กรมการขนส่งทางราง
Department of Rail Transport

มขร. – E – 001 – 2564

มาตรฐานระบบไฟฟ้า ของการเดินรถขนส่งทางราง การต่อลงดินและการต่อฝาก บนโครงข่ายรถไฟสายประธาน

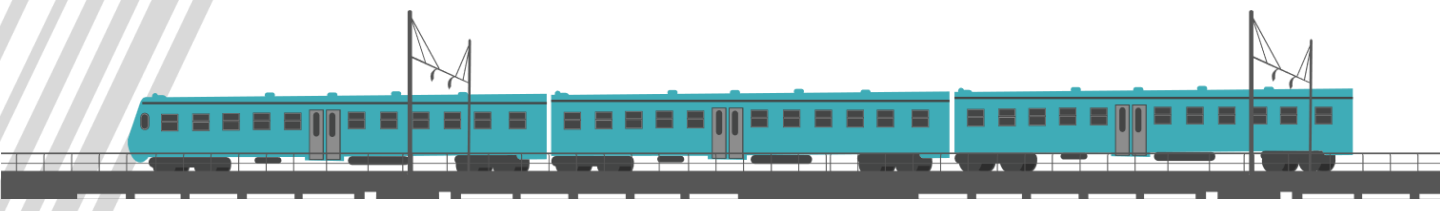
Grounding and Bonding System on Mainline Train

จัดทำโดย

กองมาตรฐานความปลอดภัยและบำรุงทาง กรมการขนส่งทางราง

สารบัญ

บทที่ 1 บททั่วไป	1
บทที่ 2 การต่อลงดินและการต่อฝาก	5
บทที่ 3 ข้อกำหนดการออกแบบ	6
บทที่ 4 คุณสมบัติของส่วนประกอบการต่อลงดินและการต่อฝาก	8
บทที่ 5 ข้อกำหนดการทำงาน	10
บทที่ 6 ข้อกำหนดการติดตั้ง	11
บทที่ 7 ความปลอดภัย	16
บทที่ 8 การทดสอบและตรวจสอบก่อนการใช้งาน	18
บทที่ 9 การปฏิบัติงานและการบำรุงรักษา	19
บทที่ 10 การทำงานร่วมกันได้	19
ภาคผนวก ก	20
ภาคผนวก ข	21
ภาคผนวก ค	23
ภาคผนวก ง	24



1

บททั่วไป

1 บททั่วไป

การต่อลงดินและการต่อฝากมีเพื่อลดผลกระทบของการเกิดฟ้าผ่าและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ดินเนื่องจากการไหลของกระแสผิดพร่องปริมาณมากจากการลัดวงจร ระบบรถไฟสายประธานที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ามีความเป็นสาธารณะ โดยเปิดให้ประชาชนทั่วไปเข้าใช้งาน ทำให้การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสทั้งโดยตรงและโดยอ้อมเพื่อรับประกันความปลอดภัยต่อผู้โดยสารที่ใช้บริการมีความสำคัญเป็นลำดับแรก และต้องทำการออกแบบ ติดตั้ง ทดสอบ และตรวจสอบอย่างรัดกุมก่อนเปิดให้บริการ

ด้วยเหตุนี้กรมการขนส่งทางรางได้เล็งเห็นถึงความสำคัญดังกล่าว จึงได้จัดทำข้อกำหนดการต่อลงดินและการต่อฝาก ซึ่งได้อ้างอิงจากมาตรฐานสากล โดยคำนึงถึงความเหมาะสมในการนำมาใช้ในประเทศไทย รวมถึงมาตรฐานของประเทศไทยที่เกี่ยวข้อง

1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อกำหนดใช้เป็นแนวทางการออกแบบ ติดตั้ง และการทดสอบและตรวจสอบ ของการต่อลงดินและการต่อฝากสำหรับสถานีไฟฟ้าขับเคลื่อน ทางรถไฟและสถานีรถไฟ สำหรับระบบรถไฟฟ้าสายประธานในประเทศไทย

1.2 ขอบข่าย

ครอบคลุมระบบรถไฟสายประธานที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสสลับในประเทศไทย ซึ่งรวมถึงระบบรถไฟชานเมือง (Commuter train) และระบบรถไฟระหว่างเมือง (Intercity train)

1.3 มาตรฐานอ้างถึง

1) EN 50122-1:2011, Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit– Part 1: Protective provisions against electric shock
2) IEC 61000-5-2:1997, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 5: Installation and mitigation guidelines - Section 2: Earthing and cabling
3) IEC 61238-1-3:2018, Compression and mechanical connectors for power cables - Part 1-3: Test methods and requirements for compression and mechanical connectors for power cables for rated voltages above 1 kV (Um = 1,2 kV) up to 30 kV (Um = 36 kV) tested on non-insulated conductors
4) IEEE 80:2013, Guide for Safety in AC Substation Grounding
5) IEC 60479-1:2005, Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects
6) EN 50522:2010, Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c.
7) IEC 61936-1:2010, Power installations exceeding 1 kV a.c. - Part 1: Common rules
8) IEC 60364 series, Low-voltage electrical installations
9) IEC 60050 series, International Electrotechnical Vocabulary
10) IEC 62305-2:2010, Protection against lightning- Part 2: Risk management
11) IEC 62305-3:2010, Protection against lightning-Part 3 Physical damage to structures and live hazard
12) มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
13) มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า พ.ศ. 2553, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
14) ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าของการขนส่งระบบราง, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2561
15) F. Kiessling, R. Puschmann, A. Schmieder and E. Schneider, "Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance", 3Ed. Wiley VCH, 2017

1.4 นิยาม

การต่อลงดิน (earthing)
หมายถึง การต่อตัวนำไม่ว่าโดยตั้งใจหรือบังเอิญระหว่างวงจรไฟฟ้าหรือบริภัณฑ์กับดินหรือกับส่วนที่เป็นตัวนำซึ่งทำหน้าที่แทนดิน

การต่อฝาก (bonding)
หมายถึง การต่อถึงกันอย่างถาวรของส่วนที่เป็นโลหะให้เกิดเป็นทางนำไฟฟ้าที่มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าและสามารถนำกระแสที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างปลอดภัย

ไฟฟ้าดูด (electric shock)
หมายถึง ผลกระทบที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าผ่านร่างกายมนุษย์

แรงดันสัมผัส (touch voltage)
หมายถึง แรงดันไฟฟ้าระหว่างตำแหน่งที่มือสัมผัสกับโครงสร้างหรืออุปกรณ์เทียบกับตำแหน่งที่มนุษย์ยืน

แรงดันช่วงก้าว (step voltage)
หมายถึง แรงดันไฟฟ้าระหว่างเท้า ณ ตำแหน่งที่มนุษย์ยืน ที่มีระยะห่างกัน 1 เมตร

หลักดิน (earth electrode)
หมายถึง ตัวนำหรือกลุ่มตัวนำซึ่งต่อโดยตรงเข้ากับดิน

การต่อลงดินของโครงสร้าง (structure earth)
หมายถึง โครงสร้างที่ทำจากชิ้นส่วนโลหะ ซึ่งสามารถใช้เป็นหลักดินได้

การต่อฝากไฟฟ้าเสมอ (equipotential bonding)
หมายถึง การเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างส่วนนำไฟฟ้ามีวัตถุประสงค์เพื่อให้ศักย์ไฟฟ้าเท่า

บัสบาร์ศักย์ไฟฟ้าเสมอหลัก (main equipotential busbar: MEB)
หมายถึง บัสบาร์ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อทางไฟฟ้ากับตัวนำต่อฝากจากบัสบาร์หรืออุปกรณ์เพื่อให้ศักย์ไฟฟ้าเสมอ ก่อนเชื่อมต่อเข้ากับการต่อลงดินของโครงสร้างผ่านตัวนำต่อลงดิน

บัสบาร์การต่อลงดิน (earthing busbar)

หมายถึง บัสบาร์ที่เป็นส่วนของการติดตั้งระบบต่อลงดิน และเป็นจุดเชื่อมต่อร่วมทางไฟฟ้าของตัวนำต่อฝาก

ตัวนำต่อลงดิน (earth conductor)

หมายถึง ตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นเส้นทางนำกระแสไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างและหลักดิน

ตัวนำต่อฝาก (bonding conductor)

หมายถึง ตัวนำที่ใช้ต่อระหว่างส่วนที่เป็นโลหะที่ต้องการต่อถึงกันทางไฟฟ้า

สายดินป้องกัน (protective earth)

หมายถึง สายไฟเส้นที่มีไว้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อการใช้ไฟฟ้า

การเชื่อมด้วยความร้อน (exothermic welding)

หมายถึง การใช้ความร้อนจากการติดไฟของดินปืนเพื่อหลอมละลายทองแดงให้เข้าด้วยกัน

เส้นทางอิมพีแดนซ์ต่ำ (low impedance path)

หมายถึง เส้นทางต่อลงดินที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ

วงดิน (earth loop)

หมายถึง ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการต่อลงดินแบบหลายจุด

วงจรกระแสไหลกลับ (return circuit)

หมายถึง วงจรซึ่งทำหน้าที่เป็นเส้นทางสำหรับกระแสไหลกลับของระบบจ่ายไฟฟ้าขับเคลื่อน

สถานีไฟฟ้าขับเคลื่อน (traction substation: TSS)

หมายถึง สถานีไฟฟ้าย่อยสำหรับจ่ายไฟให้กับระบบขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า

จุดจ่ายไฟประธาน (bulk supply point)

หมายถึง ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีไฟฟ้าประธาน

ระบบจ่ายไฟฟ้าชนิดสัมผัสเหนือศีรษะ (Overhead Contact System: OCS)

หมายถึง ระบบการจ่ายไฟฟ้าให้แก่รถไฟฟ้าโดยใช้สายสัมผัสเหนือศีรษะเพื่อใช้ขับเคลื่อนรถไฟฟ้า

สายดินขึงอากาศ (Aerial Earth Wire: AEW)

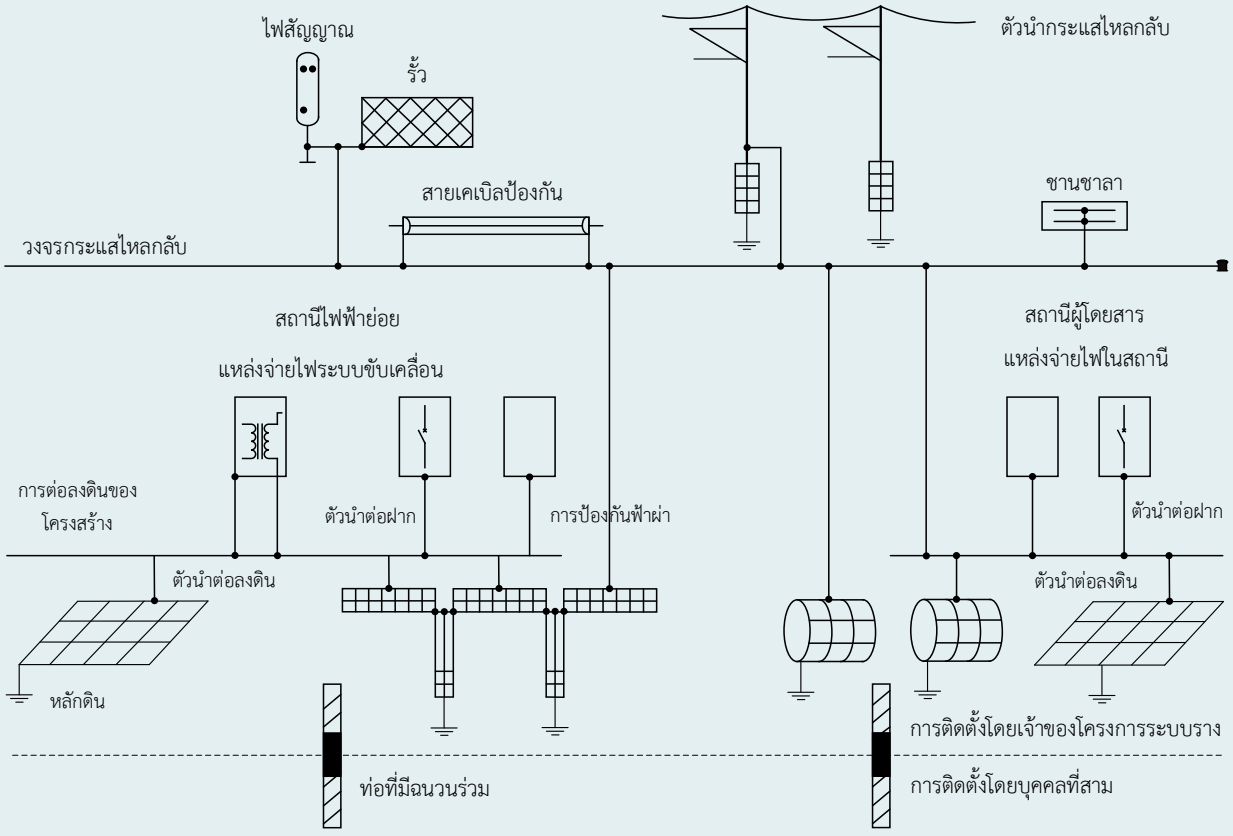
หมายถึง สายตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นสายดินและป้องกันฟ้าผ่า โดยติดตั้งอยู่บนเสาระบบจ่ายไฟฟ้าชนิดสัมผัสเหนือศีรษะ

2

การต่อลงดิน และการต่อฝาก

2 การต่อลงดินและการต่อฝาก

หลักการของการต่อลงดินสำหรับระบบรถไฟฟ้ากระแสสลับ คือ ต้องมีการต่อลงดินร่วมของระบบย่อยเข้าด้วยกัน การต่อลงดินของระบบย่อยทั้งหมดจะต้องเชื่อมต่อตัวนำต่อลงดินกับระบบการต่อลงดินของโครงสร้าง และวงจรกระแสไหลกลับจะต้องเชื่อมต่อกับระบบการต่อลงดินของอุปกรณ์อื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การต่อลงดินสำหรับระบบรถไฟฟ้ากระแสสลับ

ที่มา : F. Kiessling, R. Puschmann, A. Schmieder and E. Schneider, "Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance", 3Ed., Wiley VCH, 2017

๓

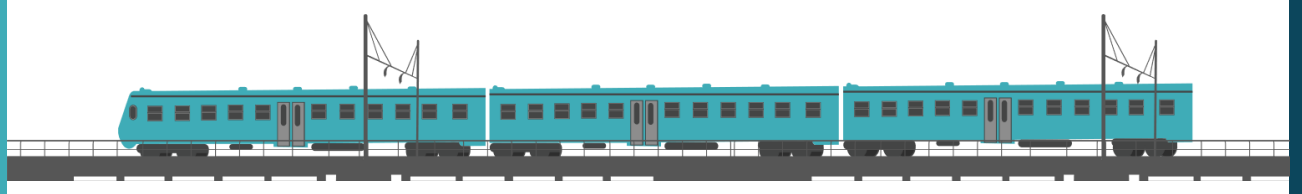
ข้อกำหนดการออกแบบ

3 ข้อกำหนดการออกแบบ

การต่อลงดินเป็นการต่อตัวนำไฟฟ้าระหว่างวงจรไฟฟ้ากับดินเพื่อลดผลกระทบของการเกิดฟ้าผ่าและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ดินเนื่องจากการไหลของกระแสผิดพร่องปริมาณมากจากการลัดวงจร เพื่อป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วโดยมีสาเหตุจากการชำรุดหรือการเสื่อมสภาพของบริภัณฑ์ไฟฟ้า รวมทั้งเพื่อป้องกันอันตรายแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าวในสภาวะปกติและขณะเกิดความผิดพร่อง การออกแบบต้องได้รับการออกแบบอย่างน้อยดังต่อไปนี้

1. การต่อลงดินและการต่อฝากจะต้องออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน EN 50122-1 และมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ หรือมาตรฐานที่เทียบเท่า

2. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องมีเพื่อความปลอดภัยทางไฟฟ้าที่สถานี สถานีไฟฟ้าย่อย อาคาร ศูนย์ซ่อมบำรุง ส่วนทางยกระดับ โดยจะต้องออกแบบระบบการต่อลงดินบนพื้นฐานของความปลอดภัยสำหรับผู้คนต่ออันตรายจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว และอันตรายจากไฟไหม้ ซึ่งแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว ในขณะเดินรถปกติและขณะเกิดกระแสผิดพร่องที่ได้จากการทำแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือการคำนวณโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัด เช่น ความต้านทานของดิน ค่าที่ได้จะต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดของมาตรฐาน EN 50122-1



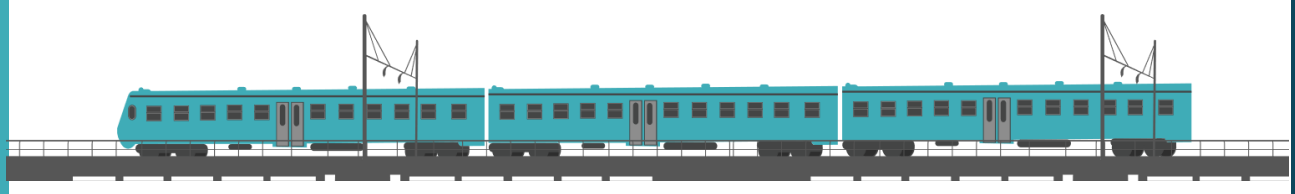
3 การพิจารณาด้านความแข็งแรงเชิงกลและการกัดกร่อนใช้กำหนดขนาดขั้นต่ำสำหรับหลักดินตามข้อกำหนดในมาตรฐาน EN 50522 หากมีการใช้วัสดุอื่น ๆ เช่น เหล็กสแตนเลสในการใช้เป็นหลักดิน เป็นต้น ประเภทและขนาดของหลักดินจะต้องตรงกับความต้องการเกี่ยวกับการทำงาน (ภาคผนวก ก)

4 การต่อลงดินจะต้องมีเส้นทางอิมพีแดนซ์ต่ำสำหรับกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่าหรือกระแสผิดพร่องของระบบไฟฟ้ากำลัง

5 ขนาดของตัวนำที่เป็นส่วนประกอบการต่อลงดินและการต่อฝากต้องผ่านการออกแบบคำนวณโดยปัจจัยที่นำมาร่วมพิจารณาจะต้องประกอบด้วย ขนาดของกระแสผิดพร่อง ระยะเวลาของการผิดพร่องและคุณลักษณะของดิน โดยผลที่ได้จากการคำนวณจะต้องแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของขนาดตัวนำในประเด็นการผุกร่อนและความแข็งแรงเชิงกล ความแข็งแรงเชิงความร้อนที่เกิดจากกระแสผิดพร่องสูงสุดและแรงดันสัมผัส

6 การต่อลงดินจะต้องคำนึงถึงการป้องกันระบบอิเล็กทรอนิกส์และระบบไฟฟ้าที่มีความอ่อนไหวและเชื่อมโยงถึงกันต่อแรงดันไฟฟ้ารบกวน (noise voltage)

7 ในกรณีที่มีท่อสาธารณูปโภคอื่น ๆ อยู่ใกล้เคียงต้องทำการต่อเข้ากับระบบการต่อลงดินของระบบ



4

คุณสมบัติของส่วนประกอบ การต่อลงดินและการต่อฝาก

4 คุณสมบัติของส่วนประกอบการต่อลงดินและการต่อฝาก

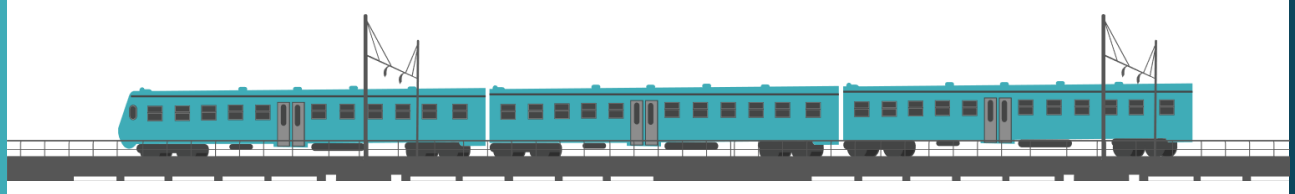
การต่อลงดินและการต่อฝาก ประกอบด้วย หลักดิน ตัวนำต่อลงดิน ตัวนำต่อฝาก บัสบาร์การต่อลงดิน และหางปลาของการต่อลงดิน ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1 หลักดิน

หลักดินที่สัมผัสกับดินโดยตรงจะต้องเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี ปฏิกิริยาออกซิเดชัน กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส มีความทนทานต่ออิทธิพลทางกลในระหว่างการติดตั้งและระหว่างช่วงการให้บริการปกติ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เหล็กฝังอยู่ในฐานรากคอนกรีต (concrete foundation) และเสาเข็มเหล็ก หรือโครงสร้างเหล็กอื่น ๆ ที่สัมผัสกับดิน

2 ตัวนำต่อลงดิน

ตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นเส้นทางนำกระแสไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างและหรือหลักดิน ต้องเป็นตัวนำทองแดง ชนิดตัวนำเดี่ยวหรือตัวนำตีเกลียวหุ้มฉนวนและต้องเป็นตัวนำเส้นเดียวยาวตลอด โดยไม่มีการต่อ แต่ถ้าเป็นบัสบาร์อนุญาตให้มีการต่อได้ โดยการเชื่อมต่อเข้ากับหลักดินให้ใช้วิธีการเชื่อมด้วยความร้อน



3 ตัวนำต่อฝาก

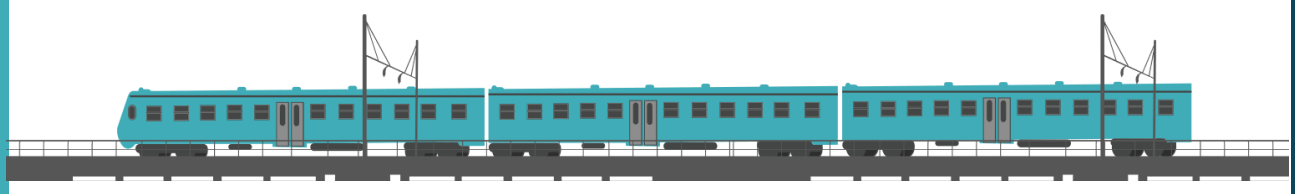
ตัวนำที่ก่อให้เกิดการต่อฝากไฟฟ้าเสมอ เป็นชนิดตัวนำทองแดง ตัวนำประเภทนี้ยังรวมถึงการต่อฝากของโครงสร้าง (structure bond) ที่เชื่อมต่อระหว่างรางวิ่ง เสาระบบจ่ายไฟฟ้า ชนิดสัมผัสเหนือศีรษะ และอุปกรณ์/วัสดุของระบบที่เป็นโลหะ และการต่อฝากแบบไขว้/ขวาง (cross/transverse bond) ซึ่งเชื่อมต่อระหว่างรางวิ่ง การติดตั้งการต่อฝากของโครงสร้างและการต่อฝากแบบไขว้/ขวาง จะต้องแสดงจำนวนและตำแหน่งที่เหมาะสม

4 บัสบาร์การต่อลงดิน

เป็นแผ่นทองแดงชุบดีบุก โดยกำหนดให้เป็นจุดรวมในการเชื่อมต่อกับองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบข่ายสายดินทั้งหมดกับแท่งกราวด์หรือตัวนำต่อลงดินของระบบ

5 หางปลาของการต่อลงดิน

การเลือกใช้หางปลาของการต่อลงดินให้พิจารณาคุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลตามมาตรฐาน IEC 61238-1-3 ตัวนำต่าง ๆ ดังกล่าว จะต้องมีคุณสมบัติในการกระจายกระแสผิดพร่องปริมาณมากจากการลัดวงจรลงดินโดยปราศจากความเสียหายอันเนื่องจากความร้อนเกินพิกัดก่อนระบบป้องกันเริ่มทำงาน



5

ข้อกำหนดการทำงาน

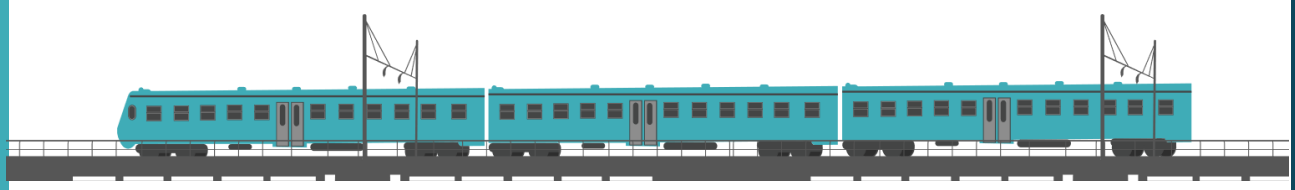
5 ข้อกำหนดการทำงาน

1. องค์ประกอบต่าง ๆ ในระบบการต่อลงดิน ประกอบด้วย หลักดิน ตัวนำต่อลงดิน ตัวนำต่อฝาก บัสบาร์การต่อลงดิน และหางปลาของการต่อลงดิน จะต้องมีคุณสมบัติในการกระจายกระแสผิดพร่องจากการลัดวงจรลงดินโดยปราศจากความเสียหายอันเนื่องจากความร้อนเกินพิกัดก่อนระบบป้องกันเริ่มทำงาน

2. การต่อลงดินจะต้องมีค่าความต้านทานของระบบการต่อลงดินที่เหมาะสมตามการออกแบบตลอดอายุการใช้งาน โดยอาจมีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการกัดกร่อนและความเสียหายทางกลได้เล็กน้อย

3. ขั้นตอนต่าง ๆ ที่นำมาใช้ร่วมกับระบบการต่อลงดินจะต้องจำกัดระดับแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าวภายใต้การทำงานปกติของระบบป้องกัน

4. การต่อลงดินจะต้องไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility: EMC) ระหว่างอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของระบบไฟฟ้าแรงดันสูงตามมาตรฐาน IEC 61000-5-2



b

ข้อกำหนดการติดตั้ง

6 ข้อกำหนดการติดตั้ง

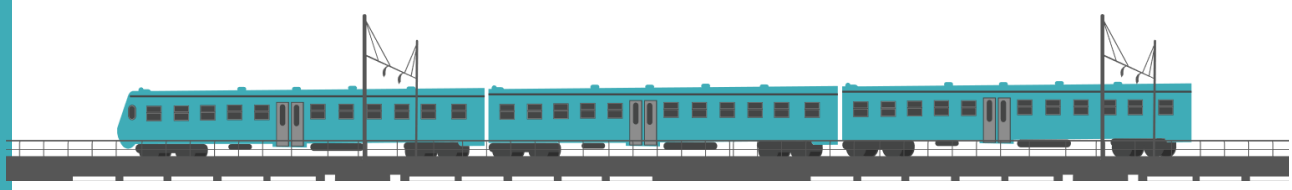
1 การต่อลงดินและการต่อฝาก

1) วิธีการต่อลงดินและการต่อฝากจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน EN 50122-1 และมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ หรือมาตรฐานที่เทียบเท่า

2) การต่อลงดินสามารถใช้ระบบ TT หรือ TN ได้ดังแสดงในภาคผนวก ข รางวิ่งของรถไฟเชื่อมต่อกับการต่อลงดินของโครงสร้างที่ประกอบด้วยรากฐานของเสา และโครงสร้างทางอื่น ๆ เช่น อุโมงค์ และทางยกระดับ เป็นต้น รางวิ่งและบัสบาร์ศักย์ไฟฟ้าเท่าหลักจะต้องเชื่อมต่อกัน

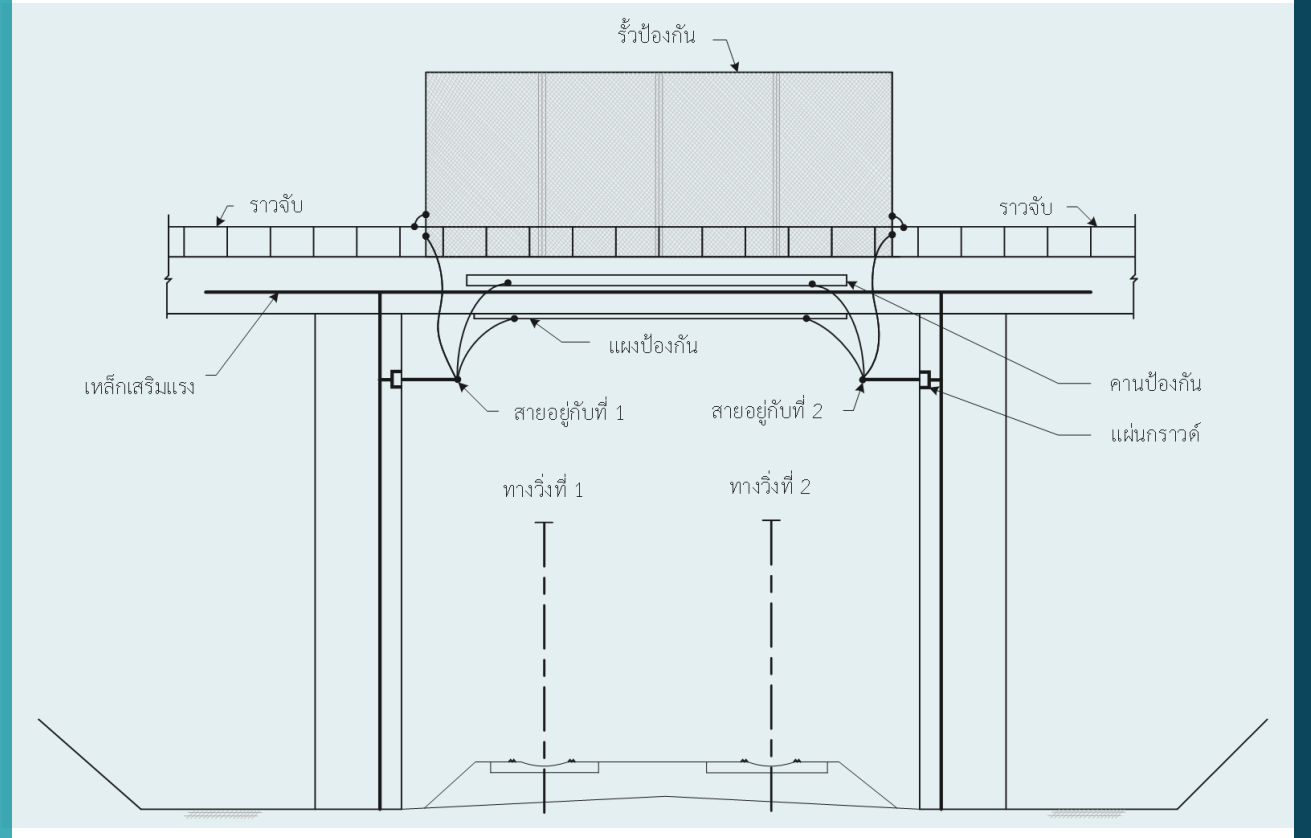
3) การต่อลงดิน เช่น หลักดินแบบกริด สายดินโดยรอบ เป็นต้น ที่จุดจ่ายไฟประธาน จะต้องได้รับการออกแบบสำหรับระดับการลัดวงจรสามเฟสบนโครงข่ายการไฟฟ้าท้องถิ่น ตามคำแนะนำของการไฟฟ้าท้องถิ่น และจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 80 และมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

4) สำหรับโครงสร้างโลหะหรืออุปกรณ์ภายในเขตสายสัมผัส ดังแสดงในภาคผนวก ค ต้องมีการเชื่อมต่อกับระบบการต่อลงดินหรือรางวิ่งโดยตรง นอกจากนี้หากมีการใช้ตัวนำสายดินป้องกัน กับอุปกรณ์ตามที่ระบุดังกล่าว จะต้องออกแบบให้ทนกระแสผิดพร่องสูงสุดได้

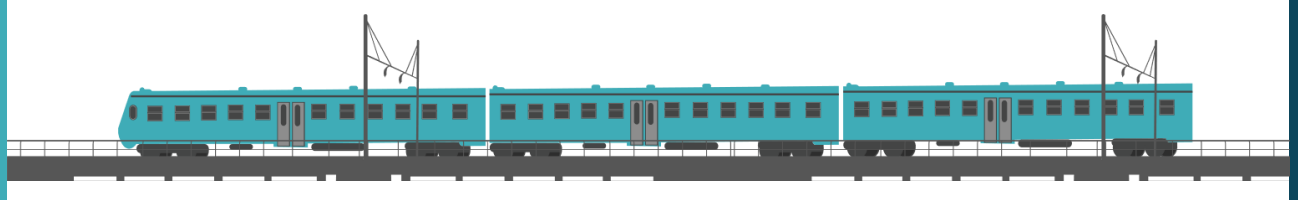


5) ในกรณีที่มีสะพานทางเท้าหรือทางรถยนต์อยู่ในเขตสายสัมผัส จะต้องมีการป้องกันเพิ่มเติม ดังแสดงในรูปที่ 2 ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน EN 50122-1

- กรณีเสาค้ำยันสะพานอยู่ในเขตสายสัมผัส ให้ติดตั้งแถบเหล็กชุบกัลวาไนซ์ บนผนังของสะพาน หรือบนคอลัมน์ของสะพาน
- กรณีผิวพื้นส่วนล่างของสะพานอยู่ในเขตสายสัมผัส ให้ติดตั้งแถบหรือแผ่นเหล็กชุบกัลป์วาไนซ์บริเวณเหนือสายตัวนำเหนือศีรษะ
- โครงสร้างโลหะ ราวจับ และรั้วป้องกันของสะพานจะต้องมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้า



รูปที่ 2 โครงสร้างสะพานหรือทางข้ามภายในเขตสายสัมผัส



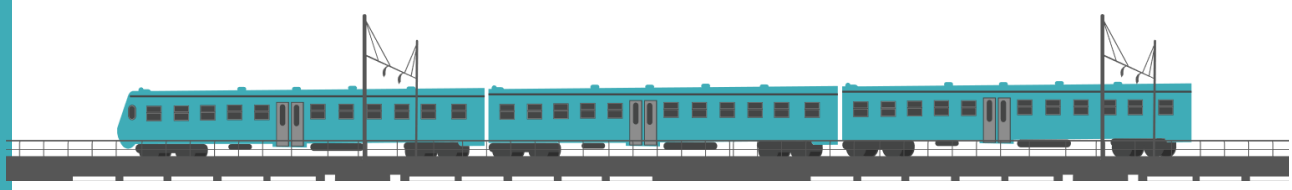
6) วงจรกระแสไหลกลับของระบบจ่ายไฟจะต้องเชื่อมต่อกับระบบการต่อลงดินของอุปกรณ์อื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1

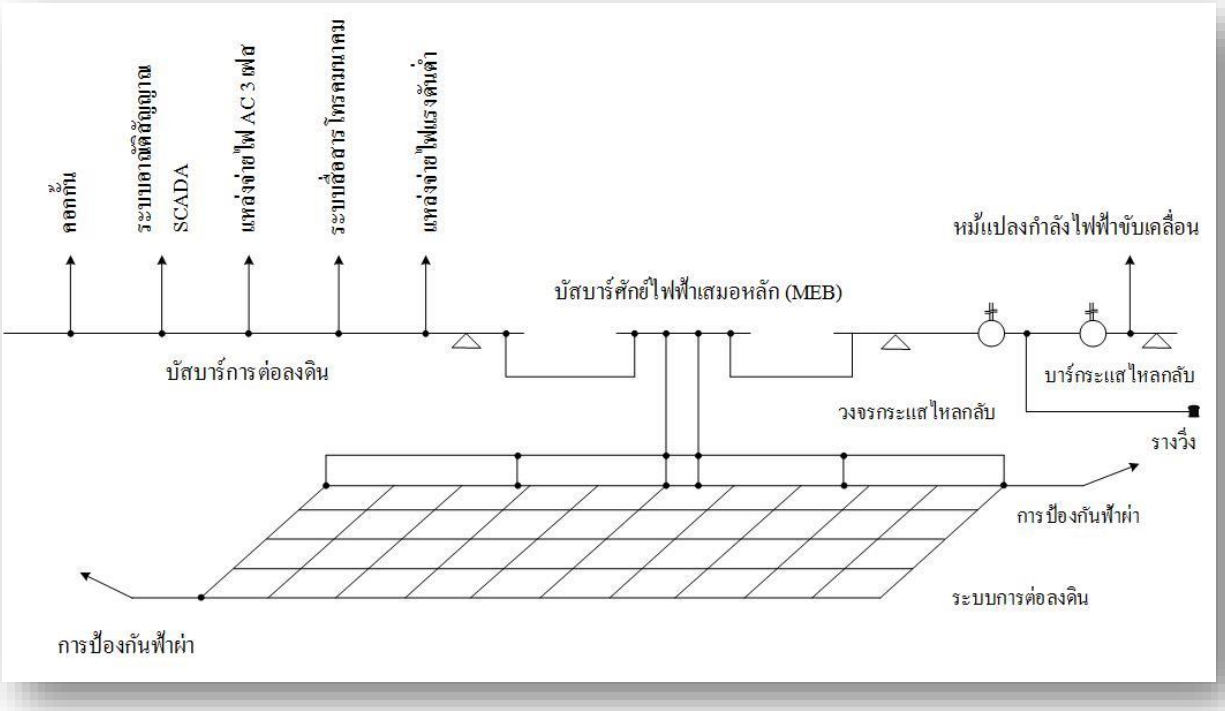
7) สายดินขึงอากาศจะต้องวิ่งไปตามความยาวของทางรถไฟและเชื่อมต่อกับเสาระบบจ่ายไฟฟ้าชนิดสัมผัสเหนือศีรษะทั้งหมดและโลหะที่ไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้า

8) การต่อฝากไฟฟ้าเสมอของโลหะเสริมแรงในสถานีและอาคารด้านข้างจะต้องเชื่อมต่อกับระบบการต่อลงดินของอาคารที่เกี่ยวข้อง การต่อฝากของโลหะเสริมแรงในโครงสร้างทางยกระดับ พื้นทางวิ่งแผ่นคอนกรีตอัดแรง เสาระบบจ่ายไฟฟ้าชนิดสัมผัสเหนือศีรษะ ราวจับและอื่น ๆ จะต้องเชื่อมต่อกับการต่อลงดินของโครงสร้างอย่างน้อยทุก ๆ 100 เมตร

9) การต่อฝากชิ้นส่วนที่เป็นโลหะของบริภัณฑ์ทั้งหมดและเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายการต่อลงดินเป็นวิธีการปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัยและเพื่อลดแรงดันไฟฟ้ารบกวน และค่าความต้านทานการต่อฝากจะต้องมีค่าต่ำตามมาตรฐาน IEC 61000-5-2

10) การต่อลงดินซึ่งรวมถึงวงจรกระแสไหลกลับที่สถานีไฟฟ้าย่อย ดังแสดงในรูปที่ 3 ต้องมีตัวนำกระแสไหลกลับ อย่างน้อย 2 ตัวนำระหว่างรางวิ่งและสถานีไฟฟ้าย่อย และต้องออกแบบให้กรณีที่เกิดการเสียหายของตัวนำกระแสไหลกลับ 1 ตัว ตัวนำที่เหลือสามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ทั้งหมด และต้องมีการติดตั้งหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (current transformer) รวมทั้งอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าเพื่อวัดกระแสไหลกลับ



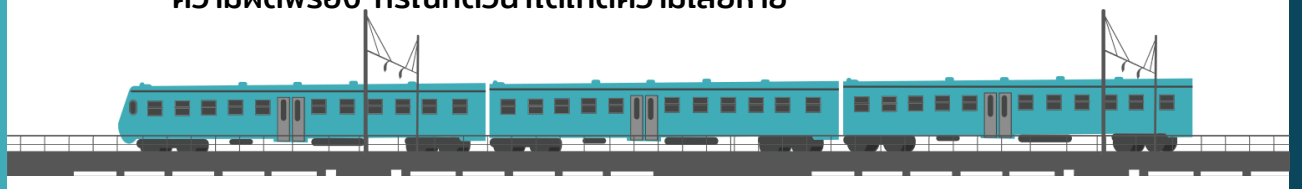


รูปที่ 3 การต่อลงดินในสถานีไฟฟ้าย่อยสำหรับระบบรถไฟฟ้ากระแสสลับ

ที่มา : F. Kiessling, R. Puschmann, A. Schmieder and E. Schneider, "Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance", 3Ed., Wiley VCH, 2017

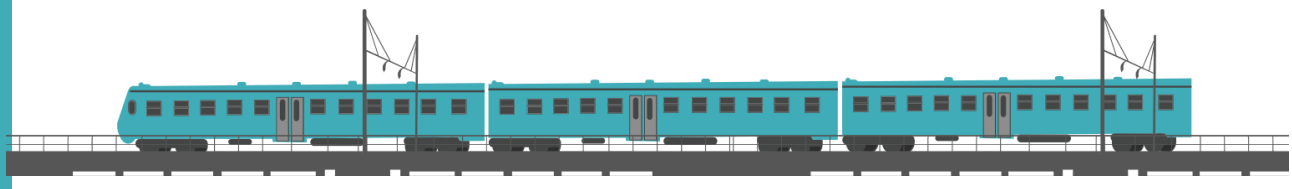
11) กรณีที่รับกำลังไฟจากโครงข่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำด้วย ตัวนำนิวทรัลของโครงข่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับจุดนิวทรัล จะไม่ถูกต่อร่วมกับระบบต่อลงดินของระบบรถไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อป้องกันความเสียหายจากกระแสไหลกลับซึ่งบางส่วนจะไหลผ่านระบบการต่อลงดิน

12) กรณีที่มีการต่อบัสบาร์ศักย์ไฟฟ้าเสมอหลัก ดังรูปที่ 3 กระแสย้อนกลับจะต้องไม่ไหลผ่านบัสบาร์การต่อลงดิน เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนระบบควบคุมระยะไกล (Supervisory Control and Data Acquisition: SCADA) ระบบสื่อสาร และระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยบัสบาร์ของระบบการต่อลงดินจะเชื่อมต่อกับบัสบาร์ศักย์ไฟฟ้าเสมอหลักเพียงด้านเดียว ในขณะที่หลักดินแบบกริดจะเชื่อมต่อกับบัสบาร์ศักย์ไฟฟ้าเสมอหลักด้วยตัวนำ 2 ตัว ซึ่งแต่ละตัวนำถูกออกแบบให้สามารถนำกระแสสูงสุดในสภาวะการให้บริการเดินรถปกติและสภาวะเกิดความผิดพร่อง กรณีที่ตัวนำใดเกิดความเสียหาย



2 การป้องกันฟ้าผ่า

1) ต้องแสดงการป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC 62305 โดยส่วนที่ 3 (IEC 62305-3) ของมาตรฐานเป็นการป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับโครงสร้างและสิ่งมีชีวิต และส่วนที่ 4 (IEC 62305-4) เป็นการป้องกันอันตรายที่เกิดกับระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ภายในโครงสร้าง โดยอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าทั้งหมดต้องเชื่อมต่อกับระบบต่อลงดิน และต้องออกแบบให้ความยาวของตัวนำที่เชื่อมต่อสั้นที่สุดเท่าที่เป็นไปได้
2) สายดินขึงอากาศที่สูงหรือสายที่เชื่อมต่อกับเอิร์ทแมท (Earth Mat) ของสถานีไฟฟ้าย่อยต้องมีการป้องกันฟ้าผ่า มุมป้องกันของสายดินขึงอากาศจะต้องครอบคลุมบริภัณฑ์ทั้งหมดภายในสถานีไฟฟ้าย่อย เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ ตัวแยกส่วน หม้อแปลงแรงดัน หม้อแปลงกระแส เป็นต้น อย่างไรก็ตาม อาคารอาจมีการป้องกันฟ้าผ่าของตัวเองอีกครั้งเชื่อมต่อกับเอิร์ทแมท (Earth Mat) ของสถานีไฟฟ้าย่อย
3) ตัวนำต่อลงดินสำหรับระบบป้องกันฟ้าผ่าจะต้องถูกยึดกับเสาค้ำยันของทางวิ่งยกระดับและต้องเชื่อมต่อกับระบบการต่อลงดินโดยตรง หากเชื่อมต่อผ่านกับโครงสร้างของทางวิ่งยกระดับที่บัสบาร์หรือเทอร์มินอลการต่อลงดิน ขนาดตัวนำต่อลงดินต้องมีค่าตามตารางที่ 6 ในมาตรฐาน EN 62305-3 ดังแสดงในภาคผนวก ง และค่าความต้านทานรวมระหว่างจุดเชื่อมต่อดังกล่าวกับบัสบาร์หรือเทอร์มินอลที่ระดับพื้นดินต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.2 โอห์ม
4) สำหรับอาคารจะต้องรวมระบบป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า พ.ศ. 2553 ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ หรือมาตรฐานที่เทียบเท่า ตัวนำฟ้าผ่าจะต้องเชื่อมต่อกับเอิร์ทแมท (Earth Mat) ร่วมของโครงสร้าง
5) ต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่สถานีไฟฟ้าย่อย เพิ่มเติมจากระบบป้องกันฟ้าผ่าที่มีอยู่ เพื่อป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อที่สถานีไฟฟ้าย่อยไม่ให้เกิดความเสียหายได้ง่าย



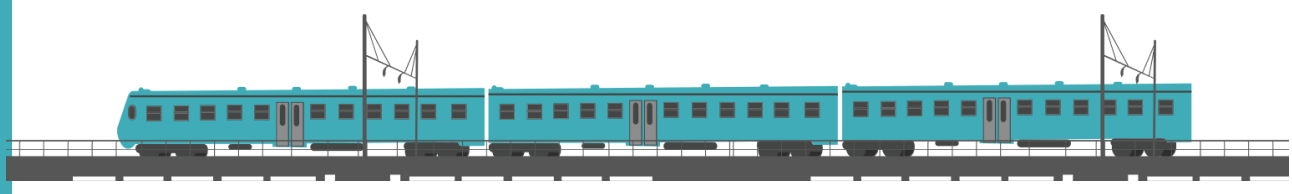
๗

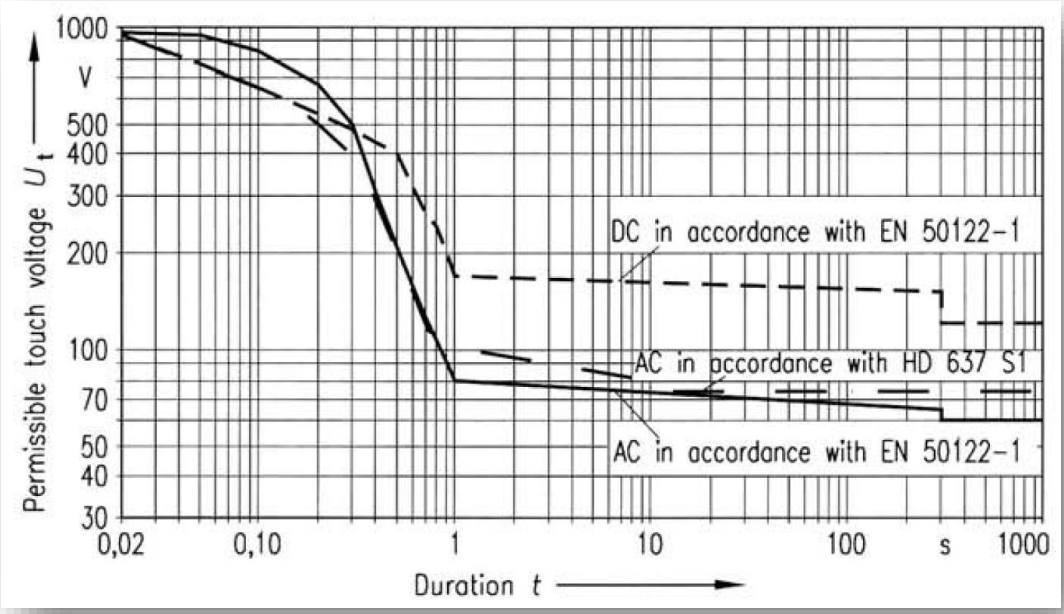
ความปลอดภัย

7 ความปลอดภัย

1. อันตรายอาจจะเกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกายมนุษย์ ค่าของกระแสไฟฟ้าดังกล่าวขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่เชื่อมโยงกับอิมพีแดนซ์ของร่างกาย บริภัณฑ์สามารถได้รับความเสียหายจากฟ้าผ่าและกระแสลัดวงจรที่เกิดจากอุณหภูมิและความร้อนที่สูงเกินไป เหล็กเส้นหรือเหล็กเสริมสามารถได้รับความเสียหายจากการกัดกร่อน จึงจำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันที่เหมาะสม มาตรฐานต่อไปนี้แนะนำเกณฑ์สำหรับความปลอดภัยในชีวิตและการป้องกันการติดตั้ง

2. มาตรฐาน IEC 60479-1 อธิบายอิมพีแดนซ์ของร่างกายและผลของกระแสไฟฟ้าตรงและกระแสสลับต่อมนุษย์และปศุสัตว์ที่ขึ้นอยู่กับเวลา มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย เช่น EN 50122-1 อ้างถึง IEC 60479-1 สำหรับคำจำกัดความของแรงดันสัมผัสที่ยอมรับได้ โดยทั่วไปแรงดันสัมผัสจะต้องได้รับการพิจารณาสำหรับการติดตั้งระบบไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันสัมผัสที่ยอมรับได้สำหรับการติดตั้งระบบไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นอยู่กับระยะเวลาของผลกระทบ แสดงดังรูปที่ 4 มาตรฐาน IEC 61936-1 สามารถใช้ได้กับบริภัณฑ์ของสถานีไฟฟ้ากำลังย่อยกระแสสลับ



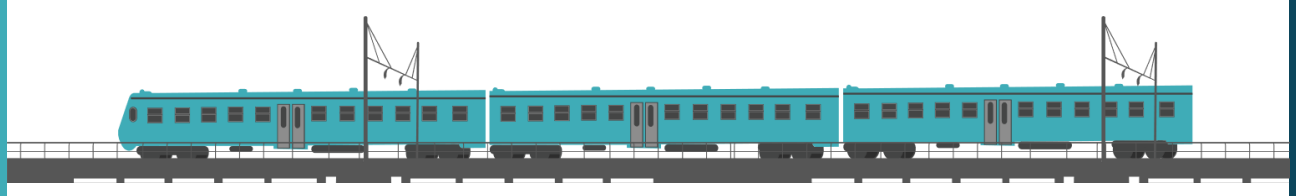


รูปที่ 4 แรงดันสัมผัสที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน EN 50122-1

ที่มา : EN 50122-1:2011, Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit– Part 1: Protective provisions against electric shock

3 การออกแบบการต่อลงดินและการต่อฝากเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของบุคคลดังที่กล่าวมาข้างต้นจะรวมถึงการป้องกันการติดตั้งภายใต้สภาวะปกติและสภาวะผิดพร่อง ข้อกำหนดเพิ่มเติมของมาตรฐาน IEC 61936-1 และ IEC 60364 series สำหรับการปกป้องส่วนที่มีชีวิตจากความร้อนสูงเกินไปสำหรับการทำงานปกติและช่วงที่เกิดความผิดพร่องจะต้องปฏิบัติตาม

4 การป้องกันไฟฟ้าดูดจากการสัมผัสโดยตรงและสัมผัสโดยอ้อม ได้แก่ การป้องกันด้วยระยะห่างที่ปลอดภัย การป้องกันด้วยแผงป้องกัน รวมทั้งการป้องกันไฟฟ้าดูดจากสาเหตุของแรงดันราง ต้องทำตามมาตรฐานด้านความปลอดภัยที่ประกาศโดยกรมการขนส่งทางราง หรือมาตรฐาน EN 50122-1



8

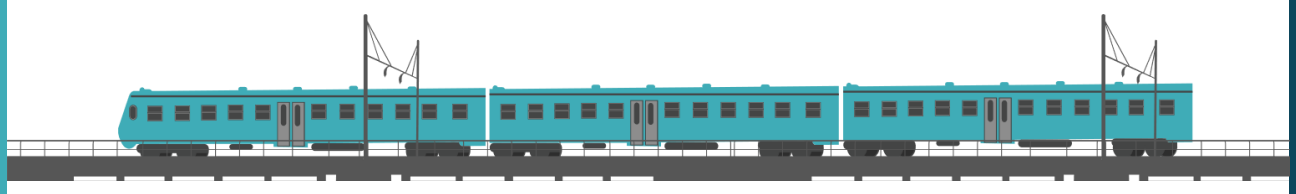
การทดสอบและตรวจสอบ ก่อนการใช้งาน

8 การทดสอบและตรวจสอบก่อนการใช้งาน

1. การทดสอบโดยวิธีการวัดค่าจะต้องดำเนินการหลังจากการก่อสร้าง เพื่อตรวจสอบความเพียงพอของการออกแบบ หัวข้อการวัดค่าจะประกอบด้วย
   - ความต้านทานของระบบการต่อลงดิน
   - แรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าวที่ตำแหน่งสำคัญ เช่น บัสบาร์ และราง

2. วิธีการวัดแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว อาจใช้โวลต์มิเตอร์ความต้านทานสูง หรือวัดแรงดันคร่อมตัวต้านทานเสมือนร่างกายมนุษย์ โดยดำเนินการภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่ระบุในมาตรฐาน EN 50522

3. แบบฟอร์มสำหรับการทดสอบและตรวจสอบจะต้องประกอบด้วย ค่าที่ทำการทดสอบ วิธีการทดสอบ เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ ตำแหน่งทดสอบ เกณฑ์ผ่านตามมาตรฐาน และผลการทดสอบ



๙

การปฏิบัติงาน และการบำรุงรักษา

๑๐

การทำงานร่วมกันได้

9 การปฏิบัติงานและการบำรุงรักษา

1 การตรวจสอบ

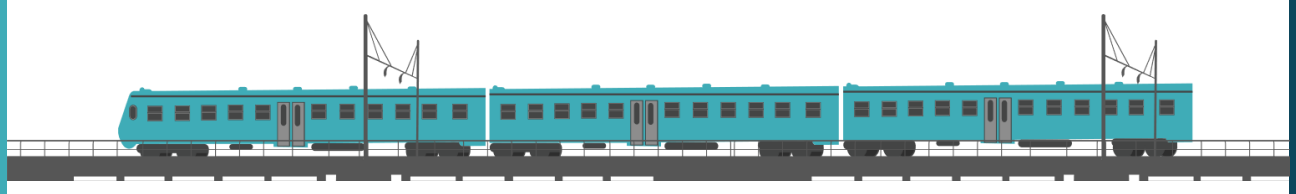
การก่อสร้างระบบการต่อลงดินจะต้องสามารถตรวจสอบได้เป็นระยะ โดยรายละเอียดการตรวจสอบอาจรวมถึงการขุดพื้นดินบางตำแหน่ง และการตรวจสอบทางสายตา

2 การวัด

การออกแบบและการติดตั้งระบบการต่อลงดินจะต้องอนุญาตให้มีการตรวจวัดเป็นระยะ หรือในกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนที่ส่งผลกระทบต่อข้อกำหนดต่าง ๆ ข้างต้น ซึ่งรวมถึงการทดสอบความต่อเนื่อง

10 การทำงานร่วมกันได้

การต่อลงดินและการต่อฝากไม่มีผลกระทบต่อการทำงานร่วมกันของระบบรถไฟสายประธานที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าข้ามเขตประเทศ

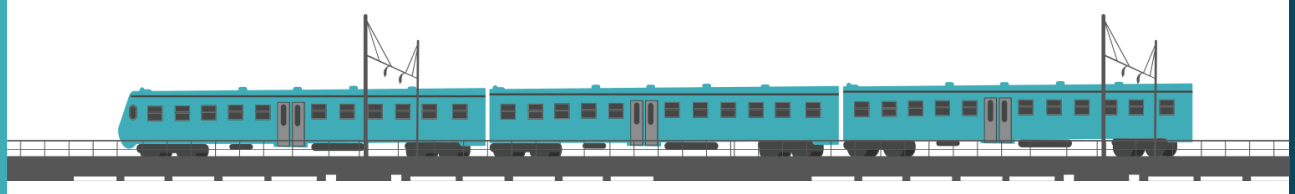


ภาคผนวก ก

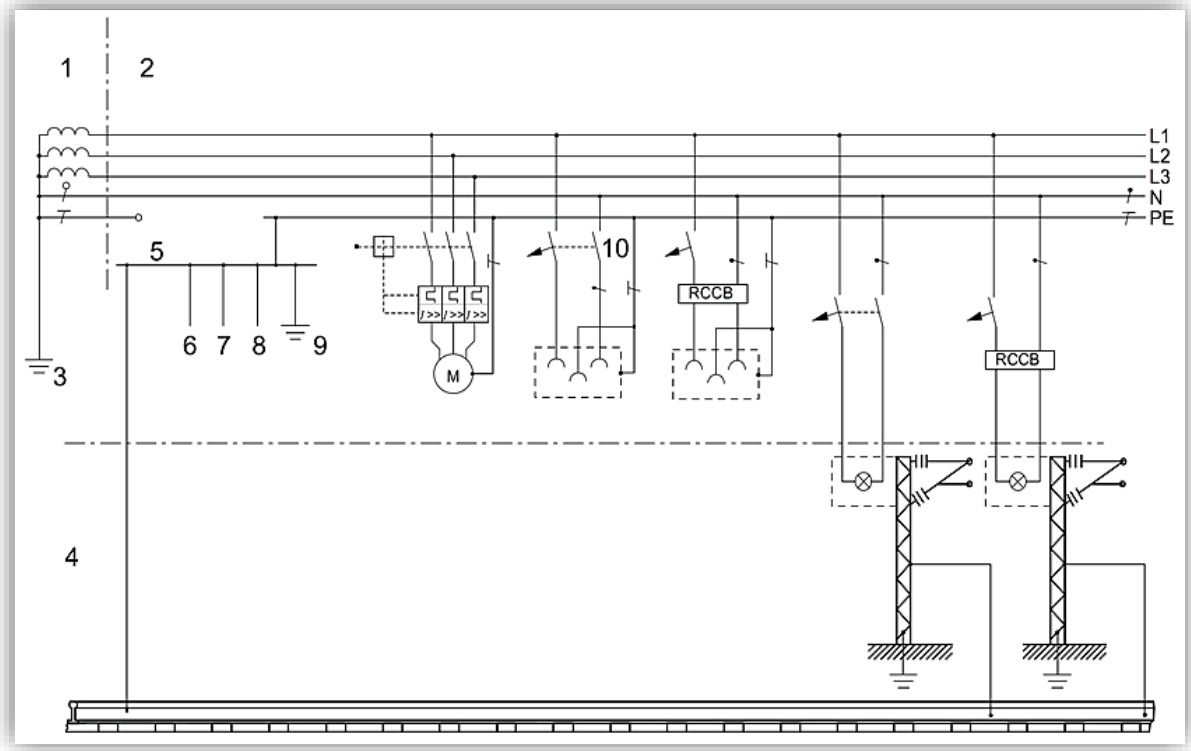
วัสดุ		ประเภทของอิเล็กโทรด	ขนาดต่ำที่สุด				
			แกน			เคลือบ/ปลอก	
			เส้นผ่าศูนย์กลาง มม.	พื้นที่หน้าตัด มม.^{2}	ความหนา มม.	ค่าเดียว µm	ค่าเฉลี่ย µm
เหล็ก	ชุบสังกะสีร้อน	แถบ[b]		90	3	63	70
		โครง (รวมถึงแผ่น)		90	3	63	70
		ท่อ	25		2	47	55
		บาร์กลมสำหรับแท่งดิน	16			63	70
		ลวดกลมสำหรับขั้วสายดินแนวนอน	10				50
	ปลอกตะกั่ว[a]	ลวดกลมสำหรับขั้วสายดินแนวนอน	8			1000	
	ปลอกทองแดงอัด	บาร์กลมสำหรับแท่งดิน	15			2000	
	ปลอกทองแดงไฟฟ้า	บาร์กลมสำหรับแท่งดิน	14,2			90	100
ทองแดง	เปลือย	แถบ		50	2		
		ลวดกลมสำหรับขั้วสายดินแนวนอน		25[c]			
		สายเคเบิลที่ควั่น	1,8[d]	25			
		ท่อ	20		2		
	ชุบดีบุก	สายเคเบิลที่ควั่น	1,8[d]	25		1	5
	สังกะสี	แถบ		50	2	20	40
	ปลอกตะกั่ว[a]	สายเคเบิลที่ควั่น	1,8[d]	25		1000	
		สายกลม		25		1000	
a	ไม่เหมาะสำหรับฝังดอนกรีตโดยตรง ไม่แนะนำให้ใช้ตะกั่วเนื่องจากเหตุผลด้านสิ่งแวดล้อม						
b	แถบ, รีบ หรือ ตัด ด้วยขอบมน						
c	ในเงื่อนไขที่รุนแรงซึ่งประสบการณ์พบว่าความเสี่ยงของการกัดกร่อนและความเสียหายทางกลนั้นต่ำมากถึง 16 มม.						
d	สำหรับสายเดี่ยว						

รูปที่ ก.1 ขนาดของหลักดิน

ที่มา : EN 50522:2010, Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c.



ภาคผนวก ข



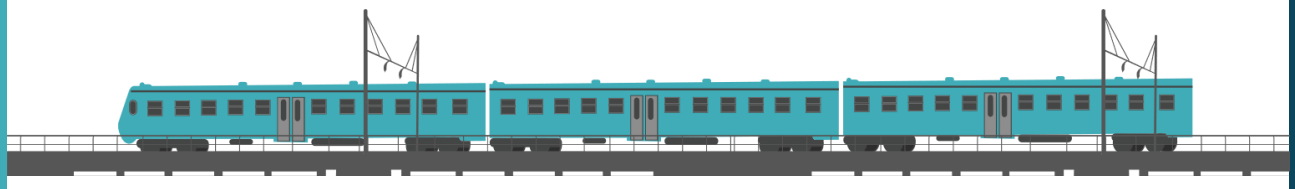
รูปที่ ข.1 ระบบการต่อลงดินแบบ TT สำหรับระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

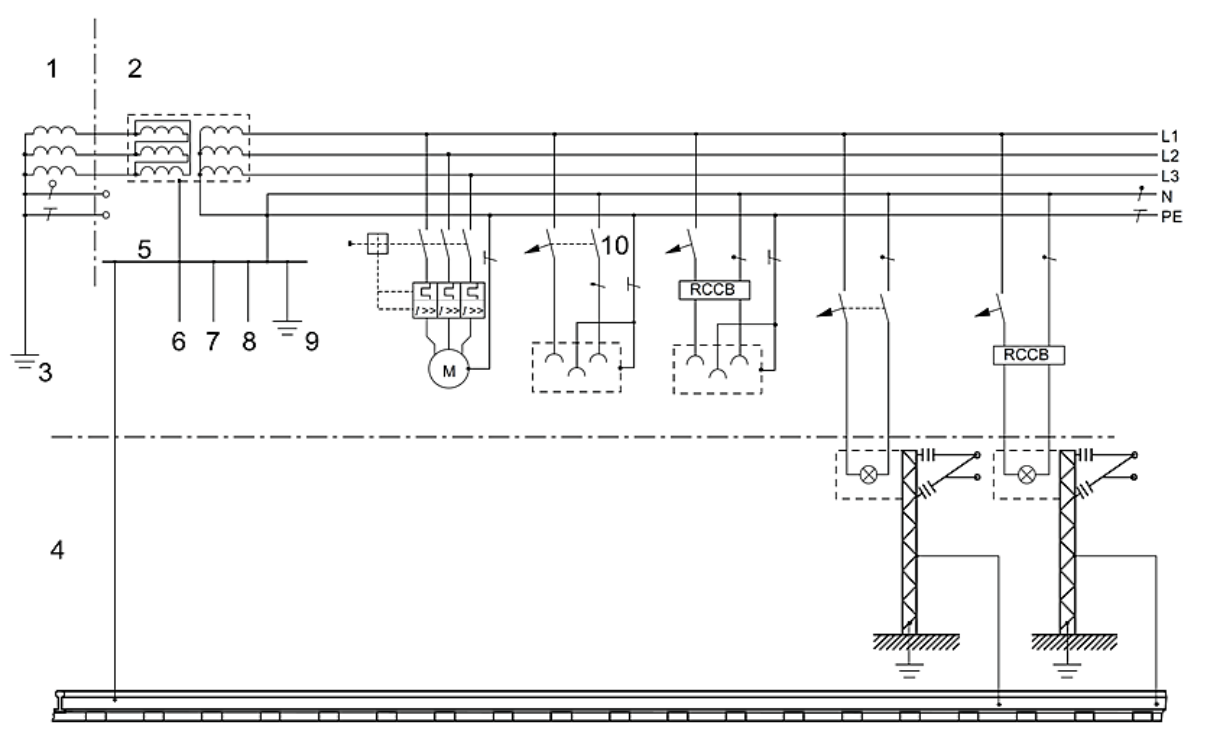
ที่มา : EN 50122-1:2011, Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit– Part 1: Protective provisions against electric shock.

โดยที่

1 คือ โครงข่ายระบบจ่ายไฟฟ้า
2 คือ โครงข่ายระบบราง
3 คือ การต่อลงดินสาธารณะ
4 คือ โซนสายสัมผัสเหนือหัวและตัวรับกระแสไฟ
5 คือ บัสบาร์ศักย์ไฟฟ้าเสมอหลัก (MEB)
6 คือ น้ำและท่อแก๊ส
7 คือ เครื่องทำความร้อน
8 คือ การป้องกันฟ้าผ่า
9 คือ การต่อลงดินของโครงสร้างระบบราง
10 คือ จำเป็นสำหรับแรงดันรางมากกว่า 50 V เท่านั้น

หมายเหตุ : ระบบการต่อลงดินแบบ TT (Terra-Terra) คือ ระบบการต่อลงดินที่มีหนึ่งจุดต่อลงดินโดยตรงส่วนตัวนำที่เปิดโล่งของการติดตั้งต่อกับหลักดินทางไฟฟ้า โดยไม่เกี่ยวข้องกับหลักดินของระบบไฟฟ้า





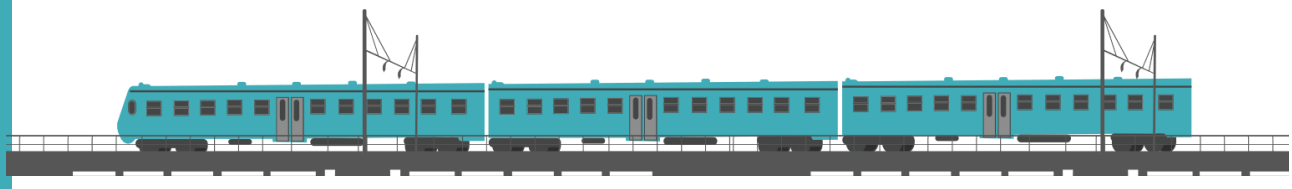
รูปที่ ข.2 ระบบการต่อลงดินแบบ TN สำหรับระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

ที่มา : EN 50122-1:2011, Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit– Part 1: Protective provisions against electric shock

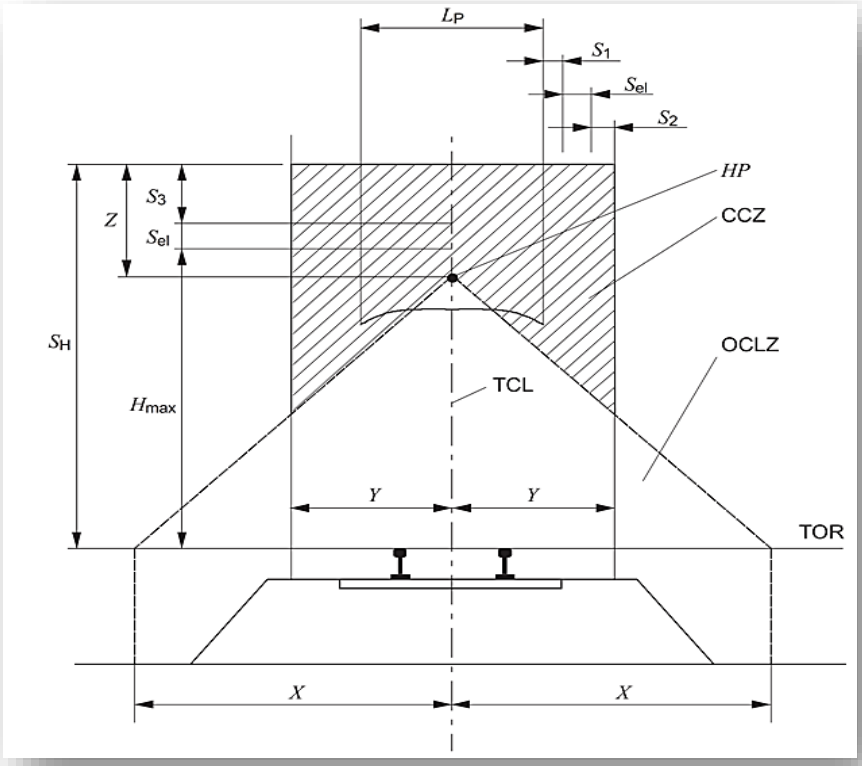
โดยที่

1 คือ โครงข่ายระบบจ่ายไฟฟ้า
2 คือ โครงข่ายระบบราง
3 คือ การต่อลงดินสาธารณะ
4 คือ โซนสายสัมผัสเหนือหัวและตัวรับกระแสไฟ
5 คือ บัสบาร์ศักย์ไฟฟ้าเสมอหลัก (MEB)
6 คือ น้ำและท่อแก๊ส
7 คือ เครื่องทำความร้อน
8 คือ การป้องกันฟ้าผ่า
9 คือ การต่อลงดินของโครงสร้างระบบราง
10 คือ จำเป็นสำหรับแรงดันรางมากกว่า 50 V เท่านั้น

หมายเหตุ : ระบบการต่อลงดินแบบ TN (Terra- Neutral) คือ ระบบการต่อลงดินที่มีหนึ่งจุดต่อลงดินโดยตรง ส่วนตัวนำที่เปิดโล่งของการติดตั้งต่อกับจุดนั้นด้วยตัวนำป้องกัน



ภาคผนวก ค

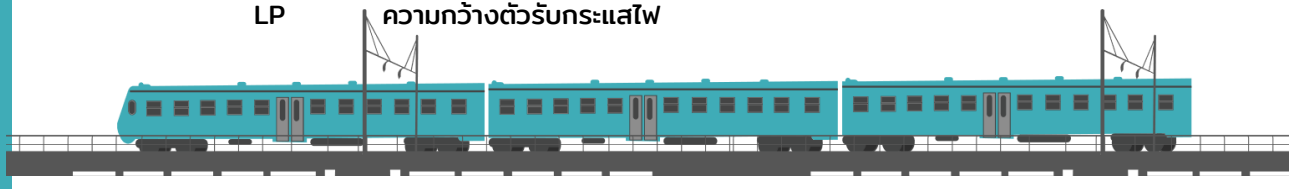


รูปที่ ค.1 เขตสายสัมผัส (overhead contact line zone)

ที่มา : EN 50122-1:2011, Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit– Part 1: Protective provisions against electric shock

โดยที่

TOR	ส่วนบนของราง
HP	จุดสูงสุดของสายสัมผัสเหนือหัว
OCLZ	โซนสายสัมผัสเหนือหัว
CCZ	โซนตัวรับกระแสไฟ
TCL	สายกลางทางวิ่ง
X	ระยะแนวนอนทางเดียวสูงสุด (ครึ่ง) ของ OCLZ
Y	ระยะแนวนอนทางเดียวสูงสุด (ครึ่ง) ของ CCZ
Z	ระยะระหว่าง HP และ SH
S1	ความกว้างของการเคลื่อนไหวด้านข้างของตัวรับกระแสไฟ
S2	ระยะความปลอดภัยด้านข้างสำหรับตัวรับกระแสไฟที่ชำรุดหรือเสียหาย
S3	ระยะความปลอดภัยแนวตั้งสำหรับตัวรับกระแสไฟที่ชำรุดหรือเสียหาย
Sel	ระยะห่างทางไฟฟ้าตามมาตรฐาน EN 50119
SH	ความสูงสูงสุดของโซนตัวรับกระแสไฟ
LP	ความกว้างตัวรับกระแสไฟ



ภาคผนวก ง

Table 6 – Material, configuration and minimum cross-sectional area of air-termination conductors, air-termination rods, earth lead-in rods and down-conductors[a]

Material	Configuration	Cross-sectional area mm^2
Copper, Tin plated copper	Solid tape	50
	Solid round[b]	50
	Stranded[b]	50
	Solid round[c]	176
Aluminium	Solid tape	70
	Solid round	50
	Stranded	50
Aluminium alloy	Solid tape	50
	Solid round	50
	Stranded	50
	Solid round[c]	176
Copper coated aluminium alloy	Solid round	50
Hot dipped galvanized steel	Solid tape	50
	Solid round	50
	Stranded	50
	Solid round[c]	176
Copper coated steel	Solid round	50
	Solid tape	50
Stainless steel	Solid tape[d]	50
	Solid round[d]	50
	Stranded	70
	Solid round[c]	176

[a] Mechanical and electrical characteristics as well as corrosion resistance properties shall meet the requirements of the future IEC 62561 series.

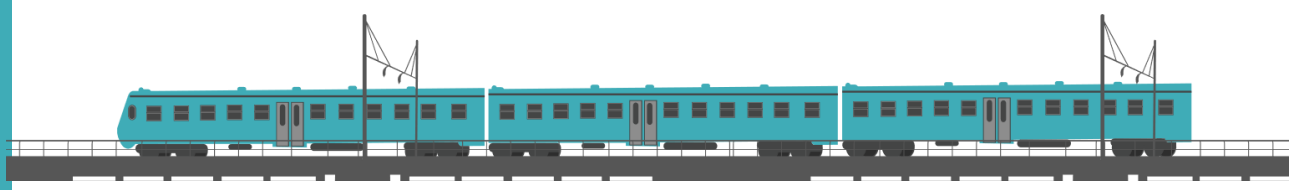
[b] 50 mm^2 (8 mm diameter) may be reduced to 25 mm^2 in certain applications where mechanical strength is not an essential requirement. Consideration should in this case, be given to reducing the spacing between the fasteners.

[c] Applicable for air-termination rods and earth lead-in rods. For air-termination rods where mechanical stress such as wind loading is not critical, a 9,5 mm diameter, 1 m long rod may be used.

[d] If thermal and mechanical considerations are important then these values should be increased to 75 mm².

รูปที่ ง.1 วัสดุ รูปแบบ และขนาดต่ำที่สุดของตัวนำต่อลงดิน

ที่มา : IEC 62305-3:2010, Protection against lightning-Part 3 Physical damage to structures and life hazard



กรมการขนส่งทางราง

Department of Rail Transport

กรมการขนส่งทางรางใส่ใจ

เพื่อความสุขและความปลอดภัย ในการเดินทางระบบรางของไทย