

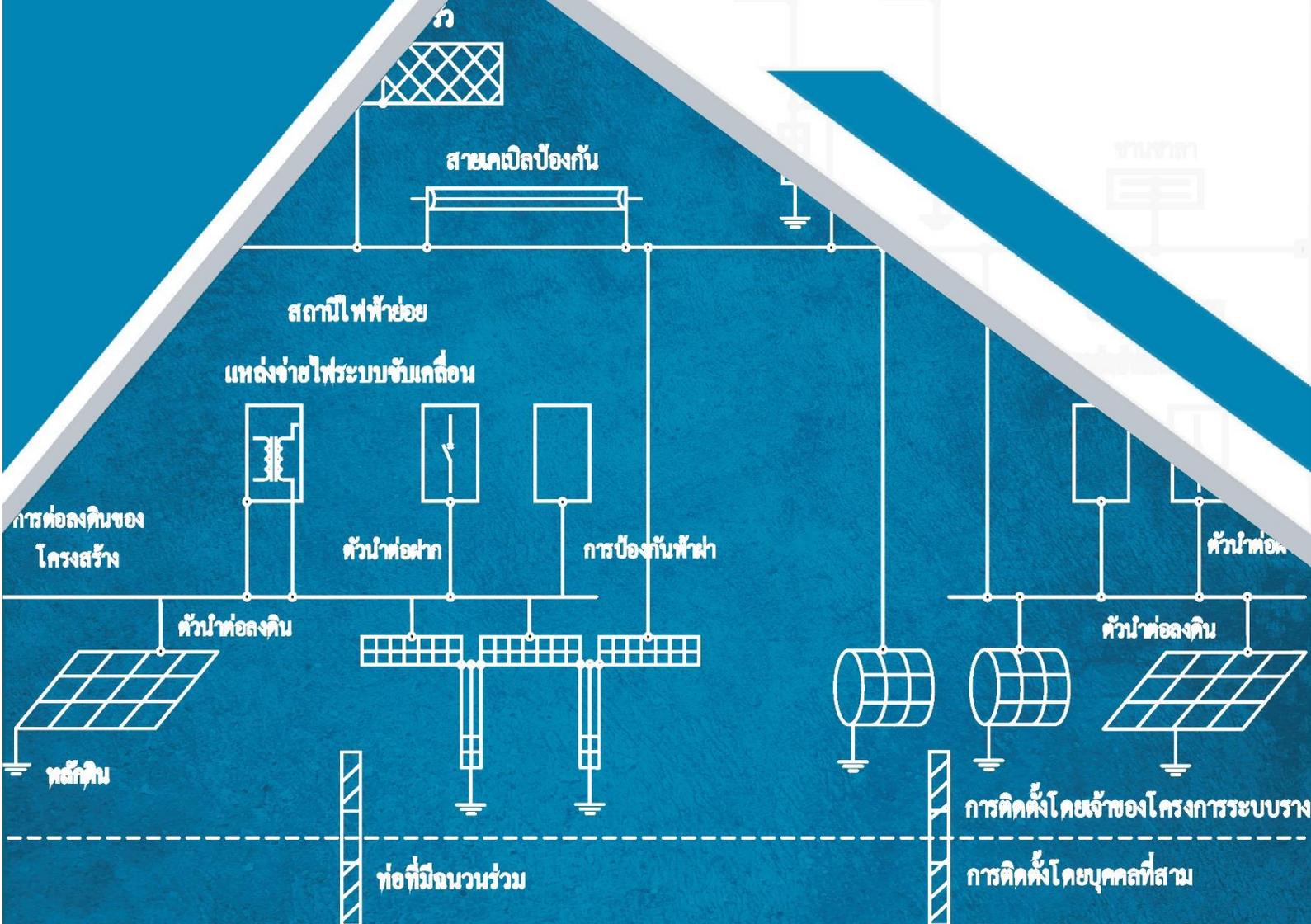


# กรมการขนส่งทางราง

Department of Rail Transport

มขร. – E – 001 -2564

มาตรฐานระบบไฟฟ้าของการเดินรถขนส่งทางราง  
การต่อลงดินและการต่อฝากบนโครงข่ายรถไฟสายประธาน  
Grounding and Bonding System on Mainline Train



กองมาตรฐานความปลอดภัยและบำรุงทาง





มขร. – E – 001 – 2564

**มาตรฐานระบบไฟฟ้าของการเดินรถขนส่งทางราง**  
**การต่อลงดินและการต่อฝากบนโครงข่ายรถไฟสายประธาน**  
**(Grounding and Bonding System on Mainline Train)**

## 1. บททั่วไป

การต่อลงดินและการต่อฝากมีเพื่อลดผลกระทบของการเกิดฟ้าผ่าและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ดินเนื่องจากการไหลของกระแสผิดพ้องปริมาณมากจากการลัดวงจร ระบบรถไฟสายประธานอันตรายจากการสัมผัสทั้งโดยตรงและโดยอ้อมเพื่อรับประกันความปลอดภัยต่อผู้โดยสารที่ใช้บริการ มีความสำคัญเป็นลำดับแรก และต้องทำการออกแบบ ติดตั้ง ทดสอบ และตรวจสอบอย่างรัดกุม ก่อนเปิดให้บริการ ด้วยเหตุนี้กรมการขนส่งทางรางได้เล็งเห็นถึงความสำคัญดังกล่าว จึงได้จัดทำข้อกำหนดการต่อลงดินและการต่อฝาก ซึ่งได้อ้างอิงจากมาตรฐานสากล โดยคำนึงถึงความเหมาะสมในการนำมาใช้ในประเทศไทย รวมถึงมาตรฐานของประเทศไทยที่เกี่ยวข้อง

### 1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อกำหนดใช้เป็นแนวทางการออกแบบ ติดตั้ง และการทดสอบและตรวจสอบ ของการต่อลงดินและการต่อฝากสำหรับสถานีไฟฟ้าขับเคลื่อน ทางรถไฟและสถานีรถไฟ สำหรับระบบรถไฟสายประธานในประเทศไทย

### 1.2 ขอบข่าย

ครอบคลุมระบบรถไฟสายประธานที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสสลับในประเทศไทย ซึ่งรวมถึงระบบรถไฟชานเมือง (Commuter train) และระบบรถไฟระหว่างเมือง (Intercity train)

### 1.3 มาตรฐานอ้างอิง

- 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 ( $U_m = 1,2 \text{ kV}$ ) up to 30 kV ( $U_m = 36 \text{ kV}$ ) 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 แรงดันไฟฟ้าระหว่างตำแหน่งที่มีสัมผัสกับโครงสร้างหรืออุปกรณ์เทียบกับตำแหน่งที่มนุษย์ยืน

**แรงดันช่วงก้าว (step voltage)** หมายถึง แรงดันไฟฟ้าระหว่างเท้า ณ ตำแหน่งที่มนุษย์ยืนที่มีระยะห่างกัน 1 เมตร

**หลักดิน (earth electrode)** หมายถึง ตัวนำหรือกลุ่มตัวนำซึ่งต่อโดยตรงเข้ากับดิน



**การต่อลงดินของโครงสร้าง (structure earth)** หมายถึง โครงสร้างที่ทำจากชิ้นส่วนโลหะซึ่งสามารถใช้เป็นหลักดินได้

**การต่อฝากไฟฟ้าเสมอ (equipotential bonding)** หมายถึง การเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างส่วนนำไฟฟ้ามีวัตถุประสงค์เพื่อให้ศักย์ไฟฟ้าเท่า

**บัสบาร์ศักย์ไฟฟ้าเสมอหลัก (main equipotential busbar: MEB)** หมายถึง บัสบาร์ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อทางไฟฟ้ากับตัวนำต่อฝากจากบัสบาร์หรืออุปกรณ์เพื่อให้ศักย์ไฟฟ้าเสมอ ก่อนเชื่อมต่อเข้ากับการต่อลงดินของโครงสร้างผ่านตัวนำต่อลงดิน

**บัสบาร์การต่อลงดิน (earthing busbar)** หมายถึง บัสบาร์ที่เป็นส่วนของการติดตั้งระบบต่อลงดินและเป็นจุดเชื่อมต่อร่วมทางไฟฟ้าของตัวนำต่อฝาก

**ตัวนำต่อลงดิน (earth conductor)** หมายถึง ตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นเส้นทางนำกระแสไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างและหลักดิน

**ตัวนำต่อฝาก (bonding conductor)** หมายถึง ตัวนำที่ใช้ต่อระหว่างส่วนที่เป็นโลหะที่ต้องการต่อถึงกันทางไฟฟ้า

**สายดินป้องกัน (protective earth)** หมายถึง สายไฟเส้นที่มีไว้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อการใช้ไฟฟ้า  
**การเชื่อมด้วยความร้อน (exothermic welding)** หมายถึง การใช้ความร้อนจากการตีไฟของดินปืนเพื่อหลอมละลายทองแดงให้เข้าด้วยกัน

**เส้นทางอิมพีแดนซ์ต่ำ (low impedance path)** หมายถึง เส้นทางต่อลงดินที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ  
**วงดิน (earth loop)** หมายถึง ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการต่อลงดินแบบหลายจุด

**วงจรกระแสไหลกลับ (return circuit)** หมายถึง วงจรซึ่งทำหน้าที่เป็นเส้นทางสำหรับกระแสไหลกลับของระบบจ่ายไฟฟ้าขับเคลื่อน

**สถานีไฟฟ้าขับเคลื่อน (traction substation: TSS)** หมายถึง สถานีไฟฟ้าย่อยสำหรับจ่ายไฟให้กับระบบขับเคลื่อนของรถไฟ

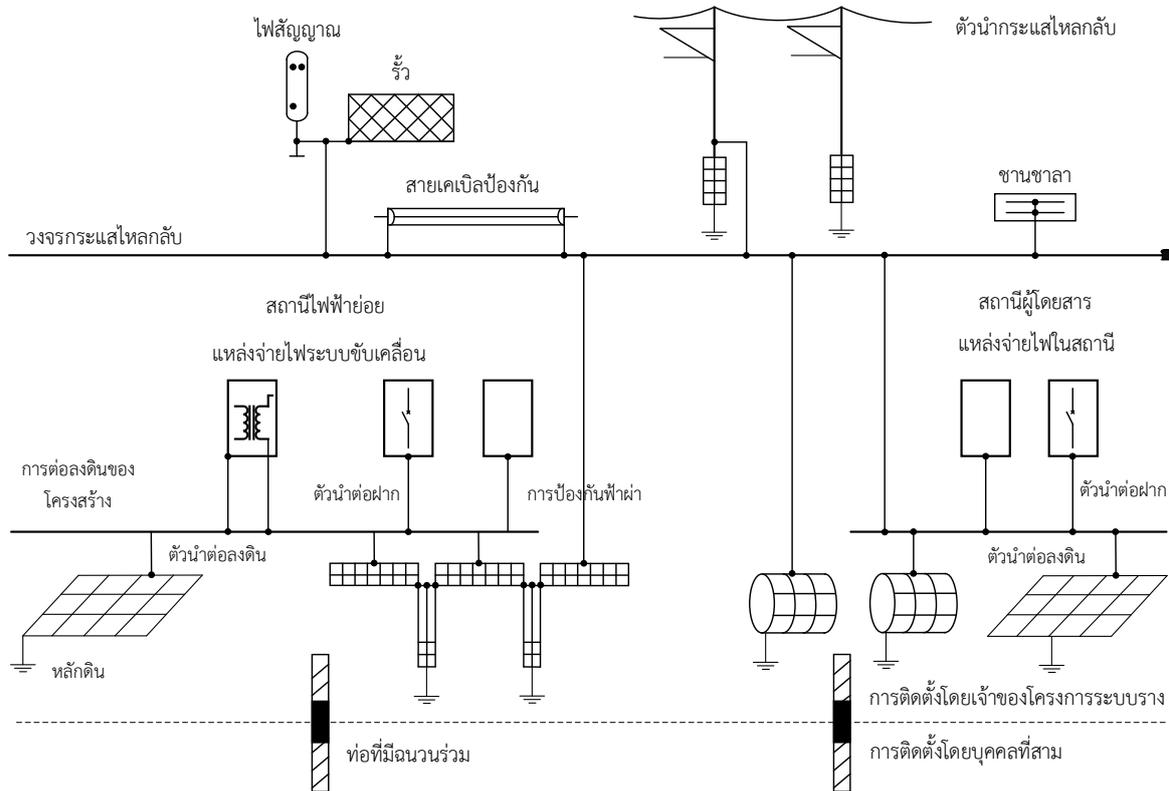
**จุดจ่ายไฟประธาน (bulk supply point)** หมายถึง ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีไฟฟ้าประธาน

**ระบบจ่ายไฟฟ้าชนิดสัมผัสเหนือศีรษะ (Overhead Contact System: OCS)** หมายถึง ระบบการจ่ายไฟฟ้าให้แก่รถไฟฟ้าโดยใช้สายสัมผัสเหนือศีรษะเพื่อใช้ขับเคลื่อนรถไฟ

**สายดินชิงอากาศ (Aerial Earth Wire: AEW)** หมายถึง สายตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นสายดินและป้องกันฟ้าผ่า โดยติดตั้งอยู่บนเสาระบบจ่ายไฟฟ้าชนิดสัมผัสเหนือศีรษะ

## 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

## 3. ข้อกำหนดการออกแบบ

การต่อลงดินเป็นการต่อตัวนำไฟฟ้าระหว่างวงจรไฟฟ้ากับดินเพื่อลดผลกระทบของการเกิดฟ้าผ่าและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ดินเนื่องจากการไหลของกระแสผิดพลาดปริมาณมากจากการลัดวงจรเพื่อป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่ว โดยมีสาเหตุจากการชำรุดหรือการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้า รวมทั้งเพื่อป้องกันอันตรายแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้ำวในสภาวะปกติและขณะเกิดความผิดพลาด การออกแบบต้องได้รับการออกแบบอย่างน้อยดังต่อไปนี้



- 1) การต่อลงดินและการต่อฝากจะต้องออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน EN 50122-1 และมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ หรือมาตรฐานที่เทียบเท่า
- 2) การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องมีเพื่อความปลอดภัยทางไฟฟ้าที่สถานี สถานีไฟฟ้าย่อย อาคาร ศูนย์ซ่อมบำรุง ส่วนทางยกระดับ โดยจะต้องออกแบบระบบการต่อลงดินบนพื้นฐานของความปลอดภัยสำหรับผู้คนที่อันตรายจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว และอันตรายจากไฟไหม้ ซึ่งแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว ในขณะที่เดินรถปกติและขณะเกิดกระแสผิดพลาด ที่ได้จากการทำแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือการคำนวณโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัด เช่น ความต้านทานของดิน ค่าที่ได้จะต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดของมาตรฐาน EN 50122-1
- 3) การพิจารณาถึงความแข็งแรงเชิงกลและการกัดกร่อนใช้กำหนดขนาดขั้นต่ำสำหรับหลักดินตามข้อกำหนดในมาตรฐาน EN 50522 หากมีการใช้วัสดุอื่น ๆ เช่น เหล็กสแตนเลสในการใช้เป็นหลักดิน เป็นต้น ประเภทและขนาดของหลักดินจะต้องตรงกับความต้องการเกี่ยวกับการทำงาน (ภาคผนวก ก)
- 4) การต่อลงดินจะต้องมีเส้นทางอิมพีแดนซ์ต่ำสำหรับกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่าหรือกระแสผิดพลาดของระบบไฟฟ้ากำลัง
- 5) ขนาดของตัวนำที่เป็นส่วนประกอบการต่อลงดินและการต่อฝากต้องผ่านการออกแบบคำนวณโดยปัจจัยที่นำมาพิจารณาจะต้องประกอบด้วย ขนาดของกระแสผิดพลาด ระยะเวลาของการผิดพลาด และคุณลักษณะของดิน โดยผลที่ได้จากการคำนวณจะต้องแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของขนาดตัวนำในประเด็นการผุกร่อนและความแข็งแรงเชิงกล ความแข็งแรงเชิงความร้อนที่เกิดจากกระแสผิดพลาดสูงสุดและแรงดันสัมผัส
- 6) การต่อลงดินจะต้องคำนึงถึงการป้องกันระบบอิเล็กทรอนิกส์และระบบไฟฟ้าที่มีความอ่อนไหวและเชื่อมโยงถึงกันต่อแรงดันไฟฟ้ารบกวน (noise voltage)
- 7) ในกรณีที่มีท่อสาธารณูปโภคอื่น ๆ อยู่ใกล้เคียงต้องทำการต่อเข้ากับระบบการต่อลงดินของระบบ

#### 4. คุณสมบัติของส่วนประกอบการต่อลงดินและการต่อฝาก

การต่อลงดินและการต่อฝาก ประกอบด้วย หลักดิน ตัวนำต่อลงดิน ตัวนำต่อฝาก บัสบาร์การต่อลงดิน และหางปลาของการต่อลงดิน ต้องมีคุณสมบัติดังนี้



#### 4.1 หลักดิน

หลักดินที่สัมผัสกับดินโดยตรงจะต้องเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี ปฏิกริยาออกซิเดชัน กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส มีความทนทานต่ออิทธิพลทางกล ในระหว่างการติดตั้งและระหว่างช่วงการให้บริการปกติ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เหล็กฝังอยู่ในฐานรากคอนกรีต (concrete foundation) และเสาเข็มเหล็ก หรือ โครงสร้างเหล็กอื่น ๆ ที่สัมผัสกับดิน

#### 4.2 ตัวนำต่อลงดิน

ตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นเส้นทางนำกระแสไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างและหรือหลักดิน ต้องเป็นตัวนำทองแดง ชนิดตัวนำเดี่ยวหรือตัวนำตีเกลียวหุ้มฉนวนและต้องเป็นตัวนำเส้นเดี่ยวยาวตลอด โดยไม่มีการต่อ แต่ถ้าเป็นบัสบาร์อนุญาตให้มีการต่อได้ โดยการเชื่อมต่อเข้ากับหลักดินให้ใช้วิธีการเชื่อมด้วยความร้อน

#### 4.3 ตัวนำต่อฝาก

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

#### 4.4 บัสบาร์การต่อลงดิน

เป็นแผ่นทองแดงชุบตีบุก โดยกำหนดให้เป็นจุดรวมในการเชื่อมต่อกับองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบจ่ายสายดินทั้งหมดกับแท่งกราวด์หรือตัวนำต่อลงดินของระบบ

#### 4.5 ทางปลาของการต่อลงดิน

การเลือกใช้ทางปลาของการต่อลงดินให้พิจารณาคุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลตามมาตรฐาน IEC 61238-1-3 ตัวนำต่าง ๆ ดังกล่าว จะต้องมียุทธศาสตร์ในการกระจายกระแสผิดพลาดปริมาณมากจากการลัดวงจรลงดินโดยปราศจากความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อนเกินพิกัดก่อนระบบป้องกันเริ่มทำงาน

### 5. ข้อกำหนดการทำงาน

1) องค์ประกอบต่าง ๆ ในระบบการต่อลงดิน ประกอบด้วย หลักดิน ตัวนำต่อลงดิน ตัวนำต่อฝาก บัสบาร์การต่อลงดิน และทางปลาของการต่อลงดิน จะต้องมียุทธศาสตร์ในการกระจายกระแสผิดพลาดปริมาณมากจากการลัดวงจรลงดินโดยปราศจากความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อนเกินพิกัดก่อนระบบป้องกันเริ่มทำงาน



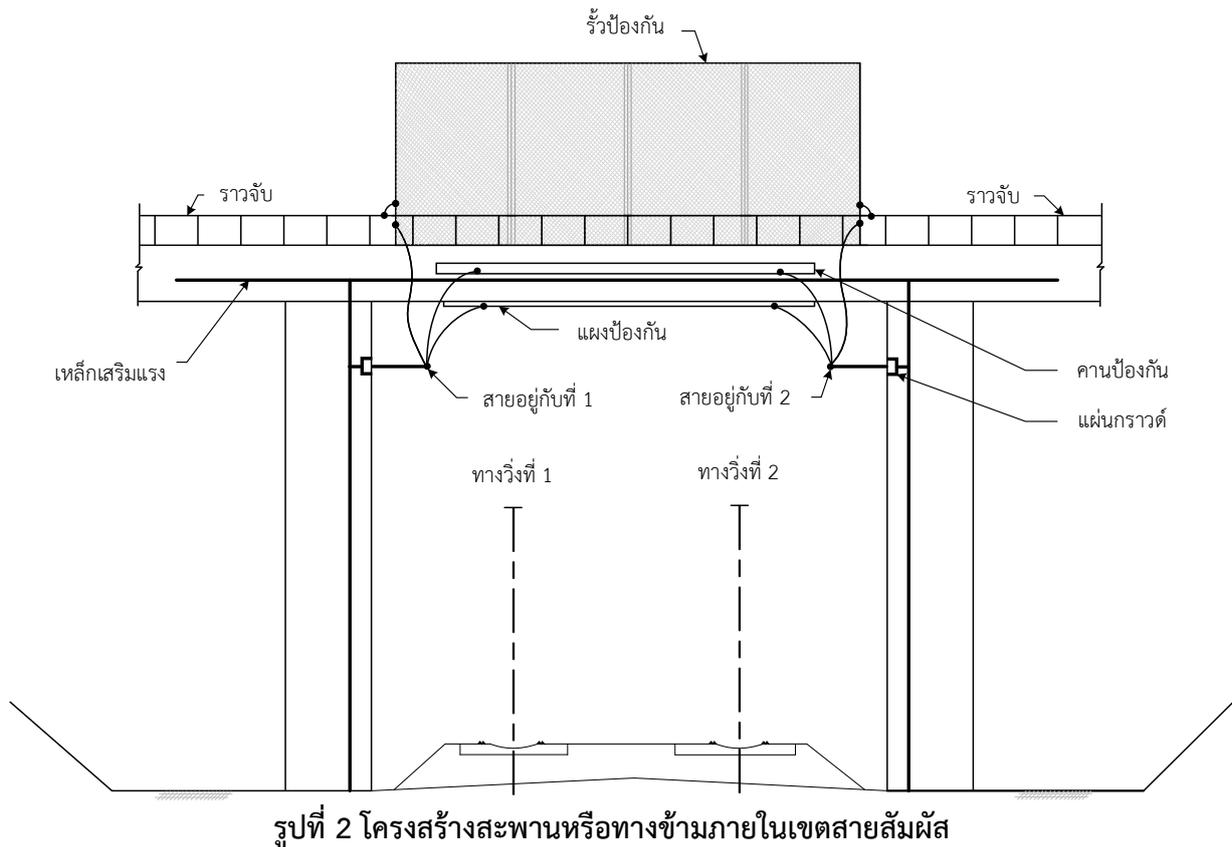
- 2) การต่อลงดินจะต้องมีค่าความต้านทานของระบบการต่อลงดินที่เหมาะสมตามการออกแบบตลอดอายุการใช้งาน โดยอาจมีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการกัดกร่อนและความเสียหายทางกลได้เล็กน้อย
- 3) ชั้นตอนต่าง ๆ ที่นำมาใช้ร่วมกับระบบการต่อลงดินจะต้องจำกัดระดับแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าวภายใต้การทำงานปกติของระบบป้องกัน
- 4) การต่อลงดินจะต้องไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility: EMC) ระหว่างอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของระบบไฟฟ้าแรงดันสูงตามมาตรฐาน IEC 61000-5-2

## 6. ข้อกำหนดการติดตั้ง

### 6.1 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 และ ทางยกระดับ 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 นอกจากนี้หากมีการใช้ตัวนำสายดินป้องกันกับอุปกรณ์ตามที่ระบุดังกล่าว จะต้องออกแบบให้ทนกระแสผิดพ่วงสูงสุดได้
- 5) ในกรณีที่มีสะพานทางเท้าหรือทางรถยนต์อยู่ในเขตสายสัมผัส จะต้องมีการป้องกันเพิ่มเติมดังแสดงในรูปที่ 2 ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน EN 50122-1

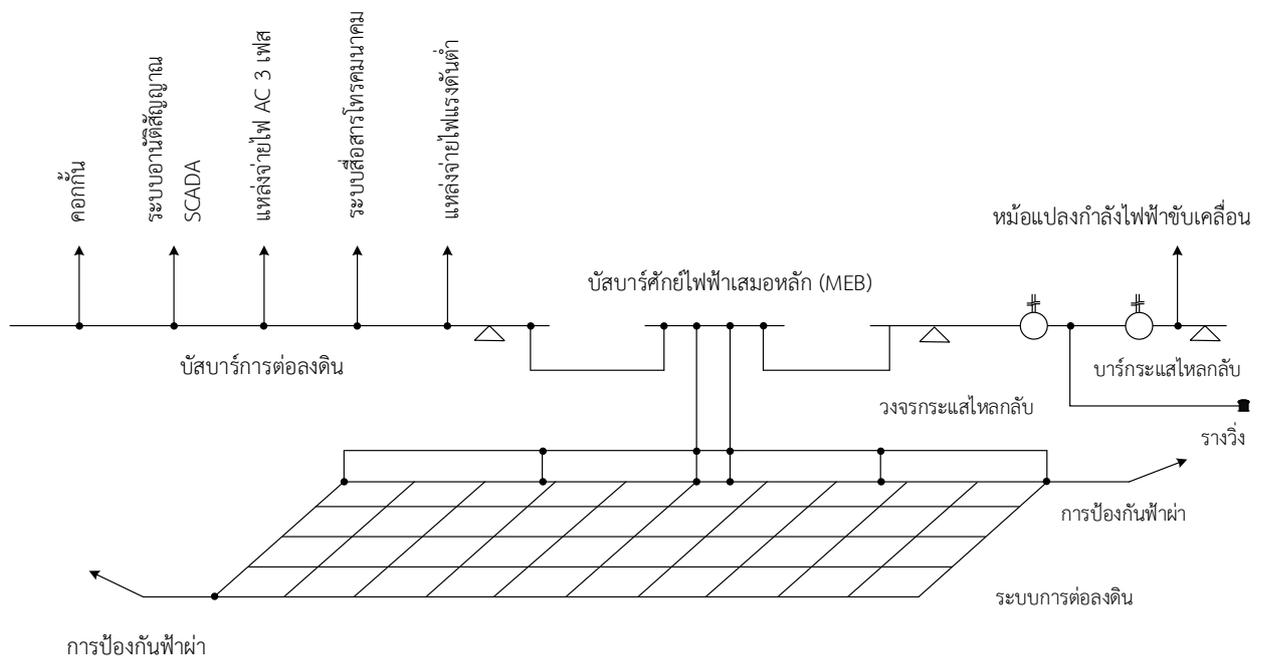
- กรณีเสาค้ำยันสะพานอยู่ในเขตสายสัมผัส ให้ติดตั้งแถบเหล็กชุบกำลัวไนซ์ บนผนังของสะพาน หรือบนคอลลัมน์ของสะพาน
- กรณีผิวพื้นส่วนล่างของสะพานอยู่ในเขตสายสัมผัส ให้ติดตั้งแถบหรือแผ่นเหล็กชุบกำลัวไนซ์ บริเวณเหนือสายตัวนำเหนือศีรษะ
- โครงสร้างโลหะ ราวจับ และรั้วป้องกันของสะพานจะต้องมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้า



- 6) วงจรกระแสไหลกลับของระบบจ่ายไฟจะต้องเชื่อมต่อกับระบบการต่อลงดินของอุปกรณ์อื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1
- 7) สายดินซึ่งอากาศจะต้องวิ่งไปตามความยาวของทางรถไฟและเชื่อมต่อกับเสาระบบจ่ายไฟฟ้าชนิดสัมผัสเหนือศีรษะทั้งหมดและโลหะที่ไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้า
- 8) การต่อฝากไฟฟ้าเสมอของโลหะเสริมแรงในสถานีและอาคารด้านข้างจะต้องเชื่อมต่อกับระบบการต่อลงดินของอาคารที่เกี่ยวข้อง การต่อฝากของโลหะเสริมแรงในโครงสร้างทางยกระดับ พื้นทางวิ่งแผ่นคอนกรีตอัดแรง เสาระบบจ่ายไฟฟ้าชนิดสัมผัสเหนือศีรษะ ราวจับและอื่น ๆ จะต้องเชื่อมต่อการต่อลงดินของโครงสร้างอย่างน้อยทุก 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. Schmieler and E. Schneider, "Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance", 3Ed., Wiley VCH, 2017

11) กรณีที่รับกำลังไฟจากโครงข่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำด้วย ตัวนำนิวทรัลของโครงข่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับจุดนิวทรัล จะไม่ถูกต่อร่วมกับระบบต่อลงดินของระบบรถไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อป้องกันความเสียหายจากกระแสไหลกลับซึ่งบางส่วนจะไหลผ่านระบบการต่อลงดิน

12) กรณีที่มีการต่อบัสบาร์คีย์ไฟฟ้าเสมอหลัก ดังรูปที่ 3 กระแสย้อนกลับจะต้องไม่ไหลผ่านบัสบาร์การต่อลงดิน เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนระบบควบคุมระยะไกล (Supervisory Control and Data Acquisition: SCADA) ระบบสื่อสารและระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยบัสบาร์ของระบบ



การต่อลงดินจะเชื่อมต่อกับบัสบาร์ศักย์ไฟฟ้าเสมอหลักเพียงด้านเดียว ในขณะที่หลักดินแบบกริด จะเชื่อมต่อกับบัสบาร์ศักย์ไฟฟ้าเสมอหลักด้วยตัวนำ 2 ตัว ซึ่งแต่ละตัวนำถูกออกแบบให้สามารถ นำกระแสสูงสุดในสภาวะการให้บริการเดินรถปกติและสภาวะเกิดความผิดปกติ กรณีที่ตัวนำใดเกิดความเสียหาย

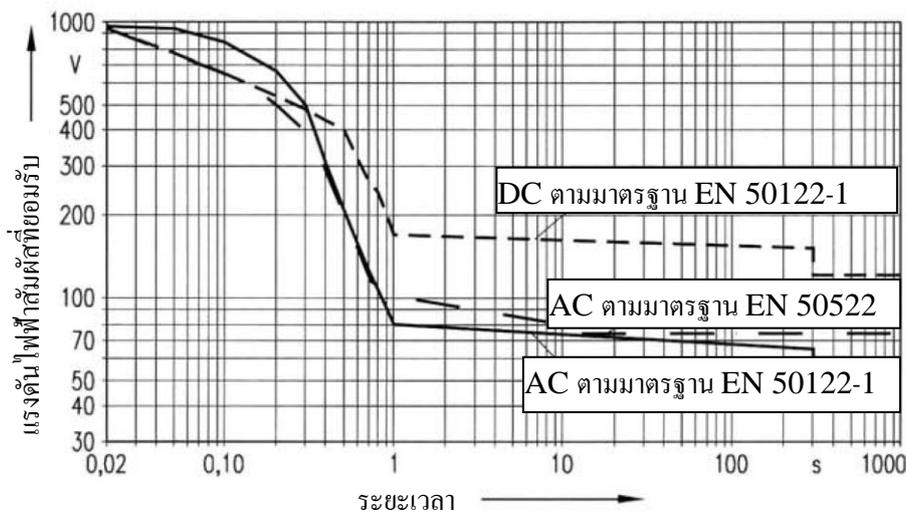
## 6.2 การป้องกันฟ้าผ่า

- 1) ต้องแสดงการป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC 62305 โดยส่วนที่ 3 (IEC 62305-3) ของมาตรฐาน เป็นการป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับโครงสร้างและสิ่งมีชีวิต และส่วนที่ 4 (IEC 62305-4) เป็นการป้องกันอันตรายที่เกิดกับระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ภายในโครงสร้าง โดยอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าทั้งหมดต้องเชื่อมต่อกับระบบต่อลงดิน และต้องออกแบบให้ความยาวของตัวนำที่เชื่อมต่อสั้นที่สุดเท่าที่เป็นไปได้
- 2) สายดินซึ่งอากาศที่สูงหรือสายที่เชื่อมต่อกับเอิร์ทแมท (Earth Mat) ของสถานีไฟฟ้าย่อยต้องมีการป้องกันฟ้าผ่า มุมป้องกันของสายดินซึ่งอากาศจะต้องครอบคลุมบริเวณทั้งหมดภายในสถานีไฟฟ้าย่อย เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ ตัวแยกส่วน หม้อแปลงแรงดัน หม้อแปลงกระแส เป็นต้น อย่างไรก็ตาม อาคารอาจมีการป้องกันฟ้าผ่าของตัวเองอีกครั้งเชื่อมต่อกับเอิร์ทแมท (Earth Mat) ของสถานีไฟฟ้าย่อย
- 3) ตัวนำต่อลงดินสำหรับระบบป้องกันฟ้าผ่าจะต้องถูกยึดกับเสาค้ำยันของทางวิ่งยกระดับและต้องเชื่อมต่อกับระบบการต่อลงดินโดยตรง หากเชื่อมต่อผ่านกับโครงสร้างของทางวิ่งยกระดับที่ บัสบาร์หรือเทอร์มินอลการต่อลงดิน ขนาดตัวนำต่อลงดินต้องมีค่าตามตารางที่ 6 ในมาตรฐาน EN 62305-3 ดังแสดงในภาคผนวก ง และค่าความต้านทานรวมระหว่างจุดเชื่อมต่องกล่าวกับ บัสบาร์หรือเทอร์มินอลที่ระดับพื้นดินต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.2 โอห์ม
- 4) สำหรับอาคารจะต้องรวมระบบป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า พ.ศ. 2553 ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ หรือมาตรฐานที่เทียบเท่า ตัวนำฟ้าผ่าจะต้องเชื่อมต่อกับเอิร์ทแมท (Earth Mat) ร่วมของโครงสร้าง
- 5) ต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่สถานีไฟฟ้าย่อย เพิ่มเติมจากระบบป้องกันฟ้าผ่าที่มีอยู่ เพื่อป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อที่สถานีไฟฟ้าย่อยไม่ให้เกิดความเสียหายได้ง่าย

## 7. ความปลอดภัย

1) อันตรายอาจเกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกายมนุษย์ ค่าของกระแสไฟฟ้าดังกล่าวขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่เชื่อมโยงกับอิมพีแดนซ์ของร่างกาย บริษัทสามารถได้รับความเสียหายจากฟ้าผ่าและกระแสลัดวงจรที่เกิดจากอุณหภูมิและความร้อนที่สูงเกินไป เหล็กเส้นหรือเหล็กเสริมสามารถได้รับความเสียหายจากการกัดกร่อน จึงจำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันที่เหมาะสม มาตรฐานต่อไปนี้จะแนะนำเกณฑ์สำหรับความปลอดภัยในชีวิตและการป้องกันการติดตั้ง

2) มาตรฐาน IEC 60479-1 อธิบายอิมพีแดนซ์ของร่างกายและผลของกระแสไฟฟ้าตรงและกระแสสลับต่อมนุษย์และ บุคคลที่ขึ้นอยู่กับเวลา มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย เช่น EN 50122-1 อ้างถึง IEC 60479-1 สำหรับค่าจำกัดความของแรงดันสัมผัสที่ยอมรับได้ โดยทั่วไปแรงดันสัมผัสจะต้องได้รับการพิจารณาสำหรับการติดตั้งระบบไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันสัมผัสที่ยอมรับได้สำหรับการติดตั้งระบบไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นอยู่กับระยะเวลาของผลกระทบ แสดงดังรูปที่ 4 มาตรฐาน IEC 61936-1 สามารถใช้ได้กับบริษัทของสถานีไฟฟ้ากำลังย่อยกระแสสลับ



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) การออกแบบการต่อลงดินและการต่อฝากเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของบุคคลดังที่กล่าวมาข้างต้นจะรวมถึงการป้องกันการติดตั้งภายใต้สภาวะปกติและสภาวะผิดปกติ ข้อกำหนดเพิ่มเติมของมาตรฐาน IEC 61936-1 และ IEC 60364 series สำหรับการปกป้องส่วนที่มีชีวิตจากความร้อนสูงเกินไปสำหรับการทำงานปกติและช่วงที่เกิดความผิดปกติจะต้องปฏิบัติตาม



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

## 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

## 9. การปฏิบัติงานและการบำรุงรักษา

1) การตรวจสอบ

การก่อสร้างระบบการต่อลงดินจะต้องสามารถตรวจสอบได้เป็นระยะ โดยรายละเอียดการตรวจสอบอาจรวมถึงการขุดพื้นดินบางตำแหน่งและการตรวจสอบทางสายตา

2) การวัด

การออกแบบและการติดตั้งระบบการต่อลงดินจะต้องอนุญาตให้มีการตรวจวัดเป็นระยะ หรือในกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนที่ส่งผลกระทบต่อข้อกำหนดต่าง ๆ ข้างต้น ซึ่งรวมถึงการทดสอบความต่อเนื่อง

## 10. การทำงานร่วมกันได้

การต่อลงดินและการต่อฝากไม่มีผลกระทบต่อการทำงานร่วมกันของระบบรถไฟสายประธานที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าข้ามเขตประเทศ



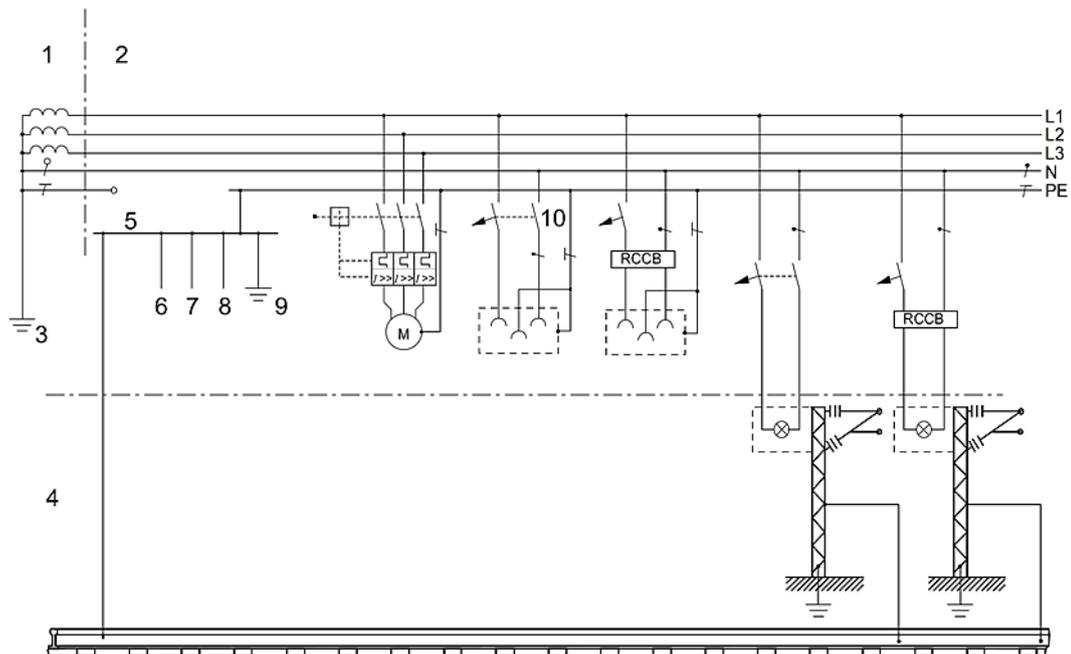
ภาคผนวก ก

วัสดุ		ประเภทของ อิเล็กทรอนิกส์	ขนาดต่ำที่สุด				
			แกน			เคลือบ/ปลอก	
			เส้นผ่าศูนย์กลาง มม.	พื้นที่หน้าตัด มม. <sup>2</sup>	ความหนา มม.	ค่าเดียว µm	ค่าเฉลี่ย µm
เหล็ก	ชุปสังกะสี ร้อน	แถบ <sup>b</sup>		90	3	63	70
		โครง (รวมถึง แผ่น)		90	3	63	70
		ท่อ	25		2	47	55
		บาร์กลมสำหรับ แทงดิน	16			63	70
		ลวดกลมสำหรับ ขั้วสายดิน แนวนอน	10				50
	ปลอกตะกั่ว <sup>a</sup>	ลวดกลมสำหรับ ขั้วสายดิน แนวนอน	8			1000	
	ปลอก ทองแดงอัด	บาร์กลมสำหรับ แทงดิน	15			2000	
	ปลอก ทองแดง ไฟฟ้า	บาร์กลมสำหรับ แทงดิน	14,2			90	100
ทองแดง	เปลือย	แถบ		50	2		
		ลวดกลมสำหรับ ขั้วสายดิน แนวนอน		25 <sup>c</sup>			
		สายเคเบิลที่ควั่น	1,8 <sup>d</sup>	25			
		ท่อ	20		2		
	ชุบดีบุก	สายเคเบิลที่ควั่น	1,8 <sup>d</sup>	25		1	5
	สังกะสี	แถบ		50	2	20	40
	ปลอกตะกั่ว <sup>a</sup>	สายเคเบิลที่ควั่น	1,8 <sup>d</sup>	25		1000	
		สายกลม		25		1000	
<sup>a</sup>	ไม่เหมาะสำหรับฝังคอนกรีตโดยตรง ไม่แนะนำให้ใช้ตะกั่วเนื่องจากเหตุผลด้านสิ่งแวดล้อม						
<sup>b</sup>	แถบ, รีบ หรือ ตัด ด้วยขอบมน						
<sup>c</sup>	ในเงื่อนไขที่รุนแรงซึ่งประสบการณ์พบว่าความเสี่ยงของการกัดกร่อนและความเสียหายทางกลนั้นต่ำมากถึง 16 มม.						
<sup>d</sup>	สำหรับสายเดี่ยว						

รูปที่ ก.1 ขนาดของหลักดิน

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

## ภาคผนวก ข



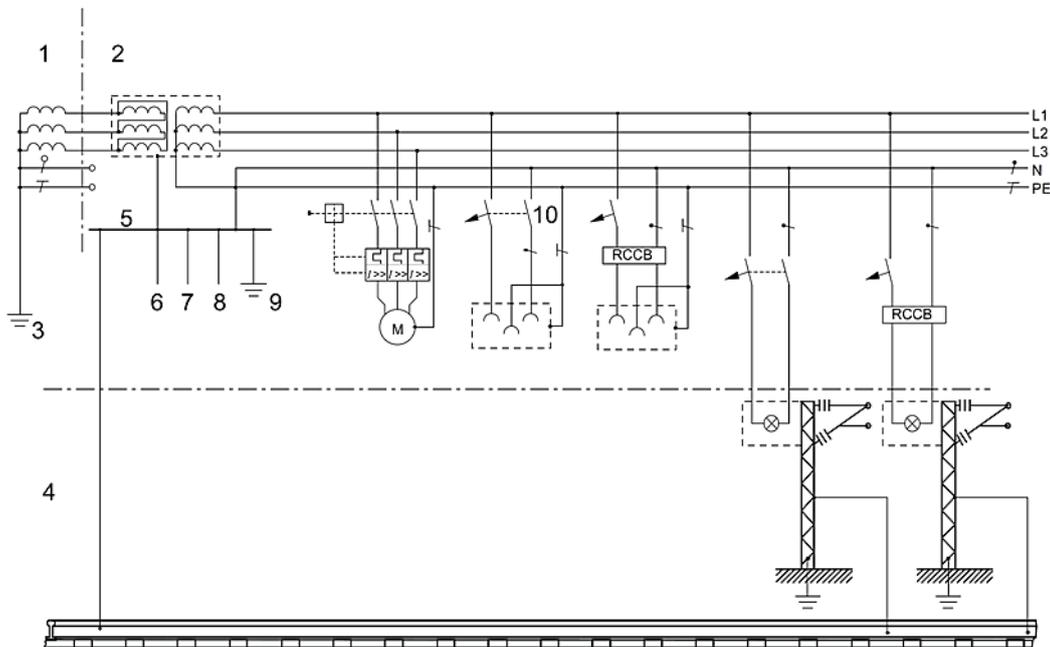
โดยที่

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

### 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

หมายเหตุ : ระบบการต่อลงดินแบบ TT (Terra-Terra) คือ ระบบการต่อลงดินที่มีหนึ่งจุดต่อลงดินโดยตรง ส่วนตัวนำที่เปิดโล่งของการติดตั้งต่อกับหลักดินทางไฟฟ้า โดยไม่เกี่ยวข้องกับหลักดินของระบบไฟฟ้า



โดยที่

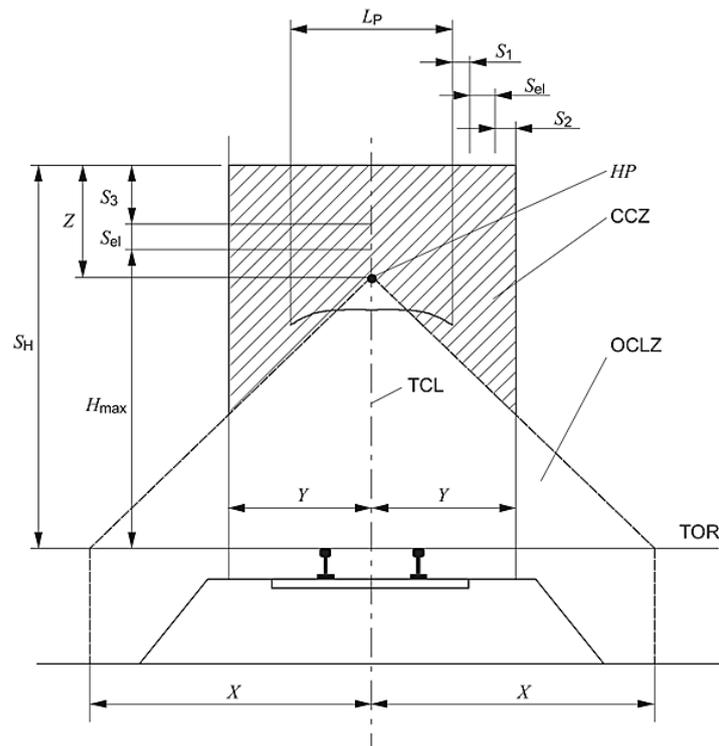
- |  |   |
|--|---|
| 1 คือ โครงข่ายระบบจ่ายไฟฟ้า                | 6 คือ น้ำและท่อแก๊ส                               |
| 2 คือ โครงข่ายระบบราง                      | 7 คือ เครื่องทำความร้อน                           |
| 3 คือ การต่อลงดินสาธารณะ                   | 8 คือ การป้องกันฟ้าผ่า             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

### 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

หมายเหตุ ระบบการต่อลงดินแบบ TN (Terra- Neutral) คือ ระบบการต่อลงดินที่มีหนึ่งจุดต่อลงดินโดยตรง ส่วนตัวนำที่เป็ดโล่งของการติดตั้งต่อกับจุดนั้นด้วยตัวนำป้องกัน

## ภาคผนวก ค



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  $S_H$  $S_1$  ความกว้างของการเคลื่อนไหวด้านข้างของตัวรับกระแสไฟ $S_2$  ระยะความปลอดภัยด้านข้างสำหรับตัวรับกระแสไฟที่ชำรุดหรือเสียหาย $S_3$  ระยะความปลอดภัยแนวตั้งสำหรับตัวรับกระแสไฟที่ชำรุดหรือเสียหาย $S_{el}$  ระยะห่างทางไฟฟ้าตามมาตรฐาน EN 50119 $S_H$  ความสูงสูงสุดของโซนตัวรับกระแสไฟ $L_p$  ความกว้างตัวรับกระแสไฟ

## 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



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<sup>a</sup>**

Material	Configuration	Cross-sectional area mm <sup>2</sup>
Copper, Tin plated copper	Solid tape	50
	Solid round <sup>b</sup>	50
	Stranded <sup>b</sup>	50
	Solid round <sup>c</sup>	176
Aluminium	Solid tape	70
	Solid round	50
	Stranded	50
Aluminium alloy	Solid tape	50
	Solid round	50
	Stranded	50
	Solid round <sup>c</sup>	176
Copper coated aluminium alloy	Solid round	50
Hot dipped galvanized steel	Solid tape	50
	Solid round	50
	Stranded	50
	Solid round <sup>c</sup>	176
Copper coated steel	Solid round	50
	Solid tape	50
Stainless steel	Solid tape <sup>d</sup>	50
	Solid round <sup>d</sup>	50
	Stranded	70
	Solid round <sup>c</sup>	176
<sup>a</sup> Mechanical and electrical characteristics as well as corrosion resistance properties shall meet the requirements of the future IEC 62561 series.		
<sup>b</sup> 50 mm <sup>2</sup> (8 mm diameter) may be reduced to 25 mm <sup>2</sup> 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.		
<sup>c</sup> 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.		
<sup>d</sup> If thermal and mechanical considerations are important then these values should be increased to 75 mm <sup>2</sup> .		

รูปที่ ง.1 วัสดุ รูปแบบ และขนาดต่ำที่สุดของตัวนำต่อลงดิน

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