YAZAKI

คู่มือการติดตั้ง ระบบไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ

ฉบับปรับปรุงตามมาตรฐานฯ ใหม่ พ.ศ.2564

ลือชัย ทองนิล

Thai-Yazaki Electric Wire Co.,Ltd.

YAZAKI

Thai-Yazaki Electric Wire Co.,Ltd.

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ
คู่มือการติดตั้งระบบไฟฟ้าอย่างมืออาชีพ

ชื่อหนังสือ : คู่มือการติดตั้งระบบไฟฟ้าอย่างมืออาชีพ
ฉบับปรับปรุงตามมาตรฐานฯใหม่ 2564

ผู้เขียน : ลือชัย ทองนิล

ISBN : 978-616-93347-1-2

พิมพ์ครั้งที่ 2 (ฉบับปรับปรุงครั้งที่1) : มิถุนายน 2565 จำนวน 10,000 เล่ม

จัดพิมพ์โดย : บริษัท สายไฟฟ้าไทย-ยาซากิ จำกัด
ที่อยู่ ชั้นที่ 21 อาคารโอเนสทาวเวอร์ เลขที่ 6 ซอยสุขุมวิท6
แขวงคลองเตย เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร 10110
โทรศัพท์ 02-653-2550 โทรสาร 02-653-2613
https://www.thaiyazaki-electricwire.co.th/

จัดพิมพ์ที่ : บริษัท ยามากาตะ (ประเทศไทย) จำกัด
324 หมู่ 4 ซอย 6B ถ.สุขุมวิท
ตำบลแพรกษา อำเภอเมืองสมุทรปราการ
จังหวัดสมุทรปราการ 10280
โทรศัพท์: 02-709-6556-66 ต่อ 416

ข้อมูลบริษัท

บริษัท สายไฟฟ้าไทย-ยาซากิ จำกัด หรือ TYE นับจากก่อตั้งบริษัทขึ้นเมื่อปี พุทธศักราช 2505 บริษัท ก็ค่อย ๆ เติบโต ก้าวขึ้นเป็นผู้นำด้านการผลิต และจำหน่ายสายไฟฟ้า และสายเคเบิ้ลที่เป็นตัวนำทองแดง และอลูมิเนียม ที่ไม่หยุดสร้างสรรค์เทคโนโลยีใหม่ ๆ สู่สังคม และยังมีส่วนแบ่งการตลาดเป็นอันดับต้นๆ ในประเทศ เรามีฐานการผลิตที่จังหวัดสมุทรปราการ

ซึ่งมี 3 สาขา คือ สาขาพระประแดง หรือ TYE-P , สาขาวัดแค หรือ TYE-W และสาขาสุวรรณภูมิ หรือ TYE-S โดยดำเนินธุรกิจมานานกว่า 50 ปี ตั้งอยู่ในทำเลที่เป็นศูนย์กลางอุตสาหกรรมการผลิตของประเทศ

หน้าที่ของเราคือการเป็นผู้ผลิตสายไฟฟ้าที่มีคุณภาพ ที่จะเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของการดำรงชีวิตของผู้คนมากมาย รวมทั้งการเพิ่มมาตรฐานคุณภาพด้วยการตรวจสอบอย่างเคร่งครัด และ พัฒนาต่อยอดเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ตอบความต้องการสูงสุดของลูกค้าได้

ผลิตภัณฑ์ของเรา

- **Building Wire and Cable**
- **Low voltage Power Cable**
- **Medium and High Voltage Power Cable**
- **Control Cable and Instrument Cable**
- **Bare Conductors**
- **Special cable**
  - *-Low Smoke & Halogen Free cable*
  - *-Fire Resistant Cable*
  - *-Flame Retardant Cable*
  - *-Vermin Proof Cable*
  - *-Armoured Cable*






ผลิตภัณฑ์คุณภาพ

บริษัทฯได้ผลิตสายไฟฟ้าที่มีคุณภาพสูงโดยใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพ เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง และจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยเฉพาะวัตถุดิบหลักของสายไฟฟ้าคือตัวนำไฟฟ้า (Conductor)ซึ่งทางบริษัทฯ ได้ใช้ทองแดงที่มีความบริสุทธิ์ 99.99% ซึ่งเป็นทองแดงใหม่มาใช้ผสมผสานกับเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัยทำให้ได้ตัวนำที่มีคุณภาพโดยผลที่ได้คือ มีความนำไฟฟ้าเป็นไปตามมาตรฐาน และไม่ทำให้เกิดความต้านทานสูง วัตถุดิบ PVC ทางบริษัทฯ ใช้ PVC ใหม่และปราศจากการเจือปน ทำให้ฉนวนที่ได้นั้นมีคุณภาพ และทำให้สายไฟฟ้าสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้เต็มพิกัดตามมาตรฐาน และกระบวนการผลิตภายในบริษัทนั้นก็ได้มีการตรวจสอบในทุกขั้นตอน เพื่อควบคุมให้เป็นไปตามคุณภาพของบริษัทฯ นอกจากการผลิตที่มีคุณภาพแล้วนั้น การทดสอบนับเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เพราะเป็นเครื่องชี้วัดคุณภาพของสายไฟฟ้า ทางบริษัทฯ ได้มีเครื่องมือทดสอบที่ได้มาตรฐาน และการรับรองตามมาตรฐานสากล ทำให้เป็นการการันตีได้ว่าสายไฟฟ้า ที่ทางบริษัทได้ผลิตส่งออกไปยังลูกค้านั้น ได้คุณภาพแน่นอน

CERTIFICATES

Thai Industrial Standard Institute

TIS 11-2553
TIS 11 part 101-2559
TIS 85-2548
TIS 293-2541
TIS 2202-2547

TIS 64-2517
TIS 118-2522
TIS 2143-2546
TIS 386-2531
TIS 2341-2555
TIS 838-2531

MASCI

ISO 9001
OHSAS 18001
TIS 18001

BUREAU VERITAS

ISO 14001

TUV

Flame Retardant with Low Smoke and Zero Halogen Cable
Fire Resistant,Flame Retardant with Low Smoke and Zero Halogen Cable

คำนำ

บริษัทสายไฟฟ้าไทย-ยาซากิ จำกัด เป็นผู้ผลิตสายไฟฟ้าในประเทศไทยที่มีชื่อเสียงมายาวนาน และเน้นผลิตสายไฟฟ้าที่มีคุณภาพจนเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป สายไฟฟ้าของบริษัทฯ มีให้เลือกใช้งานครบถ้วนตามความต้องการใช้งานในการติดตั้งทางไฟฟ้า และเนื่องจากบริษัทฯ ได้เล็งเห็นความสำคัญของงานติดตั้งทางไฟฟ้าที่มีคุณภาพ ถูกต้องตามหลักการทางวิศวกรรม และสอดคล้องกับมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของ สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ หรือ วสท. ซึ่งใช้อ้างอิงกันทั่วไปนั้น จึงได้จัดทำหนังสือเล่มนี้ขึ้นมาพร้อมทั้งปรับปรุงให้ทันสมัยตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ เพื่อเป็นแหล่งความรู้และใช้อ้างอิง และยังถือเป็นส่วนหนึ่งของความรับผิดชอบต่อสังคม อันเป็นสิ่งที่บริษัทฯ ให้ความสำคัญยิ่ง อีกด้วย

คู่มือการติดตั้งระบบไฟฟ้าอย่างมืออาชีพเล่มนี้ได้มีการปรับปรุงใหม่ให้มีความทันสมัยยิ่งขึ้น โดยจะสอดคล้องกับมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 ของ วสท.

(นายจรัญ แวววรวิทย์)

กรรมการ

บริษัท สายไฟฟ้าไทย-ยาซากิ จำกัด

คำนิยม

ผู้เขียนได้รู้จักสายไฟฟ้าไทย-ยาซากิ มาตั้งแต่เริ่มเข้ามาในวงการช่างไฟฟ้า ในด้านที่เป็นสายไฟฟ้าที่มีคุณภาพ มีความอ่อนนุ่ม ดัดง่าย ปลอกง่าย เป็นที่ชื่นชอบของช่างไฟฟ้าทั่วไป อีกทั้งเจ้าของงานก็เรียกร้องให้ใช้

เมื่อบริษัทฯ มีความคิดริเริ่มที่จะจัดทำหนังสือ “คู่มือการติดตั้งระบบไฟฟ้าอย่างมืออาชีพ” เล่มนี้ โดยมีจุดประสงค์ให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานออกแบบและติดตั้งทางไฟฟ้าได้ใช้อ้างอิง ข้าพเจ้าจึงมีความยินดีเป็นอย่างยิ่งและขอชื่นชมในการที่บริษัทสายไฟฟ้าไทย-ยาซากิ ได้มองเห็นความสำคัญของงานการติดตั้งทางไฟฟ้า เพราะเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทั้งต่อบุคคลและทรัพย์สิน และหนังสือคู่มือเล่มนี้ยังได้มีการปรับปรุงใหม่ ให้สอดคล้องตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 อีกด้วย

ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากกับผู้อ่าน และขอแสดงความชื่นชมบริษัทสายไฟฟ้าไทย-ยาซากิ อีกครั้งที่สร้างสรรค์งานที่มีคุณค่า และให้ความสำคัญกับสังคมโดยเฉพาะในแวดวงวิศวกรรมไฟฟ้า และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบริษัทฯ จะยังคงพัฒนาต่อไปอย่างไม่หยุดยั้ง

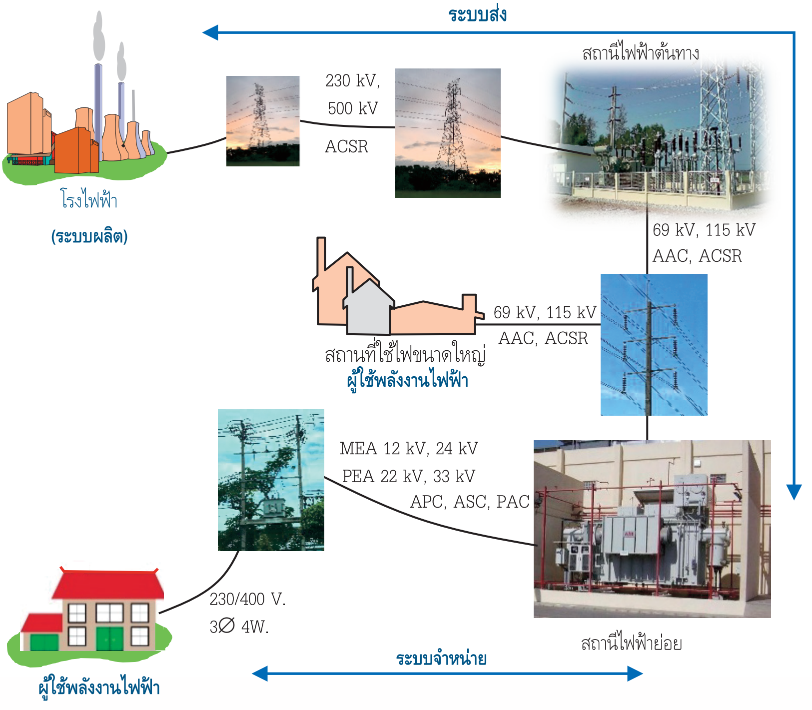
(นายลือชัย ทองนิล)

ประธานสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า วสท. พ.ศ. 2563-2565

สารบัญ

บทที่ 1 ความรู้ทั่วไป

1.1 ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของประเทศไทย



รูปที่ 1.1 ระบบจ่ายไฟฟ้าของประเทศไทย

1. ระบบผลิต คือระบบที่ทำหน้าที่ผลิตกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการใช้งาน ปัจจุบันคือการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนซึ่งมีทั้งที่ผลิตและขายโดยตรงให้ผู้ใช้ไฟฟ้าและผลิตขายให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พลังงานที่ใช้ในการผลิตมีหลายชนิดเช่น น้ำ ถ่านหิน แก๊ส น้ำมันเตา ลม และแดด เป็นต้น

2. ระบบส่ง คือระบบที่ทำหน้าที่ส่งกำลังไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ส่งจะเปลี่ยนเป็นแรงดันสูงที่ 69, 115, 230 หรือ 500 kV เพื่อลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย และเพิ่มความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าอีกด้วย

3. ระบบจำหน่าย คือระบบที่จำหน่ายพลังไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยปกติจะหมายถึงระบบแรงดัน 230/400 V, 12, 22, 24 และ 33 kV

4. ผู้ใช้พลังงานไฟฟ้า คือระบบไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้านำไปใช้เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานอย่างอื่น อาจเป็นแรงดัน 230/400 V, 12, 22, 24, 33, 69 หรือ 115 kV ตามความต้องการ

1.2 การผลิตและจำหน่ายไฟฟ้า

1.2.1 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย มีหน้าที่ผลิตไฟฟ้ารวมทั้งรับซื้อไฟฟ้าจากแหล่งผลิตอื่นเช่น ผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน และผู้ผลิตจากต่างประเทศ มาจำหน่ายให้การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และขายตรงให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่บางราย

1.2.2 การไฟฟ้านครหลวง รับซื้อไฟจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมาจำหน่ายให้ผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ 3 จังหวัดคือกรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ และนนทบุรี ด้วยแรงดันที่เรียกเป็น 115 kV, 69 kV, 24 kV, 12 kV และแรงต่ำ 230/400 V 3 เฟส 4 สาย ตามขนาดการใช้ไฟฟ้าและพื้นที่ที่สามารถจ่ายได้ ดังนี้

ขนาดการใช้ไฟฟ้า	แรงดันบริการ
< 300 kVA	230/400 V, 3 Ph. 4 W.
≥ 300 – 15,000 kVA	12 kV or 24 kV
> 15,000 kVA	69 kV or 115 kV

ระบบแรงต่ำของ กฟน. พิกัดแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงไฟฟ้าคือ 240/416 V, 3 เฟส 4 สาย ขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเป็นไปตามตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ (การไฟฟ้านครหลวง)

ขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (A)	โหลดสูงสุด (A)
5 (15)	10
15 (45)	30
30 (100)	75
50 (150)	100
200	150
	200
400	250
	300
	400

1.2.3 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รับซื้อไฟจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมาจำหน่ายให้ผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่นอกเหนือจากของการไฟฟ้านครหลวงด้วยแรงดันที่เรียกเป็น 115 kV, 33 kV, 22 kV และแรงต่ำ 230/400 V 3 เฟส 4 สาย ตามขนาดการใช้ไฟฟ้าและพื้นที่ที่สามารถจ่ายได้ดังนี้

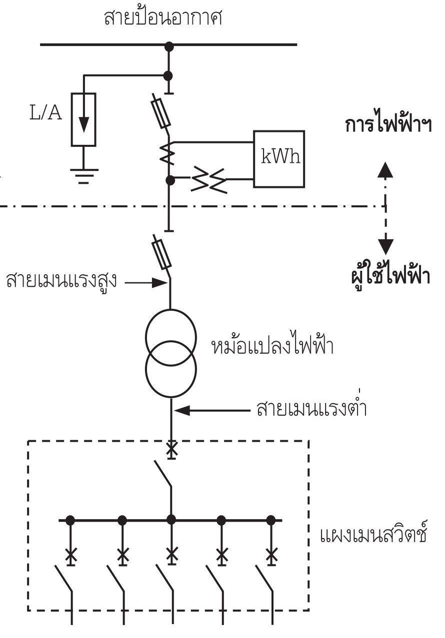
ขนาดการใช้ไฟฟ้า	แรงดันบริการ
< 250 kVA	220/380 V, 3 Ph. 4 W.
≥ 250 – 10,000 kVA	22 kV or 33 kV
> 10,000 kVA	115 kV

ระบบแรงต่ำของ กฟภ. ที่เรียก 230/400 V นั้นคือแรงดันบริการ 220/380 V พิกัดแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงไฟฟ้าคือ 230/400 V, 3 เฟส 4 สาย ปัจจุบัน กฟภ. เริ่มมีการนำหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันด้านไฟออก 240/416 V, 3 เฟส 4 สาย มาใช้งานแล้วในบางพื้นที่

1.3 ระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ

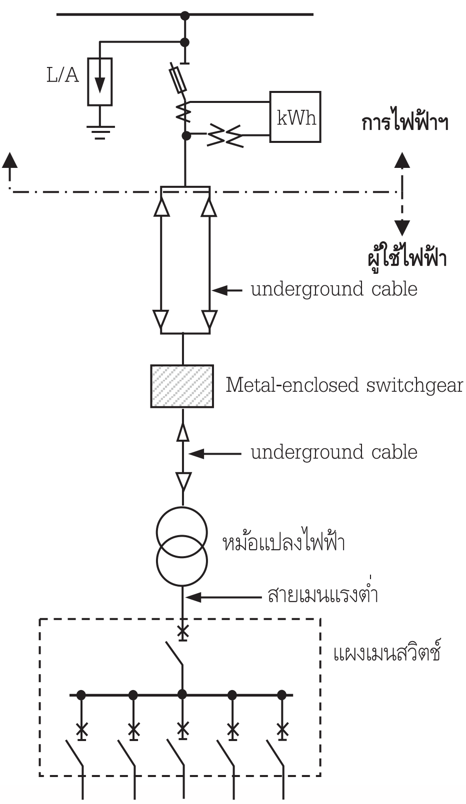
ระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้ามีทั้งที่เป็นระบบสายอากาศและสายใต้ดิน โดยส่วนใหญ่จะเป็นระบบสายอากาศ สำหรับระบบแรงต่ำการจ่ายไฟฟ้าโดยปกติจะเป็นระบบสายอากาศ ผู้ใช้ไฟฟ้าอาจเลือกเดินสายภายในด้วยระบบสายอากาศหรือสายใต้ดินก็ได้ตามความต้องการ สำหรับระบบแรงดัน 12 – 33 kV การไฟฟ้าฯ อาจจ่ายด้วยระบบแรงสูงสายอากาศหรือสายใต้ดินตามพื้นที่การจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ สามารถสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้จากการไฟฟ้าฯ เจ้าของพื้นที่ และผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องจัดเตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องให้ถูกต้องเหมาะสมด้วย รูปแบบการจ่ายไฟฟ้าโดยทั่วไปเป็นดังนี้

1.3.1 ผู้ใช้ไฟฟ้ารับไฟฟ้าแรงสูงด้วยสายป้อนอากาศจากสายป้อนอากาศของการไฟฟ้าฯ



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างไดอะแกรมการจ่ายไฟในระบบสายอากาศ

1.3.2 ผู้ใช้ไฟฟ้าที่รับด้วยสายใต้ดินจากสายป้อนอากาศของการไฟฟ้าฯ

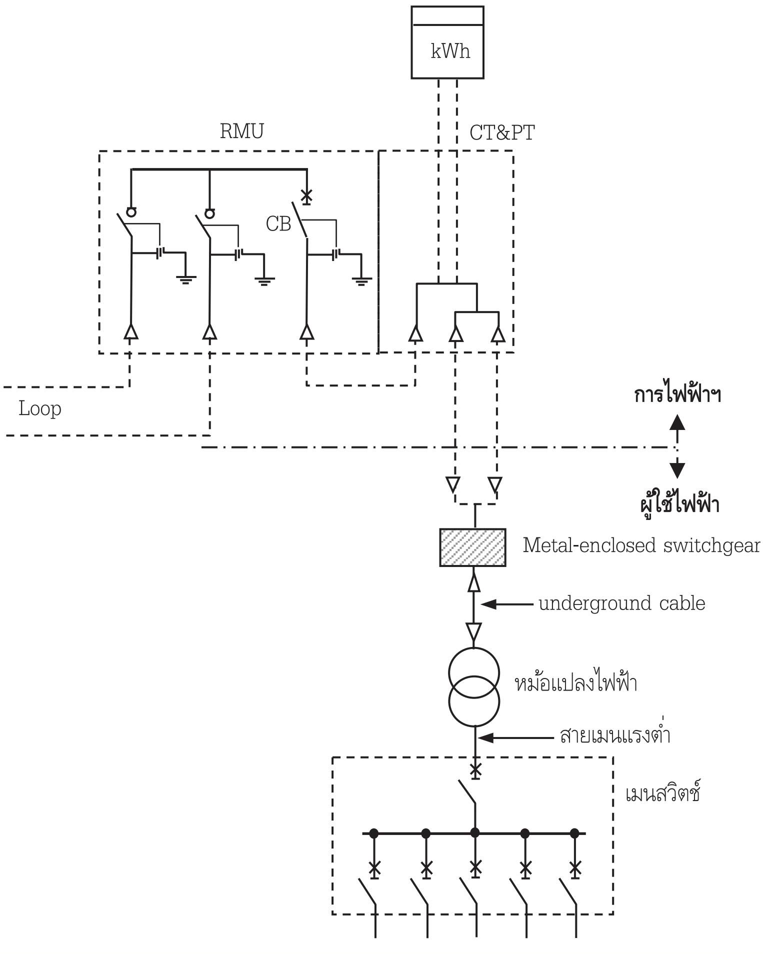


รูปที่ 1.3 ตัวอย่างไดอะแกรมการจ่ายไฟ

(การไฟฟ้าฯ จ่ายด้วยสายอากาศ ผู้ใช้ไฟฟ้ารับด้วยสายใต้ดิน)

หมายเหตุ *สายใต้ดินแรงสูงใช้งานจริง 1 ชุด สำรอง 1 ชุด ซึ่งอาจสำรองเฉพาะท่อร้อยสายก็ได้ แต่อาคารที่มีความสำคัญเช่นโรงพยาบาล สถานที่ราชการ หรืออาคารขนาดใหญ่ จะต้องสำรองสายด้วย (ควรประสานกับการไฟฟ้าฯ เจ้าของพื้นที่ด้วย)*

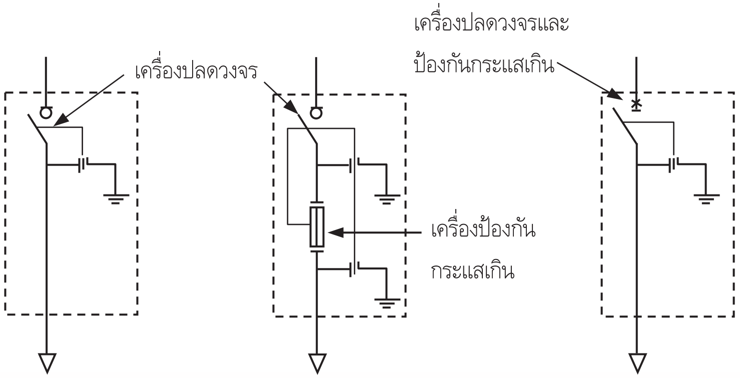
1.3.3 ผู้ใช้ไฟฟ้าที่รับไฟฟ้าแรงสูงด้วยสายใต้ดินจากสายป้อนใต้ดินของการไฟฟ้าฯ



รูปที่ 1.4 ตัวอย่างไดอะแกรมการจ่ายไฟระบบสายใต้ดิน

1.4 Ring Main Unit

Ring main unit หรือ RMU เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทำหน้าที่สับถ่ายหรือเปลี่ยนโหลด นิยมใช้ในระบบสายใต้ดินแรงสูงที่มีสายป้อนมากกว่า 1 ชุด แต่ก็ใช้ในระบบสายอากาศได้ หรือใช้กับสถานที่ใช้ไฟฟ้าที่มีสถานีย่อยเป็นของตนเอง ทำให้การออกแบบระบบการจ่ายไฟฟ้าสามารถจ่ายเป็นแบบวงแหวน หรือลูป (loop) ได้ง่ายขึ้น ทั้งนี้ก็เพื่อเพิ่มความมั่นคงของระบบการจ่ายไฟฟ้า ring main unit ประกอบด้วยหลายยูนิตหรือหลายตู้ประกอบเข้าด้วยกันเป็นชุด ในแต่ละตู้จะมีเครื่องปลดวงจรและอาจมีหรือไม่มีเครื่องป้องกันกระแสเกินก็ได้ตามความต้องการ เครื่องป้องกันกระแสเกินมีทั้งชนิดที่เป็นฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ บรรจุในเครื่องห่อหุ้มอย่างมิดชิดในการใช้งานจึงมีความปลอดภัย แบบที่มีใช้งานทั่วไปจะใช้ SF_6 เป็นตัวกลางดับอาร์กซึ่งจะทำให้มีขนาดกระทัดรัด

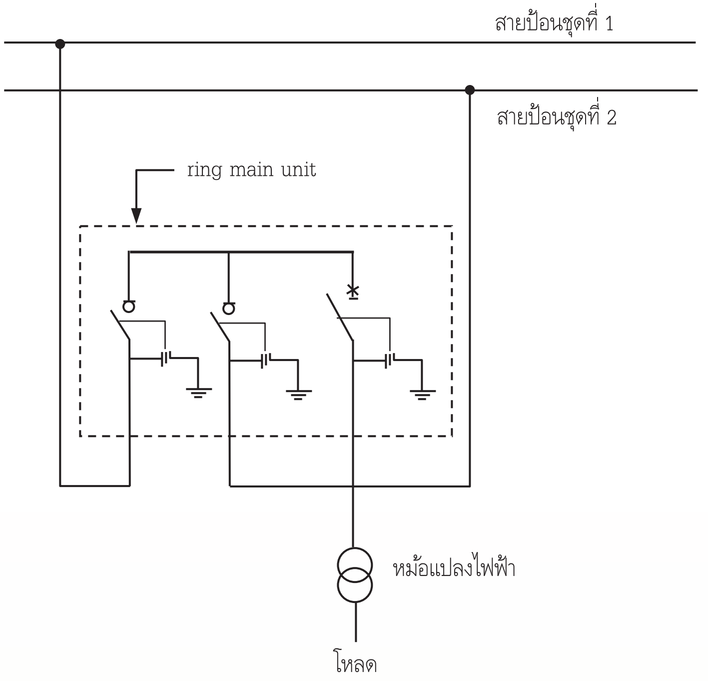


รูปที่ 1.5 ส่วนประกอบของ ring main unit แบบต่าง ๆ

การใช้งาน ตู้ที่มีเฉพาะเครื่องปลดวงจรจะทำหน้าที่รับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอื่นเพื่อจ่ายต่อให้กับตู้อื่นที่อยู่ติดกัน สำหรับตู้ที่มีเฉพาะเครื่องปลดวงจรที่เหลือจะทำหน้าที่ได้ 2 ลักษณะ หน้าที่แรกจะทำหน้าที่จ่ายไฟต่อให้วงจรไฟฟ้าอื่น หน้าที่ที่สองคือเป็นทางเลือกที่จะรับไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าอื่น กรณีที่สองนี้เครื่องปลดวงจรจะต่อวงจรเพียงตู้เดียวเท่านั้น ตู้ที่มีเฉพาะเครื่องปลดวงจรนี้สามารถมีได้หลายตู้ตามความต้องการใช้งาน

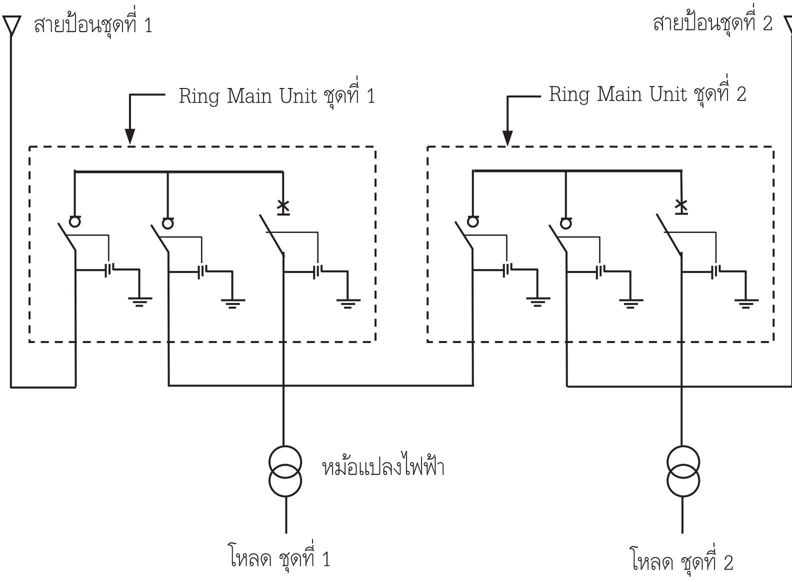
ตู้ที่มีเครื่องป้องกันกระแสเกินอยู่ด้วยจะทำหน้าที่รับไฟฟ้ามาจ่ายให้โหลดอีกต่อหนึ่ง โหลดนี้อาจเป็นโหลดตัวเดียว หลายตัว หรือทั้งสถานประกอบการเลยก็ได้ ตู้ที่มีเครื่องป้องกันกระแสเกินด้วยนี้จะมีจำนวนตู้ได้หลายตู้ตามความต้องการใช้งาน

โดยทั่วไปจึงใช้ ring main unit ทำหน้าที่รับไฟจากการไฟฟ้าฯ จ่ายให้โหลดและจ่ายต่อไปยังที่อื่นหรือเตรียมรับไฟฟ้าจากแหล่งอื่น เหมาะสำหรับวงจรที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าหรือสายจ่ายไฟฟ้ามากกว่าหนึ่งแหล่งจ่าย นั่นคือในการใช้งานจะสามารถเลือกแหล่งจ่ายไฟฟ้าได้ และยังสามารถทำหน้าที่เป็นทางผ่านของวงจรไฟฟ้าได้อีกด้วย ตัวอย่างการจ่ายไฟเป็นไปตามรูปที่ 1.6 และ 1.7



รูปที่ 1.6 ตัวอย่างการใช้ ring main unit ในระบบที่มีสายป้อน 2 ชุด

ในรูปที่ 1.6 เป็นการใช้งานกรณีที่สถานที่ใช้ไฟฟ้ามีแหล่งจ่ายไฟฟ้า 2 แหล่ง แต่ละแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นคนละวงจรกัน เมื่อสายป้อนชุดใดชุดหนึ่งดับจะสามารถเปลี่ยนไปใช้สายป้อนที่เหลือได้ ทำให้การจ่ายไฟฟ้ามีความมั่นคงมาก



รูปที่ 1.7 ตัวอย่างการใช้ ring main unit จ่ายไฟฟ้าเป็นระบบ loop

รูปที่ 1.7 เป็นตัวอย่างการจ่ายไฟฟ้าแบบ loop ที่สายป้อนสองชุดจ่ายไฟฟ้าให้โหลดหลายแห่ง โหลดแต่ละแห่งจะมี ring main unit อยู่ด้วย แต่ละชุดก็จะจ่ายไฟฟ้าให้ ring main unit ชุดต่อไป สายป้อนทั้งสองชุดจะจ่ายไฟฟ้าเข้าหากันแต่จะไม่ต่อถึงกัน ดังนั้นเครื่องปลดวงจรของ ring main unit ตัวหนึ่งจึงต้องอยู่ในตำแหน่งปลด การจ่ายไฟฟ้าแบบนี้มีข้อดีคือเมื่อสายป้อนชุดใดชุดหนึ่งดับจะสามารถจ่ายมาจากอีกสายป้อนหนึ่งได้โดยการสับเครื่องปลดวงจรให้ต่อถึงกัน นอกจากนี้แล้วยังนำมาต่อกันในรูปแบบอื่นได้อีกตามรูปแบบการจ่ายไฟที่ต้องการ

1.5 ความรู้เรื่องการต่อสายไฟฟ้า

ปัญหาของการต่อสายไฟฟ้าหรือการต่อสายคือ จุดต่อหลวม หลุด หรือมีความต้านทานสูง ทำให้เกิดความร้อนสูง เป็นสาเหตุของไฟฟ้าขัดข้อง รวมทั้งอาจเป็นสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้ได้อีกด้วย การต่อสายไฟฟ้าที่ดีนั้นจะต้องเป็นการต่อที่มีความต้านทานต่ำ มีความคงทน ใช้งานได้ยาวนาน จึงต้องเลือกใช้อุปกรณ์หรือตัวสายที่เหมาะสม ใช้เครื่องมือการต่อสายที่ถูกต้อง ต่อสายอย่างถูกวิธี และผู้ต่อสายต้องมีความรู้ความชำนาญด้วย

1.5.1 การต่อสายตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ มีดังนี้

การต่อสายตัวนำ ต้องใช้อุปกรณ์ต่อสายและวิธีการต่อสายที่เหมาะสม โดยเฉพาะการต่อตัวนำที่เป็นโลหะต่างชนิดกัน ต้องใช้อุปกรณ์ต่อสายที่สามารถใช้ต่อตัวนำต่างชนิดกันได้

ขั้วต่อสาย (terminals) การต่อตัวนำเข้ากับขั้วต่อสาย ต้องเป็นการต่อที่ดีและไม่ทำให้ตัวนำเสียหาย ขั้วต่อสายต้องเป็นแบบบีบ หรือแบบขันแน่นด้วยหมุดเกลียวหรือแป้นเกลียว ในกรณีที่สายขนาดไม่เกิน 6 ตร.มม. อนุญาตให้ใช้สายพันรอบหมุดเกลียว หรือ เดือย เกลียว (stud) ได้ แล้วขันให้แน่น

การต่อสาย (splices) ต้องใช้อุปกรณ์สำหรับการต่อสายที่เหมาะสมกับงาน หรือโดยการเชื่อมประสาน (brazing) การเชื่อม (welding) หรือการบัดกรี (soldering) ที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน หากใช้วิธีการบัดกรีต้องต่อให้แน่นทั้งทางกลและทางไฟฟ้าเสียก่อนแล้วจึงบัดกรีทับรอยต่อ ปลายสายที่ตัดทิ้งไว้ต้องมีการหุ้มฉนวนด้วยเทปหรืออุปกรณ์ที่ทนแรงดันไฟฟ้าได้เทียบเท่ากับฉนวนของสาย และเหมาะสมกับการใช้งาน

หมายเหตุ *อนุโลมให้ใช้วิธีต่อสายโดยตรงด้วยการพันเกลียวสำหรับสายแกนเดียวที่มีขนาดไม่ใหญ่กว่า 2.5 ตร.มม.*

1.5.2 สาเหตุที่จุดต่อสายหลวม พอสรุปได้ดังนี้

1. ชนิดและขนาดของสายไฟฟ้า ไม่เหมาะสมกับตัวต่อสายหรือขั้วต่อสายที่เข้าอุปกรณ์ เช่น ฟิวส์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ และสวิตช์ เป็นต้น ถ้าสายไฟฟ้ามีขนาดใหญ่หรือเล็กเกินไปก็จะเป็น

ผลให้จุดต่อสายเป็นปัญหาได้ อุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่จะระบุขนาดสายไฟฟ้าที่เหมาะสมมาให้ด้วย ชนิดของตัวต่อสายหรือขั้วต่อสายต้องเหมาะสมกับชนิดของสายไฟฟ้าด้วย

เมื่อโลหะต่างชนิดสัมผัสกันและมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะเกิดการกัดกร่อนของโลหะจากการถ่ายเทประจุ ถ้าตัวนำทองแดงสัมผัสกับอะลูมิเนียม อะลูมิเนียมจะถูกกัดกร่อนและหลวมในที่สุด ดังนั้นถ้าจำเป็นต้องมีการต่อระหว่างโลหะที่เป็นทองแดงกับอะลูมิเนียมจะต้องไม่ให้โลหะทั้งสองชนิดนี้สัมผัสถึงกันโดยตรง ตัวต่อสายก็จะต้องเป็นชนิดที่ออกแบบให้ใช้ได้กับโลหะทั้งสองชนิดเรียกว่า universal ซึ่งปกติจะเคลือบด้วยดีบุก

2. ขันขั้วต่อสายไม่แน่นตามทอร์กที่กำหนดโดยผู้ผลิต เมื่อมีกระแสไหลมากโลหะจะขยายตัวและหดตัวเมื่อกระแสลดลง ถ้าขั้วต่อสายขันไม่ได้ทอร์กตามที่กำหนดซึ่งอาจมากเกินไปหรือน้อยเกินไปจุดต่อสายก็จะหลวมได้ ผู้ติดตั้งจำนวนไม่น้อยที่ละเลยจนเกิดปัญหาโดยเฉพาะการต่อสายเข้าขั้วเซอร์กิตเบรกเกอร์ บัสบาร์ และหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น ทอร์กนี้อาจระบุมากับตัวอุปกรณ์นั้นเลย หรือมากับเอกสารของผู้ผลิต

3. การบีบสายไม่เหมาะสม เกิดกับตัวต่อสายที่ต้องใช้วิธีบีบให้แน่นด้วยคีมย้ำทั้งชนิดที่ทำงานด้วยมือและชนิดที่ทำงานด้วยระบบไฮดรอลิก อาจเนื่องจากการเลือกขนาดตัวบีบ (die) ขนาดไม่ถูกต้อง หรือจำนวนรอยที่บีบไม่ตรงตามที่ผู้ผลิตกำหนด เป็นผลให้แรงบีบที่ตัวต่อสายหลวมหรือแน่นเกินไป เมื่อใช้งานเป็นเวลานานก็จะหลวมและเกิดความร้อนสูงจนสายหรือขั้วต่อสายชำรุด โดยเฉพาะสายที่รับแรงดึงอาจหลุดจนเป็นอันตรายได้

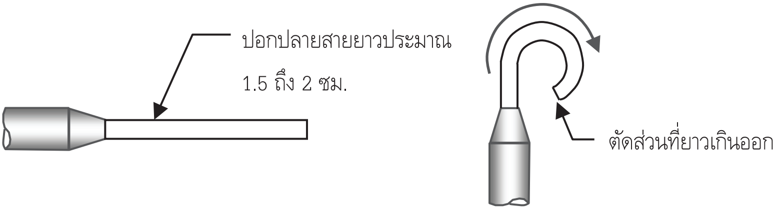
โดยปกติตัวต่อสายจะระบุขนาดของสายไฟฟ้า ขนาด die ที่ต้องใช้ และกำหนดตำแหน่งที่ต้องบีบมาให้ด้วย ตัวต่อสายขนาดเดียวกันแต่คนละผู้ผลิตก็อาจใช้ die คนละขนาดก็ได้ ดังนั้นในการทำงานจะต้องเลือกให้ตรงกับที่ระบุมาด้วย

4. สายไม่เข้าที่ เกิดกับตัวต่อสายชนิดเสียบแน่น (quick connection terminal) เมื่อเสียบสายแล้วสายอาจไม่ลงตำแหน่งที่กำหนด ทำให้หน้าสัมผัสร้อนและเกิดความร้อนสูงได้ อีกปัญหาคือพิกัดกระแสไม่เหมาะสม ปกติขั้วต่อสายแบบนี้จะออกแบบให้ใช้งานกับกระแสไม่มากเช่น 16 หรือ 20 A หรือน้อยกว่า ซึ่งก็ต้องสอดคล้องกับขนาดของสายไฟฟ้าด้วยเช่นกัน

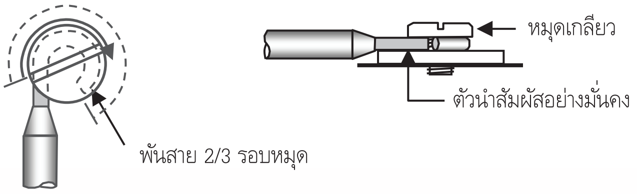
5. ใช้สายหลายเส้นกับตัวต่อสายที่ออกแบบสำหรับสายเส้นเดียว ในการต่อสายจะต้องตรวจสอบให้ชัดเจนก่อนว่าตัวต่อสายนั้นออกแบบสำหรับสายกี่เส้น ซึ่งจะต้องใช้ให้ถูกต้องด้วยเช่นกัน

ตัวอย่างการต่อโดยการพันสายรอบสกรู

- ปอกปลายสายให้มีความยาวประมาณ 1.5 ถึง 2 ซม. ขึ้นกับขนาดของสกรู
- ใช้คีมม้วนปลายสายให้มีลักษณะโค้งเป็นวงกลม และตัดปลายสายส่วนที่เกินออก

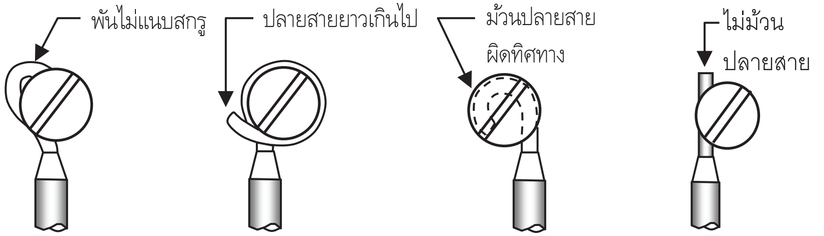


- คลายสกรูออกและนำปลายสายที่โค้งไว้วางทาบลงให้ปลายสายหันไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา แล้วขันสกรูให้แน่น



รูปที่ 1.8 ตัวอย่างการต่อสายโดยการพันสายรอบสกรู ที่ถูกต้อง

ตัวอย่างการต่อสายพันรอบสกรูที่ไม่ถูกต้อง เป็นดังนี้



รูปที่ 1.9 ตัวอย่างการต่อสายโดยการพันสายรอบสกรู ที่ไม่ถูกต้อง

การต่อด้วยโดยการขันแน่นด้วยสกรู

- ปอกปลายสายให้มีความยาวประมาณ 0.5 ถึง 1 ซม. ตามรูต่อสายของอุปกรณ์ ทดสอบความยาวว่าพอดีหรือไม่ด้วยการลองแหย่ดูซึ่งไม่ควรมีส่วนที่เป็นตัวนำทองแดงโผล่ออกมา
- คลายสกรูที่ตัวอุปกรณ์ไฟฟ้า ใส่ปลายสายเข้าไปแล้วขันให้แน่น

ตัวอย่างการต่อสายด้วยไวร์นัต สายที่ใช้ต่อควรเป็นสายขนาดเดียวกัน และห้ามใช้กับสายไฟฟ้าชนิดที่ตัวนำเป็นทองแดงเส้นฝอยขนาดเล็ก

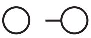
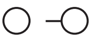
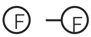
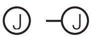
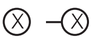
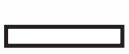
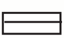
- ปอกสายไฟฟ้าให้มีความยาวประมาณ 1 ซม.
- นำปลายสายทองแดงมาจับคู่กัน มือจับสายไฟให้แน่นและสวมไวร์นัตที่ปลายสายหมุนเข้าในลักษณะตามเข็มนาฬิกาจนแน่น และไม่จำเป็นต้องพันเทปฉนวนทับอีก (หรือถ้าจะพันเทปทับอีกชั้นก็ได้)

หมายเหตุ *การต่อสายควรศึกษาเพิ่มเติมจากคู่มือของผู้ผลิตด้วย*

รูปที่ 1.10 ตัวอย่างการต่อสายด้วยไวร์นัต

1.6 สัญลักษณ์สำหรับงานเขียนแบบไฟฟ้า

สัญลักษณ์ต่อไปนี้ใช้กับงานเขียนแบบทั่วไป ในการใช้งานจริงอาจแตกต่างออกไปได้

	แผงไฟฟ้าทั่วไป หรือแผงไฟฟ้าแสงสว่าง
	แผงไฟฟ้ากำลัง
	แผงควบคุม
 หรือ 	หม้อแปลงไฟฟ้า (กำลัง, ระบุขนาด แรงดัน และอื่น ๆ)
 A, B, C..	หลอดไฟฟ้า (ระบุชนิดและขนาดด้วยตัวอักษร)
	จุดต่อไฟฟ้าทั่วไป (ระบุตัวอักษร หรือตัวเลข เพิ่มตามจุดประสงค์)
	จุดต่อพัดลมไฟฟ้า
	ชุดต่อสาย หรือกล่องต่อสาย
	จุดต่อไฟฟ้าสำหรับไฟทางออก
	เต้ารับเดี่ยว
	เต้ารับคู่
	เต้ารับสำหรับงานเฉพาะอย่าง (เดี่ยว)
	เต้ารับสำหรับงานเฉพาะอย่าง (คู่)
	เต้ารับชนิดฝังพื้น (เดี่ยว)
	หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิดเดี่ยว (ระบุขนาด)
	หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิดหลอดคู่ (ระบุขนาด)
S หรือ 	สวิตช์ไฟฟ้า
S_3	สวิตช์ไฟฟ้า ชนิด 3 ทาง

 หรือ 	เซอร์กิตเบรกเกอร์
	ออดไฟฟ้า
	กระดิ่งไฟฟ้า
	สายไฟฟ้า (ระบุวิธีการเดินสาย)
	สายไฟฟ้าเดินขึ้น
	สายไฟฟ้าเดินลง
	สายไฟฟ้าเดินกลับไปแผงจ่ายไฟ (จำนวนลูกศรแสดงจำนวนวงจร)
	สายไฟฟ้าเดินกลับไปแผงจ่ายไฟ (แสดงจำนวนสายไฟฟ้าด้วยขีด)
G	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
M	มอเตอร์ไฟฟ้า
I	เครื่องวัด (ระบุชนิดด้วยตัวอักษร)
H	Hand hole
M	Manhole
kWh	Kilowatt-hour meter
 หรือ 	กับดักฟ้าผ่า (Lightning arrester)
	ฟิวส์ (ระบุขนาดแรงดัน และกระแส)
	ต่อลงดิน

บทที่ 2 ชนิดของสายไฟฟ้าและการใช้งาน

2.1 ลักษณะของสายไฟฟ้าที่ดี

สายไฟฟ้าหรือเรียกกันทั่วไปว่าสายไฟ ทำหน้าที่นำพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปยังจุดที่ต้องการใช้งาน ปัจจุบันผู้ผลิตสายไฟฟ้าได้ผลิตสายออกมาหลายชนิดเพื่อให้ตรงตามความต้องการใช้งาน ซึ่งต่างกันทั้งชนิดของฉนวน ตัวนำ และโครงสร้าง การเลือกสายไฟฟ้าจึงต้องเลือกให้ตรงตามความต้องการใช้งาน การเลือกสายไฟฟ้าที่ดีควรพิจารณาสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

1. ผลิตตามมาตรฐานที่เชื่อถือได้เช่น มอก. IEC หรือมาตรฐานอื่นที่ได้รับการยอมรับ
2. ความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าดี
3. ความต้านทานไฟฟ้าต่ำ
4. แรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน
5. ความทนต่อความร้อนเมื่อเกิดกระแสลัดวงจร
6. โครงสร้างเหมาะสมกับสภาพที่ติดตั้งและการใช้งาน
7. คุณภาพของสายไฟฟ้าและวัสดุที่นำมาผลิต
8. ความเชื่อถือได้ของผู้ผลิต

2.2 แนวทางการเลือกสายไฟฟ้า

เป็นการเลือกชนิดของสายไฟฟ้าให้ตรงตามความต้องการใช้งานมีรายละเอียด ดังนี้

1. ชนิด เหมาะสมกับวิธีการเดินสายและสภาพแวดล้อม
2. ขนาด สามารถนำกระแสได้ตามที่ต้องการและมีแรงดันตกไม่เกินค่าที่กำหนด
3. สถานที่ติดตั้งใช้งาน สอดคล้องกับที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ เช่น การติดตั้งในช่องเดินสาย การติดตั้งฝังดิน และสถานที่ที่ต้องการสายที่มีคุณสมบัติพิเศษ เป็นต้น

ปัจจุบันสายไฟฟ้าในระบบแรงต่ำที่ใช้ติดตั้งภายในอาคาร (หลังเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ) กำหนดให้เป็นสายตัวนำทองแดง การเลือกสายไฟฟ้าชนิดหุ้มฉนวนระหว่าง PVC กับ XLPE มีข้อควรพิจารณา ดังนี้

2.2.1 อุณหภูมิใช้งาน สายหุ้มฉนวน PVC มีอุณหภูมิใช้งาน 70°C สำหรับสายหุ้มฉนวน XLPE มีอุณหภูมิใช้งาน 90°C มีข้อแตกต่างเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาคือ

1. ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ในขณะที่ตัวนำมีขนาดเท่ากัน สายที่มีอุณหภูมิใช้งานสูงกว่าก็จะสามารถนำกระแสได้สูงกว่า ดังนั้นสาย XLPE จึงนำกระแสได้สูงกว่าสาย PVC ซึ่งเป็นข้อเด่นของสาย XLPE เมื่อเทียบกับสาย PVC

2. ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย ในขณะที่ตัวนำมีขนาดเท่ากัน สาย XLPE ซึ่งมีกระแสไหลสูงกว่าจึงมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงกว่าซึ่งจะเกิดขึ้นตลอดเวลาที่ใช้งาน จึงเป็นข้อด้อยของสาย XLPE เมื่อเทียบกับสาย PVC

3. แรงดันตก ในขณะที่ตัวนำมีขนาดเท่ากัน สายไฟฟ้าที่มีกระแสไหลสูงกว่าก็จะมีค่าแรงดันตกสูงกว่าซึ่งอาจเป็นปัญหากับเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิดที่จะมีประสิทธิภาพลดลงหรืออาจถึงขั้นใช้งานไม่ได้ ซึ่งเป็นข้อด้อยของสาย XLPE เมื่อเทียบกับสาย PVC แต่ก็สามารถแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มขนาดตัวนำให้ใหญ่ขึ้น

2.2.2 ผลของความร้อนที่มีต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในสายไฟฟ้าตามพิกัดที่กำหนดก็จะเกิดความร้อนที่ตัวนำของสายไฟฟ้า สาย PVC จะร้อนประมาณ 70°C และสาย XLPE จะร้อนประมาณ 90°C ความร้อนนี้จะส่งผ่านไปถึงขั้วของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สายต่ออยู่ ขั้วต่อสายของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือแม้แต่ตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าเองก็จะต้องออกแบบให้ทนอุณหภูมิดังกล่าวได้ด้วย อุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิดอาจไม่ได้ออกแบบให้ใช้งานกับสายที่มีอุณหภูมิ 90°C เป็นผลให้อุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุดหรือเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ การใช้งานจึงต้องมีความระมัดระวัง

การนำสายที่มีอุณหภูมิใช้งาน 90°C ไปใช้กับอุปกรณ์ที่ออกแบบให้ใช้งานกับสายที่มีอุณหภูมิใช้งาน 70°C สามารถทำได้โดยการลดอุณหภูมิของสายลงเช่น โดยการต่อผ่านบัสบาร์เพื่อให้ระบายความร้อนก่อน หรือโดยการใช้สายที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมาต่อตรงช่วงที่จะต่อเข้าอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือใช้ขนาดกระแสเท่ากับสาย PVC เป็นต้น

2.2.3 คุณสมบัติต้านเปลวเพลิง สาย PVC มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง หมายถึงสามารถจุดติดไฟได้แต่เมื่อนำต้นเพลิงออก ไฟจะดับได้เอง สำหรับสาย XLPE เมื่อนำต้นเพลิงออกไฟจะไม่ดับเองแต่จะลุกลามต่อ จึงมีข้อจำกัดในการใช้งานเช่น เมื่อใช้ในอาคารต้องเดินในช่องเดินสายที่ปิดมิดชิด แต่สาย XLPE ก็สามารถผลิตให้เป็นชนิดต้านเปลวเพลิงได้โดยต้องผ่านการทดสอบตามที่มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ กำหนด ซึ่งผู้ผลิตต้องรับรอง

2.2.4 ควัน เป็นข้อด้อยของสาย PVC เนื่องจากถ้าเกิดเพลิงไหม้อาคารและสายไฟฟ้าลุกติดไฟจะเกิดควันปริมาณมากซึ่งเป็นควันดำและมีพิษ จึงมีข้อจำกัดในการใช้งานในพื้นที่ที่ต้องการจำกัดปริมาณควันหรือสารพิษเช่น เส้นทางหนีไฟ อาคารใต้ผิวดิน หรือในอาคารที่ต้องใช้เวลาในการหนีไฟนาน เป็นต้น

2.2.5 ความแข็งแรงทางกายภาพ สายหุ้มฉนวน XLPE มีความแข็งแรงทางกายภาพดีกว่าสาย PVC จึงทนต่อการขูดขีดในขณะติดตั้งได้ดี

2.2.6 การทนความร้อนเมื่อเกิดกระแสลัดวงจร เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรจะมีกระแสปริมาณสูงมากไหลผ่านสายไฟฟ้าก่อนที่เซอร์กิตเบรกเกอร์หรือฟิวส์จะปลดวงจร สายไฟฟ้าก็จะร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว และถ้าความร้อนสูงเกิน ฉนวนของสายไฟฟ้าก็อาจเสื่อมสภาพและใช้งานต่อไม่ได้ สาย XLPE มีข้อดีที่ทนความร้อนนี้ได้ดีกว่า (สาย PVC ทนความร้อนขณะลัดวงจรได้ 120°C สำหรับสาย XLPE ทนได้ 250°C)

2.3 โครงสร้างของสายไฟฟ้าแรงต่ำ

สายไฟฟ้าในระบบแรงต่ำมีโครงสร้างที่สำคัญ ดังนี้

2.3.1 ตัวนำ ทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าจึงมีความสำคัญมาก ตัวนำที่ดีต้องมีความต้านทานต่ำ มีความเหนียว และอ่อนตัวได้ดี ปัจจุบันวัสดุที่นิยมใช้เป็นตัวนำในระบบไฟฟ้าแรงต่ำได้แก่ทองแดง และอะลูมิเนียม

สำหรับสายไฟฟ้าในระบบแรงต่ำ (แรงดันไม่เกิน 1,000 V) ภายในอาคาร จะใช้เป็นทองแดงเนื่องจากนำกระแสไฟฟ้าได้ดีกว่าและมีความยุ่งยากในการต่อสายน้อยกว่าอะลูมิเนียม ตัวนำมีทั้งที่เป็นตัวนำเส้นเดี่ยว ตีเกลียว และตัวนำชนิดสายอ่อน สายไฟฟ้าขนาดใหญ่ตัวนำจะเป็น

แบบตีเกลียวเพื่อให้อ่อนตัวได้ดี ตัวนำที่ดีต้องมีความบริสุทธิ์ อ่อนนุ่ม และเหนียว สามารถดัดโค้งได้ง่าย และหักยาก ส่วนตัวนำอะลูมิเนียมมีน้ำหนักเบาจึงนิยมใช้ในระบบสายอากาศถึงแม้จะมีข้อด้อยเรื่องความต้านทานก็ตาม

2.3.2 ฉนวน ทำหน้าที่กั้นการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าไปยังสิ่งที่สัมผัสกับสายไฟฟ้าเช่น คน สัตว์ ต้นไม้ ดิน หรือแม้แต่ระหว่างสายไฟฟ้าด้วยกัน เป็นต้น ปัจจุบันวัสดุที่ใช้ทำฉนวนมีหลายชนิด ที่นิยมใช้ในระบบสายแรงต่ำภายในอาคารคือ PVC และ XLPE

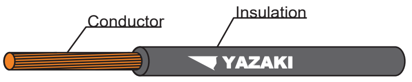
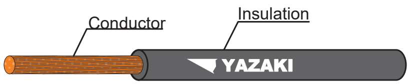
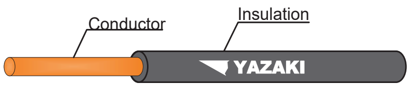
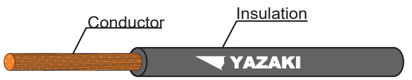
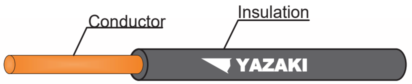
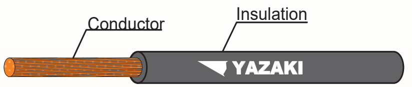
ฉนวน PVC มีอุณหภูมิใช้งาน 70°C และ 90°C แต่สายที่ใช้งานในระบบการเดินสายทั่วไปเป็นสายที่มีอุณหภูมิใช้งาน 70°C สำหรับฉนวน XLPE มีอุณหภูมิใช้งาน 90°C

2.3.3 เปลือก ทำหน้าที่ป้องกันฉนวนของสายไฟฟ้าจากความเสียหายทางกลในระหว่างการติดตั้งและใช้งาน และยังช่วยป้องกันแสงแดด การกัดกร่อน รวมถึงการซึมผ่านของน้ำอีกด้วย สายไฟฟ้าบางชนิดมีเปลือกแต่บางชนิดไม่มีเปลือกซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการผลิตเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน ตัวอย่างสายไฟฟ้าที่มีเปลือกเช่น สาย NYY, VCT, VAF และ CV เป็นต้น

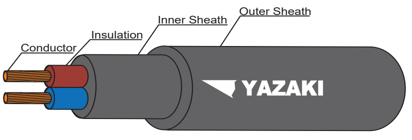
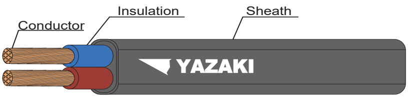
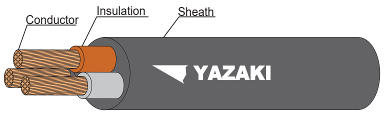
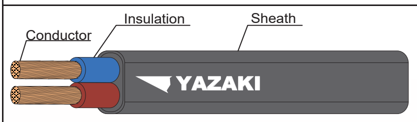
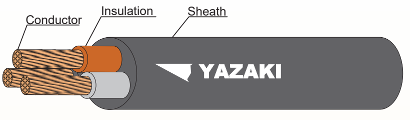
2.4 สายไฟฟ้าแรงต่ำตาม มอก.11 และข้อกำหนดการใช้งาน

มาตรฐาน มอก.11 แบ่งเป็น มอก.11-2553 และ มอก.11 เล่ม 101-2559 ซึ่งปรับปรุงมาจาก มอก.11 เล่ม 101-2553 โดยเพิ่มสายขาดเล็กตามความต้องการใช้งาน เป็นมาตรฐานบังคับใช้สำหรับสายตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC ซึ่งกำหนดให้สายชนิดนี้ต้องผลิตตามมาตรฐานและได้รับใบรับรองแล้วเท่านั้น กำหนดแรงดันไฟฟ้าใช้งาน U_0/U ไม่เกิน 450/750 โวลต์ (U_0 หมายถึงแรงดันไฟฟ้าวัดเทียบดิน และ U หมายถึงแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายเส้นไฟ) สายไฟฟ้าบางชนิดอาจมีค่า U_0/U ต่ำกว่า 450/750 โวลต์ อุณหภูมิใช้งาน 70°C และ 90°C สำหรับสายที่ใช้ในระบบการเดินสายในอาคารเป็นชนิดที่มีอุณหภูมิใช้งาน 70°C รายละเอียดและข้อกำหนดการใช้งานของสายตาม มอก.11-2553 เป็นไปตามตารางที่ 2.1 และ มอก.11 เล่ม 101-2559 เป็นไปตามตารางที่ 2.1(ก)

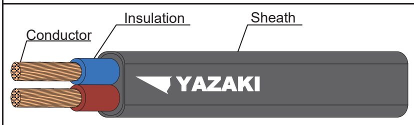
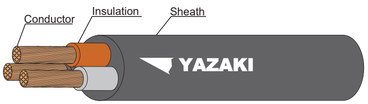
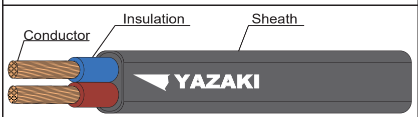
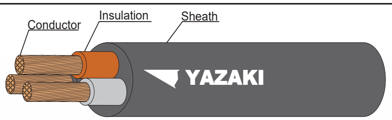
ตารางที่ 2.1 สายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553 และการใช้งาน

รูปและชื่อสายไฟฟ้า	ประเภทตัวนำ	แรงดันใช้งาน	ขนาดพื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)			ประเภทการใช้งาน (ดูหมายเหตุ 1)
		อุณหภูมิสูงสุด	1 แกน	หลายแกน	หลายแกนมีสายดิน	
 **60227 IEC 01 THW**	Solid or Stranded	450/750 V 70 °C	1.5-400	-	-	1
 **60227 IEC 02 THW (f)**	Flexible	450/750 V 70 °C	1.5-240	-	-	1
 **60227 IEC 05 IV**	Solid	300/500 V 70 °C	0.5-1	-	-	1
 **60227 IEC 06 IV(f)**	Flexible	300/500 V 70 °C	0.5-1	-	-	1
 **60227 IEC 07 HIV**	Solid	300/500 V 90 °C	0.5-2.5	-	-	1
 **60227 IEC 08 HIV(f)**	Flexible	300/500 V 90 °C	0.5-2.5	-	-	1

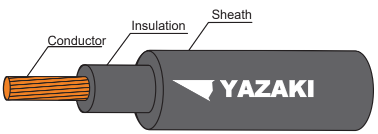
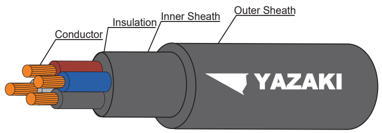
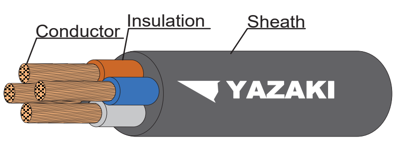
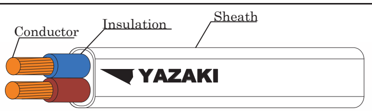
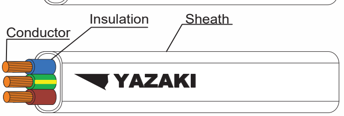
ตารางที่ 2.1 สายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553 และการใช้งาน (ต่อ)

รูปและชื่อสายไฟฟ้า	ประเภทตัวนำ	แรงดันใช้งาน	ขนาดพื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)			ประเภทการใช้งาน (ดูหมายเหตุ 1)
		อุณหภูมิสูงสุด	1 แกน	หลายแกน	หลายแกนมีสายดิน	
 60227 IEC 10	Solid or Stranded	300/500 V 70 °C	-	2-5 แกน 1.5-35	2-4 + G 1.5-35	2
 60227 IEC 52 VKF	Flexible	300/300 V 70 °C	-	2 แกน 0.5-0.75	-	3
 60227 IEC 52	Flexible	300/300 V 70 °C	-	2-3 แกน 0.5-0.75	2 + G 0.5-0.75	3
 60227 IEC 53 VKF	Flexible	300/500 V 70 °C	-	2 แกน 0.75-1	-	3
 60227 IEC 53	Flexible	300/500 V 70 °C	-	2-5 แกน 0.75-2.5	2-4 + G 0.75-2.5	3

ตารางที่ 2.1 สายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553 และการใช้งาน (ต่อ)

รูปและชื่อสายไฟฟ้า	ประเภทตัวนำ	แรงดันใช้งาน	ขนาดพื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)			ประเภทการใช้งาน (ดูหมายเหตุ 1)
		อุณหภูมิสูงสุด	1 แกน	หลายแกน	หลายแกนมีสายดิน	
 **60227 IEC 56 HVKF**	Flexible	300/300 V 90 °C	-	2 แกน 0.5-0.75	-	3
 **60227 IEC 56**	Flexible	300/300 V 90 °C	-	2-3 แกน 0.5-0.75	2 + G 0.5-0.75	3
 **60227 IEC 57 HVKF**	Flexible	300/500 V 90 °C	-	2 แกน 0.75-1	-	4
 **60227 IEC 57**	Flexible	300/500 V 90 °C	-	2-5 แกน 0.7-2.5	2-4 + G 0.75-2.5	4

ตารางที่ 2.1(ก) สายไฟฟ้าตาม มอก.11 เล่ม 101-2559 และการใช้งาน

รูปและชื่อสายไฟฟ้า	ประเภทตัวนำ	แรงดันใช้งาน	ขนาดพื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)			ประเภทการใช้งาน (ดูหมายเหตุ 1)
		อุณหภูมิสูงสุด	1 แกน	หลายแกน	หลายแกนมีสายดิน	
  **NYY or NYY-G**	Solid or Stranded	450/750 V 70 °C	1-500	2-4 แกน 1-300	2-4 + G 1-300	6
 **VCT or VCT-G**	Flexible	450/750 V 70 °C	1-35	2-4 แกน 1-35	2-4 + G 1-35	6
  **VAF or VAF-G**	Solid or Stranded	300/500 V		2 แกน 1-16	2 + G 1-16	5

หมายเหตุ 1

ประเภทการใช้งานเป็นดังนี้

1. ใช้งานทั่วไป เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

2. ใช้งานทั่วไป เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย วางบนรางเคเบิล ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

3. ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ ใช้งานภายในเครื่องใช้ไฟฟ้า ดวงโคม

4. ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ ใช้ในดวงโคมไฟฟ้า ในป้ายโฆษณา ป้ายไฟฟ้า

5. เดินเกาะผนัง เดินในช่องเดินสาย ห้ามร้อยท่อ และห้ามฝังดิน

6. ใช้งานทั่วไป วางบนรางเคเบิล ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

หมายเหตุ 2

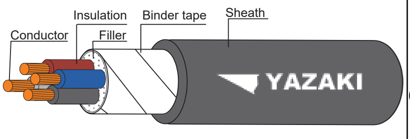
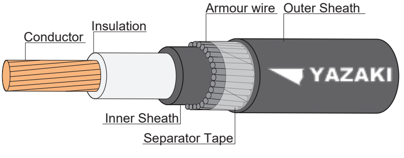
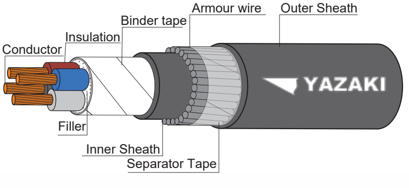
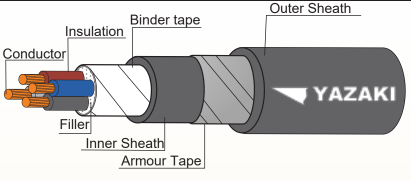
ข้อแนะนำในการใช้งานสายแต่ละประเภท ให้ดูรายละเอียดเพิ่มเติมตามตารางที่ 5-48 ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ฉบับล่าสุด

2.5 สายไฟฟ้าแรงต่ำหุ้มฉนวน XLPE ตาม IEC 60502-1 และข้อกำหนดการใช้งาน

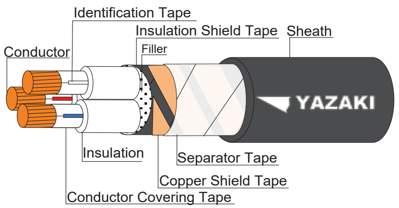
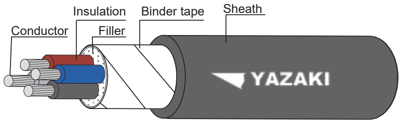
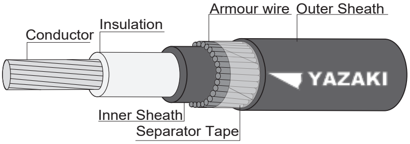
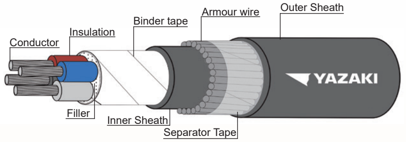
เป็นสายทองแดงหุ้มฉนวน XLPE (cross-linked polyethylene) หรือเรียกกันทั่วไปว่าสาย CV ผลิตตามมาตรฐาน IEC 60502-1 หรือ มอก.2143-2546 (เป็นมาตรฐานไม่บังคับ) ขนาดสายจึงเป็นไปตามความต้องการของตลาดและการผลิต

เนื่องจากคุณสมบัติของ XLPE ไม่ต้านเปลวเพลิง การติดตั้งในอาคารจึงมีข้อจำกัดว่าต้องติดตั้งในช่องเดินสายที่ปิดมิดชิด ยกเว้นในการผลิตสายไฟฟ้าจะทำให้สายไฟฟ้ามีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิงและผ่านการทดสอบตามที่มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ กำหนด สายไฟฟ้าแรงต่ำของบริษัทฯ จะเป็นสายไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง โดยจะระบุด้วยตัวอักษร FD ข้อมูลของสายไฟฟ้าเป็นไปตามตารางที่ 2.2

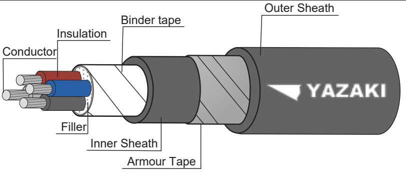
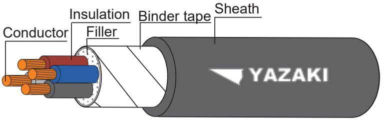
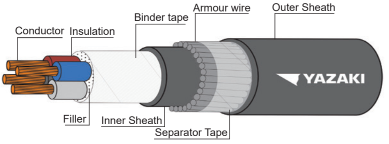
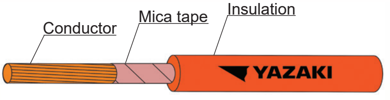
ตารางที่ 2.2 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน XLPE ตาม IEC 60502-1 และการใช้งาน

รูปและชื่อสายไฟฟ้า	ประเภทตัวนำ	แรงดันใช้งาน	ขนาดพื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)			ประเภทการใช้งาน (ดูหมายเหตุ 1)
		อุณหภูมิสูงสุด	1 แกน	หลายแกน	หลายแกนมีสายดิน	
 **FD-0.6/1KV-CV** **(0.6/1kV-Cu/XLPE/FR-PVC)**	Stranded or Compacted	0.6/1 kV 90°C	1.5-1000	2-4 แกน 1.5-400	2-4 + PE 1.5-400	2
 **FD-0.6/1KV-CV-AWA** **(0.6/1kV-Cu/XLPE/PVC/AWA/FR-PVC)**	Stranded or Compacted	0.6/1 kV 90°C	1.5-1000	-	-	2
 **FD-0.6/1KV-CV-SWA** **(0.6/1kV-Cu/XLPE/PVC/SWA/FR-PVC)**	Stranded or Compacted	0.6/1 kV 90°C	-	2-4 แกน 1.5-400	2-4+PE 1.5-400	2
 **FD-0.6/1KV-CV-STA** **(0.6/1kV-Cu/XLPE/PVC/STA/FR-PVC)**	Stranded or Compacted	0.6/1 kV 90°C	-	2-4 แกน 1.5-400	2-4+PE 1.5-400	2

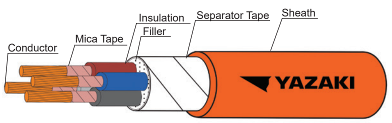
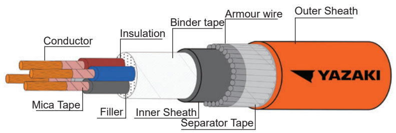
ตารางที่ 2.2 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน XLPE ตาม IEC 60502-1 และการใช้งาน (ต่อ)

รูปและชื่อสายไฟฟ้า	ประเภทตัวนำ	แรงดันใช้งาน / อุณหภูมิสูงสุด	ขนาดพื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.) 1 แกน	หลายแกน	หลายแกนมีสายดิน	ประเภทการใช้งาน (ดูหมายเหตุ 1)
 **1.8/3KV-CV** **(1.8/3kV-Cu/XLPE/PVC)**	Compacted	1.8/3 kV 90°C	10-400	3 แกน 10-400	C+ Bare Cu 10-400	2
 **FD-0.6/1KV-AL-CV** **(0.6/1kV-Al/XLPE/FR-PVC)**	Compacted	0.6/1 kV 90°C	10-500	2-4 แกน 10-500	2-4+PE 10-500	2
 **FD-0.6/1KV-AL-CV-AWA** **(0.6/1kV- Al/XLPE/PVC/AWA/FR-PVC)**	Compacted	0.6/1 kV 90°C	10-500	-	-	2
 **FD-0.6/1KV-AL-CV-SWA** **(0.6/1kV- Al/XLPE/PVC/SWA/FR-PVC)**	Compacted	0.6/1 kV 90°C	-	2-4 แกน 10-400	2-4+PE 10-400	2

ตารางที่ 2.2 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน XLPE ตาม IEC 60502-1 และการใช้งาน (ต่อ)

รูปและชื่อสายไฟฟ้า	ประเภทตัวนำ	แรงดันใช้งาน	ขนาดพื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)			ประเภทการใช้งาน (ดูหมายเหตุ 1)
		อุณหภูมิสูงสุด	1 แกน	หลายแกน	หลายแกนมีสายดิน	
 **FD-0.6/1KV-AL-CV-STA** **(0.6/1kV- Al/XLPE/PVC/STA/FR-PVC)**	Compacted	0.6/1 kV 90°C	-	2-4 แกน 10-400	2-4+PE 10-400	2
 **FDLH-0.6/1KV-CE** **(0.6/1kV-Cu/XLPE/LSZH)**	Stranded or Compacted	0.6/1 kV 90°C	1.5 - 1000	2-4 แกน 1.5-400	2-4+PE 1.5-400	2
 **FDLH-0.6/1KV-CE-SWA** **(0.6/1KV-Cu/XLPE/LSZH/SWA/LSZH)**	Stranded or Compacted	0.6/1 kV 90°C	-	2-4 แกน 1.5-400	2-4+PE 1.5-400	2
 **FS/LH-0.6/1KV-XLPE(C)** **(0.6/1kV-Cu/MICA/LSZH-XLPE)**	Stranded or Compacted	0.6/1 kV 90°C	1.5-630	-	-	1

ตารางที่ 2.2 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน XLPE ตาม IEC 60502-1 และการใช้งาน (ต่อ)

รูปและชื่อสายไฟฟ้า	ประเภทตัวนำ	แรงดันใช้งาน	ขนาดพื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)			ประเภทการใช้งาน (ดูหมายเหตุ 1)
		อุณหภูมิสูงสุด	1 แกน	หลายแกน	หลายแกนมีสายดิน	
 **FS/FDLH-0.6/1KV-CE** **(0.6/1kV-Cu/MICA/XLPE/LSZH)**	Stranded or Compacted	0.6/1 kV $90^{\circ}C$	1.5-1000	2-4 แกน 1.5-400	2-4+PE 1.5-400	2
 **FS/FDLH-0.6/1KV-CE-SWA** **(0.6/1kV-Cu/MICA/XLPE/LSZH/SWA/LSZH)**	Stranded or Compacted	0.6/1 kV $90^{\circ}C$	-	2-4 แกน 1.5-400	2-4+PE 1.5-400	2

หมายเหตุ 1 *ประเภทการใช้งานเป็นดังนี้*

1. ใช้งานทั่วไป เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

2. ใช้งานทั่วไป วางบนรางเคเบิล ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

หมายเหตุ 2 *การติดตั้งภายในอาคารต้องเดินในช่องเดินสายที่ปิดมิดชิด นอกจากสายไฟฟ้าจะมีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง ตามมาตรฐาน IEC 60332-3 category C*

<u>Option</u> *for 0.6/1 kV to 1.8/3 kV Cable*

Shield : Copper wire screen, Copper tape

Armor : AWA (Aluminium wire armour) for single core cable

: SWA (Steel wire armour) for multi-cores cable

: STA (Steel tape armour) for multi-cores cable

Sheath : Flame retardant

: Flame retardant + Vermin proof

2.6 สายไฟฟ้าชนิด Fire Performance Cable

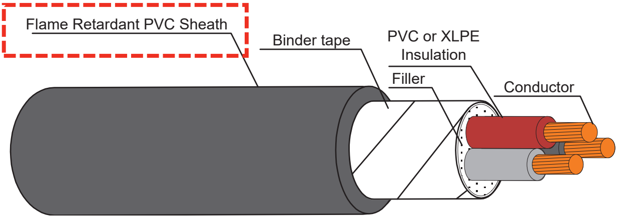
ปัจจุบันสายไฟฟ้าในกลุ่ม fire performance cable เริ่มเป็นที่รู้จักและมีการใช้งานมากขึ้น โดยติดตั้งใช้งานในบริเวณที่ซึ่งเมื่อเกิดอัคคีภัยแล้วผลของเพลิงไหม้จะเป็นอันตรายต่อบุคคลที่อาศัยในอาคารและเป็นอุปสรรคต่อการหนีไฟ นอกจากนี้ยังใช้ติดตั้งใช้งานในระบบที่มีความสำคัญที่ต้องสามารถใช้งานได้ขณะที่เกิดเพลิงไหม้ตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ ทางบริษัทฯ ได้มีการผลิตสายไฟฟ้ากลุ่มนี้โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. สายไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง (flame retardant cable)
2. สายไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง ควันน้อย และไร้ฮาโลเจน (flame retardant, low smoke and zero halogen cable)
3. สายไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติทนไฟ ควันน้อย และไร้ฮาโลเจน (fire resistant, low smoke and zero halogen cable)

2.6.1. สายไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง (Flame Retardant Cable)

สายชนิดนี้เมื่อนำเปลวไฟเผาจะลุกติดไฟได้แต่เมื่อนำต้นเพลิงออกไฟจะดับเอง ไม่ลุกลามต่อและไม่ขยายเป็นบริเวณกว้าง จึงสามารถที่จะทำการแก้ไขหรือดับไฟได้ทัน สายไฟฟ้าชนิดนี้จึงสามารถติดตั้งในรางเปิดภายในอาคารได้ ปัจจุบันจึงเป็นที่นิยมใช้งาน แต่ข้อเสียของสายไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิงคือฉนวนหรือเปลือกที่เป็น PVC ที่มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิงนั้น เมื่อเกิดการเผาไหม้จะปล่อยก๊าซพิษออกมาเป็นอันตรายต่อผู้ที่สูดดมเข้าไป และมีควันมากส่งผลต่อทัศนวิสัยการมองเห็นเช่น ปิดการมองเห็นเส้นทางการหนีไฟ และป้ายต่าง ๆ เป็นต้น

โครงสร้างของสายไฟฟ้าชนิดนี้ประกอบด้วยเปลือกชั้นนอกที่มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง (flame retardant) ความสามารถในการต้านเปลวเพลิงแบ่งเป็น category ตามการทดสอบ โดยในการทดสอบจะเป็นการทดสอบสายไฟฟ้าสำเร็จทั้งเส้น มิใช่เป็นการทดสอบเพียงวัสดุส่วนใดส่วนหนึ่งของสายไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 โครงสร้างสายไฟที่มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง

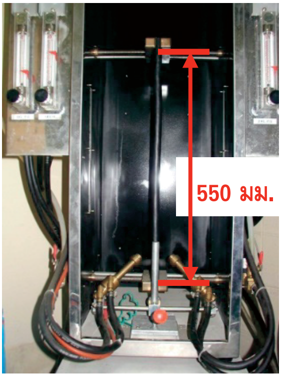
1. ระดับของการต้านเปลวเพลิงและการทดสอบ แบ่งออกเป็น 2 ระดับได้แก่

1) ระดับต่ำ มาตรฐานการทดสอบ คือ IEC 60332-1 (BS 4066 part 1) หรือ มอก.2756 เล่ม 1-2559

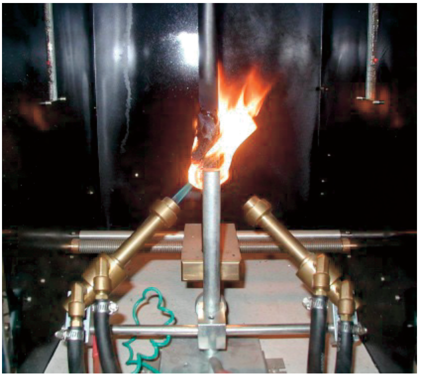
- ขอบเขต
  - เป็นวิธีการทดสอบการต้านเปลวเพลิงของสายไฟฟ้าเส้นเดี่ยวในแนวตั้ง ในสภาวะเกิดการลุกไหม้
- อุปกรณ์ทดสอบ
  - ห้องทดสอบ ที่กำบังโลหะและแหล่งกำเนิดไฟต้องอยู่ในห้องทดสอบที่เหมาะสม โดยไม่มีลมรบกวนระหว่างการทดสอบ แต่ต้องสามารถกำจัดก๊าซมีพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ได้ ห้องทดสอบต้องรักษาให้มีอุณหภูมิ 23±10°C
  - ตัวอย่างสายไฟฟ้าความยาว 600±25 มม. โดยชิ้นทดสอบต้องเก็บในสภาวะอุณหภูมิ 23±5°C และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50±20 ไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ
- ขั้นตอนทดสอบ
  - จัดชิ้นส่วนให้ยืดตรงและมัดเข้ากับแขนยึด 2 จุดในแนวดิ่ง โดยมีระยะระหว่างจุดล่างสุดของแขนยึดตัวบนกับจุดบนสุดของแขนยึดตัวล่างเท่ากับ 550±5 มม. และปลายด้านล่างของชิ้นทดสอบอยู่สูงจากพื้น 50 มม.

ตารางที่ 2.3 เวลาที่ใช้ในการทดสอบ

เส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้า (มม.)	เวลาที่ใช้ในการเผา (S)
$D \leq 25$	60±2
$25 < D \leq 50$	120±2
$50 < D \leq 75$	240±2
$D > 75$	480±2



รูปที่ 2.2(ก) ตัวอย่างสายที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 2.2(ข) การเผาสายไฟฟ้าด้วยเปลวเพลิง

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการทดสอบการต้านเปลวเพลิงระดับต่ำ

- การประเมิน
  - เมื่อเผาสายจนครบตามเวลาที่กำหนดแล้วเอาหัวเผาออกหรือดับไฟที่หัวเผา รอจนกระทั่งไฟที่ไหม้บนสายไฟฟ้านั้นดับเองแล้ววัดระยะ ถ้าระยะระหว่างขอบล่างของแขนยึดตัวบนกับจุดบนสุดของส่วนที่ไหม้ไฟมากกว่า 50 มม. และระยะห่างระหว่างขอบล่างของแขนยึดตัวบนกับจุดล่างสุดของส่วนที่ไหม้ไฟไม่เกิน 540 มม. ถือว่าผ่าน

รูปที่ 2.3 การวัดระยะการลามไฟ
(การต้านทานเปลวเพลิงระดับต่ำ)

2) ระดับสูง มาตรฐานการทดสอบคือ IEC 60332-3 (BS 4066 part 3) หรือ มอก.2756 เล่ม 3-2559

- ขอบเขต
  - การทดสอบสายไฟฟ้าเพื่อกำหนดความสามารถในการต้านการลุกลามของไฟภายใต้สภาวะที่กำหนด
- ตู้ทดสอบการเผา
  - ตู้ทดสอบขนาด กว้าง 1 ม. ลึก 2 ม. และสูง 4 ม.
- ประเภทของการทดสอบ
  - IEC 60332-3 กำหนดประเภทของการทดสอบไว้ 5 ประเภท ตามปริมาณของวัตถุดิบที่ติดไฟได้และระยะเวลาในการเผาตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณของวัตถุดิบที่ติดไฟได้และระยะเวลาในการเผา

Category	วัตถุดิบที่ติดไฟได้ (ลิตร/เมตร)	เวลาในการเผา (นาที)	มาตรฐานการทดสอบ
A F/R	7	40	IEC 60332-3-21
A	7	40	IEC 60332-3-22
B	3.5	40	IEC 60332-3-23
C	1.5	20	IEC 60332-3-24
D	0.5	20	IEC 60332-3-25

- การเตรียมตัวอย่างทดสอบ
  - นำสายไฟฟ้าที่ต้องการทดสอบยาว 3.5 ม. มัดเข้ากับราง โดยรูปแบบการมัดขึ้นกับขนาดของสายไฟฟ้าตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 รูปแบบการมัดสายไฟฟ้าเพื่อทดสอบการเผาตามมาตรฐาน IEC 60332-3

เส้นผ่านศูนย์กลางสายไฟ	รูปแบบการมัด
$\leq$ 35 ตร.มม.	มัดชิดติดกัน
$>$ 35 ตร.มม.	เว้นระยะห่างระหว่างสายไฟฟ้าประมาณครึ่งหนึ่งของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้าแต่ระยะห่างต้องไม่เกิน 20 มม.

รูปที่ 2.4 เปลวไฟขณะทำการเผาเพื่อทำการทดสอบ

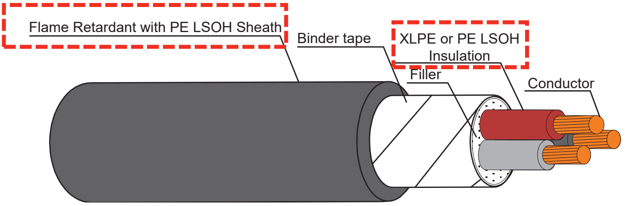
- การทดสอบ ขณะทำการทดสอบการเผาต้องควบคุมอัตราการไหลของอากาศและก๊าซ ดังนี้
  - Air flow rate 77.7 ± 4.8 l/min ที่อุณหภูมิ 20°C และความดัน 1 bar
  - Gas (Propane) flow rate 13.5 ± 0.5 l/min ที่อุณหภูมิ 20°C และความดัน 1 bar
  - Air inlet flow rate 5000 ± 500 l/min ที่อุณหภูมิ 20±10°C
- การประเมินผล
  - หลังจากสิ้นสุดการเผา สายไฟฟ้าจะต้องมีระยะการถูกเผาไหม้สูงไม่เกิน 2.5 ม. โดยวัดจากหัวเผา

รูปที่ 2.5 การวัดระยะการเผาไหม้หลังทำการทดสอบการเผา

2.6.2 สายไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง ควันน้อย และไร้ฮาโลเจน (Flame Retardant, Low Smoke and Zero Halogen Cable)

สายไฟฟ้ากลุ่มนี้เป็นสายไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิงเหมือนกับสาย flame retardant แต่จะมีคุณสมบัติ low smoke & zero halogen เพิ่มเข้ามาจึงสามารถใช้งานทดแทนสาย flame retardant ทั่วไปได้ดี เพราะสายไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิงนั้นเมื่อเกิดการลุกไหม้บริเวณฉนวนหรือเปลือกที่เป็น PVC ก็จะปล่อยก๊าซซึ่งเป็นพิษต่อร่างกายออกมา (ส่วนใหญ่เป็นฮาโลเจน) รวมทั้งมีควันมากปิดบังการมองเห็น

สายไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง ควันน้อย และไร้ฮาโลเจน นิยมใช้ในอาคารที่มีผู้อยู่อาศัยจำนวนมากเช่น สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สนามบิน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม โรงพยาบาล โรงภาพยนตร์ และสถานบริการ เป็นต้น รวมทั้งอาคารที่เมื่อเกิดเพลิงไหม้แล้วต้องใช้เวลาในการหนีไฟนาน



รูปที่ 2.6 โครงสร้างสายไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง ควันน้อย และไร้ฮาโลเจน

จากปัญหาที่กล่าวข้างต้น สายไฟฟ้าชนิด flame retardant, low smoke & zero halogen นี้จึงเป็นการตอบโจทย์ทั้งทางด้านการต้านเปลวเพลิง การปล่อยปริมาณควันที่น้อย รวมถึงลดการปล่อยก๊าซพิษเมื่อเกิดการลุกไหม้ โดยใช้วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็น low smoke & zero halogen มาผลิตสายไฟฟ้าทั้งฉนวน เปลือก และวัสดุอโลหะที่เป็นส่วนเสริม โดยการทดสอบสายชนิด flame retardant, low smoke & zero halogen cable จะมีหัวข้อทดสอบดังนี้

1. การทดสอบความหนาแน่นของควัน (smoke density test)
2. การทดสอบคุณสมบัติการปล่อยก๊าซกรด (acids gas emission)

1. การทดสอบความหนาแน่นของควัน (Smoke Density Test) : IEC 61034-2 หรือ BS EN 50268 หรือ มอก.2758 เล่ม 2-2559

- ขอบเขต
  - การทดสอบความหนาแน่นของควัน
- อุปกรณ์การทดสอบ
  - ห้องทดสอบทึบแสงขนาด 27 ลูกบาศก์เมตร (กว้าง×ยาว×สูง = 3×3×3 ม.)
  - เชื้อเพลิงที่ใช้เป็น เอทานอล (ethanol) 90±1% เมทานอล (methanol) 4±1% น้ำ 6±1%

- ชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการเผาขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางดังตารางที่ 2.6
- ในห้องทดสอบต้องมีพัดลมที่มีอัตราการไหลของลมระหว่าง 7-15 ลบ.ม./นาที

ตารางที่ 2.6 จำนวนชิ้นส่วนตัวอย่างทดสอบ Smoke Density

เส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟ (มม.)	จำนวนชิ้นตัวอย่างทดสอบ (N)	
	แบบท่อน Cable	แบบ Bundles
$D > 40$	1	-
$20 < D \leq 40$	2	-
$10 < D \leq 20$	3	-
$5 < D \leq 10$	$N_1 = 45/D$	-
$1 < D \leq 5$	-	$N_2 = 45/(3D)$

- ขั้นตอนการทดสอบ
  - ทำการเผาสายตัวอย่างความยาว 1 ม. วางในแนวนอนบนถาดแอลกอฮอล์
  - ตั้งค่าความเข้มแสงที่ลอดผ่านเข้ามาที่เครื่องรับแสง (photocell) ไว้ที่ 100%
  - เปิดระบบหมุนเวียนอากาศแล้วจุดไฟ การทดสอบจะถือว่าเสร็จสิ้นหลังจากเปลวไฟดับแล้วและไม่มีการลดของปริมาณแสงที่ส่องผ่านนาน 5 นาที เวลาในการทดสอบไม่ควรเกิน 40 นาที
- การประเมินผล
  - ค่าความเข้มของแสงที่จดบันทึกไว้จากเครื่องรับแสง ต้องมีความเข้มแสงหลังการทดสอบไม่น้อยกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนดของความเข้มแสงก่อนการทดสอบ

2. ทดสอบคุณสมบัติการปล่อยก๊าซกรด (Acids Gas Emission) : IEC 60754-1 และ IEC 60754-2 หรือ BS EN 60267-1 และ BS EN 50267-2 หรือ มอก.2757 เล่ม 1-2559 และ มอก.2757 เล่ม 2-2559

- ขอบเขต
  - วัดค่าความเป็นกรดของก๊าซซึ่งถูกปล่อยออกมาในระหว่างการเผาไหม้ของวัตถุดิบที่นำมาจากส่วนต่าง ๆ ของตัวอย่างสายไฟฟ้า
- อุปกรณ์การทดสอบ
  - เป็นไปตามที่แสดงในรูปที่ 2.7

รูปที่ 2.7 ชุดอุปกรณ์ทดสอบทดสอบคุณสมบัติการปล่อยก๊าซกรด (acids gas emission)

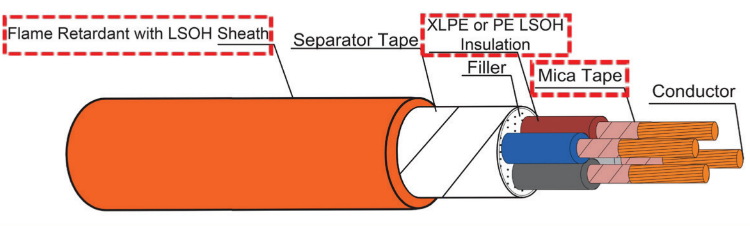
- วิธีการทดสอบ
  - เตรียมชิ้นทดสอบประมาณ 1 กรัม จากสายตัวอย่าง (เฉพาะที่ติดไฟได้องค์ประกอบละ 1 กรัม) นำมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปใส่ไว้ในหลอดแก้วซึ่งจะอยู่ภายในเตาอบสำหรับเผา
  - อุณหภูมิในการเผาต้องไม่ต่ำกว่า 935°C ใช้เวลา 30 นาที
  - เมื่อสิ้นสุดการเผาแล้ว นำน้ำในขวดไปตรวจสอบวัดค่า pH
- การประเมินผล
  - ค่าปริมาณก๊าซฮาโลเจน ในรูปก๊าซฮาโลเจน จะต้องไม่เกิน 0.5% ของปริมาณตัวอย่างตาม IEC 60754-1 หรือ BS EN 50267-2-1 และในกรณีทดสอบค่า pH

และ conductivity ตาม IEC 60754-2 หรือ BS EN 50267-2-2 โดยค่า pH ที่ได้ต้องไม่น้อยกว่า 4.3 และค่า conductivity จะต้องไม่เกิน 10 μS/mm

2.6.3 สายไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติทนไฟ ควันน้อย และไร้ฮาโลเจน (Fire Resistant, Low Smoke and Zero Halogen Cable)

สายทนไฟ คือสายไฟฟ้าที่ยังสามารถจ่ายไฟฟ้าได้ช่วงเวลาหนึ่งในขณะที่เกิดเพลิงไหม้ โดยไม่เกิดการลัดวงจร ระยะเวลาการทนไฟเป็นไปตามกำหนดในมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า ในการใช้งานจะใช้ติดตั้งในวงจรที่ต้องการให้ใช้งานได้เมื่อเกิดเพลิงไหม้ นิยมติดตั้งในอาคารที่มีผู้คนอาศัยอยู่มาก เช่น สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สนามบิน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม โรงพยาบาล โรงภาพยนตร์ และสถานบริการ เป็นต้น เนื่องจากสถานที่เหล่านี้เมื่อเกิดเพลิงไหม้จำเป็นต้องมีวงจรบางส่วนที่สามารถใช้งานได้เช่น ระบบจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉิน ระบบอัดอากาศสำหรับบันไดหนีไฟ ระบบดูดควันและระบายอากาศ ระบบควบคุมการกระจายของควันและไฟ ระบบเครื่องสูบน้ำและระบบดับเพลิงอัตโนมัติ ระบบสื่อสารฉุกเฉินสำหรับแจ้งเหตุเพลิงไหม้ และระบบลิฟต์ผจญเพลิง เป็นต้น

ในประเทศไทยในปัจจุบันมีการใช้สายประเภทนี้มากขึ้น เนื่องจากผู้ออกแบบระบบในปัจจุบันคำนึงถึงความปลอดภัยต่อผู้คนและทรัพย์สินมากขึ้น และเป็นไปตามที่มาตรฐานฯ กำหนด



รูปที่ 2.8 โครงสร้างสายทนไฟ

โครงสร้างของสายทนไฟจะมีโครงสร้างใกล้เคียงกับสายชนิด flame retardant, low smoke & zero halogen cable ต่างกันที่สายไฟฟ้าชนิด fire resistant cable จะมีชั้น fire barrier (mica tape) พันบนตัวนำซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้สายไฟฟ้าชนิดนี้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ในขณะที่เกิดเพลิงไม้ เพราะจะทำหน้าที่เป็นฉนวนในกรณีที่วัสดุห่อหุ้มสายไฟฟ้าในส่วนอื่น ๆ ถูกเผาไหม้จนหมด ในการทดสอบก็จะมีหัวข้อเพิ่มเติมนอกเหนือจากการทดสอบสายไฟชนิด flame retardant, low smoke & zero halogen โดยการทดสอบการทนไฟตามมาตรฐาน BS 6387 (ระดับชั้น CWZ) หรือ มอก 3197-2564 มีดังนี้

- การทดสอบความต้านทานต่อการเผาไหม้ของสายไฟฟ้า (protocol C for resistance to fire alone)
- การทดสอบความต้านทานการเผาไหม้และการฉีดน้ำ (protocol W resistance to fire with water)
- การทดสอบความต้านทานการเผาไหม้และมีการกระแทก (protocol Z resistance to fire with mechanical shock)

1. การทดสอบ Protocol C for Resistance to Fire Alone

■ ขอบเขต

- การทดสอบความต้านทานต่อการเผาไหม้ของสายไฟฟ้า ขณะที่มีการจ่ายกระแสและแรงดันไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง

■ วิธีการทดสอบ

- ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าตามพิกัดของสายไฟ และกระแสโหลดประมาณ 0.25 A โดยแรงดันที่สามารถทดสอบได้ไม่เกิน 600/1000 V
- อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบและเวลาตามตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 เงื่อนไขการทดสอบ

สัญลักษณ์	อุณหภูมิที่ทดสอบ (°C)	ระยะเวลาทดสอบ (นาที)
C	950±40	180

รูปที่ 2.9 การทดสอบ resistance to fire alone

■ การประเมินผล

- จะต้องไม่เกิดการลัดวงจรขึ้นในเฟสใด ๆ ภายใต้สภาวะเงื่อนไขและระยะเวลาตามที่มาตรฐานกำหนด

2. การทดสอบ Protocol W Resistance to Fire with Water

■ ขอบเขต

- การทดสอบความต้านทานต่อการเผาไหม้ของสายไฟฟ้า ขณะที่มีการจ่ายกระแสและแรงดันไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง และมีการสเปรย์น้ำหลังจากเผาไหม้ ตามระยะเวลาที่กำหนด โดยขณะที่มีการสเปรย์น้ำก็ยังคงจ่ายแรงดันไฟฟ้าและเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่อง

■ วิธีการทดสอบ

- ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าตามพิกัดของสายไฟ และกระแสโหลดประมาณ 0.25 A โดยแรงดันที่สามารถทดสอบได้ไม่เกิน 600/1000 V
- อัตราการฉีดสเปรย์น้ำอยู่ที่ 0.25-0.30 $l/m^2/s$ และมีแรงดันน้ำ 250-350 kPa
- อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบและเวลาตามตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 เงื่อนไขการทดสอบ

สัญลักษณ์	อุณหภูมิที่ทดสอบ (°C)	ระยะเวลาทดสอบ (นาที)
W	650±40	15 นาที และสเปรย์น้ำ อีก 15 นาที

รูปที่ 2.10 การทดสอบ resistance to fire with water spray

- การประเมินผล
  - จะต้องไม่เกิดการลัดวงจรขึ้นในเฟสใด ๆ ภายใต้สภาวะเงื่อนไขและระยะเวลาตามที่มาตรฐานกำหนด

3. การทดสอบ Resistance to Fire with Mechanical Shock

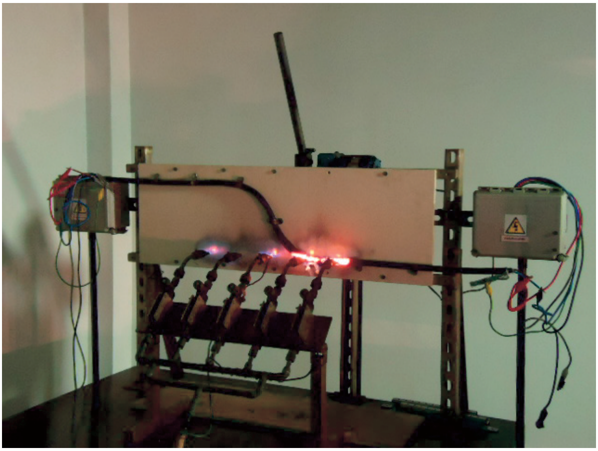
- ขอบเขต
  - การทดสอบความต้านทานต่อการเผาไหม้ของสายไฟฟ้าขณะที่มีการจ่ายกระแสและแรงดันไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง และมีแรงกระทำที่สายไฟฟ้าทุกครึ่งนาที

■ วิธีการทดสอบ

- ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าตามพิกัดของสายไฟ และกระแสโหลดประมาณ 0.25 A โดยแรงดันที่สามารถทดสอบได้ไม่เกิน 600/1000 V
- แรงที่กระทำใช้ระยะเวลา 30±2 วินาทีต่อครั้ง
- อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบและเวลาตามตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 เงื่อนไขการทดสอบ

สัญลักษณ์	อุณหภูมิที่ทดสอบ (°C)	ระยะเวลาทดสอบ (นาที)
Z	950±40	15



รูปที่ 2.11 การทดสอบ resistance to fire with mechanical shock

■ การประเมินผล

- จะต้องไม่เกิดการลัดวงจรขึ้นในเฟสใด ๆ ภายใต้สภาวะเงื่อนไขและระยะเวลาตามที่มาตรฐานกำหนด

ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ กำหนดให้ในบางพื้นที่หรือบางวงจรของอาคารบางประเภท โดยเฉพาะวงจรช่วยชีวิต ต้องใช้สายทนไฟได้แก่ อาคารชุด อาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษ อาคารเพื่อการสาธารณะใต้ผิวดิน โรงมหรสพ สถานบริการ และโรงแรม

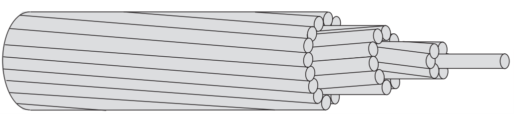
2.7 สายไฟฟ้าในระบบแรงสูง

หมายถึงสายไฟฟ้าที่ใช้ในระบบแรงดันเกิน 1,000 V แบ่งเป็นดังนี้

2.7.1 สายไฟฟ้าในระบบสายอากาศ

1. สายเปลือย เป็นสายชนิดไม่มีฉนวนหุ้มจึงต้องติดตั้งบนฉนวนไฟฟ้าที่ทนแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานได้ และต้องให้พ้นจากการสัมผัส ใช้เดินในระบบสายอากาศ ตัวนำเป็นอะลูมิเนียมตีเกลียวเพราะต้องการน้ำหนักเบา การตีเกลียวจะทำให้อ่อนตัวได้ดี ติดตั้งสะดวก ปัจจุบันใช้ในระบบแรงสูงขนาด 69 kV ขึ้นไป กรณีที่ต้องการความแข็งแรงทางกลเพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้สูงขึ้นก็จะทำเป็นชนิดแกนเหล็ก หรือใช้เป็นวัสดุผสม (alloy) ก็ได้ตามความต้องการ มีหลายชนิดดังนี้

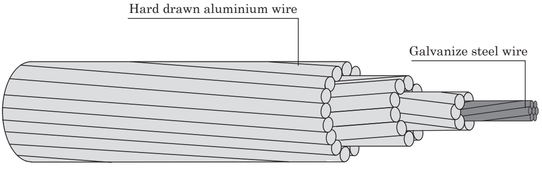
1) AAC (All Aluminium Conductor) โครงสร้างประกอบด้วยตัวนำอะลูมิเนียมรีดแข็ง (hard draw) ใช้ติดตั้งในช่วงที่มีระยะห่างระหว่างเสา (span) สั้น ๆ เนื่องจากรับแรงดึงได้ต่ำ มีใช้ในระบบแรงดันตั้งแต่ 69 – 115 kV



รูปที่ 2.12 โครงสร้างสายไฟฟ้าชนิด AAC (All Aluminium Conductor)

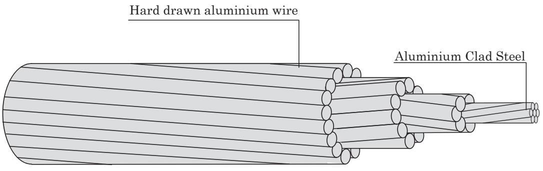
2) ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) เป็นตัวนำอะลูมิเนียมแกนเหล็กเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของสายให้รับแรงดึงได้มากขึ้น การติดตั้งจึงมีระยะห่างระหว่างเสามากได้ แบ่งออกเป็น ACSR/GA และ ACSR/AW

- **ACSR/GA** แกนกลางเป็น ลวดเหล็กเคลือบสังกะสี (galvanized steel)



รูปที่ 2.13 โครงสร้างสายไฟฟ้าชนิด ACSR/GA

- **ACSR/AW** แกนกลางเป็นลวดเหล็กเคลือบอะลูมิเนียม (aluminium clad steel)

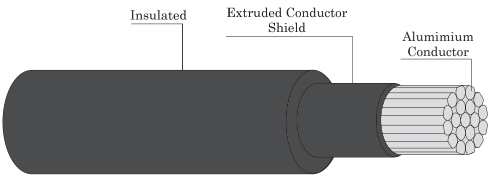


รูปที่ 2.14 โครงสร้างสายไฟฟ้าชนิด ACSR/AW

2. สายอะลูมิเนียมหุ้มฉนวน

1) สายหุ้มฉนวนแรงสูงไม่เต็มพิกัด (Partially Insulated Conductor) การไฟฟ้านครหลวงเรียกว่าสาย APC การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเรียกว่าสาย PIC เป็นตัวนำอะลูมิเนียมชนิดตีเกลียวอัดแน่น (compacted strand) เพื่อให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง สามารถลดแรงที่กระทำจากลมพัดได้ หุ้มด้วยฉนวน XLPE เพื่อป้องกันการลัดวงจรกรณีสัมผัสชั่วขณะ แต่ความหนาของฉนวนไม่มากพอที่จะทนแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานได้ และไม่มี shield

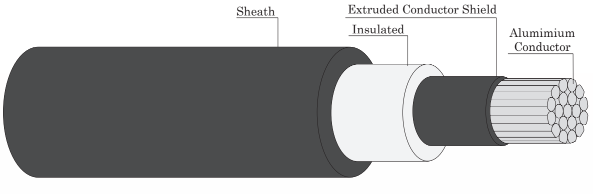
เพื่อป้องกันสนามไฟฟ้า จึงต้องติดตั้งบนฉนวนไฟฟ้าหรือลูกถ้วยไฟฟ้าเช่นเดียวกับสายเปลือย มีใช้งานในระบบแรงดัน 12 – 33 kV แต่ปัจจุบันความนิยมในการใช้งานลดลงมาก



รูปที่ 2.15 โครงสร้างสายไฟฟ้าชนิด APC หรือ PIC (partially insulated cable)

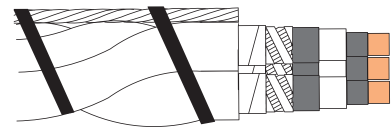
2) สายหุ้มฉนวนแรงสูง 2 ชั้นไม่เต็มพิกัด (Spaced Aerial Cable) การไฟฟ้านครหลวงเรียกว่าสาย ASC การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเรียกว่าสาย SAC เป็นสายหุ้มฉนวน XLPE หนาแต่ยังไม่เต็มพิกัดและไม่มี shield จึงไม่ปลอดภัยจากการสัมผัส สามารถสัมผัสกับต้นไม้ได้นานขึ้น แต่ถ้าปล่อยให้สัมผัสเป็นเวลานานก็จะทำให้ฉนวนของสายชำรุดได้ การติดตั้งยังคงต้องมีฉนวนไฟฟ้ารองรับเช่นกันแต่ค่าความเป็นฉนวนสามารถลดลงได้ ปัจจุบันนิยมติดตั้งบนลูกถ้วยไฟฟ้า หรือแขวนไว้กับ spacer ที่เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้า

การติดตั้งต้องระวังการสัมผัสกับดินหรือส่วนที่ต่อลงดิน เพราะถ้าสัมผัสเป็นเวลานานฉนวนของสายไฟฟ้าจุดที่สัมผัสจะชำรุด

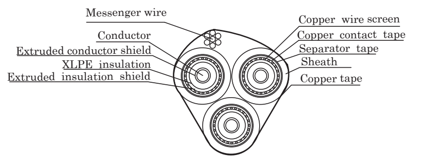


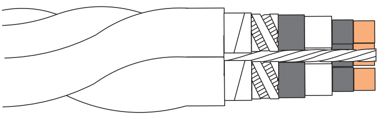
รูปที่ 2.16 โครงสร้างสายไฟฟ้าชนิด ASC หรือ SAC (spaced aerial cable)

3) สายหุ้มฉนวนเต็มพิกัด การไฟฟ้านครหลวงเรียกว่าสาย preassembly aerial cable (PAC) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเรียกว่าสาย twisted aerial cable (TAC) เป็นสายชนิดหุ้มฉนวนเต็มพิกัด มีใช้ในระบบสายอากาศ เป็นสายไฟฟ้าชนิดที่เคเบิลทั้ง 3 เส้นตีเกลียวเข้าด้วยกันโดยมี messenger ทำหน้าที่รับน้ำหนัก ใช้ในบริเวณที่จำกัดเรื่องระยะห่าง เป็นสายชนิดมี shield จึงปลอดภัยจากการสัมผัส

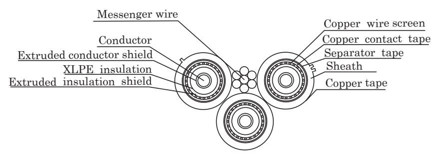


Preassembly Aerial Cable (PAC)



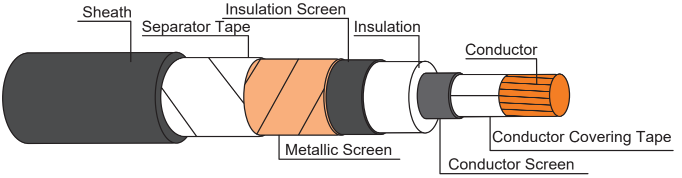


Twisted Aerial Cable (TAC)



รูปที่ 2.17 โครงสร้างสายไฟฟ้าชนิดหุ้มฉนวนเต็มพิกัด PAC และ TAC

2.7.2 สายไฟฟ้าในระบบสายใต้ดิน สายเคเบิลแรงสูงชนิดฝังดินได้หรือ CV cable (continuous vulcanizing cable) มีใช้งานในระบบสายส่งแรงดัน 69 และ 115 kV และในระบบจำหน่ายแรงดัน 12, 24 kV ของ กฟน. และระบบจำหน่ายแรงดัน 22, 33 kV ของ กฟภ. สายชนิดนี้สามารถติดตั้งได้ทั้งในอาคาร นอกอาคาร และฝังดิน เป็นสายชนิดหุ้มฉนวนเต็มพิกัดมี shield ป้องกันสนามไฟฟ้า จึงสามารถสัมผัสผิวด้านนอกได้โดยไม่เกิดอันตราย มีโครงสร้างหลักดังนี้



รูปที่ 2.18 โครงสร้างสายไฟฟ้าแรงสูง (CV Cable)

1. ตัวนำ (Conductor) เป็นลวดทองแดงหรือลวดอะลูมิเนียมตีเกลียว อาจเป็นการตีเกลียววรวมศูนย์กลมอัดแน่น (compacted round concentric lay stranding) หรือตีเกลียวแยกส่วนอัดแน่น (milliken conductor)

2. ตัวกั้นตัวนำ (Conductor screen) เป็นชั้นของสารกึ่งตัวนำ (semi-conducting) ซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบที่ใช้หุ้ม และเทปที่ใช้พันทับบนตัวนำทำให้ผิวนอกเรียบสม่ำเสมอ เพื่อทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างตัวนำกับฉนวนสม่ำเสมอทุกทิศทาง และยังช่วยลดความเค้นทางแรงดันไฟฟ้า (voltage stress) ที่เกิดขึ้นด้วย

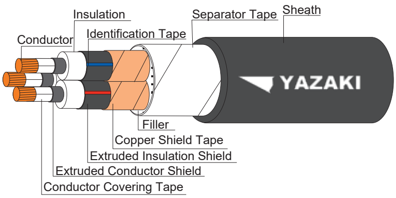
3. ฉนวน (Insulation) ปกติจะเป็น XLPE ที่ใช้หุ้มทับบนชั้นของตัวกั้นตัวนำ ทำหน้าที่ป้องกันการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า และป้องกันการลัดวงจร

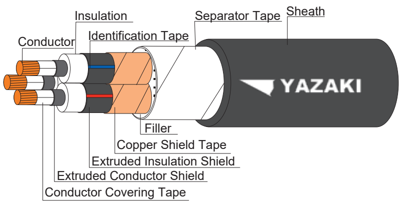
4. ตัวกั้นฉนวน (Insulation screen) หมายถึง ชั้นของสารกึ่งตัวนำซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบที่ใช้หุ้ม ทำให้ผิวนอกของฉนวนเรียบสม่ำเสมอเพื่อทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างฉนวนกับตัวกั้นโลหะสม่ำเสมอทุกทิศทาง และยังช่วยลดความเค้นทางแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

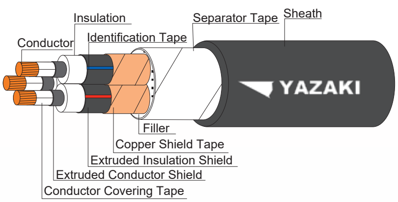
5. ตัวกั้นโลหะ (Metallic screen) อาจใช้เป็นลวดหรือเทป หรือเป็นลวดและเทปทองแดงประกอบกัน มีหน้าที่ป้องกันสนามไฟฟ้าไม่ให้เกิดอันตรายต่อบุคคลและสิ่งแวดล้อม และป้องกันการรบกวนกับระบบอื่น ๆ

6. เปลือก (Sheath) หมายถึง สารประกอบพอลิเอทิลีนหรือพอลิไวนิลคลอไรด์ใช้หุ้มชั้นนอกสุดของสายไฟฟ้าป้องกันแรงกระแทก เสียดสี และทนทานต่อสภาวะแวดล้อม

ตารางที่ 2.10 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน XLPE ตาม IEC 60502-2 และการใช้งาน

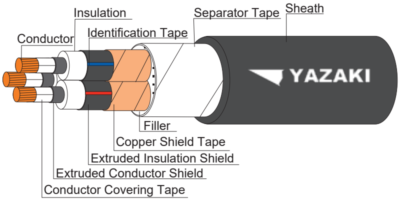
<table>
<tr><th rowspan="2">รูปและชื่อสายไฟฟ้า</th><th rowspan="2">ประเภทตัวนำ</th><th>แรงดันใช้งาน</th><th colspan="3">ขนาดพื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)</th><th rowspan="2">ประเภทการใช้งาน (ดูหมายเหตุ 1)</th></tr>
<tr><th>อุณหภูมิสูงสุด</th><th>1 แกน</th><th>หลายแกน</th><th>หลายแกนมีสายดิน</th></tr>
<tr><td>

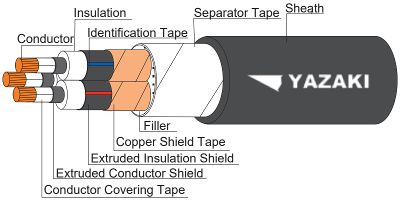
3.6/6KV-CV
(3.6/6kV-Cu/XLPE/PVC)</td><td>Compacted</td><td>3.6/6 kV
90°C</td><td>10-1000</td><td>3 แกน
10-400</td><td>C+ Bare Cu
10-400</td><td>1</td></tr>
<tr><td>

6/10KV-CV
(6/10kV-Cu/XLPE/PVC)</td><td>Compacted</td><td>6/10 kV
90°C</td><td>16-1000</td><td>3 แกน
16-400</td><td>C+ Bare Cu
16-400</td><td>1</td></tr>
<tr><td>

8.7/15KV-CV
(8.7/15kV-Cu/XLPE/PVC)</td><td>Compacted</td><td>8.7/15 kV
90°C</td><td>25-1000</td><td>3 แกน
25-400</td><td>C+ Bare Cu
25-400</td><td>1</td></tr>
</table>

ตารางที่ 2.10 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน XLPE ตาม IEC 60502-2 และการใช้งาน (ต่อ)

<table>
<tr><th rowspan="2">รูปและชื่อสายไฟฟ้า</th><th rowspan="2">ประเภทตัวนำ</th><th>แรงดันใช้งาน</th><th colspan="3">ขนาดพื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)</th><th rowspan="2">ประเภทการใช้งาน (ดูหมายเหตุ 1</th></tr>
<tr><th>อุณหภูมิสูงสุด</th><th>1 แกน</th><th>หลายแกน</th><th>หลายแกนมีสายดิน</th></tr>
<tr><td>

12/20KV-CV
(12/20kV-Cu/XLPE/PVC)</td><td>Compacted</td><td>12/20 kV
90°C</td><td>35-1000</td><td>3 แกน
35-400</td><td>C+ Bare Cu
35-400</td><td>1</td></tr>
<tr><td>

18/30KV-CV
(18/30kV-Cu/XLPE/PVC)</td><td>Compacted</td><td>18/30 kV
90°C</td><td>35-1000</td><td>3 แกน
35-400</td><td>C+ Bare Cu
35-400</td><td>1</td></tr>
</table>

หมายเหตุ 1 *ประเภทการใช้งานเป็นดังนี้*

1. ใช้งานทั่วไป วางบนรางเคเบิล ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

หมายเหตุ 2 *การติดตั้งภายในอาคารต้องเดินในช่องเดินสายที่ปิดมิดชิด นอกจากสายไฟฟ้าจะมีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง ตามมาตรฐาน IEC 60332-3 category C*

<u>Option</u> *for 3.6/6kV to 18/30kV Cable*

Shield : Copper wire screen

Armor : AWA (Aluminium wire armour) for single core cable

: SWA (Steel wire armour) for multi-cores cable

: STA (Steel tape armour) for multi-cores cable

Sheath : Flame retardant

: Flame retardant + Vermin proof

2.8 การกำหนดขนาดสายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าต้องสามารถนำกระแสได้ไม่ต่ำกว่าที่ต้องการ การกำหนดขนาดสายไฟฟ้าต่อไปนี้ใช้กับวงจรทั่วไป กรณีเป็นวงจรมอเตอร์ให้ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในเรื่องมอเตอร์

ข้อมูลที่ต้องทราบ

1. ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (กำหนดตามการคำนวณโหลด)
2. ชนิดของสายไฟฟ้าและรูปแบบการติดตั้งสายไฟฟ้า (กลุ่ม)
3. จำนวนตัวนำกระแสไฟฟ้า (วงจร 1 เฟส หรือ 3 เฟส)
4. ลักษณะตัวนำ (แกนเดียว หรือ หลายแกน)
5. จำนวนวงจรในช่องเดินสายเดียวกัน (เพื่อกำหนดตัวปรับค่า C_g)
6. อุณหภูมิโดยรอบที่สายไฟฟ้าติดตั้งใช้งาน (เพื่อกำหนดตัวปรับค่า C_a)

ขั้นตอนการกำหนดขนาดสายไฟฟ้า การกำหนดขนาดสายไฟฟ้ามีขั้นตอน ดังนี้

1. คำนวณโหลดและกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (I_n)

2. เลือกชนิดของสายไฟฟ้าและวิธีการเดินสาย

3. เลือกตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

4. กำหนดตัวคูณปรับค่า (C_a & C_g)

5. กำหนดขนาดสายไฟฟ้า $I_t \geq I_n/(C_a \times C_g)$

เนื่องจากตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ มีจำนวนมาก เพื่อให้การเลือกใช้ตารางสะดวกและรวดเร็วขึ้นจึงได้ทำเป็นตาราง (mapping) เพื่อให้เลือกใช้ง่ายขึ้น การเลือกตารางต้องทราบชนิดของสายไฟฟ้า (PVC หรือ XLPE) และรูปแบบ (กลุ่ม) การติดตั้ง ดังนี้

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าในรางเดินสาย เนื่องจากการเดินสายในรางเดินสายไม่จัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 ถึง 7 ขนาดกระแสจึงกำหนดให้ใช้ตารางที่ 5-20 สำหรับสาย PVC และ ตารางที่ 5-27 สำหรับสาย XLPE ดูจากช่องตัวนำกระแส 3 เส้น ทั้งวงจร 1 เฟส และ 3 เฟส และไม่ต้องปรับค่าเนื่องจากจำนวนกลุ่มวงจรตามตารางที่ 5-8 ถ้าตัวนำเส้นที่มีกระแสไหลรวมกันแล้วไม่เกิน 30 เส้น (วงจร 1 เฟส นับ 2 เส้น และวงจร 3 เฟส 4 สาย นับ 3 เส้น)

ตารางที่ 2.11
การเลือกใช้ตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

รูปแบบการติดตั้ง	สาย PVC	สาย XLPE
กลุ่มที่ 1 & 2	ตารางที่ 5-20*	ตารางที่ 5-27*
กลุ่มที่ 3	ตารางที่ 5-21	ตารางที่ 5-21
กลุ่มที่ 4	ตารางที่ 5-22	ตารางที่ 5-28
กลุ่มที่ 5 & 6	ตารางที่ 5-23	ตารางที่ 5-29
กลุ่มที่ 7 (หมายเหตุ 2-4)	ตารางที่ 5-30,5-30(ก), 5-31	ตารางที่ 5-32,5-32(ก), 5-33

หมายเหตุ *1) หมายเลขตารางที่อ้างถึงในตาราง เป็นหมายเลขตารางตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ พ.ศ.2556 ซึ่งนำมาลงไว้ในภาคผนวก A*

2) ตารางที่ 5-30 & 5-32 สำหรับรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบระบายอากาศ และ แบบบันได

3) ตารางที่ 5-30(ก) & 5-32(ก) สำหรับรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ

4) ตารางที่ 5-31 & 5-33 สำหรับรางเคเบิลมีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ แบบระบายอากาศ และแบบบันได

รูปแบบการติดตั้ง แบ่งเป็น 7 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินช่องเดินสายโลหะหรืออโลหะ ภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อน หรือผนังกันไฟ

กลุ่มที่ 2 สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินในช่องเดินสายโลหะหรืออโลหะเดินเกาะผนังหรือเพดาน หรือฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกัน

กลุ่มที่ 3 สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอก เดินเกาะผนัง หรือเพดาน ที่ไม่มีสิ่งปิดหุ้มหรือที่คล้ายกัน

กลุ่มที่ 4 สายเคเบิลแกนเดียวหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก วางเรียงกันแบบมีระยะห่าง เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

กลุ่มที่ 5 สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรืออโลหะฝังดิน

กลุ่มที่ 6 สายแกนเดียว หรือหลายแกน หุ้มฉนวน มีเปลือกนอก ฝังดินโดยตรง

กลุ่มที่ 7 สายเคเบิลแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก วางบนรางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ รางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือรางเคเบิลแบบบันได

การปรับค่า ค่ากระแสที่อ่านได้จากตารางอาจจะต้องปรับค่า เนื่องจากจำนวนวงจรในช่องเดินสายเดียวกัน (C_g) มากกว่า 1 และปรับค่าเนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบที่สายไฟฟ้าติดตั้งใช้งาน (C_a) ต่างจากค่าที่กำหนดไว้บนหัวตาราง กรณีที่เลือกตารางขนาดกระแสได้แล้ว ที่หมายเหตุต่อท้ายตารางจะบอกว่าจะปรับค่า C_g และ C_a ด้วยค่าจากตารางที่เท่าไร (ตารางในภาคผนวก A)

ตัวอย่างที่ 2.1 วงจรไฟฟ้าวงจรหนึ่งเป็นวงจร 1 เฟส 230 V จ่ายไฟให้โหลดไฟฟ้าแสงสว่างคำนวณกระแสได้ 12 A เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 16 A ใช้สายไฟฟ้าชนิด 60227 IEC 01 (หรือ IEC 01) เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง ต้องการกำหนดขนาดสายไฟฟ้า คิดที่อุณหภูมิโดยรอบ 40°C

วิธีทำ

1. คำนวณโหลดและกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (I_n)

   ได้ $I_n = 16$ A

2. เลือกชนิดของสายไฟฟ้าและวิธีการเดินสาย

   เป็นสาย PVC การเดินสายกลุ่มที่ 2

3. เลือกตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

   จากตารางที่ 2.11 ได้ตารางขนาดกระแสตารางที่ 5-20 (ภาคผนวก A)

4. กำหนดตัวคูณปรับค่า (C_a & C_g)

   C_a = จากหมายเหตุต่อท้ายตารางที่ 5-20 ปรับค่าด้วยตารางที่ 5-43 (อุณหภูมิ 40°C ไม่ปรับค่า) ได้ = 1

   C_g = จากหมายเหตุต่อท้ายตารางที่ 5-20 ปรับค่าด้วยตารางที่ 5-8 (1 กลุ่มวงจร ไม่ปรับค่า) ได้ = 1

5. กำหนดขนาดสายไฟฟ้า $I_t \geq I_n/(C_a \times C_g)$

   $I_t \geq 16/(1 \times 1) \geq 16$ A

   จากตารางที่ 5-20 ลักษณะการติดตั้งกลุ่มที่ 2 วงจร 1 เฟส (ดูที่จำนวนตัวนำกระแส 2 เส้น) ช่องสายแกนเดียว ค่ากระแสที่อ่านได้จากตารางต้องไม่ต่ำกว่า 16 A ค่าที่ได้คือ 21 A จะได้ขนาดสาย (คอลัมน์แรก) 2.5 ตร.มม.

   จะได้สาย IEC 01 ขนาด 2.5 ตร.มม. เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง

ตารางที่ 5-20 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_o/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV
อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในท่อร้อยสายในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 1				กลุ่มที่ 2			
จำนวนตัวนำกระแส	2		3		2		3	
ลักษณะตัว	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง								
ระบบไฟฟ้า	AC หรือ DC		AC		AC หรือ DC		AC	
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	รหัสชนิดเคเบิล 60227 IEC 01, 60227 IEC 02, 60227 IEC 05, 60227 IEC 06, 60227 IEC 10, NYY, NYY-G, VCT, VCT-G, IEC 60502-1 รวมถึงสายที่มีคุณสมบัติต่างๆ เช่น สายทนไฟ สายไร้ฮาโลเจน และ สายควันน้อย เป็นต้น							
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)							
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
500	-	-	-	-	545	-	464	-

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-20)*

1. อุณหภูมิโดยรอบที่ต่างจาก 40°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-43

2. ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ในท่อร้อยสาย ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-8

3. สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันไม่เกิน 1.5 kV.

ตัวอย่างที่ 2.2 วงจรไฟฟ้า 1 เฟส 230 V จำนวน 2 วงจร วงจรแรกต่อจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 32 A วงจรที่ 2 ต่อจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 40 A ใช้สายไฟฟ้าชนิด NYY 2 แกน เดินรวมในท่อเดียวกัน ท่อเดินเกาะผนัง ต้องการกำหนดขนาดสายไฟฟ้าของแต่ละวงจร กำหนดให้อุณหภูมิโดยรอบสถานที่ติดตั้งสายไฟฟ้าเท่ากับ 45°C

วิธีทำ

1. คำนวณโหลดและกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (I_n)

   ได้ I_n = 32 A และ 40 A

2. เลือกชนิดของสายไฟฟ้าและวิธีการเดินสาย

   เป็นสาย PVC การเดินสายกลุ่มที่ 2

3. เลือกตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

   จากตารางที่ 2.11 ได้ตารางขนาดกระแสตารางที่ 5-20

4. กำหนดตัวคูณปรับค่า (C_a & C_g)

C_a จากหมายเหตุต่อท้ายตารางที่ 5-20 ปรับค่าด้วยตารางที่ 5-43 ได้ = 0.91

C_g จากหมายเหตุต่อท้ายตารางที่ 5-20 ปรับค่าด้วยตารางที่ 5-8 ได้ = 0.8

5. กำหนดขนาดสายไฟฟ้า $I_t \geq I_n/(C_a \times C_g)$

วงจรที่ 1 $I_t \geq 32/(0.91 \times 0.8) \geq 44$ A

จากตารางที่ 5-20 กลุ่มที่ 2 วงจร 1 เฟส ช่องสายหลายแกน ค่ากระแสที่อ่านได้จากตารางต้องไม่ต่ำกว่า 44 A ค่าที่ได้คือ 45 A จะได้ขนาดสาย 10 ตร.มม.

วงจรที่ 2 $I_t \geq 40/(0.91 \times 0.8) \geq 55$ A

จากตารางที่ 5-20 กลุ่มที่ 2 วงจร 1 เฟส ช่องสายหลายแกน ค่ากระแสที่อ่านได้จากตารางต้องไม่ต่ำกว่า 55 A ค่าที่ได้คือ 60 A จะได้ขนาดสาย 16 ตร.มม.

ตัวอย่างที่ 2.3 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 630 kVA ด้านแรงต่ำใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 800 A (การกำหนดขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ดูเรื่องหม้อแปลงไฟฟ้า) ใช้สาย NYY ชนิดแกนเดียวเดินบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศไปยัง MDB ต้องการกำหนดขนาดสายไฟฟ้า กำหนดให้ใช้สายเฟสละ 3 เส้น สายวางเรียงชิดติดกัน อุณหภูมิโดยรอบสถานที่ติดตั้ง 40°C

วิธีทำ

1. คำนวณโหลดและกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (I_n)

ได้ I_n = 800 A

2. เลือกชนิดของสายไฟฟ้าและวิธีการเดินสาย

เป็นสาย PVC การเดินสายกลุ่มที่ 7

3. เลือกตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

จากตารางที่ 2.11 ได้ตารางขนาดกระแสตารางที่ 5-30

4. กำหนดตัวคูณปรับค่า (C_a & C_g)

C_a จากหมายเหตุต่อท้ายตารางที่ 5-30 ปรับค่าด้วยตารางที่ 5-43 ได้ = 1

C_g จากหมายเหตุต่อท้ายตารางที่ 5-30 ปรับค่าด้วยตารางที่ 5-40 ที่ช่องรางเคเบิลแบบระบายอากาศ จำนวนกลุ่มวงจรต่อรางเคเบิลเท่ากับ 3 ได้ = 0.87

5. กำหนดขนาดสายไฟฟ้า $I_t \geq I_n/(C_a \times C_g)$

$I_t \geq 800/3/(1 \times 0.87)$ ≥ 307 A (ดูหมายเหตุ)

จากตารางที่ 5-30 ช่องสายแกนเดียวสายวางชิดติดกัน ค่ากระแสที่อ่านได้จากตารางต้องไม่ต่ำกว่า 307 A ค่าที่ได้คือ 324 A จะได้ขนาดสาย 150 ตร.มม. (324 A) เฟสละ 3 เส้น

หมายเหตุ *ค่ากระแส 800/3 เนื่องจากใช้สายเฟสละ 3 เส้น*

ตารางที่ 5-40 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดียววางบนรางเคเบิล เป็นกลุ่มตั้งแต่ 1 วงจร ขึ้นไป

วิธีการติดตั้ง		จำนวนรางเคเบิล	จำนวนกลุ่มวงจรต่อรางเคเบิล						ลักษณะการจัดเรียงเคเบิล
			1	2	3	4	5-6	7-9	
รางเคเบิลมีฝาปิดแบบด้านล่างทึบ แบบบันไดและแบบระบายอากาศ		1	ดูตารางที่ 5-40(ก) ช่องที่ 2						รูปแบบวางชิดกัน วางแบบสามเหลี่ยม และวางห่างเส้นเว้นเส้น
รางเคเบิลแบบระบายอากาศ (หมายเหตุ 2 และ 6)	> 300mm, a ≥ 20mm	1	1.00	0.91	0.87	0.82	0.78	0.77	รูปแบบวางชิดกันในแนวนอน
		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 (หมายเหตุ 3 และ 6)	≥ 225mm	1	1.00	0.86	0.80	0.75	0.71	0.70	รูปแบบวางชิดกันในแนวตั้ง
		2	0.95	0.84	0.77	0.72	0.67	0.66	
รางเคเบิลแบบบันได (หมายเหตุ 2และ 6)	> 300mm, a ≥ 20mm	1	1.00	0.97	0.96	0.94	0.93	0.92	รูปแบบวางชิดกันในแนวนอน
		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	

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-40)*

1. ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการวางสายไฟฟ้าเป็นกลุ่มชั้นเดียว หรือวางชิดติดกันเป็นกลุ่มรูปสามเหลี่ยมเท่านั้น

2. ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการติดตั้งรางเคเบิลในแนวนอนที่มีระยะห่างระหว่างรางเคเบิลในแนวดิ่ง ไม่น้อยกว่า 300 มม. และติดตั้งรางเคเบิลห่างจากผนังไม่น้อยกว่า 20 มม.เท่านั้น

3. ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการติดตั้งรางเคเบิลในแนวดิ่งที่มีระยะห่างระหว่างรางเคเบิลในแนวราบ ไม่น้อยกว่า 225 มม.เท่านั้น

4. กรณีที่จำนวนรางเคเบิลมากกว่า 1 ราง ตัวคูณปรับค่าให้คิดจากรางเคเบิลที่มีกลุ่มวงจรมากที่สุด

5. จำนวนรางเคเบิล <u>1 ราง และกลุ่มวงจรมากกว่า 9 ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าเช่นเดียวกับ 9 วงจร</u>

ตารางที่ 5-30 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_o/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบระบายอากาศหรือรางเคเบิลแบบบันได

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 7						
จำนวนตัวนำกระแส	2		3				
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว				หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง							
ระบบไฟฟ้า	AC หรือ DC		AC				
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 10, NYY, NYY-G, VCT, VCT-G และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น						
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)						
1	-	15	-	-	-	-	13
1.5	-	19	-	-	-	-	16
2.5	-	26	-	-	-	-	22
95	264	245	239	230	297	271	207
120	306	285	279	268	345	315	240
150	363	330	324	310	397	365	278
185	403	378	371	366	453	418	317

ข้อสังเกต *ในหมายเหตุต่อท้ายตารางที่ 5-40 หมายเหตุที่ 5 กำหนดให้จำนวนกลุ่มวงจรที่มากกว่า 9 วงจร ให้ใช้ตัวปรับค่าเช่นเดียวกับ 9 กลุ่มวงจร (ใช้ได้กับรางระบายอากาศและรางแบบบันไดที่สายวางเรียงชิดติดกันเท่านั้น)*

ตัวอย่างที่ 2.4 จากตัวอย่างที่ 2.3 ถ้าอุณหภูมิโดยรอบสถานที่ติดตั้งเปลี่ยนเป็น 45°C ต้องการกำหนดขนาดสายไฟฟ้า

วิธีทำ

1. คำนวณโหลดและกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (I_n) ได้ I_n = 800 A
2. เลือกชนิดของสายไฟฟ้าและวิธีการเดินสาย

   เป็นสาย PVC การเดินสายกลุ่มที่ 7
3. เลือกตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

   จากตารางที่ 2.11 ได้ตารางขนาดกระแสตารางที่ 5-30
4. กำหนดตัวคูณปรับค่า (C_a & C_g)

C_a จากหมายเหตุต่อท้ายตารางที่ 5-30 ปรับค่าด้วยตารางที่ 5-43 ได้ = 0.91

C_g จากหมายเหตุต่อท้ายตารางที่ 5-30 ปรับค่าด้วยตารางที่ 5-40 ได้ = 0.87

5. กำหนดขนาดสายไฟฟ้า $I_t \geq I_n/(C_a \times C_g)$

$I_t \geq 800/3/(0.91 \times 0.87) \geq 337$ A

จากตารางที่ 5-30 ช่องสายแกนเดียวสายวางชิดติดกัน ค่ากระแสที่อ่านได้จากตารางต้องไม่ต่ำกว่า 337 A ค่าที่ได้คือ 371 A จะได้ขนาดสาย 185 ตร.มม. เฟสละ 3 เส้น

ตัวอย่างที่ 2.5 วงจรไฟฟ้า 1 เฟส 230 V จำนวน 2 วงจร วงจรแรกต่อจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 32 A วงจรที่ 2 ต่อจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 40 A ใช้สายไฟฟ้าชนิด NYY 2 แกน เดินรวมในรางเดินสาย (wireways) เดียวกัน ต้องการกำหนดขนาดสายไฟฟ้าของแต่ละวงจร กำหนดให้อุณหภูมิโดยรอบสถานที่ติดตั้งสายไฟฟ้าเท่ากับ 40°C

วิธีทำ

1. คำนวณโหลดและกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (I_n) ได้ I_n = 32 A และ 40 A

2. เลือกชนิดของสายไฟฟ้าและวิธีการเดินสาย

เป็นสาย PVC เดินในรางเดินสาย (ไม่มีกลุ่ม)

3. เลือกตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

เนื่องจากการเดินสายในรางเดินสายไม่จัดอยู่ในกลุ่มที่ 1-7 และกำหนดให้ขนาดกระแสของสายใช้ตารางที่ 5-20 กรณีสาย PVC ขนาดกระแสดูจากกลุ่มที่ 2 ช่องตัวนำ 3 เส้น และไม่ต้องปรับค่า C_g

4. กำหนดตัวคูณปรับค่า (C_a & C_g)

$C_a = 1, C_g = 1$

5. กำหนดขนาดสายไฟฟ้า $I_t \geq I_n/(C_a \times C_g)$

วงจรที่ 1 $I_t \geq 32/(1 \times 1) \geq 32$ A

จากตารางที่ 5-20 จำนวนตัวนำกระแส 3 เส้น ช่องสายหลายแกน ค่ากระแสที่อ่านได้จากตารางต้องไม่ต่ำกว่า 32 A ค่าที่ได้คือ 40 A จะได้ขนาดสาย 10 ตร.มม.

วงจรที่ 2 $I_t \geq 40/(1 \times 1) \geq 40$ A

จากตารางที่ 5-20 กลุ่มที่ 2 วงจร 1 เฟส ช่องสายหลายแกน ค่ากระแสที่อ่านได้จากตารางต้องไม่ต่ำกว่า 40 A ค่าที่ได้คือ 40 A จะได้ขนาดสาย 10 ตร.มม.

หมายเหตุ *กรณีเป็นสายแกนเดียวค่ากระแสต้องอ่านจากช่องสายแกนเดียว*

ตารางที่ 5-20 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_o/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในท่อร้อยสายในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 1				กลุ่มที่ 2			
จำนวนตัวนำกระแส	2		3		2		3	
ลักษณะตัว	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง								
ระบบไฟฟ้า	AC หรือ DC		AC		AC หรือ DC		AC	
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	รหัสชนิดเคเบิล 60227 IEC 01, 60227 IEC 02, 60227 IEC 05, 60227 IEC 06, 60227 IEC 10, NYY, NYY-G, VCT, VCT-G, IEC 60502-1 รวมถึงสายที่มีคุณสมบัติต่างๆ เช่น สายทนไฟ สายไรฮาโลเจน และ สายควันน้อย เป็นต้น							
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)							
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
500	-	-	-	-	545	-	464	-

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-20)*

1. อุณหภูมิโดยรอบที่ต่างจาก 40°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-43

2. ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ในท่อร้อยสาย ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-8

3. สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันไม่เกิน 1.5 kV.

บทที่ 3 การเดินสายไฟฟ้า

วิธีเดินสายไฟฟ้า (หรือเดินสาย) มีหลายวิธี ผู้ใช้งานสามารถเลือกได้ตามความต้องการ มีข้อควรพิจารณาในการเลือกวิธีการเดินสาย ดังนี้

1. กฎหมายและข้อกำหนดของมาตรฐานฯ วิธีการเดินสายจะต้องเป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ และกฎหมาย การเลือกชนิดของสายไฟฟ้าก็จะต้องสอดคล้องกับวิธีการเดินสายด้วยเช่น การเดินสายฝังดิน สายไฟฟ้าต้องเป็นชนิดที่มาตรฐานฯ อนุญาตให้ฝังดินได้ และอาคารบางประเภทมีข้อกำหนดการเดินสายไว้เฉพาะเช่น อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ โรงภาพยนตร์ สถานประกอบการ และอาคารที่มีสารไวไฟ เป็นต้น

2. ด้านความคงทนหรือความเหมาะสมกับสถานที่ใช้งาน ในสถานที่ที่อาจเกิดความเสียหายทางกายภาพจากการใช้งานปกติ ก็จะต้องเลือกวิธีการเดินสายที่ทนต่อความเสียหายได้เช่น ท่อโลหะหนา หรือท่อโลหะหนาปานกลาง เป็นต้น หรือในสถานที่ที่มีการกัดกร่อนสูงจะต้องเลือกวัสดุที่ทนการกัดกร่อนได้ดีเช่น ท่ออโลหะ เป็นต้น

3. ด้านความสวยงาม แต่ละวิธีการเดินสายให้ความสวยงามไม่เท่ากัน บางอาคารก็ให้ความสำคัญด้านความสวยงามมาก การเลือกวิธีเดินสายจึงต้องให้ตรงกับความต้องการด้วย

4. ด้านเศรษฐศาสตร์ ในแต่ละอาคารอาจเลือกวิธีการเดินสายได้หลายวิธีตามความต้องการ ในแต่ละวิธีการเดินสายจะให้ความสวยงามและความคงทนไม่เท่ากัน ค่าลงทุนในการติดตั้งก็ต่างกันด้วย จึงควรต้องนำมาประกอบการพิจารณาด้วย

การเดินสายไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. การเดินลอยหรือเดินเปิดบนวัสดุฉนวน
2. การเดินสายในช่องเดินสาย
3. การเดินสายบนรางเคเบิล (cable tray)
4. บัสเวย์หรือบัสดัก

ข้อกำหนดการเดินสายประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ข้อกำหนดทั่วไปในการเดินสาย ซึ่งจะประยุกต์ใช้กับแต่ละวิธีการเดินสายโดยเลือกใช้เฉพาะข้อที่เกี่ยวข้อง และข้อกำหนดสำหรับแต่ละวิธีการเดินสายที่เลือกใช้ ทั้ง 2 ส่วนนี้จะใช้ร่วมกัน

3.1 ข้อกำหนดทั่วไปในการเดินสายไฟฟ้า

3.1.1 การเดินสายฝังดิน แบ่งเป็นการเดินสายฝังดินโดยตรง และการเดินสายร้อยท่อฝังดิน มีข้อกำหนดที่สำคัญดังนี้

1. ความลึกในการฝังดิน มีหลักการอยู่ว่าการฝังดินถ้ายิ่งลึกก็จะยิ่งลดแรงกระทำจากภายนอกที่ก่อให้เกิดความเสียหายกับท่อและสายไฟฟ้าได้มาก การฝังดินจึงควรลึกไม่น้อยกว่าที่กำหนดในตารางที่ 3.1 และถ้าเป็นระบบแรงสูง (แรงดันเกิน 1,000 V) ความลึกต้องไม่น้อยกว่า 0.90 ม.

ตารางที่ 3.1 ความลึกในการติดตั้งใต้ดิน สำหรับระบบแรงต่ำ (แรงดันไม่เกิน 1,000 V)

วิธีที่	วิธีการเดินสาย	ความลึก น้อยสุด (m)	ความลึก[2] น้อยสุด (m)	ความลึก[3] น้อยสุด (m)
1	สายเคเบิลฝังดินโดยตรง	0.60	0.45	0.15
2	ท่อโลหะหนาและหนาปานกลาง	0.15	0.15	0.10
3	ท่ออโลหะซึ่งได้รับการรับรองให้ฝังดินโดยตรงได้โดยไม่ต้องมีคอนกรีตหุ้ม (เช่น ท่อ HDPE ท่อ RTRC และ ท่อ PVC)	0.45	0.30	0.10
4	ท่อร้อยสายอื่น ๆ ที่ได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าฯ	0.45	0.30	0.10

หมายเหตุ *1) ท่อร้อยสายที่ได้รับการรับรองให้ฝังดินได้โดยมีคอนกรีตหุ้มในวิธีที่ 2,3 และ 4 ต้องหุ้มด้วยคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 50 มม.*

2) ใต้แผ่นคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 50 มม.

3) ใต้พื้นคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 100 มม. และยื่นเลยออกไปจากแนวติดตั้งไม่น้อยกว่า 150 มม.

4) สำหรับทุกวิธี หากอยู่ในบริเวณที่มีรถยนต์วิ่งผ่าน ความลึกต้องไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร

5) การติดตั้งใต้อาคารไม่บังคับเรื่องความลึก

6) ความลึกหมายถึงระยะต่ำสุดวัดจากส่วนบนของสายหรือท่อถึงผิวบนสุดของส่วนปกคลุม

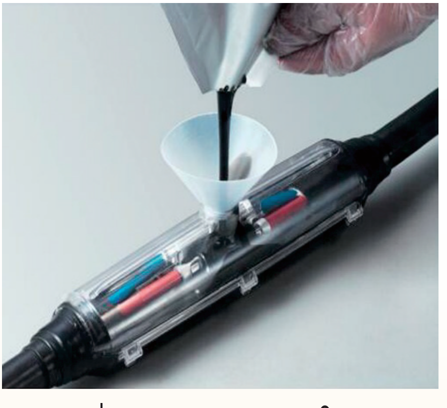
2. การป้องกันสายทางกายภาพ การเดินสายเคเบิลฝังดินโดยตรงสามารถทำได้ตามที่กำหนดในมาตรฐานฯ แต่สายไฟฟ้าต้องเป็นชนิดที่อนุญาตให้เดินฝังดินโดยตรงได้ และส่วนที่โผล่เหนือดินต้องมีการป้องกันทางกายภาพด้วยเครื่องห่อหุ้ม หรือท่อร้อยสาย สูงจากระดับพื้นดินไม่น้อยกว่า 2.40 ม.

3. การกลบทับ วัสดุกลบทับสายหรือท่อร้อยสายต้องไม่มีคม หรือเป็นสิ่งที่ทำให้ผุกร่อน หรือมีขนาดใหญ่จนทำให้สายหรือท่อชำรุดได้

4. การอุดป้องกันความชื้น ท่อร้อยสายซึ่งความชื้นสามารถเข้าไปยังส่วนที่มีไฟฟ้าได้ ต้องอุดที่ปลายใดปลายหนึ่ง หรือทั้งสองปลายของท่อร้อยสายตามความเหมาะสม การอุดปลายสายจะเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมเช่น โฟม หรือ sealing compound ก็ได้

5. การป้องกันฉนวนหรือสายชำรุดจากแผ่นดินทรุด ในกรณีที่มีการเดินสายเคเบิลใต้ดินเข้าไปในอาคาร ต้องมีการป้องกันฉนวนสายชำรุดเนื่องจากดินทรุดซึ่งจะดึงสายจนฉนวนชำรุด หรือสายขาด หรือแม้แต่อุปกรณ์ที่สายจับยึดอยู่ก็อาจถูกดึงจนชำรุดได้ การป้องกันอาจใช้วิธีปล่อยสายให้หย่อนไว้ให้มีความยาวเหลือเผื่อไว้บ้างเช่นในบ่อพักสาย หรือที่ปลายสายด้านใดด้านหนึ่ง กรณีที่แผ่นดินทรุดจะได้ดึงสายส่วนที่เผื่อไว้นี้ได้

6. การต่อสายใต้ดิน สายที่เดินฝังดินสามารถต่อได้โดยใช้อุปกรณ์ต่อสายและวิธีการต่อสายที่ถูกต้องชนิดที่สามารถฝังดินได้



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการต่อสายใต้ดิน

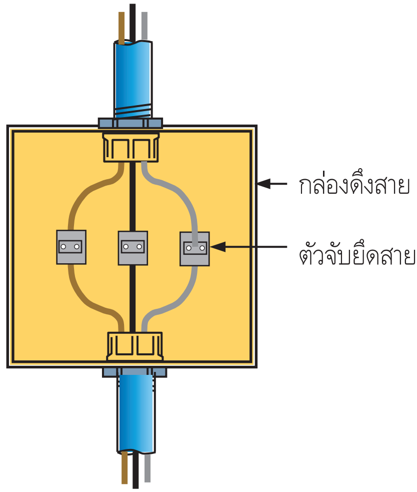
3.1.2 การป้องกันการผุกร่อน ท่อร้อยสาย เกราะหุ้มสายเคเบิล (cable armor) เปลือกนอกของสายเคเบิล กล่อง ตู้ ข้องอ (elbow) ข้อต่อ (coupling) และเครื่องประกอบการเดินท่ออื่น ๆ ต้องใช้วัสดุที่เหมาะสมหรือมีการป้องกันที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่สิ่งนั้นติดตั้งอยู่ การป้องกันการผุกร่อนต้องทำทั้งภายในและภายนอกบริภัณฑ์ โดยการเคลือบด้วยวัสดุที่ทนต่อการผุกร่อน เช่น สังกะสี แคดเมียม หรือ อีนาเมล (enamel) ในกรณีที่มีการป้องกันการผุกร่อนด้วยอีนาเมล ไม่อนุญาตให้ใช้ในสถานที่เปียก หรือภายนอกอาคาร

3.1.3 การจับยึดสายในแนวดิ่ง ปัจจุบันมีอาคารสูงเป็นจำนวนมาก การติดตั้งสายไฟฟ้าในแนวดิ่ง น้ำหนักของสายอาจทำให้จุดจับยึดสายด้านบนหรือฉนวนของสายไฟฟ้าชำรุดได้ สายไฟฟ้าในช่องเดินสายแนวดิ่งจึงต้องมีการจับยึดที่ปลายบนสุดของช่องเดินสาย และจับยึดเพิ่มอีกเป็นระยะ ๆ ห่างไม่เกินตามที่กำหนดในตารางที่ 3.2 แต่ถ้าระยะตามแนวดิ่งน้อยกว่าร้อยละ 25 ของระยะที่กำหนดในตารางที่ 3.2 ไม่ต้องจับยึดก็ได้

วัสดุและวิธีการจับยึดเลือกได้ตามความเหมาะสม แต่ต้องระวังไม่ให้ฉนวนของสายชำรุด เช่น ในการเดินสายร้อยท่ออาจจับยึดที่กล่องดึงสายตามที่แสดงในรูปที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้จับยึดควรเป็นฉนวนไฟฟ้า ไม่เป็นสารแม่เหล็ก และไม่เป็นวัสดุที่ทำความเสียหายให้กับฉนวนของสายไฟฟ้า

ตารางที่ 3.2 ระยะห่างสำหรับการจับยึดสายไฟฟ้าในแนวดิ่ง

ขนาดของสายไฟฟ้า (ตร.มม.)	ระยะจับยึดสูงสุด (ม.)
ไม่เกิน 50	30
70-120	24
150-185	18
240	15
300	12
เกินกว่า 300	10



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการจับยึดสายแนวดิ่ง

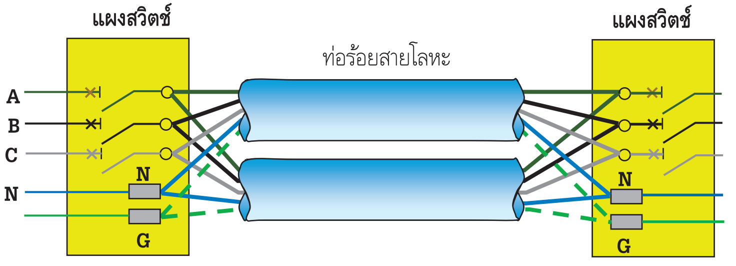
3.1.4 การป้องกันความร้อนจากกระแสเหนี่ยวนำ เมื่อมีไฟฟ้ากระแสสลับไหลในสายไฟฟ้าซึ่งล้อมรอบด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็กเช่น ท่อ RSC, IMC และรางเดินสาย จะเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำท่อเหล็กหรือรางเดินสายทำให้เกิดความร้อน จึงต้องมีการป้องกันดังนี้

1. โดยการรวมสายเส้นไฟทุกเส้นและตัวนำนิวทรัล (ถ้ามี) รวมทั้งสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าของวงจรเดียวกันไว้ในท่อหรือช่องเดินสายเดียวกัน หากติดตั้งในรางเดินสาย (wireways) หรือรางเคเบิล (cable trays) ให้วางเป็นกลุ่มเดียวกัน

ในการเดินสายควบและใช้ท่อร้อยสายหลายท่อในแต่ละท่อร้อยสายต้องมีครบทั้งสายเส้นไฟ ตัวนำนิวทรัล และสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

2. เมื่อสายเดี่ยวของวงจรเดินผ่านโลหะที่มีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็ก จะต้องร้อยในรูเดียวกัน หรือโดยการตัดร่องให้แต่ละรูทะลุถึงกัน

เมื่อสายไฟฟ้าของวงจรเดียวกันเดินรวมในช่องเดินสายเดียวกัน สนามแม่เหล็กจะหักล้างกันเป็นศูนย์ จะไม่เกิดความร้อนจากการเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.3 การป้องกันความร้อนจากกระแสเหนี่ยวนำ
(ตัวอย่าง กรณีเดินสายควบ)

รูปที่ 3.4 การเดินสายที่เกิดความร้อนจากกระแสเหนี่ยวนำ
(ตัวอย่างที่ผิด)

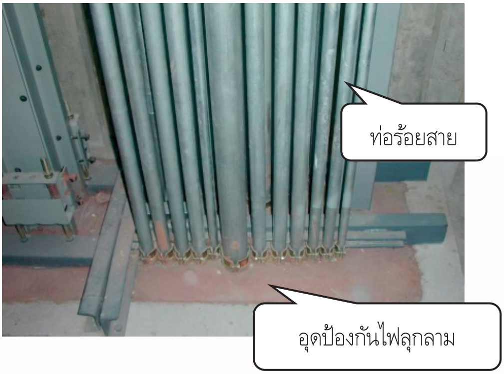
3.1.5 การเดินสายควบ สายไฟฟ้าที่เดินควบต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 50 ตร.มม. เป็นสายชนิดเดียวกัน ขนาดเดียวกัน ความยาวเท่ากัน และใช้วิธีต่อสายเหมือนกัน เพื่อให้ความต้านทานของสายไฟฟ้าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อลดโอกาสที่กระแสไฟฟ้าไหลในสายแต่ละเส้นของเฟสเดียวกันไม่เท่ากัน สายขนาดเล็กกว่า 50 ตร.มม. ไม่อนุญาตให้เดินควบ

โดยทั่วไปการเดินสายจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยัง MDB จะใช้สายไฟฟ้าหลายชุดหรือเฟสละหลายเส้นเรียกว่าการเดินสายควบ ปัญหาที่มักพบคือกระแสไฟฟ้าจะแบ่งไหลในสายแต่ละเส้นของเฟสเดียวกันไม่เท่ากัน สาเหตุจากสายแต่ละเส้นมีอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน อิมพีแดนซ์ประกอบด้วยค่าความต้านทานของสายไฟฟ้า (R) และค่ารีแอกแตนซ์ (X_L)

สำหรับค่ารีแอกแตนซ์เกิดจากการจัดเรียงสายไฟฟ้า การจัดเรียงสายเป็นกลุ่มตามที่กำหนดในแต่ละวิธีการเดินสายจะช่วยให้ค่ารีแอกแตนซ์ใกล้เคียงกัน กระแสที่ไหลในแต่ละเส้นของเฟสเดียวกันก็จะใกล้เคียงกันด้วย

การที่กระแสไฟฟ้าแบ่งไหลในสายแต่ละเส้นของเฟสเดียวกันไม่เท่ากัน จะเป็นผลให้สายเส้นที่มีกระแสไหลมากอาจ overload จนเสื่อมสภาพเร็ว หรือชำรุดได้

3.1.6 การป้องกันไฟลุกลาม มักพบว่าเมื่อเกิดเพลิงไหม้อาคาร ควันจะเล็ดลอดไปตามช่องหรือรูไปยังห้องที่ไฟยังลามไปไม่ถึง และเป็นสาเหตุให้เสียชีวิตจากการขาดอากาศหายใจได้ ดังนั้นการติดตั้งทางไฟฟ้าที่ผ่านผนัง ฉากกั้น พื้น เพดาน หรือช่องท่อไฟฟ้า (shaft) จะต้องมีการป้องกันไม่ให้ไฟลุกลามผ่าน หรือควันเล็ดลอดผ่านได้ ทำได้โดยการอุดด้วยวัสดุที่เหมาะสมและทนไฟได้ไม่ต่ำกว่าตัวโครงสร้างอาคารบริเวณที่สายไฟฟ้าเดินผ่าน

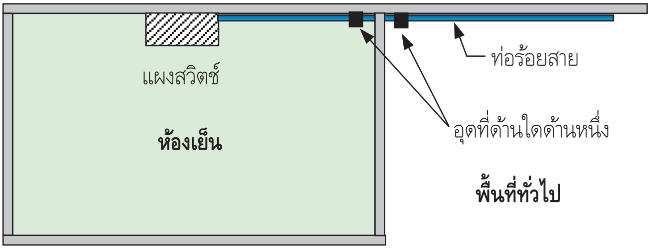


รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการป้องกันไฟลุกลาม

3.1.7 การป้องกันการควบแน่น เมื่อเดินช่องร้อยสายผ่านพื้นที่ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมากเช่น การเดินท่อร้อยสายเข้าหรือออกจากห้องเย็น ต้องมีการป้องกันการไหลเวียนของอากาศภายในท่อ จากส่วนที่มีอุณหภูมิสูงไปส่วนที่มีอุณหภูมิเย็นกว่า เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความควบแน่นเป็นหยดน้ำภายในท่อ การป้องกันทำได้โดยการอุดท่อตรงจุดที่ผ่านเข้า-ออกห้องเย็นด้านในหรือนอกห้องก็ได้

เนื่องจากอากาศในห้องเย็นมีอุณหภูมิต่ำมาก อากาศในท่อซึ่งมีความชื้นจะควบแน่นเป็นหยดน้ำและถ้าอากาศจากภายนอกไหลเข้ามาได้เรื่อย ๆ หยดน้ำก็จะมากขึ้นจนไหลตามท่อเข้าไปในอุปกรณ์ไฟฟ้าได้

การอุดท่อร้อยสายทำได้หลายวิธีตามความเหมาะสมเช่น ติดตั้งกล่องต่อสายหรือกล่องดึงสายตรงจุดที่ผ่านผนังห้องด้านในห้องหรือนอกห้องก็ได้ แล้วอุดท่อด้วยโฟม หรือ sealing compound เพื่อป้องกันการไหลเวียนของอากาศ (ดูรูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 การซีลเพื่อป้องกันการไหลเวียนของอากาศ

3.2 การเดินสายเปิดหรือเดินลอยบนวัสดุฉนวน (Open Wiring on Insulator)

เป็นการเดินสายเกาะบนลูกถ้วยไฟฟ้า ปกติจะใช้เดินภายนอกอาคารที่สูงพ้นจากการสัมผัสโดยใช้ตุ้มหรือลูกถ้วยเพื่อการจับยึดสาย แต่อาจใช้เดินภายในอาคารได้สำหรับอาคารบางประเภท

รูปที่ 3.7 การเดินสายลอยบนวัสดุฉนวน

การใช้งาน

- ต้องใช้สายแกนเดียวหุ้มฉนวน ไม่ปิดบังด้วยโครงสร้างอาคาร
- เดินภายนอกอาคาร
- การเดินภายในอาคารทำได้เฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม งานเกษตรกรรม และงานแสดงสินค้าเท่านั้น

การติดตั้งใช้งาน

- การเดินสายในที่ชื้น เปียก หรือที่มีไอทำให้ผุกร่อน ต้องมีการป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับสายไฟฟ้า
- ลูกตุ้มหรือลูกถ้วยต้องเป็นชนิดที่เหมาะสม การจับยึดต้องใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม มีความมั่นคง แข็งแรง และไม่ทำให้ฉนวนของสายชำรุด
- หลีกเลี่ยงการใช้เสาเหล็กเนื่องจากอาจเกิดไฟรั่วที่เป็นอันตราย แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้ต้องต่อลงดินด้วย เสาไฟฟ้าต้องแข็งแรงเพียงพอ
- หลีกเลี่ยงการยึดติดกับโครงสร้างเหล็กของอาคาร เนื่องจากอาจเกิดไฟรั่วลงโครงเหล็กและเป็นอันตรายกับผู้อาศัยในอาคารได้
- หลีกเลี่ยงการต่อสายที่ต้องรับแรงดึง แต่ถ้าจำเป็นต้องมีวิธีการและใช้อุปกรณ์ต่อสายที่มีความแข็งแรง ไม่หลุดหรือขาดง่าย และไม่ดึงสายตึงจนเกินไป
- อุปกรณ์จับยึดปลายสายต้องเลือกให้เหมาะสมกับสายไฟฟ้า

- สายไฟฟ้าต้องไม่เสียดสีกับอาคารหรือต้นไม้

- ระบบแรงสูง ต้องเข้าถึงได้เฉพาะผู้ที่เกี่ยวข้องเท่านั้น การติดตั้งบนเสาไฟฟ้าที่มีความสูงตามมาตรฐานถือว่าพ้นจากการเข้าถึง

- ระบบแรงสูง เมื่อมี guy ต้องติดตั้ง strain insulator (ตาม มอก.280) ตรงตำแหน่งที่สูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 2.4 ม. ยกเว้น ระบบ 33 kV เป็นไปตามมาตรฐานของ กฟภ.

- ระยะห่างเป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 3.3 และตารางที่ 3.4

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างสายหลุดจากลูกถ้วยเพราะการจับยึดไม่ดี

ตารางที่ 3.3 ความสูงของสายไฟฟ้าเหนือพื้น

สิ่งที่อยู่ใต้สายไฟฟ้า	ระยะห่าง (ม.)	
	ระบบแรงต่ำ	ระบบแรงสูง
ทางสัญจรและพื้นที่ที่จัดไว้ให้รถยนต์ผ่าน แต่ไม่ใช่รถบรรทุก	2.90	4.60
ทางสัญจรและพื้นที่อื่น ๆ ที่ให้ทั้งรถยนต์และรถบรรทุกผ่านได้	5.50	6.10
คลองหรือแหล่งน้ำ กว้างไม่เกิน 50 ม. ปกติมีเรือสูงไม่เกิน 4.9 ม. ผ่าน	6.80	7.70
คลองหรือแหล่งน้ำที่ไม่มีเรือแล่นผ่าน	4.30	5.20

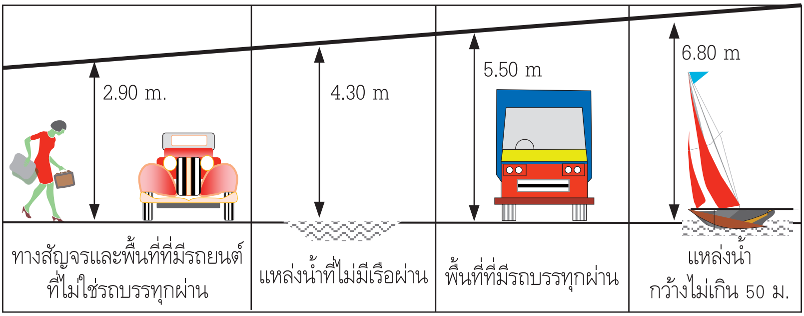
ตารางที่ 3.4 ระยะห่างของสายไฟฟ้าจากอาคาร (ระบบแรงสูง)

ระยะห่างระหว่างสายไฟฟ้ากับอาคารตามชนิดของสายไฟฟ้า	ระยะห่างต่ำสุด (ม.)		
	เปลือย	APC (PIC)	ASC (SAC)
■ กับผนังและส่วนของอาคารปิดหรือมีการกั้น	1.50	0.60	0.30
■ กับหน้าต่าง เฉลียง ระเบียง หรือบริเวณที่คนเข้าถึงได้	1.80	1.50	0.90
■ อยู่เหนือหรือใต้หลังคา หรือส่วนของอาคารที่ไม่มีคน	3.00	3.00	1.10
■ อยู่เหนือหรือใต้ระเบียง และหลังคาที่มีคน หรือเข้าถึงได้	4.60	4.60	3.50
■ เหนือหลังคา หรือสะพานลอยคนเดินข้ามถนน	3.00	3.00	1.10

หมายเหตุ

1. APC (PIC) หมายถึง สายหุ้มฉนวนแรงสูงไม่เต็มพิกัด

2. ASC (SAC) หมายถึง สายหุ้มฉนวนแรงสูง 2 ชั้นไม่เต็มพิกัด



รูปที่ 3.9 ความสูงของสายไฟฟ้า ระบบแรงต่ำ

3.3 การเดินสายในช่องเดินสาย

ช่องเดินสาย (Raceway) หมายถึง ช่องปิดซึ่งออกแบบเฉพาะสำหรับการเดินสายไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้า

ช่องเดินสายอาจเป็นโลหะหรือวัสดุฉนวน รวมทั้งท่อโลหะหนา ท่ออโลหะหนา ท่อโลหะ

หนาปานกลาง ท่อโลหะอ่อนกันของเหลว ท่อโลหะอ่อนบาง ท่อโลหะอ่อนหนา ท่ออโลหะอ่อน ท่อโลหะบาง ช่องเดินสายบนพื้นผิว รางเดินสาย (รางเคเบิลไม่ถือว่าเป็นช่องเดินสาย) ช่องเดินสายจึงทำหน้าที่ ดังนี้

- ใช้เป็นช่องทางเดินของสายไฟฟ้า
- ป้องกันสายไฟฟ้าจากความเสียหายทางกายภาพ
- ป้องกันอันตรายจากการสัมผัสสายไฟฟ้าที่ฉนวนอาจชำรุด (ไฟฟ้าดูด)
- ป้องกันการลุกลามไฟกรณีที่สายไฟฟ้าที่เดินในช่องเดินสายเกิดลุกไหม้เช่น จากการลัดวงจร เพราะสามารถควบคุมปริมาณออกซิเจนที่จะเข้ามาจากภายนอก
- เพิ่มความสวยงามและความสะดวกในการเดินสายไฟฟ้า

3.3.1 การเดินสายในท่อโลหะ

ท่อโลหะที่นิยมใช้ทั่วไปจะเป็นท่อเหล็กชุบสังกะสี มีดังนี้

1. ท่อโลหะหนา (rigid steel conduit) เรียกกันทั่วไปว่า RMC หรือ RSC (rigid steel conduit) เป็นท่อเหล็กชนิดหนา จึงมีความแข็งแรงใช้ป้องกันทางกลได้ดี มีขนาดตั้งแต่ 15 มม. (1/2 นิ้ว) ถึง 150 มม. (6 นิ้ว) มีความยาว 3.0 ม.

2. ท่อโลหะหนาปานกลาง (intermediate metal conduit) มีความแข็งแรง และใช้ป้องกันทางกลได้ดีเช่นเดียวกับท่อโลหะหนาแต่บางกว่า สามารถใช้ทดแทนกันได้ มีขนาดตั้งแต่ 15 มม. (1/2 นิ้ว) ถึง 100 มม. (4 นิ้ว) มีความยาว 3.0 ม.

3. ท่อโลหะบาง (electrical metallic tubing) เป็นท่อที่มีความหนาน้อยสุด จึงห้ามทำเกลียวเพราะจะทำให้ท่อขาดได้ การติดตั้งสามารถดัดโค้งได้ด้วยเครื่องมือ ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ ห้ามเดินฝังดินโดยตรง และห้ามใช้ในระบบฟ้าแรงสูง มีขนาดตั้งแต่ 15 มม. (1/2 นิ้ว) ถึง 50 มม. (2 นิ้ว) มีความยาว 3.0 ม.

การใช้งาน ท่อโลหะนี้ใช้กับงานเดินสายทั่วไป ปกติใช้ได้ทั้งในสถานที่แห้ง ชื้น และเปียก การติดตั้งต้องให้เหมาะสมกับสภาพที่ใช้งานด้วย และมีการป้องกันการผุกร่อนที่เหมาะสม

ห้ามใช้ ท่อที่มีขนาดเล็กกว่า 15 มม.

จำนวนสายไฟฟ้าที่ร้อยในท่อ จำนวนสายไฟฟ้าที่ร้อยในท่อมีความสำคัญมากเพราะเกี่ยวข้องกับขนาดกระแสของสายไฟฟ้า การระบายอากาศ และการดึงสาย สายไฟฟ้าที่ร้อยในท่อจึงต้องไม่มากเกินไป โดยคิดจากพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนและเปลือก (ถ้ามี) ของสายไฟฟ้าทุกเส้นที่ร้อยในท่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดท่อ ต้องไม่เกินที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.6

ในทางปฏิบัติจะทราบจำนวนและขนาดสายไฟฟ้าที่จะเดินร้อยท่อก่อน แล้วค่อยมาคำนวณหาขนาดท่อร้อยสาย

ตารางที่ 3.5 ขนาดพื้นที่หน้าตัดภายในของท่อร้อยสาย (มอก.770-2533)

ขนาด		พื้นที่ภาคตัดขวางภายใน (ตร.มม.)		
มม.	นิ้ว	ท่อโลหะหนา	ท่อโลหะหนาปานกลาง	ท่อโลหะบาง
15	½	201	230	195
20	¾	355	390	343
25	1	572	637	555
32	1 ¼	986	1,091	967
40	1 ½	1,338	1,467	1,313
50	3	2,196	2,382	2,164
65	2 ½	3,137	3,367	3,776
80	3	4,837	5,175	5,706
90	3 ½	6,458	6,907	7,447
100	4	8,309	8,871	9,517
125	5	13,041	-	-
150	6	18,742	-	-

ตารางที่ 3.6 พื้นที่หน้าตัดสูงสุดรวมของสายไฟฟ้าทุกเส้น คิดเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ

จำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย	1	2	3	4	มากกว่า 4
สายไฟฟ้าทุกชนิด ยกเว้น สายชนิดมีปลอกตะกั่วหุ้ม	53	31	40	40	40
สายไฟชนิดมีปลอกตะกั่วหุ้ม	55	30	40	38	35

ตารางที่ 3.7 พื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสายคิดเป็นร้อยละ

ขนาดท่อ		พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	พื้นที่หน้าตัดเป็นร้อยละ (ตร.มม.)		
(มม.)	นิ้ว		53 (1 เส้น)	40 (3 เส้นขึ้นไป)	31 (2 เส้น)
15	½	177	94	71	55
20	¾	314	167	126	97
25	1	491	260	196	152
32	1 ¼	804	426	322	249
40	1 ½	1257	666	503	390
50	2	1964	1041	785	609
65	2 ½	3318	1759	1327	1029
80	3	5027	2664	2011	1558
90	3 ½	6362	3372	2545	1972
100	4	7854	4163	3142	2435
125	5	12272	6504	4909	3804
150	6	17672	9366	7069	5478

หมายเหตุ *ตารางนี้คิดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระบุเพื่อความสะดวกในการใช้งาน เช่น ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระบุ ∅15 มม. ขนาดจริงอาจแตกต่างจากพื้นที่หน้าตัดที่หาได้จากตารางที่ 3.5*

การติดตั้งใช้งาน

- เมื่อใช้งานในสถานที่เปียก หรือฝังดิน ท่อโลหะและส่วนประกอบที่ใช้ยึดท่อโลหะ เช่น โบลต์ สกรู ฯลฯ ต้องเป็นชนิดที่ทนต่อการผุกร่อนได้เช่น ชุบสังกะสี หรือใช้วัสดุชนิดที่ทนการกัดกร่อน เป็นต้น

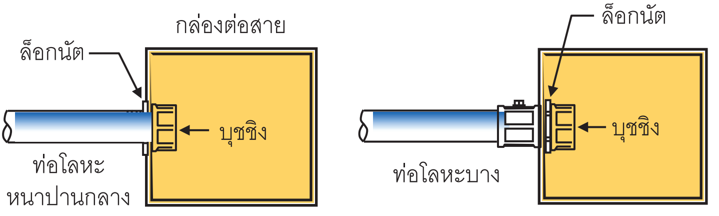
- เมื่อตัดปลายท่อออก ต้องลบคมเพื่อป้องกันไม่ให้บาดฉนวนของสายเมื่อทำการร้อยสายไฟฟ้า

- การทำเกลียวท่อ ต้องใช้เครื่องทำเกลียวชนิดปลายเรียวเพื่อให้มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่ดี และป้องกันน้ำเข้าท่อ

- การต่อท่อในอิฐก่อหรือคอนกรีต หากใช้ข้อต่อชนิดไม่มีเกลียวต้องใช้เป็นชนิดฝังในคอนกรีต เมื่อติดตั้งในสถานที่เปียกต้องใช้ชนิดกันฝน

- การต่อสาย ทำได้เฉพาะในกล่องต่อสาย หรือกล่องต่อจุดไฟฟ้าที่เปิดออกได้สะดวก และห้ามต่อสายในท่อร้อยสายเพราะอาจเกิดอันตรายจากไฟดูดเนื่องจากฉนวนที่หุ้มจุดต่อสายหลุด และจุดต่อสายอาจหลวมหรือหลุดจากการร้อยสายได้

- การติดตั้งท่อร้อยสายเข้ากับกล่องต่อสายหรือเครื่องประกอบการเดินท่อ ต้องมีบุชชิ่งเพื่อป้องกันมิให้ฉนวนหุ้มสายชำรุด นอกเสียจากว่ากล่องต่อสายและเครื่องประกอบการเดินท่อได้ออกแบบเพื่อป้องกันการชำรุดของฉนวนไว้แล้ว



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างการใช้บุชชิงเมื่อเดินท่อเข้ากล่องต่อสาย

- มุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา เพื่อให้สามารถร้อยสายเข้าและดึงออกได้สะดวกเพื่อการบำรุงรักษา จุดดึงสายคือจุดเปิดที่สามารถร้อยสายเข้าหรือดึงสายออกได้อาจเป็นกล่องต่อสาย กล่องดึงสาย ข้อต่อเปิดชนิด LB, LL, และ LR เป็นต้น

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างข้อต่อเปิดชนิดต่าง ๆ

- ในการติดตั้งใช้งาน ต้องเดินระบบท่อให้เสร็จก่อนจึงร้อยสายไฟฟ้า เพื่อทดสอบว่าสามารถร้อยสายและดึงสายออกได้

- การจับยึด ต้องจับยึดให้มั่นคง แข็งแรง ระยะห่างระหว่างจุดจับยึดจุดแรกกับอุปกรณ์หรือกล่องต่อสายไม่เกิน 0.90 ม. และระหว่างจุดจับยึดด้วยกันไม่เกิน 3.0 ม.

- ท่อร้อยสายต้องมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าอย่างดีโดยตลอด เพื่อให้ระบบการต่อลงดินทำงานได้ดีตามที่ออกแบบไว้ ตัวท่อต้องต่อลงดินแต่ห้ามใช้ท่อแทนสายดิน

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างการจับยึดท่อ

ข้อควรระวังในการติดตั้งใช้งาน

- จำนวนสายไฟฟ้าต้องไม่เกินที่กำหนดในตารางข้างต้น การเดินสายหลายเส้นจะต้องปรับลดขนาดกระแสของสายด้วย

- สายที่เดินร้อยท่อในแนวดิ่ง ต้องมีการจับยึดสายด้วย

- การเดินสายร้อยท่อเหล็ก ต้องระวังเรื่องการเกิดความร้อนจากกระแสเหนี่ยวนำเนื่องจากในท่อเดียวกันมีสายของวงจรเดียวกันไม่ครบทุกเส้น (เส้นไฟ เส้นศูนย์ และสายดิน) หรือการร้อยสายเฟสละท่อเพื่อความสะดวกในการแยกเฟส ซึ่งไม่ถูกต้อง

- ท่อที่เดินผ่านผนังหรือพื้น ต้องมีการป้องกันไฟลุกลามด้วย

- การเดินท่อผ่านเข้าห้องที่มีอุณหภูมิต่างกันมาก ต้องระวังการเกิดการควบแน่นโดยการซีลท่อด้วย

ตัวอย่างที่ 3.1 กำหนดให้ในท่อร้อยสายประกอบด้วยสายไฟฟ้า 60227 IEC 01 (หรือ IEC 01) ขนาด 16 ตร.มม. จำนวน 3 เส้น และขนาด 6 ตร.มม. จำนวน 1 เส้น จงกำหนดขนาดท่อ

วิธีทำ

จากตารางผู้ผลิต (หรือภาคผนวก)

สาย IEC 01 ขนาด 16 ตร.มม. มีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวน = 47.8 ตร.มม.

สาย IEC 01 ขนาด 4 ตร.มม. มีพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวน = 16.6 ตร.มม.

รวมพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้า = (47.8×3) + 16.6 = 160 ตร.มม.

ตารางที่ 3.6 พื้นที่หน้าตัดรวมของสายต้องไม่เกิน 40% ของพื้นที่หน้าตัดท่อ

พื้นที่หน้าตัดท่อ $\geq 160/0.4 \geq 400$ ตร.มม.

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ $\geq \sqrt{\frac{(4\times400)}{\pi}} \geq 22.57$ มม.

ใช้ท่อ ∅25 มม.

หรือ

เมื่อได้พื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟฟ้า = 160 ตร.มม. และจากตารางที่ 3.6 พื้นที่หน้าตัดรวมของสายต้องไม่เกิน 40% ของพื้นที่หน้าตัดท่อ

ตารางที่ 3.7 คอลัมน์พื้นที่หน้าตัดเป็นร้อยละ 40 ค่าที่ไม่น้อยกว่า 160 ตร.มม. คือ 196 ตร.มม. ซึ่งตรงกับขนาดท่อ 25 มม.

ตารางที่ 3.7 พื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสายคิดเป็นร้อยละ

ขนาดท่อ		พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	พื้นที่หน้าตัดเป็นร้อยละ (ตร.มม.)		
(มม.)	นิ้ว		53 (1 เส้น)	40 (3 เส้นขึ้นไป)	31 (2 เส้น)
15	½	177	94	71	55
20	¾	314	167	126	97
25	1	491	260	196	152
32	1 ¼	804	426	322	249
40	1 ½	1257	666	503	390

3.3.2 การเดินสายร้อยท่ออโลหะ

ท่ออโลหะที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิดเช่น ท่อ PVC, HDPE และ RTRC เป็นต้น ท่อและเครื่องประกอบการเดินท่อต้องใช้วัสดุที่เหมาะสม ทนต่อความชื้น สภาวะอากาศ และสารเคมี สำหรับท่อที่ใช้เหนือดินต้องมีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง (flame retardant) ทนแรงกระแทกและแรงอัด ไม่บิดเบี้ยวเพราะความร้อนภายใต้สภาวะที่อาจเกิดขึ้นเมื่อใช้งาน ในสถานที่ใช้งานซึ่งท่อร้อยสายมีโอกาสถูกแสงแดดโดยตรงต้องใช้ท่อร้อยสายชนิดทนต่อแสงแดด

ท่อที่ใช้ใต้ดินวัสดุที่ใช้ต้องทนความชื้น ทนสารที่ทำให้ผุกร่อนและมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทนแรงกระแทกได้โดยไม่เสียหาย ถ้าใช้ฝังดินโดยตรงโดยไม่มีคอนกรีตหุ้มวัสดุที่ใช้ต้องสามารถทนน้ำหนักกดที่อาจเกิดขึ้นภายหลังการติดตั้งได้

ท่อ PVC (Polyvinyl Chloride) ทำจากพลาสติกหรือ resin สังเคราะห์ชนิดหนึ่ง ท่อ PVC ที่ใช้ในงานไฟฟ้าจะมีสีเหลือง มีความเหนียว ยืดหยุ่น ทนต่อสภาวะอากาศ และทนการกัดกร่อนของกรดและด่างได้ดี มีน้ำหนักเบา และเป็นฉนวนไฟฟ้า และยังมีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง ทนอุณหภูมิได้สูงถึง 70°C (หรือตามที่ผู้ผลิตกำหนด)

ข้อเสียของท่อ PVC คือเมื่อลุกติดไฟเช่น เมื่อเกิดเพลิงไหม้อาคาร จะมีควันดำปิดกั้นการมองเห็นและให้แก๊สที่เป็นกรดสารพิษไดออกซินที่เป็นอันตรายเมื่อสูดดมเข้าในร่างกาย และมีไฮโดรเจนคลอไรด์ซึ่งเมื่อผสมกับความชื้นในปอดจะมีฤทธิ์ทำลายเนื้อเยื่อ และถ้าผสมน้ำจะเป็นกรดไฮโดรคลอริกซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการฝังในผนังปูน ท่อชนิดนี้จึงมี

ข้อจำกัดในการใช้งานในบางสถานที่ โดยเฉพาะอาคารที่มีผู้คนอยู่อาศัยจำนวนมาก และอาคารที่เมื่อเกิดเพลิงไหม้แล้วต้องใช้เวลาในการหนีไฟนาน

HDPE (High Density Polyethylene) มีความเหนียว ยืดหยุ่น ทนต่อสภาวะอากาศและทนการกัดกร่อนของกรดและด่างได้ดี มีน้ำหนักเบา และเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่ไม่ต้านเปลวเพลิง เหมาะสำหรับการเดินฝังดิน จึงห้ามใช้เหนือดินในอาคาร แต่อนุญาตให้ใช้เหนือดินภายนอกอาคารได้โดยต้องหุ้มด้วยคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 50 มม. ปกติมีสีดำมีทั้งชนิดผิวเรียบและลูกฟูก ทนอุณหภูมิได้สูงถึง 80°C (หรือตามที่ผู้ผลิตกำหนด)

RTRC (Reinforced Thermosetting Resin Conduit) หรือท่อ FRE (fiberglass reinforced epoxy conduit) ทำจาก fiberglass และ resin มีความแข็งแรง ผิวเรียบ เหนียว ยืดหยุ่น ทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อสภาวะอากาศและการกัดกร่อนได้ดี สามารถใช้ได้ทั้งเหนือดินและใต้ดินในระบบแรงต่ำและแรงสูง ปัจจุบันนิยมใช้งานมากขึ้น ทนอุณหภูมิได้สูงถึง 110°C (หรือตามที่ผู้ผลิตกำหนด)

การใช้งาน

ท่อ PVC และ RTRC

- เดินซ่อนในผนัง พื้นและเพดาน
- ในบริเวณที่ทำให้เกิดการผุกร่อนและเกี่ยวข้องกับสารเคมี ถ้าท่อและเครื่องประกอบการเดินท่อได้ออกแบบไว้สำหรับใช้งานในสภาพดังกล่าว
- ในที่เปียกหรือชื้นซึ่งได้จัดให้มีการป้องกันน้ำเข้าไปในท่อ
- ในที่เปิดโล่ง (exposed) ซึ่งไม่อาจเกิดความเสียหายทางกายภาพ

ท่อ HDPE

- เหนือดินภายนอกอาคาร โดยมีคอนกรีตหุ้มหนาไม่น้อยกว่า 50 มม.
- ฝังใต้ดิน
- ในบริเวณที่ทำให้เกิดการผุกร่อน และเกี่ยวข้องกับสารเคมี ถ้าท่อและอุปกรณ์ประกอบการเดินสายได้ออกแบบไว้ใช้งานในสถานที่ดังกล่าว

ห้ามใช้

ท่อ PVC และ RTRC

- ในบริเวณอันตราย นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่น
- ใช้เป็นเครื่องแขวนและจับยึดดวงโคม
- ในบริเวณที่อุณหภูมิโดยรอบเกิน 50°C
- อุณหภูมิใช้งานของสายเกินกว่าพิกัดอุณหภูมิของท่อที่ระบุไว้
- ตามที่ระบุไว้ในบทอื่นที่เกี่ยวข้อง

ท่อ HDPE

- ในที่เปิดโล่ง
- ภายในอาคาร
- ในบริเวณอันตราย
- ในบริเวณที่อุณหภูมิโดยรอบเกิน 50°C
- อุณหภูมิใช้งานของสายเกินกว่าพิกัดอุณหภูมิของท่อที่ระบุไว้

กรณีเดินสายในสถานที่เฉพาะเช่น สถานบริการ โรงแรม อาคารชุด อาคารสูง และอาคารขนาดใหญ่พิเศษ ให้ดูข้อกำหนดการใช้งานเพิ่มเติมในแต่ละสถานที่นั้น ๆ ด้วย

จำนวนสายไฟฟ้า จำนวนสายไฟฟ้าในท่อต้องไม่เกินตามที่กำหนดในตารางที่ 3.6

การติดตั้งใช้งาน

- เมื่อเดินท่อเข้ากล่องหรือส่วนประกอบอื่น ๆ ต้องจัดให้มีบุชชิง หรือมีการป้องกันไม่ให้ฉนวนของสายชำรุด
- มุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา
- ต้องติดตั้งระบบท่อให้เสร็จก่อนจึงทำการเดินสายไฟฟ้า เพื่อทดสอบว่าสามารถร้อยสายและดึงสายออกได้
- การจับยึด ต้องจับยึดให้มั่นคง แข็งแรง ระยะห่างระหว่างจุดจับยึดจุดแรกกับอุปกรณ์หรือกล่องต่อสายไม่เกิน 0.90 ม. และระหว่างจุดจับยึดด้วยกันไม่เกิน 3.0 ม.
- การต่อสาย ทำได้เฉพาะในกล่องต่อสาย หรือกล่องต่อจุดไฟฟ้าที่เปิดออกได้สะดวก และห้ามต่อสายในท่อร้อยสาย

- การติดตั้งท่อร้อยสายเข้ากับกล่องต่อสายหรือเครื่องประกอบการเดินท่อต้องมีบุชชิ่งเพื่อป้องกันมิให้ฉนวนหุ้มสายชำรุด นอกเสียจากว่ากล่องต่อสายและเครื่องประกอบการเดินท่อได้ออกแบบเพื่อป้องกันการชำรุดของฉนวนไว้แล้ว

ข้อควรระวังในการติดตั้งใช้งาน

- จำนวนสายไฟฟ้าต้องไม่เกินที่กำหนดในมาตรฐานฯ การเดินสายหลายเส้นจะต้องปรับลดขนาดกระแสของสายด้วย

- สายที่เดินร้อยท่อในแนวดิ่ง ต้องมีการจับยึดสายด้วย

- ท่อที่เดินผ่านผนังหรือพื้น ต้องมีการป้องกันไฟลุกลามด้วย

- การเดินท่อผ่านเข้าห้องที่มีอุณหภูมิต่างกันมาก ต้องระวังการเกิดการควบแน่นด้วยการซีลท่อด้วย

- ท่อ HDPE ห้ามเดินเหนือพื้นภายในอาคารเนื่องจากไม่ต้านเปลวเพลิง

- ท่อ PVC ห้ามเดินในอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษ เนื่องจากควันดำปิดกั้นเส้นทางหนีไฟ และเป็นพิษเมื่อสูดดมเข้าไป

- การใช้สายชนิด XLPE ร้อยท่อจะต้องระวังว่าอุณหภูมิใช้งานของท่อต้องไม่ต่ำกว่า 90°C เช่น ห้ามร้อยในท่อ PVC เป็นต้น หรือโดยการลดขนาดกระแสของสายลงเพื่อให้อุณหภูมิของสายไฟฟ้าไม่เกินอุณหภูมิใช้งานของท่อ

- ต้องมีการจับยึดท่อโลหะแข็งให้มั่นคงตามระยะที่ระบุไว้ตามตารางที่ 3.8 และจับยึดท่อภายในระยะ 1 เมตรจากจุดต่อท่อ กล่องต่อสาย ข้อต่อเปิด

ตารางที่ 3.8 ระยะจับยึดท่อโลหะแข็ง

ขนาดท่อโลหะแข็ง (มม.)	ระยะจับยึด (ม.)
15-25	1.0
32-50	1.5
65-80	1.8
90-125	2.1
150	2.5

3.3.3 การเดินสายร้อยท่อโลหะอ่อน (Flexible Metal Conduit)

ท่อชนิดนี้ทำจากเหล็กชุบสังกะสีมีลักษณะเป็นแผ่นม้วนล็อกเข้าด้วยกันเพื่อให้สามารถโค้งงอหรือม้วนได้ ใช้เดินเข้าอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือกล่องต่อสาย ไม่มีจุดประสงค์เพื่อใช้เดินแทนท่อโลหะ

การใช้งาน ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้ ทุกข้อ

- ใช้ในสถานที่แห้ง เพราะท่อกันน้ำเข้าไม่ได้
- ใช้ในสถานที่เข้าถึงได้ และเพื่อป้องกันสายทางกายภาพ หรือเพื่อการเดินซ่อนสาย
- ใช้เดินเข้าบริภัณฑ์ไฟฟ้าหรือกล่องต่อสายและความยาวไม่เกิน 1.80 ม.

ห้ามใช้

- ในปล่องลิฟต์หรือปล่องขนของ
- ในห้องแบตเตอรี่ เนื่องจากจะเกิดการผุกร่อนจากไอกรดหรือไอด่าง
- ในบริเวณอันตราย (hazardous area) นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่น ถ้าจะใช้ได้ก็จะต้องระบุไว้ในมาตรฐานฯ เรื่องบริเวณอันตรายว่าให้ใช้ได้เท่านั้น

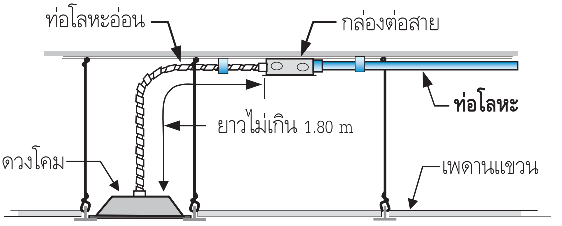
หมายเหตุ *บริเวณอันตรายนี้หมายถึง บริเวณที่มีสารไวไฟพร้อมที่จะเกิดการลุกไหม้ได้*

- ฝังดินหรือฝังในคอนกรีต
- ในสถานที่เปียก นอกจากจะใช้สายไฟชนิดที่เหมาะสมและป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสายที่ท่อโลหะอ่อนต่ออยู่
- ท่อโลหะอ่อนที่มีขนาดเล็กกว่า 15 มม. <u>ยกเว้น</u> ท่อโลหะอ่อนที่ประกอบมากับขั้วหลอดไฟและยาวไม่เกิน 1.80 ม.

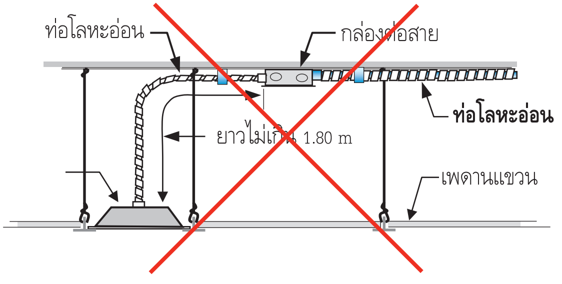
จำนวนสายไฟฟ้า จำนวนสายไฟฟ้าในท่อต้องไม่เกินตามที่กำหนดในตารางที่ 3.6

การติดตั้งใช้งาน

- มุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา
- ท่อร้อยสายต้องต่อลงดิน แต่ห้ามใช้ท่อเป็นตัวนำแทนสายดิน



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างการติดตั้งท่อโลหะอ่อน
(ใช้ต่อจากกล่องต่อสายไปยังดวงโคม)



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการติดตั้งท่อโลหะอ่อนที่ผิด
(ใช้ท่อโลหะอ่อนแทนท่อโลหะในระบบเดินสายปกติ)

ข้อควรระวังในการติดตั้งใช้งาน

- จำนวนสายไฟฟ้าต้องไม่เกินที่กำหนดในมาตรฐานฯ การเดินสายหลายเส้นจะต้องปรับลดขนาดกระแสของสายด้วย
- ข้อต่อท่อต้องเป็นชนิดที่ออกแบบให้ใช้ได้กับท่อโลหะอ่อนเท่านั้น
- การใช้ท่อโลหะอ่อนแทนการเดินท่อโลหะหรืออโลหะนั้น ไม่ถูกต้อง

3.3.4 การเดินสายร้อยท่อโลหะอ่อนกันของเหลว (Liquid tight Flexible Metal Conduit)

รูปที่ 3.15 ตัวอย่างท่อโลหะอ่อนกันของเหลวและข้อต่อยึด

มีลักษณะเหมือนท่อโลหะอ่อนแต่หุ้มด้วย PVC หรือ PE ตามความต้องการใช้งาน ถ้าใช้ในอาคาร PE ต้องเป็นชนิดต้านเปลวเพลิง มีความยืดหยุ่นได้ดีและกันน้ำได้ ใช้ป้องกันสายไฟจากการขูดขีด ควัน ฝุ่น คราบน้ำ คราบน้ำมัน ได้ดี

การใช้งาน ใช้ในสถานที่ต้องการความอ่อนตัว หรือเพื่อป้องกันสายจากของแข็ง ของเหลว หรือใช้ในบริเวณอันตราย

ห้ามใช้ ในกรณีดังต่อไปนี้

- ท่อที่มีขนาดเล็กกว่า 15 มม. หรือใหญ่กว่า 100 มม.
- ในที่ซึ่งอาจได้รับความเสียหายทางกายภาพภายหลังการติดตั้งใช้งาน
- ที่ซึ่งอุณหภูมิของสายไฟฟ้าและอุณหภูมิโดยรอบสูงจนทำให้ท่อเสียหาย

จำนวนสายไฟฟ้า จำนวนสายไฟฟ้าในท่อต้องไม่เกินตามที่กำหนดในตารางที่ 3.6

การติดตั้งใช้งาน

- มุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360°C
- ต้องติดตั้งระบบท่อให้เสร็จก่อน จึงทำการเดินสายไฟฟ้า
- ห้ามใช้ท่อโลหะอ่อนกันของเหลวเป็นตัวนำสำหรับต่อลงดิน
- ในการติดตั้งท่อโลหะอ่อนกันของเหลว จะต้องใช้กับข้อต่อยึดซึ่งได้รับการรับรองเพื่อใช้กับงานชนิดนี้เท่านั้น
- การจับยึด ต้องจับยึดให้มั่นคง แข็งแรง ระยะห่างระหว่างจุดจับยึดจุดแรกกับอุปกรณ์หรือกล่องต่อสายไม่เกิน 0.90 ม. และระหว่างจุดจับยึดด้วยกันไม่เกิน 3.0 ม.

ข้อควรระวังในการติดตั้งใช้งาน

- จำนวนสายไฟฟ้าต้องไม่เกินที่กำหนดในมาตรฐานฯ การเดินสายหลายเส้นจะต้องปรับลดขนาดกระแสของสายด้วย

- ข้อต่อท่อต้องเป็นชนิดที่ออกแบบให้ใช้ได้กับท่อโลหะอ่อนเท่านั้น

- การใช้สายชนิด XLPE ร้อยท่อจะต้องระวังว่าอุณหภูมิใช้งานของท่อต้องไม่ต่ำกว่า 90°C หรือโดยการลดขนาดกระแสของสายลงเพื่อให้อุณหภูมิของสายไฟฟ้าไม่เกินอุณหภูมิที่ท่อสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

3.3.5 การเดินสายในรางเดินสาย (Wireways)

รางเดินสายทำจากโลหะแผ่นพับขึ้นรูปมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมมีฝาปิด ป้องกันการผุกร่อนด้วยการพ่นสี หรือชุบสังกะสี มีทั้งชนิดที่เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป และชนิดที่ทำขึ้นเอง สามารถเดินสายได้จำนวนมาก จึงเป็นที่นิยมใช้งานเพราะมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่ำกว่าเดินสายร้อยท่อ และทำงานได้สะดวกและรวดเร็วกว่า

การใช้งาน ในกรณีดังต่อไปนี้

- อนุญาตให้ใช้รางเดินสายได้เฉพาะการติดตั้งในที่เปิดโล่งซึ่งสามารถเข้าถึงเพื่อตรวจสอบและบำรุงรักษาได้ตลอดความยาวของรางเดินสาย กรณีเดินในฝ้าเพดาน ฝ้าเพดานนั้นต้องเป็นชนิดเปิดได้ เช่นชนิด T-bar หรือชนิดฉาบเรียบที่มีช่องเปิดซึ่งสามารถเข้าถึงเพื่อตรวจสอบและบำรุงรักษาได้ตลอดความยาวของรางเดินสาย ทั้งนี้ต้องมีที่ว่างเหนือรางเดินสายไม่น้อยกว่า 200 มม. ยกเว้นช่วงที่ผ่านใต้คาน ถ้าติดตั้งภายนอกอาคารต้องเป็นชนิดที่มีระดับการป้องกันไม่น้อยกว่า IPx4 มีความแข็งแรงเพียงพอ ไม่เสียรูปภายหลังการติดตั้งใช้งาน

ห้ามใช้

- ใช้รางเดินสายในบริเวณที่อาจเกิดความเสียหายทางกายภาพ ในบริเวณที่มีไอที่ทำให้ผุกร่อน หรือในบริเวณอันตราย นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่น

- ห้ามต่อรางเดินสายตรงจุดที่ผ่านผนังหรือพื้น

- เป็นตัวนำสำหรับต่อลงดิน

- ขนาดใหญ่เกิน 150×300 มม.

จำนวนสายไฟฟ้า พื้นที่หน้าตัดของตัวนำและฉนวนทั้งหมดรวมกันต้องไม่เกินร้อยละ 20 ของพื้นที่หน้าตัดภายในรางเดินสาย การคิดพื้นที่หน้าตัดรวมให้คิดสายทุกเส้นที่วางในรางเดินสายนั้น และต้องระวังเรื่องขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจะลดลงถ้าจำนวนสายไฟฟ้านับเฉพาะเส้นที่มีกระแสไหลรวมกันแล้วเกิน 30 เส้น ดังนั้นการเดินสายในรางเดินสายจึงไม่ควรให้สายเส้นที่มีกระแสไหลเกิน 30 เส้น

วงจร 1 เฟส 2 สาย นับสายเส้นที่มีกระแสไหล 2 เส้น และวงจร 3 เฟส 4 สาย นับสายเส้นที่มีกระแสไหล 3 เส้น โดยถือว่าสายนิวทรัลไม่มีกระแสไหล และสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าถือเป็นสายเส้นที่ไม่มีกระแสไหล

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าในรางเดินสาย เนื่องจากการเดินสายในรางเดินสายไม่จัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 ถึง 7 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าจึงกำหนดให้ใช้ตารางที่ 5-20 สำหรับสาย PVC และตารางที่ 5-27 สำหรับสาย XLPE ดูจากช่องตัวนำกระแส 3 เส้น ทั้งวงจร 1 เฟส และ 3 เฟส และไม่ต้องปรับค่าเนื่องจากจำนวนกลุ่มวงจรตามตารางที่ 5-8 ถ้าตัวนำเส้นที่มีกระแสไหลรวมกันแล้วไม่เกิน 30 เส้น

การติดตั้งใช้งาน

- การติดตั้งภายนอกอาคารต้องเป็นชนิดกันฝน (raintight) และต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะไม่เสียรูปภายหลังการติดตั้ง

- สายไฟฟ้าแกนเดียวของวงจรเดียวกันรวมทั้งสายดิน ต้องวางเป็นกลุ่มเดียวกันแล้วมัดรวมเข้าด้วยกัน ระยะห่างในการมัดสายใช้ตามความเหมาะสม

- รางเดินสายต้องจับยึดอย่างมั่นคง แข็งแรง ทุกระยะไม่เกิน 1.50 ม. แต่ยอมให้จุดจับยึดห่างมากกว่า 1.50 ม. ได้ในกรณีที่จำเป็น แต่ต้องไม่เกิน 3.0 ม.

- รางเดินสายในแนวดิ่งต้องจับยึดอย่างมั่นคงแข็งแรงทุกระยะไม่เกิน 4.50 ม. ห้ามมีจุดต่อเกิน 1 จุดในแต่ละระยะจับยึด จุดจับยึดต้องห่างจากปลายรางไม่เกิน 1.50 ม. ด้วย

- อนุญาตให้ต่อสายเฉพาะในส่วนที่สามารถเปิดออก และเข้าถึงได้สะดวกตลอดเวลาเท่านั้น และพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ และฉนวนรวมทั้งหัวต่อสายรวมกันแล้วต้องไม่เกินร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดภายในของรางเดินสาย ณ จุดต่อสาย

- ในรางเดินสายตรงตำแหน่งที่ต้องมีการดัด งอสาย เช่นปลายทาง ตำแหน่งที่มีท่อร้อยสายเข้าออกรางเดินสาย ต้องจัดให้มีที่ว่างสำหรับดัดงอสายอย่างเพียงพอ และมีการป้องกันไม่ให้มีส่วนคมที่อาจบาดสายได้

- จุดปลายรางเดินสายต้องปิด

ข้อควรระวังในการติดตั้งใช้งาน

- จำนวนสายไฟฟ้าต้องไม่เกินตามที่กำหนดในมาตรฐานฯ

- ถ้าสายไฟฟ้าเส้นที่มีกระแสไหลเกิน 30 เส้น ต้องปรับลดขนาดกระแสของสายตามตารางที่ 5-8 ด้วย

- การเดินสายในแนวดิ่ง ต้องมีการจับยึดทุกระยะตามที่กำหนดในมาตรฐานฯ

- รางเดินสายที่เดินผ่านผนังหรือพื้น ต้องมีการป้องกันไฟลุกลามด้วย

- รางเดินสายอาจขนาดความต่อเนื่องทางไฟฟ้า โดยเฉพาะจุดที่ต่อเข้ากับแผงสวิตช์ ถ้าไม่มั่นใจควรต่อเชื่อมด้วยสายต่อฝาก (bonding jumper)

ตัวอย่างที่ 3.2 ต้องการกำหนดขนาดรางเดินสายซึ่งมีสายไฟฟ้าชนิด IEC 01 ดังนี้

1. วงจร 3 เฟส 4 สาย จำนวน 3 วงจร ใช้สายวงจรขนาด 10 ตร.มม. และสายดินขนาด 4 ตร.มม. (สายขนาด 10 ตร.มม. จำนวน 12 เส้น และขนาด 4 ตร.มม. จำนวน 3 เส้น)

2. วงจร 1 เฟส 2 สาย จำนวน 8 วงจร ใช้สายวงจรขนาด 6 ตร.มม. และสายดินขนาด 4 ตร.มม. (สายขนาด 6 ตร.มม. จำนวน 16 เส้น และขนาด 4 ตร.มม. จำนวน 8 เส้น)

วิธีทำ

จากตารางในภาคผนวก B ได้พื้นที่หน้าตัดสายรวมฉนวนดังนี้

สายขนาด 4 ตร.มม. พื้นที่หน้าตัด 16.6 ตร.มม. (จำนวน 11 เส้น)

สายขนาด 6 ตร.มม. พื้นที่หน้าตัด 21.2 ตร.มม. (จำนวน 16 เส้น)

สายขนาด 10 ตร.มม. พื้นที่หน้าตัด 35.3 ตร.มม. (จำนวน 12 เส้น)

รวมพื้นที่หน้าตัดสายทุกเส้น = $(16.6\times11) + (21.2\times16) + (35.3\times12) = 945.4$ ตร.มม.

พื้นที่หน้าตัดรางเดินสาย (พื้นที่หน้าตัดสายไม่เกิน 20%) $\geq 945.4/0.2 \geq 4727$ ตร.มม.

เลือกใช้รางขนาด 50×100 ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด 5,000 ตร.มม.

หมายเหตุ *สายไฟฟ้าเส้นที่มีกระแสไหลจำนวน = 16+12 = 28 เส้น (ไม่เกิน 30 เส้น) ไม่ต้องปรับลดขนาดกระแส ดังนั้นถ้าต้องการหาขนาดกระแสของสายขนาด 10 ตร.มม. จากตารางที่ 5-20 จะได้ = 44 A*

3.3.6 การเดินสายในช่องเดินสายอโลหะบนพื้นผิว (Surface Nonmetallic Raceway)

รูปที่ 3.16 ช่องเดินสายอโลหะบนพื้นผิว

ช่องเดินสายอโลหะบนพื้นผิวทำด้วยพลาสติกชนิดหนึ่ง มีคุณสมบัติทนความชื้น ทนบรรยากาศที่มีสารเคมี ต้านเปลวเพลิง ทนแรงกระแทก ไม่บิดเบี้ยวจากความร้อนในสภาวะการใช้งาน และสามารถใช้งานในที่อุณหภูมิต่ำได้ ปัจจุบันมีการใช้งานมากขึ้นเนื่องจากติดตั้งสะดวกรวดเร็ว ใช้แทนการเดินสายแบบรัดคลิปได้ดี

การใช้งาน อนุญาตให้ใช้ช่องเดินสายอโลหะบนพื้นผิวในสถานที่แห้งเท่านั้น

ห้ามใช้ ในกรณีดังต่อไปนี้

- ในที่ซ่อน เนื่องจากบำรุงรักษายากหรือไม่ได้ เพราะในการตรวจสอบ หรือเปลี่ยนสายไฟฟ้าจะต้องเปิดฝารางด้วย

- อุณหภูมิโดยรอบหรืออุณหภูมิใช้งานของสายเกินกว่าอุณหภูมิของช่องเดินสายอโลหะบนพื้นผิวที่ระบุไว้

- ที่ซึ่งอาจเกิดความเสียหายทางกายภาพได้ นอกจากเป็นชนิดที่ได้รับการรับรองว่าใช้ได้สำหรับงานนั้น ๆ

- ในระบบแรงสูง

- ในปล่องขนของหรือปล่องลิฟต์

- ในบริเวณอันตราย นอกจากจะระบุว่าใช้ได้ในเรื่องบริเวณอันตราย

การติดตั้งใช้งาน

- ห้ามต่อช่องเดินสายอโลหะบนพื้นผิว ตรงจุดที่ผ่านผนังหรือพื้น

- อนุญาตให้ต่อสายได้เฉพาะในส่วนที่สามารถเปิดออก และเข้าถึงได้สะดวกตลอดเวลาเท่านั้น และพื้นที่หน้าตัดของสายรวมทั้งหัวต่อสาย เมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกินร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดภายในของ ช่องเดินสายโลหะบนพื้นผิว ณ จุดต่อสาย

- ปลายของช่องเดินสายอโลหะบนพื้นผิว ต้องปิด

ข้อควรระวังในการติดตั้งใช้งาน

- ช่องเดินสายอโลหะบนพื้นผิว ต้องติดตั้งในที่ซึ่งเข้าถึงได้ภายหลังการติดตั้งเพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษา

- ต้องระวังเรื่องชนิดของสายไฟฟ้าที่ใช้งาน ซึ่งอุณหภูมิใช้งานของสายไฟฟ้าต้องไม่เกินอุณหภูมิที่ช่องเดินสายสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

3.4 การเดินสายบนรางเคเบิล (Cable Tray)

เป็นรางสำหรับวางสายไฟฟ้าทำจากโลหะหรืออโลหะ ที่มีใช้งานส่วนใหญ่ทำจากเหล็กป้องกันการผุกร่อนด้วยการพ่นสีหรือชุบสังกะสี แบ่งตามโครงสร้างเป็น 3 แบบคือ

1. แบบบันได
2. แบบระบายอากาศ
3. แบบด้านล่างทึบ

รางแบบบันได **รางแบบระบายอากาศ** **รางแบบด้านล่างทึบ**

รูปที่ 3.17 รางเคเบิลทั้ง 3 แบบ

โครงสร้างรางเคเบิล ต้องเป็นดังนี้

- มีความแข็งแรงและมั่นคง สามารถรับน้ำหนักสายทั้งหมดที่ติดตั้ง และไม่มีส่วนแหลมคมที่อาจทำให้ฉนวนหรือเปลือกสายชำรุด

- มีการป้องกันการผุกร่อนอย่างพอเพียงกับสภาพการใช้งานเช่น การพ่นสี และการชุบสังกะสี เป็นต้น

- ต้องมีผนังด้านข้าง และใช้เครื่องประกอบการติดตั้งที่เหมาะสม

- ถ้าเป็นรางเคเบิลอโลหะ ต้องทำด้วยวัสดุต้านทานเปลวเพลิง

การใช้งาน เนื่องจากรางเคเบิลไม่ได้ทำหน้าที่ป้องกันสายไฟฟ้าทางกายภาพ ดังนั้นสายไฟฟ้าที่วางบนรางจึงต้องมีความแข็งแรงระดับหนึ่ง สายไฟฟ้าที่อนุญาตให้วางบนรางเคเบิลได้ ต้องเป็นดังนี้

1. สายเคเบิลชนิดเอ็มไอ (mineral insulated cable) ชนิด MC (metal-clad cable) และ ชนิด AC (armored cable)

2. สายเคเบิลแกนเดียวชนิดมีเปลือกนอกทั้งในระบบแรงสูงและแรงต่ำ และขนาดไม่เล็กกว่า 25 ตร.มม.

3. สายดินทุกขนาด

4. สายเคเบิลหลายแกนในระบบแรงสูงและระบบแรงต่ำทุกขนาด

5. สายชนิดหลายแกนสำหรับควบคุมสัญญาณและไฟฟ้ากำลัง

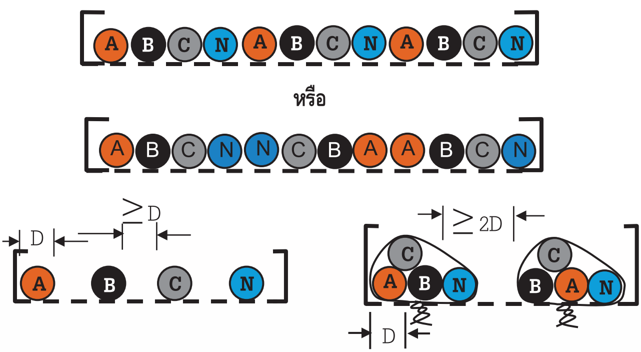
6. ท่อร้อยสายชนิดต่าง ๆ ***ยกเว้น*** ท่อ HDPE

ห้ามใช้

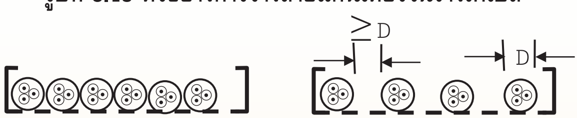
- ห้ามติดตั้งสายเคเบิลระบบแรงต่ำในรางเคเบิลเดียวกันกับสายเคเบิลระบบแรงสูง นอกจากจะมีแผ่นกั้นที่แข็งแรงและไม่ติดไฟ
- ห้ามท่อหรืออุปกรณ์สำหรับงานระบบอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องวางบนรางเคเบิล

จำนวนสายไฟฟ้า จำนวนสายเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดและวิธีการวางสายเคเบิล ปกติจะกำหนดวิธีวางสายและหาจำนวนสายเคเบิลก่อนแล้วค่อยหาขนาดรางเคเบิล การวางสายไฟฟ้าแกนเดียวในรางเคเบิลทำได้ 3 แบบคือ

- วางสายเรียงชิดติดกัน
- วางเป็นกลุ่มโดยแต่ละกลุ่มห่างกันไม่น้อยกว่า 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเส้นใหญ่กว่าที่อยู่ใกล้กัน
- วางให้มีระยะห่างแบบเส้นเว้นเส้น
- สำหรับสายเคเบิลหลายแกนวางได้ 2 แบบคือสายเรียงชิดติดกัน และวางห่างกันแบบเส้นเว้นเส้น



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างการวางสายแกนเดียวในรางเคเบิล



รูปที่ 3.19 ตัวอย่างการวางสายเคเบิลหลายแกนในรางเคเบิล

การติดตั้งใช้งาน

- รางเคเบิลต้องมีความต่อเนื่องโดยตลอดทั้งทางกลและทางไฟฟ้า
- สายที่ติดตั้งบนรางเคเบิลเมื่อเดินแยกเข้าช่องเดินสายอื่นต้องมีการจับยึดให้มั่นคง
- ต้องติดตั้งในที่เปิดเผย เข้าถึงได้ และมีที่ว่างเพียงพอเพื่อการตรวจสอบและบำรุงรักษาได้โดยสะดวก
- รางเคเบิลติดตั้งได้หลายราง โดยวางเรียงเป็นชั้น ๆ ซึ่งแต่ละชั้นต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 300 มม. เพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษาและการระบายอากาศ
- เมื่อใช้สายเคเบิลแกนเดียว สายเส้นไฟและสายนิวทรัลของแต่ละวงจร ต้องเดินรวมกันเป็นกลุ่ม (ในแต่ละกลุ่มประกอบด้วยสายนิวทรัล 1 เส้น และสายเส้นไฟเฟสละ 1 เส้น) และสายต้องมัดเข้าด้วยกันเพื่อป้องกันการเกิดกระแสไม่สมดุลเนื่องจากการเหนี่ยวนำ และป้องกันสายเคเบิลเคลื่อนตัวอย่างรุนแรงเมื่อเกิดกระแสลัดวงจร
- บนรางเคเบิลอนุญาตให้ต่อสายได้ แต่ต้องทำให้ถูกต้องตามวิธีการต่อสาย และจุดต่อสายห้ามสูงเลยขอบราง
- รางเคเบิลต้องต่อลงดิน แต่ห้ามใช้รางเคเบิลเป็นตัวนำแทนสายดิน


รูปที่ 3.20 ตัวอย่างการติดตั้งใช้งาน

ข้อควรระวังในการติดตั้งใช้งาน

- ชนิดและขนาดของสายไฟฟ้าต้องเป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐานฯ
- จำนวนสายไฟฟ้าต้องไม่เกินตามที่กำหนดในมาตรฐานฯ และต้องไม่วางสายไฟฟ้านอกเหนือจากที่กำหนดในมาตรฐานฯ
- การใช้สาย XLPE วางบนรางที่ไม่มีฝาปิดภายในอาคาร จะต้องใช้สายชนิดต้านเปลวเพลิง
- ต้องมีการจัดกลุ่มสายและมัดเข้าด้วยกันด้วย
- รางเคเบิลต้องมีความต่อเนื่องโดยตลอด
- การเดินผ่านผนังหรือพื้น ต้องมีการป้องกันไฟลุกลามด้วย

ตัวอย่างที่ 3.3 สายป้อน 3 เฟส 4 สาย จำนวน 2 วงจร ประกอบด้วยสาย NYY ชนิดแกนเดียว ขนาด 185 ตร.มม. ทั้งหมด วางบนรางเคเบิลแบบบันได วางเรียงชิดติดกัน ต้องการกำหนดขนาดรางเคเบิล กำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสาย NYY ขนาด 185 ตร.มม. = 28 มม.

วิธีทำ

สาย NYY ขนาด 185 ตร.มม. จำนวน 8 เส้น

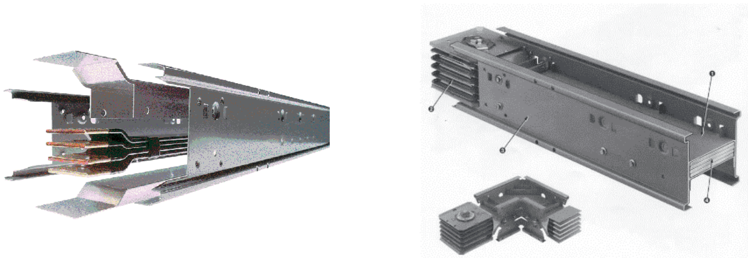
ขนาดเล็กสุดของรางเคเบิล = 8 × 28 = 224 มม.

แต่ในทางปฏิบัติจะต้องเผื่อขนาดรางเคเบิลไว้บ้างประมาณ 10-20% เพื่อให้วางสายได้สะดวก ดังนั้นขนาดรางเคเบิลจึงไม่ควรเล็กกว่า 224 × 1.2 = 268.8 มม. เลือกขนาดรางที่มีขายตามท้องตลาดคือ 300 มม.

3.5 การติดตั้งบัสเวย์หรือบัสดัก (Busways or Bus Duct)

บัสเวย์หรือบัสดักเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากผู้ผลิต ในการนำมาใช้งานจึงเป็นการนำมาติดตั้งเท่านั้นไม่ต้องมีการเดินสายไฟ ตัวนำจึงมีทั้งทองแดงและอะลูมิเนียม หุ้มด้วยฉนวนไฟฟ้า มีกล่องหรือโครงโลหะหุ้มอีกชั้นเพื่อป้องกันทางกายภาพและป้องกันการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้า มาตรฐานการผลิตจึงเป็นไปตามแต่ละผู้ผลิต ปกติจะผลิตตาม IEC 61439-6 หรือ UL 857

การใช้งาน บัสเวย์หรือบัสดักจะใช้แทนสายไฟฟ้าขนาดใหญ่เช่น วงจรเมน หรือสายป้อนเป็นต้น ติดตั้งง่าย และรวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่าย แต่มีข้อจำกัดคือจะต้องสั่งมาให้มีความยาวหรือความโค้งพอดีกับที่จะติดตั้งเพราะไม่สามารถปรับแก้ที่หน้างานได้



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างบัสเวย์แบบต่าง ๆ

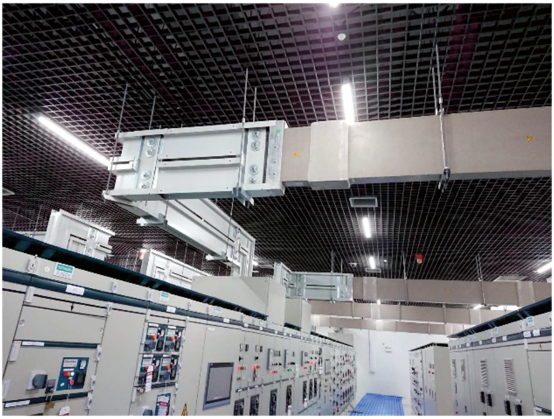
ห้ามใช้ ในกรณีดังต่อไปนี้

- บริเวณที่อาจเกิดความเสียหายทางกายภาพอย่างรุนแรง หรือมีไอทำให้เกิดการผุกร่อน

- ในปล่องขนของ หรือปล่องลิฟต์

- ในบริเวณอันตราย นอกจากจะระบุไว้ในเรื่องบริเวณอันตรายว่าให้ใช้ได้

- กลางแจ้ง สถานที่ชื้น และสถานที่เปียก นอกจากจะเป็นชนิดที่ได้ออกแบบให้ใช้ได้สำหรับงานนั้น ๆ



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างการติดตั้งใช้งานบัสเวย์

การติดตั้งใช้งาน

- บัสเวย์หรือบัสดัก ต้องติดตั้งในที่เปิดเผย มองเห็นได้ และสามารถเข้าถึงได้เพื่อการตรวจสอบและบำรุงรักษาตลอดความยาวทั้งหมด <u>ยกเว้น</u> ยอมให้บัสเวย์ติดตั้งหลังที่กำบัง เช่น เหนือฝ้าเพดานได้โดยจะต้องมีทางเข้าถึงได้และต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้ทั้งหมด

1. ไม่มีการติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินอยู่ที่บัสเวย์ นอกจากเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับดวงโคม หรือโหลดอื่น ๆ เฉพาะจุด
2. ช่องว่างด้านหลังที่กำบังที่จะเข้าถึงได้ต้องไม่ใช้เป็นช่องลมปรับอากาศ (air-handling)
3. บัสเวย์ต้องเป็นชนิดปิดมิดชิด ไม่มีการระบายอากาศ
4. จุดต่อระหว่างช่องและเครื่องประกอบ ต้องเข้าถึงได้เพื่อการบำรุงรักษา

- บัสเวย์ต้องยึดให้มั่นคงและแข็งแรง ระยะห่างระหว่างจุดจับยึดต้องไม่เกิน 1.50 ม. หรือตามการออกแบบของผู้ผลิตและที่ปลายของบัสเวย์ต้องปิด
- ในการต่อแยกบัสเวย์ต้องใช้เครื่องประกอบที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ

- การลดขนาดของบัสเวย์ ต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินเพิ่มเติม เหมือนกับการลดขนาดสายไฟฟ้า มีข้อยกเว้นว่าไม่ต้องติดตั้งก็ได้เมื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม โดยมีเงื่อนไขว่าบัสเวย์ที่เล็กลงมีขนาดกระแสไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของขนาดกระแสของบัสเวย์ต้นทาง หรือหนึ่งในสามของขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินที่อยู่ต้นทางของบัสเวย์ชุดเดียวกัน และความยาวของบัสเวย์ที่เล็กลงนั้นไม่เกิน 15 ม.

- บัสเวย์ต้องติดตั้งไม่ให้สัมผัสกับวัสดุที่ติดไฟได้ง่าย

- การต่อแยกบัสเวย์ต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินที่จุดต่อแยก เพื่อใช้ป้องกันวงจรที่ต่อแยกนั้น นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่นในเรื่องนั้น ๆ

- เปลือกหุ้มที่เป็นโลหะของบัสเวย์ต้องต่อลงดิน

- อนุญาตให้ใช้เปลือกหุ้มของบัสเวย์เป็นตัวนำสำหรับต่อลงดินได้ ถ้าบัสเวย์นั้นได้ออกแบบให้ใช้เปลือกหุ้มเป็นตัวนำสำหรับต่อลงดิน โดยมีการรับรองจากผู้ผลิต

ขนาดกระแส บัสเวย์เป็นอุปกรณ์การเดินสายชนิดเดียวที่อนุญาตให้ใช้ขนาดกระแสตามที่กำหนดโดยผู้ผลิต คิดที่อุณหภูมิโดยรอบ 40°C

ข้อควรระวังในการติดตั้งใช้งาน

1. ชนิดของบัสเวย์ต้องเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง
2. จุดต่อระหว่างท่อนของบัสเวย์ต้องขันด้วยทอร์กตามที่ผู้ผลิตกำหนด
3. การเดินผ่านผนังหรือพื้น ต้องมีการป้องกันไฟลุกลามด้วย
4. ต้องให้สามารถบำรุงรักษาได้โดยสะดวก โดยเฉพาะตรงจุดต่อ
5. ระวังน้ำหรือความชื้นเข้าระหว่างการติดตั้ง
6. การจับยึดมั่นคง แข็งแรง และได้ระดับ

3.6 ปัญหาการเดินสายที่พบบ่อย

ต่อไปนี้เป็นข้อแนะนำสำหรับงานออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายหรือปัญหาในการใช้งาน ปัญหาที่มักพบบ่อยต่อไปนี้ใช้เป็นข้อที่ควรระมัดระวัง

1. ท่อโลหะมีความร้อนสูง ความร้อนของท่อเกิดจากหลายสาเหตุเช่นการเหนี่ยวนำกระแสเกิน หรือลัดวงจรลงดิน เป็นต้น แต่ปัญหาความร้อนส่วนใหญ่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำมีสาเหตุจากการเดินสายที่ในท่อเดียวกันมีสายไฟฟ้าของวงจรเดียวกันไม่ครบทุกเส้น เป็นผลให้ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กไม่เป็นศูนย์ เส้นแรงแม่เหล็กจะเหนี่ยวนำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในท่อเหล็กและเกิดความร้อนสูง ฉนวนของสายไฟฟ้าอาจร้อนจนชำรุดและเกิดลัดวงจรในที่สุด แนวทางการป้องกันคือ การเดินสายร้อยท่อโลหะโดยเฉพาะท่อเหล็ก ในแต่ละท่อจะต้องมีสายของวงจรเดียวกันครบทุกเส้นรวมทั้งสายนิวทรัล (สายศูนย์) และสายดิน (ถ้ามี)

2. กระแสไหลในสายไฟฟ้าแต่ละเส้นของเฟสเดียวกันไม่เท่ากัน ปัญหาที่พบมากคือสายไฟฟ้าที่เดินจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังแผงเมน ซึ่งปกติจะใช้สายไฟฟ้าเฟสละหลายเส้น (เดินสายควบ) วางบนรางเคเบิล หรือในรางเดินสาย บางครั้งพบว่าในสายไฟฟ้าของเฟสเดียวกันมีกระแสไหลแต่ละเส้นไม่เท่ากัน สายเส้นที่มีกระแสไหลมากอาจ overload จนฉนวนชำรุดได้

สาเหตุที่พบส่วนใหญ่เกิดจากสายไฟฟ้าแต่ละเส้นมี impedance ซึ่งประกอบด้วยค่าความต้านทานและ inductive reactance ไม่เท่ากัน

ความต้านทานไม่เท่ากันอาจเกิดจากใช้สายต่างชนิดกัน ขนาดไม่เท่ากัน หรือความยาวไม่เท่ากัน หรือจากการต่อสายเช่น จุดต่อสายหลวม ใช้อุปกรณ์ต่อสายไม่ถูกต้อง ใช้วิธีการต่อสายไม่ถูกต้อง หรือใช้เครื่องมือไม่ถูกต้อง เป็นต้น

Inductive reactance ไม่เท่ากันสาเหตุมักเกิดจากการวางสายไฟฟ้า การวางสายที่ดีคือจะต้องวางสายเป็นกลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มประกอบด้วยสายของวงจรเดียวกันครบทุกเฟสรวมทั้งสายนิวทรัลและสายดินด้วย (ถ้ามีสายดิน) การแก้ปัญหาจะต้องจัดวางสายใหม่

3. ใช้สาย XLPE ผิดลักษณะงาน สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มีข้อดีที่ฉนวนมีความแข็ง ทนทานต่อการขูดขีดได้ดี มีอุณหภูมิใช้งาน 90°C จึงมีขนาดกระแสสูงกว่าสายพีวีซี แต่มีข้อควรระวังและอาจมีปัญหาในการใช้งานคือ

(1) การต่อสายเข้าอุปกรณ์ ความร้อนของสายจะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่สายนี้ต่ออยู่ร้อนตามไปด้วยซึ่งอาจสูงเกินพิกัดอุณหภูมิของอุปกรณ์นั้น เป็นผลให้อุปกรณ์บางชนิดชำรุด เสื่อมสภาพเร็ว หรือทำงานผิดพลาด การหลีกเลี่ยงปัญหาทำได้หลายวิธี ตัวอย่างคือไม่ต่อสายเข้าอุปกรณ์โดยตรงเช่น ต่อสายเข้าบัสบาร์ก่อนเพื่อให้ระบายความร้อนก่อนเข้าอุปกรณ์ หรือเปลี่ยนสายช่วงเข้าอุปกรณ์ให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้อุณหภูมิของสายลดลง แต่วิธีนี้จะต้องระวังเรื่องการต่อสายด้วย หรือโดยการลดกระแสลงให้เท่ากับสาย PVC เป็นต้น

(2) การเดินสายในท่ออโลหะ เช่นท่อ PE หรือ PVC ซึ่งอุณหภูมิใช้งานไม่ถึง 90°C ปัญหาที่เกิดคือท่อจะร้อนและอ่อนตัว เสื่อมสภาพเร็ว เสียความแข็งแรงที่ต้องการและอายุการใช้งานสั้นลง การแก้ไขจะต้องลดกระแสไฟฟ้าลง หรือเพิ่มขนาดสายไฟฟ้าให้ใหญ่ขึ้น หรือเปลี่ยนเป็นสาย PVC หรือเปลี่ยนเป็นเดินร้อยท่อโลหะแทน

(3) การเดินสาย XLPE รวมกับสาย PVC ในช่องเดินสายเดียวกัน ปัญหาจะเกิดเมื่อกระแสไหลเต็มพิกัด อุณหภูมิของสาย XLPE จะสูงถึง 90°C เมื่อสัมผัสกับสาย PVC จะทำให้อุณหภูมิของสาย PVC สูงตามไปด้วยและอาจเกินพิกัดของสาย จึงห้ามเดินสาย XLPE รวมกับสาย PVC ในช่องเดินสายเดียวกัน แต่ถ้าจำเป็นจะต้องลดขนาดกระแสของสาย XLPE ลงให้เท่ากับสาย PVC

4. จำนวนสายในท่อร้อยสายมากเกินไป การเดินสายร้อยท่อ มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ มีข้อกำหนดเรื่องจำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายไว้แล้ว การเดินสายจำนวนมากเกินไปจะทำให้ร้อยสายไฟฟ้ายาก ต้องใช้แรงดึงสูง ฉนวนอาจชำรุดระหว่างการติดตั้ง และอีกปัญหาหนึ่งคือความสามารถในการระบายความร้อนของสายไฟฟ้าลดลงเป็นผลให้สายร้อนเกินกำหนดได้ถึงแม้กระแสไหลไม่เกินพิกัดก็ตาม

5. จำนวนสายในรางเดินสายมากเกินไป เป็นปัญหาที่พบบ่อยเกิดใน 2 ลักษณะคือ

(1) พื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนและเปลือกของสายไฟฟ้าเกินกว่าที่กำหนดในมาตรฐานฯ คือเกิน 20% ของพื้นที่หน้าตัดรางเดินสาย เป็นผลให้ประสิทธิภาพของการระบายความร้อนลดลง สายไฟฟ้าอาจร้อนเกินพิกัดได้

(2) จำนวนสายไฟฟ้าเส้นที่มีกระแสไหลเกิน 30 เส้น และไม่มีการปรับลดขนาดกระแสของสายลงตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ (ตารางที่ 5-8) เมื่อมีกระแสไหลในสายเต็มพิกัดอาจเป็นผลให้สายไฟฟ้าร้อนเกินได้

6. มีการต่อสายในท่อร้อยสาย การเดินสายในท่อร้อยถ้าต้องต่อสายจะต้องต่อในกล่องต่อสายหรือกล่องจุดต่อไฟฟ้าเท่านั้น ห้ามต่อสายในท่อเพราะจุดต่อสายอาจชำรุดจากการลากสาย โดยเฉพาะเทปฉนวนที่หุ้มจุดต่ออยู่ เป็นอันตรายทั้งจากไฟฟ้าดูดและไฟฟ้าดับ หรือไฟกระพริบซึ่งหาจุดที่ชำรุดยาก

7. อุปกรณ์การเดินสายขาดความต่อเนื่องทางไฟฟ้า ในการเดินสายอุปกรณ์การเดินสายโลหะต้องมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าและต่อลงดินด้วย ทำได้โดยการต่อฝากให้แต่ละท่อนมีความต่อเนื่องกันทางไฟฟ้า และที่ปลายอุปกรณ์การเดินสายต่อฝากเข้ากับตู้หรือแผงสวิตช์ ซึ่งตัวตู้หรือแผงนี้ได้มีการต่อลงดินไว้แล้ว การขาดความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่มักพบมีดังนี้

(1) การเดินสายในท่อโลหะ การใช้กล่องต่อสายชนิดอโลหะและไม่มีการต่อฝากท่อร้อยสายให้ถึงกัน ท่อร้อยสายจึงขาดความต่อเนื่องทางไฟฟ้า

ปลายท่อโลหะที่เดินท่อเข้ากล่องหรือแผงสวิตช์จะต่อฝากให้ถึงกันโดยใช้ข้อต่อแบบมีเกลียว หรือถ้าเป็นท่อโลหะบางก็ใช้แบบไม่มีเกลียว แต่จะต้องขันให้แน่น ถ้าไม่มั่นใจควรต่อฝากด้วยสายไฟฟ้า

(2) การเดินสายด้วยรางเดินสายหรือรางเคเบิล รางเดินสายหรือรางเคเบิลอาจขาดความต่อเนื่องระหว่างทางเนื่องจากการต่อไม่ดีพอ หรือจุดต่อทาสีไว้และไม่ได้ขูดสีออก ถ้าไม่มั่นใจควรต่อฝากด้วยสายไฟฟ้า แต่ปัญหาที่พบมากคือที่ปลายรางไม่มีการต่อฝากเข้ากับแผงสวิตช์ทำให้ขาดความต่อเนื่องทางไฟฟ้า

การขาดความต่อเนื่องทางไฟฟ้าจะเป็นปัญหาเมื่อสายไฟฟ้าเกิดกระแสรั่วลงอุปกรณ์เดินสายโลหะ กระแสที่รั่วจะไม่สามารถไหลครบวงจรได้ หรือไหลได้น้อยเนื่องจากมีความต้านทานสูง อุปกรณ์ป้องกันจะไม่ทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้ เป็นอันตรายกับบุคคลที่สัมผัสได้

8. กล่องต่อสายอยู่ในตำแหน่งที่เข้าไม่ถึง (บนฝ้าเพดาน) กล่องต่อสายนอกจากใช้สำหรับต่อสายแล้วยังเป็นจุดที่ใช้ดึงสาย และใช้เพื่อตรวจสอบวงจรหรือจุดต่อสายเพื่อการบำรุงรักษาด้วย กล่องต่อสายจึงต้องอยู่ในตำแหน่งที่เข้าถึงได้เพื่อให้สามารถทำการบำรุงรักษาได้เช่น เปลี่ยนสายใหม่

ได้ รวมทั้งตรวจซ่อมจุดต่อสายได้ด้วย ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานฯ ในบางครั้งพบว่ามีการติดตั้งกล่องต่อสายบนฝ้าเพดานตำแหน่งที่ไม่สามารถเข้าถึงได้เมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ ทำให้ไม่สามารถซ่อมบำรุงได้ หรือถ้าทำได้ก็ต้องรื้อส่วนของอาคารออก

9. ใช้ท่อโลหะอ่อนผิดมาตรฐาน ท่อโลหะอ่อนมีข้อจำกัดในการใช้งาน ตัวอย่างที่พบการใช้งานผิดมาตรฐานฯ มีดังนี้

(1) ใช้งานผิดประเภท ท่อโลหะอ่อนใช้เพื่อเดินเข้าบริภัณฑ์ไฟฟ้า (หรืออุปกรณ์ไฟฟ้า) หรือกล่องต่อสาย แต่มักพบว่าใช้ท่อโลหะอ่อนเพื่อการเดินสายแทนการเดินสายร้อยท่อเช่นวางบนฝ้าเพดาน หรือเป็นการเดินระหว่างทางหรือระหว่างกล่องต่อสายที่มีความยาวมาก ๆ

(2) ใช้ท่อโลหะอ่อนยาวเกินกำหนด ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้ากำหนดให้ท่อโลหะอ่อนต้องมีความยาวไม่เกิน 2.0 ม. การเดินสายเข้าอุปกรณ์ที่ใช้ท่อโลหะอ่อนที่มีความยาวเกิน 2.0 ม. จึงผิดมาตรฐาน

(3) ใช้ข้อต่อผิดประเภท การต่อท่อโลหะอ่อนเข้ากับท่อโลหะหรือกล่องต่อสายจะต้องใช้ข้อต่อที่ออกแบบโดยเฉพาะ การใช้ข้อต่อที่ใช้สำหรับท่อโลหะบางมาใช้ต่อท่อโลหะอ่อนจะทำให้การต่อไม่แน่นและอาจหลุดได้ภายหลังการติดตั้งใช้งาน ทำให้ขาดความต่อเนื่องทางไฟฟ้าระบบสายดินจะล้มเหลว

10. จุดต่อบัสเวย์ไม่แน่น การติดตั้งบัสเวย์หรือบัสดักจะต้องใช้อุปกรณ์ประกอบที่ผลิตมาโดยเฉพาะและปกติผู้ผลิตจะบอกวิธีการต่อที่ถูกต้องไว้ จุดต่อไม่แน่นเกิดจากการขันโบลต์หรือนัตด้วยทอร์กที่ไม่เป็นไปตามที่ผู้ผลิตบัสเวย์กำหนด เป็นเหตุให้เกิดความร้อนสูงและจุดต่อชำรุดในที่สุด

11. การเดินสายบนรางเคเบิล

(1) ใช้สายผิดประเภท ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ กำหนดชนิดและขนาดของสายไฟฟ้าที่เดินบนรางเคเบิลไว้ ปัญหาที่พบเสมอคือใช้สายไฟฟ้าชนิดแกนเดียวไม่มีเปลือกวางบนรางเคเบิล หรือใช้สายแกนเดียวชนิดมีเปลือกที่มีขนาดเล็กกว่า 25 ตร.มม. วางบนรางเคเบิล ซึ่งผิดมาตรฐานฯ

(2) การวางสายไม่เป็นไปตามที่กำหนด การวางสายนอกเหนือจากที่กำหนดในมาตรฐานฯ จะมีปัญหาคือจะไม่สามารถกำหนดขนาดกระแสของสายไฟฟ้าได้ การวางสายจึงต้อง

เป็นไปตามที่กำหนดเท่านั้น การวางสายที่พบบ่อยคือวางสายซ้อนกัน และจำนวนสายมากเกินกว่าที่กำหนด เป็นต้น

12. ต่อสายผิดวิธีหรือเลือกอุปกรณ์ต่อสายผิด การต่อสายไฟฟ้าไม่ว่าจะต่อระหว่างสายไฟฟ้าด้วยกันหรือเป็นการต่อเข้าอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องใช้อุปกรณ์การต่อสายที่ถูกต้องเหมาะสม ปัญหาที่พบคือเลือกอุปกรณ์ต่อสายทั้งชนิดและขนาดไม่ถูกต้อง และเลือกใช้เครื่องมือไม่ถูกต้อง ปัญหาที่เกิดคือจุดต่อหลวม เกิดความร้อนสูง และเป็นสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้ได้

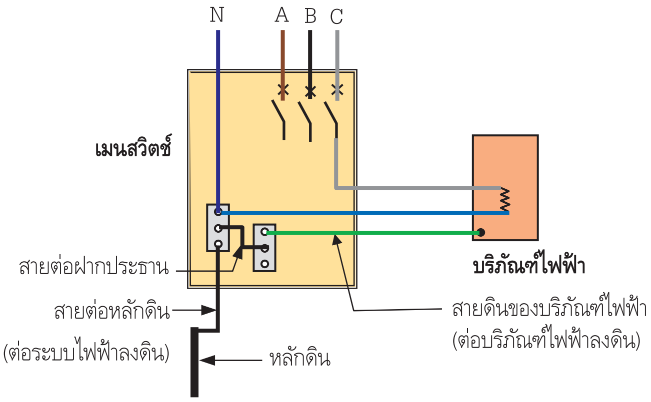
13. จุดต่อสายเข้าอุปกรณ์หลวม การต่อสายเข้าขั้วต่อสายของอุปกรณ์ไฟฟ้าเช่น หม้อแปลง มอเตอร์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะต้องใช้ทอร์กที่เหมาะสมตามที่ผู้ผลิตกำหนดไม่มากหรือน้อยเกินไป การใช้ทอร์กที่ไม่เหมาะสมจะเป็นสาเหตุให้จุดต่อหลวมและเกิดความร้อนจนชำรุดในที่สุด

14. ขนาดสายไฟฟ้าไม่สัมพันธ์กับอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน สายไฟฟ้าต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน ยกเว้นให้วงจรมอเตอร์เท่านั้น ปัญหาที่พบเสมอคือใช้สายไฟฟ้าขนาดเล็กเกินไปไม่สัมพันธ์กับเครื่องป้องกันกระแสเกินที่ใช้ กรณีเกิด overload มีกระแสไหลสูงเกินขนาดกระแสของสายไฟฟ้า เครื่องป้องกันกระแสเกินอาจไม่ปลดวงจรสายไฟฟ้าจะ overload (มีความร้อนสูงเกินพิกัด) อายุการใช้งานสั้นลงหรือชำรุดได้ในที่สุด

อีกสาเหตุหนึ่งคือขนาดกระแสของสายลดลงเนื่องจากจำนวนสายไฟฟ้าที่เดินรวมในท่อร้อยสายมากกว่า 1 กลุ่มวงจร แต่ไม่มีการคูณลดขนาดกระแสของสายไฟฟ้าลง ทำให้สายไฟฟ้า overload

บทที่ 4 การต่อลงดิน

การต่อลงดินคือการใช้ตัวนำไฟฟ้าต่อวงจรไฟฟ้าหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า (อุปกรณ์ไฟฟ้า) ลงดินโดยการต่อเข้ากับหลักดิน การต่อนี้ต้องเป็นการต่อแบบถาวร มั่นคง แข็งแรง และมีความต้านทานต่ำ



รูปที่ 4.1 ระบบการต่อลงดินสำหรับสายภายในอาคาร

4.1 ชนิดของการต่อลงดิน

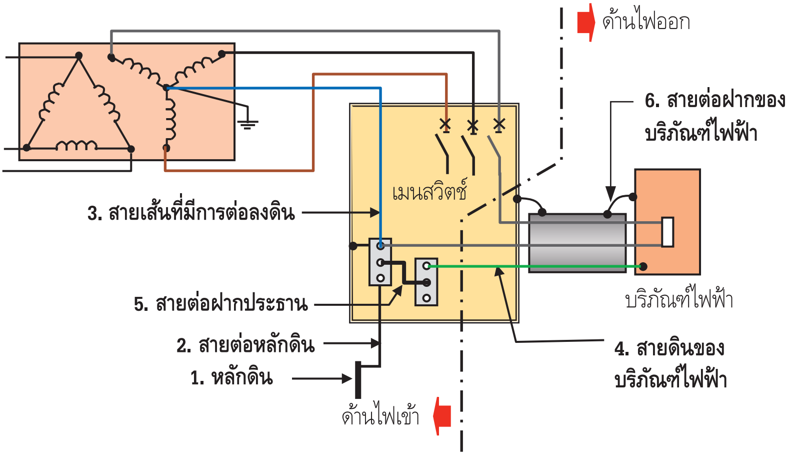
การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าภายในอาคารแบ่งเป็น 2 ชนิด ดังนี้

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (system grounding) คือการต่อระบบหรือวงจรไฟฟ้าลงดิน โดยใช้สายต่อหลักดิน (ตัวนำไฟฟ้า) ต่อเข้ากับหลักดินหรือสิ่งที่ทำหน้าที่แทนหลักดิน

2. การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า (equipment grounding) คือการต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ต้องการต่อลงดิน ทำได้โดยการเดินสายดินจากบริภัณฑ์ไฟฟ้าไปต่อลงดินที่เมนสวิตช์โดยใช้หลักดินเดียวกันกับของระบบไฟฟ้า

4.2 ส่วนประกอบของระบบการต่อลงดิน

ระบบการต่อลงดินมีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้



รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบของระบบการต่อลงดิน

1. หลักดิน (grounding electrode)
2. สายต่อหลักดิน (grounding electrode conductor)
3. สายเส้นที่มีการต่อลงดิน (grounded conductor)
4. สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (equipment grounding conductor)
5. สายต่อฝากประธาน (main bonding jumper)
6. สายต่อฝากของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (equipment bonding jumper) หรือสายต่อฝากด้านไฟออก

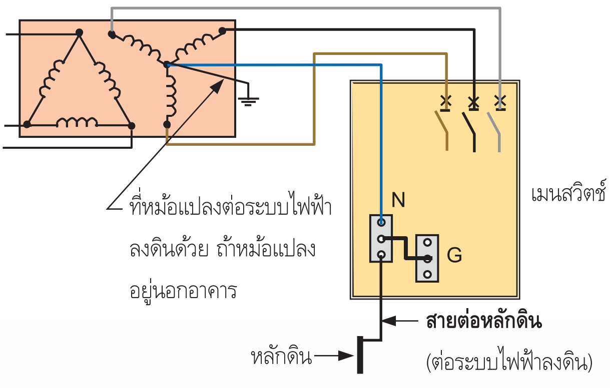
4.3 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า

ระบบการต่อลงดินจะต้องต่อลงดินทั้งระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า ดังนี้

4.3.1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

1. วิธีการต่อลงดิน วงจรไฟฟ้าต้องต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธาน (เมนสวิตช์) โดยการต่อสายศูนย์หรือสายนิวทรัลของวงจรไฟฟ้าลงดินโดยต่อเข้ากับหลักดิน และวงจรไฟฟ้าหลังจากบริภัณฑ์ประธานนี้ห้ามต่อลงดินอีก สถานที่ใช้ไฟฟ้าที่มีการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าที่ภายนอกอาคาร ที่หม้อแปลงไฟฟ้าต้องต่อระบบไฟฟ้าลงดินด้วยอีกจุดหนึ่ง (รูปที่ 4.3)

ที่เมนสวิตช์จะต่อนิวทรัลบาร์ (N) ลงดิน (รูปที่ 4.2) แต่เนื่องจากระบบไฟฟ้าทั่วไปกราวด์บาร์ (G) จะต่อเข้ากับนิวทรัลบาร์อยู่แล้ว กรณีนี้จะต่อจาก G ลงดินก็ได้



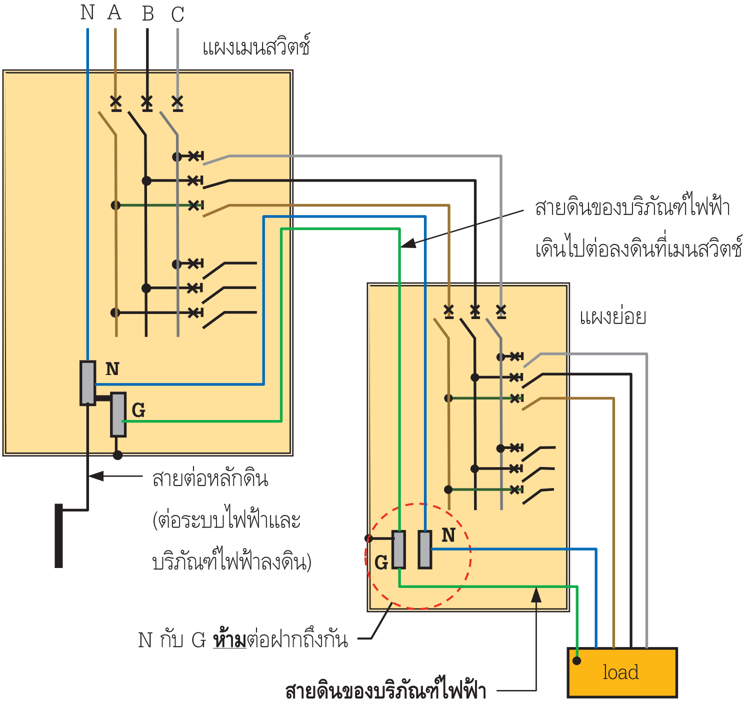
รูปที่ 4.3 วงจรการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

2. ระบบไฟฟ้าที่ห้ามต่อลงดิน ระบบไฟฟ้าต่อไปนี้ห้ามต่อลงดิน

1. วงจรปั้นจั่นที่ใช้งานอยู่เหนือวัสดุเส้นใยที่อาจลุกไหม้ได้ ซึ่งอยู่ในบริเวณอันตราย
2. วงจรในสถานดูแลสุขภาพเช่น ในห้องผ่าตัดของโรงพยาบาล หรือ คลินิก

4.3.2 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

1. วิธีการต่อลงดิน การต่อลงดินทำได้โดยการเดินสายดิน (สายเขียว) ไปต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธานโดยใช้หลักดินเดียวกันกับของระบบไฟฟ้า (รูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.4 วงจรการต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

2. บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่เมื่อเกิดไฟรั่วแล้วจะเป็นอันตรายต้องต่อลงดิน พอสรุปเป็นหลักการได้ดังนี้ (รายละเอียดเพิ่มเติมดูได้จากมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย)

(1) เครื่องห่อหุ้มและ/หรือช่องเดินสายโลหะของสายตัวนำ

(2) บริภัณฑ์ไฟฟ้าชนิดยึดติดกับที่ หรือชนิดที่มีการเดินสายถาวร ส่วนที่เป็นโลหะที่เปิดโล่งและไม่ได้เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าของบริภัณฑ์ไฟฟ้าดังกล่าวต้องต่อลงดินเมื่อมีสภาพตามข้อใดข้อหนึ่งดังต่อไปนี้

- ห่างจากพื้นหรือโลหะที่ต่อลงดินไม่เกิน 2.4 เมตรในแนวดิ่ง หรือ 1.5 เมตรในแนวระดับ และบุคคลอาจสัมผัสได้โดยบังเอิญ
- อยู่ในสถานที่เปียกหรือชื้น และไม่ได้มีการแยกอยู่ต่างหาก
- มีการสัมผัสทางไฟฟ้ากับโลหะ
- อยู่ในบริเวณอันตราย
- รับไฟฟ้าจากสายชนิดหุ้มส่วนนำกระแสไฟฟ้าด้วยโลหะ (metal-clad, metal-sheath) หรือสายที่เดินในท่อสายโลหะ
- บริภัณฑ์ไฟฟ้าประเภท I รับแรงดันเทียบกับดินเกิน 50 โวลต์

(3) บริภัณฑ์ไฟฟ้าชนิดยึดติดกับที่ทุกขนาดแรงดัน ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งและไม่เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้า บริภัณฑ์ไฟฟ้าต่อไปนี้ต้องต่อลงดิน

- โครงของแผงสวิตช์
- โครงของมอเตอร์ชนิดยึดติดกับที่
- กล่องของเครื่องควบคุมมอเตอร์ ยกเว้นฝาครอบสวิตช์ ปิด-เปิดที่มีฉนวนรองด้านใน
- บริภัณฑ์ไฟฟ้าของลิฟต์และปั้นจั่น
- บริภัณฑ์ไฟฟ้าในอู่จอดรถ โรงมหรสพ โรงถ่ายภาพยนตร์ สถานีวิทยุและโทรทัศน์
- ป้ายที่ใช้ไฟฟ้ารวมทั้งอุปกรณ์ประกอบ
- เครื่องฉายภาพยนตร์
- เครื่องสูบน้ำที่ใช้มอเตอร์

(4) บริภัณฑ์ซึ่งไม่ได้รับกระแสไฟฟ้าโดยตรง ส่วนที่เป็นโลหะของบริภัณฑ์ต่อไปนี้ต้องต่อลงดิน

- โครงและรางของปั้นจั่นที่ใช้ไฟฟ้า
- โครงของตู้โดยสารลิฟต์ที่ไม่ได้ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าแต่มีสายไฟฟ้าติดอยู่
- ลวดสลิงซึ่งใช้ยกของด้วยแรงคนและลวดสลิงของลิฟต์ที่ใช้ไฟฟ้า
- สิ่งกั้นที่เป็นโลหะ รั้ว หรือสิ่งห่อหุ้มของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่มีแรงดันระหว่างสายเส้นไฟเกิน 1,000 โวลต์
- โครงสร้างโลหะที่ใช้ติดตั้งบริภัณฑ์ไฟฟ้า

(5) บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่มีสายพร้อมเต้าเสียบ ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งของบริภัณฑ์ไฟฟ้าจะต้องต่อลงดินถ้ามีสภาพตามข้อใดข้อหนึ่งดังต่อไปนี้

- ใช้ในบริเวณอันตราย
- ใช้แรงดันไฟฟ้าวัดเทียบกับดินเกิน 150 โวลต์

ข้อยกเว้นที่ 1 มอเตอร์ที่มีการกั้น

ข้อยกเว้นที่ 2 โครงโลหะของเครื่องใช้ไฟฟ้าทางความร้อน ซึ่งมีฉนวนกั้นระหว่างโครงโลหะกับดินอย่างถาวร

ข้อยกเว้นที่ 3 บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ระบุว่าเป็นฉนวน 2 ชั้นหรือเทียบเท่า ซึ่งมีเครื่องหมายแสดงชัดเจนว่าไม่ต้องต่อลงดิน

(6) เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในสถานที่อยู่อาศัยระบุว่าต้องต่อลงดิน (เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภท I) ยกเว้น เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภท II และเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภท III

(7) เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้ในสถานที่อยู่อาศัยระบุว่าต้องต่อลงดิน

ข้อยกเว้นที่ 1 *เครื่องมือและดวงโคมไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ ที่อาจนำไปใช้ในที่เปียกหรือใช้ในบริเวณที่นำไฟฟ้าได้ ไม่บังคับให้ต่อลงดินถ้ารับพลังไฟฟ้าจากหม้อแปลงนิรภัยที่ขดลวดด้านไฟออกมีแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 50 โวลต์และไม่ต่อลงดิน*

ข้อยกเว้นที่ 2 *เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภท II และเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภท III*

4.4 ชนิดและขนาดสายดิน

4.4.1 สายต่อหลักดิน

1. ชนิด ต้องเป็นตัวนำทองแดง ชนิดตัวนำเดี่ยวหรือตีเกลียวหุ้มฉนวน และต้องเป็นตัวนำเส้นเดียวยาวตลอดโดยไม่มีการต่อระหว่างทาง แต่ถ้าเป็นจุดทดสอบตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ สามารถต่อได้ และถ้าเป็นบัสบาร์อนุญาตให้ต่อได้

2. ขนาด กำหนดจากขนาดสายประธานเส้นไฟ (สายเมนเข้าอาคาร) ตามตารางที่ 4.1 ขนาดสายใหญ่สุดคือ 95 ตร.มม.

4.4.2 สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

1. ชนิด ต้องเป็นตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนหรือเปลือย หรือเป็นเปลือกโลหะของสายเคเบิลชนิด AC, MI และ MC หรือโครงของบัสเวย์ที่ระบุให้ใช้แทนสายดินได้

หากเป็นตัวนำหุ้มฉนวน ฉนวนต้องเป็นสีเขียวหรือเขียงแถบเหลือง แต่ถ้ามีขนาดใหญ่กว่า 16 ตร.มม. ให้ทำเครื่องหมายให้เห็นได้ชัดเจนแทนได้ ทุกบริเวณที่มีจุดต่อสายและทุกปลายสาย ดังนี้

(1) ทำให้ฉนวนหรือเปลือกส่วนที่มองเห็นเป็นสีเขียว หรือเขียวแถบเหลือง

(2) ระบุด้วยตัวอักษร PE, G หรือ E

2. ขนาด กำหนดจากตารางที่ 4.2 แต่ไม่จำเป็นต้องใหญ่กว่าสายไฟฟ้าของวงจรนั้นเช่นสายวงจรขนาด 1.5 ตร.มม. สายดินก็ไม่ต้องใหญ่กว่า 1.5 ตร.มม. ถึงแม้ว่าขนาดเล็กสุดในตารางที่ 4.2 จะเป็นขนาด 2.5 ตร.มม. ก็ตาม

(1) ขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า กำหนดจากขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรนั้น ตามตารางที่ 4.2

(2) ขนาดสายดินของมอเตอร์ กำหนดจากขนาดเครื่องป้องกันโหลดเกิน (overload relay) และเลือกขนาดสายดินจากขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน ตามตารางที่ 4.2

4.4.3 สายต่อฝากประธาน

1. ชนิด เป็นสายทองแดงหรือบัสบาร์

2. ขนาด กรณีเป็นสายไฟฟ้าจะกำหนดจากขนาดสายเมนที่เดินเข้าแผงเมนสวิตช์ตามตารางที่ 4.1 เช่นเดียวกับขนาดสายต่อหลักดิน แต่มีข้อเพิ่มเติมคือ ขนาดสายต่อฝากที่กำหนดต้องมีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่เล็กกว่า 12.5% ของขนาดสายเมนด้วย สายเมนที่เดินเฟสละหลายเส้นให้รวมพื้นที่หน้าตัดของสายทุกเส้นในเฟสเดียวกันเข้าด้วยกัน การต่อฝากอาจใช้อุปกรณ์การเดินสายหรือสายไฟฟ้าก็ได้

สายต่อฝากด้านไฟเข้ากรณีสายประธานเดินในช่องเดินสายเดียวกันหรือเป็นเคเบิลเดียวกัน ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดของสายต่อหลักดินที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ 4-1 ถ้าสายเส้นไฟของตัวนำประธานมีขนาดใหญ่กว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4-1 ให้ใช้สายต่อฝากขนาดไม่เล็กกว่าร้อยละ 12.5 ของตัวนำประธานขนาดใหญ่ที่สุด กรณีเป็นการเดินสายควบให้คิดพื้นที่หน้าตัดรวมของทุกสายเส้นไฟในเฟสเดียวกัน

สายต่อฝากด้านไฟเข้ากรณีตัวนำประธานเดินควบในช่องเดินสายมากกว่า 1 ช่องเดินสายหรือเป็นสายเคเบิลมากกว่า 1 เส้น ขนาดสายต่อฝากของแต่ละช่องเดินสายหรือสายเคเบิลต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าที่กำหนดในตารางที่ 4-1 แต่ต้องไม่เล็กกว่าร้อยละ 12.5 โดยคำนวณจากผลรวมของพื้นที่หน้าตัดของสายเส้นไฟทุกเส้นในเฟสเดียวกันของแต่ละช่องเดินสายหรือสายเคเบิล

ตารางที่ 4.1
ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ขนาดตัวนำประธาน (ตร.มม.)	ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน (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 4.2
ขนาดสายดินเล็กสุดของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกิน (A)	ขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตร.มม.)
20	2.5
40	4
70	6
100	10
200	16
400	25
500	35
800	50
1000	70
1250	95
2000	120
2500	185
4000	240
6000	400

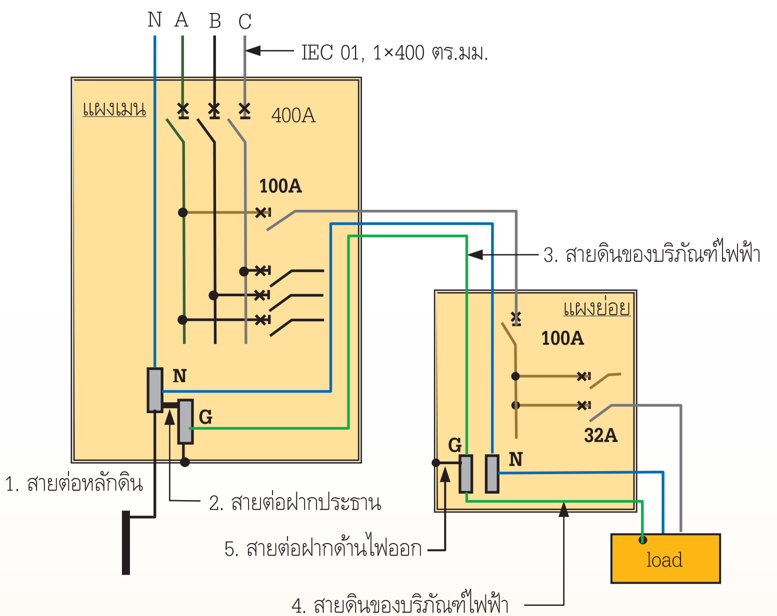
4.4.4 สายต่อฝากของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

1. ชนิด เป็นสายทองแดงหรือบัสบาร์

2. ขนาด กำหนดจากขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรนั้น ๆ ตามตารางที่ 4.2 การต่อฝากอาจใช้อุปกรณ์การเดินสายก็ได้

ตัวอย่างที่ 4.1 จากวงจรในรูปที่แสดง จงกำหนดขนาดสายดินต่อไปนี้

1. สายต่อหลักดิน
2. สายต่อฝากประธาน ระหว่าง N กับ G
3. สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า จากแผงเมนถึงแผงย่อย
4. สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า จากแผงย่อยถึงโหลด
5. สายต่อฝากของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ด้านไฟออก) ระหว่าง G กับตัวแผงย่อย



วิธีทำ

1. สายต่อหลักดิน

กำหนดจากตารางที่ 4. 1 ขนาดสายเมนต่อเฟสคือ 400 ตร.มม.

ได้สายต่อหลักดินขนาด 70 ตร.มม.

2. สายต่อฝากประธาน ระหว่าง N กับ G

กำหนดจากตารางที่ 4. 1 และต้องมีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่เล็กกว่า 12.5% ของขนาดสายเมน

ตารางที่ 4.1 ได้สายขนาด 70 ตร.มม.

12.5% ของสายเมน = $400 \times (12.5/100) = 50$ ตร.มม.

เลือกใช้ขนาดที่ใหญ่กว่าคือขนาด 70 ตร.มม.

3. สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า จากแผงเมนถึงแผงย่อย

กำหนดจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 100A ตามตารางที่ 4.2

ได้สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าขนาด 10 ตร.มม.

4. สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า จากแผงย่อยถึงโหลด

กำหนดจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 32A ตามตารางที่ 4.2

ได้สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าขนาด 4 ตร.มม.

5. สายต่อฝากด้านไฟออก ระหว่าง G กับตัวแผงย่อย

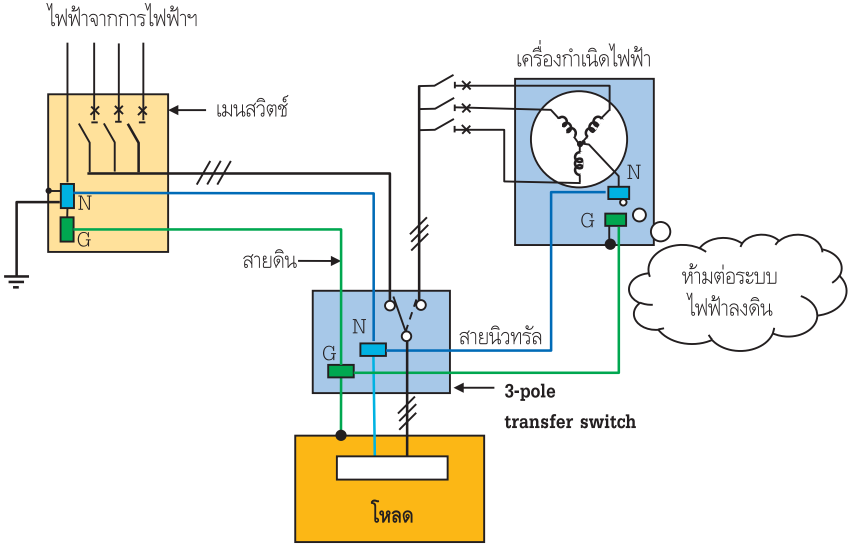
กำหนดจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 100A ตามตารางที่ 4.2

ได้สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าขนาด 10 ตร.มม.

4.5 การต่อลงดินของระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย

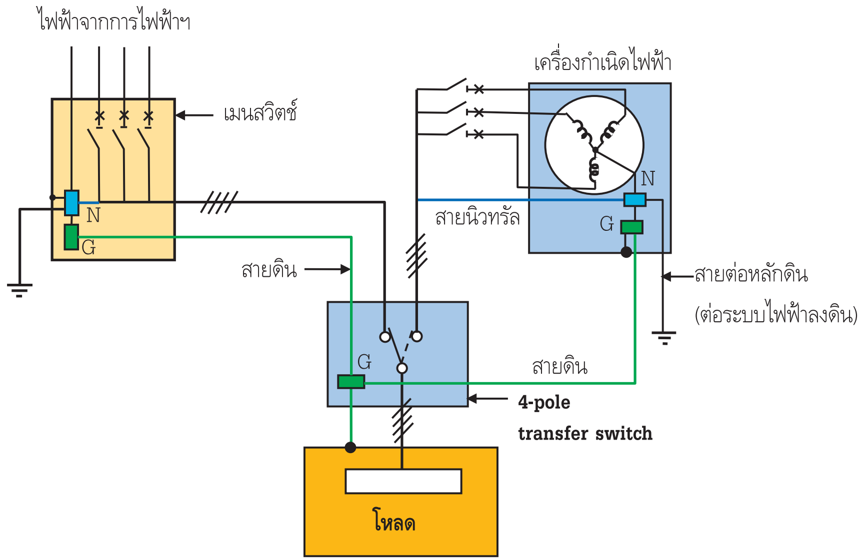
สถานที่ใช้ไฟที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องต่อลงดินด้วย วิธีการต่อลงดินแบ่งตามชนิดของ transfer switch ที่ใช้ว่าเป็นชนิดตัด 3 เส้น (3P หรือ 3 ขั้ว) หรือ 4 เส้น (4P หรือ 4 ขั้ว) ตามที่แสดงในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6

ในรูปที่ 4.5 transfer switch เป็นชนิดตัด 3 เส้น ระบบไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต่อลงดินร่วมกับของการไฟฟ้าฯ โดยใช้หลักดินร่วมกัน และที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าห้ามต่อระบบไฟฟ้าลงดินอีก ระบบนี้ไม่ถือเป็นระบบจ่ายไฟแยกต่างหาก



รูปที่ 4.5 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าเมื่อใช้ Transfer switch ชนิด 3 ขั้ว

ในรูปที่ 4.6 transfer switch เป็นชนิดตัด 4 เส้น ระบบไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต่อลงดินโดยใช้สายไฟฟ้าต่อลงหลักดินที่ติดตั้งแยกต่างหากจากของการไฟฟ้าฯ ระบบนี้จัดเป็นระบบจ่ายไฟแยกต่างหาก



รูปที่ 4.6 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าเมื่อใช้ Transfer switch ชนิด 4 ขั้ว

4.6 หลักดินและความต้านทานการต่อลงดิน

4.6.1 ชนิดของหลักดิน มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย กำหนดชนิดของหลักดินไว้ดังนี้

1. หลักดินแนวดิ่ง ถ้าเป็นหลักดินหุ้มทองแดงและชุบทองแดง ต้องเป็นไปตาม มอก.3024-2563 เล่ม 2 หรือตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฯ

2. หลักดินแบบแผ่น แผ่นตัวนำชนิดป้องกันการผุกร่อนที่มีพื้นผิวสัมผัสกับดินไม่น้อยกว่า 0.18 ตร.ม. ในกรณีที่เป็นเหล็กอาบโลหะชนิดกันการผุกร่อนต้องหนาไม่น้อยกว่า 6 มม. หากเป็นโลหะกันการผุกร่อนชนิดอื่นที่ไม่ใช่เหล็กต้องหนาไม่น้อยกว่า 1.50 มม.

3. หลักดินแบบวงแหวน หลักดินแบบวงแหวนที่ฝังอยู่รอบอาคารหรือโครงสร้างและสัมผัสดินโดยตรง ประกอบด้วยตัวนำทองแดงเปลือยยาวไม่น้อยกว่า 6.0 ม. ขนาดไม่เล็กกว่า 35 ตร.มม.

4. โครงสร้างโลหะในพื้นดิน โครงสร้างโลหะชุดเดียวหรือหลายชุดในพื้นดินที่สัมผัสโดยตรงกับดินตามแนวดิ่ง มีความยาวตั้งแต่ 3.0 ม. ขึ้นไป ซึ่งอาจมีคอนกรีตหุ้มหรือไม่หุ้มก็ได้ กรณีที่มีโครงสร้างอาคารที่เป็นโลหะในพื้นดินอยู่หลายชุด อนุญาตให้ต่อฝากโลหะเพียงชุดใดชุดหนึ่งเข้ากับระบบการต่อลงดินได้

5. หลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต หลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต มีความยาวอย่างน้อย 6.0 ม. ตามข้อ (1) หรือ (2) ต่อไปนี้

(1) แท่งเหล็กชุบสังกะสี หรือหลักดินเสริมเหล็กเคลือบด้วยตัวนำทางไฟฟ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 13 มม. ติดตั้งที่ความยาวต่อเนื่อง 6.0 ม. หรือในชิ้นส่วนที่ต่อเข้าด้วยกันด้วยลวดผูกเหล็ก การเชื่อมติดด้วยความร้อน การเชื่อม หรือด้วยวิธีการอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดผลต่อความยาวตั้งแต่ 6.0 ม. ขึ้นไป

(2) ตัวนำทองแดงขนาดไม่น้อยกว่า 25 ตร.มม. ส่วนที่เป็นโลหะต้องห่อหุ้มด้วยคอนกรีตอย่างน้อย 50 มม. และต้องวางในแนวราบภายในส่วนของฐานรากที่เป็นส่วนสัมผัสกับดินโดยตรง หรืออยู่ในโครงสร้างแนวดิ่งของอาคารที่เป็นส่วนสัมผัสกับดินโดยตรง และถ้าหลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีตหลายแท่งอยู่ในอาคารหรือโครงสร้าง อนุญาตให้ต่อเพียงชุดหนึ่งเข้ากับระบบการต่อลงดินได้

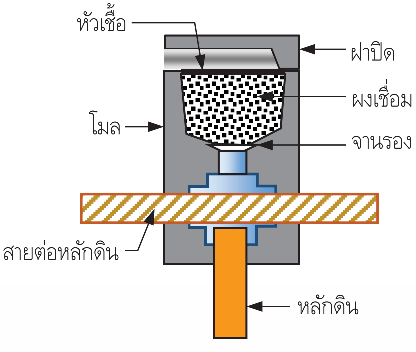
4.6.2 ความต้านทานการต่อลงดิน (Ground Resistance) ค่าความต้านทานการต่อลงดินต้องไม่เกิน 5 โอห์ม แต่สำหรับพื้นที่ที่ยากในการปฏิบัติและการไฟฟ้าฯ เห็นชอบ ยอมให้ค่าความต้านทานของหลักดินกับดินต้องไม่เกิน 25 โอห์ม หากทำการวัดแล้วยังมีค่าเกินให้ปักหลักดินเพิ่มอีก 1 แท่ง และต่อหลักดินทั้งหมดเข้าด้วยกัน

4.6.3 การต่อสายต่อหลักดินเข้ากับแท่งหลักดิน แบ่งวิธีการต่อได้เป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือการต่อด้วย clamp และเชื่อมด้วยความร้อน

1. การต่อด้วย clamp ใช้ตัวต่อที่ผลิตสำเร็จรูปซึ่งมีรูปร่างหลายแบบตามการออกแบบ วิธีนี้ทำงานสะดวกและรวดเร็วแต่มีข้อด้อยเรื่องความแข็งแรงและความคงทนในการใช้งาน

รูปที่ 4.7 ตัวอย่าง clamp สำหรับใช้ต่อสายต่อหลักดินกับหลักดิน

2. การต่อด้วยวิธีเชื่อมด้วยความร้อน (exothermic welding) วิธีนี้จะหลอมโลหะที่เป็นสายต่อหลักดินกับหลักดินให้ละลายติดเป็นเนื้อเดียวกัน มีความแข็งแรงและความคงทนในการใช้งานดีกว่าวิธีแรกมาก แต่ต้องใช้อุปกรณ์และเทคนิคในการเชื่อมบ้าง



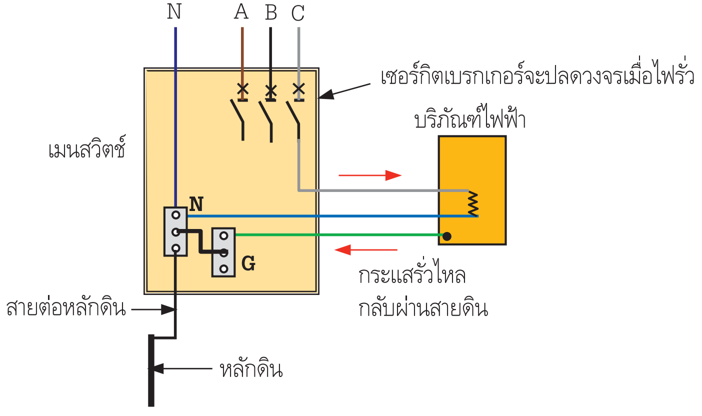
การประกอบโมลเพื่อทำการเชื่อม

ตัวอย่างที่เชื่อมเสร็จแล้ว

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างการต่อสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดินโดยเชื่อมด้วยความร้อน

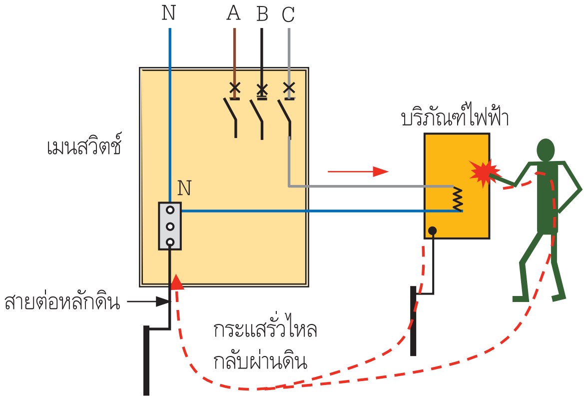
4.7 ข้อควรระวังเรื่องการต่อลงดิน

1. การต่อลงดินโดยไม่เดินสายดิน เป็นวิธีที่ผิด เนื่องจากมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ กำหนดให้การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าต้องเดินสายดินไปต่อลงดินที่เมนสวิตช์ตามที่แสดงในรูปที่ 4.9 เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้ามีไฟรั่วลงที่เปลือกหรือโครงของบริภัณฑ์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะไหลกลับไปครบวงจรโดยผ่านทางสายดินซึ่งมีความต้านทานต่ำ กระแสจึงไหลสูงทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จ่ายไฟให้เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นปลดวงจรอย่างรวดเร็ว ผู้สัมผัสบริภัณฑ์ไฟฟ้าก็จะปลอดภัย ถ้ามีบุคคลพยายามจะสับเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็จะปลดวงจรอีก ระบบนี้จึงมีความปลอดภัย แต่ต้องมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาเป็นประจำด้วย

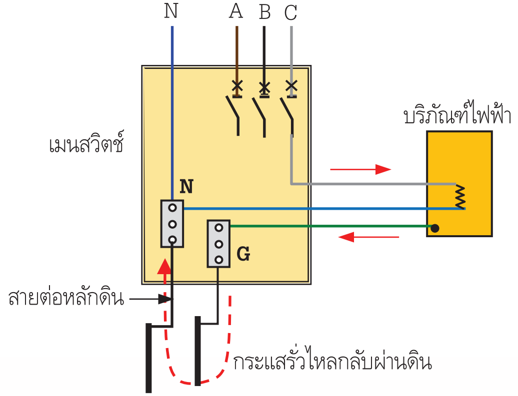


รูปที่ 4.9 วงจรการต่อลงดินที่ถูกต้อง

ในรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 เป็นการต่อลงดินที่ไม่ถูกต้อง เมื่อมีไฟรั่วลงที่เปลือกหรือโครงของบริภัณฑ์ไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าจะไหลกลับไปครบวงจรโดยผ่านทางดินซึ่งมีความต้านทานสูง กระแสไฟฟ้าจะไหลน้อยเป็นผลให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่ปลดวงจรหรือปลดวงจรช้า ซึ่งเป็นอันตราย



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการต่อลงดินที่ไม่ถูกต้อง
(ต่อจากเครื่องใช้ไฟฟ้าลงหลักดินโดยตรง)



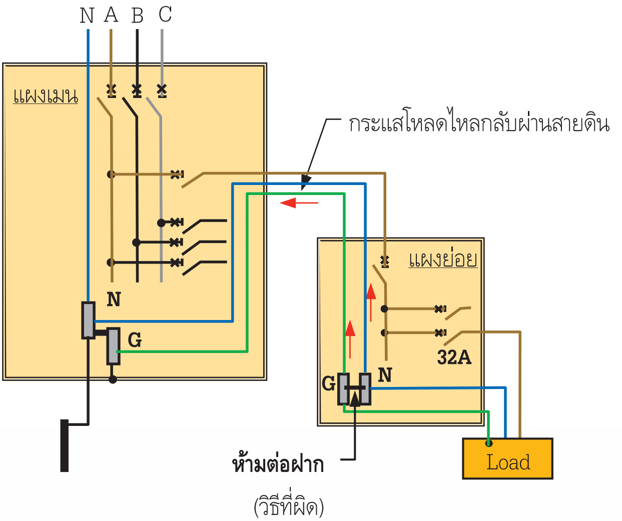
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการต่อลงดินที่ไม่ถูกต้อง
(ไม่มีการต่อฝาก N กับ G)

2. ต่อฝากบัสบาร์นิวทรัล (N) กับบัสบาร์กราวด์ (G) ที่แผงย่อย เป็นวิธีที่ผิด เพราะเป็นการเอาสายนิวทรัลต่อลงดินโดยผ่านทางสายดิน ตามที่แสดงในรูปที่ 4.12

ตามที่แสดงในรูปที่ 4.12 ที่แผงย่อยมีการต่อ N เข้ากับ G จะเป็นการต่อสายนิวทรัลควบกับสายดิน เนื่องจากที่แผงเมนสายทั้งคู่นี้ต่อกันอยู่แล้ว ผลคือกระแสที่ไหลในสายนิวทรัลจะไหลในสายดินด้วย ถ้าสายดินมีกระแสไหลผลที่ตามมาคือ

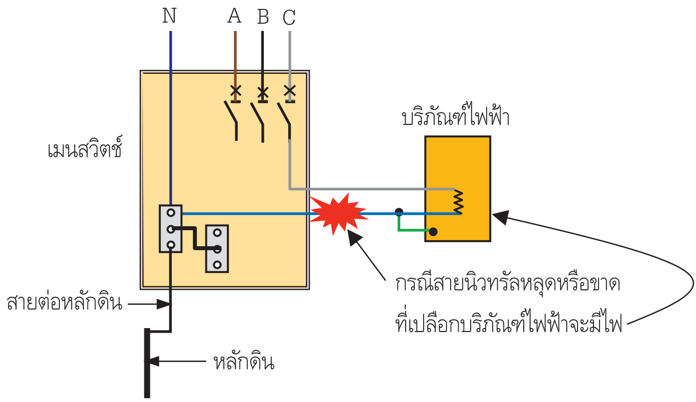
(1) กระแสที่ไหลในสายดินอาจมากจน overload และชำรุด เป็นผลให้ระบบการต่อลงดินล้มเหลว (เนื่องจากสายดินจะมีขนาดเล็กกว่าสายนิวทรัล)

(2) กระแสที่ไหลในสายดินจะเป็นผลให้ในสายดินมีแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากค่า impedance ของสายไฟฟ้า และสายดินนี้ต่ออยู่กับเปลือกโลหะของบริภัณฑ์ไฟฟ้าจึงอาจเป็นอันตรายต่อผู้ที่สัมผัสบริภัณฑ์ไฟฟ้า ความรุนแรงของอันตรายขึ้นกับขนาดแรงดันไฟฟ้าที่เปลือกของบริภัณฑ์ไฟฟ้า



รูปที่ 4.12 การต่อ N เข้ากับ G ที่แผงย่อย
(วิธีที่ผิด)

3. ใช้สายศูนย์แทนสายดิน เป็นวิธีที่ผิด เกิดจากความเข้าใจผิดที่ว่าสายนิวทรัลกับสายดินก็ต่อกันอยู่แล้วที่แผงเมน ดังนั้นที่แผงย่อยหรือที่อุปกรณ์ไฟฟ้าก็น่าจะใช้สายนิวทรัลแทนสายดินได้ด้วย ตามที่แสดงรูปที่ 4.13

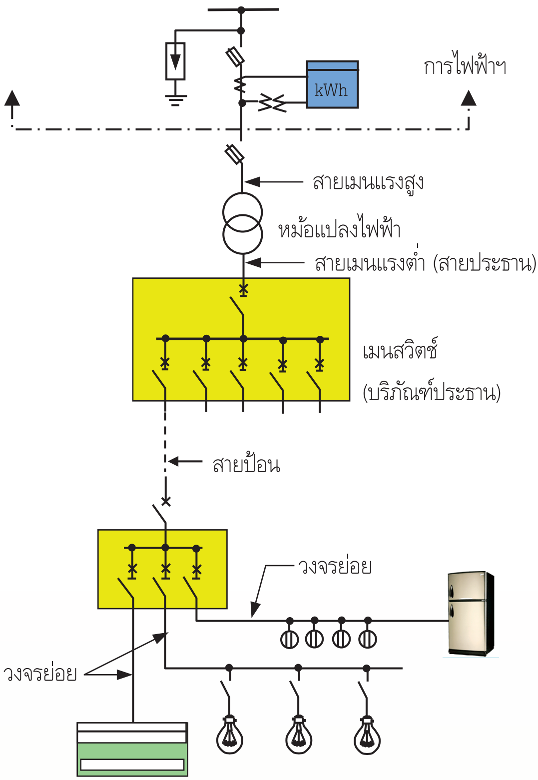


รูปที่ 4.13 การใช้สายนิวทรัลแทนสายดิน
(เป็นวิธีที่ผิด)

ในสภาพการใช้งานปกติก็จะไม่มีปัญหาหรืออันตรายใด ๆ แต่ถ้าสายนิวทรัลที่ต้นทางหลุดหรือขาดระหว่างการใช้งาน ที่เปลือกโลหะของบริภัณฑ์ไฟฟ้าจะมีแรงดันโดยไม่ต้องมีไฟรั่ว ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้สัมผัส

บทที่ 5 การคำนวณโหลดทางไฟฟ้า

การคำนวณโหลดทางไฟฟ้าเป็นการคำนวณเพื่อหาปริมาณไฟฟ้าในวงจร เริ่มตั้งแต่วงจรย่อย สายป้อน และโหลดรวมของสถานที่ใช้ไฟ ซึ่งก็จะสามารถกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินและสายไฟฟ้า รวมถึงหม้อแปลงไฟฟ้าด้วย (ถ้ามี) ส่วนประกอบหลักของวงจรไฟฟ้าเป็นตามที่แสดงในรูปที่ 5.1 สำหรับโหลดที่เป็นมอเตอร์ให้ดูรายละเอียดในเรื่องมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 5.1 วงจรการจ่ายไฟทั่วไป

วงจรย่อย หมายถึงตัวนำของวงจรระหว่างอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินจุดสุดท้ายกับจุดจ่ายไฟหรือจุดใช้ไฟ ระหว่างนั้นอาจมีสวิตช์หรือ เครื่องปลดวงจร หรือเครื่องป้องกันที่ใช้เฉพาะตัวของอุปกรณ์อีกก็ได้ แบ่งตามการออกแบบทั่วไปได้ดังนี้

- วงจรย่อยแสงสว่าง
- วงจรย่อยเต้ารับ
- วงจรย่อยเฉพาะ (โหลดเฉพาะตัว)
- วงจรย่อยมอเตอร์

สายป้อน หมายถึงตัวนำของวงจรระหว่างบริภัณฑ์ประธานกับอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อยตัวสุดท้าย

สายป้อนจึงทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับวงจรย่อยหรือสายป้อนด้วยกัน สายป้อนในวงจรไฟฟ้าจึงมีได้หลายช่วง

สายเมน หรือสายเมนเข้าอาคาร หรือตัวนำประธาน หมายถึงตัวนำที่ต่อระหว่างเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ กับบริภัณฑ์ประธาน (ทั้งระบบแรงสูงและแรงต่ำ)

ในระบบแรงต่ำ สายเมนคือสายไฟฟ้าฯ ที่ต่อจากเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้าไปยังเมนสวิตช์ (บริภัณฑ์ประธาน)

ในระบบแรงสูง จะรวมถึงสายเมนแรงสูงจากการไฟฟ้าฯ ไปยังหม้อแปลงไฟฟ้า และสายเมนแรงต่ำที่ต่อจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังเมนสวิตช์

การคำนวณโหลดทางไฟฟ้าแบ่งได้ดังนี้

1. โหลดทั่วไป
2. โหลดอาคารชุด
3. โหลดมอเตอร์ไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวเฉพาะโหลดทั่วไป และโหลดอาคารชุด สำหรับโหลดมอเตอร์อยู่ในเรื่องมอเตอร์ไฟฟ้า

5.1 การคำนวณโหลดสำหรับทั่วไป

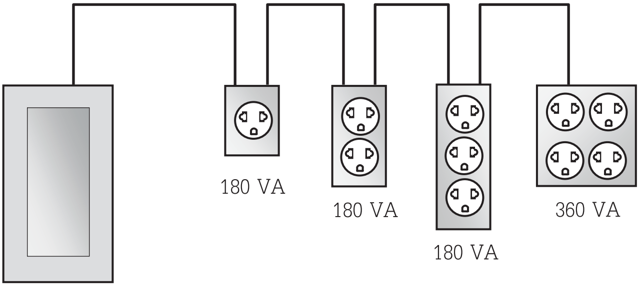
5.1.1 การคำนวณวงจรย่อย การคำนวณโหลดในวงจรย่อย จะแบ่งโหลดออกเป็น 3 กลุ่ม และคำนวณดังนี้

1. โหลดแสงสว่าง คำนวณตามโหลดที่ติดตั้งจริงในวงจร

2. โหลดเต้ารับ แบ่งเป็น

- เต้ารับใช้งานทั่วไป หมายถึงเต้ารับที่ติดตั้งโดยทั่วไปในอาคารโดยยังไม่ทราบว่าจะใช้กับโหลดอะไร จึงเป็นการคิดโหลดเฉลี่ยคือโดยประมาณชุดละ 180 VA ทั้งเต้ารับเดี่ยว คู่ และ 3 เต้า สำหรับเต้ารับชนิด 4 เต้า คิดโหลดชุดละ 360 VA (รูปที่ 5.2)

- เต้ารับที่ทราบโหลดแน่นอนแล้วเช่น เต้ารับสำหรับเครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว และตู้เย็น เป็นต้น ให้ใช้ขนาดโหลดตามขนาดเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น



รูปที่ 5.2 โหลดของเต้ารับใช้งานทั่วไป

3. โหลดอื่น ๆ คิดโหลดที่ต่อใช้งานอย่างถาวรจากวงจรนั้นเช่น เครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องปรับอากาศ และเครื่องจักร เป็นต้น ขนาดโหลดคิดตามขนาดเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น

ขนาดของวงจรย่อยกำหนดเป็น ampere แต่ในการคำนวณจะนิยมทำเป็น VA เพื่อความสะดวกในการรวมโหลดเข้าด้วยกัน ดังนี้

ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย แรงดัน 230 V

$$VA = V \times I$$

ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย แรงดัน 230/400 V

$$VA = \sqrt{3}V \times I$$

1. การกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อย ต้องไม่ต่ำกว่าผลรวมของโหลดที่คำนวณได้

เครื่องป้องกันกระแสเกินที่นิยมใช้คือเซอร์กิตเบรกเกอร์ ขนาดของวงจรย่อยไฟฟ้าแสงสว่างที่นิยมใช้และเป็นไปตามขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ตาม IEC ได้แก่ 16, 20, 25, 32, 40, 50 A ขนาดที่ใหญ่กว่านี้จะใช้กับโหลดเฉพาะตัว

2. การกำหนดขนาดสายไฟฟ้า สายไฟฟ้าต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อย และไม่เล็กกว่า 2.5 ตร.มม.

ตัวอย่างที่ 5.1 วงจรย่อยแสงสว่างวงจรหนึ่งจ่ายไฟให้หลอด fluorescent กำหนดให้กระแสหลอดละ 0.4 A จำนวน 10 หลอด ต้องการกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินและสายไฟฟ้า กำหนดให้สายไฟฟ้าเป็นชนิด IEC 01 เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง

วิธีทำ

โหลดแสงสว่าง = 10 × 0.4 = 4 A

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 16 A

ตารางที่ 5-20 (ภาคผนวก A) สาย IEC 01 เดินร้อยท่อเกาะผนังขนาด 2.5 ตร.มม. (21 A)

หมายเหตุ *สามารถใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เล็กกว่า 16 A ก็ได้ แต่เนื่องจากขนาดสายไฟฟ้าตามข้อกำหนดของวงจรย่อยต้องไม่เล็กกว่า 2.5 ตร.มม. การใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เล็กกว่านี้จึงไม่มีผลให้สายไฟฟ้าเล็กลงได้ จึงเลือกใช้ขนาด 16 A ซึ่งมีข้อดีที่จะมีสำรองไว้สำหรับการเพิ่มโหลดในอนาคตได้ด้วย*

3. การติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วของวงจรย่อย เป็นการติดตั้งเพื่อป้องกันอันตรายต่อบุคคลจากไฟฟ้าดูด ดังนี้

(1) เครื่องตัดไฟรั่วในที่อยู่อาศัยและที่คล้ายคลึงกัน วงจรย่อยต่อไปนี้นอกจากมีสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าแล้ว ต้องมีการป้องกันโดยใช้เครื่องตัดไฟรั่ว ขนาด I_{Δ_n} ไม่เกิน 30 mA เพิ่มเติมด้วย ได้แก่

- วงจรเต้ารับในบริเวณห้องน้ำ ห้องอาบน้ำ โรงจอดรถยนต์ ห้องครัว ห้องใต้ดิน
- วงจรเต้ารับในบริเวณ อ่างล้างชาม อ่างล้างมือ (บริเวณพื้นที่เคาน์เตอร์ ที่มีการติดตั้งเต้ารับภายในระยะ 1.5 เมตร ห่างจากขอบด้านนอกของอ่าง)
- วงจรไฟฟ้าเพื่อใช้จ่ายภายนอกอาคาร และบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่อยู่ในตำแหน่งที่บุคคลสัมผัสได้ทุกวงจร
- วงจรเต้ารับในบริเวณชั้นล่าง (ชั้น 1) รวมถึงในบริเวณที่อยู่ต่ำกว่าระดับผิวดิน
- วงจรย่อยสำหรับ เครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องทำน้ำร้อน อ่างอาบน้ำ

หมายเหตุ *ตำแหน่งที่บุคคลสัมผัสได้ หมายถึงอยู่ห่างจากพื้นหรือโลหะที่ต่อลงดินไม่เกิน 2.4 ม. ในแนวดิ่ง หรือ 1.5 ม. ในแนวระดับ และบุคคลสามารถเข้าถึงได้โดยไม่ตั้งใจ*

(2) เครื่องตัดไฟรั่วในสถานประกอบการที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย วงจรย่อยต่อไปนี้นอกจากมีสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าแล้ว ต้องมีการป้องกันโดยใช้เครื่องตัดไฟรั่ว ขนาด I_{Δ_n} ไม่เกิน 30 mA เพิ่มเติมด้วย ได้แก่

- วงจรย่อยสำหรับสระหรืออ่างกายภาพบำบัด ธาราบำบัด อ่างน้ำแร่ (spa) อ่างน้ำร้อน (hot tub) อ่างนวดตัว และบริภัณฑ์อื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกัน
- วงจรย่อยสำหรับ เครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องทำน้ำร้อน เครื่องทำน้ำเย็น เครื่องทำน้ำแข็ง ตู้แช่ เครื่องซักผ้า และบริภัณฑ์อื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกัน
- วงจรย่อยสำหรับเต้ารับ ในบริเวณต่อไปนี้
    (1) ห้องน้ำ ห้องอาบน้ำ ห้องครัว
    (2) สถานที่ทำงานก่อสร้าง ซ่อมบำรุง บนดาดฟ้า อู่ซ่อมรถ

(3) ท่าจอดเรือ โป๊ะจอดเรือ สะพานปลาที่ทำการเกษตร พืชสวนและปศุสัตว์

(4) การแสดงเพื่อการพักผ่อนในที่สาธารณะกลางแจ้ง

(5) งานแสดงหรืองานขายสินค้า ตลาดและที่คล้ายคลึงกัน

(6) วงจรเต้ารับที่อยู่ชั้นล่าง (ชั้น 1) ชั้นใต้ดิน รวมถึงวงจรเต้ารับที่อยู่ต่ำกว่าระดับผิวดิน

- วงจรไฟฟ้าเพื่อใช้จ่ายไฟภายนอกอาคาร และบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่อยู่ในตำแหน่งที่บุคคลสัมผัสได้ทุกวงจร ตัวอย่าง ตู้ ATM ตู้ซักผ้าหยอดเหรียญ เป็นต้น

5.1.2 การคำนวณสายป้อน เป็นการคำนวณโหลดทั้งหมดที่ต่อใช้งานในสายป้อนนั้น แต่เนื่องจากการใช้ไฟฟ้าอาจไม่พร้อมกัน ดังนั้นในการคำนวณจึงอนุญาตให้ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ได้ตามที่กำหนดในตารางที่ 5.1 ถึง 5.3 (ผู้ออกแบบอาจเลือกไม่ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ก็ได้)

เต้ารับอื่นที่ไม่ใช่เต้ารับใช้งานทั่วไปตามตารางที่ 5.2 ให้คิดโหลดจากเต้ารับตัวแรกที่มีขนาดโหลดสูงสุดบวกกับ 40% ของโหลดเต้ารับที่เหลือ

โหลดอื่นนอกเหนือจากที่กำหนดในตาราง ผู้ออกแบบสามารถกำหนดได้ตามความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริง

เพื่อความสะดวกในการคำนวน จะรวมโหลดประเภทที่ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์เดียวกันไว้ด้วยกัน เมื่อปรับด้วยดีมานด์แฟกเตอร์แล้วจึงนำมารวมกัน

1. การกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อน ต้องไม่ต่ำกว่าผลรวมของโหลดที่คำนวณได้เมื่อใช้ดีมานด์แฟกเตอร์แล้ว สำหรับโหลดอื่นดีมานด์แฟกเตอร์กำหนดตามสภาพการใช้งาน

2. การกำหนดขนาดสายไฟฟ้า

(1) สายเส้นไฟ สายไฟฟ้าต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อน และไม่เล็กกว่า 4 ตร.มม.

(2) สายนิวทรัล ในระบบ 3 เฟส 4 สาย สายนิวทรัลจะต้องมีขนาดกระแสเพียงพอที่จะสามารถนำกระแสได้ และมีขนาดไม่เล็กกว่าสายดินของวงจรนั้น (การกำหนดขนาดสายดิน ดูเรื่องการต่อลงดิน)

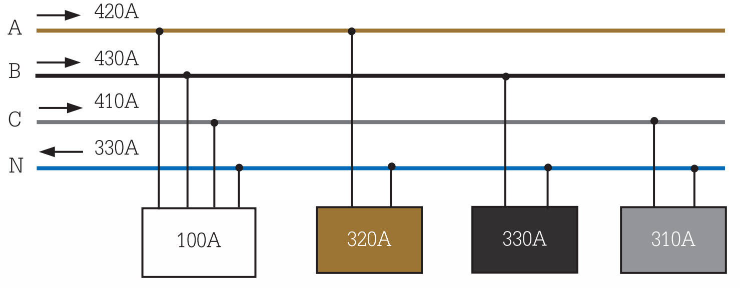
กระแสที่คาดว่าจะไหลในสายนิวทรัลคิดจากโหลด 1 เฟสของวงจร เลือกเฟสที่มากที่สุดเป็นกระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุด และดำเนินการดังนี้

(1) กรณีกระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุดไม่เกิน 200 A ขนาดกระแสของสายนิวทรัลต้องไม่ต่ำกว่าโหลดไม่สมดุลนั้น

(2) กรณีกระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุดเกิน 200 A ขนาดกระแสของสายนิวทรัลต้องไม่ต่ำกว่า 200 A + 70% ของส่วนที่เกิน 200 A

(3) ถ้าโหลดไม่สมดุลเป็นประเภทหลอดดีสชาร์จเช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือหลอดฮาโลเจน อุปกรณ์ประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์อื่นที่ทำให้มีกระแสฮาร์มอนิกส์ไหลในสายนิวทรัล สายนิวทรัลต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าโหลดไม่สมดุลนั้น

หมายเหตุ *ในบางวงจรอาจมีกระแสไหลในสายนิวทรัลสูงกว่าสายเส้นไฟได้เช่น ใน data center เป็นต้น กรณีนี้สายนิวทรัลอาจมีขนาดใหญ่กว่าสายเส้นไฟได้*



รูปที่ 5.3 แสดงกระแสสูงสุดที่คาดว่าจะไหลในสายนิวทรัล
(ใช้เพื่อการกำหนดขนาดสายนิวทรัล)

จากรูปที่ 5.3 เป็นกระแสรวมของโหลด 3 เฟส และ 1 เฟส ของแต่ละเฟส กระแสสูงสุดที่คาดว่าจะไหลในสายนิวทรัลคิดจากโหลด 1 เฟส เลือกเฟสที่มากที่สุดคือ 330 A สายนิวทรัลต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่า 330 A แต่ถ้าโหลดไม่ใช่โหลดที่มีกระแสฮาร์มอนิกส์ ขนาดกระแสของสายนิวทรัลสามารถลดลงได้ ดังนี้

ขนาดกระแสของสายนิวทรัลต้องไม่ต่ำกว่า 200 A + 70% ของส่วนที่เกิน 200 A

ขนาดกระแสของสายนิวทรัล $\geq 200 + (0.7 \times 130) \geq 291$ A

ตารางที่ 5.1 ดีมานด์แฟกเตอร์ของโหลดแสงสว่าง

ชนิดของอาคาร	ขนาดของไฟแสงสว่าง (VA)	ดีมานด์แฟกเตอร์ (%)
ที่พักอาศัย	ไม่เกิน 3,000 เกิน 3,000 แต่ไม่เกิน 120,000 ส่วนที่เกิน 120,000	100 35 25
โรงแรม รวมถึง ห้องชุดที่ไม่มีส่วนให้ผู้อยู่อาศัยประกอบอาหารได้ *	ไม่เกิน 20,000 เกิน 20,000 แต่ไม่เกิน 100,000 ส่วนที่เกิน 100,000	60 50 35
โรงเก็บพัสดุ	ไม่เกิน 12,500 ส่วนที่เกิน 12,500	100 50
อาคารประเภทอื่น	ทุกขนาด	100

หมายเหตุ ** ดีมานด์แฟกเตอร์ตามตารางนี้ ห้ามใช้สำหรับโหลดแสงสว่างในสถานที่บางแห่งของโรงแรม ซึ่งบางขณะจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าแสงสว่างพร้อมกัน เช่น ห้องอาหารหรือห้องโถง เป็นต้น*

ตารางที่ 5.2 ดีมานด์แฟกเตอร์ของโหลดเต้ารับ
ในสถานที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย

โหลดของเต้ารับรวม (คิดโหลดเต้ารับละ 180 VA)	ดีมานด์แฟกเตอร์ (%)
10 kVA แรก	100
ส่วนที่เกิน 10 kVA	50

ตารางที่ 5.3 ดีมานด์แฟกเตอร์ของโหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป

ชนิดของอาคาร	ประเภทโหลด	ดีมานด์แฟกเตอร์
1. อาคารที่อยู่อาศัย	เครื่องหุงต้มอาหาร	10 A + ร้อยละ 30 ของส่วนที่เกิน 10 A
	เครื่องทำน้ำร้อน (หรือน้ำอุ่น)	กระแสใช้งานจริงของสองตัวแรกที่ใช้งาน + ร้อยละ 25 ของตัวที่เหลือทั้งหมด
	เครื่องปรับอากาศ	100%
2. อาคารสำนักงาน และร้านค้า รวมถึง ห้างสรรพสินค้า	เครื่องหุงต้มอาหาร	กระแสใช้งานจริงของตัวที่ใหญ่ที่สุด + 80% ของตัวใหญ่รองลงมา + 60% ของตัวที่เหลือทั้งหมด
	เครื่องทำความร้อน	100% ของสองตัวแรกที่ใหญ่ที่สุด + 25% ของตัวที่เหลือทั้งหมด
	เครื่องปรับอากาศ	100%
3. โรงแรม และอาคารประเภทอื่น	เครื่องหุงต้มอาหาร	เหมือนข้อ 2
	เครื่องทำความร้อน	เหมือนข้อ 2
	เครื่องปรับอากาศประเภทแยกแต่ละห้อง	75%

ตัวอย่างที่ 5.2 สายป้อน 1 เฟส 2 สาย วงจรหนึ่งของอาคารที่พักอาศัย ประกอบด้วยโหลดตามที่แสดงในรูปข้างล่าง ต้องการกำหนดขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์และสายไฟฟ้า กำหนดให้ใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง

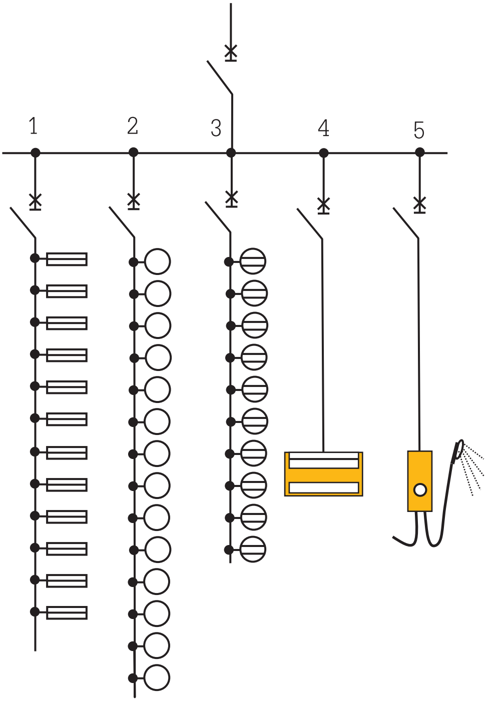
วงจรที่ 1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดชุดละ 2×40 วัตต์ กระแสชุดละ 0.4 A จำนวน 12 ชุด

วงจรที่ 2 หลอด LED กระแสชุดละ 0.1 A จำนวน 14 หลอด

วงจรที่ 3 เต้ารับใช้งานทั่วไป จำนวน 10 ชุด

วงจรที่ 4 เครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 Btu, 1.5 kVA

วงจรที่ 5 เครื่องทำน้ำอุ่นขนาด 3.3 kW



วิธีทำ

วงจรย่อยที่ 1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ โหลด = 0.4 × 12 × 230 = 1,104 VA

วงจรย่อยที่ 2 หลอด LED โหลด = 0.1 × 14 × 230 = 322 A

วงจรย่อยที่ 3 เต้ารับใช้งานทั่วไป โหลด = 180 × 10 = 1,800 VA

วงจรย่อยที่ 4 เครื่องปรับอากาศ โหลด = 1,500 VA

วงจรย่อยที่ 5 เครื่องทำน้ำอุ่น โหลด = 3.3 kW = 3,300 VA

หาโหลดรวม (แบ่งโหลดเป็นกลุ่มและใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ตามที่กำหนดข้างต้น)

1. ไฟฟ้าแสงสว่าง

ดีมานด์แฟกเตอร์ ตารางที่ 5.1

ไฟฟ้าแสงสว่าง = 1,104 + 322 = 1,426 VA

โหลดเมื่อคิดดีมานด์แฟกเตอร์แล้ว = 1,426 VA (ไม่เกิน 3,000 VA คิด 100%)

2. เต้ารับใช้งานทั่วไป

ดีมานด์แฟกเตอร์ 100% (ตารางที่ 5.2 ใช้สำหรับสถานที่ไม่ใช้ที่อยู่อาศัย)

โหลดเมื่อคิดดีมานด์แฟกเตอร์แล้ว = 1,800 VA

3. เครื่องปรับอากาศ

ดีมานด์แฟกเตอร์ ตารางที่ 5.3 (100%)

โหลดเมื่อคิดดีมานด์แฟกเตอร์แล้ว = 1,500 VA

4. เครื่องทำน้ำอุ่น

ดีมานด์แฟกเตอร์ ตารางที่ 5.3 (100%)

โหลดเมื่อคิดดีมานด์แฟกเตอร์แล้ว = 3,300 VA

โหลดรวม = 1,426 + 1,800 + 1,500 + 3,300 = 8,026 VA

เซอร์กิตเบรกเกอร์ $= \frac{8026}{230}$ = 34.9 A

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 40 A

ตารางที่ 5-20, สายไฟฟ้าต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่า 40 A ใช้สาย IEC 01 ขนาด 10 ตร.มม. (50 A) เดินร้อยท่อเกาะผนัง

5.1.3 การคำนวณโหลดรวม เป็นการคำนวณหาโหลดทั้งหมดของอาคาร (หรือหม้อแปลง) การคำนวณดำเนินการเหมือนกับการคำนวณสายป้อนรวมทั้งใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ตารางเดียวกัน โหลดที่คำนวณได้จะนำไปกำหนดขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ กรณีที่โหลดมากกว่าที่การไฟฟ้าฯ จะจ่ายด้วยไฟแรงต่ำได้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าเอง

1. การกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดจากขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าตามตารางที่ 5.4 (สำหรับการไฟฟ้านครหลวง) หรือตารางที่ 5.5 (สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค)

ตารางที่ 5.4 พิกัดสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินและโหลดสูงสุด ตามขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ (สำหรับการไฟฟ้านครหลวง)

ขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (A)	พิกัดสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน (A)	โหลดสูงสุด (A)
5 (15)	16	10
15 (45)	50	30
30 (100)	100	75
50 (150)	125	100
200	200	150
	250	200
400	300	250
	400	300
	500	400

หมายเหตุ *พิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกินมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดในตารางได้ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 1.25 เท่าของโหลดที่คำนวณได้*

ตารางที่ 5.5 ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ ขนาดสายไฟฟ้า เซฟตีสวิตช์ คัตเอาต์ และคาร์ทริดจ์ฟิวส์ สำหรับตัวนำประธาน (สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค)

ขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (A)	ขนาดตัวนำประธานเล็กที่สุดที่ยอมให้ใช้ได้ (ตร.มม.)		บริภัณฑ์ประธาน				
			เซฟตีสวิตช์หรือโหลดเบรกสวิตช์		คัตเอาต์ใช้ร่วมกับคาร์ทริดจ์ฟิวส์		เซอร์กิตเบรกเกอร์
	สาย อะลูมิเนียม	สาย ทองแดง	ขนาดสวิตช์ต่ำสุด (A)	ขนาดฟิวส์สูงสุด (A)	ขนาดคัตเอาต์ต่ำสุด (A)	ขนาดฟิวส์สูงสุด (A)	ขนาดปรับตั้งสูงสุด (A)
5 (15), 1P	10	4	30	16	20	16	16
15 (45) 1P, 3P	25	10	60	50	-	-	50
30 (100) 1P, 3P	50	35	100	100	-	-	100
5(100) 1P, 3P	10	4	30	16	20	16	16
	25	10	60	50	-	-	50
	50	35	100	100	-	-	100
200 3P (ประกอบ CT แรงต่ำ)	50	35	-	-	-	-	125
	70	50	-	-	-	-	160
	95	70	-	-	-	-	200

หมายเหตุ *1) สำหรับตัวนำประธานภายในอาคารให้ใช้สายทองแดง*

2) ขนาดสายในตารางนี้สำหรับวิธีการเดินสายลอยในอากาศวัสดุฉนวนภายนอกอาคาร หากวิธีเดินสายแบบอื่นให้พิจารณาขนาดตัวนำประธานตามบทที่ 3 แต่ทั้งนี้ ขนาดตัวนำประธานต้องรับกระแสไม่น้อยกว่าขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินตามตาราง

3) เครื่องวัดฯ ขนาด 5(15), 15(45) และ 30(100) A เป็นเครื่องวัดฯ ชนิดจานหมุน

4) เครื่องวัดฯ ขนาด 5(100) A และ 200 ประกอบ CT แรงต่ำ เป็นเครื่องวัดฯ ชนิดอิเล็กทรอนิกส์

5) 1P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 1 เฟส 2 สาย

3P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 3 เฟส 4 สาย

6) ขนาดตัวนำประธานตามตารางยังไม่ได้พิจารณาผลจากแรงดันตก

7) ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ ขนาดสายไฟฟ้า เซฟตีสวิตช์ คัตเอาต์ และคาร์ทริดจ์ฟิวส์สำหรับตัวนำประธานให้อ้างอิงกับมาตรฐานปัจจุบันของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

กรณีที่ต้องติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินจะกำหนดตามขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าคือไม่เกิน 1.0 เท่าของกระแสไฟฟ้าด้านแรงต่ำของหม้อแปลง (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในเรื่องหม้อแปลงไฟฟ้า)

2. การกำหนดขนาดสายไฟฟ้า ปกติคือสายเมน (ตัวนำประธาน) แบ่งเป็นระบบแรงต่ำและแรงสูง

(1) สายเส้นไฟ ในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง สายเมนในระบบแรงต่ำต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน และต้องไม่เล็กกว่า 4 ตร.มม. สำหรับระบบสายอากาศ และไม่เล็กกว่า 10 ตร.มม. สำหรับระบบสายใต้ดิน

ในพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขนาดสายเมนเป็นไปตามตารางที่ 5.5 และอนุญาตให้ใช้สายอะลูมิเนียมได้

สายเมนแรงต่ำกรณีรับไฟแรงสูงและมีหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาดสายเมนเป็นไปตามที่กำหนดในเรื่องหม้อแปลงไฟฟ้า

(2) สายนิวทรัล ขนาดสายนิวทรัลในระบบ 3 เฟส 4 สาย ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดทุกข้อ ต่อไปนี้

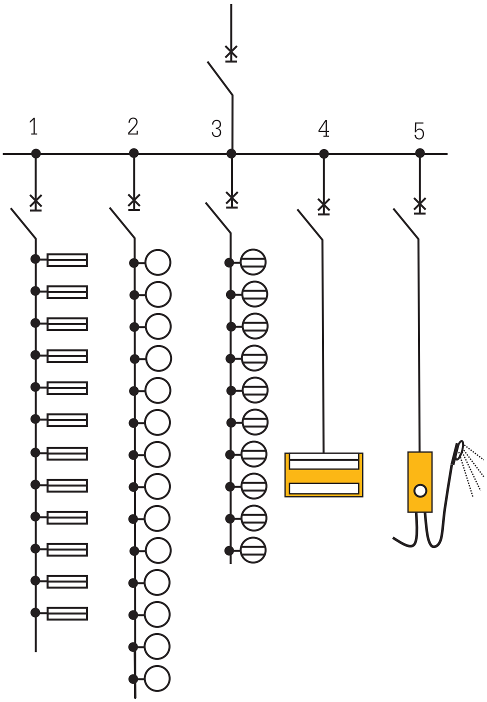
(1) มีขนาดกระแสเพียงพอที่จะรับกระแสไม่สมดุลสูงสุดที่จะไหลในสายนิวทรัลได้ เช่นเดียวกับของสายป้อน

(2) มีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดสายต่อหลักดิน ตามเรื่องการต่อลงดิน

(3) มีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่เล็กกว่า 12.5% ของสายเมนเส้นเฟส กรณีเส้นเฟสมีหลายเส้นควบกันการคิดพื้นที่หน้าตัดให้รวมสายทุกเส้นของเฟสเดียวกันเข้าด้วยกัน

หมายเหตุ *กรณีเดินสายควบ จำนวนสายนิวทรัลควรเท่ากับจำนวนสายควบของแต่ละเฟส เพื่อให้สามารถจัดกลุ่มได้ถูกต้องเหมาะสม คือในแต่ละกลุ่มต้องมีสายครบทุกเฟสรวมทั้งสายนิวทรัลด้วย*

ตัวอย่างที่ 5.3 บ้านพักอาศัยหลังหนึ่งในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง ประกอบโหลดตามที่แสดงข้างล่าง ต้องการกำหนดขนาดเครื่องวัดฯ เมนสวิตช์ และขนาดสายเมน กำหนดให้สายไฟฟ้าเป็นชนิด IEC 01 เดินลอยในอากาศ



วิธีทำ

วงจรที่ 1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ โหลด	= 0.4 × 12 × 230	= 1,104 VA
วงจรที่ 2 หลอด LED โหลด	= 0.1 × 14 × 230	= 322 A
วงจรที่ 3 เต้ารับใช้งานทั่วไป โหลด	= 180 × 10	= 1,800 VA
วงจรที่ 4 เครื่องปรับอากาศ โหลด	= 6 × 230	= 1,380 VA
วงจรที่ 5 เครื่องทำน้ำอุ่น โหลด	= 3.3 kW	= 3,300 VA

หาโหลดรวม

1. ไฟฟ้าแสงสว่าง

ดีมานด์แฟกเตอร์ ตารางที่ 5.1

ไฟฟ้าแสงสว่าง = 1,104 + 322 = 1,426 VA

โหลดเมื่อคิดดีมานด์แฟกเตอร์แล้ว = 1,426 VA (ไม่เกิน 3,000 VA คิด 100%)

2. เต้ารับใช้งานทั่วไป

ดีมานด์แฟกเตอร์ 100% (ตารางที่ 5.2 ใช้สำหรับสถานที่ไม่ใช้ที่อยู่อาศัย)

โหลดเมื่อคิดดีมานด์แฟกเตอร์แล้ว = 1,800 VA

3. เครื่องปรับอากาศ

ดีมานด์แฟกเตอร์ ตารางที่ 5.3 (100%)

โหลดเมื่อคิดดีมานด์แฟกเตอร์แล้ว = 1,380 VA

4. เครื่องทำน้ำอุ่น

ดีมานด์แฟกเตอร์ ตารางที่ 5.3 (100%)

โหลดเมื่อคิดดีมานด์แฟกเตอร์แล้ว = 3,300 VA

โหลดรวม = 1,426 + 1,800 + 1,380 + 3,300 = 7,906 VA

กระแสโหลด = 7,906/230 = 34.4 A

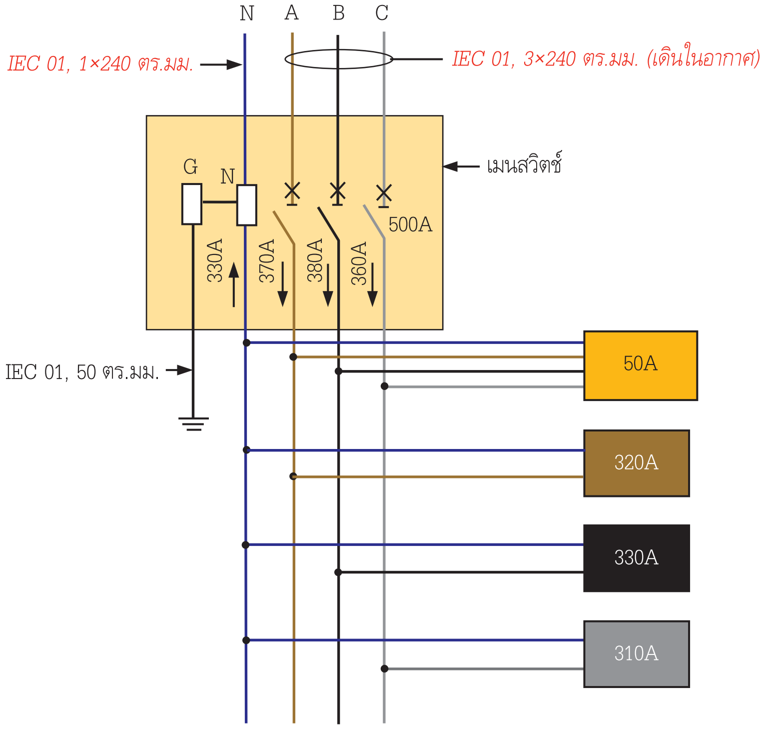
ตารางที่ 5.4 ได้เครื่องวัดขนาด 30(100) A

เมนสวิตช์, ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ไม่เกิน 100 A

ตารางที่ 5-22 (ภาคผนวก A) ขนาดสายเมน เลือกจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ 100 A ได้ IEC 01 ขนาด 25 ตร.มม. (113 A)

หมายเหตุ *หรือเลือกเมนสวิตช์ขนาดไม่เล็กกว่า 1.25 เท่าของกระแสโหลดคือ ≥ 1.25 × 34.4 ≥ 43 A เลือกเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 63 A ก็ได้ ซึ่งขนาดสายเมนจะเล็กลงมีข้อดีที่ประหยัดกว่า แต่ถ้าใช้เมนสวิตช์ขนาด 100 A จะมีข้อดีตรงที่จะมีเหลือเผื่อไว้สำหรับการเพิ่มโหลดในอนาคตได้อีก*

ตัวอย่างที่ 5.4 อาคารสำนักงานแห่งหนึ่งมีโหลดรวมของอาคารที่คิดดีมานด์แฟกเตอร์แล้ว ตามที่แสดงในวงจร ต้องการกำหนดขนาดสายเมน กำหนดให้โหลดของวงจรเป็นชนิดที่มีฮาร์มอนิกส์



วิธีทำ

ขนาดสายเมน ตารางที่ 5-22 (ภาคผนวก A) เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 500 A สายเมนเดินในอากาศ

สายเส้นเฟส ได้สาย IEC 01 ขนาด 300 ตร.มม. (573 A)

ขนาดสายนิวทรัล จากข้อกำหนดการกำหนดเรื่องการกำหนดขนาดสาย เป็นดังนี้

<u>เงื่อนไขที่ 1</u> มีขนาดกระแสเพียงพอที่จะรับกระแสไม่สมดุลสูงสุดที่จะไหลในสายนิวทรัลได้ (โหลดมีฮาร์มอนิกส์) สายนิวทรัลต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่า 330 A

ตารางที่ 5-22 ได้สาย IEC 01 ขนาด 150 ตร.มม. (365 A)

เงื่อนไขที่ 2 มีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดสายต่อหลักดิน ตามเรื่องการต่อลงดิน ตารางที่ 4-1 ขนาดสายเมน 300 ตร.มม. ได้สายต่อหลักดิน ขนาด 50 ตร.มม. สายนิวทรัลต้องไม่เล็กกว่า 50 ตร.มม.

เงื่อนไขที่ 3 ขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่เล็กกว่า 12.5% ของสายเมนเส้นเฟส คือต้องไม่เล็กกว่า 12.5% ของ 300 ตร.มม. $\geq 12.5 \times 300/100 \geq 37.5$ ตร.มม. (ใช้สายขนาด 50 ตร.มม.)

ขนาดสายนิวทรัล พิจารณาจากทั้ง 3 เงื่อนไข เลือกขนาดใหญ่สุดคือ 150 ตร.มม.

สรุป ขนาดสายเมนคือ IEC 01, ขนาด 3×300 ตร.มม., N 1×150 ตร.มม.

ตัวอย่างที่ 5.5 ต้องการกำหนดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง จากแบบไฟฟ้ามีโหลดที่ยังไม่คิดดีมานด์แฟกเตอร์ ดังนี้

1. ไฟฟ้าแสงสว่าง รวม 40 kVA
2. เต้ารับใช้งานทั่วไป รวม 12 kVA
3. เครื่องปรับอากาศประเภทแยกแต่ละห้องรวม 25 kVA
4. เครื่องจักร รวม 350 kVA (กำหนดให้ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ 80%)

วิธีทำ

1. ไฟฟ้าแสงสว่าง

    ดีมานด์แฟกเตอร์ ตารางที่ 5.1 อาคารประเภทอื่น (100%) = 40 kVA

2. เต้ารับใช้งานทั่วไป

    ดีมานด์แฟกเตอร์ ตารางที่ 5.2 = (10 + (2 × 0.5) = 11 kVA

3. เครื่องปรับอากาศ

    ดีมานด์แฟกเตอร์ ตารางที่ 5.3 (75%) = 25 × 0.75 = 18.75 kVA

4. เครื่องจักร

    ดีมานด์แฟกเตอร์ 80% = 350 × 0.8 = 280 kVA

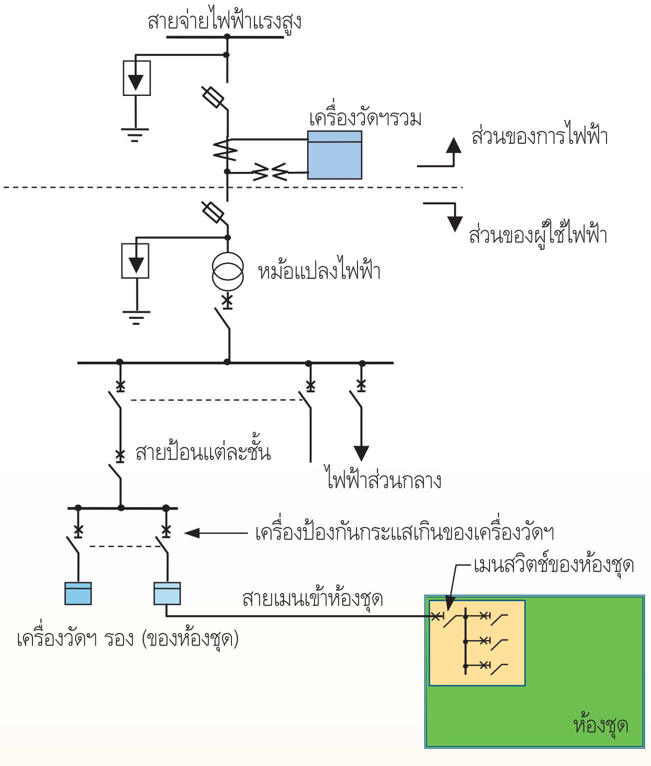
โหลดรวม = 40 + 11 + 18.75 + 280 = 349.75 kVA

เลือกใช้หม้อแปลงขนาด 400 kVA

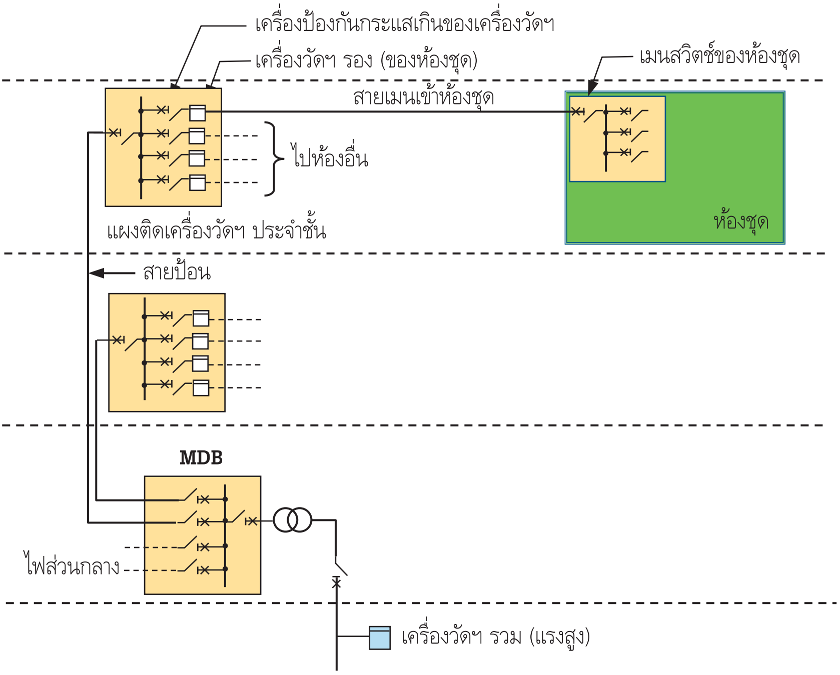
5.2 การคำนวณโหลดสำหรับอาคารชุด

อาคารชุดเป็นอาคารที่มีระบบการจ่ายไฟต่างจากอาคารทั่วไปเนื่องจากแต่ละห้องชุดจะมีผู้ถือกรรมสิทธิ์แยกจากกัน และมีทรัพย์สินส่วนกลางที่เป็นกรรมสิทธิ์ร่วม จึงต้องมีการติดตั้งเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าสำหรับคิดค่าไฟแต่ละห้องชุดและเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้ารวมเพื่อวัดการใช้ไฟทั้งหมดของอาคาร ตัวอย่างวงจรการจ่ายไฟเป็นไปตามที่แสดงในรูปที่ 5.4 และ 5.5

อาคารชุดที่ใช้ไฟน้อยขนาดไม่เกินขนาดเครื่องวัดฯ แรงต่ำของการไฟฟ้า ก็จะสามารถรับเป็นไฟแรงต่ำได้ ซึ่งจะไม่ต้องติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 5.4 ระบบการจ่ายไฟฟ้าสำหรับอาคารชุด



รูปที่ 5.5 ตัวอย่าง riser diagram ของอาคารชุด

5.2.1 โหลดของห้องชุด คำนวณโหลดตามประเภทของอาคารชุดดังนี้

1. ห้องชุดประเภทอยู่อาศัย ไม่มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง

(1) ห้องชุดที่มีพื้นที่ไม่เกิน 55 ตร.ม.

VA = 90 x พื้นที่ห้องเป็น ตร.ม. + 1,500

(2) ห้องชุดที่มีพื้นที่มากกว่า 55 ตร.ม. แต่ไม่เกิน 180 ตร.ม.

VA = 90 x พื้นที่ห้องเป็น ตร.ม. + 3,000

(3) ห้องชุดที่มีพื้นที่มากกว่า 180 ตร.ม.

VA = 90 x พื้นที่ห้องเป็น ตร.ม. + 6,000

2. ห้องชุดประเภทอยู่อาศัย มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง

(1) ห้องชุดที่มีพื้นที่ไม่เกิน 55 ตร.ม.

VA = 20 x พื้นที่ห้องเป็น ตร.ม. + 1,500

(2) ห้องชุดที่มีพื้นที่มากกว่า 55 ตร.ม. แต่ไม่เกิน 180 ตร.ม.

VA = 20 x พื้นที่ห้องเป็น ตร.ม. + 3,000

(3) ห้องชุดที่มีพื้นที่มากกว่า 180 ตร.ม.

VA = 20 x พื้นที่ห้องเป็น ตร.ม. + 6,000

3. ห้องชุดประเภทสำนักงานหรือร้านค้า ไม่มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง

VA = 155 x พื้นที่ห้องเป็น ตร.ม.

4. ห้องชุดประเภทสำนักงานหรือร้านค้า มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง

VA = 85 x พื้นที่ห้องเป็น ตร.ม.

ขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของห้องชุด เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าฯ กำหนดขนาดตามพื้นที่ห้อง ตามตารางที่ 5.6 ถึง 5.9

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า ต้องไม่ต่ำกว่าโหลดที่คำนวณได้ แต่ไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 5.4 หรือ 5.5

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของห้องชุด ที่ห้องชุดต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกิน (เมนสวิตช์ของห้องชุด) ขนาดไม่เกินขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของห้องชุดนั้น

ขนาดสายเมนเข้าห้องชุด ต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของห้องชุด (เมนสวิตช์) และต้องไม่เล็กกว่า 6 ตร.มม.

ตัวอย่างที่ 5.6 ห้องชุดประเภทอยู่อาศัยไม่มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง ขนาดพื้นที่ห้องละ 40 ตร.ม. ในพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวง จงดำเนินการ

1. หาโหลดของห้องชุดแต่ละห้อง
2. ขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของห้องชุด
3. ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของห้องชุด
4. ขนาดสายเมนเข้าห้องชุด กำหนดให้ใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง

วิธีทำ

1. โหลดของห้องชุด

VA = 90 x พื้นที่ห้องเป็น ตร.ม. + 1,500

= (90 × 40) + 1,500 = 5,100 VA

2. ขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของห้องชุด

ตารางที่ 5.6 ขนาดพื้นที่ไม่เกิน 55 ตร.ม. ได้เครื่องวัดฯ ขนาด 15(45)A, 1P

3. ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของห้องชุด

เซอร์กิตเบรกเกอร์ = 5,100/230 = 22.17 A

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 32 A

หรือ เลือกจากตารางที่ 5.4 จะได้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 50 A

4. ขนาดสายเมนเข้าห้องชุด

กำหนดจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 32 A

ตารางที่ 5-20 ได้สายขนาด 6 ตร.มม. (36 A)

หมายเหตุ *ถ้ากำหนดจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 50 A จะได้สายขนาด 16 ตร.มม. (66 A)*

ตารางที่ 5.6

ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ สำหรับห้องชุดประเภทอยู่อาศัย

(สำหรับการไฟฟ้านครหลวง)

ลำดับที่	ประเภท	พื้นที่ห้อง (ตร.ม.)	โหลดสูงสุดของเครื่องวัดฯ (A)	ขนาดเครื่องวัดฯ
1	ไม่มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง	55	30	15 (45) A 1P
		150	75	30 (100) A 1P
		180	100	50 (150) A 1P
		180	30	15 (45) A 3P
		483	75	30 (100) A 3P
		666	100	50 (150) A 3P
		1,400	200	200 A 3P
		2,866	400	400 A 3P
2	มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง	35	10	5 (15) A 1P
		180	30	15 (45) A 1P
		525	75	30 (100) A 1P
		800	100	50 (150) A 1P
		690	30	15 (45) A 3P
		2,475	75	30 (100) A 3P
		3,000	100	50 (150) A 3P
		6,300	200	200 A 3P
		12,900	400	400 A 3P

หมายเหตุ *1P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 1 เฟส 2 สาย*

3P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 3 เฟส 4 สาย

ตารางที่ 5.7 ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ สำหรับห้องชุดประเภทอยู่อาศัย (สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค)

ลำดับที่	ประเภท	พื้นที่ห้อง (ตร.ม.)	พิกัดสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน (A)	ขนาดเครื่องวัดฯ	
				จานหมุน	อิเล็กทรอนิกส์
1	ไม่มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง	55	50	15 (45) A 1P	5 (100) A 1P
		150	100	30 (100) A 1P	
		180	50	15 (45) A 3P	5 (100) A 3P
		483	100	30 (100) A 3P	
		666	125	-	200 A 3P ประกอบ CT แรงต่ำ
		1,400	200	-	
2	มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง	35	16	5 (15) A 1P	5 (100) A 1P
		180	50	15 (45) A 1P	
		525	100	30 (100) A 1P	
		690	50	15 (45) A 3P	5 (100) A 3P
		2,475	100	30 (100) A 3P	
		3,000	125	-	200 A 3P ประกอบ CT แรงต่ำ
		6,300	200	-	

หมายเหตุ *1) 1P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 1 เฟส 2 สาย*

3P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 3 เฟส 4 สาย

2) ขนาดเครื่องวัดฯ ให้อ้างอิงจากมาตรฐานปัจจุบันของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ตารางที่ 5.8 ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำสำหรับห้องชุดประเภทสำนักงาน หรือร้านค้าทั่วไป (สำหรับการไฟฟ้านครหลวง)

ลำดับที่	ประเภท	พื้นที่ห้อง (ตร.ม.)	โหลดสูงสุดของเครื่องวัดฯ (A)	ขนาดเครื่องวัดฯ
1	ไม่มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง	40	30	15 (45) A 1P
		105	75	30 (100) A 1P
		140	100	50 (150) A 1P
		125	30	15 (45) A 3P
		320	75	30 (100) A 3P
		425	100	50 (150) A 3P
		850	200	200 A 3P
		1,700	400	400 A 3P
2	มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง	80	30	15 (45) A 1P
		190	75	30 (100) A 1P
		260	100	50 (150) A 1P
		230	30	15 (45) A 3P
		580	75	30 (100) A 3P
		770	100	50 (150) A 3P
		1,550	200	200 A 3P
		3,100	400	400 A 3P

หมายเหตุ *1) 1P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 1 เฟส 2 สาย*

3P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 3 เฟส 4 สาย

2) ห้องชุดที่มีพื้นที่มากกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5.8 นี้จะกำหนดขนาดของเครื่องวัดฯ เป็นราย ๆ ไป

ตารางที่ 5.9 ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ สำหรับห้องชุดประเภทสำนักงาน หรือร้านค้าทั่วไป (สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค)

ลำดับที่	ประเภท	พื้นที่ห้อง (ตร.ม.)	พิกัดสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน (A)	ขนาดเครื่องวัดฯ	
				จานหมุน	อิเล็กทรอนิกส์
1	ไม่มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง	40	50	15 (45) A 1P	5 (100) A 1P
		105	100	30 (100) A 1P	
		125	50	15 (45) A 3P	5 (100) A 3P
		320	100	30 (100) A 3P	
		425	125	-	200 A 3P ประกอบ CT แรงต่ำ
		850	200	-	
2	มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง	80	50	15 (45) A 1P	5 (100) A 1P
		190	100	30 (100) A 1P	
		230	50	15 (45) A 3P	5 (100) A 3P
		580	100	30 (100) A 3P	
		770	125	-	200 A 3P ประกอบ CT แรงต่ำ
		1,550	200	-	

หมายเหตุ *1) 1P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 1 เฟส 2 สาย*
3P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 3 เฟส 4 สาย
2) ห้องชุดที่มีพื้นที่มากกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5.9 นี้จะกำหนดขนาดของเครื่องวัดฯ เป็นราย ๆ ไป
3) ขนาดเครื่องวัดฯ ให้อ้างอิงจากมาตรฐานปัจจุบันของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

5.2.2 โหลดสายป้อน คำนวณจากผลรวมของโหลดห้องชุดที่ต่อใช้งานจากสายป้อนนั้น โดยใช้ค่าโคอินซิเดนต์แฟกเตอร์ได้ตามประเภทของห้องชุด ตามตารางที่ 5.10 สำหรับห้องชุดประเภทอยู่อาศัย หรือ 5.11 สำหรับห้องชุดประเภทสำนักงานหรือร้านค้าทั่วไป การเรียงลำดับห้องชุดให้เริ่มจากห้องที่มีโหลดสูงสุดก่อน

ตารางที่ 5.10 ค่าโคอินซิเดนต์แฟกเตอร์ สำหรับห้องชุดประเภทอยู่อาศัย

ลำดับห้องชุด	โคอินซิเดนต์แฟกเตอร์
1-10	0.9
11-20	0.8
21-30	0.7
31-40	0.6
41 ขึ้นไป	0.5

หมายเหตุ *ลำดับห้องชุดให้เริ่มจากห้องชุดที่มีโหลดสูงสุดก่อน*

ตารางที่ 5.11 ค่าโคอินซิเดนต์แฟกเตอร์ สำหรับห้องชุดประเภทสำนักงานหรือร้านค้าทั่วไป

ลำดับห้องชุด	โคอินซิเดนต์แฟกเตอร์
1-10	1.0
11 ขึ้นไป	0.85

หมายเหตุ *ลำดับห้องชุดให้เริ่มจากห้องชุดที่มีโหลดสูงสุดก่อน*

1. การกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน เครื่องป้องกันกระแสเกินต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่าโหลดสายป้อนที่คำนวณได้

2. การกำหนดขนาดสายไฟฟ้า สายไฟฟ้าต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อน

ตัวอย่างที่ 5.7 สายป้อนชุดหนึ่งของอาคารชุดในพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวง เป็นอาคารชุดประเภทอยู่อาศัยไม่มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง จ่ายไฟให้ห้องชุดขนาดพื้นที่ห้องละ 40 ตร.ม. จำนวน 20 ห้อง และขนาดพื้นที่ห้องละ 100 ตร.ม. จำนวน 5 ห้อง รวม 25 ห้อง จงกำหนด

1. โหลดรวมของสายป้อน
2. ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ของสายป้อน กำหนดให้จ่ายด้วยระบบ 3 เฟส 4 สาย 230/400 V
3. ขนาดสายไฟฟ้าของสายป้อน กำหนดให้ใช้สาย IEC 01 เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง

วิธีทำ

ห้องชุดพื้นที่ไม่เกิน 55 ตร.ม. VA = 90 x พื้นที่ห้องเป็น ตร.ม. + 1,500

ห้องชุดขนาดพื้นที่ 40 ตร.ม. โหลด = (90 × 40) + 1,500 = 5,100 VA

ห้องชุดที่มีพื้นที่มากกว่า 55 ตร.ม. แต่ไม่เกิน 180 ตร.ม. VA = 90 x พื้นที่ห้องเป็น ตร.ม. + 3,000

ห้องชุดขนาดพื้นที่ 100 ตร.ม. โหลด = (90 × 100) + 3,000 = 12,000 VA

โหลดสายป้อนใช้ค่าโคอินซิเดนต์ตามตารางที่ 5.10 เรียงลำดับจากห้องที่มีโหลดสูงสุดก่อน (จำนวนห้องรวม 25 ห้อง)

ห้องขนาดพื้นที่ 100 ตร.ม. โหลดห้องละ 12,000 VA จำนวน 5 ห้อง

ห้องขนาดพื้นที่ 55 ตร.ม. โหลดห้องละ 5,100 VA จำนวน 20 ห้อง

ห้องที่ 1-10 แฟกเตอร์ 0.9

ห้องที่ 1-5 โหลด 12,000 × 5 × 0.9 = 54,000 VA

ห้องที่ 6-10 โหลด 5,100 × 5 × 0.9 = 22,950 VA

ห้องที่ 11-20 แฟกเตอร์ 0.8

ห้องที่ 11-20 โหลด 5,100 × 10 × 0.8 = 40,800 VA

ห้องที่ 21-25 แฟกเตอร์ 0.7

ห้องที่ 21-25 โหลด 5,100 × 5 × 0.7 = 17,850 VA

1. โหลดรวม = 54,000 + 22,950 + 40,800 + 17,850 = 135,600 VA

2. ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ $= \dfrac{135{,}600}{\sqrt{3}\times 400} = 195.7$ A

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 225 A

3. สายไฟฟ้า

ตารางที่ 5-20, ได้สาย IEC 01 ขนาด 150 ตร.มม. (228 A)

5.2.3 โหลดไฟฟ้าส่วนกลาง คือโหลดที่ผู้อยู่อาศัยในอาคารชุดใช้ร่วมกันเช่น ลิฟต์ สระว่ายน้ำ และแสงสว่างบริเวณทางเดิน เป็นต้น การคำนวณโหลด การกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินและสายไฟฟ้า เป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 5.1

5.2.4 โหลดรวม คือโหลดทั้งหม้อของอาคารชุด ประกอบด้วยโหลดของห้องชุดทั้งหมดรวมกับไฟส่วนกลาง การคำนวณโหลดของห้องชุดสามารถใช้ค่าโคอินซิเดนต์แฟกเตอร์ได้ตามตารางที่ 5.10 และ 5.11

กรณีที่ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าต้องไม่ต่ำกว่าโหลดที่คำนวณได้ การกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินและสายเมนไฟฟ้าให้ดูรายละเอียดในเรื่องหม้อแปลงไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 5.8 อาคารชุดในพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวง เป็นอาคารชุดประเภทสำนักงานไม่มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง จ่ายไฟให้ห้องชุดขนาดพื้นที่ห้องละ 100 ตร.ม. จำนวน 50 ห้อง มีไฟฟ้าส่วนกลางที่คิดดีมานด์แฟกเตอร์แล้วรวม 50 kVA จงกำหนดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า

วิธีทำ

โหลดห้องชุด

โหลดแต่ละห้องชุด = 155 × 100 = 15,500 VA

โหลดรวม โคอินซิเดนต์แฟกเตอร์ตารางที่ 5.11

ห้องที่ 1-10 โหลด = 15,500 × 10 × 1 = 155,000 VA

ห้องที่ 11-50 โหลด = 15,500 × 40 × 0.85 = 527,000 VA

รวมโหลดห้องชุด = 155,000 + 527,000 = 682,000 VA = 682 kVA

ไฟฟ้าส่วนกลาง 50 kVA

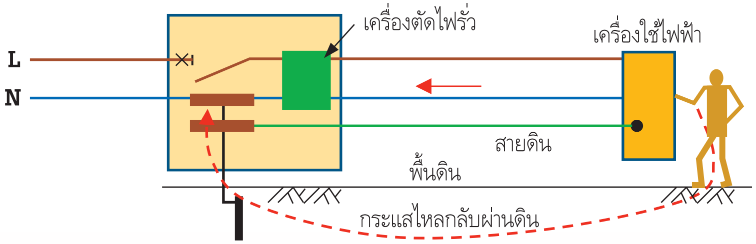
โหลดรวมของอาคาร = 682 + 50 = 732 kVA

เลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 800 kVA

5.3 การติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วและเครื่องป้องกันกระแสรั่วลงดิน

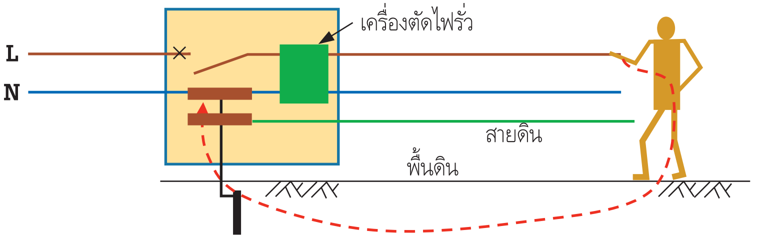
5.3.1 การติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่ว (RCD) ใช้ป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าที่เกิดกับบุคคลจากไฟฟ้าดูด แต่การติดตั้งในวงจรต้องทำให้ถูกต้องด้วยเพราะถ้าติดตั้งผิดเครื่องอาจไม่ทำงานปลดวงจรเมื่อบุคคลถูกไฟฟ้าดูด

เครื่องตัดไฟรั่วมีหลักการทำงานคือจะวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไปและกลับของวงจรเดียวกัน ซึ่งในสภาพปกติจะต้องเท่ากันเสมอ ถ้ามีไฟรั่วหายไปเช่น ไหลผ่านบุคคลลงดิน กระแสที่ไหลไปและไหลกลับจะไม่เท่ากันซึ่งเครื่องจะสามารถวัดได้ และถ้าผลต่างเป็นไปตามค่าที่ตั้งไว้เครื่องจะสั่งปลดวงจร การติดตั้งเป็นตามรูปที่ 5.6

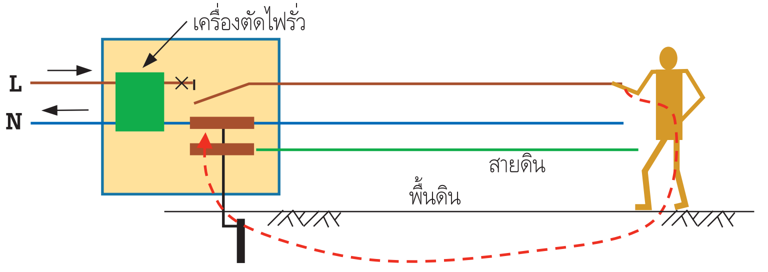


รูปที่ 5.6 ตำแหน่งติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วและการไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้ารั่ว

เครื่องตัดไฟรั่วต้องติดตั้งให้ถูกต้องโดยเฉพาะตำแหน่งในวงจร เพราะถ้าติดตั้งผิดตำแหน่งเครื่องอาจไม่ทำงานปลดวงจร ตัวอย่างตำแหน่งที่ถูกต้องเป็นไปตามรูปที่ 5.6 และ 5.7



รูปที่ 5.7 การไหลกลับของกระแสเมื่อสัมผัสสายเส้นไฟ



รูปที่ 5.8 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วที่ไม่ถูกต้อง

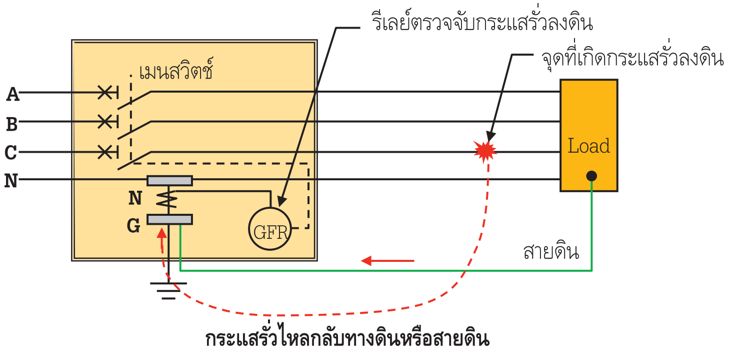
(เครื่องตัดไฟรั่วไม่ทำงานปลดวงจรเมื่อสัมผัสสายเส้นไฟ)

ในรูปที่ 5.6 ถึงแม้เครื่องใช้ไฟฟ้าจะมีสายดินแล้วก็ตาม แต่ถ้าในการใช้งานปกติมีไฟรั่วน้อยเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็อาจไม่ปลดวงจรหรือปลดวงจรช้า เมื่อบุคคลสัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้าก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านบุคคล เครื่องตัดไฟรั่วจะทำงานปลดวงจร

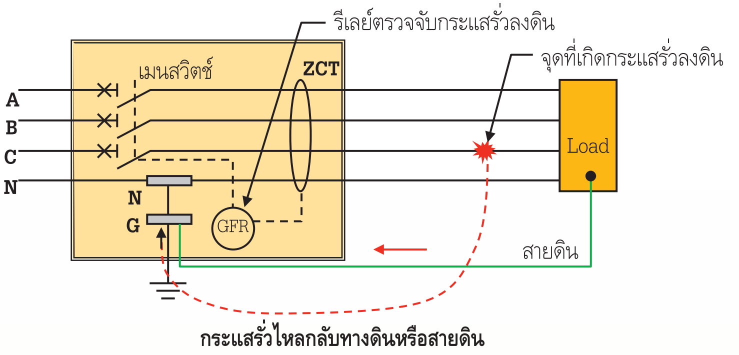
ในรูปที่ 5.7 เมื่อบุคคลสัมผัสโดยตรงกับสายไฟฟ้าก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านบุคคล เครื่องตัดไฟรั่วจะทำงานปลดวงจร

ในรูปที่ 5.8 เป็นการติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วผิดตำแหน่ง เมื่อบุคคลสัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือสายเส้นไฟ ก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านบุคคลไปครบวงจรและกลับผ่านเครื่องตัดไฟรั่วอีก กระแสที่ไหลไปและกลับผ่านเครื่องตัดไฟรั่วจะเท่ากัน เครื่องตัดไฟรั่วจะวัดไม่ได้จึงไม่ปลดวงจร

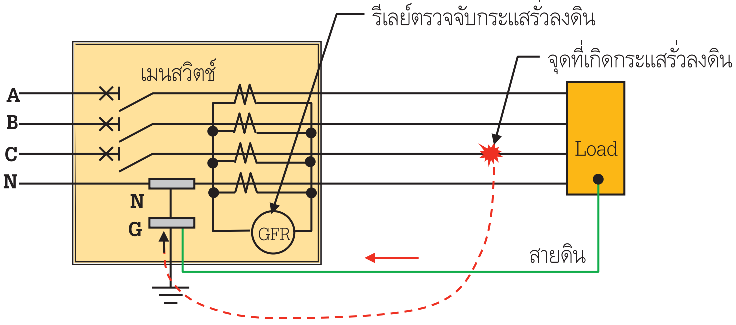
5.3.2 การติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสรั่วลงดิน (Ground Fault Protection) เป็นการติดตั้งเพื่อลดหรือป้องกันความเสียหายที่เกิดกับทรัพย์สิน เมื่อเกิดไฟรั่วในวงจรเครื่องจะสั่งเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้ปลดวงจร หลักการทำงานเหมือนกับเครื่องตัดไฟรั่ว แต่กระแสที่วัดได้และปลดวงจรจะสูงกว่ามาก วิธีการวัดกระแสรั่วแบ่งเป็น 3 วิธี ดังนี้



รูปที่ 5.9 วิธีวัดกระแสไหลกลับผ่านระบบดิน (Source Ground Return Sensing Method)



รูปที่ 5.10 วิธีวัดกระแสสมดุล (Zero Sequence Sensing Method)



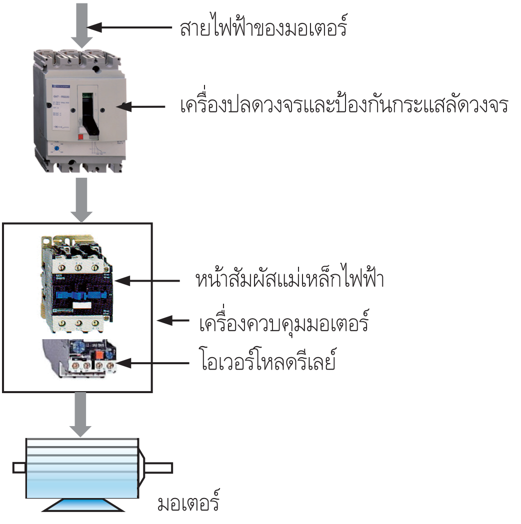
รูปที่ 5.11 วิธีวัดกระแสตกค้าง หรือกระแสเหลือ (Residual Sensing Method)

วิธีวัดกระแสไหลกลับผ่านระบบดินตามรูปที่ 5.9 สายต่อหลักดินจะต้องต่อเข้ากับ G เพราะถ้าต่อกับ N กระแสที่รั่วลงดินจะไม่ไหลผ่านหม้อแปลงกระแส (current transformer) เครื่องจะทำงานผิดพลาด

สำหรับวิธีวัดกระแสสมดุลและวิธีวัดกระแสตกค้าง สายต่อหลักดินจะต่อเข้ากับ N หรือ G ก็ได้ ไม่มีผลให้การวัดผิดพลาด

บทที่ 6 มอเตอร์ไฟฟ้า

6.1 วงจรมอเตอร์ตัวเดียว



รูปที่ 6.1 วงจรมอเตอร์ทั่วไป

วงจรทั่วไปของมอเตอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ดังนี้

1. เครื่องปลดวงจรและเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร อาจใช้เป็นสวิตช์พร้อมฟิวส์ หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็ได้ ทำหน้าที่ปลดวงจรและป้องกันมอเตอร์และสายไฟฟ้าเนื่องจากการเกิดลัดวงจร

2. เครื่องควบคุมมอเตอร์ ประกอบด้วยหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้าและโอเวอร์โหลดรีเลย์ หรืออาจใช้เป็นอุปกรณ์อื่นที่สามารถสับ-ปลดมอเตอร์ได้เช่น solid stated หรือ soft start เป็นต้น โอเวอร์โหลดรีเลย์ทำหน้าที่ป้องกันกันมอเตอร์เนื่องจาก overload

3. ตัวมอเตอร์

6.1.1 การกำหนดขนาดสายไฟฟ้า สายไฟฟ้าของมอเตอร์ต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่า 1.25 เท่าของกระแสโหลดเต็มที่ (full load current) ของมอเตอร์ซึ่งดูได้จาก name plate ของมอเตอร์ แต่ต้องไม่เล็กกว่า 1.5 ตร.มม. เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า $\geq$ 1.25 × กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

6.1.2 การกำหนดพิกัดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรอาจใช้เป็นฟิวส์ หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็ได้ กำหนดขนาดเป็นร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่ ตามตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรระหว่างสายและป้องกันการรั่วลงดินของวงจรมอเตอร์

ชนิดของมอเตอร์	ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่			
	ฟิวส์ทำงานไว	ฟิวส์หน่วงเวลา	เซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดทันที	เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน
มอเตอร์ 1 เฟส	300	175	800	250
มอเตอร์กระแสสลับแบบโพลีเฟสอื่น ๆ ที่มากกว่าแบบเวาด์โรเตอร์	300	175	800	250
มอเตอร์แบบกรงกระรอก	300	175	800	250
มอเตอร์แบบซิงโครนัส	300	175	800	250
มอเตอร์แบบเวาด์โรเตอร์	150	150	800	150
มอเตอร์กระแสตรง (แรงดันคงที่)	150	150	250	150

กรณีกระแสที่คำนวณได้ไม่ตรงกับขนาดมาตรฐานการผลิตของเครื่องป้องกันกระแสเกิน สามารถเลือกขนาดหรือพิกัดที่สูงถัดขึ้นไปได้

เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรนี้ใช้เพื่อป้องกันกรณีลัดวงจร กรณี overload จะมี overload relay ทำหน้าที่ป้องกัน

ตัวอย่างที่ 6.1 ต้องการกำหนดขนาดสายไฟฟ้าและเซอร์กิตเบรกเกอร์ของ Induction motor ชนิด 1 เฟส แรงดัน 230 V ขนาด 7.5 kW กระแสโหลดเต็มที่ 52.3 A (กำหนดให้ใช้สาย NYY แกนเดียวเดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง)

วิธีทำ

สายไฟฟ้า

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า $\geq$ 1.25 × กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

$\geq 1.25 \times 52.3 = 65.4$ A

ตารางที่ 5-20 ได้สาย NYY ขนาด 16 ตร.มม. (66 A) หรือดูจากภาคผนวก G

เซอร์กิตเบรกเกอร์

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ $\leq$ 2.5 × กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

$\leq 2.5 \times 52.3 = 130.75$ A

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 125 A หรือดูจากภาคผนวก G

หมายเหตุ *เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 100 A ก็ได้ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่ปลดวงจรเนื่องจากการ start มอเตอร์*

6.2 วงจรมอเตอร์หลายตัว

6.2.1 การกำหนดขนาดสายไฟฟ้า กำหนดจากกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ทุกตัว ดังนี้

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ≥ (1.25 × กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ตัวใหญ่ที่สุด)
+ กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ที่เหลือทุกตัว

วงจรมอเตอร์ที่มีโหลดอื่นรวมอยู่ด้วย (เช่นไฟฟ้าแสงสว่าง) ขนาดสายไฟฟ้าต้องไม่เล็กกว่าที่คำนวณได้ข้างต้นบวกด้วยโหลดอื่นตามที่คำนวณได้

6.2.2 การกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร อาจเป็นฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็ได้ กำหนดขนาดเหมือนกัน ดังนี้

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร ≤ เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของมอเตอร์ตัวใหญ่ที่สุด
+ กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ที่เหลือทุกตัว

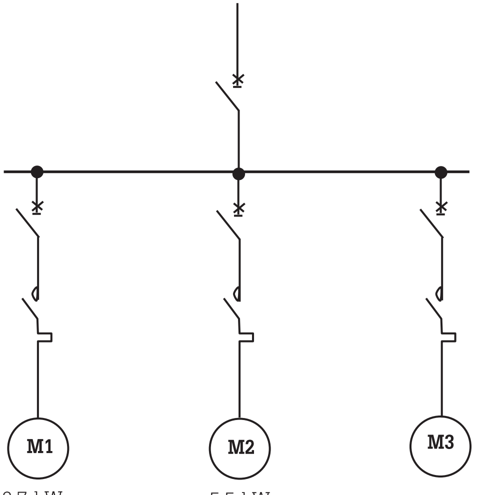
วงจรมอเตอร์ที่มีโหลดอื่นรวมอยู่ด้วย ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรต้องไม่เล็กกว่าที่คำนวณได้ข้างต้นบวกด้วยโหลดอื่นตามที่คำนวณได้

ตัวอย่างที่ 6.2 วงจรไฟฟ้าประกอบด้วยมอเตอร์ชนิด 3 เฟส 400 V จำนวน 3 ตัว ตามที่แสดงในรูปข้างล่าง ต้องการกำหนดขนาดสายไฟฟ้าและเซอร์กิตเบรกเกอร์ของมอเตอร์แต่ละตัวและของสายป้อนวงจรมอเตอร์ (กำหนดให้ใช้สาย NYY แกนเดียวเดินร้อยท่อโลหะเกาะผนัง)

มอเตอร์ M1 ขนาด 3.7 kW กระแส 9.2 A

มอเตอร์ M2 ขนาด 5.5 kW กระแส 13 A

มอเตอร์ M3 ขนาด 15 kW กระแส 33 A



วิธีทำ

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ≥ 1.25 × กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ≤ 2.5 × กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

มอเตอร์ M1

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ≥ 1.25 × 9.2 = 11.5 A

ตารางที่ 5-20 ได้ สาย NYY ขนาด 1.5 ตร.มม. (13 A) (หรือดูภาคผนวก G)

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ≤ 2.5 × 9.2 = 23 A

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 20 A (หรือดูภาคผนวก G)

มอเตอร์ M2

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ≥ 1.25 × 13 = 16.25 A

ตารางที่ 5-20 ได้สาย NYY ขนาด 2.5 ตร.มม. (18 A)

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ≤ 2.5 × 13 = 32.5 A

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 32 A

มอเตอร์ M3

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า $\geq 1.25 \times 33 = 41.25$ A

ตารางที่ 5-20 ได้ สาย NYY ขนาด 10 ตร.มม. (44 A)

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ $\leq 2.5 \times 33 = 82.5$ A

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 80 A

สายป้อน

สายไฟฟ้า

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ≥ (1.25 × กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ตัวใหญ่ที่สุด)
+ กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ที่เหลือทุกตัว

$\geq (1.25 \times 33) + 9.2 + 13 = 63.45$ A

ตารางที่ 5-20 ได้สาย NYY ขนาด 25 ตร.มม. (77 A)

เซอร์กิตเบรกเกอร์

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ≤ เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของมอเตอร์ตัวใหญ่ที่สุด
+ กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ที่เหลือทุกตัว

$\geq 80 + 9.2 + 13 = 102.2$ A

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 100 A หรือ 125 A

6.2.3 ดีมานด์แฟกเตอร์ของวงจรมอเตอร์ ในสถานที่ซึ่งมีมอเตอร์เป็นจำนวนมากและมอเตอร์ทุกตัวไม่ได้ทำงานพร้อมกัน ในการคำนวณโหลดสามารถใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ตามสภาพการใช้งานที่เหมาะสมได้ เพื่อลดขนาดสายไฟฟ้า เซอร์กิตเบรกเกอร์ และหม้อแปลงไฟฟ้า

6.3 เครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลัง

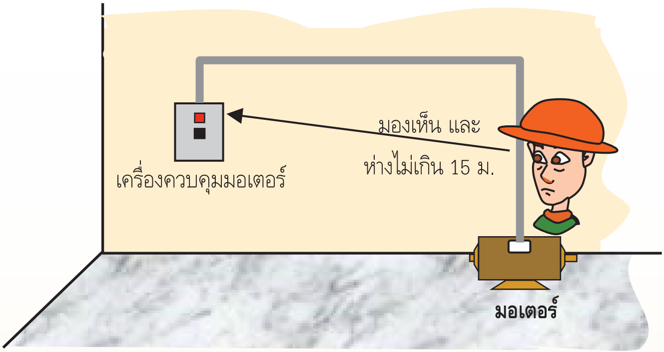
เครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลัง (overload relay) เป็นอุปกรณ์ป้องกันการใช้งานมอเตอร์เกินกำลัง เพราะถ้าปล่อยให้มอเตอร์ใช้งานเกินกำลังเป็นเวลานานมอเตอร์อาจชำรุดหรือไหม้ได้ การปรับตั้งค่าเครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังจะปรับตั้งไว้ที่ไม่เกิน 100% ของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ แต่กรณีที่จำเป็นเนื่องจากมอเตอร์ไม่สามารถ start ได้จะสามารถปรับค่าเพิ่มขึ้นได้อีกแต่ต้องไม่เกิน 130%

เครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังชนิดอื่นเช่น เครื่องวัดความร้อนที่ติดไว้กับขดลวดของมอเตอร์ การปรับตั้งให้เป็นไปตามที่ผู้ผลิตแนะนำ

6.4 เครื่องควบคุมมอเตอร์

เครื่องควบคุมมอเตอร์ต้องมีพิกัดไม่ต่ำกว่าขนาดของมอเตอร์ที่ใช้งาน ตำแหน่งติดตั้งต้องให้ผู้ใช้งานสามารถปฏิบัติงานบำรุงรักษาได้โดยปลอดภัย เครื่องควบคุมมอเตอร์ต้องติดตั้งให้มองเห็นได้จากตำแหน่งที่ตั้งมอเตอร์และห่างจากมอเตอร์ไม่เกิน 15 ม.

การเลือกใช้ magnetic contactor ต้องพิจารณา utilization categories ให้เหมาะสมด้วย ตามตารางที่ 6.2

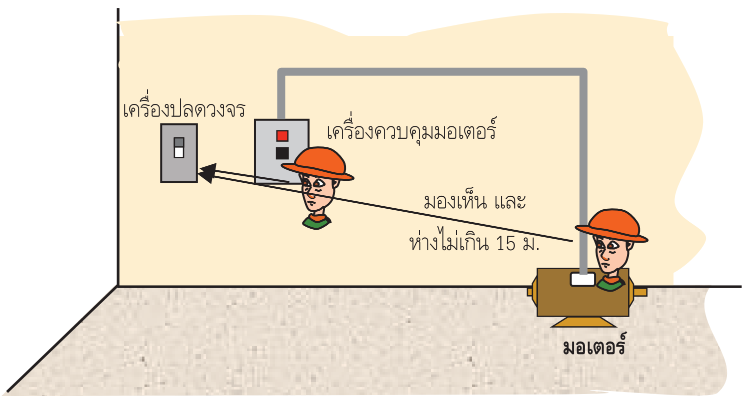


รูปที่ 6.2 การติดตั้งเครื่องควบคุมกับมอเตอร์
(มองเห็นได้จากตำแหน่งที่ตั้งมอเตอร์และห่างจากมอเตอร์ไม่เกิน 15 ม.)

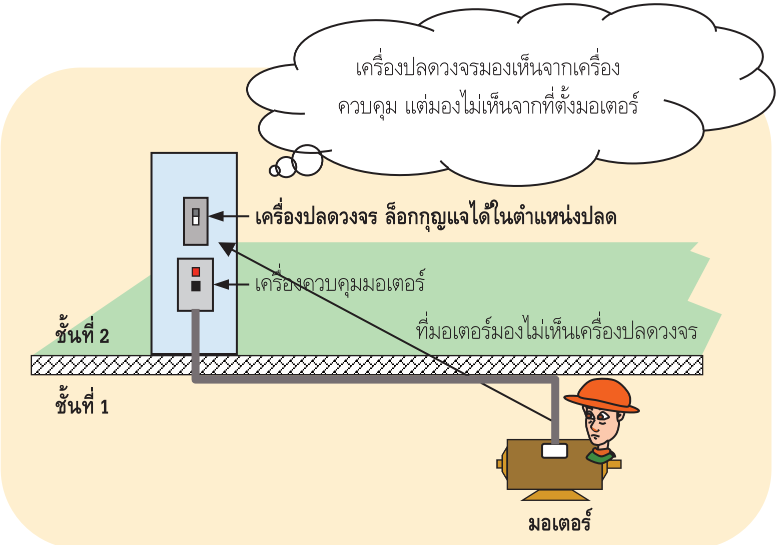
6.5 เครื่องปลดวงจรมอเตอร์

เครื่องปลดวงจรต้องสามารถปลดมอเตอร์ออกจากวงจรได้อย่างปลอดภัย มีพิกัดไม่ต่ำกว่า 1.15 เท่าของกระแสมอเตอร์ ตำแหน่งติดตั้งเครื่องปลดวงจรต้องเป็นดังนี้

1. มองเห็นได้จากที่ตั้งเครื่องควบคุมมอเตอร์และห่างกันไม่เกิน 15 ม. (รูปที่ 6.3)
2. เครื่องปลดวงจรต้องมองเห็นได้จากที่ตั้งมอเตอร์และเครื่องจักรที่ขับ (รูปที่ 6.3)
3. ถ้าเครื่องปลดวงจรนั้นสามารถล็อกกุญแจได้ในตำแหน่งปลดวงจร อนุญาตให้เครื่องปลดวงจรมองต้องไม่เห็นจากที่ตั้งมอเตอร์และห่างกันเกิน 15 ม. ได้ (รูปที่ 6.4)



รูปที่ 6.3 เครื่องปลดวงจรมองเห็นได้จากทั้งที่เครื่องควบคุมมอเตอร์และมอเตอร์ และห่างไม่เกิน 15 ม.



รูปที่ 6.4 เครื่องปลดวงจรล็อกกุญแจได้ในตำแหน่งปลด
(ไม่ต้องมองเห็นจากที่ตั้งมอเตอร์ก็ได้หรือห่างเกิน 15 ม. ได้)

ตารางที่ 6.2 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 การจ่ายไฟให้มอเตอร์ซ้ำ ๆ กัน ในช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อต้องการให้มอเตอร์หรือเครื่องจักรที่มอเตอร์ขับอยู่เคลื่อนตัวเล็กน้อย

ตารางที่ 6.3 Degree of Protection ตาม IEC 60529 และ มอก. 513

รหัส	รหัสตัวแรก แสดงความสามารถในการป้องกันวัตถุ (ของแข็ง) เล็ดลอดเข้าภายใน	รหัสตัวที่สอง แสดงความสามารถในการป้องกันของเหลว เข้าไปทำความเสียหาย
0	ไม่มีการป้องกัน	ไม่มีการป้องกัน
1	ป้องกันวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตร เช่น สัมผัสด้วยมือ	ป้องกันหยดเฉพาะในแนวดิ่ง
2	ป้องกันวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า 12 มิลลิเมตร เช่น นิ้วมือ	ป้องกันหยดและน้ำสาดทำมุมไม่เกิน 15 องศา กับแนวดิ่ง
3	ป้องกันวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า 2.5 มิลลิเมตร เช่น เครื่องมือ เส้นลวด	ป้องกันหยดและน้ำสาดทำมุมไม่เกิน 60 องศา กับแนวดิ่ง
4	ป้องกันวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร เช่น เครื่องมือเล็ก ๆ เส้นลวดเล็ก ๆ	ป้องกันน้ำสาดเข้าทุกทิศทาง
5	ป้องกันฝุ่น	ป้องกันน้ำฉีดเข้าทุกทิศทาง
6	ผนึกกันฝุ่น	ป้องกันน้ำฉีดอย่างแรงเข้าทุกทิศทาง
7	-	ป้องกันน้ำท่วมชั่วคราว
8	-	ป้องกันน้ำเมื่อใช้งานอยู่ใต้น้ำ

บทที่ 7 หม้อแปลงไฟฟ้า

7.1 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

1. หม้อแปลงชนิดแห้ง (dry type transformer) ฉนวนไฟฟ้าที่ใช้ส่วนใหญ่คือ cast resin เป็นฉนวนชนิดไม่ติดไฟ จึงนิยมใช้ติดตั้งในอาคารที่มีผู้อยู่อาศัยจำนวนมาก หรืออาคารที่ต้องการความปลอดภัยสูง

2. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้ (flammable liquid-insulated transformer) ปกติฉนวนที่ใช้คือน้ำมัน จึงมักเรียกกันทั่วไปว่าหม้อแปลงฉนวนน้ำมัน มีราคาต่ำกว่าหม้อแปลงชนิดอื่น มีทั้งชนิดที่มีถังพักน้ำมัน (conservator tank) และชนิดปิดผนึก (sealed tank)

3. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟยาก (less-flammable liquid-insulated transformer) คือหม้อแปลงที่มีฉนวนเป็นของเหลว ฉนวนมีอุณหภูมิจุดติดไฟไม่ต่ำกว่า 300°C จึงมีความปลอดภัยด้านที่เป็นเหตุให้เกิดเพลิงไหม้มากกว่าชนิดฉนวนน้ำมันติดไฟได้

4. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ (non-flammable fluid-insulated transformer) เป็นหม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวที่มีความปลอดภัยสูงเช่นเดียวกันกับหม้อแปลงชนิดแห้ง แต่มีราคาสูงและผู้ผลิตน้อยรายจึงไม่เป็นที่นิยมใช้งาน

7.2 การปรับแรงดัน

เป็นการปรับแรงดันด้านไฟออกให้เป็นไปตามที่ต้องการ โดยปกติแรงดันไฟฟ้าด้านแรงสูงที่มาจากการไฟฟ้าจะไม่คงที่ และแรงดันของสายป้อนไฟฟ้าที่ต้นทางกับที่ปลายทางก็ไม่เท่ากัน การที่จะให้แรงดันด้านไฟออกมีค่าได้ตามที่ต้องการนั้นจำเป็นต้องมีการปรับตั้งแทปซึ่งจะปรับที่ด้านแรงสูงเนื่องจากกระแสต่ำกว่าด้านแรงต่ำ การปรับตั้งแทปเป็นการปรับจำนวนรอบของขดลวดด้าน primary ค่าแทปกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดันระบุด้านไฟเข้า หม้อแปลงในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวงกำหนดแทปไว้เป็น -4×2.5% ในพื้นที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดแทปเป็น ± 2×2.5%

7.3 การกำหนดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้ากำหนดขนาดเป็น kVA ซึ่งต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะสามารถจ่ายโหลดได้ทั้งหมด โหลดที่นำมากำหนดขนาดหม้อแปลงจะเป็นโหลดเมื่อคำนวณโดยใช้ดีมานด์แฟกเตอร์แล้วตามวิธีการในบทที่ 5

โหลดที่คำนวณได้โดยปกติจะไม่พอดีกับขนาดหม้อแปลงตามท้องตลาด การเลือกขนาดหม้อแปลงจะเลือกตามขนาดที่มีขายตามท้องตลาดโดยเลือกขนาดที่ใหญ่ถัดขึ้นไป ขนาดหม้อแปลงที่นิยมใช้ตามท้องตลาดคือ 315, 400, 500, 630, 800, 1,000, 1,250, 1,600, 2,000 และ 2,500 kVA แต่ขนาดที่เล็กกว่าหรือใหญ่กว่านี้ก็สามารถผลิตขายได้

ตัวอย่างที่ 7.1 โรงงานแห่งหนึ่งมีโหลดดังนี้

1. ไฟฟ้าแสงสว่าง รวม 50 kVA
2. เต้ารับใช้งานทั่วไป รวม 20 kVA
3. เต้ารับอื่น สำหรับเครื่องจักรขนาดเล็ก (ทราบโหลดแน่นอน) ดังนี้
   3.1 ขนาด 1 kVA จำนวน 5 ตัว
   3.2 ขนาด 0.5 kVA จำนวน 10 ตัว
4. เครื่องจักรชนิดใช้มอเตอร์ไฟฟ้า รวม 500 kVA
5. เครื่องปรับอากาศแบบส่วนกลาง ขนาด 100 kVA กำหนดดีมานด์แฟกเตอร์ 100%

วิธีทำ

คำนวณโหลดโดยใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ ได้ดังนี้

1. โหลดไฟฟ้าแสงสว่าง รวม 50 kVA ดีมานด์แฟกเตอร์ตารางที่ 5.1 = 100%

โหลดแสงสว่าง = 50 × 1 = 50 kVA

2. เต้ารับใช้งานทั่วไป รวม 20 kVA ดีมานด์แฟกเตอร์ตารางที่ 5.2

โหลดเต้ารับ = 10 + (10 × 0.5) = 15 kVA

3. เต้ารับอื่น สำหรับเครื่องจักรขนาดเล็ก คิดโหลดจากเต้ารับตัวแรกที่มีขนาดโหลดสูงสุด (1 kVA) บวกกับ 40% ของโหลดเต้ารับที่เหลือ

โหลดเต้ารับอื่น = 1 + (4 × 0.4) + (0.5 × 10) = 7.6 kVA

4. เครื่องจักรชนิดใช้มอเตอร์ไฟฟ้า รวม 400 kVA ดีมานด์แฟกเตอร์ได้จากการสำรวจการใช้งานตามกระบวนการผลิต ในกรณีนี้กำหนดให้ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ 80%

โหลดเครื่องจักร = 500 × 0.8 = 400 kVA

5. เครื่องปรับอากาศแบบส่วนกลาง ขนาด 100 kVA ดีมานด์แฟกเตอร์ 100%

โหลดเครื่องปรับอากาศ = 100 × 1 = 100 kVA

รวมโหลดของอาคาร = 50 + 15 + 7.6 + 400 + 100 = 572.6 kVA

เลือกใช้หม้อแปลงขนาด 630 kVA

หมายเหตุ *กรณีที่ผู้ออกแบบพิจารณาแล้วเห็นว่าเครื่องจักรมีโอกาสใช้งานพร้อมกัน จะไม่ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ก็ได้ โหลดรวมก็จะสูงขึ้น*

7.4 การป้องกันแรงดันเกิน

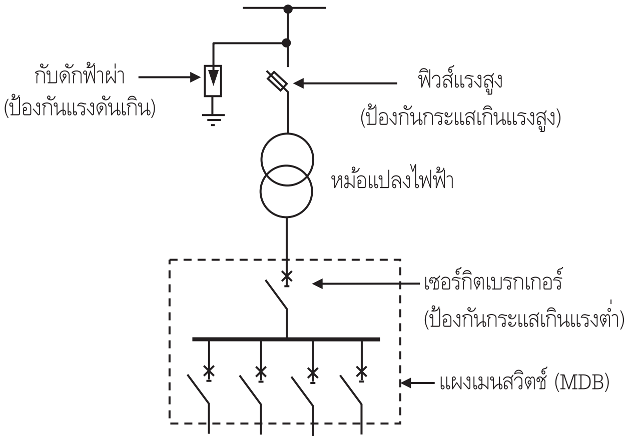
หม้อแปลงไฟฟ้าต้องมีการป้องกันแรงดันเกิน แรงดันเกินที่เข้ามาที่หม้อแปลงไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากฟ้าผ่า อุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันเรียกว่ากับดักเสิร์จ (lightning arrester) หรือกับดักฟ้าผ่า พิกัดแรงดันเป็นไปตามแรงดันของระบบไฟฟ้าดังนี้

พิกัดแรงดัน 9 kV สำหรับระบบแรงดัน 12 kV (กฟน.)

พิกัดแรงดัน 21 kV สำหรับระบบแรงดัน 22 kV (กฟภ.) และ 24 kV (กฟน.)

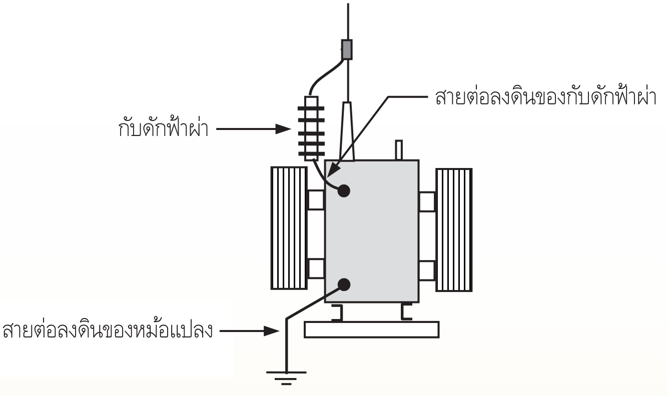
พิกัดแรงดัน 30 kV สำหรับระบบแรงดัน 33 kV (กฟภ.)

หมายเหตุ *ในบางพื้นที่ของการไฟฟ้าฯ อาจใช้พิกัดแรงดันต่างจากนี้ด้วยเหตุทางด้านเทคนิค ในการติดตั้งใช้งานจริงจึงควรประสานงานกับการไฟฟ้าฯ ที่ดูแลพื้นที่ก่อน*



รูปที่ 7.1 วงจรการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า

กับดักฟ้าผ่าจะต่อกับสายไฟแรงสูงก่อนที่จะเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อมีแรงดันเกินเข้ามาตามสายไฟฟ้า กับดักฟ้าผ่าจะเปลี่ยนสภาพจากที่ปกติมีอิมพีแดนซ์สูงมากเป็นต่ำมาก ปล่อยให้กระแสฟ้าผ่าวิ่งลงดินโดยสะดวก และกลับสภาพเป็นมีอิมพีแดนซ์สูงมากอีกเมื่อแรงดันฟ้าผ่าลดลง เพื่อป้องกันกระแสจากแรงดันปกติไหลผ่าน



รูปที่ 7.2 วงจรการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่หม้อแปลงไฟฟ้า

สายต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าจะต้องต่อลงดินร่วมกับสายต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อลดแรงดันคร่อมระหว่างขดลวดหม้อแปลงกับตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้า วิธีที่ดีคือการต่อลงตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้าตามที่แสดงในรูปที่ 7.2

7.5 การป้องกันกระแสเกิน

หม้อแปลงไฟฟ้าต้องมีการป้องกันกระแสเกินทั้งด้านไฟเข้าและไฟออก ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินเป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ ตามตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า

ขนาดอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง	ด้านไฟเข้า		ด้านไฟออก		
	แรงดันเกิน 1,000 V		แรงดันเกิน 1,000 V		แรงดันไม่เกิน 750 V
	เซอร์กิตเบรกเกอร์	ฟิวส์	เซอร์กิตเบรกเกอร์	ฟิวส์	เซอร์กิตเบรกเกอร์หรือฟิวส์
ไม่เกิน 6%	600%	300%	300%	250%	100%
มากกว่า 6% แต่ไม่เกิน 10%	400%	300%	250%	225%	100%

ตัวอย่างที่ 7.2 โรงงานแห่งหนึ่งใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA แรงดัน 22 kV ด้านแรงต่ำ 230/400 V จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขนาด ต้องการกำหนดขนาดฟิวส์แรงสูงด้านไฟเข้าและขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านแรงต่ำ

วิธีทำ

กำหนดขนาดฟิวส์แรงสูง หากระแสหม้อแปลงด้านไฟเข้าได้ดังนี้

$$I = \frac{1,000}{\sqrt{3}\times 22} \qquad = 26.24 \text{ A}$$

ฟิวส์ด้านแรงสูงกำหนดตามตารางที่ 7.1 ขนาดไม่เกิน 300%

ขนาดฟิวส์แรงสูง ≤ 3 × 26.24 ≤ 78.7 A

เลือกใช้ฟิวส์ตามขนาดมาตรฐานการผลิต ขนาด 50 A หรือ 65 A

กำหนดขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำ หากระแสหม้อแปลงด้านไฟออกได้ดังนี้

$$I = \frac{1{,}000 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} = 1443 \text{ A}$$

เซอร์กิตเบรกเกอร์กำหนดตามตารางที่ 7.1 ไม่เกิน 100%

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐานการผลิต ขนาดปรับตั้ง 1,400 A

ข้อแนะนำเพิ่มเติมสำหรับการกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินมีดังนี้

ฟิวส์แรงสูง ถึงแม้ในมาตรฐานกำหนดให้ขนาดฟิวส์แรงสูงใช้ได้สูงถึง 300% ในทางปฏิบัติการกำหนดขนาดฟิวส์ใหญ่เกินไปประสิทธิผลในการป้องกันจะลดลง แต่การเลือกขนาดเล็กเกินไปก็อาจเป็นปัญหาว่าฟิวส์จะขาดเมื่อสับสวิตช์แรงสูงสาเหตุจาก inrush current ของหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาดของฟิวส์แรงสูงจึงไม่ควรเล็กกว่า 125% ของกระแสด้านแรงสูงของหม้อแปลงไฟฟ้า

7.6 การกำหนดขนาดสายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าด้านแรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้าต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำ

ตัวอย่างที่ 7.3 โรงงานแห่งหนึ่งคำนวณโหลดได้ 850 kVA เลือกใช้หม้อแปลงขนาด 1,000 kVA แรงดันด้านไฟออก 230/400 V ด้านแรงต่ำเลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 1,400 A (ดูตัวอย่างที่ 7.2) ใช้สาย NYY ชนิดแกนเดียวควบ 4 เส้นต่อเฟส วางเรียงชิดติดกันบนรางเคเบิลแบบบันได ต้องการกำหนดขนาดสายไฟฟ้า (รายละเอียดวิธีคำนวณเพิ่มเติม ดูบทที่ 2)

วิธีทำ

1. คำนวณโหลดและกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (I_n)

   ได้ I_n = 1,400A

2. เลือกชนิดของสายไฟฟ้าและวิธีการเดินสาย

   เป็นสาย NYY การเดินสายกลุ่มที่ 7 (วางบนรางเคเบิล)

3. เลือกตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

   จากตารางที่ 2.10 ได้ตารางขนาดกระแส ตารางที่ 5-30

4. กำหนดตัวคูณปรับค่า (C_a & C_g)

   C_a ไม่มีการปรับค่าเนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบไม่เปลี่ยนแปลง = 1

   C_g จากหมายเหตุต่อท้ายตารางที่ 5-30 ปรับค่าด้วยตารางที่ 5-40 ได้ = 0.94

5. กำหนดขนาดสายไฟฟ้า $I_t \geq \frac{I_n}{C_a \times C_g} \geq \frac{1,400/4}{1 \times 0.94} \geq$ 372.3 A

   จากตารางที่ 5-30 (ภาคผนวก A) ได้สายขนาด 240 ตร.มม. (441 A) เฟสละ 4 เส้น

หมายเหตุ *1. 1400/4 มาจากใช้สายเฟสละ 4 เส้น*

2. ขนาดสายไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละขนาด ดูได้จากภาคผนวก F

7.7 การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าติดตั้งได้หลายแบบโดยพิจารณาจาก ความต้องการ ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า ข้อจำกัดของพื้นที่ และประเภทของอาคาร ดังนี้

1. บนเสาไฟฟ้าหรือนั่งร้านหม้อแปลง เป็นการติดตั้งที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ ใช้พื้นที่น้อย ใช้ได้กับหม้อแปลงไฟฟ้าทุกชนิด แต่จะมีข้อด้อยเรื่องขาดความสวยงามและบำรุงรักษายาก เสาไฟฟ้าและชุดนั่งร้านหม้อแปลงจะต้องสามารถรับน้ำหนักหม้อแปลงได้อย่างปลอดภัย

2. บนลานหม้อแปลง (transformer yard) เป็นการตั้งหม้อแปลงบนพื้นและมีรั้วล้อมรอบ อยู่ภายนอกอาคาร มีข้อดีที่สามารถบำรุงรักษาได้สะดวกแต่จะสิ้นเปลืองพื้นที่

3. ในห้องหม้อแปลง (transformer vault) เป็นการติดตั้งในอาคาร ห้องหม้อแปลงจะต้องออกแบบเป็นพิเศษให้เหมาะสมกับชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า ตามข้อกำหนดในมาตรฐานฯ

4. ในเครื่องห่อหุ้ม (pad mounted) วางบนพื้น เป็นการนำหม้อแปลงไปใส่ตู้เพื่อป้องกันอันตรายจากการสัมผัส แต่ต้องระวังเรื่องการระบายความร้อนของหม้อแปลงด้วย

รูปที่ 7.3 หม้อแปลงการติดตั้งหม้อแปลงบนนั่งร้าน

รูปที่ 7.4 ตัวอย่างการติดตั้งหม้อแปลงในเครื่องห่อหุ้ม

บทที่ 8 แผงสวิตช์และการติดตั้ง

แผงสวิตช์ (Switchboard) หมายถึง แผงเดี่ยวขนาดใหญ่หรือหลายแผงประกอบเข้าด้วยกันเพื่อใช้ติดตั้งสวิตช์ อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน อุปกรณ์ป้องกันอื่น ๆ บัส และเครื่องวัดต่าง ๆ ทั้งด้านหน้า ด้านหลัง หรือทั้งสองด้าน โดยทั่วไปแผงสวิตช์เข้าถึงได้ทั้งทางด้านหน้าและด้านหลังและไม่มีจุดประสงค์ให้ติดตั้งในตู้

แผงย่อย (Panelboard) หมายถึง แผงเดี่ยวหรือกลุ่มของแผงเดี่ยวที่ออกแบบให้ประกอบรวมกันเป็นแผงเดียวกัน ประกอบด้วย บัส อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินอัตโนมัติ และมีหรือไม่มีสวิตช์สำหรับควบคุมแสงสว่าง ความร้อน หรือวงจรไฟฟ้ากำลัง แผงย่อยเป็นแผงที่ออกแบบให้ติดตั้งไว้ในตู้หรือกล่องซึ่งสามารถเข้าถึงได้ทางด้านหน้าเท่านั้น

8.1 รูปแบบของแผงสวิตช์

IEC 61439 แบ่งรูปแบบ (form) ของแผงสวิตช์ตามการกั้นแยกเป็น 7 form ดังนี้

Form 1 ภายในตู้จะไม่มีการกั้นแยกบัสบาร์ออกจากอุปกรณ์และขั้วต่อสายตัวนำภายนอก แต่ควรมีการกั้นเพื่อป้องกันการสัมผัสส่วนของบัสบาร์ ขั้วต่อสาย และส่วนที่เป็นตัวนำไฟฟ้าอื่น ๆ เพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงานเมื่อเปิดฝาตู้

Form 2a ภายในตู้มีการกั้นแยกระหว่างบัสบาร์กับตัวอุปกรณ์ ขั้วต่อสายตัวนำภายนอกจะอยู่ช่องเดียวกันหรือใกล้กับบัสบาร์

Form 2b ภายในตู้มีการกั้นแยกระหว่างบัสบาร์กับตัวอุปกรณ์และขั้วต่อสายตัวนำภายนอก แต่อุปกรณ์และขั้วต่อสายจะอยู่ในช่องเดียวกัน

Form 3a ภายในตู้มีการกั้นแยกระหว่างบัสบาร์กับตัวอุปกรณ์ กั้นแยกระหว่างอุปกรณ์แต่ละยูนิตออกจากกัน และมีการกั้นแยกขั้วต่อสายตัวนำภายนอกออกจากอุปกรณ์ แต่จะอยู่ช่องเดียวกันหรือใกล้กับบัสบาร์

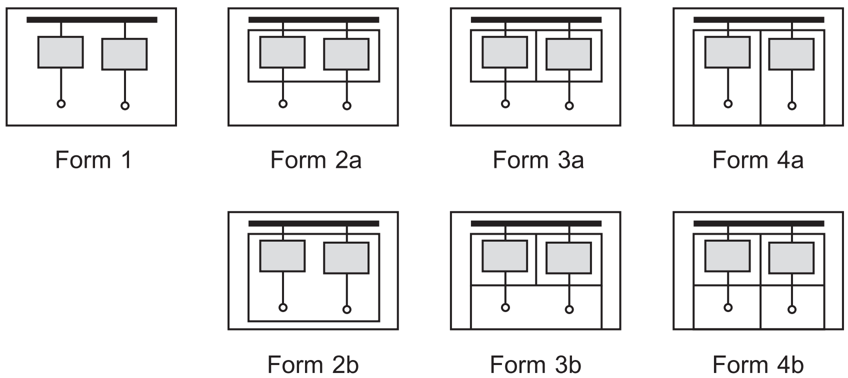
Form 3b ภายในตู้มีการกั้นแยกระหว่างบัสบาร์กับตัวอุปกรณ์ กั้นแยกระหว่างอุปกรณ์แต่ละยูนิตออกจากกัน และมีการกั้นแยกขั้วต่อสายตัวนำภายนอกออกจากบัสบาร์และอุปกรณ์ แต่ขั้วต่อสายจะอยู่ในช่องเดียวกัน

Form 4a ภายในตู้มีการกั้นแยกอุปกรณ์แต่ละยูนิตออกจากกัน และมีการกั้นแยกขั้วต่อสายตัวนำภายนอกออกจากบัสบาร์ แต่ขั้วต่อสายจะอยู่ในช่องเดียวกันกับอุปกรณ์

Form 4b ภายในตู้มีการกั้นแยกช่องบัสบาร์ออกจากตัวอุปกรณ์ มีการกั้นแยกอุปกรณ์แต่ละยูนิตออกจากกัน และมีการกั้นแยกขั้วต่อสายตัวนำภายนอกออกจากบัสบาร์และอุปกรณ์ และแยก feeder ออกจากกันอย่างชัดเจน

ตารางที่ 8.1 สรุป form ตู้และการกั้นตาม IEC 61439

Form	**การกั้น (ระหว่าง)**				
	อุปกรณ์ กับ อุปกรณ์	**อุปกรณ์ กับ บัสบาร์**	**อุปกรณ์ กับ ขั้วต่อสาย**	**ขั้วต่อสาย กับ ขั้วต่อสาย**	**ขั้วต่อสาย กับ บัสบาร์**
Form 1					
Form 2a		✓			
Form 2b		✓			✓
Form 3a	✓	✓	✓		
Form 3b	✓	✓	✓		✓
Form 4a	✓	✓		✓	✓
Form 4b	✓	✓	✓	✓	✓



รูปที่ 8.1 form ตาม IEC 61439

8.2 การติดตั้ง

ข้อกำหนดการติดตั้งนี้ใช้กับทั้งแผงสวิตช์และแผงย่อย มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยฯ กำหนดให้แผงสวิตช์และแผงย่อยต้องอยู่ในห้องหรือที่ซึ่งจัดไว้โดยเฉพาะ ห้ามมีท่อลม ท่องานอื่น หรือบริภัณฑ์สำหรับงานอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับแผงสวิตช์หรือแผงย่อย ติดตั้งเหนือหรือใต้แผงฯ อยู่ในห้อง หรือทางเดินเข้าสู่ห้อง **ยกเว้น** ระบบดับเพลิงสำหรับแผงสวิตช์หรือแผงย่อย และบริภัณฑ์ที่ใช้ในการหมุนเวียนอากาศ อุปกรณ์ทำความร้อนหรือทำความเย็นที่ใช้สำหรับห้องหรือบริเวณที่ติดตั้งแผงสวิตช์หรือแผงย่อย

แผงสวิตช์อาจไม่ต้องอยู่ในห้องหรือที่ซึ่งจัดไว้โดยเฉพาะก็ได้ ดังนี้

1. แผงสวิตช์หรือแผงย่อยที่ติดตั้งทั่วไป ซึ่งแยกจากบริภัณฑ์อื่นโดยติดตั้งบนที่สูง ในที่ล้อมหรือมีสิ่งปกปิด ซึ่งมีการป้องกันทางกลเพียงพอจากยานพาหนะ การสัมผัสโดยบังเอิญจากบุคคลทั่วไป หรือจากการรั่วไหลของระบบท่อต่าง ๆ ไม่ต้องอยู่ในห้องหรือที่ซึ่งจัดไว้โดยเฉพาะก็ได้

2. แผงสวิตช์หรือแผงย่อยชนิดติดตั้งภายนอกอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มที่ทนสภาพอากาศ มีการป้องกันจากการสัมผัสโดยบังเอิญของบุคคลทั่วไป ยานพาหนะหรือการรั่วไหลของระบบท่อต่าง ๆ ไม่ต้องอยู่ในห้องหรือที่ซึ่งจัดไว้โดยเฉพาะ

8.2.1 แผงสวิตช์ มีข้อกำหนดเพิ่มเติมจากที่กล่าวข้างต้น ดังนี้

1. แผงสวิตช์ที่มีส่วนที่มีไฟฟ้าเปิดโล่ง ต้องติดตั้งในสถานที่แห้ง เข้าถึงได้และควบคุมโดยบุคคลที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเท่านั้น เมื่อติดตั้งในสถานที่เปียกหรือนอกอาคารต้องมีเครื่องห่อหุ้มที่ทนสภาพอากาศ หรือเป็นชนิดที่ออกแบบให้ติดตั้งภายนอกอาคารได้

2. ส่วนบนของแผงสวิตช์ต้องอยู่ห่างจากเพดานที่ติดไฟได้ไม่น้อยกว่า 0.90 ม. แต่ถ้ามีแผ่นกั้นที่ทนไฟอยู่ระหว่างแผงสวิตช์กับเพดาน หรือเป็นเพดานที่ไม่ติดไฟ ระยะห่างลดลงเหลือ 0.60 ม.

3. แผงสวิตช์ต้องต่อลงดิน

4. มีที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานอย่างเพียงพอและปลอดภัย

8.2.2 แผงย่อย มีข้อกำหนดเพิ่มเติมจากที่กล่าวข้างต้น ดังนี้

1. มีขนาดไม่ต่ำกว่าขนาดของสายป้อนที่คำนวณได้

2. แผงย่อยต้องต่อลงดิน

3. ในแผงย่อยต้องมีที่ว่างสำหรับงอสายอย่างเพียงพอ

4. กรณีที่มีฟิวส์ ฟิวส์ต้องติดตั้งด้านโหลดของสวิตช์

8.2.3 แผงสวิตช์แรงสูง เป็นไปตามที่กล่าวข้างต้น และสำหรับแผงสวิตช์แรงสูงที่มีการติดตั้งกับดักเสิร์จ (surge arrester) ด้วย ตัวนำสำหรับต่อลงดินของกับดักเสิร์จต้องต่อร่วมกับชีลด์ของสายเคเบิลแรงสูงในแผงสวิตช์ และต้องแยกออกจากบัสต่อลงดินของแผงสวิตช์

ต้องมี ground bus ด้วย ทำด้วยทองแดงขนาดไม่เล็กกว่า 90, 50 และ 35 ตร.มม. สำหรับแรงดัน 12, 24 และ 33 kV ตามลำดับ

8.3 โครงสร้างของแผงสวิตช์

1. แผงสวิตช์และแผงย่อย ต้องทำด้วยวัสดุไม่ดูดซับความชื้นและไม่ติดไฟ

2. วงจรที่จ่ายไฟให้กับเครื่องวัด หลอดไฟสัญญาณ หม้อแปลงแรงดัน และอุปกรณ์อื่นของแผงสวิตช์ที่มีขดลวดแรงดัน ต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินพิกัดไม่เกิน 15 A อนุญาตให้ไม่ต้องมีเครื่องป้องกันกระแสเกินได้ ถ้าการทำงานของเครื่องป้องกันกระแสเกินทำให้เกิดความเสียหายต่อการทำงานของอุปกรณ์นั้น

3. ใบมีดที่เปิดโล่งของสวิตช์ใบมีด ต้องไม่มีไฟเมื่ออยู่ในตำแหน่งปลด อนุญาตให้มีไฟได้หากมีการจัดทำหรือการกั้นที่เหมาะสม ที่สามารถป้องกันอันตรายจากการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าขณะที่เปิดฝาตู้ของแผงสวิตช์ได้

4. การทำเครื่องหมายบัสบาร์สำหรับแผงสวิตช์และแผงย่อยแรงต่ำ ให้ทำเครื่องหมายแสดงเฟสของบัสบาร์ด้วยตัวอักษรหรือสี ดังนี้

1. เป็นตัวอักษร

- L1 สำหรับ เฟส 1 หรือเฟส A
- L2 สำหรับ เฟส 2 หรือเฟส B
- L3 สำหรับ เฟส 3 หรือเฟส C
- N สำหรับ นิวทรัล
- PE หรือ E หรือ G สำหรับ บัสดิน/ขั้วสายดิน

2. เป็นสี

- สีน้ำตาล สำหรับ เฟส 1 หรือเฟส A
- สีดำ สำหรับ เฟส 2 หรือเฟส B
- สีเทา สำหรับ เฟส 3 หรือเฟส C
- สีฟ้า สำหรับ นิวทรัล
- เขียวแถบเหลือง สำหรับ บัสดิน/ขั้วสายดิน

5. การทำเครื่องหมายบัสบาร์สำหรับแผงสวิตช์แรงสูง ให้ทำเครื่องหมายด้วยสี แดง เหลือง และ น้ำเงิน สำหรับเฟส R, Y & B ตามลำดับ

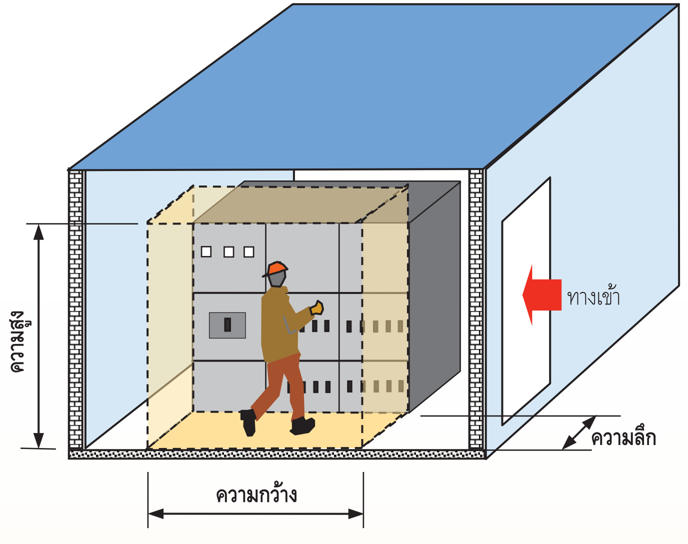
6. การจัดวางบัสบาร์และตัวนำ ต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดความร้อนสูงจากการเหนี่ยวนำ

7. การจัดเฟส เมื่อมองจากด้านหน้าให้อยู่ในลักษณะเฟส A, B, C ตามลำดับโดยเรียงจากด้านหน้าไปหลัง ด้านซ้ายไปขวา หรือด้านบนลงล่าง

8.4 พื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานและทางเข้า

การติดตั้งแผงสวิตช์และแผงย่อย ต้องมีพื้นที่ว่างและทางเข้าไปยังพื้นที่ว่างเพื่อให้สามารถเข้าไปปฏิบัติงานได้ และทำการบำรุงรักษาได้โดยสะดวกและปลอดภัย แบ่งเป็นสำหรับระบบแรงต่ำ (แรงดันไม่เกิน 1,000 V) และแรงสูง (แรงดันเกิน 1,000 V แต่ไม่เกิน 33 kV)

พื้นที่ว่างมีลักษณะเป็นทรงปริมาตรประกอบด้วยความกว้าง ความลึก และความสูง ตามที่แสดงในรูปที่ 8.2



รูปที่ 8.2 พื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน

รูปที่ 8.3 ตัวอย่างห้องที่ติดตั้งแผงสวิตช์และพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน

8.4.1 สำหรับระบบแรงต่ำ

พื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน เป็นดังนี้

ความกว้าง ต้องไม่น้อยกว่าความกว้างของแผงสวิตช์แต่ไม่น้อยกว่า 0.75 ม.

ความสูง ต้องไม่น้อยกว่า 2.0 ม.

ความลึก เป็นไปตามตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2 ความลึกต่ำสุดของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน ระบบแรงต่ำ

แรงดันไฟฟ้า วัดเทียบดิน (V)	ความลึกต่ำสุด (ม.)		
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
0-150	0.90	0.90	0.90
151-600	0.90	1.10	1.20

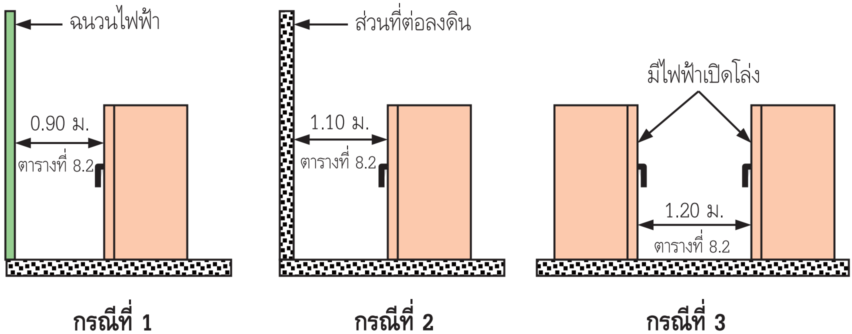
แหล่งที่มา *: มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 ตารางที่ 1-1*

กรณีที่ 1 เมื่อมีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทางด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน และอีกด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานไม่มีทั้งส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งและส่วนที่ต่อลงดิน หรือมีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทั้งสองด้านของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน แต่ได้มีการกั้นด้วยวัสดุที่เหมาะสมเช่น ไม้ หรือวัสดุฉนวนอื่น

สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนหรือบัสบาร์หุ้มฉนวนที่มีแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 300 V ให้ถือว่าเป็นส่วนที่ไม่มีไฟฟ้า

กรณีที่ 2 เมื่อมีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทางด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน และอีกด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานเป็นส่วนที่ต่อลงดิน

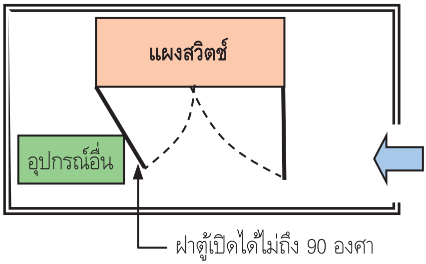
กรณีที่ 3 เมื่อมีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทั้งสองด้านของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน (ไม่มีการกั้นตามกรณีที่ 1) โดยผู้ปฏิบัติงานจะอยู่ระหว่างนั้น



รูปที่ 8.4 สำหรับระบบแรงต่ำ
(ตัวอย่างระยะห่างสำหรับแรงดันเทียบดิน 151-600 V)

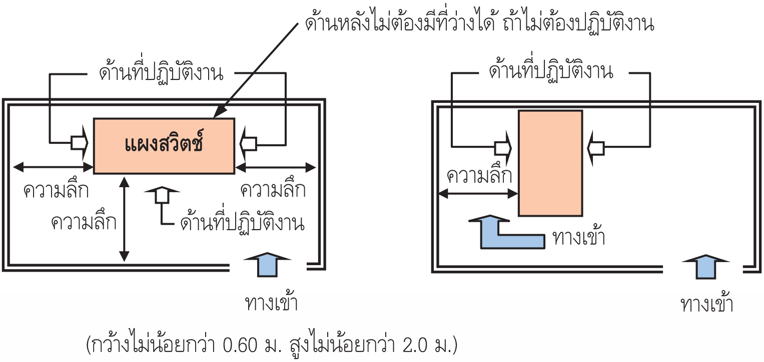
การวัดความลึก ให้วัดจากส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่ง หรือถ้าส่วนที่มีไฟฟ้ามีการห่อหุ้ม (เช่นตู้) ให้วัดจากด้านหน้าของเครื่องห่อหุ้ม

พื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน ต้องเพียงพอที่จะเปิดประตูหรือฝาตู้ได้อย่างน้อย 90 องศา



รูปที่ 8.5 ตัวอย่างที่ฝาตู้เปิดได้ไม่ถึง 90 องศา
(ไม่ถูกต้อง)

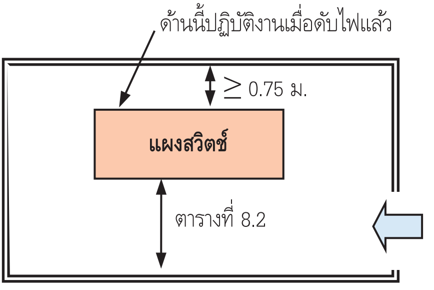
ทางเข้าพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน ต้องมีทางเข้าไปยังพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานอย่างน้อย 1 ทาง กว้างไม่น้อยกว่า 0.60 ม. สูงไม่น้อยกว่า 2.0 ม. เพื่อเข้าไปยังพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน ทางเข้าอาจเป็นประตูหรือไม่ก็ได้ตามที่แสดงในรูปที่ 8.6



รูปที่ 8.6 ตัวอย่างทางเข้าพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานและความลึก

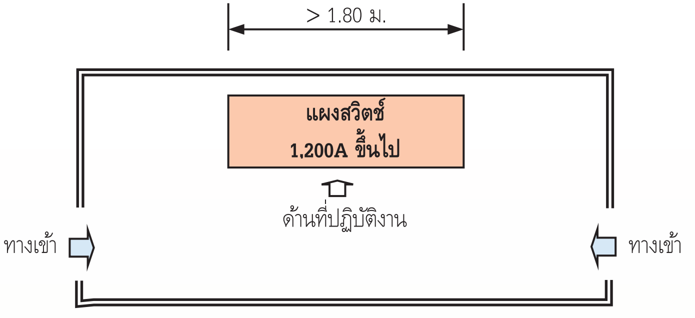
ในรูปที่ 8.6 ถ้าเป็นแผงสวิตช์แรงดัน 230/400 V ห้องเป็นผนังคอนกรีต ความลึกต่ำสุดจะเท่ากับ 1.10 ม.

แผงสวิตช์ที่เข้าถึงเพื่อปฏิบัติงานได้จากด้านอื่นที่ไม่ใช่ด้านหลัง ไม่ต้องมีที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานด้านหลังของแผงก็ได้ ในที่ซึ่งต้องเข้าถึงด้านหลังเพื่อทำงานในส่วนที่ได้ปลดวงจรไฟฟ้าออกแล้ว ต้องมีที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานในแนวนอนไม่น้อยกว่า 0.75 ม. ตลอดแนวของแผงสวิตช์

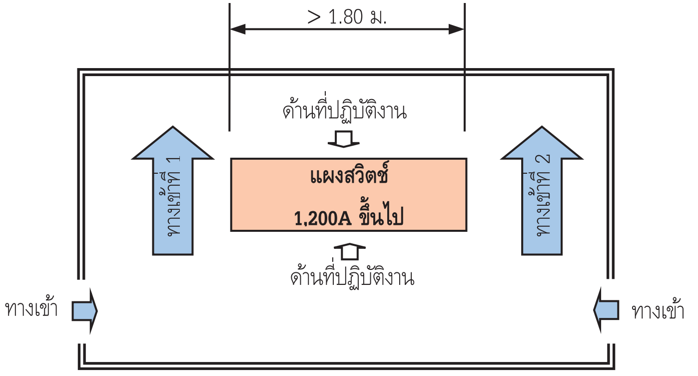


รูปที่ 8.7 ที่ว่างตามแนวนอนที่ปฏิบัติงานเมื่อดับไฟแล้ว

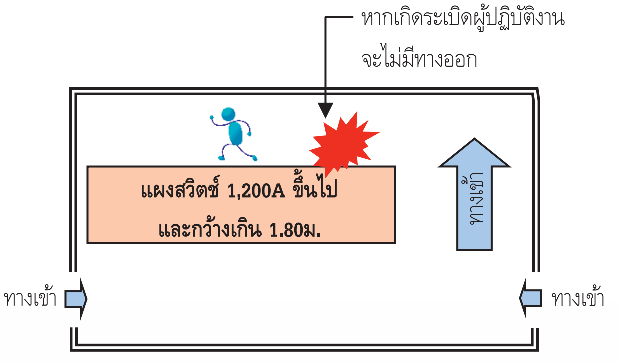
ทางเข้าสำหรับแผงสวิตช์ขนาดใหญ่ แผงสวิตช์และแผงควบคุมที่มีพิกัดกระแสตั้งแต่ 1,200 A ขึ้นไป และกว้างเกิน 1.80 ม. ถือเป็นแผงสวิตช์ขนาดใหญ่ ต้องมีทางเข้าทั้งสองข้างของแผง



รูปที่ 8.8 แสดงทางเข้าไปยังพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานทั้ง 2 ข้างของแผงสวิตช์



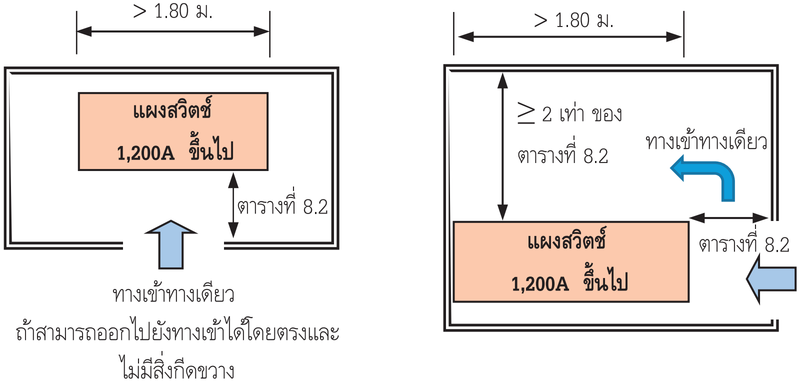
รูปที่ 8.9 ตัวอย่างทางเข้าไปยังพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานทั้ง 2 ข้างของแผงสวิตช์
(ถ้าด้านหลังต้องปฏิบัติงาน ต้องมีทางเข้าทั้ง 2 ข้างด้วย)



รูปที่ 8.10 ตัวอย่างมีทางเข้าทางเดียวผู้ปฏิบัติงานจะไม่มีทางออก หากเกิดระเบิด
(ไม่ถูกต้อง)

ถ้าด้านหน้าของแผงสวิตช์หรือแผงย่อยเป็นที่ว่าง สามารถออกไปยังทางเข้าได้โดยตรง และไม่มีสิ่งกีดขวาง อนุญาตให้มีทางเข้าที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานทางเดียวได้ (ดูรูปที่ 8.11)

ในกรณีที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานมีความลึกเป็น 2 เท่าที่กำหนดในตารางที่ 8.2 ให้มีทางเข้าที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานทางเดียวได้ แต่ทางเข้าต้องอยู่ห่างจากแผงสวิตช์หรือแผงย่อยไม่น้อยกว่าที่กำหนดของแผงสวิตช์ในแต่ละกรณีด้วย



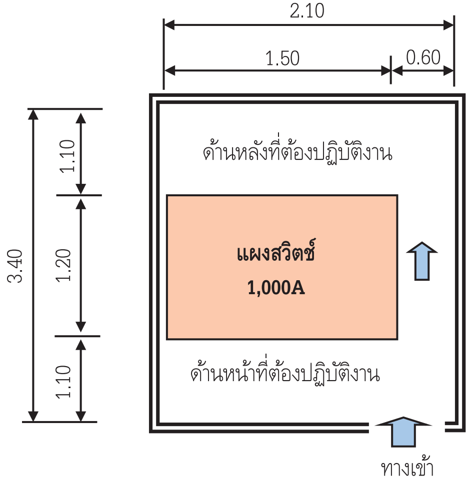
รูปที่ 8.11 ตัวอย่างทางเข้าทางเดียว

ที่ว่างเหนือพื้นที่ปฏิบัติงานและแผง บริเวณที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานสำหรับแผงสวิตช์ หรือเครื่องควบคุมมอเตอร์ต้องมีความสูงไม่น้อยกว่า 2.0 ม.

ส่วนบนของแผงสวิตช์ต้องห่างจากเพดานติดไฟได้ไม่น้อยกว่า 0.90 ม. หรือถ้าเป็นเพดานไม่ติดไฟหรือมีแผ่นกั้นที่ไม่ติดไฟ ต้องห่างไม่น้อยกว่า 0.60 ม.

ตัวอย่างที่ 8.1 แผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดัน 230/400 V, 3 เฟส 4 สาย 1,000 A ขนาด W×D×H (กว้าง×ลึก×สูง) = 1.5×1.2×2.2 ม. จำนวน 1 แผง ต้องปฏิบัติงานขณะที่มีไฟทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ต้องการกำหนดขนาดห้อง กำหนดให้ห้องเป็นคอนกรีตและเพดานห้องไม่ติดไฟ

วิธีทำ



แผงสวิตช์ปฏิบัติงานทั้งด้านหน้าและหลัง เป็นกรณีที่ 2 ระยะห่างจากแผงสวิตช์ถึงผนังห้องไม่น้อยกว่า 1.10 ม.

ด้านข้างไม่ต้องปฏิบัติงานจึงมีเฉพาะทางเข้าพื้นที่ปฏิบัติงานด้านหลังแผงสวิตช์ซึ่งกว้างไม่น้อยกว่า 0.60 ม. สูง 2.0 ม. และมีทางเข้าทางเดียวก็พอ

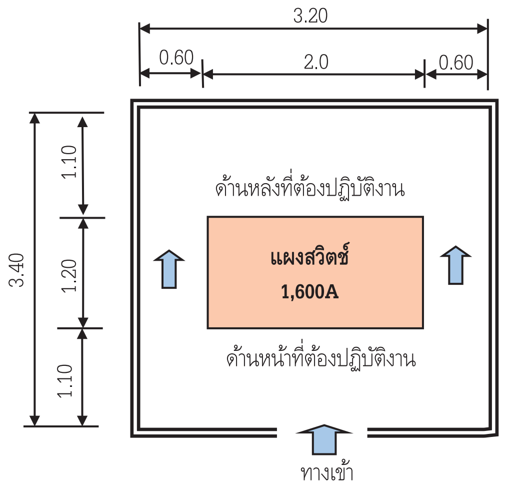
ความกว้างห้อง	= 1.5 + 0.60	= 2.10 ม.
ความยาวห้อง	= 1.10 + 1.20 + 1.10	= 3.40 ม.
ความสูงห้อง	= 2.20 + 0.60	= 2.80 ม.

หมายเหตุ *1. ความกว้างของห้องเรียกตามหน้ากว้างของแผงสวิตช์ตามที่แสดงในรูป จึงอาจมากกว่าความยาวได้*

2. แผงสวิตช์อาจจัดวางในรูปแบบอื่นได้ซึ่งอาจทำให้ขนาดห้องเปลี่ยนไป

ตัวอย่างที่ 8.2 แผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดัน 230/400 V, 3 เฟส 4 สาย 1,600 A ขนาด W×D×H (กว้าง×ลึก×สูง) = 2.0×1.2×2.2 ม. จำนวน 1 แผง ปฏิบัติงานขณะที่มีไฟทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ต้องการกำหนดขนาดห้อง กำหนดให้ห้องเป็นคอนกรีตและเพดานห้องไม่ติดไฟ

วิธีทำ



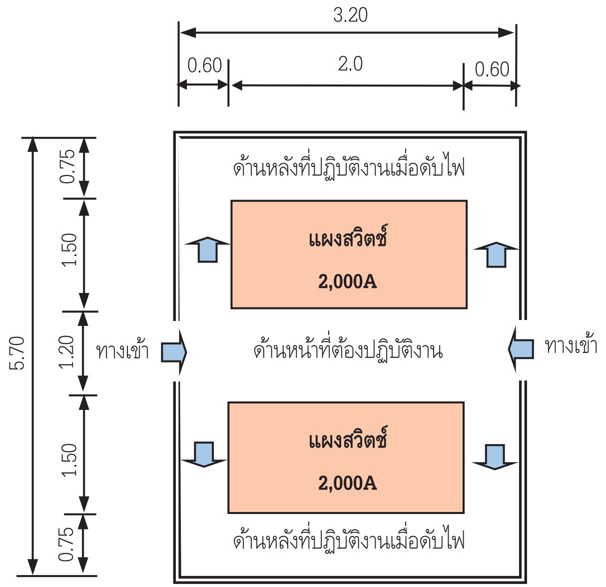
แผงสวิตช์ปฏิบัติงานทั้งด้านหน้าและหลัง เป็นกรณีที่ 2 ระยะห่างจากแผงสวิตช์ถึงผนังห้องเท่ากับ 1.10 ม. มีทางเข้าพื้นที่ปฏิบัติงานด้านหลังแผงสวิตช์กว้างไม่น้อยกว่า 0.60 ม. สูง 2.0 ม. 2 ทาง

ความกว้างห้อง	= 0.60 + 2.0 + 0.60	= 3.20 ม.
ความยาวห้อง	= 1.10 + 1.20 + 1.10	= 3.40 ม.
ความสูงห้อง	= 2.20 + 0.60	= 2.80 ม.

หมายเหตุ *1. แผงสวิตช์อาจจัดวางในรูปแบบอื่นได้ซึ่งอาจทำให้ขนาดห้องเปลี่ยนไป*

ตัวอย่างที่ 8.3 แผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดัน 230/400 V, 3 เฟส 4 สาย 2,000 A ขนาด W×D×H = 2.0×1.5×2.2 ม. จำนวน 2 แผงวางหันหน้าเข้าหากัน ด้านหลังแผงสวิตช์ปฏิบัติงานเฉพาะเมื่อดับไฟเท่านั้น ต้องการกำหนดขนาดห้อง กำหนดให้ห้องเป็นคอนกรีตและเพดานห้องไม่ติดไฟ

วิธีทำ



เป็นแผงสวิตช์ขนาด 2,000A (ตั้งแต่ 1,200 A และกว้างเกิน 1.80 ม.) ระยะห่างหน้าแผงสวิตช์เป็นกรณีที่ 3 ระยะห่างไม่น้อยกว่า 1.20 ม. และมีทางเข้าทั้ง 2 ข้างของแผง

ด้านหลังปฏิบัติงานเมื่อดับไฟต้องมีระยะห่างไม่น้อยกว่า 0.75 ม. และต้องมีทางเข้าขนาด 0.60 ม.

ความกว้างห้อง	= 0.60 + 2.0 + 0.6	= 3.20 ม.
ความยาวห้อง	= 0.75 + 1.50 + 1.20 + 1.50 + 0.75	= 5.70 ม.
ความสูงห้อง	= 2.2 + 0.60	= 2.80 ม.

8.4.2 สำหรับระบบแรงสูง

ตารางที่ 8.3 ความลึกต่ำสุดของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานกับบริภัณฑ์ไฟฟ้า ระบบแรงสูง

แรงดันไฟฟ้า วัดเทียบดิน (V)	ความลึกต่ำสุด (เมตร)		
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
601-2,500	0.90	1.20	1.50
2,501-9,000	1.20	1.50	1.80
9,001-25,000	1.50	1.80	2.80
25,001-75,000	1.80	2.50	3.00

แหล่งที่มา *: มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 ตารางที่ 1-2*

พื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน เป็นดังนี้

ความกว้าง ต้องไม่น้อยกว่า 0.90 ม. สูงไม่น้อยกว่า 2.0 ม. และต้องเปิดฝาตู้ได้ไม่น้อยกว่า 90 องศา

ความลึก แบ่งเป็น 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อมีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทางด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน และอีกด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานไม่มีทั้งส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งและส่วนที่ต่อลงดิน

หรือมีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทั้งสองด้านของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน แต่ได้มีการกั้นด้วยวัสดุที่เหมาะสมเช่น ไม้ หรือวัสดุฉนวนอื่น

สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนหรือบัสบาร์หุ้มฉนวนที่มีแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 300 V ให้ถือว่าเป็นส่วนที่ไม่มีไฟฟ้า

กรณีที่ 2 เมื่อมีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทางด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน และอีกด้านหนึ่งของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานเป็นส่วนที่ต่อลงดิน

กรณีที่ 3 เมื่อมีส่วนที่มีไฟฟ้าและเปิดโล่งอยู่ทั้งสองด้านของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน (ไม่มีการกั้นตามกรณีที่ 1) โดยผู้ปฏิบัติงานจะอยู่ระหว่างนั้น

แผงสวิตช์ที่เข้าถึงเพื่อปฏิบัติงานได้จากด้านอื่นที่ไม่ใช่ด้านหลัง ไม่ต้องมีที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานด้านหลังของแผงก็ได้ ในที่ซึ่งต้องเข้าถึงด้านหลังเพื่อทำงานในส่วนที่ได้ปลดวงจรไฟฟ้าออกแล้ว ต้องมีที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานในแนวนอนไม่น้อยกว่า 0.75 ม. ตลอดแนวของแผงสวิตช์

ทางเข้าพื้นที่ว่างเพื่อปฏิบัติงาน ต้องมีทางเข้าอย่างน้อย 1 ทาง มีความกว้างไม่น้อยกว่า 0.60 ม. สูงไม่น้อยกว่า 2.0 ม.

แผงสวิตช์และแผงควบคุมที่มีความกว้างเกิน 1.80 ม. (ไม่กำหนดกระแส) ต้องมีทางเข้าทั้งสองข้างของแผงสวิตช์ แต่ถ้าด้านหน้าของแผงสวิตช์ไม่มีสิ่งกีดขวาง หรือมีที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานเป็น 2 เท่าของที่กำหนดไว้ข้างต้น ยอมให้มีทางเข้าทางเดียวได้

บทที่ 9 แรงดันตก

9.1 การเกิดแรงดันตก

คือแรงดันไฟฟ้าที่สูญเสียไประหว่างทาง สาเหตุจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟฟ้า ซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์ (impedance) แรงดันตกจึงเป็นความต่างกันระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางกับต้นทาง ปกติจะคิดเป็นร้อยละของแรงดันต้นทาง

9.2 ผลของแรงดันตก

เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางต่ำจะเกิดผลเสียคือ ประสิทธิผลการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะลดลง หรืออาจถึงขั้นทำงานไม่ได้เช่น หลอดไฟฟ้าสว่างน้อยลง หลอดฟลูออเรสเซ็นต์อาจเปิดติดยากหรือไม่ติด และมอเตอร์ไฟฟ้าสตาร์ตไม่ไหวหรือร้อนจน overload เป็นต้น จึงจำเป็นต้องแก้ไข วิธีที่ดีคือจะต้องป้องกันไว้ก่อนคือต้องทราบก่อนว่าในวงจรไฟฟ้าที่จะติดตั้งใช้งานนั้นมีค่าแรงดันตกมากเกินกำหนดหรือไม่ และทำการแก้ไขเสียก่อนที่จะทำการติดตั้ง

จากสมการ แรงดันตกเกิดจากกระแสไฟฟ้าคูณด้วย impedance ของสายไฟฟ้า วิธีการแก้แรงดันตกที่นิยมใช้กันทั่วไปคือการลดค่า impedance โดยการเพิ่มขนาดสายไฟฟ้า สำหรับการลดกระแสไฟฟ้าการปรับค่า power factor ก็อาจทำได้ระดับหนึ่ง

9.3 มาตรฐานแรงดันตก

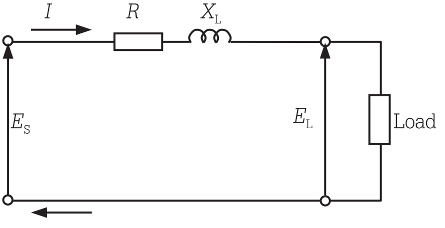
มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ กำหนดค่าแรงดันตกในส่วนของระบบแรงต่ำ ไว้ ดังนี้

1. กรณีรับไฟแรงต่ำจากการไฟฟ้าฯ แรงดันตกคิดจากเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าถึงจุดใช้ไฟจุดสุดท้าย (จุดที่มีค่าแรงดันตกสูงสุด) รวมกันต้องไม่เกิน 5% จากค่าแรงดันที่ระบุ

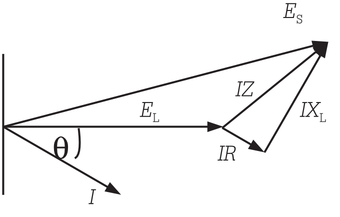
2. กรณีรับไฟแรงสูงจากการไฟฟ้าฯ แรงดันตกคิดจากเมนสวิตช์ (หรือบริภัณฑ์ประธาน) ถึงจุดใช้ไฟจุดสุดท้ายรวมกันต้องไม่เกิน 5% จากค่าแรงดันที่ระบุ

9.4 การคำนวณแรงดันตก

แรงดันตกคือแรงดันไฟฟ้าที่สูญเสียไปในสายไฟฟ้าระหว่างทางที่กระแสไหล การหาค่าแรงดันตกจึงเป็นการหาแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางเทียบกับต้นทาง เขียนเป็นวงจรสมมูลและ phasor diagram ได้ดังนี้



วงจรสมมูล 1 เฟส



Phasor diagram

กำหนดให้

E_S = แรงดันไฟฟ้าที่ต้นทาง (V)

E_L = แรงดันไฟฟ้าที่ปลายทาง (V)

I = กระแสไฟฟ้าในวงจร (A)

R = ความต้านทาน (Ω)

X_L = Inductive reactance (Ω)

เขียนเป็นสมการโดยประมาณได้ดังนี้

$E_S \quad = E_L + I \cdot R \text{ Cos}\theta + I \cdot X_L \text{ Sin}\theta$

แรงดันตก $= E_S - E_L \; = \; I \cdot R \text{ Cos}\theta + I \cdot X_L \text{ Sin}\theta$

การคำนวณค่าแรงดันตกจะใช้ค่าความต้านทานกระแสสลับที่อุณหภูมิพิกัดใช้งานของสายไฟฟ้าคือสายฉนวน PVC คิดที่อุณหภูมิ 70°C และสายฉนวน XLPE คิดที่อุณหภูมิ 90°C สำหรับค่ารีแอกแตนซ์หรือค่า X_L ของสายไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามวิธีการวางสายไฟฟ้า ดังนั้น

สายฉนวน PVC กับ XLPE ที่ขนาดเท่ากันและวิธีการวางสายเหมือนกันจึงมีค่าแรงดันตกไม่เท่ากัน สมการแรงดันตกเป็นดังนี้

1. แรงดันตกวงจร 3 เฟส

$$VD = \sqrt{3} \times I(R \text{ Cos}\theta + X_L \text{ Sin}\theta) \times L$$

ทำเป็นเปอร์เซ็นต์หารด้วยระบบแรงดัน สำหรับระบบแรงดัน 230/400 V

$$\%VD = \frac{VD}{400} \times 100$$

2. แรงดันตกวงจร 1 เฟส

$$VD = 2 \times I(R \text{ Cos}\theta + X_L \text{ Sin}\theta) \times L$$

ทำเป็นเปอร์เซ็นต์หารด้วยระบบแรงดัน สำหรับระบบแรงดัน 230/400 V

$$\%VD = \frac{VD}{230} \times 100$$

9.5 อิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้า

ประกอบด้วยค่าความต้านทาน (R) และค่า inductive reactance (X_L) ดังนี้

ความต้านทาน ขึ้นกับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำสายไฟฟ้า ขนาดและความยาวของสายไฟฟ้าดังนี้

$$R = \frac{\rho \times l}{A}$$

กำหนดให้

R = ความต้านทานของสายไฟฟ้า เป็น โอห์ม

ρ = ความต้านทานจำเพาะของวัสดุที่ใช้ทำสายไฟฟ้า เป็น โอห์ม-เมตร

l = ความยาวของสายไฟฟ้า เป็น ม.

A = พื้นที่ภาคตัดขวางของสายไฟฟ้าเป็น ตร.ม.

ค่า ρ ของสายทองแดง = 1/54 และของอะลูมิเนียม 1/38 ที่อุณหภูมิ 20°C เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปความต้านทานของสายไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปด้วย หาได้ดังนี้

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + t_2}{T + t_1}$$

กำหนดให้

R_1 = ความต้านทานของสายไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 20°C

R_2 = ความต้านทานของสายไฟฟ้าที่อุณหภูมิ t_2

t_1 = 20°C

t_2 = อุณหภูมิใช้งานของสายไฟฟ้า

T = ค่าคงที่ สายทองแดง = 241 และสายอะลูมิเนียม = 228

Inductive reactance หาได้ดังนี้

$$x_L' = 0.0628 \times 10^{-3}\left(\frac{1}{4n} + ln\frac{d}{r}\right)$$

กำหนดให้

x_L' = inductive reactance ของสายไฟฟ้า เป็น โอห์ม/เมตร

n = จำนวนตัวนำบันเดิล (bundles)

d = ระยะเฉลี่ยเรขาคณิตระหว่างตัวนำ หรือระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของสายหลายตัวนำ (bundle)

r = รัศมีตัวนำเดียว กรณีมีหลายตัวนำจะแทนค่าด้วย $\sqrt[2]{nrR^{n-1}}$ เมื่อ R คือ รัศมีบันเดิล

เพื่อความสะดวกในการใช้งาน มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ ได้กำหนดค่า impedance ของสายไฟฟ้าและคำนวณเป็นค่าแรงดันตกสำหรับแต่ละวิธีการเดินสายไว้แล้วตามตารางที่ 9.1 ถึง 9.4 ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น mV/A/m

9.6 การหาค่าแรงดันตกโดยใช้ตาราง

วิธีที่สะดวกในการหาค่าแรงดันตกคือการใช้ตารางในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ เพื่อประกอบการคำนวณ การหาค่าแรงดันตกแบ่งเป็นสำหรับสาย PVC และสาย XLPE ซึ่งจะต้องเลือกใช้ตารางให้ถูกต้อง และในการอ่านค่าจากตารางก็จะต้องทราบว่าเป็นวงจร 1 เฟส หรือ 3 เฟส และทราบวิธีการเดินสายหรือรูปแบบการติดตั้งด้วย ดังนี้

กลุ่มที่ 1 สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินช่องเดินสายโลหะหรืออโลหะ ภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อน หรือผนังกันไฟ

กลุ่มที่ 2 สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินในช่องเดินสายโลหะหรืออโลหะเดินเกาะผนังหรือเพดาน หรือฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกัน

กลุ่มที่ 3 สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอก เดินเกาะผนัง หรือเพดานที่ไม่มีสิ่งปิดหุ้มที่คล้ายกัน

กลุ่มที่ 4 สายเคเบิลแกนเดียวหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก วางเรียงกันแบบมีระยะห่างเดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

กลุ่มที่ 5 สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรืออโลหะฝังดิน

กลุ่มที่ 6 สายแกนเดียว หรือหลายแกน หุ้มฉนวน มีเปลือกนอก ฝังดินโดยตรง

กลุ่มที่ 7 สายเคเบิลแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก วางบนรางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ รางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือรางเคเบิลแบบบันได

ตารางที่ 9.1 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน PVC แกนเดียว ที่ 70°C

ขนาดสาย (ตร.มม.)	1 เฟส AC (mV/A/m)			3 เฟส AC (mV/A/m)			
	รูปแบบการติดตั้ง						
	กลุ่มที่ 1, 2 และ 5	กลุ่มที่ 3, 4, 6, 7		กลุ่มที่ 1, 2 และ 5	กลุ่มที่ 3, 4, 6, 7		
		Touching	Spaced		Trefoil	Flat	Spaced
1.0	44	44	44	38	38	38	38
1.5	29	29	29	25	25	25	25
2.5	18	18	18	15	15	15	15
4	11	11	11	9.5	9.5	9.5	9.5
6	7.3	7.3	7.3	6.4	6.4	6.4	6.4
10	4.4	4.4	4.4	3.8	3.8	3.8	3.8
16	2.8	2.8	2.8	2.4	2.4	2.4	2.4
25	1.81	1.75	1.75	1.52	1.50	1.50	1.52
35	1.33	1.25	1.27	1.13	1.11	1.12	1.15
50	1.00	0.94	0.97	0.85	0.81	0.84	0.86
70	0.71	0.66	0.69	0.61	0.57	0.60	0.63
95	0.56	0.50	0.54	0.48	0.44	0.47	0.50
120	0.48	0.41	0.45	0.40	0.35	0.39	0.43
150	0.41	0.35	0.39	0.35	0.30	0.34	0.38
185	0.36	0.29	0.34	0.31	0.26	0.30	0.34
240	0.30	0.25	0.29	0.27	0.21	0.25	0.29
300	0.27	0.22	0.26	0.24	0.18	0.23	0.26
400	0.25	0.19	0.23	0.22	0.16	0.20	0.24
500	0.23	0.17	0.21	0.20	0.15	0.18	0.22

แหล่งที่มา : *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2564 วสท.*

ตารางที่ 9.2 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน PVC หลายแกน ที่ 70°C

ขนาดสาย (ตร.มม.)	1 เฟส AC (mV/A/m)	3 เฟส AC (mV/A/m)
	ทุกกลุ่มการติดตั้ง	ทุกกลุ่มการติดตั้ง
1.0	44	38
1.5	29	25
2.5	18	15
4	11	9.5
6	7.3	6.4
10	4.4	3.8
16	2.8	2.4
25	1.75	1.50
35	1.25	1.10
50	0.93	0.80
70	0.65	0.57
95	0.49	0.43
120	0.41	0.36
150	0.34	0.29
185	0.29	0.25
240	0.24	0.21
300	0.21	0.18
400	0.17	0.15

แหล่งที่มา : *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2564 วสท.*

ตารางที่ 9.3 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน XLPE แกนเดียว ที่ 90°C

ขนาดสาย (ตร.มม.)	1 เฟส AC (mV/A/m)			3 เฟส AC (mV/A/m)			
	รูปแบบการติดตั้ง						
	กลุ่มที่ 1, 2 และ 5	กลุ่มที่ 3, 4, 6, 7		กลุ่มที่ 1, 2 และ 5	กลุ่มที่ 3, 4, 6, 7		
		Touching	Spaced		Trefoil	Flat	Spaced
1.0	46	46	46	40	40	40	40
1.5	31	31	31	27	27	27	27
2.5	19	19	19	16	16	16	16
4	12	12	12	10	10	10	10
6	7.9	7.9	7.9	6.8	6.8	6.8	6.8
10	4.7	4.7	4.7	4.0	4.0	4.0	4.0
16	2.9	2.9	2.9	2.5	2.5	2.5	2.5
25	1.85	1.85	1.85	1.60	1.57	1.58	1.60
35	1.37	1.35	1.37	1.17	1.14	1.15	1.17
50	1.04	1.00	1.02	0.91	0.87	0.87	0.90
70	0.75	0.70	0.73	0.65	0.61	0.62	0.64
95	0.58	0.52	0.56	0.50	0.45	0.46	0.50
120	0.49	0.42	0.47	0.42	0.37	0.38	0.42
150	0.42	0.36	0.40	0.37	0.31	0.33	0.37
185	0.37	0.31	0.35	0.32	0.26	0.27	0.31
240	0.32	0.25	0.30	0.27	0.22	0.23	0.27
300	0.28	0.22	0.26	0.24	0.19	0.20	0.24
400	0.25	0.19	0.23	0.22	0.17	0.18	0.22
500	0.23	0.17	0.21	0.20	0.15	0.16	0.20

แหล่งที่มา : *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2564 วสท.*

ตารางที่ 9.4 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน XLPE หลายแกน ที่ 90°C

ขนาดสาย (ตร.มม.)	1 เฟส AC (mV/A/m)	3 เฟส AC (mV/A/m)
	ทุกกลุ่มการติดตั้ง	ทุกกลุ่มการติดตั้ง
1.0	46	40
1.5	31	27
2.5	19	16
4	12	10
6	7.9	6.8
10	4.7	4.0
16	2.9	2.5
25	1.85	1.60
35	1.35	1.15
50	0.99	0.86
70	0.68	0.60
95	0.52	0.44
120	0.42	0.36
150	0.35	0.31
185	0.30	0.25
240	0.24	0.22
300	0.21	0.18
400	0.19	0.16

แหล่งที่มา : *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2564 วสท.*

ตัวอย่างที่ 9.1 วงจรไฟฟ้า 1 เฟส 230 V ใช้สาย NYY-G ชนิด 2 แกนมีสายดินขนาด 25/16 ตร.มม. เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนังความยาว 120 เมตร จ่ายไฟให้วงจรมอเตอร์ที่มีกระแสโหลดเต็มที่ 50 A ต้องการหาค่าแรงดันตกที่มอเตอร์ และถ้าต้องการแรงดันตกไม่เกิน 3% จงหาว่าจะต้องใช้สายไฟฟ้าขนาดเท่าใด

วิธีทำ

สาย NYY-G ชนิด 2 แกนมีสายดินขนาด 25/16 ตร.มม. เป็นสาย PVC ใช้ตารางที่ 9.2 สายเดินร้อยท่อเกาะผนังเป็นกลุ่มที่ 2 ได้ VD = 1.75 mV/A/m

VD = mV × กระแส (A) × ความยาวสาย (m)

VD = 1.75 × 50 × 120/1,000 = 10.5 V

เป็นเปอร์เซ็นต์ = (10.5/230) × 100 = 4.56 %

ถ้าต้องการแรงดันตกไม่เกิน 3% จะต้องเปลี่ยนขนาดสายใหม่ให้ใหญ่ขึ้น ถ้าเปลี่ยนเป็นสายขนาด 35 ตร.มม. จะได้แรงดันตกเป็นดังนี้

จากตารางที่ 9.2 สาย NYY-G 2 แกนมีสายดินขนาด 35/16 ตร.มม. VD = 1.25 mV/A/m

VD = 1.25 × 50 × 120/1,000 = 7.5 V

เป็นเปอร์เซ็นต์ = (7.5/230) × 100 = 3.26 %

แรงดันตกยังเกิน 3% จะต้องเปลี่ยนขนาดสายใหม่ให้ใหญ่ขึ้นอีก ถ้าเปลี่ยนเป็นสายขนาด 50 ตร.มม. จะได้แรงดันตกเป็นดังนี้

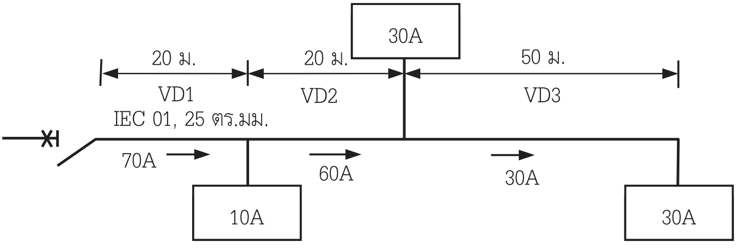
จากตารางที่ 9.2 สาย NYY-G 2 แกนมีสายดินขนาด 50/25 ตร.มม. VD = 0.93 mV/A/m

VD = 0.93 × 50 × 120/1,000 = 5.58 V

เป็นเปอร์เซ็นต์ = (5.58/230) × 100 = 2.42 %

จะต้องใช้สาย NYY-G ชนิด 2 แกนมีสายดินขนาด 50/25 ตร.มม.

ตัวอย่างที่ 9.2 วงจรไฟฟ้า 3 เฟส 230/400 V ใช้สาย IEC 01 ขนาด 25 ตร.มม. เดินร้อยท่อเกาะผนัง จ่ายโหลดตามที่แสดงในรูป ต้องการหาค่าแรงดันตกที่จุดปลายสุดของวงจร



วิธีทำ

สาย IEC 01 ขนาด 25 ตร.มม. เป็นสาย PVC ใช้ตารางที่ 9.1 (กลุ่มที่ 2) ได้ VD = 1.52 mV/A/m

VD = mV × กระแส (A) × ความยาวสาย (m)

VD1 = 1.52 × (10+30+30) × 20/1,000 = 2.13 V

VD2 = 1.52 × (30+30) × 20/1,000 = 1.82 V

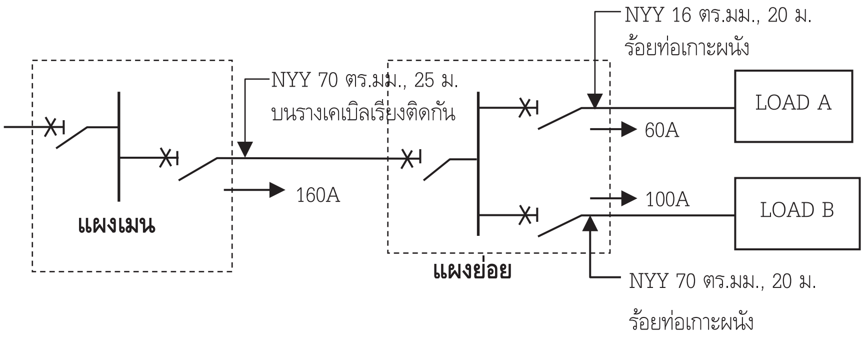
VD3 = 1.52 × 30 × 50/1,000 = 2.28 V

รวม VD (VD ที่จุดปลายสุด) = 2.13 + 1.82 + 2.28 = 6.23 V

เป็นเปอร์เซ็นต์ = (6.23/400) × 100 = 1.6%

หมายเหตุ *การหาค่าแรงดันตกวิธีนี้เป็นวิธีโดยประมาณ เพราะในความเป็นจริงโหลดแต่ละตัวจะมีค่า power factor ไม่เท่ากัน*

ตัวอย่างที่ 9.3 เมนสวิตช์ระบบ 3 เฟส 4 สาย 230/400 V จ่ายไฟให้แผงย่อยด้วยสาย NYY แกนเดียวขนาด 70 ตร.มม. ยาว 25 ม. สายวางเรียงชิดติดกันบนรางเคเบิลแบบบันได กระแสในวงจร 160 A และจากแผงย่อยจ่ายไฟให้โหลด 3 เฟส 2 ชุด โดยใช้สาย NYY แกนเดียวเดินร้อยท่อเกาะผนัง ขนาด กระแส และความยาวตามที่แสดงในรูป ต้องการหาแรงดันตกที่โหลด B



วิธีทำ

VD1 สาย NYY แกนเดียว ขนาด 70 ตร.มม. เป็นสาย PVC ใช้ตารางที่ 9.1 วางบนรางเคเบิลแบบเรียงชิดติดกัน (กลุ่มที่ 7, Flat) ได้ค่าแรงดันตก 0.60 mV/A/m

VD1 = 0.60 × 160 × 25/1,000 = 2.4 V

VD2 สาย NYY แกนเดียว ขนาด 70 ตร.มม. เป็นสาย PVC ใช้ตารางที่ 9.1 เดินร้อยท่อ (กลุ่มที่ 2) ได้ค่าแรงดันตก 0.61 mV/A/m

VD2 = 0.61 × 100 × 20/1,000 = 1.22 V

รวม VD (VD ที่โหลด) = 2.4 + 1.22 = 3.62 V

เป็นเปอร์เซ็นต์ = (3.62/400) × 100 = 0.91%

9.7 ความยาวสายสูงสุดตามค่าแรงดันตก

ในการออกแบบหรือติดตั้งระบบไฟฟ้าอาจต้องการทราบในเบื้องต้นว่าวงจรที่ออกแบบและสายไฟฟ้าที่ใช้จะจ่ายโหลดได้ความยาวเท่าไร การหาค่าความยาวสายสูงสุดตามค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันตกที่กำหนด เป็นดังนี้

ค่าที่อ่านได้จากตาราง (VD) = mV/A/m

นั่นคือ VD เป็น V = (mV/1000) × A × m

ความยาวสายสูงสุด (m) = VD × 1000 / (mV × A)

เมื่อ mV = ค่าที่อ่านได้จากตาราง

A = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร หรือเพื่อความสะดวกอาจคิดจากขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ซึ่งกระแสที่ไหลจริงก็จะไม่เกินนี้

ตัวอย่าง

วงจรไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 230/400 V ใช้สาย IEC 01 ขนาด 50 ตร.มม. เดินร้อยท่อในอากาศ ในวงจรมีกระแสไหล 80 A ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 100 A ต้องการหาความยาวสายสูงสุดกำหนดให้แรงดันตกไม่เกิน 3%

วิธีทำ

วิธีที่ 1 คิดจากกระแสโหลด

แรงดันตก 3%, VD = 400 × 3/100 = 12 V

ตารางที่ 9.1 (กลุ่มที่ 2) ได้ mV/A/m = 0.85

ความยาวสายสูงสุด (m) = VD × 1000 / (mV × A)

= 12 × 1000 / (0.85 × 80A)

= 176 m.

วิธีที่ 2 คิดจากขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์

ความยาวสายสูงสุด (m) = VD × 1000 / (mV × A)

= 12 × 1000 / (0.85 × 100A)

= 141 m.

หมายเหตุ *การคิดจากขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์จะได้ความยาวสายสูงสุดน้อยกว่าคิดจากกระแสโหลดแต่จะสะดวกกว่ากรณีไม่ทราบกระแสโหลดที่แน่นอน*

ภาคผนวก A ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

(แหล่งที่มา:- มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 วสท.)

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน PVC ตาม มอก.11-2553 เป็นไปตามตารางที่ 5-20 ถึง 5-26 และ 5-30 ถึง 5-31

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน XLPE ระบบแรงดัน 0.6/1 kV เป็นไปตามตารางที่ 5-21, 5-27 ถึง 5-29 และ 5-32 ถึง 5-33

ขนาดกระแสของสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ เป็นไปตามตารางที่ 5-34 ถึง 5-35

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มีชีลด์ระบบแรงดัน 3.6/6 kV ถึง 18/30 kV เป็นไปตามตารางที่ 5-36 และ 5-37

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มฉนวน PVC ตาม มอก.293-2541 เป็นไปตามตารางที่ 5-42

ถ้ามีสายในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกันมากกว่า 1 กลุ่มวงจร โดยไม่นับสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าให้ใช้ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับตารางที่ 5-20, 5-23, 5-27, 5-29, 5-31 และ 5-33 ด้วยค่าตามตารางที่ 5-8

หมายเหตุ *หมายเลขตารางในภาคผนวกนี้ตรงกับมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ พ.ศ.2564 เพื่อความสะดวกในการใช้งาน*

ตารางขนาดกระแสและการใช้งานสายไฟฟ้า

ตาราง	รายการ
ตารางที่ 5-8	ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสเนื่องจากจำนวนสายที่นำกระแสในช่องเดินสายไฟฟ้า หรือรางเคเบิลที่มีฝาปิด เดียวกันมากกว่า 1 กลุ่มวงจร
ตารางที่ 5-20	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในท่อร้อยสายในอากาศ
ตารางที่ 5-21	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC หรือ XLPE มีเปลือก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70°C หรือ 90°C อุณหภูมิ โดยรอบ 40°C เดินเกาะผนังในอากาศ
ตารางที่ 5-22	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 450/750 V อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ
ตารางที่ 5-23	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 30°C ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
ตารางที่ 5-24	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 300/500 V อุณหภูมิตัวนำ 70°C หรือ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในอากาศ
ตารางที่ 5-25	ขนาดกระแสของสายอ่อน (flexible cord) ตัวนำทองแดงหลายแกนหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 300/500 V อุณหภูมิตัวนำ 70°C หรือ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในอากาศ
ตารางที่ 5-26	ขนาดกระแสของสายเคเบิลอ่อน (flexible cable) ตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 450/750 V อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในอากาศ
ตารางที่ 5-27	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มี/ไม่มีเปลือก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินร้อยในท่อในอากาศ
ตารางที่ 5-28	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าแกนเดียวตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ
ตารางที่ 5-29	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 30°C ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
ตารางที่ 5-30	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบระบายอากาศหรือรางเคเบิลแบบบันได

ตารางที่ 5-30(ก)	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ
ตารางที่ 5-31	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลมีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ แบบระบายอากาศ และแบบบันได
ตารางที่ 5-32	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบระบายอากาศและแบบบันได
ตารางที่ 5-32(ก)	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้ม XLPE มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ
ตารางที่ 5-33	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มีเปลือก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลมีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ แบบระบายอากาศ และแบบบันได
ตารางที่ 5-34	ขนาดกระแสของสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ตัวนำและเปลือก (sheath) ทองแดง หุ้ม/ไม่หุ้มพีวีซี โดยเปลือกทองแดงสามารถสัมผัสได้ อุณหภูมิเปลือก 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C
ตารางที่ 5-35	ขนาดกระแสของสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ตัวนำและเปลือก (sheath) ทองแดง โดยเปลือกทองแดงไม่สามารถให้บุคคลสัมผัสหรือไม่สามารถสัมผัสกับวัสดุติดไฟได้ อุณหภูมิเปลือก 105°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C
ตารางที่ 5-36	ขนาดกระแสของสายเคเบิล ตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้ม XLPE เปลือกนอก PVC มีชีลด์ ขนาดแรงดัน (U_0/U) ตั้งแต่ 3.6/6 kV ถึง 18/30 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบระบายอากาศ และแบบบันได
ตารางที่ 5-37	ขนาดกระแสของสายเคเบิล ตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้ม XLPE เปลือกนอก PVC มีชีลด์ ขนาดแรงดัน (U_0/U) ตั้งแต่ 3.6/6 kV ถึง 18/30 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C (ร้อยในท่อในอากาศ) และ 30°C (ร้อยท่อฝังดิน)
ตารางที่ 5-38	ขนาดกระแสสายเคเบิลตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวน XLPE อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 30°C ขนาดแรงดัน (U_0/U) 3.6/6 ถึง 18/30 kV เดินใน duct bank ไม่เกิน 8 ท่อ
ตารางที่ 5-39	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าเครื่องเชื่อม (ตัวนำทองแดง) ตาม มอก.448-2525

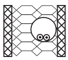
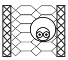
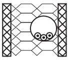
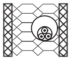
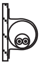
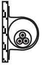
ตารางที่ 5-40	ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดียววางบนรางเคเบิล เป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร
ตารางที่ 5-40(ก)	ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว วางบนรางเคเบิล เป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร
ตารางที่ 5-41	ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลหลายแกน วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ แบบด้านล่างทึบ หรือแบบบันได เมื่อวางเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร
ตารางที่ 5-42	ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มฉนวนพีวีซีตาม มอก.293-2541 ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 450/750 V อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ
ตารางที่ 5-43	ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C ใช้กับค่าขนาดกระแสของเคเบิล เมื่อเดินในอากาศ
ตารางที่ 5-44	ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิโดยรอบแตกต่างจาก 30°C ใช้กับค่าขนาดกระแสของเคเบิล เมื่อเดินใต้ดิน
ตารางที่ 5-45	ตัวคูณปรับค่าสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว หรือหลายแกน ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV ฝังดินโดยตรง เมื่อวางเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร วางเรียงกันแนวระดับ
ตารางที่ 5-46	ตัวคูณปรับค่าสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว หรือหลายแกน ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV ร้อยท่อฝังดินโดยตรง เมื่อวางเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร วางเรียงกันแนวระดับ
ตารางที่ 5-47	รูปแบบการติดตั้งอ้างอิง
ตารางที่ 5-48	ข้อกำหนดการใช้งานของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก.11-2553 และ มอก.11 เล่ม 101-2559

ตารางที่ 5-8

ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสเนื่องจากจำนวนสายที่นำกระแส ในช่องเดินสายไฟฟ้าหรือเดินสายบนผิวมากกว่า 1 กลุ่มวงจร

จำนวนกลุ่มวงจร	ตัวคูณปรับค่ากรณีในช่องเดินสายไฟฟ้า หรือรางเคเบิลที่มีฝาปิด เดียวกัน	ตัวคูณปรับค่ากรณีเดินสายบนผิวหรือ เดินสายเกาะผนัง
2	0.80	0.85
3	0.70	0.79
4	0.65	0.75
5	0.60	0.73
6	0.57	0.72
7	0.54	0.72
8	0.52	0.71
9	0.50	0.70
10-12	0.45	0.70
13-16	0.41	0.70
17-20	0.38	0.70

ตารางที่ 5-20 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในท่อร้อยสายในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 1				กลุ่มที่ 2			
จำนวนตัวนำกระแส	2		3		2		3	
ลักษณะตัว	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง								
ระบบไฟฟ้า	AC หรือ DC		AC		AC หรือ DC		AC	
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	รหัสชนิดเคเบิล 60227 IEC 01, 60227 IEC 02, 60227 IEC 05, 60227 IEC 06, 60227 IEC 10, NYY, NYY-G, VCT, VCT-G, IEC 60502-1 รวมถึงสายที่มีคุณสมบัติต่างๆ เช่น สายทนไฟ สายไรฮาโลเจน และ สายควันน้อย เป็นต้น							
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)							
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	-

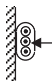
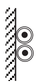
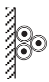
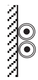
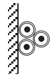
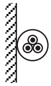
หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-20)*

1. อุณหภูมิโดยรอบที่ต่างจาก 40°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-43

2. ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ในท่อร้อยสาย ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-8

3. สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันไม่เกิน 1.5 kV.

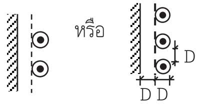
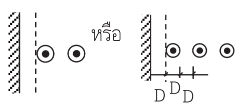
ตารางที่ 5-21 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC หรือ XLPE มีเปลือก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70°C หรือ 90°C อุณหภูมิ โดยรอบ 40°C เดินเกาะผนังในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 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	
จำนวนตัวนำกระแส	2	2	3	2	3	2	3	2	3
รูปแบบการติดตั้ง	 สายดิน								
ระบบไฟฟ้า	AC	AC,DC	AC	AC,DC	AC	AC,DC	AC	AC,DC	AC
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	VAF, VAF-G	NYY, IEC 60502-1		IEC 60502-1		NYY, NYY-G, VCT, VCT-G 60227 IEC 10, IEC 60502-1		IEC 60502-1	
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)								
1	14	13	12	17	16	13	12	17	15
1.5	17	17	16	23	21	17	15	22	20
2.5	23	23	22	31	29	23	21	30	27
4	32	32	29	42	37	31	28	41	36
6	41	41	37	54	49	40	36	53	47
10	56	57	51	74	67	55	50	73	65
16	74	76	69	99	90	74	66	97	87
25	-	99	90	130	118	97	84	126	108
35	-	123	112	160	147	120	104	156	134
50	-	158	145	207	190	146	125	190	163
70	-	204	186	267	244	185	160	245	208
95	-	247	227	323	297	224	194	298	253
120	-	287	264	375	345	260	225	348	293
150	-	331	304	433	397	299	260	401	338
185	-	379	348	496	455	341	297	460	386
240	-	448	411	586	537	401	351	545	455
300	-	517	474	676	620	461	404	630	524
400	-	604	552	790	722	-	-	-	-
500	-	689	629	900	823	-	-	-	-

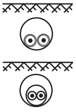
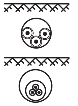
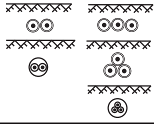
หมายเหตุ *1. อุณหภูมิโดยรอบที่ต่างจาก 40°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-43*

2. สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันไม่เกิน 1.5 kV ได้

ตารางที่ 5-22 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวน PVC ตาม มอก.11 ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 450/750 V อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 4	
รูปแบบการติดตั้ง		
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 01, NYY	
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)	
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

ตารางที่ 5-23 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 30°C ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

ลักษณะการติดตั้ง	**กลุ่มที่ 5**		**กลุ่มที่ 6**
จำนวนตัวนำกระแส	**2**	**3**	**ไม่เกิน 3**
ลักษณะตัวนำ	**แกนเดียว/หลายแกน**	**แกนเดียว/หลายแกน**	**แกนเดียว/หลายแกน**
รูปแบบการติดตั้ง	 หรือ	 หรือ	 หรือ หรือ
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	NYY, NYY-G, VCT, VCT-G และสายตามมาตรฐาน IEC 60502-1		
ขนาดสาย (ตร.มม.)	**ขนาดกระแส (A)**		
1	17	15	21
1.5	21	19	26
2.5	28	25	35
4	36	33	45
6	46	41	57
10	62	55	76
16	81	72	99
25	106	94	128
35	129	114	154
50	153	136	181
70	190	168	223
95	232	204	267
120	265	234	304
150	303	266	342
185	344	303	386
240	404	361	448
300	462	404	507
400	529	462	577
500	605	527	654

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-23)*

1. อุณหภูมิโดยรอบที่ต่างจาก 30°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-44

2. กรณีเดินเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-45 หรือ 5-46

3. กรณีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจรในท่อร้อยสาย ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-8

ตารางที่ 5-24 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 300/500 V อุณหภูมิตัวนำ 70°C หรือ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในอากาศ

อุณหภูมิตัวนำ	**70°C**	**90°C**
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 05, 60227 IEC 06	60227 IEC 07, 60227 IEC 08
ขนาดสาย (ตร.มม.)	**ขนาดกระแส (A)**	
0.5	3	3
0.75	6	6
1	10 [2)]	10
1.5	-	16
2.5	-	25

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-24)*

1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43

2) ค่าขนาดกระแสเฉพาะรหัสเคเบิล 60227 IEC 06 เท่านั้น

ตารางที่ 5-25 ขนาดกระแสของสายอ่อน (flexible cord) ตัวนำทองแดงหลายแกนหุ้มฉนวน PVC ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 300/500 V อุณหภูมิตัวนำ 70°C หรือ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในอากาศ

จำนวนตัวนำกระแส	**2**	**3**
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 52, 60227 IEC 53, 60227 IEC 56, 60227 IEC 57	
ขนาดสาย (ตร.มม.)	**ขนาดกระแส (A)**	
0.5	3	3
0.75	6	6
1	10	10
1.5	16	16
2.5	25	20

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-25)*

1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43

2) สายอ่อนตัวนำทินเซล ที่มีรหัสเคเบิล 60227 IEC 41 มีค่าขนาดกระแส = 0.7 แอมแปร์ ที่อุณหภูมิตัวนำ 70°C และอุณหภูมิโดยรอบ 40°C

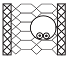
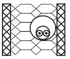
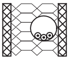
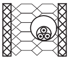
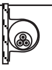
ตารางที่ 5-26 ขนาดกระแสของสายเคเบิลอ่อน (flexible cable) ตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC ตาม มอก.11 ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 450/750 V อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในอากาศ

จำนวน/ลักษณะ ตัวนำ	**เคเบิล 1 แกน 2 เส้น หรือ เคเบิล 2 แกน 1 เส้น มี/ไม่มี สายดิน**	**เคเบิล 3 แกน, 4 แกน หรือ 5 แกน**
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 02, VCT, VCT-G	VCT, VCT-G
ขนาดสาย (ตร.มม.)	**ขนาดกระแส (A)**	
1	13	11
1.5	16	14
2.5	25	21-
4	30	26
6	39	34
10	51	47
16	73	63
25	97	83
35	140	102
50	175	-
70	216	-
95	258	-
120	302	-
150	347	-
185	394	-
240	471	-

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-26)*

อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43

ตารางที่ 5-27 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มี/ไม่มีเปลือก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินร้อยในท่อในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	**กลุ่มที่ 1**				**กลุ่มที่ 2**			
จำนวนตัวนำกระแส	**2**		**3**		**2**		**3**	
ลักษณะตัวนำ	**แกนเดียว**	**หลายแกน**	**แกนเดียว**	**หลายแกน**	**แกนเดียว**	**หลายแกน**	**แกนเดียว**	**หลายแกน**
รูปแบบการติดตั้ง								
ระบบไฟฟ้า	AC หรือ DC		AC		AC หรือ DC		AC	
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น							
ขนาดสาย (ตร.มม.)	**ขนาดกระแส (A)**							
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	-

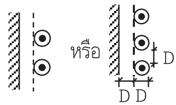
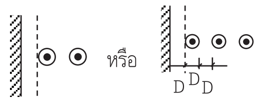
หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-27)*

1. อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-43

2. ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจรในท่อร้อยสาย ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-8

3. สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันระบุไม่เกิน 1.5 kV. ได้

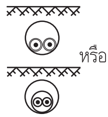
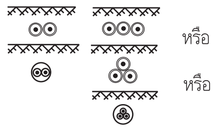
ตารางที่ 5-28 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าแกนเดียวตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 4	
รูปแบบการติดตั้ง		
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	สายตามมาตรฐาน IEC 60502-1	
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)	
4	47	54
6	60	68
10	82	90
16	110	124
25	147	166
35	183	206
50	224	250
70	289	321
95	354	391
120	413	455
150	480	525
185	551	602
240	654	711
300	758	821
400	917	987
500	1,064	1,140

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-28)*

อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-43

ตารางที่ 5-29 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 30°C ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 5		กลุ่มที่ 6
จำนวนตัวนำกระแส	2	3	ไม่เกิน 3
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว/หลายแกน	แกนเดียว/หลายแกน	แกนเดียว/หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง			
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	สายตามมาตรฐาน IEC 60502-1		
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)		
1.5	25	22	33
2.5	33	29	43
4	43	38	55
6	54	47	70
10	71	63	92
16	94	83	119
25	124	109	152
35	150	132	184
50	180	159	217
70	223	196	266
95	271	238	318
120	313	275	362
150	355	312	406
185	406	356	459
240	477	418	533
300	543	475	601
400	625	545	684
500	717	623	777

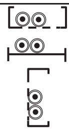
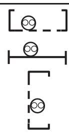
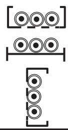
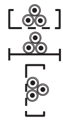
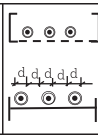
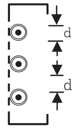
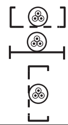
หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-29)*

1. อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 30°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-44

2. กรณีเดินเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร ให้ปรับค่าตามตาราง 5-45 หรือ 5-46

3. กรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจรในท่อร้อยสาย ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-8

ตารางที่ 5-30 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C ไม่มีฝาปิด วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือรางเคเบิลแบบบันได

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 7						
จำนวนตัวนำกระแส	2		3				
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว				หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง							
ระบบไฟฟ้า	AC หรือ DC		AC				
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 10, NYY, NYY-G, VCT, VCT-G และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น						
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)						
1	-	15	-	-	-	-	13
1.5	-	19	-	-	-	-	16
2.5	-	26	-	-	-	-	22
4	-	35	-	-	-	-	30
6	-	44	-	-	-	-	37
10	-	61	-	-	-	-	52
16	-	82	-	-	-	-	70
25	114	104	99	96	127	113	88
35	141	129	124	119	157	141	110
50	171	157	151	145	191	171	133
70	218	202	196	188	244	221	171
95	264	245	239	230	297	271	207
120	306	285	279	268	345	315	240
150	353	330	324	310	397	365	278
185	403	378	371	356	453	418	317
240	475	447	441	422	535	495	374
300	547	516	511	488	617	573	432
400	656	-	599	571	741	692	-
500	755	-	686	652	854	800	-

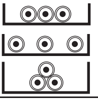
หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-30)*

1. อุณหภูมิโดยรอบที่ต่างจาก 40°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-43

2. กรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-40 และ 5-41 สำหรับสายแกนเดียวและสายหลายแกน ตามลำดับ

3. สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันระบุไม่เกิน 1.5 kV. ได้

ตารางที่ 5-30(ก) ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 7			
จำนวนตัวนำกระแส	2		3	3 หรือ 4
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง				
ระบบไฟฟ้า	AC หรือ DC		AC	
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 10, NYY, NYY-G, VCT, VCT-G และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น			
1	-	13	-	12
1.5	-	17	-	15
2.5	-	23	-	21
4	-	31	-	28
6	-	40	-	36
10	-	55	-	50
16	-	74	-	66
25	99	97	90	84
35	123	120	112	104
50	158	146	145	125
70	204	185	186	160
95	247	224	227	194
120	287	260	264	225
150	331	299	304	260
185	379	341	348	297
240	448	401	411	351
300	517	461	474	404
400	604	-	552	-
500	689	-	629	-

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-30(ก))*

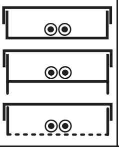
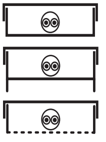
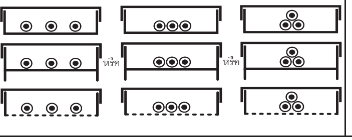
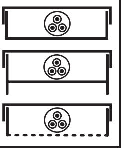
1. อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43

2. กรณีสายแกนเดียว จำนวนตัวนำมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-40 แต่หากระยะห่างระหว่างกลุ่มวงจร (นับจากผิวนอกของวงจรที่อยู่ถัดไป) มากกว่า 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของตัวนำกระแสนั้น ไม่ต้องใช้คูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-40

3. กรณีสายหลายแกน มีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-41

4. สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันระบุไม่เกิน 1.5 kV ได้

ตารางที่ 5-31 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลมีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ แบบระบายอากาศ และแบบบันได

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 7			
จำนวนตัวนำกระแส	2		3	
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง				
ระบบไฟฟ้า	AC หรือ DC		AC	
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 10, NYY, NYY-G, VCT, VCT-G สายตามมาตรฐาน IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น			
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)			
1	-	11	-	10
1.5	-	14	-	13
2.5	-	20	-	17
4	-	26	-	23
6	-	33	-	30
10	-	45	-	40
16	-	60	-	54
25	88	78	77	70
35	109	97	96	86
50	131	116	117	103
70	167	146	149	130
95	202	175	180	156
120	234	202	208	179
150	261	224	228	196
185	279	256	258	222
240	348	299	301	258
300	398	343	343	295
400	475	-	406	-
500	545	-	464	-

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-31)*

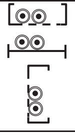
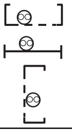
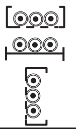
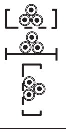
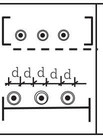
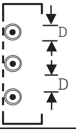
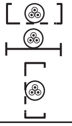
1. อุณหภูมิโดยรอบที่ต่างจาก 40°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-43

2. กรณีสายแกนเดียวมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามตารางที่ 5-40

3. กรณีสายหลายแกนมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามตารางที่ 5-41

4. สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันระบุไม่เกิน 1.5 kV ได้

ตารางที่ 5-32 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบระบายอากาศ และแบบบันได

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 7						
จำนวนตัวนำกระแส	2		3				
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว				หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง							
ระบบไฟฟ้า	AC หรือ DC		AC				
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น						
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)						
1	-	19	-	-	-	-	16
1.5	-	24	-	-	-	-	21
2.5	-	33	-	-	-	-	29
4	-	45	-	-	-	-	38
6	-	57	-	-	-	-	49
10	-	78	-	-	-	-	68
16	-	105	-	-	-	-	91
25	147	136	128	123	166	147	116
35	182	168	160	154	206	183	144
50	220	205	197	188	250	224	175
70	282	263	254	244	321	289	224
95	343	320	311	298	391	354	271
120	398	374	364	349	455	413	315
150	459	430	422	404	525	480	363
185	523	493	485	464	602	551	415
240	618	583	577	552	711	654	490
300	713	674	670	640	821	758	564
400	855	-	790	749	987	917	-
500	986	-	908	861	1,140	1,064	-

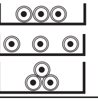
หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-32)*

1. อุณหภูมิโดยรอบที่ต่างจาก 40°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-43

2. กรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-40 และ 5-41 สำหรับสายแกนเดียวและสายหลายแกน ตามลำดับ

3. สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันระบุไม่เกิน 1.5 kV. ได้

ตารางที่ 5-32(ก) ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้ม XLPE มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ

ลักษณะการติดตั้ง	**กลุ่มที่ 7**			
จำนวนตัวนำกระแส	**2**		**3**	
ลักษณะตัวนำ	**แกนเดียว**	**หลายแกน**	**แกนเดียว**	**หลายแกน**
รูปแบบการติดตั้ง				
ระบบไฟฟ้า	**AC หรือ DC**		**AC**	
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ สายไร้ฮาโลเจน สายควันน้อย			
1	-	17	-	15
1.5	-	22	-	20
2.5	-	30	-	27
4	-	41	-	36
6	-	53	-	47
10	-	73	-	65
16	-	97	-	87
25	130	126	118	108
35	160	156	147	134
50	207	190	190	163
70	267	245	244	208
95	323	298	297	253
120	376	348	345	293
150	433	401	397	338
185	496	460	455	386
240	586	545	537	455
300	676	630	620	524
400	790	-	722	-
500	901	-	823	-

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-32(ก))*

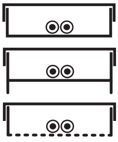
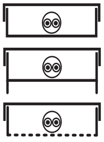
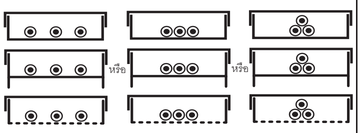
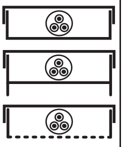
1. อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43

2. กรณีสายแกนเดียว จำนวนตัวนำมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-40

3. กรณีสายหลายแกน มีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-41

4. สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันระบุไม่เกิน 1.5 kV ได้

ตารางที่ 5-33 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน XLPE มีเปลือก ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลมีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ แบบระบายอากาศ และแบบบันได

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 7			
จำนวนตัวนำกระแส	2		3	
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง				
ระบบไฟฟ้า	AC หรือ DC		AC	
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ สายไร้ฮาโลเจน สายควันน้อย			
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)			
1	-	15	-	14
1.5	-	20	-	18
2.5	-	27	-	24
4	-	36	-	32
6	-	46	-	40
10	-	63	-	55
16	-	83	-	73
25	121	108	106	96
35	149	133	131	116
50	180	159	159	140
70	230	201	202	177
95	278	241	245	212
120	322	278	284	244
150	358	304	311	273
185	409	349	349	309
240	480	418	410	362
300	549	484	468	414
400	622	-	531	-
500	713	-	606	-

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-33)*

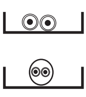
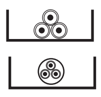
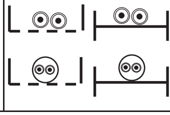
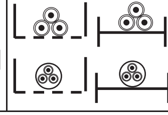
1. อุณหภูมิโดยรอบที่ต่างจาก 40°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-43

2. กรณีสายแกนเดียวมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามตารางที่ 5-40

3. กรณีสายหลายแกนมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามตารางที่ 5-41

4. สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันระบุไม่เกิน 1.5 kV ได้

ตารางที่ 5-34 ขนาดกระแสของสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ตัวนำและเปลือก (sheath) ทองแดง หุ้ม/ไม่หุ้มพีวีซี โดยเปลือกทองแดงสามารถสัมผัสได้ อุณหภูมิเปลือก 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C

ลักษณะการติดตั้ง		กลุ่มที่ 7					
ลักษณะการจัดวางสาย		เดินเกาะผนังในอากาศ หรือวางบนรางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ ไม่มีฝาปิด			วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิดแบบระบายอากาศ หรือแบบบันได		
จำนวนตัวนำกระแส		2	3		2	3	
ลักษณะตัวนำ		แกนเดียว/หลายแกน	แกนเดียว	แกนเดียว/หลายแกน	แกนเดียว/หลายแกน	แกนเดียว	แกนเดียว/หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง							
รหัสชนิดเคเบิล		IEC 60702					
ขนาดแรงดัน	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)					
500 V (รุ่นใช้งานเบา)	1	16	14	13	17	15	14
	1.5	20	18	16	21	20	18
	2.5	26	25	22	28	26	24
	4	34	32	30	37	35	31
750 V (รุ่นใช้งานหนัก)	1	17	15	14	18	17	15
	1.5	21	20	18	22	22	19
	2.5	29	26	24	31	29	26
	4	38	35	31	40	38	34
	6	48	44	41	51	48	43
	10	65	60	55	70	65	59
	16	87	78	73	93	87	78
	25	113	102	95	121	112	102
	35	139	125	116	148	137	125
	50	172	154	144	183	168	155
	70	210	188	176	224	205	190
	95	252	224	212	269	246	227
	120	289	258	243	309	281	262
	150	330	294	278	354	320	299
	185	374	333	315	401	362	339
	240	437	388	369	469	422	396

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-34)*

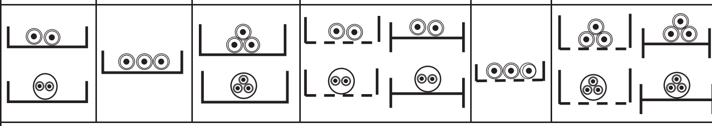
1. สำหรับเคเบิลแกนเดียว เปลือกทองแดงแต่ละเส้นของวงจรเดียวกันต้องต่อประสานเข้าด้วยกันที่ปลายทั้งสองด้านของวงจร

2. กรณีเคเบิลเปลือกนอกไม่หุ้มพีวีซี ค่าขนาดกระแสตามตารางที่ 5-34 ต้องคูณปรับค่าด้วย 0.9

3. อุณหภูมิโดยรอบที่ต่างจาก 40°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-43

4. กรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-40

ตารางที่ 5-35 ขนาดกระแสของสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ตัวนำและเปลือก (sheath) ทองแดง โดยเปลือกทองแดงไม่สามารถให้บุคคลสัมผัสหรือไม่สามารถสัมผัสกับวัสดุติดไฟได้ อุณหภูมิเปลือก 105°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C

ลักษณะการติดตั้ง		กลุ่มที่ 7					
ลักษณะการจัดวางสาย		เดินเกาะผนังในอากาศ หรือวางบนรางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ ไม่มีฝาปิด			วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิดแบบระบายอากาศ หรือแบบบันได		
จำนวนตัวนำกระแส		2	3		2	3	
ลักษณะตัวนำ		แกนเดี่ยว/หลายแกน	แกนเดี่ยว	แกนเดี่ยว/หลายแกน	แกนเดี่ยว/หลายแกน	แกนเดี่ยว	แกนเดี่ยว/หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง							
รหัสชนิดเคเบิล		IEC 60702					
ขนาดแรงดัน	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)					
500 V (รุ่นใช้งานเบา)	1	20	19	17	22	21	19
	1.5	26	25	22	29	27	24
	2.5	35	33	30	38	36	32
	4	47	43	40	50	47	42
750 V (รุ่นใช้งานหนัก)	1	22	22	18	24	23	20
	1.5	29	28	24	30	29	26
	2.5	39	38	32	41	40	35
	4	51	49	43	55	52	46
	6	64	62	54	70	65	59
	10	88	84	75	96	88	80
	16	117	109	98	126	117	106
	25	153	142	129	165	151	138
	35	187	172	157	202	184	169
	50	231	212	195	250	227	210
	70	282	258	239	306	276	257
	95	339	307	287	368	330	308
	120	390	352	330	423	378	354
	150	446	400	377	484	431	406
	185	506	453	428	548	488	460
	240	592	526	500	641	568	537

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-35)*

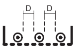
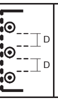
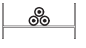
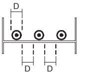
1. สำหรับเคเบิลแกนเดียว เปลือกทองแดงแต่ละเส้นของวงจรเดียวกันต้องต่อประสานเข้าด้วยกันที่ปลายทั้ง 2 ด้านของวงจร

2. อุปกรณ์ที่ต่อกับสายเคเบิลชนิดเอ็มไอนี้ จะต้องตรวจสอบให้ทราบแน่ชัดว่า ขั้วต่อสายเหมาะสมที่จะใช้กับตัวนำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียสด้วย

3. อุณหภูมิโดยรอบที่ต่างจาก 40°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-43

4. กรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-40

ตารางที่ 5-36 ขนาดกระแสของสายเคเบิล ตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้ม XLPE เปลือกนอก PVC มีชีลด์ ขนาดแรงดัน (U_0/U) ตั้งแต่ 3.6/6 kV ถึง 18/30 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบระบายอากาศ และแบบบันได

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 7								
จำนวนตัวนำกระแส	3								
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้	ตามมาตรฐาน IEC 60502-2								
ชนิดรางเคเบิล	แบบระบายอากาศ						แบบบันได		
รูปแบบการติดตั้ง					 				
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)								
50	217	217	255	อยู่ระหว่างการพิจารณา	217	อยู่ระหว่างการพิจารณา	221	217	260
70	270	269	317		269		276	269	324
95	329	329	387		329		336	329	395
120	380	379	446		379		388	379	455
150	429	430	499		430		438	430	509
185	490	494	568		494		501	494	580
240	577	583	664		583		589	583	678
300	659	669	754		669		672	669	770
400	746	769	837		769		762	769	854

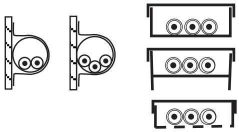
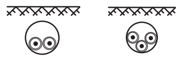
หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-36)*

1. อุณหภูมิโดยรอบที่ต่างจาก 40°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-43

2. กรณีเดินเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-40

3. ตัวนำชีลด์มีการต่อลงดินที่ปลายทั้ง 2 ด้าน และ/หรือต่อลงดินหลายตำแหน่ง

ตารางที่ 5-37 ขนาดกระแสของสายเคเบิล ตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้ม XLPE เปลือกนอก PVC มีชีลด์ ขนาดแรงดัน (U_0/U) ตั้งแต่ 3.6/6 kV ถึง 18/30 kV อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C (ร้อยในท่อในอากาศ) และ 30°C (ร้อยท่อฝังดิน)

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 5
จำนวนตัวนำกระแส	ไม่เกิน 3	
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว	
รูปแบบการติดตั้ง		
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	ตามมาตรฐาน IEC 60502-2	
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)	
35	148	149
50	175	178
70	215	218
95	265	265
120	303	303
150	348	341
185	396	386
240	478	454
300	551	521
400	636	607
500	730	706

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-37)*

1. อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C (เดินร้อยในท่อในอากาศ) และ 30°C (ร้อยท่อฝังดิน) ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-43 และ 5-44 ตามลำดับ

2. งานติดตั้งที่ต้องการมอบทรัพย์สินหรือเป็นทรัพย์สินของการไฟฟ้าฯ ให้พิจารณาจากขนาดกระแสตามมาตรฐานการไฟฟ้าฯ ยกเว้นไม่มีข้อกำหนดไว้

ตารางที่ 5-38 ขนาดกระแสสายเคเบิลตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวน XLPE อุณหภูมิตัวนำ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 30°C ขนาดแรงดัน (U_0/U) 3.6/6 ถึง 18/30 kV เดินใน duct bank ไม่เกิน 8 ท่อ

ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแสต่อ 1 วงจร (A)							
	จำนวนวงจรทั้งหมด							
	1	2	3	4	5	6	7	8
35	175	160	147	137	130	122	116	110
50	210	191	175	162	153	144	136	130
70	251	228	208	193	182	171	161	154
95	313	282	256	236	222	208	196	187
120	357	322	292	270	254	238	224	213
150	405	362	327	300	282	263	248	235
185	461	410	369	339	318	296	278	264
240	535	475	427	392	367	342	321	305
300	611	539	481	440	411	382	358	339
400	694	619	553	507	473	440	412	391
500	797	695	616	560	522	483	451	427

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-38)*

การคำนวณอิงจากมาตรฐาน IEC 60287 ตามสภาพเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- *สำหรับระบบแรงสูง ชีลด์ มีต่อการลงดินลักษณะต่อปลายทั้งสองด้าน และ/หรือ ต่อลงดินหลายจุด*
- *มีเคเบิล (ตัวนำกระแส) 3 เส้นใน 1 ท่อ*

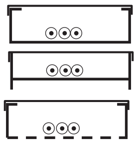
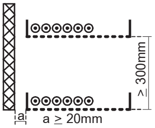
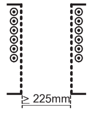
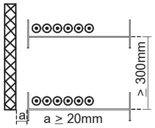
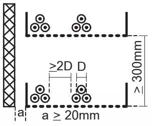
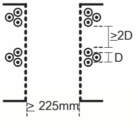
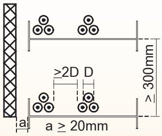
ตารางที่ 5-39 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าเครื่องเชื่อม (ตัวนำทองแดง) ตาม มอก.448-2525

ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (A)				
	วัฏจักรทำงานสูงสุด*, ร้อยละ				
	100	**60**	**30**	**25**	**20**
10	87	110	160	175	195
16	115	150	215	235	260
25	155	200	285	315	350
35	195	250	355	390	440
50	250	320	450	495	560
70	310	400	560	620	690
95	375	485	685	750	840
120	435	570	790	870	970
150	510	660	930	1,020	1,140
185	570	740	1,040	1,150	1,280
240	680	880	1,240	1,360	1,520

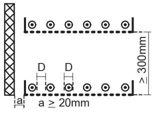
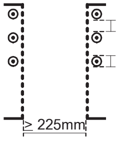
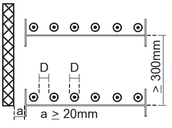
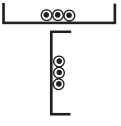
หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-39)*

**หมายถึง วัฏจักรทำงานร้อยละ 100 กำหนดจากเวลาที่จ่ายไฟฟ้าให้เครื่องเชื่อมในเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนวัฏจักร ทำงานอื่น ๆ กำหนดจากเวลาที่จ่ายไฟฟ้าให้เครื่องเชื่อมใน 5 นาที*

ตารางที่ 5-40 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดียววางบนรางเคเบิล เป็นกลุ่มตั้งแต่ 1 วงจร ขึ้นไป

วิธีการติดตั้ง		จำนวนรางเคเบิล	จำนวนกลุ่มวงจรต่อรางเคเบิล						ลักษณะการจัดเรียงเคเบิล
			1	2	3	4	5-6	7-9	
รางเคเบิลมีฝาปิดแบบด้านล่างทึบ แบบบันไดและแบบระบายอากาศ		1	ดูตารางที่ 5-40(ก) ช่องที่ 2						รูปแบบวางชิดกัน วางแบบสามเหลี่ยม และวางห่างเส้นเว้นเส้น
รางเคเบิลแบบระบายอากาศ (หมายเหตุ 2 และ 5)		1 2 3	1.00 0.96 0.95	0.91 0.87 0.85	0.87 0.81 0.78	0.82 0.78 0.75	0.78 0.74 0.70	0.77 0.69 0.65	รูปแบบวางชิดกันในแนวนอน
รางเคเบิลแบบระบายอากาศวางแนวตั้ง (หมายเหตุ 3 และ 5)		1 2	1.00 0.95	0.86 0.84	0.80 0.77	0.75 0.72	0.71 0.67	0.70 0.66	รูปแบบวางชิดกันในแนวตั้ง
รางเคเบิลแบบบันได (หมายเหตุ 2 และ 5)		1 2 3	1.00 0.98 0.97	0.97 0.93 0.90	0.96 0.89 0.86	0.94 0.88 0.83	0.93 0.86 0.80	0.92 0.83 0.77	รูปแบบวางชิดกันในแนวนอน
รางเคเบิลแบบระบายอากาศ (หมายเหตุ 2)		1 2 3	1.00 0.97 0.96	0.98 0.93 0.92	0.96 0.89 0.86	0.93 0.85 0.82	0.89 0.80 0.76	- - -	รูปแบบวางชิดกัน แบบสามเหลี่ยม ห่างกันไม่น้อยกว่า 2 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล
รางเคเบิลแบบระบายอากาศวางแนวตั้ง (หมายเหตุ 3)		1 2	1.00 1.00	0.91 0.90	0.89 0.86	0.88 0.85	0.87 0.83	- -	
รางเคเบิลแบบบันได (หมายเหตุ 2)		1 2 3	1.00 0.97 0.96	1.00 0.95 0.94	1.00 0.93 0.90	1.00 0.92 0.89	1.00 0.91 0.86	- -	

ตารางที่ 5-40 (ต่อ)

วิธีการติดตั้ง		จำนวนรางเคเบิล	จำนวนกลุ่มวงจรต่อรางเคเบิล						ลักษณะการจัดเรียงเคเบิล
			1	2	3	4	5-6	7-9	
รางเคเบิลแบบระบายอากาศ (หมายเหตุ 2)		1	1.00	0.93	0.90	0.87	0.83	-	รูปแบบวางห่างกันไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล
		2	0.97	0.89	0.85	0.81	0.76	-	
		3	0.96	0.88	0.82	0.78	0.72	-	
รางเคเบิลแบบระบายอากาศวางแนวตั้ง (หมายเหตุ 3)		1	1.00	0.91	0.89	0.88	0.87	-	
		2	0.94	0.90	0.86	0.85	0.83	-	
รางเคเบิลแบบบันได (หมายเหตุ 2)		1	0.97	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	-	
รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ		1	ดูตารางที่ 5-40(ก) ช่องที่ 3						วางชิดกันชั้นเดียวในแนวนอนหรือแนวตั้ง

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-40)*

1. ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการวางสายไฟฟ้าเป็นกลุ่มชั้นเดียว หรือวางชิดติดกันเป็นกลุ่มรูปสามเหลี่ยมเท่านั้น

2. ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการติดตั้งรางเคเบิลในแนวนอนที่มีระยะห่างระหว่างรางเคเบิลในแนวดิ่งไม่น้อยกว่า 300 มม. และติดตั้งรางเคเบิลห่างจากผนังไม่น้อยกว่า 20 มม.เท่านั้น

3. ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการติดตั้งรางเคเบิลในแนวดิ่งที่มีระยะห่างระหว่างรางเคเบิลในแนวราบไม่น้อยกว่า 225 มม. เท่านั้น

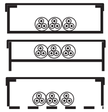
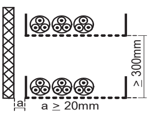
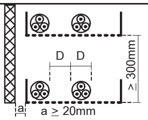
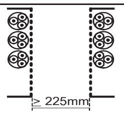
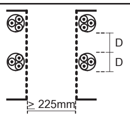
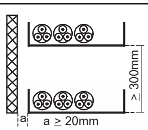
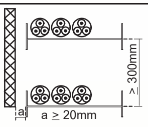
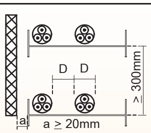
4. กรณีที่จำนวนรางเคเบิลมากกว่า 1 ราง ตัวคูณปรับค่าให้คิดจากรางเคเบิลที่มีกลุ่มวงจรมากที่สุด

5. จำนวนรางเคเบิล 1 ราง และกลุ่มวงจรมากกว่า 9 ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าเช่นเดียวกับ 9 วงจร

ตารางที่ 5-40(ก) ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว วางบนรางเคเบิล เป็นกลุ่ม มากกว่า 1 วงจร

ช่องที่ 1 จำนวนกลุ่มวงจร	ช่องที่ 2 ตัวปรับค่ารางเคเบิลมีฝาปิด ทั้ง 3 แบบ	ช่องที่ 3 ตัวปรับค่ารางเคเบิลไม่มีฝาปิดแบบด้านล่างทึบ
1	1.0	1.0
2	0.8	0.85
3	0.7	0.79
4	0.65	0.75
5	0.60	0.73
6	0.57	0.72
7	0.54	0.72
8	0.52	0.71
9	0.50	0.70
10-12	0.45	0.70
13-16	0.41	0.70
17-20	0.38	0.70

ตารางที่ 5-41 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลหลายแกน วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ แบบด้านล่างทึบ หรือแบบบันได เมื่อวางเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร

วิธีการติดตั้ง		จำนวนราง เคเบิล	จำนวนเคเบิลต่อรางเคเบิล					
			1	2	3	4	5-6	7-9
รางเคเบิลมีฝาปิด		1	ดูตารางที่ 5-40(ก) ช่องที่ 2					
รางเคเบิลแบบระบายอากาศ (หมายเหตุ 2 และ 5)		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
รางเคเบิลแบบระบายอากาศ (หมายเหตุ 2)		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	-
รางเคเบิลแบบระบายอากาศแนวตั้ง (หมายเหตุ 3 และ 5)		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
รางเคเบิลแบบระบายอากาศแนวตั้ง (หมายเหตุ 3)		1	1.0	0.91	0.89	0.88	0.87	-
		2	1.0	0.91	0.88	0.87	0.85	-
รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ (หมายเหตุ 2)		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 (หมายเหตุ 2 และ 5)		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
รางเคเบิลแบบบันได (หมายเหตุ 2)		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	-

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-41)*

1. ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการวางสายไฟฟ้าชั้นเดียวเท่านั้น

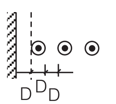
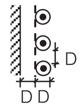
2. ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการติดตั้งรางเคเบิลในแนวนอนที่มีระยะห่างระหว่างรางเคเบิลในแนวดิ่ง ไม่น้อยกว่า 300 มม. และติดตั้งรางเคเบิลห่างจากผนังไม่น้อยกว่า 20 มม. เท่านั้น

3. ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการติดตั้งรางเคเบิลในแนวดิ่งที่มีระยะห่างระหว่างรางเคเบิลในแนวราบ ไม่น้อยกว่า 225 มม. เท่านั้น

4. กรณีที่จำนวนรางเคเบิลมากกว่า 1 ราง ตัวคูณปรับค่าให้คิดจากรางเคเบิลที่มีกลุ่มวงจรมากที่สุด

5. กรณีจำนวนรางเคเบิล <u>1 รางมีจำนวนวงจรมากกว่า 9 ให้ใช้ตัวปรับค่าเช่นเดียวกับ 9 กลุ่มวงจร</u>

ตารางที่ 5-42 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มฉนวนพีวีซีตาม มอก.293-2541 ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 450/750 V อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

รูปแบบการติดตั้ง		
ขนาดสาย (ตร.มม.)	**ขนาดกระแส (A)**	
25	97	86
35	121	108
50	147	132
70	189	171
95	231	210
120	268	245
150	310	284
185	354	327
240	419	389
300	485	452
400	584	547
500	674	635

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-42)*

อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C ให้ปรับค่าตามตารางที่ 5-43

YAZAKI

ตารางที่ 5-43 ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C ใช้กับค่าขนาดกระแสของเคเบิล เมื่อเดินในอากาศ

อุณหภูมิโดยรอบ (°C)	ฉนวน				
	PVC		XLPE หรือ EPR	เอ็มไอ	
	70°C	90°C	90°C	70°C	105°C
11-15	1.34		1.23	1.41	1.21
16-20	1.29		1.19	1.34	1.16
21-25	1.22		1.14	1.26	1.13
26-30	1.15		1.10	1.18	1.09
31-35	1.08	1.00	1.05	1.09	1.04
36-40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
41-45	0.91	1.00	0.96	0.91	0.96
46-50	0.82	1.00	0.90	0.79	0.91
51-55	0.70	0.96	0.84	0.67	0.87
56-60	0.57	0.83	0.78	0.53	0.82
61-65	-	0.67	0.71	-	0.76
66-70	-	0.47	0.64	-	0.70
71-75	-		0.55	-	0.65
76-80	-		0.45	-	0.59
81-85	-		-	-	0.51
86-90	-		-	-	0.43
91-95	-		-	-	0.35

ตารางที่ 5-44 ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิโดยรอบแตกต่างจาก 30°C ใช้กับค่าขนาดกระแสของเคเบิล เมื่อเดินใต้ดิน

อุณหภูมิโดยรอบ (°C)	ฉนวน	
	PVC	XLPE หรือ EPR
11-15	1.18	1.12
16-20	1.12	1.08
21-25	1.07	1.03
26-30	1.00	1.00
31-35	0.94	0.96
36-40	0.87	0.91
41-45	0.80	0.86
46-50	0.71	0.82
51-55	0.62	0.76
56-60	0.51	0.70
61-65	-	0.65
66-70	-	0.57
71-75	-	0.49
76-80	-	0.41

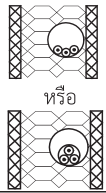
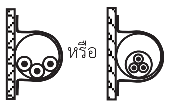
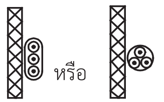
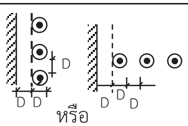
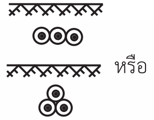
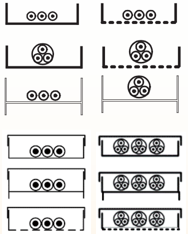
ตารางที่ 5-45 ตัวคูณปรับค่าสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว หรือหลายแกน ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV ฝังดินโดยตรง เมื่อวางเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร วางเรียงกันแนวระดับ

จำนวนวงจร	ระยะห่างระหว่างผิวด้านนอกเคเบิล แต่ละวงจร (มม.)				
	วางชิดกัน	เส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล 1 เส้น	125	250	500
2	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90
3	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
4	0.60	0.60	0.70	0.75	0.80
5	0.55	0.55	0.65	0.70	0.80
6	0.50	0.55	0.60	0.70	0.80

ตารางที่ 5-46 ตัวคูณปรับค่าสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว หรือหลายแกน ขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 kV ร้อยท่อฝังดินโดยตรง เมื่อวางเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร วางเรียงกันแนวระดับ

จำนวนวงจร	ระยะห่างระหว่างผิวด้านนอกท่อ แต่ละวงจร (มม.)			
	วางชิดกัน	250	500	1,000
2	0.85	0.90	0.95	0.95
3	0.75	0.85	0.90	0.95
4	0.70	0.80	0.85	0.90
5	0.65	0.80	0.85	0.90
6	0.60	0.80	0.80	0.90

ตารางที่ 5-47 รูปแบบการติดตั้งอ้างอิง

วิธีการเดินสาย	รูปแบบการติดตั้ง	ลักษณะการติดตั้ง	หมายเหตุ
สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินช่องเดินสายโลหะหรืออโลหะ ภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อน หรือผนังกันไฟ		กลุ่มที่ 1	ฝ้าเพดาน หรือผนังกันไฟที่เป็นฉนวนความร้อนคือวัสดุที่มีค่าการนำทางความร้อน (thermal conductance) อย่าง น้อย 10 W/m^2•K*
สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินในช่องเดินสายโลหะหรืออโลหะเดินเกาะผนังหรือเพดาน หรือฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกัน		กลุ่มที่ 2	กรณีฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกันผนังนั้นจะต้องมีค่าความต้านทานความร้อน (thermal resistivity) ไม่เกิน 2 K•m/W
สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก เดินเกาะผนัง หรือเพดาน ที่ไม่มีสิ่งปิดหุ้มที่คล้ายกัน		กลุ่มที่ 3	-
สายเคเบิลแกนเดียวหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก วางเรียงกันแบบมีระยะห่าง เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ		กลุ่มที่ 4	ระยะห่างถึงผนังและระหว่างเคเบิลไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล
สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรืออโลหะฝังดิน		กลุ่มที่ 5	-
สายแกนเดียว หรือหลายแกน หุ้มฉนวน มีเปลือกนอก ฝังดินโดยตรง		กลุ่มที่ 6	-
สายเคเบิลแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก วางบนรางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ รางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือรางเคเบิลแบบบันได		กลุ่มที่ 7	รางเคเบิลแบบระบายอากาศจะต้องมีพื้นที่รูระบายอากาศไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของพื้นผิวรางเคเบิลทั้งหมด

ตารางที่ 5-48 ข้อกำหนดการใช้งานของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก.11-2553 และ 11 เล่ม 101-2559

รหัสชนิดเคเบิล/ชื่อเรียก	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ลักษณะตัวนำ	จำนวนแกน	อุณหภูมิตัวนำ	เปลือกนอก	แรงดันไฟฟ้า U_0/U (V)	การใช้งาน
60227 IEC 01	1.5-400	เดี่ยวแข็ง (solid) หรือตีเกลียว (stranded)	แกนเดียว	70°C	ไม่มี	450/750	• ใช้งานทั่วไป • เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย • ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
60227 IEC 02	1.5-240	ฝอย (flexible)	แกนเดียว	70°C	ไม่มี	450/750	• ใช้งานทั่วไป • เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย • ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
60227 IEC 05	0.5-1.0	เดี่ยวแข็ง (solid)	แกนเดียว	70°C	ไม่มี	300/500	• ใช้งานทั่วไป • เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย • ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
60227 IEC 06	0.5-1.0	ฝอย (flexible)	แกนเดียว	70°C	ไม่มี	300/500	• ใช้งานทั่วไป • เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย • ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
60227 IEC 07	0.5-2.5	เดี่ยวแข็ง (solid)	แกนเดียว	90°C	ไม่มี	300/500	• ใช้งานทั่วไป • เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย • ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

ตารางที่ 5-48 (ต่อ)

รหัสชนิดเคเบิล/ชื่อเรียก	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ลักษณะตัวนำ	จำนวนแกน	อุณหภูมิตัวนำ	เปลือกนอก	แรงดันไฟฟ้า U_0/U (V)	การใช้งาน
60227 IEC 08	0.5-2.5	ฝอย (flexible)	แกนเดียว	90°C	ไม่มี	300/500	• ใช้งานทั่วไป • เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย • ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
60227 IEC 10	1.5-35	ตีเกลียว (stranded)	หลายแกน (มี/ไม่มีสายดิน)	70°C	มี	300/500	• ใช้งานทั่วไป • เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย • วางบนรางเคเบิล • ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
60227 IEC 41	0.8	ตีเกลียว (stranded)	2 แกน	70°C	ไม่มี	300/300	• ใช้งานภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
60227 IEC 43	0.5-0.75	ฝอย (flexible)	1 แกน	70°C	มี	300/300	• ใช้ต่อไฟประดับตกแต่งภายในอาคาร
60227 IEC 52	0.5-0.75	ฝอย (flexible)	หลายแกน (มี/ไม่มีสายดิน)	70°C	มี	300/300	• ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ • ใช้งานภายในเครื่องใช้ไฟฟ้า
60227 IEC 53	0.75-2.5	ฝอย (flexible)	หลายแกน (มี/ไม่มีสายดิน)	70°C	มี	300/500	• ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ (ใช้งานหนัก) • ใช้ต่อเข้าดวงโคม
60227 IEC 56	0.5-0.75	ฝอย (flexible)	หลายแกน (มี/ไม่มีสายดิน)	90°C	มี	300/300	• ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ (ใช้งานหนัก)

ตารางที่ 5-48 (ต่อ)

<table>
<tr><th>รหัสชนิดเคเบิล/ชื่อเรียก</th><th>ขนาดสาย (ตร.มม.)</th><th>ลักษณะตัวนำ</th><th>จำนวนแกน</th><th>อุณหภูมิตัวนำ</th><th>เปลือกนอก</th><th>แรงดันไฟฟ้า U_0/U (V)</th><th>การใช้งาน</th></tr>
<tr><td>60227 IEC 57</td><td>0.75-2.5</td><td>ฝอย (flexible)</td><td>หลายแกน (มี/ไม่มีสายดิน)</td><td>90°C</td><td>มี</td><td>300/500</td><td>● ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ (ใช้งานหนัก)
● ใช้ในดวงโคมไฟฟ้าที่มี/ไม่มีบัลลาสต์
● ใช้ในป้ายโฆษณา/ป้ายไฟฟ้า</td></tr>
<tr><td rowspan="2">NYY</td><td>1-500</td><td rowspan="3">ตีเกลียว (stranded)</td><td>แกนเดียว</td><td rowspan="3">70°C</td><td rowspan="3">มี</td><td rowspan="3">450/750</td><td rowspan="3">● ใช้งานทั่วไป
● วางบนรางเคเบิล
● ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง</td></tr>
<tr><td>1-300</td><td>หลายแกน</td></tr>
<tr><td>NYY-G</td><td>1-300</td><td>หลายแกน มีสายดิน</td></tr>
<tr><td>VAF
VAF-G</td><td>1-16</td><td>เดี่ยวแข็ง (solid) หรือตีเกลียว</td><td>2 แกน
2 แกนมีสายดิน</td><td>70°C</td><td>มี</td><td>300/500</td><td>● เดินเกาะผนัง
● เดินในช่องเดินสาย ห้ามร้อยท่อ
● ห้ามฝังดิน</td></tr>
<tr><td>VCT
VCT-G</td><td>1-35</td><td>ฝอย (flexible)</td><td>แกนเดียว หลายแกน และหลายแกนมีสายดิน</td><td>70°C</td><td>มี</td><td>450/750</td><td>● ใช้งานทั่วไป
● ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า
● วางบนรางเคเบิล
● ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง</td></tr>
</table>

หมายเหตุ *(ตารางที่ 5-48)*

1. การใช้งานต้องสอดคล้องกับวิธีการเดินสายด้วย

2. ตารางที่ 5-20 ถึง 5-48 เป็นตารางตามหนังสือมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ พ.ศ.2556 และใช้หมายเลขตารางเดียวกันเพื่อความสะดวกในการจดจำและใช้งาน

ภาคผนวก A ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

ภาคผนวก B ขนาดสายไฟฟ้า

ตารางที่ B1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรวมฉนวน (และเปลือก)
สายไฟฟ้า ตาม มอก.11-2553

ขนาดสายไฟฟ้า (ตร.มม.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้ารวมฉนวน (และเปลือก) เป็น มม.								
	IEC 01	NYY 1-C	NYY 2-C	NYY 3-C	NYY 4-C	VCT 1-C	VCT 2-C	VCT 3-C	VCT 4-C
1.0	-	8.8	12.5	13	14	6.2	9.6	10.5	12
1.5	3.3	9.2	13	13.5	14.5	6.6	11	11.5	12.5
2.5	4.0	9.8	14	15	16	7.4	12.5	13	15
4	4.6	10.5	15.5	16.5	17.5	8.6	14.5	15.5	17.0
6	5.2	11.0	17	18	19	9.4	16.0	17.5	19.5
10	6.7	12.0	19.5	20.5	23	12.0	20.0	21.5	24.0
16	7.8	13.0	22.5	24.6	26.5	13.5	23.0	25.0	28.0
25	9.7	14.5	27	28.5	31	16.0	27.5	30.0	33.0
35	10.9	16.0	29.5	31.5	35	17.5	31.0	33.5	37.0
50	12.8	17.0	33.5	36.0	39.5	-	-	-	-
70	14.6	19.0	38.0	40.5	44.5	-	-	-	-
95	17.1	21.5	42.5	46.0	51.5	-	-	-	-
120	18.8	23.0	46.5	50.5	56.0	-	-	-	-
150	20.9	26.0	52.0	56.0	62.0	-	-	-	-
185	23.3	28.0	57.0	61.5	68.0	-	-	-	-
240	26.6	31.5	64.0	69.0	76.5	-	-	-	-
300	29.6	35.0	70.5	76.0	85.0	-	-	-	-
400	33.2	38.5	-	-	-	-	-	-	-
500	-	43.0	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ B2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรวมฉนวน (และเปลือก) สายไฟฟ้า ตาม มอก.11-2553 (ชนิดมีสายดิน)

ขนาดสายไฟฟ้า (ตร.มม.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้ารวมฉนวน (และเปลือก) เป็น มม.					
	สาย NYY-GRD			สาย VCT-GRD		
	2-C	3-C	4-C	2-C	3-C	4-C
1.0	13.5	14	15	10	11.5	13
1.5	14	15	16	12	12.5	14
2.5	15	16	17	13	14	15.5
4	16.5	18	19	15.5	17.0	18.5
6	18	19	20.5	17.5	19.5	21.5
10	21	22.5	25	21.5	24	26.5
16	23.5	26.5	28.5	25	28	30.5
25	28	30.5	34	28.5	33	36.5
35	30	33	39	31.5	37	41.5
50	34	38.5	43.5	-	-	-
70	38.5	42.5	49	-	-	-
95	43.5	48.5	56.5	-	-	-
120	47.5	53.5	61.5	-	-	-
150	53	59	68	-	-	-
185	57.5	64.5	75	-	-	-
240	64.5	72	84.5	-	-	-
300	71	79.5	93.5	-	-	-

ตารางที่ B3 พื้นที่ภาคตัดขวางรวมฉนวน (และเปลือก) สายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553

ขนาดสาย (ตร.มม.)	พื้นที่ภาคตัดขวางรวมฉนวนและเปลือก (ตร.มม.)						
	ชนิดของสายไฟฟ้า						
	IEC 01	NYY 1-C	NYY 2-C	NYY 3-C	NYY 4-C	NYY 2-C/G	NYY 4-C/G
1	-	60.8	123	133	154	143	177
1.5	8.6	66.5	133	143	165	154	201
2.5	12.6	75.4	154	177	201	177	227
4	16.6	86.6	189	214	241	214	284
6	21.2	95	227	254	284	254	330
10	35.3	113	299	330	415	346	491
16	47.8	133	389	471	552	434	638
25	73.9	165	573	638	755	616	908
35	93	201	683	779	962	707	1195
50	129	227	881	1018	1225	908	1486
70	167	284	1134	1288	1555	1164	1886
95	230	363	1419	1662	2083	1486	2507
120	278	415	1698	2003	2463	1772	2971
150	343	531	2124	2463	3019	2206	3632
185	426	616	2552	2971	3632	2597	4418
240	556	779	3217	3739	4596	3267	5608
300	688	962	3904	4536	5675	3959	6866
400	866	1164	-	-	-	-	-
500	-	1452	-	-	-	-	-

ตารางที่ B4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นที่ภาคตัดขวางรวมฉนวนและเปลือกของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวน XLPE

ขนาดสาย (ตร.มม.)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)				พื้นที่ภาคตัดขวาง (ตร.มม.)			
	1-C	2-C	3-C	4-C	1-C	2-C	3-C	4-C
2.5	6.5	11.5	12.5	13.0	33.2	104	123	133
4	7.0	12.5	13.5	14.5	38.5	123	143	165
6	7.5	14.0	14.5	16.0	44.2	154	165	201
10	8.1	15.0	16.0	17.5	51.5	177	201	241
16	9.5	17.0	18.0	20	70.9	227	254	314
25	11.5	21	22	24	104	346	380	452
35	12.6	23	24	27	125	415	452	573
50	14.0	26	27	30	154	531	573	707
70	16.0	29	31	35	201	661	755	962
95	18.2	33	36	39	260	855	1018	1195
120	19.9	37	39	44	311	1075	1195	1521
150	22.1	41	44	49	384	1320	1521	1886
185	23	45	49	54	415	1590	1886	2290
240	27	51	55	61	572	2043	2376	2922
300	29	56	61	68	661	2463	2922	3632
400	32	63	68	76	804	3117	3632	4536
500	36	-	-	-	1018	-	-	-

ภาคผนวก C จำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย

ตารางที่ C1 จำนวนสายไฟฟ้าขนาดเดียวกันในท่อร้อยสาย
สำหรับสายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2553 รหัสชนิด 60227 IEC 01

ขนาดสายไฟฟ้า (ตร.มม.)	จำนวนสูงสุดของสายไฟฟ้าขนาดเดียวกันในท่อร้อยสาย											
1.5	8	14	22	37	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	5	10	15	25		-	-	-	-	-	-	-
4	4	7	11	19	30	-	-	-	-	-	-	-
6	3	5	9	15	23	37	-	-	-	-	-	-
10	1	3	5	9	14	22		-	-	-	-	-
16	1	2	4	6	10	16	27	42	-	-	-	-
25	1	2	2	4	6	10	17	27	34	-	-	-
35	1	1	2	3	5	8	14	21	27	33		
50	-	1	1	1	3	6	10	15	19	24	38	
70	-	-	1	1	3	4	7	12	15	18	29	42
95	-	-	1	1	1	3	5	8	11	13	21	30
120	-	-	-	1	1	2	4	7	9	11	17	25
150	-	-	-	1	1	1	3	5	7	9	14	20
185	-	-	-	1	1	1	3	4	6	7	11	16
240	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	8	12
300	-	-	-	-	-	1	1	2	3	4	7	10
400	-	-	-	-	-	1	1	1	2	3	5	8
ขนาดท่อ มม.	15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150
ขนาดท่อ นิ้ว	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6

แหล่งที่มา: *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2564 ภาคผนวก ฎ*

ตารางที่ C2 จำนวนสายไฟฟ้าขนาดเดียวกันในท่อร้อยสาย

สำหรับสายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2553 รหัสชนิด NYY (แกนเดียว)

ขนาดสายไฟฟ้า (ตร.มม.)		จำนวนสูงสุดของสายไฟฟ้าขนาดเดียวกันในท่อร้อยสาย											
1.0		1	1	3	5	8	12	21	-	-	-	-	-
1.5		1	1	2	4	7	11	19	30	-	-	-	-
2.5		1	1	2	4	7	10	17	26	-	-	-	-
4		1	1	1	3	6	9	15	23	29	-	-	-
6		-	1	1	3	5	8	13	21	26	-	-	-
10		-	1	1	2	4	6	11	17	22	27	-	-
16		-	1	1	1	3	5	10	15	19	23	-	-
25		-	1	1	1	3	4	8	12	15	19	29	-
35		-	-	1	1	1	3	6	10	12	15	24	-
50		-	-	1	1	1	3	5	8	11	13	21	31
70		-	-	-	1	1	2	4	7	8	11	17	24
95		-	-	-	1	1	1	3	5	7	8	13	19
120		-	-	-	1	1	1	3	4	6	7	11	17
150		-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	9	13
185		-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	7	11
240		-	-	-	-	-	1	1	2	3	4	6	9
300		-	-	-	-	-	1	1	1	2	3	5	7
400		-	-	-	-	-	-	1	1	1	2	4	6
500		-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	3	4
ขนาดท่อ	มม.	15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150
	นิ้ว	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6

***แหล่งที่มา**: มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2564 ภาคผนวก ฎ*

ตารางที่ C3 จำนวนสายไฟฟ้าขนาดเดียวกันในท่อร้อยสาย สำหรับสายไฟฟ้าหุ้มฉนวน XLPE (แกนเดียว)

ขนาดสายไฟฟ้า (ตร.มม.)	จำนวนสูงสุดของสายไฟฟ้าขนาดเดียวกันในท่อร้อยสาย											
1.5	2	3	5	9	15	-	-	-	-	-	-	-
2.5	1	3	5	8	13	20	-		-	-	-	-
4	1	2	4	7	11	17	30	-	-	-	-	-
6	1	2	3	6	10	15	26	-	-	-	-	-
10	1	2	3	5	8	13	23	35	-	-	-	-
16	1	1	2	4	7	11	18	28	35	-	-	-
25	-	1	1	3	4	7	12	19	24	30	-	-
35	-	1	1	2	4	6	10	16	20	25	-	-
50	-	-	1	2	3	5	8	13	16	20	31	-
70	-	-	1	1	2	4	7	10	13	16	25	-
95	-	-	-	1	2	3	5	8	10	13	20	29
120	-	-	-	1	1	2	4	6	8	10	16	23
150	-	-	-	-	1	2	3	5	7	8	13	19
185	-	-	-	-	1	1	3	4	5	7	11	16
240	-	-	-	-	-	1	2	3	4	5	8	12
300	-	-	-	-	-	1	2	3	3	4	7	10
400	-	-	-	-	-	-	1	2	3	3	5	8
500	-	-	-	-	-	-	1	1	2	3	4	6
ขนาดท่อ มม.	15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150
ขนาดท่อ นิ้ว	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6

ตารางที่ C4 ขนาดพื้นที่หน้าตัดภายในของท่อร้อยสาย

ขนาด		พื้นที่ภาคตัดขวางภายใน (ตร.มม.)		
มิลลิเมตร	นิ้ว	ท่อโลหะหนา	ท่อโลหะหนาปานกลาง	ท่อโลหะบาง
15	½	201	230	195
20	¾	355	390	343
25	1	572	637	555
32	1 ¼	986	1,091	967
40	1 ½	1,338	1,467	1,313
50	3	2,196	2,382	2,164
65	2 ½	3,137	3,367	3,776
80	3	4,837	5,175	5,706
90	3 ½	6,458	6,907	7,447
100	4	8,309	8,871	9,517
125	5	13,041	-	-
150	6	18,742	-	-

ตารางที่ C5 พื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสายคิดเป็นร้อยละ

ขนาดท่อ		พื้นที่หน้าตัด	พื้นที่หน้าตัดเป็นร้อยละ (ตร.มม.)		
(มม.)	นิ้ว	(ตร.มม.)	53% (1 เส้น)	40% (3 เส้นขึ้นไป)	31% (2 เส้น)
15	½	177	94	71	55
20	¾	314	167	126	97
25	1	491	260	196	152
32	1 ¼	804	426	322	249
40	1 ½	1257	666	503	390
50	2	1964	1041	785	609
65	2 ½	3318	1759	1327	1029
80	3	5027	2664	2011	1558
90	3 ½	6362	3372	2545	1972
100	4	7854	4163	3142	2435
125	5	12272	6504	4909	3804
150	6	17672	9366	7069	5478

หมายเหตุ *พื้นที่หน้าตัดของท่อคิดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระบุ ขนาดจริงอาจแตกต่างไปบ้างซึ่งหาได้จากตารางที่ C4 ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการใช้งาน*

ภาคผนวก C จำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย

ภาคผนวก D ขนาดการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศและลิฟต์

1. เครื่องปรับอากาศทั่วไป

ตารางที่ D1 เครื่องปรับอากาศรุ่น Standard Inverter

Cooling Capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (kVA)
8,800	4.60	220V	1.01
12,200	6.00	220V	1.32
14,300	6.80	220V	1.50
17,700	8.50	220V	1.87
22,500	9.20	220V	2.02

หมายเหตุ *อ้างอิง Mitsubishi*

ตารางที่ D2 เครื่องปรับอากาศรุ่นฝังในฝ้า กระจายลม 4 ทิศทาง (Ceiling Cassette Type)

Cooling Capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (kVA)
18,000	7.80	220V	1.72
24,000	10.10	220V	2.22
30,000	13.80	220V	3.04
36,000	16.60	220V	3.65
42,000	20.40	220V	4.49
48,000	28.10	220V	6.18
36,000	6.20	380V	4.08
42,000	7.50	380V	4.94
48,000	10.40	380V	6.84

หมายเหตุ *อ้างอิง Mitsubishi*

ตารางที่ D3 เครื่องปรับอากาศรุ่นแขวนใต้ฝ้าเพดาน (Ceiling Suspended Type)

Cooling Capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (kVA)
18,000	7.50	220V	1.65
25,000	10.90	220V	2.40
30,000	13.90	220V	3.06
36,000	17.30	220V	3.81
42,000	21.60	220V	4.75
48,000	27.00	220V	5.94
36,000	6.50	380V	4.28
42,000	8.00	380V	5.27
48,000	10.00	380V	6.58

หมายเหตุ *อ้างอิง Mitsubishi*

ตารางที่ D4 เครื่องปรับอากาศรุ่นซ่อนในฝ้าเพดานแบบต่อท่อ Duct (Ceiling Concealed Type)

Cooling Capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (kVA)
18,000	8.20	220V	1.80
24,000	10.40	220V	2.29
30,000	13.80	220V	3.04
36,000	17.70	220V	3.89
42,000	21.80	220V	4.80
48,000	27.30	220V	6.01
36,000	6.80	380V	4.48
42,000	8.30	380V	5.46
48,000	10.20	380V	6.71

หมายเหตุ *อ้างอิง Mitsubishi*

ตารางที่ D5 เครื่องปรับอากาศรุ่นตั้งพื้น (Floor Standing Type)

Cooling Capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (kVA)
42,000	19.00	220V	4.18
45,700	27.30	220V	6.01
42,000	7.10	380V	4.67
45,700	10.10	380V	6.65

หมายเหตุ *อ้างอิง Mitsubishi*

2. เครื่องปรับอากาศชนิด VRV และ VRF

เครื่องปรับอากาศชนิด VRF (Variable Refrigerant Flow) และเครื่องปรับอากาศชนิด VRV (Variable Refrigerant Volume) เป็นระบบเครื่องปรับอากาศที่มีลักษณะการทำงานที่สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณสารทำความเย็นตามโหลด เป็นการทำงานแบบรวมศูนย์ที่ condensing unit ชุดเดียวสามารถเชื่อมต่อชุดภายในหรือ fan coil unit ได้หลายชุด

ตารางที่ D6 โหลดของเครื่องปรับอากาศชนิด VRV (Variable Refrigerant Volume)

Outdoor Unit

Cooling Capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (kVA)
54,600	5.30	380-415	3.67
76,400	7.40	380-415	5.13
95,500	10.40	380-415	7.21
114,000	13.00	380-415	9.01
136,000	15.20	380-415	10.53
154,000	18.70	380-415	12.96
172,000	17.80	380-415	12.33
191,000	20.40	380-415	14.13
213,000	22.60	380-415	15.66
232,000	25.60	380-415	17.74
251,000	28.20	380-415	19.54
273,000	30.40	380-415	21.06
290,000	33.90	380-415	23.49
307,000	37.70	380-415	26.12
324,000	36.40	380-415	25.22
345,000	39.00	380-415	27.02
362,000	42.90	380-415	29.72
382,000	44.70	380-415	30.97
406,000	46.90	380-415	32.49
423,000	50.40	380-415	34.92
444,000	52.90	380-415	36.65
461,000	56.40	380-415	39.07
478,000	60.20	380-415	41.71
495,000	63.70	380-415	44.13
512,000	67.50	380-415	46.76

ตารางที่ D6 (ต่อ)

Cooling Capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (kVA)
532,000	71.10	380-415	49.26
553,000	74.70	380-415	51.75
573,000	78.30	380-415	54.25

หมายเหตุ *อ้างอิง Daikin-VRV IV Standard Type*

ตารางที่ D7 Fan Coil Unit (Air Handing Unit)

Cooling Capacity (Btu/h)	Fan Motor (kW)	Rated Load Amperes (A)	Power Supply (V)	Load (kVA)	MCCB (AT)
56,900-57,600	1.5	3.70	380-415	2.56	16
55,900-56,200	2.2	5.00	380-415	3.46	16
77,700-78,100	1.5	3.70	380-415	2.56	16
76,000-77,400	2.2	5.00	380-415	3.46	16
95,500-96,900	2.2	5.00	380-415	3.46	16
94,800	3	6.76	380-415	4.68	16
116,000	2.2	5.00	380-415	3.46	16
113,600-115,300	3	6.76	380-415	4.68	16
112,500	4	8.80	380-415	6.10	20
155,200	3	6.76	380-415	4.68	16
151,800-154,500	4	8.80	380-415	6.10	20
194,800-195,500	3	6.76	380-415	4.68	16
191,700-194,100	4	8.80	380-415	6.10	20
293,700	4	8.80	380-415	6.10	20
288,600-292,700	5.5	11.50	380-415	7.97	25
384,100-390,600	5.5	11.50	380-415	7.97	25
486,500-489,600	7.5	15.30	380-415	10.60	32

ตารางที่ D7 (ต่อ)

Cooling Capacity (Btu/h)	Fan Motor (kW)	Rated Load Amperes (A)	Power Supply (V)	Load (kVA)	MCCB (AT)
481,700-483,400	11	22.30	380-415	15.45	45
576,900-586,800	11	22.30	380-415	15.45	45

หมายเหตุ *อ้างอิง Daikin-VRV IV*

ตารางที่ D8 โหลดของเครื่องปรับอากาศชนิด VRF (Variable Refrigerant Flow)

1. Outdoor Unit

Cooling capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (kVA)	MCCB (AT)
95,900	10.66	380-415	7.39	32
114,700	13.36	380-415	9.26	32
133,800	16.36	380-415	11.33	32
152,900	18.03	380-415	12.49	32
172,000	19.52	380-415	13.52	50
191,100	23.05	380-415	15.97	50
201,600	24.02	380-415	16.64	63
229,400	26.72	380-415	18.51	63
248,500	29.73	380-415	20.60	63
267,600	31.04	380-415	21.50	63
286,700	32.88	380-415	22.78	80
305,800	36.41	380-415	25.22	80
324,900	39.41	380-415	27.30	80
344,000	41.08	380-415	28.46	80
363,100	42.56	380-415	29.49	100
382,200	46.09	380-415	31.93	100
401,700	46.54	380-415	32.24	100

ตารางที่ D8 (ต่อ)

Cooling capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (kVA)	MCCB (AT)
420,800	50.79	380-415	35.19	100
439,900	51.74	380-415	35.85	100
459,000	53.22	380-415	36.87	125
478,100	56.75	380-415	39.32	125
496,900	59.45	380-415	41.19	125
516,000	62.46	380-415	43.27	125
535,100	64.13	380-415	44.43	125
554,200	65.61	380-415	45.45	150
573,300	69.14	380-415	47.90	150
592,500	70.28	380-415	48.69	150
611,600	71.77	380-415	49.72	150
630,700	75.29	380-415	52.16	150
649,800	78.82	380-415	54.61	150
668,900	80.49	380-415	55.76	150
688,000	81.97	380-415	56.79	175
707,100	83.64	380-415	57.95	175
726,200	85.13	380-415	58.98	200
745,300	88.66	380-415	61.42	200
746,400	92.18	380-415	63.86	200

หมายเหตุ *อ้างอิง LG Multi V IV VRF*

ตารางที่ D9 Fan Coil Unit แบบ Cassette Type กระจายลม 1 ทิศทาง

Cooling Capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (VA)
7,500-12,300	0.26	220-240V	57.00
19,100-20,500	0.46	220-240V	101.00

หมายเหตุ *อ้างอิง LG*

ตารางที่ D10 Fan Coil Unit แบบ Cassette Type กระจายลม 2 ทิศทาง

Cooling Capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (VA)
9,600-20,500	0.46	220-240V	101.00

หมายเหตุ *อ้างอิง LG*

ตารางที่ D11 Fan Coil Unit แบบ Cassette Type กระจายลม 4 ทิศทาง

Cooling Capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (VA)
5,500-20,500	0.20	220-240V	44.00
24,200-30,700	0.22	220-240V	48.00
36,200-54,000	0.96	220-240V	211.00

หมายเหตุ *อ้างอิง LG*

ตารางที่ D12 Fan Coil Unit แบบ DUCT TYPE

Cooling Capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (VA)
7,500-28,000	1.00	220-240V	220.00
36,200-60,000	3.00	220-240V	660.00
76,400-95,000	5.30	220-240V	1166.00

หมายเหตุ *อ้างอิง LG*

ตารางที่ D13 Fan Coil Unit แบบ Wall Mounted

Cooling Capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (VA)
5,500-15,400	0.14	220-240V	31.00
19,100-24,200	0.26	220-240V	57.00

หมายเหตุ *อ้างอิง LG*

ตารางที่ D14 Fan Coil Unit แบบ Ceiling Suspended

Cooling Capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (VA)
19,100-24,200	0.42	220-240V	92.00
36,200	0.93	220-240V	205.00
48,100	1.26	220-240V	277.00

หมายเหตุ *อ้างอิง LG*

ตารางที่ D15 Fan Coil Unit แบบ Floor Standing with Case

Cooling Capacity (Btu/h)	Running Current (A)	Power Supply (V)	Load (VA)
7500-15,400	0.20	220-240V	44.00
24,200	0.53	220-240V	117.00

หมายเหตุ *อ้างอิง LG*

ตารางที่ D16 ขนาดการใช้ไฟฟ้าของลิฟต์

Loading Capacity		Speed	Motor Capacity
kg	Persons	(m/min)	(kW)
450	6	60	4.5
550,(600)	8,(9)	60	5.5
700,(750)	10,(11)	60	7.5
900	13	60	9.5
1,000	15	60	9.5
550,(600)	8,(9)	90	9.5
700,(750)	10,(11)	90	9.5
1,150	17	60	11
550,(600)	8,(9)	105	11
700,(750)	10,(11)	105	11
900	13	90	13
1,000	15	90	13
1,150	17	90	13
750	11	120	13
900	13	105	15
1,000	15	105	15

ตารางที่ D16 (ต่อ)

Loading Capacity		Speed	Motor Capacity
kg	Persons	(m/min)	(kW)
1,150	17	105	15
1,350	20	90	15
900	13	120	15
1,000	15	120	15
750	11	150	15
1,600	24	90	18
1,350	20	105	18
1,150	17	120	18
900,(1,000)	13,(15)	150	18
1,350	20	120	20
1,150	17	150	20
1,600	24	105	22
1,600	24	120	22
1,350	20	150	24
1,600	24	150	27

ภาคผนวก D ขนาดการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศและลิฟต์

ภาคผนวก E ขนาดสายไฟฟ้าเดินร้อยท่อ ตามขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์

ข้อควรทราบเกี่ยวกับการใช้ตาราง

1. ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าได้จากมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ พ.ศ.2564 ของ วสท. ดังนี้

2. ขนาดสายดินกำหนดตามตารางที่ 4-2 ของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ พ.ศ.2556

3. จำนวนสายไฟฟ้าที่เดินในท่อร้อยสายกำหนดตามตารางที่ 5-3 ของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ พ.ศ.2556

4. ตารางในภาคผนวกนี้ใช้ได้กับทั้งวงจรย่อยและสายป้อน

5. กระแสที่ใช้ในการคำนวณ คิดจากขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์

6. แรงดันตกคิดกระแสจากขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ โหลดใช้งานจริงอาจต่ำกว่า ดังนั้น ความยาวสายสูงสุดจะเพิ่มขึ้นจากที่กำหนดในตารางที่ E1 ถึง E12

7. แรงดันตกที่มากกว่า 1% หาได้โดยคูณค่าในตารางด้วยเปอร์เซ็นต์แรงตกที่ต้องการ ตัวอย่าง จากตารางที่ E1 เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 50 A ใช้สายขนาด 10 ตร.มม. ที่แรงดันตก 1% ความยาวสายสูงสุดคือ 10.45 ม. แต่ถ้ากำหนดค่าแรงดันตกเป็น 3% ความยาวสายสูงสุดจะเปลี่ยนเป็น 10.45×3 = 31.35 ม.

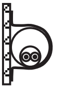
หมายเหตุ *วงจร 3 เฟส 4 สาย สายนิวทรัลใช้เท่ากับสายเส้นเฟส กรณี half neutral ขนาดท่ออาจเล็กลงได้ (โดยการคำนวณใหม่)*

1. สาย PVC เดินร้อยท่อในอากาศ (กลุ่มที่ 2)

ตารางที่ E1 วงจร 1 เฟส 2 สาย ใช้สาย PVC แกนเดียว เดินร้อยท่อในอากาศ

ขนาด CB (A)	ขนาดสายวงจร (ตร.มม.)	ขนาดสายดิน (ตร.มม.)	ความยาวสายสูงสุดที่ VD 1% (ม.)	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)	
				สาย IEC 01	สาย NYY แกนเดียว
16	2.5	2.5	7.99	15	32
20	2.5	2.5	6.39	15	32
25	4	4	8.36	15	32
32	6	4	9.85	15	32
40	10	4	13.07	20	40
50	10	6	10.45	20	40
63	16	6	13.04	25	40
80	25	10	15.88	32	40
100	35	10	17.29	32	50
125	50	16	18.40	40	50
160	70	16	20.25	40	65
200	95	16	20.54	50	65
250	150	25	22.44	65	65
320	240	25	23.96	65	80
400	400	25	23.00	80	100

ตารางที่ E2 วงจร 1 เฟส 2 สาย ใช้สาย PVC หลายแกน เดินร้อยท่อในอากาศ (กลุ่มที่ 2)



ขนาด CB (A)	ขนาดสายวงจร (ตร.มม.)	รหัสชนิดของสายไฟฟ้า	ความยาวสายสูงสุดที่ VD 1% (ม.)	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)
16	2.5	NYY-G	7.99	20
20	2.5	NYY-G	6.39	20
25	4	NYY-G	8.36	25
32	6	NYY-G	9.85	32
40	10	NYY-G	13.07	32
50	16	NYY-G	16.43	40
63	25	NYY-G	20.86	40
80	35	NYY-G	23.0	50
100	50	NYY-G	24.73	50
125	70	NYY-G	28.31	65
160	95	NYY-G	29.34	65
200	120	NYY-G	28.05	80
250	185	NYY-G	31.72	80
320	300	NYY-G	34.23	100

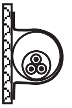
หมายเหตุ

1. ขนาดสายดินจะเป็นไปตามมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า จึงไม่ได้กำหนดมาให้

ตารางที่ E3 วงจร 3 เฟส 4 สาย ใช้สาย PVC แกนเดียว เดินร้อยท่อในอากาศ (กลุ่มที่ 2)

ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดสายดิน (ตร.มม.)	ความยาวสายสูงสุดที่ VD 1% (ม.)	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)	
				IEC 01	NYY แกนเดียว
16	2.5	2.5	16.67	15	40
20	4	2.5	21.05	20	40
25	6	4	25.00	20	40
32	10	4	32.89	25	50
40	10	4	26.32	25	50
50	16	6	33.33	32	50
63	25	6	41.77	32	65
80	35	10	44.25	40	65
100	50	10	47.06	50	65
125	70	16	52.46	50	65
160	95	16	52.08	65	80
200	120	16	50.00	65	80
250	185	25	51.61	80	100
320	300	25	52.08	100	125
400	400	25	45.45	125	125

ตารางที่ E4 วงจร 3 เฟส 4 สาย ใช้สาย PVC หลายแกน เดินร้อยท่อในอากาศ (กลุ่มที่ 2)



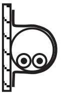
ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ความยาวสายสูงสุด ที่ VD 1% (ม.)	รหัสชนิดของสายไฟฟ้า	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)
16	2.5	16.67	NYY-G	25
20	4	21.05	NYY-G	32
25	6	25.00	NYY-G	32
32	10	32.89	NYY-G	40
40	10	26.32	NYY-G	40
50	16	33.33	NYY-G	40
63	25	42.33	NYY-G	50
80	35	45.45	NYY-G	65
100	50	50.00	NYY-G	65
125	70	56.14	NYY-G	80
160	120	69.44	NYY-G	90
200	185	80.00	NYY-G	125
250	240	76.19	NYY-G	125

หมายเหตุ

1. ขนาดสายดินจะเป็นไปตามมาตรฐานการผลิตสายไฟฟ้า จึงไม่ได้กำหนดมาให้

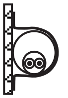
2. สาย XLPE เดินร้อยท่อในอากาศ (กลุ่มที่ 2)

ตารางที่ E5 วงจร 1 เฟส 2 สาย ใช้สาย XLPE แกนเดียว เดินร้อยท่อในอากาศ



ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดสายดิน (ตร.มม.)	ความยาวสายสูงสุด ที่ VD 1% (ม.)	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)
16	2.5	2.5	7.57	20
20	2.5	2.5	6.05	20
25	2.5	2.5	4.84	20
32	4	4	5.99	25
40	6	4	7.28	25
50	10	6	9.79	25
63	10	6	7.77	25
80	16	10	9.91	32
100	25	10	12.43	32
125	35	16	13.43	40
160	50	16	13.82	40
200	70	16	15.33	50
250	95	25	15.86	50
320	120	25	14.67	50

ตารางที่ E6 วงจร 1 เฟส 2 สาย ใช้สาย XLPE หลายแกน เดินร้อยท่อในอากาศ (กลุ่มที่ 2)



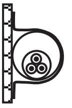
ขนาด CB (A)	ขนาดสายวงจร (ตร.มม.)	ขนาดสายดิน (ตร.มม.)	ความยาวสายสูงสุด ที่ VD 1% (ม.)	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)
16	2.5	2.5	7.57	25
20	2.5	2.5	6.05	25
25	2.5	2.5	4.84	25
32	4	4	5.99	32
40	6	4	7.28	32
50	10	6	9.79	32
63	10	6	7.77	32
80	16	10	9.91	40
100	25	10	12.43	50
125	35	16	13.63	50
160	70	16	21.14	65
200	70	16	16.91	65
250	120	25	21.90	80
320	185	25	23.96	90

หมายเหตุ *สายวงจรใช้สาย XLPE ชนิด 2-core สายดินใช้สาย XLPE แกนเดียวเดินรวมในท่อเดียวกัน*

ตารางที่ E7 วงจร 3 เฟส 4 สาย ใช้สาย XLPE แกนเดียว เดินร้อยท่อในอากาศ (กลุ่มที่ 2)

ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดสายดิน (ตร.มม.)	ความยาวสายสูงสุด ที่ VD 1% (ม.)	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)
16	2.5	2.5	15.63	25
20	2.5	2.5	12.50	25
25	2.5	2.5	10.00	25
32	4	4	12.50	32
40	6	4	14.71	32
50	10	6	20.00	32
63	16	6	25.40	40
80	16	10	20.00	40
100	25	10	25.00	40
125	35	16	27.35	50
160	70	16	38.46	65
200	70	16	30.77	65
250	120	25	0.38	80
320	185	25	39.06	80
400	240	25	37.04	100

ตารางที่ E8 วงจร 3 เฟส 4 สาย ใช้สาย XLPE หลายแกน เดินร้อยท่อในอากาศ (กลุ่มที่ 2)

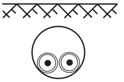


ขนาด CB (A)	ขนาดสายวงจร (ตร.มม.)	ขนาดสายดิน (ตร.มม.)	ความยาวสายสูงสุดที่ VD 1% (ม.)	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)
16	2.5	2.5	15.63	32
20	2.5	2.5	12.50	32
25	4	2.5	16.00	32
32	4	4	12.50	32
40	6	4	14.71	32
50	10	6	20.00	40
63	16	6	25.40	40
80	25	10	31.25	50
100	35	10	34.78	65
125	50	16	37.21	65
160	70	16	41.67	80
200	95	16	45.45	80
250	150	25	51.61	100
320	240	25	56.82	125
400	300	25	55.56	125

หมายเหตุ *สายวงจรใช้สาย XLPE ชนิด 4-core สายดินใช้สาย XLPE แกนเดียวเดินรวมในท่อเดียวกัน*

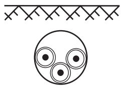
3. สาย NYY เดินร้อยท่อฝังดิน (กลุ่มที่ 5)

ตารางที่ E9 วงจร 1 เฟส 2 สาย ใช้สาย NYY แกนเดียว เดินร้อยท่อฝังดิน



ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดสายดิน (ตร.มม.)	ความยาวสายสูงสุดที่ VD 1% (ม.)	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)
16	2.5	2.5	7.99	32
20	2.5	2.5	6.39	32
25	2.5	2.5	5.11	32
32	4	4	6.53	32
40	6	4	7.88	32
50	10	6	10.45	40
63	16	6	13.04	40
80	16	10	10.27	40
100	25	10	12.71	40
125	35	16	13.83	50
160	70	16	20.25	50
200	95	16	20.54	65
250	120	25	19.17	65
320	185	25	19.97	80
400	240	25	19.17	80

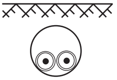
ตารางที่ E10 วงจร 3 เฟส 4 สาย ใช้สาย NYY แกนเดียว เดินร้อยท่อฝังดิน (กลุ่มที่ 5)



ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดสายดิน (ตร.มม.)	ความยาวสายสูงสุด ที่ VD 1% (ม.)	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)
16	2.5	2.5	16.67	40
20	2.5	2.5	13.33	40
25	2.5	2.5	10.67	40
32	4	4	13.16	40
40	6	4	15.63	40
50	10	6	21.05	50
63	16	6	26.46	50
80	25	10	32.89	65
100	35	10	35.40	65
125	50	16	37.65	65
160	70	16	40.98	65
200	95	16	41.67	80
250	150	25	45.71	90
320	240	25	46.30	125
400	300	25	41.67	125

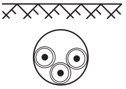
4. สาย XLPE เดินร้อยท่อฝังดิน (กลุ่มที่ 5)

ตารางที่ E11 วงจร 1 เฟส 2 สาย ใช้สาย XLPE แกนเดียว เดินร้อยท่อฝังดิน



ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดสายดิน (ตร.มม.)	ความยาวสายสูงสุด ที่ VD 1% (ม.)	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)
16	2.5	2.5	7.57	20
20	2.5	2.5	6.05	20
25	2.5	2.5	4.84	20
32	2.5	2.5	3.78	20
40	4	4	4.79	25
50	6	6	5.82	25
63	10	6	7.77	25
80	16	10	9.91	32
100	25	10	12.43	32
125	35	16	13.43	40
160	50	16	13.82	40
200	70	16	15.33	40
250	95	25	15.86	50
320	150	25	17.11	65
400	185	25	15.54	65

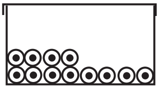
ตารางที่ E12 วงจร 3 เฟส 4 สาย ใช้สาย XLPE แกนเดียว เดินร้อยท่อฝังดิน (กลุ่มที่ 5)



ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดสายดิน (ตร.มม.)	ความยาวสายสูงสุดที่ VD 1% (ม.)	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)
16	2.5	2.5	15.63	25
20	2.5	2.5	12.50	25
25	2.5	2.5	10.00	25
32	4	4	12.50	32
40	6	4	14.71	32
50	10	6	20.00	32
63	10	6	15.87	32
80	16	10	20.00	40
100	25	10	25.00	40
125	35	16	27.35	50
160	70	16	38.46	65
200	95	16	40.00	65
250	120	25	38.10	80
320	185	25	39.06	80
400	240	25	37.04	100

5. สาย PVC หรือ XLPE เดินในรางเดินสาย (wireways)

ตารางที่ E13 วงจร 1 เฟส 2 สาย และ 3 เฟส 4 สาย
ใช้สาย PVC หรือ XLPE แกนเดียว เดินในรางเดินสาย



ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)		ขนาดสายดิน (ตร.มม.)
	สาย PVC	สาย XLPE	
16	2.5	2.5	2.5
20	4	2.5	2.5
25	6	2.5	4
32	10	4	4
40	10	6	4
50	16	10	6
63	25	16	6
80	35	16	10
100	50	25	10
125	70	35	16
160	95	70	16
200	120	70	16
250	185	120	25
320	300	185	25
400	400	240	25

หมายเหตุ

1. ขนาดกระแสของสายแกนเดียวในรางเดินสาย (wireways) คิดจากตารางที่ 5-20 (ภาคผนวก A) สำหรับสาย PVC และ 5-27 สำหรับสาย XLPE (กลุ่มที่ 2) ช่องตัวนำกระแส 3 เส้น สายแกนเดียว และไม่ต้องใช้ตัวคูณลดกระแส <u>ถ้าจำนวนตัวนำที่มีกระแสไหลรวมกันไม่เกิน 30 เส้น</u>

2. สายแกนเดียวของวงจรเดียวกันรวมทั้งสายดิน ต้องวางเป็นกลุ่มเดียวกันและมัดเข้าด้วยกัน

3. สาย PVC กับสาย XLPE ห้ามเดินรวมในรางเดินสายเดียวกัน

ภาคผนวก F ขนาดสายไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า

1. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ กำหนดให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านแรงต่ำของหม้อแปลงมีขนาดไม่เกิน 1.0 เท่าของกระแสหม้อแปลง

2. ขนาดหรือพิกัดปรับตั้งของเซอร์กิตเบรกเกอร์อาจเลือกแตกต่างจากที่กำหนดในตารางได้ แต่ต้องสอดคล้องกับข้อ 1

3. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ กำหนดให้สายนิวทรัลของสายเมนแรงต่ำต้องสามารถนำกระแสสูงสุดที่อาจไหลในสายนิวทรัลได้ และไม่เล็กกว่าสายต่อหลักดิน และไม่เล็กกว่า 12.5% ของสายเมนเส้นเฟส แต่เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ในตารางจึงกำหนดเป็นแบบ half neutral ซึ่งสามารถใช้งานได้เป็นส่วนใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามถ้าอาคารมีโหลด 1 เฟส จำนวนมาก หรือโหลดมี harmonics สูง อาจต้องหาขนาดสายนิวทรัลใหม่ (ดูรายละเอียดในบทที่ 5)

4. การวางสายบนรางเคเบิล กรณีที่สายนิวทรัลเป็น full neutral ขนาดรางเคเบิลจะยังคงสามารถใช้ได้เพราะได้เผื่อไว้แล้ว ขนาดรางเผื่อไว้แล้ว 20%

5. การวางสายแบบเป็นกลุ่มแต่ละกลุ่มต้องวางห่างกันไม่น้อยกว่า 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสายเส้นไฟที่อยู่ใกล้กัน

6. ขนาดสายไฟฟ้าตามตารางได้ทำการปรับค่าตามจำนวนกลุ่มวงจรแล้ว

7. ขนาดสายไฟฟ้าที่กำหนดในตารางเช่น 2(3 × 185, 1 × 95) หมายถึง สายจำนวน 2 ชุด (เดินควบเฟสละ 2 เส้น) สายเส้นไฟสายขนาด 185 ตร.มม. สายนิวทรัลขนาด 95 ตร.มม. และการเดินสายร้อยท่อจะแยกเดินท่อละวงจร

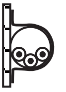
8. การใช้ราง 2 ชั้น แต่ละชั้นควรมีจำนวนวงจรเท่ากันหรือต่างกันไม่เกิน 1 วงจร

สรุป ตารางขนาดสายไฟฟ้า ท่อ และรางเคเบิล สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละขนาด

1. สายไฟฟ้าเดินร้อยท่อในอากาศ (กลุ่มที่ 2)	
ตารางที่ F1	สาย PVC ชนิด IEC 01 เดินร้อยท่อในอากาศ
ตารางที่ F2	สาย XLPE แกนเดียวเดินร้อยท่อในอากาศ
2. สายไฟฟ้าเดินร้อยท่อฝังดิน (กลุ่มที่ 5)	
ตารางที่ F3	สาย NYY แกนเดียวเดินร้อยท่อฝังดิน ท่อวางชิดติดกัน
ตารางที่ F4	สาย XLPE แกนเดียวเดินร้อยท่อฝังดิน ท่อวางชิดติดกัน
3. สาย PVC วางบนรางเคเบิลแบบบันได (กลุ่มที่ 7)	
ตารางที่ F5	สาย NYY แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบบันได สายวางชิดติดกัน
ตารางที่ F6	สาย NYY แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบบันได สายวางเป็นกลุ่ม
4. สาย PVC วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ (กลุ่มที่ 7)	
ตารางที่ F7	สาย NYY แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ สายวางชิดติดกัน
ตารางที่ F8	สาย NYY แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ สายวางแบบเป็นกลุ่ม
5. สาย XLPE วางบนรางเคเบิลแบบบันได (กลุ่มที่ 7)	
ตารางที่ F9	สาย XLPE แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบบันได สายวางชิดติดกัน
ตารางที่ F10	สาย XLPE แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบบันได สายวางแบบเป็นกลุ่ม
6. สาย XLPE วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ (กลุ่มที่ 7)	
ตารางที่ F11	สาย XLPE แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ สายวางชิดติดกัน
ตารางที่ F12	สาย XLPE แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ สายวางแบบเป็นกลุ่ม
7. สาย NYY & XLPE วางบนรางเคเบิลมีฝาปิด (รางทั้ง 3 แบบ) (กลุ่มที่ 7)	
ตารางที่ F13	สาย NYY แกนเดียววางบนมีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ แบบระบายอากาศ และแบบบันได
ตารางที่ F14	สาย XLPE แกนเดียววางบนมีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ แบบระบายอากาศ และแบบบันได

1. สายไฟฟ้าเดินร้อยท่อในอากาศ

ตารางที่ F1 สาย PVC ชนิด IEC 01
เดินร้อยท่อในอากาศ (กลุ่มที่ 2)



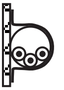
ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	จำนวนท่อ	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)	
				Half neutral	Full neutral
250	320	1(3 × 300, 1 × 150)	1	90	100
	350	2(3 × 95, 1 × 50)	2	65	65
315	400	2(3 × 120, 1 × 70)	2	65	65
	450	2(3 × 150, 1 × 95)	2	65	80
400	500	2(3 × 185, 1 × 95)	2	80	80
		3(3 × 95, 1 × 50)	3	65	65
	550	2(3 × 240, 1 × 120)	2	80	90
500	630	2(3 × 300, 1 × 150)	2	90	100
		3(3 × 150, 1 × 95)	3	65	80
	700,	3(3 × 185, 1 × 95)	3	80	80
		4(3 × 95, 1 × 50)	4	65	65
630	800	3(3 × 240, 1 × 120)	3	80	90
		4(3 × 120, 1 × 70)	4	65	65
	900	3(3 × 240, 1 ×120)	3	80	90
		4(3 × 185, 1 × 95)	4	80	80
800	1000	3(3 × 300, 1 × 150)	3	90	100
		4(3 × 185, 1 × 95)	4	80	80
	1100	4(3 × 240, 1 × 120)	4	80	90
		5(3 × 150, 1 × 95)	5	65	80

ตารางที่ F1 (ต่อ)

ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	จำนวนท่อ	ขนาดท่อ (มม.)	
				Half neutral	Full neutral
1000	1000	3(3 × 300, 1 × 150)	3	90	100
		4(3 × 185, 1 × 95)	4	80	80
	1250	4(3 × 300, 1 × 150)	4	90	100
		5(3 × 185, 1 × 95)	5	80	80
	1400	5(3 × 240, 1 × 120)	5	80	90
		6(3 × 185, 1 ×95)	6	80	80
1250	1500	5(3 × 240, 1 × 120)	5	80	90
		6(3 × 185, 1 ×95)	6	80	80
	1600	5(3 × 300, 1 × 150)	5	90	100
		6(3 × 240, 1 ×120)	6	80	90
	1800	6(3 × 240, 1 × 120)	6	80	90
		7(3 × 185, 1 × 95)	7	80	80
1600	1800	6(3 × 240, 1 × 120)	6	80	90
		7(3 × 185, 1 × 95)	7	80	80
	2000,	6(3 × 300, 1 × 150)	6	90	100
		7(3 × 240, 1 × 120)	7	80	90
	2250	7(3 × 300, 1 × 150)	7	90	100
		8(3 × 240, 1 × 120)	8	80	90
2000	2500	7(3 × 400, 1 × 240)	7	125	125
		8(3 × 300, 1 × 150)	8	90	100
	2800	9(3 × 300, 1 × 150)	9	90	100
		10(3 × 240, 1 × 120)	10	80	90

YAZAKI

ตารางที่ F2 สาย XLPE แกนเดียว เดินร้อยท่อในอากาศ (กลุ่มที่ 2)



ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	จำนวนท่อ	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)	
				Half neutral	Full neutral
250	320	1(3 × 185, 1 × 95)	1	80	80
	350	1(3 × 240, 1 × 120)	1	80	90
315	400	1(3 × 240, 1 × 120)	1	80	90
		2(3 × 70, 1 ×35)	2	50	65
	450	2(3 × 95, 1 × 50)	2	65	65
400	500	2(3 × 120, 1 × 70)	2	65	65
		3(3 × 70, 1 ×35)	3	50	65
	550	2(3 × 120, 1 × 70)	2	65	65
		3(3 × 70, 1 ×35)	3	50	65
500	630	2(3 × 185, 1 × 95)	2	80	80
		3(3 × 95, 1 × 50)	3	65	65
	700	2(3 × 240, 1 × 120)	2	80	90
		3(3 × 95, 1 × 50)	3	65	65
630	800	2(3 × 240, 1 × 120)	2	80	90
		3(3 × 120, 1 ×70)	3	65	65
	900	2(3 × 300, 1 × 150)	2	90	100
		3(3 × 150, 1 × 95)	3	80	80
		4(3 × 95, 1 × 50)	4	65	65
800	1000	3(3 × 185, 1 × 95)	3	80	80
		4(3 × 120, 1 × 70)	4	65	65
	1100	3(3 × 240, 1 × 120)	3	80	90
		4(3 × 120, 1 × 70)	4	65	65

ตารางที่ F2 (ต่อ)

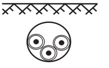
ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	จำนวนท่อ	ขนาดท่อ (มม.)	
				Half neutral	Full neutral
1000	1000	3(3 × 185, 1 × 95)	3	80	80
		4(3 × 120, 1 × 70)	4	65	65
	1250	3(3 × 300, 1 × 150)	3	90	100
		4(3 × 185, 1 × 95)	4	80	80
	1400	3(3 × 240, 1 × 120)	3	80	90
		5(3 × 120, 1 × 70)	5	65	65
1250	1500	4(3 × 240, 1 × 120)	4	80	90
		5(3 × 150, 1 × 95)	5	80	80
	1600	4(3 × 240, 1 × 120)	4	80	90
		5(3 × 185, 1 × 95)	5	80	80
	1800	4(3 × 300, 1 × 150)	4	90	100
		5(3 × 240, 1 × 120)	5	80	90
1600	1800	4(3 × 300, 1 × 150)	4	90	100
		5(3 × 240, 1 × 120)	5	80	90
	2000	5(3 × 240, 1 × 120)	5	80	90
		6(3 × 185, 1 × 95)	6	80	80
	2250	5(3 × 300, 1 × 150)	5	90	100
		6(3 × 240, 1 × 120)	6	80	90
2000	2250	5(3 × 300, 1 × 150)	5	90	100
		6(3 × 240, 1 × 120)	6	80	90
	2500	6(3 × 300, 1 × 150)	6	90	100
		7(3 × 240, 1 × 120)	7	80	90
	2800	7(3 × 240, 1 × 150)	7	80	90
		9(3 × 185, 1 × 95)	9	80	80

YAZAKI

2. สายไฟฟ้าเดินร้อยท่อฝังดิน

ตารางที่ F3 สาย NYY แกนเดียว

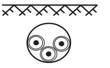
เดินร้อยท่อฝังดิน (กลุ่มที่ 5) ท่อวางชิดติดกัน



ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	จำนวนท่อ	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)	
				Half neutral	Full neutral
250	320	1(3 × 240, 1 × 120	1	100	100
	350	1(3 × 240, 1 × 120	1	100	100
315	400	1(3 × 300, 1 × 150)	1	125	125
		2(3 × 150, 1 × 95)	2	80	90
	450	2(3 × 150, 1 × 95)	2	80	90
400	500	2(3 × 185, 1 × 95)	2	90	90
	550	2(3 × 240, 1 × 120)	2	100	100
500	630	2(3 × 300, 1 × 150)	2	125	125
	700	3(3 × 240, 1 × 120)	3	100	100
		4(3 × 150, 1 × 95)	4	80	90
630	800	3(3 × 240, 1 × 120)	3	100	100
		4(3 × 185, 1 × 95)	4	90	90
	900	3(3 × 300, 1 × 150)	3	125	125
		4(3 × 240, 1 × 120)	4	100	100
800	1000	4(3 × 240, 1 × 120)	4	100	100
		6(3 × 185, 1 × 95)	6	90	90
	1100	4(3 × 300, 1 × 150)	4	125	125
		5(3 × 240, 1 × 150)	5	100	100
1000	1250	5(3 × 300, 1 × 150)	5	125	125
		6(3 × 240, 1 × 120)	6	100	100
	1400	5(3 × 400, 1 × 240)	5	125	125
		6(3 × 300, 1 × 150)	6	125	125
1250	1600	6(3 × 400, 1 × 240)	6	125	125

หมายเหตุ: *สำหรับหม้อแปลงที่ขนาดใหญ่กว่านี้แนะนำให้เดินในรางเคบิล*

ตารางที่ F4 สาย XLPE แกนเดียว
เดินร้อยท่อฝังดิน (กลุ่มที่ 5) ท่อวางชิดติดกัน



ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	จำนวนท่อ	ขนาดท่อร้อยสาย (มม.)	
				Half neutral	Full neutral
250	320	1(3 × 185, 1 × 95)	1	80	80
	350	1(3 × 185, 1 × 95)	1	80	80
315	400	1(3 × 240, 1 × 120)	1	80	90
		2(3 × 95, 1 × 50)	2	65	65
	450	2(3 × 120, 1 × 70)	2	65	65
400	500	2(3 × 150, 1 × 95)	2	80	80
	550	2(3 × 185, 1 × 95)	2	80	80
500	630	2(3 × 240, 1 × 120)	2	80	90
	700	2(3 × 240, 1 × 120)	2	80	90
		3(3 × 150, 1 × 95)	3	80	80
630	800	3(3 × 185, 1 × 95)	3	80	80
		4(3 × 150, 1 × 95)	4	80	80
	900	3(3 × 240, 1 × 120)	3	80	90
		4(3 × 185, 1 × 95)	4	80	80
800	1000	3(3 × 300, 1 × 150)	3	90	100
		4(3 × 240, 1 × 120)	4	80	90
	1100	4(3 × 240, 1 × 120)	4	80	90
		5(3 × 185, 1 × 95)	5	80	80
1000	1250	4(3 × 300, 1 × 150)	4	90	100
		5(3 × 240, 1 × 120)	5	80	90
	1400	5(3 × 300, 1 × 150)	5	90	100
		6(3 × 240, 1 × 120	6	80	90
1250	1500	6(3 × 240, 1 × 120)	6	80	90
	1600	6(3 × 300, 1 × 150)	6	90	100
	1800	6(3 × 400, 1 × 240)	6	100	125

หมายเหตุ: *สำหรับหม้อแปลงที่ขนาดใหญ่กว่านี้แนะนำให้เดินในรางเคบิล*

3. สาย PVC วางบนรางเคเบิลแบบบันได

ตารางที่ F5 สาย NYY แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบบันได

สายวางชิดติดกัน (กลุ่มที่ 7)

ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
250	320	1(3 × 150, 1 × 95)	150
	350	1(3 × 185, 1 × 95)	150
315	400	1(3 × 240, 1 × 120)	200
	450	1(3 × 300, 1 × 150)	200
		2(3 × 95, 1 × 50)	200
400	500	1(3 × 300, 1 × 150)	200
		2(3 × 120, 1 × 70)	300
	550	2(3 × 150, 1 × 95)	300
500	630	2(3 × 185, 1 × 95)	300
		3(3 × 95, 1 × 50)	400
	700	2(3 × 185, 1 × 95)	300
		3(3 × 120, 1 × 70)	400
630	800	2(3 × 240, 1 × 120)	400
		3(3 × 120, 1 × 70)	400
	900	2(3 × 300, 1 × 150)	400
		3(3 × 150, 1 × 95)	400
800	1000	3(3 × 185, 1 × 95)	500
		4(3 × 120, 1 × 70)	500
	1100	3(3 × 240, 1 × 120)	500
		4(3 × 150, 1 × 95)	500
1000	1250	3(3 × 240, 1 × 120)	500
		4(3 × 185, 1 × 95)	600
	1400	4(3 × 240, 1 × 120)	700
		5(3 × 150, 1 × 95)	700

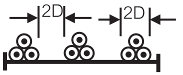
ตารางที่ F5 (ต่อ)

ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
1250	1500	4(3 × 240, 1 × 120)	700
		5(3 × 150, 1 × 95)	700
	1600	4(3 × 240, 1 × 120)	700
		5(3 × 185, 1 × 95)	700
	1800	4(3 × 300, 1 × 150)	700
		5(3 × 240, 1 × 120)	800
1600	1800	4(3 × 300, 1 × 150)	700
		5(3 × 240, 1 × 120)	800
	2000	5(3 × 240, 1 × 120)	800
		6(3 × 185, 1 × 95)	900
	2250	5(3 × 300, 1 × 150)	900
		6(3 × 240, 1 × 120)	1,000
2000	2250	5(3 × 300, 1 × 150)	900
		6(3 × 240, 1 × 120)	1,000
	2500	6(3 × 300, 1 × 150)	2 × 600*
		7(3 × 240, 1 × 120)	2 × 700
	2800	7(3 × 300, 1 × 150)	2 × 700
		8(3 × 240, 1 × 120)	2 × 700
2500	3200	8(3 × 300, 1 × 150)	2 × 700
		9(3 × 240, 1 × 120)	2 × 800
	3500	8(3 × 300, 1 × 150)	2 × 700
		10(3 × 240, 1 × 120)	2 × 800

หมายเหตุ ** ขนาดรางเคเบิลคูณด้วย 2 หมายถึงใช้ 2 รางวาง 2 ชั้น เช่น 2× 600 หมายถึงเลือกใช้รางขนาด 600 มม. จำนวน 2 รางวางซ้อนกัน และจำนวนวงจรในแต่ละรางต้องต่างกันไม่เกิน 1 วงจร*

ตารางที่ F6 สาย NYY แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบบันได

สายวางเป็นกลุ่ม (กลุ่มที่ 7)



ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
250	320	1(3 × 185, 1 × 95)	150
	350	1(3 × 185, 1 × 95)	150
315	400	1(3 × 240, 1 × 120)	150
	450	1(3 × 300, 1 × 150)	200
		2(3 × 95, 1 × 50)	200
400	500	2(3 × 120, 1 × 70)	300
		3(3 × 70, 1 × 35)	300
	550	2(3 × 150, 1 × 95)	300
500	630	2(3 × 185, 1 × 95)	300
		3(3 × 95, 1 × 50)	400
	700	2(3 × 185, 1 × 95)	300
		3(3 × 120, 1 × 70)	400
630	800	2(3 × 240, 1 × 120)	300
		3(3 × 120, 1 × 70)	400
	900	2(3 × 300, 1 × 150)	400
		3(3 × 150, 1 × 95)	400
800	1000	3(3 × 185, 1 × 95)	500
		4(3 × 120, 1 × 70)	500
	1100	3(3 × 240, 1 × 120)	500
		4(3 × 150, 1 × 95)	500
1000	1000	3(3 × 185, 1 × 95)	500
		4(3 × 120, 1 × 70)	500
	1250	3(3 × 240, 1 × 120)	500
		4(3 × 185, 1 × 95)	600
	1400	3(3 × 300, 1 × 150)	600
		4(3 × 185, 1 × 95)	600

ตารางที่ F6 (ต่อ)

ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
1250	1500	4(3 × 240, 1 × 120)	700
		5(3 × 150, 1 × 95)	700
	1600	4(3 × 240, 1 × 120)	700
		5(3 × 185, 1 × 95)	700
	1800	4(3 × 300, 1 × 150)	700
		5(3 × 240, 1 × 120)	800
1600	2000	5(3 × 240, 1 × 120)	800
		6(3 × 185, 1 × 95)	900
	2250	5(3 × 300, 1 × 150)	900
		6(3 × 240, 1 × 120)	1,000
		6(3 × 240, 1 × 120)	1,000
2000	2500	5(3 × 400, 1 × 240)	1,000
		6(3 × 240, 1 × 120)	1,000
	2800	7(3 × 300, 1 × 150)	2 × 700*
		8(3 × 240, 1 × 120)	2 × 700
2500	3200	8(3 × 300, 1 × 150)	2 × 700
		9(3 × 240, 1 × 120)	2 × 800
	3500	8(3 × 300, 1 × 150)	2 × 700
		10(3 × 240, 1 × 120)	2 × 800

หมายเหตุ ** ขนาดรางเคเบิลคูณด้วย 2 หมายถึงใช้ 2 รางวาง 2 ชั้น เช่น 2× 700 หมายถึงเลือกใช้รางขนาด 700 มม. จำนวน 2 รางวางซ้อนกัน และจำนวนวงจรในแต่ละรางต้องต่างกันไม่เกิน 1 วงจร*

4. สาย PVC วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ

ตารางที่ F7 สาย NYY แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ

สายวางชิดติดกัน (กลุ่มที่ 7)

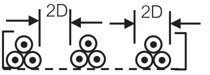
ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
250	320	1(3 × 150, 1 × 95)	150
	350	1(3 × 185, 1 × 95)	150
315	400	1(3 × 240, 1 × 120)	200
	450	1(3 × 300, 1 × 150)	200
		2(3 × 120, 1 × 70)	300
400	500	1(3 × 300, 1 × 150)	200
		2(3 × 120, 1 × 70)	300
	550	2(3 × 150, 1 × 95)	300
		3(3 × 95, 1 × 50)	400
500	630	2(3 × 185, 1 × 95)	300
		3(3 × 120, 1 × 70)	400
	700	2(3 × 240, 1 × 120)	400
		3(3 × 120, 1 × 70)	400
630	800	2(3 × 240, 1 × 120)	400
		3(3 × 150, 1 × 95)	400
	900	2(3 × 300, 1 × 150)	400
		3(3 × 185, 1 × 95)	500
800	1000	3(3 × 240, 1 × 120)	500
		4(3 × 150, 1 × 95)	500
	1100	3(3 × 240, 1 × 120)	500
		4(3 × 185, 1 × 95)	600

ตารางที่ F7 (ต่อ)

ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
1000	1250	3(3 × 300, 1 × 150)	600
		4(3 × 240, 1 × 120)	700
	1250	3(3 × 300, 1 × 150)	600
		4(3 × 240, 1 × 120)	700
	1400	4(3 × 240, 1 × 120)	700
		5(3 × 185, 1 × 95)	700
1250	1500	4(3 × 300, 1 × 150)	700
		5(3 × 240, 1 × 120)	800
	1600	4(3 × 300, 1 × 150)	700
		5(3 × 240, 1 × 120)	800
	1800	5(3 × 300, 1 × 150)	900
		6(3 × 240, 1 × 120)	1,000
1600	2000	6(3 × 240, 1 × 120)	1,000
		7(3 × 185, 1 × 95)	2 × 600*
	2250	5(3 × 400, 1 × 240)	2 × 600
		6(3 × 300, 1 × 150)	2 × 600
2000	2500	7(3 × 300, 1 × 150)	2 × 700
		8(3 × 240, 1 × 120)	2 × 700
	2800	8(3 × 300, 1 × 150)	2 × 700
		9(3 × 240, 1 × 120)	2 × 800
2500	3200	9(3 × 300, 1 × 150)	2 × 900
		11(3 × 240, 1 × 120)	2 × 1,000
	3500	10(3 × 300, 1 × 150)	2 × 900
		11(3 × 240, 1 × 120)	2 × 1,000

หมายเหตุ ** ขนาดรางเคเบิลคูณด้วย 2 หมายถึงใช้ 2 รางวาง 2 ชั้น เช่น 2× 600 หมายถึงเลือกใช้รางขนาด 600 มม. จำนวน 2 รางวางซ้อนกัน และจำนวนวงจรในแต่ละรางต้องต่างกันไม่เกิน 1 วงจร*

ตารางที่ F8 สาย NYY แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ
สายวางแบบเป็นกลุ่ม (กลุ่มที่ 7)



ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
250	320	1(3 × 185, 1 × 95)	150
	350	1(3 × 185, 1 × 95)	150
315	400	1(3 × 240, 1 × 120)	150
	450	1(3 × 300, 1 × 150)	200
		2(3 × 95, 1 × 50)	200
400	500	1(3 × 400, 1 × 240)	200
		2(3 × 120, 1 × 70)	300
	550	2(3 × 150, 1 × 95)	300
		3(3 × 95, 1 × 50)	300
500	630	2(3 × 185, 1 × 95)	300
		3(3 × 95, 1 × 50)	400
	700	2(3 × 240, 1 × 120)	300
		3(3 × 120, 1 × 70)	400
630	800	2(3 × 240, 1 × 120)	300
		3(3 × 150, 1 × 95)	400
	900	2(3 × 300, 1 × 150)	400
		3(3 × 185, 1 × 95)	400
800	1000	3(3 × 185, 1 × 95)	400
		4(3 × 150, 1 × 95)	500
	1100	3(3 × 240, 1 × 120)	500
		4(3 × 150, 1 × 95)	500
1000	1000	2(3 × 400, 1 × 240)	400
		3(3 × 185, 1 × 95)	500
	1250	3(3 × 300, 1 × 150)	600
		4(3 × 185, 1 × 95)	600
	1400	3(3 × 300, 1 × 150)	600
		4(3 × 240, 1 × 120)	700

ตารางที่ F8 (ต่อ)

ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
1250	1500	3(3 × 400, 1 × 240)	600
		4(3 × 240, 1 × 120)	700
	1600	3(3 × 400, 1 × 240)	600
		4(3 × 300, 1 × 150)	700
	1800	4(3 × 300, 1 × 150)	700
		5(3 × 240, 1 × 120)	800
1600	1800	4(3 × 300, 1 × 150)	700
		5(3 × 240, 1 × 120)	800
	2000	6(3 × 240, 1 × 120)	1,000
		7(3 × 185, 1 × 95)	2 × 600*
	2250	6(3 × 240, 1 × 120)	1,000
		8(3 × 185, 1 × 95)	2 × 600
2000	2250	6(3 × 240, 1 × 120)	1,000
		8(3 × 185, 1 × 95)	2 × 600
	2500	6(3 × 300, 1 × 150)	2 × 600
		7(3 × 240, 1 × 120)	2 × 700
	2800	7(3 × 300, 1 × 150)	2 × 700
		8(3 × 240, 1 × 120)	2 × 700
2500	3200	8(3 × 300, 1 × 150)	2 × 700
		10(3 × 240, 1 × 120)	2 × 800
	3500	9(3 × 300, 1 × 150)	2 × 900
		11(3 × 240, 1 × 120)	2 × 1,000

หมายเหตุ ** ขนาดรางเคเบิลคูณด้วย 2 หมายถึงใช้ 2 รางวาง 2 ชั้น เช่น 2× 600 หมายถึงเลือกใช้รางขนาด 600 มม. จำนวน 2 รางวางซ้อนกัน และจำนวนวงจรในแต่ละรางต้องต่างกันไม่เกิน 1 วงจร*

5. สาย XLPE วางบนรางเคเบิลแบบบันได

ตารางที่ F9 สาย XLPE แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบบันได

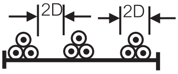
สายวางชิดติดกัน (กลุ่มที่ 7)

ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
250	320	1(3 × 120, 1 × 70)	150
	350	1(3 × 120, 1 × 70)	150
315	400	1(3 × 150, 1 × 95)	150
	450	1(3 × 185, 1 × 95)	150
400	500	1(3 × 240, 1 × 120)	150
		2(3 × 95, 1 × 50)	200
	550	1(3 × 240, 1 × 120)	150
		2(3 × 95, 1 × 50)	200
500	630	1(3 × 300, 1 × 150)	200
		2(3 × 120, 1 × 70)	200
	700	2(3 × 120, 1 × 70)	200
		3(3 × 70, 1 × 35)	300
630	800	2(3 × 150, 1 × 95)	300
		3(3 × 95, 1 × 50)	300
	900	2(3 × 185, 1 × 95)	300
		3(3 × 120, 1 × 70)	300
800	1000	2(3 × 240, 1 × 120)	300
		3(3 × 120, 1 × 70)	300
	1100	2(3 × 240, 1 × 120)	300
		3(3 × 150, 1 × 95)	400

ตารางที่ F9 (ต่อ)

ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
1000	1000	2(3 × 240, 1 × 120)	300
		3(3 × 120, 1 × 70)	300
	1250	2(3 × 300, 1 × 150)	300
		3(3 × 185, 1 × 95)	400
	1400	3(3 × 240, 1 × 120)	400
		4(3 × 150, 1 × 95)	500
1250	1500	3(3 × 240, 1 × 120)	400
		4(3 × 150, 1 × 95)	500
	1600	3(3 × 240, 1 × 120)	400
		4(3 × 185, 1 × 95)	500
	1800	3(3 × 300, 1 × 150)	500
		4(3 × 185, 1 × 95)	500
1600	1800	3(3 × 300, 1 × 150)	500
		4(3 × 185, 1 × 95)	500
	2000	4(3 × 240, 1 × 120)	600
		5(3 × 185, 1 × 95)	600
	2250	4(3 × 300, 1 × 150)	600
		5(3 × 185, 1 × 95)	600
2000	2250	4(3 × 300, 1 × 150)	600
		5(3 × 185, 1 × 95)	600
	2500	4(3 × 300, 1 × 150)	600
		5(3 × 240, 1 × 120)	700
	2800	5(3 × 300, 1 × 150)	700
		6(3 × 240, 1 × 120)	800
2500	3200	6(3 × 240, 1 × 120)	800
		8(3 × 185, 1 × 95)	900
	3500	6(3 × 300, 1 × 150)	900
		7(3 × 240, 1 × 120)	900

ตารางที่ F10 สาย XLPE แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบบันได
สายวางแบบเป็นกลุ่ม (กลุ่มที่ 7)



ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
250	320	1(3 × 120, 1 × 70)	150
	350	1(3 × 150, 1 × 95)	150
315	400	1(3 × 150, 1 × 95)	150
	450	1(3 × 185, 1 × 95)	150
400	500	1(3 × 240, 1 × 120)	150
		2(3 × 95, 1 × 50)	200
	550	1(3 × 240, 1 × 120)	150
		2(3 × 95, 1 × 50)	200
500	630	1(3 × 300, 1 × 150)	150
		2(3 × 120, 1 × 70)	200
	700	2(3 × 150, 1 × 95)	300
		3(3 × 70, 1 × 35)	300
630	800	2(3 × 150, 1 × 95)	300
		3(3 × 95, 1 × 50)	300
	900	2(3 × 185, 1 × 95)	300
		3(3 × 120, 1 × 70)	300
800	1000	2(3 × 240, 1 × 120)	300
		3(3 × 120, 1 × 70)	300
	1100	2(3 × 240, × 120)	300
		3(3 × 150, 1 × 95)	400
1000	1000	2(3 × 240, 1 × 120)	300
		3(3 × 120, 1 × 70)	300
	1250	2(3 × 300, 1 × 150)	300
		3(3 × 185, 1 × 95)	400
	1400	3(3 × 240, 1 × 120)	450
		4(3 × 150, 1 × 95)	500

ตารางที่ F10 (ต่อ)

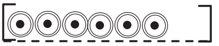
ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
1250	1500	3(3 × 240, 1 × 120)	400
		4(3 × 150, 1 × 95)	500
	1600	3(3 × 240, 1 × 120)	400
		4(3 × 150, 1 × 95)	500
	1800	3(3 × 300, 1 × 150)	500
		4(3 × 185, 1 × 95)	500
1600	1800	3(3 × 300, 1 × 150)	500
		4(3 × 185, 1 × 95)	500
	2000	4(3 × 240, 1 × 120)	600
		5(3 × 150, 1 × 95)	600
	2250	4(3 × 300, 1 × 150)	600
		5(3 × 185, 1 × 95)	600
2000	2250	4(3 × 300, 1 × 150)	600
		5(3 × 185, 1 × 95)	600
	2500	4(3 × 300, 1 × 150)	600
		5(3 × 240, 1 × 120)	700
	2800	5(3 × 300, 1 × 150)	700
		6(3 × 240, 1 × 120)	800
2500	3200	5(3 × 300, 1 × 150)	700
		6(3 × 240, 1 × 120)	800
	3500	6(3 × 300, 1 × 150)	900
		7(3 × 240, 1 × 120)	2 × 600*
		9(3 × 185, 1 × 95)	2 × 600

หมายเหตุ ** ขนาดรางเคเบิลคูณด้วย 2 หมายถึงใช้ 2 รางวาง 2 ชั้น เช่น 2× 600 หมายถึงเลือกใช้รางขนาด 600 มม. จำนวน 2 รางวางซ้อนกัน และจำนวนวงจรในแต่ละรางต้องต่างกันไม่เกิน 1 วงจร*

6. สาย XLPE วางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ

ตารางที่ F11 สาย XLPE แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ

สายวางชิดติดกัน (กลุ่มที่ 7)



ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
250	320	1(3 × 120, 1 × 70)	150
	350	1(3 × 120, 1 × 70)	150
315	400	1(3 × 150, 1 × 95)	150
	450	1(3 × 185, 1 × 95)	150
400	500	1(3 × 240, 1 × 120)	150
		2(3 × 95, 1 × 50)	200
	550	1(3 × 240, 1 × 120)	150
		2(3 × 95, 1 × 50)	200
500	630	1(3 × 300, 1 × 150)	150
		2(3 × 120, 1 × 70)	200
	700	2(3 × 150, 1 × 95)	300
		3(3 × 95, 1 × 50)	300
630	800	2(3 × 185, 1 × 95)	300
		3(3 × 95, 1 × 50)	300
	900	2(3 × 240, 1 × 120)	300
		3(3 × 120, 1 × 70)	300
800	1000	2(3 × 240, 1 × 120)	300
		3(3 × 150, 1 × 95)	400
	1100	2(3 × 300, 1 × 150)	300
		3(3 × 150, 1 × 95)	400

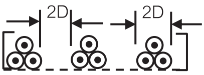
ตารางที่ F11 (ต่อ)

ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
1000	1000	2(3 × 240, 1 × 120)	300
		3(3 × 150, 1 × 95)	400
	1250	3(3 × 185, 1 × 95)	400
		4(3 × 150, 1 × 95)	500
	1400	3(3 × 240, 1 × 120)	400
		4(3 × 185, 1 × 95)	500
1250	1500	3(3 × 240, 1 × 120)	400
		4(3 × 185, 1 × 95)	500
	1600	3(3 × 300, 1 × 150)	500
		4(3 × 240, 1 × 120)	600
	1800	4(3 × 240, 1 × 120)	600
		5(3 × 185, 1 × 95)	600
1600	1800	4(3 × 240, 1 × 120)	600
		5(3 × 185, 1 × 95)	600
	2000	4(3 × 300, 1 × 150)	600
		5(3 × 240, 1 × 120)	700
	2250	5(3 × 240, 1 × 120)	700
		6(3 × 185, 1 × 95)	700
2000	2250	5(3 × 240, 1 × 120)	600
		6(3 × 185, 1 × 95)	700
	2500	5(3 × 300, 1 × 150)	700
		6(3 × 240, 1 × 120)	800
	2800	6(3 × 300, 1 × 150)	900
		7(3 × 240, 1 × 120)	900
2500	3200	7(3 × 300, 1 × 150)	2 × 600*
		8(3 × 240, 1 × 95)	2 × 600
	3500	7(3 × 300, 1 × 150)	2 × 600
		8(3 × 240, 1 × 120)	2 × 600

หมายเหตุ ** ขนาดรางเคเบิลคูณด้วย 2 หมายถึงใช้ 2 รางวาง 2 ชั้น เช่น 2× 600 หมายถึงเลือกใช้รางขนาด 600 มม. จำนวน 2 รางวางซ้อนกัน และจำนวนวงจรในแต่ละรางต้องต่างกันไม่เกิน 1 วงจร*

ตารางที่ F12 สาย XLPE แกนเดียววางบนรางเคเบิลแบบระบายอากาศ

สายวางแบบเป็นกลุ่ม (กลุ่มที่ 7)



ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
250	320	1(3 × 120, 1 × 70)	150
	350	1(3 × 150, 1 × 95)	150
315	400	1(3 × 150, 1 × 95)	150
	450	1(3 × 185, 1 × 95)	150
400	500	1(3 × 240, 1 × 120)	150
		2(3 × 95, 1 × 50)	200
	550	1(3 × 240, 1 × 120)	150
		2(3 × 95, 1 × 50)	200
500	630	1(3 × 300, 1 × 150)	150
		2(3 × 120, 1 × 70)	200
	700	2(3 × 150, 1 × 95)	300
		3(3 × 70, 1 × 35)	300
630	800	2(3 × 185, 1 × 95)	300
		3(3 × 95, 1 × 50)	300
	900	2(3 × 185, 1 × 95)	300
		3(3 × 120, 1 × 70)	300
800	1000	2(3 × 185, 1 × 95)	300
		3(3 × 120, 1 × 70)	300
	1100	2(3 × 300, 1 × 150)	300
		3(3 × 150, 1 × 95)	400
1000	1000	2(3 × 240, 1 × 120)	300
		3(3 × 120, 1 × 70)	300
	1250	3(3 × 185, 1 × 95)	400
		4(3 × 120, 1 × 70)	400
	1400	3(3 × 240, 1 × 120)	400
		4(3 × 150, 1 × 95)	500

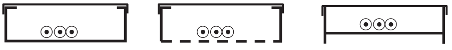
ตารางที่ F12 (ต่อ)

ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดรางเคเบิล (มม.)
1250	1500	3(3 × 240, 1 × 120)	400
		4(3 × 150, 1 × 95)	500
	1600	3(3 × 300, 1 × 150)	500
		4(3 × 185, 1 × 95)	500
	1800	3(3 × 300, 1 × 150)	500
		4(3 × 240, 1 × 120)	600
1600	1800	3(3 × 300, 1 × 150)	500
		4(3 × 240, 1 × 120)	600
	2000	4(3 × 240, 1 × 120)	600
		6(3 × 150, 1 × 95)	700
	2250	4(3 × 300, 1 × 150)	600
		5(3 × 240, 1 × 120)	700
2000	2250	4(3 × 300, 1 × 150)	600
		5(3 × 240, 1 × 120)	700
	2500	5(3 × 300, 1 × 150)	700
		6(3 × 240, 1 × 120)	800
	2800	5(3 × 300, 1 × 150)	700
		6(3 × 240, 1 × 120)	800
2500	3200	6(3 × 300, 1 × 150)	900
		7(3 × 240, 1 × 120)	2 × 600*
	3500	7(3 × 300, 1 × 150)	2 × 600
		8(8 × 240, 1 × 120)	2 × 600

หมายเหตุ * *ขนาดรางเคเบิลคูณด้วย 2 หมายถึงใช้ 2 รางวาง 2 ชั้น เช่น 2× 600 หมายถึงเลือกใช้รางขนาด 600 มม. จำนวน 2 รางวางซ้อนกัน และจำนวนวงจรในแต่ละรางต้องต่างกันไม่เกิน 1 วงจร*

7. สาย NYY & XLPE วางบนรางเคเบิลมีฝาปิด (รางทั้ง 3 แบบ)

ตารางที่ F13 สาย NYY แกนเดียววางบนมีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ แบบระบายอากาศ และแบบบันได (กลุ่มที่ 7)



ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)
250	320	1(3 × 300, 1 × 150)
	350	2(3 × 150, 1 × 95)
315	400	2(3 × 185, 1 × 95)
	450	2(3 × 240, 1 × 120)
400	500	2(3 × 300, 1 × 150)
		3(3 × 185, 1 × 95)
	550	2(3 × 400, 1 × 240)
		3(3 × 240, 1 × 120)
500	630	3(3 × 240, 1 × 120)
		4(3 × 185, 1 × 95)
	700	3(3 × 300, 1 × 150)
		4(3 × 240, 1 × 120)
630	800	4(3 × 300, 1 × 150)
		5(3 × 240, 1 × 120)
	900	4(3 × 400, 1 × 240)
		5(3 × 240, 1 × 120)
800	1000	5(3 × 300, 1 × 150)
		6(3 × 240, 1 × 120)
	1100	6(3 × 300, 1 × 150)
		7(3 × 240, 1 × 120)

ตารางที่ F13 (ต่อ)

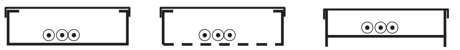
ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)
1000	1000	5(3 × 300, 1 × 150)
		6(3 × 240, 1 × 120)
	1250	7(3 × 300, 1 × 150)
		8(3 × 240, 1 × 120)
	1400	8(3 × 300, 1 × 150)
		11(3 × 240, 1 × 120)
1250	1500	9(3 × 300, 1 × 150)
		12(3 × 240, 1 × 120)
	1600	11(3 × 300, 1 × 150)
		12(3 × 240, 1 × 120)
	1800	12(3 × 300, 1 × 150)
		15(3 × 240, 1 × 120)
1600	1800	12(3 × 300, 1 × 150)
		15(3 × 240, 1 × 120)
	2000	15(3 × 300, 1 × 150)
		18(3 × 240, 1 × 120)
	2250	16(3 × 300, 1 × 150)
		20(3 × 240, 1 × 120)
2000	2250	16(3 × 300, 1 × 150)
		20(3 × 240, 1 × 120)
	2500	16(3 × 400, 1 × 240)
		20(3 × 300, 1 × 150)
	2800	16(3 × 300, 1 × 150) ×2*
		19(3 × 240, 1 × 120) ×2*
2500	3200	21(3 × 300, 1 × 150) ×2*
		24(3 × 240, 1 × 120) ×2*
	3500	23(8 × 300, 1 × 150) ×2*
		29(8 ×240, 1 × 120) ×2*

หมายเหตุ *1. * คูณด้วย 2 หมายถึงใช้ 2 รางวาง 2 ชั้น เช่น 16(3 × 300, 1 × 150)×2 คือเลือกใช้สายขนาด 300 ตร.มม. เฟสละ 16 เส้น(ชุด) แบ่งวาง 2 รางๆละ 8 ชุด โดยจำนวนวงจรในแต่ละรางต้องต่างกันไม่เกิน 1 วงจร*

2. การวางสายเคเบิลสามารถวางได้ทั้งแบบเรียงชิดติดกับ แบบเป็นกลุ่ม และแบบเส้นเว้นเส้น การวางทั้ง 3 แบบ จะได้ขนาดสายไฟฟ้าเท่ากัน

3. ขนาดรางเคเบิลจะเปลี่ยนแปลงตามแต่ละวิธีการวางสาย

ตารางที่ F14 สาย XLPE แกนเดียววางบนมีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ แบบระบายอากาศ และแบบบันได (กลุ่มที่ 7)



ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)
250	320	1(3 × 185, 1 × 95)
	350	1(3 × 240, 1 × 120)
315	400	1(3 × 240, 1 × 120)
	450	1(3 × 300, 1 × 150)
400	500	1(3 × 400, 1 × 240)
		2(3 × 185, 1 × 95)
	550	2(3 × 185, 1 × 95)
		3(3 × 120, 1 × 70)
500	630	2(3 × 240, 1 × 120)
		3(3 × 150, 1 × 95)
	700	2(3 × 300, 1 × 150)
		3(3 × 185, 1 × 95)
630	800	3(3 × 240, 1 × 120)
		4(3 × 150, 1 × 95)
	900	3(3 × 300, 1 × 150)
		4(3 × 185, 1 × 95)
800	1000	4(3 × 240, 1 × 120)
		5(3 × 150, 1 × 95)
	1100	4(3 × 300, 1 × 150)
		5(3 × 240, 1 × 120)

ตารางที่ F14 (ต่อ)

ขนาดหม้อแปลง (kVA)	ขนาด CB (A)	ขนาดสาย (ตร.มม.)
1000	1000	4(3 × 240, 1 × 120)
		5(3 × 150, 1 × 95)
	1250	5(3 × 300, 1 × 150)
		6(3 × 240, 1 × 120)
	1400	6(3 × 240, 1 × 120)
		8(3 × 150, 1 × 95)
1250	1500	6(3 × 300, 1 × 150)
		7(3 × 240, 1 × 120)
	1600	6(3 × 300, 1 × 150)
		8(3 × 240, 1 × 120)
	1800	8(3 × 300, 1 × 150)
		9(3 × 240, 1 × 120)
1600	1800	8(3 × 300, 1 × 150)
		9(3 × 240, 1 × 120)
	2000	8(3 × 300, 1 × 150)
		11(3 × 240, 1 × 120)
	2250	11(3 × 300, 1 × 150)
		14(3 × 240, 1 × 120)
2000	2250	11(3 × 300, 1 × 150)
		14(3 × 240, 1 × 120)
	2500	12(3 × 300, 1 × 150)
		15(3 × 240, 1 × 120)
	2800	16(3 × 300, 1 × 150)
		18(3 × 240, 1 × 120)
2500	3200	15(3 × 400, 1 × 240)
		18(3 × 300, 1 × 150)
	3500	18(3 × 400, 1 × 240)
		20(8 × 300, 1 × 150)

หมายเหตุ *การวางสายเคเบิลสามารถวางได้ทั้งแบบเรียงชิดติดกัน แบบเป็นกลุ่ม และแบบเส้นเว้นเส้น การวางทั้ง 3 แบบ จะได้ขนาดสายไฟฟ้าเท่ากัน และ ขนาดรางเคเบิลจะเปลี่ยนแปลงตามแต่ละวิธีการวางสาย*

ภาคผนวก G ขนาดสายไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า

ขนาดสายไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า $\geq$ 1.25 × กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

ขนาดสายไฟฟ้าเล็กสุดคือ 1.5 ตร.มม.

ขนาดสายดินของมอเตอร์

กำหนดจากขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลัง (overload relay) ของมอเตอร์ ตามตารางที่ 4-2 ของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ ซึ่งปกติเครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังจะตั้งไว้ที่ประมาณ 1.0 เท่าของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

พิกัดเซอร์กิตเบรกเกอร์

เซอร์กิตเบรกเกอร์ต้องมีพิกัดไม่เกิน 250% ของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ เมื่อคำนวณแล้วไม่ตรงกับขนาดมาตรฐานการผลิตให้เลือกขนาดสูงถัดขึ้นไปได้

หมายเหตุ

1. กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์อาจแตกต่างกันตามแต่ละผู้ผลิต และประสิทธิภาพของมอเตอร์

2. กระแสโหลดเต็มที่ในตารางเป็นของมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพปานกลาง สำหรับมอเตอร์ที่มีกระแสโหลดเต็มที่ต่ำกว่าที่กำหนดในตารางสามารถใช้ได้ กรณีที่ต้องการลดขนาดสายลงจะต้องคำนวณใหม่

3. มอเตอร์ขนาดใหญ่อาจมีวิธี start ที่ทำให้กระแสเริ่มเดินลดลงเช่น star-delta หรือ soft start กรณีนี้จะสามารถลดขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ลงได้

ตารางที่ G1 ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่แนะนำให้ใช้ สำหรับ induction motor 1 เฟส 230 V

แรงม้า	kW	กระแส, I_n (A)	$2.5 \times I_n$ (A)	ขนาด CB (A)
1/2	0.37	5.1	12.75	16
3/4	0.55	7.2	18	16
1	0.75	8.4	21	16
1.5	1.1	10.5	26.25	20 หรือ 25
2	1.5	12.5	31.25	25 หรือ 32
3	2.2	17.8	44.5	40
5	4	29.3	73.25	63
7.5	5.5	41.8	104.5	80 หรือ 100
10	7.5	52.3	130.75	100 หรือ 125

หมายเหตุ *: เลือกขนาดสูงขึ้นได้ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดวงจรเนื่องจาก starting current*

ตารางที่ G2 ขนาดสายและท่อสำหรับมอเตอร์ 1 เฟส 230 V สาย PVC (IEC 01 หรือ NYY แกนเดียว) เดินร้อยท่อในอากาศ (กลุ่มที่ 2)

แรงม้า	kW	I_n (A)	$1.25 \times I_n$ (A)	ขนาดสายไฟฟ้า (ตร.มม.)		ขนาดท่อ (มม.)	
				สายวงจร	สายดิน	IEC 01	NYY
1/2	0.37	5.1	6.4	1.5	1.5	15	32
3/4	0.55	7.2	9.0	1.5	1.5	15	32
1	0.75	8.4	10.5	1.5	1.5	15	32
1.5	1.1	10.5	13.1	1.5	1.5	15	32
2	1.5	12.5	15.6	2.5	2.5	15	32
3	2.2	17.8	22.3	4	4	15	32
5	4	29.3	36.6	10	4	20	40
7.5	5.5	41.8	52.3	16	6	25	40
10	7.5	52.3	65.4	16	6	25	40

หมายเหตุ *มอเตอร์แต่ละผู้ผลิตอาจมีกระแสโหลดเต็มที่ไม่เท่ากัน มอเตอร์ที่มีกระแสโหลดเต็มที่ต่างจากที่กำหนดในตาราง อาจต้องกำหนดขนาดสายไฟฟ้าใหม่*

ตารางที่ G3 ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่แนะนำให้ใช้

สำหรับ induction motor 3 เฟส 400 V, 4-Pole, 1,500 rpm, DOL

แรงม้า	kW	กระแส, I_n (A)	2.5×I_n (A)	ขนาด CB (A)
1/2	0.37	1.2	3	16
3/4	0.55	1.7	4.25	16
1	0.75	2.2	5.5	16
1 1/2	1.1	3.1	7.75	16
2	1.5	4.1	10.25	16
3	2.2	5.8	14.5	16
5	3.7	9.2	23	20
7 1/2	5.5	13.0	32.5	32
10	7.5	17.0	42.5	32
15	11	25.0	62.5	50
20	15	33.0	82.5	63
25	18.5	41.0	102.5	80 หรือ 100
30	22	49.0	122.5	100
40	30	63.0	157.5	125
50	37	79.0	197.5	160
60	45	93.0	232.5	175
75	55	116.0	290	200 หรือ 250
100	75	150.0	375	300
125	90	189.0	472.5	350
150	110	218.0	545	400
200	150	291.0	727.5	500

หมายเหตุ *: เลือกขนาดสูงขึ้นได้ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดวงจรเนื่องจาก starting current*

ตารางที่ G4 ขนาดสายไฟฟ้าและท่อ สำหรับ induction motor ระบบ 3 เฟส 400 V
สาย PVC (IEC 01 หรือ NYY แกนเดียว) เดินร้อยท่อในอากาศ (กลุ่มที่ 2)

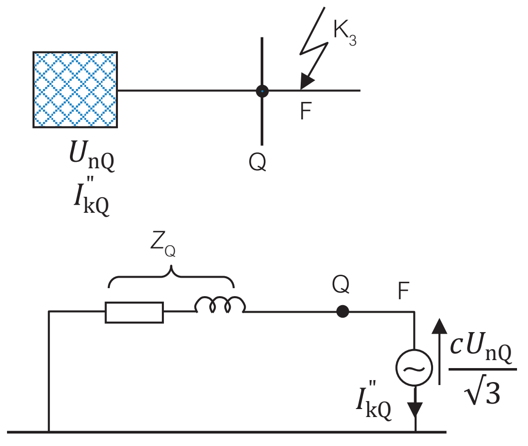
แรงม้า	kW	I_n (A)	$1.25 \times I_n$ (A)	ขนาดสายไฟฟ้า (ตร.มม.)		ขนาดท่อ (มม.)	
				สายวงจร	สายดิน	IEC 01	NYY
1/2	0.37	1.2	1.6	1.5	1.5	15	32
3/4	0.55	1.7	2.2	1.5	1.5	15	32
1	0.75	2.2	2.9	1.5	1.5	15	32
1 1/2	1.1	3.1	4.0	1.5	1.5	15	32
2	1.5	4.1	5.3	1.5	1.5	15	32
3	2.2	5.8	7.5	1.5	1.5	15	32
5	3.7	9.2	12.0	1.5	1.5	15	32
7 1/2	5.5	13.0	16.9	2.5	2.5	15	32
10	7.5	17.0	22.1	4	4	20	40
15	11	25.0	32.5	10	4	25	40
20	15	33.0	42.9	10	4	25	40
25	18.5	41.0	53.3	16	6	25	50
30	22	49.0	63.7	25	6	32	50
40	30	63.0	81.9	35	10	40	50
50	37	79.0	102.7	50	10	40	65
60	45	93.0	120.9	50	16	40	65
75	55	116.0	150.8	70	16	50	65
100	75	150.0	195.0	120	16	65	80
125	90	189.0	245.7	185	25	80	90
150	110	218.0	283.4	240	25	80	100
200	150	291.0	378.3	400	25	100	125

หมายเหตุ *มอเตอร์แต่ละผู้ผลิตอาจมีกระแสโหลดเต็มที่ไม่เท่ากัน มอเตอร์ที่มีกระแสโหลดเต็มที่ต่างจากที่กำหนดในตาราง อาจต้องกำหนดขนาดสายไฟฟ้าใหม่*

ภาคผนวก H กระแสลัดวงจร

กระแสลัดวงจร 3 เฟส สมดุล

วงจรของกระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้า 3 เฟส เป็นดังนี้



เขียนเป็นสมการคำนวณกระแสลัดวงจร 3 เฟส ได้ดังนี้

$$I''_k = \frac{cU_n}{\sqrt{3} \times Z_k} \quad \text{A}$$

กำนดให้

I''_k = กระแสลัดวงจรสมมาตร 3-เฟส (A)

U_n = no load voltage, secondary ของหม้อแปลง (V)

Z_k = อิมพีแดนซ์รวมของวงจรที่ลัดวงจร (mΩ)

c = ค่าคงที่ กำหนดให้เท่ากับ 1.0

อิมพีแดนซ์แต่ละส่วนของวงจรไฟฟ้า หาได้ดังนี้

1. ระบบจ่ายไฟฟ้า ค่าอิมพีแดนซ์ซึ่งแปลงให้อยู่ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง เป็นดังนี้

ระบบแรงดัน 230/400V

Z_{Qt}= 0.352, X_Q = 0.35, R_Q = 0.035 mΩ

ระบบแรงดัน 240/416V

Z_{Qt}= 0.381, X_Q = 0.379, R_Q = 0.038 mΩ

2. หม้อแปลงไฟฟ้า อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าหาได้จากบริษัทผู้ผลิต กรณีไม่มีข้อมูลจะหาได้จากตารางที่ H1 จะได้ค่าความต้านทานเป็น R_T และค่ารีแอกแตนซ์เป็น X_T

3. สายไฟฟ้าและบัสเวย์

(1) สายไฟฟ้าใช้ค่าความต้านทานที่ 20°C และรีแอกแตนซ์จะเปลี่ยนไปตามวิธีการวางสายไฟฟ้า สำหรับการวางแบบสามเหลี่ยมจะมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำสุดซึ่งเมื่อคำนวณกระแสลัดวงจรจะได้ค่าสูงสุดกรณีไม่มีข้อมูลอาจใช้ค่าตามตารางที่ H2

(2) บัสเวย์หรือบัสดัก ใช้ค่าจากบริษัทผู้ผลิต

หาอิมพีแดนซ์รวมได้ดังนี้

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2}$$

ตารางที่ H1 ค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ผลิตตามมาตรฐาน IEC
(แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำ 230/400 V. และ 240/416 V.)

ขนาด (kVA)	$\%U_k$	R(mΩ)		X_L(mΩ)		Z(mΩ)	
		230/400 V	240/416 V	230/400 V	240/416 V	230/400 V	240/416 V
315	4	7.11	7.69	19.03	20.88	20.32	21.98
400	4	4.60	4.98	15.32	16.57	16.00	17.30
500	4	3.26	3.53	12.38	13.32	12.80	13.84
630	4	2.62	2.83	9.82	10.60	10.16	10.99
800	6	2.76	2.99	11.68	12.63	12.00	12.98
1,000	6	2.16	2.34	9.35	10.11	9.60	10.38
1,250	6	1.67	1.81	7.50	8.10	7.68	8.31
1,600	6	1.24	1.34	5.87	6.35	6.00	6.49
2,000	6	0.96	1.04	4.70	5.09	4.80	5.19
2,500	6	0.68	0.74	3.78	4.08	3.84	4.15

หมายเหตุ *ค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงอาจแตกต่างกันไปบ้างตามค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แตกต่างกันของแต่ละผู้ผลิต*

ตารางที่ H2 อิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้า มอก.11-2553 (mΩ/m)

ขนาดสาย (ตร.มม.)	R (ที่ 20^{o}C)	X_L ในท่อหรือเป็นเคเบิล	X_L บนลูกถ้วยในอากาศ (วางห่าง 20 ซม.)
2.5	7.4074	0.1377	0.355921
4	4.6296	0.1336	0.341201
6	3.0864	0.1284	0.325133
10	1.8519	0.1249	0.308743
16	1.1574	0.1189	0.294258
25	0.7407	0.1183	0.279795
35	0.5291	0.1083	0.266095
50	0.3704	0.1090	0.256586
70	0.2646	0.1054	0.245012
95	0.1949	0.1043	0.234743
120	0.1543	0.1000	0.226281
150	0.1235	0.0996	0.219816
185	0.1001	0.0993	0.212696
240	0.0772	0.0973	0.203700
300	0.0617	0.0967	0.196579
400	0.0463	0.0957	0.188848

ตารางที่ H3 ค่ากระแสลัดวงจร 3 เฟส สำหรับสายไฟฟ้าแต่ละขนาด ที่ความยาวสายต่าง ๆ

(แรงดันด้านแรงต่ำของหม้อแปลง 400 V)

หม้อแปลง (kVA)	สายไฟฟ้า		กระแสลัดวงจร (kA)							
	ตร.มม.	เส้นต่อเฟส	ความยาวสาย (เมตร)							
			0	5	10	15	20	30	40	50
315	150	2	11.18	11.00	10.82	10.65	10.48	10.16	9.85	9.56
	185	2	11.18	11.01	10.84	10.68	10.53	10.22	9.94	9.66
	240	1	11.18	10.87	10.57	10.29	10.03	9.53	9.08	8.67
	240	2	11.18	11.02	10.87	10.72	10.57	10.29	10.03	9.78
400	150	3	14.13	13.95	13.76	13.59	13.41	13.07	12.74	12.43
	185	3	14.13	13.96	13.79	13.62	13.46	13.14	12.84	12.55
	240	2	14.13	13.89	13.65	13.42	13.20	12.77	12.37	11.99
	300	2	14.13	13.90	13.67	13.45	13.24	12.83	12.45	12.08
500	185	3	17.56	17.30	17.04	16.78	16.54	16.06	15.61	15.18
	240	3	17.56	17.31	17.07	16.83	16.60	16.16	15.73	15.33
	300	2	17.56	17.21	16.86	16.53	16.21	15.61	15.05	14.52
	300	3	17.56	17.32	17.09	16.86	16.64	16.21	15.81	15.42
630	185	3	21.97	21.56	21.15	20.76	20.38	19.66	18.98	18.34
	240	3	21.97	21.58	21.21	20.84	20.49	19.81	19.17	18.57
	300	3	21.97	21.60	21.24	20.88	20.54	19.90	19.28	18.71
	400	3	21.97	21.61	21.27	20.93	20.61	19.99	19.40	18.85
800	240	4	18.70	18.49	18.28	18.08	17.88	17.50	17.13	16.77
	300	3	18.70	18.43	18.17	17.91	17.66	17.19	16.73	16.30
	300	4	18.70	18.50	18.30	18.10	17.91	17.54	17.19	16.84
	400	3	18.70	18.44	18.19	17.95	17.71	17.25	16.81	16.40
1000	240	5	23.22	22.96	22.71	22.46	22.22	21.74	21.29	20.85
	300	4	23.22	22.91	22.61	22.31	22.02	21.47	20.93	20.43
	300	5	23.22	22.97	22.73	22.49	22.25	21.80	21.36	20.93
	400	4	23.22	22.92	22.63	22.35	22.07	21.54	21.03	20.54

ตารางที่ H3 (ต่อ)

หม้อแปลง (kVA)	สายไฟฟ้า		กระแสลัดวงจร (kA)							
	ตร.มม.	เส้นต่อเฟส	ความยาวสาย (เมตร)							
			0	5	10	15	20	30	40	50
1250	240	6	28.75	28.42	28.10	27.78	27.47	26.87	26.29	25.74
	300	5	28.75	28.37	28.00	27.64	27.28	26.60	25.95	25.33
	300	6	28.75	28.43	28.12	27.82	27.52	26.94	26.38	25.84
	400	5	28.75	28.38	28.03	27.68	27.34	26.68	26.06	25.46
	400	6	28.75	28.44	28.15	27.85	27.57	27.01	26.47	25.96
1600	300	6	36.37	35.87	35.38	34.90	34.43	33.53	32.67	31.85
	300	7	36.37	35.94	35.52	35.10	34.69	33.91	33.16	32.43
	400	5	36.37	35.79	35.23	34.68	34.15	33.14	32.18	31.27
	400	6	36.37	35.89	35.41	34.95	34.50	33.64	32.81	32.02
	400	7	36.37	35.96	35.55	35.15	34.76	34.00	33.28	32.58
2000	300	8	44.87	44.29	43.73	43.18	42.65	41.61	40.62	39.68
	300	9	44.87	44.36	43.86	43.37	42.88	41.95	41.06	40.20
	400	7	44.87	44.24	43.62	43.02	42.44	41.32	40.26	39.24
	400	8	44.87	44.32	43.77	43.25	42.73	41.73	40.78	39.87
	400	9	44.87	44.38	43.89	43.42	42.96	42.06	41.20	40.37

ตารางที่ H4 ค่ากระแสลัดวงจร 3 เฟส สำหรับสายไฟฟ้าแต่ละขนาด ที่ความยาวสายต่าง ๆ

(แรงดันด้านแรงต่ำของหม้อแปลง 416 V)

หม้อแปลง (kVA)	สายไฟฟ้า		กระแสลัดวงจร (kA)							
	ตร.มม.	เส้นต่อเฟส	ความยาวสาย (เมตร)							
			0	5	10	15	20	30	40	50
315	150	2	10.62	10.46	10.31	10.16	10.01	9.73	9.46	9.20
	185	2	10.62	10.47	10.33	10.19	10.05	9.78	9.53	9.29
	240	1	10.62	10.35	10.09	9.85	9.61	9.17	8.77	8.40
	240	2	10.62	10.48	10.35	10.22	10.09	9.85	9.61	9.39
400	150	3	13.59	13.42	13.26	13.10	12.94	12.64	12.35	12.06
	185	3	13.59	13.43	13.28	13.13	12.99	12.70	12.43	12.17
	240	2	13.59	13.37	13.16	12.95	12.75	12.37	12.01	11.66
	300	2	13.59	13.38	13.18	12.98	12.79	12.42	12.07	11.75
500	185	3	16.97	16.73	16.49	16.26	16.04	15.61	15.20	14.81
	240	3	16.97	16.74	16.52	16.31	16.10	15.70	15.31	14.94
	300	2	16.97	16.65	16.34	16.04	15.75	15.20	14.69	14.21
	300	3	16.97	16.75	16.54	16.34	16.14	15.75	15.38	15.02
630	185	3	21.17	20.79	20.43	20.08	19.74	19.09	18.47	17.89
	240	3	21.17	20.82	20.48	20.15	19.83	19.22	18.65	18.10
	300	3	21.17	20.83	20.51	20.19	19.89	19.30	18.75	18.22
	400	3	21.17	20.85	20.54	20.24	19.94	19.38	18.85	18.35
800	240	4	17.98	17.80	17.61	17.43	17.25	16.91	16.58	16.26
	300	3	17.98	17.74	17.51	17.28	17.06	16.63	16.22	15.83
	300	4	17.98	17.80	17.62	17.45	17.28	16.95	16.63	16.32
	400	3	17.98	17.75	17.53	17.31	17.10	16.68	16.29	15.92
1000	240	5	22.31	22.08	21.86	21.63	21.42	20.99	20.58	20.19
	300	4	22.31	22.04	21.77	21.50	21.24	20.74	20.27	19.81
	300	5	22.31	22.09	21.87	21.66	21.45	21.04	20.65	20.27
	400	4	22.31	22.05	21.79	21.53	21.29	20.81	20.35	19.91

ตารางที่ H4 (ต่อ)

หม้อแปลง (kVA)	สายไฟฟ้า		กระแสลัดวงจร (kA)							
	ตร.มม.	เส้นต่อเฟส	ความยาวสาย (เมตร)							
			0	5	10	15	20	30	40	50
1250	240	6	27.68	27.38	27.10	26.81	26.53	25.99	25.47	24.97
	300	5	27.68	27.34	27.01	26.68	26.36	25.75	25.16	24.60
	300	6	27.68	27.39	27.12	26.84	26.58	26.05	25.55	25.07
	400	5	27.68	27.35	27.03	26.72	26.42	25.83	25.26	24.72
	400	6	27.68	27.41	27.14	26.88	26.62	26.12	25.64	25.17
1600	300	6	34.97	34.52	34.08	33.65	33.23	32.43	31.65	30.92
	300	7	34.97	34.58	34.20	33.83	33.47	32.77	32.09	31.44
	400	5	34.97	34.45	33.95	33.46	32.98	32.07	31.21	30.39
	400	6	34.97	34.54	34.11	33.70	33.30	32.52	31.78	31.07
	400	7	34.97	34.60	34.23	33.88	33.53	32.85	32.20	31.57
2000	300	8	43.09	42.58	42.08	41.59	41.11	40.19	39.30	38.45
	300	9	43.09	42.63	42.19	41.75	41.32	40.49	39.69	38.91
	400	7	43.09	42.53	41.98	41.45	40.93	39.92	38.97	38.05
	400	8	43.09	42.60	42.12	41.65	41.19	40.29	39.44	38.62
	400	9	43.09	42.65	42.22	41.80	41.39	40.59	39.81	39.07

ภาคผนวก I ความปลอดภัยในการติดตั้งระบบไฟฟ้า

อันตรายจากไฟฟ้าอาจก่อให้เกิดความสูญเสียได้ทั้งชีวิตและทรัพย์สิน ทั้งจากการใช้ไฟฟ้าและการทำงานกับไฟฟ้า ผู้ที่ทำการติดตั้งระบบไฟฟ้าก็จะต้องใช้ไฟฟ้าในการทำงานด้วย จึงต้องมีความระมัดระวังและมีความรู้ที่จะป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น การป้องกันอันตรายจะต้องทราบลักษณะของการเกิดอันตรายและแนวทางการป้องกัน จึงจะสามารถป้องกันได้อย่างเหมาะสม

1. อันตรายจากไฟฟ้าและแนวทางการป้องกัน

ลักษณะของอันตรายจากไฟฟ้า แบ่งได้ดังนี้

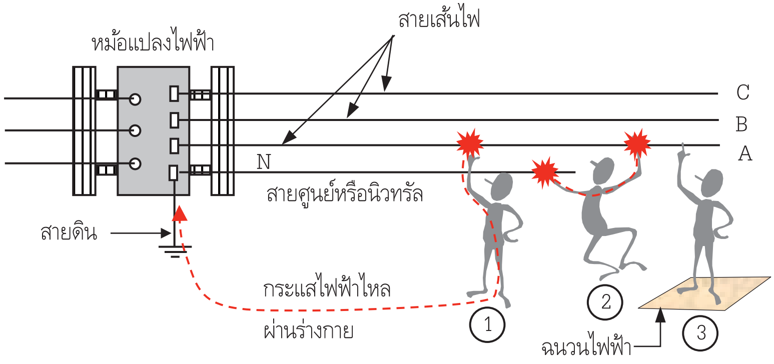
1. ไฟฟ้าดูด (electric shock)
2. ประกายไฟจากอาร์ก (arc flash)
3. การระเบิดจากอาร์ก (arc blast)

1.1 ไฟฟ้าดูด (Electric Shock)

ไฟฟ้าดูด คือการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย ซึ่งเป็นอันตราย กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านร่างกายได้จะต้องเป็นการไหลครบวงจร นั่นคือกระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าร่างกายและไหลกลับไปยังแหล่งกำเนิดได้ แผลจากไฟฟ้าจะมีลักษณะไหม้ เซลล์ตาย และรักษาให้หายได้ยาก

ผู้ที่ถูกไฟดูดจะมีอาการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง คือหัวใจเต้นผิดปกติจนถึงหยุดเต้น ระบบประสาทและกล้ามเนื้อทำงานผิดปกติ เช่น เกิดการกระตุก หรือ สะบัดอย่างแรง อาการที่เรียกว่าไฟฟ้าดูดนี้มาจากอาการที่ระบบประสาทไม่สามารถสั่งงานให้กล้ามเนื้อทำงานได้ เช่น ไม่สามารถสั่งให้มือปล่อยหรือคลายออกจากการจับต้องส่วนที่มีกระแสไฟฟ้า หรือไม่สามารถสั่งให้ก้าวเท้าหนีจากพื้นบริเวณที่มีกระแสไฟฟ้ารั่วไหล เป็นต้น อาการเหล่านี้เป็นอาการที่คล้ายกับถูกไฟฟ้าดูดให้อยู่กับที่เราจึงเรียกจากอาการนี้ว่า “ไฟฟ้าดูด หรือ ไฟดูด” ความรุนแรงหรืออันตรายจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่าน ระยะเวลาที่กระแสไหลผ่าน และเส้นทางที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย

ไฟฟ้าดูดได้อย่างไร



รูปที่ I.1 การเกิดไฟฟ้าดูด

คนที่ 1 ถูกไฟฟ้าดูดเนื่องจากสัมผัสสายเส้นที่มีไฟ จะมีกรแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายลงดินไปครบวงจรที่หม้อแปลงไฟฟ้า

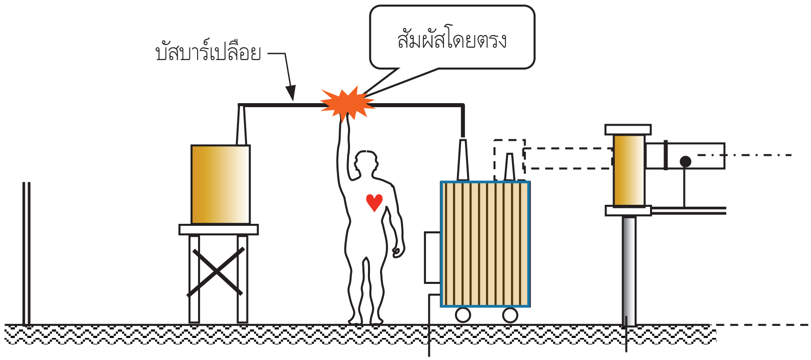
คนที่ 2 ถูกไฟฟ้าดูดเนื่องจากสัมผัสสายเส้นที่มีไฟ 2 เส้นในเวลาเดียวกัน กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านร่างกายจากเส้นหนึ่งไปครบวงจรที่อีกเส้นหนึ่ง

คนที่ 3 ไม่ถูกไฟดูดเนื่องจากยืนบนฉนวนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านฉนวนไฟฟ้าได้

หลักการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูด

ไฟฟ้าดูดเกิดจากการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้า แบ่งการสัมผัสได้เป็น 2 แบบ

ก. การสัมผัสโดยตรง (direct contact) คือการที่ร่างกายสัมผัสกับส่วนที่ในสภาพปกติมีแรงดันไฟฟ้าอยู่แล้ว เช่น สัมผัสบัสบาร์ที่เปิดโล่ง สายไฟฟ้าเปลือยหรือฉนวนชำรุด อันตรายลักษณะนี้มักเกิดจากการทำงานกับไฟฟ้า หรือทำงานใกล้กับส่วนที่มีไฟฟ้า



รูปที่ I.2 ตัวอย่างการสัมผัสโดยตรง

การป้องกันจึงเป็นการป้องกันไม่ให้สัมผัสกับส่วนที่มีไฟฟ้า เป็นการป้องกันพื้นฐาน (basic protection) อาจจะเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีประกอบกันก็ได้ตามความเหมาะสม ตัวอย่างการป้องกันมีดังนี้

- หุ้มฉนวนส่วนที่มีไฟ เช่น การหุ้มฉนวนสายไฟฟ้า
- ป้องกันโดยมีสิ่งกั้นหรือตู้ เช่น ตู้หรือแผงสวิตช์
- ป้องกันโดยมีสิ่งที่กีดขวาง เหมาะสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ เช่น ลานหม้อแปลง
- ป้องกันด้วยระยะห่าง เช่น ยกให้อยู่ในระยะที่เอื้อมไม่ถึง ติดตั้งสายบนเสาไฟฟ้า เป็นต้น
- ใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (personnel protective equipment, PPE) เมื่อต้องทำงานกับไฟฟ้าขณะที่มีไฟ เช่น อุปกรณ์หุ้มฉนวนยางรวมทั้ง ถุงมือที่ใช้ร่วมกับหนังแขนเสื้อยาง ผ้าห่มยาง ที่หุ้มและเครื่องมือหุ้มฉนวน เป็นต้น
- ใช้เครื่องตัดไฟรั่ว เป็นการป้องกันเสริม
- ใช้เครื่องใช้ที่มีแรงดันต่ำที่ไม่เกิน 50 V. โดยต่อผ่านหม้อแปลงชนิดแยกขดลวดหรือแยกโดด (isolation transformer)

ข. การสัมผัสโดยอ้อม (indirect contact) คือการสัมผัสส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ปกติจะไม่มีไฟฟ้าและสามารถสัมผัสได้โดยไม่มีอันตราย แต่อาจมีไฟได้เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้ารั่วหรือชำรุด เช่น ส่วนโครงโลหะสว่านไฟฟ้า หม้อหุงข้าวไฟฟ้า และตู้เย็น เป็นต้น เมื่อสัมผัสจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายลงดินครบวงจรทางไฟฟ้า อันตรายลักษณะนี้มักเกิดจากการสัมผัสกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ปกติสัมผัสเป็นประจำเช่น สว่านไฟฟ้า เป็นต้น ผู้สัมผัสจะขาดความระมัดระวังจึงมีอันตรายสูง

รูปที่ I.3 ตัวอย่างการสัมผัสโดยอ้อม

การป้องกันอันตรายจึงเป็นการป้องกันไว้ก่อนที่จะสัมผัส เป็นการป้องกันกรณีที่เกิดความผิดพร่อง (fault protection) ตัวอย่างการป้องกัน มีดังนี้

- มีการต่อลงดินเปลือกหุ้มที่เป็นตัวนำและมีเครื่องปลดวงจรอัตโนมัติ (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมเรื่องการต่อลงดิน)
- ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดฉนวน 2 ชั้น หรือประเภท II (double insulation)
- ใช้ระบบไฟฟ้าที่แยกจากกัน (electrical separation) หรือระบบไม่ต่อลงดิน
- ใช้เครื่องตัดไฟรั่ว <u>เป็นการป้องกันเสริม</u>
- ใช้เครื่องใช้ที่มีแรงดันต่ำที่ไม่เกิน 50 V.
- มีการประสานศักย์

1.2 ประกายไฟจากอาร์ก (Arc Flash)

อาร์กมีพลังงานสูงพอที่จะทำอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้เช่นกัน อาร์กมีความร้อนสูงมากจนละลายวัตถุได้ ความร้อน ไอของโลหะที่หลอมละลาย และแสงจ้า เป็นอันตรายต่อบุคคลและทรัพย์สิน อาจเกิดจากฟ้าผ่า จากการสับ-ปลดสวิตช์ และจากการชำรุดของอุปกรณ์เนื่องจากการใช้งานไม่ถูกต้อง เป็นต้น

1.3 การระเบิดจากอาร์ก (Arc Blast)

การเกิดระเบิดมีสาเหตุหลักมาจากการเกิดอาร์กไฟฟ้าในปริมาตรที่จำกัด เมื่ออากาศได้รับความร้อนจากอาร์กก็จะขยายตัวอย่างรวดเร็ว การเกิดระเบิดจากอาร์กมีอุณหภูมิสูงมาก และแรงจากการระเบิดนี้ก็สูงมากจนเป็นอันตรายต่อบุคคลและทรัพย์สินได้

สำหรับผู้ที่ปฏิบัติงานกับไฟฟ้านั้น ส่วนใหญ่เป็นอันตรายที่เกิดจากการทำงานกับไฟฟ้าหรือใกล้ส่วนที่มีไฟฟ้า โดยปกติผู้ปฏิบัติงานต้องพยายามหลีกเลี่ยงการทำงานในขณะที่มีไฟฟ้า แต่ถ้าไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ การป้องกันอันตรายจากอาร์กและการระเบิดที่เกิดกับบุคคลที่ทำงานกับไฟฟ้า จะต้องเลือกใช้อุปกรณ์ความปลอดภัยที่เหมาะสม และมีมาตรการความปลอดภัยที่ดีด้วย

2. การป้องกันอันตรายในงานติดตั้งทางไฟฟ้า

การป้องกันอันตรายตามที่กล่าวข้างต้น เป็นหลักการที่ใช้สำหรับงานทั่วไป ในงานติดตั้งทางไฟฟ้ามักเกี่ยวข้องกับไฟฟ้าแรงดันต่ำและการเดินสายไฟฟ้าชั่วคราว อาจสรุปเป็นแนวทางในการป้องกันให้สั้นลงได้ ดังนี้

1. การแต่งกายและอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล เป็นดังนี้
    - หมวกแข็ง ใช้ป้องกันได้ทั้งไฟฟ้าและถูกของแข็งหล่นใส่
    - แว่นตา เมื่อต้องทำงานในที่มีประกายไฟเช่น การตัด ต่อสายไฟฟ้าขณะที่มีไฟ เป็นต้น
    - การป้องกันประกายไฟ เสื้อผ้าที่สวมใส่ ควรเป็นชุดต้านเปลวเพลิง ใช้เมื่อต้องทำงานในที่ซึ่งอาจเกิดประกายไฟได้
    - อุปกรณ์ฉนวน อย่างน้อยควรใช้ถุงมือยางหรือถุงมือหนังที่ทนแรงดันไฟฟ้าได้ เมื่อต้องทำงานกับวงจรไฟฟ้าที่ขณะที่มีไฟ
    - เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า กรณีไม่แน่ใจว่ามีไฟหรือไม่ควรวัดด้วยเครื่องมือวัดแรงดันก่อน
2. เลือกใช้อุปกรณ์และเครื่องมือฉนวนที่เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้า เมื่อต้องทำงานกับวงจรไฟฟ้าที่มีไฟ หรือเมื่อใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า
3. ตรวจสอบเครื่องมือ อุปกรณ์ และ PPE ก่อนการใช้งาน ว่าอยู่ในสภาพดีพร้อมใช้งาน ควรมีการตรวจสอบด้วยสายตาในเบื้องต้น เพื่อตรวจหาข้อชำรุด บกพร่อง และความเสียหายภายนอก ก่อนที่จะนำไปใช้งาน ถ้าพบการชำรุดหรือข้อบกพร่องของชิ้นส่วนใด ๆ ซึ่งอาจทำให้ผู้ใช้งานได้รับบาดเจ็บจะต้องทำการซ่อมทันที และห้ามใช้งานจนกว่าจะผ่านการซ่อมแซม และทดสอบจนสามารถนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัยแล้วเท่านั้น

สายต่อพ่วงและสายอ่อน และสายเต้าเสียบ ก่อนนำไปใช้งานต้องตรวจสอบ ด้วยสายตาเพื่อหาความบกพร่องภายนอกเช่น ส่วนหลุดหลวม บิดเบี้ยว ผิดรูป ฉนวนชำรุด เป็นต้น และค้นหาร่องรอยที่บ่งบอกว่าอาจมีการชำรุดเสียหายภายในเช่น ภายนอกของเปลือกมีร่องรอยการถูกบีบ หรือหักงอ

สายต่อพ่วงและเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ ควรมีการตรวจวัดค่าความเป็นฉนวนตามคาบเวลาที่เหมาะสม ถ้าพบว่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานต้องแก้ไข

4. ตรวจสถานที่ทำงานเป็นประจำเพื่อตรวจหาสภาพที่มีความเสี่ยงและทำการป้องกัน โดยปกติการใช้ไฟฟ้าในการติดตั้งทางไฟฟ้ามักใช้เป็นไฟฟ้าชั่วคราว การเดินสายและติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้ามักไม่ดีเท่ากับไฟฟ้าถาวร รวมทั้งสายไฟฟ้าก็อาจมีการรื้อย้ายไปใช้งานในหลายสถานที่จึงมักมีส่วนที่ฉนวนของสายถูกปลอกและ/หรือชำรุดจากการใช้งาน จึงควรมีการตรวจสอบเป็นประจำเพื่อหาจุดเสี่ยงและทำการป้องกัน

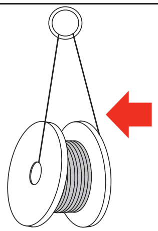
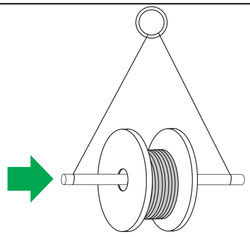
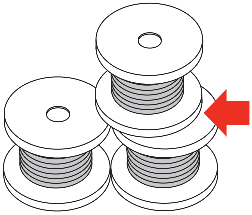
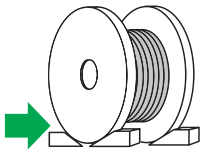
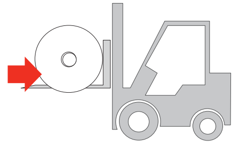
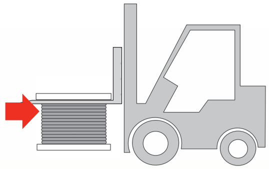
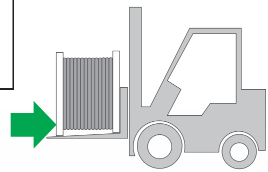
5. ตรวจอุปกรณ์ป้องกันและการติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่ว วงจรไฟฟ้าชั่วคราวเพื่อใช้ในงานติดตั้งทางไฟฟ้าควรต่อผ่านเครื่องตัดไฟรั่วด้วย

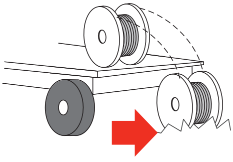
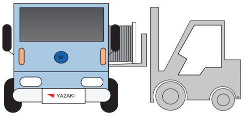
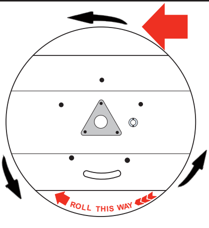
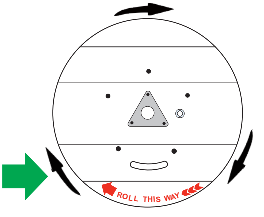
อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ที่ใช้งานในสถานที่ทำงานซึ่งมีสภาพนำไฟฟ้าสูง (เช่น บริเวณน้ำท่วม หรือ เจิ่งนองด้วยของเหลวนำไฟฟ้าอื่น) หรือในสถานที่ทำงานซึ่งพนักงานมีโอกาสสัมผัสกับน้ำ หรือของเหลวที่นำไฟฟ้า จะต้องเป็นชนิดที่ผ่านการรับรองให้สามารถนำมาใช้กับสถานที่เหล่านั้นได้ และในสถานที่ทำงานซึ่งพนักงานมีแนวโน้มจะสัมผัส หรือเปียกชุ่มด้วยน้ำ หรือ ของเหลวที่นำไฟฟ้า จะต้องติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วสำหรับป้องกันบุคคลด้วย

6. กรณีทำงานในที่สูง จะต้องมีอุปกรณ์ป้องกันการตกจากที่สูง

ภาคผนวก I ความปลอดภัยในการติดตั้งระบบไฟฟ้า

ภาคผนวก J วิธีการจัดเก็บและเคลื่อนย้ายสายไฟฟ้าที่บรรจุในล้อไม้

	คำอธิบาย	
	**<u>ห้าม</u>** ร้อยสลิง/โซ่ ร้อยผ่านรูแกนล้อโดยตรง เพราะอาจทำให้ล้อไม้เสียหายได้ สามารถใช้ hoisted ยกได้โดยต้องใส่แกนเหล็กสอดที่แกนล้อไม้ เพื่อป้องกันความเสียหาย	
	**<u>ห้าม</u>** วางล้อไม้ซ้อนกัน และไม่ควรวางล้อไม้ในแนวนอน เพราะอาจเกิดความเสียหายได้จากน้ำหนักและการยกได้ วางล้อไม้ในแนวตั้ง และหาวัสดุที่แข็งแรงมาทำการหนุนล้อไม้เพื่อป้องกันการกลิ้ง	
	**<u>ห้าม</u>** ยกโดยสัมผัสสายไฟโดยตรง หรือยกปีกล้อข้างใดข้างหนึ่ง เพราะอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อล้อไม้และสายไฟฟ้า ยกโดยให้ปีกล้อไม้ทั้งสองข้างสัมผัสกับงาของ Fork Lift เท่ากันทั้ง 2 ด้าน โดยมีความมั่นคงในการยกและเคลื่อนย้าย	

	**คำอธิบาย**	
	<u>**ห้าม**</u> กลิ้งล้อไม้ลงจากรถขนส่งโดยตรง เพราะอาจทำให้ล้อไม้และสายไฟฟ้าได้รับความเสียหาย ทำการยกล้อไม้บรรจุสายไฟฟ้าลงโดยการใช้ Fork Lift, Hoist หรือ Hydraulic gate	
	<u>**ห้าม**</u> กลิ้งล้อไม้ย้อนทิศทางของลูกศรเพราะอาจทำให้สายไฟฟ้าในล้อเกิดการคลายตัว ให้กลิ้งล้อไม้ตามทิศทางของลูกศร	

บรรณานุกรม

ลือชัย ทองนิล. “การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า” พิมพ์ครั้งที่ 41, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร: 2563.

ลือชัย ทองนิล. “คู่มือวิศวกรไฟฟ้า” พิมพ์ครั้งที่ 19, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร: 2559.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, “มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2564”

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์ แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 450/750 โวลต์” มอก.11-2553, มอก.11 เล่ม 101-2559.

BS 7671. Requirement for Electrical Installations, 2008

IEC 60909-0. Short-circuit Current in Three-phase a.c. Systems, 2001

Thai-Yazaki Electric Wire Co.,Ltd.

Head Office/Sale Office:
21st Floor, O-NES Tower, 6 Sukhumvit Soi 6,
Klongtoey Sub-District, Klongtoey District, Bangkok 10110
Tel: +66(0) 2653-2550 Ext: 145, 165 Fax: +66(0) 2653-2613
Email: smb_marketing@th.yazaki.com

Factory:
283 Moo 1, Suksawad Road, Bangplakot, Phrasamut Chedi,
Samutprakarn, 10290
Tel: +66(0) 2463-0058

Website: https://www.thaiyazaki-electricwire.co.th/
Facebook: ThaiYazakiElectricWire