า ณ บริเวณฐาน-เสาอากาศ

5.1 ตำแหน่งบ่อกราวนด์ฟ้าผ่าให้ใช้ตำแหน่ง 1, 2, 3, หรือ 4 ตามแบบที่กำหนด การเลือกตำแหน่ง 1, 2, 3, หรือ 4 ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ด้านหลังอาคารสถานีโทรคมนาคมหรือชุมสายฯ แต่ต้องเลือกตำแหน่งเจาะฝังเพียงตำแหน่งเดียว (รายละเอียดระบุไว้ในแบบ)

5.2 ตำแหน่งที่เจาะฝังต้องได้รับความเห็นชอบจากเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบสถานีฯ ก่อน และให้มีความลึกของแท่งหลักดินฟ้าผ่าเป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อ 4.1

6. การซิลด์บ่อกราวนด์ฟ้าผ่าโดยให้ซิลด์ช่องว่างระหว่างผนังบ่อกับแท่งหลักดินฟ้าผ่า ด้วยการใช้ Bentonize ผสมกับโคลนดินเหนียว ในอัตราส่วน 20 : 80 เปอร์เซ็นต์ เติมให้เต็มจนได้ระดับเสมอกับผิวดิน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดผิวสัมผัสของแท่งหลักดินกับเนื้อดิน โดยสมบูรณ์ และเก็บความชื้นรอบผิวแท่งหลักดินไว้ได้เป็นเวลานาน

7. ขนาดปากบ่อกราวนด์ฟ้าผ่า (Lightning Hand hole) ให้ใช้บ่อสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 0.50X0.50X0.40 ม. ความหนาประมาณ 5 เซนติเมตร สร้างเป็นกรอบปากบ่อ เมื่อปิดฝาบ่อต้องได้ระดับเสมอกับพื้นดิน และฝาปิดปากบ่อเป็นแผ่นเหล็กอาบสังกะสีหนาไม่น้อยกว่า 1/4 นิ้ว พร้อมหูหิ้วและทาสีกันสนิมด้วย

8. ขณะดำเนินการเจาะฝังแท่งหลักดิน และเมื่อปักฝังแท่งหลักดินเสร็จแล้ว ให้วัดค่าความต้านทานของแท่งหลักดินฟ้าผ่า ด้วยเครื่องมือวัดความต้านทานดิน (Earth Tester) แบบเข็ม ที่สามารถวัด Soil Resistivity ได้ดังต่อไปนี้ คือ

8.1 ขณะดำเนินการเจาะฝัง ให้วัดค่าความต้านทานของแท่งหลักดินฟ้าผ่าโดยทำการจดบันทึกค่าไว้ทุกๆ ระยะ 2 หรือ 3 เมตร หรือขึ้นอยู่กับระยะก้านเจาะ จนถึงความค่าความลึกสุดท้ายของการเจาะฝังของหลักดินนั้น

8.2 หลังจากปักฝังแท่งหลักดินฟ้าผ่า ทำการซิลด์บ่อกราวนด์เรียบร้อยครบถ้วนแล้ว ให้ตรวจวัดค่าความต้านทานแท่งหลักดินฟ้าผ่าสุดท้ายนี้ไว้อีกด้วย พร้อมทั้งบันทึกค่าความต้านทานครั้งสุดท้ายนี้ไว้ โดยห้ามลืมเด็ดขาด

9. รายงานผลค่าความต้านทานการต่อลงดินบันทึกไว้ทั้งหมด ให้กับหัวหน้าแผนกไฟฟ้าและการกำลังเพื่อเก็บบันทึกเป็นประวัติสำหรับชุมสายโทรศัพท์หรือสถานีโทรคมนาคมนั้น เพื่อประโยชน์ในภายหน้าต่อไป

<u>ตารางที่ 5</u> เก็บบันทึก ข้อมูลฟ้าผ่า เมื่อทดลองติดตั้งเครื่องวัดฟ้าผ่าจำนวน 24 สถานีครั้งที่1

ชื่อสถานี	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดฟ้าผ่าในแต่ละย่านวัด			วันที่เก็บข้อมูล	จำนวนครั้งของกระแสฟ้าผ่า (ครั้ง)
	1 KA	5 KA	10 KA		
1. ชุมสายโทรศัพท์เกาะคา	4	0	-	ส.ค. 41	1 KA = 5
จ.ลำปาง	5	0	-	ก.พ. 48	5 KA = 0
2. ชุมสายปากชม จ.เลย	5	1	-	พ.ย. 41	1 KA = 4
					5 KA = 1
3. ชุมสายบ้านดุง จ.อุดรธานี	4	0	-	พ.ย. 41	1 KA = 4
					5 KA = 0
4. ชุมสายโทรศัพท์อินทนนท์	47	0	-	ก.พ. 48	1 KA = 47
จ.เชียงใหม่					5 KA = 0
5. ชุมสายโทรศัพท์ฮอด	6	0	-	ก.พ. 48	1 KA = 6
จ.เชียงใหม่					5 KA = 0
6. ชุมสายบางสะพาน	0	0	-	ม.ค. 46	1 KA = 1
จ.ประจวบคีรีขัน	1	0	-	มี.ค. 48	5 KA = 0
7. ชุมสายเขา 503 จ.พังงา	1	0	-	ก.ค. 44	1 KA = 1
					5 KA = 0
8. ชุมสายเขาดาดฟ้า	5	0	-	ก.ค. 44	1 KA = 5
จ.นครศรีธรรมราช					5 KA = 0
9. ชุมสายปะเหลียน จ.ตรัง	2	1	-	มี.ค. 42	1 KA = 3
	4	1	-	มี.ค. 48	5 KA = 1
10. ชุมสายบาเจาะ จ.นราธิวาส	0	0	-	มี.ค. 42	0
	0	0	-	มี.ค. 48	
11. สถานีทวนสัญญาณ กม.38	26	0	-	มี.ค. 48	1 KA = 26
12. สถานีทวนสัญญาณดอยผาหงษ์	0	0	-	ส.ค. 41	1 KA =1
จ. เชียงใหม่	1	0	-	ก.พ. 48	5 KA = 0
13. ชุมสายโทรศัพท์เชียงของ	7	0	-	ก.พ. 48	1 KA = 7
จ. เชียงราย			-		5 KA = 0
14. ชุมสายโทรศัพท์เพ็ญ	1	0	-	พ.ย. 41	1 KA = 18
จ. อุดรธานี	18	0	-	ก.พ. 48	5 KA = 0
15. ชุมสายโทรศัพท์บ้านม่วง	14	6	-	พ.ย. 41	1 KA = 9
จ. สกลนคร	15	6	-	ก.พ. 48	5 KA = 6

<u>ตารางที่ 5</u> (ต่อ)

ชื่อสถานี	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดฟ้าผ่าในแต่ละย่านวัด			วันที่เก็บข้อมูล	จำนวนครั้งของกระแสฟ้าผ่า (ครั้ง)
	1 KA	5 KA	10 KA		
16. ชุมสายเขาวง จ.กาฬสินธุ์	19	1	-	ก.พ. 48	1 KA = 18
					5 KA = 1
17. ชุมสายลี้ จ.ลำพูน	0	0	-	ส.ค. 42	1 KA = 0
	1	1	-	มี.ค. 48	5 KA = 1
18. ชุมสายกระทุ่มแบน	0	0	-	ส.ค. 44	0
จ. สุมทรสาคร	0	0	-	มี.ค. 48	
19. ชุมสายโทรศัพท์วิเชียรบุรี	3	0	0	ก.พ. 48	1 KA = 3
จ. เพชรบูรณ์					5 KA = 0
					10 KA = 0
20. ชุมสายโทรศัพท์ดงหลวง	4	2	0	พ.ย. 41	1 KA = 5
จ. มุกดาหาร	5	2	0	ส.ค. 44	5 KA = 3
	9	4	1	ก.พ. 48	10 KA = 1
21. ชุมสายมโนรมย์ จ.ชัยนาท	7	3	1	ก.พ. 48	1 KA = 4
					5 KA = 2
					10 KA = 1
22. ชุมสายโทรศัพท์คลองขลุง	0	0	0	ก.พ. 48	0
จ. กำแพงเพชร					
23. ชุมสายโทรศัพท์บางกระทุ่ม	0	0	0	ก.พ. 48	0
จ. พิษณุโลก					
24. ชุมสายโทรศัพท์กงไกรลาศ	0	0	0	ก.พ. 48	0
จ. สุโขทัย					

ตารางที่ 6 ข้อมูลฟ้าผ่า เมื่อทดลองติดตั้งเครื่องวัดฟ้าผ่าครั้งที่ 2 จำนวน 44 สถานีครั้งที่2

ชื่อสถานี	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดฟ้าผ่าในแต่ละย่านวัด			วันที่เก็บข้อมูล	จำนวนครั้งของกระแสฟ้าผ่า (ครั้ง)
	1 KA	5 KA	10 KA		
1. สถานีโทรคมตาคลี	1	1	0	ก.พ. 48	1 KA = 0
จ. นครสวรรค์					5 KA = 1
					10 KA = 0
2. ชุมสายโกรกพระ	1	00	0	ก.พ. 48	1 KA = 1
จ. นครสวรรค์					5 KA = 0
					10 KA = 0
3. ชุมสายกำแพงเพชร	2	0	0	ก.พ. 48	1 KA = 2
					5 KA = 0
					10 KA = 0
4. ชุมสายโทรศัพท์สามง่าม	1	0	0	ก.พ. 48	1 KA = 1
จ. พิจิตร					5 KA = 0
					10 KA = 0
5. สถานีทวนสัญญาณพิจิตร	0	0	0	ก.พ. 48	0
6. ชุมสายโทรศัพท์พิษณุโลก	0	0	0	ก.พ. 48	0
7. ชุมสายโทรศัพท์สวรรค์โลก	3	0	0	ก.พ. 48	1 KA = 3
จ. สุโขทัย					5 KA = 0
					10 KA = 0
8. ชุมสายโทรศัพท์พระตำหนักภูพิงค์ จ.เชียงใหม่	0	0	0	ก.พ. 48	0
9. สถานีทวนสัญญาณดอยปุย	0	0	0	ต.ค. 46	1 KA = 5
จ. เชียงราย	4	0	0	มิ.ย. 47	5 KA = 0
	5	0	0	ก.พ. 48	10 KA = 0
10. ชุมสายโทรศัพท์เขาทราย	1	0	0	ก.พ. 48	1 KA = 1
จ. พิจิตร					5 KA = 0
					10 KA = 0
11. ชุมสายโทรศัพท์ซับสมอทอด จ. เพชรบูรณ์	0	0	0	ก.พ. 48	0
12. สถานีทวนสัญญาณภูตะแคง	14	2	0	ก.พ. 48	1 KA = 12
จ. อุดรธานี					5 KA = 2
					10 KA = 0

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชื่อสถานี	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดฟ้าผ่าในแต่ละย่านวัด			วันที่เก็บข้อมูล	จำนวนครั้งของกระแสฟ้าผ่า (ครั้ง)
	1 KA	5 KA	10 KA		
13. ชุมสายโทรศัพท์ศรีเชียงใหม่ จ. หนองคาย	1	0	0	ก.พ. 48	1 KA = 1 5 KA = 0 10 KA = 0
14. ชุมสายโทรศัพท์ท่าบ่อ จ. หนองคาย	0	0	0	ก.พ. 48	0
15. ชุมสายโทรศัพท์หนองคาย	3	0	0	ก.พ. 48	1 KA = 3 5 KA = 0 10 KA = 0
16. ชุมสายโทรศัพท์โซ่พิสัย จ. หนองคาย	0	0	0	ก.พ. 48	0
17. ชุมสายโทรศัพท์วานรนิวาส จ.สกลนคร	8	0	0	ก.พ. 48	1 KA = 8 5 KA = 0 10 KA = 0
18. ชุมสายโทรศัพท์สกลนคร	2	0	0	ก.พ. 48	1 KA = 2 5 KA = 0 10 KA = 0
19. ชุมสายโทรศัพท์คำชะอี จ. มุกดาหาร	1 1	0 0	0 0	พ.ย. 41 ก.พ. 48	1 KA = 1 5 KA = 0 10 KA = 0
20. ชุมสายโทรศัพท์หนองพอก จ. ร้อยเอ็ด	7	2	0	ก.พ. 48	1 KA = 5 5 KA = 2 10 KA = 0
21. ชุมสายโทรศัพท์เมยวดี จ. ร้อยเอ็ย	0	0	0	ก.พ. 48	0
22. ชุมสายโทรศัพท์กุฉินารายณ์ จ. กาฬสินธุ์	1	0	0	ก.พ. 48	1 KA = 1 5 KA = 0 10 KA = 0
23. ชุมสายโทรศัพท์นามน จ. กาฬสินธุ์	1	0	0	ก.พ. 48	1 KA = 1 5 KA = 0 10 KA = 0

<u>ตารางที่ 6</u> (ต่อ)

ชื่อสถานี	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดฟ้าผ่าในแต่ละย่านวัด			วันที่เก็บข้อมูล	จำนวนครั้งของกระแสฟ้าผ่า (ครั้ง)
	1 KA	5 KA	10 KA		
24. ชุมสายโทรศัพท์กาฬสินธุ์	3	0	0	ก.พ. 48	1 KA = 3 5 KA = 0 10 KA = 0
25. ชุมสายโทรศัพท์นาดูน จ.มหาสารคาม	3	0	0	ก.พ. 48	1 KA = 3 5 KA = 0 10 KA = 0
26. ชุมสายโทรศัพท์นาเชือก จ. มหาสารคาม	2	0	0	ก.พ. 48	1 KA = 2 5 KA = 0 10 KA = 0
27. ชุมสายโทรศัพท์มหาสารคาม	3	0	0	ก.พ. 48	1 KA = 3 5 KA = 0 10 KA = 0
28. ชุมสายโทรศัพท์ชนบท จ. ขอนแก่น	0	0	0	ก.พ. 48	0
29. ชุมสายโทรศัพท์ จ.มุกดาหาร	5	0	0	ส.ค. 44	1 KA = 5 5 KA = 0 10 KA = 0
30. ชุมสายโทรศัพท์หนองฉาง จ. อุทัยธานี	0 0	0 0	0 0	มี.ค. 47 มี.ค. 48	0
31. ชุมสายพุอีควาย จ.อุทัยธานี	1 1 6 7	1 1 3 3	1 1 2 2	ก.ย. 38 ก.ย. 40 ส.ค. 41 มี.ค. 48	1 KA = 4 5 KA = 1 10 KA = 2
32. ชุมสายประจวบคีรีขันธ์	0 0	0 0	0 0	ม.ค. 46 มี.ค. 48	0
33. ชุมสายสายบุรี จ.ปัตตานี	0 0	0 0	0 0	มี.ค. 42 มี.ค. 48	0
34. ชุมสายยะหริ่ง จ.ปัตตานี	0	0	0	มี.ค. 42 มี.ค. 48	0

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชื่อสถานี	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดฟ้าผ่าในแต่ละย่านวัด			วันที่เก็บข้อมูล	จำนวนครั้งของกระแสฟ้าผ่า (ครั้ง)
	1 KA	5 KA	10 KA		
35. ชุมสายโคกโพธิ์ จ.ปัตตานี	0	0	0	มี.ค. 42	0
	0	0	0	มี.ค. 48	
36. ชุมสายถลาง จ.ภูเก็ต	0	0	0	มี.ค. 48	0
37. ชุมสายสนามบิน จ.ภูเก็ต	0	0	0	มี.ค. 42	0
38. ชุมสายเขาบ้านบางคุ	3	1	1	พ.ย. 42	1 KA = 2
จ. ภูเก็ต	3	1	1	มี.ค. 48	5 KA = 0
					10 KA = 1
39. ชุมสายเขาโต๊ะแซะ จ.ภูเก็ต	14	0	0	พ.ย. 42	1 KA = 26
	26	0	0	ม.ค. 46	5 KA = 2
	28	2	0	มี.ค. 48	10 KA = 0
40. ชุมสายนาเกลือ จ.ชลบุรี	20	1	0	เม.ย. 45	1 KA = 20
	21	1	0	มี.ค. 48	5 KA = 1
					10 KA = 0
41. ชุมสายนาพร้าว จ.ชลบุรี	0	0	0	เม.ย. 45	0
	0	0	0	มี.ค. 48	
42. ชุมสายนาจอมเทียน จ.ชลบุรี	5	3	0	เม.ย. 45	1 KA = 7
	15	3	0	มี.ค. 48	5 KA = 3
					10 KA = 0
43. ชุมสายบ่อวิน จ.ชลบุรี	4	0	0	เม.ย. 45	1 KA = 7
	8	1	0	มี.ค. 48	5 KA = 1
					10 KA = 0
44. ชุมสายท่าใหม่ จ.จันทรบุรี	9	3	1	มี.ค. 48	1 KA = 6
					5 KA = 2
					10 KA = 1

หมายเหตุ ยกตัวอย่างการอ่านค่าฟ้าผ่า เช่น ชุมสายที่ 43 ชุมสายบ่อวินปี 48 ฟ้าผ่า รวม 8 ครั้ง มี 1KA 7 ครั้ง 5KA 1 ครั้ง ชุมสายที่ 31 ชุมสายพุอีควายปี 48 ฟ้าผ่ารวม 7 ครั้ง มี 1KA 4 ครั้ง 5KA 1 ครั้ง 10KA 2 ครั้ง

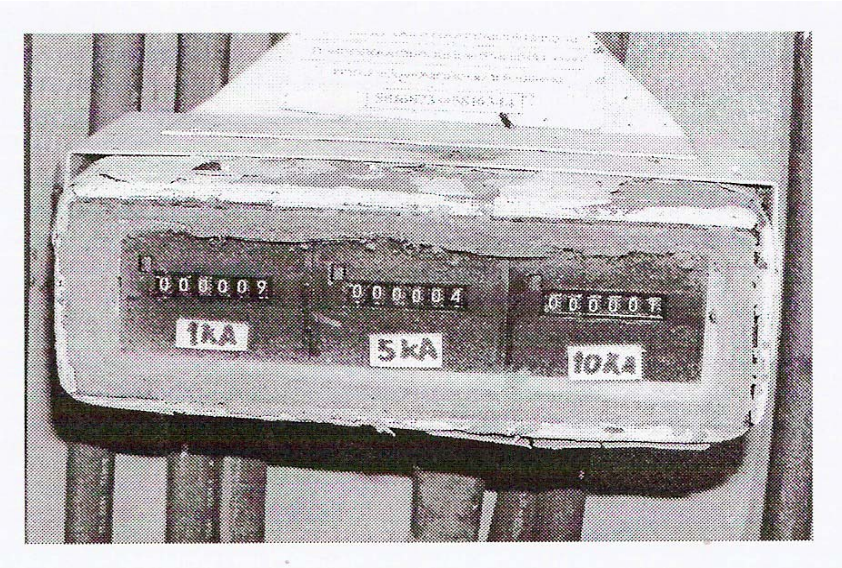
สรุปจากตารางที่ 6 บางสถานีไม่เกิดฟ้าลงเลยหรือมิเตอร์วัดค่าไม่ได้เลยสาเหตุเนื่องจากบางสถานีเสาส่งสัญญาณของ TOT อยู่ต่ำกว่าเสาส่งสัญญาณของหน่วยงานอื่น ทำให้ฟ้าผ่าลงเสาส่งของหน่วยงานอื่น

จากข้อมูลฟ้าผ่าที่วัดได้ในภาคสนาม สามารถอธิบายได้ ดังนี้

<u>ตัวอย่าง ที่ 1</u> จากการใช้งาน ณ.ชุมสายดงหลวงเครื่องวัดฟ้าผ่า มีตัวเลข ดังนี้

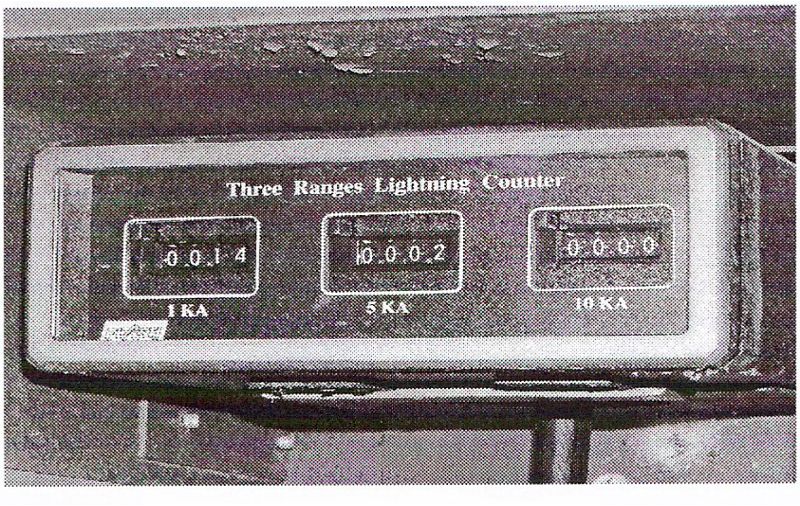
แสดงว่าตั้งแต่ พ.ศ.2536-2547 มีฟ้าผ่าจำนวน 9 ครั้ง โดยวัดความรุนแรงของกระแสฟ้าผ่าได้ดังนี้

กระแสฟ้าผ่าที่มีค่ามากกว่า 10 KA		เกิดขึ้น 1 ครั้ง	
กระแสฟ้าผ่าขนาด	5 KA-10 KA	เกิดขึ้น (4-1)	= 3 ครั้ง
กระแสฟ้าผ่าขนาด	1 KA-5 KA	เกิดขึ้น (9-4)	= 5 ครั้ง



<u>ภาพที่ 61</u> ตัวอย่างเครื่องวัดฟ้าผ่าที่ติดตั้งใช้งานที่ชุมสายดงหลวง

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> จากการใช้งาน ณ.ชุมสายภูตะแคงเครื่องวัดฟ้าผ่า มีตัวเลข ดังนี้



<u>ภาพที่ 62</u> ตัวอย่างเครื่องวัดฟ้าผ่าที่ติดตั้งใช้งานที่ชุมสายภูตะแคง

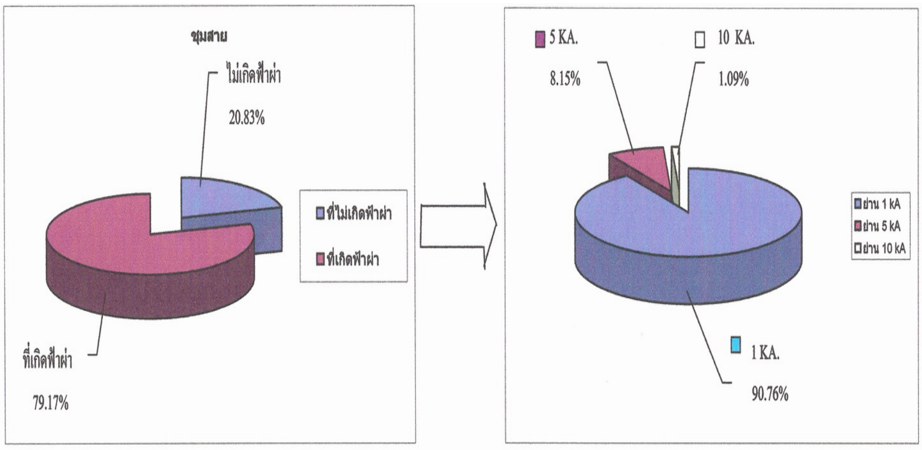
แสดงว่าตั้งแต่ พ.ศ.2538-2548 มีฟ้าผ่าจำนวน 14 ครั้ง โดยวัดความรุนแรงของกระแสฟ้าผ่าได้ ดังนี้

กระแสฟ้าผ่าที่มีค่ามากกว่า 10 KA		เกิดขึ้น 0 ครั้ง		
กระแสฟ้าผ่าขนาด	5 KA-10 KA	เกิดขึ้น (2-0)	=	2 ครั้ง
กระแสฟ้าผ่าขนาด	1 KA-5 KA	เกิดขึ้น (14-2)	=	12 ครั้ง

สรุปผลที่ได้จากตารางที่ 1 ในการปรับปรุงระบบต่อลงดิน พ.ศ.2536

1. จำนวนชุมสายที่เก็บข้อมูล 24 สถานี
   - ชุมสายที่ไม่เกิดฟ้าผ่า มีจำนวน 5 สถานี = (5/24) = 20.83%
   - ชุมสายที่เกิดฟ้าผ่า มีจำนวน 19 สถานี = (19/24) = 79.17%

2 จำนวนฟ้าผ่าที่เกิดขึ้น = 184 ครั้ง โดยแบ่งได้ ดังนี้
   - ย่าน 1KA เกิดขึ้น จำนวน 167 ครั้ง = (167/184) = 90.76%
   - ย่าน 5KA เกิดขึ้น จำนวน 15 ครั้ง = (15/184) = 8.15%
   - ย่าน 10KA เกิดขึ้น จำนวน 2 ครั้ง = (2/184) = 1.09%



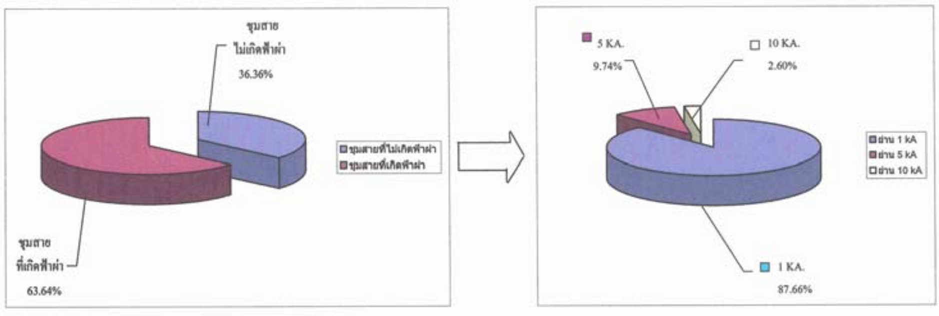
ก.สถิติชุมสายที่ถูกฟ้าผ่า ข.กระแสฟ้าผ่าที่วัดได้

<u>ภาพที่ 63</u> ข้อมูลฟ้าผ่าที่ได้หลังจากปรับปรุงระบบต่อลงดิน พ.ศ.2536

สรุปผลที่ได้จากตารางที่ 2 ในการปรับปรุงระบบต่อลงดิน พ.ศ.2538

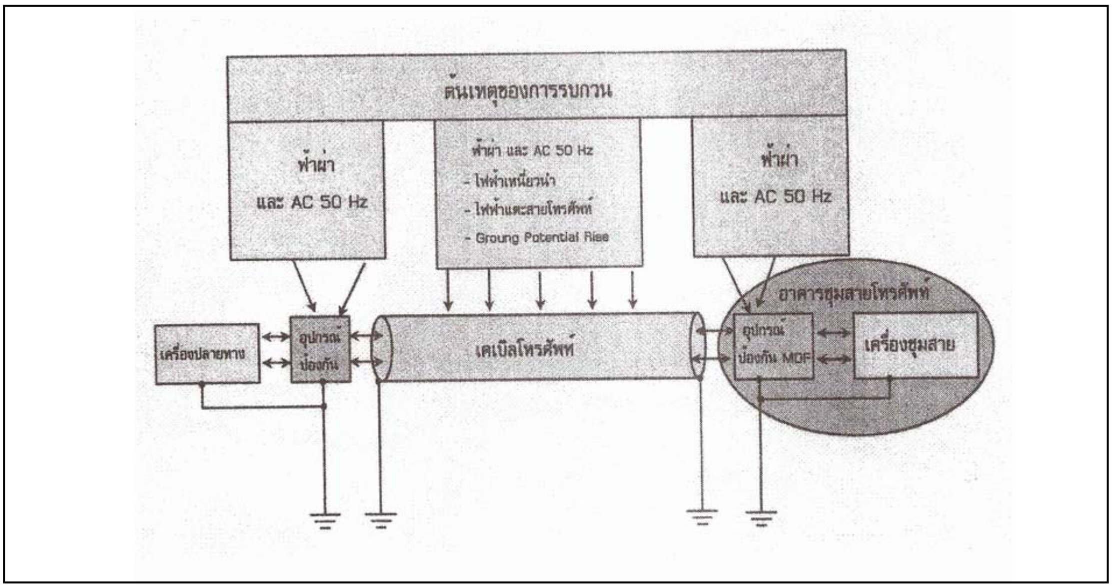
1. จำนวนชุมสายที่เก็บข้อมูล 44 สถานี
   - ชุมสายที่ไม่เกิดฟ้าผ่า มีจำนวน 16 สถานี = (16/44) = 36.36%
   - ชุมสายที่เกิดฟ้าผ่า มีจำนวน 28 สถานี = (28/44) = 63.64%

2. จำนวนฟ้าผ่าที่เกิดขึ้น = 154 ครั้ง โดยแบ่งได้ ดังนี้
   - ย่าน 1KA เกิดขึ้น จำนวน 135 ครั้ง = (135/154) = 87.66%
   - ย่าน 5KA เกิดขึ้น จำนวน 15 ครั้ง = (15/154) = 9.74%
   - ย่าน 10KA เกิดขึ้น จำนวน 4 ครั้ง = (4/154) = 2.60%



ก.สถิติชุมสายที่ถูกฟ้าผ่า ข.กระแสฟ้าผ่าที่วัดได้

<u>ภาพที่ 64</u> ข้อมูลฟ้าผ่าที่ได้หลังจากปรับปรุงระบบต่อลงดิน พ.ศ.2538



<u>ภาพที่ 65</u> ต้นเหตุสัญญาณรบกวนอุปกรณ์สื่อสัญญาณที่เข้ามายังอุปกรณ์

<u>คุณสมบัติการใช้งาน Ac Line Surge Protector</u>

1. สามารถป้องกันเสิร์จที่เกิดขึ้นในช่วงสั้น(Impulsive Surge) เช่นการเกิดฟ้าผ่า

2. สามารถป้องกันเสิร์จที่เกิดขึ้นในช่วงยาว(Swell) เช่นการสวิทช์ของแหล่งจ่ายกำลัง

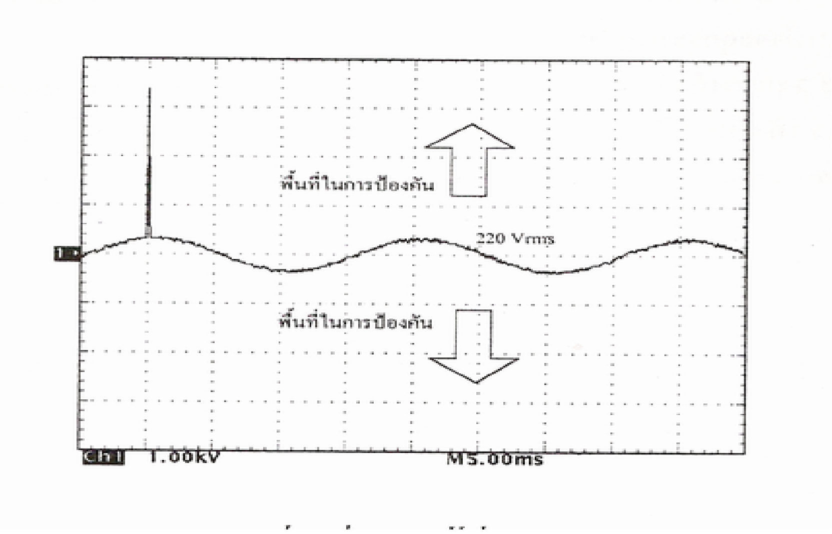
3. มีตัวนับ (Counter) เสิร์จที่เกิดจากระบบไฟฟ้า 50 Hz ที่มีขนาดมากกว่า 50 Amp

4. สามารถใช้งานกับ Load ที่มีขนาดต่างๆได้ เพราะอุปกรณ์ป้องกันต่อขนานกับแหล่งจ่ายกำลัง

5. ใช้ต่อร่วมกับระบบลงดินแบบ Earth Common เพื่อระบายกำลังงานส่วนเกินที่เกิดขึ้นออกไปทำให้อุปกรณ์ที่ใช้งานมีความปลอดภัยตามความสามารถที่กำหนดไว้

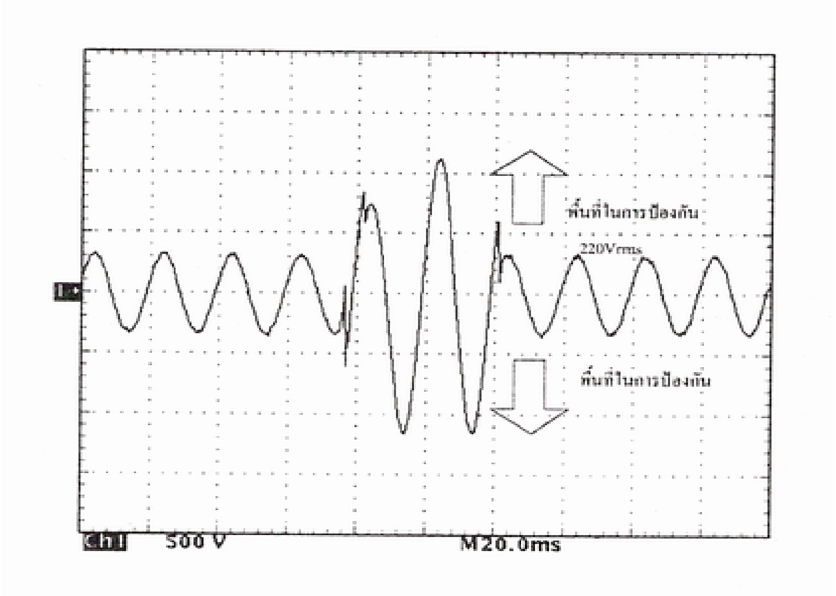
การทำงานของอุปกรณ์ Ac Line Surge Protector

ในขณะมีเสิร์จช่วงสั้นปะปนเข้ามากับคลื่นแรงดัน 220 Vrms อุปกรณ์ป้องกันจะทำงานดูดกลืนกำลังงานส่วนที่เกินจากระดับแรงดันปกติไว้ภายในตัวของอุปกรณ์ป้องกันส่วนหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งจะถูกระบายทิ้งลงดินที่เป็นแบบ Earth common ดังภาพที่ 62



ภาพที่ 66 การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันขณะเกิดแรงดันเกินช่วงสั้น

เมื่อเสิร์จช่วงยาวเกิดขึ้นตั้งแต่ 300-600 Vrms อุปกรณ์ป้องกันจะทำงานดูดกลืนกำลังงานส่วนที่เกินจากระดับแรงดันปกติไว้ภายในตัวของอุปกรณ์ป้องกันส่วนหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งจะถูกระบายทิ้งลงดินที่ Earth common และรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในช่วงปกติให้กับโหลด ดังภาพที่ 63



ภาพที่ 67 การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันขณะเกิดแรงดันเกินช่วงสั้น

(ก) (ข) (ค)

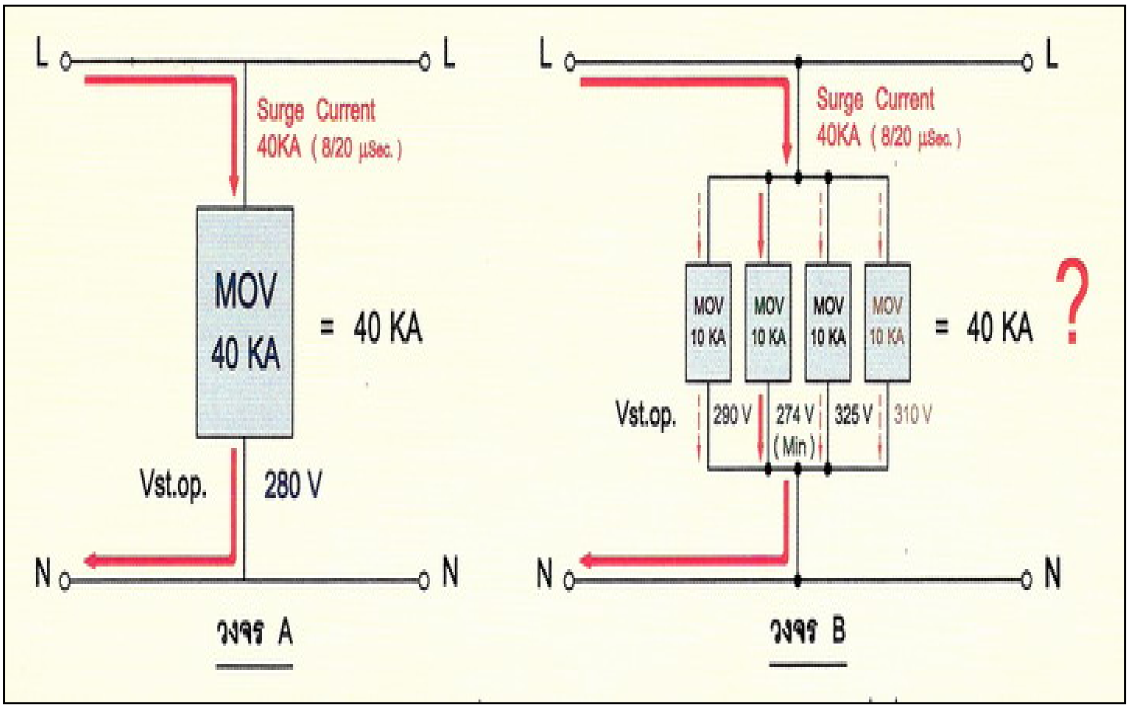
ภาพที่ 68 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกฟ้าลงเสียหาย

(ก) (ข) (ค)

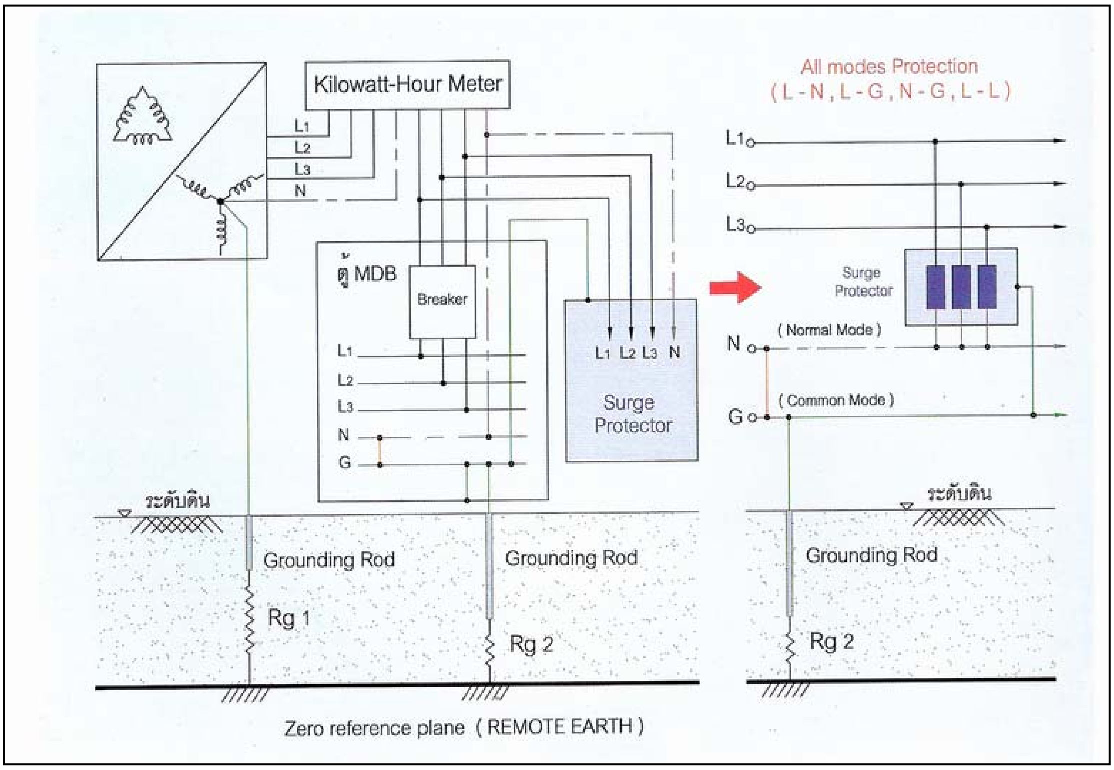
ภาพที่ 69 อุปกรณ์เสิร์จที่ติดตั้งอุปกรณ์แสดงผลว่ายังใช้งานได้อยู่

ข้อดีข้อเสียของการต่อ MOV ทั้งสองแบบ

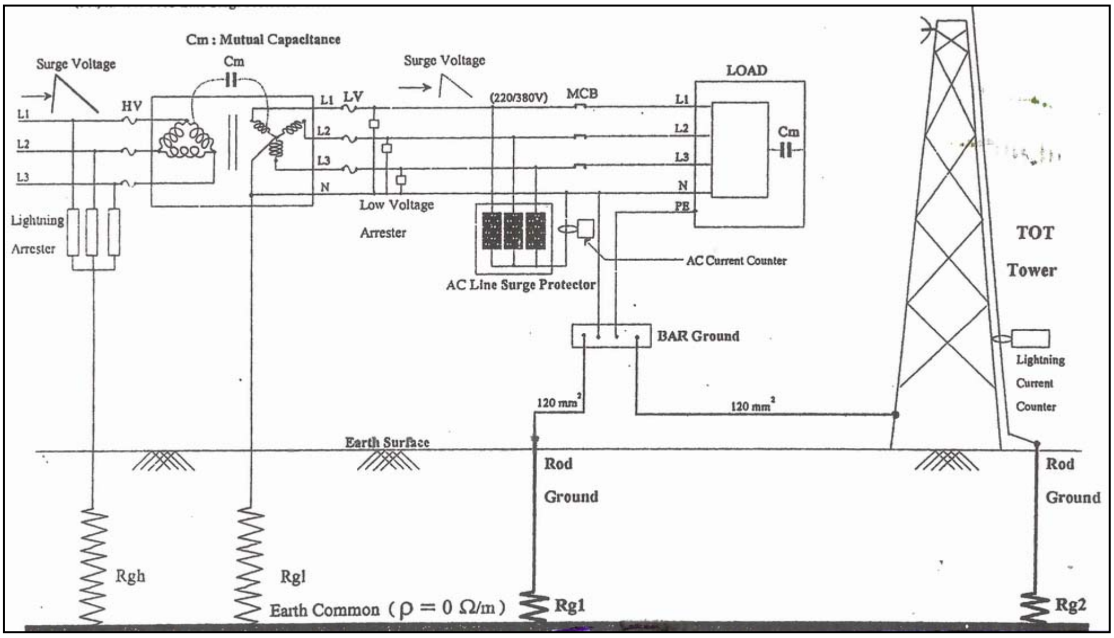
ถ้าจะให้ MOV ขนาด 10 KA ให้มีขนาดเท่ากับ 40KA จะต้องนำ MOV มาขนานกัน 4 ตัว ก็จะได้ MOV ขนาด 40KA แต่ข้อเสียคือกระแสที่ผ่าน MOV แต่ละตัวไม่เท่ากันทำให้ตัวที่กระแสไหลผ่านมากกว่าเสียก่อน



ภาพที่ 70 แสดงการต่อ MOV ทั้งสองแบบ



ภาพที่ 71 การต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า Three Phases Four Wires 380/220v 50Hz

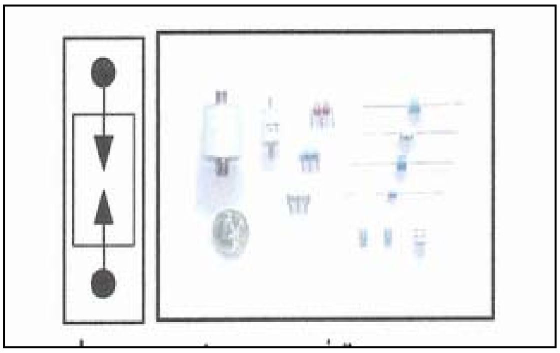


ภาพที่ 72 วงจรอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จที่ติดตั้ง COUNTER

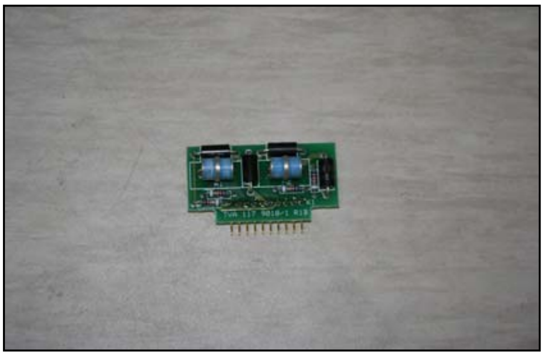
<u>ชนิดของอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จที่ใช้</u>

1. **<u>อุปกรณ์เสิร์จแบบ Spark Gap</u>**

ภายในมีขั้วอิเล็คโตรดบรรจุก๊าซเฉื่อย เมื่อมีแรงดันตกคร่อมเกินกว่าค่าแรงดันเบรกดาวน์จะเกิดดีสชาร์จทำให้กระแสไหลผ่านได้ เป็นการถ่ายเทพลังงานเสิร์จก่อนเข้าระบบ(เป็นอุปกรณ์ที่เหมาะติดตั้งในอุปกรณ์ที่เปราะบาง)เช่นห้องชุมสาย



(ก)

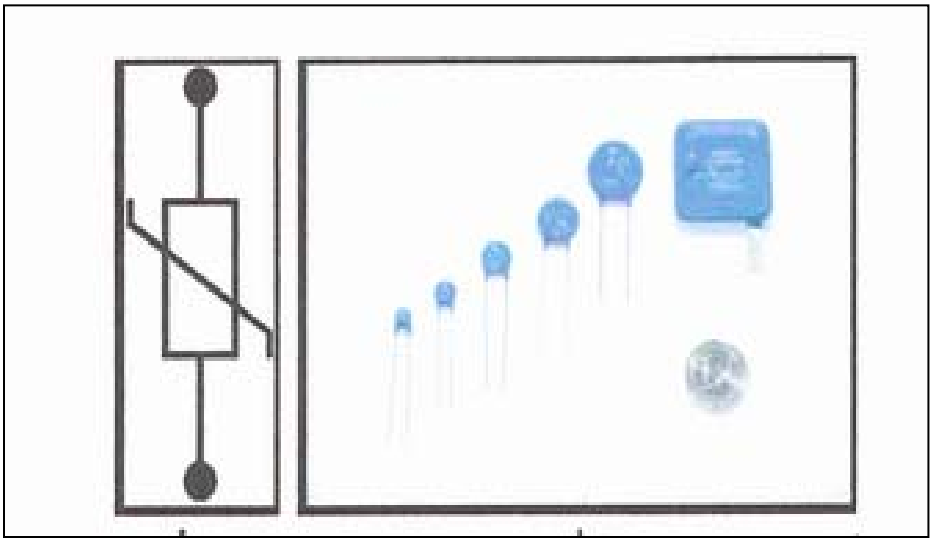


(ข)

<u>ภาพที่ 73</u> อุปกรณ์เสิร์จแบบ Spark Gap

2. **<u>อุปกรณ์เสิร์จแบบ (Varistors)</u>**

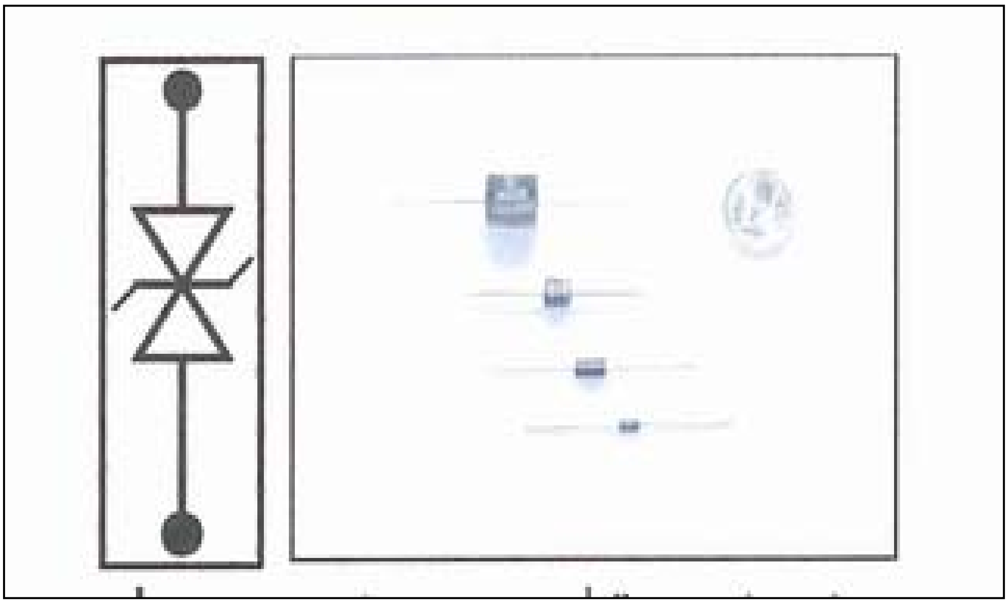
เป็นอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เมื่อมีแรงดันตกคร่อมตัวมันเกินกว่าค่าแรงดันขีดจำกัดจะทำให้วาริสเตอร์นำกระแสได้ซึ่งจะช่วยลดพลังงานส่วนเกินจากเสิร์จก่อนเข้าสู้ระบบ(เป็นอุปกรณ์ที่มีความคงทนเหมาะสำหรับติดตั้งในตู้ MDB)



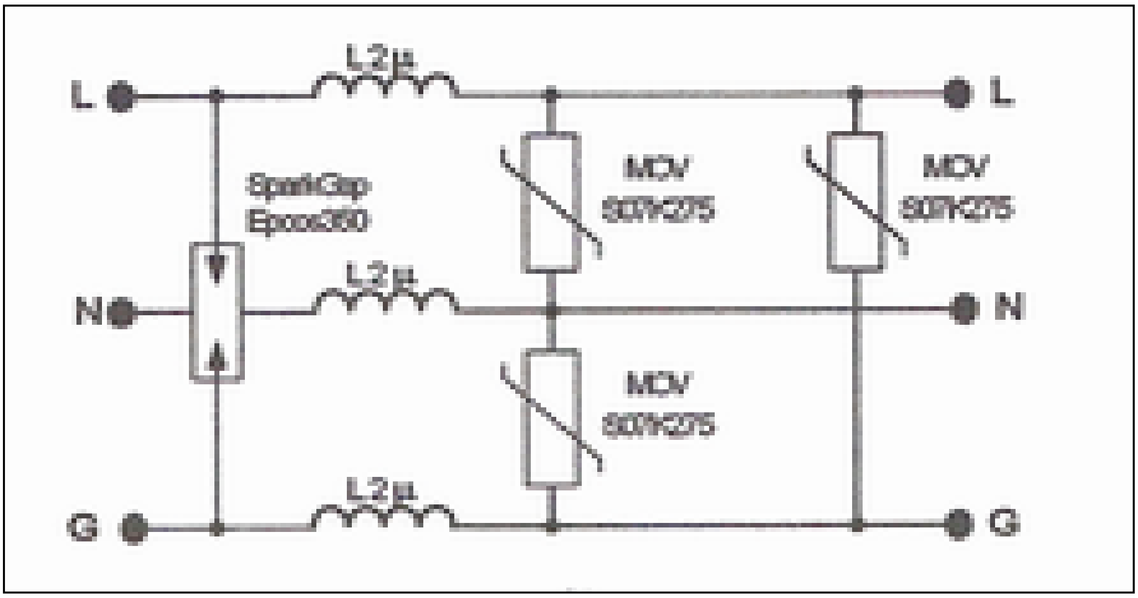
<u>ภาพที่ 74</u> อุปกรณ์เสิร์จแบบ Varistors

3. <u>อุปกรณ์เสิร์จแบบ (Zener Diode)</u>

ทำจากสารกึ่งตัวนำที่มีลักษณะการทำงานแบบสมมาตรทั้งขั้วบวกและลบสามารถรักษาระดับแรงดันได้ดี



<u>ภาพที่ 75</u> อุปกรณ์เสิร์จแบบ Zener Diode



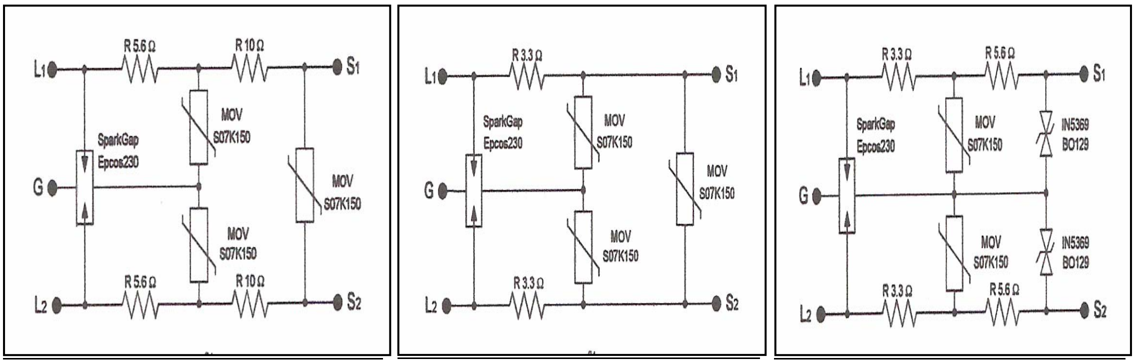
<u>ภาพที่ 76</u> วงจรป้องกันเสิร์จในระบบโทรศัพท์โดยใช้แหล่งจ่ายไป (48V)

(ก) DTI Protector

(ข) MDF Protector

(ค) Home Protector

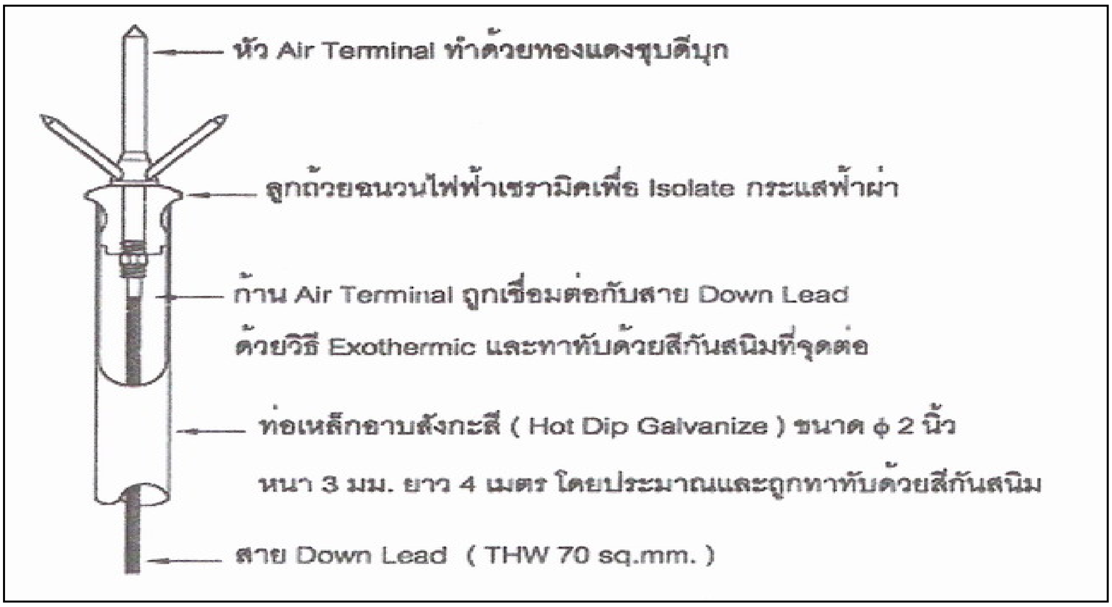
<u>ภาพที่ 77</u> อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จที่ใช้ในระบบชุมสาย



(ก) (ข) (ค)

<u>ภาพที่ 78</u> วงจรอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จในระบบชุมสาย

ข้อดีข้อเสียของการใช้ R และ L ต่อรวมในวงจรป้องกันเสิร์จ คือ ถ้าใช้ R ต่อในวงจรกระแสจะไหลผ่านได้เร็วกว่าการต่อโดยการใช้ Lต่อดังนั้นถ้าใช้ R ต่อรวมในวงจร MOV จะได้รับกระแสเต็มที่ทำให้มีโอกาสเสียเร็วกว่าการใช้ L ต่อรวมในวงจรป้องกันเสิร์จ



<u>ภาพที่ 79</u> การป้องกันเสิร์จโดยการติดตั้งระบบต่อลงดิน

ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

ผลการวิจัย

"ปัจจุบันองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยได้นำระบบกราวนด์ อ้างอิงกับค่า Remote Earth มาใช้แทนระบบกราวนด์เดิมและมีข้อกำหนดองค์การโทรศัพท์ระบุว่า "ค่าความต้านทานกราวนด์ต้องไม่มากกว่า 0.5 โอห์ม ที่ระดับความลึกไม่เกิน 100 เมตร" การใช้ระบบกราวนด์ได้รับผลเป็นที่น่าพอใจเป็นอย่างมากเพราะสามารถลดความเสียหายลงได้มากกว่า 85% จากบริเวณความเสียหายที่เกิดขึ้น"

ผลที่บันทึกได้

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการจดบันทึกทั้ง 2ครั้งมาพิจารณาจะเห็นว่าจำนวนครั้งที่ฟ้าผ่าอยู่ในย่าน 1kA มากสุดส่วนย่านอื่นมีเพียงเล็กน้อยดังนั้นจึงใช้ค่า 1kAก็เพียงพอที่จะป้องกันอุปกรณ์เมื่อเทียบกับ Earth 0.5Ω แต่หากฟ้าผ่ามากกว่า 1kA ก็ยังมีอุปกรณ์เสิร์จช่วยป้องกันอีกทีหนึ่งคือเมื่อแรงดันเกิน MOVจะรับแรงดันส่วนที่เกินปกติไว้ในตัวมันและส่วนหนึ่งจะถูกระบายทิ้งลงดินที่ Earth

เหตุผลที่เลือกป้องกันอุปกรณ์ในย่าน 1kA

เพราะค่าส่วนใหญ่ที่วัดได้อยู่ที่ 1kAส่วนย่านที่สูงกว่า 1kA เราไม่ป้องกันถ้าป้องกันโดยแก้ค่ากราวน์ดให้มีค่าต่ำกว่านี้นั้นจะต้องใช้งบที่สูงและทำได้ยาก

ค่าความต้านทานที่ใช้สำหรับชุมสาย

การวัดค่าความต้านทานแท่งหลักดินชุมสายต้องต่ำกว่า 0.5 โอห์มเทียบ Earth Common มีเหตุผลดังนี้

1. เพื่อควบคุมค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป็นอันตรายต่ออุปกรณ์สื่อสาร ที่ใช้งานทั้งโครงข่าย ให้มีจุดอ้างอิงเดียวกัน

2. เพื่อควบคุมน้อยส์และเสิร์จที่รบกวนหรือทำลายระบบอิเล็กทรอนิกส์ของชุมสาย

3. CCITT กำหนดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดอันตรายหรือเสียหายไว้ไม่เกิน 650 v

4. ทางภาคสนามที่บันทึกได้ของ TOT พบว่าค่ากระแสฟ้าผ่าเกิดขึ้นบ่อยมากคือ 1000A บันทึกด้วย COUNTER วัดฟ้าผ่า

5. ค่าความต้านทานต่อลงดินของหลักดิน

การกำหนดค่าวิกฤต

$$Rg \leqslant \frac{650V}{1000V}\Omega$$

$$Rg \leqslant 0.65\Omega$$

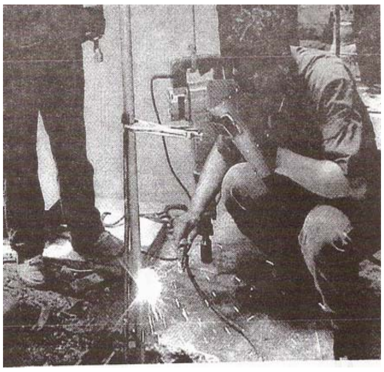
ในทางทฤษฎีค่าที่ 0.65 โอห์ม ถือว่าเป็นค่าวิกฤตค่าที่ต่ำกว่านี้คือค่าปลอดภัย

6. ในทางปฏิบัติ หน้างานเป็นการวัดขณะทำกราวน์ดใหม่จากดินไม่คงตัวและข้อผิดพลาดจากการปฏิบัติ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อ TOT มากยิ่งขึ้นจึงกำหนดให้ใช้ค่าแรงดันที่ 500 V

$$Rg < \frac{500V}{1000V}\Omega$$

$$Rg < 0.50\Omega$$

ดังนั้น ค่าหลักดินทางปฏิบัติ คือต้องมีค่าต่ำกว่า 0.5 โอห์ม (ขณะวัดหน้างาน)



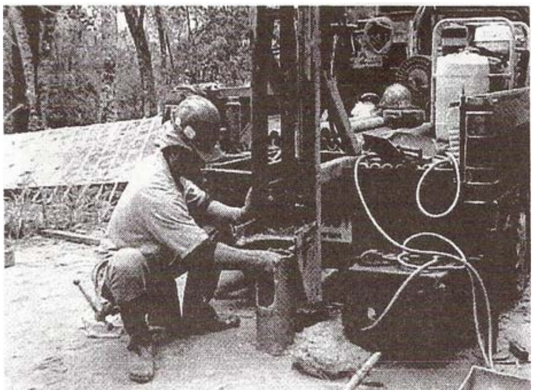
(ก) (ข) (ค)

<u>ภาพที่ 80</u> การตอกหลักดินและขุดบ่อกราวน์ด

การใช้เครื่องขุดเจาะแท่งหลักดิน ที่ใช้มี 2 แบบ

1. แบบใช้น้ำไล่
2. แบบใช้ลมเป่า

สารชิลด์ที่ใส่ลงไปในแท่งหลักดินใช้เบนโทรไนต์ผสมโคลนดินเหนียว



(ก) (ข)

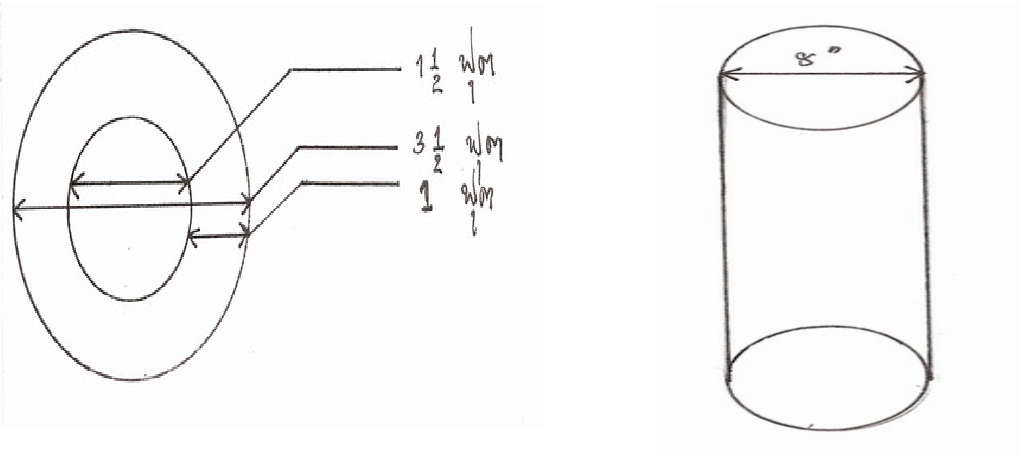
<u>ภาพที่ 81</u> การใช้เครื่องขุดเจาะแท่งหลักดิน 2 แบบ

<u>วิธีการขุดร่องดินมี 2 แบบกรณีปักหลักดินแล้ววัดค่าไม่ได้</u>

วิธีที่ 1 ให้ขุดร่องรอบเหล็กดินโดยมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1ฟุตครึ่งส่วนวงนอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3ฟุตครึ่งดังนั้นร่องจะกว้าง 1ฟุตและขุดร่องลึก 16-18 นิ้วโกยดินออกแล้วเติมสารละลายลงในร่องหนา 10นิ้ว แล้วถมดินจนเต็มร่องแล้วราดน้ำให้ชุ่ม

วิธีที่ 2 กรณีพื้นที่ไม่เหมาะสมทำการขุดร่องตามวิธี 1ไม่ได้อาจพื้นที่ไม่พอแก้ไขโดยการใช้ท่อปูนฝังลงไปแทนโดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์ กลาง 8นิ้วยาวมาตรฐานฝังห่างเหล็กดิน 4นิ้วแล้วเติมสารละลายต่ำกว่าปากท่อประมาณ 3-4นิ้วแล้วเติมน้ำให้เต็ม ปิดปากท่อเจาะรูให้น้ำเข้าได้

สารละลายที่ใช้ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์คอปเปอร์ซัลเฟต แมกนีเซียม-ซัลเฟต



(ก) (ข)

<u>ภาพที่ 82</u> การขุดร่องดิน

<u>ข้อดีข้อเสียทั้งสองวิธี</u>

ต้องคอยวัดความต้านทานดินบ่อยๆเพราะบางปีเกิดความแห้งแล้งความชื้นไม่พอ และค่าความต้านทานไม่ได้จึงต้องมีการตรวจสอบบ่อยๆและคอยเติมสารตลอดเพื่อให้ได้ค่าตามกำหนด

(ก) (ข)

(ค) (ง)

<u>ภาพที่ 83</u> รูปการทำกราวน์ดเสาและเดินกราวน์ดรอบชุมสายเคลื่อนที่

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

<u>ภาพที่ 84</u> อุปกรณ์ทำกราวน์ด

<u>เมื่อติดตั้งอุปกรณ์แล้วผลที่ได้รับ</u>

ผลภาคสนามจากสถานีโทรคมนาคมและชุมสายโทรศัพท์ โดยระยะต้นฤดูฝน 3-4 ปีที่ผ่านมาถึง พฤษภาคม 2548 พบว่ามีฟ้าผ่า 338 ครั้งใน 68ส ถานี โดยกระแสฟ้าผ่าสูงสุดวัดได้ 10KA มีจำนวน 30 ครั้งนอกนั้นเป็นฟ้าผ่าที่วัดกระแสได้ 1 KA ทั้งสิ้น อุปกรณ์และระบบโทรคมนาคมของ TOT ทุกสถานีไม่เกิดความเสียหาย สามารถสื่อสารใช้งานได้เป็นปกติ (ชุมสายที่ติดตั้งเครื่องวัด)

สภาพการใช้งานจริง เป็นสิ่งยืนยันที่ชัดเจนว่าระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าของ TOT ใช้งานมีขีดความสามารถมากกว่า 85% แต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องการป้องกันกระแสฟ้าผ่าที่มีความรุนแรงมากๆ ซึ่งต้องมีการปรับปรุงให้รับกระแสฟ้าผ่าให้สูงขึ้นตามพื้นที่นั้นๆด้วยโดยดูจากตัววัดฟ้าผ่า

<u>ยกตัวอย่างชุมสายก่อนปรับปรุงระบบและหลังปรับปรุง</u>

1. ชุมสายนนทบุรีเดือนกันยายน 2545 ชุมสายเสียหายจากฟ้าผ่าและไฟกระโชกคิดเป็นมูลค่าอะไหล่ 1,654,621 บาท หยุดให้บริการรวม 3 วัน ปรับปรุงระบบกราวน์ดเสร็จต้นปี 2546 ใช้เงินค่าอุปกรณ์ประมาณ 200,000 บาท หลังจากปรับปรุงตุลาคม 2546 ชุมสายถูกฟ้าผ่า 1ครั้งและในปี 47 ฟ้าผ่าอีก 1ครั้งไม่พบอุปกรณ์เสียหายแต่หยุดให้บริการ 3นาที

2. ชุมสายบางพลีปรับปรุงระบบเสร็จพฤษภาคม 47 ใช้งบประมาณ 250,000 บาท หลังปรับปรุงพบเดือนตุลาคม 47 ถูกฟ้าผ่า 1ครั้งไม่พบอุปกรณ์เสียหาย

3. สถานีทวนสัญญาณดอยปุยปรับปรุงระบบกราวน์ดแล้วเสร็จตุลาคม 2547 ใช้งบ 420,000 บาท หลังปรับปรุงมิถุนายน 48 ฟ้าผ่า 4 ครั้งย่านรุนแรง 1kA ไม่พบอุปกรณ์ใดเสียหาย

<u>ข้อวิจารณ์</u>

สรุปผลการใช้งานระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าของ TOT

ระบบต่อลงดินและป้องกันฟ้าผ่า “โครงการ 126 แห่ง ”และการพัฒนาปรับปรุงให้ดีขึ้น

ในราวปี พ.ศ 2536-2537 ชุมสายโทรศัพท์ ในต่างจังหวัดได้ประสบกับปัญหาความเสียหายจากระบบการต่อลงดินและการเกิดฟ้าผ่าเป็นจำนวนมาก และทาง TOT ก็เคยได้ร่วมแก้ปัญหาความเสียหายจากฟ้าผ่าชุมสายโทรศัพท์ตามจังหวัดต่างๆซึ่งมีมูลค่าความเสียหายถึง 6,596,785 บาทซึ่ง TOT ได้หาแนวทางเพื่อแก้ปัญหาจากฟ้าผ่า โดยได้ร่วมกันพิจารณาออกแบบ (Design) กำหนด Configuration การติดตั้งระบบต่อลงดินและป้องกันฟ้าผ่า ในลักษณะ Technical Requirement ขึ้น และทาง TOT ได้จัดงบประมาณปี 2536และ 2538 และดำเนินการต่อเนื่องทุกปีรายละเอียดภายใน Technical Requirement ประกอบด้วยส่วนการป้องกัน 2 ส่วนด้วยกันคือ

1. ระบบต่อลงดินชุมสายและระบบต่อลงดินป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งต่อ Bonder ถึงกันเป็นจุดเดียวกัน

2. อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้ากระโชก เอซี (AC LINE PROTECTION)

<u>จุดประสงค์และหลักการของระบบ (พอสังเขป)</u>

1. เป็นการทดลองขยายผล การใช้ระบบต่อลงดินแบบ Remote Earth (งานแก้ปัญหาเสียหายของชุมสายในปี 2536 เลื่อยมาตลอด

2. ใช้หลักการ Bonding Together ระบบกราวนด์ไฟฟ้า, ระบบกราวนด์โทรศัพท์, ระบบกราวนด์ฟ้าผ่าเข้าด้วยกันเป็นจุดเดียวที่ O.C.G.B. (หลักการ Equalizing Potential ด้วยการ Bonded)

3. การใช้แท่งหลักดิน

3.1 ใช้แท่งหลักดิน จำนวน 2 ต้นโดยต้นที่หนึ่งสำหรับฟ้าผ่า (หลุมด้านอาคารการกำลัง) และอีกด้านหนึ่งสำหรับระบบกราวนด์ไฟฟ้าและกราวนด์โทรศัพท์ (กลุ่มทางด้านห้องวิทยุ) แท่งหลักดินทั้งสอง นำมาต่อ Bonded กันที่ O.C.G.B (หลักการ Parallel Resistor โดยสมัยนั้นมีความเข้าใจว่าจะสามารถทำให้ ค.ต.ท ต่อลงดินลงต่ำลงไปอีกระดับหนึ่ง)

3.2 แท่งหลักดินแต่ละต้นกำหนดค่าความต้านทานดินไว้ต้นละ 0.5 โอห์ม และจำกัดความลึกไม่เกิน 30 เมตรต่อต้น

<u>หมายเหตุ 1</u>

1. มีความเข้าใจว่าการขนานแท่งหลักดิน สามารถทำให้ ค.ต.ท. ต่อลงดินลดต่ำลงได้อีกระดับหนึ่ง

2. มีความเข้าใจว่า การ Bonded แท่งหลักดิน 2 ต้นๆละขนาด 0.5 โอห์ม น่าจะเพียงพอและสร้างความปลอดภัยได้

2.1 วงจรสายต่อลงดินใช้สายทองแดงขนาด 120sq.mm. มีฉนวนหุ้มสีเขียว

2.2 มีแผ่น บาร์กราวนด์ GWB ที่ห้องการกำลัง,แผ่น GWB ที่ห้องวิทยุซึ่งจะไปต่อร่วมกันที่ OCGB

2.3 มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้ากระโชก เอซี.

มีความสามารถป้องกันเสิร์จชั่วขณะ (Impulsive Surge) 10/350 μs.หลายคนเรียกว่าเสิร์จฟ้าผ่าเพียงอย่างเดียว

<u>หมายเหตุ 2</u>

1. มีความเข้าใจว่าเสิร์จจาก Power Line มีเพียง Impulsive Surge และ

2. มีความเข้าใจว่า การใช้ MOV ในอุปกรณ์ AC Line Protector น่าจะเพียงพอต่อการป้องกัน

3. ปัจจุบัน มีความเข้าใจเพิ่มขึ้นว่า อุปกรณ์ AC Line Protector ต้องมีขีดการป้องกันได้ทั้ง

3.1 Impulsive Surge และ

3.2 Swell Surge จึงจะเพียงพอต่อการป้องกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าของบริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) ซึ่งได้มีการปรับปรุงมาโดยตลอดจนถึงปัจจุบันและได้นำมาติดตั้งใช้งานจริงแล้ว โดยมีจำนวนสถานีโทรคมนาคมและชุมสายโทรศัพท์ ที่ติดตั้งระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่า ถึงปัจจุบัน เป็นจำนวนทั้งสิ้นมากกว่า 200 สถานี

การติดตามผลภาคสนามจากสถานีโทรคมนาคมและชุมสายโทรศัพท์ ของทีโอที โดยระยะต้นฤดูฝนที่ผ่านมาตั้งแต่ พฤษภาคม 2538 ถึง พฤษภาคม 2548 “พบว่าสถานีที่ถูกฟ้าผ่ามีจำนวน 68 สถานีโดยกระแสฟ้าผ่ามีความรุนแรงที่สุดตรวจวัดกระแสฟ้าผ่าได้ 10,000 แอมป์มีจำนวน 6 ครั้ง นอกจากนั้นเป็นฟ้าผ่าที่ตรวจวัดกระแสได้ 1,000 แอมป์ทั้งสิ้น อุปกรณ์และระบบโทรคมนาคมของทีโอที ทุกสถานีไม่เกิดความเสียหายใดๆ สามารถใช้งานติดต่อสื่อสารได้เป็นปกติ”

สภาพการใช้งานจริงคือ สิ่งยืนยันที่ชัดเจนว่าระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าที่บริษัท ทีโอที ใช้งานนี้มีขีดความสามารถมากกว่า 85% แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการป้องกันกระแสฟ้าผ่าที่มีความรุนแรงมากๆ ซึ่งบางทีต้องมีการปรับปรุงให้รับกระแสฟ้าผ่าให้สูงขึ้นตามพื้นที่นั้นๆด้วย สรุปว่าระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าของบริษัททีโอที จำกัด ใช้งานได้ผลดีในระดับหนึ่งเป็นที่น่าพอใจ

สรุปการแก้ปัญหากราวน์ด

1. การแก้ปัญหากราวน์ดและฟ้าผ่าหากดำเนินการครบหมดจะช่วยลดค่าอะไหล่ในแต่ละปีไม่น้อยกว่า 84.465ล้านบาทและมีรายได้เพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่า 98.930 ล้านบาท

2. การปรับปรุงแต่ละชุมสายเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 200,000-400,000 บาท ขึ้นอยู่กับขนาดของชุมสายอายุใช้งานระบบโดยขั้นต่ำไม่น้อยกว่า 16 ปี

3. โดยทั่วไปเมื่อมีเหตุรุนแรงแต่ละครั้งจะช่วยลดค่าอะไหล่อุปกรณ์ประมาณ 440,000-6,596,000 บาท

4. โดยเฉลี่ยแต่ละชุมสายที่ปรับปรุงระบบแล้วพบว่ามีรายได้สูงขึ้นจากเดิมเดือนละ 781,556-2,493,527 บาท

ข้อมูลที่ได้(ก่อนการปรับปรุง)ได้จากการทำบัญชีรายจ่ายในแต่ละเดือน แล้วนำมาสรุปในแต่ละปี (ส่วนหลังการปรับปรุง) นำข้อมูลตัวเลขมาสรุปแล้วนำข้อมูลที่ได้ทั้งสองปีนั้นมาเปรียบเทียบระหว่างกันในแต่ละปี

<u>สรุปอุปสรรค์ทางด้าน Ac Line</u>

1. AC Line ที่ติดตั้งทุกภูมิภาคของประเทศไทยส่วนใหญ่ติดตั้งบนภูเขาสูงและมีต้นไม้ขึ้นหนาทึบในแนวสายส่งไฟฟ้าโอกาสเกิดความผิดพร่องในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ามีมาก

2. ส่วนภาคใต้ส่วนใหญ่มีต้นไม้หนาทึบในแนวสายส่ง ระบบส่งจ่ายสูงกว่าภาคอื่น (33kv) เมื่อเกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้าจะทำให้กำลังงานสูงมากจึงทำให้ AC Line Surge เสียบ่อยมากกว่าภาคอื่นๆ

<u>สรุป</u>

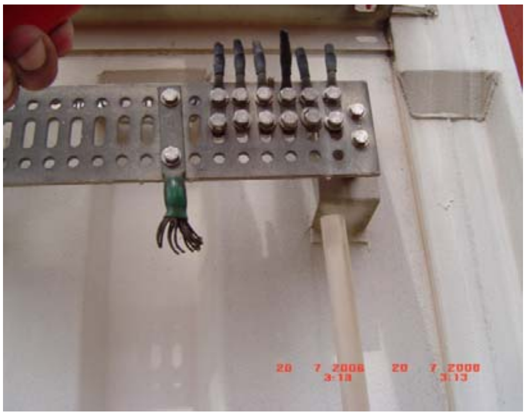
1. การนำ Ac Line Surge ไปใช้งานถ้าต้องการให้มีประสิทธิภาพที่ดีจะต้องจัดทำระบบลงดินแบบเทียบ Earth Common

2. อุปกรณ์กันเสิร์จที่ติดตั้งตัวนับ Counterจากการนำไปติดตั้งใช้งานจริงในระยะเวลาประมาณ 2-3 ปียังไม่มีอุปกรณ์ที่เสียหายจากฟ้าผ่า

3. การใช้งานในบางแห่งที่มีแรงดันเกินเวลา 3 วินาทีอุปกรณ์ป้องกัน Ac Surgeอาจมีความเสียหายแต่โหลดที่เป็นอุปกรณ์การสื่อสารจะมีความปลอดภัยและทำให้เกิดความเสียหายน้อยลงซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการบำรุงรักษา

4. อุปกรณ์เสิร์จเมื่อเกิดการชำรุดเสียหายก็สามารถนำกลับมาซ่อมและนำไปใช้ต่อได้

(ก)



(ข)

(ค)

(ง)

<u>ภาพที่ 85</u> สายกราวน์ดและแนวทางแก้ไข

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

<u>ภาพที่ 86</u> สายกราวน์ดถูกตัด

(ก)

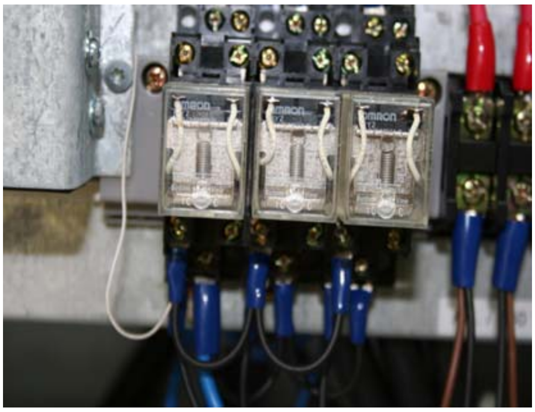
(ข)

<u>ภาพที่ 87</u> การทำกราวน์ดโดยใช้ลวดเหล็กชุบกัลวาไนซ์แทนสายทองแดง

<u>แนวทางแก้ไขสายกราว์นดที่ถูกตัด</u>

1. เปลี่ยนสายเดิมซึ่งเป็นสายทองแดงให้เป็นสายลวดชุบกัลวาไนซ์แต่จะมีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่ากันประมาณ 50%

2. ติดตั้งวงจรระบบ ALARM เมื่อมีการตัดสายกราวน์ด โดยใช้รีเลย์ 48v เป็นตัวส่ง ALARMไปที่ตัว DXUแล้วส่งสัญญาณต่อไปที่ห้อง OMC (ห้องควบคุม)



DTF

DISPLAY

DXU

<u>ภาพที่ 88</u> สายกราวน์ดถูกตัด

ข้อเสนอแนะ

1. แท่งหลักดินชนิด Copper bond ที่นำมาใช้งานเกิดอ๊อกไซด์ของทองแดงได้ง่าย ผิวที่ถูกเคลือบด้วยทองแดงมีขนาดบางทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ง่าย ซึ่งทำให้มีอายุการใช้งานสั้น

2. สายนำกระแสฟ้าผ่าควรจะใช้สายหุ้มฉนวนเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานที่นำอุปกรณ์ไปติดตั้งบนเสา และเมื่อเกิดปัญหาหรือข้อผิดพลาดขึ้นสายนำกระแสฟ้าผ่านี้จะไม่ไปแตะกับโครงสร้างเสา ทำให้ช่วยลดความเสียหายของอุปกรณ์สื่อสัญญาณลงได้อีกด้วย (เดินโดยร้อยลูกถ้วย)

3. สายนำกระแสฟ้าผ่าที่ต่อลงดินควรแยกออกจากระบบกราวน์ดของเครื่องอุปกรณ์สื่อสาร เพื่อแยกกระแสฟ้าผ่าไม่ให้มาทำลายเครื่องมือและอุปกรณ์สื่อสารได้

4. ติดตั้งเครื่องวัดฟ้าผ่าให้ครบทุกชุมสายเพื่อจะได้ทราบความรุนแรงแล้วนำมาปรับปรุงระบบต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

สำรวย สังข์สะอาด. 2542. **ลักษณะสมบัติของฟ้าผ่าโลกและการป้องกัน**. ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สมพร เรณางกูร. 2542. ส่วนวิจัยและพัฒนาเทคนิค. **ฝ่ายวิจัยและพัฒนาเทคนิค. องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย** 1 (1) : 35 – 48.

ศุลี บรรจงจิตร. 2534. **หลักการและเทคนิคการออกแบบไฟฟ้ากำลัง.** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

Allan, G. 1991. **Electrical Transients In Power System.** A Willey - Interscience Publication, New York.

Berger, K. 1971. Blitzforschung und Pcrsonen - Blitzschutz, ETZ (A), 92. **Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins** 92: 508-511.

_______. 1972. Methoden und Resultate der Blizforschung auf den Monte SanSal vatore Bei Lugano in den Jahren 1963 - 1971. Bull. **Schweizerischen Elcktrotechnischen Vereins** 63: 1403-1422.

Cobine, J.D. 1958. **Gaseous Conductors**. Dover. New York.

Gilbert, S. 1981. **Power Line Interference – Problems and Solution**. abc of Telephone, Volume 13, abc Teletraining, Inc., Geneva. Switzerland.

Glode, R.H. 1973. **Lightning Protection**. Chemical Publishing Co., Inc., New York.

Hoesl. A., G. Zaehe. and W. Aumeier. 1970. **Blitzschuts-fibel**. Richard Pfulum Verlag, KG, Munich.

Lightning Protection Code NFPA 78-1980

Marshall, J.L. 1913. **Lightning Protection**. A Wiley – Interscience Publication, New York.

Michal, M. 1988. **Grounding and Bonding**. Interference Control Technologies, Inc., Volume 2. Gainesville Virginia.

National Geographic. 1993. **Lightning nature's high-voltage spectacle**. Official Journal of The National Geographic Society, Washington, D.C.

Prinz, H., B. Feuer and Z. Funke. 1965. **Eroelthung des Institutes fuer Hochspannungs-und.** Anlagentechnik der technischen Hochschule, Munich.

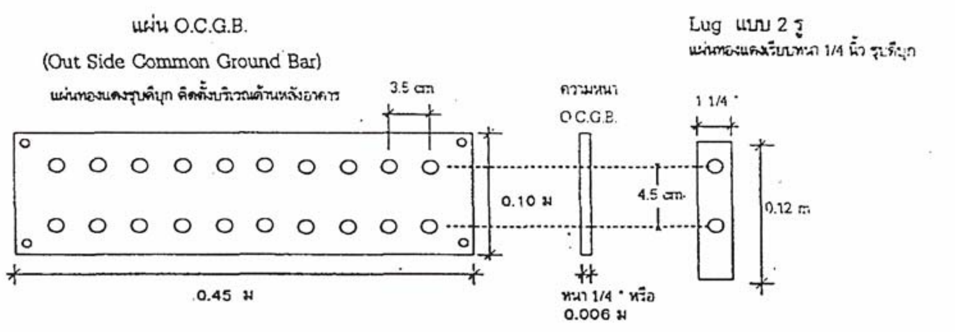
Salanave, L.E. 1980. **Lightning and Its Spectrum**. The University of Arizona Press, Arizona.

The International Telegraph and Telephone Consutative Commettee (C.C.I.T.T.). 1976. **Earthing of Telecommunication Installations.** The International Telecommunication Unian (ITU), Geneva.

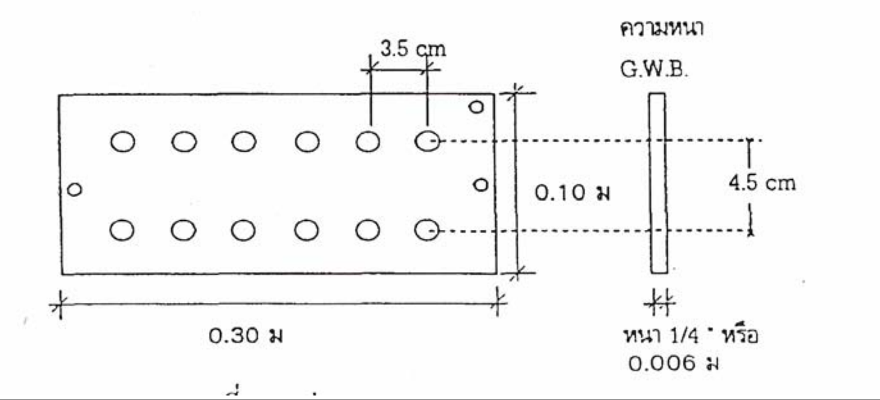
Tibor, H. 1991. **Computation of lightning Protection**. John Wiley & Sons Inc., New York.

ภาคผนวก

<u>อุปกรณ์และวิธีปฏิบัติระบบเสา</u>

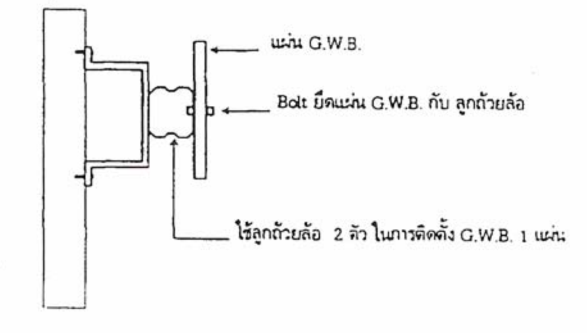


ภาพผนวกที่ 1 แผ่น O.C.G.B. และ Lug แบบ 2 รู



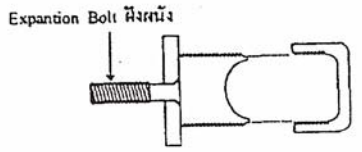
ภาพผนวกที่ 2 แผ่น G.W.B. (Ground windows Bar)

แผ่นทองแดงเรียบชุบดีบุก ติดตั้งในห้อง Power room และห้อง Radio room



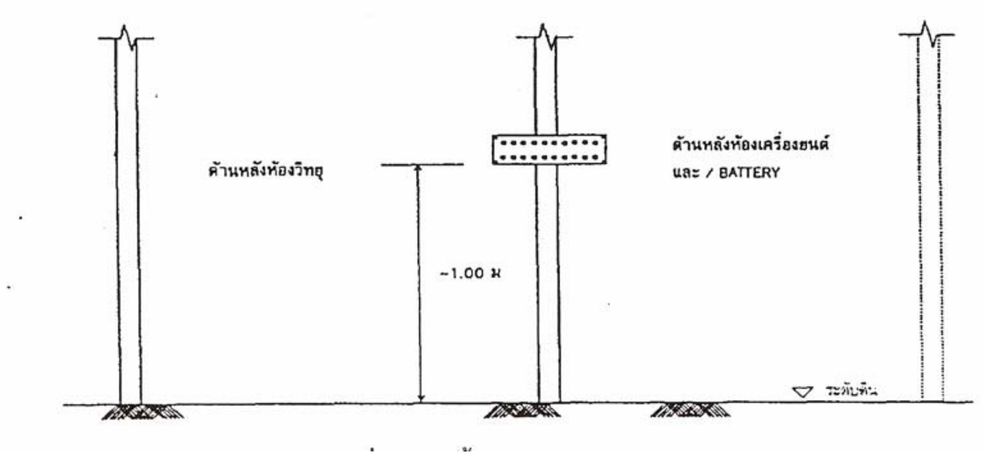
<u>ภาพผนวกที่ 3</u> การติดตั้ง แผ่น G.W.B.

Clamp พลาสติก แบบฝังผนังใช้รัดสายต่อลงดิน

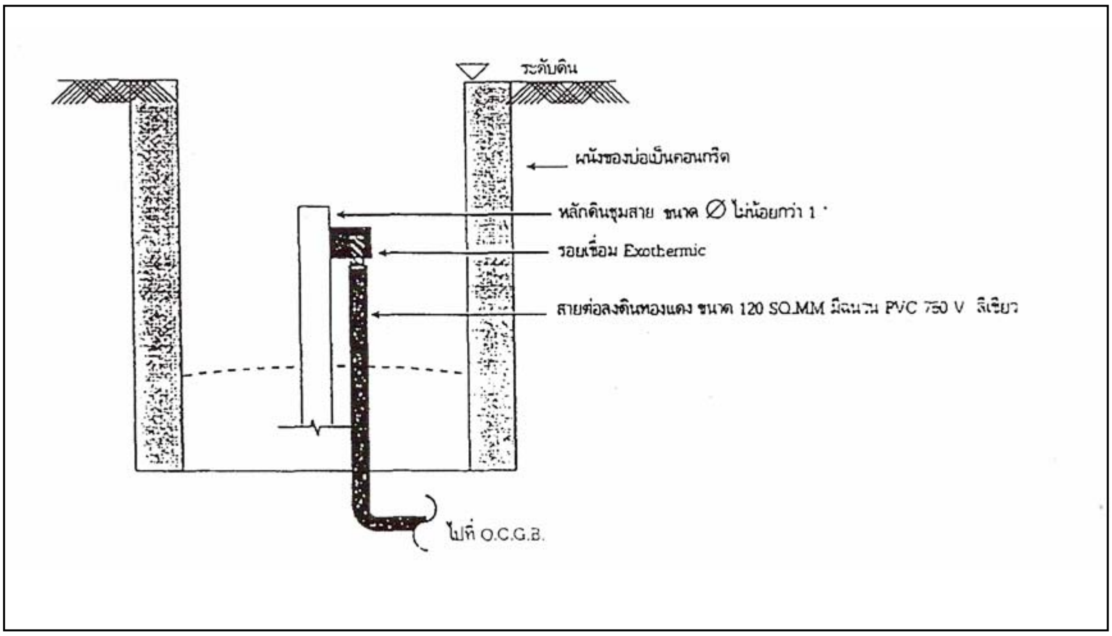


<u>ภาพผนวกที่ 4</u> Clamp พลาสติกรัดสายต่อลงดิน

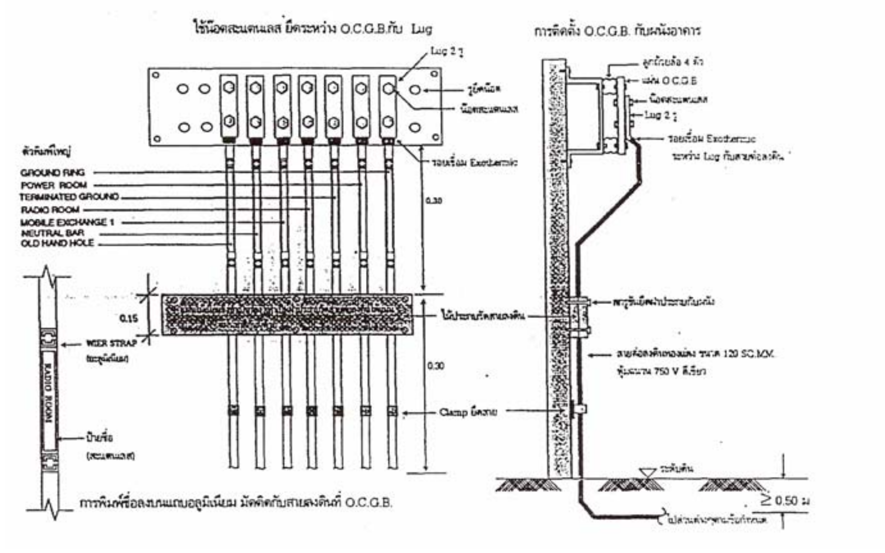
ตำแหน่ง O.C.G.B. เป็นจุดร่วมการต่อลงดิน(Bounding together) ติดตั้งบริเวณด้านหลังอาคาร



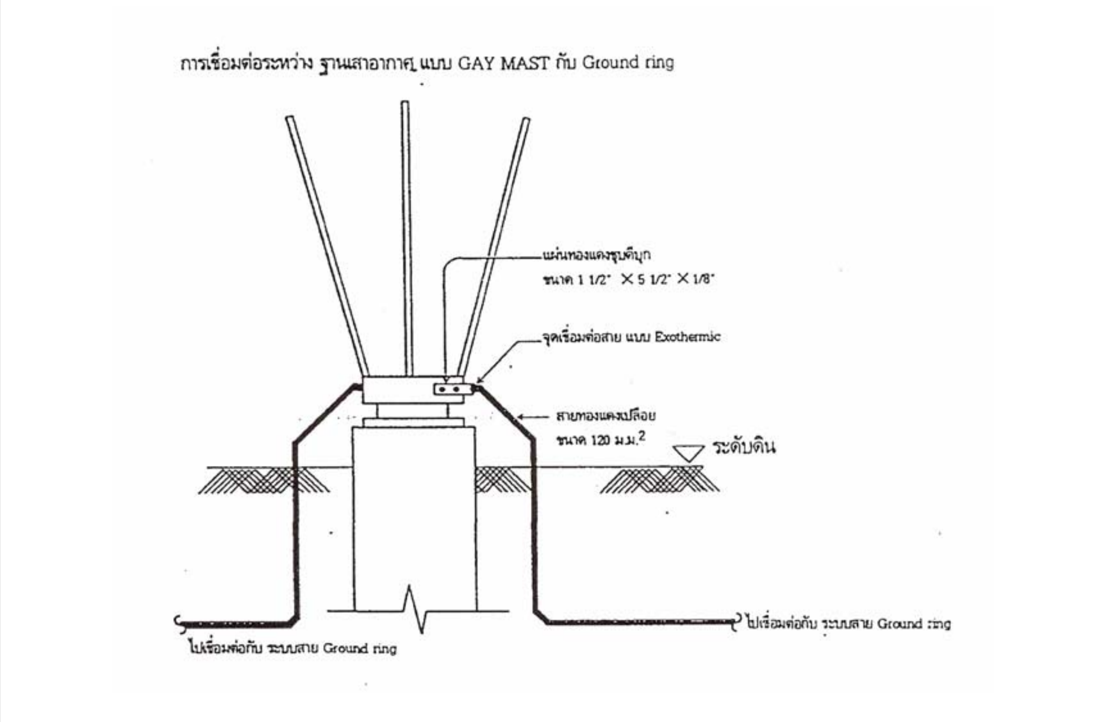
<u>ภาพผนวกที่ 5</u> ติดตั้ง O.C.G.B. ด้านหลังอาคาร



<u>ภาพผนวกที่ 6</u> บ่อกราวด์ ชุมสาย (EXCHANGE HAND HOLE)



<u>ภาพผนวกที่ 7</u> ติดตั้งสายต่อลงดินที่ O.C.G.B.

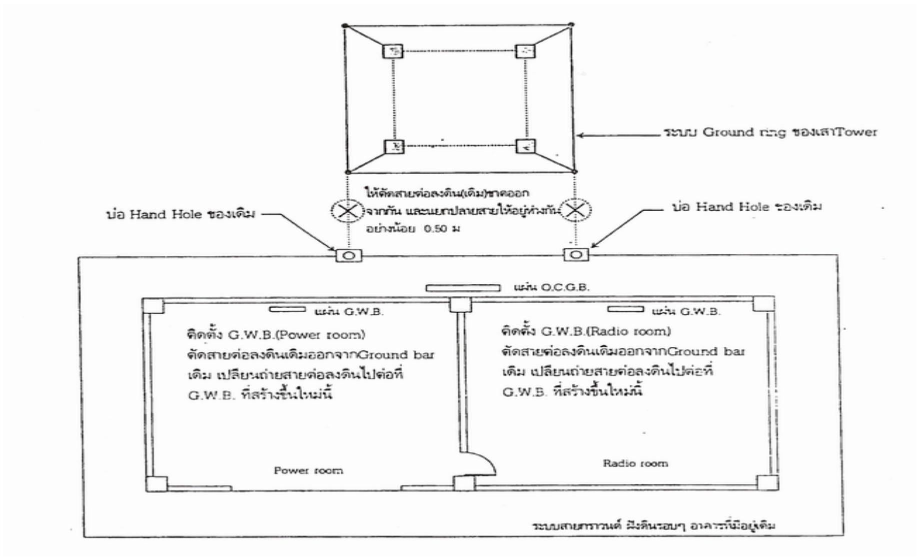


<u>ภาพผนวกที่ 8</u> วิธีเดินสายระบบ Ground Ring รอบๆฐานเสาอากาศ Guy Mast&Self support

วิธีตัดถ่าย สายต่อลงดิน(ระบบเดิม)ไปเป็นระบบต่อลงดินปรับปรุงใหม่

ขั้นที่1 สำรวจสายต่อลงดินเดิมก่อน แล้วค่อยเริ่มตัดถ่ายสายต่อลงดิน

ระบบต่อลงดินเดิมที่เคยใช้งาน ณ เสาอากาศ, อาคารชุมสายโทรศัพท์หรือ อาคารสถานีโทรคมนาคม



ภาพผนวกที่ 9 สำรวจสายต่อลงดินเดิมก่อน แล้วค่อยเริ่มตัดถ่ายสายต่อลงดิน

ขั้นที่2 วิธีเดินสายต่อลงดิน และการตัดถ่ายเป็นระบบปรับปรุงใหม่ เป็นดังนี้

วิธีเดินสายต่อลงดิน (Ground wiring) อาคารชุมสายโทรศัพท์ หรืออาคารสถานีโทรคมนาคม TOT แบบปรับปรุงใหม่

สรุป

รายการปรับปรุง การเดินสายต่อลงดิน (Ground wiring) ของอุปกรณ์สื่อสารของชุมสายให้ต่อร่วมเป็นจุดเดียวกัน (Bonding together) ที่ O.C.G.B.

1. ติดตั้งแผ่น O.C.G.B. ด้านหลังอาคาร, แผ่น G.W.B. (Power room) และ G.W.B.(Radio room)

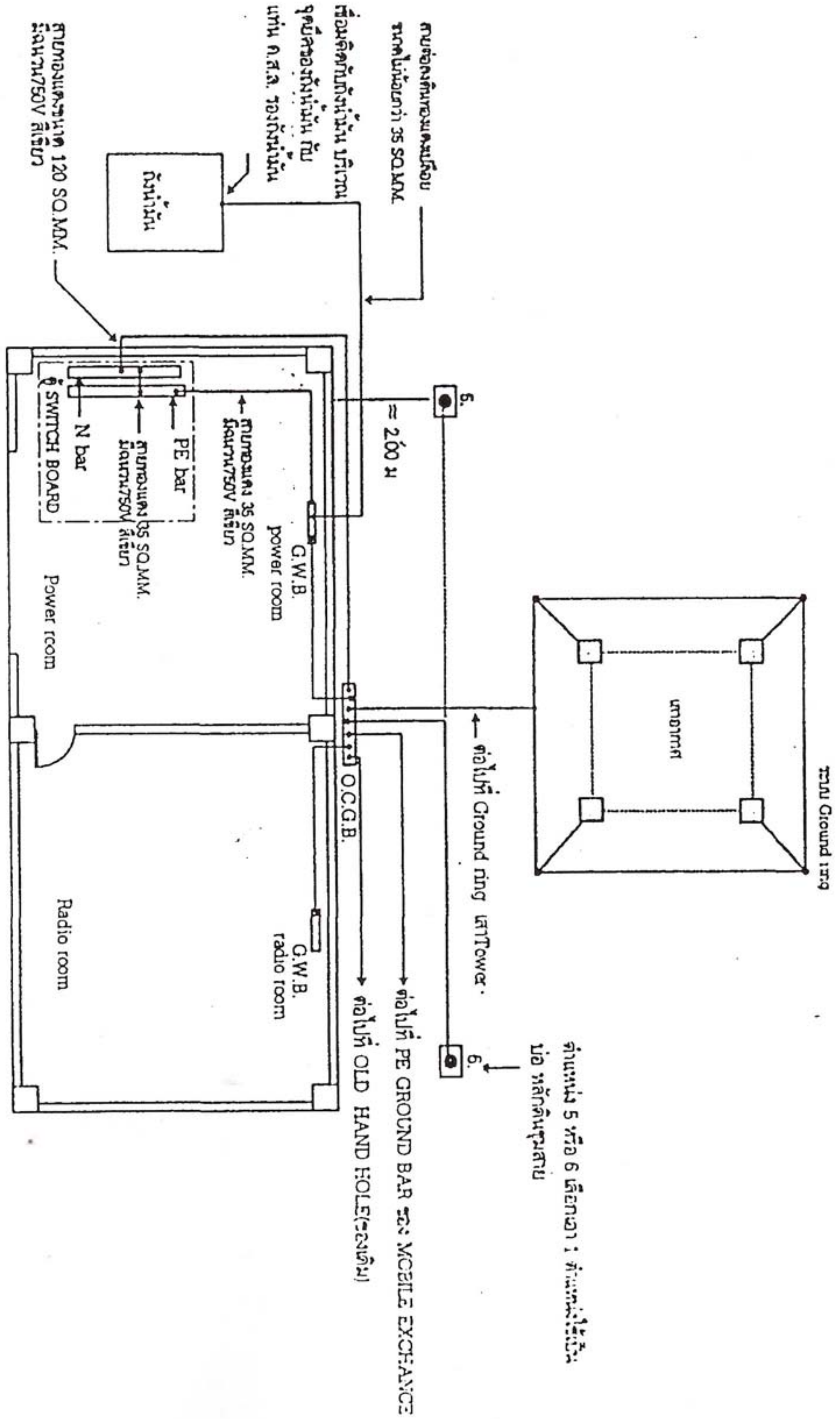
2. เดินสายต่อลงดินใหม่ ด้วยสายทองแดงขนาด 120 sq.mm. หุ้มฉนวน PVC ทนแรงดันไฟฟ้า 750 V สีเขียวจากแผ่น G.W.B. (Power room) และแผ่น G.W.B. (Radio room) ไปที่แผ่น O.C.G.B.

3. เดินสายต่อลงดิน จากอุปกรณ์ (Equipment) ทั้งหมด ภายในห้อง Power room เช่น Charger, Line Conditioner, Generator Neutral Panel, เครื่องยนต์ปั่นไฟฟ้า ฯลฯ ไปที่ G.W.B.(Power room)

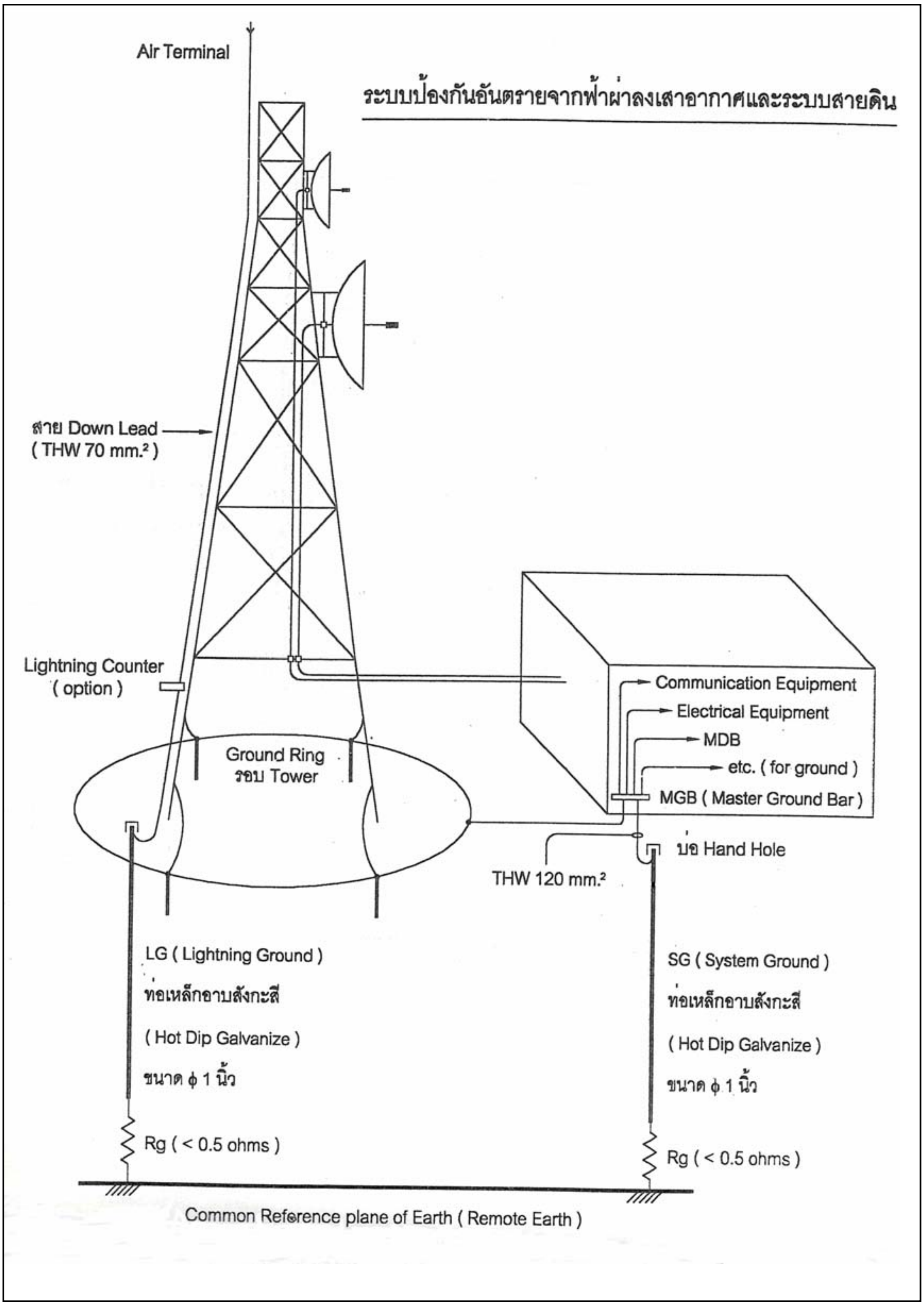
4. เดินสายจาก Neutral Bar ของตู้ Main Switch Board ไปที่ O.C.G.B. ด้วยสายทองแดงขนาด 120 sq.mm. หุ้มฉนวน PVC ทนแรงดันไฟฟ้า 750 V สีเขียว

5. เดินสายจาก PE Bar ของตู้ Main Switch Board ไปที่ G.W.B. (Power room) ด้วยสายทองแดงขนาด 35 sq.mm. หุ้มฉนวน PVC ทนแรงดันไฟฟ้า 750 V สีเขียวและเดิมสายต่อระหว่าง PE Bar เข้ากับ N Bar

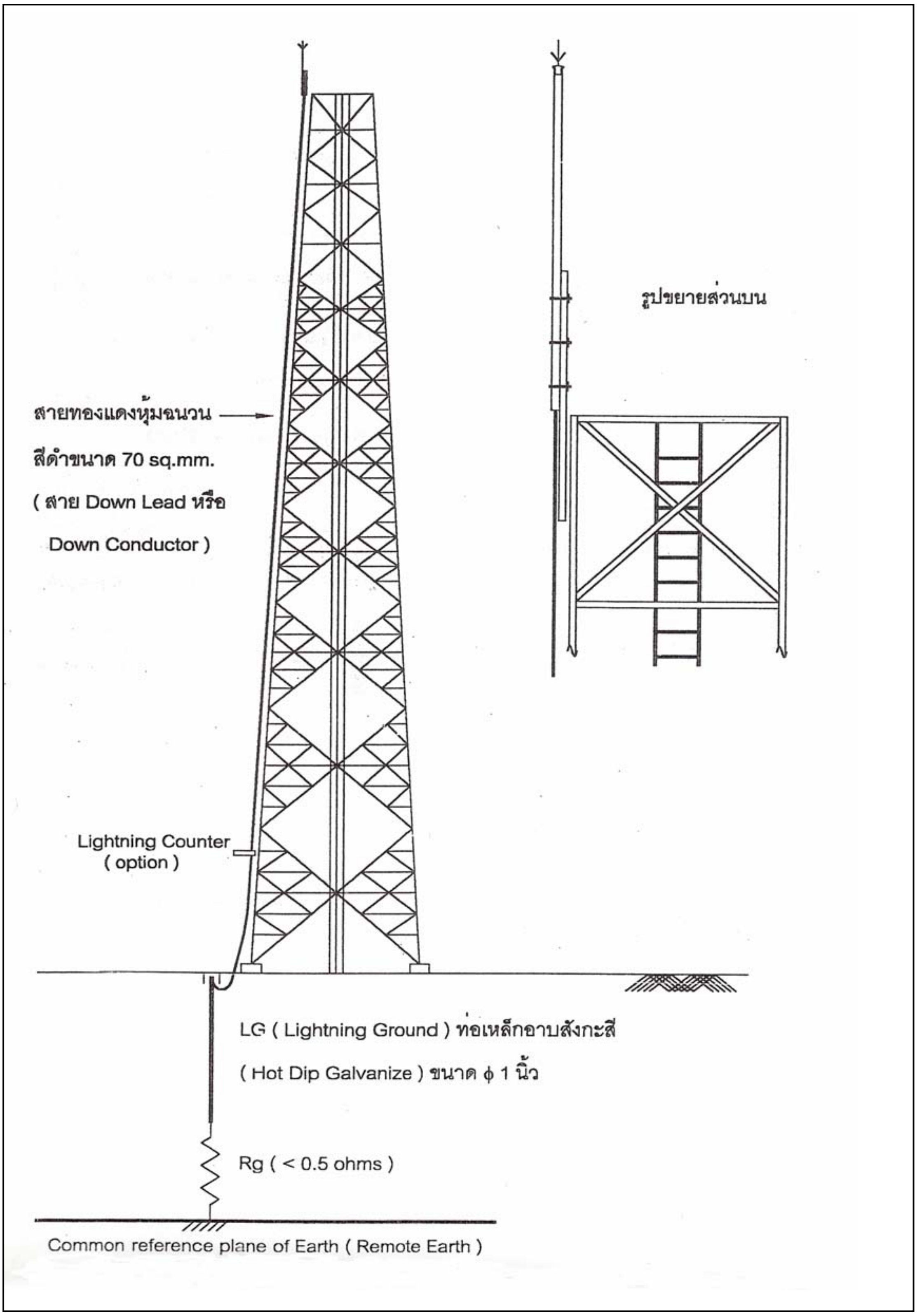
6. เดินสายต่อลงดินจาก อุปกรณ์ (Equipment) ทั้งหมดภายในห้อง Radio room เช่น Microwave radio, TDMA, Panel ฯลฯ ไปที่ G.W.B. (Radio room)



ภาพผนวกที่ 10 วิธีเดินสายต่อลงดิน และการตัดถ่ายเป็นระบบปรับปรุงใหม่



<u>ภาพผนวกที่ 11</u> ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าลงเสาอากาศและระบบสายดิน แบบที่1

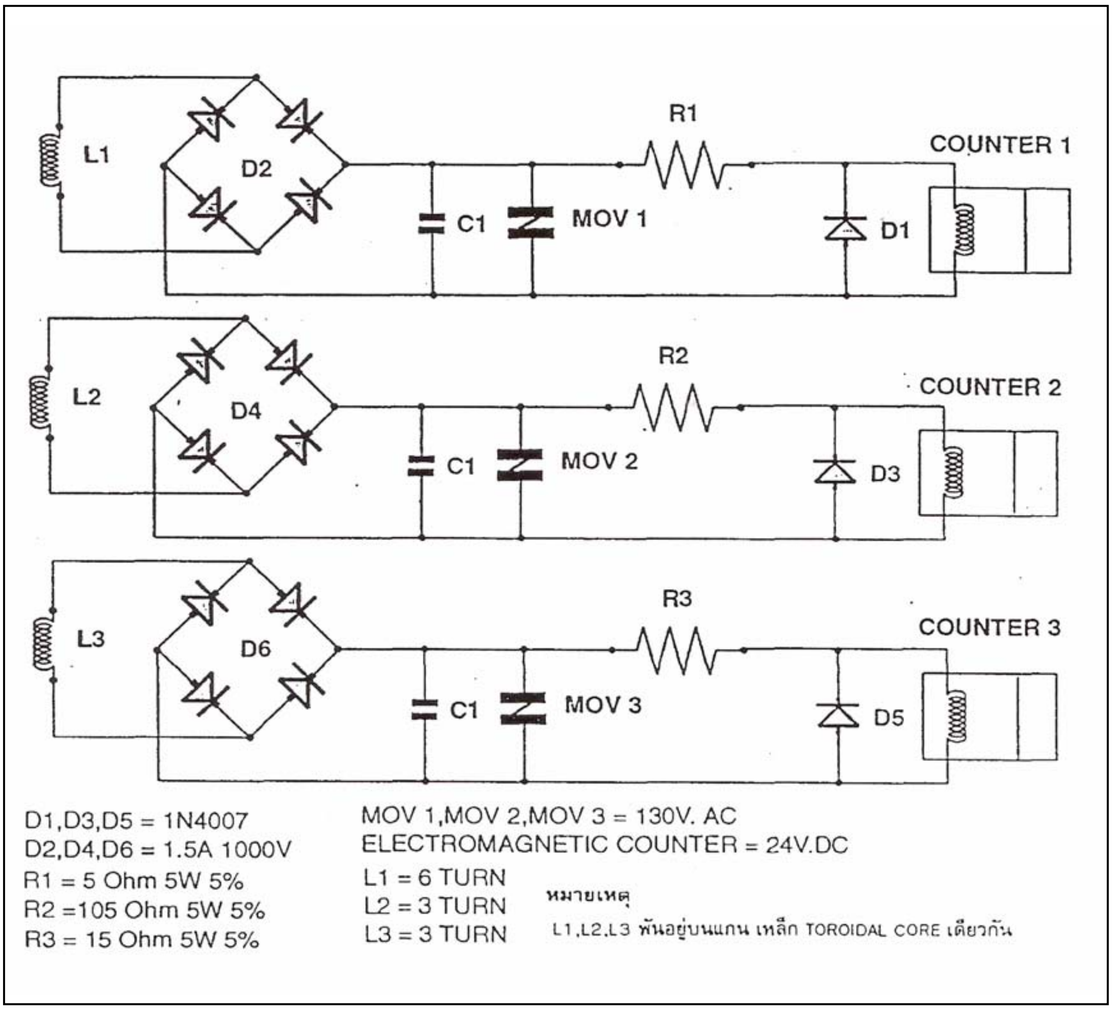


<u>ภาพผนวกที่ 12</u> ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าลงเสาอากาศและระบบสายดิน แบบที่2

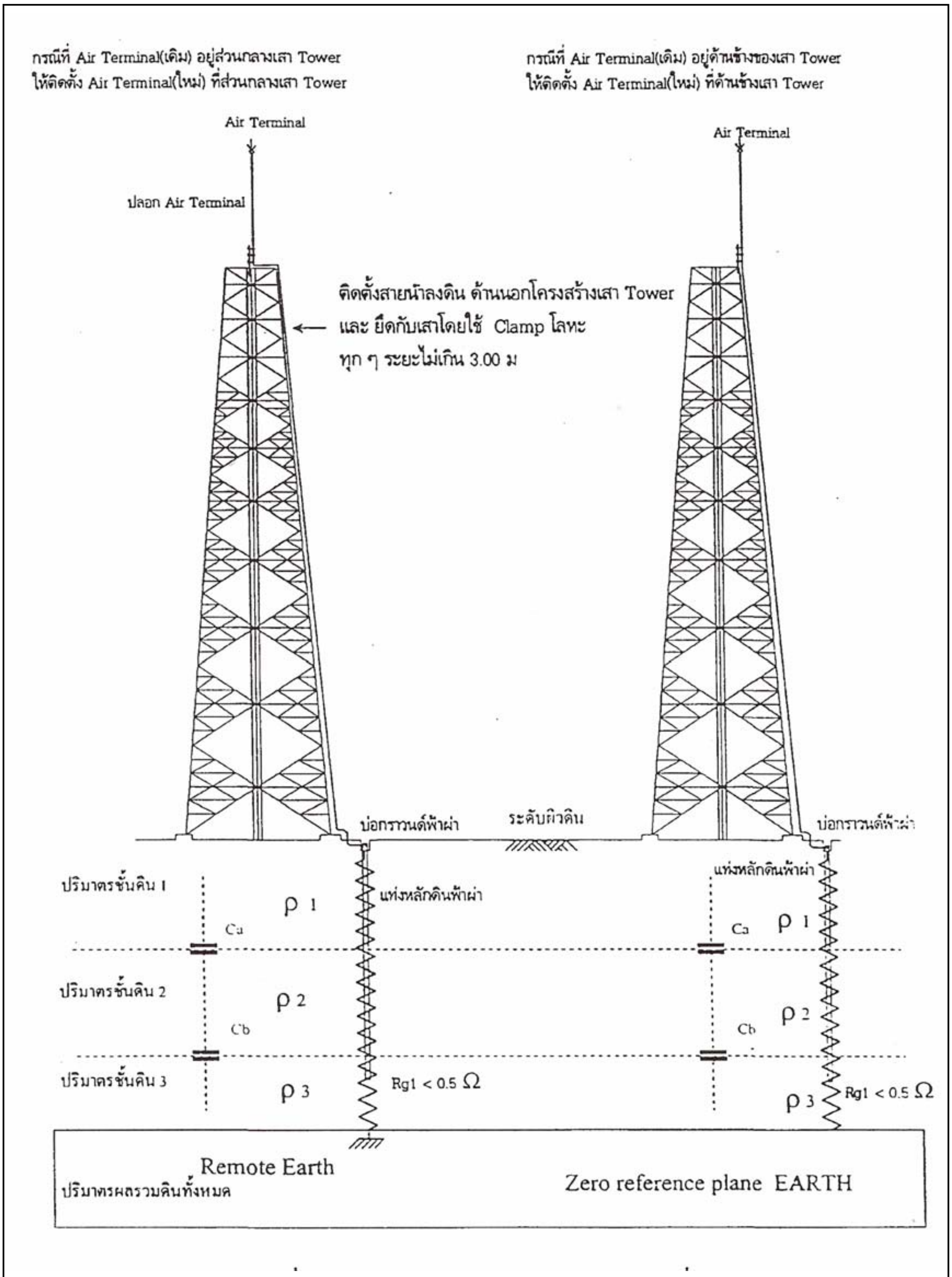
<u>ภาพผนวกที่ 13</u> เครื่องวัด EARTH TESTER แบบ 3 หมุด

<u>ภาพผนวกที่ 14</u> การเชื่อมแท่งหลักกราวนด์

วงจรไฟฟ้าเครื่องวัดฟ้าผ่า



<u>ภาพผนวกที่ 15</u> วงจรไฟฟ้าเครื่องวัดฟ้าผ่า



ภาพผนวกที่ 16 การเดินสาย DOWN LEADER ลงมาที่โคนเสาอากาศ

<u>ภาพผนวกที่ 17</u> อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อกราวนด์

<u>ภาพผนวกที่ 18</u> การเชื่อมต่อ Air Terminal ของยอดเสา

ภาพผนวกที่ 19 การเข้าบาร์กราวนด์

ภาพผนวกที่ 20 การเชื่อมต่อกราวนด์เป็นรูปสามเหลี่ยม