การติดตั้งระบบสายดิน

หัวข้อเรื่อง

4.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการต่อระบบสายดิน
4.2 ความหมายของระบบสายดิน
4.3 ประเภทของระบบสายดิน
4.4 เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องต่อสายดินและไม่ต้องต่อสายดิน
4.5 องค์ประกอบของการต่อระบบสายดิน
4.6 การวัดค่าความต้านทานของดิน
4.7 การติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่ว
4.8 การตรวจสอบและทดสอบระบบสายดิน

สาระสำคัญ

การต่อระบบสายดินที่ถูกต้องสามารถช่วยป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้า ป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดกับชีวิตในกรณีที่มีกระแสไฟฟ้ารั่วจากเครื่องใช้ไฟฟ้า และยังสามารถใช้เป็นศักย์อ้างอิงในระบบไฟฟ้าที่ต้องการความเชื่อถือสูง ดังนั้นบ้านพักอาศัย อาคาร โรงงาน ร้านค้า หรือสถานที่ที่มีการติดตั้งระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการต่อระบบสายดิน การต่อระบบสายดินที่ดีนั้นจะต้องมีความถูกต้องตามมาตรฐานซึ่งจะทำให้เกิดประสิทธิผลในการป้องกันและการใช้งาน

มาตรฐานวิศวกรรมไฟฟ้าได้กำหนดมาตรฐานการต่อระบบสายดินของระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อการป้องกันระบบไฟฟ้าจากการเกิดข้อบกพร่องในการทำงาน และยังสามารถลดหรือกำจัดผลกระทบนั้นๆ ออกไปได้ทันเวลา ทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานและไม่เกิดผลเสียหายต่อระบบไฟฟ้า โดยสามารถนำมาทำงานร่วมกับระบบและอุปกรณ์ป้องกันอื่นๆ ภายในระบบไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น การต่อลงดินที่ไม่ได้มาตรฐานอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ไฟฟ้า เกิดการสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สิน อาจเป็นสาเหตุของการเกิดไฟไหม้ กรณีการต่อระบบสายดินไม่ถูกต้องอาจส่งผลเสียอีกหลายด้าน เช่น ระบบไฟฟ้าขาดคุณภาพที่เกิดจากการรบกวนคลื่นสัญญาณไฟฟ้าอันเนื่องจากผลกระทบของกระแสและแรงดันเหนี่ยวนำอย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่าง สำหรับระบบไฟฟ้าที่มีต้องการความเชื่อถือสูง เช่น ระบบคอมพิวเตอร์ขององค์กรทางการเงินการธนาคาร หรือการใช้ระบบคอมพิวเตอร์ออนไลน์ รวมถึงระบบที่มีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไวต่อสัญญาณรบกวนและต้องการความแม่นยำสูง ควรมีการต่อระบบสายดิน ดังนั้นการต่อระบบสายดินเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก

สมรรถนะประจำหน่วยการเรียนรู้

ออกแบบ ติดตั้ง ตรวจสอบ และทดสอบระบบสายดิน

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. จุดประสงค์ทั่วไป

1.1 เพื่อให้มีความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการต่อระบบสายดิน

1.2 เพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบและติดตั้งระบบสายดิน

1.3 เพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับการตรวจสอบและทดสอบระบบสายดิน

2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

2.1 อธิบายความหมายทั่วไปเกี่ยวกับการต่อระบบสายดินได้

2.2 ออกแบบและติดตั้งระบบสายดินได้อย่างถูกต้อง

2.3 ตรวจสอบและทดสอบระบบสายดินได้

การติดตั้งระบบสายดิน

4.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการต่อระบบสายดิน

ระบบสายดินมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า ทั้งในระบบกระแสตรงและกระแสสลับ ระบบสายดินที่ดีจะสามารถให้ประสิทธิภาพในการป้องกันทั้งผู้ใช้งานและอุปกรณ์ไฟฟ้าจากการถูกไฟฟ้าดูด และยังสามารถป้องกันสาเหตุการเกิดไฟไหม้ได้เป็นอย่างดี สายดินมีสัญลักษณ์ดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 สัญลักษณ์ของสายดิน

การต่อลงดินมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญด้านความปลอดภัยต่อผู้ใช้ไฟฟ้า และด้านประสิทธิผลและคุณภาพการทำงานของระบบไฟฟ้าและระบบป้องกันต่างๆ รวมถึงการขจัดผลการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และการป้องกันผลกระทบจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า (รายละเอียดจะกล่าวถึงในหน่วยที่ 5) การต่อลงดินช่วยขจัดความผิดพร่อง (fault) ที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายได้ทันท่วงที นอกจากนี้การต่อลงดินยังทำให้เกิดจุดอ้างอิงสำหรับการทำงานของระบบไฟฟ้ากระแสสลับได้อีกด้วย มาตรฐานการต่อลงดินตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ซึ่งในหนังสือดังกล่าวจะมีเนื้อหาอยู่ในบทที่ 4 จะใช้มาตรฐานของ ว.ส.ท. 2001-51 มาตรฐาน NEC Article 250 (Grounding) และมาตรฐาน IEC 60364-5-54 (Earthing Arrangement and Protective Conductors)

4.2 ความหมายของระบบสายดิน

สายดินหรือสายกราวด์ (Ground Wire) หมายถึง สายไฟที่มีไว้เพื่อความปลอดภัยต่อการใช้ไฟฟ้า เป็นตัวนำหรือสายไฟฟ้าที่ต่อจากส่วนที่เป็นตัวนำไฟฟ้าหรือเปลือกโลหะของเครื่องใช้ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ติดตั้งทางไฟฟ้า หรือส่วนโครงภายนอกของเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อให้เครื่องใช้มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์เท่ากับพื้นดิน ในด้านวิศวกรรมไฟฟ้า หมายถึงจุดๆ หนึ่งในวงจรไฟฟ้าที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการวัดแรงดันไฟฟ้า หรือใช้เป็นเส้นทางกลับร่วมกันของกระแสไฟฟ้าจากหลายๆที่ หรือจุดเชื่อมต่อทางกายภาพโดยตรงกับพื้นดิน ซึ่งปกติเป็นส่วนที่ไม่มีไฟและมักมีการจับต้องขณะใช้งาน เพื่อให้เป็นเส้นทางที่สามารถนำกระแสไฟฟ้าหากเกิดกรณีที่มีไฟฟ้ารั่วไหลจากเครื่องใช้ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะไหลลงยังพื้นดินโดยผ่านสายดินที่เราต่อไว้ ทำให้กระแสไฟฟ้าไม่ผ่านร่างกายของผู้ที่สัมผัสเครื่องใช้นั้นๆ โดยผู้ใช้ไฟไม่เกิดอันตราย ขณะเดียวกันก็เป็นเส้นทางให้กระแสไฟฟ้ารั่วไหลย้อนกลับไปยังหม้อแปลงไฟฟ้าได้สะดวก เพื่อให้เครื่องตัดไฟอัตโนมัติทำงานและตัดไฟออกทันที สายไฟที่ลงดินหรือสายดินจะต้องถูกกำหนดเป็นมาตรฐานให้ใช้สีที่แน่นอนเพื่อป้องกันการต่อสายผิดพลาด ซึ่งมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ได้กำหนดให้ใช้สีเขียวแถบเหลือง

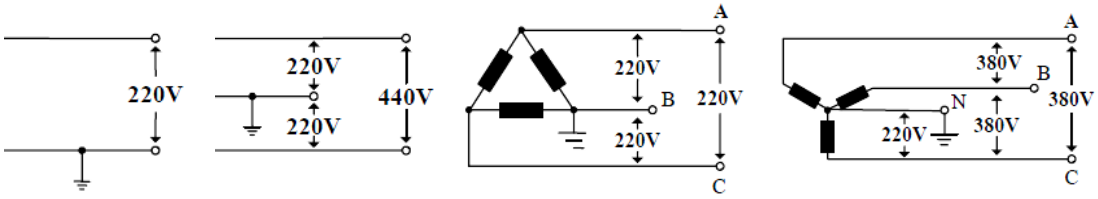
4.3 ประเภทของระบบสายดิน

การต่อลงดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท แต่ละชนิดจะมีวัตถุประสงค์ของการใช้งานแตกต่างกันดังนี้

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding)
2. การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding)
3. การต่อลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่า (Lightning Protection Grounding) (รายละเอียดในบทที่ 5)

4.3.1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding) หมายถึง การต่อส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่านลงดิน และโดยทั่วไปจะหมายถึงการต่อจุดนิวทรัล (Neutral point) ลงดิน มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อทำให้แรงดันเทียบกับดินมีค่าคงตัวในขณะระบบไฟฟ้าทำงานปกติ ช่วยจำกัดขนาดแรงดันเกิน (overvoltage) ที่อาจเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ซึ่งอาจเกิดจากฟ้าผ่า, เสิร์จในสายหรือสัมผัสกับสายแรงสูงโดยบังเอิญ และเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินขึ้นจะช่วยให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงานได้รวดเร็วขึ้น ดังนั้นวัตถุประสงค์การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าก็เพื่อประโยชน์ของการทำงานและการป้องกันในระบบไฟฟ้าโดยตรง ไม่ใช่เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าที่อาจจะเกิดขึ้นกับบุคคล ซึ่งมีรายละเอียดของการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า ดังนี้

1) การต่อลงดินในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC System Grounding) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ 1) ระบบที่มีแรงดันต่ำกว่า 50 โวลต์ 2) ระบบที่มีแรงดันระหว่าง 50 - 1000 โวลต์ 3) ระบบที่มีแรงดัน 1000 โวลต์ขึ้นไป กรณีที่ใช้ระบบแรงดันระหว่าง 50 - 1000 โวลต์ ซึ่งพบเห็นกันมากที่สุดมีรูปแบบการต่อลงดินดังรูปที่ 4.2



1∅ 2W 220 V 1∅ 3W 220/440 V 3∅ 3W 220 V 3∅ 4W 380/220 V

รูปที่ 4.2 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันตั้งแต่ 50 - 1000 โวลต์

2) ระบบการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า มาตรฐานการต่อลงดิน IEC 60364-3 ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วโลกในทุกวันนี้ โดยในมาตรฐานได้แบ่งการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าด้วยตัวอักษร 2 ตัว และยังสามารถแบ่งได้อีกเป็น 5 รูปแบบ การต่อลงดินของไฟฟ้าแบ่งตามวิธีการต่อลงดิน และกำหนดวิธีเรียกระบบไฟฟ้าตามวิธีการต่อลงดิน วิธีเรียกชื่อกำหนดด้วยตัวอักษร โดยเรียงจากซ้ายไปขวาดังนี้

อักษรตัวแรก แสดงความสัมพันธ์ของระบบจ่ายไฟฟ้ากับดิน

T หมายถึง การต่อโดยตรงของจุดหนึ่งของระบบจ่ายไฟฟ้ากับดิน

I หมายถึง แยกทุกส่วนที่มีไฟออกจากดิน หรือต่อลงดินผ่านอิมพีแดนซ์

อักษรตัวที่สอง แสดงความสัมพันธ์ของส่วนตัวนำเปิดโล่งของการติดตั้งกับดิน

T หมายถึง การต่อลงดินโดยตรงทางไฟฟ้าของส่วนตัวนำเปิดโล่งกับดินโดยตรง ไม่ขึ้นกับการต่อลงดินของจุดใดๆ ของระบบจ่ายไฟ

N หมายถึง การต่อโดยตรงทางไฟฟ้าของส่วนตัวนำเปิดโล่งกับจุดที่ต่อลงดินของระบบจ่ายไฟ

อักษรตัวที่ต่อมา (ถ้ามี) จะเป็นตัวอักษรที่แสดงการจัดตัวนำนิวทรัล (neutral, N) และตัวนำสำหรับการป้องกัน (protective conductor, PE)

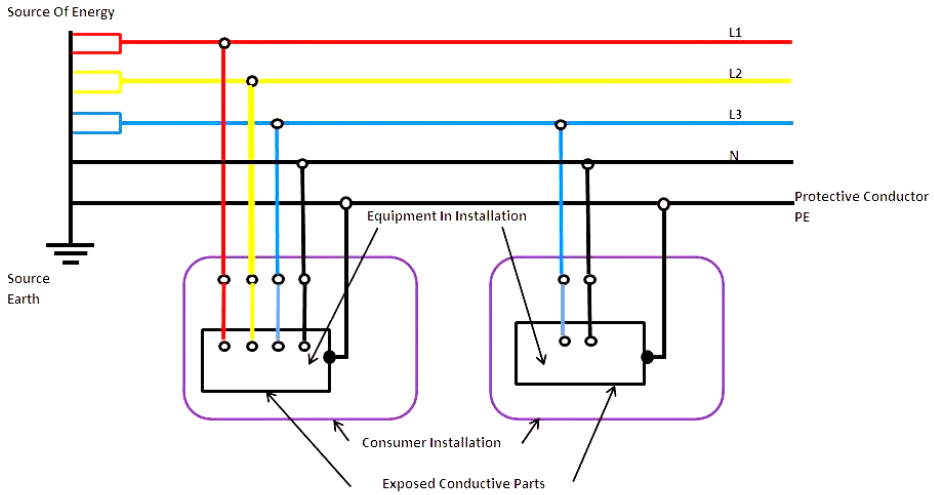
I หมายถึง แยกทุกส่วนที่มีไฟออกจากดิน หรือต่อจุดหนึ่งลงดินผ่านอิมพีแดนซ์

S หมายถึง การแยกตัวนำป้องกันจากตัวนำนิวทรัล หรือแยกจากสายที่มีการต่อลงดิน

C หมายถึง ตัวนำนิวทรัลและตัวนำป้องกันต่อร่วมกันเป็นตัวนำเดียว (ใช้สายเดียวกัน)

2.1 ระบบ TN ระบบนี้จะมีหนึ่งจุดต่อลงดินโดยตรง ส่วนตัวนำที่เปิดโล่งของการติดตั้งต่อกับจุดนั้นด้วย ตัวนำป้องกัน ระบบ TN แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามการจัดรูปแบบของตัวนำนิวทรัลและตัวนำป้องกัน ดังนี้

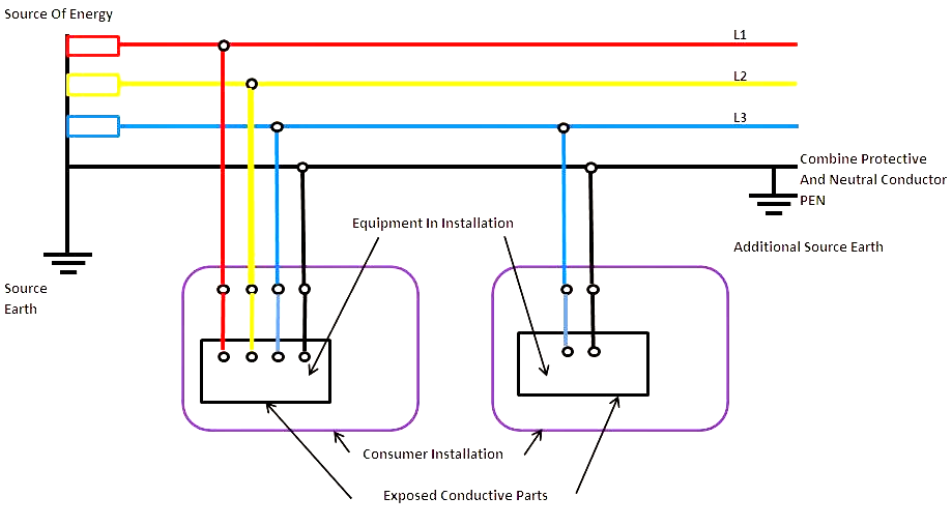
- ระบบ TN-S เป็นระบบที่ตัวนำป้องกันแยกต่างหาก (N, PE) ตลอดทั้งระบบ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ระบบ TN-S[1]

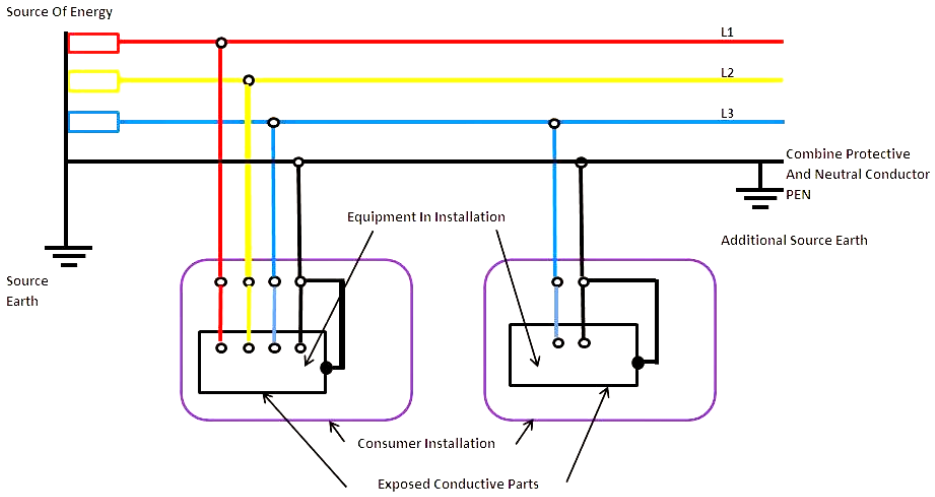
- ระบบ TN-C เป็นระบบที่ตัวนำนิวทรัล และตัวนำป้องกันรวมกันเป็นตัวนำชุดเดียว (PEN) ตลอดทั้งระบบ ดังรูปที่ 4.4 สำหรับประเทศไทยได้นำการต่อลงดินแบบนี้ไปใช้กับระบบสายส่งไฟฟ้าจะมีการต่อลงดินเป็นช่วงๆ เพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่หากเกิดกระแสผิดพร่องขึ้นที่เกิดจากฟ้าผ่าลงสาย หรือกิ่งไม้พาดโดนสายส่ง ซึ่งจะไม่ทำให้สายส่งช่วงอื่นมีแรงดันที่ไม่คงที่จากเหตุการณ์ลัดวงจรหรือกระแสเกินตามไปด้วย

[1] สืบค้นเมื่อ 11/10/58 http://miorzaini.blogspot.com/2014_06_01_archive.html



รูปที่ 4.4 ระบบ TN-C[2]

- ระบบ TN-C-S เป็นระบบที่ผสมระหว่าง TN-C และ TN-S เข้าด้วยกัน คือ ระหว่างหม้อแปลงถึงตู้ประธานหรือตู้จ่ายไฟหลักสายนิวทรัลและสายดินจะใช้สายตัวนำเส้นเดียวร่วมกัน และตั้งแต่ตู้จ่ายไฟหลัก สายนิวทรัลและสายดินจะแยกตัวนำกันตลอดทั้งระบบ แต่จะมีการต่อถึงกันที่บัสบาร์นิวทรัล (N) และ กราวด์ (G) ที่ตู้ประธานของระบบหรือตู้จ่ายไฟหลัก (MDB) สามารถกล่าวได้ว่าระบบ TN-C-S เป็นระบบที่ตัวนำนิวทรัล และตัวนำป้องกันรวมกันเป็นตัวนำชุดเดียวในส่วนหนึ่งของระบบ ดังรูปที่ 4.5 สำหรับประเทศที่มีการต่อลงดินระบบ TN-C-S เช่น เยอรมัน, สหรัฐอเมริกา และสำหรับ

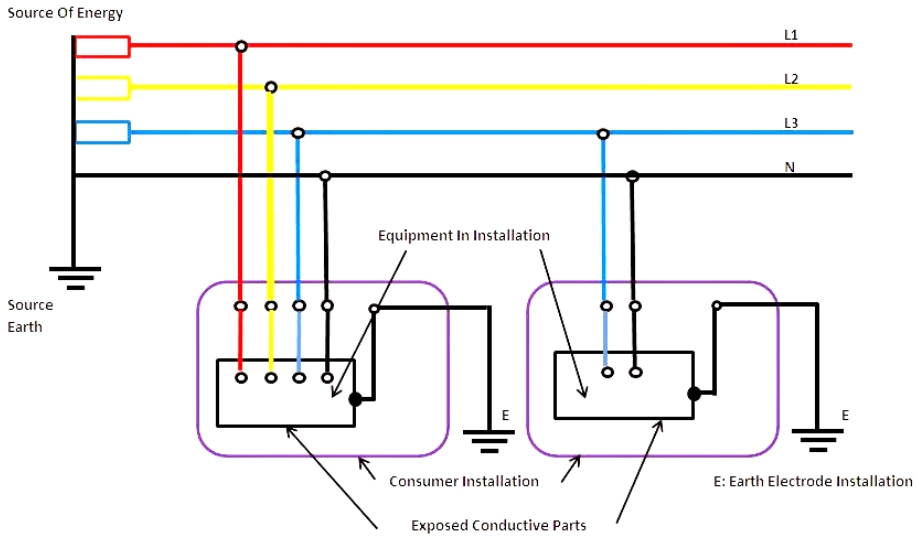


รูปที่ 4.5 ระบบ TN-C-S[3]

[2,3] สืบค้นเมื่อ 11/10/58 http://miorzaini.blogspot.com/2014_06_01_archive.html

ประเทศไทยตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของ วสท. นั้น กำหนดให้ระบบ TN-C-S เป็นการต่อลงดินของระบบแรงต่ำ ซึ่งสายนิวทรัลจะต่อถึงกันกับสายดินที่ตู้จ่ายไฟหลัก (MDB) และห้ามต่อลงดินที่จุดอื่นอีก เพราะจะทำให้อุปกรณ์ป้องกันไฟรั่วทำงานผิดพลาดได้

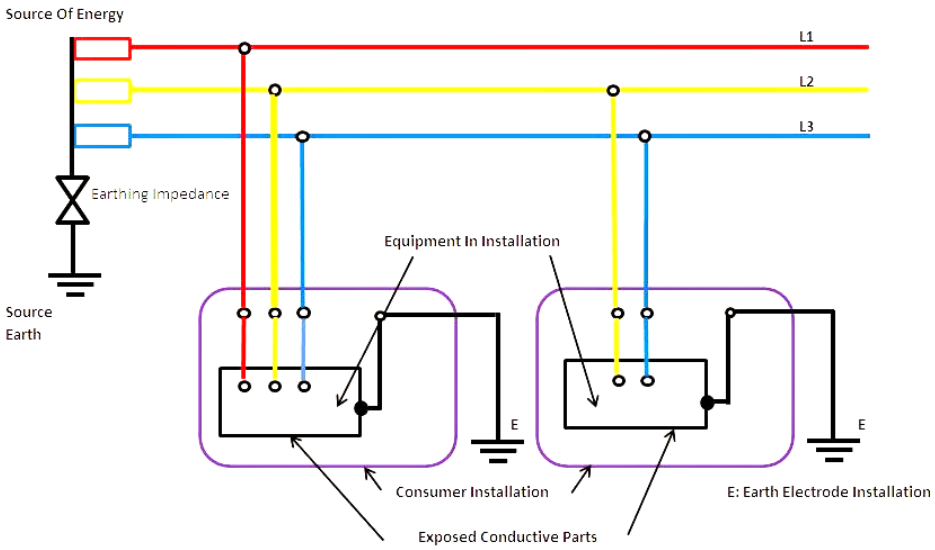
2.2 ระบบ TT ระบบนี้จะมีหนึ่งจุดต่อลงดินโดยตรง ส่วนตัวนำที่เปิดโล่งของการติดตั้งต่อกับหลักดินทางไฟฟ้า โดยไม่เกี่ยวข้องกับหลักดินของระบบไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.6 สำหรับประเทศที่มีการต่อลงดินระบบ TT เช่น ญี่ปุ่น, เบลเยี่ยม, สเปน, ฝรั่งเศส, อิตาลี, โปรตุเกส เป็นต้น เครื่องใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยที่เห็นอยู่บ่อยๆ เช่น ตู้เย็น, เครื่องซักผ้า หรือเครื่องทำน้ำเย็น เป็นต้น ที่มีการต่อลงดินของตัวถังอุปกรณ์ลงดินโดยตรง



รูปที่ 4.6 ระบบ TT[4]

2.3 ระบบ IT ระบบนี้จะมีส่วนที่มีไฟทั้งหมดแยกออกจากดิน หรือจุดหนึ่งต่อกับดินผ่านอิมพีแดนซ์ ส่วนตัวนำที่เปิดโล่งของการติดตั้งต่อลงดินอิสระ หรือต่อร่วมกันกับการต่อลงดินของระบบ ดังรูปที่ 4.7 สำหรับประเทศที่มีการต่อลงดินระบบ IT เช่น นอร์เวย์ หรือในประเทศไทยที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้นำระบบการต่อลงดินแบบนี้มาใช้กับหม้อแปลงจำหน่ายที่เรียกว่า การต่อ NGR (Neutral ground resistance) เพื่อลดค่ากระแสลดวงจร เป็นต้น

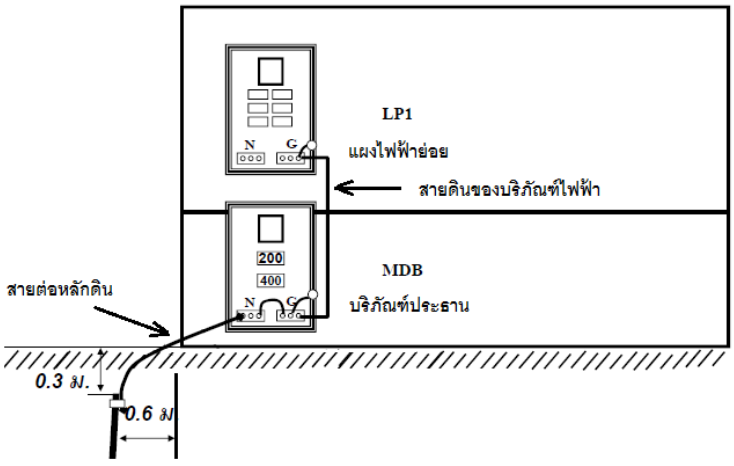
[4] สืบค้นเมื่อ 11/10/58 http://miorzaini.blogspot.com/2014_06_01_archive.html



รูปที่ 4.7 ระบบ IT[5]

สำหรับประเทศไทย มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยกำหนดให้ระบบ TN-C-S เป็นระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้ง ทั้งนี้ไม่รวมบริเวณหรือสถานที่เฉพาะ

3) การต่อลงดินของระบบประธานแรงดันต่ำ แบ่งเป็นในอาคารทั่วไป และในอาคาร 2 หลังหรือมากกว่า ในกรณีที่หม้อแปลงไฟฟ้าติดตั้งอยู่ภายนอกอาคารจะต้องมีการต่อลงดินเพิ่มอีกอย่างน้อย 1 จุด



รูปที่ 4.8 การต่อลงดินของระบบประธานแรงดันต่ำในอาคารทั่วไป

3.1 การต่อลงดินของระบบประธานแรงดันต่ำในอาคารทั่วไป ตามมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ได้กำหนดให้ระบบที่มีแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 50 โวลต์ ถึง 1,000 โวลต์ ที่ขั้วนิวทรัลของหม้อแปลงไฟฟ้าต้องมีการต่อลงดินเพื่อให้แรงดันไฟฟ้ามีเสถียรภาพ และที่

[5] สืบค้นเมื่อ 11/10/58 http://miorzaini.blogspot.com/2014_06_01_archive.html

บริภัณฑ์ประธานต้องมีการต่อลงดินระหว่างขั้วนิวทรัล (N) กับขั้วสายดินหรือสายสกราวด์ (G) และไม่อนุญาตให้มีการต่อลงดินระหว่างทั้งสองขั้วดังกล่าวอีกหลังจากจากบริภัณฑ์ประธาน ดังรูปที่ 4.8 ทั้งนี้ก็เพื่อให้มีการตรวจสอบได้ง่ายเมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน และเพื่อไม่ให้กระแสของโหลดปกติไหลกลับมาทางสายดินหรือสายกราวด์ ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวจะทำให้สายดินมีแรงดันไฟฟ้าได้

3.2 การต่อลงดินของระบบประธานแรงดันต่ำกรณีอาคาร 2 หลังหรือมากกว่ารับไฟจากบริภัณฑ์ประธานชุดเดียวกัน อาคารประธานหรืออาคารหลังที่ 1 การต่อลงดินให้เป็นไปตามข้อกำหนดของการต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธาน อาคารหลังอื่นจะต้องมีหลักดินเป็นของตนเอง และมีการต่อลงดินเช่นเดียวกับบริภัณฑ์ประธาน คือ สายที่มีการต่อลงดิน สายต่อฝาก สายต่อหลักดิน และสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าของบริภัณฑ์ประธานจะต้องต่อร่วมกัน และต่อเข้ากับหลักดิน สำหรับในกรณีที่อาคารหลังอื่นมีวงจรย่อยเพียงวงจรเดียวและไม่ได้จ่ายไฟให้แก่บริภัณฑ์ที่ต้องต่อลงดิน และอาคารทั้งสองไม่ต่อถึงกันทางไฟฟ้าอนุญาตให้ไม่ต้องมีหลักดิน

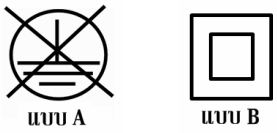
กรณีที่เดินสายดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding Conductor) ไปพร้อมกับสายเฟสจากอาคารประธาน เพื่อการต่อลงดินของส่วนโลหะของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ท่อโลหะ และส่วนโครงสร้างของอาคาร สายดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้านี้จะต้องต่อกับหลักดินที่มีอยู่ ถ้าไม่มีหลักดินจะต้องติดตั้งเพิ่มเติม และจะต้องเป็นสายหุ้มฉนวนด้วย นอกจากนี้สายนิวทรัลที่เดินมาจากอาคารประธานอนุญาตให้ไม่ต้องต่อเข้ากับหลักดินที่อาคารหลังอื่นได้

4.3.2 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding) หมายถึง การต่อสายดินจากส่วนที่เป็นโลหะ หรือสื่อตัวนำไฟฟ้าที่ห่อหุ้มบริภัณฑ์ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.8 และไม่ใช่ส่วนประกอบของวงจรไฟฟ้าซึ่งไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้ากับหลักดิน เพื่อทำให้มีศักย์ไฟฟ้าใกล้หรือเท่ากับศูนย์เมื่อเทียบกับดิน และยังจะส่งผลทำให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินตัดวงจรได้รวดเร็วขึ้นเมื่อมีการลัดวงจรลงดิน เนื่องจากสายเส้นเฟสหรือสายที่มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปยังโหลดที่ชำรุดแตะเข้ากับส่วนที่เป็นโลหะที่หุ้มบริภัณฑ์ การเชื่อมต่อระบบสายดินของส่วนที่เป็นโลหะที่หุ้มบริภัณฑ์ทุกส่วนต้องต่อถึงกันหมดและต่อลงดินผ่านตัวนำหรือสายตัวนำที่มีค่าอิมพีแดนซ์ค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้ก็เพื่อให้กระแสผิดพร่องหรือกระแสที่ลัดวงจรไหลลงดินได้เต็มที่และทำให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินในระบบไฟฟ้าทำงานอย่างรวดเร็วไม่ทำให้เกิดอันตรายกับผู้ที่ไปสัมผัสส่วนที่เป็นโลหะหุ้มบริภัณฑ์ ตัวอย่างโลหะที่หุ้มบริภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ โครงโลหะหุ้มมอเตอร์ กล่องโลหะต่อสายไฟฟ้า ตู้จ่ายไฟหลัก แผงจ่ายไฟฟ้า ท่อร้อยสาย รางเดินสาย เป็นต้น

4.4 เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องต่อสายดินและไม่ต้องต่อสายดิน

1) เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภท 1 หมายถึง เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทที่ต้องมีสายดิน คือ เครื่องใช้ไฟฟ้ารวมทั้งอุปกรณ์ติดตั้งทางไฟฟ้าที่มีโครงหรือเปลือกหุ้มเป็นโลหะซึ่งบุคคลมีโอกาสสัมผัสได้ต้องมีสายดิน เช่น ตู้เย็น เครื่องซักผ้า เตารีด หม้อหุงข้าว เครื่องปรับอากาศ เตาไมโครเวฟ กระทะไฟฟ้า กระติกน้ำร้อน เครื่องทำน้ำร้อนหรือน้ำอุ่น เครื่องปิ้งขนมปัง รวมถึงเครื่องมือช่างบางชนิด เป็นต้น

2) เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภท 2 หมายถึง เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทที่ไม่ต้องมีสายดิน ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้งานในระดับแรงดันต่ำกว่า 50 โวลต์ หรือเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ลักษณะทางกายภาพมีฉนวนห่อหุ้มมิดชิดในการใช้งานปกติไม่มีโอกาสที่ผู้ใช้งานจะสัมผัสโดนส่วนที่มีไฟฟ้า ซึ่งมีสัญลักษณ์แสดงไว้อย่างชัดเจนว่าไม่ต้องมีสายดิน ตัวอย่างของเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น วิทยุ โทรทัศน์ พัดลมตั้งพื้นและตั้งโต๊ะ โคมไฟแสงสว่างชนิดตั้งโต๊ะ เป็นต้น มีสัญลักษณ์สำหรับแสดงไว้ที่เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่ต้องมีสายดิน ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 สัญลักษณ์แบบ A และ B สำหรับแสดงบนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่ต้องมีสายดิน

นอกจากนี้ตามมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ยังได้กำหนดวงจรและระบบไฟฟ้าที่ห้ามต่อลงดินอีก 2 วงจร คือ วงจรของปั้นจั่นที่ใช้งานอยู่เหนือวัสดุเส้นใยที่อาจลุกไหม้ได้ซึ่งอยู่ในบริเวณอันตราย และวงจรในสถานดูแลสุขภาพ (Health Care Facility) เช่น วงจรในห้องผ่าตัดสำหรับโรงพยาบาลหรือคลินิก

4.5 องค์ประกอบของการต่อระบบสายดิน

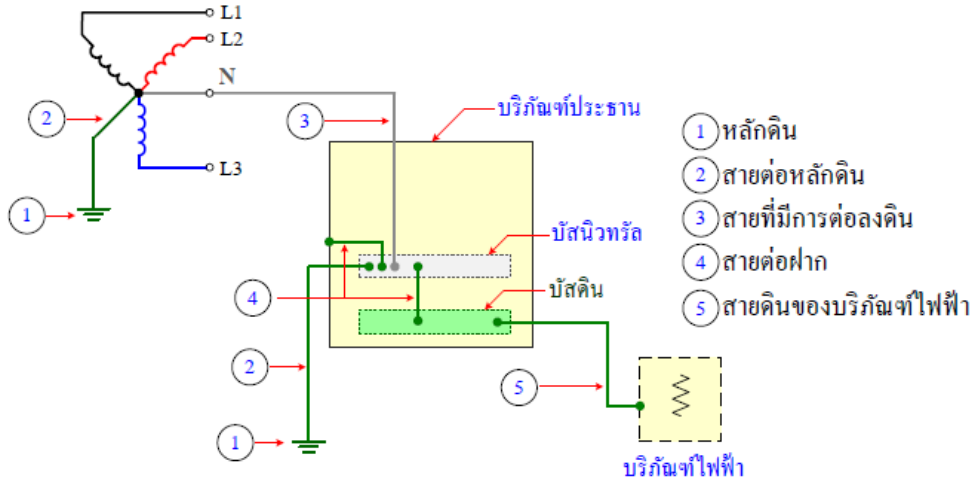
4.5.1 สายต่อหลักดิน (Grounding Electrode Conductor) สายต่อหลักดิน คือ ตัวนำที่ใช้ต่อระหว่างหลักดินกับตัวนำสำหรับต่อลงดินของบริภัณฑ์ และ/หรือ กับตัวนำที่มีการต่อลงดินของวงจรที่บริภัณฑ์ประธาน หรือที่แหล่งจ่ายไฟของระบบจ่ายแยกต่างหาก สายต่อหลักดินดังรูปที่ 4.9 เป็นสายตัวนำที่ต่อระหว่างหลักดินกับบัสนิวทรัล เป็นตัวนาทองแดง ตัวนำเดี่ยว หรือตีเกลียวหุ้มฉนวนต้องมีฉนวนหุ้ม ต้องเป็นสายเส้นเดียวยาวต่อเนื่องตลอดไม่มีการตัดต่อ แต่ถ้าเป็นบัสบาร์อนุญาตให้มีการต่อได้ แบ่งเป็น 3 ชนิด ดังนี้

4.5.2 สายที่มีการต่อลงดิน (Grounded Conductor) สายที่มีการต่อลงดิน หมายถึง สายของวงจรไฟฟ้าที่มีส่วนหนึ่งส่วนใดต่อถึงดิน สำหรับการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าในกรณีที่เกิดกระแสลัดวงจรสายที่มีการต่อลงดินจะทำหน้าที่เป็นสายดินของอุปกรณ์ด้วย เพื่อนำกระแสลัดวงจรกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟในระบบไฟฟ้า โดยทั่วไปคือสายนิวทรัลแต่ไม่จำเป็นเสมอไปอาจจะเป็นสายอื่นที่ทำหน้าที่เช่นเดียวกันนี้

4.5.3 สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding Conductor) หมายถึง ตัวนำที่ใช้ต่อส่วนโลหะที่ไม่นำกระแสของบริภัณฑ์ สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าดังรูปที่ 4.4 คือ ตัวนำที่ต่อจากบัสดินไปยังส่วนห่อหุ้มที่เป็นโลหะของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

4.5.4 สายต่อฝากที่บริภัณฑ์ประธาน (Main Bonding Jumper) สายต่อฝาก หมายถึง ตัวนำที่ใช้ต่อระหว่างส่วนที่เป็นโลหะที่ต้องการต่อถึงกันทางไฟฟ้า สายต่อฝากลงดินและสายต่อฝากบริภัณฑ์ไฟฟ้าต้องเป็นชนิดตัวนำทองแดง ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าตามที่กำหนดในตารางที่ 4.1 แต่ถ้าสายเฟสของตัวนำประธานมีขนาดใหญ่กว่าตามตารางที่ 4.1 ให้ใช้สายต่อฝากขนาดไม่เล็กกว่า 12.5% ของตัวนำประธาน

ขนาดใหญ่สุด ในกรณีที่มีการต่อฝากระหว่างบัสนิวทรัลกับบัสดินของบริภัณฑ์ประธาน สามารถต่อสายต่อหลักดินเข้ากับบัสดินของบริภัณฑ์ประธานที่มีการต่อฝากนั้นได้ สายต่อฝากดังรูปที่ 4.10 เป็นสายต่อฝากประธานที่ต่อระหว่างบัสนิวทรัล บัสดินและโครงของบริภัณฑ์ประธาน



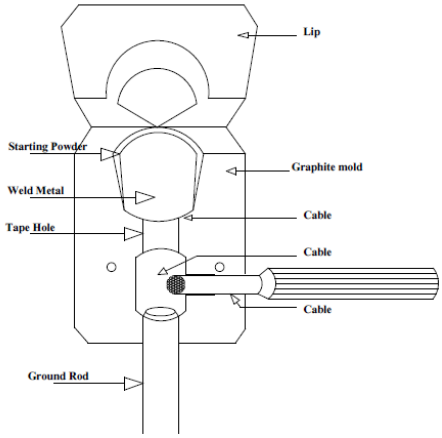
รูปที่ 4.10 องค์ประกอบของการต่อระบบสายดิน[6]

สายดินที่ใช้ในระบบไฟฟ้าทั่วไปจะมีลักษณะทางกายภาพ คือเป็นสายไฟฟ้าชนิดแกนเดียว ภายในสายประกอบด้วยลวดตัวนำที่ทำมาจากทองแดง และหุ้มด้วยฉนวนประเภท PVC ตามมาตรฐานได้กำหนดให้ใช้สายที่มีฉนวนสีเขียวสลับแถบสีเหลืองเป็นสีเฉพาะของสายดิน สายดินในระบบไฟฟ้ายังสามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มหลักๆ คือ สายดินที่ใช้ในวงจรย่อยซึ่งเป็นสายดินที่ต่อมาจากเต้ารับ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งตามจุดต่างๆ และสายสำหรับต่อหลักดิน เป็นสายขนาดใหญ่ที่จะรวมสายดินจากวงจรย่อยต่างๆ เข้าด้วยกัน แล้วต่อไปลงที่หลักดินที่ตอกลงไปในดิน การเลือกขนาดสายต่อหลักดิน โดยพิจารณาจากขนาดตัวนำประธาน (สายเมน) ของระบบไฟฟ้า ซึ่งขนาดสายต่อหลักดินจะต้องไม่เล็กกว่าตารางที่ 4.1 ซึ่งมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ได้กำหนดให้จุดต่อของสายหลักดินเข้ากับหลักดินต้องอยู่ในที่เข้าถึงได้ยกเว้นจุดต่อที่อยู่ในคอนกรีตหรือฝังอยู่ในดิน จุดต่อต้องมีความคงทนแข็งแรงและใช้ได้ผลดี และขนาดของสายต่อหลักดิน 10 ตร.มม. แนะนำให้ทำการติดตั้งในท่อโลหะหรือท่ออโลหะ

[6] สภาวิศวกร. **ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพ ด้านการออกแบบ ติดตั้ง ตรวจสอบและทดสอบ การต่อลงดิน.** พ.ศ.2554. หน้า 2-11.

ตารางที่ 4.1 ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ[7]

ขนาดตัวนำประธาน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)	ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)
ไม่เกิน 35	10
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	16
เกิน 50 แต่ไม่เกิน 95	25
เกิน 95 แต่ไม่เกิน 185	35
เกิน 185 แต่ไม่เกิน 300	50
เกิน 300 แต่ไม่เกิน 500	70
เกิน 500	95



รูปที่ 4.11 ส่วนประกอบของการเชื่อมต่อด้วยความร้อน (Exothermic Welding)[8]

การต่อสายดินเข้ากับสายหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นการต่อสายดินหรือสายต่อฝากให้ใช้วิธีการเชื่อมต่อด้วยความร้อน (Exothermic Welding) ดังรูปที่ 4.11 หรือการใช้หัวต่อแบบบีบ ประกับจับสาย หรือสิ่งอื่นที่ระบุให้ใช้เพื่อการนี้ ห้ามต่อโดยใช้การบัดกรีเป็นหลัก ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ดังตารางที่ 4.2

สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่มีขนาด 2.5 กับ 4 ตร.มม. หากนำไปต่อกับวงจรย่อยที่มีความยาวเกิน 30 เมตร ให้พิจารณาขนาดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าโดยคำนึงถึง Earth Fault Loop Impedance ของวงจร

[7] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. **มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556**. ตารางที่ 4-1 หน้า4-12

[8] สืบค้นเมื่อ 10/10/58 http://www.electric-factories.com/index.php?mo=3&art=42032016

ตัวอย่างที่ 4.1 จงหาขนาดสายต่อฝากระบบไฟฟ้าลงดินที่ภัณฑ์ประธาน กำหนดให้แต่ละเฟสใช้สายขนาด 1x500 ตร.มม.

วิธีทา หาขนาดของสายต่อฝากระบบไฟฟ้า
จากตารางที่ 4.1 สายเฟสขนาด 300-500 ตร.มม.
ใช้สายดินขนาดไม่ต่ำกว่า 70 ตร.มม.

ตัวอย่างที่ 4.2 จงหาขนาดสายต่อฝากของบริภัณฑ์ประธานแรงต่ำ 400/230 V 3 เฟส 4 สาย กำหนดให้แต่ละเฟสใช้สายขนาด 3 x 500 ตร.มม.

วิธีทา แต่ละเฟส ใช้สายขนาด 3 x 500 ตร.มม.
ขนาดสายรวม = 3 x 500 = 1500 ตร.มม.
เนื่องจากสายเฟส ≥ 500 ตร.มม.
ตามข้อกำหนดขนาดสายต่อฝากลงดิน ≥ 0.125 x 1500 = 187.5 ตร.มม.
ดังนั้นใช้สายต่อฝากขนาด ≥ 240 ตร.มม.

ตัวอย่างที่ 4.3 บ้านหลังหนึ่งรับไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดไฟฟ้าแรงดันต่ำมีพิกัด 15 (45)A 400 V 3 เฟส 4 สาย จงหาขนาดของสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้า

วิธีทา จากโจทย์ได้สายประธานขนาด 16 ตร.มม.
จากตารางที่ 4.1 ใช้สายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้าขนาดไม่ต่ำกว่า 10 ตร.มม.

ตัวอย่างที่ 4.4 โรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งรับไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดไฟฟ้าพิกัด 400 A 400/230 V 3 เฟส 4 สาย ใช้สาย ขนาด 2 (4 x 150 ตร.มม.) ติดตั้งในท่อ IMC 3 นิ้ว จงกำหนดขนาดสายต่อหลักดิน และสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

วิธีทา สายเฟสใช้ นาด 2 x 150 = 300 ตร.มม.
จากตารางที่ 4-1 สายประธานขนาด 300-500 ตร.มม.
ใช้สายต่อหลักดินขนาดไม่ต่ำกว่า 70 ตร.มม.
จากตารางที่ 4.2 พิกัดขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกิน 400 A
ใช้สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าขนาดไม่ต่ำกว่า 25 ตร.มม.

4.5.5 หลักดิน (Ground Rod) จะต่อระหว่างวงจรหรืออุปกรณ์ไฟฟ้ากับดิน เพื่อทำหน้าที่เป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าลงดิน ความต้านทานระหว่างหลังดินกับดินจะต้องมีค่าต่ำที่สุดเพื่อให้กระแสไหลผ่านได้ง่ายและแรงดันของสายนิวทรัลเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด เมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน จะมีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นในดินรอบๆ หลักดิน โดยเฉพาะบริเวณผิวเนื่องจากกระแสไฟฟ้ามีความหนาแน่นสูงสุด การทำให้

ความต้านทานโดยรวมต่ำ ต้องทำให้ความหนาแน่นของกระแสใกล้กับหลักดินมีค่าต่ำที่สุด โดยใช้หลักดินที่มีลักษณะยาวเป็นแท่งหรือเป็นเส้น ซึ่งให้ความต้านทานต่ำกว่าหลักดินที่มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมแม้จะมีพื้นที่เท่ากัน ถ้าความต้านทานการต่อลงดินสูงเกินไป สามารถลดความต้านทานได้โดยการเพิ่มจำนวนหลักดิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของหลักดินที่ใช้

ตารางที่ 4.2 ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า[9]

ขนาดตัวนำประธาน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)	**ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)**
20	2.5
40	4
70	6
100	10
200	16
400	25
500	35
800	50
1000	70
1250	95
2000	120
2500	185
4000	240
6000	400

หลักดินต้องทำด้วยวัสดุที่ทนต่อการผุกร่อน และไม่เป็นสนิม เช่น แท่งทองแดง แท่งเหล็กชุบหรือหุ้มด้วยทองแดง ตามมาตรฐานกำหนดให้หลักดินที่จะนำมาติดตั้งกับระบบไฟฟ้ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มม. (5/8 นิ้ว) และมีความยาว 2.4 เมตร ซึ่งนี่คือแท่งหลักดินขนาดมาตรฐานที่ใช้ตอกลงไปในพื้นดิน มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของประเทศไทยได้กำหนดค่าความต้านทานของหลักดินต้องมีความต้านทานดินไม่เกิน 5 โอห์ม ถ้าเป็นเหล็กหุ้มด้วยทองแดงต้องมีความหนาของทองแดงไม่ต่ำกว่า 0.25 เมตร และต้องหุ้มอย่างแนบสนิทไม่หลุดออกจากกัน และไม่มีปลายเหล็กโผล่ออกมาสัมผัสกับเนื้อดินเพื่อไม่ให้เหล็กเป็นสนิม และต้องไม่มีการเจาะรูเพื่อยึดทองแดงกับเหล็กให้ติดกัน มิฉะนั้นแท่งเหล็กจะเป็นสนิมตรงบริเวณที่เจาะรู ห้ามใช้อะลูมิเนียมหรือโลหะผสมของอะลูมิเนียมเป็นหลักดิน หลักดินที่ดีควรผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน UL- 467 การต่อสายดินเข้ากับหลักดินนั้น อุปกรณ์ต่อหลักดินและสายต่อหลักดินควรใช้วัสดุชนิดเดียวกันเพื่อไม่ให้มีปัญหาการกัดกร่อน เช่น หลักดินทองแดงต่อกับสายต่อหลักดินทำด้วย

[9] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. **มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556**. ตารางที่ 4-2 หน้า4-13

ทองแดง ควรใช้วิธีเชื่อมต่อด้วยผงทองแดงโดยเผาให้หลอมละลาย ดังรูปที่ 4.12 (ต้องเทผงชนวนให้อยู่ผิวบนและจุดด้วยปืนจุดชนวนเท่านั้น) ถ้าใช้วิธียึดด้วยแรงกลก็ต้องใช้หัวต่อที่มีส่วนผสมของทองแดง และต้องมีความมั่นคงแข็งแรงและทนต่อการกัดกร่อนได้เป็นอย่างดี (มีการทดสอบตามมาตรฐาน) เนื้อดินบริเวณที่ตอกหลักดินที่ดีควรเป็นดินแท้ๆ และต้องไม่ถูกกั้นหรือล้อมรอบด้วยหิน, กรวด, ทราย หรือแผ่นคอนกรีต เพราะเป็นอุปสรรคต่อการแพร่กระจายของประจุไฟฟ้าลงสู่ดิน ทำให้ความต้านทานการต่อลงดินมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐาน

รูปที่ 4.12 การเชื่อมต่อด้วยผงทองแดงโดยเผาให้หลอมละลาย[10]

ห้ามใช้ตะปูคอนกรีตตอกเข้าไปในผนังหรือพื้นคอนกรีต เพราะตะปูคอนกรีตไม่สามารถทำหน้าที่แทนหลักดินเพื่อการต่อลงดินได้ ตำแหน่งของหลักดินควรอยู่ใกล้ตู้เมนสวิตซ์ ห้ามแช่หลักดินในน้ำเพราะเมื่อมีไฟรั่วจะแพร่กระจายไปกับน้ำและเกิดอันตรายกับผู้ที่อยู่ในน้ำ ถ้าจำเป็นต้องตอกหลักดินในน้ำต้องตอกให้มิดดิน ขนาดของสายต่อหลักดินจะขึ้นอยู่กับขนาดสายเมน และต้องไม่เล็กกว่า 10 ตร.มม. โดยควรมีท่อหรือฉนวนหุ้มอยู่ด้วย การตอกหลักดินควรตอกให้ลึกที่สุดถ้าเป็นหัวต่อหลักดินชนิดยึดด้วยแรงกลควรให้หัวต่อโผล่พ้นดิน หรือระดับน้ำท่วมเพื่อหลีกเลี่ยงการผุกร่อน หัวต่อชนิดหลอมละลายสามารถตอกให้จมดินได้แต่ต้องใช้สายต่อเส้นใหญ่ และหุ้มฉนวนมิดชิดเพื่อไม่ให้สายผุกร่อน หลักดินเป็นโลหะตัวนำไฟฟ้ามีหน้าที่ถ่ายเทประจุไฟฟ้าให้กระจายลงสู่พื้นดิน โดยเมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วจากเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อสายดินอยู่กระแสไฟฟ้าที่รั่วก็จะเดินทางจากสายดินมาสู่หลักดินแล้วถ่ายเทลงสู่พื้นดิน

ประเภทของหลักดิน ดังนี้

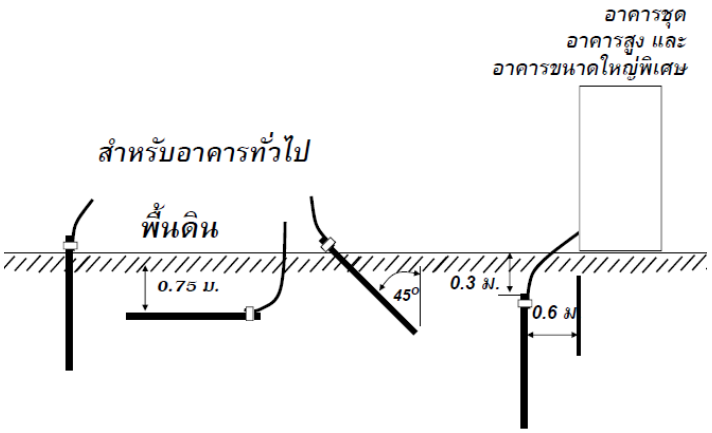
1) แท่งกราวด์ (Ground Rods) ดังรูปที่ 4.13 เป็นแบบที่นิยมกันมากที่สุด เพราะราคาถูก ติดตั้งง่าย ใช้ได้ดีกับดินที่มีชั้นหินอยู่ลึกเกิน 10 ฟุต โดยขนาดแท่งดินต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5/8 นิ้ว ยาวไม่น้อยกว่า 2.4 เมตร การใช้แท่งดินที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากขึ้นจะช่วยลดความต้านทานของดินได้ไม่มากนักแต่จะมีผลด้านความแข็งแรงและทนการสึกกร่อนได้ดี การตอกแท่งดินที่มีความยาวลึกลงไปในดินจะให้ผลดีกว่าการตอกแท่งดินสั้นๆ หลายแท่ง เพราะที่ระดับลึกๆ ความต้านทานดินจะยิ่งลดลง แท่งดินที่ทำด้วยทองแดงจะทนต่อการสึกกร่อนได้ดีที่สุด แต่จะมีข้อเสียคือ อาจมีราคาแพงและความอ่อนตัว อย่างไรก็ตามสามารถใช้แท่งดินที่ทำด้วยเหล็กหุ้มทองแดง (Copper clad) แทนได้

[10] สืบค้นเมื่อ 11/10/58 http://www.electric-factories.com/index.php?mo=3&art=42032016

รูปที่ 4.13 แท่งกราวด์ (Ground Rods)[11]

2) หลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต (Concrete Encrased Electrode) คอนกรีตที่ฝังอยู่ในดินและมีความชื้นอยู่รอบๆ จะเป็นวัตถุกึ่งนำไฟฟ้า มีความต้านทานจำเพาะ ประมาณ 30 โอห์ม/เมตร ที่ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าเกณฑ์เฉลี่ยของดินทั่วไป ดังนั้นแท่งโลหะที่ฝังอยู่ในดินในฐานรากคอนกรีต (Concrete Foundation) ที่มีเหล็กเสริม (Reinforcing Bar) จำนวนมากจึงสามารถใช้เป็นหลักดินได้อย่างดี แต่ต้องมีสายดินทำหน้าที่เป็นตัวต่อไฟฟ้าเข้ากับเหล็กเสริมออกมา

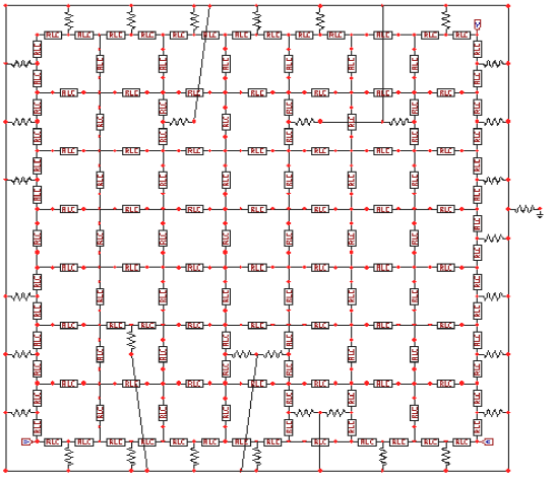
3) แท่งหรือสายเคเบิลที่ฝังดิน (Buried strip or cable) กรณีที่บริเวณติดตั้งระบบสายดินมีทราย หรือมีชั้นหินอยู่ใกล้ผิวดิน ความชื้นจะน้อยและดินมีความต้านทานสูง ไม่เหมาะกับการตอกแท่งดิน ซึ่งการติดตั้งหลักดินนั้นจะต้องทำการตอกลงไปในพื้นดินโดยตอกลงไปตรงๆ ในแนวดิ่ง แต่หากในพื้นดินที่ตอกหลักดินลงไปมีวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่แข็ง และไม่สามารถตอกหลักดินให้ทะลุลงไปตรงๆ ได้ กรณีนี้มาตรฐานได้อนุโลมให้ทิศทางที่ตอกลงไปในดิน สามารถเอียงไปได้ไม่เกิน 45 องศา หรืออาจใช้วิธีการขุดดินแล้วฝังแท่งหลักดินลงไปในแนวราบที่ความลึกไม่น้อยกว่า 0.75 เมตร ดังรูปที่ 4.14 สำหรับอาคารชุด อาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษการฝังแท่งหลักดินในแนวดิ่งจะต้องมีระยะห่างจากขอบอาคารประมาณ 0.6 เมตรและฝังลึกไม่น้อยกว่า 0.3 เมตร การฝังแท่งหลักดินในแบบต่างๆ ถ้าเป็นไปได้ควรฝังไว้รอบอาคาร



รูปที่ 4.14 การฝังแท่งหลักดิน[12]

[11] สืบค้นเมื่อ 11/10/58 http://www.nkw.ac.th/courseware/www.nectec.or.th/courseware/electrical/ground/electrode.html

4) กริด (Grid) เป็นระบบที่นิยมใช้กับสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ทั่วสถานี ระบบนี้ประกอบด้วยตัวนำไฟฟ้าวางเรียงเป็นรูปตาข่ายสี่เหลี่ยมฝังลึกประมาณ 0.5 ฟุต ระยะห่างระหว่างตัวนำขึ้นอยู่กับแรงดันในสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งอยู่ระหว่าง 10-12 ฟุต จุดตัดของตัวนำทุกจุดต้องเชื่อมเข้าด้วยกัน แล้วต่อเข้ากับอุปกรณ์ทั้งหมดในสถานีไฟฟ้ารวมถึงรั้วและโครงสร้างโลหะด้วย ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แบบจาลองระบบสายดินแบบกริดของสถานีไฟฟ้าแรงสูง[13]

5) แผ่นฝัง (Buried Plate) หลักดินที่มีลักษณะเป็นแผ่นจะถูกนำมาใช้เมื่อไม่ต้องการขุดดินลงไปลึกๆ การฝังแผ่นจะทำในแนวดิ่ง หรือแนวนอนก็ได้ ขนาดของแผ่นโลหะที่ใช้ต้องมีพื้นที่ผิวสัมผัสไม่น้อยกว่า 0.18 ตารางเมตร และในกรณีที่เป็นเหล็กอาบโลหะชนิดกันการผุกร่อน ต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 1.5 มม. โดยต้องฝังแผ่นโลหะลึกจากผิวดิน ไม่น้อยกว่า 1.6 เมตร

ตัวอย่างที่ 4.5 ห้างสรรพสินค้าในเขตการไฟฟ้านครหลวงใช้หม้อแปลงขนาด 500 kVA 24 kV/400 – 230 V 3 เฟส 4 สาย ใช้สายไฟฟ้า 5 เส้นต่อเฟส จะต้องใช้สายต่อหลักดินขนาดเท่าใด

วิธีทา

$$I_n = \frac{500 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$= 721.68 \quad A$$

ขนาดสายประธานเผื่ออีก 125% ให้หม้อแปลงเป็นโหลดต่อเนื่อง

$$I_C = 1.25 \times 721.68 \quad A$$

$$= 902.1 \quad A$$

ใช้สายไฟฟ้า 5 เส้นต่อเฟส สายแต่ละเส้นต่อนำกระแส

---

[12] กิตตพิงษ์ วีระโพธิ์ประสทธิ์. **เอกสารนำเสนอมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556**. หน้า 30.

[13] ธนวัฒน์ ฉลาดสกุล. **การวิเคราะห์แรงดันเกินในระบบกราวด์ ของสถานีไฟฟ้าแรงสูง โดยใช้โปรแกรมเอทีพี/อีเอ็มทีพี.** คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น. หน้า 8.

I = 902.1 / 5 A

= 180.42 A

จะได้สาย 60227 IEC 01 ขนาด 120 ตร.มม. (208 A) ในทางปฏิบัติอาจจะใช้สายขนาด 95 ตร.มม. (180 A) ก็ได้เนื่องจากเป็นค่าใกล้เคียงและในการคำนวณมีการเผื่อกระแสมาแล้วขนาดสายเฟสรวม 5 x 120 ตร.มม. = 600 ตร.มม. จากตารางที่ 4.1 ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ขนาดตัวนำประธาน เกิน 500 ตร.มม. จึงต้องใช้สายต่อหลักดินขนาด 95 ตร.มม.

4.6 การวัดค่าความต้านทานของดิน

4.6.1 ความสำคัญของการวัดค่าความต้านทานดิน

ระบบสายดินหรือระบบกราวนด์สำหรับเป็นทางไหลของกระแสไฟฟ้าผิดพร่องและอื่นๆ เช่น สัญญาณรบกวน (Noise) ตลอดถึงกำลังไฟฟ้าเกินชั่วขณะที่ไม่พึงประสงค์ ศักยภาพในการทำงานของระบบดินก็จะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน หรือค่าอิมพิแดนซ์ (Impedance) ของระบบดินเอง ถ้าหากระบบดินมีค่าความต้านทานหรือค่าอิมพิดนซ์สูงก็จะยิ่งส่งผลเสียต่อระบบมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเครื่องวัดค่าความต้านทานดิน ดังรูปที่ 4.16

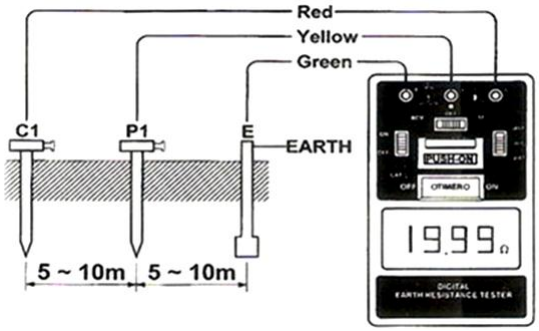
รูปที่ 4.16 เครื่องวัดค่าความต้านทานดิน (Earth Resistance Tester)[14]

สำหรับหลักดินที่ตอกลงไปในพื้นดินแล้วนั้น ก่อนที่จะติดตั้งสายต่อหลักดินควรทำการทดสอบหลักดิน โดยการทดสอบทางกลและการทดสอบวัดค่าทางไฟฟ้า สำหรับการทดสอบทางกลนั้นสามารถทำได้เบื้องต้น โดยการใช้มือจับที่ส่วนบนของหลักดินที่โผล่พ้นดินมาแล้วใช้แรงดึงพอเหมาะ เพื่อเป็นการทดสอบความแข็งแรงของหลักดินที่ตอกลงไปแล้ว ซึ่งหลักดินที่ดีนั้นต้องมีความแข็งแรงและแน่นพอสมควร เมื่อดึงหรือโยกด้วยแรงพอประมาณจะต้องเคลื่อนที่ไม่ได้อย่างง่ายๆ หากพบว่าหลักดินที่ตอกลงไปสามารถดึงหรือขยับได้ง่ายๆ ด้วยมือเปล่าแล้ว แสดงว่าหลักดินนั้นไม่มีประสิทธิภาพในด้านความแข็งแรง และการถ่ายเทประจุไฟฟ้าก็ย่อมทำได้ไม่ดีตามไปด้วย

[14] สืบค้นเมื่อ 14/10/58 http://www.asras.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=539684861

4.6.2 หลักการทำงานของเครื่องวัดค่าความต้านทานดิน

การวัดค่าความต้านทานของระบบสายดินหรือระบบกราวนด์ ถือเป็นกระบวนการหนึ่งในการติดตั้งระบบสายดิน ค่าความต้านทานของระบบกราวนด์ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญเป็นอย่างยิ่งและจะเกิดความมั่นใจได้อย่างไรว่า ค่าความต้านทานของระบบสายดินที่วัดมีความถูกต้องหรือไม่ ทั้งนี้การต่อเครื่องวัดค่าความต้านทานดินก็จะต้องกระทำอย่างถูกวิธีด้วยเช่นกัน วิธีการต่อเครื่องวัดค่าความต้านทานดิน ดังรูปที่ 4.17

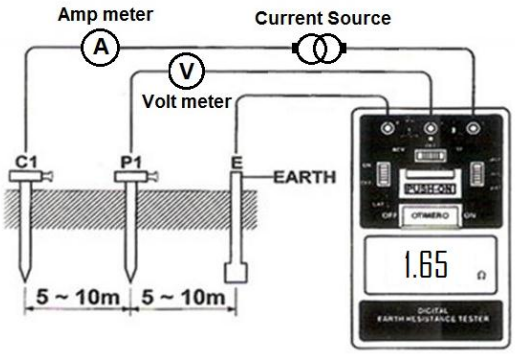


รูปที่ 4.17 การต่อวงจรเครื่องวัดค่าความต้านทานดิน[15]

หลักการทำงานของเครื่องมือวัดค่าความต้านทานดิน ดังนี้ เมื่อเริ่มทำการวัดค่าความต้านทานดินหลังจากมีการต่อวงจรเรียบร้อยแล้ว จะทำการกดปุ่มอ่านค่าหรือปุ่มทดสอบ เครื่องมือวัดค่าความต้านทานดินจะจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านทางหลักทดสอบ C1 (สายยาวสุดโดยปกติจะเป็นสายสีแดง) ลงสู่ระบบดิน กระแสไฟฟ้าที่ถูกจ่ายออกมานี้ก็จะไหลกลับมาครบวงจรที่หลักทดสอบหรือหลักดิน (E) หรือเป็นจุดที่ต้องการวัดค่าความต้านทานดิน เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านดินจะเกิดแรงดันไฟฟ้าค่าหนึ่งตกคร่อมอยู่ที่ระบบดิน ณ ขณะนั้น ซึ่งค่าแรงดันที่ปรากฏก็จะถูกดำเนินการตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltmeter) ที่อยู่ภายในเครื่องวัดค่าความต้านทานดิน ดังรูปที่ 4.18

การทดสอบวัดค่าทางไฟฟ้าเป็นวิธีการทดสอบอีกขั้นตอนที่จำเป็น เพื่อตรวจสอบวัดค่าความต้านทานของหลักดินจุดนั้น ด้วยเครื่องมือวัดและทดสอบที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ โดยเครื่องมือที่ใช้วัดทดสอบค่าความต้านทานหลักดินนั้นเรียกว่า Earth Tester Meter หรือ Earth Resistance Tester โดยหลักดินที่ได้มาตรฐานนั้นต้องมีค่าความต้านทานดินไม่เกิน 5 โอห์ม ซึ่งถ้าหากหลักดินที่ตอกลงไปนั้น มีความต้านทานสูงเกินกว่า 5 โอห์ม จะมีวิธีการแก้ไขโดยการตอกแท่งหลักดินเพิ่มให้ขนานกับแท่งหลักดินอันแรกที่ตอกลงไปแล้วจึงใช้สายต่อฝาก เชื่อมต่อให้หลักดินที่ตอกลงไปต่อถึงกันทั้งหมด การตอกแท่งหลักดินเพิ่มแล้วต่อฝากถึงกันนั้นจะช่วยให้ค่าความต้านทานหลักดินลดลงได้

[15] สืบค้นเมื่อ 14/10/58 http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=kanichikoong&month=09-04-2014&group=17&gblog=15



รูปที่ 4.18 วงจรภายในของเครื่องวัดค่าความต้านทานดิน[16]

กรณีที่ดินบริเวณนั้นมีค่าความต้องการสูงมากๆ ซึ่งหากระดับค่าความต้านทานที่มีอยู่สูงมากๆ การตอกหลักดินเพิ่มลงไปก็อาจจะไม่ช่วยทำให้ค่าความต้านทานของดินลดลง ซึ่งแนวทางการแก้ไขอาจจะต้องใช้วิธีการเติมสารเคมีบางชนิด เพื่อช่วยในการปรับปรุงสภาพดินในบริเวณนั้น โดยสารเคมีที่เติมลงไปนั้น จะเป็นสารเคมีในกลุ่มเกลือ เช่น Sodium Chloride , Copper Sulfate และ Magnesium Sulfate โดย Magnesium Sulfate จัดว่าเป็นสารที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนน้อยที่สุด ซึ่งการปรับสภาพดินด้วยสารเคมีนั้นผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะเป็นไปอย่างช้าๆ

สำหรับหลักดินที่ตอกกันอยู่ในปัจจุบัน โดยเฉพาะการติดตั้งในงานบ้านพักอาศัยทั่วไปนั้น ส่วนใหญ่หลักดินที่ติดตั้งนั้นมักจะตอกลงไปในดินโดยที่ไม่ได้ทำการวัดค่าความต้านทานด้วยเครื่องมือเฉพาะ ซึ่งถึงแม้จะมีการลงดินจริงๆ แต่ก็ไม่มีอะไรเป็นเครื่องยืนยันว่าหลักดินนั้นจะใช้งานได้ดีมีประสิทธิภาพตลอดระยะเวลาที่ใช้งาน ทำให้เกิดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายกับผู้ใช้งานระบบไฟฟ้า ดังนั้นผู้ทำการติดตั้งระบบไฟฟ้าควรมีศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องระบบสายดินเป็นอย่างดี เนื่องจากผลที่ตามมาจากการติดตั้งระบบสายดินที่ไม่ได้มาตรฐานนั้น อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินที่ไม่อาจจะประเมินค่าได้

4.7 การติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่ว

เครื่องตัดไฟรั่ว หรือที่รู้จักกันว่าเครื่องกันไฟดูด ดังรูปที่ 4.19 คือ เครื่องตัดไฟฟ้าอัตโนมัติที่ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายจากไฟดูดโดยจะทำการตัดไฟรั่วที่ไหลผ่านร่างกาย ป้องกันอัคคีภัยโดยจะทำการตัดไฟรั่วที่ไหลลงดินที่อุปกรณ์ไฟฟ้า หรือสายไฟฟ้า ในกรณีที่เครื่องป้องกันกระแสเกิน เช่น ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่ทำงาน หรือทำงานช้าเนื่องจากปริมาณกระแสไฟรั่วมีค่าต่ำ หากปล่อยทิ้งไว้อาจทำให้เกิดอัคคีภัยได้ เครื่องตัดไฟรั่วจะทำงานทันทีหากตรวจสอบพบว่ามีกระแสไฟฟ้าบางส่วนรั่วหายไปโดยจะทำการตัดไฟที่ไหลผ่านตัวมันในทันที และนั่นก็หมายถึงกระแสไฟฟ้าไม่ไหลย้อนกลับไปตามสายไฟหรือสายนิวทรัล แต่กลับมีไฟรั่วไหลไปที่อื่น เช่น รั่วไหลลงไปในดินโดยผ่านสายไฟฟ้าที่ชำรุดและสัมผัสกับโครง

[16] สืบค้นเมื่อ 14/10/58 http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=kanichikoong&month=09-04-2014&group=17&gblog=15

โลหะของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า หรือไหลผ่านร่างกายมนุษย์เมื่อมีการสัมผัสไฟ เป็นต้น ชนิดของเครื่องตัดไฟรั่ว ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิด คือ

1. เครื่องตัดไฟรั่วที่ตัดกระแสลัดวงจรได้ (RCBO : Residual Current Circuit Breaker with Overcurrent Protection) ใช้ตัดได้ทั้งไฟรั่วและกระแสลัดวงจร สามารถใช้แทนเซอร์กิตเบรกเกอร์ประธานได้ มักจะใช้ในกรณีที่ต้องการให้เครื่องตัดไฟรั่วทำงานครอบคลุมทั้งบ้านและควรจะเลือกใช้แบบส่วนความไวในการตัดกระแสจะเริ่มตั้งแต่ 30 mA ขึ้นไป

2. เครื่องตัดไฟรั่วที่ไม่สามารถตัดกระแสลัดวงจร (RCCB : Residual Current Circuit Breaker without Overcurrent Protection) จึงต้องใช้ร่วมกับฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้วยทุกครั้ง มักจะใช้เป็นกรณีไป เช่น เครื่องทำน้ำอุ่น ตู้เย็น เป็นต้น ส่วนความไวในการตัดกระแสจะเป็น 10mA และ 30mA

รูปที่ 4.19 ตัวอย่างเครื่องตัดไฟรั่ว[17]

เครื่องตัดไฟรั่วอาจมีชื่อเรียกอย่างอื่นอีก เช่น เครื่องตัดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน (ELCB, GFCI) เครื่องตัดกระแส(เศษ)เหลือ (RCD, RCCB, RCBO) เป็นต้น

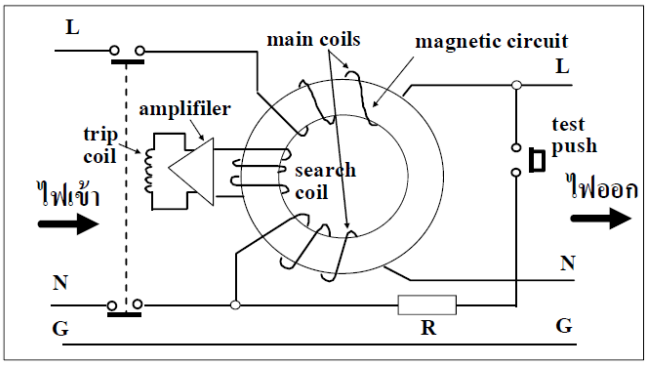
สำหรับอุปกรณ์ตัดกระแสไฟฟ้าอีกชนิดหนึ่งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดก็คือ Safe-T-Cut เป็นชื่อทางการค้าซึ่งจะมีชื่อทางเทคนิคว่า Earth Leak Circuit Breaker (ELCB) หรือ Residue Current Circuit Breaker (RCCB) หรืออีกอย่างก็คือ Residue Current Circuit Breaker with Overload Protection (RCBO) เป็นตัวป้องกันในกรณีที่กระแสไหลในสายสองเส้นไม่เท่ากัน ซึ่งปรกติมันต้องเท่ากันคือกระแสไหลเข้าไป เท่ากับกระแสที่ไหลกลับออกมา แต่ถ้าไฟรั่วที่อุปกรณ์ หรือที่อื่นในวงจรก็ตามกระแสที่ไหลกลับออกมาจะน้อยกว่ากระแสที่ไหลเข้าไป ซึ่งถ้ามีค่าแตกต่างกันถึงค่าที่กำหนดไว้อุปกรณ์ตัวนี้ก็จะตัดวงจรอย่างรวดเร็ว ตัว ELCB กับ RCCB เป็นตัวเดียวกันแต่ตัว RCBO จะรวมความสามารถ

[17] สืบค้นเมื่อ 19/10/58 http://easy2ps.com/author/easyuppo/

ของเซอร์กิตเบรกเกอร์เข้าไปด้วย คือทำงานเหมือน ELCB+CB จึงใช้ป้องกันทั้งไฟรั่วและใช้ไฟเกิน เบรกเกอร์ชนิด ELCB กับเครื่องป้องกันไฟดูด RCBO จะทำหน้าที่ไม่เหมือน ELCB มีหน้าที่ตัดไฟเมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินถึงค่าที่ตรวจจับได้ และจะตัดไฟเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจร แต่ไม่ตัดไฟในกรณีที่ใช้กระแสไฟฟ้าเกินกว่าพิกัด กระแสที่ระบุในตัวอุปกรณ์ไฟฟ้า และสายไฟ แล้ว ELCB มีค่า IC ซึ่งเป็นค่าทนกระแสลัดวงจรฉับพลันอยู่ที่ 1.5 kA เท่านั้น ส่วน RCBO สามารถป้องกันได้ทั้งไฟดูด ไฟเกิน และไฟลัดวงจร และยังมีค่า IC ที่สูงกว่า ELCB ซึ่งค่า IC ของ RCBO จะอยู่ที่ประมาณ 5-10 kA

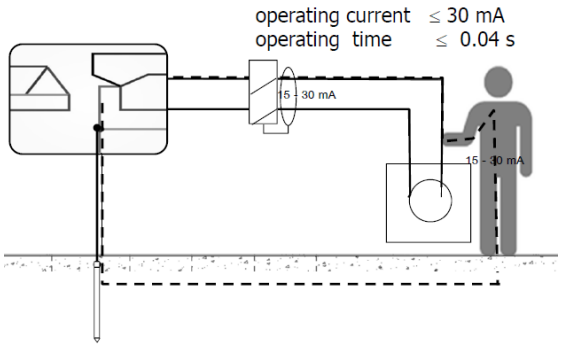
4.7.1 การทำงานของเครื่องตัดไฟรั่ว

1) วงจรการทำงานของเครื่องตัดไฟรั่วระบบ 1 เฟส 2 สาย ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 วงจรการทำงานของเครื่องตัดไฟรั่วระบบ 1 เฟส 2 สาย[18]

หลักการทำงานของเครื่องตัดไฟรั่ว คือ การเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสายไฟ 2 เส้น คือกระไฟฟ้าไหลเข้าต้องมีค่าเท่ากันกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลออก หากมีกระแสรั่วออกจากระบบเครื่องจะตรวจสอบได้ทันที และปลดวงจรออกทันที ดังรูปที่ 4.21

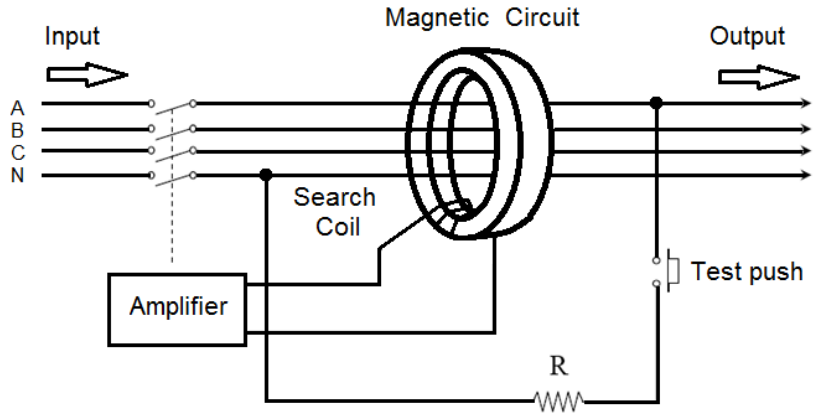


รูปที่ 4.21 การทำงานของเครื่องตัดไฟรั่ว[19]

2) วงจรเครื่องตัดไฟรั่วระบบ 3 เฟส 4 สาย วงจรการทำงาน ดังรูปที่ 4.22 การทำงานของระบบนี้ก็จะคล้ายๆ กับระบบ 1 เฟส 2 สาย คือ มีหม้อแปลงวัดค่าความแตกต่างของกระแสไฟฟ้า

[18] ,[19] กิตตพิงษ์ วีระโพธิ์ประสทธิ์. **เอกสารนำเสนอมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556**. หน้า52.

(Magnetic Circuit) และจะตรวจสอบค่าความต่างที่เกิดจากการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าจากสายไฟและสายนิวทรัล หากมีกระแสรั่วออกจากระบบเครื่องจะตรวจสอบได้ทันที และส่งค่ากระแสไฟฟ้าไปที่วงจรขยายสัญญาณ (Amp.) เพื่อทำการปลดวงจรออกทันที



รูปที่ 4.22 วงจรการทำงานของเครื่องตัดไฟรั่วระบบ 3 เฟส 4 สาย

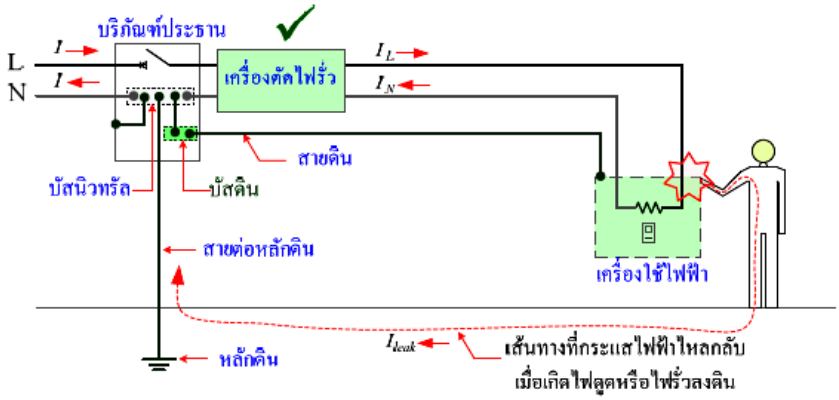
การตรวจจับกระแสไฟรั่วจะมีหน่วยเป็น มิลลิแอมป์ (mA) ในท้องตลาดมีจำหน่ายอยู่ 2 ขนาดคือ 15 mA และ 30 mA ซึ่งบางครั้งอาจจะคิดว่า 30mA เป็นค่าที่มากไป แต่ในปัจจุบันขนาด 30mA ถือเป็นค่าตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ซึ่งได้ระบุคุณสมบัติของเครื่องตัดไฟรั่วที่ใช้ลดอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด ที่ระดับแรงดันไม่เกิน 400 V สำหรับบ้านอยู่อาศัยและงานที่คล้ายคลึงกันตามมาตรฐาน IEC 60755, IEC 61008, IEC 61009, IEC 61540 และ IEC 61543 ว่าเครื่องตัดไฟรั่วควรมีค่ากระแสรั่วที่กำหนด (Rated residual operating current) ไม่เกิน 30 mA และมีช่วงระยะเวลาในการตัด (Breaking time หรือ Operating Time) ไม่เกิน 0.04 วินาที และเครื่องตัดไฟรั่วจะต้องเป็นชนิดที่ปลดสายไฟเส้นที่มีไฟทุกเส้นออกจากวงจรรวม ทั้งสายนิวทรัลด้วย ยกเว้นสายนิวทรัลนั้นจะแน่ใจได้ว่าปลอดภัยและมีแรงดันเท่ากับดิน สำหรับค่าตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่วขนาด 15 mA จะมีความไวต่อสภาพอากาศค่อนข้างมาก เรียกได้ว่าบางครั้งอากาศชื้นมากๆ เครื่องก็จำทำการตัดไฟทันที แต่ในเครื่องทำน้ำอุ่น น้ำร้อนขนาด 15 mA ถือว่าเหมาะสมที่สุด เพราะว่าอย่างไรแล้วเราก็จะต้องเอาความไวเป็นอันดับแรกเพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด

การติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วเข้าไปในระบบไฟฟ้าแล้วผู้ใช้งานจะต้องมีความตระหนักเสมอว่า เครื่องตัดไฟรั่วไม่สามารถป้องกันไฟดูดได้โดยตรง และต้องทำงานร่วมกับระบบการติดตั้งสายดิน อาจจะกล่าวได้ว่าเป็นเพียงอุปกรณ์เสริม เป็นเครื่องลดอันตรายจากไฟดูดหรือลดระยะเวลาที่กระแสไฟไหลผ่านร่างกาย ไม่ได้ลดขนาดกระแสที่ไหลผ่านร่างกาย ซึ่งจะไม่สามารถป้องกันได้ถ้าสัมผัสสาย Line กับ Line หรือ Line กับ Neutral พร้อมกัน เครื่องจะไม่ทำการตัดกระแสไฟฟ้าถ้าหากว่ามีการสัมผัสสายเส้นไฟและสายนิวทรัลพร้อมกัน

4.7.2 การติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่ว

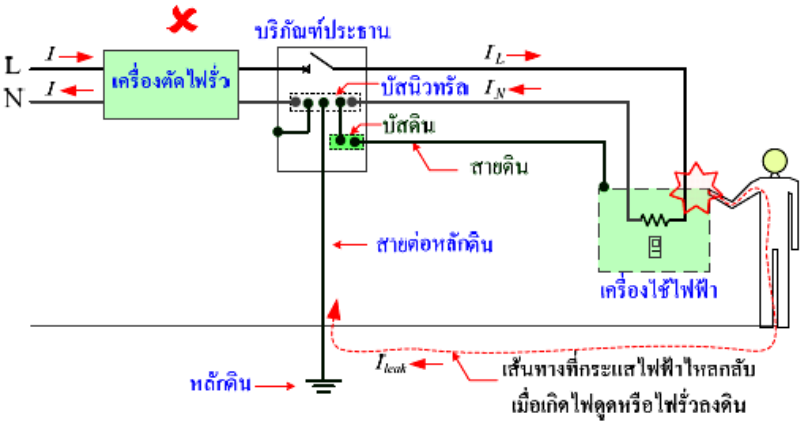
การติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วมีข้อควรระวังที่สำคัญ คือ ต้องติดตั้งในตำแหน่งที่ถูกต้อง วงจรและขั้วต่อสายถูกต้อง หากติดตั้งผิดเมื่อเกิดไฟรั่วหรือไฟดูดเครื่องจะไม่ทำงานหรือตัดกระแสไฟฟ้า แต่ในการกดปุ่ม

ทดสอบเครื่องจะทำงานซึ่งจะทำให้เราเข้าใจผิดได้ว่าเครื่องยังทำงานเป็นปกติ โดยที่จุดต่อลงดินของระบบไฟฟ้าจะต้องอยู่ด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้าก่อนเข้าเครื่องตัดไฟรั่ว ดังรูปที่ 4.23 เนื่องจากว่าถ้าจุดต่อลงดินอยู่ด้านโหลดหรือหลังเครื่องตัดไฟรั่วจะทำให้เครื่องตัดไฟรั่วไม่ทำงานได้ ถ้าความต้านทานดินมีค่าสูง



รูปที่ 4.23 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่ว[20]

การติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วที่ถูกต้อง จะทำให้วงจรไฟฟ้าอยู่ในสภาพการทำงานที่ปกติ กระแสที่ไหลผ่านเข้าและออกเครื่องตัดไฟรั่วจะมีค่าเท่ากัน คือ $I = I_L = I_N$ เครื่องตัดไฟรั่วจะจ่ายไฟให้ระบบไฟฟ้าทำงานได้ตามปกติ แต่เมื่อเกิดไฟรั่วลงดินหรือบุคคลถูกไฟดูด กระแสไฟฟ้ารั่วส่วนหนึ่งจะไหลลงดินและไหลกลับครบวงจรผ่านการต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธาน ทำให้กระแสที่ไหลผ่านเข้าและออกเครื่องตัดไฟรั่วจะไม่เท่ากันเครื่องตัดไฟรั่วจะสามารถตรวจจับได้ ถ้ากระแสส่วนที่ต่างกันนี้สูงตามที่ตั้งไว้เครื่องตัดไฟรั่วก็จะปลดวงจรทันที



รูปที่ 4.24 การติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วในตำแหน่งที่ผิด[21]

[20, 21] สภาวิศวกร. **ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพ ด้านการออกแบบ ติดตั้ง ตรวจสอบและทดสอบ การต่อลงดิน. พ.ศ. 2554.** หน้า 4-14.

การติดตั้งในตำแหน่งที่ผิด ดังรูปที่ 4.24 ในสภาพปกติจะทำให้วงจรไฟฟ้าอยู่ในสภาพการทำงานที่ปกติ กระแสที่ไหลผ่านเข้าและออกเครื่องตัดไฟรั่วจะมีค่าเท่ากัน คือ $I = I_L = I_N$ เครื่องตัดไฟรั่วจะจ่ายไฟให้ระบบไฟฟ้าทำงานได้ตามปกติ แต่เมื่อเกิดไฟรั่วลงดินหรือบุคคลถูกไฟดูด กระแสไฟฟ้ารั่วส่วนหนึ่งจะไหลลงดินและไหลกลับครบวงจรผ่านการต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธาน และกระแสรั่วนี้จะไปรวมกับกระแสไฟฟ้าจากสายนิวทรัล I_N และไหลกลับผ่านเครื่องตัดไฟรั่ว ทำให้กระแสที่ไหลผ่านเข้าและออกเครื่องตัดไฟรั่วยังคงเท่ากันหรืออาจกล่าวได้ว่ายังคงทำงานจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ระบบไฟฟ้าได้ตามปกติ กรณีเช่นถึงแม้ว่าเครื่องตัดไฟรั่วจะปลดวงจรตัดกระแสไฟฟ้าออก แต่การเกิดไฟรั่วก็ยังคงอยู่หรือบุคคลที่ถูกไฟดูดก็ยังถูกไฟดูดซึ่งเป็นอันตรายมาก

4.8 การตรวจสอบหรือบำรุงรักษาในอนาคต

การติดตั้งหลักดินโดยที่หลักดินจะถูกฝังลงไปในดินนั้นแม้จะถูกตอกให้ฝังลงไปให้อยู่กับที่ก็ตาม แต่ในความเป็นจริงนั้นพื้นดินในบริเวณที่ก่อสร้างอาคาร รวมไปถึงโครงสร้างอาคารย่อมมีการทรุดตัวลงไปเองตามธรรมชาติอย่างช้าๆ ซึ่งในระยะยาวนั้นการทรุดตัวที่เป็นไปอย่างช้าๆ ระดับพื้นดินก็จะมีความแตกต่างกันกับระดับพื้นที่เดิมในตอนที่ติดตั้งหลักดิน ซึ่งตรงนี้หากการติดตั้งมีความบกพร่องก็อาจจะทำให้สายต่อหลักดินขาดออกจากหลักดิน โดยเฉพาะกรณีที่ใช้ตัวจับหรือแคลมป์ (Clamp) เป็นตัวยึดสายเข้ากับหลักดิน ก็จะมีความเสี่ยงที่จะหลุดได้ง่ายกว่าการเชื่อมต่อด้วยความร้อน เพื่อเป็นการสะดวกในการตรวจสอบสภาพหลักดินในอนาคต สำหรับบ้านพักอาศัยหรืออาคารที่มีพื้นที่รอบตัวบ้าน หากเป็นไปได้ควรทำเป็นบ่อพักหรือหลุมที่ขุดลึกลงไปจากระดับพื้นปกติเล็กน้อย ซึ่งมีผนังของหลุมและฝาปิดปากหลุมเป็นคอนกรีตเพื่อใช้เป็นจุดตรวจสอบในภายหลังและจะเป็นการสะดวกสำหรับการตรวจสอบในระยะยาว

แบบฝึกหัดบทที่ 4

เรื่อง การติดตั้งระบบสายดิน

วิชา การติดตั้งไฟฟ้า 1 **รหัสวิชา** 3104-2001 **ระดับ** ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)

ตอนที่ 1 จงเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด และทำเครื่องหมาย X ลงในช่องของกระดาษคำตอบ

1. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวถึงประโยชน์ของการต่อระบบสายดินไม่ถูกต้อง

ก. ป้องกันไม่ให้มีผู้ถูกไฟฟ้าดูดกรณีมีกระแสไฟฟ้ารั่วจากเครื่องใช้ไฟฟ้า

ข. กระแสไฟฟ้ารั่วจากเครื่องใช้ไฟฟ้าจะไหลลงดินทางสายดิน โดยไม่ผ่านร่างกายผู้สัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้าทำให้เกิดความปลอดภัย

ค. การต่อระบบสายดินจะทำให้อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร และหรือไฟฟ้ารั่วจะตัดกระแสไฟฟ้าออกทันทีเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลออกจากเครื่องใช้ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับกระแสไหลเข้า

ง. เครื่องใช้ไฟฟ้าบางประเภท เช่น คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์สื่อสารอาจทำงานได้ไม่สมบูรณ์หรือชำรุดได้ง่ายหากไม่มีสายดิน

2. ข้อใดคือระบบไฟฟ้าที่มีการต่อส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่านลงดิน

ก. System Grounding

ข. Equipment Grounding

ค. Lightning Protection Grounding

ง. ข้อ ก และ ข ถูก

3. ข้อใดเป็นระบบที่ตัวนำนิวทรัล และตัวนำป้องกันรวมกันเป็นตัวนำชุดเดียว (PEN) ตลอดทั้งระบบ

ก. TN-S

ข. TN-C

ค. TN-C-S

ง. TT

4. ข้อใดต่อไปนี้เป็นข้อกำหนดที่ไม่ถูกต้องสำหรับการต่อลงดินของระบบประธานแรงดันต่ำกรณีอาคาร 2 หลังหรือมากกว่าที่มีการรับไฟจากบริภัณฑ์ประธานชุดเดียวกัน

ก. อาคารประธานหรืออาคารหลังที่ 1 การต่อลงดินให้เป็นไปตามข้อกำหนดของการต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธาน

ข. อาคารประธานหรืออาคารหลังที่ 1 การต่อลงดินให้เป็นไปตามความเหมาะสมโดยพิจารณาจากตำแหน่งการติดตั้งบริภัณฑ์ประธาน

ค. อาคารหลังอื่นจะต้องมีสายที่มีการต่อลงดิน สายต่อฝาก สายต่อหลักดิน และสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าของบริภัณฑ์ประธานจะต้องต่อร่วมกัน และต่อเข้ากับหลักดิน

ง. อาคารหลังอื่นจะต้องมีหลักดินเป็นของตนเอง และมีการต่อลงดินเช่นเดียวกับบริภัณฑ์ประธาน

5. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวถึง Equipment Grounding ได้ไม่ถูกต้อง

ก. เป็นการต่อสายดินจากส่วนที่เป็นโลหะ หรือสื่อตัวนำไฟฟ้าที่ห่อหุ้มบริภัณฑ์

ข. เป็นการต่อสายดินจากส่วนที่เป็นโลหะ หรือส่วนที่ห่อหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้า

ค. เป็นการต่อสายดินจากส่วนที่ไม่ใช่ส่วนประกอบของวงจรไฟฟ้าซึ่งไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้ากับหลักดิน

ง. เป็นการต่อสายดินจากส่วนที่เป็นส่วนประกอบของวงจรไฟฟ้าซึ่งไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้ากับหลักดิน

6. ข้อใดคือสาเหตุที่ต้องมีการเชื่อมต่อระบบสายดินของส่วนที่เป็นโลหะที่หุ้มบริภัณฑ์ทุกส่วนต้องต่อถึงกันหมดและต่อลงดินผ่านตัวนำหรือสายตัวนำที่มีค่าอิมพีแดนซ์ค่าต่ำที่สุด

ก. เพื่อให้กระแสผิดพร่องหรือกระแสที่ลัดวงจรไหลลงดินได้เต็มที่

ข. เพื่อทำให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินในระบบไฟฟ้าทำงานอย่างรวดเร็ว

ค. เพื่อไม่ทำให้เกิดอันตรายกับผู้ที่ไปสัมผัสส่วนที่เป็นโลหะหุ้มบริภัณฑ์

ง. ถูกทุกข้อ

7. ข้อใดคือสายตัวนำที่ใช้ต่อระหว่างหลักดินกับตัวนำสำหรับต่อลงดินของบริภัณฑ์

ก. Grounded Conductor

ข. Grounding Electrode Conductor

ค. Equipment Grounding Conductor

ง. Main Bonding Jumper

8. ข้อใดต่อไปนี้<u>ไม่ใช่</u>ข้อกำหนดเกี่ยวกับการติดตั้งระบบสายดิน

ก. ห้ามใช้ตะปูคอนกรีตตอกเข้าไปในผนังหรือพื้นคอนกรีต

ข. ตำแหน่งของหลักดินควรอยู่ใกล้ตู้จ่ายไฟหลัก

ค. ห้ามแช่หลักดินในน้ำเพราะเมื่อมีไฟรั่วจะแพร่กระจายไปกับน้ำและเกิดอันตรายกับผู้ที่อยู่ในน้ำ

ง. ขนาดของสายต่อหลักดินจะขึ้นอยู่กับขนาดสายวงจรย่อย และต้องไม่เล็กกว่า 10 ตร.มม.

9. ข้อใดต่อไปนี้ระบุเกี่ยวกับหลักดินได้อย่างถูกต้องที่สุด

ก. หัวต่อชนิดหลอมละลายสามารถตอกให้จมดินได้แต่ต้องใช้สายต่อเส้นใหญ่ และเป็นสายเปลือยเพื่อเหตุผลทางด้านการถ่ายเทประจุไฟฟ้าลงสู่พื้นดิน

ข. การตอกหลักดินควรตอกให้ลึกที่สุดถ้าเป็นหัวต่อหลักดินชนิดยึดด้วยแรงกลควรให้หัวต่ออยู่ระดับเดียวกันกับพื้นดิน เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบในภายหลัง

ค. หลักดินเป็นโลหะตัวนำไฟฟ้ามีหน้าที่ถ่ายเทประจุไฟฟ้าให้กระจายลงสู่พื้นดินและพื้นน้ำ

ง. เมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วจากเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อสายดินอยู่ กระแสไฟฟ้าที่รั่วก็จะเดินทางจากสายดินมาสู่หลักดินแล้วถ่ายเทลงสู่พื้นดิน

10. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวถึง Ground Rods ได้ถูกต้องที่สุด

ก. นิยมกันมากที่สุด เพราะราคาถูก ติดตั้งง่าย ใช้ได้ดีกับดินที่มีชั้นหินอยู่ลึกไม่เกิน 10 ฟุต

ข. ขนาดแท่งดินต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5/8 นิ้ว ยาวไม่น้อยกว่า 2.5 เมตร

ค. การใช้แท่งดินที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากขึ้นจะช่วยลดความต้านทานของดินได้ไม่มากนัก

ง. การตอกแท่งดินที่มีความยาวลึกลงไปในดินจะให้ผลเทียบเท่ากับการตอกแท่งดินสั้นๆ หลายแท่ง เพราะที่ระดับลึกๆ ความต้านทานดินจะยิ่งลดลง

11. กรณีที่บริเวณติดตั้งระบบสายดินมีทราย หรือมีชั้นหินอยู่ใกล้ผิวดิน ความชื้นจะน้อยและดินมีความต้านทานสูง ไม่เหมาะกับการตอกแท่งกราวด์ จะมีวิธีการแก้ไขตามข้อใด

ก. ตอกลงไปในดินให้มีความเอียงไม่เกิน 45 องศา

ข. ขุดดินแล้วฝังแท่งหลักดินลงไปในแนวราบที่ความลึกไม่น้อยกว่า 0.75 เมตร

ค. ฝังแท่งหลักดินในแนวดิ่งจะต้องมีระยะห่างจากขอบอาคารประมาณ 0.6 เมตรและฝังลึกไม่น้อยกว่า 0.3 เมตร

ง. ข้อ ก และ ข ถูก

12. ข้อใดต่อไปนี้อธิบายเกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องมือวัดค่าความต้านทานดินได้อย่างถูกต้อง

ก. การกดปุ่มอ่านค่าหรือปุ่มทดสอบ เครื่องมือวัดค่าความต้านทานดินจะจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านทางหลักทดสอบหรือหลักที่ต่อสายเส้นที่ยาวที่สุดลงสู่ดิน

ข. การกดปุ่มอ่านค่าหรือปุ่มทดสอบ เครื่องมือวัดค่าความต้านทานดินจะจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านทางหลักทดสอบหรือหลักที่ต่อสายเส้นปานกลางลงสู่ดิน

ค. กระแสไฟฟ้าที่ถูกจ่ายออกมาจากหลักทดสอบจะไหลออกจากหลักที่มีความยาวของสายปานกลางกลับมาครบวงจรที่หลักทดสอบหรือหลักดิน (E) หรือเป็นจุดที่ต้องการวัดค่าความต้านทานดิน

ง. ข้อ ก และ ค ถูก

13. ถ้าหากว่าหลักดินที่ตอกลงไปนั้นมีความต้านทานสูงเกินกว่า 5 โอห์มจะมีวิธีการแก้ไขอย่างไร

ก. ตอกแท่งหลักดินเพิ่มให้อยู่ในแนวดิ่งเดียวกันกับแท่งหลักดินอันแรกที่ตอกลงไปแล้วจึงใช้สายต่อฝากเชื่อมต่อให้หลักดินที่ตอกลงไปต่อถึงกันทั้งหมด

ข. ตอกแท่งหลักดินเพิ่มให้ขนานกับแท่งหลักดินอันแรกที่ตอกลงไปแล้วจึงใช้สายต่อฝากเชื่อมต่อให้หลักดินที่ตอกลงไปต่อถึงกันทั้งหมด

ค. ตอกแท่งหลักดินเพิ่มให้อยู่ในแนวราบทำมุมกกับแท่งหลักดินอันแรกที่ตอกลงไป 90 องศา แล้วจึงใช้สายต่อฝากเชื่อมต่อให้หลักดินที่ตอกลงไปต่อถึงกันทั้งหมด

ง. ตอกแท่งหลักดินให้มีทิศทางแตกต่างจากเดิม ระยะห่างของแท่งหลักดินเพิ่มขึ้นจากเดิม แล้วทำการวัดหาค่าความต้านทานดิน โดยยึดเอาจุดที่มีค่าความต้านทานต่ำที่สุด

14. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวถึงเครื่องตัดไฟรั่วได้อย่างถูกต้องที่สุด

ก. เครื่องตัดไฟฟ้าอัตโนมัติที่ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายจากไฟดูดไฟฟ้าลัดวงจร โดยจะทำการตัดไฟรั่วที่ไหลผ่านร่างกาย

ข. เครื่องตัดไฟรั่วจะทำงานอัตโนมัติหากมีไฟฟ้าลัดวงจรเพื่อป้องกันอันตรายจากไฟดูด และป้องกันอัคคีภัย

ค. เครื่องตัดไฟรั่วจะทำงานทันทีกรณีที่เครื่องป้องกันกระแสเกิน เช่น ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่ทำงาน หรือทำงานช้าเนื่องจากปริมาณกระแสไฟรั่วมีค่าต่ำ

ง. เครื่องตัดไฟรั่วจะทำงานทันทีหากตรวจสอบพบว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในปริมาณที่มากพอ โดยจะทำการตัดไฟที่ไหลผ่านตัวมันในทันที

15. ข้อใดอธิบายหน้าที่การทำงานของ ELCB ได้อย่างถูกต้องที่สุด

ก. มีหน้าที่ตัดไฟเมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินถึงค่าที่ตรวจจับได้ และจะตัดไฟเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจร แต่ไม่ตัดไฟในกรณีที่ใช้กระแสไฟฟ้าเกินกว่าพิกัด

ข. มีหน้าที่ตัดไฟเมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินหากตรวจสอบพบว่าเริ่มมีกระแสรั่วแม้ค่าเพียงเล็กน้อย และจะตัดไฟเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจร แต่ไม่ตัดไฟในกรณีที่ใช้กระแสไฟฟ้าเกินกว่าพิกัด

ค. มีหน้าที่ตัดไฟเมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินถึงค่าที่ตรวจจับได้ และจะไม่ตัดไฟเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจร แต่ไม่ตัดไฟในกรณีที่ใช้กระแสไฟฟ้าเกินกว่าพิกัด

ง. มีหน้าที่ตัดไฟเมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินถึงค่าที่ตรวจจับได้ และจะตัดไฟเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจร แต่ไม่ตัดไฟในกรณีที่ใช้กระแสไฟฟ้ายังมีปริมาณอยู่ในพิกัด

16. ข้อใดคือสาเหตุที่ไม่ควรติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วธรรมดาขนาด 30 mA เพียงตัวเดียวป้องกันรวมทุกวงจรที่ตู้จ่ายไฟหลัก

ก. เมื่อมีการรั่วไหลในวงจรย่อยจะทำให้เครื่องตัดไฟรั่วไม่ทำงานได้ตามปกติ

ข. เมื่อมีการรั่วไหลในวงจรย่อยระยะไกลสุดจะทำให้เครื่องตัดไฟรั่วไม่ทำงานได้ตามปกติ

ค. จะเกิดปัญหาเรื่องเครื่องตัดทำงานบ่อย แล้วในที่สุดก็ไม่อาจใช้เครื่องตัดไฟรั่วตัวนั้นได้

ง. จะเกิดปัญหาเรื่องการเกิดความร้อนขึ้นที่เครื่องตัดไฟรั่วเนื่องจากจะมีกระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลผ่าน แล้วในที่สุดก็ไม่อาจใช้เครื่องตัดไฟรั่วตัวนั้นได้

17. ข้อใดต่อไปนี้อธิบายหน้าที่การทำงานของ RCBO ได้อย่างถูกต้องที่สุด

ก. มีหน้าที่ตัดไฟเมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่ว ตัดกระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจร แต่ไม่ตัดไฟในกรณีที่ใช้กระแสไฟฟ้าเกินกว่าพิกัด

ข. มีหน้าที่ตัดไฟเมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่ว ตัดกระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจร และตัดไฟในกรณีที่ใช้กระแสไฟฟ้าเกินกว่าพิกัด

ค. มีหน้าที่ตัดไฟในกรณีที่ใช้กระแสไฟฟ้าเกินกว่าพิกัด ตัดกระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจร แต่ไม่ตัดตัดไฟเมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่ว

ง. มีหน้าที่ตัดไฟเมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่ว ตัดกระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจร แต่ไม่ตัดไฟในกรณีที่ใช้กระแสไฟฟ้าเกินกว่าพิกัด

18. ELCB และ RCBO มีค่า Interrupting Capacity ตามข้อใด

ก. ELCB = 1.5 kA, RCBO = 5-10 kA

ข. ELCB = 5-10 kA, RCBO = 1.5 kA

ค. ELCB = 1.5 kA, RCBO = 1.5 kA

ง. ELCB = 5-10 kA, RCBO = 5-10 kA

19. ข้อใดต่อไปนี้เป็นมาตรฐานที่ระบุคุณสมบัติของเครื่องตัดไฟรั่วที่ใช้ลดอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด ที่ระดับแรงดันไม่เกิน 400 V สำหรับบ้านอยู่อาศัย

ก. IEC 60756, IEC 61108

ข. IEC 61109, IEC 61530

ค. IEC 61543, IEC 60755

ง. ถูกทุกข้อ

20. ข้อใดต่อไปนี้ระบุค่ากระแส Rated residual operating current และค่า Operating Time ได้อย่างถูกต้อง

ก. 0.4 mS และ 30 mA

ข. 0.04 mS และ 0.3 mA

ค. 30 mS และ 0.04 mA

ง. 30 mA และ 0.04 mS

<u>ตอนที่ 2</u> จงตอบคำถามต่อไปนี้

2.1 จงอธิบายวัตถุประสงค์ที่สำคัญของการต่อลงดิน

2.2 จงอธิบายความหมายของสายดินหรือสายกราวด์

2.3 การต่อสายดินมีกี่ประเภทได้แก่อะไรบ้าง

2.4 ระบบการต่อสายดินสำหรับประเทศไทยตามมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าของ วสท. คือระบบใด และมีรายละเอียดอย่างไร

2.5 สายดินที่ใช้ในระบบไฟฟ้าทั่วไปจะมีลักษณะทางกายภาพและรายละเอียดที่เกี่ยวข้องอย่างไรบ้าง

2.6 ทำไมจึงต้องมีการต่อสายดินเข้ากับสายนิวทรัลที่ตู้บริภัณฑ์ประธาน

2.7 หากต่อสายดินลงดินโดยตรงที่เครื่องใช้ หรือไม่ต่อสายดินเข้ากับสายนิวทรัลที่ตู้จ่ายไฟหลัก จะมีผลเสียอย่างไร และควรทำอย่างไร

2.8 จงเปรียบเทียบข้อดีข้อด้อย ระหว่างเครื่องตัดไฟรั่วกับสายดิน

2.9 จงอธิบายถึงสาเหตุที่ห้ามต่อสายดินเข้ากับสายนิวทรัลที่แผงจ่ายไฟฟ้าย่อย

2.10 จงหาขนาดสายที่มีการต่อลงดินที่ไม่ได้ใช้เป็นสายวงจรในระบบ 3 เฟส โดยแต่ละเฟสใช้สายขนาด 500 ตร.มม.จำนวน 3 เส้น