



กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

คู่มือ

การตรวจสอบความปลอดภัย ระบบไฟฟ้าในโรงงาน (ฉบับปรับปรุง 2563)



โครงการส่งเสริมและพัฒนาความปลอดภัยเกี่ยวกับการป้องกัน
และระงับอัคคีภัย และระบบไฟฟ้าในโรงงาน
กองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยโรงงาน
กรมโรงงานอุตสาหกรรม



กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

คู่มือ

การตรวจสอบความปลอดภัย ระบบไฟฟ้าในโรงงาน (ฉบับปรับปรุง 2563)



โครงการส่งเสริมและพัฒนาความปลอดภัยเกี่ยวกับการป้องกัน
และระงับอัคคีภัย และระบบไฟฟ้าในโรงงาน
กองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยโรงงาน
กรมโรงงานอุตสาหกรรม



กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

คู่มือการตรวจสอบความปลอดภัยระบบไฟฟ้าในโรงงาน (ฉบับปรับปรุง 2563)

ISBN : 978-616-265-207-3

โครงการ : โครงการส่งเสริมและพัฒนาความปลอดภัยเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย
และระบบไฟฟ้าในโรงงาน

เจ้าของสิทธิ์ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม
75/6 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
www.diw.go.th

จำนวนที่พิมพ์ : 400 เล่ม

คำเตือน : คู่มือนี้จัดทำขึ้นด้วยวัตถุประสงค์จะให้ความรู้แก่บุคลากรประจำโรงงาน
และเผยแพร่แก่ผู้ที่สนใจ เพื่อความปลอดภัยของสถานประกอบการและสาธารณะ
กรมโรงงานอุตสาหกรรมขอสงวนสิทธิ์ ห้ามมิให้ผู้ใดนำส่วนหนึ่งส่วนใด
หรือตอนหนึ่งตอนใดในคู่มือนี้ ไปคัดลอก คัดสำเนา ถ่ายฟิล์ม ถ่ายเอกสาร
หรือจัดพิมพ์โดยวิธีใดๆ เพื่อนำไปจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

คำนำ

คู่มือการตรวจสอบความปลอดภัยระบบไฟฟ้าในโรงงาน (ฉบับปรับปรุง 2563) จัดทำขึ้น โดยได้ทบทวนและปรับปรุงเนื้อหาจาก “คู่มือการตรวจสอบความปลอดภัยระบบไฟฟ้าโรงงาน (ฉบับปรับปรุงใหม่ 2559)” ให้สอดคล้องกับมาตรฐานและเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาส่วนที่เป็นความรู้พื้นฐานทางไฟฟ้า มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า มาตรฐานการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณอันตราย และการตรวจสอบระบบไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเป็นเครื่องมือในการถ่ายทอดความรู้และส่งเสริมให้เกิดความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงานที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยได้ง่าย รวมถึงการปฏิบัติตามกฎหมายด้านความปลอดภัยเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าในโรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นำไปสู่การพัฒนาธุรกิจภาคอุตสาหกรรม อันไม่เกิดเป็นอุปสรรคในการประกอบกิจการโรงงาน โดยเฉพาะเรื่องการเกิดอุบัติเหตุ อุบัติภัยภายในโรงงาน

กรมโรงงานอุตสาหกรรม หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้จะช่วยสร้างความรู้ความเข้าใจพื้นฐานด้านความปลอดภัยระบบไฟฟ้าแก่บุคลากรที่ปฏิบัติงานในโรงงาน และสามารถนำความรู้ไปพัฒนาเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในโรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

กองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยโรงงาน

กรมโรงงานอุตสาหกรรม

พฤษภาคม 2563

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	
บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานทางไฟฟ้า	1-1
1.1 ไฟฟ้าเบื้องต้น	1-1
1.2 วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น	1-3
1.3 การอ่านแบบไฟฟ้าแสงสว่าง ไฟฟ้ากำลัง และงานควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า	1-9
1.4 การอ่านและใช้เครื่องวัดไฟฟ้า	1-13
1.5 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์ไฟฟ้า	1-20
1.6 อันตรายจากไฟฟ้า	1-63
1.7 ความปลอดภัยทางไฟฟ้าในสถานที่ทำงาน	1-73
1.8 ไฟฟ้าสถิต	1-78
บทที่ 2 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า	2-1
2.1 ข้อกำหนดทั่วไปในการติดตั้งทางไฟฟ้า	2-1
2.2 มาตรฐานสายไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า	2-12
2.3 ข้อกำหนดการเดินสายและวัสดุ	2-38
2.4 การต่อลงดิน	2-59
บทที่ 3 มาตรฐานการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณอันตราย	3-1
3.1 การจำแนกบริเวณอันตราย	3-1
3.2 การจำแนกเป็นประเภทและแบบ	3-3
3.3 การจำแนกเป็นโซน	3-7
3.4 วิธีเดินสายสำหรับการจำแนกเป็นประเภทและแบบ	3-10
3.5 วิธีเดินสายสำหรับการจำแนกเป็นโซน	3-14
3.6 การเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในบริเวณอันตราย	3-16
บทที่ 4 การตรวจสอบระบบไฟฟ้า	4-1
4.1 การตรวจสอบทั่วไป	4-1
4.2 การตรวจสอบอุปกรณ์	4-3
4.3 การตรวจสอบในบริเวณอันตราย	4-17
4.4 การรายงานผลการตรวจสอบ	4-18

4.5 ความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงรักษา 4-18

ภาคผนวก ก แบบบันทึกข้อมูลด้านความปลอดภัยระบบไฟฟ้าในโรงงาน ก-1

ภาคผนวก ข กฎหมายและข้อแนะนำเกี่ยวกับเกณฑ์คุณภาพการส่องสว่าง ข-1

ภาคผนวก ค กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้า ค-1

บรรณานุกรม บรรณานุกรม-1

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	สัญลักษณ์แสดงการระบายความร้อน	1-24
ตารางที่ 1.2	ลักษณะการระบายความร้อน	1-24
ตารางที่ 1.3	ขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับหม้อแปลง	1-25
ตารางที่ 1.4	ชั้นการใช้งาน (utilization categories) ตามมาตรฐาน IEC	1-40
ตารางที่ 1.5	ความสูงของห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	1-45
ตารางที่ 1.6	การตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าของบุคคล (สำหรับบุคคลที่มีน้ำหนัก 68 กิโลกรัม)	1-66
ตารางที่ 1.7	Degree of Protection ตามมาตรฐาน IEC 60529 และ มอก. 513-2553	1-68
ตารางที่ 1.8	ขอบเขตพื้นที่การเข้าใกล้ส่วนของวงจรไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าที่มีไฟ เพื่อป้องกันไฟฟ้าดูด (มิติทั้งหมดคือระยะจากส่วนของวงจรไฟฟ้าหรือ ตัวนำไฟฟ้าที่มีไฟถึงตัวผู้ปฏิบัติงาน)	1-75
ตารางที่ 2.1	ระยะห่างต่ำสุดตามแนวนอนระหว่างสายไฟฟ้ากับสิ่งก่อสร้าง เมื่อสายไฟฟ้าไม่ได้ยึดติดกับสิ่งก่อสร้าง (เมตร) (minimum horizontal clearance)	2-2
ตารางที่ 2.2	ระยะห่างต่ำสุดตามแนวตั้งระหว่างสายไฟฟ้า(7)กับพื้น แล่งน้ำ อาคาร หรือสิ่งก่อสร้างอื่น ๆ (เมตร) (minimum vertical clearance)	2-3
ตารางที่ 2.3	ความลึกในการติดตั้งใต้ดิน สำหรับระบบแรงต่ำ	2-5
ตารางที่ 2.4	พื้นที่หน้าตัดสูงสุดรวมของสายไฟทุกเส้นคิดเป็นร้อยละเทียบกับ พื้นที่หน้าตัดของท่อ	2-9
ตารางที่ 2.5	ขนาดกระแสของสับบาร์ทองแดงตามมาตรฐาน DIN 43671	2-19
ตารางที่ 2.6	การเลือกใช้ตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า	2-38
ตารางที่ 2.7	รูปแบบการติดตั้ง	2-39
ตารางที่ 2.8	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน PVC มี/ไม่มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U ₀ /U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิ โดยรอบ 40 °C เดินร้อยท่อในอากาศ	2-40

ตารางที่ 2.9	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U ₀ /U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 70 °C หรือ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินเกาะผนังในอากาศ	2-41
ตารางที่ 2.10	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U ₀ /U) ไม่เกิน 450/750 V. อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ	2-42
ตารางที่ 2.11	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U ₀ /U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิ โดยรอบ 40 °C เดินร้อยในท่อในอากาศ	2-43
ตารางที่ 2.12	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U ₀ /U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิ โดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ ไม่มีฝาปิด หรือ รางเคเบิลแบบแบนได	2-44
ตารางที่ 2.13	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U ₀ /U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิ โดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ ไม่มีฝาปิด หรือ รางเคเบิลแบบแบนได	2-45
ตารางที่ 2.14	ตัวคูณค่าอุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ใช้กับค่าขนาดกระแส ของเคเบิล เมื่อเดินในอากาศ	2-46
ตารางที่ 2.15	ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสเนื่องจากจำนวนสาย ที่นำกระแสในช่องเดิน สายไฟฟ้าเดียวกันมากกว่า 1 กลุ่มวงจร	2-47
ตารางที่ 2.16	ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดียววางบนรางเคเบิล เป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร	2-48
ตารางที่ 2.17	ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลหลายแกนวางบนราง เคเบิล เป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร	2-49
ตารางที่ 2.18	ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ	2-65
ตารางที่ 2.19	ขนาดต่ำสุดของสายดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า	2-65
ตารางที่ 3.1	เทคนิคการป้องกันของอุปกรณ์ไฟฟ้าและบริเวณอันตรายที่ใช้ได้ (กรณีการจำแนกเป็นประเภทที่และแบบที่)	3-18
ตารางที่ 3.2	เทคนิคการป้องกันของอุปกรณ์ไฟฟ้าและบริเวณอันตรายที่ใช้ได้ (กรณีการจำแนกเป็นโซน 0 โซน 1 โซน 2)	3-19

ตารางที่ 3.3	เทคนิคการป้องกันของอุปกรณ์ไฟฟ้าและบริเวณอันตรายที่ใช้ได้ (กรณีการจำแนกเป็นโซน 20 โซน 21 โซน 22)	3-20
ตารางที่ 3.4	สัญลักษณ์อุณหภูมิที่ผิวของอุปกรณ์ไฟฟ้า (ตามการจำแนกเป็นประเภท ที่และแบบที่)	3-20
ตารางที่ 3.5	สัญลักษณ์อุณหภูมิที่ผิวของอุปกรณ์ไฟฟ้า (ตามการจำแนกโซน)	3-20
ตารางที่ 3.6	ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มสารติดไฟได้ประเภทก๊าซหรือไอระเหยตาม มาตรฐาน NEC และ IEC	3-23
ตารางที่ 3.7	ตัวอย่างลักษณะอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดป้องกันการระเบิด	3-24
ตารางที่ 4.1	ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงน้ำมัน	4-19
ตารางที่ 4.2	ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงชนิดแห้ง	4-20
ตารางที่ 4.3	ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	4-21
ตารางที่ 4.4	ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาแผงสวิตช์ (แรงสูงและแรงต่ำ)	4-22
ตารางที่ 4.5	ตารางการตรวจแผงย่อย	4-24
ตารางที่ 4.6	ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษา ACB และ VCB	4-25
ตารางที่ 4.7	ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาโมลเนสเซอร์กิตเบรกเกอร์	4-26
ตารางที่ 4.8	ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาฟิวส์แรงต่ำ	4-27
ตารางที่ 4.9	ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาสวิตช์ไบเมทัล (LV & MV)	4-28
ตารางที่ 4.10	ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษามอเตอร์	4-29
ตารางที่ 4.11	ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า	4-30
ตารางที่ 4.12	ตารางการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในบริเวณอันตรายประเภทที่ 1	4-31
ตารางที่ 4.13	ตารางการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในบริเวณอันตรายประเภทที่ 2	4-32
ตารางที่ 4.14	ตารางการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในบริเวณอันตรายประเภทที่ 3	4-33

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1	วงจรแสดงการไหลของกระแสไฟฟ้า
รูปที่ 1.2	กระแสไฟฟ้าไหลไม่ได้เมื่อปิดสวิตช์
รูปที่ 1.3	กระแสไฟฟ้าไหลไม่ได้เมื่อเปิดสวิตช์
รูปที่ 1.4	วงจร 1 เฟส 2 สาย
รูปที่ 1.5	วงจร 3 เฟส 4 สาย
รูปที่ 1.6	การจ่ายไฟฟ้าแบบ 3 เฟส 4 สาย
รูปที่ 1.7	วงจรอนุกรม
รูปที่ 1.8	วงจรขนาน
รูปที่ 1.9	ตัวอย่างแผนภาพเส้นเดียว
รูปที่ 1.10	ตัวอย่างของแบบแสดงตำแหน่ง
รูปที่ 1.11	ตัวอย่างแบบแสงสว่าง
รูปที่ 1.12	ตัวอย่างแบบการเดินสายวงจรมอเตอร์ (ซ้าย) และวงจรควบคุม (ขวา)
รูปที่ 1.13	ตัวอย่างเครื่องวัดมัลติมิเตอร์
รูปที่ 1.14	ซีล็กเตอร์สวิตช์
รูปที่ 1.15	การแสดงค่าวัดแรงดันกระแสตรงและกระแสสลับ
รูปที่ 1.16	การแสดงค่าวัดกระแสตรง
รูปที่ 1.17	หน้าปัดแสดงค่าความต้านทาน
รูปที่ 1.18	วงจรมาตรพลังงาน
รูปที่ 1.19	ตัวอย่างเครื่องวัดชนิดคล่องสาย
รูปที่ 1.20	การวัดกระแสไฟฟ้าสลับด้วยเครื่องวัดชนิดคล่องสาย
รูปที่ 1.21	เมกกะโอห์มมิเตอร์
รูปที่ 1.22	ตัวอย่างการวัดค่าความต้านทานฉนวนของสายไฟฟ้าชนิดหลายแกน
รูปที่ 1.23	ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้า
รูปที่ 1.24	วงจรหม้อแปลง 1 เฟส
รูปที่ 1.25	ตัวอย่างการนำหม้อแปลง 1 เฟส มาต่อเป็นแบบเดลต้า-วาย
รูปที่ 1.26	ตัวอย่างหม้อแปลง 3 เฟส แบบเดลต้า-วาย
รูปที่ 1.27	หม้อแปลงชนิดแห้ง

รูปที่ 1.28	หม้อแปลงชนิดฉนวนน้ำมันแบบมีถังพักน้ำมัน	1-23
รูปที่ 1.29	ตัวอย่างห้องหม้อแปลง	1-27
รูปที่ 1.30	ตัวอย่างลานหม้อแปลง	1-28
รูปที่ 1.31	ตัวอย่างนั่งร้านหม้อแปลง	1-29
รูปที่ 1.32	ตัวอย่างฐานเสาของนั่งร้านหม้อแปลง ขนาด 4.5 ตัน	1-30
รูปที่ 1.33	ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก	1-31
รูปที่ 1.34	การหมุนและการเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์กระแสตรง	1-31
รูปที่ 1.35	คอมมิวเตเตอร์และอาเมเจอร์	1-32
รูปที่ 1.36	ตัวอย่างแปรงถ่าน	1-32
รูปที่ 1.37	โครงสร้างของซีรีมอเตอร์	1-33
รูปที่ 1.38	วงจรซีรีมอเตอร์	1-33
รูปที่ 1.39	วงจรมอเตอร์แบบขนาน	1-33
รูปที่ 1.40	วงจรมอเตอร์แบบผสม	1-34
รูปที่ 1.41	วงจรสปลิตเฟสมอเตอร์	1-35
รูปที่ 1.42	การกลับทางหมุนของสปลิตเฟสมอเตอร์	1-35
รูปที่ 1.43	วงจรและการปรับความเร็วของคาปาซิเตอร์มอเตอร์	1-35
รูปที่ 1.44	การกลับทางหมุนของมอเตอร์ชนิดยูนิเวอร์แซล	1-36
รูปที่ 1.45	วงจรมอเตอร์	1-38
รูปที่ 1.46	เวลาในการปลดวงจรของโอเวอร์โวลต์รีเลย์ Class ต่าง ๆ	1-39
รูปที่ 1.47	เครื่องป้องกันอุณหภูมิสูงเกิน	1-40
รูปที่ 1.48	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	1-43
รูปที่ 1.49	แสดงการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และตำแหน่งของอากาศเข้า	1-46
รูปที่ 1.50	แสดงตำแหน่งช่องอากาศเข้า – ออกที่เหมาะสมและไม่เหมาะสม	1-46
รูปที่ 1.51	แสดงตำแหน่งช่องอากาศเข้า – ออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบรังผึ้ง ระบายความร้อนแยกและแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	1-47
รูปที่ 1.52	แสดงตำแหน่งของช่องอากาศเข้าห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสม	1-48
รูปที่ 1.53	แสดงกำแพงกันลมหรือกันเสียง (wind / noise barrier)	1-48
รูปที่ 1.54	หลอดไส้	1-53
รูปที่ 1.55	หลอดทังสเตนฮาโลเจน	1-53
รูปที่ 1.56	หลอดฟลูออเรสเซนต์	1-54
รูปที่ 1.57	หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์	1-54
รูปที่ 1.58	หลอดไอปรอทความดันสูง	1-55

รูปที่ 1.59	หลอดเมทัลฮาไลด์	1-55
รูปที่ 1.60	หลอดไอโซเดียมความดันต่ำ	1-56
รูปที่ 1.61	หลอดไอโซเดียมความดันสูง	1-56
รูปที่ 1.62	หลอดแอลอีดี	1-57
รูปที่ 1.63	หม้อแปลง	1-57
รูปที่ 1.64	บัลลาสต์	1-58
รูปที่ 1.65	สตาร์ทเตอร์	1-58
รูปที่ 1.66	ตัวขับเคลื่อนกระแส	1-58
รูปที่ 1.67	คอมไฟไฮเบย์	1-59
รูปที่ 1.68	คอมไฟเปลือย	1-59
รูปที่ 1.69	คอมไฟดาวนไลท์	1-60
รูปที่ 1.70	คอมไฟเสาแสง	1-60
รูปที่ 1.71	คอมไฟสำหรับวัตถุประสงค์การใช้งานเฉพาะ	1-61
รูปที่ 1.72	การให้แสงสว่างทั่วพื้นที่	1-61
รูปที่ 1.73	การให้แสงสว่างเฉพาะที่	1-62
รูปที่ 1.74	การให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่ง	1-63
รูปที่ 1.75	วงจรการเกิดไฟฟ้าดูด	1-64
รูปที่ 1.76	เส้นทางไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านบุคคล	1-64
รูปที่ 1.77	กราฟแสดงขนาดกระแส/ระยะเวลาของความปลอดภัยจากกระแสไฟฟ้า ที่ไหลผ่านร่างกายตาม IEC 60479-1:2016	1-67
รูปที่ 1.78	ตัวอย่างการสัมผัสโดยตรง	1-67
รูปที่ 1.79	ตัวอย่างอุปกรณ์ lockout-tagout	1-69
รูปที่ 1.80	ตัวอย่างอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล	1-69
รูปที่ 1.81	ตัวอย่างการสัมผัสโดยอ้อม	1-70
รูปที่ 1.82	ตัวอย่างเครื่องหมายฉนวน 2 ชั้น	1-71
รูปที่ 1.83	ตัวอย่างความเสียหายจากการระเบิดจากอาร์ก	1-73
รูปที่ 1.84	ขอบเขตพื้นที่ต่าง ๆ ตามมาตรฐาน NFPA 70E	1-73
รูปที่ 1.85	ขั้นตอนการเลือกวิธีป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า	1-76
รูปที่ 1.86	การเกิดไฟฟ้าสถิต	1-78
รูปที่ 1.87	การต่อฝาก	1-80
รูปที่ 1.88	การต่อลงดินเพื่อลดการเกิดประกายไฟ	1-81

รูปที่ 1.89	ตัวอย่างการต่อสายดิน (grounding) และการต่อฝาก (bonding) เพื่อป้องกันไฟฟ้าสถิตขณะทำการถ่ายของเหลวไวไฟจากถังจัดเก็บ	1-82
รูปที่ 1.90	heavy duty clamp with tungsten carbide contact	1-82
รูปที่ 1.91	medium duty clamp	1-83
รูปที่ 1.92	medium duty cast aluminium clamp	1-83
รูปที่ 1.93	c-clamp	1-83
รูปที่ 1.94	pipe clamp	1-84
รูปที่ 1.95	screw-down clamp	1-84
รูปที่ 2.1	ตัวอย่างการต่อสายใต้ดินแรงต่ำโดยใช้อุปกรณ์การต่อสาย	2-5
รูปที่ 2.2	ตัวอย่างการเดินสายใต้ดิน	2-6
รูปที่ 2.3	การใช้หุ้มท่อเพื่อป้องกันน้ำเข้าท่อ	2-6
รูปที่ 2.4	ตัวอย่างการป้องกันสายชำรุด	2-7
รูปที่ 2.5	การเดินสายควบและการแบ่งไหลกระแส	2-8
รูปที่ 2.6	การเดินสายควบ ในท่อเดียวกันต้องมีสายครบทุกเฟสรวมสายนิวทรัล และสายดิน	2-8
รูปที่ 2.7	ตัวอย่างการเดินสายที่ไม่ถูกต้อง (ร้อยสายเฟสละท่อ)	2-8
รูปที่ 2.8	การป้องกันกระแสเหนี่ยวนำเมื่อเดินสายผ่านรูของแผ่นโลหะ	2-9
รูปที่ 2.9	ตัวอย่างการร้อยสายที่ไม่ถูกต้อง (ที่ถูกต้องจะต้องร้อยสายรวมในรูเดียวกัน)	2-9
รูปที่ 2.10	ตัวอย่างการอุดพื้นเพื่อป้องกันไฟลุกลาม	2-11
รูปที่ 2.11	การติดตั้งซีลเพื่อป้องกันการไหลเวียนของอากาศ	2-11
รูปที่ 2.12	สายรหัสชนิด IEC 01	2-13
รูปที่ 2.13	สายรหัสชนิด IEC 10	2-13
รูปที่ 2.14	สายรหัสชนิด VAF	2-13
รูปที่ 2.15	สายรหัสชนิด NYY	2-14
รูปที่ 2.16	สายรหัสชนิด VCT	2-14
รูปที่ 2.17	สายรหัสชนิด CV	2-15
รูปที่ 2.18	สายไฟฟ้าทนไฟ	2-15
รูปที่ 2.19	แผงสวิตช์	2-17
รูปที่ 2.20	รูปแบบของการแยกภายใน	2-17
รูปที่ 2.21	บัสเวย์แบบ feeder (ล่าง) และ แบบ plug-in (บน)	2-20
รูปที่ 2.22	plug-in unit	2-21
รูปที่ 2.23	อุปกรณ์ประกอบของระบบบัสเวย์	2-21

รูปที่ 2.24	แผงย่อย	2-22
รูปที่ 2.25	คอนซูเมอร์ยูนิต	2-22
รูปที่ 2.26	เซฟตี้สวิตช์	2-23
รูปที่ 2.27	การทำงานด้วยความร้อน	2-24
รูปที่ 2.28	การทำงานด้วยอำนาจแม่เหล็ก	2-24
รูปที่ 2.29	การทำงานแบบโซลิดสเตท	2-25
รูปที่ 2.30	Miniature Circuit Breaker	2-26
รูปที่ 2.31	เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโมลเนส	2-27
รูปที่ 2.32	air circuit breaker	2-27
รูปที่ 2.33	RCBO (ซ้าย) RCCB (ขวา)	2-28
รูปที่ 2.34	ฟิวส์แรงต่ำแบบต่าง ๆ	2-29
รูปที่ 2.35	วงจรใช้งานสวิตช์ 2 ทาง	2-30
รูปที่ 2.36	วงจรใช้งานสวิตช์ 3 ทาง	2-30
รูปที่ 2.37	เต้ารับชนิดมีขั้วสายดิน	2-20
รูปที่ 2.38	ชุดสายพ่วง	2-31
รูปที่ 2.39	ท่อโลหะบาง (บน) ท่อโลหะหนาปานกลาง (กลาง) ท่อโลหะหนา (ล่าง)	2-32
รูปที่ 2.40	ท่อโลหะอ่อน (บน) ท่อโลหะอ่อนกันของเหลว (ล่าง)	2-33
รูปที่ 2.41	ท่อ PVC	2-34
รูปที่ 2.42	ท่อ uPVC	2-34
รูปที่ 2.43	ท่อ HDPE	2-34
รูปที่ 2.44	อุปกรณ์ประกอบของระบบรางเดินสาย	2-35
รูปที่ 2.45	อุปกรณ์ประกอบของระบบรางเคเบิล	2-36
รูปที่ 2.46	อุปกรณ์ประกอบของระบบรางเคเบิลแบบบันได	2-36
รูปที่ 2.47	รางเคเบิลแบบต่าง ๆ	2-37
รูปที่ 2.48	แท่งหลักดิน	2-37
รูปที่ 2.49	ข้อต่อเกลียวชนิดปลายเรียบ	2-53
รูปที่ 2.50	ตัวอย่างการจับยึดท่อแบบต่าง ๆ	2-53
รูปที่ 2.51	ตัวอย่างการใช้ขูชิงเมื่อเดินท่อเข้ากล่องต่อสาย	2-54
รูปที่ 2.52	ตัวอย่างการใช้ท่อร้อยสายโลหะอ่อนเข้าดวงโคม	2-54
รูปที่ 2.53	ตัวอย่างการวางสายแบบต่าง ๆ บนรางเคเบิล	2-59
รูปที่ 2.54	ระบบการต่อลงดิน	2-60
รูปที่ 2.55	การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้า	2-60

รูปที่ 2.56	การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่เมนสวิตช์ในอาคาร	2-61
รูปที่ 2.57	การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อใช้สวิตช์สับถ่ายชนิด 4 ขั้ว (แสดงเฉพาะสายศูนย์และสายดินเท่านั้น)	2-62
รูปที่ 2.58	การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อใช้สวิตช์สับถ่ายชนิด 3 ขั้ว (แสดงเฉพาะสายศูนย์และสายดินเท่านั้น)	2-62
รูปที่ 2.59	การต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า	2-63
รูปที่ 2.60	การต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ถูกต้อง (กระแสรั่วไหลกลับทางดินซึ่งมีความต้านทานสูง)	2-63
รูปที่ 2.61	การต่อลงดินและการต่อฝาก	2-64
รูปที่ 2.62	บริเวณที่อยู่ห่างจากระยะเอื้อมมือถึง ไม่ต้องต่อลงดิน	2-68
รูปที่ 2.63	ความต่อเนื่องของระบบสายดิน	2-69
รูปที่ 3.1	บริเวณที่จัดเป็นบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2	3-4
รูปที่ 3.2	บริเวณที่จัดเป็นบริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1	3-5
รูปที่ 3.3	บริเวณที่จัดเป็นบริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 1	3-6
รูปที่ 3.4	บริเวณที่จัดเป็นบริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 2	3-7
รูปที่ 3.5	รูปการระบายก๊าซ	3-11
รูปที่ 3.6	ตัวอย่างสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ	3-11
รูปที่ 3.7	ตัวอย่างการปิดผนึกท่อน้ำก่อนเข้าสวิตช์ซึ่งติดตั้งนอกบริเวณอันตราย	3-13
รูปที่ 3.8	ตัวอย่างการปิดผนึกท่อ เมื่อเดินออกจากบริเวณอันตราย	3-13
รูปที่ 3.9	ตัวอย่างเคเบิลแลนด์	3-16
รูปที่ 3.10	การติดตั้งใช้งานเคเบิลแลนด์	3-16
รูปที่ 4.1	ตัวอย่างสายไฟฟ้าที่ฉนวนชำรุด เสื่อมสภาพ	4-1
รูปที่ 4.2	ตัวอย่างการตรวจสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยการใช้อัล้องอินฟราเรด ตรวจวัดความร้อน	4-2
รูปที่ 4.3	ตัวอย่างการตรวจสอบข้อต่อหรือจุดต่อสาย โดยการใช้อัล้องอินฟราเรด ตรวจวัดความร้อน	4-2
รูปที่ 4.4	ตัวอย่างการตรวจสอบสภาพตัวถังหม้อแปลง	4-3
รูปที่ 4.5	ตัวอย่างการตรวจสอบการต่อลงดินของหม้อแปลง	4-4
รูปที่ 4.6	ตัวอย่างการตรวจสอบสภาพสารดูดความชื้นของหม้อแปลง	4-4
รูปที่ 4.7	ตัวอย่างการตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่วางบนนั่งร้านหม้อแปลง	4-5
รูปที่ 4.8	ตัวอย่างการตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแห้ง	4-6
รูปที่ 4.9	ตัวอย่างการตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	4-7

รูปที่ 4.10	ตัวอย่างการตรวจสอบปริมาณน้ำมันสำรองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	4-7
รูปที่ 4.11	การวางสิ่งของกีดขวางพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานของตู้สวิตช์ (ไม่ถูกต้อง)	4-8
รูปที่ 4.12	การจัดเก็บวัสดุที่ติดไฟได้ไว้ใกล้กับตู้สวิตช์ (ไม่ถูกต้อง)	4-9
รูปที่ 4.13	การตรวจสอบสภาพภายในตู้สวิตช์ พบหยากไย่ และเส้นใยที่อาจติดไฟได้ (ไม่ถูกต้อง)	4-9
รูปที่ 4.14	การตรวจสอบความผิดปกติทางกายภาพภายในตู้สวิตช์ พบซากหนูสดวางจระที่บัสบาร์ (ไม่ถูกต้อง)	4-10
รูปที่ 4.15	ตัวอย่างการตรวจสอบที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานของตู้เมนสวิตช์	4-11
รูปที่ 4.16	ตัวอย่างการตรวจสอบการต่อฝากของฝาตู้เมนสวิตช์	4-11
รูปที่ 4.17	ตัวอย่างการตรวจสอบการต่อลงดินของตู้เมนสวิตช์	4-12
รูปที่ 4.18	ตัวอย่างการตรวจสอบอุณหภูมิของจุดต่อทางไฟฟ้า	4-12
รูปที่ 4.19	การวางสิ่งของกีดขวางพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานของแผงย่อย (ไม่ถูกต้อง)	4-13
รูปที่ 4.20	การตรวจสอบสภาพภายในแผงย่อย พบหยากไย่ และเส้นใยที่อาจติดไฟได้ (ไม่ถูกต้อง)	4-14
รูปที่ 4.21	ตัวอย่างการตรวจสอบการต่อลงดินของแผงย่อย	4-14
รูปที่ 4.22	ตัวอย่างการตรวจสอบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	4-15
รูปที่ 4.23	ตัวอย่างการต่อสายเครื่องวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน	4-16
รูปที่ 4.24	ตัวอย่างเครื่องวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน	4-17

บทที่ 1

ความรู้พื้นฐานทางไฟฟ้า

1.1 ไฟฟ้าเบื้องต้น

1.1.1 ไฟฟ้าคืออะไร

ไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่เกิดขึ้นจากการแปลงรูปของพลังงานอื่น เช่น พลังงานกล พลังงานแสงอาทิตย์ ปฏิกิริยาเคมี และสามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยการแปลงรูปเป็นพลังงานอื่น เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล นอกจากจะมีประโยชน์อย่างมากแล้วพลังงานไฟฟ้ายังมีอันตรายมากเช่นกัน หากนำไฟฟ้าไปใช้โดยประมาท ขาดความระมัดระวัง หรืออุปกรณ์ไฟฟ้ามีสภาพไม่สมบูรณ์ ขาดการบำรุงรักษา

1.1.2 คำศัพท์ที่ควรรู้จัก

1.1.2.1 แรงดันไฟฟ้า คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือความต่างศักย์ระหว่างจุด 2 จุดในวงจรไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

1.1.2.2 กระแสไฟฟ้า คือ การถ่ายโอนประจุไฟฟ้าสุทธิต่อหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

1.1.2.3 ไฟฟ้าสถิต คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดจากความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้าภายในหรือบนพื้นผิวของวัตถุหนึ่ง ประจุยังคงอยู่กับที่จนกระทั่งสามารถจะเคลื่อนที่โดยอาศัยการไหลของอิเล็กตรอน (กระแสไฟฟ้า) หรือมีการปลดปล่อยประจุ

1.1.2.4 ไฟฟ้ากระแสตรง คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในทิศทางเดียวตลอดเวลา อาจคงตัวหรือไม่คงตัวตามเวลาก็ได้

1.1.2.5 ไฟฟ้ากระแสสลับ คือ กระแสไฟฟ้าเป็นคาบที่มีค่าเฉลี่ยใน 1 คาบเท่ากับศูนย์ ในแต่ละคาบกระแสไฟฟ้านี้จะเริ่มต้นจากค่าศูนย์ เพิ่มขึ้นสู่ค่าบวกสูงสุด ตกกลับลงไปสู่ค่าศูนย์ ลดลงสู่ค่าลบสูงสุด แล้วเพิ่มขึ้นสู่ค่าศูนย์อีกครั้งหนึ่ง โดยไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ในประเทศไทยมีคาบเท่ากับ 20 มิลลิวินาที (ms) หรือมีความถี่เท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ (Hz)

1.1.2.6 ความต้านทานไฟฟ้า คือ สมบัติทางกายภาพของสาร หรือวัตถุที่ต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

1.1.2.7 ตัวนำไฟฟ้า คือ สาร หรือวัตถุที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้อย่างต่อเนื่อง ส่วนมากจะเป็นโลหะ เช่น เงิน ทองแดง อะลูมิเนียม

1.1.2.8 ฉนวนไฟฟ้า คือ สาร หรือวัตถุที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูง ไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ เช่น พลาสติก ยาง พีวีซี

1.1.2.9 วงจรไฟฟ้า คือ ผลของการต่อระหว่างกันขององค์ประกอบต่าง ๆ ทางไฟฟ้า เช่น แหล่งจ่ายไฟฟ้า ตัวนำไฟฟ้า อุปกรณ์ควบคุม อุปกรณ์ป้องกัน และ โหลด

1.1.2.10 โหลด คือ กำลังไฟฟ้าที่ถูกใช้ไปโดยบรรดาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับระบบไฟฟ้า ในบางครั้งหมายถึงความถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับระบบไฟฟ้า

1.1.2.11 กำลังไฟฟ้าจริง (real power) หรือ กำลังไฟฟ้าแอคทีฟ (active power) คือ กำลังเฉลี่ยในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ มีค่าเท่ากับผลคูณของค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันไฟฟ้า ค่าอาร์เอ็มเอสของกระแสไฟฟ้า และค่าโคไซน์ของมุมต่างเฟสระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ($\cos\theta$) เป็นกำลังงานที่สามารถเอาไปใช้ได้จริง ใช้สัญลักษณ์ P และมีหน่วยเป็น วัตต์ (W) หรือ กิโลวัตต์ (kW) นอกจากนี้อาจมีการใช้หน่วยเป็น แรงม้า (horse power : hp ซึ่งเป็นหน่วยในระบบ British Imperial System) โดย 1 แรงม้า เท่ากับ 746 วัตต์

1.1.2.12 กำลังไฟฟ้าจินตภาพ หรือ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (reactive power) คือ กำลังไฟฟ้าที่แสดงถึงการแลกเปลี่ยนสลับกันไประหว่างสนามแม่เหล็กกับสนามไฟฟ้า มีค่าเท่ากับผลคูณของค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันไฟฟ้า ค่าอาร์เอ็มเอสของกระแสไฟฟ้า และค่าไซน์ของมุมต่างเฟสระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ($\sin\theta$) ใช้สัญลักษณ์ Q และมีหน่วยเป็น วาร์ (var) หรือ กิโลวาร์ (kvar)

1.1.2.13 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (apparent power) มีค่าเท่ากับผลคูณของค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันไฟฟ้าและค่าอาร์เอ็มเอสของกระแสไฟฟ้า เป็นกำลังไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าจ่ายให้กับโหลด ใช้สัญลักษณ์ S และมีหน่วยเป็น โวลต์แอมแปร์ (VA) หรือ กิโลโวลต์แอมแปร์ (kVA)

1.1.2.14 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า คือ อัตราส่วนระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมดในหน่วย วัตต์ กับค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏทั้งหมดในหน่วยโวลต์แอมแปร์ เป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย

1.1.2.15 พลังงานไฟฟ้า คือ ผลคูณของกำลังไฟฟ้าจริง และเวลา มีหน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมง (Wh) หรือ กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh)

1.1.2.16 ฮาร์โมนิก (harmonic) คือ ส่วนประกอบไซน์ซายด์ใด ๆ ของคลื่นเป็นคาบหรือปริมาณเป็นคาบ ซึ่งมีความถี่เท่ากับจำนวนเต็มจำนวนหนึ่งคูณกับความถี่หลักมูลของคลื่นเป็นคาบหรือปริมาณเป็นคาบที่เกี่ยวข้อง ในทางไฟฟ้าฮาร์โมนิกเกิดจากโหลดที่ไม่เชิงเส้น เช่น หลอดแก๊สดิสชาร์จ อุปกรณ์เรียงกระแส (rectifier) อินเวอร์เตอร์ (inverter) ฮาร์โมนิกถือเป็นปัญหาทางคุณภาพไฟฟ้า

1.1.2.17 ความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม (total harmonic distortion: THD) คือ ค่าที่ใช้บอกความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นที่พิจารณาว่าผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์มากหรือน้อยเพียงใด มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างค่ารากกำลังสองของผลบวกกำลังสองของค่าอาร์เอ็มเอสของส่วนประกอบฮาร์โมนิก กับค่าอาร์เอ็มเอสของส่วนประกอบความถี่หลักมูล (fundamental)

$$THD_V (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_{n,rms}^2}}{V_{1,rms}} \times 100$$

$$THD_I (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{n,rms}^2}}{I_{1,rms}} \times 100$$

1.1.2.18 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าดิสเพรชเมนต์ (displacement power factor) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงกับผลคูณของส่วนประกอบความถี่หลักมูลของแรงดันและส่วนประกอบความถี่หลักมูลของกระแส

$$DPF = \frac{P}{V_{1,rms} \times I_{1,rms}}$$

1.1.2.19 ตัวประกอบความเพี้ยน (distortion factor) คือ ส่วนประกอบความเพี้ยนที่เกี่ยวข้องกับแรงดันไฟฟ้าและกระแสฮาร์โมนิกที่มีอยู่ในระบบ

$$\text{distortion factor} = \frac{I_{1,rms}}{I_{rms}}$$

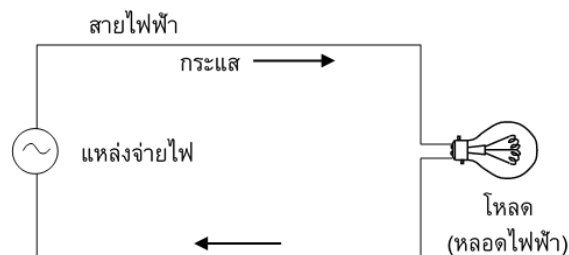
$$= \frac{1}{\sqrt{1+THD_I^2}}$$

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโหลดไม่เชิงเส้น มีค่าเท่ากับผลคูณของ DPF กับ distortion factor

1.2 วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น

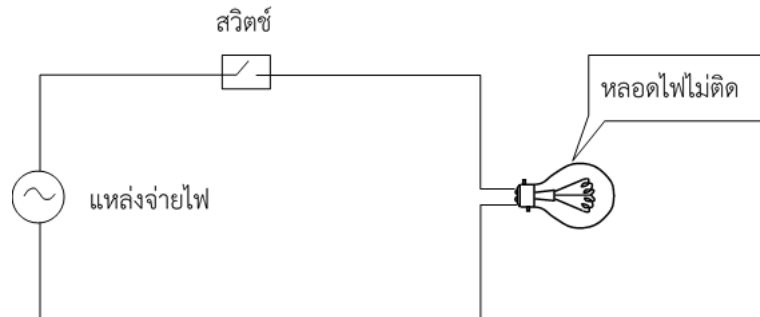
1.2.1 กระแสไฟฟ้าไหลได้อย่างไร

กระแสไฟฟ้าจะไหลได้ต้องมีแรงดันไฟฟ้าและตัวนำไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าจะไหลได้ต้องไหลจนครบวงจร หมายความว่ากระแสไฟฟ้าจะเริ่มไหลออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า ผ่านตัวนำ และไหลกลับมายังแหล่งจ่ายไฟฟ้าตัวเดิมอีก เรียกว่าไหลครบวงจร ระหว่างทางที่กระแสไฟฟ้าไหลอาจผ่านอย่างอื่นอีก เช่นเครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องวัดฯ เป็นต้น

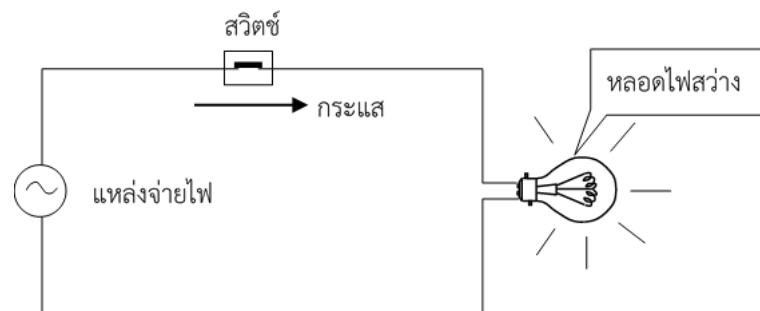


รูปที่ 1.1 วงจรแสดงการไหลของกระแสไฟฟ้า

ในวงจรไฟฟ้า ถ้าเราตัดทางเดินของกระแสไฟฟ้าโดยการทำให้อัฒไฟฟ้าขาดออกจากกัน กระแสไฟฟ้าก็จะไหลผ่านไม่ได้ โหลดเช่นหลอดไฟจะใช้งานไม่ได้ ในทางปฏิบัติเราจึงการควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าโดยใช้สวิตช์นั่นเอง



รูปที่ 1.2 กระแสไฟฟ้าไหลไม่ได้เมื่อปิดสวิตช์



รูปที่ 1.3 กระแสไฟฟ้าไหลได้เมื่อเปิดสวิตช์

ในการใช้งานจริง แหล่งจ่ายไฟจะมาจากการไฟฟ้า คือมีสายไฟฟ้ามา 2 เส้น สำหรับวงจร 1 เฟส หรือ 4 เส้น สำหรับวงจร 3 เฟส และในการใช้งานนั้นโหลดจะต้องต่อจากแหล่งจ่ายไฟและกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟโดยไม่ผ่านโหลดอื่นอีก แต่สามารถต่อผ่านสวิตช์ หรือเครื่องวัดไฟฟ้าได้

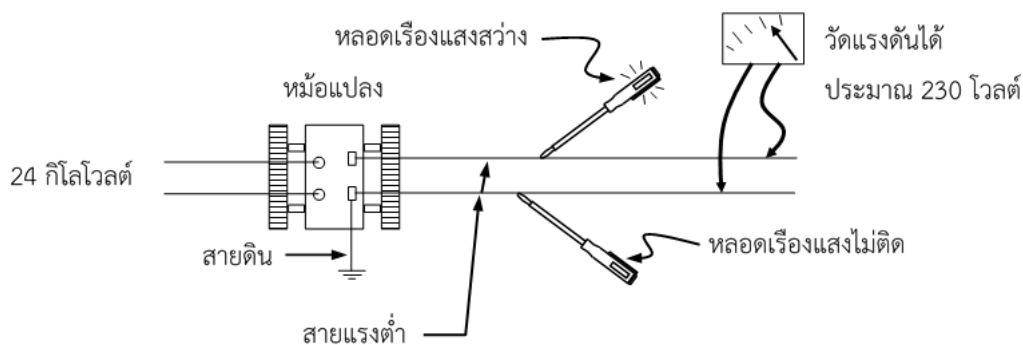
1.2.2 ระบบไฟฟ้า 1 เฟส

ระบบไฟฟ้า 1 เฟส คือระบบไฟฟ้าที่จ่ายมา 2 เส้น ประกอบด้วยสายเส้นที่มีไฟหนึ่งเส้นเรียกว่าสายเส้นเฟสหรือเส้นไฟ เขียนแทนด้วยอักษรย่อ L และอีกเส้นที่เปลือยไม่มีไฟเรียกว่าสายศูนย์ หรือสายนิวทรัล (neutral) เขียนแทนด้วยอักษรย่อ N ทดสอบได้โดยใช้ไขควงวัดไฟ สายเส้นเฟสหรือเส้นไฟเมื่อใช้ไขควงวัดไฟแตะหรือสัมผัสหลอดไฟเรืองแสงที่ภายในไขควงจะติด สำหรับสายนิวทรัลจะไม่ติด ไฟฟ้าที่จ่ายในบ้านอยู่อาศัยจะวัดแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย L และ N ได้ค่าประมาณ 230 โวลต์ (ค่าแรงดันที่ระบุ ตามมาตรฐาน วสท.) ในการใช้งานจะต้องต่อไปใช้งานทั้ง 2 เส้น

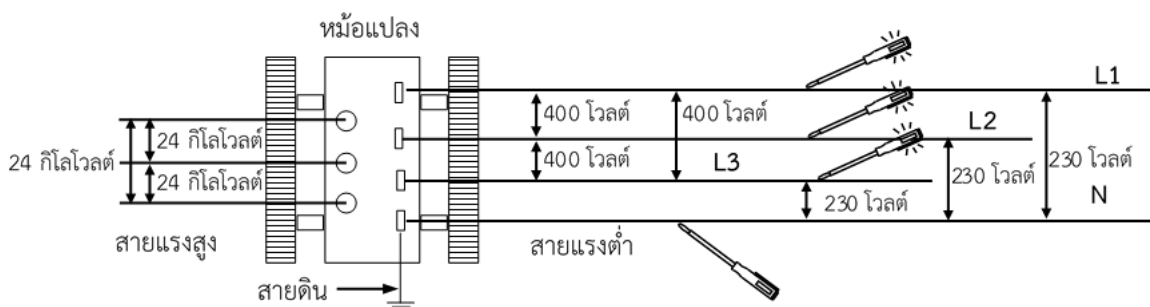
1.2.3 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส

ระบบไฟฟ้า 3 เฟส มี 2 แบบคือ แบบที่มี 3 สาย และ 4 สาย ระบบ 3 เฟส เป็นระบบที่มีสายเส้นไฟจำนวน 3 เส้น สำหรับระบบ 3 เฟส 4 สาย จะมีสายนิวทรัลเพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งเส้นจึงมีสายรวม 4 เส้น สายนิวทรัลนี้เรียกอีกอย่างว่าสายศูนย์เพราะมีแรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์เมื่อวัดเทียบกับดิน ในการใช้งานจริงสายเส้นศูนย์อาจมีแรงดันไฟฟ้าบ้าง เนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าไหลในสายเพราะโหลดที่ต่อแต่ละเฟสมีค่าไม่เท่ากัน

ระบบ 3 เฟส ของการไฟฟ้าที่จ่ายมาตามอาคารบ้านเรือนทั่วไปเป็นชนิด 4 สาย ในการใช้งานสามารถต่อใช้งานเป็นระบบ 1 เฟสได้ โดยการต่อจากเฟสใดเฟสหนึ่งและสายนิวทรัลอีกหนึ่งเส้น แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายเฟสเส้นใดเส้นหนึ่งกับสายนิวทรัลมีค่าประมาณ 230 โวลต์ และแรงดันระหว่างสายเส้นเฟสด้วยกันมีค่าประมาณ 400 โวลต์ ระบบนี้จึงเรียกว่าระบบ 3 เฟส 4 สาย แรงดันไฟฟ้า 230/400 โวลต์ (ค่าแรงดันที่ระบุ ตามมาตรฐาน วสท.) ระบบนี้มีข้อดีคือสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าระบบ 1 เฟส จึงเหมาะสำหรับสถานที่ที่ต้องการใช้ไฟมาก ๆ เช่น อาคารพาณิชย์ อุตสาหกรรมขนาดเล็ก เป็นต้น สถานที่ที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นไปอีกก็จะต้องใช้ไฟฟ้าเป็นระบบแรงสูงซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าต้องตั้งหม้อแปลงเองเพื่อปรับแรงดันให้ได้ตามที่ต้องการใช้งาน



รูปที่ 1.4 วงจร 1 เฟส 2 สาย



รูปที่ 1.5 วงจร 3 เฟส 4 สาย

1.2.4 ระบบแรงต่ำของการไฟฟ้า

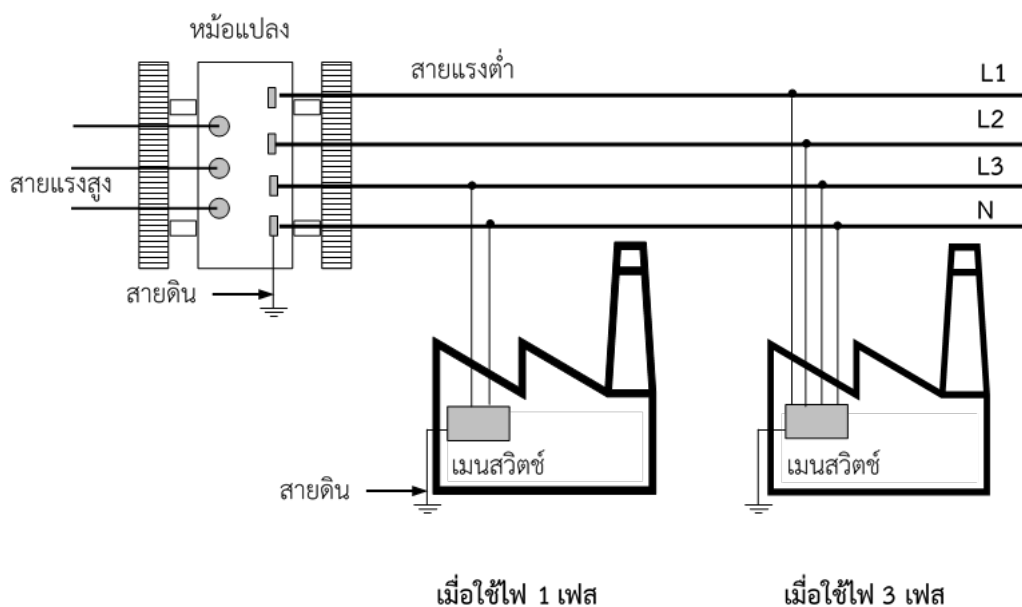
โดยทั่วไปการไฟฟ้าจะติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งานและจ่ายไปยังบ้านเรือนหรือสถานที่ทั่วไปซึ่งเป็นระบบแรงดันต่ำ แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

1.2.4.1 ระบบ 1 เฟส แรงดัน 230 โวลต์

ระบบนี้การไฟฟ้าจะจ่ายไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงปรับแรงดันจากแรงดันสูงเป็นแรงดันต่ำ 230 โวลต์ 2 สาย เพื่อจ่ายไฟให้ผู้ใช้งานไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่มากนัก ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต้องการใช้ไฟก็จะต่อสายผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้าไปใช้ได้เลย

1.2.4.2 ระบบ 3 เฟส แรงดัน 400 โวลต์

เรียกกันทั่วไปว่าระบบ 3 เฟส 4 สาย แรงดัน 230/400 โวลต์ ระบบแรงต่ำแบบนี้จะจ่ายไฟให้ผู้ใช้งานได้ทั้งผู้ที่ต้องการจะใช้ไฟ 230 โวลต์ 1 เฟส และ 400 โวลต์ 3 เฟส



รูปที่ 1.6 การจ่ายไฟฟ้าแบบ 3 เฟส 4 สาย

เมื่อต้องการใช้ไฟฟ้าแรงดัน 230 โวลต์ ให้ต่อวงจรเส้นหนึ่งกับสายนิวทรัล และอีกเส้นหนึ่งจะต่อจากเส้นใดเส้นหนึ่งของ L1 – L3 แต่ถ้าต้องการใช้ไฟฟ้า 3 เฟส 400 โวลต์ จะต้องต่อไปใช้งานทั้ง 4 เส้น

1.2.5 การคำนวณพื้นฐาน

ในวงจรไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างกระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า และความต้านทาน ซึ่งถ้าทราบค่าใด ๆ จำนวน 2 ค่า ก็จะหาตัวอื่นที่เหลือได้ ความสัมพันธ์แสดงได้ดังนี้

กำหนดให้

I คือ กระแสไฟฟ้า (หน่วยเป็นแอมแปร์)

V (หรือ E) คือ แรงดันไฟฟ้า (หน่วยเป็นโวลต์)

P	คือ กำลังไฟฟ้า (หน่วยเป็นวัตต์)
R	คือ ความต้านทาน (หน่วยเป็นโอห์ม)
PF	คือ ตัวประกอบกำลัง (ไม่มีหน่วย)

จะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

วงจร 1 เฟส

$$P = V \times I \times PF \quad (\text{วัตต์})$$

$$\text{และ } I = \frac{P}{V \times PF} \quad (\text{แอมแปร์})$$

วงจร 3 เฟส

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times PF \quad (\text{วัตต์})$$

$$\text{และ } I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times PF} \quad (\text{แอมแปร์})$$

หมายเหตุ ในวงจร 3 เฟส แรงดันไฟฟ้า V หมายถึงแรงดันที่วัดระหว่างสายเส้นไฟ (line voltage)

ทั้งนี้โหลดหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิดนิยมบอกขนาดเป็น วีเอ หรือ เควีเอ เช่นหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จาก $P \text{ (วัตต์)} = S \text{ (โวลต์แอมแปร์)} \times PF$ นั่นเอง

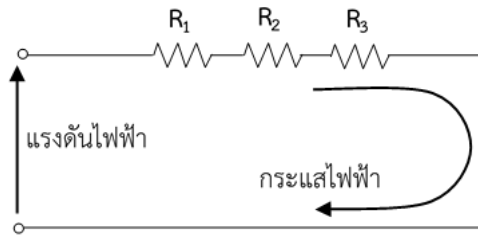
ตัวอย่าง โหลดไส้หลอดหนึ่งขนาด 100 วัตต์ แรงดัน 230 โวลต์ ตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1 จะมีกระแสไหลเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{สมการ} \quad P &= V \times I \times PF \\ \text{เขียนใหม่ได้เป็น} \quad I &= \frac{P}{V \times PF} \\ \text{จะได้} \quad I &= \frac{100}{230 \times 1.0} \\ &= 0.435 \text{ แอมแปร์} \end{aligned}$$

1.2.5.1 วงจรอนุกรม

คือวงจรที่โหลด หรือความต้านทาน หรือเครื่องใช้ไฟฟ้ามีการต่อเรียงลำดับกันไปเรื่อย ๆ โหลดทุกตัวจึงมีกระแสไฟฟ้าไหลเท่ากัน



รูปที่ 1.7 วงจรอนุกรม

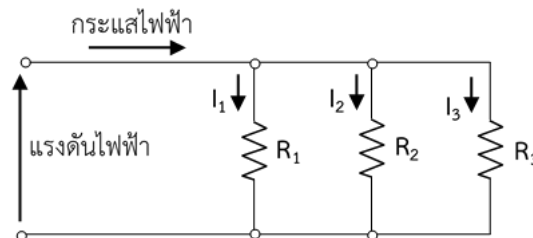
ถ้ากำหนดให้ R_1 จนถึง R_n เป็นค่าความต้านทานใด ๆ และ R_t เป็นความต้านทานรวมของวงจร จะหาความต้านทานรวมได้ดังนี้

$$\text{ความต้านทานรวม } (R_t) = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (\text{โอห์ม})$$

$$\text{และ กระแสไฟฟ้า } (I) = \frac{V}{R_t} \quad (\text{แอมแปร์})$$

1.2.5.2 วงจรขนาน

เป็นวงจรที่ไหลหรือความต้านทานของวงจรต่อขนานกัน กระแสของความต้านทานแต่ละตัวจะแตกต่างกันตามค่าความต้านทาน



รูปที่ 1.8 วงจรขนาน

ถ้ากำหนดให้ R_1 จนถึง R_n เป็นค่าความต้านทานใด ๆ และ R_t เป็นความต้านทานรวมของวงจร จะหาความต้านทานรวมได้ดังนี้

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (\text{โอห์ม})$$

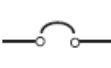
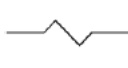
กระแสรวมของวงจรเท่ากับผลรวมของกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานแต่ละตัว นั่นคือ

$$\text{กระแสรวม } (I_t) = I_1 + I_2 + I_3 \quad (\text{แอมแปร์})$$

$$\text{หรือ} = \frac{V}{R_t} \quad (\text{แอมแปร์})$$

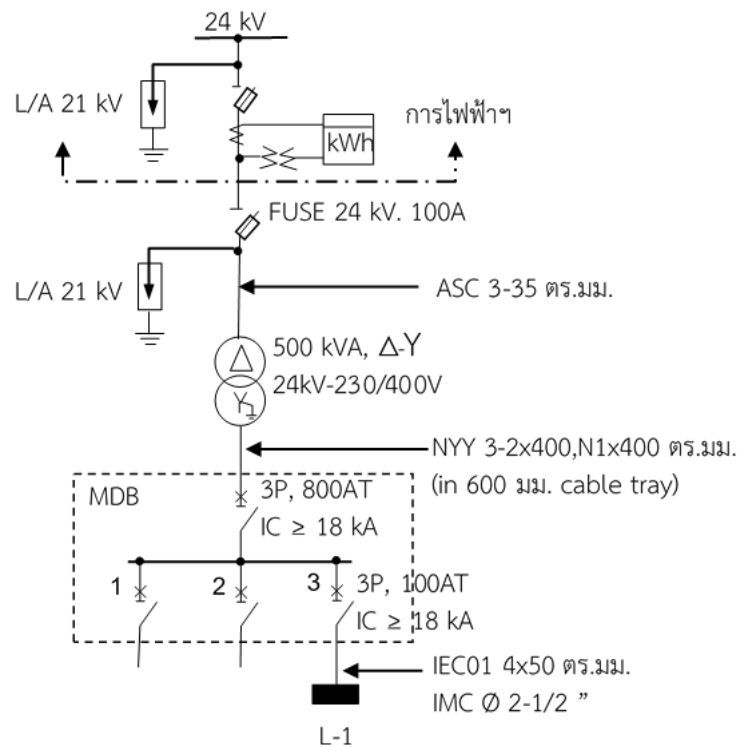
1.3 การอ่านแบบไฟฟ้าแสงสว่าง ไฟฟ้ากำลัง และงานควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า

แบบไฟฟ้าแบ่งออกเป็นหลายแบบด้วยกัน ตามความต้องการที่จะแสดงข้อมูล การอ่านแบบไฟฟ้าจะต้องทราบสัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนแบบว่าใช้แทนอุปกรณ์ไฟฟ้าอะไร ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนแบบทางไฟฟ้า มีดังนี้

ความหมาย	สัญลักษณ์ IEC	สัญลักษณ์ NEMA
ฟิวส์ชนิดแยกวงจร (fuse isolator)		
เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (kilowatt-hour meter)		
หม้อแปลงไฟฟ้า (เดลต้า-วาย)		
กักตักฟ้าผ่า (lightning arrester)		
เซอร์กิตเบรกเกอร์		
สวิตช์ปุ่มกด (push-button)		
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส		
รีเลย์ป้องกันความร้อนเกิน		
หน้าสัมผัส (ปกติเปิด)		
หน้าสัมผัส (ปกติปิด)		
ทำงานได้ด้วยอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้า		
ป้องกันกระแสเกิน		
หลอดฟลูออเรสเซนต์		
สวิตช์ไฟฟ้า		
เต้ารับคู่		

1.3.1 แบบแผนภาพเส้นเดียว (single-line diagram)

เป็นแบบที่แสดงลำดับการทำงานของวงจรไฟฟ้าการแสดงให้เห็นเพียงเส้นเดียว ตัวอย่างแผนภาพเส้นเดียว เป็นดังนี้



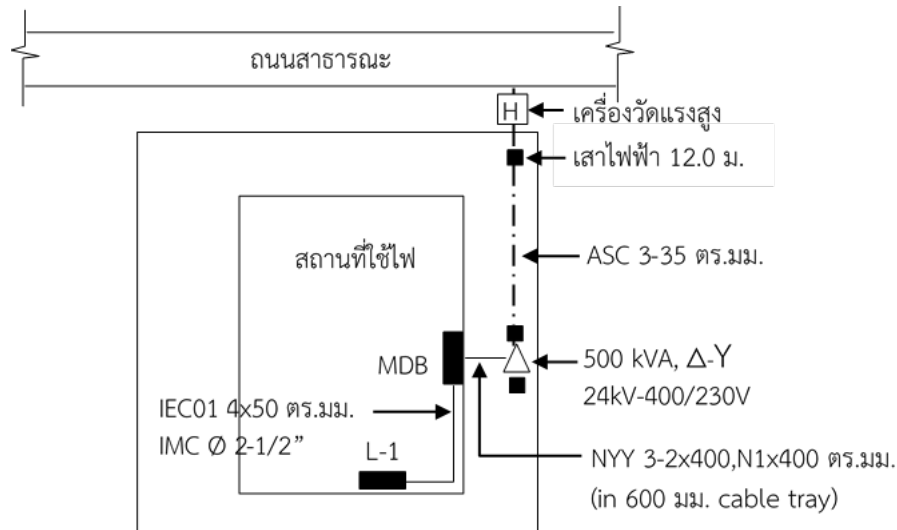
รูปที่ 1.9 ตัวอย่างแผนภาพเส้นเดียว

ตัวอย่างแผนภาพเส้นเดียวที่แสดงในรูปที่ 1.9 เริ่มจากระบบแรงดันสูง 24 kV ของการไฟฟ้านครหลวง ผ่านฟิวส์และเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้า โดยที่ก่อนเข้าฟิวส์แรงสูงจะมีกับดักฟ้าผ่า (lightning arrester) พิกัดแรงดัน 21 กิโลโวลต์ และผ่านเข้าส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าคือฟิวส์ขนาดสำหรับแรงดัน 24 kV 100 แอมแปร์ มีการต่อแยกเข้ากับกับดักฟ้าผ่า และต่อเข้าหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 500 kVA ด้วยสาย spaced aerial cable (ASC) ขนาด 35 ตร.มม. หม้อแปลง ต่อแบบเดลต้า-วาย-กราวนด์ พิกัดแรงดันด้านไฟเข้า 24 กิโลโวลต์

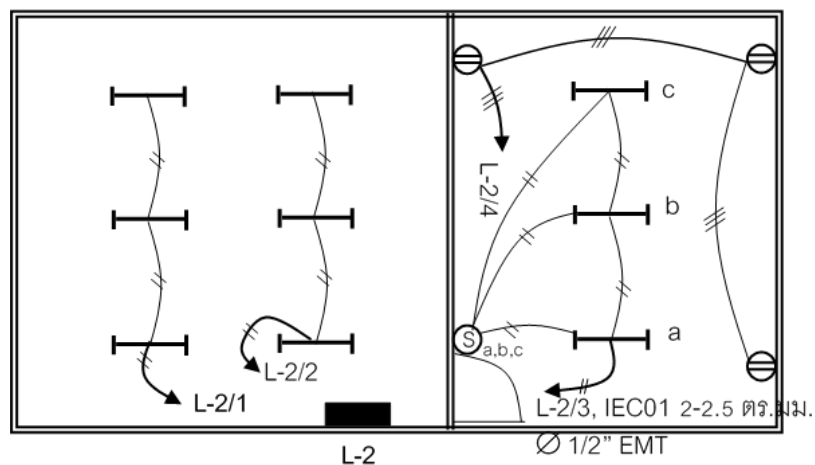
ด้านไฟออกเป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย 230/400 โวลต์ จากหม้อแปลงใช้สายแรงต่ำชนิด NYY สายเส้นเฟสมีขนาด 400 ตร.มม. เฟสละ 2 เส้น สายนิวทรัลขนาด 400 ตร.มม. 1 เส้น เดินในรางเคเบิลขนาด 600 มิลลิเมตร เมนสวิตช์เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 800 แอมแปร์ พิกัดตัดกระแสลัดวงจรไม่ต่ำกว่า 18 กิโลแอมแปร์ จากเมนสวิตช์ต่อแยกเข้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 100 แอมแปร์ พิกัดตัดกระแสลัดวงจรไม่ต่ำกว่า 18 กิโลแอมแปร์ ต่อไปเข้าแผงย่อย L-1 ด้วยสาย IEC01 ขนาด 50 ตร.มม. ร้อยในท่อ IMC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-1/2 นิ้ว

1.3.2 แบบแสดงตำแหน่ง (layout diagram)

เป็นแบบที่แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งที่เป็นหลอดแสงสว่าง และเครื่องจักร ในแบบจะแสดงตำแหน่งรวมทั้งการเดินสาย และอาจเพิ่มรายละเอียดของแนวทางเดินสายไฟฟ้าหรืออุปกรณ์การเดินสาย เช่น รางเดินสาย เป็นต้น จากแบบแผนภาพเส้นเดียวของรูปที่ 1.9 สามารถแสดงในรูปของแบบแสดงตำแหน่งได้ดังนี้



รูปที่ 1.10 ตัวอย่างของแบบแสดงตำแหน่ง



รูปที่ 1.11 ตัวอย่างแบบแสงสว่าง

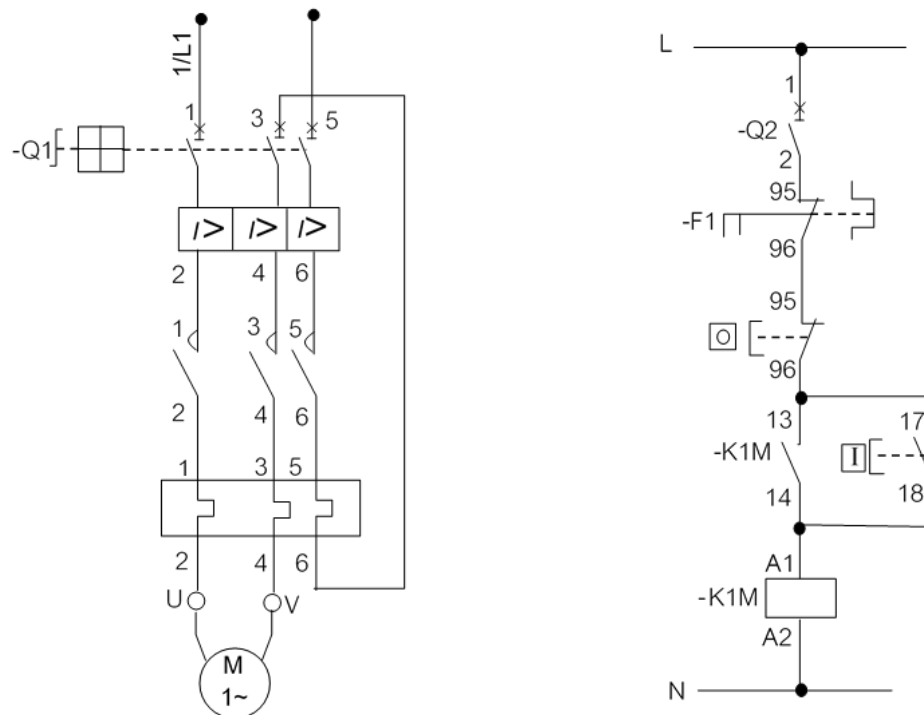
แบบแสงสว่างที่แสดงในรูปที่ 1.11 เป็นวงจรสำหรับแสงสว่างจำนวน 3 วงจร และเต้ารับ 1 วงจร วงจร L-2/1 หมายถึงต่อใช้ไฟจากแผงย่อยชื่อ L-2 วงจรย่อยที่ 1 ไม่ผ่านสวิตช์ สำหรับวงจร L-2/3 ต่อใช้ไฟจากแผงย่อย L-2 วงจรย่อยที่ 3 ใช้สาย IEC01 ขนาด 2.5 ตร.มม. จำนวน 2 เส้นเดินร้อยท่อ EMT ขนาด

เส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว แต่ละหลอดต่อไฟผ่านสวิตช์ไฟฟ้า หลอดที่แสดงด้วยอักษร a หมายถึงใช้ไฟจากสวิตช์ a เป็นต้น สำหรับเต้ารับใช้ไฟจากวงจรย่อยที่ 4 เป็นชนิดมีสายดิน จึงเดินสาย 3 เส้น

หมายเหตุ โดยปกติในแบบจะต้องแสดงชนิด ขนาด ของสายไฟฟ้าและท่อร้อยสายไว้ด้วยทุกจุด แต่เนื่องจากในตัวอย่างนี้มีพื้นที่น้อย จึงแสดงเพียงวงจร L-2/3 วงจรเดียวเท่านั้น

1.3.3 แบบการเดินสาย (wiring diagram)

เป็นแบบแสดงการเดินสาย การต่อสาย ตามที่มีการติดตั้งจริง



รูปที่ 1.12 ตัวอย่างแบบการเดินสายวงจรมอเตอร์ (ซ้าย) และวงจรควบคุม (ขวา)

1.3.4 แบบวงจรควบคุม (control diagram)

ใช้แสดงวงจรควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อให้ทราบการทำงานของวงจรและลำดับขั้นตอนการทำงานของวงจรควบคุม จุดประสงค์เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานและใช้ในการซ่อมแซมเมื่อการทำงานขัดข้อง

ตัวอย่างการอ่านแบบวงจรควบคุมคือ เมื่อต้องการใช้งาน เริ่มด้วยการสับ (close) เซอร์กิตเบรกเกอร์ Q2 เริ่มเดินมอเตอร์ด้วยการกดปุ่ม I จากนั้น K1M จะปิดและยึดไว้ด้วยหน้าสัมผัส 13-14 มอเตอร์หยุดได้โดยการกดปุ่ม O หรือโดยการทำงานของรีเลย์ป้องกันความร้อนเกิน F1 (95-96)

1.4 การอ่านและใช้เครื่องวัดไฟฟ้า

1.4.1 มัลติมิเตอร์ (multimeter)

หมายถึงเครื่องวัดที่สามารถวัดได้หลายอย่าง ปกติจะสามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งกระแสสลับและกระแสตรง วัดค่ากระแสไฟฟ้าเป็นกระแสตรง และวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าได้ ทำให้มีความสะดวก แต่การใช้งานจะยุ่งยากพอสมควร ผู้ที่จะใช้งานจึงต้องศึกษาวิธีการใช้งานให้ดีเสียก่อน เพราะถ้าใช้งานผิดพลาดเครื่องวัดอาจชำรุดได้ ปัจจุบันเครื่องมือวัดมีทั้งชนิดที่แสดงค่าแบบแอนะล็อก (เข็มชี้) และแบบดิจิทัล (ตัวเลข) สำหรับเครื่องวัดแบบเข็ม การใช้งานจะยุ่งยากซับซ้อนกว่า ในที่นี้จึงจะอธิบายวิธีการใช้มัลติมิเตอร์แบบเข็มเท่านั้น



เครื่องวัดแบบเข็ม



เครื่องวัดแบบตัวเลข

รูปที่ 1.13 ตัวอย่างเครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์

การเลือกฟังก์ชันการวัดของมัลติมิเตอร์ทำได้โดยการปรับซีเล็คเตอร์สวิตช์ (selector switch) หรือเรนจ์สวิตช์ (range switch) เลือกว่าจะวัดปริมาณใด และค่าที่วัดอยู่ในย่านใด เช่น ต้องการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าประมาณ 230 โวลต์ ก็ควรจะเลือกตั้งค่าที่ ACV 250 โวลต์ เป็นต้น



รูปที่ 1.14 ซีเล็คเตอร์สวิตช์

1.4.1.1 การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ในการวัดให้เสียบสายวัดสีแดงที่ขั้วบวก (P) และสีดำที่ขั้วลบ (N) จากนั้นหมุนซีเล็กเตอร์สวิตช์ไปที่ DCV ถ้าไม่แน่ใจค่าแรงดันที่จะทำการวัดว่าเท่าใด ให้ตั้งซีเล็กเตอร์สวิตช์ไปที่ตัวเลขสูงสุดไว้ก่อน คือ 1,000 โวลต์ แล้วจึงเริ่มทำการวัด ถ้าเข็มไม่ขึ้นให้ปรับลดลงที่ 250, 50, 10, 2.5, 0.5, 0.1 ตามลำดับจนกว่าเข็มจะชี้จนสามารถอ่านค่าที่วัดได้



รูปที่ 1.15 การแสดงค่าวัดแรงดันกระแสตรงและกระแสสลับ

การอ่านค่าให้ดูที่สเกล DCV ถ้าปรับซีเล็กเตอร์สวิตช์ไว้ที่ 250 DCV หรือ 2.5 DCV ก็อ่านที่สเกล 250 สังเกตว่าระหว่างเลข 0 กับ เลข 50 แบ่งออกเป็น 10 ช่อง หมายถึงแต่ละช่องมีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ แต่สำหรับการปรับค่าที่ 2.5 DCV เมื่ออ่านค่าที่เต็มสเกลค่าที่อ่านได้จะเป็น 2.5 โวลต์ แทนที่จะเป็น 250 โวลต์ ดังนั้นแต่ละขีดเล็กจึงมีค่าเท่ากับ 0.05 โวลต์ สำหรับที่สเกลอื่นก็อ่านโดยใช้หลักการเดียวกันนี้ ตัวอย่างการอ่านค่าคือ

- 1) ที่ตำแหน่ง 10 วัดแรงดันไฟได้สูงสุด 10 โวลต์ ให้อ่านเลขบนหน้าปัดแถวเลข 10 อ่านรายละเอียดบนหน้าปัดช่องละ 0.2 โวลต์
- 2) ที่ตำแหน่ง 50 วัดแรงดันไฟได้สูงสุด 50 โวลต์ ให้อ่านเลขบนหน้าปัดแถวเลข 50 อ่านรายละเอียดบนหน้าปัดช่องละ 1 โวลต์
- 3) ที่ตำแหน่ง 250 วัดแรงดันไฟได้สูงสุด 250 โวลต์ ให้อ่านเลขบนหน้าปัดแถวเลข 250 อ่านรายละเอียดบนหน้าปัดช่องละ 5 โวลต์

กรณีที่เมื่อทำการวัดแล้วผลปรากฏว่าเข็มชี้กลับทาง (ไปทางซ้ายเล็กน้อย) แสดงว่าต่อสายสลับขั้ว ให้ทำการสลับสายใหม่ ก็จะสามารถอ่านค่าได้

1.4.1.2 การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

กรณีวัดไฟฟ้ากระแสสลับ จะไม่มีผลเรื่องการสลับสาย จะสามารถอ่านค่าได้ทั้งคู่ การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ให้หมุนซีเล็กเตอร์สวิตช์ไปที่ ACV ถ้าไม่แน่ใจค่าแรงดันที่จะทำการวัดว่ามีค่าสูงหรือต่ำให้ตั้งสวิตช์เลือกการวัดไปที่ตัวเลขสูงสุดไว้ก่อนคือ 1,000 โวลต์ แล้วจึงเริ่มทำการวัด ถ้าเข็มไม่ขึ้นให้ปรับ

ลดลงที่ 250, 50, 10 โวลต์ ตามลำดับจนกว่าจะสามารถอ่านค่าที่ทำการวัดได้ ในการอ่านค่าจะใช้หลักการเช่นเดียวกับการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

1.4.1.3 การวัดกระแสไฟฟ้าตรง

การวัดกระแสไฟฟ้าตรง ให้หมุนซีเล็กเตอร์สวิตช์ ไปที่ DCmA สังเกตว่ากระแสที่วัดมีค่าเป็นมิลลิแอมแปร์เท่านั้น (เครื่องวัดตามตัวอย่างในรูปนี้มีค่าไม่เกิน 150 mA) จึงไม่สามารถวัดค่ากระแสที่สูงมากได้ ถ้าไม่แน่ใจค่ากระแสไฟฟ้าตรงที่จะทำการวัดว่ามีค่าสูงหรือต่ำ ให้ตั้งสวิตช์เลือกการวัดไปที่ตัวเลขสูงสุดไว้ก่อน แล้วจึงเริ่มทำการวัด ถ้าเข็มไม่ขึ้นให้ปรับลดลงที่ 25 mA, 2.5 mA, 50 μ A ตามลำดับจนกว่าจะสามารถอ่านค่าที่ทำการวัดได้



รูปที่ 1.16 การแสดงค่าวัดกระแสตรง

สำหรับการอ่านค่าบนหน้าปัด จะอ่านที่สเกล μ A, mA และใช้หลักการอ่านเหมือนกับการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

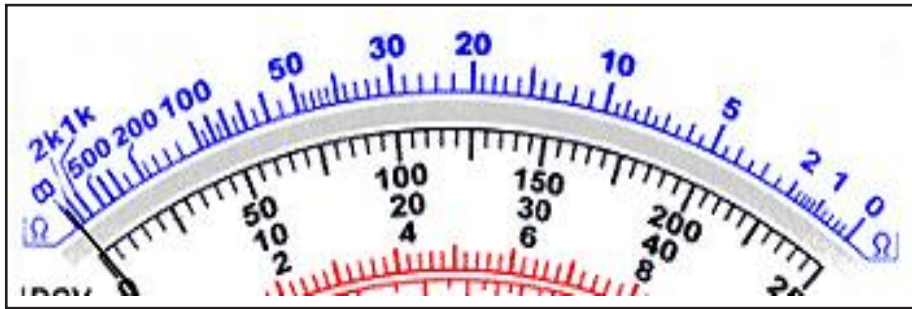
1.4.1.4 การวัดค่าความต้านทาน

การวัดความต้านทานของตัวต้านทาน อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ต้องวัดในสถานะที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่วงจรภายในของมิเตอร์ ต้องมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ภายในด้วยเพื่อกำหนดค่ากระแสของวงจร ในเครื่องวัดจึงมีแบตเตอรี่อยู่ด้วย การวัดค่าความต้านทานจึงเป็นการนำเอาความต้านทานที่ต้องการทราบค่าไปกำหนดการไหลของกระแสในวงจร เพื่อกำหนดการอ่านค่า จากการที่ต้องใช้แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ทำให้ค่ากระแสที่กำหนดในเบื้องต้นของการวัด (สถานะ 0 โอห์ม) ไม่แน่นอนตามสภาพของแบตเตอรี่ ก่อนทำการวัดทุกครั้งจึงต้องมีการปรับค่าก่อนเรียกว่า “การปรับ 0 โอห์ม” (0Ω ADJ) โดยการลัดวงจรของสายวัดทั้งสองปลายเข้าด้วยกัน และใช้วอลุ่มปรับค่าให้เข็มชี้ที่ศูนย์โอห์ม จึงจะสามารถวัดค่าได้ถูกต้อง

การวัดค่าความต้านทาน ต้องทำการปรับตั้งซีเล็กเตอร์สวิตช์ เช่นเดียวกับการวัดแรงดันและกระแส ค่าที่ปรับตั้งคือ $\times 1$, $\times 10$ และ $k\Omega$ การอ่านค่าความต้านทานให้ดูรายละเอียดจากขีดแฉวบนสุด

โดยอ่านจากขวาไปซ้าย ซึ่งต่างจากการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า ค่าที่อ่านได้จะตรงข้ามกับลักษณะของเข็มที่ขึ้น เช่น เข็มมิเตอร์ขึ้นมากจะอ่านได้ค่าความต้านทานน้อย โดยมีรายละเอียดแต่ละช่วงบนหน้าปัด ดังนี้

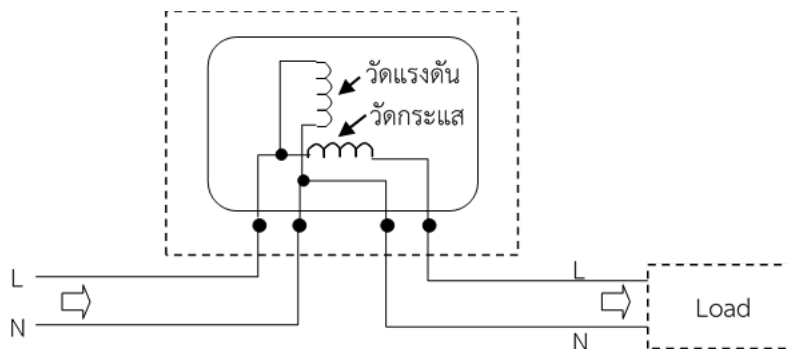
ถ้าปรับซีเล็กเตอร์สวิตช์ไปที่ $\times 1$ (คูณ 1) หมายถึงใช้ค่าที่อ่านได้จากหน้าปัดโดยตรง แต่ถ้าปรับซีเล็กเตอร์สวิตช์ไปที่ $\times 10$ หมายถึงค่าที่อ่านได้ต้องคูณด้วย 10 ก่อน จึงใช้ได้ และถ้าปรับซีเล็กเตอร์สวิตช์ไปที่ $k\Omega$ ค่าที่อ่านได้จะต้องคูณด้วย 1,000 ก่อนเสมอ



รูปที่ 1.17 หน้าปัดแสดงค่าความต้านทาน

1.4.2 มาตรพลังงาน (energy meter)

นิยมเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กิโลวัตต์-วัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ (kWh meter) เป็นเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (นิยมเรียกอีกหน่วยหนึ่งว่า unit) โดยที่ 1 กิโลวัตต์มีค่าเท่ากับ 1,000 วัตต์ มีทั้งชนิดที่เป็น 1 เฟส และ 3 เฟส ปกติการไฟฟ้าฯ จะติดตั้งไว้เพื่อวัดการใช้ไฟฟ้า สามารถอ่านค่าเป็นหน่วยการใช้ไฟฟ้า มีทั้งชนิดที่สามารถอ่านค่าได้โดยตรง และชนิดที่ต้องมีตัวคูณปรับค่าก่อน ในการใช้งานจะต้องทราบด้วยเพื่อการอ่านค่าที่ถูกต้อง เครื่องวัดจะวัดทั้งกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า เพราะกำลังไฟฟ้าเป็นผลคูณของกระแสไฟฟ้ากับแรงดัน และเมื่อมีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องจะเป็นการวัดพลังงานไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น หม้อหุงข้าวไฟฟ้าขนาด 750 วัตต์ ถ้าใช้งานนาน 2 ชั่วโมง พลังงานที่อ่านได้จะเท่ากับ $750 \times 2 = 1,500$ วัตต์-ชั่วโมง หรือเท่ากับ $1,500/1,000 = 1.5$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง



รูปที่ 1.18 วงจรมาตรพลังงาน

สำหรับเครื่องวัดขนาดใหญ่ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลปริมาณมาก จะไม่สามารถต่อให้กระแสไหลผ่านเครื่องวัดได้โดยตรง จำเป็นต้องลดกระแสลงก่อนโดยใช้หม้อแปลงกระแส (current transformer หรือ CT)

มาตรพลังงานที่ใช้กันทั่วไปมักจะมีลักษณะเป็นจานหมุน และมีตัวเลขแสดงจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่วัดได้ ความเร็วในการหมุนของจานสอดคล้องตามปริมาณการใช้ไฟฟ้า แต่ก็มีเครื่องวัดบางรุ่นที่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งไม่ต้องใช้จานหมุน ปกติเครื่องวัดจะแสดงข้อผิดพลาดไว้ให้ด้วยเนื่องจากแต่ละผู้ผลิตอาจไม่เหมือนกัน ในการใช้งานควรศึกษาคู่มือของเครื่องวัดก่อนด้วยเพื่อความมั่นใจ

1.4.3 เครื่องวัดชนิดคล้องสายหรือแคลมป์ออนมิเตอร์

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ สามารถวัดค่าได้โดยการคล้องรอบสายเส้นที่ต้องการวัด มีทั้งชนิดที่เป็นแบบเข็ม และแบบตัวเลข ปัจจุบันสามารถใช้วัดค่าอย่างอื่นได้อีก เช่น วัดแรงดันไฟฟ้า และความต้านทาน เป็นต้น แต่การวัดแรงดันไฟฟ้าและความต้านทาน จะต้องใช้สายต่อเช่นเดียวกับมัลติมิเตอร์ ในการวัดจะต้องทำการปรับตั้งซีเล็กเตอร์สวิตช์ ไปยังตำแหน่งที่ต้องการวัดด้วยเช่นเดียวกัน

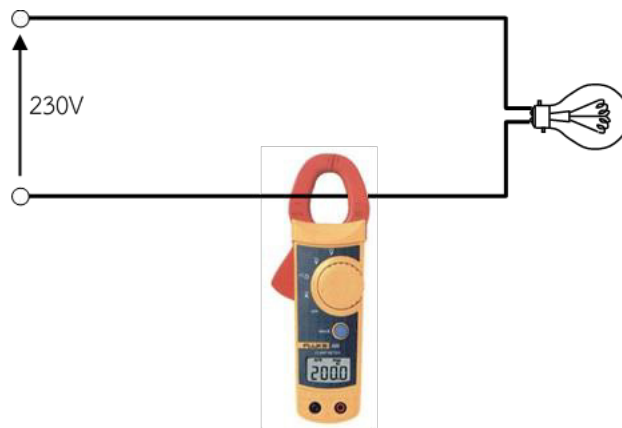


รูปที่ 1.19 ตัวอย่างเครื่องวัดชนิดคล้องสาย

การวัดกระแสไฟฟ้าสลับด้วยเครื่องวัดชนิดคล้องสายทำได้ดังนี้

1. หมุนซีเล็กเตอร์สวิตช์ไปที่การวัดกระแส (A)
2. ตั้งย่านการวัดให้เหมาะสม กรณีไม่สามารถประมาณค่ากระแสได้ ให้เลือกตั้งไปที่ค่าสูงสุด ถ้าค่าที่วัดได้น้อยจนอ่านค่าได้ยาก ให้ปรับค่ากระแสให้ต่ำลงจนสามารถอ่านค่าได้ชัดเจน
3. คล้องก้ามคล้องสายที่สายเพียงเส้นเดียว (หรือเฟสเดียว) ของวงจรในขณะที่มีกระแสไหลอยู่
4. อ่านค่ากระแส

กรณีที่ใช้ก้ามคล้องสายทั้งสองเส้น จะไม่สามารถอ่านค่าได้ เนื่องจากสนามแม่เหล็กจะหักกลับกันหมดเป็นศูนย์



รูปที่ 1.20 การวัดกระแสไฟฟ้าสลับด้วยเครื่องวัดชนิดคล้องสาย

1.4.4 เมกกะโอห์มมิเตอร์

เป็นเครื่องวัดความต้านทานเช่นเดียวกับมัลติมิเตอร์ แต่เมกกะโอห์มมิเตอร์ใช้สำหรับวัดค่าความต้านทานที่มีค่าสูงมาก ๆ เช่น ฉนวนของสายไฟฟ้า หรือมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบว่าฉนวนไฟฟ้าชำรุดหรือไม่ ในตัวเครื่องวัดจะมีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าซึ่งมักเป็นแบตเตอรี่ และวงจรที่สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้สูงมาก ปกติที่ใช้จะมีแรงดัน 500 โวลต์ หรือสูงถึง 2,500 โวลต์ ก็ได้

สาเหตุของฉนวนไฟฟ้าชำรุด สาเหตุที่ฉนวนไฟฟ้าชำรุดหรือเสื่อมสภาพส่วนใหญ่เกิดจากความร้อนสูงเกินไป หรือเย็นเกินไป (ปกติสภาพความเย็นเกินไปไม่ค่อยเกิดในประเทศไทย) ความชื้น ความสกปรก (เป็นสาเหตุหลักที่เกิดในประเทศไทย) การกัดกร่อนจากไอสารเคมีต่าง ๆ น้ำมัน การสั่นสะเทือน อายุการใช้งาน และการแกว่งไปมาของการเดินสายเนื่องจากการจับยึดไม่มั่นคง

เพื่อความถูกต้องของการวัดค่าและเพื่อความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน ในการใช้เครื่องวัดค่าความต้านทานฉนวน ควรปฏิบัติดังนี้

1. ปลดวงจรไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่อในวงจรออกให้หมดเสียก่อน โดยเฉพาะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งไวต่อแรงดันเกิน เช่น วงจรขับมอเตอร์ และ PLC เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ดังกล่าว

2. เลือกใช้แรงดันไฟฟ้าที่จะทดสอบให้เหมาะสม โดยปกติการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงต่ำ ควรใช้เมกกะโอห์มมิเตอร์ที่มีแรงดัน 500 โวลต์

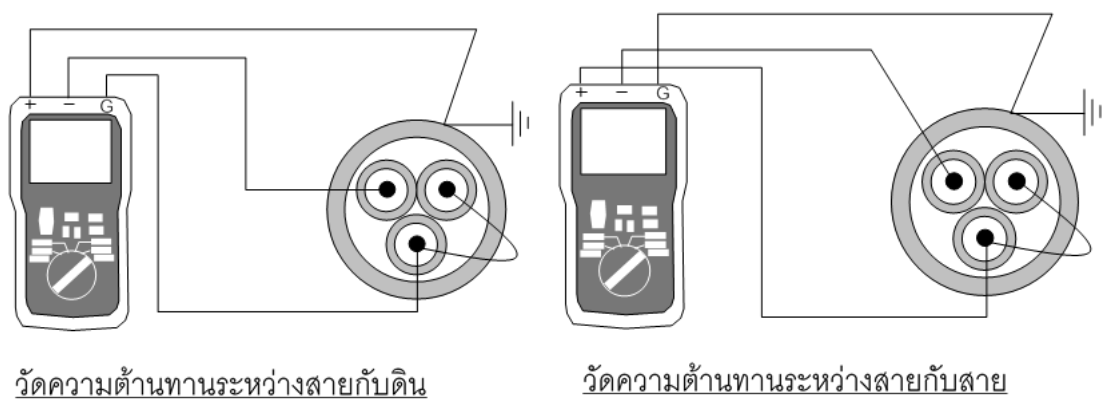
3. การอ่านค่า จะต้องทราบวิธีการอ่านที่ถูกต้อง โดยปกติเข็มของเครื่องวัดจะไม่คงที่ซึ่งก็เป็นเรื่องปกติ ดังนั้นเมื่อกดสวิตช์เครื่องวัด ON แล้ว จะไม่สามารถอ่านค่าได้ทันที ในการอ่านค่าจะอ่านที่เมื่อเวลาผ่านไปแล้ว 30 วินาทีหรือ 60 วินาที เลือกค่าใดก็ได้ (ค่าที่นิยมคือที่เวลา 60 วินาที) เครื่องวัดรุ่นใหม่จะสามารถล็อกเวลาดังกล่าวนี้ได้

4. การวัดค่าฉนวนไฟฟ้าทุกครั้ง ต้องทำการคายประจุเสียก่อน เพื่อความปลอดภัย เรื่องวัดรุ่นใหม่จะมีวงจรคายประจุอยู่ด้วยในตัว เมื่อวัดเสร็จแล้วสามารถต่อสายทิ้งไว้ระยะหนึ่ง เพื่อทำการคายประจุ



รูปที่ 1.21 เมกกะโอห์มมิเตอร์

เครื่องวัดบางรุ่นจะมี 3 ขั้ว คือมีขั้ว G ด้วยซึ่งจะช่วยให้การวัดค่าเที่ยงตรงมากขึ้น เครื่องวัดที่ไม่มีขั้ว G ก็สามารถใช้วัดได้เช่นกัน การต่อสายเป็นไปตามที่แสดงในรูป



รูปที่ 1.22 ตัวอย่างการวัดค่าความต้านทานฉนวนของสายไฟฟ้าชนิดหลายแกน

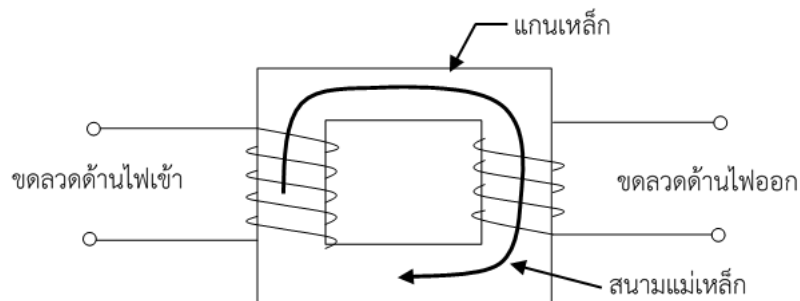
1.5 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์ไฟฟ้า

1.5.1 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าให้ได้ตามที่ต้องการ ทั้งการเพิ่มและการลดแรงดันไฟฟ้า สามารถใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น

1.5.1.1 หลักการทำงาน

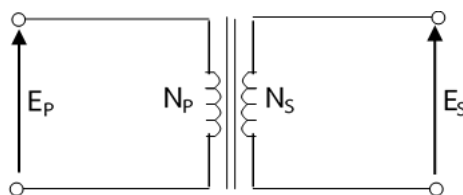
การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า อาศัยหลักการเหนี่ยวนำของแรงดันไฟฟ้าระหว่างขดลวด 2 ขด ผ่านแกนเหล็ก เนื่องจากไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงจากบวกเป็นลบและกลับมาเป็นบวกอีก เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าของขดลวดด้านปฐมภูมิ (ไฟเข้า) จะทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในแกนเหล็กเปลี่ยนแปลงไปด้วย ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำในขดลวดด้านทุติยภูมิ (ไฟออก)



รูปที่ 1.23 ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้า

1.5.1.2 หม้อแปลง 1 เฟส

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 1 เฟส ประกอบด้วยขดลวดด้านไฟเข้า (ปฐมภูมิ) และด้านไฟออก (ทุติยภูมิ) การเพิ่มหรือลดแรงดันทำได้โดยการควบคุมจำนวนรอบของขดลวดทั้งด้านไฟเข้าและไฟออก แสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้



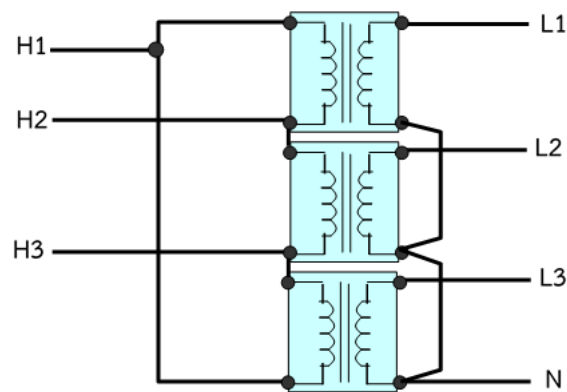
รูปที่ 1.24 วงจรหม้อแปลง 1 เฟส

$$\frac{E_P}{E_S} = \frac{N_P}{N_S}$$

กำหนดให้

E_P	คือ	แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ
E_S	คือ	แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ
N_P	คือ	จำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ
N_S	คือ	จำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 1 เฟส สามารถนำมาต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้ใช้งานเป็นหม้อแปลง 3 เฟสได้ตามต้องการ



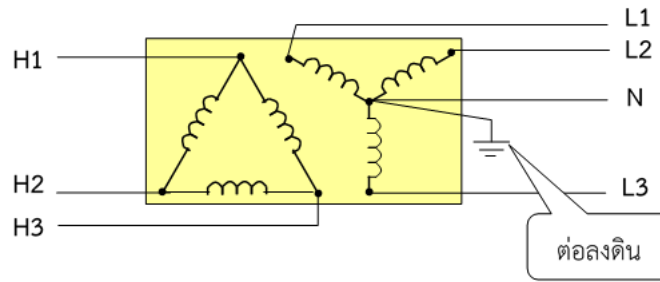
รูปที่ 1.25 ตัวอย่างการนำหม้อแปลง 1 เฟส มาต่อเป็นแบบเดลต้า-วาย

รูปแบบการต่อที่ใช้กันทั่วไปคือ

Δ -Y	(delta-wye)
Δ - Δ	(delta-delta)
Y- Δ	(wye -delta)
Y- Y	(wye-wye)

1.5.1.3 หม้อแปลง 3 เฟส

มีหลักการทำงานเหมือนหม้อแปลง 1 เฟส แต่หม้อแปลงชนิดนี้จะมีขดลวดทั้ง 3 เฟส รวมอยู่ในหม้อแปลงลูกเดียวกัน โดยแต่ละขดลวดจะต่อกันได้หลายรูปแบบเช่น เดลต้า-วาย และ เดลต้า-เดลต้า เป็นต้น รูปแบบที่ใช้งานกันทั่วไปคือการต่อแบบ เดลต้า-วาย ซึ่งมีข้อดีตรงที่สามารถใช้แรงดันได้ 2 ระดับ



รูปที่ 1.26 ตัวอย่างหม้อแปลง 3 เฟส แบบเดลต้า-วาย

สำหรับหม้อแปลงพิกัดแรงดัน 230/400 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส L1-L2, L2-L3 และ L3-L1 จะวัดได้ 400 โวลต์ และแรงดันระหว่างเส้น N (neutral) กับเฟสใด ๆ จะวัดได้ 230 โวลต์ ซึ่งในการใช้งานจริงจะต้องต่อสายนิวทรัล (หรือสายศูนย์) ลงดินด้วย

1.5.1.4 การแท็บแยกแรงดัน

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายมาจากการไฟฟ้าฯ มีค่าไม่แน่นอน เปลี่ยนแปลงตามการใช้ไฟ หม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไปจึงออกแบบให้มีแท็บแยกแรงดัน เพื่อให้สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าด้านไฟออกให้เหมาะสมกับที่ต้องการ การปรับแท็บจะทำให้ด้านแรงสูง เนื่องจากกระแสต่ำ ดังนั้นถ้าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายมาจากการไฟฟ้าต่ำเกินไปก็ต้องปรับแท็บโดยการลดแท็บลง เพื่อให้ได้แรงดันด้านไฟออกสูงขึ้น เป็นต้น การปรับแท็บจะไม่ทำบ่อยนัก โดยปกติจะทำเพียงครั้งเดียวเมื่อตอนติดตั้งครั้งแรก แต่ถ้าเมื่อใช้ไประยะหนึ่งแล้วแรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำเปลี่ยนแปลงไปจนไม่สามารถใช้งานได้ ก็จะต้องทำการปรับแท็บ แต่การปรับแท็บเป็นการปรับด้านแรงสูงจึงมีอันตรายมากและต้องดับไฟก่อน ผู้ปฏิบัติงานจึงควรเป็นผู้ที่มีความรู้ในเรื่องนี้ด้วย

1.5.1.5 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 1 เฟส และ 3 เฟส แบ่งชนิดตามฉนวนได้เป็น 4 ชนิดคือ

- 1) หม้อแปลงชนิดแห้ง (dry type) หม้อแปลงชนิดแห้งมีทั้งชนิดที่เป็นฉนวนเรซินแห้ง (cast-resin) และฉนวนอากาศ (air-cooled) ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำก๊าซบางชนิดมาใช้ เช่น SF₆ ฉนวนไฟฟ้าในหม้อแปลงยังทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากขดลวดของหม้อแปลงด้วย นิยมใช้ติดตั้งภายในอาคารโดยเฉพาะอาคารที่มีผู้อยู่อาศัยจำนวนมาก เนื่องจากให้ความปลอดภัยสูงในด้านเกิดเพลิงไหม้ หากหม้อแปลงเกิดระเบิดขึ้นเนื่องจากไม่มีส่วนที่ติดไฟ

2) หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้ (flammable liquid-insulated transformer) ฉนวนของเหลวที่ใช้โดยทั่วไปคือน้ำมัน ซึ่งมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ข้อดีของน้ำมันคือราคาถูกเมื่อเทียบกับฉนวนชนิดอื่น การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก แต่มีข้อเสียที่ติดไฟได้และอาจเกิดการรั่วไหลได้ นิยมใช้อย่างกว้างขวางเพราะราคาถูกและมีผู้ผลิตหลายรายในประเทศ หม้อแปลงชนิดฉนวนน้ำมันยังแบ่งออกเป็นแบบมีถังพักน้ำมัน (conservator) และแบบปิดผนึก (sealed tank)



รูปที่ 1.27 หม้อแปลงชนิดแห้ง



รูปที่ 1.28 หม้อแปลงชนิดฉนวนน้ำมันแบบมีถังพักน้ำมัน

3) หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟยาก (less-flammable liquid-insulated transformer) ฉนวนของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในมีจุดติดไฟที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 300 °C ฉนวนที่ใช้ต้องไม่เป็นพิษต่อบุคคลและสิ่งแวดล้อมด้วย ปัจจุบันมีใช้ไม่มากนัก และยังไม่เหมาะที่จะใช้ภายในอาคารที่มีผู้อยู่อาศัยจำนวนมาก แต่ก็ให้ความปลอดภัยสูงกว่าหม้อแปลงชนิดฉนวนน้ำมัน

4) หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ (nonflammable fluid-insulated transformer) หม้อแปลงชนิดนี้ปัจจุบันมีใช้งานน้อยเนื่องจากมีราคาแพงในการทำฉนวนของเหลวไม่ติดไฟมาใช้ต้องระวังเรื่องการเป็นพิษต่อบุคคลด้วย ฉนวนที่ใช้อาจเป็นน้ำมันหรือไม้ก็ได้

1.5.1.6 สัญลักษณ์การระบายความร้อน

ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในหม้อแปลงทำให้เกิดความร้อน ความร้อนจะทำให้หม้อแปลงชำรุดหรือมีอายุการใช้งานสั้นลงจึงต้องระบายออก การระบายความร้อนที่ดีจะทำให้หม้อแปลงจ่ายโหลดได้มากขึ้นด้วย การระบายความร้อนจากขดลวดหม้อแปลงมาที่ตัวถังหม้อแปลงจะอาศัยฉนวนของหม้อแปลงเป็นตัวช่วย การระบายออกสู่อากาศภายนอกอาจทำได้หลายวิธี หม้อแปลงไฟฟ้าจะใช้สัญลักษณ์แสดงวิธีการระบายความร้อนไว้ตามที่แสดงในตารางที่ 1.1

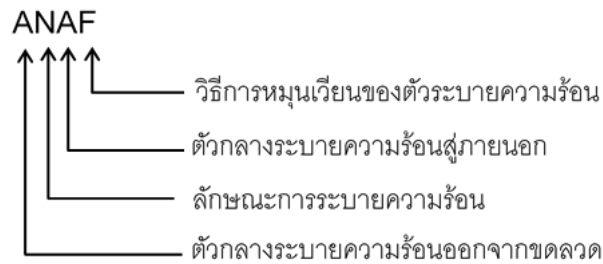
ตารางที่ 1.1 สัญลักษณ์แสดงการระบายความร้อน

ตัวกลางระบายความร้อน	สัญลักษณ์
น้ำมัน	O
ก๊าซ	G
น้ำ	W
อากาศ	A

ตารางที่ 1.2 ลักษณะการระบายความร้อน

วิธีการหมุนเวียนของตัวระบายความร้อน	สัญลักษณ์
โดยวิธีธรรมชาติ (Natural)	N
โดยวิธีอัดหรือขับ (Forced)	F

การเขียนสัญลักษณ์แสดงการระบายความร้อนจะเขียนเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ 2 ตัว หรือ 4 ตัว มีความหมายดังนี้



ตัวอย่างการระบายความร้อน

AN หมายถึง หม้อแปลงชนิดแห้งระบายความร้อนด้วยวิธีหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ

AF หมายถึง หม้อแปลงชนิดแห้งระบายความร้อนด้วยวิธีอัดอากาศ (forced Air)

ONAN หมายถึง หม้อแปลงชนิดฉนวนน้ำมันระบายความร้อนด้วยวิธีหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ

ONAF หมายถึง หม้อแปลงชนิดฉนวนน้ำมันระบายความร้อนด้วยวิธีอัดอากาศ

1.5.1.7 การป้องกันกระแสเกิน

หม้อแปลงต้องมีการป้องกันกระแสเกินทั้งด้านไฟเข้าและด้านไฟออก พิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินเป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 ขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับหม้อแปลง

ขนาด อิมพีแดนซ์ หม้อแปลง	ด้านไฟเข้า		ด้านไฟออก		
	แรงดันมากกว่า 750 โวลต์		แรงดันมากกว่า 750 โวลต์		แรงดันไม่เกิน 750 โวลต์
	เซอร์กิตเบรกเกอร์	ฟิวส์	เซอร์กิตเบรกเกอร์	ฟิวส์	เซอร์กิตเบรกเกอร์หรือฟิวส์
ไม่เกิน 6%	600%	300%	300%	250%	125%
เกิน 6% แต่ไม่เกิน 10%	400%	300%	250%	225%	125%

ที่มา : วสท., มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 6-5)

1.5.1.8 ห้องหม้อแปลง

ห้องหม้อแปลงสำหรับหม้อแปลงฉนวนน้ำมัน ต้องอยู่ในสถานที่ที่สามารถขนย้ายหม้อแปลง ทั้งลูกเข้าออกได้ และสามารถระบายอากาศสู่ภายนอกได้ หากใช้ท่อลมต้องเป็นชนิดทนไฟ ห้องหม้อแปลงต้องเข้าถึงได้โดยสะดวกสำหรับผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเพื่อตรวจสอบและบำรุงรักษา มีข้อกำหนดที่สำคัญ ดังนี้

1) ระยะห่าง ระยะห่างระหว่างหม้อแปลงกับผนังหรือประตูห้องหม้อแปลง ต้องไม่น้อยกว่า 1.0 เมตร ระยะห่างระหว่างหม้อแปลงต้องไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร บริเวณที่ตั้งหม้อแปลงต้องมีที่ว่างเหนือหม้อแปลงหรือเครื่องหุ้มหม้อแปลงไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร

2) การระบายอากาศ ช่องระบายอากาศควรอยู่ห่างจากประตู หน้าต่าง ทางหนีไฟ และวัตถุที่ติดไฟได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ อุณหภูมิในห้องหม้อแปลงต้องไม่เกิน 40 °C การระบายความร้อนทำได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังนี้

(1) ใช้ระบบหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ ช่องระบายอากาศต้องมีทั้งด้านเข้าและออก พื้นที่ของช่องระบายอากาศแต่ละด้านเมื่อหักพื้นที่ของลวดตาข่ายแล้วต้องไม่น้อยกว่า 1 ตร.ม. ต่อ 1,000 เควีเอของหม้อแปลงที่ใช้งาน และต้องไม่เล็กกว่า 0.05 ตร.ม.

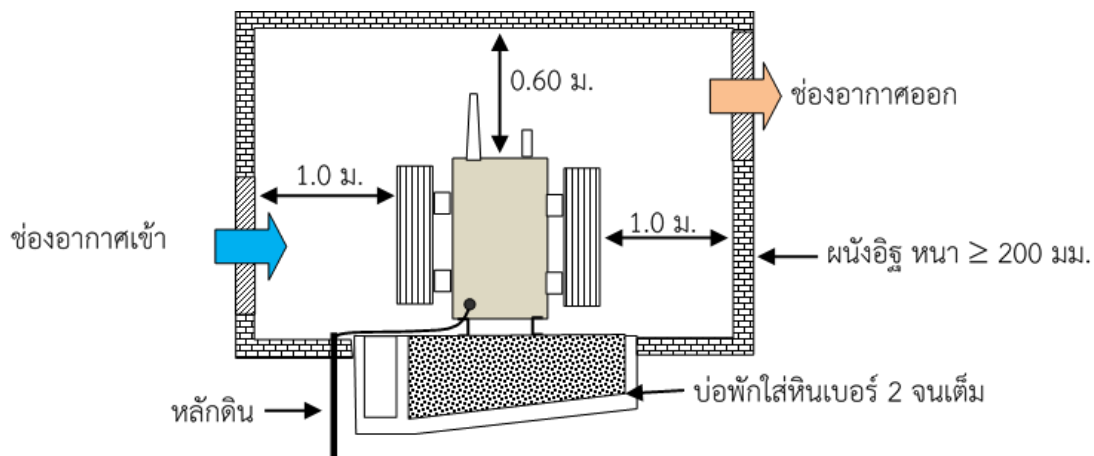
(2) ระบายอากาศออกด้วยพัดลม ช่องระบายอากาศด้านเข้าต้องมีขนาดเมื่อหักพื้นที่ของลวดตาข่ายแล้วต้องไม่น้อยกว่า 1 ตร.ม. ต่อ 1,000 เควีเอของหม้อแปลงที่ใช้งาน และต้องไม่เล็กกว่า 0.05 ตร.ม. ด้านอากาศออกติดตั้งพัดลมที่สามารถดูดอากาศออกจากห้องได้ไม่น้อยกว่า 8.40 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อหนึ่งกิโลวัตต์ของค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียทั้งหมดของหม้อแปลงเมื่อมีโหลดเต็มที่ ซึ่งดูได้จากแผ่นป้ายประจำเครื่อง (name plate) ของหม้อแปลง

(3) ระบายความร้อนด้วยเครื่องปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 3,412 บีทียูต่อชั่วโมงต่อหนึ่งกิโลวัตต์ของค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดของหม้อแปลงเมื่อมีโหลดเต็มที่ และไม่จำเป็นต้องมีช่องระบายอากาศออก

3) พื้นห้องหม้อแปลงและบ่อพักน้ำมัน พื้นห้องต้องสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กหนาไม่น้อยกว่า 125 มม. และต้องรับน้ำหนักหม้อแปลงและเครื่องอุปกรณ์อื่น ๆ ได้อย่างปลอดภัย พื้นห้องต้องลาดเอียงและมีทางระบายฉนวนของเหลวของหม้อแปลงไปลงบ่อพัก (sump) บ่อพักต้องสามารถบรรจุของเหลวได้อีกอย่างน้อย 3 เท่า ของปริมาณของเหลวของหม้อแปลงหม้อแปลงชุดที่มีของเหลวมากที่สุด และใส่หินเบอร์ 2 จนเต็ม

4) การต่อลงดิน ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งและไม่ใช้เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าต้องต่อลงดิน สายต่อหลักดินต้องเป็นสายทองแดงมีขนาดไม่เล็กกว่า 35 ตร.มม.

5) ระบบดับเพลิง ต้องมีเครื่องดับเพลิงชนิดที่ใช้ดับไฟที่เกิดจากไฟฟ้าได้ซึ่งมีช่วงเวลานีติได้นานอย่างน้อย 15 วินาที ติดตั้งไว้ที่ผนังด้านนอกห้องหม้อแปลง

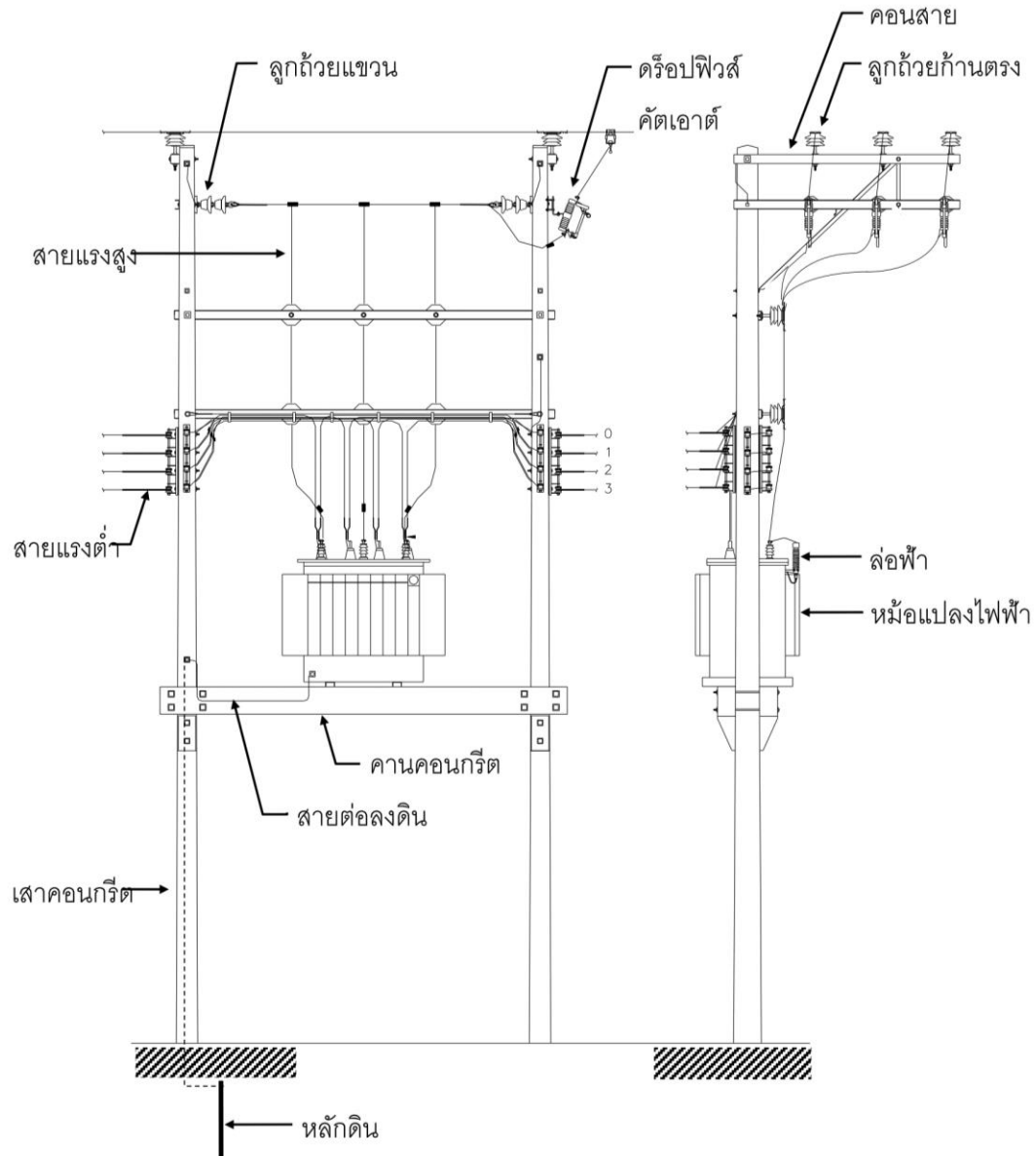


รูปที่ 1.29 ตัวอย่างห้องหม้อแปลง

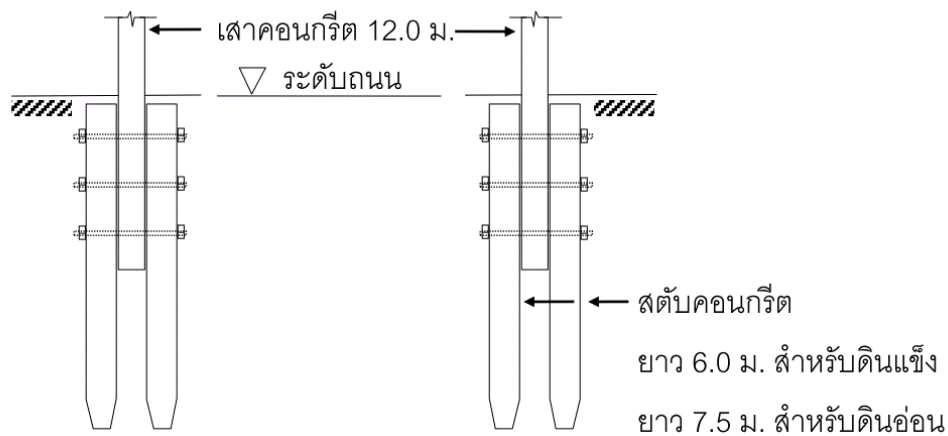
1.5.1.9 ลานหม้อแปลง

ลานหม้อแปลงเป็นบริเวณหรือพื้นที่สำหรับติดตั้งหม้อแปลงที่อยู่ภายนอกอาคาร หม้อแปลงที่อยู่ภายนอกอาคารต้องอยู่ในที่ล้อมซึ่งอาจเป็นรั้วหรือกำแพงก็ได้ เพื่อให้เข้าได้เฉพาะผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเท่านั้น รั้วของลานหม้อแปลงต้องมีความสูงไม่น้อยกว่า 2.0 ม. รั้วที่เป็นโลหะต้องต่อลงดินด้วย พื้นของลานหม้อแปลงจะต้องใส่หินเบอร์ 2 หนาอย่างน้อย 100 มม. ยกเว้นพื้นที่ส่วนที่ตั้งหม้อแปลง

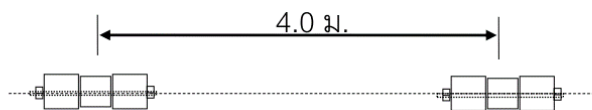
กรณีที่ดินหม้อแปลงตั้งอยู่บนชั้นดาดฟ้า พื้นของชั้นดาดฟ้าและตัวอาคารจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักของหม้อแปลงและบริภัณฑ์ประกอบได้อย่างปลอดภัย หากหม้อแปลงเป็นชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้จะต้องมีบ่อพักที่สามารถบรรจุของเหลวได้อย่างน้อย 3 เท่าของปริมาตรของเหลวของหม้อแปลงชุดที่มีของเหลวมากที่สุด แล้วใส่หินเบอร์ 2 จนเต็ม ท่อระบายของเหลวต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 50 มม. และต้องเป็นชนิดทนไฟ



รูปที่ 1.31 ตัวอย่างนั่งร้านหม้อแปลง



ภาพตัด



แปลน

รูปที่ 1.32 ตัวอย่างฐานเสาของนั่งร้านหม้อแปลง ขนาด 4.5 ตัน

1.5.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด และมีแรงบิดเมื่อเริ่มเดินเครื่องสูง นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะ หรือใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟ

1.5.2.1 หลักการทำงาน

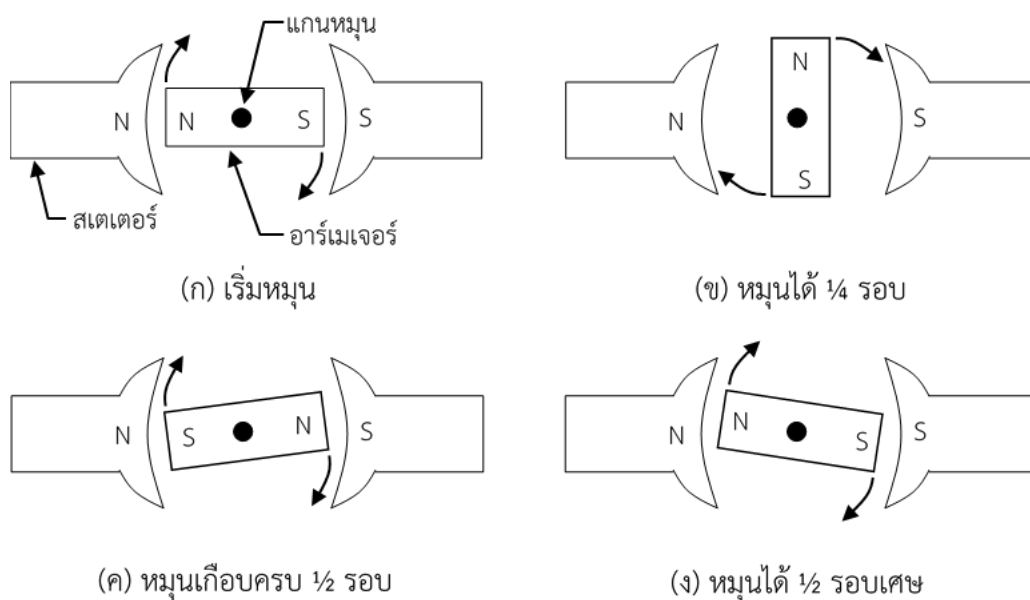
การทำงานของมอเตอร์อาศัยการดูดและผลักกันของแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแม่เหล็กที่มีขั้วเหมือนกันจะผลักกัน และถ้าต่างขั้วก็จะดูดกัน มอเตอร์กระแสตรงจึงประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

1) ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (stator) ประกอบด้วย เฟรมหรือโยค (frame หรือ yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ให้ครบวงจร และยึดส่วนประกอบอื่น ๆ ให้แข็งแรง ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนาม้วนเป็นรูปทรงกระบอก

ส่วนที่เป็นสเตเตอร์นี้จะมีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ กันด้วยฉนวน ประกอบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์ หรือ อาร์เมเจอร์ เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุด มีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มาก ทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มาก เป็นการทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน



รูปที่ 1.33 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก

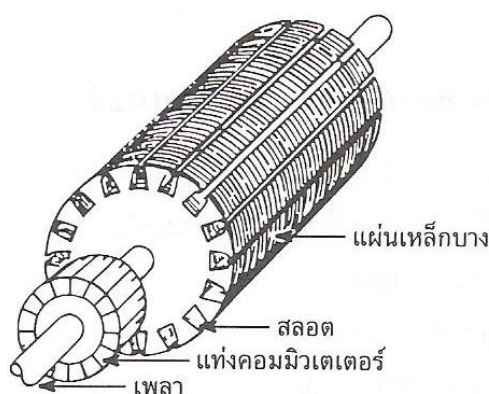


รูปที่ 1.34 การหมุนและการเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์กระแสตรง

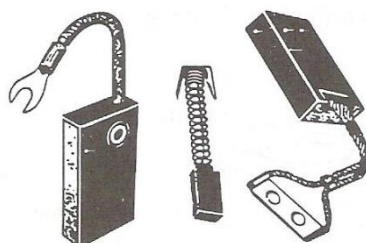
2) ตัวส่วนที่หมุน (armature) ส่วนนี้จะทำให้เป็นแม่เหล็กด้วยขดลวดไฟฟ้า เช่นเดียวกัน แม่เหล็กนี้จะมีขั้วตรงข้ามกับขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งก็จะผลักรันทำให้หมุนไปได้ โดย

ตำแหน่งเริ่มแรกขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์กับโรเตอร์ที่เหมือนกันอยู่ในตำแหน่งที่เยื้องกันเล็กน้อย (รูป ก) ก็เกิดแรงผลักให้หมุน เมื่ออาร์เมเจอร์หมุนไปได้ 180 องศา ก็ทำการกลับขั้วแม่เหล็กจากขั้วเหนือ (N) เป็นขั้วใต้ (S) (รูป ง)

การป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าอาร์เมเจอร์ จะป้อนผ่านคอมมิวเตเตอร์ มีลักษณะเป็นซี่ทองแดงจำนวนหลายซี่ติดอยู่รอบแกนหมุนของอาร์เมเจอร์ ส่วนที่สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์และทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าผ่านไปยังคอมมิวเตเตอร์คือแปรงถ่าน



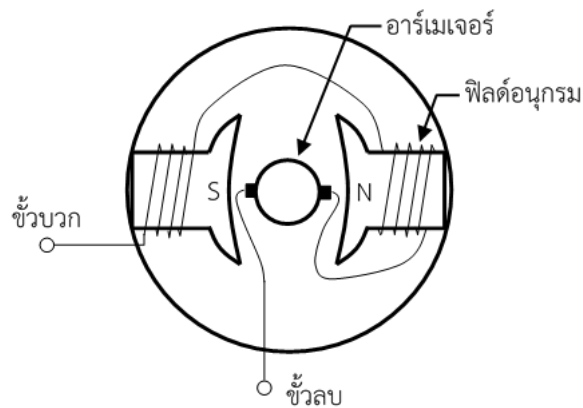
รูปที่ 1.35 คอมมิวเตเตอร์และอาร์เมเจอร์



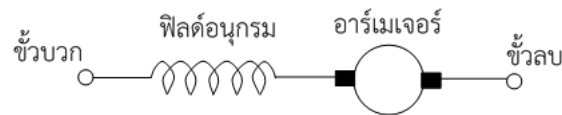
รูปที่ 1.36 ตัวอย่างแปรงถ่าน

1.5.2.2 ชนิดของมอเตอร์กระแสตรง

1) มอเตอร์แบบอนุกรม (series motor) หลักการหมุนของมอเตอร์เป็นไปตามที่กล่าวข้างต้น มอเตอร์อนุกรมหรือซีรีมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่ขดลวดฟิลด์ (field coil) กับขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อกันแบบอนุกรม เป็นมอเตอร์ที่ให้แรงบิดเมื่อเริ่มเดินสูงมาก อาจสูงถึง 5 เท่าของพิกัดมอเตอร์ แต่จะกินกระแสสูงด้วย ความเร็วรอบจะลดลงเมื่อโหลดสูงขึ้น และความเร็วรอบจะสูงมากเมื่อไม่มีโหลด ความเร็วสูงนี้อาจทำให้คอมมิวเตเตอร์หรือแปรงถ่านเสียหายได้ ในการใช้งานจึงต้องต่อโหลดอยู่ตลอดเวลา

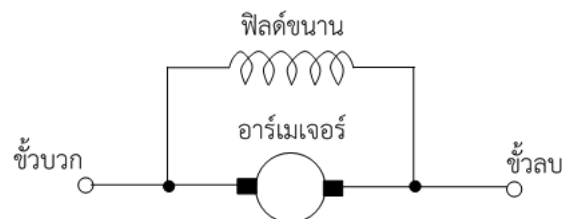


รูปที่ 1.37 โครงสร้างของซีรี่ยอเตอร์



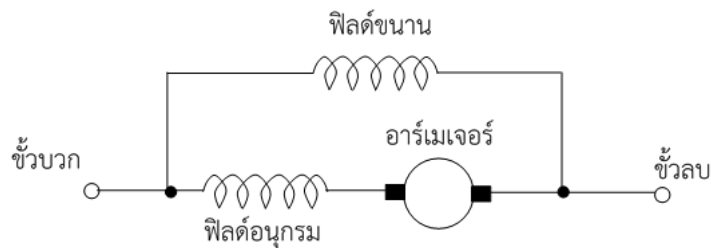
รูปที่ 1.38 วงจรซีรี่ยอเตอร์

2) มอเตอร์แบบขนาน (shunt motor) เป็นมอเตอร์ที่ขดลวดของสเตอร์และโรเตอร์ มีการต่อกันแบบขนาน เป็นมอเตอร์ที่ความเร็วรอบค่อนข้างคงที่แม้โหลดจะเปลี่ยนไปก็ตาม เป็นการแก้ปัญหา ความเร็วรอบไม่คงที่ของซีรี่ยอเตอร์ แต่แรงบิดเมื่อเริ่มเดินเครื่องจะลดลง



รูปที่ 1.39 วงจรมอเตอร์แบบขนาน

3) มอเตอร์แบบผสม (compound motor) เป็นมอเตอร์ที่พยายามนำข้อดีของ ซีรี่ยอเตอร์กับซันต์มอเตอร์มารวมกัน ในมอเตอร์จึงมีทั้งขดลวดอนุกรมและขนานรวมอยู่ด้วยกัน การทำงานจึง อยู่ระหว่างซีรี่ยอเตอร์กับซันต์มอเตอร์ ความเร็วรอบของมอเตอร์จะไม่เปลี่ยนแปลงมากเมื่อโหลดเปลี่ยน และ จะได้แรงบิดเมื่อเริ่มเดินสูง (แต่น้อยกว่าซีรี่ยอเตอร์)



รูปที่ 1.40 วงจรมอเตอร์แบบผสม

1.5.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

1.5.3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

เป็นมอเตอร์ที่ออกแบบสำหรับใช้กับไฟฟ้าระบบ 1 เฟส เป็นมอเตอร์ที่มีใช้งานทั่วไป เนื่องจากใช้งานง่าย และสามารถหาระบบไฟฟ้าใช้ได้สะดวก แบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

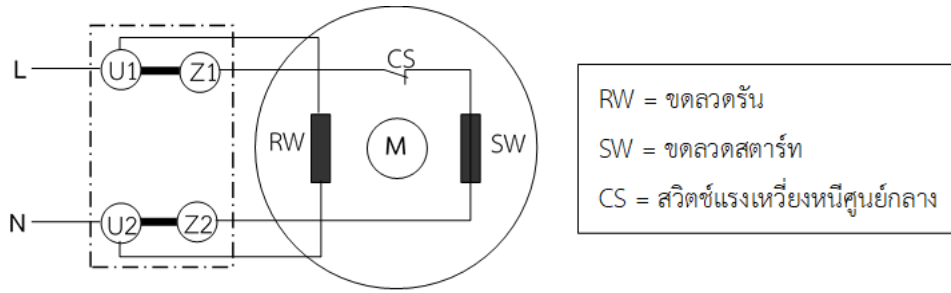
1) สปลิตเฟสมอเตอร์ (split phase motor) เป็นมอเตอร์ชนิดอินดักชันมอเตอร์ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือสเตเตอร์ (stator) โรเตอร์ (rotor) และสวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal switch)

(1) สเตเตอร์ ประกอบด้วยขดลวดพันบนแกนเหล็กเพื่อทำหน้าที่ในการสร้างสนามแม่เหล็กให้หมุนไปรอบ ๆ ขดลวดนี้มี 2 ชุดคือขดรีนหรือขดลวดเมน (running winding or main winding) และขดสตาร์ท (starting winding) ขดสตาร์ททำหน้าที่ช่วยให้มอเตอร์มีแรงในการเริ่มหมุน และเมื่อมอเตอร์หมุนไปได้ความเร็วประมาณ 75% ของความเร็วปกติ ขดสตาร์ทจะตัดออกด้วยสวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ขดรีนก็จะทำหน้าที่หมุนมอเตอร์ต่อไป

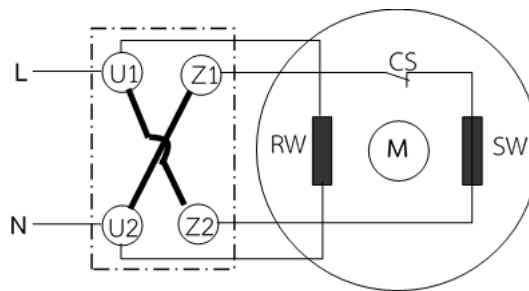
(2) โรเตอร์ คือส่วนที่หมุน ประกอบด้วยแกนเหล็กที่ฝังโดยรอบด้วยตัวนำที่อาจเป็นทองแดงหรืออะลูมิเนียมก็ได้ ปลายทั้งสองข้างของตัวนำที่ฝังแต่ละตัวนี้จะเชื่อมติดเข้าด้วยกัน เป็นการลัดวงจรนั่นเอง ดังนั้นเมื่อสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์หมุน ก็จะเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตัดกับตัวนำที่โรเตอร์ จะเกิดกระแสไหลในโรเตอร์และแกนเหล็กของโรเตอร์ก็จะเป็นแม่เหล็ก เกิดการผลักกันทำให้โรเตอร์หมุนไปได้

(3) สวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง สวิตช์นี้ประกอบติดอยู่กับตัวโรเตอร์ เมื่อมอเตอร์หมุนไปได้ความเร็วประมาณ 75% สวิตช์จะตัดวงจรไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้ขดสตาร์ทออก

การกลับทางหมุนของสปลิตเฟสมอเตอร์ทำได้โดยการสลับขั้วของขดลวดขดใดขดหนึ่งเท่านั้น แต่ถ้าสลับทั้งสองขด มอเตอร์จะหมุนในทิศทางเดิม



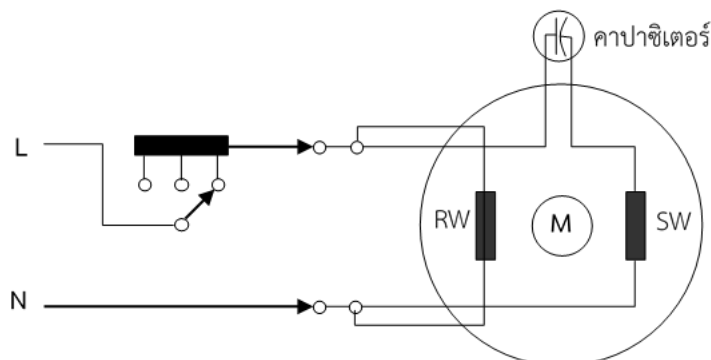
รูปที่ 1.41 วงจรสปลิตเฟสมอเตอร์



รูปที่ 1.42 การกลับทางหมุนของสปลิตเฟสมอเตอร์

2) คาปาซิเตอร์มอเตอร์ เป็นอินดักชันมอเตอร์เช่นเดียวกับสปลิตเฟสมอเตอร์ และมีการทำงานคล้ายกันคือมีขดลวดที่เป็นขดสตาร์ทและขดรีเลย์เช่นเดียวกัน แต่เพิ่ม คาปาซิเตอร์เข้าไปในวงจรสตาร์ท เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กไม่ใหญ่นัก

ในมอเตอร์ชนิดนี้จะใส่คาปาซิเตอร์อนุกรมเข้ากับขดสตาร์ท จึงมีบิดเมื่อเริ่มเดินสูงแต่ใช้กระแสไม่มากนัก การต่อคาปาซิเตอร์อนุกรมเข้ากับขดสตาร์ททำให้กระแสในขดสตาร์ทถึงจุดสูงสุดก่อนขดรีเลย์ ซึ่งมากกว่าสปลิตเฟสมอเตอร์ มอเตอร์จึงมีแรงบิดตอนสตาร์ทสูงกว่ามาก คาปาซิเตอร์ที่ต่อในวงจรนี้อาจออกแบบให้ถูกตัดออกเมื่อมอเตอร์หมุนได้ความเร็วประมาณ 75% หรืออาจต่อในวงจรตลอดเวลาก็ได้



รูปที่ 1.43 วงจรและการปรับความเร็วของคาปาซิเตอร์มอเตอร์

การปรับความเร็วรอบของคาปาซิเตอร์มอเตอร์ทำได้โดยการใส่ขดลวดเพิ่มเข้าไปในวงจรของขดรีน สำหรับการกลับทางหมุนทำได้โดยการสลับขั้วของขดลวดขดใดขดหนึ่งเท่านั้น แต่ถ้าสลับทั้งสองขด มอเตอร์จะหมุนในทิศทางเดิม

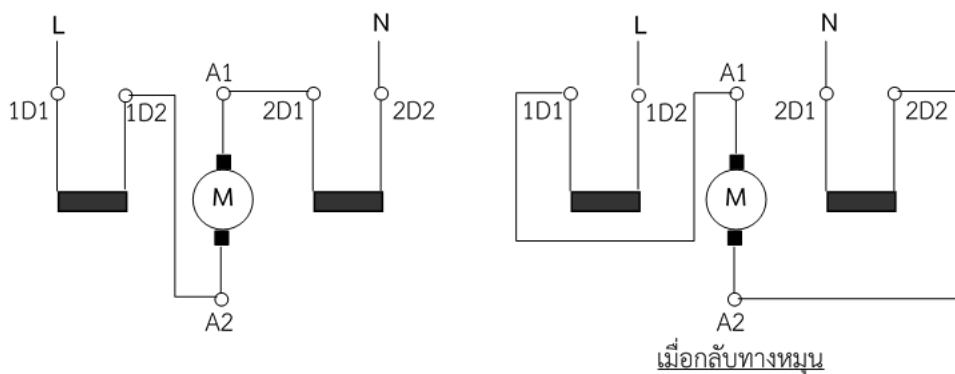
3) ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ขนาดเล็ก สามารถใช้ได้ทั้งไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรง เนื่องจากขดลวดของสเตเตอร์กับอาร์เมเจอร์ ต่อกันอยู่ มอเตอร์ชนิดนี้มีแรงบิดตอนสตาร์ทสูงมาก และความเร็วรอบสูงด้วย ความเร็วนี้จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ถ้าไม่มีโหลดและอาจสูงจนมอเตอร์ชำรุดได้ ในการใช้งานจึงต้องมีโหลดต่อยึดด้วยตลอดเวลา มอเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้เป็นมอเตอร์จักรส่วนไฟฟ้า และเครื่องดูดฝุ่น เป็นต้น ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือสเตเตอร์ (stator) อาร์เมเจอร์ (armature) และคอมมิวเตเตอร์ (commutator)

(1) สเตเตอร์ หรือเรียกอีกอย่างว่าขั้วสนามแม่เหล็ก (field coil) ประกอบด้วยขดลวดพันบนแกนเหล็กเหมือนมอเตอร์ทั่วไป

(2) อาร์เมเจอร์ เป็นส่วนที่หมุนเหมือนกับโรเตอร์ของอินดักชันมอเตอร์ มีข้อแตกต่างตรงที่มีการพันขดลวดด้วย และในการใช้งานจะมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดอาร์เมเจอร์ด้วย โดยผ่านทางคอมมิวเตเตอร์

(3) คอมมิวเตเตอร์ มีลักษณะเป็นซี่ทองแดง ใช้งานร่วมกับแปรงถ่าน ทำหน้าที่รับไฟฟ้าที่จ่ายมาทางแปรงถ่าน ให้ไหลผ่านขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

การกลับทางหมุนของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ ทำได้โดยการกลับขั้วการจ่ายไฟฟ้าที่สเตเตอร์ หรือที่อาร์เมเจอร์ ขดใดขดหนึ่งเช่นเดียวกับมอเตอร์ชนิดอินดักชัน



รูปที่ 1.44 การกลับทางหมุนของมอเตอร์ชนิดยูนิเวอร์แซล

1.5.3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติที่ดีคือ มีความเร็วรอบคงที่เนื่องจากความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์ขึ้นอยู่กับความถี่ (frequency) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีราคาถูก โครงสร้างไม่ซับซ้อน สะดวกในการบำรุงรักษา เพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วแบบอินเวอร์เตอร์ (inverter) สามารถควบคุมความเร็วได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึง

ความเร็วตามพิกัดของมอเตอร์ นิยมใช้เป็นต้นกำลังในโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับการขับเคลื่อนลิฟต์ ขับเคลื่อนสายพานลำเลียง ขับเคลื่อนเครื่องจักรไฟฟ้า เช่น เครื่องไส เครื่องกลึง เป็นต้น แบ่งตามหลักการทำงานได้ 2 ชนิดคือ

1) มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ หรืออินดักชันมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ทำงานโดยอาศัยการเหนี่ยวนำด้วยอำนาจแม่เหล็ก การใช้งานจะจ่ายไฟให้ขดลวดที่พันอยู่ที่สเตเตอร์ ซึ่งเป็นตัวที่อยู่กับที่ กระแสไฟฟ้าจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำไปที่โรเตอร์ ซึ่งเป็นตัวหมุน ที่โรเตอร์จะมีกระแสไฟฟ้าไหล และเกิดอำนาจแม่เหล็กทำให้หมุนไปได้ อินดักชันมอเตอร์ยังแบ่งออกได้ตามชนิดของโรเตอร์เป็น สไลด์เรลเคจ อินดักชันมอเตอร์ (squirrel cage induction motor) และวาวด์โรเตอร์มอเตอร์ (wound rotor motor)

(1) สไลด์เรลเคจอินดักชันมอเตอร์ หรือเรียกว่าโรเตอร์ชนิดกรงกระรอก ที่โรเตอร์จะฝังตัวนำไฟฟ้าไว้และตัวนำนี้จะถูกลัดวงจรเข้าด้วยกัน การใช้งานทำได้โดยการจ่ายไฟเข้าที่สเตเตอร์ จะเกิดการหมุนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สนามแม่เหล็กนี้จะไปตัดกับตัวนำที่โรเตอร์ เกิดการเหนี่ยวนำจนมีกระแสไฟฟ้าไหลและเกิดการสร้างสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ดูกับที่สเตเตอร์ ทำให้โรเตอร์สามารถหมุนได้ โดยที่ความเร็วรอบในการหมุนของโรเตอร์นี้จะช้ากว่าการหมุนของสนามแม่เหล็กเล็กน้อย ความเร็วที่แตกต่างกันนี้เรียกว่าสลลิป

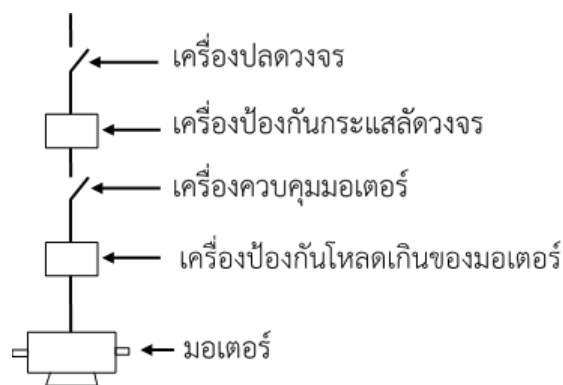
(2) วาวด์โรเตอร์มอเตอร์ ที่โรเตอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้จะมีขดลวดพันอยู่ด้วยและจะมีสายต่อออกมาข้างนอกโดยผ่านสลลิปริง (slip rings) เพื่อช่วยในการเริ่มต้น ในการใช้งานจะจ่ายไฟเข้าที่สเตเตอร์เช่นเดียวกัน การลดกระแสขณะเริ่มเดินเครื่องทำได้โดยการใส่ตัวต้านทานอนุกรมเข้ากับขดลวดของสเตเตอร์ มอเตอร์ชนิดนี้เรียกอีกชื่อหนึ่งได้ว่าสลลิปริงมอเตอร์

2) ซิงโครนัสมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่มีการพันขดลวดทั้งที่โรเตอร์และสเตเตอร์ ในการใช้งานจะจ่ายไฟกระแสสลับเข้าที่สเตเตอร์ ส่วนที่โรเตอร์จะจ่ายไฟกระแสตรงเข้าไปโดยผ่านวงแหวนลื่นหรือสลลิปริง และถ้าจ่ายไฟกระแสตรงเข้าที่โรเตอร์มากเกินไปมอเตอร์จะทำหน้าที่กลับเป็นซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ใช้แก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบไฟฟ้าได้ มอเตอร์ชนิดนี้จะมีความเร็วรอบคงที่ที่ความเร็วซิงโครนัส (synchronous speed)

การกลับทางหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส ทำได้โดยการกลับขั้วการจ่ายไฟที่ขดลวดของสเตอร์เฟสใดเฟสหนึ่งเพียงเฟสเดียว

1.5.4 การป้องกันมอเตอร์

การป้องกันมอเตอร์แบ่งออกเป็น การป้องกันกระแสลัดวงจร และการป้องกันมอเตอร์เดินไม่ไหว เนื่องจากโหลดเกิน หรือโอเวอร์โหลด



รูปที่ 1.45 วงจรมอเตอร์

1.5.4.1 การป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์

วงจรไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้มอเตอร์ ต้องมีการป้องกันการลัดวงจรสำหรับสายไฟฟ้า เครื่องควบคุม และตัวมอเตอร์ เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรต้องสามารถนำกระแสเริ่มต้นเครื่องของมอเตอร์ได้ โดยไม่ต้องปลดวงจร แต่ต้องไม่ใหญ่มากเกินไปจนความสามารถในการป้องกันลดลง หรือไม่สามารถป้องกันได้ เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร แบ่งออกเป็นฟิวส์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์

1) ฟิวส์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

(1) ฟิวส์ทำงานไว คือ ฟิวส์ที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าทั่วไป และเนื่องจากฟิวส์ชนิดนี้ทำงานปลดวงจรเร็ว ในการกำหนดขนาดจึงต้องเลือกขนาดใหญ่หน่อยเพื่อป้องกันการปลดวงจร หรือฟิวส์ขาดเมื่อเริ่มเดินมอเตอร์ ปกติจะเลือกขนาดฟิวส์ที่ประมาณ 2 ถึง 3 เท่าของพิกัดกระแสมอเตอร์

(2) ฟิวส์หน่วงเวลา คือ ฟิวส์ที่ออกแบบให้ทำงานช้ากว่าปกติ เหมาะกับการใช้งานกับวงจรมอเตอร์โดยเฉพาะ จึงสามารถกำหนดขนาดได้เล็กลงกว่าฟิวส์ทำงานไว ขนาดที่ใช้อยู่ที่ประมาณ 1.75 เท่าของกระแสมอเตอร์

2) เซอร์กิตเบรกเกอร์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

(1) เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดปลดวงจรทันที คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีลักษณะการทำงานแบบปลดวงจรทันทีเมื่อกระแสเกิน เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้ถูกออกแบบให้ใช้กับวงจรมอเตอร์โดยเฉพาะ

(2) เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดเวลาผกผัน คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ทั่วไป เป็นแบบที่นิยมใช้กันทั่วไป เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้มีการทำงาน 2 แบบคือ การทำงานในช่วงกระแสเกิน ซึ่งการทำงานจะเป็นแบบเวลาผกผัน และช่วงทันทีทันใด การกำหนดขนาดต้องไม่เล็กมากจนไม่สามารถเริ่มเดินมอเตอร์ได้ ขนาดที่นิยมใช้คือ 2 ถึง 2.5 เท่าของกระแสมอเตอร์

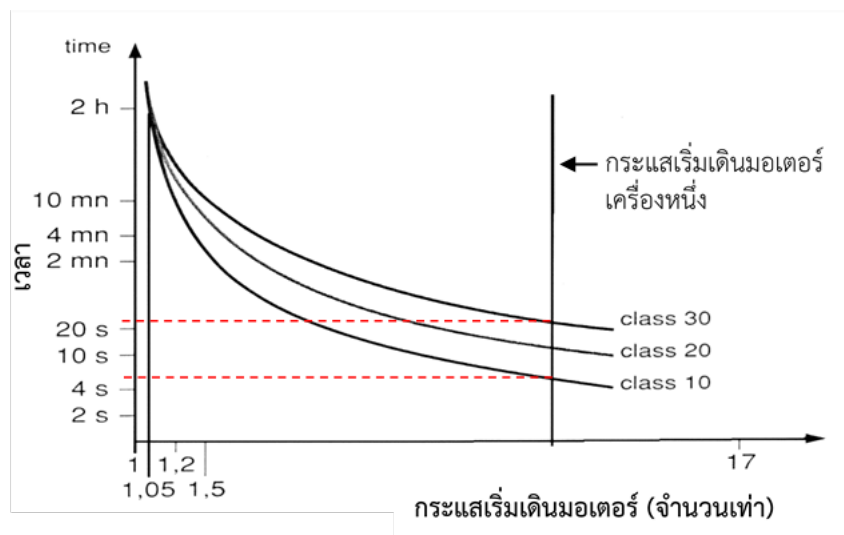
1.5.4.2 การป้องกันโหลดเกิน

ในวงจรมอเตอร์จะมีอุปกรณ์ป้องกัน 2 ส่วน คือ การป้องกันกระแสลัดวงจร และการป้องกันมอเตอร์เดินไหม้ไหม้จากโอเวอร์โหลด การป้องกันโอเวอร์โหลดจึงเป็นการป้องกันมอเตอร์เนื่องจากโหลดเกิน และป้องกันสายไฟฟ้าจากกระแสโอเวอร์โหลด แบ่งเป็นดังนี้

1) โอเวอร์โหลดรีเลย์ (overload relay)

โอเวอร์โหลดรีเลย์ หรือ เครื่องปลดวงจรชนิดติดตั้งแยกต่างหากจากตัวมอเตอร์และทำงานสัมพันธ์กับกระแสของมอเตอร์ เป็นแบบที่ใช้กันทั่วไป ในการใช้งานจะต้องถัดจากหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า วัดกระแสของมอเตอร์ เครื่องป้องกันโหลดเกินชนิดนี้ทำงานด้วยความร้อน จึงทำงานช้า

ในการใช้งานสามารถตั้งค่าได้ต่ำใกล้เคียงกับกระแสมอเตอร์ ปกติจะตั้งค่าที่ประมาณ 1.15 เท่าของกระแสมอเตอร์ แต่ถ้าตั้งค่าตามที่กล่าวนี้แล้ว มอเตอร์ไม่สามารถเริ่มเดินได้เนื่องจากโอเวอร์โหลดปลดวงจร สามารถปรับให้สูงขึ้นได้อีก แต่ต้องไม่เกิน 1.3 เท่าของกระแสมอเตอร์



รูปที่ 1.46 เวลาในการปลดวงจรของโอเวอร์โหลดรีเลย์ Class ต่าง ๆ

ในทางปฏิบัติ โอเวอร์โหลดรีเลย์จะแบ่งเป็น Class ต่าง ๆ คือ Class 10, 20 และ 30 เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยที่ Class 30 จะทำงานช้าที่สุด ดังนั้นถ้าใช้ Class 10 แล้วมอเตอร์ไม่สามารถเริ่มเดินได้ อาจแก้ไขโดยการเปลี่ยนเป็น Class 20 หรือ 30 ก็ได้ ตัวอย่างเช่นที่กระแสเริ่มเดินของมอเตอร์เครื่องหนึ่งโอเวอร์โหลดรีเลย์ Class 10 ปลดวงจรที่เวลาประมาณ 6 วินาที ในขณะที่ Class 30 ใช้เวลาในการปลดวงจรนาน 25 วินาที

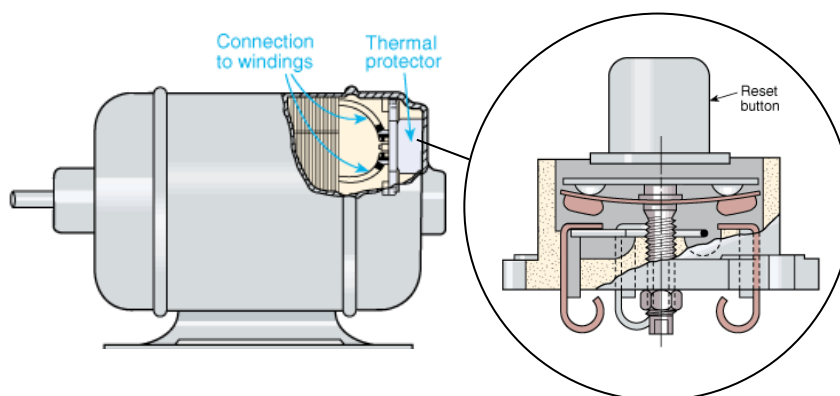
2) เทอร์มิสเตอร์ (thermistor)

เทอร์มิสเตอร์ หรือ เครื่องป้องกันโหลดเกินชนิดเครื่องป้องกันอุณหภูมิสูงเกิน ชนิดนี้จะวัดความร้อนที่ขดลวดมอเตอร์โดยตรง ทำให้สามารถวัดค่าได้เที่ยงตรงกว่า และเนื่องจากมีราคาสูง จึงติดตั้ง

กับมอเตอร์ขนาดใหญ่เท่านั้น การปรับตั้งค่าต้องสอดคล้องตามอุณหภูมิฉนวนของขดลวด จึงควรเป็นไปตามที่ผู้ผลิตแนะนำ

3) เครื่องป้องกันโหลดเกินชนิดอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องป้องกันชนิดนี้ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจจับและสั่งปลดวงจร สามารถจำลองพฤติกรรมทางความร้อนของมอเตอร์ได้ดี ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์และไมโครโปรเซสเซอร์ จึงสามารถปรับแต่งให้ใช้กับมอเตอร์ได้ทุกขนาด



รูปที่ 1.47 เครื่องป้องกันอุณหภูมิสูงเกิน

1.5.5 เครื่องควบคุมมอเตอร์

เครื่องควบคุมมอเตอร์ คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เริ่มเดิน และหยุดเดินมอเตอร์ รวมทั้งควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วย ตัวที่ใช้ในการเริ่มเดินมอเตอร์เรียกว่าเครื่องเริ่มเดินมอเตอร์หรือ motor starter

1.5.5.1 การเริ่มเดินมอเตอร์

วิธีการเริ่มเดินมอเตอร์ที่ใช้กันทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ

1) การเริ่มเดินโดยรับแรงดันไฟฟ้าเต็มที่ (direct on line : DOL)

การเริ่มเดินโดยรับแรงดันไฟฟ้าเต็มที่ หรือโดยการต่อไฟเข้าโดยตรง เป็นวิธีที่ต่อไฟแรงดันตามพิกัดของมอเตอร์เข้าที่ขั้วของมอเตอร์โดยตรง ซึ่งการเริ่มเดินเครื่องแบบนี้จะทำให้กระแสเริ่มเดินของมอเตอร์ (starting current) มีค่าสูง แต่ก็จะได้แรงบิดเริ่มเดินเครื่องสูงด้วยเช่นกัน โดยทั่วไปกระแสเริ่มเดินมอเตอร์ด้วยวิธีนี้จะมีค่าประมาณ 6 - 8 เท่า ของกระแสพิกัดของมอเตอร์ ขึ้นกับชนิดของมอเตอร์ ส่วนแรงบิดเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าประมาณ 1.5 เท่าของแรงบิดพิกัดของมอเตอร์

เนื่องจากการเริ่มเดินเครื่องแบบรับแรงดันไฟฟ้าเต็มที่ จะใช้กระแสสูงมากถึง 6 - 8 เท่าของกระแสพิกัดของมอเตอร์จึงส่งผลให้เกิดแรงดันตกขึ้นในสายไฟฟ้า ซึ่งอาจจะทำให้ไปรบกวนระบบอื่น ๆ ที่ต่ออยู่ด้วย จะเห็นได้ว่าอาจเกิดไฟกระพริบขณะเริ่มเดินมอเตอร์ ดังนั้นการเริ่มเดินเครื่องแบบนี้จึงควรใช้กับมอเตอร์ขนาดเล็ก ๆ ไม่เกิน 7.5 kW (10 hp) แต่สำหรับในกรณีโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งระบบไฟฟ้าจะมีขนาด

ค่อนข้างใหญ่ ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าเอง จะสามารถใช้การเริ่มเดินเครื่องแบบนี้สำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่ได้ ถ้าหากต้องการแรงบิดเริ่มเดินเครื่องสูง โดยที่แรงดันตกจะมีผลไม่มากนัก อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

2) การเริ่มเดินโดยการลดแรงดันไฟฟ้า

เป็นการแก้ปัญหาเรื่องแรงดันตกขณะเริ่มเดินมอเตอร์ การลดแรงดันเข้ามอเตอร์จะสามารถลดค่ากระแสเริ่มเดินมอเตอร์ได้ แต่จะเป็นผลให้แรงบิดเริ่มเดินเครื่องลง การเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์แบบลดแรงดันมีหลายวิธี ตัวอย่างการเริ่มเดินเป็นดังนี้

(1) การเริ่มเดินเครื่องแบบสตาร์-เดลตา (star-delta Starting) จะมีกระแสเริ่มเดินประมาณ 1.3 - 2.6 เท่า ของพิกัดกระแสมอเตอร์

(2) การเริ่มเดินเครื่องด้วยหม้อแปลงออโต (autotransformer starting) จะมีกระแสเริ่มเดินประมาณ 1.7 - 4 เท่า ของพิกัดกระแสมอเตอร์

(3) การเริ่มเดินเครื่องด้วยความต้านทาน (resistance starting) จะมีกระแสเริ่มเดินประมาณ 4 เท่า ของพิกัดกระแสมอเตอร์

(4) การเริ่มเดินด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ (solid state starter) จะมีกระแสเริ่มเดินประมาณ 2 - 5 เท่า ของพิกัดกระแสมอเตอร์ และสามารถปรับได้ตามต้องการ

1.5.5.2 หน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetic contactor)

เป็นอุปกรณ์ประกอบที่ใช้ในการเริ่มเดินมอเตอร์ ถือว่าเป็นอุปกรณ์ตัวหนึ่งของอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ การเลือกใช้หน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้าต้องพิจารณา พิกัดแรงดันไฟฟ้า พิกัดกำลังไฟฟ้า และลักษณะสมบัติของโหลด

1) พิกัดแรงดันไฟฟ้า หน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ต้องมีพิกัดแรงดันไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าแรงดันของระบบไฟฟ้าที่ต่อใช้งาน

2) พิกัดกำลังไฟฟ้า ถึงแม้ชุดควบคุมสำเร็จจะระบุพิกัดของเครื่องควบคุมเป็นกิโลวัตต์หรือแรงม้า แต่ในรายละเอียดของหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้าของผู้ผลิตมักจะระบุพิกัดกระแสของหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้ามาให้ พิกัดที่กำหนดมานี้ต้องไม่ต่ำกว่ากระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ซึ่งเราสามารถคำนวณเพื่อกำหนดขนาดเองได้

3) ลักษณะสมบัติของโหลด จะต้องทราบชนิดของโหลดตามชั้นการใช้งาน (utilization categories) หน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำมาใช้ต้องชั้นการใช้งานไม่ต่ำกว่าที่กำหนดในมาตรฐาน การเลือกใช้ชั้นการใช้งานที่ต่ำกว่าที่กำหนดในมาตรฐานจะทำให้หน้าสัมผัสชำรุดเนื่องจากการปลดและสับวงจร ในมาตรฐาน IEC กำหนดชั้นการใช้งานไว้เป็นค่า utilization categories ตามตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 ชั้นการใช้งาน (utilization categories) ตามมาตรฐาน IEC

categories	typical application
AC-1	non-inductive or slightly inductive loads, resistance furnaces
AC-2	slip-ring motor: starting, switching off
AC-3	squirrel-cage motors: starting, switching off motor during running
AC-4	squirrel-cage motors: starting, plugging, inching
AC-5a	switching of electric discharge lamp controls
AC-5b	switching of incandescent lamps
AC-6a	switching of transformers
AC-6b	switching of capacitor banks
AC-7a	slightly inductive loads in household appliance and similar appliances
AC-7b	motor loads for household appliances
AC-8a	hermetic refrigerant compressor motor control with manual resetting of overload release
AC-8b	hermetic refrigerant compressor motor control with automatic resetting of overload release
DC-1	non-inductive or slightly inductive loads, resistance furnaces
DC-3	shunt-motors: starting, plugging, inching, dynamic breaking of dc-motors
DC-5	series-motor: starting, plugging, inching, dynamic breaking of dc-motors
DC-6	switching of incandescent lamps

ที่มา : IEC 60947-4-1:2018

หมายเหตุ

1. AC หมายถึง ไฟฟ้ากระแสสลับ DC หมายถึง ไฟฟ้ากระแสตรง
2. categories AC-3 อาจใช้งานกับมอเตอร์ที่มีการเดิน-หยุด สลับกันเป็นครั้งคราว แต่การสลับจะต้องไม่เกิน 5 ครั้งต่อนาที และต้องไม่เกิน 10 ครั้งใน 10 นาที
3. plugging คือ การหยุดหรือสลับเฟสอย่างรวดเร็วในระหว่างที่มอเตอร์กำลังเดินอยู่
4. inching หรือ jogging คือ การจ่ายไฟให้มอเตอร์ช้า ๆ กัน ในช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อต้องการให้มอเตอร์หรือเครื่องจักรที่มอเตอร์ขับเคลื่อนตัวเล็กน้อย

1.5.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือเครื่องกลที่ใช้สร้างหรือผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อขดลวดหมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็กก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวด จึงต้องมีตัวต้นกำลังเป็นตัวหมุนสนามแม่เหล็กให้ตัดกับขดลวด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นหนึ่งในบริภัณฑ์ทางไฟฟ้าที่มีความสำคัญมากต่อเสถียรภาพและความมั่นคงทางไฟฟ้า ที่จะมีกำลังไฟฟ้าสำรองเพื่อรองรับกรณีกระแสไฟฟ้าหลักดับหรือขัดข้อง เพื่อให้ระบบที่มีความ

เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในชีวิต ระบบป้องกันอัคคีภัย และระบบที่มีความสำคัญต่อการดำเนินกิจการยังคงดำเนินการต่อไปได้ เช่น ระบบดาตาเซนเตอร์ ระบบกระบวนการผลิต



รูปที่ 1.48 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับจะเหมือนกันคือ เมื่อขดลวดตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก หรือเส้นแรงแม่เหล็กหมุนตัดกับขดลวดตัวนำ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าในตัวนำ

1.5.6.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1) เครื่องต้นกำลัง (engine prime mover) เครื่องต้นกำลัง ทำหน้าที่ขับเคลื่อนผลิตไฟฟ้าให้หมุนเพื่อให้ขดลวดหมุนตัดกับสนามแม่เหล็ก การขับเคลื่อนให้ขดลวดผลิตไฟฟ้าหมุนนั้นอาจใช้พลังงานจากหลายแหล่งเช่น เครื่องยนต์ พลังงานน้ำ ความร้อน และพลังงานลม เป็นต้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ทั่วไปในงานอุตสาหกรรมจะใช้พลังงานจากเครื่องยนต์ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

- (1) ระบบเชื้อเพลิง เป็นน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันเตา
- (2) ระบบระบายความร้อน ปกติจะใช้น้ำในการระบายความร้อน
- (3) ระบบไอเสีย ซึ่งต้องระบายควันหรือไอเสียออกนอกห้อง
- (4) ชุดควบคุมความเร็วรอบเครื่องต้นกำลัง (governor)
- (5) ระบบเริ่มเดินเครื่อง โดยปกติจะใช้แบตเตอรี่ในการเริ่มเดินเครื่อง

2) ชุดผลิตไฟฟ้า (alternator) เป็นตัวที่ทำหน้าที่สร้างกระแสไฟฟ้า มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

- (1) ส่วนที่หมุน (rotor)
- (2) ส่วนที่อยู่กับที่ (stator)

(3) ส่วนกระตุ้น (exciter)

(4) ส่วนควบคุมแรงดัน (voltage regulator)

3) แผงควบคุม (control panel) ทำหน้าที่ดังนี้

(1) ควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

(2) ควบคุมการประจุแบตเตอรี่

(3) ทำการตรวจสอบตลอดเวลาว่าไฟฟ้าขาดหายไปหรือไม่

(4) เมื่อพบว่าไฟฟ้าขาดหายไปจะส่งสัญญาณให้ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเริ่ม

เดินเครื่อง

(5) ตรวจสอบว่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ ว่ากลับมาจ่ายอีกครั้งหรือยัง

(6) เมื่อพบว่ามีไฟฟ้าจากทางการไฟฟ้าฯ จ่ายตามเดิมแล้วจะทำการ

สับเปลี่ยนโหลดมายังระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ

(7) ส่งสัญญาณให้ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดเดินเครื่อง

4) อุปกรณ์สับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟ (transfer switch) ทำหน้าที่สับเปลี่ยนโหลดจากแหล่งจ่ายไฟปกติไปยังชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจากชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากลับมายังแหล่งจ่ายไฟปกติ ปกติจะเป็นชนิดที่ทำงานโดยอัตโนมัติจากการควบคุมของแผงควบคุม

การออกแบบและติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วสท. 11202-59 ทั้งนี้ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเป็นโดยย่อเฉพาะบางเรื่องเท่านั้น รายละเอียดต่าง ๆ ขอให้ศึกษาเพิ่มเติมจากมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วสท. 11202-59

1.5.6.2 ห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การเตรียมห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง จะต้องพิจารณาถึงตำแหน่งของห้องเครื่องและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องให้มีความเหมาะสมเพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำงานจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นไปตามมาตรฐานของบริษัทผู้ผลิตและข้อบังคับทางกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

โครงสร้างของห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ถังน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดถังประจำเครื่อง (fuel day tank) ถังน้ำมันเชื้อเพลิงสำรอง (fuel storage tank) แบตเตอรี่ แผงควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบท่อไอเสีย (exhaust system) และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ก่อนที่จะทำการออกแบบเพื่อก่อสร้างห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องทราบน้ำหนักของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด (total wet weight) และอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ เพื่อนำมาประกอบในการออกแบบห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โครงสร้างของห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดระดับ 1 จะต้องทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง และโครงสร้างของห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดระดับ 2 จะต้องทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง

ตำแหน่งและขนาดพื้นของห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องมีลักษณะที่ปริมาณอากาศที่ใช้ในการระบายความร้อนและการสันดาปเพียงพอ ไม่ควรอยู่ในตำแหน่งอับอากาศ เช่น ชั้นใต้ดิน หรือตำแหน่งที่อากาศจากภายนอก (fresh air) ไม่สามารถไหลเข้าห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้โดยตรง

ห้องต้องมีขนาดเพียงพอและสะดวกในการซ่อมบำรุงรักษาหรือซ่อมแซมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้ว พื้นที่โดยรอบอุปกรณ์จะต้องเพียงพอสำหรับการตรวจเช็ค (inspection) การทำงาน (operation) และการซ่อมบำรุงรักษา (maintenance) โดยให้มีระยะห่างระหว่างฐานแท่น (foundation) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและผนังห้องไม่ต่ำกว่า 1 ม. ด้านท้ายเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องมีพื้นที่ว่างสำหรับปฏิบัติงานไม่ต่ำกว่า 1.5 ม. และต้องมีฝ้าเพดานภายในห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ถึงน้ำมันเชื้อเพลิงภายในห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องมีระยะห่างระหว่างขอบถึงน้ำมันเชื้อเพลิงถึงผนังแต่ละด้านไม่ต่ำกว่า 60 ซม. และต้องห่างจากช่องเปิดใด ๆ ไม่น้อยกว่า 1.50 ม.

ตารางที่ 1.5 ความสูงของห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

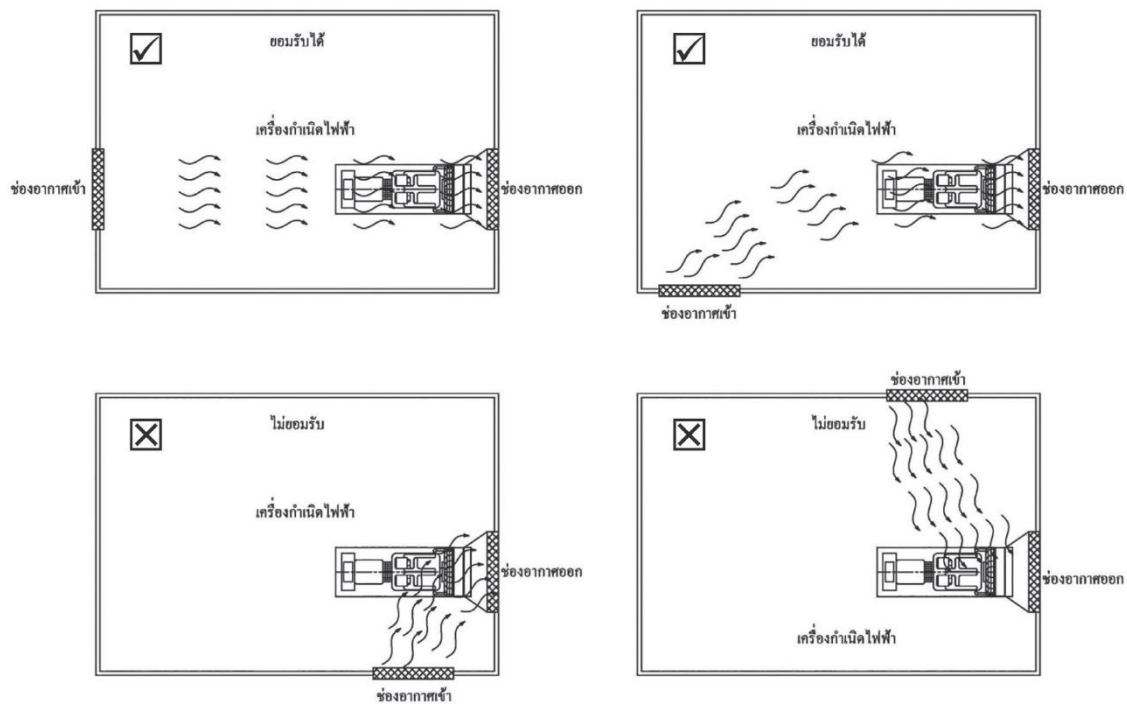
ขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ความสูงวัดจากพื้นห้องถึงระดับใต้คานหรือเพดานห้อง
ไม่เกิน 150 กิโลวัตต์	ไม่น้อยกว่า 2.5 ม.
151 - 500 กิโลวัตต์	ไม่น้อยกว่า 3.0 ม.
501 - 1,000 กิโลวัตต์	ไม่น้อยกว่า 3.5 ม.
1,001 - 1,500 กิโลวัตต์	ไม่น้อยกว่า 3.75 ม.
1,501 - 2,000 กิโลวัตต์	ไม่น้อยกว่า 4.0 ม.
2,001 - 2,400 กิโลวัตต์	ไม่น้อยกว่า 4.5 ม.

การติดตั้งระบบป้องกันความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันความเสียหาย แท่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง (foundation) จะต้องมีความใหญ่กว่าขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 150 มม. หรือ 6 นิ้วทุกด้าน เพื่อให้สปริงหรือยางรองแท่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองสามารถติดตั้งบนแท่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องกั้นจากแท่น แท่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง (foundation) จะต้องยกสูงจากพื้นอย่างน้อย 150 มม. หรือ 6 นิ้ว เพื่อสะดวกในการซ่อมบำรุงรักษาชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.5.6.3 ระบบระบายอากาศภายในห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

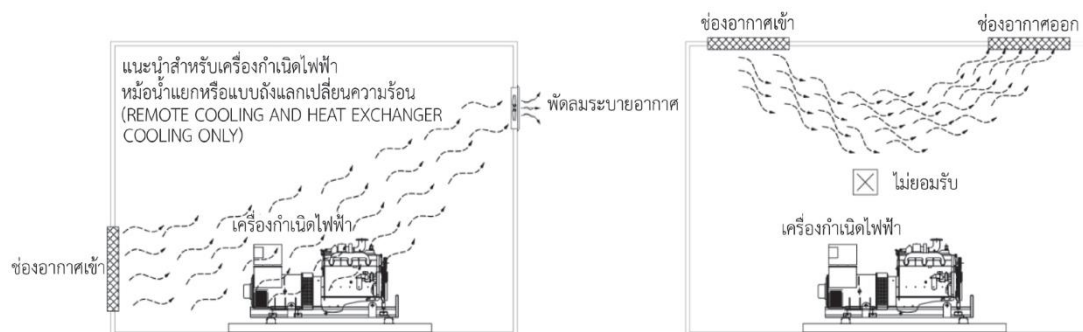
ตำแหน่งช่องอากาศ (inlet air) จะต้องอยู่ด้านหลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator set) ตรงข้ามกับชุดรังผึ้งระบายความร้อน (radiator) หรือช่องอากาศออก (outlet air) จากห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และต้องไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างช่องลมเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กรณีที่ช่องอากาศเข้าไม่สามารถอยู่ด้านหลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อนุญาตให้ติดตั้งตรงตำแหน่งด้านข้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่ต้องไม่เลยชุดอัลเทอร์เนเตอร์ ตามรูปที่ 1.49 ความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดที่ผ่านช่องลมเข้าภายในห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องเป็นไป

ตามมาตรฐานของบริษัทผู้ผลิตหรือข้อบังคับต่าง ๆ ตามกฎหมาย ทั้งนี้จะถูกจำกัดให้ไม่เกิน 220 เมตรต่อนาที หรือ 700 ฟุตต่อนาที



รูปที่ 1.49 แสดงตำแหน่งช่องอากาศเข้าและช่องอากาศออก

ที่มา : วสท., มาตรฐานออกแบบและติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พ.ศ. 2559



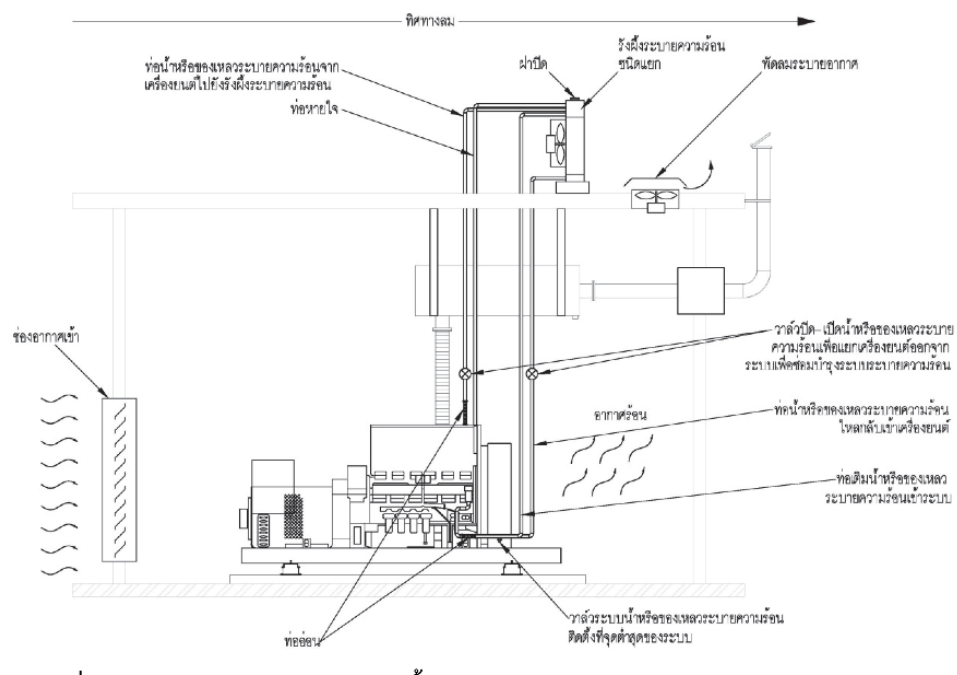
รูปที่ 1.50 แสดงตำแหน่งช่องอากาศเข้าและช่องอากาศออก

ที่มา : วสท., มาตรฐานออกแบบและติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพ.ศ. 2559

ตำแหน่งช่องอากาศออก (outlet air) จะต้องอยู่ด้านหน้าชุดรังผึ้งระบายความร้อน (radiator) ยกเว้นเป็นการระบายความร้อนแบบอื่น เช่น heat exchanger cool หรือ air cool เป็นต้น ตามรูปที่ 1.49 ความร้อนลมเฉลี่ยสูงสุดของอากาศที่จะออกจากห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องเป็นไปตาม

มาตรฐานของบริษัทผู้ผลิตหรือข้อบังคับต่าง ๆ ตามกฎหมาย ทั้งนี้จะถูกจำกัดให้ไม่เกิน 320 เมตรต่อนาที หรือ 1,050 ฟุตต่อนาที

ตำแหน่งช่องอากาศเข้าห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสม กรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบ รั้งฝั่งระบายความร้อนแยก (remote radiator) หรือแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) ตำแหน่งของช่องอากาศออกจะต้องอยู่ในตำแหน่งสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และตำแหน่งช่องอากาศเข้าจะต้องอยู่ในตำแหน่งต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยตำแหน่งของช่องอากาศเข้าที่เหมาะสมจะเป็นไปตามรูปที่ 1.52

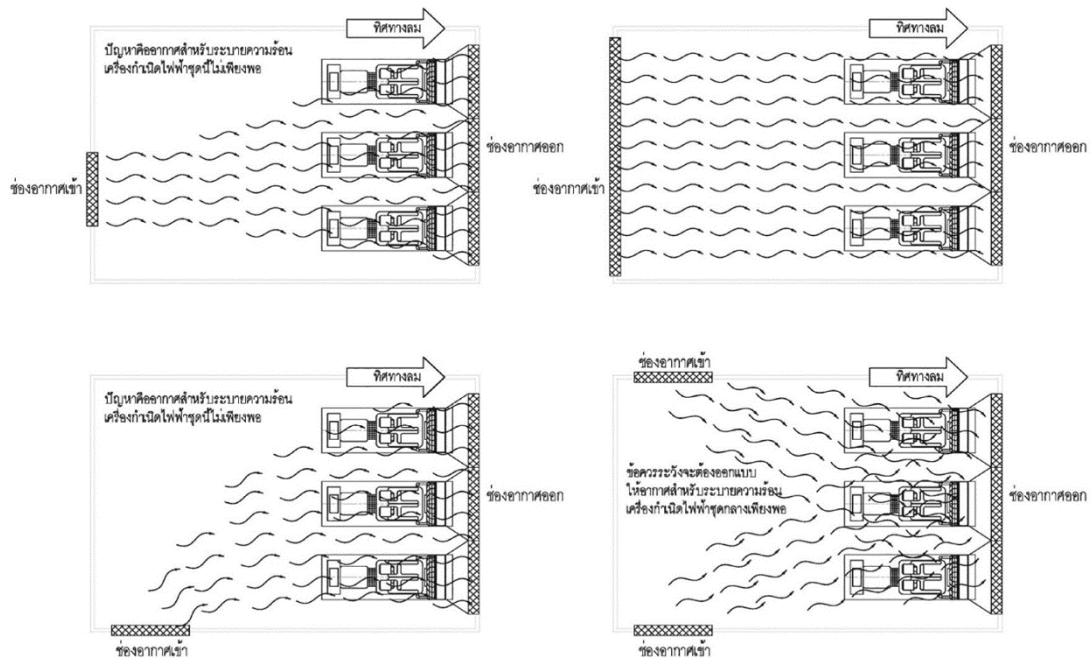


รูปที่ 1.51 แสดงตำแหน่งช่องอากาศเข้า-ออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบรั้งฝั่งระบายความร้อนแยก และแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

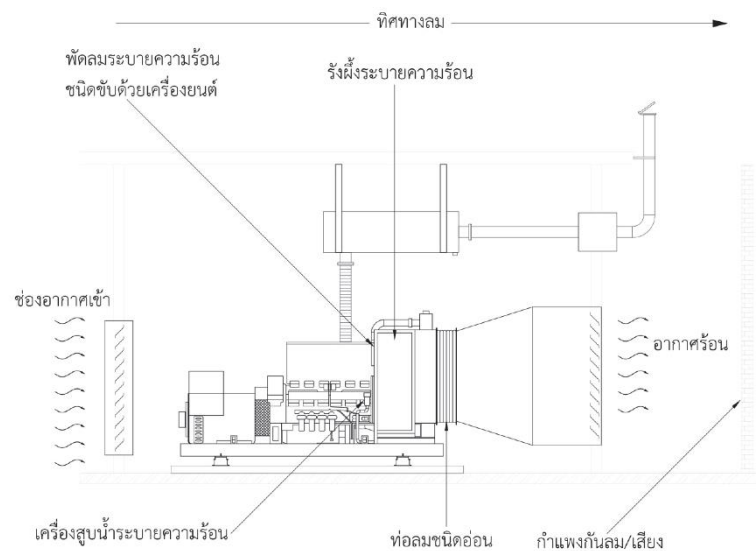
ที่มา : วสท., มาตรฐานออกแบบและติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พ.ศ. 2559

กำแพงกันลมหรือกันเสียง (wind / noise barrier) ด้านหน้ารั้งฝั่งระบายความร้อน (radiator) จะต้องมีระยะห่างจากตัวอาคารไม่น้อยกว่า 2 เท่าของความสูงขนาดช่องลมออก (2X) ตามรูปที่ 1.53

อากาศเข้าห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (fresh air) จะต้องถูกนำเข้าไปโดยตรงจากภายนอกอาคาร และมีปริมาณเพียงพอสำหรับการระบายความร้อนและการสันดาปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตำแหน่งช่องอากาศเข้าห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องไม่ติดตั้งใกล้บริเวณปลายท่อไอเสีย ระยะห่างระหว่างช่องอากาศเข้าและปลายท่อไอเสียต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 5 ม.



รูปที่ 1.52 แสดงตำแหน่งของช่องอากาศเข้าห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสม
ที่มา : วสท., มาตรฐานออกแบบและติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พ.ศ. 2559



รูปที่ 1.53 แสดงกำแพงกันลมหรือกันเสียง (wind / noise barrier)
ที่มา : วสท., มาตรฐานออกแบบและติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พ.ศ. 2559

1.5.6.4 ระบบท่อไอเสียของเครื่องยนต์ขับเคลื่อนไฟฟ้า

ระบบท่อไอเสียเป็นระบบที่มีความสำคัญต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากระบบหนึ่ง เนื่องจากเป็นระบบที่นำแก๊สไอเสียที่เกิดจากจุดระเบิดของเครื่องยนต์ขับเคลื่อนไฟฟ้าไปทิ้งภายนอกห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อป้องกันสะเก็ดไฟ เหมม่าและเสียงดังไม่ให้เป็นอันตรายหรือทำความเสียหายให้อาคารและบุคคลได้ การติดตั้งระบบท่อไอเสียจะต้องพิจารณาถึงข้อกำหนดต่าง ๆ ของบริษัทผู้ผลิต เช่น ค่าความดันย้อนกลับที่ยอมรับได้ (allowable back pressure) หรือค่า pressure drop ในระบบท่อไอเสียจะต้องไม่เกินข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิต ถ้าเกินจะเกิดอะไรขึ้น แน่แน่นอนถ้าค่าความดันย้อนกลับที่ยอมรับได้มีค่าเกินข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิตจะทำให้ไม่สามารถไล่ไอเสียออกไปจากระบบท่อไอเสียได้หมด ทำให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้น และกำลังเครื่องยนต์ตก อีกข้อหนึ่งที่ต้องพิจารณาคือการขยายตัวของท่อไอเสีย (exhaust pipe) เนื่องจากแก๊สไอเสียมีอุณหภูมิระหว่าง 500-760 °C เมื่อท่อไอเสียได้รับความร้อนก็จะเกิดการขยายตัว ดังนั้นจึงต้องมีการติดตั้งท่ออ่อนไอเสีย (flexible exhaust pipe) ระหว่างท่อทางออกจากเครื่องยนต์ของแก๊สไอเสียกับท่อไอเสีย (exhaust pipe) และต้องติดตั้งท่อชนิดขยายตัวได้เมื่อเกิดความร้อน (thermal expansion joint) ทุกตำแหน่งที่ท่อไอเสียเปลี่ยนทิศทางเพื่อป้องกันการขยายตัวด้วยเช่นกัน

ก่อนที่จะทำการติดตั้งระบบท่อไอเสียของเครื่องยนต์ขับเคลื่อนไฟฟ้าควรทำแบบติดตั้ง (layout) ระบบท่อไอเสียพร้อมอุปกรณ์ให้เรียบร้อยแล้วทำการคำนวณหาค่าความดันย้อนกลับที่ยอมรับได้ว่ามีค่าเกินข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิตหรือไม่ หากค่าความดันย้อนกลับมีค่าเกินข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิตให้ทำการขยายท่อแล้วคำนวณใหม่จนกว่าจะมีค่าไม่เกินข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิต

1.5.6.5 การจัดระดับชั้นของระบบจ่ายไฟสำรอง (classification of emergency power supply system)

การจัดระดับความสำคัญการจ่ายโหลดของระบบจ่ายไฟฟ้าสำรองแบ่งเป็น 2 ระดับ ดังนี้

1) ระดับ 1 (level 1) เป็นการจ่ายไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ที่กรณีเกิดความล้มเหลวของระบบการจ่ายไฟฟ้าแล้วอุปกรณ์นั้นไม่สามารถทำงานตามปกติ และเป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียชีวิต หรือการบาดเจ็บหนักได้ เช่น

- (1) ระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินเพื่อการช่วยชีวิต
- (2) ระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้
- (3) ระบบลิฟต์
- (4) เครื่องสูบน้ำดับเพลิง
- (5) ระบบสื่อสารสาธารณะ
- (6) กระบวนการผลิตอื่นที่เมื่อหยุดกระบวนการแล้วเป็นเหตุให้เกิดอันตรายร้ายแรงต่อชีวิตหรือสุขภาพ
- (7) ระบบระบายอากาศและระบบระบายควันไฟที่จำเป็น
- (8) ระบบอื่นที่พิจารณาแล้วเห็นควรจัดให้อยู่ในระดับ 1

ทั้งนี้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้าให้โหลดระดับ 1 จะต้องมีความสมรรถนะ (performance class) ไม่ต่ำกว่า class G2

2) ระดับ 2 (level 2) เป็นระบบการจ่ายไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ที่กรณีเกิดความล้มเหลวของระบบจ่ายไฟฟ้าแล้วอุปกรณ์นั้นไม่สามารถทำงานตามปกติได้ และยังไม่มีผลกระทบต่อความปลอดภัยในชีวิตของผู้ใช้งาน หรืออุปกรณ์ในระดับที่ 1 ที่ได้รับการพิจารณาแล้วจากผู้ใช้งาน ยินยอมให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานให้สูงขึ้น เช่น

- (1) ระบบปรับอากาศ
- (2) ระบบสื่อสาร
- (3) ระบบระบายอากาศและระบบระบายควัน)
- (4) ระบบบำบัดน้ำเสีย
- (5) ระบบแสงสว่าง
- (6) กระบวนการผลิตทางด้านอุตสาหกรรม
- (7) ระบบอื่นที่พิจารณาแล้วเห็นควรจัดให้อยู่ในระดับ 2

1.5.7 ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

แสงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการมองเห็นของมนุษย์ อีกทั้งยังช่วยในการสร้างบรรยากาศและส่งเสริมอารมณ์ ดังนั้นการมีระบบไฟฟ้าส่องสว่างที่ดีจึงเป็นสิ่งสำคัญในการทำให้เราสามารถมองเห็นสิ่งต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจนและสบายตา เกิดความปลอดภัยและยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน การพิจารณาระบบไฟฟ้าส่องสว่างจำเป็นต้องมีความรู้และความเข้าใจถึง ปริมาณ หน่วยวัด รวมถึงคำศัพท์ทางแสง อีกทั้งรู้จักอุปกรณ์และแนวทางในการนำอุปกรณ์เหล่านั้นไปติดตั้งเพื่อให้ได้คุณภาพการส่องสว่างที่ดี

1.5.7.1 ปริมาณ หน่วยวัด และคำศัพท์ทางแสง

1) ฟลักซ์การส่องสว่าง (luminous flux, สัญลักษณ์ใช้ Φ) หมายถึง พลังงานแสงทั้งหมดที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงในแต่ละวินาที มีหน่วยเป็น ลูเมน (lumen, lm) ปริมาณนี้บ่งชี้ว่าแหล่งกำเนิดแสงให้พลังงานแสงมากน้อยเพียงใด

หมายเหตุ : บางแห่งอาจใช้คำว่า “เส้นแรงแห่งการส่องสว่าง”

2) ความเข้มการส่องสว่าง (luminous intensity : I) หมายถึง ความเข้มข้นของปริมาณแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางหนึ่ง ๆ มีหน่วยเป็น แคนเดลา (candela : cd) ปริมาณนี้บ่งชี้ว่าแหล่งกำเนิดแสงมีความสามารถในการส่องแสงไปในทิศทางหนึ่ง ๆ ได้เพียงใด

3) ความส่องสว่าง (illuminance : E) หมายถึง ปริมาณแสงหรือลูเมนที่ตกอยู่บนพื้นที่ต่อตารางเมตร มีหน่วยเป็น ลักซ์ (lux, lx)

หมายเหตุ : บางแห่งอาจใช้คำว่า “ความเข้มของการส่องสว่าง” หรือ “ความเข้มของแสงสว่าง” หรือ “ความสว่าง”

4) ความสว่าง (luminance : L) หมายถึง ความเข้มแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสง หรือที่สะท้อนออกมาจากพื้นผิวของวัตถุที่เข้ามาในทิศทางการมองของผู้สังเกต ต่อขนาดพื้นที่ผิวปรากฏ (apparent area) ของแหล่งกำเนิดแสงหรือพื้นที่ผิวของวัตถุนั้น ๆ มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) ปริมาณนี้บ่งชี้ว่าผู้สังเกตสามารถมองเห็นหลอดไฟหรือพื้นผิวสว่างมากน้อยเพียงใด

หมายเหตุ : บางแห่งอาจใช้คำว่า “ความส่องสว่าง”

5) อุณหภูมิสีของแสง หรือ อุณหภูมิสีสัมพัทธ์ (correlated color temperature : CCT) หมายถึง ลักษณะสีปรากฏของแสงขาวที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็น เคลวิน (Kelvin, K) โดยแสงที่มีอุณหภูมิสีของแสงสูงกว่า 5300 K จะปรากฏเป็นแสงขาวเย็น (cool white) แสงที่มีอุณหภูมิสีของแสงระหว่าง 3300 – 5300 K จะปรากฏเป็นแสงขาวปานกลาง (intermediate white หรือ neutral white) และแสงที่มีอุณหภูมิสีของแสงต่ำกว่า 3300 K จะปรากฏเป็นแสงขาวอุ่น (warm white)

6) ดัชนีความถูกต้องสี (color rendering index : CRI หรือ Ra) หมายถึง ดัชนีที่ใช้ในการบ่งชี้คุณภาพของแสงขาวว่าสามารถทำให้มองเห็นสีสันทันของวัตถุได้ดีเพียงใด (เมื่อเปรียบเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิง) ดัชนีนี้เป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 100 แสงที่มีค่าดัชนีนี้ต่ำลงจะทำให้มองเห็นสีของวัตถุผิดเพี้ยนมากขึ้น

หมายเหตุ : บางแห่งอาจใช้คำว่า “ดัชนีการทำให้เกิดสี”

7) แสงจ้า (glare) เป็นความรู้สึกที่เกิดจากการมีแหล่งกำเนิดแสงหรือพื้นผิวที่สะท้อนแสง (ที่อยู่ในบริเวณการมอง) มีความสว่างมาก ๆ เมื่อเทียบกับความสว่างของพื้นหลัง ซึ่งอาจทำให้เกิดตาพร่าและสูญเสียการมองเห็น เรียกว่า “แสงจ้าพร่ามัว” (disability glare) หรือทำให้เกิดการระคายตา เรียกว่า แสงจ้ารำเคี้ยวตา (discomfort glare)

หมายเหตุ : บางแห่งอาจใช้คำว่า “แสงบาดตา” หรือ “แสงแยงตา”

8) ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (luminous efficacy) หมายถึง ประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดไฟหรือโคมไฟว่าให้ปริมาณแสงมากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อวัตต์ (lm/W)

1.5.7.2 คุณภาพการส่องสว่าง

การพิจารณาคุณภาพการส่องสว่างมีปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณา ได้แก่

1) ความส่องสว่าง บนพื้นที่ทำงานที่ต้องใช้สายตา (task area) บนพื้นที่โดยรอบ (surround area) และบนพื้นที่พื้นหลังที่อยู่ห่างออกไป (background) ต้องมีปริมาณเพียงพอต่อการมองเห็น และสบายตาสำหรับการทำงานในบริเวณที่เป็นการทำงานที่มีความละเอียด มีการเคลื่อนไหวที่รวดเร็ว หรือผู้ใช้งานเป็นผู้สูงอายุ ซึ่งต้องใช้สายตามาก จำเป็นต้องให้มีระดับความส่องสว่างสูงกว่าบริเวณที่เป็นการทำงาน หยิบ มีการเคลื่อนไหวช้า หรือผู้ปฏิบัติงานอายุน้อย ซึ่งใช้สายตาน้อยกว่า นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความสม่ำเสมอของแสงโดยรวม (overall uniformity, U_o) (สามารถคำนวณได้จากระดับความส่องสว่างของจุดที่มี

ความส่องสว่างต่ำสุดต่อระดับความส่องสว่างเฉลี่ยของทั้งพื้นที่) ซึ่งต้องมีความสม่ำเสมอในระดับที่เพียงพอเพื่อให้มั่นใจได้ว่าจะสามารถมองเห็นสิ่งต่าง ๆ ทั่วทั้งบริเวณได้ดีในระดับใกล้เคียงกัน

2) คุณภาพสีของแสง ได้แก่ อุณหภูมิสีของแสงซึ่งต้องสามารถสร้างบรรยากาศที่เหมาะสมแก่การทํากิจกรรมในพื้นที่นั้น ๆ เช่น บริเวณทำงานอาจเลือกใช้หลอดไฟที่ให้แสงมีอุณหภูมิสีของแสงสูง (ขาวเย็น) เพื่อสร้างบรรยากาศที่ตื่นตัวกระปรี้กระเป่า หรือบริเวณนั่งพักผ่อนอาจเลือกใช้หลอดไฟที่ให้แสงมีอุณหภูมิสีของแสงต่ำ (ขาวเย็น) เพื่อสร้างบรรยากาศอบอุ่นน่าพักผ่อน เป็นต้น และดัชนีความถูกต้องสีซึ่งต้องมีค่าที่เหมาะสมในการทำให้เรามองเห็นสีต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจนเกิดความพึงพอใจในการมอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีการใช้รหัสสีในการบ่งบอกถึงลักษณะของงานหรือแยกแยะสิ่งต่าง ๆ หรือมีความสำคัญต่อความปลอดภัย ดัชนีความถูกต้องสีของแสงจากหลอดไฟที่ใช้ยังต้องมีค่าที่สูงขึ้น

3) แสงจ้า ซึ่งอาจเกิดจากการที่มีแหล่งกำเนิดแสงที่มีความสว่างมาก ๆ อยู่ในบริเวณการมองโดยตรง (direct glare) หรือเกิดจากการสะท้อนบนพื้นผิวที่มีความมันวาว (reflected glare) เข้ามารบกวนการมองเห็นและอาจทำให้เกิดอันตรายในการทำงาน ดังนั้นระบบการส่องสว่างที่ดีจึงควรเลือกใช้โคมไฟ/หลอดไฟที่มีความสว่างและมีการกระจายแสงที่เหมาะสม ติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสม และปรับหันไปในทิศทางที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแสงจ้ามากจนเกินไป ทั้งนี้ การประเมินระดับแสงจ้าภายในอาคารโดยใช้ค่า “พิกัดแสงจ้ารวม” (unified glare rating, UGR) และการประเมินระดับแสงจ้าภายนอกอาคารโดยใช้ค่า “พิกัดแสงจ้า” (glare rating, GR) สามารถคำนวณได้โดยใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

สำหรับเกณฑ์คุณภาพการส่องสว่างข้างต้น ได้แก่ ความส่องสว่างบนพื้นที่ต่าง ๆ และความสม่ำเสมอของแสงโดยรวม อุณหภูมิสีของแสง ดัชนีความถูกต้องสี และแสงจ้า ค่าที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่แต่ละชนิดต้องไม่ด้อยกว่าค่าตามที่กฎหมายกำหนด โดยพิจารณาควบคู่กับมาตรฐาน/ข้อแนะนำของสมาคมไฟฟ้าส่องสว่างแห่งประเทศไทย ซึ่งได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก ข

1.5.7.3 อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ หลอดไฟ (ทำหน้าที่เปล่งแสง), อุปกรณ์ควบคุม (ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของหลอดไฟ) และโคมไฟ (ทำหน้าที่เป็นปกป้องหลอดไฟและอุปกรณ์ควบคุม และควบคุมการกระจายแสง)

1) หลอดไส้ (incandescent lamp) เป็นหลอดที่เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟ จะทำให้เกิดความร้อนที่ไส้หลอด (ส่วนใหญ่ทำจากทังสเตน) และเปล่งแสงออกมา หลอดไฟประเภทนี้มีประสิทธิภาพการส่องสว่างต่ำ (10 – 12 lm/W) และมีอายุการใช้งานสั้น (เฉลี่ย 1,000 ชั่วโมง) ปัจจุบันจึงไม่นิยมใช้ ยกเว้นบางพื้นที่ที่ต้องการให้แสงสว่างเป็นการชั่วคราว



รูปที่ 1.54 หลอดไส้

ที่มา : www.lighting.philips.co.th

2) หลอดทังสแตนฮาโลเจน (tungsten halogen lamp) มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับหลอดไส้ แต่มีการเติมสารบางชนิด (เรียกรวม ๆ ว่าสารฮาโลเจน) เพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานและเพิ่มประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม หลอดประเภทนี้ยังจัดเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพการส่องสว่างต่ำและมีอายุการใช้งานสั้น จึงไม่ค่อยนิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม ยกเว้นบางพื้นที่ที่ต้องการให้แสงสว่างเป็นการชั่วคราวหรือใช้เป็นไฟฉุกเฉิน



รูปที่ 1.55 หลอดทังสแตนฮาโลเจน

ที่มา : www.lighting.philips.co.th

3) หลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent lamp) มีหลักการทำงานโดยการยิงอิเล็กตรอนให้ไปชนกับอะตอมของไอปรอทที่บรรจุอยู่ภายใน แล้วคายประจุออกมาในรูปของรังสีเหนือม่วง (อัลตราไวโอเล็ต) ซึ่งจะถูกแปลงเป็นแสงที่มองเห็นได้ด้วยสารฟอสเฟออร์ที่เคลือบอยู่ที่ผิวหลอด ส่วนผสมของสารฟอสเฟออร์นี้จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพสีของแสง (อุณหภูมิสีของแสงและ ดัชนีความถูกต้องสี) ที่ได้จากหลอด หลอดประเภทนี้มีสีให้เลือกหลากหลาย มีประสิทธิภาพการส่องสว่างค่อนข้างสูง (70 – 100 lm/W) และมีอายุการใช้งานนาน (เฉลี่ย 10,000 – 15,000 ชั่วโมง) จึงนิยมใช้ทั่วไป อย่างไรก็ตาม เนื่องจากหลอดนี้มีพื้นผิวการเปล่งแสงขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับปริมาณแสงที่ได้ เมื่อใส่ไปในโคมไฟแล้วจึงไม่สามารถบังคับให้แสงส่องไปในทิศทางแคบ ๆ และมีความเข้มสูง ๆ ได้ จึงเหมาะกับการใช้งานในพื้นที่ที่ไม่สูงมากนัก เช่น ในสำนักงาน ทางเดินทั่วไป ห้องน้ำ ห้องเก็บของ



รูปที่ 1.56 หลอดฟลูออเรสเซนต์
ที่มา : www.lighting.philips.co.th

4) หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์(compact fluorescent lamp) เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดหนึ่งที่ออกแบบให้มีขนาดเล็กกะทัดรัด มีรูปทรงหลากหลาย นิยมใช้ในพื้นที่ทั่วไป เช่นเดียวกับหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่อาจต้องการความสวยงาม



รูปที่ 1.57 หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์
ที่มา : www.lighting.philips.co.th

5) หลอดไอปรอทความดันสูง (high pressure mercury vapor lamp) หรือหลอดแสงจันทร์ มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ไอปรอทที่บรรจุอยู่ภายในมีความดันสูง ทำให้หลอดมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับปริมาณแสง เมื่อใส่ในโคมไฟจึงสามารถบังคับให้แสงส่องไปในทิศทางแคบ ๆ และมีความเข้มสูง (ส่องได้ไกล) จึงเหมาะกับการใช้ในที่สูง อย่างไรก็ตาม หลอดประเภทนี้มีความถูกต้องของสีค่อนข้างต่ำ (CRI ประมาณ 40 – 50) และมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก (40 – 50 lm/W) จึงลดความนิยมลงจนแทบไม่มีการใช้งานในปัจจุบัน



รูปที่ 1.58 หลอดไฮปรอทความดันสูง
ที่มา : www.lighting.philips.co.th

6) หลอดเมทัลฮาไลด์ (metal halide lamp) มีลักษณะคล้ายกับหลอดไฮปรอทความดันสูง แต่มีการเติมธาตุบางชนิดเพิ่มเข้าไปเพื่อทำหน้าที่คล้ายประจุแทนไฮปรอท (อย่างไรก็ตาม ยังคงมีสารปรอทอยู่ภายในเพื่อให้หลอดสามารถทำงานได้) พลังงานที่ได้จากการคายประจุนี้จะอยู่ในรูปของแสงที่มองเห็นได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารฟอสเฟอร์เพื่อแปลงพลังงานอีกต่อไป หลอดประเภทนี้จึงมีทั้งชนิดที่เป็นแบบใสและแบบขาวขุ่น นอกจากนี้ยังเพิ่มประสิทธิภาพในการส่องสว่าง (70 – 100 lm/W) และมีคุณภาพสีของแสงสูงขึ้น (CRI มากกว่า 60) จึงสามารถใช้งานทดแทนหลอดไฮปรอทความดันสูง และยังคงมีการใช้งานในปัจจุบัน



รูปที่ 1.59 หลอดเมทัลฮาไลด์
ที่มา : www.lighting.philips.co.th

7) หลอดไอโซเดียมความดันต่ำ (low pressure sodium vapor lamp) มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับหลอดคายประจุอื่น ๆ แต่สารหลักที่ทำหน้าที่คล้ายประจุคือโซเดียมซึ่งจะให้แสงสีเดียว

(monochromatic spectrum) เป็นสีเหลือง หลอดประเภทนี้แม้ว่าจะเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงมาก (130 – 200 lm/W) และมีอายุการใช้งานยาวนาน (เฉลี่ย 28,000 ชั่วโมง) แต่เนื่องจากมีคุณภาพสีของแสงต่ำมาก (CRI น้อยกว่า 0) ซึ่งทำให้มองเห็นสีวัตถุผิดเพี้ยน จึงแทบไม่มีการใช้งานในปัจจุบัน



รูปที่ 1.60 หลอดไอโซเดียมความดันต่ำ

ที่มา : www.lighting.philips.co.th

8) หลอดไอโซเดียมความดันสูง (high pressure sodium vapor lamp) เช่นเดียวกับหลอดไอโซเดียมความดันต่ำ แต่มีความดันภายในหลอดที่สูงกว่า หลอดประเภทนี้ ยังคงมีประสิทธิภาพสูง (110 – 130 lm/W) มีอายุการใช้งานยาวนาน (เฉลี่ย 28,000 – 32,000 ชั่วโมง) แต่มีคุณภาพสีของแสงค่อนข้างต่ำ (CRI ประมาณ 20 – 25) จึงมักนิยมใช้ในพื้นที่ที่ไม่เน้นความถูกต้องของสี เช่น บริเวณสายการผลิต อัตโนมัตี บริเวณถนนรอบ ๆ โรงงาน เป็นต้น



รูปที่ 1.61 หลอดไอโซเดียมความดันสูง

ที่มา : www.lighting.philips.co.th

9) หลอดแอลอีดี (LED lamp) เป็นหลอดที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ทำจากไดโอดเปล่งแสง ซึ่งมีหลักการทำงานโดยการจ่ายไฟฟ้าแบบมีขั้วเข้าไปที่ขั้ว P และ N ของไดโอดเปล่งแสงซึ่งสร้างจากสารกึ่งตัวนำ เพื่อผลักให้อนุภาคบวก (hole) และลบ (electron) ไปชนกันที่บริเวณรอยต่อ P-N (P-N junction) และเกิดการคายประจุออกมาในรูปพลังงานแสง หลอดประเภทนี้มีข้อดีคือมีประสิทธิภาพการ

ส่องสว่างสูงมาก (ปัจจุบันประมาณ 80 – 110 lm/W และยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น) มีอายุการใช้งานยาวนานมาก (อาจมากกว่า 50,000 ชั่วโมง) และมีคุณภาพของแสงที่ดี จึงสามารถใช้ในพื้นที่หลากหลายโดยได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติดังกล่าวยังขึ้นกับส่วนประกอบอื่น ๆ ภายในหลอด เช่น ตัวขั้ว กระแส ส่วนควบคุมแสง ทำให้ผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดมีความหลากหลายทั้งคุณภาพและราคา



รูปที่ 1.62 หลอดแอลอีดี

ที่มา : www.lighting.philips.co.th

10) หม้อแปลง (transformer) เป็นอุปกรณ์ควบคุมที่ใช้ร่วมกับหลอดทั้งสแตนด์บายโลเจน ชนิดที่ใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ เพื่อทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันไฟฟ้าประธาน (main voltage) เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมกับหลอดไฟ



รูปที่ 1.63 หม้อแปลง

ที่มา : www.lighting.philips.co.th

11) บัลลาสต์ (ballast) เป็นอุปกรณ์ควบคุมที่ใช้ร่วมกับหลอดคายประจุ (หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดไอปรอทความดันสูง หลอดเมทัลฮาไลด์ หลอดไอโซเดียมความดันสูง หลอดไอโซเดียมความดันต่ำ) ทำหน้าที่เป็นนอิมพีแดนซ์ในวงจรเพื่อจำกัดกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมกับหลอดไฟ ซึ่งมีทั้งชนิดที่เป็นบัลลาสต์แกนเหล็ก และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 1.64 บัลลาสต์

ที่มา : www.lighting.philips.co.th

12) สตาร์ทเตอร์ (starter) และอิกนิเตอร์ (ignitor) เป็นอุปกรณ์ควบคุมที่ช่วยในการสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อช่วยในการจุดติดหลอด อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ เรียก สตาร์ทเตอร์ และที่ใช้ร่วมกับหลอดคายประจุอื่น เรียก อิกนิเตอร์



รูปที่ 1.65 สตาร์ทเตอร์

ที่มา : www.lighting.philips.co.th

13) ตัวขับเคลื่อนกระแส (driver) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าประธานให้มีระดับแรงดันไฟฟ้า (กระแสตรงหรือกระแสสลับ) และมีระดับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับแอลอีดี



รูปที่ 1.66 ตัวขับเคลื่อนกระแส

ที่มา : www.lighting.philips.co.th

14) โคมไฟไฮเบย์ (high bay) และโลว์เบย์ เป็นโคมไฟที่ออกแบบให้เหมาะกับการติดตั้งในบริเวณที่มีความสูง โดยโคมไฟไฮเบย์มักมีการกระจายแสงเป็นมุมค่อนข้างแคบ เพื่อให้มีความเข้มแสงสูงและสามารถส่องได้ไกล นิยมใช้ติดตั้งในพื้นที่ที่มีความสูงตั้งแต่ 6 ม. ขึ้นไป และโคมไฟโลว์เบย์มักมีการกระจายแสงเป็นมุมกว้างกว่า เพื่อสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้าง นิยมใช้ติดตั้งในพื้นที่ที่มีความสูง 4.5 – 6 ม.



รูปที่ 1.67 โคมไฟไฮเบย์

ที่มา : www.lighting.philips.co.th

15) โคมไฟเปลือย (bare type) เป็นโคมไฟที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดแอลอีดี โดยอาจมองเห็นหลอดไฟได้โดยตรงหรือมีฝาครอบอีกชั้นหนึ่ง โคมไฟประเภทนี้มักใช้ในพื้นที่ที่ต้องการให้แสงสว่างทั่วไป แต่ไม่ได้เน้นความสวยงาม และมีความสูงไม่มากนัก เช่น ทางเดิน บันได ห้องเก็บของ หรืออาจติดตั้งร่วมกับปีกสะท้อนแสงเพื่อควบคุมแสงให้มีความเข้มและส่องสว่างลงมาบนพื้นที่ได้มากขึ้น หรือติดตั้งในพื้นที่ที่มีความสูงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 1.68 โคมไฟเปลือย

ที่มา : www.lighting.philips.co.th

16) โคมไฟดาวน์ไลท์ (downlight) เป็นโคมไฟที่ติดตั้งบนเพดาน มีขนาดและรูปร่างหน้าตาหลากหลาย ใช้ติดตั้งในบริเวณที่ไม่สูงมากนักและต้องการความเรียบร้อยสวยงาม เช่น บริเวณทางเดิน โถงรับแขก เคาน์เตอร์ประชาสัมพันธ์



รูปที่ 1.69 โคมไฟดาวน์ไลท์

ที่มา : www.lighting.philips.co.th

17) โคมไฟสาดแสง (floodlight) เป็นโคมไฟที่ให้แสงสว่างกระจายเป็นบริเวณกว้าง มีความสว่างมาก มักใช้ในการส่องสว่างภายนอกอาคาร เช่น บริเวณลานจอดรถ ลานเก็บสินค้า โดยการติดตั้งบนเสาไฟหรือบนอาคาร



รูปที่ 1.70 โคมไฟสาดแสง

ที่มา : www.lighting.philips.co.th

18) โคมไฟสำหรับวัตถุประสงค์การใช้งานเฉพาะ เช่น โคมไฟสำหรับใช้ในบริเวณอันตราย โคมไฟสำหรับใช้ในห้องที่ต้องการความสะอาดสูง (clean room) เป็นต้น โคมไฟเหล่านี้มีการออกแบบให้มีการป้องกันและมีคุณลักษณะเฉพาะเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานในพื้นที่เหล่านั้น

ในปัจจุบัน โคมไฟต่าง ๆ เหล่านี้อาจมีชุดมอดูลแอลอีดีประกอบรวมเป็นส่วนหนึ่งของโคมโดยไม่ต้องใช้หลอดไฟ ซึ่งมอดูลแอลอีดีนี้อาจถอดเปลี่ยนได้หรือถอดเปลี่ยนไม่ได้ ขึ้นกับการออกแบบโคมไฟนั้น ๆ

นอกจากนี้ ระบบไฟฟ้าส่องสว่างอาจมีระบบควบคุมซึ่งประกอบด้วยตัวควบคุม และเซ็นเซอร์ชนิดต่าง ๆ เพื่อควบคุมการทำงานของทั้งระบบให้มีการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น



รูปที่ 1.71 โคมไฟสำหรับวัตถุประสงค์การใช้งานเฉพาะ

ที่มา : www.lighting.philips.co.th

1.5.7.4 แนวทางการติดตั้งระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

การติดตั้งระบบไฟฟ้าส่องสว่างมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็มีทั้งข้อดีและข้อด้อย ดังนี้

1) การให้แสงสว่างทั่วพื้นที่ (general lighting) เป็นการให้ความสว่างทั่วทั้งบริเวณ ไม่เฉพาะจุดใดจุดหนึ่ง ตำแหน่งการติดตั้งโคมไฟกระจายทั่วไปในระยะเท่า ๆ กัน จึงให้ความสม่ำเสมอของแสงโดยรวมที่ดี การให้แสงสว่างวิธีนี้ทำให้เราสามารถปรับเปลี่ยนตำแหน่งการทำงานได้อย่างยืดหยุ่น (เนื่องจากสว่างใกล้เคียงกันทั้งหมด) แต่มีข้อเสียคือสิ้นเปลืองพลังงาน เนื่องจากในบางพื้นที่อาจมีระดับความส่องสว่างเกินความจำเป็น



รูปที่ 1.72 การให้แสงสว่างทั่วพื้นที่

2) การให้แสงสว่างเฉพาะที่ (localized lighting) เป็นการให้แสงสว่างเฉพาะพื้นที่ที่มีการทำงานจริง โดยทั่วไปจะติดตั้งโคมไฟที่ระดับไม่สูงนักจากพื้นที่ทำงาน เพื่อให้ได้ความส่องสว่างบนพื้นที่ทำงานสูงขึ้น การให้แสงสว่างลักษณะนี้เหมาะกับพื้นที่การทำงานที่มีตำแหน่งประจำที่ เช่น บริเวณสายการผลิต มีข้อดีคือประหยัดพลังงานและการบำรุงรักษา แต่ขาดความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการทำงาน



รูปที่ 1.73 การให้แสงสว่างเฉพาะที่

3) การให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่ง (local lighting) เป็นการให้แสงสว่างเพิ่มเติมเฉพาะกับตำแหน่งหรืองานที่ต้องการความสว่างมากเป็นพิเศษ หรืองานที่มีความละเอียดสูง ทำได้โดยการเพิ่มโคมไฟในจุดที่ต้องการ เช่น โต๊ะเขียนแบบ โต๊ะเจียระไน วิธีนี้ถือเป็นวิธีการให้ความสว่างที่ประหยัดที่สุด และยังมีข้อดีในแง่ของการควบคุมตำแหน่งและทิศทางความสว่างอีกด้วย อย่างไรก็ตาม ควรต้องระวังไม่ให้มีความแตกต่างระหว่างความสว่างบนพื้นที่ทำงานและความสว่างของบริเวณโดยรอบมากเกินไปจนทำให้รู้สึกไม่สบายตา ดังนั้นการให้แสงสว่างวิธีนี้จึงมักใช้ควบคู่กับการให้แสงสว่างทั่วพื้นที่เพื่อรักษาสมดุลของความสว่างในบริเวณดังกล่าว

จะเห็นว่าการให้แสงสว่างในแต่ละวิธีมีทั้งข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกวิธีการให้แสงสว่างที่เหมาะสมจึงต้องพิจารณาจากลักษณะงาน ลักษณะพื้นที่ ความยากง่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษา ซึ่งอาจใช้วิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีร่วมกัน เพื่อให้ได้คุณภาพการส่องสว่างเป็นไปตามเกณฑ์ และมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เหมาะสม



รูปที่ 1.74 การให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่ง

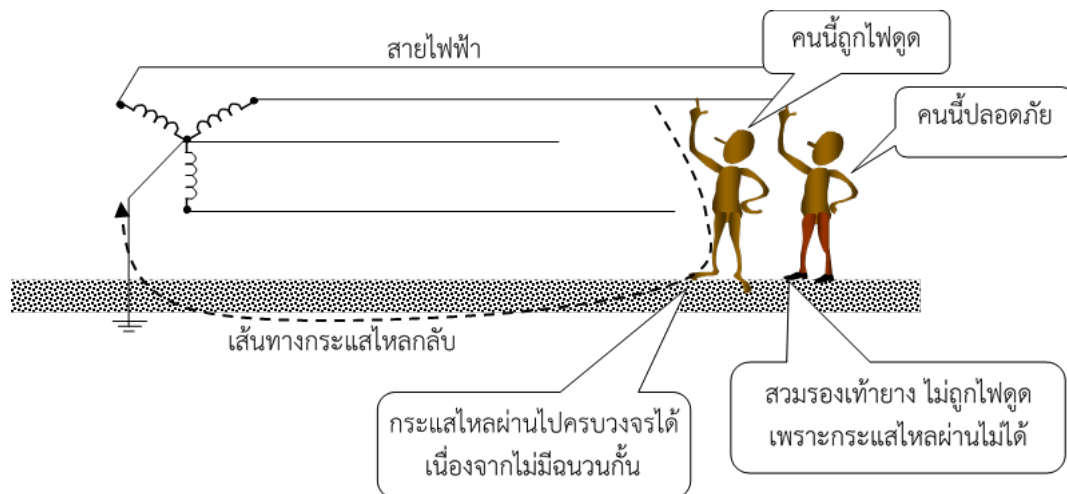
1.6 อันตรายจากไฟฟ้า

อันตรายจากไฟฟ้าเกิดได้หลายลักษณะทั้งกับผู้ปฏิบัติงานกับไฟฟ้า ใกล้เคียงไฟฟ้า และผู้ใช้ไฟฟ้า รวมถึงอันตรายต่อทรัพย์สิน การติดตั้งทางไฟฟ้าจะต้องสามารถป้องกันอันตรายได้ แต่เมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง การติดตั้งและอุปกรณ์ไฟฟ้าอาจเสื่อมสภาพ ทำให้ความสามารถในการป้องกันอันตรายลดลง ในที่นี้จะกล่าวถึงสาเหตุของการเกิดอันตรายและแนวทางในการป้องกันที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์กับแนวทางการตรวจสอบและการบำรุงรักษาได้

ลักษณะของอันตรายจากไฟฟ้าที่เกิดกับบุคคลและทรัพย์สิน แบ่งออกได้ดังนี้

1.6.1 ไฟฟ้าดูด

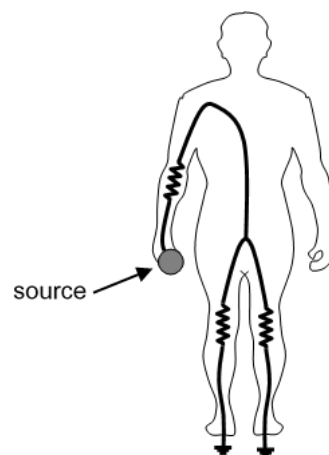
ไฟฟ้าดูด คือการที่บุคคลมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย และการไหลของกระแสไฟฟ้านั้นจะต้องไหลจนครบวงจร คือสามารถไหลมาจากแหล่งกำเนิด ผ่านร่างกาย และกลับไปยังแหล่งกำเนิดได้ ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าในแต่ละส่วนของร่างกายเปลี่ยนไปตามความต้านทานไฟฟ้าในแต่ละส่วนของร่างกาย บุคคลจะถูกไฟฟ้าดูดได้นั้นเพราะร่างกายสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้า แบ่งลักษณะการสัมผัสได้เป็น 2 แบบ คือ การสัมผัสโดยตรง และการสัมผัสโดยอ้อม



รูปที่ 1.75 วงจรการเกิดไฟฟ้าดูด

ที่มา : ลือชัย ทองนิล, คู่มือความปลอดภัยทางไฟฟ้าในสถานประกอบการ

จากรูปที่ 1.75 เมื่อบุคคลสัมผัสกับส่วนที่มีไฟฟ้าและไม่มีการป้องกัน จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายไปครบวงจรที่แหล่งกำเนิด บุคคลจะถูกไฟดูด แต่ถ้ามีการป้องกันโดยการสวมรองเท้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะไม่สามารถไหลผ่านได้ถือว่าไม่ถูกไฟดูด



รูปที่ 1.76 เส้นทางไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านบุคคล

ที่มา : ลือชัย ทองนิล, คู่มือความปลอดภัยทางไฟฟ้าในสถานประกอบการ

กระแสไฟฟ้า (I) จะไหลผ่านร่างกาย โดยมีปริมาณกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความต้านทาน (R) ของร่างกายที่จุดสัมผัสนั้น เช่น สัมผัสกับแรงดันไฟฟ้า (E) 230 โวลต์ และความต้านทานระหว่างมือถึงเท้าทั้งสองข้างสมมติเท่ากับ 1000 โอห์ม กระแสไฟฟ้าไหลผ่านที่คำนวณได้คือ

$$I(\text{ampere}) = \frac{E(\text{volt})}{R(\text{ohm})}$$

$$I(\text{ampere}) = \frac{230(\text{volt})}{1,000(\text{ohm})}$$

$$= 0.23 \text{ แอมแปร์}$$

ไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกาย เกิดพลังความร้อนที่ทำให้ร่างกายเสียหายมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะเวลาคำนวณในรูปของพลังงานได้ดังนี้

$$J = I^2 R t$$

โดยที่

J	คือ	พลังงานไฟฟ้า เป็น จูล
I	คือ	กระแสไฟฟ้า เป็น แอมแปร์
R	คือ	ความต้านทานร่างกาย เป็น โอห์ม
t	คือ	ระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย เป็น วินาที

1.6.1.1 ผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อร่างกายมนุษย์

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกาย ผู้ที่ถูกไฟดูดจะมีอาการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างเช่น หัวใจเต้นผิดปกติจนถึงหยุดเต้น ระบบประสาทและกล้ามเนื้อทำงานผิดปกติ เช่น เกิดการกระตุก หรือ สะบัดอย่างแรง อาการที่เรียกว่าไฟฟ้าดูดนี้มาจากอาการที่ระบบประสาทไม่สามารถสั่งงานให้กล้ามเนื้อทำงาน เช่น ไม่สามารถสั่งให้มือปล่อยหรือคลายออกจากการจับต้องส่วนที่มีกระแสไฟฟ้า หรือ สั่งให้ก้าวเท้าหนีจากพื้นบริเวณที่มีกระแสไฟฟ้ารั่วไหล อาการเหล่านี้เป็นอาการที่คล้ายกับถูกไฟฟาดูให้อยู่กับที่ ซึ่งเราเรียกว่าไฟฟ้าดูด

ตัวแปรความรุนแรงของไฟฟ้าดูดที่มีผลให้เกิดอาการต่าง ๆ ของร่างกาย และ การบาดเจ็บประกอบด้วย เส้นทางที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย ระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านร่างกายซึ่งขึ้นกับอิมพีแดนซ์ของร่างกายรวมทั้งความถี่ไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าด้วย

ส่วนประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าอีกอย่างหนึ่งก็คือ เงื่อนไขทางร่างกาย ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าที่โดยปกติแล้วจะทำให้เกิดผลเล็กน้อยกับบุคคลที่มีร่างกายดี แต่ถ้าผู้ได้รับบาดเจ็บจากไฟฟ้าควมมีปัญหาด้านสุขภาพเกี่ยวกับหัวใจหรือปอด ก็อาจมีอาการรุนแรงได้แม้มีกระแสน้อย

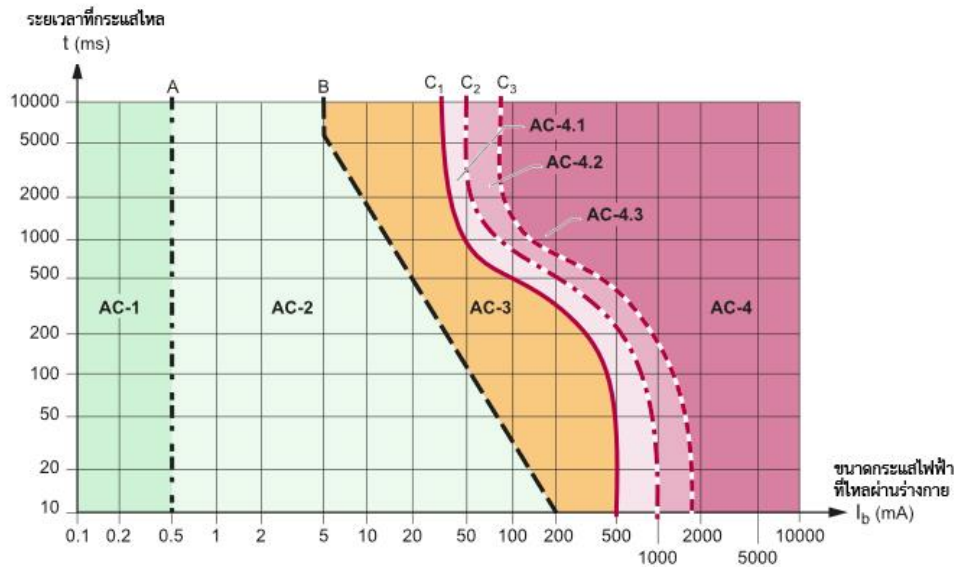
ตารางที่ 1.6 การตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าของบุคคล
(สำหรับบุคคลที่มีน้ำหนัก 68 กิโลกรัม)

ปริมาณกระแส	ความรู้สึก หรือ อาการ
ไม่เกิน 1 mA	ไม่รู้สึกถึงกระแสไฟฟ้า
1 mA	รู้สึกได้
3 mA	รู้สึกถึงอาการเจ็บ
10 mA	ไม่สามารถปล่อยมือได้ ถ้ามือไม่ก้ำอยู่อาจดึงหลุดได้ (อาจมีอาการมากขึ้น ถ้ากระแสสูงขึ้น และอาจเป็นอันตรายถึงชีวิต)
30 mA	หยุดหายใจ (เป็นไปได้มากที่จะเป็นอันตรายถึงชีวิต)
75 mA	การหายใจติดขัด (อาจเป็นอันตรายถึงชีวิต)
250 mA	มีโอกาสถึง 99.5% ที่หัวใจจะสั่นกระตุก
4 A	หัวใจหยุดเต้นเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน สำหรับการช็อกเพียงช่วงเวลาสั้น ๆ หัวใจอาจกลับมาเต้นใหม่เมื่อกระแสไฟฟ้าหยุดไหล (ปกติไม่เป็นอันตรายถึงชีวิตจากการทำงานผิดปกติของหัวใจ)
เกิน 5 A	เนื้อไหม้ ปกติไม่เป็นอันตรายถึงชีวิต นอกจากว่าอวัยวะจะไหม้

ที่มา : Courtesy of Ralph Lee

โดย IEC 60479-1:2016 ได้กำหนดโซนของขนาดกระแสไฟฟ้าสลับ/ระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย (ไหลจากมือซ้ายลงสู่เท้า) ที่ส่งผลทางพยาธิสรีรวิทยาไว้เป็น 4 โซนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 1.77 อธิบายได้ดังนี้

- 1) โซน AC-1 ร่างกายไม่รับรู้
- 2) โซน AC-2 ร่างกายรับรู้ได้ และกล้ามเนื้อเกิดหดตัวโดยไม่ตั้งใจ แต่ไม่มีผลอันตรายต่อร่างกาย
- 3) โซน AC-3 กล้ามเนื้อหดตัวรุนแรงโดยไม่ตั้งใจ การหายใจติดขัด หัวใจเต้นผิดปกติ จังหวะ เป็นผลที่เกิดขึ้นชั่วคราว (reversible effects)
- 4) โซน AC-4 เกิดอันตรายต่อร่างกาย การหายใจลำบาก หัวใจหยุดเต้น เกิดการไหม้รุนแรง มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นถาวร (possibility of irreversible effects) แบ่งเป็น 3 โซนย่อย คือ
 - (1) โซน AC-4.1 มีโอกาสมากถึง 5% ที่จะเกิดภาวะหัวใจล้มเหลว
 - (2) โซน AC-4.2 มีโอกาสมากถึง 50% ที่จะเกิดภาวะหัวใจล้มเหลว
 - (3) โซน AC-4.3 มีโอกาสมากกว่า 50% ที่จะเกิดภาวะหัวใจล้มเหลว



รูปที่ 1.77 กราฟแสดงขนาดกระแส/ระยะเวลาของความปลอดภัยจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกายตาม IEC 60479-1:2016

1.6.1.2 การสัมผัสโดยตรง (direct contact)

คือการที่ร่างกายมนุษย์มีการสัมผัสกับส่วนที่มีแรงดันไฟฟ้าโดยตรง เช่น มือจับสายไฟฟ้าส่วนที่มีแรงดันไฟฟ้า หรือส่วนของอุปกรณ์ที่เปิดโล่ง โดยเท้ายืนบนพื้นดินทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายระหว่างมือกับเท้า เป็นการไหลครบวงจรทางไฟฟ้า



รูปที่ 1.78 ตัวอย่างการสัมผัสโดยตรง

การป้องกันการสัมผัสโดยตรง เป็นการป้องกันเบื้องต้นที่จะต้องมีในการใช้ไฟฟ้า การป้องกันสามารถทำได้หลายวิธี โดยอาจจะเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีก็ได้ ตามความเหมาะสม ดังนี้

1) หุ้มฉนวนส่วนที่มีไฟเช่น การหุ้มฉนวนสายไฟฟ้า หรือการหุ้มส่วนที่มีไฟฟ้าด้วยแผ่นยาง การหุ้มฉนวนต้องเหมาะสมกับแรงดันด้วย ดังนั้นในการใช้งานจะต้องพิจารณาความสามารถในการทนแรงดันไฟฟ้าด้วยว่าเหมาะสมกับแรงดันหรือไม่

2) ป้องกันโดยมีสิ่งกั้นหรือตู้เซ่น ตู้หรือแผงสวิตช์ เครื่องทำน้ำอุ่น และมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น ตู้หรือสิ่งกั้นนั้นต้องสามารถป้องกันการสัมผัสได้สมบูรณ์ตามที่ต้องการ ระดับการป้องกันสิ่งท่ห่อหุ้มบริษัท ให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60529 และ มอก. 513-2553 ดังแสดงในตารางที่ 1.7 โดยแสดงด้วยสัญลักษณ์ IP ตามด้วยตัวเลข 1 หรือ 2 ตัว ตามประเภทการป้องกัน หากการป้องกันประเภทใดไม่ได้กำหนดอาจแสดงด้วย “-” หรือ “x” หรือเว้นช่องว่างไว้ เช่น IPx3

ตารางที่ 1.7 Degree of Protection ตามมาตรฐาน IEC 60529 และ มอก. 513-2553

รหัส	ตัวแรก ความสามารถในการป้องกันวัตถุ (ของแข็ง) เล็ดลอดเข้าภายใน	ตัวที่สอง ความสามารถในการป้องกันของเหลวเข้าไปทำ ความเสียหาย
0	ไม่มีการป้องกัน	ไม่มีการป้องกัน
1	สามารถป้องกันของแข็งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง มากกว่า 50 มม. ที่มากระทบไม่ให้ผ่านลอดเข้าไปข้างในได้	สามารถป้องกันน้ำที่ตกลงมาในแนวตั้งได้
2	สามารถป้องกันของแข็งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง มากกว่า 12 มม. ที่มากระทบไม่ให้ผ่านลอดเข้าไปข้างในได้	สามารถป้องกันน้ำที่ตกลงมาในแนวตั้ง และในแนวที่ทำมุม 15° กับแนวตั้งได้
3	สามารถป้องกันของแข็งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง มากกว่า 2.5 มม. ที่มากระทบไม่ให้ผ่านลอดเข้าไปข้างในได้	สามารถป้องกันน้ำฝนที่ตกลงมาในแนวทำมุม 60° กับแนวตั้งได้
4	สามารถป้องกันของแข็งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง มากกว่า 1 มม. ที่มากระทบไม่ให้ผ่านลอดเข้าไปข้างในได้	สามารถป้องกันหยดน้ำหรือน้ำที่มาจากทุกทิศทางได้
5	สามารถป้องกันฝุ่นได้	สามารถป้องกันน้ำที่ถูกฉีดมาตกกระทบ ในทุกทิศทางได้
6	สามารถป้องกันฝุ่นได้อย่างสมบูรณ์	สามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดจากคลื่นของน้ำทะเล หรือสามารถป้องกันน้ำท่วมได้ชั่วคราว
7		สามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดจากน้ำท่วมได้
8		สามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดจากน้ำท่วมอย่างถาวรได้

ที่มา : มอก. 513-2553

3) ป้องกันโดยมีสิ่งกีดขวางเช่น ลานหม้อแปลง หรือห้องหม้อแปลง รั้วหม้อแปลง สามารถป้องกันบุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องไปสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าได้

4) ยกให้อยู่ในระยะที่เอื้อมไม่ถึงเช่น ติดตั้งสายบนเสาไฟฟ้า ความสูงของสายไฟฟ้า ต้องเป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐานฯ ด้วย

5) ใช้อุปกรณ์ lockout-tagout การปฏิบัติงานกับเครื่องจักร อุปกรณ์ หรือแหล่งจ่าย ไฟฟ้าที่หยุดการทำงานนั้น จำเป็นต้องมั่นใจว่าเครื่องจักร อุปกรณ์ หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้างดกล่าวไม่มีโอกาสที่จะ

กลับมาทำงานได้โดยไม่ได้ตั้งใจ หรือมีกระแสไฟฟ้าค้างอยู่ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการตัดแยก หรือตัดแหล่งพลังงาน (พลังงานไฟฟ้า พลังงานนิวแมติกหรือลม พลังงานไฮดรอลิก พลังงานความร้อน พลังงานกล และพลังงานสะสมอื่น ๆ) ที่จ่ายมายังเครื่องจักร อุปกรณ์ หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้านั้น ด้วยการปลด/ปิดแหล่งจ่ายพลังงาน



รูปที่ 1.79 ตัวอย่างอุปกรณ์ lockout-tagout

ที่มา : (1) www.hydraulicspneumatics.com ; (2) www.safetyandhealthmagazine.com

6) ใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (personnel protective equipment) เมื่อต้องทำงานกับไฟฟ้าขณะที่มีไฟ เช่น ใช้ถุงมือยาง รองเท้ายาง แขนเสื้อยาง



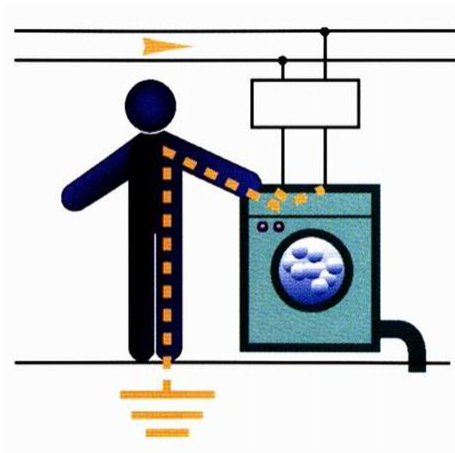
รูปที่ 1.80 ตัวอย่างอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล

ที่มา : www.arc-flash-clothing.com

7) ใช้เครื่องตัดไฟรั่ว เครื่องตัดไฟรั่วจะปลดวงจรเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย แต่เครื่องตัดไฟรั่วอาจชำรุดและไม่ทำงานปลดวงจรได้เมื่อถูกไฟดูด ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันด้วยวิธีอื่นตามที่กล่าวข้างต้นก่อน และใช้เครื่องตัดไฟรั่วเพื่อให้การป้องกันทำได้สมบูรณ์ขึ้น

1.6.1.3 การสัมผัสโดยอ้อม (indirect contact)

คือการสัมผัสส่วนซึ่งปกติไม่มีไฟฟ้า เป็นการสัมผัสจากการใช้งานตามปกติ เช่น โครงโลหะของหม้อหุงข้าวไฟฟ้า และโครงโลหะของสว่านไฟฟ้า แต่เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นอาจมีกระแสไฟฟ้าได้ เนื่องจากการชำรุดภายใน ทำให้มีไฟฟ้ารั่วออกมายังส่วนที่สัมผัส เมื่อมีการสัมผัสจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายลงดิน ครบวงจรทางไฟฟ้า การสัมผัสลักษณะนี้มีอันตรายสูงเนื่องจากบุคคลเคยชินกับการสัมผัสและใช้งาน จึงขาดความระมัดระวัง



รูปที่ 1.81 ตัวอย่างการสัมผัสโดยอ้อม

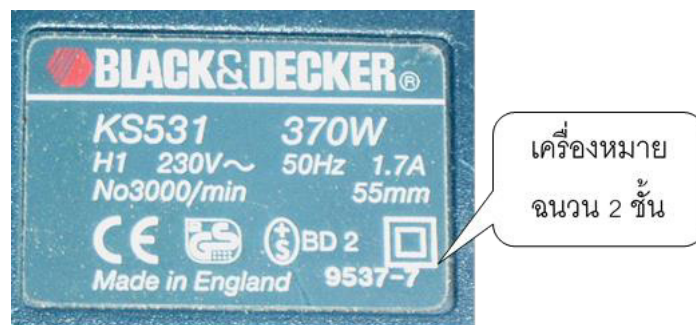
การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสโดยอ้อม สามารถทำได้โดย

- 1) มีการต่อลงดินเปลือกหุ้มที่เป็นตัวนำและมีเครื่องปลดวงจรอัตโนมัติ การต่อลงดินเป็นวิธีพื้นฐานในการป้องกัน แต่การต่อลงดินต้องทำให้ถูกต้องด้วยจึงจะสามารถป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 2) ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดฉนวน 2 ชั้น หรือประเภท II เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนี้เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ออกแบบให้มีฉนวนถึงสองชั้น หรือฉนวนมีความหนาเป็นสองเท่าของฉนวนปกติ จึงมีความสามารถและความคงทนต่อการป้องกัน เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทนี้สังเกตว่าส่วนประกอบภายนอกจะเป็นฉนวนไฟฟ้า และที่ฉลากจะมีเครื่องหมายสี่เหลี่ยมจัตุรัส 2 รูปซ้อน อยู่ด้วย
- 3) ใช้ในสถานที่ที่ไม่เป็นสื่อตัวนำ ไฟฟ้าดูดได้นั้น ไฟฟ้าจะต้องไหลครบวงจร คือผ่านร่างกายกลับไปยังแหล่งกำเนิดได้ โดยปกติการไหลกลับแหล่งกำเนิดจะผ่านทางดิน ดังนั้นถ้าสถานที่ที่ไม่เป็นสื่อตัวนำ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวคนไม่ได้ บุคคลจะพ้นจากไฟดูด

4) ใช้ระบบไฟฟ้าไม่ต่อลงดิน ระบบไฟฟ้าไม่ต่อลงดินสามารถป้องกันอันตรายจากกระแสไหลผ่านร่างกายกลับทางดินได้ แต่ระบบนี้มีข้อจำกัดในการใช้งาน ผู้ที่จะใช้งานต้องมีความรู้ ความเข้าใจถึงข้อดี ข้อเสีย อย่างชัดเจน ปกติจะใช้กับบางสถานที่เท่านั้นเช่นระบบไฟฟ้าสำหรับห้องผ่าตัดในโรงพยาบาล เป็นต้น

5) ใช้เครื่องตัดไฟรั่ว เช่นเดียวกับเรื่องการป้องกันการสัมผัสโดยตรง

6) ใช้เครื่องใช้ที่มีแรงดันต่ำที่ไม่เกิน 50 V. (safety extra-low voltage หรือ SELV) โดยผ่านหม้อแปลง safety isolating transformer จากสมการที่กล่าวข้างต้น แรงดันไฟฟ้าต่ำจะเป็นผลให้เมื่อสัมผัสจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายน้อยและไม่เป็นอันตราย



รูปที่ 1.82 ตัวอย่างเครื่องหมายฉนวน 2 ชั้น

การที่จะเลือกว่าจะใช้วิธีการป้องกันวิธีใดจึงจะเหมาะสมนั้น ผู้ที่จะเลือกต้องมีความรู้ด้วย ซึ่งจะต้องทราบข้อดี และข้อจำกัดในการป้องกันแต่ละวิธี

1.6.2 ประกายไฟจากอาร์ก

อาร์กเกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าสูงและกำลังไฟฟ้าสูง อาร์กเป็นการปล่อยไฟฟ้าออกสู่อากาศออกมาเป็นแสง ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าสูงตกคร่อมช่องว่างระหว่างสายตัวนำมีค่าสูงเกินค่าความคงทนของไดอิเล็กทริก (dielectric strength) ของอากาศ และมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอากาศ เหตุการณ์ดังกล่าวมักมีสาเหตุมาจากแรงดันสูงจากฟ้าผ่า จากการสวิตชิง จากความชำรุดของอุปกรณ์เนื่องจากการใช้งานไม่ถูกต้อง เป็นต้น อาร์ก จากไฟฟ้ามีพลังงานสูงพอที่จะทำอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้ และอาร์กยังมีความร้อนสูงมากจนทำให้วัตถุละลายได้ ความร้อน ไอของโลหะที่หลอมละลาย และแสงจ้า เป็นอันตรายต่อบุคคล อันตรายเกิดได้ดังนี้

1.6.2.1 รังสีความร้อนและแสงจ้า

อาร์กจะแผ่รังสีออกไปทำให้ผู้ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงได้รับอันตรายเกิดแผลไฟไหม้ที่รุนแรงถึงแก่ชีวิตได้ สำหรับผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้า ต้องสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (PPE)

ที่เหมาะสมในการป้องกันอันตรายจากประกายไฟ ต้องสวมใส่ชุดปฏิบัติงานที่ทนต่อประกายไฟและการลุกไหม้ อุปกรณ์และเครื่องมืออื่น ๆ ก็ต้องเหมาะสม มีการต่อลงดิน และมีป้ายเตือนต่าง ๆ ด้วย

รังสีความร้อนและแสงจ้า สามารถทำให้เกิดการไหม้ได้ ปัจจัยที่มีผลต่อระดับความรุนแรงของการบาดเจ็บมีหลายประการ เช่น สีผิว พื้นที่ของผิวหนังที่สัมผัส และชนิดของเสื้อผ้าที่สวม การลดความเสี่ยงของการไหม้ดังกล่าวสามารถทำได้โดยการใช้เสื้อผ้า ระยะห่างการทำงาน ตำแหน่งติดตั้ง อุปกรณ์และเชื้อเพลิงโดยรอบ และการป้องกันกระแสน้ำที่เหมาะสม

1.6.2.2 โลหะหลอมละลาย

อาร์กจากไฟฟ้าแรงสูงสามารถทำให้ ชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นทองแดง และ อะลูมิเนียมหลอมละลายได้ หยกโลหะหลอมเหลวดังกล่าวอาจถูกแรงระเบิดจากคลื่นความดันผลักดันให้กระเด็นไปเป็นระยะทางไกล ๆ ได้ ถึงแม้ว่าหยดโลหะเหล่านี้จะแข็งตัวอย่างรวดเร็ว แต่ก็ยังมีความร้อนเหลืออยู่มากพอที่จะทำให้เกิดการไหม้อย่างรุนแรงได้ หรือ ทำให้เสื้อผ้าปกติทั่วไปลุกติดไฟได้ แม้ว่าจะอยู่ห่างจากจุดเกิดเหตุมากกว่า 3 เมตร แล้วก็ตาม ดังนั้นจะต้องดูแลไม่ให้มีวัตถุที่ติดไฟได้อยู่ใกล้ รวมทั้งมีวิธีการป้องกันที่เหมาะสมด้วย

แนวทางการป้องกันอันตราย แบ่งออก เป็นการใช้อุปกรณ์ และมาตรการในทางปฏิบัติ สำหรับการทำงานกับไฟฟ้า การป้องกันอันตรายจากการใช้งาน จะต้องออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันกระแสน้ำที่เหมาะสม รวมทั้งตรวจสอบและบำรุงรักษาเพื่อป้องกันการเกิดลัดวงจรด้วย

1.6.3 การระเบิดจากอาร์ก

การเกิดระเบิดจากไฟฟ้ามีสาเหตุหลักมาจากการเกิดอาร์กในพื้นที่จำกัด เนื่องจากการเกิดลัดวงจรเมื่ออากาศได้รับความร้อนจากอาร์กก็จะขยายตัวอย่างรวดเร็ว การเกิดระเบิดจากอาร์กมีอุณหภูมิสูงมาก และแรงจากการระเบิดนี้สูงมากเช่นกัน จนเป็นอันตรายต่อบุคคลได้ เนื่องจากความดันที่เกิดจากการอาร์กมีพลังงานสูง แต่ก็อาจจะโชคดีที่ความดันนี้ อาจพัดพาแรงของผู้ประสบอันตรายหลุดลอยออกไปจากแหล่งความร้อน อาจพ้นจากอันตรายจากไฟฟ้าได้ แต่ผู้เคราะห์ร้ายอาจเสียชีวิตได้จากสาเหตุอื่น เช่น กระแทกกับของแข็ง หรือตกจากที่สูง แรงผลักดันที่อาจรุนแรงมาก (ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการลัดวงจร) ทำให้ตู้หรือแผงสวิตช์ล่อยกระเด็นไปได้ไกล

ความดันสูงเนื่องจากการระเบิดจากการอาร์ก อาจมาปะทะร่างกายจนเป็นอันตราย นอกจากนั้นการระเบิด อาจทำให้สูญเสียการได้ยินและสูญเสียความทรงจำได้ เนื่องจากการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง บางกรณีคลื่นความดันสามารถผลักผู้เคราะห์ร้ายให้กระเด็นออกไปไกลจากจุดเกิดเหตุระเบิดได้ เป็นผลให้การสัมผัสกับพลังงานความร้อนลดลง แต่อาจเกิดการบาดเจ็บทางกายภาพอย่างรุนแรงแทน คลื่นความดัน ที่สามารถผลักให้วัตถุขนาดใหญ่กระเด็นออกไปเป็นระยะทางไกล ๆ ได้ ในบางกรณี คลื่นความดันอาจมีแรงมากพอที่จะถอนหัวโบลต์โลหะ ให้หลุดกระเด็นไปชนผนังได้

แนวทางการป้องกันอันตรายจากการระเบิดจากอาร์ก คือการป้องกันการเกิดลัดวงจรเช่นเดียวกับการป้องกันอันตรายจากอาร์ก

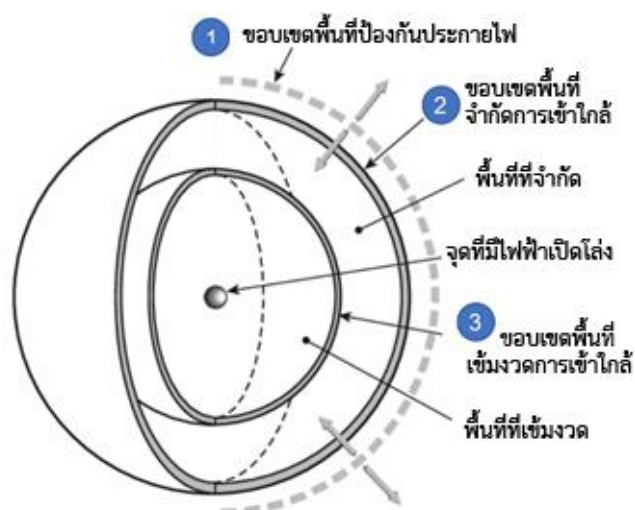


รูปที่ 1.83 ตัวอย่างความเสียหายจากการระเบิดจากอาร์ก

1.7 ความปลอดภัยทางไฟฟ้าในสถานที่ทำงาน

1.7.1 ขอบเขตพื้นที่ป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า

เพื่อความปลอดภัยในการทำงานจึงต้องจำกัดระยะการเข้าใกล้จุดที่มีไฟฟ้า โดยแบ่งเป็น 2 ระดับคือ ระยะที่เกิดอันตรายจากไฟฟ้าดูด และระยะที่เกิดอันตรายจากประกายไฟ หรืออาร์ก รวมถึงการระเบิด โดยมาตรฐาน NFPA 70E Standard for Electrical Safety in the Workplaces ได้กำหนดระยะการเข้าใกล้เป็นขอบเขตพื้นที่ป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.84



รูปที่ 1.84 ขอบเขตพื้นที่ต่าง ๆ ตามมาตรฐาน NFPA 70E
ที่มา : NFPA 70E : 2021

โดยขอบเขตพื้นที่ 1 ถึง 3 ในรูปที่ 1.84 มีความหมายดังนี้

1.7.1.1 ขอบเขตพื้นที่ป้องกันประกายไฟ (flash protection boundary)

หมายถึง เมื่อมีอันตรายเนื่องจากประกายไฟจากการอาร์ก ระยะห้ามการเข้าใกล้คิดจากแหล่งกำเนิดถึงบุคคลที่อาจได้รับอันตรายเป็นแผ่นไหม้ชั้นที่ 2 ถ้าเกิดประกายไฟจากการอาร์ก

1.7.1.2 ขอบเขตพื้นที่จำกัดการเข้าใกล้ (limited approach boundary)

หมายถึง ระยะที่จำกัดไว้คิดจากส่วนของวงจรไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าเปิดโล่งที่มีไฟซึ่งมีอันตรายจากไฟฟ้าดูด

1.7.1.3 ขอบเขตพื้นที่ข่มงวดการเข้าใกล้ (restricted approach boundary)

หมายถึง ระยะที่จำกัดการเข้าใกล้จากส่วนของวงจรไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าเปิดโล่งที่มีไฟซึ่งเพิ่มความเสี่ยงที่จะถูกไฟดูดเนื่องจากการอาร์กร่วมกับการเคลื่อนไหวยังไม่ตั้งใจ สำหรับบุคคลที่ทำงานใกล้กับส่วนของวงจรไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าที่มีไฟ

1.7.2 ขอบเขตพื้นที่ป้องกันประกายไฟจากการอาร์ก

1.7.2.1 ระดับแรงดันเกิน 50 โวลต์ ถึง 600 โวลต์

กรณีมิได้ทำการคำนวณการวิเคราะห์อันตรายจากประกายไฟเนื่องจากการอาร์กโดยละเอียด สำหรับระบบแรงดันเกิน 50 โวลต์ ถึง 600 โวลต์ ขอบเขตพื้นที่ป้องกันประกายไฟเนื่องจากการอาร์ก ต้องมีค่าเท่ากับ 4.0 ฟุต ซึ่งขึ้นกับ clearing time ที่ 2 cycles (0.033 วินาที) และกระแสลัดวงจรแบบติดแน่น (bolted fault current) 50 kA หรือ การควมรวมกันใด ๆ ที่ไม่เกิน 100 kA cycles (1,667 แอมแปร์-วินาที) กรณีที่ clearing times และกระแสลัดวงจรแบบติดแน่นมีค่าเกิน 100 kA cycles จะต้องทำการคำนวณขอบเขตพื้นที่ป้องกันประกายไฟเนื่องจากการอาร์ก

1.7.2.2 ระดับแรงดันสูงกว่า 600 โวลต์

ที่ระดับแรงดันสูงกว่า 600 โวลต์ ขอบเขตพื้นที่ป้องกันประกายไฟเนื่องจากการอาร์ก คือระยะซึ่งพลังงานอุบัติการณ์มีค่าเท่ากับ 5 จูลต่อตารางเซนติเมตร (1.2 แคลอรี/ตร.ซม.) กรณีที่เวลาการตัดกระแสลัดวงจร (fault-clearing time) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 วินาที ขอบเขตพื้นที่ป้องกันประกายไฟเนื่องจากการอาร์ก คือ ระยะซึ่งพลังงานอุบัติการณ์มีค่าเท่ากับ 6.24 จูล/ตร.ซม. (1.5 แคลอรี/ตร.ซม.)

ผู้ที่ผ่านเข้าขอบเขตจำกัดการเข้าใกล้นี้ ต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ต้องเป็นบุคคลที่มีคุณสมบัติ (มีความรู้และมีความตระหนัก)
2. ต้องสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล หรือ PPE ที่เหมาะสม
3. ต้องวางแผนการดำเนินการที่เหมาะสม (หากเกิดอันตรายขึ้น)

ตารางที่ 1.8 ขอบเขตพื้นที่การเข้าใกล้ส่วนของวงจรไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าที่มีไฟ เพื่อป้องกันไฟฟ้าดูด
(มิติทั้งหมดคือระยะจากส่วนของวงจรไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าที่มีไฟถึงตัวผู้ปฏิบัติงาน)

ขอบเขตพื้นที่จากรูปที่ 1.81	2		3
(1)	(2)	(3)	(4)
แรงดันไฟฟ้าระบุ (ระหว่างสายเส้นไฟ) ¹	ขอบเขตพื้นที่จำกัดการเข้าใกล้		ขอบเขตพื้นที่ซึ่งมวตการเข้าใกล้ รวมทั้งการเคลื่อนไหวเข้าใกล้ โดยไม่ตั้งใจ
	ตัวนำไฟฟ้าเปิดโล่ง ที่เคลื่อนที่ได้ ²	ตัวนำไฟฟ้าเปิดโล่ง ยึดกับที่ ²	
น้อยกว่า 50 V	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด
50 V ถึง 150 V	3.0 ม. (10 ฟุต 0 นิ้ว)	1.0 ม. (3 ฟุต 6 นิ้ว)	หลีกเลี่ยงการสัมผัส
150 V ถึง 750 V	3.0 ม. (10 ฟุต 0 นิ้ว)	1.0 ม. (3 ฟุต 6 นิ้ว)	0.3 ม. (1 ฟุต 0 นิ้ว)
751 V ถึง 15 k V	3.0 ม. (10 ฟุต 0 นิ้ว)	1.5 ม. (5 ฟุต 0 นิ้ว)	0.7 ม. (2 ฟุต 2 นิ้ว)
15.1 kV ถึง 36 k V	3.0 ม. (10 ฟุต 0 นิ้ว)	1.8 ม. (6 ฟุต 0 นิ้ว)	0.8 ม. (2 ฟุต 9 นิ้ว)
36.1 kV ถึง 46 k V	3.0 ม. (10 ฟุต 0 นิ้ว)	2.5 ม. (8 ฟุต 0 นิ้ว)	0.8 ม. (2 ฟุต 9 นิ้ว)
46.1 kV ถึง 72.5 k V	3.0 ม. (10 ฟุต 0 นิ้ว)	2.5 ม. (8 ฟุต 0 นิ้ว)	1.0 ม. (3 ฟุต 6 นิ้ว)
72.6 kV ถึง 121 k V	3.3 ม. (10 ฟุต 8 นิ้ว)	2.5 ม. (8 ฟุต 0 นิ้ว)	1.0 ม. (3 ฟุต 6 นิ้ว)
138 kV ถึง 145 k V	3.4 ม. (11 ฟุต 0 นิ้ว)	3.0 ม. (10 ฟุต 0 นิ้ว)	1.2 ม. (3 ฟุต 10 นิ้ว)
161 kV ถึง 169 k V	3.6 ม. (11 ฟุต 8 นิ้ว)	3.6 ม. (11 ฟุต 8 นิ้ว)	1.3 ม. (4 ฟุต 3 นิ้ว)
230 kV ถึง 242 k V	4.0 ม. (13 ฟุต 0 นิ้ว)	4.0 ม. (13 ฟุต 0 นิ้ว)	1.7 ม. (5 ฟุต 8 นิ้ว)
345 kV ถึง 362 k V	4.7 ม. (15 ฟุต 4 นิ้ว)	4.7 ม. (15 ฟุต 4 นิ้ว)	2.8 ม. (9 ฟุต 12 นิ้ว)
500 kV ถึง 550 k V	5.8 ม. (19 ฟุต 0 นิ้ว)	5.8 ม. (19 ฟุต 0 นิ้ว)	3.6 ม. (11 ฟุต 8 นิ้ว)
765 kV ถึง 800 k V	7.2 ม. (23 ฟุต 9 นิ้ว)	7.2 ม. (23 ฟุต 9 นิ้ว)	4.9 ม. (15 ฟุต 11 นิ้ว)

ที่มา : NFPA 70E : 2021, ตารางที่ 130.4(E)(a)

หมายเหตุ

¹ สำหรับระบบ single-phase เลือกช่วงที่เทียบเท่ากับ maximum phase-to-ground voltage ของระบบ
คูณด้วย 1.732

² สภาพซึ่งระยะห่างระหว่างตัวนำกับบุคคลมิได้อยู่ภายในการควบคุมของบุคคล โดยทั่วไปจะประยุกต์เทอมนี้
กับตัวนำสายอากาศที่มีเสาไฟฟ้ารองรับ

1.7.3 อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล

อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล หรือ PPE (personal protective equipment) หมายถึง
สิ่งหนึ่งสิ่งใดที่นำมาสวมใส่ลงบนอวัยวะส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกาย หรือหลายส่วนรวมกัน โดยมีจุดมุ่งหมาย
เพื่อป้องกันของร่างกายส่วนที่สวมใส่ ไม่ให้ได้รับอันตราย หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกัน
อันตรายที่เกิดจากสภาพแวดล้อมในการทำงาน

แนวคิดเกี่ยวกับการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล ควรเป็นมาตรการสุดท้ายที่จะพิจารณาถึง ดังนั้นหัวหน้างานและผู้ใช้ จะต้องเข้าใจว่าอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลนั้นสามารถลดหรือบรรเทาอันตรายลงให้อยู่ในระดับต่ำที่ไม่เป็นอันตรายได้เท่านั้น ไม่ใช่อุปกรณ์ที่จะป้องกันอันตรายได้โดยเด็ดขาด ซึ่งผู้ใช้จะต้องศึกษาทำความเข้าใจและทราบถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ทุกชนิดตลอดจนวิธีใช้อุปกรณ์ที่ถูกต้อง

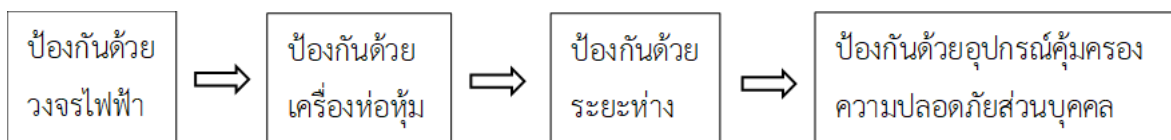
การเลือกใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล มีหลักการดังนี้

1. ต้องเลือกใช้ชนิดที่สามารถป้องกันอันตรายได้เฉพาะเป็นอย่างๆ
2. ต้องสวมใส่สบาย มีน้ำหนักเบาเป็นพิเศษ เพื่อให้ทำงานได้คล่องตัว
3. ต้องมีประสิทธิภาพในการป้องกันอันตรายสูง
4. มีราคาเหมาะสม หาซื้อได้ง่าย
5. วิธีการใช้เครื่องป้องกันจะต้องไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากเกินไป เพราะคนที่ใช้ส่วนใหญ่จะไม่มี

ความรู้ทำให้ใช้ได้ไม่ถูกต้อง

6. ควรจะมีสีเด่นสะดุดตาและต้องเป็นสีที่ดู แล้วสะอาดตานำมาใช้
7. ทนทานต่อการใช้งาน เมื่อชำรุดเสียหายก็ซ่อมแซมได้ง่ายและหาอุปกรณ์ประกอบได้ง่าย
8. เก็บรักษาง่าย ไม่ต้องมีวิธีพิเศษมากมาย

ทั้งนี้ ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความตระหนักในอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในทุกส่วนของระบบไฟฟ้า ตั้งแต่แหล่งจ่ายไฟฟ้า การเดินสายและการติดตั้งระบบ มาจนถึงอุปกรณ์ที่ใช้งาน ดังนั้น หากมีการติดตั้งระบบที่ดี เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันได้อย่างเหมาะสม และมีการจัดการการเข้าใกล้ส่วนที่มีไฟฟ้าแล้ว การเลือกใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล จะช่วยลดการเกิดอุบัติเหตุในสถานประกอบการได้มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1.85 ขั้นตอนการเลือกวิธีป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า

1.7.4 มาตรฐานอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวงแรงงานได้ออก ประกาศเรื่อง กำหนดมาตรฐานอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล พ.ศ. 2554 โดยอาศัยอำนาจตามพระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 โดยกำหนดให้มาตรฐานอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล ได้แก่

- 1) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)
- 2) มาตรฐานขององค์การมาตรฐานสากล (ISO)

3) มาตรฐานสหภาพยุโรป (EN)

4) มาตรฐานประเทศออสเตรเลียและประเทศนิวซีแลนด์ (AS/NZS)

5) มาตรฐานสถาบันมาตรฐานแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา (ANSI)

6) มาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศญี่ปุ่น (JIS)

7) มาตรฐานสถาบันความปลอดภัยและอนามัยในการทำงานแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา (NOSH)

8) มาตรฐานสำนักงานบริหารความปลอดภัยและอนามัยแห่งชาติ กรมแรงงาน ประเทศสหรัฐอเมริกา (OSHA)

9) มาตรฐานสมาคมป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา (NFPA)

นอกจากนี้กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานยังได้แบ่งประเภทอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลตามอวัยวะในส่วนที่ใช้ป้องกันไว้ดังนี้

1) อุปกรณ์ป้องกันศีรษะ

2) อุปกรณ์ป้องกันดวงตาและใบหน้า

3) อุปกรณ์ป้องกันหู

4) อุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจ

5) อุปกรณ์ป้องกันมือและแขน

6) อุปกรณ์ป้องกันลำตัว

7) อุปกรณ์ป้องกันเท้า

8) อุปกรณ์ป้องกันการตกจากที่สูง

1.7.5 ประเภทของอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะประเภทของอุปกรณ์ป้องกันศีรษะ และอุปกรณ์ป้องกันมือเท่านั้น

1.7.5.1 ชนิดของหมวกนิรภัย

มาตรฐาน มอก. 368-2554 แบ่งหมวกนิรภัยตามการใช้งานเป็น 3 ชนิด คือ

1) ชนิด E (electrical) หมายถึง หมวกนิรภัยที่ใช้เพื่อลดแรงกระแทกของวัตถุ และลดอันตรายอันอาจเกิดจากการสัมผัสกับตัวนำไฟฟ้าแรงดันสูง ทนแรงดันไฟฟ้าทดสอบ 20,000 โวลต์

2) ชนิด G (general) หมายถึง หมวกนิรภัยที่ใช้เพื่อลดแรงกระแทกของวัตถุ และลดอันตรายอันอาจเกิดจากการสัมผัสกับตัวนำไฟฟ้าแรงดันต่ำ ทนแรงดันไฟฟ้าทดสอบ 2,200 โวลต์

3) ชนิด C (conductive) หมายถึง หมวกนิรภัยที่ใช้เพื่อลดแรงกระแทกของวัตถุเท่านั้น ไม่ช่วยป้องกันไฟฟ้าใด ๆ ทั้งสิ้น

หมายเหตุ แรงดันไฟฟ้าทดสอบตามข้อ 1) และข้อ 2) ไม่ใช่แรงดันไฟฟ้าที่ปลอดภัยสำหรับผู้สวมใส่หมวกนิรภัย

1.7.5.1 ประเภทของถุงมือนิรภัย

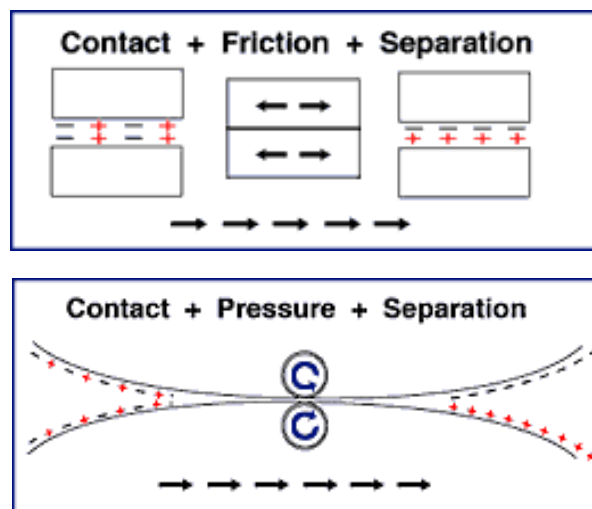
ถุงมือนิรภัยสำหรับป้องกันไฟฟ้า เป็นถุงมือฉนวนไฟฟ้าที่ต้องสวมทับด้วยถุงมือหนังเพื่อป้องกันการเสียดสี การบาด การฉีกขาด การเจาะทะลุ ของถุงมือฉนวนไฟฟ้า โดยถุงมือฉนวนไฟฟ้าสามารถแบ่งประเภท (class) ตามมาตรฐาน EN60903:2003 ได้ดังนี้

- 1) class 00 สำหรับป้องกันระดับแรงดันไฟฟ้าใช้งานสูงสุด 500 โวลต์
- 2) class 0 สำหรับป้องกันระดับแรงดันไฟฟ้าใช้งานสูงสุด 1,000 โวลต์
- 3) class 1 สำหรับป้องกันระดับแรงดันไฟฟ้าใช้งานสูงสุด 7,500 โวลต์
- 4) class 2 สำหรับป้องกันระดับแรงดันไฟฟ้าใช้งานสูงสุด 17,000 โวลต์
- 5) class 3 สำหรับป้องกันระดับแรงดันไฟฟ้าใช้งานสูงสุด 26,500 โวลต์
- 6) class 4 สำหรับป้องกันระดับแรงดันไฟฟ้าใช้งานสูงสุด 36,000 โวลต์

1.8 ไฟฟ้าสถิต

1.8.1 การเกิดไฟฟ้าสถิต

ไฟฟ้าสถิตเกิดได้หลายแบบเช่น การสัมผัสแล้วแยกจากกันหรือการถูกันระหว่างวัสดุสองชนิด ทำให้เกิดการถ่ายเทประจุจากที่วัสดุทั้งสองที่เป็นกลางทางไฟฟ้า ทำให้วัตถุชิ้นหนึ่งมีประจุบวกเพิ่มขึ้น และอีกชิ้นหนึ่งมีประลบเพิ่มขึ้น



รูปที่ 1.86 การเกิดไฟฟ้าสถิต

การที่วัสดุใดจะมีประจุชนิดใดมากกว่าภายหลังจากการเสียดสีกันนั้น ขึ้นกับชนิดของวัสดุทั้งสอง เมื่อวัสดุสองชนิดเสียดสีกันวัสดุใดจะมีประจุบวก หรือประจุลบ เป็นไปตามลำดับ ดังนี้

เป็นประจุบวก
แก้ว
ไนลอน
ผ้าขนสัตว์
ผ้าไหม
กระดาษ
ผ้าฝ้าย
เหล็ก
เงิน หรือทองแดง
ยาง
พีวีซี
เป็นประจุลบ

ตัวอย่างถ้านำผ้าฝ้ายมาเสียดสีกับยาง ผลที่ได้คือผ้าฝ้ายจะมีประจุเป็นบวก และยางจะมีประจุเป็นลบ เป็นต้น

ปริมาณหรือความรุนแรงของประจุที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเสียดสีนี้อาจสูงมาก ขึ้นอยู่กับสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ชนิดของวัสดุทั้งสอง
2. ความรุนแรง ระยะเวลาในการสัมผัส
3. ความชื้นสัมพัทธ์ (ยิ่งมีค่าต่ำ ยิ่งเกิดการถ่ายเทประจุมาก และสะสมประจุได้ง่าย)
4. ลักษณะพื้นผิวของวัสดุทั้งสอง (เรียบ ขรุขระ ฯลฯ)

1.8.1.1 การเกิดไฟฟ้าสถิตกับตัวนำไฟฟ้า

วัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะมีความนำไฟฟ้าจำเพาะ 10^5 mho/cm. หรือมากกว่า คุณสมบัติที่สำคัญทางด้านไฟฟ้าสถิตของตัวนำไฟฟ้า เช่น โลหะ คือประจุสามารถเดินทางได้เร็วบนพื้นผิวของมัน ทำให้ประจุบวกและประจุลบรวมตัวกันได้ง่ายและรวดเร็ว ซึ่งคุณสมบัตินี้จะทำให้ประจุบนตัวนำที่ไม่ได้ถูกต่อลงดินมีเพียงชนิดเดียว คือบวกหรือลบเพียงอย่างเดียวอย่างใดอย่างหนึ่ง เพราะส่วนน้อยที่เหลืออยู่จะถูกรวมหายไป กระจายอยู่ตลอดผิวของโลหะนั้น เมื่อไม่มีสนามไฟฟ้าอื่นใดภายนอกมาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะทำให้วัตถุตัวนำมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากันตลอดทั้งชิ้นส่วน และเมื่อเราต่อโลหะลงดินจะทำให้ประจุทั้งหมดสามารถไหลถ่ายเทลงดินได้ และทำให้แผ่นโลหะทั้งแผ่นนั้นเป็นกลาง

1.8.1.2 การเกิดไฟฟ้าสถิตกับฉนวน

ตรงกันข้ามกับตัวนำไฟฟ้า ประจุจะเดินทางได้ยากบนวัสดุที่เป็นฉนวน ทำให้การรวมตัวระหว่างกันเกิดได้ยากและ/หรือเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ผลที่เกิดขึ้นจากคุณสมบัตินี้คือ บางตำแหน่งของแท่งวัตถุที่เป็นฉนวนอาจจะเป็นบวมในขณะที่บางตำแหน่งของฉนวนจะมีประจุลบ นอกจากนี้แล้ว เรายังไม่สามารถถ่ายประจุจากวัตถุประเภทฉนวนลงดินได้ด้วยวิธีการต่อสายดิน เนื่องจากประจุไฟฟ้าเดินทางได้ยากบนฉนวนนั่นเอง ทั้งนี้เมื่อต่อสายดินเข้ากับแท่งฉนวนที่ไม่เป็นกลาง ฉนวนนั้นก็ยังคงแสดงอำนาจประจุไฟฟ้าเหมือนเดิมอยู่

มีวัสดุบางประเภทที่ถึงแม้ว่าเสียดสีกันก็จะเกิดการถ่ายเทประจุน้อยมาก เราเรียกวัดูลเหล่านี้ว่า low charging material หรือ antistatic วัสดุเหล่านี้อาจเป็นได้ทั้งตัวนำ และฉนวน

1.8.2 เพลิงไหม้จากไฟฟ้าสถิต

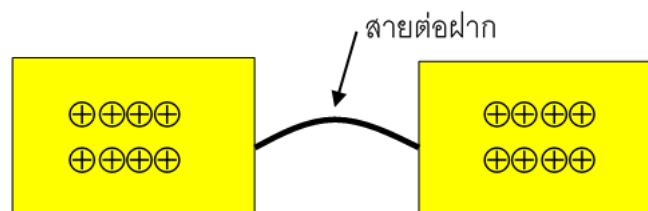
ปกติประจุไฟฟ้าจะเกาะติดอยู่กับวัตถุ จึงเรียกว่าไฟฟ้าสถิต แต่ไฟฟ้าสถิตที่มีประจุต่างกันจะพยายามคายประจุเข้าหากัน จึงอาจเกิดสปาร์ก หรือประกายไฟ ถ้ามีวัตถุติดไฟได้อยู่ใกล้ก็อาจเกิดเพลิงไหม้ได้ การคายประจุจะเกิดเมื่อประจุมีปริมาณประจุมากพอที่จะกระโดดข้ามอากาศได้ การเกิดฟ้าผ่าก็เป็นปรากฏการณ์หนึ่งของการคายประจุ

1.8.3 แนวทางการป้องกัน

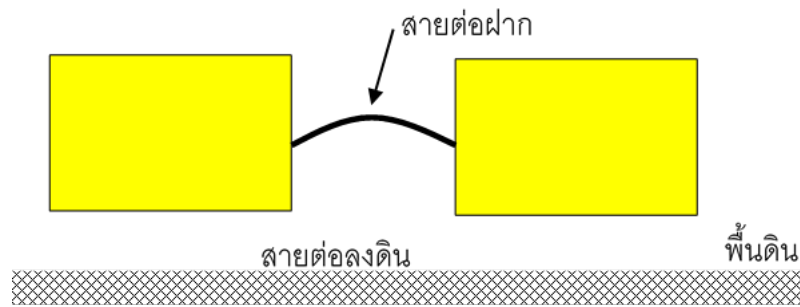
เนื่องจากการคายประจุของไฟฟ้าสถิตทำให้เกิดประกายไฟ ถ้าในบริเวณนั้นมีวัตถุที่ติดไฟได้ง่าย หรือเป็นบริเวณที่มีสารไวไฟอยู่ก็จะเกิดเพลิงไหม้ได้ การป้องกันการเกิดเพลิงไหม้จากไฟฟ้าสถิตคือ การป้องกันไม่ให้เกิดประกายไฟ หรือลดการเกิดประกายไฟ ทำได้ด้วยการต่อฝาก หรือการต่อลงดิน

1.8.3.1 การต่อฝาก (bonding)

คือการต่อด้วยตัวนำไฟฟ้าระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น การคายประจุจากวัตถุชิ้นหนึ่งไปยังอีกชิ้นหนึ่งเป็นการคายประจุผ่านตัวนำไฟฟ้า จึงไม่มีการกระโดดข้ามที่เรียกว่าสปาร์ก จึงไม่มีประกายไฟที่เป็นสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้



รูปที่ 1.87 การต่อฝาก



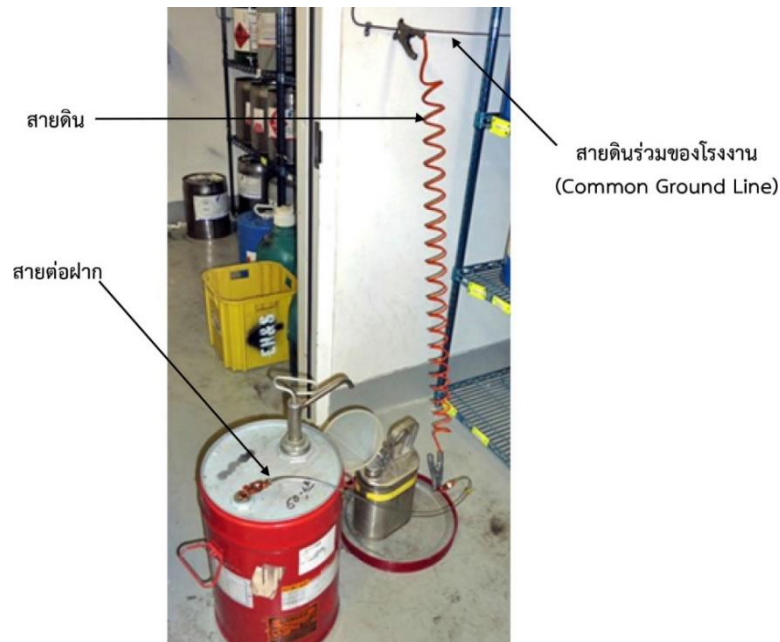
รูปที่ 1.88 การต่อลงดินเพื่อลดการเกิดประกายไฟ

1.8.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อฝาก

- ขนาดใหญ่
- 1) heavy duty clamp with tungsten carbide contact เหมาะที่จะใช้กับถัง
 - 2) medium duty clamp เหมาะที่จะใช้กับถัง stainless steel
 - 3) medium duty cast aluminium clamp เหมาะที่จะใช้กับถังโลหะเคลือบสี
 - 4) c-clamp เหมาะที่จะใช้ทำ Bonding ระหว่างถังบรรจุกับโครงโลหะแบบกึ่งถาวร
 - 5) pipe clamp เหมาะที่จะใช้กับท่อโลหะเพื่อทำ bonding และ grounding แบบ
- กึ่งถาวร
- 6) screw-down clamp เหมาะที่จะใช้ต่อกราวด์กับโครงโลหะในงานต่าง ๆ แบบ
- กึ่งถาวร

1.8.3.3 สายต่อฝาก

สายต่อฝากสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อลดการเกิดประกายไฟนั้น ในกรณีที่ติดตั้งถาวรควรใช้เป็นสายแข็ง (solid conductor) กรณีที่ติดตั้งกึ่งถาวรควรใช้เป็นสายอ่อน หรือสายถัก สามารถใช้ได้ทั้งสายเปลือยและสายหุ้มฉนวน (การใช้สายเปลือยจะสามารถสังเกตเห็นการชำรุดของสายตัวนำได้ดีกว่าสายหุ้มฉนวน) การพิจารณาขนาดของสายต่อฝากสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อลดการเกิดประกายไฟนั้น ควรพิจารณาถึงความแข็งแรงทางกลเป็นหลัก โดยสายที่มีขนาดเพียงพอสำหรับการนำกระแส (ดูตารางที่ 2.19) อาจมีความแข็งแรงทางกลไม่เพียงพอ



รูปที่ 1.89 ตัวอย่างการต่อสายดิน (grounding) และการต่อฝาก (bonding) เพื่อป้องกันไฟฟ้าสถิตขณะทำการถ่ายของเหลวไวไฟจากถังจัดเก็บ
ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการปฏิบัติงาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในโรงงาน พ.ศ. 2552

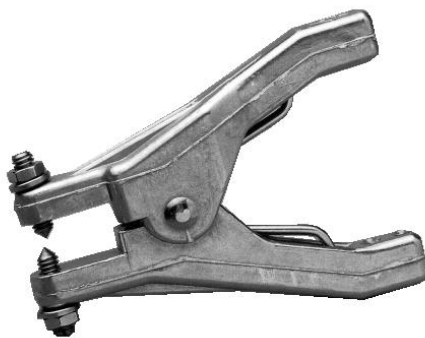


รูปที่ 1.90 heavy duty clamp with tungsten carbide contact
ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการตรวจสอบ ติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่อันตราย ที่มีไอระเหยของสารไวไฟ



รูปที่ 1.91 medium duty clamp

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการตรวจสอบ ติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่อันตราย
ที่มีไอระเหยของสารไวไฟ



รูปที่ 1.92 medium duty cast aluminium clamp

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการตรวจสอบ ติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่อันตราย
ที่มีไอระเหยของสารไวไฟ



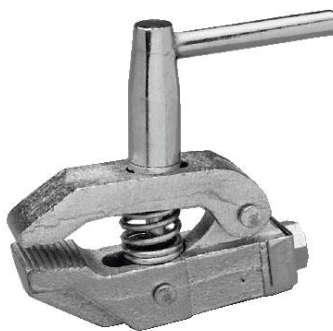
รูปที่ 1.93 c-clamp

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการตรวจสอบ ติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่อันตราย
ที่มีไอระเหยของสารไวไฟ



รูปที่ 1.94 pipe clamp

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการตรวจสอบ ติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่อันตราย
ที่มีไอระเหยของสารไวไฟ



รูปที่ 1.95 screw-down clamp

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการตรวจสอบ ติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่อันตราย
ที่มีไอระเหยของสารไวไฟ

บทที่ 2

มาตรฐานและข้อกำหนดการติดตั้งทางไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึงส่วนหนึ่งของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ของ สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ฯ ซึ่งใช้เป็นข้อกำหนดในการออกแบบ ติดตั้ง และใช้งานระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์ (บริภัณฑ์) ไฟฟ้า ให้เกิดความปลอดภัยทั้งต่อผู้ใช้งาน สถานประกอบการที่ติดตั้งระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น โดยแบ่งออกเป็น ข้อกำหนดทั่วไปในการติดตั้งทางไฟฟ้า มาตรฐานสายไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า และข้อกำหนดการเดินสายและวัสดุ

2.1 ข้อกำหนดทั่วไปในการติดตั้งทางไฟฟ้า

2.1.1 การเดินสายไฟฟ้าสำหรับระบบที่มีแรงดันต่างกัน

สายไฟฟ้าแรงต่ำ (แรงดันไม่เกิน 1,000 โวลต์) ทั้งระบบกระแสสลับและกระแสดตรง สามารถติดตั้งรวมกันในท่อร้อยสาย รางเดินสาย หรือ เครื่องห่อหุ้มเดียวกันได้ แต่มีเงื่อนไขที่สำคัญคือขนาดของสายทั้งหมดที่ติดตั้งต้องเหมาะสมกับระบบแรงดันสูงสุดที่ใช้ เช่น ในรางเดินสายที่มีวงจรไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย แรงดัน 230/400 โวลต์ เดินรวมกับวงจร 1 เฟส 230 โวลต์ และมีวงจรควบคุมใช้แรงดัน 24 โวลต์ กระแสตรงอยู่ด้วย ทั้งหมดนี้สามารถเดินรวมในรางเดินสายได้ตามที่อนุญาตไว้ในมาตรฐานฯ แต่สายไฟฟ้าทุกเส้นต้องเป็นสายชนิดทนแรงดันไม่ต่ำกว่า 400 โวลต์ เช่น สาย NYY เป็นต้น

สายไฟระบบแรงต่ำห้ามเดินรวมกับระบบแรงสูงในท่อร้อยสาย บ่อพักสาย หรือเครื่องห่อหุ้มเดียวกัน แต่ถ้าเป็นการเดินสายในแผงสวิตช์หรือเครื่องห่อหุ้มอื่นที่ไม่ได้ใช้เพื่อการเดินสาย สามารถทำได้

2.1.2 การป้องกันความเสียหายทางกายภาพ

การเดินสายไฟฟ้าต้องหลีกเลี่ยงจากความเสียหายให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เช่น โครงสร้างคอนกรีต ก็ควรทำการเจาะรูเตรียมไว้ตั้งแต่ทำการก่อสร้าง การเดินสายผ่านโครงสร้างที่มีการเจาะรูหรือทำเป็นร่องให้สายไฟฟ้าผ่าน จะต้องป้องกันการบาดสายด้วยบุชชิ่งยาง หรือโดยการแต่งรูหรือช่องให้เรียบร้อย ไม่มีส่วนแหลมคมที่จะบาดสายไฟฟ้าได้

2.1.3 ระยะห่างทางไฟฟ้าในการติดตั้งสายไฟฟ้า

ระยะห่างทางไฟฟ้านี้ ครอบคลุมถึงระยะห่างทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับสายจ่ายพลังงานไฟฟ้าเหนือพื้นดิน (overhead supply) สำหรับการติดตั้งเพื่อใช้งานทั้งแบบถาวรและชั่วคราว สำหรับกรณีพาดสายผ่านอาคารหรือสิ่งก่อสร้างใด ๆ โดยที่สายไฟฟ้าไม่ได้ยึดติดกับอาคารหรือสิ่งก่อสร้างนั้น ๆ

การวัดระยะห่างทางไฟฟ้าให้วัดระยะในแนวตรงจากผิว (surface) ของส่วนที่มีแรงดันไฟฟ้า (สายไฟ, ตัวนำไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้า) ไปยังผิวของส่วนที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าหรือไปยังสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ใกล้ที่สุด โดยระยะห่างในแนวนอน ให้ใช้ค่าตามตารางที่ 2.1 และระยะห่างในแนวตั้ง ให้ใช้ค่าตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ระยะห่างต่ำสุดตามแนวนอนระหว่างสายไฟฟ้ากับสิ่งก่อสร้าง เมื่อสายไฟฟ้าไม่ได้อยู่ติดกับสิ่งก่อสร้าง (เมตร) (minimum horizontal clearance)

สิ่งที่อยู่ใกล้สายไฟฟ้า	แรงดันไฟฟ้า ⁽²⁾						
	ไม่เกิน 1 kV		11 – 33 kV				230 kV
	ชนิดของสายไฟฟ้า		ชนิดของสายไฟฟ้า				ชนิดของสายไฟฟ้า
	สายหุ้มฉนวนแรงต่ำที่เกลียวกับสายนิวทรัลเปลือย ⁽³⁾	สายหุ้มฉนวนแรงต่ำ ⁽³⁾	สายเปลือย	สายหุ้มฉนวนแรงสูงไม่เต็มพิกัด ⁽³⁾	สายหุ้มฉนวนแรงสูง 2 ชั้นไม่เต็มพิกัด ⁽³⁾	สายหุ้มฉนวนแรงสูงเต็มพิกัด ⁽³⁾ (เกลียว ⁽³⁾)	สายเปลือย
1.1 - ผนังด้านเปิดของอาคาร ⁽⁴⁾ - สะพานลอยคนเดินข้ามถนน กรณีที่มีแผงหรือผนังกั้นระหว่างสายไฟฟ้ากับสะพานลอย - ป้ายโฆษณาที่ติดกับอาคาร	0.30	0.15	1.50	0.60	0.30	0.15	1.80
1.2 - ผนังด้านเปิดของอาคาร ⁽⁵⁾ เกลี้ยงระเบียงหรือบริเวณที่มีคนเข้าถึงได้ - สะพานทุกชนิดสำหรับยานพาหนะ - เสาไฟถนน เสาสัญญาณไฟจราจรต่าง ๆ - สิ่งก่อสร้างอื่น ๆ ⁽⁶⁾	0.90	0.15	1.80	1.50	0.90	0.60	2.13

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 1-4)

ตารางที่ 2.2 ระยะห่างต่ำสุดตามแนวตั้งระหว่างสายไฟฟ้า⁷⁾กับพื้น แหรงน้ำ อาคาร หรือสิ่งก่อสร้างอื่น ๆ (เมตร) (minimum vertical clearance)

สิ่งที่อยู่ใกล้สายไฟฟ้า	แรงดันไฟฟ้า ²⁾					
	ไม่เกิน 1 kV		11 – 33 kV			230 kV
	ชนิดของสายไฟฟ้า		ชนิดของสายไฟฟ้า			ชนิดของสายไฟฟ้า
	สายหุ้มฉนวนแรงต่ำที่เกลียวกับสายนิวทรัลเปลือย ³⁾	สายหุ้มฉนวนแรงต่ำ ³⁾	สายเปลือย	สายหุ้มฉนวนแรงสูงไม่เต็มพิกัด ³⁾	สายหุ้มฉนวนแรงสูง 2 ชั้นไม่เต็มพิกัด ³⁾	สายหุ้มฉนวนแรงสูงเต็มพิกัดดีเกลียว ³⁾
2.1 - เหนือทางสัญจร ⁸⁾ สำหรับคน, รถยนต์ หรือยาน พาหนะอื่นใด รวมถึงสิ่งที่บรรทุกแล้วสูงไม่เกิน 2.45 เมตร ผ่าน	3.60 ⁹⁾	2.90 ⁹⁾	4.60	4.60	4.60	3.60 ⁹⁾
2.2 - เหนือทางสัญจร ⁸⁾ สำหรับไว้ให้รถยนต์และรถ บรรทุก หรือยานพาหนะอื่นใดรวมสิ่งที่บรรทุกแล้วสูงไม่เกิน 4.3 เมตร ผ่าน	5.50	5.50	6.10	6.10	6.10	5.50

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 1-5)

หมายเหตุ สำหรับตารางที่ 2.1 และ 2.2

1) ระยะห่างตามตารางเป็นระยะห่างสำหรับอาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่ไม่มีการเข้าไปบำรุงรักษาหรือทำงาน หากมีความจำเป็นต้องเข้าไปบำรุงรักษาหรือทำงานในระยะห่างดังกล่าว ผู้ที่เข้าไปดำเนินงานจะต้องมีการป้องกันที่เหมาะสม

2) แรงดันไฟฟ้าในที่นี้ หมายถึง แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายเส้นไฟ (เฟส-เฟส)

3) ชื่อของสายไฟฟ้า ชนิดต่าง ๆ ในตารางเทียบกับสายไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ ดังนี้

3.1) สายหุ้มฉนวนแรงต่ำที่เกี่ยวกับสายนิวทรัลเปลือย = service drop conductor

3.2) สายหุ้มฉนวนแรงต่ำ = weather proof conductor

3.3) สายหุ้มฉนวนแรงสูงไม่เต็มพิกัด = partially insulated conductor

3.4) สายหุ้มฉนวนแรงสูง 2 ชั้นไม่เต็มพิกัด = space aerial cable

3.5) สายหุ้มฉนวนแรงสูงเต็มพิกัดดีเกลือ = fully insulated cable

4) ผนังด้านปิดของอาคาร คือ ผนังอาคารที่บุคคลไม่สามารถยื่นส่วนของร่างกายหรือวัตถุมาสัมผัสสายไฟฟ้าได้ โดยพลั้งเผลอ

5) ผนังด้านเปิดของอาคาร คือ ผนังอาคารที่บุคคลสามารถยื่นส่วนของ ร่างกายหรือวัตถุมาสัมผัสสายไฟฟ้าได้ โดยพลั้งเผลอ

6) สิ่งก่อสร้างอื่น ๆ หมายถึง ปล่องควัน ถังซึ่งบรรจุสารที่ไม่ติดไฟ เสาอากาศโทรทัศน์-วิทยุ ที่ติดตั้งอิสระ และรวมถึงเสาอากาศโทรทัศน์-วิทยุ ที่ติดตั้งกับตัวอาคาร ซึ่งต้องไม่ล้ำส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารใน แนวนอนเดียวกับสายไฟฟ้านั้น

7) ระยะห่างนี้ กำหนดที่สภาพ Max. Final Sag ที่อุณหภูมิใช้งานสูงสุดของสายไฟฟ้า

8) ทางสัญจร หมายถึง ทางหลวง ถนน ตรอก ซอย ที่เป็นสาธารณะหรือทางส่วนบุคคลก็ตามหรือบริเวณที่ยานพาหนะใช้ผ่านอยู่แล้ว

9) หากเป็นทางสัญจรและพื้นที่ซึ่งไม่ได้จัดไว้สำหรับรถยนต์ หรือยานพาหนะอื่นใดผ่าน ระยะห่างต่ำสุด สามารถลดลงได้เหลือ 2.6 เมตร

2.1.4 การเดินสายใต้ดิน

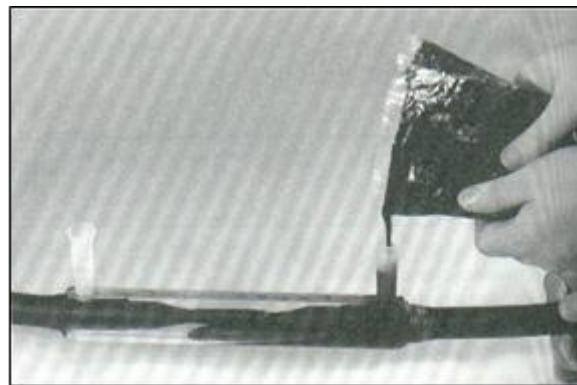
การเดินสายใต้ดิน สามารถทำได้ทั้งร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง การติดตั้งต้องเลือกชนิดของสายให้เหมาะสมด้วย การเดินสายจะต้องระวังเรื่องความเสียหายภายหลังการติดตั้งด้วย เช่น จากการกลบสายด้วยวัตถุแหลมคม หรือจากการกดทับ บริเวณที่รถยนต์วิ่งผ่านจะต้องฝังลึกตามมาตรฐาน เพื่อป้องกันน้ำหนักรกดทับทำให้สายไฟฟ้าหรือท่อร้อยสายชำรุดได้ และมีข้อกำหนดเพิ่มเติมอีก ดังนี้

1. การเดินสายใต้ดินจะต้องมีความลึกไม่ต่ำกว่าที่กำหนดในตารางที่ 2.3 แต่ถ้าเป็นบริเวณที่มีรถยนต์วิ่งผ่าน ความลึกต้องไม่น้อยกว่า 0.60 ม. ทุกกรณี

2. สายเคเบิลใต้ดินติดตั้งใต้อาคาร ต้องติดตั้งอยู่ในท่อร้อยสายและท่อร้อยสายต้องยาวเลยผนังด้านนอกของอาคารออกไป

3. สายเคเบิลที่ฝังดินโดยตรง ส่วนที่โผล่ขึ้นจากดินต้องมีการป้องกันด้วยเครื่องหล่อหุ้ม หรือท่อร้อยสายสูงจากระดับพื้นดินไม่น้อยกว่า 2.40 ม.

4. การต่อสายใต้ดิน ต้องใช้อุปกรณ์การต่อสายที่ออกแบบไว้สำหรับการต่อสายใต้ดิน โดยเฉพาะ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.1 การเดินสายในช่องเดินสายต้องต่อสายในกล่องต่อสายเท่านั้น (man hole หรือ hand hole)



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการต่อสายใต้ดินแรงต่ำโดยใช้อุปกรณ์การต่อสาย

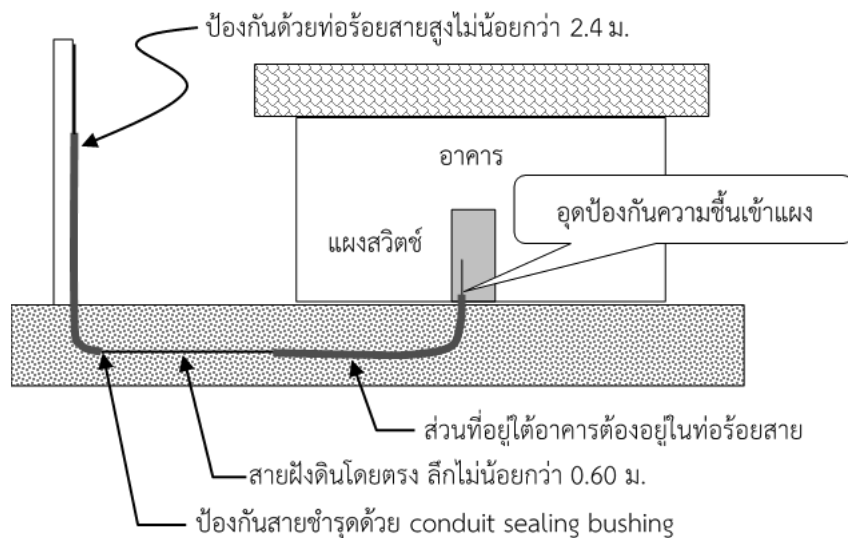
ตารางที่ 2.3 ความลึกในการติดตั้งใต้ดิน สำหรับระบบแรงต่ำ

วิธีที่	วิธีการเดินสาย	ความลึกต่ำสุด (ม.)
1	เคเบิลฝังดินโดยตรง	0.60
2	เคเบิลฝังดินโดยตรงและมีแผ่นคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 50 มม. วางอยู่เหนือสาย	0.45
3	ท่อโลหะหนาและหนาปานกลาง	0.15
4	ท่อโลหะซึ่งได้รับการรับรองให้ฝังดินโดยตรงได้โดยไม่ต้องมีคอนกรีตหุ้ม (เช่น HDPE และ PVC)	0.45
5	ท่อร้อยสายอื่น ๆ ซึ่งได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าฯ	0.45

หมายเหตุ สำหรับวิธีที่ 4 และ 5 หากมีแผ่นคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 50 มม. วางอยู่เหนือสาย ยอมให้ความลึกลดลงเหลือ 0.30 ม. ได้

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 5-1)

5. ท่อร้อยสายฝังดินที่เดินไปเข้าบริเวณที่ไฟฟ้าเช่นแผงสวิตช์ อาจมีความชื้นเข้าไปตามท่อ ก่อให้เกิดความเสียหายต่อบริเวณที่ไฟฟ้าได้ การป้องกันความชื้นทำได้ด้วยการอุดปลายท่อด้านใดด้านหนึ่งหรือ ทั้ง 2 ด้านตามความเหมาะสม ปกติความชื้นสามารถเข้าในท่อร้อยสายไฟฟ้าได้โดยปนอยู่ในอากาศ ความชื้นนี้อาจเข้าไปในแผงสวิตช์ และเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเกาะตามส่วนต่าง ๆ ของแผงสวิตช์ เป็นสาเหตุของการ กัดกร่อน และฉนวนไฟฟ้า จะมีฝุ่นละอองมาเกาะทำให้เสื่อมสภาพการเป็นฉนวน เป็นผลให้แผงสวิตช์เสียหาย ได้

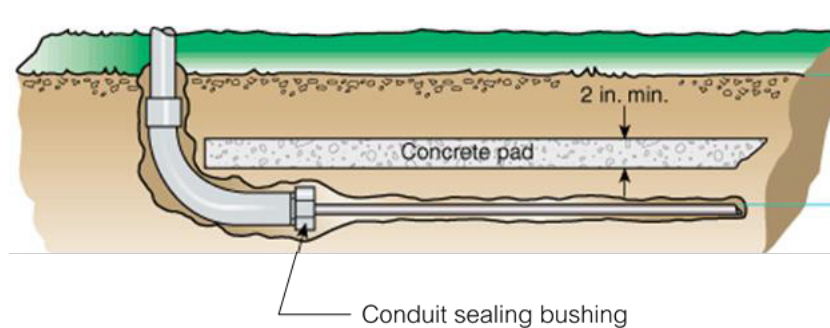


รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการเดินสายใต้ดิน



รูปที่ 2.3 การใช้หัวงูเห่าเพื่อป้องกันน้ำเข้าท่อ

ในการซีลท่อสามารถทำได้หลายวิธีเช่นโดยใช้ sealing bushing ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป หรือโดยใช้ sealing compound ที่นำมาผสมเอง หรือโดยใช้โฟมชนิดที่สามารถมาทำได้เองที่ site งานก็ได้



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการป้องกันสายชำรุด

2.1.5 การติดตั้งวัสดุและการจับยึด

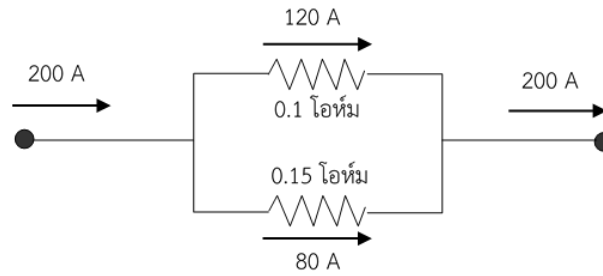
อุปกรณ์การเดินสายโลหะ เกราะหุ้มสายเคเบิล และเปลือกนอกของสายเคเบิลทั้งที่เป็นโลหะและอโลหะต้องต่อกันอย่างต่อเนื่องทางกลระหว่าง ตู้ กล่อง เครื่องประกอบการเดินท่อ เครื่องห่อหุ้มอย่างอื่น หรือจุดต่อไฟฟ้า ถ้าเป็นโลหะจะต้องมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าด้วย

สำหรับการเดินสายร้อยท่อ การต่อท่อโดยอุปกรณ์การต่อชนิดขันด้วยเกลียว หรือชนิดขันแน่นด้วยสกรู ถือว่ามีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าแล้ว สำหรับช่องเดินสายโลหะอื่น รวมทั้งรางเคเบิล ต้องให้มั่นใจว่ามีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่ดี หรือใช้สายต่อฝาก (bonding jumper)

2.1.6 การเดินสายควบ

การเดินสายควบคือการใช้สายไฟฟ้ามกกว่าเฟสละ 1 เส้น การเดินสายควบมีจุดประสงค์หลักเพื่อเพิ่มขนาดกระแสของสายไฟฟ้า มีข้อกำหนดว่าสายไฟฟ้าที่เดินควบจะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 50 ตร.มม. สายที่เดินควบต้องเป็นสายชนิดเดียวกัน ขนาดเท่ากัน มีความยาวเท่ากัน และใช้วิธีต่อสายเหมือนกัน ทั้งนี้เพื่อให้สายไฟฟ้าที่เดินควบกันมีอิมพีแดนซ์เท่ากัน กระแสไฟฟ้าจะได้ไหลเท่ากัน รูปที่ 2.5 เป็นตัวอย่างที่สายมีความต้านทานไม่เท่ากันและเป็นผลให้กระแสไหลไม่เท่ากัน

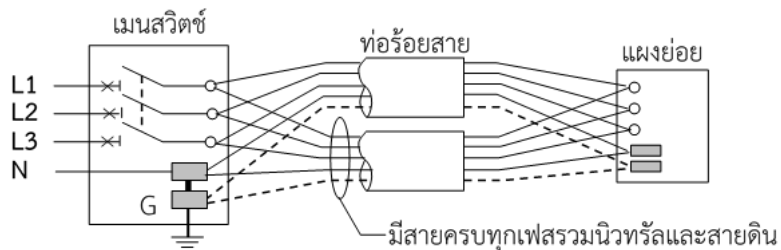
การเดินสายควบที่แยกเป็นคนละท่อ ในแต่ละท่อจะต้องมีสายครบทุกเฟสรวมทั้งสายนิวทรัลและสายดิน กรณีวางบนรางเคเบิลจะต้องวางเป็นกลุ่มให้แต่ละกลุ่มมีสายครบทุกเฟสเช่นเดียวกัน เพื่อลดปัญหาจากค่าอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน



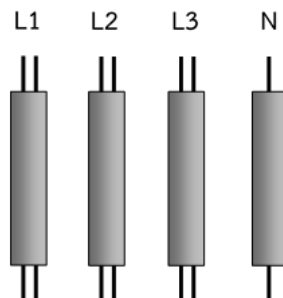
รูปที่ 2.5 การเดินสายควบและการแบ่งไหลกระแส

2.1.7 การป้องกันไม่ให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในเครื่องห่อหุ้มหรือช่องเดินสายโลหะ

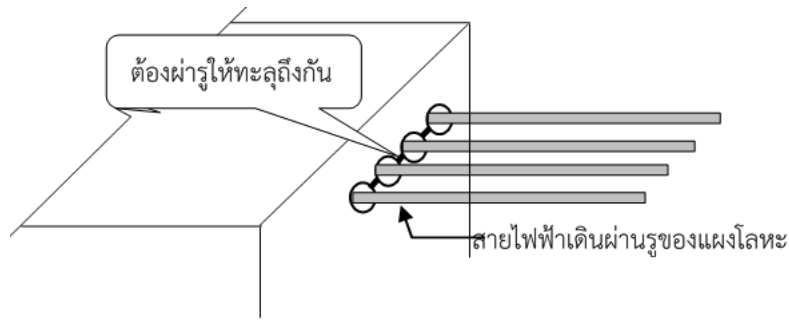
การเดินสายในช่องเดินสายไฟฟ้าที่เป็นโลหะ หรือเดินสายผ่านส่วนที่เป็นโลหะที่เป็นสารแม่เหล็ก ต้องมีการป้องกันไม่ให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำที่เครื่องห่อหุ้ม โดยการเดินสายไฟฟ้าทุกเส้นรวมทั้งสายนิวทรัลและสายดินของวงจรเดียวกันไว้ในเครื่องห่อหุ้มหรือช่องเดินสายเดียวกัน กระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะทำให้เครื่องห่อหุ้มโลหะที่เป็นสารแม่เหล็กร้อนจนทำให้ฉนวนของสายไฟฟ้าชำรุดได้ กรณีที่มีการเดินสายจำนวนหลายเส้นในแต่ละเฟสและจำเป็นต้องเดินสายแยกเป็นหลายช่องเดินสาย ในแต่ละช่องเดินสายต้องมีสายครบทุกเฟส รวมทั้งสายนิวทรัลและสายดินตามที่กล่าวข้างต้น การเดินสายผ่านแผ่นโลหะที่เป็นสารแม่เหล็กเช่นการเดินสายเข้าสู่ตู้สวิตช์ไฟฟ้า ถ้าไม่สามารถเจาะรูให้สายทุกเส้นผ่านเข้าไปได้ จะสามารถแก้ไขได้โดยการผ่ารูทั้งหมดที่ร้อยสายวงจรเดียวกันให้ทะลุถึงกัน



รูปที่ 2.6 การเดินสายควบ ในท่อเดียวกันต้องมีสายครบทุกเฟสรวมสายนิวทรัลและสายดิน



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการเดินสายที่ไม่ถูกต้อง (ร้อยสายเฟสละท่อ)



รูปที่ 2.8 การป้องกันกระแสเหนี่ยวนำเมื่อเดินสายผ่านรูของแผ่นโลหะ



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการร้อยสายที่ไม่ถูกต้อง (ที่ถูกต้องจะต้องร้อยสายรวมในรูเดียวกัน)

2.1.8 จำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายไฟฟ้า

เมื่อต้องเดินสายร้อยในท่อร้อยสายไฟฟ้า จะต้องมียี่ว้างเหลือไว้เพื่อการระบายความร้อนและลากสายไฟได้สะดวก จำนวนสายไฟฟ้าที่ร้อยในท่อร้อยสายเดียวกันมีผลต่อขนาดกระแสของสายไฟด้วย จำนวนสายไฟฟ้าที่มีกระแสไหลหลายเส้นจะทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นระบายออกภายนอกได้ยาก ถ้าความร้อนระบายออกไม่ทัน สายไฟฟ้าก็จะร้อนขึ้นเรื่อย ๆ จนฉนวนชำรุด

จำนวนสายไฟฟ้าที่ร้อยในท่อคิดจากพื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟฟ้าทุกเส้น (รวมทั้งฉนวนและเปลือก) เทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสาย ต้องไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 2.2 ขนาดของสายไฟฟ้าสามารถหาได้จากแคตตาล็อกของผู้ผลิต

ตารางที่ 2.4 พื้นที่หน้าตัดสูงสุดรวมของสายไฟทุกเส้นคิดเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ

จำนวนสายในท่อร้อยสาย	1	2	3	4	มากกว่า 4
สายไฟทุกชนิด ยกเว้น สายชนิดมีเปลือกตะกั่วหุ้ม	53	31	40	40	40

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 5-3)

ตัวอย่าง การคำนวณหาขนาดท่อร้อยสาย

สายไฟฟ้าชนิด IEC 01 ขนาด 25 ตร.มม. จำนวน 3 เส้นและขนาด 10 ตร.มม. จำนวน 1 เส้น เดินรวมกันในท่อโลหะ ต้องการคำนวณหาขนาดท่อร้อยสาย

วิธีทำ

จากตารางของผู้ผลิตหาขนาดพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนของสายไฟฟ้าได้ดังนี้

สายขนาด 25 ตร.มม. เท่ากับ 73.9 ตร.มม.

สายขนาด 10 ตร.มม. เท่ากับ 35.3 ตร.มม.

รวมพื้นที่หน้าตัดของสาย = $(3 \times 73.9) + 35.3 = 257$ ตร.มม.

พื้นที่หน้าตัดท่อ (40%) = $257/0.4 = 642.5$ ตร.มม.

หรือเป็นท่อขนาด = $\sqrt{\frac{642.5 \times 4}{\pi}} = 28.6$ มม.

ใช้ท่อขนาด 32 มม. (1 1/4 นิ้ว)

2.1.9 การป้องกันไฟลุกลาม

การเดินสายผ่านผนัง ฉากกั้น พื้น หรือเพดาน ที่เป็นส่วนของอาคารซึ่งทำหน้าที่ป้องกันการลามของไฟระหว่างแต่ละส่วนของอาคาร (fire compartment) ต้องมีการป้องกันไฟ และควันไฟลุกลามผ่านช่องเปิดของส่วนของอาคารดังกล่าวที่เป็นทางเดินสายไฟ โดยการอุดปิดช่องว่างด้วยวัสดุป้องกันไฟและควันลาม (fire barrier)

fire barrier ที่นำมาใช้ต้องเป็นวัสดุหรืออุปกรณ์ที่ได้รับรองการใช้งานจากสถาบัน UL หรือ FM ตามมาตรฐาน UL1479, ASTM E 814 และมีคุณสมบัติอย่างน้อยดังนี้

- 1) มีอัตราการทนไฟได้ไม่น้อยกว่าส่วนของอาคารที่จะป้องกันและไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง
- 2) ไม่เป็นพิษทั้งก่อนและภายหลังติดตั้ง
- 3) มีความแข็งแรง ยึดเกาะได้ดีกับส่วนของอาคารที่จะป้องกัน (รวมถึงสายไฟฟ้า) ไม่หลุดร่อนไม่ว่าก่อนหรือหลังเกิดเพลิงไหม้
- 4) ทนต่อการสั่นสะเทือนได้ดี สามารถขยายตัวได้อย่างรวดเร็ว เมื่อได้รับความร้อนสูง
- 5) เหมาะสมกับลักษณะ วิธีการเดินสาย

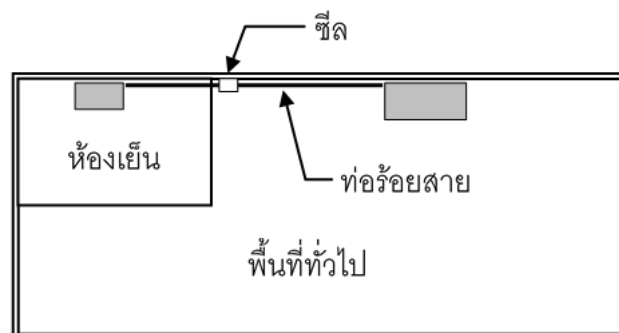
การติดตั้ง fire barrier นั้นไม่สามารถพิจารณาเฉพาะตัววัสดุที่นำมาใช้เพียงอย่างเดียว แต่ต้องพิจารณาเป็นระบบจึงจะมีประสิทธิภาพสูงสุด ตัวอย่างของ fire barrier ได้แก่ ฉนวนใยหิน (rock wool) ปูนกันไฟ (mortar) ปลอกท่อ (pipe collars) โฟม



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการอุดพื้นเพื่อป้องกันไฟลุกลาม

2.1.10 การป้องกันการถ่ายเทอากาศที่อุณหภูมิต่างกัน

เมื่อเดินช่องร้อยสายผ่านที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมาก เช่น เดินท่อร้อยสายเข้า-ออกห้องเย็น ต้องมีการป้องกันการไหลเวียนของอากาศภายในท่อจากส่วนที่มีอุณหภูมิสูงไปส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เพื่อไม่ให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำภายในท่อ ตัวอย่างการป้องกันการไหลเวียนของอากาศ คือการใช้ข้อต่อท่อซีลเมื่อเดินสายร้อยท่อ หรือโดยการฉีดยาโฟม ก็ได้



รูปที่ 2.11 การติดตั้งซีลเพื่อป้องกันการไหลเวียนของอากาศ

2.2 มาตรฐานสายไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า

2.2.1 มาตรฐานสายไฟฟ้าแรงต่ำ

สายไฟฟ้าแรงต่ำที่เป็นสายทองแดง แบ่งชนิดของฉนวนเป็นฉนวนพีวีซี (PVC) และเอ็กซ์แอลพีอี (XLPE) สาย PVC มีทั้งชนิดอุณหภูมิใช้งาน 70 °C และ 90 °C แต่ที่ใช้งานในระบบการเดินสายทั่วไปจะเป็นชนิดอุณหภูมิ 70 °C สำหรับสาย XLPE มีอุณหภูมิใช้งาน 90 °C

เมื่อมีกระแสไหลในสายไฟฟ้าจะเกิดความร้อน เมื่อกระแสไหลสูงขึ้นความร้อนก็จะสูงตามซึ่งต้องไม่สูงเกินอุณหภูมิใช้งานของสายไฟฟ้า สายไฟฟ้าจึงสามารถนำกระแสได้สูงจนถึงค่าที่อุณหภูมิของฉนวนจะทนได้ (อุณหภูมิใช้งานของสายไฟฟ้า) สายไฟฟ้าขนาดเดียวกันถ้าฉนวนทนอุณหภูมิอุณหภูมิได้สูงกว่าก็จะนำกระแสได้สูงกว่า

สาย PVC เป็นสายไฟฟ้าที่กำหนดให้ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 11-2553 กำหนดแรงดันใช้งานไม่เกิน 450/750 โวลต์ (แรงดัน 450/750 โวลต์ หมายถึง 450 โวลต์ เป็นแรงดันระหว่างสายเส้นไฟกับดิน (phase voltage) และ 750 โวลต์ เป็นแรงดันระหว่างสายเส้นไฟ (line voltage)) อุณหภูมิใช้งาน 70 °C และ 90 °C สายไฟฟ้ามีหลายชนิดด้วยกัน เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน การเรียกชนิดของสายจะเรียกเป็นรหัสชนิดเช่น รหัสชนิด VAF

สาย XLPE เป็นสายไฟฟ้าที่ผลิตตามมาตรฐาน IEC 60502 อุณหภูมิใช้งาน 90 °C แรงดันใช้งานไม่เกิน 0.6/1 kV. เนื่องจากอุณหภูมิใช้งานสูงในการใช้งานจึงต้องระวังเรื่องอุณหภูมิของสายด้วย เพราะอาจมีผลกระทบกับอุปกรณ์ที่สายต่ออยู่ การเลือกใช้งานจึงต้องทำโดยผู้ที่มีความรู้ที่ทราบถึงผลเสียและมีวิธีการป้องกันที่เหมาะสม ฉนวน XLPE มีความแข็งแรงทนต่อการขีดข่วนได้ดีแต่ก็เป็นผลให้ปกสายยาก

ขนาดของสายไฟฟ้าเรียกตามขนาดพื้นที่หน้าตัดภาคขวางของส่วนที่เป็นตัวนำ (ทองแดง) หน่วยเป็น ตร.มม. เช่น 1, 2.5, 4, 6, 10, 16 และ 25 ตร.มม. เป็นต้น

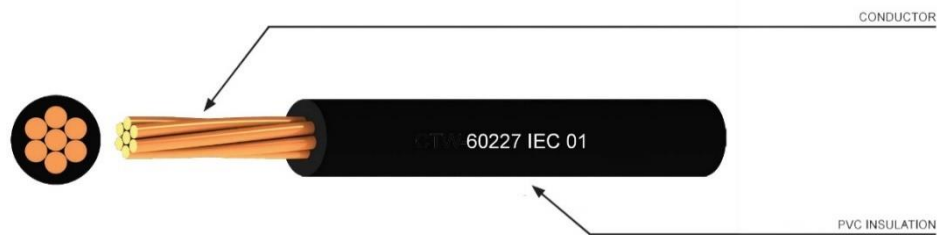
2.2.2 ชนิดของสายไฟฟ้าและการใช้งาน

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ กำหนดการใช้งานของสายแต่ละชนิดไว้ ข้อกำหนดการใช้งานของสายที่มีใช้งานโดยส่วนใหญ่ มีดังนี้

2.2.2.1 สายรหัสชนิด IEC 01

เป็นสายกลมหุ้มฉนวนพีวีซี ชนิดแกนเดียว ใช้แทนสาย THW เดิม แรงดันใช้งาน 450/750 โวลต์ มีขนาดตั้งแต่ 1.5 ถึง 400 ตร.มม. มีข้อกำหนดการใช้งาน ดังนี้

- 1) เดินลอยโดยต้องยึดด้วยวัสดุฉนวน
- 2) เดินในช่องเดินสายแต่ต้องป้องกันน้ำเข้า (เช่น ร้อยท่อ หรือเดินสาย)
- 3) ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

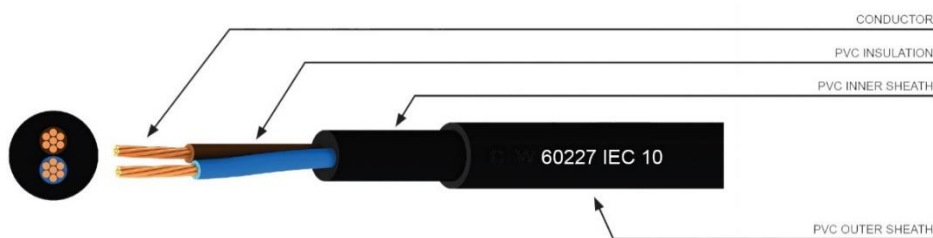


รูปที่ 2.12 สายรหัสชนิด IEC 01

2.2.2.2 สายรหัสชนิด IEC 10

เป็นสายกลมหุ้มฉนวนพีวีซีชนิดหลายแกน มีเปลือก แรงดันใช้งาน 300/500 โวลต์ มีขนาดตั้งแต่ 2.5 ถึง 35 ตร.มม. มีข้อกำหนดการใช้งาน ดังนี้

- 1) เดินในช่องเดินสายแต่ต้องป้องกันน้ำเข้า (เช่น ร้อยท่อ หรือเดินสาย)
- 2) วางบนรางเคเบิล
- 3) ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

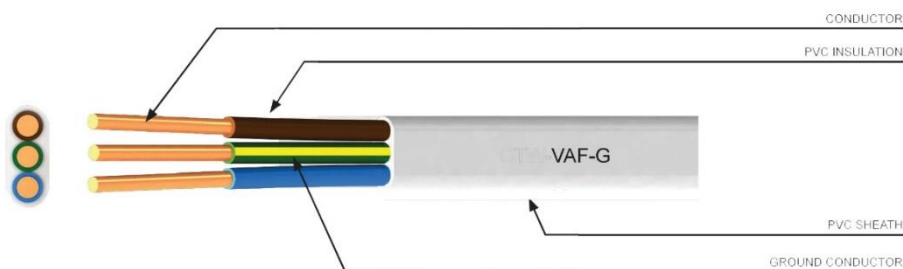


รูปที่ 2.13 สายรหัสชนิด IEC 10

2.2.2.3 สายรหัสชนิด VAF

มีลักษณะเป็นสายแบนหุ้มฉนวนพีวีซี มีเปลือก เป็นสายชนิด 2 แกน และ 2 แกนมีสายดิน แรงดันใช้งาน 300/500 โวลต์ มีขนาดตั้งแต่ 1.0 ถึง 16 ตร.มม. มีข้อกำหนดการใช้งาน ดังนี้

- 1) เดินเกาะผนัง
- 2) เดินในรางเดินสาย
- 3) ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง



รูปที่ 2.14 สายรหัสชนิด VAF

2.2.2.4 สายรหัสชนิด NYY

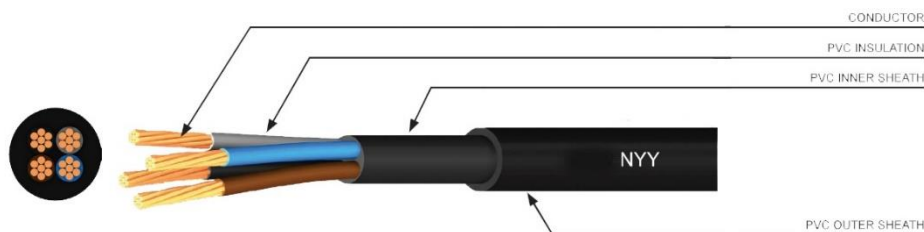
NYN เป็นสายกลมหุ้มฉนวนพีวีซี มีทั้งชนิดแกนเดี่ยว หลายแกน และหลายแกนมีสายดิน มีเปลือก แรงดันใช้งาน 450/750 โวลต์ มีขนาดและข้อกำหนดการใช้งานดังนี้

ขนาด

- 1) สายแกนเดี่ยว มีขนาดตั้งแต่ 1.0 ถึง 500 ตร.มม.
- 2) สายหลายแกน มีขนาดตั้งแต่ 1.0 ถึง 300 ตร.มม.
- 3) สายหลายแกนมีสายดิน มีขนาดตั้งแต่ 1.0 ถึง 300 ตร.มม.

ข้อกำหนดการใช้งาน

- 1) เดินร้อยท่อ ในรางเดินสาย
- 2) วางบนรางเคเบิล
- 3) เดินร้อยท่อฝังดิน
- 4) ฝังดินโดยตรง

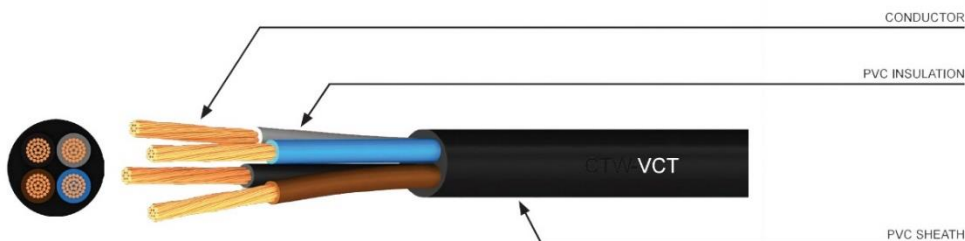


รูปที่ 2.15 สายรหัสชนิด NYY

2.2.2.5 สายรหัสชนิด VCT

เป็นสายกลมหุ้มฉนวนพีวีซี ชนิดแกนเดี่ยว หลายแกน และหลายแกนมีสายดิน มีเปลือก แรงดันใช้งาน 450/750 โวลต์ มีข้อแตกต่างจากสาย NYY ตรงที่ตัวนำมีลักษณะเป็นฝอย มีขนาดตั้งแต่ 4 ถึง 35 ตร.มม. มีข้อกำหนดการใช้งาน ดังนี้

- 1) เดินร้อยท่อ ในรางเดินสาย
- 2) วางบนรางเคเบิล
- 3) เดินร้อยท่อฝังดิน
- 4) ฝังดินโดยตรง

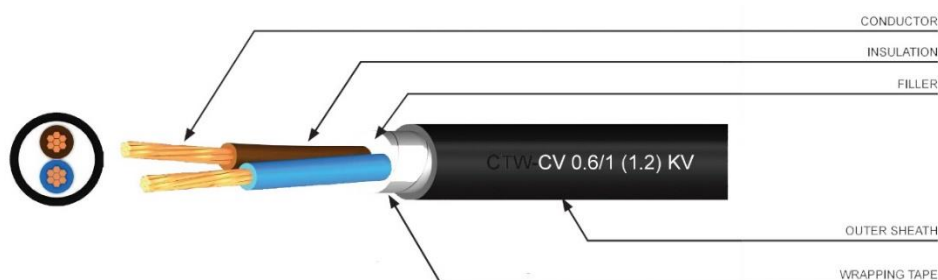


รูปที่ 2.16 สายรหัสชนิด VCT

2.2.2.6 สายรหัสชนิด CV

เป็นสายกลมหุ้มฉนวนคลอสลิงก์พอลิเอทิลีน (XLPE) ชนิดแกนเดี่ยว หลายแกน และหลายแกนมีสายดิน มีเปลือก แรงดันใช้งาน 0.6/1 kV. สายชนิดนี้ไม่ได้ผลิตตามมาตรฐาน มอก. แต่อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60502 มีข้อกำหนดการใช้งานเหมือนสาย NYY ดังนี้

- 1) เดินร้อยท่อ ในรางเดินสาย
- 2) วางบนรางเคเบิล
- 3) เดินร้อยท่อฝังดิน
- 4) ฝังดินโดยตรง

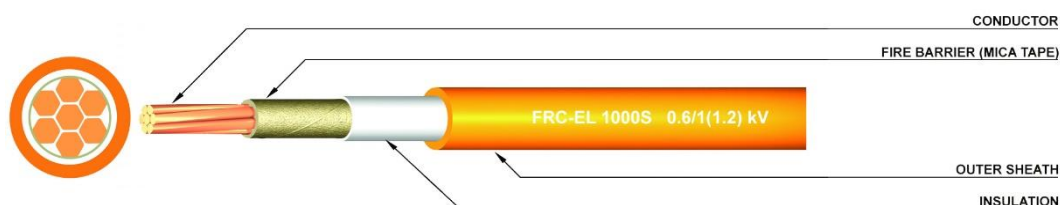


รูปที่ 2.17 สายรหัสชนิด CV

2.2.2.7 สายไฟฟ้าทนไฟ

สายไฟฟ้าทนไฟ (fire resistant cable : FRC) เป็นสายไฟฟ้าที่ออกแบบเป็นพิเศษเพื่อใช้ติดตั้งในวงจรไฟฟ้า หรือในพื้นที่ที่ต้องการความปลอดภัยสูงมากกว่าปกติ เช่น วงจรไฟฟ้าช่วยชีวิตต่าง ๆ ของอาคาร ให้สามารถทำงานได้อย่างปกติในขณะที่เกิดเพลิงไหม้ สายไฟฟ้าทนไฟมีคุณสมบัติที่สำคัญคือในสภาวะที่เกิดเพลิงไหม้ สายชนิดนี้ยังสามารถส่งผ่านกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน เนื่องจากมีชั้นของวัสดุทนไฟ เช่น เทปไมก้า (mica tape) พันอยู่บนตัวนำไฟฟ้า ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นฉนวนของสายไฟฟ้าแทนฉนวนพลาสติกที่ถูกความร้อนและเปลวเพลิงเผาไหม้ไปได้โดยไม่ทำให้ลัดวงจร

นอกจากนี้สายไฟฟ้าทนไฟยังถูกออกแบบและผลิตด้วยวัตถุดิบพิเศษเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ช่วยเสริมความปลอดภัยเพิ่มเติม ได้แก่ คุณสมบัติต้านทานการลุกลามของไฟ (flame retardant) ควันน้อย (low smoke) และไม่ปล่อยก๊าซพิษที่มีฤทธิ์เป็นกรดเมื่อผสมกับน้ำที่ใช้ดับเพลิง (zero halogen)



รูปที่ 2.18 สายไฟฟ้าทนไฟ

2.2.4 มาตรฐานบริภัณฑ์ไฟฟ้า

2.2.4.1 แผงสวิตช์

แผงสวิตช์ (switch board) หมายถึง แผงขนาดใหญ่หนึ่งแผง หรือหลายแผงประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อใช้ติดตั้งเครื่องปลดวงจร เครื่องป้องกันกระแสเกิน อุปกรณ์ป้องกันอื่น ๆ บัสบาร์ และเครื่องวัดต่าง ๆ เพื่อรับไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปจ่ายให้กับโหลด แผงสวิตช์ หรือแผงย่อย โดยสามารถเข้าถึงได้ทั้งด้านหน้า และด้านหลังของแผงสวิตช์

เครื่องปลดวงจร คือสวิตช์ที่สามารถปลดหรือสับวงจรไฟฟ้าได้ เครื่องปลดวงจรควรเป็นชนิดที่สามารถปลดวงจรได้ขณะที่ยังมีโหลดอยู่ ซึ่งเรียกว่าโหลดเบรก

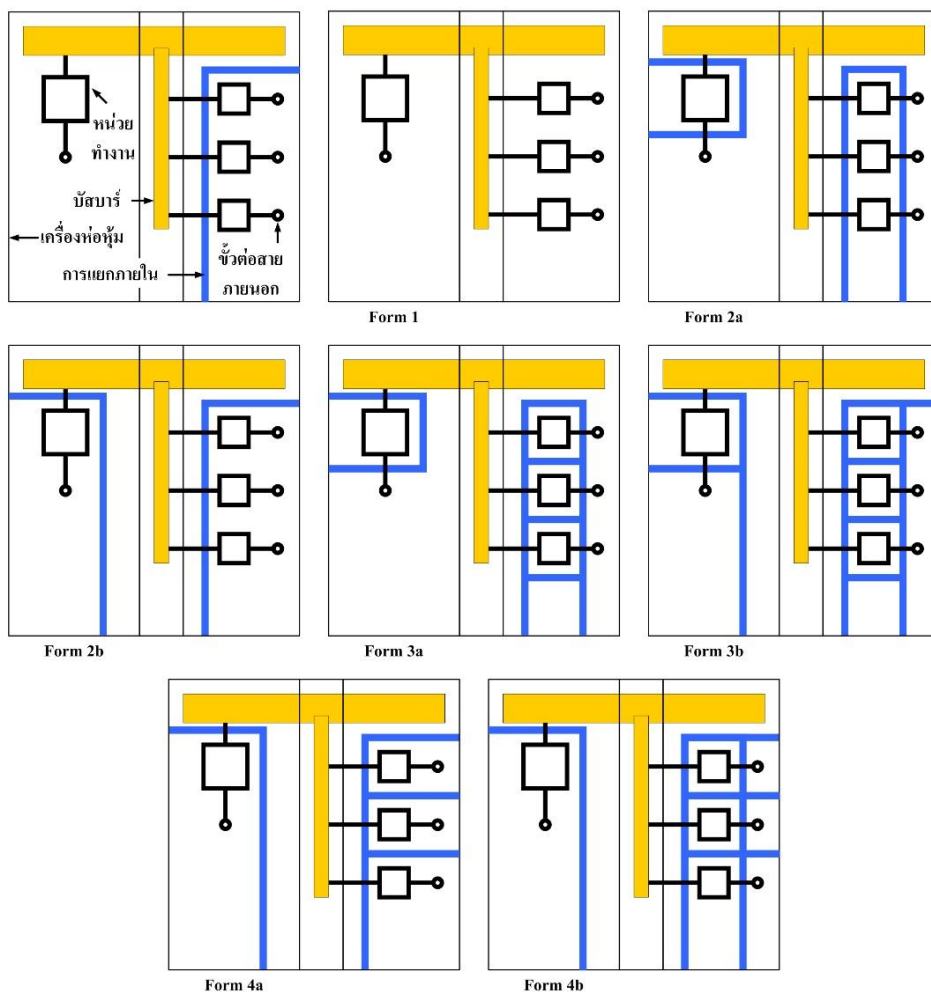
เครื่องป้องกันกระแสเกิน คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปลดวงจรเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลมากเกินไป กำหนดอาจเป็นฟิวส์ หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ ก็ได้ กรณีเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะสามารถทำได้ 2 หน้าที่คือ เป็นทั้งเครื่องปลดวงจรและเครื่องป้องกันกระแสเกินในตัวเดียวกัน

แผงเมนสวิตช์มีรูปแบบของการกั้นแยกภายใน (form of internal separation) แบบต่าง ๆ ดังนี้

- 1) form 1 คือ ไม่มีการแยกภายใน
- 2) form 2a คือ มีการแยกส่วนของบัสบาร์จากหน่วยงาน (Function Units) โดยขั้วต่อสายของตัวนำภายนอกไม่มีการแยกจากบัสบาร์
- 3) form 2b คือ มีการแยกส่วนของบัสบาร์จากหน่วยงาน โดยขั้วต่อสายของตัวนำภายนอกแยกจากบัสบาร์
- 4) form 3a คือ มีการแยกบัสบาร์ออกจากหน่วยงานทุกชุด แยกหน่วยงานทุกชุดออกจากกัน แยกขั้วต่อสายของตัวนำภายนอกออกจากหน่วยงาน โดยไม่ต้องแยกขั้วต่อสายแต่ละชุดออกจากกัน และขั้วต่อสายของตัวนำภายนอกไม่มีการแยกจากบัสบาร์
- 5) form 3b คือ มีการแยกบัสบาร์ออกจากหน่วยงานทุกชุด แยกหน่วยงานทุกชุดออกจากกัน แยกขั้วต่อสายของตัวนำภายนอกออกจากหน่วยงาน โดยไม่ต้องแยกขั้วต่อสายแต่ละชุดออกจากกัน และขั้วต่อสายของตัวนำภายนอกแยกจากบัสบาร์
- 6) form 4a คือ มีการแยกบัสบาร์ออกจากหน่วยงานทุกชุด แยกหน่วยงานทุกชุดออกจากกัน แยกขั้วต่อสายของตัวนำภายนอกของแต่ละหน่วยงานและบัสบาร์ออกจากกัน โดยขั้วต่อสายอยู่ภายในช่องกั้นเดียวกันกับหน่วยงาน
- 7) form 4b คือ มีการแยกบัสบาร์ออกจากหน่วยงานทุกชุด แยกหน่วยงานทุกชุดออกจากกัน แยกขั้วต่อสายของตัวนำภายนอกของแต่ละหน่วยงานและบัสบาร์ออกจากกัน โดยขั้วต่อสายอยู่ภายในช่องกั้นแยกกันกับหน่วยงาน



รูปที่ 2.19 แผงสวิตช์



รูปที่ 2.20 รูปแบบของการแยกภายใน

2.2.4.2 บัสบาร์

บัสบาร์เป็นตัวนำไฟฟ้าที่นำมาใช้งานภายในแผงสวิตช์ หรือบัสเวย์ ส่วนมากบัสบาร์ที่ใช้ทำจากทองแดง โดยต้องเป็นทองแดงที่มีความบริสุทธิ์ของทองแดงไม่น้อยกว่า 98 % ตามมาตรฐาน มอก.308-2555, มอก.408-2553, BS EN 13601, การติดตั้งบัสบาร์ต้องมีการจับยึดที่มั่นคง แข็งแรง ด้วยวัสดุฉนวนหรือด้วยบัสบาร์ซีพพอร์ต โดยระยะห่างระหว่างจุดจับยึดจะต้องพอเพียงต่อการป้องกันการเคลื่อนตัวอย่างรุนแรงของบัสบาร์ในกรณีที่เกิดการลัดวงจร ระยะห่างระหว่างบัสบาร์ในเฟสเดียวกันและ เฟสต่างกันควรจะเท่ากันตลอดความยาวของบัสบาร์ โดยบัสบาร์ซีพพอร์ตจะต้องสามารถทนต่อแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการลัดวงจรได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

ขนาดกระแสของบัสบาร์จะพิจารณาจากอุณหภูมิเพิ่ม (temperature rise) จากอุณหภูมิแวดล้อม (ambient temperature) เนื่องจากกระแสที่ไหลในบัสบาร์ โดยมาตรฐาน DIN 43671:1975 ได้กำหนดขนาดกระแสของบัสบาร์ทองแดงทั้งแบบเปลือย และแบบเคลือบสี ที่ทำให้ตัวนำทองแดงมีอุณหภูมิ 65 °C ในขณะที่อุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ 35 °C ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ขนาดกระแสของบัสบาร์ทองแดงตามมาตรฐาน DIN 43671

Width x thickness (mm)	material	continuous currents in A															
		AC up to 60Hz								DC/AC up to 162/3Hz							
		coated				Uncoated				coated				Uncoated			
		number of busbars				number of busbars				number of busbars				number of busbars			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
		I	II	III	II50II	I	II	III	II50II	I	II	III	IIII	I	II	III	IIII
12 x 2	E-CuF30/ Cu-ETP 4/4hard	123	202	228		108	182	216		123	202	233		108	182	220	
15 x 2		148	240	261		128	212	247		148	240	267		128	212	252	
15 x 3		187	316	381		162	282	361		187	316	387		162	282	365	
20 x 2		189	302	313		162	264	298		189	302	321		162	266	303	
20 x 3		237	394	454		204	348	431		237	394	463		204	348	437	
20 x 5		319	560	728		274	500	690		320	562	729		274	502	687	
20 x 10		497	924	1320		427	825	1180		499	932	1300		428	832	1210	
25 x 3		287	470	525		245	412	498		287	470	536		245	414	506	
25 x 5		384	662	869		327	586	795		384	664	841		327	590	794	
30 x 3		337	544	593		285	476	564		337	546	608		286	478	575	
30 x 5		447	760	944		379	672	896		448	766	950		380	676	897	
30 x 10		676	1200	1670		573	1060	1480		683	1230	1630		579	1080	1520	
40 x 3		435	692	725		366	600	690		436	696	748		367	604	708	
40 x 5		573	952	1140		482	836	1090		576	966	1160		484	848	1100	
40 x 10		850	1470	2000	2580	715	1290	1770	2280	865	1530	2000		728	1350	1880	
50 x 5		697	1140	1330	2010	583	994	1260	1920	703	1170	1370		588	1020	1300	
50 x 10		1020	1720	2320	2950	852	1510	2040	2600	1050	1830	2360		875	1610	2220	
60 x 5		826	1330	1510	2310	688	1150	1440	2210	836	1370	1580	2060	696	1190	1500	1970
60 x 10		1180	1960	2610	3290	985	1720	2300	2900	1230	2130	2720	3580	1020	1870	2570	3390
80 x 5		1070	1680	1830	2830	885	1450	1750	2720	1090	1770	1990	2570	902	1530	1890	2460
80 x 10		1500	2410	3170	3930	1240	2110	2790	3450	1590	2730	3420	4490	1310	2380	3240	4280
100 x 5		1300	2010	2150	3300	1080	1730	2050	3190	1340	2160	2380	3080	1110	1810	2270	2960
100 x 10		1810	2850	3720	4530	1490	2480	3260	3980	1940	3310	4100	5310	1600	2890	3900	5150
120 x 10		2110	3280	4270	5130	1740	2860	3740	4500	2300	3900	4780	6260	1890	3390	4560	6010
160 x 10		2700	4130	5360	6320	2220	3590	4680	5530	3010	5060	6130	8010	2470	4400	5860	7110
200 x 10		3290	4970	6430	7490	2690	4310	5610	6540	3720	6220	7460	9730	3040	5390	7150	9390

Remark : Continuous currents for busbars Cu-ETP/E-Cu according to the DIN regulations for rectangular bars in interior systems at +35 °C air temperature and + 65 °C bar temperature and vertical bar position, bar packages with spaces like the bar thickness respectively minimum 50 mm by laying of 4 busbars or when working with AC-current with a main distance of > 0,8 x main conductor distance (measured middle to middle of the bars). Values for a changed ambient temperature and reducing factors for changed applications are contained in the DIN 43671.

ที่มา : DIN 43671:1975

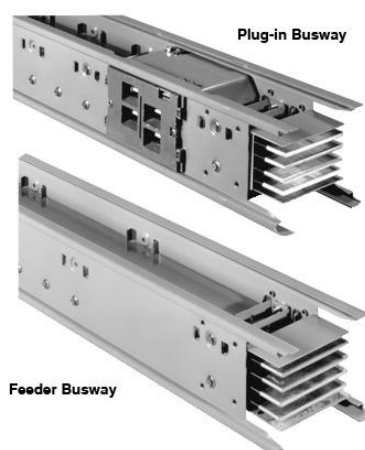
2.2.4.3 บัสเวย์

บัสเวย์ เป็นบริเวณที่ไฟฟ้าอีกชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปยังปลายทางที่ต้องการเช่นเดียวกับกับสายไฟฟ้า แต่ในการใช้งานที่มีระยะทางไกล หรือต้องส่งจ่ายกระแสปริมาณมาก บัสเวย์จะมีความคุ้มค่ามากกว่า มีความแข็งแรงมากกว่า และมีแรงดันตกน้อยกว่าการใช้สายไฟฟ้า

บัสเวย์ตามมาตรฐาน IEC 61439-6:2012 มีโครงสร้างประกอบไปด้วยแท่งตัวนำทองแดง หรือ อะลูมิเนียมจำนวน 4 ชุด สำหรับเฟส L1, L2, L3 และ N (โดยทั่วไปตัวนำเฟส และนิวทรัลจะมีขนาดเท่ากัน หรือในบางรุ่นที่ใช้กับโหลดที่มีกระแสไม่สมดุลสูง ตัวนำนิวทรัลอาจมีขนาดเป็นสองเท่าของตัวนำเฟส) หรือ 5 ชุด สำหรับเฟส L1, L2, L3, N และ G เคลือบหรือหุ้มด้วยฉนวน (อาจเป็น polyester film หรือ epoxy coat) นำมาจัดเรียงเข้าด้วยกันอยู่ภายในเครื่องห่อหุ้ม (housing) ที่มี IP ระดับต่าง ๆ ตามสภาพแวดล้อมใช้งาน ชุดสำเร็จมีลักษณะเป็นท่อน สามารถนำมาต่อกันเพื่อเพิ่มความยาวได้ โดยมีข้อต่อ (joint) และอุปกรณ์ประกอบ (fitting) ให้เลือกใช้ตามสภาพใช้งาน

บัสเวย์และอุปกรณ์ประกอบสามารถแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานออกเป็น

- 1) บัสเวย์แบบสายป้อน (feeder busway) มีลักษณะเป็นท่อนตรง ตลอดความยาว ไม่มีช่องสำหรับต่อแยกเพื่อนำกระแสไฟฟ้าไปใช้งาน
- 2) บัสเวย์แบบปลั๊กอิน (plug-in busway) มีลักษณะเป็นท่อนตรง ในระหว่างท่อน มีช่องสำหรับต่อแยก โดยใช้ Plug-in Unit ประกอบเข้ากับช่องเปิดของบัสเวย์เพื่อนำกระแสไฟฟ้าไปใช้งาน



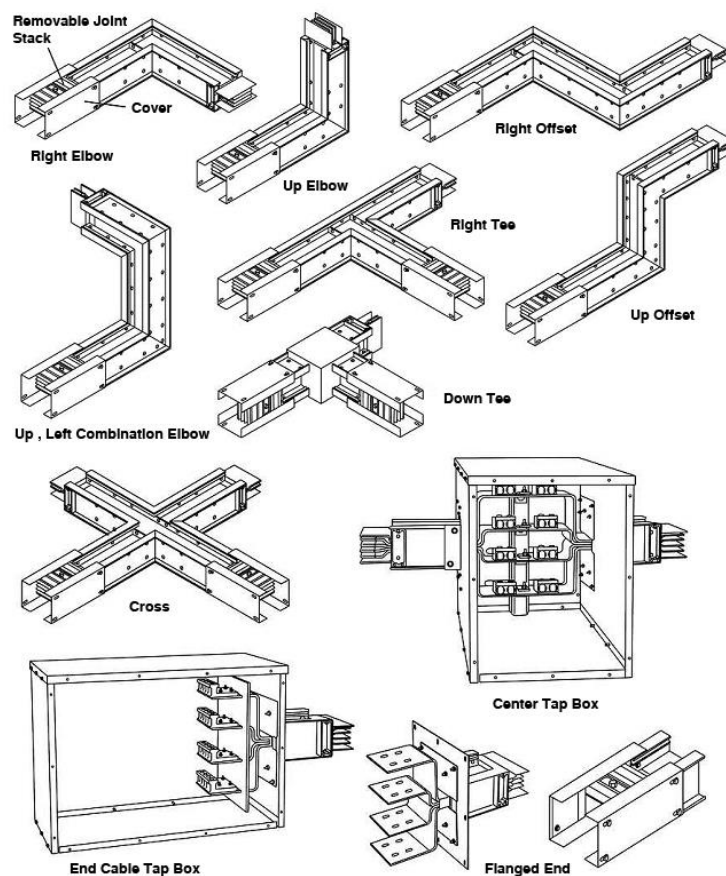
รูปที่ 2.21 บัสเวย์แบบ feeder (ล่าง) และ แบบ plug-in (บน)

3) plug-in unit เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับบัสเวย์แบบปลั๊กอิน เพื่อนำกระแสไฟฟ้าไปใช้งาน โดยด้านหนึ่งประกอบเข้ากับตัวบัสเวย์ และนำสายไฟฟ้ามาต่อเข้าอีกด้านหนึ่ง ภายใน Plug-in Unit มีอุปกรณ์ป้องกันอาจเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือ สวิตช์ปลดวงจรพร้อมฟิวส์ (safety switch with fuse) ก็ได้

4) ข้อต่อ และ อุปกรณ์ประกอบ เป็นส่วนสำคัญของบัสเวย์ใช้สำหรับประกอบบัสเวย์แต่ละท่อน หรือสายตัวนำเข้าด้วยกัน ในการประกอบมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่หน้าสัมผัสของตัวนำบริเวณจุดต่อจะต้องแน่นหนา เนื่องจากบัสเวย์ใช้ในการส่งจ่ายกระแสปริมาณมากจุดต่อที่ไม่แน่นหนาจะเกิดความร้อนจนทำให้บัสเวย์เกิดความเสียหาย หรือเกิดเพลิงไหม้ได้



รูปที่ 2.22 plug-in unit



รูปที่ 2.23 อุปกรณ์ประกอบของระบบบัสเวย์

บัสเวย์มีฟิวส์กระแส 225 – 5,000 A (ทองแดง) และ 225 - 4,000 A (อะลูมิเนียม) ส่วน plug-in Unit มีฟิวส์กระแส 30 - 1,600 A (fuse) และ 100 - 2,500 A (CB)

2.2.4.4 แผงย่อย

แผงย่อย หมายถึง แผงเดี่ยวหรือกลุ่มของแผงเดี่ยวที่ออกแบบให้ประกอบรวมกันเป็นแผงเดี่ยว ประกอบด้วยบัสบาร์ เครื่องป้องกันกระแสเกินอัตโนมัติ เป็นแผงที่ออกแบบให้ติดตั้งไว้ในตู้ หรือกล่องคัตเอาต์ที่ติดตั้งบนผนังซึ่งสามารถเข้าถึงได้ทางด้านหน้าเท่านั้น แผงย่อยตาม IEC 60493-3:2017 กำหนดให้มีแรงดันเทียบกับดินที่ระบุไม่เกิน 300 V มีทั้งแบบที่ใช้สำหรับระบบ 3 เฟส 4 สาย และระบบ 1 เฟส 2 สาย ฟิวส์กระแสของเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่เกิน 250 A และวงจรย่อยไม่เกิน 125 A



รูปที่ 2.24 แผงย่อย

ที่มา : www.se.com

2.2.4.5 คอนซูเมอร์ยูนิต

คอนซูเมอร์ยูนิตหมายถึง แผงย่อยสำหรับที่อยู่อาศัยตามมาตรฐาน IEC 60493-3:2017 เป็นแผงย่อยที่ใช้สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย มีฟิวส์กระแสของเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่เกิน 100 A



รูปที่ 2.25 คอนซูเมอร์ยูนิต

ที่มา : www.se.com

2.2.4.6 เซฟตี้สวิตช์ (safety switch)

เซฟตี้สวิตช์ เป็นอุปกรณ์สำเร็จรูป ประกอบด้วยเครื่องปลดวงจรและเครื่องป้องกันกระแสเกิน (ฟิวส์) มีข้อดีคือการสับ หรือ ปลด วงจรจะทำพร้อมกันทุกเส้น เซฟตี้สวิตช์ ตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ ต้องเป็นชนิดที่จะเปิดฝากล่องได้เมื่อสวิตช์อยู่ในตำแหน่งปลดเท่านั้น



รูปที่ 2.26 เซฟตี้สวิตช์

ที่มา : www.se.com

2.2.4.7 เซอร์กิตเบรกเกอร์

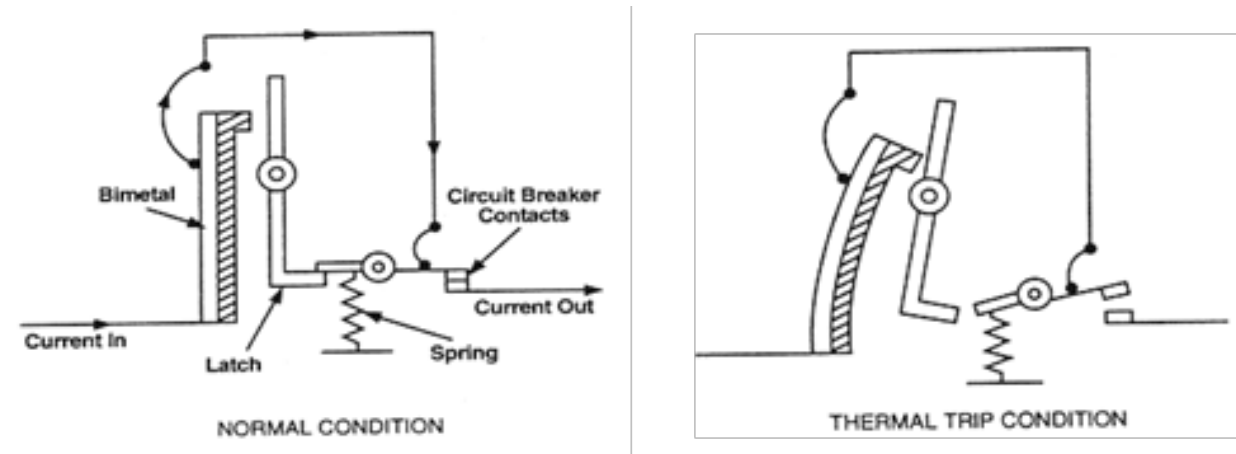
เซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นบริภัณฑ์ป้องกันกระแสเกิน (over current) หรือการลัดวงจร (short circuit) และเป็นเครื่องปลดวงจรสำหรับเปิด-ปิดวงจรไฟฟ้าในสภาวะปกติ

เซอร์กิตเบรกเกอร์มีหลักการทำงานโดยการวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน แบ่งการทำงานเป็น 3 แบบ ดังนี้

1) การทำงานด้วยความร้อน

อาศัยหลักการกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโลหะสองชนิดที่ประกบกันอยู่ เมื่อกระแสไหลผ่านโลหะจะขยายตัวไม่เท่ากันจึงโค้งงอไปดันกลไกให้ปลดวงจรไฟฟ้า ระยะเวลาในการปลดวงจรแปรผันตามปริมาณกระแสที่ไหลผ่าน ซึ่งสามารถปรับตั้งได้จากโรงงานผู้ผลิต

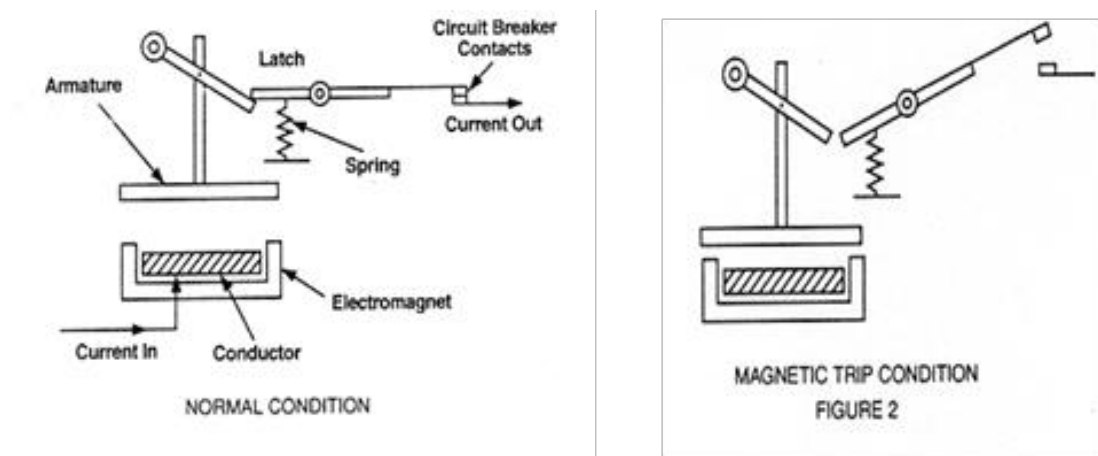
ในรูปการทำงานด้วยความร้อนซ้ายมือเป็นสภาวะการทำงานเมื่อกระแสไหลตามปกติ หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะปิด ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ ในรูปด้านขวามือ เป็นการแสดงการทำงานเมื่อกระแสไหลเกิน bi-metal จะโค้งงอปลดกระเดื่องทำให้สปริงดึงให้หน้าสัมผัสจากออกจากกัน กระแสไฟฟ้าจะหยุดไหล การทำงานด้วยความร้อนเหมาะที่จะปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสเกิน (overload)



รูปที่ 2.27 การทำงานด้วยความร้อน

2) การทำงานด้วยอำนาจแม่เหล็ก

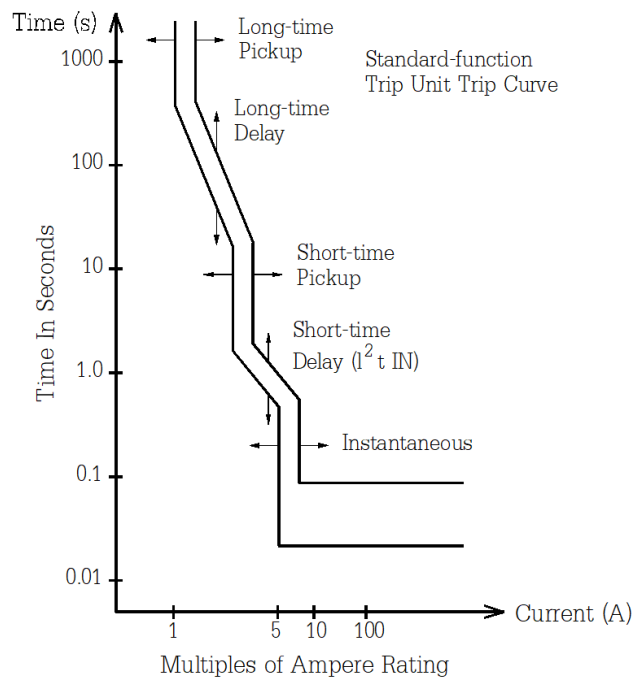
อาศัยหลักการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลสูงถึงค่าที่กำหนด ซึ่งปกติเกิดจากกระแสลัดวงจร แม่เหล็กจะมีแรงมากพอที่จะไปดูดกลไกให้ปลดวงจร เนื่องจากการทำงานของแม่เหล็กนั้นเร็วมากจึงเหมาะที่จะให้ทำงานปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสลัดวงจร



รูปที่ 2.28 การทำงานด้วยอำนาจแม่เหล็ก

3) การทำงานแบบโซลิดสเตต (solid state trip)

ชุดปลดวงจรแบบโซลิดสเตต ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สั่งงานโดยทำงานร่วมกับหม้อแปลงกระแสในการเปรียบเทียบกระแสที่ไหลในวงจรกับค่าที่ปรับตั้งไว้ ชุดปลดวงจรแบบนี้มีความแม่นยำ และเชื่อถือได้สูงกว่าแบบอื่น ๆ โดยสามารถปรับตั้งการทำงานได้หลายรูปแบบได้แก่ long time trip, short time trip, ground fault trip, instantaneous trip



รูปที่ 2.29 การทำงานแบบโซลิตสเทท

พิกัดที่สำคัญของเซอร์กิตเบรกเกอร์

- 1) พิกัดกระแสใช้งาน (I_n) เป็นค่า handle rating ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ มักเรียกเป็นค่า ampere trip (AT)
- 2) พิกัดกระแสโครง (AF, ampere frame) คือค่าพิกัดการทนกระแสสูงสุดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ในรุ่นนั้น ๆ
- 3) พิกัดกระแสลัดวงจร (I_{cn}) คือค่าพิกัดการตัดกระแสลัดวงจรสูงสุด (I_{cu}) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่กำหนดโดยผู้ผลิต
- 4) พิกัดการตัดกระแสลัดวงจรสูงสุด (I_{cu} , ultimate short-circuit breaking capacity) หมายถึงพิกัดการตัดกระแสลัดวงจรที่ในการทดสอบจะไม่คำนึงถึงว่าจะสามารถรับกระแสใช้งานปกติได้อย่างต่อเนื่องภายหลังการทดสอบหรือไม่
- 5) พิกัดการตัดกระแสลัดวงจรใช้งาน (I_{cs} , service short-circuit breaking capacity) หมายถึงพิกัดการตัดกระแสลัดวงจรที่ภายหลังการทดสอบ จะต้องสามารถรับกระแสใช้งานปกติได้อย่างต่อเนื่องด้วย ปกติ I_{cs} จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ I_{cu} หรือ I_{cn}
- 6) พิกัดกระแสนทนช่วงเวลาสั้น (short-time withstand current, I_{cw}) หมายถึงค่า rms ที่เป็นกระแสไฟสลับของกระแสลัดวงจรที่สมมติให้มีค่าคงที่ตลอดระยะเวลา

เซอร์กิตเบรกเกอร์ แบ่งออกเป็น

1) เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ผลิตตามมาตรฐาน IEC 60898

เซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐาน IEC 60898-1:2015 เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ในสถานที่อยู่อาศัยหรือสถานที่คล้ายคลึงกันมีพิกัดแรงดันใช้งานไม่เกิน 440 V พิกัดกระแสใช้งาน (I_n) 6 - 125 A และพิกัดกระแสลัดวงจร (I_{cn}) 3 - 25 kA สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามความสามารถในการปลดวงจรออกทันที (instantaneous tripping)

(1) ประเภท B ปลดวงจรออกทันทีเมื่อกระแสไฟฟ้าเกิน 3 ถึง 5 เท่าของพิกัดกระแสต่อเนื่อง (I_n) ใช้สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ไม่มีอินรัช (inrush current) หรือเสิร์จจากการเปิด-ปิดวงจร (switching surge)

(2) ประเภท C ปลดวงจรออกทันทีเมื่อกระแสไฟฟ้าเกิน 5 I_n ถึง 10 I_n ใช้สำหรับวงจรไฟฟ้าทั่วไปที่มีกระแสไฟกระชอก เช่น ไฟแสงสว่างฟลูออเรสเซนต์, มอเตอร์ขนาดเล็ก หรือเครื่องปรับอากาศ

(3) ประเภท D ปลดวงจรออกทันทีเมื่อกระแสไฟฟ้าเกิน 10 I_n ถึง 50 I_n ใช้สำหรับวงจรไฟฟ้าที่มีกระแสไฟกระชอกสูง เช่น เครื่องเชื่อม เครื่องเอกซเรย์



รูปที่ 2.30 Miniature Circuit Breaker

ที่มา : www.se.com

2) เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ผลิตตามมาตรฐาน IEC 60947-2

เซอร์กิตเบรกเกอร์ตาม IEC 60947-2:2016 เหมาะสำหรับการใช้งานโดยผู้มีความรู้ในการติดตั้ง หรือปรับแต่งค่าต่าง ๆ ของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ หรืออุปกรณ์ประกอบของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ มีพิกัดกระแสใช้งาน (I_n) 30 - 1,250 A และพิกัดกระแสลัดวงจร (I_{cn}) 18 - 85 kA ตัวอย่างการนำไปใช้งาน เช่น การใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม แบ่งตามลักษณะภายนอก และ การใช้งานแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

(1) เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโมลด์เคส (molded case circuit breaker : MCCB) เป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินและลัดวงจรสำหรับ วงจรย่อย วงจรสายป้อนแรงต่ำ หรือวงจรประธานที่มีขนาดกระแสไม่สูงมากนัก ส่วนสำคัญของ MCCB ประกอบด้วย ชุดปลดวงจร (tripping unit) ชุดทำงานทางกล (operating mechanism) หน้าสัมผัส (contact) และชุดดับอาร์ก (arc extinguisher)

อุปกรณ์ตรวจจับ และกลไกของ MCCB จะบรรจุอยู่ภายในโครง หรือกล่องปิดซึ่งทำจากวัสดุฉนวน (ส่วนมากเป็นโพลีเอสเตอร์) ทำหน้าที่ป้องกันอาร์ก ความร้อน และเป็นฉนวนกันระหว่างขั้วไฟฟ้า



รูปที่ 2.31 เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโมลด์เคส

ที่มา : www.se.com

(2) เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดอากาศ (air circuit breaker : ACB) เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดใหญ่ มีพิกัดกระแสต่อเนื่องสูง ใช้สำหรับป้องกันกระแสเกินและลัดวงจรในวงจรประธาน หรือ วงจรสายป้อนแรงต่ำที่มีขนาดกระแสสูงกว่าพิกัดของ MCCB ส่วนสำคัญประกอบด้วยชุดปลดวงจร ชุดทำงานทางกล หน้าสัมผัส ชุดดับอาร์ก และชุดกลไกต่าง ๆ ติดตั้งอย่างเปิดเผย มีพิกัดกระแสใช้งาน (I_n) 630 – 6,300 A และพิกัดกระแสลัดวงจร (I_{cn}) 65 - 130 kA



รูปที่ 2.32 air circuit breaker

ที่มา : www.se.com

2.2.4.8 เครื่องตัดไฟรั่ว

เครื่องตัดไฟรั่ว (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ใช้คำว่าเครื่องตัดวงจรกระแสไฟฟ้าเหลือ) สำหรับบ้านอยู่อาศัยหรือสถานที่คล้ายคลึงกันเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ลดอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด เนื่องจากการสัมผัสโดยตรงและสัมผัสโดยอ้อม

เครื่องตัดไฟรั่วตาม มอก.909-2548 และ มอก.2425-2552 มีแรงดันใช้งานไม่เกิน 440 V ค่ากระแสรั่วที่กำหนด (rated residual operating current : $I_{\Delta n}$) ไม่เกิน 30 mA และมีช่วงเวลาในการปลดวงจรไม่เกิน 40 ms เมื่อกระแสรั่วมีค่า 5 เท่าของ $I_{\Delta n}$ และต้องไม่ปลดวงจรเมื่อกระแสรั่วมีค่า 0.5 เท่าของ $I_{\Delta n}$ การปลดวงจรของเครื่องตัดไฟรั่วต้องปลดสายไฟทุกเส้นที่มีไฟ รวมถึงสายนิวทรัลออกจากวงจร (ยกเว้นจะแน่ใจได้ว่าสายนิวทรัลปลอดภัย และมีแรงดันเท่ากับดิน) และห้ามต่อวงจรลัดคร่อม ทั้งนี้การติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่ว เป็นมาตรการป้องกันเพิ่มเติมจากการติดตั้งสายดินในระบบไฟฟ้าอย่างถูกต้องตามมาตรฐาน

เครื่องตัดไฟรั่วแบ่งออกเป็น

1) ชนิด RCBO ย่อมาจาก residual current circuit breakers with overcurrent protection เป็นเครื่องตัดไฟรั่วตาม มอก.909-2548 จะปลดวงจรทั้งในกรณีที่เกิดกระแสรั่วตามที่กำหนด และเมื่อเกิดกระแสเกิน

2) ชนิด RCCB ย่อมาจาก residual current circuit-breaker เป็นเครื่องตัดไฟรั่วตาม มอก.2425-2552 จะปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสรั่วตามที่กำหนดเท่านั้น โดยจะไม่ปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสเกิน



รูปที่ 2.33 RCBO (ซ้าย) RCCB (ขวา)

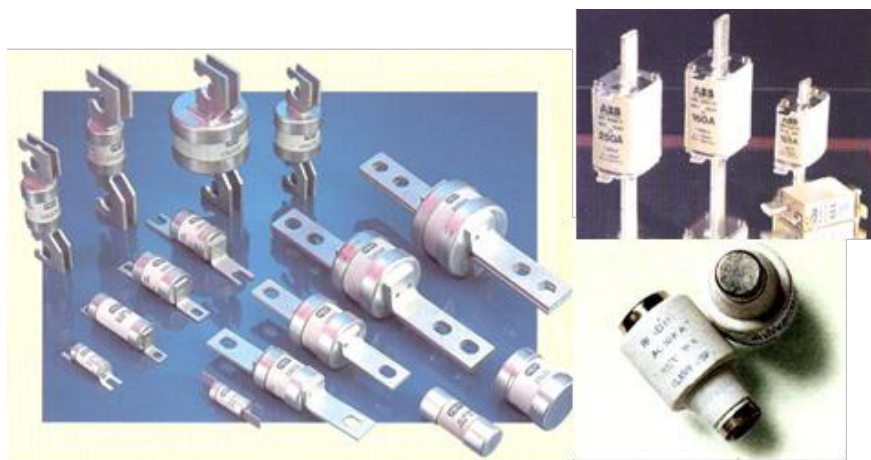
ที่มา : www.se.com

2.2.4.9 ฟิวส์

ฟิวส์ เป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินเช่นเดียวกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ มีข้อแตกต่างจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ตรงที่เมื่อกระแสเกินและฟิวส์ขาดจะต้องเปลี่ยนตัวใหม่ ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ข้อดีคือมีพิิกัดตัดกระแสลัดวงจรสูง มีความเชื่อถือได้สูง และราคาต่ำกว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์ มีหลายชนิดหลายขนาด

ตามมาตรฐานการผลิตและการใช้งาน มีพิกัดกระแสใช้งาน และพิกัดตัดกระแสลัดวงจร เช่นเดียวกับเซอร์กิตเบรกเกอร์

ฟิวส์ออกแบบให้มีไส้ฟิวส์ที่กำหนดตำแหน่งให้ขาดเมื่อมีกระแสไหลเกินกำหนด การขาดของฟิวส์จึงแปรผันตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ฟิวส์จะทำงานตัดวงจรทั้งในช่วงการทำงานแบบกระแสเกินและแบบลัดวงจร ฟิวส์จึงมีพิกัดกระแสต่อเนื่อง และพิกัดตัดกระแสลัดวงจรเช่นเดียวกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ ฟิวส์มีหลายชนิด หลายขนาด ให้เลือกตามความต้องการใช้งาน และตามมาตรฐานการผลิต ตัวอย่างขนาดกระแสของฟิวส์ได้แก่ 10, 16, 20, 25, 35, 50, 63, 80 และ 100 แอมแปร์ แต่ขนาดอาจแตกต่างกันไปจากตัวอย่างนี้ได้ ตามมาตรฐานการผลิต



รูปที่ 2.34 ฟิวส์แรงต่ำแบบต่าง ๆ

2.2.4.10 สวิตช์ไฟฟ้า

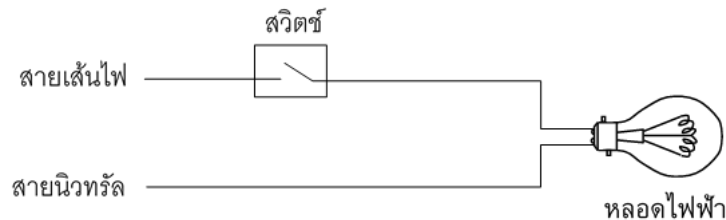
สวิตช์ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ปิด หรือ เปิดวงจรไฟฟ้า สวิตช์ไฟฟ้าตาม มอก.824-2551 เป็นสวิตช์ไฟฟ้าทำงานด้วยมือ (manually operated) ใช้ได้เฉพาะไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันไม่เกิน 440 V พิกัดกระแสไม่เกิน 63 A และมีอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 40 °C ใช้สำหรับควบคุม

- 1) วงจรไฟฟ้าสำหรับโหลดหลอดไฟฟ้าไส้ทั้งสแตน (tungsten filament lamp)
- 2) วงจรไฟฟ้าสำหรับโหลดหลอดฟลูออเรสเซนต์ (รวมบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์)
- 3) วงจรไฟฟ้าสำหรับโหลดมีความต้านทานเป็นสำคัญ (substantially resistive load) มีตัวประกอบกำลังไม่น้อยกว่า 0.95
- 4) วงจรไฟฟ้าหนึ่งเฟสสำหรับโหลดมอเตอร์ด้วยกระแสไฟฟ้าที่กำหนดถึง 10 A และตัวประกอบกำลังไม่น้อยกว่า 0.6
- 5) วงจรไฟฟ้าร่วมของวงจรในข้อ 1) ถึง 4)

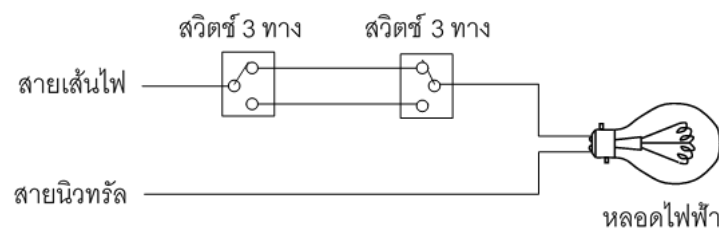
สวิตช์ไฟฟ้าที่ใช้งานทั่วไปแบ่งเป็นสวิตช์ 2 ทาง และสวิตช์ 3 ทาง โดยสวิตช์ 2 ทางเป็นสวิตช์แบบพื้นฐานที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าทั่วไป ในการใช้งานจะใช้สวิตช์เพียง 1 ตัว ทำการปิด หรือเปิด วงจรไฟฟ้า ส่วน

สวิตช์ 3 ทาง เป็นสวิตช์ที่เพิ่มความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น ประกอบด้วยสวิตช์ 2 ตัว ควบคุมวงจรเดียวกัน (หลอดไฟดวงเดียวกัน) ทำให้สามารถปิด หรือ เปิด วงจรไฟฟ้าได้จากสถานที่ 2 แห่ง นิยมใช้เป็นสวิตช์บันไดที่สามารถปิด หรือ เปิด หลอดไฟดวงเดียวกันจากชั้นล่างหรือชั้นบนก็ได้

สวิตช์ไฟฟ้าต้องมีระดับชั้นการป้องกัน (IP) เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน



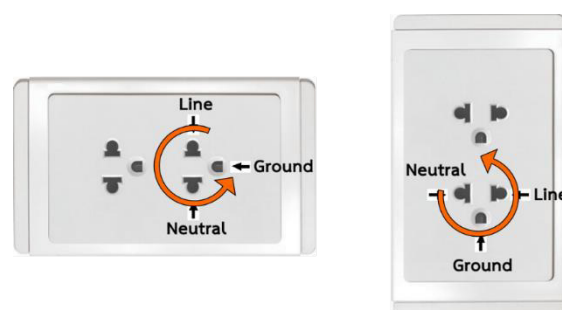
รูปที่ 2.35 วงจรใช้งานสวิตช์ 2 ทาง



รูปที่ 2.36 วงจรใช้งานสวิตช์ 3 ทาง

2.2.4.11 เต้ารับไฟฟ้า

เต้ารับไฟฟ้า คือจุดต่อไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่กับที่เตรียมพร้อมให้ต่อไฟฟ้าออกไปใช้งาน เต้ารับที่ใช้ในวงจรย่อนั้นต้องเป็นแบบมีขั้วสายดิน (2P + E) ตาม มอก.166-2549 และต้องมีการต่อลงดิน ใช้สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันมากกว่า 50 V แต่ไม่เกิน 250 V มีพิกัดกระแสไม่เกิน 16 A อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 40 °C เต้ารับแบบยัดกับที่ต้องมีระดับชั้นการป้องกัน (IP) เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน

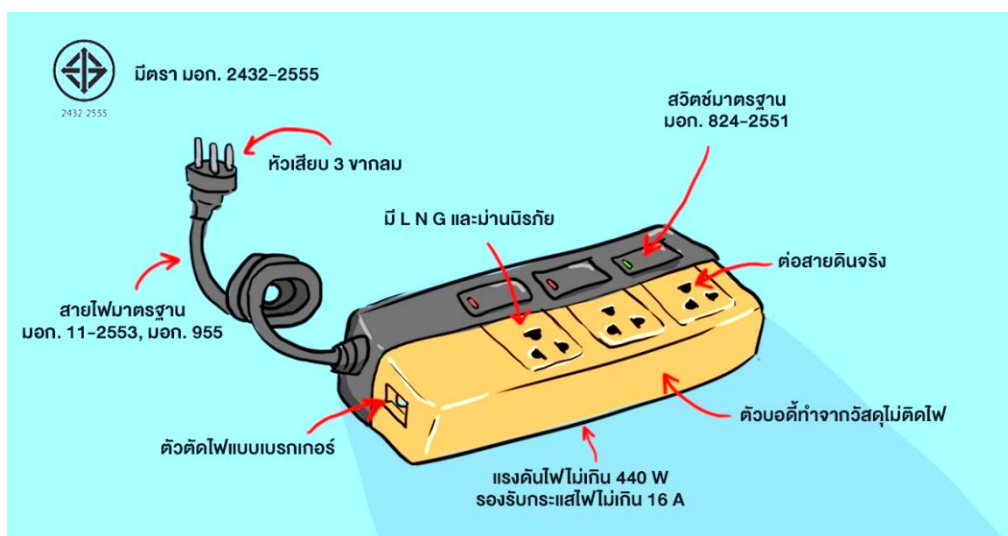


รูปที่ 2.37 เต้ารับชนิดมีขั้วสายดิน

2.2.4.12 ชุดสายพ่วง

ชุดสายพ่วงหรือ ปลั๊กพ่วง คือตัวรับตาม มอก.2432-2555 ที่ตั้งใจให้ต่อกับสายอ่อน ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ง่ายในขณะที่ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า และต้องมีการต่อลงดิน ใช้สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันมากกว่า 50 V แต่ไม่เกิน 440 V มีพิกัดกระแสไม่เกิน 16 A อุณหภูมิใช้งาน ไม่เกิน 40 °C

ชุดสายพ่วงเป็นการประกอบกันเป็นชุดของ เต้าเสียบและตัวรับตาม มอก.166-2549 และ มอก. 2162-2556 สายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2553 หรือ มอก. 955-2551 สวิตช์ (ถ้ามี) ตาม มอก. 824-2551 และ อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (ถ้ามี) โดยห้ามใช้พิวส์เป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน



รูปที่ 2.38 ชุดสายพ่วง

ที่มา : www.thepower.co.th

2.2.4.13 หลอดไฟฟ้า

มาตรฐานเกี่ยวกับหลอดไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่จะเป็นมาตรฐานด้านความปลอดภัย ตัวอย่างเช่น หลอดไฟฟ้าไส้ทั้งสแตน และ หลอดไฟฟ้าไส้ทั้งสแตนฮาโลเจนตาม มอก.4-2529, หลอดฟลูออเรสเซนต์ ตาม มอก.956-2533 และ มอก.2235-2557, หลอดมีบัลลาสต์ในตัว ตาม มอก. 2234-2557, หลอดแอลอีดี มีบัลลาสต์ในตัว ตาม มอก. 2779, หลอดแอลอีดีขั้วคู่ที่ออกแบบเพื่อเปลี่ยนทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรง ตาม มอก.2780

2.2.4.14 โคมไฟฟ้า

มาตรฐานเกี่ยวกับโคมไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่จะเป็นมาตรฐานด้านความปลอดภัยเช่นเดียวกับ หลอดไฟฟ้า โดยมี มอก.902 เล่ม 1-2557 เป็นมาตรฐานหลัก และมีมาตรฐานของโคมไฟฟ้าแต่ประเภทดังนี้ ดวงโคมไฟฟ้าติดประจำที่ ตาม มอก. 902 เล่ม 2(1), ดวงโคมไฟฟ้าฝัง ตาม มอก. 902 เล่ม 2(2), ดวงโคม

ไฟฟ้าสำหรับให้แสงสว่างบนถนน ตาม มอก. 902 เล่ม 2(3), ดวงโคมไฟฟ้าสดแสง ตาม มอก. 902 เล่ม 2(5), ดวงโคมไฟฟ้าฝังพื้น ตาม มอก. 902 เล่ม 2(9), ดวงโคมไฟฟ้าสำหรับสระว่ายน้ำ ตาม มอก. 902 เล่ม 2(10), ดวงโคมไฟฟ้าฉุกเฉิน ตาม มอก. 902 เล่ม 2(22), โคมไฟป้ายทางออกฉุกเฉิน ชนิดส่องสว่างจากภายใน ตาม มอก. 2430-2552

2.2.4.15 ท่อร้อยสายไฟฟ้า

การติดตั้ง หรือเดินสายไฟฟ้าแบบติดตั้งอยู่กับที่ (fix installation) ในท่อร้อยสายไฟฟ้าอย่างถูกต้องตามมาตรฐาน เป็นการป้องกันความเสียหายทางกายภาพที่อาจเกิดขึ้นกับสายไฟฟ้า เพื่อให้สายไฟฟ้ามีอายุการใช้งานยาวนาน และเพื่อให้เกิดความสะดวกในการเปลี่ยนสายไฟฟ้าเมื่อเกิดการชำรุด โดยท่อร้อยสายไฟฟ้าอาจทำจากวัสดุที่เป็นโลหะ หรือโลหะ

1) ท่อโลหะหนา (rigid steel conduit : RSC) ตาม มอก. 770-2531 ตารางที่ 3 เป็นท่อเหล็กที่ผิวภายนอกเคลือบสังกะสีและผิวภายในเคลือบอีนาเมล หรือ ผิวภายนอกและผิวภายในเคลือบสังกะสี เป็นท่อโลหะที่มีความหนามากที่สุด สามารถทำเกลียวที่ท่อได้ ใช้งานได้ทั่วไปทั้งภายในอาคารภายนอกอาคาร ฝังในคอนกรีต และฝังดิน มีขนาดเล็กที่สุดคือ 15 มม. (1/2 นิ้ว) และขนาดใหญ่ที่สุดคือ 150 มม. (6 นิ้ว) ความยาวท่อนละ 3 ม.

2) ท่อโลหะหนานปานกลาง (intermediate metal conduit : IMC) ตาม มอก. 770-2531 ตารางที่ 2 เป็นท่อเหล็กที่เคลือบป้องกันสนิมเช่นเดียวกับท่อโลหะหนา เป็นท่อที่มีความหนาน้อยกว่าท่อโลหะหนา สามารถทำเกลียวที่ท่อได้และใช้งานได้เหมือนกับท่อโลหะหนา มีขนาดเล็กที่สุดคือ 15 มม. (1/2 นิ้ว) และขนาดใหญ่ที่สุดคือ 100 มม. (4 นิ้ว) ความยาวท่อนละ 3 ม.

3) ท่อโลหะบาง (electrical metallic tubing : EMT) ตาม มอก. 770-2531 ตารางที่ 1 เป็นท่อเหล็กที่เคลือบป้องกันสนิมเช่นเดียวกับท่อโลหะหนา และ ท่อโลหะหนานปานกลาง แตกต่างตรงที่เป็นท่อบางที่ไม่สามารถทำเกลียวที่ท่อได้ การต่อท่อต้องใช้ข้อต่อสำหรับที่ EMT เท่านั้น ใช้ได้เฉพาะภายในอาคารเท่านั้น ไม่ควรใช้ในที่มีมีการกระทบทางกล ห้ามใช้ฝังใต้ดิน และห้ามใช้ในระบบแรงดันปานกลาง หรือแรงสูง มีขนาดเล็กที่สุดคือ 15 มม. (1/2 นิ้ว) และขนาดใหญ่ที่สุดคือ 50 มม. (2 นิ้ว) ความยาวท่อนละ 3 ม.



รูปที่ 2.39 ท่อโลหะบาง (บน) ท่อโลหะหนานปานกลาง (กลาง) ท่อโลหะหนา (ล่าง)

4) ท่อโลหะอ่อน เป็นท่อโลหะอาบสังกะสีเช่นกัน แต่ออกแบบให้อ่อนตัวได้ดี สามารถโค้งงอได้ตามต้องการ มีมาตรฐานอ้างอิงคือ IEC 61386-23-2002 นิยมใช้เดินเข้าเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่มีการสั่นสะเทือนขณะใช้งาน โดยใช้ความยาวไม่เกิน 2 ม. ท่อโลหะอ่อนนี้ไม่สามารถกันน้ำได้ จึงห้ามใช้ในสถานที่เปียก หรือกลางแจ้ง มีขนาดเล็กที่สุดคือ 15 มม. (1/2 นิ้ว) และขนาดใหญ่ที่สุดคือ 100 มม. (4 นิ้ว)

5) ท่อโลหะอ่อนกันของเหลว มีโครงสร้างเหมือนกับท่อโลหะอ่อน มีส่วนต่างจากท่อโลหะอ่อนทั่วไปตรงที่ท่อหุ้มด้วยสารพีวีซี หรือพีอี อีกชั้นหนึ่งเพื่อกันของเหลว ใช้งานเช่นเดียวกับท่อโลหะอ่อน มีขนาดเล็กที่สุดคือ 15 มม. (1/2 นิ้ว) และขนาดใหญ่ที่สุดคือ 100 มม. (4 นิ้ว)



รูปที่ 2.40 ท่อโลหะอ่อน (บน) ท่อโลหะอ่อนกันของเหลว (ล่าง)

6) ท่อ PVC เป็นท่อโลหะสำหรับใช้ร้อยสายไฟฟ้าตาม มอก. 216-2524 (ท่อพีวีซีสีเหลือง) สามารถใช้เดินสายภายในอาคารทั่วไปได้ แต่ไม่อนุญาตให้ใช้เดินสายภายในอาคารชุด อาคารสูง และอาคารขนาดใหญ่พิเศษ ท่อ PVC มีขนาดเล็กที่สุดคือ 15 มม. (1/2 นิ้ว) และขนาดใหญ่ที่สุดคือ 100 มม. (4 นิ้ว) ความยาวท่อนละ 4 ม. แบ่งออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพคือ

- (1) ชั้นคุณภาพที่ 1 รับแรงกดได้มาก
- (2) ชั้นคุณภาพที่ 2 รับแรงกดได้ปานกลาง
- (3) ชั้นคุณภาพที่ 3 รับแรงกดได้น้อย

7) ท่อ uPVC เป็นท่อโลหะสำหรับร้อยสายไฟฟ้าเช่นเดียวกับท่อ PVC แต่มีข้อแตกต่างจากท่อ PVC คือ สามารถดัดโค้งได้โดยไม่ต้องใช้ความร้อน และมีความทนทานต่อแสงแดด มีมาตรฐานอ้างอิงคือ BSEN 50086-21:1996 และ JIS C 8430:1999 ใช้งานได้เหมือนกับท่อ PVC และไม่อนุญาตให้ใช้เดินสายภายในอาคารชุด อาคารสูง และอาคารขนาดใหญ่พิเศษเช่นกัน มีขนาดเล็กที่สุดคือ 16 มม. (3/8 นิ้ว) และขนาดใหญ่ที่สุดคือ 50 มม. (1-1/2 นิ้ว) ความยาวท่อนละ 3 ม.

8) ท่อ HDPE เป็นท่อโลหะแข็งอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในการเดินสายไฟฟ้า มีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อน และการกระทบกระแทกได้ดี แม้ว่าจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าท่อโลหะแต่มีความทนทานต่อความชื้นและการกัดกร่อนจากสารเคมีในอากาศได้ดีกว่า แต่มีข้อเสียคือทำจากวัสดุที่มี

คุณสมบัติลามไฟ จึงไม่นิยมใช้งานภายในอาคาร ท่อ HDPE สามารถฝังดินได้โดยตรง แต่เพื่อเสริมความแข็งแรงส่วนมากจะหุ้มด้วยคอนกรีต มีขนาดเล็กที่สุดคือ 15 มม. (1/2 นิ้ว) และขนาดใหญ่ที่สุดคือ 150 มม. (6 นิ้ว) ความยาวเป็นไปตามความต้องการใช้งาน



รูปที่ 2.41 ท่อ PVC

ที่มา : www.scgbuildingmaterials.com



รูปที่ 2.42 ท่อ uPVC

ที่มา : www.scgbuildingmaterials.com

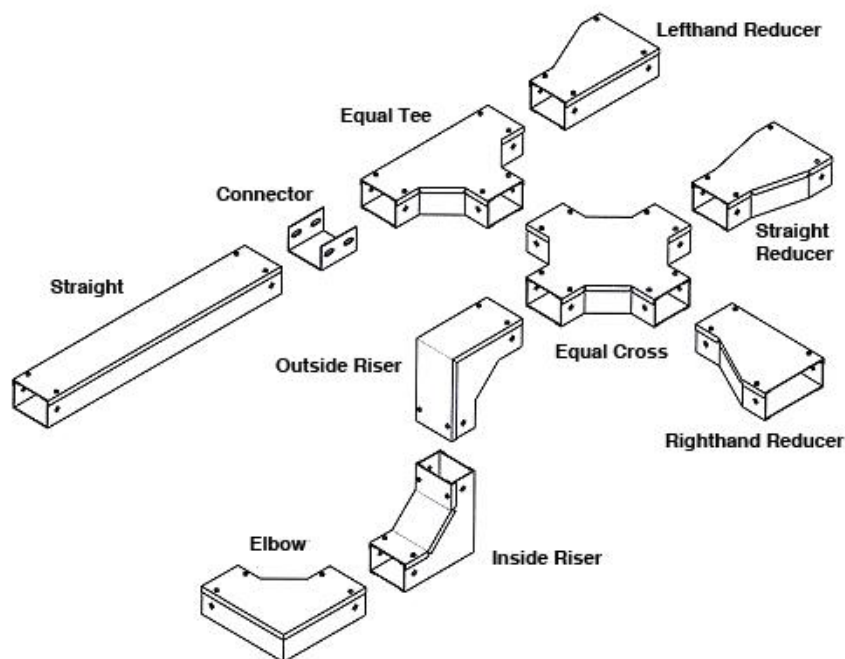


รูปที่ 2.43 ท่อ HDPE

ที่มา : www.scgbuildingmaterials.com

2.2.4.16 รางเดินสาย (wireways)

รางเดินสายโลหะมีลักษณะเป็นรางทำจากแผ่นโลหะพับ มีฝาปิด-เปิดได้ เพื่อใช้สำหรับเดินสายไฟฟ้า ทำจากแผ่นเหล็กที่ผ่านกรรมวิธีป้องกันสนิม เช่น ฟันสีฝุ่น ชุบสังกะสี และ อะลูซิงก์ (Aluzinc) มีขนาดความสูง 50 - 100 มม. ความกว้าง 50 - 300 มม. ความยาว 2.4 ม. ความหนา 1.0 และ 1.5 มม.



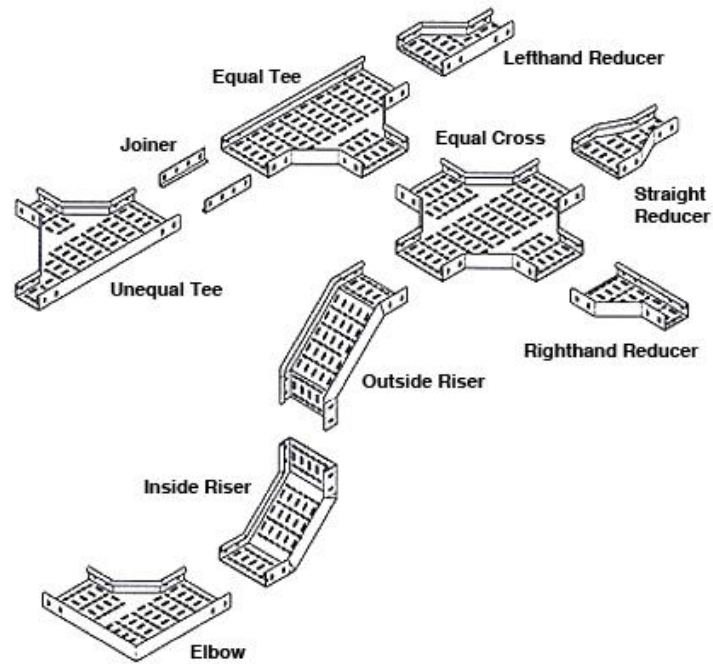
รูปที่ 2.44 อุปกรณ์ประกอบของระบบรางเดินสาย

2.2.4.17 รางเคเบิล (cable trays)

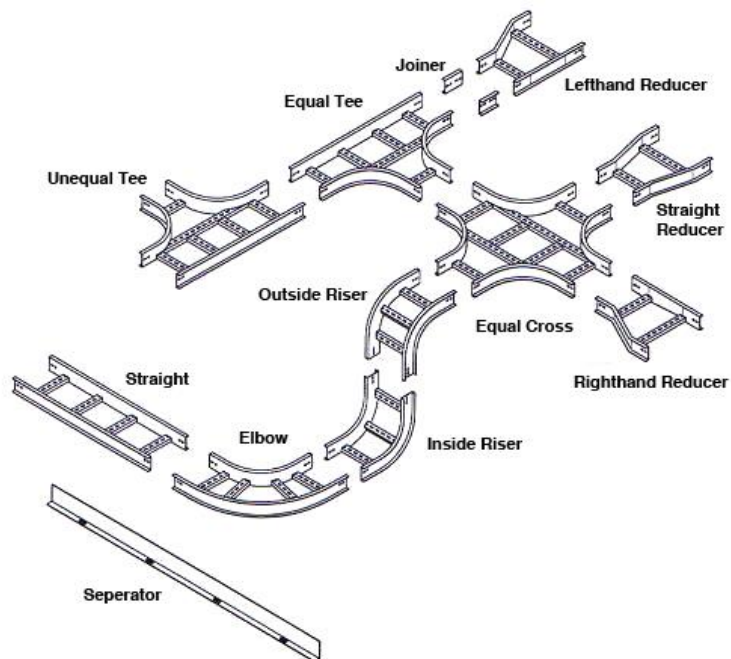
มีลักษณะเป็นรางเปิด แบบด้านล่างทึบและแบบมีช่องระบายอากาศ แผ่นเหล็กพื้นพับเป็นลูกฟูก วัสดุที่ใช้ทำจากแผ่นเหล็กที่ผ่านกรรมวิธีป้องกันสนิม เช่น ฟันสีฝุ่น , ชุบสังกะสี และ อะลูซิงก์ มีขนาดความสูง 100 มม. ความกว้าง 200 – 1,000 มม. ความยาว 3 ม. ความหนา 1.5 และ 2.0 มม.

2.2.4.18 รางเคเบิลแบบบันได (cable ladders)

รางเคเบิลชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นโครงสร้างตามแนวยาว ยึดติดกันด้วยชั้นบันได (rung) ขอบมน ไม่คม ทุก ๆ ระยะไม่เกิน 300 มม. จึงมีลักษณะคล้ายบันได จะใช้กับสายเคเบิลกำลัง ทำจากแผ่นเหล็กที่ผ่านกรรมวิธีป้องกันสนิม เช่น ฟันสีฝุ่น และชุบสังกะสีมีขนาดความสูง 100 มม. ความกว้าง 200 – 1,000 มม. ความยาว 3 ม. ความหนา 2.0 มม.



รูปที่ 2.45 อุปกรณ์ประกอบของระบบรางเคเบิล



รูปที่ 2.46 อุปกรณ์ประกอบของระบบรางเคเบิลแบบบันได



แบบบันได

แบบด้านล่างมีช่องระบายอากาศ

แบบด้านล่างทึบ

รูปที่ 2.47 รางเคเบิลแบบต่าง ๆ

2.2.4.19 หลักดิน

หลักดิน เป็นจุดที่ใช้ต่อระหว่างวงจรไฟฟ้าหรือบริเวณที่ไฟฟ้ากับดิน หรือส่วนที่เป็นตัวนำ ซึ่งทำหน้าที่แทนดิน หลักดินตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย เป็นดังนี้

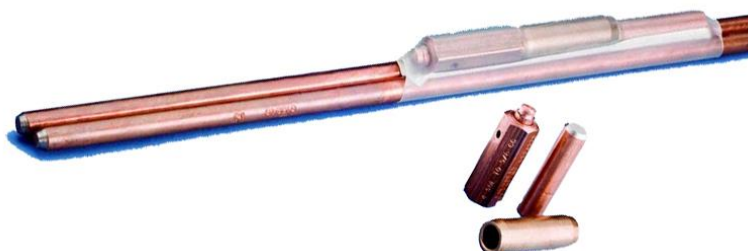
1) แท่งเหล็กหุ้มด้วยทองแดง (copper-clad steel) หรือแท่งทองแดง (solid copper) หรือแท่งเหล็กอาบสังกะสี (hot-dip galvanized steel) ต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5/8 นิ้ว ยาวไม่น้อยกว่า 2.4 ม.

2) แผ่นตัวนำชนิดป้องกันการผุกร่อนที่มีพื้นผิวสัมผัสกับดินไม่น้อยกว่า 1,800 ตร.มม. ในกรณีที่แท่งเหล็กอาบโลหะชนิดกันการผุกร่อนต้องหนาไม่น้อยกว่า 6 มม. หากเป็นโลหะกันการผุกร่อนชนิดอื่นที่ไม่ใช่เหล็กต้องหนาไม่น้อยกว่า 1.5 มม.

3) โครงสร้างอาคารที่เป็นโลหะ มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า ของ วสท. ยอมให้ใช้อาคารที่เป็นโครงโลหะและมีการต่อลงดินอย่างถูกต้อง โดยมีค่าความต้านทานของการต่อลงดินไม่เกิน 5 โอห์ม

4) หลักดินชนิดอื่น ตามที่การไฟฟ้าฯ เห็นชอบ

ทั้งนี้ห้ามใช้วัสดุที่ทำด้วยอะลูมิเนียมหรือโลหะผสมของอะลูมิเนียม เป็นหลักดินหรือสิ่งที่ใช้แทนหลักดิน



รูปที่ 2.48 แท่งหลักดิน

2.3 ข้อกำหนดการเดินสายและวัสดุ

2.3.1 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

ขนาดกระแสคือความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าของสายไฟฟ้าโดยที่อุณหภูมิของสายไฟฟ้าไม่เกินพิกัด ขนาดกระแสของสายเปลี่ยนแปลงตามชนิด ขนาด และรูปแบบการติดตั้งสายไฟฟ้า (รูปแบบการติดตั้งเป็นไปตามตารางที่ 2.7) เมื่อทราบชนิดของสายไฟฟ้าและรูปแบบการติดตั้งจะสามารถเลือกตาราง ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าได้จากตารางที่ 2.6

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าไม่ได้กำหนดตามค่าแรงดันตก ดังนั้นในการใช้งานถึงแม้สายไฟฟ้าจะมีขนาดโตพอที่จะนำกระแสได้โดยปลอดภัยแล้วก็ตาม แต่จะต้องพิจารณาค่าแรงดันตกประกอบด้วย

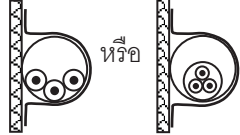
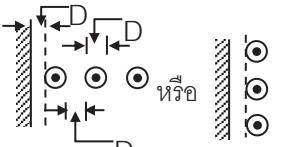
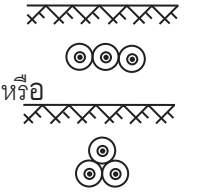
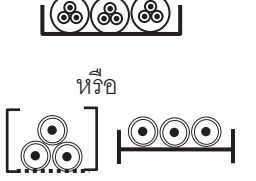
ตารางที่ 2.6 การเลือกใช้ตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

ตารางขนาดกระแสตามชนิดของสายไฟฟ้า		รูปแบบการติดตั้ง (อ้างอิงตารางที่ 2.4)
สาย PVC	สาย XLPE	
ตารางที่ 2.8	ตารางที่ 2.11	กลุ่มที่ 1 & 2 (สายเดินร้อยท่อ)
ตารางที่ 2.9	ตารางที่ 2.9	กลุ่มที่ 4 (สายเดินเกาะผนัง)
ตารางที่ 2.10	-	กลุ่มที่ 4 (สายเดินลอยในอากาศ)
ตารางที่ 2.12	ตารางที่ 2.13	กลุ่มที่ 7 (สายวางบนรางเคเบิล)

หมายเหตุ ตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้าในหนังสือนี้คัดมาเฉพาะที่มีการใช้งานเท่านั้น

ตารางนอกเหนือจากนี้สามารถดูได้จากหนังสือมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556

ตารางที่ 2.7 รูปแบบการติดตั้ง

รูปแบบการติดตั้ง	คำอธิบายวิธีการเดินสาย
กลุ่มที่ 1 	สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรือโลหะ ภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อน หรือผนังกันไฟ
กลุ่มที่ 2 	สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรือโลหะเดินเกาะผนังหรือเพดาน หรือฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกัน
กลุ่มที่ 3 	สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก เดินเกาะผนัง หรือเพดาน ที่ไม่มีสิ่งปิดหุ้มที่คล้ายกัน
กลุ่มที่ 4 	สายเคเบิลแกนเดี่ยวหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก วางเรียงกันแบบมีระยะห่าง เดินบนฉนวนลูกถ้วย ในอากาศ
กลุ่มที่ 5 	สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรือโลหะฝังดิน
กลุ่มที่ 6 	สายแกนเดี่ยว หรือหลายแกน หุ้มฉนวน มีเปลือกนอก ฝังดินโดยตรง
กลุ่มที่ 7 	สายเคเบิลแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก วางบนรางเคเบิล (cable tray) แบบด้านล่างที่บิ รางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือรางเคเบิลแบบแบนได

หมายเหตุ การเดินสายกลุ่มที่ 1 หมายถึงท่อร้อยสายจะหุ้มด้วยฉนวนความร้อนเช่น การเดินสายร้อยท่อวางบนฝ้าเพดานและปิดทับด้วยฉนวนความร้อนอีกชั้นหนึ่ง ความร้อนจะระบายได้ยากขนาดกระแสจึงลดลง ในการเดินสายทั่วไปที่วางบนฝ้าเพดานที่ไม่มีฉนวนความร้อนวางทับบนท่อ หรือการเดินท่อเกาะผนังหรือแม้จะฝังในปูนก็ตามจะจัดเป็นกลุ่มที่ 2 ดังนั้นการเดินสายร้อยท่อโดยส่วนใหญ่จึงจัดเป็นกลุ่มที่ 2

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 5-47)

ตารางที่ 2.8 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน PVC มี/ไม่มีเปลือกนอก

ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินร้อยท่อในอากาศ

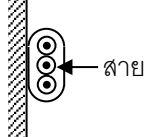
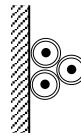
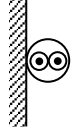
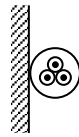
ลักษณะการติดตั้ง	สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน เดินร้อยท่อภายในผ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อน หรือผนังกันไฟ (กลุ่มที่ 1)				สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน เดินร้อยท่อเกาะผนังหรือเพดาน หรือฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกัน (กลุ่มที่ 2)			
จำนวนตัวนำกระแส	2		3		2		3	
	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง								
รหัสชนิดเคเบิล 60227 IEC 01, 60227 IEC 10, NYY, VCT รวมถึงสายที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่มีฉนวนพีวีซี เช่น สายทนไฟ สายไร้ฮาโลเจน และสายควั่นน้อย เป็นต้น								
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)							
1	10	10	9	9	12	11	10	10
1.5	13	12	12	11	15	14	13	13
2.5	17	16	16	15	21	20	18	17
4	23	22	21	20	28	26	24	23
6	30	28	27	25	36	33	31	30
10	40	37	37	34	50	45	44	40
16	53	50	49	45	66	60	59	54
25	70	65	64	59	88	78	77	70
35	86	80	77	72	109	97	96	86
50	104	96	94	86	131	116	117	103
70	131	121	118	109	167	146	149	130
95	158	145	143	131	202	175	180	156
120	183	167	164	150	234	202	208	179
150	209	191	188	171	261	224	228	196
185	238	216	213	194	297	256	258	222
240	279	253	249	227	348	299	301	258
300	319	291	285	259	398	343	343	295
400	-	-	-	-	475	-	406	-
500	-	-	-	-	545	-	464	-

หมายเหตุ 1. ถ้าจำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ปรับค่าขนาดกระแสด้วยค่าจากตารางที่ 2.15

2. ถ้าอุณหภูมิที่ติดตั้งต่างจาก 40 °C ให้ปรับค่าด้วยค่าจากตารางที่ 2.14

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 5-20)

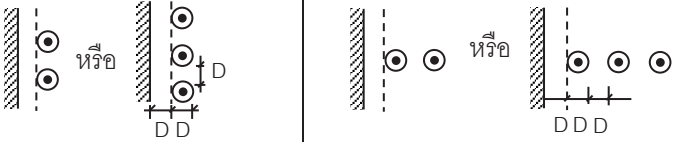
ตารางที่ 2.9 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่นเกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70 °C หรือ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินเกาะผนังในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอก เดินเกาะผนัง หรือเพดาน ที่ไม่มีสิ่งปิดหุ้มที่คล้ายกัน (กลุ่มที่ 3)				
จำนวนตัวนำกระแส	2	ไม่เกิน 3		ไม่เกิน 3	
ลักษณะสาย	แบน	กลม		กลม	
ลักษณะตัวนำ	หลายแกน	แกนเดียว		หลายแกน	
ประเภทฉนวน	PVC	PVC	XLPE	PVC	XLPE
อุณหภูมิตัวนำ	70 °C	70 °C	90 °C	70 °C	90 °C
รูปแบบการติดตั้ง		 หรือ 		 หรือ 	
รหัสชนิดเคเบิล	VAF	NYY	IEC 60502-1	NYY	IEC 60502-1
ขนาดสาย	ขนาดกระแส (แอมแปร์)				
1	14	12	16	12	15
1.5	17	16	21	15	20
2.5	23	22	28	21	27
4	32	29	37	28	36
6	41	37	49	36	47
10	56	51	67	50	65
16	74	69	90	66	87
25	-	90	118	84	108
35	-	112	147	104	134
50	-	145	190	125	163
70	-	186	244	160	208
95	-	227	297	194	253
120	-	264	345	225	293
150	-	304	397	260	338
185	-	348	455	297	386
240	-	411	537	351	455
300	-	474	620	404	524
400	-	552	722	-	-
500	-	629	823	-	-

หมายเหตุ ถ้าอุณหภูมิที่ติดตั้งต่างจาก 40 °C ให้ปรับค่าด้วยค่าจากตารางที่ 2.14

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 5-21)

ตารางที่ 2.10 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 450/750 V. อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	สายเคเบิลแกนเดียวหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก วางเรียงกัน แบบมีระยะห่างถึงผนังและระหว่างเคเบิลไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ (กลุ่มที่ 4)	
รูปแบบการติดตั้ง		
รหัสชนิดเคเบิล	60227 IEC 01, 60227 IEC 10, NYY	
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมป์)	
4	30	37
6	39	48
10	56	67
16	78	92
25	113	127
35	141	157
50	171	191
70	221	244
95	271	297
120	315	345
150	365	397
185	418	453
240	495	535
300	573	617
400	692	741

หมายเหตุ ถ้าอุณหภูมิที่ติดตั้งต่างจาก 40 °C ให้ปรับค่าด้วยค่าจากตารางที่ 2.14

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 5-22)

ตารางที่ 2.11 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินร้อยในท่อในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน เดินร้อยท่อภายในผ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อน หรือผนังกันไฟ (กลุ่มที่ 1)				สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน เดินร้อยท่อเกาะผนังหรือเพดาน หรือฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกัน (กลุ่มที่ 2)			
จำนวนตัวนำ	2		3		2		3	
กระแส	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง								
รหัสชนิดเคเบิล	IEC 60502-1 รวมถึงสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ ที่มีฉนวน XLPE เช่น สายทนไฟ สายไร้ฮาโลเจน และสายควั่นน้อย เป็นต้น							
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)							
1	13	13	12	12	15	15	14	14
1.5	17	17	15	15	21	20	18	18
2.5	24	23	21	20	28	27	25	24
4	32	30	28	27	38	36	34	32
6	41	38	36	35	49	46	44	40
10	56	52	49	46	68	63	60	55
16	74	69	66	62	91	83	80	73
25	96	90	86	81	121	108	106	96
35	119	110	106	99	149	133	131	116
50	144	132	128	118	180	159	159	140
70	182	167	163	149	230	201	202	177
95	219	200	197	179	278	241	245	212
120	253	230	227	207	322	278	284	244
150	289	264	259	236	358	304	311	273
185	329	299	295	268	409	349	349	309
240	386	351	346	315	480	418	410	362
300	442	402	396	360	549	484	468	414
400	-	-	-	-	622	-	531	-
500	-	-	-	-	713	-	606	-

หมายเหตุ 1. ถ้าจำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ปรับค่าขนาดกระแสด้วยค่าจากตารางที่ 2.12

2. ถ้าอุณหภูมิที่ติดตั้งต่างจาก 40 °C ให้ปรับค่าด้วยค่าจากตารางที่ 2.14

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 5-27)

ตารางที่ 2.12 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ ไม่มีฝาปิด หรือรางเคเบิลแบบแบนได้

ลักษณะการติดตั้ง	สายเคเบิลแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก วางบนรางเคเบิล (กลุ่มที่ 7)				
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว				หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง					
รหัสชนิดเคเบิล	60227 IEC 10, NYY และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ ที่มีฉนวนพีวีซี เช่น สายทนไฟ สายไร้ฮาโลเจน และสายควีน้อย เป็นต้น				
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)				
1	-	-	-	-	13
1.5	-	-	-	-	16
2.5	-	-	-	-	22
4	-	-	-	-	30
6	-	-	-	-	37
10	-	-	-	-	52
16	-	-	-	-	70
25	99	96	127	113	88
35	124	119	157	141	110
50	151	145	191	171	133
70	196	188	244	221	171
95	239	230	297	271	207
120	279	268	345	315	240
150	324	310	397	365	278
185	371	356	453	418	317
240	441	422	535	495	374
300	511	488	617	573	432
400	599	571	741	692	-
500	686	652	854	800	-

หมายเหตุ 1. ถ้าจำนวนสายไฟฟ้าบนรางเคเบิลมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ปรับค่าขนาดกระแสด้วยค่าจากตารางที่ 2.13 สำหรับสายแกนเดียว และตารางที่ 2.14 สำหรับสายหลายแกน

2. ถ้าอุณหภูมิที่ติดตั้งต่างจาก 40 °C ให้ปรับค่าด้วยค่าจากตารางที่ 2.11

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 5-30)

ตารางที่ 2.13 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ ไม่มีฝาปิด หรือรางเคเบิลแบบบันได

ลักษณะการติดตั้ง	สายเคเบิลแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก วางบนรางเคเบิล (กลุ่มที่ 7)				
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว				หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง					
รหัสชนิดเคเบิล	IEC 60502-1 รวมถึงสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ ที่มีฉนวน XLPE เช่น สายทนไฟ สายไร้ฮาโลเจน และ สายควั่นน้อย เป็นต้น				
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)				
1	-	-	-	-	16
1.5	-	-	-	-	21
2.5	-	-	-	-	29
4	-	-	-	-	38
6	-	-	-	-	49
10	-	-	-	-	68
16	-	-	-	-	91
25	128	123	166	147	116
35	160	154	206	183	144
50	197	188	250	224	175
70	254	244	321	289	224
95	311	298	391	354	271
120	364	349	455	413	315
150	422	404	525	480	363
185	485	464	602	551	415
240	577	552	711	654	490
300	670	640	821	758	565
400	790	749	987	917	-
500	908	861	1,140	1,064	-

หมายเหตุ 1. ถ้าจำนวนสายไฟฟ้าบนรางเคเบิลมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ปรับค่าขนาดกระแสดังกล่าวจากตารางที่ 2.16 สำหรับสายแกนเดียว และตารางที่ 2.17 สำหรับสายหลายแกน

2. ถ้าอุณหภูมิที่ติดตั้งต่างจาก 40 °C ให้ปรับค่าด้วยค่าจากตารางที่ 2.14

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 5-32)

2.3.1.1 การปรับค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

กรณีที่มีการติดตั้งไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดในแต่ละตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ค่าที่อ่านได้จากตารางจะต้องปรับค่าใหม่ การปรับค่ามี 2 กรณีคือ ปรับค่าเนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบ และเนื่องจากจำนวนกลุ่มวงจร ดังนี้

1) การปรับค่ากระแสเนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบเปลี่ยนไป

กรณีอุณหภูมิโดยรอบบริเวณที่เดินสายไฟฟ้าต่างไปจากค่าที่กำหนดบนหัวตาราง คือ 40°C ต้องปรับค่าขนาดกระแสที่อ่านได้จากตารางใหม่ด้วยการคูณด้วยค่าตามตารางที่ 2.11 ตามชนิดฉนวนของสายไฟฟ้า

ตารางที่ 2.14 ตัวคูณค่าอุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C ใช้กับค่าขนาดกระแสของเคเบิลเมื่อเดินในอากาศ

อุณหภูมิโดยรอบ ($^{\circ}\text{C}$)	ฉนวน	
	PVC	XLPE
21-25	1.22	1.14
26-30	1.15	1.10
31-35	1.08	1.05
36-40	1.00	1.00
41-45	0.91	0.96
46-50	0.82	0.90
51-55	0.70	0.84
56-60	0.57	0.78

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 5-43)

2) การปรับค่ากระแสเนื่องจากจำนวนวงจรของสายไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าที่อ่านได้จากตารางเป็นค่าสำหรับ 1 วงจร (วงจร 1 เฟส หรือ 3 เฟส) กรณีที่จำนวนวงจร (หรือกลุ่มวงจร) เพิ่มขึ้นขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจะลดลง จึงจำเป็นต้องปรับค่าขนาดกระแสที่อ่านได้จากตารางใหม่ด้วยค่าที่กำหนดไว้ในหมายเหตุท้ายตารางขนาดกระแส การนับวงจร (หรือกลุ่มวงจร) จะถือว่าสายไฟฟ้าของวงจรเดียวกันทุกเส้นรวมเป็น 1 วงจร เช่นวงจร 1 เฟสที่ประกอบด้วยสายเส้นไฟและสายศูนย์ (รวมทั้งสายดิน ถ้ามี) นับเป็น 1 วงจร และ 1 วงจรของวงจร 3 เฟสจะประกอบด้วยสายเส้นไฟ 3 เส้นและสายนิวทรัล (รวมทั้งสายดิน ถ้ามี) กรณีเป็นเคเบิลชนิดหลายแกนจำนวนเส้นคือจำนวนวงจร

(1) การปรับค่าขนาดกระแสเมื่อเดินสายร้อยท่อ

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าที่อ่านได้จากตารางเป็นค่าสำหรับ 1 วงจร (วงจร 1 เฟส หรือ 3 เฟส) ถ้าจำนวนวงจรของสายไฟฟ้าในท่อเดียวกันมากกว่า 1 วงจร ต้องปรับค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากค่าที่อ่านได้จากตารางใหม่ด้วยการคูณด้วยค่าจากตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสเนื่องจากจำนวนสาย ที่นำกระแสในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกัน มากกว่า 1 กลุ่มวงจร

จำนวนกลุ่มวงจร	ตัวคูณปรับค่า
2	0.80
3	0.70
4	0.65
5	0.60
6	0.57
7	0.54
8	0.52
9	0.50
10-12	0.45
13-16	0.41
17-20	0.38

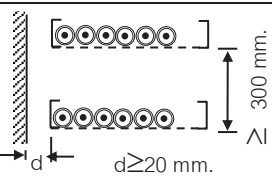
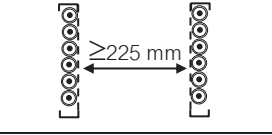
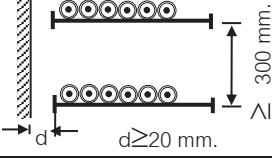
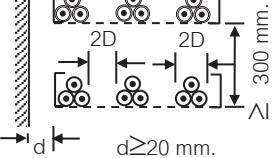
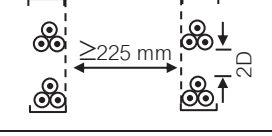
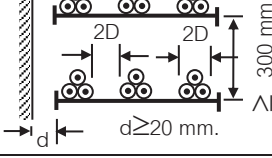
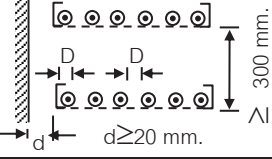
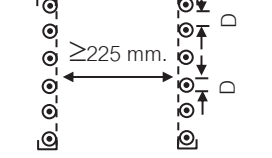
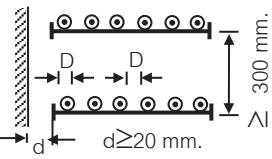
ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 5-8)

(2) การปรับค่าขนาดกระแสเมื่อเดินสายบนรางเคเบิล

ถ้าจำนวนวงจรของสายไฟฟ้าบนรางเคเบิลเดียวกันมากกว่า 1 วงจร ต้องปรับค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากค่าที่อ่านได้จากตารางใหม่ด้วยการคูณด้วยค่าจากตารางที่ 2.16 สำหรับสายเคเบิลแกนเดียว และตารางที่ 2.17 สำหรับสายเคเบิลหลายแกน

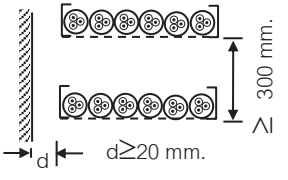
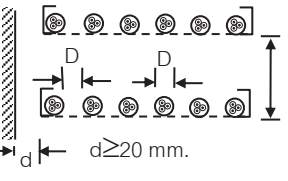
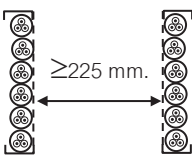
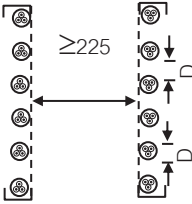
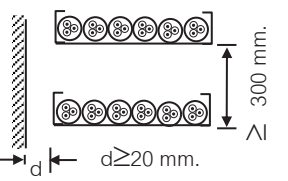
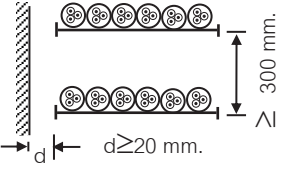
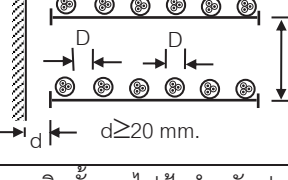
กรณีติดตั้งรางเคเบิลมากกว่า 1 ชั้น การนับจำนวนวงจรจะนับจากชั้นที่มีวงจรมากที่สุด และปรับค่าเคเบิลในรางทุกชั้นด้วยตัวปรับค่าเดียวกัน

ตารางที่ 2.16 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดี่ยววางบนรางเคเบิล เป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร

วิธีการติดตั้ง		จำนวน รางเคเบิล	จำนวนวงจร					
			1	2	3	4	5-6	7-9
รางเคเบิล แบบระบายอากาศ (perforated trays)		1	1.0	0.91	0.87	0.82	0.78	0.77
		2	0.96	0.87	0.81	0.78	0.74	0.69
		3	0.95	0.85	0.78	0.75	0.70	0.65
รางเคเบิล แบบระบายอากาศ วางแนวตั้ง		1	1.0	0.86	0.80	0.75	0.71	0.70
		2	0.95	0.84	0.77	0.72	0.67	0.66
รางเคเบิล แบบแบนได		1	1.0	0.97	0.96	0.94	0.93	0.92
		2	0.98	0.93	0.89	0.88	0.86	0.83
		3	0.97	0.90	0.86	0.83	0.80	0.77
รางเคเบิล แบบระบายอากาศ		1	1	0.98	0.96	0.93	0.89	-
		2	0.97	0.93	0.89	0.85	0.80	-
		3	0.96	0.92	0.86	0.82	0.76	-
รางเคเบิล แบบระบายอากาศ วางแนวตั้ง		1	1.0	0.91	0.89	0.88	0.87	-
		2	1.0	0.90	0.86	0.85	0.83	-
รางเคเบิล แบบแบนได		1	1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	-
		2	0.97	0.95	0.93	0.92	0.91	-
		3	0.96	0.94	0.90	0.89	0.86	-
รางเคเบิล แบบระบายอากาศ		1	1.0	0.93	0.90	0.87	0.83	-
		2	0.97	0.89	0.85	0.81	0.76	-
		3	0.96	0.88	0.82	0.78	0.72	-
รางเคเบิล แบบระบายอากาศ วางแนวตั้ง		1	1.0	0.91	0.89	0.88	0.87	-
		2	0.94	0.90	0.86	0.85	0.83	-
รางเคเบิล แบบแบนได		1	1.0	0.97	0.96	0.96	0.96	-
		2	0.97	0.94	0.93	0.92	0.91	-
		3	0.96	0.93	0.92	0.91	0.88	-

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 5-40)

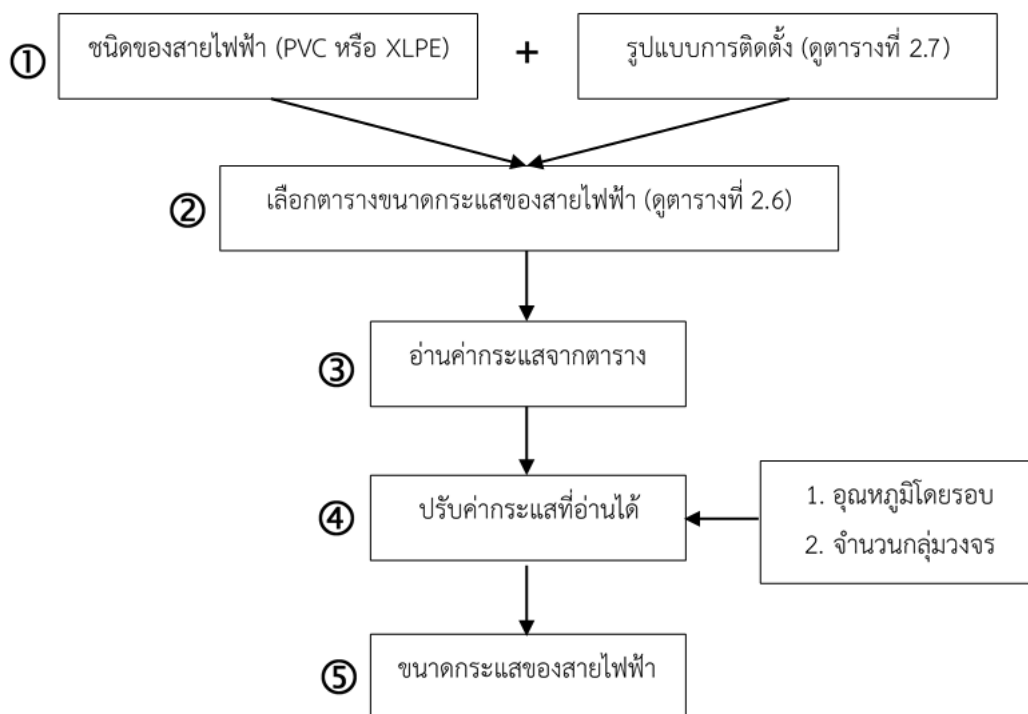
ตารางที่ 2.17 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลหลายแกนวางบนรางเคเบิล เป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร

วิธีการติดตั้ง		จำนวนราง เคเบิล	จำนวนเคเบิล					
			1	2	3	4	5-6	7-9
รางเคเบิลแบบ ระบายอากาศ		1	1.0	0.88	0.82	0.77	0.73	0.72
		2	1.0	0.87	0.80	0.77	0.73	0.68
		3	1.0	0.86	0.79	0.76	0.71	0.66
		4-6	1.0	0.84	0.77	0.73	0.68	0.64
		1	1.0	1.0	0.98	0.95	0.91	-
		2	1.0	0.99	0.96	0.92	0.87	-
		3	1.0	0.98	0.95	0.91	0.85	-
		4-6	1.0	0.96	0.93	0.89	0.84	-
		7-9	1.0	0.94	0.91	0.87	0.82	-
		10-12	1.0	0.92	0.89	0.85	0.80	-
รางเคเบิล แบบระบาย อากาศวางแนวตั้ง		1	1.0	0.88	0.82	0.77	0.73	0.72
		2	1.0	0.88	0.81	0.76	0.71	0.70
		1	1.0	0.91	0.89	0.88	0.87	-
		2	1.0	0.91	0.88	0.87	0.85	-
รางเคเบิล แบบด้านล่างทึบ		1	0.97	0.84	0.78	0.75	0.71	0.68
		2	0.97	0.83	0.76	0.72	0.68	0.63
		3	0.97	0.82	0.75	0.71	0.66	0.61
		4-6	0.97	0.81	0.73	0.69	0.63	0.58
รางเคเบิล แบบบันได		1	1.0	0.87	0.82	0.80	0.79	0.78
		2	1.0	0.86	0.80	0.78	0.76	0.73
		3	1.0	0.85	0.79	0.76	0.73	0.70
		4-6	1.0	0.84	0.77	0.73	0.68	0.64
		1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-
		2	1.0	0.99	0.98	0.97	0.96	-
		3	1.0	0.98	0.97	0.96	0.93	-
		4-6	1.0	0.96	0.94	0.92	0.89	-
		7-9	1.0	0.94	0.91	0.87	0.82	-
		10-12	1.0	0.92	0.89	0.85	0.80	-

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 5-41)

2.3.1.2 ขั้นตอนการหาขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

การหาขนาดกระแสของสายไฟฟ้าให้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้



ขั้นตอนที่ 1

เลือกชนิดของสายไฟฟ้า (PVC หรือ XLPE) และรูปแบบการติดตั้ง (ตารางที่ 2.7)

ขั้นตอนที่ 2

เมื่อทราบชนิดของสายไฟฟ้าและรูปแบบการติดตั้ง จะเลือกตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้าได้ จากตารางที่ 2.6

ขั้นตอนที่ 3

อ่านค่ากระแสจากตารางโดยเลือกช่องตัวนำกระแส 2 เส้นสำหรับวงจร 1 เฟส และตัวนำกระแส 3 เส้นสำหรับวงจร 3 เฟส (และ 3 เฟส 4 สาย) และเลือกว่าเป็นสายแกนเดียวหรือหลายแกน (บางตารางจะแสดงจำนวนตัวนำกระแสและจำนวนแกนของสายไฟฟ้าด้วยรูปเช่น ตารางที่ 2.9)

ขั้นตอนที่ 4

จากค่ากระแสที่อ่านได้ต้องพิจารณาต่อว่าจำเป็นต้องปรับค่าหรือไม่ ดังนี้

- 1) การปรับค่าเนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบ ค่าที่กำหนดในตารางเป็นค่ากระแสที่อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C ถ้าสถานที่ติดตั้งใช้งานมีอุณหภูมิต่างจากนี้ ค่าที่อ่านได้ต้องปรับค่าโดยการคูณด้วยค่าจากตารางที่ 2.14 ตามชนิดของฉนวนของสายไฟฟ้า
- 2) การปรับค่าเนื่องจากจำนวนกลุ่มวงจร (หรือจำนวนวงจร) มากกว่า 1 วงจร ให้คูณปรับค่าตามที่กำหนดไว้ในหมายเหตุท้ายตารางของตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 5

ทำการปรับค่าขนาดกระแสของสายตามค่าที่ได้ตามขั้นตอนที่ 4

ตัวอย่างการหาขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 2.1 วงจร 3 เฟส 4 สาย วงจรหนึ่ง ใช้สายไฟฟ้าชนิด VCT 4 แกน ขนาด 2.5 ตร.ม. เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง (กลุ่มที่ 2) ต้องการหาขนาดกระแสของสายไฟฟ้า กำหนดให้อุณหภูมิโดยรอบของสถานที่ใช้งานเท่ากับ 40 °C

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1 สาย VCT ได้ชนิดของสายไฟฟ้าเป็น PVC และการติดตั้งกลุ่มที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 จากตารางที่ 2.6 เลือกใช้ตารางขนาดกระแส ตารางที่ 2.8

ขั้นตอนที่ 3 อ่านค่ากระแสจากตารางที่ 2.8 เลือกที่กลุ่มที่ 2 ช่องตัวนำกระแส 3 เส้น

สายหลายแกน สายขนาด 2.5 ตร.มม.ได้กระแส 17 A

ขั้นตอนที่ 4 การปรับค่า

4.1 การปรับค่าเนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบ (ตารางที่ 2.14) เท่ากับ 1 เนื่องจาก 40 °C เท่ากัน

4.2 การปรับค่าเนื่องจากจำนวนกลุ่มวงจรเท่ากับ 1 เนื่องจากมีวงจรเดียว

ขั้นตอนที่ 5 ขนาดกระแสเมื่อปรับค่าแล้ว $= 17 \times 1 \times 1 = 17 \text{ A}$

ตัวอย่างที่ 2.2 วงจร 1 เฟส จำนวน 2 วงจร ใช้สายไฟฟ้าชนิด IEC 01 วงจรที่ 1 ใช้สายขนาด 4 ตร.มม. วงจรที่ 2 ใช้สายขนาด 2.5 ตร. มม. เดินรวมกันในท่อโลหะเกาะผนัง (กลุ่มที่ 2) ต้องการหาขนาดกระแสของสายไฟฟ้าแต่ละขนาด กำหนดให้อุณหภูมิโดยรอบเท่ากับ 40 °C

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1 สาย IEC 01 ได้ชนิดของสายไฟฟ้าเป็น PVC และการติดตั้งกลุ่มที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 จากตารางที่ 2.6 เลือกใช้ตารางขนาดกระแส ตารางที่ 2.8

ขั้นตอนที่ 3 อ่านค่ากระแสจากตารางที่ 2.8 ช่องตัวนำกระแส 2 เส้น สายแกนเดียว

สายขนาด 4 ตร.มม.ได้กระแส 28 A และสายขนาด 2.5 ตร.มม.ได้กระแส 21 A

ขั้นตอนที่ 4 การปรับค่า

4.1 การปรับค่าเนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบ (ตารางที่ 2.14) เท่ากับ 1 เนื่องจาก 40 °C เท่ากัน

4.2 การปรับค่าเนื่องจากจำนวนกลุ่มวงจร จากหมายเหตุท้ายตารางที่ 2.8 ให้ปรับค่าด้วยค่าในตารางที่ 2.15 ที่จำนวนกลุ่มวงจร 2 ได้ตัวปรับค่า 0.8

ขั้นตอนที่ 5 ขนาดกระแสเมื่อปรับค่าแล้ว

สายขนาด 4 ตร.มม กระแส $= 28 \times 1 \times 0.8 = 22.4 \text{ A}$

สายขนาด 2.5 ตร.มม กระแส $= 21 \times 1 \times 0.8 = 16.8 \text{ A}$

ตัวอย่างที่ 2.3 วงจร 3 เฟส 4 สายจำนวน 2 วงจร ใช้สาย NYY ชนิดแกนเดี่ยววางบนรางเคเบิลแบบแบนได (กลุ่มที่ 7) โดยสายแต่ละเส้นวางเรียงชิดติดกัน (แนวนอน) โดยวงจรที่ 1 ใช้สายขนาด 120 ตร.มม. วงจรที่ 2 ใช้สายขนาด 185 ตร.มม. ต้องการกำหนดขนาดกระแสของสายไฟฟ้าแต่ละขนาด กำหนดให้อุณหภูมิโดยรอบเท่ากับ 45 °C

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1 สาย NYY ได้ชนิดของสายไฟฟ้าเป็น PVC และการติดตั้งกลุ่มที่ 7

ขั้นตอนที่ 2 จากตารางที่ 2.6 ได้ตารางขนาดกระแส ตารางที่ 2.12

ขั้นตอนที่ 3 อ่านค่ากระแสจากตารางที่ 2.12 สายแกนเดี่ยววางบนรางแบบแบนไดเรียงชิดติดกัน (ดูรูปแบบการติดตั้งขั้วมือในตาราง) สายขนาด 120 ตร.มม. ได้กระแส 279 A และสายขนาด 185 ตร.มม. ได้กระแส 371 A

ขั้นตอนที่ 4 การปรับค่า

4.1 การปรับค่าเนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบ จากตารางที่ 2.14 สาย PVC ที่อุณหภูมิโดยรอบ 45 °C ได้ตัวปรับค่า 0.91

4.2 การปรับค่าเนื่องจากจำนวนกลุ่มวงจร จากหมายเหตุท้ายตารางที่ 2.12 สายแกนเดี่ยวให้ปรับค่าด้วยค่าในตารางที่ 2.16 ดูที่รางแบบแบนได สายวางเรียงชิดติดกัน (แนวนอน) จำนวนรางเคเบิล 1 และจำนวนกลุ่มวงจร 2 ได้ตัวปรับค่า 0.97

ขั้นตอนที่ 5 ขนาดกระแสเมื่อปรับค่าแล้ว

สายขนาด 120 ตร.มม. กระแส = $279 \times 0.91 \times 0.97 = 246.27$ A

สายขนาด 185 ตร.มม. กระแส = $371 \times 0.91 \times 0.97 = 327.48$ A

2.3.2 การเดินสายร้อยท่อโลหะทั้ง 3 ชนิดได้แก่ ท่อโลหะหนา (rigid metal conduit) ท่อโลหะหนาปานกลาง (intermediate metal conduit) ท่อโลหะบาง (electrical metallic tubing)

2.3.2.1 การใช้งาน

ท่อโลหะนี้ใช้กับงานเดินสายทั่วไป ปกติใช้ได้ทั้งในสถานที่แห้ง ชื้นและเปียก การติดตั้งต้องให้เหมาะสมกับสภาพที่ใช้งาน

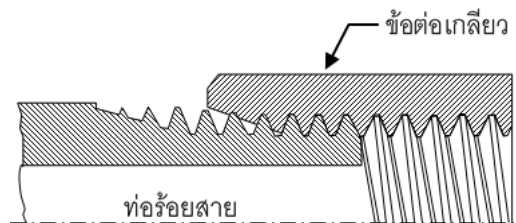
2.3.2.2 ข้อห้ามใช้

- 1) ท่อขนาดเล็กกว่า 15 มม. (1/2 นิ้ว)
- 2) เป็นสายดิน แต่ตัวท่อต้องต่อลงดิน
- 3) สำหรับท่อโลหะบางห้ามเดินฝังดินโดยตรง ห้ามทำเกลียว และห้ามใช้ในระบบฟ้าแรงสูง

2.3.2.3 การติดตั้งใช้งาน

- 1) จำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายต้องไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 2.4

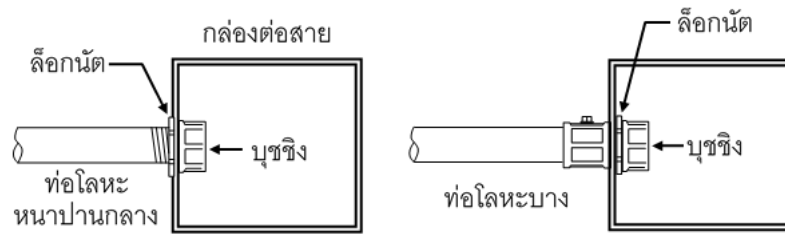
- 2) เมื่อใช้งานในสถานที่เปียก ท่อโลหะและส่วนประกอบที่ใช้ยึดท่อโลหะ เช่น โบลต์ สกรู ฯลฯ ต้องเป็นชนิดที่ทนต่อการผุกร่อนได้
- 3) เมื่อตัดปลายท่อออกต้องลบคมเพื่อป้องกันไม่ให้บาดเจ็บของสาย
- 4) การทำเกลียวท่อต้องใช้เครื่องมือทำเกลียวชนิดปลายเรียว เพื่อให้มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่ดี
- 5) การต่อท่อในอิฐก่อหรือคอนกรีตหากใช้ข้อต่อชนิดไม่มีเกลียวต้องใช้ชนิดฝังในคอนกรีต เมื่อติดตั้งในสถานที่เปียกต้องใช้ชนิดกันฝน การใช้ข้อต่อชนิดฝังในคอนกรีตเพื่อป้องกันน้ำปูนเข้าไปอุดตันในท่อ
- 6) การต่อสาย ทำได้เฉพาะในกล่องต่อสาย หรือกล่องต่อจุดไฟฟ้าที่เปิดออกได้ สะดวก และห้ามต่อสายในท่อร้อยสาย
- 7) การติดตั้งท่อร้อยสายเข้ากับกล่องต่อสายหรือเครื่องประกอบการเดินท่อต้องมีบูช ซึ่งเพื่อป้องกันมิให้น้ำซึมสายชำรุด นอกเสียจากว่ากล่องต่อสายและเครื่องประกอบการเดินท่อได้ออกแบบเพื่อป้องกันการชำรุดของฉนวนไว้แล้ว
- 8) มุมตัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา เพื่อให้สามารถร้อยสายเข้าและดึงออกได้เพื่อการบำรุงรักษา
- 9) ขนาดกระแสน้ำของสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย เป็นไปตามตารางที่ 2.8 หรือ 2.11



รูปที่ 2.49 ข้อต่อเกลียวชนิดปลายเรียว



รูปที่ 2.50 ตัวอย่างการจับยึดท่อแบบต่าง ๆ

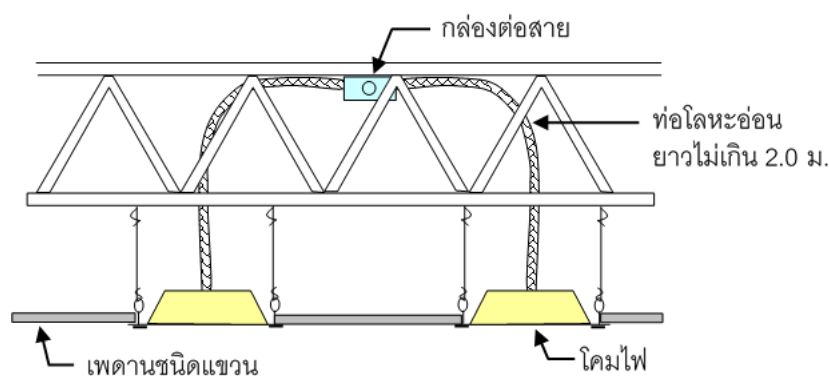


รูปที่ 2.51 ตัวอย่างการใช้บุชชิ่งเมื่อเดินท่อเข้ากล่องต่อสาย

2.3.3 การเดินสายในท่อโลหะอ่อน

2.3.3.1 การใช้งาน

- 1) ในสถานที่แห้ง
 - 2) ในที่เข้าถึงได้และเพื่อป้องกันสายจากความเสียหายทางกายภาพ หรือเพื่อการเดิน
- ซ่อนสาย
- 3) ใช้สำหรับเดินเข้าบริเวณที่ไฟฟ้าหรือกล่องต่อสายและความยาวไม่เกิน 2.0 ม.



รูปที่ 2.52 ตัวอย่างการใช้ท่อร้อยสายโลหะอ่อนเข้าดวงโคม

2.3.3.2 ข้อห้ามใช้

- 1) ในปล่องลิฟต์หรือปล่องขนของ
- 2) ในห้องแบตเตอรี่
- 3) ในบริเวณอันตราย นอกจากในเรื่องบริเวณอันตรายจะระบุให้ใช้ได้
- 4) ฝังในดินหรือฝังในคอนกรีต
- 5) ในสถานที่เปียก นอกจากจะใช้สายไฟฟ้าชนิดที่เหมาะสมกับสภาพการติดตั้ง และในการติดตั้งท่อโลหะอ่อนต้องป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในช่องร้อยสายที่ท่อโลหะอ่อนนี้ต่ออยู่
- 6) ท่อโลหะอ่อนที่มีขนาดเล็กกว่า 15 มม. ยกเว้น ท่อโลหะอ่อนที่ประกอบมากับหัวหลอดไฟและความยาวไม่เกิน 1.8 ม.

7) เป็นตัวนำสำหรับต่อลงดิน แต่ตัวท่อต้องต่อลงดิน

2.3.3.3 การติดตั้งใช้งาน

- 1) จำนวนสายไฟฟ้าสูงสุดในท่อโลหะอ่อนต้องเป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 2.4
- 2) มุมดัดโค้งระหว่างจุดตีสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา
- 3) ต้องติดตั้งระบบท่อให้เสร็จก่อน จึงทำการเดินสายไฟฟ้า
- 4) ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์จับยึดต้องไม่เกิน 1.5 ม. และห่างจากกล่องต่อสายหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่เกิน 0.3 ม.

2.3.4 การเดินสายในท่อโลหะอ่อนกันของเหลว

2.3.4.1 การใช้งาน

ใช้ในที่สภาพการติดตั้ง การใช้งานและการบำรุงรักษาที่ต้องการความอ่อนตัวของท่อ หรือเพื่อป้องกันของแข็ง ของเหลว ไอ หรือในบริเวณอันตราย

2.3.4.2 ข้อห้ามใช้

- 1) ในที่ซึ่งอาจได้รับความเสียหายทางกายภาพ นอกจากจะมีการป้องกันที่เหมาะสม
- 2) ในที่ซึ่งอุณหภูมิของสายไฟฟ้าและอุณหภูมิโดยรอบสูงจนทำให้ท่อเสียหาย เช่น การใช้สายไฟฟ้าชนิดอุณหภูมิใช้งาน 90 °C ท่อที่ใช้งานจะต้องมีอุณหภูมิใช้งานไม่ต่ำกว่า 90 °C ด้วย
- 3) ห้ามใช้ท่อโลหะอ่อนกันของเหลวที่มีขนาดเล็กกว่า 15 มม. หรือใหญ่กว่า 100 มม.
- 4) ห้ามใช้เป็นตัวนำสำหรับต่อลงดิน แต่ตัวท่อจะต้องต่อลงดินด้วย

2.3.4.3 การติดตั้งใช้งาน

- 1) จำนวนสายไฟฟ้าสูงสุดในท่อโลหะอ่อนกันของเหลวต้องไม่เกินตามที่กำหนดในตารางที่ 2.4
- 2) มุมดัดโค้งระหว่างจุดตีสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา
- 3) ต้องติดตั้งระบบท่อให้เสร็จก่อน จึงทำการเดินสายไฟฟ้า
- 4) ข้อต่อยึดต้องเป็นชนิดที่ได้รับการรับรองเพื่อใช้กับงานชนิดนี้เท่านั้น
- 5) ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์จับยึดต้องไม่เกิน 1.50 ม. และห่างจากกล่องต่อสายหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่เกิน 0.30 ม.

2.3.5 การเดินสายในท่อโลหะแข็ง

ท่อโลหะแข็งที่มีใช้งานทั่วไปคือท่อ PVC, uPVC และ HDPE ท่อโลหะแข็งและเครื่องประกอบเดินท่อ ต้องใช้วัสดุที่เหมาะสม ทนต่อความชื้น สภาวะอากาศและสารเคมี สำหรับท่อที่ใช้เหนือดินต้องมีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง ทนแรงกระแทกและแรงอัด ไม่บิดเบี้ยวเพราะความร้อนภายใต้สภาวะที่อาจเกิดขึ้นเมื่อใช้งาน ในสถานที่ใช้งานซึ่งท่อร้อยสายมีโอกาสถูกแสงแดดโดยตรงต้องใช้ท่อร้อยสายชนิดทนต่อแสงแดด สำหรับท่อที่ใช้ใต้ดินวัสดุที่ใช้ต้องทนความชื้น ทนสารที่ทำให้ผุกร่อนและมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะ

ทนแรงกระแทกได้โดยไม่เสียหาย ถ้าใช้ฝังดินโดยตรงโดยไม่มีคอนกรีตหุ้ม วัสดุที่ใช้ต้องสามารถทนน้ำหนักกดที่อาจเกิดขึ้นภายหลังการติดตั้งได้

2.3.5.1 การใช้งาน

- 1) เดินซ่อนในผนัง พื้นและเพดาน
- 2) ในบริเวณที่ทำให้เกิดการผุกร่อนและเกี่ยวข้องกับสารเคมี ถ้าท่อและเครื่องประกอบการเดินท่อได้ออกแบบไว้สำหรับใช้งานในสภาพดังกล่าว
- 3) ในที่เปียกหรือชื้นซึ่งได้จัดให้มีการป้องกันน้ำเข้าไปในท่อ
- 4) ในที่เปิดเผย ซึ่งพ้นจากความเสียหายทางกายภาพ

2.3.5.2 ข้อห้ามใช้

- 1) ในบริเวณอันตราย นอกจากจะระบุไว้ในเรื่องบริเวณอันตราย
- 2) ใช้เป็นเครื่องแขวนและจับยึดดวงโคม
- 3) อุณหภูมิโดยรอบหรืออุณหภูมิใช้งานของสายเกินกว่าอุณหภูมิของท่อที่ระบุไว้
- 4) ในโรงมหรสพ นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่น
- 5) ห้ามใช้ท่อโลหะแข็งที่มีขนาดเล็กกว่า 15 มม.

2.3.5.3 การติดตั้งใช้งาน

- 1) เมื่อเดินท่อเข้ากล่องหรือส่วนประกอบอื่น ๆ ต้องจัดให้มีบุชชิ่ง หรือมีการป้องกันไม่ให้ฉนวนของสายชำรุด
- 2) จำนวนสายไฟฟ้าในท่อโลหะแข็งต้องไม่เกินตามที่กำหนดในตารางที่ 2.4
- 3) มุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา
- 4) ต้องติดตั้งระบบท่อให้เสร็จก่อน จึงทำการเดินสายไฟฟ้า
- 5) ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย เป็นไปตามตาราง 2.8 หรือ 2.11

2.3.6 การเดินสายในรางเดินสาย

2.3.6.1 การใช้งาน

- 1) ใช้กับการเดินสายในที่เปิดเผย และในพื้นที่ที่สามารถเข้าถึงได้ภายหลังการติดตั้งใช้งานแล้ว เพื่อให้สามารถเข้าบำรุงรักษาเช่นเปลี่ยนสาย ได้ตลอดความยาวของรางเดินสาย ดังนั้น จึงไม่สามารถใช้ติดตั้งบนฝ้าเพดานที่ไม่สามารถเข้าถึงรางเดินสายได้ภายหลังการติดตั้ง
- 2) รางเดินสายสามารถติดตั้งใช้งานได้ทั้งภายในอาคารและนอกอาคาร การติดตั้งใช้งานภายนอกอาคารต้องเป็นชนิดกันฝน และทนต่อสภาพอากาศได้ดี

2.3.6.2 ข้อห้ามใช้

- 1) ในบริเวณที่อาจเกิดความเสียหายทางกายภาพได้ภายหลังการติดตั้งเช่น บริเวณที่อาจเกิดกระแทกอย่างรุนแรง บริเวณที่มีไอกรดทำให้เกิดการผุกร่อน การใช้งานในบริเวณอันตรายต้องดูรายละเอียดในเรื่องบริเวณอันตรายประกอบด้วย

2) ห้ามใช้รางเดินสายเป็นสายดิน แต่รางเดินสายโลหะต้องต่อลงดินด้วย

2.3.6.3 การติดตั้งใช้งาน

1) จำนวนสายไฟฟ้าในรางเดินสายคิดจากพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้ารวมฉนวนและเปลือกทุกเส้น เมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 20% ของพื้นที่หน้าตัดภายในของรางเดินสาย การคิดพื้นที่หน้าตัดของสายจะคิดสายไฟฟ้าทุกเส้นที่เดินในรางเดินสายรวมทั้งสายดินด้วย

2) รางเดินสายที่ติดตั้งในแนวนอน ต้องจับยึดอย่างมั่นคงทุกระยะไม่เกิน 1.5 เมตร แต่กรณีที่เป็นอาจมากกว่าได้แต่ต้องไม่เกิน 3 เมตร

3) รางเดินสายที่ติดตั้งในแนวตั้ง ต้องจับยึดทุกระยะไม่เกิน 4.5 เมตร ระหว่างจุดจับยึดห้ามมีจุดต่อของรางมากกว่า 1 จุด จุดจับยึดที่ปลายรางต้องห่างจากปลายไม่เกิน 1.5 เมตร สายไฟฟ้าในรางเดินสายแนวตั้งจะต้องมีการจับยึดด้วยเช่นกัน

4) การต่อสายในรางเดินสายสามารถทำได้ แต่ต้องเป็นตำแหน่งที่เปิดฝารางได้

5) ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าในรางเดินสาย เป็นไปตามตารางที่ 2.8 หรือ 2.11 ช่องตัวนำกระแส 3 เส้น แต่จำนวนสายไฟฟ้านับเฉพาะเส้นที่มีกระแสไหล ต้องไม่เกิน 30 เส้น

ตัวอย่าง การหาขนาดรางเดินสายและกระแสของสายไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 2.4 รางเดินสายประกอบด้วยสาย IEC 01 สายขนาด 35 ตร.มม. จำนวน 12 เส้น และสายขนาด 10 ตร.มม. จำนวน 6 เส้น ต้องการหาขนาดรางเดินสาย และขนาดกระแสของสายไฟฟ้าแต่ละขนาด

วิธีทำ

ขนาดพื้นที่หน้าตัดสายไฟฟ้าพร้อมฉนวนหาได้จากตารางผู้ผลิต ดังนี้

สายขนาด 35 ตร.มม. พื้นที่หน้าตัดเส้นละ 93 ตร.มม.

สายขนาด 10 ตร.มม. พื้นที่หน้าตัดเส้นละ 35.3 ตร.มม.

ได้พื้นที่หน้าตัดรวมทั้งหมด $= (93 \times 12) + (35.3 \times 6) = 1327.8$ ตร.มม.

พื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟฟ้าต้องไม่เกิน 20% ของราง จะได้

พื้นที่หน้าตัดรางเดินสาย $= 1327.8 \div 0.2 = 6639$ ตร.มม.

หรือใช้รางเดินสายขนาด 75 × 100 มม. (7,500 ตร.มม.)

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า จากตารางที่ 2.5 กลุ่มที่ 2 ช่องตัวนำกระแส 3 เส้น สายแกนเดียว ได้ขนาดกระแสของสายดังนี้

สายขนาด 35 ตร.มม. กระแส 96 A

สายขนาด 10 ตร.มม. กระแส 44 A

2.3.7 การเดินสายบนรางเคเบิล

2.3.7.1 การใช้งาน

เนื่องจากรางเคเบิลเป็นรางเปิด โดยปกติไม่มีฝาครอบ จึงไม่สามารถป้องกันสายไฟฟ้าจากความเสียหายทางกายภาพได้ สายไฟฟ้าที่ใช้งานจึงต้องมีความแข็งแรง ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ จึงกำหนดสายบางชนิดและบางขนาดเท่านั้นที่สามารถวางบนรางเคเบิลได้ มีข้อกำหนดที่สำคัญ ดังนี้

1) สายไฟฟ้าที่เดินในรางเคเบิล ต้องเป็นดังนี้

(1) สายชนิดเอ็มไอ (MI) เอ็มซี (MC) และสายแบบมีปลอก (armored cable)

(2) สายเดี่ยวชนิดมีเปลือกนอกเช่นสาย IEC 01, NYY และ VCT แต่ขนาด

ต้องไม่เล็กกว่า 25 ตร.มม.

(3) สายดิน ทั้งที่มีฉนวนและเปลือย (ไม่กำหนดให้ต้องมีเปลือก)

(4) สายหลายแกนวางได้ทุกขนาด

(5) สายควบคุมต่าง ๆ (control cable) วางได้ทุกขนาด

(6) ท่อร้อยสายชนิดต่าง ๆ

2) การใช้งานในบริเวณอันตรายต้องดูเรื่องบริเวณอันตรายประกอบด้วย

3) การใช้งานในบริเวณที่ถูกแสงแดดโดยตรง ต้องใช้สายไฟฟ้าชนิดที่ทนแสงแดดได้

หรือมีวิธีป้องกันที่เหมาะสม

2.3.7.2 ข้อห้ามใช้

1) ห้ามใช้เดินสายในปล่องลิฟต์ หรือสถานที่ที่อาจเกิดความเสียหายทางกายภาพ

2) ห้ามใช้เป็นสายดิน แต่รางเคเบิลต้องต่อลงดินด้วย

3) ห้ามติดตั้งท่อสำหรับงานอื่นเช่นท่อน้ำ ท่อก๊าซ ในรางเคเบิลที่ใช้สำหรับงานไฟฟ้า

2.3.7.3 การติดตั้งใช้งาน

1) รางเคเบิลต้องมีผนังด้านข้าง ไม่มีส่วนแหลมคมที่อาจบาดสาย และมีการป้องกันการ

การผุกร่อนที่เหมาะสม

2) ต้องมีความต่อเนื่องโดยตลอดทั้งทางกลและทางไฟฟ้า

3) ห้ามวางสายเคเบิลแรงสูงและแรงต่ำในรางเดียวกัน ถ้าจำเป็นต้องมีแผ่นวัสดุที่ไม่

ติดไฟกัน

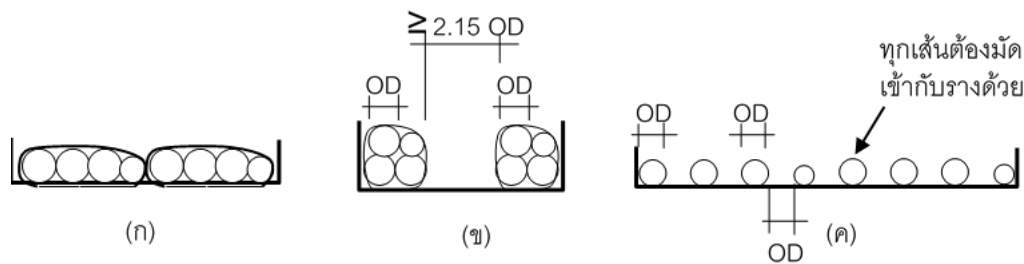
4) ต้องติดตั้งในที่เปิดโล่งและเข้าถึงได้ภายหลังการติดตั้ง และเข้าบำรุงรักษาได้

ตลอดความยาว กรณีวางซ้อนกัน ต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 30 ซม.

5) สามารถต่อสายในรางเคเบิล โดยจุดต่อสายต้องไม่สูงเลยความสูงของราง

6) การเดินสายเคเบิลแกนเดียวในรางเคเบิล ต้องจัดเป็นกลุ่ม ในแต่ละกลุ่มต้องมีสาย

ของวงจรเดียวกันครบทุกเฟสรวมทั้งสายนิวทรัลด้วย ในแต่ละกลุ่มสายต้องมีมัดรวมเข้าด้วยกันและยึดติดกับรางด้วย เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของสายเนื่องจากกระแสลัดวงจร



รูปที่ 2.53 ตัวอย่างการวางสายแบบต่าง ๆ บนรางเคเบิล

ในรูป (ก) เป็นการวางสายเรียงกันแบบชั้นเดียว สามารถประหยัดขนาดรางได้ แต่การระบายความร้อนไม่ดี ดังนั้นเมื่อจำนวนชุดของสายมากขึ้นขนาดกระแสของสายจะลดลงมาก

ในรูป (ข) เป็นการวางแบบเป็นกลุ่มคือ ในแต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยสายของวงจรทุกเส้น ในตัวอย่างจะเป็นสายวงจรทั้ง 3 เฟส และสายนิวทรัลด้วย การวางจะต้องให้แต่ละกลุ่มมีระยะห่างกันไม่น้อยกว่า 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (OD) ของสายในกลุ่มเส้นที่ใหญ่ที่สุด

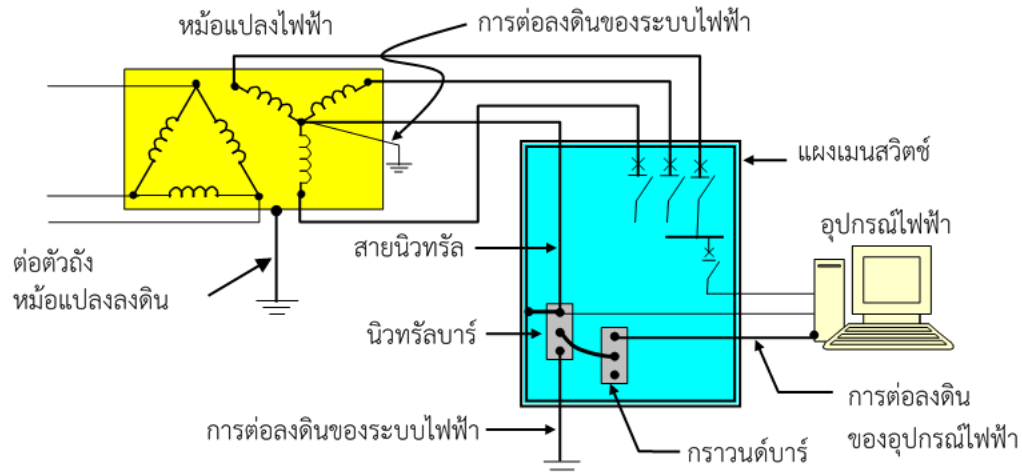
ในรูป (ค) เป็นการวางสายแบบเส้นเว้นเส้น แต่ละเส้นจะมีระยะห่างไม่น้อยกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (OD) ของสายเส้นใหญ่ที่อยู่ใกล้กัน เป็นการวางที่จะได้ขนาดกระแสของสายสูงที่สุด แต่ขนาดของรางเคเบิลก็ต้องใหญ่ตามเช่นกัน การใช้งานจึงต้องพิจารณาทั้งสถานที่ติดตั้งและค่าใช้จ่ายด้วย

7) รางเคเบิลสามารถวางซ้อนกันได้ตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งฯ แต่ระยะห่างระหว่างรางต้องไม่ต่ำกว่า 30 ซม.

8) ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าเป็นไปตามตารางที่ 2.12 และ 2.13 และต้องปรับค่าเนื่องจากจำนวนกลุ่มวงจรมากกว่า 1 วงจรด้วย

2.4 การต่อลงดิน

การต่อลงดิน หมายถึง การต่อตัวนำระหว่างวงจรไฟฟ้า หรือ บริภัณฑ์ไฟฟ้ากับดิน หรือส่วนที่เป็นตัวนำซึ่งทำหน้าที่แทนดิน เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับบุคคลที่อาจไปสัมผัสส่วนของบริภัณฑ์ที่มีแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากกระแสไฟฟ้ารั่ว หรือจากการเหนี่ยวนำ และเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับบริภัณฑ์ไฟฟ้าเมื่อเกิดลัดวงจรลงดิน



รูปที่ 2.54 ระบบการต่อลงดิน

ระบบการต่อลงดิน ตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ของ วสท. แบ่งการต่อลงดินออกเป็น 2 ส่วนคือ การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า และการต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า (หรือบริเวณไฟฟ้า) มีข้อกำหนดที่สำคัญดังนี้

2.4.1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

2.4.1.1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้า

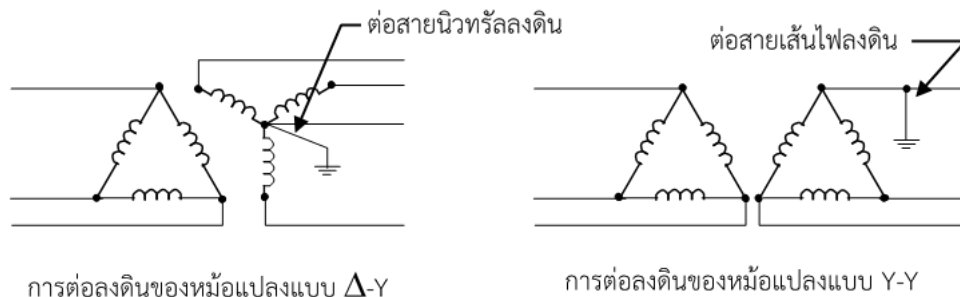
ระบบไฟฟ้ามีทั้งที่ต่อลงดินและไม่ต่อลงดิน แต่ละระบบมีวัตถุประสงค์ต่างกัน การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันเกิน 50 โวลต์ แต่ไม่เกิน 1,000 โวลต์ เป็นดังนี้

- 1) ระบบ 3 เฟส 4 สาย หม้อแปลงไฟฟ้าที่ด้านแรงต่ำเป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย

การต่อระบบไฟฟ้าลงดินจะต่อสายเส้นนิวทรัล (สายศูนย์) ลงดิน

- 2) ระบบ 3 เฟส 3 สาย หม้อแปลงไฟฟ้าที่ด้านแรงต่ำเป็นระบบเดลต้า จะเป็นระบบ

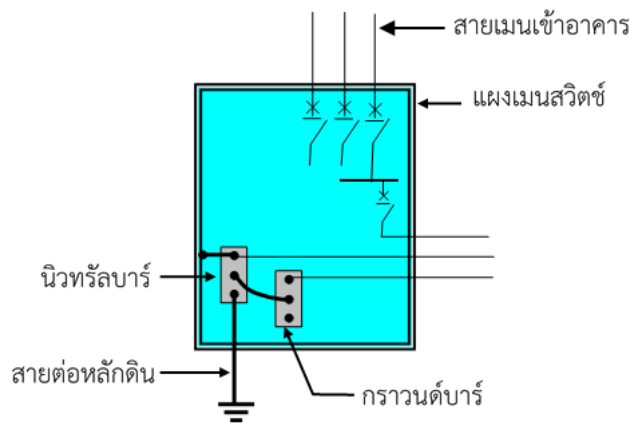
3 สาย การต่อลงดินสามารถเลือกสายไฟด้านแรงต่ำเส้นเฟสเส้นใดก็ได้ต่อลงดิน



รูปที่ 2.55 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าที่มีการต่อลงดินที่หม้อแปลงไฟฟ้าแล้ว ภายในอาคารจะต้องต่อลงดินอีกที่เมนสวิตช์ การต่อลงดินทำได้โดยใช้สายไฟฟ้าต่อระหว่างสายนิวทรัลหรือสายศูนย์ (หรือบัสบาร์) กับหลักดินที่ปักอยู่ใกล้กับตำแหน่งที่ตั้งแผงเมนสวิตช์ สายเส้นที่ต่อระหว่างวงจรไฟฟ้ากับหลักดินนี้เรียกว่าสายต่อหลักดิน กรณีที่บัสบาร์นิวทรัลต่อฝากกับกราวด์บาร์สายต่อหลักดินอาจไม่ต่อกับนิวทรัลบาร์แต่ย้ายมาต่อกับกราวด์บาร์ก็ได้ หลังจากเมนสวิตช์นี้สายนิวทรัลห้ามต่อลงดินอีก

กรณีผู้ใช้ไฟฟ้าติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าของตัวเองภายในอาคาร (หม้อแปลงอยู่ในอาคาร) การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าอาจทำที่แผงเมนสวิตช์ที่เดียวก็ได้



รูปที่ 2.56 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่เมนสวิตช์ในอาคาร

2.4.1.2 วงจรและระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ห้ามต่อลงดิน

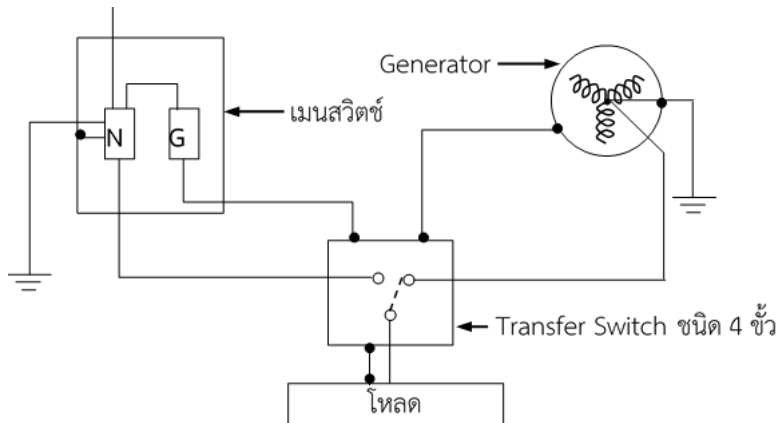
1) วงจรไฟฟ้าของปั้นจั่นที่ใช้งานอยู่เหนือวัสดุเส้นใยที่อาจลุกไหม้ได้ ซึ่งในบริเวณอันตราย ห้ามต่อลงดิน เพราะการต่อลงดินอาจเกิดประกายไฟจากการลัดวงจรลงดินได้ ในสภาพการใช้งาน อาจมีเส้นใยเกาะติดที่มอเตอร์ไฟฟ้า ดังนั้นประกายไฟจะเป็นสาเหตุให้เกิดการลุกไหม้ซึ่งเป็นอันตราย

2) วงจรไฟฟ้าที่กำหนดให้ใช้สำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อรักษาสุขภาพ มีจุดประสงค์เพื่อช่วยชีวิตในบางพื้นที่ของโรงพยาบาลเช่น ห้องผ่าตัด จะต้องใช้ระบบไฟฟ้าเป็นระบบไม่ต่อลงดิน โดยทั่วไป ระบบนี้เป็นระบบที่ใช้ไฟจากหม้อแปลงลูกเดียวกับระบบทั่วไป แต่สามารถทำให้เป็นระบบไฟฟ้าไม่ต่อลงดินได้โดยการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็ก เป็นหม้อแปลงชนิดแยกขดลวด อาจไม่ต้องการปรับเปลี่ยนแรงดัน เช่นด้านไฟเข้าเป็น 230 โวลต์ และด้านไฟออกก็เป็น 230 โวลต์ เช่นกัน หม้อแปลงจึงทำหน้าที่กั้นแยกระบบไฟฟ้าออกจากกัน

2.4.1.3 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

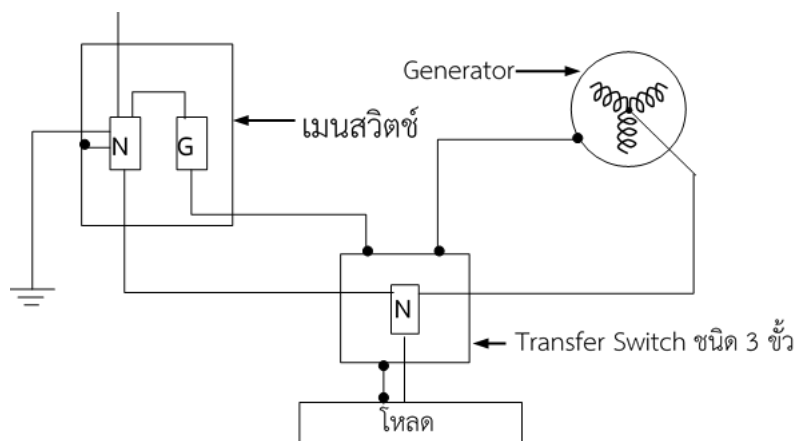
กรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบการต่อลงดินเป็นดังนี้

- 1) ระบบที่ใช้สวิตช์สับเปลี่ยน (transfer switch) แบบ 4 ขั้ว ซึ่งจะตัดไฟทั้ง 4 เส้น รวมสายนิวทรัลด้วย ระบบนี้ถือเป็นระบบจ่ายไฟแยกต่างหาก การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าเป็นไปตามรูปที่ 2.57



รูปที่ 2.57 การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อใช้สวิตช์สับถ่ายชนิด 4 ขั้ว
(แสดงเฉพาะสายศูนย์และสายดินเท่านั้น)

- 2) กรณีที่ใช้สวิตช์สับเปลี่ยนเป็นแบบ 3 ขั้ว สายนิวทรัลของระบบไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ กับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต่อกันอยู่ตลอดเวลา จึงไม่ถือเป็นระบบจ่ายไฟแยกต่างหาก การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าเป็นไปตามรูปที่ 2.58



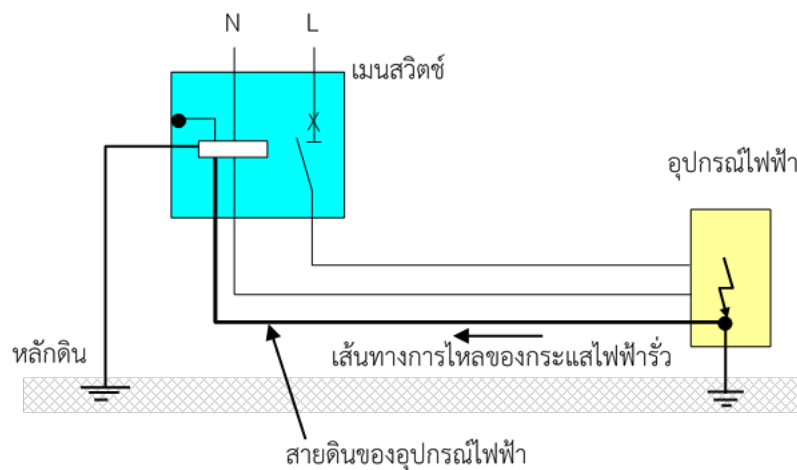
รูปที่ 2.58 การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อใช้สวิตช์สับถ่ายชนิด 3 ขั้ว
(แสดงเฉพาะสายศูนย์และสายดินเท่านั้น)

2.4.2 การต่อลงดินของอุปกรณ์หรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า

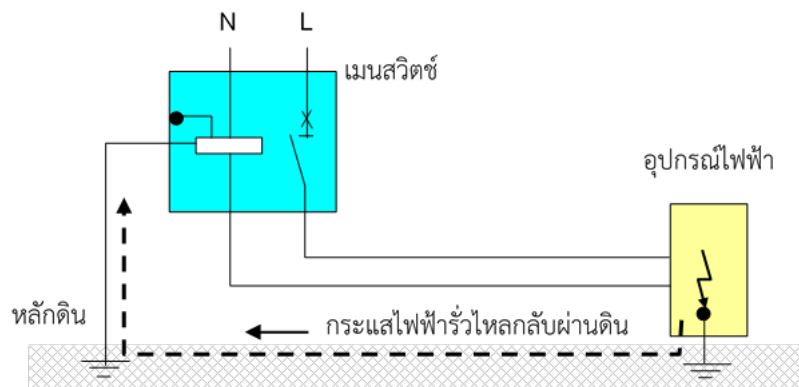
2.4.2.1 วิธีการต่อลงดิน

การต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า มีจุดประสงค์เพื่อลดอันตรายจากการสัมผัสอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกิดไฟฟ้ารั่ว และลดความเสียหายของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยจัดเส้นทางให้กระแสไฟฟ้ารั่วที่เครื่องใช้ไฟฟ้าสามารถไหลกลับได้สะดวกผ่านสายไฟฟ้าที่มีความต้านทานต่ำ เนื่องจากเส้นทางไหลกลับมีความต้านทานต่ำ กระแสไฟฟ้ารั่วที่ไหลกลับจึงมีค่าสูง ทำให้เครื่องป้องกันกระแสเกินปลดวงจรได้เร็ว การต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้าทำโดยการเดินสายดินจากอุปกรณ์ไฟฟ้ามาต่อลงดินที่เมนสวิตช์โดยต่อเข้ากับนิวทรัลบาร์ที่ได้ต่อลงดินไว้แล้ว สำหรับแผงสวิตช์ขนาดใหญ่จะมีกราวนด์บาร์ด้วย สายดินทั้งหมดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต่อเข้ากับกราวนด์บาร์นี้ และระหว่างกราวนด์บาร์กับนิวทรัลบาร์จะต่อกันด้วยสายไฟฟ้า สายเส้นนี้เรียกว่าสายต่อฝาก

การต่อลงดินโดยต่อลงที่อุปกรณ์ไฟฟ้าโดยตรงโดยไม่เดินสายดินไปที่แผงเมน เป็นการต่อลงดินที่ไม่ถูกต้อง เมื่อเกิดไฟรั่วกระแสไฟฟ้าจะไหลกลับผ่านทางดินซึ่งมีความต้านทานสูง กระแสจึงไหลน้อยจนเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่ปลดวงจร หรือปลดวงจรช้าจนเป็นอันตรายต่อบุคคล และอุปกรณ์ไฟฟ้าก็จะได้รับความเสียหายสูง



รูปที่ 2.59 การต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า



รูปที่ 2.60 การต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ถูกต้อง
(กระแสรั่วไหลกลับทางดินซึ่งมีความต้านทานสูง)

5) สายต่อฝากด้านไฟออก ใช้สำหรับต่อฝากระหว่างอุปกรณ์การเดินสายกับแผงสวิตช์หรือระหว่างอุปกรณ์การเดินสายด้วยกัน รวมทั้งสายต่อฝากระหว่างแผงสวิตช์กับกราวด์บาร์ (แผงสวิตช์ที่ไม่ใช่เป็นเมนสวิตช์) การต่อฝากอาจใช้อุปกรณ์การเดินสายหรือสายไฟฟ้าก็ได้ ถ้าใช้เป็นสายไฟฟ้าจะกำหนดจากขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรนั้น ตามตารางที่ 2.19 การพิจารณาจะดูว่าเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรลงดิน กระแสไฟฟ้าจะไหลมาจากเครื่องป้องกันกระแสเกินตัวใด

6) ขนาดสายดินของวงจรมอเตอร์ ขนาดสายดินของวงจรมอเตอร์ กำหนดตามตารางที่ 2.19 โดยกำหนดจากขนาดเครื่องป้องกันโหลดเกินของมอเตอร์ การกำหนดจากขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้นจะได้สายดินขนาดใหญ่เกินความจำเป็น เนื่องจากในวงจรมอเตอร์นั้นเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำหน้าที่เป็นเครื่องป้องกันการลัดวงจร โดยมีเครื่องป้องกันโหลดเกินทำหน้าที่ป้องกันกระแสเกิน

ตารางที่ 2.18 ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ขนาดตัวนำประธานทองแดง (ตร.มม.)	ขนาดเล็กสุดของสายต่อหลักดินทองแดง (ตร.มม.)
ไม่เกิน 35	10
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	16
เกิน 50 แต่ไม่เกิน 95	25
เกิน 95 แต่ไม่เกิน 185	35
เกิน 185 แต่ไม่เกิน 300	50
เกิน 300 แต่ไม่เกิน 500	70
เกิน 500	95

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 4-1)

ตารางที่ 2.19 ขนาดต่ำสุดของสายดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของ เครื่องป้องกันกระแสเกิน ไม่เกิน (แอมแปร์)	ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า เป็นสายทองแดง (ตร.มม.)
20	2.5
40	4
70	6
100	10
200	16
400	25
500	35
800	50
1000	70
1250	95
2000	120
2500	185
4000	240
6000	400

ที่มา : วสท. , มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 4-2)

ตัวอย่าง การกำหนดขนาดสายดินต่าง ๆ

ตัวอย่างที่ 2.5 อาคารหลังหนึ่งใช้สายเมนเดินเข้าอาคารเป็นสายขนาด 400 ตร.มม. เฟสละ 2 เส้น เดินบนรางเคเบิลจึงกำหนดขนาดสายต่อหลักดิน และสายต่อฝากที่ต่อรางเคเบิลเข้ากับแผงเมนสวิตช์

วิธีทำ

สายต่อหลักดิน

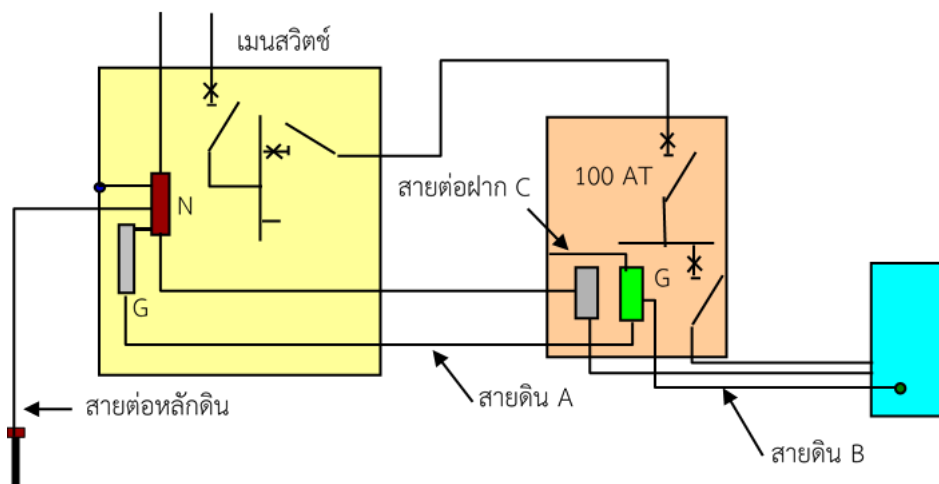
จากตารางที่ 2.15 สายเมนขนาด 800 ตร.มม. จะได้สายต่อหลักดินขนาด 95 ตร.มม.

สายต่อฝากหลัก

คิดจากขนาดสายเมนเข้าอาคารเฟสเดียวคือขนาด $2 \times 400 = 800$ ตร.มม. มีขนาดใหญ่กว่าที่ระบุในตารางที่ 2.15 ขนาดสายต่อฝากหลักจึงต้องคำนวณโดยต้องไม่เล็กกว่า 12.5% ของขนาดสายเมน

ขนาดสายเมนคือ 800 ตร.มม. ขนาด 12.5% ของสายเมนคือ 100 ตร.มม. ดังนั้นสายต่อฝากจะต้องไม่เล็กกว่า 100 ตร.มม. เลือกใช้ขนาดที่มีขายในท้องตลาดคือขนาด 120 ตร.มม.

ตัวอย่างที่ 2.6 จากรูป จงกำหนดขนาดสายดิน A, B และ สายต่อฝาก C



วิธีทำ

ขนาดสายดิน A กำหนดจากเครื่องป้องกันกระแสเกิน ขนาด 100 A ตามตารางที่ 2.16 ได้สายดินขนาด 10 ตร.มม.

ขนาดสายดิน B กำหนดจากเครื่องป้องกันกระแสเกิน ขนาด 30 A ตามตารางที่ 2.16 ได้สายดินขนาด 4 ตร.มม.

ขนาดสายต่อฝาก C กำหนดจากเครื่องป้องกันกระแสเกิน ขนาด 100 A ตามตารางที่ 2.16 ได้สายดินขนาด 10 ตร.มม.

ตัวอย่าง การกำหนดขนาดสายดินของมอเตอร์

ตัวอย่างที่ 2.7 สายป้อนจ่ายโหลดให้มอเตอร์ 2 เครื่อง ดังนี้

มอเตอร์ M1 มีกระแสโหลดเต็มที่เท่ากับ 40 แอมแปร์

มอเตอร์ M2 มีกระแสโหลดเต็มที่เท่ากับ 60 แอมแปร์

ถ้าเครื่องป้องกันโหลดเกินของมอเตอร์ ปรับตั้งไว้ที่ 115% ของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

จงกำหนด

1. ขนาดสายดินของมอเตอร์แต่ละตัว

2. ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ของสายป้อนชุดนี้มีขนาด 200 แอมแปร์ จงกำหนดขนาดสายดินของ

แผงสวิตช์นี้ด้วย

วิธีทำ

การปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน เป็นดังนี้

มอเตอร์ M1 ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน $= 40 \times 1.15 = 46 \text{ A}$

มอเตอร์ M2 ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน $= 60 \times 1.15 = 69 \text{ A}$

จากตารางที่ 2.16 หาขนาดสายดินได้ดังนี้

มอเตอร์ M1 ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 46 A ได้ขนาดสายดิน 6 ตร.มม.

มอเตอร์ M2 ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน 69 A ได้ขนาดสายดิน 6 ตร.มม.

ขนาดสายดินของแผงสวิตช์ กำหนดจากขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน

จากตารางที่ 2.16 ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน 200 A ได้ขนาดสายดิน 16 ตร.มม.

2.4.3 อุปกรณ์ (บริภัณฑ์) ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน

2.4.3.1 เครื่องห่อหุ้มที่เป็นโลหะของสายไฟฟ้า แผงเมนสวิตช์ โครงและรางปั่นจั่นที่ใช้ไฟฟ้า โครงของตุลิต์ และลวดสลิงยกของที่ใช้ไฟฟ้า

2.4.3.2 สิ่งกันที่เป็นโลหะ ร้วโลหะ รวมทั้งเครื่องห่อหุ้มของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบแรงสูง

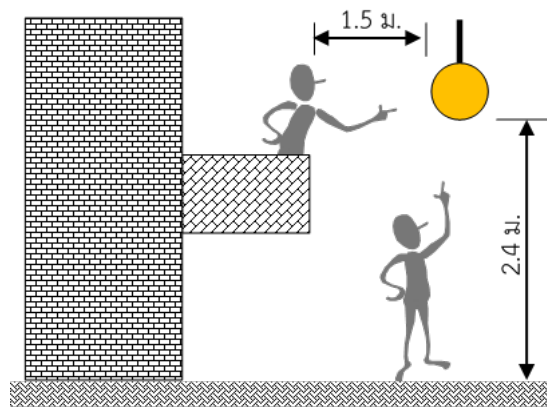
2.4.3.3 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ยึดติดกับที่ และที่ต่ออยู่กับสายไฟฟ้าที่เดินถาวร ส่วนที่เป็นโลหะเปิด โลงซึ่งปกติไม่มีไฟฟ้า แต่อาจมีไฟฟ้ารั่วถึงได้ต้องต่อลงดินถ้ามีสภาพตามข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1) อยู่ห่างจากพื้นหรือโลหะที่ต่อลงดินไม่เกิน 2.4 ม. ในแนวตั้ง หรือ 1.5 ม.

ในแนวนอน และบุคคลอาจสัมผัสได้ แต่ถ้าวิธีการติดตั้ง หรือมีวิธีการป้องกันอย่างอื่นที่ป้องกันบุคคลสัมผัสโดยไม่ได้ตั้งใจ ก็ไม่ต้องต่อลงดิน

2) สัมผัสทางไฟฟ้ากับโลหะอื่นที่บุคคลอาจสัมผัสได้เช่น โครงสร้างโลหะของอาคาร

3) อยู่ในสถานที่เปียก หรือชื้น และไม่ได้มีการแยกให้อยู่ต่างหาก



รูปที่ 2.62 บริบทที่อยู่นอกจากระยะเอื้อมมือถึง ไม่ต้องต่อลงดิน

2.4.3.4 อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดยึดติดกับที่ต่อไปนี้เป็นโลหะเปิดโล่งและสภาพปกติ ไม่มีกระแสไฟฟ้าลงดินคือ

- 1) โครงของแผงสวิตช์
- 2) โครงของมอเตอร์ชนิดยึดติดกับที่
- 3) กล่องของเครื่องควบคุมมอเตอร์ แต่ถ้าใช้เป็นสวิตช์ธรรมดา และมีฉนวนรองที่ฝา สวิตช์ด้านในก็ไม่ต้องต่อลงดิน

4) อุปกรณ์ไฟฟ้าของลิฟต์และบันจัน

5) อุปกรณ์ไฟฟ้าในอุ้งจอตารถ โรงมหรสพ โรงภาพยนตร์ สถานีวิทยุและโทรทัศน์ ไม่รวมถึงคอมพิวเตอร์แบบแขวน

- 6) ป้ายและอุปกรณ์ประกอบซึ่งใช้ไฟฟ้า
- 7) เครื่องฉายภาพยนตร์
- 8) เครื่องสูบน้ำที่ใช้มอเตอร์

2.4.3.5 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ได้เสีย ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งของอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งปกติไม่มีไฟฟ้าต้องต่อลงดิน ยกเว้น อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ระบุว่าเป็นชนิดฉนวน 2 ชั้น หรือเทียบเท่า

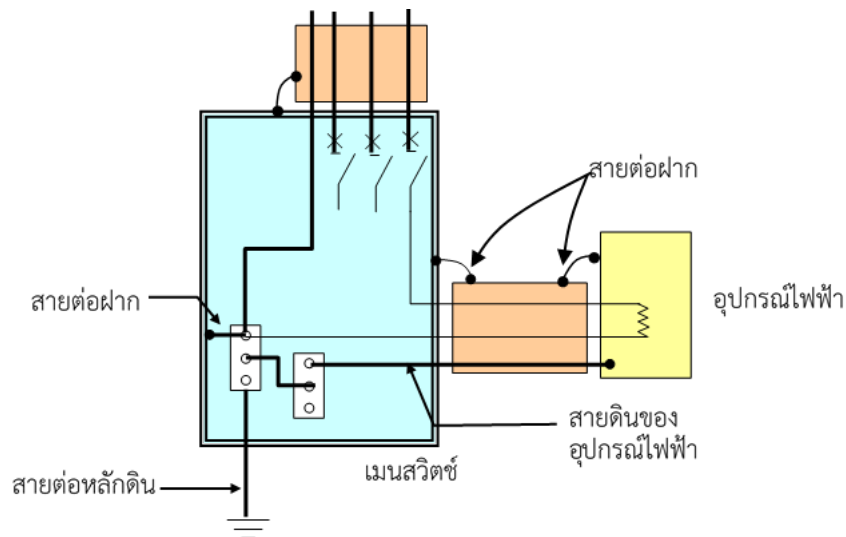
อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดฉนวนสองชั้น เป็นอุปกรณ์ที่ผู้ผลิตออกแบบให้มีฉนวนหุ้มภายนอกอีกชั้นหนึ่งหรืออาจมีความหนาของฉนวนเป็น 2 เท่าของความหนามาตรฐาน ถือว่ามีความปลอดภัยเพียงพอ ปกติจะแสดงเครื่องหมายไว้ที่แผ่นป้ายประจำเครื่อง (name plate) ด้วยเครื่องหมายรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสสองรูปซ้อนกัน อุปกรณ์ชนิดนี้ไม่ต้องต่อลงดินและไม่จำเป็นต้องให้ต่อลงดินด้วย

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ยึดแน่นและมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่ดีกับแท่นยึดหรือโครงโลหะที่ต้องลงดินไว้แล้ว ถือว่าอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นได้มีการต่อลงดินแล้ว

2.4.4 ความต่อเนื่องของระบบสายดิน

อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ต้องต่อลงดิน รวมทั้งแผงสวิตช์ และอุปกรณ์การเดินสายโลหะทั้งหมด การต่อลงดินของแผงเมนสวิตช์ทำได้ด้วยการต่อฝากเข้ากับบัสบาร์นิวทรัล และของแผงย่อยต่อฝากเข้ากับบัสบาร์กราวนด์ สำหรับการต่อลงดินของอุปกรณ์การเดินสายเช่น ท่อร้อยสาย รางเดินสาย และรางเคเบิล การต่อลงดิน ทำได้ด้วยการต่อฝากเข้ากับแผงสวิตช์ เพราะแผงสวิตช์มีการต่อลงดินไว้แล้ว ดังนั้นในระบบการเดินสาย จะพบว่าต้องมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าโดยตลอดตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทาง เช่น จากแผงสวิตช์ผ่านท่อร้อยสายไปถึงแผงย่อยอื่น หรือจนถึงเครื่องใช้ไฟฟ้า

การต่อฝากระหว่างอุปกรณ์เดินสายกับแผงสวิตช์ทำได้หลายวิธี วิธีทั่วไปคือการต่อด้วยสายไฟฟ้า (สายเส้นนี้เรียกว่าสายต่อฝาก) แต่ในการเดินสายด้วยท่อโลหะ ส่วนที่ท่อต่อกับแผงสวิตช์ปกติจะใช้บูชชิงและล็อกนัท ขันให้แน่น กรณีนี้ถือว่ามี การต่อฝากระหว่างท่อกับแผงสวิตช์แล้ว



รูปที่ 2.63 ความต่อเนื่องของระบบสายดิน

บทที่ 3

มาตรฐานการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณอันตราย

บริเวณอันตราย คือ บริเวณที่มีสารติดไฟได้ที่ปรากฏอยู่หรืออาจปรากฏขึ้น ในขณะผลิต ขณะซ่อมบำรุง ขณะเก็บรักษา เคลื่อนย้าย ขนถ่าย ซึ่งพร้อมที่จะลุกติดไฟได้ตลอดเวลา เป็นสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้ได้ เนื่องจากการติดตั้ง การใช้งาน หรือการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์

การติดตั้งบริเวณไฟฟ้าในบริเวณอันตรายมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าบริเวณปกติที่ไม่ได้กำหนดให้เป็นบริเวณอันตราย ในการออกแบบโรงงานจึงต้องวางแผนคิดในลักษณะการจำกัดพื้นที่ที่เป็นบริเวณอันตรายให้อยู่ในวงจำกัดและมีพื้นที่เล็กสุดเท่าที่ทำได้ และในการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าก็ต้องพยายามหลีกเลี่ยงการติดตั้งบริเวณไฟฟ้าในบริเวณอันตราย โดยให้มีเท่าที่จำเป็นเท่านั้น หรือพยายามลดสภาพความอันตรายลง เช่น การระบายอากาศ เป็นต้น

เมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง จะต้องทำการตรวจสอบและบำรุงรักษาบริเวณไฟฟ้า บริเวณที่เกี่ยวกับการเดินสาย ให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์มีสมรรถนะพร้อมใช้เพื่อความปลอดภัย การตรวจสอบเป็นการตรวจการคงสภาพความปลอดภัยของบริเวณ และทำการบำรุงรักษาตามความจำเป็น

3.1 การจำแนกบริเวณอันตราย

บริเวณอันตราย ถูกกำหนดขึ้นเนื่องจาก มีหรืออาจมีสารที่ติดไฟได้ที่มีโอกาสก่อให้เกิดสภาพบรรยากาศที่อาจติดไฟหรืออาจระเบิดได้ เช่น ก๊าซติดไฟได้ ไอระเหยที่ติดไฟได้ที่เกิดจากของเหลวที่ติดไฟได้ ของเหลวที่ติดไฟได้ ผุ่นที่ติดไฟได้ ละอองหรือเส้นใยที่ติดไฟได้

ก๊าซที่ติดไฟได้ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซหุงต้ม

ไอระเหยที่ติดไฟได้ที่เกิดจากของเหลวที่ติดไฟได้ เช่น แก๊โซลีน

ผุ่นที่ติดไฟได้ ผุ่นโลหะ เช่น ผุ่นอะลูมิเนียม ผุ่นแมกนีเซียม เป็นต้น ผุ่นที่มีลักษณะคาร์บอน เช่น ผุ่นจากถ่านหิน คาร์บอนแบล็ค

เส้นใย/ละอองที่ติดไฟได้ เช่น แป้ง ธัญพืช ไม้ พลาสติก

การจำแนกบริเวณอันตราย จำแนกโดยหลักของคุณสมบัติของก๊าซติดไฟได้ ไอระเหยจากของเหลวติดไฟได้ ไอระเหยจากของเหลวไหม้ไฟได้ ผุ่นลุกไหม้ไฟได้หรือเส้นใย/ละอองที่จุดติดไฟได้ที่อาจปรากฏขึ้นในลักษณะมีสภาพลุกไหม้ไฟได้ หรือมีความเข้มข้นที่จะลุกไหม้ไฟได้หรือปริมาณ โดยต้องแยกพิจารณาแต่ละห้องแต่ละส่วน หรือแต่ละพื้นที่ เพื่อจำแนกบริเวณอันตรายของแต่ละบริเวณ

การจำแนกบริเวณอันตราย การออกแบบและงานวิศวกรรม การเลือกบริเวณ วิธีเดินสาย การติดตั้ง การตรวจสอบ จะต้องดำเนินการโดยวิศวกรผู้ถือใบอนุญาต

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 มีวิธีการจำแนกบริเวณอันตราย 2 วิธี ผู้ใช้มาตรฐานสามารถเลือกใช้ได้ตามต้องการ คือ

3.1.1. การจำแนกเป็นประเภทและแบบ เป็นการจำแนกตามมาตรฐาน NEC คือ การจำแนกบริเวณอันตราย ดังนี้

3.1.1.1 บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 (Class I, Division I) และบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2 (Class I, Division II)

3.1.1.2 บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1 (Class II, Division I) และบริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 2 (Class II, Division II)

3.1.1.3 บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 1 (Class III, Division I) และบริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 2 (Class III, Division II)

3.1.2. การจำแนกเป็นโซน เป็นการจำแนกตามมาตรฐาน IEC คือ การจำแนกบริเวณอันตราย ดังนี้

3.1.2.1 โซน (Zone) 0 โซน (Zone) 1 และ โซน (Zone) 2

3.1.2.2 โซน (Zone) 20 โซน (Zone) 21 และ โซน (Zone) 22

3.1.3 การจำแนกบริเวณอันตรายระบบคู่

ในกรณีที่บริเวณอยู่ภายในกิจการสถานเดียวกัน อาจมีการจำแนกบริเวณอันตรายทั้งสองระบบได้ แต่ต้องแยกการจำแนกบริเวณอันตรายกันและห้ามทับซ้อนกัน ภายในบริเวณอันตรายประเภทที่แบบที่ (จำแนกตามมาตรฐาน NEC) ห้ามมีบริเวณอันตรายโซน (จำแนกตามมาตรฐาน IEC) แทรกอยู่ภายใน หรือภายในบริเวณอันตรายโซน (จำแนกตามมาตรฐาน IEC) ห้ามมีบริเวณอันตรายประเภทที่แบบที่ (จำแนกตามมาตรฐาน NEC) แทรกอยู่ภายใน บริเวณอันตรายแบบที่ 2 สามารถอยู่ชิดติดกันบริเวณอันตรายโซน 2 หรือโซน 22 ได้

บริเวณอันตรายโซน 2 อาจต่อชิดแต่ห้ามทับซ้อนกับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2 และห้ามบริเวณอันตรายโซน 0 หรือโซน 1 ต่อชิดกับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 หรือแบบที่ 2

บริเวณอันตรายโซน 22 อาจต่อชิดแต่ห้ามทับซ้อนกับบริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 2 หรือประเภทที่ 3 แบบที่ 2 และห้ามบริเวณอันตรายโซน 20 หรือโซน 21 ต่อชิดกับบริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1 หรือแบบที่ 2 หรือบริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 1 หรือแบบที่ 2

3.1.4 กรณีเปลี่ยนวิธีการจำแนกบริเวณอันตราย

บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 หรือแบบที่ 2 หากเปลี่ยนการจำแนกบริเวณอันตรายเป็นบริเวณอันตรายโซน 0 โซน 1 หรือโซน 2 บริเวณที่จำแนกใหม่นั้นจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีจำแนกแหล่งเกิดก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้ให้สอดคล้องด้วย

บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 หรือ ประเภทที่ 3 แบบที่ 1 หรือแบบที่ 2 หากจะเปลี่ยนการจำแนกบริเวณอันตรายเป็นบริเวณอันตรายโซน 20 โซน 21 หรือโซน 22 บริเวณที่จำแนกใหม่นี้จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีจำแนกแหล่งเกิดฝุ่นเผาไหม้ได้หรือเส้นใย/ละอองที่ติดไฟได้ให้สอดคล้องด้วย

การเลือกบริษัทไฟฟ้า และวิธีการเดินสาย ต้องสอดคล้องกับบริเวณอันตรายตามที่จำแนกด้วย

3.2 การจำแนกเป็นประเภทและแบบ

เป็นการจำแนกตามมาตรฐาน NEC ซึ่งจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ตามประเภทของสารติดไฟได้ คือ ก๊าซหรือไอ ฝุ่น และเส้นใย ในแต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามความเข้มข้นของสารติดไฟได้ ดังนี้

3.2.1 บริเวณอันตรายประเภทที่ 1

หมายถึงบริเวณที่ก๊าซติดไฟได้ หรือไอระเหยที่เกิดจากของเหลวติดไฟได้ ไอระเหยที่เกิดจากของเหลวไหม้ไฟได้ ปรากฏหรืออาจปรากฏอยู่ในอากาศในปริมาณเพียงพอที่จะก่อขึ้นเป็นสารระเบิดหรือส่วนผสมที่ติดไฟได้

3.2.1.1 บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1

เป็นบริเวณที่ปรากฏลักษณะอย่างหนึ่งอย่างใดต่อไปนี้

- 1) ความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของก๊าซติดไฟได้ หรือไอระเหยที่เกิดจากของเหลวติดไฟได้ ไอระเหยที่เกิดจากของเหลวไหม้ไฟได้ มีสภาพปรากฏขึ้นภายใต้สภาพการทำงานปกติ
- 2) ความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของก๊าซติดไฟได้ หรือไอระเหยที่เกิดจากของเหลวติดไฟได้ ไอระเหยที่เกิดจากของเหลวไหม้ไฟได้ อาจมีสภาพปรากฏขึ้นบ่อยครั้งเนื่องจากการปฏิบัติการซ่อมหรือบำรุงรักษา หรือเนื่องจากการรั่วไหล
- 3) ในลักษณะที่บริษัทเกิดชำรุดหรือทำงานผิดพลาดหรือกระบวนการผลิตอาจปล่อยรั่วไหลในปริมาณเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของก๊าซติดไฟได้ หรือไอระเหยที่เกิดจากของเหลวติดไฟได้ ไอระเหยที่เกิดจากของเหลวไหม้ไฟได้ และโดยพร้อม ๆ กันก็ทำให้บริษัทไฟฟ้าที่ชำรุดเสียหายกลายเป็นแหล่งจุดติดไฟ

ตัวอย่างบริเวณที่จำแนกเป็นบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 ได้แก่

- 1) บริเวณที่มีการขนถ่ายของเหลวติดไฟได้ที่สามารถระเหยเป็นไอระเหยง่าย จากที่เก็บหนึ่งไปยังอีกที่เก็บหนึ่ง
- 2) บริเวณที่มีการพ่น หรือใช้สารติดไฟที่ระเหยง่าย รวมทั้งบริเวณที่อยู่ติดกัน
- 3) บริเวณที่มีถัง หม้อ กระทะ หรือภาชนะ ซึ่งไม่มีฝาปิดและมีการกักเก็บสารติดไฟที่ระเหยง่าย
- 4) ห้องหรือบริเวณตากแห้ง โดยใช้วิธีปล่อยให้มีการระเหยของสารติดไฟได้
- 5) ห้องผลิตก๊าซ และบริเวณอื่นของอาคารที่ก๊าซอาจรั่วไหลไปถึง
- 6) ห้องสูบก๊าซหรือของเหลวติดไฟที่ระเหยง่าย ที่การระบายอากาศไม่เพียงพอ

7) บริเวณอื่น ๆ ที่ในสภาพปกติอาจมีสารติดไฟที่มีความเข้มข้นมากพอที่จะเกิดการลุกติดไฟได้

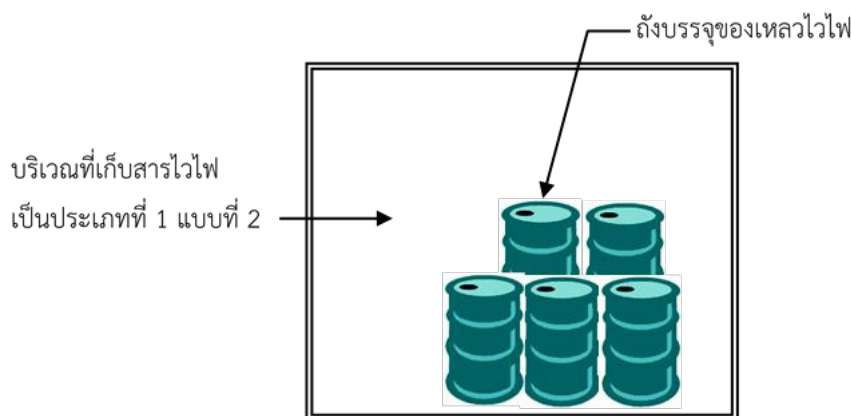
3.2.1.2 บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2

เป็นบริเวณที่ปรากฏลักษณะอย่างหนึ่งอย่างใดต่อไปนี้

1) ที่ซึ่งก๊าซติดไฟได้ หรือไอระเหยที่เกิดจากของเหลวติดไฟได้ ไอระเหยที่เกิดจากของเหลวไหม้ไฟได้ มีการขนถ่าย อยู่ในกระบวนการผลิต หรือถูกใช้งาน แต่ในภาวะปกติก๊าซติดไฟได้ หรือไอระเหยที่เกิดจากของเหลวติดไฟได้ ไอระเหยที่เกิดจากของเหลวไหม้ไฟได้ ถูกกักเก็บอยู่ภายในภาชนะบรรจุแบบปิดหรือระบบปิด ซึ่งจะรั่วไหลได้เฉพาะเกิดกรณีระบบหรือภาชนะบรรจุเกิดการฉีกฉีกหรือชำรุดหรือในกรณีบริษัททำงานผิดปกติ

2) ความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของก๊าซติดไฟได้ หรือไอระเหยที่เกิดจากของเหลวติดไฟได้ ไอระเหยที่เกิดจากของเหลวไหม้ไฟได้ โดยปกติจะถูกป้องกันโดยการระบายอากาศทางกลแบบบวกและอาจกลายเป็นบริเวณอันตรายจากกรณีระบบทำงานล้มเหลวหรือทำงานผิดปกติของบริษัทระบายอากาศ

3) บริเวณที่อยู่ติดกับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 และความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของก๊าซติดไฟได้ หรือไอระเหยที่เกิดจากของเหลวติดไฟได้ ไอระเหยที่เกิดจากของเหลวไหม้ไฟได้ และมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดวาบไฟของมัน อาจแพร่กระจายเป็นบางโอกาส ยกเว้นการแพร่กระจายนั้นถูกป้องกันโดยระบบระบายอากาศที่มีสภาพแรงดันบวกอย่างเพียงพอจากแหล่งอากาศสะอาดและจัดมีการป้องกันไม่ให้ระบบระบายอากาศล้มเหลวอย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.1 บริเวณที่จัดเป็นบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2

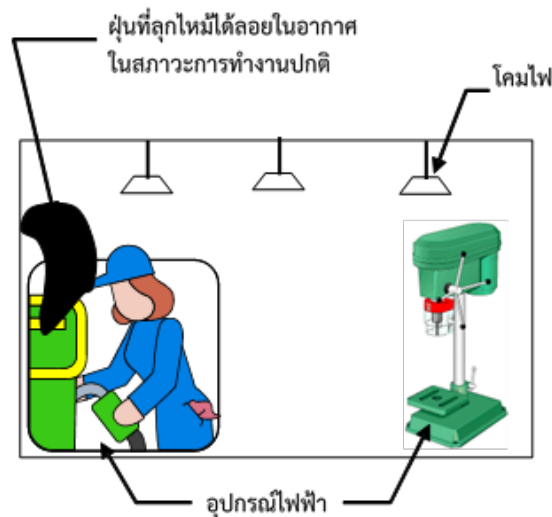
3.2.2 บริเวณอันตรายประเภทที่ 2

หมายถึง บริเวณที่มีสภาพอันตรายเนื่องจากสภาพปรากฏของฝุ่นเผาไหม้ไฟได้

3.2.2.1 บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1

เป็นบริเวณที่ปรากฏลักษณะอย่างหนึ่งอย่างใดต่อไปนี้

- 1) มีฝุ่นเผาไหม้ได้ในอากาศภายใต้ภาวะการทำงานปกติในปริมาณที่เพียงพอที่จะก่อสารระเบิดหรือส่วนผสมที่ติดไฟได้
- 2) ในภาวะล้มเหลวทางกลหรือการทำงานปกติของเครื่องจักรหรือบริภัณฑ์ที่อาจก่อให้เกิดสารระเบิดหรือส่วนผสมที่ติดไฟได้ และอาจก่อให้เกิดจุดติดไฟขึ้นพร้อม ๆ กันจากความล้มเหลวในการทำงานของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ตลอดจนการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน หรือจากสาเหตุอื่น
- 3) ฝุ่นโลหะที่เผาไหม้ได้ที่อาจมีสภาพปรากฏขึ้นในปริมาณที่เพียงพอที่จะกลายเป็นสภาพอันตราย



รูปที่ 3.2 บริเวณที่จัดเป็นบริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1

3.2.2.2 บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 2

เป็นบริเวณที่ปรากฏลักษณะอย่างหนึ่งอย่างใดต่อไปนี้

- 1) มีฝุ่นเผาไหม้ได้ในอากาศภายใต้ภาวะการทำงานผิดปกติ ในปริมาณที่เพียงพอที่จะก่อสารระเบิดได้หรือส่วนผสมที่ติดไฟได้
- 2) ในกรณีการสะสมของฝุ่นเผาไหม้ได้มีปรากฏขึ้นแต่โดยปกติจะไม่เพียงพอที่จะกระทบต่อการทำงานปกติของบริภัณฑ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์สำเร็จอื่น แต่สามารถก่อผลให้บริภัณฑ์ขนถ่ายหรือบริภัณฑ์กระบวนการผลิตทำงานผิดปกติได้ในบางครั้งจนเกิดการติดขัดค้างกลางคัน

3) ในกรณีการสะสมของฝุ่นเผาไหม้ได้มีปรากฏขึ้น ใน บน หรือในบริเวณใกล้เคียง ชิดกันกับบริเวณที่ไฟฟ้า ในปริมาณที่เพียงพอจะกระทบต่อการแผ่กระจายความร้อนอย่างปลอดภัยจาก บริเวณที่ไฟฟ้า หรือสามารถจุดติดไฟได้ด้วยภาวะการทำงานผิดปกติหรือลំเลวของบริเวณที่ไฟฟ้า

3.2.3 บริเวณอันตรายประเภทที่ 3

หมายถึง หมายถึงบริเวณที่มีสภาพอันตรายเนื่องจากสภาพปรากฏของเส้นใยที่ติดไฟได้ง่าย หรือวัสดุ ที่ก่อให้เกิดละอองที่เผาไหม้ได้ ถูกขนถ่าย ผลิต ใช้ ในลักษณะที่เส้นใย/ละออง มักจะไม่แขวนลอยในอากาศ ในปริมาณที่เพียงพอให้เกิดสารผสมติดไฟได้

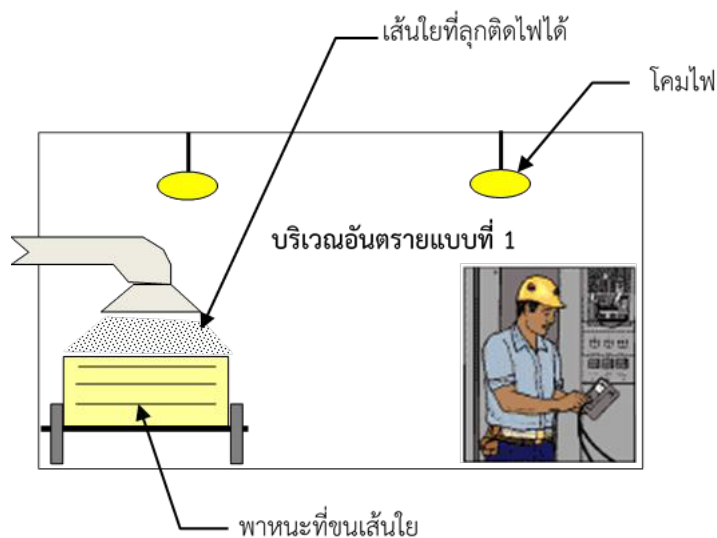
3.2.3.1 บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 1

คือ บริเวณที่มีเส้นใย/ละอองที่จุดติดไฟได้ง่าย ถูกขนถ่าย ผลิต หรือใช้

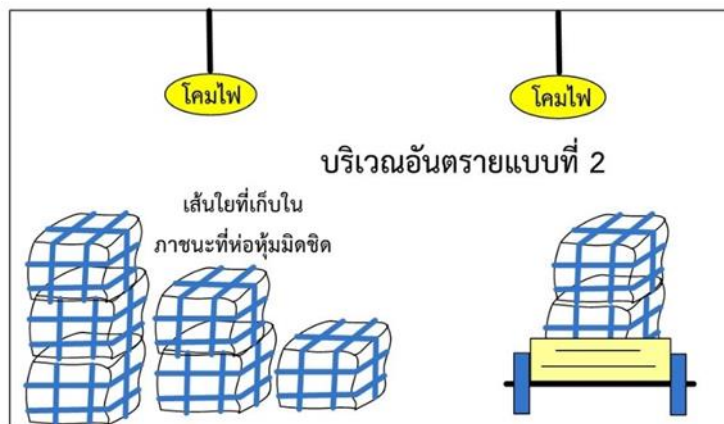
3.2.3.2 บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 2

คือ บริเวณที่มีเส้นใย/ละอองที่จุดติดไฟได้ง่าย ถูกเก็บ ขนถ่าย นอกเหนือที่อยู่ในกระบวนการ

ผลิต



รูปที่ 3.3 บริเวณที่จัดเป็นบริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 1



รูปที่ 3.4 บริเวณที่จัดเป็นบริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 2

3.3 การจำแนกเป็นโซน

การจำแนกเป็นโซนเป็นการแบ่งบริเวณอันตรายตามมาตรฐาน IEC ขึ้นอยู่กับสมบัติของไอ ก๊าซ ของเหลว หรือฝุ่นที่ติดไฟได้ ซึ่งอาจมีขึ้นและมีความเป็นไปได้ที่จะมีความเข้มข้น หรือมีปริมาณมากพอที่จะทำให้ เกิดการลุกไหม้ หรือเกิดเพลิงไหม้ได้

3.3.1 บริเวณอันตรายโซน 0 โซน 1 และโซน 2

หมายถึงบริเวณที่ก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้ ปรากฏหรืออาจปรากฏอยู่ในอากาศในปริมาณเพียงพอที่จะก่อขึ้นเป็นสารระเบิดหรือส่วนผสมที่ติดไฟได้

3.3.1.1 บริเวณอันตรายโซน 0

เป็นบริเวณที่ปรากฏลักษณะอย่างหนึ่งอย่างใดต่อไปนี้

1) ความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้มีสภาพปรากฏขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2) ความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้มีสภาพปรากฏขึ้นเป็นระยะเวลานาน

มาตรฐาน IEC กำหนดระยะเวลาของโซน 0 ไว้ว่าเป็นบริเวณที่มีก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้นานเป็นเวลาดังต่อไปนี้ 1,000 ชั่วโมงขึ้นไป

3.3.1.2 บริเวณอันตรายโซน 1

เป็นบริเวณที่ปรากฏลักษณะอย่างหนึ่งอย่างใดต่อไปนี้

1) ความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้มีแนวโน้มจะปรากฏสภาพขึ้น

2) ความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้อาจมีสภาพปรากฏขึ้นบ่อยครั้งเนื่องจากการปฏิบัติการซ่อมหรือบำรุงรักษา หรือเนื่องจากการรั่วไหล

3) บริภัณฑ์กำลังทำงาน หรือกระบวนการผลิตกำลังดำเนินอยู่ในลักษณะที่บริภัณฑ์เกิดชำรุดหรือผิดพร่องสามารถก่อผลให้เกิดการรั่วไหลในปริมาณเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้ และโดยพร้อม ๆ กันก็ทำให้บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ชำรุดเสียหายนั้นกลายเป็นแหล่งจุดติดไฟ

4) บริเวณที่อยู่ชิดติดกับบริเวณอันตรายโซน 0 ซึ่งก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้สามารถแพร่กระจายได้ หากการแพร่กระจายนั้นไม่ได้รับการป้องกันโดยวิธีการระบายอากาศจากแหล่งอากาศสะอาด ด้วยแรงดันบวกที่มากเพียงพอและมาตรการที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันระบบระบายอากาศชำรุดบกพร่อง

มาตรฐาน IEC กำหนดระยะเวลาของโซน 1 ไว้ว่าเป็นบริเวณที่มีก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้นานเป็นเวลาปีละไม่น้อยกว่า 10 ชั่วโมง แต่ไม่ถึง 1,000 ชั่วโมง

3.3.1.3 บริเวณอันตรายโซน 2

เป็นบริเวณที่ปรากฏลักษณะอย่างหนึ่งอย่างใดต่อไปนี้

1) ความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้ไม่มีแนวโน้มจะปรากฏสภาพขึ้นในภาวะการทำงานปกติ แต่หากว่าจะปรากฏขึ้น ก็จะมีสภาพปรากฏในระยะเวลาสั้น

2) ก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้อยู่ระหว่างการขนถ่าย ในกระบวนการผลิต หรือในการใช้งาน แต่ก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้ที่ในภาวะปกติถูกเก็บกักในภาชนะปิดในระบบปิดแต่จะสามารถเล็ดลอดออกได้เฉพาะกรณีเกิดจากการเหตุปริรั่วหรือชำรุดของภาชนะบรรจุหรือระบบ หรือจากกรณีการทำงานผิดปกติของบริภัณฑ์ที่เกี่ยวกับก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้ที่อยู่ในการขนถ่าย ในกระบวนการผลิต หรือในการใช้งาน

3) ความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้ป้องกันโดยการระบายอากาศทางกลแรงดันบวกแต่บริเวณดังกล่าวอาจกลายเป็นบริเวณอันตรายเนื่องจากผลจากการล้มเหลวหรือการทำงานผิดปกติของบริภัณฑ์ระบายอากาศ

4) บริเวณที่อยู่ชิดติดกับบริเวณอันตรายโซน 1 ซึ่งก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้สามารถแพร่กระจายได้ หากการแพร่กระจายนั้นไม่ได้รับการป้องกันโดยวิธีการระบายอากาศจากแหล่งอากาศสะอาด ด้วยแรงดันบวกที่มากเพียงพอและมาตรการที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันระบบระบายอากาศชำรุดบกพร่อง

มาตรฐาน IEC กำหนดระยะเวลาของโซน 2 ไว้ว่าเป็นบริเวณที่มีก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้นานเป็นเวลาปีละไม่ถึง 10 ชั่วโมง

3.3.2 บริเวณอันตรายโซน 20 โซน 21 และโซน 22

หมายถึง บริเวณที่มีหรืออาจมีฝุ่นลูกไหม้ได้หรือเส้นใย/ละอองที่จุดติดไฟได้ลอยในอากาศหรือจับเป็นชั้น ในปริมาณเพียงพอที่จะก่อขึ้นเป็นสารระเบิดหรือส่วนผสมที่ติดไฟได้

3.3.2.1 บริเวณอันตรายโซน 20

เป็นบริเวณที่ปรากฏลักษณะอย่างหนึ่งอย่างใดต่อไปนี้

1) ความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของฝุ่นลูกไหม้ไฟได้หรือเส้นใย/ละอองที่ติดไฟได้มีสภาพปรากฏขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2) ความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของฝุ่นลูกไหม้ไฟได้หรือเส้นใย/ละอองที่ติดไฟได้มีสภาพปรากฏขึ้นเป็นระยะเวลานานความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของก๊าซหรือไอระเหยติดไฟได้มีสภาพปรากฏขึ้นเป็นระยะเวลานาน

การจำแนกบริเวณอันตรายโซน 20 รวมถึงบริเวณในภาชนะเก็บกักฝุ่น เช่น จำพวก ถังกรวย ถังไซโล จำพวก ถังไซโคลนและถุงกรอง ระบบขนถ่ายฝุ่น สายพานลำเลียงและโซ่ลำเลียง (ยกเว้นบางส่วน) จำพวก เครื่องผสม เครื่องโม่ เครื่องอบแห้ง เครื่องบรรจุถุง

3.3.2.2 บริเวณอันตรายโซน 21

เป็นบริเวณที่ปรากฏลักษณะอย่างหนึ่งอย่างใดต่อไปนี้

1) ความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของฝุ่นลูกไหม้ไฟได้หรือเส้นใย/ละอองที่ติดไฟได้ อาจมีสภาพปรากฏขึ้นบางครั้งบางเวลาภายใต้สภาพการทำงานปกติ

2) ความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของฝุ่นลูกไหม้ไฟได้หรือเส้นใย/ละอองที่ติดไฟได้ อาจมีสภาพปรากฏขึ้นบ่อยครั้งเนื่องจากการปฏิบัติการซ่อมหรือบำรุงรักษา หรือเนื่องจากการรั่วไหล

3) บริภัณฑ์กำลังทำงาน หรือกระบวนการผลิตกำลังดำเนินอยู่ ในลักษณะที่บริภัณฑ์เกิดชำรุดหรือผิดพร่องสามารถก่อผลให้เกิดการปล่อยในปริมาณเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของฝุ่นลูกไหม้ไฟได้หรือเส้นใย/ละอองที่ติดไฟได้ และโดยพร้อม ๆ กันก็ทำให้บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ชำรุดเสียหายกลายเป็นแหล่งจุดติดไฟ

4) บริเวณที่อยู่ติดกับบริเวณอันตรายโซน 20 ซึ่งฝุ่นลูกไหม้ไฟได้หรือเส้นใย/ละอองที่ติดไฟสามารถแพร่กระจายได้

3.3.2.3 บริเวณอันตรายโซน 22

เป็นบริเวณที่ปรากฏลักษณะอย่างหนึ่งอย่างใดต่อไปนี้

1) ความเข้มข้นที่สามารถจุดติดไฟได้ของฝุ่นลูกไหม้ไฟได้หรือเส้นใย/ละอองที่ติดไฟได้ไม่มีสภาพปรากฏขึ้นภายใต้สภาพการทำงานปกติ แต่หากมีสภาพดังกล่าวก็จะปรากฏขึ้นเพียงชั่วระยะเวลาสั้น

2) ฝุ่นลูกไหม้ไฟได้หรือเส้นใย/ละอองที่ติดไฟได้อยู่ระหว่างการขนถ่าย ในกระบวนการผลิต หรือในการใช้งาน แต่ฝุ่นลูกไหม้ไฟได้หรือเส้นใย/ละอองที่ติดไฟได้แต่ในภาวะปกติถูกเก็บกักในภาชนะปิดในระบบปิดแต่สามารถเล็ดลอดออกได้เฉพาะกรณีจากการทำงานผิดปกติของบริภัณฑ์ที่เกี่ยวกับฝุ่นลูกไหม้ไฟได้หรือเส้นใย/ละอองที่ติดไฟได้ที่อยู่ในการขนถ่าย ในกระบวนการผลิต หรือในการใช้งาน

3) บริเวณที่อยู่ติดกับบริเวณอันตรายโซน 21 ซึ่งฝุ่นลูกไหม้ไฟได้หรือเส้นใย/ละอองที่ติดไฟสามารถแพร่กระจายได้จากแหล่งอากาศสะอาดด้วยแรงดันบวกที่มากเพียงพอและมาตรการที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันระบบระบายอากาศชำรุดบกพร่อง

3.4 วิธีเดินสายสำหรับการจำแนกเป็นประเภทและแบบ

การเดินสายไฟฟ้ามีหลายวิธี แต่มีบางวิธีเท่านั้นที่สามารถใช้ได้และเหมาะสม การเดินสายในแต่ละบริเวณอันตรายแต่ละประเภทจะแตกต่างกันออกไป อุปกรณ์ประกอบจะต้องเลือกใช้อุปกรณ์ชนิดที่ระบุให้ใช้ได้กับแต่ละวิธีการเดินสายเท่านั้น วิธีการเดินสายที่อนุญาตให้ใช้ได้ในพื้นที่อันตรายสูงกว่า สามารถนำไปใช้กับสถานที่ที่อันตรายต่ำกว่าได้ เช่นถ้าสามารถใช้ได้กับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 ก็จะสามารถใช้ได้กับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2 เป็นต้น

การเดินสายตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การเดินสายด้วยระบบช่องเดินสายและสายเคเบิลชนิดเอ็มไอซึ่งใช้กับบริเวณอันตรายที่จำแนกเป็นประเภทและแบบ และการเดินสายด้วยระบบสายเคเบิลจะใช้กับการจำแนกบริเวณอันตรายเป็นประเภทและโซน หลักสำคัญของการเดินสายคือการป้องกันการรั่วซึมของสารติดไฟได้จากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกพื้นที่หนึ่ง และป้องกันการรั่วซึมของสารติดไฟได้เข้าไปในส่วนที่มีประกายไฟจากการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม ความรุนแรงของอันตรายและความยากง่ายต่อการจุดระเบิดของสารติดไฟได้ในแต่ละบริเวณแตกต่างกัน การเดินสายในแต่ละบริเวณจึงต่างกัน

3.4.1 การเดินสายสำหรับบริเวณอันตรายตามการจำแนกเป็นประเภทและแบบ

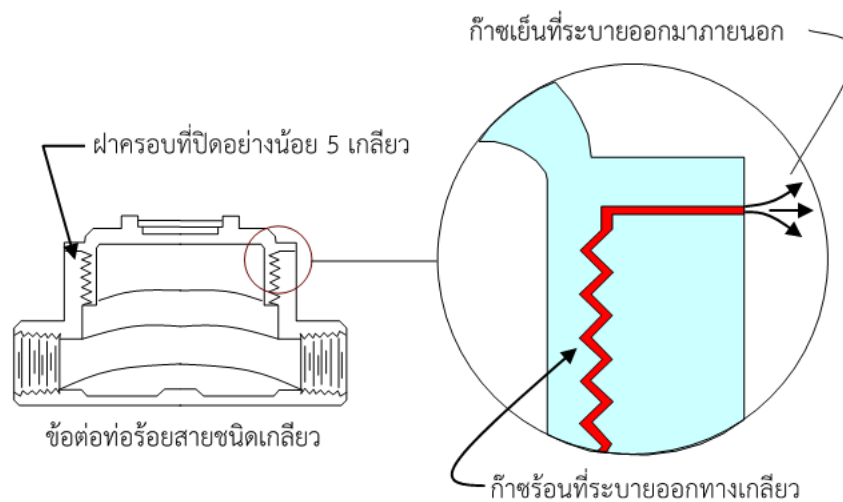
3.4.1.1 บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1

ในบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 การเดินสายที่เลือกใช้ได้คือการเดินสายด้วยระบบท่อร้อยสาย และการเดินสายด้วยระบบสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ

การเดินสายแบบร้อยจะต้องใช้ท่อแบบมีเกลียวคือท่อโลหะหนาและท่อโลหะหนานปานกลาง เครื่องประกอบการเดินท่อเช่น กล้องต่อสาย ข้อต่อต่าง ๆ ต้องเป็นแบบมีเกลียวและต้องเป็นชนิดทนการระเบิด เกลียวของข้อต่อต้องมีเกลียวสำหรับขันให้แน่นอย่างน้อยห้าเกลียวเพื่อให้มั่นใจว่าจะไม่มีการรั่วซึมของสารติดไฟได้ผ่านเข้า-ออกทางเกลียว เครื่องประกอบชนิดอ่อนตัวได้จะต้องเป็นชนิดที่ได้รับการรับรองสำหรับให้ใช้ได้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 1 การรับรองอุปกรณ์นี้โดยปกติจะระบุไว้ที่ตัวอุปกรณ์

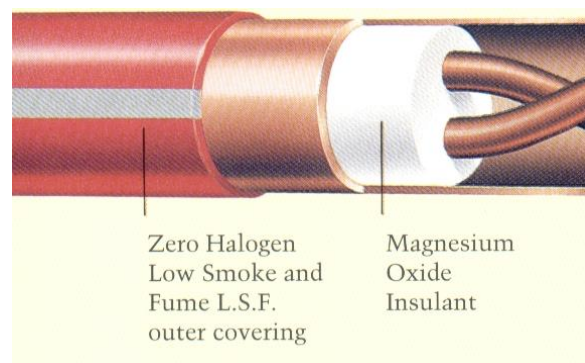
ข้อต่อท่อร้อยสายต้องขันให้แน่นอย่างน้อยห้าเกลียว เพื่อให้มั่นใจว่ามีความแข็งแรงและ เมื่อเกิดการระเบิดภายในอุปกรณ์หรือท่อ ก๊าซร้อนจากการระเบิดที่ระบายออกมาทางเกลียวจะถูกทำให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดระเบิดของสารติดไฟได้ที่อยู่รอบ ๆ

กล้องต่อสายชนิดทนการระเบิด เป็นกล้องต่อสายที่ออกแบบให้มีความคงทนต่อแรงระเบิดที่อาจเกิดได้ภายในกล้อง อุปกรณ์ทนการระเบิดนี้จะต้องเป็นชนิดที่ได้รับการทดสอบแล้วว่าสามารถทนได้ตามมาตรฐานการทดสอบและสถาบันที่เป็นที่ยอมรับของสากล



รูปที่ 3.5 รูปการระบายก๊าซ

สายเคเบิลชนิดเอ็มไอ (MI cable) คือสายเคเบิลที่ฉนวนทำจากแมกนีเซียมออกไซด์หุ้มด้วยเปลือกโลหะซึ่งปกติจะเป็นทองแดง โลหะที่หุ้มนี้นำมาใช้ทำหน้าที่เป็นตัวหล่อหุ้มให้แมกนีเซียมออกไซด์คงรูปอยู่ได้ และทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายทางกลของสายด้วย ในการใช้งานจึงไม่ต้องร้อยในท่อร้อยสายไฟฟ้าอีก สายชนิดนี้เป็นสายที่มีความสามารถในการทนไฟไหม้ได้ดีจึงเรียกว่าสายทนไฟ ในการติดตั้งต้องใช้เครื่องประกอบการทำปลายสายที่ได้รับการรับรองแล้วสำหรับสถานที่นั้น



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ

3.4.1.2 บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2

การเดินสายที่อนุญาตให้ใช้คือการเดินสายด้วยระบบท่อร้อยสายซึ่งต้องใช้ท่อโลหะหนาแบบมีเกลียว ท่อโลหะหนานปานกลางแบบมีเกลียว บัสเวย์แบบมีปะเก็นและเครื่องหล่อหุ้ม รางเดินสายที่มีปะเก็น

สำหรับกล่อง เครื่องประกอบและข้อต่อไม่ต้องเป็นชนิดทนการระเบิด ในที่ซึ่งต้องการความอ่อนตัว เช่นที่หัวของมอเตอร์ ท่อโลหะอ่อน ท่อโลหะอ่อนกันของเหลวและเครื่องประกอบต้องเป็นชนิดที่ได้รับการรับรองแล้ว

3.4.1.3 บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1

ในบริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1 การเดินสายต้องใช้ท่อโลหะหนาแบบมีเกลียว ท่อโลหะหนาปานกลางแบบมีเกลียว สายเคเบิลชนิดเอ็มไอ

3.4.1.4 บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 2

ในบริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 2 การเดินสายต้องใช้ท่อโลหะหนา ท่อโลหะหนาปานกลาง ท่อโลหะบาง รางเดินสายชนิดกันฝุ่น เคเบิลชนิดมีปลอกโลหะ (MC) หรือชนิดเอ็มไอ

3.4.1.5 บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 1 และแบบที่ 2

การเดินสายต้องเดินในท่อโลหะหนา ท่อโลหะหนาปานกลาง ท่อโลหะบาง หรือท่อโลหะหนา รางเดินสายชนิดกันฝุ่น เป็นเคเบิลชนิดปลอกโลหะ หรือชนิดเอ็มไอ กล่องและเครื่องประกอบต้องเป็นชนิดกันฝุ่น

3.4.2 การปิดผนึก

การปิดผนึกคือการใช้สารอุดเพื่อป้องกันการรั่วไหลหรือซึมผ่านของสารติดไฟได้ และป้องกันเปลวไฟจากกล่องอุปกรณ์ผ่านท่อหรือสายเคเบิลไปยังอุปกรณ์อื่น นอกจากนี้ในการเดินสายร้อยท่ออาจมีสารติดไฟได้ซึมผ่านเข้าไปในท่อร้อยสายได้จากข้อต่อต่าง ๆ จึงต้องมีการอุดท่อร้อยสายที่เหมาะสม ในการปิดผนึกจะใช้ข้อต่อท่อชนิดปิดผนึกที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ มีทั้งชนิดที่ติดตั้งในแนวนอนและในแนวตั้ง การใช้งานจะต้องเลือกให้ถูกต้อง

สายเคเบิลหลายแกนอาจมีสารติดไฟได้ซึมผ่านช่องว่างระหว่างแกนเคเบิลได้ จึงต้องมีการปิดผนึกด้วยการปิดผนึกจึงแยกออกเป็นกรปิดผนึกท่อ และการปิดผนึกเคเบิล สำหรับสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ไม่ต้องมีการปิดผนึก และบริเวณอันตรายประเภทที่ 3 ไม่ต้องมีการปิดผนึก

3.4.3 การปิดผนึกเคเบิล

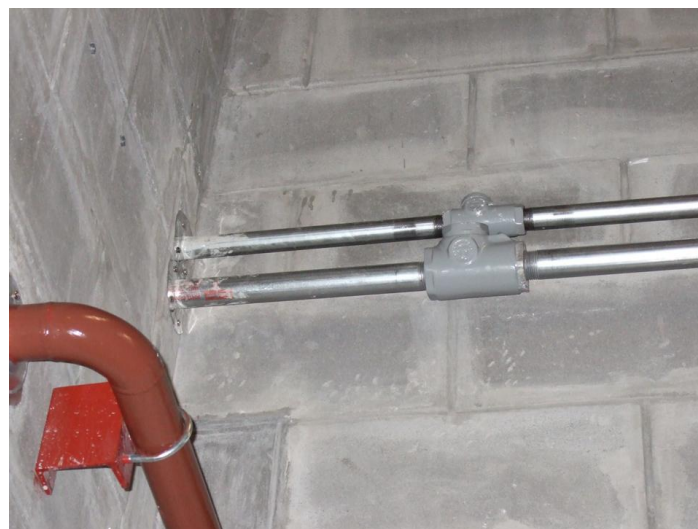
3.4.3.1 การปิดผนึกเคเบิลในบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1

การปิดผนึกเคเบิลเพื่อป้องกันการไหลซึมของก๊าซไวไฟผ่านระหว่างแกนเคเบิลเข้าไปยังอุปกรณ์ที่สายไฟนั้นต่ออยู่ หรือผ่านไปยังบริเวณอื่น สำหรับบริเวณอันตรายประเภทที่ 2 และ 3 ไม่ต้องปิดผนึกตำแหน่งในการปิดผนึกเป็นดังนี้

- 1) ต้องมีการปิดผนึกที่ปลายสายเคเบิลทั้งหมด เคเบิลชนิดกันก๊าซหรือโอทีมีเปลือกหุ้มตลอด ต้องมีการปิดผนึกเมื่อมีการปกเปิด เพื่อให้อากาศปิดผนึกหุ้มแต่ละตัวนำและเปลือกนอกทั้งหมด
- 2) เคเบิลในท่อร้อยสายเมื่อเป็นเคเบิลชนิดกันก๊าซหรือโอทีมีเปลือกหุ้มตลอด แต่ก๊าซหรือไอสามารถผ่านเข้าทางแกนได้ เมื่ออยู่ในบริเวณอันตรายแบบที่ 1 ต้องมีการปิดผนึกเมื่อมีการปกเปิด



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการปิดผนึกท่อก่อนเข้าสวิทช์ซึ่งติดตั้งนอกบริเวณอันตราย



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการปิดผนึกท่อ เมื่อเดินออกจากบริเวณอันตราย

3.4.3.2 การปิดผนึกเคเบิลในบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2

การปิดผนึกให้เป็นดังนี้

1) ต้องปิดผนึกจุดที่เคเบิลเข้าสู่เครื่องห่อหุ้มที่ได้รับการรับรอง สำหรับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 เคเบิลหลายแกนชนิดกันก๊าซหรือไอที่มีเปลือกหุ้มตลอด แต่ก๊าซหรือไอสามารถผ่านเข้าทางแกนได้ ถ้าอยู่ในบริเวณอันตรายแบบที่ 2 ต้องมีการปิดผนึกในเครื่องประกอบที่ได้รับการรับรองแล้วหากมีการปกปิดเพื่อให้อากาศปิดผนึกหุ้มแต่ละตัวนำทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อให้มีก๊าซหรือไอผ่านเข้าไปได้น้อยที่สุด เคเบิลหลายแกนในท่อต้องทำการปิดผนึกด้วย

2) เคเบิลชนิดกันก๊าซหรือไอ ที่มีเปลือกหุ้มตลอดและก๊าซหรือไอไม่สามารถผ่านเข้าทางแกนได้เกินกว่าปริมาณที่ผ่านอุปกรณ์ปิดผนึกได้ไม่ต้องการปิดผนึก

3) เคเบิลชนิดกันก๊าซหรือไอที่มีเปลือกหุ้มตลอด และก๊าซหรือไอสามารถผ่านเข้าทางแกนได้ไม่ต้องมีการปิดผนึก แต่ถ้าเคเบิลนั้นอยู่ติดกับบริเวณที่หรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ซึ่งอาจทำให้เกิดแรงดันเกิน 1493 ปาสกาล ที่ปลายเคเบิล ต้องมีการปิดผนึกหรือกันเพื่อป้องกันการติดไฟแผ่ขยายเข้าสู่สถานที่ธรรมดา

4) เคเบิลชนิดไม่มีเปลือกหุ้มยาวตลอด ต้องมีการปิดผนึกที่ขอบเขตของบริเวณอันตรายแบบที่ 2 กับสถานที่ทั่วไป เพื่อให้ก๊าซหรือไอซึมผ่านเข้าสู่สถานที่ทั่วไปน้อยที่สุด

3.5 วิธีเดินสายสำหรับการจำแนกเป็นโซน

บริเวณอันตรายที่จำแนกเป็นโซนสามารถแยกวิธีการเดินสายได้เป็น 2 แบบ คือการเดินสายด้วยระบบท่อร้อยสายและระบบสายเคเบิล การเดินสายด้วยระบบท่อจะต้องมีการปิดผนึกตามที่กล่าวข้างต้น วิธีเดินสายต้องเป็นไปตามที่กำหนดในเรื่องการเดินสาย และห้ามใช้วิธีการเดินสายเปิดและการเดินสายบนผิว การเดินสายด้วยระบบท่อร้อยสายจะเหมือนกับที่กล่าวแล้วในการเดินสายของการจำแนกบริเวณเป็นประเภทและแบบ สำหรับการเดินสายด้วยระบบสายเคเบิลมีข้อกำหนดการเดินสายที่สำคัญดังนี้

1. สายไฟฟ้าที่ใช้ห้ามใช้สายแกนเดี่ยวชนิดไม่มีเปลือก นอกจากจะเป็นการเดินร้อยท่อและในแผงสวิตช์ ปกติสายเคเบิลที่นิยมใช้จะเป็นชนิดมีเปลือกโลหะ

2. การเดินสายเข้าอุปกรณ์ การเดินสายเข้าอุปกรณ์ไฟฟ้าต้องเป็นไปตามที่กำหนดในแต่ละแบบการป้องกัน (type of protection) ใช้อุปกรณ์การเข้าสายที่เหมาะสมกับแต่ละเทคนิคการป้องกันซึ่งจะระบุไว้ที่อุปกรณ์

3. เครื่องห่อหุ้มสาย ช่องเดินสาย ต้องมีการป้องกันไม่ให้สารติดไฟได้ทั้งที่เป็นไอ ก๊าซ และของเหลวไหลผ่านจากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกพื้นที่หนึ่ง และป้องกันไม่ให้สารติดไฟได้ดังกล่าวถูกเก็บขังอยู่ภายใน การป้องกันอาจทำได้โดยการปิดผนึก การระบายอากาศ หรือเติมทรายให้เต็มช่องว่าง

4. สายไฟฟ้าที่เดินผ่านจากบริเวณทั่วไปเข้าหรือผ่านบริเวณอันตรายต้องมีการป้องกันที่เหมาะสมกับโซนนั้น ๆ เช่น ปิดผนึก

5. การเดินสายไฟฟ้าผ่านผนังระหว่างบริเวณทั่วไปกับบริเวณอันตรายต้องมีการปิดผนึกที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการรั่วไหลของสารติดไฟได้จากบริเวณอันตรายไปยังบริเวณทั่วไป ในการเดินสายด้วยระบบสายเคเบิลต้องมีการปิดผนึกเคเบิลด้วย

6. สายไฟฟ้าที่เดินในบริเวณอันตรายไม่ควรมีการต่อสาย กรณีที่จำเป็นต้องต่อสาย ต้องทำให้ถูกต้องตามวิธีการต่อสาย และใช้วิธีการต่อสายที่เหมาะสมกับแต่ละสถานที่ การต่อสายต้องทำในเครื่องห่อหุ้มที่มีระดับการป้องกันเหมาะสมกับโซนนั้น ๆ หรือจุดต่อสายมีการเติมให้เต็มด้วยอีพอกซี (epoxy) คอมปาวด์ หรือหลอดหดตัวด้วยความร้อน (Heat Shrinkable Tube) ตามกรรมวิธีที่ผู้ผลิตกำหนด และจุดต่อสายต้องไม่รับแรงทางกล

3.5.1 การเดินสายสำหรับบริเวณอันตรายโซน 0

ในทางปฏิบัติจะพยายามหลีกเลี่ยงการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณโซน 0 กรณีที่จำเป็นการเดินสายต้องเป็นไปตามที่กำหนดข้างต้นและเพิ่มเติมดังนี้

3.5.1.1 ชนิดของสายเคเบิลและการเดินสายต้องเป็นชนิดที่ใช้สำหรับการป้องกันแบบ “ia” (ระบบที่ปลอดภัยอย่างแท้จริง) อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ควรเป็นชนิดที่มีการกันแยกระบบที่ปลอดภัยอย่างแท้จริงกับระบบอื่นเพื่อป้องกันกระแสรั่วถึงกัน

3.5.1.2 กรณีที่ต้องมีการต่อลงดิน การต่อลงดินต้องทำภายนอกโซน 0 โดยให้อยู่ใกล้กับจุดที่จะเข้าโซน 0 ให้มากที่สุด

3.5.1.3 ถ้าชิ้นส่วนของอุปกรณ์ในโซน 0 มีโอกาสเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นอันตรายได้ ต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันลัดวงจร (surge protection) ระหว่างแต่ละสายเส้นที่ไม่ได้ต่อลงดิน (สายเส้นไฟ) กับโครงสร้างโลหะตรงจุดที่ใกล้ที่สุดเท่าที่จะทำได้ซึ่งไม่ควรเกิน 1.0 เมตร ก่อนทางเข้าโซน 0 การลดความเสี่ยงทำได้โดยการเดินสายใต้ดิน อุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรต้องมีพิกัดกระแสไม่ต่ำกว่า 10 kA ใช้สายต่อลงดินขนาดไม่เล็กกว่า 4.0 ตร.มม.

3.5.1.4 สายไฟฟ้าที่เดินระหว่างระบบที่ปลอดภัยอย่างแท้จริงกับอุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรต้องมีการป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า

3.5.2 การเดินสายสำหรับบริเวณอันตรายโซน 1 และโซน 2

ชนิดของสายเคเบิลและการเดินสายให้เป็นไปตามข้อข้อกำหนดสำหรับแต่ละเทคนิคการป้องกัน และเป็นดังนี้

3.5.2.1 สายสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดติดตั้งถาวร สายไฟฟ้าต้องเป็นชนิดมีเปลือกนอก นอกจากจะเป็นการเดินสายด้วยระบบท่อร้อยสาย

3.5.2.2 สายสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดเคลื่อนที่ได้ สายไฟฟ้าต้องเป็นชนิดมีเปลือกนอก กรณีเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน สายไฟฟ้าต้องเป็นชนิดมีสายดินรวมอยู่ด้วย ขนาดสายไฟฟ้าต้องไม่เล็กกว่า 1.0 ตร.มม.

จุดที่สายไฟฟ้าเดินเข้าอุปกรณ์ไฟฟ้า จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าเคเบิลกลนด์ (cable gland) และเคเบิลกลนด์ที่ใช้จะต้องเป็นชนิดที่ระบุว่าใช้ได้กับบริเวณอันตรายและสารติดไฟได้นั้น



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างเคเบิลเกลนด์

ที่มา : www.velan-ex.com



รูปที่ 3.10 การติดตั้งใช้งานเคเบิลเกลนด์

3.6 การเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในบริเวณอันตราย

บริเวณอันตรายเป็นบริเวณที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายจากการจุดระเบิดของสารติดไฟได้ เนื่องจากในบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีสารติดไฟได้พร้อมที่จะติดไฟตลอดเวลาในบางพื้นที่ หรือในบางพื้นที่ มีอยู่เป็นบางเวลาก็ตาม การป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ที่ดีคือการป้องกันไม่ให้มีประกายไฟ หรือความร้อนสูงพอที่จะเป็นสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้ได้ การเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เหมาะกับสถานที่ใช้งานจึงสำคัญมาก เนื่องจากอุปกรณ์ที่ออกแบบให้ใช้ในบริเวณอันตรายมีราคาสูงกว่าทั่วไปมากจึงควรใช้เท่าที่จำเป็นเท่านั้น แนวทางและขั้นตอนการเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นดังนี้

3.6.1 จำแนกบริเวณอันตราย

จำแนกบริเวณอันตรายตามวิธีที่กล่าวข้างต้น ตามความต้องการ

3.6.2 ระบุเทคนิคการป้องกัน

ระบุเทคนิคการป้องกัน เมื่อจำแนกบริเวณอันตรายได้แล้วอุปกรณ์ที่ใช้ต้องเป็นชนิดที่ออกแบบให้ใช้ได้กับบริเวณนั้น ๆ โดยปกติอุปกรณ์จะสามารถนำไปใช้กับบริเวณที่อันตรายน้อยกว่าที่ระบุได้ เช่น ถ้าระบุว่าใช้กับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 จะสามารถนำไปใช้ในบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2 ได้ด้วย ถ้าเป็นสารติดไฟได้กลุ่มเดียวกัน อนุญาตให้ใช้เทคนิคการป้องกันดังต่อไปนี้ในบริเวณอันตราย ตามตารางที่ 3.1 ตารางที่ 3.2 หรือตารางที่ 3.3 แล้วแต่กรณี

3.6.3 กำหนดอุณหภูมิจุดระเบิดต่ำสุดของสารติดไฟได้

ในสถานที่ที่มีสารติดไฟได้หลายชนิด การเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าจะพิจารณาสารที่มีอุณหภูมิจุดระเบิดต่ำสุด อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในบริเวณอันตรายจะต้องออกแบบให้ความร้อนที่ผิวของอุปกรณ์และความร้อนจากการระเบิดที่ระบายออกภายนอก มีอุณหภูมิไม่เกินที่กำหนด ระดับชั้นอุณหภูมิจะระบุไว้ที่ตัวอุปกรณ์เป็นสัญลักษณ์ตามตารางที่ 3.4 และตารางที่ 3.5 กำหนดที่อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C

3.6.4 ระบุกลุ่มสารติดไฟได้

ในบริเวณที่มีสารติดไฟได้หลายกลุ่ม ให้เลือกกลุ่มที่มีอันตรายสูงสุด อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้จะต้องเป็นชนิดที่ระบุให้ใช้ได้กับกลุ่มสารติดไฟได้ดังกล่าว

กลุ่มสารติดไฟได้ตามการจำแนกเป็นประเภทที่และแบบที่ เรียงตามลำดับที่มีอันตรายสูงสุดคือ กลุ่มสาร A กลุ่มสาร B กลุ่มสาร C และ กลุ่มสาร D (สำหรับก๊าซ) และกลุ่มสาร E กลุ่มสาร F และกลุ่มสาร G (สำหรับฝุ่นที่ลุกไหม้ได้)

กลุ่มสารติดไฟได้ตามการจำแนกเป็นโซน 0 โซน 1 โซน 2 เรียงตามลำดับที่มีอันตรายสูงสุดคือ กลุ่มสาร IIC กลุ่มสาร IIB และกลุ่มสาร IIA ตามลำดับ

กลุ่มสารติดไฟได้ตามการจำแนกเป็นโซน 20 โซน 21 โซน 22 เรียงตามลำดับที่มีอันตรายสูงสุดคือ กลุ่มสาร IIIC กลุ่มสาร IIIB และกลุ่มสาร IIIA ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 เทคนิคการป้องกันของอุปกรณ์ไฟฟ้าและบริเวณอันตรายที่ใช้ได้
(กรณีการจำแนกเป็นประเภทที่และแบบที่)

เทคนิคป้องกัน	บริเวณอันตราย
explosion proof equipment	ประเภทที่ 1 แบบที่ 1 หรือ 2
dust ignition proof	ประเภทที่ 2 แบบที่ 1 หรือ 2
dust tight	ประเภทที่ 2 แบบที่ 1 หรือ 2 หรือ ประเภทที่ 3 แบบที่ 1 หรือ 2
purged and pressurized	บริเวณอันตรายตามที่ระบุไว้
intrinsic safety	ประเภทที่ 1 แบบที่ 1 หรือ 2 หรือ ประเภทที่ 2 แบบที่ 1 หรือ 2 หรือ ประเภทที่ 3 แบบที่ 1 หรือ 2
non incendive circuit	ประเภทที่ 1 แบบที่ 2 หรือ ประเภทที่ 2 แบบที่ 2 หรือ ประเภทที่ 3 แบบที่ 1 หรือ 2
Non incendive component	ประเภทที่ 1 แบบที่ 2 หรือ ประเภทที่ 2 แบบที่ 2 หรือ ประเภทที่ 3 แบบที่ 1 หรือ 2
oil immersion	ประเภทที่ 1 แบบที่ 2
hermetically sealed	ประเภทที่ 1 แบบที่ 2 หรือ ประเภทที่ 2 แบบที่ 2 หรือ ประเภทที่ 3 แบบที่ 1 หรือ 2

ตารางที่ 3.2 เทคนิคการป้องกันของอุปกรณ์ไฟฟ้าและบริเวณอันตรายที่ใช้ได้

(กรณีการจำแนกเป็นโซน 0 โซน 1 โซน 2)

ตัวย่อ	เทคนิคป้องกัน	โซน*
d	flameproof enclosure	1
db	flameproof enclosure	1
e	increased safety	1
eb	increased safety	1
ia	intrinsic safety	0
ib	intrinsic safety	1
ic	intrinsic safety	2
[ia]	intrinsic safe associated apparatus	บริเวณไม่กำหนด**
[ib]	intrinsic safe associated apparatus	บริเวณไม่กำหนด**
[ic]	intrinsic safe associated apparatus	บริเวณไม่กำหนด**
ma	encapsulation	0
m	encapsulation	1
mb	encapsulation	1
mc	encapsulation	2
nA	non sparking equipment	2
nAc	non sparking equipment	2
nC	sparking equipment in which the contacts are suitably protected other than by restricted breathing	2
nCc	sparking equipment in which the contacts are suitably protected other than by restricted breathing	2
nR	restricted breathing enclosure	2
nRc	restricted breathing enclosure	2
o	oil immersion	1
ob	oil immersion	1
px	purged and pressurized	1
pxb	purged and pressurized	1
py	purged and pressurized	1
pyb	purged and pressurized	1
pz	purged and pressurized	2
pzc	purged and pressurized	2
q	powder filled	1
qb	powder filled	1

* ไม่แสดงกรณีการใช้เทคนิคป้องกันผสมผสานกัน

** บริเวณไม่กำหนดเป็นบริเวณอันตราย อุปกรณ์สำเร็จที่เชื่อมโยงอนุญาตให้ติดตั้งในบริเวณอันตรายได้หากมีการป้องกันที่เหมาะสมด้วยรูปแบบป้องกันอื่นเพิ่มเติม

ที่มา : วสท., มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 7-4)

ตารางที่ 3.3 เทคนิคการป้องกันของอุปกรณ์ไฟฟ้าและบริเวณอันตรายที่ใช้ได้

(กรณีการจำแนกเป็นโซน 20 โซน 21 โซน 22)

ตัวย่อ	เทคนิคป้องกัน	โซน*
iaD	intrinsic safety	20
ia	intrinsic safety	20
ibD	intrinsic safety	21
ib	intrinsic safety	21
ic	intrinsic safety	22
[iaD]	intrinsic safe associated apparatus	บริเวณไม่กำหนด**
[ia]	intrinsic safe associated apparatus	บริเวณไม่กำหนด**
[ibD]	intrinsic safe associated apparatus	บริเวณไม่กำหนด**
[ib]	intrinsic safe associated apparatus	บริเวณไม่กำหนด**
[ic]	intrinsic safe associated apparatus	บริเวณไม่กำหนด**
maD	encapsulation	20
ma	encapsulation	20
mbD	encapsulation	21
mb	encapsulation	21
mc	encapsulation	22
pD	purged and pressurized	21
p	purged and pressurized	21
pb	purged and pressurized	21
tD	enclosure	21
ta	enclosure	20
tb	enclosure	21
tc	enclosure	22

* ไม่แสดงกรณีการใช้เทคนิคป้องกันผสมผสานกัน

** บริเวณไม่กำหนดเป็นบริเวณอันตราย อุปกรณ์สำเร็จที่เชื่อมโยงอนุญาตให้ติดตั้งในบริเวณอันตรายได้หากมีการป้องกันที่เหมาะสมด้วยรูปแบบป้องกันอื่นเพิ่มเติม

ตารางที่ 3.4 สัญลักษณ์อุณหภูมิที่ผิวของอุปกรณ์ไฟฟ้า (ตามการจำแนกเป็นประเภทที่และแบบที่)

สัญลักษณ์	อุณหภูมิสูงสุด	
	องศาเซลเซียส (°C)	องศาฟาเรนไฮต์ (°F)
T 1	450	842
T 2	300	572
T 2A	280	536
T 2B	260	500
T 2C	230	446
T 2D	215	419
T 3	200	392
T 3A	180	356
T 3B	165	329
T 3C	160	320
T 4	135	275
T 4A	120	248
T 5	100	212
T 6	85	185

ตารางที่ 3.5 สัญลักษณ์อุณหภูมิที่ผิวของอุปกรณ์ไฟฟ้า (ตามการจำแนกโซน)

สัญลักษณ์	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

ที่มา : วสท., มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (ตารางที่ 7-6)

ตัวอย่างการเลือกอุปกรณ์

ต้องการเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในบริเวณอันตรายโซน 1 ประกอบด้วยสาร อาเซททีลีน มีเทน เบนซีน เอธิลีน 1-บิวทานอล และ ไฮโดรเจน มีข้อมูลและวิธีการเลือก ดังนี้

ข้อมูลสารต่าง ๆ		
สารติดไฟได้	อุณหภูมิลุกติดไฟได้เอง (°C)	กลุ่ม
อาเซททีลีน	305	IIC
มีเทน	630	IIA
เบนซีน	498	IIA
เอธิลีน	450	IIB
1-บิวทานอล	343	IIA
ไฮโดรเจน	520	IIC

ขั้นตอนที่ 1 จำแนกบริเวณอันตราย จากตัวอย่าง ชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในบริเวณอันตรายต้องระบุว่า ออกแบบสำหรับใช้กับบริเวณอันตรายโซน 1

ขั้นตอนที่ 2 ระบุเทคนิคการป้องกัน เลือกเทคนิคการป้องกันตามตารางที่ 3.2 คือ d, e, ib, m, o, p, หรือ q โดยเลือกแบบใดแบบหนึ่ง ในตัวอย่างนี้เลือกแบบ d

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดอุณหภูมิลุกติดไฟได้เองต่ำสุดของสารติดไฟได้ พิจารณาเลือกจากสารที่มีอุณหภูมิลุกติดไฟได้เองต่ำสุดคือสารอาเซททีลีน มีอุณหภูมิลุกติดไฟได้เอง 305 °C จากตารางที่ 3.5 เลือกระดับชั้นอุณหภูมิ T2 ซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 300 °C

ขั้นตอนที่ 4 ระบุกลุ่มสารติดไฟได้ สารที่มีอันตรายสูงสุดคือสารที่อยู่ในกลุ่ม IIC ดังนั้นอุปกรณ์ที่จะใช้ต้องระบุ ดังนี้

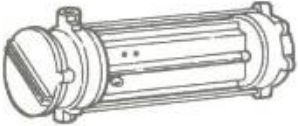
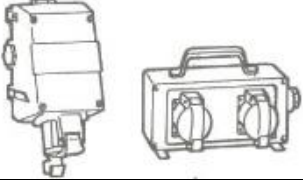
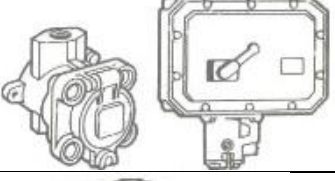
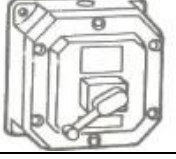
Class I Zone I EEx d T2 IIC

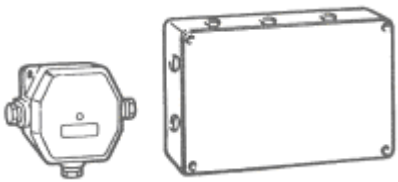
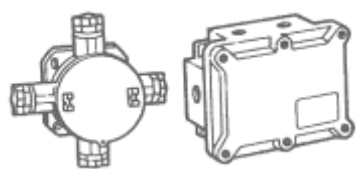
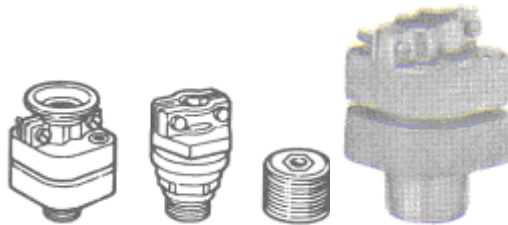
ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มสารติดไฟได้ประเภทก๊าซหรือไอระเหยตามมาตรฐาน NEC และ IEC

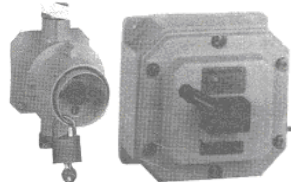
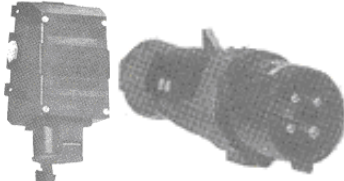
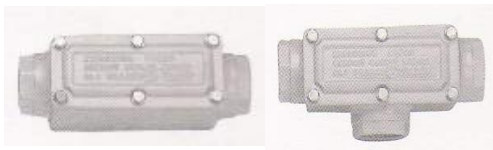
ชื่อสารไวไฟ	กลุ่มตามการจำแนก เป็นประเภท-แบบ (ตาม NEC)	อุณหภูมิลุก ติดไฟได้เอง (°C)	% LFL	% UFL	กลุ่มตามการจำแนกเป็น ประเภท-โซน (ตาม IEC)
Acetaldehyde	D	175	4	60	IIA
Acetic Acid	D	464	4	19.9	IIA
Acetone	D	465	2.5	12.8	IIA
Acetonitrile	D	524	3	16	IIA
Acetylene	A	305	2.5	99.9	IIC
Acrolein (Inhibited)	B	235	2.8	31	IIB
Acrylonitrile	D	481	3	17	IIB
Ammonia	D	498	15	28	IIA
Benzene	D	498	1.2	7.8	IIA
1,3-Butadiene	B	420	2	12	IIB
1-Butanol	D	343	1.4	11.2	IIA
2-Butanol	D	405	1.7	9.8	IIA
n-Butyl Acetate	D	421	1.7	7.6	IIA
Diethyl Ether	C	160	1.9	36	IIB
Dimethylamine	C	400	2.8	14.4	IIA
Ethylene Oxide	B	429	3	99.9	IIB
Toluene	D	480	1.1	7.1	IIA

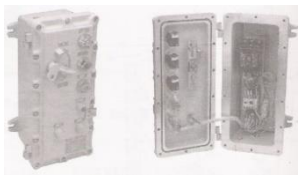
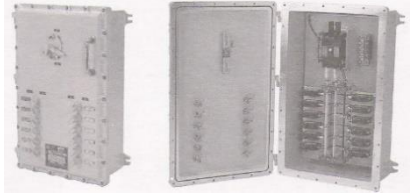
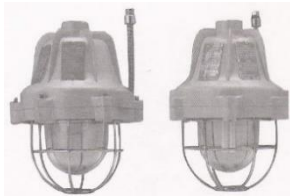
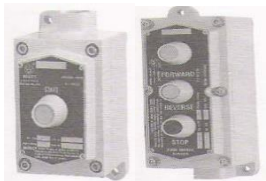
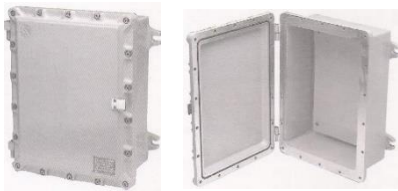
ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการตรวจสอบ ติดตั้งระบบ และอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่ที่มีไอระเหยของสารไวไฟ

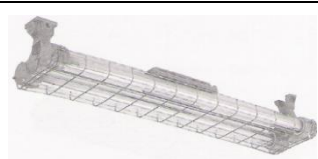
ตารางที่ 3.7 ตัวอย่างลักษณะอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดป้องกันการระเบิด

ชนิด	รูป	การป้องกัน	สัญลักษณ์
โคมไฟ	 อินคริเซเพ็กซ์ "e"	Increased Safety "e"	EEx e
	 เฟลมปรีฟ "d"	Flameproof "d"	EEx d
		Flameproof "d"	EEx d
ปลั๊ก สวิตช์		Intrinsic Safe "i" and Flameproof "d"	EEx i EEx d
		Flameproof "d"	EEx d
		Increased Safety "e"	EEx e
		Flameproof "d"	EEx d
สวิตช์ควบคุม		Increased Safety "e"	EEx e
		Flameproof "d"	EEx d

ชนิด	รูป	การป้องกัน	สัญลักษณ์
กล่องต่อสาย		Increased Safety “e”	EEx e
		Flameproof “d”	EEx d
ข้อต่อเข้าหัวเคเบิล		Increased Safety “e”	EEx e
		Flameproof “d”	EEx d
Motor Starter		Flameproof “d”	EEx d
กล่องวงจรปิด		Increase Safety “e”	EEx e
แผงควบคุม		Flameproof “d”	EEx d

ชนิด	รูป	การป้องกัน	สัญลักษณ์
Electronic Siren		Nonincendive “n”	EEx n
Alarm Siren		Nonincendive “n”	EEx n
สวิตช์ควบคุม		Flameproof “d”	EEx d
		Increased Safety “e” Flameproof “d”	EEx ed
เต้ารับ เต้าเสียบ		Flameproof “d” Increased Safety “e”	EEx d+e
อุปกรณ์การเดินท่อ Round Box		Increased Safety “e” “d”	Class I,DivI,DivII, Group C,D
Pull Box		Flameproof “d” “e”	Class I,DivI,DivII, Group C,D
Sealing Fitting		Flameproof “d” “e”	Class I,DivI,DivII, Group C,D

ชนิด	รูป	การป้องกัน	สัญลักษณ์
กล่องสวิตช์		Flameproof “d” “e”	Class I,DivI,DivII, Group C,D
กล่องเบรกเกอร์		Flameproof “d” “e”	Class I,DivI,DivII, Group C,D
ตู้เบรกเกอร์		Increased Safety “e” “d”	Class I,DivI,DivII, Group C,D
โคมไฟ		Flameproof “d” “e”	Class I,DivI,DivII, Group C,D
		Increased Safety “e” “d”	Class I,DivI,DivII, Group C,D
Push Button		Increased Safety “e” “d”	Class I,DivI,DivII, Group C,D
Junction Box		Flameproof “d” “e”	Class I,DivI,DivII, Group C,D
โคมไฟฟลูออเรสเซนต์		Flameproof “d” “e”	Class I,DivI,DivII, Group C,D

ชนิด	รูป	การป้องกัน	สัญลักษณ์
		Flameproof “d” “e”	Class I,DivI,DivII, Group C,D

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการตรวจสอบ ติดตั้งระบบ และอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่มีไอระเหยของสารไวไฟ

บทที่ 4

การตรวจสอบระบบไฟฟ้า

การตรวจสอบ (inspection) ระบบไฟฟ้าเป็นส่วนหนึ่งของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (preventive maintenance) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบว่า ระบบไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ไฟฟ้ามีการเสื่อมสภาพ หรือมีสภาพที่ต้องการการบำรุงรักษาหรือไม่ การตรวจสอบสามารถทำได้ 2 แบบ คือการตรวจสอบด้วยสายตา (visual inspection) และการตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัด ซึ่งต้องการความรู้ในการใช้เครื่องมือวัดและการวิเคราะห์ด้วย

ในการตรวจสอบด้วยสายตาและการใช้เครื่องมือวัดนั้น บทนี้จะแบ่งการตรวจสอบออกเป็น 3 ส่วนคือ การตรวจสอบทั่วไป การตรวจสอบตัวอุปกรณ์แต่ละรายการ และการตรวจสอบในบริเวณอันตราย โดยตารางที่ใช้ในการตรวจสอบ

4.1 การตรวจสอบทั่วไป

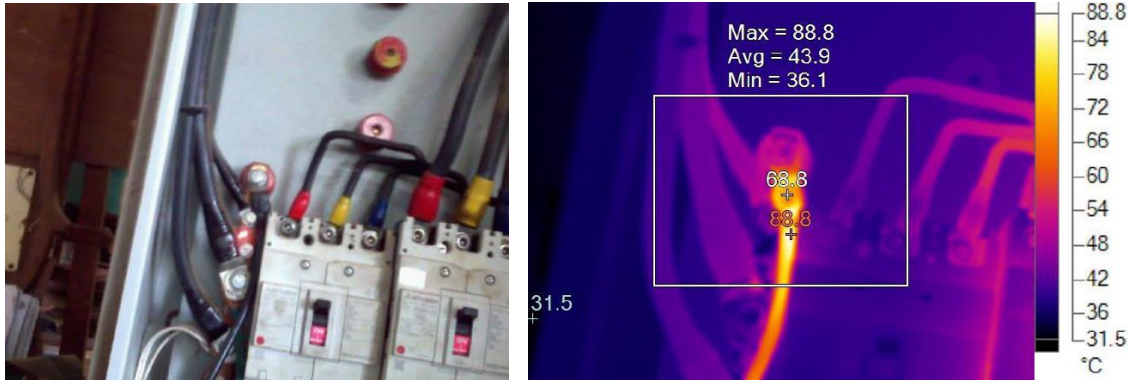
การตรวจสอบในขั้นตอนนี้ เป็นการตรวจสอบสภาพทั่วไปของระบบไฟฟ้าทั่วไป เป็นการตรวจอย่างง่าย อย่างไรก็ตาม ผู้ตรวจสอบควรเป็นผู้ที่รู้ถึงอันตรายจากไฟฟ้า และการป้องกันเป็นอย่างดี การสัมผัสส่วนใด ๆ ต้องมั่นใจว่าไม่มีไฟ หรือมีการป้องกันอย่างเหมาะสมแล้ว การตรวจทั่วไปมีดังนี้

4.1.1 สายไฟฟ้า การตรวจสอบนี้ให้สังเกตดูการชำรุดของฉนวน การเปลี่ยนสี รอยบวม รอยแตก หากพบสิ่งผิดปกติก็ควรหาสาเหตุและแก้ไข หรือเปลี่ยนใหม่



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างสายไฟฟ้าที่ฉนวนชำรุด เสื่อมสภาพ

4.1.2 เซอร์กิตเบรกเกอร์ การตรวจสอบนี้อาจทำได้โดยการใช้เครื่องวัดความร้อน วัดส่วนที่เป็นฉนวนไฟฟ้าเพื่อดูอุณหภูมิ หากสูงผิดปกติก็ควรตรวจแก้ไข (แต่ต้องระวังอันตรายจากไฟฟ้าดูดด้วย) การตรวจสอบด้วยสายตาสามารถตรวจหาความเสียหายทางกลเช่น การแตก หัก หรือการเปลี่ยนสีได้



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการตรวจสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยการใช้กล้องอินฟราเรดตรวจวัดความร้อน

4.1.3 ขั้วต่อหรือจุดต่อสาย การตรวจสอบเบื้องต้นสามารถสังเกตจากการเปลี่ยนสี สามารถตรวจสอบอย่างละเอียดได้ด้วยการใช้เครื่องวัดความร้อน จุดต่อสายต่าง ๆ ต้องต่อนแน่น ในกรณีที่มีการดับไฟเพื่อบำรุงรักษา ควรขันขั้วต่อสายทั้งหมดให้แน่นอีกครั้ง



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการตรวจสอบขั้วต่อหรือจุดต่อสาย โดยการใช้กล้องอินฟราเรดตรวจวัดความร้อน

4.1.4 การระบายอากาศในห้องไฟฟ้า ให้ตรวจวัดอุณหภูมิในห้อง ซึ่งไม่ควรสูงเกิน 40 °C วิธีที่สะดวกคือการติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ไว้ในห้องไฟฟ้า หากพบอุณหภูมิสูงเกินปกติก็ให้หาทางเพิ่มการระบายอากาศ

4.1.5 ตรวจสอบแบตเตอรี่ การตรวจสอบแบตเตอรี่ทำได้โดยการวัดแรงดันไฟฟ้า วัดค่าความถ่วงจำเพาะของกรด (หรือด่าง) ในการทดสอบการทำงานของไฟฟ้าส่องสว่างฉุกเฉิน ให้ทดลองกดปุ่มทดสอบจากเครื่อง

ส่องสว่างฉุกเฉิน ในการตรวจสอบเบื้องต้นสำหรับแบตเตอรี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้ทดลองสตาร์ทเครื่องดู เครื่องควรสตาร์ทติดได้ง่าย ตรวจสอบสภาพและการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ด้วย

4.2 การตรวจสอบอุปกรณ์

เป็นการตรวจสอบที่ตัวอุปกรณ์ เพื่อหาจุดบกพร่อง การเสื่อมสภาพ ความสกปรก และอื่น ๆ การตรวจสอบอุปกรณ์ ให้ทำการบันทึกค่า ผลการตรวจ และทำการวิเคราะห์ผลที่ได้เพื่อหาทางแก้ไข ข้อสำคัญคือ บางรายการต้องตรวจขณะที่จ่ายไฟ บางรายการต้องดับไฟก่อนจึงจะตรวจได้เนื่องจากมีอันตราย ผู้ที่จะทำการตรวจสอบต้องมีความรู้ในเรื่องนี้ด้วย การตรวจมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 การตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

4.2.1.1 ตัวถังหม้อแปลง ตรวจสอบสภาพทั่วไปและบันทึกผลว่า มีร่องรอยการเกิดสนิมหรือไม่ ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำมันที่ตัวถังหม้อแปลง ซึ่งจะสังเกตได้ด้วยสายตา และตรวจบริเวณบุชชิ่งหม้อแปลง ถ้าพบการรั่วซึมของน้ำมัน ต้องวางแผนการแก้ไข



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการตรวจสอบสภาพตัวถังหม้อแปลง

4.2.1.2 การต่อลงดินของส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่ง ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งซึ่งบุคคลอาจสัมผัสได้เช่น ตัวถังหม้อแปลง รั้วหม้อแปลง ต้องมีการต่อลงดิน ตรวจสอบว่าสายดินยังคงสภาพการใช้งานได้ดี ไม่ผุกร่อน ไม่หลุด และไม่หลวม และบันทึกผลตามสภาพที่ตรวจพบและแก้ไขตามความจำเป็น



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการตรวจสอบการต่อลงดินของหม้อแปลง

4.2.1.3 สารดูดความชื้น หม้อแปลงบางลูกมีสารดูดความชื้นด้วย สารดูดความชื้นจะทำหน้าที่ป้องกันความชื้นเข้าไปในน้ำมันหม้อแปลง เพราะถ้าในน้ำมันมีความชื้นสูง จะเสื่อมสภาพ หม้อแปลงอาจชำรุดได้ หม้อแปลงที่มีสารดูดความชื้นจะต้องมีการตรวจสอบสภาพของสารดูดความชื้น เมื่อสารดูดความชื้นมีความชื้นสูงจะเปลี่ยนสีจากสีม่วงน้ำเงินเป็นสีชมพู ซึ่งจะไม่สามารถดูดความชื้นได้อีก ต้องเปลี่ยนใหม่



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการตรวจสอบสภาพสารดูดความชื้นของหม้อแปลง

4.2.1.4 ป้ายเตือนอันตราย ป้ายเตือนอันตรายจะติดตั้งในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้า เพื่อเตือนบุคคลทั่วไปให้ระวังอันตรายจากไฟฟ้า ป้ายเตือนอันตรายต้องติดตั้งมั่นคงแข็งแรง ตัวหนังสืออ่านได้ชัดเจนไม่ลบเลือน

4.2.1.5 พื้นลานหม้อแปลง หม้อแปลงที่ติดตั้งบนพื้น จะต้องมียินโรยอยู่โดยรอบหม้อแปลง เพื่อสำหรับซับน้ำมันที่อาจรั่วออกมา ต้องตรวจสอบบริเวณพื้นที่โรยหินให้อยู่ในสภาพที่เรียบร้อย ปริมาณหินมีความสูงไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร ไม่มีหญ้าหรือวัชพืชอื่น รวมทั้งต้องไม่มีวัสดุอื่นวางอยู่ในลานหม้อแปลง

4.2.1.6 เสาหม้อแปลง หม้อแปลงที่ติดตั้งบนเสาไฟฟ้า ต้องตรวจสอบสภาพของเสาไฟฟ้าว่าต้องมั่นคงแข็งแรง ไม่แตกร้าว ไม่บิดเบี้ยว สำหรับหม้อแปลงที่วางบนนั่งร้านหม้อแปลง ตรวจสอบคานนั่งร้านด้วยว่าแตกร้าวหรือไม่ และการติดตั้งหรือการวางหม้อแปลงต้องมั่นคงดีหรือไม่ด้วย

4.2.1.7 การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง การตรวจสอบซ่อมบำรุงหม้อแปลงทั้งหมด ต้องมีการบันทึกผล และรายการซ่อมบำรุงด้วยเพื่อใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบครั้งต่อไป

4.2.1.8 อื่น ๆ ตรวจสอบสภาพหม้อแปลงและการติดตั้งอื่นเช่น สภาพห้องหม้อแปลง การระบายอากาศในห้องหม้อแปลง แสงสว่าง เสียงดัง และสภาพบุชชิง เป็นต้น ถ้าตรวจพบให้ระบุสภาพที่พบและแก้ไขตามความจำเป็น ปกติหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีการตรวจสอบและซ่อมบำรุงเป็นประจำอย่างน้อยปีละครั้งเช่น ตรวจวัดค่าความเป็นฉนวนน้ำมันหม้อแปลง และตรวจสอบสภาพทั่วไป



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่วางบนนั่งร้านหม้อแปลง



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างการตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแห้ง

4.2.2 การตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.2.2.1 ห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตรวจสอบแสงสว่าง การระบายอากาศ และพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานภายในห้อง ทิศทางการไหลของอากาศที่ใช้ระบายความร้อน การไหลวนของไอเสีย การติดตั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้

4.2.2.2 สภาพทั่วไปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตรวจสอบสภาพตัวเครื่อง ว่ามีความเสียหายทางกายภาพ การผูกมัดหรือไม่ สภาพไส้กรองอากาศ และความสะอาดทั่วไป

4.2.2.3 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง ตรวจสอบระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในถังน้ำมันประจำเครื่อง (day tank) การต่อลงดินของถังน้ำมันประจำเครื่อง และเครื่องสูบน้ำมันเชื้อเพลิง การรั่วซึมในระบบท่อ ท่ออ่อน และข้อต่อต่าง ๆ ไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง

4.2.2.4 ระบบหล่อลื่น ตรวจสอบระดับและสภาพของน้ำมันหล่อลื่น ไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น

4.2.2.5 ระบบระบายความร้อน ตรวจสอบระดับของเหลวระบายความร้อน เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น การรั่วซึมในระบบท่อ ท่ออ่อน และข้อต่อต่าง ๆ ความตึงของสายพานพัดลมระบายความร้อน ความสะอาดของรังผึ้งระบายความร้อน (radiator) สภาพของท่อลม บานเกร็ด และกราวด์ที่ขัดเตอร์

4.2.2.6 ระบบไอเสีย ตรวจสอบสภาพท่อไอเสีย และท่ออ่อน ฉนวนหุ้มท่อไอเสีย การยึดท่อไอเสีย การรั่วไหลของไอเสีย

4.2.2.7 แบตเตอรี่ ตรวจสอบระดับน้ำกลั่น (electrolyte) ความสะอาดของขั้วแบตเตอรี่ การอัดประจุแบตเตอรี่ และแบตเตอรี่ชาร์จเจอร์

4.2.2.8 ระบบไฟฟ้า ตรวจสอบการต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สภาพของสายไฟฟ้า ความเสียหายของฉนวนสายไฟฟ้า เซอร์กิตเบรกเกอร์ และฟิวส์ สภาพและความสะอาดของแผงสวิตช์ (ตรวจสอบเช่นเดียวกับตู้เมนสวิตช์)



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการตรวจสอบปริมาณน้ำมันสำรองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.2.3 การตรวจสอบตู้เมนสวิตช์

4.2.3.1 สภาพของระบบสายดินและการต่อหลักดิน ตู้เมนสวิตช์โลหะต้องมีการต่อลงดิน โดยปกติการต่อลงดินของตู้จะต่อลงบัสบาร์นิวทรัล หรือกราวด์บาร์ ซึ่งบัสบาร์ทั้งสองนี้ได้มีการต่อลงดินไว้แล้ว การตรวจสอบจึงตรวจว่าสายดินและจุดต่อสายดินยังคงอยู่ในสภาพที่ดีหรือไม่ จุดที่ควรตรวจเป็นพิเศษคือจุดที่สายดินต่อกับหลักดินเนื่องจากพบว่ามักชำรุดบ่อย

4.2.3.2 บริเวณโดยรอบตู้และตัวตู้ ตู้สวิตช์ต้องมีพื้นที่ว่างให้สามารถปฏิบัติงานได้สะดวก การตรวจพื้นที่โดยรอบและสภาพทั่วไป ควรตรวจสอบสิ่งต่อไปนี้

- 1) พื้นที่ว่าง ด้านหน้าตู้สวิตช์และด้านที่ต้องเข้าปฏิบัติงานต้องมีพื้นที่ว่างที่จะสามารถทำงานได้โดยสะดวก และเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานด้วย
- 2) เส้นทางที่จะเข้าไปยังพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน ต้องไม่มีสิ่งของวางกีดขวาง เนื่องจากอาจมีเหตุฉุกเฉินที่ต้องเข้าถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ บนตู้สวิตช์โดยเร่งด่วนเช่น การเปิด-ปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นต้น



รูปที่ 4.11 การวางสิ่งของกีดขวางพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานของตู้สวิตช์ (ไม่ถูกต้อง)

- 3) ตรวจสอบว่ามีการวางวัสดุที่ติดไฟได้ติดกับตู้ เช่น สารไวไฟ เส้นใย หรือไม่ ถ้าพบต้องเคลื่อนย้ายออกให้หมด เพราะอาจเกิดอันตรายจากเพลิงไหม้ได้



รูปที่ 4.12 การจัดเก็บวัสดุที่ติดไฟได้ไว้ใกล้กับตู้สวิตช์ (ไม่ถูกต้อง)

4) ฝุ่น หยากใย โดยรอบตู้และภายในตู้ ตรวจทำความสะอาดฝุ่นละออง หยากใย และเศษผงต่าง ๆ โดยเฉพาะเส้นใยและฝุ่นที่ติดไฟได้ ทำความสะอาดทั้งภายในและภายนอกตู้ การทำความสะอาดภายในตู้ต้องระวังอันตรายจากการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้า ถ้าไม่แน่ใจ ควรดับไฟที่จ่ายให้ตู้สวิตช์ก่อน วิธีทำความสะอาดตู้สวิตช์คือเช็ดด้วยผ้าแห้ง หรือใช้เครื่องดูดฝุ่น ทั้งนี้เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่น บริเวณโดยรอบตู้ก็ควรทำความสะอาดด้วยเครื่องดูดฝุ่นหรือจะใช้ไม้กวาดก็ได้



รูปที่ 4.13 การตรวจสอบสภาพภายในตู้สวิตช์ พบหยากใย และเส้นใยที่อาจติดไฟได้ (ไม่ถูกต้อง)

4.2.3.3 ความผิดปกติทางกายภาพ เป็นการตรวจสอบสภาพทั่วไปด้วยสายตา (ประสาทสัมผัส) โดยการตรวจหาความเสียหายทางกายภาพเช่นสี การผุกร่อน ประตูปิดได้ดีหรือไม่ สามารถป้องกันการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าได้หรือไม่ การตรวจด้วยสายตาสามารถตรวจหาร่องรอยการเกิดความร้อนสูงได้จากการเปลี่ยนสี เช่น จุดต่อสายหรือจุดต่อบัสบาร์หลวม จุดต่อสายที่ต่อจากเซอร์กิตเบรกเกอร์มักพบว่าหลวมอยู่เสมอ การตรวจจึงควรให้ความสำคัญที่จุดนี้ด้วย การตรวจด้วยการฟังจะเป็นการตรวจหาเสียงที่ผิดปกติจากการสั่นสะเทือน การอาร์ก หรือจากอุปกรณ์ เช่น เสียงฮัมของขดลวด เป็นต้น สำหรับการตรวจด้วยการดมกลิ่นนั้น โดยปกติจะเป็นกลิ่นไหม้ของอุปกรณ์ ขดลวด หรือฉนวนต่าง ๆ การตรวจอุณหภูมิโดยรอบสามารถสัมผัสเบื้องต้นได้ด้วยความรู้สึก แต่ถ้าต้องการความมั่นใจควรติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ไว้ในห้องด้วย จะสามารถตรวจสอบได้สะดวกและแน่นอนกว่า



รูปที่ 4.14 การตรวจสอบความผิดปกติทางกายภาพภายในตู้สวิตช์ พบซากหนูลัดวงจรที่บัสบาร์ (ไม่ถูกต้อง)

4.2.3.4 การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง ในการตรวจตู้สวิตช์ ถ้าพบสิ่งผิดปกติควรบันทึกสิ่งผิดปกตินั้น และวางแผนแก้ไขตามเวลาที่เหมาะสม และบันทึกการแก้ไขไว้ด้วย

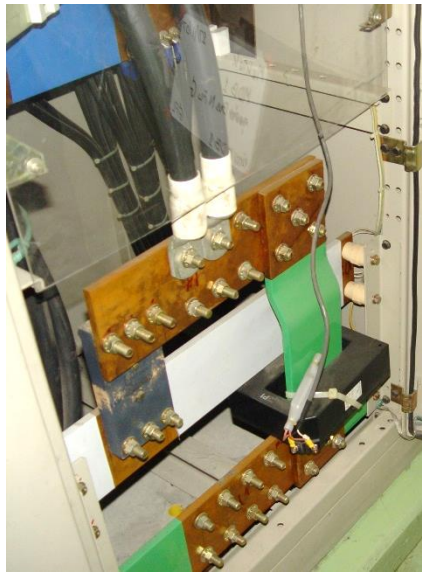
4.2.3.5 อื่น ๆ อาจมีการตรวจสอบอย่างอื่นเพิ่มเติมอีก เช่น ตรวจสอบการทำงานของเครื่องวัดที่หน้าแผง หลอดไฟต่าง ๆ เป็นต้น



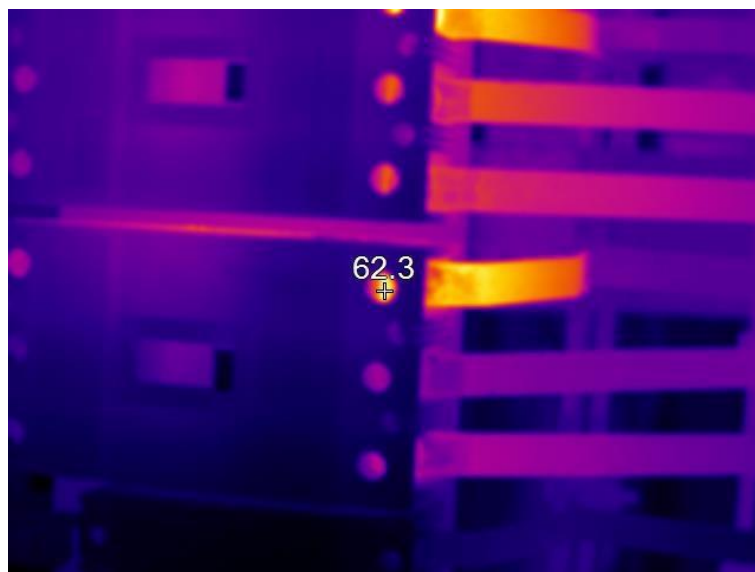
รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการตรวจสอบที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานของตู้เมนสวิตช์



รูปที่ 4.16 ตัวอย่างการตรวจสอบการต่อฝากของฝาตู้เมนสวิตช์



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างการตรวจสอบการต่อลงดินของตู้เมนสวิตช์



รูปที่ 4.18 ตัวอย่างการตรวจสอบอุณหภูมิของจุดต่อทางไฟฟ้า

4.2.4 การตรวจสอบแผงย่อย (panel board)

เป็นการตรวจสอบทั้งบริเวณการติดตั้งในพื้นที่ทั่วไป และพื้นที่ที่มีสารไวไฟ สำหรับพื้นที่ที่มีสารไวไฟ ให้ระบุประเภทและแบบของบริเวณนั้นด้วย

4.2.4.1 ระบบต่อลงดิน ตรวจสอบการต่อลงดินว่าถูกต้องและใช้งานได้หรือไม่ สภาพสายดินยังอยู่ในสภาพดีหรือไม่ รวมทั้งตรวจสอบจุดสายดินทั้งหมด หากพบว่าชำรุด หลุด หรือหลวม ให้บันทึกผลการตรวจและทำการแก้ไข

4.2.4.2 บริเวณโดยรอบ บริเวณโดยรอบต้องมีพื้นที่ว่างให้สามารถปฏิบัติงานได้โดยสะดวก ห้ามวางวัสดุที่ติดไฟได้ติดหรือใกล้กับตู้ เช่น สารไวไฟ เสื้อผ้า เส้นใย เป็นต้น รวมทั้งเส้นทางเข้าออกพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน ต้องไม่มีวัสดุวางกีดขวางจนการเข้าออกไม่สะดวก



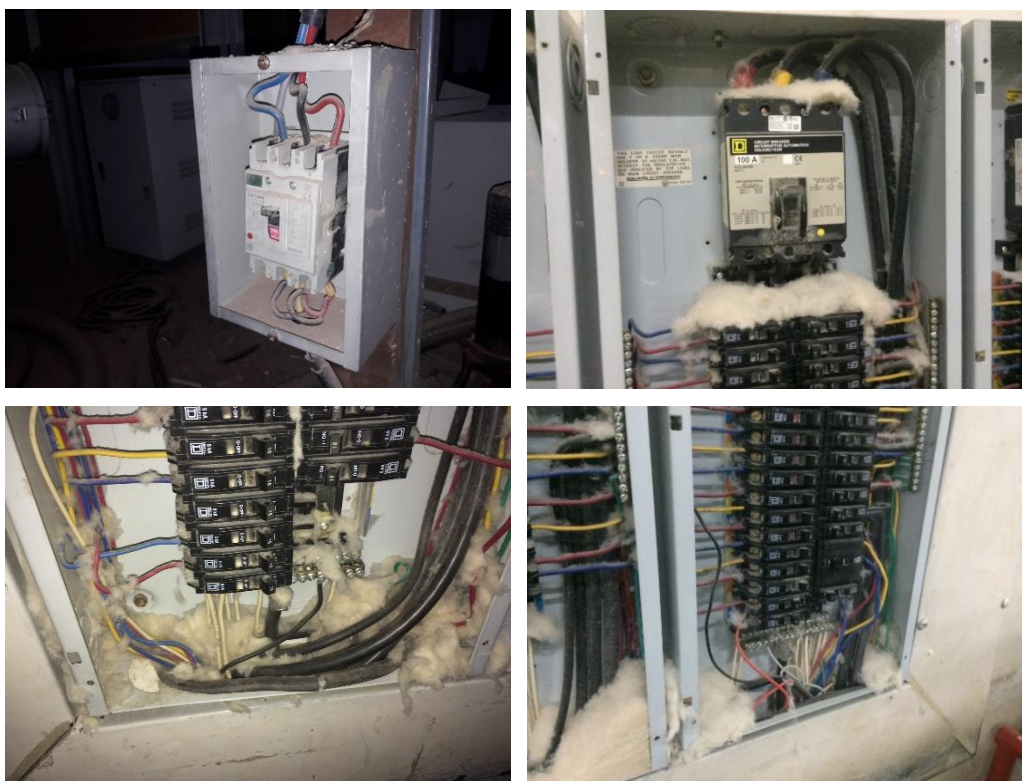
รูปที่ 4.19 การวางสิ่งของกีดขวางพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานของแผงย่อย (ไม่ถูกต้อง)

4.2.4.3 ตรวจสอบสภาพทั่วไปว่ามีฝุ่น หยากใย โดยรอบตู้และภายในตู้หรือไม่ ถ้าตรวจพบให้ทำความสะอาดเช่นเดียวกับตู้เมนสวิตช์

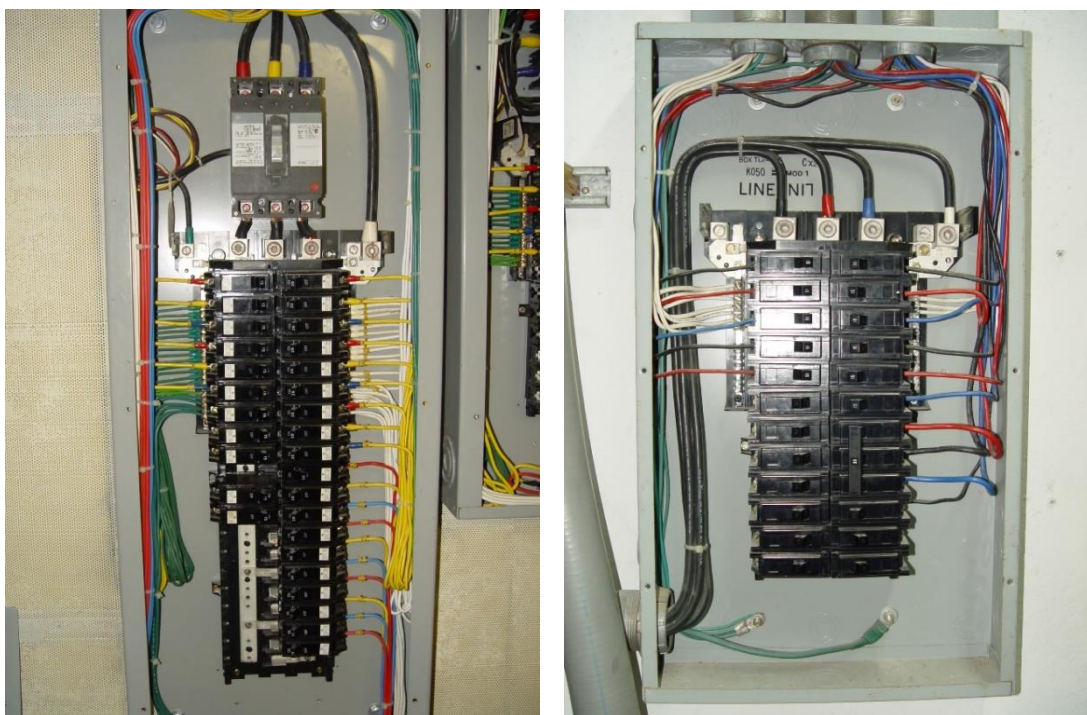
4.2.4.4 ตรวจสอบสภาพตัวแผงย่อย การป้องกันการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้า และการปิดฝาตู้

4.2.4.5 การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง ในการตรวจสอบ ถ้าพบสภาพผิดปกติต้องวางแผนการแก้ไข และทำการแก้ไข และบันทึกผลการแก้ไขไว้ด้วย

4.2.4.6 อื่น ๆ ตรวจสอบเช่นเดียวกับตู้เมนสวิตช์



รูปที่ 4.20 การตรวจสอบสภาพภายในแผงย่อย พบหยากไย่ และเส้นใยที่อาจติดไฟได้ (ไม่ถูกต้อง)



รูปที่ 4.21 ตัวอย่างการตรวจสอบการต่อลงดินของแผงย่อย

4.2.5 การตรวจสอบโคมไฟ หลอดไฟ และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

เป็นการตรวจสอบเฉพาะในพื้นที่อันตราย หรือพื้นที่จัดเก็บวัสดุที่ติดไฟได้ง่าย ในการตรวจให้ระบุ (จำแนก) บริเวณพื้นที่ติดตั้งด้วยว่าเป็นบริเวณอันตรายประเภทใดและแบบใด

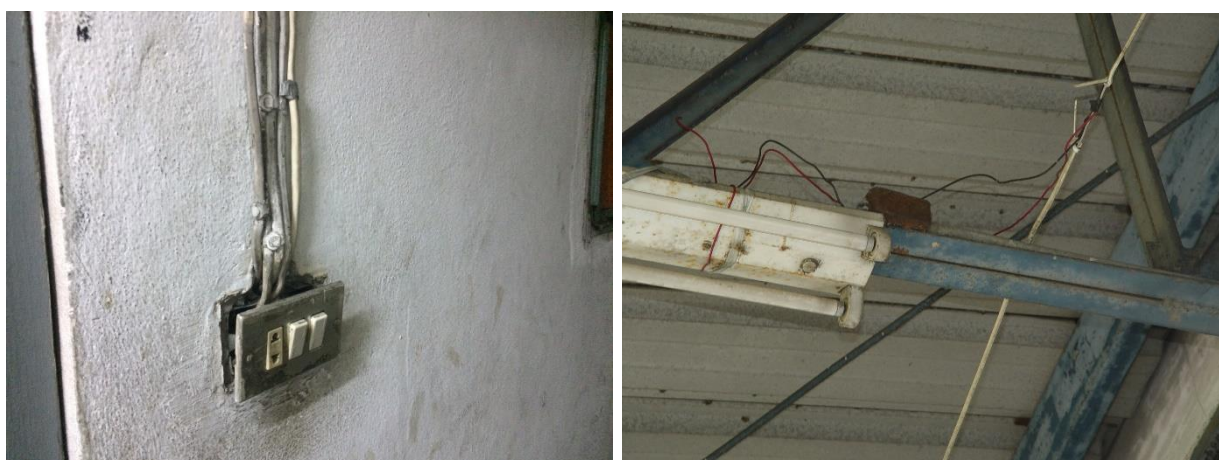
4.2.5.1 การติดตั้งและโครงสร้างของโคมไฟ ตรวจสอบสภาพการติดตั้งทั่วไปด้วยสายตา โดยดูว่าสภาพการติดตั้งมั่นคง แข็งแรง หรือไม่ โดยเฉพาะฝากรอบดวงโคมซึ่งต้องสามารถป้องกันหลอดไฟไม่ให้หลุดตกลงพื้นได้

4.2.5.2 หลอดไฟและขั้วหลอด ตรวจสอบสภาพหลอดไฟและขั้วหลอดว่ากะพริบหรือไม่ ขั้วหลอดดำหรือสว่างไม่เต็มหลอดหรือไม่ และมีเสียงดังจากบัลลาสต์หรือไม่ หากตรวจพบให้ระบุตำแหน่ง จำนวน และวางแผนแก้ไข

4.2.5.3 สายป้อน สายวงจรย่อย และสวิตช์ตัดตอนของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ตรวจสอบสภาพสายไฟฟ้าและอุปกรณ์การเดินสายที่จ่ายไฟให้วงจรย่อยและสายป้อนว่าชำรุดหรือไม่ สายไฟฟ้าสามารถตรวจสอบเบื้องต้นด้วยสายตาว่ามีสภาพกรอบ แตก บวม หรือเปลี่ยนสีหรือไม่ ตรวจจุดต่อสายโดยเฉพาะจุดที่ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าและเซอร์กิตเบรกเกอร์ จุดต่อสายหลวมจะเกิดความร้อนสูงจนเป็นอันตรายโดยเฉพาะในบริเวณที่มีสารไวไฟ ความร้อนทำให้โลหะเปลี่ยนสีจนสังเกตได้ รวมทั้งอาจมีรอยไหม้ให้เห็น การตรวจที่ละเอียดและสามารถตรวจพบได้ในระยะเริ่มต้นคือ การตรวจวัดความร้อนด้วยเครื่องมือวัดความร้อน ถ้าพบว่าหลวมต้องขันใหม่ให้แน่น และตัดต่อใหม่ตามความจำเป็น

4.2.5.4 การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง การตรวจพบตามที่กล่าวข้างต้นต้องมีการแก้ไขและบันทึกผลการแก้ไขด้วย

4.2.5.5. อื่น ๆ การตรวจอื่น ๆ เช่น บริเวณที่มีเส้นใยที่เป็นสารไวไฟ ควรทำความสะอาดเส้นใยที่ฟุ้งกระจายไปเกาะตามฝากรอบดวงโคมเนื่องจากว่า นอกจากจะทำให้ความสว่างลดลงแล้ว ยังเป็นผลให้การระบายอากาศไม่ดีเกิดความร้อนและอาจเกิดจุดติดไฟได้ด้วย ถ้ามีการต่อลงดิน ควรตรวจสอบสภาพด้วยว่าสายดินยังคงสภาพการใช้งานได้ดีหรือไม่



รูปที่ 4.22 ตัวอย่างการตรวจสอบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

4.2.6 การวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน

กรณีที่ต้องการทราบค่าความต้านทานการต่อลงดิน ต้องวัดด้วยเครื่องมือวัดที่เรียกว่าเครื่องวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน เครื่องมือวัดค่าความต้านทานการต่อลงดินมีหลายแบบ ส่วนใหญ่ในการวัดจะมีการปักหลักดินเพิ่มอีกจำนวน 2 หรือ 3 หลัก ระยะห่างระหว่างหลักดินเปลี่ยนไปตามชนิดของเครื่องซึ่งดูได้จากข้อแนะนำของผู้ผลิต และการแสดงข้อผิดพลาดก็อาจแตกต่างกันไปด้วย ผู้ใช้งานจึงควรศึกษารายละเอียดการใช้งานให้ชัดเจนก่อน เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง การวัดค่าความต้านทานการต่อลงดินมีขั้นตอนดังนี้

4.2.6.1 ปลดสายต่อหลักดินออกจากหลักดิน (พึงระวังว่าระบบไฟฟ้าอาจจะอยู่ในสภาวะที่ไม่มีการต่อลงดิน)

4.2.6.2 ปักหลักดินช่วยสำหรับจ่ายกระแสทดสอบ (current spike , C) โดยให้ห่างจากหลักดินที่ต้องการวัดค่า (E) อย่างน้อย 10 เท่าของความลึกของหลักดิน E

4.2.6.3 ปักหลักดินช่วยสำหรับวัดแรงดัน (potential spike , P) ให้อยู่ในแนวเส้นตรงระหว่างหลักดิน E กับ C โดยมีระยะห่างจากหลักดิน E เป็นระยะ 62% ของระยะ E-C

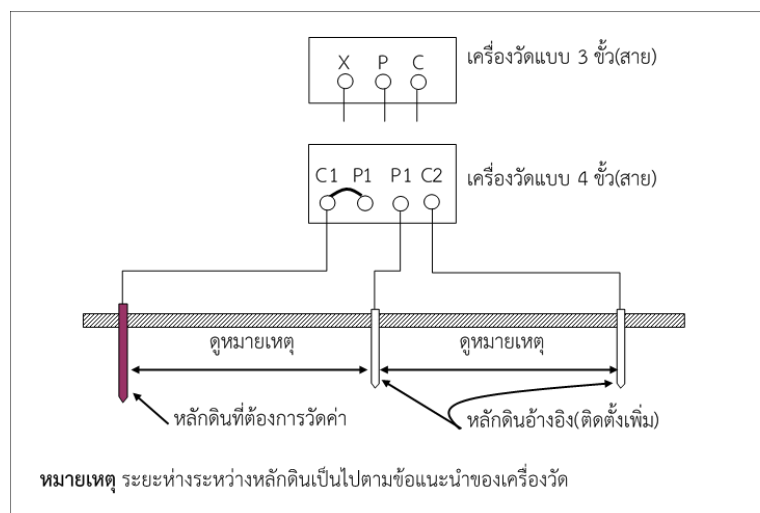
4.2.6.4 วัดค่าความต้านทาน และบันทึกค่า

4.2.6.5 ทำการวัดอีก 2 ครั้งโดยขยับปักหลักดิน P เข้าและออกในแนวเส้นตรงเดิม โดยมีระยะห่างจากหลักดิน E เป็นระยะ 52% และ 72% ของระยะ E-C

4.2.6.6 วัดค่าความต้านทาน และบันทึกค่า

4.2.6.7 หาค่าเฉลี่ยของความต้านทานที่วัดได้ที่ระยะ 52%, 62% และ 72% ของระยะ E-C หากค่าเฉลี่ยที่ได้มีค่าแตกต่างจากค่าความต้านทานสูงสุด หรือต่ำสุดที่วัดได้ไม่เกิน 5% ถือว่าใช้ได้ และค่าความต้านทานที่วัดได้ที่ระยะ 62% คือค่าความต้านทานของการต่อลงดิน

หากค่าเบี่ยงเบนมากกว่า 5% ให้ขยับหลักดิน C ให้ห่างออกไปอีก (อย่างน้อย 10 เมตร) แล้วเริ่มทำการวัดใหม่



รูปที่ 4.23 ตัวอย่างการต่อสายเครื่องวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน



รูปที่ 4.24 ตัวอย่างเครื่องวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน

4.3 การตรวจสอบในบริเวณอันตราย

4.3.1 การตรวจสอบในบริเวณอันตรายประเภทที่ 1

ขั้นตอนการตรวจสอบในบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 มีดังนี้

4.3.1.1 การจำแนกพื้นที่ประเภท แบบ โซน และ กลุ่ม (class, division, zone and group)

4.3.1.2 ตรวจสอบวิธีการเดินสายไฟ

4.3.1.3 ตรวจสอบตำแหน่งการปิดผนึก ความเหมาะสมของการติดตั้งและการปิดผนึกตาม

มาตรฐาน

4.3.1.4 ตรวจสอบความเหมาะสมของวัสดุที่ใช้ทำข้อต่ออ่อน (flexible connections)

เช่น explosionproof flex และ flexible cords

4.3.1.5 ตรวจสอบความเหมาะสมของ flexible cord connectors และ ตัวรับ

4.3.1.6 ตรวจสอบการทำเครื่องหมายแสดงอุณหภูมิบนตัวอุปกรณ์ ต้องไม่สูงเกินค่าอุณหภูมิ
จุดติดไฟของก๊าซหรือไอระเหยที่มีอยู่รอบบริเวณ

4.3.1.7 ตรวจสอบความเหมาะสมของพิกัดและชนิดของ enclosures ของ

4.3.1.8 ตรวจสอบระบบการต่อลงดินและการต่อฝาก

4.3.2 การตรวจสอบในบริเวณอันตรายประเภทที่ 2

ขั้นตอนการตรวจสอบในบริเวณอันตรายประเภทที่ 2 มีดังนี้

4.3.2.1 การจำแนกพื้นที่ประเภท แบบ และ กลุ่ม (class, division and group)

4.3.2.2 ตรวจสอบวิธีการเดินสายไฟ

4.3.2.3 ตรวจสอบตำแหน่งของปิดผนึก ความถูกต้องเหมาะสมของการติดตั้งการปิดผนึก

เว้นแต่การจัดวางช่องเดินสาย (raceway) จะส่งผลให้ไม่จำเป็นต้องมีการปิดผนึก

4.3.2.4 ตรวจสอบการทำเครื่องหมายแสดงอุณหภูมิบนตัวอุปกรณ์ ต้องไม่สูงเกินค่าอุณหภูมิจุดติดไฟของฝุ่นที่มีอยู่รอบบริเวณนั้น

4.3.2.5 ตรวจสอบความเหมาะสมของวัสดุที่ใช้ทำข้อต่ออ่อน(flexible connection) รวมถึง flexible cords

4.3.2.6 ตรวจสอบความเหมาะสมของ flexible cord connector และตัวรับ

4.3.2.7 ตรวจสอบความเหมาะสมของฟีกัดและชนิดของ enclosures ของ

4.3.2.8 ตรวจสอบระบบการต่อลงดินและการต่อ

4.3.3 การตรวจสอบในบริเวณอันตรายประเภทที่ 3

ขั้นตอนการตรวจสอบในบริเวณอันตรายประเภทที่ 3 มีดังนี้

4.3.3.1 การจำแนกพื้นที่ประเภท และ แบบ (class and division)

4.3.3.2 ตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีการเดินสายไฟ

4.3.3.3 ตรวจสอบความเหมาะสมของวัสดุที่นำมาใช้เป็นข้อต่ออ่อน (flexible connection)

4.3.3.4 ตรวจสอบความเหมาะสมของ flexible cord connector และ ตัวรับ (receptacle)

4.3.3.5 ตรวจสอบอุณหภูมิทำงานของอุปกรณ์ อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ตามเงื่อนไข

4.3.3.6 ตรวจสอบความเหมาะสมของฟีกัดและ ชนิดของ enclosure ของอุปกรณ์ต่าง ๆ

4.3.3.7 ตรวจสอบระบบการต่อลงดินและการต่อฝาก

4.3.3.8 ตรวจสอบความเหมาะสมของตำแหน่งและการติดตั้งปั้นจั่น รอกไฟฟ้า (hoist) และที่ชาร์จแบตเตอรี่

4.4 การรายงานผลการตรวจสอบ

การตรวจสอบในข้อที่ 4.2 และ 4.3 เป็นการตรวจและวิธีการตรวจอุปกรณ์ต่าง ๆ (การดำเนินการ) ในการดำเนินการตรวจ จะต้องมีการบันทึกผลการตรวจ และวิเคราะห์ผลด้วย ว่าใช้ได้หรือไม่ ในตารางการตรวจ (ตารางที่ 4.1 – 4.13) อาจเพิ่มสดมภ์ (column) ทางขวามือของตารางการตรวจ เป็นหมายเหตุ เพื่อระบุสิ่งที่ต้องทำหรือระบุสิ่งที่ได้ดำเนินการแก้ไขไปแล้ว เพื่อเก็บเป็นประวัติและใช้ประโยชน์ในการบำรุงรักษา

4.5 ความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงรักษา

ความถี่ในการตรวจสอบ ขึ้นกับสภาพแวดล้อมและการใช้งาน โดยปกติจะดำเนินการปีละ 1 ครั้ง การที่จะทำการตรวจสอบถี่ขึ้นหรือไม่นั้น ให้พิจารณาปัจจัยต่อไปนี้ประกอบด้วยคือ

4.4.1 การกีดกร่อนของบรรยากาศ

4.4.2 สิ่งสกปรกและฝุ่นละออง

4.4.3 อุณหภูมิโดยรอบและความชื้น

4.4.4 ความถี่ในการทำงาน

4.4.5 ความถี่ในการตัดกระแสลัดวงจร (กรณีเซอร์กิตเบรกเกอร์)

ตารางที่ 4.1 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงน้ำมัน

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
อุณหภูมิ	จดอุณหภูมิอากาศ น้ำมันหม้อแปลงและขดลวด		
ระดับน้ำมันหม้อแปลง	อ่านค่าจากเครื่องวัดระดับน้ำมัน (สังเกตรอยแตกรั่วหรือมีไอน้ำเกาะในกระจกหรือไม่ด้วย)		
การรั่วซึมของน้ำมัน	ตรวจการรั่วซึมตามครีประบายความร้อน ข้อต่อวาล์ว และชิ้นส่วนอื่น ๆ		
เสียงดังผิดปกติขณะทำงาน	ตรวจสอบโดยการฟังเสียง ถ้าเกิดจากการสันเสเหือนผิดปกติ จะทราบได้จากการใช้มือสัมผัสตัวถังหม้อแปลง		
บุชชิ่ง	ตรวจรอยรั่วซึมของน้ำมัน รอยแตก บิ่น และสิ่งสกปรก		
สารดูดความชื้น	ตรวจการเปลี่ยนสีของสารดูดความชื้น (silica gel) หากเปลี่ยนสี ต้องเปลี่ยนใหม่ ตรวจคราบน้ำมันในกล่องด้วย		
สภาพภายนอกทั่วไป	สังเกตสิ่งสกปรก สนิม หยดน้ำ การเปลี่ยนสีของจุดต่าง ๆ สังเกตเสียงและแสงที่เกิดจาก Partial discharge สังเกตกลิ่นที่ผิดปกติ		
ล่อฟ้า (กับดักฟ้าผ่า)	ตรวจสภาพทั่วไป รอยบิ่น แตก จด Counter ของล่อฟ้า (ถ้ามี)		
ฐานรองหม้อแปลง	ตรวจดูรอยแตกรั่ว หรือการทรุดตัว		
น้ำมันหม้อแปลง	วัดค่าความเป็นฉนวนของน้ำมันหม้อแปลง (ปีละครั้ง)		
สายดินและหลักดิน	ตรวจจุดต่อสายดินและสภาพสายดิน ว่าหลุดหลวมหรือสึกกร่อนหรือไม่		
อุปกรณ์ป้องกัน	ตรวจสอบฟังก์ชันการทำงาน และสภาพทั่วไป		

ตารางที่ 4.2 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงชนิดแห้ง

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
ตรวจเหมือนหม้อแปลงน้ำมันในส่วนที่เหมือนกัน และเพิ่มเติมต่อไปนี้			
การระบายอากาศ	ช่อง หรือครีระบายอากาศ รวมทั้งการทำงานของพัดลมระบายอากาศ		
ตรวจภายในตู้	ตรวจฝุ่นที่ขดลวด Insulator ช่องทางระบายอากาศ การเปลี่ยนสีเนื่องจากความร้อน ตัววัดขดลวดหลุด หลวม หรือไม่ ตรวจความสกปรกของตู้ จุดต่อไฟฟ้า ตรวจการหลวมหรือผู้กร่อน และทำความสะอาด		

ตารางที่ 4.3 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
สภาพสถานที่ติดตั้ง	แสงสว่าง การระบายอากาศ การไหลวนของไอเสีย การติดตั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้		
พื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน	มีพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานโดยรอบ และทางเข้าไม่มีสิ่งกีดขวาง พื้นที่ว่างไม่ใช่เป็นที่เก็บของ		
สภาพตัวเครื่อง	ไม่มีความเสียหายทางกายภาพ การผูกเรือน สภาพไส้กรองอากาศ และความสะอาด		
ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง	ระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในถังน้ำมันประจำเครื่อง (day tank) การต่อลงดินของถังน้ำมัน และเครื่องสูบน้ำมันเชื้อเพลิง การรั่วซึมในระบบท่อ ท่ออ่อน และข้อต่อต่าง ๆ ไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง		
ระบบหล่อลื่น	ระดับและสภาพของน้ำมันหล่อลื่น ไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น		
ระบบระบายความร้อน	ระดับของเหลวระบายความร้อน เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น การรั่วซึมในระบบท่อ ท่ออ่อน และข้อต่อต่าง ๆ ความตึงของสายพานพัดลมระบายความร้อน ความสะอาดของรังผึ้งระบายความร้อน (radiator) สภาพของท่อลม บานเกร็ด และกราวด์ที่ขัดเตอร์		
ระบบไอเสีย	สภาพท่อไอเสีย และท่ออ่อน ฉนวนหุ้มท่อไอเสีย การยึดท่อไอเสีย การรั่วไหลของไอเสีย		
แบตเตอรี่	ระดับน้ำกลั่น (electrolyte) ความสะอาดของขั้วแบตเตอรี่ การอัดประจุแบตเตอรี่ และแบตเตอรี่ชาร์จเจอร์		
ระบบไฟฟ้า	การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สภาพของสายไฟฟ้า ความเสียหายของฉนวนสายไฟฟ้า เซอร์กิตเบรกเกอร์ และฟิวส์ สภาพและความสะอาดของแผงสวิตช์		

ตารางที่ 4.4 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาแผงสวิทช์ (แรงสูงและแรงต่ำ)

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
สภาพสถานที่ติดตั้ง	มีสิ่งอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องและเป็นเชื้อเพลิงหรือไม่ ฐานเอียงหรือทรุด กรณีติดตั้งในห้องต้องตรวจการระบายอากาศว่าใช้ได้หรือไม่ (ถ้าพบต้องแก้ไข)		
พื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน	มีพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานโดยรอบ และทางเข้าไม่มีสิ่งกีดขวาง พื้นที่ว่างไม่ใช่เป็นที่เก็บของ		
การระบายอากาศในตู้ และช่องระบายแรงดัน	ตรวจสอบช่องระบายอากาศ การระบายอากาศในตัวตู้ว่ายังอยู่ในปกติหรือไม่ ตรวจสอบช่องระบายความดันว่าทำงานได้ดีหรือไม่ (ถ้ามี)		
โครงสร้างและสภาพทั่วไปของตู้	ตรวจสอบสภาพตัวตู้และการผูกมัด ฝาตู้และกุญแจ ตรวจสอบเสียง คั่น กลิ้ง การสั่นสะเทือน ความชื้น ความสะอาด สนิม ผุพัง หยากไย และอื่น ๆ ตู้ที่ติดตั้งภายนอกอาคาร ตรวจสอบสภาพหลังคา ผนัง ว่ายังกันฝนได้ดี และไม่เป็นสนิม		
ขั้วต่อสาย จุดต่อสาย	ตรวจสอบจุดต่อสายทั้งหมดว่า หลุด หลวม และมีร่องรอยของความ ร้อนสูงหรือไม่ และขันให้แน่นอีกครั้ง วัดความร้อนจุดต่อสายขณะ จ่ายไฟ (กรณีมีเครื่องวัด)		
หิวเคเบิล	ตรวจสอบร่องรอยการเกิดโคโรนา การหลุดหลวมของเทป ความสะอาด รอยร้าว การต่อลงดินของซิลด์		
สายไฟฟ้า	ตรวจสอบสภาพสายไฟฟ้า และอุปกรณ์การเดินสายในตัว		
บัสบาร์	ตรวจสอบการจับยึด ความร้อนที่จุดต่อกับสายและอุปกรณ์		
ลูกถ้วยรองรับบัสบาร์	ตรวจสอบความสกปรก ตรวจสอบว่าหลุด หลวม ร่องรอยชำรุด การเปลี่ยนสี รอยแตกบิ่น พร้อมทำความสะอาด		
CT & PT	ตรวจสอบรอยแตกร้าว การต่อสายและจุดต่อสาย		
ความเป็นฉนวนไฟฟ้า	ดับไฟทำความสะอาดแล้ววัดค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้าต่าง ๆ ตามวิธีที่กำหนด		
การต่อลงดินและการต่อฝาก	สภาพจุดต่อลงดินที่ตู้และที่หลักดิน การต่อฝากของฝาตู้ วัดค่า ความต้านทานการต่อลงดิน สภาพสายดินและสายต่อฝาก และขันจุดต่อสายให้แน่นอีกครั้ง		
เครื่องวัดต่าง ๆ	ตรวจสอบสภาพทั่วไป การชำรุด แตกหัก และการทำงาน		
หลอดไฟ	ตรวจสอบว่ายังอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ หลอดไม่หลุด ไม่แตก		

ตารางที่ 4.4 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาแผงสวิตช์ (แรงสูงและแรงต่ำ) ต่อ

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
รีเลย์ป้องกัน	ตรวจสอบการทำงานด้วยเครื่องมือทดสอบ		
สวิตช์ควบคุม	ตรวจสอบสภาพและการทำงาน		
ทดสอบการทำงาน	ตรวจการทำงานทางไฟฟ้า และระบบอินเตอร์ล๊อคอีกครั้งเพื่อความมั่นใจ		
ตรวจแผ่นป้ายประจำเครื่องของอุปกรณ์	ตรวจแผ่นป้ายประจำเครื่องว่าตรงกับที่ระบุในแบบไฟฟ้าหรือไม่ ถ้าพบที่ไม่ตรงให้ระบุลงในรายงานการตรวจสอบ และหาสาเหตุ		
ทำความสะอาด	ตรวจตัวตู้และทำความสะอาดอีกครั้ง		

ตารางที่ 4.5 ตารางการตรวจผ่งย่อย

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
ตรวจสอบสภาพทั่วไป	ตรวจสอบสภาพทั่วไป สภาพสี การผุกร่อน และทำความสะอาด สิ่งสกปรกในตัวตู้ ฉนวน สายไฟฟ้า และอื่น ๆ		
ความร้อน	ตรวจจุดที่อาจเกิดความร้อนสูงเช่นจุดต่อต่าง ๆ ถ้าพบให้หาสาเหตุ ขึ้นใหม่ให้แน่น		
การระบายอากาศ	ทำความสะอาดช่องระบายอากาศ และการทำงานของฝาปิด เปิดต่าง ๆ		
ความชื้น	ตรวจความชื้นซึ่งเป็นสาเหตุให้ฉนวนสกปรก ทำความสะอาด รวมทั้งหาสาเหตุและแก้ไข		
ความเป็น ฉนวนไฟฟ้า	หลังจากทำความสะอาดแล้ว วัดค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้าต่าง ๆ ตามวิธีที่กำหนด (หรือใช้เมกโอห์มมิเตอร์)		
ตรวจสอบครั้ง สุดท้าย	ตรวจสอบและทำความสะอาดครั้งสุดท้ายอีกครั้ง ใส่สารหล่อลื่น และทาสีในส่วนที่จำเป็น		

ตารางที่ 4.6 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษา ACB และ VCB

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
ลูกถ้วยฉนวน	ตรวจสอบความเสียหายของฉนวนทั้งหมด ตรวจสอบรอยคราบ เขม่า แตก ปีน ความสกปรก และทำความสะอาด		
กลไกต่าง ๆ	ตรวจสอบการติดขัด สารหล่อลื่น และการทำงานต่าง ๆ		
Alignment	ตรวจสอบความเรียบร้อย ปรับแต่งตามความจำเป็น		
ขดลวด (Closing coil)	ตรวจสอบการต่อสาย และการทำงาน ร่องรอยความเสียหายจาก ความร้อนและกระแสรั่ว		
หน้าสัมผัส	ตรวจสอบหน้าสัมผัสต่าง ๆ และทำความสะอาด วัดค่าความต้านทาน หน้าสัมผัสของ main contact (ถ้ามีเครื่องวัด)		
ความต้านทานฉนวน	ใช้เมกโอห์มมิเตอร์ วัดค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้าระหว่างขั้วของ เซอร์กิตเบรกเกอร์กับโครงตู้		
Tripping Unit	ตรวจสอบการทำงานและความเสียหาย		
การปรับตั้งค่า	ตรวจสอบค่าปรับตั้งต่าง ๆ และบันทึกค่า		
การทำงาน	ตรวจสอบการทำงานของของวงจรปลด-สับ และอื่น ๆ ทดสอบการ ทำงานทางกลและทางไฟฟ้าหลาย ๆ ครั้ง เพื่อความมั่นใจ		

ตารางที่ 4.7 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาโมลเนสเซอร์กิตเบรกเกอร์

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
ตรวจสอบสภาพทั่วไป	ตรวจรอยแตกร้าว ความสกปรก ร่องรอยการเกิดความร้อนสูง และทำความสะอาดเพื่อให้ระบายอากาศได้ดี		
ขั้วต่อสาย	ตรวจขั้วต่อสายที่เซอร์กิตเบรกเกอร์และบัสบาร์ว่าหลุด หลวม หรือไม่ ตรวจวัดความร้อน (ถ้ามีเครื่องวัด) ตรวจสอบขั้วต่อเข้า ขั้วต่อสายว่ามีร่องรอยชำรุดจากความร้อนหรือไม่ ถ้าตรวจพบ ต้องหาสาเหตุและแก้ไข และขันขั้วต่อสายใหม่ให้แน่น		
การทำงานทางกล	ทดสอบโดยการ ON-OFF ด้วยมือ หลาย ๆ ครั้ง และเพื่อให้การทำงานคล่องตัว		
อุปกรณ์ประกอบ	ตรวจสอบสภาพและการทำงานของอุปกรณ์ประกอบเช่น Shunt trip, UV release & auxiliary switch, etc รวมทั้งหลอด สัญญาณและเครื่องวัดต่าง ๆ (ถ้ามี)		
พิกัด	ตรวจพิกัดกระแส พิกัดตัดกระแสลัดวงจรเทียบกับแบบไฟฟ้า อีกครั้ง ถ้าไม่ตรงต้องหาสาเหตุและแก้ไข		

ตารางที่ 4.8 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาฟิวส์แรงต่ำ

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
ฉนวน	ตรวจว่ามีรอยแตก ร้าว ไหม้ การเปลี่ยนสีจากความร้อนหรือไม่		
ตรวจสอบสิ่งสกปรก	ตรวจหาสิ่งสกปรกที่เป็นสาเหตุของประกายไฟ เช่น คราบเกลือ และฝุ่น ถ้าพบให้ทำความสะอาด		
ตรวจหน้าสัมผัส (contact)	วัดความร้อนขณะใช้งาน (ถ้ามีเครื่องวัด) ถ้ามีร่องรอยไหม้ หรือแรงกดไม่ถูกต้อง ต้องปรับปรุงหรือเปลี่ยนใหม่ ขาหนีบฟิวส์ต้องแน่น		
จุดต่อต่าง ๆ	วัดความร้อนขณะใช้งาน โบลต์ นัต ขั้วต่อสาย ต้องอยู่ในตำแหน่งเดิม และในสภาพดี และขันใหม่ให้แน่น		
ตัวฟิวส์	ตรวจร่องรอยการเสื่อมสภาพ เปลี่ยนสี ชำรุด ถ้าพบควรเปลี่ยนใหม่ วัดค่าความต้านทานฟิวส์ ตรวจพิกัดแรงดัน กระแส และพิกัดตัด กระแสลัดวงจร ให้ถูกต้องและเป็นแบบที่ได้กำหนดไว้เดิม		

ตารางที่ 4.9 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาสวิทช์ไบนีต (LV & MV)

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
ฉนวน	ตรวจว่ามีรอยแตก ร้าว ไหม้ การเปลี่ยนสีจากความร้อนหรือไม่		
ตรวจสอบสิ่งสกปรก	ตรวจสอบหาสิ่งสกปรกที่เป็นสาเหตุของประกายไฟ เช่น คราบเกลือและฝุ่น ถ้าพบให้ทำความสะอาด		
ตรวจหน้าสัมผัส (contact)	วัดความร้อนขณะใช้งาน ถ้ามีร่อง รอยไหม้ หรือ Alignment และแรงกดไม่ถูกต้อง ต้องปรับปรุงหรือเปลี่ยนใหม่ ขาหนีบไบนีตต้องแน่น		
จุดต่อต่าง ๆ	วัดความร้อนขณะใช้งาน โบลต์ นัต ขั้วต่อสาย ต้องอยู่ในตำแหน่งเดิม และในสภาพดี และขันใหม่ให้แน่น		
ตัวไบนีต	ตรวจร่องรอยการชำรุด ถ้าพบควรเปลี่ยนใหม่ และทำความสะอาด		

ตารางที่ 4.10 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษามอเตอร์

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
สถานที่ใช้งาน	ตรวจสอบสถานที่ใช้งานว่ามีภาระบายอากาศดีหรือไม่		
ความร้อน	ตรวจว่ามอเตอร์มีความร้อนสูงเกินปกติหรือไม่ โดยการสัมผัสหรือดมกลิ่น ถ้าไม่มั่นใจให้ใช้เครื่องมือวัด		
การสั่นสะเทือน	สังเกตจากการฟังเสียง การสัมผัส กรณีไม่มั่นใจให้ใช้เครื่องมือวัด (สำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่)		
เสียงดังผิดปกติขณะทำงาน	ตรวจสอบโดยการฟังเสียง ว่าเกิดจากการเสียดสี หรือถ้าเกิดจากการสั่นสะเทือนผิดปกติจะทราบได้จากการใช้มือสัมผัสตัวมอเตอร์		
ตรวจเบร็ก	ตรวจการรั่วซึมของน้ำมัน ฟังเสียงลูกปืนว่าดังผิดปกติหรือไม่ ตรวจความเสียหายของเบร็ก และลูกปืน		
ขั้วต่อสาย	ตรวจสอบว่าขั้วต่อสายแน่นหรือมีความร้อนสูงหรือไม่ รวมทั้งกล่องต่อสายที่มอเตอร์ว่าอยู่ในสภาพดีหรือไม่		
การต่อลงดิน	ตรวจสอบสภาพสายดิน ตรวจจุดต่อหลุดหลวมหรือไม่		
ค่าความเป็นฉนวน	วัดค่าความเป็นฉนวนของขดลวด เมื่อมอเตอร์ไม่ใช้งานนาน ๆ หรือหลังจากการถอดชิ้นส่วนออกซ่อมบำรุงแล้ว		
ชุดควบคุม	ตรวจการทำงาน เครื่องวัดอ่านค่าได้ตามปกติหรือไม่ หลอดไฟใช้ได้หรือไม่ ตรวจสอบสภาพหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า		
อุปกรณ์ป้องกัน	ตรวจฟิวส์ และการทำงานของโอเวอร์โวลต์รีเลย์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์		
กระแส แรงดัน	วัดกระแสและแรงดัน ว่าเป็นไปตามที่ระบุบนแผ่นป้ายประจำเครื่องหรือไม่ ระบบ 3 เฟส วัดว่าแต่ละเฟสเท่ากันหรือไม่		

ตารางที่ 4.11 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
สภาพทั่วไป	ตรวจรอยบิ่น แตก โดยเฉพาะบริเวณที่มีการเคลื่อนที่ต่าง ๆ ว่าสะดวกหรือไม่ และทำความสะอาด การทำงานมีเสียงดังหรือไม่		
ขดลวด	ตรวจสภาพทั่วไป รอยไหม้ เหลือง และร่องรอยการชำรุด		
หน้าสัมผัส	ตรวจรอยร่องชำรุด ไหม้ และทำความสะอาดด้วยน้ำยา (ห้ามขัดด้วยกระดาษทราย)		
จุดต่อสาย	ตรวจจุดต่อสายต้องไม่หลุด หลวม หรือมีความร้อนสูง		
พิกัด	ตรวจสอบพิกัดกระแส แรงดัน (kW) และ Utilization Categories ว่าตรงกับที่กำหนดไว้เดิมหรือไม่		

ตารางที่ 4.12 ตารางการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในบริเวณอันตรายประเภทที่ 1

✓	ลำดับ	อ้างอิง	ข้อเสนอแนะ	การตรวจสอบ	
	1			รายงานทวนสอบเริ่มต้น ☐ มี ☐ ไม่มี	รายงานทวนสอบตามคาบ ☐ มี ☐ ไม่มี
	2	กระทรวงพลังงาน/วสท./ NEC 500.4(A), 500.5,500.6		ยืนยันว่าอุปกรณ์ที่นำมาเข้ามาใช้งานตรงกับการจำแนกประเภทของบริเวณอันตราย รวมถึง class, division หรือ zone และ group ให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	3	กระทรวงพลังงาน/วสท./NEC 501.10		ตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการเดินสายไฟให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	4	กระทรวงพลังงาน/วสท./NEC 501.15		ตรวจสอบว่าการปิดผนึกได้ติดตั้งถูกตำแหน่งและถูกต้องให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	5	กระทรวงพลังงาน/วสท./ NEC 501.10(A)(2),501.10(B)(2), 501.140		ตรวจสอบความเหมาะสมของวัสดุที่ใช้ทำ ข้อต่ออ่อน เช่น explosionproof flex และ flexible cords ให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	6	กระทรวงพลังงาน/วสท./ NEC 501.140, 501.145		ตรวจสอบความเหมาะสมของ flexible cord connectors และตัวรับ ให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	7	กระทรวงพลังงาน/วสท./ NEC 500.8(B) and (C)		ตรวจสอบการทำเครื่องหมกแสดงอุณหภูมิบนตัวอุปกรณ์ (temperature class) ต้องไม่สูงเกินค่าอุณหภูมิ จุดติดไฟของก๊าซหรือไอระเหยที่มีอยู่รอบบริเวณอันตรายนั้นให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	8	กระทรวงพลังงาน/วสท./ NEC 500.8, 501.100 Through 501.135		ตรวจสอบความเหมาะสมของพิกัดและชนิดของ enclosures ของอุปกรณ์ เช่น motors, transformer, overcurrent devices, switches และ controllers, lighting fixtures, heaters และเครื่องใช้ไฟฟ้า ให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	9	กระทรวงพลังงาน/วสท.		ตรวจสอบระบบการต่อลงดินและการต่อฝาก	
	10	กระทรวงพลังงาน/วสท. /NEC 210.4(B)		ตรวจสอบวงจรไฟฟ้าให้มีอุปกรณ์ตัดวงจรไฟฟ้าฉุกเฉิน และสามารถตัดวงจรตัวนำได้ทั้งหมด ให้เป็นไปตาม มาตรฐาน	

ที่มา : การไฟฟ้านครหลวง, มาตรฐานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในบริเวณอันตราย

ตารางที่ 4.13 ตารางการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในบริเวณอันตรายประเภทที่ 2

✓	ลำดับ	อ้างอิง	ข้อเสนอแนะ	การตรวจสอบ	
	1			รายงานทวนสอบเริ่มต้น ☐ มี ☐ ไม่มี	รายงานทวนสอบตามคาบ ☐ มี ☐ ไม่มี
	2	กระทรวงพลังงาน/วสท./NEC 500.4(A),500.5,500.6		ยืนยันว่าอุปกรณ์ที่นำเข้ามาใช้งานตรงกับข้อกำหนดประเภทของบริเวณอันตราย รวมถึง class, division และ group ให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	3	กระทรวงพลังงาน/วสท./NEC 502.10		ตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการเดินสายไฟให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	4	กระทรวงพลังงาน/วสท./NEC 502.15		ตรวจสอบว่าการปิดผนึกได้ติดตั้งถูกตำแหน่งและถูกต้องให้เป็นไปตามมาตรฐาน เว้นแต่การจัดวางของเดินสาย (raceway) จะส่งผลให้ไม่จำเป็นต้องมีการปิดผนึก	
	5	กระทรวงพลังงาน/วสท./NEC 500.8(B),500.8(C)(3), 500.8(D)(2),502.5		ตรวจสอบการทำเครื่องหมายแสดงอุณหภูมิบนตัวอุปกรณ์ (temperature class) ต้องไม่สูงเกินค่าอุณหภูมิจุดติดไฟของฝุ่นที่มีอยู่รอบบริเวณอันตรายนั้นให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	6	กระทรวงพลังงาน/วสท./NEC 502.10(A)(2) and (B)(2), 502.130(A)(3) and (B)(4), 502.140		ตรวจสอบความเหมาะสมของวัสดุที่ใช้ทำข้อต่ออ่อน รวมถึง flexible cords ให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	7	กระทรวงพลังงาน/วสท./NEC 502.140, 502.145		ตรวจสอบความเหมาะสมของ flexible cord connector และตัวรับให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	8	กระทรวงพลังงาน/วสท./NEC 502.5,502.100, through 502.135		ตรวจสอบความเหมาะสมของฟิวส์และชนิดของ enclosures ของอุปกรณ์ เช่น motors, transformer, overcurrent devices, switches และ controllers, lighting fixtures, heaters และเครื่องใช้ไฟฟ้า ให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	9	กระทรวงพลังงาน/วสท.		ตรวจสอบระบบการต่อลงดินและการต่อฝาก	
	10	กระทรวงพลังงาน/วสท./NEC 210.4(B)		ตรวจสอบวงจรไฟฟ้าให้มีอุปกรณ์ตัดวงจรไฟฟ้าฉุกเฉิน และสามารถตัดวงจรตัวนำได้ทั้งหมด ให้เป็นไปตามมาตรฐาน	

ที่มา : การไฟฟ้านครหลวง, มาตรฐานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในบริเวณอันตราย

ตารางที่ 4.14 ตารางการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในบริเวณอันตรายประเภทที่ 3

✓	ลำดับ	อ้างอิง	ข้อเสนอแนะ	การตรวจสอบ	
	1			รายงานทวนสอบเริ่มต้น ☐ มี ☐ ไม่มี	รายงานทวนสอบตามคาบ ☐ มี ☐ ไม่มี
	2	กระทรวงพลังงาน/วสท./ NEC 500.4(A),500.5,500.6		ยืนยันว่าอุปกรณ์ที่นำเข้ามาใช้งานตรงกับรายการจำแนกประเภทของบริเวณอันตราย รวมถึง class, division ให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	3	กระทรวงพลังงาน/วสท./NEC 503.10		ตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการเดินสายไฟให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	4	กระทรวงพลังงาน/วสท./ NEC 503.10(A)(2),503.10(B)		ตรวจสอบความเหมาะสมของวัสดุที่นำมาใช้เป็นข้อต่อ่อน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	5	กระทรวงพลังงาน/วสท./NEC 503.140,503.145		ตรวจสอบความเหมาะสมของ flexible cord connector และตัวรับให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	6	กระทรวงพลังงาน/วสท./NEC 503.5		ตรวจสอบอุณหภูมิทำงานของอุปกรณ์ อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ตามเงื่อนไข	
	7	กระทรวงพลังงาน/วสท./ NEC 500.8(B) and (C), 503.5, 503.100 through 503.135		ตรวจสอบความเหมาะสมของฟักัดและชนิดของ enclosures ของอุปกรณ์ เช่น motors, transformer, overcurrent devices, switches และ controllers, lighting fixtures, heaters และเครื่องใช้ไฟฟ้า ให้เป็นไปตามมาตรฐาน	
	8	กระทรวงพลังงาน/วสท.		ตรวจสอบระบบการต่อลงดินและการต่อฝาก	
	9	กระทรวงพลังงาน/วสท./ NEC 503.155,503.160		ตรวจสอบความเหมาะสมของการติดตั้งบันไดขึ้น + รถไฟฟ้า (hoist) และตรวจสอบความเหมาะสมของตำแหน่งที่ชาร์จแบตเตอรี่	

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ, มาตรฐานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในบริเวณอันตราย

ภาคผนวก ก

แบบบันทึกข้อมูลด้านความปลอดภัยระบบไฟฟ้าในโรงงาน

หมวดที่ 1

รายงานข้อมูลทั่วไป

1. ชื่อโรงงาน : _____
ทะเบียนโรงงานเลขที่ : _____ ประเภทโรงงานลำดับที่ _____
ประกอบกิจการ _____
2. ที่ตั้งโรงงาน :
เลขที่ _____ หมู่ที่ _____ ตรอก/ซอย _____ ถนน _____
แขวง/ตำบล _____ เขต/อำเภอ _____ จังหวัด _____
โทรศัพท์ _____ โทรสาร _____
E-mail Address (ถ้ามี) _____

หมวดที่ 2

รายงานข้อมูลระบบไฟฟ้าในโรงงาน

ส่วนที่ 1

รายงานข้อมูลลักษณะการใช้งานทั่วไป

ประจำเดือน.....พ.ศ.

1. ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

☐ การไฟฟ้านครหลวง

☐ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

☐ อื่น ๆ (ระบุ).....

ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ด้านเข้า(Primary).....โวลต์

2. หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง(ถ้ามี)

☐ อยู่ระหว่างการใช้งาน รวมจำนวน.....ลูก

รวมกำลัง.....กิโลโวลต์-แอมแปร์

☐ อยู่ระหว่างการปรับปรุง-บำรุงรักษา /หยุดใช้งาน

3. ตู้เมนสวิตช์ (MDB) จำนวน.....ตู้

☐ อยู่ระหว่างการใช้งาน.....ตู้

☐ อยู่ระหว่างการปรับปรุง-บำรุงรักษา /หยุดใช้งาน.....ตู้

4. แผงย่อยจำนวน.....แผง

☐ อยู่ระหว่างการใช้งาน.....แผง

☐ อยู่ระหว่างการปรับปรุง-บำรุงรักษา /หยุดใช้งาน.....แผง

5. กำลังของเครื่องจักรรวม.....แรงม้า คิดเป็นกำลังไฟฟ้า.....กิโลวัตต์

6. กำลังไฟฟ้าแสงสว่างรวม.....กิโลวัตต์

7. กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศรวม.....กิโลวัตต์

8. กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ของเดือนที่ผ่านมา).....กิโลวัตต์

9. ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (ของเดือนที่ผ่านมา).....กิโลวัตต์- ชั่วโมง

10. ค่าไฟฟ้า (ของเดือนที่ผ่านมา)บาท

11. ข้อมูลอื่น ๆ

หมายเหตุ : เครื่องจักร หมายถึง เครื่องจักรที่ใช้ไฟฟ้าเท่านั้น

ส่วนที่ 2

รายงานข้อมูลสภาพหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

ประจำเดือน.....พ.ศ.

หม้อแปลงไฟฟ้า ลูกที่.....ชนิด.....ขนาด..... กิโลโวลต์-แอมแปร์

ลักษณะการติดตั้ง ☐ แบบแขวนที่เสา ☐ นั่งร้าน
☐ ลานหม้อแปลง ☐ ในห้องหม้อแปลง ☐ อื่น ๆ.....

1. ตัวถังหม้อแปลง

☐ ปกติ ☐ มีสนิม รอยรั่วซึมของน้ำมัน หรือ.....

2. การต่อลงดินของส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่ง เช่นตัวถังหม้อแปลง รั้ว เป็นต้น

☐ ปกติ ☐ หลุด หลวม ขำรุด หรือ.....

3. สารดูดความชื้น (ถ้ามี)

☐ ปกติ มีสีน้ำเงิน ☐ เสื่อมสภาพ หรือเปลี่ยนสี เช่น สีชมพู

4. ป้ายเตือนอันตราย

☐ เตือนอันตราย ชัดเจน มั่นคง เช่น “อันตรายไฟฟ้าแรงสูง”

☐ ขำรุด หลุดหลวม หรือข้อความไม่ชัดเจน

5. พื้นลานหม้อแปลง(ถ้ามี)

☐ ปกติ (มีหินเบอร์สองเทโดยรอบ)

☐ มีหญ้า วัชพืช หรือวางสิ่งของอื่นภายใน

6. เสาหม้อแปลง(ถ้ามี)

☐ ปกติ มั่นคง ☐ ขำรุด ไม่มั่นคง

7. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง

☐ ไม่มี

☐ มี ตามสำเนาเอกสารที่แนบรวม.....หน้า.....
ได้แก่.....

8. อื่น ๆ

ส่วนที่ 3

รายงานข้อมูลการใช้งานและสภาพตู้เมนสวิตช์ (Main Distribution Board : MDB)

สัปดาห์ที่.....ของเดือน.....พ.ศ.....

1. ตู้เมนสวิตช์ (MDB) ลำดับที่.....วันที่บันทึกข้อมูล.....
2. บริเวณการติดตั้ง ☐ ภายนอกอาคาร ☐ ภายในอาคารโดยแยกกันห้อง
☐ ภายในอาคารโดยมีรั้วกัน ☐ อื่นๆ.....
3. ข้อมูลที่อ่านค่าได้จากมิเตอร์ที่ตู้เมนสวิตช์
 - 3.1 กระแสไฟฟ้า
เฟส L1แอมแปร์
เฟส L2แอมแปร์
เฟส L3แอมแปร์
 - 3.2 แรงดันไฟฟ้า
เฟส L1-L2.....โวลต์ เฟส L1-Nโวลต์
เฟส L2-L3.....โวลต์ เฟส L2-Nโวลต์
เฟส L3-L1.....โวลต์ เฟส L3-Nโวลต์
 - 3.3 กำลังไฟฟ้า (ถ้ามี)กิโลวัตต์
 - 3.4 ตัวประกอบกำลัง (Power Factor : PF) (ถ้ามี).....
4. สภาพของระบบสายดินและการต่อหลักดิน
☐ สายและจุดต่อสภาพปกติ ☐ การต่อชำรุด หลุดหลวม หรือสีกร่อน
☐ อื่น ๆ
5. บริเวณโดยรอบตู้
☐ พื้นที่ว่าง โล่ง
☐ วางวัสดุกีดขวางทางเข้า-ออก
☐ วางวัสดุที่ติดไฟได้ติดกับตู้ เช่น สารไวไฟ เสื้อผ้า เส้นใย เป็นต้น
☐ มีฝุ่น หยากไย โดยรอบตู้และภายในตู้
☐ อื่น ๆ

ส่วนที่ 3 (ต่อ)

6. ความผิดปกติทางกายภาพ

- ☐ ปกติ
- ☐ มีเสียงจากอุปกรณ์ เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ คาปาซิเตอร์ เป็นต้น
- ☐ มีกลิ่นเหม็นไหม้
- ☐ จุดต่อสายและเบรกเกอร์มีสีคล้ำ
- ☐ อุณหภูมิโดยรอบร้อนผิดปกติ

7. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง

- ☐ ไม่มี
 - ☐ มี ได้แก่.....
-
-

8. อื่น ๆ

.....

.....

.....

.....

ส่วนที่ 4

รายงานข้อมูลสภาพโคม หลอดไฟ และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

(เฉพาะในพื้นที่อันตราย หรือพื้นที่จัดเก็บวัสดุที่ติดไฟได้ง่าย)

ประจำเดือน.....พ.ศ.....

โคมไฟ/หลอดไฟ ชนิด.....จำนวน.....ดวง/โคม

ชนิด.....จำนวน.....ดวง/โคมวันที่บันทึกข้อมูล

บริเวณพื้นที่ติดตั้ง

☐ จัดเก็บวัสดุที่ติดไฟได้ง่าย ☐ อันตรายประเภทที่.....แบบที่.....

1. การติดตั้งและโครงสร้างของโคมไฟ

☐ ปกติ มั่นคง ☐ ไม่มั่นคง ชำรุด จำนวน.....โคม

2. หลอดไฟและขั้วหลอด

☐ ปกติ

☐ กระพริบ / ขั้วหลอดดำ / สว่างไม่เต็มหลอด / เสียงดัง จำนวน.....ดวง/โคม

3. สายป้อน สายวงจรย่อยและสวิตช์ตัดตอนของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

☐ ปกติ

☐ ชำรุดและการต่อหลอดหลวม

4. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง

☐ ไม่มี ☐ มี ได้แก่.....

.....

.....

5. อื่น ๆ

.....

.....

.....

หมายเหตุ : 1. วัสดุที่ติดไฟได้ง่าย เช่น กระดาษ เสื้อผ้า พลาสติก ยาง เป็นต้น

2. พื้นที่อันตราย คือ พื้นที่ที่มีแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟ ผุ่นและเส้นใยที่ระเบิดได้ เสี่ยงต่อ

การลุกไหม้

ส่วนที่ 5

รายงานข้อมูลสภาพแผงย่อย (Panel Board)

สัปดาห์ที่.....ของเดือน.....พ.ศ.....

แผงย่อยลำดับที่.....วันที่บันทึกข้อมูล.....

บริเวณการติดตั้ง

☐ ธรรมดาทั่วไป

☐ อันตรายประเภทที่.....แบบที่.....

1. ระบบต่อลงดิน

☐ สายดินและจุดต่อสภาพปกติ

☐ การต่อ ชำรุด หลุดหลวม

2. บริเวณโดยรอบ

☐ เป็นพื้นที่ว่าง โล่ง

☐ มีการวางวัสดุกีดขวางทางเข้า-ออก

☐ มีการวางวัสดุที่ติดไฟได้ติดกับตู้ เช่น สารไวไฟ เสื้อผ้า เส้นใย เป็นต้น

☐ มีฝุ่น หยากไย โดยรอบตู้และภายในตู้

☐ อื่นๆ.....

3. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง

☐ ไม่มี

☐ มี ได้แก่.....

4. อื่น ๆ

หมายเหตุ : แผงย่อย (Panel Board) เป็นแผงที่เดินสายไฟจากตู้เมนสวิตช์ (Main Distribution Board : MDB) เป็นจุดแรก

ส่วนที่ 6

รายงานข้อมูลสภาพอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ (เฉพาะในพื้นที่อันตราย หรือพื้นที่จัดเก็บวัสดุที่ติดไฟได้ง่าย)

ประจำเดือน.....พ.ศ.....

ชนิดอุปกรณ์.....วันที่บันทึกข้อมูล.....

1. พื้นที่ติดตั้ง

- ☐ จัดเก็บวัสดุที่ติดไฟได้ง่าย
- ☐ อันตรายประเภทที่.....แบบที่.....

2. สภาพของอุปกรณ์และการต่อสาย

- ☐ สายและจุดต่อสภาพปกติ
- ☐ การต่อ ชำรุด หลุดหลวม

3. บริเวณโดยรอบอุปกรณ์

- ☐ พื้นที่ว่าง โล่ง
- ☐ วางวัสดุที่ติดไฟได้ในบริเวณใกล้เคียง
- ☐ มีฝุ่น หยากไย สะสมโดยรอบ
- ☐ อื่นๆ.....

4. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง

- ☐ ไม่มี
- ☐ มี ได้แก่.....

5. อื่น ๆ

ส่วนที่ 7

รายงานสรุปผลด้านความปลอดภัยระบบไฟฟ้าในโรงงาน

ประจำเดือน.....พ.ศ.....

1. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง

☐ ไม่มี

☐ มี ได้แก่.....

.....

.....

.....

2. เอกสารอื่นๆประกอบ (ถ้ามี)

.....

.....

.....

.....

คำอธิบายประกอบการบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูล

1. บันทึกข้อมูลบริเวณการติดตั้ง ควรบันทึกข้อมูลจุดที่สามารถอ้างอิงได้ในแบบแปลนระบบไฟฟ้าชัดเจน และจุดอ้างอิงข้างเคียงที่มีการจัดเก็บสารไวไฟหรือไม่ และให้ระบุชนิด ขนาดของสารไวไฟด้วย
2. ข้อมูลที่ต้องบันทึกเป็นประจำทุกสัปดาห์ คือ ข้อมูลการใช้งานและสภาพแผงสวิตช์ประธานหรือตู้เมนสวิตช์ ข้อมูลการใช้งานและสภาพแผงย่อย และข้อมูลการใช้งานและสภาพอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ กล่าวคือผลการบันทึกข้อมูลดังกล่าวจะต้องมีจำนวน 4 ชุดในแต่ละเดือน
3. ควรวางแผนให้มีการบันทึกข้อมูลหมุนเวียนในแต่ละวัน ไม่ควรบันทึกข้อมูลซ้ำในวันเดียวกัน เช่น สัปดาห์ที่1 เป็นวันจันทร์ ในสัปดาห์ที่2 ควรบันทึกข้อมูลในวันอังคาร
4. ผู้บันทึกข้อมูลจะต้องบันทึกจากการตรวจสอบด้วยสายตาเท่านั้น
5. การบันทึกข้อมูลการปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง ควรระบุวัน เดือน ปี ที่มีการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมให้ชัดเจน

มาตรฐานหรือหลักวิชาการที่ยอมรับกันเป็นสากล

แบบบันทึกข้อมูลนี้เป็นเพียงแนวทาง (guideline) อาทิ วิธีการ ความถี่ในการบันทึกข้อมูล เพื่อให้มองเห็นสภาพการใช้งาน การบำรุงรักษาเบื้องต้น รวมถึงการเป็นข้อกำหนด หรือเกณฑ์ขั้นต่ำสุดเท่านั้น ผู้ประกอบกิจการโรงงานหรือวิศวกรจะเลือกปฏิบัติให้ถูกต้องและครบถ้วนตามหลักวิชาการที่ยอมรับกันหรือตามมาตรฐานที่ยอมรับกันเป็นสากลก็ได้

ภาคผนวก ข

กฎหมายและข้อแนะนำเกี่ยวกับเกณฑ์คุณภาพการส่องสว่าง

กฎหมายของหน่วยงานต่าง ๆ ที่กำหนดเกณฑ์เพื่อให้ได้คุณภาพการส่องสว่างที่ดี มีความปลอดภัยในการทำงาน มีหลายฉบับซึ่งพอจะรวบรวมได้ดังนี้

ข.1 ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงาน เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2546

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับนี้ได้กำหนดเกณฑ์ทางด้านแสงสว่างไว้ในหมวดที่ 2 โดยกำหนดให้มีมาตรฐานป้องกันแสงจ้าโดยตรงและแสงจ้าสะท้อนไว้เพียงกว้าง ๆ และกำหนดระดับความส่องสว่าง (ในประกาศใช้คำว่า “ความเข้มของการส่องสว่าง”) สำหรับพื้นที่ต่าง ๆ โดยแบ่งตามความละเอียดของการทำงาน

(<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/00134184.PDF>)

ข.2 กฎกระทรวงแรงงาน เรื่อง กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน เกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2559

กฎกระทรวงแรงงานฉบับนี้ได้กำหนดเกณฑ์ทางด้านแสงสว่างไว้ในหมวดที่ 2 โดยกำหนดให้มีมาตรฐานป้องกันแสงจ้าโดยตรงและแสงจ้าสะท้อนไว้เพียงกว้าง ๆ และกำหนดระดับความส่องสว่าง (ในกฎกระทรวงใช้คำว่า “ความเข้มของแสงสว่าง”) ให้ต้องเป็นไปตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง พ.ศ. 2561 ซึ่งกำหนดระดับความส่องสว่างเฉลี่ย (บนพื้นที่ทำงาน บนพื้นที่โดยรอบ บนพื้นที่พื้นหลัง) และความสม่ำเสมอของแสง (โดยการกำหนดระดับความส่องสว่างต่ำสุด) ให้กับบริเวณพื้นที่ทั่วไปและบริเวณการผลิตภายในสถานประกอบกิจการ

(<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2561/E/039/15.PDF>)

ข.3 คู่มือแนวทางการออกแบบการส่องสว่างภายในอาคาร และคู่มือแนวทางการออกแบบการส่องสว่างภายนอกอาคาร ของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย

เป็นคู่มือที่อธิบายถึงแนวทางในการออกแบบเพื่อให้มีคุณภาพการส่องสว่างที่ดีทั้งภายในและภายนอกอาคาร โดยรวบรวมข้อมูลจากมาตรฐานสากล เช่น CIE และ EN รวมทั้งองค์ความรู้ในประเทศในการกำหนดเป็นเกณฑ์คุณภาพการส่องสว่างไว้อย่างครบถ้วนทั้ง ความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสง (บนพื้นที่ทำงาน บนพื้นที่โดยรอบ บนพื้นที่พื้นหลัง) คุณภาพสีของแสง และแสงจ้า นอกจากนี้ยังอธิบายหลักการออกแบบเพื่อ

ความสวยงาม (ภายในอาคาร) และมลภาวะทางแสง (ภายนอกอาคาร) เอาไว้อีกด้วย (รายละเอียดทั้งหมดสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย www.tieathai.org)

จะเห็นว่าประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมและกฎกระทรวงแรงงานได้กำหนดเกณฑ์คุณภาพการส่องสว่างไว้เพียงบางส่วนเท่านั้น ในขณะที่คู่มือฯ ของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างฯ ให้ข้อมูลที่ครอบคลุมมากกว่า ดังนั้นในการประยุกต์ใช้จึงควรพิจารณาทั้งหมดร่วมกัน และเพื่อเป็นการเปรียบเทียบ จึงได้รวบรวมข้อมูลระดับความส่องสว่างบนพื้นที่ทำงานตามที่กำหนดไว้ในเอกสารทั้งสาม (เฉพาะที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน) ไว้ในตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 เปรียบเทียบระดับความส่องสว่างบนพื้นที่ทำงานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน และคู่มือฯ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างฯ

บริเวณพื้นที่ / ลักษณะงาน	ตัวอย่าง	ประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม พ.ศ. 2546	ประกาศกรมสวัสดิการ และคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2561		คู่มือฯ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างฯ	
		ความเข้มของ การส่องสว่าง (ลักซ์) ไม่น้อยกว่า	ค่าเฉลี่ยความเข้ม ของแสงสว่าง (ลักซ์)	จุดที่ความเข้ม ของแสงสว่าง ต่ำสุด (ลักซ์)	ความส่องสว่าง เฉลี่ย (ลักซ์) ไม่น้อยกว่า	ความสม่ำเสมอ
บริเวณพื้นที่ทั่วไปที่มีการสัญจรของบุคคล และ/หรือยานพาหนะในภาวะปกติ และ บริเวณที่มีการสัญจรในภาวะฉุกเฉิน	ทางสัญจรในภาวะฉุกเฉิน เช่น ทางออกฉุกเฉิน เส้นทางหนีไฟ บันไดทางฉุกเฉิน	-	10	-	-	-
	ลานจอดรถ ทางเดิน บันได ประตูทางเข้าใหญ่ของสถาน ประกอบกิจการ	20	50	25	10 - 20	0.25
บริเวณพื้นที่ใช้ประโยชน์ทั่วไป	ภายในอาคาร เช่น ทางเดิน บันได ทางเข้าห้องโถง ลิฟต์ ห้องพักผ่อนสำหรับการปฐมพยาบาล ห้องพักผ่อน ป้อมยาม	50	100	50	100 - 150	0.4
	ห้องสุขา ห้องอาบน้ำ ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า ห้องเก็บของ	100	100	25	200	0.6
	ห้องเก็บปีหรือบริเวณต้อนรับ	100	100	50	100 - 150	0.4
	โรงอาหาร	-	300	150	200	0.6
	ห้องปรุงอาหาร	-	300	150	500	0.6
	ห้องตรวจรักษา	-	300	150	300	0.6
		-	300	150	300	0.6

บริเวณพื้นที่ / ลักษณะงาน	ตัวอย่าง	ประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม พ.ศ. 2546	ประกาศกรมสวัสดิการ และคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2561		คู่มือฯ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างฯ
		ความเข้มของการส่องสว่าง (ลักซ์) ไม่น้อยกว่า	ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์)	จุดที่มีความเข้มของแสงสว่างต่ำสุด (ลักซ์)	
บริเวณพื้นที่ใช้ประโยชน์ในสำนักงาน	ห้องสำนักงาน	400	300	150	0.6
	ห้องฝึกอบรม ห้องบรรยาย	-	300	150	0.6
	ห้องสืบค้นหนังสือ/เอกสาร ห้องถ่ายเอกสาร	-	300	150	0.4
	ห้องประชุม บริเวณโต๊ะประชุมสำหรับผู้ติดต่อลูกค้า	-	300	150	0.6
	ห้องที่ออกแบบ เขียนแบบ	-	300	150	0.7
	ห้องเก็บวัสดุดิบ บริเวณห้องอบ ห้องทำไหมแห่งของโรงทอ	-	100	50	0.4
บริเวณพื้นที่ใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตหรือการปฏิบัติงาน	จุด/ลานขนถ่ายสินค้า	100	200	100	0.4
	โกดังเก็บของไว้เพื่อการเคลื่อนย้าย	200	200	100	0.4
	คลังสินค้า อาคารหม้อน้ำ ห้องสวิตช์	-	200	100	0.4
	ห้องควบคุม	-	200	100	0.7
	บริเวณเตรียมการผลิต การเตรียมวัตถุดิบ บริเวณพื้นที่บรรจุภัณฑ์ บริเวณกระบวนการผลิต/บริเวณที่ทำงานกับเครื่องจักร บริเวณการก่อสร้าง การดูแล การขุดดิน งานทาสี	-	300	150	0.6

บริเวณพื้นที่ / ลักษณะงาน	ตัวอย่าง	ประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม พ.ศ. 2546	ประกาศกรมสวัสดิการ และคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2561		คู่มือฯ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างฯ
		ความเข้มของ การส่องสว่าง (ลักซ์) ไม่น้อยกว่า	ค่าเฉลี่ยความเข้ม ของแสงสว่าง (ลักซ์)	จุดที่ความเข้ม ของแสงสว่าง ต่ำสุด (ลักซ์)	
งานหยาบ	งานหยาบที่หาที่โต๊ะหรือเครื่องจักร ชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.75 มิลลิเมตร เช่น การตรวจงานหยาบด้วยสายตา การประกอบ การนับ การตรวจเช็คสิ่งของที่มีขนาดใหญ่ การรีดเส้นด้าย การอัดเบล การผสมเส้นใย หรือการสาងเส้นใย การชั่งรีด ชักแห้ง การอบ การป้อนขึ้นรูปแก้ว เป่าแก้ว และขัดเงาแก้ว งานตี และเชื่อมเหล็ก	200	200 - 300	-	0.6
งานละเอียดเล็กน้อย	งานที่ชิ้นงานมีขนาดปานกลาง สามารถมองเห็นได้และมีความแตกต่างของสีชัดเจน เช่น งานรับจ่ายเสื้อผ้า การทำงานไม้ที่ชิ้นงานมีขนาดปานกลาง งานบรรจุน้ำลงขวด หรือกระป๋อง งานเจาะรู ทากาว หรือเย็บเล็มหนังสัตว์ งานบันทึกและคัดลอกข้อมูล งานเตรียมอาหารปรุงอาหาร และล้างจาน งานผสมและตกแต่งขนมปัง การทอดผ้าดิบ	300	300 - 400	-	0.6

บริเวณพื้นที่ / ลักษณะงาน	ตัวอย่าง	ประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม พ.ศ. 2546	ประกาศกรมสวัสดิการ และคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2561		คู่มือฯ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างฯ	
		ความเข้มของ การส่องสว่าง (ลักซ์) ไม่น้อยกว่า	ค่าเฉลี่ยความเข้ม ของแสงสว่าง (ลักซ์)	จุดที่ความเข้ม ของแสงสว่าง ต่ำสุด (ลักซ์)	ความเข้มของ การส่องสว่าง (ลักซ์) ไม่น้อยกว่า	ค่าเฉลี่ยความ เข้มของแสง สว่าง (ลักซ์) ไม่น้อยกว่า
งานละเอียดเล็กน้อย	งานที่ชิ้นงานมีขนาดปานกลางหรือเล็ก สามารถมองเห็นได้ แต่ไม่ชัดเจน และมีความแตกต่างของสีปานกลาง เช่น งาน ประจําในสำนักงาน เช่น งานเขียน งานพิมพ์ งานบันทึก ข้อมูล การอ่านและประมวลผลข้อมูล การจัดเก็บแฟ้ม การปฏิบัติงานที่ชิ้นงานมีขนาดตั้งแต่ 0.125 มิลลิเมตร เช่น งานออกแบบและเขียนแบบ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ งานประกอบรถยนต์และตัวถัง งานตรวจสอบแผ่นเหล็ก การทำงานอย่างละเอียดบนโต๊ะหรือที่เครื่องจักร การทอ ผ้าสื่อน ทอละเอียด การคัดเกรดแป้ง การเตรียมอาหาร เช่น การทำความสะอาด การต้มๆ การสับด้าย การแต่ง การบรรจุถุงในท่อผ้า	400	400 - 500	-	500	0.6

บริเวณพื้นที่ / ลักษณะงาน	ตัวอย่าง	ประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม พ.ศ. 2546	ประกาศกรมสวัสดิการ และคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2561		คู่มือฯ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างฯ
		ความเข้มของ การส่องสว่าง (ลักซ์) ไม่น้อยกว่า	ค่าเฉลี่ยความเข้ม ของแสงสว่าง (ลักซ์)	จุดที่ความเข้ม ของแสงสว่าง ต่ำสุด (ลักซ์)	
งานละเอียดปานกลาง	งานที่ชิ้นงานมีขนาดปานกลางหรือเล็ก สามารถมองเห็นได้แต่ไม่ชัดเจน และมีความแตกต่างของสีบ้างและต้องใช้สายตาในการทำงานค่อนข้างมาก เช่น งานระบายสี พ่นสี ตกแต่งสี หรือขัดตกแต่งละเอียด งานพิสูจน์อักษร งานตรวจสอบชิ้นสุดท้ายในโรงผลิตรถยนต์	600	500 - 600	-	0.6
	งานออกแบบและเขียนแบบ โดยไม่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	-	600 - 700	-	0.7
	งานตรวจสอบอาหาร เช่น การตรวจอาหารกระป๋อง การคัดเกรดน้ำตาล	-	750	-	0.7
งานละเอียดสูง	งานที่ชิ้นงานมีขนาดเล็ก สามารถมองเห็นได้แต่ไม่ชัดเจน และมีความแตกต่างของสีน้อย ต้องใช้สายตาในการทำงานมาก การปฏิบัติงานที่ชิ้นงานมีขนาดตั้งแต่ 0.025 มิลลิเมตร เช่น งานปรับเทียบมาตรฐานความถูกต้องและความแม่นยำของอุปกรณ์ การระบายสี พ่นสี และตกแต่งชิ้นงานที่ต้องการความละเอียดมากหรือต้องการความแม่นยำสูง งานย้อมสี	800	700 - 800	-	0.7

บริเวณพื้นที่ / ลักษณะงาน	ตัวอย่าง	ประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม พ.ศ. 2546	ประกาศกรมสวัสดิการ และคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2561		คู่มือฯ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างฯ	
		ความเข้มของ การส่องสว่าง (ลักซ์) ไม่น้อยกว่า	ค่าเฉลี่ยความเข้ม ของแสงสว่าง (ลักซ์)	จุดที่ความเข้ม ของแสงสว่าง ต่ำสุด (ลักซ์)	ความเข้มของ การส่องสว่าง (ลักซ์) ไม่น้อยกว่า	ค่าเฉลี่ยความ เข้มของแสง สว่าง (ลักซ์) ไม่น้อยกว่า
งานละเอียดสูง	การตรวจสอบ การตัดเย็บเสื้อผ้าด้วยมือ การตรวจสอบและ ตกแต่งสิ่งทอ สิ่งถัก หรือเสื้อผ้าที่มีสีอ่อนเช่นสุดท้ายด้วยมือ การคัดแยกและเทียบสีหนังที่มีสีเข้ม การเทียบสีเงินงานย้อม ผ้า การทอผ้าสีเข้ม ทอละเอียด การร้อยตะกร้อ	1,200	800 - 1,200	-	1,000	0.7
	งานที่ชิ้นงานมีขนาดเล็ก สามารถมองเห็นได้แต่ไม่ชัดเจน และมีความแตกต่างของสีน้อย ต้องใช้สายตาในการทำงาน มากและใช้เวลาในการทำงาน	-	800 - 1,200	-	1,000	0.7
งานละเอียดสูงมาก	งานละเอียดที่ต้องทำบนโต๊ะหรือเครื่องจักร ชิ้นงานที่มีขนาด เล็กกว่า 0.025 มิลลิเมตร งานตรวจสอบชิ้นส่วนที่มีขนาด เล็ก งานซ่อมแซม สิ่งทอ สิ่งถักที่มีสีอ่อน งานตรวจสอบ และตกแต่งชิ้นส่วนของสิ่งทอ สิ่งถักที่มีสีเข้มด้วยมือ การตรวจสอบและตกแต่งผลิตภัณฑ์สีเข้มและสีอ่อนด้วยมือ	1,600	1,200 - 1,600	-	1,500	0.7
	งานที่ชิ้นงานมีขนาดเล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นได้อย่าง ชัดเจน และมีความแตกต่างของสีน้อยมากหรือมีสีไม่ แตกต่างกัน ต้องใช้สายตาเพ่งในการทำงานมากและใช้เวลา ในการทำงานระยะเวลานาน เช่น	-	1,200 - 1,600	-	1,500	0.7

บริเวณพื้นที่ / ลักษณะงาน	ตัวอย่าง	ประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม พ.ศ. 2546	ประกาศกรมสวัสดิการ และคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2561		คู่มือฯ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างฯ	
		ความเข้มของ การส่องสว่าง (ลักซ์) ไม่น้อยกว่า	ค่าเฉลี่ยความเข้ม ของการส่องสว่าง (ลักซ์)	จุดที่ความเข้ม ของแสงสว่าง ต่ำสุด (ลักซ์)	ความเข้มของ การส่องสว่าง (ลักซ์) ไม่น้อยกว่า	ค่าเฉลี่ยความ เข้มของแสง สว่าง (ลักซ์) ไม่น้อยกว่า
งานละเอียดสูงมากเป็นพิเศษ	การปฏิบัติงานตรวจสอบชิ้นงานที่มีขนาดเล็กมากเป็นพิเศษ การเจียรระโนเพชร พลอย การทำนาฬิกาข้อมือสำหรับ กระบวนการผลิตที่มีขนาดเล็กมากเป็นพิเศษ การถัก ซ่อมแซมเสื้อผ้า ถูงทำที่มีสีเข้มระยะเวลาาน เช่น งานพัน ตกรรม ห้องผ่าตัด	2,400	2,400 หรือ มากกว่า	-	2,000	0.7
	งานที่ชิ้นงานมีขนาดเล็กมากเป็นพิเศษไม่สามารถมองเห็นได้ อย่างชัดเจน และมีความแตกต่างของสีน้อยมากหรือมีสีไม่ แตกต่างกัน ต้องใช้สายตาเพ่งในการทำงานมากหรือใช้ ทักษะและความชำนาญสูง และใช้เวลาในการทำงาน	-	2,400 หรือ มากกว่า	-	2,000	0.7

ภาคผนวก ค

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้า

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ การติดตั้ง การตรวจสอบระบบไฟฟ้าและระบบที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย สำหรับอาคาร โรงงาน และสิ่งปลูกสร้าง เช่น ระบบไฟฟ้าสำรอง ระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ระบบป้องกันฟ้าผ่า นั้นมีหน่วยงานที่มีอำนาจในการตรากฎหมายทั้งในระดับพระราชบัญญัติ กฎกระทรวง ประกาศ อยู่หลายหน่วยงาน ทำให้มีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าอยู่หลายฉบับ ในที่นี้จะรวบรวมและสรุปเนื้อหาไว้ดังนี้

ค.1 กฎหมายของกระทรวงมหาดไทย

กฎกระทรวงมหาดไทยเป็นกฎหมายที่ออกตาม พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ใช้อำนาจของกระทรวงมหาดไทยในการกำหนดมาตรการในด้านการควบคุม เกี่ยวกับความมั่นคงแข็งแรง ความปลอดภัย การป้องกันอัคคีภัย การสาธารณสุข การรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม การผังเมือง การสถาปัตยกรรม และการอำนวยความสะดวกแก่การจราจร ตั้งแต่ พ.ศ. 2522 ได้มีการออกกฎกระทรวงมาหลายฉบับเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการณ์ในขณะนั้น โดยกฎกระทรวงมหาดไทยที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้ามีดังนี้

ค.1.1 กฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535)

<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2535/A/011/6.PDF>

ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 สำหรับควบคุมอาคารสูง และอาคารขนาดใหญ่พิเศษ

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2535 มีข้อที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าดังนี้

ข้อ 11 กำหนดให้การเดินสายและติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารสูง หรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องปฏิบัติตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าเต็มพิกัดที่ได้ออกแบบไว้จะมีแรงดันไฟฟ้าตกระหว่างแผงสวิตช์ประธานกับวงจรย่อยได้ไม่เกิน 5%

ข้อ 12 กำหนดให้แผงสวิตช์วงจรย่อยทุกแผงของระบบไฟฟ้าต้องมีการต่อลงดินตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ข้อ 13 กำหนดให้อาคารสูงต้องมีระบบป้องกันฟ้าผ่าซึ่งประกอบด้วยเสาต่อฟ้า สายต่อฟ้า สายตัวนำ สายนำลงดิน และหลักสายดินที่เชื่อมโยงกันเป็นระบบ สายนำลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่าต้องไม่ใช้ร่วมกับระบบสายดินอื่น โดยขนาดของสายนำลงดินซึ่งอาจจะใช้ตัวนำอื่นที่ไม่ใช่ทองแดงต้องมีความนำไฟฟ้าไม่น้อยกว่า สายทองแดงที่เกลียวขนาด 30 ตร.มม. และต้องมีสายนำลงดินโดยรอบอาคารไม่น้อยกว่า 2 เส้น แต่ละเส้นมีระยะห่างกันไม่เกิน 30 เมตร ทั้งนี้สามารถใช้เหล็กเสริมแรงในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือโครงสร้างอาคารที่เป็นเหล็กรูปพรรณเป็นสายนำลงดินได้แต่ต้องมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าเพื่อระบายกระแสฟ้าผ่าไปยังหลักดินของระบบป้องกันฟ้าผ่าได้

ข้อ 14 กำหนดให้อาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องมีระบบไฟฟ้าสำรอง ที่สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติเมื่อระบบไฟฟ้าปกติขัดข้อง โดยระบบไฟฟ้าสำรองนี้ต้องสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องหมายแสดงทางฉุกเฉิน ทางเดิน ห้องโถง บันได และระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ได้เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง และต้องสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับลิฟต์ดับเพลิง เครื่องสูบน้ำดับเพลิง ห้องช่วยชีวิตฉุกเฉิน ระบบสื่อสาร เพื่อความปลอดภัยของสาธารณะและกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิตหรือสุขภาพอนามัยเมื่อกระแสไฟฟ้าขัดข้อง ได้ตลอดเวลาที่ต้องใช้งาน

ข้อ 15 กำหนดให้วงจรที่จ่ายไฟฟ้าให้แก่ลิฟต์ดับเพลิงต้องต่อจากแผงสวิตช์ประธาน แยกอิสระจากวงจรทั่วไป และสายไฟฟ้าที่ใช้ต้องเป็นสายทนไฟ

ข้อ 17 กำหนดให้อาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องมีแบบแปลนระบบไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย

- 1) แผนผังวงจรไฟฟ้าของแต่ละชั้นของอาคารที่มีมาตราส่วนเช่นเดียวกับแบบแปลนที่ยื่นประกอบการขออนุญาตในการก่อสร้างอาคารซึ่งแสดงถึง รายละเอียดการเดินสายและติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมด ในแต่ละวงจรย่อยของระบบไฟฟ้าแสงสว่างและกำลัง ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน
- 2) แผนผังวงจรไฟฟ้าที่แสดงรายละเอียดของระบบสายดิน สายประธานต่าง ๆ รวมทั้งรายละเอียดของอุปกรณ์ป้องกันสายประธานดังกล่าวและอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดของทุกระบบ
- 3) รายการประกอบแบบแสดงรายละเอียดของการใช้ไฟฟ้า
- 4) แผนผังวงจรและการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า แผงควบคุมหรือแผงจ่ายไฟฟ้าและระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรอง
- 5) แผนผังและรายละเอียดการเดินสายและการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดของระบบป้องกันฟ้าผ่า

ค.1.2 กฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537)

<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2537/A/023/37.PDF>

ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 สำหรับควบคุมอาคารประเภท

1. ห้องแถว ตึกแถว บ้านแถว บ้านแฝด
2. อาคารที่ใช้เป็นที่ชุมนุมของประชาชน เช่น โรงมหรสพ หอประชุมโรงแรม สถานพยาบาล สถานศึกษา หอสมุด สถานกีฬาในร่ม ตลาด ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานบริการ ท่าอากาศยาน อาคารจอดรถ สถานีขนส่งมวลชน ที่จอดรถ ท่าจอดเรือ ภัตตาคาร สำนักงาน สถานที่ทำการของราชการ โรงงานและอาคารพาณิชย์

3. อาคารอยู่อาศัยรวมที่มีตั้งแต่ 4 หน่วยขึ้นไป และหอพัก

4. อาคารอื่นนอกจากอาคารที่ระบุไว้ข้างต้นที่มีความสูงตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไป

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาวันที่ 13 มิถุนายน 2537 มีข้อที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าดังนี้

ข้อ 7 อาคารที่ใช้เป็นที่ชุมนุมของประชาชน อาคารอยู่อาศัยรวมที่มีตั้งแต่ 4 หน่วยขึ้นไป และหอพัก ที่มีความสูงตั้งแต่ 2 ชั้น ขึ้นไป และอาคารอื่นนอกจากอาคารที่ระบุไว้ข้างต้นที่มีความสูงตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไป ที่มีพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันเกิน 2,000 ตารางเมตร ในแต่ละชั้นต้องมีป้ายบอกชั้นและป้ายบอกทางหนีไฟด้วยตัวอักษรขนาดที่มีความสูงไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร หรือสัญลักษณ์ที่อยู่ในตำแหน่งที่มองเห็นได้ชัดเจนตลอดเวลา และต้องมีแสงสว่างจากระบบไฟฟ้าฉุกเฉินเพียงพอที่จะมองเห็นช่องทางหนีไฟได้ชัดเจนขณะเพลิงไหม้

ข้อ 11 กำหนดให้ส่วนต่าง ๆ ของอาคารต้องมีความเข้มของแสงสว่างไม่น้อยกว่าความเข้มที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3 แนบท้ายกฎกระทรวง สถานที่อื่นที่มีได้ระบุไว้ในตารางตามวรรคหนึ่ง ให้ใช้ความเข้มของแสงสว่างของสถานที่ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับความเข้มที่กำหนดไว้ในตารางดังกล่าว

ข้อ 17 โรงงาน โรงแรม โรงมหรสพ ห้องประชุม สถานกีฬาในร่ม สถานพยาบาล สถานิชนสงฆ์ มวลชน สำนักงาน ห้างสรรพสินค้า หรือตลาด ต้องมีระบบไฟฟ้าสำรองสำหรับกรณีฉุกเฉิน เช่น แบตเตอรี่ หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติเมื่อระบบไฟฟ้าปกติขัดข้อง โดยระบบไฟฟ้าสำรองนี้ต้องสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องขยายเสียงทางฉุกเฉิน ทางเดิน ห้องโถง บันได และระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ได้เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง และต้องสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับห้องไอ.ซี.ยู ห้อง ซี.ซี.ยู ห้องช่วยชีวิตฉุกเฉินระบบสื่อสาร และเครื่องสูบน้ำดับเพลิง เพื่อความปลอดภัยสาธารณะและกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิตหรือสุขภาพอนามัยเมื่อกระแสไฟฟ้าขัดข้อง ได้ตลอดเวลาที่ต้องใช้งาน

ค.1.3 กฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 47 (พ.ศ. 2540)

<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2540/A/052/27.PDF>

ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 สำหรับอาคารเก่าที่เป็นอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ อาคารขนาดใหญ่พิเศษ โรงงาน อาคารสาธารณะ อาคารอยู่อาศัยรวม โรงงาน ภัตตาคาร สำนักงาน ประกาศในราชกิจจานุเบกษาวันที่ 2 ตุลาคม 2540 มีข้อที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าดังนี้

ข้อ 5 อาคารที่ก่อสร้าง ดัดแปลง หรือเคลื่อนย้ายก่อนที่ พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 มีผลบังคับใช้ หรืออาคารที่ก่อสร้าง ดัดแปลง หรือเคลื่อนย้าย ภายใต้พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ที่เป็นอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ อาคารขนาดใหญ่ อาคารสาธารณะ อาคารอยู่อาศัยรวม โรงงาน ภัตตาคาร และสำนักงาน และมีสภาพหรือมีการใช้ที่อาจไม่ปลอดภัยจากอัคคีภัย เจ้าพนักงานท้องถิ่นมีอำนาจสั่งให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองอาคารดำเนินการแก้ไขให้อาคารดังกล่าวให้มีระบบความปลอดภัยเกี่ยวกับอัคคีภัยดังต่อไปนี้ (เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้า)

1. ติดตั้งระบบไฟส่องสว่างสำรองเพื่อให้มีแสงสว่างสามารถมองเห็นช่องทางเดินได้ขณะเพลิงไหม้ และมีป้ายบอกชั้นและป้ายบอกทางหนีไฟที่ด้านในและด้านนอกของประตูหนีไฟทุกชั้นด้วยตัวอักษรที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน โดยตัวอักษรต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 10 เซนติเมตร

2. ติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าซึ่งประกอบด้วย เสาล่อฟ้า สายล่อฟ้า สายตัวนำสายนำลงดิน และหลักสายดินที่เชื่อมโยงกันเป็นระบบ

ค.2 กฎหมายของกระทรวงแรงงาน

กฎกระทรวงแรงงานเป็นกฎหมายที่ออกตาม พระราชบัญญัติ ความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 ใช้อำนาจของกระทรวงแรงงานในการกำหนดมาตรฐานให้นายจ้าง บริหาร จัดการ ดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน เพื่อให้ลูกจ้าง ได้รับความปลอดภัยในการทำงาน โดยกฎกระทรวงแรงงานที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้ามีดังนี้

ค.2.1 กฎกระทรวงแรงงาน กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการและดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555

<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2556/A/002/24.PDF>

ออกตามความในพระราชบัญญัติ ความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 สำหรับ อาคารที่มีลูกจ้างทำงานอยู่

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาวันที่ 9 มกราคม 2556 มีข้อที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าดังนี้

ข้อ 10 กำหนดให้นายจ้างจัดให้มีแสงสว่างสำหรับเส้นทางหนีไฟในการอพยพลูกจ้างออกจากอาคารเพื่อการหนีไฟอย่างเพียงพอ รวมทั้งจัดให้มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองที่สามารถจ่ายไฟฟ้าเพื่อการหนีไฟ และสำหรับใช้กับอุปกรณ์ดับเพลิงขั้นต้นหรืออุปกรณ์อื่นที่เกี่ยวข้องได้ในทันทีที่ไฟฟ้าดับ

ข้อ 11 กำหนดให้นายจ้างจัดให้มีป้ายบอกทางหนีไฟที่มีขนาดของตัวหนังสือต้องสูงไม่น้อยกว่า 15 ซม. และเห็นได้อย่างชัดเจน ป้ายบอกทางหนีไฟต้องมีแสงสว่างในตัวเองหรือใช้ไฟส่องให้เห็นได้อย่างชัดเจนตลอดเวลา สีหรือรูปร่างของป้ายต้องแตกต่างจากการตกแต่งหรือป้ายอื่น ๆ ที่ติดไว้ใกล้เคียง หรืออื่น ๆ ที่ทำให้เห็นป้ายไม่ชัดเจน โดยอาจใช้รูปภาพบอกทางหนีไฟตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ฯ ได้ ทั้งนี้ ต้องให้เห็นได้อย่างชัดเจน

ข้อ 25 กำหนดให้นายจ้างจัดให้มีระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าสำหรับอาคารหรือสิ่งก่อสร้างดังต่อไปนี้

1. อาคารที่มีวัตถุไวไฟหรือวัตถุระเบิด (ไม่ใช่บังคับกับอาคารและสิ่งก่อสร้างที่อยู่ในรัศมีการป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าของอาคารอื่น)

2. สิ่งก่อสร้างที่มีความสูง ประเภท ปล่องควัน หอคอย เสาธง ถังเก็บน้ำหรือสารเคมี หรือสิ่งก่อสร้างอื่นใดที่มีความสูงในทำนองเดียวกัน

โดยการติดตั้งระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าให้ปฏิบัติตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ฯ

ข้อ 26 กำหนดให้นายจ้างจัดให้มีมาตรการป้องกันผลกระทบจากฟ้าผ่าเข้าสู่ระบบไฟฟ้าของอาคาร

ค.2.2 กฎกระทรวงแรงงาน กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้า พ.ศ. 2558

<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2558/A/007/1.PDF>

ออกตามความในพระราชบัญญัติความปลอดภัยอาชีวอนามัยและ สภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 สำหรับ อาคารที่มีลูกจ้างทำงานอยู่

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2558 มีข้อที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าดังนี้

ข้อ 5 กำหนดให้นายจ้างจัดให้มีแผนผังวงจรไฟฟ้าภายในสถานประกอบกิจการทั้งหมดที่ปรับปรุงให้เป็นปัจจุบันและมีวิศวกรหรือการไฟฟ้าประจำท้องถิ่นรับรองความถูกต้อง ไว้ให้ตรวจสอบ

ข้อ 6 กำหนดให้นายจ้างจัดให้มีป้ายเตือนอันตรายจากไฟฟ้าที่มองเห็นได้ชัดเจนในบริเวณที่อาจเกิดอันตรายจากไฟฟ้า

ข้อ 7 ห้ามมิให้นายจ้างให้ลูกจ้างที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้าเข้าใกล้ตัวนำไฟฟ้าที่ไม่มีฉนวนที่เหมาะสมกับระดับแรงดันไฟฟ้าห่อหุ้มในระยษที่น้อยกว่าระยะห่างตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ฯ หากยังไม่มีมาตรฐานดังกล่าวให้ใช้มาตรฐานตามที่มีการไฟฟ้าประจำท้องถิ่นกำหนด นอกเสียจากจะให้ลูกจ้างสวมอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (PPE) ที่เหมาะสม และมีวิศวกร หรือผู้ควบคุมงานจากการไฟฟ้าประจำท้องถิ่น ควบคุมการทำงาน

ข้อ 8 ห้ามมิให้นายจ้างให้ลูกจ้างที่ไม่เกี่ยวข้อง หรือผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องเข้าใกล้สิ่งที่มีกระแสไฟฟ้าในระยษที่น้อยกว่าระยะห่างตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ฯ หากยังไม่มีมาตรฐานดังกล่าวให้ใช้มาตรฐานตามที่มีการไฟฟ้าประจำท้องถิ่นกำหนด

ข้อ 9 กำหนดให้นายจ้างดูแลให้ลูกจ้างสวมใส่เครื่องนุ่งห่มที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานเกี่ยวกับสิ่งที่มีแรงดันไฟฟ้าเกินกว่า 50 โวลต์

ข้อ 10 กำหนดให้นายจ้างจัดให้มีอุปกรณ์ที่เป็นฉนวน หรืออุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าให้กับลูกจ้างที่ทำงานโดยใช้อุปกรณ์ในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้า หรืออยู่ในบริเวณที่ใกล้กับสิ่งที่มีไฟฟ้า

ข้อ 11 กำหนดให้นายจ้างจัดให้มีการบำรุงรักษาบริภัณฑ์ไฟฟ้า และสายไฟฟ้าให้ใช้งานได้ อย่างปลอดภัย

ข้อ 12 กำหนดให้นายจ้างจัดให้มีการตรวจสอบ และบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้าให้ใช้งานได้ อย่างปลอดภัย โดยให้ผู้ขึ้นทะเบียนตาม พระราชบัญญัติ ความปลอดภัย อาชีวอนามัย ฯ พ.ศ. 2554 เป็นผู้จัดทำบันทึกการตรวจสอบ

ข้อ 14 กำหนดให้นายจ้างจัดให้มีการติดตั้งบริภัณฑ์ไฟฟ้า ตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ฯ หากยังไม่มีมาตรฐานดังกล่าวให้ใช้มาตรฐานตามที่มีการไฟฟ้าประจำท้องถิ่นกำหนด

ข้อ 15 กำหนดให้นายจ้างจัดให้มีการปลด/ปิดแหล่งจ่ายพลังงาน (lockout-tagout) ที่จ่ายให้กับระบบไฟฟ้า หรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า ตลอดเวลาที่ลูกจ้างกำลังติดตั้ง ตรวจสอบ ซ่อมแซม หรือซ่อมบำรุงอยู่

ข้อ 17 กำหนดให้นายจ้างจัดให้มีฉนวนป้องกัน การกั้น เพื่อป้องกันการสัมผัสส่วนของบริภัณฑ์ไฟฟ้าใช้แรงดันไฟฟ้าเกินกว่า 50 โวลต์

ข้อ 18 กำหนดให้นายจ้างติดตั้งเต้ารับ สายไฟฟ้า อุปกรณ์ และเครื่องป้องกันกระแสเกินที่มีขนาด ชนิด และประเภทที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยให้เป็นไปตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ฯ หากยังไม่มีมาตรฐานดังกล่าวให้ใช้มาตรฐานตามที่การไฟฟ้าประจำท้องถิ่นกำหนด

ข้อ 19 ในกรณีที่มีการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า นายจ้างจะต้องจัดให้มีการป้องกันไม่ให้มีการต่อขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับระบบของการไฟฟ้า และต้องปฏิบัติดังนี้

- 1) ติดตั้งในบริเวณพื้นที่กว้างพอที่จะปฏิบัติงานได้อย่างสะดวกและปลอดภัย
- 2) จัดให้มีการระบายอากาศอย่างเพียงพอ กรณีติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไว้ในห้องหากมีไอเสียจากเครื่องยนต์ให้ต่อท่อไอเสียออกสู่ภายนอก
- 3) จัดให้มีเครื่องป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน
- 4) จัดให้มีอุปกรณ์ดับเพลิงชนิดที่ใช้ดับเพลิงที่เกิดจากไฟฟ้าและน้ำมันในห้องเครื่องได้ ทั้งนี้การออกแบบและติดตั้งให้เป็นไปตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ฯ

ข้อ 20 กำหนดให้นายจ้างจัดให้มีระบบป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า ของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ฯ หรือมาตรฐาน NFPA หรือมาตรฐาน IEC หรือมาตรฐานอื่นตามที่อธิบดีประกาศกำหนด ในสถานประกอบกิจการ อาคาร ปล่องควัน รวมถึงบริเวณที่มีถังเก็บของเหลวไวไฟหรือก๊าซไวไฟ

ค.2.3 ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง พ.ศ. 2561
<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2561/E/039/15.PDF>

ออกตามความในกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2559 สำหรับ อาคารที่มีลูกจ้างทำงานอยู่

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2561

ข้อ 4 กำหนดให้นายจ้างจัดให้สถานประกอบกิจการมีความเข้มการส่องสว่างไม่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ตามตารางแนบท้ายประกาศ

ค.3 กฎหมายของกระทรวงพลังงาน

กฎกระทรวงพลังงานเป็นกฎหมายที่ออกตาม พระราชบัญญัติ ควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2542 ใช้อำนาจของกระทรวงพลังงานในการกำหนดมาตรการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับสถานที่ประกอบกิจการน้ำมัน โดยกฎกระทรวงพลังงานที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้ามีดังนี้

ค.3.1 กฎกระทรวง ระบบไฟฟ้าและระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าของสถานที่ประกอบกิจการน้ำมัน พ.ศ. 2556

<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2556/A/029/49.PDF>

ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2542 สำหรับสถานีบริการน้ำมัน สถานที่เก็บรักษาน้ำมัน คลังน้ำมัน และสถานที่ที่มีการรับหรือจ่ายน้ำมันโดยระบบการขนส่งน้ำมันทางท่อ ครอบคลุมเฉพาะระบบไฟฟ้า ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าที่อยู่ภายในบริเวณอันตรายของสถานที่ประกอบกิจการน้ำมัน

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาวันที่ 27 มีนาคม 2556 มีข้อที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าดังนี้

ข้อ 4 การเดินสายไฟฟ้า การติดตั้งระบบไฟฟ้า และการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าให้ออกแบบ และควบคุมโดยวิศวกรไฟฟ้าซึ่งเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมตามกฎหมายว่าด้วย วิศวกร

ข้อ 5 การออกแบบ การเดินสายไฟฟ้า การติดตั้งระบบไฟฟ้า และการติดตั้งระบบป้องกัน ฟ้าผ่า ให้เป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า และมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้างของ สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ฯ มาตรฐานของ NFPA มาตรฐานของ IEC หรือมาตรฐานอื่นที่อธิบดี กรมธุรกิจพลังงานประกาศกำหนด

ข้อ 6 บริเวณที่มีการถ่ายเทน้ำมันภายในสถานที่ประกอบกิจการน้ำมันต้องทำการป้องกันการ สะสมของประจุไฟฟ้าสถิต โดยให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่รัฐมนตรีประกาศ

ข้อ 7 แบบระบบไฟฟ้าต้องแสดงรายละเอียดอย่างน้อย ดังต่อไปนี้

1) แบบแผนผังแสดงการแบ่งขอบเขตพื้นที่บริเวณอันตราย
2) แบบแผนผังแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และบริภัณฑ์ภายในบริเวณ อันตรายและส่วนต่อเนื่องที่จำเป็น

3) แบบแผนผังแสดงการติดตั้งเดินสายไฟฟ้า สายควบคุม สายสื่อสาร การปิดผนึก และการต่อลงดินภายในบริเวณอันตรายและส่วนต่อเนื่องที่จำเป็น

4) แบบแสดงแผนภาพเส้นเดียว (single line diagram)

5) แบบแสดงรายการคำนวณโหลดไฟฟ้า (load schedule)

ข้อ 8 แบบระบบป้องกันฟ้าผ่าต้องแสดงรายละเอียดอย่างน้อย ดังต่อไปนี้

1) แบบแผนผังแสดงบริเวณป้องกัน

2) แบบแสดงการติดตั้งตัวนำล่อฟ้า

3) แบบแสดงการติดตั้งตัวนำลงดินพร้อมจุดต่อทดสอบ

4) แบบแสดงการติดตั้งรากสายดิน

ข้อ 9 อธิบายการกำหนดบริเวณอันตรายของสถานที่ประกอบกิจการน้ำมัน

ข้อ 10 กำหนดให้บริเวณที่กำหนดให้เป็นบริเวณอันตรายแบบที่ 1 หรือแบบที่ 2 ต้องเลือกใช้ อุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และบริภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานเหมาะสมกับบริเวณนั้น

ข้อ 16 กำหนดให้อุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และบริภัณฑ์ที่ยอมรับให้ใช้ในบริเวณอันตรายแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ต้องได้รับการรับรองจากองค์กรใดองค์กรหนึ่งดังต่อไปนี้

1) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

2) Underwriters Laboratories, Inc. (UL)

3) Electrical Equipment Certification Services (EECS)

4) Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB)

5) Laboratoire Central des Industries Electriques (LCIE)

6) Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano (CESI)

7) Canada Standard Association (CSA)

8) Technology Institution of Industrial Safety (TIIS)

9) องค์กรอื่นที่กรมธุรกิจพลังงานเห็นชอบ

ข้อ 17,18 และ 19 กำหนดสิ่งปลูกสร้างที่ต้องจัดให้มีระบบป้องกันฟ้าผ่า

ข้อ 20 กำหนดให้สิ่งปลูกสร้างที่ต้องจัดให้มีระบบป้องกันฟ้าผ่า ต้องออกแบบและติดตั้งตัวนำ ล่อฟ้าให้มีบริเวณป้องกันครอบคลุมสิ่งปลูกสร้างดังกล่าว

ข้อ 21 กำหนดชนิดของวัสดุที่ใช้ในระบบป้องกันฟ้าผ่า

ข้อ 22 กำหนดขนาดของวัสดุที่ใช้ในระบบป้องกันฟ้าผ่า

ข้อ 23 กำหนดให้มีการป้องกันการฟุกร่อนของวัสดุที่ใช้ในระบบป้องกันฟ้าผ่า

ข้อ 24 กำหนดวิธีการเชื่อมต่อของส่วนต่าง ๆ ในระบบป้องกันฟ้าผ่า

ข้อ 25 กำหนดวิธีการติดตั้งตัวนำล่อฟ้า

ข้อ 26 กำหนดวิธีการติดตั้งตัวนำลงดิน

ข้อ 27 กำหนดวิธีการติดตั้งตัวนำประสาน

ข้อ 28 กำหนดวิธีการติดตั้งรากสายดิน

ข้อ 29 กำหนดให้สามารถใช้ส่วนโครงสร้างโลหะของสิ่งปลูกสร้างเป็น ตัวนำล่อฟ้า หรือตัวนำลงดินได้ โดยมีการติดตั้ง เชื่อมต่อตามที่กำหนด

ข้อ 30 กำหนดให้สถานที่ประกอบกิจการน้ำมันต้องทำการตรวจสอบระบบไฟฟ้าและระบบป้องกันฟ้าผ่าก่อนเริ่มประกอบกิจการน้ำมัน หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในเขตสถานที่ประกอบกิจการน้ำมันที่

มีผลต่อระบบไฟฟ้าและระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยผู้ทดสอบ และตรวจสอบต้องมีคุณสมบัติตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

ค.3.2 ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์การป้องกันการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิต พ.ศ. 2559 อาศัยอำนาจตามกฎกระทรวงระบบไฟฟ้า และระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าของสถานที่ประกอบกิจการน้ำมัน พ.ศ. 2556

<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2559/E/126/9.PDF>

ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2542 สำหรับสถานบริการน้ำมัน สถานที่เก็บรักษาน้ำมัน คลังน้ำมัน และสถานที่ที่มีการรับหรือจ่ายน้ำมันโดยระบบการขนส่งน้ำมันทางท่อ

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาวันที่ 2 มิถุนายน 2559 มีข้อที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าดังนี้

ข้อ 2 กำหนดบริเวณที่ต้องจัดให้มีการป้องกันการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตของคลังน้ำมัน สถานที่เก็บรักษาน้ำมัน ลักษณะที่สาม สถานีบริการน้ำมันประเภท ก สถานีบริการน้ำมันประเภท ข สถานีบริการน้ำมันประเภท ค ลักษณะที่สอง สถานีบริการน้ำมันประเภท จ ลักษณะที่สอง และสถานีบริการน้ำมันประเภท ฉ ดังต่อไปนี้

- 1) ระบบท่อน้ำมัน ท่อจ่ายน้ำมัน และท่อระบายไอน้ำมัน
- 2) บริเวณที่มีการบรรจุน้ำมันลงภาชนะบรรจุน้ำมัน
- 3) ระบบท่อระบายไอน้ำมันของระบบควบคุมไอน้ำมันเชื้อเพลิง

ข้อ 3 กำหนดลักษณะการป้องกันการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตในบริเวณตามข้อ 2 ต้องมีลักษณะ ดังนี้

- 1) ต้องมีการเชื่อมต่อเพื่อถ่ายเทประจุไฟฟ้าอย่างเพียงพอและมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าโดยตลอด
- 2) ตัวนำลงดินต้องทำด้วยทองแดงชนิดตีเกลียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 16 ตร.มม. หรืออะลูมิเนียมชนิดตีเกลียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 25 ตร.มม. เพื่อป้องกันความเสียหายจากการหักงอ
- 3) ตัวนำประสานต้องเป็นวัสดุชนิดที่นำไฟฟ้าและมีค่าความต้านทานไม่เกิน 10 โอห์ม
- 4) ค่าความต้านทานของรากสายดิน ต้องมีค่าไม่เกิน 10 โอห์ม
- 5) ต้องมีจุดต่อลงดินเพื่อถ่ายเทไฟฟ้าสถิตจากรถขนส่งน้ำมัน หรือรถโฟกซ่งน้ำมัน
- 6) ระบบท่อน้ำมัน และอุปกรณ์ที่เป็นโลหะ ต้องทำการต่อตัวนำประสานและต่อรากสายดิน
- 7) ระบบท่อน้ำมัน และอุปกรณ์ที่เป็นโลหะ ซึ่งใช้งานอยู่ในบริเวณที่มีการรับหรือจ่ายน้ำมัน ต้องออกแบบและใช้งาน เพื่อป้องกันการเกิดประกายไฟจากไฟฟ้าสถิต

8) บริเวณที่ต่อตัวนำประสาณ จุดต่อลงดินและที่สืบจุดต่อลงดิน ต้องมีความสะอาด และไม่มีการทาสี

ค.3.3 ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์การติดตั้งตัวนำล่อฟ้า จำนวนและระยะห่างของ ตัวนำลงดิน ที่ถึงเก็บน้ำมัน พ.ศ. 2559 อาศัยอำนาจตามกฎกระทรวงระบบไฟฟ้า และระบบป้องกันอันตราย จากฟ้าผ่าของสถานที่ประกอบกิจการน้ำมัน พ.ศ. 2556

<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2559/E/126/11.PDF>

ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2542 สำหรับสถานบริการน้ำมัน สถานที่เก็บรักษาน้ำมัน คลังน้ำมัน และสถานที่ที่มีการรับหรือจ่ายน้ำมันโดยระบบการขนส่งน้ำมันทางท่อ

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาวันที่ 2 มิถุนายน 2559 มีข้อที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าดังนี้

ข้อ 2 ถึงเก็บน้ำมันเหนือพื้นดิน จะต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าให้เป็นไปตามข้อ 20 และข้อ 25 บรรคหนึ่งของกฎกระทรวงระบบไฟฟ้าและระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าของสถานที่ประกอบกิจการน้ำมัน พ.ศ. 2556 เว้นแต่ถังเก็บน้ำมันขนาดใหญ่เหนือพื้นดิน สามารถใช้หลังคาถังเป็นตัวนำล่อฟ้าได้ และต้องมี ลักษณะ ดังนี้

1) ถังเก็บน้ำมันแบบหลังคาติดตายหรือแบบหลังคาลอยภายใน

(ก) หลังคาถังต้องเป็นโลหะและมีความหนาไม่น้อยกว่า 4.80 มิลลิเมตร (3/16 นิ้ว)

(ข) โครงสร้างโลหะ จะต้องเชื่อมต่อด้วยวิธีการย้ำหมุด ยึดด้วยสลักเกลียว หรือวิธีการเชื่อม

(ค) ท่อน้ำมันที่ต่อเชื่อมกับถังเก็บน้ำมัน ต้องเป็นท่อชนิดที่ทำด้วยโลหะ

(ง) ช่องเปิดของถังที่อาจมีไอน้ำมันหรือก๊าซที่อยู่ในช่วงติดไฟได้ (lower explosive limit : lel) ต้องจัดให้มีอุปกรณ์นิรภัยระบายแรงดันและสูญญากาศหรืออุปกรณ์ป้องกันเปลวไฟ

2) ถังเก็บน้ำมันแบบหลังคาลอยภายนอก

(ก) ต้องมีลักษณะเป็นไปตามถังเก็บน้ำมันแบบหลังคาติดตายหรือแบบ หลังคาลอยภายใน

(ข) หลังคาลอย ต้องมีความสามารถในการนำไฟฟ้า และมีการเชื่อมต่อเพื่อ ถ่ายเทพริชไฟฟ้า ไปยังผนังถัง

(ค) วัสดุที่ใช้เป็นตัวนำประสาณระหว่างหลังคาลอยกับผนังถัง (shunts) ต้อง ทำด้วย เหล็กกล้าไร้สนิม (austenitic stainless steel) หรือเทียบเท่า ที่มีการนำกระแสป้องกันการกัดกร่อน และมีความยืดหยุ่น ขนาดความกว้างไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร พื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 20 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะห่างระหว่างกันไม่เกิน 3 เมตร

(ง) วัสดุกันรั่วระหว่างหลังคาลอยกับผนังถึงต้องสัมผัสกับผนังถึงและเป็นวัสดุชนิดที่ไม่เป็นสนิม

ข้อ 3 กรณีที่ใช้หลังคาถังเก็บน้ำมันขนาดใหญ่เหนือพื้นดินเป็นตัวนำล่อฟ้า ต้องติดตั้งตัวนำลงดิน อย่างน้อย 2 จุด ตัวนำลงดินมีระยะห่างระหว่างกันไม่เกิน 30 เมตรทดสอบและตรวจสอบตามกฎกระทรวงว่าด้วยการกำหนดคุณสมบัติของผู้ทดสอบและตรวจสอบน้ำมัน และผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการทดสอบและตรวจสอบน้ำมัน และหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขในการทดสอบและตรวจสอบน้ำมัน

ค.4 กฎหมายของกระทรวงอุตสาหกรรม

กฎกระทรวงอุตสาหกรรมเป็นกฎหมายที่ออกตาม พระราชบัญญัติ โรงงาน พ.ศ. 2535 ใช้อำนาจของกระทรวงอุตสาหกรรมในการกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า เพื่อป้องกันอันตรายหรือความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในโรงงาน โดยกฎกระทรวงแรงงานที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้ามีดังนี้

ค.4.1 กฎกระทรวงอุตสาหกรรม กำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า พ.ศ. 2550

<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2550/A/034/31.PDF>

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 สำหรับโรงงานทุกจำพวก และทุกประเภท หรือชนิดของโรงงานที่กำหนดไว้ในบัญชีท้ายกฎกระทรวง (พ.ศ. 2535)

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาวันที่ 16 กรกฎาคม 2550 มีข้อที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าดังนี้

ข้อ 2 ผู้ประกอบกิจการโรงงานจำพวกที่ 2 และ 3 ต้องมีแบบแปลนที่แสดงการติดตั้งระบบไฟฟ้าตามความเป็นจริง (as-built drawing) และรายการประกอบแบบแปลน ที่มีคำรับรองของวิศวกรหรือบุคคลอื่น ที่รัฐมนตรีกำหนด

ข้อ 3 วัสดุ อุปกรณ์ หรือส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้า ที่ใช้ในโรงงานต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือมาตรฐานอื่นที่ยอมรับกัน โดยมีคำรับรองของวิศวกรหรือบุคคลอื่น ที่รัฐมนตรีกำหนด

ข้อ 4 การใช้งานระบบไฟฟ้าในโรงงาน ต้องเป็นไปตามหลักวิชาการ หรือมาตรฐานที่ยอมรับกัน หรือตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่รัฐมนตรีกำหนด

ข้อ 5 ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดให้มีการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในโรงงานและรับรองความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าในโรงงานเป็นประจำทุกปี โดยวิศวกรหรือบุคคลอื่นที่รัฐมนตรีกำหนด

บรรณานุกรม

- กฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 33 พ.ศ. 2535, กระทรวงมหาดไทย.
- กฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 39 พ.ศ. 2537, กระทรวงมหาดไทย.
- กฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 47 พ.ศ. 2540, กระทรวงมหาดไทย.
- กฎกระทรวงแรงงาน กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการและดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555, กระทรวงแรงงาน.
- กฎกระทรวงแรงงาน กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้า พ.ศ. 2558, กระทรวงแรงงาน.
- ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง พ.ศ. 2561, กระทรวงแรงงาน.
- กฎกระทรวง ระบบไฟฟ้าและระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าของสถานที่ประกอบกิจการน้ำมัน พ.ศ. 2556, กระทรวงพลังงาน.
- ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์การป้องกันการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิต พ.ศ. 2559, กระทรวงพลังงาน.
- ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์การติดตั้งตัวนำล่อฟ้า จำนวนและระยะห่างของตัวนำลงดิน ที่ถึงเก็บน้ำมัน พ.ศ. 2559, กระทรวงพลังงาน.
- กฎกระทรวงอุตสาหกรรม กำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า พ.ศ. 2550, กฎกระทรวงอุตสาหกรรม.
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงาน เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2546, กระทรวงอุตสาหกรรม.
- แบบบันทึกข้อมูลด้านความปลอดภัยระบบไฟฟ้าในโรงงาน ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าในโรงงาน พ.ศ. 2551, กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการปฏิบัติงาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในโรงงาน พ.ศ. 2552, กรุงเทพมหานคร : 2555.
- คณะกรรมการดำเนินการจัดทำคู่มือการติดตั้งระบบไฟฟ้าสำหรับช่าง, คู่มือการติดตั้งระบบไฟฟ้าสำหรับช่าง, พิมพ์ครั้งที่ 1, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, กรุงเทพฯ : 2551.
- คณะกรรมการดำเนินการจัดทำคู่มือความปลอดภัยทางไฟฟ้า, คู่มือความปลอดภัยทางไฟฟ้า, พิมพ์ครั้งที่ 1, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, กรุงเทพฯ : 2551.

- คณะอนุกรรมการจัดทำมาตรฐานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในบริเวณอันตราย, มาตรฐานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในบริเวณอันตราย, การไฟฟ้านครหลวง, กรุงเทพฯ : 2562.
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร : 2557.
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, มาตรฐานความปลอดภัยทางไฟฟ้าในสถานที่ทำงาน พ.ศ.2557 , พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร : 2557.
- สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, คู่มือแนวทางการออกแบบการส่องสว่างภายในอาคาร, กรุงเทพมหานคร : 2559.
- สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, คู่มือแนวทางการออกแบบการส่องสว่างภายนอกอาคาร, กรุงเทพมหานคร : 2559.
- ลือชัย ทองนิล, การตรวจความปลอดภัยระบบไฟฟ้า, พิมพ์ครั้งที่ 13, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ : 2556.
- ลือชัย ทองนิล, การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า, พิมพ์ครั้งที่ 36, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ : 2558.
- ลือชัย ทองนิล, คู่มือความปลอดภัยทางไฟฟ้าในสถานประกอบการ, พิมพ์ครั้งที่ 3, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ : 2555.
- ลือชัย ทองนิล, คู่มือช่างในบ้านชุดช่างไฟฟ้าในบ้าน, พิมพ์ครั้งที่ 13, สำนักพิมพ์บ้านและสวน, กรุงเทพฯ : 2554.
- ลือชัย ทองนิล, คู่มือวิศวกรไฟฟ้า, พิมพ์ครั้งที่ 17, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ : 2558.
- สุวรรณ บุญทิพย์, ไฟฟ้าอุตสาหกรรมเบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 8, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ : 2547.
- สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการตรวจสอบติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่มีไอระเหยของสารไวไฟ , กรุงเทพฯ : 2548
- Department of Health and Human Services, **Electrical Safety**, Student Manual, National Institute for Occupational Safety and Health Cincinnati, OH.2002.
- John Cadick. **Electrical Safety Handbook**, 3rd Edition, McGraw-Hill, New York: 2006.
- National Fire, Protection Association, **National Electrical code**, 2020
- NFPA 70E, **Standard for Electrical Safety in the Workplace**, 2021 Edition, National Fire Protection Association, USA: 2021.
- Paul Gill, **Electrical Equipment Maintenance and Testing**, Marcel Dekker, Inc., New York: 1998.

- Ray A. Jones, NFPA 70E, **Handbook for Electrical Safety in the Workplace**, 2004 Edition, National Fire Protection Association, Massachusetts : 2004.

คณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างที่ปรึกษา :
กรมโรงงานอุตสาหกรรม (ปีงบประมาณ 2563)

1. นายประสม	ดำรงพงษ์	ประธานกรรมการ
2. นายถกล	ประกายรุ่งทอง	กรรมการ
3. นายชัชวาลย์	จิตติเรืองเกียรติ	กรรมการ
4. นายวิศิษฐ์ศักดิ์	กฤษณพันธ์	กรรมการ
5. นางริกาญจน์	ฉัตรสกุลวิไล	กรรมการ
6. นายพุทธพัฒน์	ศิรินพ	กรรมการ
7. นางสาวศศลักษณ์	สารแดง	กรรมการและเลขานุการ

ผู้ทรงคุณวุฒิที่ปรึกษาการปรับปรุงคู่มือ

1. ผศ.ชายชาญ	โพธิสาร	กรรมการสภาวิศวกร และเลขาธิการสมาคมวิศวกรที่ปรึกษาเครื่องกลและไฟฟ้าไทย
2. นายณัฐวุฒิ	จันทร์สังวรกุล	กองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยโรงงาน
3. นางสาวคชาภรณ์	ใบชิด	กองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยโรงงาน
4. นายวิเชียร	บุษยบัณฑิต	วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์
5. นายเมธินพัฐ	บวรธรรมรัตน์	บริษัท ไฟร์ เทค อินโนเวชั่น จำกัด
6. นายวีรพล	เอาทารย์สกุล	สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย
7. นายบุญถิ่น	เอมยานยาว	การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.)
8. นายพีระวัฒน์	คงอุไร	บริษัท เอสจีเอส (ประเทศไทย) จำกัด



กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

กองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม
75/6 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400
โทรศัพท์ 02 202 4000
www.diw.go.th

