กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

คู่มือ
การตรวจสอบความปลอดภัยระบบไฟฟ้าโรงงาน
(ฉบับปรับปรุงใหม่ 2559)

โครงการส่งเสริมและการพัฒนาความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรม
สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
www.diw.go.th

คำนำ

ตามที่ กฎกระทรวงกำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าในโรงงาน พ.ศ. 2550 กำหนดให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานตามประเภทหรือชนิดของโรงงานในบัญชีท้ายกฎกระทรวงต้องจัดให้มีบุคลากรประจำโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้เตรียมความพร้อมการปฏิบัติตามกฎหมาย และพัฒนาผู้ประกอบกิจการโรงงาน จึงได้จัดทำคู่มือการตรวจสอบความปลอดภัยระบบไฟฟ้าโรงงาน ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาส่วนที่เป็นความรู้พื้นฐานทางไฟฟ้า มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าที่ควรทราบ มาตรฐานการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณอันตราย และแนวทางการตรวจสอบความปลอดภัยระบบไฟฟ้า โดยได้ปรับปรุงเนื้อหาให้สอดคล้องกับมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ซึ่งเป็นมาตรฐานฉบับใหม่ล่าสุดอีกด้วย

กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้จัดพิมพ์คู่มือการตรวจสอบความปลอดภัยระบบไฟฟ้าโรงงาน (ฉบับปรับปรุงใหม่ 2559) จำนวน 500 เล่ม เพื่อใช้ในการขยายผลการฝึกอบรม ถ่ายทอดความรู้ และพัฒนาความปลอดภัยระบบไฟฟ้าในโรงงานแก่ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้จะช่วยสร้างความรู้ความเข้าใจพื้นฐานความปลอดภัยระบบไฟฟ้าแก่บุคลากรที่ปฏิบัติงานในโรงงาน และสามารถนำความรู้ไปพัฒนาให้เกิดความปลอดภัยในโรงงานอย่างแท้จริง

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
กรมโรงงานอุตสาหกรรม
มกราคม 2559

สารบัญ

หน้า

คำนำ คำนำ-1

บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานทางไฟฟ้า 1-1

1.1 ไฟฟ้าเบื้องต้น 1-1

1.1.1 ไฟฟ้าคืออะไร 1-1

1.1.2 คำศัพท์ที่ควรรู้จัก 1-1

1.2 วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น 1-3

1.2.1 กระแสไฟฟ้าไหลได้อย่างไร 1-3

1.2.2 ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 1-4

1.2.3 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 1-4

1.2.4 ระบบแรงต่ำของการไฟฟ้า 1-5

1.2.5 การคำนวณพื้นฐาน 1-6

1.3 การอ่านแบบไฟฟ้าแสงสว่าง ไฟฟ้ากำลัง และงานควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า 1-8

1.3.1 แบบแผนภาพเส้นเดี่ยว 1-9

1.3.2 แบบแสดงตำแหน่ง 1-10

1.3.3 แบบการเดินสาย 1-11

1.3.4 แบบวงจรควบคุม 1-11

1.4 การอ่านและใช้เครื่องวัดไฟฟ้า 1-12

1.4.1 มัลติมิเตอร์ 1-12

1.4.2 กิโลวัตต์วัตต์เอาว์มิเตอร์ 1-16

1.4.3 เครื่องวัดชนิดคล้องสายหรือแคล้มออนมิเตอร์ 1-17

1.4.4 เมกโอห์มมิเตอร์ 1-18

1.5 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์ไฟฟ้า 1-19

1.5.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 1-19

1.5.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 1-27

1.5.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1-31

1.5.4 การป้องกันมอเตอร์ 1-34

1.5.5 เครื่องควบคุมมอเตอร์ 1-37

1.5.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1-40

1.5.7 การส่องสว่าง 1-41

1.6 อันตรายจากไฟฟ้า 1-48

หน้า

1.6.1 ไฟฟ้าดูด 1-48

1.6.2 ประกายไฟจากอาร์ก 1-55

1.6.3 การระเบิดจากอาร์ก 1-56

1.7 ความปลอดภัยทางไฟฟ้าในสถานที่ทำงาน 1-57

1.7.1 ขอบเขตพื้นที่ป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า 1-57

1.7.2 อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล 1-60

1.8 ไฟฟ้าสถิต 1-61

1.8.1 การเกิดไฟฟ้าสถิต 1-61

1.8.2 เพลิงไหม้จากไฟฟ้าสถิต 1-62

1.8.3 แนวทางการป้องกัน 1-62

บทที่ 2 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า

2.1 ข้อกำหนดทั่วไปในการติดตั้งทางไฟฟ้า 2-1

2.1.1 การเดินสายไฟฟ้าสำหรับระบบที่มีแรงดันต่างกัน 2-1

2.1.2 การป้องกันความเสียหายทางกายภาพ 2-1

2.1.3 การเดินสายใต้ดิน 2-2

2.1.4 การติดตั้งวัสดุและการจับยึด 2-4

2.1.5 การป้องกันไม่ให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในเครื่องห่อหุ้มหรือช่องเดินสายโลหะ 2-4

2.1.6 จำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายไฟฟ้า 2-6

2.1.7 การป้องกันไฟลุกลาม 2-6

2.1.8 การป้องกันการถ่ายเทอากาศที่อุณหภูมิต่างกัน 2-7

2.1.9 การเดินสายควบ 2-7

2.2 มาตรฐานสายไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า 2-8

2.2.1 มาตรฐานสายไฟฟ้าแรงต่ำ 2-8

2.2.2 ชนิดของสายไฟฟ้าและการใช้งาน 2-9

2.2.3 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า 2-11

2.2.4 มาตรฐานบริภัณฑ์ไฟฟ้า 2-26

2.3 ข้อกำหนดการเดินสายและวัสดุ 2-34

2.3.1 การเดินสายร้อยท่อโลหะชนิด EMT, IMC และ RSC 2-34

2.3.2 การเดินสายในท่อโลหะอ่อน (flexible metal conduit) 2-36

2.3.3 การเดินสายในท่อโลหะอ่อนกันของเหลว 2-37

2.3.4 การเดินสายในท่ออโลหะแข็ง (rigid nonmetallic conduit) 2-38

หน้า

2.3.5 การเดินสายในรางเดินสาย (wireways) 2-39
2.3.6 การเดินสายบนรางเคเบิล 2-41
2.4 การต่อลงดิน 2-43
2.4.1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า 2-44
2.4.2 การต่อลงดินของอุปกรณ์หรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า 2-46
2.4.3 อุปกรณ์(บริภัณฑ์)ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน 2-52
2.4.4 หลักดิน 2-54
2.4.5 ความต่อเนื่องของระบบสายดิน 2-54
2.5 การวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน 2-55
บทที่ 3 มาตรฐานการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณอันตราย 3-1
3.1 การจำแนกบริเวณอันตราย 3-1
3.2 การจำแนกเป็นประเภทและแบบ 3-2
3.2.1 บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 3-2
3.2.2 บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 3-3
3.2.3 บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 3-4
3.3 การจำแนกเป็นประเภทและโซน 3-5
3.3.1 บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 โซน 0 3-6
3.3.2 บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 โซน 1 3-6
3.3.3 บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 โซน 2 3-6
3.4 วิธีเดินสายสำหรับการจำแนกเป็นประเภทและแบบ 3-7
3.4.1 การเดินสายสำหรับบริเวณอันตรายตามการจำแนกเป็นประเภทและแบบ 3-7
3.4.2 การปิดผนึก 3-9
3.4.3 การปิดผนึกเคเบิล 3-10
3.5 วิธีเดินสายสำหรับการจำแนกเป็นประเภทและโซน 3-11
3.5.1 การเดินสายสำหรับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 โซน 0 3-12
3.5.2 การเดินสายสำหรับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 โซน 1 และ โซน 2 3-12
3.6 การเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในบริเวณอันตราย 3-13

		หน้า
ภาคผนวก ก	**ร่างแบบบันทึกข้อมูลด้านความปลอดภัยระบบไฟฟ้าในโรงงานท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยที่เกี่ยวกับระบบไฟฟ้าในโรงงาน พ.ศ. 2551**	ก-1
ภาคผนวก ข	**ค่าความส่องสว่างตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม**	ข-1
ภาคผนวก ค	**งานบริการและซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้า**	ค-1
บรรณานุกรม		บรรณานุกรม-1

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 สัญลักษณ์แสดงการระบายความร้อน	1-22
ตารางที่ 1.2 ลักษณะการระบายความร้อน	1-23
ตารางที่ 1.3 ขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับหม้อแปลง	1-23
ตารางที่ 1.4 ชั้นการใช้งาน (Utilization Categories) ตามมาตรฐาน IEC	1-39
ตารางที่ 1.5 มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง ณ บริเวณพื้นที่ทั่วไปของอาคาร	1-45
ตารางที่ 1.6 การตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าของบุคคล	1-50
ตารางที่ 1.7 Degree of Protection ตามมาตรฐาน IEC 60529 และ มอก. 513-2553	1-53
ตารางที่ 1.8 ขอบเขตพื้นที่การเข้าใกล้ส่วนของวงจรไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าที่มีไฟเพื่อกันไฟฟ้าดูด	1-59
ตารางที่ 2.1 ความลึกในการติดตั้งใต้ดิน สำหรับระบบแรงต่ำ	2-2
ตารางที่ 2.2 พื้นที่หน้าตัดสูงสุดรวมของสายไฟทุกเส้นคิดเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ	2-6
ตารางที่ 2.3 การเลือกใช้ตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า	2-12
ตารางที่ 2.4 รูปแบบการติดตั้ง	2-13
ตารางที่ 2.5 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน PVC มี/ไม่มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินร้อยท่อ ในอากาศ	2-14
ตารางที่ 2.6 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 70°C หรือ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินเกาะผนังในอากาศ	2-15
ตารางที่ 2.7 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 450/750 V. อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ	2-16
ตารางที่ 2.8 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินร้อยในท่อในอากาศ	2-17
ตารางที่ 2.9 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศไม่มีฝาปิด หรือรางเคเบิลแบบบันได	2-18

หน้า

ตารางที่ 2.10 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ ไม่มีฝาปิด หรือรางเคเบิลแบบบันได 2-19
ตารางที่ 2.11 ตัวคูณค่าอุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C ใช้กับค่าขนาดกระแสของเคเบิล เมื่อเดินในอากาศ 2-20
ตารางที่ 2.12 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสเนื่องจากจำนวนสายที่นำกระแสในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกันมากกว่า 1 กลุ่มวงจร 2-21
ตารางที่ 2.13 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดียววางบนรางเคเบิลเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร 2-22
ตารางที่ 2.14 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลหลายแกนวางบนรางเคเบิลเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร 2-23
ตารางที่ 2.15 ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 2-49
ตารางที่ 2.16 ขนาดต่ำสุดของสายดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า 2-49
ตารางที่ 2.17 ตัวคูณปรับค่าความต้านทานเมื่อจำนวนหลักดินเพิ่ม 2-57
ตารางที่ 3.1 เทคนิคการป้องกันของอุปกรณ์ไฟฟ้าและบริเวณอันตรายที่ใช้ได้ (ตามการจำแนกเป็นประเภทและแบบ) 3-14
ตารางที่ 3.2 เทคนิคการป้องกันของอุปกรณ์ไฟฟ้าและบริเวณอันตรายที่ใช้ได้ (ตามการจำแนกเป็นประเภทและโซน) 3-15
ตารางที่ 3.3 สัญลักษณ์อุณหภูมิสีที่ผิวของอุปกรณ์ไฟฟ้า (ตามการจำแนกเป็นประเภทและแบบ) 3-16
ตารางที่ 3.4 สัญลักษณ์อุณหภูมิที่ผิวของอุปกรณ์ไฟฟ้า (ตามการจำแนกเป็นประเภทและโซน) 3-16
ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มสารไวไฟประเภทก๊าซหรือไอระเหยตามมาตรฐาน NEC และ IEC 3-18

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 วงจรแสดงการไหลของกระแสไฟฟ้า	1-3
รูปที่ 1.2 กระแสไฟฟ้าไหลไม่ได้เมื่อปิดสวิตช์	1-3
รูปที่ 1.3 กระแสไฟฟ้าไหลได้เมื่อเปิดสวิตช์	1-3
รูปที่ 1.4 วงจร 1 เฟส 2 สาย	1-4
รูปที่ 1.5 วงจร 3 เฟส 4 สาย	1-5
รูปที่ 1.6 การจ่ายไฟฟ้าแบบ 3 เฟส 4 สาย	1-5
รูปที่ 1.7 วงจรอนุกรม	1-7
รูปที่ 1.8 วงจรขนาน	1-7
รูปที่ 1.9 ตัวอย่างแผนภาพเส้นเดี่ยว	1-9
รูปที่ 1.10 ตัวอย่างของแบบแสดงตำแหน่ง	1-10
รูปที่ 1.11 ตัวอย่างแบบแสงสว่าง	1-10
รูปที่ 1.12 ตัวอย่างแบบการเดินสายวงจรมอเตอร์	1-11
รูปที่ 1.13 ตัวอย่างวงจรควบคุมของรูปที่ 1.12	1-12
รูปที่ 1.14 ตัวอย่างเครื่องวัดมัลติมิเตอร์	1-13
รูปที่ 1.15 ซีเล็กเตอร์สวิตช์	1-13
รูปที่ 1.16 การแสดงค่าวัดแรงดันกระแสตรงและกระแสสลับ	1-14
รูปที่ 1.17 การแสดงค่าวัดกระแสตรง	1-15
รูปที่ 1.18 หน้าปัดแสดงค่าความต้านทาน	1-16
รูปที่ 1.19 วงจรกิโลวัตต์เอาว์มิเตอร์	1-16
รูปที่ 1.20 ตัวอย่างเครื่องวัดชนิดคล้องสาย	1-17
รูปที่ 1.21 การวัดกระแสไฟฟ้าสลับด้วยเครื่องวัดชนิดคล้องสาย	1-17
รูปที่ 1.22 เมกโอห์มมิเตอร์	1-18
รูปที่ 1.23 ตัวอย่างการวัดค่าความต้านทานฉนวนของสายไฟฟ้าชนิดหลายแกน	1-19
รูปที่ 1.24 ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้า	1-19
รูปที่ 1.25 วงจรหม้อแปลง 1 เฟส	1-20
รูปที่ 1.26 ตัวอย่างการนำหม้อแปลง 1 เฟส มาต่อเป็นแบบเดลต้า-วาย	1-20
รูปที่ 1.27 ตัวอย่างหม้อแปลง 3 เฟส แบบเดลต้า-วาย	1-21
รูปที่ 1.28 ตัวอย่างห้องหม้อแปลง	1-25
รูปที่ 1.29 ตัวอย่างนั่งร้านหม้อแปลง	1-26
รูปที่ 1.30 ตัวอย่างฐานเสาของนั่งร้านหม้อแปลงขนาด 4.5 ตัน	1-27

หน้า

รูปที่ 1.31 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก	1-28
รูปที่ 1.32 การหมุนและการเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์กระแสตรง	1-28
รูปที่ 1.33 คอมมิวเตเตอร์และอาเมเจอร์	1-29
รูปที่ 1.34 ตัวอย่างแปรงถ่าน	1-29
รูปที่ 1.35 โครงสร้างของซีรีมอเตอร์	1-30
รูปที่ 1.36 วงจรซีรีมอเตอร์	1-30
รูปที่ 1.37 วงจรมอเตอร์แบบขนาน (shunt motor)	1-30
รูปที่ 1.38 วงจรมอเตอร์แบบผสม	1-31
รูปที่ 1.39 วงจรสปลิตเฟสมอเตอร์	1-32
รูปที่ 1.40 การกลับทางหมุนของสปลิตเฟสมอเตอร์	1-32
รูปที่ 1.41 วงจรและการปรับความเร็วของคาปาซิเตอร์มอเตอร์	1-32
รูปที่ 1.42 การกลับทางหมุนของมอเตอร์ชนิดยูนิเวอร์แซล	1-33
รูปที่ 1.43 วงจรมอเตอร์	1-35
รูปที่ 1.44 เวลาในการปลดวงจรของโอเวอร์โหลดรีเลย์ Class ต่าง ๆ	1-36
รูปที่ 1.45 เครื่องป้องกันอุณหภูมิสูงเกิน	1-37
รูปที่ 1.46 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	1-40
รูปที่ 1.47 โครงสร้างหลอดอินแคนเดสเซนต์ (หลอดไส้)	1-42
รูปที่ 1.48 วงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์	1-43
รูปที่ 1.49 ตัวอย่างหลอดคอมแพกฟลูออเรสเซนต์	1-44
รูปที่ 1.50 วงจรการเกิดไฟฟ้าดูด	1-48
รูปที่ 1.51 เส้นทางไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านบุคคล	1-49
รูปที่ 1.52 ตัวอย่างการสัมผัสโดยตรง	1-51
รูปที่ 1.53 ตัวอย่างอุปกรณ์คุ้มครองภัยส่วนบุคคล	1-52
รูปที่ 1.54 ตัวอย่างการสัมผัสโดยอ้อมเนื่องจากไฟรั่วที่เครื่องซักผ้า	1-54
รูปที่ 1.55 ตัวอย่างเครื่องหมายฉนวน 2 ชั้น	1-55
รูปที่ 1.56 ตัวอย่างความเสียหายจากการระเบิดจากอาร์ก	1-56
รูปที่ 1.57 ขอบเขตพื้นที่ต่าง ๆ ตามมาตรฐาน NFPA 70E	1-57
รูปที่ 1.58 ขั้นตอนการเลือกใช้วิธีป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า	1-60
รูปที่ 1.59 การเกิดไฟฟ้าสถิต	1-61
รูปที่ 1.60 การต่อฝาก	1-63
รูปที่ 1.61 การต่อลงดินเพื่อลดการเกิดประกายไฟ	1-63

	หน้า
รูปที่ 1.62 ตัวอย่างการต่อลงดินถังน้ำมันเพื่อการคายประจุ	1-63
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการต่อสายใต้ดินแรงต่ำ	2-2
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการเดินสายใต้ดิน	2-3
รูปที่ 2.3 การใช้หัวงูเห่าเพื่อป้องกันน้ำเข้าท่อ	2-3
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการป้องกันสายชำรุด	2-4
รูปที่ 2.5 ในท่อเดียวกันต้องมีสายครบทุกเฟสรวมสายนิวทรัลและสายดิน	2-5
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการเดินสายที่ไม่ถูกต้อง (ร้อยสายเฟสละท่อ)	2-5
รูปที่ 2.7 การป้องกันกระแสเหนี่ยวนำเมื่อเดินสายผ่านรูของแผ่นโลหะ	2-5
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการร้อยสายที่ไม่ถูกต้อง (ไม่รวมในรูเดียวกัน)	2-5
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการอุดเพื่อป้องกันไฟลุกลาม	2-7
รูปที่ 2.10 การติดตั้งซีลเพื่อป้องกันการไหลเวียนของอากาศ	2-7
รูปที่ 2.11 การเดินสายควบและการแบ่งไหลกระแส	2-8
รูปที่ 2.12 สายรหัสชนิด VAF	2-9
รูปที่ 2.13 สายรหัสชนิด IEC 01	2-9
รูปที่ 2.14 สายรหัสชนิด IEC 10	2-10
รูปที่ 2.15 สายรหัสชนิด NYY	2-10
รูปที่ 2.16 สายรหัสชนิด VCT	2-11
รูปที่ 2.17 สาย CV	2-11
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างแผงเมนสวิตช์ขนาดเล็กและใหญ่	2-27
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างแผงย่อย	2-27
รูปที่ 2.20 เซฟตี้สวิตช์	2-28
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบต่าง ๆ	2-28
รูปที่ 2.22 การทำงานด้วยความร้อน	2-29
รูปที่ 2.23 การทำงานด้วยอำนาจแม่เหล็ก	2-29
รูปที่ 2.24 ฟิวส์แรงต่ำแบบต่าง ๆ	2-30
รูปที่ 2.25 วงจรใช้งานสวิตช์ 2 ทาง	2-31
รูปที่ 2.26 วงจรใช้งานสวิตช์ 3 ทาง	2-31
รูปที่ 2.27 รูปเต้าเสียบและเต้ารับแบบต่าง ๆ	2-32
รูปที่ 2.28 ขั้วเต้ารับชนิดมีขั้วสายดิน	2-32
รูปที่ 2.29 ข้อต่อเกลียวชนิดปลายเรียว	2-35
รูปที่ 2.30 ตัวอย่างการจับยึดท่อแบบต่างๆ	2-35

หน้า

รูปที่ 2.31 ตัวอย่างการใช้บุชชิงเมื่อเดินท่อเข้ากล่องต่อสาย	2-36
รูปที่ 2.32 ตัวอย่างการใช้ท่อร้อยสายโลหะอ่อนเข้าดวงโคม	2-36
รูปที่ 2.33 ตัวอย่างการติดตั้งใช้งานรางเดินสาย	2-39
รูปที่ 2.34 รางเคเบิล	2-41
รูปที่ 2.35 ตัวอย่างการวางสายแบบต่าง ๆ บนรางเคเบิล	2-42
รูปที่ 2.36 ตัวอย่างการวางสายและการมัดสายบนรางเคเบิล	2-43
รูปที่ 2.37 ระบบการต่อลงดิน	2-43
รูปที่ 2.38 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้า	2-44
รูปที่ 2.39 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่เมนสวิตช์ในอาคาร	2-45
รูปที่ 2.40 การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อใช้สวิตช์สับถ่ายชนิด 4 ขั้ว	2-45
รูปที่ 2.41 การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อใช้สวิตช์สับถ่ายชนิด 3 ขั้ว	2-46
รูปที่ 2.42 การต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า	2-46
รูปที่ 2.43 การต่อลงดินที่ไม่ถูกต้อง	2-47
รูปที่ 2.44 วงจรการต่อลงดินและการต่อฝาก	2-47
รูปที่ 2.45 สายต่อฝากด้านไฟเข้า	2-50
รูปที่ 2.46 อยู่ห่างจากระยะเอื้อมมือถึง ไม่ต้องต่อลงดิน	2-53
รูปที่ 2.47 ความต่อเนื่องของระบบสายดิน	2-54
รูปที่ 2.48 ตัวอย่างเครื่องวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน	2-55
รูปที่ 2.49 ตัวอย่างการต่อสายเครื่องวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน	2-56
รูปที่ 2.50 การปักหลักดินเพิ่มเพื่อลดค่าความต้านทาน	2-56
รูปที่ 3.1 บริเวณที่จัดเป็นบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2	3-3
รูปที่ 3.2 บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1	3-4
รูปที่ 3.3 บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 1	3-5
รูปที่ 3.4 บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 2	3-5
รูปที่ 3.5 รูปการระบายก๊าซ	3-8
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ	3-8
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการปิดผนึกท่อก่อนเข้าสวิตช์ซึ่งติดตั้งนอกบริเวณอันตราย	3-10
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการปิดผนึกท่อ เมื่อเดินออกจากบริเวณอันตราย	3-10
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างเคเบิลแกลน	3-13
รูปที่ 3.10 การติดตั้งใช้งานเคเบิลแกลน	3-13

บทที่ 1
ความรู้พื้นฐานทางไฟฟ้า

1.1 ไฟฟ้าเบื้องต้น

1.1.1 ไฟฟ้าคืออะไร

การไหลของกระแสไฟฟ้า คือ การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง อิเล็กตรอนของวัตถุแต่ละชนิดมีแรงยึดเหนี่ยวกับแกนกลางของอะตอมไม่เท่ากัน วัตถุที่อิเล็กตรอนมีแรงยึดเหนี่ยวน้อยก็จะหลุดออกและเคลื่อนที่ได้ง่าย กระแสไฟฟ้าจึงไหลผ่านได้ง่ายวัตถุเหล่านี้เช่น เงิน ทองแดง อะลูมิเนียม และเหล็ก เป็นต้น วัตถุเหล่านี้เราจึงเรียกว่าตัวนำไฟฟ้า ส่วนวัตถุที่มีแรงยึดเหนี่ยวสูงก็จะหลุดออกและเคลื่อนที่ได้ยาก กระแสไฟฟ้าจึงไหลผ่านได้ยากวัตถุเหล่านี้เช่น กระดาษ ยาง พลาสติก ไม้แห้ง เป็นต้น เราเรียกวัตถุเหล่านี้ว่าฉนวนไฟฟ้า

ไฟฟ้าไม่สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรง จำเป็นต้องเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปอื่นเช่น พลังงานกล แสง เสียง และความร้อน เครื่องใช้ไฟฟ้าจึงเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าดังกล่าว

1.1.2 คำศัพท์ที่ควรรู้จัก

แรงดัน คือ ความสามารถในการผลัก ดัน ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างตัวนำสองเส้นหรือระหว่าง 2 จุดในวงจรเดียวกันซึ่งจะมีกระแสไฟฟ้าไหลอยู่ระหว่างสองจุดนั้น แรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (volt) หรือ กิโลโวลต์ (kilovolt) (1 กิโลโวลต์ เท่ากับ 1,000 โวลต์) ใช้อักษรย่อว่า V และ kV ตามลำดับ

กระแส คือ อิเล็กตรอนที่ไหลในตัวนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ หน่วยที่ใหญ่กว่าคือกิโลแอมแปร์ (1 กิโลแอมแปร์ เท่ากับ 1,000 แอมแปร์) หน่วยที่เล็กกว่า คือมิลลิแอมแปร์ (1 แอมแปร์ เท่ากับ 1,000 มิลลิแอมแปร์) มิลลิแอมแปร์ใช้อักษรย่อว่า mA แอมแปร์ ใช้อักษรย่อว่า A และกิโลแอมแปร์ใช้อักษรย่อว่า kA

วัตต์ หรือ กิโลวัตต์ คือ หน่วยวัดกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนจากไฟฟ้าเป็นกำลังงานอย่างอื่นเช่น พลังงานแสง ความร้อน และพลังงานกล (1 กิโลวัตต์ เท่ากับ 1,000 วัตต์) กิโลวัตต์ใช้อักษรย่อว่า kW และวัตต์ใช้อักษรย่อว่า W

กิโลวัตต์-ชั่วโมง คือ หน่วยที่ใช้วัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน 1 ชั่วโมงอาจเรียกอีกอย่างว่า หน่วย (unit) หนึ่งหน่วยก็คือหนึ่งกิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งก็คือตัวเลขที่ขึ้นที่เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้าที่ใช้สำหรับคิดค่าไฟฟ้านั่นเอง

เควีเอ คือ หน่วยของกำลังไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าจ่ายให้โหลด เป็นผลคูณของแรงดันกับกระแส แล้วหารด้วย 1,0000 กำลังไฟฟ้านี้อาจเปลี่ยนเป็นกำลังงานที่สามารถนำไปใช้งานได้ไม่ทั้งหมด ใช้อักษรย่อว่า kVA (กำลังงานที่สามารถนำไปใช้งานได้ คือ กิโลวัตต์ โดยมีความสัมพันธ์กับเควีเอ คือ กิโลวัตต์ = เควีเอ x ตัวประกอบกำลัง)

ตัวประกอบกำลัง คือ ค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้า 2 ชนิด คือ วัตต์ต่อวีเอ หรือ กิโลวัตต์ต่อเควีเอ ใช้อักษรย่อว่า PF (หรือ Cos θ) เป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย อุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดมักจะมีค่าตัวประกอบกำลังแตกต่างกันไป เป็นค่าที่ใช้เฉพาะในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

แรงม้า คือ หน่วยวัดความสามารถการทำงานของเครื่องจักร ในทางไฟฟ้ามักจะหมาย ถึงมอเตอร์ ใช้อักษรย่อว่า HP แรงม้าสามารถเทียบกับกำลังทางไฟฟ้าได้คือหนึ่งแรงม้าเท่ากับ 746 วัตต์

เฟส คือ ชนิดของการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ จำนวนเฟสคือจำนวนสายเส้นที่มีไฟ ปกติระบบไฟฟ้าที่มีใช้ทั่วไปคือระบบไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส

ไฟฟ้าสถิต คือ ไฟฟ้าที่ปกติไม่มีการเคลื่อนที่ อยู่ในภาพที่เป็นประจุไฟฟ้าอยู่ในวัตถุ เกิดจากการเสียดสีของวัตถุ เช่นจากการเสียดสีของละอองน้ำในอากาศเกิดเป็นไฟฟ้าสถิตบนก้อนเมฆ ประจุไฟฟ้ามีทั้งชนิดบวกและลบ เมื่อวัตถุมีประจุต่างกันเข้ามาอยู่ใกล้กันในระยะที่หนึ่งก็จะเกิดการคายประจุ การคายประจุระหว่างก้อนเมฆเกิดเป็นประกายไฟและมีเสียงดัง เราเรียกว่าฟ้าร้อง

ไฟฟ้ากระแส คือ ไฟฟ้าที่มีการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้า ตัวอย่างตัวนำไฟฟ้าที่เห็นได้ทั่วไปคือสายไฟฟ้า

ไฟฟ้ากระแสสลับ คือ ระบบไฟฟ้าที่การไหลของกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนทิศทางกลับไปกลับมาตลอดเวลา ไฟฟ้ากระแสสลับนี้จึงมีการเปลี่ยนขั้วจากบวกเป็นลบ และลบเป็นบวกตลอดเวลา ไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านเรือนทั่วไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ มีการเปลี่ยนขั้ว 50 รอบใน 1 วินาที เรียกว่า 50 เฮิรตซ์ (Hz) ไฟฟ้ากระแสสลับเขียนแทนด้วยอักษรย่อว่า AC สาเหตุที่นิยมใช้ไฟฟ้ากระแสสลับเพราะสามารถเปลี่ยนแรงดันให้สูงขึ้นหรือต่ำลงได้ง่าย โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้สามารถส่งพลังงานไฟฟ้าไปได้ไกล และปริมาณมาก ๆ

ไฟฟ้ากระแสตรง คือ ระบบไฟฟ้าที่มีขั้วแน่นอนว่าเป็นบวกหรือลบ ไม่มีการเปลี่ยนขั้ว กระแสไฟฟ้าก็จะไหลไปทิศทางเดียวตลอดเวลาเช่นแบตเตอรี่รถยนต์และถ่านไฟฉาย เขียนแทนด้วยอักษรย่อว่า DC

วงจรไฟฟ้า คือ เส้นทางเดินของกระแสไฟฟ้า เริ่มจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าผ่านตัวนำ โหลด และไหลกลับมาครบวงจรที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าตัวเดิม กระแสไฟฟ้าจะไหลได้วงจรต้องต่อเนื่องตลอดเรียกว่าครบวงจร

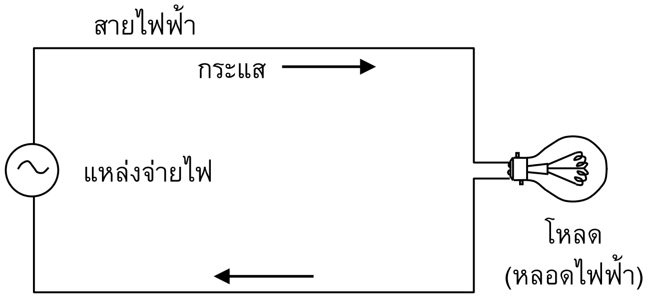
โหลด (Load) คือ อุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นกำลังงานอย่างอื่น เพื่อใช้งานเช่น หลอดไฟฟ้า หม้อหุงข้าวไฟฟ้า และมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น

ตัวนำ คือ สิ่งที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้โดยง่าย ปกติจะเป็นโลหะเช่น เงิน ทองแดง อะลูมิเนียม วัตถุแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการนำกระแสได้ไม่เท่ากัน เงินจะมีความสามารถในการนำกระแสสูงกว่าทองแดง และทองแดงจะสูงกว่าอะลูมิเนียม สายไฟฟ้าถือว่าเป็นตัวนำไฟฟ้า

ความต้านทาน คือ ตัวที่ต้านการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะตรงข้ามกับตัวนำ โหลดต่าง ๆ จะมีสภาพเป็นความต้านทาน มีหน่วยเป็นโอห์ม ถ้าความต้านทานมีค่าสูงมากจะเรียกว่าฉนวนไฟฟ้า

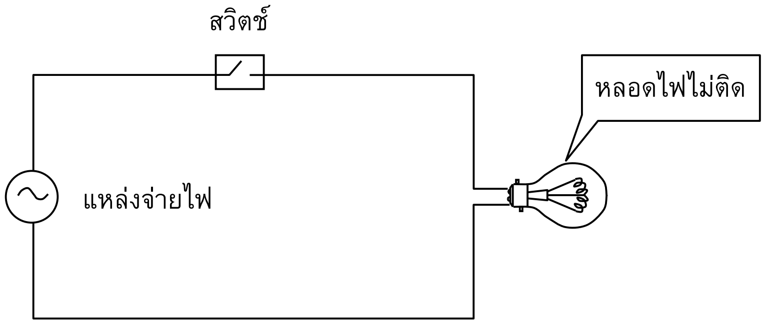
1.2 วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น

1.2.1 กระแสไฟฟ้าไหลได้อย่างไร กระแสไฟฟ้าจะไหลได้ต้องมีแรงดันไฟฟ้าและตัวนำไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าจะไหลได้ต้องไหลจนครบวงจร หมายความว่ากระแสไฟฟ้าจะเริ่มไหลออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า ผ่านตัวนำ และไหลกลับมายังแหล่งจ่ายไฟฟ้าตัวเดิมอีก เรียกว่าไหลครบวงจร ระหว่างทางที่กระแสไฟฟ้าไหลอาจผ่านอย่างอื่นอีกเช่นเครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องวัดฯ เป็นต้น

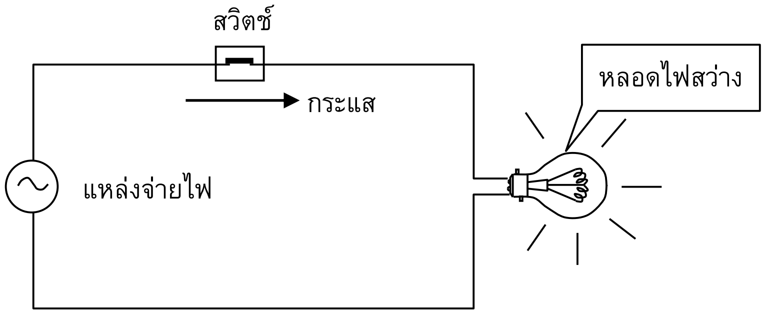


รูปที่ 1.1 วงจรแสดงการไหลของกระแสไฟฟ้า

ในวงจรไฟฟ้า ถ้าเราตัดทางเดินของกระไฟฟ้าโดยการทำให้ตัวนำไฟฟ้าขาดออกจากกัน กระแสไฟฟ้าก็จะไหลผ่านไม่ได้ โหลดเช่นหลอดไฟจะใช้งานไม่ได้ ในทางปฏิบัติเราจึงการควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าโดยใช้สวิตช์นั่นเอง



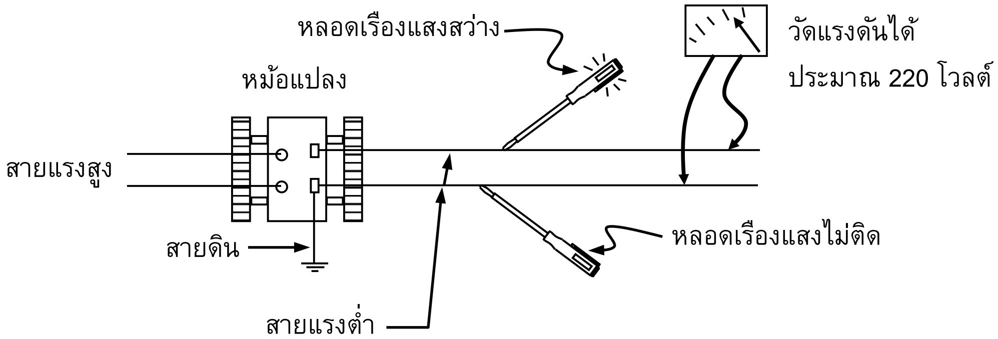
รูปที่ 1.2 กระแสไฟฟ้าไหลไม่ได้เมื่อปิดสวิตช์



รูปที่ 1.3 กระแสไฟฟ้าไหลได้เมื่อเปิดสวิตช์

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

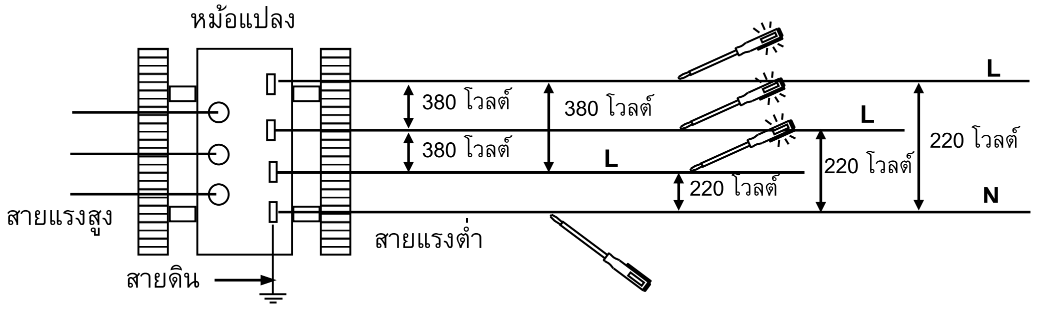
1.2.2 ระบบไฟฟ้า 1 เฟส คือระบบไฟฟ้าที่จ่ายมา 2 เส้น ประกอบด้วยสายเส้นที่มีไฟหนึ่งเส้นเรียกว่าสายเส้นเฟสหรือเส้นไฟ เขียนแทนตัวอักษรย่อว่า L หรือ P และอีกเส้นที่เหลือไม่มีไฟเรียกว่าสายศูนย์ หรือสายนิวทรัล (neutral) เขียนแทนด้วยอักษรย่อว่า N ทดสอบได้โดยใช้ไขควงวัดไฟ สายเส้นเฟสหรือเส้นไฟเมื่อใช้ไขควงวัดไฟแตะหรือสัมผัสหลอดไฟเรืองแสงที่ภายในไขควงจะติด สำหรับสายนิวทรัลจะไม่ติด ไฟฟ้าที่จ่ายในบ้านอยู่อาศัยจะวัดแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย L และ N ได้ค่าประมาณ 220 โวลต์ ในการใช้งานจะต้องต่อไปใช้งานทั้ง 2 เส้น



รูปที่ 1.4 วงจร 1 เฟส 2 สาย

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 ในการใช้งานจริงสายเส้นศูนย์อาจมีแรงดันไฟฟ้าบ้างเนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าไหลในสายเพราะโหลดที่ต่อแต่ละเฟสมีค่าไม่เท่ากัน

ระบบ 3 เฟส ของการไฟฟ้าที่จ่ายมาตามอาคารบ้านเรือนทั่วไปเป็นชนิด 4 สาย ในการใช้งานสามารถต่อใช้งานเป็นระบบ 1 เฟสได้ โดยการต่อจากเฟสใดเฟสหนึ่งและสายนิวทรัลอีกหนึ่งเส้น แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายเฟสเส้นใดเส้นหนึ่งกับสายนิวทรัลมีค่าประมาณ 220 โวลต์ และแรงดันระหว่างสายเส้นเฟสด้วยกันมีค่าประมาณ 380 โวลต์ ระบบนี้จึงเรียกว่าระบบ 3 เฟส 4 สาย แรงดันไฟฟ้า 380/220 โวลต์ ระบบนี้มีข้อดีคือสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าระบบ 1 เฟส จึงเหมาะกับสถานที่ที่ต้องการใช้ไฟมาก ๆ เช่นอาคารพาณิชย์ อุตสาหกรรมขนาดเล็ก เป็นต้น สถานที่ที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นไปอีกก็จะต้องใช้ไฟฟ้าเป็นระบบแรงสูงซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าต้องตั้งหม้อแปลงเองเพื่อปรับแรงดันให้ได้ตามที่ต้องการใช้งาน

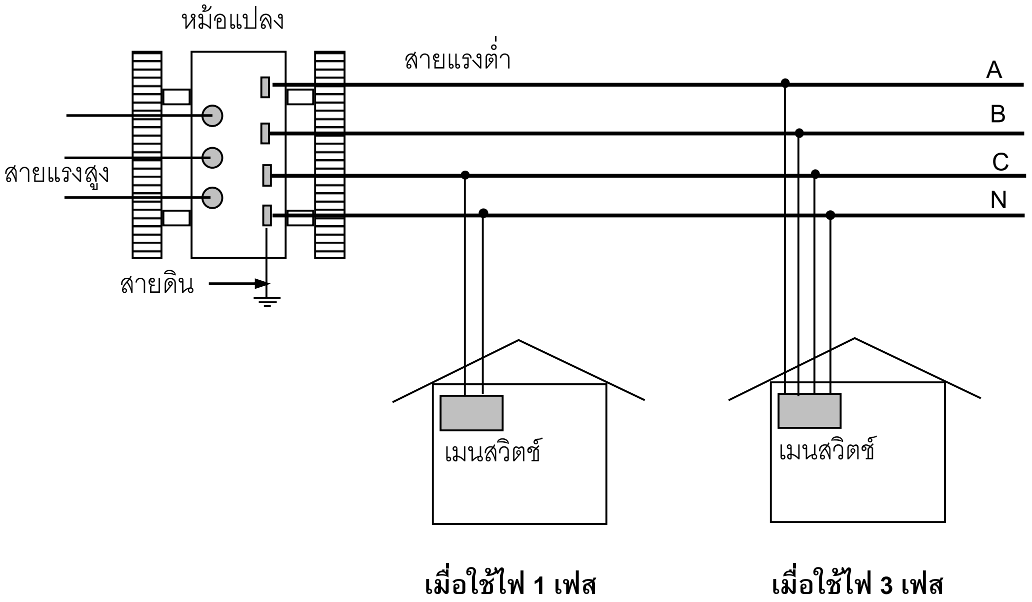


รูปที่ 1.5 วงจร 3 เฟส 4 สาย

1.2.4 ระบบแรงต่ำของการไฟฟ้า โดยทั่วไปการไฟฟ้าจะติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งานและจ่ายไปยังบ้านเรือนหรือสถานที่ทั่วไปซึ่งเป็นระบบแรงดันต่ำ แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

1. ระบบ 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ระบบนี้การไฟฟ้าจะตั้งหม้อแปลงปรับแรงดันจากแรงดันสูงเป็นแรงดันต่ำ 220 โวลต์ 2 สาย เพื่อจ่ายไฟให้ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่มากนัก ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต้องการใช้ไฟก็จะต่อสายผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้าไปใช้ได้เลย

2. ระบบ 3 เฟส แรงดัน 380 โวลต์ เรียกกันทั่วไปว่าระบบ 3 เฟส 4 สาย แรงดัน 380/220 โวลต์ ระบบแรงต่ำแบบนี้จะจ่ายไฟให้ผู้ใช้ไฟได้ทั้งผู้ที่ต้องการจะใช้ไฟ 220 โวลต์ 1 เฟส และ 380 โวลต์ 3 เฟส



รูปที่ 1.6 การจ่ายไฟฟ้าแบบ 3 เฟส 4 สาย

เมื่อต้องการใช้ไฟที่แรงดัน 220 โวลต์ จะต่อใช้ไฟจากสายนิวทรัลหนึ่งเส้น สำหรับอีกเส้นหนึ่งจะต่อจากเส้นใดเส้นหนึ่งก็ได้ใน 3 เส้นที่เหลือ แต่ถ้าต้องการใช้ไฟ 3 เฟส 380 โวลต์ จะต้องต่อไปใช้งานทั้ง 4 เส้น

1.2.5 การคำนวณพื้นฐาน ในวงจรไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างกระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า และความต้านทาน ซึ่งถ้าทราบค่าใด ๆ จำนวน 2 ค่า ก็จะหาตัวอื่นที่เหลือได้ ความสัมพันธ์แสดงได้ดังนี้

กำหนดให้

I	=	กระแสไฟฟ้า	หน่วยเป็นแอมแปร์
V หรือ E	=	แรงดันไฟฟ้า	หน่วยเป็นโวลต์
P	=	กำลังไฟฟ้า	หน่วยเป็นวัตต์
R	=	ความต้านทาน	หน่วยเป็นโอห์ม
PF	=	ตัวประกอบกำลัง	(ไม่มีหน่วย)

จะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

วงจร 1 เฟส

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

และ $$I = \frac{P}{V \times PF}$$

วงจร 3 เฟส

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

และ $$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times PF}$$

หมายเหตุ ในวงจร 3 เฟส แรงดันไฟฟ้า V หมายถึงแรงดันที่วัดระหว่างสายเส้นไฟ (Line Voltage)

ทั้งนี้ โหลดหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิดนิยมบอกขนาดเป็น วีเอ หรือ เควีเอ เช่นหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น สามารถคำนวณได้จาก P (วัตต์) = S (วีเอ) x PF นั่นเอง

ตัวอย่าง หลอดไส้หลอดหนึ่งขนาด 100 วัตต์ แรงดัน 220 โวลต์ ตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1 จะมีกระแสไหลเท่าใด

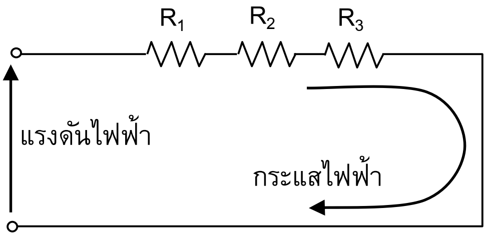
วิธีทำ

สมการ $$P = V \times I \times PF$$

เขียนใหม่ได้เป็น $$I = \frac{P}{V \times PF}$$

จะได้ $I = \dfrac{100}{220 \times 1} = 0.4545$ แอมแปร์

1. วงจรอนุกรม คือวงจรที่โหลด หรือความต้านทาน หรือเครื่องใช้ไฟฟ้ามีการต่อเรียงลำดับกันไปเรื่อย ๆ โหลดทุกตัวจึงมีกระแสไฟฟ้าไหลเท่ากัน



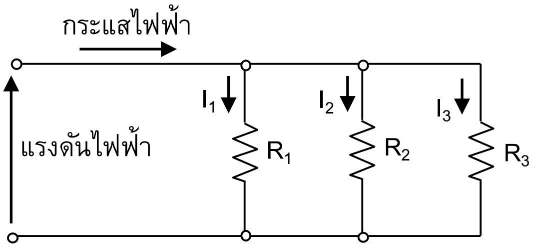
รูปที่ 1.7 วงจรอนุกรม

ถ้ากำหนดให้ R_1 จนถึง R_n เป็นค่าความต้านทานใด ๆ และ R_t เป็นความต้านทานรวมของวงจร จะหาความต้านทานรวมได้ดังนี้

ความต้านทานรวม (R_t) $= R_1+R_2+R_3+....+R_n$ โอห์ม

และ กระแสไฟฟ้า (I) $= \dfrac{V}{R_t}$ แอมแปร์

2. วงจรขนาน เป็นวงจรที่โหลดหรือความต้านทานของวงจรต่อขนานกัน กระแสของความต้านทานแต่ละตัวจะแตกต่างกันตามค่าความต้านทาน



รูปที่ 1.8 วงจรขนาน

ถ้ากำหนดให้ R_1 จนถึง R_n เป็นค่าความต้านทานใด ๆ และ R_t เป็นความต้านทานรวมของวงจร จะหาความต้านทานรวมได้ดังนี้

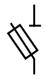
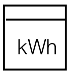
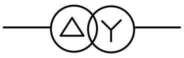
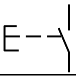
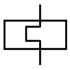
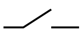
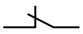
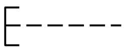
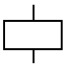
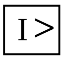
$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

กระแสรวมของวงจรเท่ากับผลรวมของกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานแต่ละตัว นั่นคือ

กระแสรวม (I_t) = $I_1 + I_2 + I_3$ แอมแปร์ หรือ กระแสไฟฟ้า (I) = $\frac{V}{R_t}$ แอมแปร์

1.3 การอ่านแบบไฟฟ้าแสงสว่าง ไฟฟ้ากำลัง และงานควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า

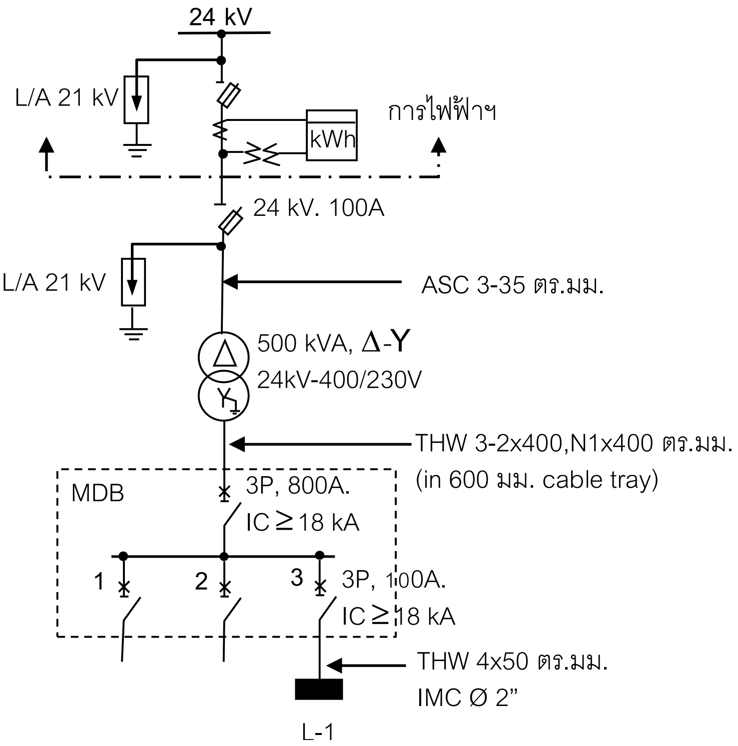
แบบไฟฟ้าแบ่งออกเป็นหลายแบบด้วยกัน ตามความต้องการที่จะแสดงข้อมูล การอ่านแบบไฟฟ้าจะต้องทราบสัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนแบบว่าใช้แทนอุปกรณ์ไฟฟ้าอะไร ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนแบบทางไฟฟ้า มีดังนี้

สัญลักษณ์	ความหมาย
	ฟิวส์ชนิดแยกวงจร (fuse isolator)
	เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (kilowatt-hour meter)
	หม้อแปลงไฟฟ้า (เดลต้า-วาย)
	กับดักฟ้าผ่า (lightning arrester)
	เซอร์กิตเบรกเกอร์
	สวิตช์ปุ่มกด (push-button)
	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส
	รีเลย์ป้องกันความร้อนเกิน
	หน้าสัมผัส (ปกติเปิด)
	หน้าสัมผัส (ปกติปิด)
	ทำงานได้ด้วยการกด
	ทำงานได้ด้วยอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้า
	ป้องกันกระแสเกิน

	หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 วัตต์
	สวิตซ์ไฟฟ้า
	เต้ารับ

1.3.1 แบบแผนภาพเส้นเดี่ยว เป็นแบบที่แสดงลำดับการทำงานของวงจรไฟฟ้าการแสดงใช้เพียงเส้นเดียว

ตัวอย่างแผนภาพเส้นเดี่ยว เป็นดังนี้



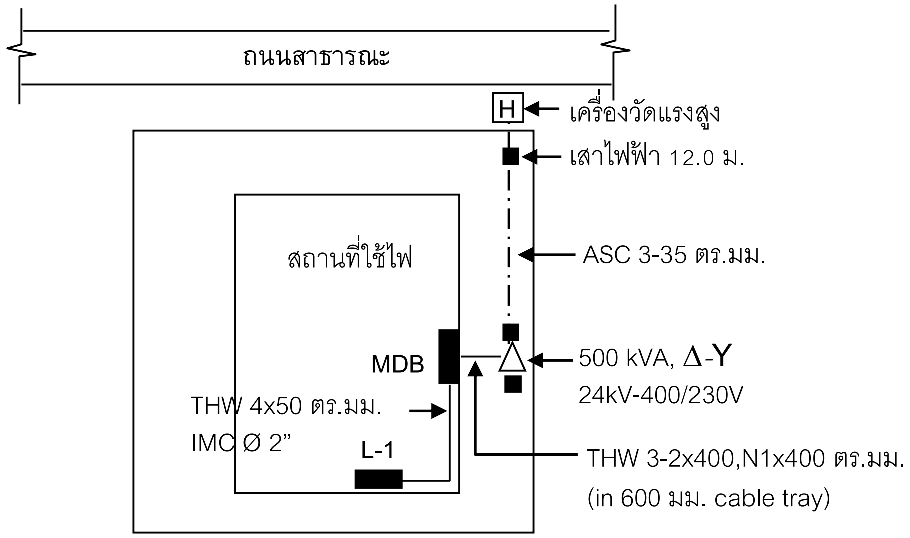
รูปที่ 1.9 ตัวอย่างแผนภาพเส้นเดี่ยว

ตัวอย่างแผนภาพเส้นเดี่ยวที่แสดงในรูปที่ 1.9 เริ่มจากระบบแรงดันสูง 24 kV ของการไฟฟ้านครหลวงผ่านฟิวส์และเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้า โดยที่ก่อนเข้าฟิวส์แรงสูงจะมีกับดักฟ้าผ่า (lightning arrester) พิกัดแรงดัน 21 กิโลโวลต์ และผ่านเข้าส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าคือฟิวส์ขนาดสำหรับแรงดัน 24 kV 100 แอมแปร์ มีการต่อแยกเข้ากับดักฟ้าผ่า และต่อเข้าหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 500 kVA ด้วยสาย spaced aerial cable (ASC) ขนาด 35 ตร.มม. หม้อแปลง ต่อแบบเดลต้า-วายกราวด์ พิกัดแรงดันด้านไฟเข้า 24 กิโลโวลต์

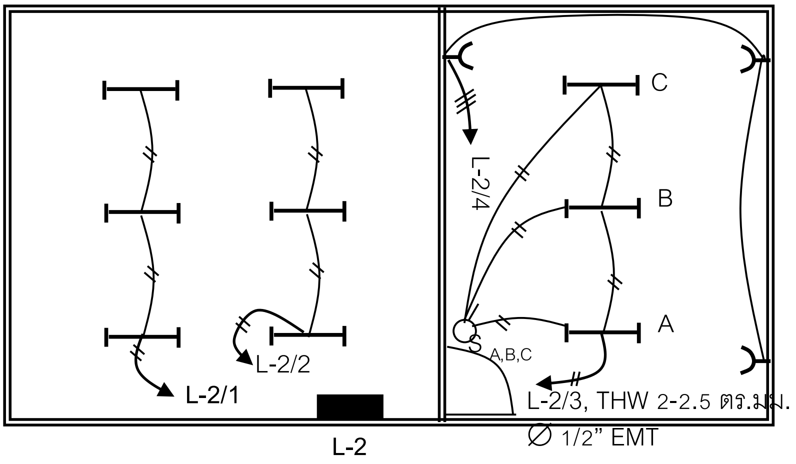
ด้านไฟออกเป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย 400/230 โวลต์ จากหม้อแปลงใช้สายแรงต่ำชนิด THW สายเส้นเฟสมีขนาด 400 ตร.มม. เฟสละ 2 เส้น สายนิวทรัลขนาด 400 ตร.มม. 1 เส้น เดินในรางเคเบิลขนาด 600 มิลลิเมตร เมนสวิตช์เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 800 แอมแปร์ พิกัดตัดกระแส

ลัดวงจรไม่ต่ำกว่า 18 กิโลแอมแปร์ จากเมนสวิตช์ต่อแยกเข้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 100 แอมแปร์ พิกัดตัดกระสลัดวงจรไม่ต่ำกว่า 18 กิโลแอมแปร์ ต่อไปเข้าแผงย่อย L-1 ด้วยสาย THW ขนาด 50 ตร.มม. ร้อยในท่อ IMC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว

1.3.2 แบบแสดงตำแหน่ง (layout diagram) เป็นแบบที่แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งที่เป็นหลอดแสงสว่าง และเครื่องจักร ในแบบจะแสดงตำแหน่งรวมทั้งการเดินสาย และอาจเพิ่มรายละเอียดของแนวทางเดินสายไฟฟ้าหรืออุปกรณ์การเดินสายเช่น รางเดินสาย เป็นต้น จากแบบแผนภาพเส้นเดี่ยวของรูปที่ 1.9 สามารถแสดงในรูปของแบบแสดงตำแหน่งได้ดังนี้



รูปที่ 1.10 ตัวอย่างของแบบแสดงตำแหน่ง



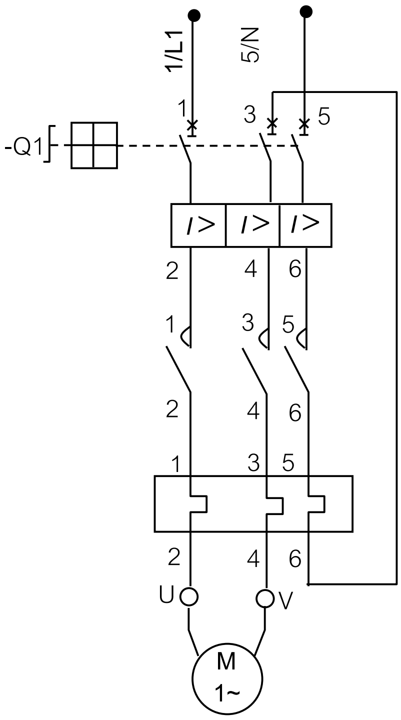
รูปที่ 1.11 ตัวอย่างแบบแสงสว่าง

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 THW ขนาด 2.5 ตร.มม. จำนวน 2 เส้นเดินร้อย

ท่อ EMT ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ½ นิ้ว แต่ละหลอดต่อไฟผ่านสวิตช์ไฟฟ้า หลอดที่แสดงด้วยอักษร A หมายถึงใช้ไฟจากสวิตช์ A เป็นต้น สำหรับเต้ารับใช้ไฟจากวงจรย่อยที่ 4 เป็นชนิดมีสายดิน จึงเดินสาย 3 เส้น

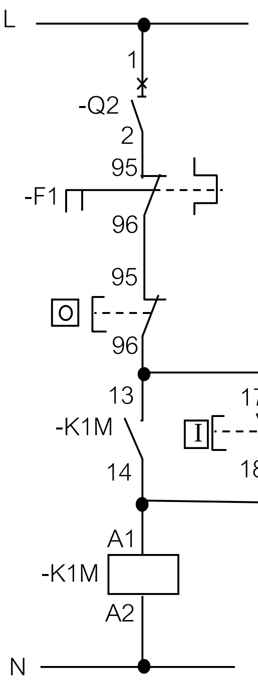
หมายเหตุ โดยปกติในแบบจะต้องแสดงชนิด ขนาด ของสายไฟฟ้าและท่อร้อยสายไว้ด้วยทุกจุด แต่เนื่องจากในตัวอย่างนี้มีพื้นที่น้อย จึงแสดงเพียงวงจร L-2/3 วงจรเดียวเท่านั้น

1.3.3 แบบการเดินสาย (wiring diagram) เป็นแบบแสดงการเดินสาย การต่อสาย ตามที่มีการติดตั้งจริง



รูปที่ 1.12 ตัวอย่างแบบการเดินสายวงจรมอเตอร์

1.3.4 แบบวงจรควบคุม (control diagram) ใช้แสดงวงจรควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อให้ทราบการทำงานวงจรและลำดับขั้นการทำงานของวงจรควบคุม จุดประสงค์เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานและใช้ในการซ่อมแซมเมื่อการทำงานขัดข้อง



รูปที่ 1.13 ตัวอย่างวงจรควบคุมของรูปที่ 1.12

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

1.4 การอ่านและใช้เครื่องวัดไฟฟ้า

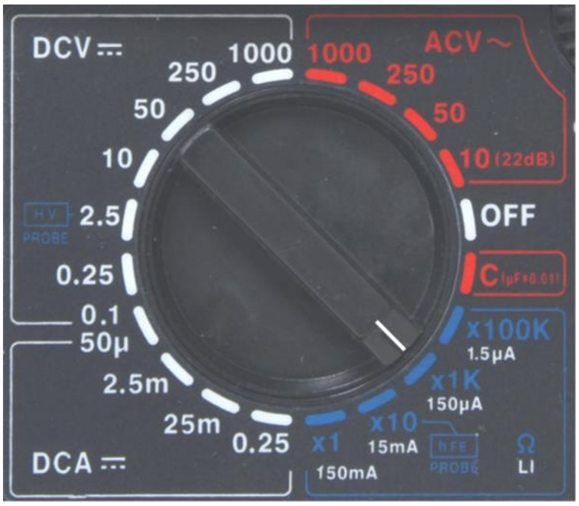
1.4.1 มัลติมิเตอร์ (Multimeter) หมายถึงเครื่องวัดที่สามารถวัดได้หลายอย่าง ปกติจะสามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งกระแสสลับและกระแสตรง วัดค่ากระแสไฟฟ้าเป็นกระแสตรง และวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าได้ ทำให้มีความสะดวก แต่การใช้งานจะยุ่งยากพอสมควร ผู้ที่จะใช้งานจึงต้องศึกษาวิธีการใช้งานให้ดีเสียก่อน เพราะถ้าใช้งานผิดพลาดเครื่องวัดอาจชำรุดได้ ปัจจุบันเครื่องวัดมีทั้งชนิดที่แสดงค่าแบบอะนาลอก (เข็มชี้) และแบบดิจิตอล (ตัวเลข) สำหรับเครื่องวัดแบบเข็ม การใช้งานจะยุ่งยากซับซ้อนกว่า ในที่นี้จึงจะอธิบายวิธีการใช้มัลติมิเตอร์แบบเข็มเท่านั้น

เครื่องวัดแบบเข็ม

เครื่องวัดแบบตัวเลข

รูปที่ 1.14 ตัวอย่างเครื่องวัดมัลติมิเตอร์

ซีเล็กเตอร์สวิตซ์ (selector switch) หรือเรนจ์สวิตซ์ (range switch) เป็นสวิตซ์ที่ใช้สำหรับเลือกว่าจะวัดอะไร และค่าที่วัดอยู่ในย่านใด เช่นต้องการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าประมาณ 220 โวลต์ ก็ควรจะเลือกตั้งค่าที่ ACV 250 โวลต์ เป็นต้น



รูปที่ 1.15 ซีเล็กเตอร์สวิตซ์

1. การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ในการวัดให้เสียบสายวัดสีแดงที่ขั้วบวก (P) และสีดำที่ขั้วลบ (N) จากนั้นหมุนซีเล็กเตอร์สวิตซ์ไปที่ DCV ถ้าไม่แน่ใจค่าแรงดันที่จะทำการวัดว่าเท่าใดให้ตั้งซีเล็กเตอร์สวิตซ์ไปที่ตัวเลขสูงสุดไว้ก่อน คือ 1,000 โวลต์ แล้วจึงเริ่มทำการวัด ถ้าเข็มไม่ขึ้นให้ปรับลดลงที่ 250, 50, 10, 2.5, 0.5, 0.1 ตามลำดับจนกว่าเข็มจะชี้จนสามารถอ่านค่าที่วัดได้

รูปที่ 1.16 การแสดงค่าวัดแรงดันกระแสตรงและกระแสสลับ

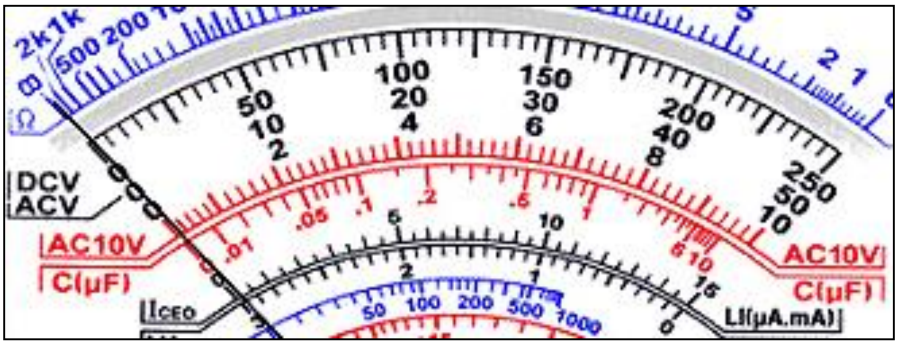
การอ่านค่าให้ดูที่สเกล DCV ถ้าปรับซีเล็กเตอร์สวิตซ์ไว้ที่ 250 DCV หรือ 2.5 DCV ก็อ่านที่สเกล 250 สังเกตว่าระหว่างเลข 0 กับ เลข 50 แบ่งออกเป็น 10 ช่อง หมายถึงแต่ละช่องมีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ แต่สำหรับการปรับค่าที่ 2.5 DCV เมื่ออ่านค่าที่เต็มสเกลค่าที่อ่านได้จะเป็น 2.5 โวลต์แทนที่จะเป็น 250 โวลต์ ดังนั้นแต่ละขีดเล็กจึงมีค่าเท่ากับ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

- ที่ตำแหน่ง 10 วัดแรงดันไฟดีซีได้สูงสุด 10 โวลต์ ให้อ่านเลขบนหน้าปัดแถวเลข 10 อ่านรายละเอียดบนหน้าปัดช่องละ 0.2 โวลต์
- ที่ตำแหน่ง 50 วัดแรงดันไฟดีซีได้สูงสุด 50 โวลต์ ให้อ่านเลขบนหน้าปัดแถวเลข 50 อ่านรายละเอียดบนหน้าปัดช่องละ 1 โวลต์
- ที่ตำแหน่ง 250 วัดแรงดันไฟดีซีได้สูงสุด 250 โวลต์ ให้อ่านเลขบนหน้าปัดแถวเลข 250 อ่านรายละเอียดบนหน้าปัดช่องละ 5 โวลต์

กรณีที่เมื่อทำการวัดแล้วผลปรากฏว่าเข็มชี้กลับทาง (ไปทางซ้ายเล็กน้อย) แสดงว่าต่อสายสลับขั้ว ให้ทำการสลับสายใหม่ ก็จะสามารถอ่านค่าได้

2. การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ กรณีวัดไฟฟ้ากระแสสลับ จะไม่มีผลเรื่องการสลับสาย จะสามารถอ่านค่าได้ทั้งคู่ การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ให้หมุนซีเล็กเตอร์สวิตซ์ไปที่ ACV ถ้าไม่แน่ใจค่าแรงดันที่จะทำการวัดว่ามีค่าสูงหรือต่ำให้ตั้งสวิตซ์เลือกการวัดไปที่ตัวเลขสูงสุดไว้ก่อนคือ 1,000 โวลต์ แล้วจึงเริ่มทำการวัด ถ้าเข็มไม่ขึ้นให้ปรับลดลงที่ 250, 50, 10 โวลต์ ตามลำดับจนกว่าจะสามารถอ่านค่าที่ทำการวัดได้ ในการอ่านค่าจะใช้หลักการเช่นเดียวกับการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

3. การวัดกระแสไฟฟ้าตรง การวัดกระแสไฟฟ้าตรง ให้หมุนซีเล็กเตอร์สวิตซ์ ไปที่ DCmA สังเกตว่ากระแสที่วัดมีค่าเป็นมิลลิแอมแปร์เท่านั้น (เครื่องวัดตามตัวอย่างในรูปนี้มีค่าไม่เกิน 150 mA) จึงไม่สามารถวัดค่ากระแสที่สูงมากได้ ถ้าไม่แน่ใจค่ากระแสไฟฟ้าตรงที่จะทำการวัดว่ามีค่าสูงหรือต่ำ ให้ตั้งสวิตซ์เลือกการวัดไปที่ตัวเลขสูงสุดไว้ก่อน แล้วจึงเริ่มทำการวัด ถ้าเข็มไม่ขึ้นให้ปรับลดลงที่ 25 mA, 2.5 mA, 50 μA ตามลำดับจนกว่าจะสามารถอ่านค่าที่ทำการวัดได้



รูปที่ 1.17 การแสดงค่าวัดกระแสตรง

สำหรับการอ่านค่าบนหน้าปัด จะอ่านที่สเกล μA, mA และใช้หลักการอ่านเหมือนกับการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

4. การวัดค่าความต้านทาน การวัดความต้านทานของตัวต้านทาน อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ต้องวัดในสภาวะที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่วงจรภายในของมิเตอร์ต้องมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ภายในด้วยเพื่อกำหนดค่ากระแสของวงจร ในเครื่องวัดจึงมีแบตเตอรี่อยู่ด้วย การวัดค่าความต้านทานจึงเป็นการนำเอาความต้านทานที่ต้องการทราบค่าไปกำหนดการไหลของกระแสในวงจร เพื่อกำหนดการอ่านค่า จากการที่ต้องใช้แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ทำให้ค่ากระแสที่กำหนดในเบื้องต้นของการวัด (สภาวะ 0 โอห์ม) ไม่แน่นอนตามสภาพของแบตเตอรี่ ก่อนทำการวัดทุกครั้งจึงต้องมีการปรับค่าก่อนเรียกว่า “การปรับ 0 โอห์ม” (0Ω ADJ) โดยการลัดวงจรของสายวัดทั้งสองปลายเข้าด้วยกัน และใช้วอลลุ่มปรับค่าให้เข็มชี้ที่ศูนย์โอห์ม จึงจะสามารถวัดค่าได้ถูกต้อง

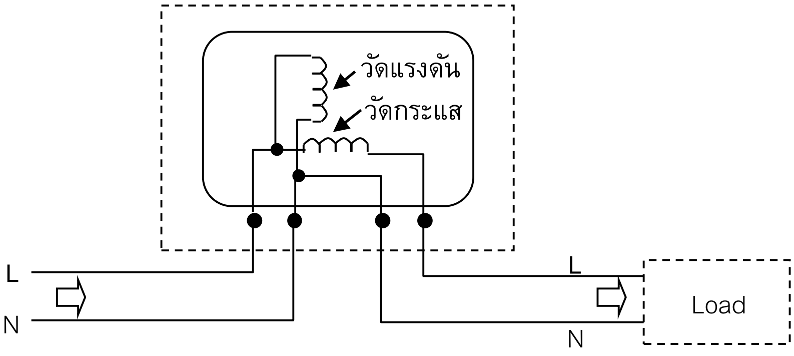
การวัดค่าความต้านทาน ต้องทำการปรับตั้งซีเล็กเตอร์สวิตช์ เช่นเดียวกับการวัดแรงดันและกระแส ค่าที่ปรับตั้งคือ x1, x10 และ kΩ การอ่านค่าความต้านทานให้ดูรายละเอียดจากขีดแถวบนสุด โดยอ่านจากขวาไปซ้าย ซึ่งต่างจากการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า ค่าที่อ่านได้จะตรงข้ามกับลักษณะของเข็มที่ขึ้นเช่น เข็มมิเตอร์ขึ้นมากจะอ่านได้ค่าความต้านทานน้อย โดยมีรายละเอียดแต่ละช่วงบนหน้าปัด ดังนี้

ถ้าปรับซีเล็กเตอร์สวิตช์ไปที่ x1 (คูณ 1) หมายถึงใช้ค่าที่อ่านได้จากหน้าปัดโดยตรง แต่ถ้าปรับซีเล็กเตอร์สวิตช์ไปที่ x10 หมายถึงค่าที่อ่านได้ต้องคูณด้วย 10 ก่อน จึงใช้ได้ และถ้าปรับซีเล็กเตอร์สวิตช์ไปที่ kΩ ค่าที่อ่านได้จะต้องคูณด้วย 1,000 ก่อนเสมอ

รูปที่ 1.18 หน้าปัดแสดงค่าความต้านทาน

1.4.2 กิโลวัตต์วัตต์เอาว์มิเตอร์ (kWh)เป็นเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (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 750x2 = 1,500 วัตต์-ชั่วโมง หรือเท่ากับ 1,500/1,000 = 1.5 กิโลวัตต์- ชั่วโมง

สำหรับเครื่องวัดขนาดใหญ่ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลปริมาณมาก จะไม่สามารถต่อให้กระแสไหลผ่านเครื่องวัดได้โดยตรง จำเป็นต้องลดกระแสลงก่อนโดยใช้หม้อแปลงกระแส (current transformer หรือ CT)



รูปที่ 1.19 วงจรกิโลวัตต์เอาว์มิเตอร์

เครื่องวัดที่ใช้งานทั่วไปมักจะมีลักษณะเป็นจานหมุน และมีตัวเลขแสดงจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่วัดได้ ความเร็วในการหมุนของจานสอดคล้องตามปริมาณการใช้ไฟฟ้า แต่ก็มีเครื่องวัดบางรุ่นที่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งไม่ต้องใช้จานหมุน ปกติเครื่องวัดจะแสดงขั้วการต่อสายไว้ให้ด้วยเนื่องจากแต่ละผู้ผลิตอาจไม่เหมือนกัน ในการใช้งานควรศึกษาคู่มือของเครื่องวัดก่อนด้วยเพื่อความมั่นใจ

1.4.3 เครื่องวัดชนิดคล้องสายหรือแคล้มออนมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ สามารถวัดค่าได้โดยการคล้องรอบสายเส้นที่ต้องการวัด มีทั้งชนิดที่เป็นแบบเข็มและแบบตัวเลข ปัจจุบันสามารถใช้วัดค่าอย่างอื่นได้อีก เช่น วัดแรงดันไฟฟ้า และความต้านทาน เป็นต้น แต่การวัดแรงดันไฟฟ้าและความต้านทาน จะต้องใช้สายต่อเช่นเดียวกับมัลติมิเตอร์ ในการวัดจะต้องทำการปรับตั้งซีเล็กเตอร์สวิตช์ ไปยังตำแหน่งที่ต้องการวัดด้วยเช่นเดียวกัน

รูปที่ 1.20 ตัวอย่างเครื่องวัดชนิดคล้องสาย

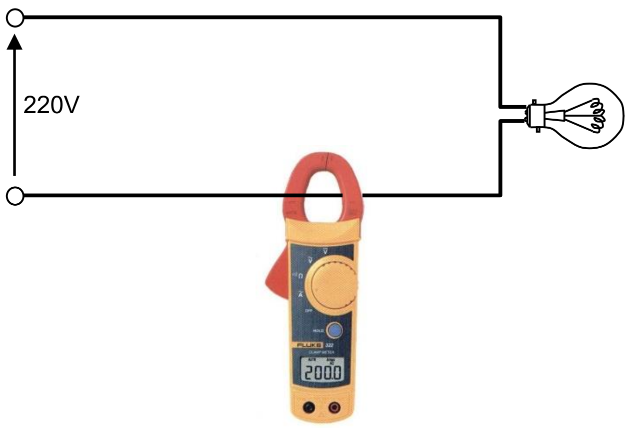
การวัดกระแสไฟฟ้าสลับ

1. หมุนซีเล็กเตอร์สวิตซ์ไปที่การวัดกระแส (Ã)

2. ตั้งย่านการวัดให้เหมาะสม กรณีไม่สามารถประมาณค่ากระแสได้ ให้เลือกตั้งไปที่ค่าสูงสุด ถ้าค่าที่วัดได้น้อยจนอ่านค่าได้ยาก ให้ปรับค่ากระแสให้ต่ำลงจนสามารถอ่านค่าได้ชัดเจน

3. คล้องก้ามคล้องสายที่สายเพียงเส้นเดียว (หรือเฟสเดียว) ของวงจรในขณะที่มีกระแสไหลอยู่

4. อ่านค่ากระแส



รูปที่ 1.21 การวัดกระแสไฟฟ้าสลับด้วยเครื่องวัดชนิดคล้องสาย

กรณีที่ใช้ก้ามคล้องสายทั้งสองเส้น จะไม่สามารถอ่านค่าได้ เพราะเข็มจะไม่ขึ้น เนื่องจากสนามแม่เหล็กจะหักลบกันหมดเป็นศูนย์

1.4.4 เมกโอห์มมิเตอร์ เป็นเครื่องวัดความต้านทานเช่นเดียวกับมัลติมิเตอร์ แต่เมกโอห์มมิเตอร์ใช้สำหรับวัดค่าความต้านทานที่มีค่าสูงมาก ๆ เช่น ฉนวนของสายไฟฟ้า หรือมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้น ในตัวเครื่องวัดมีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยเช่นกัน แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้มักเป็นแบตเตอร์ที่สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้สูงมาก ปกติที่ใช้จะมีแรงดัน 500 โวลต์ หรือสูงถึง 2,500 โวลต์ ก็ได้

รูปที่ 1.22 เมกโอห์มมิเตอร์

เพื่อความถูกต้องของการวัดค่าและเพื่อความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน ในการใช้เครื่องวัดค่าความต้านทานฉนวน ควรปฏิบัติดังนี้

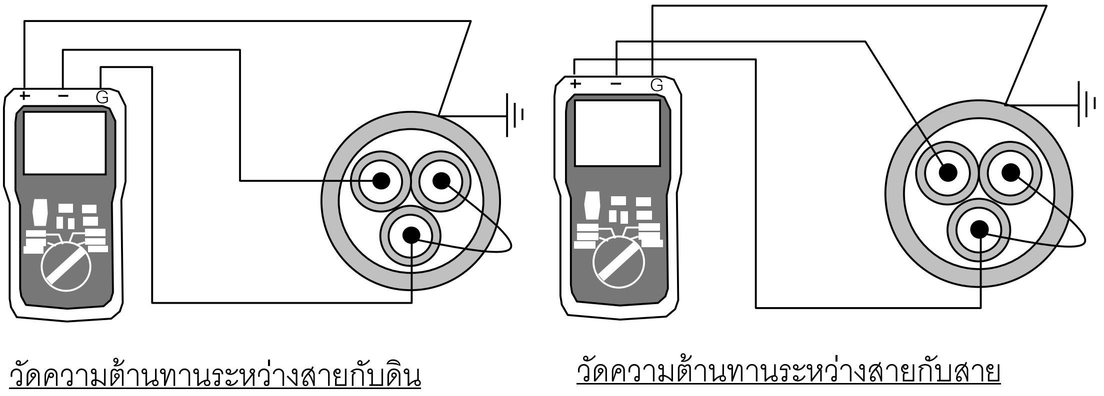
1. ปลดวงจรไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่อในวงจรออกให้หมดเสียก่อน โดยเฉพาะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งไวต่อแรงดันเกิน เช่น วงจรขับมอเตอร์ และ PLC เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ดังกล่าว

2. เลือกใช้แรงดันไฟฟ้าที่จะทดสอบให้เหมาะสม โดยปกติการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงต่ำควรใช้เมกโอห์มมิเตอร์ที่มีแรงดัน 500 โวลต์

3. การอ่านค่า จะต้องทราบวิธีการอ่านที่ถูกต้อง โดยปกติเข็มของเครื่องวัดจะไม่คงที่ซึ่งก็เป็นเรื่องปกติ ดังนั้นเมื่อกดสวิตช์เครื่องวัด ON แล้ว จะไม่สามารถอ่านค่าได้ทันที ในการอ่านค่าจะอ่านที่เมื่อเวลาผ่านไปแล้ว 30 นาทีหรือ 60 วินาที เลือกค่าใดก็ได้ (ค่าที่นิยมคือที่เวลา 60 วินาที) เครื่องวัดรุ่นใหม่ จะสามารถล็อกเวลาดังกล่าวนี้ได้

4. การวัดค่าฉนวนไฟฟ้าทุกครั้ง ต้องทำการคายประจุเสียก่อน เพื่อความปลอดภัย เรื่องวัดรุ่นใหม่จะมีวงจรคายประจุอยู่ด้วยในตัว เมื่อวัดเสร็จแล้วสามารถต่อสายทิ้งไว้ระยะหนึ่ง เพื่อทำกาคายประจุ

เครื่องวัดบางรุ่นจะมี 3 ขั้ว คือมีขั้ว G (guard) ด้วยซึ่งจะช่วยให้การวัดค่าเที่ยงตรงมากขึ้น เครื่องวัดที่ไม่มีขั้ว G ก็สามารถใช้วัดได้เช่นกัน การต่อสายเป็นไปตามที่แสดงในรูป



รูปที่ 1.23 ตัวอย่างการวัดค่าความต้านทานฉนวนของสายไฟฟ้าชนิดหลายแกน

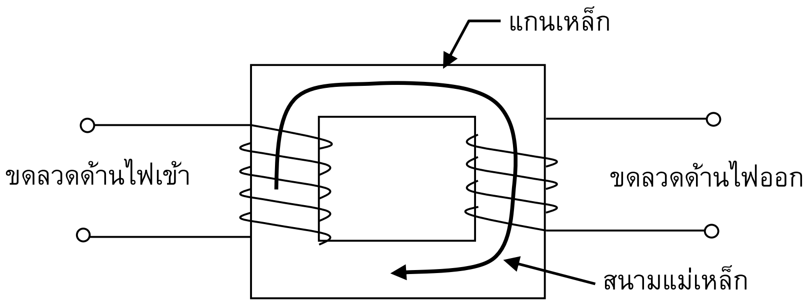
สาเหตุของฉนวนไฟฟ้าชำรุด สาเหตุที่ฉนวนไฟฟ้าชำรุดหรือเสื่อมสภาพส่วนใหญ่เกิดจากความร้อนสูงเกิน หรือเย็นเกิน (ปกติสภาพความเย็นเกินนี้ไม่ค่อยเกิดในประเทศไทย) ความชื้น ความสกปรก (เป็นสาเหตุหลักที่เกิดในประเทศไทย) การกัดกร่อนจากไอสารเคมีต่าง ๆ น้ำมัน การสั่นสะเทือน อายุการใช้งาน และ การแกว่งไปมาของการเดินสายเนื่องจากการจับยึดไม่มั่นคง

1.5 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์ไฟฟ้า

1.5.1 หม้อแปลงไฟฟ้า

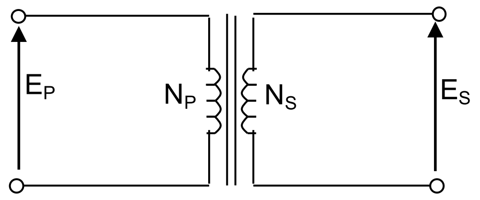
หม้อแปลงไฟฟ้า คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าให้ได้ตามที่ต้องการ ทั้งการเพิ่มและการลดแรงดันไฟฟ้า สามารถใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น

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



รูปที่ 1.24 ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้า

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



รูปที่ 1.25 วงจรหม้อแปลง 1 เฟส

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

กำหนดให้

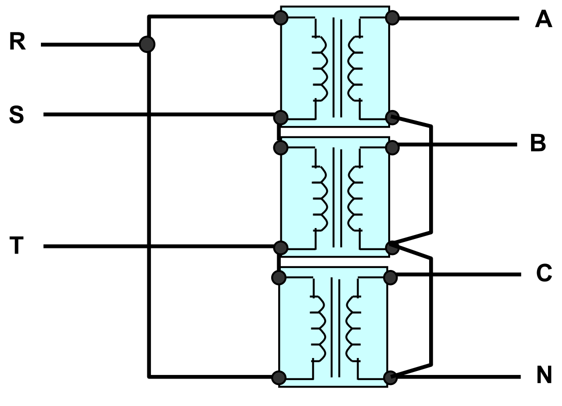
E_P = แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ

E_S = แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ

N_P = จำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ

N_S = จำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 1 เฟส สามารถนำมาต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้ใช้งานเป็นหม้อแปลง 3 เฟส ได้ตามต้องการ



รูปที่ 1.26 ตัวอย่างการนำหม้อแปลง 1 เฟส มาต่อเป็นแบบเดลต้า-วาย

รูปแบบการต่อที่ใช้กันทั่วไปคือ

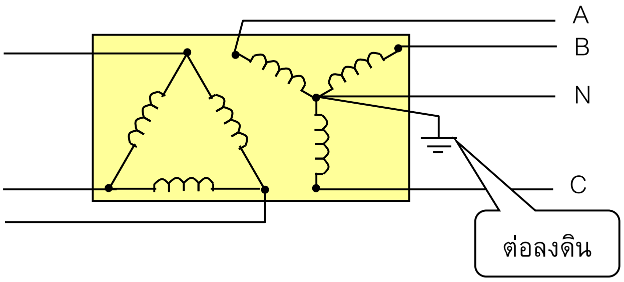
Δ-Y (delta-wye)

Δ-Δ (delta-delta)

Y-Δ (wye –delta)

Y- Y (wye-wye)

2. หม้อแปลง 3 เฟส มีหลักการทำงานเหมือนหม้อแปลง 1 เฟส แต่หม้อแปลงชนิดนี้จะมีขดลวดทั้ง 3 เฟส รวมอยู่ในหม้อแปลงลูกเดียวกัน โดยแต่ละขดลวดจะต่อกันได้หลายรูปแบบ เช่น เดลต้า-วาย และ เดลต้า-เดลต้า เป็นต้น รูปแบบที่ใช้งานกันทั่วไปคือการต่อแบบ เดลต้า-วาย ซึ่งมีข้อดีตรงที่สามารถใช้แรงดันได้ 2 ระดับ



รูปที่ 1.27 ตัวอย่างหม้อแปลง 3 เฟส แบบเดลต้า-วาย

สำหรับหม้อแปลงพิกัดแรงดัน 380/220 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าระหว่าเฟส A-B, B-C และ C-A จะวัดได้ 380 โวลต์ และแรงดันระหว่าเส้น N (neutral) กับเฟสใด ๆ จะวัดได้ 220 โวลต์ ซึ่งในการใช้งานจริงจะต้องต่อสายนิวทรัล (หรือสายศูนย์) ลงดินด้วย

การแทปแยกแรงดัน เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายมาจากการไฟฟ้าฯ มีค่าไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงตามการใช้ไฟ หม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไปจึงออกแบบให้มีแทปแยกแรงดัน เพื่อให้สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าด้านไฟออกให้เหมาะสมกับที่ต้องการ การปรับแทปจะทำที่ด้านแรงสูง เนื่องจากกระแสต่ำ ดังนั้นถ้าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายมาจากการไฟฟ้าต่ำเกินไปก็จะต้องปรับแทปโดยการลดแทปลงเพื่อให้ได้แรงดันด้านไฟออกสูงขึ้น เป็นต้น การปรับแทปจะไม่ทำบ่อยนัก โดยปกติจะทำเพียงครั้งเดียวเมื่อตอนติดตั้งครั้งแรก แต่ถ้าเมื่อใช้ไประยะหนึ่งแล้วแรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำเปลี่ยนแปลงไปจนไม่สามารถใช้งานได้ ก็จะต้องทำการปรับแทป แต่การปรับแทป เป็นการปรับด้านแรงสูงจึงมีอันตรายมากและต้องดับไฟก่อน ผู้ปฏิบัติงานจึงควรเป็นผู้ที่มีความรู้ในเรื่องนี้ด้วย

ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 1 เฟส และ 3 เฟส แบ่งชนิดตามฉนวนได้เป็น 4 ชนิดคือ

1. หม้อแปลงชนิดแห้ง (dry type) หม้อแปลงชนิดแห้งมีทั้งชนิดที่เป็นฉนวน เรซิ่นแห้ง (cast-resin) และฉนวนอากาศ (air-cooled) ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำก๊าซบางชนิดมาใช้เช่น SF_6 ฉนวนไฟฟ้าในหม้อแปลงยังทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากขดลวดของหม้อแปลงด้วย นิยมใช้ติดตั้งภายในอาคารโดยเฉพาะอาคารที่มีผู้อยู่อาศัยจำนวนมาก เนื่องจากให้ความปลอดภัยสูงในด้านเกิดเพลิงไหม้ หากหม้อแปลงเกิดระเบิดขึ้นเนื่องจากไม่มีส่วนที่ติดไฟ

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

3. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟยาก (less-flammable liquid-insulated transformer) ฉนวนของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในมีจุดติดไฟที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 300 $^{\circ}C$ ฉนวนที่ใช้ต้องไม่เป็นพิษต่อบุคคลและสิ่งแวดล้อมด้วย ปัจจุบันมีใช้ไม่มากนัก และยังไม่เหมาะที่จะใช้ภายในอาคารที่มีผู้อยู่อาศัยจำนวนมาก แต่ก็ให้ความปลอดภัยสูงกว่าหม้อแปลงชนิดฉนวนน้ำมัน

4. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ (nonflammable fluid-Insulated transformer) หม้อแปลงชนิดนี้ปัจจุบันมีใช้งานน้อยเนื่องจากมีราคาแพง ในการทำฉนวนของเหลวไม่ติดไฟมาใช้ต้องระวังเรื่องการเป็นพิษต่อบุคคลด้วย ฉนวนที่ใช้อาจเป็นน้ำมันหรือไม่ก็ได้

สัญลักษณ์การระบายความร้อน ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในหม้อแปลงทำให้เกิดความร้อน ความร้อนจะทำให้หม้อแปลงชำรุดหรือมีอายุการใช้งานสั้นลงจึงต้องระบายออก การระบายความร้อนที่ดีจะทำให้หม้อแปลงจ่ายโหลดได้มากขึ้นด้วย การระบายความร้อนจากขดลวดหม้อแปลงมาที่ตัวถังหม้อแปลงจะอาศัยฉนวนของหม้อแปลงเป็นตัวช่วย การระบายออกสู่อากาศภายนอกอาจทำได้หลายวิธี หม้อแปลงไฟฟ้าจะใช้สัญลักษณ์แสดงวิธีการระบายความร้อนไว้ตามที่แสดงในตารางที่ 1.1

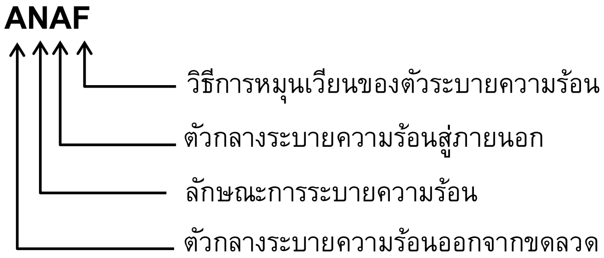
ตารางที่ 1.1 สัญลักษณ์แสดงการระบายความร้อน

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 หมายถึงหม้อแปลงชนิดฉนวนน้ำมันระบายความร้อนด้วยวิธีหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ

ONAF หมายถึง หม้อแปลงชนิดฉนวนน้ำมันระบายความร้อนด้วยวิธีอัดอากาศ

การป้องกันกระแสเกิน หม้อแปลงต้องมีการป้องกันกระแสเกินทั้งด้านไฟเข้าและด้านไฟออก พิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินเป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 ขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับหม้อแปลง

ขนาดอิมพีแดนซ์หม้อแปลง	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%

ห้องหม้อแปลง ห้องหม้อแปลงสำหรับหม้อแปลงฉนวนน้ำมัน ต้องอยู่ในสถานที่ที่สามารถขนย้ายหม้อแปลงทั้งลูกเข้าออกได้ และสามารถระบายอากาศสู่อากาศภายนอกได้ หากใช้ท่อลมต้องเป็นชนิดทนไฟ ห้องหม้อแปลงต้องเข้าถึงได้โดยสะดวกสำหรับผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเพื่อตรวจสอบและบำรุงรักษา มีข้อกำหนดที่สำคัญ ดังนี้

1. ระยะห่าง ระยะห่างระหว่างหม้อแปลงกับผนังหรือประตูห้องหม้อแปลง ต้องไม่น้อยกว่า 1.0 เมตร ระยะห่างระหว่างหม้อแปลงต้องไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร บริเวณที่ตั้งหม้อแปลงต้องมีที่ว่างเหนือหม้อแปลงหรือเครื่องห่อหุ้มหม้อแปลงไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร

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

(1) ใช้ระบบหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ ช่องระบายอากาศต้องมีทั้งด้านเข้าและออก พื้นที่ของช่องระบายอากาศแต่ละด้านเมื่อหักลวดตาข่ายแล้วต้องไม่น้อยกว่า 1 ตร.ม./1,000 เควีเอ ของหม้อแปลงที่ใช้งาน และต้องไม่เล็กกว่า 0.05 ตร.ม.

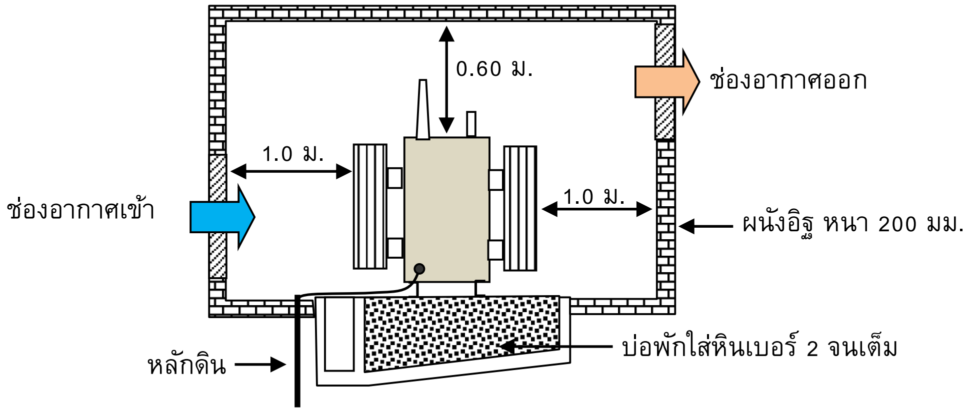
(2) ระบายอากาศออกด้วยพัดลม ช่องระบายอากาศด้านเข้าต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 1 ตร.ม./1,000 เควีเอ ของหม้อแปลง และต้องไม่เล็กกว่า 0.05 ตร.ม. ด้านอากาศออกติดตั้งพัดลมที่สามารถดูดอากาศออกจากห้องได้ไม่น้อยกว่า 8.40 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อหนึ่งกิโลวัตต์ของค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียทั้งหมดของหม้อแปลงเมื่อมีโหลดเต็มที่ ซึ่งดูได้จากแผ่นป้ายประจำเครื่อง (name plate) ของหม้อแปลง

(3) ระบายความร้อนด้วยเครื่องปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 3,412 บีทียูต่อชั่วโมงต่อหนึ่งกิโลวัตต์ของค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดของหม้อแปลงเมื่อมีโหลดเต็มที่ และไม่ต้องมีช่องระบายอากาศออก

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

4. การต่อลงดิน ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งและไม่ใช้เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าต้องต่อลงดิน สายต่อหลักดินต้องเป็นสายทองแดงมีขนาดไม่เล็กกว่า 35 ตร.มม.

5. ระบบดับเพลิง ต้องมีเครื่องดับเพลิงชนิดที่ใช้ดับไฟที่เกิดจากไฟฟ้าได้ซึ่งมีช่วงเวลาฉีดได้นานอย่างน้อย 15 วินาที ติดตั้งไว้ที่ผนังด้านนอกห้องหม้อแปลง



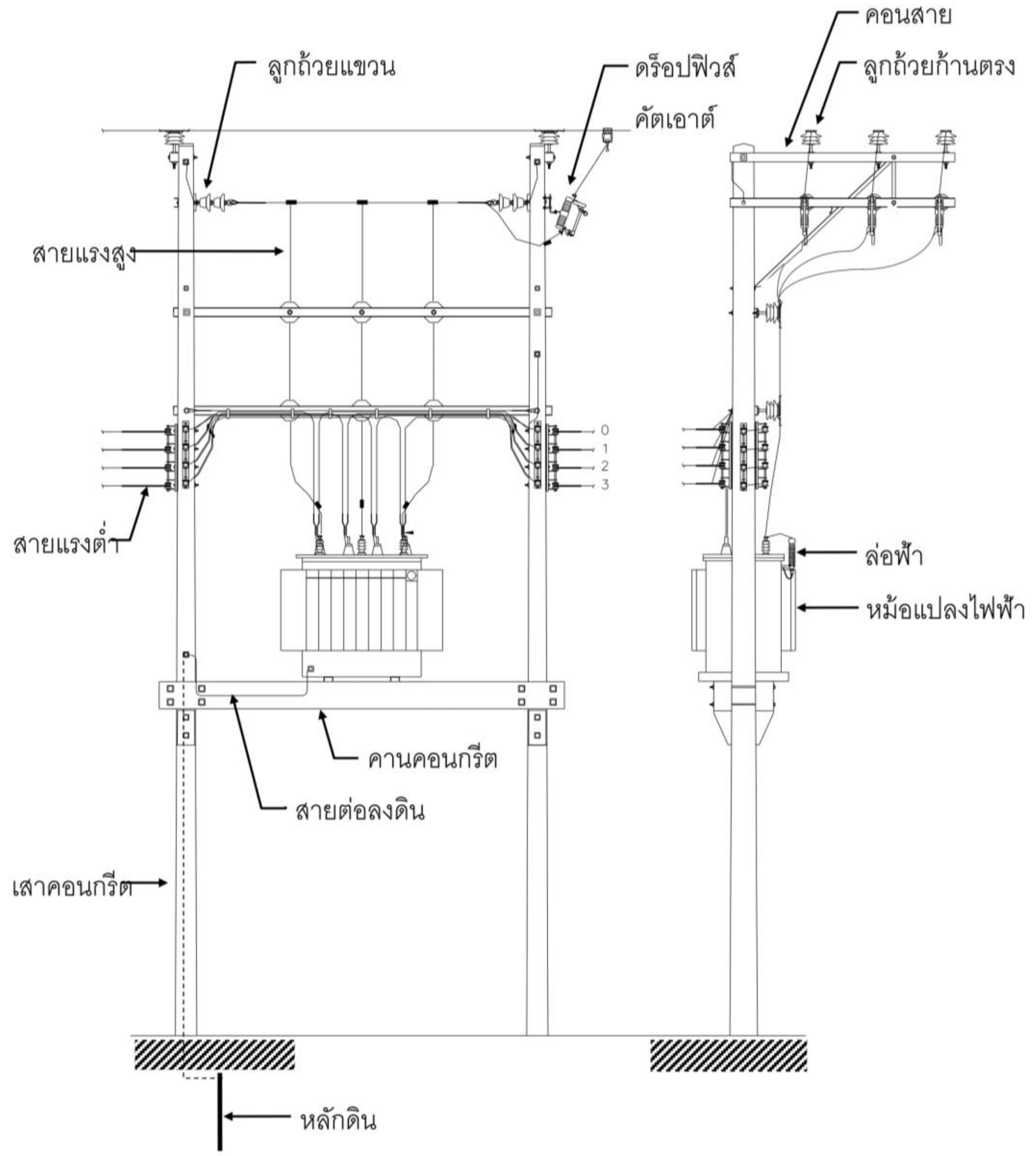
รูปที่ 1.28 ตัวอย่างห้องหม้อแปลง

ลานหม้อแปลง ลานหม้อแปลงเป็นบริเวณหรือพื้นที่สำหรับติดตั้งหม้อแปลงที่อยู่ภายนอกอาคาร หม้อแปลงที่อยู่ภายนอกอาคารต้องอยู่ในที่ล้อมซึ่งอาจเป็นรั้วหรือกำแพงก็ได้ เพื่อให้เข้าได้เฉพาะผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเท่านั้น รั้วต้องมีความสูงไม่น้อยกว่า 2.0 เมตร รั้วที่เป็นโลหะต้องต่อลงดินด้วย

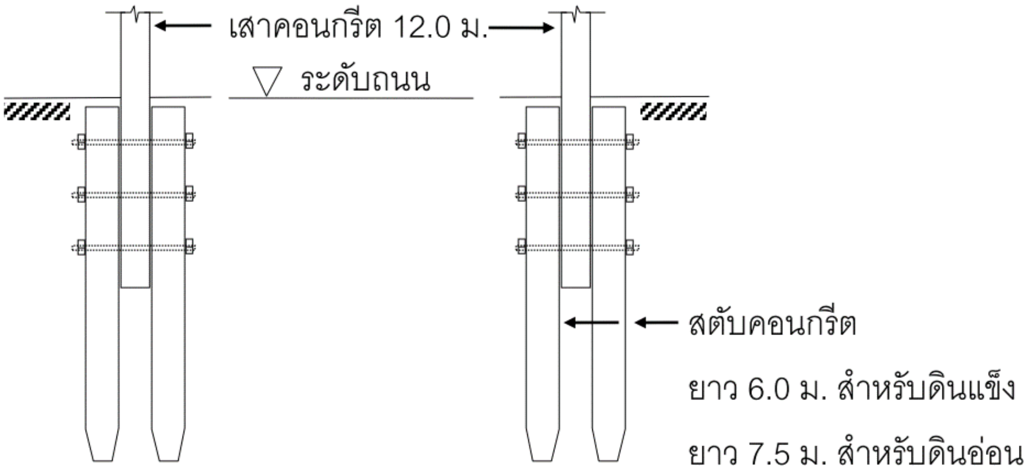
นั่งร้านหม้อแปลง หม้อแปลงไฟฟ้าสามารถติดตั้งบนเสาไฟฟ้าได้ การจะติดตั้งหม้อแปลงบนเสาไฟฟ้าข้อสำคัญที่จะลืมไม่ได้คือความแข็งแรงของเสาไฟฟ้า ปกติหม้อแปลงของผู้ใช้ไฟฟ้าจะเป็นหม้อแปลงที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ในการติดตั้งจึงต้องใช้เสาไฟฟ้ารับน้ำหนักถึงสองต้นโดยมีคานเชื่อมถึงกัน และนำเอาหม้อแปลงวางบนคานนี้ ซึ่งเรียกว่านั่งร้านหม้อแปลง นั่งร้านหม้อแปลงที่มีใช้อยู่ทั่วไปแบ่งตามความสามารถในการรับน้ำหนักได้ 2 ขนาดคือ

1. ขนาดรับน้ำหนัก 4.5 ตัน
2. ขนาดรับน้ำหนัก 6.5 ตัน

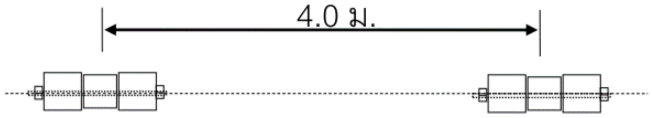
ขนาดรับน้ำหนักของหม้อแปลงนี้ต้องสอดคล้องกันทั้งหมดทั้งชุดของนั่งร้านหม้อแปลงเช่น ฐานเสา คาน และตัวเสาไฟฟ้าเอง



รูปที่ 1.29 ตัวอย่างนั่งร้านหม้อแปลง



ภาพตัด



แปลน

รูปที่ 1.30 ตัวอย่างฐานเสาของนั่งร้านหม้อแปลง ขนาด 4.5 ตัน

1.5.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด และมีแรงบิดเมื่อเริ่มเดินเครื่องสูง นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่นโรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือให้ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้น

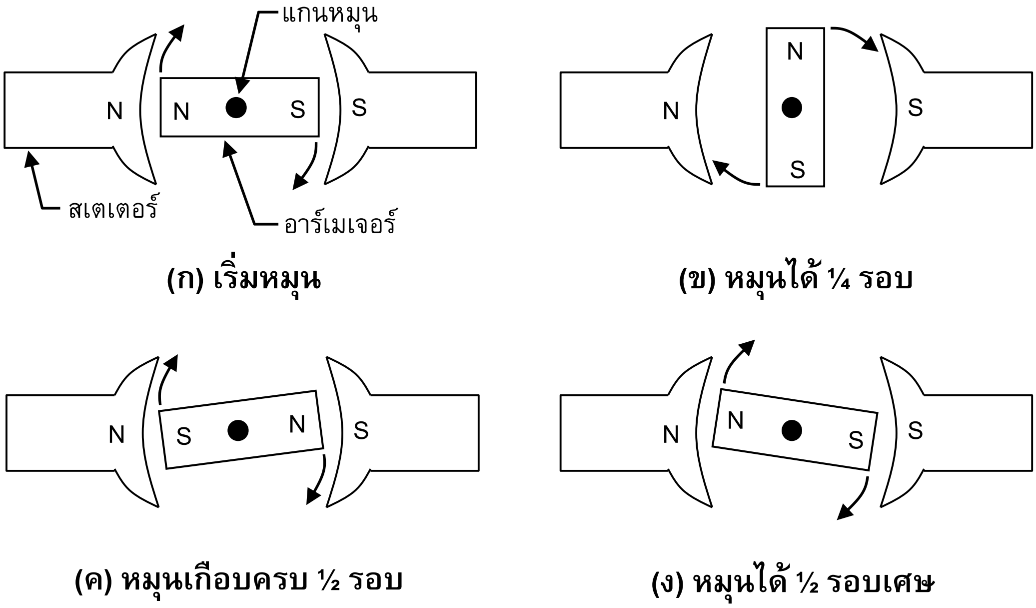
หลักการทำงาน การทำงานของมอเตอร์อาศัยการดูดและผลักกันของแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแม่เหล็กที่มีขั้วเหมือนกันจะผลักกัน และถ้าต่างกันก็จะดูดกัน มอเตอร์กระแสตรงจึงประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (stator) ประกอบด้วย เฟรมหรือโยค (frame หรือ yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้

ให้ครบวงจร และยึดส่วนประกอบอื่นๆให้แข็งแรง ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนาม้วนเป็นรูปทรงกระบอก

ส่วนที่เป็นสเตเตอร์นี้จะมีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ กั้นด้วยฉนวนประกอบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์หรืออาร์เมเจอร์ เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุด เพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุด มีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มาก ทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มาก เป็นการทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน

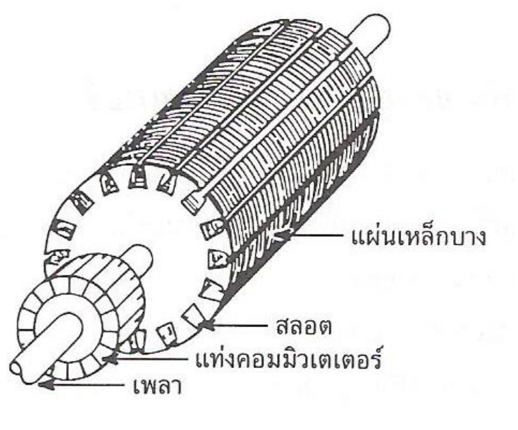
รูปที่ 1.31 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก



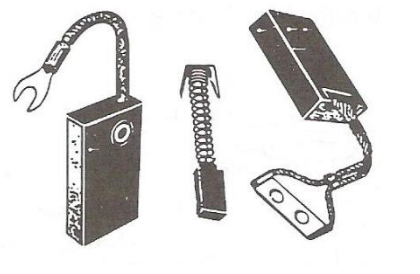
รูปที่ 1.32 การหมุนและการเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์กระแสตรง

2. ตัวส่วนที่หมุน (armature) ส่วนนี้จะทำให้เป็นแม่เหล็กด้วยขดลวดไฟฟ้าเช่นเดียวกัน แม่เหล็กนี้จะมีขั้วตรงข้ามกับขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งก็จะผลักกันทำให้หมุนไปได้ โดยตำแหน่งเริ่มแรกขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์กับโรเตอร์ที่เหมือนกันอยู่ในตำแหน่งที่เยื้องกันเล็กน้อย (รูป ก) ก็จะเกิดแรงผลักให้หมุน เมื่ออาร์เมเจอร์หมุนไปได้ 180 องศาก็จะทำการกลับขั้วแม่เหล็กจากขั้วเหนือ (N) เป็นขั้วใต้ (S) (รูป ง)

การป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าอาร์เมเจอร์ จะป้อนผ่านคอมมิวเตเตอร์ มีลักษณะเป็นซี่ทองแดงจำนวนหลายซี่ติดอยู่รอบแกนหมุนของอาร์เมเจอร์ ส่วนที่สัมผัสกับคอมมิวเตอร์และทำหน้านำกระแสไฟฟ้าผ่านไปยังคอมมิวเตเตอร์คือแปรงถ่าน



รูปที่ 1.33 คอมมิวเตเตอร์และอาเมเจอร์

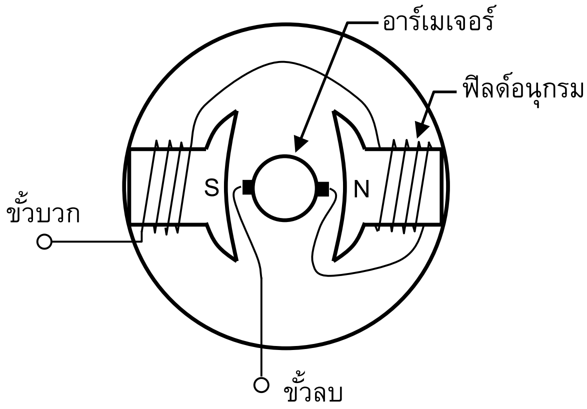


รูปที่ 1.34 ตัวอย่างแปรงถ่าน

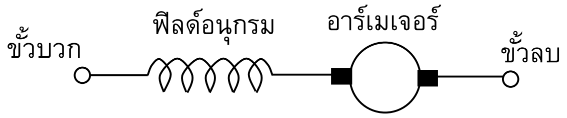
ชนิดของมอเตอร์กระแสตรง

1. มอเตอร์แบบอนุกรม (series motor) หลักการหมุนของมอเตอร์เป็นไปตามที่กล่าวข้างต้น มอเตอร์อนุกรมหรือซีรีมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่ขดลวดฟิลด์ (field coil) กับขดลวดอาร์เมเจอร์ ต่อกันแบบอนุกรม เป็นมอเตอร์ที่ให้แรงบิดเมื่อเริ่มเดินสูงมาก อาจสูงถึง 5 เท่าของพิกัดมอเตอร์ แต่จะกินกระแสสูงด้วย ความเร็วรอบจะลดลงเมื่อโหลดสูงขึ้น และความเร็วรอบจะสูงมาก

เมื่อไม่มีโหลด ความเร็วสูงนี้อาจทำให้คอมมิวเตเตอร์หรือแปรงถ่านเสียหายได้ ในการใช้งานจึงต้องต่อโหลดอยู่ตลอดเวลา

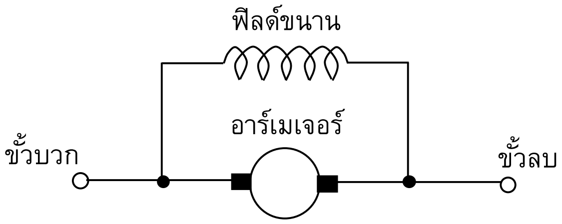


รูปที่ 1.35 โครงสร้างของซีรีมอเตอร์



รูปที่ 1.36 วงจรซีรีมอเตอร์

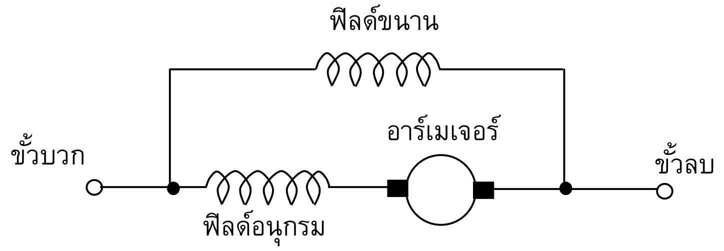
2. มอเตอร์แบบขนาน (shunt motor) เป็นมอเตอร์ที่ขดลวดของสเตอร์และโรเตอร์มีการต่อกันแบบขนาน เป็นมอเตอร์ที่ความเร็วรอบค่อนข้างคงที่แม้โหลดจะเปลี่ยนไปก็ตาม เป็นการแก้ปัญหาความเร็วรอบไม่คงที่ของซีรีมอเตอร์ แต่แรงบิดเมื่อเริ่มเดินเครื่องจะลดลง



รูปที่ 1.37 วงจรมอเตอร์แบบขนาน (shunt motor)

3. มอเตอร์แบบผสม (compound motor) เป็นมอเตอร์ที่พยายามนำข้อดีของซีรีมอเตอร์กับชันต์มอเตอร์มารวมกัน ในมอเตอร์จึงมีทั้งขดลวดอนุกรมและขนานรวมอยู่ด้วยกัน การทำงานจึงอยู่ระหว่างซีรีมอเตอร์กับชันต์มอเตอร์

ความเร็วรอบของมอเตอร์จะไม่เปลี่ยนแปลงมากเมื่อโหลดเปลี่ยน และจะได้แรงบิดเมื่อเริ่มเดินสูง (แต่น้อยกว่าซีรีมอเตอร์)



รูปที่ 1.38 วงจรมอเตอร์แบบผสม

1.5.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส เป็นมอเตอร์ที่ออกแบบสำหรับใช้กับไฟฟ้าระบบ 1 เฟส เป็นมอเตอร์ที่มีใช้งานทั่วไป เนื่องจากใช้งานง่าย และสามารถหาระบบไฟฟ้าใช้ได้สะดวก แบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

- สปลิตเฟสมอเตอร์ (split phase motor)
- คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (capacitor motor)
- ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (universal motor)

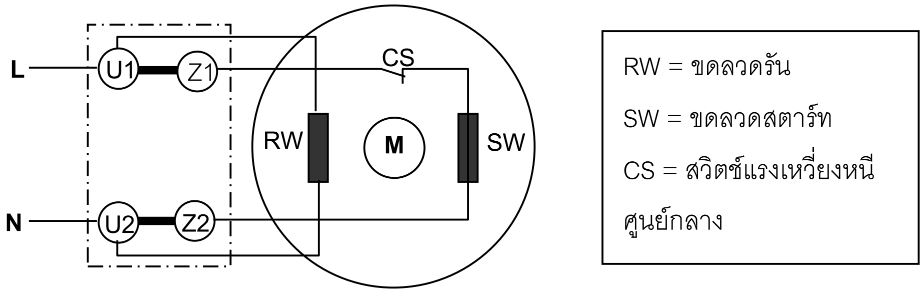
(1) สปลิตเฟสมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ชนิดอินดักชันมอเตอร์ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือสเตเตอร์ (stator) โรเตอร์ (rotor) และสวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal switch)

สเตเตอร์ ประกอบด้วยขดลวดพันบนแกนเหล็กเพื่อทำหน้าที่ในการสร้างสนามแม่เหล็กให้หมุนไปรอบ ๆ ขดลวดนี้มี 2 ชุดคือขดรันหรือขดลวดเมน (running winding or main winding) และขดสตาร์ท (starting winding) ขดสตาร์ททำหน้าที่ช่วยให้มอเตอร์มีแรงในการเริ่มหมุน และเมื่อมอเตอร์หมุนไปได้ความเร็วประมาณ 75% ของความเร็วปกติ ขดสตาร์ทจะตัดออกด้วยสวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ขดรันก็จะทำหน้าที่หมุนมอเตอร์ต่อไป

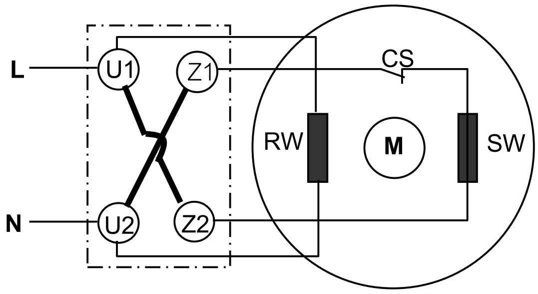
โรเตอร์ คือส่วนที่หมุน ประกอบด้วยแกนเหล็กที่ฝังโดยรอบด้วยตัวนำที่อาจเป็นทองแดงหรืออะลูมิเนียมก็ได้ ปลายทั้งสองข้างของตัวนำที่ฝังแต่ละตัวนี้จะเชื่อมติดเข้าด้วยกัน เป็นการลัดวงจรนั้นอง ดังนั้นเมื่อสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์หมุน ก็จะเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตัดกับตัวนำที่โรเตอร์ จะเกิดกระแสไหลในโรเตอร์และแกนเหล็กของโรเตอร์ก็จะเป็นแม่เหล็ก เกิดการผลักกันทำให้โรเตอร์หมุนไปได้

สวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง สวิตช์นี้ประกอบติดอยู่กับตัวโรเตอร์ เมื่อมอเตอร์หมุนไปได้ความเร็วประมาณ 75% สวิตช์จะตัดวงจรไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้ขดสตาร์ทออก

การกลับทางหมุน ทำได้โดยการสลับขั้วของขดลวดขดใดขดหนึ่งเท่านั้น แต่ถ้าสลับทั้งสองขด มอเตอร์จะหมุนในทิศทางเดิม



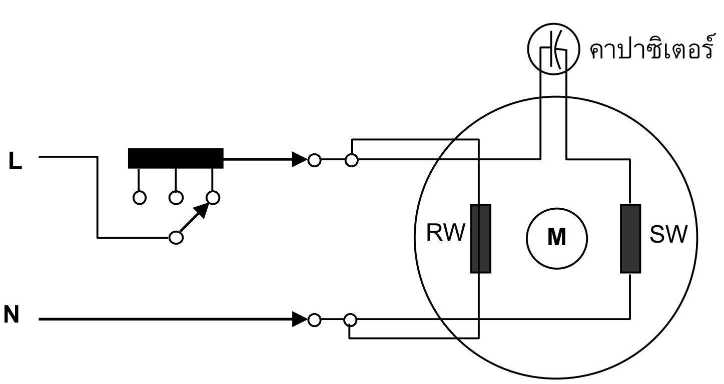
รูปที่ 1.39 วงจรสปลิตเฟสมอเตอร์



รูปที่ 1.40 การกลับทางหมุนของสปลิตเฟสมอเตอร์

(2) คาปาซิเตอร์มอเตอร์ เป็นอินดักชันมอเตอร์เช่นเดียวกับสปลิตเฟสมอเตอร์ และมีการทำงานคล้ายกันคือมีขดลวดที่เป็นขดสตาร์ทและขดรันเช่นเดียวกัน แต่เพิ่ม คาปาซิเตอร์เข้าไปในวงจรสตาร์ท เป็นมอเตอร์ขนาดไม่ใหญ่นัก

ในมอเตอร์ชนิดนี้จะใส่คาปาซิเตอร์อนุกรมเข้ากับขดสตาร์ท จึงมีบิดเมื่อเริ่มเดินสูง แต่ใช้กระแสไม่มากนัก การต่อคาปาซิเตอร์อนุกรมเข้ากับขดสตาร์ททำให้กระ แสในขดสตาร์ทถึงจุดสูงสุดก่อนขดรัน ซึ่งมากกว่าสปลิตเฟสมอเตอร์ มอเตอร์จึงมีแรงบิดตอนสตาร์ทสูงกว่ามาก คาปาซิเตอร์ที่ต่อในวงจรนี้อาจออกแบบให้ถูกตัดออกเมื่อมอเตอร์หมุนได้ความเร็วประมาณ 75% หรืออาจต่อในวงจรตลอดเวลาก็ได้



รูปที่ 1.41 วงจรและการปรับความเร็วของคาปาซิเตอร์มอเตอร์

การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ทำได้โดยการใส่ขดลวดเพิ่มเข้าไปในวงจรของขดรัน สำหรับการกลับทางหมุนทำได้โดยการสลับขั้วของขดลวดขดใดขดหนึ่งเท่านั้น แต่ถ้าสลับทั้งสองขด มอเตอร์จะหมุนในทิศทางเดิม

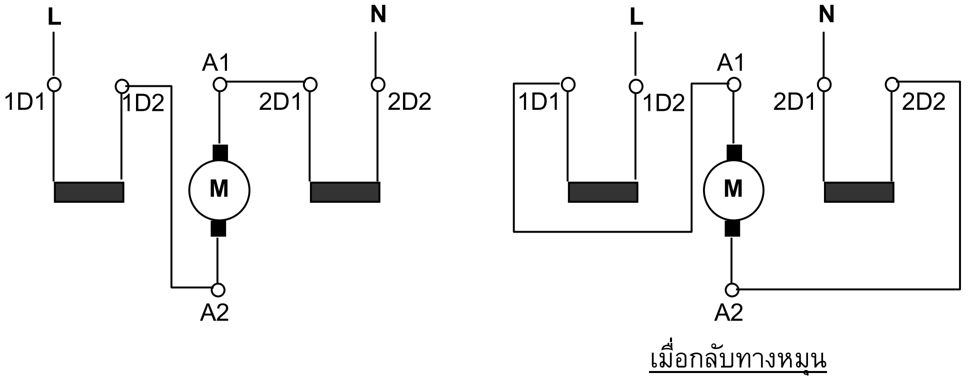
(3) ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ เป็นมอเตอร์มอเตอร์ขนาดเล็ก สามารถใช้ได้ทั้งไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรง เนื่องจากขดลวดของสเตเตอร์กับอาร์เมเจอร์ ต่ออนุกรมกันอยู่ มอเตอร์ชนิดนี้มีแรงบิดตอนสตาร์ทสูงมาก และความเร็วรอบสูงด้วย ความเร็วนี้จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ถ้าไม่มีโหลด และอาจสูงจนมอเตอร์ชำรุดได้ ในการใช้งานจึงต้องมีโหลดต่ออยู่ด้วยตลอดเวลา มอเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้เป็นมอเตอร์จักร สว่านไฟฟ้า และเครื่องดูดฝุ่นเป็นต้น

สเตเตอร์ หรือเรียกอีกอย่างว่าขั้วสนามแม่เหล็ก (field coil) ประกอบด้วยขดลวดพันบนแกนเหล็กเหมือนมอเตอร์ทั่วไป

อาร์เมเจอร์ (armature) เป็นส่วนที่หมุนเหมือนกับโรเตอร์ของอินดักชันมอเตอร์ มีข้อแตกต่างตรงที่มีการพันขดลวดด้วย และในการใช้งานจะมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดอาร์เมเจอร์ด้วยโดยผ่านทางคอมมิวเตเตอร์

คอมมิวเตเตอร์ (commutator) มีลักษณะเป็นซี่ทองแดง ใช้งานร่วมกับแปรงถ่าน ทำหน้าที่รับไฟฟ้าที่จ่ายมาทางแปรงถ่าน ให้ไหลผ่านขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

การกลับทางหมุนของมอเตอร์ ทำได้โดยการกลับขั้วการจ่ายไฟฟ้าที่สเตเตอร์ หรือที่อาร์เมเจอร์ ขดใดขดหนึ่งเช่นเดียวกับมอเตอร์ชนิดอินดักชัน



รูปที่ 1.42 การกลับทางหมุนของมอเตอร์ชนิดยูนิเวอร์แซล

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติที่ดีคือ มีความเร็วรอบคงที่เนื่องจากความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์ขึ้นอยู่กับความถี่ (frequency) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีราคาถูก โครงสร้างไม่ซับซ้อน สะดวกในการบำรุงรักษา เพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วแบบอินเวอร์เตอร์ (inverter) สามารถควบคุมความเร็วได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วตามพิกัดของ

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

(1) มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ หรืออินดักชันมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ทำงานโดยอาศัยการเหนี่ยวนำด้วยอำนาจแม่เหล็ก การใช้งานจะจ่ายไฟให้ขดลวดที่พันอยู่ที่สเตเตอร์ ซึ่งเป็นตัวที่อยู่กับที่ กระแสไฟฟ้าจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำไปที่โรเตอร์ ซึ่งเป็นตัวหมุน ที่โรเตอร์จะมีกระแสไฟฟ้าไหลและเกิดอำนาจแม่เหล็กทำให้หมุนไปได้ อินดักชันมอเตอร์ยังแบ่งออกได้ตามชนิดของโรเตอร์เป็น สไควเรลเคจอินดักชันมอเตอร์ (squirrel cage induction motor) และวาวด์โรเตอร์มอเตอร์ (wound rotor motor)

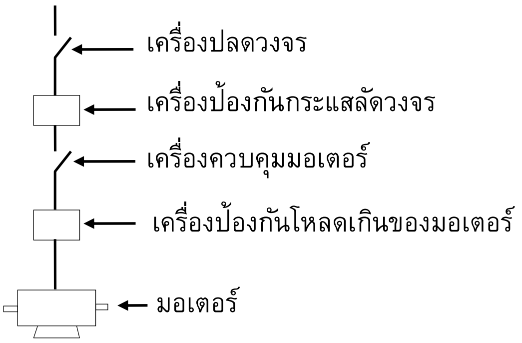
สไควเรลเคจอินดักชั่นมอเตอร์ หรือเรียกว่าโรเตอร์ชนิดกรงกระรอก ที่โรเตอร์จะฝังตัวนำไฟฟ้าไว้และตัวนำนี้จะถูกลัดวงจรเข้าด้วยกัน การใช้งานทำได้โดยการจ่ายไฟเข้าที่สเตเตอร์ จะเกิดการหมุนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สนามแม่เหล็กนี้จะไปตัดกับตัวนำที่โรเตอร์ เกิดการเหนี่ยวนำจนมีกระแสไฟฟ้าไหลและเกิดการสร้างสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ดูดกับที่สเตเตอร์ ทำให้โรเตอร์สามารถหมุนได้ โดยที่ความเร็วรอบในการหมุนของโรเตอร์นี้จะช้ากว่าการหมุนของสนามแม่เหล็กเล็กน้อย ความเร็วที่แตกต่างกันนี้เรียกว่าสลิป

วาวด์โรเตอร์มอเตอร์ ที่โรเตอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้จะมีขดลวดพันอยู่ด้วยและจะมีสายต่อออกมาข้างนอกโดยผ่านสลิปริง (slip rings) เพื่อช่วยในการเริ่มเดิน ในการใช้งานจะจ่ายไฟเข้าที่สเตเตอร์เช่นเดียวกัน การลดกระแสขณะเริ่มเดินเครื่องทำได้โดยการใส่ตัวต้านทานอนุกรมเข้ากับขดลวดของสเตเตอร์ มอเตอร์ชนิดนี้เรียกอีกชื่อหนึ่งได้ว่าสลิปริงมอเตอร์

(2) ซิงโครนัสมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่มีการพันขดลวดทั้งที่โรเตอร์และสเตเตอร์ ในการใช้งานจะจ่ายไฟกระแสสลับเข้าที่สเตเตอร์ ส่วนที่โรเตอร์จะจ่ายไฟกระแสตรงเข้าไปโดยผ่านวงแหวนลื่นหรือสลิปริง และถ้าจ่ายไฟกระแสตรงเข้าที่โรเตอร์มากเกินไปมอเตอร์จะทำหน้าที่กลับเป็นซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ใช้แก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบไฟฟ้าได้ มอเตอร์ชนิดนี้จะมีความเร็วรอบคงที่ที่ความเร็วซิงโครนัส (synchronous speed)

การกลับทางหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส ทำได้โดยการกลับขั้วการจ่ายไฟที่ขดลวดของสเตอร์ เฟสใดเฟสหนึ่งเพียงเฟสเดียว

1.5.4 การป้องกันมอเตอร์ การป้องกันมอเตอร์แบ่งออกเป็นการป้องกันกระแสลัดวงจร และการป้องกันมอเตอร์เดินไม่ไหวเนื่องจากโหลดเกิน หรือโอเวอร์โหลด



รูปที่ 1.43 วงจรมอเตอร์

(1) การป้องกันกระแสลัดวงจรมอเตอร์ วงจรไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้มอเตอร์ ต้องมีการป้องกันการลัดวงจรสำหรับสายไฟฟ้า เครื่องควบคุม และตัวมอเตอร์ เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรต้องสามารถนำกระแสเริ่มเดินเครื่องของมอเตอร์ได้ โดยไม่ต้องปลดจร แต่ต้องไม่ใหญ่มากเกินจนความสามารถในการป้องกันลดลง หรือไม่สามารถป้องกันได้ เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร แบ่งออกเป็นฟิวส์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์

ฟิวส์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. ฟิวส์ทำงานไว คือ ฟิวส์ที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าทั่วไป และเนื่องจากฟิวส์ชนิดนี้ทำงานปลดวงจรเร็ว ในการกำหนดขนาดจึงต้องเลือกขนาดให้ใหญ่หน่อยเพื่อป้องกันการปลดวงจร หรือฟิวส์ขาดเมื่อเริ่มเดินมอเตอร์ ปกติจะเลือกขนาดฟิวส์ที่ประมาณ 2 ถึง 3 เท่าของพิกัดกระแสมอเตอร์

2. ฟิวส์หน่วงเวลา คือ ฟิวส์ที่ออกแบบให้ทำงานช้ากว่าปกติ เหมาะกับการใช้งานกับวงจรมอเตอร์โดยเฉพาะ จึงสามารถกำหนดขนาดได้เล็กลงกว่าฟิวส์ทำงานไว ขนาดที่ใช้อยู่ที่ประมาณ 1.75 เท่าของกระแสมอเตอร์

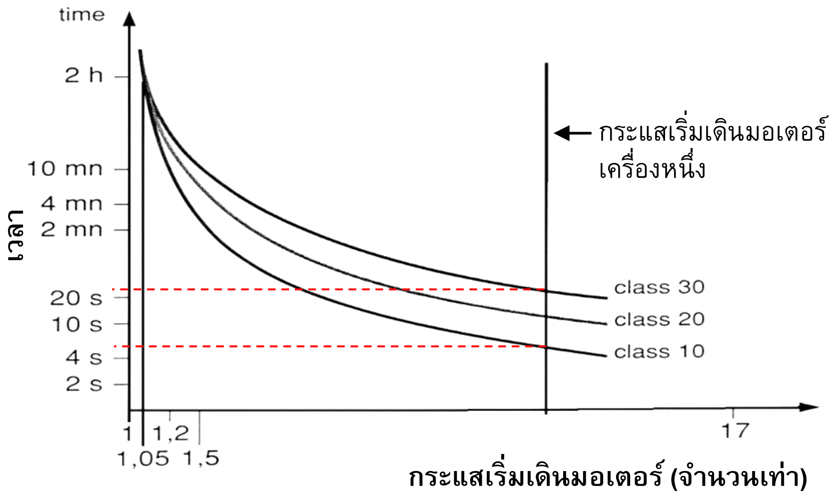
เซอร์กิตเบรกเกอร์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดปลดวงจรทันที คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีลักษณะการทำงานแบบปลดวงจรทันทีเมื่อกระแสเกิน เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้ถูกออกแบบให้ใช้กับวงจรมอเตอร์โดยเฉพาะ

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

(2) การป้องกันโหลดเกิน (โอเวอร์โหลด) มอเตอร์จะมีอุปกรณ์ป้องกัน 2 ตัวคือ การป้องกันกระแสลัดวงจร และการป้องกันมอเตอร์เดินไม่ไหวจากโอเวอร์โหลด ดังนั้นการป้องกันโอเวอร์โหลดจึงเป็นการป้องกันมอเตอร์เนื่องจากโหลดเกิน และป้องกันสายไฟฟ้าจากกระแสโอเวอร์โหลด แบ่งเป็นดังนี้

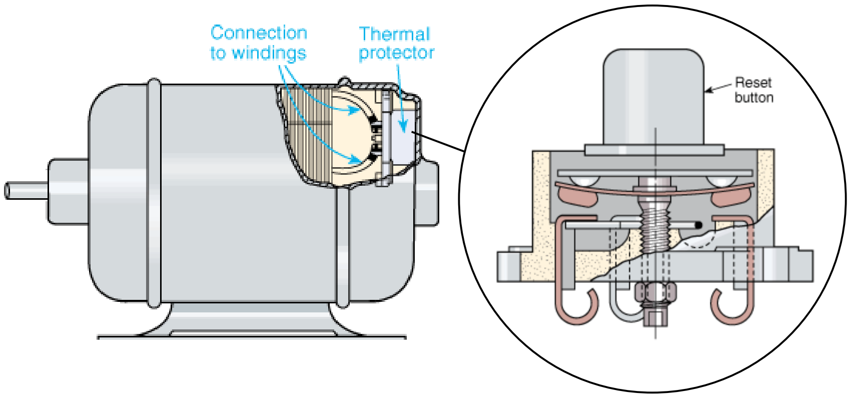
เครื่องปลดวงจรชนิดติดตั้งแยกต่างหากจากตัวมอเตอร์และทำงานสัมพันธ์กับกระแสของมอเตอร์ (โอเวอร์โหลดรีเลย์) เป็นแบบที่ใช้งานทั่วไป ในการใช้งานจะต่อถัดจากหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า วัดกระแสของมอเตอร์ เครื่องป้องกันโหลดเกินชนิดนี้ทำงานด้วยความร้อน จึงทำงานช้า ในการใช้งานสามารถตั้งค่าได้ต่ำใกล้เคียงกับกระแสมอเตอร์ ปกติจะตั้งค่าที่ประมาณ 1.15 เท่าของกระแสมอเตอร์ แต่ถ้าตั้งค่าตามที่กล่าวนี้แล้ว มอเตอร์ไม่สามารถเริ่มเดินได้เนื่องจากโอเวอร์โหลดปลดวงจร สามารถปรับให้สูงขึ้นได้อีก แต่ต้องไม่เกิน 1.3 เท่าของกระแสมอเตอร์



รูปที่ 1.44 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 เป็นต้น

เครื่องป้องกันโหลดเกินชนิดเครื่องป้องกันอุณหภูมิสูงเกิน (เทอร์มิสเตอร์) ชนิดนี้จะวัดความร้อนที่ขดลวดมอเตอร์โดยตรง ทำให้สามารถวัดค่าได้เที่ยงตรงกว่า และเนื่องจากมีราคาสูงจึงติดตั้งกับมอเตอร์ขนาดใหญ่เท่านั้น การปรับตั้งค่าต้องสอดคล้องตามอุณหภูมิฉนวนของขดลวด จึงควรเป็นไปตามที่ผู้ผลิตแนะนำ



รูปที่ 1.45 เครื่องป้องกันอุณหภูมิสูงเกิน

เครื่องป้องกันโหลดเกินชนิดอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องป้องกันชนิดนี้ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจจับและสั่งปลดวงจร สามารถจำลองพฤติกรรมทางความร้อนของมอเตอร์ได้ดี ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์และไมโครโปรเซสเซอร์ จึงสามารถปรับแต่งให้ใช้กับมอเตอร์ได้ทุกขนาด

1.5.5 เครื่องควบคุมมอเตอร์ คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เริ่มเดิน และหยุดเดินมอเตอร์ รวมทั้งควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วย ตัวที่ใช้ในการเริ่มเดินมอเตอร์เรียกว่าเครื่องเริ่มเดินมอเตอร์หรือ Motor starter

1. การเริ่มเดินมอเตอร์ วิธีการเริ่มเดินมอเตอร์ที่ใช้กันทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ

- การเริ่มเดินโดยรับแรงดันไฟฟ้าเต็มที่ หรือโดยการต่อไฟเข้าโดยตรง (direct on line or DOL)
- การเริ่มเดินโดยการลดแรงดันไฟฟ้า

การเริ่มเดินโดยรับแรงดันไฟฟ้าเต็มที่ วิธีนี้จะต่อไฟแรงดันตามพิกัดของมอเตอร์เข้าที่ขั้วของมอเตอร์โดยตรง ซึ่งการเริ่มเดินเครื่องแบบนี้จะทำให้กระแสเริ่มเดินของมอเตอร์ (starting current) มีค่าสูง แต่ก็จะได้แรงบิดเริ่มเดินเครื่องสูงด้วยเช่นกัน โดยทั่วไปกระแสเริ่มเดินมอเตอร์จะมีค่าประมาณ 6-8 เท่า ของกระแสพิกัดของมอเตอร์ ขึ้นกับชนิดของมอเตอร์ ส่วนแรงบิดเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าประมาณ 1.5 เท่าของแรงบิดพิกัดของมอเตอร์

เนื่องจากการเริ่มเดินเครื่องแบบรับแรงดันไฟฟ้าเต็มที่ จะใช้กระแสสูงมากถึง 6-8 เท่าของกระแสพิกัดของมอเตอร์จึงส่งผลให้เกิดแรงดันตกในสายไฟฟ้าสูง ซึ่งอาจจะทำให้ไปรบกวนระบบอื่นๆ ที่ต่ออยู่ด้วย จะเห็นได้ว่าอาจเกิดไฟกระพริบขณะเริ่มเดินมอเตอร์ ดังนั้นการเริ่มเดินเครื่องแบบนี้จึงควรใช้กับมอเตอร์ขนาดเล็กๆ ไม่เกิน 7.5 kW (10 HP) แต่สำหรับในกรณีโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งระบบไฟฟ้าจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าเอง จะสามารถใช้การเริ่มเดินเครื่องแบบนี้สำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่ได้ ถ้าหากต้องการแรงบิดเริ่มเดินเครื่องสูง โดยที่แรงดันตกจะมีผลไม่มากนัก อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

การเริ่มเดินโดยการลดแรงดันไฟฟ้า เป็นการแก้ปัญหาเรื่องแรงดันตกขณะเริ่มเดินมอเตอร์ การลดแรงดันเข้ามอเตอร์จะสามารถลดค่ากระแสเริ่มเดินมอเตอร์ได้ แต่จะเป็นผลให้แรงบิดเริ่มเดินเครื่องลง การเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์แบบลดแรงดันมีหลายวิธี ตัวอย่างการเริ่มเดินเป็นดังนี้

- การเริ่มเดินเครื่องแบบสตาร์-เดลตา (star-delta Starting) จะมีกระแสเริ่มเดินประมาณ 1.3-2.6 เท่า ของพิกัดกระแสมอเตอร์
- การเริ่มเดินเครื่องด้วยหม้อแปลงออโต (autotransformer starting) จะมีกระแสเริ่มเดินประมาณ 1.7-4 เท่า ของพิกัดกระแสมอเตอร์
- การเริ่มเดินเครื่องด้วยความต้านทาน (resistance starting) จะมีกระแสเริ่มเดินประมาณ 4 เท่า ของพิกัดกระแสมอเตอร์
- การเริ่มเดินด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ (solid state starter) จะมีกระแสเริ่มเดินประมาณ 2-5 เท่า ของพิกัดกระแสมอเตอร์ และสามารถปรับได้ตามต้องการ

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

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 การจ่ายไฟให้มอเตอร์ซ้ำๆ กัน ในช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อต้องการให้มอเตอร์หรือเครื่องจักรที่มอเตอร์ขับอยู่เคลื่อนตัวเล็กน้อย

1.5.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือเครื่องกลที่ใช้สร้างหรือผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อขดลวดหมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็กก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวด จึงต้องมีตัวต้นกำลังเป็นตัวหมุนสนามแม่เหล็กให้ตัดกับขดลวด

รูปที่ 1.46 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับจะเหมือนกันคือ เมื่อขดลวดตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก หรือเส้นแรงแม่เหล็กหมุนตัดกับขดลวดตัวนำ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าในตัวนำ ส่วนประกอบที่สำคัญคือ

- เครื่องต้นกำลัง (engine prime mover)
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (alternator)
- แผงควบคุม (control panel)
- สวิตช์สับเปลี่ยน (transfer switch)

1. เครื่องต้นกำลัง ทำหน้าที่ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้หมุนเพื่อให้ขดลวดหมุนตัดกับสนามแม่เหล็ก การขับให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนนั้นอาจใช้พลังงานจากหลายแหล่งเช่น เครื่องยนต์ พลังงานน้ำ ความร้อน และพลังงานลม เป็นต้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ทั่วไปในงานอุตสาหกรรมจะใช้พลังงานจากเครื่องยนต์ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

- ระบบเชื้อเพลิง เป็นน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันเตา
- ระบบระบายความร้อน ปกติจะใช้น้ำในการระบายความร้อน
- ระบบไอเสีย ซึ่งต้องระบายควันหรือไอเสียออกนอกห้อง
- ระบบเริ่มเดินเครื่อง โดยปกติจะใช้แบตเตอรี่ในการเริ่มเดินเครื่อง

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ ออลเตอร์เนเตอร์ (alternator) เป็นตัวที่ทำหน้าที่สร้างกระแสไฟฟ้า มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

- ส่วนที่หมุน (rotor)
- ส่วนที่อยู่กับที่ (stator)
- ส่วนกระตุ้น (exciter)
- ส่วนควบคุมแรงดัน (voltage regulator)

3. แผงควบคุม ทำหน้าที่ดังนี้

- ควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- ควบคุมการประจุแบตเตอรี่
- ทำการตรวจสอบตลอดเวลาว่าไฟฟ้าขาดหายไปหรือไม่
- เมื่อพบว่าไฟฟ้าขาดหายไปจะส่งสัญญาณให้ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเริ่มเดินเครื่อง
- ตรวจสอบว่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ ว่ากลับมาจ่ายอีกครั้งหรือยัง
- เมื่อพบว่ามีไฟฟ้าจากทางการไฟฟ้าฯ จ่ายตามเดิมแล้วจะทำการสับเปลี่ยนโหลดมายังระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ
- ส่งสัญญาณให้ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดเดินเครื่อง

4. สวิตช์สับเปลี่ยน ทำหน้าที่สับเปลี่ยนโหลดจากแหล่งจ่ายไฟปกติไปยังชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปกติจะเป็นชนิดที่ทำงานโดยอัตโนมัติจากการควบคุมของแผงควบคุม

1.5.7 การส่องสว่าง

1. หลักการส่องสว่าง ความสว่างเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการมองเห็นของมนุษย์ อีกทั้งยังให้อารมณ์กับผู้มองเห็นอีกด้วย การส่องสว่างจึงต้องมีความสว่างที่เพียงพอ มีความถูกต้องของสีที่มองเห็น และให้ความรู้สึกสบายด้วย การให้แสงสว่างมีหลักการดังนี้

(1) การให้แสงสว่างทั่วพื้นที่ เป็นการให้ความสว่างทั่ว ๆ ไปไม่เฉพาะจุดใดจุดหนึ่ง การติดตั้งดวงโคมก็จะกระจายทั่วไป ความสว่างจึงเท่ากันหมดไม่เลือกจุดที่ต้องการใช้งานเป็นพิเศษ จึงสิ้นเปลืองพลังงานสูง ตัวอย่างที่เห็นได้คือ ตามห้างสรรพสินค้า หรือในห้องเรียน เป็นต้น แต่ก็มีข้อดีในแง่ที่สามารถเปลี่ยนตำแหน่งการทำงานได้อย่างคล่องตัว

(2) การให้แสงสว่างเฉพาะที่ เป็นการเลือกให้แสงสว่างเฉพาะจุดที่ต้องการใช้งานจริง ๆ โดยแสงสว่างในส่วนที่ไม่ได้ใช้งานจะสว่างน้อยกว่าปกติ มีข้อดีในแง่ของการประหยัดพลังงาน แต่อาจขาดความคล่องตัวในการทำงานบางอย่างที่ต้องเปลี่ยนแปลงจุดทำงานบ่อย เหมาะกับการทำงานหรือกานผลิตที่ตำแหน่งการใช้งานไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงเช่น ในสายงานการผลิต (line process) เป็นต้น

(3) การให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่ง เป็นการให้แสงสว่างเพิ่มเติมเฉพาะกับตำแหน่งหรืองานที่ต้องการความสว่างมากกว่าปกติ หรืองานที่ต้องการความละเอียดสูง ทำได้โดยการเพิ่มดวง

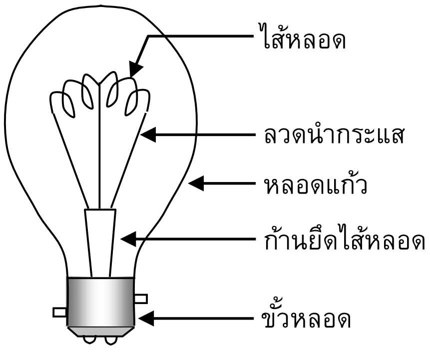
โคมในจุดที่ต้องการเช่น โต๊ะเขียนแบบ โต๊ะเจียระไน เป็นต้น วิธีนี้ถือเป็นวิธีการให้ความสว่างที่ประหยัดที่สุด และยังมีข้อดีในแง่ของการควบคุมตำแหน่ง และทิศทางความสว่างอีกด้วย

2. หน่วยที่เกี่ยวข้องกับแสงสว่าง

- **ค่าฟลั๊กการส่องสว่าง** (luminous flux) หมายถึง ปริมาณแสงสว่าง หน่วยเป็นลูเมน
- **ค่าประสิทธิผล** (efficacy) หมายถึง ปริมาณแสงที่ออกมาต่อวัตต์ที่ใช้ หรือลูเมนต่อวัตต์ หลอดที่มีค่าประสิทธิผลสูงคือหลอดที่ให้ปริมาณแสงออกมามากแต่ใช้วัตต์ต่ำ
- **ความถูกต้องของสี** (color rendering) หมายถึง แสงที่ส่องไปถูกวัตถุให้ความถูกต้องของสีมากน้อยเพียงใด มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ หลอดที่มีความถูกต้อง 100% หมายความว่าเมื่อใช้หลอดนี้ส่องสว่างวัตถุชิ้นหนึ่งแล้ว สีของวัตถุที่เห็นไม่มีความเพี้ยนของสี
- **ความส่องสว่าง** (อิลูมิแนนซ์) หมายถึงปริมาณแสงที่กระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อตารางเมตร หรือ ลักซ์
- **ความสว่าง** (ลูมิแนนซ์) หมายถึงปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร ปริมาณแสงที่เท่ากันเมื่อตกกระทบลงมาบนวัตถุที่มีสีต่างกันจะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับต่างกัน หมายถึงมีลูมิแนนซ์ ต่างกัน สาเหตุที่ต่างกันเนื่องมาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุต่างกัน

3. หลอดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ หลอดไฟฟ้ามีโครงสร้าง รูปร่าง สีของแสง และการทำงาน ต่างกัน ตามชนิดและความต้องการใช้งาน หลอดไฟฟ้าบางชนิดให้ความสว่างมากในขณะที่สีที่ออกมาจากหลอดอาจทำให้วัสดุที่มองเห็นมีสีผิดเพี้ยนไปจากเดิมบ้าง แต่หลอดบางชนิดให้สีของวัสดุถูกต้อง แต่ไม่ประหยัดพลังงาน และอาจมีอายุการใช้งานสั้น การเลือกใช้งานจึงต้องดูความต้องการของงานประกอบด้วย หลอดไฟฟ้าที่นิยมใช้ทั่วไปมีดังนี้

(1) หลอดอินแคนเดสเซนต์

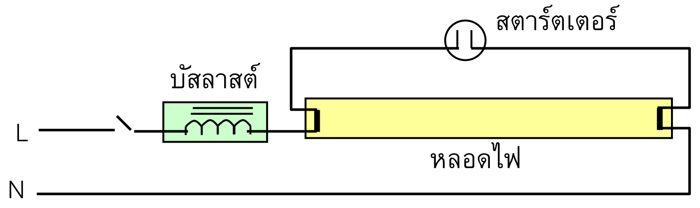


รูปที่ 1.47 โครงสร้างหลอดอินแคนเดสเซนต์ (หลอดไส้)

เรียกกันโดยทั่วไปว่าหลอดไส้ ลักษณะเป็นหลอดที่มีไส้หลอดด้วย เป็นหลอดที่ให้ปริมาณแสงสว่างต่อพลังงานไฟฟ้าน้อย (ลูเมนต่อวัตต์) ในทางเทคนิคเรียกว่ามีประสิทธิผลต่ำ หมายถึงไม่ประหยัดไฟฟ้านั่นเอง และอายุการใช้งานสั้นประมาณ 1,000-3,000 ชั่วโมง แต่ให้แสงที่มีค่าความถูกต้องของสี 100 % ขั้วหลอดมี 2 แบบ คือแบบเขี้ยว (B22) และแบบเกลียว (E27)

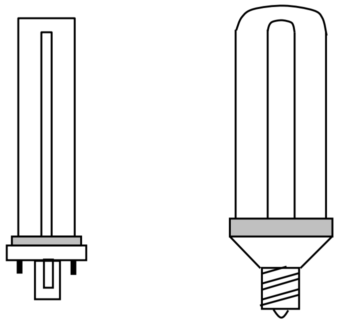
(2) หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดที่อาศัยหลักการทำงานโดยให้อิเล็กตรอนวิ่งไปชนอะตอมของสารปรอท การทำงานคือ ในการจุดติดครั้งแรก จะอาศัยตัวสตาร์ตเตอร์และบัสลาสต์เป็นตัวสร้างความต่างศักย์ที่มีค่าสูงระหว่างขั้วทั้งสองของหลอด เพื่อกระตุ้นให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอิเล็กโตรด วิ่งไปยังอิเล็กโตรดตรงข้าม ไปชนกับอะตอมของสารปรอท กระตุ้นให้ปรอทคายพลังงานออกมาเป็นแสงอัลตร้าไวโอเลต (UV) กระทบกับสารฟอสเฟอร์ที่ผนังหลอด เรืองแสงที่มองเห็นได้ออกมา

หลอดชนิดนี้จึงถือว่าเป็นหลอดปล่อยประจุความดันไอต่ำ สีของหลอดมี 3 แบบคือ เดย์ไลท์ (daylight) คูลไวท์ (cool white) และวอร์มไวท์ (warm white) ชนิดของหลอดชนิดนี้ที่ใช้งานกันทั่วไปคือแบบทรงกระบอก ขนาด 18 และ 36 วัตต์ และทรงกลม (Circular) ขนาด 22, 32 และ 40 วัตต์ และให้ความสว่างต่อพลังงานที่ใช้ (ประสิทธิผล) ประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ ถือว่าสูงพอสมควรและประหยัดค่าไฟฟ้าเมื่อเทียบกับหลอดอินแคนเดสเซนต์ซึ่งมีค่าประมาณ 10-15 ลูเมนต่อวัตต์ และหลอดนี้มีอายุการใช้งานประมาณ 9,000-12,000 ชั่วโมง



รูปที่ 1.48 วงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์

(3) หลอดคอมแพกฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดหนึ่งที่ออกแบบให้มีรูปร่างกระทัดรัดขึ้น เพื่อความสะดวกและสวยงามในการใช้งาน เรียกกันทั่วไปว่าหลอดตะเกียบ ปัจจุบันมีการผลิตหลายรูปทรง ทั้งที่เป็นแท่งเหมือนตะเกียบและที่เป็นเกลียว เป็นหลอดปล่อยประจุความดันไอต่ำ สีของหลอดมี 3 แบบคือ เดย์ไลท์ (daylight) คูลไวท์ (cool white) และวอร์มไวท์ (warm white) เช่นเดียวกันกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบที่ใช้งานกันมากคือหลอดเดี่ยว ตัวอย่างขนาดวัตต์ที่มีใช้งานคือ 5, 7, 9 และ 11 วัตต์และหลอดคู่ มีขนาดวัตต์ 10, 13, 18 และ 26 วัตต์ เป็นหลอดที่พัฒนาขึ้นมาแทนที่หลอดอินแคนเดสเซนต์ โดยที่ขั้วหลอดสามารถใส่ขั้วรับหลอดที่ใช้กับหลอดไส้ได้โดยตรง ขั้วหลอดมักทำเป็นชนิดเกลียว แต่บางผู้ผลิตอาจผลิตขั้วหลอดรูปทรงพิเศษออกไปก็ได้ มีประสิทธิผลสูงกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ คือประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ และ อายุการใช้งานประมาณ 5,000-8,000 ชั่วโมง



รูปที่ 1.49 ตัวอย่างหลอดคอมแพกฟลูออเรสเซนต์

(4) หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ หลอดประเภทนี้มีสีเหลืองจัด จะเห็นการติดตั้งใช้งานกับไฟถนน โดยเฉพาะที่บริเวณ 4 แยก เนื่องจากเป็นหลอดที่มีประสิทธิผลมากที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมด คือ มีประสิทธิผลประมาณ 120-200 ลูเมนต่อวัตต์ แต่ให้ความถูกต้องของสีน้อยที่สุด คือ มีความถูกต้องของสีเป็น 0 % (มีความผิดเพี้ยนสูง) ข้อดีของแสงสีเหลืองเป็นสีที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ดีที่สุด หลอดประเภทนี้จึงเหมาะเป็นไฟถนนและอายุการใช้งานนานประมาณ 16,000 ชั่วโมง หลอดมีขนาดวัตต์ 18, 35, 55, 90, 135 และ 180 วัตต์

(5) หลอดโซเดียมความดันไอสูง หลอดโซเดียมความดันไอสูงมีประสิทธิผลรองจากหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ คือ มีประสิทธิผลประมาณ 70-90 ลูเมนต่อวัตต์แต่ความถูกต้องของสีดีกว่าหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ คือ 20 % เหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความส่องสว่างมาก เช่น ไฟถนน ไฟบริเวณ ซึ่งต้องการความส่องสว่างประมาณ 5-30 ลักซ์ และอายุการใช้งานประมาณ 24,000 ชั่วโมง มีขนาดวัตต์ 50, 70, 100, 150, 250, 400 และ 1,000 วัตต์

(6) หลอดปรอทความดันไอสูง เรียกกันโดยทั่วไปว่าหลอดแสงจันทร์ มีหลายรูปทรง มีทั้งชนิดที่ใช้บัลลาสต์ และไม่ใช้บัลลาสต์ เป็นหลอดที่มีประสิทธิผลสูงพอกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ คือ มีประสิทธิผลประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ แสงที่ออกมามีความถูกต้องของสีประมาณ 60 % ส่วนใหญ่ใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อต้องการวัตต์สูงๆในพื้นที่ที่มีเพดานสูง และอายุการใช้งานประมาณ 8,000-24,000 ชั่วโมง มีขนาดวัตต์ 50, 80, 125, 250, 400, 700 และ 1,000 วัตต์

(7) หลอดเมทัลฮาไลด์ หลอดเมทัลฮาไลด์ก็เหมือนกับหลอดปล่อยประจุอื่น ๆ แต่มีข้อดีตรงที่มีสเปกตรัมแสงทุกสี ทำให้สีทุกชนิดเด่นภายใต้หลอดชนิดนี้ ให้ความถูกต้องของสีสูง ส่วนใหญ่นิยมใช้กับสนามกีฬาที่มีการถ่ายทอดโทรทัศน์ มีอายุการใช้งานประมาณ 6,000-9,000 ชั่วโมง และมีขนาดวัตต์ 100, 125, 250, 300, 400, 700 และ 1,000 วัตต์

(8) หลอดทังสเตนฮาโลเจน เป็นหลอดไส้ชนิดหนึ่ง แต่มีประสิทธิผลสูงกว่าหลอดไส้ทั่วไป และมีอายุการใช้งานยาวนานกว่า ในหลอดแก้วมีการเติมก๊าซไว้ด้วย และมีการฉาบผิวหลอดเพื่อสะท้อนความร้อน เป็นการประหยัดพลังงาน ใช้ในโรงภาพยนตร์ ร้านค้า และภายนอกอาคารทั่วไป อายุการใช้งานประมาณ 4,000 ชั่วโมง

4. ความสว่างที่เหมาะสม ความสว่างมีหน่วยวัดเป็นลักซ์ (lux) เครื่องมือวัดค่าความส่องสว่างคือลักซ์มิเตอร์ การวัดค่าความส่องสว่างจะวัด ณ พื้นที่ที่ต้องการให้ค่าความส่องสว่างได้ตามต้องการ ความสว่างที่เหมาะสมคือความสว่างที่ให้ความรู้สึกสบายและมองเห็นชัดเจน ซึ่งแต่ละบุคคลอาจไม่เท่ากัน จึงได้มีการจัดทำค่ามาตรฐานขึ้น ปัจจุบันมีกฎหมายกำหนดค่าความส่องสว่างไว้คือ กฎกระทรวงแรงงานเรื่อง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง หมวด 2 แสงสว่าง ซึ่งกำหนดให้ความเข้มของแสงสว่างไว้ว่าต้องไม่ต่ำกว่าที่กำหนดในตารางท้ายกฎกระทรวง ตัวอย่างค่าความส่องสว่างของกฎกระทรวงฯ เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง ณ บริเวณพื้นที่ทั่วไปของอาคาร

(ส่วนหนึ่งของตารางแนบท้ายกฎกระทรวง พ.ศ. ๒๕๔๙ ของกระทรวงแรงงาน)

อาคาร/พื้นที่	ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์)
ทางเข้า	
▪ ทางเข้าห้องโถง หรือห้องพักรอ	200
▪ บริเวณโต๊ะประชาสัมพันธ์ หรือโต๊ะติดต่อลูกค้า	400
▪ ประตูทางเข้าใหญ่ของสถานประกอบการ	50
▪ ป้อมยาม	100
▪ จุดขนถ่ายสินค้า	100
พื้นที่สัญจร	
▪ ทางเดินในพื้นที่สัญจรเบาบาง	20
▪ ทางเดินในพื้นที่สัญจรแน่นหนา	50
▪ บันได	50
ห้องฝึกอบรมและห้องบรรยาย	
▪ พื้นที่ทั่วไป	300
อาคารสถานีขนส่ง (ท่าอากาศยาน ท่ารถ และสถานีรถไฟ)	
▪ ห้องจองตั๋วหรือห้องขายตั๋ว	400
ห้องคอมพิวเตอร์	
▪ บริเวณทั่วไป	400

อาคาร/พื้นที่	ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์)
ห้องประชุม	300
งานธุรการ	
■ ห้องถ่ายเอกสาร	300
■ ห้องนิรภัย	100
โรงอาหาร	
■ พื้นที่ทั่วไป	200
■ บริเวณโต๊ะเก็บเงิน	300
โรงซักรีด	
■ บริเวณห้องอบหรือห้องทำให้แห้ง	100
ห้องครัว	
■ พื้นที่ทั่วไป	200
■ บริเวณที่ปรุงอาหารและที่ทำความสะอาด	300
ห้องพักพนักงาน	
■ ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้าและบริเวณตู้เก็บของ	100
■ ห้องพักผ่อน	50
ห้องปฐมพยาบาล	
■ ห้องพักฟื้น	50
■ ห้องตรวจรักษา	400
ห้องสุขา	100
ห้องเก็บของ (ห้องเก็บวัตถุดิบขนาดใหญ่)	
■ เก็บรวบรวมไว้โดยไม่เคลื่อนย้าย	50
■ เก็บรวบรวมไว้เพื่อการเคลื่อนย้าย	100
ห้องเก็บของ (ห้องเก็บวัตถุดิบขนาดปานกลางหรือละเอียดอ่อน)	
■ เก็บรวบรวมไว้โดยไม่เคลื่อนย้าย	100
■ เก็บรวบรวมไว้เพื่อการเคลื่อนย้าย	200

5. แนวทางการอนุรักษ์พลังงานแสงสว่าง

(1) เลือกความสว่างให้เหมาะสม การเลือกความสว่างให้เหมาะสมเป็นก้าวแรกของการประหยัดพลังงาน แสงสว่างที่มากเกินไปอาจเป็นการรบกวนผู้ปฏิบัติงาน ทำให้รู้สึกอึดอัด ไม่สบายตา และสิ้นเปลืองพลังงาน แต่เนื่องจากความรู้สึกพอดีของแต่ละคนอาจไม่เท่ากัน ในทางปฏิบัติจึงเลือกค่าจากตารางมาตรฐานไปใช้งาน การเลือกความสว่างนี้หมายความรวมถึงการเลือกวิธีการส่องสว่างด้วยว่าจะให้ความสว่างแบบทั่วไปหรือแบบเฉพาะจุดที่ต้องการใช้งาน

(2) ปิดสวิตช์เมื่อไม่ใช้งาน ถือเป็นวิธีการประหยัดพลังงานที่ดีที่สุด แต่มีข้อควรระวังคือการปิดเปิดสวิตช์บ่อยครั้งอาจทำให้อายุการใช้งานของหลอดสั้นลง ตัวอย่างหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ควรปิดสวิตช์ไว้สักช่วงเวลาหนึ่ง (ประมาณ 10 ถึง 15 นาที) ก่อนที่จะเปิดครั้งต่อไป หรือหลอดไฟบางชนิดต้องการเวลาที่การให้ความในการจุดไส้หลอดระยะหนึ่ง และเมื่อปิดสวิตช์ แล้วก็ยังต้องรอเวลาให้หลอดเย็นก่อนจึงจะเปิดได้ อาจไม่คล่องตัวในการทำงานบางประเภท จึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานด้วย

วิธีการปิดสวิตช์เมื่อไม่ใช้งานสามารถทำได้หลายวิธีเช่นควบคุมด้วยระบบเซนเซอร์ ควบคุมด้วยการใช้สวิตช์ตั้งเวลา หรือใช้บุคคล ก็ได้

(3) ใช้แสงสว่างจากภายนอก (ธรรมชาติ) ช่วย วิธีนี้สามารถประหยัดพลังงานได้มาก เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีแสงสว่างตลอดปี แต่การใช้แสงสว่างจากภายนอกจำเป็นต้องมีการควบคุมความสว่างหรือความจ้าของแสงด้วย เช่นใช้กระจกกระจายแสง และจำเป็นต้องติดตั้งดวงโคมเผื่อไว้ใช้ในวันที่แสงสว่างจากภายนอกน้อย หรือเวลากลางคืน

(4) บำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ การบำรุงรักษาอาจไม่เกี่ยวข้องกับการสิ้นเปลืองพลังงานโดยตรง แต่แสงสว่างที่ลดลงอาจทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานลดลง หรือบางครั้งที่ความสว่างลดลงมาก บางคนอาจหาดวงโคมมาติดตั้งเพิ่มเติมก็ได้ ซึ่งเป็นการไม่ประหยัดพลังงานนั้นเอง การบำรุงรักษาที่ควรทำเป็นประจำคือการทำความสะอาดดวงโคมและแผ่นสะท้อนแสง หลอดไฟบางชนิดเมื่อใช้ไปนาน ๆ ประสิทธิภาพการส่องสว่างจะลดลง อาจจำเป็นต้องเปลี่ยนหลอดใหม่ วิธีที่ดีในการพิจารณาว่าจะต้องทำความสะอาดหรือยังคือการวัดความสว่างด้วยเครื่องมือวัด และควรทำความสะอาดเมื่อความสว่างลดลงจากเดิมประมาณ 10%

(5) เลือกชนิดดวงโคมให้เหมาะสม ดวงโคมมีอิทธิพลต่อความสว่างบนพื้นที่ทำงานมาก เนื่องจากดวงโคมที่ดีสามารถสะท้อนความสว่างลงพื้นที่ที่ต้องการได้มาก การเลือกซื้อดวงโคมจึงควรพิจารณาประสิทธิภาพในส่วนนี้ด้วย

(6) เลือกชนิดหลอดให้เหมาะสม หลอดไฟฟ้ามีหลายชนิด จึงควรเลือกว่า ในการใช้งานจุดประสงค์หลักนั้นต้องการความสว่างเพียงอย่างเดียว หรือต้องการอย่างอื่นเช่น ความถูกต้องของสี ความรูสึก ประกอบด้วย

1.6 อันตรายจากไฟฟ้า

อันตรายจากไฟฟ้าเกิดได้หลายลักษณะทั้งกับผู้ปฏิบัติงานกับไฟฟ้า ใกล้ไฟฟ้า และผู้ใช้ไฟฟ้า รวมถึงอันตรายต่อทรัพย์สิน การติดตั้งทางไฟฟ้าจะต้องสามารถป้องกันอันตรายได้ แต่เมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง การติดตั้งและอุปกรณ์ไฟฟ้าอาจเสื่อมสภาพ ทำให้ความสามารถในการป้องกันอันตรายลดลง ในที่นี้จะกล่าวถึงสาเหตุของการเกิดอันตรายและแนวทางในการป้องกันที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์กับแนวทางการตรวจสอบและการบำรุงรักษาได้

ลักษณะของอันตรายจากไฟฟ้าที่เกิดกับบุคคลและทรัพย์สิน แบ่งออกได้ดังนี้

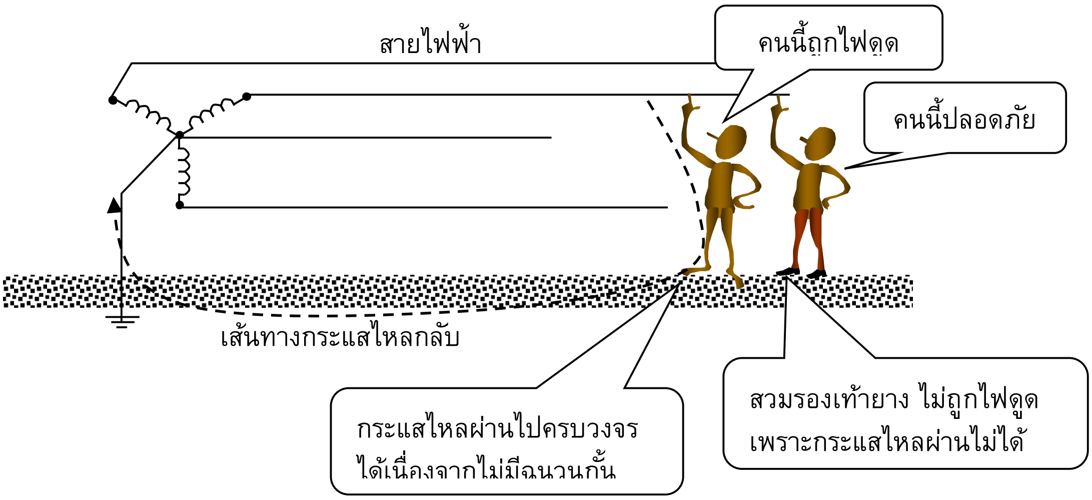
1. ไฟฟ้าดูด (electric shock) ซึ่งเป็นอันตรายต่อบุคคล

2. ประกายไฟจากอาร์ก (arc flash) ปล่อยรังสีความร้อนออกมา พร้อมกับแสงจ้า สามารถทำให้เกิดการไหม้ได้ เป็นอันตรายต่อทั้งบุคคลและทรัพย์สิน

3. การระเบิดจากอาร์ก (arc blast) สร้างความดันสูงเนื่องจากการระเบิด เป็นอันตรายต่อทั้งบุคคลและทรัพย์สิน

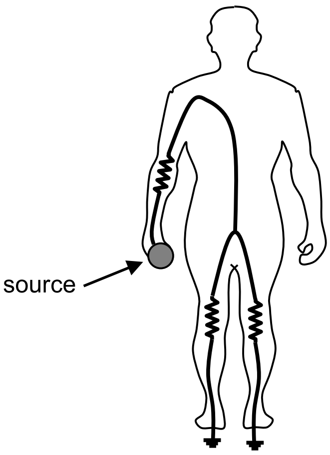
4. การเกิดเพลิงไหม้จากไฟฟ้า เกิดจากการใช้งาน และความผิดปกติของอุปกรณ์ไฟฟ้า สร้างความเสียหายให้บุคคล และทรัพย์สินได้มาก

1.6.1 ไฟฟ้าดูด คือการที่บุคคลมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย และการไหลของกระแสไฟฟ้านั้นจะต้องไหลจนครบวงจร คือสามารถไหลมาจากแหล่งกำเนิด ผ่านร่างกาย และกลับไปยังแหล่งกำเนิดได้ ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าในแต่ละส่วนของร่างกายเปลี่ยนไปตามความต้านทานไฟฟ้าในแต่ละส่วนของร่างกาย



รูปที่ 1.50 วงจรการเกิดไฟฟ้าดูด

จากรูปที่ 1.50 เมื่อบุคคลสัมผัสกับส่วนที่มีไฟฟ้าและไม่มีการป้องกัน จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายไปครบวงจรที่แหล่งกำเนิด บุคคลจะถูกไฟดูด แต่ถ้ามีการป้องกันโดยการสวมรองเท้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าจะไม่สามารถไหลผ่านได้ถือว่าไม่ถูกไฟดูด



รูปที่ 1.51 เส้นทางไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านบุคคล

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

$$I_{(amperes)} = \frac{E_{(volts)}}{R_{(ohms)}}$$

$$I_{(ampere)} = \frac{230_{(volts)}}{1{,}000_{(ohms)}} = 0.23 \quad \text{แอมแปร์}$$

ไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกาย เกิดพลังความร้อนที่ทำให้ร่างกายเสียหายมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะเวลา คำนวณในรูปของพลังงานได้ดังนี้

$$J = I^2 Rt$$

กำหนดให้

J = พลังงานไฟฟ้า เป็น จูล

I = กระแสไฟฟ้า เป็น แอมแปร์

R = ความต้านทานร่างกาย เป็น โอห์ม

t = ระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย เป็น วินาที

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกาย ผู้ที่ถูกไฟดูดจะมีอาการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างเช่น หัวใจเต้นผิดปกติจนถึงหยุดเต้น ระบบประสาทและกล้ามเนื้อทำงานผิดปกติ เช่น เกิดการกระตุก หรือ สะบัดอย่างแรง อาการที่เรียกว่าไฟฟ้าดูดนี้มาจากอาการที่ระบบประสาทไม่

สามารถสั่งงานให้กล้ามเนื้อทำงาน เช่น ไม่สามารถสั่งให้มือปล่อยหรือคลายออกจากการจับต้องส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าหรือ สั่งให้ก้าวเท้าหนีจากพื้นบริเวณที่มีกระแสไฟฟ้ารั่วไหล เป็นต้น อาการเหล่านี้เป็นอาการที่คล้ายกับถูกไฟฟ้าดูดให้อยู่กับที่ ซึ่งเราเรียกว่าไฟฟ้าดูด

ตัวแปรความรุนแรง ไฟฟ้าดูดที่มีผลให้เกิดอาการต่าง ๆ ของร่างกาย และ การบาดเจ็บประกอบด้วย เส้นทางที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย ระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านร่างกายซึ่งขึ้นกับอิมพีแดนซ์ของร่างกายรวมทั้งความถี่ไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าด้วย

เงื่อนไขทางร่างกายและการตอบสนอง เงื่อนไขทางร่างกายเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าโดยปกติแล้วจะทำให้เกิดแผลเล็กน้อยกับบุคคลที่มีร่างกายดี แต่ถ้าผู้ได้รับบาดเจ็บจากไฟฟ้าดูดมีปัญหาด้านสุขภาพเกี่ยวกับหัวใจหรือปอด 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 ถ้ามือไม่กำอยู่อาจดึงหลุดได้ (อาจมีอาการมากขึ้น ถ้ากระแสสูงขึ้น และอาจเป็นอันตรายถึงชีวิต)
30 mA	หยุดหายใจ (เป็นไปได้มากที่จะเป็นอันตรายถึงชีวิต)
75 mA	การหายใจผิดจังหวะ (อาจเป็นอันตรายถึงชีวิต)
250 mA	มีโอกาสถึง 99.5% ที่หัวใจจะสั่นกระตุก
4 A	หัวหยุดเต้นเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน สำหรับการช็อกเพียงช่วงเวลาสั้น ๆ หัวใจอาจกลับมาเต้นใหม่เมื่อกระแสไฟฟ้าหยุดไหล (ปกติไม่เป็นอันตรายถึงชีวิตจากการทำงานผิดปกติของหัวใจ)
เกิน 5 A	เนื้อไหม้ ปกติไม่เป็นอันตรายถึงชีวิต นอกจากว่าอวัยวะจะไหม้

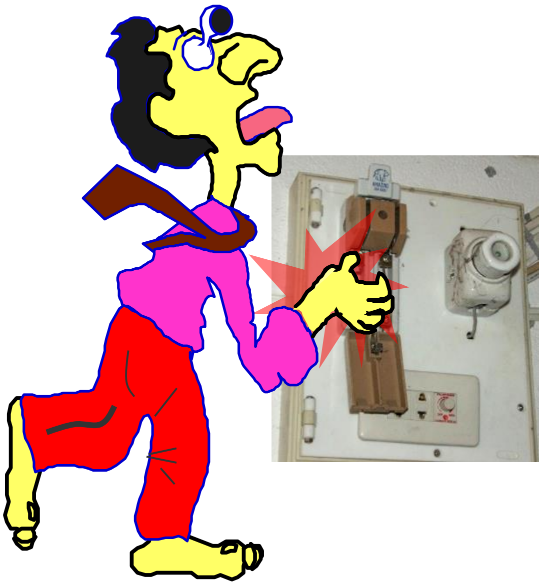
แหล่งที่มา Courtesy of Ralph Lee

ผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อร่างกายมนุษย์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกาย อันเนื่องมาจากสัมผัสกับส่วนที่มีไฟ ความรุนแรงหรืออันตรายจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านร่างกาย ระยะเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกาย และเส้นทางที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย

แนวทางป้องกัน

ไฟฟ้าดูดคือการที่บุคคลมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย การที่บุคคลจะถูกไฟฟ้าดูดได้นั้นเพราะร่างกายสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้า แบ่งลักษณะการสัมผัสได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

(1) การสัมผัสโดยตรง (direct contact) คือการที่ร่างกายมนุษย์มีการสัมผัสกับส่วนที่มีแรงดันไฟฟ้าโดยตรง เช่น มือจับสายไฟฟ้าส่วนที่มีแรงดันไฟฟ้า หรือส่วนของอุปกรณ์ที่เปิดโล่งโดยเท้ายืนบนพื้นดินทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายระหว่างมือกับเท้า เป็นการไหลครบวงจรทางไฟฟ้า



รูปที่ 1.52 ตัวอย่างการสัมผัสโดยตรง

การป้องกันการสัมผัสโดยตรง เป็นการป้องกันเบื้องต้นที่จะต้องมีในการใช้ไฟฟ้า การป้องกันสามารถทำได้หลายวิธี โดยอาจจะเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีก็ได้ ตามความเหมาะสม ดังนี้

- หุ้มฉนวนส่วนที่มีไฟเช่น การหุ้มฉนวนสายไฟฟ้า หรือการหุ้มส่วนที่มีไฟฟ้าด้วยแผ่นยาง การหุ้มฉนวนต้องเหมาะสมกับแรงดันด้วย ดังนั้นในการใช้งานจะต้องพิจารณาความสามารถในการทนแรงดันไฟฟ้าด้วยว่าเหมาะสมกับแรงดันหรือไม่

- ป้องกันโดยมีสิ่งกั้นหรือตู้เช่น ตู้หรือแผงสวิตช์ เครื่องทำน้ำอุ่น และมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น ตู้หรือสิ่งกั้นนั้นต้องสามารถป้องกันการสัมผัสได้สมบูรณ์ ตามที่ต้องการ
- ป้องกันโดยมีสิ่งที่กีดขวางเช่น ลานหม้อแปลง หรือห้องหม้อแปลง รั้วหม้อแปลง สามารถป้องกันบุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องไปสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าได้
- ยกให้อยู่ในระยะที่เอื้อมไม่ถึงเช่น ติดตั้งสายบนเสาไฟฟ้า ความสูงของสายไฟฟ้าต้องเป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐานฯ ด้วย
- ใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (personnel protective equipment) เมื่อต้องทำงานกับไฟฟ้าขณะที่มีไฟ เช่นใช้ ถุงมือยาง รองเท้ายาง แขนเสื้อยาง เป็นต้น
- ใช้เครื่องตัดไฟรั่ว เป็นการป้องกันเสริม เครื่องตัดไฟรั่วจะปลดวงจรเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย แต่เครื่องตัดไฟรั่วอาจชำรุดและไม่ทำงานปลดวงจรได้เมื่อถูกไฟดูด ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันด้วยวิธีอื่นตามที่กล่าวข้างต้นก่อน และใช้เครื่องตัดไฟรั่วเพื่อให้การป้องกันทำได้สมบูรณ์ขึ้น

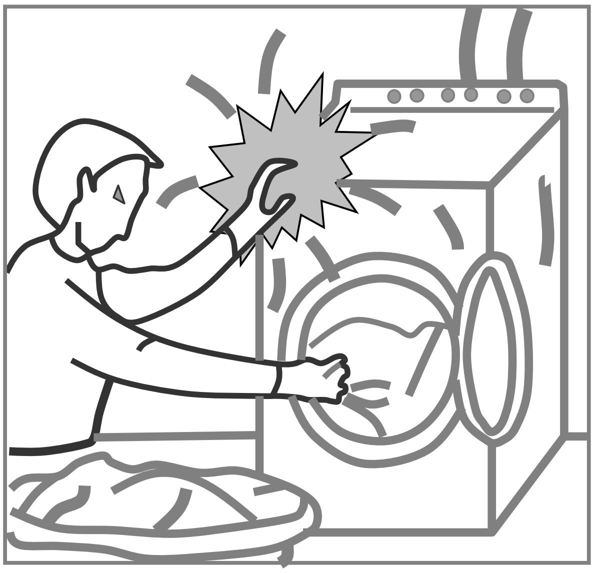
รูปที่ 1.53 ตัวอย่างอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล

มาตรฐานระดับการป้องกันสิ่งห้อหุ้มบริภัณฑ์ ให้เป็นไปตามตารางที่ 1.7 โดยแสดงด้วยสัญลักษณ์ IP ตามด้วยตัวเลข 1 หรือ 2 ตัว ตามประเภทการป้องกัน หากการป้องกันประเภทใดไม่ได้กำหนด อาจแสดงด้วย “-” หรือ “x” หรือเว้นช่องว่างไว้ เช่น IPx3

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

รหัส	ตัวแรก ความสามารถในการป้องกันวัตถุ (ของแข็ง) เล็ดลอดเข้าภายใน	ตัวที่สอง ความสามารถในการป้องกันของเหลวเข้าไปทำความเสียหาย
0	ไม่มีการป้องกัน	ไม่มีการป้องกัน
1	สามารถป้องกันของแข็งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 มม. ที่มากระทบไม่ให้ผ่านลอดเข้าไปข้างในได้	สามารถป้องกันน้ำที่ตกลงมาในแนวดิ่งได้
2	สามารถป้องกันของแข็งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 12 มม. ที่มากระทบไม่ให้ผ่านลอดเข้าไปข้างในได้	สามารถป้องกันน้ำที่ตกลงมาในแนวดิ่ง และในแนวที่ทำมุม 15° กับแนวดิ่งได้
3	สามารถป้องกันของแข็งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2.5 มม. ที่มากระทบไม่ให้ผ่านลอดเข้าไปข้างในได้	สามารถป้องกันน้ำฝนที่ตกลงมาในแนวทำมุม 60° กับแนวดิ่งได้
4	สามารถป้องกันของแข็งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1 มม. ที่มากระทบไม่ให้ผ่านลอดเข้าไปข้างในได้	สามารถป้องกันหยดน้ำหรือน้ำที่มากระทบจากทุกทิศทางได้
5	สามารถป้องกันฝุ่นได้	สามารถป้องกันน้ำที่ถูกฉีดมาตกกระทบ ในทุกทิศทางได้
6	สามารถป้องกันฝุ่นได้อย่างสมบูรณ์	สามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดจากคลื่นของน้ำทะเล หรือสามารถป้องกันน้ำท่วมได้ชั่วคราว
7		สามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดจากน้ำท่วมได้
8		สามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดจากน้ำท่วมอย่างถาวรได้

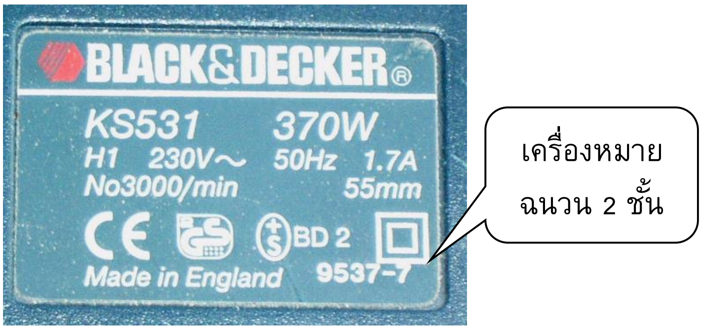
(2) การสัมผัสโดยอ้อม (indirect contact) คือการสัมผัสส่วนซึ่งปกติไม่มีไฟฟ้า เป็นการสัมผัสจากการใช้งานตามปกติ เช่น โครงโลหะของหม้อหุงข้าวไฟฟ้า และโครงโลหะของสว่านไฟฟ้า เป็นต้น แต่เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นอาจมีกระแสไฟฟ้าได้ เนื่องจากการชำรุดภายใน ทำให้มีไฟฟ้ารั่วออกมายังส่วนที่สัมผัส เมื่อมีการสัมผัสจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายลงดิน ครบวงจรทางไฟฟ้า การสัมผัสลักษณะนี้มีอันตรายสูงเนื่องจากบุคคลเคยชินกับการสัมผัสและใช้งาน จึงขาดความระมัดระวัง



รูปที่ 1.54 ตัวอย่างการสัมผัสโดยอ้อมเนื่องจากไฟรั่วที่เครื่องซักผ้า

หลักการป้องกันอันตรายจากการสัมผัสโดยอ้อม

- มีการต่อลงดินเปลือกหุ้มที่เป็นตัวนำและมีเครื่องปลดวงจรอัตโนมัติ การต่อลงดินเป็นวิธีพื้นฐานในการป้องกัน แต่การต่อลงดินต้องทำให้ถูกต้องด้วยจึงจะสามารถป้องกันได้อย่างมีประสิทธิผล
- ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดฉนวน 2 ชั้น หรือประเภท II เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนี้เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ออกแบบให้มีฉนวนถึงสองชั้น หรือฉนวนมีความหนาเป็นสองเท่าของฉนวนปกติ จึงมีความสามารถและความคงทนต่อการป้องกัน เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทนี้สังเกตว่าส่วนประกอบภายนอกจะเป็นฉนวนไฟฟ้าและที่ฉลากจะมีเครื่องหมายสี่เหลี่ยมจัตุรัส 2 รูปซ้อน อยู่ด้วย
- ใช้ในสถานที่ไม่เป็นสื่อตัวนำ ไฟฟ้าดูดได้นั้น ไฟฟ้าจะต้องไหลครบวงจรคือผ่านร่างกายกลับไปยังแหล่งกำเนิดได้ โดยปกติการไหลกลับแหล่งกำเนิดจะผ่านทางดิน ดังนั้นถ้าสถานที่ไม่เป็นสื่อตัวนำ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวคนไม่ได้ บุคคลจะพ้นจากไฟดูด
- ใช้ระบบไฟฟ้าไม่ต่อลงดิน ระบบไฟฟ้าไม่ต่อลงดินสามารถป้องกันอันตรายจากกระแสไหลผ่านร่างกายกลับทางดินได้ แต่ระบบนี้มีข้อจำกัดในการใช้งาน ผู้ที่จะใช้งานต้องมีความรู้ ความเข้าใจถึงข้อดี ข้อเสีย อย่างชัดเจน ปกติจะใช้กับบางสถานที่เท่านั้นเช่นระบบไฟฟ้าสำหรับห้องผ่าตัดในโรงพยาบาล เป็นต้น



รูปที่ 1.55 ตัวอย่างเครื่องหมายฉนวน 2 ชั้น

- ใช้เครื่องตัดไฟรั่วเป็นการป้องกันเสริม ไม่ใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลักด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับเรื่องการป้องกันการสัมผัสโดยตรง
- ใช้เครื่องใช้ที่มีแรงดันต่ำที่ไม่เกิน 50 V. (safety extra-low voltage หรือ SELV) โดยผ่านหม้อแปลง Safety Isolating Transformer จากสมการที่กล่าวข้างต้น แรงดันไฟฟ้าต่ำจะเป็นผลให้เมื่อสัมผัสจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายน้อยและไม่เป็นอันตราย

การที่จะเลือกว่าจะใช้วิธีการป้องกันวิธีใดจึงจะเหมาะสมนั้น ผู้ที่จะเลือกต้องมีความรู้ด้วย ซึ่งจะต้องทราบข้อดี และข้อจำกัดในการป้องกันแต่ละวิธี

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

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 และการป้องกันกระแสเกินที่เหมาะสม

2. โลหะหลอมละลาย อาร์กจากไฟฟ้าแรงสูงสามารถทำให้ ชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นทองแดง และ อะลูมิเนียมหลอมละลายได้ หยดโลหะหลอมเหลวดังกล่าวอาจถูกแรงระเบิดจากคลื่นความดันผลักให้กระเด็นไปเป็นระยะทางไกล ๆ ได้ ถึงแม้ว่าหยดโลหะเหล่านี้จะแข็งตัวอย่างรวดเร็ว แต่ก็ยังมีความร้อนเหลืออยู่มากพอที่จะทำให้เกิดการไหม้อย่างรุนแรงได้ หรือ ทำให้เสื้อผ้าปกติทั่วไปลุกติดไฟได้ แม้ว่าจะอยู่ห่างจากจุดเกิดเหตุมากกว่า 3 เมตร แล้วก็ตาม ดังนั้นจะต้องดูแลไม่ให้มีวัตถุที่ติดไฟได้อยู่ใกล้ รวมทั้งมีวิธีการป้องกันที่เหมาะสมด้วย

การป้องกันอันตรายเนื่องจากอาร์ก แนวทางการป้องกันอันตราย แบ่งออก เป็นการใช้อุปกรณ์ และมาตรการในทางปฏิบัติ สำหรับการทำงานกับไฟฟ้า

การป้องกันอันตรายจากการใช้งาน จะต้องออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินที่เหมาะสม รวมทั้งตรวจสอบและบำรุงรักษาเพื่อป้องกันการเกิดลัดวงจรด้วย

1.6.3 การระเบิดจากอาร์ก การเกิดระเบิดจากไฟฟ้ามีสาเหตุหลักมาจากการเกิดอาร์กในพื้นที่จำกัด เนื่องจากการเกิดลัดวงจร เมื่ออากาศได้รับความร้อนจากอาร์กก็จะขยายตัวอย่างรวดเร็ว การเกิดระเบิดจากอาร์กมีอุณหภูมิสูงมาก และแรงจากการระเบิดนี้สูงมากเช่นกัน จนเป็นอันตรายต่อบุคคลได้ เนื่องจากความดันที่เกิดจากการอาร์กมีพลังงานสูง แต่ก็อาจจะโชคดีที่ความดันนี้ อาจพัดพาร่างของผู้ประสบอันตรายหลุดลอยออกไปจากแหล่งความร้อน อาจพ้นจากอันตรายจากไฟฟ้าได้ แต่ผู้เคราะห์ร้ายอาจเสียชีวิตได้จากสาเหตุอื่น เช่น กระแทกกับของแข็ง หรือตกจากที่สูง แรงผลักที่อาจรุนแรงมาก (ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการลัดวงจร) ทำให้ตู้หรือแผงสวิตช์ลอยกระเด็นไปได้ไกล

รูปที่ 1.56 ตัวอย่างความเสียหายจากการระเบิดจากอาร์ก

ความดันสูง ความดันสูงเนื่องจากการระเบิดจากการอาร์ก อาจมาปะทะร่างกายจนเป็นอันตราย นอกจากนี้การระเบิด อาจทำให้สูญเสียการได้ยินและสูญเสียความทรงจำได้ เนื่องจากการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง บางกรณีคลื่นความดันสามารถผลักผู้เคราะห์ร้ายให้กระเด็นออกไปไกลจาก

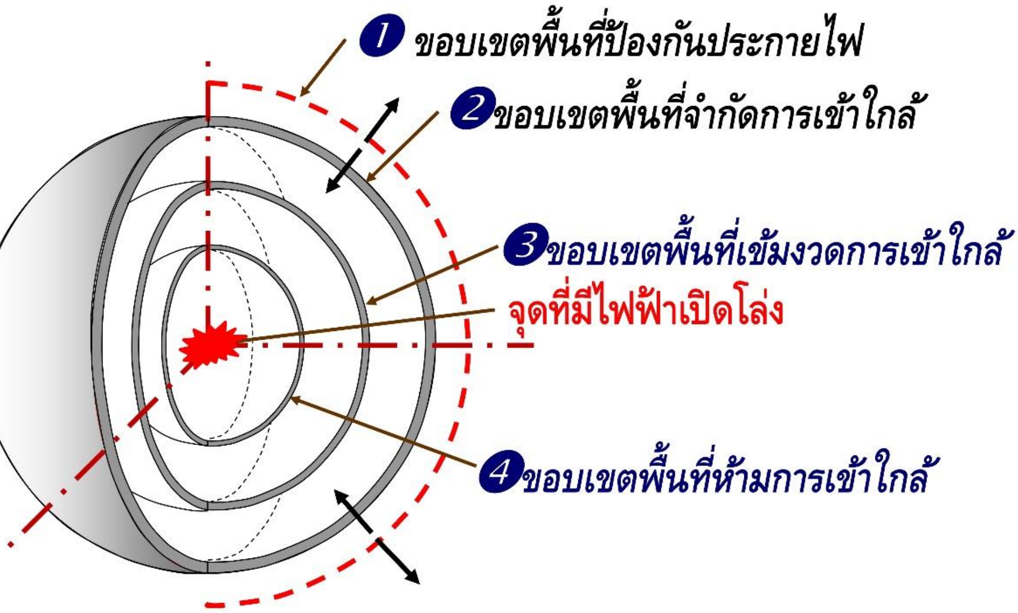
จุดเกิดเหตุระเบิดได้ เป็นผลให้การสัมผัสกับพลังงานความร้อนลดลง แต่อาจเกิดการบาดเจ็บทางกายภาพอย่างรุนแรงแทน คลื่นความดัน ที่สามารถผลักให้วัตถุขนาดใหญ่กระเด็นออกไปเป็นระยะทางไกล ๆ ได้ ในบางกรณี คลื่นความดันอาจมีแรงมากพอที่จะถอนหัวโบลต์โลหะ ให้หลุดกระเด็นไปชนผนังได้

แนวทางการป้องกันอันตรายจากการระเบิดจากอาร์ก แนวทางการป้องกันอันตราย คือการป้องกันการเกิดลัดวงจรเช่นเดียวกับการป้องกันอันตรายจากอาร์ก

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 1.57



รูปที่ 1.57 ขอบเขตพื้นที่ต่างๆตามมาตรฐาน NFPA 70E

โดยขอบเขตพื้นที่ 1 ถึง 4 ในรูปที่ 1.57 มีความหมายดังนี้

1. ขอบเขตพื้นที่ป้องกันประกายไฟ (Flash Protection Boundary) หมายถึง เมื่อมีอันตรายเนื่องจากประกายไฟจากการอาร์ก ระยะห้ามการเข้าใกล้คิดจากแหล่งกำเนิดถึงบุคคลที่อาจได้รับอันตรายเป็นแผลไหม้ขั้นที่ 2 ถ้าเกิดประกายไฟจากการอาร์ก

2. ขอบเขตพื้นที่จำกัดการเข้าใกล้ (Limited Approach Boundary) หมายถึง ระยะที่จำกัดไว้คิดจากส่วนของวงจรไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าเปิดโล่งที่มีไฟซึ่งมีอันตรายจากไฟฟ้าดูด

3. ขอบเขตพื้นที่เข้มงวดการเข้าใกล้ (Restricted Approach Boundary) หมายถึง ระยะที่จำกัดการเข้าใกล้จากส่วนของวงจรไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าเปิดโล่งที่มีไฟ ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงที่จะถูกไฟดูดเนื่องจากการอาร์กร่วมกับการเคลื่อนไหวโดยไม่ตั้งใจ สำหรับบุคคลที่ทำงานใกล้กับส่วนของวงจรไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าที่มีไฟ

4. ขอบเขตพื้นที่ห้ามการเข้าใกล้ (Prohibited Approach Boundary) หมายถึง ระยะที่จำกัดไว้คิดจากส่วนของวงจรไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าเปิดโล่งที่มีไฟซึ่งการทำงานอาจเกิดการสัมผัสกับส่วนของวงจรไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าได้

ขอบเขตพื้นที่ป้องกันประกายไฟจากการอาร์ก

(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 หรือการควบรวมกันใด ๆ ที่ไม่เกิน 100 kA cycles (1,667 แอมแปร์ วินาที) กรณีที่ clearing times และกระแสลัดวงจรแบบติดแน่นมีค่าเกิน 100 kA cycles จะต้องทำการคำนวณขอบเขตพื้นที่ป้องกันประกายไฟเนื่องจากการอาร์ก

(2) ระดับแรงดันสูงกว่า 600 โวลต์ ที่ระดับแรงดันสูงกว่า 600 โวลต์ ขอบเขตพื้นที่ป้องกันประกายไฟเนื่องจากการอาร์ก คือระยะซึ่งพลังงานอุบัติการณ์มีค่าเท่ากับ 5 จูลต่อตารางเซนติเมตร (1.2 แคลอรีต่อตารางเซนติเมตร) กรณีที่เวลาการตัดกระแสลัดวงจร (fault-clearing time) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 วินาที ขอบเขตพื้นที่ป้องกันประกายไฟเนื่องจากการอาร์ก คือ คือระยะซึ่งพลังงานอุบัติการณ์มี่ค่าเท่ากับ 6.24 จูลต่อตารางเซนติเมตร (1.5 แคลอรีต่อตารางเซนติเมตร)

ผู้ที่จะผ่านเข้าขอบเขตจำกัดการเข้าใกล้นี้ ต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

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

ตารางที่ 1.8 ขอบเขตพื้นที่การเข้าใกล้ส่วนของวงจรไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าที่มีไฟ เพื่อป้องกันไฟฟ้าดูด (มิติทั้งหมดคือระยะจากส่วนของวงจรไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าที่มีไฟถึงตัวผู้ปฏิบัติงาน)

ขอบเขตพื้นที่จากรูปที่ 1.57	❷		❸	❹
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
แรงดันไฟฟ้าระบุ (ระหว่างสายเส้นไฟ)[2]	ขอบเขตพื้นที่<u>จำกัด</u>การเข้าใกล้[1]		ขอบเขตพื้นที่<u>เข้มงวด</u>การเข้าใกล้[1] รวมทั้งการเคลื่อนไหวเข้าใกล้โดยไม่ตั้งใจ	ขอบเขตพื้นที่<u>ห้าม</u>การเข้าใกล้[1]
	ตัวนำไฟฟ้าเปิดโล่งที่เคลื่อนที่ได้[3]	ตัวนำไฟฟ้าเปิดโล่งยึดติดกับที่		
น้อยกว่า 50	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด
50 ถึง 300	3.05 เมตร	1.07 เมตร	หลีกเลี่ยงการสัมผัส	หลีกเลี่ยงการสัมผัส
301 ถึง 750	3.05 เมตร	1.07 เมตร	304.8 มม.	25.4 มม.
751 ถึง 15 kV	3.05 เมตร	1.53 เมตร	660.4 มม.	177.8 มม
15.1 kV ถึง 36 kV	3.05 เมตร	1.83 เมตร	787.4 มม	254 มม
36.1 kV ถึง 46 kV	3.05 เมตร	2.44 เมตร	838.2 มม	431.8 มม
46.1 kV ถึง 72.5 kV	3.05 เมตร	2.44 เมตร	1.0 เมตร	660 มม
72.6 kV ถึง 121 kV	3.25 เมตร	2.44 เมตร	1.02 เมตร	838 มม
138 kV ถึง 145 kV	3.36 เมตร	3.05 เมตร	1.15 เมตร	1.02 เมตร
161 kV ถึง 169 kV	3.56 เมตร	3.56 เมตร	1.29 เมตร	1.14 เมตร
230 kV ถึง 242 kV	3.97 เมตร	3.97 เมตร	1.71 เมตร	1.57 เมตร
345 kV ถึง 362 kV	4.68 เมตร	4.68 เมตร	2.77 เมตร	2.79 เมตร
500 kV ถึง 550 kV	5.8 เมตร	5.8 เมตร	3.61 เมตร	3.54 เมตร
765 kV ถึง 800 kV	7.24 เมตร	7.24 เมตร	4.84 เมตร	4.7 เมตร

หมายเหตุ อ้างอิงจากมาตรฐานความปลอดภัยทางไฟฟ้าในสถานที่ทำงาน พ.ศ.2557 ของ วสท. สำหรับขอบเขตบริเวณพื้นที่ป้องกันประกายไฟจากการอาร์ก ดูข้อ 130.3.1

[1] *ดูคำจำกัดความในตอนที่ 100 และ ข้อความใน 130.2.4(2) ในมาตรฐานความปลอดภัยทางไฟฟ้าในสถานที่ทำงาน พ.ศ.2557*

[2] *สำหรับระบบ single-phase เลือกช่วงที่เทียบเท่ากับ maximum phase-to-ground voltage ของระบบคูณด้วย 1.732*

[3] *สภาพซึ่งระยะห่างระหว่างตัวนำกับบุคคลมิได้อยู่ภายในการควบคุมของบุคคล โดยทั่วไปจะประยุกต์เทอมนี้กับตัวนำสายอากาศที่มีเสาไฟฟ้ารองรับ*

1.7.2 อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล

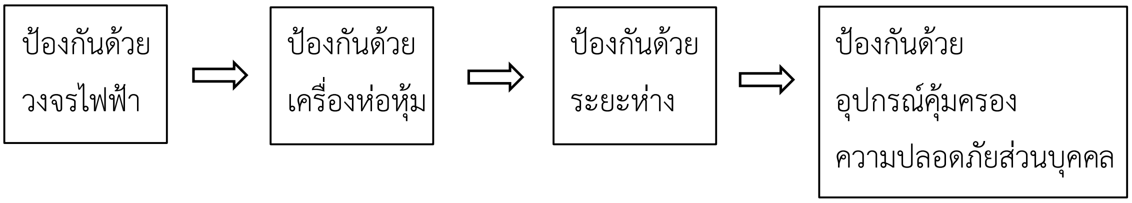
อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล หรือ PPE (Personal Protective Equipment) หมายถึง สิ่งหนึ่งสิ่งใดที่นำมาสวมใส่ลงบนอวัยวะส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกาย หรือหลายส่วนรวมกัน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อป้องกันของร่างกายส่วนที่สวมใส่ ไม่ให้ได้รับอันตราย หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันอันตรายที่เกิดจากสภาพแวดล้อมในการทำงาน

แนวคิดเกี่ยวกับการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล ควรเป็นมาตรการสุดท้ายที่จะพิจารณาถึง ดังนั้นหัวหน้างานและผู้ใช้ จะต้องเข้าใจว่าอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลนั้นสามารถลดหรือบรรเทาอันตรายลงให้อยู่ในระดับต่ำที่ไม่เป็นอันตรายได้เท่านั้น ไม่ใช่อุปกรณ์ที่จะป้องกันอันตรายได้โดยเด็ดขาด ซึ่งผู้ใช้จะต้องศึกษาทำความเข้าใจและทราบถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ทุกชนิดตลอดจนวิธีใช้อุปกรณ์ที่ถูกต้อง

การเลือกใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล มีหลักการดังนี้

1. ต้องเลือกใช้ชนิดที่สามารถป้องกันอันตรายได้เฉพาะเป็นอย่างๆ
2. ต้องสวมใส่สบาย มีน้ำหนักเบาเป็นพิเศษ เพื่อให้ทำงานได้คล่องตัว
3. ต้องมีประสิทธิภาพในการป้องกันอันตรายสูง
4. มีราคาเหมาะสม หาซื้อได้ง่าย
5. วิธีการใช้เครื่องป้องกันจะต้องไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากเกินไป เพราะคนที่ใช้ส่วนใหญ่จะไม่มีความรู้ ทำให้ใช้ได้ไม่ถูกต้อง
6. ควรจะมีสีเด่นสะดุดตาและต้องเป็นสีที่ดู แล้วสะอาดตาน่าใช้
7. ทนทานต่อการใช้งาน เมื่อชำรุดเสียหายก็ซ่อมแซมได้ง่ายและหาอุปกรณ์ประกอบได้ง่าย
8. เก็บรักษาง่าย ไม่ต้องมีวิธีพิเศษมากมาย

ทั้งนี้ ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความตระหนักในอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในทุกส่วนของระบบไฟฟ้า ตั้งแต่แหล่งจ่ายไฟฟ้า การเดินสายและการติดตั้งระบบ มาจนถึงอุปกรณ์ที่ใช้งาน ดังนั้น หากมีการติดตั้งระบบที่ดี เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันได้อย่างเหมาะสม และมีการจัดการการเข้าใกล้ส่วนที่มีไฟฟ้าแล้ว การเลือกใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล จะช่วยลดการเกิดอุบัติภัยในสถานประกอบการได้มากยิ่งขึ้น

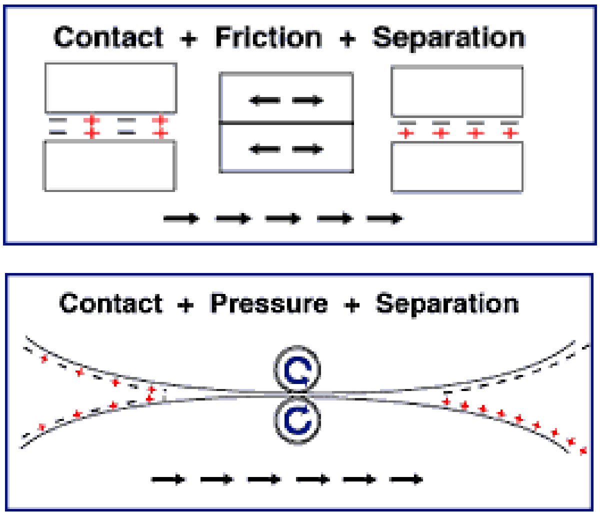


รูปที่ 1.58 ขั้นตอนการเลือกใช้วิธีป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า

1.8 ไฟฟ้าสถิต

1.8.1 การเกิดไฟฟ้าสถิต

ไฟฟ้าสถิตเกิดได้หลายแบบเช่น การสัมผัสแล้วแยกจากกันหรือการถูกันระหว่างวัสดุสองชนิด ทำให้เกิดการถ่ายเทประจุจากที่วัสดุทั้งสองที่เป็นกลางทางไฟฟ้า ทำให้วัตถุชิ้นหนึ่งมีประจุบวกเพิ่มขึ้น และอีกชนิดหนึ่งมีประลบเพิ่มขึ้น



รูปที่ 1.59 การเกิดไฟฟ้าสถิต

การที่วัสดุใดจะมีประจุชนิดใดมากกว่าภายหลังจากการเสียดสีกันนั้น ขึ้นกับชนิดของวัสดุทั้งสอง เมื่อวัตถุสองชนิดเสียดสีกันวัตถุใดจะมีประจุบวก หรือประจุลบ เป็นไปตามลำดับ ดังนี้

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

ตัวอย่างถ้านำผ้าฝ้ายมาเสียดสีกับยาง ผลที่ได้คือผ้าฝ้ายจะมีประจุเป็นบวก และยางจะมีประจุเป็นลบ เป็นต้น

ปริมาณหรือความรุนแรงของประจุที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเสียดสีนี้อาจสูงมาก ขึ้นอยู่กับสิ่งต่างๆดังต่อไปนี้

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

1. การเกิดไฟฟ้าสถิตกับตัวนำไฟฟ้า (conductive) วัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะมีความนำไฟฟ้าจำเพาะ 10^5 mho/cm. หรือมากกว่า คุณสมบัติที่สำคัญทางด้านไฟฟ้าสถิตของตัวนำไฟฟ้า เช่นโลหะ คือประจุสามารถเดินทางได้เร็วบนพื้นผิวของมัน ทำให้ประจุบวกและประจุลบรวมตัวกันได้ง่ายและรวดเร็ว ซึ่งคุณสมบัตินี้จะทำให้ประจุบนตัวนำที่ไม่ได้ถูกต่อลงดินมีเพียงชนิดเดียว คือบวกหรือลบเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง เพราะส่วนน้อยที่เหลืออยู่จะถูกรวมหายไป กระจายอยู่ตลอดผิวของโลหะนั้น เมื่อไม่มีสนามไฟฟ้าอื่นใดภายนอกมาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะทำให้วัตถุตัวนำมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากันตลอดทั้งชิ้นส่วน และเมื่อเราต่อโลหะลงดินจะทำให้ประจุทั้งหมดสามารถไหลถ่ายเทลงดินได้ และทำให้แผ่นโลหะทั้งแผ่นนั้นเป็นกลาง

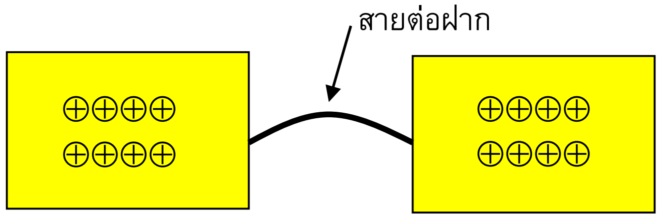
2. การเกิดไฟฟ้าสถิตกับฉนวน (insulator) ตรงกันข้ามกับตัวนำไฟฟ้า ประจุจะเดินทางได้ยากบนวัสดุที่เป็นฉนวน ทำให้การรวมตัวระหว่างกันเกิดได้ยากและ/หรือเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ผลที่เกิดขึ้นจากคุณสมบัตินี้คือ บางตำแหน่งของแท่งวัตถุที่เป็นฉนวนอาจจะเป็นบวกในขณะที่บางตำแหน่งของฉนวนจะมีประจุลบ นอกจากนี้แล้ว เรายังไม่สามารถถ่ายประจุจากวัตถุประเภทฉนวนลงดินได้ด้วยวิธีการต่อสายดิน เนื่องจากประจุไฟฟ้าเดินทางได้ยากบนฉนวนนั่นเอง ทั้งนี้เมื่อต่อสายดินเข้ากับแท่งฉนวนที่ไม่เป็นกลาง ฉนวนนั้นก็ยังคงแสดงอำนาจประจุไฟฟ้าเหมือนเดิมอยู่

มีวัสดุบางประเภทที่ถึงแม้ว่าเสียดสีกันก็จะเกิดการถ่ายเทประจุน้อยมาก เราเรียกวัสดุเหล่านี้ว่า Low Charging Material หรือ Antistatic วัสดุเหล่านี้อาจเป็นได้ทั้งตัวนำ และฉนวน

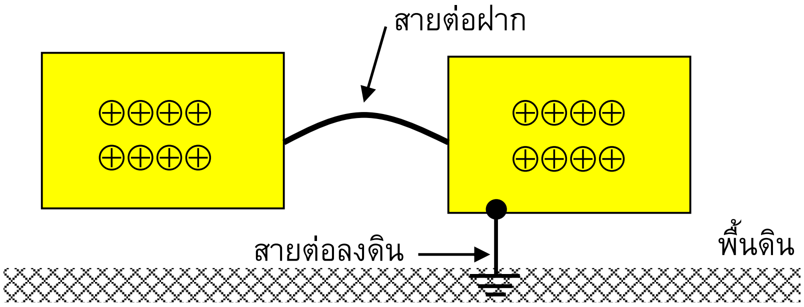
1.8.2 เพลิงไหม้จากไฟฟ้าสถิต ปกติประจุไฟฟ้าจะเกาะติดอยู่กับวัตถุ จึงเรียกว่าไฟฟ้าสถิต แต่ไฟฟ้าสถิตที่มีประจุต่างกันจะพยายามคายประจุเข้าหากัน จึงอาจเกิดสปาร์ก หรือประกายไฟ ถ้ามีวัตถุติดไฟได้อยู่ใกล้ก็อาจเกิดเพลิงไหม้ได้ การคายประจุจะเกิดเมื่อประจุมีปริมาณประจุมากพอที่จะกระโดดข้ามอากาศได้ การเกิดฟ้าผ่าก็เป็นปรากฏการหนึ่งของการคายประจุ

1.8.3 แนวทางการป้องกัน เนื่องจากการคายประจุของไฟฟ้าสถิตทำให้เกิดประกายไฟ ถ้าในบริเวณนั้นมีวัตถุที่ติดไฟได้ง่าย หรือเป็นบริเวณที่มีสารไวไฟอยู่ก็จะเกิดเพลิงไหม้ได้ การป้องกันการเกิดเพลิงไหม้จากไฟฟ้าสถิตคือ การป้องกันไม่ให้เกิดประกายไฟ หรือลดการเกิดประกายไฟ ทำได้ด้วยการต่อฝาก หรือการต่อลงดิน

1. การต่อฝาก (bonding) คือการต่อด้วยตัวนำไฟฟ้าระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น การคายประจุจากวัตถุชิ้นหนึ่งไปยังอีกชิ้นหนึ่ง เป็นการคายประจุผ่านตัวนำไฟฟ้า จึงไม่มีการกระโดดข้ามที่เรียกว่าสปาร์ก จึงไม่มีประกายไฟที่เป็นสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้



รูปที่ 1.60 การต่อฝาก



รูปที่ 1.61 การต่อลงดินเพื่อลดการเกิดประกายไฟ

รูปที่ 1.62 ตัวอย่างการต่อลงดินถังน้ำมันเพื่อการคายประจุ

บทที่ 2
มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า

การเริ่มต้นที่ดีประสบความสำเร็จไปแล้วครึ่งหนึ่ง ในงานติดตั้งทางไฟฟ้าก็เช่นกัน ระบบที่ดีต้องเริ่มต้นด้วยการออกแบบที่ดี เลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม มีการติดตั้งที่ดี และรักษาระบบด้วยการบำรุงรักษาที่ดี ระบบไฟฟ้าก็จะสามารถใช้งานได้ดี มีความเชื่อถือได้สูง และที่สำคัญคือมีความปลอดภัยเพียงพอ

ในบทนี้จะกล่าวถึงส่วนหนึ่งของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ ซึ่งใช้เป็นข้อกำหนดสำหรับการออกแบบ การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า รวมถึงการติดตั้งทางไฟฟ้า การเรียนรู้มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า จะทำให้ทราบถึงข้อกำหนดการติดตั้งที่สำคัญ เพื่อให้สามารถตรวจสอบและแก้ไขได้ อันจะเป็นการเพิ่มความปลอดภัยแก่สถานประกอบการ และผู้ใช้ไฟฟ้าได้มาก มาตรฐานการเดินสายไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ข้อกำหนดทั่วไป และข้อกำหนดสำหรับแต่ละวิธีการเดินสาย ซึ่งในการใช้งานจะต้องใช้ทั้งสองส่วนพร้อมกัน

2.1 ข้อกำหนดทั่วไปในการติดตั้งทางไฟฟ้า

2.1.1 การเดินสายไฟฟ้าสำหรับระบบที่มีแรงดันต่างกัน สายไฟฟ้าแรงต่ำ (แรงดันไม่เกิน 1,000 โวลต์) ทั้งระบบกระแสสลับและกระแสตรง สามารถติดตั้งรวมกันในท่อร้อยสาย รางเดินสาย หรือ เครื่องห่อหุ้มเดียวกันได้ แต่มีเงื่อนไขที่สำคัญคือฉนวนของสายทั้งหมดที่ติดตั้งต้องเหมาะสมกับระบบแรงดันสูงสุดที่ใช้เช่น ในรางเดินสายที่มีวงจรไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย แรงดัน230/400 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 เช่นโครงสร้างคอนกรีตก็ควรทำการเจาะรูเตรียมไว้ตั้งแต่ทำการก่อสร้าง การเดินสายผ่านโครงสร้างที่มีการเจาะรูหรือทำเป็นร่องให้สายไฟฟ้าผ่าน จะต้องป้องกันการบาดสายด้วยบุชชิ่งยาง หรือโดยการแต่งรูหรือช่องให้เรียบร้อย ไม่มีส่วนแหลมคมที่จะบาดสายไฟฟ้าได้

2.1.3 การเดินสายใต้ดิน สามารถทำได้ทั้งร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง การติดตั้งต้องเลือกชนิดของสายให้เหมาะสมด้วย การเดินสายจะต้องระวังเรื่องความเสียหายภายหลังการติดตั้งด้วย เช่น จากการกลบสายด้วยวัตถุแหลมคม หรือจากการกดทับ บริเวณที่รถยนต์วิ่งผ่านจะต้องฝังลึกตามมาตรฐาน เพื่อป้องกันน้ำหนักรถกดทับทำให้สายไฟฟ้าหรือท่อร้อยสายชำรุดได้ และมีข้อกำหนดเพิ่มเติมอีก ดังนี้

1. การเดินสายใต้ดินจะต้องมีความลึกไม่ต่ำกว่าที่กำหนดในตารางที่ 2.1 แต่ถ้าเป็นบริเวณที่มีรถยนต์วิ่งผ่าน ความลึกต้องไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร ทุกกรณี

2. สายเคเบิลใต้ดินติดตั้งใต้อาคาร ต้องติดตั้งอยู่ในท่อร้อยสายและท่อร้อยสายต้องยาวเลยผนังด้านนอกของอาคารออกไป

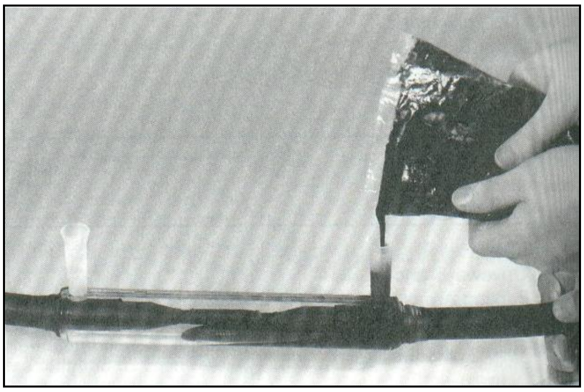
3. สายเคเบิลที่ฝังดินโดยตรง ส่วนที่โผล่ขึ้นจากดินต้องมีการป้องกันด้วยเครื่องห่อหุ้ม หรือท่อร้อยสายสูงจากระดับพื้นดินไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร

4. การต่อสายใต้ดิน ต้องใช้อุปกรณ์การต่อสายที่ออกแบบไว้สำหรับการต่อสายใต้ดินโดยเฉพาะ การเดินสายในช่องเดินสายต้องต่อสายในกล่องต่อสายเท่านั้น (man hole หรือ hand hole)

ตารางที่ 2.1 ความลึกในการติดตั้งใต้ดิน สำหรับระบบแรงต่ำ

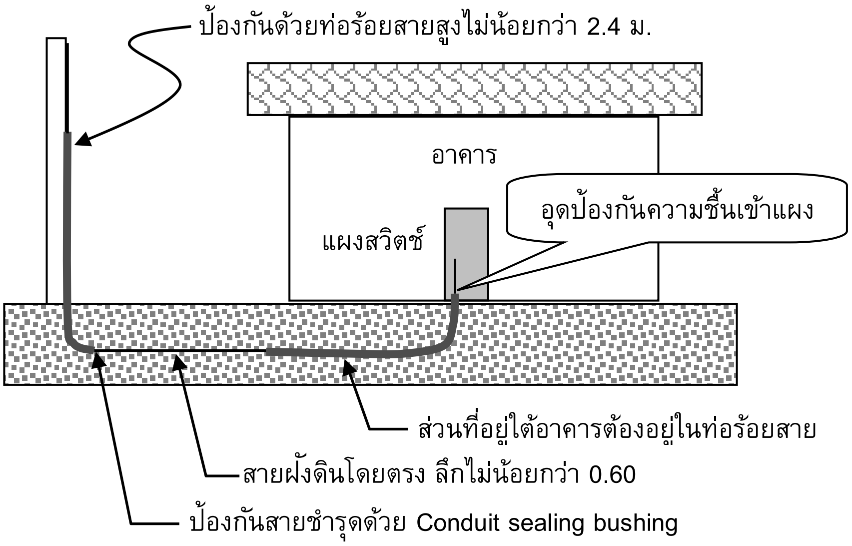
วิธีที่	วิธีการเดินสาย	ความลึกต่ำสุด (เมตร)
1	เคเบิลฝังดินโดยตรง	0.60
2	เคเบิลฝังดินโดยตรงและมีแผ่นคอนกรีต หนาไม่น้อยกว่า 50 มม.วางอยู่เหนือสาย	0.45
3	ท่อโลหะหนาและหนาปานกลาง	0.15
4	ท่ออโลหะซึ่งได้รับการรับรองให้ฝังดินโดยตรงได้โดยไม่ต้องมีคอนกรีตหุ้ม (เช่น HDPE และ PVC)	0.45
5	ท่อร้อยสายอื่น ๆ ซึ่งได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าฯ	0.45

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



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการต่อสายใต้ดินแรงต่ำ

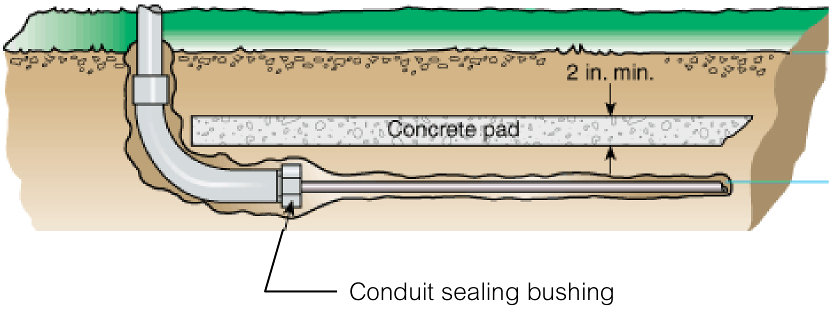
5. ท่อร้อยสายฝังดินที่เดินไปเข้าบริภัณฑ์ไฟฟ้าเช่นแผงสวิตช์ อาจมีความชื้นเข้าไปตามท่อก่อให้เกิดความเสียหายต่อบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้ การป้องกันความชื้นทำได้ด้วยการอุดปลายท่อด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้ง 2 ด้านตามความเหมาะสม ปกติความชื้นสามารถเข้าในท่อร้อยสายไฟฟ้าได้โดยปนอยู่ในอากาศ ความชื้นนี้อาจเข้าไปในแผงสวิตช์ และเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเกาะตามส่วนต่าง ๆ ของแผงสวิตช์ เป็นสาเหตุของการกัดกร่อน และฉนวนไฟฟ้า จะมีฝุ่นละอองมาเกาะทำให้เสื่อมสภาพการเป็นฉนวน เป็นผลให้แผงสวิตช์เสียหายได้



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการเดินสายใต้ดิน

รูปที่ 2.3 การใช้หัวงูเห่าเพื่อป้องกันน้ำเข้าท่อ

ในการซีลท่อสามารถทำได้หลายวิธีเช่นโดยการใช้ Sealing bushing ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป หรือโดยการใช้ Sealing compound ที่นำมาผสมเอง หรือโดยการใช้โฟมชนิดที่สามารถมาทำได้เองที่ Site งานก็ได้

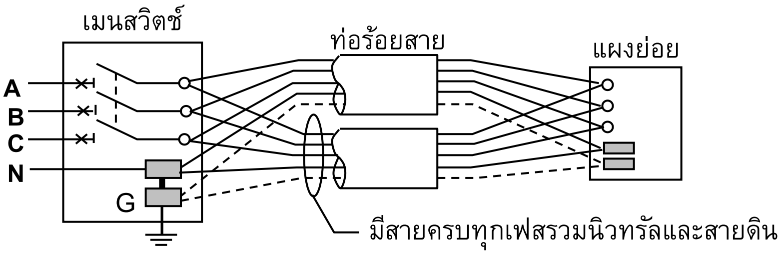


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการป้องกันสายชำรุด

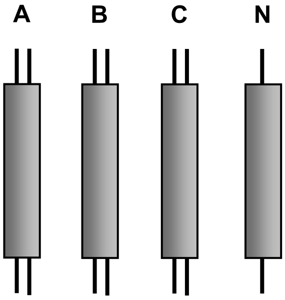
2.1.4 การติดตั้งวัสดุและการจับยึด อุปกรณ์การเดินสายโลหะ เกราะหุ้มสายเคเบิล และเปลือกนอกของสายเคเบิลทั้งที่เป็นโลหะและอโลหะต้องต่อกันอย่างต่อเนื่องทางกลระหว่าง ตู้ กล่อง เครื่องประกอบการเดินท่อ เครื่องห่อหุ้มอย่างอื่น หรือจุดต่อไฟฟ้า ถ้าเป็นโลหะจะต้องมีความต่อเนื่องทางฟ้าด้วย

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

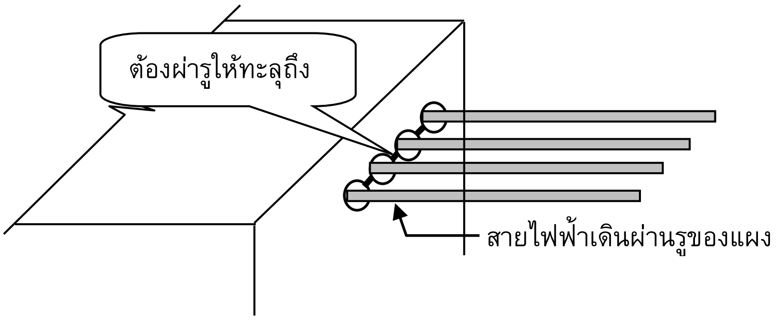
2.1.5 การป้องกันไม่ให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในเครื่องห่อหุ้มหรือช่องเดินสายโลหะ การเดินสายในช่องเดินสายไฟฟ้าที่เป็นโลหะ หรือเดินสายผ่านส่วนที่เป็นโลหะที่เป็นสารแม่เหล็ก ต้องมีการป้องกันไม่ให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำที่เครื่องห่อหุ้ม โดยการเดินสายไฟฟ้าทุกเส้นรวมทั้งสายนิวทรัลและสายดินของวงจรเดียวกันไว้ในเครื่องห่อหุ้มหรือช่องเดินสายเดียวกัน กระแสเหนี่ยวนำที่เกิดนี้จะทำให้เครื่องห่อหุ้มโลหะที่เป็นสารแม่เหล็กร้อนจนทำให้ฉนวนของสายไฟฟ้าชำรุดได้ กรณีที่มีการเดินสายจำนวนหลายเส้นในแต่ละเฟสและจำเป็นต้องเดินสายแยกเป็นหลายช่องเดินสาย ในแต่ละช่องเดินสายต้องมีสายครบทุกเฟสรวมทั้งสายนิวทรัลและสายดินตามที่กล่าวข้างต้น การเดินสายผ่านแผ่นโลหะที่เป็นสารแม่เหล็กเช่นการเดินสายเข้าตู้สวิตช์ไฟฟ้า ถ้าไม่สามารถเจาะรูให้สายทุกเส้นผ่านเข้าไปได้ จะสามารถแก้ไขได้โดยการผ่ารูทั้งหมดที่ร้อยสายวงจรเดียวกันให้ทะลุถึงกัน



รูปที่ 2.5 ในท่อเดียวกันต้องมีสายครบทุกเฟสรวมสายนิวทรัลและสายดิน



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการเดินสายที่ไม่ถูกต้อง (ร้อยสายเฟสละท่อ)



รูปที่ 2.7 การป้องกันกระแสเหนี่ยวนำเมื่อเดินสายผ่านรูของแผ่นโลหะ

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการร้อยสายที่ไม่ถูกต้อง (ไม่รวมในรูเดียวกัน)

หมายเหตุ *ช่องเดินสายโลหะหมายถึงอุปกรณ์การเดินสายที่ล้อมรอบและป้องกันสายจากการกระทบกระแทกเช่น ท่อร้อยสาย และรางเดินสาย (รางเคเบิลไม่ถือเป็นช่องเดินสาย)*

2.1.6 จำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายไฟฟ้า เมื่อต้องเดินสายร้อยในท่อร้อยสายไฟฟ้า จะต้องมีที่ว่างเหลือไว้เพื่อการระบายความร้อนและลากสายไฟได้สะดวก จำนวนสายไฟฟ้าที่ร้อยในท่อร้อยสายเดียวกันมีผลต่อขนาดกระแสของสายไฟฟ้าด้วย จำนวนสายไฟฟ้าที่มีกระแสไหลหลายเส้นจะทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นระบายออกภายนอกได้ยาก ถ้าความร้อนระบายออกไม่ทัน สายไฟฟ้าก็จะร้อนขึ้นเรื่อย ๆ จนฉนวนชำรุด

จำนวนสายไฟฟ้าที่ร้อยในท่อคิดจากพื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟฟ้าทุกเส้น (รวมทั้งฉนวนและเปลือก) เทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสาย ต้องไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 2.2 ขนาดของสายไฟฟ้าสามารถหาได้จากแคตตาล็อกของผู้ผลิต

ตารางที่ 2.2 พื้นที่หน้าตัดสูงสุดรวมของสายไฟทุกเส้น
คิดเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ

จำนวนสายในท่อร้อยสาย	**1**	**2**	**3**	**4**	**มากกว่า 4**
สายไฟทุกชนิด **ยกเว้น** สายชนิดมีปลอกตะกั่วหุ้ม	53	31	40	40	40

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.

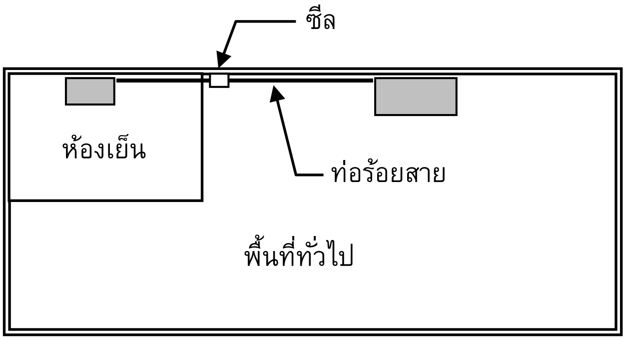
รวมพื้นที่หน้าตัดของสาย	$= (3 \times 73.9) + 35.3$	$= 257$	ตร.มม.
พื้นที่หน้าตัดท่อ (40%)	$= 257/0.4$	$= 642.5$	ตร.มม.
หรือเป็นท่อขนาด	$= \sqrt{\dfrac{642.5 \times 4}{\pi}}$	$= 28.6$	มม.

ใช้ท่อขนาด 32 มม. (1 1/4 นิ้ว)

2.1.7 การป้องกันไฟลุกลาม การเดินสายผ่านผนัง ฉากกั้น พื้น เพดาน หรือช่อง shaft ต้องมีการป้องกันไฟลุกลามผ่าน การป้องกันทำได้โดยการอุดด้วยวัสดุทนไฟ

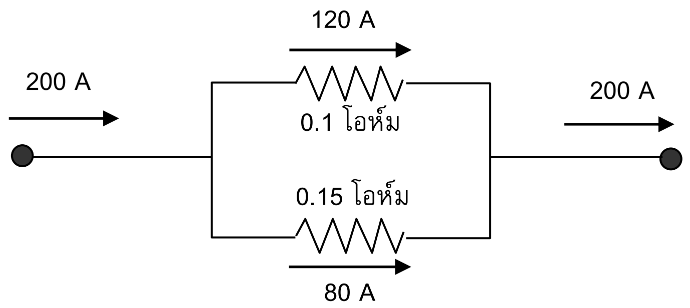
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการอุดพื้นเพื่อป้องกันไฟลุกลาม

2.1.8 การป้องกันการถ่ายเทอากาศที่อุณหภูมิต่างกัน เมื่อเดินช่องร้อยสายผ่านที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมาก เช่นเดินท่อร้อยสายเข้า-ออกห้องเย็น ต้องมีการป้องกันการไหลเวียนของอากาศภายในท่อจากส่วนที่มีอุณหภูมิสูงไปส่วนที่มีอุณหภูมิเย็นกว่า เพื่อไม่ให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำภายในท่อ ตัวอย่างการป้องกันการไหลเวียนของอากาศ คือการใช้ข้อต่อท่อซีล เมื่อเดินสายร้อยท่อ หรือโดยการฉีดโฟม ก็ได้



รูปที่ 2.10 การติดตั้งซีลเพื่อป้องกันการไหลเวียนของอากาศ

2.1.9 การเดินสายควบ การเดินสายควบคือการใช้สายไฟฟ้ามากกว่าเฟสละ 1 เส้น การเดินสายควบมีจุดประสงค์หลักเพื่อเพิ่มขนาดกระแสของสายไฟฟ้า มีข้อกำหนดว่าสายไฟฟ้าที่เดินควบจะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 50 ตร.มม. สายที่เดินควบต้องเป็นสายชนิดเดียวกัน ขนาดเท่ากัน มีความยาวเท่ากัน และใช้วิธีต่อสายเหมือนกัน ทั้งนี้เพื่อให้สายไฟฟ้าที่เดินควบกันมีอิมพีแดนซ์เท่ากัน กระแสไฟฟ้าจะได้ไหลเท่ากัน รูปที่ 2.11 เป็นตัวอย่างที่สายมีความต้านทานไม่เท่ากันและเป็นผลให้กระแสไหลไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.11 การเดินสายควบและการแบ่งไหลกระแส

การเดินสายควบที่แยกเป็นคนละท่อ ในแต่ละท่อจะต้องมีสายครบทุกเฟสรวมทั้งสายนิวทรัลและสายดิน กรณีวางบนรางเคเบิลจะต้องวางเป็นกลุ่มให้แต่ละกลุ่มมีสายครบทุกเฟสเช่นเดียวกัน เพื่อลดปัญหาจากค่าอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน

2.2 มาตรฐานสายไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า

2.2.1 มาตรฐานสายไฟฟ้าแรงต่ำ สายไฟฟ้าแรงต่ำที่เป็นสายทองแดง แบ่งชนิดของฉนวนเป็นฉนวนพีวีซี (PVC) และเอ็กซ์แอลพีอี (XLPE) สาย PVC มีทั้งชนิดอุณหภูมิใช้งาน 70^{O}C และ 90^{O}C แต่ที่ใช้งานในระบบการเดินสายทั่วไปจะเป็นชนิดอุณหภูมิ 70^{O}C สำหรับสาย XLPE มีอุณหภูมิใช้งาน 90^{O}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^{O}C และ 90^{O}C สายไฟฟ้ามีหลายชนิดด้วยกัน เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน การเรียกชนิดของสายจะเรียกเป็นรหัสชนิดเช่น รหัสชนิด VAF

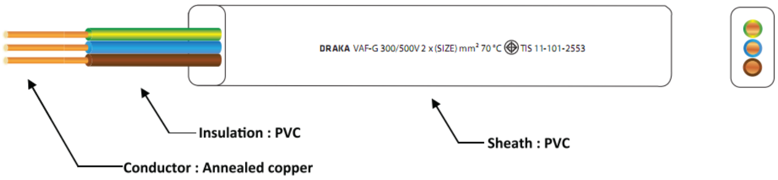
สาย XLPE เป็นสายไฟฟ้าที่ผลิตตามมาตรฐาน IEC 60502 อุณหภูมิใช้งาน 90^{O}C แรงดันใช้งานไม่เกิน 0.6/1 kV. เนื่องจากอุณหภูมิใช้งานสูงในการใช้งานจึงต้องระวังเรื่องอุณหภูมิของสายด้วยเพราะอาจมีผลกระทบกับอุปกรณ์ที่สายต่ออยู่ การเลือกใช้งานจึงต้องทำโดยผู้ที่มีความรู้ที่ทราบถึงผลเสียและมีวิธีการป้องกันที่เหมาะสม ฉนวน XLPE มีความแข็งทนต่อการขูดขีดได้ดีแต่ก็เป็นผลให้ปอกสายยาก

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

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

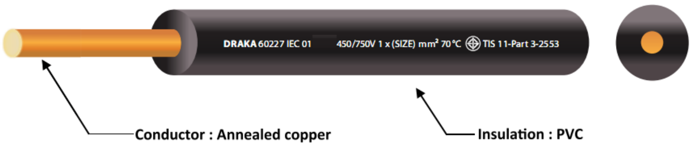
- เดินเกาะผนัง
- เดินในรางเดินสาย
- ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง



รูปที่ 2.12 สายรหัสชนิด VAF

2. สายรหัสชนิด IEC 01 เป็นสายกลมหุ้มฉนวนพีวีซี ชนิดแกนเดียว ใช้แทนสาย THW เดิม แรงดันใช้งาน 450/750 โวลต์ มีขนาดตั้งแต่ 1.5 ถึง 400 ตร.มม. มีข้อกำหนดการใช้งานดังนี้

- เดินลอยโดยต้องยึดด้วยวัสดุฉนวน
- เดินในช่องเดินสายแต่ต้องป้องกันน้ำเข้า (เช่น ร้อยท่อ หรือเดินสาย)
- ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง



รูปที่ 2.13 สายรหัสชนิด IEC 01

3. สายรหัสชนิด IEC 10 เป็นสายกลมหุ้มฉนวนพีวีซีชนิดหลายแกน มีเปลือก แรงดันใช้งาน 300/500 โวลต์ มีขนาดตั้งแต่ 2.5 ถึง 35 ตร.มม. มีข้อกำหนดการใช้งาน ดังนี้

- เดินในช่องเดินสายแต่ต้องป้องกันน้ำเข้า (เช่น ร้อยท่อ หรือเดินสาย)
- วางบนรางเคเบิล
- ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

รูปที่ 2.14 สายรหัสชนิด IEC 10

4. สายรหัสชนิด NYY เป็นสายกลมหุ้มฉนวนพีวีซี มีทั้งชนิดแกนเดียว หลายแกน และหลายแกนมีสายดิน มีเปลือก แรงดันใช้งาน 450/750 โวลต์ มีขนาดและข้อกำหนดการใช้งาน ดังนี้

ขนาด

- สายแกนเดียว มีขนาดตั้งแต่ 1.0 ถึง 500 ตร.มม.
- สายหลายแกน มีขนาดตั้งแต่ 50 ถึง 300 ตร.มม.
- สายหลายแกนมีสายดิน มีขนาดตั้งแต่ 25 ถึง 300 ตร.มม.

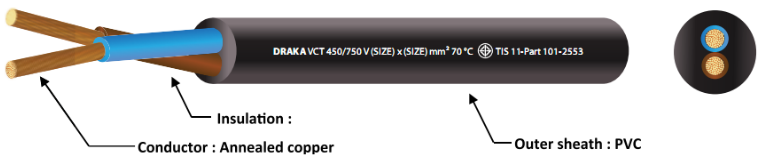
ข้อกำหนดการใช้งาน

- เดินร้อยท่อ ในรางเดินสาย
- วางบนรางเคเบิล
- เดินร้อยท่อฝังดิน
- ฝังดินโดยตรง

รูปที่ 2.15 สายรหัสชนิด NYY

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

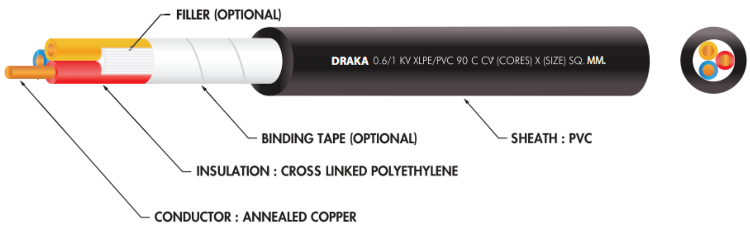
- เดินร้อยท่อ ในรางเดินสาย
- วางบนรางเคเบิล
- เดินร้อยท่อฝังดิน
- ฝังดินโดยตรง



รูปที่ 2.16 สายรหัสชนิด VCT

5. สาย CV เป็นสายกลมหุ้มฉนวนคลอสลิงกด์พอลิเอทิลีน (XLPE) ชนิดแกนเดียว หลายแกน และหลายแกนมีสายดิน มีเปลือก แรงดันใช้งาน 0.6/1 kV. สายชนิดนี้ไม่ได้ผลิตตามมาตรฐาน มอก. แต่อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60502 มีข้อกำหนดการใช้งานเหมือนสายNYY ดังนี้

- เดินร้อยท่อ ในรางเดินสาย
- วางบนรางเคเบิล
- เดินร้อยท่อฝังดิน
- ฝังดินโดยตรง



รูปที่ 2.17 สาย CV

2.2.3 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ขนาดกระแสคือความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าของสายไฟฟ้าโดยที่อุณหภูมิของสายไฟฟ้าไม่เกินพิกัด ขนาดกระแสของสายเปลี่ยนแปลงตามชนิด ขนาด และรูปแบบการติดตั้งสายไฟฟ้า (รูปแบบการติดตั้งเป็นไปตามตารางที่ 2.4) เมื่อทราบชนิดของสายไฟฟ้าและรูปแบบการติดตั้งจะสามารถเลือกตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้าได้จากตารางที่ 2.3

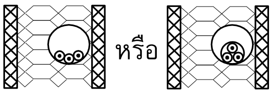
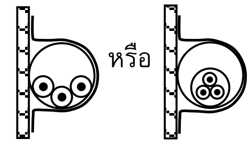
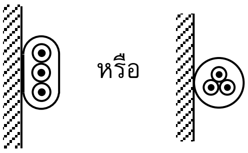
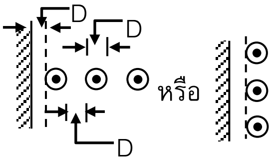
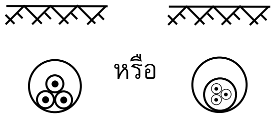
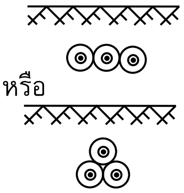
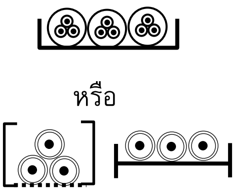
ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าไม่ได้กำหนดตามค่าแรงดันตก ดังนั้นในการใช้งานถึงแม้สายไฟฟ้าจะมีขนาดโตพอที่จะนำกระแสได้โดยปลอดภัยแล้วก็ตาม แต่จะต้องพิจารณาค่าแรงดันตกประกอบด้วย

ตารางที่ 2.3 การเลือกใช้ตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

ตารางขนาดกระแสตามชนิดของสายไฟฟ้า		**รูปแบบการติดตั้ง** (อ้างอิงตารางที่ 2.4)
สาย PVC	**สาย XLPE**	
ตารางที่ 2.5	ตารางที่ 2.8	กลุ่มที่ 1 & 2 (สายเดินร้อยท่อ)
ตารางที่ 2.6	ตารางที่ 2.6	กลุ่มที่ 4 (สายเดินเกาะผนัง)
ตารางที่ 2.7	-	กลุ่มที่ 4 (สายเดินลอยในอากาศ)
ตารางที่ 2.9	ตารางที่ 2.10	กลุ่มที่ 7 (สายวางบนรางเคเบิล)

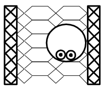
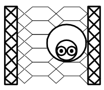
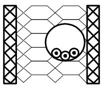
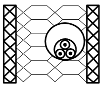
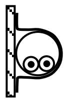
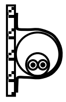
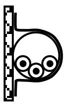
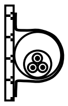
หมายเหตุ *ตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้าในหนังสือนี้คัดมาเฉพาะที่มีการใช้งานมากเท่านั้น ตารางนอกเหนือจากนี้สามารถดูได้จากหนังสือมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556*

ตารางที่ 2.4 รูปแบบการติดตั้ง

รูปแบบการติดตั้ง		คำอธิบายวิธีการเดินสาย
กลุ่มที่ 1		สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรืออโลหะ ภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อน หรือผนังกันไฟ
กลุ่มที่ 2		สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรืออโลหะเดินเกาะผนังหรือเพดาน หรือฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกัน
กลุ่มที่ 3		สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอก เดินเกาะผนัง หรือเพดาน ที่ไม่มีสิ่งปิดหุ้มที่คล้ายกัน
กลุ่มที่ 4		สายเคเบิลแกนเดียวหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอกวางเรียงกันแบบมีระยะห่าง เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ
กลุ่มที่ 5		สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรืออโลหะฝังดิน
กลุ่มที่ 6		สายแกนเดียว หรือหลายแกน หุ้มฉนวน มีเปลือกนอก ฝังดินโดยตรง
กลุ่มที่ 7		สายเคเบิลแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก วางบนรางเคเบิล (cable tray) แบบด้านล่างทึบ รางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือรางเคเบิลแบบบันได

หมายเหตุ *การเดินสายกลุ่มที่ 1 หมายถึงท่อร้อยสายจะหุ้มด้วยฉนวนความร้อนเช่น การเดินสายร้อยท่อวางบนฝ้าเพดานและปิดทับด้วยฉนวนความร้อนอีกชั้นหนึ่ง ความร้อนจะระบายได้ยากขนาดกระแสจึงลดลง ในการเดินสายทั่วไปที่วางบนฝ้าเพดานที่ไม่มีฉนวนความร้อนวางทับบนท่อ หรือการเดินท่อเกาะผนังหรือแม้จะฝังในปูนก็ตามจะจัดเป็นกลุ่มที่ 2 ดังนั้นการเดินสายร้อยท่อโดยส่วนใหญ่จึงจัดเป็นกลุ่มที่ 2*

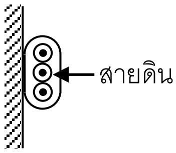
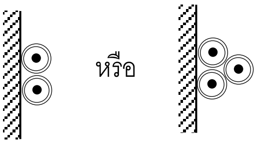
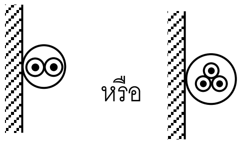
ตารางที่ 2.5 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน PVC มี/ไม่มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 70^{o}C อุณหภูมิโดยรอบ 40^{o}C เดินร้อยท่อในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	**สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน เดินร้อยท่อภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อนหรือผนังกันไฟ (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 และสายควันน้อย 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 2.12*

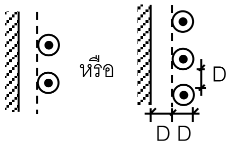
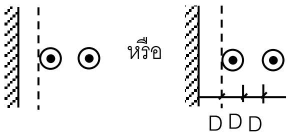
2. ถ้าอุณหภูมิที่ติดตั้งต่างจาก 40^{o}C ให้ปรับค่าด้วยค่าจากตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.6 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 70^{o}C หรือ 90^{o}C อุณหภูมิโดยรอบ 40^{o}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					
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	-	-

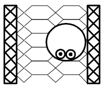
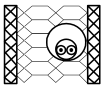
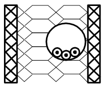
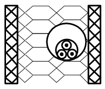
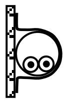
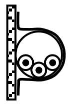
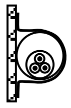
หมายเหตุ *ถ้าอุณหภูมิที่ติดตั้งต่างจาก 40^{o}C ให้ปรับค่าด้วยค่าจากตารางที่ 2.11*

ตารางที่ 2.7 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 450/750 V. อุณหภูมิตัวนำ 70^{O}C อุณหภูมิโดยรอบ 40^{O}C เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	สายเคเบิลแกนเดียวหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก วางเรียงกัน แบบมีระยะห่างถึงผนังและระหว่างเคเบิลไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ (กลุ่มที่ 4)	
รูปแบบการติดตั้ง		
รหัสชนิดเคเบิล	60227 IEC 01, 60227 IEC 10, NYY	
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)	
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^{O}C ให้ปรับค่าด้วยค่าจากตารางที่ 2.11*

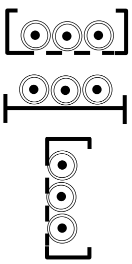
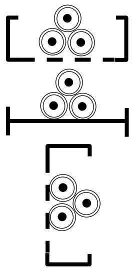
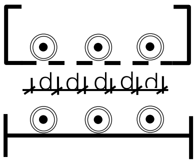
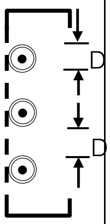
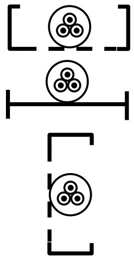
ตารางที่ 2.8 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินร้อยในท่อในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน เดินร้อยท่อภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อน หรือผนังกันไฟ (กลุ่มที่ 1)				สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน เดินร้อยท่อเกาะผนังหรือเพดาน หรือฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกัน (กลุ่มที่ 2)			
จำนวนตัวนำกระแส	**2**		**3**		**2**		**3**	
	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูแบบการติดตั้ง								
รหัสชนิดเคเบิล	IEC 60502-1 รวมถึงสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ ที่มีฉนวน XLPE เช่น สายทนไฟ สายไร้ฮาโลเจน และสายควันน้อย 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 2.11

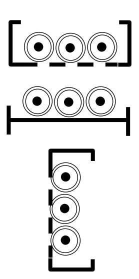
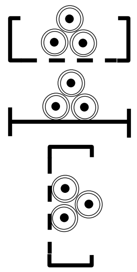
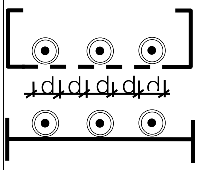
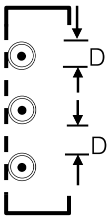
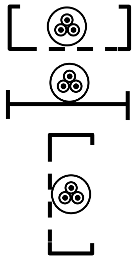
ตารางที่ 2.9 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 70^{O}C อุณหภูมิโดยรอบ 40^{O}C วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศไม่มีฝาปิด หรือรางเคเบิลแบบบันได

ลักษณะการติดตั้ง	**สายเคเบิลแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก วางบนรางเคเบิล (กลุ่มที่ 7)**				
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว				หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง					
รหัสชนิดเคเบิล	60227 IEC 10, NYY และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ ที่มีฉนวนพีวีซี เช่น สายทนไฟ สายไร้ฮาโลเจน และสายควันน้อย 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^{O}C ให้ปรับค่าด้วยค่าจากตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.10 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV. อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ <u>ไม่มีฝาปิด</u> หรือรางเคเบิลแบบบันได

ลักษณะการติดตั้ง	**สายเคเบิลแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก วางบนรางเคเบิล (กลุ่มที่ 7)**				
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว				หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง					
รหัสชนิดเคเบิล	IEC 60502-1 รวมถึงสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ ที่มีฉนวน XLPE เช่น สายทนไฟ สายไร้ฮาโลเจน และ สายควันน้อย 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 ให้ปรับค่าขนาดกระแสด้วยค่าจากตารางที่ 2.13 สำหรับสายแกนเดียว และตารางที่ 2.14 สำหรับสายหลายแกน*

2. ถ้าอุณหภูมิที่ติดตั้งต่างจาก 40°C ให้ปรับค่าด้วยค่าจากตารางที่ 2.11

การปรับค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

กรณีที่การติดตั้งไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดในแต่ละตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ค่าที่อ่านได้จากตารางจะต้องปรับค่าใหม่ การปรับค่ามี 2 กรณีคือ ปรับค่าเนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบ และเนื่องจากจำนวนกลุมวงจร ดังนี้

1. การปรับค่ากระแสเนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบเปลี่ยนไป กรณีอุณหภูมิโดยรอบบริเวณที่เดินสายไฟฟ้าต่างไปจากค่าที่กำหนดบนหัวตารางคือ 40^{O}C ต้องปรับค่าขนาดกระแสที่อ่านได้จากตารางใหม่ด้วยการคูณด้วยค่าตามตารางที่ 2.11 ตามชนิดฉนวนของสายไฟฟ้า

ตารางที่ 2.11 ตัวคูณค่าอุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40^{O}C
ใช้กับค่าขนาดกระแสของเคเบิล เมื่อเดินในอากาศ

อุณหภูมิโดยรอบ (^{O}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

2. การปรับค่ากระแสเนื่องจากจำนวนวงจรของสายไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าที่อ่านได้จากตารางเป็นค่าสำหรับ 1 วงจร (วงจร 1 เฟส หรือ 3 เฟส) กรณีที่จำนวนวงจร (หรือกลุ่มวงจร) เพิ่มขึ้นขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจะลดลง จึงจำเป็นต้องปรับค่าขนาดกระแสที่อ่านได้จากตารางใหม่ด้วยค่าที่กำหนดไว้ในหมายเหตุต่อท้ายตารางขนาดกระแส

การนับวงจร (หรือกลุ่มวงจร) จะถือว่าสายไฟฟ้าของวงจรเดียวกันทุกเส้นรวมเป็น 1 วงจร เช่นวงจร 1 เฟสที่ประกอบด้วยสายเส้นไฟและสายศูนย์ (รวมทั้งสายดิน ถ้ามี) นับเป็น 1 วงจร และ 1 วงจรของวงจร 3 เฟสจะประกอบด้วยสายเส้นไฟ 3 เส้นและสายนิวทรัล (รวมทั้งสายดิน ถ้ามี) กรณีเป็นเคเบิลชนิดหลายแกนจำนวนเส้นคือจำนวนวงจร

2.1 การปรับค่าขนาดกระแสเมื่อเดินสายร้อยท่อ ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าที่อ่านได้จากตารางเป็นค่าสำหรับ 1 วงจร (วงจร 1 เฟส หรือ 3 เฟส) ถ้าจำนวนวงจรของสายไฟฟ้าในท่อเดียวกันมากกว่า 1 วงจร ต้องปรับค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากค่าที่อ่านได้จากตารางใหม่ด้วยการคูณด้วยค่าจากตารางที่ 2.12

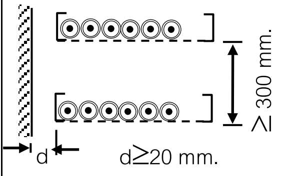
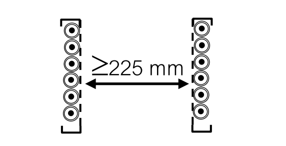
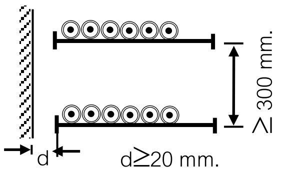
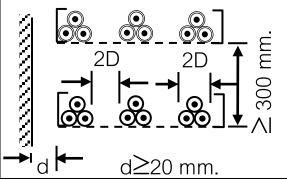
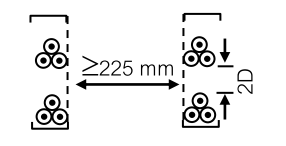
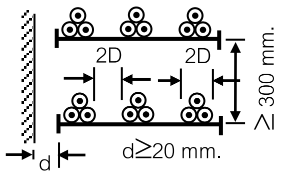
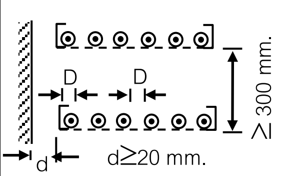
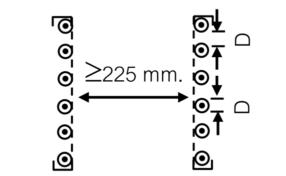
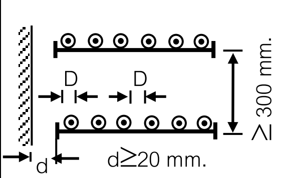
ตารางที่ 2.12 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสเนื่องจากจำนวนสาย ที่นำกระแสในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกันมากกว่า 1 กลุ่มวงจร

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

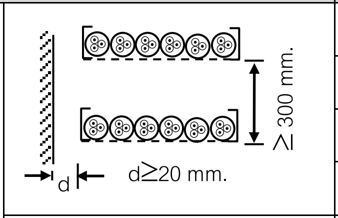
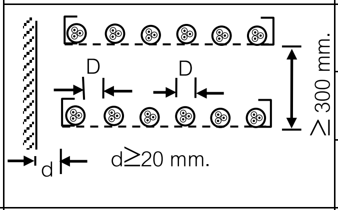
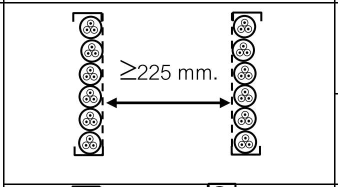
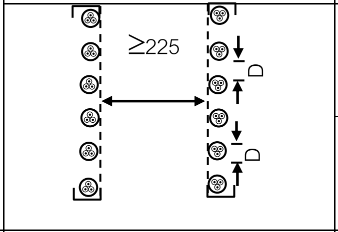
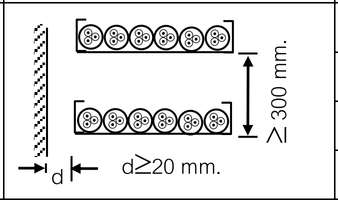
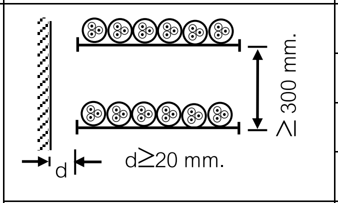
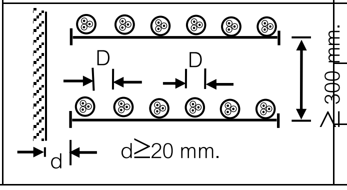
2.2 การปรับค่าขนาดกระแสเมื่อเดินสายบนรางเคเบิล ถ้าจำนวนวงจรของสายไฟฟ้าบนรางเคเบิลเดียวกันมากกว่า 1 วงจร ต้องปรับค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจากค่าที่อ่านได้จากตารางใหม่ด้วยการคูณด้วยค่าจากตารางที่ 2.13 สำหรับสายเคเบิลแกนเดียว และตารางที่ 2.14 สำหรับสายเคเบิลหลายแกน

กรณีติดตั้งรางเคเบิลมากกว่า 1 ชั้น การนับจำนวนวงจรจะนับจากชั้นที่มีวงจรมากที่สุด และปรับค่าเคเบิลในรางทุกชั้นด้วยตัวปรับค่าเดียวกัน

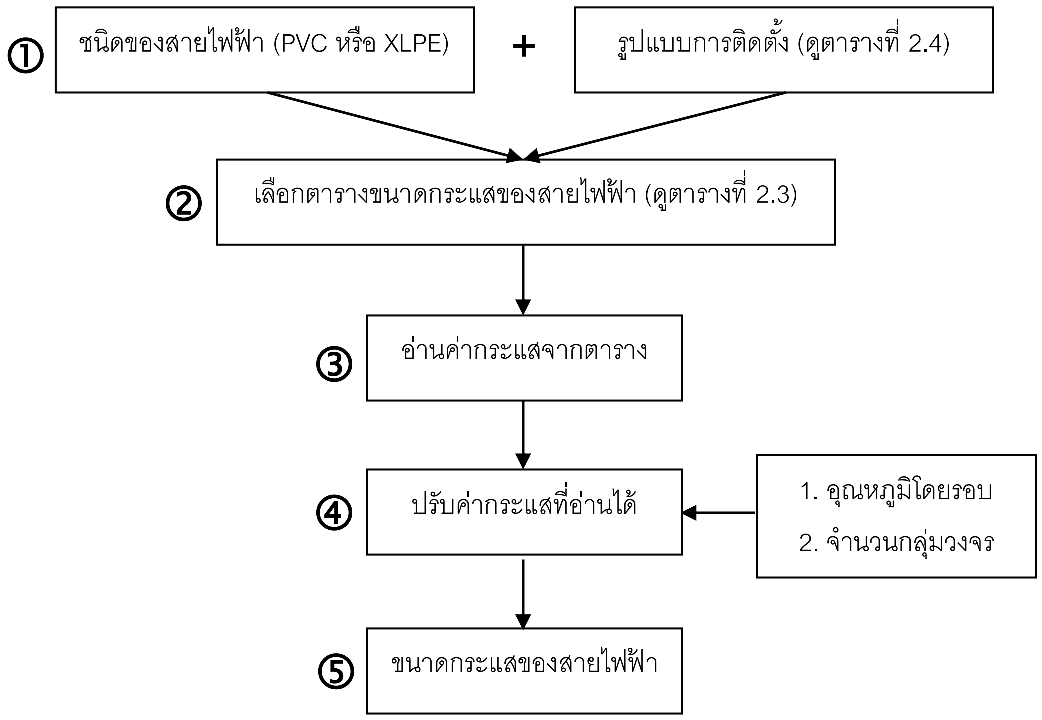
ตารางที่ 2.13 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดียววางบนรางเคเบิลเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร

วิธีการติดตั้ง		จำนวนรางเคเบิล	จำนวนวงจร 1	2	3	4	5-6	7-9
รางเคเบิลแบบระบายอากาศ (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
รางเคเบิลแบบระบายอากาศวางแนวตั้ง		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
รางเคเบิลแบบบันได		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
รางเคเบิลแบบระบายอากาศ		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	-
รางเคเบิลแบบระบายอากาศวางแนวตั้ง		1	1.0	0.91	0.89	0.88	0.87	-
		2	1.0	0.90	0.86	0.85	0.83	-
รางเคเบิลแบบบันได		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	
รางเคเบิลแบบระบายอากาศ		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	-
รางเคเบิลแบบระบายอากาศวางแนวตั้ง		1	1.0	0.91	0.89	0.88	0.87	-
		2	0.94	0.90	0.86	0.85	0.83	-
รางเคเบิลแบบบันได		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	-

ตารางที่ 2.14 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลหลายแกนวางบนรางเคเบิลเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร

วิธีการติดตั้ง		จำนวนรางเคเบิล	จำนวนเคเบิล 1	2	3	4	5-6	7-9
รางเคเบิลแบบระบายอากาศ		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	-
รางเคเบิลแบบระบายอากาศวางแนวตั้ง		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	-
รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ		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
รางเคเบิลแบบบันได		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	-

ขั้นตอนการหาขนาดกระแสของสายไฟฟ้า การหาขนาดกระแสของสายไฟฟ้าให้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้



ขั้นตอนที่ 1 เลือกชนิดของสายไฟฟ้า (PVC หรือ XLPE) และรูปแบบการติดตั้ง (ตารางที่ 2.4)

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อทราบชนิดของสายไฟฟ้าและรูปแบบการติดตั้ง จะเลือกตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้าได้ จากตารางที่ 2.3

ขั้นตอนที่ 3 อ่านค่ากระแสจากตารางโดยเลือกช่องตัวนำกระแส 2 เส้นสำหรับวงจร 1 เฟส และตัวนำกระแส 3 เส้นสำหรับวงจร 3 เฟส (และ 3 เฟส 4 สาย) และเลือกว่าเป็นสายแกนเดียวหรือหลายแกน (บางตารางจะแสดงจำนวนตัวนำกระแสและจำนวนแกนของสายไฟฟ้าด้วยรูปเช่น ตารางที่ 2.6 และ 2.7 เป็นต้น)

ขั้นตอนที่ 4 จากค่ากระสที่อ่านได้ต้องพิจารณาต่อว่าจำเป็นต้องปรับค่าหรือไม่ ดังนี้

การปรับค่าเนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบ ค่าที่กำหนดในตารางเป็นค่ากระแสที่อุณหภูมิโดยรอบ 40^{o}C ถ้าสถานที่ติดตั้งใช้งานมีอุณหภูมิต่างจากนี้ ค่าที่อ่านได้ต้องปรับค่าโดยการคูณด้วยค่าจากตารางที่ 2.11 ตามชนิดของฉนวนของสายไฟฟ้า

การปรับค่าเนื่องจากจำนวนกลุ่มวงจร (หรือจำนวนวงจร) มากกว่า 1 วงจร ให้คูณปรับค่าตามที่กำหนดไว้ในหมายเหตุต่อท้ายตารางของตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 5 ทำการปรับค่าขนาดกระแสของสายตามค่าที่ได้ตามขั้นตอนที่ 4

ตัวอย่างการหาขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 2.1 วงจร 3 เฟส 4 สาย วงจรหนึ่ง ใช้สายไฟฟ้าชนิด VCT 4 แกน ขนาด 2.5 ตร.มม. เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง (กลุ่มที่ 2) ต้องการหาขนาดกระแสของสายไฟฟ้า กำหนดให้อุณหภูมิโดยรอบของสถานที่ใช้งานเท่ากับ 40^{O}C

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1 สาย VCT ได้ชนิดของสายไฟฟ้าเป็น PVC และการติดตั้งกลุ่มที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 จากตารางที่ 2.3 เลือกใช้ตารางขนาดกระแส ตารางที่ 2.5

ขั้นตอนที่ 3 อ่านค่ากระแสจากตารางที่ 2.5 เลือกที่กลุ่มที่ 2 ช่องตัวนำกระแส 3 เส้น สายหลายแกน สายขนาด 2.5 ตร.มม.ได้กระแส 17 A

ขั้นตอนที่ 4 การปรับค่า

4.1 การปรับค่าเนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบ (ตารางที่ 2.11) เท่ากับ 1 เนื่องจาก 40^{O}C เท่ากัน

4.2 การปรับค่าเนื่องจากจำนวนกลุ่มวงจรเท่ากับ 1 เนื่องจากมีวงจรเดียว

ขั้นตอนที่ 5 ขนาดกระแสเมื่อปรับค่าแล้ว = 17$\times$1$\times$1 = 17 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^{O}C

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1 สาย IEC 01 ได้ชนิดของสายไฟฟ้าเป็น PVC และการติดตั้งกลุ่มที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 จากตารางที่ 2.3 เลือกใช้ตารางขนาดกระแส ตารางที่ 2.5

ขั้นตอนที่ 3 อ่านค่ากระแสจากตารางที่ 2.5 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 2.11) เท่ากับ 1 เนื่องจาก 40^{O}C เท่ากัน

4.2 การปรับค่าเนื่องจากจำนวนกลุ่มวงจร จากหมายเหตุต่อท้ายตารางที่ 2.5 ให้ปรับค่าด้วยค่าในตารางที่ 2.12 ที่จำนวนกลุ่มวงจร 2 ได้ตัวปรับค่า 0.8

ขั้นตอนที่ 5 ขนาดกระแสเมื่อปรับค่าแล้ว

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

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

ตัวอย่างที่ 2.3 วงจร 3 เฟส 4 สายจำนวน 2 วงจร ใช้สาย NYY ชนิดแกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบบันได (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 2.3 ได้ตารางขนาดกระแส ตารางที่ 2.9

ขั้นตอนที่ 3 อ่านค่ากระแสจากตารางที่ 2.9 สายแกนเดียววางบนรางแบบบันไดเรียงชิดติดกัน (ดูรูปแบบการติดตั้งซ้ายมือในตาราง) สายขนาด 120 ตร.มม. ได้กระแส 279 A และสายขนาด 185 ตร.มม.ได้กระแส 371 A

ขั้นตอนที่ 4 การปรับค่า

4.1 การปรับค่าเนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบ จากตารางที่ 2.11 สาย PVC ที่อุณหภูมิโดยรอบ 45°C ได้ตัวปรับค่า 0.91

4.2 การปรับค่าเนื่องจากจำนวนกลุ่มวงจร จากหมายเหตุต่อท้ายตารางที่ 2.9 สายแกนเดียวให้ปรับค่าด้วยค่าในตารางที่ 2.13 ดูที่รางแบบบันได 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

2.2.4 มาตรฐานบริภัณฑ์ไฟฟ้า

1. แผงเมนไฟฟ้า (เมนสวิตซ์) เมนสวิตซ์คืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สับ หรือปลดวงจรไฟฟ้าของทั้งอาคาร หมายความว่าเมื่อปลดสวิตซ์ตัวนี้แล้ว วงจรไฟฟ้าทั้งอาคารจะถูกปลดออกไฟฟ้าในอาคารทั้งหมดจะดับ แผงเมนสวิตซ์มีทั้งขนาดเล็กที่ใช้ตามบ้านอยู่อาศัย และแผงขนาดใหญ่ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

แผงเมนสวิตซ์ ประกอบด้วยเครื่องปลดวงจรและเครื่องป้องกันกระแสเกิน ซึ่งอาจเป็นตัวเดียวกันหรือคนละตัวก็ได้

เครื่องปลดวงจรคือสวิตซ์ที่สามารถปลดหรือสับวงจรไฟฟ้าได้ เครื่องปลดวงจรควรเป็นชนิดที่สามารถปลดวงจรได้ขณะที่ยังมีโหลดอยู่ ซึ่งเรียกว่าโหลดเบรก

เครื่องป้องกันกระแสเกิน คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปลดวงจรเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลมากเกินกำหนด อาจเป็นฟิวส์ หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ ก็ได้ กรณีเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะสามารถทำได้ 2 หน้าที่คือ เป็นทั้งเครื่องปลดวงจรและเครื่องป้องกันกระแสเกินในตัวเดียวกัน

รูปที่ 2.18 ตัวอย่างแผงเมนสวิตช์ขนาดเล็กและใหญ่

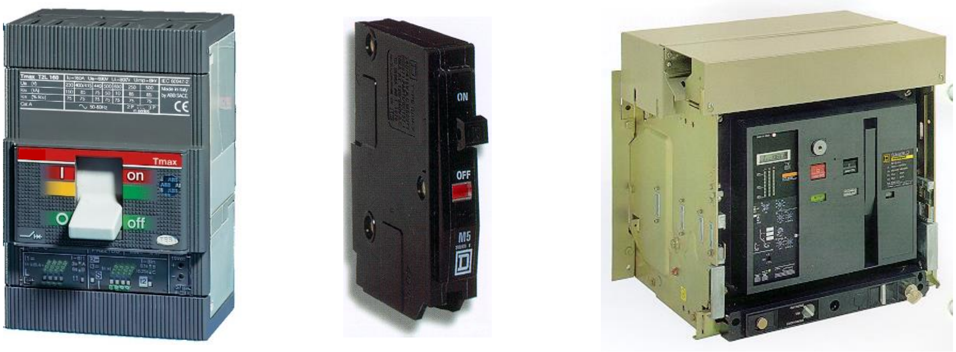
2. แผงย่อย เป็นแผงขนาดเล็กกว่าแผงเมนสวิตช์ ใช้สำหรับควบคุมวงจรไฟฟ้าแสงสว่าง หรือไฟฟ้ากำลัง ปกติจะเป็นแผงที่ประกอบในกล่องติดตั้งกับผนัง (ไม่ตั้งพื้น) กล่องที่ใช้อาจเป็นกล่องโลหะ หรืออโลหะก็ได้ แผงสวิตช์ที่ประกอบด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์หลายตัว และอาจมีตัวเมนหรือไม่ก็ได้ เรียกว่าโหลดเซ็นเตอร์ มีทั้งชนิดที่ใช้กับวงจร 1 เฟส และวงจร 3 เฟส

รูปที่ 2.19 ตัวอย่างแผงย่อย

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

รูปที่ 2.20 เซฟตี้สวิตช์

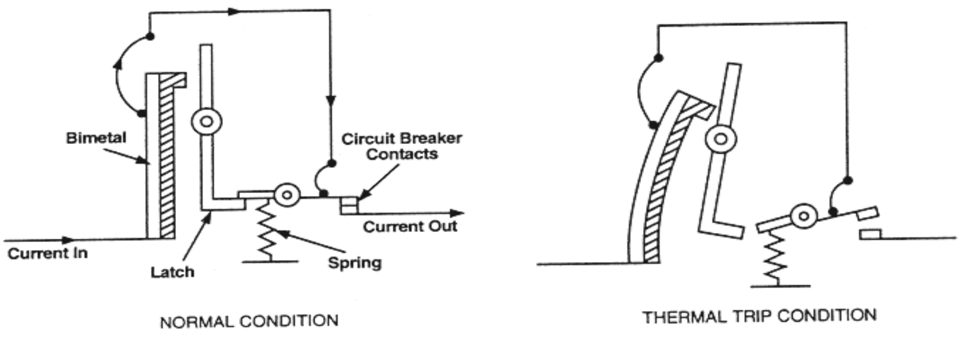
4. เซอร์กิตเบรกเกอร์ คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันกระแสเกิน มีทั้งชนิด 1 ขั้วจนถึง 4 ขั้ว ตามความต้องการใช้งาน เซอร์กิตเบรกเกอร์แบ่งออกเป็นหลายชนิด ได้แก่ โมลเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ (molded case circuit breaker) มินิเอเจอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (miniature circuit breaker) และ แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (ACB) เป็นต้น



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบต่าง ๆ

หลักการทำงาน เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานโดยการวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน แบ่งการทำงานเป็น 2 แบบคือการทำงานด้วยความร้อน และอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้า

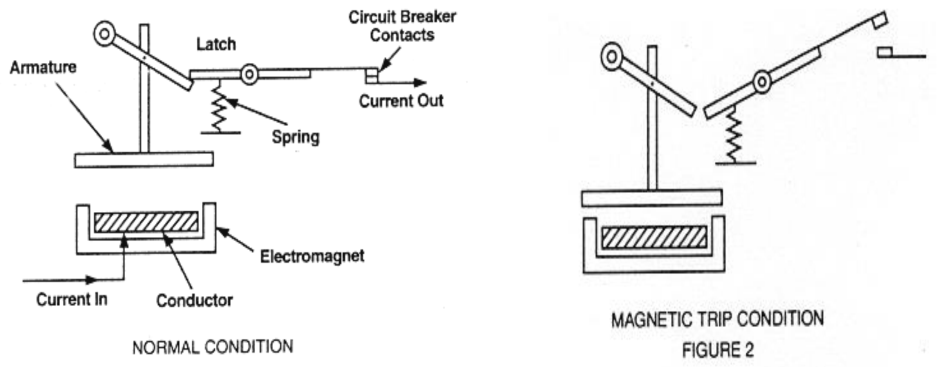
การทำงานด้วยความร้อน อาศัยหลักการกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโลหะสองชนิดที่ประกบกันอยู่ เมื่อกระแสไหลผ่านโลหะจะขยายตัวไม่เท่ากันจึงโค้งงอไปดันกลไกให้ปลดวงจรไฟฟ้า ระยะเวลาในการปลดวงจรแปรผันตามปริมาณกระแสที่ไหลผ่าน ซึ่งสามารถปรับตั้งได้จากโรงงานผู้ผลิต



รูปที่ 2.22 การทำงานด้วยความร้อน

ในรูปการทำงานด้วยความร้อนซ้ายมือเป็นสภาวะการทำงานเมื่อกรแสไหลตามปกติ หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะปิด ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ ในรูปด้านขวามือ เป็นการแสดงการทำงานเมื่อกระแสไหลดเกิน bimetal จะโค้งงอปลดกระเดื่องทำให้สปริงดึงให้หน้าสัมผัสจากออกจากกัน กระแสไฟฟ้าจะหยุดไหล

การทำงานด้วยอำนาจแม่เหล็ก อาศัยหลักการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลสูงถึงค่าที่กำหนด ซึ่งปกติเกิดจากกระแสลัดวงจร แม่เหล็กจะมีแรงมากพอที่จะไปดูดกลไกให้ปลดวงจร เนื่องจากการทำงานของแม่เหล็กนั้นเร็วมากจึงเหมาะที่จะให้ทำงานปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสลัดวงจร



รูปที่ 2.23 การทำงานด้วยอำนาจแม่เหล็ก

โดยปกติเซอร์กิตเบรกเกอร์จะมีการทำงานทั้งสองแบบในตัวเดียวกัน การทำงานด้วยความร้อนเหมาะที่จะปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสเกิน (overload) และการทำงานด้วยอำนาจแม่เหล็กจะเหมาะกับการปลดวงจรเมื่อเกิดลัดวงจร มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยกำหนดให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้งานต้องเป็นไปตามมาตรฐาน IEC แบ่งเป็น 2 แบบ ดังนี้

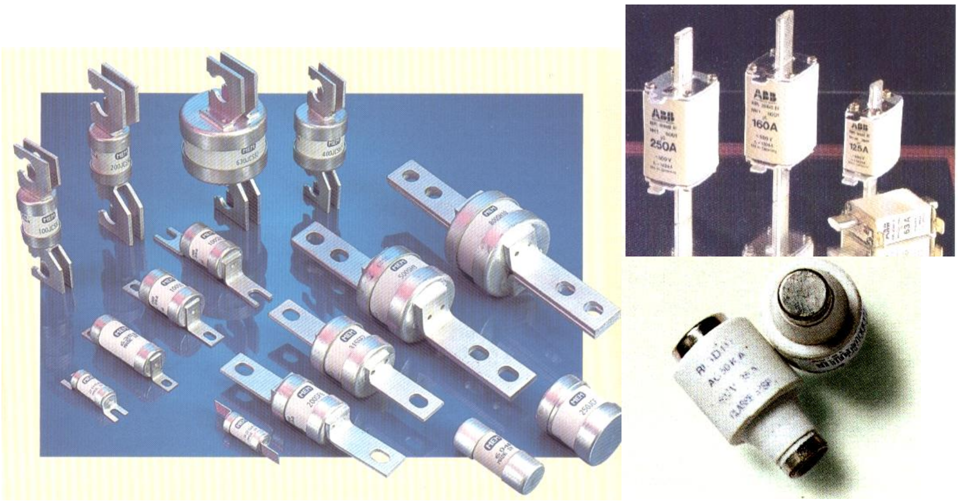
เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ผลิตตามมาตรฐาน IEC 60898 เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ในอาคารที่อยู่อาศัย เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดเล็ก คือมีขนาดไม่เกิน 125 แอมแปร์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ในอาคารที่อยู่อาศัย ต้องเป็นไปตามมาตรฐานนี้

เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ผลิตตามมาตรฐาน IEC 60947-1 เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม มีขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ ๆ หลายพันแอมแปร์ คำจำกัดความที่เกี่ยวข้องกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั้ง 2 แบบคือ

พิกัดกระแสใช้งาน (In) คือค่ากระแสใช้งานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เซอร์กิตเบรกเกอร์จะสามารถนำกระแสที่ไม่เกินพิกัดได้อย่างต่อเนื่อง ภายใต้ภาวะที่กำหนด ปกติจะหมายถึงขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ระบุไว้บนตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ นั้นเอง ตัวอย่างขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้แก่ 10, 12.5, 16, 20, 25, 32, 40, 63, 80 และ 100 แอมแปร์ เป็นต้น

พิกัดตัดกระแสลัดวงจร (Icu) คือพิกัดการตัดกระแสลัดวงจร หรือเรียกว่าเป็นความสามารถในการตัดกระแสลัดวงจรได้อย่างปลอดภัย หน่วยเป็น kA กระแสลัดวงจรมีค่าสูงมาก เมื่อกระแสลัดวงจรไหลผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะต้องสามารถตัดกระแสลัดวงจรนี้ได้ โดยไม่ชำรุด กระแสลัดวงจรสามารถหาได้จากการคำนวณ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้จะต้องมีพิกัดตัดกระแสลัดวงจรไม่ต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้

5. ฟิวส์ เป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินเช่นเดียวกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ มีข้อแตกต่างจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ตรงที่เมื่อกระแสเกินและฟิวส์ขาดจะต้องเปลี่ยนตัวใหม่ ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ข้อดีคือมีพิกัดตัดกระแสลัดวงจรสูง มีความเชื่อถือได้สูง และราคาต่ำกว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์ มีหลายชนิดหลายขนาดตามมาตรฐานการผลิตและการใช้งาน มีพิกัดกระแสใช้งาน และพิกัดตัดกระแสลัดวงจร เช่นเดียวกับเซอร์กิตเบรกเกอร์



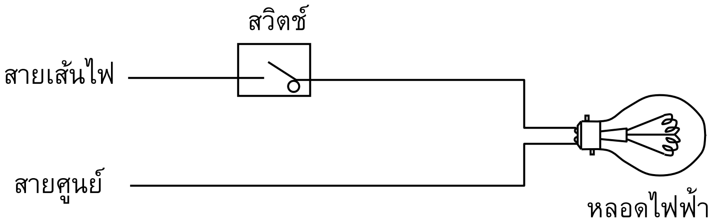
รูปที่ 2.24 ฟิวส์แรงต่ำแบบต่าง ๆ

หลักการทำงาน ฟิวส์ออกแบบให้มีไส้ฟิวส์ที่กำหนดตำแหน่งให้ขาดเมื่อมีกระแสไหลเกินกำหนด การขาดของฟิวส์จึงแปรผันตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ฟิวส์จะทำงานตัดวงจรทั้งในช่วงการทำงานแบบกระแสเกิน และแบบลัดวงจร ฟิวส์จึงมีพิกัดกระแสต่อเนื่อง และพิกัดตัดกระแสลัดวงจรเช่นเดียวกับเซอร์กิตเบรกเกอร์

ฟิวส์มีหลายชนิด หลายขนาด ให้เลือกตามความต้องการใช้งาน และตามมาตรฐานการผลิต ตัวอย่างขนาดกระแสของฟิวส์ได้แก่ 10, 16, 20, 25, 35, 50, 63, 80 และ 100 แอมแปร์ เป็นต้น แต่ขนาดอาจแตกต่างไปจากตัวอย่างนี้ได้ ตามมาตรฐานการผลิต

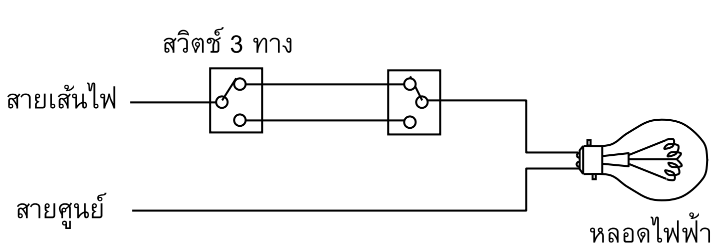
6. สวิตช์ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ปิด หรือ เปิดวงจรไฟฟ้า มีรูปร่าง สี และขนาดให้เลือกใช้งานตามความต้องการ สวิตช์ทั่วไปทำงานด้วยมือในการปิด หรือ เปิดวงจรไฟฟ้า แต่อาจมีสวิตช์ที่สามารถทำงานจากการสั่งงานระยะไกล หรือจากอย่างอื่นเช่น เสียง แสง และความร้อน เป็นต้น สวิตช์ไฟฟ้าที่ใช้งานทั่วไปแบ่งเป็นสวิตช์ 2 ทาง และสวิตช์ 3 ทาง

(1) สวิตช์ 2 ทาง เป็นสวิตช์แบบพื้นฐานที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าทั่วไป ในการใช้งานจะใช้สวิตช์เพียง 1 ตัว ทำการปิด หรือเปิด วงจรไฟฟ้า



รูปที่ 2.25 วงจรใช้งานสวิตช์ 2 ทาง

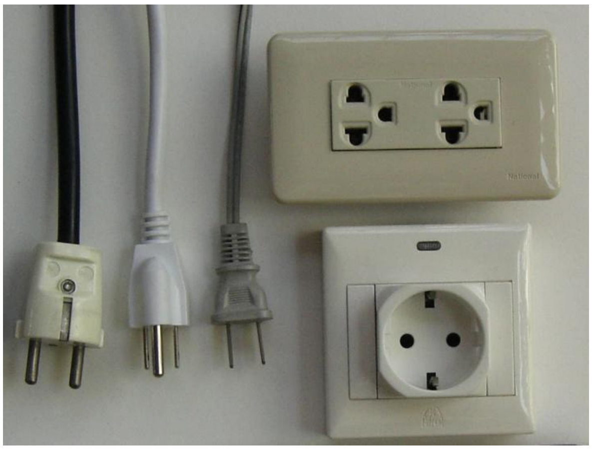
(2) สวิตช์ 3 ทาง เป็นสวิตช์ที่เพิ่มความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น ประกอบด้วยสวิตช์ 2 ตัว ควบคุมวงจรเดียวกัน (หลอดไฟดวงเดียวกัน) ทำให้สามารถปิด หรือ เปิด วงจรไฟฟ้าได้จากสถานที่ 2 แห่ง นิยมใช้เป็นสวิตช์บันไดที่สามารถปิด หรือ เปิด หลอดไฟดวงเดียวกันจากชั้นล่างหรือชั้นบนก็ได้



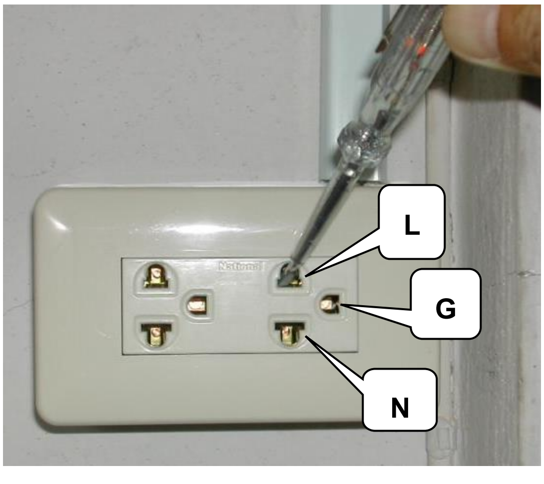
รูปที่ 2.26 วงจรใช้งานสวิตช์ 3 ทาง

7. เต้ารับ คือจุดต่อไฟฟ้าที่เตรียมพร้อมให้ต่อไฟฟ้าออกไปใช้งาน มีหลายรูปแบบ เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานเป็นตัวกำหนด แต่สามารถแบ่งอย่างกว้าง ๆ ได้เป็น 2 แบบคือ แบบไม่มีสายดิน (แบบ 2 รู) และ แบบมีสายดิน (2 หรือ 3 รู) ปัจจุบันมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย กำหนดให้เต้ารับที่ต่อใช้งานในวงจรย่อยต้องเป็นชนิดมีขั้วสายดินด้วย ในการใช้งานต้องไม่ใช้กระแสสูงเกินพิกัดเต้ารับ

8. เต้าเสียบ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ต่อไฟฟ้าไปใช้งาน ต้องใช้งานร่วมกับเต้ารับ ปกติจะประกอบติดมากับอุปกรณ์ไฟฟ้า เต้าเสียบที่ใช้งานในปัจจุบันมีหลายรูปแบบเช่นเดียวกับเต้ารับ แต่สามารถแบ่งอย่างกว้าง ๆ ได้เป็น 2 แบบคือ แบบไม่มีสายดิน (แบบ 2 ขา) และ แบบมีสายดิน (3 ขา) ในการใช้งานจะต้องเลือกชนิดให้เหมาะสมกับเต้ารับด้วยเพราะอาจเสียบไม่ได้ หรืออาจทำให้ระบบสายดินขาดความต่อเนื่อง และที่สำคัญคือเมื่อใช้เต้ารับชนิดมีขั้วสายดินแล้ว จะต้องต่อสายให้ถูกต้องด้วย ปกติที่ด้านหลังของเต้ารับที่ขั้วต่อสาย จะแสดงขั้วด้วยสัญลักษณ์เอาไว้แล้ว ตัวอย่างขั้วต่อสายเมื่อติดตั้งแล้ว เป็นไปตามรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.27 รูปเต้าเสียบและเต้ารับแบบต่าง ๆ



รูปที่ 2.28 ขั้วเต้ารับชนิดมีขั้วสายดิน

9. ท่อร้อยสายไฟฟ้า ท่อร้อยสายไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์การเดินสายที่สามารถป้องกันความเสียหายของสายไฟฟ้าได้ดี การติดตั้งมีความเรียบร้อยสวยงาม แต่จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการเดินสายด้วยวิธีอื่น ท่อร้อยสายไฟฟ้ามีหลายชนิดด้วยกัน ท่อเหล็กที่นำมาใช้งานควรเป็นท่อที่ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 770-2533 สำหรับท่อพีวีซี ควรผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 216-2524 ท่อที่นิยมใช้ทั่วไปมีดังนี้

(1) ท่อโลหะหนา (rigid metal conduit) เรียกกันโดยทั่วไปว่า RMC หรือ RSC (rigid steel conduit) เป็นท่อเหล็กอาบสังกะสี เป็นท่อโลหะที่มีความหนามากที่สุด ใช้งานได้ทั่วไปทั้งภายในอาคาร ภายนอกอาคาร ฝังในคอนกรีต และฝังดิน ขนาดเล็กสุดคือ 15 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) และขนาดใหญ่สุดคือ 150 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ความยาวท่อนละ 3 เมตร

(2) ท่อโลหะหนาปานกลาง (intermediate metal conduit) เรียกโดยย่อว่าท่อ IMC เป็นท่อเหล็กอาบสังกะสีเช่นกัน เป็นท่อที่ทำมาเพื่อใช้งานทดแทนท่อโลหะหนา แต่มีความหนาน้อยกว่าท่อโลหะหนา สามารถใช้งานได้เหมือนกับท่อโลหะหนา ขนาดเล็กสุดคือ 15 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) และขนาดใหญ่สุดคือ 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ความยาวท่อนละ 3 เมตร

(3) ท่อโลหะบาง เป็นท่อเหล็กอาบสังกะสีเช่นเดียวกับท่อ RSC และ IMC แต่มีความหนาน้อยที่สุดจึงมีข้อจำกัดในการใช้งานบางประการคือ ไม่สามารถเดินฝังดิน และภายนอกอาคารได้ และการต่อท่อไม่สามารถทำเกลียวได้ ขนาดเล็กสุดคือ 15 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) และขนาดใหญ่สุดคือ 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) ความยาวท่อนละ 3 เมตร

(4) ท่อพีวีซี เป็นท่ออโลหะแข็ง นิยมใช้งานติดตั้งภายในอาคารเนื่องจากมีคล่องตัวในการติดตั้งสูง สามารถตัดและดัดโค้งได้สะดวก ขนาดเล็กสุดคือ 15 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) และขนาดใหญ่สุดคือ 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) ความยาวท่อนละ 4 เมตร ท่อพีวีซีมีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิงจึงสามารถใช้เหนือดินภายในอาคารได้ แต่ไม่ทนแสงแดดในการใช้งานจึงต้องมีการป้องกันความเสียหายจากการถูกแสงแดดโดยตรงด้วย

(5) ทีเอชดีพีอี (HDPE) เป็นท่อที่ไม่มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง ดังนั้นในการเดินสายจึงต้องระวังการลุกติดไฟ ถ้าจะใช้งานต้องมั่นใจว่าได้มีการป้องกันที่เหมาะสมเช่น ฝังใต้ดินหรือในคอนกรีต ข้อดีของท่อเอชดีพีอีคือสามารถผลิตได้ความยาวสูงเพราะอ่อนตัว สามารถม้วนได้ ทำให้สะดวกในการใช้งานเนื่องจากมีจุดต่อน้อยจึงป้องกันน้ำได้ดี เหมาะในการติดตั้งใต้ดิน และมีคุณสมบัติที่ทนสภาพอากาศได้ดีด้วย ขนาดเล็กสุดคือ 15 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) ขนาดใหญ่สุดและความยาวเป็นไปตามความต้องการใช้งาน

(6) ท่อโลหะอ่อน เป็นท่อโลหะอาบสังกะสีเช่นกัน แต่ออกแบบให้อ่อนตัวได้ดีสามารถโค้งงอได้ตามต้องการ เหมาะที่จะใช้เดินเข้าเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ท่อโลหะอ่อนนี้ไม่สามารถกันน้ำได้ จึงห้ามใช้ในสถานที่เปียก หรือกลางแจ้ง ขนาดเล็กสุดคือ 15 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) การติดตั้งยาวสุดไม่เกิน 2 เมตร

10. หลักดิน คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวต่อระหว่างสายไฟฟ้ากับดิน หลักดินจึงต้องต่อกับดินโดยมีความต้านทานต่ำมากเท่าที่จะทำได้ หลักดินตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย เป็นดังนี้

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

(2) แผ่นตัวนำชนิดป้องกันการผุกร่อนที่มีพื้นผิวสัมผัสกับดินไม่น้อยกว่า 0.18 ตร.เมตร ในกรณีที่เป็นเหล็กอาบโลหะชนิดกันการผุกร่อนต้องหนาไม่น้อยกว่า 6 มม. หากเป็นโลหะกันการผุกร่อนชนิดอื่นที่ไม่ใช่เหล็กต้องหนาไม่น้อยกว่า 1.5 มม.

(3) ยอมให้ใช้อาคารที่เป็นโครงโลหะและมีการต่อลงดินอย่างถูกต้อง โดยมีค่าความต้านทานของการต่อลงดินไม่เกิน 5 โอห์ม

(4) หลักดินชนิดอื่น ตามที่การไฟฟ้าฯ เห็นชอบ

ห้ามใช้วัสดุที่ทำด้วยอะลูมิเนียมหรือโลหะผสมของอะลูมิเนียม เป็นหลักดินหรือสิ่งที่ใช้แทนหลักดิน

2.3 ข้อกำหนดการเดินสายและวัสดุ

2.3.1 การเดินสายร้อยท่อโลหะชนิด EMT, IMC และ RSC ท่อทั้ง 3 ชนิดได้แก่

- ท่อโลหะหนา (Rigid Metal Conduit)
- ท่อโลหะหนาปานกลาง (Intermediate Metal Conduit)
- ท่อโลหะบาง (Electrical Metallic Tubing)

การใช้งาน

ท่อโลหะนี้ใช้กับงานเดินสายทั่วไป ปกติใช้ได้ทั้งในสถานที่แห้ง ชื้นและเปียก การติดตั้งต้องให้เหมาะสมกับสภาพที่ใช้งาน

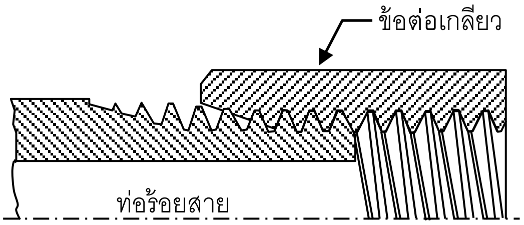
ห้ามใช้

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

จำนวนสายไฟฟ้า จำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายต้องไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 2.2

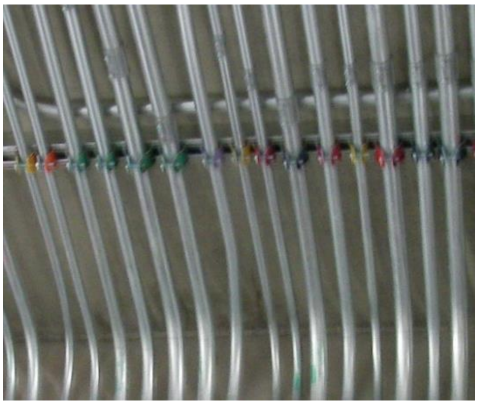
การติดตั้งใช้งาน

- เมื่อใช้งานในสถานที่เปียก ท่อโลหะและส่วนประกอบที่ใช้ยึดท่อโลหะ เช่น โบลต์ สกรู ฯลฯ ต้องเป็นชนิดที่ทนต่อการผุกร่อนได้
- เมื่อตัดปลายท่อออกต้องลบคมเพื่อป้องกันไม่ให้บาดฉนวนของสาย
- การทำเกลียวท่อต้องใช้เครื่องทำเกลียวชนิดปลายเรียว เพื่อให้มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่ดี



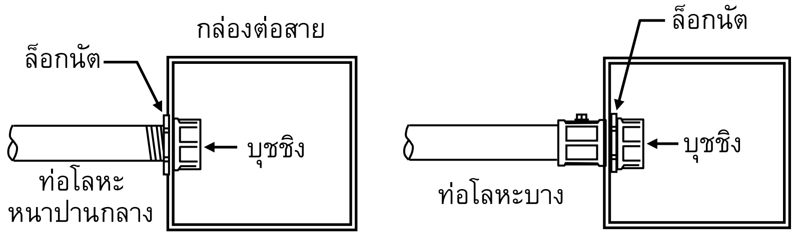
รูปที่ 2.29 ข้อต่อเกลียวชนิดปลายเรียว

การต่อท่อในอิฐก่อหรือคอนกรีตหากใช้ข้อต่อชนิดไม่มีเกลียวต้องใช้ชนิดฝังในคอนกรีต เมื่อติดตั้งในสถานที่เปียกต้องใช้ชนิดกันฝน การใช้ข้อต่อชนิดฝังในคอนกรีตเพื่อป้องกันน้ำปูนเข้าไปอุดตันในท่อ



รูปที่ 2.30 ตัวอย่างการจับยึดท่อแบบต่างๆ

- การต่อสาย ทำได้เฉพาะในกล่องต่อสาย หรือกล่องต่อจุดไฟฟ้าที่เปิดออกได้สะดวก และห้ามต่อสายในท่อร้อยสาย
- การติดตั้งท่อร้อยสายเข้ากับกล่องต่อสายหรือเครื่องประกอบการเดินท่อต้องมีบุชชิ่ง เพื่อป้องกันมิให้ฉนวนหุ้มสายชำรุด นอกเสียจากว่ากล่องต่อสายและเครื่องประกอบการเดินท่อได้ออกแบบเพื่อป้องกันการชำรุดของฉนวนไว้แล้ว



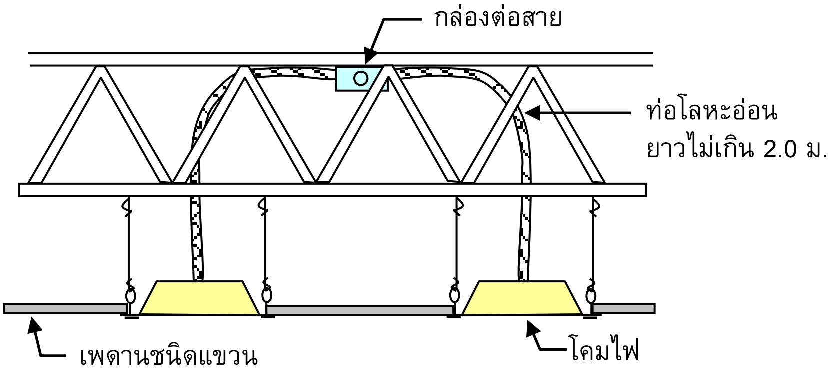
รูปที่ 2.31 ตัวอย่างการใช้บุชชิงเมื่อเดินท่อเข้ากล่องต่อสาย

- มุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา เพื่อให้สามารถร้อยสายเข้าและดึงออกได้เพื่อการบำรุงรักษา
- ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย เป็นไปตามตารางที่ 2.5 หรือ 2.8

2.3.2 การเดินสายในท่อโลหะอ่อน (flexible metal conduit)

การใช้งาน

- ในสถานที่แห้ง
- ในที่เข้าถึงได้และเพื่อป้องกันสายจากความเสียหายทางกายภาพ หรือเพื่อการเดินซ่อนสาย
- ให้ใช้สำหรับเดินเข้าบริภัณฑ์ไฟฟ้าหรือกล่องต่อสายและความยาวไม่เกิน 2.0 เมตร



รูปที่ 2.32 ตัวอย่างการใช้ท่อร้อยสายโลหะอ่อนเข้าดวงโคม

ห้ามใช้

- ในปล่องลิฟต์หรือปล่องขนของ
- ในห้องแบตเตอรี่
- ในบริเวณอันตราย นอกจากในเรื่องบริเวณอันตรายจะระบุให้ใช้ได้
- ฝังในดินหรือฝังในคอนกรีต

- ในสถานที่เปียก นอกจากจะใช้สายไฟฟ้าชนิดที่เหมาะสมกับสภาพการติดตั้ง และในการติดตั้งท่อโลหะอ่อนต้องป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในช่องร้อยสายที่ท่อโลหะอ่อนนี้ต่ออยู่
- ท่อโลหะอ่อนที่มีขนาดเล็กกว่า 15 มม. **ยกเว้น** ท่อโลหะอ่อนที่ประกอบมากับขั้วหลอดไฟและมีความยาวไม่เกิน 1.8 เมตร
- เป็นตัวนำสำหรับต่อลงดิน แต่ตัวท่อต้องต่อลงดิน

การติดตั้งใช้งาน

- จำนวนสายไฟฟ้าสูงสุดในท่อโลหะอ่อนต้องเป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 2.2
- มุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา
- ต้องติดตั้งระบบท่อให้เสร็จก่อน จึงทำการเดินสายไฟฟ้า
- ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์จับยึดต้องไม่เกิน 1.5 เมตร และห่างจากกล่องต่อสายหรืออุปกรณ์ต่างๆ ไม่เกิน 0.3 เมตร

2.3.3 การเดินสายในท่อโลหะอ่อนกันของเหลว (liquidtight flexible metal conduit)

การใช้งาน ใช้ในที่สภาพการติดตั้ง การใช้งานและการบำรุงรักษาที่ต้องการความอ่อนตัวของท่อ หรือเพื่อป้องกันของแข็ง ของเหลว ไอ หรือในบริเวณอันตราย

ห้ามใช้ ท่อโลหะอ่อนกันของเหลวในกรณีดังต่อไปนี้

- ที่ซึ่งอาจได้รับความเสียหายทางกายภาพ นอกจากจะมีการป้องกันที่เหมาะสม
- ที่ซึ่งอุณหภูมิของสายไฟฟ้าและอุณหภูมิโดยรอบสูงจนทำให้ท่อเสียหาย เช่นการใช้สายไฟฟ้าชนิดอุณหภูมิใช้งาน 90°C ท่อที่ใช้งานจะต้องมีอุณหภูมิใช้งานไม่ต่ำกว่า 90°C ด้วย
- ท่อโลหะอ่อนกันของเหลวที่มีขนาดเล็กกว่า 15 มม. หรือใหญ่กว่า 100 มม.
- ห้ามใช้เป็นตัวนำสำหรับต่อลงดิน แต่ตัวท่อจะต้องต่อลงดินด้วย

การติดตั้งใช้งาน

- จำนวนสายไฟฟ้าสูงสุดในท่อโลหะอ่อนกันของเหลวต้องไม่เกินตามที่กำหนดในตารางที่ 2.2
- มุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา
- ต้องติดตั้งระบบท่อให้เสร็จก่อน จึงทำการเดินสายไฟฟ้า
- ข้อต่อยึดต้องเป็นชนิดที่ได้รับการรับรองเพื่อใช้กับงานชนิดนี้เท่านั้น
- ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์จับยึดต้องไม่เกิน 1.50 เมตร และห่างจากกล่องต่อสายหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่เกิน 0.30 เมตร

2.3.4 การเดินสายในท่ออโลหะแข็ง (rigid nonmetallic conduit)

ท่ออโลหะแข็งที่มีใช้งานทั่วไปคือท่อ PVC, UPVC และ HDPE ท่ออโลหะแข็งและเครื่องประกอบการเดินท่อ ต้องใช้วัสดุที่เหมาะสม ทนต่อความชื้น สภาวะอากาศและสารเคมี สำหรับท่อที่ใช้เหนือดินต้องมีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง ทนแรงกระแทกและแรงอัด ไม่บิดเบี้ยวเพราะความร้อนภายใต้สภาวะที่อาจเกิดขึ้นเมื่อใช้งาน ในสถานที่ใช้งานซึ่งท่อร้อยสายมีโอกาสถูกแสงแดดโดยตรงต้องใช้ท่อร้อยสายชนิดทนต่อแสงแดด สำหรับท่อที่ใช้ใต้ดินวัสดุที่ใช้ต้องทนความชื้น ทนสารที่ทำให้ผุกร่อนและมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทนแรงกระแทกได้โดยไม่เสียหาย ถ้าใช้ฝังดินโดยตรงโดยไม่มีคอนกรีตหุ้ม วัสดุที่ใช้ต้องสามารถทนน้ำหนักกดที่อาจเกิดขึ้นภายหลังการติดตั้งได้

การใช้งาน

- เดินซ่อนในผนัง พื้นและเพดาน
- ในบริเวณที่ทำให้เกิดการผุกร่อนและเกี่ยวข้องกับสารเคมี ถ้าท่อ และเครื่องประกอบการเดินท่อได้ออกแบบไว้สำหรับใช้งานในสภาพดังกล่าว
- ในที่เปียกหรือชื้นซึ่งได้จัดให้มีการป้องกันน้ำเข้าไปในท่อ
- ในที่เปิดโล่ง ซึ่งพ้นจากความเสียหายทางกายภาพ

ห้ามใช้ ท่ออโลหะแข็งในกรณีดังต่อไปนี้

- ในบริเวณอันตราย นอกจากจะระบุไว้ในเรื่องบริเวณอันตราย
- ใช้เป็นเครื่องแขวนและจับยึดดวงโคม
- อุณหภูมิโดยรอบหรืออุณหภูมิใช้งานของสายเกินกว่าอุณหภูมิของท่อที่ระบุไว้
- ในโรงมหรสพ นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่น
- ห้ามใช้ท่ออโลหะแข็งที่มีขนาดเล็กกว่า 15 มม.

การติดตั้งใช้งาน

- เมื่อเดินท่อเข้ากล่องหรือส่วนประกอบอื่นๆ ต้องจัดให้มีบุชชิง หรือมีการป้องกันไม่ให้ฉนวนของสายชำรุด
- จำนวนสายไฟฟ้าในท่ออโลหะแข็งต้องไม่เกินตามที่กำหนดในตารางที่ 2.2
- มุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา
- ต้องติดตั้งระบบท่อให้เสร็จก่อน จึงทำการเดินสายไฟฟ้า
- ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย เป็นไปตามตาราง 2.5 หรือ 2.8

2.3.5 การเดินสายในรางเดินสาย (wireways)

รางเดินสายโลหะมีลักษณะเป็นรางทำจากแผ่นโลหะพับมีฝาปิด-เปิดได้เพื่อใช้สำหรับเดินสายไฟฟ้า อาจจะมีช่องระบายอากาศด้วยก็ได้ วัสดุที่ใช้ทำมี 4 ชนิด คือ

1. แผ่นเหล็กผ่านกรรมวิธีป้องกันสนิม และพ่นสีทับ เช่น แผ่นเหล็กผ่านกรรมวิธีล้างทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างไขมัน และเคลือบฟอตเฟตด้วยน้ำยา Zinc phosphate หลังจากนั้นจึงพ่นทับด้วยสีฝุ่น (powder paint) หรือใช้กรรมวิธีอื่นที่เทียบเท่า
2. แผ่นเหล็กชุบสังกะสีโดยวิธีทางไฟฟ้า
3. แผ่นเหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน
4. แผ่นเหล็กชุบอะลูซิงก์ (aluzinc)

การใช้งาน

- ใช้กับการเดินสายในที่เปิดโล่ง และในพื้นที่ที่สามารถเข้าถึงได้ภายหลังการติดตั้งใช้งานแล้ว เพื่อให้สามารถเข้าบำรุงรักษาเช่นเปลี่ยนสาย ได้ตลอดความยาวของรางเดินสาย ดังนั้นการติดตั้งบนฝ้าเพดานที่ไม่สามารถเข้าถึงรางเดินสายได้ภายหลังการติดตั้ง จึงไม่สามารถใช้ได้

รางเดินสายสามารถติดตั้งใช้งานได้ทั้งภายในอาคารและนอกอาคาร การติดตั้งใช้งานภายนอกอาคารต้องเป็นชนิดกันฝน และทนต่อสภาพอากาศได้ดี

รูปที่ 2.33 ตัวอย่างการติดตั้งใช้งานรางเดินสาย

ห้ามใช้

- ในบริเวณที่อาจเกิดความเสียหายทางกายภาพได้ภายหลังการติดตั้งเช่น บริเวณที่อาจเกิดกระแทกอย่างรุนแรง บริเวณที่มีไอกรดทำให้เกิดการผุกร่อน การใช้งานในบริเวณอันตรายต้องดูรายละเอียดในเรื่องบริเวณอันตรายประกอบด้วย
- ห้ามใช้รางเดินสายเป็นสายดิน แต่รางเดินสายโลหะต้องต่อลงดินด้วย

จำนวนสายไฟฟ้า จำนวนสายไฟฟ้าในรางเดินสายคิดจากพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้ารวมฉนวนและเปลือกทุกเส้น เมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 20% ของพื้นที่หน้าตัดภายในของรางเดินสาย การคิดพื้นที่หน้าตัดของสายจะคิดสายไฟฟ้าทุกเส้นที่เดินในรางเดินสายรวมทั้งสายดินด้วย

การติดตั้งใช้งาน

- รางเดินสายที่ติดตั้งในแนวนอน ต้องจับยึดอย่างมั่นคงทุกระยะไม่เกิน 1.5 เมตร แต่กรณีที่จำเป็นอาจมากกว่าได้แต่ต้องไม่เกิน 3 เมตร
- รางเดินสายที่ติดตั้งในแนวดิ่ง ต้องจับยึดทุกระยะไม่เกิน 4.5 เมตร ระหว่างจุดจับยึดห้ามมีจุดต่อของรางมากกว่า 1 จุด จุดจับยึดที่ปลายรางต้องห่างจากปลายไม่เกิน 1.5 เมตร สายไฟฟ้าในรางเดินสายแนวดิ่งจะต้องมีการจับยึดด้วยเช่นกัน
- การต่อสายในรางเดินสายสามารถทำได้ แต่ต้องเป็นตำแหน่งที่เปิดฝารางได้
- ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าในรางเดินสาย เป็นไปตามตารางที่ 2.5 หรือ 2.8 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 $= 1327.8/0.2 = 6639$ ตร.มม.

หรือใช้รางขนาด 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

2.3.6 การเดินสายบนรางเคเบิล

รางเคเบิลตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย แบ่งเป็น 3 ชนิดคือ

1. รางเคเบิลแบบบันได หรือเรียกว่า Ladder
2. รางเคเบิลแบบรางมีช่องระบายอากาศ
3. รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ

แบบบันได **แบบด้านล่างมีช่องระบายอากาศ** **แบบด้านล่างทึบ**

รูปที่ 2.34 รางเคเบิล

การใช้งาน เนื่องจากรางเคเบิลเป็นรางเปิด โดยปกติไม่มีฝาครอบ จึงไม่สามารถป้องกันสายไฟฟ้าจากความเสียหายทางกายภาพได้ สายไฟฟ้าที่ใช้งานจึงต้องมีความแข็งแรง ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ จึงกำหนดสายบางชนิดและบางขนาดเท่านั้นที่สามารถวางบนรางเคเบิลได้ มีข้อกำหนดที่สำคัญ ดังนี้

- สายไฟฟ้าที่เดินในรางเคเบิล ต้องเป็นดังนี้
  - สายชนิดเอ็มไอ (MI) เอ็มซี (MC) และสายแบบมีปลอก (armored cable)
  - สายเดี่ยวชนิดมีเปลือกนอกเช่นสาย IEC 01, NYY และ VCT แต่ขนาดต้องไม่เล็กกว่า 25 ตร.มม.
  - สายดิน ทั้งที่มีฉนวนและเปลือย (ไม่กำหนดให้ต้องมีเปลือก)
  - สายหลายแกนวางได้ทุกขนาด
  - สายควบคุมต่าง ๆ (control cable) วางได้ทุกขนาด
  - ท่อร้อยสายชนิดต่างๆ
- การใช้งานในบริเวณอันตรายต้องดูเรื่องบริเวณอันตรายประกอบด้วย
- การใช้งานในบริเวณที่ถูกแสงแดงโดยตรง ต้องใช้สายไฟฟ้าชนิดที่ทนแสงแดดได้หรือมีวิธีป้องกันที่เหมาะสม

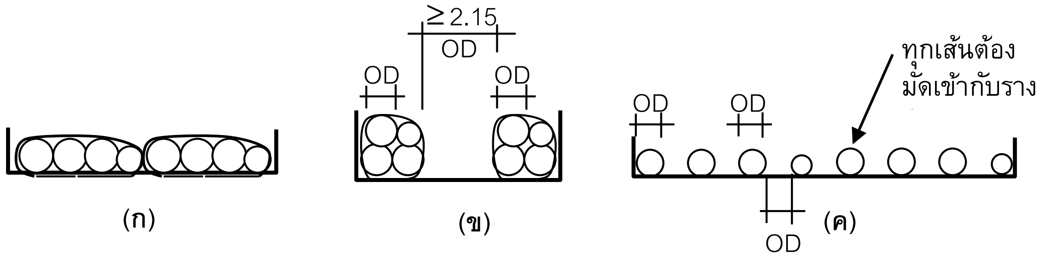
ห้ามใช้

- ห้ามใช้เดินสายในปล่องลิฟต์ หรือสถานที่ที่อาจเกิดความเสียหายทางกายภาพ
- ห้ามใช้เป็นสายดิน แต่รางเคเบิลต้องต่อลงดินด้วย
- ห้ามติดตั้งท่อสำหรับงานอื่นเช่นท่อน้ำ ท่อก๊าซ ในรางเคเบิลที่ใช้สำหรับงานไฟฟ้า

โครงสร้างของรางเคเบิล รางเคเบิลต้องมีผนังด้านข้าง ไม่มีส่วนแหลมคมที่อาจบาดสาย และมีการป้องกันการผุกร่อนที่เหมาะสม

การติดตั้งใช้งาน

- ต้องมีความต่อเนื่องโดยตลอดทั้งทางกลและทางไฟฟ้า
- ห้ามวางสายเคเบิลแรงสูงและแรงต่ำในรางเดียวกัน ถ้าจำเป็นต้องมีแผ่นวัสดุที่ไม่ติดไฟกั้น
- ต้องติดตั้งในที่เปิดโล่งและเข้าถึงได้ภายหลังการติดตั้ง และเข้าบำรุงรักษาได้ตลอดความยาว กรณีวางซ้อนกัน ต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 30 ซม.
- สามารถต่อสายในรางเคเบิล โดยจุดต่อสายต้องไม่สูงเลยความสูงของราง



รูปที่ 2.35 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 แต่ขนาดของรางเคเบิลก็จะต้องใหญ่ตามเช่นกัน การใช้งานจึงต้องพิจารณาทั้งสถานที่ติดตั้งและค่าใช้จ่ายด้วย

- การเดินสายเคเบิลแกนเดียวในรางเคเบิล ต้องจัดเป็นกลุ่ม ในแต่ละกลุ่มต้องมีสายของวงจรเดียวกันครบทุกเฟสรวมทั้งสายนิวทรัลด้วย ในแต่ละกลุ่มสายต้องมัด

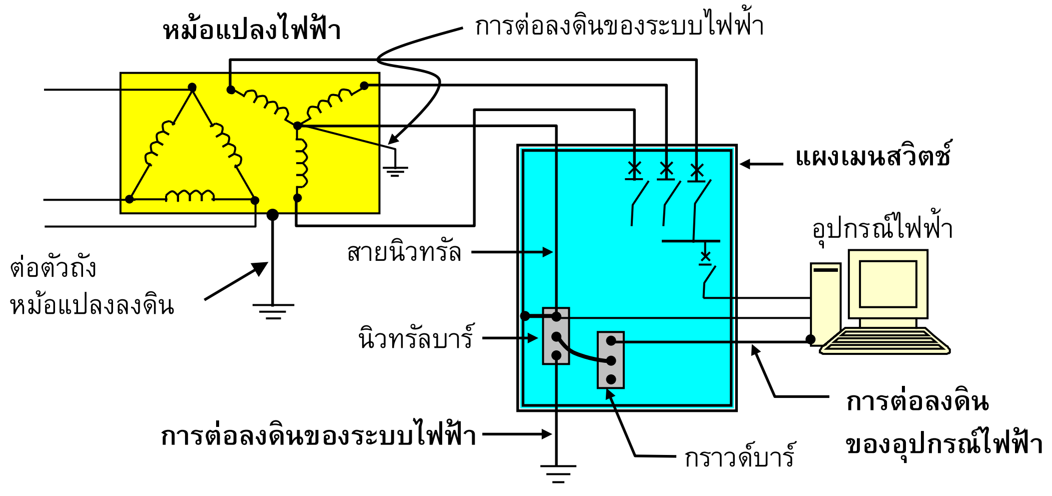
รวมเข้าด้วยกันและยึดติดกับรางด้วย เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของสายเนื่องจากกระแสลัดวงจร

- รางเคเบิลสามารถวางซ้อนกันได้ตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งฯ แต่ระยะห่างระหว่างรางต้องไม่ต่ำกว่า 30 ซม.
- ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าเป็นไปตามตารางที่ 2.9 และ 2.10 และต้องปรับค่าเนื่องจากจำนวนกลุ่มวงจรมากกว่า 1 วงจรด้วย

รูปที่ 2.36 ตัวอย่างการวางสายและการมัดสายบนรางเคเบิล

2.4 การต่อลงดิน

การต่อลงดินคือการใช้ตัวนำต่อระหว่างวงจรไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ไฟฟ้ากับพื้นโลก หรือตัวนำอื่นที่มีขนาดใหญ่จนรับหน้าที่แทนโลกได้ การต่อลงดินจึงต้องมีความต้านทานต่ำและคงทนถาวร การต่อสายไฟฟ้าเข้ากับดินทำได้โดยการต่อสายเข้ากับหลักดินที่ฝังลึกลงในดิน ดังนั้นหลักดินจึงทำหน้าที่ต่อสายไฟฟ้าเข้ากับดิน การต่อลงดินจึงต้องเป็นการต่อที่มีความต้านทานระหว่างหลักดินกับดินต่ำ ดังนั้นหลักดินจึงต้องมีพื้นที่สัมผัสดินมากพอ

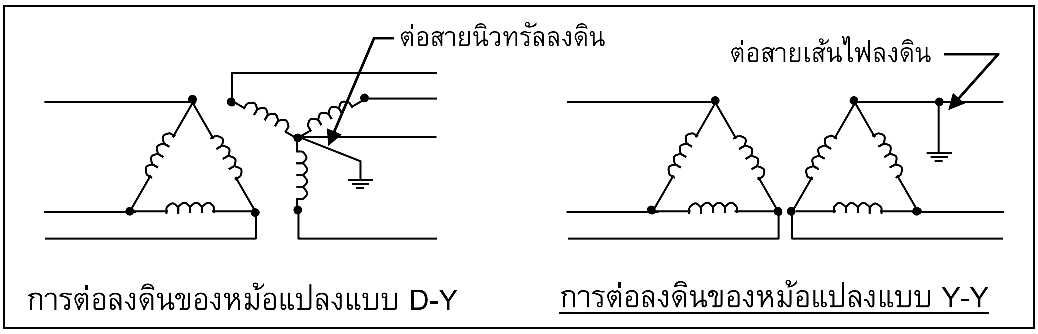


รูปที่ 2.37 ระบบการต่อลงดิน

ระบบการต่อลงดิน ตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 แบ่งการต่อลงดินออกเป็น 2 ส่วนคือ การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า และการต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า (หรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า) มีข้อกำหนดที่สำคัญดังนี้

2.4.1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้า ระบบไฟฟ้ามีทั้งที่ต่อลงดินและไม่ต่อลงดิน แต่ละระบบมีวัตถุประสงค์ต่างกัน การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันเกิน 50 โวลต์ แต่ไม่เกิน 1,000 โวลต์ เป็นดังนี้



รูปที่ 2.38 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้า

ระบบ 3 เฟส 4 สาย หม้อแปลงไฟฟ้าที่ด้านแรงต่ำเป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย การต่อระบบไฟฟ้าลงดินจะต่อสายเส้นนิวทรัล (สายศูนย์) ลงดิน

ระบบ 3 เฟส 3 สาย หม้อแปลงไฟฟ้าที่ด้านแรงต่ำเป็นระบบเดลต้า จะเป็นระบบ 3 สาย การต่อลงดินสามารถเลือกสายไฟด้านแรงต่ำเส้นเฟสเส้นใดก็ได้ต่อลงดิน

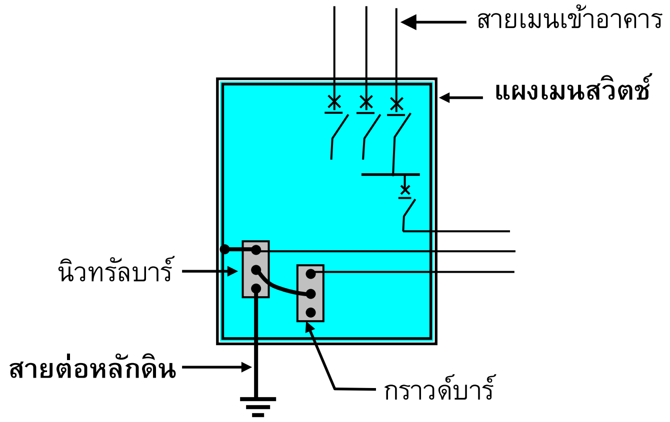
2. วงจรและระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ห้ามต่อลงดิน

1. วงจรไฟฟ้าของปั้นจั่นที่ใช้งานอยู่เหนือวัสดุเส้นใยที่อาจลุกไหม้ได้ ซึ่งในบริเวณอันตราย ห้ามต่อลงดิน เพราะการต่อลงดินอาจเกิดประกายไฟจากการลัดวงจรลงดินได้ ในสภาพการใช้งานอาจมีเส้นใยเกาะติดที่มอเตอร์ไฟฟ้า ดังนั้นประกายไฟจะเป็นสาเหตุให้เกิดการลุกไหม้ซึ่งเป็นอันตราย

2. วงจรไฟฟ้าที่กำหนดให้ใช้สำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อรักษาสุขภาพ มีจุดประสงค์เพื่อช่วยชีวิตในบางพื้นที่ของโรงพยาบาลเช่น ห้องผ่าตัด จะต้องใช้ระบบไฟฟ้าเป็นระบบไม่ต่อลงดิน โดยทั่วไป ระบบนี้เป็นระบบที่ใช้ไฟจากหม้อแปลงลูกเดียวกับระบบทั่วไป แต่สามารถทำให้เป็นระบบไฟฟ้าไม่ต่อลงดินได้โดยการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็ก เป็นหม้อแปลงชนิดแยกขดลวด อาจไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนแรงดัน เช่นด้านไฟเข้าเป็น 230 โวลต์ และด้านไฟออกก็เป็น 230 โวลต์ เช่นกัน หม้อแปลงจึงทำหน้าที่กั้นแยกระบบไฟฟ้าออกจากกัน

ระบบไฟฟ้าที่มีการต่อลงดินที่หม้อแปลงไฟฟ้าแล้ว ภายในอาคารจะต้องต่อลงดินอีกที่เมนสวิตช์ การต่อลงดินทำได้โดยใช้สายไฟฟ้าต่อระหว่างสายนิวทรัลหรือสายศูนย์ (หรือบัสบาร์) กับหลักดินที่ปักอยู่ใกล้กับตำแหน่งที่ตั้งแผงเมนสวิตช์ สายเส้นที่ต่อระหว่างวงจรไฟฟ้ากับหลักดินนี้เรียกว่าสายต่อหลักดิน กรณีที่บัสบาร์นิวทรัลต่อฝากกับกราวด์บาร์สายต่อหลักดินอาจไม่ต่อที่นิวทรัลบาร์แต่ย้ายมาต่อที่กราวด์บาร์ก็ได้ หลังจากเมนสวิตช์นี้สายนิวทรัลห้ามต่อลงดินอีก

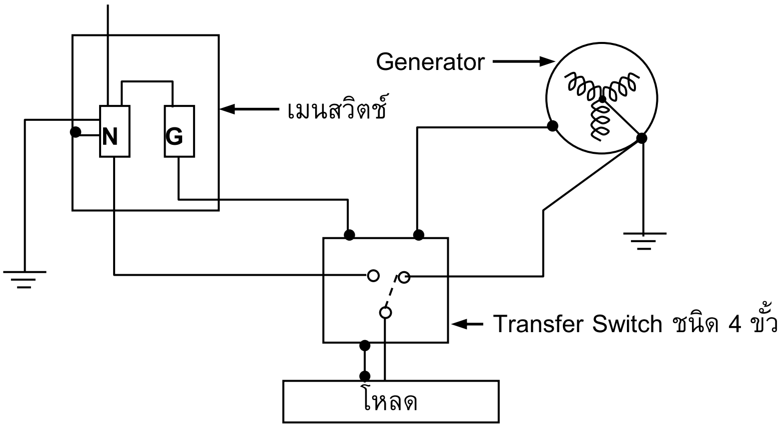
กรณีผู้ใช้ไฟฟ้าติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าของตัวเองภายในอาคาร (หม้อแปลงอยู่ในอาคาร) การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าอาจทำที่แผงเมนสวิตช์ที่เดียวก็ได้



รูปที่ 2.39 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่เมนสวิตช์ในอาคาร

3. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบการต่อลงดินเป็นดังนี้

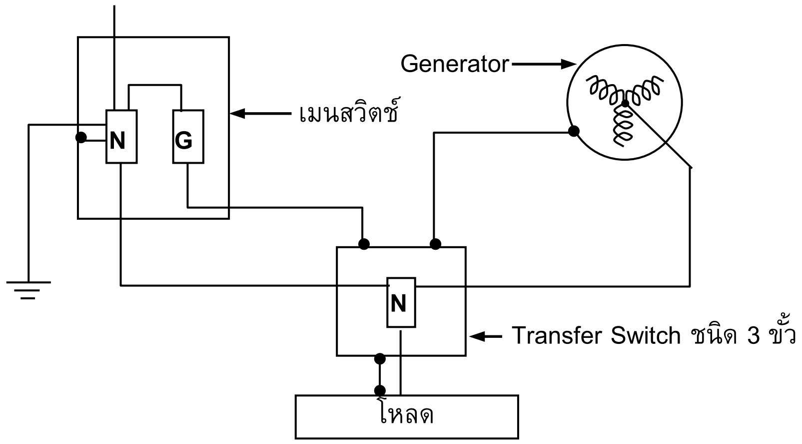
ระบบที่ใช้สวิตซ์สับเปลี่ยน (transfer switch) แบบ 4 ขั้ว ซึ่งจะตัดไฟทั้ง 4 เส้นรวมสายนิวทรัลด้วย ระบบนี้ถือเป็นระบบจ่ายไฟแยกต่างหาก การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าเป็นไปตามรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อใช้สวิตซ์สับถ่ายชนิด 4 ขั้ว

(แสดงเฉพาะสายศูนย์และสายดินเท่านั้น)

กรณีที่ใช้สวิตช์สับเปลี่ยนเป็นแบบ 3 ขั้ว สายนิวทรัลของระบบไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ กับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต่อกันอยู่ตลอดเวลา จึงไม่ถือเป็นระบบจ่ายไฟแยกต่างหาก การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าเป็นไปตามรูปที่ 2.41

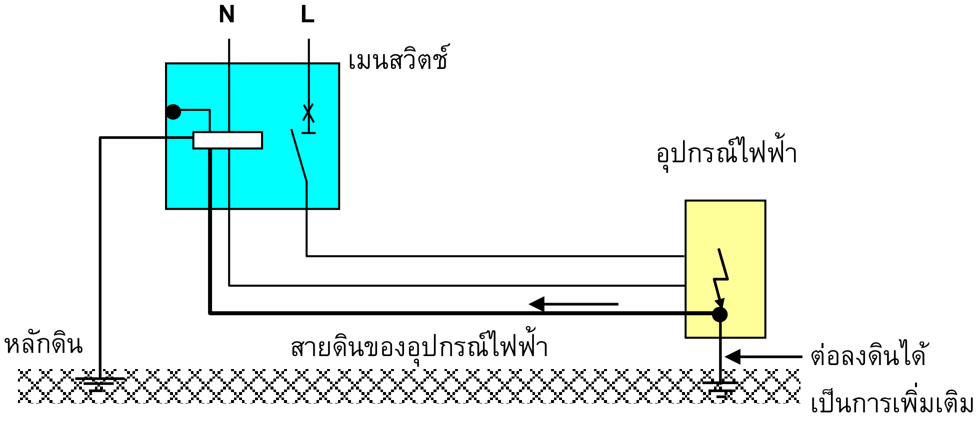


รูปที่ 2.41 การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อใช้สวิตช์สับถ่ายชนิด 3 ขั้ว

(แสดงเฉพาะสายศูนย์และสายดินเท่านั้น)

2.4.2 การต่อลงดินของอุปกรณ์หรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า

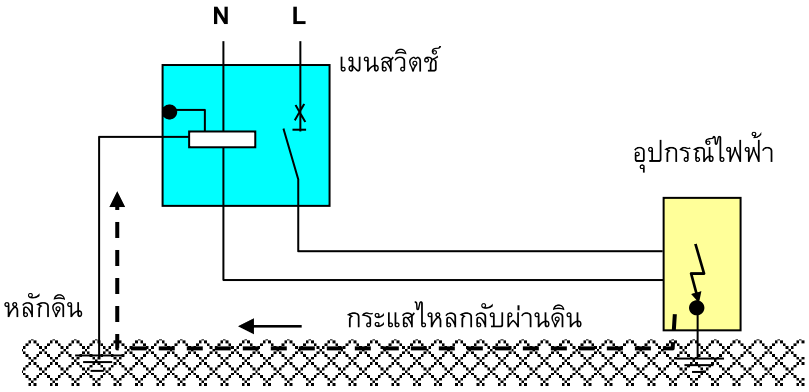
1. วิธีการต่อลงดิน การต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า ทำได้โดยการเดินสายดินจากอุปกรณ์ไฟฟ้ามาต่อลงดินที่เมนสวิตช์โดยต่อเข้ากับนิวทรัลบาร์ที่ได้ต่อลงดินไว้แล้ว สำหรับแผงสวิตช์ขนาดใหญ่จะมีกราวด์บาร์ด้วย สายดินทั้งหมดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต่อเข้ากับกราวด์บาร์นี้ และระหว่างกราวด์บาร์กับนิวทรัลบาร์จะต่อกันด้วยสายไฟฟ้า สายเส้นนี้เรียกว่าสายต่อฝาก



รูปที่ 2.42 การต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า

การต่อลงดินที่ใช้สายดินต่อจากอุปกรณ์ไฟฟ้าลงดิน โดยต่อเข้ากับหลักดินที่ติดตั้งต่างหากนั้นถือเป็นการต่อเพิ่มเติมไม่สามารถใช้แทนการเดินสายดินได้ ต้องเดินสายดินไปต่อลงดินที่เมนสวิตช์

ด้วย การต่อลงดินมีจุดประสงค์ให้กระแสรั่วที่เครื่องใช้ไฟฟ้าไหลกลับได้สะดวกการไหลกลับผ่านสายไฟฟ้าที่มีความต้านทานต่ำ เครื่องป้องกันกระแสเกินจะปลดวงจรได้เร็ว ลดอันตรายจากการสัมผัสอุปกรณ์ไฟฟ้าที่รั่ว และลดความเสียหายของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ด้วย

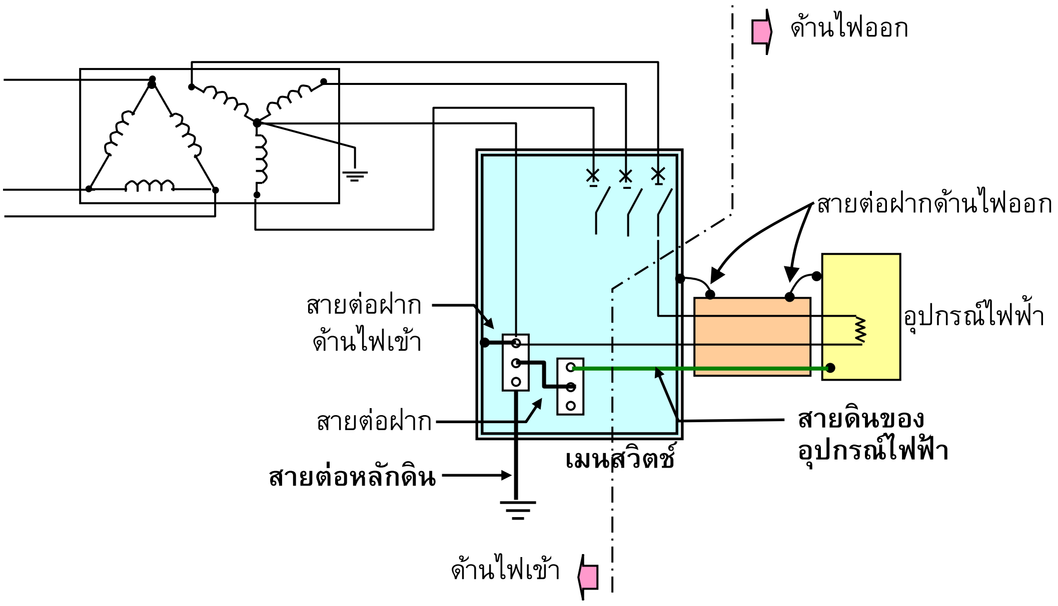


รูปที่ 2.43 การต่อลงดินที่ไม่ถูกต้อง

(กระแสรั่วไหลกลับทางดินซึ่งมีความต้านทานสูง)

การต่อลงดินโดยต่อลงที่อุปกรณ์ไฟฟ้าโดยตรงโดยไม่เดินสายดินไปที่แผงเมน เป็นการต่อลงดินที่ไม่ถูกต้อง เมื่อเกิดไฟรั่วกระแสไฟฟ้าจะไหลกลับผ่านทางดินซึ่งมีความต้านทานสูง กระแสจึงไหลน้อยจนเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่ปลดวงจร หรือปลดวงจรช้าจนเป็นอันตรายต่อบุคคล และอุปกรณ์ไฟฟ้าก็จะได้รับความเสียหายสูง

2. ชนิดและขนาดของสายดิน



รูปที่ 2.44 วงจรการต่อลงดินและการต่อฝาก

(1) สายต่อหลักดิน คือสายเส้นที่ต่อระหว่างนิวทรัลบาร์หรือกราวด์บาร์กับหลักดิน

ชนิด เป็นสายทองแดง และห้ามมีจุดต่อระหว่างทาง

ขนาด ขนาดสายต่อหลักดินกำหนดจากขนาดสายเมนเข้าอาคาร (สายประธาน) หรือสายเมนแรงต่ำที่เดินจากหม้อแปลงไฟฟ้ามาเข้าแผงเมน คิดเพียงเฟสเดียว สำหรับการเดินสายที่ใช้สายไฟฟ้าเฟสละหลายเส้นให้รวมพื้นที่หน้าตัดของสายทุกเส้นในเฟสเดียวกันเข้าด้วยกัน กำหนดขนาดตามตารางที่ 2.15 ขนาดสายดินที่ใหญ่ที่สุดคือ 95 ตร.มม.

(2) สายดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า (หรือภริภัณฑ์ไฟฟ้า)

ชนิด สายดินจะต้องเป็นสายทองแดง หรือเปลือกโลหะของเคเบิลชนิด AC, MC, MI หรือเปลือกหุ้มบัสเวย์ชนิดที่ผู้ผลิตระบุให้ใช้เป็นสายดินได้เท่านั้น กรณีเป็นสายทองแดงอาจหุ้มฉนวนหรือไม่ก็ได้ ฉนวนต้องเป็นสีเขียวหรือเขียวแถบเหลือง อุปกรณ์การเดินสายอื่นห้ามใช้เป็นสายดิน

ขนาด ขนาดของสายดินกำหนดจากขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ ตามตารางที่ 2.16

(3) สายต่อฝากด้านไฟเข้า อุปกรณ์เดินสายโลหะที่ใช้สำหรับเดินสายเมนมาที่แผงเมนสวิตช์ เช่น รางเดินสาย รางเคเบิล และท่อร้อยสาย ต้องต่อฝากเข้ากับแผงเมนสวิตช์ การต่อฝากอาจใช้อุปกรณ์การเดินสายหรือสายไฟฟ้าก็ได้ กรณีเป็นสายไฟฟ้าจะกำหนดจากขนาดสายเมนที่เดินเข้าแผงเมนสวิตช์ตามตารางที่ 2.15 เช่นเดียวกับขนาดสายต่อหลักดิน แต่มีข้อเพิ่มเติมคือ ถ้าขนาดสายดินที่กำหนดมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กกว่า 12.5% ของขนาดสายเมน ต้องกำหนดขนาดสายดินให้ใหญ่ขึ้นจนไม่เล็กกว่า 12.5% ของขนาดสายเมน สายเมนที่เดินเฟสละหลายเส้นให้รวมพื้นที่หน้าตัดของสายทุกเส้นในเฟสเดียวกันเข้าด้วยกัน เช่นเดียวกับสายต่อหลักดิน

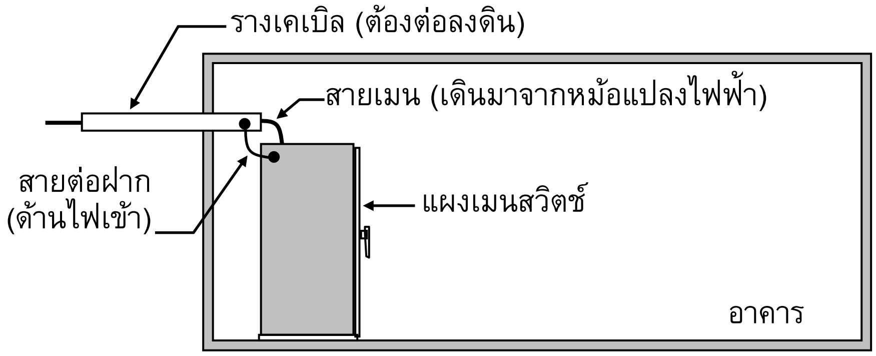
(4) สายต่อฝากด้านไฟออก ใช้สำหรับต่อฝากระหว่างอุปกรณ์การเดินสายกับแผงสวิตช์หรือระหว่างอุปกรณ์การเดินสายด้วยกัน รวมทั้งสายต่อฝากระหว่างแผงสวิตช์กับกราวด์บาร์ (แผงสวิตช์ที่ไม่ใช่เป็นเมนสวิตช์) การต่อฝากอาจใช้อุปกรณ์การเดินสายหรือสายไฟฟ้าก็ได้ ถ้าใช้เป็นสายไฟฟ้าจะกำหนดจากขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรนั้น ตามตารางที่ 2.16 การพิจารณาจะดูว่าเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรลงดิน กระแสไฟฟ้าจะไหลมาจากเครื่องป้องกันกระแสเกินตัวใด

ตารางที่ 2.15 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

ตารางที่ 2.16 ขนาดต่ำสุดของสายดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกิน ไม่เกิน (แอมแปร์)	ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า เป็นสายทองแดง (ตร.มม.)
16	1.5
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



รูปที่ 2.45 สายต่อฝากด้านไฟเข้า

ตัวอย่าง การกำหนดขนาด

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

วิธีทำ

สายต่อหลักดิน

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

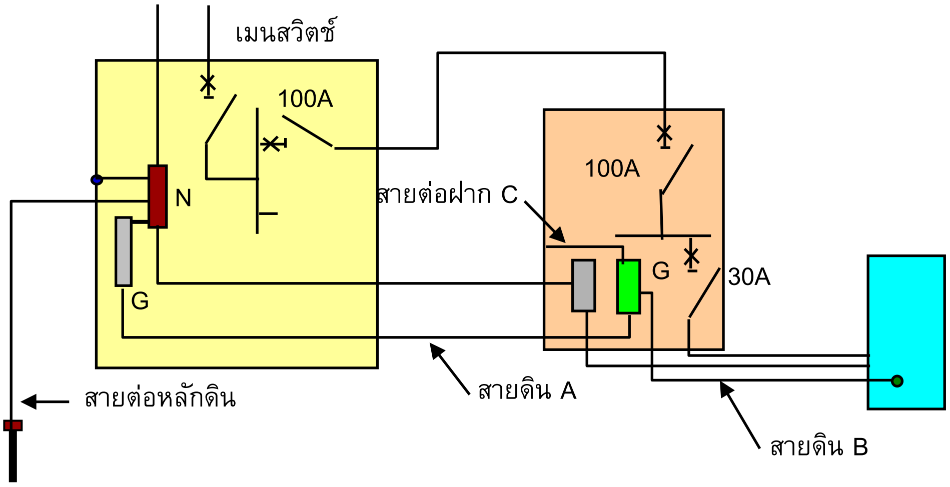
สายต่อฝากด้านไฟเข้า

คิดจากขนาดสายเมนเข้าอาคารเฟสเดียวคือขนาด 2×400 = 800 ตร.มม. จากตารางที่ 2.16 ได้ขนาดสายต่อฝากเท่ากับ 95 ตร.มม. แต่ในข้อกำหนด ขนาดสายต่อฝากจะต้องไม่เล็กกว่า 12.5% ของขนาดสายเมนด้วย

ขนาดสายเมนคือ 800 ตร.มม. ขนาด 12.5% ของสายเมนคือ 100 ตร.มม. ดังนั้นสายต่อฝากจะต้องไม่เล็กว่า 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.

(5) ขนาดสายดินของวงจรมอเตอร์ ขนาดสายดินของวงจรมอเตอร์ กำหนดตามตารางที่ 2.16 โดยกำหนดจากขนาดเครื่องป้องกันโหลดเกินของมอเตอร์ การกำหนดจากขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินสามารถทำได้ แต่ขนาดสายไฟฟ้าที่ได้จะใหญ่กว่าการกำหนดจากขนาดเครื่องป้องกันโหลดเกินของมอเตอร์ ซึ่งเกินความจำเป็น

ตัวอย่าง การกำหนดขนาดสายดินของมอเตอร์

ตัวอย่างที่ 2.7

สายป้อนจ่ายโหลดให้มอเตอร์ 2 เครื่อง ดังนี้

มอเตอร์ M1 มีกระแสโหลดเต็มที่เท่ากับ 40 แอมแปร์

มอเตอร์ M2 มีกระแสโหลดเต็มที่เท่ากับ 60 แอมแปร์

ถ้าเครื่องป้องกันโหลดเกินของมอเตอร์ ตั้งไว้ที่ 115% ของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ จงกำหนด

1. ขนาดสายดินของมอเตอร์แต่ละตัว
2. ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ของสายป้อนชุดนี้มีขนาด 200 แอมแปร์ จงกำหนดขนาดสายดินของแผงสวิตช์นี้ด้วย

วิธีทำ

การปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน เป็นดังนี้

มอเตอร์ M1 ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 40 x 1.15 = 46 A

มอเตอร์ M2 ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน = 60 x 1.15 = 69 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.

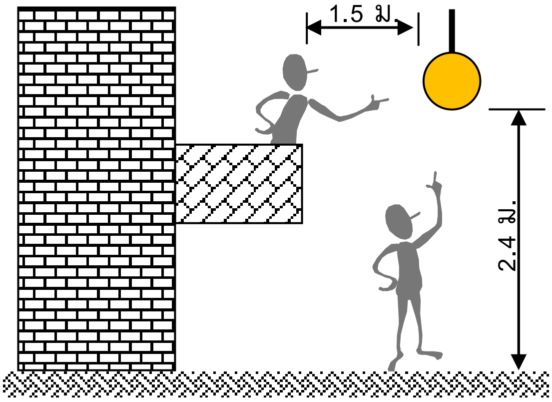
2.4.3 อุปกรณ์ (บริภัณฑ์) ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน

อุปกรณ์ไฟฟ้าต่อไปนี้ ต้องต่อลงดิน

1. เครื่องห่อหุ้มที่เป็นโลหะของสายไฟฟ้า แผงเมนสวิตช์ โครงและรางปั้นจั่นที่ใช้ไฟฟ้าโครงของตู้ลิฟต์ และลวดสลิงยกของที่ใช้ไฟฟ้า
2. สิ่งกั้นที่เป็นโลหะ รั้วโลหะ รวมทั้งเครื่องห่อหุ้มของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบแรงสูง
3. อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ยึดติดกับที่ และที่ต่ออยู่กับสายไฟฟ้าที่เดินถาวร ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งซึ่งปกติไม่มีไฟฟ้า แต่อาจมีไฟฟ้ารั่วถึงได้ต้องต่อลงดินถ้ามีสภาพตามข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

- อยู่ห่างจากพื้นหรือโลหะที่ต่อลงดินไม่เกิน 2.4 เมตร ในแนวตั้ง หรือ 1.5 เมตร ในแนวนอน และบุคคลอาจสัมผัสได้ แต่ถ้าวิธีการติดตั้ง หรือมีวิธีการป้องกันอย่างอื่นที่ป้องกันบุคคลสัมผัสโดยไม่ตั้งได้ ก็ไม่ต้องต่อลงดิน

- สัมผัสทางไฟฟ้ากับโลหะอื่นที่บุคคลอาจสัมผัสได้เช่น โครงสร้างโลหะของอาคาร
- อยู่ในสถานที่เปียก หรือชื้น และไม่ได้มีการแยกให้อยู่ต่างหาก



รูปที่ 2.46 อยู่ห่างจากระยะเอื้อมมือถึง ไม่ต้องต่อลงดิน

4. อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดยึดติดกับที่ต่อไปนี้ ต้องต่อส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งและสภาพปกติไม่มีกระแสไฟฟ้าลงดินคือ

- โครงของแผงสวิตช์
- โครงของมอเตอร์ชนิดยึดติดกับที่
- กล่องของเครื่องควบคุมมอเตอร์ แต่ถ้าใช้เป็นสวิตช์ธรรมดา และมีฉนวนรองที่ฝาสวิตช์ด้านในก็ไม่ต้องต่อลงดิน
- อุปกรณ์ไฟฟ้าของลิฟต์และปั้นจั่น
- อุปกรณ์ไฟฟ้าในอู่จอดรถ โรงมหรสพ โรงถ่ายภาพยนตร์ สถานีวิทยุและโทรทัศน์ ไม่รวมถึงโคมไฟฟ้าแบบแขวน
- ป้ายและอุปกรณ์ประกอบซึ่งใช้ไฟฟ้า
- เครื่องฉายภาพยนตร์
- เครื่องสูบน้ำที่ใช้มอเตอร์

5. อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้เต้าเสียบ ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งของอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งปกติไม่มีไฟฟ้าต้องต่อลงดิน **ยกเว้น** อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ระบุว่าเป็นชนิดฉนวน 2 ชั้น หรือเทียบเท่า

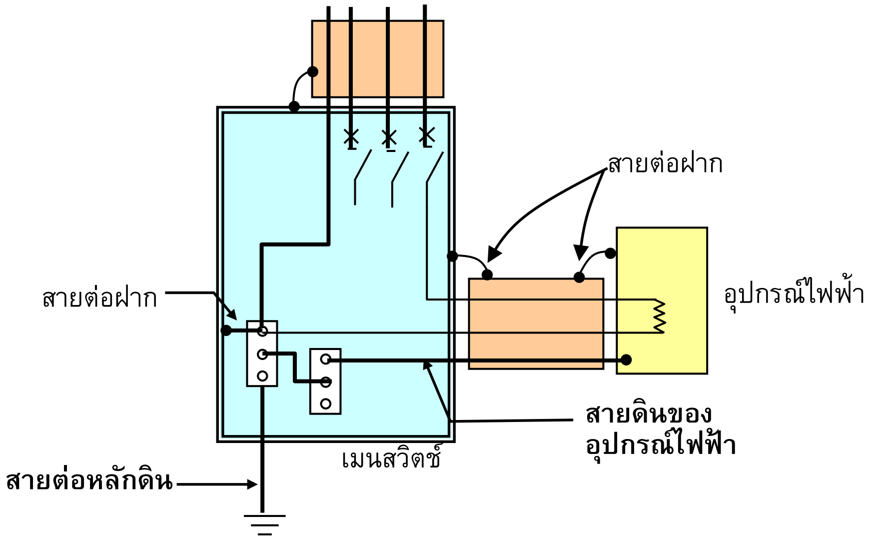
อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดฉนวนสองชั้น เป็นอุปกรณ์ที่ผู้ผลิตออกแบบให้มีฉนวนหุ้มภายนอกอีกชั้นหนึ่งหรืออาจมีความหนาของฉนวนเป็น 2 เท่าของความหนามาตรฐาน ถือว่ามีความปลอดภัยเพียงพอ ปกติจะแสดงเครื่องหมายไว้ที่แผ่นป้ายประจำเครื่อง (name plate) ด้วยเครื่องหมายรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสสองรูปซ้อนกัน อุปกรณ์ชนิดนี้ไม่ต้องต่อลงดินและไม่มีจุดให้ต่อลงดินด้วย

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ยึดแน่นและมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่ดีกับแท่นยึดหรือโครงโลหะที่ต่อลงดินไว้แล้ว ถือว่าอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นได้มีการต่อลงดินแล้ว

2.4.4 หลักดิน หลักดินตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า เป็นดังนี้

1. แท่งเหล็กอาบโลหะชนิดกันผุกร่อน หรือแท่งเหล็กหุ้มทองแดง หรือแท่งทองแดง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 16 มม. ยาวไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร ปลายข้างหนึ่งปักลึกลงดินไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร
2. แผ่นโลหะที่มีพื้นที่สัมผัสไม่น้อยกว่า 1,800 ตร.มม. ถ้าเป็นเหล็กอาบโลหะชนิดผุกร่อนต้องหนาไม่น้อยกว่า 6 มม. ถ้าเป็นโลหะอื่นที่ทนต่อการผุกร่อนต้องหนาไม่น้อยกว่า 1.5 มม. ฝังลึกจากผิวดินไม่น้อยกว่า 1.6 เมตร
3. โครงอาคารที่เป็นโลหะ วัดค่าความต้านทานระหว่างหลักดินกับดินไม่เกิน 5 โอห์ม
4. หลักดินชนิดอื่นต้องได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าฯ ก่อน

2.4.5 ความต่อเนื่องของระบบสายดิน อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ต้องต่อลงดิน รวมทั้งแผงสวิตช์และอุปกรณ์การเดินสายโลหะทั้งหมด การต่อลงดินของแผงเมนสวิตช์ทำได้ด้วยการต่อฝากเข้ากับบัสบาร์นิวทรัล และของแผงย่อยต่อฝากเข้ากับบัสบาร์กราวด์



รูปที่ 2.47 ความต่อเนื่องของระบบสายดิน

สำหรับการต่อลงดินของอุปกรณ์การเดินสายเช่น ท่อร้อยสาย รางเดินสาย และรางเคเบิล การต่อลงดิน ทำได้ด้วยการต่อฝากเข้ากับแผงสวิตช์ เพราะแผงสวิตช์มีการต่อลงดินไว้แล้ว ดังนั้นในระบบการเดินสาย จะพบว่าต้องมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าโดยตลอดตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทาง เช่น จากแผงสวิตช์ผ่านท่อร้อยสายไปถึงแผงย่อยอื่น หรือจนถึงเครื่องใช้ไฟฟ้า

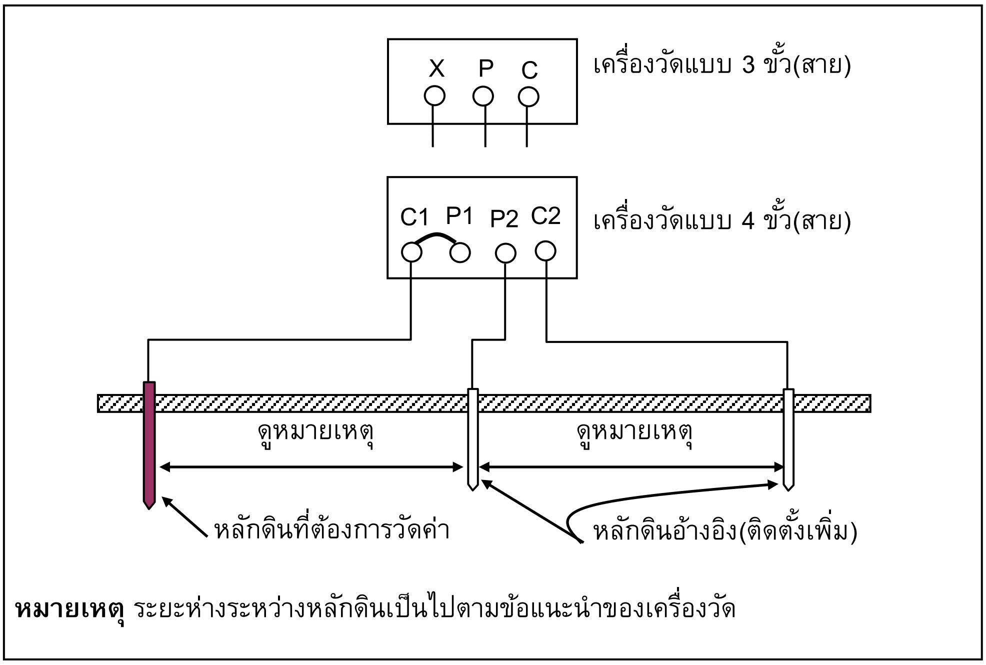
การต่อฝากระหว่างอุปกรณ์เดินสายกับแผงสวิตช์ทำได้หลายวิธี วิธีทั่วไปคือการต่อด้วยสายไฟฟ้า (สายเส้นนี้เรียกว่าสาวต่อฝาก) แต่ในการเดินสายด้วยท่อโลหะ ส่วนที่ท่อต่อกับแผงสวิตช์ปกติจะใช้บุชชิงและล็อกนัต ขันให้แน่น กรณีนี้ถือว่ามีการต่อฝากระหว่างท่อกับแผงสวิตช์แล้ว

2.5 การวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน

กรณีที่ต้องการทราบค่าความต้านทานการต่อลงดิน ต้องวัดด้วยเครื่องมือวัด เรียกว่าเครื่องวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน

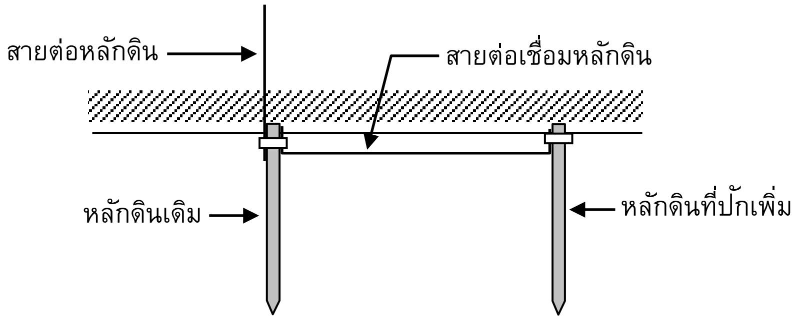
เครื่องมือวัดความต้านทานการต่อลงดินมีหลายแบบ ส่วนใหญ่ในการวัดจะมีการปักหลักดินเพิ่มอีกจำนวน 2 หรือ 3 หลัก ระยะห่างระหว่างหลักดินเปลี่ยนไปตามชนิดของเครื่องซึ่งดูได้จากข้อแนะนำของผู้ผลิต และการแสดงขั้วก็อาจแตกต่างกันไปด้วย ผู้จะใช้งานจึงควรศึกษารายละเอียดการใช้งานให้ชัดเจนก่อน เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

รูปที่ 2.48 ตัวอย่างเครื่องวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน



รูปที่ 2.49 ตัวอย่างการต่อสายเครื่องวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน

เมื่อต่อสายตามที่แสดงในรูปแล้วกดสวิตช์ จะสามารถอ่านค่าความต้านทานได้โดยตรง กรณีค่าที่วัดได้สูงเกินไป สามารถลดค่าความต้านทานได้ด้วยการปักหลักดินเพิ่มห่างจากหลักดินเดิมไม่น้อยกว่า 2 เมตร และต่อเชื่อมเข้าหลักดินเดิม



รูปที่ 2.50 การปักหลักดินเพิ่มเพื่อลดค่าความต้านทาน

การปักหลักดินเพิ่มจะทำให้ค่าความต้านทานลดลง ค่าความต้านทานใหม่สามารถหาได้จากการคูณค่าความต้านทานเดิมด้วยตัวคูณตามที่กำหนดในตารางที่ 2.17 ตัวอย่างเช่น เมื่อปักหลักดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาว 2.4 เมตร จำนวน 1 หลัก และวัดค่าความต้านทานได้เท่ากับ 10 โอห์ม ถ้าต้องการลดค่าความต้านทานโดยการเพิ่มจำนวนหลักดินอีก 1 หลัก จำนวนหลักดินจึง

เท่ากับ 2 หลักโดยปักให้ห่างจากเดิม 2.4 เมตร ค่าความต้านทานที่คาดว่าจะวัดได้จะเท่ากับ $10 \times 0.58 = 5.8$ โอห์ม หรือถ้าหลักดินที่ปักใหม่ห่างจากเดิม 4.8 เมตร ค่าความต้านทานที่คาดว่าจะวัดได้จะเท่ากับ $10 \times 0.54 = 5.4$ โอห์ม เป็นต้น

ตารางที่ 2.17 ตัวคูณปรับค่าความต้านทานเมื่อจำนวนหลักดินเพิ่ม

จำนวนหลักดิน	**ระยะห่างระหว่างหลักดิน**	
	2.4 เมตร	**4.8 เมตร**
2	0.58	0.54
3	0.42	0.38
4	0.34	0.29
6	0.25	0.21
8	0.19	0.16

บทที่ 3
มาตรฐานการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณอันตราย

บริเวณอันตรายคือบริเวณที่ประกอบด้วยสารไวไฟอยู่ทั้ง ในขณะผลิต ขณะซ่อมบำรุง หรือการเก็บรักษา ซึ่งพร้อมจะลุกติดไฟได้ตลอดเวลา เป็นสาเหตุของการเกิดเพลิงไม้ได้ เนื่องจากการติดตั้ง การใช้งาน หรือการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องเลือกใช้อุปกรณ์และทำการติดตั้งให้ถูกต้องตามมาตรฐาน แต่เนื่องจากการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณอันตรายมีค่าใช่จ่ายสูงกว่าบริเวณทั่วไป ในการออกแบบโรงงานจึงต้องพยายามจำกัดพื้นที่ที่เป็นบริเวณอันตรายให้อยู่ในวงจำกัดและมีพื้นที่เล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ และในการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าก็ต้องพยายามหลีกเลี่ยงการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณอันตราย โดยให้มีเท่าที่จำเป็นเท่านั้น หรือพยายามลดความอันตรายลงเช่นการระบายอากาศ เป็นต้น

เมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง จะต้องทำการการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า และอุปกรณ์การเดินสาย ให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัย การตรวจสอบเป็นการตรวจการคงสภาพความปลอดภัยของอุปกรณ์ และทำการบำรุงรักษาตามความจำเป็น

3.1 การจำแนกบริเวณอันตราย

การจำแนกบริเวณอันตราย จะพิจารณาจากลักษณะสมบัติของสารไวไฟ ที่มีโอกาสที่จะมีความเข้มข้น หรือมีปริมาณมากพอที่จะเกิดการลุกไหม้ได้ ในแต่ละอาคารอาจประกอบไปด้วยหลายบริเวณต่าง ๆ กัน ทั้งที่อันตรายมาก อันตรายน้อย และบริเวณทั่วไป รวมอยู่ด้วยกัน การพิจารณาจำแนกบริเวณอันตรายที่เป็นเจ้าของเดียวกัน จะแยกการพิจารณาเป็นแต่ละห้อง แต่ละส่วน หรือแต่ละพื้นที่ไป

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย มีวิธีการจำแนกบริเวณอันตราย 2 วิธี ผู้ใช้มาตรฐานสามารถเลือกใช้ได้ตามต้องการคือ

1. การจำแนกเป็นประเภทและแบบ
2. การจำแนกเป็นประเภทและโซน

บริเวณเดียวกันห้ามใช้วิธีการแบ่งบริเวณทั้งสองวิธีมาผสมกัน เช่นในพื้นที่หนึ่งที่ประกอบด้วยส่วนย่อยหลายส่วน จะแบ่งพื้นที่ย่อยบางส่วนเป็นบริเวณประเภทที่ 1 แบบที่ 1 หรือ แบบที่ 2 และอีกพื้นที่ย่อยที่เหลือเป็นประเภทที่ 1 โซน 0 โซน 1 หรือ โซน 2 และ ไม่ได้ ต้องเลือกแบ่งด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง การเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า และการเดินสาย ต้องสอดคล้องกับบริเวณอันตราย ตามที่จำแนกด้วย

3.2 การจำแนกเป็นประเภทและแบบ

เป็นการจำแนกตามมาตรฐาน NEC ซึ่งจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ตามประเภทของสารไวไฟ คือก๊าซหรือไอ ฝุ่น และเส้นใย ในแต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามความเข้มข้นของสารไวไฟ ดังนี้

3.2.1 บริเวณอันตรายประเภทที่ 1

คือ บริเวณที่มีก๊าซ หรือไอที่ติดไฟได้ ผสมอยู่ในอากาศปริมาณมากพอที่จะทำให้เกิดการระเบิดได้

1. บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 ได้แก่บริเวณที่ในสภาวะการทำงานตามปกติ มีก๊าซหรือไอที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้ หรือบริเวณที่อาจมีก๊าซหรือไอ ที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้อยู่บ่อย ๆ เนื่องจากการซ่อมแซม บำรุงรักษาหรือรั่ว หรือเมื่ออุปกรณ์เกิดความเสียหายหรือทำงานผิดพลาด ซึ่งการระเบิดอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าขัดข้องและกลายเป็นแหล่งกำเนิดประกายไฟได้

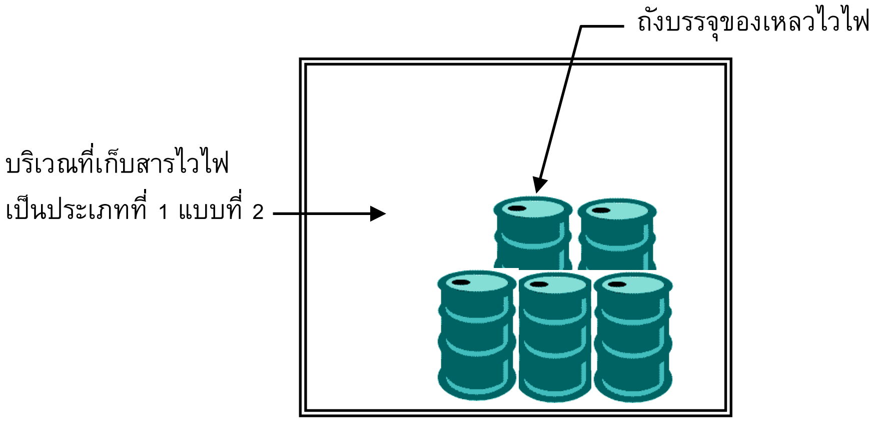
ตัวอย่างบริเวณที่จำแนกเป็นบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 ได้แก่

- บริเวณที่มีการขนถ่ายของเหลวไวไฟที่ระเหยได้ง่าย จากที่เก็บหนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง
- บริเวณที่มีการพ่น หรือ ใช้สารไวไฟที่ระเหยง่าย รวมทั้งบริเวณที่อยู่ติดกัน
- บริเวณที่มีถัง หม้อ กระทะ หรือภาชนะ ซึ่งไม่มีฝาปิดและมีบรรจุสารไวไฟที่ระเหยง่ายอยู่
- ห้องหรือบริเวณตากแห้ง โดยใช้วิธีปล่อยให้มีการระเหยของสารไวไฟ
- ห้องผลิตก๊าซ และบริเวณอื่นของอาคารที่ก๊าซอาจรั่วไหลไปถึง
- ห้องสูบก๊าซหรือของเหลวไวไฟที่ระเหยง่าย ที่การระบายอากาศไม่เพียงพอ
- บริเวณอื่น ๆ ที่ในสภาพปกติอาจมีสารไวไฟที่มีความเข้มข้นมากพอที่จะเกิดการลุกติดไฟได้

2. บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2 ได้แก่

- บริเวณที่ใช้เก็บของเหลวติดไฟซึ่งระเหยง่ายหรือ ก๊าซที่ติดไฟได้ ซึ่งโดยปกติของเหลว ไอหรือก๊าซนี้จะถูกเก็บไว้ในภาชนะหรือระบบที่ปิด ซึ่งจะรั่วออกมาได้เฉพาะในกรณีที่อุปกรณ์ทำงานผิดปกติ
- บริเวณมีการป้องกันการระเบิดเนื่องจากก๊าซหรือ ไอที่มีความเข้มข้นเพียงพอ โดยใช้ระบบระบายอากาศซึ่งทำงานโดยเครื่องจักรกล และอาจเกิดอันตรายได้หากระบบระบายอากาศขัดข้องหรือทำงานผิดปกติ
- บริเวณที่อยู่ใกล้กับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 และอาจได้รับการถ่ายเทก๊าซหรือ ไอที่มีความเข้มข้นพอที่จะจุดระเบิดได้ในบางครั้ง ถ้าไม่มีการ

ป้องกัน โดยการทำให้ความดันภายในห้องสูงกว่าความดันบรรยากาศโดยการดูดอากาศสะอาดเข้ามาภายในห้อง และมีระบบตรวจสอบด้านความปลอดภัยที่มีประสิทธิผลถ้าระบบการอัดและระบายอากาศทำงานผิดพลาด



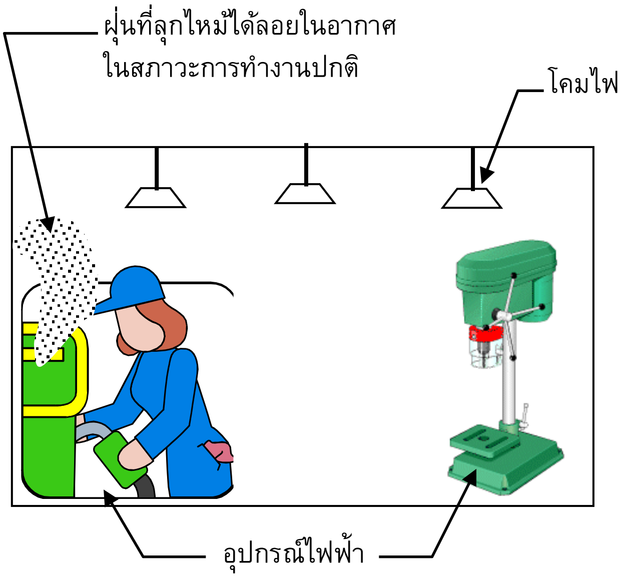
รูปที่ 3.1 บริเวณที่จัดเป็นบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2

3.2.2 บริเวณอันตรายประเภทที่ 2

คือ บริเวณที่มีฝุ่นที่ทำให้เกิดการระเบิดได้ ดังนี้

1. บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1 ได้แก่

- บริเวณที่มีฝุ่นที่ลุกไหม้ได้ อยู่ในอากาศเป็นปริมาณที่อาจทำให้เกิดส่วนผสมที่อาจระเบิดหรือจุดระเบิดได้ ภายใต้สภาวะการทำงานตามปกติ
- บริเวณที่เมื่อเครื่องจักรกลขัดข้องหรือทำงานผิดปกติ อาจทำให้เกิดส่วนผสมที่อาจระเบิดหรือจุดระเบิดได้ และอาจเป็นแหล่งกำเนิดของการจุดระเบิดเมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานขัดข้องหรือจากการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน หรือสาเหตุอื่น
- บริเวณที่มีฝุ่นที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ลุกไหม้ได้ในปริมาณที่เป็นอันตราย



รูปที่ 3.2 บริเวณที่จัดเป็นบริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1

2. บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 2 ได้แก่

- บริเวณที่ตามปกติจะมีฝุ่นที่ลุกไหม้ได้อยู่ในอากาศแต่มีปริมาณไม่มากพอที่จะทำให้เกิดการระเบิดหรือจุดระเบิด และการสะสมของฝุ่นไม่มีผลต่อการทำงานปกติของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องสำเร็จอื่น ฝุ่นนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการขนถ่ายน้อยครั้งหรือผิดขั้นตอนหรือ จากขบวนการผลิต
- บริเวณซึ่งฝุ่นมีการสะสมในบริเวณใกล้เคียงกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งาน และมีปริมาณมากพอที่จะทำให้อุปกรณ์ระบายความร้อนได้ยาก หรืออาจจุดระเบิดซึ่งเกิดจากการทำงานผิดปกติหรือการขัดข้องของอุปกรณ์ไฟฟ้า

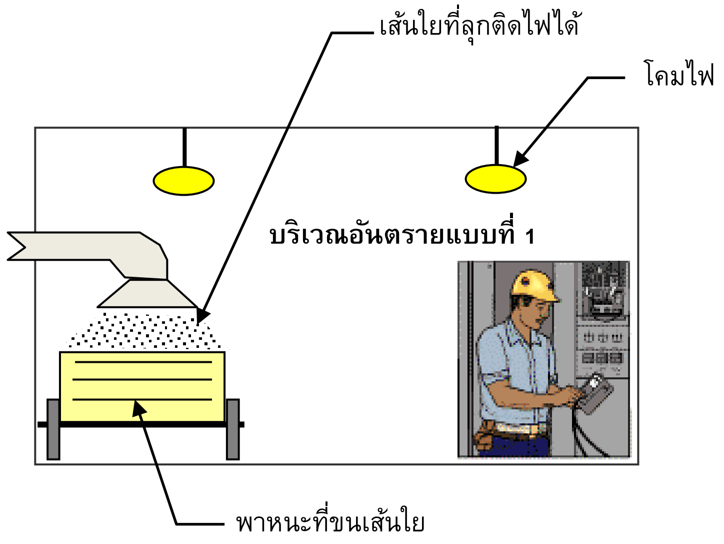
อุปกรณ์ที่ติดตั้งในบริเวณอันตรายประเภทที่ 2 เมื่อใช้งานเต็มที่ต้องไม่ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวสูงพอที่จะทำให้ฝุ่นของสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ที่ผิวแห้งหรือค่อย ๆ กลายเป็นถ่าน ในที่ซึ่งมีฝุ่นประเภทที่ 2 กลุ่มอี ตามการแบ่งกลุ่มสารไวไฟ ในปริมาณที่อาจเกิดอันตรายได้ ถือว่าเป็นบริเวณอันตรายแบบที่ 1 เท่านั้น

3.2.3 บริเวณอันตรายประเภทที่ 3

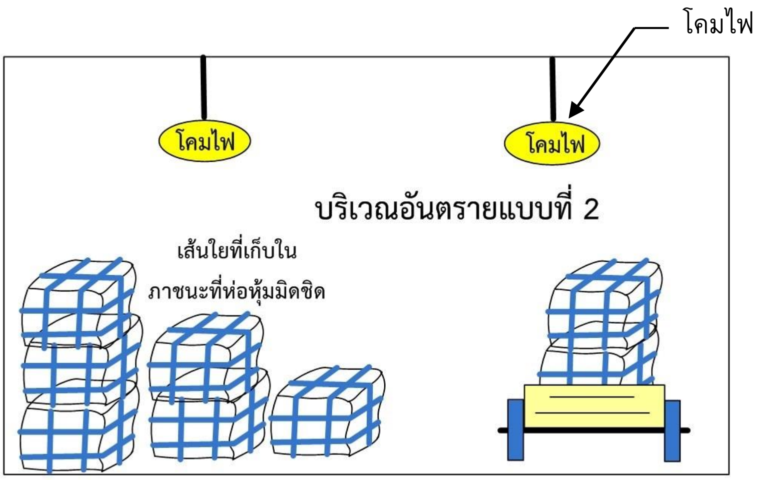
คือ บริเวณที่มีเส้นใยหรือละอองที่จุดระเบิดได้ง่าย แต่ปกติจะไม่ลอยอยู่ในอากาศเป็นปริมาณมากพอที่จะทำให้เกิดการจุดระเบิดได้

1. บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 1 บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 1 ได้แก่ บริเวณที่มีเส้นใยที่จุดระเบิดง่ายหรือมีการขนถ่าย ผลิตหรือใช้งาน วัตถุที่ทำให้เกิดละอองที่จุดระเบิดได้

2. บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 2 บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 2 ได้แก่บริเวณที่เป็นที่เก็บหรือขนถ่ายเส้นใยที่ลุกไหม้ได้ง่าย **ยกเว้น** ในขบวนการผลิต



รูปที่ 3.3 บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 1



รูปที่ 3.4 บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 2

3.3 การจำแนกเป็นประเภทและโซน

การจำแนกบริเวณอันตรายขึ้นอยู่กับสมบัติของไอ ก๊าซ หรือของเหลวที่ติดไฟได้ ซึ่งอาจมีขึ้นและมีความเป็นไปได้ที่จะมีความเข้มข้น หรือมีปริมาณมากพอที่จะทำให้เกิดการลุกไหม้ หรือเกิดเพลิงไหม้ได้ สถานที่ซึ่งมีการใช้สารไพโรฟอริก (pyrophoric) เพียงชนิดเดียว ไม่จัดเป็นบริเวณ

อันตราย ในการพิจารณาจำแนกประเภทแต่ละห้อง ส่วนหรือบริเวณจะแยกพิจารณาเป็นกรณีเฉพาะของแต่ละห้องหรือบริเวณนั้น ๆ

การจำแนกเป็นโซนเป็นการแบ่งบริเวณอันตรายตามมาตรฐาน IEC ซึ่งครอบคลุมสารไวไฟที่เป็นก๊าซ โดยแบ่งโซนออกเป็นโซน 0 โซน 1 และ โซน 2 ดังนี้

3.3.1 โซน 0 คือบริเวณดังต่อไปนี้

- บริเวณที่มีก๊าซหรือไออย่างต่อเนื่องและมีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้
- บริเวณที่มีก๊าซหรือไอตลอดเวลาและมีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้

มาตรฐาน IEC กำหนดระยะเวลาของโซน 0 ไว้ว่าเป็นบริเวณที่มีสารไวไฟนานเป็นเวลาตั้งแต่ปีละ 1,000 ชั่วโมงขึ้นไป

3.3.2 โซน 1 คือบริเวณดังต่อไปนี้

- สถานที่ซึ่งในสภาวะการทำงานปกติ อาจมีก๊าซหรือไอที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้
- สถานที่ซึ่งอาจมีก๊าซหรือ ไอ ที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้อยู่บ่อย ๆ เนื่องจากการซ่อมแซม บำรุงรักษา หรือรั่ว
- สถานที่ซึ่งเมื่ออุปกรณ์เกิดความเสียหายหรือทำงานผิดพลาดอาจทำให้เกิดก๊าซหรือไอที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้ และในขณะเดียวกันอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าขัดข้องซึ่งเป็นสาเหตุให้อุปกรณ์ไฟฟ้าดังกล่าวเป็นแหล่งกำเนิดของการระเบิดได้
- สถานที่ซึ่งอยู่ใกล้กับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 โซน 0 และอาจได้รับการถ่ายเทก๊าซหรือไอที่มีความเข้มข้นพอที่จะจุดระเบิดได้ ถ้าไม่มีการป้องกันโดยการระบายอากาศโดยดูดอากาศสะอาดเข้ามา และมีระบบรักษาความปลอดภัยที่มีประสิทธิผลหากระบบระบายอากาศทำงานผิดพลาด

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

3.3.3 โซน 2 คือบริเวณดังต่อไปนี้

- สถานที่ซึ่งในสภาวะการทำงานปกติ เกือบจะไม่มีก๊าซหรือไอที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้ และถ้ามีก๊าซหรือไอดังกล่าว เกิดขึ้นก็จะมีในช่วงเวลาสั้น ๆ เท่านั้น
- สถานที่ซึ่งใช้เก็บของเหลวติดไฟซึ่งระเหยง่าย ก๊าซ หรือไอที่ติดไฟได้ ซึ่งโดยปกติของเหลวไอหรือก๊าซนี้จะถูกเก็บไว้ในภาชนะหรือระบบที่ปิดโดยอาจรั่วออกมาได้จากการทำงานของอุปกรณ์ที่ผิดปกติในขณะที่มีการหยิบยก ผลิต หรือใช้งานของเหลวหรือก๊าซ

- สถานที่ซึ่งมีการป้องกันการระเบิด เนื่องจากก๊าซหรือไอที่มีความเข้มข้นเพียงพอโดยใช้ระบบระบายอากาศ ซึ่งทำงานโดยเครื่องจักรกล และอาจเกิดอันตรายได้หากระบบระบายอากาศขัดข้องหรือทำงานผิดปกติ
- สถานที่ซึ่งอยู่ใกล้กับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 โซน 1 และอาจได้รับการถ่ายเทก๊าซหรือไอที่มีความเข้มข้นพอที่จะจุดระเบิดได้ถ้าไม่มีการป้องกันโดยการระบายอากาศโดยดูดอากาศสะอาดเข้ามาและมีระบบรักษาความปลอดภัยที่มีประสิทธิผลหากระบบระบายอากาศทำงานผิดพลาด

มาตรฐาน IEC กำหนดระยะเวลาของโซน 2 ไว้ว่าเป็นบริเวณที่มีสารไวไฟนานเป็นเวลาปีละไม่ถึง 10 ชั่วโมง

3.4 วิธีเดินสายสำหรับการจำแนกเป็นประเภทและแบบ

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

การเดินสายตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การเดินสายด้วยระบบช่องเดินสายและสายเคเบิลชนิดเอ็มไอซึ่งใช้กับบริเวณอันตรายที่จำแนกเป็นประเภทและแบบ และการเดินสายด้วยระบบสายเคเบิลจะใช้กับการจำแนกบริเวณอันตรายเป็นประเภทและโซน หลักสำคัญของการเดินสายคือการป้องกันการรั่วซึมของสารไวไฟจากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกพื้นที่หนึ่ง และป้องกันการรั่วซึมของสารไวไฟเข้าไปในส่วนที่มีประกายไฟจากการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า อย่างไรก็ตามความรุนแรงของอันตรายและความยากง่ายต่อการจุดระเบิดของสารไวไฟในแต่ละบริเวณแตกต่างกัน การเดินสายในแต่ละบริเวณจึงต่างกัน

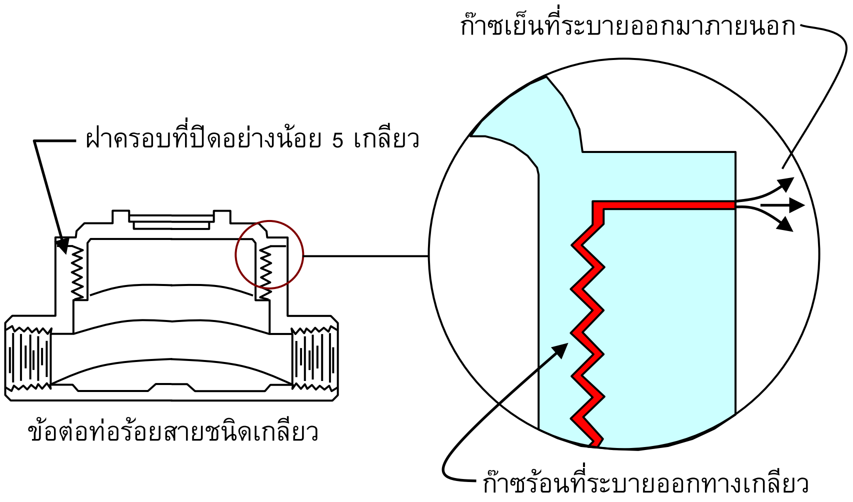
3.4.1 การเดินสายสำหรับบริเวณอันตรายตามการจำแนกเป็นประเภทและแบบ

1. บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 ในบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 การเดินสายที่เลือกใช้ได้คือการเดินสายด้วยระบบท่อร้อยสาย และการเดินสายด้วยระบบสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ

การเดินสายแบบร้อยจะต้องใช้ท่อแบบมีเกลียวคือท่อโลหะหนาและท่อโลหะหนาปานกลาง เครื่องประกอบการเดินท่อเช่น กล่องต่อสาย ข้อต่อต่าง ๆ ต้องเป็นแบบมีเกลียวและต้องเป็นชนิดทนการระเบิด เกลียวของข้อต่อต้องมีเกลียวสำหรับขันให้แน่นอย่างน้อยห้าเกลียวเพื่อให้มั่นใจว่าจะไม่มีการรั่วซึงของสารไวไฟผ่านเข้า-ออกทางเกลียว เครื่องประกอบชนิดอ่อนตัวได้จะต้องเป็นชนิดที่ได้รับการรับรองสำหรับให้ใช้ได้ในบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 การรับรองอุปกรณ์นี้โดยปกติจะระบุไว้ที่ตัวอุปกรณ์

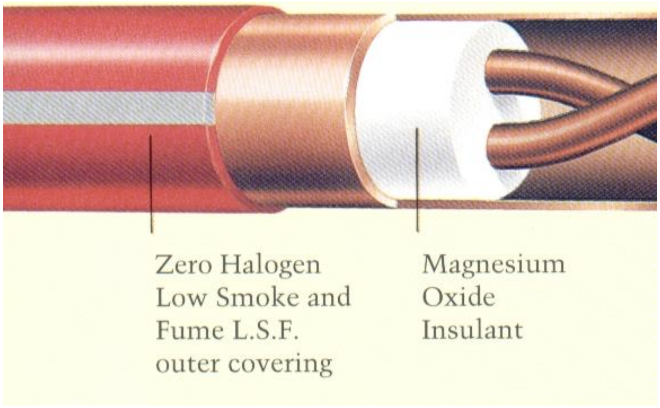
ข้อต่อท่อร้อยสายต้องขันให้แน่นอย่างน้อยห้าเกลียว เพื่อให้มั่นใจว่ามีความแข็งแรง และ เมื่อเกิดการระเบิดภายในอุปกรณ์หรือท่อ ก๊าซร้อนจากการระเบิดที่ระบายออกมาทางเกลียวจะถูกทำให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดระเบิดของสารไวไฟที่อยู่รอบ ๆ

กล่องต่อสายชนิดทนการระเบิด เป็นกล่องต่อสายที่ออกแบบให้มีความคงทนต่อแรงระเบิดที่อาจเกิดได้ภายในกล่อง อุปกรณ์ทนการระเบิดนี้จะต้องเป็นชนิดที่ได้รับการทดสอบแล้วว่าสามารถทนได้ตามมาตรฐานการทดสอบและสถาบันที่เป็นที่ยอมรับของสากล



รูปที่ 3.5 รูปการระบายก๊าซ

สายเคเบิลชนิดเอ็มไอ (MI cable) คือสายเคเบิลที่ฉนวนทำจากแมกนีเซียมออกไซด์หุ้มด้วยเปลือกโลหะซึ่งปกติจะเป็นทองแดง โลหะที่หุ้มนี้ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวห่อหุ้มให้แมกนีเซียมออกไซด์คงรูปอยู่ได้ และทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายทางกลของสายด้วย ในการใช้งานจึงไม่ต้อง ร้อยในท่อร้อยสายไฟฟ้าอีก สายชนิดนี้เป็นสายที่มีความสามารถในการทนไฟไหม้ได้ดีจึงเรียกว่าสายทนไฟ ในการติดตั้งต้องใช้เครื่องประกอบการทำปลายสายที่ได้รับการรับรองแล้วสำหรับสถานที่นั้น



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ

2. บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2 การเดินสายที่อนุญาตให้ใช้คือการเดินสายด้วยระบบท่อร้อยสายซึ่งต้องใช้ท่อโลหะหนาแบบมีเกลียว ท่อโลหะหนาปานกลางแบบมีเกลียว บัสเวย์แบบมีปะเก็นและเครื่องห่อหุ้ม รางเดินสายที่มีปะเก็น สำหรับกล่อง เครื่องประกอบและข้อต่อไม่ต้องเป็นชนิดทนการระเบิด ในที่ซึ่งต้องการความอ่อนตัว เช่นที่ขั้วของมอเตอร์ ท่อโลหะอ่อน ท่อโลหะอ่อนกันของเหลวและเครื่องประกอบต้องเป็นชนิดที่ได้รับการรับรองแล้ว

3. บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1 ในบริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1 การเดินสายต้องใช้ท่อโลหะหนาแบบมีเกลียว ท่อโลหะหนาปานกลางแบบมีเกลียว สายเคเบิลชนิดเอ็มไอ

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

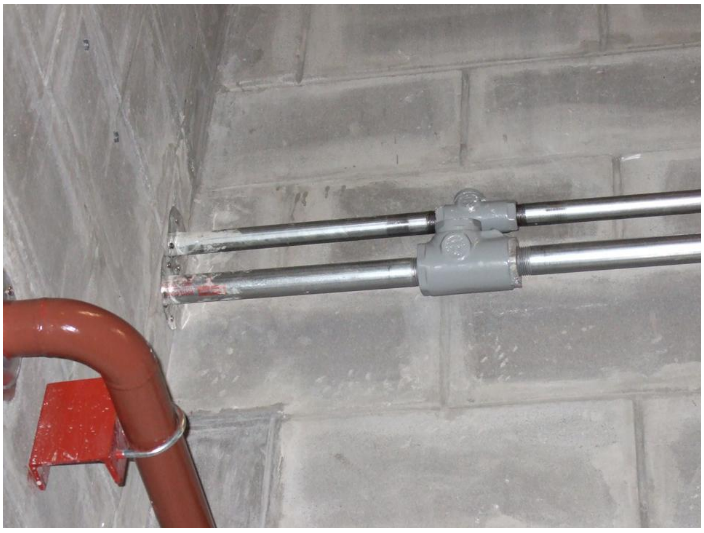
5. บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 1 และแบบที่ 2 การเดินสายต้องเดินในท่อโลหะหนา ท่อโลหะหนาปานกลาง ท่อโลหะบาง หรือท่ออโลหะหนา รางเดินสายชนิดกันฝุ่น เป็นเคเบิลชนิดปลอกโลหะ หรือชนิดเอ็มไอ กล่องและเครื่องประกอบต้องเป็นชนิดกันฝุ่น

3.4.2 การปิดผนึก

การปิดผนึกคือการใช้สารอุดเพื่อป้องกันการรั่วไหลหรือซึมผ่านของสารไวไฟ และป้องกันเปลวไฟจากกล่องอุปกรณ์ผ่านท่อหรือสายเคเบิลไปยังอุปกรณ์อื่น นอกจากนี้ในการเดินสายร้อยท่ออาจมีสารไวไฟซึมผ่านเข้าในท่อร้อยสายได้จากข้อต่อต่าง ๆ จึงต้องมีการอุดท่อร้อยสายที่เหมาะสม ในการปิดผนึกจะใช้ข้อต่อท่อชนิดปิดผนึกที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ มีทั้งชนิดที่ติดตั้งในแนวนอนและในแนวตั้ง การใช้งานจะต้องเลือกให้ถูกต้อง

สายเคเบิลหลายแกนอาจมีสารไวไฟซึมผ่านช่องว่างระหว่างแกนเคเบิลได้ จึงต้องมีการปิดผนึกด้วย การปิดผนึกจึงแยกออกเป็นการปิดผนึกท่อ และการปิดผนึกเคเบิล สำหรับสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ไม่ต้องมีการปิดผนึก และบริเวณอันตรายประเภทที่ 3 ไม่ต้องมีการปิดผนึก

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการปิดผนึกท่อก่อนเข้าสวิตช์ซึ่งติดตั้งนอกบริเวณอันตราย



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการปิดผนึกท่อ เมื่อเดินออกจากบริเวณอันตราย

3.4.3 การปิดผนึกเคเบิล

1. การปิดผนึกเคเบิลในบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 การปิดผนึกเคเบิลเพื่อป้องกันการไหลซึมของก๊าซไวไฟผ่านระหว่างแกนเคเบิลเข้าไปยังอุปกรณ์ที่สายไฟนั้นต่ออยู่ หรือผ่านไปยังบริเวณอื่น สำหรับบริเวณอันตรายประเภทที่ 2 และ 3 ไม่ต้องปิดผนึก ตำแหน่งในการปิดผนึกเป็นดังนี้

1. ต้องมีการปิดผนึกที่ปลายสายเคเบิลทั้งหมด เคเบิลชนิดกันก๊าซหรือไอที่มีเปลือกหุ้มตลอดต้องมีการปิดผนึกเมื่อมีการปอกเปลือก เพื่อให้สารปิดผนึกหุ้มแต่ละตัวนำและเปลือกนอกทั้งหมด

2. เคเบิลในท่อร้อยสายเมื่อเป็นเคเบิลชนิดกันก๊าซหรือไอที่มีเปลือกหุ้มตลอด แต่ก๊าซหรือไอสามารถผ่านเข้าทางแกนได้ เมื่ออยู่ในบริเวณอันตรายแบบที่ 1 ต้องมีการปิดผนึกเมื่อมีการปอกเปลือก

2. การปิดผนึกเคเบิล ในบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2 การปิดผนึกให้เป็นดังนี้

1. ต้องปิดผนึกจุดที่เคเบิลเข้าสู่เครื่องห่อหุ้มที่ได้รับการรับรอง สำหรับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 เคเบิลหลายแกนชนิดกันก๊าซหรือไอที่มีเปลือกหุ้มตลอด แต่ก๊าซหรือไอสามารถผ่านเข้าทางแกนได้ ถ้าอยู่ในบริเวณอันตรายแบบที่ 2 ต้องมีการปิดผนึกในเครื่องประกอบที่ได้รับการรับรองแล้วหากมีการปอกเปลือก เพื่อให้สารปิดผนึกหุ้มแต่ละตัวนำทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อให้มีก๊าซหรือไอผ่านเข้าไปได้น้อยที่สุด เคเบิลหลายแกนในท่อต้องทำการปิดผนึกด้วย

2. เคเบิลชนิดกันก๊าซหรือไอ ที่มีเปลือกหุ้มตลอดและก๊าซหรือไอไม่สามารถผ่านเข้าทางแกนได้เกินกว่าปริมาณที่ผ่านอุปกรณ์ปิดผนึกได้ไม่ต้องมีการปิดผนึก

3. เคเบิลชนิดกันก๊าซหรือไอที่มีเปลือกหุ้มตลอด และก๊าซหรือไอสามารถผ่านเข้าทางแกนได้ไม่ต้องมีการปิดผนึก แต่ถ้าเคเบิลนั้นอยู่ติดกับบริภัณฑ์หรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวกับการผลิต ซึ่งอาจทำให้เกิดแรงดันเกิน 1493 ปาสคาล ที่ปลายเคเบิล ต้องมีการปิดผนึกหรือกั้นเพื่อป้องกันการติดไฟแผ่ขยายเข้าสู่สถานที่ธรรมดา

4. เคเบิลชนิดไม่มีเปลือกหุ้มยาวตลอด ต้องมีการปิดผนึกที่ขอบเขตของบริเวณอันตรายแบบที่ 2 กับสถานที่ทั่วไป เพื่อให้ก๊าซหรือไอซึมผ่านเข้าสู่สถานที่ทั่วไปน้อยที่สุด

3.5 วิธีเดินสายสำหรับการจำแนกเป็นประเภทและโซน

บริเวณอันตรายที่จำแนกเป็นโซนสามารถแยกวิธีการเดินสายได้เป็น 2 แบบ คือการเดินสายด้วยระบบท่อร้อยสายและระบบสายเคเบิล การเดินสายด้วยระบบท่อจะต้องมีการปิดผนึกตามที่กล่าวข้างต้น วิธีเดินสายต้องเป็นไปตามที่กำหนดในเรื่องการเดินสาย และห้ามใช้วิธีการเดินสายเปิดและการเดินสายบนผิว การเดินสายด้วยระบบท่อร้อยสายจะเหมือนกับที่กล่าวแล้วในการเดินสายของการจำแนกบริเวณเป็นประเภทและแบบ สำหรับการเดินสายด้วยระบบสายเคเบิลมีข้อกำหนดการเดินสายที่สำคัญดังนี้

1. สายไฟฟ้าที่ใช้ห้ามใช้สายแกนเดียวชนิดไม่มีเปลือก นอกจากจะเป็นการเดินร้อยท่อและในแผงสวิตช์ ปกติสายเคเบิลที่นิยมใช้จะเป็นชนิดมีปลอกโลหะ

2. การเดินสายเข้าอุปกรณ์ การเดินสายเข้าอุปกรณ์ไฟฟ้าต้องเป็นไปตามที่กำหนดในแต่ละแบบการป้องกัน (type of protection) ใช้อุปกรณ์การเข้าสายที่เหมาะสมกับแต่ละเทคนิคการป้องกันซึ่งจะระบุไว้ที่อุปกรณ์

3. เครื่องห่อหุ้มสาย ช่องเดินสาย ต้องมีการป้องกันไม่ให้สารไวไฟทั้งที่เป็นไอ ก๊าซ และ ของเหลวไหลผ่านจากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกพื้นที่หนึ่ง และป้องกันไม่ให้สารไวไฟดังกล่าวถูกเก็บขังอยู่ภายใน การป้องกันอาจทำโดยการปิดผนึก การระบายอากาศ หรือเติมทรายให้เต็มช่องว่าง

4. สายไฟฟ้าที่เดินผ่านจากบริเวณทั่วไปเข้าหรือผ่านบริเวณอันตรายต้องมีการป้องกันที่เหมาะสมกับโซนนั้น ๆ เช่นปิดผนึก

5. การเดินสายไฟฟ้าผ่านผนังระหว่างบริเวณทั่วไปกับบริเวณอันตรายต้องมีการปิดผนึกที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการรั่วไหลของสารไวไฟจากบริเวณอันตรายไปยังบริเวณทั่วไป ในการเดินสายด้วยระบบสายเคเบิลต้องมีการปิดผนึกเคเบิลด้วย

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

3.5.1 การเดินสายสำหรับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 โซน 0 ในทางปฏิบัติจะพยายามหลีกเลี่ยงการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณโซน 0 กรณีที่จำเป็นการเดินสายต้องเป็นไปตามที่กำหนดข้างต้นและเพิ่มเติมดังนี้

1. ชนิดของสายเคเบิลและการเดินสายต้องเป็นชนิดที่ใช้สำหรับการป้องกันแบบ “ia” (ระบบที่ปลอดภัยอย่างแท้จริง) อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ควรเป็นชนิดที่มีการกั้นแยกระบบที่ปลอดภัยอย่างแท้งจริงกับระบบอื่นเพื่อป้องกันกระแสรั่วถึงกัน

2. กรณีที่ต้องมีการต่อลงดิน การต่อลงดินต้องทำภายนอกโซน 0 โดยให้อยู่ใกล้กับจุดที่จะเข้าโซน 0 ให้มากที่สุด

3. ถ้าชิ้นส่วนของอุปกรณ์ในโซน 0 มีโอกาสเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นอันตรายได้ ต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (surge protection) ระหว่างแต่ละสายเส้นที่ไม่ได้ต่อลงดิน (สายเส้นไฟ) กับโครงสร้างโลหะตรงจุดที่ใกล้ที่สุดเท่าที่จะทำได้ซึ่งไม่ควรเกิน 1.0 เมตร ก่อนทางเข้าโซน 0 การลดความเสี่ยงทำได้โดยการเดินสายใต้ดิน อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จต้องมีพิกัดกระแสไม่ต่ำกว่า 10 kA ใช้สายต่อลงดินขนาดไม่เล็กกว่า 4.0 ตร.มม.

4. สายไฟฟ้าที่เดินระหว่างระบบที่ปลอดภัยอย่างแท้จริงกับอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จต้องมีการป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า

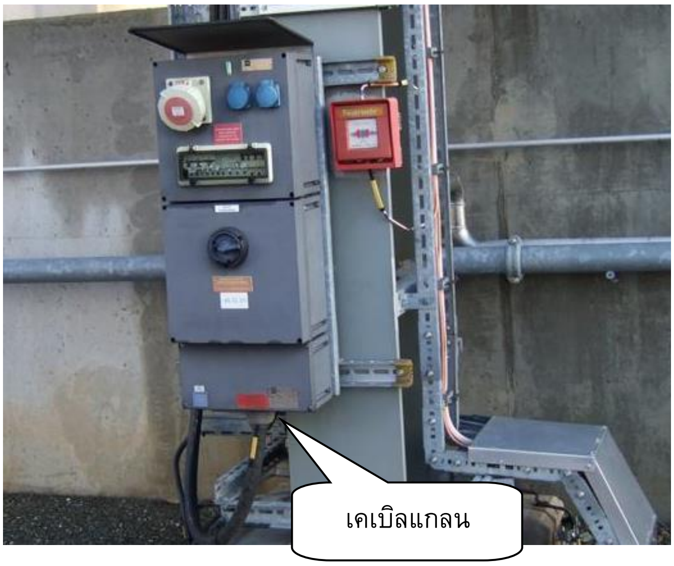
3.5.2 การเดินสายสำหรับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 โซน 1 และ โซน 2 ชนิดของสายเคเบิลและการเดินสายให้เป็นไปตามข้อข้อกำหนดสำหรับแต่ละเทคนิคการป้องกัน และเป็นดังนี้

1. สายสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดติดตั้งถาวร สายไฟฟ้าต้องเป็นชนิดมีเปลือกนอก นอกจากจะเป็นการเดินสายด้วยระบบท่อร้อยสาย

2. สายสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดเคลื่อนที่ได้ สายไฟฟ้าต้องเป็นชนิดมีเปลือกนอก กรณีเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน สายไฟฟ้าต้องเป็นชนิดมีสายดินรวมอยู่ด้วย ขนาดสายไฟฟ้าต้องไม่เล็กกว่า 1.0 ตร.มม.

จุดที่สายไฟฟ้าเดินเข้าอุปกรณ์ไฟฟ้า จะใช้อุปกรณ์ที่เรียนกว่าเคเบิลแกลน (cable gland) และเคบิลแกลนที่ใช้จะต้องเป็นชนิดที่ระบุว่าใช้ได้กับบริเวณอันตรายและสารไวไฟนั้น

รูปที่ 3.9 ตัวอย่างเคเบิลแกลน



รูปที่ 3.10 การติดตั้งใช้งานเคเบิลแกลน

3.6 การเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในบริเวณอันตราย

บริเวณอันตรายเป็นบริเวณที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายจากการจุดระเบิดของสารไวไฟ เนื่องจากในบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีสารไวไฟพร้อมที่จะติดไวตลอดเวลาในบางพื้นที่ หรือในบางพื้นที่มีอยู่เป็นบางเวลาก็ตาม การป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ที่ดีคือการป้องกันไม่ให้มีประกายไฟ หรือ

ความร้อนสูงพอที่จะเป็นสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้ได้ การเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เหมาะกับสถานที่ใช้งานจึงสำคัญมาก เนื่องจากอุปกรณ์ที่ออกแบบให้ใช้ในบริเวณอันตรายมีราคาสูงกว่าทั่วไปมากจึงควรใช้เท่าที่จำเป็นเท่านั้น แนวทางและขั้นตอนการเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นดังนี้

1. จำแนกบริเวณอันตราย จำแนกบริเวณอันตรายตามวิธีที่กล่าวข้างต้น ตามความต้องการ

2. ระบุเทคนิคการป้องกัน เมื่อจำแนกบริเวณอันตรายได้แล้วอุปกรณ์ที่ใช้ต้องเป็นชนิดที่ออกแบบให้ใช้ได้กับบริเวณนั้น ๆ โดยปกติอุปกรณ์จะสามารถนำไปใช้กับบริเวณที่อันตรายน้อยกว่าที่ระบุได้ เช่นถ้าระบุว่าใช้กับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 จะสามารถนำไปใช้ในบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2 ได้ด้วย ถ้าเป็นสารไวไฟกลุ่มเดียวกัน เทคนิคการป้องกันเป็นไปตามตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 เทคนิคการป้องกันของอุปกรณ์ไฟฟ้าและบริเวณอันตรายที่ใช้ได้ (ตามการจำแนกเป็นประเภทและแบบ)

ประเภทการออกแบบ	เทคนิคการป้องกัน	บริเวณอันตรายที่ใช้ได้ (ประเภทที่ 1)
d	Flameproof (Explosion proof) enclosure	แบบที่ 1 และ 2
e	Increased safety	แบบที่ 2
ia	Intrinsic safety	แบบที่ 1และ 2
ib	Intrinsic safety	แบบที่ 2
m	Encapsulation	แบบที่ 2
n, nA	Nonsparking equipment	แบบที่ 2
o	Oil immersion	แบบที่ 2
p	Purged and pressurized	ตามที่ระบุไว้ที่อุปกรณ์

ตารางที่ 3.2 เทคนิคการป้องกันของอุปกรณ์ไฟฟ้าและบริเวณอันตรายที่ใช้ได้ (ตามการจำแนกเป็นประเภทและโซน)

ประเภทการออกแบบ	เทคนิคการป้องกัน	โซนที่ใช้ได้
d	Flameproof enclosure	1
e	Increased safety	1
ia	Intrinsic safety	0
ib	Intrinsic safety	1
[ia]	Intrinsic safe associated apparatus	ไม่อันตราย
[ib]	Intrinsic safe associated apparatus	ไม่อันตราย
m	Encapsulation	1
nA	Nonsparking equipment	2
nC	Sparking equipment in which the contacts are suitably protected other than by restricted breathing enclosure	2
nR	Restricted breathing enclosure	2
o	Oil immersion	1
p	Purged and pressurized	1 หรือ 2
q	Powder filled	1

3. กำหนดอุณหภูมิจุดระเบิดต่ำสุดของสารไวไฟ

ในสถานที่ที่มีสารไวไฟหลายชนิด การเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าจะพิจารณาสารที่มีอุณหภูมิจุดระเบิดต่ำสุด อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในบริเวณอันตรายจะต้องออกแบบให้ความร้อนที่ผิวของอุปกรณ์และความร้อนจากการระเบิดที่ระบายออกภายนอก มีอุณหภูมิไม่เกินที่กำหนด ระดับชั้นอุณหภูมิจะระบุไว้ที่ตัวอุปกรณ์เป็นสัญลักษณ์ตามตารางที่ 3.3 และตารางที่ 3.4 กำหนดที่อุณหภูมิโดยรอบ 40^{O}C

ตารางที่ 3.3 สัญลักษณ์อุณหภูมิที่ผิวของอุปกรณ์ไฟฟ้า

(ตามการจำแนกเป็นประเภทและแบบ)

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 3.4 สัญลักษณ์อุณหภูมิที่ผิวของอุปกรณ์ไฟฟ้า

(ตามการจำแนกเป็นประเภทและโซน)

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

4. ระบุกลุ่มสารไวไฟ

ในบริเวณที่มีสารไวไฟหลายกลุ่ม ให้เลือกกลุ่มที่มีอันตรายสูงสุด อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้จะต้องเป็นชนิดที่ระบุให้ใช้ได้กับกลุ่มสารไวไฟดังกล่าว

กลุ่มสารไวไฟตามการจำแนกเป็นประเภทและแบบ เรียงตามลำดับที่มีอันตรายสูงสุดคือ กลุ่ม เอ บี ซี และ กลุ่มดี (สำหรับก๊าซ) และกลุ่ม อี เอฟ และจี (สำหรับฝุ่นที่ลุกไหม้ได้)

กลุ่มสารไวไฟตามการจำแนกเป็นประเภทและโซน เรียงตามลำดับที่มีอันตรายสูงสุดคือ กลุ่ม IIC, IIB และ IIA ตามลำดับ

ตัวอย่างการเลือกอุปกรณ์

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

ข้อมูลสารต่าง ๆ

สารไวไฟ	อุณหภูมิลุกติดไฟได้เอง (^{O}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 ออกแบบสำหรับใช้กับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 โซน 1

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

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดอุณหภูมิลุกติดไฟได้เองต่ำสุดของสารไวไฟ พิจารณาเลือกจากสารที่มีอุณหภูมิลุกติดไฟได้เองต่ำสุดคือสารอาเซททีลีน มีอุณหภูมิลุกติดไฟได้เอง 305 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 3.4 เลือกระดับชั้นอุณหภูมิ T2 ซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 300 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนที่ 4 ระบุกลุ่มสารไวไฟ สารที่มีอันตรายสูงสุดคือสารที่อยู่ในกลุ่ม IIC ดังนั้นอุปกรณ์ที่จะใช้ต้องระบุ ดังนี้

Class I Zone I EEx d T2 IIC

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มสารไวไฟประเภทก๊าซหรือไอระเหยตามมาตรฐาน NEC และ IEC

ชื่อสารไวไฟ	กลุ่มตามการจำแนกเป็นประเภท-แบบ (ตาม NEC)	อุณหภูมิลุกติดไฟได้เอง (°C)	% LFL	% UFL	กลุ่มตามการจำแนกเป็นประเภท-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 : คู่มือการตรวจสอบ ติดตั้งระบบ และอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่มีไอระเหยของสารไวไฟ, 2548, สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

ภาคผนวก ก
แบบบันทึกข้อมูลด้านความปลอดภัยระบบไฟฟ้าในโรงงาน
ท้ายร่างประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
เรื่อง มาตรการความปลอดภัยที่เกี่ยวกับระบบไฟฟ้าในโรงงาน พ.ศ. ....

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)..
3. ชื่อบุคลากรประจำโรงงาน
   3.1 นาย/นาง/นางสาว..
   - ☐ จบการศึกษาตั้งแต่ระดับปริญญาตรีหรือเทียบเท่า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงไฟฟ้ากำลัง
   - ☐ จบการศึกษาตั้งแต่ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)หรือเทียบเท่าขึ้นไป สาขาช่างไฟฟ้ากำลัง
   - ☐ ผ่านการอบรมหลักสูตรผู้ตรวจสอบความปลอดภัยระบบไฟฟ้าประจำโรงงาน

   3.2 นาย/นาง/นางสาว..
   - ☐ จบการศึกษาตั้งแต่ระดับปริญญาตรีหรือเทียบเท่า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงไฟฟ้ากำลัง
   - ☐ จบการศึกษาตั้งแต่ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)หรือเทียบเท่าขึ้นไป สาขาช่างไฟฟ้ากำลัง
   - ☐ ผ่านการอบรมหลักสูตรผู้ตรวจสอบความปลอดภัยระบบไฟฟ้าประจำโรงงาน

ลงชื่อ....................................	ลงชื่อ....................................
(....................................)	(....................................)
ผู้ประกอบกิจการโรงงาน	บุคลากรประจำโรงงาน

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

☐ อยู่ในระหว่างการปรับปรุง-บำรุงรักษา /หยุดใช้งาน......................................ตู้

4. แผงย่อยจำนวน..แผง

☐ อยู่ระหว่างการใช้งาน...แผง

☐ อยู่ในระหว่างการปรับปรุง-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 ....

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 ชำรุด หรือ...

3. สารดูดความชื้น (ถ้ามี)

   ☐ ปกติ มีสีน้ำเงิน ☐ เสื่อมสภาพ หรือเปลี่ยนสี เช่น สีชมพู

4. ป้ายเตือนอันตราย

   ☐ เตือนอันตราย ชัดเจน มั่นคง เช่น “อันตรายไฟฟ้าแรงสูง”

   ☐ ชำรุด หลุดหลวม หรือข้อความไม่ชัดเจน

5. พื้นลานหม้อแปลง(ถ้ามี)

   ☐ ปกติ (มีหินเบอร์สองเทโดยรอบ)

   ☐ มีหญ้า วัชพืช หรือวางสิ่งของอื่นภายใน

6. เสาหม้อแปลง(ถ้ามี)

   ☐ ปกติ มั่นคง ☐ ชำรุด ไม่มั่นคง

7. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง

   ☐ ไม่มี

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

   ได้แก่..

   ....

8. อื่น ๆ ....

   ....

   ....

ส่วนที่ 3

รายงานข้อมูลการใช้งานและสภาพตู้เมนสวิตซ์ (Main Distribution Board : MDB)

สัปดาห์ที่..................ของเดือน..พ.ศ........................

1. ตู้เมนสวิตซ์ (MDB) ลำดับที่..วันที่บันทึกข้อมูล..
2. บริเวณการติดตั้ง ☐ ภายนอกอาคาร ☐ ภายในอาคารโดยแยกกั้นห้อง
   ☐ ภายในอาคารโดยมีรั้วกั้น ☐ อื่นๆ...
3. ข้อมูลที่อ่านค่าได้จากมิเตอร์ที่ตู้เมนสวิตซ์
   3.1 กระแสไฟฟ้า
      เฟส A ....แอมแปร์
      เฟส B ....แอมแปร์
      เฟส C ....แอมแปร์
   3.2 แรงดันไฟฟ้า
      เฟส A-B..................................โวลต์ เฟส A-N ....โวลต์
      เฟส B-C..................................โวลต์ เฟส B-N ....โวลต์
      เฟส C-A..................................โวลต์ เฟส C-N ....โวลต์
   3.3 กำลังไฟฟ้า (ถ้ามี) ....กิโลวัตต์
   3.4 ตัวประกอบกำลัง (Power Factor : PF) (ถ้ามี)..
4. สภาพของระบบสายดินและการต่อหลักดิน
   ☐ สายและจุดต่อสภาพปกติ ☐ การต่อชำรุด หลุดหลวม หรือสึกกร่อน
   ☐ อื่น ๆ ....
5. บริเวณโดยรอบตู้
   ☐ พื้นที่ว่าง โล่ง
   ☐ วางวัสดุกีดขวางทางเข้า-ออก
   ☐ วางวัสดุที่ติดไฟได้ติดกับตู้ เช่น สารไวไฟ เสื้อผ้า เส้นใย เป็นต้น
   ☐ มีฝุ่น หยากไย่ 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

   ☐ กะพริบ / ขั้วหลอดดำ / สว่างไม่เต็มหลอด / เสียงดัง จำนวน ดวง/โคม

3. สายป้อน สายวงจรย่อยและสวิตช์ตัดตอนของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

   ☐ ปกติ

   ☐ ชำรุดและการต่อหลุดหลวม

4. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง

   ☐ ไม่มี ☐ มี ได้แก่..

   ....

   ....

5. อื่น ๆ ....

   ....

   ....

   ....

หมายเหตุ : 1. วัสดุที่ติดไฟได้ง่าย เช่น กระดาษ เสื้อผ้า พลาสติก ยาง เป็นต้น

2. พื้นที่อันตราย คือ พื้นที่ที่มีแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟ ฝุ่นและเส้นใยที่ระเบิดได้ เสี่ยงต่อการ

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 หยากไย่ โดยรอบตู้และภายในตู้

☐ อื่นๆ...

3. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง

☐ ไม่มี

☐ มี ได้แก่...

....

....

4. อื่น ๆ ....

....

....

....

....

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

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 หยากไย่ สะสมโดยรอบ
   - ☐ อื่นๆ...
4. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง
   - ☐ ไม่มี
   - ☐ มี ได้แก่..

     ....

     ....
5. อื่น ๆ ....

   ....

   ....

หมายเหตุ : อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องมือต่าง ๆ เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องจักรที่ใช้ในการซ่อมแซม-บำรุงรักษาเครื่องจักรที่ใช้ในสายการผลิต ฯลฯ

ส่วนที่ 7

รายงานสรุปผลด้านความปลอดภัยระบบไฟฟ้าในโรงงาน

ประจำเดือน..พ.ศ...........................

1. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง

☐ ไม่มี

☐ มี ได้แก่..

....

....

....

2. เอกสารอื่นๆประกอบ (ถ้ามี)

....

....

....

....

ลงชื่อ..

(..)

ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

วันที่................../................../..................

ลงชื่อ..

(..)

บุคลากรประจำโรงงาน

วันที่................../................../..................

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 ที่มีการปรับปรุงแก้ไข เพิ่มเติมให้ชัดเจน

มาตรฐานหรือหลักวิชาการที่ยอมรับกันเป็นสากล

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

ข้อแนะนำการตรวจสอบตามตาราง

จากตารางการตรวจสอบ ในแบบบันทึกข้อมูลความปลอดภัยระบบไฟฟ้าในโรงงาน ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ผู้ตรวจสอบต้องทำการตรวจสอบและบันทึกผลการตรวจสอบลงในตาราง ซึ่งแนวทางและวิธีการตรวจสอบเป็นไปตามที่แนะนำต่อไปนี้ โดยที่ผู้ตรวจสอบสามารถตรวจสอบได้มากกว่าที่แนะนำไว้

หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

1. **ตัวถังหม้อแปลง** ตรวจสอบสภาพทั่วไปและบันทึกผลว่า มีร่องรอยการเกิดสนิมหรือไม่ ตรวจการรั่วซึมของน้ำมันที่ตัวถังหม้อแปลง ซึ่งจะสังเกตได้ด้วยสายตา และตรวจบริเวณบุชชิงหม้อแปลง ถ้าพบการรั่วซึมของน้ำมัน ต้องวางแผนการแก้ไข

2. **การต่อลงดินของส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่ง** ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งซึ่งบุคคลอาจสัมผัสได้เช่น ตัวถังหม้อแปลง รั้วหม้อแปลง ต้องมีการต่อลงดิน ตรวจสอบว่าสายดินยังคงสภาพการใช้งานได้ดี ไม่ผุกร่อน ไม่หลุด และไม่หลวม และบันทึกผลตามสภาพที่ตรวจพบและแก้ไขตามความจำเป็น

3. **สารดูดความชื้น** หม้อแปลงบางลูกมีสารดูดความชื้นด้วย สารดูดความชื้นจะทำหน้าที่ป้องกันความชื้นเข้าไปในน้ำมันหม้อแปลง เพราะถ้าในน้ำมันมีความชื้นสูง จะเสื่อมสภาพ หม้อแปลงอาจชำรุดได้ หม้อแปลงที่มีสารดูดความชื้นจะต้องมีการตรวจสอบสภาพของสารดูดความชื้น เมื่อสารดูดความชื้นมีความชื้นสูงจะเปลี่ยนสีจากสีม่วงน้ำเงินเป็นสีชมพู ซึ่งจะไม่สามารถดูดความชื้นได้อีก ต้องเปลี่ยนใหม่

4. **ป้ายเตือนอันตราย** ป้ายเตือนอันตรายจะติดตั้งในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้า เพื่อเตือนบุคคลทั่วไปให้ระวังอันตรายจากไฟฟ้า ป้ายเตือนอันตรายต้องติดตั้งมั่นคงแข็งแรง ตัวหนังสืออ่านได้ชัดเจนไม่ลบเลือน

5. **พื้นลานหม้อแปลง** หม้อแปลงที่ติดตั้งบนพื้น จะต้องมีหินโรยอยู่โดยรอบหม้อแปลงเพื่อสำหรับซับน้ำมันที่อาจรั่วออกมา ต้องตรวจสอบบริเวณพื้นที่โรยหินให้อยู่ในสภาพที่เรียบร้อย ปริมาณหินมีความสูงไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร ไม่มีหญ้าหรือวัชพืชอื่น รวมทั้งต้องไม่มีวัสดุอื่นวางอยู่ในลานหม้อแปลง

6. **เสาหม้อแปลง** หม้อแปลงที่ติดตั้งบนเสาไฟฟ้า ต้องตรวจสอบสภาพของเสาไฟฟ้าว่าต้องมั่นคงแข็งแรง ไม่แตกร้าว ไม่บิ่น ไม่เอียง สำหรับหม้อแปลงที่วางบนนั่งร้านหม้อแปลง ตรวจสอบคานนั่งร้านด้วยว่าแตกร้าวหรือไม่ และการติดตั้งหรือการวางหม้อแปลงต้องมั่นคงดีหรือไม่ด้วย

7. **การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง** การตรวจซ่อมบำรุงหม้อแปลงทั้งหมด ต้องมีการบันทึกผล และรายการซ่อมบำรุงด้วยเพื่อใช้ประโยชน์ในการตรวจซ่อมครั้งต่อไป

8. **อื่น ๆ** ตรวจสภาพหม้อแปลงและการติดตั้งอื่นเช่น สภาพห้องหม้อแปลง การระบายอากาศในห้องหม้อแปลง แสงสว่าง เสียงดัง และสภาพบุชชิง เป็นต้น ถ้าตรวจพบให้ระบุสภาพที่พบและแก้ไขตามความจำเป็น ปกติ

หม้อแปลงไฟฟ้าจะมีการตรวจสอบและซ่อมบำรุงเป็นประจำอย่างน้อยปีละครั้งเช่น ตรวจวัดค่าความเป็นฉนวนน้ำมันหม้อแปลง และตรวจสภาพทั่วไป

ตู้เมนสวิตช์

1. สภาพของระบบสายดินและการต่อหลักดิน ตู้เมนสวิตช์โลหะต้องมีการต่อลงดิน โดยปกติการต่อลงดินของตู้จะต่อลงบัสบาร์นิวทรัล หรือกราวด์บาร์ ซึ่งบัสบาร์ทั้งสองนี้ได้มีการต่อลงดินไว้แล้ว การตรวจสอบจึงตรวจว่าสายดินและจุดต่อสายดินยังคงอยู่ในสภาพที่ดีหรือไม่ จุดที่ควรตรวจเป็นพิเศษคือจุดที่สายดินต่อกับหลักดินเนื่องจากพบว่ามักชำรุดบ่อย

2. บริเวณโดยรอบตู้และตัวตู้ ตู้สวิตช์ต้องมีพื้นที่ว่างให้สามารถปฏิบัติงานได้สะดวก การตรวจพื้นที่โดยรอบและสภาพทั่วไป ควรตรวจสิ่งต่อไปนี้

- พื้นที่ว่าง ด้านหน้าตู้สวิตช์และด้านที่ต้องเข้าปฏิบัติงานต้องมีพื้นที่ว่างที่จะสามารถทำงานได้โดยสะดวก และเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานด้วย
- เส้นทางที่จะเข้าไปยังพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน ต้องไม่มีสิ่งของวางกีดขวาง เนื่องจากอาจมีเหตุฉุกเฉินที่ต้องเข้าถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ บนตู้สวิตช์โดยเร่งด่วนเช่น การเปิด-ปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นต้น
- ตรวจสอบว่ามีการวางวัสดุที่ติดไฟได้ติดกับตู้ เช่น สารไวไฟ เส้นใย หรือไม่ ถ้าพบต้องเคลื่อนย้ายออกให้หมด เพราะอาจเกิดอันตรายจากเพลิงไหม้ได้
- ฝุ่น หยากไย่ โดยรอบตู้และภายในตู้ ตรวจทำความสะอาดฝุ่นละออง หยากไย่ และเศษผงต่าง ๆ โดยเฉพาะเส้นใยและฝุ่นที่ติดไฟได้ ทำความสะอาดทั้งภายในและภายนอกตู้ การทำความสะอาดภายในตู้ต้องระวังอันตรายจากการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้า ถ้าไม่แน่ใจ ควรดับไฟที่จ่ายให้ตู้สวิตช์ก่อน วิธีทำความสะอาดตู้สวิตช์คือเช็ดด้วยผ้าแห้ง หรือใช้เครื่องดูดฝุ่น ทั้งนี้เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่น บริเวณโดยรอบตู้ก็ควรทำความสะอาดด้วยเครื่องดูดฝุ่นหรือจะใช้ไม้กวาดก็ได้

3. ความผิดปกติทางกายภาพ เป็นการตรวจสภาพทั่วไปด้วยสายตา (ประสาทสัมผัส) โดยการตรวจหาความเสียหายทางกายภาพเช่นสี การผุกร่อน ประตูปิดได้ดีหรือไม่ สามารถป้องกันการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าได้หรือไม่ การตรวจด้วยสายตาสามารถตรวจหาร่องรอยการเกิดความร้อนสูงได้จากการเปลี่ยนสี เช่น จุดต่อสายหรือจุดต่อบัสบาร์หลวม จุดต่อสายที่ต่อจากเซอร์กิตเบรกเกอร์มักพบว่าหลวมอยู่เสมอ การตรวจจึงควรให้ความสำคัญที่จุดนี้ด้วย การตรวจด้วยการฟังจะเป็นการตรวจหาเสียงที่ผิดปกติจากการสั่นสะเทือน การอาร์ก หรือจากอุปกรณ์ เช่น เสียงฮัมของขดลวด เป็นต้น สำหรับการตรวจด้วยการดมกลิ่นนั้นโดยปกติจะเป็นกลิ่นไหม้ของอุปกรณ์ ขดลวด หรือฉนวนต่าง ๆ การตรวจอุณหภูมิโดยรอบสามารถสัมผัสเบื้องต้นได้ด้วยความรู้สึก แต่ถ้าต้องการความมั่นใจควรติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ไว้ในห้องด้วย จะสามารถตรวจได้สะดวกและแน่นอนกว่า

4. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง ในการตรวจตู้สวิตช์ ถ้าพบสิ่งผิดปกติควรบันทึกสิ่งผิดปกตินั้น และวางแผนแก้ไขตามเวลาที่เหมาะสม และบันทึกรายการแก้ไขไว้ด้วย

5. อื่น ๆ อาจมีการตรวจสอบอย่างอื่นเพิ่มเติมอีก เช่น ตรวจสอบการทำงานของเครื่องวัดที่หน้าแผงหลอดไฟต่าง ๆ เป็นต้น

โคมไฟ หลอดไฟ และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

เป็นการตรวจสอบเฉพาะในพื้นที่อันตราย หรือพื้นที่จัดเก็บวัสดุที่ติดไฟได้ง่าย ในการตรวจให้ระบุ (จำแนก) บริเวณพื้นที่ติดตั้งด้วยว่าเป็นบริเวณอันตรายประเภทใดและแบบใด

1. การติดตั้งและโครงสร้างของโคมไฟ ตรวจสอบสภาพการติดตั้งทั่วไปด้วยสายตา โดยดูว่าสภาพการติดตั้งมั่นคง แข็งแรง หรือไม่ โดยเฉพาะฝาครอบดวงโคมซึ่งต้องสามารถป้องกันหลอดไฟไม่ให้หลุดตกลงพื้นได้

2. หลอดไฟและขั้วหลอด ตรวจสภาพหลอดไฟและขั้วหลอดว่ากะพริบหรือไม่ ขั้วหลอดดำหรือสว่างไม่เต็มหลอดหรือไม่ และมีเสียงดังจากบัลลาสต์หรือไม่ หากตรวจพบให้ระบุตำแหน่ง จำนวน และวางแผนแก้ไข

3. สายป้อน สายวงจรย่อย และสวิตช์ตัดตอนของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ตรวจสภาพสายไฟฟ้าและอุปกรณ์การเดินสายที่จ่ายไฟให้วงจรย่อยและสายป้อนว่าชำรุดหรือไม่ สายไฟฟ้าสามารถตรวจสอบเบื้องต้นด้วยสายตาว่ามีสภาพกรอบ แตก บวม หรือเปลี่ยนสีหรือไม่ ตรวจจุดต่อสายโดยเฉพาะจุดที่ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าและเซอร์กิตเบรกเกอร์ จุดต่อสายหลวมจะเกิดความร้อนสูงจนเป็นอันตรายโดยเฉพาะในบริเวณที่มีสารไวไฟ ความร้อนทำให้โลหะเปลี่ยนสีจนสังเกตได้ รวมทั้งอาจมีรอยไหม้ให้เห็น การตรวจที่ละเอียดและสามารถตรวจพบได้ในระยะเริ่มต้นคือ การตรวจวัดความร้อนด้วยเครื่องมือวัดความร้อน ถ้าพบว่าหลวมต้องขันใหม่ให้แน่น และตัดต่อใหม่ตามความจำเป็น

4. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง การตรวจพบตามที่กล่าวข้างต้นต้องมีการแก้ไขและบันทึกผลการแก้ไขด้วย

5. อื่น ๆ การตรวจอื่น ๆ เช่นบริเวณที่มีเส้นใยที่เป็นสารไวไฟ ควรทำความสะอาดเส้นใยที่ฟุ้งกระจายไปเกาะตามฝาครอบดวงโคมเนื่องจากว่า นอกจากจะทำให้ความสว่างลดลงแล้ว ยังเป็นผลให้การระบายอากาศไม่ดี เกิดความร้อนและอาจเกิดจุดติดไฟได้ด้วย ถ้ามีการต่อลงดิน ควรตรวจสภาพด้วยว่าสายดินยังคงสภาพการใช้งานได้ดีหรือไม่

สภาพแผงย่อย (panel board)

เป็นการตรวจสอบทั้งบริเวณการติดตั้งในพื้นที่ทั่วไป และพื้นที่ที่มีสารไวไฟ สำหรับพื้นที่ที่มีสารไวไฟให้ระบุประเภทและแบบของบริเวณนั้นด้วย

1. ระบบต่อลงดิน ตรวจการต่อลงดินว่าถูกต้องและใช้งานได้หรือไม่ สภาพสายดินยังอยู่ในสภาพดีหรือไม่ รวมทั้งตรวจจุดสายดินทั้งหมด หากพบว่าชำรุด หลุด หรือหลวม ให้บันทึกผลการตรวจและทำการแก้ไข

2. บริเวณโดยรอบ บริเวณโดยรอบต้องมีพื้นที่ว่างให้สามารถปฏิบัติงานได้โดยสะดวก ห้ามวางวัสดุที่ติดไฟได้ติดหรือใกล้กับตู้ เช่น สารไวไฟ เสื้อผ้า เส้นใย เป็นต้น รวมทั้งเส้นทางเข้าออกพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน ต้องไม่มีวัสดุวางกีดขวางจนการเข้าออกไม่สะดวก

ตรวจสภาพทั่วไปว่ามีฝุ่น หยากไย่ โดยรอบตู้และภายในตู้หรือไม่ ถ้าตรวจพบให้ทำความสะอาดเช่นเดียวกับตู้เมนสวิตช์

ตรวจสอบอื่นๆ เช่นสภาพตัวแผงย่อย การป้องกันการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้า และการปิดผาตู้ เป็นต้น

3. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง ในการตรวจสอบ ถ้าพบสภาพผิดปกติ ต้องวางแผนการแก้ไข และทำการแก้ไข และบันทึกผลการแก้ไขไว้ด้วย

4. อื่น ๆ ตรวจสอบเช่นเดียวกับตู้เมนสวิตช์

ข้อมูลสภาพอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

ตรวจสอบเฉพาะในพื้นที่อันตราย หรือพื้นที่จัดเก็บวัสดุที่ติดไฟได้ง่ายเท่านั้น ในการตรวจสอบให้ระบุชนิดของอุปกรณ์ด้วยว่าเป็นอุปกรณ์ชนิดใด เหมาะสมกับที่ใช้ในบริเวณ (พื้นที่) อันตรายหรือไม่

1. พื้นที่ติดตั้ง ระบุพื้นที่ที่ติดตั้งอุปกรณ์ว่าเป็นบริเวณอันตรายประเภทใด และแบบใด

2. สภาพของอุปกรณ์และการต่อสาย ตรวจสภาพอุปกรณ์ว่าปกติหรือว่าชำรุด ตรวจสอบสภาพสายไฟฟ้าและการต่อสายว่าชำรุด หลุด หลวม หรือไม่

3. บริเวณโดยรอบอุปกรณ์ บริเวณโดยรอบอุปกรณ์ต้องไม่วางวัสดุที่ติดไฟได้ และต้องไม่มีฝุ่นละออง หยากไย่ สะสมโดยรอบ ถ้าพบต้องทำความสะอาดให้เรียบร้อย

4. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง ระบุการแก้ไขต่าง ๆ ที่ได้ดำเนินการไปแล้ว และที่วางแผนว่าจะดำเนินการ

5. อื่น ๆ เป็นการตรวจสอบสภาพทั่วไปอื่น ๆ ที่สามารถพบได้จากการตรวจสอบด้วยสายตา เช่น การป้องกันการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้า และการตอลงดิน เป็นต้น

รายงานสรุปผลด้านความปลอดภัยระบบไฟฟ้าในโรงงาน

ในการตรวจสอบทั้งหมด ต้องบันทึกผลการตรวจสอบลงในแบบบันทึกข้อมูลด้านความปลอดภัยระบบไฟฟ้าในโรงงาน ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยที่เกี่ยวกับระบบไฟฟ้าในโรงงาน พ.ศ. 2551 ประกอบด้วย

1. การปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติม หรือซ่อมบำรุง ระบุรายการทั้งหมดที่ต้องดำเนินการ
2. เอกสาร ๆ ประกอบ (ถ้ามี)

ภาคผนวก ข
ค่าความส่องสว่างตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงาน
เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2546

ค่าความส่องสว่างต่อไปนี้ เป็นค่าความส่องสว่างที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2546 หมวด 2

ข้อ 5 ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องป้องกันมิให้มีแสงโดยตรง หรือแสงสะท้อนส่องเข้าตาคนงานในการปฏิบัติงาน

ข้อ 6 ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดให้มีแสงสว่างเพียงพอแก่การทำงานอย่างทั่วถึง สมารถมองเห็นสิ่งกีดขวาง และส่วนที่อาจก่อให้เกิดอันตรายจากการเคลื่อนไหวของเครื่องจักร หรืออันตรายจากไฟฟ้า ตลอดจนบันไดขึ้นลงและทางออก ในเวลามีเหตุฉุกเฉินอย่างชัดเจน ตามหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

(1) ลานถนนและทางเดินนอกอาคารโรงงาน ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 20 ลักซ์ (lux) หรือ 2 ฟุต-แคนเดิล (foot candle)

(2) บริเวณทางเดินในอาคารโรงงาน ระเบียง บันได ห้องพักผ่อน ห้องพักฟื้นของพนักงาน ห้องเก็บของที่มิได้มีการเคลื่อนย้าย ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 50 ลักซ์

(3) บริเวณการปฏิบัติงานที่ไม่ต้องการความละเอียด ได้แก่ บริเวณการสีข้าว สางฝ้าย หรือการปฏิบัติงานขั้นแรกในกระบวนการอุตสาหกรรมต่าง ๆ และบริเวณจุดขนถ่ายสินค้า ป้อมยาม ลิฟต์ ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้าและบริเวณตู้เก็บของ ห้องน้ำและห้องส้วม ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 100 ลักซ์

(4) บริเวณการปฏิบัติงานที่ต้องการความละเอียดน้อยมาก ได้แก่ งานหยาบที่ทำที่โต๊ะ หรือเครื่องจักร ชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่กว่า 750 ไมโครเมตร (0.75 มิลลิเมตร) การตรวจงานหยาบด้วยสายตา การนับ การตรวจเช็คสิ่งของที่มีขนาดใหญ่ และพื้นที่ในโกดัง ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 200 ลักซ์

(5) บริเวณการปฏิบัติงานที่ต้องการความละเอียดน้อย ได้แก่ บริเวณที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานรับจ่ายเสื้อผ้า การทำงานไม้ที่มีชิ้นงานปานกลาง งานบรรจุน้ำลงขวดหรือกระป๋อง งานเจาะรู ทากาว หรือเย็บเล่มหนังสือ ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 300 ลักซ์

ในบริเวณการปฏิบัติงานที่มีขนาดของชิ้นงานตั้งแต่ 125 ไมโครเมตร (0.125 มิลลิเมตร) ได้แก่งานเกี่ยวกับงานประจำในสำนักงาน เช่น งานพิมพ์ดีด เขียนและอ่าน งานประกอบรถยนต์และตัวถัง การทำงานไม้อย่างละเอียด ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 400 ลักซ์

(6) บริเวณการปฏิบัติงานที่ต้องการความละเอียดปานกลาง ได้แก่ งานเขียนแบบ งานระบายสี พ่นสีและตกแต่งสีอย่างละเอียด งานพิสูจน์อักษร งานตรวจสอบขั้นสุดท้ายในโรงงานผลิตรถยนต์ ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 600 ลักซ์

(7) บริเวณการปฏิบัติงานที่ต้องการความละเอียดสูง โดยมีขนาดของชิ้นงานตั้งแต่ 25 ไมโครเมตร (0.025 มิลลิเมตร) ได้แก่ บริเวณที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการตรวจสอบอย่างละเอียด เช่น การปรับเทียบมาตรฐานความถูกต้องและความแม่นยำของอุปกรณ์ การระบายสี พ่นสี และตกแต่งชิ้นงานที่ต้องการความละเอียดมากเป็นพิเศษ งานย้อมสี ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 800 ลักซ์

ในบริเวณการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการตรวจสอบ การตัดเย็บเสื้อผ้าด้วยมือ การตรวจสอบและตกแต่งสินค้าสิ่งทอ สิ่งถักหรือเสื้อผ้าที่มีสีอ่อนขั้นสุดท้ายด้วยมือ การคัดแยกและเทียบสีหนังที่มีสีเข้ม การเทียบสีในงานย้อมผ้า ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 1200 ลักซ์

(8) บริเวณการปฏิบัติงานที่ต้องการความละเอียดสูง ได้แก่ งานละเอียดที่ต้องทำบนโต๊ะหรือเครื่องจักร เช่น ทำเครื่องมือและแม่พิมพ์ที่มีรายละเอียดขนาดเล็กกว่า 25 ไมโครเมตร (0.025 มิลลิเมตร) งานตรวจสอบตรวจวัดชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กหรือชิ้นงานที่มีส่วนประกอบขนาดเล็ก งานซ่อมแซมสินค้า สิ่งทอ สิ่งถักที่มีสีอ่อน งานตรวจสอบและตกแต่งชิ้นส่วนของสินค้าสิ่งทอ สิ่งถักที่มีสีเข้มด้วยมือ ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 1600 ลักซ์

(9) บริเวณการปฏิบัติงานที่ต้องการความละเอียดสูงมากเป็นพิเศษ ได้แก่ การปฏิบัติงานเกี่ยวกับการตรวจสอบชิ้นงานที่มีขนาดเล็กมาก การเจียระไนเพชร การทำนาฬิกาข้อมือในกระบวนการที่มีขนาดเล็ก การถัก ซ่อมแซมเสื้อผ้า ถุงเท้าที่มีสีเข้ม ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 2400 ลักซ์

ข้อ 7 ความเข้มของการส่องสว่าง ณ ที่ปฏิบัติงานหรือลักษณะการปฏิบัติงานนอกเหนือจากที่กำหนดไว้ในข้อ 6 ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดให้มีความเข้มของการส่องสว่าง เทียบเคียงไม่ต่ำกว่าหลักเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้

ภาคผนวก ค
งานบริการและซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้า

งานบริการและซ่อม เป็นภาระหน้าที่หนึ่งของการดูและและซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าเพื่อให้สามารถใช้งานได้ยาวนาน และมีความเชื่อถือได้ งานบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าที่ดีคือการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน สิ่งสำคัญของการบำรุงรักษาเชิงป้องกันคือการตรวจสอบสภาพ เพื่อให้ทราบว่าระบบหรืออุปกรณ์มีร่องรอยการเสื่อมสภาพหรือไม่ มีสภาพที่ต้องการการบำรุงรักษาหรือไม่ ในการตรวจสอบสามารถทำได้ 2 แบบ คือการตรวจสอบด้วยสายตา (visual inspection) และการตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัด ซึ่งต้องการความรู้ในการใช้เครื่องมือวัดและการวิเคราะห์ด้วย

ในการตรวจสอบทั้งด้วยสายตาและด้วยการใช้เครื่องมือวัด สามารถแบ่งการตรวจสอบออกเป็น 2 ส่วนคือ การตรวจสอบทั่วไป และการตรวจสอบตัวอุปกรณ์แต่ละรายการ

1. การตรวจสอบทั่วไป

การตรวจสอบในขั้นตอนนี้ เป็นการตรวจสภาพทั่วไปของระบบไฟฟ้าทั่วไป เป็นการตรวจอย่างง่าย อย่างไรก็ตาม ผู้ตรวจสอบควรเป็นผู้ที่รู้ถึงอันตรายจากไฟฟ้า และการป้องกันเป็นอย่างดี การสัมผัสส่วนใด ๆ ต้องมั่นใจว่าไม่มีไฟ หรือมีการป้องกันอย่างเหมาะสมแล้ว การตรวจทั่วไปมีดังนี้

1. สายไฟฟ้า การตรวจสอบนี้ให้สังเกตดูการชำรุดของฉนวน การเปลี่ยนสี รอยบวม รอยแตก หากพบสิ่งผิดปกติก็ควรหาสาเหตุและแก้ไข หรือเปลี่ยนใหม่

2. เซอร์กิตเบรกเกอร์ การตรวจสอบนี้อาจทำได้โดยใช้มือแตะส่วนที่เป็นฉนวนไฟฟ้าดูอุณหภูมิ หากสูงผิดปกติก็ควรตรวจแก้ไข (แต่ต้องระวังอันตรายจากไฟฟ้าดูดด้วย) การตรวจที่ละเอียดสามารถทำได้ด้วยการใช้เครื่องวัดความร้อน การตรวจสอบด้วยสายตาสามารถตรวจหาความเสียหายทางกลเช่น การแตก หัก หรือการเปลี่ยนสีได้

3. ขั้วต่อหรือจุดต่อสาย การตรวจสอบเบื้องต้นสามารถสังเกตจากการเปลี่ยนสี สามารถตรวจสอบอย่างละเอียดได้ด้วยการใช้เครื่องวัดความร้อน จุดต่อสายต่าง ๆ ต้องต่อแน่น ในกรณีที่มีการดับไฟเพื่อบำรุงรักษา ควรขันขั้วต่อสายทั้งหมดให้แน่นอีกครั้ง

4. การระบายอากาศในห้องไฟฟ้า ให้ตรวจวัดอุณหภูมิในห้อง ซึ่งไม่ควรสูงเกิน 40 องศาเซลเซียส วิธีที่สะดวกคือการติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ไว้ในห้องไฟฟ้า หากพบอุณหภูมิสูงเกินปกติก็ให้หาทางเพิ่มการระบายอากาศ

5. ตรวจการระบายอากาศและท่อไอเสีย สำหรับห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือห้องที่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดควัน ต้องมีการตรวจสอบการระบายอากาศด้วย รวมทั้งระบบท่อไอเสียต้องไม่รั่ว หรือผุกร่อน

6. ตรวจแบตเตอรี่ การตรวจสอบแบตเตอรี่ทำได้โดยการวัดแรงดันไฟฟ้า วัดค่าความถ่วงจำเพาะของกรด (หรือด่าง) ในการทดสอบการทำงานของไฟฟ้าส่องสว่างฉุกเฉิน ให้ทดลองกดปุ่มทดสอบจากเครื่องส่องสว่างฉุกเฉิน ในการตรวจสอบเบื้องต้นสำหรับแบตเตอรี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้ทดลองสตาร์ทเครื่องดู เครื่องควรสตาร์ทติดได้ง่าย ตรวจสภาพและการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ด้วย

2. การตรวจสอบอุปกรณ์

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

ตารางที่ ค.1 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงน้ำมัน

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
อุณหภูมิ	จดอุณหภูมิอากาศ น้ำมันหม้อแปลงและขดลวด		
ระดับน้ำมันหม้อแปลง	อ่านค่าจากเครื่องวัดระดับน้ำมัน (สังเกตรอยแตกร้าวหรือมีไอน้ำเกาะในกระจกหรือไม่ด้วย)		
การรั่วซึมของน้ำมัน	ตรวจการรั่วซึมตามครีบระบายความร้อน ข้อต่อวาล์ว และชิ้นส่วนอื่น ๆ		
เสียงดังผิดปกติขณะทำงาน	ตรวจสอบโดยการฟังเสียง ถ้าเกิดจากการสั่นสะเทือนผิดปกติจะทราบได้จากการใช้มือสัมผัสตัวถังหม้อแปลง		
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	ตรวจดูรอยแตกร้าว หรือการทรุดตัว		
น้ำมันหม้อแปลง	วัดค่าความเป็นฉนวนของน้ำมันหม้อแปลง (ปีละครั้ง)		
สายดินและหลักดิน	ตรวจจุดต่อสายดินและสภาพสายดิน ว่าหลุดหลวมหรือสึกกร่อนหรือไม่		
อุปกรณ์ป้องกัน	ตรวจสอบฟังก์ชั่นการทำงาน และสภาพทั่วไป		

ตารางที่ ค.2 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงชนิดแห้ง

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
ตรวจเหมือนหม้อแปลงน้ำมันในส่วนที่เหมือนกัน และเพิ่มเติมต่อไปนี้			
การระบายอากาศ	ช่อง หรือครีบระบายอากาศ รวมทั้งการทำงานของพัดลมระบายอากาศ		
ตรวจภายในตู้	ตรวจฝุ่นที่ขดลวด Insulator ช่องทางระบายอากาศ การเปลี่ยนสีเนื่องจากความร้อน ตัวรัดขดลวดหลุด หลวมหรือไม่ ตรวจความสกปรกของตู้ จุดต่อไฟฟ้า ตรวจการหลวมหรือผุกร่อน และทำความสะอาด		

ตารางที่ ค.3 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาแผงสวิตซ์ (แรงสูงและแรงต่ำ)

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
สภาพสถานที่ติดตั้ง	มีสิ่งอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องและเป็นเชื้อเพลิงหรือไม่ ฐานเอียงหรือทรุด กรณีติดตั้งในห้องต้องตรวจการระบายอากาศว่าใช้ได้ดีหรือไม่ (ถ้าพบต้องแก้ไข)		
พื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน	มีพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานโดยรอบ และทางเข้าไม่มีสิ่งกีดขวาง พื้นที่ว่างไม่ใช้เป็นที่เก็บของ		
การระบายอากาศในตู้ และช่องระบายแรงดัน	ตรวจช่องระบายอากาศ การระบายอากาศในตัวตู้ว่ายังอยู่ในปกติหรือไม่ ตรวจช่องระบายความดันว่าทำงานได้ดีหรือไม่(ถ้ามี)		
โครงสร้างและสภาพทั่วไปของตู้	ตรวจสภาพตัวตู้และการผุกร่อน ฝาตู้และกุญแจ ตรวจเสียง ควัน กลิ่น การสั่นสะเทือน ความชื้น ความสะอาด สนิม ฝุ่นหยากไย่ และอื่น ๆ ตู้ที่ติดตั้งภายนอกอาคาร ตรวจสภาพหลังคา ผนัง ว่ายังกันฝนได้ดีและไม่เป็นสนิม		
ขั้วต่อสาย จุดต่อสาย	ตรวจจุดต่อสายทั้งหมดว่า หลุด หลวม และมีร่องรอยของความร้อนสูงหรือไม่ และขันให้แน่นอีกครั้ง วัดความร้อนจุดต่อสายขณะจ่ายไฟ (กรณีมีเครื่องวัด)		
หัวเคเบิล	ตรวจร่องรอยการเกิดโคโรนา การหลุดหลวมของเทป ความสะอาด รอยร้าว การต่อลงดินของชิลด์		
สายไฟฟ้า	ตรวจสภาพสายไฟฟ้า และอุปกรณ์การเดินสายในตู้		
บัสบาร์	ตรวจการจับยึด ความร้อนที่จุดต่อกับสายและอุปกรณ์		

ลูกถ้วยรองรับบัสบาร์	ตรวจความสกปรก ตรวจว่าหลุด หลวม ร่องรอยชำรุด การเปลี่ยนสี รอยแตกบิ่น พร้อมทำความสะอาด		
CT & PT	ตรวจรอยแตกร้าว การต่อสายและจุดต่อสาย		
ความเป็นฉนวนไฟฟ้า	ดับไฟทำความสะอาดแล้ววัดค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้าต่าง ๆ ตามวิธีที่กำหนด (หรือใช้เมกโอห์มมิเตอร์)		
การต่อลงดินและการต่อฝาก	สภาพจุดต่อลงดินที่ตู้และที่หลักดิน การต่อฝากของฝาตู้ วัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน สภาพสายดินและสายต่อฝาก และขันจุดต่อสายให้แน่นอีกครั้ง		
เครื่องวัดต่าง ๆ	ตรวจสภาพทั่วไป การชำรุด แตกหัก และการทำงาน		
หลอดไฟ	ตรวจว่ายังอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ หลอดไม่หลุด ไม่แตก		
รีเลย์ป้องกัน	ตรวจสอบการทำงานด้วยเครื่องมือทดสอบ		
สวิตช์ควบคุม	ตรวจสภาพและการทำงาน		
ทดสอบการทำงาน	ตรวจการทำงานทางไฟฟ้า และระบบอินเตอร์ล็อกอีกครั้งเพื่อความมั่นใจ		
ตรวจแผ่นป้ายประจำเครื่องของอุปกรณ์	ตรวจแผ่นป้ายประจำเครื่องว่าตรงกับที่ระบุในแบบไฟฟ้าหรือไม่ ถ้าพบว่าไม่ตรงให้ระบุลงในรายงานการตรวจสอบและหาสาเหตุ		
ทำความสะอาด	ตรวจตัวตู้และทำความสะอาดอีกครั้ง		

ตารางที่ ค.4 ตารางการตรวจแผงย่อย

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
ตรวจสภาพทั่วไป	ตรวจสภาพทั่วไป สภาพสี การผุกร่อน และทำความสะอาดสิ่งสกปรกในตัวตู้ ฉนวน สายไฟฟ้า และอื่น ๆ		
ความร้อน	ตรวจจุดที่อาจเกิดความร้อนสูงเช่นจุดต่อต่าง ๆ ถ้าพบให้หาสาเหตุ ขันใหม่ให้แน่น		
การระบายอากาศ	ทำความสะอาดช่องระบายอากาศ และการทำงานของฝาปิดเปิดต่าง ๆ		
ความชื้น	ตรวจความชื้นซึ่งเป็นสาเหตุให้ฉนวนสกปรก ทำความสะอาดรวมทั้งหาสาเหตุและแก้ไข		
ความเป็นฉนวนไฟฟ้า	หลังจากทำความสะอาดแล้ว วัดค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้าต่าง ๆ ตามวิธีที่กำหนด (หรือใช้เมกโอห์มมิเตอร์)		
ตรวจสอบครั้งสุดท้าย	ตรวจสอบและทำความสะอาดครั้งสุดท้ายอีกครั้ง ใส่สารหล่อลื่น และทาสีในส่วนที่จำเป็น		

ตารางที่ ค.5 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษา ACB และ VCB

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
ลูกถ้วยฉนวน	ตรวจความเสียหายของฉนวนทั้งหมด ตรวจรอยคราบ เขม่า แตก บิ่น ความสกปรก และทำความสะอาด		
กลไกต่าง ๆ	ตรวจการติดขัด สารหล่อลื่น และการทำงานต่าง ๆ		
Alignment	ตรวจความเรียบร้อย ปรับแต่งตามความจำเป็น		
ขดลวด (Closing coil)	ตรวจการต่อสาย และการทำงาน ร่องรอยความเสียหายจากความร้อนและกระแสรั่ว		
หน้าสัมผัส	ตรวจหน้าสัมผัสต่าง ๆ และทำความสะอาด วัดค่าความต้านทานหน้าสัมผัสของ main contact (ถ้ามีเครื่องวัด)		
ความต้านทานฉนวน	ใช้เมกโอห์มมิเตอร์ วัดค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้าระหว่างขั้วของเซอร์กิตเบรกเกอร์กับโครงตู้		
Tripping Unit	ตรวจการทำงานและความเสียหาย		
การปรับตั้งค่า	ตรวจค่าปรับตั้งต่าง ๆ และบันทึกค่า		
การทำงาน	ตรวจการทำงานของของวงจรปลด-สับ และอื่น ๆ ทดสอบการทำงานทางกลและทางไฟฟ้าหลาย ๆ ครั้ง เพื่อความมั่นใจ		

ตารางที่ ค.6 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาโมลเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
ตรวจสภาพทั่วไป	ตรวจรอยแตกร้าว ความสกปรก ร่องรอยการเกิดความร้อนสูง และทำความสะอาดเพื่อให้ระบายอากาศได้ดี		
ขั้วต่อสาย	ตรวจขั้วต่อสายที่เซอร์กิตเบรกเกอร์และบัสบาร์ว่าหลุด หลวมหรือไม่ ตรวจวัดความร้อน (ถ้ามีเครื่องวัด) ตรวจสายที่ต่อเข้าขั้วต่อสายว่ามีร่องรอยชำรุดจากความร้อนหรือไม่ ถ้าตรวจพบต้องหาสาเหตุและแก้ไข และขันขั้วต่อสายใหม่ให้แน่น		
การทำงานทางกล	ทดสอบโดยการ ON-OFF ด้วยมือ หลาย ๆ ครั้ง และเพื่อให้การทำงานคล่องตัว		
อุปกรณ์ประกอบ	ตรวจสภาพและการทำงานของอุปกรณ์ประกอบเช่น Shunt trip, UV release & auxiliary switch, etc รวมทั้งหลอดสัญญาณและเครื่องวัดต่าง ๆ (ถ้ามี)		
พิกัด	ตรวจพิกัดกระแส พิกัดตัดกระแสลัดวงจรเทียบกับแบบไฟฟ้าอีกครั้ง ถ้าไม่ตรงต้องหาสาเหตุและแก้ไข		

ตารางที่ ค.7 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาฟิวส์แรงต่ำ

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
ฉนวน	ตรวจว่ามีรอยแตก ร้าว ไหม้ การเปลี่ยนสีจากความร้อนหรือไม่		
ตรวจสิ่งสกปรก	ตรวจหาสิ่งสกปรกที่เป็นสาเหตุของประกายไฟ เช่น คราบเกลือและฝุ่น ถ้าพบให้ทำความสะอาด		
ตรวจหน้าสัมผัส (contact)	วัดความร้อนขณะใช้งาน (ถ้ามีเครื่องวัด) ถ้ามีร่องรอยไหม้หรือแรงกดไม่ถูกต้อง ต้องปรับปรุงหรือเปลี่ยนใหม่ ขาหนีบฟิวส์ต้องแน่น		
จุดต่อต่าง ๆ	วัดความร้อนขณะใช้งาน โบลต์ นัต ขั้วต่อสาย ต้องอยู่ในตำแหน่งเดิม และในสภาพดี และขันใหม่ให้แน่น		
ตัวฟิวส์	ตรวจร่องรอยการเสื่อมสภาพ เปลี่ยนสี ชำรุด ถ้าพบควรเปลี่ยนใหม่ วัดค่าความต้านทานฟิวส์ ตรวจพิกัดแรงดันกระแส และพิกัดตัดกระแสลัดวงจร ให้ถูกต้องและเป็นแบบที่ได้กำหนดไว้เดิม		

ตารางที่ ค.8 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาสวิตช์ใบมีด (LV & MV)

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

ตารางที่ ค.9 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษามอเตอร์

รายการ	การดำเนินการ	ใช้ได้	แก้ไข
สถานที่ใช้งาน	ตรวจสถานที่ใช้งานว่ามีการระบายอากาศดีหรือไม่		
ความร้อน	ตรวจว่ามอเตอร์มีความร้อนสูงเกินปกติหรือไม่ โดยการสัมผัส หรือดมกลิ่น ถ้าไม่มั่นใจให้ใช้เครื่องมือวัด		
การสั่นสะเทือน	สังเกตจากการฟังเสียง การสัมผัส กรณีไม่มั่นใจให้ใช้เครื่องมือวัด (สำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่)		
เสียงดังผิดปกติขณะทำงาน	ตรวจสอบโดยการฟังเสียง ว่าเกิดจากการเสียดสี หรือถ้าเกิดจากการสั่นสะเทือนผิดปกติจะทราบได้จากการใช้มือสัมผัสตัวมอเตอร์		
ตรวจแบริ่ง	ตรวจการรั่วซึมของน้ำมัน ฟังเสียงลูกปืนว่าดังผิดปกติหรือไม่ ตรวจความเสียหายของแบริ่ง และลูกปืน		
ขั้วต่อสาย	ตรวจสอบว่าขั้วต่อสายแน่นหรือมีความร้อนสูงหรือไม่ รวมทั้งกล่องต่อสายที่มอเตอร์ว่าอยู่ในสภาพดีหรือไม่		
การต่อลงดิน	ตรวจสภาพสายดิน ตรวจจุดต่อหลุดหลวมหรือไม่		
ค่าความเป็นฉนวน	วัดค่าความเป็นฉนวนของขดลวด เมื่อมอเตอร์ไม่ใช้งานนาน ๆ หรือหลังจากการถอดชิ้นส่วนออกซ่อมบำรุงแล้ว		
ชุดควบคุม	ตรวจการทำงาน เครื่องวัดอ่านค่าได้ตามปกติหรือไม่ หลอดไฟใช้ได้หรือไม่ ตรวจสภาพหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า		
อุปกรณ์ป้องกัน	ตรวจพิกัด และการทำงานของโอเวอร์โหลดรีเลย์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์		
กระแส แรงดัน	วัดกระแสและแรงดัน ว่าเป็นไปตามที่ระบุบนแผ่นป้ายประจำเครื่องหรือไม่ ระบบ 3 เฟส วัดว่าแต่ละเฟสเท่ากันหรือไม่		

ตารางที่ ค.10 ตารางการตรวจสอบและบำรุงรักษาหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า

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

3. การรายงานผลการตรวจสอบ

จากตารางการตรวจสอบในข้อที่ 2 เป็นรายการตรวจและวิธีการตรวจอุปกรณ์ต่าง ๆ (การดำเนินการ) ในการดำเนินการตรวจ จะต้องมีการบันทึกผลการตรวจ และวิเคราะห์ผลด้วย ว่าใช้ได้หรือไม่ ในตารางการตรวจอาจเพิ่มสดมภ์ (column) ทางขวามือของตารางการตรวจ เป็นหมายเหตุเพื่อระบุสิ่งที่ต้องทำหรือระบุสิ่งที่ได้ดำเนินการแก้ไขไปแล้ว เพื่อเก็บเป็นประวัติและใช้ประโยชน์ในการบำรุงรักษา

4. ความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงรักษา

ความถี่ในการตรวจสอบ ขึ้นกับสภาพแวดล้อมและการใช้งาน โดยปกติจะดำเนินการปีละ 1 ครั้ง การที่จะทำการตรวจสอบถี่ขึ้นหรือไม่นั้น ให้พิจารณาปัจจัยต่อไปนี้ประกอบด้วยคือ

- การกัดกร่อนของบรรยากาศ
- สิ่งสกปรกและฝุ่นละออง
- อุณหภูมิโดยรอบและความชื้น
- ความถี่ในการทำงาน
- ความถี่ในการตัดกระแสลัดวงจร (กรณีเซอร์กิตเบรกเกอร์)

บรรณานุกรม

- คณะกรรมการดำเนินการจัดทำคู่มือการติดตั้งระบบไฟฟ้าสำหรับช่าง, **คู่มือการติดตั้งระบบไฟฟ้าสำหรับช่าง,** พิมพ์ครั้งที่ 1, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, กรุงเทพฯ : 2551.
- คณะกรรมการดำเนินการจัดทำคู่มือความปลอดภัยทางไฟฟ้า, **คู่มือความปลอดภัยทางไฟฟ้า,** พิมพ์ครั้งที่ 1, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, กรุงเทพฯ : 2551.
- แบบบันทึกข้อมูลด้านความปลอดภัยระบบไฟฟ้าในโรงงาน ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง **มาตรการความปลอดภัยที่เกี่ยวกับระบบไฟฟ้าในโรงงาน พ.ศ. 2551,** กระทรวงอุตสาหกรรม.
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง **มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2546,** กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556**, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร : 2557.
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, **มาตรฐานความปลอดภัยทางไฟฟ้าในสถานที่ทำงาน พ.ศ.2557** , พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร : 2557.
- 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.
- NFPA 70E, **Standard for Electrical Safety in the Workplace**, 2004 Edition, National Fire Protection Association, USA : 2004.
- 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.

ชื่อหนังสือ : คู่มือการตรวจสอบความปลอดภัยระบบไฟฟ้าโรงงาน
(ฉบับปรับปรุงใหม่ 2559)

โครงการ : โครงการส่งเสริมและการพัฒนาความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรม

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

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

จำนวนที่พิมพ์ : 500 เล่ม

คณะกรรมการประสานและรับมอบงาน : กรมโรงงานอุตสาหกรรม (ปีงบประมาณ 2559)

1.	นายศุภกิจ	บุญศิริ	ประธานกรรมการ ผู้อำนวยการสำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
2.	นายสุทัศน์	มังคละคีรี	กรรมการ
3.	นายชัชวาลย์	จิตติเรืองเกียรติ	กรรมการ
4.	นายมานพ	แก้วฉาย	กรรมการ
5.	นายวิศิษย์ศักดิ์	กฤษณพันธ์	กรรมการ
6.	นางขวัญลักษณ์	กัลหะรัตน์	กรรมการและเลขานุการ

ที่ปรึกษาโครงการ : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.)

ผู้ทรงคุณวุฒิที่ปรึกษาการปรับปรุงคู่มือ

1.	นายลือชัย	ทองนิล	กรรมการสภาวิศวกร และที่ปรึกษาคณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า วสท.
2.	ผศ.ดร.ศุภกิตติ์	โชติโก	หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มจธ.
3.	ผศ.ดร.สุเมธ	เนติลัดดานนท์	ผู้จัดการโครงการ
4.	อ.ธวัชชัย	ชยาวนิช	ผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยจากการใช้ไฟฟ้า

กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม
75/6 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 02-202-4217 โทรสาร 02-354-3392
www.diw.go.th