กรมการขนส่งทางราง
Department of Rail Transport

มขร. – R – 008 – 2568

มาตรฐานการป้องกันอันตรายจากระบบไฟฟ้าสำหรับรถขนส่งทางราง

PROTECTIVE PROVISIONS AGAINST ELECTRICAL HAZARDS ON ROLLING STOCK

กองมาตรฐานความปลอดภัยและบำรุงทาง

514/1 Lan Luang Road, Dusit, Bangkok, Thailand 10300
http://www.drt.go.th/
Facebook/DRT.OfficialFanpage

รายนามคณะกรรมการจัดทำมาตรฐานการขนส่งทางราง

คณะกรรมการ

๑.๑	นายอธิภู จิตรานุเคราะห์ กรมการขนส่งทางราง	รองประธานกรรมการ ปฏิบัติหน้าที่ประธานฯ
๑.๒	นายชัยวัฒน์ สังขภาคย์ สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร	กรรมการ
๑.๓	นายกำพล บุญชม การรถไฟแห่งประเทศไทย	กรรมการ
๑.๔	นายสุพพัต พิพัฒนกุล การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย	กรรมการ
๑.๕	นายจิรวัฒน์ ศรีเจริญโชติ บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด	กรรมการ
๑.๖	นางสลักษณ์ พิสุทธิพัทธยา สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	กรรมการ
๑.๗	นายอาณัติ หาทรัพย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และทคโนโลยีแห่งประเทศไทย	กรรมการ
๑.๘	ดร. สุธี โอฬารฤทธินันท์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	กรรมการ
๑.๙	นายอนุสรณ์ ทนหมื่นไวย สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	กรรมการ
๑.๑๐	ดร.ประจักษ์ ทรัพย์มณี สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	กรรมการ
๑.๑๑	นายวรเมธ อ้วนชะเล บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	กรรมการ
๑.๑๒	นายพรศักดิ์ ครุฑกุล บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	กรรมการ
๑.๑๓	นายบุญพงษ์ กิจวัฒนาชัย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์	กรรมการ
๑.๑๔	นายทยากร จันทรางศุ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการและ เลขานุการ
๑.๑๕	นายจักรกฤษณ์ คล้ายปักษี กรมการขนส่งทางราง	กรรมการและ ผู้ช่วยเลขานุการ
๑.๑๖	นายวรพล เกตานนท์ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการและ ผู้ช่วยเลขานุการ
๑.๑๗	นายเกริกชัย ไตรพงศ์รัตน์ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการและ ผู้ช่วยเลขานุการ

****

รายนามคณะอนุกรรมการจัดทำมาตรฐานด้านเครื่องกลและตัวรถขนส่งทางราง

คณะอนุกรรมการ

๑.๑	นายอธิภู จิตรานุเคราะห์ กรมการขนส่งทางราง	ประธานอนุกรรมการ
๑.๒	นายทยากร จันทรางศุ กรมการขนส่งทางราง	รองประธานอนุกรรมการ
๑.๓	นายวิฑูรย์ บุญเฟื่องฟู การรถไฟแห่งประเทศไทย	อนุกรรมการ
๑.๔	นายสุพพัต พิพัฒนกุล การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย	อนุกรรมการ
๑.๕	นายธนา ภู่เผือกรัตน์ บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน)	อนุกรรมการ
๑.๖	นายเจษฎา อุปโยคิน บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด	อนุกรรมการ
๑.๗	นางสาวพัชริญา เพชรผ่อง สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีระบบราง (องค์การมหาชน)	อนุกรรมการ
๑.๘	นายเอกรัตน์ ไวยนิตย์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	อนุกรรมการ
๑.๙	นายประยงค์ อรัญญะ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย	อนุกรรมการ
๑.๑๐	นายวรรณวุฒิ วรรณสนิท บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	อนุกรรมการ
๑.๑๑	นายพรศักดิ์ ครุฑกุล บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	อนุกรรมการ
๑.๑๒	นายบุญพงษ์ กิจวัฒนาชัย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์	อนุกรรมการ
๑.๑๓	นายจักรกฤษณ์ คล้ายปักษี กรมการขนส่งทางราง	อนุกรรมการ
๑.๑๔	นายวรพล เกตานนท์ กรมการขนส่งทางราง	อนุกรรมการและ เลขานุการ
๑.๑๕	นายเกริกชัย ไตรพงศ์รัตน์ กรมการขนส่งทางราง	อนุกรรมการและ ผู้ช่วยเลขานุการ

****

มขร. – R – 008 – 2568

มาตรฐานการป้องกันอันตรายจากระบบไฟฟ้าสำหรับรถขนส่งทางราง
PROTECTIVE PROVISIONS AGAINST ELECTRICAL HAZARDS ON ROLLING STOCK

1. บททั่วไป

รถขนส่งทางรางจำเป็นต้องมีระบบไฟฟ้าสำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบปรับอากาศ และระบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องภายในรถขนส่งทางรางสามารถทำงานได้ตามปกติ โดยรถขนส่งทางรางจำเป็นต้องมีผู้ควบคุม กำกับ ดูแล ตัวรถขนส่งทางรางอยู่ตลอดเวลา สำหรับการตัดสินใจในกรณีฉุกเฉินเพื่อป้องกันสิ่งที่เป็นอันตรายต่อผู้โดยสารและผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นกรมการขนส่งทางรางได้จัดทำมาตรฐานฉบับนี้โดยอ้างอิงจากมาตรฐานสากล ซึ่งคำนึงถึงความเหมาะสมของการนำมาประยุกต์ใช้ภายในประเทศไทย รวมถึงมาตรฐานของประเทศไทยที่เกี่ยวข้อง

1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดคุณลักษณะและคุณสมบัติพื้นฐานของระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์ที่มีระบบไฟฟ้าอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและภายนอกของรถขนส่งทางราง เพื่อป้องกันอันตรายจากระบบไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อผู้โดยสารและผู้ปฏิบัติงานของรถขนส่งทางราง

1.2 ขอบเขต

มาตรฐานฉบับนี้ กำหนดคุณลักษณะและคุณสมบัติพื้นฐานของระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์ที่มีระบบไฟฟ้าอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและภายนอกของรถขนส่งทางราง เพื่อใช้ในการออกแบบ การติดตั้งระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าบนตัวรถขนส่งทางรางเพื่อป้องกันผู้โดยสารและผู้ปฏิบัติงานรวมถึงสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ของรถขนส่งทางรางไม่ให้ได้รับอันตรายจากการสัมผัสส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าโดยไม่ได้ตั้งใจ

มาตรฐานฉบับนี้ ครอบคลุมรถขนส่งทางรางและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งบนรถขนส่งทางราง และการขนส่งทางถนนโดยการขนส่งทางถนนเป็นตัวรถที่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อการขับเคลื่อนจากภายนอก เช่น รถโดยสารประจำทางไฟฟ้าที่มีระบบจ่ายไฟฟ้าอยู่เหนือศีรษะ (Trolley Bus) การขนส่งโดยใช้ระบบแรงยกแม่เหล็ก (Magnetically Levitated Transport)

มาตรฐานนี้ไม่บังคับใช้ตามข้อกำหนด ดังนี้

- การขนส่งทางรางในเหมืองแร่
- ระบบขนส่งที่ใช้ รอก เครน หรือระบบลำเลียงอื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกับระบบการขนส่งทางราง
- ระบบขนส่งทางรางที่มีการเคลื่อนที่เป็นแนวดิ่ง เช่น รถกระเช้าไฟฟ้า (Funicular Railways)
- การก่อสร้างชั่วคราวที่เกี่ยวข้องของรถขนส่งทางราง
- รถขนส่งทางรางที่ไม่ใช้สำหรับการบริการสาธารณะ

มาตรฐานนี้ไม่บังคับใช้กับอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าที่ไม่ได้ติดตั้งบนรถขนส่งทางราง

มาตรฐานฉบับนี้สามารถปรับใช้ตามความเหมาะสมของผู้ออกแบบ ผู้ครอบครอง หรือผู้ให้บริการเดินรถระบบขนส่งทางราง

1.3 มาตรฐานอ้างอิง

1) IEC 60364-4-41:2005 Low voltage electrical installation – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock
2) IEC TS 60479-1 Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects
3) IEC 60529 Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)
4) IEC 61140:2016 Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment
5) IEC 61310-1 Safety of machinery – Indication, marking and actuation – Part 1: Requirements for visual, acoustic and tactile signals
6) IEC 62128-1:2013 Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit – Part 1: Protective provisions against electric shock
7) IEC 62313 Railway applications – Power supply and rolling stock – Technical criteria for the coordination between power supply (substation) and rolling stock
8) IEC 62497-1 Railway applications – Insulation coordination – Part 1: Basic requirements – Clearances and creepage distances for all electrical and electronic equipment
9) IEC 62995:2018 Railway applications – Rolling Stock – Rules for installation of cabling
10) IEC 61991 Railway applications – Rolling stock – Protective provisions against electrical hazards
11) EN 50153 Railway application – Rollingstock – Protective provisions relating to electrical hazards
12) มาตรฐานความปลอดภัยทางไฟฟ้าในสถานที่ทำงาน พ.ศ. 2565 : วสท. 022011-22
13) มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 : วสท. 022001-22

หมายเหตุ: ในกรณีที่มีการออกมาตรฐานฉบับใหม่ทดแทนมาตรฐานฉบับเดิม ให้ยึดปฏิบัติตามมาตรฐานฉบับใหม่

1.4 นิยามคำศัพท์

พื้นที่ปฏิบัติงานที่ควบคุมการเข้าถึง (Closed Electrical Operating Area) หมายถึง พื้นที่หรือบริเวณที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ระบบไฟฟ้า หรือระบบอื่น ๆ โดยเฉพาะ ซึ่งได้รับการรักษาความปลอดภัยด้วยวิธีการที่เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าและสภาพแวดล้อมของพื้นที่ ซึ่งจำกัดบุคคลที่สามารถเข้าถึงบริเวณนี้ ต้องเป็นบุคคลที่มีความรู้ ความเข้าใจ ของระบบไฟฟ้าหรือระบบอื่น ๆ ที่อยู่ในบริเวณนั้น

หมายเหตุ 1 การเข้าถึงพื้นที่ดังกล่าวต้องได้รับการอนุญาตเฉพาะผู้ที่มีความสามารถด้านไฟฟ้า ด้านระบบราง และบุคคลที่อยู่ภายใต้การควบคุมของผู้ที่มีความรู้ความสามารถด้านไฟฟ้าด้านระบบราง เท่านั้น

หมายเหตุ 2 คำจำกัดความของพื้นที่ปฏิบัติงานที่ควบคุมการเข้าถึง หมายถึง พื้นที่ใด ๆ (ทั้งภายในและภายนอกของรถขนส่งทางราง) ที่ได้รับการรักษาความปลอดภัย เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่คาดว่าน่าจะมีอยู่ในอุปกรณ์ภายในพื้นที่ดังกล่าว ซึ่งสามารถครอบคลุมถึงตู้ที่อยู่ใต้พื้นหรือเหนือเพดาน โดยการเข้าถึงพื้นที่เหล่านี้ไม่ได้รับอนุญาตสำหรับบุคคลทั่วไป

ตู้ (Cabinet) หมายถึง เครื่องห่อหุ้มที่ออกแบบให้ติดตั้งบนพื้นผิวหรือติดผนังโดยมีกรอบ ด้าน และฝาปิดซึ่งเปิดได้

สายส่งไฟฟ้า (Contact Line) หมายถึง ระบบตัวนำไฟฟ้าสำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าของรถขนส่งทางราง

สายส่งไฟฟ้าเหนือศีรษะ (Contact Wire) หมายถึง ตัวนำไฟฟ้าในระบบสายส่งไฟฟ้าเหนือศีรษะ (Overhead Contact Line : OCL) ซึ่งมีอุปกรณ์รับกระแสไฟฟ้าของรถขนส่งทางราง เช่น แพนโทกราฟใช้สัมผัสเพื่อรับกระแสไฟฟ้า

การสัมผัสไฟฟ้าโดยตรง (Direct Contact) หมายถึง การสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงของบุคคลหรือสิ่งมีชีวิต กับ ชิ้นงานหรืออุปกรณ์ของส่วนที่มีกระแสไฟฟ้า

ฉนวนสองชั้น (Double Insulation) หมายถึง ฉนวนที่ประกอบไปด้วยฉนวนพื้นฐานและฉนวนเสริมเพิ่มอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันไฟฟ้าดูด แม้ฉนวนพื้นฐานเสียหาย ซึ่งยังมีฉนวนเสริมที่สามารถป้องกันได้

จุดอ้างอิงดิน (Earth) หมายถึง จุดที่มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ ศูนย์

พื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป (Electrical Operation Area) หมายถึง ห้องหรือบริเวณทั่วไปที่บุคคลทั่วไปสามารถเข้าถึงได้โดยอาจจะมีอุปกรณ์และระบบไฟฟ้าที่ไม่มากนัก

หมายเหตุ โดยปกติแล้วพื้นที่การปฏิบัติงานด้านไฟฟ้าสามารถมีได้หลายพื้นที่ เช่น ภายในตัวรถที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งอาจจะไม่ใช่พื้นที่หลักของอุปกรณ์ไฟฟ้า อาจเป็นพื้นที่โดยสาร แต่มีระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังทำงานอยู่

ไฟฟ้าดูด (Electric Shock) หมายถึง สภาวะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายของมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิต

แรงดันไฟฟ้าต่ำมาก (Extra-Low Voltage) หมายถึง แรงดันไฟฟ้าที่น้อย หรือต่ำกว่าขอบเขตของการแบ่งช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ระบุตามตารางที่ 1

การต่อฝากไฟฟ้าเสมอ (Equipotential Bond) หมายถึง การเชื่อมต่อส่วนที่เป็นโลหะหรือส่วนที่เป็นสื่อนำไฟฟ้าเข้าด้วยกันเพื่อให้สถานะศักย์ไฟฟ้าของอุปกรณ์หรือชิ้นงาน 2 สิ่งหรือมากกว่านี้มีค่าศักย์ไฟฟ้าที่เท่ากัน

หมายเหตุ สามารถอธิบายแบบย่อได้คือ การเชื่อมต่อกัน หรือกำลังเชื่อมต่อ

ชิ้นส่วนนำไฟฟ้าเปิดโล่ง (Expose Conductive Part) หมายถึง ชิ้นส่วนที่สามารถนำไฟฟ้าและมีโอกาสสัมผัสได้ ซึ่งชิ้นส่วนนี้โดยปกติแล้วไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน แต่อาจกลายเป็นส่วนที่นำไฟฟ้าได้ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดทางไฟฟ้า

หมายเหตุ ชิ้นส่วนที่เป็นสื่อนำไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า ไม่นับว่าเป็นชิ้นส่วนที่สัมผัสได้ (Exposed Conductive Part) ก็ต่อเมื่อชิ้นส่วนนั้นมีการสัมผัสกับชิ้นส่วนที่เป็นสื่อนำไฟฟ้าอื่นที่มีไฟอยู่แล้ว เท่านั้น

การสัมผัสไฟฟ้าโดยอ้อม (Indirect Contact) หมายถึง การสัมผัสไฟฟ้าของมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตโดยที่อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีฉนวนแล้ว หรือชิ้นส่วนอุปกรณ์นั้นในสภาวะปกติไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน แต่เกิดข้อผิดพลาดของฉนวน หรือสภาวะที่ผิดปกติของระบบไฟฟ้าส่งผลให้เกิดการสัมผัสไฟฟ้าเกิดขึ้น

อุปกรณ์บังคับสัมพันธ์ (Interlocking Device) หมายถึง อุปกรณ์ที่ยึดโยงระหว่างกันโดยควบคุมลำดับการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งออกแบบเพื่อป้องกันการเปลี่ยนลำดับการทำงานของอุปกรณ์โดยไม่ได้ตั้งใจซึ่งอาจนำไปสู่สภาวะที่ไม่ปลอดภัยได้

แยก, ป้องกัน (กริยา) (Insulate , verb) หมายถึง การป้องกันการนำไฟฟ้าระหว่างองค์ประกอบของตัวนำไฟฟ้า และวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า

ฉนวน (Insulation) หมายถึง วัสดุที่ไม่มีความสามารถในการนำไฟฟ้า

ส่วนที่มีไฟ [ระบบขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า] (Live Part [in electric traction]) หมายถึง ตัวนำหรือชิ้นส่วนที่นำไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าไหลในสภาวะปกติ ซึ่งเป็นเส้นทางของการส่งพลังงานไฟฟ้าให้สำหรับระบบขับเคลื่อน

หมายเหตุ 1 รายละเอียดนี้ไม่สามารถเปรียบเปรยถึงความเสี่ยงของไฟฟ้าดูด

หมายเหตุ 2 ไม่รวมถึงรางและอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับราง

การล็อกเชิงกล (Mechanical Locking) หมายถึง การป้องกันโดยใช้สกรูหรือนอตเพื่อป้องกันการเข้าถึงของอุปกรณ์ ระบบ หรือพื้นที่สำคัญ ซึ่งการที่เข้าถึงได้นั้นจำเป็นต้องใช้เครื่องมือหรือกุญแจ

ฉนวนหลายชั้น (Multi-Stage Insulation) หมายถึง ฉนวนที่มีมากกว่าหนึ่งชั้น ซึ่งแต่ละชั้นมีโครงสร้างที่ต่อเนื่องกัน และอาจมีการแยกแรงดันไฟฟ้าหลายระดับ เพื่อลดความเสี่ยงของกระแสไฟฟ้ารั่วไหลและเพิ่มความปลอดภัย

แรงดันไฟฟ้าที่ระบุ [ของระบบ] (Nominal Voltage [of a system]) หมายถึง ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดให้ใช้สำหรับระบบไฟฟ้าของมาตรฐานฉบับนี้

หมายเหตุ 1 แรงดันไฟฟ้าของระบบนี้เป็นแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้ว หรือลูกคลื่น ซึ่งเป็น root mean square (rms) หรือแรงดันไฟฟ้าประสิทธิผลของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

หมายเหตุ 2 แรงดันไฟฟ้าที่ระบุ (Nominal Voltage) อาจแตกต่างกับ แรงดันไฟฟ้าจริง (Actual Voltage) ของระบบขับเคลื่อนที่จ่ายให้กับตัวรถขนส่งทางราง ซึ่งแตกต่างกันที่ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Permitted Tolerances) สามารถตรวจสอบได้จากมาตรฐาน IEC 60850 หรือเทียบเท่า

แรงดันไฟฟ้าต่ำพิเศษที่มีการป้องกัน (Protective Extra Low Voltage) หมายถึง แรงดันไฟฟ้าที่น้อยหรือต่ำกว่าขอบเขตของช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ระบุตามตารางที่ 1

อุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า (Protective Obstacle [Electrically]) หมายถึง อุปกรณ์ หรือชิ้นส่วนเพื่อป้องกันการสัมผัสของส่วนที่มีไฟโดยไม่ตั้งใจ ยกเว้นการกระทำที่จงใจหรือเจตนา

วงจรแปลงกระแสไฟฟ้า (Power Circuit) หมายถึง วงจรไฟฟ้าที่นำพากระแสไฟฟ้าไปสู่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น อุปกรณ์แปลงไฟฟ้า มอเตอร์ขับเคลื่อน ซึ่งทำหน้าที่ส่งกำลังการขับเคลื่อน

ตัวนำลงดิน (Protective Conductor) หมายถึง ตัวนำไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการป้องกันไฟฟ้ารั่วไหลและไฟฟ้าดูด โดยเชื่อมต่อกับจุดอ้างอิงดิน (Earth) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อความปลอดภัย

การต่อฝากไฟฟ้าเสมอเพื่อการป้องกัน (Protective Equipotential Bonding) หมายถึง การต่อฝากไฟฟ้าเสมอให้เท่ากัน เพื่อลดความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าและป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูด

แรงดันไฟฟ้าต่ำพิเศษที่มีความปลอดภัย (Safety Extra Low Voltage) หมายถึง แรงดันไฟฟ้าที่น้อยหรือต่ำกว่าขอบเขตของช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ระบุตามตารางที่ 1

ฉนวนสมบูรณ์ (Total Insulation) หมายถึง ฉนวนที่ประกอบด้วยฉนวนพื้นฐานเพื่อป้องกันขั้นพื้นฐาน และฉนวนเสริมเพื่อการป้องกันกรณีที่ฉนวนพื้นฐานเกิดข้อผิดพลาด หรือมีการป้องกันทั้งสองแบบ ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน IEC 61140:2016 ข้อกำหนดที่ 7.4 หรือเทียบเท่า

หน่วย [อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อไฟฟ้า] (Unit [Electrically Connected]) หมายถึง รูปแบบของรถขนส่งทางรางขั้นต่ำที่จำเป็นสำหรับขบวนรถขนส่งทางรางสามารถให้การเดินรถได้

ผู้ที่ได้รับการอบรมด้านไฟฟ้า ([Electrically] Instructed Person) หมายถึง บุคคลที่ได้รับการอบรม แนะนำ จากบุคลากรที่เชี่ยวชาญด้านไฟฟ้า ซึ่งอนุญาตให้รับความเสี่ยงและสามารถหลีกเลี่ยงอันตรายที่เกิดจากระบบไฟฟ้า

ผู้ที่มีความสามารถด้านไฟฟ้า ([Electrically] Skilled Person) หมายถึง บุคคลที่ได้ศึกษาและมีประสบการณ์ทางด้านไฟฟ้าที่สามารถยอมรับความเสี่ยงและอันตรายที่เกิดจากระบบไฟฟ้า

1.5 คำย่อ

1. AC หมายถึง กระแสสลับ (Alternating Current)
2. DC หมายถึง กระแสตรง (Direct Current)
3. ELV หมายถึง แรงดันไฟฟ้าต่ำมาก (Extra Low Voltage)
4. EMU หมายถึง รถไฟฟ้า (Electric Multiple Unit)
5. PELV หมายถึง แรงดันไฟฟ้าต่ำพิเศษที่มีการป้องกัน (Protective Extra Low Voltage)
6. RMS หมายถึง ค่าประสิทธิผล (root mean square value [effective value])
7. SELV หมายถึง แรงดันไฟฟ้าต่ำพิเศษที่มีความปลอดภัย (Safety Extra Low Voltage)

2. การแบ่งช่วงแรงดันไฟฟ้า (Classification of voltage bands)

2.1 หลักการทั่วไป

ข้อกำหนดนี้เป็นการแบ่งช่วงแรงดันไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่อยู่บนตัวรถขนส่งทางราง ซึ่งแหล่งจ่ายไฟฟ้าบนตัวรถขนส่งทางรางมีมากมาย ยกตัวอย่างเช่น

- แบตเตอรี่
- หม้อแปลงไฟฟ้า
- อุปกรณ์แบ่งแรงดันไฟฟ้า
- เครื่องจักรกลแบบหมุน
- เครื่องแปลงพลังงานไฟฟ้า
- ตัวเก็บประจุ
- อุปกรณ์จ่ายพลังงานไฟฟ้าอื่น ๆ

ช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ระบุ	แรงดันไฟฟ้าที่ระบุ (U_n)	
	AC V	DC V
I	$U \leq 25$	$U \leq 60$
II	$25 < U \leq 50$	$60 < U \leq 120$
III	$50 < U \leq 1000$	$120 < U \leq 1500$
IV	$U > 1000$	$U > 1500$

ตารางที่ 1. การแบ่งช่วงแรงดันไฟฟ้า

2.2 นิยามการจำแนกประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อแบ่งช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ระบุ

อุปกรณ์ไฟฟ้า วงจรไฟฟ้า หรือวงจรไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อเป็นชุด เช่น อุปกรณ์ปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน และที่มีการเชื่อมต่อกันทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าไม่ว่าในสภาวะปกติหรือสภาวะผิดปกติ หรือวงจรไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแต่ไม่มีการต่อลงดินเข้ากับตัวรถให้ถือว่าวงจรเหล่านั้นมีช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ระบุ ตามประสิทธิภาพที่ระบุไว้ของวงจรนั้น

หากวงจรไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่งโดยมีอุปกรณ์ตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าเกินที่สามารถตัดวงจรไฟฟ้าได้ทันท่วงที หรือด้วยวิธีอื่นใดที่มีลักษณะเดียวกันนี้ ให้วงจรไฟฟ้าที่ได้รับการป้องกันชนิดนี้จัดประเภทช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ระบุของวงจรไฟฟ้าตามอุปกรณ์ที่สามารถตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าเกินได้ และควรมีการตรวจสอบสภาพความพร้อมของอุปกรณ์ดังกล่าวเสมอ

ข้อกำหนดของแรงดันไฟฟ้าที่ระบุ ยินยอมให้ลดลงกว่าค่าที่ได้แจ้งไว้ได้โดยคำนึงถึงมาตรฐานระบบไฟฟ้าของประเทศนั้น ๆ

3. มาตรการป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรง (Protective provisions against direct contact)

3.1 บททั่วไป

ส่วนที่มีไฟอาจเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าดูดจึงจำเป็นต้องมีการป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกประเภทสามารถทำงานได้โดยมีการป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรง มีวิธีการอย่างน้อยตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดที่ 3.2 และ 3.3

ในกรณีที่ไม่สามารถมีมาตรการป้องกันตามข้อกำหนดที่ 3.2 และ 3.3 ได้ สามารถใช้มาตรการป้องกันโดยกำหนดให้ใช้มาตรการป้องกันของแรงดันไฟฟ้าที่ระบุ ช่วงแรงดันไฟฟ้า I ซึ่งมีมาตรการที่ระบุไว้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ 3.4

นอกจากนี้หากต้องการเพิ่มมาตรการป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงที่ครอบคลุมมากขึ้นให้ติดป้ายเตือนตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดที่ 3.5

3.2 การป้องกันด้วยฉนวน

ให้ปฏิบัติตามมาตรฐาน IEC 62497-1 หรือเทียบเท่า และนอกเหนือจากนี้วัสดุที่ใช้นำมาเป็นฉนวนที่ใช้ห่อหุ้มส่วนที่มีไฟจำเป็นต้องมีความเหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์ตามที่กำหนด ต้องเหมาะสมกับสภาวะการใช้งาน สภาพแวดล้อม และควรพิจารณาเพิ่มเติมเพื่อลดโอกาสการเกิดความเสียหายให้น้อยที่สุด

3.3 การป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงโดยการพิจารณาการเข้าถึง (Protection by prevention of access)

3.3.1 ช่วงแรงดันไฟฟ้า I ถึง III

3.3.1.1 การป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงของพื้นที่ปฏิบัติงานที่ควบคุมการเข้าถึง (Protection by the use of closed electrical operating areas)

ส่วนที่มีไฟที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับรถขนส่งทางรางและที่มีช่วงแรงดันไฟฟ้า I ถึง III ควรอยู่ในพื้นที่ปฏิบัติงานที่ควบคุมการเข้าถึง และการเข้าถึงพื้นที่ปฏิบัติงานที่ควบคุมการเข้าถึงที่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าจำเป็นต้องได้รับการอนุญาตตามข้อกำหนดต่อไปนี้

- ช่วงแรงดันไฟฟ้า I และ II บุคคลที่สามารถเข้าถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ช่วงแรงดันไฟฟ้าเหล่านี้ต้องเป็นผู้ที่ได้รับการอบรมด้านไฟฟ้าและผู้ที่มีความสามารถด้านไฟฟ้า
- ช่วงแรงดันไฟฟ้า III บุคคลที่สามารถเข้าถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ช่วงแรงดันไฟฟ้าเหล่านี้ต้องเป็นผู้ที่ได้รับการอบรมด้านไฟฟ้าและผู้ที่มีความสามารถด้านไฟฟ้าจำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงโดยไม่ได้ตั้งใจ

การป้องกันการเข้าถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ช่วงแรงดันไฟฟ้าเหล่านี้สามารถทำได้โดยการใช้ล็อกเชิงกลร่วมกับขั้นตอนการปฏิบัติตามที่กำหนดและมีป้ายเตือนตามความเหมาะสม ณ บริเวณของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือพื้นที่ทางไฟฟ้า วิธีการป้องกันการเข้าถึงของอุปกรณ์ไฟฟ้าควรปฏิบัติดังต่อไปนี้

- ในพื้นที่ของรถขนส่งทางรางที่บุคคลทั่วไปสามารถเข้าถึงได้นั้น อุปกรณ์ไฟฟ้าแนะนำให้เป็นไปตามการป้องกันขั้นต่ำ IP40 หรือในกรณีที่อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการเชื่อมต่อระบบการต่อลงดินของอุปกรณ์เข้ากับตัวรถขนส่งทางรางแล้วนั้น ต้องมีการป้องกันขั้นต่ำ IP20D ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน IEC 60529 หรือเทียบเท่า ซึ่งข้อกำหนดนี้ไม่สามารถใช้ได้กับขั้วต่อปลั๊กไฟฟ้าโคมไฟที่ไม่มีหลอดไฟติดตั้ง และเต้ารับฟิวส์แบบเกลียวที่ไม่มีฟิวส์อยู่ภายใน (D หมายถึง

สายลวดหรือสายไฟที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขั้นต่ำ 1 มิลลิเมตร (mm) และยาว 100 มิลลิเมตร (mm))

- ในพื้นที่อื่น ๆ ที่ใช้แผงตะแกรงหรือตาข่าย ควรมีการติดตั้งให้มีระยะห่างเพียงพอเพื่อป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรง โดยต้องคำนึงถึงการโค้งงอ หรือ การผิดรูป ของตัวแผงตะแกรงหรือตาข่าย

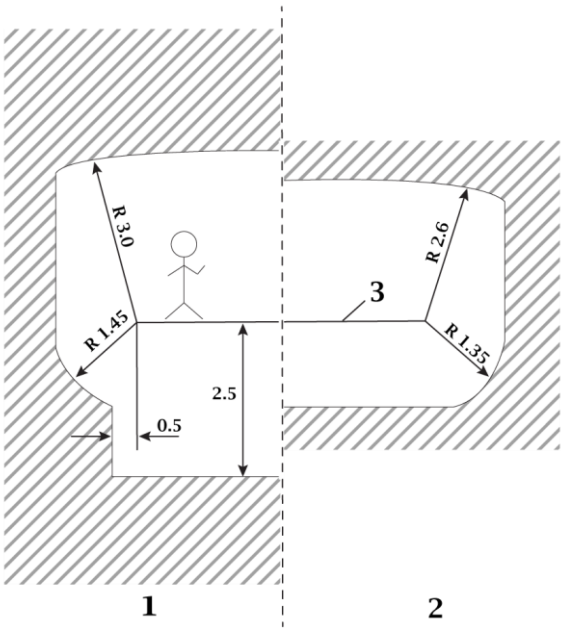
3.3.1.2 การป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงของพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป (Protection by the use of electrical operating areas)

สำหรับส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าที่อยู่ภายในพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไปจำเป็นต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

- ส่วนที่มีไฟที่มีช่วงแรงดันไฟฟ้าระหว่าง I และ II ไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรง หากทำตามข้อกำหนดที่ 6.5.2
- การใช้อุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าจากการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงของช่วงแรงดันไฟฟ้า III อาจสามารถยอมรับได้ในพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป ได้แก่
  1. สถานที่ที่บุคคลทั่วไปสามารถเข้าถึงได้ยาก ยกตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ใต้ท้องรถขนส่งทางรางบนหลังคา หรือภายในมอเตอร์ ยกเว้นห้องคนขับ
  2. การป้องกันทางไฟฟ้าของส่วนที่มีไฟโดยมีเงื่อนไขว่าต้องสามารถระบุความเสี่ยงอันตรายได้อย่างชัดเจน ยกตัวอย่างเช่น ฟิวส์ และจุดเชื่อมต่อ ของอุปกรณ์ในช่วงแรงดันไฟฟ้า III ที่มีด้ามจับที่เป็นฉนวน หรือมีการป้องกันที่ครอบคลุมแล้ว สามารถวางหรือติดตั้งในพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไปได้

3.3.1.3 การป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงโดยการเว้นระยะปลอดภัย (Protection by clearance)

- การป้องกันโดยการเว้นระยะปลอดภัยต้องมีการเว้นระยะขั้นต่ำจากส่วนที่มีไฟ ดังรูปที่ 1 ถือว่าได้รับการป้องกัน ยกเว้นรถขนส่งทางรางที่มีรางรถวิ่งอยู่ใกล้กับรางจ่ายไฟฟ้า ไม่บังคับใช้ในมาตรการป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงโดยการเว้นระยะปลอดภัย
- สำหรับส่วนที่มีไฟซึ่งอยู่ภายนอกหรือรอบตัวรถขนส่งทางราง เช่น ตัวรับกระแสไฟฟ้า, สายไฟที่ติดตั้งบนหลังคาของตัวรถขนส่งทางราง ที่อาจเข้าถึงได้โดยบุคคลในแนวเส้นตรงจากพื้นที่ยืนหรือนั่งใด ๆ หากมีการใช้มาตรการป้องกันอื่นใดตามที่กำหนดไว้ในข้อที่ 3.3 ของเอกสารนี้แล้ว ไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงโดยการเว้นระยะปลอดภัย
- หมายเหตุ การเข้าถึงได้ในแนวเส้นตรงหมายความว่า ระยะห่างระหว่างส่วนที่มีไฟสามารถสัมผัสได้จากบริเวณ หรือพื้นที่ยืน โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษที่ช่วยในการเข้าถึง
- การป้องกันโดยการเว้นระยะปลอดภัยถือว่าใช้งานได้ในกรณีที่มีการเว้นระยะห่างขั้นต่ำเพียงพอ ในสถานการณ์ที่รถขนส่งทางรางเคลื่อนที่หรือหยุดนิ่ง ยกเว้น ส่วนที่มีไฟที่เป็นการติดตั้งแบบไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เช่น ระบบจ่ายไฟฟ้าของรางที่ 3 หรือ 4 ซึ่งมีเพียงผู้ที่ได้รับการอบรมด้านไฟฟ้า ด้านระบบราง หรือผู้ที่มีความสามารถด้านไฟฟ้า ด้านระบบรางเท่านั้นที่สามารถเข้าถึงได้



หน่วยวัดระยะ : เมตร

รายละเอียดพื้นที่
- หมายเลข 1 พื้นที่ทั่วไป, พื้นที่โดยสาร
- หมายเลข 2 พื้นที่หวงห้าม, พื้นที่ที่มีการจำกัดบุคคลที่เข้าถึงได้
- หมายเลข 3 พื้นผิวที่บุคคลยืน

รูปที่ 1. ระยะห่างขั้นต่ำที่สามารถเข้าถึงได้ของส่วนที่มีไฟภายนอกของรถขนส่งทางราง รวมถึงส่วนที่มีไฟของระบบสายส่งไฟฟ้าเหนือศีรษะจากพื้นยืนที่บุคคลสามารถเข้าถึงได้สำหรับแรงดันไฟฟ้าต่ำ (อ้างอิงจากมาตรฐาน IEC 62128-1:2013 Figure 3 หรือเทียบเท่า)

3.3.1.4 การป้องกันอันตรายจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอก (Protection against hazards from external power supply)

- การเข้าถึงส่วนที่มีไฟในช่วงแรงดันไฟฟ้า III ส่วนใหญ่แล้วมีการรับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายภายนอก เช่น รถขนส่งทางรางคันอื่น ซึ่งเห็นสมควรมีอุปกรณ์บังคับสัมพันธ์หรือข้อกำหนดการปฏิบัติงานที่กำหนดไว้
- การเชื่อมต่อของแหล่งจ่ายไฟฟ้าและสายไฟ จำเป็นต้องมีป้ายเตือนติดไว้ตามข้อกำหนดที่ 3.5

3.3.2 ช่วงแรงดันไฟฟ้า IV

3.3.2.1 การป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงของพื้นที่ปฏิบัติงานที่ควบคุมการเข้าถึง

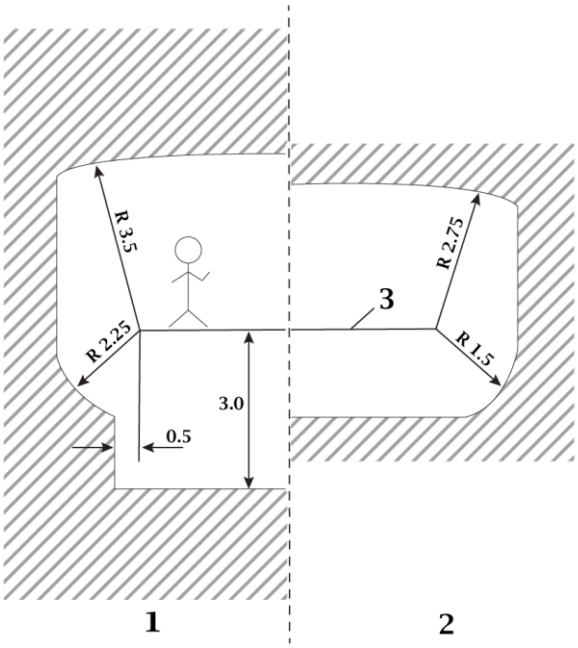
- การเข้าถึงส่วนที่มีไฟของช่วงแรงดันไฟฟ้า IV จำเป็นต้องถูกป้องกันสำหรับทุกคน รวมถึงผู้ที่มีความสามารถด้านไฟฟ้า
- การเข้าถึงส่วนที่มีไฟของช่วงแรงดันไฟฟ้า IV อนุญาตให้เฉพาะผู้ที่ได้รับการอบรมด้านไฟฟ้า และผู้ที่มีความสามารถด้านไฟฟ้าเท่านั้น ซึ่งสามารถเข้าถึงส่วนนั้นได้หลังจากส่วนที่มีไฟจำเป็นต้องถูกตัดกระแสไฟฟ้าและทำให้ปลอดภัยแล้ว โดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่งหรือมากกว่า ดังต่อไปนี้
  1. กระบวนการที่กำหนดวิธีการปฏิบัติงาน (Procedure)
  2. อุปกรณ์บังคับสัมพันธ์ (Interlocking devices)
  3. การป้องกันโดยการต่อฝากไฟฟ้าเสมอเพื่อการป้องกัน (Protective Equipotential Bonding)
  4. อุปกรณ์ความปลอดภัยและอุปกรณ์ติดตามสภาวะการทำงาน (Safety or Monitoring devices)

วิธีการเข้าถึงและการป้องกันของส่วนที่มีไฟต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

- พื้นที่ที่บุคคลทั่วไปสามารถเข้าถึงได้ภายในรถขนส่งทางรางแนะนำให้มีระดับการป้องกันตามมาตรฐานขั้นต่ำ IP40 ส่วนในพื้นที่ที่ ผู้ที่ได้รับการอบรมด้านไฟฟ้าและผู้ที่มีความสามารถด้านไฟฟ้า สามารถเข้าถึงได้แนะนำให้มีระดับการป้องกันตามมาตรฐานขั้นต่ำ IP20 ตามที่กำหนดไว้ใน IEC 60529 หรือเทียบเท่า
- ในกรณีที่ช่วงแรงดันไฟฟ้า IV ถูกตัดกระแสไฟฟ้าเรียบร้อยแล้วแต่ในช่วงแรงดันไฟฟ้า III ไม่ถูกตัดกระแสไฟฟ้า จำเป็นต้องดำเนินการมาตรการป้องกันตามข้อกำหนดที่ 3.3.1 เพื่อป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงกับส่วนที่ยังคงมีกระแสไฟฟ้า

3.3.2.2 การป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงโดยการเว้นระยะปลอดภัย (Protection by clearance)

- การป้องกันโดยการเว้นระยะปลอดภัยต้องมีการเว้นระยะขั้นต่ำจากส่วนที่มีไฟ ดังรูปที่ 2 (IEC 62128-1:2013) ถือว่าได้รับการป้องกัน ยกเว้นรถขนส่งทางรางที่มีรางรถวิ่งอยู่ใกล้กับรางจ่ายไฟฟ้า ไม่บังคับใช้ในมาตรการป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงโดยการเว้นระยะปลอดภัย
- สำหรับส่วนที่มีไฟภายนอกตัวรถ เช่น ตัวรับกระแสไฟฟ้า, สายไฟที่ติดตั้งบนหลังคาของตัวรถขนส่งทางราง, ตัวต้านทาน ยกเว้นส่วนหัวของแพนโทกราฟ (Pantograph) ที่อาจเข้าถึงได้จากพื้นผิวของตัวรถ หรือข้างตัวรถ หากมีการใช้มาตรการป้องกันอื่นใดตามที่กำหนดไว้ในข้อที่ 3.3 ของเอกสารนี้แล้ว ไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงโดยการเว้นระยะปลอดภัย
- หมายเหตุ การเข้าถึงส่วนที่มีไฟดังกล่าวคือการสัมผัสส่วนที่มีไฟโดยปราศจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ใด ๆ ในการเข้าถึงส่วนที่มีไฟ



หน่วยวัดระยะ : เมตร

รายละเอียดพื้นที่
- หมายเลข 1 พื้นที่ทั่วไป, พื้นที่โดยสาร
- หมายเลข 2 พื้นที่หวงห้าม, พื้นที่ที่มีการจำกัดบุคคลที่เข้าถึงได้
- หมายเลข 3 พื้นผิวที่บุคคลยืน

รูปที่ 2. ระยะห่างขั้นต่ำที่สามารถเข้าถึงได้ของส่วนที่มีไฟภายนอกของรถขนส่งทางราง รวมถึงส่วนที่มีไฟของระบบสายส่งไฟฟ้าเหนือศีรษะจากพื้นยืนที่บุคคลสามารถเข้าถึงได้สำหรับแรงดันไฟฟ้าสูง (อ้างอิงจากมาตรฐาน IEC 62128-1:2013 Figure 4 หรือเทียบเท่า)

3.3.2.3 การป้องกันอันตรายจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอก (Protection against hazards from external power supply)

- การเข้าถึงส่วนที่มีไฟเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากภายนอก ยกตัวอย่างเช่น รถขนส่งทางรางคันอื่น ๆ, อุปกรณ์ให้พลังงานไฟฟ้าจากนอกรถ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์บังคับสัมพันธ์หรือข้อกำหนดการปฏิบัติงานที่กำหนดไว้
- สำหรับอุปกรณ์ที่มีการตัดต่อวงจรบ่อยครั้ง เช่น สายจัมเปอร์จ่ายกระแสไฟฟ้าของรถไฟ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์บังคับสัมพันธ์หรือกำหนดกระบวนการทำงานเพื่อให้มั่นใจว่าส่วนที่มีไฟของอุปกรณ์สามารถเข้าถึงได้เมื่อการจ่ายกระแสไฟฟ้าของส่วนที่มีไฟถูกปิดและส่วนที่มีไฟได้ทำการต่อฝากเพื่อการป้องกันเรียบร้อยแล้ว
- การเชื่อมต่อของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าและสายไฟ จำเป็นต้องมีป้ายเตือนติดไว้ตามข้อกำหนดที่ 3.5

3.4 การป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงของช่วงแรงดันไฟฟ้า I (ELV)

3.4.1 ข้อกำหนดสำหรับช่วงแรงดันไฟฟ้า I (SELV and PELV) เป็นระบบที่ใช้ช่วงแรงดันไฟฟ้า I จำเป็นต้องดำเนินการตามรายละเอียดดังนี้

- อุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับระบบ SELV และ PELV ต้องปฏิบัติตามมาตรฐานแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับระบบ SELV และ PELV ตามข้อกำหนดที่ 414.3 ตามมาตรฐาน IEC 60364-4-41:2005 หรือเทียบเท่า
- ระบบที่ใช้ช่วงแรงดันไฟฟ้านี้ต้องปฏิบัติตามมาตรฐานข้อกำหนดสำหรับระบบ SELV และ PELV ตามข้อกำหนดที่ 414.4 ในมาตรฐาน IEC 60364-4-41:2005 หรือเทียบเท่า
- ระบบที่ใช้ช่วงแรงดันไฟฟ้านี้ต้องปฏิบัติตามข้อที่ 6 ของเอกสารฉบับนี้

3.4.2 ข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับระบบ SELV (Safety Extra-Low Voltage)

- ระบบ SELV ต้องไม่มีการต่อฝากเพื่อการป้องกันเข้ากับตัวรถขนส่งทางราง (ตัวรถ) สำหรับระบบ SELV ช่วงแรงดันไฟฟ้า I ไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันเพิ่มเติมหากวงจรนั้นเป็นไปตามข้อกำหนดที่ 3.4.1

3.4.3 ข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับระบบ PELV (Protected Extra-Low Voltage)

- ขั้วหนึ่งของระบบ PELV หรือขั้วหนึ่งของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าของระบบ PELV จำเป็นต้องทำการต่อฝากเพื่อการป้องกันหรือการเชื่อมต่อสายดิน
- ไม่จำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันเพิ่มเติม หากแรงดันไฟฟ้าที่ระบุมีค่าไม่เกิน 6 โวลต์ (V) AC หรือ 15 โวลต์ (V) DC และระบบเป็นไปตามข้อกำหนดที่ 3.4.1
- หากอุปกรณ์มีช่วงแรงดันไฟฟ้าที่เกิน 6 โวลต์ (V) AC หรือ 15 โวลต์ (V) DC และติดตั้งในบริเวณที่บุคคลทั่วไปเข้าถึงได้ ต้องมีมาตรการให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ 411.7.2 IEC 60364-4-41:2005 หรือเทียบเท่า

3.5 ป้ายเตือน

- ป้ายเตือนอันตรายจากไฟฟ้าจำเป็นต้องเป็นไปตามข้อกำหนดตาม IEC 61310-1 หรือเทียบเท่า
- เมื่อมีการใช้งานอุปกรณ์บังคับสัมพันธ์หรือขั้นตอนการปฏิบัติการทั้งหมดเพื่อเข้าถึงอุปกรณ์แล้วยังคงมีความเสี่ยงอยู่ ต้องติดป้ายเตือนเพื่อระบุความเสี่ยงและให้ข้อมูลเสริมที่จำเป็นเพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายต่อบุคคล
- ป้ายเตือนเหล่านี้จำเป็นต้องติดตั้งในตำแหน่งที่มองเห็นได้อย่างชัดเจน และสามารถสังเกตเห็นได้ตลอดอายุการใช้งานของอุปกรณ์
- การเข้าถึงบริเวณพื้นที่ที่มีการยกสูง ซึ่งมีโอกาสที่มีการสัมผัสส่วนที่มีไฟของระบบสายส่งไฟฟ้าต้องมีการติดป้ายเตือนเพื่อป้องกันอันตราย
- การติดตั้งป้ายเตือนอันตรายในพื้นที่ปฏิบัติงานที่ควบคุมการเข้าถึง ซึ่งพื้นที่นั้นมีช่วงแรงดันไฟฟ้า III และ IV อนุญาตให้ไม่มีการติดป้ายเตือนได้ในกรณีที่มีการป้องกันด้วยอุปกรณ์บังคับสัมพันธ์และการป้องกันการเข้าถึงของส่วนที่มีไฟที่ยืนยันได้ว่าไม่สามารถเข้าถึงส่วนที่มีไฟได้อย่างแน่นอน

4. มาตรการป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยอ้อม (Protective provisions against indirect contact)

4.1 บททั่วไป

รายละเอียดในข้อนี้สามารถปฏิบัติตามได้ก็ต่อเมื่อมีการต่อฝากไฟฟ้าเสมอเพื่อการป้องกันของตัวรถขนส่งทางรางและมีการติดตั้งตัวนำลงดินของระบบไฟฟ้าบนตัวรถขนส่งทางรางเรียบร้อยแล้ว

วิธีการที่ทำตามข้อกำหนดที่ระบุในข้อกำหนดที่ 4.2 ถึง 4.5 นี้ต้องมั่นใจก่อนว่าส่วนที่เป็นชิ้นส่วนนำไฟฟ้าเปิดโล่ง (exposed conductive parts) และส่วนที่นำไฟฟ้าแบบมีฉนวน (insulated conductive parts) ไม่สามารถก่อให้เกิดไฟฟ้าดูดได้ ทั้งจากการเหนี่ยวนำหรือการสัมผัสกับส่วนที่มีไฟในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดสภาวะล้มเหลวของระบบการทำงานการเดินรถของรถขนส่งทางราง

เป้าหมายคือการทำให้ชิ้นส่วนนำไฟฟ้าที่เปิดโล่ง ที่มีความเสี่ยงดังกล่าวอยู่ในศักย์ไฟฟ้าเดียวกัน สามารถทำได้โดยการต่อฝากเพื่อการป้องกัน (protective bonding) ตามที่ระบุในข้อกำหนดที่ 4.2 เพียงอย่างเดียว หรือร่วมกับการตัดแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ หรือการปฏิบัติตามข้อยกเว้นในข้อกำหนดที่ 4.5

- คำอธิบายและข้อยกเว้นได้มีการอธิบายในข้อกำหนดที่ 4.5
- ข้อกำหนดเพิ่มเติมได้มีการอธิบายในข้อกำหนดที่ 4.6

4.2 การต่อฝากเพื่อการป้องกัน (Protective bonding)

4.2.1 บททั่วไป

การป้องกันสำหรับชิ้นส่วนนำไฟฟ้าเปิดโล่งที่อาจก่อให้เกิดไฟฟ้าดูดจากการเหนี่ยวนำ, การเหนี่ยวนำแบบประจุ (capacitive coupling) หรือการสัมผัสโดยตรงกับส่วนที่มีไฟที่ส่งผลให้เกิดสภาวะล้มเหลว หรือผิดพลาดของระบบหรืออุปกรณ์สามารถทำได้โดยการเชื่อมต่อตัวนำลงดินโดยการต่อฝาก

4.2.2 การต่อฝากไฟฟ้าเสมอ

ชิ้นส่วนของการต่อฝากไฟฟ้าเสมอเพื่อการป้องกันทั้งหมด ต้องทนต่อสภาวะแวดล้อมทั้งภายในและภายนอก (รวมถึง ทางกล ความร้อน และการกัดกร่อน) และตัวนำของระบบการต่อฝากไฟฟ้าเสมอเพื่อการป้องกันโดยเป็นไปตามข้อกำหนดที่ 4.6 ตามมาตรฐาน IEC 62995:2018 หรือเทียบเท่า

4.2.3 การกำหนดการต่อฝากเพื่อการป้องกัน

- การต่อฝากเพื่อการป้องกันต้องมีการออกแบบให้มีความแข็งแรงและมีความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าเพียงพอ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าชิ้นส่วนนำไฟฟ้าเปิดโล่งต้องไม่ก่อให้เกิดไฟฟ้าดูด ซึ่งส่งผลให้เกิดสภาวะล้มเหลว หรือ ความผิดพลาดของระบบ รายละเอียดเพิ่มเติมตามข้อกำหนดที่ 4.3
- สำหรับคุณสมบัติและขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายต่อฝากเพื่อการป้องกัน สามารถตรวจสอบได้ตามมาตรฐาน IEC 62313 หรือเทียบเท่า ทั้งนี้ควรพิจารณาถึงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลในราง ซึ่งอาจส่งผลต่อการกำหนดมาตรการเพื่อการป้องกัน

4.2.4 หน้าสัมผัสแบบเลื่อน (Sliding Contacts)

หน้าสัมผัสแบบเลื่อน ยกตัวอย่างเช่น แปรงนำกระแสไฟฟ้าลงดิน (earth return brushes) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดที่ 4.2 และความเสียหายของหน้าสัมผัสแบบเลื่อนใด ๆ ต้องไม่มีผลกระทบที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าดูด

4.3 การตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้า

4.3.1 การใช้งาน (Application)

ในกรณีที่ไม่สามารถปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ 4.2.3 จำเป็นต้องมีการตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (automatic disconnection of supply) หรือการจำกัดกระแสไฟฟ้าผิดพลาดโดยอัตโนมัติ เช่น การเพิ่มตัวต้านทานในวงจร (resistance insertion) โดยจำเป็นต้องถูกนำมาใช้ร่วมกับการต่อฝากเพื่อการป้องกัน (protective bonding)

การตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (automatic disconnection of supply) ต้องมีการปฏิบัติ และการติดตั้งอุปกรณ์ที่รัดกุมเพื่อป้องกันความเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อบุคคลทั่วไปและผู้ปฏิบัติงานเมื่อเกิดความผิดพลาดของระบบ สาเหตุอาจเกิดจากค่าแรงดันไฟฟ้า และระยะเวลาของแรงดันไฟฟ้าสัมผัส (touch voltage) สามารถตรวจสอบรายละเอียดได้ใน มาตรฐาน IEC TS 60479-1 หรือเทียบเท่า

เพื่อกำหนดแรงดันไฟฟ้าสัมผัสที่สามารถยอมรับได้ (permissible touch voltage) ต้องสมมติว่าอุปกรณ์ป้องกันทำงานอย่างถูกต้อง โดยสาเหตุการสัมผัสไฟฟ้าหลายจุดที่เกิดขึ้นพร้อมกันและเป็นอิสระต่อกันไม่นำมาพิจารณา

4.3.2 ลักษณะการตัดการเชื่อมต่อ (Disconnection Characteristic)

ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดระหว่างส่วนที่มีไฟและชิ้นส่วนนำไฟฟ้าเปิดโล่ง (Exposed Conductive Part), สายไฟฟ้าที่มีฉนวนในวงจร, ตัวนำลงดิน หรือ อุปกรณ์ต่าง ๆ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ป้องกันอัตโนมัติที่ทำงานเพื่อตัดวงจรหรืออุปกรณ์นั้น โดยอุปกรณ์ป้องกันดังกล่าวต้องป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรง และโดยอ้อม

ข้อกำหนดการป้องกันไม่ให้แรงดันไฟฟ้าสัมผัส (touch voltage) ที่บุคคลทั่วไปมีโอกาสเข้าถึงในส่วนของอุปกรณ์ที่มีไฟฟ้าเหล่านี้ได้ โดยอาจเกิดขึ้นจากการมีค่าแรงดันไฟฟ้าเกินขีดจำกัดสูงสุดของช่วงแรงดันไฟฟ้า II ที่มีการสัมผัสในระยะเวลาเพียงพอที่จะก่อให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อบุคคล โดยรายละเอียดเพิ่มเติมอยู่ในข้อกำหนดที่ 411 ของมาตรฐาน IEC 60364-4-41:2005 หรือเทียบเท่า

4.4 การต่อฝากหลัก (Main Protective Bonding)

4.4.1 ข้อกำหนดทั่วไป (General)

ข้อกำหนดต่อไปนี้ใช้กับรถขนส่งทางรางทุกประเภทที่มีการใช้งานของตัวนำลงดิน (protective conductor) ซึ่งตัวนำลงดินนี้อาจแยกจากกันหรือรวมเข้ากับระบบราง ที่เป็นส่วนหนึ่งของวงจรกระแสไฟฟ้าจากระบบขับเคลื่อน และให้ทำการป้องกันสำหรับระบบล้อที่มีการหุ้มฉนวน หรือ ระบบลอยตัว (levitation systems) ที่ไม่มีตัวนำลงดินให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ 4.5.5

ตัวรถของรถขนส่งทางรางต้องมีการต่อฝาก (bonding) ตามที่ระบุในข้อกำหนดที่ 4.4.2 และ 4.4.3

4.4.2 เส้นทางการต่อฝาก

ต้องมีเส้นทางการต่อฝากเพื่อการป้องกัน (protective bonding paths) อย่างน้อยสองเส้นทาง ระหว่างตัวรถขนส่งทางรางกับตัวนำลงดินของระบบอุปกรณ์ที่ติดตั้งแบบคงที่ (fixed installation) เพื่อให้มั่นใจว่า หากเกิดความล้มเหลวในเส้นทางใดเส้นทางหนึ่ง จะไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดูด ซึ่งเส้นทางการต่อฝากเพื่อการป้องกันของตัวนำลงดินต้องสามารถตรวจสอบได้ด้วยตาเปล่า (visual inspection)

เส้นทางการต่อฝากเพื่อการป้องกันของตัวรถขนส่งทางรางไปยังตัวนำลงดินของระบบที่ติดตั้งแบบคงที่สามารถเชื่อมต่อได้โดยตรงภายในรถขนส่งทางรางหรือเชื่อมต่อผ่านรถขนส่งทางรางอื่นได้ ซึ่งการออกแบบการต่อฝากของรถขนส่งทางราง ควรพิจารณาจากค่ากระแสไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62313 หรือเทียบเท่า โดยอาจจะมีค่าลดลงจากผลของค่าความต้านทานของรถขนส่งทางราง (vehicle impedance) ข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับระบบไฟฟ้ากระแสตรง การป้องกันหลัก (main protection) จะช่วยจำกัดค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดให้ต่ำกว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่คาดการณ์ไว้ (prospective current)

- หมายเหตุ 1: ตัวนำลงดินมักจะเป็นราง สามารถตรวจสอบข้อมูลเพิ่มเติมเพิ่มเติมได้ในมาตรฐาน IEC 62128-1 หรือเทียบเท่า
- หมายเหตุ 2 : จากสถิติพบว่าในระบบไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าสูงสุด (current peaks) ที่เกิดจากความผิดพลาดจากตัวรถขนส่งทางราง มีค่าสูงสุดไม่เกิน 50 กิโลแอมแปร์ (kA) เป็นระยะเวลา 20 มิลลิวินาที (ms)

ความเป็นไปได้ของการผิดพลาดระบบไฟฟ้าในรถขนส่งทางรางที่ไม่สามารถตรวจจับได้โดยการใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ (citcuit breaker) ตัดวงจร เช่น การลัดวงจรที่ตัวรับกระแสไฟฟ้า พร้อมกับระบบป้องกันหลักในสถานีจ่ายพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อน (Tracktion Power Substation) หยุดทำงาน ซึ่งทั้ง 2 เหตุการณ์เกิดขึ้นพร้อมกันนั้นเป็นไปได้ยาก เหตุการณ์ดังกล่าวอาจเกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้

- การเกิดความร้อนเกิน (overheating) ของตัวนำสายดิน แต่ยังอยู่ในสภาพที่สามารถใช้งานได้
- ระบบเปิด-ปิดวงจรไฟฟ้าอัตโนมัติ (auto reclosure) ส่งผลให้เกิดความเครียดทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และควรมีการตรวจสภาพของอุปกรณ์ การบำรุงรักษาให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอ

4.4.3 ความต้านทาน

ความต้านทานระหว่างอุปกรณ์และตัวนำลงดินที่ติดตั้งแบบคงที่ ยกตัวอย่างเช่น ราง ต้องมีค่าต่ำเพียงพอเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นอันตรายระหว่างกัน โดยใช้เกณฑ์ตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดที่ 9 ของมาตรฐาน IEC 62128-1:2013 หรือเทียบเท่า

ค่าความต้านทานสูงสุดระหว่างหน่วยและตัวนำลงดินของอุปกรณ์ที่ติดตั้งคงที่ถูกกำหนดไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วยข้อพิจารณาเพิ่มเติมดังนี้

- ควรพิจารณาค่าศักย์ไฟฟ้าของรางตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดที่ 9 ของมาตรฐาน IEC 62128 -1:2013 หรือเทียบเท่า
- ค่าความต้านทานควรมีการตรวจสอบโดยการคำนวณ (โดยสมมติให้ค่าความต้านทานของแปรงลงดินแต่ละตัวเท่ากับ 1 มิลลิโอห์ม (mΩ)) และจากการวัดค่าจริง

ประเภทรถ	ความต้านทานสูงสุด (โอห์ม) (Ω)
รถที่มีระบบขับเคลื่อนของตัวเอง เช่น รถจักรดีเซลหรือรถไฟฟ้า ตู้โดยสารของรถไฟ	0.05
ตู้บรรทุกสินค้า	0.15

ตารางที่ 2 ค่าความต้านทานสูงสุดระหว่างตัวรถของรถขนส่งทางรางแต่ละคัน และ สายดินหรือตัวนำป้องกันที่มีการติดตั้งแบบคงที่ถาวร

การวัดค่าความต้านทานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง

1. การวัดค่าสามารถทำได้โดยใช้กระแสไฟฟ้าคงที่ 50 แอมป์ (A)
2. แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (open circuit voltage) ต้องไม่เกิน 50 โวลต์ (V)
3. การวัดต้องดำเนินการในสภาวะที่ผิวสัมผัสระหว่างล้อและรางที่มีความสะอาด

ความต้านทานของเส้นทางการต่อฝากเพื่อการป้องกันสามารถคำนวณได้ดังนี้

หมายเหตุ 1 ค่าความต้านทานรวมของหน่วยไฟฟ้าที่เชื่อมต่อจะถูกนำมาพิจารณา ค่าคำนวณที่ได้ในระบบไฟฟ้ากระแสตรงและในระบบไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 15 กิโลโวลต์ (kV) ควรมีค่าความต้านทานน้อยกว่า 10 มิลลิโอห์ม (mΩ) ซึ่งในระบบไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 25 กิโลโวลต์ (kV) ควรมีค่าความต้านทานน้อยกว่า 20 มิลลิโอห์ม (mΩ) ซึ่งจากสถิติค่าความต้านทานในตารางที่ 2 เป็นค่าความต้านทานที่สูงกว่าการค่าที่วัดได้จริง

หมายเหตุ 2 ตัวอย่างการจัดการความต้านทานสำหรับรถไฟชนิดขบวนรถไฟฟ้า (EMU) สามารถตรวจสอบเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก

4.4.4 ความผิดปกติของสายส่งไฟฟ้า

ในกรณีที่เกิดการสัมผัสระหว่างระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าแรงสูงสำหรับการขับเคลื่อนรถไฟสัมผัสกับตัวรถ เช่น สายไฟขาดและไปสัมผัสกับตัวรถ ต้องมีการออกแบบระบบไฟฟ้าที่สามารถลดระดับแรงดันไฟฟ้าสูงผิดปกติบนรถหรือภายในรถ ตามข้อกำหนดที่ 4.3 ให้เร็วที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

เนื่องจากปกติแล้วความผิดปกติจะถูกแก้ไขด้วยอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนตัวรถ ดังนั้นเพื่อการพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นที่ตัวรถ ควรอ้างอิงจาก IEC 62128-1 หรือเทียบเท่า ซึ่งการต่อฝากเพื่อการป้องกันของตัวรถต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์และอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน

4.5 คำอธิบายเพิ่มเติมและข้อยกเว้นที่เกี่ยวกับการสัมผัสไฟฟ้าโดยอ้อม

4.5.1 ส่วนที่จำเป็นต้องมีการป้องกัน

ต้องมีการจัดเตรียมการป้องกันสำหรับชิ้นส่วนนำไฟฟ้าเปิดโล่งที่สามารถสัมผัสได้ในบริเวณใกล้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น อ่างล้างจาน ตู้โลหะ พื้นที่การต่อลงดินของเสาอากาศ เสาสื่อสาร และส่วนอื่น ๆ ที่คล้ายกันควรมีลักษณะการป้องกัน ดังนี้

- หากอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่มีการติดตั้งแผ่นป้องกันไว้ ให้มีการติดตั้งฝาครอบ ประตู หรือแผ่นปิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ยึดด้วยสกรู หรือ โลหะธรรมดา พร้อมทั้งอุปกรณ์บังคับสัมพันธ์เพิ่มเติม ที่มีความสามารถทนการกัดกร่อนและมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการต่อฝากเพื่อการป้องกันและติดตั้งตัวนำลงดิน
- หากอุปกรณ์ไฟฟ้าถูกติดตั้งเข้ากับชิ้นงานหรืออุปกรณ์ที่มีการขยับหรือเคลื่อนที่ ไม่ว่าชิ้นส่วนนำไฟฟ้าเปิดโล่ง หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ต้องมีการป้องกันทั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ตัวนำไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ได้เหล่านั้นด้วยการติดตั้งตัวนำลงดิน

4.5.2 ส่วนที่ไม่จำเป็นต้องมีมาตรการป้องกัน

4.5.2.1 ข้อยกเว้นของมาตรการป้องกัน

หากอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนนำไฟฟ้าเปิดโล่งที่สามารถสัมผัสได้โดยมีการแยกออกจากแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่อาจก่อให้เกิดไฟฟ้าดูด หรืออุปกรณ์ที่มีรายละเอียดตามข้อกำหนดที่ 4.5.2.2, 4.5.2.3 และ 4.5.2.4 ซึ่งมีการทดสอบและมีการรับรองจากมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ไม่จำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันเพิ่มเติม

4.5.2.2 ช่วงแรงดันไฟฟ้า II (band II voltage)

การป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยอ้อมสำหรับชิ้นส่วนนำไฟฟ้าเปิดโล่งที่สัมผัสได้โดยมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าอยู่ในช่วงแรงดันไฟฟ้าในช่วง II (band II voltage) ไม่จำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยอ้อมหากวงจรไฟฟ้า หรืออุปกรณ์นั้นเป็นไปตามข้อกำหนดของ SELV (Safety Extra – Low Voltage) หรือ PELV (Protected Extra – Low Voltage) ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน IEC 60364-4-41 หรือเทียบเท่า

4.5.2.3 ฉนวนสองชั้น (Double Insulation)

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีฉนวนสองชั้น (Double Insulation) หรือ ฉนวนเสริม (reinforced insulation) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนด IEC 62497-1 หรือ IEC 60364-4-41 หรือเทียบเท่า

4.5.2.4 ฉนวนรวม (สำหรับช่วงแรงดันไฟฟ้า III เท่านั้น)

ชุดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีฉนวนรวมในช่วงแรงดันไฟฟ้า III จำเป็นต้องทำตามข้อกำหนดในมาตรฐาน IEC 61140 หรือเทียบเท่า

4.5.3 ฉนวนหลายชั้น (Multi-Stage Insulation)

เมื่อมีการใช้ฉนวนหลายชั้น ยกตัวอย่างเช่น หลังคา หรือ โครงสร้างที่มุงหลังคา ที่มีอากาศเป็นการป้องกันการนำไฟฟ้า โดยที่ชิ้นส่วนนำไฟฟ้าเปิดโล่งที่อยู่ระหว่างฉนวนพื้นฐาน และฉนวนเสริมถือว่าเป็นส่วนที่มีกระแสไฟฟ้า และต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ 3

4.5.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบลอยตัว

วงจรที่อยู่ในช่วงแรงดันไฟฟ้า III และ IV ที่ไม่ได้ทำการต่อฝากเข้ากับตัวรถขนส่งทางราง หรือ เรียกว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบลอยตัว จำเป็นต้องมีการป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยอ้อม และต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ 4.2 และ 4.3 รวมทั้งพิจารณาในข้อกำหนดที่ 5.1 เพิ่มเติม ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกแยกออกและไม่มีการต่อฝากเพื่อการป้องกัน ถือว่าไม่มีการป้องกันต่อการสัมผัสไฟฟ้าโดยอ้อม

4.5.5 การป้องกันอันตรายจากระบบไฟฟ้าของรถขนส่งทางรางที่มีการเคลื่อนที่แบบลอยตัว หรือรถขนส่งทางรางที่ล้อมีฉนวน ซึ่งไม่มีตัวนำลงดิน

- รายละเอียดตามข้อกำหนดที่ 4.4 ไม่สามารถนำมาใช้กับ การป้องกันล้อที่มีฉนวน หรือระบบการเคลื่อนที่แบบลอยตัว ที่ไม่มีตัวนำการป้องกันหรือสายดินป้องกันกับตัวรถขนส่งทางราง
- ตัวรถของรถขนส่งทางราง และชิ้นส่วนนำไฟฟ้าเปิดโล่งที่มีโอกาสสัมผัสได้ จำเป็นต้องมีฉนวนจากระบบจ่ายกระแสไฟฟ้า
- วงจรไฟฟ้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับรถขนส่งทางราง ไม่ควรมีแรงดันไฟฟ้าเกินขีดจำกัดที่ได้ออกแบบไว้ ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะผิดปกติ และควรมีการติดตั้งตัวนำลงดิน
- หากฉนวนชั้นใดชั้นหนึ่งผิดพลาดจะต้องสามารถตรวจจับได้โดยกระบวนการหรือแสดงผลผ่านอุปกรณ์ตรวจสอบ
- ระบบขนส่งที่มีรถขนส่งทางรางมีการเคลื่อนที่แบบลอยตัว หรือ รถขนส่งทางรางที่ล้อมีฉนวน ซึ่งไม่มีตัวนำลงดิน สามารถใช้ระบบจ่ายไฟฟ้าที่เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 62128-1 หรือเทียบเท่า ซึ่งเป็นมาตรฐานด้านระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับระบบราง และระบบขนส่งทางไฟฟ้าได้เท่านั้น

4.6 ข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับตลับลูกปืน

- ในรถขนส่งทางรางที่ไม่ใช่ตู้บรรทุกสินค้า ห้ามใช้ตลับลูกปืนเป็นตัวเชื่อมต่อกับชิ้นส่วนนำไฟฟ้าเปิดโล่ง (exposed conductive parts)
- ตู้บรรทุกสินค้า ไม่ควรใช้ตลับลูกปืนเป็นตัวเชื่อมต่อกับชิ้นส่วนนำไฟฟ้าเปิดโล่ง ซึ่งมีความเสี่ยงที่กระแสไฟฟ้าอาจทำให้ลูกปืนมีความเสียหาย

5. วงจรแปลงกระแสไฟฟ้า (Power Circuit)

5.1 หลักการทั่วไป

วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าแนะนำให้มีรายละเอียดการออกแบบ และคุณลักษณะของวงจรแปลงกระแสไฟฟ้า ดังนี้

- การออกแบบวงจรแปลงกระแสไฟฟ้าต้องมั่นใจได้ว่ากระแสไฟฟ้าทั้งหมดจะถูกส่งกลับไปยังแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย หรือ ความเสี่ยงของไฟฟ้าดูด
- หากมีการใช้ขั้วต่อแบบเลื่อนหรือแบบยืดหยุ่น ระหว่างตัวรถ โบกี้ และรางเดินรถจะต้องมีเส้นทางนำกระแสไฟฟ้าอย่างน้อย 2 เส้นทางต่อหน่วย และหากเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเกิดความล้มเหลว หรือ เสียหาย ต้องไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อไฟฟ้าดูด
- ขนาดของตัวนำกระแสไฟฟ้าต้องมีขนาดที่เหมาะสมเพื่อรองรับกระแสไฟฟ้าทั้งหมดที่อาจไหลผ่านได้ รวมถึงต้องพิจารณากระแสไฟฟ้าผิดพลาด (fault currents) และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรางเดินรถ
- ตลับลูกปืนไม่ควรใช้เป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางการนำกระแสไฟฟ้า และต้องคำนึงถึงขีดจำกัดกระแสไฟฟ้าตามที่ผู้ผลิตลูกปืนกำหนดไว้
- หากส่วนใดส่วนหนึ่งของเส้นทางนำกระแสไฟฟ้าถูกรวมเข้าด้วยกับการป้องกันกระแสรั่วไหล หรือ ระบบการต่อลงดินของรถขนส่งทางรางต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ 4 เพิ่มเติม

- เพื่อป้องกันความเสี่ยงหรือความเสียหายจากไฟฟ้าดูด ที่ได้รับกระแสไฟฟ้าโดยตรงจากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าภายนอก ต้องมีวิธีที่สามารถตรวจจับความล้มเหลวของเส้นทางนำกระแสไฟฟ้ากลับได้ เช่น การกำหนดขั้นตอน การใช้อุปกรณ์เฉพาะตรวจสอบ
- กระแสย้อนกลับ (current return) สามารถปฏิบัติตามคำแนะนำในข้อใดข้อหนึ่งได้ตามด้านล่างนี้ ซึ่งหน่วยงานของการรถไฟต้องเป็นผู้รับผิดชอบในการเลือกใช้ และต้องเป็นไปตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดที่ 5.2 หรือ 5.3

5.2 วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าที่แยกออกจากตัวรถหรือโบกี้

วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าที่แยกออกจากตัวรถหรือโบกี้ ต้องมีเส้นทางนำกระแสไฟฟ้าอย่างน้อยหนึ่งเส้นทางที่มีการป้องกันจากตัวรถของรถขนส่งทางราง หรือจากชิ้นส่วนนำไฟฟ้าเปิดโล่งและสัมผัสได้ เพื่อให้สามารถนำกระแสไฟฟ้ากลับจากอุปกรณ์ไฟฟ้าไปยังระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า

5.3 วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้ตัวรถหรือโบกี้เป็นเส้นทางนำกระแสกลับ

การเชื่อมต่อวงจรแปลงกระแสไฟฟ้าโดยใช้ตัวรถหรือโบกี้เป็นเส้นทางนำกระแสกลับแนะนำให้มีคุณลักษณะ ดังนี้

- เส้นทางนำกระแสกลับต้องใช้ชิ้นส่วนที่มีหน้าตัดเพียงพอต่อการนำกระแสกลับโดยไม่ก่อให้เกิดความร้อนสะสม, การกัดกร่อนทางไฟฟ้าหรือการสึกหรอที่มีผลกระทบต่อโครงสร้าง และชิ้นส่วนทางกลของตัวรถขนส่งทางราง และรางวิ่ง
- ค่าความต่างศักย์ระหว่างจุดใด ๆ บนตัวรถหรือโบกี้ต้องไม่สูงพอที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าดูด
- หากมีการเชื่อมต่อกับแหล่งพลังงานไฟฟ้าภายนอกต้องปฏิบัติตามมาตรการป้องกันเพิ่มเติมที่ระบุไว้ในข้อกำหนดที่ 4.4.4

6. ข้อกำหนดเพิ่มเติมของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือชิ้นส่วนที่มีไฟที่อาจมีกระแสไฟฟ้าเหลืออยู่หลังจากตัดแหล่งจ่ายไฟฟ้า

6.1 ข้อกำหนดทั่วไป

ต้องมีมาตรการป้องกันไฟฟ้าดูดสำหรับชิ้นส่วนที่ยังมีกระแสไฟฟ้าคงเหลืออยู่หลังจากที่ตัดแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

6.2 อุปกรณ์รับกระแสไฟฟ้า (Current Collectors)

นอกเหนือจากข้อกำหนดที่ระบุไว้ในข้อที่ 5 จำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันการสัมผัสโดยไม่ได้ตั้งใจหรือการลัดวงจรของอุปกรณ์รับกระแสไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าเหนือศีรษะ (Overhead Current Collector) และสายส่งไฟฟ้าเหนือศีรษะ (contact wire) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- สำหรับอุปกรณ์รับกระแสไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าเหนือศีรษะ และส่วนตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าปกติที่ใช้ช่วงแรงดันไฟฟ้า III ให้ตรวจสอบรายละเอียดเพิ่มเติมในข้อกำหนดที่ 3.3.1.3
- สำหรับอุปกรณ์รับกระแสไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าเหนือศีรษะ และส่วนตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าปกติที่ใช้ช่วงแรงดันไฟฟ้า IV ให้ตรวจสอบรายละเอียดเพิ่มเติมในข้อกำหนดที่ 3.3.2.1
- สำหรับอุปกรณ์รับกระแสไฟฟ้า (shoe gear) ที่รับกระแสไฟฟ้าจากรางที่ 3 หรือรางจ่ายไฟฟ้าที่อยู่ใกล้ขอบชานชาลา ต้องเป็นไปตามกำหนดในข้อกำหนดที่ 3.3

6.3 ตัวเก็บประจุ (Capacitors)

สำหรับตัวเก็บประจุที่อาจยังคงมีประจุไฟฟ้าคงเหลืออยู่และมีโอกาสเกิดการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรง ต้องมีมาตรการป้องกันเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีความเสี่ยงต่อไฟฟ้าดูด ซึ่งต้องมีมาตรการลดความเสี่ยงจากไฟฟ้าดูด โดยอาจมีการออกแบบวงจรที่มีการคายประจุในตัว (Integral Discharge Circuit) หรือการใช้กระบวนการที่กำหนดวิธีการปฏิบัติงานเพื่อให้แน่ใจว่าประจุไฟฟ้าถูกปล่อยออกจนปลอดภัย ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ข้อกำหนดของวงจรคายประจุในตัว

- ต้องเป็นระบบที่เชื่อถือได้ หรือ ในกรณีจำเป็นต้องมีระบบสำรองการคายประจุ (Redundant System)
- ต้องเชื่อมต่อโดยตรงกับตัวเก็บประจุ หรือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการคายประจุ
- ต้องไม่ใช้อุปกรณ์ที่มีโอกาสตัดการเชื่อมของการคายประจุโดยอัตโนมัติ
- ระบบคายประจุต้องสามารถลดแรงดันไฟฟ้าคงเหลือให้ต่ำกว่า 60 โวลต์ (V) ภายในระยะเวลาที่กำหนดซึ่งอ้างอิงได้จากรายละเอียดการบำรุงรักษาของตัวเก็บประจุ
- วิธีการคายประจุเพิ่มเติมสามารถใช้วงจรคายประจุเพิ่มเติม ที่อาจมีกลไกเปิดใช้งานด้วยอุปกรณ์ป้องกันอัตโนมัติโดยมีลักษณะของอุปกรณ์ที่กำหนดไว้ในข้อที่ 3.3 หรือวิธีการคายประจุแบบต่าง ๆ ที่สามารถลดระยะเวลาการคายประจุให้สั้นลง
- ในกรณีที่ใช้ชุดอุปกรณ์คายประจุแบบแยกต่างหาก โดยอุปกรณ์จำเป็นต้องมีจุดเชื่อมต่อที่เหมาะสม สามารถตรวจสอบสถานะระดับไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ และสามารถคายประจุได้ด้วยหากจำเป็น
- นอกจากนี้ต้องมีป้ายเตือนที่มองเห็นได้ชัดเจน ติดอยู่บนอุปกรณ์หรือฝาครอบของอุปกรณ์อย่างถาวร โดยระบุถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นพร้อมทั้งกระบวนการในการแก้ปัญหาเบื้องต้นในการจัดการ

6.4 อุปกรณ์ปลั๊กและเต้ารับ

6.4.1 อุปกรณ์ไฟฟ้าแบบพกพา

เต้ารับหรือปลั๊กไฟฟ้า จุดเชื่อมต่อต่าง ๆ ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ใช้งานระหว่างการเดินทางโดยรถขนส่งทางราง เช่น เตาอบ ตู้เย็น อื่น ๆ และอุปกรณ์สำหรับการบำรุงรักษาภายในตัวรถขนส่งทางราง เช่น เครื่องดูดฝุ่น อื่น ๆ ควรมีลักษณะ ดังนี้

- การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าแบบพกพาควรได้รับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าของช่วงแรงดันไฟฟ้า III จากตัวรถขนส่งทางราง
- มีการเชื่อมต่อสายดิน
- มีการต่อฝากไฟฟ้าเสมอเพื่อการป้องกัน (Protective Equipotential Bonding)
- ควรมีการป้องกันเพิ่มเติมด้วยอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่ว (Residual Current Device – RCD) ตามคำแนะนำในข้อกำหนดที่ 415.1 ของมาตรฐาน IEC 60364-4-41:2005 หรือเทียบเท่า
- เต้ารับหรือปลั๊กไฟฟ้าที่อยู่ในห้องโดยสารหรือเต้ารับที่ถูกสงวนไว้สำหรับการซ่อมบำรุงต้องได้รับการป้องกัน เช่น ใช้ฝาครอบหรือม่านปิดภายในเต้ารับ
- เต้ารับสำหรับเครื่องโกนหนวดไฟฟ้าต้องได้รับกระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงแยกไฟฟ้า (isolating transformer) ที่มีการแยกป้องกันระหว่างขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิ

เต้ารับสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบพกพา ที่มีโอกาสใช้งานภายนอกตัวรถ ต้องได้รับการป้องกันโดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

- Safety extra low voltage (SELV) ที่กำหนดในข้อกำหนดที่ 3.4
- การตัดกระแสไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ โดยใช้ อุปกรณ์ตรวจจับกระแสรั่ว (Residual Current Device – RCD) หรือ อุปกรณ์บังคับสัมพันธ์ (Interlocking Device)
- การแยกทางไฟฟ้าอย่างปลอดภัยของวงจร โดยใช้ หม้องแปลงไฟฟ้าแบบแยกขด (Isolating transformer)

6.4.2 ขั้วต่อระหว่างรถขนส่งทางรางและขั้วต่อภายในรถขนส่งทางราง

อุปกรณ์เต้ารับและปลั๊กสำหรับระบบขับเคลื่อนในโรงซ่อมรวมถึงระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าเสริมของขบวนรถไฟ ที่อาจก่อให้เกิดไฟฟ้าดูด หรือ ประกายไฟ ขณะถอดปลั๊กออกและมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน การป้องกันสามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์บังคับสัมพันธ์ (Interlocking Device) หรือกระบวนการที่กำหนดไว้

6.5 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าพิเศษที่ต้องมีมาตรการป้องกันเพิ่มเติม

6.5.1 บททั่วไป

สำหรับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าพิเศษที่ไม่สามารถใช้ข้อกำหนดที่ให้ไว้ในข้อ 3 ได้หรือไม่เพียงพอ ซึ่งข้อกำหนดต่อไปนี้สามารถกำหนดเพิ่มเติมเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดในการป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรงกับส่วนที่มีไฟได้ ตัวอย่างของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าเหล่านี้ได้แก่

- แบตเตอรี่
- แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
- ตัวเหนี่ยวนำที่มีกระแสไฟฟ้าสูง

6.5.2 ส่วนที่มีไฟที่ไม่จำเป็นต้องใช้มาตรการป้องกัน

แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าในช่วงแรงดันไฟฟ้ามากกว่าช่วง I ที่มีฉนวนที่ปลอดภัย ค่ากระแสไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ถูกจำกัดให้อยู่ในค่าที่ปลอดภัย เป็นไปตามเงื่อนไขและเกณฑ์ที่กำหนดไว้ใน IEC TS 60479-1 หรือเทียบเท่า ไม่จำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันสำหรับส่วนที่มีกระแสไฟฟ้า

6.5.3 ส่วนที่มีไฟที่ต้องใช้มาตรการป้องกัน

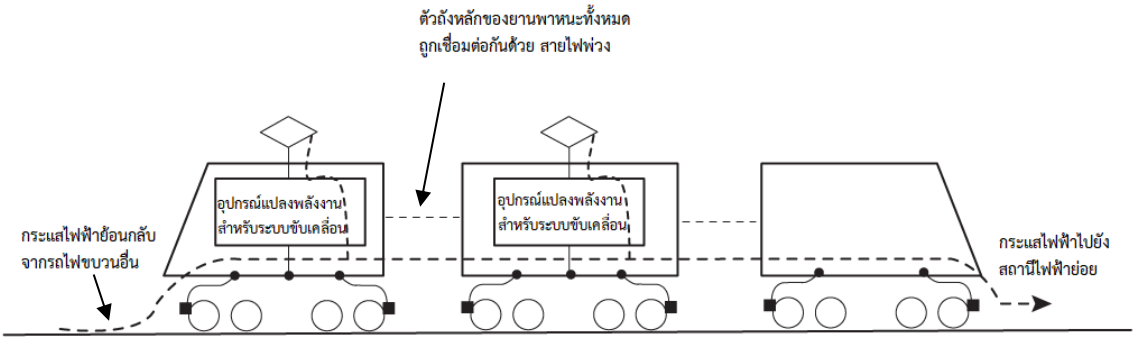
ต้องมีมาตรการป้องกันสำหรับส่วนที่มีไฟที่ใช้ช่วงแรงดันไฟฟ้า II หรือต่ำกว่า โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ส่วนที่มีไฟที่มีพลังงานไฟฟ้าสูงและอาจก่อให้เกิดไฟฟ้าดูด
- ส่วนที่มีไฟที่ไม่มีอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินพิกัด (Overcurrent Protection Device) หรือในกรณีที่อุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินไม่พิกัดที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ยกตัวอย่าง เช่น วงจรแบตเตอรี่ ซึ่งอันตรายหลักมาจากการเกิดความร้อนหรือเผาไหม้ อันเนื่องมาจากวัตถุที่สัมผัสกับขั้วไฟฟ้า

ภาคผนวก

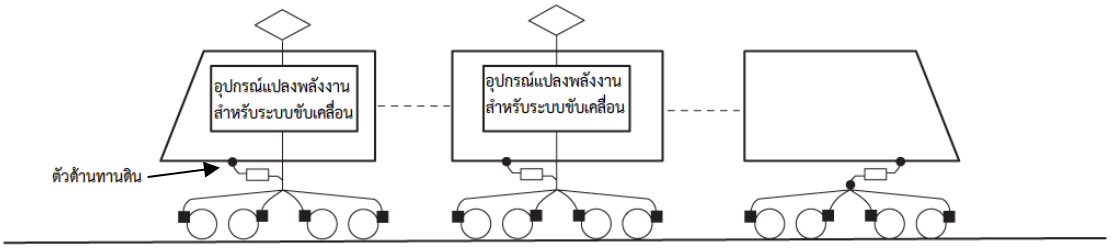
ตัวอย่างแนวทางแก้ไขสำหรับการจัดการค่าความต้านทานในขบวนรถไฟฟ้า (Electric Multiple Units – EMUs)

ค่าความต้านทานที่มีค่าต่ำของการเชื่อมต่อสายดินระหว่างตัวรถหลักของรถขนส่งทางราง และตัวนำป้องกัน ซึ่งโดยปกติแล้วคือรางรถไฟ เป็นสิ่งจำเป็นของการป้องกันอันตรายทางไฟฟ้าจากการสัมผัสสื่อนำไฟฟ้าบนตัวรถขนส่งทางราง อย่างไรก็ตาม การเชื่อมต่อสายดินที่มีค่าความต้านทานต่ำมีความเสี่ยงที่จะเกิดกระแสย้อนกลับ (current return) เหตุผลเนื่องมาจากค่าความต้านทานของตัวรถของรถขนส่งทางรางมีค่าต่ำกว่ารางรถไฟ ซึ่งส่งผลให้กระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับไปยังตู้โดยสารที่ปลายของขบวนรถ และกระแสย้อนกลับ (current return) ยังส่งผลกระทบที่ก่อให้เกิดความเสียหายของอุปกรณ์แปรงถ่านที่ตัวแคร่ หรือ ตลับลูกปืนของล้อเสียหายได้



รูปที่ 1. การรวมตัวของกระแสไฟฟ้าส่งคืนแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (Concentration of Return Current) (อ้างอิงจากมาตรฐาน IEC 61991 Figure C.1)

ความผิดปกตินี้มีแนวโน้มเกิดขึ้นมากในขบวนรถไฟฟ้า (EMUs) ที่มีความยาวมากกว่า 200 เมตร ดังนั้นรถขนส่งทางรางในขบวนรถไฟที่มีความยาวมาก อาจมีการเพิ่มค่าความต้านทานเพิ่มเติม เช่น การติดตั้งตัวต้านทานลงดิน (earth resistors) ระหว่างตัวรถของรถขนส่งทางรางและแปรงถ่านลงดิน เพื่อป้องกันการดูดซับกระแสไฟฟ้ากลับ หากจำเป็น



รูปที่ 2. การติดตั้งตัวต้านทานลงดิน สำหรับขบวนรถ EMU ที่มีความยาวมาก
(อ้างอิงจากมาตรฐาน IEC 61991 Figure C.2)

รูปภาพที่ 2 การติดตั้งตัวต้านทานลงดินสำหรับขบวนรถ EMUs ที่มีความยาวมาก เพื่อป้องกันการดูดซับกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ โดยค่าความต้านทานระหว่างตัวรถหลักของรถขนส่งทางรางและตัวนำป้องกัน (protective conductor) ต้องมีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ในข้อที่ 4.4.3 ซึ่งค่าความต้านทานระหว่างตัวรถหลักของขบวนรถขนส่งทางรางและตัวนำป้องกันยังคงอยู่ในระดับต่ำเพียงพอ ตามค่าที่กำหนด ซึ่งการเชื่อมตัวต้านทานลงดินต้องต่อขนานกับตัวนำป้องกัน ดังนั้น ขบวนรถไฟ EMUs มีโอกาสน้อยมากที่ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นอันตรายหากตัวนำไฟฟ้ามีการสัมผัสกับตัวรถของขบวนรถไฟ

ตัวอย่างแนวทางการแก้ไข

ตัวรถของรถขนส่งทางรางและโครงแคร่สามารถเชื่อมต่อได้กับ บัสบาร์นำกระแสไฟฟ้าย้อนกลับ (Current Return Busbar) อุปกรณ์รับกระแสไฟฟ้าย้อนกลับ (Current Return Collectors) หรือ ในบางกรณีที่เหมาะสม เช่น สำหรับกระแสไฟฟ้าต่ำและไม่มีความเสี่ยงต่อความเสียหายของตลับลูกปืนสามารถเชื่อมต่อกับตลับลูกปืนของเพลาได้

ในวงจรป้องกันอาจจำเป็นต้องเชื่อมต่อโครงสร้างตัวรถของรถขนส่งทางรางเข้ากับตัวรับกระแสไฟฟ้ากลับผ่านตัวต้านทานหรือขดลวดเหนี่ยวนำ โดยอาจมีรายละเอียดดังนี้

- สร้างวงจรที่มีค่าความต้านทานสูงมากกว่าตัวนำของกระแสไฟฟ้าย้อนกลับ
- จำกัดกระแสไฟฟ้าไหลกลับที่ไหลผ่านตลับลูกปืนของเพลา

กรมการขนส่งทางราง
514/1 ถนนหลานหลวง แขวงสี่แยกมหานาค เขตดุสิต กรุงเทพ 10300
โทร: 02 164 2607 โทรสาร: 02 164 2606
https://www.drt.go.th