BCC
BANGKOK CABLE

Electrify Our Future




บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด
187/1 ถ.ราชดำริ แขวงลุมพินี
เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร. 0 2055 4500

bangkokcablebcc www.bangkokcable.com


BCC
BANGKOK CABLE

การบริหารการออกแบบและการติดตั้งทางไฟฟ้า
ELECTRICAL DESIGN & INSTALLATION MANAGEMENT

BCC
BANGKOK CABLE

# การบริหารการออกแบบ
# และการติดตั้งทางไฟฟ้า

## ELECTRICAL DESIGN & INSTALLATION MANAGEMENT

- งานบริหารการออกแบบและการติดตั้งทางไฟฟ้า
- การบริหารงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้า
- การเลือกใช้บริภัณฑ์ไฟฟ้าตามมาตรฐานฯ
- การติดตั้ง การใช้งาน และการบำรุงรักษา บริภัณฑ์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน


**ดร.เตชทัต บูรณะอัศวกุล**




60th
BANGKOK CABLE
ANNIVERSARY

# “60 ปี BCC เคียงข้างสังคมไทย”

บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด (BCC) ขอขอบพระคุณลูกค้าที่ช่วยสนับสนุนให้เราได้เติบโตเคียงข้างสังคมไทยมาตลอดระยะเวลา 60 ปี

นับแต่ พ.ศ. 2507 BCC ได้ดำเนินธุรกิจมาอย่างต่อเนื่อง ผ่านยุคสมัยฝ่าฟันอุปสรรค และผ่านพ้นนานาวิกฤตมาด้วยความมานะบากบั่น มุ่งมั่น ทำให้ได้รับความเชื่อถือและไว้วางใจในคุณภาพสินค้าทั้งในระดับประเทศและระดับนานาชาติมาโดยตลอด

เราจะสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ พัฒนาการผลิตและการบริการต่อไปอย่างไม่หยุดยั้ง นำพาความเจริญก้าวหน้าทางระบบโครงสร้างพื้นฐานมาสู่สังคมและประเทศชาติในฐานะผู้ผลิตสายไฟฟ้าที่มีคุณภาพเป็นอันดับหนึ่งโดยคนไทย เพื่อคนไทยและประชาคมโลกอย่างสมศักดิ์ศรี






**ชื่อหนังสือ**

การบริหารการออกแบบ และการติดตั้งทางไฟฟ้า

Electrical Design & Installation Management

**ชื่อผู้แต่ง**

ดร.เตชทัต บูรณะอัศวกุล

ตำแหน่ง :

- อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยพิชญบัณฑิต
- อาจารย์พิเศษ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

**อำนวยการผลิต :**

บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด

โทร. 0 2055 4500

**ISBN : 978-616-93970-2-1**

ครั้งที่ 1 ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2568

จำนวน : 3,000 เล่ม

จำนวนหน้า : 483 หน้า

**จัดพิมพ์โดย :** บริษัท เซจ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

17 ถนนเทศบาลนฤมาณ แขวงลาดยาว

เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900



## สารจากประธานกรรมการ

*บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด ดำเนินธุรกิจมาถึงวาระของการก่อตั้ง ครบรอบ 60 ปี ใน พ.ศ. 2567 ซึ่งเราไม่ได้เป็นเพียงผู้ผลิตสายไฟฟ้าและสายเคเบิล แต่ยังเป็นผู้ที่ให้การสนับสนุนด้านความรู้ในส่วนที่เกี่ยวข้องให้แก่ ผู้ออกแบบ ผู้ติดตั้ง ผู้ใช้งาน หรือ ผู้ที่ทำหน้าที่สนับสนุน เช่น การจัดซื้อ ที่ปรึกษา อาจารย์ผู้สอน เป็นต้น โดยเราได้ริเริ่มการทำหนังสือให้กับวงการไฟฟ้ามาตั้งแต่ พ.ศ. 2520*

# นายสมพงศ์ นครศรี

ต่อมาเมื่อมีการปรับเปลี่ยนมาตรฐานสายไฟฟ้าจาก มอก. 11-2518 เป็น มอก. 11-2531 ซึ่งเป็นมาตรฐานของผลิตภัณฑ์สายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน PVC ที่เป็นมาตรฐานบังคับ และเป็นผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นต้องมีการออกแบบ การเลือกใช้ และติดตั้งให้ถูกต้องเพื่อความปลอดภัย กอปรกับทั้งการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีการจัดทำมาตรฐานกฎการเดินสายและติดตั้งระบบไฟฟ้า ทางบางกอกเคเบิ้ลจึงได้ริเริ่มทำโครงการเพื่อจัดทำหนังสือเชิงวิชาการ คือ “หนังสือคู่มือการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า” เพื่อเป็นคู่มือและข้อมูลให้กับกลุ่มวิศวกรและช่างไฟฟ้าสำหรับการใช้งานได้อย่างสะดวก

จากนั้นเมื่อมีการจัดทำมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย โดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) หรือเมื่อมีการปรับปรุงเพิ่มเติมก็ตาม หนังสือคู่มือฯ ของเราก็จะได้รับการปรับปรุงเพื่อให้สอดคล้อง ทันสมัย และถูกต้องในการนำไปใช้งาน รวมถึงครั้งนี้ด้วยเช่นกันที่เราได้ทำการปรับปรุงให้ตรงตามฉบับล่าสุดของ วสท. ปี พ.ศ. 2564

เพื่อเป็นวิทยาทานอันจะนำมาซึ่งคุณประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติ บริษัทฯ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะช่วยอำนวยประโยชน์ต่อวิศวกร ช่างไฟฟ้า ผู้รับเหมา ผู้ออกแบบ ที่ปรึกษา และท่านอื่นๆ ในการนำความรู้จากหนังสือคู่มือฯ ไปเสริมสร้างความเข้าใจในการใช้งานผลิตภัณฑ์สายไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง ปลอดภัย และเป็นไปตามมาตรฐาน

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณผู้จัดทำ และผู้เขียนที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สร้างคุณประโยชน์ร่วมกันมา ณ โอกาสนี้

(นายสมพงศ์ นครศรี)
ประธานกรรมการ
บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด
ตุลาคม 2567

# COMPANY PROFILE

บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด ก่อตั้งเมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ.2507 เพื่อดำเนินกิจการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์สายไฟฟ้าชนิดตัวนำทองแดงและตัวนำอะลูมิเนียม โดยมีผู้บริหารและผู้ถือหุ้นเป็นคนไทยทั้งหมด มีทุนจดทะเบียนปัจจุบัน 1,300 ล้านบาท

สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล เป็นโรงงานผลิตขนาดใหญ่ มีกำลังการผลิตที่สูงสามารถผลิตสายไฟฟ้าได้หลากหลายชนิด อีกทั้งยังมีทีมวิศวกรที่มีความรู้ ความสามารถ และความเชี่ยวชาญ และด้วยประสบการณ์อันยาวนานของบริษัทฯ ที่สามารถผลิตได้ทั้งสายไฟฟ้ากำลัง สายคอนโทรล สายอินสทรูเม้นท์ และสายสื่อสาร เป็นต้น

สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล ดำเนินธุรกิจด้วยระบบบริหารการจัดการสมัยใหม่ มีการพัฒนาคุณภาพมาตรฐานผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งเน้นการบริหารการจัดการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสอดคล้องกับการเสริมด้วยระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ เพื่อเพิ่มศักยภาพสูงสุดในกระบวนการผลิตทั้งในปัจจุบันและอนาคต





# บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด



**สำนักงานใหญ่**

187/1 ถนนราชดำริ แขวงลุมพินี
เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

MAP : HQ



**โรงงานสมุทรปราการ**

93 หมู่ 11 ถนนสุขสวัสดิ์
ตำบลในคลองบางปลากด อำเภอพระสมุทรเจดีย์
จังหวัดสมุทรปราการ 10290

MAP : BCC1



**โรงงานฉะเชิงเทรา**

39/1 หมู่ 1 ถนนบางปะกง-ฉะเชิงเทรา
ตำบลแสนภูดาษ อำเภอบ้านโพธิ์
จังหวัดฉะเชิงเทรา 24140

MAP : BCC2

sales@bangkokcable.com
www.bangkokcable.com
0 2055 4500
bangkokcablebcc
@bangkokcablebcc

# OUR VISION

**THE LEADER** IN ELECTRIC WIRE & CABLE
IN SOUTHEAST ASIA

**มุ่งมั่นสู่ความเป็นผู้นำ** ธุรกิจผู้ผลิตและจัดจำหน่ายสายไฟฟ้า
ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

# OUR MISSION

TO DELIVER THE HIGHEST QUALITY PRODUCTS
AT THE MOST COMPETITIVE PRICES
WITH THE FASTEST DELIVERY

การผลิตสินค้าที่มีคุณภาพสูง ราคาเหมาะสม ส่งมอบได้รวดเร็ว

# KEY DRIVER STRATEGIES



REGIONAL
EXPANSION



SMART
FACTORY



COMMITMENT TO
SUSTAINABILITY

# LOW VOLTAGE
# POWER CABLES



## Non Sheathed Single Core Cables

**THW SIZE : 1.5, 2.5, 4, 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300, 400**

**THW COLOR**

| Red | Yellow | Light Blue | Black | Brown | Gray | Green | Gn / Ye | White |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

### 300/500 V 70°C 60227 IEC 06 (H05V-K)

SINGLE-CORE NON-SHEATHED CABLE
WITH FLEXIBLE CONDUCTOR




### 450/750 V 70°C 60227 IEC 01 (THW)

SINGLE-CORE NON-SHEATHED CABLE
WITH RIGID CONDUCTOR



### 450/750 V 70°C 60227 IEC 02 (H07V-K)

SINGLE-CORE NON-SHEATHED CABLE
WITH FLEXIBLE CONDUCTOR




## Sheathed Low Voltage Cables

### 450/750 V 70°C NYY

PVC INSULATED AND DOUBLE SHEATHED CABLE,
ROUND TYPE



### 450/750 V 70°C VCT

PVC INSULATED AND SHEATHED CABLE
ROUND TYPE, FLEXIBLE CONDUCTOR



## Flat Cables

### 300/500 V 70°C VAF

2 CORES - PVC INSULATED AND SHEATHED CABLE,
FLAT TYPE




### 300/500 V 70°C VAF-G

2 CORES WITH GROUND - PVC INSULATED AND
SHEATHED CABLE, FLAT TYPE



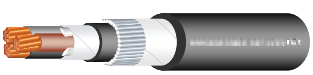
## XLPE Cables (FR & Armour Optional)

### 0.6/1 kV CV (FR-CV optional)

1-4 CORES - CROSSLINKED
POLYETHYLENE POWER CABLE













BANGKOK CABLE

# LOW VOLTAGE
# POWER CABLES

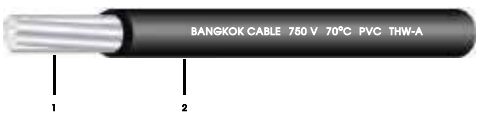



## Sheathed Single Core LV Cables

### TIS 293-2541 TABLE 1 For low voltage overhead distribution line

**750 V 70°C THW-A**

SINGLE-CORE NON-SHEATHED CABLE




- **PEA drop wire**

**Construction**

1. Conductor : Stranded hard-drawn aluminium wires
2. Insulation : Black Polyvinyl chloride (PVC)

AC test voltage : 2,500 V



### TIS 293-2541 TABLE 2 For low voltage overhead distribution line

**750 V 70°C AWV**

SINGLE-CORE NON-SHEATHED CABLE




- **For low voltage overhead distribution line**

**Construction**

1. Conductor : Compact round stranded hard-drawn aluminium wires
2. Insulation : Black Polyvinyl chloride (PVC)

AC test voltage : 2,500 V



### TIS 293-2541 TABLE 1 For PEA drop wire

**750 V 70°C NAY**

SINGLE-CORE NON-SHEATHED CABLE




**Construction**

1. Conductor : Solid hard-drawn aluminium wire
2. Insulation : Sky Blue Polyvinyl chloride (PVC)

AC test voltage : 2,500 V



BANGKOK CABLE

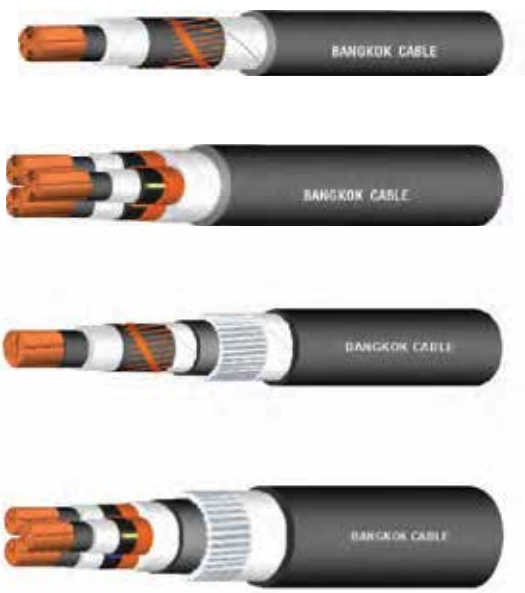
# MEDIUM VOLTAGE
## POWER CABLES



## 3.6/6(7.2) – 18/30(36) kV CV or CE (FR & Armour Optional)

(IEC 60502-2 or TIS 2143) For general purpose power distribution in dry or wet location.

Exposed in aerial, direct burial, conduit, open tray and underground duct installation.



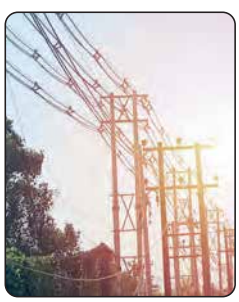





## 25&35 kV SAC (Spaced Aerial Cable)

TIS 2341-2564 For aerial power 12,24,22 and 33 kV transmission and distribution line of MEA and PEA.





BANGKOK CABLE

# HIGH VOLTAGE
## POWER CABLES



### 69, 115 kV CV or CE

(IEC 60840 or TIS 2202-2547) For use in substations, factories and urban areas. Suitable for applications in ducts, trays and direct burial in ground, subjected to immersion in water at at all times.














BANGKOK CABLE

# CONTROL
## CABLES

For supervisory electrical equipment, station control circuits, outdoor, suitable for installation in the dry or in wet cable trenches.








# INSTRUMENTATION
## CABLES

Suitable for connecting instrument and control systems for analog or digital transmission.



CVV-SLA



CVV-IS-OS



CVV-SLA-SWA



CVV-IS-OS-SWA

For supervisory electrical equipment, station control circuits, outdoor, suitable installation in the dry or wet cable trenches.

BANGKOK CABLE

# LOW SMOKE HALOGEN FREE CABLES
# & FIRE RESISTANT CABLES



**Low Smoke Halogen Free Cables**

- Flame retardant property
- Low smoke & Halogen free properties
- TÜV SÜD Certificate mark

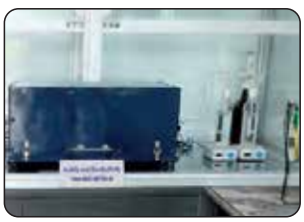


**Fire Resistant Cables**

- Fire resistant property
- Flame retardant property
- Low smoke & Halogen free properties
- TÜV SÜD Certificate mark



Flame propagation test



Acidity gas emission test



Smoke density test



Resistance to fire alone



Resistance to fire with water



Resistance to fire with mechanical shock

BANGKOK CABLE

# PHOTOVOLTAIC
## CABLE (H1Z2Z2-K / 62930 IEC 131)

Standard : BS EN 50618 : 2014 / TIS 62930 (IEC 62930)




**Classification**

● 1.5 (1.8) kV DC ● 1.0/1.0 kV AC

Cross-Sectional Area (sq.mm)
Size : 1.5 - 240 sq.mm

## Construction

- **Conductor** : Tinned Annealed Copper (Flexible class 5)
- **Insulation** : Cross-linked Polyolefin copolymer (Natural)
- **Sheath** : Cross-linked Polyolefin copolymer (Black or Red)

## Features

- Ozone resistance : BS EN 50396 / IEC 60811-403
- Halogen free : BS EN 50525-1 / IEC 62821-1
- Weather/UV resistance : BS EN 50618 / IEC 62930
- Flame retardant : BS EN 60332-1-2 / IEC 60332-1-2
- Low smoke emission : BS EN 61034-2 / IEC 61034-2
- Acid and Alkaline resistance : BS EN 60811-404 / IEC 60811-404

## Applications

These versatile cables are purpose-built for interconnecting the wiring in photovoltaic power systems, such as solar panel arrays for utility-scale solar plants or rooftops. They are suitable in both indoor and outdoor settings, offering flexibility for installation as fixed or movable components within cable trays or conduits.







BANGKOK CABLE

# MANAGEMENT SYSTEM

ISO 9001 QMS02093 / 538
ISO 14001 EMS07007 / 266
ISO 45001 OHSMS20033 / 111

TIS 17025 TESTING 0655
TIS 17025 TESTING 0164

ISO 27001 IS 752238




**CABLES UNDER FIRE CONDITIONS LABORATORY**

ห้องปฏิบัติการทดสอบสายเคเบิ้ลภายใต้สภาวะเผาไหม้แห่งแรกของประเทศไทย ที่ได้รับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.17025 (ISO/IEC 17025) ห้องปฏิบัติการที่ทันสมัยแห่งนี้สามารถดำเนินการทดสอบการต้านทานการลุกไหม้ ความหนาแน่นของควันไฟ ความสามารถในการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าได้ขณะเกิดเพลิงไหม้ ตลอดจนการปล่อยก๊าซและกรดฮาโลเจนตามมาตรฐานต่าง ๆ ที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล



**LABORATORY FOR TESTING MEDIUM AND HIGH VOLTAGE CABLES**

ห้องปฏิบัติการทดสอบสายไฟฟ้าแรงดันปานกลางและแรงดันสูง โรงงานสมุทรปราการ และโรงงานฉะเชิงเทรา ได้รับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.17025 (ISO/IEC 17025) เป็นห้องปฏิบัติการที่มีมาตรฐานการทดสอบที่แม่นยำและเชื่อถือได้ในระดับสากล

Uncompromising Safety

# SUCCESS STORIES

## INDUSTRIES



Oil & Gas



Petrochemicals



Renewable Energy



Mining

## TRANSPORTATION & MOBILITY



Sky Train



Railway Networks



Mass Rapid Transit



Automotive

## UTILITIES & POWER GRIDS



Transmission Lines



Substations

## CONSTRUCTION & INFRASTRUCTURES



Underground Cable Systems



Airport Solutions

## TELECOMMUNICATION



5G Transmission Towers

## INDUSTRIAL AND ELECTRONICS



Machinery and Automation Solutions

BANGKOK CABLE

# คำนำ



หนังสือคู่มือเล่มนี้จะเป็นตำราการสอนในวิชาการออกแบบ การติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี ตำราเล่มนี้ยังเป็นหนังสือคู่มือสำหรับเจ้าของกิจการ ผู้ออกแบบ ผู้เหมาติดตั้ง ผู้ใช้งานและผู้บำรุงรักษา โดยมีการบริหารจัดการที่เป็นส่วนที่วิศวกรเราไม่ค่อยได้รู้ ไม่ค่อยได้คำนึงถึง เพื่อการสื่อสารในการบริหารของงานวิศวกรรมในส่วนงานต่างๆ ดังกล่าว ตำราเล่มนี้ได้รวบรวมเนื้อหา

## ดร.เตชทัต บูรณะอัศวกุล

ที่วิศวกรไฟฟ้า จำเป็นต้องรู้ ที่ผสมผสานเพิ่มเติมข้อมูลทางเทคนิคตามมาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ เพิ่มเติมด้วยความรู้ในการต่อลงดินของทางการไฟฟ้าฯ และผนวกด้วยประสบการณ์ทางวิชาชีพผสานกับประสบการณ์ทางปฏิบัติของผู้แต่ง เพื่อให้ตำราฉบับนี้มีความสมบูรณ์ เพรียบพร้อมกับช่างไฟฟ้า วิศวกรไฟฟ้า และผู้อ่าน ได้ศึกษาหาความรู้ และทราบถึงเหตุและผลของวิชาชีพนี้อย่างถ่องแท้ ยังสามารถใช้เป็นหนังสือที่ช่วยเพิ่มพูนความรู้ ความสามารถกับ ช่างไฟฟ้า ช่างฯ อื่นๆ ระดับวิศวกรไฟฟ้า หรือ ผู้เกี่ยวข้องต่างๆ ในสายงานออกแบบ ควบคุมงานติดตั้ง ผู้รับเหมาติดตั้งในระดับต่างๆ เจ้าของโครงการ ผู้จำหน่ายผลิตภัณฑ์ รวมถึงท่านผู้อ่านทั่วไปที่สนใจเกี่ยวกับไฟฟ้า ที่เป็นสิ่งที่มีคุณอนันต์และโทษมหันต์ ทั้งนี้สำหรับท่านอาจารย์ในระดับอุดมศึกษา ปวช. ปวส. ปวท. ปริญญาตรี หรือ สาขาวิชาชีพอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถนำไปใช้ในการสอน และเผยแพร่ ข้อมูลทางทฤษฎีและปฏิบัติ ให้ได้ความรู้ความสามารถ และทัศนคติที่ดีต่อผู้เรียนได้

วัตถุประสงค์ของผู้เขียนนั้นชัดเจน ที่มุ่งหวังให้ทุกท่านที่ได้อ่าน ศึกษา และนำไปปฏิบัติใช้เพื่อตนเองและช่วยผู้อื่นให้เป็นประโยชน์ต่อสังคมได้ ขอให้ทุกท่านเตรียมพร้อมสำหรับ การเป็น “ ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้าอย่างมืออาชีพ ” มีความปลอดภัยในการทำงาน ทำงานโดยการทวนสอบตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย วสท. และมาตรฐานต่างๆ รวมถึงกฎหมายที่เกี่ยวข้อง รักษากฎระเบียบที่ดีขององค์กร ทำงานอย่างมีคุณภาพสูงสุดให้เกิดประสิทธิผลสูงสุดกับวิชาชีพและองค์กร มีทัศนคติที่ดีต่อการทำงานและผู้ที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน ศึกษาและพัฒนาความรู้ความสามารถในวิชาชีพอย่างต่อเนื่อง พัฒนาตนเองให้เติบโตในสายงาน แบ่งปันสิ่งที่ดีๆ เพื่อสังคม อย่างต่อเนื่องร่วมกัน

**ด้วยความมุ่งหวัง ตั้งใจและปรารถนาที่ดี**

เตชทัต

**ดร.เตชทัต บูรณะอัศวกุล**

ผู้แต่ง และเรียบเรียง

# กิตติกรรมประกาศ

ด้วยหนังสือเล่มนี้ถือเป็นตำรา การบริหารการออกแบบและการติดตั้งทางไฟฟ้า ใช้เป็นส่วนหนึ่งในการสอนและการศึกษาหาความรู้ด้วยตนเอง เพื่อให้เนื้อหาตำรามีความสมบูรณ์และสร้างความเข้าใจให้กับผู้นำไปใช้งาน จากผู้ใช้มาตรฐานและประสบการณ์ของผู้แต่ง เรียบเรียง

ตำราเล่มนี้ สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ได้อย่างดีด้วยการสนับสนุนอย่างเต็มที่ของ คุณสมพงศ์ นครศรี ประธานกรรมการบริหาร คุณกัญชริษา นครศรี Customer Engagement Director คณะผู้บริหารฯ และทีมงานจัดทำอย่างมืออาชีพของ บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด ท่านผู้อุปการคุณที่กรุณาเขียนคำนิยมทุกท่าน คุณเอกชัย ประสงค์ และทีมงานของกรมโยธาธิการและผังเมือง กับคุณศิวเวทย์ อัครพันธ์ ที่เสียสละเวลาวันหยุดช่วยทวนสอบอย่างดี

ทั้งนี้ต้องกราบขอบพระคุณคณาจารย์ผู้ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้ผม ท่านผู้ใหญ่ใจดีอย่างที่สุด เช่น ผศ.ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ คุณลือชัย ทองนิล คุณกิตติพงศ์ วีระโพธิ์ประสิทธิ์ รวมถึงคุณไพบูลย์ อังคณากรกุล ที่ช่วยอุปถัมภ์ทางวิชาความรู้และความอนุเคราะห์ทั้งมวลอย่างดียิ่งตลอดมา

ขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความกรุณาอนุเคราะห์ในด้านต่างๆ เช่น คณาจารย์ทุกๆท่าน พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ผู้ร่วมวงการวิศวกรรม และผู้ใหญ่ใจดีที่ช่วยกรุณาตอบแบบสอบถามให้งานวิจัยของผมได้บรรลุ เห็นถึงการปรับปรุงเพิ่มเติมมาตรฐานให้สามารถปฏิบัติใช้งานได้อย่างปลอดภัย น่าเชื่อถือ มีเสถียรภาพ ความมั่นคงและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ทั้งนี้ ขอขอบคุณภาคส่วนที่ช่วยสนับสนุนรูปภาพและข้อมูลทางเทคนิค จึงใคร่ขอเอ่ยนาม ด้วยความระลึกต่อการสนับสนุนดังกล่าวด้วยความขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ. ที่นี้

1. AVERA CO., LTD.
2. ARROW SYNDICATE PCL.
3. ATIPAT- THONNAWAT CO., LTD.
4. ASEFA PCL
5. BANGKOK CABLE CO., LTD.
6. CHAROENCHAI TRANSFORMER CO., LTD.
7. EATON ELECTRIC (THAILAND) CO., LTD.
8. ENPHASE GE CO., LTD.
9. HACO ELECTRIC (THAILAND) CO., LTD.
10. KUMWELL CORPORATION CO., LTD.
11. NANO ELECTRIC PRODUCT CO., LTD.
12. SUNGROW POWER SUPPLY CO., LTD.
13. STÄUBLI CO., LTD.
14. UI STEEL PIPE CO., LTD.
15. UPC CO., LTD.

ด้วยอานิสงค์แห่งความดี ในการจัดทำตำรา เล่มนี้แล้วเสร็จได้ ขอมอบคุณความดีให้สำหรับนายจุ้งคี้ แซ่เบ๊ และ นางอำไพจิตต์ กุศลเตช บิดาและมารดา ตามลำดับ

เตชทัต

**ดร.เตชทัต บูรณะอัศวกุล**

ผู้แต่ง และเรียบเรียง

# สารบัญ


หน้า

**บทที่ 1 กฎหมายสำหรับการออกแบบ การติดตั้ง และบริภัณฑ์ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า**

1.1 กฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 33 (พ.ศ.2535) พรบ.ควบคุมอาคาร 1-2
1.2 กฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537) 1-4
1.3 กฎกระทรวงแรงงาน (พ.ศ.2554) ความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน มาตรา 6 1-10
1.4 กฎกระทรวงแรงงาน (พ.ศ.2555) 1-10
1.5 กฎกระทรวงแรงงาน (พ.ศ.2558) กำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้า 1-12
1.6 กฎกระทรวงพลังงาน กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2563 1-16
1.7 กฎกระทรวงมหาดไทย 1-17
1.8 กฎกระทรวงมหาดไทย กำหนดประเภทและระบบความปลอดภัยของอาคารที่ใช้เพื่อประกอบกิจการเป็นสถานบริการ พ.ศ. 2555 1-21
1.9 กฎหมายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง 1-21

**บทที่ 2 มาตรฐานและพื้นฐานความรู้ด้านวิศวกรรมไฟฟ้า**

2.1 มาตรฐานด้านวิศวกรรมไฟฟ้า 2-1
2.1.1 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 2-1
2.1.2 IEC: International Electrotechnical Commission 2-2
2.1.3 สมอ. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TIS: Thailand Industrial Standard) 2-3
2.1.4 National Electrical Code (NEC) หรือ NFPA 70 2-7
2.2 พื้นฐานความรู้ด้านวิศวกรรมไฟฟ้า 2-9
2.2.1 ความปลอดภัยทางไฟฟ้า 2-9
2.2.2 การถูกไฟฟ้าช็อตจากการสัมผัส 2-15
2.2.3 กำหนดมาตรการป้องกัน และควบคุมทางกฎหมาย ข้อบังคับ 2-20
2.2.4 การปฐมพยาบาลเบื้องต้น 2-21

หน้า

2.2.5 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่อาจเป็นอันตราย 2-21
2.2.6 ระบบเมตริก 2-25
2.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความต้านทาน และกำลังไฟฟ้า 2-27

**บทที่ 3 ระบบการจ่ายไฟฟ้าของประเทศไทย**

3.1 ระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) 3-2
3.2 ระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) 3-2
3.3 ระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) 3-2

**บทที่ 4 การต่อลงดินและการต่อสายดิน (Earthing and Grounding)**

4.1 System earthing 4-3
4.2 การต่อลงดินในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ 4-4
4.3 วงจรและระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ต้องต่อลงดิน 4-10
4.4 วงจรและระบบไฟฟ้าที่ห้ามต่อลงดิน 4-12
4.5 การต่อลงดินของระบบประธาน 4-12
4.6 การป้องกันไฟรั่วสำหรับระบบไฟฟ้า 4-12
4.7 ชนิดการต่อลงดิน 4-14
4.8 รายการคำนวณ เพื่อออกแบบระบบสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้าไทย 4-16
4.9 ตัวอย่าง กรณีศึกษาการต่อลงดิน 4-19

**บทที่ 5 บริภัณฑ์ไฟฟ้า**

5.1 แผงสวิตช์แรงดันปานกลาง (MV Switchgear) 5-2
5.2 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) 5-13
5.3 ชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (Power Factor) 5-34
5.4 แผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำและคอนโทรลเกียร์ (Low-voltage switchgear and Control gear) 5-54
5.5 อุปกรณ์ป้องกันหลักๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานภายในแผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ 5-75
5.5.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit breaker) 5-75
5.5.2 ฟิวส์ (Fuse) 5-95
5.5.3 เครื่องตัดไฟรั่ว (Residual Current Device: RCD) 5-98
5.6 สายไฟฟ้า 5-108

หน้า

5.7 สายไฟฟ้า แรงดันปานกลาง (MV Cable) 5-114
5.8 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ (LV Cable) 5-118
5.9 สายทนไฟฟ้า แรงดันต่ำ (LV Fire Resistant Cable) 5-125
5.10 การติดตั้งสายไฟ ระบบช่องเดินสาย และอุปกรณ์ประกอบ 5-132

**บทที่ 6 แรงดันตก (Voltage Drop)**

6.1 แรงดันตกในระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง-ต่ำ 6-1
6.2 แรงดันตกคร่อมในวงจรไฟฟ้า 6-7
6.3 การทดสอบวัดค่าแรงดันตก (Voltage Drop testing) 6-13

**บทที่ 7 การคำนวณหากระแสลัดวงจร**

7.1 พื้นฐานเรื่องกระแสลัดวงจร 7-1
7.2 อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง 7-3

**บทที่ 8 การออกแบบระบบไฟฟ้า**

8.1 การออกแบบระบบไฟฟ้า 8-1
8.2 การคำนวณวงจรย่อยและสายป้อน 8-6
8.3 ตัวอย่างกรณีศึกษาการคำนวณวงจรย่อย 8-8
8.4 การคำนวณวงจรบริภัณฑ์ไฟฟ้าหรือเครื่องป้องกันและสายป้อน มอเตอร์ไฟฟ้า 8-20
8.5 บริภัณฑ์ไฟฟ้าเพื่อป้องกันมอเตอร์ 8-21
8.6 สายไฟสำหรับมอเตอร์ 8-26
8.7 ตัวอย่างกรณีศึกษาการออกแบบและเลือกใช้บริภัณฑ์ไฟฟ้าสำหรับ มอเตอร์ไฟฟ้า 8-28
8.8 ข้อสรุปเรื่องการออกแบบคำนวณเลือกใช้บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ใช้ควบคุม มอเตอร์ 8-43
8.9 การติดตั้งมอเตอร์ 8-43

**บทที่ 9 การบริหารการออกแบบสำหรับอาคารชุด อาคารสูง หรือ อาคารขนาดใหญ่พิเศษ**

9.1 เครื่องวัดไฟฟ้าของห้องชุด (มฐ.วสท. 9.1.3) 9-3
9.2 การป้องกันกระแสเกินของเครื่องวัดไฟฟ้า (มฐ.วสท. 9.1.4) 9-7
9.3 ตัวนำประธานเข้าห้องชุด (หรือ สายไฟประธานเข้าห้อง) (มฐ.วสท. 9.1.5) 9-8

หน้า

9.4 บริภัณฑ์ประธาน (Consumer Unit ตู้ไฟประจำห้องชุด) (มฐ.วสท. 9.1.6) 9-8
9.5 สายป้อน (จากแผงสวิตช์รวมไปถึงแผงสวิตช์ของเครื่องวัดไฟฟ้า) (มฐ.วสท. 9.1.7) 9-9
9.6 แผงสวิตช์แรงต่ำ (MDB or DB or LC) (มฐ.วสท. 9.1.9) 9-10
9.7 ตัวนำประธานแรงต่ำจากหม้อแปลงไปยังแผงสวิตช์รวม (มฐ.วสท. 9.1.10) 9-10
9.8 หม้อแปลงและห้องหม้อแปลง (มฐ.วสท. 9.1.8) 9-10
9.9 แผงสวิตช์แรงดันปานกลาง (มฐ.วสท. 9.1.11) 9-11
9.10 การต่อลงดิน (มฐ.วสท. 9.1.12) 9-12
9.11 การป้องกันไฟดูด (มฐ.วสท. 9.1.13) 9-13
9.12 ตัวอย่างกรณีศึกษาอาคารชุด 8 ชั้น และอาคารชุด 28 ชั้น 9-14

**บทที่ 10 การบริหารการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา**

10.1 บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 10-2
10.2 การเลือกใช้งานโซลาร์เซลล์สำหรับบ้าน 10-16
10.3 การคำนวณการใช้ไฟฟ้า 10-16
10.4 การออกแบบคำนวณระบบโซลาร์เซลล์สำหรับบ้านหรือที่อยู่อาศัย 10-18
10.5 การใช้โซลาร์เซลล์กับ Micro Inverter 10-20
10.6 การออกแบบคำนวณระบบโซลาร์เซลล์สำหรับอาคาร 10-21
10.7 ตัวอย่างกรณีศึกษาการออกแบบคำนวณและเลือกใช้ระบบโซลาร์เซลล์บนอาคาร 10-23
10.8 การเลือกใช้งาน Inverter 10-26
10.9 การกักเก็บพลังงาน 10-28

**บทที่ 11 การบริหารงานออกแบบและงานติดตั้ง**

11.1 การบริหารโครงการโดยใช้ PERT / CPM 11-1
11.2 การบริหารโครงการโดยใช้ S-Curve 11-3
11.3 การบริหารโครงการโดยการจัดทำ Flow Chart 11-5
11.4 การบริหารโครงการเพื่อความปลอดภัย และบรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการอย่างยั่งยืน 11-9

หน้า

**ภาคผนวก**


ตารางพิกัดสายไฟฟ้าของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ก-1

ตารางที่ 5-8 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสเนื่องจากจำนวนสายที่นำกระแส ก-2
ในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกันหรือเดินสายบนผิวมากกว่า 1 กลุ่มวงจร

ตารางที่ 5-20 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มี/ไม่มีเปลือกนอก ก-3
สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC
อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC เดินในท่อร้อยสายในอากาศ

ตารางที่ 5-21 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดง หุ้มฉนวนพีวีซี (PVC) ก-4
หรือครอสลิงก์พอลิเอทิลีน (XLPE) มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U)
ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC หรือ 90 ºC
อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC เดินเกาะผนังในอากาศ

ตารางที่ 5-22 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนพีวีซี มอก.11 ก-5
สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 450/750 โวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC
อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

ตารางที่ 5-23 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มีเปลือกนอก ก-6
สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC
อุณหภูมิโดยรอบ 30 ºC ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

ตารางที่ 5-24 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนพีวีซี ก-7
ตาม มอก.11-2553 สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 300/500 โวลต์
อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC หรือ 90 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC เดินในอากาศ

ตารางที่ 5-25 ขนาดกระแสของสายอ่อน (flexible cord) ตัวนำทองแดงหลายแกน ก-7
หุ้มฉนวนพีวีซีตาม มอก.11-2553 สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U)
ไม่เกิน 300/500 โวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC หรือ 90 ºC
อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC เดินในอากาศ

ตารางที่ 5-26 ขนาดกระแสของสายเคเบิลอ่อน (flexible cable) ตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี ก-8
ตาม มอก.11 สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 450/750 โวลต์
อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC เดินในอากาศ

ตารางที่ 5-27 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน ก-9
มี/ไม่มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์
อุณหภูมิตัวนำ 90 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC เดินร้อยในท่อร้อยสายในอากาศ

ตารางที่ 5-28 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าแกนเดียวตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงกด์ ก-10
พอลิเอทิลีนสำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์
อุณหภูมิตัวนำ 90 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

หน้า

ตารางที่ 5-29 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอกขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 30 ºC ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง ก-11

ตารางที่ 5-30 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบระบายอากาศ แบบบันได ก-12

ตารางที่ 5-30(ก) ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ ก-13

ตารางที่ 5-31 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซีมีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC วางบนรางเคเบิลมีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ แบบระบายอากาศ แบบบันได ก-14

ตารางที่ 5-32 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบระบายอากาศ แบบบันได ก-15

ตารางที่ 5-32(ก) ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ ก-16

ตารางที่ 5-33 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC วางบนรางเคเบิลมีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ แบบระบายอากาศ แบบบันได ก-17

ตารางที่ 5-34 ขนาดกระแสของสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ตัวนำและเปลือก (Sheath) ทองแดง หุ้ม/ไม่หุ้มพีวีซี โดยเปลือกทองแดงสามารถสัมผัสได้ อุณหภูมิเปลือก 70 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC ก-18

ตารางที่ 5-35 ขนาดกระแสของสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ตัวนำและเปลือก (Sheath) ทองแดง โดยเปลือกทองแดงไม่สามารถให้บุคคลสัมผัสหรือไม่สามารถสัมผัสกับวัสดุติดไฟได้อุณหภูมิเปลือก 105 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC ก-19

หน้า

ตารางที่ 5-36 ขนาดกระแสของสายเคเบิล ตัวนำทองแดงแกนเดียว ก-20
หุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน เปลือกนอกพีวีซี มีชีลด์
ขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ตั้งแต่ 3.6/6 กิโลโวลต์ ถึง 18/30 กิโลโวลต์
อุณหภูมิตัวนำ 90 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด
แบบระบายอากาศ หรือแบบบันได

ตารางที่ 5-37 ขนาดกระแสของสายเคเบิล ตัวนำทองแดงแกนเดียว ก-21
หุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน เปลือกนอกพีวีซี มีชีลด์ ขนาดแรงดัน ($U_0$/U)
ตั้งแต่ 3.6/6 กิโลโวลต์ ถึง 18/30 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 ºC
อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC (เดินร้อยในท่อในอากาศและรางเคเบิลแบบมีฝาปิด)
และ 30 ºC (ร้อยท่อฝังดิน)

ตารางที่ 5-38 ขนาดกระแสสายเคเบิลตัวนำทองแดงแกนเดียว ก-22
หุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก อุณหภูมิตัวนำ 90 ºC
อุณหภูมิโดยรอบ 30 ºC ขนาดแรงดัน ($U_0$/U) 3.6/6 ถึง 18/30 กิโลโวลต์
เดินใน duct bank ไม่เกิน 8 ท่อ

ตารางที่ 5-39 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าเครื่องเชื่อม (ตัวนำทองแดง) ตาม มอก. 448-2525 ก-23

ตารางที่ 5-40 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว ก-24
วางบนรางเคเบิลตั้งแต่ 1 วงจรขึ้นไป

ตารางที่ 5-40(ก) ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว ก-26
วางบนรางเคเบิลเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร

ตารางที่ 5-41 ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลหลายแกน ก-27
เมื่อวางบนรางเคเบิลเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร

ตารางที่ 5-42 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มฉนวนพีวีซีตาม มอก.293-2541 ก-28
ขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 450/750 โวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC
อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

ตารางที่ 5-43 ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 ºC ใช้กับค่าขนาดกระแส ก-29
ของเคเบิล เมื่อเดินในอากาศ

ตารางที่ 5-44 ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิโดยรอบแตกต่างจาก 30 ºC ใช้กับค่าขนาดกระแส ก-30
ของเคเบิล เมื่อเดินใต้ดิน

ตารางที่ 5-45 ตัวคูณปรับค่าสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว หรือหลายแกน ก-31
ขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ ฝังดินโดยตรง
เมื่อวางเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร วางเรียงกันแนวระดับ

ตารางที่ 5-46 ตัวคูณปรับค่าสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว หรือหลายแกน ก-31
ขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ ร้อยท่อฝังดินโดยตรง
เมื่อวางเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร วางเรียงกันแนวระดับ

หน้า
ตารางที่ 5-47 รูปแบบการติดตั้งอ้างอิง ก-32
ตารางที่ 5-48 ข้อกำหนดการใช้งานของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดง หุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก.11-2553 มอก.11 เล่ม 101-2559 ก-34
สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าที่ระบุในแบบงานระบบไฟฟ้า ก-37
1. ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับแผงสวิตช์ไฟฟ้า ก-38
2. ตัวอย่างอักษรย่อที่เกี่ยวข้องกับการเดินพาดสายไฟ ก-44
3. ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าสื่อสาร ก-45
4. ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ก-47
5. ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งสวิตช์และเต้ารับ ก-49
6. ตัวอย่างของสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ก-50
7. รหัสสีและสัญลักษณ์สำหรับงานระบบฯ ก-51
**เอกสารอ้างอิง** ข-1
**บรรณานุกรม** ค-1
**ดัชนีค้นคำ** ง-1
**รายการรูปภาพ** จ-1
**รายการตาราง** ฉ-1
**คำนิยม** ช-1
**ประวัติผู้เขียน**

# บทที่ 1

# กฎหมายสำหรับการออกแบบการติดตั้งและบริภัณฑ์ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า

ในการออกแบบระบบไฟฟ้าควรคำนึงถึงลักษณะงานและกฎหมายต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

- งานสถาปัตยกรรมและโครงสร้าง พรบ.สถาปนิก พ.ศ.2543
- งานวิศวกรรมไฟฟ้า พรบ.สภาวิศวกร พ.ศ.2542 และกฎกระทรวงกำหนดสาขาวิชาชีพวิศวกรรมและวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม พ.ศ.2565
- งานวิศวกรรมเครื่องกล
- งานวิศวกรรมสุขาภิบาล
- งานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (ควรพิจารณาเรื่อง Carbon Neutrality เป็นองค์ประกอบหลักด้วย)




**รูปที่ 1.1** ตัวอย่างกฎหมายกระทรวงมหาดไทยที่เกี่ยวข้อง

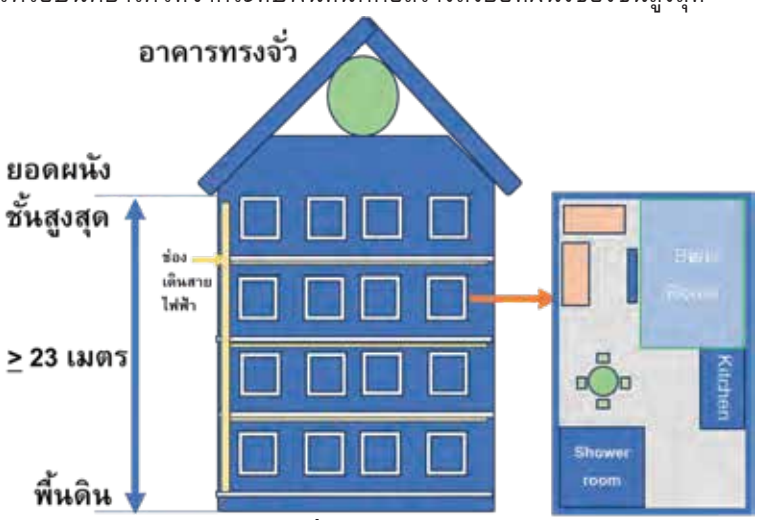
สำหรับกฎหมายของแต่ละกระทรวงที่เกี่ยวข้อง เช่น กระทรวงมหาดไทย กระทรวงพลังงาน กระทรวงแรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม เป็นต้น ในส่วนของที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ การติดตั้ง และบริภัณฑ์ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ามีรายละเอียดในแต่หมวดดังนี้

## 1.1 กฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 33 (พ.ศ.2535) พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร

กฎกระทรวงการควบคุมอาคารของกรมโยธาธิการถือเป็นงานส่วนหลักของวิศวกรรมที่ต้องเป็นไปตามความปลอดภัยทางวิศวกรรม โดยมีรายละเอียดดังนี้ (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2535)

ข้อ 1 ในกฎกระทรวงนี้

“อาคารสูง” หมายความว่า อาคารที่บุคคลอาจเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้โดยมีความสูงตั้งแต่ 23.00 เมตรขึ้นไป การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด




**รูปที่ 1.2** อาคารสูง

หมายเหตุ. จาก *เอกสารประกอบการสัมมนา ความรู้พื้นฐานในงานช่างไฟฟ้า รุ่นที่ 6*, โดย เอกชัย ประสงค์, 2563, โรงเรียนข้าราชการส่วนท้องถิ่น, จังหวัดปทุมธานี.

“อาคารขนาดใหญ่พิเศษ” หมายความว่า อาคารที่ก่อสร้างขึ้น เพื่อใช้อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารเป็นที่อยู่อาศัยหรือประกอบกิจการประเภทเดียวหรือหลายประเภทโดยมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตรขึ้นไป

[1] “พื้นที่อาคาร” หมายความว่า พื้นที่ของพื้นของอาคารแต่ละชั้นที่บุคคลเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้ภายในขอบเขตด้านนอกของคานหรือภายในพื้นนั้น หรือภายในขอบเขตด้านนอกของผนังของอาคาร และหมายความรวมถึงเฉลียงหรือระเบียงด้วย แต่ไม่รวมพื้นดาดฟ้าและบันไดนอกหลังคา

[2] “พื้นที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคาร” หมายความว่า พื้นที่ของแปลงที่ดินที่นำมาใช้ขออนุญาตก่อสร้างอาคาร ไม่ว่าจะเป็นที่ดินตามหนังสือสำคัญแสดงสิทธิในที่ดินฉบับเดียวหรือหลายฉบับซึ่งเป็นที่ดินที่ติดต่อกัน

[2] “ดาดฟ้า” หมายความว่า พื้นส่วนบนสุดของอาคารที่ไม่มีหลังคาปกคลุมและบุคคลสามารถขึ้นไปใช้สอยได้

[3] “ที่ว่าง” หมายความว่า พื้นที่อันปราศจากหลังคาหรือสิ่งก่อสร้างปกคลุมซึ่งพื้นที่ดังกล่าวอาจจะจัดให้เป็นบ่อน้ำ สระว่ายน้ำ บ่อพักน้ำเสีย ที่พักมูลฝอย ที่พักรวมมูลฝอย หรือที่จอดรถ ที่อยู่ภายนอกอาคารก็ได้ และให้หมายความรวมถึงพื้นที่ของสิ่งก่อสร้างหรืออาคารที่สูงจากระดับพื้นดินไม่เกิน 1.20 เมตร และไม่มีหลังคาหรือสิ่งก่อสร้างปกคลุมเหนือระดับนั้น

“ถนนสาธารณะ” หมายความว่า ถนนที่เปิดหรือยินยอมให้ประชาชนเข้าไปหรือใช้เป็นทางสัญจรได้ทั้งนี้ไม่ว่าจะมีการเรียกเก็บค่าตอบแทนหรือไม่

“วัสดุทนไฟ” หมายความว่า วัสดุก่อสร้างที่ไม่เป็นเชื้อเพลิง
“ผนังกันไฟ” หมายความว่า ผนังทึบที่ก่อด้วยอิฐธรรมดาหนาไม่น้อยกว่า 18 เซนติเมตร และไม่มีช่องที่ให้ไฟหรือควันผ่านได้ หรือจะเป็นผนังทึบที่ทำด้วยวัสดุทนไฟอย่างอื่นที่มีคุณสมบัติในการป้องกันไฟได้ดีไม่น้อยกว่าผนังที่ก่อด้วยอิฐธรรมดาหนา 18 เซนติเมตร ถ้าเป็นผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก ต้องหนาไม่น้อยกว่า 12 เซนติเมตร

“ระบบท่อยืน” หมายความว่า ท่อส่งน้ำและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการดับเพลิง

“น้ำเสีย” หมายความว่า ของเหลวที่ผ่านการใช้แล้วทุกชนิดทั้งที่มีกากและไม่มีกาก

“แหล่งรองรับน้ำทิ้ง” หมายความว่า ท่อระบายน้ำสาธารณะ คู คลอง แม่น้ำ ทะเล และแหล่งน้ำสาธารณะ

“ระบบบำบัดน้ำเสีย” หมายความว่า กระบวนการทำหรือการปรับปรุงน้ำเสียให้มีคุณภาพเป็นน้ำทิ้ง รวมทั้งการทำให้น้ำทิ้งพ้นไปจากอาคาร

“ระบบประปา” หมายความว่า ระบบการจ่ายน้ำเพื่อใช้และดื่ม

“ลิฟต์ดับเพลิง” หมายความว่า ลิฟต์ที่พนักงานดับเพลิงสามารถควบคุมการใช้ได้ขณะเกิดเพลิงไหม้

หมวด 2 ระบบระบายอากาศ ระบบไฟฟ้า และระบบความปลอดภัยเกี่ยวกับอัคคีภัยหรือภัยพิบัติอย่างอื่น

ข้อ 11 อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องมีระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า เพื่อการแสงสว่างหรือกำลัง

ข้อ 12 แผงสวิตช์วงจรย่อยทุกแผงของระบบไฟฟ้าต้องต่อลงดิน

ข้อ 13 อาคารสูงต้องมีระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า ซึ่งประกอบด้วยเสาล่อฟ้า สายล่อฟ้า สายตัวนำ สายนำลงดิน และหลักสายดินที่เชื่อมโยงกันเป็นระบบ

ข้อ 14 อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องมีระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองสำหรับกรณีฉุกเฉินแยกเป็นอิสระจากระบบอื่น และสามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติเมื่อระบบจ่ายไฟฟ้าปกติหยุดทำงาน

ข้อ 15 กระแสไฟฟ้าที่ใช้กับลิฟต์ดับเพลิงต้องต่อจากแผงสวิตช์ประธานของอาคารเป็นวงจรที่แยกเป็นอิสระจากวงจรทั่วไป

ข้อ 16 ในอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ ต้องมีระบบสัญญาณเตือนเพลิงไหม้ทุกชั้น

ข้อ 17 แบบแปลนระบบไฟฟ้า

ข้อ 18 อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ ต้องมีระบบป้องกันเพลิงไหม้ ซึ่งประกอบด้วยระบบท่อยืน ที่เก็บน้ำสำรอง และหัวรับน้ำดับเพลิง

ข้อ 20 อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ ต้องจัดให้มีระบบดับเพลิงอัตโนมัติ

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

กฎกระทรวงการควบคุมอาคารของกรมโยธาธิการถือเป็นงานส่วนหลักของวิศวกรรมที่ต้องเป็นไปตามความปลอดภัยทางวิศวกรรม โดยมีรายละเอียดดังนี้ (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2537)

“ห้องแถว” หมายความว่า อาคารที่ก่อสร้างติดต่อกันเป็นแถวยาวตั้งแต่สองคูหาขึ้นไป มีผนังร่วมแบ่งอาคารเป็นคูหาและประกอบด้วยวัสดุไม่ทนไฟเป็นส่วนใหญ่

“ตึกแถว” หมายความว่า อาคารที่ก่อสร้างติดต่อกันเป็นแถวยาวตั้งแต่สองคูหาขึ้นไป มีผนังร่วมแบ่งอาคารเป็นคูหาและประกอบด้วยวัสดุทนไฟเป็นส่วนใหญ่

“บ้านแถว” หมายความว่า ห้องแถวหรือตึกแถวที่ใช้เป็นที่อยู่อาศัย ซึ่งมีที่ว่างด้านหน้าและด้านหลังระหว่างรั้วหรือแนวเขตที่ดินกับตัวอาคารแต่ละคูหา

“บ้านแฝด” หมายความว่า อาคารที่ใช้เป็นที่อยู่อาศัยก่อสร้างติดต่อกันสองบ้าน มีผนังร่วมแบ่งอาคารเป็นบ้าน มีที่ว่างระหว่างรั้วหรือแนวเขตที่ดินกับอาคารด้านหน้า ด้านหลังและด้านข้าง ของแต่ละบ้าน และมีทางเข้าออกของแต่ละบ้านแยกจากกันเป็นสัดส่วน

“อาคารอยู่อาศัยรวม” หมายความว่า อาคารหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคารที่ใช้เป็นที่อยู่อาศัยสำหรับหลายครอบครัว โดยแบ่งออกเป็นหน่วยแยกจากกันสำหรับแต่ละครอบครัว มีห้องน้ำ ห้องส้วม ทางเดิน ทางเข้าออก และทางขึ้นลงหรือลิฟต์แยกจากกันหรือร่วมกัน

ห้องแถว ตึกแถว บ้านแถว และบ้านแฝด ที่มีความสูงไม่เกิน 2 ชั้น หรือพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันเกิน 2,000 ตารางเมตร ต้องมีระบบสัญญาณเตือนเพลิงไหม้ติดตั้งอยู่ในอาคารอย่างน้อย 1 เครื่อง ทุกคูหา

กฎกระทรวงมหาดไทย การแก้ไขอาคารที่มีสภาพหรือมีการใช้ที่อาจเป็นภยันตรายต่อสุขภาพ ชีวิต ร่างกาย หรือทรัพย์สิน หรืออาจไม่ปลอดภัยหรือก่อให้เกิดเหตุรำคาญ หรือกระทบกระเทือนต่อการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2563 โดยมีการยกเลิกกฎกระทรวงฉบับที่ 47 (พ.ศ. 2540)

“อาคารสูง” หมายความว่า อาคารที่บุคคลอาจเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้ โดยมีความสูงตั้งแต่ 23 เมตรขึ้นไป การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด

“อาคารขนาดใหญ่พิเศษ” หมายความว่า อาคารที่ก่อสร้างขึ้นเพื่อใช้อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารเป็นที่อยู่อาศัยหรือเป็นที่ประกอบกิจการประเภทเดียวหรือหลายประเภท โดยมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตรขึ้นไป

“อาคารขนาดใหญ่” หมายความว่า อาคารที่มีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันเกิน 2,000 ตารางเมตร หรืออาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 15 เมตรขึ้นไป และมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันเกิน 1,000 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 2,000 ตารางเมตร การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด

“อาคารสาธารณะ” หมายความว่า อาคารที่ใช้เพื่อประโยชน์ในการชุมนุมคนได้โดยทั่วไป เพื่อกิจกรรมทางราชการ การเมือง การศึกษา การศาสนา การสังคม การนันทนาการ หรือการพาณิชยกรรม เช่น โรงมหรสพ หอประชุม โรงแรม โรงพยาบาล สถานศึกษา หอสมุด สนามกีฬากลางแจ้ง สถานกีฬาในร่ม ตลาด ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานบริการ ท่าอากาศยาน อุโมงค์สะพาน อาคารจอดรถ สถานีรถ ท่าจอดเรือ โป๊ะจอดเรือ สุสาน ฌาปนสถาน ศาสนสถาน เป็นต้น

“อาคารชุด” หมายความว่า อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด

“หอพัก” หมายความว่า อาคารสำหรับใช้เป็นหอพักตามกฎหมายว่าด้วยหอพัก

“อาคารอยู่อาศัยรวม” หมายความว่า อาคารหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคารที่ใช้เป็นที่อยู่อาศัยหลายครอบครัว

“โรงงาน” หมายความว่า อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นโรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน
“ภัตตาคาร” หมายความว่า อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นที่ขายอาหารหรือเครื่องดื่ม โดยมีพื้นที่สำหรับตั้งโต๊ะ อาหารไว้บริการภายในอาคารหรือภายนอกอาคารที่มีพื้นที่ตั้งแต่ 300 ตารางเมตรขึ้นไป

“สำนักงาน” หมายความว่า อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นสำนักงานหรือที่ทำการที่มีพื้นที่ตั้งแต่ 300 ตารางเมตรขึ้นไป

“คลังสินค้า” หมายความว่า อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นที่สำหรับเก็บสินค้าหรือสิ่งของเพื่อประโยชน์ทางการค้าหรืออุตสาหกรรม

“วัสดุไม่ติดไฟ” หมายความว่า วัสดุที่ใช้งานและเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ใช้งานแล้ว จะไม่สามารถติดไฟ ไม่เกิดการเผาไหม้ ไม่สนับสนุนการเผาไหม้ หรือไม่ปล่อยไอที่พร้อมจะลุกไหม้ เมื่อสัมผัสกับเปลวไฟหรือความร้อนตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง

“การกั้นแยก” หมายความว่า การกั้นแยกพื้นที่อาคารออกเป็นส่วน ๆ ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ควันและไฟลุกลามระหว่างแต่ละส่วนของอาคาร โดยหมายรวมถึงการแบ่งส่วนในแนวราบ เช่น ผนัง ประตู หน้าต่าง และการแบ่งส่วนในแนวดิ่ง เช่น พื้นหรือเพดาน

ข้อ 3 ในกรณีอาคารที่ก่อสร้าง ดัดแปลง หรือเคลื่อนย้ายโดยได้รับอนุญาต ตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 มีสภาพหรือมีการใช้ที่อาจเป็นภยันตรายต่อสุขภาพ ชีวิต ร่างกาย หรือ

ทรัพย์สิน หรืออาจไม่ปลอดภัยจากอัคคีภัย หรือก่อให้เกิดเหตุรำคาญหรือ กระทบกระเทือนต่อการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ให้เจ้าพนักงานท้องถิ่นมีอำนาจสั่งให้เจ้าของหรือ ผู้ครอบครองอาคารดำเนินการแก้ไขให้เป็นไปตามกฎกระทรวงที่ออกตามมาตรา 8 หรือข้อบัญญัติ ท้องถิ่นที่ออกตามมาตรา 9 หรือมาตรา 10 ที่ใช้บังคับอยู่ในวันที่ได้รับอนุญาตหรือใบรับแจ้งให้ก่อสร้าง ดัดแปลง หรือเคลื่อนย้ายอาคาร ให้แล้วเสร็จภายในระยะเวลาที่เจ้าพนักงานท้องถิ่นกำหนดแต่ต้องไม่น้อยกว่าสามสิบวัน ในกรณีที่มีเหตุอันสมควร เจ้าพนักงานท้องถิ่นจะขยายระยะเวลาออกไปอีกก็ได้

ข้อ 4 ในกรณีอาคารที่ก่อสร้าง ดัดแปลง หรือเคลื่อนย้ายก่อนวันที่พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ใช้บังคับ และอยู่ภายใต้บังคับแห่งพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคาร พุทธศักราช 2479 หรือพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างในเขตเพลิงไหม้ พุทธศักราช 2476 มีสภาพหรือมีการใช้ที่อาจเป็นภยันตรายต่อสุขภาพ ชีวิต ร่างกาย หรือทรัพย์สิน หรืออาจไม่ปลอดภัยจากอัคคีภัย หรือก่อให้เกิดเหตุรำคาญ หรือกระทบกระเทือนต่อการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้เจ้าพนักงานท้องถิ่นมีอำนาจสั่งให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองอาคารดำเนินการแก้ไขให้เป็นไปตามกฎกระทรวง เทศบัญญัติ ข้อบัญญัติจังหวัด กฎ ข้อบังคับ ประกาศ หรือคำสั่งที่ได้ออกโดยอาศัยอำนาจตามพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคาร พุทธศักราช 2479 หรือพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างในเขตเพลิงไหม้ พุทธศักราช 2476 แล้วแต่กรณี ที่ใช้บังคับอยู่ในขณะนั้น ให้แล้วเสร็จภายในระยะเวลาที่เจ้าพนักงานท้องถิ่นกำหนดแต่ต้องไม่น้อยกว่าสามสิบวัน ในกรณีที่มีเหตุอันสมควรเจ้าพนักงานท้องถิ่นจะขยายระยะเวลาออกไปอีกก็ได้ในกรณีอาคารที่ก่อสร้าง ดัดแปลง หรือเคลื่อนย้ายก่อนวันที่พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ใช้บังคับแต่ไม่อยู่ภายใต้บังคับแห่งพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคารพุทธศักราช 2479 หรือพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างในเขตเพลิงไหม้ พุทธศักราช 2476 มีสภาพหรือมีการใช้ที่อาจเป็นภยันตรายต่อสุขภาพ ชีวิต ร่างกาย หรือทรัพย์สิน หรืออาจไม่ปลอดภัยจากอัคคีภัยหรือก่อให้เกิดเหตุรำคาญ หรือกระทบกระเทือนต่อการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้เจ้าพนักงานท้องถิ่นมีอำนาจสั่งให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองอาคารดำเนินการแก้ไขเท่าที่จะกระทำได้ตามความจำเป็นและความเป็นธรรมแก่เจ้าของหรือผู้ครอบครองอาคารให้แล้วเสร็จภายในระยะเวลาที่เจ้าพนักงานท้องถิ่นกำหนดแต่ต้องไม่น้อยกว่าสามสิบวัน ในกรณีที่มีเหตุอันสมควรเจ้าพนักงานท้องถิ่นจะขยายระยะเวลาออกไปอีกก็ได้

ข้อ 5 ในกรณีเจ้าพนักงานท้องถิ่นเห็นว่าอาคารตามข้อ 3 หรือข้อ 4 เป็นอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ อาคารขนาดใหญ่พิเศษ อาคารสาธารณะ อาคารชุมนุมคน อาคารชุด หอพัก อาคารอยู่อาศัยรวม โรงงาน ภัตตาคาร สำนักงาน หรือคลังสินค้า มีสภาพหรือมีการใช้ที่อาจไม่ปลอดภัยจากอัคคีภัย ให้มีอำนาจสั่งให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองอาคารดำเนินการแก้ไขให้อาคารดังกล่าว มีระบบความปลอดภัยเกี่ยวกับอัคคีภัยภายในระยะเวลาที่เจ้าพนักงานท้องถิ่นกำหนดแต่ต้องไม่น้อยกว่าสามสิบวัน ในกรณีที่มีเหตุอันสมควรเจ้าพนักงานท้องถิ่นจะขยายระยะเวลาออกไปอีกก็ได้ในการสั่งการให้แก้ไขอาคารตามวรรคหนึ่ง เจ้าพนักงานท้องถิ่นอาจสั่งให้เจ้าของหรือผู้

ครอบครองอาคารดำเนินการในกรณีดังต่อไปนี้ได้ตามลักษณะที่จำเป็นและเหมาะสมสำหรับอาคารนั้น ๆ โดยไม่ถือว่าการดำเนินการตามคำสั่งดังกล่าวเป็นการดัดแปลงอาคาร แต่ต้องยื่นแบบให้เจ้าพนักงานท้องถิ่นตรวจพิจารณาให้ความเห็นชอบ

(1) ติดตั้งแผนผังของอาคารแต่ละชั้นไว้ในตำแหน่งที่เห็นได้ชัดเจนที่บริเวณห้องโถงหรือหน้าลิฟต์ทุกแห่งของทุกชั้น และติดตั้งแบบแปลนและแผนผังของอาคารไว้ที่บริเวณพื้นชั้นล่างของอาคาร รวมทั้งเก็บรักษาแบบแปลนและแผนผังของอาคารทุกชั้นไว้ที่ห้องควบคุมหรือห้องที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายเพื่อให้สามารถตรวจสอบได้โดยสะดวก

(2) ติดตั้งระบบไฟส่องสว่างสำรองเพื่อให้มีแสงสว่างสามารถมองเห็นช่องทางเดินได้ขณะเพลิงไหม้ และมีป้ายบอกชั้นและป้ายบอกทางหนีไฟที่ด้านในและด้านนอกประตูหนีไฟทุกชั้นด้วยอักษรที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน โดยตัวอักษรต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 10 เซนติเมตร

(3) ติดตั้งเครื่องดับเพลิงแบบมือถือหรือเครื่องดับเพลิงยกหิ้วที่อยู่ในสภาพใช้งานได้ตลอดเวลาในแต่ละชั้นของอาคาร ตามชนิดและขนาดที่เหมาะสมสำหรับดับเพลิงที่เกิดจากประเภทของวัสดุในอาคารนั้น แต่ต้องมีขนาดบรรจุสารเคมีไม่น้อยกว่า 4 กิโลกรัม โดยให้มีเครื่องดับเพลิงแบบมือถือหรือเครื่องดับเพลิงยกหิ้ว 1 เครื่องต่อพื้นที่ไม่เกิน 1,000 ตารางเมตร แต่ละเครื่องมีระยะห่างกันไม่เกิน 45.00 เมตร ทั้งนี้ ในการติดตั้งเครื่องดับเพลิงดังกล่าวต้องติดตั้งให้ส่วนบนสุดของตัวเครื่องสูงจากระดับพื้นอาคารไม่เกิน 1.50 เมตร ในที่ที่สามารถมองเห็นได้ง่ายและสามารถเข้าใช้สอยเครื่องดับเพลิงนั้นได้สะดวกไม่มีสิ่งกีดขวาง และสามารถอ่านคำแนะนำการใช้เครื่องดับเพลิงนั้นได้

(4) จัดการอุดหรือปิดล้อมช่องท่อและช่องว่างระหว่างท่อที่ผ่านพื้นหรือผนังเพื่อป้องกันไม่ให้ควันและไฟลุกลาม และเพิ่มความสมบูรณ์ของส่วนกั้นแยกของพื้นหรือผนังทนไฟให้ใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ โดยมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง

(5) ติดตั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ทุกชั้นในอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ อาคารขนาดใหญ่พิเศษหรืออาคารชุมนุมคน

(6) ติดตั้งบันไดหนีไฟที่ไม่ใช่บันไดในแนวดิ่งเพิ่มจากบันไดหลักให้เหมาะสมกับพื้นที่ของอาคารแต่ละชั้นในอาคารที่มีความสูงตั้งแต่สี่ชั้นขึ้นไปหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษที่มีความสูงตั้งแต่สองชั้นขึ้นไป เพื่อให้สามารถลำเลียงบุคคลทั้งหมดในอาคารออกนอกอาคารได้ โดยบันไดหนีไฟต้องมีความมั่นคงแข็งแรงและมีลักษณะตามข้อกำหนด

(7) ติดตั้งผนังหรือประตูที่ทำด้วยวัสดุไม่ติดไฟที่สามารถปิดกั้นมิให้เปลวไฟหรือควันเข้าไปในบริเวณบันไดที่มิใช่บันไดหนีไฟในอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ

(8) กั้นแยกพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดอัคคีภัยในอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษเช่น ห้องเก็บสิ่งของหรือวัสดุจำนวนมาก ห้องเก็บวัตถุอันตรายหรือวัตถุไวไฟ หรือห้องควบคุมระบบอุปกรณ์ของอาคาร โดยส่วนกั้นแยกนั้นต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง หรือติดตั้งระบบดับเพลิงอัตโนมัติ เช่น ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติหรือระบบอื่นที่เทียบเท่า

(9) ติดตั้งระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าในอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ ซึ่งประกอบด้วยตัวนำล่อฟ้า ตัวนำลงดิน และหลักสายดินที่เชื่อมโยงกันเป็นระบบ โดยการออกแบบให้เป็นไปตามหลักวิชาการเพื่อความปลอดภัยทางไฟฟ้า

(10) ติดตั้งระบบป้องกันเพลิงไหม้ในอาคารสูงซึ่งประกอบด้วยระบบท่อยืนและหัวรับน้ำดับเพลิงต้องมีความมั่นคงแข็งแรง และมีลักษณะตามข้อกำหนด

ข้อ 6 เจ้าพนักงานท้องถิ่นจะสั่งให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองอาคารดำเนินการแก้ไขอาคาร ตามข้อ 3 ข้อ 4 และข้อ 5 ได้ก็ต่อเมื่อได้แต่งตั้งนายช่างเพื่อตรวจสอบสภาพหรือการใช้อาคาร หรือระบบความปลอดภัยเกี่ยวกับอัคคีภัย แล้วรายงานให้เจ้าพนักงานท้องถิ่นทราบ ในรายงานนั้นอย่างน้อยต้องประกอบด้วยผลการตรวจสอบอาคาร สภาพปัญหาของอาคารที่จำเป็นต้องแก้ไข วิธีการแก้ไขตลอดจนระยะเวลาในการแก้ไข ถ้านายช่างตรวจสอบพบว่าอาคารนั้นมีสภาพหรือการใช้หรือระบบความปลอดภัยเกี่ยวกับอัคคีภัยที่อาจจะก่อให้เกิดภยันตรายต่อชีวิตหรือร่างกาย และจำเป็นต้องดำเนินการ เพื่อบรรเทาเหตุโดยเร่งด่วน ให้นายช่างรีบรายงานเหตุดังกล่าวและวิธีการที่จะต้องดำเนินการเพื่อบรรเทาเหตุที่จะก่อให้เกิดภยันตรายนั้นเพื่อให้เจ้าพนักงานท้องถิ่นมีคำสั่งโดยเร็ว ถ้าเจ้าพนักงานท้องถิ่นไม่สามารถจัดหาหรือแต่งตั้งนายช่างเพื่อดำเนินการตรวจสอบอาคารตามวรรคหนึ่งและวรรคสองได้ เจ้าพนักงานท้องถิ่นสามารถร้องขอให้กรมโยธาธิการและผังเมืองจัดส่งนายช่างที่อธิบดีแต่งตั้งร่วมเป็นนายช่างได้

ข้อ 7 ในกรณีเจ้าพนักงานท้องถิ่นพบว่า อาคารตามข้อ 3 ข้อ 4 หรือข้อ 5 มีสภาพ หรือมีการใช้อาคารหรือระบบความปลอดภัยเกี่ยวกับอัคคีภัยที่อาจเป็นภยันตรายต่อชีวิต หรือร่างกายหรือได้รับรายงานจากนายช่างตามข้อ 6 วรรคสอง และเจ้าพนักงานท้องถิ่นเห็นว่าเป็นกรณีฉุกเฉินไม่อาจรอช้าได้ ให้เจ้าพนักงานท้องถิ่นมีอำนาจสั่งให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองอาคารดำเนินการเพื่อบรรเทาเหตุที่อาจก่อให้เกิดภยันตรายดังกล่าวได้ทันทีตามวิธีการที่เจ้าพนักงานท้องถิ่นกำหนด และถ้าหากมีความจำเป็น เจ้าพนักงานท้องถิ่นจะสั่งห้ามมิให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองอาคารใช้หรือยินยอมให้ผู้อื่นใช้อาคารนั้นบางส่วนหรือทั้งหมดไว้ก่อนจนกว่าจะมีการแก้ไขเพื่อบรรเทาเหตุที่อาจก่อให้เกิดภยันตรายนั้นแล้วก็ได้

ข้อ 8 คำสั่งให้แก้ไขอาคารตามข้อ 6 และข้อ 7 กรณีที่อาคารเป็นภยันตรายต่อชีวิตหรือร่างกายที่เกิดจากความไม่มั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคาร เจ้าของอาคารจะต้องยื่นแบบที่รับรอง โดยผู้

ได้รับใบอนุญาตให้เป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมไม่ต่ำกว่าระดับสามัญวิศวกร ตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร ให้เจ้าพนักงานท้องถิ่นตรวจพิจารณาให้ความเห็นชอบก่อนดำเนินการ

ข้อ 9 บรรดาคำสั่งของเจ้าพนักงานท้องถิ่นที่ออกตามมาตรา 46 และกฎกระทรวงฉบับที่ 47 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2542 ที่มีผลใช้บังคับอยู่ในวันก่อนวันที่กฎกระทรวงนี้ใช้บังคับ ให้ยังคงมีผลใช้บังคับใช้ต่อไปได้เพียงเท่าที่ไม่ขัด หรือแย้งกับกฎกระทรวงนี้ (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2537)

**1.3 กฎกระทรวงแรงงาน (พ.ศ.2554) ความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน มาตรา 6**

ให้นายจ้างมีหน้าที่จัดและดูแลสถานประกอบกิจการและลูกจ้างให้มีสภาพการทำงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ปลอดภัยและถูกสุขลักษณะรวมทั้งส่งเสริมสนับสนุนการปฏิบัติงานของลูกจ้างมิให้ลูกจ้างได้รับอันตรายต่อชีวิต ร่างกาย จิตใจ และสุขภาพอนามัย ให้ลูกจ้างมีหน้าที่ให้ความร่วมมือกับนายจ้างในการดำเนินการและส่งเสริมด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ลูกจ้างและสถานประกอบกิจการ (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2554)

**1.4 กฎกระทรวงแรงงาน (พ.ศ.2555)**

กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2555)

“อาคาร” หมายความว่า ตึก บ้าน เรือน โรง ร้าน แพ คลังสินค้า สำนักงาน และสิ่งที่สร้างขึ้นอย่างอื่นที่มีลูกจ้างทำงานอยู่

“สถานที่ซึ่งมีสภาพเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยอย่างเบา” หมายความว่า สถานที่ที่มีวัตถุซึ่งไม่ติดไฟเป็นส่วนใหญ่ หรือมีวัตถุติดไฟได้ในปริมาณน้อยหรือมีวัตถุไวไฟในปริมาณน้อยที่เก็บไว้ในภาชนะปิดสนิทอย่างปลอดภัย

“สถานที่ซึ่งมีสภาพเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยอย่างปานกลาง” หมายความว่า สถานที่ที่มีวัตถุไวไฟหรือวัตถุติดไฟได้ และมีปริมาณไม่มาก

“สถานที่ซึ่งมีสภาพเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยอย่างร้ายแรง” หมายความว่า สถานที่ที่มีวัตถุไวไฟหรือวัตถุติดไฟได้ง่าย และมีปริมาณมาก

“เพลิงประเภท เอ” หมายความว่า เพลิงที่เกิดจากเชื้อเพลิงธรรมดา เช่น ไม้ ผ้า กระดาษ ยาง พลาสติก รวมทั้งสิ่งอื่นที่มีลักษณะเดียวกัน

“เพลิงประเภท บี” หมายความว่า เพลิงที่เกิดจากไขหรือของเหลวที่ติดไฟได้ ก๊าซ และน้ำมันประเภทต่าง ๆ

“เพลิงประเภท ซี” หมายความว่า เพลิงที่เกิดจากอุปกรณ์หรือวัตถุที่มีกระแสไฟฟ้า
“เพลิงประเภท ดี” หมายความว่า เพลิงที่เกิดจากโลหะต่าง ๆ ที่ติดไฟได้ เช่น แมกนีเซียม เซอร์โคเนียม ไทเทเนียม รวมทั้งโลหะอื่นที่มีลักษณะเดียวกัน

“วัตถุระเบิด” หมายความว่า วัตถุระเบิดตามกฎหมายว่าด้วยอาวุธปืน เครื่องกระสุนปืน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิง และสิ่งเทียมอาวุธปืน หรือวัตถุที่สามารถระเบิดได้เมื่อได้รับความร้อน ประกายไฟ เปลวไฟ หรือเมื่อได้รับการกระทบกระเทือน การเสียดสี หรือถูกกระทำโดยตัวจุดระเบิด

“วัตถุไวไฟ” หมายความว่า วัตถุที่มีคุณสมบัติติดไฟได้ง่ายและสันดาปเร็ว

“เครื่องดับเพลิงแบบเคลื่อนย้ายได้” หมายความว่า เครื่องดับเพลิงซึ่งมีลักษณะเป็นอุปกรณ์ที่เคลื่อนย้ายได้โดยสะดวก และใช้งานด้วยมือ ภายในบรรจุสารดับเพลิงซึ่งสามารถขับออกได้โดยใช้แรงดัน เช่น เครื่องดับเพลิงแบบมือถือ แบบยกหิ้ว แบบลากเข็น หรือลักษณะอื่นใดที่คล้ายกัน

“ระยะเข้าถึง” หมายความว่า ระยะทางที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถเข้าถึงเครื่องดับเพลิงแบบเคลื่อนย้ายได้ เพื่อดับเพลิง ณ จุดนั้นๆ

หมวด 2 ความปลอดภัยเกี่ยวกับอาคารและทางหนีไฟ

หมวด 7 การป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า
ข้อ 25 ให้นายจ้างจัดให้มีระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าสำหรับอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง กฎกระทรวงการแก้ไขอาคารที่มีสภาพหรือมีการใช้ที่อาจเป็นภยันตรายต่อสุขภาพ ชีวิต ร่างกาย หรือทรัพย์สิน หรืออาจไม่ปลอดภัยจากอัคคีภัย หรือก่อให้เกิดเหตุรำคาญหรือกระทบกระเทือนต่อการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2563 (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2554)

## 1.5 กฎกระทรวงแรงงาน (พ.ศ.2558) กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้า

เพื่อความปลอดภัยของแรงงานจึงต้องมีมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้า (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2558)

“บริภัณฑ์ไฟฟ้า” หมายความว่า อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้ วัสดุ เครื่องประกอบหรือเครื่องจักรที่ใช้ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังหรือเป็นส่วนประกอบ หรือที่ใช้เกี่ยวเนื่องกับไฟฟ้า

“ฉนวนไฟฟ้า” หมายความว่า วัสดุที่มีคุณสมบัติในการกั้นหรือขัดขวางการไหลของกระแสไฟฟ้า หรือวัสดุที่กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้ง่าย เช่น ยาง ไฟเบอร์ พลาสติก

“แรงดันไฟฟ้า” หมายความว่า ค่าความต่างศักย์ของไฟฟ้าระหว่างสายกับสายหรือสายกับดิน หรือระหว่างจุดหนึ่งกับจุดอื่น โดยมีหน่วยวัดค่าความต่างศักย์เป็นโวลต์

“กระแสไฟฟ้า” หมายความว่า การถ่ายโอนประจุไฟฟ้าสุทธิต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยมีหน่วยวัดเป็นแอมแปร์

“เครื่องกำเนิดไฟฟ้า” หมายความว่า เครื่องจักรที่เปลี่ยนพลังงานใด ๆ เป็นพลังงานไฟฟ้า

“สวิตช์” หมายความว่า เครื่องปิดเปิดวงจรไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่ตัดหรือต่อวงจรไฟฟ้า

“การไฟฟ้าประจำท้องถิ่น” หมายความว่า การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย หรือหน่วยงานอื่นที่อธิบดีประกาศกำหนด

“วิศวกร” หมายความว่า ผู้ซึ่งได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร

“ลูกจ้างซึ่งปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้า” หมายความว่า ลูกจ้างซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการติดตั้ง ตรวจสอบ ทดสอบ ซ่อมแซม บำรุงรักษา หรือหน้าที่อื่นในลักษณะเดียวกัน กับระบบไฟฟ้า บริภัณฑ์ไฟฟ้า หรือสายไฟฟ้า

หมวด 1 บททั่วไป

ข้อ 3 ให้นายจ้างจัดให้มีข้อบังคับเกี่ยวกับการปฏิบัติงานด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้า โดยให้มีมาตรฐานไม่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงนี้เพื่อให้ลูกจ้างปฏิบัติตาม

ข้อ 4 ให้นายจ้างจัดให้มีการฝึกอบรมให้กับลูกจ้างซึ่งปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้าให้มีความรู้ความเข้าใจ และทักษะที่จำเป็นในการทำงานอย่างปลอดภัยตามหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย ทั้งนี้ตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีประกาศกำหนด

ข้อ 5 ให้นายจ้างจัดให้มีและเก็บรักษาแผนผังวงจรไฟฟ้าที่ติดตั้งภายในสถานประกอบกิจการทั้งหมดซึ่งได้รับการรับรองจากวิศวกรหรือการไฟฟ้าประจำท้องถิ่นไว้ให้พนักงานตรวจความปลอดภัยตรวจสอบ หากมีการแก้ไขเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมต้องดำเนินการแก้ไขแผนผังนั้นให้ถูกต้อง

ข้อ 6 ให้นายจ้างจัดให้มีแผ่นป้ายที่มีตัวอักษรหรือสัญลักษณ์เตือนให้ระวังอันตรายจากไฟฟ้าที่มองเห็นได้ชัดเจนติดตั้งไว้โดยเปิดเผยในบริเวณที่อาจเกิดอันตรายจากกระแสไฟฟ้า ทั้งนี้ ให้เป็นไปตามแบบที่กำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหรือมาตรฐานอื่นตามที่อธิบดีประกาศกำหนด

ข้อ 7 ห้ามนายจ้างให้ลูกจ้างซึ่งปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้าเข้าใกล้หรือนำสิ่งที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่มีที่ถือหุ้มด้วยฉนวนไฟฟ้าที่เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าเข้าใกล้สิ่งที่มีกระแสไฟฟ้าในระยะที่น้อยกว่าระยะห่างตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ หากยังไม่มีมาตรฐานดังกล่าวให้ใช้มาตรฐานตามที่การไฟฟ้าประจำท้องถิ่นกำหนด เว้นแต่นายจ้างจะได้ดำเนินการ

ข้อ 8 ห้ามนายจ้างให้ลูกจ้างซึ่งปฏิบัติงานอื่นหรืออนุญาตให้ผู้ซึ่งไม่เกี่ยวข้องเข้าใกล้สิ่งที่มีกระแสไฟฟ้าในระยะที่น้อยกว่าระยะห่างตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ หากยังไม่มีมาตรฐานดังกล่าวให้ใช้มาตรฐานตามที่การไฟฟ้าประจำท้องถิ่นกำหนด

ข้อ 9 ให้นายจ้างดูแลมิให้ลูกจ้างสวมใส่เครื่องนุ่งห่มที่เปียกหรือเป็นสื่อไฟฟ้าปฏิบัติงานเกี่ยวกับสิ่งที่มีกระแสไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าเกินกว่าห้าสิบโวลต์ โดยไม่มีฉนวนไฟฟ้าปิดกั้น เว้นแต่นายจ้างจะได้จัดให้ลูกจ้างสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลหรือใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าสำหรับการปฏิบัติงานของลูกจ้าง

ข้อ 10 ในกรณีที่นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานโดยใช้อุปกรณ์ในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้า หรืออยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับสิ่งที่มีกระแสไฟฟ้า ให้นายจ้างจัดหาอุปกรณ์ชนิดที่เป็นฉนวนไฟฟ้า หรือหุ้มด้วยฉนวนไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าสำหรับการปฏิบัติงานของลูกจ้าง

ข้อ 11 ให้นายจ้างดูแลบริภัณฑ์ไฟฟ้าและสายไฟฟ้าให้ใช้งานได้โดยปลอดภัย หากพบว่าชำรุด หรือมีกระแสไฟฟ้ารั่ว หรืออาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ใช้งาน ให้ซ่อมแซมหรือดำเนินการให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้อย่างปลอดภัย และจัดให้มีหลักฐานในการดำเนินการเพื่อให้พนักงานตรวจความปลอดภัย ตรวจสอบได้

ข้อ 12 นายจ้างต้องจัดให้มีการตรวจสอบและจัดให้มีการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้าเพื่อให้ใช้งานได้อย่างปลอดภัย และให้บุคคลที่ขึ้นทะเบียนตามมาตรา 9 หรือนิติบุคคลที่ได้รับใบอนุญาตตามมาตรา 11 แห่งพระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 แล้วแต่กรณี เป็นผู้จัดทำบันทึกผลการตรวจสอบและรับรองไว้ เพื่อให้พนักงานตรวจความปลอดภัยตรวจสอบ ทั้งนี้ ตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีประกาศกำหนด

ข้อ 13 ให้นายจ้างจัดให้มีแผ่นภาพพร้อมคำบรรยายติดไว้ในบริเวณที่ทำงานที่ลูกจ้างสามารถมองเห็นได้ชัดเจนในเรื่อง ดังต่อไปนี้
(1) วิธีปฏิบัติเมื่อประสบอันตรายจากไฟฟ้า
(2) การปฐมพยาบาลและการช่วยชีวิตขั้นพื้นฐานโดยการผายปอดด้วยวิธีปากเป่าอากาศเข้าทางปากหรือจมูกของผู้ประสบอันตราย และวิธีการนวดหัวใจจากภายนอก

หมวด 2 บริภัณฑ์ไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
ข้อ 14 การติดตั้งบริภัณฑ์ไฟฟ้า ให้นายจ้างปฏิบัติตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ หากยังไม่มีมาตรฐานดังกล่าวให้ใช้มาตรฐานตามที่การไฟฟ้าประจำท้องถิ่นกำหนด

ข้อ 15 ให้นายจ้างจัดให้มีการใช้กุญแจป้องกันการสับสวิตช์เชื่อมต่อวงจร หรือจัดให้มีระบบ ระวังป้องกันมิให้เกิดการสับสวิตช์เชื่อมต่อวงจรตลอดเวลาที่ลูกจ้างซึ่งปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้าทำงานติดตั้ง ตรวจสอบ ซ่อมแซม หรือซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า และให้ติดป้ายแสดงเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ห้ามสับสวิตช์เชื่อมต่อวงจรไว้ด้วย

ข้อ 16 ห้ามนายจ้างให้ลูกจ้างทำความสะอาดบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้า เว้นแต่มีมาตรการด้านความปลอดภัยรองรับไว้อย่างครบถ้วน

ข้อ 17 ในกรณีที่ส่วนของบริภัณฑ์ไฟฟ้าใช้แรงดันไฟฟ้าเกินกว่าห้าสิบโวลต์ให้นายจ้างจัดให้มีที่ปิดกั้นอันตรายหรือจัดให้มีแผ่นฉนวนไฟฟ้าปูไว้ที่พื้นเพื่อป้องกันอันตรายจากการสัมผัส

ข้อ 18 ให้นายจ้างติดตั้งเต้ารับ สายไฟฟ้า อุปกรณ์ และเครื่องป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินที่มีขนาด ชนิด และประเภทที่เหมาะสมไว้ให้เพียงพอแก่การใช้งาน ทั้งนี้ ให้เป็นไปตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ หากยังไม่มีมาตรฐานดังกล่าวให้ใช้มาตรฐานตามที่การไฟฟ้าประจำท้องถิ่นกำหนด

ข้อ 19 การใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้นายจ้างปฏิบัติ

หมวด 3 ระบบป้องกันฟ้าผ่า

ข้อ 20 ให้นายจ้างจัดให้มีระบบป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ หรือมาตรฐานสมาคมป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Fire Protection Association : NFPA) หรือมาตรฐานคณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐานสาขาอิเล็กทรอเทคนิกส์ (International Electrotechnical Commission : IEC) หรือมาตรฐานอื่นตามที่อธิบดีประกาศกำหนด ไว้ที่สถานประกอบกิจการ อาคาร ปล่องควัน รวมถึงบริเวณที่มีถังเก็บของเหลวไวไฟหรือก๊าซไวไฟ

หมวด 4 อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลและอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า

ข้อ 21 ให้นายจ้างจัดอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลที่เหมาะสมกับลักษณะงาน เช่น ถุงมือหนัง ถุงมือยาง แขนเสื้อยาง หมวกนิรภัย รองเท้าพื้นยางหุ้มข้อชนิดมีส้นหรือรองเท้าพื้นยางหุ้มส้น ให้ลูกจ้างซึ่งปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้าสวมใส่ตลอดเวลาที่ปฏิบัติงานและจัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าที่เหมาะสมกับลักษณะงาน เช่น แผ่นฉนวนไฟฟ้า ฉนวนหุ้มสาย ฉนวนครอบลูกถ้วย กรงฟาราเดย์ (Faraday Cage) ชุดตัวนำไฟฟ้า (Conductive Suit)

ในกรณีที่ลูกจ้างต้องปฏิบัติงานในที่สูงกว่าพื้นตั้งแต่สี่เมตรขึ้นไป ให้นายจ้างจัดให้มีการใช้สาย หรือเชือกช่วยชีวิตและเข็มขัดนิรภัยพร้อมอุปกรณ์ หรืออุปกรณ์ที่ป้องกันการตกจากที่สูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และหมวกนิรภัยที่เหมาะสมตามมาตรฐานที่กำหนดสำหรับให้ลูกจ้างสวมใส่ตลอดเวลาที่ปฏิบัติงาน เว้นแต่อุปกรณ์ดังกล่าวจะทำให้ลูกจ้างเสี่ยงต่ออันตรายมากขึ้น ให้นายจ้างจัดให้มีอุปกรณ์ เพื่อความปลอดภัยอื่นที่สามารถใช้คุ้มครองความปลอดภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพแทน

ข้อ 22 อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลและอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้และต้องมีคุณสมบัติ

ข้อ 24 นายจ้างต้องบำรุงรักษาและจัดเก็บอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลและอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้อย่างปลอดภัย รวมทั้งต้องตรวจสอบและทดสอบตามมาตรฐานและวิธีที่ผู้ผลิตกำหนดบทเฉพาะกาล

ข้อ 25 ให้วิศวกรตามคำนิยาม “วิศวกร” ในกฎกระทรวงนี้ เป็นผู้ตรวจสอบและรับรองการดำเนินการตามข้อ 12 จนกว่าจะได้มีบุคคลที่ขึ้นทะเบียนตามมาตรา 9 หรือนิติบุคคลได้รับใบอนุญาตตามมาตรา 11 แห่งพระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 แล้วแต่กรณี

กฎกระทรวงแรงงาน ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง อาศัยอำนาจตามความในข้อ 4 แห่งกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการและดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2559

**1.6 กฎกระทรวงพลังงาน กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563**

เพื่ออาคารจะได้มีมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคาร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563)

หมวด 1 ประเภทและขนาดของอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กำหนดอาคารที่จะก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลงอาคารที่มีพื้นที่รวมกันทุกชั้นในอาคารหลังเดียวตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไปใน 9 ประเภทอาคาร จะต้องมีการออกแบบอาคารให้เป็นไป ตามกฎกระทรวงนี้

หมวด 2 มาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการ ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน เพิ่มเติมเนื้อหาได้แก่

การตรวจประเมิน ให้กระทำโดยผู้ได้รับใบประกอบวิชาชีพให้เป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม หรือผู้ได้รับใบประกอบวิชาชีพให้เป็นผู้ประกอบวิชาชีพสถาปัตยกรรมควบคุม และได้รับการรับรองจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานว่าเป็นผู้สำเร็จการฝึกอบรม ตามหลักสูตรที่กำหนดการรับรองผลการตรวจประเมิน ให้เจ้าของอาคารมีหน้าที่จัดทำรายงานผลการตรวจประเมินในการออกแบบก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคาร

กฎกระทรวงอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าในโรงงาน พ.ศ. 2550 (กรมอุตสาหกรรม)

ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน

ข้อ 5 ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดให้มีการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในโรงงานและรับรอง ความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าในโรงงานเป็นประจำทุกปีโดยวิศวกรหรือบุคคลอื่นที่รัฐมนตรีกำหนดโดยการตรวจสอบและรับรองดังกล่าวต้องจัดให้มีเอกสารเป็นหลักฐาน

❖ Single Line Diagram มี Single Line Diagram (Single Line Diagram) ของเมนสวิตช์ เครื่องป้องกันกระแสเกิน สายดินของแผงสวิตช์ อุณหภูมิของอุปกรณ์ สภาพของจุดสายต่อ การต่อลงดิน

❖ พื้นที่จัดเก็บวัตถุไวไฟ การติดตั้งและใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า การจัดเก็บวัตถุไวไฟที่ต้องมีระบบความปลอดภัยพิเศษ

❖ ระบบป้องกันฟ้าผ่า

❖ หม้อแปลง การติดตั้งหม้อแปลง คาปาซิเตอร์ (Capacitor Bank) ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ปริมาณกระแส การจัดโหลดเพื่อให้เฟสสมดุล (Balance load) ขนาดสายเมน ระบบเมนสวิตช์ สภาพหม้อแปลงภายนอก

❖ ระบบสายดิน ตรวจสอบตู้เมน อุปกรณ์และเครื่องจักรต่างๆ สายไฟและสภาพทางเดินสายไฟฟ้า

**1.7 กฎกระทรวงมหาดไทย**

กำหนดสาขาวิชาชีพวิศวกรรมและวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม พ.ศ. 2566 อาศัยอำนาจตามความในบทนิยามคำว่า “วิชาชีพวิศวกรรม” และ “วิชาชีพวิศวกรรมควบคุม” ในมาตรา 4 และมาตรา 5 แห่งพระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ. 2542 โดยจะขอหยิบเฉพาะบางส่วนที่เกี่ยวข้อง (สภาวิศวกร, 2566) มีดังนี้

ข้อ 1 กฎกระทรวงนี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ 2 ให้ยกเลิก

(1) กฎกระทรวงกำหนดสาขาวิชาชีพวิศวกรรมและวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม พ.ศ. 2550

(2) กฎกระทรวงกำหนดสาขาวิชาชีพวิศวกรรมและวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2560

ข้อ 3 ให้สาขาวิศวกรรมอื่นดังต่อไปนี้เป็นวิชาชีพวิศวกรรม

(1) วิศวกรรมเกษตร

(2) วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

(3) วิศวกรรมเคมี

(4) วิศวกรรมชายฝั่ง
(5) วิศวกรรมชีวการแพทย์
(6) วิศวกรรมต่อเรือ
(7) วิศวกรรมบำรุงรักษาอาคาร
(8) วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย
(9) วิศวกรรมปิโตรเลียม
(10) วิศวกรรมพลังงาน
(11) วิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
(12) วิศวกรรมยานยนต์
(13) วิศวกรรมระบบราง
(14) วิศวกรรมสารสนเทศ
(15) วิศวกรรมสำรวจ
(16) วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
(17) วิศวกรรมแหล่งน้ำ
(18) วิศวกรรมอากาศยาน
(19) วิศวกรรมอาหาร

ข้อ 4 ให้วิชาชีพวิศวกรรมในสาขาดังต่อไปนี้เป็นวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม
(1) วิศวกรรมโยธา
(2) วิศวกรรมเหมืองแร่
(3) วิศวกรรมเครื่องกล
(4) วิศวกรรมไฟฟ้า
(5) วิศวกรรมอุตสาหการ
(6) วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
(7) วิศวกรรมเคมี
ทั้งนี้ เฉพาะงานตามประเภทและขนาดของวิชาชีพวิศวกรรมแต่ละสาขาที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงนี้

ข้อ 5 งานในวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมแต่ละสาขา มีดังต่อไปนี้
(1) งานให้คำปรึกษา หมายถึง การให้ข้อแนะนำ การตรวจวินิจฉัย หรือการตรวจรับรองงาน
(2) งานวางโครงการ หมายถึง การศึกษา การวิเคราะห์หาทางเลือกที่เหมาะสม หรือ การวางแผนของโครงการ
(3) งานออกแบบและคำนวณ หมายถึง การใช้หลักวิชาและความชำนาญเพื่อให้ได้มาซึ่งรายละเอียดในการก่อสร้าง การสร้าง การผลิต หรือการวางผังโรงงานและเครื่องจักร โดยมีรายการคำนวณ แสดงเป็นรูป แบบ ข้อกำหนด หรือประมาณการ

(4) งานควบคุมการสร้างหรือการผลิต หมายถึง การอำนวยการควบคุม หรือการควบคุม เกี่ยวกับการก่อสร้าง การสร้าง การผลิต การติดตั้ง การซ่อม การดัดแปลง การรื้อถอนงาน หรือ การเคลื่อนย้ายงานให้เป็นไปโดยถูกต้องตามรูป แบบ และข้อกำหนดของหลักวิชาชีพวิศวกรรม
(5) งานพิจารณาตรวจสอบ หมายถึง การค้นคว้า การวิเคราะห์ การทดสอบ การหาข้อมูล และสถิติต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นหลักเกณฑ์ หรือประกอบการตรวจสอบวินิจฉัยงาน การสอบทาน หรือการตรวจประเมินการจัดการความปลอดภัยกระบวนการผลิตหรือการจัดการสิ่งแวดล้อม
(6) งานอำนวยการใช้ หมายถึง การอำนวยการดูแลการใช้ การบำรุงรักษางาน ทั้งที่เป็นชิ้นงานหรือระบบ ให้เป็นไปโดยถูกต้องตามรูป แบบ และข้อกำหนดของหลักวิชาชีพวิศวกรรม

ข้อ 9 ประเภทและขนาดของงานวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มีดังต่อไปนี้
(1) งานไฟฟ้ากำลัง ได้แก่
(ก) งานให้คำปรึกษาตาม (ข) (ค) (ง) (จ) หรือ (ฉ) ทุกประเภทและทุกขนาด
(ข) งานวางโครงการ

1) ระบบการผลิตไฟฟ้าที่มีขนาดรวมกันตั้งแต่ 1,000 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป หรือที่มีขนาดแรงดันระหว่างสายในระบบตั้งแต่ 3.30 กิโลโวลต์ขึ้นไป

2) ระบบส่ง ระบบจำหน่าย และระบบการใช้ไฟฟ้า ที่มีขนาดรวมกันตั้งแต่ 1,000 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป หรือที่มีขนาดแรงดันระหว่างสายในระบบตั้งแต่ 12 กิโลโวลต์ขึ้นไป

3) ระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีขนาดรวมกันตั้งแต่ 100 กิโลวัตต์ขึ้นไป

4) การจัดการพลังงานที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 1 เมกะวัตต์ขึ้นไป หรือ ที่มีการใช้พลังงานความร้อนรวมตั้งแต่ 20 ล้านเมกะจูลต่อปีขึ้นไป

(ค) งานออกแบบและคำนวณ

1) ระบบหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีขนาดตั้งแต่ 300 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป หรือ ที่มีขนาดแรงดันระหว่างสายในระบบตั้งแต่ 3.30 กิโลโวลต์ขึ้นไป

2) ระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารสาธารณะตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารที่มีขนาดการใช้ไฟฟ้ากำลังรวมกันตั้งแต่ 200 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป

3) ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัยและระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับอาคารสูง หรือ อาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร หรืออาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด

4) ระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารประเภทควบคุมการใช้ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารที่มีขนาดการใช้ไฟฟ้ากำลังรวมกันตั้งแต่ 200 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป

5) ระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารประเภทควบคุมการใช้ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารสำหรับใช้เก็บวัตถุอันตรายเฉพาะวัตถุระเบิดได้และวัตถุไวไฟทุกขนาด

6) ระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีขนาดรวมกันตั้งแต่ 7.50 กิโลวัตต์ขึ้นไป

7) การจัดการพลังงานที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 1 เมกะวัตต์ขึ้นไป หรือ ที่มีการใช้พลังงานความร้อนรวมตั้งแต่ 20 ล้านเมกะจูลต่อปีขึ้นไป

(ง) งานควบคุมการสร้างหรือการผลิต

1) ระบบหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีขนาดตั้งแต่ 1,000 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป หรือ ที่มีขนาดแรงดันระหว่างสายในระบบตั้งแต่ 12 กิโลโวลต์ขึ้นไป

2) ระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารสาธารณะตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารที่มีขนาดการใช้ไฟฟ้ากำลังรวมกันตั้งแต่ 200 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป

3) ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัยและระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร หรืออาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด

4) ระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารประเภทควบคุมการใช้ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารที่มีขนาดการใช้ไฟฟ้ากำลังรวมกันตั้งแต่ 200 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป

5) ระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารประเภทควบคุมการใช้ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารสำหรับใช้เก็บวัตถุอันตรายเฉพาะวัตถุระเบิดได้และวัตถุไวไฟทุกขนาด

6) ระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีขนาดรวมกันตั้งแต่ 20 กิโลวัตต์ขึ้นไป

(จ) งานพิจารณาตรวจสอบ

1) ระบบไฟฟ้าที่มีขนาดรวมกันตั้งแต่ 1,000 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป หรือที่มีขนาดแรงดันระหว่างสายในระบบตั้งแต่ 12 กิโลโวลต์ขึ้นไป

2) ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัยและระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับอาคารสูง หรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร หรืออาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด

3) ระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารสาธารณะตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารที่มีขนาดการใช้ไฟฟ้ากำลังรวมกันตั้งแต่ 200 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป

4) ระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารประเภทควบคุมการใช้ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารที่มีขนาดการใช้ไฟฟ้ากำลังรวมกันตั้งแต่ 200 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป

5) ระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารประเภทควบคุมการใช้ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารสำหรับใช้เก็บวัตถุอันตรายเฉพาะวัตถุระเบิดได้และวัตถุไวไฟทุกขนาด

6) การจัดการพลังงานที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 1 เมกะวัตต์ขึ้นไป หรือที่มีการใช้พลังงานความร้อนรวมตั้งแต่ 20 ล้านเมกะจูลต่อปีขึ้นไป

7) ลิฟต์โดยสารหรือลิฟต์ขนส่งที่บุคคลสามารถเข้าไปโดยสารได้ ทุกขนาด

(ฉ) งานอำนวยการใช้

1) ระบบหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีขนาดตั้งแต่ 1,000 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป หรือ ที่มีขนาดแรงดันระหว่างสายในระบบตั้งแต่ 12 กิโลโวลต์ขึ้นไป

2) ระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีขนาดรวมกันตั้งแต่ 500 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือ ที่มีขนาดกำลัง 250 กิโลวัตต์ต่อเครื่องขึ้นไป

3) ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัยและระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร หรืออาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด

## 1.8 กฎกระทรวงมหาดไทย กำหนดประเภทและระบบความปลอดภัยของอาคารที่ใช้เพื่อประกอบกิจการเป็นสถานบริการ พ.ศ. 2555

เพื่อให้มีการกำหนดประเภทและระบบความปลอดภัยของอาคารที่ใช้เพื่อประกอบกิจการเป็นสถานบริการ (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2555)

1.8.1 กฎหมายสำหรับการออกแบบระบบไฟฟ้า ผู้ออกแบบต้องมีข้อมูลรายละเอียดตามพระราชบัญญัติของกฎกระทรวงมหาดไทย เช่น

1.8.1.1 อาคารชุด หรือ คอนโดมิเนียม ในประเทศไทยมีกฎหมายควบคุมการก่อสร้างอาคารอย่างค่อนข้างมาก มีทั้งกฎหมายระดับพระราชบัญญัติไปถึงกฎกระทรวงมหาดไทย รวมถึงข้อบัญญัติของท้องถิ่นอีกด้วย ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงเฉพาะกฎหมายที่ควบคุมคอนโด ซึ่งประกอบด้วยกฎหมายควบคุมคอนโด และกฎหมายควบคุมการก่อสร้างคอนโดทั้งหมด 4 ฉบับ มีดังนี้

(1) พระราชบัญญัติอาคารชุด พ.ศ. 2522 กระทรวงมหาดไทย ซึ่งเป็นกฎหมายหลักที่ใช้ควบคุมอาคารชุดหรือคอนโดตั้งแต่การจดทะเบียนเป็นอาคารชุด กรรมสิทธิ์ในห้องชุด

(2) พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 กระทรวงมหาดไทย เป็นกฎหมายหลักในการควบคุมการก่อสร้างอาคาร การดัดแปลง รื้อถอน และการเคลื่อนย้ายอาคารและใช้หรือเปลี่ยนการใช้อาคาร

(3) กฎกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 กระทรวงมหาดไทย ให้นิยามของอาคารขนาดใหญ่ว่า “อาคารขนาดใหญ่”

(4) กฎกระทรวงมหาดไทยฉบับที่ 33 (พ.ศ.2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

## 1.9 กฎหมายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

1. พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522
2. พระราชบัญญัติอาคารชุด พ.ศ.2522
3. พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535
4. พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ.2535
5. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535
6. พระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ.2554
7. พระราชบัญญัติส่งเสริมการพัฒนาฝีมือแรงงาน พ.ศ.2545
8. พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535
9. พระราชบัญญัติ สถานบริการ พ.ศ.2509
10. กฎกระทรวงมหาดไทย กำหนดประเภทและระบบความปลอดภัยของอาคารที่ใช้เพื่อประกอบกิจการเป็นสถานบริการ พ.ศ.2555
11. พระราชบัญญัติโรงแรม พ.ศ.2547

12. กฎกระทรวงมหาดไทย กำหนดประเภทและหลักเกณฑ์การประกอบธุรกิจโรงแรม พ.ศ. 2555
13. กฎกระทรวงมหาดไทย กำหนดลักษณะอาคารประเภทอื่นๆ ที่ใช้ประกอบธุรกิจโรงแรม พ.ศ.2559
14. พระราชบัญญัติการประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ.2550
15. พระราชบัญญัติการพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน พ.ศ.2535
16. พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535
17. พระราชบัญญัติควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ.2542
18. กฎกระทรวงมหาดไทย กำหนดบริเวณห้ามก่อสร้าง ดัดแปลง หรือเปลี่ยนการใช้อาคารบางชนิดหรือประเภทในพื้นที่บางส่วนในท้องที่จังหวัดนครราชสีมา พ.ศ. 2563
19. กฎกระทรวงมหาดไทย กำหนดลักษณะอาคารประเภทอื่นที่ใช้ประกอบธุรกิจโรงแรม พ.ศ. 2559
20. กฎกระทรวงมหาดไทย ว่าด้วยการควบคุมเครื่องเล่น พ.ศ. 2558

# บทที่ 2

# มาตรฐานและพื้นฐานความรู้ด้านวิศวกรรมไฟฟ้า

## 2.1 มาตรฐานด้านวิศวกรรมไฟฟ้า

มาตรฐานด้านวิศวกรรมไฟฟ้า ในประเทศไทยรวมถึงประเทศเพื่อนบ้านเราหลายประเทศ ก็นิยมใช้มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์เป็นหลัก โดยมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยได้เริ่มจากการใช้ต้นร่างมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา National Electrical Code: NEC และใช้แนวความคิดต่าง ๆ รวมถึงบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ตามมาตรฐาน NEC มาตลอดมากกว่า 20 ปี ต่อมาในช่วงปี 2556 ได้มีมาตรฐานติดตั้งฯ ที่เริ่มมีการปรับใช้มาตรฐาน International Electrical Commission: IEC เพิ่มเติมเข้ามาบางส่วน และมาตรฐานการติดตั้งเล่มล่าสุด พ.ศ.2564 ได้นำมาตรฐาน NEC มามากขึ้นอีกครั้ง เพราะมาตรฐาน NEC มีคำอธิบายมีเนื้อหารายละเอียดค่อนข้างเยอะ เสมือนเป็นรายละเอียดคู่มือที่สามารถศึกษาและใช้ปฏิบัติค่อนข้างสะดวก ซึ่งแตกต่างจากมาตรฐาน IEC ที่มีข้อมูลรายละเอียดด้านวิศวกรรมค่อนข้างน้อย ดังนั้นมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าเราจะมีการอ้างอิงดังนี้

1. EIT: Engineering Institute of Thailand (มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์)
2. IEC: International Electrotechnical Commission
3. TIS: Thai Industrial Standards
4. NEC: National Electrical Code

### 2.1.1 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 - พ.ศ. 2556 มีประกอบด้วยกันรวม 14 บท โดยมาตรฐานฯ ปีล่าสุด พ.ศ.2564 นั้นจะไม่มีบทที่ 11 สายทนไฟ เนื่องด้วยทางสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมได้จัดทำเรื่องของบริภัณฑ์โดยตรงสำหรับสายทนไฟแล้ว ดังนั้นทาง วสท. จึงตัดบทที่ 11 ออก ซึ่งในส่วนทั้ง 14 บท (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2567) ประกอบด้วยดังนี้

บทที่ 1 นิยามและข้อกำหนดทั่วไป
บทที่ 2 มาตรฐานสายไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า
บทที่ 3 ตัวนำประธาน สายป้อน วงจรย่อย
บทที่ 4 การต่อลงดิน
บทที่ 5 ข้อกำหนดการเดินสายและวัสดุ
บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า
บทที่ 7 บริเวณอันตราย
บทที่ 8 สถานที่เฉพาะ
บทที่ 9 อาคารชุด อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ
บทที่ 10 บริภัณฑ์เฉพาะงาน
บทที่ 11 สายทนไฟ (ว่าง)
บทที่ 12 วงจรไฟฟ้าช่วยชีวิต
บทที่ 13 อาคารใต้ผิวดิน
บทที่ 14 การติดตั้งไฟฟ้าชั่วคราว

### 2.1.2 IEC: International Electrotechnical Commission

เป็นองค์กรอิสระที่เริ่มก่อตั้งขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2449 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำมาตรฐานระหว่างประเทศ ทางด้านไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง นอกจากนั้นยังดำเนินการจัดทำระบบการตรวจประเมิน เพื่อการรับรองคุณภาพให้กับมาตรฐานของ IEC เพื่อเป็นเครื่องมือในการอำนวยความสะดวกทางการค้าระหว่างประเทศ การเป็นสมาชิก IEC จะต้องมีการจัดตั้งคณะกรรมการแห่งชาติของประเทศ แต่ละประเทศจะมีคณะกรรมการแห่งชาติได้เพียงคณะเดียวแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. สมาชิกสมบูรณ์ (Full member) มีสิทธิเข้าร่วมกำหนดมาตรฐาน และเข้าร่วมกิจกรรมต่างๆ อย่างเต็มที่

2. สมาชิกสมทบ (Associate member) มีสิทธิได้รับข้อมูลข่าวสารความเคลื่อนไหวของ IEC แต่มีสิทธิจำกัด ในการเข้าร่วมกิจกรรม

ประเทศที่ยังไม่มีการจัดตั้งคณะกรรมการแห่งชาติ อาจสมัครเป็นสมาชิกประเภท Pre-Associate member ซึ่งจะ ได้รับความช่วยเหลือในการจัดตั้งคณะกรรมการแห่งชาติ เพื่อให้สามารถเลื่อนเป็น Associate member (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, ม.ป.ป.)ได้ต่อไป

**โครงสร้างของ IEC**

องค์ประกอบของ IEC ได้แก่

1. คณะมนตรี (Council)
2. คณะกรรมการบริหารของคณะมนตรี (Council Board)
3. คณะกรรมการจัดการด้านการมาตรฐาน (Standardization Management Board)
4. คณะกรรมการกลยุทธ์ทางการตลาด (Market Strategy Board – MSB)
5. คณะกรรมการด้านการตรวจสอบรับรอง (Conformity Assessment Board)
6. คณะกรรมการบริหาร (Executive Committee)
7. คณะกรรมการวิชาการ (Technical Committee)
8. สำนักงานกลาง (Central Office)

ประเทศไทยสมัครเป็นสมาชิกของ IEC ประเภทสมาชิกสมบูรณ์ ตั้งแต่ พ.ศ. 2534 โดยมีคณะกรรมการแห่งชาติ ว่าด้วยมาตรฐานเทคนิคทางไฟฟ้าระหว่างประเทศ (กมฟท.) ซึ่งแต่งตั้งโดยมติคณะรัฐมนตรีเป็นคณะกรรมการกำหนดนโยบายการเข้าร่วมกิจกรรมกับ IEC ปัจจุบันประเทศไทยได้สมัครเข้าร่วมเป็นสมาชิกในคณะกรรมการวิชาการ (Technical committee - TC) และคณะอนุกรรมการวิชาการ (Subcommittee - SC) ของ IEC ประกอบด้วย สมาชิกประเภทร่วมทำงาน (P-member) จำนวน 29 คณะ และสมาชิกประเภทสังเกตุการณ์ (O-member) จำนวน 55 คณะ

นอกจากนี้ ประเทศไทยเข้าร่วมเป็นสมาชิกระบบการตรวจสอบและรับรองบริภัณฑ์เทคนิคไฟฟ้าและชิ้นส่วนของ IEC (IEC System of Conformity assessment Schemes for Electrotechnical Equipment and Components – IECEE) โดยมี สมอ. เป็นหน่วยรับรอง (National Certification Body - NCB) และสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (สฟอ.) เป็นหน่วยทดสอบ (CB Testing Laboratory - CBTL) ของ IECEE โดยปัจจุบันได้เข้าร่วม ในขอบข่ายผลิตภัณฑ์เครื่องซักผ้า เครื่องปั่นสลัด และตู้เย็น

มาตรฐาน IEC ที่ใช้อ้างอิงในการกำหนดคุณสมบัติของสายไฟฟ้า เช่น IEC 60502, IEC 60228, IEC 60227 เป็นต้น

### 2.1.3 สมอ. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TIS: Thailand Industrial Standard)

จะใช้เป็นมาตรฐานส่วนมาตรฐานทางด้านบริภัณฑ์ไฟฟ้า หรือสำหรับผลิตภัณฑ์ทางไฟฟ้า สมอ. มีอำนาจหน้าที่ในการปฏิบัติงานตามพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 มติคณะรัฐมนตรี นโยบายรัฐบาล แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ นโยบายและแผนแม่บทของกระทรวงอุตสาหกรรม

**2.1.3.1 พันธกิจ**

2.1.3.1.1) กำหนดมาตรฐานที่ตรงความต้องการและสอดคล้องกับแนวทางสากล

2.1.3.1.2) กำกับดูแลผลิตภัณฑ์ และการตรวจสอบและรับรองด้านการมาตรฐาน ให้ได้รับการยอมรับ

2.1.3.1.3) ส่งเสริมและพัฒนาด้านการมาตรฐานของประเทศ

**2.1.3.2 การรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์**

2.1.3.2.1) การรับรองตามมาตรฐานของประเทศ สมอ. ให้การรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยการอนุญาตให้แสดงเครื่องหมายมาตรฐาน จำนวน 2 แบบ คือ




**รูปที่ 2.1** เครื่องหมายมาตรฐานทั่วไปและมาตรฐานบังคับ

2.1.3.2.2) การรับจดทะเบียนผลิตภัณฑ์ สมอ. ให้การรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ยังมิได้กำหนดมาตรฐาน โดยการจดทะเบียนผลิตภัณฑ์ ตามมติคณะรัฐมนตรี

2.1.3.2.3) การเป็นหน่วยตรวจให้กับสถาบันมาตรฐานต่างประเทศ สมอ.ได้รับมอบหมายให้เป็นหน่วยตรวจของสถาบันมาตรฐานต่างประเทศ เพื่อรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น (JIS MARKS) ประเทศสาธารณรัฐสังคมนิยมประชาธิปไตยศรีลังกา และประเทศสาธารณรัฐฟิลิปปินส์ นอกจากนี้ยังตรวจติดตามผลให้กับประเทศสาธารณรัฐอาฟริกาใต้ (SABS) ด้วย

2.1.3.2.4) การรับรองฉลากเขียว (Green Label) สมอ. ร่วมกับสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยดำเนินโครงการฉลากเขียวเพื่อให้การรับรอง โดยให้ใช้ฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เพื่อช่วยลดมลภาวะจากสิ่งแวดล้อม และเพื่อผลักดันให้ผู้ผลิตใช้เทคโนโลยี หรือวิธีการผลิตที่ให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย

**2.1.3.3 การรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชน** (มผช.)

เป็นการให้การรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชนของผู้ผลิตในชุมชนที่เกิดจากการรวมกลุ่มกันประกอบกิจกรรมใด กิจกรรมหนึ่ง หรือชุมชนในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการคัดเลือกจากจังหวัด และ/หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้ประกาศกำหนดไว้ และจะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกับผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรอง

**2.1.3.4 การรับรองระบบงาน**

2.1.3.4.1) การรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการ สมอ. ได้ดำเนินการรับรองขีดความสามารถทางวิชาการ และระบบคุณภาพ การทดสอบของห้องปฏิบัติการสอบเทียบและห้องปฏิบัติการทดสอบตามมาตรฐานข้อกำหนดทั่วไปว่าด้วยความสามารถของห้องปฏิบัติการสอบเทียบและห้องปฏิบัติการทดสอบ (มอก.17025-2543) ซึ่งเหมือนกันทุกประการกับ ISO/IEC 17025 ซึ่งขอบข่ายของการรับรองอาจเป็นการรับรองการทดสอบหรือสอบเทียบทุกรายการหรือบางรายการของห้องปฏิบัติการก็ได้

2.1.3.4.2) การจดทะเบียนบุคลากร ผู้ทรงคุณวุฒิ หลักสูตรและองค์กรฝึกอบรมด้านการมาตรฐานเป็นการให้การจดทะเบียนบุคลากร ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการประเมินการจดทะเบียนหลักสูตรฝึกอบรมและองค์กรฝึกอบรมด้านการมาตรฐานในกลุ่มสาขาต่าง ๆ ได้แก่ ระบบการบริหารงานคุณภาพ ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม ระบบการวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมในการผลิตอาหาร ระบบห้องปฏิบัติการทดสอบและห้องปฏิบัติการสอบเทียบระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัยระบบการรับรองผลิตภัณฑ์และระบบอื่น ๆ ตามมาตรฐานสากลหรือมาตรฐานอื่น ๆ ที่สากลยอมรับ

**2.1.3.5 การบริการข้อสนเทศมาตรฐาน**

2.1.3.5.1) บริการข้อสนเทศด้านการมาตรฐาน โดยให้ข้อมูลและตอบข้อซักถามทางวิชาการเกี่ยวกับมาตรฐาน กฎระเบียบทางวิชากากร และการรับรองคุณภาพทั้งของไทยและต่างประเทศ

2.1.3.5.2) เป็นศูนย์ตอบข้อซักถาม (Enquiry Point) ของไทย ภายใต้ความตกลงว่าด้วยอุปสรรคทางเทคนิคต่อการค้า(TBT) ขององค์การการค้าโลก(WTO)

2.1.3.5.3) บริการข้อมูลด้านการมาตรฐานผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ http://www.tisi.go.th

2.1.3.5.4) บริการห้องสมุดมาตรฐาน สมอ.โดยเป็นศูนย์รวมเอกสารมาตรฐานทั้งของไทยและของต่างประเทศ ตลอดจนเอกสารทางด้านการรับรองคุณภาพ กฎระเบียบทางวิชาการและเอกสารอื่น ๆ ที่ครบถ้วนและทันสมัยทั้งในรูปของเอกสารและไมโครฟิล์ม

**2.1.3.6 การปฏิบัติตามพันธกรณีความตกลงภายใต้องค์การการค้าโลก**

สมอ. เป็นแกนกลางในการปฏิบัติตามพันธกรณีตามมติคณะรัฐมนตรี ได้แก่ ความตกลงว่าด้วยอุปสรรคทางเทคนิคต่อการค้า (Agreement on Technical Barriers to Trade : TBT) ยกเว้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับสินค้าเกษตรและอาหาร

**2.1.3.7 งานด้านการมาตรฐานระหว่างประเทศและภูมิภาค**

2.1.3.7.1) กิจกรรมมาตรฐานระหว่างประเทศ สมอ. ได้เข้าร่วมเป็นสมาชิกในองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO) และคณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐานสาขาอิเล็กทรอเทคนิกส์ (International Electrotechnical Commission : IEC) นอกจากนี้ยังได้ร่วมดำเนินงานกับ International Personal Certification Association IPC ด้านการรับรองหน่วยงานที่ให้บริการฝึกอบรมและขึ้นทะเบียนบุคลากรด้านตรวจประเมินรวมทั้งร่วมดำเนินการรับรองห้องปฏิบัติการทดสอบกับ International Laboratory Accreditation Conference ILAC

2.1.3.7.2) กิจการมาตรฐานภูมิภาค สมอ. ได้เข้าร่วมกิจกรรมงานด้านมาตรฐานและการรับรองในส่วนภูมิภาคกับ ASEAN Consultative Committee for Standards and Quality ACCSQ และ Asia Pacific Economic Cooperation: Standards and conformance Sub-Committee (APEC/CTI/SCSC) นอกจากนี้ยังได้เข้าร่วมเป็นสมาชิกในกลุ่ม Pacific Area Standards Congress PASC

### 2.1.3.8 การส่งเสริมมาตรฐานและพัฒนาด้านการมาตรฐาน

สมอ. ดำเนินการส่งเสริมและสนับสนุนให้ภาคเอกชน และหน่วยงานภาครัฐพัฒนาระบบการจักการให้สอดคล้องกับหลักปฏิบัติมาตรฐานสากล เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาขีดความสามารถของอุตสาหกรรม และเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันทางการค้าระหว่างประเทศ และส่งเสริมเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ สร้างความเข้าใจแก่ผู้ผลิต ผู้บริโภค และผู้เกี่ยวข้องทุกระดับ เพื่อให้ตระหนักถึงความสำคัญของคุณภาพ และการมาตรฐาน และนำไปใช้ เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ

### 2.1.3.9 การพัฒนาบุคลากร

สมอ. ได้ดำเนินการพัฒนาบุคลากรด้านการมาตรฐานทั้งภาครัฐ และเอกชนให้มีขีดความสามารถที่จะดำเนินการด้านมาตรฐาน ให้สอดคล้องกับสากล และเป็นที่ยอมรับมาตรฐาน มอก. ที่ใช้อ้างอิงในการกำหนดคุณสมบัติของสายไฟฟ้า เช่น มอก.11, มอก. 293, มอก.838 เป็นต้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและมาตรฐานนานาชาติ สำหรับใช้ในประเทศ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, ม.ป.ป.)

### 2.1.4 National Electrical Code (NEC) หรือ NFPA 70

เป็นมาตรฐานที่ยอมรับในระดับภูมิภาคสำหรับการติดตั้งสายไฟและอุปกรณ์อย่างปลอดภัยในสหรัฐอเมริกา เป็นส่วนหนึ่งของชุดรหัสไฟแห่งชาติที่เผยแพร่โดยสมาคมป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติ National Fire Protection Association (NFPA) ซึ่งเป็นสมาคมการค้าเอกชน[1] แม้จะมีการใช้คำว่า "ระดับชาติ" แต่ก็ไม่ใช่กฎหมายของรัฐบาลกลาง โดยทั่วไปจะใช้โดยรัฐและเทศบาลในความพยายามที่จะสร้างมาตรฐานการบังคับใช้การปฏิบัติทางไฟฟ้าที่ปลอดภัย[2] ในบางกรณี NEC ได้รับการแก้ไข เปลี่ยนแปลง และอาจถูกปฏิเสธแทนข้อบังคับระดับภูมิภาคตามที่องค์กรปกครองท้องถิ่นลงคะแนนเสียง

NEC ได้รับการพัฒนาโดยคณะกรรมการของ NFPA ว่าด้วยรหัสไฟฟ้าแห่งชาติ ซึ่งประกอบด้วยแผงสร้างรหัสยี่สิบชุดและคณะกรรมการที่เกี่ยวข้องทางเทคนิคหนึ่งชุด งานเกี่ยวกับ NEC ได้รับการสนับสนุนจากสมาคมป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติ NEC ได้รับการอนุมัติให้เป็นมาตรฐานแห่งชาติของอเมริกาโดย American National Standards Institute (ANSI) มีการระบุอย่างเป็นทางการว่า ANSI/NFPA 70

NEC เผยแพร่ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2440 และเผยแพร่ทุกๆ 3 ปี โดยฉบับปี 2020 เป็นฉบับล่าสุด รัฐส่วนใหญ่นำฉบับล่าสุดมาใช้ภายในเวลาไม่กี่ปีหลังจากตีพิมพ์ เช่นเดียวกับรหัส "เครื่องแบบ" ใดๆ เขตอำนาจศาลอาจละเว้นหรือแก้ไขบางส่วนเป็นประจำ หรือเพิ่มข้อกำหนดของตนเอง (บางครั้งขึ้นอยู่กับ NEC เวอร์ชันก่อนหน้า หรือแนวทางปฏิบัติที่ยอมรับในท้องที่) อย่างไร

ก็ตาม ไม่มีศาลใดจับผิดใครก็ตามที่ใช้ NEC เวอร์ชันล่าสุด แม้ว่าจะไม่ได้อัปเดตรหัสท้องถิ่นก็ตาม [5]

ในสหรัฐอเมริกา ใครก็ตาม รวมทั้งเมืองที่ออกใบอนุญาตก่อสร้าง อาจต้องเผชิญกับคดีความรับผิดทางแพ่งที่เกิดจากการสร้างสถานการณ์โดยประมาทเลินเล่อซึ่งส่งผลให้เสียชีวิตหรือทรัพย์สิน ผู้ที่ไม่ปฏิบัติตามแนวทางปฏิบัติด้านความปลอดภัยที่เป็นที่ทราบกันดีถือว่าประมาทเลินเล่อ ความรับผิดนี้และความปรารถนาที่จะปกป้องผู้อยู่อาศัยได้กระตุ้นให้เมืองต่างๆ ปรับใช้และบังคับใช้รหัสอาคารที่กำหนดมาตรฐานและแนวปฏิบัติสำหรับระบบไฟฟ้า (รวมถึงแผนกอื่นๆ เช่น ระบบน้ำและก๊าซเชื้อเพลิง) สิ่งนี้สร้างระบบที่เมืองสามารถหลีกเลี่ยงการฟ้องร้องได้ดีที่สุดโดยใช้กฎหมายรหัสอาคารมาตรฐานชุดเดียว สิ่งนี้ทำให้ NEC กลายเป็นชุดมาตรฐานของข้อกำหนดทางไฟฟ้าโดยพฤตินัย ช่างไฟฟ้าที่ได้รับอนุญาตจะใช้เวลาหลายปีในการศึกษาและฝึกฝนข้อกำหนดของ NEC ก่อนที่จะได้รับใบอนุญาต

ส่วนขยายที่กำหนดเองของการปิดใช้งานและการรื้อถอน (D&D) ของมาตรฐานรหัสไฟฟ้าที่กำหนดโดยรหัสไฟฟ้าแห่งชาติได้รับการพัฒนาเนื่องจากมาตรฐานทางวิศวกรรมในปัจจุบันและข้อกำหนดด้านรหัสไม่ได้ระบุสถานการณ์เฉพาะที่เกิดขึ้นระหว่างกิจกรรม D&D ที่โรงงานของกระทรวงพลังงานสหรัฐ (DOE) อย่างเพียงพอ จำเป็นต้องมีคำแนะนำเพิ่มเติมเพื่อชี้แจงรหัสไฟฟ้าในปัจจุบันสำหรับสถานการณ์เหล่านี้ เอกสารแนวทางให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการตีความบทความที่เลือกของ NFPA 70, “รหัสไฟฟ้าแห่งชาติ” (NEC) โดยเฉพาะอย่างยิ่งบทความภายในมาตรา 590, “ไฟฟ้าชั่วคราว” สำหรับกิจกรรมไฟฟ้า D&D ที่ไซต์ของ DOE[7]

NEC ยังมีข้อมูลเกี่ยวกับคำจำกัดความอย่างเป็นทางการของ HAZLOC และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องที่กำหนดโดยสำนักงานความปลอดภัยและอาชีวอนามัยและการจัดการกับสถานที่อันตราย เช่น บรรยากาศที่ระเบิดได้

การจำแนกกฎแรงดันสูงและต่ำ (High and low voltage rule classification)

รหัสไฟฟ้าทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างแรงดันไฟฟ้า "สูง" ที่สูงกว่า 100 V และแรงดันไฟฟ้า "ต่ำ" ที่ต่ำกว่านั้น สำหรับวงจรที่กำหนดเป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำ ในเขตอำนาจศาลบางแห่ง ไม่จำเป็นต้องมีใบอนุญาต การฝึกอบรม หรือการรับรองผู้ติดตั้ง และไม่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบงานที่เสร็จสมบูรณ์สำหรับงานที่อยู่อาศัยหรือพาณิชยกรรม การเดินสายไฟฟ้าแรงต่ำในผนังและเพดานของอาคารพาณิชย์มักไม่รวมอยู่ในข้อกำหนดในการติดตั้งในท่อร้อยสายป้องกัน

เหตุผลที่ถูกต้องในการเลือก 100 V เนื่องจากการแบ่งระหว่างสูงและต่ำนั้นไม่ชัดเจน แต่ปรากฏว่าขึ้นอยู่กับความคิดที่ว่าบุคคลสามารถสัมผัสสายไฟที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำด้วยมือเปล่าที่แห้งและไม่ถูกไฟฟ้าดูดบาดเจ็บ หรือถูกฆ่า โดยทั่วไปแล้วจะเป็นจริงสำหรับระบบ 12 V แต่จะมีความคลุมเครือมากขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 100 V

ความหมายยังแตกต่างกันไปเมื่อใช้กระแสสลับ เนื่องจากมีแรงดันกำลังสองเฉลี่ยรูต (RMS) (120 V) ที่รู้จักกันทั่วไป แต่ยังมีแรงดันคลื่นสูงสุด (170 V) ตัวอย่างเช่น โทรศัพท์ใช้สายเคเบิลแรงดันต่ำ แต่เสียงเรียกเข้าจากสำนักงานกลางมีแรงดันไฟฟ้า RMS ที่ 60-105 V

แม้ว่าการเดินสายไฟฟ้าแรงต่ำไม่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบหรือการฝึกอบรมเพื่อติดตั้งในเขตอำนาจศาลบางแห่ง แต่ผู้ติดตั้งยังคงต้องตระหนักถึงกฎความปลอดภัยที่เฉพาะเจาะจง เช่น วิธีการเจาะกำแพงกั้นอัคคีภัยในอาคารอย่างถูกต้อง

"ผู้มีอำนาจที่มีเขตอำนาจศาล" ตรวจสอบการปฏิบัติตามมาตรฐานเหล่านี้ [3][4] ไม่ควรสับสน NEC กับรหัสความปลอดภัยทางไฟฟ้าแห่งชาติ (NESC) ที่เผยแพร่โดยสถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE) NESC ใช้สำหรับระบบไฟฟ้าและระบบสาธารณูปโภคด้านการสื่อสาร รวมถึงสายเหนือศีรษะ สายใต้ดิน และสถานีไฟฟ้าย่อย (NFPA, 2022)

## 2.2 พื้นฐานความรู้ด้านวิศวกรรมไฟฟ้า

### 2.2.1 ความปลอดภัยทางไฟฟ้า

ความปลอดภัยทางไฟฟ้า เป็นเรื่องสำคัญเรื่องแรกในการปฏิบัติงานการติดตั้งทางไฟฟ้า การใช้งาน ช่วงเวลาการอยู่ในสถานที่ก่อสร้างสถานที่ปฏิบัติงาน การซ่อมบำรุง รวมถึงงานใดๆ ก็ตาม ให้เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้าเบื้องต้น ต้องมีการทำความเข้าใจและปฏิบัติอย่างเคร่งครัด เช่น การทำงานในสถานที่ต่ำกว่าระดับผิวดิน ห้องใต้ดิน ควรใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟ โดยห้ามใช้เทียนไข หรือ ตะเกียง เพราะสถานที่ดังกล่าวนั้นมีออกซิเจนต่ำ จะทำให้แสงสว่างดังกล่าวดับลงได้เมื่อมีการติดไฟ รวมถึงการใช้ไฟฉายมือถือธรรมดา ถ่านไฟฉายนั้นก็อาจหมดได้ ดังนั้นความปลอดภัยทางไฟฟ้าเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า ต้องพิจารณาดังนี้

#### 2.2.1.1 การใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลเบื้องต้น

เป็นอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในการทำงานทางไฟฟ้า (Personal Protective Equipment : PPE) หมายถึง อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล อุปกรณ์สำหรับผู้ปฏิบัติงาน เพื่อสวมใส่ขณะทำงาน เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น ขณะปฏิบัติงาน หรือ ช่วงเวลาที่อยู่ในสถานที่ปฏิบัติงาน สถานที่ก่อสร้าง เพื่อความปลอดภัยส่วนบุคคล โดยมีอุปกรณ์ความปลอดภัย ปัจจุบันการทำงานกับไฟฟ้าต้องคำนึงถึงระดับแรงดันและกระแสลัดวงจรหรือกระแสอาร์คที่จะปฏิบัติงานร่วมด้วย ดังนี้

- **หมวกนิรภัย ประเภท B** ทำจากพลาสติกสังเคราะห์ / ไฟเบอร์กลาส : ไม่มีรูที่หมวกสำหรับกระแสไฟฟ้าแรงสูง




**รูปที่ 2.2** หมวกนิรภัยสำหรับกระแสไฟฟ้าแรงดันสูง

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.

- **หมวกนิรภัย ประเภท D** ทำจากพลาสติกสังเคราะห์ / ไฟเบอร์กลาส : งานดับเพลิง ป้องกันอัคคีภัย ไม่ไหม้ไฟ ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า



**รูปที่ 2.3** หมวกนิรภัย

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.; จาก หมวกดับเพลิง, (n.p) โดย Bullard, https://santofire.co.th/product/firehelmet-bullard-fx/

- **รองเท้านิรภัย** ถือเป็นอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า ที่สวมใส่เพื่อความปลอดภัยในขณะปฏิบัติงาน และในสถานที่ก่อสร้าง



**รูปที่ 2.4** รองเท้านิรภัย

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p. ; จาก *Safety Boots*, (n.p) โดย B&Q, https://images.app.goo.gl/oiei7VdvMpLZ6G9Q9

- **ถุงมือ** ถือเป็นอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ที่มีความสำคัญขณะปฏิบัติงานทางไฟฟ้า ถุงมือยาง สำหรับงานไฟฟ้า

หมายเหตุ. จาก บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.



**รูปที่ 2.5** ถุงมือยาง

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.

- **แว่นตา** ถือเป็นอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า ที่สวมใส่ขณะปฏิบัติงาน เช่น งานเจาะ งานเชื่อม งานตัด ที่อาจเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานทางไฟฟ้าได้



**รูปที่ 2.6** แว่นตา

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.

- **ที่ปิดหู** ถือเป็นอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า ที่สวมใส่ขณะปฏิบัติงาน เช่น งานเจาะ งานเชื่อม งานตัด ที่อาจเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า ในส่วนงานที่มีเสียงดังเกินกว่าระดับที่หูสามารถรับได้



**รูปที่ 2.7** ที่ปิดหู

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.; จาก *ปลั๊กอุดหู*, (n.p) โดย PNG, https://images.app.goo.gl/uzADL8st51RdG2mY7; จาก E*arplug*, (n.p) โดย ACORMEX, https://images.app.goo.gl/2mzvyrNwBShrs8t88

- **เข็มขัดรัด (Safety belt)** เป็นอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า ที่สวมใส่ขณะปฏิบัติงานที่ต้องขึ้นที่สูง โดยความสูงที่มากกว่า 2 เมตร จากระดับพื้น จะต้องสวมใส่ Safety belt ขณะปฏิบัติงาน เพื่อป้องกันการตกจากที่สูง จากการวิจัยการตกจากที่สูงเพียง 1.8 เมตร จะมีแรงกระชากมากกว่า 22 เท่าของน้ำหนักตัว แต่ถ้ามีอุปกรณ์ลดแรงกระแทก(เช่น Safety belt หรือ บันได ฯลฯ) แรงกระชากจะลดลงเหลือเพียง 3.7 เท่า ของน้ำหนักตัว ที่ระดับความสูง 1.8 เมตร ดังนั้นการใช้บันได หรือ Safety belt ถือเป็นส่วนสำคัญสำหรับการปฏิบัติงานบนที่สูง



**รูปที่ 2.8** เข็มขัดรัด (Safety belt)

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.

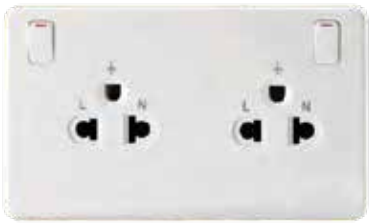
- **อุปกรณ์ฉนวนยาง** เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นด้วยวัสดุที่เป็นยาง ซึ่งยางถือเป็นฉนวน โดยยางที่ใช้และกรรมวิธีการผลิตที่สามารถแบ่งแยกประเภทและคุณสมบัติที่แตกต่างออกไปหลากหลายระดับ เช่น ระดับแรงดันที่ใช้งาน ซึ่งมีผลต่างกันมาก ระหว่างที่ใช้กับระบบไฟฟ้าแรงดันสูง แรงดันปานกลาง แรงดันต่ำ



**รูปที่ 2.9** อุปกรณ์ฉนวนยาง

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.; จาก *Insulated equipment*, (n.p) โดย Freepik, https://images.app.goo.gl/RVFr1Rv9iLysQpz4A; จาก *Powerlines*, (n.p) โดย Linkedin, https://images.app.goo.gl/KmzmtvPQaUbrLwtKA

**- เครื่องกั้นและเครื่องหมาย** เครื่องกั้นและเครื่องหมายเป็นสิ่งที่กั้นไม่ให้เข้าถึงส่วนหรือพื้นที่ที่อันตราย หรือเป็นการบ่งชี้ด้วยเครื่องหมายให้ทราบถึงส่วนหรือพื้นที่ที่อันตรายไม่ให้เข้าถึงนั้นเอง



**รูปที่ 2.10** เครื่องกั้นและเครื่องหมาย

หมายเหตุ. จาก *Transformer station*, (n.p) โดย Adobe Stock, https://images.app.goo.gl/39BLAcqW83TTJyD; จาก *Grid Security*, (n.p) โดย T&D World, https://images.app.goo.gl/QcQzyXgjoghzwPVf8; จาก *Denger electric*, (n.p) โดย Amazon, https://images.app.goo.gl/SkQ2TZXe9Nsgrfzr8; จาก *เอกสารทางเทคนิคสวิตช์และเต้ารับ*, โดย บริษัท บริษัท นาโน อิเลคทริค จำกัด, ม.ป.ป.ข, ม.ป.พ.

**- อุปกรณ์ล็อคและป้าย**






**รูปที่ 2.11** อุปกรณ์ล็อคและป้าย

หมายเหตุ. จาก *Key lock*, (n.p) โดย Freepik, https://images.app.goo.gl/cpNuW5cvSWWZJ69E9; จาก *Key locked*, (n.p) โดย 123RF, https://images.app.goo.gl/aLieKWWMzGciyAYS7

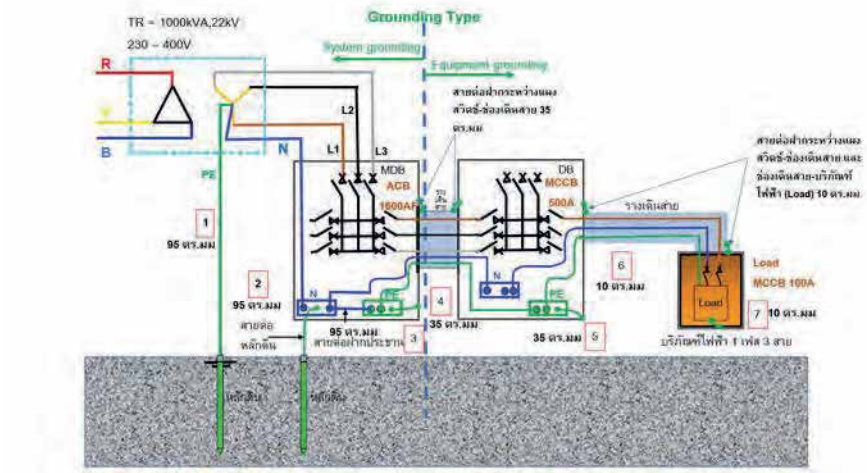
- ชุดต่อลงดิน



**รูปที่ 2.12** ชุดต่อลงดิน

หมายเหตุ. จาก *Technical Catalogue and photo*, โดย Kumwell Corporation CO.,LTD., n.d., n.p.

- **แบบไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัย** เป็นการใช้หลักการทางวิศวกรรม หรือ ใช้เทคโนโลยี หรือ สัญลักษณ์ หรือ การบ่งชี้ เพื่อการป้องกัน และความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า




**รูปที่ 2.13** แบบไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัย

### 2.2.1.2 การป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้า

**ไฟฟ้าช็อต (Electric Shock)** เป็นภาวะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสู่ร่างกายมีผลทำให้กล้ามเนื้อเกิดการเกร็ง อาจทำให้เกิดอาการเกร็งและจับแน่น จนไม่สามารถสะบัดให้หลุดออกจากกระแสไฟฟ้าที่ถูกดูดได้ อีกส่วนหนึ่งคือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสู่ร่างกาย ในเวลาหนึ่งที่อาจทำให้เสียชีวิตได้ ดังนั้น ความรุนแรงของการเกิดไฟฟ้าช็อตจะถูกกำหนดโดย 3 องค์ประกอบ คือ

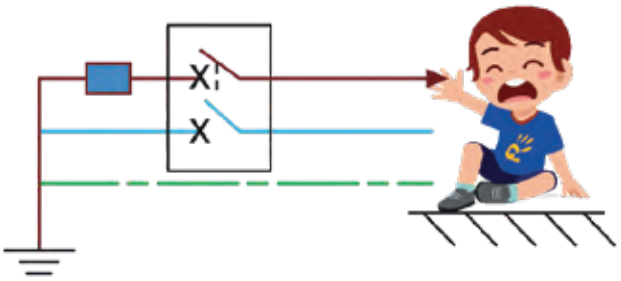
1. ปริมาณกระแสที่ไหล
2. ระยะเวลาที่กระแสไหลผ่าน
3. เส้นทางหรือส่วนที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสู่ร่างกายลงดินครบวงจร เราจึงถูกไฟฟ้าช็อต

### 2.2.2 การถูกไฟฟ้าช็อตจากการสัมผัส

สามารถแยกแยะตามลักษณะการสัมผัสได้เป็น 2 แบบคือ

**2.2.2.1 การสัมผัสโดยตรง** (direct contact)

คือการที่ส่วนใดๆ ของร่างกายสัมผัสถูกส่วนที่มีไฟฟ้าโดยตรง เช่น การสัมผัสสายไฟฟ้าที่ฉนวนชำรุด ทำให้เกิดการสัมผัสกับส่วนที่มีไฟของสายไฟฟ้า หรือ การที่มีเด็กเอาโลหะใดๆ แหย่เข้าไปที่เต้ารับไฟฟ้าทำให้เกิดการสัมผัสโดยตรง



**รูปที่ 2.14** การสัมผัสโดยตรง

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ,* สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.

**การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสโดยตรง**

1. การตรวจสอบความเป็นฉนวนของส่วนที่นำกระแสไฟฟ้า ในส่วนของสายไฟฟ้า ว่าฉนวนของสายไฟฟ้าไม่เกิดการชำรุดหรือเสียหายจากการติดตั้ง หรือ การใช้งาน หรือ สภาพที่การใช้งานของสายไฟฟ้าหรือฉนวนที่หมดอายุ



**รูปที่ 2.15** การตรวจสอบฉนวนชำรุด

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ,* สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.; จาก *สายไฟ*, (n.p) โดย Q-CHANG, https://images.app.goo.gl/8B6BZoRNoXDxAe7m8

2. การกั้น หรือ ส่วนการกั้น หรือ การใส่ตู้ หรือ ฝาครอบที่ปลอดภัย การกั้นถือเป็นการป้องกันอันตรายการสัมผัสโดยตรง เช่น เต้ารับไฟฟ้า ต้องมีม่านนิรภัยที่ป้องกันอันตรายจากเด็ก หากเด็กมีการแหย่โลหะเข้ารูใดรูหนึ่งของเต้ารับ ม่านนิรภัยจะปิดไม่สามารถที่จะแหย่เข้าไปได้ ซึ่งม่านนิรภัยของเต้ารับจะทำงานก็ต่อเมื่อมีการเสียบพร้อมกันทั้ง 3 รู ม่านนิรภัยจึงจะเปิดได้



**รูปที่ 2.16** การกั้น หรือ ส่วนการกั้นทางไฟฟ้า

หมายเหตุ. จาก *มิเตอร์ไฟฟ้า*, (n.p) โดย Springnews, https://images.app.goo.gl/GThWoVSvpT9rUo857; จาก *เอกสารทางเทคนิคสวิตช์และเต้ารับ*, โดย บริษัท บริษัท นาโน อิเลคทริค จำกัด, ม.ป.ป.ข, ม.ป.พ.

3. สิ่งกีดขวางหรือการทำรั้วกั้น เครื่องกั้นและเครื่องหมายเป็นสิ่งที่กั้นไม่ให้เข้าถึงส่วนหรือพื้นที่ที่อันตราย หรือเป็นการบ่งชี้ด้วยเครื่องหมายให้ทราบถึงส่วนหรือพื้นที่ที่อันตรายไม่ให้เข้าถึง



**รูปที่ 2.17** สิ่งกีดขวางหรือการทำรั้วกั้น

4. อยู่ในระยะที่ไม่สามารถเอื้อมถึงได้



**รูปที่ 2.18** ระยะที่ไม่สามารถเอื้อมถึงได้

5. การใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล



**รูปที่ 2.19** การใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

หมายเหตุ. จาก *Safety guards*, (n.p) โดย Freepik, https://images.app.goo.gl/GpmjimzuSQxucdoo6

6. การใช้อุปกรณ์ป้องกัน เพื่อตัดกระแสไฟฟ้ารั่ว



**รูปที่ 2.20** เครื่องตัดไฟรั่ว

หมายเหตุ. จาก *เอกสารทางเทคนิคอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ*, โดย บริษัท เอวีร่า จำกัด, ม.ป.ป.ข;

**2.2.2.2 การสัมผัสโดยอ้อม (In-direct contact)**

คือ การที่ส่วนใดๆของร่ายกายสัมผัสถูกอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นเกิดการชำรุดทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น จึงเป็นการสัมผัสโดยอ้อมทางไฟฟ้า เช่น ตู้เย็นที่มีการใช้งานมานาน เกิดกระแสไฟฟ้ารั่ว หากมีการไปจับส่วนที่เป็นโลหะหรือส่วนที่มีความชื้นและมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ณ จุดนั้น ก็จะทำให้เกิดการสัมผัสกระแสไฟฟ้าโดยอ้อมนั้นเอง

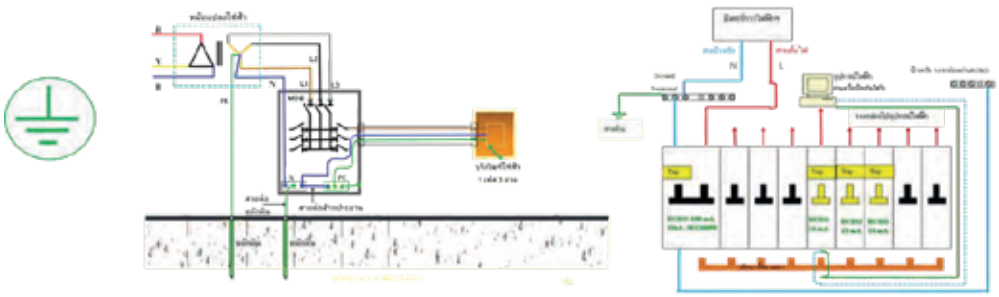


**รูปที่ 2.21** การสัมผัสโดยอ้อม

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.

**การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสโดยอ้อม**

1. การต่อสายไฟของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ลงดิน การต่อลงดินเป็นการป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้าขั้นพื้นฐานที่ดี ถูกต้องตามหลักการทางวิศวกรรมฯ



**รูปที่ 2.22** การต่อสายดินของอุปกรณ์และการต่อสายดินของระบบไฟฟ้า

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.

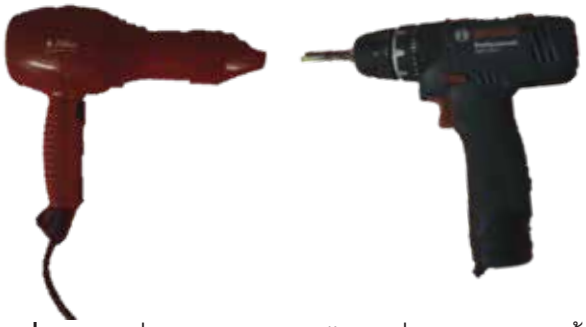
2. ติดตั้งเครื่องปลดวงจรไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ เป็นการป้องกันการเกิดกระแสไฟฟ้าโดยการตัดต่อวงจร ป้องกันการลัดวงจรและป้องกันกระแสไฟเกิน ถือเป็นการป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้าได้ส่วนหนึ่ง



**รูปที่ 2.23** เครื่องปลดวงจร หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

3. ใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีฉนวนหุ้มสองชั้น เป็นการป้องกันการสัมผัสทางไฟฟ้าระหว่างเครื่องใช้ไฟฟ้าและผู้ใช้ฯ ซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีฉนวน 2 ชั้น เช่น เครื่องเป่าผม สว่าน เป็นต้น



**รูปที่ 2.24** เครื่องมือหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีฉนวนหุ้มสองชั้น

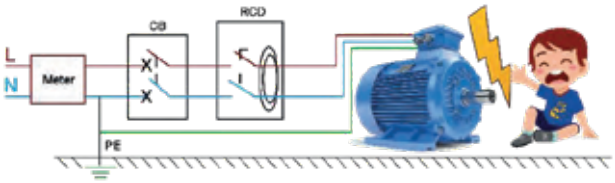
4. ใช้แรงดันไฟฟ้าระดับต่ำพิเศษ เป็นการใช้ระดับแรงดันที่ไม่เกินอันตรายทางไฟฟ้า เพราะมีระดับแรงดันที่ต่ำ เช่น ระบบไฟฟ้าของสระว่ายน้ำ หรือ อาจเป็นระบบไฟฟ้าชนิดพิเศษ Isolated transformer เช่นใน ระบบไฟฟ้าภายในห้องผ่าตัด



**รูปที่ 2.25** ระบบไฟฟ้าและแสงสว่างของสระว่ายน้ำ

หมายเหตุ. จาก *Swimming pool*, (n.p) โดย 123RF, https://images.app.goo.gl/mhWpd9hboFnrdsLY6

5. ใช้เครื่องตัดไฟรั่วหรืออุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่ว เป็นการป้องกันอันตรายทางไฟฟ้าได้ดีระดับขั้นที่ 2 หลังจากมีการต่อลงดิน โดยการใช้เครื่องตัดไฟรั่วจะสามารถป้องกันชีวิตและทรัพย์สินได้อย่างดี




**รูปที่ 2.26** การใช้เครื่องตัดไฟรั่ว

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โซติอนันต์ ครีเอชั่น.

### 2.2.3 กำหนดมาตรการป้องกัน และควบคุมทางกฎหมาย ข้อบังคับ

หรือ ระเบียบการทำงาน มีดังนี้

- ใช้เครื่องป้องกันวงจรไฟฟ้าที่ถูกต้องและเหมาะสม
- ป้องกันอย่าให้เกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร
- ไม่เดินสายหรือติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าใกล้แหล่งกำเนิดความร้อน
- ต่อสายให้แน่นสนิท
- ใช้ผู้ชำนาญการในการติดตั้งอุปกรณ์ เดินสายไฟ
- เลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน
- ไม่มีเชื้อเพลิงใกล้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า
- ตรวจสอบเป็นประจำ
- เมื่อพบอาการผิดปกติต้องรีบแก้ไข และหาสาเหตุ

ความรุนแรงของการบาดเจ็บจากไฟฟ้าช็อกขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ดังต่อไปนี้

1. ชนิดของกระแสไฟฟ้า โดยไฟฟ้ากระแสตรง ความถี่กระแสไฟฟ้าสูงจะมีอันตรายน้อยกว่าไฟฟ้ากระแสสลับหรือความถี่ไฟฟ้าต่ำ

2. ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ค่าความต่างศักย์ที่สูงจะทำให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายมาก โดยถ้าสัมผัสกระแสไฟฟ้าที่มีค่าความต่างศักย์ที่มากกว่า 600 โวลต์จะสามารถทำให้เกิดการบาดเจ็บจนทำให้เสียชีวิตได้

3. ระยะเวลาที่สัมผัสไฟฟ้า ยิ่งสัมผัสนาน กระแสไฟฟ้าจะยิ่งเข้าสู่ร่างกายและเกิดการบาดเจ็บมาก

4. ตำแหน่งของร่างกายที่สัมผัสไฟฟ้า โดยพิจารณาจากทางเข้าทางออกของกระแสไฟฟ้า ถ้ากระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านอวัยวะภายใน ก็จะเกิดอันตรายมากกว่า

### 2.2.4 การปฐมพยาบาลเบื้องต้น

สำหรับผู้ที่ถูกไฟฟ้าช็อต หรือ ไฟดูด

1. การตั้งสติ โดยการสำรวจรอบๆ ว่ายังคงมีต้นเหตุ คือ กระแสไฟฟ้า หรือ สายไฟ หรือตัวนำที่ไปสัมผัสกับส่วนมีไฟหรือไม่ ต้องหาไม้หรือฉนวน เขี่ยเอาสายไฟ หรือ ตัวนำที่สัมผัสอยู่นั้นๆ ออกให้ห่างก่อน หากสามารถเลือกทำได้ก่อน ต้องตัดกระแสไฟฟ้าจุดที่มีปัญหา หรือ ที่ควบคุมในบริเวณนั้นออกก่อน เพราะบ่อยครั้ง พบว่าผู้เข้าไปช่วยเหลือผู้ป่วยที่ไม่ได้ระวังตรงจุดนี้กลับถูกกระแสไฟฟ้าดูดเสียชีวิตไปด้วย ส่วนนี้จึงจำเป็นต้องป้องกันอันตรายไฟฟ้าดูดของผู้ที่จะเข้าไปช่วยเหลือก่อน

2. การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกจากบริเวณที่ถูกไฟดูด ไฟช็อตให้เร็วที่สุด เพื่อการปฐมพยาบาลเบื้องต้น หรือหากอยู่ในที่ๆ ปลอดภัยแล้ว ก็ไม่ควรเคลื่อนย้าย ถ้าไม่ทราบอาการ หรือไม่สามารถประเมินสถานการณ์ได้ เพราะการเคลื่อนย้ายอาจทำให้ผู้ป่วยอัมพาตได้ ก็ควรปฐมพยาบาลที่บริเวณที่ปลอดภัยนั้นได้ โดยต้องพยายามตรวจดูให้ละเอียดถึง สภาพที่หน้างานที่ได้รับบาดเจ็บ เพราะอาจเกิดร่วมกับผู้ป่วยที่ถูกไฟฟ้าดูดได้เช่น อาจพลัดตกจากที่สูง อาจมีการบาดเจ็บที่ศีรษะ หรือ กระดูกส่วนต่างๆเช่น กระดูกคอ กระดูกแขนขา กระดูกสันหลังหักร่วมด้วย เพราะฉะนั้นต้องให้ความเอาใจใส่และระมัดระวังในจุดนี้โดยเฉพาะการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกจากที่เกิดเหตุ เพราะถ้าทำไม่ถูกต้องอาจเกิดความพิการอัมพาตตามมาได้

3. ตรวจดูหัวใจว่าหยุดเต้นหรือไม่ เพราะกระแสไฟฟ้าแรงสูงที่ไหลผ่านหัวใจอาจทำให้คลื่นหัวใจหยุดเต้นได้ โดยใช้นิ้วมือคลำดูจากการเต้นของชีพจรบริเวณคอ ถ้าหัวใจหยุดเต้น ต้องทำการนวดหัวใจไปพร้อมๆกับการผายปอด

4. หลังจากช่วยเหลือผู้ป่วยเบื้องต้นแล้ว ให้นำส่งโรงพยาบาลโดยเร็วที่สุด

### 2.2.5 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่อาจเป็นอันตราย

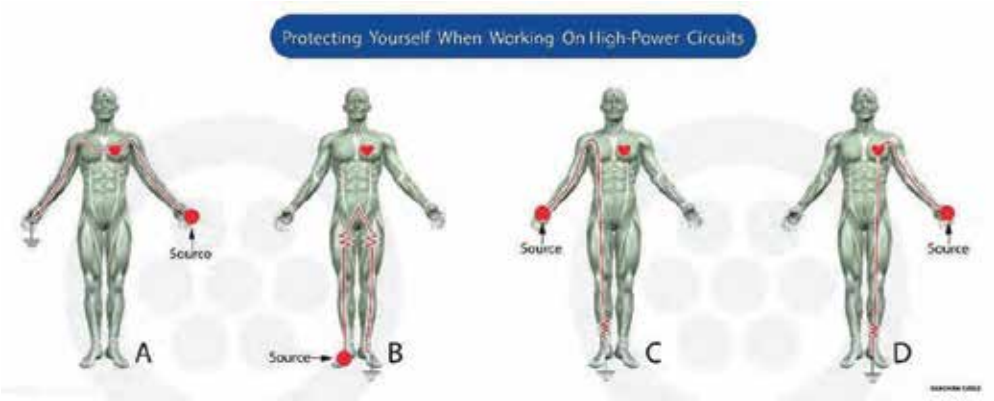
กระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่านร่างกายมนุษย์ อันดับแรกจะขึ้นอยู่กับจุดหรืออวัยวะที่สัมผัสกับกระแสไฟฟ้า และไหลผ่านร่างกายไปสู่อวัยวะอีกส่วน




**รูปที่ 2.27** พื้นที่อันตรายจากกระแสไฟฟ้า

หมายเหตุ. จาก *Transformer station*, (n.p) โดย Adobe Stock, https://images.app.goo.gl/39BLAcq

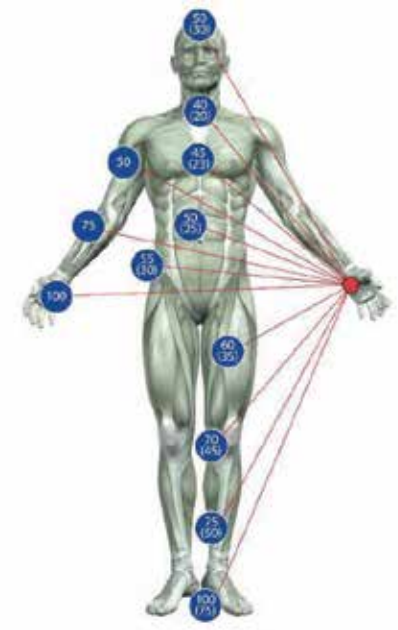
ดังนั้นจึงเป็นส่วนสำคัญสำหรับการใช้อวัยวะหรือการใช้มือขวาเป็นมือหลัก เป็นมือถนัด เพราะจะเป็นการลดความเสี่ยงในการไม่ให้มีกระแสไหลผ่านหัวใจ ที่เป็นฝั่งซ้ายมือนั้นเอง จากการวิจัยหาทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่จะผ่านร่ายกาย ดังภาพที่ประกอบ




**รูปที่ 2.28** ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่จะผ่านร่างกาย

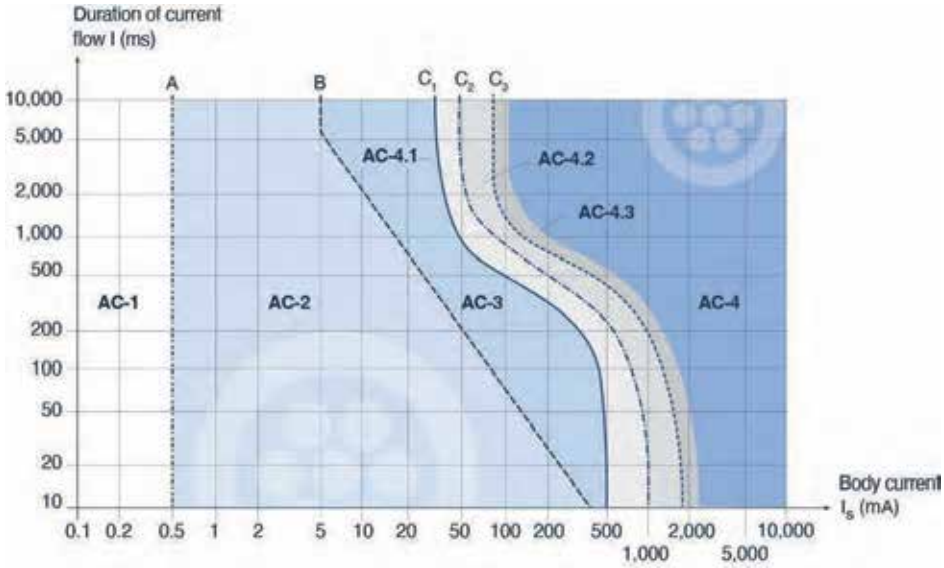
หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่านเข้าสู่ร่ายการมนุษย์ของแต่ละคนจะไม่เท่ากันจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่ต่าง และที่สำคัญคือ อิมพีแดนซ์ภายในร่างกายของแต่ละคน ดังภาพที่ประกอบ




**รูปที่ 2.29** อิมพีแดนซ์ระหว่างทั้งสองมือกับอวัยวะส่วนต่างๆ

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.
โดยตัวเลขในวงเล็บ เป็นกรณีที่มีการจับกระแสไฟฟ้า พร้อมกัน ทั้งสองมือ โดยมีอิมพีแดนซ์ระหว่างทั้งสองมือกับอวัยวะส่วนต่างๆ




**รูปที่ 2.30** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและปริมาณกระแสที่ไหลผ่านเข้าสู่ร่างกาย หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.; จาก *IEC60479-1 Effects of current on human beings and livestock - Part 1: General aspects*, IEC,2018.

จากกราฟ เป็นช่วงเวลา และกระแสที่ไหลเข้าสู่ร่างกาย ตามมาตรฐาน IEC60479-1 เป็นปริมาณกระแสที่ไหลเข้าสู่ร่างกายและช่วงเวลาต่างๆ มีดังนี้

- โซน AC-1 จากเส้นแนวตั้งทางซ้ายสุด ถึงเส้น A ระดับกระแสที่ 0.5 mA เป็นช่วงที่ปลอดภัย รับความรู้สึก
- โซน AC-2 จากเส้น A (0.5 mA) ถึงเส้น B (5 mA) เป็นช่วงที่ยังปลอดภัย เริ่มมีปฏิกิริยา
- โซน AC-3 จากเส้น B (5 mA) ถึงเส้น $C_1$ (500 mA) เป็นช่วงอันตราย หัวใจเต้นผิดจังหวะ
- โซน AC-4 จากเส้น $C_1$(500 mA) ขึ้นไป เป็นช่วงอันตรายมาก หายใจลำบาก หัวใจหยุดเต้น และเกิดการไหม้รุนแรงจากปริมาณกระแสไฟฟ้า
- โซน AC-4.1 ช่วงระหว่าง $C_1$ - $C_2$ เป็นช่วงอันตราย หัวใจเต้นผิดจังหวะอาจจะพริ้วไหวได้

**จากกราฟฯ ดังนั้น เครื่องตัดไฟรั่ว จึงมีระดับการป้องกันมนุษย์ที่ระดับกระแสไฟรั่วที่ 30 mA หรือ ที่ 10 mA โดยห้ามให้เครื่องตัดไฟรั่วมีการปรับตั้งระดับกระแสไฟรั่วได้ และห้ามให้มีการลัดวงจรหรือ Bypass วงจรตัดไฟรั่ว**

### 2.2.5.1 สัญลักษณ์ความปลอดภัย



เครื่องใช้ไฟฟ้ามีฉนวนมูลฐานและมีต่อสายดินที่เปลือกไว้ด้วย
หรือ เรียกว่า ฉนวน 2 ชั้น



เครื่องใช้ไฟฟ้าป้องกันช็อกไฟฟ้า ไม่ขึ้นกับฉนวนมูลฐาน
อย่างเดียว เป็นฉนวนเสริม



แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อันตราย

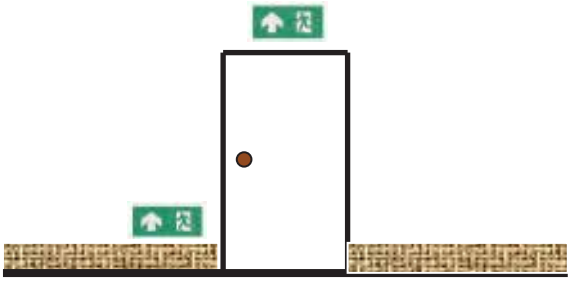



ไฟฟ้ากระแสสลับ มีสายเป็นกลาง (นิวทรัล)




**รูปที่ 2.31** สัญลักษณ์ความปลอดภัย

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.; จาก *Safety signed*, (n.p) โดย Qulity circle, https://images.app.goo.gl/eTrPvGFZBjhCj1gy7



**รูปที่ 2.32** โคมไฟฟ้าป้ายทางออกฉุกเฉิน และ ป้ายทางออกฉุกเฉิน

### 2.2.6 ระบบเมตริก

ระบบเมตริก (Metric System) คือ หน่วยวัดความยาวเป็น มิลลิเมตร เมตร กิโลเมตร หน่วยวัดน้ำหนักเป็นกรัม กิโลกรัม หน่วยวัดอุณหภูมิเป็น เซนติเกรด (ปัจจุบันเปลี่ยนเป็น เซลเซียส) ตารางที่ 2.1 และ 2.2 แสดงตัวอย่างหน่วยวัดความยาวและหน่วยวัดน้ำหนัก

**ตารางที่ 2.1** หน่วยวัดความยาวระบบเมตริก

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 10 | มิลลิเมตร | = | 1 | เซนติเมตร |
| 10 | เซนติเมตร | = | 1 | เดซิเมตร |
| 10 | เดซิเมตร | = | 1 | เมตร |
| 10 | เมตร | = | 1 | เดคาเมตร |
| 10 | เดคาเมตร | = | 1 | เฮกโตเมตร |
| 10 | เฮกโตเมตร | = | 1 | กิโลเมตร |

**ตารางที่ 2.2** หน่วยวัดน้ำหนักระบบเมตริก

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 10 | มิลลิกรัม | = | 1 | เซนติกรัม |
| 10 | เซนติกรัม | = | 1 | เดซิกรัม |
| 10 | เดซิกรัม | = | 1 | กรัม |
| 10 | เดคากรัม | = | 1 | เฮกโตกรัม |
| 10 | เฮกโตกรัม | = | 1 | กิโลกรัม |
| 1,000 | กิโลกรัม | = | 1 | เมตริกตันหรือตัน |

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.

การใช้งานเครื่องหมายสัญลักษณ์ของจำนวนเท่า หรือ เศษส่วนของตัวเลข

**ตัวอย่างที่ 2.1**

ถ้าความยาวขนาด 1 m 10 cm (1.1 m) จะมีค่าเท่ากับกี่มิลลิเมตร?

จาก 1 cm = 10 mm

10 cm = 100 mm

1 m = 100 cm หรือ 1000 mm

ดังนั้น 1.1 m = 1100 mm

**ตัวอย่างที่ 2.2**

จงหาค่าความต้านทานรวมของวงจรอนุกรมที่มีค่าความต้านทานดังนี้ (1 MΩ ,1 kΩ และ 1 Ω)

1 MΩ = 1,000,000 Ω

1 kΩ = 1,000 Ω

1 Ω = 1 Ω

ดังนั้น 1 MΩ ,1 kΩ และ 1 Ω = 1,001,001 Ω

**ตารางที่ 2.3** เครื่องหมายสัญลักษณ์ของจำนวนเท่า หรือ เศษส่วนของตัวเลข หน่วยของระบบเมตริก

| ชื่อ | จำนวนเท่า / เศษส่วน | ตัวย่อ | เลขยกกำลัง |
|---|---|---|---|
| picometer (pm) | 0.000000000001 | pm | $10^{-12}$ |
| nanometer (nm) | 0.000000001 | nm | $10^{-9}$ |
| micrometer (μm) | 0.000001 | μm | $10^{-6}$ |
| millimeter (mm) | 0.001 | mm | $10^{-3}$ |
| meter (m) | 1 | m | $10^{0}$ |
| kilometer (km) | 1,000 | km | $10^{3}$ |
| megameter (Mm) | 1,000,000 | Mm | $10^{6}$ |
| gigameter (Gm) | 1,000,000,000 | Gm | $10^{9}$ |
| terameter (Tm) | 1,000,000,000,000 | Tm | $10^{12}$ |

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โซติอนันต์ ครีเอชั่น.

**ตารางที่ 2.4** ชื่อและสัญลักษณ์ของหน่วยพื้นฐาน

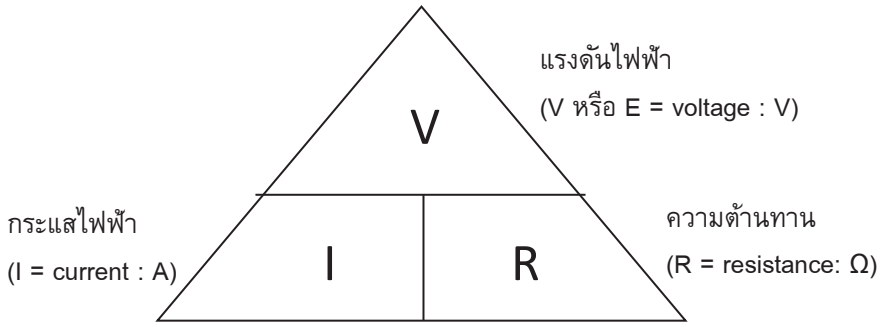
| ปริมาณพื้นฐาน (Base quantity) | | หน่วยพื้นฐาน (SI base unit) | |
|---|---|---|---|
| **ชื่อ** | **สัญลักษณ์** | **ชื่อ** | **สัญลักษณ์** |
| ความยาว (length) | *l, x, r*, เป็นต้น | เมตร (meter) | m |
| มวล (mass) | *m* | กิโลกรัม (kilogram) | kg |
| เวลา (time), ระยะเวลา (duration) | *t* | วินาที(second) | s |
| กระแสไฟฟ้า (electric current) | *I, i* | แอมแปร์(ampere) | A |
| อุณหภูมิ อุณหพลวัติ (thermodynamic temperature) | *T* | เคลวิน (kelvin) | K |
| ปริมาณสาร(amount of substance) | *n* | โมล (mole) | Mol |
| ความเข้มของการส่องสว่าง (luminous intensity) | $I_v$ | แคนเดลา (candela) | Cd |

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.

### 2.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความต้านทานและกำลังไฟฟ้า

พื้นฐานข้อมูลความรู้ที่สำคัญทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า จะต้องมีพื้นฐานข้อมูลความสัมพันธ์กันระหว่างแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและความต้านทาน ที่มาของกระแสไฟฟ้า ประเภทของกระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า คาปาซิเตอร์ การเลือกใช้คาปาซิเตอร์ที่ถูกต้อง สเตติกวาร์เจนเนอเรเตอร์หรือชุดปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังที่จะนำมาใช้แทนคาปาซิเตอร์แบงค์ และจะมีรายละเอียดในส่วนต่างๆ เพิ่มเติมในเรื่องของคุณสมบัติ การเลือกใช้และขนาดสายไฟฟ้า (Cable) ตัวนำแท่ง (Bus bar) ตัวต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ รวมถึงเครื่องวัดทางไฟฟ้าสำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทานไฟฟ้า ตามหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

### 2.2.7.1 ความสัมพันธ์กันของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และ ความต้านทาน




**รูปที่ 2.33** ความสัมพันธ์กันของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และ ความต้านทาน หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.

**การเกิดกระแสไฟฟ้า**

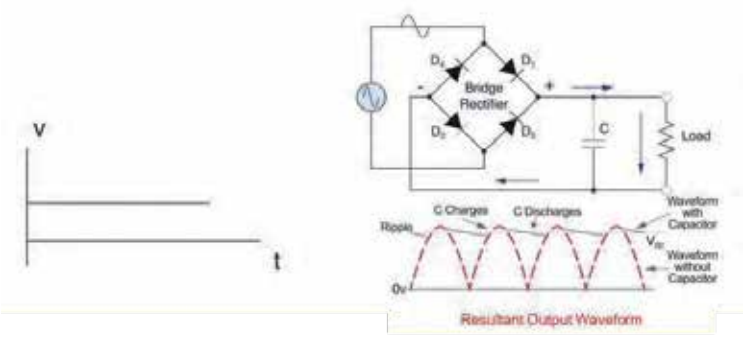
กระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากอะตอมหนึ่งไปยังอะตอมหนึ่ง อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากอะตอมหนึ่งไปยังอะตอมหนึ่งเป็นอิเล็กตรอนวงนอก สุดหรือวาเลนซ์อิเล็กตรอน ซึ่งอิเล็กตรอนวงนี้สามารถหยุดเป็นอิสระได้ง่ายเนื่องจากเมื่อมีแรงหรือ พลังงานที่มีขนาดมากพอ พลังงานที่อิเล็กตรอนวงนี้ได้รับก็จะกระจายไปให้กับอิเล็กตรอนทุกตัวที่อยู่ ในชั้นนี้ถ้าธาตุใดมีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดน้อย เช่น 1 หรือ 2 ตัว แรงหรือพลังงานที่ได้รับก็จะมากทำให้หลุดเป็นอิสระได้ง่าย แต่ถ้าธาตุใดมีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดมากเมื่อมีแรงหรือพลังงานมากระทำ อิเล็กตรอนทุกตัวก็จะเฉลี่ยรับแรงหรือพลังงานทำให้แรงหรือพลังงานลดลง อิเล็กตรอนก็จะไม่หลุดหรือเคลื่อนที่ไปยังอะตอมอื่น ฉะนั้นธาตุใดที่มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดน้อยจะสามารถทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ได้ง่ายซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นตัวนำไฟฟ้าและพวกที่มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดมาก ส่วนใหญ่จะเป็นฉนวนไฟฟ้า

#### 2.2.7.1.1 กระแสไฟฟ้า (electric current: ตัวย่อที่ใช้แทนกระแสไฟฟ้า = I มีหน่วยเป็น A)

กระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน หรือเป็นการถ่ายเทอิเล็คตรอนหรือประจุไฟฟ้าผ่านตัวกลางหรือตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า หน่วยวัด ของกระแสไฟฟ้า คือ แอมป์ (A)

กระแสไฟฟ้ามีได้สองแบบ คือ 2 แบบ ไฟฟ้ากระแสตรง และ ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยมีรายละเอียดดังนี้

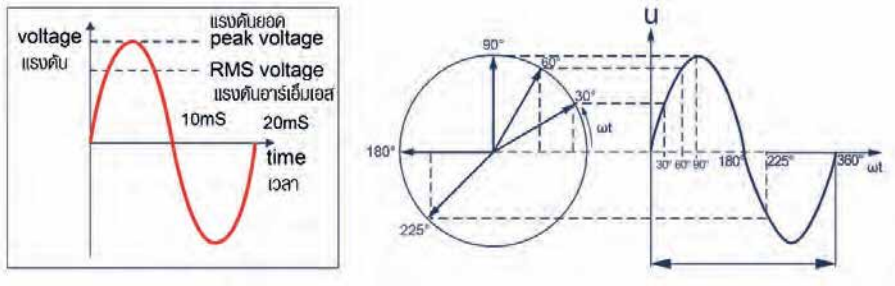
1. ไฟฟ้ากระแสตรง (direct current) เป็นการไหลของอิเล็คตรอนไปในทิศทางเดียว แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เช่น แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้น โดยกระแสไฟฟ้ากระแสตรงจะมีการไหลภายในตัวนำ




**รูปที่ 2.34** ไฟฟ้ากระแสตรง

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.; จาก *Direct current*, (n.p) โดย Diyaudiovilage.net, https://images.app.goo.gl/SpoN3cCRdDCnTV8y9

2. ไฟฟ้ากระแสสลับ (alternative current) เป็นการไหลของอิเล็คตรอนทางเดียวกันแต่มีการสลับทิศอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการสลับทิศ ได้เรียกว่า ความถี่ (f) มีหน่วยเป็น (Hz) ในประเทศไทยเราจะมีความถี่ที่ 50 Hz ที่ความถี่ 50 Hz คือ ใน 1 วินาที มีลูกคลื่น (sine wave)เกิดขึ้น 50 ลูกคลื่น โดย 1 ลูกคลื่นจะมี 20 ms (มิลลิวินาที) ดังนั้น ½ คลื่น จะมี 10 ms

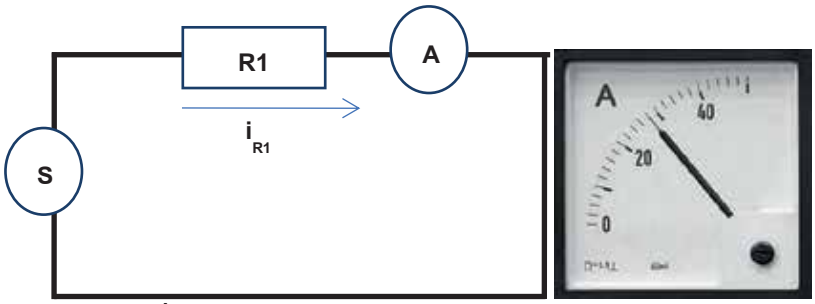



**รูปที่ 2.35** ไฟฟ้ากระแสสลับ

หมายเหตุ. จาก *Alternative current*, (n.p) โดย Moja HacTaBa – WordPress.com, https://images.app.goo.gl/UW29EWiKssREPqCL6

**การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจาก แอมป์มิเตอร์**

เมื่อต้องการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านความต้านทาน R1 สามารถทำได้โดยการต่อแอมป์มิเตอร์แบบอนุกรมกับความต้านทาน R1 ก็จะได้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านความต้านทาน R1 ดังภาพที่ด้านล่างนี้

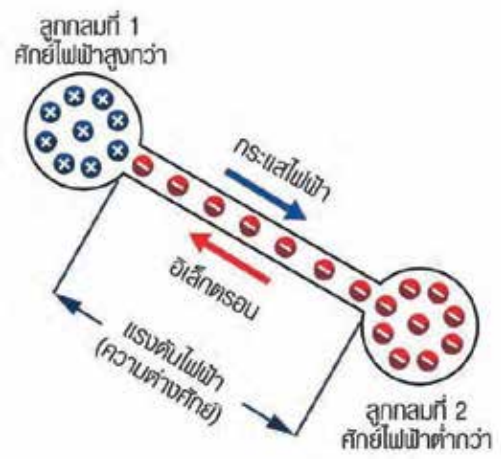



**รูปที่ 2.36** วงจรการวัดค่ากระแสไฟฟ้า โดยใช้แอมป์มิเตอร์

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.; จาก *เอกสารทางเทคนิคอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ*, โดย บริษัท เอวีร่า จำกัด, ม.ป.ป.ข

**2.2.7.1.2 แรงดันไฟฟ้า (Voltage: ตัวย่อที่ใช้แทนแรงดัน = V หรือ E มีหน่วยเป็น V)**

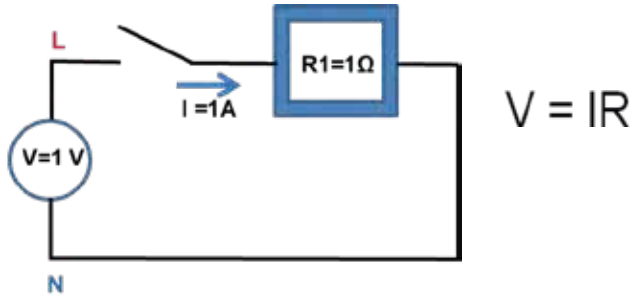
กระแสไฟฟ้าเกิดจากการที่มีอิเล็กตรอนไหลในสายไฟ ซึ่งการที่อิเล็กตรอนไหลหรือเคลื่อนที่ได้นั้นจะต้องมีแรงมากระทำต่อ อิเล็กตรอนทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหล จึงเกิดแรงดันไฟฟ้า และในส่วนแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เนื่องจากมีความต่างศักย์ไฟฟ้า จากระดับไฟฟ้าที่แตกต่างกัน




**รูปที่ 2.37** แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

หมายเหตุ. จาก *แรงดันไฟฟ้า*, (n.p) โดย Manufacture overhaul rapid, https://images.app.goo.gl/HhHVEvYz5DCPn8Gs8

แรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ คือ แรงดันที่ทำให้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ไหลผ่านเข้าไปในความต้านทาน 1 โอห์ม

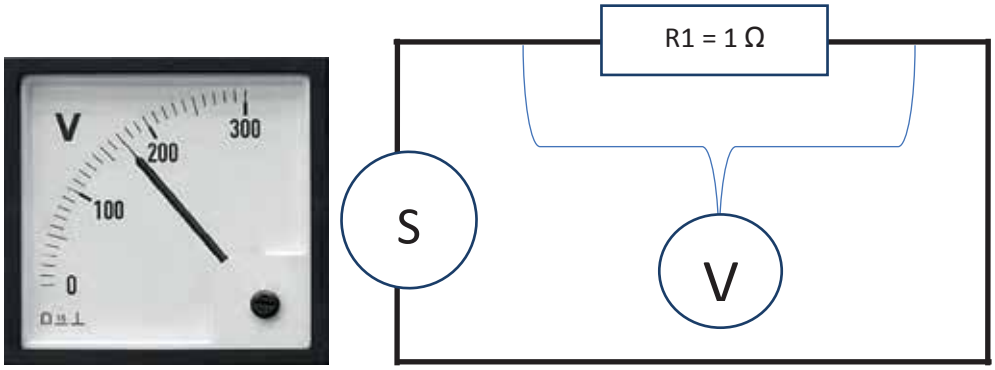



**รูปที่ 2.38** แรงดันไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้า

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.

**การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจาก โวลต์มิเตอร์**

จากภาพที่ข้างต้น เมื่อต้องการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ความต้านทาน R1 สามารถทำได้โดยการต่อโวลต์มิเตอร์แบบขนาน หรือ ต่อคร่อมที่ความต้านทาน R1 ก็จะได้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมความต้านทาน R1 ดังภาพที่ด้านล่างนี้




**รูปที่ 2.39** การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจาก โวลต์มิเตอร์

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.; จาก *เอกสารทางเทคนิคอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ*, โดย บริษัท เอวีร่า จำกัด, ม.ป.ป.ข

**แรงขับเคลื่อนทางไฟฟ้า** หมายถึง แรงที่สร้างให้เกิดแรงดันไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระตลอดเวลา กระแสไฟฟ้าจึงไหลตลอดเวลา แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้อาจเกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, แบตเตอรี่, ถ่านไฟฉาย และเซลล์เชื้อเพลิง ฯลฯ

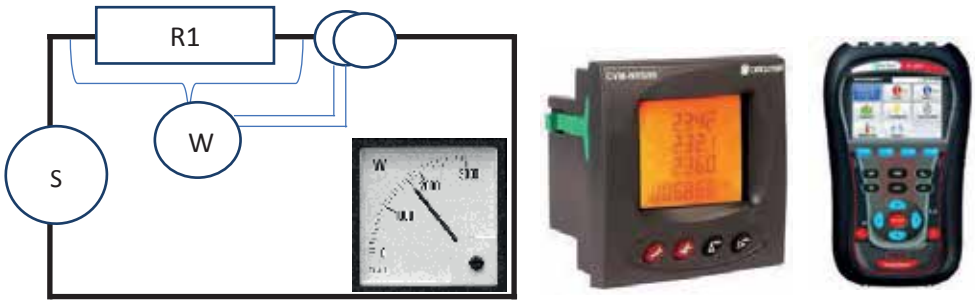
**แรงดันไฟฟ้า ของประเทศไทย**

แรงดันไฟฟ้า 1 เฟส : 230 V ที่ความถี่ 50 Hz (ส่วนใหญ่เรายังติดของเก่าที่พิกัด 220 V)

แรงดันไฟฟ้า 3 เฟส : 230/400 V ($U_0$ / U) ที่ความถี่ 50 Hz

หมายเหตุ : จากการเปลี่ยนแปลงมาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย ฉบับที่พิมพ์ปี 2556 ได้มีการนิยามระดับแรงดันตามมาตรฐาน IEC ที่ $U_0$ / U คือ 230 V / 400 V เพื่อให้มีการใช้ค่าแรงดันที่ใช้ในการคำนวณและอ้างอิงที่ค่าเดียวกันทั่วโลก ตามที่มีการใช้มาตรฐาน IEC ดังนั้นในหนังสือเล่มนี้จึงขอให้ระดับแรงดันที่พิกัด 230 V ที่ 1 phase และระดับแรงดันที่พิกัด 400 V ที่ 3 phase หรือให้มีการใช้งานระดับแรงดันที่ 230 V / 400 V

จากข้อมูลของกระแสและแรงดันไฟฟ้า เราสามารถ**ทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจาก วัตต์อาวร์มิเตอร์** หรือ บางที่จะเรียกว่า kilowatt-hour meter (kWh meter) โดยการต่อส่วนของแรงดันและกระแส เพื่อวัดหาค่ากำลังไฟฟ้า ที่เกิดจากการต่อความต้านทาน R1 หรือ เสมือนการวัดกำลังไฟฟ้าของโหลดจากการใช้งาน ดังภาพที่ต่อไปนี้




**รูปที่ 2.40** การวัดค่ากำลังไฟฟ้าจาก วัตต์อาวร์มิเตอร์ หรือ kWh meter

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.; จาก *เอกสารทางเทคนิคอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ*, โดย บริษัท เอวีร่า จำกัด, ม.ป.ป.ข

**<u>หมายเหตุ</u> :**

1. ปัจจุบันดิจิตอลมิเตอร์ จะเป็นที่นิยมใช้งานมากกว่ามิเตอร์แบบเข็ม(analog) เนื่องจากมีความแม่นยำ มีความละเอียดสูง (ต้องพิจารณาถึง % accuracy ของมิเตอร์และหม้อแปลงของแรงดัน-กระแส ที่เลือกใช้งานด้วย) และสะดวกในการใช้งาน โดยสามารถประยุกต์การใช้งานเพิ่มเติมได้อย่างมาก เช่น การทำแสดงระบบใบเสร็จ รวมถึงการบริหารจัดการ สื่อสาร ให้เกิดประสิทธิผลทางด้านพลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้

2. การใช้งานดิจิตอลมิเตอร์ หรือ มิเตอร์แบบเข็ม ชนิดติดตั้งถาวร ควรมีการจดบันทึกค่าต่างๆ เพื่อการวิเคราะห์และจัดการเรื่องพลังงานไฟฟ้า

3. การใช้งานดิจิตอลมิเตอร์ หรือ มิเตอร์แบบเข็ม ต้องมีการสอบเทียบตามกำหนด

4. การใช้งานดิจิตอลมิเตอร์เพื่อวัดค่า (ที่มิใช้แบบติดตั้งถาวร) ต้องปรับตั้งค่าและต่อใช้งานอย่างถูกต้อง และเมื่อใช้งานเสร็จ ต้องปิดมิเตอร์ ไปที่ตำแหน่งปิด (OFF) เพื่อประหยัดแบตเตอรี่ และควรหมั่นเปลี่ยนแบตเตอรี่และบำรุงรักษาตามรอบที่ผู้ผลิตแนะนำ

#### 2.2.7.1.3 ความต้านทานไฟฟ้า

(Resistance: ตัวย่อที่ใช้แทนความต้านทาน = R มีหน่วยเป็น Ω) เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหล นั้นหมายถึง มีการเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนในสายไฟ และอิเล็กตรอนจะวิ่งชนกับอะตอมของเส้นลวด เกิดการต้านทานการไหลของอิเล็กตรอนขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายไฟมีคุณสมบัติการไหลต่างกันเพราะมี **ความต้านทานไฟฟ้า (Resistance)** ความต้านทานไฟฟ้าเป็นสมบัติเฉพาะของวัตถุในการที่จะขวางหรือต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่านวัตถุนั้นๆ ไป หน่วยของความต้านทานไฟฟ้าเป็น โอห์ม (Ohm แทนด้วยสัญลักษณ์ Ω)




**รูปที่ 2.41** ความต้านทานและสัญลักษณ์ความต้านทาน

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.

**ตารางที่ 2.5** แสดงสภาพต้านทานไฟฟ้า ของสารบางชนิด ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

| สาร | สภาพต้านทานไฟฟ้า (Ωm) | สาร | สภาพต้านทานไฟฟ้า (Ωm) |
|---|---|---|---|
| เงิน | $1.6 \times 10^{-8}$ | นิโครม | $9.8 \times 10^{-7}$ |
| ทองแดง | $1.7 \times 10^{-8}$ | เจอร์มาเนียม | 0.46 |
| อะลูมิเนียม | $2.7 \times 10^{-8}$ | ซิลิคอน | $2.5 \times 10^{3}$ |
| แพลทินัม | $10.6 \times 10^{-8}$ | แก้ว | $10^{10}$-$10^{14}$ |
| แมงกานิส | $4.4 \times 10^{-7}$ | ไมกา | $10^{11}$-$10^{15}$ |
| คอนสแตนแตน | $4.8 \times 10^{-7}$ | พีวีซี | $10^{14}$-$10^{18}$ |

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โซติอนันต์ ครีเอชั่น.

ค่าความต้านทาน จะมีผลกับความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้า โดยความต้านทานจะมีความสัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ความยาวของ l มีหน่วยเป็น m
- พื้นที่หน้าตัด A มีหน่วยเป็น $m^2$
- สภาพที่ต้านทานไฟฟ้า $\rho$ มีหน่วยเป็น $\Omega m$

จากความสัมพันธ์ของ ความต้านทาน $$R = \frac{\rho l}{A}$$

**<u>ตัวอย่างที่ 2.3</u>**

การคำนวณหาค่าความต้านทานของลวดทองแดง โดยค่าสภาพที่ต้านทานของทองแดง $\rho = 1.7 \times 10^{-8}\ \Omega m$ ,ความยาวของลวดทองแดง $l = 10\ cm = 10 \times 10^{-2}$ ,ลวดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง D=20 mm , $r = 10\ mm = 10 \times 10^{-3}\ m$ หรือ $r = 1 \times 10^{-2}\ m$

ดังนั้น พื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดง $A = \pi r^2 = (3.14 \times 1 \times 10^{-2} m)^2$

$= (3.14 \times 10^{-2} m)^2$

$= 9.8596\ m$

แทนค่าในสมการ $R = \rho l / A$

$= [(1.7 \times 10^{-8}) \times 10] / 9.8596$

$= 1.7247 \times 10^{-7}\ \Omega$

**ความนำไฟฟ้า** (Conductance, G) คือ ความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าของตัวนำ มีค่าเท่ากับ ค่าส่วนกลับของความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำ นั่นคือ มีหน่วยเป็น 1 / Ω หรือ ซีเมนส์ (S)

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{V}$$

**สภาพที่นำไฟฟ้า** (Conductivity) คือ ความสามารถในการนำไฟฟ้าสภาพที่นำไฟฟ้า คือ ส่วนกลับของสภาพที่ต้านทานของสารนั้น มีหน่วยเป็น (โอห์ม.เมตร)$^{-1}$ หรือ ซีเมนส์ต่อเมตร (S/m)

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

ค่าความต้านทาน จะมีผลกับอุณหภูมิ ที่เปลี่ยนแปลง โดยจะมีผลแบบแปรผันตรง ตามสมการดังนี้

$$R_T = R_0 (1 + \alpha\Delta T)$$

จากสูตรความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป หมายถึงถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลทำให้ความต้านทานสูงขึ้นตามด้วย หรือ ความต้านทานแปลผันตามอุณหภูมินั่นเอง ดังนั้นการใช้งานทางไฟฟ้าในที่อุณหภูมิสูงๆ หรือ ความแตกต่างของอุณหภูมิสูง จะมีผลกระทบกับสภาพที่ของความต้านทานและสภาพที่ปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ที่อาจเปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่น ความชื้น

**หมายเหตุ** สภาพที่ต้านทานไฟฟ้า หรือ สภาพที่นำไฟฟ้า ก็มีผลกับอุณหภูมิด้วย

### 2.2.7.1.4 วิธีการต่อสวิตช์ไฟฟ้า วิธีการต่อเต้ารับไฟฟ้า และวิธีการต่อตัวนำป้องกัน

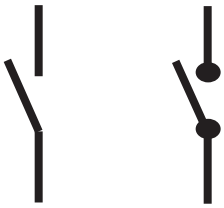
วงจรการต่อสวิตช์และเต้ารับไฟฟ้าและวิธีการต่อตัวนำป้องกัน ถือเป็นส่วนหลักสำคัญและมีการใช้งานเป็นประจำในการต่อวงจรสวิตช์ วงจรเต้ารับไฟฟ้าพร้อมการต่อตัวนำป้องกัน ที่มีความสำคัญกับการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่ออำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน

ป้องกัน เพื่อการใช้งานอย่างปลอดภัยและถูกต้อง

**วิธีการต่อสวิตช์ไฟฟ้า**

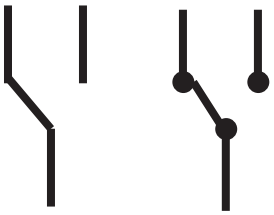
สวิตช์ไฟฟ้า ตาม มอก.824 หรือ มาตรฐาน IEC 60669-1 โดย มอก.824 จะกล่าวถึงสวิตช์ไฟฟ้าที่ทำงานด้วยมือ สำหรับใช้ในที่อยู่อาศัย หรือ การติดตั้งทางไฟฟ้าที่คล้ายคลึงกัน ทั้งภายในและภายนอกอาคารที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 440 V และกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 63 A ที่อุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส สวิตช์ไฟฟ้าถือเป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับต่อหรือตัดกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าหนึ่งวงจรหรือมากกว่า โดยมีสัญลักษณ์ และรูปแบบวงจรการใช้งานดังนี้

สวิตช์ทางเดียว เป็นสวิตช์ที่นิยมใช้กันโดยพื้นฐาน ใช้เปิด – ปิดวงจรทั่วไป ซึ่งสัญลักษณ์ของสวิตช์ไฟฟ้ามีดังนี้



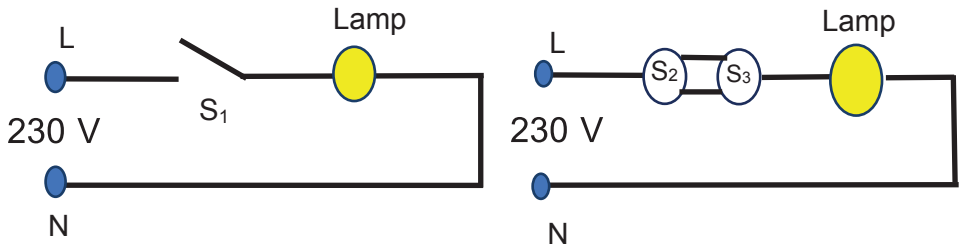
**รูปที่ 2.42** สวิตช์ไฟฟ้าทางเดียว

1. สวิตช์สองทาง หรือ สวิตช์ 3 ทาง หรือ ที่นิยมเรียกว่า สวิตช์บันได เป็นสวิตช์ที่ใช้เปิด – ปิดวงจรจาก 2 พื้นที่ ในการใช้งาน โดยลักษณะงานที่นิยมใช้จะเป็นบริเวณบันได ด้านล่าง และ ด้านบนที่มีใช้งานสวิตช์บันได ซึ่งสัญลักษณ์ของสวิตช์ไฟฟ้ามีดังนี้



**รูปที่ 2.43** สวิตช์ไฟฟ้า 2 ทาง

**หมายเหตุ :** การต่อสวิตช์ที่ถูกต้องควรนำเส้นไฟ (L) เป็นเส้นที่เข้าสวิตช์ เพื่อตัดต่อวงจรไฟฟ้า ห้ามใช้สายศูนย์ หรือสายนิวทรัล (N) เข้าสวิตช์ เพื่อเป็นตัวตัดต่อวงจรแทน เพราะจะทำให้ไม่ปลอดภัยและอุปกรณ์ไฟฟ้าอาจเสียหายได้เร็วขึ้น

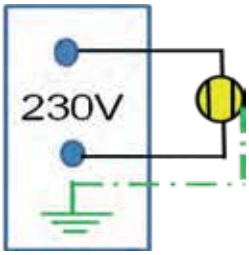



**รูปที่ 2.44** วงจรการต่อสวิตซ์ไฟฟ้าแบบทางเดียวและแบบสองทางเพื่อควบคุมหลอดไฟ
หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.

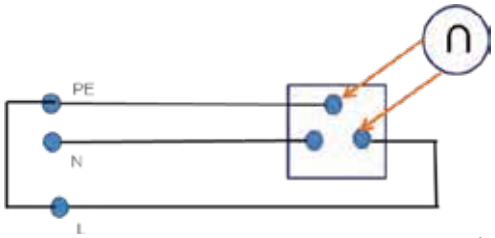
**วิธีการต่อเต้ารับไฟฟ้า และวิธีการต่อตัวนำป้องกัน**

เต้ารับไฟฟ้าถือเป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้า หรือ อุปกรณ์ไฟฟ้า ตัวหนึ่งที่มีความสำคัญมาก ที่จะทำการต่อใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าหลากหลายประเภทเพื่ออำนวยความสะดวกต่างๆ ในชีวิตประจำวัน ส่วนใหญ่จะมีรูปแบบการติดตั้งที่ผิด ทำให้อาจเสี่ยงต่อการใช้ไฟฟ้าทั้งชีวิตและทรัพย์สินได้

มาตรฐานของเต้ารับไฟฟ้า ตาม มอก.166 หรือ มาตรฐาน IEC 60884-1 เป็นเต้าเสียบและเต้ารับสำหรับใช้ในที่อยู่อาศัยและงานทั่วไป แรงดันไม่เกิน 250V
โดยมีสัญลักษณ์ และรูปแบบวงจรการใช้งานดังนี้




**รูปที่ 2.45** สัญลักษณ์ ,วิธีการต่อเต้ารับไฟฟ้า
หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.



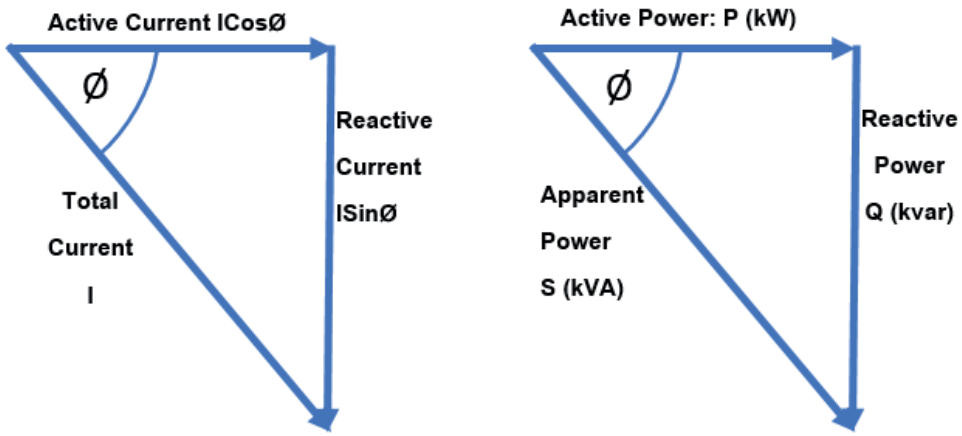

**รูปที่ 2.46** วงจรเต้ารับไฟฟ้าและการตรวจสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้า

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า* (น. 3-34), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โซติอนันต์ ครีเอชั่น.

### 2.2.7.2 กำลังไฟฟ้า

จากการไหลของกระแสไฟฟ้าสลับผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า จะเกิดเป็นกำลังไฟฟ้า โดยรูปแบบของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น มี 3 ส่วน ดังนี้

1. กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง (Active power : P ) มีหน่วยเป็น วัตต์ (watt :W หรือ kW) หรือ real power
2. กำลังไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก (Reactive power : Q ) มีหน่วยเป็น วาร์ (var หรือ kvar)
3. กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (Apparent power : S) กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากการรวมกันทางเฟสเซอร์ของกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริงและกำลังไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็กมีหน่วยเป็น VA หรือ kVA




**รูปที่ 2.47** ตัวอย่างเฟสเซอร์ของกำลังไฟฟ้า

หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ค, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.

กำลังไฟฟ้าทั้ง 3 ส่วน มีผลสืบเนื่องกับเรื่องของพลังงานไฟฟ้าโดยตรง เมื่อมีการใช้กำลังไฟฟ้าจริง เช่น มอเตอร์ที่เก่าใช้มานาน ทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลงนั้น มีผลโดยตรงกับการกินกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริงก็จะสูงขึ้น ทำให้ต้องมีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้ามากขึ้นตามด้วย ดังนั้นการใช้กำลังไฟฟ้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า จึงต้องมีการเลือกประเภทของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ดี มีคุณภาพ เช่น เครื่องปรับอากาศ ประหยัดพลังงานเบอร์ 5 หรือการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง กำลังไฟฟ้ามีนิยาม ความสัมพันธ์ต่างๆดังนี้

กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง $P = VI\cos\phi$ หรือ $I^2R$ : (kW)

กำลังไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก $Q = VI\sin\phi$ : kvar

กำลังไฟฟ้ารวม $S = VI$ : kVA

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$kVA^2 = (kW)^2 + (kvar)^2$$

$$(S)kVA = \sqrt{kW^2+kvar^2}$$

จากกำลังไฟฟ้าในแต่ละส่วน สามารถคำนวณหาค่า power factor ได้จากนิยามที่มาดังนี้

Power factor = Real power / Apparent power

= kW / kVA

$= \phi$

ได้ kW $= kVA\cos\phi$

หรือ kvar $= kVA\sin\phi$

$= kW\tan\phi$

ดังนั้น P.F 1 phase = W / VI

P.F 3 phase = W / $\sqrt{3}$ VI

Power factor (P.F) = P / S

= Watt / VA = W / VA

P.F หรือ ที่เรียกกันว่า ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า คือ อัตราส่วนของค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริง (real power: P มีหน่วยเป็น Watt) หารด้วยค่ากำลังงานที่ปรากฏ (apparent power: S มีหน่วยเป็น VA) ดังนั้น P.F คือตัวเลขที่บอกถึงกำลังงานไฟฟ้าที่ได้ใช้งานจริงเทียบกับกำลังงานทั้งหมด ที่ต้องการจากระบบไฟฟ้า

**กรณี P.F ที่น้อยกว่า 1** เนื่องจากมีค่ากำลังงานรีแอกทีฟ ซึ่งไม่เกิดประโยชน์ เป็นภาระหรือ กำลังงานสูญเสียในอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น ปั๊ม หรือ มอเตอร์

**ตัวอย่างที่ 2.4**

อาคารชุดแห่งหนึ่งหม้อแปลง 500 kVA 3 Ph 4 W 400 V มีมอเตอร์ ปั๊มน้ำ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็น reactor รวม 400 kW ใช้กระแส 500 A จงหาค่า P.F ของระบบไฟฟ้า

$$S = \sqrt{3}\,VI$$

$$= \sqrt{3} \times 400 \times 500\ A$$

$$= 692{,}800 = 692.8\ kVA$$

$$\text{Power Factor} = \frac{400kW}{692.8kVA} = 0.577 = 57.74\%$$



**รูปที่ 2.48** มอเตอร์และโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้า

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.; จาก *Electric motor*, (n.p) โดย Adobe stock, https://images.app.goo.gl/n36ApdJcYKyZpA2R7

**กรณี P.F ที่มากกว่า 1** จะเป็นส่วนคาปาซิเตอร์ (C มีหน่วยเป็น F : Farad) การที่มี P.F เท่ากับหรือมากกว่า 1 จะไม่มีการทำกัน

การใช้งานสำหรับกำลังไฟฟ้า และ P.F เช่น มอเตอร์ที่มี P.F = 0.8 จะต้องการปรับปรุงค่า โดยใส่ reactive power เช่น คาปาซิเตอร์เข้าไปในระบบจะทำให้ P.F ดีขึ้น สูงขึ้นกว่าเดิม เป็น 0.85 หรือ 0.9 ตามปริมาณ reactive power หรือ คาปาซิเตอร์ที่ใส่เข้าไป เพื่อปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลง และลดค่าปรับ kvar ที่ทางการไฟฟ้าฯ ระบุไว้ จึงมีการใส่ reactive power เข้าไปในระบบไฟฟ้าที่เคยนิยมกันเรียกว่า คาปาซิเตอร์แบงค์ (capacitor bank) เพราะในการใส่ capacitor เข้าไปในระบบจะต้องใส่เข้าไปเป็นชุดๆ จึงเรียกเป็น คาปาซิเตอร์แบงค์ และในการใส่เข้าไปในระบบไฟฟ้า ส่วนใหญ่จะมีการควบคุมการต่อเข้าระบบฯ โดยการใช้ capacitor controller เพื่อเป็นการควบคุมค่า P.F ให้เป็นไปอย่างเหมะสมกับระบบฯ ที่ต้องการ แต่เนื่องจากการทำงานของ power factor controller และ magnetic contactor ในชุด capacitor bank มีความล้าช้ามาก ซ้ำยังเป็นแบบขั้นบันไดจึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานโหลดในปัจจุบันที่มีการสวิตชิ่งที่รวดเร็ว ปัจจุบันจึงมีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังที่สามารถจ่าย reactive power เข้าไปในระบบไฟฟ้า เพื่อปรับปรุง P.F ของระบบไฟฟ้าให้ดีขึ้นได้เรียกว่า Static Var Generator: SVG ที่มีศักยภาพในการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง แก้ปัญหา harmonic และ Imbalance ในระบบไฟฟ้าได้อย่างดี

เนื่องจากการไฟฟ้าฯ จะมีการติดตั้งมิเตอร์ kW และ kvar ในการเรียกเก็บกับผู้ใช้ไฟฟ้า มีทั้ง อัตราตามช่วงเวลาของวัน ( Time of day Rate : TOD) และอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU ) หลักเกณฑ์การคิดใหม่ตามการไฟฟ้าฯ หรือ สามารถค้นหาข้อมูลได้จาก https://www.pea.co.th/

**หมายเหตุ :** ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จะเรียกเก็บกับผู้ใช้ไฟฟ้าที่คิดค่าความต้องการพลัง ไฟฟ้า ซึ่งมีเพาเวอร์แฟคเตอร์แลค (Lag) เฉพาะเดือนที่มีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอคตีฟเฉลี่ย ใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว โดยส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรากิโลวาร์ (kvar) ละ 56.07 บาท (เศษของกิโลวาร์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์) หรือสามารถค้นหาข้อมูลได้จาก https://www.pea.co.th/ (เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ก)

# บทที่ 3

# ระบบการจ่ายไฟฟ้าของประเทศไทย

การใช้ไฟฟ้าเป็นครั้งแรกของโลกเมื่อ ปี ค.ศ 1800 (มากกว่า 200 ปี) สำหรับประเทศไทยมีการใช้ไฟฟ้าเป็นครั้งแรกเมื่อปี 2427 พลังงานไฟฟ้าเป็นหนึ่งในทางเลือกของพลังงานที่มนุษย์ส่วนใหญ่เลือกใช้ ด้วยความสะดวกในการผลิตและการใช้งาน พลังงานทั้งหมดสามารถจำแนกรูปแบบของพลังงานออกเป็นหน่วยใหญ่ๆ ที่รู้จักกันดีมีดังนี้ พลังงานเคมี พลังงานความร้อน พลังงานศักย์ พลังงานจลน์ พลังงานไฟฟ้า พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าถือเป็นพลังงานที่มีการใช้งานกันมากที่สุด โดยสามารถนำไปเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานประเภทอื่นๆ ได้ เช่น พลังงานลม พลังงานความร้อน เป็นต้น ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันพลังงานนิวเคลียร์จะถูกใช้งานอย่างมากสำหรับประเทศที่พัฒนาแล้วเท่านั้น ไม่ว่าจะมีพลังงานประเภทอื่นๆก็ตาม สุดท้ายประเทศที่พัฒนาแล้วเหล่านี้ก็ใช้พลังงานนิวเคลียร์ทั้งสิ้น ยิ่งในช่วงสงครามระหว่างประเทศรัสเซีย กับ ยูเครน ก็เห็นได้ชัดเจนอย่างยิ่งที่ทุกประเทศเคยเอ่ยว่าจะลดการใช้พลังงานนิวเคลียร์แต่แล้วก็ต้องกลับมาใช้ กลับมาก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เพิ่มเติมอีกอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากความจริงที่ว่า พลังงานไฟฟ้านิวเคลียร์เป็นพลังงานที่มีความคุ้มค่าอย่างมากที่สุดในปัจจุบัน และเป็นพลังงานที่สะอาด โอกาสเกิดอันตรายขึ้นเพียง 2 แห่งจาก 438 แห่ง หรือ 0.46% และกำลังก่อสร้างอีกมากกว่า 67 แห่ง

ระบบการจ่ายไฟฟ้าของประเทศไทยขึ้นกับ 2 กระทรวง คือ กระทรวงพลังงานที่กำกับดูแล การไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ. / EGAT) และกระทรวงมหาดไทยที่กำกับดูแล การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ. / PEA) และการไฟฟ้านครหลวง (กฟน./ MEA) โดยการไฟฟ้าฯแต่ละแห่งมีการหน้าที่กำกับดูแลและมีพิกัดของไฟฟ้าดังนี้

### 3.1 ระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.)

ทำหน้าที่สร้างโรงไฟฟ้า เขื่อน หรือว่าจ้างให้เอกชนสร้างโรงไฟฟ้าที่ระดับไฟฟ้า 69 kV, 115 kV, 230 kV และ 500 kV กฟผ.จะขายหรือส่งต่อให้ทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกับการไฟฟ้านครหลวง

### 3.2 ระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคดูแลรวม ทั้งหมด 74 จังหวัด ทั่วประเทศไทย กฟภ.จะจำหน่ายไฟฟ้าให้ประชาชนตามบ้านเรือนทั่วไป และจำหน่ายไฟฟ้าให้ลูกค้ารายใหญ่สำหรับอาคาร โรงงาน เป็นต้น ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมากๆ ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 230 V, 400 V, 22 kV และ 33 kV สำหรับระบบไฟฟ้าแรงดัน 33 kV จะเริ่มตั้งแต่จังหวัดระนองลงไปทางใต้ของประเทศไทย โดยทาง กฟภ. มีพิกัดการจ่ายไฟฟ้าดังนี้

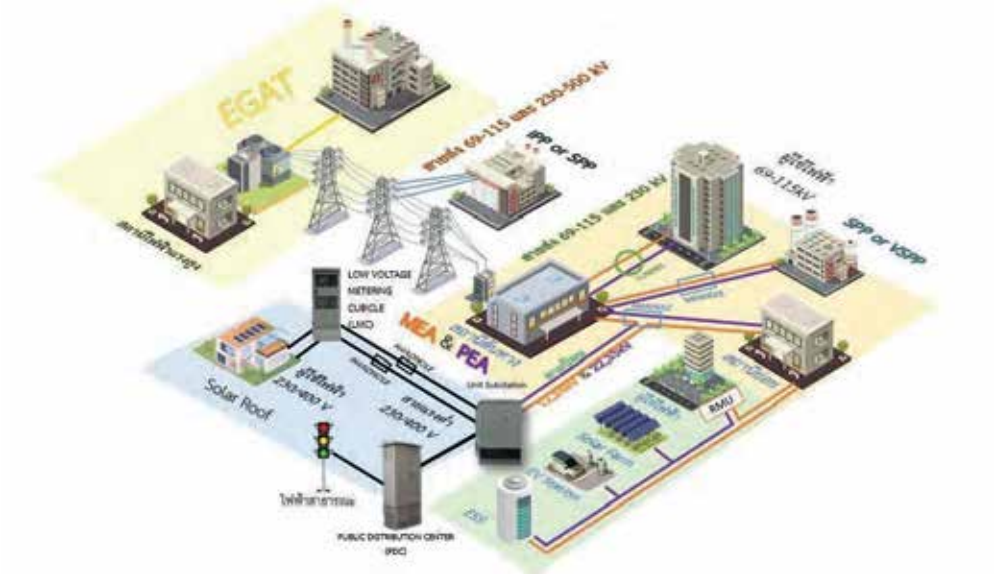
- 230 V
- 230 V / 400 V
- 22 kV / 230-400 V
- 33 kV / 230-400 V
- 69 kV
- 115 kV

### 3.3 ระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.)

การไฟฟ้านครหลวงดูแลรวม ทั้งหมด 3 จังหวัด (กรุงเทพมหานคร, สมุทรปราการ และนนทบุรี) กฟน.จะจำหน่ายไฟฟ้าให้ประชาชนตามบ้านเรือนทั่วไป และจำหน่ายไฟฟ้าให้ลูกค้ารายใหญ่สำหรับอาคาร โรงงาน เป็นต้น ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมากๆ ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 230 V, 400 V, 12 kV และ 24 kV สำหรับระบบไฟฟ้าแรงดัน 12 kV จะมีการใช้งานเฉพาะในเกาะรัตนโกสินทร์ ปัจจุบันจะแนะนำให้ใช้เป็น Dual Voltage 12 kV / 24 kV เพื่อรองรับการรับไฟฟ้าที่ 24 kV ในอนาคต โดยทาง กฟน. มีพิกัดการจ่ายไฟฟ้าดังนี้

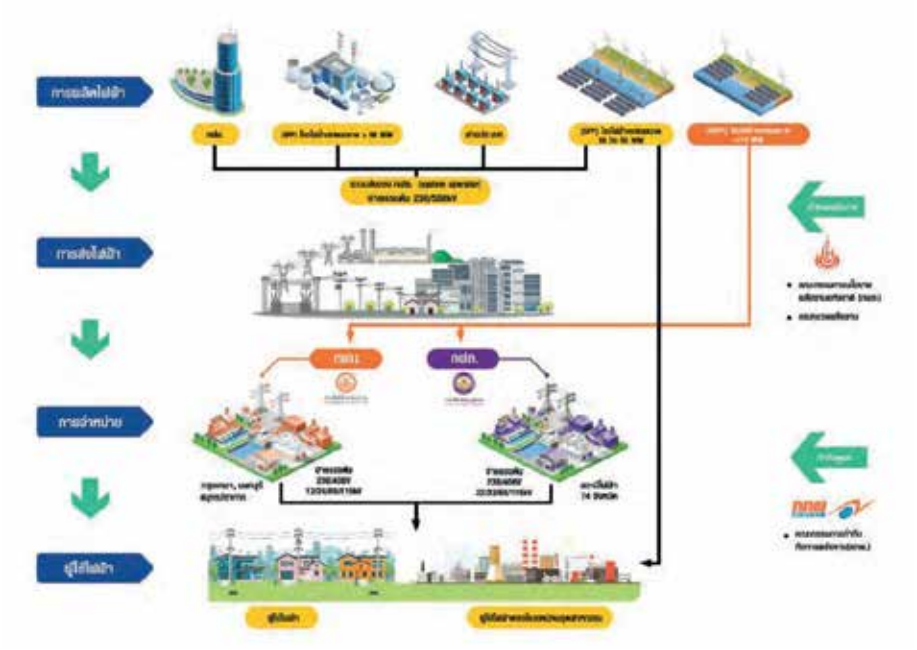
- 230 V
- 230 V / 400 V
- 24 kV / 230-400 V
- 69 kV
- 115 kV

**แผนผังระบบการจ่ายไฟฟ้าในประเทศไทย**




**รูปที่ 3.1** ภาพระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าของประเทศไทย

หมายเหตุ. จาก *Underground cable system technical committee* from EGAT&PEA&MEA, *July 25, 2024, Lecture notes for Underground system,* The Queen Sirikit National Convention Center (QSNCC), Bangkok.



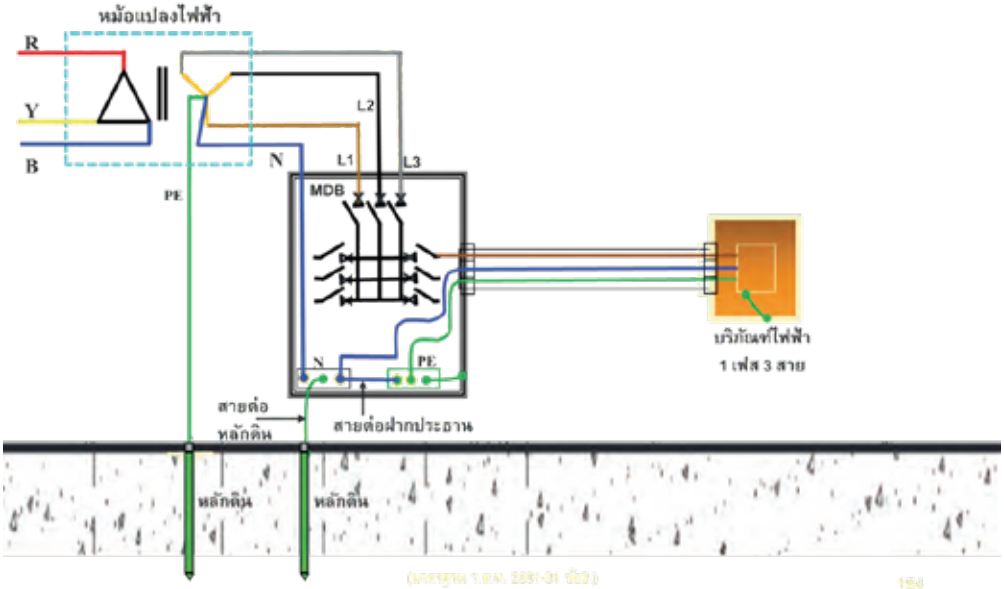
**รูปที่ 3.2** ระบบการจ่ายไฟฟ้าของประเทศไทยและการกำกับดูแล

หมายเหตุ. จาก https://www.facebook.com/solarmove62/photos/a.111090217021005/13413 7744716252/?type=3

# บทที่ 4

# การต่อลงดินและการต่อสายดิน (Earthing and Grounding)

การต่อลงดิน เป็นการนำระบบไฟฟ้าบางส่วน(สายดินหรือสายนิวทรัล) ลงดิน เพื่อให้ผู้ใช้งานระบบไฟฟ้าได้รับความปลอดภัยและบริภัณฑ์ไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ตามหน้าที่ การต่อลงดินเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาออกแบบ ติดตั้งและบำรุงรักษาอย่างถูกต้อง มั่นคงแข็งแรงที่สุด เพราะต้องอยู่กันไปอย่างยาวนานหลายสิบปี โดยต้องมีการตรวจสอบอย่างต่อเนื่องร่วมด้วย ดังตัวอย่างการต่อลงดิน




**รูปที่ 4.1** ตัวอย่างการต่อลงดิน

โดยขอให้ความเข้าใจในส่วนของคำว่า Earthing or Grounding เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนกัน

ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างการต่อลงดินและการต่อลงดินคือคำว่า “Earthing: การต่อลงดิน” หมายความว่าวงจรมีการเชื่อมต่อทางกายภาพลงดิน ซึ่งมีค่าศักย์เป็นศูนย์โวลต์ต่อกราวด์ (Earth) ในขณะที่ "Grounding: การต่อสายดิน" วงจรไม่ได้เชื่อมต่อทางกายภาพกับสายดิน โดยความต่างศักย์ของมันคือศูนย์เมื่อเทียบกับจุดอื่นๆ

ความแตกต่างระหว่าง Earthing: การต่อลงดิน และ Grounding: การต่อสายดินคืออะไร?

**Earthing: การต่อลงดิน**

การต่อลงดินสามารถนิยามได้ว่าเป็นกระบวนการป้องกันไฟกระชากและไฟฟ้าช็อตที่ไม่สมควร ซึ่งอาจทำให้ชีวิตและทรัพย์สินเสียหายได้ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องจดจำความแตกต่างที่สำคัญระหว่างสองสิ่งนี้ เราต้องเข้าใจว่าทั้งสองหมายถึงกระบวนการเดียวกัน

**Grounding: การต่อสายดิน**

การต่อสายดินสามารถนิยามได้ว่าเป็นกระบวนการป้องกันไฟกระชากและไฟฟ้าช็อตที่ไม่สมควร ซึ่งอาจทำให้ชีวิตและทรัพย์สินเสียหายได้

การต่อลงดินนั้นคล้ายกับการต่อสายดิน ซึ่งทำให้เกิดฉนวนป้องกันกระแสไฟฟ้าโดยไม่ได้ตั้งใจ สายไฟฟ้าหลักเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟเพื่อจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ อย่างไรก็ตาม ส่วนอื่น ๆ ของเส้นลวดจะถูกนำลงใต้ดิน วิธีนี้จะทำในกรณีที่วงจรถูกตัดโดยไม่ได้ตั้งใจเพื่อหลีกเลี่ยงการโอเวอร์โหลดและผลข้างเคียงที่เป็นอันตรายอื่นๆ

**ตารางที่ 4.1** เปรียบเทียบ Earthing กับ Grounding

| Earthing (การต่อลงดิน) | Grounding (การต่อสายดิน) |
|---|---|
| วิธีนี้ช่วยปกป้องมนุษย์จากไฟฟ้าช็อต | วิธีนี้ช่วยป้องกันระบบไฟฟ้าทั้งหมดจากการทำงานผิดปกติ |
| สายดินที่ใช้เป็นสีเขียว | สายไฟที่ใช้ต่อสายดินเป็นสีดำ |
| การต่อลงดินจะใช้เพื่อหลีกเลี่ยงไฟฟ้าช็อตเป็นหลัก | การต่อสายดินส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการไม่สมดุลเมื่อระบบไฟฟ้าเกินพิกัด |
| สายดินอยู่ใต้หลุมดินระหว่างตัวอุปกรณ์และหลุมใต้ดิน | ตั้งอยู่ระหว่างความเป็นกลางของอุปกรณ์ที่ใช้กับพื้น |

Earthing system: ระบบสายดิน (สหราชอาณาจักรและ IEC) หรือ Grounding system: ระบบสายดิน (สหรัฐอเมริกา) ปัจจุบันในประเทศไทยเรานิยมใช้คำว่า Grounding กันเป็นที่คุ้นเคยกัน เพื่อเชื่อมต่อส่วนเฉพาะของระบบไฟฟ้ากำลังเข้ากับสายดิน ซึ่งโดยปกติแล้วจะเป็นพื้นผิวที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้าของโลก เพื่อความปลอดภัยและวัตถุประสงค์ในการทำงาน การเลือกระบบสายดินอาจส่งผลต่อความปลอดภัยและความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าของการติดตั้ง กฎระเบียบสำหรับระบบสายดินจะแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ แม้ว่าส่วนใหญ่จะปฏิบัติตามคำแนะนำของ International Electrotechnical Commission (IEC) ข้อบังคับอาจระบุกรณีพิเศษเพิ่มเติมสำหรับการต่อลงดินในงานเหมืองต่างๆ ในพื้นที่ดูแลผู้ป่วย (medical location) หรือในพื้นที่อันตรายของโรงงานอุตสาหกรรม

นอกจากระบบไฟฟ้ากำลังแล้ว ระบบอื่นๆ อาจต้องมีการต่อสายดิน เพื่อความปลอดภัยหรือการทำงาน โครงสร้างสูงๆ อาจมีสายล่อฟ้าเป็นส่วนหนึ่งของระบบ เพื่อป้องกันฟ้าผ่า สายโทรเลขใช้เป็นตัวนำวงจรเดียว การประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายส่งกลับบนวงจรยาวๆ เสาอากาศวิทยุต้องมีการต่อสายดินเป็นพิเศษสำหรับการทำงาน เช่นเดียวกับการควบคุมไฟฟ้าสถิตและการป้องกันฟ้าผ่าที่มีความเฉพาะในการใช้งาน (วิกิพีเดีย, ม.ป.ป.)

### 4.1 System earthing: การต่อลงดินของระบบ

การต่อสายดินของระบบมีวัตถุประสงค์เพื่อความปลอดภัยทางไฟฟ้าทั่วทั้งระบบแบบสมบูรณ์ ซึ่งไม่ได้เกิดจากความผิดพลาดทางไฟฟ้า จุดประสงค์หลัก คือ เพื่อป้องกันการสะสมของไฟฟ้าสถิตและเพื่อป้องกันไฟกระชากที่เกิดจากฟ้าผ่าหรือสวิตชิ่งในบริเวณใกล้เคียง การสะสมตัวของไฟฟ้าสถิตซึ่งถูกเหนี่ยวนำโดยแรงเสียดทาน ในกรณีที่เกิดไฟกระชาก บริภัณฑ์ไฟฟ้าป้องกันฟ้าผ่า บริภัณฑ์ไฟฟ้าป้องกันไฟกระชาก หรือ Surge Protection Device: SPD จะเบี่ยงเบนกระแสไฟส่วนเกินมายังโลกหรือนำกระแสฟ้าผ่าลงดินก่อนที่จะเข้าถึงเครื่องใช้ไฟฟ้า



**รูปที่ 4.2** ภาพประกอบของ SPD

หมายเหตุ. จาก *Technical Catalogue, presentation and photo,* โดย Kumwell Corporation CO.,LTD., n.d.,n.p.




**รูปที่ 4.3** ภาพประกอบการเลือกใช้หลักดิน และส่วนประกอบการทำหลักดิน ที่ต้องคำนึงถึงคุณภาพที่ได้มาตรฐาน

หมายเหตุ. จาก *Technical Catalogue, presentation and photo,* โดย Kumwell Corporation CO.,LTD., n.d.,n.p.

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า ยังช่วยให้เกิดการต่อประสานศักย์ให้เท่ากันกับงานโลหะทั้งหมด เพื่อป้องกันความต่างศักย์ที่อาจเกิดขึ้นระหว่างกัน การมีโลกเป็นจุดอ้างอิงร่วมกันยังช่วยรักษาความต่างศักย์ของระบบไฟฟ้า ให้มีการจำกัดพิกัดอยู่ที่แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเท่านั้น

**Equipment earthing: การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า**

การต่อสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้ามีวัตถุประสงค์ เพื่อความปลอดภัยทางไฟฟ้าในกรณีที่ไฟฟ้าขัดข้อง วัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อป้องกันความเสียหายของบริภัณฑ์ไฟฟ้าและความเสี่ยงจากไฟฟ้าช็อต การต่อลงดินประเภทนี้ไม่ใช่การต่อลงดิน ในทางเทคนิคแล้ว เมื่อกระแสไหลจากตัวนำไปยังสายดิน เช่นเดียวกับกรณีที่ตัวนำสัมผัสกับพื้นผิวที่ต่อลงดินในเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภท I บริภัณฑ์ไฟฟ้าตัดการเชื่อมต่อแหล่งจ่าย (Automatic disconnection of supply: ADS) โดยอัตโนมัติ เช่น CB หรือ RCD จะเปิดวงจรโดยอัตโนมัติ เพื่อจัดการข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นของระบบไฟฟ้า

**การต่อลงดินตามหน้าที่**

การต่อลงดินตามหน้าที่ มีจุดประสงค์อื่นนอกเหนือจากความปลอดภัยทางไฟฟ้า วัตถุประสงค์ตัวอย่าง ได้แก่ การกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ในตัวกรอง EMI และการใช้โลกเป็นเส้นทางกลับในระบบกระจายกลับสายดินสายเดียว

## 4.2 การต่อลงดินในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

สำหรับเครือข่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่กระจายกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าที่กว้างไกลที่สุด ข้อกังวลหลักในการออกแบบระบบสายดินคือความปลอดภัยของผู้บริโภคที่ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าและการป้องกันไฟฟ้าช็อต ระบบการต่อสายดินร่วมกับบริภัณฑ์ไฟฟ้าป้องกัน เช่น ฟิวส์และRCD จะต้อง

ทำให้แน่ใจว่าบุคคลนั้นจะไม่สัมผัสกับวัตถุที่เป็นโลหะซึ่งศักย์ไฟฟ้าสัมพัทธ์กับศักย์ของบุคคลนั้นเกินเกณฑ์ที่ปลอดภัย ซึ่งโดยทั่วไปจะตั้งไว้ที่ประมาณ 50 V

ในประเทศที่พัฒนาแล้วส่วนใหญ่ เต้ารับ 220 โวลต์ หรือ 230 โวลต์ หรือ 240 โวลต์ ในประเทศไทยมีการใช้เต้ารับหรือระบบไฟฟ้าที่มีสายดิน(PE)ร่วมด้วย ซึ่งเป็นข้อกำหนดระบบไฟฟ้าและในบางประเทศอาจจะไม่มีขากราวด์ (สายดิน) ในประเทศที่กำลังพัฒนา การเดินสายในบางพื้นที่ อาจไม่มีการเชื่อมต่อลงดินก็ได้

บนเครือข่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่มีเฟสกับนิวทรัลที่แรงดัน 220 V ถึง 690 V ที่ส่วนใหญ่จะใช้ในงานอุตสาหกรรม อุปกรณ์และเครื่องจักรในเหมืองแร่มากกว่าเครือข่ายสาธารณะที่เข้าถึงได้ การออกแบบระบบสายดินมีความสำคัญเท่าเทียมกันจากมุมมองด้านความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้ภายในประเทศ

หากเส้นทางความผิดปกติระหว่างวัตถุที่มีพลังงานไฟฟ้าโดยไม่ตั้งใจและการเชื่อมต่อแหล่งจ่ายมีอิมพีแดนซ์ต่ำ กระแสฟอลต์จะมีขนาดใหญ่มากจนอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินของวงจร (fuse or CB) จะเปิดออก เพื่อจัดการฟอลต์กราวด์ (ground fault) ในกรณีที่ระบบสายดินไม่มีตัวนำโลหะอิมพีแดนซ์ต่ำระหว่างเปลือกหุ้มอุปกรณ์และการจ่ายกลับ (เช่น ในระบบ TT ที่ต่อลงดินแยกกัน) กระแสไฟผิดพลาดจะมีค่าน้อยกว่า และไม่จำเป็นต้องใช้งานอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน ในกรณีดังกล่าว มีการติดตั้งอุปกรณ์กระแสตกค้างเพื่อตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่วลงกราวด์และตัดวงจร

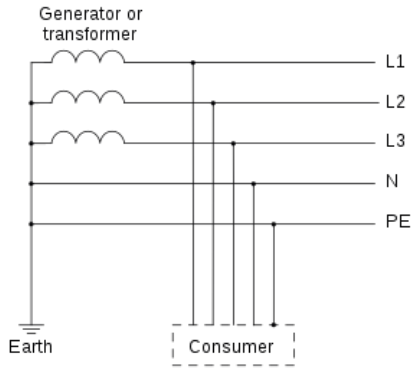
คำศัพท์ IEC ตามมาตรฐานสากล IEC 60364 แยกความแตกต่างของการจัดสายดินสามรูปแบบ โดยใช้รหัสสองตัวอักษร TN, TT และ IT โดยตัวอักษรตัวแรกระบุถึงการเชื่อมต่อระหว่างสายดินและอุปกรณ์จ่ายไฟ (เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือหม้อแปลงไฟฟ้า):
"T" — การเชื่อมต่อโดยตรงของจุดกับโลก (ละติน: terra)
"I" — ไม่มีจุดเชื่อมต่อกับโลก (ละติน: Īnsulātum) เว้นแต่อาจจะผ่านอิมพีแดนซ์สูง

ตัวอักษรตัวที่สองระบุการเชื่อมต่อระหว่างสายดินหรือเครือข่ายและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จ่าย:
"T" — การต่อสายดินเป็นการต่อสายดินเข้ากับสายดินโดยตรง (ละติน: terra) โดยปกติจะใช้สายดิน
"N" — การต่อสายดินจ่ายโดยเครือข่ายการจ่ายไฟฟ้า โดยแยกจากกันไปยังตัวนำที่เป็นกลาง (TN-S) รวมกับตัวนำที่เป็นกลาง (TN-C) หรือทั้งสองอย่าง (TN-C-S) เหล่านี้จะกล่าวถึงด้านล่าง ประเภทของเครือข่าย TN
ในระบบสายดินของ TN จุดหนึ่งในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือหม้อแปลงจะเชื่อมต่อกับสายดิน โดยปกติแล้วจะเป็นจุดสตาร์ในระบบสามเฟส ร่างกายของอุปกรณ์ไฟฟ้าเชื่อมต่อกับสายดินผ่านสายดินที่หม้อแปลง ข้อตกลงนี้เป็นมาตรฐานปัจจุบันสำหรับระบบไฟฟ้าที่อยู่อาศัยและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในยุโรป[10]

ตัวนำที่เชื่อมต่อส่วนที่เป็นโลหะของการติดตั้งไฟฟ้าของผู้บริโภคเรียกว่าสายดินป้องกัน (PE; ดูเพิ่มเติมที่: สายดิน) ตัวนำที่เชื่อมต่อกับจุดสตาร์ในระบบสามเฟส หรือที่ส่งกระแสกลับในระบบเฟสเดียว เรียกว่า นิวทรัล (N) ความแตกต่างของระบบ TN สามแบบ:

TN–S

PE และ N เป็นตัวนำแยกต่างหากที่เชื่อมต่อกันใกล้กับแหล่งพลังงานเท่านั้น

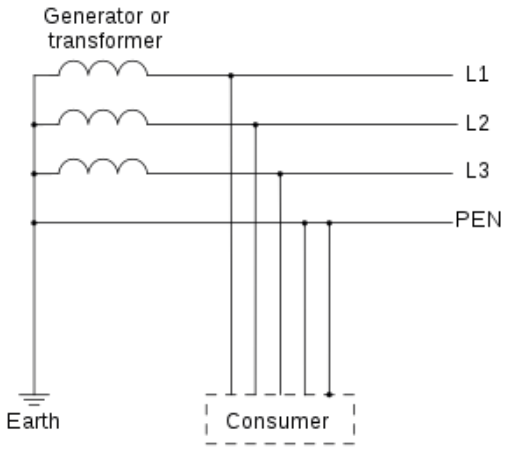



**รูปที่ 4.4** ระบบ TN–S

หมายเหตุ. จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Earthing_system

TN–C

ตัวนำ PEN แบบรวมทำหน้าที่ของทั้งตัวนำ PE และ N (ในระบบ 230/400 V ปกติใช้สำหรับเครือข่ายการกระจายเท่านั้น)

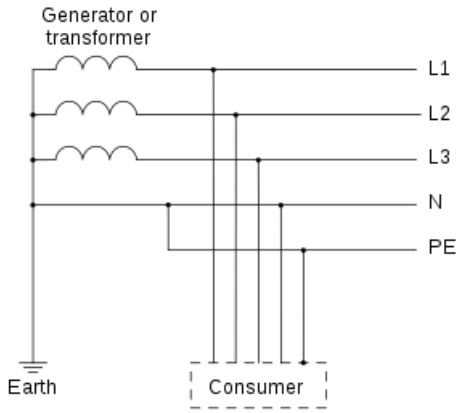



**รูปที่ 4.5** ระบบ TN–C

หมายเหตุ. จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Earthing_system

TN‒C‒S

ส่วนหนึ่งของระบบใช้ตัวนำ PEN รวมกัน ซึ่งในบางจุดที่แยกออกเป็นสาย PE และ N โดยทั่วไปแล้วตัวนำ PEN แบบรวมจะเกิดขึ้นระหว่างสถานีย่อยและจุดเข้าสู่อาคาร และสายดินและสายกลางจะถูกแยกออกจากกันในหัวบริการ ในสหราชอาณาจักร ระบบนี้เรียกอีกอย่างว่าสายดินหลายสาย (PME) เนื่องจากการต่อสายดินที่เป็นกลางและสายดินที่รวมกันผ่านเส้นทางที่สั้นที่สุดที่ปฏิบัติได้ไปยังสายดินในพื้นที่ที่แหล่งกำเนิดและตามช่วงเวลาตามเครือข่ายการกระจาย ไปยังสถานที่แต่ละแห่ง เพื่อให้ทั้งการต่อลงดินของระบบและการต่อลงดินของอุปกรณ์ที่แต่ละตำแหน่งเหล่านี้ ระบบที่คล้ายคลึงกันในออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ถูกกำหนดให้เป็นหลายสายดินที่เป็นกลาง (MEN) และในอเมริกาเหนือเป็นกลางที่มีสายดินหลายจุด (MGN)

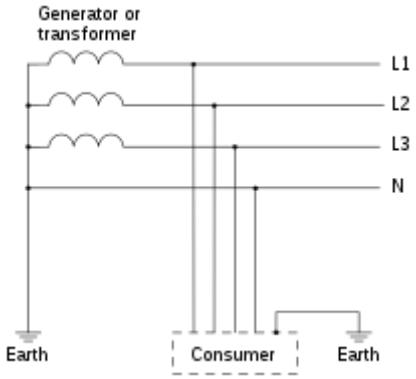



**รูปที่ 4.6** ระบบ TN‒C‒S

หมายเหตุ. จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Earthing_system

เป็นไปได้ที่จะมีทั้งอุปกรณ์ TN-S และ TN-C-S ที่นำมาจากหม้อแปลงเดียวกัน ตัวอย่างเช่น ปลอกหุ้มของสายเคเบิลใต้ดินบางส่วนสึกกร่อนและหยุดการต่อลงดินที่ดี ดังนั้นบ้านที่พบ "สายดินที่ไม่ดี" ที่มีความต้านทานสูงอาจเปลี่ยนเป็น TN-C-S สิ่งนี้เป็นไปได้เฉพาะบนเครือข่ายเมื่อค่ากลางมีความทนทานต่อความล้มเหลวอย่างเหมาะสม และการแปลงไม่สามารถทำได้เสมอไป PEN ต้องได้รับการเสริมกำลังอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันความล้มเหลว เนื่องจากวงจรเปิด PEN สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าเต็มเฟสบนโลหะที่สัมผัสใดๆ ที่เชื่อมต่อกับสายดินของระบบที่ปลายน้ำของการแตก อีกทางเลือกหนึ่งคือจัดหาสายดินในท้องถิ่นและแปลงเป็น TT จุดดึงดูดหลักของเครือข่าย TN คือเส้นทางสายดินที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำช่วยให้สามารถตัดการเชื่อมต่ออัตโนมัติ (ADS) บนวงจรกระแสไฟฟ้าสูงได้ง่ายในกรณีของการลัดวงจรระหว่างสายกับ PE เนื่องจากเบรกเกอร์หรือฟิวส์ตัวเดียวกันจะทำงานสำหรับ L-N หรือ L - ข้อผิดพลาดของ PE และไม่จำเป็นต้องใช้ RCD เพื่อตรวจจับข้อผิดพลาดของสายดิน

ในระบบสายดิน TT (ละติน: terra-terra) การต่อลงดินแบบป้องกันสำหรับผู้บริโภคนั้นมีให้โดยอิเล็กโทรดสายดินเฉพาะที่ (บางครั้งเรียกว่าการเชื่อมต่อแบบ Terra-Firma) และมีอีกอันหนึ่งติดตั้งแยกต่างหากที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ไม่มี 'สายดิน' ระหว่างทั้งสอง อิมพีแดนซ์ลูปฟอลต์จะสูงกว่า และเว้นแต่อิมพีแดนซ์ของอิเล็กโทรดจะต่ำมากจริงๆ การติดตั้ง TT ควรมี RCD (GFCI) เป็นตัวแยกตัวแรกเสมอ




**รูปที่ 4.7** ระบบ TT

หมายเหตุ. จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Earthing_system

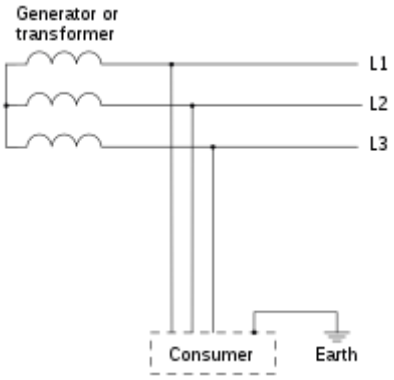
ข้อได้เปรียบที่สำคัญของระบบสายดิน TT คือการลดสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อของผู้ใช้รายอื่น TT เป็นที่นิยมกว่าเสมอสำหรับการใช้งานพิเศษ เช่น เว็บไซต์โทรคมนาคมที่ได้รับประโยชน์จากการต่อลงดินที่ปราศจากสัญญาณรบกวน นอกจากนี้ เครือข่าย TT ยังไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงร้ายแรงในกรณีที่เป็นกลางเสีย นอกจากนี้ ในสถานที่ที่มีการจ่ายไฟเหนือศีรษะ ตัวนำลงดินจะไม่เสี่ยงต่อการมีชีวิต หากตัวนำจ่ายไฟเหนือศีรษะหักโดยต้นไม้หรือกิ่งไม้หัก

ในยุคก่อน RCD ระบบสายดิน TT นั้นไม่น่าสนใจสำหรับการใช้งานทั่วไปเนื่องจากความยากลำบากในการจัดเตรียมการตัดการเชื่อมต่ออัตโนมัติที่เชื่อถือได้ (ADS) ในกรณีของการลัดวงจรระหว่างสายกับ PE (เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ TN ซึ่งเบรกเกอร์ตัวเดียวกัน หรือฟิวส์จะทำงานสำหรับความผิดพลาด L-N หรือ L-PE อย่างใดอย่างหนึ่ง) แต่เนื่องจากอุปกรณ์กระแสไฟตกค้างช่วยลดข้อเสียนี้ ระบบสายดิน TT จึงมีความน่าสนใจมากขึ้นโดยที่วงจรไฟฟ้ากระแสสลับทั้งหมดได้รับการป้องกัน RCD ในบางประเทศ (เช่น สหราชอาณาจักร) แนะนำให้ใช้ TT สำหรับสถานการณ์ที่โซนศักย์ไฟฟ้าที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำนั้นไม่สามารถบำรุงรักษาได้โดยการยึดติด ซึ่งมีการเดินสายไฟภายนอกอาคารที่สำคัญ เช่น อุปกรณ์จ่ายไฟไปยังบ้านเคลื่อนที่และการตั้งค่าเกษตรกรรมบางอย่าง หรือเมื่อเกิดข้อผิดพลาดสูง กระแสน้ำอาจก่อให้เกิดอันตรายอื่นๆ เช่น ที่คลังเชื้อเพลิงหรือท่าจอดเรือ

ระบบสายดิน TT ถูกใช้ทั่วประเทศญี่ปุ่น โดยหน่วย RCD ในสถานที่อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ หรือแม้แต่ที่บ้าน สิ่งนี้สามารถกำหนดข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับตัวแปลงความถี่และแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตช์ซึ่งมักจะมีตัวกรองจำนวนมากที่ส่งผ่านสัญญาณรบกวนความถี่สูงไปยังตัวนำกราวด์

IT network

ในเครือข่ายไอที (isolé-terre) ระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่มีการเชื่อมต่อกับสายดินเลย หรือมีเพียงการเชื่อมต่อแบบอิมพีแดนซ์สูง




**รูปที่ 4.8** ระบบ IT network

หมายเหตุ. จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Earthing_system

**ตารางที่ 4.2** เปรียบเทียบระบบสายดิน

| Topic | TT | IT | TN-S | TN-C | TN-C-S |
|---|---|---|---|---|---|
| Earth fault loop impedance | High | Highest | Low | Low | Low |
| RCD preferred? | Yes | Yes | Optional | No | Optional |
| Need earth electrode at site? | Yes | Yes | No | No | Optional |
| PE conductor cost | Low | Low | Highest | Least | High |
| Risk of broken PEN-conductor | No | No | High | Highest | High |
| Safety | Safe | Less Safe | Safest | Least Safe | Safe |

หมายเหตุ. จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Earthing_system

การต่อลงดิน สำหรับวงจรและระบบไฟฟ้า การเลือกขนาดสาย วิธีการติดตั้งการต่อสายดินในแต่ละส่วนแต่ละพื้นที่ในระบบไฟฟ้า และค่าความต้านทานระหว่างหลักดินกับดิน (Wikipedia, n.d.)

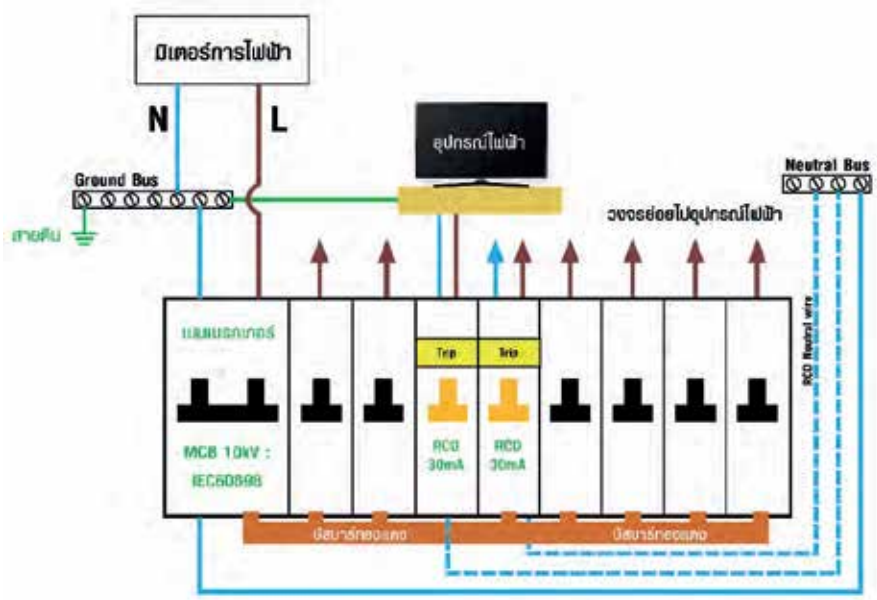
### 4.3 วงจรและระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ต้องต่อลงดิน

การต่อลงดินในแต่ละวงจรและในระบบไฟฟ้ากระแสสลับต้องมีการต่อลงดินตามวัตถุประสงค์และตามหลักการที่ใช้พิจารณารายการคำนวณการต่อลงดิน การต่อสายดิน การต่อสายต่อฝาก เป็นต้น

ระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าเกิน 50 – 1,000 V ต้องต่อลงดินตามข้อกำหนดในแต่ละระบบไฟฟ้าดังนี้

4.3.1 ระบบ 1 เฟส 3 สาย

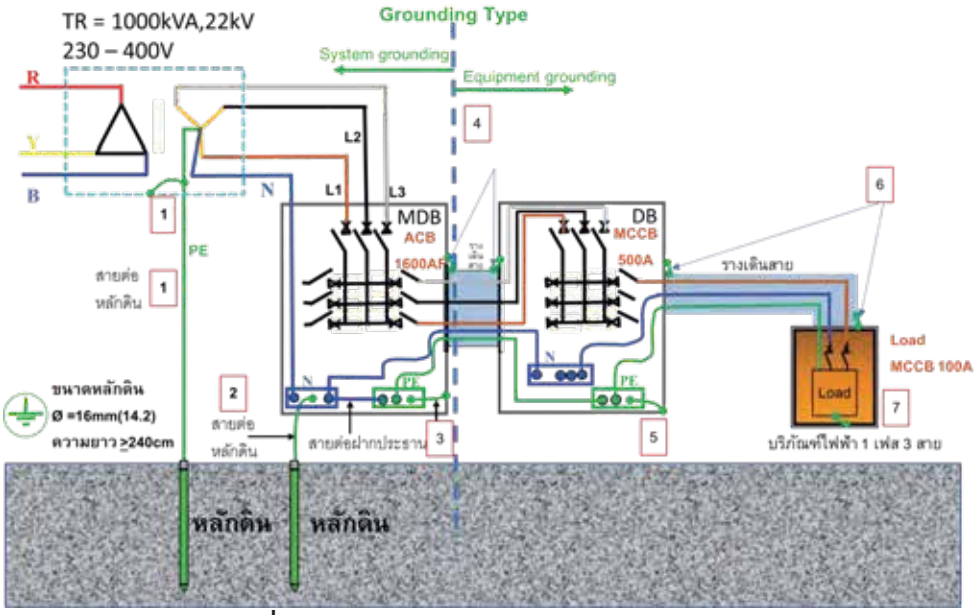
การไฟฟ้าฯ ที่จ่ายไฟ 1 เฟส 2 สาย ให้กับที่อยู่อาศัย ผู้อยู่อาศัยต้องจัดทำสายดินและหลักดินเพิ่มเติมและเดินสาย ทั้งนี้ติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วแบบ 1 Pole หรือ 1 ขั้ว ที่มีสายนิวทรัลติดมากับ RCD ด้วย การติดตั้งสายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจะเป็นการเดินสายดังรูป



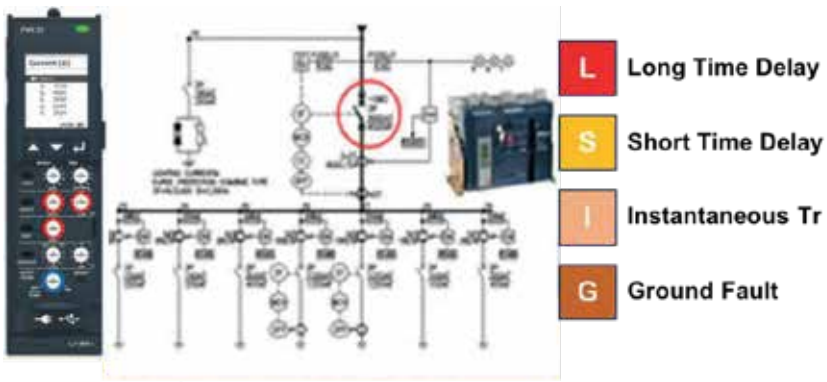

**รูปที่ 4.9** การต่อลงดินระบบ 1 เฟส 3 สาย

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 5 หลักการใช้ทั่วไปของเครื่องใช้ไฟฟ้าสำหรับใช้ในที่อยู่อาศัย* (น. 95-100), โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ข, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ*, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.

4.3.2 ระบบ 3 เฟส 5 สาย




**รูปที่ 4.10** การต่อลงดินของระบบ 3 เฟส 5 สาย




**รูปที่ 4.11** Single line การใช้ Ground Fault Protection

หมายเหตุ. จาก เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง *การประยุกต์ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ สำหรับ Ground fault protection*, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ข วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ, กรุงเทพฯ.; จาก https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V70I12P205

### 4.4 วงจรและระบบไฟฟ้าที่ห้ามต่อลงดิน

4.4.1 วงจรปั้นจั่น ที่มีการใช้งานเหนือวัสดุที่สามารถติดไฟง่าย เช่น เส้นใย หรือการใช้งานปั้นจั่นในบริเวณอันตราย

4.4.2 วงจรสำหรับศูนย์ดูแลสุขภาพ (health care center) สถานพยาบาล (medical facility) สำหรับวงจรที่ห้ามต่อลงดิน หรือการต่อลงดินที่ผิดหลักการ

4.4.3 วงจรและระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าเกิน 1,000 V มีการจ่ายไฟฟ้าชนิดเคลื่อนที่ได้ จะต้องต่อลงดิน การจ่ายไฟให้บริภัณฑ์ไฟฟ้าอื่นๆ ให้ต่อลงดิน โดยไม่ขัดกับข้อกำหนดอื่นๆ

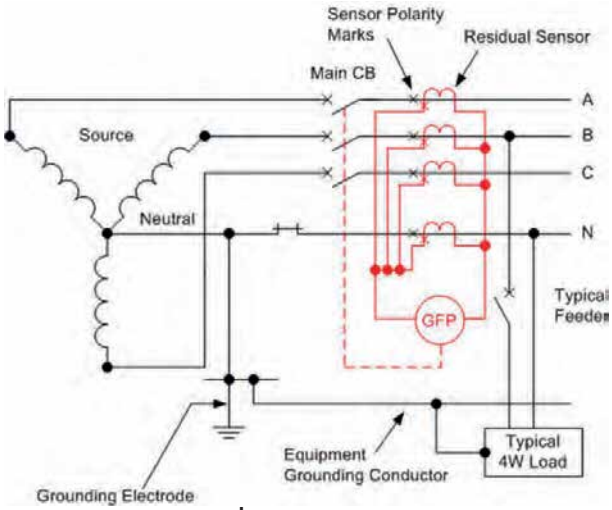
### 4.5 การต่อลงดินของระบบประธาน

ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องต่อลงดินในระบบไฟฟ้าตามข้อ 4.1 (ของมาตรฐานการติดตั้ง วสท.) การต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธาน การต่อฝากระหว่างบัสบาร์นิวทรัลกับบัสบาร์กราวด์ ภายในบริภัณฑ์ประธาน (MDB)

การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าภายนอกอาคาร จะต้องต่อลงดินด้านไฟออกของหม้อแปลงไฟฟ้าตรงจุดที่ติดตั้งหม้อแปลงที่เหมาะสมสะดวกสำหรับการตรวจสอบบำรุงรักษา

### 4.6 การป้องกันไฟรั่วสำหรับระบบไฟฟ้า

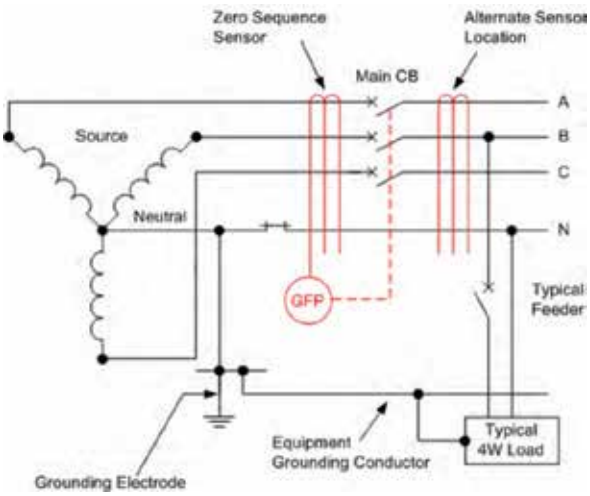
4.6.1 Residual Sensing: RS




**รูปที่ 4.12** ระบบ RS

หมายเหตุ. จาก เอกสารการบรรยาย การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า โดย วิทยา ธีระสาส์น, ม.ป.ป., ม.ป.พ.

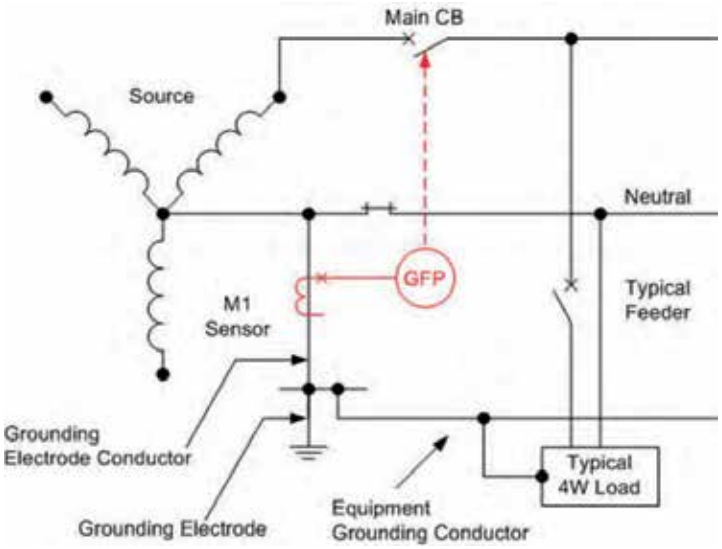
4.6.2 Zero Sequence Sensing: ZSS




**รูปที่ 4.13** ระบบ ZSS

หมายเหตุ. จาก เอกสารการบรรยาย การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า โดย วิทยา ธีระสาส์น, ม.ป.ป., ม.ป.พ.

4.6.3 Source Ground Return: SGR

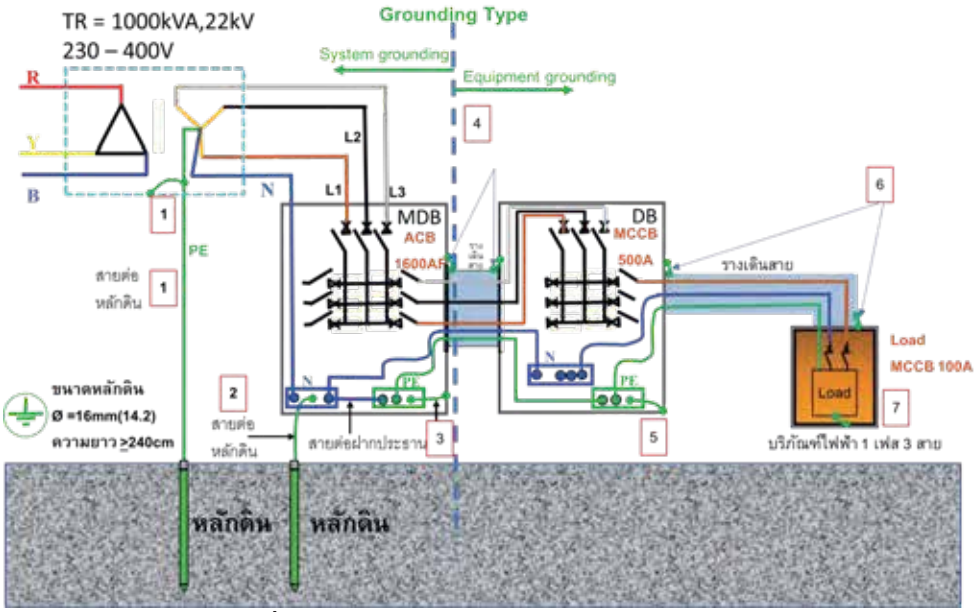



**รูปที่ 4.14** ระบบ SGR

หมายเหตุ. จาก เอกสารการบรรยาย การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า โดย วิทยา ธีระสาส์น, ม.ป.ป., ม.ป.พ.

## 4.7 ชนิดการต่อลงดิน

ในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เกี่ยวข้องกับระบบสายต่อลงดินในระบบไฟฟ้าตามบทที่ 4 ของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย (วสท.) จะต้องมีรายละเอียดในการคำนวณเพื่อออกแบบระบบสายต่อลงดินในแต่ละตำแหน่งแต่ละส่วน ตามเงื่อนไขข้อกำหนดในแต่ละส่วนดังภาพนี้




**รูปที่ 4.15** ภาพชนิดการต่อลงดิน (Grounding type)

ตามภาพชนิดการต่อลงดินข้างต้น สามารถหารายการคำนวณ เพื่อออกแบบระบบสายต่อลงดินในแต่ละส่วนของระบบไฟฟ้าได้โดยต้องพิจารณาชนิดของการต่อลงดิน Grounding type ที่มีหลักการดังนี้

### 4.7.1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (system grounding)

เป็นการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า หรือการต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าในส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้า (หม้อแปลง หรือ แผงบริภัณฑ์ประธานรวมแรงต่ำ หรือ MDB: Main Distribution Board) ลงดินด้วยสายต่อลงดินผ่านหลักดิน หรือส่วนที่ทำหน้าที่แทนหลักดิน การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าในส่วนของ system grounding จะมีตำแหน่งต่างๆดังนี้

**ตำแหน่งที่ 1** การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าส่วนทุติยภูมิ

**ตำแหน่งที่ 2** สายต่อหลักดิน ที่ต่อมาจากนิวทรัลเทอร์มินอลบาร์ของ MDB โดยมีนิวทรัลที่มาจากหม้อแปลง มาเข้าที่นิวทรัลเทอร์มินอลบาร์ของ MDB

**ตำแหน่งที่ 3 สายต่อฝากประธาน** สายต่อฝากที่นิวทรัลเทอร์มินอลเชื่อมต่อกับกราวนด์เทอร์มินอล บาร์ ดังภาพชนิดการต่อลงดิน




การต่อลงดินที่ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 เป็นจุดต่อลงดินที่ต้องอยู่ในพื้นที่หรือจุดที่เข้าถึงสะดวกที่จุดลงดินเพื่อการตรวจสอบ การบำรุงรักษา และที่ปลายตัวนำประธาน หรือบัส หรือขั้วต่อที่ต่อเข้ากับตัวนำนิวทรัลของตัวนำประธานภายในแผงบริภัณฑ์ประธานรวมแรงต่ำ โดยหลังจากแผงบริภัณฑ์ประธานรวมแรงต่ำต้องไม่มีการต่อลงดินอีก สำหรับการออกแบบ การติดตั้งระบบไฟฟ้าโดยปกติ




ทั้งนี้หากมีความจำเป็นที่จะมีการต่อลงดินเพิ่มเติม ต้องพิจารณาตามหลักการทางไฟฟ้าอย่างดี ต้องปลอดภัยถูกต้องตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าฯ และของมาตรฐานฯ ก่อนการพิจารณา ตามภาพตัวอย่างการใช้ ground pit หรือ บ่อหลักดิน เพื่อใช้ทดสอบบริภัณฑ์ประธานรวมแรงต่ำ หรือ MDB ทั้งนี้จะไม่มีการต่อลงดินหรือการต่อผ่านหลักดินตำแหน่ง 4 และ 5 ดังภาพชนิดการต่อลงดินด้านล่างนี้



**รูปที่ 4.16** การวัดค่าความต้านทานดิน

### 4.7.2 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า (equipment grounding)

เป็นการต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า โดยใช้สายดินที่ได้รับการต่อลงดินแล้ว ผ่านแผงบริภัณฑ์ประธานรวมแรงต่ำ หรือ MDB ทั้งนี้จะไม่มีการต่อลงดินหรือการต่อผ่านหลักดินใดๆ อีก โดยการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าจะมีการต่อลงดินที่ตำแหน่ง 4, 5, 6 และ 7 ดังภาพชนิดการต่อลงดิน

**ตำแหน่งที่ 4 และ 6 สายดิน เป็นสายต่อฝาก เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องของระบบไฟฟ้า**

**ตำแหน่งที่ 5 และ 7 สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า หรือ Equipment ground**

## 4.8 รายการคำนวณ เพื่อออกแบบระบบสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

ชนิดการต่อลงดินที่ตำแหน่งต่างๆ สามารถจัดทำรายการคำนวณ เพื่อออกแบบระบบสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้าในแต่ละตำแหน่งได้ดังนี้

**Note: รายละเอียดข้อความ รูป และส่วนต่าง ๆ เป็นลิขสิทธิ์ของผู้เขียนเท่านั้น**

### 4.8.1 การหาขนาดสายดินที่หม้อแปลงส่วนทุติยภูมิ 1

การหาขนาดสายดินที่หม้อแปลงไฟฟ้าส่วนทุติยภูมิ กรณีที่มีการซื้อไฟฟ้าแรงดันปานกลาง 12 kV / 22 kV / 24 kV ก็ตาม การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าในโครงการที่มีการการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ ΔY ที่ส่วนทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าจะต้องต่อลงดินแบบสตาร์พอทย์ (star point) ตามภาพชนิดการต่อลงดิน ที่สามารถจัดทำรายการคำนวณ เพื่อหาขนาดสายต่อลงดินได้ดังนี้

เมื่อมีการกำหนดขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า จะได้ขนาดพิกัดกระแสแรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้า เช่น กรณีหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1000 kVA จะมีพิกัดกระแสที่ 1,443 A การพิจารณาหาขนาดสายต่อลงดินให้พิจารณาตามตารางที่ 4-1 ขนาดต่ำสุดของสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า วสท.)

กำหนดให้ขนาดสายประธาน 4 x (4-300sq.mm)

ผลรวมของพื้นที่หน้าตัดสายเส้นไฟทุกเส้นในเฟสเดียวกัน = 4 x 300

= 1,200 sq.mm

ตามตาราง 4-1 : วสท. ขนาดตัวนำสายประธานเกิน 500 sq.mm จึงเลือก ขนาดต่ำสุด ของสายต่อลงดิน(สายต่อหลักดิน) ของระบบไฟฟ้าขนาด 95 sq.mm

**ตารางที่ 4.3** ขนาดต่ำสุดของสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (ตารางที่ 4-1 : วสท.)

| ขนาดตัวนำประธาน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.) | ขนาดต่ำสุดของสายต่อลงดิน (ตัวนำทองแดง) (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 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โดย * แนะนำให้ติดตั้งในท่ออโลหะ หากติดตั้งในท่อโลหะต้องมีการต่อฝากเข้ากับท่อโลหะ

### 4.8.2 การหาขนาดสายต่อหลักดิน 2

สายต่อหลักดิน ที่ต่อมาจากนิวทรัลเทอร์มินอลบาร์ของ MDB ลงดิน โดยมีนิวทรัลที่มาจากหม้อแปลง มาเข้าที่นิวทรัลเทอร์มินอลบาร์ของ MDB เพื่อเดินสายลงหลักดิน

กำหนดให้ขนาดสายประธาน 4 x (4-300sq.mm)

ผลรวมของพื้นที่หน้าตัดสายเส้นไฟทุกเส้นในเฟสเดียวกัน = 4 x 300

= 1,200 sq.mm

ตามตาราง 4-1 : วสท. ขนาดตัวนำสายประธานเกิน 500 sq.mm จึงเลือก ขนาดต่ำสุด ของสายต่อลงดิน(สายต่อหลักดิน) ของระบบไฟฟ้าขนาด 95 sq.mm

**ดังนั้นสายต่อหลักดิน หรือ สายต่อลงดินที่จุด 1 และ 2 มีวิธีการคำนวณหาเหมือนกัน**

### 4.8.3 การหาขนาดสายต่อฝากประธาน 3

สายต่อฝากประธาน ที่เป็นสายต่อระหว่างนิวทรัลเทอร์มินอลบาร์กับกราวนด์เทอร์มินอลบาร์ มีข้อกำหนดตามตารางที่ 4.1 และต้องมีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่เล็กกว่า 12.5% ของขนาดสายเมนที่แผงบริภัณฑ์ประธานรวมแรงต่ำ

- ถ้าขนาดที่ได้ตามตารางที่ 4.1 ใหญ่กว่าขนาดที่คำนวณได้จาก 12.5% ก็ให้ใช้ ตามตารางที่ 4.1
- ถ้าขนาดที่คำนวณได้จาก 12.5% ใหญ่กว่า ขนาดที่ได้ตามตารางที่ 4.1 ก็ให้ใช้ ตามขนาดที่คำนวณได้จาก 12.5%

หมายเหตุ สายต่อฝากประธาน และสายต่อฝากของบริภัณฑ์ประธานกับโครงของบริภัณฑ์ประธาน มีรายการคำนวณแนวทางการคำนวณตามจุดที่ 3

### 4.8.4 การหาขนาดสายดินสำหรับวงจร 4

สำหรับการคำนวณหาขนาดสายดินตั้งแต่จุดที่ 4, 5, 6 และ 7 ถือเป็นสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (equipment ground) โดยสายดินสำหรับวงจร เป็นสายที่เดินจากกราวนด์เทอร์มินอลบาร์ของ MDB โดยสายดินที่ออกจาก MDB จะไม่มีการต่อลงดินในที่อื่นๆ อีก สายดินสำหรับวงจรที่ใช้ต่อระหว่าง MDB – DB, DB – SDB, SDB – LC, LC – Consumer unit และสายดินไปยังบริภัณฑ์ไฟฟ้าหรือโหลด มีการคำนวณหาขนาดสายดินโดยการพิจารณาจากขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB) ตามตารางที่ 4-2

**ตารางที่ 4.4** ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตารางที่ 4-2 : วสท.)

| พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกิน (A) | ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (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 |

หมายเหตุ * ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าใช้สำหรับที่อยู่อาศัยหรืออาคารของผู้ใช้ไฟที่อยู่ห่างจากหม้อแปลงระบบจำหน่ายระยะไม่เกิน 100 เมตร กรณีที่ผู้ใช้ไฟอยู่ห่างจากหม้อแปลงระบบจำหน่ายระยะเกิน 100 เมตร ให้ดูภาคผนวก ญ. ตารางที่ ญ.6 ถึง ตารางที่ ญ.12

จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

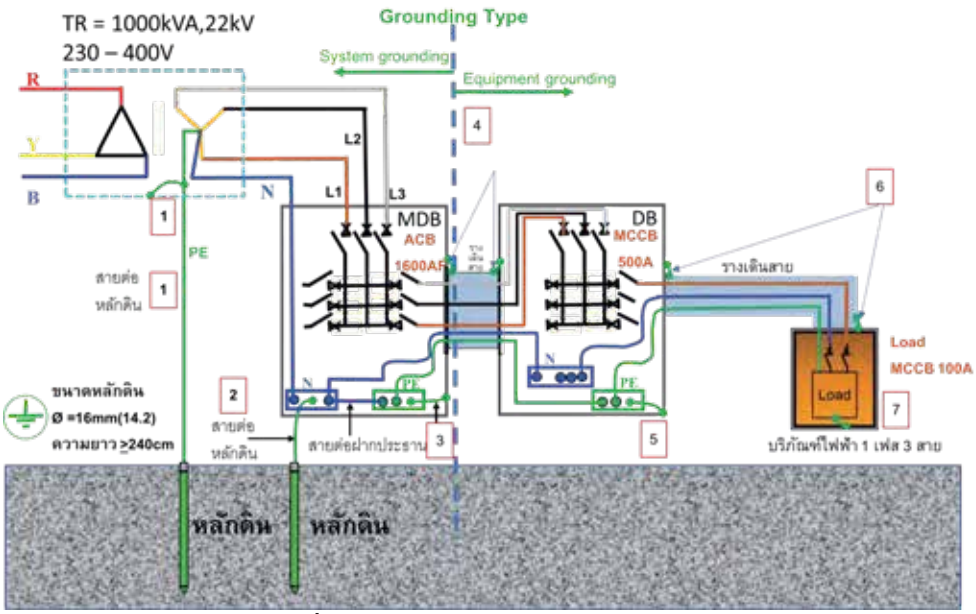
### 4.8.5 การหาขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า 5

สายดินสำหรับบริภัณฑ์ไฟฟ้า เป็นสายที่เดินจากกราวนด์เทอร์มินอลบาร์ของแผงสวิตช์ โดยสายดินที่ออกจาก MDB จะไม่มีการต่อลงดินในที่อื่นๆ อีกแล้ว สายดินสำหรับวงจรที่ใช้ต่อระหว่าง MDB – DB, DB – SDB, SDB – LC และ LC – Consumer unit มีการหาขนาดสายดินโดยการพิจารณาตามตารางที่ 4-2 ที่พิจารณาจากขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB)

## 4.9 ตัวอย่าง กรณีศึกษาการต่อลงดิน

**ตัวอย่างที่ 4.1**

โรงงาน BCC ซื้อไฟฟ้าที่ 22 kV ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบน้ำมันตั้งบนลานหม้อแปลงขนาด 1,000 kVA, 22 kV / 230 – 400 V โดย MDB มีเมนเบรกเกอร์ขนาด 1,600 AF มีการเดินสายร้อยท่อด้วยสายไฟ XLPE ติดผนังตามกลุ่มที่ 2 แบบสายแกนเดี่ยว ตามตารางที่ 5-27 (วสท.) โดยใช้สายไฟขนาด 240 $mm^2$ ที่มีพิกัดการรับกระแสได้ที่ 410 A จึงเลือกใช้สายควบ 240 $mm^2$ จำนวน 4 เส้น (410 x 4=1640 A) : 4 x (4-240 $mm^2$) ที่ตู้ DB มีเมน MCCB 3P ขนาด 500 A โดยที่ DB มีวงจรย่อย MCCB 1P ขนาด 100 AF และ DB จ่ายไฟให้โหลดที่ขนาด MCCB 2P ขนาด 100 A โดยโหลดแบบปกติมีการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 100 A จงหาขนาดสายดินแต่ละช่วงตามโจทย์ที่ให้นี้




**รูปที่ 4.17** ตัวอย่าง กรณีศึกษาการต่อลงดิน

ตามภาพการต่อลงดินข้างต้น สามารถหารายการคำนวณ เพื่อออกแบบระบบสายต่อลงดินในแต่ละส่วนของระบบไฟฟ้าได้โดยต้องพิจารณาชนิดของการต่อลงดิน Grounding type ตั้งแต่ 1 – 7 ที่มีหลักการในการออกแบบระบบสายต่อลงดินในแต่ละส่วนดังนี้

**@ การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (system grounding)** เป็นการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าหรือการต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าในส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้า (หม้อแปลง หรือ แผงบริภัณฑ์ประธานรวมแรงต่ำ หรือ MDB: Main Distribution Board) ลงดินด้วยสายต่อลงดินผ่านหลักดินหรือส่วนที่ทำหน้าที่แทนหลักดิน การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าในส่วนของ system grounding จะมีตำแหล่งที่ 1 – 3 ดังนี้

### 4.9.1 การหาขนาดสายดินที่หม้อแปลงส่วนทุติยภูมิ 1

การหาขนาดสายดินที่หม้อแปลงไฟฟ้าส่วนทุติยภูมิ กรณีที่มีการซื้อไฟฟ้าแรงดันปานกลาง 22 kV การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าในโครงการที่มีการการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ ΔY ที่ส่วนทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าจะต้องต่อลงดินแบบสตาร์พอทย์ (Star point) ตามภาพชนิดการต่อลงดิน ที่สามารถจัดทำรายการคำนวณ เพื่อหาขนาดสายต่อลงดินได้ดังนี้

เมื่อมีการกำหนดขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า จะได้ขนาดพิกัดกระแสแรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1000 kVA จะมีพิกัดกระแสที่ 1,443 A เลือกขนาด ACB 3P 1600 AF หรือ 1600 A การพิจารณาหาขนาดสายต่อลงดินให้พิจารณาที่ผลรวมขนาดตัวนำของสายประธานตามตารางที่ 4-1 โดยการใช้สายตัวนำประธานขนาด 1600 A มีการเดินสายร้อยท่อสายไฟติดผนังตามกลุ่มที่ 2 แบบสายแกนเดี่ยว โดยใช้สายไฟขนาด 240 $mm^2$ ที่มีพิกัดการรับกระแสได้ที่ 410 A จึงเลือกใช้สายควบ 240 $mm^2$ จำนวน 4 เส้น ซึ่งสามารถจ่ายกระแสได้ที่ 410 x 4 = 1,640 A ดังนั้นผลรวมขนาดตัวนำประธานจึงได้ 240 x 4 = 960 $mm^2$ ตามข้อกำหนดของตาราง 4-1 ที่ขนาดตัวนำประธานมีสันผ่าศูนย์กลางเกิน 500 $mm^2$ จึงเลือกใช้สายต่อลงดินขนาดต่ำสุดของสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ตำแหน่งที่ 1 ที่ 95 $mm^2$

**ตารางที่ 4.5** ขนาดต่ำสุดของสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (ตารางที่ 4-1 : วสท.)

| ขนาดตัวนำประธาน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.) | ขนาดต่ำสุดของสายต่อลงดิน (ตัวนำทองแดง) (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 |

หมายเหตุ * แนะนำให้ติดตั้งในท่อโลหะ หากติดตั้งในท่อโลหะต้องมีการต่อฝากเข้ากับท่อโลหะ

จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

### 4.9.2 การหาขนาดสายต่อหลักดิน 2

สายต่อหลักดิน ที่ต่อมาจากนิวทรัลเทอร์มินอลบาร์ของ MDB ลงดิน โดยมีนิวทรัลที่มาจากหม้อแปลง มาเข้าที่นิวทรัลเทอร์มินอลบาร์ของ MDB เพื่อเดินสายลงหลักดิน ตามขนาดสายตัวนำประธานตำแหน่งที่ 1 โดยจุดที่ 1 เลือกใช้สายไฟ 4 x (4-240 $mm^2$) มีพื้นที่หน้าตัดของสายไฟเมนที่ 960 $mm^2$ ซึ่งมีขนาดพื้นที่หน้าตัดมากกว่า 500 $mm^2$ ตามตารางที่ 4-1 จึงเลือกใช้ขนาดพื้นที่หน้าตัดสายต่อหลักดินที่ 95 $mm^2$ ดังนั้นขนาดสายต่อหลักดินตำแหน่งที่ 2 ใช้ขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ 95 $mm^2$ (สายต่อหลักดินจุดที่ 1 และ 2 จึงเลือกใช้สายต่อหลักดินที่ขนาด 95 $mm^2$)

### 4.9.3 การหาขนาดสายต่อฝากประธาน 3

สายต่อฝากประธาน ที่เป็นสายต่อระหว่างนิวทรัลเทอร์มินอลบาร์กับกราวนด์เทอร์มินอลบาร์ ตามขนาดสายตัวนำประธาน เลือกใช้สายไฟ 4 x (4-240 $mm^2$)

- พื้นที่หน้าตัดของสายไฟเมนที่ 960 $mm^2$ ซึ่งมีขนาดพื้นที่หน้าตัดมากกว่า 500 $mm^2$ ตามตารางที่ 4-1 ใช้ขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ 95 $mm^2$
- พื้นที่หน้าตัดของสายไฟเมนที่ 960 $mm^2$ โดย 12.5% ของ 960 $mm^2$ = 120 $mm^2$

**ดังนั้นเลือกขนาดสายต่อฝากที่บริภัณฑ์ประธาน ขนาด 120 $mm^2$ (เลือกที่ใหญ่กว่า)**

### 4.9.4 การหาขนาดสายดิน (ตามหลักการสากลเรียกว่า PE) ระหว่าง MDB – DB 4

สายดิน (ตามหลักการสากลเรียกว่า PE) สำหรับวงจร เป็นสายที่เดินจากกราวนด์เทอร์มินอลบาร์ของ MDB โดยสายดินที่ออกจาก MDB จะไม่มีการต่อลงดินในที่อื่นๆ อีกแล้ว สายดิน (ตามหลักการสากลเรียกว่า PE) สำหรับวงจรที่ใช้ต่อระหว่าง MDB – DB, DB – SDB, SDB – LC และ LC – Consumer unit มีการหาขนาดสายดินโดยการพิจารณาตามตารางที่ 4-2 ที่พิจารณาจากขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB)

MDB มีวงจรย่อย MCCB 3P 500A จ่ายให้ DB ที่ขนาดเมน MCCB 3P 500A ตามตารางที่ 4-2 เลือกขนาดสายดินที่ต่อระหว่าง MDB – DB ที่ขนาด 35 $mm^2$

**ตารางที่ 4.6** ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าตามพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (ตารางที่ 4.2 : วสท.)

| พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกิน (A) | ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (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 |

หมายเหตุ * แนะนำให้ติดตั้งในท่ออโลหะ หากติดตั้งในท่อโลหะต้องมีการต่อฝากเข้ากับท่อโลหะ

จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โดยกำหนดให้ ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าใช้สำหรับที่อยู่อาศัยหรืออาคารของผู้ใช้ไฟที่อยู่ห่างจากหม้อแปลงระบบจำหน่ายระยะไม่เกิน 100 เมตร กรณีที่ผู้ใช้ไฟอยู่ห่างจากหม้อแปลงระบบจำหน่ายระยะเกิน 100 เมตร ให้ดูภาคผนวก ญ. ตารางที่ ญ.6 ถึง ตารางที่ ญ.12 (มาตรฐานการติดตั้งฯ วสท.)

### 4.9.5 การหาขนาดสายดินที่ต่อภายในของ DB 5

สายดินสำหรับ DB เป็นสายที่เดินจากกราวนด์เทอร์มินอลบาร์ของแผงสวิตช์เชื่อมกับแผงสวิตช์ (DB) โดยสายดินที่ออกจาก DB การหาขนาดสายดินโดยการพิจารณาตามตารางที่ 4-2 ที่พิจารณาจากขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB) Main ของแผงสวิตช์ (DB) ขนาด 500 A ได้สายขนาด 35 $mm^2$ เป็นสายที่ Equipment bounding ระหว่างกราวนด์เทอร์มินอลบาร์ของ DB กับโครงของแผงสวิตช์ DB

### 4.9.6 การหาขนาดสายดิน (ตามหลักการสากลเรียกว่า PE) ที่ต่อระหว่างวงจรจากแผงสวิตช์ DB ไปยังบริภัณฑ์ไฟฟ้า (โหลด) ที่มี MCCB 3P 6

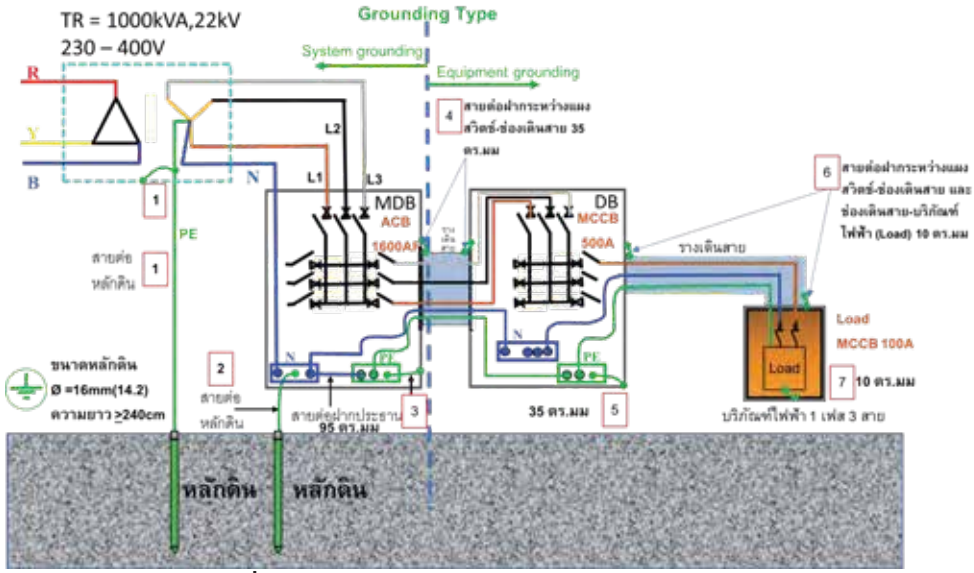
สายดิน (ตามหลักการสากลเรียกว่า PE) สำหรับวงจร เป็นสายที่เดินจากกราวนด์เทอร์มินอลบาร์ของ DB โดยสายดินที่ออกจาก DB จะไม่มีการต่อลงดินในที่อื่นๆ อีกแล้ว สายดิน (ตามหลักการสากลเรียกว่า PE) สำหรับวงจรที่ใช้ต่อระหว่าง MDB – DB, DB มีวงจรย่อย MCCB ขนาด 100 A – บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่มี MCCB 3P ขนาด 100 A มีการหาขนาดสายดิน(ตามหลักการสากลเรียกว่า PE) โดยการพิจารณาตามตารางที่ 4-2 ที่พิจารณาจากขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB)

แผงสวิตช์ DB มีวงจรย่อย MCCB 3P 500A จ่ายให้บริภัณฑ์ไฟฟ้า (โหลด) ที่ MCCB 3P 100A ตามตารางที่ 4-2 เลือกขนาดสายดิน (ตามหลักการสากลเรียกว่า PE) ที่ต่อระหว่าง DB – Load ที่ขนาด 10 $mm^2$

### 4.9.7 การหาขนาดสายดินที่ต่อภายในโหลดที่มี MCCB คุมขนาด 100A 7

สายดินสำหรับโหลดที่มี MCCB ขนาด 100 A เป็นสายดินที่เดินจากโหลดไปที่โครงของโหลด เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน โดยการพิจารณาตามตารางที่ 4-2 ที่พิจารณาจากขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ MCCB ขนาด 100 A ได้สายขนาด 10 $mm^2$ เป็นสายดินที่เรียกว่า Equipment bounding ระหว่างโหลดกับโครงของโหลด

ดังนั้นจึงสามารถสรุปรายการคำนวณขนาดสายดินในส่วน System ground และสายดิน (ตามหลักการสากลเรียกว่า PE) ในส่วนของ Equipment ground ตามรูปด้านล่างนี้



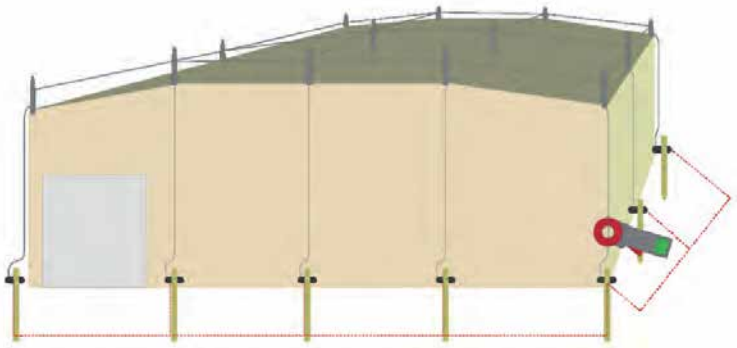

**รูปที่ 4.18** สรุปคำตอบตัวอย่าง กรณีศึกษาการต่อลงดิน

จากรายการคำนวณและภาพประกอบด้านบน สามารถสรุปหาขนาดสายดิน สาย PE ทั้งส่วน system grounding และ equipment grounding ในส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

1. สายดินของหม้อแปลงไฟฟ้าส่วนทุติยภูมิ ขนาด 95 $mm^2$
2. สายต่อหลักดิน ขนาด 95 $mm^2$
3. สายต่อฝากประธาน ระหว่างนิวทรัลบาร์ - PE bar ขนาด 95 $mm^2$
4. สายต่อฝากระหว่าง PE bar - โครง MDB โดยสายดิน (PE) ระหว่าง MDB – DB และสายต่อฝากที่รางเดินสาย ขนาด 35 $mm^2$
5. สายต่อฝากระหว่าง PE bar - โครง DB ขนาด 35 $mm^2$
6. สายดิน (PE) ระหว่าง DB – Load และสายต่อฝากที่รางเดินสาย ขนาด 10 $mm^2$
7. สายต่อฝากระหว่าง PE bar - โครง Load ขนาด 10 $mm^2$




การวัดและตรวจสอบระบบป้องกันฟ้าผ่าและการต่อลงดินอย่างต่อเนื่อง หรือเป็นประจำปี ตามกฎหมายคุ้มครองแรงงาน จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการตรวจสอบระบบป้องกันฟ้าผ่าและการต่อลงดินว่าระบบป้องกันฟ้าผ่าจะยังดีหรือยังมีอยู่ตามปกติหรือไม่ หรือค่า Ground loop ของระบบการต่อลงดินที่ยังมีสภาพดีอยู่หรือไม่โดยการใช้เครื่องมือตรวจวัดที่มีการ calibration และการตรวจวัดเป็นประจำปีอย่างต่อเนื่อง



**รูปที่ 4.19** การตรวจสอบวัดค่า Ground loop ของระบบป้องกันฟ้าผ่าและการต่อลงดินเป็นประจำ
หมายเหตุ. จาก Kumwell Corporation CO.,LTD. (n.d.). *Technical Catalogue.* Kumwell.




ความต่อเนื่องทางไฟฟ้า โดยการต่อสายไฟ หรือ บัส ต้องมีการป้องกันสนิม เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งานหรือผู้ปฏิบัติงานหรือผู้เกี่ยวข้อง จากความต่อเนื่องของระบบไฟฟ้าที่มีความสมบูรณ์ ด้วยการบำรุงรักษาเป็นประจำเดือน เป็นประจำปี อย่างต่อเนื่อง รวมถึงการหาแนวทางที่ยั่งยืนจากการปลอดสนิม และมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าอย่างสมบูรณ์

# บทที่ 5

# บริภัณฑ์ไฟฟ้า (Electrical Equipment)

สำหรับบริภัณฑ์ไฟฟ้าถือเป็น Subset หรือส่วนหนึ่งในระบบไฟฟ้า โดยเรื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าเป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งส่วนหนึ่ง มากกว่า 30 ปีที่ผ่านมา เราไม่เคยสนใจเรื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้ามากนัก ปัจจุบันท่านคงได้เห็นผลที่เกิดขึ้น คือเรื่องความไม่ปลอดภัย การออกแบบที่มากเกินการใช้งานจริง ดังนั้นท่านจะออกแบบได้ดี ท่านจะควบคุมการติดตั้งฯได้ดี ท่านจะใช้งานระบบไฟฟ้าได้ดี ท่านจะบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าได้ดี ท่านต้องมีความรู้ความเข้าใจ มีทักษะความสามารถในเรื่องของบริภัณฑ์ไฟฟ้าเป็นอย่างดี หากท่านสามารถเข้าใจ เข้าถึงเทคโนโลยีและการประยุกต์ใช้บริภัณฑ์ไฟฟ้าได้ ท่านจะสามารถบรรลุเป้าหมายทางวิศวกรรมฯสำหรับระบบไฟฟ้านั้นๆ ได้อย่างดียิ่งด้วย (เตชทัต บูรณะอัศวกุล, ม.ป.ป.ข) บริภัณฑ์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60038 ได้แบ่งตามระดับแรงดันไฟฟ้าดังนี้

< 1,000 V = บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ

> 1 kV – 35 kV = บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันปานกลาง

> 35 kV – 230 kV = บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันสูง

บริภัณฑ์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าที่นิยมใช้กันเป็นส่วนใหญ่มีดังนี้

: แผงสวิตช์แรงดันปานกลาง (MV Switchgear)

: หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

: ตัวปรับปรุงประกอบกำลัง (Power Factor: PF)

: แผงสวิตช์แรงดันต่ำ (LV Switchgear)

: อุปกรณ์ป้องกัน (Protection Equipment) (เซอร์กิตเบรกเกอร์ เครื่องตัดไฟรั่ว เป็นต้น)

: สายไฟฟ้า แรงดันปานกลาง (MV Cable)

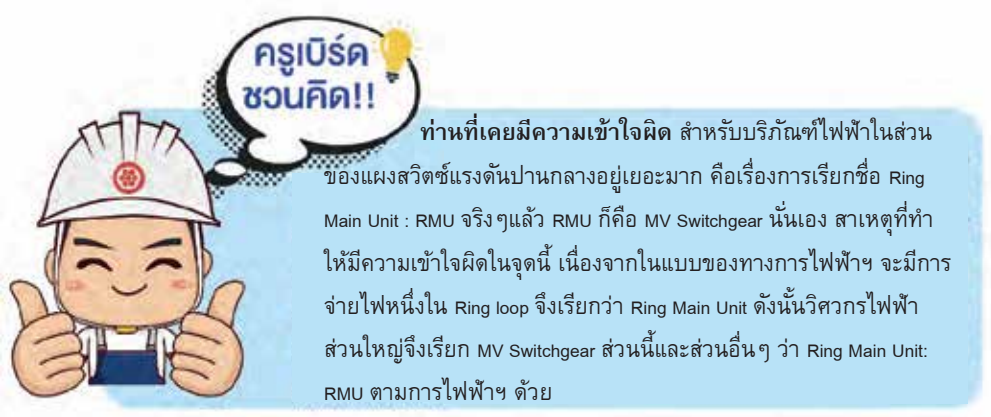
: สายไฟฟ้า แรงดันต่ำ (LV Cable)

: สายทนไฟฟ้า แรงดันต่ำ (LV Fire Resistant Cable)

: ช่องเดินสาย ท่อร้อยสาย อุปกรณ์ประกอบและกล่องต่อสายไฟ

### 5.1 แผงสวิตช์แรงดันปานกลาง (MV Switchgear)

แผงสวิตช์แรงดันปานกลาง (MV Switchgear) หรือ สวิตช์เกียร์และคอนโทรลเกียร์ แรงดันปานกลาง (Medium-voltage switchgear and controlgear) ถือเป็นหนึ่งในบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่รับไฟจากทางการไฟฟ้าฯ หรือรับไฟจากสถานีไฟฟ้า ในประเทศไทย เพื่อจำหน่ายไฟฟ้าให้กับผู้ประกอบการที่ต้องการขอไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง




**ระดับแรงดันไฟฟ้าที่มีใช้ในประเทศไทย**

แรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) มีระดับแรงดันปานกลางที่ยังใช้งานอยู่ที่ระดับ 12 kV และ 24 kV โดยทางการไฟฟ้านครหลวงกำลังเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าให้เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าปานกลางเดียวที่ 24 kV เพื่อความสะดวกในการให้บริการในอนาคต (แรงดันที่ 12 kV จะใช้งานในพื้นที่เกาะรัตนโกสินทร์และพื้นที่พระสมุทรเจดีย์)

แรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ. ) มีระดับแรงดันปานกลางที่ยังใช้งานอยู่ที่ระดับ 22 kV และ 33 kV (เฉพาะภาคใต้ เริ่มตั้งแต่จังหวัดระนองลงไป) โดยทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีนโยบายเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าให้เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าปานกลางเดียวที่ 22 kV เพื่อความสะดวกในการให้บริการในอนาคตและสอดคล้องกับระบบไฟฟ้าในภูมิภาคที่เป็นประเทศเพื่อนบ้านกันด้วย ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันจาก 33 kV เป็น 22 kV นั้นจำเป็นต้องใช้งบประมาณในการลงทุนค่อนข้างสูงมาก เนื่องจากมีพื้นที่ใหญ่ทั้งภาคใต้ ขณะนี้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำลังอยู่ในช่วงการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการฯ

การกำหนดระดับแรงดันไฟฟ้าของมาตรฐาน IEC 60038 ได้แบ่งระดับดังนี้

- ไฟฟ้าแรงดันต่ำ : LV (Low Voltage) $\leq$ 1000 Vac (1 kV)
- ไฟฟ้าแรงดันปานกลาง MV (Medium Voltage) 1 kV $\leq$ 35 kV
- ไฟฟ้าแรงดันสูง HV (High Voltage) 35 kV $\leq$ 230 kV
- ไฟฟ้าแรงดันสูงเอ็กซ์ตรา EHV (Extra High Voltage) 230 kV $\leq$ 800 kV
- ไฟฟ้าแรงดันสูงอัลตรา UHV (Ultra High Voltage) =1200 kV (practiced in USA)

ในส่วนนี้จะกล่าวถึง สวิตช์เกียร์ที่ระดับไฟฟ้าแรงดันปานกลาง Medium Voltage Switchgear หรือ บางทีอาจเรียกว่า แผงสวิตช์แรงดันปานกลาง หรือ สวิตช์เกียร์แรงดันไฟฟ้าปานกลาง หรือ สวิตช์เกียร์และคอนโทรลเกียร์แรงดันปานกลาง ขอเรียกในเอกสารนี้ว่า สวิตช์เกียร์ คือ ที่ระดับ 1 kV หรือ $\leq$ 35 kV ที่มีการใช้กันค่อนข้างมาก รองจากไฟฟ้าแรงดันต่ำ (230 V / 400 V) ซึ่งในประเทศไทยเราจะใช้ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าปานกลางที่ 22 kV, 24 kV และ 33 kV โดยจะกล่าวถึงมาตรฐาน IEC ในหัวข้อต่างๆ ที่มีรายละเอียดครอบคลุมหรือเกี่ยวข้องกับเรื่องหลักๆ ของสวิตช์เกียร์ที่ระดับไฟฟ้าแรงดันปานกลาง มีดังนี้

IEC 62271-1 HV Switchgear and controlgear: Common Specifications

IEC 62271-100 HV Switchgear and controlgear: AC. Circuit breaker

IEC 62271-102 HV Switchgear and controlgear: AC. disconnectors and earthing switches

IEC 62271-105 HV Switchgear and controlgear: AC. switch-fuse combinations

IEC 62271-200 HV Switchgear and controlgear: AC. metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV $\geq$ 52 kV

IEC 62271-203 HV Switchgear and controlgear: AC. Gas-insulated metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 52 kV

IEC 61958 HV prefabricated switchgear and controlgear assemblies - Voltage presence indicating systems

IEC 60529 Degrees of Protection (IP)

IEC 60044-8 Instrument transformers – Electronic current transformers

IEC 600444-1 Instrument transformers – Current transformers

IEC 600444-2 Instrument transformers – Inductive voltage transformers

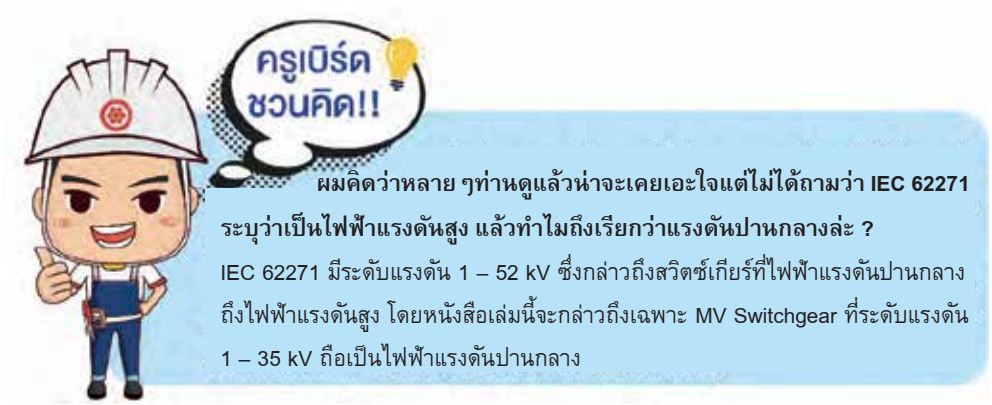
IEC 60255 Electrical Relays

มาตรฐานในประเทศไทยเรามี มอก.1436 ที่ได้กล่าวถึง ชุดประกอบสำเร็จควบคุมไฟฟ้าแรงดันต่ำก็จริง แต่ไม่ได้รวมถึง ตู้สวิตช์เกียร์แรงดันไฟฟ้าปานกลาง หรือ แรงดันไฟฟ้าสูง เพราะได้กล่าวครอบคลุมเฉพาะแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 1 kV สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส หรือ 3 เฟส ที่มีความถี่ไม่เกิน 1000 Hz

### 5.1.1 HV Switchgear and controlgear: Common Specifications IEC 62271-1

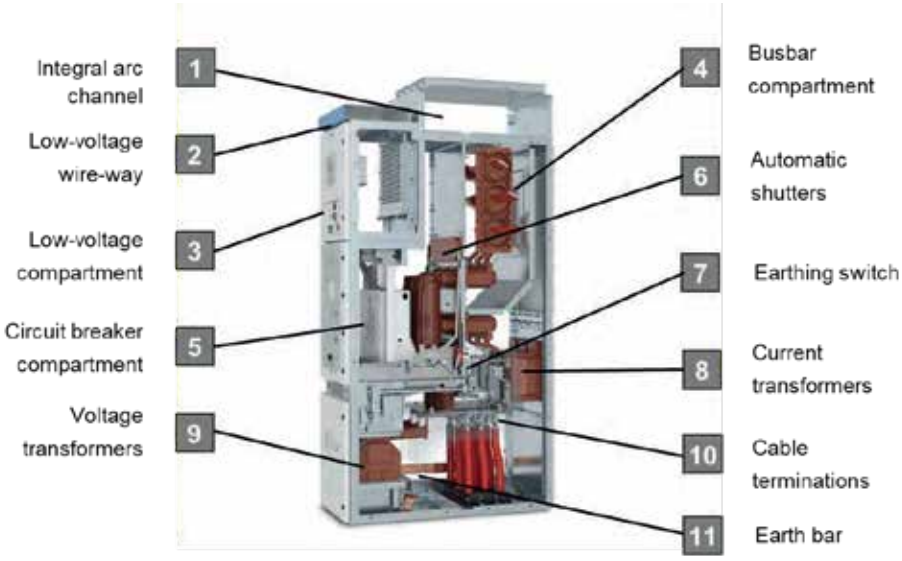
#### 5.1.1.1 รายละเอียดทั่วไป

รายละเอียดที่ครอบคลุมของ **IEC 62271-200** เป็นส่วนที่มีการประยุกต์ใช้กับสวิตช์เกียร์และคอนโทรลเกียร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ถูกออกแบบสำหรับการติดตั้งภายในและภายนอก และใช้สำหรับการทำงานที่ความถี่สูงและรวมถึง 60 Hz ของระบบแรงดันไฟฟ้าที่สูงเกิน 1 kV ถึง 52 kV




### 5.1.1.2 การออกแบบและโครงสร้าง

สำหรับ Sulfur hexafluoride ($SF_6$) ที่เติมใน สวิตช์เกียร์ ตาม IEC 60376 หรือ IEC 60480 สามารถใช้ได้ ความสอดคล้องกับการป้องกันการควบแน่น ความชื้นสูงสุดภายในสวิตช์เกียร์ไม่เกิน พิกัดความหนาแน่นในการเติมสำหรับก๊าซที่เป็นฉนวน จะเป็นน้ำค้างไม่เกิน –5 °C สำหรับการวัดที่ 20°C การตรวจที่เพียงพอจะทำสำหรับการวัด ทำที่อุณหภูมิอื่นๆ สำหรับการวัดและการกำหนดจุดน้ำค้าง ที่อ้างอิงตาม IEC 60376 หรือ IEC 60480 ภาพโครงสร้างสวิตช์เกียร์ฯ ที่เป็นแบบ GIS




**รูปที่ 5.1** ภาพโครงสร้างสวิตช์เกียร์ฯ ที่เป็นแบบ AIS หรือ Metal Clad Metal Enclosed Switchgear

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

ส่วนประกอบที่สำคัญของสวิตช์เกียร์และคอนโทรลเกียร์

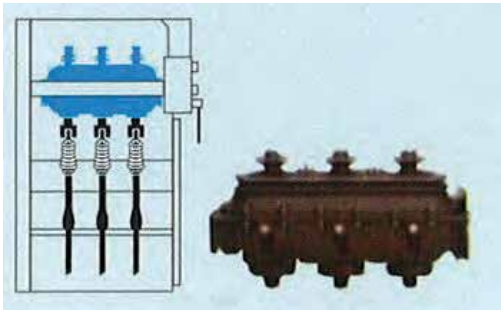
- อุปกรณ์ป้องกันและอุปกรณ์ตัดต่อ เช่น Vacuum Circuit Breaker, $SF_6$ Circuit Breaker, Switch with Fuse และ Switch เป็นต้น



(ก) (ข)

**รูปที่ 5.2** ภาพประกอบตัวอย่างของ VCB (ก) และ $SF_6$ Circuit breaker (ข)

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.



**รูปที่ 5.3** ภาพประกอบตัวอย่างของ Switch With Fuse และ Switch

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.

- อุปกรณ์ควบคุมของอุปกรณ์ป้องกันที่เกี่ยวข้อง



**รูปที่ 5.4** ภาพประกอบ Protection Relay

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

- **เครื่องวัด**



(ก) (ข)

**รูปที่ 5.5** ภาพประกอบของ current transformer(ก) ,current transducer(ข) ,

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

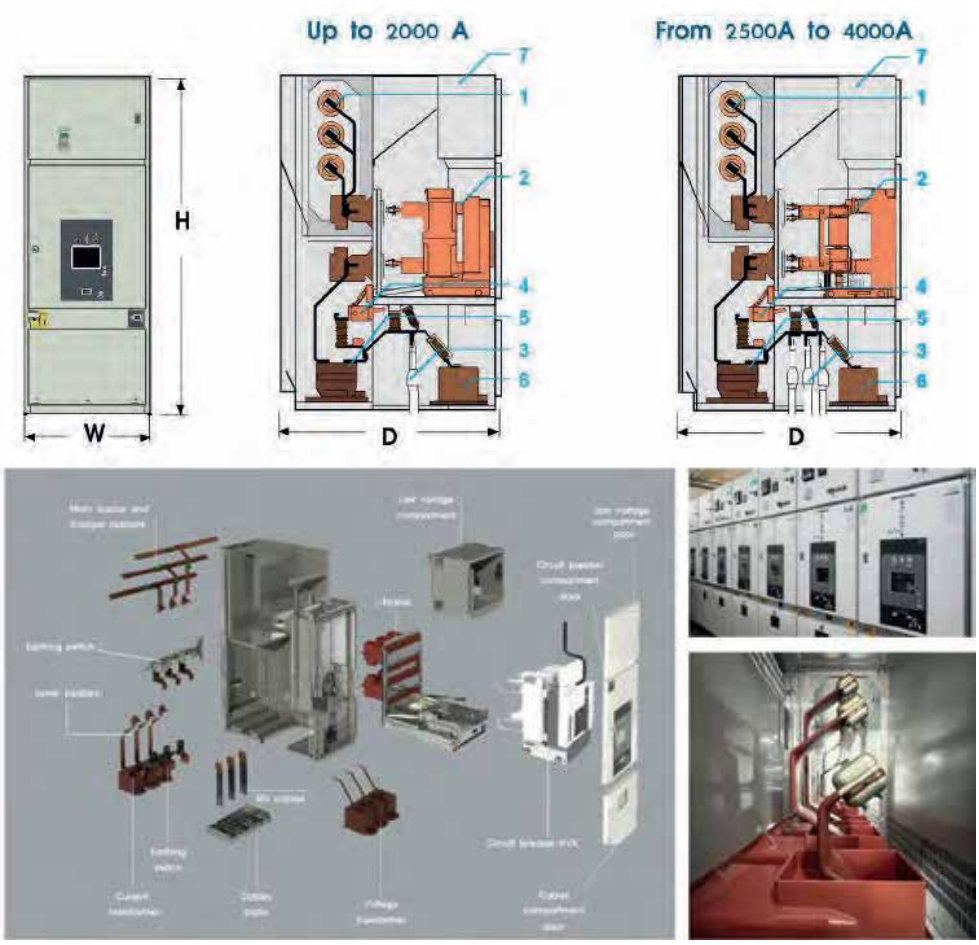
- ส่วนประกอบด้วยส่วนควบคุมที่เกี่ยวข้อง



**รูปที่ 5.6** ภาพประกอบของ voltage transformer

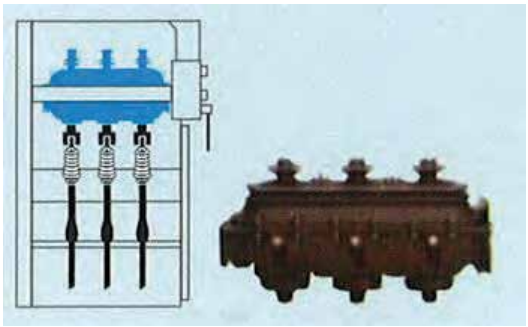
หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

- เปลือกและโครงสร้าง




**รูปที่ 5.7** ภาพโครงสร้างสวิตช์เกียร์ฯ AIS แบบ Metal Clad / Metal Enclosed Switchgear ที่กั้นแยกแต่ละส่วนโดยเหล็ก

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.



**รูปที่ 5.8** ภาพโครงสร้างสวิตช์เกียร์ฯ แบบ AIS แบบ Compartment Switchgear ที่กั้นแยกบางส่วนโดยเหล็กหรือ ฉนวน

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.

### 5.1.2 อุปกรณ์ป้องกัน สำหรับส่วนที่เป็นเซอร์กิตเบรกเกียร์กระแสไฟฟ้าสลับแรงดันสูง (HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR) Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers

#### 5.1.2.1 ส่วนทั่วไป

มาตรฐานสากลนี้ใช้ได้กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยต่อไปนี้ขอใช้ว่า CB และ CB กระแสไฟฟ้าสลับ ออกแบบมาสำหรับการติดตั้งในร่มหรือกลางแจ้งและสำหรับการทำงานที่ความถี่ของ 50 Hz และ 60 Hz

#### 5.1.2.2 กรณีปกติและการบริการพิเศษ (ตาม IEC60694)

#### 5.1.2.3 นิยามบางส่วน

- CB class C1 เป็น CB ที่มีความน่าจะเป็นที่ต่ำของการไม่ทำงานในระหว่างการตัดกระแสคาปาซิแตนซ์ ที่แสดงให้เห็นได้จากการ Type tests ที่เฉพาะเจาะจง

- CB class C2 เป็น CB ที่มีความน่าจะเป็นที่ต่ำมากๆ ของการไม่ทำงานในระหว่างการตัดกระแสคาปาซิแตนซ์ ที่แสดงให้เห็นได้จากการ Type tests ที่เฉพาะเจาะจง

- CB class M1 เป็น CB ที่มีความทนทานทางกลอย่างปกติ (Type test ทางกลสำหรับการทำงาน 2000 ครั้ง) ที่ไม่ตกอยู่ในประเภทของ M2 ที่กำหนดไว้ใน 3.4.117

- CB class M2 การทำงานบ่อยของ CB สำหรับความต้องการบริการพิเศษและได้รับการออกแบบเพื่อที่จะต้องการการบำรุงรักษาเพียงจำกัด ตามที่แสดงให้เห็นได้จากการทดสอบประเภทที่เฉพาะเจาะจง (CB ที่มีความอดทนกลขยายกลไกประเภทการทดสอบ)

- self-tripping circuit-breaker เป็น CB ที่ทริปโดยกระแสในวงจรหลักปราศจากรูปแบบการช่วยเหลือใดๆ ของ auxiliary power

**5.1.2.4 พิกัด**

คุณสมบัติของ CB รวมถึงอุปกรณ์การทำงานและอุปกรณ์ช่วย ที่อาจจะช่วยกำหนดพิกัดดังต่อไปนี้ (แรงดัน ระดับความเป็นฉนวน ความถี่ พิกัดกระแสต่างๆ แหล่งจ่ายแรงดัน แหล่งจ่ายความถี่ เป็นต้น)

**5.1.2.5 การออกแบบและโครงสร้าง** (ตาม IEC 60694)

- ความต้องการของเหลวสำหรับสวิตช์เกียร์ ผู้ผลิตจะต้องระบุชนิดและปริมาณที่ต้องการและคุณภาพของของเหลวที่จะใช้ในสวิตช์เกียร์ และให้ผู้ใช้มีคำแนะนำที่จำเป็นสำหรับการต่ออายุของเหลวและรักษาปริมาณที่ต้องการที่มีคุณภาพ

- ความต้องการสำหรับก๊าซในสวิตช์เกียร์ ผู้ผลิตจะต้องระบุชนิดและปริมาณที่ต้องการและคุณภาพของของเหลวที่จะใช้ในสวิตช์เกียร์ และให้ผู้ใช้มีคำแนะนำที่จำเป็นสำหรับการต่ออายุของเหลวและรักษาปริมาณที่ต้องการที่มีคุณภาพ

**5.1.2.6 Type tests** (ตาม IEC 60694) **มีรายละเอียดดังนี้**

- ทั่วไป Type tests หรือ การทดสอบเฉพาะแบบ (แปลตาม มอก.1436) ซึ่งมีความหมายเหมือนส่วนของแผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ แต่ในส่วนของสวิตช์เกียร์ไฟฟ้าแรงดันสูงนี้จะมีวัตถุประสงค์ของการเตรียมคุณสมบัติต่างๆ ของสวิตช์เกียร์ การทำงานของอุปกรณ์ และอุปกรณ์ช่วย
- กลุ่มของการทดสอบ การทดสอบเฉพาะแบบ จะได้รับการทำงานในขั้นสูงสุด ของ 4 การทดสอบนอกจากที่ระบุ ไว้เป็นอย่างอื่นที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐาน IEC โดย 4 ตัวอย่างของการทดสอบจะมีรายละเอียดตามตารางดังนี้

**ตารางที่ 5.1** Type test items

| Group | Type tests | Subclause |
|---|---|---|
| 1 | Dielectric tests on main, auxiliary and control circuits | 6.2 |
| | Radio interference voltage test | 6.3 |
| 2 | Measurement of resistance of the main current path | 6.4 |
| | Temperature rise tests | 6.5 |
| 3 | Short-time withstand current and peak withstand current test | 6.6 |
| | Making and breaking tests | -See relevant IEC Standard |
| 4 | Tests to verify the degrees of protection of enclosure | 6.7 |
| | Tightness tests | 6.8 |
| | Mechanical tests | See relevant IEC Standard |
| | Environmental tests | |

หมายเหตุ. จาก *IEC 62271 High voltage switchgear and controlgear*, IEC, 2007.

**5.1.2.7 ข้อมูลเพื่อระบุแบบอย่าง**

ผู้ผลิตจะต้องส่งไปยังห้องปฏิบัติการทดสอบ, แบบ และข้อมูลอื่น ๆ เพียงพอที่จะระบุอย่างชัดเจนโดยแบ่งตามชนิดรายละเอียดที่จำเป็นและชิ้นส่วนของสวิตช์เกียร์ที่นำเสนอสำหรับการทดสอบ แต่ละรูปแบบหรือกำหนดการข้อมูลจะได้รับการอ้างอิงที่ไม่ซ้ำกันและจะมีคำสั่งให้มีผลบังคับว่าการค้ำประกันผู้ผลิตที่แบบหรือตารางข้อมูลที่แท้จริงเป็นตัวแทนของสวิตช์เกียร์ที่ทดสอบ หลังจากนั้นจะถูกนำกลับไปยังผู้ผลิตเพื่อการจัดเก็บ ผู้ผลิตจะต้องเก็บรักษาบันทึกการออกแบบรายละเอียดของทุกชิ้นส่วนของสวิตช์เกียร์ ผ่านการทดสอบและต้องให้ความมั่นใจว่าสิ่งเหล่านี้อาจมีการระบุจากข้อมูลที่รวมอยู่ในแบบและตารางข้อมูล สำหรับระบุรายละเอียดของสวิตช์เกียร์นั้นๆ

**5.1.2.8 ข้อมูลจะถูกรวมอยู่ในรูปแบบรายงานผลการทดสอบเฉพาะแบบ**

ผลที่ได้จากการทดสอบเฉพาะแบบทุกชนิดจะได้รับการบันทึกไว้ในรูปแบบรายงานผลการทดสอบที่มีข้อมูลเพียงพอที่จะพิสูจน์การปฏิบัติตามข้อกำหนดและข้อมูลที่เพียงพอที่จะถูกรวมเพื่อระบุส่วนสำคัญของสวิตช์เกียร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลต่อไปนี้จะถูกรวมไว้ : ผู้ผลิต, ชนิด, เลขรหัส, พิกัดคุณสมบัติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องตามมาตรฐาน IEC, รายละเอียดทั่วไป เป็นต้น

- Dielectric tests ที่ปฏิบัติตามมาตรฐาน IEC 60060-1 เว้นแต่ที่ระบุในมาตรฐานนี้ การทดสอบ Radio Interference voltage ที่พิกัดแรงดัน 123 kV และที่สูงกว่า ตามหัวข้อ 6.2.3
- การวัดวงจรความต้านทาน ของ วงจรหลัก วงจรพลังงานต่ำ
- การทดสอบอุณหภูมิที่สูงขึ้น (temperature rise)
- การทดสอบ Short time withstand current และ peak withstand current tests
- การทวนสอบระดับการป้องกัน เช่น IP ,Mechanical impact test
- การทดสอบความหนาแน่น (Tightness tests) ในส่วนของการควบคุมสำหรับก๊าซในเรื่องระบบความดัน, ระบบปิดและการซีล, การทดสอบความหนาแน่นของของเหลว
- Electromagnetic compatibility tests (EMC)
- การทดสอบเพิ่มเติม รวมถึงการทวนสอบของวงจรช่วยและวงจรควบคุม
- Mechanical tests
- Environmental tests: Cold test, Dry heat test, damp heat & steady state test, Cyclic humidity test, Vibration response and seismic tests, final condition check
- X-radiation test procedure for vacuum interrupters

**5.1.2.9 Routine tests**

เป็นการทดสอบหลังการผลิตแล้วเสร็จ ตรวจสอบและทดสอบเพื่อให้มั่นใจว่าได้ผลิตได้อย่างปลอดภัย ถูกต้องตามมาตรฐาน Routine tests โดยมีรายละเอียดดังนี้

- Dielectric test on the main circuit ตาม IEC60060-1,2 และการขนส่งแต่ละส่วนจะต้องได้รับการทดสอบเงื่อนไขที่ระบุใหม่ ทำความสะอาดและมีสภาพที่แห้ง
- Tests on auxiliary and control circuits โดยการตรวจสอบของ auxiliary, วงจร

ควบคุม, การทดสอบฟังก์ชั่น, การทวนสอบการป้องกันไฟฟ้าช็อต และ Dielectric tests

- Measurement of the resistance of the main circuit เป็นการวัดด้วยแรงดันกระแสไฟตรงของแต่ละขั้วของวงจรหลัก โดยค่าความต้านทานที่วัดได้ต้องไม่เกิน 1.2 x Ru: Ru = คือค่าความต้านทานที่วัดได้ก่อนการทำทดสอบแบบ Temperature-rise
- Tightness test เป็นการควบคุมระบบความดันก๊าซ, ระบบความดันปิดผนึก (ก๊าซและสูญญากาศ) และการตรวจสอบรอบสุดท้าย ณ สถานที่ใช้งานจริง
- Design and visual checks เป็นการตรวจสอบเทียบกับรายละเอียดที่ได้สั่งซื้อ

**5.1.2.10 แนวทางในการเลือกสวิตช์เกียร์ฯ**

- การเลือกที่ค่าพิกัด โดยการเลือกตามคุณลักษณะสมบัติของระบบ รวมทั้งที่จะพัฒนาในอนาคต การพิจารณา ถึงสภาพบรรยากาศ ,ภูมิอากาศในท้องถิ่นและการใช้งานที่ระดับความสูงไม่เกิน 1000 เมตร
- หน้าที่ที่กำหนดโดยสภาพความผิด ควรจะถูกกำหนด โดยการคำนวณกระแสไฟฟ้าผิดพร่องในสถานที่ที่สวิตช์ เกียร์ที่จะอยู่ในระบบ การอ้างอิงจาก IEC60909-0,1
- การจ่ายกระแสเกินแบบชั่วคราวหรือต่อเนื่อง จากการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการให้บริการ
- การพิจารณาขนาดพิกัดกระแสและระยะเวลาของ แบตเตอร์รี่ชาร์ตเจอร์ หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง เพื่อใช้จ่ายไฟให้กับรีเลย์และวงจรที่เกี่ยวข้องของสวิตช์เกียร์ฯ เพื่อความปลอดภัยและการใช้งานที่สะดวก

**5.1.2.11 ข้อมูลในการสอบถามและสั่งซื้อ**

1) รายการของระบบ : แรงดันไฟฟ้าปกติและสูงสุด, ความถี่, ชนิดของระบบการต่อลงดิน
2) สภาพการบริการ ถ้าแตกต่างจากมาตรฐาน สภาพเบี่ยงเบนไปจากเงื่อนไขบริการตามปกติหรือพิเศษ หรือมีผลกระทบต่อการดำเนินงานที่น่าพอใจของอุปกรณ์ใดๆ
3) รายละเอียดของการติดตั้งและส่วนประกอบ

- การติดตั้งภายใน หรือ ภายนอก เพื่อการพิจารณาค่าดัชนี IP
- จำนวนเฟส
- จำนวนบัสบาร์ ที่แสดงใน single line diagram
- พิกัดแรงดัน
- พิกัดความถี่
- พิกัดระดับความเป็นฉนวน
- พิกัดกระแสปกติของบัสบาร์และวงจรจ่ายกระแส
- พิกัด short-time withstand current
- พิกัดระยะเวลาของการเกิดกระแสลัดวงจร (1 วินาที)

- พิกัด peak withstand current
- พิกัดค่าของส่วนประกอบ
- ระดับการป้องกันสำหรับสิ่งห่อหุ้มและการกั้น
- ไดอะแกรมวงจร

ตัวอย่างพิกัดค่าต่างๆ ของสวิตช์เกียร์ไฟฟ้าแรงดันปานกลาง

| | | |
|---|---|---|
| - | Rated voltage | : 24 kV |
| - | Nominal system voltage | : 24 kV |
| - | Number of phases | : 3 Pole |
| - | Rated insulation level | |
| - | Lightning impulse withstand voltage | : 125 kVpeak |
| - | Power frequency withstand voltage | : 50 kVrms |
| - | Rated frequency | : 50 Hz |
| - | Rated normal current | : 630 A หรือ ระบุในแบบ |
| - | Rated short time withstand current | : 25 kA |
| - | Rated peak withstand current | : 62.5 kA |
| - | Rated duration of short circuit | : 1 sec |
| - | Degree of protection for control unit and auxiliary equipment | : IP 3X |
| - | Power supply voltage for Meter, closing and tripping coils | : 110 Vdc |
| - | Auxiliary circuit | : 230 Vac/400 Vac 50 Hz |
| - | Internal arc with-stand | : 25 kA / 0.5 second |

**5.1.2.12 การขนส่ง การเก็บรักษา การติดตั้ง การทำงาน และการบำรุงรักษา**

สิ่งสำคัญที่การขนส่ง การเก็บรักษา และการติดตั้งของสวิตช์เกียร์และคอนโทรลเกียร์ เช่นเดียวกับการทำงานและการบำรุงรักษาในการบริการ จะต้องดำเนินการตามคำแนะนำของผู้ผลิต

### 5.2 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

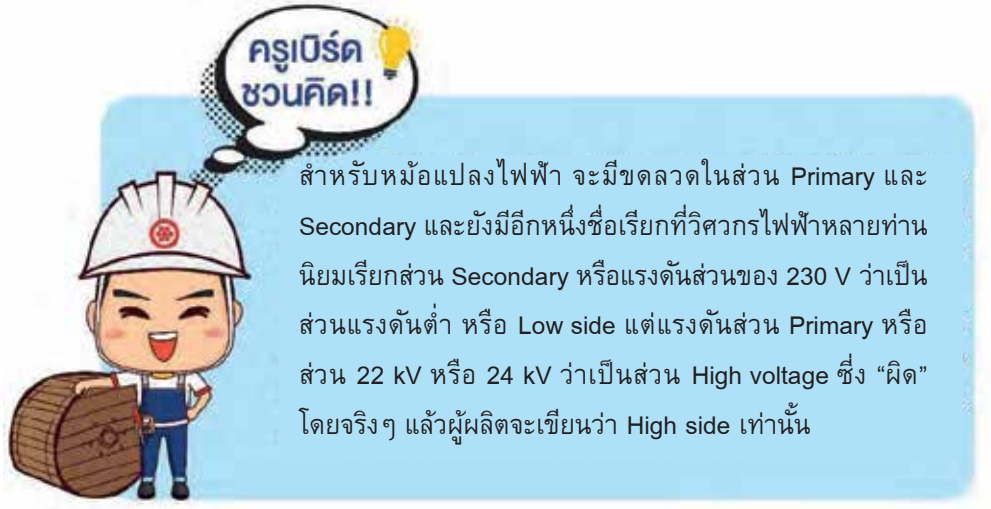
หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่แปลงแรงดันหรือแปลงกระแส ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าส่วนใหญ่จะใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแปลงแรงดันจากสูงลงมาต่ำ เช่น 115 kV แปลงลงที่ 12 kV หรือ 24 kV หรือ 24 kV แปลงลงที่ 230 V – 400 V หรือ 22 kV แปลงลงที่ 230 V – 400 V เป็นต้น หม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่ายจะทำการแปลงแรงดันเป็นหลัก ซึ่งมีผลกับพิกัดกระแสด้วย โดยจะมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับกระแสทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานกับการวัดค่าของมิเตอร์จะมีทั้งหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแส (บริษัท เจริญชัยหม้อแปลง จำกัด, ม.ป.ป.)

#### 5.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

**5.2.1.1** ความรู้เบื้องต้นหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าทำหน้าที่แปลงระดับของแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น หรือลดลง ตามที่ต้องการ ที่ความถี่เท่าเดิม โดยหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบจำหน่าย ส่วนใหญ่จะมีการแปลงแรงดันให้ลดลง เพื่อใช้งานกับบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่างๆ หม้อแปลงไฟฟ้าใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กผ่านขดลวด และแกนเหล็ก ที่ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) หรือเรียกว่า High side และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) หรือเรียกว่า Low side




หม้อแปลงไฟฟ้ามีหลายชนิด เช่น หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง หม้อแปลงจำหน่าย หม้อแปลงสำหรับเครื่องมือวัด ในส่วนนี้จะขอเน้นเฉพาะหม้อแปลงที่ใช้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า หม้อแปลงที่ทำหน้าที่ แปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจากระบบ แรงดันปานกลาง (Medium Voltage) แรงดันไม่เกิน 33 kV หรือ 24 kV หรือ 22 kV หรือ 12 kV ไปเป็นระบบแรงดันต่ำ (Low Voltage) ที่ 230 V / 400 V หรือ 220 V / 380 V เพื่อใช้งาน หม้อแปลงจะมีขนาดพิกัดหน่วยเป็น kVA ซึ่งจะแบ่งเป็น ระบบ 1 เฟส 2 สาย หรือ 1 เฟส 3 สาย และระบบ 3 เฟส 4 สาย สามารถแสดงดังรูปที่ 5.9




**รูปที่ 5.9** การส่งและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าระบบแรงดันและโหลดในการจ่ายไฟของการไฟฟ้าฯ

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

**ตารางที่ 5.2** แรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

| ระบบจำหน่าย | กฟน.(MEA) | กฟภ.(PEA) |
|---|---|---|
| ระบบแรงดันสูง | ≥15000 kVA 69 kV / 115 kV 3 Ph 3W | ≥ 10000 kVA 115 kV 3 Ph 3W |
| ระบบแรงดันปานกลาง | ≥ 300 kVA – < 15000 kVA<br>12 kV / 24 kV 3Ph 3W | ≥ 250 kVA – < 10000 kVA<br>22 kV / 33 kV 3Ph 3W |
| ระบบแรงดันต่ำ | < 300 kVA 240 V / 416 V | < 250 kVA 230 V / 400 V |
| แรงดันวัดได้ที่ขั้ว | 230 V / 400 V | 240 V / 416 V |
| แรงดันระบุ เพื่อการคำนวณ | 230 V / 400 V | 230 V / 400 V |

หมายเหตุ. จาก *สวิตช์เกียร์และคอนโทรลเกียร์ แรงดันปานกลาง,* โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, ม.ป.ป.ข, สภาวิศวกร.

**5.2.1.2** การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า มีแบ่งดังนี้

- การไฟฟ้านครหลวง (Metropolitan Electricity Authority: MEA) แรงดันระบบจำหน่าย 24 kV หรือ 12 kV / 24 kV และแรงดันที่ขั้วหม้อแปลง 230 V / 400 V, 3PH 3W Tapping Range: - 4 x 2.5% (Off-Load Tap- Changer on HV Side)
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (Provincial Electricity Authority: PEA) แรงดันระบบจำหน่าย 22 kV หรือ 33 kV

แรงดันที่ขั้วหม้อแปลง 240 V / 416 V, 3PH 3W. แรงดันบริการ 220 V / 380 V และแรงดันระบุ (nominal voltage) : 230 V / 400 V 3 PH 3W Tapping Range: ± 2 x 2.5% (Off-Load Tap Changer on HV Side)

ปัจจุบัน ค่าตัวเลขแรงดันไฟฟ้าซึ่งเรียกว่า แรงดันที่ระบุ (nominal voltage) ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ของ วสท. ให้มีค่าแรงดันไฟฟ้าระบุเพียงค่าเดียว เช่น แรงดันไฟฟ้า 230 V / 400 V และ 240 V / 416 V ให้เหลือเพียงค่าเดียวคือ 230 V / 400 V เพื่อความเป็นมาตรฐานสากลทั่วไป สำหรับประเทศไทย ระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ ชนิด 3 เฟส 4 สาย ก็กำหนดเป็น 230 V / 400 V และตามมาตรฐาน IEC จะใช้ค่าแรงดันที่ระบุนี้ เพื่อเป็นค่าที่ใช้คำนวณและการใช้ที่เป็นสากล จะได้เป็นค่าเดียวกันไม่สับสน

ทั้งนี้ทางการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะมีแรงดันที่รับประกันกับลูกค้าผู้ใช้ไฟ โดยใช้แรงดัน ณ จุดเชื่อมต่อใดๆ ในระบบจำหน่ายที่เชื่อมกับผู้ขอใช้ไฟฟ้าหรือผู้ใช้ไฟฟ้าหรือแรงดันที่ได้ ที่ขั้ว 230 V / 400 V. โดยมีค่า ±10% (200 V – 240 V / 342 V – 418 V)

**5.2.1.3** มาตรฐานหม้อแปลงไฟฟ้า

- มอก.384 / TIS 384 โดยมีการใช้ตามมาตรฐาน IEC 60076 และ IEEE ดังนี้
  - IEC 60076 Power Transformer
  - IEC 60076-1 Part 1: General
  - IEC 60076-2 Part 2: Temperature Rise
  - IEC 60076-3 Part 3: Insulation Level and Dielectric Tests
  - IEC 60076-4 Part 4: Lightning and Switching Impulse
  - IEC 60076-5 Part 5: Withstand Short Circuit
  - IEC 60076-11 Part 11: Dry-type Transformer
  - IEEE C57.12.00: General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers

**5.2.1.4** ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าจำหน่ายที่ใช้ในปัจจุบันมี 2 แบบคือ

5.2.1.4.1 หม้อแปลงแบบใช้ของเหลว (Liquid Immersed Transformers) หม้อแปลงที่ใช้ของเหลวเป็นฉนวนและตัวระบายความร้อนแบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

- หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้ (Flammable Liquid Insulated Transformer) หรือเรียกว่าหม้อแปลงน้ำมัน (Oil Type Transformer)
- หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟยาก (Less Flammable Liquid Insulated Transformer)
- หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ (Non-Flammable Fluid Insulated Transformer)

5.2.1.4.2 หม้อแปลงชนิดแห้ง (Dry type Transformer) เป็นหม้อแปลงที่ใช้ฉนวนเป็นเรซิ่น นิยมใช้ติดตั้งภายในอาคาร มีความปลอดภัยจากการเกิดเพลิงไหม้สูง หากหม้อแปลงมีปัญหาเกิดระเบิดขึ้นจะไม่มีส่วนไหนที่ติดไฟได้ จึงมีความปลอดภัยสูงกว่าหม้อแปลงแบบน้ำมัน



(ก)

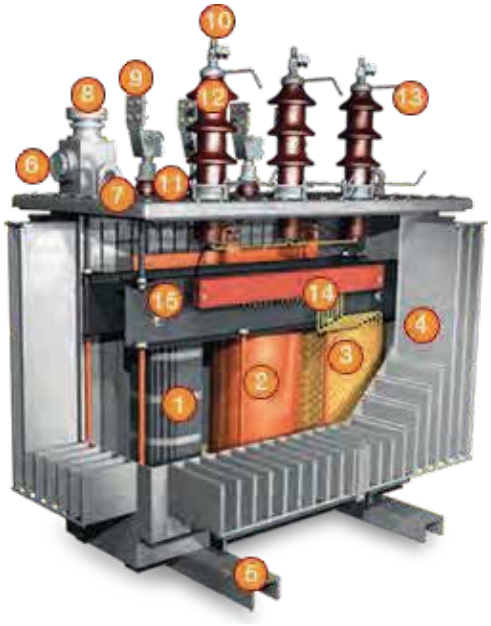


(ข)

**รูปที่ 5.10** หม้อแปลงชนิดแห้ง (Dry-type Transformer)(ก) และสิ่งห่อหุ้ม(ข)
หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิคของหม้อแปลงไฟฟ้า,* โดย บริษัท เจริญชัย หม้อแปลง จำกัด, ม.ป.ป.

**5.2.1.5** ส่วนประกอบของหม้อแปลง

- ส่วนประกอบของหม้อแปลงน้ำมัน มีดังนี้



1. Magnetic Core (แกนเหล็ก)
2. Low Voltage Winding (ขดลวดแรงต่ำ)
3. High Voltage Winding (ขดลวดแรงสูง)
4. Corrugated Tank (ตัวถัง และครีบระบายความร้อน)
5. Transformer Base (ฐานหม้อแปลง)
6. Oil Level Gauge (เกจวัดระดับน้ำมัน)
7. Lifting Eye (หูยกหม้อแปลง)
8. Pressure Relief Device (ท่อกันระเบิด)
9. Low Voltage Terminal (ขั้วต่อสายแรงต่ำ)
10. High Voltage Terminal (ขั้วต่อสายแรงสูง)
11. Low voltage Bushing (ลูกถ้วยแรงต่ำ)
12. High Voltage Bushing (ลูกถ้วยแรงสูง)
13. Arcing Horn (ล่อฟ้า)
14. Off-Load Tap Changer (แท็ปปรับแรงดัน)
15. Upper Steel Clamp (เหล็กหนีบแกนเหล็กด้านบน)

**รูปที่ 5.11** ส่วนประกอบของหม้อแปลงนำมันแบบ Corrugated Tank

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิคของหม้อแปลงไฟฟ้า,* โดย บริษัท เจริญชัย หม้อแปลง จำกัด, ม.ป.ป.

- ส่วนประกอบของหม้อแปลงแห้ง



1. Core (แกนเหล็ก)
2. Low Voltage Winding
3. High Voltage Winding
4. High Voltage Terminal
5. HV Delta Connection
6. High Voltage Tapping
7. Low Voltage Terminal
8. Neutral Terminal
9. Lifting Eyes
10. Upper Yoke Clamp
11. Spacer Block
12. Earthing Terminal
13. Lower Yoke Clamp
14. Roller Profile

**รูปที่ 5.12** รูปแสดง ตัวอย่างส่วนประกอบของหม้อแปลงแห้ง

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิคของหม้อแปลงไฟฟ้า,* โดย บริษัท เจริญชัย หม้อแปลง จำกัด, ม.ป.ป.

การป้องกันความร้อนหม้อแปลงแห้งหม้อแปลงแห้งชนิด Cast Resin จะต้องมีระบบป้องกันความร้อนเกินสำหรับขดลวด ระบบป้องกันความร้อนประกอบด้วยตัวรับสัญญาณ (Sensors) และ รีเลย์ความร้อน (Temperature Relay) ที่มีส่วนรับสัญญาณดังนี้

- รับสัญญาณ (Sensors) ตัวรับสัญญาณทำด้วย PTC (Positive Temperature Coefficient)
- รับสัญญาณระดับที่ 1 พัดลมทำงานที่อุณหภูมิปรับตั้ง 90 - 110 °C
- รับสัญญาณระดับที่ 2 ระบบเตือนทำงานที่อุณหภูมิปรับตั้ง 130 - 140 °C
- รับสัญญาณระดับที่ 3 ตัดวงจรทำงาน ที่อุณหภูมิปรับตั้ง 150 °C

หมายเหตุ การตัดวงจรทำงานของหม้อแปลง จำเป็นต้องเดินสายไฟไปที่แผงสวิตช์แรงดันปานกลาง เพื่อตัดวงจรการทำงานของหม้อแปลง

การเพิ่มพิกัดของหม้อแปลงแห้งด้วยการใช้พัดลม หม้อแปลงแห้งชนิด Cast Resin สามารถทำให้จ่ายโหลดได้เพิ่มประมาณ 30-40% จากพิกัดปกติของ หม้อแปลงได้โดยการติดตั้งพัดลมช่วยในการระบายความร้อน เมื่อหม้อแปลงเริ่มจ่ายโหลดเกินพิกัด ตัวรับสัญญาณความร้อนที่ฝั่งอยู่ใกล้จุดความร้อนสูงสุดจะส่งสัญญาณให้ชุดควบคุมรีเลย์ความร้อนทำงานและสั่ง ให้พัดลมทำงานเพื่อระบายความร้อนที่เพิ่มขึ้นออกไป




**ควรเลือกขนาดเมนของ CB อย่างไร?**

ปัจจุบันตาม มฐ. การติดตั้งฯ มีการเลือกขนาดเมน CB ที่พิกัด 100% ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแห้ง โดยไม่ได้คำนึงถึงการเพิ่มพิกัดการระบายความร้อน (Air Forced: AF) ซึ่งทางผู้ใช้งานจะไม่สามารถใช้ประโยชน์เรื่องการเพิ่มพิกัดการระบายความร้อนด้วยพัดลมได้

ทั้งนี้การออกแบบ ต้องมีการเลือกขนาดเมน CB ที่สามารถเพิ่มพิกัดการระบายความร้อนของหม้อแปลงแบบแห้งนี้ด้วย จึงจะได้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ที่ได้ออกแบบและผลิตหม้อแปลงแบบแห้งนี้

การเลือกขนาดและตำแหน่งการติดตั้งพัดลมต้องเป็นไปตามข้อแนะนำของผู้ผลิตพัดลม ระบายความร้อนแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

แบบติดตั้งพัดลมไว้ด้านบน (Cover Mounted Fan: CMF) การติดตั้งพัดลมแบบ CMF นั้น พัดลมจะดูดลมเข้า ให้ผ่านตัวหม้อแปลงเพื่อผลักความร้อนออกไป ดังนั้นเครื่องห่อหุ้ม (Enclosure) จะต้องออกแบบตามผู้ผลิตที่ทดสอบมา เพื่อบังคับลมให้ผ่านหม้อแปลง



**รูปที่ 5.13** การติดตั้งพัดลมไว้ในเครื่องห่อหุ้มแบบติดตั้งพัดลมไว้ด้านล่าง (Cross Flow Fan: CFF)

การติดตั้งพัดลมแบบ CFF พัดลมจะเป่าลมจากด้านล่างผ่านช่องอากาศ (Air Ducts) แบบนี้จะมีความสามารถในการอัดลมเพื่อไล่ความร้อนออกไปด้านบนได้ดี ซึ่งจะทำให้มีการระบายความร้อนของหม้อแปลงได้ดี

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.




การเลือกใช้หม้อแปลงจำหน่าย ควรมีการทดสอบพิกัดการใช้งานจริง ว่าสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ตามพิกัดได้ตามจริง




ทั้งนี้ต้องมีการทำความสะอาดห้องไฟฟ้าอย่างดีต่อเนื่อง เมื่อพัดลมทำงานจะได้ไม่มีฝุ่นหรือขยะที่พื้นถูกดูดขึ้นมาที่หม้อแปลงไฟฟ้าแบบแห้งและต้องมีการทำความสะอาดใช้สารหล่อลื่นในส่วนพัดลมอย่างต่อเนื่อง

กรณีที่หม้อแปลงแบบแห้งเกิดรอยขึ้นที่ผิวของหม้อแปลงดังภาพประกอบด้านล่างนี้ ควรมีการตรวจสอบค่า Partial Discharge : PD โดยสามารถทำการทดสอบแบบออนโหลดได้อย่างปลอดภัย ถ้าค่า PD ผ่านก็สามารถซ่อมแซมใช้งานต่อได้



**รูปที่ 5.14** การเกิดรอยที่ผิวของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแห้ง



**รูปที่ 5.15** หม้อแปลงแบบติดตั้งพัดลมไว้ด้านล่าง

หมายเหตุ: ผู้ออกแบบบางงานอาจไม่มีการออกแบบหรือระบุเรื่องการใช้พัดลมเพื่อทำงานแบบ Air Force: AF

**5.2.1.6** เครื่องห่อหุ้ม (Enclosure)

หม้อแปลงแห้งต้องติดตั้งในเครื่องห่อหุ้ม เพื่อความปลอดภัย และป้องกันการสัมผัส ซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดไฟช็อตจากแรงดันเหนี่ยวนำ สำหรับเครื่องห่อหุ้มที่ใช้ในอาคารตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยโดยของ วสท. กำหนดไว้ว่าเครื่องห่อหุ้มต้องมีค่าระดับการป้องกันไม่ต่ำกว่า IP21 ถ้ามีการใช้เครื่องห่อหุ้มที่ระดับ IP สูงขึ้นก็จะมีความสามารถในการป้องกันของแข็งและของเหลวได้ดีขึ้น แต่ก็จะมีผลเสียเรื่องการระบายความร้อนที่มากขึ้น ทั้งนี้ เครื่องห่อหุ้มต้องถูกต้องออกแบบโดยตรงจากผู้ผลิต ซึ่งสามารถผลิตได้ตามแบบที่ผู้ผลิตระบุ



**รูปที่ 5.16** เครื่องห่อหุ้ม (Enclosure)

- ระดับการป้องกันของเครื่องห่อหุ้ม สามารถดูได้จากตาราง IP ในส่วนของแผงสวิตช์แรงดันต่ำ

**5.2.1.7** ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้า

- หม้อแปลงน้ำมัน (Hermetically Sealed) 3 เฟส แรงดัน 12 kV–24 kV/230 V–400V

**ตารางที่ 5.3** พิกัดหม้อแปลงน้ำมัน 3 เฟส แรงดัน 12 kV–24 kV / 230 V–400V

| หม้อแปลง (kVA) | No-load Loss (W) | Load Loss at 75 °C (W) | Total Losses at 75 °C (W) | Impedance at 75 °C (%) | ขนาด(มิติ) หม้อแปลง | | | Oil qty. (Liter) | Total Weight (kgs) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | H (mm) | L (mm) | W (mm) | | |
| 100 | 250 | 1550 | 1800 | 4 | 1140 | 930 | 635 | 160 | 585 |
| 160 | 360 | 2100 | 2460 | 4 | 1190 | 1070 | 680 | 215 | 845 |
| 250 | 500 | 2950 | 3450 | 4 | 1285 | 1080 | 735 | 255 | 1065 |
| 315 | 700 | 3900 | 4600 | 4 | 1310 | 1190 | 795 | 360 | 1395 |
| 400 | 850 | 4600 | 5450 | 4 | 1330 | 1245 | 825 | 390 | 1550 |
| 500 | 1000 | 5500 | 6500 | 4 | 1405 | 1420 | 855 | 480 | 1910 |
| 630 | 1200 | 6500 | 7700 | 4 | 1445 | 1490 | 970 | 565 | 2155 |
| 800 | 1300 | 10000 | 11300 | 6 | 1495 | 1790 | 1090 | 655 | 2555 |
| 1000 | 1600 | 13000 | 14600 | 6 | 1515 | 1840 | 1270 | 740 | 2845 |
| 1250 | 1800 | 15500 | 17300 | 6 | 1635 | 2050 | 1290 | 860 | 3595 |
| 1600 | 2100 | 19500 | 21600 | 6 | 1695 | 2130 | 1300 | 1010 | 4200 |
| 2000 | 2600 | 22500 | 25100 | 6 | 1845 | 2160 | 1390 | 1220 | 5200 |
| 2500 | 3000 | 26500 | 29500 | 6 | 2120 | 2310 | 1420 | 1465 | 6130 |

หมายเหตุ จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิคของหม้อแปลงไฟฟ้า,* โดย บริษัท เจริญชัย หม้อแปลง จำกัด, (ม.ป.ป.)

จากตารางที่ 5.3 เป็นข้อมูลหม้อแปลงที่อาจเปลี่ยนแปลงไปตามมาตรฐานผู้ผลิตแต่ละผู้ผลิต ทั้งนี้ผู้ซื้อจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการระบุให้ทดสอบ หรือผู้ผลิตต้องมีใบรับรองการทดสอบประกอบ

- หม้อแปลงน้ำมัน 1 เฟส แรงดัน 12 – 24 kV / 230V ซึ่งพิกัดหม้อแปลงน้ำมัน1เฟส แรงดัน 12 – 24 kV / 230V ดังแสดงในตารางที่ 5.4

**ตารางที่ 5.4** พิกัดหม้อแปลงน้ำมัน 1 เฟส แรงดัน 12 kV – 24 kV / 230V

| หม้อแปลง (kVA) | No-load Loss (W) | Load Loss at 75 °C (W) | Total Losses at 75 °C (W) | Impedance at 75 °C (%) | ขนาด(มิติ) หม้อแปลง | | | Oil qty. (Liter) | Total Weight (kgs) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | H (mm) | L (mm) | W (mm) | | |
| 10 | 70 | 160 | 230 | 20 | 1180 | 550 | 460 | 45 | 160 |
| 20 | 110 | 330 | 440 | 20 | 1200 | 580 | 475 | 52 | 190 |
| 30 | 150 | 480 | 630 | 20 | 1230 | 610 | 490 | 60 | 220 |
| 50 | 190 | 740 | 930 | 22 | 1250 | 630 | 510 | 70 | 255 |
| 75 | 240 | 960 | 1200 | 22 | 1265 | 730 | 610 | 80 | 355 |

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิคของหม้อแปลงไฟฟ้า,* โดย บริษัท เจริญชัย หม้อแปลง จำกัด, (ม.ป.ป.)

โดยข้อมูลหม้อแปลงตารางที่ 5.4 ด้านบนนี้ สามารถเปลี่ยนแปลงไปตามมาตรฐานของแต่ละผู้ผลิต

- หม้อแปลงแห้ง (Cast Resin Dry Type Transformer) 3 เฟส แรงดัน 24 kV / 230–400V ข้อมูลพิกัดหม้อแปลงแห้ง 3 เฟส แรงดัน 24 kV / 230 – 400V สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.5

**ตารางที่ 5.5** พิกัดหม้อแปลงแห้ง 3 เฟส แรงดัน 24 kV / 230 V– 400V (AL/AL)

| หม้อแปลง (kVA) | No-load Loss (W) | Load Loss at 75 °C (W) | Total Losses at 75 °C (W) | Impedance at 75 °C (%) | ขนาด(มิติ) หม้อแปลง H (mm) | L (mm) | W (mm) | Noise Level (dB) | Total Weight (kgs) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1000 | 2650 | 9600 | 12250 | 6 | 1845 | 1760 | 980 | 59 | 2450 |
| 1250 | 3100 | 11800 | 14900 | 6 | 1935 | 1840 | 980 | 60 | 2780 |
| 1600 | 3500 | 14000 | 17500 | 6 | 2130 | 1900 | 980 | 61 | 3170 |
| 2000 | 4500 | 17000 | 21500 | 6 | 2095 | 2060 | 1270 | 64 | 4130 |
| 2500 | 5000 | 20000 | 25000 | 6 | 2285 | 2160 | 1270 | 66 | 4670 |

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิคของหม้อแปลงไฟฟ้า,* โดย บริษัท เจริญชัย หม้อแปลง จำกัด, (ม.ป.ป.)

โดยข้อมูลหม้อแปลงตารางที่ 5.5 ด้านบนนี้ สามารถเปลี่ยนแปลงไปตามมาตรฐานของแต่ละผู้ผลิต

2. ขนาด ความกว้าง ยาว สูง และน้ำหนัก ยังไม่ได้รวมเครื่องห่อหุ้ม ดังนั้นต้องสอบถามผู้ผลิตสำหรับขนาดหม้อแปลงที่รวมเครื่องห่อหุ้มเบ็ดเสร็จ หรือเป็นตามที่ผู้ผลิตระบุให้ผลิต

**5.2.1.8** นิยามที่ควรทราบ

- ขนาดพิกัด (kVA) คือขนาดของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่หม้อแปลงสามารถจ่ายออกไปให้แก่โหลด โดยที่ส่วนประกอบสำคัญของหม้อแปลงมีอุณหภูมิไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งทดสอบได้โดยใช้ Temperature Rise Test

- ค่า BIL (Basic Impulse Insulation Level) คือค่าที่แสดงความทนต่อแรงดันฟ้าผ่าหรือแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะ (Impulse) ปกติจะเกิดจากฟ้าผ่า ถ้าแรงดันเกินชั่วขณะที่เกิน BIL ฉนวนของหม้อแปลงจะชำรุดและใช้งานไม่ได้ หม้อแปลงจะต้องผ่านการทดสอบ BIL เพื่อทดสอบถึงความทนต่อแรงดันฟ้าผ่าก่อนที่จะนำมาใช้งาน สำหรับค่า BIL ตามมาตรฐาน IEC กำหนดค่า BIL ไว้ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.6

**ตารางที่ 5.6** ค่า BIL ที่พิกัดแรงดัน

| Rate Voltage (kV) | 3.6 | 12 | 22-24 | 36 |
|---|---|---|---|---|
| BIL (kV) | 45 | 75 | 125 | 170 |

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิคของหม้อแปลงไฟฟ้า,* โดย บริษัท เจริญชัย หม้อแปลง จำกัด, (ม.ป.ป.)

- แรงดันพิกัด (Rate Voltage) คือแรงดันที่จ่ายให้ทางด้านปฐมภูมิหรือแรงดันที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำทางด้านทุติยภูมิขณะไม่มีโหลด เช่น 12 kV/240 V-416V และ 22 kV/230 V-400 V เป็นต้น
- แท็ปเชนเจอร์ (Tap Changer) เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ ให้คงที่ หรือเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะงาน เช่นหม้อแปลงที่ใช้กับเตาหลอม เป็นต้น
- การแท็ปแยกแรงดัน (Tapping) คือการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลงได้ซึ่งจะคิดเป็นอัตราส่วนของแรงดันพิกัด (Rated Voltage) การปรับแท็ปแยกแรงดันนั้นต้องการให้แรงดันไฟฟ้าที่ออกจากหม้อแปลงสอดคล้องกับโหลดตามความต้องการ การเปลี่ยนแท็ปจะเปลี่ยนทางด้านขดลวดแรงสูง ซึ่งจะง่ายกว่าการเปลี่ยนแท็ป ด้านแรงต่ำ มาตรฐานแท็ป ของ กฟภ. ±2 x 2.5% ตัวอย่างข้อมูลการแท็ปแยกแรงดันดังที่แสดงในตารางที่ 5.7 และมาตรฐานแท็ป ของ กฟน. –4 x 2.5% ดังที่แสดงในตารางที่ 5.8

**ตารางที่ 5.7** การแท็ปแยกแรงดันของ กฟภ.

| Tap No. | Primary Volt (V) | Secondary Volt (V) | Ratio |
|---|---|---|---|
| 1 | 23100 | 400 | 57.75 |
| 2 | 22550 | 400 | 56.25 |
| 3 | 22000 | 400 | 55.00 |
| 4 | 21450 | 400 | 53.625 |
| 5 | 20900 | 400 | 52.25 |

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิคของหม้อแปลงไฟฟ้า,* โดย บริษัท เจริญชัย หม้อแปลง จำกัด, (ม.ป.ป.)

**ตารางที่ 5.8** การแท็ปแยกแรงดันของ กฟน.

| Tap No. | Primary Volt (V) | Secondary Volt (V) | Ratio |
|---|---|---|---|
| 1 | 24000 | 416 | 57.69 |
| 2 | 23400 | 416 | 56.25 |
| 3 | 22800 | 416 | 54.81 |
| 4 | 22140 | 416 | 53.22 |
| 5 | 21600 | 416 | 51.92 |

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิคของหม้อแปลงไฟฟ้า,* โดย บริษัท เจริญชัย หม้อแปลง จำกัด, (ม.ป.ป.)

- แรงดันไฟฟ้าอิมพีแดนซ์ (Impedance Voltage) คือค่าแรงดันที่ต้องการด้านสูงหรือปฐมภูมิที่ทำให้กระแสพิกัดไหลผ่านในขณะที่ขดลวดด้านต่ำหรือทุติยภูมิลัดวงจร โดยปกติจะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันพิกัด (Rated Voltage) เช่น หม้อแปลงที่มีแรงดันไฟฟ้าอิมพีแดนซ์ 4% ก็คือถ้าเกิดลัดวงจรด้านต่ำหรือทุติยภูมิของหม้อแปลงแล้วป้อนแรงดันไฟฟ้าทางด้านสูงหรือปฐมภูมิ 4% ของแรงดันไฟฟ้าพิกัด (Rated Voltage) จะมีกระแสไหล 100% นั่นก็คืออิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงมีค่า 4% หรือ 0.04 PU ซึ่งเป็นอิมพีแดนซ์รวมของขดลวดทางด้านสูงและต่ำ

หม้อแปลงที่มีขนาดตั้งแต่ 50 kVA - 630 kVA จะมี % อิมพีแดนซ์ 4%

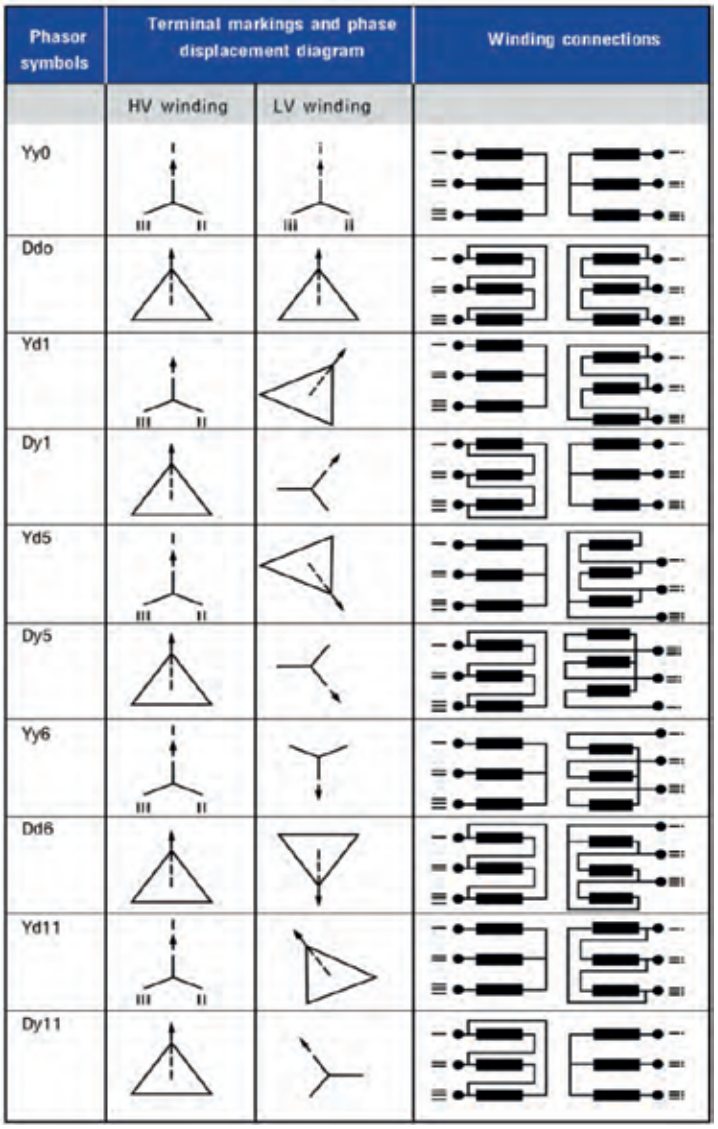
หม้อแปลงที่มีขนาดตั้งแต่ 800 kVA - 2500 kVA จะมี % อิมพีแดนซ์ 6%




ผู้ใช้งานมีความต้องการพิกัดกระแสลัดวงจรที่ต่ำ ซึ่งมีผลตรงข้ามกับค่า % อิมพีแดนซ์ และค่าใช้จ่ายที่แพงขึ้นในการผลิต โดยการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าก็ไม่สามารถทำค่า % Impedance ได้ตรงพอดี 4% หรือ 6% อาจเป็นค่าใกล้เคียงเท่านั้น

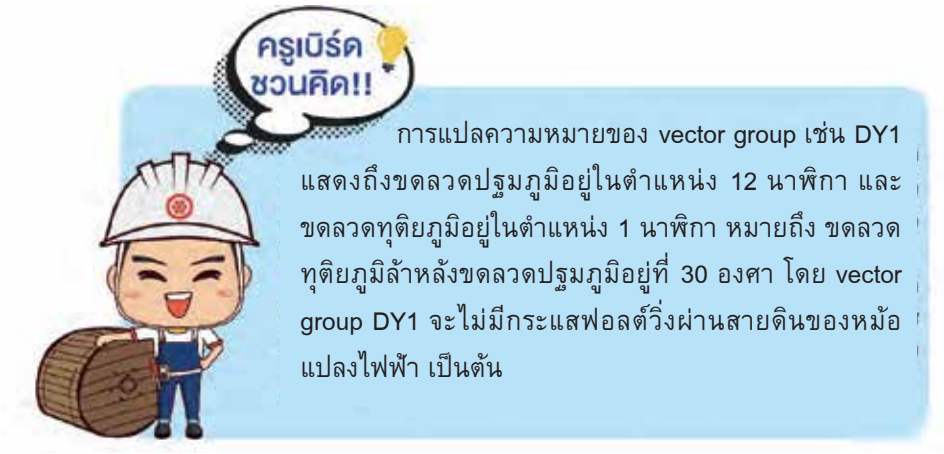
ในกรณีที่อยู่ใกล้ๆ หม้อแปลงจำหน่าย กระแสลัดวงจรจะสูงส่วนค่า Voltage drop จะต่ำ และในกรณีที่อยู่ไกลจากหม้อแปลงจำหน่าย ค่ากระแสลัดวงจรจะต่ำ ส่วนค่า Voltage drop จะสูง ค่ากระแสลัดวงจรและค่าแรงดันตกคร่อม (Voltage dtop) สองค่านี้จะตรงข้ามกันโดยส่วนใหญ่

- เวคเตอร์กรุ๊ป (Vector Group) คือการบอกวิธีการต่อขดลวดภายในหม้อแปลง 3 เฟส โดยบ่งชี้บอกถึงมุมต่างเฟส (Phase Shift) ระหว่างขดลวดส่วน High side หรือปฐมภูมิและส่วน Low side หรือทุติยภูมิ เมื่อเราวัดแรงดันที่ขั้วของหม้อแปลงชนิด 1 เฟส เทียบกันจะไม่เกิด Phase Angle Different ระหว่างขดลวดด้านสูงกับด้านต่ำ แต่สำหรับหม้อแปลง 3 เฟส สามารถเลือกต่อขดลวดภายในหม้อแปลงส่วน High side หรือปฐมภูมิ และส่วน Low side หรือทุติยภูมิ ได้หลายรูปแบบซึ่งทำให้เกิด Phase Angle Different ระหว่างด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิได้




**รูปที่ 5.17** เวกเตอร์กรุ๊ป

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิคของหม้อแปลงไฟฟ้า,* โดย บริษัท เจริญชัย หม้อแปลง จำกัด, (ม.ป.ป.)




- การระบายความร้อนของหม้อแปลง

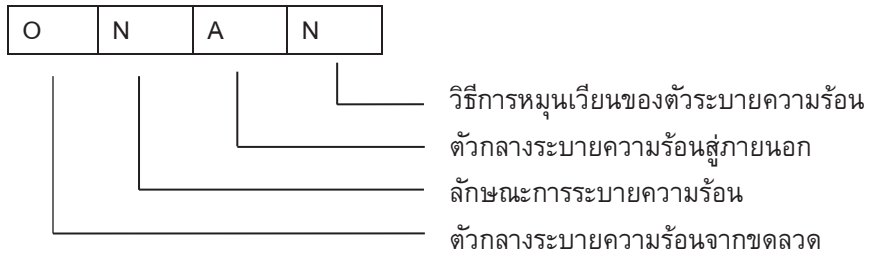
ผู้ผลิตหม้อแปลงต้องออกแบบหม้อแปลงและพัดลมระบายความร้อน เพื่อให้หม้อแปลงสามารถจ่ายโหลดในภาวะปกติ รวมถึงภาวะที่หม้อแปลงสามารถจ่ายโหลดเพิ่มขึ้นได้ชั่วขณะแบบไม่มีผลกระทบกับอายุของหม้อแปลง การระบายความร้อนจากขดลวดมาที่ตัวถังจะอาศัยฉนวนหม้อแปลงเป็นตัวกลางระบาย การระบายความร้อนออกจากตัวหม้อแปลงสู่ภายนอกมีหลายวิธี และจะใช้สัญลักษณ์แสดงวิธีระบายความร้อนดังตารางที่ 5.9

**ตารางที่ 5.9** สัญลักษณ์แสดงวิธีระบายความร้อน

| **การหมุนเวียนของตัวระบายความร้อน** | **สัญลักษณ์** |
|---|---|
| โดยวิธีธรรมชาติ (Natural) | N |
| โดยวิธีขับหรืออัด (Forced) | F |
| **ตัวกลางระบายความร้อน** | |
| น้ำมัน | O |
| ก๊าซ | G |
| น้ำ | W |
| อากาศ | A |

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิคของหม้อแปลงไฟฟ้า,* โดย บริษัท เจริญชัย หม้อแปลง จำกัด, (ม.ป.ป.)

การเขียนสัญลักษณ์ที่ Name Plate หม้อแปลงแสดงการระบายความร้อนจะเขียนเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ 2 ตัว หรือ 4 ตัว




**รูปที่ 5.18** การเขียนสัญลักษณ์ที่ Name Plate หม้อแปลงแสดงการระบายความร้อน
หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิคของหม้อแปลงไฟฟ้า,* โดย บริษัท เจริญชัย หม้อแปลง จำกัด, ม.ป.ป.

- กำลังสูญเสียทางไฟฟ้า (Power Loss) หม้อแปลงมีกำลังสูญเสียทางไฟฟ้าอยู่ 2 ส่วน คือ

(ก) กำลังสูญเสียไฟฟ้าไม่มีโหลด คือกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลง (Core Loss) เมื่อใช้งานหม้อแปลงที่แรงดันพิกัด โดยที่ขดลวดทุติยภูมิเปิดวงจรไว้ กำลังสูญเสียไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสาเหตุจาก Eddy Current Loss และ Hysteresis Loss ซึ่งค่า No Load Loss นี้มีค่าคงที่ที่แรงดันพิกัดและความถี่พิกัด

(ข) กำลังสูญเสียไฟฟ้ามีโหลด (Load Loss) คือกำลังสูญเสียในขดลวด (Copper Loss) ของหม้อแปลงเมื่อต่อโหลดเข้ากับขดลวดทุติยภูมิ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นมีสาเหตุเนื่องจากความต้านทานในขดลวด ซึ่งค่า Load Loss นี้จะแปรตาม $I^2R$ หรือ $(kVA)^2$ ในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงหลายแห่งได้ทำการออกแบบและผลิต Low Loss Transformer ทั้งการลด No Load Loss และ Load Loss เนื่องจากหม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ต้องต่อกับระบบไฟฟ้าตลอดเวลาและใช้งานตลอดเวลา ดังนั้นถ้าสามารถลด Loss ของหม้อแปลงได้ก็สามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านค่าไฟฟ้าลงได้มาก

- การทดสอบหม้อแปลง (Transformer Testing)

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ มอก., IEC, IEEE

ประเภทการทดสอบ

- การทดสอบประจำ (Routine Test)
- การทดสอบเฉพาะแบบ (Type Test)
- การทดสอบพิเศษ (Special Test)

**การทดสอบประจำ (Routine Test)** สำหรับหม้อแปลงน้ำมัน หม้อแปลงทุกลูกต้องผ่านการทดสอบประจำเพื่อให้แน่ใจว่าหม้อแปลงไม่มีการชำรุด เสียหาย ระหว่างการผลิตประกอบด้วย

- การทดสอบอัตราส่วนของแรงดัน (Ratio Test): IEC 60076-1
- การทดสอบขั้วหรือสัญลักษณ์กลุ่มเวคเตอร์ (Polarity and Vector Group Test): IEC 60076-1
- การวัดความต้านทานของขดลวด (Winding Resistance Measurement): IEC 60076-1
- การทดสอบการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและกระแสขณะไม่มีโหลด (No Load Loss and No-Load Current Test): IEC 60076-1
- การทดสอบความคงทนต่อแรงดันเหนี่ยวนำเกิน (Induced Potential Test): IEC 60076-3
- การทดสอบความคงทนต่อแรงดันเกินจากแหล่งจ่ายตัวอื่น (Applied Potential Test):IEC60076-3
- การทดสอบรอยรั่วซึมของน้ำมัน (Oil Leak Test): IEC 60076-1
- การทดสอบความเป็นฉนวนของน้ำมัน (Oil Dielectric Strength Test): IEC 60156 or ASTM D877-02

**การทดสอบเฉพาะแบบ (Type Test)** เป็นการนำหม้อแปลงต้นแบบแต่ละขนาด มาทำการทดสอบเพื่อแสดงว่าหม้อแปลงแต่ละขนาดได้มีการออกแบบที่ดี ประกอบด้วย

- การทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Voltage Withstand Test): IEC 60076-4
- การทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม (Temperature Rise Test): IEC 60076-2

**การทดสอบพิเศษ (Special Test)** เป็นการทดสอบตามความต้องการของลูกค้าหรือผู้ซื้อ ซึ่งมักจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นพอสมควร ประกอบด้วย

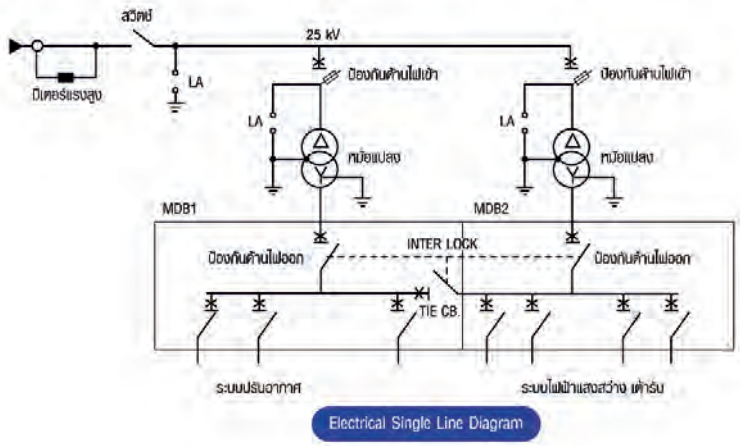
- การทดสอบความทนทานต่อการลัดวงจร (Short Circuit Withstand Test): IEC 60076-5
- การทดสอบความดังของเสียงรบกวน (Audible Sound Level Test): IEC 60076-10

- การป้องกันกระแสเกินของหม้อแปลง

หม้อแปลงต้องมีการป้องกันกระแสเกินทั้งทางด้านไฟเข้า (Primary) และด้านไฟออก (Secondary) ของหม้อแปลง ขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกินค่าที่กำหนดให้เป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของ วสท. ฉบับปัจจุบัน สำหรับค่าที่คำนวณได้หากไม่ตรงกับขนาดหม้อแปลงตามมาตรฐานผู้ผลิตสามารถเลือกใช้ขนาดที่ใกล้เคียงที่สูงถัดขึ้นไปได้ในกรณีที่มีการต่อขนานหม้อแปลง หม้อแปลงทุกลูกต้องมีคุณสมบัติทาง

ไฟฟ้าที่เหมือนกัน หม้อแปลงแต่ละลูกต้องมีการป้องกันกระแสเกินทั้งทางด้านแรงดันปานกลางและแรงต่ำ และต้องมีสวิตช์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลางที่สามารถปลดและสับหม้อแปลงได้พร้อมกัน (ไม่นิยมทำขนานหม้อแปลง)

ตัวอย่างการจ่ายไฟระบบแรงดันปานกลางและการต่อขนานหม้อแปลงดังแสดงในรูปที่ 5.19




**รูปที่ 5.19** รูปแสดงการจ่ายไฟระบบแรงสูงและการต่อขนานหม้อแปลง

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

การป้องกันกระแสเกินด้านไฟเข้า มีไว้เพื่อป้องกันกระแสเกินอันเนื่องมาจากเกิดการลัดวงจรด้านแรงดันปานกลางหรือภายในตัวหม้อแปลงเอง ค่าปรับตั้งสูงสุดในตาราง ตามมาตรฐานถ้าใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นเครื่องป้องกันกระแสเกินจะเลือกใช้ค่าสูงสุดไม่เกิน 4-6 เท่าของพิกัดกระแสด้านไฟเข้า ในกรณีเลือกใช้ฟิวส์เป็นเครื่องป้องกันกระแสเกินจะกำหนดให้ใช้ไม่เกิน 300% ของพิกัดกระแสด้านไฟเข้าของหม้อแปลง แต่ไม่ต่ำกว่า 100% ของพิกัดกระแสหม้อแปลงด้านไฟเข้า เพราะฟิวส์อาจจะขาดได้ การใช้งานจริงควรกำหนดค่าให้เหมาะสมและต้องคำนึงกระแสในขณะสับสวิตช์จ่ายไฟให้กับหม้อแปลงตอนแรกที่มีกระแสสูงชั่วขณะ (Transformer Inrush Current) เครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟเข้าจะต้องทนค่ากระแสนี้ได้โดยไม่ขาดหรือปลดวงจร โดยทั่วไป ถ้าเลือกใช้ Fuse ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้ จะใช้ขนาด 1.5 – 2.0 เท่า ของกระแสพิกัดไฟด้านไฟเข้าขนาดฟิวส์แรงสูงตามมาตรฐาน IEE-NEMA คือ 1, 2, 3, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 65, 80, 100, 140 และ 200 A และตารางแสดงขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับหม้อแปลงสามารถแสดงในตารางที่ 5.10

**ตารางที่ 5.10** ตารางแสดงขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับหม้อแปลง

| Impedance หม้อแปลง | ด้านไฟเข้า | | ด้านไฟออก | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | แรงดัน > 750 V | | แรงดัน > 750 V | | แรงดัน < 750 V |
| | C.B | Fuse | C.B | Fuse | C.B / Fuse |
| ไม่เกิน 6% | 600% | 300% | 300% | 250% | 100% |
| > 6% < 10% | 400% | 300% | 250% | 250% | 100% |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

การป้องกันกระแสเกินด้านไฟออก ขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟออก แบ่งออกเป็นแรงดันที่มากกว่า 1000 โวลต์ และแรงดันที่ไม่เกิน 1000 โวลต์ ซึ่งกำหนดให้ใช้ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ ก็ได้ และมีค่าไม่เกิน 125% ของพิกัดกระแสหม้อแปลงด้านไฟออก หากไม่ตรงกับขนาดตามมาตรฐานผู้ผลิต สามารถใช้ขนาดใกล้เคียงได้แต่ต้องไม่เกินค่าปรับตั้งสูงสุดที่กำหนดไว้ในการออกแบบระบบไฟฟ้าจ่ายไฟให้กับอาคารหรือสถานประกอบการต่างๆ เมื่อคำนวณโหลดได้แล้วจะต้องเลือกขนาดหม้อแปลงตามมาตรฐานที่สอดคล้องกับโหลด เช่น ขนาด 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000 และ 2500 kVA เป็นต้น จริงๆ ยังมีขนาด 3000 และ 4000 kVA ในการใช้งาน โดยส่วนใหญ่เป็นงานประเภทอุตสาหกรรม

การกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟออกของหม้อแปลง ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ จะกำหนดมาจากโหลดของหม้อแปลงที่คำนวณได้หรืออาจกำหนดจากเครื่องป้องกันกระแสเกินจากขนาดหม้อแปลงก็ได้ โดยทั่วไปที่นิยมใช้ จะกำหนดจากเครื่องป้องกันกระแสเกินจากขนาดหม้อแปลง เพราะสะดวกกว่าและเป็นการสำรองสำหรับการเพิ่มโหลดในอนาคตด้วย แต่อย่างไรก็ตามสายไฟฟ้าเมนด้านแรงต่ำที่ออกจากหม้อแปลงต้องสอดคล้องกับขนาดของเครื่องป้องกันกระแสเกินด้วยขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ตามมาตรฐาน IEC ได้กำหนดค่า AF ไว้ดังนี้คือ 63, 100, 125, 160, 200, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 600, 2000, 2500, 3150(3200), 4000, 5000 และ 6300 A สำหรับค่า AT บริษัทผู้ผลิตจะผลิตออกมาหลายๆ ค่า แล้วแต่ความต้องการของบริษัทนั้นๆ การกำหนดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟออกหรือแรงต่ำยังต้องคำนึงถึงค่าพิกัดตัดกระแสลัดวงจร (kA) ต้องไม่น้อยกว่าค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่ติดตั้งที่ขั้วทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดหม้อแปลงค่า Impedance Voltage ของหม้อแปลง และความจุลัดวงจร (Short-Circuit Capacity: MVA) ด้วย




**การเลือกใช้หม้อแปลงจำหน่าย** ไม่มีการจำกัดขนาดให้ใช้หม้อแปลงสูงสุดที่ 2,500 kVA โดยผู้ผลิตสามารถผลิตได้ถึงขนาด 4,000 kVA เพราะเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็มีขนาด 6,000 AF (6,300 AF) ที่สามารถใช้กับหม้อแปลงขนาด 4,000 kVA ได้ โดยระยะเวลาในการผลิตนั้นไม่แตกต่างกันมาก ไม่ว่าจะสั่งผลิตที่ 2,500 kVA ก็ใช้เวลาประมาณ 3 – 4 เดือน ซึ่งไม่แตกต่างจากการสั่งผลิตที่ 4,000 kVA

ทั้งนี้ในส่วนของ MV Switchgear หรือการใช้ Drop out fuse ก็มีขนาดให้เลือกใช้ตามขนาดหม้อแปลงที่ 4,000 kVA เช่นกัน

**ตัวอย่างที่ 5.1**

ตัวอย่างหม้อแปลงจำหน่ายขนาด 2000 kVA, 22kV/ 230 V - 400 V, % U = 6 % จงคำนวณหา Fuse ทางด้านแรงดันปานกลาง Circuit Breaker ทางด้านแรงต่ำ (LV) และค่ากระแสลัดวงจรที่ขั้วแรงต่ำของหม้อแปลง

วิธีทำ

1. กำหนดขนาด Fuse ด้านแรงดันปานกลางให้หากระแสโหลดเต็มที่ด้านแรงดันปานกลาง

I = 2000 / 1.732 x 22 = 52.48 A

กำหนดขนาด Fuse ไม่ต่ำกว่า 125% และไม่เกิน 300 %

ขนาด Fuse = 1.25 x 52.48 = 65.6 A

เลือก Fuse ให้ตรงกับมาตรฐานการผลิตและเผื่อค่ากระแส Inrush (ทั่วไปนิยมใช้ 1.5 - 2.0 เท่าของกระแสไฟด้านเข้า) จะได้ขนาด 80 A หรือใหญ่กว่าถัดขึ้นไป คือ 100 A ก็ได้

2. กำหนดขนาด Circuit Breaker ด้านแรงต่ำปรับตั้งไม่เกิน 100% ของกระแสพิกัดหม้อแปลงด้านแรงต่ำ

I = 2000x1000 / 1.732x400 = 2886 A

กำหนดขนาด Circuit Breaker ที่ 100 % = 1.00 x 2886 = 2886 A

เลือกใช้ Circuit Breaker ขนาดสูงสุด 3200 AT/ 3200AF หรือ 4000 AF

ทั้งนี้การปรับตั้งค่า AT ต้องทำ coordination curve ทั้งระบบไฟฟ้า ส่วน AF ต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของหม้อแปลงด้วย ว่าหม้อแปลงที่ใช้นั้นเป็นหม้อแปลงแห้งที่สามารถจ่ายโหลดชั่วขณะได้กี่ % ถ้าจ่ายได้เกิน 40% ก็ต้องเพิ่มขนาด AT และ AF ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้เพียงพอกับการใช้งาน

3. ค่ากระแสลัดวงจรที่ขั้วแรงต่ำของหม้อแปลง

คิดระบบไฟฟ้าเป็นแบบ Infinite Busและกระแสลัดวงจรแบบสมดุล

สูตร กระแสลัดวงจร (Ic) = 100 x In / % U

โดย In = กระแสพิกัดของหม้อแปลงด้านแรงต่ำ(A)

% U = % อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง

Ic = 2886 / (6/100) = 48100 A = 48.1 kA

ที่ผ่านมาประเทศไทยมักนิยมให้มีการเผื่อค่า Safety Factor ซึ่งโดยรวมจะนิยมเผื่อไว้ประมาณ 25% ทั้งนี้ขอแนะนำว่า ไม่จำเป็นต้องมีการเผื่ออีก 25% เพราะผู้ผลิตเซอร์กิตเบรกเกอร์มีประสบการณ์ทั่วโลกมาอย่างยาวนาน ได้แบ่งขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์และกระแสลัดวงจรอย่างมีรูปแบบอยู่แล้ว การเผื่อหรือไม่เผื่อนั้นน่าจะมีปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ติดตั้งใกล้สถานีไฟฟ้า ทำให้ค่ากระแสลัดวงจรมีค่าสูงขึ้น เป็นต้น

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟเข้า(Fuse) ของหม้อแปลง 3 เฟส 22 kV, 33kV

ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำด้านไฟออกหม้อแปลง 3 เฟส 230/400V แรงดันระบุ (นิยมใช้สำหรับการคำนวณ) ตัวอย่างขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำด้านไฟออกหม้อแปลง 3 เฟส 230 / 400 V ตามตารางที่ 5.11 โดยผู้เขียนเป็นผู้คำนวณและแนะนำ

**ตารางที่ 5.11** ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำด้านไฟออก หม้อแปลง 3 เฟส 230 V / 400 V (แนะนำ)

| พิกัดหม้อแปลง (kVA) | กระแสพิกัดด้านแรงต่ำ (A) | ขนาด AF ของ CB (A) | ขนาดปรับตั้ง CB (Coordinated) | ค่าพิกัดกระแสลัดวงจร (kA) | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 144 | 160 | 150 | 10 | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำใช้ไม่เกิน 100% ของกระแสพิกัดด้านแรงต่ำ(No Load)ของหม้อแปลง Coordination System |
| 160 | 231 | 250 | 230 | 10 | |
| 250 | 360 | 400 | 360 | 10 | |
| 315 | 455 | 630 | 450 | 16 | |
| 400 | 577 | 630 | 550 | 16 | |
| 500 | 722 | 800 | 700 | 25 | |
| 630 | 909 | 1000 | 900 | 25 | |
| 800 | 1155 | 1250 | 1100 | 25 | |
| 1000 | 1443 | 1600 | 1400 | 25 | |
| 1250 | 1804 | 2000 | 1800 | 35 | |
| 1600 | 2309 | 2500 | 2300 | 50 | |
| 2000 | 2886 | 3200 | 2800 | 50 | |
| 2500 | 3608 | 4000 | 3600 | 65 | |

- การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลง

การตรวจสอบและบำรุงรักษาบริภัณฑ์ไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้อุปกรณ์ต่าง ๆ มีสภาพพร้อมใช้งานตามที่ต้องการอย่างมีประสิทธิภาพ มีความเชื่อถือได้ มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานและผู้ปฏิบัติงาน ในส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้าและส่วนประกอบก็ต้องมีการตรวจสอบ ดูแลและบำรุงรักษาเช่นกัน มีดังต่อไปนี้

- การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงน้ำมัน
- การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงแห้ง
- การตรวจสอบและบำรุงรักษาห้องหม้อแปลง
- การตรวจสอบและบำรุงรักษาลานหม้อแปลง
- การตรวจสอบและบำรุงรักษานั่งร้านหม้อแปลง
- การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงน้ำมัน

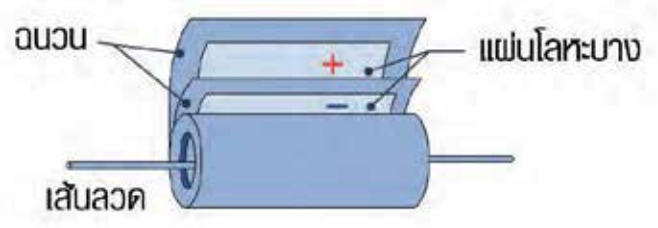



## 5.3 ชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

ชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลัง เป็นบริภัณฑ์ทางไฟฟ้าที่ช่วยปรับปรุงระบบไฟฟ้าหรืออุปกณ์ไฟฟ้าหรือโหลดที่มีลักษณะเป็นขดลวด เช่น โหลดประเภท มอเตอร์ ปั๊มน้ำ เป็นต้น ตามหลักการทางไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่ในอดีตถึงปัจจุบันต่างก็รู้จักเพียงคาปาซิเตอร์ ที่จะสามารถชดเชยค่ารีแอคเตอร์ หรือ การหักล้างค่า $X_L$ ก็ต้องใช้ค่า $X_C$ เป็นการชดเชยที่รู้จักกันมานาน เบื้องต้นขอกล่าวถึงพื้นฐานของคาปาซิเตอร์ไฟฟ้าแรงดันต่ำดังนี้

### 5.3.1 คาปาซิเตอร์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ (L.V Capacitor)

คาปาซิเตอร์มีหลายประเภท ประเภทที่จะกล่าวถึงนี้ ปัจจุบันจะเป็นแบบแห้ง หรือ Dry type ที่ใช้ dielectric polypropylene ที่มี permittivity สูง มีจุด breakdown ที่สูง ทำให้สามารถทำแผ่นฟิลม์ polypropylene บางลงได้ เพื่อการลดค่าความสูญเสียให้ต่ำลง การนำแผ่นฟิล์ม polypropylene มาพันให้ได้ค่าตามที่ต้องการ ต่อวงจรตามการทดสอบ ซึ่งจะมีค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นโดยประมาณ 0.2 W/kvar และจะบรรจุในถังอะลูมิเนียมหรือสังกะสี จึงได้คาปาซิเตอร์ดังรูปที่ 5.20




**รูปที่ 5.20** ตัวอย่างการผลิตคาปาซิเตอร์

หมายเหตุ. จาก เอกสารทางเทคนิคคาปาซิเตอร์, โดย บริษัท เอวีร่า จำกัด, ม.ป.ป.ก.

คาปาซิเตอร์ ที่นำมาใช้กันเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังจะมีฟิวส์อยู่ภายใน เมื่อเกิดการ Breakdown จะมีผลทำให้เกิดแรงดันขึ้นได้ หากมีแรงดันมากพอ จะมีการขยายตัวของโครงทรงกระบอกตรงบริเวณด้านบนของคาปาซิเตอร์ เมื่อเกิดการขยายตัวจะมีผลทำให้ฟิวส์ที่ติดตั้งอยู่ทำงานและตัวงจรออกจากระบบไฟฟ้า เพื่อป้องกันการเกิดสะสมแรงดันที่สูงมากจนระเบิด



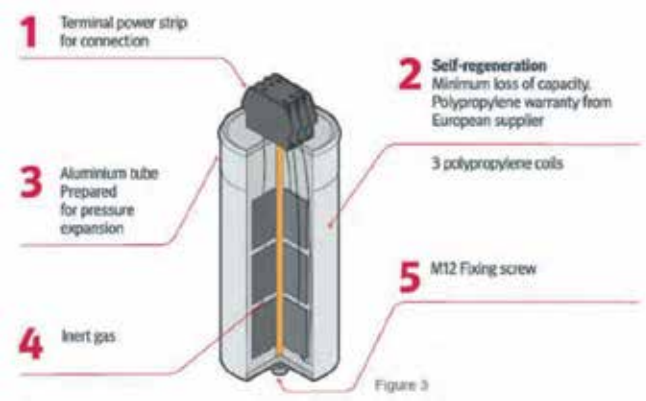

(ก) (ข) (ค) (ง)

**รูปที่ 5.21** สัญลักษณ์ และรูปของคาปาซิเตอร์(ก), capacitor(ข) controller(ค), magnetic contactor(ง)

หมายเหตุ. จาก เอกสารทางเทคนิคคาปาซิเตอร์, โดย บริษัท เอวีร่า จำกัด, ม.ป.ป.ก

การใช้งานคาปาซิเตอร์จะต้องมีการคำนวณจากโหลดหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับการใช้งาน เมื่อมีการใช้งานโหลดที่มีค่าอินดักทีฟ (L) สูงๆ จะต้องมีการชดเชยด้วย คาปาซิทีฟ (C) ตามการใช้งาน ซึ่งการต่อวงจรการใช้งานของคาปาซิเตอร์จะเป็นการนำคาปาซิเตอร์แบบเดลต้า ตามค่าคาปาซิแตนซ์ที่ต้องการ และจะต้องมีการต่อแมกเนติค คอนแทคเตอร์เพื่อทำการตัดต่อวงจรคาปาซิเตอร์ตามการใช้งานของ controller โดยแมกเนติคที่เลือกใช้ต้องเป็นรุ่นเฉพาะ คือ AC-6b เพราะแมคเนติคที่เลือกใช้นั้นต้องมีความสามารถในการทนค่ากระแสกระชากสูงๆ ได้

โครงสร้างภายในของคาปาซิเตอร์




**รูปที่ 5.22** ตัวอย่างโครงสร้างของคาปาซิเตอร์

หมายเหตุ. จาก เอกสารทางเทคนิคคาปาซิเตอร์, โดย บริษัท เอวีร่า จำกัด, ม.ป.ป.ก

ตามโครงสร้างของคาปาซิเตอร์ด้านบน จะมี 2 ขั้ว เพื่อทำการเก็บและคายประจุไฟฟ้าตรงลูกศรชี้ที่ร่องลึก 2 ร่องล้อมรอบด้านบนของคาปาซิเตอร์ เพื่อไว้ขยายตัวเมื่อเกิดแรงดันเกินขึ้นที่คาปาซิเตอร์ จากการขยายตัวจะมีผลทำให้ฟิวส์ที่อยู่ภายในคาปาซิเตอร์ขาด เพื่อจะได้ป้องกันไม่ให้เกิดแรงดันเกินขึ้นที่คาปาซิเตอร์

**Note: รายละเอียดข้อความ รูป และส่วนต่าง ๆ เป็นลิขสิทธิ์ของผู้เขียนเท่านั้น**

### 5.3.2 การคายประจุ

ปกติที่คาปาซิเตอร์ที่ต่อขนานกับแผงสวิตช์ประธาน จะทำหน้าที่ประจุและคายประจุเพื่อปรับปรุงค่าประกอบกำลัง กรณีที่ปลดวงจรที่ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ควบคุมคาปาซิเตอร์ต้องระมัดระวังอันตรายจากการคายประจุของคาปาซิเตอร์เป็นอย่างยิ่งจึงมีการคายประจุด้วยกัน 2 แบบ คือ

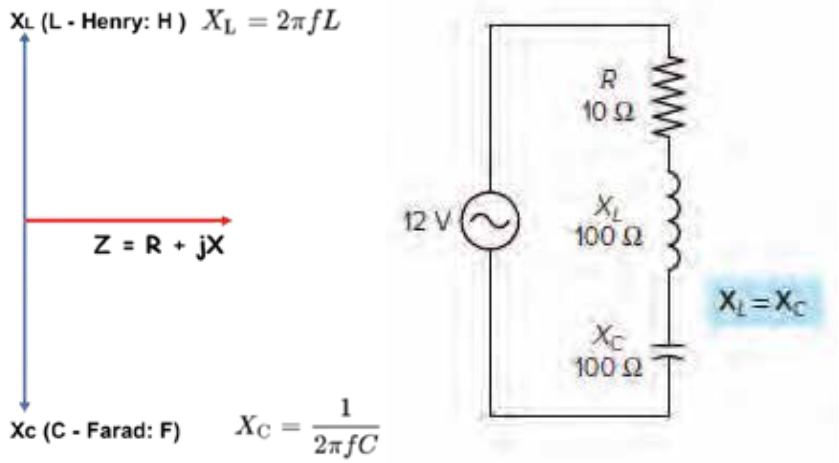
1. ความต้านทานคายประจุ (discharge resistor) จะติดความต้านทานที่ขั้วของคาปาซิเตอร์ เพื่อทำการคายประจุ ลดประจุของคาปาซิเตอร์ตลอดเวลา ซึ่งมีผลทำให้เกิดความสูญเสียโดยตลอด ซึ่งจะมีราคาถูก

2. รีแอคเตอร์คายประจุ (discharge reactor) จะติดรีแอคเตอร์ที่ขั้วของคาปาซิเตอร์ เพื่อทำการคายประจุ ลดประจุของคาปาซิเตอร์ตลอดเวลา ซึ่งมีผลทำให้เกิดความสูญเสียที่มีค่าน้อย แต่สามารถคายประจุได้รวดเร็ว

ในปัจจุบันกระแสจำนวนมากที่มีการสวิตชิ่ง มักมีผลทำให้คาปาซิเตอร์ไม่สามารถทำงานได้ทัน คือไม่สามารถตัดวงจรด้วยฟิวส์ทัน ทำให้เกิดการ breakdown ที่คาปาซิเตอร์ยังผลให้แผงสวิตช์ที่คาปาซิเตอร์และแผงสวิตช์ประธาน หรือ Main Distribution Board: MDB หรือทั้งห้องไฟฟ้าได้รับความเสียหายไปด้วย ซึ่งปัจจุบันการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์จะไม่ติดกับแผงสวิตช์ประธาน จะไปติดตั้งบริเวณอื่นในห้องไฟฟ้า

การเลือกใช้คาปาซิเตอร์ ควรพิจารณาเลือกใช้พิกัดแรงดันที่ใช้งาน ,ค่า kvar ที่เหมาะสมกับการใช้งาน และที่สำคัญต้องมีการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง หรือมีการออกแบบวงจรป้องกันการทำงานที่ไม่พร้อมกันของฟิวส์ เพราะเมื่อฟิวส์ควบคุมคาปาซิเตอร์ขาดเฟสใดเฟสหนึ่ง วงจรและอุปกรณ์ป้องกันนี้ก็จะช่วยตัดวงจรป้องกันทั้งสามเฟสออกได้ โดยต้องมีการติดตั้ง limit switch เพื่อให้มีการตัดวงจรทั้ง 3 เฟส ในกรณีที่มีฟิวส์ขาดเพียงแค่ 1 หรือ 2 เฟส ก็จะมีผลให้ limit switch ทำงานและตัดวงจรทั้ง 3 เฟสออกได้ คาปาซิเตอร์และระบบไฟฟ้าจะไม่เกิดปัญหาอื่นๆ ตามมา

เฟสเซอร์ของรีแอคเตอร์และคาปาซิเตอร์เมื่อเทียบกับอิมพีแดนซ์ ตามหลักการทางไฟฟ้ามีดังนี้




**รูปที่ 5.23** เฟสเซอร์ของอิมพิแดนซ์

หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.

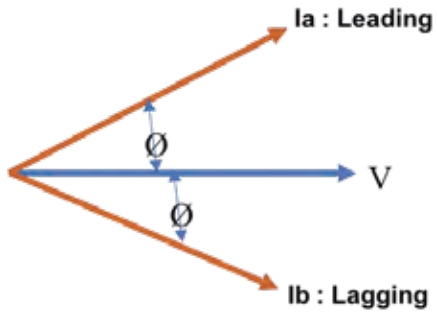
วงจรไฟฟ้า 1 เฟส

$kvar = 2\pi fCV^2 \times 10^9$

วงจรไฟฟ้า 3 เฟส

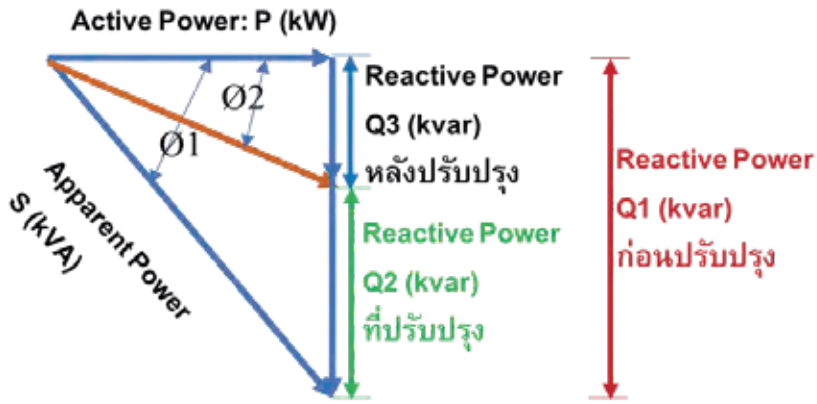
$kVA = \sqrt{3}VIc \times 10^9$

ลักษณะทางเวกเตอร์ของ P.F ที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างมุมล้าหลัง (lagging) และมุมนำหน้า (leading)




**รูปที่ 5.24** เวกเตอร์ที่มุมล้าหลัง (lagging) และเวกเตอร์ที่มุมนำหน้า (leading)
หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.

การปรับรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้า ในกรณีมีโหลดทางไฟฟ้ารีแอคเตอร์ที่มีค่าตัวประกอบกำลัง P.F (power factor) ในเกณฑ์ต่ำ หรือมีมุม ϕ1 ที่กว้าง หรือ lagging ต่ำกว่าเกณฑ์ หรือก่อนการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง โดยการเติมหรือเพิ่ม kvar สำหรับคาปาซิแตนซ์เข้าในระบบไฟฟ้า เพื่อชดเชยการใช้โหลดประเภทขดลวด รีแอคเตอร์ จะมีผลทำให้ค่าตัวประกอบกำลัง P.F อยู่ในเกณฑ์สูงขึ้น หรือมีมุม ϕ2 ที่แคบลง หรือ lagging น้อยลง อยู่ในเกณฑ์ที่การไฟฟ้าระบุไว้ที่ P.F ไม่น้อยกว่า 0.85 เพื่อทำให้ระบบไฟฟ้าโดยรวมดีขึ้น ดังรูป




**รูปที่ 5.25** ตัวอย่างเวกเตอร์ก่อนและหลังการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง
หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.

จากรูปที่ 5.25 แสดงให้เห็นว่าเวกเตอร์แกนนอนเป็น Active power: P หน่วย kW โดยมี reactive power Q1 (kvar) ก่อนปรับปรุงขนาดเท่าเส้นสีแดง ทางวิศวกรไฟฟ้าต้องใส่ reactive power Q2 จำนวนกี่ kvar เพื่อให้ได้มุม ϕ2 เพื่อ P.F ให้ได้ตามเกณฑ์ที่ต้องการ โดยการไฟฟ้าฯ ได้กำหนดค่า P.F ไม่ต่ำกว่า 0.85 หากต่ำกว่านี้จะมี kvar มิเตอร์ เก็บค่าปรับ ซึ่งมีการคำนวณหาค่า reactive power Q2 ที่จะทำการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังได้ตามสูตร ดังนี้

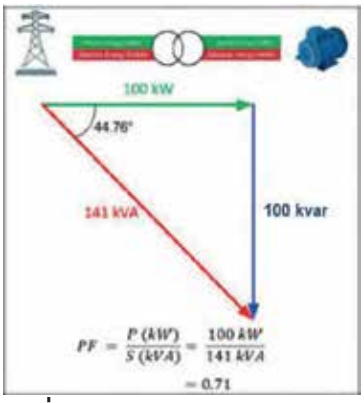
Q1 (kvar) ที่ P.F ก่อนปรับปรุง = kW x tan ϕ1

Q2 (kvar) ที่ P.F หลังปรับปรุง = kW x tan ϕ2

Q3 (kvar) ที่ต้องทำการปรับปรุง = kW x (tan ϕ1 - tan ϕ2)

<u>แนวทางการคำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์แบงค์แบบภาพรวม (ที่อาจไม่เหมาะสมในหลายกรณี)</u>

นานมากว่า 30 ปี ที่มีแนวทางออกแบบในการคำนวณหาค่า คาปาซิเตอร์แบงค์ ที่ไม่เหมาะสม เนื่องด้วยมีแนวความคิดการคำนวณแบบคร่าวๆ ในกรณีต่างๆ ดังนี้




กรณีที่ 1: กำหนดให้ 100% working load, required load

Active Power: P= 100% or 100kW,

Apparent Power for load: S = 141kVA,

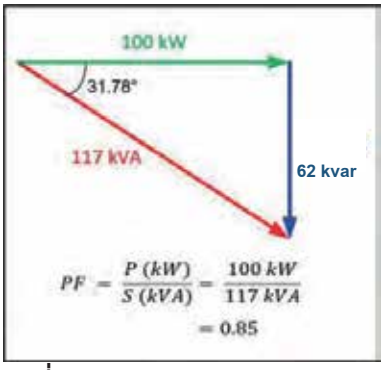
Reactive Power: Q = 100% or 100kvar,

(= 70% of Apparent Power) PF = 0.71

PF < 0.85 will pay the Charge.

**รูปที่ 5.26** Q = 100%

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยาย การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า*, โดย วิทยา ธีระสาส์น, ม.ป.ป., ม.ป.พ.




กรณีที่ 2: กำหนดให้ 100% working load, required load

Active Power: P= 100% or 100kW

Apparent Power for load: S = 117kVA

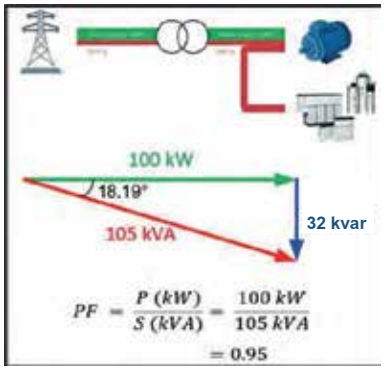
Reactive Power: Q = 62% or 62 kvar

around 53% of Apparent Power)

PF = 0.85: PF = 0.85 will no Charge

**รูปที่ 5.27** Q = 62%

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยาย การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า*, โดย วิทยา ธีระสาส์น, ม.ป.ป., ม.ป.พ.




กรณีที่ 3: กำหนดให้ 100% working load, required load

Active Power: P= 100% or 100kW

Apparent Power for load: S = 105 kVA

Reactive Power: Q = 32% or 32 kvar

(around 32% of Apparent Power)

PF = 0.95: PF = 0.95 Save more will no Charge.

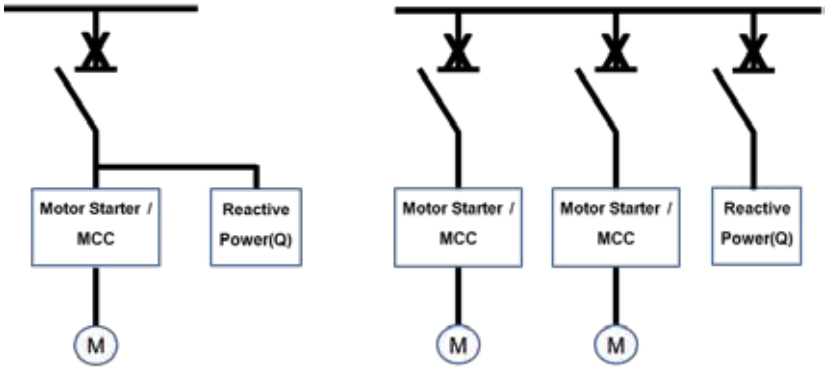
**รูปที่ 5.28** Q = 32%

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยาย การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า*, โดย วิทยา ธีระสาส์น, ม.ป.ป., ม.ป.พ.

### 5.3.3 การติดตั้งปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

รูปแบบการติดตั้งปรับปรุงตัวประกอบกำลัง หรือ การใส่หรือเพิ่มในระบบไฟฟ้า มีดังนี้

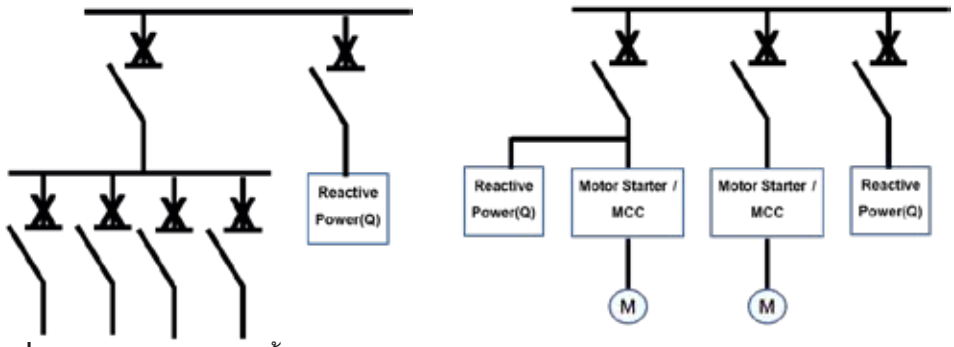
1. การติดตั้งเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังที่บริภัณฑ์ไฟฟ้า (Individual compensation)
2. การติดตั้งเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังเป็นกลุ่มของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Group compensation)




**รูปที่ 5.29** ตัวอย่างการติดตั้ง Reactive Power แบบ Individual และ Group compensation

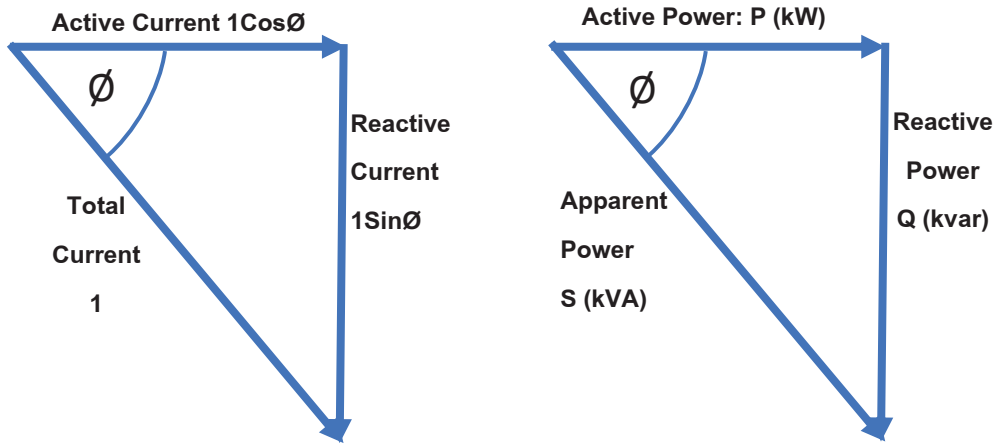
หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.

3. การติดตั้งเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังที่ภาพรวมของระบบไฟฟ้า (Central Compensation)
4. การติดตั้งเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบผสมของระบบไฟฟ้า (Combine Compensation)




**รูปที่ 5.30** ตัวอย่างการติดตั้ง Reactive Power แบบ Central และ Combine compensation
หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.

**Power Triangle และการคำนวณหาค่า Reactive power ในกรณีต่าง ๆ**




**รูปที่ 5.31 Power Triangle และการคำนวณหาค่า Reactive power ในกรณีต่าง ๆ**
หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.

**จากสูตร**

$$(S)kVA = \sqrt{kW^2 + k\,var^2}$$

**ตัวอย่างที่ 5.2** โหลด 300kW, 400kvar จงหา S?

$$(S)kVA = \sqrt{300^2 + 400^2}$$

S = 500 kVA

$$Power\ Factor = \frac{\text{Real Power}}{Active\ Power}$$

kW = kVA x cos ø

kvar = kVA x sin ø

= kW x tan ø

**ตัวอย่างที่ 5.3**

จงหา PF ของตัวอย่างที่ 1 เมื่อรู้ kW, ต้องการหาค่า kVA ได้เท่าใด?

PF = kW / kVA

= 300 / 500

= 0.6 หรือ 60%

**ตัวอย่างที่ 5.4**

โรงงาน BCC ใช้ไฟ 400V 3Ph. 4W มีกระแส 1,000 A. Real power (P) = 400 kW จงหาค่า PF. ว่ามีค่าเท่าใด?

Apparent power (S) = 1.732 x 400 x 1,000

= 692.8 kVA

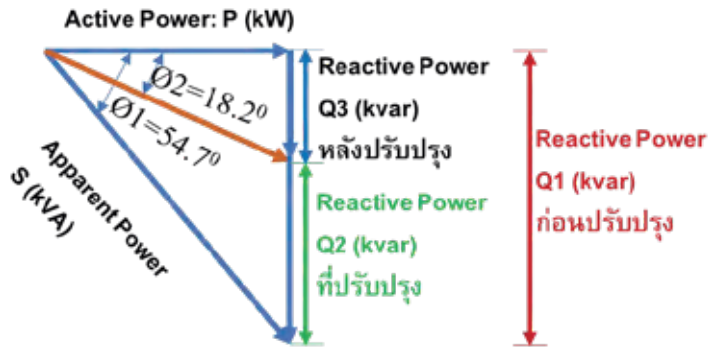
$$Power\ Factor = \frac{400\text{kW}}{692.8kVA}$$

= 0.577

= 57.74%

**ตัวอย่างที่ 5.5**

จาก Ex3. ถ้าต้องการปรับปรุง PF ที่ 0.577 เป็น 0.95 ต้องมีการปรับปรุง Reactive power เท่าใด?



PF ก่อนปรับปรุง = cos Ø1 = 0.5774, Ø1 = 54.7

PF หลังปรับปรุง = cos Ø2 = 0.95, Ø2 = 18.2

kvar ที่ต้องปรับปรุง = kW x (tan Ø1 - tan Ø2)

Reactive Power ที่ต้องปรับปรุง = 400 x (tan 54.7 - tan 18.2)

= 400 x 0.7399

= 295.98 kvar or 300kvar at 400 V

**ตัวอย่างที่ 5.6**

การคำนวณหา kvar เมื่อมีแรงดันที่เปลี่ยนไป ในกรณีที่ Reactive power (Q) = 300kvar @400V จงหาค่า kvar ที่ 522V (การเพิ่มแรงดันมีผลทำให้บริภัณฑ์ไฟฟ้า ส่วนใหญ่เฉพาะกรณีของคาปาซิเตอร์แบงค์มีความทนทานมากขึ้น เพื่อเลี่ยงภาวะการเกิดรีโซแนนซ์)

จากสูตร $kvar_2 = kvar_1 \times (V_2 / V_1)^2$

$= 300kvar \times (525 / 400)^2$

= 516.7 kvar

**ตัวอย่างที่ 5.7**

การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ที่ BCC Factory ใช้ไฟฟ้า 400V 3Ph. 4W มีกระแส 1,000A P=400 kW ต้องการปรับปรุงค่า PF ที่ 0.577 เป็น 0.95 ทางวิศวกรไฟฟ้าต้องมีการปรับปรุง Q3 reactive power กี่ kvar?

Apparent Power (S) = 1.732 x 400 x 1,000

= 692.8 kVA

Power factor $= \frac{\text{Real power (kW)}}{\text{Apparent power(kVA)}}$

= cos Ø

Power factor $= \frac{400\ kw}{692.8\ kVA}$

= 0.577 = 57.74%

PF ก่อนการปรับปรุง = cos Ø1 = 0.5774, Ø1 = 54.7

PF และ Ø2 หลังการปรับปรุง = cos Ø2 = 0.95, Ø2 = 18.2

Q2 (kvar) ที่ต้องปรับปรุง = kW x (tan Ø1 - tan Ø2)

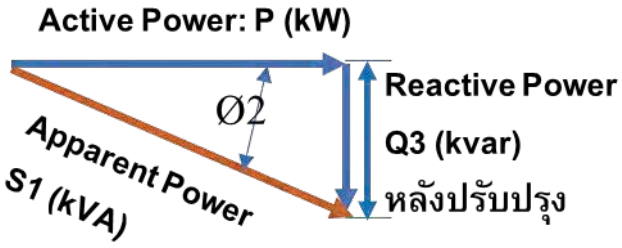
= 400 x (tan 54.7 - tan 18.2)

= 400 x 0.7399

ดังนั้น Q2 (kvar) ที่ต้องปรับปรุง = 295.98 kvar หรือเลือกใช้ที่ 300 kvar ที่ 400V

Q3 = Q1 – Q2

= 400 – 295.98 = 104.02 kvar




$$S = \sqrt{P^2 + Q3^2}$$
$$S1 = \sqrt{400^2 + 104.02^2}$$
S1 = 413.304 kVA

**5.3.4 การใช้งานตัวประกอบกำลัง แบบคาปาซิเตอร์แบงค์ ในกรณีที่มี harmonic**

ปัจจุบันเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้า บริภัณฑ์ไฟฟ้าต่างๆ มีการใช้เทคโนโลยีที่สูงขึ้น จึงมีการนำเอาอิเลคทรอนิคส์ประเภทสวิตชิ่งมาใช้มากขึ้น ซึ่งอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์เหล่านี้จะมีการสร้าง harmonic ขึ้นในตัวเอง และไปกระทบกับบริภัณฑ์ไฟฟ้า หรือเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือ ระบบไฟฟ้าข้างเคียง โดย harmonic หรือ ฮาร์มอนิก คือคลื่นที่มีความถี่ที่เป็นทวีคูณจำนวนเต็มบวกของความถี่พื้นฐาน ความถี่ของสัญญาณคาบเดิม เช่น คลื่นไซน์ สัญญาณดั้งเดิมเรียกอีกอย่างว่าฮาร์มอนิกที่ 1 ส่วนฮาร์มอนิกอื่นๆ เป็นฮาร์โมนิกที่สูงขึ้น เนื่องจากฮาร์มอนิกทั้งหมดมีคาบที่ความถี่พื้นฐาน ผลรวมของฮาร์มอนิกจึงเป็นคาบที่ความถี่นั้นด้วย ชุดฮาร์โมนิกเป็นอนุกรมฮาร์มอนิก เช่น ถ้าที่ความถี่ 50 Hz เป็นความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ AC ทั่วไป ความถี่ของฮาร์มอนิกที่สูงกว่า 3 ลำดับแรกคือ 100 Hz (ฮาร์มอนิกที่ 2) 150 Hz (ฮาร์มอนิกที่ 3) 200 Hz (ฮาร์มอนิกที่ 4) และการเพิ่มตามจำนวนเท่าของคลื่นความถี่ที่ 50 เฮิรตซ์

**ผลกระทบของฮาร์มอนิก**

การเพิ่มขึ้นของฮาร์มอนิกที่สูงขึ้นทุกลำดับเป็นจำนวนเท่าของความถี่ เกิดผลเสียหรือผลกระทบดังนี้

- สายไฟฟ้าโดยเฉพาะสายนิวทรัล มอเตอร์และหม้อแปลงร้อนขึ้น
- เซอร์กิตเบรกเกอร์ทริปบ่อย
- ฟิวส์ขาดบ่อย
- ตัวเก็บประจุหรือคาปาซิเตอร์แบงค์ หรือชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลังทำงานผิดปกติระเบิด เสียหาย
- สัญญาณโทรศัพท์ถูกรบกวน
- อินเวอร์เตอร์ทำงานผิดปกติ
- PLC และคอมพิวเตอร์ขัดข้อง - เช่น หน้าจอ "ค้าง"
- หลอดไฟกะพริบรุนแรง หรือ LED เสีย

บริภัณฑ์ไฟฟ้า หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สร้างฮาร์มอนิก มีดังนี้

1. Rectifier แปลงกระแสสลับเป็นกระแสไฟตรง
2. Variable Speed Drive: VSD หรือ Variable Frequency Drive: VFD บริภัณฑ์ไฟฟ้าควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์
3. Uninterruptible Power Supply: UPS ระบบสำรองไฟ
4. Inverter แปลงกระแสสลับเป็นกระแสไฟตรง
5. Transformer หม้อแปลง ฮาร์มอนิกเกิดจากการอิ่มตัวของแกนเหล็ก
6. Magnetic ballasts บัลลาสต์แกนเหล็ก
7. Arc furnace กระบวนการผลิตเหล็กด้วยวิธีอาร์คไฟฟ้า ขนาดฮาร์มอนิกขึ้นกับความยาวอาร์คในช่วงให้ความร้อน

โหลดเชิงเส้นอุปกรณ์ประเภท R,L,C มีคุณลักษณะที่กระแสและแรงดันเป็นสัญญาณ sinewave สำหรับอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ของวงจรความถี่สูง ที่ควบคุมแรงดัน สำหรับ SCR, IGBT หรือโหลดที่มีผลของฮีสเตอร์รีซีส ที่มีความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็ก จึงเป็นโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยมีค่าความเพี้ยนดังนี้

1. ความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิก

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

2. ความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิก

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

กำหนดให้

$I_{1(rms)}$ = กระแส

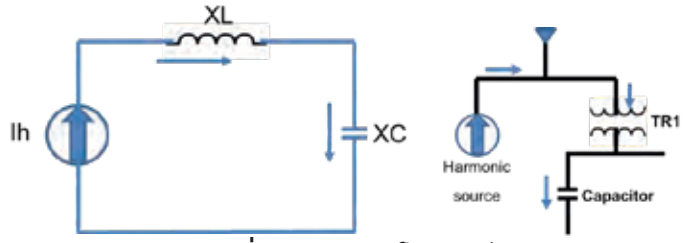
$V_{1(rms)}$ = แรงดัน

h = ลำดับฮาร์มอนิก

$\propto$ = ลำดับฮาร์มอนิกสูงสุด

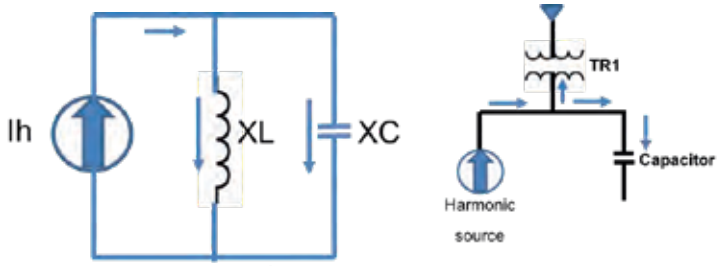
**ฮาร์มอนิกเรโซแนนซ์**

1. เรโซแนนซ์อนุกรม (Series resonance)




**รูปที่ 5.32** วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

2. เรโซแนนซ์ขนาน (Parallel resonance)




**รูปที่ 5.33** วงจรเรโซแนนซ์ขนาน

$$z = \frac{jXL \times jXc}{jXL - jXC}$$

$$I_L = \left(\frac{jXc}{jXL - jXc}\right) \times Ih$$

$$I_C = \left(\frac{jXL}{jXL - jXc}\right) \times Ih$$

ความถี่เรโซแนนซ์

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$$f_r = \sqrt{\frac{kVA \times 100}{kvar\ x\ \%Z}}$$

**ตัวอย่างที่ 5.8**

ตัวอย่างการหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ของโรงงาน BCC ที่มีขนาดหม้อแปลง 1000 kVA 3Ph. 4W %Z=6 Capacitor = 200kvar จงหาค่าความถี่เรโซแนนซ์

$$f_r = 50\ x \sqrt{\frac{kVA \times 100}{kvar\ x\ \%Z}}$$

$$f_r = 50\ x \sqrt{\frac{1{,}000 \times 100}{200\ x\ 6}}$$

= 50 x 28.867

= 1,443.37 Hz.

hr = 1,443.37 / 50

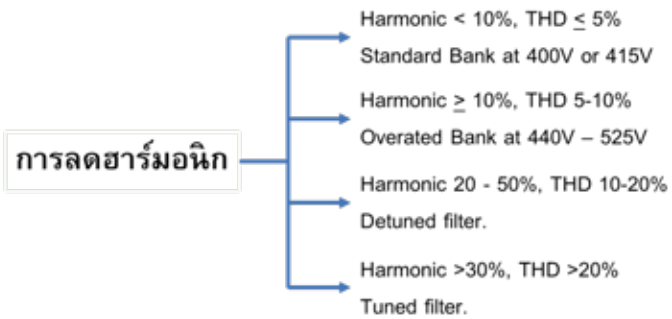
= 28.867

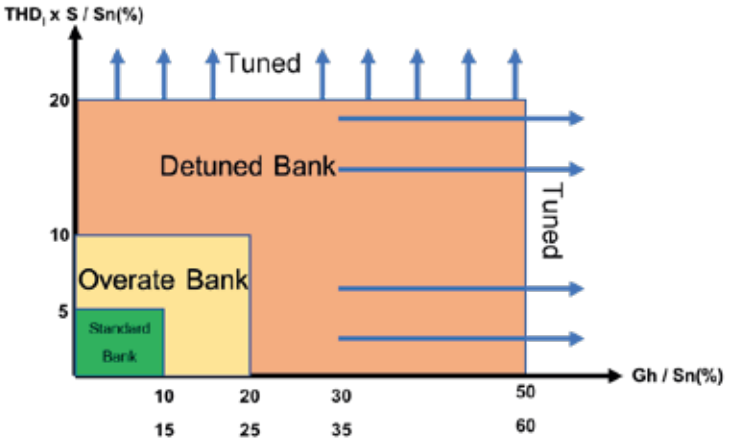
### 5.3.5 การแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า

การแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิกในกรณีที่ใช้คาปาซิเตอร์แบงค์ จะมีความอ่อนไวอย่างมากกับคาปาซิเตอร์แบงค์ เมื่อมีกระแสฮาร์มอนิกที่สูงขึ้นในระบบไฟฟ้า คาปาซิเตอร์จะรับกระแสฮาร์มอนิกและเกิดความร้อนอย่างมากเกิดความเครียดที่ dielectrics กับฉนวนของคาปาซิเตอร์ ตามจำนวนเท่าของความถี่ที่ฮาร์มอนิกสูงขึ้น ทำให้เกิดภาวะ resonance กับคาปาซิเตอร์ที่ใช้งาน เป็นสาเหตุทำให้คาปาซิเตอร์ที่ใช้ปกติหรือแบบแรงดันสูงก็ไม่สามารถทนต่อกระแสฮาร์มอนิกได้ ทำให้อายุของคาปาซิเตอร์สั้นลงอย่างรวดเร็ว อาจถึงขั้น breakdown หรือ ระเบิดเสียหายที่คาปาซิเตอร์แบงค์ รวมถึงแผงสวิตช์ที่ต่ออยู่ใกล้เคียง หรืออาจทำให้ห้องไฟฟ้าไฟไหม้เสียหายตามไปด้วย

**แนวการแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิก**

1. การใช้คาปาซิเตอร์ร่วมกับบริภัณฑ์ไฟฟ้าอื่นๆ






**รูปที่ 5.34** ความสัมพันธ์การออกแบบคำนวณปรับปรุงค่า PF ในระบบไฟฟ้า

2. Detuned filter เป็นการแก้ไขฮาร์มอนิกโดยใช้ reactor เข้ามาเสริมกับการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ ในกรณีใช้คาปาซิเตอร์แบงค์และมีกระแสฮาร์มอนิกในระดับน้อยๆ ไม่มากนัก ในบางกรณีอาจมีชื่อเรียกอื่นๆ ในลักษณะการทำงานใกล้เคียงกันนี้

สำหรับการแก้ไขปัญหาเรื่องฮาร์มอนิก จะมีผลกระทบกับเรื่องของแรงดันที่ 400 V ดังนั้นมีการปรับใช้แรงดันที่พิกัดสูงขึ้นเพื่อให้มีความคงทนมากขึ้น หลีกหนีช่วงแรงดันปกติที่ 400 V โดยมีการเลือกใช้คำนวณคาปาซิเตอร์ที่แรงดัน 440 V, 480 V และที่นิยมที่แรงดัน 525 V โดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$\frac{Q_{V1}}{Q_{V2}} = \left[\frac{V_1}{V_2}\right]^2$$

โดย $Q_{V1}$ = kvar ที่แรงดัน V1

$Q_{V2}$ = kvar ที่แรงดัน V2 ที่ต้องการให้ทนแรงดันมากขึ้น

V1 แรงดัน 400V

V2 แรงดันที่ 440 V, 480 V หรือ ที่นิยมที่แรงดัน 525 V

**ตัวอย่างที่ 5.9**

อาคารชุดมีระบบไฟฟ้า 400V คาปาซิเตอร์ 300kVA จงหาค่าคาปาซิเตอร์คาปาซิเตอร์ที่แรงดัน 525V

กำหนดให้ V1 = 400 V, V2 = 525 V, $Q_{V1}$ = 300 kvar จงหา $Q_{V2}$

$$Q_{V2} = Q_{V1} x \left[\frac{V_2}{V_1}\right]^2$$

$$Q_{V2} = 300\, x \left[\frac{525}{400}\right]^2$$

= 516.79 kvar

3. การใช้ Static Var Generator: SVG เป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่สามารถปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ปรับแก้ไขฮาร์มอนิกได้ถึงลำดับที่ 13 และปรับเวกเตอร์ของกระแสให้สมดุล โดยใช้อุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ IGBT แรงดันปกติ 400 V +/- 15%, Full Response time <20 ms, Instant Response time <100 us, Switching Frequency $\geq$ 10 kHz



**รูปที่ 5.35** การปรับแก้ไขฮาร์มอนิกส์โดย SVG

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยาย การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า*, โดย วิทยา ธีระสาส์น, ม.ป.ป., ม.ป.พ.

**ตัวอย่างที่ 5.10**

อาคารชุดมีระบบไฟฟ้า 800 kVA, 24 kV/230–400 V, Z = 6% ใช้กระแสไฟฟ้า 1,000 A กำลังไฟฟ้า P = 500 kW (เครื่องปรับอากาศ ปั๊ม มอเตอร์ ลิฟท์ โหลดต่าง) จงหาค่า kvar ที่จะทำการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

กำหนดให้ S = 800 kVA, P = 500 kW, กระแสใช้งาน 1,000 A, Z=6%

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{800^2 - 500^2}$$

$$= 624.49kvar$$

$$Power\ factor = \frac{Real\ Power^2}{Apparent\ Power^2}$$

$$Power\ factor = \frac{kW^2}{kVA^2}$$

$$Power\ Factor = \frac{500^2}{800^2}$$

$$Power\ Factor = 0.39\ \ or\ 39\%$$

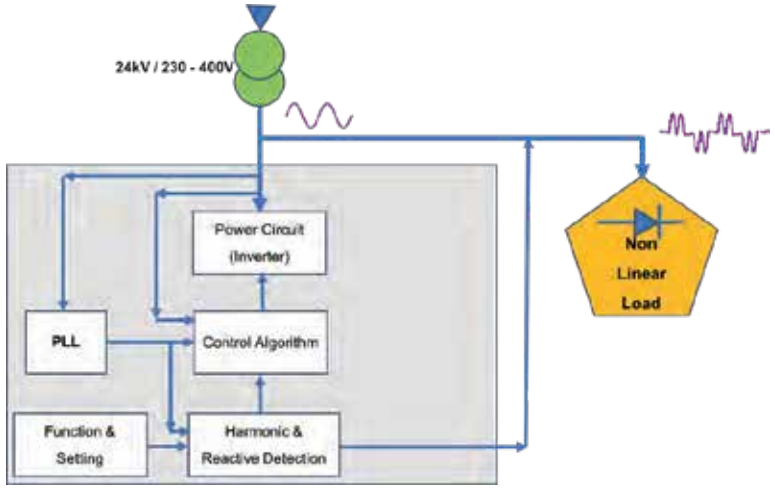
$$Power\ factor = \frac{Real\ Power}{Apparent\ Power} = \frac{kW}{kVA} = \cos \emptyset$$

$$kW = kVA \times \cos \emptyset$$

$$kvar = kVA \times \sin \emptyset = kW \times \tan \emptyset$$

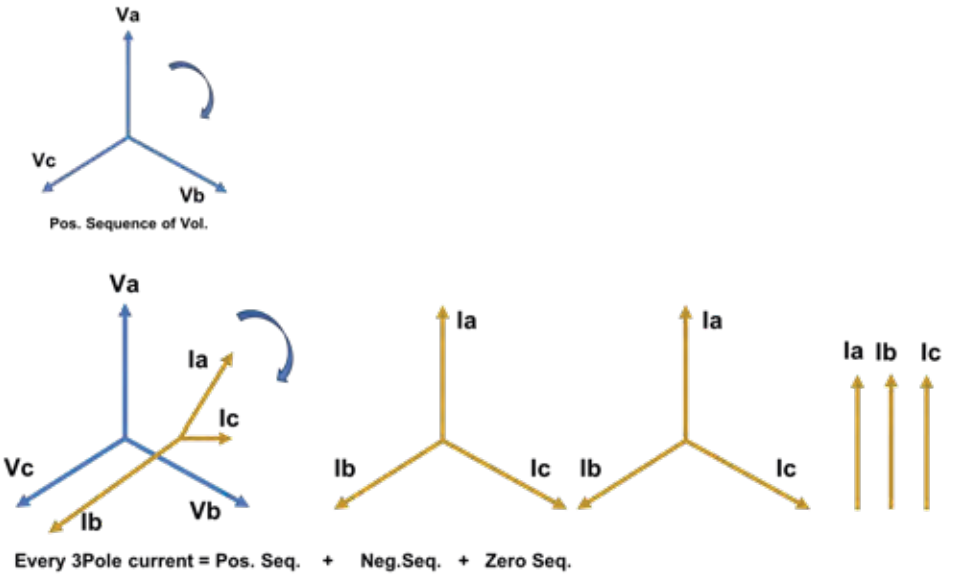
การจ่าย kvar ให้ระบบไฟฟ้า: SVG จะทำการผลิตกำลังไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก (Q: Apparent power: kvar) เพื่อช่วยปรับปรุงให้ระบบไฟฟ้ามีตัวประกอบกำลัง P.F ที่ดีขึ้นใกล้เคียง 1 แบบ linear ตามที่ระบบไฟฟ้าที่ต้องการในระยะเวลาอันสั้น ที่มีความเร็ว <20 ms

การแก้ฮาร์มอนิกน์ในระบบไฟฟ้า: SVG จะทำการตรวจสอบระบบไฟฟ้าว่ามีฮาร์มอนิกส์เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าจำนวนเท่าไหร่ SVG จะทำหน้าที่สร้างกระแสชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้น เพื่อทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ทั้งนี้ในตัวของ SVG จะมีการผลิตฮาร์มอนิกส์ขึ้นบ้างส่วนในขณะที่ SVG ทำงาน ดังนี้นจึงควรพิจารณา SVG นั้นๆที่จะเลือกใช้ว่าตัวในของ SVG นั้นจะผลิตฮาร์มอนิกส์ในเกณฑ์ที่ต่ำสุดและลดกระแสฮาร์มอนิกส์ได้สูงสุดในระบบไฟฟ้า



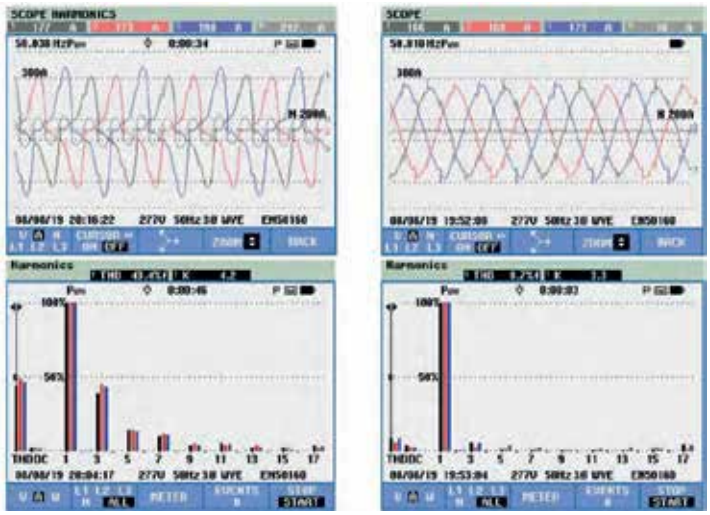

**รูปที่ 5.36** การแก้ปัญหา Harmonic ในระบบไฟฟ้าด้วย SVG

การแก้ Imbalance ของกระแสที่จ่ายออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อมีการติด SVGๆ จะทำหน้าที่ปรับเวกเตอร์ให้กระแสทั้ง 3 เฟสมีปริมาณใกล้เคียงกัน เพื่อให้หม้อแปลงจ่ายกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสในปริมาณที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งเป็นอีกหนึ่งข้อดีของ SVG




**รูปที่ 5.37** การปรับเวกเตอร์ของกระแสที่หม้อแปลงไฟฟ้าให้สมดุลด้วย SVG

Active filter เป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่สามารถปรับแก้ไขฮาร์มอนิกได้ถึงลำดับที่ 50 โดยใช้อุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ที่สามารถแก้ไขฮาร์มอนิกได้ตามลำดับฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้น หากมีการเปลี่ยนแปลงลำดับฮาร์มอนิก ก็จะมีผลกับ Active filter ที่เลือกใช้ด้วยเช่นกัน



**รูปที่ 5.38** การแก้ปัญหา Harmonic ในระบบไฟฟ้าด้วย Active filter

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยาย การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า*, โดย วิทยา ธีระสาส์น, ม.ป.ป., ม.ป.พ.

โดยสรุป: การเลือกใช้ปริมาณของชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลัง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีจำนวนโหลด หรือกำลังไฟฟ้าจริง (P: Active power: kW) และกำลังไฟฟ้าปรากฏ หรือขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เลือกใช้ (S: Apparent power: kVA) เพราะกำลังไฟฟ้าทั้งส่วนนี้จะเป็นส่วนสำคัญที่จะให้ได้ค่าของกำลังไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก หรือกำลังไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก (Q: Reactive power: kvar) ไปในทิศทางที่สูงเกินไป มีปริมาณที่มากเกินกว่าที่ต้องการ ทำให้ต้องมีการเลือกใช้ชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลังในจำนวนที่มากเกินกว่าที่ต้องการ เกิดปัญหาต้นทุนที่สูงขึ้น เหมือนกับที่ผ่านมา

ในกรณีที่มีการเลือกใช้ชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลังประเภทที่สามารถใส่เพิ่มเติมเป็นโมดูลได้ เช่น SVG ที่สามารถใส่เพิ่มเติมได้ที่ละโมดูลๆ ละ 50 kvar หรือ 100 kvar ได้ตามความต้องการของระบบไฟฟ้าที่ต้องการจริง

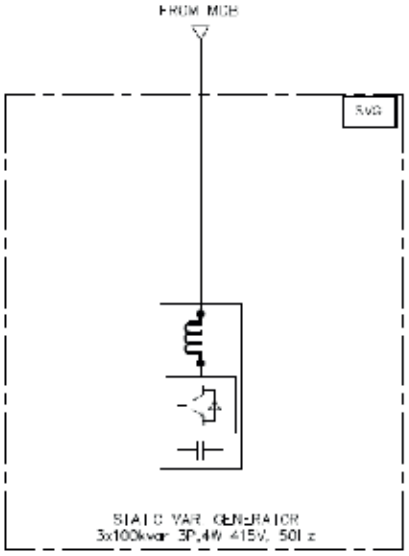


**รูปที่ 5.39** การเพิ่มโมดูล SVG

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยาย การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า*, โดย วิทยา ธีระสาส์น, ม.ป.ป., ม.ป.พ.

กรณีระบบไฟฟ้าที่มีการใช้ Solar บนหลังคา เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เป็นพลังงานสะอาดจากแสงแดดให้กับแผงโซลาร์ๆ จะทำหน้าที่จ่าย kW และ kVA ให้กับระบบไฟฟ้า เหมือนเป็นการเพิ่มปริมาณของกำลังไฟฟ้าจริง (P) และกำลังไฟฟ้าปรากฏ (S) ให้กับระบบไฟฟ้า โดยอินเวอร์เตอร์ของโซลาร์ต้องการ P.F ในระบบไฟฟ้าให้มีค่าใกล้เคียง ที่ 0.99 - 1.00 ตลอดเวลา ดังนั้นระบบไฟฟ้าจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสนามแม่เหล็ก (Q) เพื่อนำมาชดเชยให้ P.F ใกล้เคียง 1 ในระบบไฟฟ้าจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องพิจารณาเรื่องการเลือกใช้ชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลังที่เหมาะสมในปริมาณที่มากขึ้น เนื่องจากช่วงที่โซลาร์ทำงานนั้น มีความต้องการกำลังไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก ทำให้มิเตอร์ kvar ของการไฟฟ้าฯ ทำงานเพื่อคิดค่าใช้จ่ายสูงขึ้น

การใช้ Solar บนหลังคา เพิ่มเติมในระบบไฟฟ้าเดิมที่มีชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลังประเภทคาปาซิเตอร์แบงค์ ทำให้ค่า P.F ที่ปรากฏขึ้นที่ Power Factor Controller: PFC หรือมิเตอร์ ขึ้นค่าที่ผิดเพี้ยนไป ควรพิจารณาตำแหน่งการติด CT ของคาปาซิเตอร์เดิม เพื่อให้ PFC อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ค่าที่ปรากฏจะขึ้นได้ถูกต้อง



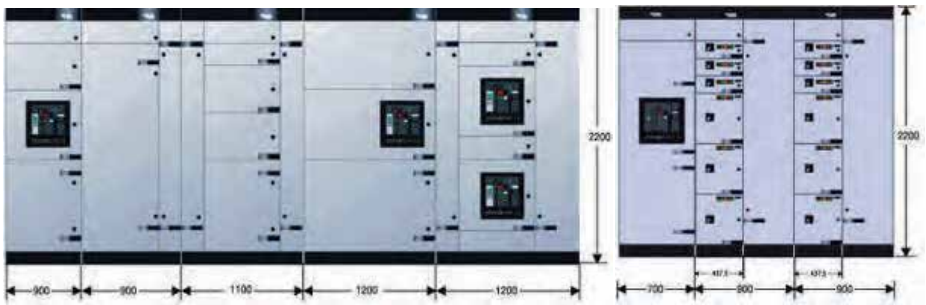

**รูปที่ 5.40** Single line diagram for SVG

หมายเหตุ. จาก *แบบ Static Var Generator: SVG,* โดย สมพล เจริญพงศ์พัฒนะ, ม.ป.ป., ม.ป.พ.

**5.4 แผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำและคอนโทรลเกียร์ (Low-voltage switchgear and Controlgear)**

แผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ หรือ ชุดประกอบสำเร็จควบคุมไฟฟ้าแรงดันต่ำ (ตาม มอก. 1436) หรือ แผงบริภัณฑ์ประธานรวมแรงดันต่ำ (MDB : Main Distribution Board) หรือ ตู้ควบคุมไฟฟ้า หรือ Distribution Board (DB) หรือ แผงสวิตช์ฯต่างๆ ปัจจุบันมี มอก.1436-2564 ในอดีตตั้งแต่ปี 2540 ที่ได้ออกมาตรฐาน มอก. 1436 มากว่า 24 ปี (คิด ณ. ปี 2564) ที่ได้ผลิตและทดสอบตาม IEC 60439-1 และ/หรือ มอก.1436 ที่มี 2 แบบ (แบบ Type-Tested Assembly และแบบ Partial Type-Tested Assembly) โดยแบบ Type-Tested Assembly น่าจะเป็นคำตอบของการเลือกผู้ผลิตที่ได้มาตรฐาน เพื่อบรรลุเป้าหมายด้านวิศวกรรม ในเรื่อง ความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ ความมั่นคง ความมีเสถียรภาพ ต่อระบบไฟฟ้า และที่ขาดไม่ได้ คือ การประหยัดในทางเศรษฐศาสตร์ เหตุผลที่กล่าวข้างต้นในเรื่องการประหยัดในทางเศรษฐศาสตร์ เพราะผู้ผลิตแผงสวิตช์ฯ ส่วนใหญ่จะมีการวิจัยและพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง และผู้ผลิตนั้นๆ จะเป็นผู้ผลิตอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ อยู่แล้ว ซึ่งผู้ผลิตดังกล่าวจะมีการจำหน่ายและใช้งานอยู่ทั่วโลก ซึ่งก็จะเป็นไปตามหลักทางเศรษฐศาสตร์ คือ การผลิตแบบเป็นจำนวนที่ทำให้เกิดจุดคุ้มทุน (Economics of scale) ดังนั้นหากผู้ผลิตใดที่มีปริมาณในการขายแผงสวิตช์ฯ หรือ อุปกรณ์ป้องกันมากๆ ผู้ผลิตนั้นๆ ก็จะทำให้เกิดศักยภาพด้านคุณภาพของสินค้าและการประหยัดในทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งรวมถึงการทำ License กับผู้ผลิตที่ได้รับการทวนสอบโดยตรงจาก Licensor ด้วย

MDB (แผงบริภัณฑ์ประธานรวมแรงดันต่ำ) เป็นหัวใจที่สำคัญอย่างมากสุด เพราะเป็นศูนย์รวมของระบบไฟฟ้าที่ควบคุมวงจร หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมด ทั้งนี้มาตรฐาน IEC 60439-1 ยังรวมไปถึงแผงสวิตช์ฯ ต่างๆ ด้วยเช่น Main Distribution Boards, Distribution Switchboards, Power Factor Correction Cubicle, Pump & Motor Starter Cubicle, Variable Speed Drives Cubicle เป็นต้น ดังนั้นหากแผงสวิตช์ฯ ทุกๆ แผงสวิตช์ฯ ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบ (TTA) มาก็จะเรียกได้ว่า แผงสวิตช์ฯ ทั้งระบบไฟฟ้านี้ เป็น **Fully Type-Tested Assembly**




**รูปที่ 5.41** แผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ ตาม IEC 60439-1 , IEC61439-2,3 แบบ Type-Tested Assembly

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.

**ตามมาตรฐาน IEC 60439-1 และ มอก. 1436 มีประเภทของการทดสอบ ดังนี้**

**<u>แบบที่ 1</u> Type-Tested low-voltage switchgear and controlgear Assembly (TTA) แผงสวิตช์ฯ แรงดันต่ำแบบที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบ** เป็นแผงสวิตช์ฯแรงดันต่ำที่ได้ประกอบให้ตรงตามแบบหรือระบบที่ปราศจากการบิดเบือน คือ มีการทดสอบอย่างละเอียดทุกข้อตามตารางที่ 7 ของ IEC 60439-1 (อันนี้ยังไม่รวมการทดสอบปลีกย่อยอีกมายมายนะ เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ รวมถึงวัสดุต่างๆ พวกน๊อต ยาง หรือ shield เป็นต้น ที่ต้องผ่านการทดสอบมาก่อนประกอบเป็นแผงสวิตช์ฯ) โดยลักษณะของการใช้งานจริงตาม Single line กับโครงการต่างๆ ของท่านนั้น ให้เป็นไปตามแบบที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบ (TTA) เช่น ในหัวข้อเรื่องขีดจำกัดของอุณหภูมิที่สูงขึ้น ในส่วนของเมนบัสบาร์ ยกตัวอย่างที่ เมนบัสบาร์พิกัดกระแสไฟฟ้า 5000 A ก็หมายความว่า ในการทดสอบเมนบัสบาร์ ก็จะมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 5000 A ให้บัสบาร์ตามข้อกำหนดของมาตรฐานฯ โดยบัสบาร์นั้นจะต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าได้โดยไม่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นเกินข้อกำหนด หรือมีอุณหภูมิสูงขึ้นเกินกว่า 105 องศาเซลเซียส แบบที่ไม่ต้องมีการติดพัดลมหรือ การระบายอากาศเพิ่มเติม เมื่อนำไปใช้จริง ก็ไม่จำเป็นต้องติดพัดลมเพิ่มเติม จากที่เคยทดสอบไว้ (โดยมีสภาพแวดล้อมการใช้งานที่ปกติ) เป็นต้น

**<u>แบบที่ 2</u> Partially Type-Tested low-voltage switchgear and controlgear Assembly (PTTA) แผงสวิตช์ฯ แรงดันต่ำแบบที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบ<u>เป็นบางส่วน</u>** คือ ทำการทดสอบบางส่วนและไม่ได้ทำการทดสอบอีกมากมายหลายส่วน โดยใช้ตัวเลขจากการคำนวณแทนการทดสอบ การตรวจพินิจด้วยสายตา การทวนสอบก็ตาม โดยปัจจุบัน IEC 61439 จะไม่นำมากล่าวถึงอีกเลย ทั้งนี้จะเห็นได้ชัดเจนว่าแผงสวิตช์ฯ ที่ผ่านการทดสอบ แบบ Fully Type-Tested Assembly หรือ Type-Tested Assembly จะสร้างความมั่นใจในเรื่องความปลอดภัยและความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ามากกว่าแบบ Partial Type-Tested Assemble

**ตามมาตรฐาน IEC 61439-1,2,3 และ มอก. 1436 โดยสรุป ดังนี้**

การออกมาตรฐานใหม่ IEC 61439-1,2 มาทดแทน ความผิดพลาด หรือ ความเสียหายได้มีการปรับเปลี่ยน เพิ่มเติมที่มากขึ้นจาก มาตรฐาน IEC60439-1 เพื่อให้ตรงกับความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ ความสะดวก และหลักการทางเศรษฐศาสตร์โดยมีการเปลี่ยนเป็น IEC 61439 ที่มี series หรือส่วนย่อยๆ ดังต่อไปนี้

IEC 61439-1: General rules

IEC 61439-2: Power switchgear and controlgear ASSEMBLIES (PSC-ASSEMBLIES)

IEC 61439-3: Distribution boards (to supersede IEC 60439-3)

IEC 61439-4: ASSEMBLIES for construction sites (to supersede IEC 60439-4)

IEC 61439-5: ASSEMBLIES for power distribution (to supersede IEC 60439-5)

IEC 61439-6: Busbar trunking systems (to supersede IEC 60439-2)

สำหรับแผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำและคอนโทรลเกียร์ หรือ ชุดประกอบสำเร็จควบคุมไฟฟ้าแรงดันต่ำ (ตาม มอก. 1436) หรือ แผงบริภัณฑ์ประธานรวมแรงดันต่ำ หรือ แผงสวิตช์ฯ

ต่างๆ ที่ได้ใช้ต้นฉบับจาก IEC 60439-1 จะถือได้ว่าแตกต่างกันอย่างมากกับมาตรฐาน IEC 61439-1, IEC 61439-2, IEC 61439-3 และมีรายละเอียดต่างๆ ที่ต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

- **Low-voltage switchgear and controlgear assemblies: IEC 61439-1: General rules (แผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำและคอนโทรลเกียร์: IEC 61439-1: General rules)**
- **Low-voltage switchgear and controlgear assemblies: IEC 61439-2: Power switchgear and controlgear assemblies (แผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำและคอนโทรลเกียร์: IEC 61439-2 :)**

Power switchgear and controlgear assembly (PSC-ASSEMBLY) เป็นแผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำและคอนโทรลเกียร์ ที่ใช้ในการกระจายและควบคุมการใช้พลังงาน สำหรับทุกประเภทของโหลด การใช้งานสำหรับงานอุตสาหกรรม พาณิชย์ การใช้งานที่คล้ายกัน ที่มีการทำงานโดยบุคคลธรรมดา โดยแรงดันไม่เกิน 1000 Vac. หรือ 1500 Vdc.

Edition แรกของมาตรฐาน IEC 61439-1 โดยได้มีการยกเลิกและแทนที่ Edition 4 ของ IEC 60439-1(1999) ถือเป็นการแก้ไขทางเทคนิคอย่างมีนัยสำคัญ ตั้งแต่ ปี พ.ศ 2553 ดังต่อไปนี้

- ด้วยแนวทางของ IEC 60439-1 ฉบับล่าสุดได้เปลี่ยนมาเป็นมาตรฐาน IEC 61439-1 ซึ่งจะเป็นส่วนรายละเอียดแบบครอบคลุมทั่วไป
- ใน IEC 61439 และก็จะมีส่วนย่อยอื่นๆ ประกอบเป็น series ตามที่กล่าวข้างต้นแล้ว
- การทดสอบแบบ TTA (การทดสอบเฉพาะแบบ : ทดสอบทุกข้อ) และ PTTA (การทดสอบบางส่วนบางข้อ) จะถูกกำจัดไป โดยวิธีการในการทวนสอบ
- สามสิ่งที่แตกต่างกัน แต่เทียบเท่าประเภทของการทวนสอบ ความต้องการที่ถูกแนะนำการทวนสอบ โดยการทดสอบ การคำนวณหรือการวัด หรือการทวนสอบความพึงพอใจด้วยกฎการออกแบบ
- ความต้องการที่เกี่ยวกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ที่ได้รับการชี้แจง
- the rated diversity factor (RDF) จะถูกครอบคลุมในรายละเอียดมากขึ้น
- ความต้องการจากมาตรฐานสำหรับ ตู้เปล่า สำหรับไว้ประกอบ (IEC 62208) ที่ต้องมีการจดทะเบียน
- โครงสร้างทั้งหมดของ มาตรฐานที่สอดคล้องกับ ฟังก์ชั่น ใหม่ ที่เป็น " กฎทั่วไป "

### 5.4.1 มาตรฐาน

ขอบเขตของมาตรฐาน IEC 61439-1 นี้ มีข้อกำหนดและเงื่อนไขในการบริการ ความต้องการในการก่อสร้าง คุณสมบัติทางเทคนิค และความต้องการในการทวนสอบเพื่อแผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ และคอนโทรลเกียร์ โดยพิจารณาสิ่งที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

- การประกอบที่แรงดันไฟฟ้า ไม่เกิน 1000 Vac. หรือ 1500 Vdc.

- การประกอบที่อยู่กับที่ หรือ เคลื่อนที่ โดยมีหรือไม่มี enclosure
- การประกอบที่เจตนาสำหรับใช้ในการเชื่อมต่อการกำเนิด การส่ง การจำหน่าย การแปลงของพลังงานไฟฟ้า และสำหรับควบคุมพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์บริโภค
- การประกอบที่ถูกออกแบบสำหรับการใช้ภายใต้เงื่อนไขพิเศษและเงื่อนไขการบริการ
- การประกอบที่ถูกออกแบบสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าของเครื่องจักร ข้อกำหนดที่มีเสริมสำหรับการประกอบให้เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องจักรที่ถูกครอบคลุมโดย IEC 60204 series

มาตรฐานนี้ได้นำมาใช้กับการประกอบทั้งหมด ว่าที่ได้ถูกออกแบบ ผลิต และการทวนสอบ บนพื้นฐานหนึ่งหรือ มาตรฐานอย่างเต็มที่และผลิตในแบบปริมาณ มาตรฐานนี้ไม่สามารถใช้เพียงลำพัง ที่จะระบุประกอบหรือนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการกำหนดร่วมกัน มาตรฐานนี้ไม่ได้นำไปใช้กับแต่ละอุปกรณ์ และส่วนประกอบในตัวเอง เช่น การสตาร์ทมอเตอร์ สวิตช์ฟิวส์, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอื่น ๆ ซึ่งจะสอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

**การทวนสอบ (Verification)**

- การทวนสอบโดยการออกแบบ เป็นการทวนสอบที่ทำในกลุ่มตัวอย่างการประกอบหรือส่วนของการประกอบที่แสดงให้เห็นว่าการออกแบบที่ได้ตรงตามความต้องการของมาตรฐานการประกอบที่เกี่ยวข้อง

หมายเหตุ การทวนสอบโดยการออกแบบ อาจประกอบด้วยหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งวิธีร่วมกัน อันได้แก่ การทดสอบ การคำนวณ การวัดทางกายภาพ หรือการใช้กฎการออกแบบ

- การทวนสอบโดยการทดสอบ ทำในกลุ่มตัวอย่างประกอบหรือในส่วนของการประกอบที่จะรับรองว่าการออกแบบตรงตามความต้องการของมาตรฐานการประกอบที่เกี่ยวข้อง

หมายเหตุ การทวนสอบโดยการทดสอบนี้เทียบเท่ากับการทดสอบเฉพาะแบบ Type Tests

- การประเมินการทวนสอบ การทวนสอบโดยการออกแบบของกฎการออกแบบที่เข้มงวด หรือการคำนวณที่ใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่ประกอบ หรือ ไปยังส่วนของการประกอบที่จะแสดงให้เห็นว่า การออกแบบที่ตรงตามความต้องการของมาตรฐานการประกอบที่เกี่ยวข้อง
- การทวนสอบโดยกฎการออกแบบ กฎที่กำหนดสำหรับการออกแบบของการประกอบซึ่งอาจจะนำไปใช้เป็น ทางเลือกในการทวนสอบโดยการทดสอบ
- Routine test การทวนสอบของแต่ละการประกอบ การดำเนินการในระหว่าง และหรือ หลังจากการผลิต เพื่อยืนยันว่า ได้สอดคล้องกับความต้องการของมาตรฐานการประกอบที่เกี่ยวข้องผู้ผลิต จะประกอบด้วย original manufacturer และ

assemble manufacturer ผู้ประกอบ ซึ่งเป็นผู้ประกอบและรับผิดชอบในการประกอบให้เสร็จสมบูรณ์ โดยผู้ผลิตและผู้ประกอบอาจจะเป็นคนละองค์กรกับ original manufacturerการผลิตและ / หรือ การประกอบ ผู้ประกอบสามารถดำเนินการนอกเหนือจากผู้ผลิตเดิมได้

**การทวนสอบโดยการออกแบบ**

มีวัตถุประสงค์เพื่อ ทวนสอบการปฏิบัติของการออกแบบของการประกอบ หรือ การประกอบที่มีความต้องการของมาตรฐานต่อเนื่องชุดนี้ การทดสอบจะต้องได้รับการปฏิบัติเป็นตัวแทน ตัวอย่างของการประกอบในสภาพที่กระจ่างและเป็นเงื่อนไขใหม่ ที่เกี่ยวกับการประกอบการทดสอบ โดยการทดสอบที่ได้ดำเนินการตาม IEC60439 series ก่อนที่จะมีการตีพิมพ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องใน IEC 61439 series และการทดสอบผลลัพธ์ที่ตอบสนองความต้องการของส่วนที่เกี่ยวข้องกับ IEC 61439 การทวนสอบเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องทำซ้ำ เพื่อยืนยันในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของอุปกรณ์ตัดตอน (switching) ในการประกอบ ที่ได้เลือกให้สอดคล้องกับการเลือกใช้และตามคำแนะนำของผู้ผลิต

การทวนสอบการออกแบบ จะต้องบรรลุผลโดยการประยุกต์ใช้อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือมากกว่า 1 วิธี ตามการเทียบเท่า และทางเลือกตามความเหมาะสม : การทดสอบ , การคำนวณ , การวัดทางกายภาพ หรือ การทวนสอบของกฎการออกแบบ ตามตาราง รายการการทวนสอบโดยการออกแบบ ที่ต้องปฏิบัติตาม ดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 5.12** รายการการทวนสอบโดยการออกแบบ

| No. | Characteristic to be verified | Clauses or subclauses | Verification options available | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Verification by testing | Verification by calculation | Verification by design rules |
| 1 | Strength of material and parts: | 10.2 | | | |
| | Resistance to corrosion | 10.2.2 | YES | NO | NO |
| | Properties of insulating materials: | 10.2.3 | | | |
| | Thermal stability | 10.2.3.1 | YES | NO | NO |
| | Resistance of insulating materials to normal heat | 10.2.3.2 | YES | NO | NO |
| | Resistance to abnormal heat and fire due to internal electric effects | 10.2.3.3 | YES | NO | NO |
| | Resistance to ultra-violet (UV) radiation | 10.2.4 | YES | NO | NO |
| | Lifting | 10.2.5 | YES | NO | NO |
| | Mechanical impact | 10.2.6 | YES | NO | NO |
| | Marking | 10.2.7 | YES | NO | NO |
| 2 | Degree of protection of enclosures | 10.3 | YES | NO | YES |
| 3 | Clearances and creepage distances | 10.4 | YES | YES | YES |
| 4 | Protection against electric shock and integrity of protective circuits:<br>Effective continuity between the exposed conductive parts of the ASSEMBLY & the protective circuit<br>Effectiveness of the assembly for external faults | 10.5<br>10.5.2<br>10.5.3 | YES | NO | YES |
| 5 | Incorporation of switching devices & components | 10.6 | NO | NO | YES |
| 6 | Internal electrical circuits and connections | 10.7 | NO | NO | YES |
| 7 | Terminals for external conductors | 10.8 | NO | NO | YES |
| 8 | Dielectric properties: | 10.9 | | | |
| | Power-frequency withstand voltage | 10.9.2 | YES | NO | NO |
| | Impulse withstand voltage | 10.9.3 | YES | NO | YES |
| 9 | Temperature-rise limits | 10.10 | YES | YES | YES |
| 10 | Short-circuit withstand strength | 10.11 | YES | YES | YES |
| 11 | Electromagnetic compatibility (EMC) | 10.11 | YES | NO | YES |
| 12 | Mechanical operation | 10.11 | YES | NO | NO |

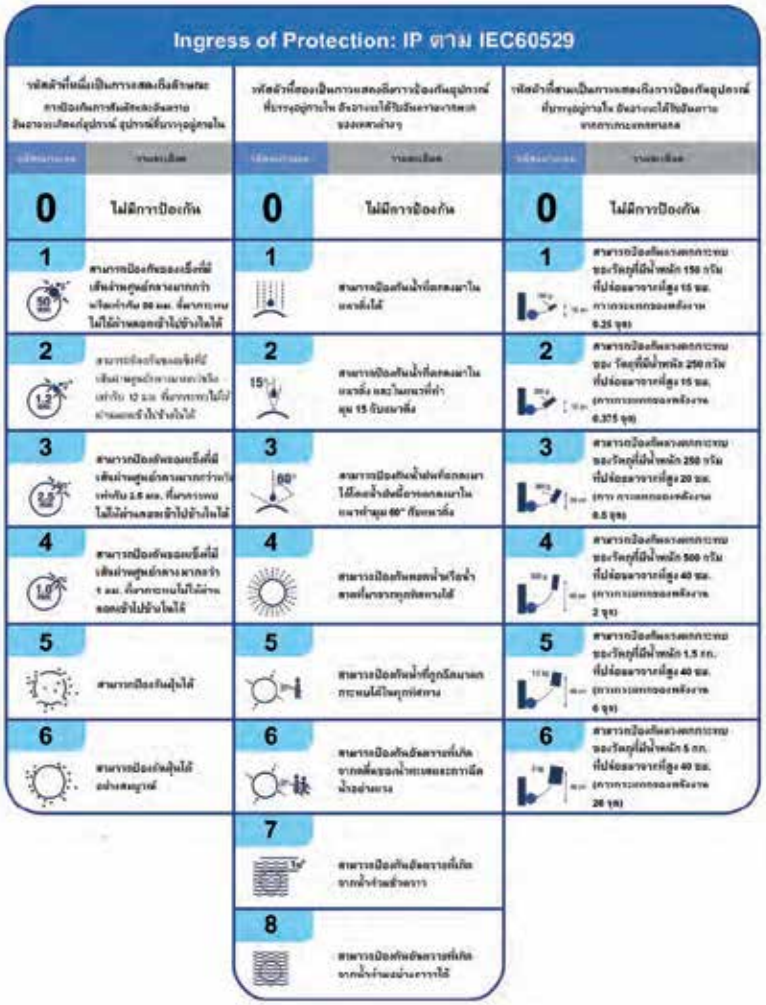
หมายเหตุ. จาก *IEC 62271 High voltage switchgear and controlgear*, โดย IEC, 2007.

ประสิทธิภาพการทำงานประกอบ อาจจะได้รับผลกระทบจาก การทวนสอบโดยการทดสอบ เช่น การทดสอบกระแสลัดวงจร การทดสอบเหล่านี้ ไม่ควรที่จะดำเนินการประกอบขณะที่กำลังดำเนินการบริการ (service) การประกอบที่ผ่านการทดสอบและได้มาตรฐานของผู้ผลิตแล้ว ไม่จำเป็นต้องผ่านการทวนสอบโดยวิธีออกแบบอีก ถ้า ผู้ผลิตเดิมได้ให้ข้อกำหนดและข้อแนะนำในการประกอบที่ครบถ้วนสมบูรณ์แล้ว ผู้ประกอบจะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดและข้อแนะนำอย่างเคร่งครัด

#### 5.4.1.1 การทวนสอบการออกแบบจะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญดังต่อไปนี้

##### 5.4.1.1.1 Constructional requirements

- Strength of materials and parts การพิจารณาในเรื่องความแข็งแรงของวัสดุและส่วนประกอบ โดยการประกอบจะถูกสร้างขึ้นจากวัสดุที่มีความสามารถในการทนต่อความเครียดทางกล ทางไฟฟ้า ความร้อน และสิ่งแวดล้อม เช่น การผุกร่อน รังสีUV. ที่มีแนวโน้มจะพบในการระบุเงื่อนไขการให้บริการ รูปร่างภายนอกของการประกอบ enclosure อาจจะสร้างขึ้นมาจากวัสดุต่างๆ เช่น ฉนวน โลหะ วัสดุที่เหมาะสมต่างๆ
- ระดับการป้องกันในเรื่องการกระแทก ระดับการป้องกันสิ่งแปลกปลอมที่เป็นของแข็งและของเหลว Ingress of Protection: IP: IEC60529 ดังรูปภาพที่ 5.42




ตารางระดับการป้องกันสิ่งแปลกปลอมที่เป็นของแข็งและของเหลว IP : IEC60529

**รูปที่ 5.42** ระดับการป้องกันสิ่งแปลกปลอมที่เป็นของแข็งและของเหลว IP : IEC 60529

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.

- Clearances and creepage distances การออกแบบที่พิจารณาถึง ระยะห่างในอากาศ ระยะห่างตามผิวฉนวน ระยะแยกขาดจากแหล่งจ่าย คุณสมบัติไดอิเลคทริก

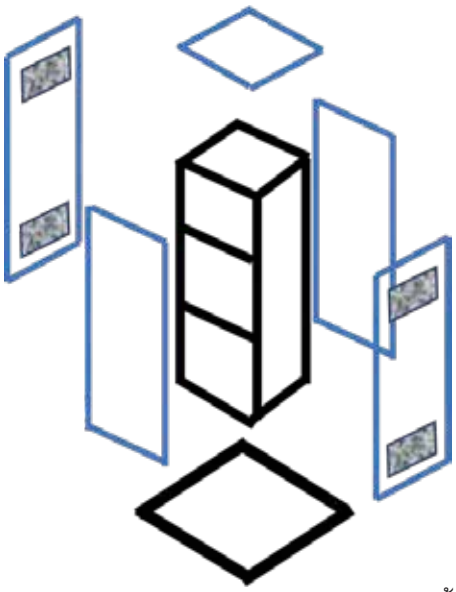
- Protection against electric shock การป้องกันไฟฟ้าช็อก จากวัสดุที่เป็นฉนวน เปลือก การป้องกันfault ในแบบต่างๆ เช่น automatic disconnection การกั้นส่วนไฟฟ้า เงื่อนไขในการปฏิบัติการและการบริการ

- Incorporation of switching devices and components อุปกรณ์ต่างๆ ที่มารวมกันในส่วนที่ถาวรและเคลื่อนที่ การเลือกใช้อุปกรณ์ การติดตั้ง การเข้าถึง การกั้นตำแหน่งการวาง เป็นต้น ทั้งนี้อุปกรณ์ตัดต่อ อุปกรณ์ป้องกัน รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆ จะไม่ขอกล่าวถึง เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่กล่าวถึงข้างต้นนั้น จะต้องได้รับการทดสอบตามมาตรฐานของแต่ละอุปกรณ์ โดยสมบูรณ์แล้ว

**5.4.1.1.2 รูปแบบต่อไปนี้เป็นรูปแบบของการแยกโดยใช้ที่ขวางกั้นหรือผนังกั้น IEC 61439 – 1, 2 Form (partition) within an assembly**

**- การกั้น: Partition**

คือส่วนของ Metal-enclosed switchgear and controlgear ที่แยกส่วนต่างๆของตู้ ออกจากกันโดย การกั้น ต้องเป็นวัสดุที่เป็นโลหะ หรือ อโลหะ เพื่อกั้นส่วนต่างๆของตู้ออกจากส่วนที่มีไฟฟ้า

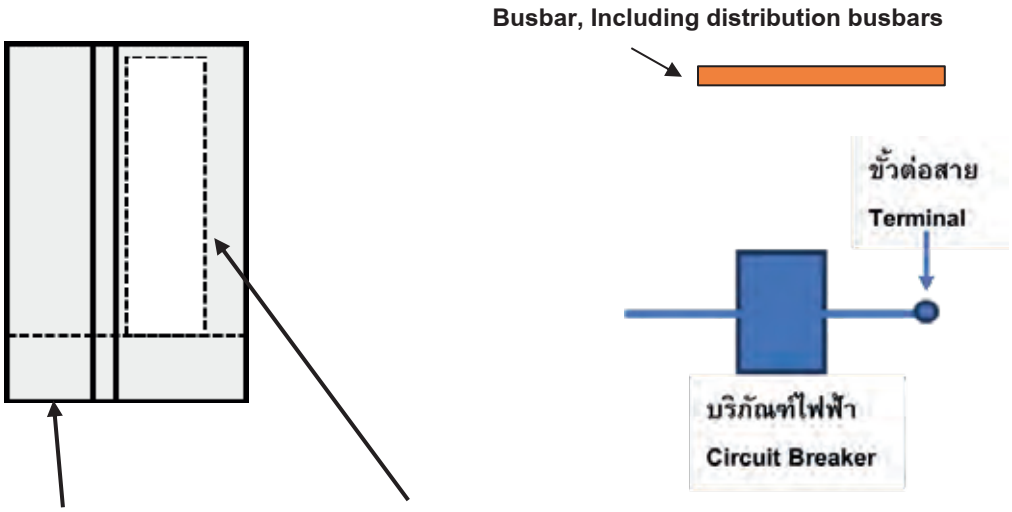


**รูปที่ 5.43** Switchboard partition form หรือ รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์

Form จะมีคุณสมบัติในการลดโอกาสการเกิดความผิดปกติ (Fault) อีกทั้งยังเป็นการจำกัดขอบเขตความผิดปกติ (Limit Fault) ที่อาจเกิดขึ้นไม่ให้ลุกลามไปยังช่องหรือส่วนอื่นๆ ภายในตู้สวิตช์บอร์ด ซึ่งคุณลักษณะหรือรูปแบบการแบ่งกั้นแยกส่วนที่มีไฟฟ้า (Live Part) หรือ

ส่วนที่เป็นอันตราย โดยการใช้ Partitions กั้นแยกระหว่างอุปกรณ์หลักออกอย่างชัดเจน การกั้นแยกส่วนต่างๆ ภายในตู้จะพิจารณาดังนี้

สัญลักษณ์ของการกั้น บริภัณฑ์ไฟฟ้า เทอร์มินอลภายในแผงสวิตช์

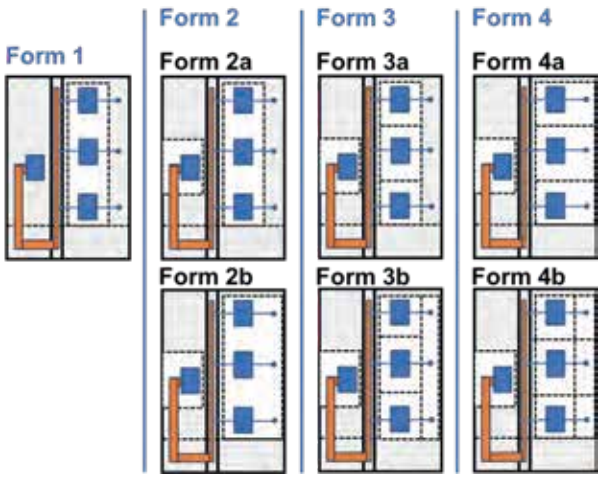



ส่วนห่อหุ้ม (enclosure)  การกั้นภายใน (Internal Separation )

หมายเหตุ สีของบัสบาร์ ปัจจุบันมีการกำหนดสีให้เป็นไปตามสีของสายไฟฟ้า คือ ฟ้า ,น้ำตาล ,ดำ ,เทา ,เขียว ( N ,L1 ,L2 ,L3 ,PE )

**รูปที่ 5.44** สัญลักษณ์และรูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์

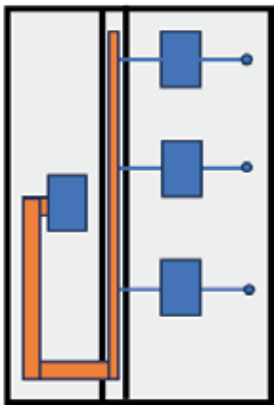
ฟอร์มมีทั้งหมด 7 ฟอร์ม ดังนี้




**รูปที่ 5.45** รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ (Switchboard partition form) ทั้ง 7 รูปแบบ

โดยในแต่ละฟอร์มจะมีรายละเอียดดังนี้

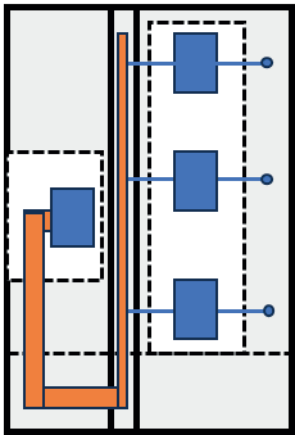
## Form 1



ภายในตู้สวิตช์บอร์ดจะไม่มีการกั้นช่องแบ่งแยกบัสบาร์ออกจากอุปกรณ์ ขั้วต่อสาย และตัวนำภายนอกออกจากกัน
**ต้องมีฉนวน ที่ไม่ลามไฟ เช่น แผ่นอาคิลิค** กั้นด้านหน้า ในส่วนของบัสบาร์และขั้วต่อสาย หรือส่วนใดๆ ที่เป็นตัวนำไฟฟ้า เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน

**รูปที่ 5.46** รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ Form 1

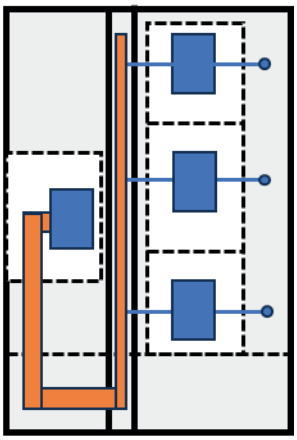
## Form 2a



มีการกั้นแยกระหว่างช่องบัสบาร์ออกจากตัวอุปกรณ์ แต่สำหรับขั้วต่อสายตัวนำภายนอก จะอยู่ภายในช่องเดียวหรือใกล้กันกับบัสบาร์

**รูปที่ 5.47** รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ Form 2a

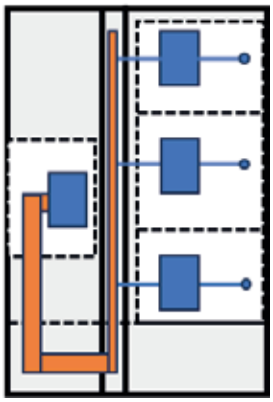
# Form 3a



- มีการกั้นแยกระหว่างช่องบัสบาร์ออกจากตัวอุปกรณ์
- มีการกั้นแยกอุปกรณ์แต่ละ Unit ออกจากกัน
- มีการกั้นแยกขั้วต่อสายตัวนำภายนอก ออกจากอุปกรณ์ แต่จะอยู่ภายในช่องเดียวกันหรือใกล้กับบัสบาร์

**รูปที่ 5.48** รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ Form 3a

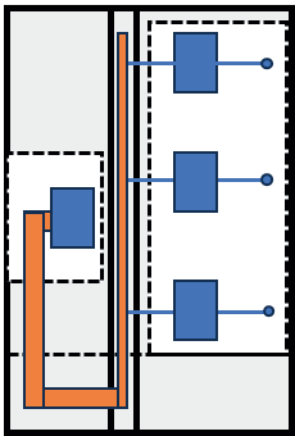
# Form 4a



- มีการกั้นแยกอุปกรณ์แต่ละ Unit ออกจากกัน
- มีการกั้นแยกขั้วต่อสายสำหรับตัวนำภายนอกออกจากบัสบาร์ แต่ขั้วต่อสายดังกล่าวจะอยู่ภายในช่องเดียวกันกับอุปกรณ์

**รูปที่ 5.49** รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ Form 4a

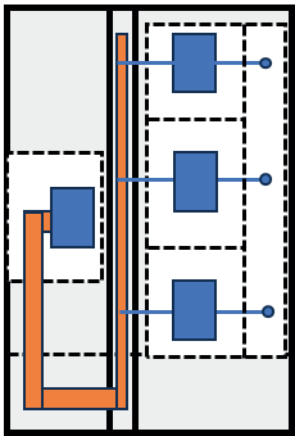
# Form 2b



มีการกั้นแยกระหว่างช่องของบัสบาร์ออกจากตัวอุปกรณ์ (Outgoing Unit) และขั้วต่อสายตัวนำภายนอก (Terminal for External Conductor) แต่อุปกรณ์และขั้วต่อสายจะอยู่ภายในช่องเดียวกันโดยไม่มีการกั้น

**รูปที่ 5.50** รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ Form 2b

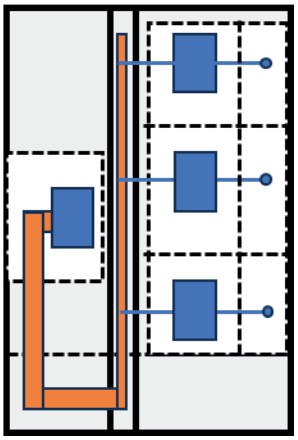
## Form 3b



- มีการกั้นแยกระหว่างช่องบัสบาร์ออกจากตัวอุปกรณ์ (Outgoing Unit)
- มีการกั้นแยกอุปกรณ์ (Outgoing Unit) แต่ละ Unit ออกจากกัน
- มีการกั้นแยกขั้วต่อสายสำหรับตัวนำภายนอก (Terminal for External Conductor) ออกจากบัสบาร์และอุปกรณ์ (Outgoing Unit) แต่ขั้วต่อสายดังกล่าวจะอยู่ภายในช่องเดียวกัน

**รูปที่ 5.51** รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ Form 3b

## Form 4b



- มีการกั้นแยกระหว่างช่องบัสบาร์ออกจากตัวอุปกรณ์
- มีการกั้นแยกอุปกรณ์ (Outgoing Unit) แต่ละ Unit ออกจากกัน
- มีการกั้นแยกขั้วต่อสายสำหรับตัวนำภายนอก (Terminal for External Conductor) ออกจากบัสบาร์และอุปกรณ์ (Outgoing Unit) และแยก Feeder ออกจากันอย่างชัดเจน

**รูปที่ 5.52** รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ Form 4b

ตารางสรุปฟอร์มตู้และลักษณะการกั้น โดยผู้เขียนได้สรุปให้เข้าใจง่ายขึ้น

**ตารางที่ 5.13** สรุปฟอร์มตู้และลักษณะการกั้น

| การกั้น / Form ตู้ | บริภัณฑ์ & บริภัณฑ์ | บริภัณฑ์ & บัสบาร์ | บริภัณฑ์ & ขั้วต่อ | ขั้วต่อ & ขั้วต่อ | ขั้วต่อ & บัสบาร์ |
|---|---|---|---|---|---|
| Form 1 | | | | | |
| Form 2A | | ✓ | | | |
| Form 2B | | ✓ | | | ✓ |
| Form 3A | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| Form 3B | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |
| Form 4A | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |
| Form 4B | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

**โดยมีข้อแนะนำเพิ่มเติมดังนี้**

- ควรมีแผ่นอาคิลิคกั้นในฟอร์ม 1 หรือ ส่วนอื่นๆ ที่จำเป็น เพื่อความปลอดภัย
- การกั้นจะมีส่วนช่วยป้องกันการลุกลาม ความเสียหายที่อาจจะลุกลามไปยังส่วนอื่นๆ ภายในแผงสวิตช์
- การเลือกใช้ระดับการกั้นที่สูงๆ หรือ มีการกั้นมากๆ จะทำให้มีการเพิ่มขนาดของอุปกรณ์หรือ วัสดุต่างๆ มากขึ้น เนื่องจากต้องมีการคำนึงถึงเรื่องการระบายความร้อน เพื่อให้แผงสวิตช์นั้นๆ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ตามพิกัดที่ใช้งาน ตามพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือ พิกัดของบัสบาร์ หรือ อุปกรณ์ วัสดุอื่นๆ ที่ประกอบกัน
- การกั้น จะมีผลต่อการใช้งาน การติดตั้ง และการบำรุงรักษาแผงสวิตช์ เนื่องจากการกั้นในระดับที่สูงก็จะต้องมีการถอดชิ้นส่วนของส่วนกั้น ออกมาจากแผงสวิตช์ เพื่อการเปลี่ยนอุปกรณ์ต่างๆ ของแผงสวิตช์

- Internal electrical circuits and connections ในส่วนของวงจรหลัก วงจรช่วย ตัวนำเปลือยและที่มีฉนวน การเลือกและการติดตั้งของการป้องกันตัวนำเพื่อลดโอกาสของการเกินกระแสลัดวงจร การแสดงของตัวนำป้องกัน (PE, PEN, N) ของวงจรหลัก

- Cooling จากธรรมชาติและจากการบังคับการระบายอากาศ

- Terminals for external conductors

- ***ฟอร์มสำหรับ MDB ของอาคารทั่วไป สามารถเลือกได้ทั้ง 2B หรือ 3B หากต้องการให้ระบบมีความเชื่อถือได้ก็เลือกใช้ฟอร์ม 3B ส่วนฟอร์มสำหรับ DB ของอาคารทั่วไป สามารถเลือกได้ทั้ง 1, 2A, 2B, 3A, 3B หรือตามความเหมาะสมของงานและข้อจำกัดของแต่ละพื้นที่แต่ละงาน ทั้งนี้การเลือกฟอร์มที่สูงขึ้นก็จะมีผลกระทบในเรื่องของขนาด พื้นที่ การทำงาน การบำรุงรักษา และงบประมาณ เป็นต้น

**Note: รายละเอียดข้อความ รูป และส่วนต่าง ๆ เป็นลิขสิทธิ์ของผู้เขียนเท่านั้น**

**5.4.1.1.3 Performance requirements**

- Dielectric properties เป็นความสามารถคงทนต่อแรงดันสูงได้ชั่วขณะและความสมบูรณ์ของฉนวนกันความร้อนที่เป็นของแข็ง ที่มีการทวนสอบ โดย power frequency withstand voltage และความสามารถในการทนต่อการแรงดันสูงชั่วขณะเป็นการทวนสอบโดยแรงกระตุ้นให้ทนต่อแรงดันไฟฟ้า

- Temperature rise limits การจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ตามตารางที่ 6 ของมาตรฐาน IEC 61439-1

- Short circuit protection and short circuit withstand strength การป้องกันการลัดวงจร และความแข็งแรงในการทนต่อการลัดวงจร โดยการประกอบจะต้องมีความสามารถในการทนต่อความร้อน และ dynamic stresses ที่เกิดจากกระแสลัดวงจรไม่เกินค่าพิกัด

**หมายเหตุ**

- ความตึงเครียดจากกระแสลัดวงจร อาจจะถูกลดลงโดยการใช้ อุปกรณ์จำกัดกระแส (current limiting devices)

- การประกอบไว้ใช้สำหรับระบบ IT อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรควรมีความสามารถในการตัดวงจรเพียงพอ ในแต่ละขั้วที่แรงดัน L to L เพื่อจัดการให้ double earth fault หมดไป

- เว้นแต่จะระบุเป็นอย่างอื่นใน คู่มือการใช้งาน และการบำรุงรักษาของผู้ผลิต การประกอบ ที่ได้รับภายใต้การลัดวงจร

- Electromagnetic compatibility: EMC ตาม Annex J. ใน IEC 61439-1

- Mechanical operation เป็นการทดสอบการทำงานทางกล ในส่วนต่างๆ เพื่อความมั่นใจว่าสามารถทำงานได้เป็นปกติ

**5.4.1.2 การทวนสอบโดยการคำนวณ**

วิธีการคำนวณ 2 วิธี ที่ได้เตรียมไว้ ทั้งการกำหนดปริมาณอากาศจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นภายในตู้ ที่มีสาเหตุมาจากำลังสูญเสียของวงจรทั้งหมด และเปรียบเทียบอุณหภูมินี้กับการจำกัดอุปกรณ์ที่ติดตั้ง วิธีการที่แตกต่างกันในทางความสัมพันธ์ระหว่างการส่งผ่านพลังงานที่สูญเสียและอุณหภูมิที่สูงขึ้นของอากาศภายในตู้เป็นการสืบหาให้แน่ใจ
เพราะอุณหภูมิในพื้นที่ที่เกิดขึ้นจริงจากการที่กระแสไหลผ่านส่วนต่างๆ ไม่สามารถคำนวณได้โดยวิธีการเหล่านี้ ข้อจำกัดบางอย่างและความปลอดภัยที่เผื่อไว้เป็นสิ่งที่จำเป็นและมีการรวม ในส่วนต่างๆ ดังนี้

- การประกอบช่องเดี่ยวที่มีพิกัดกระแสไม่เกิน 630 A

วิธีในการทวนสอบ อุณหภูมิที่สูงขึ้นของการประกอบช่องเดี่ยวจากการจ่ายกระแสทั้งหมดไม่เกิน 630 A และพิกัดความถี่ไม่เกิน 60 Hz ที่อาจจะทำได้โดยการคำนวณหากมีเงื่อนไขต่างๆ ครบ เช่น ข้อมูลการสูญเสียพลังงานของอุปกรณ์ ,การกระจายความร้อนจากการสูญเสียพลังงาน ,การระบายความร้อนของอุปกรณ์ที่ทำงานไม่เกินพิกัด 80% การไหลเวียนของอากาศ ,ตัวนำกระแสที่เกิน 200 A กระแสไหลวนและการสูญเสียของแกนเหล็ก, ตัวนำทั้งหมด, อุปกรณ์ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นของอุปกรณ์

- การประกอบหลายช่องที่พิกัดกระแสไม่เกิน 1600 A

วิธีในการทวนสอบ ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของการประกอบหลายช่องที่กระแสไม่เกิน 1600 A และพิกัดความถี่ไม่เกิน 60 Hz ที่อาจจะทำได้โดยการคำนวณตามวิธีการประมาณค่าหากมีเงื่อนไขต่างๆ ครบ เช่น ข้อมูลการสูญเสียพลังงานของอุปกรณ์ ,การกระจายความร้อนจากการสูญเสียพลังงาน ,การระบายความร้อนของอุปกรณ์ที่ทำงานไม่เกินพิกัด 80% การไหลเวียนของอากาศ, ตัวนำกระแสที่เกิน 200 A กระแสไหลวนและการสูญเสียของแกนเหล็ก, ขนาดของตัวนำทั้งหมด, การระบายอากาศตามธรรมชาติของตัวตู้

**5.4.1.3 การทวนสอบโดยการประยุกต์ใช้กฎการออกแบบ**

โดยการเปรียบเทียบ จากการประกอบที่ได้รับการทวนสอบด้วยการออกแบบที่ได้ผ่านการทดสอบ แล้วใช้รายการตรวจสอบที่เตรียมไว้ในตาราง Short-circuit verification by design rules: by check list

- **การทวนสอบโดยการเปรียบเทียบกับการออกแบบอ้างอิง**

การประเมินของ Icw ของการประกอบและวงจรโดยการคำนวณ และการประยุกต์ใช้กฎการออกแบบจะต้องดำเนินการเปรียบเทียบการประกอบ ด้วยการทวนสอบโดยการทดสอบแล้ว

**5.4.1.4 การทวนสอบโดยการทดสอบ**

การประกอบ หรือ ทุกส่วนต้องทดสอบแบบสมบูรณ์ จะต้องติดตั้งตามการใช้งานปกติ โดยจะมีรายการทดสอบ เช่น วงจร บัสบาร์ การต่อ กระแสลัดวงจร (Ic : Icc, Icw, Ipk), protective circuit, EMC และ Mechanical operation เป็นต้น

**5.4.1.5 การทวนสอบโดยการทดสอบประจำ**

การทวนสอบมีวัตถุประสงค์ เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดในด้านวัสดุ คนผลิต และตรวจสอบให้แน่ใจว่าการทำงานของการผลิต ประกอบ ได้การทวนสอบโดยการทดสอบประจำ เพื่อยืนยันว่าการทวนสอบโดยการออกแบบนั้นสามารถใช้ได้

การทวนสอบโดยการทดสอบประจำ ไม่ต้องใช้กับอุปกรณ์ และส่วนประกอบภายในตัวเองของการประกอบ จากการเลือกใช้ให้สอดคล้องกับการติดตั้งตามคำแนะนำของผู้ผลิตอุปกรณ์ โดยการทวนสอบจะประกอบด้วยหัวข้อโดยสรุปดังต่อไปนี้

1) Construction:

a) Strength of materials and parts

b) degree of protection of enclosures;

c) clearances and creepage distances;

d) protection against electric shock and integrity of protective circuits;

e) incorporation of built-in components;

f) internal electrical circuits and connections;

g) cooling

h) terminals for external conductors;

2) Performance:

i) dielectric properties

j) Temperature rise limits

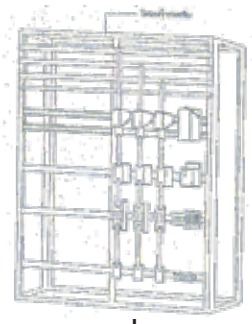
k) Short circuit protection and short circuit withstand strength

l) Electromagnetic compatibility: EMC

m) mechanical operation

ลักษณะของแผงสวิตช์ฯ มีหลายประเภทดังนี้

1. open-type ASSEMBLY



2. dead-front ASSEMBLY

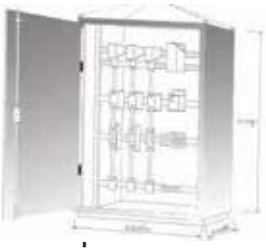


**รูปที่ 5.53** ลักษณะแบบ open-type ASSEMBLY และ dead-front ASSEMBLY

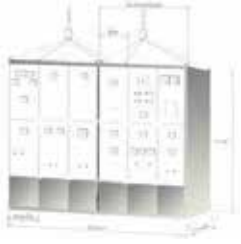
หมายเหตุ. จาก *IEC 60439 60439 Low voltage switchgear and controlgear*, โดย IEC, 1999.

3. Enclosed ASSEMBLY มีอีกหลากประเภทย่อยดังนี้

3.1 cubicle-type ASSEMBLY



3.2 multi-cubicle-type ASSEMBLY



**รูปที่ 5.54** ลักษณะแบบ cubicle-type ASSEMBLY และ multi-cubicle-type ASSEMBLY

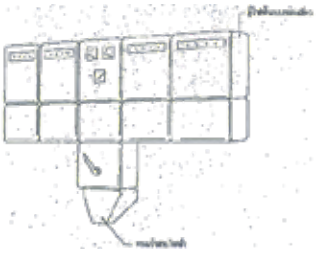
หมายเหตุ. จาก *IEC 60439 60439 Low voltage switchgear and controlgear*, โดย IEC, 1999.

3.3 desk-type-ASSEMBLY



3.4 box-type + box-type = multi box-type-ASSEMBLY





cubicle-type ASSEMBLY

3.2 multi-cubicle-type ASSEMBLY

**รูปที่ 5.55** ลักษณะแบบ desk-type-ASSEMBLY และ box-type + box-type

หมายเหตุ. จาก *IEC 60439 Low voltage switchgear and controlgear*, โดย IEC, 1999.

**5.4.1.6 รายละเอียดหัวข้อการทดสอบพื้นฐาน ประจำ (Routine Test)**

- ตรวจพินิจพิจารณา การประกอบ, การ Wiring, และ Electrical Operation (Inspection) เป็นการตรวจพินิจพิจารณาจากการประกอบ การติดตั้ง การเดินสาย รวมถึงการทำงานทางไฟฟ้าของส่วนต่าง ๆ ในแผงสวิตช์

- การทดสอบความต้านทานของฉนวน (Insulation Test) การดำเนินการทดสอบความต้านทานของฉนวนนี้ประกอบด้วยในการตรวจสอบค่าการทดสอบแรงดันของวงจรไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60439-1: 8.3.4 การวัดค่าความเป็นฉนวน โดยใช้อุปกรณ์วัดค่าความเป็นฉนวนที่แรงดันไม่น้อยกว่า 500 $V_{DC}$ จะต้องดำเนินการซึ่งเป็นระดับค่าความเป็นฉนวนที่เกี่ยวกับโลกด้วย จะต้องมีการวัดอย่างสม่ำเสมอโดยหน่วยงานกำกับดูแลและต้องมากกว่าค่ามาตรฐาน IEC 60364-6

**ตารางที่ 5.14** ฉนวนกันความร้อนค่าความต้านทานต่ำสุดด้วย (IEC 60364-6)

| Circuit nominal voltage ( V ) | DC test voltage ( V ) | Insulation resistance ( MΩ ) |
|---|---|---|
| SELV and PELV | 250 | ≥ 0.25 |
| 500 V | 500 | ≥ 0.5 |
| > 500 V | 1000 | ≥ 1.0 |

หมายเหตุ. จาก *IEC 60364-6 Low-voltage electrical installation Part 6: Verification,* โดย IEC, 2016.

โดยใน IEC 60364-6-61 Electrical Installations of building - Verification and testing - Initial verification มีรายละเอียดดังนี้

: SELV = Separated Extra - Low Voltage

: PELV = Protective Extra - Low Voltage

- การทดสอบความคงทนของฉนวน (Dielectric Voltage Test)

การทดสอบแรงดันสูงควรจะดำเนินการ ในแต่ละเฟสและ PE : Protective Earth ในทางกลับกันกับตัวนำอื่น ๆ ทั้งหมดที่เชื่อมต่อกับPE อุปกรณ์จะประสบความสำเร็จในผ่านการการทดสอบ ถ้าในเวลาใด ๆ ในช่วงระยะเวลา 1 นาที ที่จะยังไม่มีการทำลายการทดสอบแรงดันคายประจุ อ้างถึง IEC standard. สำหรับวงจรหลักและวงจรช่วยค่าให้เป็นไปตามตารางที่ 5.15

**ตารางที่ 5.15** การทดสอบความคงทนของฉนวน

| Rated insulation voltage (line to line) Ui<br>V | Dielectric test voltage a.c. r.m.s.<br>V |
|---|---|
| Ui ≤ 60 | 1000 |
| 60 < Ui ≤ 300 | 2000 |
| 300 < Ui ≤ 690 | 2500 |
| 690 < Ui ≤ 800 | 3000 |
| 800 < Ui ≤ 1000 | 3500 |
| 1000 < Ui ≤ 1500 * | 3500 |
| * For d.c. only | |

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยาย การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า*, โดย วิทยา ธีระสาส์น, ม.ป.ป., ม.ป.พ.

การเลือกใช้ที่ 2.5 kV, นาน 1 นาทีระหว่าง 3 phase และ PE การทดสอบนี้จะถือว่าผ่านได้โดยไม่มี puncture หรือ flashover เกิดขึ้น ตรวจสอบค่าความต่อเนื่องของวงจรป้องกัน (Protective Circuit) โดยการทดสอบเพื่อความมั่นใจว่า แผงสวิตช์ที่ได้ผ่านการประกอบแล้วนั้นมีความต่อเนื่องของวงจรป้องกันได้อย่างดี จากการทดสอบการต่อถึงกันของสาย PE ทั้งหมดของแผงสวิตช์ และให้มั่นใจว่า หากมีการถอดส่วนหนึ่งส่วนใดของวงจรป้องกันออก วงจรป้องกันส่วนที่เหลือจะต้องไม่ขาดตอน



**รูปที่ 5.56** ภาพประกอบของแผงสวิตช์ที่ได้ต่อวงจรป้องกันอย่างต่อเนื่องกันทั้งระบบไฟฟ้า
หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.

#### 5.4.1.7 Commissioning Test หรือ การทดสอบความพร้อมก่อนการใช้งาน

โดยปกติการทดสอบความพร้อมก่อนการใช้งานแผงสวิตช์ จะมีครั้งแรกที่โรงงานผู้ผลิต โดยการทำ routine test และหากมีการเข้าตรวจสอบ หรือ ทดสอบ จากทางเจ้าของงาน ผู้ออกแบบ ผู้คุมงาน หรือ ผู้ว่าจ้าง ก็จะมีการทำ routine test ซ้ำ (ไม่ต้องมีก็ได้) โดยหลังจากมีการส่งมอบแผงสวิตช์ และติดตั้งที่ตำแหน่งต้องการ ก็จะมีการทำ routine test ซ้ำ เป็นครั้งสุดท้าย ก่อนการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ส่วนอื่นๆ เช่น แผงสวิตช์แรงดันสูง หรือ หม้อแปลงไฟฟ้า หรือ แผงสวิตช์ย่อย เป็นต้น

### 5.4.2 การติดตั้งแผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ

- แผงสวิตช์ที่ใช้งาน ต้องตรงตามที่ออกแบบไว้และตามการใช้งานจริง โดยมี Singleline diagram แนบที่แผงสวิตช์ฯ และ Mimic เพื่อระบุถึงรายละเอียดความสัมพันธ์ของแต่ละวงจร หรือการระบุวงจรที่ตัวอุปกรณ์ป้องกัน เพื่อความสะดวกในการใช้งานและการบำรุงรักษา
- แผงสวิตช์ฯ ต้องมีการวางในห้องไฟฟ้าที่มีระยะห่างระหว่างแผงสวิตช์และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ที่ถูกต้องตามมาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย ของ วสท.
- ตำแหน่งที่วางแผงสวิตช์ฯ ที่ดีควรคำนึงถึงสภาพแวดล้อมโดยรวม ที่ห่างไกลจากน้ำ ความชื้น พื้นที่เปียก หรือ c

หากเป็นพื้นที่เสี่ยงก็ควรมีการป้องกันแผงสวิตช์ฯ ด้วยวิธีต่างๆ เช่น การใช้พิกัดการป้องกันของแข็งและของเหลวที่สูงขึ้น เป็นต้น ทั้งนี้ผู้ออกแบบหรือผู้ที่กำหนดพื้นที่วางแผงสวิตช์ฯ จำเป็นที่จะต้องทำการสำรวจพื้นที่ก่อน เพื่อระบุ พิกัดการป้องกันของแข็งและของเหลวที่สัมพันธ์กับการใช้งานแผงสวิตช์ฯ รวมถึงการติดตั้งแผงสวิตช์ฯ ในพื้นที่ภายนอกอาคารด้วย ที่ต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมโดยรวม และลักษณะการติดตั้งฯ

- การติดตั้งแผงสวิตช์ฯ ต้องคำนึงถึง เวลาในการเข้าถึงอุปกรณ์ฯภายในแผงสวิตช์ฯ ในภายหลัง เพราะส่วนใหญ่การติดตั้งที่ไม่ดี นั้นจะมีสายไฟฟ้าเข้า-ออก เต็มพื้นที่ทั้งหมด ทำให้ไม่สามารถเข้าถึงเพื่อการเพิ่มเติม เปลี่ยนแปลง หรือการซ่อมบำรุงต่างๆ ได้ ดังนั้นหากพื้นที่ห้องในการวางแผงสวิตช์ฯ ที่จำกัด ทำให้ต้องมีการลดพื้นที่ของแผงสวิตช์ฯ จะทำให้ขาดพื้นที่ในการเข้า-ออกสายไฟฟ้า และควรมีการจับยึดสายไฟฟ้าที่เข้า-ออก ที่ตำแหน่งพื้นที่ว่างที่ได้เตรียมไว้ อย่างแข็งแรง และต่อเนื่อง ไม่ทำให้โครงสร้างของแผงสวิตช์ฯ เสียหาย หรือ อยากต่อการใช้งานและการซ่อมบำรุงในภายหลัง

### 5.4.3 การบำรุงรักษาแผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ

- ตรวจพินิจพิจารณา การประกอบ, การ Wiring, และ Electrical Operation (Inspection)
- การตรวจสอบแผงสวิตช์ฯ โดยการทดสอบการทำงาน (Function Test) ที่ตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ protective relay เป็นต้น รวมถึงการบำรุงรักษาหล่อลื่นส่วน

เคลื่อนที่ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น กลไกการเคลื่อนที่ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ตามคุณสมบัติของผู้ผลิต หรือ ผู้ประกอบแผงสวิตช์แบบ Licensee ของผลิตภัณฑ์นั้นๆ หรือ ผู้ที่มีความรู้ทางด้านนี้

- การทดสอบความต้านทานของฉนวน (Insulation Test)
- การทดสอบความคงทนของฉนวน (Dielectric Voltage Test)
- ตรวจสอบค่าความต่อเนื่องของวงจรป้องกัน (Protective Circuit)
- การตรวจสอบพิกัดการขันแน่นของสกรู ตามมาตรฐานการขันแน่นของสกรู ควรสอบถามจากผู้ผลิตแผงสวิตช์ฯ ที่ทำแผงสวิตช์ฯ นั้นๆ เพื่อความถูกต้อง
- การตรวจสอบเพื่อการบำรุงรักษา ต้องมีรอบระยะเวลาในการบำรุงรักษาที่แน่นอนและต่อเนื่อง โดยมีการเก็บผลการตรวจสอบและบำรุงรักษาไว้ด้วย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และตัดสินใจในการบริหารจัดการในอนาคต

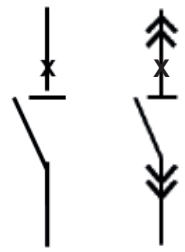
ปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาในเรื่องการเลือกใช้แผงสวิตช์ฯ หรือ ชุดประกอบสำเร็จควบคุมไฟฟ้าแรงดันต่ำ มีดังนี้

- เรื่องการทวนสอบใบรับรองที่ผ่านการทดสอบมาตรฐาน IEC 60439-1 หรือ IEC 61439-1,2,3 หรือ มอก.1436 มีถูกต้องและตรงตามแบบ ตามคุณสมบัติที่ได้ใช้ในโครงการนั้นๆ
- ผู้ผลิตฯ หรือ ผู้ผลิตแบบ Licensee ต้องได้ใบรับรองที่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60439-1 ,IEC 61439-1,2,3 ทุกหัวข้อตามพิกัดกระแสไฟฟ้าของเมนบัสบาร์ต่างๆ ที่เลือกใช้ หรือ เป็นผู้ผลิตที่มีประสบการในผลิตตามมาตรฐานข้างต้น มาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน เช่น มากกว่า 10 ปี เพื่อความมั่นใจในคุณภาพการผลิต จากประสบการณ์ ทักษะและความชำนาญของผู้ผลิต
- ผู้ผลิตฯ หรือ ผู้ผลิตแบบ Licensee ต้องมีมาตรฐานรับรอง ISO 9001 ล่าสุด
- ผู้ผลิตฯ หรือ ผู้ผลิตแบบ Licensee ต้องได้ใบรับรองที่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60439-1 ,IEC 61439-1,2,3 กับแผงสวิตช์ฯประเภทต่างๆ ดังนี้ MDB, distribution switch-boards, power factor correction cubicle, fixed-type motor control centers, withdrawable-type motor-control center, variable speed drives and starters column.
- ผู้ผลิตฯ หรือ ผู้ผลิตแบบ Licensee ต้องได้ใบรับรองที่ผ่านการทดสอบของตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าและวัสดุที่สำคัญทุกๆตัว เพื่อประกอบขึ้นเป็นแผงสวิตช์ฯที่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60439-1 ,IEC 61439-1,2,3 ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าและวัสดุที่ใช้ต้องตรงตามแผงสวิตช์ฯที่ผ่านการทดสอบมา เช่น ยี้ห้อ หรือ รุ่น ที่ใช้ทดสอบตรงตามยีห้อและรุ่นในใบรับรองนั้นๆ
- สามารถสอบย้อนกลับในเรื่องใบรับรอง อุปกรณ์ที่เลือกใช้ และกระบวนการผลิต การทดสอบได้

**5.5 อุปกรณ์ป้องกันหลัก ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานภายในแผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ**

จากรายละเอียดของส่วนแผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ อุปกรณ์ไฟฟ้า หรือ อุปกรณ์ป้องกันที่มีใช้งานในแผงสวิตช์ฯ จะมีอุปกรณ์ป้องกันหลักๆ ดังนี้

**5.5.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker: CB)** เป็นอุปกรณ์ตัดต่อและป้องกันกระแสเกิน ที่มีสัญลักษณ์ในการใช้งานตามภาพประกอบนี้



**รูปที่ 5.57** ภาพสัญลักษณ์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วไป และเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ withdrawable ตามมาตรฐาน IEC ตามลำดับ

**หมายเหตุ** จากสัญลักษณ์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐาน IEC จะบ่งชี้ถึงความหมายในแต่ละส่วนดังนี้

- ส่วน  หมายถึง Disconnection หรือ switch เป็นการตัดต่อวงจร หรือ Isolation ที่จะตัดส่วน supply ออกทั้งหมดหรือแยก หรือกั้นไม่ให้มีแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้ากระโดดข้ามได้เลย เป็นการเปิดวงจรได้ 100% แบบไม่มีการกระโดดข้ามมาอีกส่วนหนึ่งได้เลย
- ส่วน X หมายถึง เป็นการป้องกันกระแสเกินในกรณีต่างๆ ทั้ง กระแสเกิน และ กระแสลัดวงจร

มาตรฐานสำหรับ CB หลักๆ ที่มีใช้งานเพื่อความปลอดภัยให้เหมาะสมตามลักษณะการใช้งานโดยมีมาตรฐานหลักๆ ดังนี้

**5.5.1.1 IEC 60898: Circuit-breaker for overcurrent protection for household and similar installation for a.c. and d.c. operation**

เป็น CB ที่ใช้สำหรับบ้านอยู่อาศัย เพื่อป้องกันกระแสเกิน มาตรฐานนี้ สำหรับแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายที่ไม่เกิน 1000 VAC หรือ 1500 VDC ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการใช้กรณีกระแสไฟฟ้าสลับ ที่มีพิกัดแรงดันใช้งาน 230 V / 400 V และกระแสไฟฟ้าตรง ที่มีพิกัดกระแสใช้

งาน 1P (250 VDC), 2P (500 VDC), 4P (880 VDC) หรือ เป็นไปตามคุณสมบัติของแต่ละผู้ผลิตฯ เซอร์กิตเบรกเกอร์ : CB หรือ ที่เรียกว่า Miniature circuit breaker : MCB ที่ใช้งานตามมาตรฐาน IEC 60898 นี้ ต้องการให้เกิดความปลอดภัยสำหรับบุคคลที่ไม่มีความรู้ที่อยู่อาศัยในบ้านหรือลักษณะคล้ายๆ กันนี้ ดังนั้น CB ประเภทนี้จะไม่สามารถปรับตั้งค่าได้ เพราะได้มีการปรับตั้งค่าจากโรงงานผู้ผลิตและได้ปิดหรือผนึกไว้ หลังจากมีการปรับตั้งค่ากระแสใช้งาน ที่ค่ากระแสต่างๆ ที่ส่วนใหญ่จะค่อนข้างเหมาะสมกับโหลดที่จะใช้งาน เช่น 6, 10 (13 ไม่นิยมใช้),16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 และ 125 A ที่มีอุณหภูมิโดยรอบไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส และเฉลี่ย 24 ชม. ไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส โดยความสูงในการติดตั้งใช้งานไม่เกิน 2000 เมตร ทั้งนี้ต้องดูเอกสารทางเทคนิคของผู้ผลิตประกอบก่อน เพราะบางผู้ผลิตจะมีอุณหภูมิโดยรอบที่ 30 องศาเซลเซียส หรือความสูงในการติดตั้งใช้งานที่อาจไม่ตรงตามนี้ ดังนั้นต้องตรวจสอบข้อมูลเทคนิคของผู้ผลิตและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องก่อนการใช้งาน

จากพิกัดกระแสใช้งานของ CB ที่มีอยู่ของมาตรฐาน IEC 60898 นั้น จะมีพิกัดสูงสุดที่ 125 A โดยขนาดมาตรฐานจะมีถึงแค่พิกัดกระแส 63 A หมายถึงขนาดของ MCB ที่พิกัดกระแส 6 – 63 A จะมีขนาดเท่ากัน หากมีพิกัดกระแสสูงตั้งแต่ 63 – 125 A ขนาดก็จะใหญ่ขึ้น (อาจมีขนาดใหญ่กว่าขนาด 63 A ประมาณ 1.5 เท่า) และส่วนใหญ่การใช้งานภายในประเทศไทย จะนิยมมีการใช้งานที่พิกัดกระแส 100 A สูงสุด ไม่ค่อยนิยมใช้ที่พิกัดกระแส 125 A (ผู้ผลิตหรือผู้นำเข้า ก็จะไม่เก็บสินค้าคงคลังที่พิกัดกระแสนี้) ขนาดพิกัดกระแสการใช้งาน ต้องให้เหมาะสมกับขนาดการใช้งานของมิเตอร์ และเงื่อนไขประกอบต่างๆ ด้วย



**รูปที่ 5.58** MCB Din rail 1Pole, 2Poles และ 3Poles ≤ 63 A และ MCB 1Pole = 80-125 A

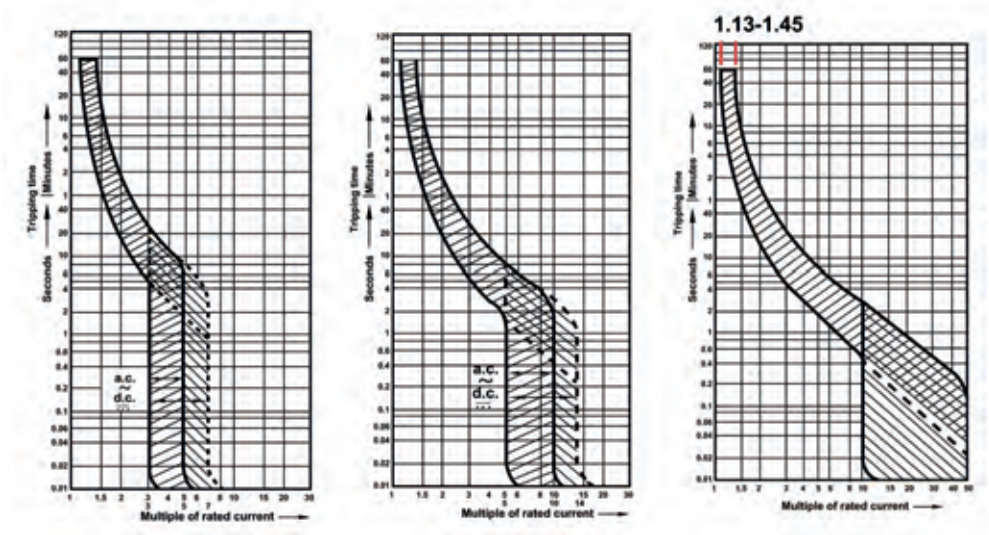
หมายเหตุ. จาก *เอกสารทางเทคนิคเซอร์กิตเบรกเกอร์*, โดย บริษัท นาโน อิเลคทริค จำกัด, ม.ป.ป.




**รูปที่ 5.59** ภาพ MCB Plug in 1Pole, 2Poles และ 3Poles ≤ 63 A

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

จากพิกัดกระแสใช้งานแล้ว อีกสิ่งหนึ่งยังต้องกล่าวถึงลักษณะงานที่ใช้ด้วย ตามมาตรฐานฯ จึงได้ผลิต CB ตามลักษณะการใช้งานในแต่ละประเภท มีคุณสมบัติหลากหลายตามกราฟ B, C และD ให้เหมาะสมกับการใช้งานตามกราฟดังนี้




**กราฟ B : ตัดทันทีที่ ≥ 3 - 5In** ใช้กับโหลด ความต้านทาน

**กราฟ C : ตัดทันทีที่ ≥ 5-10 In** ใช้กับโหลด R, L, C

**กราฟ D : ตัดทันทีที่ 10 - 15 In** ใช้กับโหลดมอเตอร์,กระแสกระโชกสูง ๆ

**รูปที่ 5.60** ภาพกราฟ B, C และ D ตามมาตรฐาน IEC 60898

หมายเหตุ. จาก *IEC60898 Electrical accessories – circuit breakers for overcurrent protection for household and similar installations*, โดย IEC, 2002.

**-พิกัดกระแสลัดวงจร**

การทดสอบ CB ตามมาตรฐาน IEC60898 นั้นมีรูปแบบการทดสอบดังนี้

Ics = O - t - CO - t - CO

โดยกำหนดให้

O = สภาพของ CB เปิดวงจร เมื่อมีกระแสลัดวงจร

C = สภาพของ CB ปิดวงจร เพื่อทำงานสภาพปกติ

CO = สภาพของ CB ปิดวงจร(C) และเมื่อมีกระแสลัดวงจรทำให้เปิดวงจรทันที (O)

t = ช่วงเวลาหลังจาก CB ได้รับกระแสลัดวงจร เพื่อรอให้ CB กลับมาทำงานเป็นปกติอีกครั้ง ซึ่ง t ในการทดสอบนี้ใช้เวลา 3 นาที

ดังนั้นพิกัดกระแสลัดวงจรของ CB ตามมาตรฐาน IEC60898 นั้นจะมีขนาดตั้งแต่ 3, 5, 6, 10, 15 และ 25 kA ตามความเหมาะสมในการใช้งาน

การติดตั้งใช้งาน ของ CB ตามมาตรฐาน IEC 60898 และ IEC 60947-2 จะมีด้วยกัน 2 ประเภท คือแบบ Plug-in และ Bolt-on ตามรูปภาพที่ 5.47 และ 5.48



**รูปที่ 5.61** ภาพ CB แบบ Bolt-on ยึดบนราง Din rail และประกอบอยู่ใน consumer unit ที่สามารถเชื่อมต่อขั้นสกรูทั้งทางเข้า-ออก ได้ด้วยสายไฟ หรือ บัสบาร์

หมายเหตุ. จาก *เอกสารทางเทคนิคเซอร์กิตเบรกเกอร์*, โดย บริษัท นาโน อิเลคทริค จำกัด, ม.ป.ป.



**รูปที่ 5.62** ภาพ CB แบบ Plug-in ยึดบนราง บัสบาร์ และประกอบอยู่ใน consumer unit ที่สามารถเชื่อมต่อไฟได้ทันทีเมื่อ Plug ลงที่รางบัสบาร์ เพียงต่อสายไฟไปใช้งานเท่านั้น (ทั้งนี้ยังมีแบบ Bolt on ด้วย)

หมายเหตุ. จาก *เอกสารทางเทคนิคเซอร์กิตเบรกเกอร์*, โดย บริษัท นาโน อิเลคทริค จำกัด, ม.ป.ป.

#### 5.5.1.2 IEC 60947-2: Low-voltage switchgear and controlgear: Circuit breaker

เป็น CB ที่ใช้สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม ผู้ที่มีความรู้ในการใช้งานฯ เพื่อป้องกันกระแสเกิน มาตรฐานนี้ สำหรับแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายที่ไม่เกิน 1000 VAC หรือ 1500 VDC ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการใช้กรณีกระแสไฟฟ้าสลับ ที่มีพิกัดแรงดันใช้งาน 230V / 400V และกระแสไฟฟ้าตรง ที่มีพิกัดกระแสใช้งาน 1P (250 VDC), 2P (500 VDC), 4P (880 VDC) หรือ เป็นไปตามคุณสมบัติของแต่ละผู้ผลิตฯ

เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ใช้งานตามมาตรฐาน IEC 60947-2 นี้ ต้องการให้เกิดความปลอดภัยสำหรับบุคคลที่มีความรู้ทางเทคนิค ที่ใช้สำหรับงานอุตสาหกรรม อาคารขนาดใหญ่ หรือสถานที่ต่างๆ ที่มีผู้มีความรู้ทางเทคนิคหรือมีวิศวกรเป็นผู้ดูแล หรือลักษณะการใช้งานที่คล้ายๆ กันนี้ ดังนั้น CB ประเภทนี้จะแบ่งเป็นประเภทที่สามารถปรับตั้งค่าได้ และไม่สามารถปรับตั้งค่าได้ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน หากเป็นรุ่นที่สามารถปรับตั้งค่าได้ โรงงานผู้ผลิตก็จะทำเป็นปุ่ม

หรือจุดที่สามารถปรับตั้งค่าไว้ให้ ซึ่งปกติจะมีค่ากระแสใช้งาน ขนาดต่าง ๆ ที่ส่วนใหญ่จะค่อนข้างเหมาะสมกับโหลดที่จะใช้งาน เช่น 0.5, 1, 2, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 160, 250, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200, 4000, 5000 และ 6300A. จากพิกัดกระแสใช้งานของ CB ที่มีอยู่ของมาตรฐาน IEC 60947-2 จะมีการแบ่งตามลักษณะโครงสร้างดังรูปประกอบนี้

5.5.1.2.1 Miniature Circuit Breaker: MCB ที่มีลักษณะเหมือนกับ CB ตามมาตรฐาน IEC 60898 โดยมีพิกัดกระแสใช้งานเหมือนกัน พิกัดกระแสลัดวงจรก็เหมือนกันเกือบ 100% ขนาดก็เท่ากัน เพียงแตกต่างกันที่การทดสอบที่จะมีความเข้มข้นน้อยกว่า CB ตามมาตรฐาน IEC 60898 โดย MCB ตามมาตรฐาน IEC 60947-2 นี้จะมีคุณลักษณะสมบัติที่หลากหลายกว่า เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม และลักษณะการใช้งานที่หลากหลายประเภทอุปกรณ์



**รูปที่ 5.63** ภาพ MCB 1 Pole, 2 Poles และ 3 Poles $\leq$ 63 A และ MCB 1 Pole = 80-125 A ของ IEC 60947-2

หมายเหตุ. จาก เอกสารทางเทคนิคคาปาซิเตอร์, โดย บริษัท เอวีร่า จำกัด, ม.ป.ป.

จากพิกัดกระแสใช้งานข้างต้นแล้ว อีกสิ่งหนึ่งที่ยังต้องกล่าวถึง คือ ลักษณะงานที่ใช้ด้วยตามมาตรฐานฯ จึงได้ผลิต CB ตามลักษณะการใช้งานในแต่ละประเภท ที่มีคุณสมบัติหลากหลายมากกว่า CB ตามมาตรฐาน IEC 60898 โดยจะมีการเพิ่มกราฟ K, MA และ Z ให้เหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดคุณสมบัติของกราฟดังนี้

- K curve เป็นกราฟที่มีคุณสมบัติในช่วงแรก ที่มีการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในช่วงของกระแสเกิน (thermal Overload) และในช่วงสองเป็นการทำงานแบบทันทีทันใด (Instantaneous) เมื่อมีการลัดวงจรขึ้นจะทำงานในช่วงเวลา (tripping) ที่ 8 -12 เท่าของกระแสใช้งาน โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นิยมใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์กับลักษณะสมบัติการทำงานประเภท ความต้านทาน+รีแอคเตอร์ เช่น มอเตอร์ หม้อแปลง หรือ เพื่อใช้กับโหลดมอเตอร์ ที่มีกระแสกระโชกสูง
- Z curve เป็นกราฟที่มีคุณสมบัติในช่วงแรก ที่มีการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในช่วงของกระแสเกิน (Overload) และช่วงสองเป็นการทำงานแบบทันทีทันใด (Instantaneous) เมื่อมีการลัดวงจรขึ้นจะทำงานในช่วงเวลา (tripping) ที่ 2 – 3 เท่า

ของกระแสใช้งาน โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นิยมใช้กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ประเภทนี้ จะเป็นอุปกรณ์อิเลคทรคนิคส์

- MA curve เป็นกราฟที่มีคุณสมบัติการทำงานแบบทันทีทันใด (Instantaneous) เท่านั้น เมื่อมีการลัดวงจรขึ้นจะทำงานในช่วงเวลา (tripping) ที่ 10 – 20 เท่าของกระแสใช้งาน โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นิยมใช้กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ประเภทนี้ จะเป็นพวก motor starter และการใช้งานที่เฉพาะเจาะจง เพราะจะไม่มีการป้องกัน thermal overload

**พิกัดกระแสลัดวงจร**

การทดสอบ CB ตามมาตรฐาน IEC 60947-2 นั้นมีค่ากระแสลัดวงจรหลายส่วนตามรูปแบบการทดสอบและการใช้งานดังนี้

- **Rated short-circuit making capacity: Icm**

คือ ค่าพิกัดกระแสการลัดวงจรขณะที่หน้าสัมผัสของ C.B ได้เริ่มแตะกัน ทำให้เกิดส่วนกระแสไฟฟ้าสลับและส่วนกระแสไฟฟ้าตรง ซึ่งมีปริมาณกระแสเริ่มต้นค่อนข้างสูง ในช่วงเวลาประมาณ 10mS แรกของการทำงานของ CB นี้ หลังจากนั้นก็จะเข้าสู่สภาวะปกติ

- **Rated ultimate short-circuit breaking capacity: Icu**

คือ ค่าพิกัดการตัดกระแสลัดวงจรของ CBs ที่ใช้ในการทดสอบ จะไม่คำนึงว่าสามารถรับกระแสใช้งานปกติได้อย่างต่อเนื่องหรือไม่หลังการทดสอบ (rms)

**O – t – CO**

หรือ มีขั้นตอนคร่าวๆ ดังนี้ “O” – รอ 3 นาที - “CO”

กำหนดให้ O = สภาพการเปิดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (เมื่อบังคับให้เกิดกระแสลัดวงจร)

C = สภาพการปิดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์

t = ช่วงเวลา 3 นาที เพื่อรอให้ C.B พร้อมทำงาน สำหรับกระบวนการต่อไป

- **Rated service short-circuit breaking capacity: Ics**

คือ ระดับกระแสลัดวงจรสูงสุดที่ Breaker สามารถป้องกันได้ 3 ครั้ง โดยใช้ขั้นตอนการทดสอบดังนี้

**O – t – CO - t – CO**

หรือ มีขั้นตอนคร่าวๆ ดังนี้ “O” – รอ 3 นาที - “CO” – รอ 3 นาที - “CO”

(ค่า Ics จะแสดงค่าเป็นจำนวน % ของค่า Icu เช่น 25%, 50%, 75% และ100%)

**หมายเหตุ**: การหน่วงเวลา 3 นาที เพื่อให้ Bi-metal หรือระบบภายใน CB เย็นตัวลง และที่สำคัญที่ตัวผู้เขียนคิดได้ คือเรื่องความปลอดภัยในการใช้งานให้มีการเปิดวงจรหรือ Off CB ก่อน เพื่อการพิจารณาตรวจสอบระบบไฟฟ้าในส่วนต่างๆ ให้พร้อมใช้งานก่อน ทำการปิดวงจรหรือ On CB กลับมาใช้งานอีก

- **Rated short time withstand current: Icw**

เป็นค่าพิกัดกระแส(rms) ลัดวงจรที่อุปกรณ์สามารถรองรับได้ (คงอยู่ในตำแหน่งสับ) ในระยะเวลาสั้นๆ โดยไม่เกิดความเสียหายใดๆ

ช่วงระยะเวลาของ Icw ใช้ค่า 1, 3 วินาที ปกติส่วนใหญ่จะมีใช้ที่ค่า 1 วินาที เพราะเป็นค่าที่เหมาะสมและราคาถูก

ดังนั้น CB ที่จะนำมาใช้เป็นตัวเมนจะต้องมีค่า Icw ด้วย ซึ่งจะมีเฉพาะที่ตัว ACB ส่วนใน MCCB และ MCB ผู้ผลิตโดยส่วนใหญ่จะไม่มีการทดสอบหรือทำคุณสมบัติของค่านี้มา เพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานอย่างคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และมีความปลอดภัยเพียงพอ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับเงื่อนไขหรือปัจจัยในการออกแบบ จากข้อมูลดังกล่าว หากต้องการให้ระบบไฟฟ้าเรามีความเชื่อถือได้ ควรมีการเลือกใช้ CB เป็นประเภท ACB: Air Circuit Breaker ที่มีความแข็งแรงทนทานกว่า MCCB ด้วย โดยใน CB นั้นจะมีค่า Category A และ Category B ถ้าการใช้งานเพื่อเป็นเมน CB ของทุกระบบ จะต้องใช้ Category B เพราะจะมีค่า Icw ที่สามารถทนค่ากระแสลัดวงจรได้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง (1 sec หรือ 3 sec) เพื่อให้ตัวที่เป็นวงจรย่อยที่ใกล้จุดเกิดกระแสลัดวงจรนั้นทำงานก่อน สำหรับคุณสมบัติพิเศษนี้เพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีความเชื่อถือได้สูง ไม่ทำให้วงจรทั้งหมดดับ หรือ เปิดวงจรทั้งระบบไฟฟ้า และ CB ที่มี Category B จะสามารถทำ Coordination ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้ดีระดับหนึ่งด้วย

ดังนั้นพิกัดกระแสลัดวงจรของ MCB ตามมาตรฐาน IEC 60947-2 นั้นจะมีขนาดตั้งแต่ 3, 5, 6, 10, 15, 16, 25, 35 และ 50 kA ตามความเหมาะสมในการใช้งาน

ตารางการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ CB ตามมาตรฐาน IEC ในปัจจุบันที่มีใช้กัน ซึ่งไม่รวม CB ขนาดกระแสสูงๆ ของ IEC 60947-2

**ตารางที่ 5.16** ตารางการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ CB ตามมาตรฐาน IEC ในปัจจุบันที่มีใช้กัน ซึ่งไม่รวม CB ขนาดกระแสสูงๆ ของ IEC 60947-2

| MCB's characteristics | IEC 60898-1 | IEC60947-2 |
|---|---|---|
| Rated current, In | 6-125A | 0.5-160A |
| SCbreaking capacity | <25kA | <50kA |
| Rated voltage, Ue | 400V | 440V, 500V, 690V |
| Impulse voltage, Uimp | 4kV | 6kV or 8kV |
| Pollution degree | 2 | 3 |
| Curves | B,C,D | B, C, D, K, Z, MA |
| Application current | a.c. | ac. or d.c. |
| Electrical auxiliaries | no | monitoring,control |

หมายเหตุ. จาก *สวิตช์เกียร์และคอนโทรลเกียร์แรงดันต่ำ*, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, ม.ป.ป.ก, สภาวิศวกร.

โดย ระดับมลพิษ (จากสภาพแวดล้อม) ตัวเลขเดิมขึ้นอยู่กับปริมาณของฝุ่นไฟฟ้าหรืออุ้มน้ำก๊าซแตกตัวเป็นไอออนหรือเกลือ และความชื้นสัมพัทธ์ และความถี่ของการเกิดผลในการอุ้มน้ำของการดูดซึมหรือการควบแน่นของความชื้นที่นำไปสู่การลดลงของความเป็นฉนวนและ / หรือความต้านทานพื้นผิว

หมายเหตุ 1 องศามลพิษที่เป็นวัสดุฉนวนของอุปกรณ์และส่วนประกอบมีการเปิดรับอาจจะแตกต่างจากที่มหภาคสภาพแวดล้อมที่อุปกรณ์หรือส่วนประกอบอยู่เพราะของการป้องกัน ที่นำเสนอโดยวิธีการดังกล่าวเป็นสิ่งที่แนบมาหรือความร้อนภายในเพื่อป้องกันการดูดซึมหรือการควบแน่นของความชื้น

Pollution หรือ ระดับมลพิษ หมายถึงสภาพแวดล้อมที่มีการประกอบ มีวัตถุประสงค์ สำหรับการเปลี่ยนอุปกรณ์และส่วนประกอบภายในตู้ที่ระดับมลพิษของสภาพแวดล้อมในสิ่งที่แนบมามีผลบังคับใช้ สำหรับวัตถุประสงค์ของการประเมินระยะห่างและระยะทาง creepage, มี 4 ระดับ ของมลพิษในสภาพแวดล้อมจุลภาคที่มีการจัดตั้งขึ้น มี 4 ระดับ ดังต่อไปนี้

มลภาวะระดับที่ 1: ไม่มีมลพิษหรือเพียงแห้งมลพิษไม่นำไฟฟ้าเกิดขึ้น มลพิษที่มีอิทธิพลไม่

มลภาวะระดับที่ 2: เพียงมลพิษไม่นำไฟฟ้าเกิดขึ้นยกเว้นว่าบางครั้งการนำชั่วคราว ที่เกิดจากการรวมตัวเป็นที่คาดหวัง

มลภาวะระดับที่ 3: มลพิษ Conductive เกิดขึ้นหรือแห้งมลพิษไม่นำไฟฟ้าเกิดขึ้นซึ่งคาดว่าจะกลายเป็นสื่อกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการควบแน่น

มลภาวะระดับ 4: การนำความต่อเนื่องเกิดขึ้นเนื่องจากฝุ่นนำฝนหรือสภาพเปียกอื่น ๆ มลภาวะระดับ 4 ไม่สามารถใช้สภาพแวดล้อมจุลภาคภายในการประกอบนี้

มาตรฐาน เว้นแต่จะระบุไว้เป็นอย่างอื่นประกอบสำหรับงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะมีการใช้งานใน ระดับมลพิษ 3 สภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตามระดับมลพิษอื่น ๆ อาจจะพิจารณาให้ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งานเฉพาะหรือไมโครสภาพแวดล้อม

**5.5.1.2.2 Moulded Case Circuit Breaker: MCCB** มีพิกัดกระแสใช้งานและคุณสมบัติอื่นๆ ที่สูงขึ้น และมีเฉพาะในมาตรฐาน IEC 60947-2 จากที่กล่าวมาในขั้นต้นของพิกัดกระแสใช้งาน พิกัดกระแสลัดวงจรในแบบต่างๆ และความแตกต่างทางด้านกายภาพ จากรูปประกอบดังต่อไปนี้



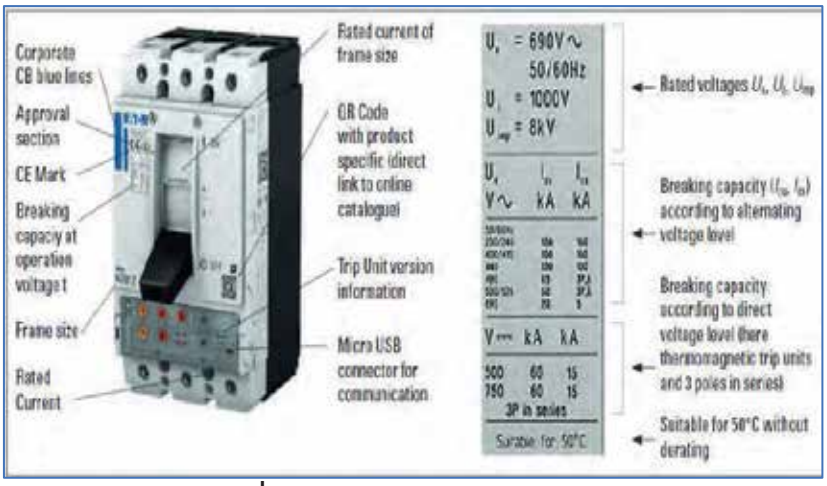
**รูปที่ 5.64** Moulded Case Circuit Breaker

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

พิกัดกระแสใช้งาน มีขนาดใช้งาน เช่น 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 160, 200, 250, 320, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 และ 3200 A และพิกัดการทนกระแสลัดวงจรมีปริมาณค่า เช่น 16 ,25 ,36 , 50 ,70 ,80 ,100 , 120 และ 150 kA เป็นสาเหตุให้ MCCB นั้นมีขนาดใหญ่ เพื่อการใช้งานที่สะดวกในการใส่สายไฟที่ต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย

**การเลือกใช้งาน MCCB**

1. ข้อมูลจากฉลากด้านหน้า ที่ควรทราบ




**รูปที่ 5.65** ฉลากด้านหน้าของ MCCB

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

2. ข้อมูลจากฉลากด้านข้าง ที่ควรทราบ




**รูปที่ 5.66** ฉลากด้านข้างของ MCCB

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

3. การพิจารณาบริเวณจมูก หรือ ก้านของ CB




**รูปที่ 5.67** สัญลักษณ์บริเวณก้านของ MCCB

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

จากภาพประกอบและคำอธิบายข้างต้นนี้ หาก CB เกิดการ Trip ในกรณี ใดๆ ก็ตาม (กระแสเกิน ,กระแสลัดวงจร ,แรงดันตก เป็นต้น) CB จะอยู่ในตำแหน่ง Trip ดังนั้น ก่อนที่จะให้ CB กลับมาทำงานอีกครั้งต้องมีการตรวจสอบระบบไฟฟ้าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างละเอียดก่อน ที่จะ

ให้ CB กลับมาทำงานได้อีกครั้ง โดยการสับ CB ลงมาในตำแหน่ง OFF และสับ CB ขึ้นในตำแหน่ง ON

หมายเหตุ : ในกรณีที่มีการทริปที่ CB ก่อนที่จะมีการสับลงไปตำแหน่ง OFF เพื่อทำการ ON นั้น ต้องมีการตรวจสอบระบบไฟฟ้าอย่างละเอียดก่อน ว่าในระบบไฟฟ้านั้น มีปัญหาใดๆ หรือไม่ และอีกส่วนหนึ่ง ต้องมีการปลดโหลด หรือ อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้งานต่างๆ ของวงจรนั้นๆ ออกก่อนที่จะมีการต่อวงจรใช้ไฟฟ้าอีกครั้ง

4. เมื่อต้องการใส่อุปกรณ์เสริมต่างๆ เช่น under voltage release, shunt opening shunt opening, auxiliary contact เป็นต้น จะต้องขันสกรู เพื่อเปิดฝาด้านหน้า

ดังนั้น CB ที่เลือกใช้นั้นต้องเป็น Double Insulation หรือ ฉนวนสองชั้น เพื่อความปลอดภัย เมื่อช่างหรือวิศวกรต้องการเปิดฝาด้านหน้าเพื่อใส่อุปกรณ์เสริม จะได้ไม่มีโอกาสสัมผัสส่วนที่มีไฟได้

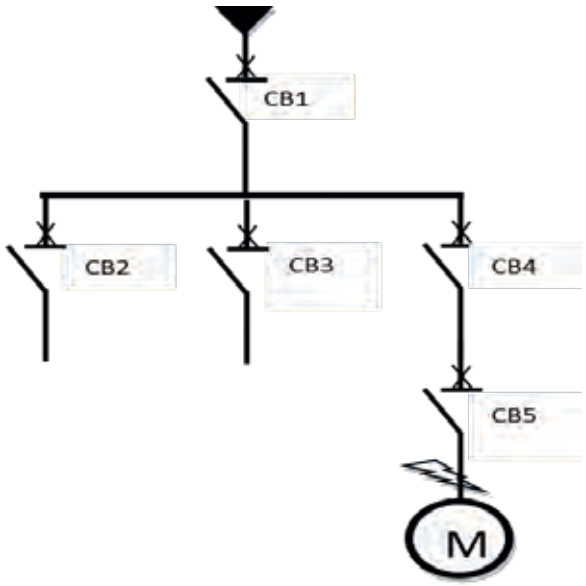


**รูปที่ 5.68** MCCB ขณะเปิดฝาด้านหน้า

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

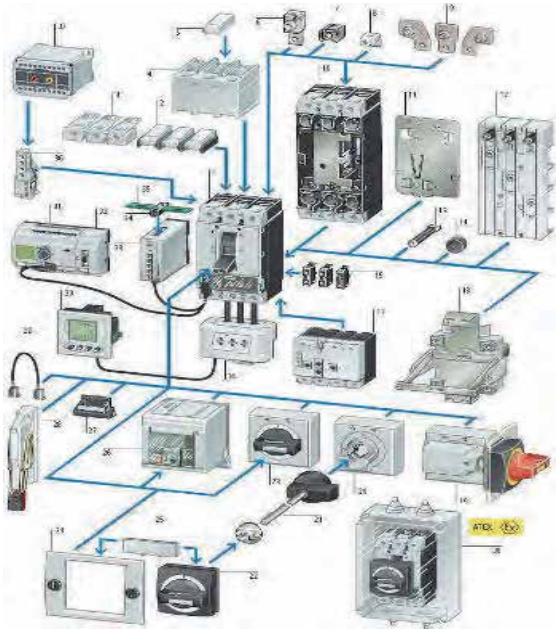
5. เนื่องจากขีดความสามารถของ MCCB นั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของคุณสมบัติพื้นฐาน ทำให้ MCCB โดยส่วนใหญ่ ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็น CB ตัวเมน เพื่อป้องกันการทำงานในเวลาเดียวกัน หรือ มีการทำงานหลังจากที่ CB ตัวย่อยได้ เพราะ MCCB นั้นไม่มีคุณสมบัติในส่วนของ Icw ที่จะสามารถทนค่ากระแสลัดวงจรได้นาน กระทั่งให้ CB ตัวย่อยนั้น ทำงานเพื่อป้องกันกระแสลัดวงจรที่จุดใกล้ที่สุดก่อน

ดังตัวอย่างภาพประกอบส่วนล่างนี้ เมื่อมีกระแสลัดวงจรที่ตัวมอเตอร์ CB5 ต้องทำงานตัดวงจร ในขณะเดียวกัน CB4 และ CB1 ก็จะเห็นกระแสลัดวงจรด้วย แต่ที่ CB1 จะไม่มีการตัดวงจร เพราะหากตัดวงจรไป จะทำให้ระบบไฟฟ้าทั้งระบบขาดความเชื่อถือทางระบบไฟฟ้าไป ดังนั้นถ้าต้องการให้ CB1 ไม่ทำงานหรือรอให้ CB5 หรือ CB4 ทำงานเรียงลำดับก่อนหลัง นั้น ตัวเมน หรือ CB1 นั้นต้องเป็น CB ที่มีค่า Icw ตามพิกัดค่ากระแสลัดวงจรที่ออกแบบหรือกำหนดไว้ด้วย ซึ่ง MCCB จะมีเพียง Utilization Category A เท่านั้น จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเมนได้




**รูปที่ 5.69** ภาพประกอบการเรียงลำดับการทำงาน (ตัดวงจร) ในกรณีที่ CB มีค่า Icw

6. ส่วนประกอบอุปกรณ์เสริมของ MCCB ที่ประกอบด้วย Electrical auxiliaries, Auxiliary contacts, Rotary handle, Motor mechanism, Lock, Connection, Measurement module ,connecter เป็นต้น



**รูปที่ 5.70** ภาพส่วนประกอบอุปกรณ์เสริมของ MCCB

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

ส่วนประกอบที่สำคัญๆ มีดังนี้

6.1 Under voltage release เป็นอุปกรณ์เสริมของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่มี coil เมื่อได้รับกระแสไฟจ่ายเข้า coil จะมีผลทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทริป และไม่สามารถ ON เซอร์กิตเบรกเกอร์ได้

Under voltage release ของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะเป็น 1 เฟส จึงควรมีการใส่ Protective relay เพื่อการทำงานเป็น 3 เฟส และ electronic time delay เพื่อช่วยหน่วงเวลา ไม่ให้ระบบไฟฟ้าเสียความเชื่อถือได้




6.2 Shunt release เป็นอุปกรณ์เสริมของเซอร์กิตเบรกเกอร์ บางทีเรียบว่า shunt trip เป็นอุปกรณ์เสริมที่จ่ายไฟให้ที่ coil ของ shunt trip อุปกรณ์เสริม shunt trip ก็จะทำงาน ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ trip คือ ไม่สามารถ ON เซอร์กิตเบรกเกอร์นี้ได้ ปกติจะมีการต่อใช้งานกับการทริปของหม้อแปลง เมื่อหม้อแปลงมีการจ่ายกระแสเกิน เพื่อทำหน้าที่ป้องกันหม้อแปลงไม่ให้จ่ายกระแสเกิน หรือ การทำงานตามต้องการอื่นๆ เพื่อสั่งการให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทริป



**รูปที่ 5.71** ภาพประกอบของ shunt trip

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

6.3 Auxiliary contact เป็นอุปกรณ์เสริมที่มี contact ช่วย ทั้ง ON – OFF contact เพื่อการใช้งานร่วมอื่นๆ หรือ เพื่อการต่อใช้ส่งสัญญาณเตือนภัยต่างๆ



**รูปที่ 5.72** ภาพประกอบ Auxiliary contact

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

6.4 Rotary Handle เป็นอุปกรณ์เสริมในการ ON – OFF เซอร์กิตเบรกเกอร์ อีกแบบหนึ่ง



**รูปที่ 5.73** ภาพ Direct rotary handle และ Extended Rotary handle (แบบมีแกนต่อ) ใช้ติดที่ฝาตู้ แบบตู้ลึก

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

6.5 Motor mechanism หรือ ที่นิยมเรียกว่า Motor drive เป็นอุปกรณ์เสริมที่ทำหน้าที่ charge spring เพื่อรอการสั่งการ ON เซอร์กิตเบรกเกอร์ สามารถออกแบบให้ใช้งานแบบอัตโนมัติในการ ON เซอร์กิตเบรกเกอร์ได้

โดย การออกแบบสั่งการ ON แบบอัตโนมัติ ควรระมัดระวังการสั่งการแบบอัตโนมัติ ในกรณีเกิดกระแสเกิน และกระแสลัดวงจร จะทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ สายไฟ โหลด อุปกรณ์เกี่ยวเนื่องเสียหายและเกิดอันตรายอย่างอื่นได้



**รูปที่ 5.74** ภาพประกอบของ Motor mechanism

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

6.6 Terminal Extension บัสบาร์ต่อเพิ่ม และฉนวนกั้นขั้วต่อแบบต่างๆ



**รูปที่ 5.75** ภาพประกอบของอุปกรณ์เสริมของบัสบาร์ต่อเพิ่ม ขั้วต่อ ฉนวนกั้นขั้วต่อและแผ่นฉนวนกั้นขั้วต่อ

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

**5.5.1.2.3 Air Circuit Breaker: ACB** มีพิกัดกระแสใช้งานและ คุณสมบัติอื่นๆ ที่สูงขึ้น ตามมาตรฐาน IEC 60947-2 จากที่กล่าวมาในขั้นต้นของพิกัดกระแสใช้งาน พิกัดกระแสลัดวงจรในแบบต่างๆ และความแตกต่างทางด้านกายภาพ จากรูปประกอบดังต่อไปนี้






**รูปที่ 5.76** Air Circuit Breaker

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

เนื่องจากพิกัดกระแสใช้งาน มีขนาดใช้งาน เช่น 320, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200, 4000, 5000 และ 6300 A พิกัดกระแสลัดวงจรมีปริมาณสูงขึ้น เช่น 42, 50, 65, 70, 80, 100, 120 และ 150 kA เป็นสาเหตุให้ ACB นั้นมีขนาดใหญ่ เพื่อการใช้งานที่สะดวกในการใส่สายไฟที่ต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย

**การเลือกใช้งาน Air Circuit breaker**

1. จากข้อมูลเทคนิคด้านหน้า ของเซอร์กิตเบรกเกอร์




**รูปที่ 5.77** ด้านหน้าของ Air circuit breaker

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

2. การพิจารณาเลือกใช้งาน Micro logic ของ CB จะมีลักษณะการเลือกใช้งานให้เหมาะสมตามคุณสมบัติของโหลดในแต่ละประเภท แต่ละช่วงเวลา แต่ละหน้าที่การทำงานดังนี้

- L: Long time delay คือ การปรับตั้งค่ากระแสให้ใช้งานได้เหมาะสมกับโหลด
    - กรณีของ MCCB ที่เป็นแบบ Thermal magnetic จะสามารถปรับค่าได้ 80% - 100%In
    - กรณีของ MCCB และ ACB ที่เป็นแบบ Micro logic จะสามารถปรับค่าได้ 40% - 100%In ทั้งนี้มีบางรุ่นสามารถที่จะปรับค่าได้ละเอียดมากกว่านี้

ทั้งนี้ยังมี time delay เพื่อเป็นการหน่วงเวลาช่วยให้สามารถทำ coordination ได้ง่ายขึ้นด้วย

- S: Short time delay คือ การปรับตั้งค่ากระแสลัดวงจรแบบมีการหน่วงเวลา
- I: Instantaneous คือ การปรับตั้งค่ากระแสลัดวงจรแบบทันที (ไม่มีการหน่วงเวลา)
- G: Ground Fault คือ การปรับตั้งค่ากระแสรั่ว




**รูปที่ 5.78** ภาพประกอบ Micro Logic ของ Air Circuit breaker

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

3. ประเภทของ Air circuit breaker มี 2 ประเภท คือ Fixed และ Withdrawable ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะในการติดตั้งใช้งานและการบำรุงรักษา เนื่องจาก ACB ประเภท Withdrawable Type จะสะดวกในการเปลี่ยน CB เมื่อ CB เกิดความเสียหายใดๆ ขึ้น ก็สามารถนำ CB ส่วนเคลื่อนที่มาใส่ได้ทันที โดยไม่ต้องมีการปลดสายหรือบัสบาร์ที่ขั้วต่อทั้งทางเข้าและทางออกของ CB



ACB: Fixed Type

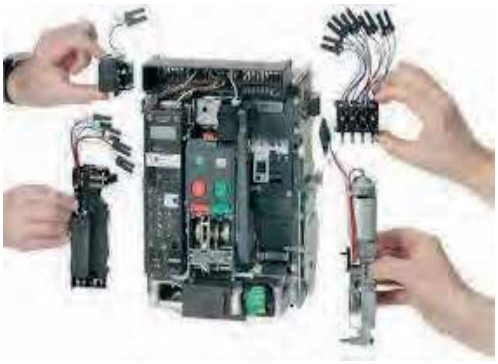


ACB: Withdrawable Type

**รูปที่ 5.79** ACB แบบ Fixed Type และ Withdrawable Type

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

4. ส่วนประกอบอุปกรณ์เสริมของ ACB ที่ประกอบด้วย Electrical auxiliaries, Auxiliary contacts, Rotary handle, Motor mechanism, Lock, Connection, Measurement module, connecter etc.





**รูปที่ 5.80** อุปกรณ์เสริมของ Air Circuit Breaker

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

#### 5.5.1.3 การติดตั้งและใช้งานเซอร์กิตเบรกเกอร์ ทั้ง MCB, MCCB และ ACB

1. การติดตั้งและใช้งานเซอร์กิตเบรกเกอร์ ต้องติดตั้งตามข้อกำหนดของผู้ผลิต เช่น พิกัดการขันแน่นของสกรู ระดับความสูงในการใช้งาน ความชื้น ความร้อน แนวการติดตั้งฯ เป็นต้น

2. การติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ในแผงสวิตช์ฯ ที่ต้องติดตั้งตามแบบฯ และต้องสะดวกต่อการใช้งาน การซ่อมบำรุงในอนาคต รวมถึงการป้องกันการลุกลามแต่ละส่วน (Partition: Form)

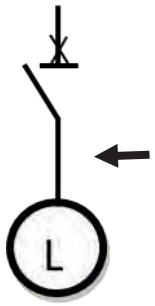
3. การตั้งค่าการใช้งานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ให้สอดคล้องกับโหลดที่ใช้งาน อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ เช่น สายไฟ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่อยู่ใกล้เคียงในวงจรเกี่ยวเนื่องกัน หรือ การทำ Coordination Curve ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยการทำ Coordination curve จะต้องได้รับการทวนสอบว่าได้คิดคำนวณหรือ เลือกใช้ตามคุณสมบัติที่ผู้ผลิตได้ทดสอบและระบุไว้แล้วตามโปรแกรมของผู้ผลิตนั้นๆ หรือ การคำนวณจากผู้ผลิตนั้นๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างถูกต้อง

4. กรณีการออกแบบที่ใช้หลักการ Back up Protection จะต้องได้รับการทดสอบว่าได้คิดคำนวณหรือ เลือกใช้ตามคุณสมบัติที่ผู้ผลิตได้ทดสอบและระบุไว้แล้วเท่านั้น หรือ หากเป็นการใช้หลักการ Back up protection จะต้องได้รับความเห็นชอบของผู้คุมงาน ผู้ออกแบบ และหรือ ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ให้ทราบถึงการใช้งานที่ถูกต้อง ในประเทศไทยไม่เป็นที่นิยม ทั้งที่หลักการทางวิศวกรรมนั้นสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยในลักษณะการใช้งานที่เหมาะสมทางวิศวกรรม

5. การเลือกใช้งานเซอร์กิตเบรกเกอร์ในสภาพแวดล้อมปกติ ที่อุณหภูมิ 40 °C เมื่อเราทราบพิกัดกระแสใช้งานของโหลดที่เป็นความต้านทาน (หรือ อาจที่มีค่า $X_L$ ,$X_C$ ที่ปริมาณน้อยๆ) หรืออุปกรณ์ที่พิกัดกระแสใช้งาน 100 A เราควรเลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ 100AT และเลือกใช้ขนาดของสายไฟฟ้าพิกัดกระแสที่ มากกว่า 100% - 125% ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เลือกใช้งาน (100 A) เพื่อความปลอดภัยในกรณีการใช้กระแสเกิน โดยไม่ต้องเผื่อขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์มากขึ้นกว่า 100% - 125% เพราะอาจทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้ตามคุณลักษณะสมบัติ และเป็นผลให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่ทำงานสัมพันธ์กับโหลดอย่างแท้จริงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยและเงื่อนไขในการออกแบบ ตามภาพประกอบ ดังนี้

หมายเหตุ: ถ้าโหลดที่เลือกใช้มีโอกาสใช้งานในส่วนกระแสเกินในบางครั้ง อาจใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สามารถปรับตั้งค่าได้และปรับขนาดแอมทริปให้สูงขึ้นได้ แต่ที่สำคัญขนาดของสายไฟฟ้าหรือ อุปกรณ์ที่เกี่ยวเนื่องที่เลือกใช้ควรมีการเผื่อขนาดไว้แต่แรกด้วย หากมีการเผื่อขนาดทุกวงจรก็จะทำให้สิ้นเปลืองเกินความจำเป็นได้

ดังนั้นการออกแบบที่ดี ควรมีการพิจารณาการใช้งานและเงื่อนไขการใช้งานในกรณีต่างๆ ประกอบด้วย




สายไฟฟ้าที่มีพิกัดทนกระแสได้มากกว่า 100 A เช่น 125 A (NYY 50 Sq.mm.: กลุ่มที่ 7 ตารางที่ 5-30 )

โดย L เป็นโหลดความต้านทาน 100 A

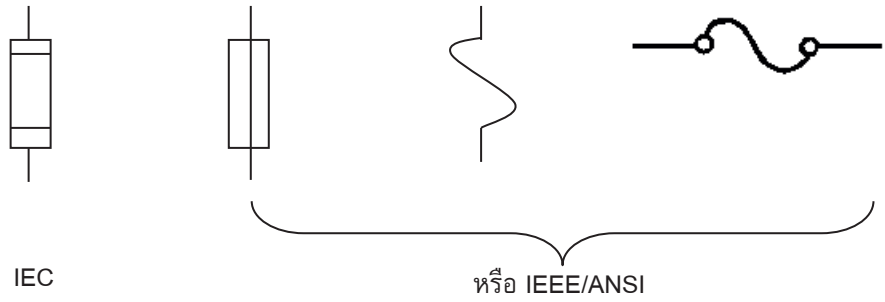
**รูปที่ 5.81** ภาพวงจรและการเลือกใช้งานเซอร์กิตเบรกเกอร์

### 5.5.2 Fuse: ฟิวส์

เป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินอีกประเภทหนึ่ง ที่ได้รับความนิยมมายาวนาน

ฟิวส์ (Fuse) หมายถึง อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินซึ่งมีส่วนที่เปิดวงจรหลอมละลายด้วยความร้อนที่เกิดจากมีกระแสไหลผ่านเกินกำหนด

ฟิวส์ประกอบด้วย ส่วนที่รวมกัน เพื่อทำหน้าที่ตัดวงจรที่เกิดกระแสเกิน อาจเป็นหรือไม่เป็นอุปกรณ์ที่สมบูรณ์สำหรับต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้า ดังนั้นต้องมีการตรวจสอบอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ของฟิวส์ เพื่อให้เป็นฟิวส์ที่สมบูรณ์พร้อมใช้งานอย่างถูกต้อง




**รูปที่ 5.82** สัญลักษณ์ของฟิวส์

ฟิวส์ ถือเป็นอุปกรณ์ตัดตอนและยังเป็นอุปกรณ์ป้องกันที่มีการใช้งานมายาวนานมากกว่า 100 ปี ซึ่งมีความเข้าใจ ว่ามีคุณสมบัติในการตัดตอนและป้องกันวงจรทางไฟฟ้าได้ดีที่สุด มั่นใจที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดการพัฒนาทางเทคโนโลยีขึ้น ปรากฏว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์นั้นทำให้ฟิวส์เป็นอุปกรณ์ตัดตอนและเป็นอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานได้เพียงครั้งเดียว การเปลี่ยนฟิวส์ใหม่ก็ไม่ปลอดภัย ไม่สะดวกในการเปลี่ยนและการบำรุงรักษา ว่าฟิวส์ขาดหรือไม่ ต้องใช้การสังเกตและวัดค่าเพื่อจะทราบว่าฟิวส์ชำรุด หรือ หรือฟิวส์ขาด หรือไม่สามารถทราบความแม่นยำได้เท่าที่ควร อย่างไรก็ตามฟิวส์ก็ยังมีข้อดีอย่างมากที่ทำให้ยังมีการใช้งานในหลายๆ ประเภท โดยประเภทของฟิวส์มีดังต่อไปนี้

**5.5.2.1 ฟิวส์เส้น** มีลักษณะเป็นลวดเปลือย ใช้กับสวิตช์ตัดตอนแบบใบมีด (Cut out) ที่ใช้ยึดกับน็อตที่หัวและท้ายของ Cut out ตามรูปประกอบ

รูปภาพฟิวส์เส้นและฟิวส์แผ่น รูปภาพของ Cut out และรูปแบบการใช้งานของฟิวส์เส้น



**รูปที่ 5.83** รูปภาพฟิวส์เส้น, ฟิวส์แผ่น และ Cutout

หมายเหตุ. จาก https://www.changfi.com/fix/2021/10/03/types-of-fuses/, https://www.google.com/imgres,

**5.5.2.2 คาร์ทริดฟิวส์ (Cartridge Fuse)** โดยจะมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบกระบอกหรือแบบเฟอร์รูล ที่จะใช้กับงานค่อนข้างหลากหลายมาก และแบบใบมีด ที่จะใช้ร่วมกับ เซฟตี้สวิตช์ หรือ Blade Fuse หรือ HRC Fuse

การตรวจสอบประเภทฟิวส์ไส้ ที่ดีควรใช้มิเตอร์ เพราะในบางครั้งการตรวจสอบด้วยการใช้สายตา อาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้




**รูปที่ 5.84** รูปภาพของฟิวส์กระบอกหรือฟิวส์เฟอร์รูล และรูปแบบการใช้งานของร่วมกับ Fuse Holder และฟิวส์ของเต้ารับแบบพ่วง โดยส่วนใหญ่จะมีขนาดกระแส 2 – 40 A หรือไม่เกิน 125 A
หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.



**รูปที่ 5.85** รูปภาพฟิวส์แบบใบมีด หรือ Blade Fuse ที่จะใช้ร่วมกับ เซฟตี้สวิตช์ หรือ HRC Fuse base (มีขนาด 1 เฟสไม่เกิน 1250 A หรือ แบบ 3 เฟส ไม่เกิน 630 A)
หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

หมายเหตุ การใช้งาน HRC Fuse ใน Capacitor Bank หรือการใช้งานต่างๆ ที่เป็นแบบ 3 เฟสนั้น จะต้องมีการพิจารณาเพิ่มเติมอุปกรณ์เพื่อการทำงานที่ดีขึ้น เพื่อให้ทราบว่าฟิวส์เฟสใดเฟสหนึ่งได้ขาดไป Limit switch นี้จะทำงานทันทีโดยการส่งสัญญาณให้มีการทำงานพร้อมกันทั้ง 3 เฟส ทั้งนี้การทำงานของฟิวส์ที่พร้อมกันทั้ง 3 เฟส จะช่วยป้องกันโหลด หรือ อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันได้

**5.5.2.3** ปลั๊กฟิวส์ (Plug Fuse) เป็นฟิวส์ที่บรรจุอยู่ในกระบอกกระเบื้อง มีเกลียวสำหรับรูป เพื่อใช้งานร่วมกับฐานฟิวส์



**รูปที่ 5.86** ภาพปลั๊กฟิวส์และฐานฟิวส์

หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

**ข้อควรระวังของการใช้ฟิวส์**

1. ควรเลือกใช้ฟิวส์ และส่วนประกอบของฟิวส์ ให้ตรงกับแบบฯ เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์นั้นๆ เช่นการใช้ฟิวส์กับอุปกรณ์ไฟฟ้าบางประเภท เช่น soft starter ที่ต้องใช้ฟิวส์ประเภท semiconductor fuse ตามที่ผู้ผลิต soft starter ได้ระบุไว้
2. ควรมีการตรวจสอบส่วนประกอบต่างๆ ของฟิวส์ให้พร้อมทำงาน
3. การเปลี่ยนฟิวส์ ต้องมีการปลดโหลดต่างๆ ของวงจรที่เกี่ยวเนื่อง ออกก่อนมีการเปลี่ยนฟิวส์

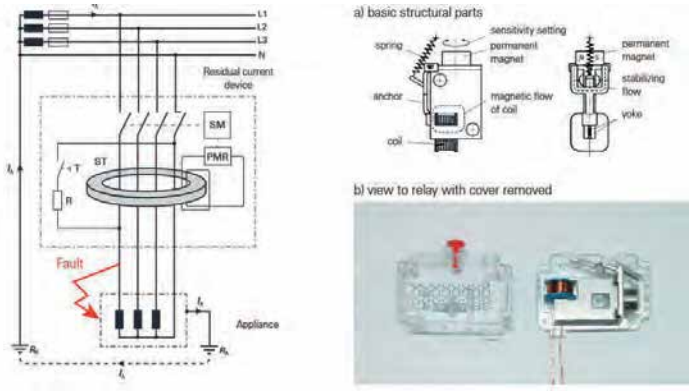
### 5.5.3 เครื่องตัดไฟรั่ว (Residual Current Device: RCD)

เครื่องตัดไฟรั่ว หรือ เครื่องตัดวงจรกระแสไฟฟ้าเหลือ ชื่อตาม มอก.หรือ Residual Current Device: RCD เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดวงจร เมื่อเกินกระแสไฟฟ้ารั่ว ขึ้นในระบบไฟฟ้า เพื่อใช้ลดอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด สำหรับแรงดันไม่เกิน 440 โวลต์ โดยเครื่องตัดไฟรั่วที่มีพิกัดกระแสป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วไม่เกิน 30 มิลลิแอมแปร์ และมีช่วงระยะเวลาในการตัด (break time หรือ operating time) ไม่เกิน 0.04 วินาที เมื่อกระแสรั่วมีค่า 5 IΔn หรือ กรแสไฟฟ้าอาจรั่วถึงค่า 0.25 แอมแปร์ เวลาในการตัดวงจรของเครื่องตัดไฟรั่วก็จะไม่เกิน 0.04 วินาที เนื่องด้วยข้อจำกัดของเครื่องตัดไฟรั่วที่สามารถตัดวงจรได้เร็วสุดเท่านี้ เครื่องตัดไฟรั่วก็จะไม่ทำงานเมื่อกระแสรั่วมีค่า 0.5 IΔn เนื่องจากยังไม่ถึงระดับกระแสไฟฟ้ารั่วที่จะทำให้เครื่องตัดไฟรั่วทำงาน ทั้งนี้เครื่องตัดไฟรั่วที่เลือกใช้ต้องเป็นชนิดที่ปลดสายไฟเส้นที่มีไฟทุกเส้นออกจากวงจร รวมทั้งสายนิวทรัล (neutral) **ยกเว้น** สายนิวทรัลนั้นมีการต่อลงดินแล้ว

**หมายเหตุ** เครื่องตัดไฟรั่ว จะไม่ให้ใช้ในสถานพยาบาลกลุ่มที่ 2 เนื่องจากขณะที่เกิดกระแสไฟรั่วขึ้น เครื่องตัดไฟรั่วจะทำงาน (ทริป) สถานพยาบาลในกลุ่มดังกล่าวก็จะไม่สามารถทำงานได้ และพิกัดกระแสไฟฟ้ารั่วของเครื่องตัดไฟรั่ว ก็มีปริมาณค่อนข้างสูงมาก มากเป็น 1,000 เท่า และในสถานพยาบาลกลุ่มที่ 1 บางส่วนก็ไม่ควรใช้เครื่องตัดไฟรั่วด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขและข้อกำหนดต่างๆ ประกอบด้วย

ข้อพึงปฏิบัติที่สำคัญในการเลือกใช้เครื่องตัดไฟรั่ว

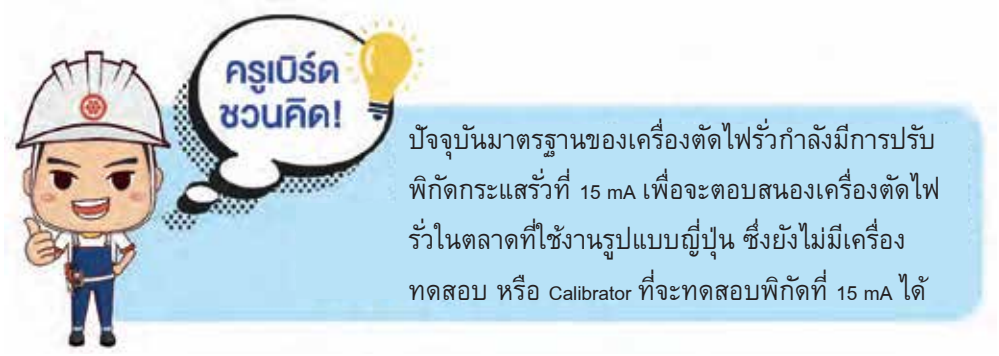
1. ห้ามต่อวงจรลัดคร่อมผ่าน (by pass) เพื่อป้องกันเครื่องตัดไฟรั่วปลดวงจรเมื่อไฟรั่ว
2. ห้ามให้มีการปรับระดับพิกัดการป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่ว ที่เครื่องตัดไฟรั่ว หรือ การเพิ่มเติมวงจรเพื่อปรับระดับกระแสไฟฟ้ารั่ว
3. การต่อวงจรใช้งานอย่างถูกต้อง
4. การเลือกใช้งานพิกัดการป้องกันกระแสไฟรั่วได้อย่างถูกต้อง
5. การเลือกประเภทของเครื่องตัดไฟรั่วให้เหมาะสมกับการใช้งาน




**รูปที่ 5.87** รูปภาพวงจร รูปภาพเครื่องตัดไฟรั่ว ที่มีส่วนประกอบภายในของ เครื่องตัดไฟรั่ว หมายเหตุ. จาก *Technical presentation for LV – MV Switchgear*, โดย Eaton CO.,LTD., n.d., n.p.

การป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วในเครื่องตัดไฟรั่วจะมีหลายระดับเพื่อแบบตามความเหมาะสมในการใช้งานที่หลากหลายตามการใช้งานดังนี้

- เครื่องตัดไฟรั่วที่ปริมาณกระแส 10 mA สำหรับป้องกัน ชีวิตมนุษย์และสัตว์
- เครื่องตัดไฟรั่วที่ปริมาณกระแส 30 mA สำหรับป้องกัน ชีวิตมนุษย์และสัตว์
- เครื่องตัดไฟรั่วที่ปริมาณกระแส 100 mA สำหรับป้องกัน อุปกรณ์
- เครื่องตัดไฟรั่วที่ปริมาณกระแส 300 mA สำหรับป้องกัน เพลิงไหม้
- เครื่องตัดไฟรั่วที่ปริมาณกระแส 500 mA สำหรับป้องกัน เพลิงไหม้




ประเภทของเครื่องตัดไฟรั่ว มีดังนี้

**5.5.3.1 Residual current operated circuit breaker without integral over-current protection: RCCB**

เป็นเครื่องตัดไฟรั่วแบบไม่มีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน และ/หรือลัดวงจร หรือ ที่ตามมอก.2425 ได้เรียกว่า เครื่องตัดวงจรใช้กระแสเหลือแบบไม่มีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน สำหรับใช้ในที่อยู่อาศัย และใช้ในลักษณะที่คล้ายกัน

การใช้งานเครื่องตัดไฟรั่วประเภท RCCB นั้น โดยปกติต้องมีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน เช่น ฟิวส์ หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ต่อวงจรอยู่ก่อนหน้า RCCB ประเภทนี้ ไว้เพื่อป้องกันวงจร เมื่อเกิดภาวะกระแสเกินหรือกระแสลัดวงจร ขึ้นในระบบไฟฟ้า ทั้งนี้การใช้งานสำหรับบ้าน หรือ ที่อยู่อาศัยในประเภทไทย อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินของตัวเมนสวิตช์ นั้นจะต้องมีพิกัดการทนกระแสลัดวงจรได้เท่ากับหรือ ไม่น้อยกว่า 10 kA ที่ 230/400 Vac ตามมาตรฐาน IEC 60898 โดย RCCB ประเภทนี้จะมีลักษณะที่สามารถตัดวงจรได้ทั้งสายเส้นไฟและสายนิวทรัล แบบ 2 ขั้ว และ 4 ขั้ว

ปุ่มกด ทดสอบให้เครื่องตัดไฟรั่วได้ทำงานเป็นปกติ (Trip / monthly test)



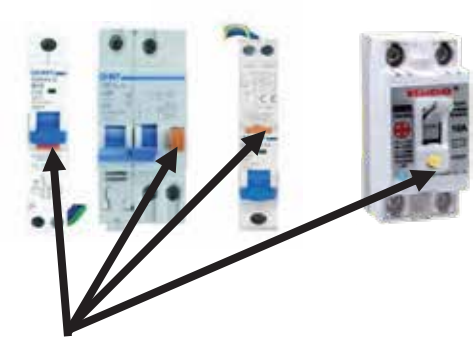



**รูปที่ 5.88** ภาพเครื่องตัดไฟรั่ว RCCB แบบไม่มีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน และ/หรือลัดวงจร หรือ ที่ตาม มอก.2425

หมายเหตุ. จาก *เอกสารทางเทคนิคอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ*, โดย บริษัท เอวีร่า จำกัด, ม.ป.ป.ข

#### 5.5.3.2 Residual current operated circuit breaker with integral over-current protection: RCBO

เป็นเครื่องตัดไฟรั่วแบบมีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน และ/หรือลัดวงจรหรือ ที่ตาม มอก. 909 ได้เรียกว่า เครื่องตัดวงจรใช้กระแสเหลือแบบมีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน สำหรับใช้ในที่อยู่อาศัย และใช้ในลักษณะที่คล้ายกัน โดย มอก.909 ถือเป็นมาตรฐานบังคับของสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.)






ปุ่มกด ทดสอบให้เครื่องตัดไฟรั่วได้ทำงานเป็นปกติ (Trip / monthly test)

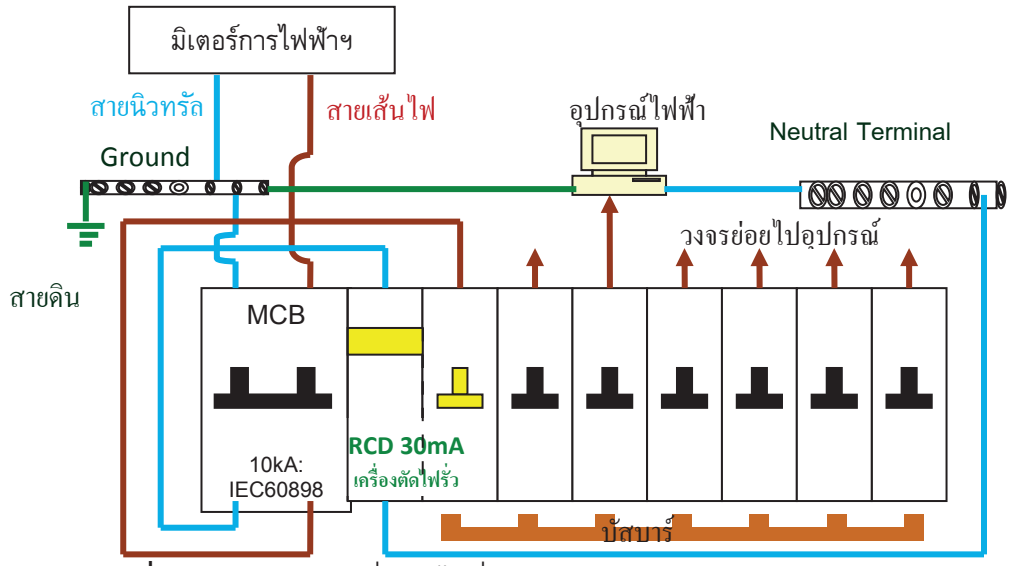
**รูปที่ 5.89** ภาพเครื่องตัดไฟรั่ว RCBO แบบไม่มีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน และ/หรือลัดวงจร หรือ ที่ตาม มอก.909

หมายเหตุ. จาก *เอกสารทางเทคนิคอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ*, โดย บริษัท เอวีร่า จำกัด, ม.ป.ป.ข; จาก *Brochure and technical data of conduit and fitting* [แผ่นพับ], โดย บริษัท ฮาโก้ อิเลคทริค (ประเทศไทย) จำกัด. ม.ป.ป.ก

**รูปแบบการต่อใช้งานเครื่องตัดไฟรั่ว ( RCD ) แบบต่าง ๆ**

1. การต่อใช้งาน RCD แบบควบคุมทุกวงจร เป็นการควบคุมทุกวงจรผ่าน RCD ที่ได้แบ่งลักษณะของ RCD ที่เลือกใช้ดังนี้

1.1 การต่อใช้งาน RCD แบบ RCCB ควบคุมทุกวงจร แบบนี้จะต้องมีการใช้เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดทนกระแสลัดวงจรได้ที่ 10 kA, 230/400 Vac : IEC 60898 (กรณีการใช้งานสำหรับที่พักอาศัย) ก่อน RCCB เนื่องจาก RCCB จะไม่มีคุณสมบัติในการป้องกันกระแสเกิน หรือ กระแสลัดวงจรได้ จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ก่อน และข้อเสียในแบบนี้คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วขึ้น ในปริมาณที่ทำให้เครื่องตัดไฟรั่วทำงาน ก็จะทำให้ทุกวงจรทำงาน มีผลทำให้วงจรแสงสว่างดับด้วย จึงทำให้อาจเกิดอันตรายอื่นๆ ประกอบด้วยจากสาเหตุที่ขาดแสงสว่าง ดังภาพประกอบด้านล่างนี้

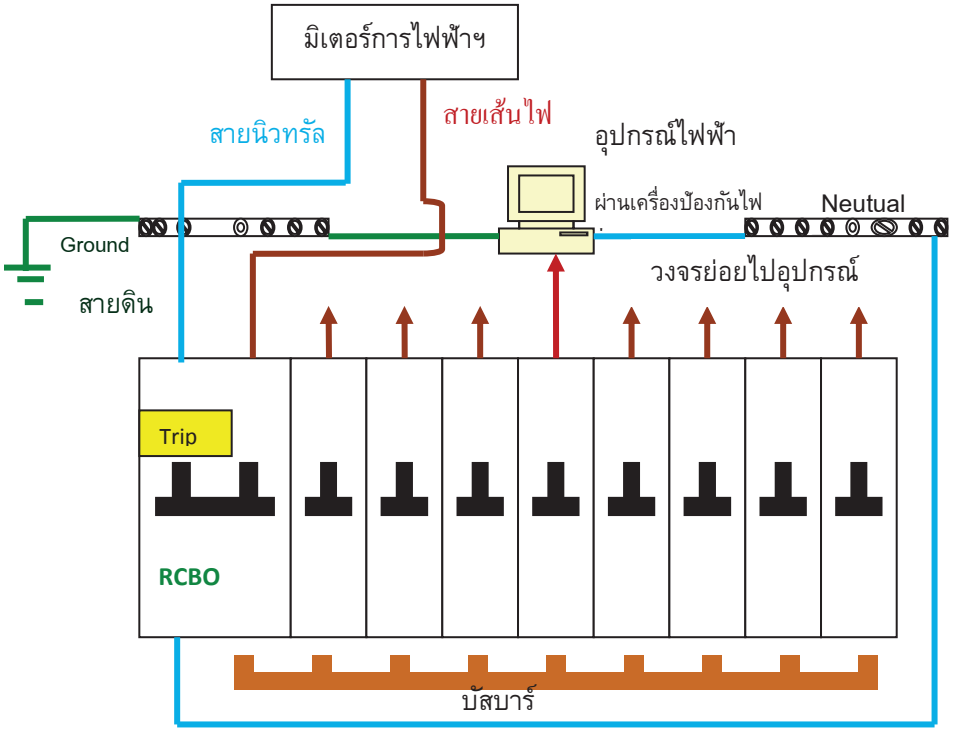



**รูปที่ 5.90** แบบการต่อเครื่องตัดไฟรั่ว RCD : RCCB แบบควบคุมทุกวงจร

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 5 หลักการใช้ทั่วไปของเครื่องใช้ไฟฟ้าสำหรับใช้ในที่อยู่อาศัย,* โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ข, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ,* สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.

1.2 การต่อใช้งาน RCD แบบ RCBO พิกัดป้องกัน 30 mA ควบคุมทุกวงจร ซึ่งแบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดย RCBO ที่จะเลือกใช้ต้องมีขนาดทนกระแสลัดวงจรได้ที่ 10 kA , 230/400 Vac : IEC 60898 (กรณีการใช้งานสำหรับที่พักอาศัย) โดยวงจรแบบนี้เป็นวงจรที่ดีแบบหนึ่งเพราะทุกวงจรได้รับการป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่ว ข้อควรระวัง ในแบบนี้คือ เมื่อมีผลรวมของกระแสไฟฟ้ารั่วขึ้น ใน

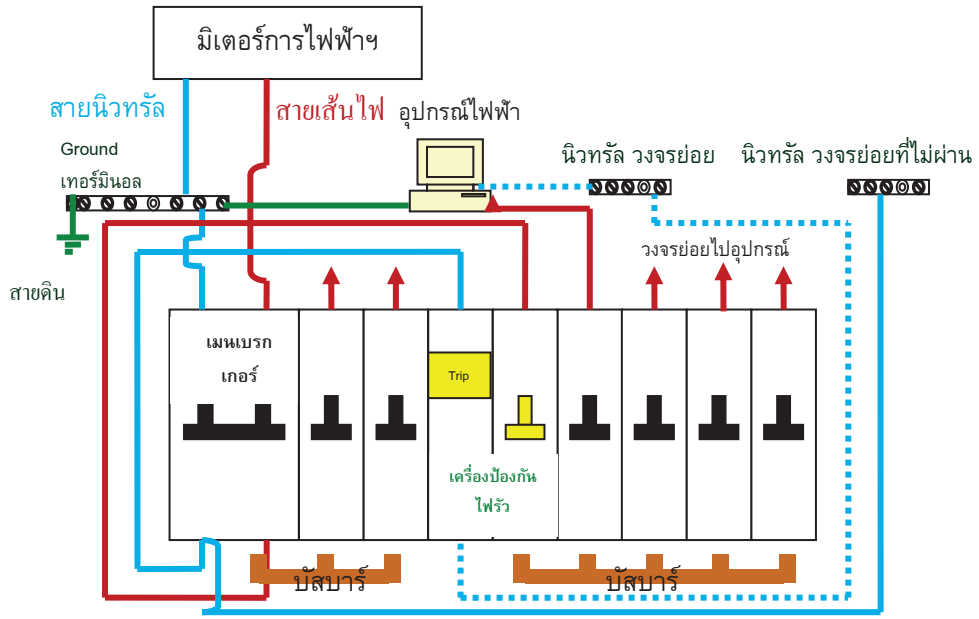
ปริมาณ 30 mA ที่ทำให้เครื่องตัดไฟรั่วทำงาน ก็จะทำให้ทุกวงจรไม่ทำงานได้ เนื่องจาก RCD: RCBO เป็นเมนควบคุมทุกวงจร ดังภาพประกอบด้านล่างนี้




**รูปที่ 5.91** แบบการต่อเครื่องตัดไฟรั่ว RCD: RCBO พิกัดป้องกัน 30mA ควบคุมทุกวงจร หมายเหตุ. จาก *บทที่ 5 หลักการใช้ทั่วไปของเครื่องใช้ไฟฟ้าสำหรับใช้ในที่อยู่อาศัย,* โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ข, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ,* สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.

2. การต่อใช้งาน RCD แบบควบคุมบางทุกวงจร และบางวงจรไม่ได้ควบคุมผ่าน RCD ที่ได้แบ่งลักษณะของ RCD ที่เลือกใช้ดังนี้

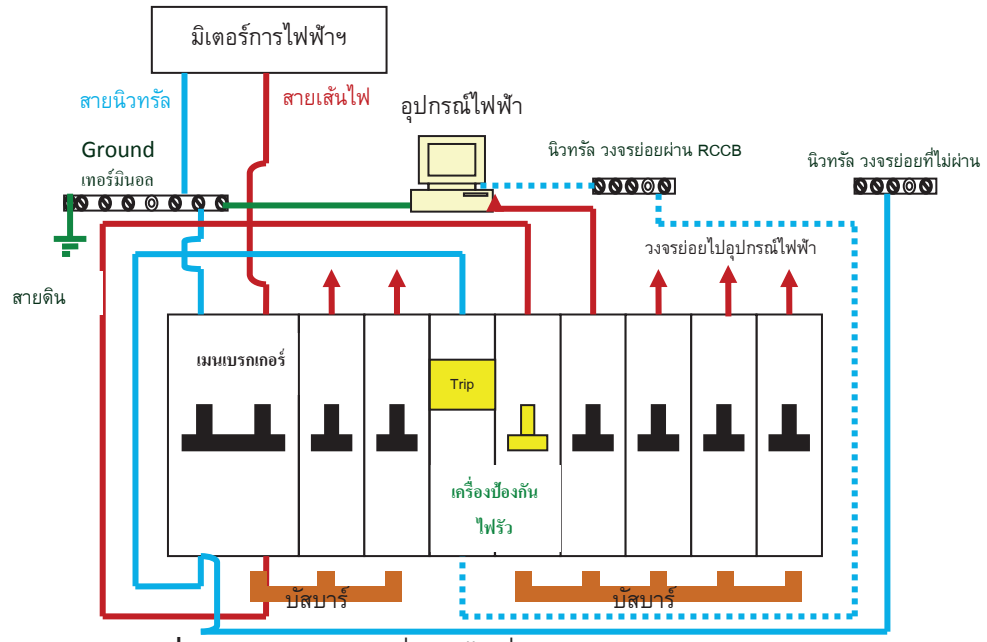
   2.1 การต่อใช้งาน RCD แบบ RCCB ควบคุมบางวงจร แบบนี้จะต้องมีการใช้เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดทนกระแสลัดวงจรได้ที่ 10 kA , 230/400 Vac : IEC 60898 (กรณีการใช้งานสำหรับที่พักอาศัย) ก่อน RCCB เนื่องจาก RCCB จะไม่มีคุณสมบัติในการป้องกันกระแสเกิน หรือ กระแสลัดวงจรได้ จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ก่อน ซึ่งข้อดีของวงจรในแบบนี้คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วขึ้น ในปริมาณที่ทำให้เครื่องตัดไฟรั่วทำงาน ก็จะทำให้บางวงจรที่ผ่านเครื่องตัดไฟรั่วทำงาน และในส่วนวงจรที่ไม่ผ่านเครื่องตัดไฟรั่ว ก็จะยังคงทำงานเป็นปกติ เช่น วงจรแสงสว่างก็ยังคงทำงานเป็นปกติ ดังภาพประกอบด้านล่างนี้




**รูปที่ 5.92** แบบการต่อเครื่องตัดไฟรั่ว RCD : RCCB แบบควบคุมบางวงจร

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 5 หลักการใช้ทั่วไปของเครื่องใช้ไฟฟ้าสำหรับใช้ในที่อยู่อาศัย,* โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ข, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ,* สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โซติอนันต์ ครีเอชั่น.

2.2 การต่อใช้งาน RCD แบบ RCBO ควบคุมบางวงจร ซึ่งแบบนี้มี หรือ ไม่ต้องมีเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยทั่วไปจะต้องต่อผ่านเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้วย เพื่อความสะดวกในการควบคุมวงจรเมน โดย RCBO ที่จะเลือกใช้มีขนาดทนกระแสลัดวงจรได้ที่ 6 kA หรือ 10 kA, 230/400 Vac : IEC 60898 (กรณีการใช้งานสำหรับที่พักอาศัย) ซึ่งข้อดีของวงจรในแบบนี้คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วขึ้น ในปริมาณที่ทำให้เครื่องตัดไฟรั่วทำงาน ก็จะทำให้บางวงจรที่ผ่านเครื่องตัดไฟรั่วทำงาน และในส่วนวงจรที่ไม่ผ่านเครื่องตัดไฟรั่ว ก็จะยังคงทำงานเป็นปกติ เช่น วงจรแสงสว่างก็ยังคงทำงานเป็นปกติ ดังภาพประกอบด้านล่างนี้




**รูปที่ 5.93** แบบการต่อเครื่องตัดไฟรั่ว : RCBO แบบควบคุมบางวงจร

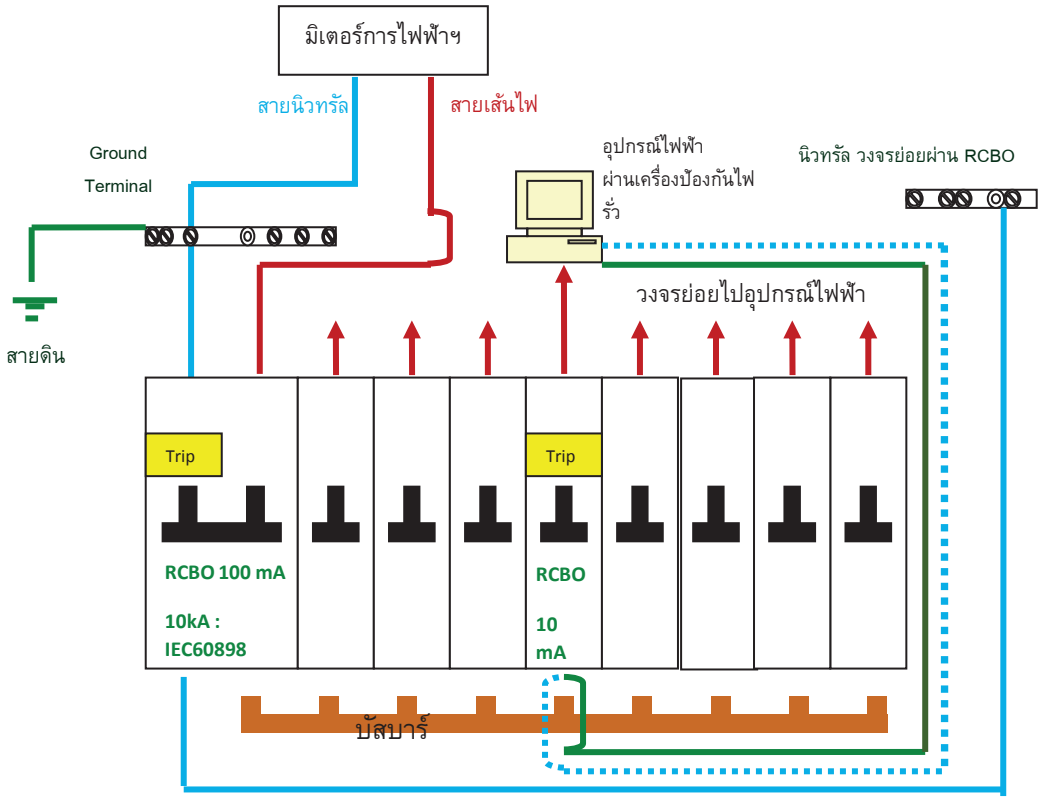
หมายเหตุ. จาก *บทที่ 5 หลักการใช้ทั่วไปของเครื่องใช้ไฟฟ้าสำหรับใช้ในที่อยู่อาศัย,* โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ข, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ,* สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โซติอนันต์ ครีเอชั่น.

การแยกส่วนวงจรที่มีวงจรที่ไม่ผ่านเครื่องตัดไฟรั่ว และวงจรที่ผ่านเครื่องตัดไฟรั่วทั้งสองประเภทนี้ เครื่องตัดไฟรั่วประเภท RCD นี้ ต้องมีการแยก neutral terminal ออกจากกันในส่วนของวงจรที่ผ่านเครื่องตัดไฟรั่ว และวงจรที่ไม่ผ่านเครื่องตัดไฟรั่ว เพื่อไม่ให้มีการทำงานที่ผิดพลาดของเครื่องตัดไฟรั่วประเภทนี้

กรณีที่มีการใช้งานเครื่องตัดไฟรั่วประเภท RCD มากกว่า 1 ตัว ก็จะต้องมี neutral terminal เท่ากับจำนวนของ RCD เช่นมี RCD ในวงจร 2 ตัว ก็จะต้องมี neutral terminal 2 ชุดด้วย เพื่อไม่ให้มีการทำงานที่ผิดพลาดของเครื่องตัดไฟรั่วประเภทนี้

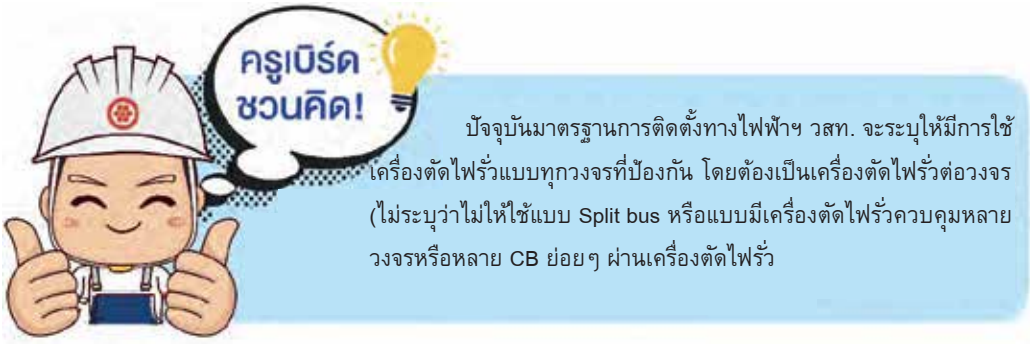
3. การต่อใช้งาน RCD แบบควบคุมทุกวงจร โดยการทำงานร่วมกันสัมพันธ์กัน เพื่อแบ่งระดับการป้องกันกระแสไฟรั่ว Residual Current Coordination เป็นการป้องกันกระแสไฟรั่วอย่างถูกต้องและเหมาะสม เพื่อป้องกันทุกวงจรและเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งข้อดีของวงจรในแบบนี้คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วขึ้นในปริมาณที่ทำให้เครื่องตัดไฟรั่วทำงาน ก็จะทำให้วงจรที่ผ่านเครื่องตัดไฟรั่วทำงานเท่านั้น และในส่วนวงจรที่ไม่ผ่านเครื่องตัดไฟรั่วตัวเมน ก็จะยังคงทำงานเป็นปกติ แต่เมื่อมีผลรวมของกระแสไฟฟ้ารั่วของทุกวงจรเกิน 100 mA RCD ตัวเมนก็จะทำงาน ซึ่งก็

ถือเป็นการทำงานอย่างสัมพันธ์และเหมาะสม เพราะกระแสไฟฟ้ารั่วปริมาณดังกล่าว ถือว่าเป็นปริมาณกระแสไฟฟ้ารั่วจำนวนมาก ดังภาพประกอบ



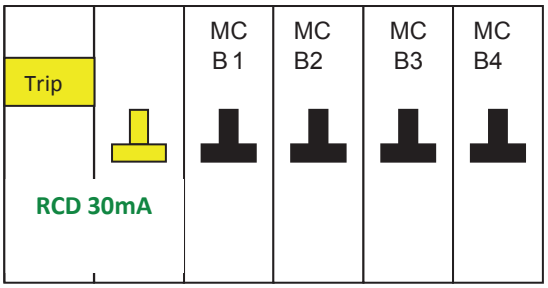

**รูปที่ 5.94** แบบการต่อเครื่องตัดไฟรั่ว แบบควบคุมเฉพาะวงจร (Residual Current Coordination)

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 5 หลักการใช้ทั่วไปของเครื่องใช้ไฟฟ้าสำหรับใช้ในที่อยู่อาศัย,* โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ข, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ,* สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.




ข้อควรระวัง : การใช้งานเครื่องตัดไฟรั่ว RCD ทั้งสองประเภท ควรพิจารณาสิ่งสำคัญดังต่อไปนี้

1. เมื่อมีการติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่ว แล้วเสร็จ ต้องมีการทดสอบเครื่องตัดไฟรั่ว โดยการกดปุ่มทดสอบ (Trip / monthly test) เพื่อตรวจสอบความพร้อมในการทำงานของเครื่องตัดไฟรั่ว
2. การตรวจสอบการทำงานจริงของเครื่องตัดไฟรั่ว จากวิศวกรไฟฟ้า หรือ ช่างไฟฟ้า หรือ ผู้มีความรู้จริงทางด้านไฟฟ้า เพื่อสร้างความมั่นใจว่าวงจรที่ผ่านเครื่องตัดไฟรั่วนั้น สามารถทำงานได้จริง
3. การแนะนำผู้ใช้ หรือ เจ้าของบ้าน หรือ เจ้าของอาคาร เรื่องการใช้งาน RCD ที่ตัว RCD จะมีปุ่มกด ที่ส่วนใหญ่มักเขียนว่า “Test หรือ monthly test” ตามภาพประกอบ เพื่อต้องการให้ผู้ใช้ได้กดปุ่ม ให้เครื่องตัดไฟรั่วได้ทำงานอย่างแม่นยำ และคงสภาพการใช้งานได้อยู่ตลอด เกิดการขยับเคลื่อนไหวส่วนทางกลของเครื่องตัดไฟรั่วได้ทำงานยึดและคลายตัวในส่วนทางกล ควรมีการกดปุ่มทดสอบการทำงานบ่อยๆ หรือ ทุกเดือน เป็นประจำ โดยก่อนการทดสอบควรเปิดวงจร (Off เซอร์กิตเบรกเกอร์) ย่อยต่างๆ ที่ผ่านเครื่องตัดไฟรั่วออกก่อน และเมื่อทำการทดสอบเครื่องไฟรั่วแล้วเสร็จ จึงค่อยๆ ถยอยปิดวงจร (On เซอร์กิตเบรกเกอร์)
4. ไม่ควรติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่ว แบบตัวเดียวควบคุมทุกวงจร ที่ควบคุมทั้งวงจรแสงสว่างและวงจรเต้ารับ เพราะเมื่อมีการทำงานของเครื่องตัดไฟรั่ว จะทำให้บ้านที่อยู่อาศัย เกิดไฟแสงสว่างดับ และไฟดับทั้งบ้านหรืออาคารนั้นๆ อาจทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการเคลื่อนย้าย ไม่สะดวกในการใช้งานและการแก้ไขระบบไฟฟ้า
5. กรณีที่มีการใช้เครื่องตัดไฟรั่วหนึ่งตัวควบคุมหลายๆ วงจร ต้องแนะนำผู้ใช้งาน เพื่อตรวจสอบหาวงจรที่มีไฟรั่วในระบบไฟฟ้า มีวิธีง่ายๆ ดังนี้




**รูปที่ 5.95** ตัวอย่างภาพประกอบและขั้นตอนในการตรวจสอบหาวงจรที่มีกระแสไฟรั่ว กรณีที่มีกระแสไฟรั่วมากกว่า 1 วงจร และมีผลรวมของกระแสไฟรั่วเท่ากับ หรือ มากกว่า 30 mA

หมายเหตุ. จาก *บทที่ 5 หลักการใช้ทั่วไปของเครื่องใช้ไฟฟ้าสำหรับใช้ในที่อยู่อาศัย,* โดย เดชทัต บูรณะอัศวกุล, 2560ข, *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ,* สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, โชติอนันต์ ครีเอชั่น.

เงื่อนไข

1. เครื่องตัดไฟรั่วมีขนาดกระแสทำงานเมื่อมีกระแสรั่วที่ 30 mA
2. เซอร์กิตเบรกเกอร์มี 4 ตัว ที่ต่อวงจรผ่านเครื่องตัดไฟรั่ว

   สมมุติว่า มีกระแสไฟรั่วที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 1 ขนาด 10 mA และมีกระแสไฟรั่วที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 4 ขนาด 20 mA
3. เมื่อเครื่องตัดไฟรั่วทำงาน (ทริบ) ให้เปิดวงจรย่อยๆ (Off เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัว 1-4) ที่ผ่านเครื่องตัดไฟรั่วนั้น

4. On เครื่องตัดไฟรั่ว และ On เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 1 ตัวที่ 2 ,3 และ 4 เมื่อ On เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 4 เครื่องตัดไฟรั่วจะทำงาน (ทริป) ทันที แสดงว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 4 มีกระแสไฟรั่วขึ้น ให้ Off เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 1 - 4 อีกครั้ง

5. On เครื่องตัดไฟรั่ว, On เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 4 และ On เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 1 เครื่องตัดไฟรั่วจะทำงาน (ทริป) ทันที แสดงว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 1 มีกระแสไฟรั่วขึ้น ให้ Off เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 1 - 4 อีกครั้ง

6. On เครื่องตัดไฟรั่ว, On เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 4, On เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 2 และ3 เพื่อทดสอบว่ามีกระแสไฟรั่วที่ เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 2 และ 3 ด้วยหรือไม่ และควรไล่หาวงจรที่เกิดไฟรั่วขึ้นอย่างละเอียด ด้วยความปลอดภัย

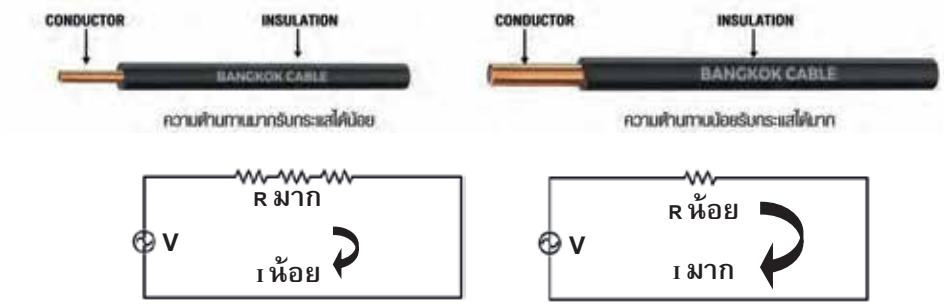
จากหลักการข้างต้น ก็สามารถใช้ตรวจสอบหาวงจรที่มีกระแสไฟรั่วได้ ทั้งนี้หากไม่ต้องการเสียเวลามาตรวจสอบหาวงจรที่เกิดกระแสไฟรั่ว ก็สามารถแก้ไขได้ด้วยการติดเครื่องตัดไฟรั่วแบบตัวต่อวงจร (RCD 1 ตัวต่อ 1 วงจร) ก็ได้ หรือ สามารถใช้แบบ Residual Current Coordination ก็ได้ โดยใช้เครื่องตัดไฟรั่วที่พิกัด 100 mA และมีวงจรย่อยเป็นเครื่องตัดไฟรั่วที่พิกัด 10 mA หรือ 30 mA ก็จะทำให้ระบบไฟฟ้านั้นมีความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น

## 5.6 สายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าถือเป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าและเป็นผลิตภัณฑ์ ที่ต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หรือมาตรฐานที่การไฟฟ้ายอมรับ เช่น IEC, BS เป็นต้น หรือตามมาตรฐานการไฟฟ้าฯ สายไฟฟ้าในหนังสือเล่มนี้ ขอกล่าวถึงเฉพาะสายไฟฟ้าแรงดันปานกลางและสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ เท่านั้น

**พื้นฐานความรู้ทั่วไปของสายไฟฟ้า**

สายไฟฟ้าเป็นตัวนำในการเดินทางของกระแสไฟฟ้า สายไฟฟ้าก็เสมือนท่อน้ำ ถ้าท่อน้ำที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ขนาดใหญ่ ก็จะสามารถจ่ายน้ำได้ปริมาณมาก แต่ถ้าท่อน้ำมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กก็จะจ่ายน้ำได้ปริมาณน้อยๆ สายไฟฟ้าก็เช่นเดียวกัน ที่มีผลกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เมื่อสายไฟที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่ ก็จะสามารถจ่ายหรือสามารถให้กระแสไฟไหลได้ปริมาณที่มากกว่าสายไฟขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กกว่า และในขณะเดียวกันที่สายไฟความยาวเท่ากันสายไฟฟ้าขนาดที่เล็กกว่าก็จะมีความต้านทานมากกว่าขนาดสายไฟที่ใหญ่กว่า ดังนั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง หรือขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่กว่า จะมีความต้านทานที่น้อยกว่า และสามารถให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้มากกว่าสายไฟฟ้าขนาดเล็ก




**รูปที่ 5.96** ขนาดของตัวนำและฉนวนของสายไฟฟ้า

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

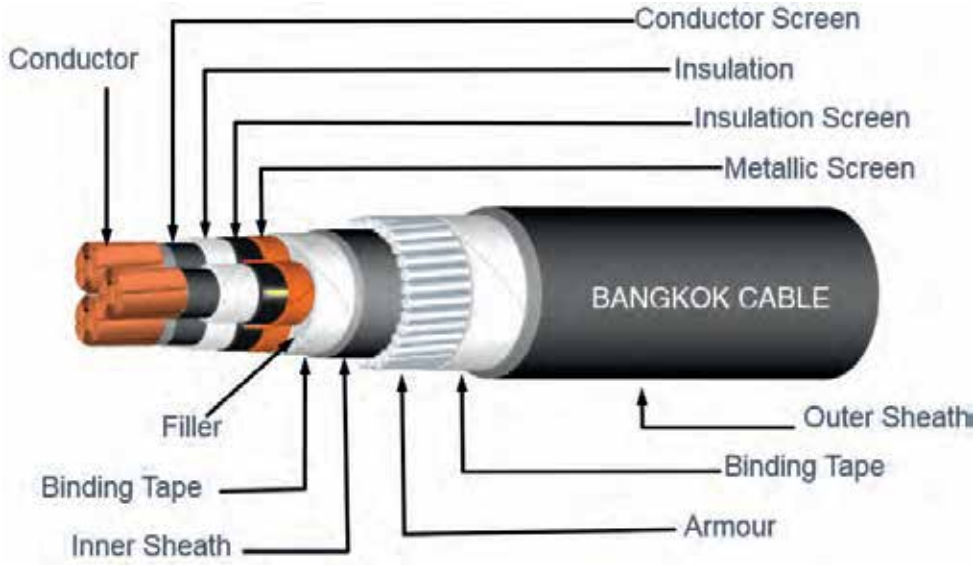
กระแสไฟฟ้าจะมีแนวทางการเดินที่แตกต่างกันระหว่างกระแสไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ โดยไฟฟ้ากระแสตรงจะเดินภายในสายไฟฟ้า และไฟฟ้ากระแสสลับจะเดินที่ผิวของสายไฟฟ้า




**รูปที่ 5.97** ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

5.6.1 โครงสร้างพื้นฐานของสายไฟ




**รูปที่ 5.98** โครงสร้างสายไฟฟ้าและส่วนประกอบต่างๆ

5.6.1.1 ตัวนำ (Conductor)

ตัวนำของสายไฟฟ้าทำมาจากโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูง อาจอยู่ในรูปของตัวนำเดี่ยว (Solid) หรือตัวนำตีเกลียว (Stranded) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวนำเล็ก ๆ ตีเข้าด้วยกันเป็นเกลียวซึ่งมีข้อดี คือ การเดินสายทำได้ง่ายเพราะมีความอ่อนตัวกว่า โลหะที่นิยมใช้เป็นตัวนำ ได้แก่ ทองแดง และอะลูมิเนียม

ทองแดง เป็นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงมาก มีความแข็งแรง เหนียว ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี แต่มีข้อเสีย คือ มีน้ำหนักมาก และราคาสูง จึงไม่เหมาะสำหรับงานด้านแรงดันสูง แต่จะเหมาะกับการใช้งานโดยทั่วไป โดยเฉพาะงานในอาคาร

อะลูมิเนียม เป็นโลหะมีความนำไฟฟ้าสูงรองจากทองแดง แต่เมื่อเปรียบเทียบในกรณีกระแสเท่ากันแล้ว พบว่าอะลูมิเนียมจะมีน้ำหนักเบาและราคาถูกกว่า จึงเหมาะกับงานเดินสายไฟนอกอาคาร และแรงดันสูง

**ตารางที่ 5.17** การเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวนำทองแดงและอะลูมิเนียม

| คุณสมบัติ | ทองแดง (Cu)  | อะลูมิเนียม (Al)  |
|---|---|---|
| ความนำไฟฟ้า (%IACS) | 100 | 61 |
| จุดหลอมเหลว ($^{o}$C) | 1,083 | 659 |
| ความหนาแน่น(g/cm$^{3}$) | 8.89 | 2.7 |
| ถ้าต้องรับกระแสไฟฟ้าที่เท่ากัน | | |
| พื้นที่หน้าตัด | CU < AL | |
| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง | CU < AL | |
| น้ำหนักสายไฟ | CU > AL | |
| ราคา | CU > AL | |

5.6.1.2 ฉนวน (Insulation)

ฉนวน ทำหน้าที่ห่อหุ้มตัวนำ เพื่อป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างตัวนำหรือระหว่างตัวนำกับส่วนที่ต่อลงดิน และป้องกันตัวนำจากผลกระทบทางกลทางเคมีต่างๆ การเลือกใช้ชนิดของฉนวนจะขึ้นกับอุณหภูมิใช้งาน ระดับแรงดันของระบบ และสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง

- พีวีซี (PVC = Polyvinyl Chloride) อุณหภูมิใช้งานปกติคือ 70°C
- พีอี (PE = Polyethylene) อุณหภูมิใช้งานปกติคือ 70°C
- เอ็กซ์แอลพีอี (XLPE = Cross-Linked Polyethylene) อุณหภูมิใช้งานปกติคือ 90°C

5.6.1.3 เปลือก (Sheath or Jacket)

เปลือก หมายถึง ทำหน้าที่เป็นฉนวนและป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในขณะการติดตั้งหรือใช้งานของสายไฟ หากมี 2 ชั้น เรียกว่า เปลือกใน (inner sheath) และเปลือกนอก (outer sheath) เปลือกมีหลายชนิด วัสดุที่นิยมใช้ทำ คือ

- พีวีซี (PVC)
- พีอี (PE)
- Low smoke halogen free (LSHF)

โดยคุณสมบัติแล้วพีอี จะมีความแข็งแรง และทนต่อการขูดขีด ได้มากกว่าพีวีซี

ฉนวน (Insulation) ทำหน้าที่ หุ้มตัวนำ เพื่อป้องกันการเกิดลัดวงจร และเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน

| ชนิดฉนวน | PVC | XLPE | PE |
|---|---|---|---|
| อุณหภูมิใช้งาน สูงสุด ($^{o}$C) | 70 | 90 | 75 |

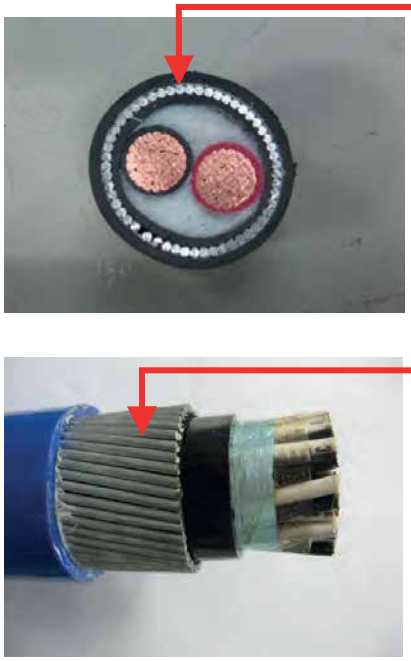
เปลือก (Sheath) ทำหน้าที่ หุ้มแกน หรือหุ้มสายชั้นนอก เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในขณะติดตั้ง หรือใช้งาน

| ชนิดเปลือก | PVC | PE |
|---|---|---|
| คุณสมบัติ | - นิ่ม เหนียว ไม่ฉีกขาดง่าย<br>- ทนต่อสารเคมีได้ดี | - แข็ง ทนต่อการขีดข่วน<br>- ทนต่อความชื้นได้ดี |

5.6.1.4 ส่วนประกอบอื่น ๆ

เกราะ (Armour) คือ เส้นลวดหรือเทปโลหะที่พันรอบสายไฟก่อนที่จะหุ้มเปลือกนอกเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ป้องกันแรงกระทำทางกลให้กับสายไฟ โดยใช้ลวดเหล็ก, ลวดอะลูมิเนียม หรือ เทปเหล็ก

**เกราะ (Armour)**



อาจเป็นเส้นลวดหรือเทปโลหะที่พันรอบสายไฟก่อนที่จะหุ้มเปลือกนอกเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ป้องกันแรงกระทำทางกลให้กับสายไฟ โดยใช้ลวดเหล็ก, ลวดอะลูมิเนียม หรือ เทปเหล็กมีหน้าที่ป้องกันแรงกระแทกทางกล เป็นโครงสร้างที่เหมาะสำหรับสายใต้ดิน

**รูปที่ 5.99** เกราะสำหรับสายไฟฟ้า

ชีลด์ (shield) หรือ สกรีน (Screen) หมายถึงส่วนที่มีหน้าที่ป้องกันสายไฟแบ่งเป็น 3 ประเภท

**ประเภทของชีลด์**

- สกรีนตัวนำ (Conductor Screen) เป็นวัสดุกึ่งตัวนำหุ้มอยู่บนตัวนำทำหน้าที่กระจายสนามไฟฟ้าไม่ให้หนาแน่น ณ จุดใดจุดหนึ่ง และยังทำหน้าที่ลดช่องว่างระหว่างตัวนำกับฉนวนอีกด้วย
- สกรีนฉนวน (Insulation Screen) เป็นวัสดุกึ่งตัวนำที่หุ้มอยู่บนฉนวนทำหน้าที่คล้ายชีลด์ตัวนำและลดการเกิด discharge ที่ผิวฉนวน
- สกรีนโลหะ (Metallic Screen) อาจเป็นลวด หรือ เทปโลหะที่ทำจากทองแดงใช้พันบนสายไฟเพื่อจำกัดสนามไฟฟ้าให้อยู่เฉพาะภายในสายเคเบิ้ล ปล่อยกระแส discharge ต่าง ๆ ลงดิน และยังทำหน้าที่ปรับระดับความต่างศักย์ของสกรีนฉนวนให้เท่ากับดินอีกด้วย

  นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นๆที่มีในสายไฟบางชนิด

- ชั้นป้องกันไฟ (Fire Barrier Layer) คือชั้นของเทป (Mica Tape) ที่พันทับบนตัวนำก่อนหุ้มฉนวน เพื่อป้องกันการลัดวงจรในขณะเกิดเพลิงไหม้จนชั้นฉนวนถูกทำลายไปแล้วโดยกระแสไฟฟ้าจะยังสามารถจ่ายไฟได้

- ส่วนผสมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่าง ๆ ส่วนผสมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติจะเป็นส่วนที่ผสมกับวัตถุดิบที่เป็นเปลือกนอกเพื่อให้มีคุณสมบัติพิเศษตามความต้องการในการใช้งาน เช่น คุณสมบัติในการป้องกันปลวก คุณสมบัติในการป้องกันสัตว์กัดแทะพวกหนู

### 5.6.2 ความรู้พื้นฐานของบัสบาร์

บัสบาร์ก็ถือเป็น ตัวนำกระแสไฟฟ้าประเภทหนึ่ง ที่มีใช้กันมาก รองจากสายไฟฟ้า โดยบัสบาร์ที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในแผงสวิตช์และบัสดัก โดยการแสดงสีของบัสบาร์ที่อยู่ในแผงสวิตช์จะระบุสีหรือตัวอักษรเฉพาะบางส่วนเท่านั้น



**รูปที่ 5.100** การใช้งานบัสบาร์ สำหรับแผงสวิตช์

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.



**รูปที่ 5.101** Flexible busbar และ การต่อระหว่าง Flexible busbar กับหม้อแปลงฯ

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.; http://mettex.com, http://erieindustrialproducts.com, http://123rf.com

ปัจจุบันทางคณะอนุกรรมการร่างมาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้า วสท. ได้อนุญาตให้ใช้สีของบัสบาร์ เหมือนกับสีของสายไฟฟ้า ตาม มอก.11 คือ น้ำตาล(L1) ดำ(L2) เทา(L3) ฟ้า(N) และเขียว(PE) หรือ เขียวแถบเหลือง(PE) เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการต่อสายและการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ







สายไฟสำหรับหนังสือเล่มนี้ จะขอกล่าวถึงเฉพาะในส่วนของสายไฟแรงดันต่ำ และสายไฟแรงดันปานกลางบางส่วนเท่านั้น ซึ่งการระบุสีของไฟฟ้าแรงดันปานกลางและสูงนั้นจะใช้สี แดง เหลือง น้ำเงิน หรือ Red Yellow Blue: R Y B โดยสายไฟแรงดันปานกลางที่ใช้งานเป็นส่วนใหญ่ในแบบต่างๆ และลักษณะที่โดดเด่นทางกายภาพมีดังนี้

### 5.7 สายไฟฟ้า แรงดันปานกลาง (MV Cable)

สายไฟฟ้า แรงดันปานกลาง ในประเทศไทย จะมีพิกัดใช้งานโดยส่วนใหญ่ที่ 12 kV, 22 kV, 24 kV และ 33 kV โดยลักษณะทางกายภาพของสายไฟแรงดันปานกลางที่ใช้เป็นแบบสายไฟเหนือดิน (overhead) สายไฟเดินใต้ดิน (underground)

### 5.7.1 สายไฟแบบเปลือย (Bare Conductor)

1. Hard Drawn Copper Stranded Conductor: FHC ตามมอก. 64 เป็นสายไฟที่มีตัวนำเป็นทองแดงรีดแข็ง สำหรับสายส่งกำลังเหนือดิน และเดินในระบบกราวด์ของสายล่อฟ้าและ ground (grd) มีคุณสมบัติที่เหมือนกันกับสาย Bare copper wire (BCW) แต่จะมีความแข็งแรงและรับแรงดันได้สูงกว่า



**รูปที่ 5.102** สาย FHC

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

2. All Aluminium Conductor: AAC ตาม มอก. 85 เป็นสายตัวนำอลูมิเนียมที่นำลวดแต่ละเส้นมาตีเกลียวรวมกัน นิยมใช้ในระบบส่งและระบบจำหน่ายทั้ง 12, 22, 24 และ 33 kV





**รูปที่ 5.103** สาย AAC

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

3. Aluminium Conductor Steel Reinforced: ACSR ตาม มอก. 85 เป็นสายตัวนำอลูมิเนียมที่มีแกนกลางเป็นเหล็กแล้วตีเกลียวทับด้วยลวดอลูมิเนียม นิยมใช้ในระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงและในระบบจำหน่ายแรงดันปานกลาง





**รูปที่ 5.104** สาย ACSR

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

### 5.7.2 สายไฟหุ้มฉนวน (Insulated Conductor)

1. Partially Insulated Cable: PIC หรือ APC สายไฟหุ้มฉนวนแรงดันปานกลางไม่เต็มพิกัด




**รูปที่ 5.105** สาย PIC

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

2. All Aluminium Space Aerial Cable (SAC or ASC) เป็นสายไฟสำหรับระบบสายอากาศแรงดันปานกลาง ที่ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเรียกว่าสายไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งจริงๆ แล้วในมาตรฐานสากลถือว่าเป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันปานกลาง (1 – 35 kV) ปกติสายไฟ Spaced Aerial Cable จะนิยมเรียกว่า สาย SAC เป็นสายไฟฟ้าแกนเดียว สาย SAC เป็นสายไฟชนิดที่มีตัวนำเป็นอะลูมิเนียมตีเกลี่ยวแบบอัดแน่น หุ้มด้วยฉนวนและเปลือกหุ้มด้วย XLPE สาย SAC จะต้องผลิตตามมาตรฐานของ มอก.2341 หรือมาตรฐานของการไฟฟ้าฯ ที่มีพิกัดแรงดันไฟฟ้า 25 kV สำหรับระบบไฟฟ้า 22 kV (กฟภ) หรือ 24 kV (กฟน) และ 35 kV สำหรับระบบไฟฟ้า 33 kV (กฟภ) ที่มีใช้ตั้งแต่จังหวัดระนองลงไปทางใต้ของประเทศไทย





**รูปที่ 5.106** สาย SAC

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

สาย SAC ถือเป็นสายไฟที่มีการหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัดหรือที่เรียกว่า Partial Insulated Cable: PIC ซึ่งเป็นสายไฟเดินลอยบนอากาศ เดินภายนอกอาคาร มีน้ำหนักเบาเพราะใช้ตัวนำอะลูมิเนียม มีความปลอดภัยเพียงพอสำหรับการใช้งานของทางการไฟฟ้าฯ สามารถใช้เป็นสายไฟเพื่อจ่ายไฟเข้าหม้อแปลงไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิของผู้ใช้ไฟ โดยระห่างสำหรับการติดตั้งเป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยและการไฟฟ้าฯ

3. Fully Insulated Cable: FIC หรือ Preassembly Aerial Cable: PAC หรือ Aluminum Fully Copper: AFC



**รูปที่ 5.107** สาย PAC

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

สายไฟ FIC หรือ PAC เป็นสายหุ้มฉนวนแบบเต็มพิกัด หรือที่เรียกว่า Fully Insulated Cable มีโครงสร้างคล้ายๆ สายไฟชนิด XLPE มีตัวนำเป็นอะลูมิเนียม เบา มีความแข็งแรงทนทาน การติดตั้งสามารถวางใกล้ชิดกันได้ ใช้เดินผ่านอาคาร

**Note: รายละเอียดข้อความ รูป และส่วนต่าง ๆ เป็นลิขสิทธิ์ของผู้เขียนเท่านั้น**

## 5.8 สายไฟฟ้า แรงดันต่ำ (LV Cable)

สายไฟฟ้าในประเทศไทยมีการใช้มาอย่างยาวนาน ล่าสุดมีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาของสถาบันมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.) ที่ได้ออกมาตรฐานอุตสาหกรรม จากอดีตมี มอก.11-2531 ในเรื่องของสายไฟฟ้าในปี 2531 และ**ปัจจุบันได้มี มอก.11-2553** ที่มีการประกาศใช้ตั้งแต่วันที่ 2 พฤศจิกายน 2555 และมีผลบังคับใช้นับจากนั้น 270 วัน คือวันที่ 31 กรกฎาคม 2556 ในปัจจุบันสายไฟฟ้าชนิดทองแดงหุ้มด้วยฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์ ถือเป็นมาตรฐานบังคับ มาตรฐานสายไฟฟ้าใหม่คือ มอก.11-2553 นั้นจะเปลี่ยนไปจากเดิมมากทีเดียว




| เนื้อหาสำคัญ |
|---|
| • มาตรฐานสายไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า |
| • ตัวนำประธานสายป้อน วงจรย่อย |
| • การต่อลงดิน |
| • ข้อกำหนดการเดินสายและวัสดุ |
| • บริภัณฑ์ไฟฟ้า |
| • บริเวณอันตราย |
| • สถานที่เฉพาะ |
| • อาคารชุด อาคารสูง หรืออาคารใหญ่พิเศษ |
| • บริภัณฑ์เฉพาะงาน |
| • วงจรไฟฟ้าช่วยชีวิต |
| • อาคารใต้ผิวดิน |
| • การติดตั้งไฟฟ้าชั่วคราว |

**รูปที่ 5.108** มาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย วสท. พ.ศ.2564 ฉบับล่าสุด
หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผู้ที่เกี่ยวข้องตั้งแต่ผู้ออกแบบ ผู้ติดตั้ง ผู้ควบคุมงาน เจ้าของงาน และทุกภาคส่วนอื่นๆ ก็จะต้องทำความเข้าใจ เรียนรู้และตามให้ทันเพื่อที่จะได้เลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสมปลอดภัยและถูกต้อง**ตามมาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ของ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ : วสท.** ที่นำสายไฟฟ้าตามมาตรฐานใหม่นี้ มาทำการแนะนำและการเลือกใช้งานในการติดตั้งและเดินสาย สำหรับ มอก.11-2553 มีรายละเอียดที่สำคัญๆ ดังนี้

1. มอก.11 เล่ม 1 วิธีการทดสอบตามรายการทดสอบที่ระบุ
2. มอก.11 เล่ม 2 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์ แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 450/750 โวลต์ เล่ม 2 วิธีทดสอบ
3. มอก.11 เล่ม 3 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์ แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 450/750 โวลต์ เล่ม 3 สายไฟฟ้าไม่มีเปลือกสำหรับงานติดตั้งยึดกับที่
4. มอก.11 เล่ม 4 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์ แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 450/750 โวลต์ เล่ม 4 สายไฟฟ้ามีเปลือกสำหรับงานติดตั้งยึดกับที่

5. มอก.11 เล่ม 5 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์ แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 450/750 โวลต์ เล่ม 5 สายอ่อน
6. มอก.11 เล่ม 101 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์ แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 450/750 โวลต์ เล่ม 101 สายไฟฟ้ามีเปลือกสำหรับงานทั่วไป
7. มอก.2427 ตัวนำไฟฟ้าของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวน

**5.8.1 แรงดันไฟฟ้าตามมาตรฐาน มอก.11-2553**

แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด หมายถึง แรงดันไฟฟ้าอ้างอิงซึ่งใช้สำหรับออกแบบสายไฟฟ้าและเพื่อกำหนดการทดสอบทางไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดจะแสดงในรูปของค่าแรงดันไฟฟ้า 2 ค่า $U_0/U$ ในหน่วยโวลต์ โดยที่ :

$U_0$ คือ แรงดันไฟฟ้าค่ารากของกำลังสองเฉลี่ย (r.m.s.) ระหว่างตัวนำไฟฟ้าหุ้มฉนวนกับระบบการลงดิน (earth)

U คือ แรงดันไฟฟ้าค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยระหว่างตัวนำไฟฟ้าหุ้มฉนวน 2 แกนใด ๆ ที่อยู่ในสายไฟฟ้าชนิดหลายแกน หรือที่อยู่ในระบบ สำหรับสายไฟฟ้าชนิดแกนเดี่ยว

ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันไฟฟ้าระบุของระบบต่องมีค่าไม่เกินแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดของสายไฟฟ้า

ในระบบไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันไฟฟ้าระบุของระบบต่องมีค่าไม่เกิน 1.5 เท่าของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดของสายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าตามมาตรฐานใหม่กำหนดแรงดันไฟฟ้าใช้งานค่า $U_0/U$ ไว้ไม่เกิน 450/750 โวลต์ แรงดัน $U_0$ (450 V) หมายถึงแรงดันไฟฟ้าวัดเทียบกับดินเป็นค่ารากของกำลังสองเฉลี่ย (r.m.s.) และ U (750 V) หมายถึงแรงดันไฟฟ้าระหว่างตัวนำ เป็นค่ารากของกำลังสองเฉลี่ย ดังนั้นหากมีการกล่าวถึงแรงดันไฟฟ้าที่มีทั้ง 1 เฟส และ 3 เฟส ก็ให้เขียนระบุ เป็น 230/400 V ซึ่งต่อไปนี้จะเป็นที่ทราบกันโดยสากล

**5.8.2 อุณหภูมิของสายไฟฟ้าตาม มอก.11-2553**

สายไฟฟ้าตามมาตรฐานเดิมกำหนดอุณหภูมิใช้งานไว้ที่ $70^{O}C$ เพียงค่าเดียว แต่สายที่ผลิตตามมาตรฐานใหม่นี้ ได้กำหนดอุณหภูมิใช้งานของสายไว้ที่สองค่าคือ $70^{O}C$ และ $90^{O}C$

**5.8.3 ชนิดของฉนวนที่ทำจาก Polyvinyl chloride (PVC) หรือ พอลิไวนิลคลอไรด์**

ฉนวนของสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน มอก.11-2553 เป็นพอลิไวนิลคลอไรด์ทั้งชนิดที่มีอุณหภูมิใช้งาน $70^{O}C$ และ $90^{O}C$ แต่ในรายละเอียดของฉนวนจะต่างกัน ฉนวนแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

- PVC/C สำหรับสายไฟฟ้าใช้งานติดตั้งถาวร
- PVC/D สำหรับสายไฟฟ้าอ่อน (flexible cable)
- PVC/E สำหรับสายทนความร้อนที่ใช้ภายในอาคาร

มอก.11-2553 ได้กำหนดสีของสายไฟฟ้า ที่มีความแตกต่างจากเดิมอย่างมาก โดยให้สายดินเป็นสีเขียว หรือ สีเขียวแถบเหลือง สายนิวทรัลเป็นสีฟ้า สำหรับสายเส้นไฟจะใช้สีน้ำตาล สีดำ และสีเทา ตามลำดับ การทำสีจะทำที่ฉนวนของสาย ดังนั้นสีของสายไฟฟ้าจะเป็นดังนี้

- สายแกนเดี่ยว ไม่กำหนดสี
- สาย 2 แกน สีฟ้า และน้ำตาล (N ,L)
- สาย 3 แกน สีเขียวแถบเหลือง ฟ้า น้ำตาล (PE, N, L1) หรือ น้ำตาลดำเทา (L1, L2, L3)
- สาย 4 แกน สีเขียวแถบเหลือง น้ำตาล ดำ เทา (PE, L1, L2, L3) หรือ ฟ้า น้ำตาล ดำ เทา(N, L1, L2, L3)
- สาย 5 แกน สีเขียวแถบเหลือง ฟ้า น้ำตาล ดำ เทา (PE, N, L1, L2, L3) (ฟ้า น้ำตาล ดำ เทา ดำ ไม่นิยมใช้)

**ตารางที่ 5.18** ตารางเปรียบเทียบสีของสายไฟฟ้าเก่า-ใหม่ ตาม มอก. 11-2531 และ มอก. 11-2553

| สัญลักษณ์ | มอก. 11-2531 | | มอก. 11-2553 | |
|---|---|---|---|---|
| N = Neutral นิวทรัล | เทาอ่อน | ขาว | ฟ้า | |
| L1 / Line1 / เฟส1 | ดำ | | น้ำตาล | |
| L2 / Line2 / เฟส2 | แดง | | ดำ | |
| L3 / Line3 / เฟส3 | น้ำเงิน | | เทา | |
| PE / Protective Earth | เขียวแถบเหลือง | เขียว | เขียว | เขียวแถบเหลือง |

หมายเหตุ จาก *บทที่ 2 สายไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรมเอส รัชดา, กรุงเทพฯ.

โดยพิจารณารายละเอียดดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงสีของสายไฟฟ้า ถือเป็นเรื่องที่สำคัญมาก หากมีความต้องการใช้งานร่วมกันระหว่างสายไฟฟ้าของเก่าและสายไฟฟ้าของใหม่ จำเป็นต้องมีการระบุ (Marking) ให้ชัดเจน เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน การระบุหรือทำสัญลักษณ์ PE, N, L1, L2, L3 จุดการต่อทั้งใหม่และเก่า

2. ในการใช้งานในส่วนสีของบัสบาร์ที่อยู่ในแผงสวิตช์ หรือ แผงวงจรย่อยต่างๆ ก็ให้ใช้การระบุสีตาม มอก.นี้
3. สำหรับในส่วนของ Pilot Lamp ที่ใช้แสดงหน้าแผงสวิตช์อาจใช้เป็นสีขาว (Clear) และระบุ L1, L2, L3 เพื่อความปลอดภัย ให้เป็นความเข้าใจที่ตรงกันในการปฏิบัติใช้งาน
4. การเปลี่ยนสีของสายไฟฟ้า เพื่อความปลอดภัยของบุคคลที่ตาบอดสี สามารถมองเห็นสีในแต่ละรหัสสี

### 5.8.4 การกำหนด รหัสชนิด ขนาดและแรงดันของสายไฟฟ้า

ในมอก.11-2553 มีการแบ่งชนิดของสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60227 เรียกว่ารหัสชนิด การกำหนดรหัสชนิดจะใช้หมายเลข 2 ตัว ตามหลังมาตรฐานอ้างอิง IEC หมายเลขแรก เป็นการระบุชั้นพื้นฐานของสายไฟฟ้า และหมายเลขที่สองเป็นการระบุแบบเฉพาะที่อยู่ในชั้นพื้นฐานของสายไฟฟ้านั้นๆ

สำหรับแรงดันใช้งานแม้ในมาตรฐานจะกำหนดพิกัดแรงดันของสายไฟฟ้าไว้ไม่เกิน 450/750 โวลต์ ก็ตาม แต่ในรายละเอียดของสายไฟฟ้าแต่ละชนิดอาจมีแรงดันใช้งานต่ำกว่าได้ รหัสชนิดของสายเป็นดังนี้

**หมายเลขหลักแรกเป็น 0** หมายถึง สายไฟฟ้าไม่มีเปลือก สำหรับงานติดตั้งถาวร แบ่งย่อยเป็น 8 ชนิดคือ

- 01 หมายถึง สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือก แบบตัวนำสายแข็ง (rigid) สำหรับงานทั่วไป อุณหภูมิของตัวนำ 70 $^{O}$C กำหนดรหัสชนิดเป็น 60227 IEC 01 มีขนาดตั้งแต่ 1.5 - 400 ตร.มม. แรงดันใช้งาน 450/750 โวลต์
- 02 หมายถึง สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือก แบบตัวนำสายอ่อน (flexible conductor) สำหรับงานทั่วไป อุณหภูมิของตัวนำ 70 $^{O}$C กำหนดรหัสชนิดเป็น 60227 IEC02 มีขนาดตั้งแต่ 1.5 – 240 ตร.มม. แรงดันใช้งาน 450/750 โวลต์
- 03 และ 04 (ดูได้จากตัวมาตรฐาน)
- 05 หมายถึง สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือกแบบตัวนำเส้นเดี่ยว สำหรับงานเดินสายไฟฟ้าภายใน อุณหภูมิของตัวนำ 70$^{O}$C กำหนดรหัสชนิดเป็น 60227 IEC 05 มีใช้งานเพียง 3 ขนาด คือ 0.5, 0.75 และ 1 ตร.มม. แรงดันใช้งาน 300/500 โวลต์
- 06 หมายถึง สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือกแบบตัวนำสายอ่อน สำหรับงานเดินสายไฟฟ้าภายใน อุณหภูมิของตัวนำ 70 $^{O}$C กำหนดรหัสชนิดเป็น 60227 IEC 06 มีใช้งานเพียง 3 ขนาด คือ 0.5, 0.75 และ 1 ตร.มม. แรงดันใช้งาน 300/500 โวลต์
- 07 หมายถึง สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือกแบบตัวนำเส้นเดี่ยว สำหรับงานเดินสายไฟฟ้าภายใน อุณหภูมิของตัวนำ 90 $^{O}$C กำหนดรหัสชนิดเป็น 60227 IEC 07 มีใช้งาน 5 ขนาดคือ 0.5, 0.75, 1.0, 1.5 และ 2.5 ตร.มม. แรงดันใช้งาน 300/500 โวลต์

- 08 หมายถึง สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือกแบบตัวนำสายอ่อน สำหรับงานเดินสายไฟฟ้าภายใน อุณหภูมิของตัวนำ 90 $^{O}$C กำหนดรหัสชนิดเป็น 60227 IEC 08 มีใช้งาน 5 ขนาดคือ 0.5, 0.75, 1.0, 1.5 และ 2.5 ตร.มม. แรงดันใช้งาน 300/500 โวลต์

**หมายเลขหลักแรกเป็น 1** หมายถึง สายไฟฟ้ามีเปลือกสำหรับงานติดตั้งถาวรมี 1 ชนิดคือ

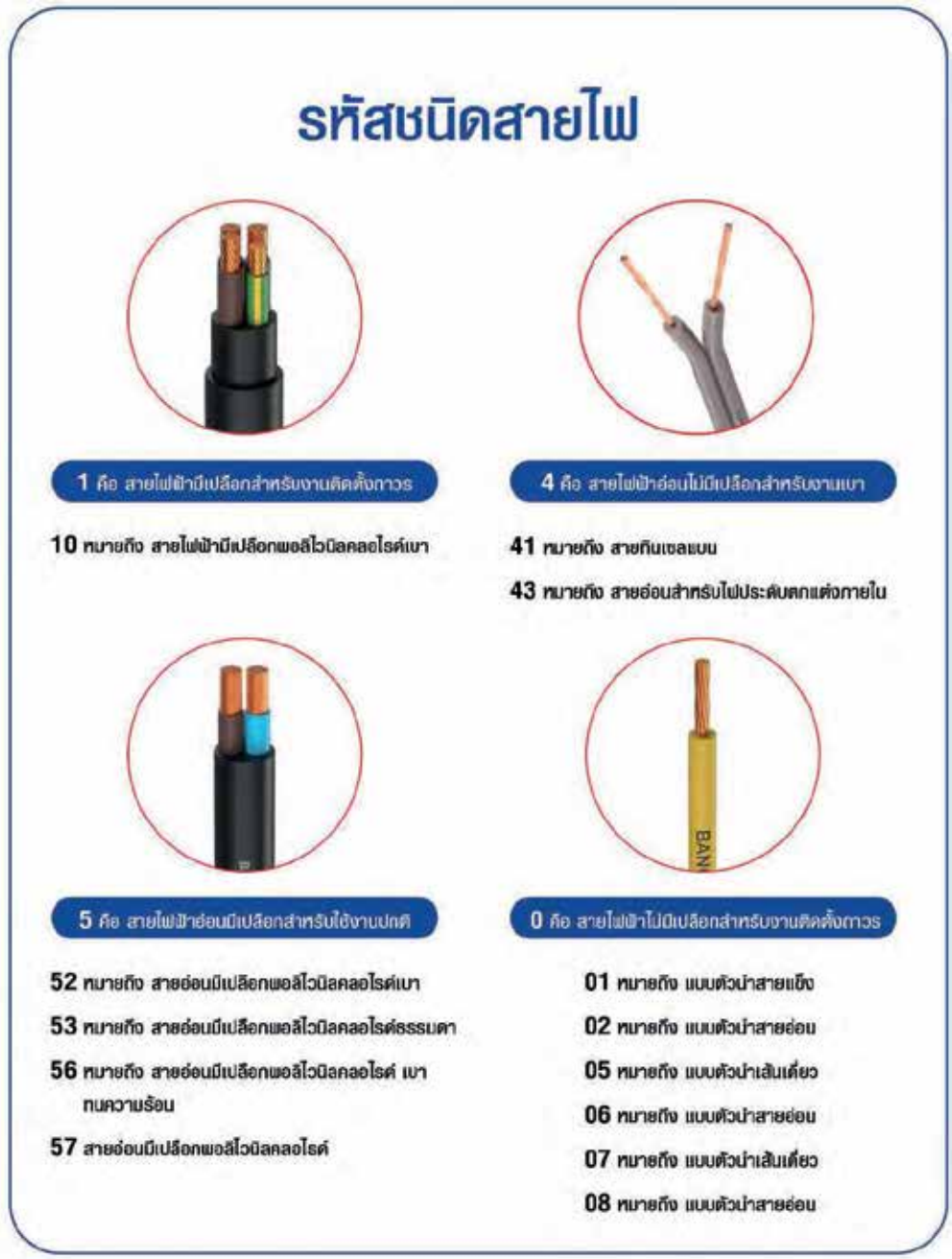
- 10 หมายถึง สายไฟฟ้ามีเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์เบา อุณหภูมิของตัวนำ 70 $^{O}$C กำหนดรหัสชนิดเป็น 60227 IEC 10 เป็นสายชนิดหลายแกนมีตั้งแต่ 2 ถึง 5 แกน มีขนาด 1.5-35 ตร.มม. แรงดันใช้งาน 300/500 โวลต์

**หมายเลขหลักแรกเป็น 4** หมายถึง สายไฟฟ้าอ่อนไม่มีเปลือกสำหรับงานเบา 2 ชนิดคือ

- 41 หมายถึง สายทินเซลแบน อุณหภูมิของตัวนำ 70 $^{O}$C กำหนดรหัสชนิดเป็น 60227 IEC 41 เป็นสายชนิด 2 แกน มีขนาดเดียวคือ 0.8 ตร.มม. แรงดันใช้งาน 300/300 โวลต์
- 43 หมายถึง สายอ่อนสำหรับไฟประดับตกแต่งภายใน อุณหภูมิของตัวนำ 70 $^{O}$C กำหนดรหัสชนิดเป็น 60227 IEC 43 เป็นสายชนิดแกนเดี่ยว มี 2 ขนาด คือ 0.5 และ 0.75 ตร.มม. แรงดันใช้งาน 300/300 โวลต์

**หมายเลขหลักแรกเป็น 5** หมายถึง สายไฟฟ้าอ่อนมีเปลือกสำหรับการใช้งานปกติ 4 ชนิดคือ

- 52 หมายถึง สายอ่อนมีเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์เบา อุณหภูมิของตัวนำ 70 $^{O}$C กำหนดรหัสชนิดเป็น 60227 IEC 52 เป็นสายชนิด 2 และ 3 แกน มี 2 ขนาด คือ 0.5 และ 0.75 ตร.มม. แรงดันใช้งาน 300/300 โวลต์
- 53 หมายถึง สายอ่อนมีเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์ธรรมดา อุณหภูมิของตัวนำ 70 $^{O}$C กำหนดรหัสชนิดเป็น 60227 IEC 53 เป็นสายชนิดหลายแกน มีตั้งแต่ 2 ถึง 5 แกน มี 4 ขนาดคือ 0.75, 1.0, 1.5 และ 2.5 ตร.มม. แรงดันใช้งาน 300/500 โวลต์
- 56 หมายถึง สายอ่อนมีเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์เบา ทนความร้อน อุณหภูมิของตัวนำ 90$^{O}$C กำหนดรหัสชนิดเป็น 60227 IEC 56 เป็นสายชนิด 2 และ 3 แกน มี 2 ขนาด คือ 0.5 และ 0.75 ตร.มม. แรงดันใช้งาน 300/300 โวลต์
- 57 หมายถึง สายอ่อนมีเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์ธรรมดา ทนความร้อน อุณหภูมิของตัวนำ 90 $^{O}$C กำหนดรหัสชนิดเป็น 60227 IEC 57 เป็นสายชนิดหลายแกน มีตั้งแต่ 2 ถึง 5 แกน มี 4 ขนาดคือ 0.75, 1.0, 1.5 และ 2.5 ตร.มม. แรงดันใช้งาน 300/500 โวลต์




**รูปที่ 5.109** รหัสของสายไฟฟ้า

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

### 5.9 สายทนไฟแรงดันต่ำ (LV Fire Resistant Cable)

สายทนไฟแรงดันต่ำ จะมีคุณสมบัติดังนี้

1. คุณสมบัติความต้านทานการลุกลามของเปลวไฟ (Flame Propagation or Flame Retardant) เมื่อมีเปลวไฟ สายทนไฟจะหน่วงเหนี่ยวการลุกไหม้ หรือหากลุกไหม้ก็จะไม่ลุกลามไปตามสายไฟ ดังนั้นบริเวณที่สายทนไฟถูกไฟไหม้ ไฟที่ไหม้จะไม่ขยายเป็นบริเวณกว้าง และเมื่อเอาแหล่งไฟที่ไหม้ออก ไฟที่ไหม้ก็จะดับเอง (self-extinguish) ที่กำหนดให้ใช้ตามมาตรฐาน มอก.2756 เล่ม 1, 3 หรือ IEC 60332-1 และ IEC 60332-3



**รูปที่ 5.110** การทดสอบคุณสมบัติความต้านทานการลุกลามของเปลวไฟของสายไฟตาม มอก.2756 เล่ม 1 หรือ IEC 60332-1

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

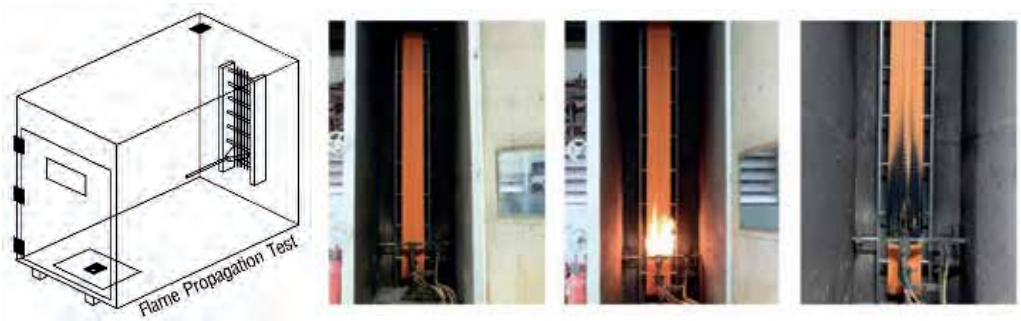
**ตารางที่ 5.19** ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบตามขนาดของสายไฟตาม มอก.2756 เล่ม 1

| Overall diameter of test piece (D) ; mm | Time for flame application ; s |
|---|---|
| $D \leq 25$ | 60 |
| $25 < D \leq 50$ | 120 |
| $50 < D \leq 75$ | 240 |
| $D > 75$ | 480 |

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

การทดสอบ Flame Propagation ตาม มอก.2756 เล่ม 1 นำสายทนไฟที่ทดสอบยาว 550 mm ยึดกับที่ยึดสายในแนวตั้งและจุดหัวเผา โดยให้หัวเผาเอียงทำมุม 45 องศา แล้วทำการเผาสายไฟในเวลาที่กำหนด ตามตาราง การประเมินผล โดยเผาแล้ววัดจากปลายสายด้านบนลงมาถึงระยะที่เปลวไฟลามมาถึง ต้องได้ >50 mm

ตาม มอก. 2756 เล่ม 3 การทดสอบในห้องเผาที่มีขนาดและระบบระบายอากาศตามมาตรฐาน ตัวอย่างที่ทดสอบต้องนำไปติดตั้งในรางและทำการเผาในเวลาตาม Category การประเมินผล โดยสายทนไฟต้องมีระยะถูกเผาไหม้สูงไม่เกิน 2.5 เมตร เมื่อวัดจากหัวเผา




**รูปที่ 5.111** การทดสอบคุณสมบัติความต้านทานการลุกลามของเปลวไฟของสายไฟตาม มอก.2756 เล่ม 3 หรือ IEC 60332-3

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*



**รูปที่ 5.112** การวัดระยะการลามของเปลวไฟหลังจากทำการทดสอบ

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

วิธีการพิจารณาสภาพผิวสายที่ถูกเผาแล้วประเมินว่าสูญเสียสภาพ คือ การพิจารณาว่ามีสภาพเป็นเถ้าถ่านของเปลือก โดยการใช้ใบมีดกดลงบนผิวเปลือกสายไฟที่ถูกเผา แล้วเห็นว่ามีการเปลี่ยนผิวเปลือกจากสภาพที่มีความเหนียวยืดหยุ่น เป็นสภาพเปราะ แตกละเอียด ให้ดูว่าจุดดังกล่าว ถูกทำให้เป็นสภาพเปราะแตกละเอียดถึงตำแหน่งใด ให้นับเป็น Onset of Char

ทั้งนี้ในการติดตั้งใช้งานจริงถ้าเกิดเพลิงไหม้ที่สายไฟ ต้องดำเนินการตรวจสอบทดสอบให้มั่นใจว่าสามารถใช้งานต่อได้จริง หากผลทดสอบไม่ผ่านหรือไม่มั่นใจต้องเปลี่ยนสายไฟใหม่

2. คุณสมบัติการปล่อยก๊าซกรด (Acids Gas Emission) สายไฟเมื่อถูกไฟไหม้ส่วนประกอบบางส่วนจะทำให้เกิดก๊าซขึ้น และก๊าซบางอย่างจะเกิดกรดที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน ดังนั้นสายไฟต้องไม่มีส่วนประกอบที่ทำให้เกิดสารฮาโลเจน (zero halogen) (มีฮาโลเจนในปริมาณจำกัด) ตามมาตรฐาน มอก.2757 เล่ม 1 และ เล่ม 2 หรือ IEC 60754-1 และ IEC 60754-2



**รูปที่ 5.113** การทดสอบคุณสมบัติการปล่อยก๊าซกรดตาม IEC 60754-1

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*



**รูปที่ 5.114** การทดสอบคุณสมบัติการปล่อยก๊าซกรดตาม IEC 60754-2

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

ทดสอบโดยเตรียมชิ้นทดสอบประมาณ 1000 mg จากสายตัวอย่างแล้วนำมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 935°C และไม่เกิน 965°C เป็นเวลา 30 นาที ประเมินผลด้วยค่า pH ที่ได้ต้องไม่น้อยกว่า 4.3 และค่า Conductivity ต้องไม่เกิน 10 µS/mm (microSiemens per mm)

3. คุณสมบัติการปล่อยควัน (Smoke Emission) สายไฟเมื่อถูกไฟไหม้ ทำให้เกิดควัน ควันเจะทำให้การมองเห็นลดลง และทำให้เกิดสำลักควันเสียชีวิต สายไฟควันน้อยกำหนดตามมาตรฐาน มอก.2758 เล่ม 2 (การวัดความหนาแน่นควันของสายไฟฟ้าที่ไหม้ไฟภายใต้ภาวะที่ระบุ) หรือ IEC61034-2 (Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions)

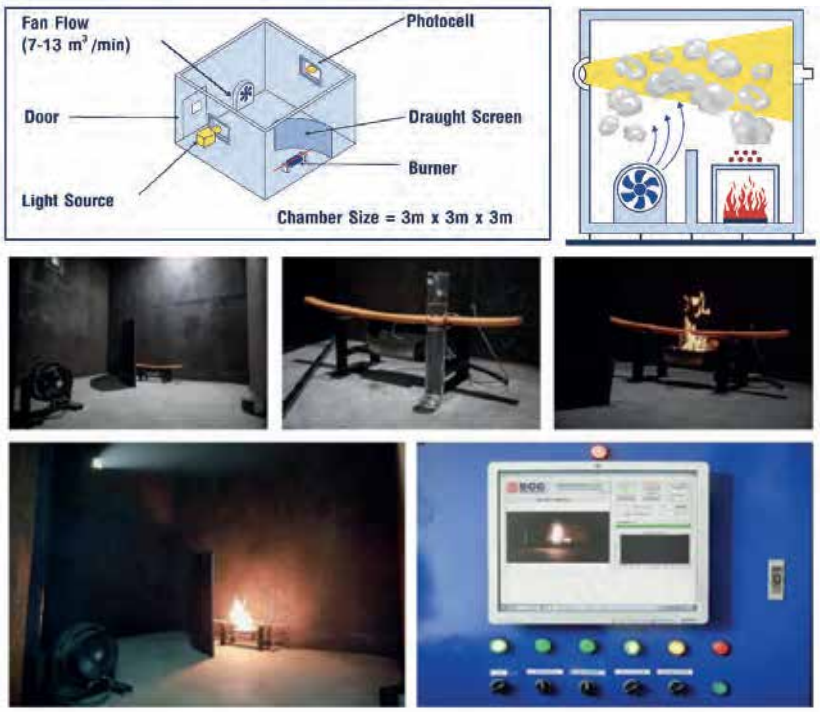
3.1 ทดสอบในห้องทึบรูปทรงสี่เหลี่ยมมีขนาด 3 - ลูกบาศก์เมตร

3.2 ทำการเผาสายตัวอย่างความยาว 1 เมตร วางในแนวนอนบนถาดแอลกอฮอล์

3.3 จากนั้นจึงเปิดระบบหมุนเวียนอากาศแล้วจุดไฟ การทดสอบจะถือว่าเสร็จสิ้น หลังจากเปลวไปดับแล้ว และไม่มีการลดของปริมาณแสงที่ส่องผ่าน 5 นาที เวลาในการทดสอบทั้งสิ้นไม่ควรเกิน 40 นาที

3.4 เสร็จแล้ว บันทึกค่าต่ำสุดของค่าความเข้มแสงที่ผ่าน

3.5 การประเมินผลจากความเข้มของแสงที่จดบันทึกไว้จากเครื่องรับแสง ต้องมีความเข้มแสงหลังการทดสอบ ไม่น้อยกว่า 60% ก่อนการทดสอบ




**รูปที่ 5.115** การทดสอบคุณสมบัติการปล่อยควัน

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

4. คุณสมบัติต้านทานการติดไฟหรือทนไฟ (Fire resistance)

เป็นสายไฟที่ทนต่อการติดไฟ ไม่ก่อให้เกิดให้เกิดการลุกลามของไฟในขณะที่ไฟลุกไหม้ สายไฟยังสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างปกติ จะถูกนำไปใช้งานกับวงจรที่สำคัญ เช่น วงจรช่วยชีวิต ที่เป็นข้อกำหนดสำหรับอาคารชุด อาคารสูง โรงแรม หรือ โรงมหรสพ

สายทนไฟนี้จะต้องมีคุณสมบัติได้ตามมาตรฐาน มอก.3197 (ตาม BS 6387) หรือ มอก.2755 (ตาม IEC 60331) โดยมีคุณสมบัติทนต่อการลุกไหม้ทั้งหมด 3 สภาวะ

1. การทดสอบการทนไฟเมื่อทำการจุดเปลวไฟเผาพร้อมจ่ายแรงดันไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง
   1.1 ตามมาตรฐาน มอก.2755 (หรือ IEC 60331) ทดสอบที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที แล้วดับไฟแต่ยังคงจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่อเนื่องไปอีก 15 นาที
   1.2 ตามมาตรฐาน มอก.3197 (หรือ BS 6387) จะทดสอบอยู่ 3 สภาวะ
      1.2.1 สภาวะที่เกิดเพลิงไหม้อย่างเดียว
      - Category A เผาไหม้ 650 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
      - Category B เผาไหม้ 750 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
      - Category C เผาไหม้ 950 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
      - Category S เผาไหม้ 950 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที

      1.2.2 สภาวะที่เกิดเพลิงไหม้พร้อมการฉีดน้ำ
      - Category W เผาไหม้ 650 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที (เผาอย่างเดียว) แล้วเผาพร้อมฉีดน้ำอีก 15 นาที

      1.2.3 สภาวะที่เกิดเพลิงไหม้พร้อมการกระแทก
      - Category X เผาไหม้ 650 องศาเซลเซียสพร้อมการกระแทกเป็นเวลา 15 นาที
      - Category Y เผาไหม้ 750 องศาเซลเซียสพร้อมการกระแทกเป็นเวลา 15 นาที
      - Category Z เผาไหม้ 950 องศาเซลเซียสพร้อมการกระแทกเป็นเวลา 15 นาที

การทดสอบดังกล่าวจะต้องไม่เกิดการลัดวงจรตลอดช่วงเวลาของการทดสอบจึงจะถือว่าผ่านคุณสมบัติการทนไฟ



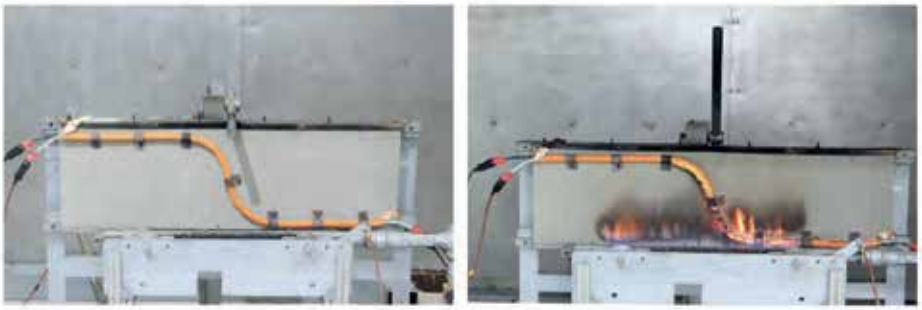
**รูปที่ 5.116** การทดสอบการเผาไหม้อย่างเดียว

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*



**รูปที่ 5.117** การทดสอบการเผาไหม้พร้อมฉีดน้ำ

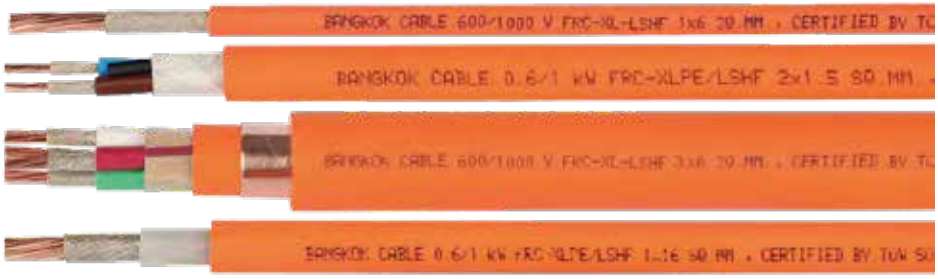
หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*



**รูปที่ 5.118** การทดสอบการเผาไหม้พร้อมมีแรงกระแทก

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

คุณสมบัติพิเศษ ในส่วนของสายทนไฟและควันน้อย




**รูปที่ 5.119** สายทนไฟ BCC

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

**การใช้งานสายทนไฟ**

1. สายทนไฟ ใช้สำหรับวงจรย่อยหรือวงจรสายป้อนที่สำคัญ ที่ต้องการให้วงจรนั้นๆ สามารถทำงานได้ขณะสายไฟขณะนั้นถูกไฟไหม้ เช่น วงจรช่วยชีวิตต่างๆ (วงจรแสงสว่างฉุกเฉิน วงจรลิฟท์ เป็นต้น) โดยจะมีใช้มากในส่วนอาคารชุด อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ อาคารสาธารณะ โรงมหรสพ สถานบริการ โรงแรม บริเวณหรืออาคารที่สำคัญๆ เป็นต้น
2. ช่องเดินสายไฟ หรือท่อร้อยสายไฟ ต้องมีคุณสมบัติที่สามารถใช้งานได้เหมาะสมกับสายทนไฟ เพื่อให้สายทนไฟหรือวงจรที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ขณะเกิดเพลิงไหม้ ดังนั้นช่องเดินสายที่ใช้งานนั้น เวลาต่อสายทนไฟนั้นต้องมีความแน่นหนามิดชิด ไม่ให้สังกะสีที่อาบหรือหุ้มช่องเดินสายหรือท่อร้อยสายไฟ ผสมกับส่วนที่เป็นทองแดง เพราะจะทำให้เกิดการผสมระหว่างสังกะสี+ทองแดง = ทองเหลือง ซึ่งมีผลอาจทำให้วงจรนั้นๆ เกิดค่าอิมพีแดนซ์ที่สูงขึ้นได้
3. การต่อสายทนไฟ ต้องมีอุปกรณ์ประกอบเฉพาะ เพื่อให้สามารถจ่ายไฟได้ขณะเกิดเพลิงไหม้ที่มีระยะเวลาไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง หรือตามมาตรฐานที่ทำการทดสอบ
4. สายทนไฟ ประเภท MI ที่สามารถเดินลอยได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องมีช่องเดินสาย หรือท่อร้อยสายไฟ โดยการติดตั้งสายทนไฟ ประเภท MI ต้องมีการติดตั้งที่ไม่มีผลกระทบกับความร้อนของส่วนต่างๆ ที่อาจเกี่ยวข้องได้

## 5.10 การติดตั้งสายไฟ ระบบช่องเดินสาย และอุปกรณ์ประกอบ

การเดินสายไฟฟ้า เป็นส่วนสำคัญสำหรับการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังโหลดหรือเครื่องใช้ไฟฟ้า สายไฟทำหน้าที่ส่งกระจายส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าไปให้เครื่องใช้ไฟฟ้านั้น การส่งจ่ายไฟฟ้า ปริมาณกระแสไฟฟ้า จะมีผลเกี่ยวเนื่องกับวิธีการเดินสายแบบต่างๆ ขนาดของสายไฟ ช่องเดินสาย ท่อร้อยสายไฟ กล่องต่อสายไฟ รวมถึงอุปกรณ์ประกอบที่เกี่ยวข้อง (ปัจจัยอื่นๆ มิได้กล่าวถึง)

### 5.10.1 ข้อกำหนดการเดินสายสำหรับไฟฟ้าแรงดันต่ำ

**5.10.1.1** การเดินสายไฟของระบบไฟฟ้าที่มีความแตกต่างกัน ในส่วนของไฟฟ้ากระแสสลับกับไฟฟ้ากระแสตรงให้อยู่ภายในช่องเดินสายไฟหรือเครื่องห่อหุ้มเดียวกันได้ ทั้งนี้ควรมีการแยกระบบไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ความปลอดภัยและการบริหารจัดการบำรุงรักษาในอนาคต

**5.10.1.2** ห้ามติดตั้งสายไฟของระบบแรงดันต่ำกับแรงดันปานกลางหรือกับแรงดันสูงในท่อร้อยสาย บ่อพักสาย หรือเครื่องห่อหุ้มเดียวกัน ยกเว้น ในแผงสวิตช์หรือเครื่องห่อหุ้มอื่นที่ไม่ได้ใช้ เพื่อการเดินสาย

**5.10.1.3** เพื่อป้องกันความเสียหายทางกายภาพของสายไฟ (ต้องมีการตรวจสอบทดสอบร่วมด้วย) โดย

**5.10.1.3.1** การเดินสายผ่านโครงสร้างที่เป็นไม้หรือฉนวนที่ต้องเจาะรูผ่านศูนย์กลางโครงสร้างโดยไม่กระทบกับความแข็งแรงของโครงสร้างหรือการป้องกันไม่ให้ตะปูหรือหมุดเกลียวถูกสายไฟให้เสียหายได้

**5.10.1.3.2** การเดินสายที่มีเปลือกนอกไม่เป็นโลหะ ผ่านโครงสร้างโลหะที่เจาะเป็นช่องหรือรู ต้องมีบุชชิงยาง (bushing grommet) ยึดติดกับช่องหรือรู เพื่อป้องกันฉนวนของสายไฟชำรุด ทั้งนี้การเดินสายไฟในช่องโลหะ ต้องพิจารณาให้อยู่ในช่องเดียวกันทั้งวงจร เพื่อป้องกันเรื่องสนามแม่เหล็กไหลวน

**5.10.1.3.3** การเดินสายผ่านโครงสร้างอื่น ต้องมีปลอกที่เป็นฉนวนไฟฟ้าสวมเพื่อป้องกันฉนวนของสายไฟไม่ให้ถูกบาด ถลอก หรือเสียหาย

**5.10.1.4** การติดตั้งสายไฟใต้ดินต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

**5.10.1.4.1** ความลึกในการติดตั้งสายไฟใต้ดิน สายไฟที่มีการฝังดินโดยตรงหรือสายไฟที่เดินสายภายในท่อร้อยสายหรือเครื่องห่อหุ้มสายไฟประเภทอื่นที่ได้การรับรองแล้วว่าความลึกในการติดตั้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานฯ ที่ตาราง (ตารางที่ 5-1 มาตรฐานการติดตั้งฯ)

**5.10.1.4.2** สายไฟใต้ดินติดตั้งใต้อาคาร ต้องติดตั้งอยู่ในท่อร้อยสายและท่อร้อยสายตลอดความยาวเลยผนังด้านนอกของอาคารออกไป เพื่อการป้องกันสายไฟตลอดความยาว ตามรูปด้านล่าง สังเกตที่ท่อร้อยสายไฟ(สีแดง) จะมีการติดตั้งท่อร้อยสายไฟยาวเลยผนังของ man hole (MH1 และ MH2) รวมถึงยาวเลยเหนือพื้นดินของ unit substation



**รูปที่ 5.120** การติดตั้งสายไฟฟ้าใต้ดิน

หมายเหตุ. จาก *ระบบเคเบิ้ลใต้ดิน,* การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.), 2548.

**5.10.1.4.3** สายเคเบิลที่ฝังดินโดยตรง ส่วนที่โผล่ขึ้นจากดินต้องมีการป้องกันด้วยเครื่องห่อหุ้ม หรือท่อร้อยสายสูงจากระดับพื้นดินไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร และเครื่องห่อหุ้มหรือท่อร้อยสายต้องฝังจมลงในดินตามตารางที่ 5-1

**5.10.1.4.4** การต่อสายหรือต่อแยกให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแต่ละวิธีการเดินสาย สำหรับสายเคเบิลใต้ดินที่อยู่ในราง (trench) อนุญาตให้มีการต่อสายหรือต่อแยกสายในรางได้ แต่การต่อและต่อแยกต้องทำด้วยวิธีและใช้วัสดุที่ได้รับการรับรองแล้ว

**5.10.1.4.5** ห้ามใช้วัสดุที่มีคม หรือเป็นสิ่งที่ทำให้ผุกร่อน หรือมีขนาดใหญ่กลบสายหรือท่อร้อยสาย

**5.10.1.4.6** ท่อร้อยสายซึ่งความชื้นสามารถเข้าไปยังส่วนที่มีไฟฟ้าได้ ต้องอุดที่ปลายใดปลายหนึ่ง หรือทั้งสองปลายของท่อร้อยสาย ตามความเหมาะสม (การอุดสายไฟใต้ดิน นิยมใช้โฟมฉีด เพื่ออุด หรือเพื่อกันน้ำเข้า ทั้งนี้ท่อร้อยสายไฟจะมีความชื้นโดยปกติ ดังนั้นควรอุดหรือระบายความชื้นอย่างเหมาะสม เพื่อไม่ให้ความชื้นเข้าสู่ unit substation หรือ บริภัณฑ์ไฟฟ้า)

**5.10.1.4.7** ปลายท่อซึ่งฝังอยู่ในดิน ณ จุดที่สายเคเบิลออกจากท่อ ต้องมีบุชชิงชนิดอุด (conduit sealing bushing) อนุญาตให้ใช้วัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติในทางป้องกันเทียบเท่ากับบุชชิงชนิดอุดแทนได้ ควรมีการขดสายเผื่อในช่อง Man hole ในกรณีมีการทรุดตัวของดินหรือการทรุดตัวของโครงสร้างหรือเผื่อการต่อสายไฟในอนาคต

**5.10.1.4.8** ในกรณีที่มีการเดินสายเคเบิลใต้ดินเข้าไปในอาคาร ต้องมีการป้องกันฉนวนสายชำรุดเนื่องจากดินทรุด

**5.10.1.4.9** ในการติดตั้งบ่อพักสายหรือท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน ให้พิจารณาระยะห่างระหว่างบ่อพักสายหรือท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินกับสาธารณูปโภคต่าง ๆ ด้วย (ดูภาคผนวก ค.)

**ตารางที่ 5.20** ความลึกในการติดตั้งใต้ดิน สำหรับระบบแรงต่ำ (ตารางที่ 5-1 : วสท.)

| วิธีที่ | วิธีการเดินสาย | ความลึกน้อยสุด (เมตร) | ความลึกน้อยสุด[2] (เมตร) | ความลึกน้อยสุด[3] (เมตร) |
|---|---|---|---|---|
| **1** | สายเคเบิลฝังดินโดยตรง | 0.60 | 0.45 | 0.45 |
| **2** | ท่อโลหะหนาและหนาปานกลาง | 0.15 | 0.15 | 0.10 |
| **3** | ท่ออโลหะซึ่งได้รับการรับรองให้ฝังดินโดยตรงได้โดยไม่ต้องมีคอนกรีตหุ้ม (เช่น ท่อเอชดีพีอี อาร์ทีอาร์ซี และ ท่อพีวีซี) | 0.45 | 0.30 | 0.10 |
| **4** | ท่อร้อยสายอื่น ๆ ซึ่งได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าฯ | 0.45 | 0.30 | 0.10 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โดยตารางที่ 5.20 มีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

1) *ท่อร้อยสายที่ได้รับการรับรองให้ฝังดินได้โดยมีคอนกรีตหุ้มในวิธีที่ 2, 3 และ 4 ต้องหุ้มด้วยคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 50 มม.*
2) *ใต้แผ่นคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 50 มม.*
3) *ใต้พื้นคอนกรีตซึ่งหนาไม่น้อยกว่า 100 มม. และยื่นเลยออกไปจากแนวติดตั้งไม่น้อยกว่า 150 มม.*
4) *สำหรับทุกวิธี หากอยู่ในบริเวณที่มีรถยนต์วิ่งผ่าน ความลึกต้องไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร*
5) *การติดตั้งใต้อาคารไม่บังคับเรื่องความลึก*
6) *ความลึกหมายถึงระยะต่ำสุดวัดจากส่วนบนของสายหรือท่อถึงผิวบนสุดของส่วนปกคลุม*

**5.10.1.5** การป้องกันการผุกร่อนของระบบการเดินสายไฟใต้ดิน โลหะต่าง ๆ หรือวัสดุหลายอย่างที่ใช้ในระบบการเดินสายใต้ดิน ให้ระลึกเสมอว่ามีโอกาสได้รับการผุกร่อน ดังนั้นควรเลือกอุปกรณ์ประกอบการเดินสายไฟใต้ดินที่มีคุณภาพและเหมาะสมกับการใช้งาน

**5.10.1.6** การติดตั้งวัสดุและการจับยึด สายไฟใต้ดินที่อยู่ภายในท่อร้อยสาย รางเดินสาย กล่อง แผงสวิตช์และอุปกรณ์ประกอบ ต้องมีการจับยึดที่มั่นคง มีการจับยึดเป็นช่วง ๆตามตารางที่ 5-2 มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้า โดยจุดที่มีการต่อสายไฟใต้ดินในเครื่องห่อหุ้มสายไฟที่มีฝาเปิดออกเพื่อการเข้าถึงในการใช้งานและการบำรุงรักษา

**5.10.1.7** การต่อสาย หรือ จุดเปลี่ยนการเดินสาย จากการเดินสายโดยท่อร้อยสายเป็นวิธีเดินสายในที่โล่งหรือเดินสายซ่อน ต้องใช้กล่องต่อสายหรืออุปกรณ์ประกอบการเดินท่อ เช่น ตัวต่อตัวนำประธาน (service-entrance connector) ตรงปลายท่อที่มีรูเป็นบุชชิงแยกกัน 1 รูป สำหรับ 1 สาย อนุญาตให้ใช้บุชชิ่งแทนการใช้กล่อง หรือเครื่องประกอบที่ปลายท่อ (terminal fitting) เมื่อปลายของท่อร้อยสายไฟต้องเดินล้ำเข้าไปในแผงสวิตช์แบบเปิด หรือแผงควบคุมแบบเปิดได้








**รูปที่ 5.121** การเดินสายในช่องเดินสายผ่านท่อ ในระบบสายใต้ดิน

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.








**รูปที่ 5.122** การต่อสายไฟสำหรับสายไฟฟ้าใต้ดินชนิดแรงต่ำ

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.

**5.10.1.8** การป้องกันไม่ให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในเครื่องห่อหุ้มหรือช่องเดินสายที่เป็นโลหะ ต้องป้องกันไม่ให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในเครื่องห่อหุ้มหรือช่องเดินสายที่เป็นโลหะ

**5.10.2 ช่องเดินสาย ท่อร้อยสาย อุปกรณ์ประกอบและกล่องต่อสายไฟแรงดันต่ำ**

**5.10.2.1** การเดินสายไฟแบบลอย (open wiring) บนฉนวน แบบเปิดโล่งโดยใช้ตุ้มหรือลูกถ้วย เพื่อการจัดยึดสายไฟแกนเดียวและต้องไม่ถูกปิดบังด้วยโครงสร้างของอาคาร โดยการเดินสายบนลูกถ้วย จะสะดวกในการติดตั้ง มีราคาถูก ใช้เวลาในการติดตั้งค่อนข้างน้อย ซึ่งก็มีข้อเสียในเรื่องทางกายภาพที่อาจทำให้ระบบไฟฟ้าเสียหายได้ง่ายกว่า เพราะมีโอกาสที่จะสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมที่อาจทำลายสายไฟ หรืออาจลดความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าในการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้





**รูปที่ 5.123** การเดินสายไฟแบบลอย

**5.10.2.2** ช่องเดินสาย (Raceway) หมายถึง ช่องปิด (หรือช่องการเดินสายไฟแบบปิด อาจเปิดบางส่วน) ที่ออกแบบเฉพาะสำหรับการเดินสายไฟฟ้า หรือตัวนำ หรือทำหน้าที่อื่นตามที่มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย โดยช่องเดินสายอาจเป็นโลหะหรือวัสดุฉนวน รวมทั้งท่อโลหะหนา ท่ออโลหะหนา ท่อโลหะหนาปานกลาง ท่อโลหะอ่อนกันของเหลว ท่อโลหะอ่อนบาง ท่อโลหะอ่อนหนา ท่ออโลหะอ่อน ท่อโลหะบาง ช่องเดินสายใต้พื้น ช่องเดินสายใต้พื้นคอนกรีตโปร่ง ช่องเดินสายใต้พื้นโลหะโปร่ง ช่องเดินสายบนพื้น รางเดินสาย เคเบิลบัส และทางเดินบัส

**5.10.2.2.1** ท่อเดินสายไฟ การเดินสายไฟภายในท่อเดินสายไฟฟ้าทั่วไปจะมี 2 ประเภท ดังนี้

**5.10.2.2.1.1** ท่อโลหะ (metal conduits) มีใช้งานท่อโลหะแบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

**5.10.2.2.1.1.1** ท่อโลหะหนา (Rigid Steel Conduit: RSC) เป็นท่อโลหะที่มีความแข็งแรงมาก สะดวกในการทำเกลียว ผลิตตามมาตรฐาน มอก.770 ทำจากเหล็กกล้า ผ่านขบวนการชุบด้วยสังกะสี (Galvanized) ทั้งผิวด้านในและผิวด้านนอกของท่อ เพื่อช่วยป้องกันสนิม ปลายท่อมีทำเกลียวทั้งหัวและท้ายท่อ มีการลบคม (Ream) มีตัวครอบเพื่อป้องกันเกลียวนอกของท่อ และมีข้อต่อ (Coupling) สวมติดมาที่ปลายท่ออีกด้านหนึ่งจากผู้ผลิต ท่อทุกท่อนต้องมีตัวอักษรกำกับด้วยสีดำ เป็นการระบุขนาด ชนิดของท่อ และเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียนเห็นได้ชัดเจน ไม่จางหรือลบออกได้ง่าย ขนาดมาตรฐานเส้นผ่าศูนย์กลาง 15mm. (1/2 Inch) - 150mm. (6 Inch) และความยาวท่อนละ 3 m.




**รูปที่ 5.124** ท่อโลหะหนา RSC

หมายเหตุ. จาก *Brochure and technical data of conduit* [แผ่นพับ], โดย บริษัท แอร์โรว์ ซินดิเคท จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.; จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท ยูไอ สตีลไพพ์ จำกัด, ม.ป.ป.; จาก *Brochure and technical data of conduit and fitting* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อธิพัฒน์-ธนวัต จำกัด, ม.ป.ป.

**5.10.2.2.1.1.2** ท่อโลหะหนาปานกลาง (Intermediate Metal Conduit: IMC) ผลิตตามมาตรฐาน มอก.770 (ประเภทที่2) สามารถใช้งานแทนท่อ RSC ได้บางประเภทงาน สามารถทำเกลี่ยวได้ มีราคาถูกกว่าท่อ RSC ท่อทุกท่อนจะต้องมีตัวอักษรกำกับสีส้ม เป็นการระบุขนาด ชนิดของท่อและเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียนเห็นได้ชัดเจน ไม่จางหรือลบออกได้ง่าย ขนาดมาตรฐานเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 mm. (1/2 Inch) – 100 mm. (4 Inch) ความยาวท่อนละ 3m.




**รูปที่ 5.125** ท่อโลหะหนาปานกลาง IMC

หมายเหตุ. จาก *Brochure and technical data of conduit* [แผ่นพับ], โดย บริษัท แอร์โรว์ ซินดิเคท จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.; จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท ยูไอ สตีลไพพ์ จำกัด, ม.ป.ป.; จาก *Brochure and technical data of conduit and fitting* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อธิพัฒน์-ธนวัต จำกัด, ม.ป.ป.

**5.10.2.2.1.1.3** ท่อโลหะบาง (Electrical Metallic Tubing: EMT) มีความแข็งแรงน้อย **ไม่สามารถทำเกลียวได้** โดยราคาถูกกว่าท่อ IMC ผลิตตามมาตรฐานมอก.770 (ประเภทที่1) ทำจากเหล็กกล้าชุบด้วยสังกะสีทั้งผิวในและผิวนอกของท่อ เพื่อป้องกันสนิม ลบคมที่ผิวในของปลายท่อและไม่มีเกลียวที่ปลายท่อทั้งสองด้าน ท่อทุกท่อนจะต้องมีตัวอักษรกำกับสีเขียว เป็นการระบุขนาด ชนิดของท่อ และเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน ชัดเจน ไม่จางหรือลบออกได้ง่าย ขนาดมาตรฐานเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 mm.(1/2 Inch) -50 mm.(2 Inch) ความยาวท่อนละ 3 m.




**รูปที่ 5.126** ท่อโลหะบาง EMT

หมายเหตุ. จาก *Brochure and technical data of conduit* [แผ่นพับ], โดย บริษัท แอร์โรว์ ซินดิเคท จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป..; จาก *Brochure and technical data of conduit and fitting* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อธิพัฒน์-ธนวัต จำกัด, ม.ป.ป., ม.ป.พ.

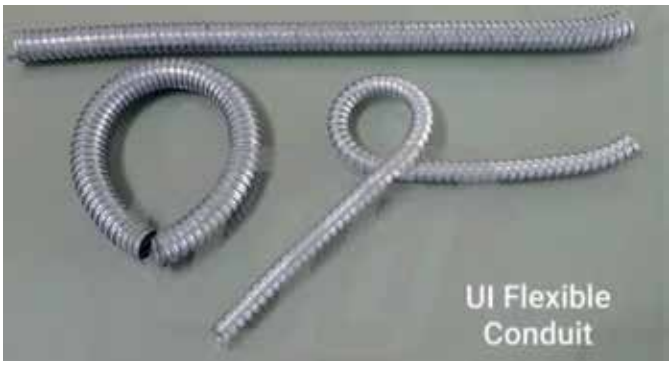


**การเดินสายไฟในท่อโลหะหนา ท่อโลหะหนาปานกลาง และท่อโลหะบาง**

1. **การใช้งาน** สำหรับเดินสายทั่วไปทั้งในสถานที่แห้ง ชื้นและเปียก ที่ต้องติดตั้งให้เหมาะสมกับการใช้งาน
2. **ข้อกำหนดการติดตั้ง**
    1) ท่อโลหะและฟิตติ้งหรือส่วนประกอบที่ใช้ยึดท่อโลหะ เช่น สลักเกลียว สแตรป สกรู ต้องเป็นชนิดที่ทนต่อการผุกร่อน โดยต้องพิจาณาความหนาของการชุบฯ
    2) ปลายท่อที่ถูกตัดออก ต้องลบคม เพื่อป้องกันการบาดฉนวนของสายไฟ โดยปลายเกลียวที่จะทำ ต้องเป็นชนิดปลายเรียว
    3) ข้อต่อ และข้อต่อยึด ชนิดไม่มีเกลียวต้องต่อให้แน่น เมื่อฝังในคอนกรีตหรือปูน เมื่อติดตั้งในสถานที่เปียกต้องใช้ชนิดกันฝน
    4) การต่อสายไฟ ต้องต่อสายไฟในกล่องต่อสายไฟหรือกล่องจุดต่อไฟฟ้าเท่านั้น ที่สามารถเปิดออกได้สะดวก ปริมาตรขอสายและฉนวน รวมทั้งหัวต่อสาย เมื่อรวมกันแล้ว ต้องไม่เกินร้อยละ 75 ของปริมาตรภายในกล่องต่อสายไฟหรือกล่องต่อไฟฟ้า **“ห้ามต่อสายในท่อร้อยสายไฟ”**
    5) การติดตั้งท่อร้อยสายเข้ากับกล่องต่อสาย หรือเครื่องประกอบการเดินท่อ ต้องจัดให้มีบุชชิง เพื่อป้องกันไม่ให้ฉนวนหุ้มสายชำรุด ยกเว้น กล่องต่อสายและเครื่องประกอบการเดินท่อที่ได้ออกแบบเพื่อป้องกันการชำรุดของฉนวนไว้แล้ว
    6) ห้ามทำเกลียวกับท่อโลหะบาง
    7) มุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา
    8) ห้ามใช้ท่อโลหะบางฝังดินโดยตรงหรือใช้ในระบบไฟฟ้าแรงสูง หรือที่ซึ่งอาจเกิดความเสียหายหลังการติดตั้ง
    9) ห้ามใช้ท่อโลหะขนาดเล็กกว่า 15 มม.
    10) จำนวนสายสูงสุด ต้องเป็นไปตามตารางที่ 5-3
    11) การติดตั้งใต้ดินต้องเป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 5.1.4
    12) ท่อที่ขนาดใหญ่กว่า 15 มม. หากร้อยสายชนิดไม่มีปลอกตะกั่ว รัศมีดัดโค้งด้านในของท่อต้องไม่น้อยกว่า 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ถ้าเป็นสายไฟฟ้าชนิดมีปลอกตะกั่ว รัศมีดัดโค้งด้านในต้องไม่น้อยกว่า 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ สำหรับท่อขนาด 15 มม. หากร้อยสายชนิดไม่มีปลอกตะกั่ว รัศมีดัดโค้งด้านในของท่อต้องไม่น้อยกว่า 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และถ้าเป็นสายไฟฟ้าชนิดมีปลอกตะกั่ว รัศมีดัดโค้งด้านในต้องไม่น้อยกว่า 12 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ การดัดโค้งต้องไม่ทำให้ท่อชำรุด หรือท่อบุบ หรือท่อย่นหด

13) ต้องติดตั้งระบบท่อให้เสร็จก่อน จึงทำการร้อยสายไฟ
14) การเดินสายในท่อโลหะไปยังบริภัณฑ์ไฟฟ้า ควรเดินด้วยท่อโลหะโดยตลอดและช่วงต่อสายเข้าบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่มีการเคลื่อนตัวได้ควรเดินด้วยท่อโลหะอ่อน หรือใช้วิธีการอื่นตามที่เหมาะสม
15) ห้ามใช้ท่อโลหะเป็นตัวนำสำหรับต่อลงดิน
16) ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ให้ใช้ค่ากระแสตามตารางที่ 5-20, 5-23, 5-27, 5-29 และ 5-37
17) ท่อร้อยสายต้องยึดกับที่ให้มั่นคงด้วยอุปกรณ์จับยึดที่เหมาะสม โดยมีระยะห่างระหว่างจุดจับยึดไม่เกิน 3.0 เมตร และห่างจากกล่องต่อสาย หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่เกิน 0.9 เมตร

**5.10.2.2.1.1.4** ท่อโลหะอ่อน (Flexible Metal Conduit: FMC) ใช้เหล็กกล้าชุบสังกะสี ทำจากแผ่นเหล็ก (steel strip) อัดขึ้นรูป ล็อคกันเพื่อให้เกิดการอ่อนตัว สามารถดัดโค้งงอ โดยท่อไม่เกิดความเสียหาย ปัจจุบันมีผลิต 2 แบบ คือ แบบ Square lock และ แบบ Interlock โดยให้ใช้ท่อโลหะอ่อน สำหรับเดินเข้าบริภัณฑ์ไฟฟ้าหรือกล่องต่อสายที่ความยาวไม่เกิน 1.8 เมตร




**รูปที่ 5.127** ท่อโลหะอ่อน FMC แบบ Square lock

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท ยูไอ สตีลไพพ์ จำกัด, ม.ป.ป.

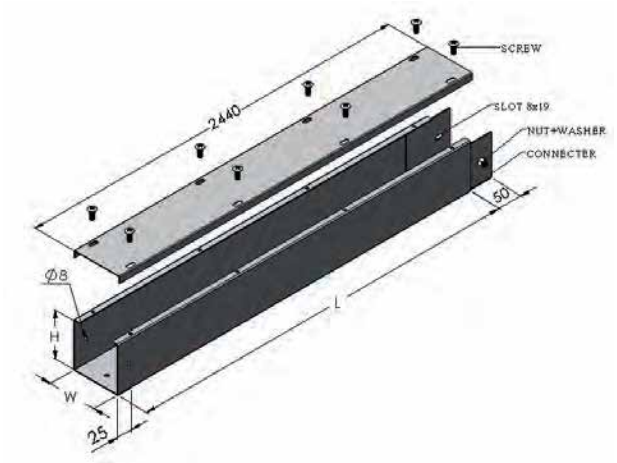





**รูปที่ 5.128** อุปกรณ์ประกอบของท่อ (Fitting)

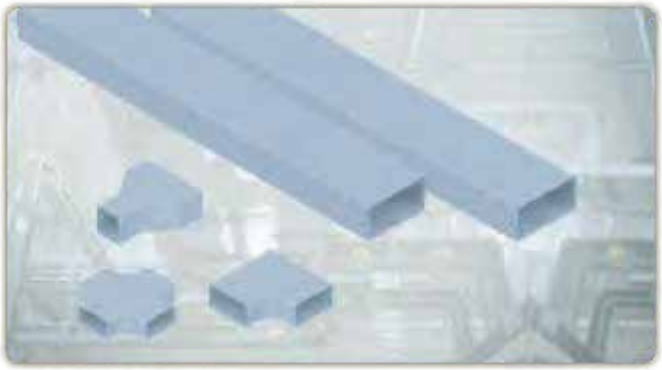
หมายเหตุ. จาก *Brochure and technical data of conduit and fitting* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อธิพัฒน์-ธนวัต จำกัด, ม.ป.ป.; จาก หมายเหตุ. จาก *Brochure of electrical conduit fittings & accessories* [แผ่นพับ], โดย บริษัท ศรีเจริญ คอนดูเลต จำกัด, ม.ป.ป.; จาก Brochure and presentation of electrical fittings and accessories [แผ่นพับ], โดย บริษัท สยามวินพาร์ท อินดัสทรี จำกัด, ม.ป.ป.

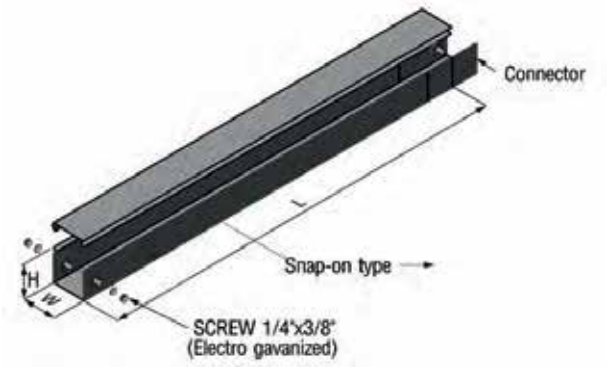
**5.10.2.2.1.1.5** รางเดินสาย (wireways: WW) ใช้เหล็กแผ่นพับ เป็นรูปสี่เหลี่ยม มีฝาปิด แบบล็อกด้วยสกรู (screw type) หรือแบบปิดด้วยแรงอัด ความยาวมาตรฐานท่อนละ 2.44 m. แผ่นเหล็กที่ใช้ผลิตมีการเคลือบป้องกันสนิม 3วิธี (การพ่นสีฝุ่น: Epoxy / Polyester การชุบสังกะสี: galvanized และการเคลือบด้วยสาร Aluzinc) ดังนั้นการเลือกใช้ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของพื้นที่หน้าตัดของตัวนำรวมฉนวนทั้งหมด ทั้งสายเส้นไฟ สายนิวทรัล สายดิน และตัวนำวงจรสัญญาณหรือวงจรควบคุมที่มีกระแสไฟตลอดเวลา รวมกันต้องไม่เกินร้อยละ 20% ของพื้นที่หน้าตัดภายในรางเดินสาย โดยตัวนำที่มีกระแสไหลรวมกันไม่เกิน 30 เส้น




**รูปที่ 5.129** รางเดินสายประเภท Screw-type

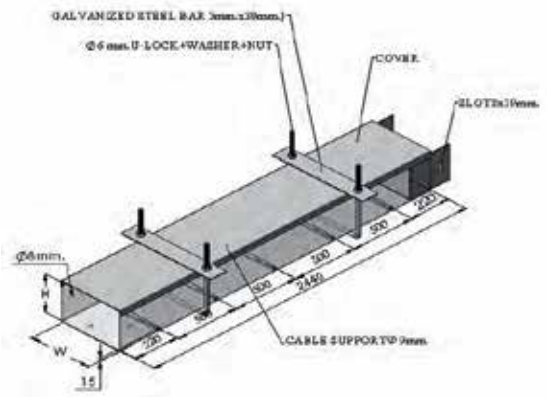
หมายเหตุ. จาก *Brochure and technical data of conduit and fitting* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อธิพัฒน์-ธนวัต จำกัด, ม.ป.ป.



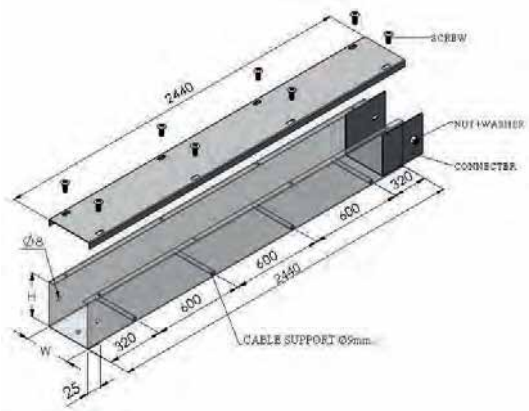

**รูปที่ 5.130** รางเดินสายประเภท Snap-on type หรือ Press-lock type

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.; จาก *Brochure and technical data of conduit and fitting* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อธิพัฒน์-ธนวัต จำกัด, ม.ป.ป.




**รูปที่ 5.131** รางเดินสายประเภท U-lock Type

หมายเหตุ. จาก *Brochure and technical data of conduit and fitting* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อธิพัฒน์-ธนวัต จำกัด, ม.ป.ป.




**รูปที่ 5.132** รางเดินสายแบบมีลูกขั้น (cable support)

หมายเหตุ. จาก *Brochure and technical data of conduit and fitting* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อธิพัฒน์-ธนวัต จำกัด, ม.ป.ป.

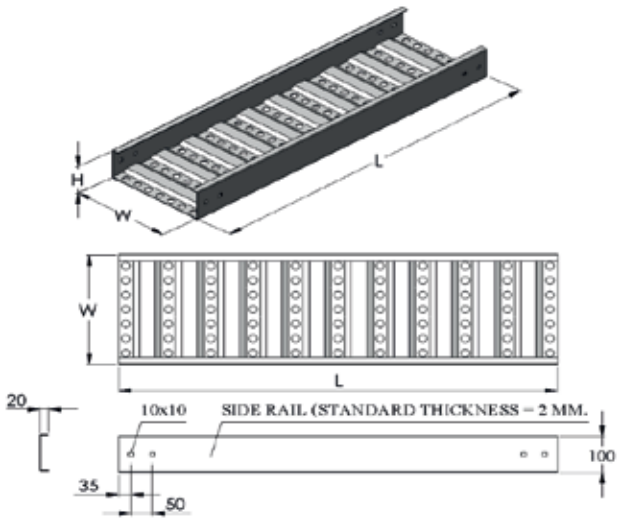





**รูปที่ 5.133** การต่อสายไฟระหว่างท่อนของรางไฟฟ้า




**5.10.2.2.1.1.6** รางเคเบิล (cable trays : CT) ผลิตด้วยเหล็กแผ่นที่ต้องมีการป้องกันสนิมด้วยวิธีพ่นด้วยสีฝุ่น Epoxy หรือเคลือบผิวด้วยกรรมวิธี Hot-dip galvanized ความยาวมาตรฐานท่อนละ 3 เมตร รางเคเบิลเป็นที่นิยมใช้สำหรับสายไฟฟ้าหรือสายสื่อสาร มีความแข็งแรง สะดวกในการติดตั้ง การซ่อมบำรุง และค่าใช้จ่ายที่ถูก รางเคเบิลมีลักษณะต่าง ๆ ดังนี้




**รูปที่ 5.134** รางเคเบิลแบบ Corrugated Tray ท่อนตรง

หมายเหตุ. จาก *Brochure and technical data of conduit and fitting* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อธิพัฒน์-ธนวัต จำกัด, ม.ป.ป.




**5.10.2.2.1.2** ท่ออโลหะ (non metal conduits) หรือท่อพีวีซีแข็ง สำหรับใช้ร้อยสายไฟฟ้าและสายโทรศัพท์ ตั้งแต่ในอดีตนิยมใช้เป็น ท่อสีเหลือง ตามมาตรฐาน มอก.216 และต่อมามากกว่า 10 ปี มีการนำท่อขาว หรือเรียกว่า ท่อ uPVC ที่นิยมมาใช้แทนท่อเหลืองมากขึ้น ด้วยเทคโนโลยีทางเคมี ที่ท่อขาวมีความสะดวกใช้งานง่ายมากกว่าท่อสีเหลือง ในส่วนของดัดงอที่สะดวก เพียงใช้สปริงก็สามารถดัดท่อได้ตามที่ต้องการ สามารถป้องกันแสงยูวีได้ ทนทานต่อแสงแดดและความชื้น มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า ไม่ลามไฟ ไม่เปราะแตกหักง่าย ทนอุณหภูมิใช้งานได้สูงสุด 70 องศาเซลเซียส รวมทั้งน้ำหนักเบาและติดตั้งง่าย มีดังนี้




**รูปที่ 5.135** ท่ออโลหะ

หมายเหตุ. จาก *Brochure and technical data of conduit [แผ่นพับ], โดย บริษัท ยู-การผลิต จำกัด* ,ม.ป.ป.; จาก *Brochure and technical data of conduit and fitting* [แผ่นพับ], โดย บริษัท ฮาโก้ อิเลคทริค (ประเทศไทย) จำกัด, ม.ป.ป.ก



**รูปที่ 5.136** อุปกรณ์ประกอบของท่ออโลหะ (Fitting)

หมายเหตุ. จาก *Brochure and technical data of conduit [แผ่นพับ],* โดย บริษัท ยู-การผลิต จำกัด, ม.ป.ป.

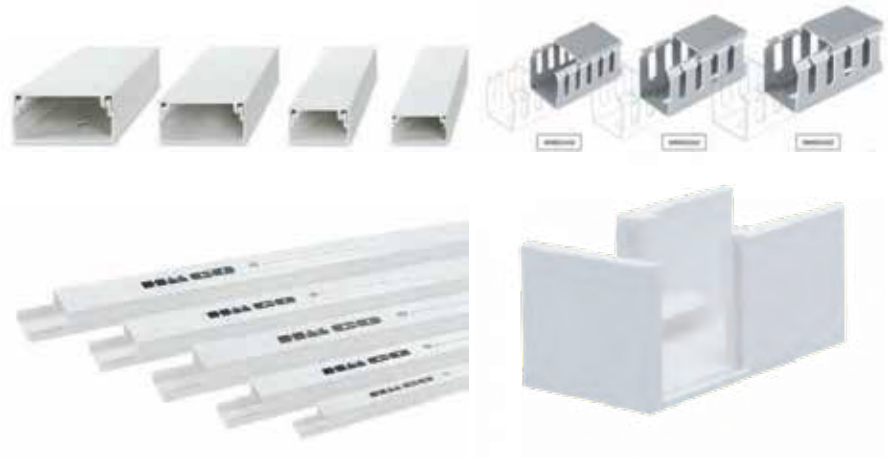
**5.10.2.2.1.3** ท่ออ่อนลายลูกฟูก uPVC สีเหลือง สีขาว และสีดำมีคุณสมบัติทนทานสารเคมี ใช้ได้กับทุกสภาวะอากาศ ไม่ลามไฟ ทนต่อแรงกดและแรงกระแทกได้ดี น้ำหนักเบา รวมทั้งติดตั้งได้สะดวกและรวดเร็ว



**รูปที่ 5.137** ท่ออ่อนลายลูกฟูก uPVC สีเหลือง สีขาว และสีดำ

หมายเหตุ. จาก *Brochure and technical data of conduit [แผ่นพับ],* โดย บริษัท ยู-การผลิต จำกัด, ม.ป.ป.

**5.10.2.2.1.4** รางอโลหะสำหรับงานไฟฟ้า มีดังนี้



**รูปที่ 5.138** รางอโลหะ

หมายเหตุ. จาก *Brochure and technical data of conduit and fitting* [แผ่นพับ], โดย บริษัท ฮาโก้ อิเลคทริค (ประเทศไทย) จำกัด, ม.ป.ป.ก

# บทที่ 6

# แรงดันตก (Voltage Drop)

แรงดันตก (Voltage Drop) ในระบบไฟฟ้า หมายถึง การเกิดแรงดันตกคร่อมในส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้า ทำให้แรงดันที่ใช้งานจริงลดลง ดังนั้นแรงดันตกจึงเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า หรือ แรงดันตก จึงเป็นการลดลงของศักย์ไฟฟ้าตามเส้นทางของกระแสที่ไหลในวงจรไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าตกในความต้านทานภายในของแหล่งจ่าย ข้ามผ่านตัวนำ หน้าสัมผัส และข้ามผ่านคอนเนคเตอร์เป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนา การข้ามผ่าน เสมือนการข้ามผ่านอุปสรรค เนื่องจากพลังงานบางส่วนที่จ่ายไปข้ามผ่านส่วนต่างๆ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดไฟฟ้าเป็นสัดส่วนกับกำลังไฟฟ้าที่สามารถแปลงในโหลดนั้นเป็นพลังงานรูปแบบอื่นๆ

ตัวอย่างเช่น เครื่องทำความร้อนมีค่าความต้านทาน 10 โอห์ม และสายไฟฟ้าในวงจรที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้เครื่องทำความร้อนมีความต้านทาน 0.2 โอห์ม หรือ 2% ของความต้านทานวงจร จึงหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่ให้มาจะหายไปในสายไฟ 2% จึงเรียกค่า 2% นี้ว่า แรงดันตก ซึ่งหากแรงดันตกที่มากเกินไป จะส่งผลให้สายไฟและจุดต่อเชื่อมเกิดความต้านทาน เกิดความร้อนขึ้นในระบบไฟฟ้า

ดังนั้นแรงดันตกจึงเป็นส่วนที่สำคัญสำหรับการจ่ายพลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า จึงต้องคำนึงถึงเรื่องแรงดันตกที่เกิดขึ้นจากระยะทางที่ยาว เช่น การเดินสายไฟที่มีระยะทางยาวๆ การต่อหรือจุดต่อต่างๆ จะทำให้เกิดแรงดันตกสูงขึ้น การจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังโหลดจะลดลงตามระยะทางที่ยาวขึ้น สำหรับระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำจะมีหลักการในการพิจารณาแรงดันตกดังนี้

## 6.1 แรงดันตกในระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง - ต่ำ

การกำหนดแรงดันตกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย วสท. ได้แบ่งช่วงของแรงดันตกในแต่ละช่วงของระบบไฟฟ้าไว้ดังนี้

ช่วงที่ 1 กรณีรับไฟฟ้าแรงดันปานกลาง (12 kV, 22 kV, 24 kV, 33 kV) แรงดันตกจากมิเตอร์แรงดันปานกลาง ถึงหม้อแปลงจำหน่าย ส่วนนี้ยังไม่มีการกำหนดค่าแรงดันตก เนื่องจากเป็นแรงดันปานกลาง ค่าความต้านทานและจุดต่อมีปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับพิกัด

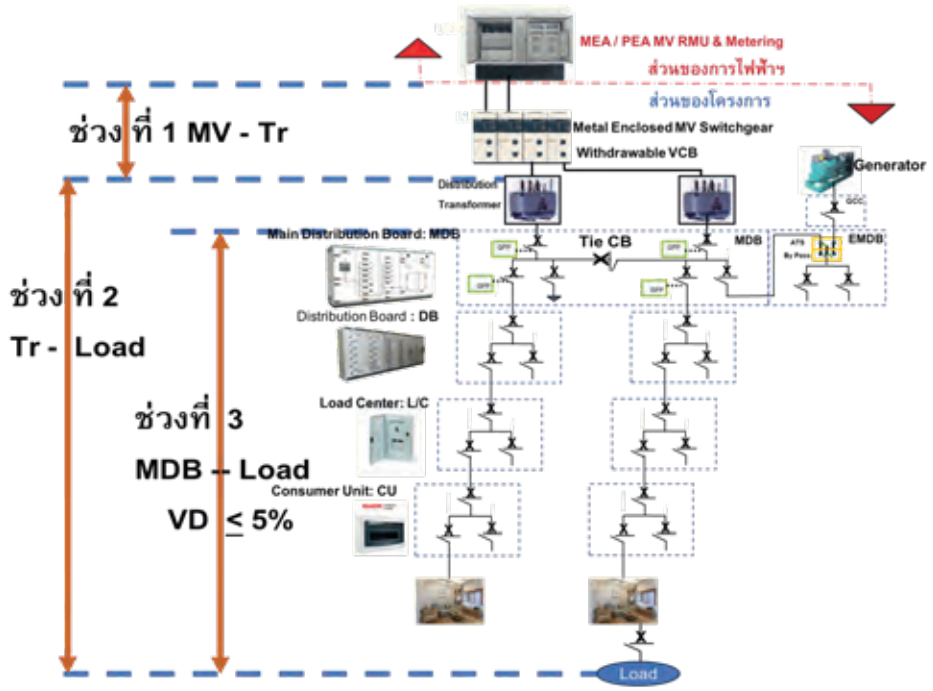
แรงดันปานกลางที่ใช้งาน ดังนั้นแรงดันตกของระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลางจะมีสัดส่วนที่น้อย ทั้งนี้ในทางปฏิบัติ การติดตั้งในระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง การหาค่าแรงดันตกของระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลางในโครงการใหญ่ๆ ที่มีระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลางระยะทางยาวไกล ก็ควรมีการคำนวณร่วมด้วย เพื่อเป็นการเพิ่มเสริมศักยภาพเกิดประสิทธิผลสูงสุดของระบบไฟฟ้า ปัจจุบันในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ ยังไม่มีการกำหนดค่าแรงดันตกในส่วนนี้

ช่วงที่ 2 กรณีรับไฟฟ้าแรงดันปานกลาง ที่แรงดันตกในส่วนนี้จะคิดจากหม้อแปลงจำหน่าย ถึงโหลดตำแหน่งสุดท้าย ปัจจุบันในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ ยังไม่มีการกำหนดค่าแรงดันตกในส่วนนี้ การคิดค่าแรงดันตกในส่วนนี้ จะเป็นการคิดแรงดันตกที่ต่อระหว่างหม้อแปลงจำหน่ายถึงบริภัณฑ์ประธาน(MDB) ซึ่งหากมีระยะทางที่ยาวไกลระหว่างหม้อแปลงจำหน่ายกับบริภัณฑ์ประธาน ก็จะเกิดผลเสียกับระบบไฟฟ้า

ช่วงที่ 3 กรณีรับไฟฟ้าแรงดันปานกลาง หรือ กรณีรับไฟฟ้าแรงดันต่ำ (220 V, 230 V, 400 V, 416 V) แรงดันตกในส่วนนี้จะคิดจากบริภัณฑ์ประธาน(MDB) ถึงโหลดตัวสุดท้ายต้องไม่เกิน 5% โดยมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ มีการกำหนดค่าแรงดันตกในส่วนนี้เป็นที่ชัดเจนไว้ ต้องไม่เกิน 5%

แรงดันตกทั้ง 3 ช่วง ถือว่าแรงดันตกคร่อมในแต่ละช่วงต่างก็เป็นส่วนสำคัญของระบบไฟฟ้า เพื่อให้ระบบไฟฟ้าเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้ต้องมีการบันทึกติดตามค่าแรงดันตกจากแหล่งจ่าย แต่ละส่วนของระบบไฟฟ้า ถึงโหลดปลายทางอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไขปัญหาได้อย่างมืออาชีพแบบง่ายๆอย่างสะดวก

ทั้งนี้แรงดันตกคร่อมในแต่ละส่วน สร้างปัญหาแรงดันตกที่ปลายทาง ที่มีผลให้โหลดปลายทางมีแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง พิกัดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลดต่ำกว่าพิกัดแรงดันไฟฟ้าที่โหลดต้องการ ยังผลให้ สร้างปัญหาต่างๆ ตามมาได้ เช่น ความร้อน พลังงานที่สูญเสีย อายุการใช้งานสั้น การไม่บรรลุการสตาร์ทของมอเตอร์ เป็นต้น โดยแบ่งช่วงดังแสดงตามภาพประกอบนี้




**รูปที่ 6.1** การแบ่งช่วงของแรงดันตกในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

หมายเหตุ. จาก Oversized Electrical Appliance Impacts on Condominium Energy Efficiency and Cost-Effectiveness Management: Experts' Perspectives by Buranaaudsawakul, T. & Wisaeng, K., 2021, Appl. Syst. Innov., 4(4) Appl. Syst. Innov. 4(4), p. 98.

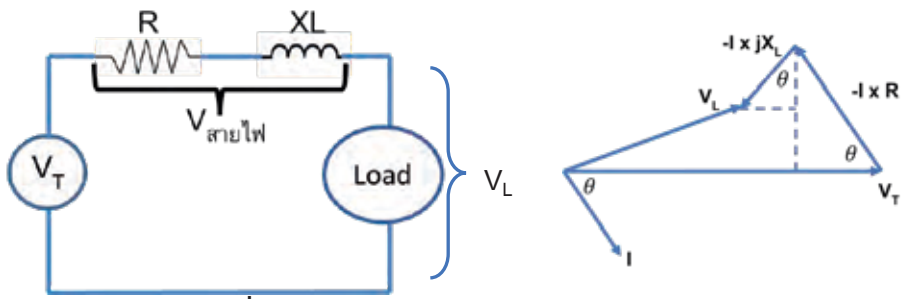
**แรงดันตก**

แรงดันตก ที่สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูล ได้ดังนี้

$V_T$ = แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ารวม ($V_T = V_{สายไฟ} + V_L$)

$V_{สายไฟ}$ = แรงดันตกคร่อมที่สายไฟ

$V_L$ = แรงดันตกคร่อมที่โหลด




**รูปที่ 6.2** ภาพวงจรสมมูลและเฟสเซอร์ไดอะแกรม

$V_T = V_L + V_{สายไฟ}$

$= V_L + I\,(R\cos\theta - X_L\sin\theta)$

สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส ให้คูณสมการข้างต้นด้วย $\sqrt{3}$ และสำหรับระบบไฟฟ้าเฟสเดียว ให้คูณสมการข้างต้น (เป็นสมการประมาณการที่นิยมใช้กัน) ด้วยกันดังนี้

แรงดันตก 1 เฟส 230 V $\quad VD = 2I(R\cos\theta + X\sin\theta)L$

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

แรงดันตก 3 เฟส $\quad VD = \sqrt{3}\, I(R\cos\theta + X\sin\theta)L$

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

กำหนดให้

VD = แรงดันตก (V)

I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร (A)

R = ค่าความต้านทางของสายไฟฟ้า ($\Omega$ / m)

X = ค่ารีแอกแตนซ์ของสายไฟฟ้า ($\Omega$ / m)

$\cos\theta$ = ค่าตัวประกอบกำลังของโหลด (P.F)

L = ความยาวของสายไฟ (m)

$V_T$ = แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นทาง ($V_T = V_{สายไฟ} + V_L$) (V)

$V_{สายไฟ}$ = แรงดันตกคร่อมที่สายไฟ (V)

$V_L$ = แรงดันตกคร่อมที่โหลด (V)

%VD = เปอร์เซ็นต์แรงดันตกคร่อม mV / A / m

**หมายเหตุ**

1. ค่าความต้านทานของสายไฟฟ้าสามารถที่จะหาค่าได้ค่าที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 20°C ดังนั้นเวลาที่ทำการคำนวณแรงดันตกคร่อมของสายไฟฟ้าในส่วนของสายไฟฟ้าที่พิกัด 70°C และอุณหภูมิ 90°C ทั้งนี้การคำนวณแรงดันตกคร่อมของสายไฟฟ้า ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิของสายไฟฟ้านั้นๆ ด้วย
2. ค่ารีแอกแตนซ์ของสายไฟฟ้าสามารถใช้ค่าที่วัดได้ โดยได้มาจากขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำสายไฟฟ้า และระยะห่างระหว่างตัวนำของสายไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ดังนั้นการจัดวางสายไฟฟ้าในการติดตั้งจึงมีผลกับค่ารีแอกแตนซ์ ซึ่งมีการติดตั้งหรือเดินสายไฟฟ้าหลายรูปแบบดังนี้

2.1 การเดินสายไฟเป็นแบบสามเหลี่ยม หรือ trefoil ที่เป็นการเดินสายไฟที่ดีที่สุด เพราะมีค่า X น้อยที่สุด เนื่องจากมีความสมดุลเรื่องสนามแม่เหล็ก





**รูปที่ 6.3** การเดินสายไฟแบบ Trefoil

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

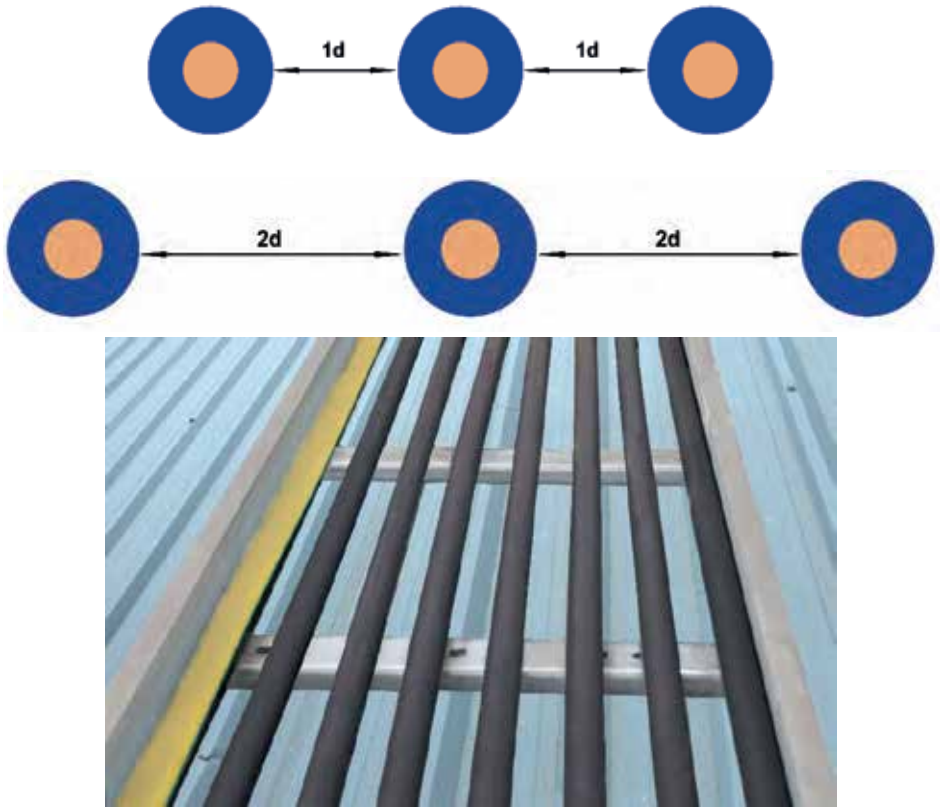
2.2 การเดินสายไฟเป็นแบบแนวราบที่เรียงชิดติดกัน หรือ Touching flat



**รูปที่ 6.4** การเดินสายไฟแบบ Touching flat

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

2.3 การเดินสายไฟเป็นแบบแนวราบ Space flat โดยมีระยะห่างระหว่างสายไฟ ที่มีผลทำให้ค่า X มีค่าสูงมาก

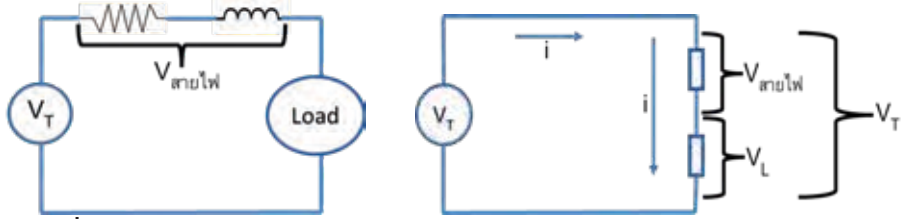



**รูปที่ 6.5** การเดินสายไฟแบบ Space flat

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

## 6.2 แรงดันตกคร่อมในวงจรไฟฟ้า

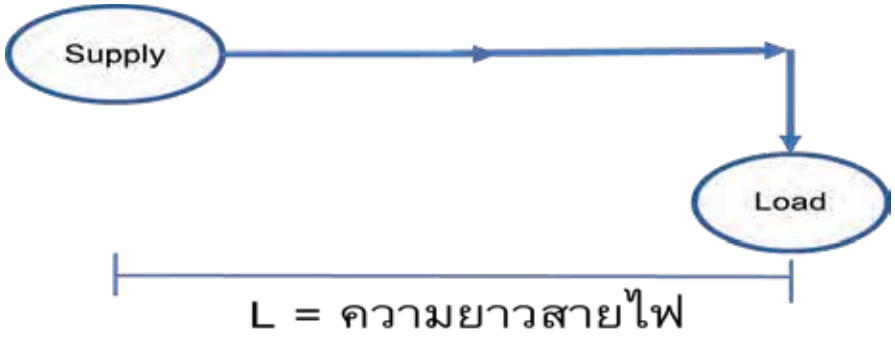
แรงดันตกคร่อม ถือเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า เพราะแรงดันตกคร่อมทำให้ระบบไฟฟ้ามีแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง เสมือน voltage divider ทำให้โหลดที่ใช้งาน อาจมีแรงดันไฟฟ้าใช้งานไม่เพียงพอกับการใช้งานดังรูป




**รูปที่ 6.6** ภาพวงจรสมมูล สู่ วงจรสมมูลแบบ Voltage divider ของสายไฟและโหลด

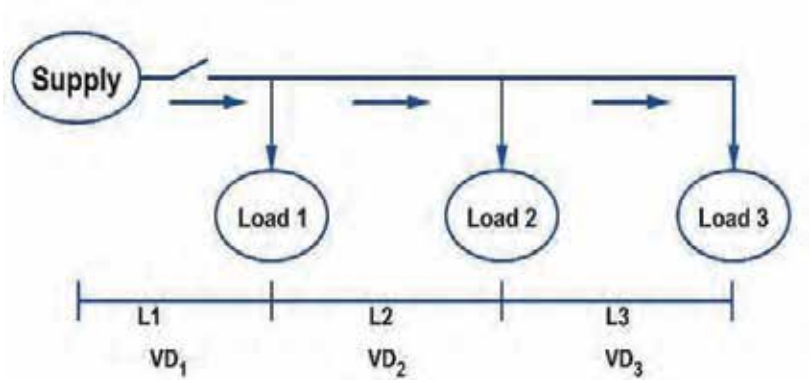
วงจรสมมูลเบื้องต้นจะปรากฏเห็นชัดว่าในระบบไฟฟ้าจะมีการใช้งานด้วยกัน 2 แบบคือ

1. Concentrated load = โหลดจุดเดียวที่อยู่ส่วนปลายสายไฟ ที่มีค่าแรงดันตกที่ค่าสูงสุด




**รูปที่ 6.7** โหลดชนิด Concentrated Load

2. Distributed load = โหลดมีหลายจุด ที่อยู่ในแต่ช่วงของระบบไฟฟ้า ที่มีค่าแรงดันตกตามตำแหน่งต่างๆของแต่ละช่วงของโหลด โดยมีการคิดความยาวของแต่ละช่วงแต่ละโหลด

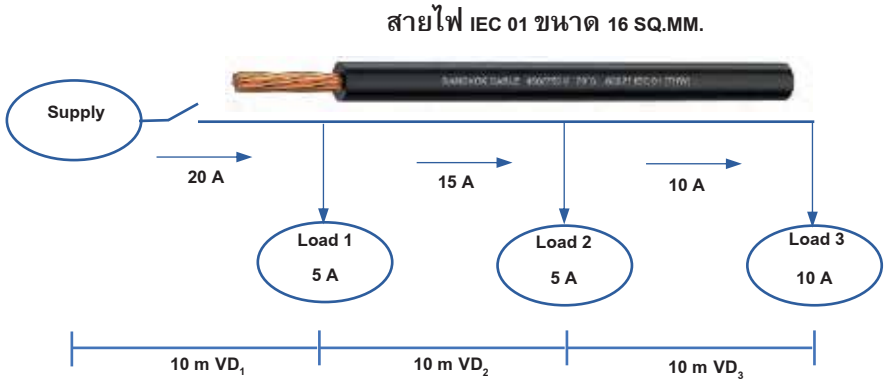



**รูปที่ 6.8** โหลดชนิด Distributed Load

**หมายเหตุ** ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ ได้กำหนดค่า VD หรือแรงดันตกสำหรับระบบไฟฟ้าที่เป็นฉนวน PVC 70°C และ XLPE 90°C มีหน่วยเป็น mV / A / m ตามกลุ่มการติดตั้งต่างๆ ทั้ง 7 กลุ่ม

**ตัวอย่างที่ 6.1**

การหา %VD ที่ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 230 V วงจรฮีตเตอร์ 20 A แรงดัน 230 V เดินสาย IEC01 ขนาด 16 ตร. มม. เดินร้อยท่อเกาะผนัง จ่ายโหลด 3 จุด จุดละ 5, 5 และ 10 A ตามลำดับที่ระยะทางตามภาพ จงหาค่าแรงดันตกคร่อมที่จุดปลายสายของโหลดที่ 3




**รูปที่ 6.9** ตัวอย่างการหาเปอร์เซนต์แรงดันตกคร่อมที่ระบบไฟฟ้า 1 เฟส

**วิธีทำ**

สายไฟ PVC IEC01 2x16 ตร.มม. เดินร้อยท่อเกาะผนัง ติดตั้งกลุ่มที่ 2 ใช้ตารางที่ ฐ.1 ได้ VD = 2.8 mV / A / m

VD = mV x I (A) x L (m)

$VD_1$ = [2.8 x (5+5+10) x 10] / 1,000 = 0.56 V

$VD_2$ = [2.8 x (5+10) x 10] / 1,000 = 0.42 V

$VD_3$ = [2.8 x (10) x 10] / 1,000 = 0.28 V

VD ทั้งหมด (VD ที่ปลาย $VD_3$) = $VD_1 + VD_2 + VD_3$

= 0.56 + 0.42 + 0.28

= 1.26 V

ดังนั้น %VD ที่ 230V $\%VD = \frac{VD}{230} \times 100$

$\%VD = \frac{1.26}{230} \times 100$

= 0.55 %

**ตัวอย่างที่ 6.2**

การหา %VD ที่ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สายที่ 230 / 400 V แผงเมนสวิตช์ (MDB) ที่ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สายที่ 230 / 400 V โดยเดินสาย NYY แบบแกนเดียว 4 x 50 ตร.มม. ยาว 40 ม.จ่ายไฟ 100A.ผ่านแผงสวิตช์ย่อย (DB) และ Load ให้แผงสวิตช์ย่อย (DB) และจ่ายไฟให้ Load ด้วยสายไฟ IEC01 4 x 6 ตร.มม. ที่กระแส 30 A มีความยาว 20 ม. จงหาค่า %VD

กำหนดให้ $VD_1$ ของสายไฟ PVC ชนิด NYY แบบแกนเดียว 4 x 50 ตร.มม.ใช้ตารางที่ ฐ.1 = 0.84 mV / A/ m วางบนรางเคเบิ้ลเรียงชิดติดกัน

วิธีทำ

$VD_1 = [0.84 \times 100 \times 40] / 1{,}000 = 3.36$ V

กำหนดให้ $VD_2$ ของสายไฟ PVC ชนิด IEC01 แบบแกนเดียว 4 x 6 ตร.มม.ใช้ตารางที่ ฐ.1 = 6.4 mV / A/ m วางบนรางเคเบิ้ลเรียงชิดติดกัน

วิธีทำ

$VD_2 = [6.4 \times 30 \times 20] / 1{,}000 = 3.84$ V

VD ทั้งหมดที่โหลด $= VD_1 + VD_2$

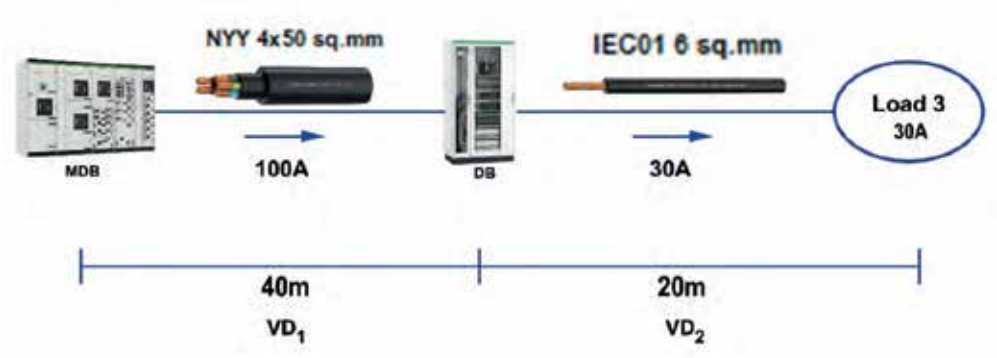
$= 3.36 + 3.84 = 7.2$ V

ดังนั้น %VD ที่ 400V $\%VD = \frac{VD}{400} \times 100$

$\%VD = \frac{7.2}{400} \times 100$

$= 1.8$ %

กรณีที่ต้องการลองเปลี่ยนโหลดจากระบบไฟ 3 เฟส เป็นระบบไฟ 1 เฟส ที่ใช้สายไฟ IEC 01 2x6 ตร.มม. ที่จ่ายให้โหลดขนาด 30 A




**รูปที่ 6.10** ตัวอย่างการหาเปอร์เซนต์แรงดันตกในระบบที่มีการเปลี่ยนโหลดจากระบบไฟฟ้าสามเฟสเป็นหนึ่งเฟส

จากรายการคำนวณเบื้องต้น (MDB-DB) $VD_1$ = [0.84 x 100 x 40] / 1,000

= 3.36 V

กำหนดให้ $VD_2$ ของสายไฟ PVC ชนิด IEC 01 แบบแกนเดียว 2 x 6 ตร.มม. ใช้ตารางที่ ฐ.1 = 7.3 mV / A/ m วางบนรางเคเบิ้ลเรียงชิดติดกัน

วิธีทำ

$VD_2$ (DB-Load) = [7.3 x 30 x 20] / 1,000 = 4.38 V

VD ทั้งหมดที่โหลด = $VD_1$ (at 400 V) + $VD_2$ (at 230 V)

ดังนั้น %VD ที่ระบบ 400 V+230 V %VD $= \left[ \left( \frac{VD}{400} \times 100 \right) + \left( \frac{VD}{230} \times 100 \right) \right]$

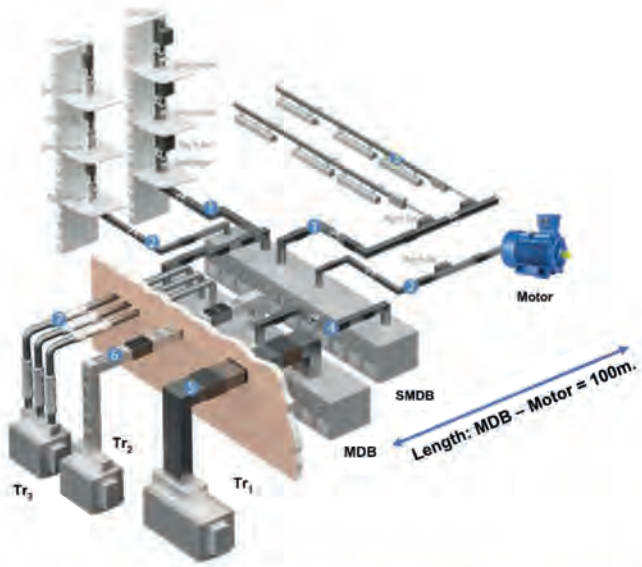
$= \left[ \left( \frac{3.36}{400} \times 100 \right) + \left( \frac{4.38}{230} \times 100 \right) \right]$

= 0.84 + 1.90

= 2.74%

**ตัวอย่างที่ 6.3**

ระบบไฟฟ้าที่มีหม้อแปลงไฟฟ้า 1,600 kVA, 22 kV/230-400 V, 3 Phase จ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำให้แผงสวิตช์บริภัณฑ์ประธาน (MDB) และ MDB จ่ายไฟให้กับระบบปรับอากาศที่กินกระแสเต็มพิกัด ($I_{FL}$) ที่ 850 A โดยที่ MDB และระบบปรับอากาศ มีระยะทางความยาว 100 เมตร ติดตั้งโดยใช้บัสดัก 3 phase 5 bars (25% integral Ground) ขนาด 1,000 A ชนิดอะลูมิเนียม (AL) โดยบัสดักมีคุณสมบัติ $R_{20}$ = 57 μΩ/m, X = 37.6 μΩ/m, θ=20° ต้องการหาค่า %VD ที่ระบบปรับอากาศ (ต้องการหาค่า %VD จาก MDB ถึงระบบปรับอากาศปลายทาง เกินกว่า 5% หรือไม่ ซึ่งตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้ามีข้อกำหนดว่าแรงดันตกคร่อมจาก MDB – End Load ต้องมีแรงดันตก ไม่เกิน 5%)




**รูปที่ 6.11** ตัวอย่างการหาเปอร์เซ็นต์แรงดันตกคร่อมของระบบปรับอากาศ

หมายเหตุ. จาก บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน). (ม.ป.ป.). *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ]. บริษัท.

โดยสูตร $VD=\sqrt{3}\times I\times L\times\left(R\cos\theta+x\sin\theta\right)\times10^{-6}$

กำหนดให้ $R_{20}$ = 57 μΩ/m X = 37.6 μΩ/m , θ=20°

ความยาว (L) = 100m กระแส 1,000 A

$$VD=\sqrt{3}\times1{,}000\times100\times\left(57\times10^{-6}\times\cos20^{\circ}\right)+\left(37.6\times10^{-6}\times\sin20^{\circ}\right)\times10^{-6}$$

$$=\sqrt{3}\times1{,}000\times100\times\left(53.56\times10^{-6}\right)$$

$$=9.278$$

โดยสูตร $\%VD=\frac{VD}{400}\times100$

$$\%VD=\frac{9.278}{400}\times100$$

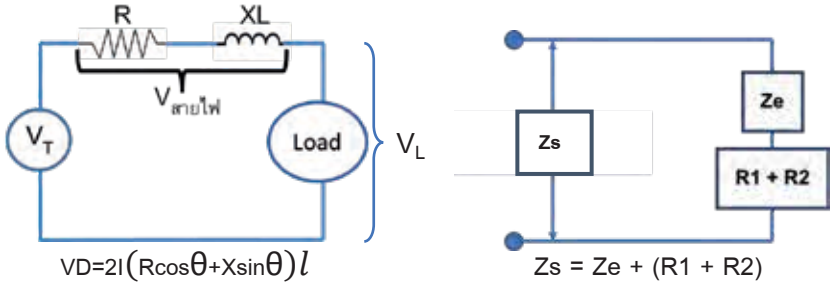
$$\%VD=2.32\ \%$$

**หมายเหตุ: สาเหตุที่เลือกใช้ Cast resin bus duct IP68 ที่เป็น non maintenance เพราะเป็นวงจรช่วยชีวิต ที่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ขณะเกิดเพลิงไหม้ ที่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60331, IEC 60332**

## 6.3 การทดสอบวัดค่าแรงดันตก (Voltage Drop testing)

วัตถุประสงค์การทดสอบแรงดันตกของวงจรนั้น เพื่อให้แน่ใจว่าแรงดันตกคร่อมหรือแรงดันตกของวงจรไฟฟ้าที่ใช้งานมีค่าไม่เกินตามที่กำหนดในมาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. การหาค่าแรงดันตก จากรูปค่าความต้านทานรวมของวงจร (Zs) คูณกับค่ากระแสไฟฟ้าของวงจรนั้น ค่าความต้านทานทั้งหมดของวงจร (Zs) เป็นผลรวมของ ค่าความต้านทานภายนอก (Ze) รวมกับค่าความต้านทานของสายไฟฟ้า (R1+R2)




**รูปที่ 6.12** วงจรสมมูลสำหรับใช้ในการหาค่าแรงดันตก

กำหนดให้

Ze = ค่าอิมพีแดนซ์ภายนอก ได้มาจากการวัดค่า

R1(Line), R2(neutral) = ค่าความต้านทานของสายเส้นไฟและสายนิวทรัล โดยการทดสอบความต่อเนื่องของตัวนำ

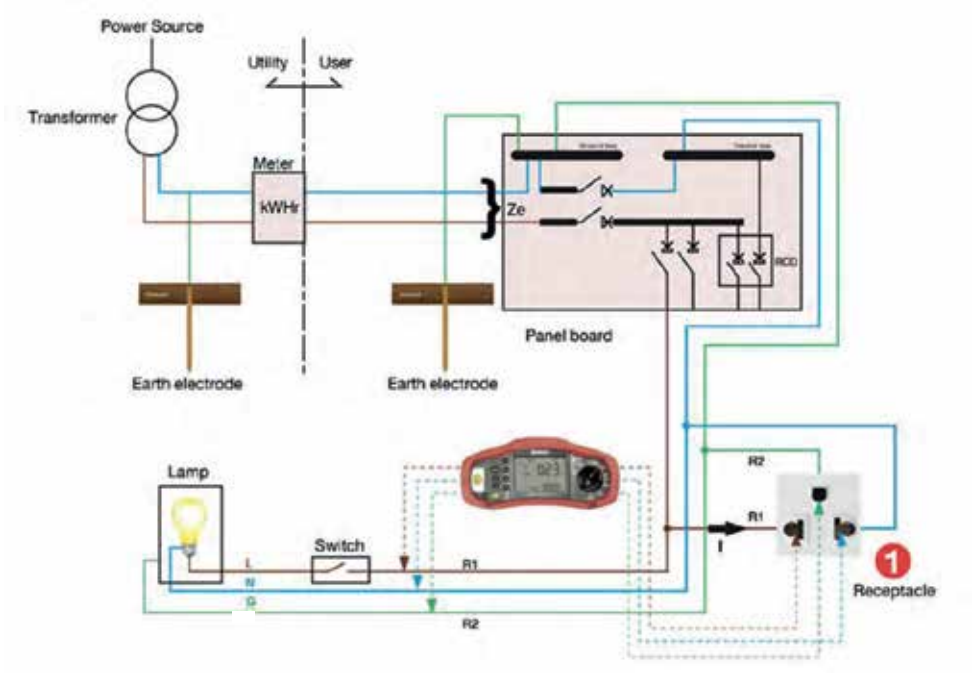
$l$ = ความยาวสายไฟ

แรงดันตก (VD) = $2l$ x Zs

= $2l$ x (Ze + R1 + R2)

2. การหาค่า Zs สามารถใช้เครื่องวัด Loop impedance วัด ณ.จุดที่ต้องการหาค่าแรงดันตกได้

ข้อควรระวัง : การใช้เครื่องวัด Loop impedance เป็นการใช้ในวงจรที่มีไฟ




**รูปที่ 6.13** Diagram การทดสอบแรงดันตก

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยาย การทดสอบแรงดันตก* โดย สมศักดิ์ วัฒนะศรีมงคล, ม.ป.พ.

# บทที่ 7

# การคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร

**7.1 พื้นฐานเรื่องกระแสลัดวงจร**

ไฟฟ้าลัดวงจร (short circuit หรือเรียกสั้น ๆ ว่า s/c) หรือที่นิยมเรียกว่า ไฟช็อต คือ วงจรไฟฟ้าที่ปล่อยให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ไม่ได้ตั้งใจ โดยมีค่าอิมพีแดนซ์ไฟฟ้าต่ำหรือต่ำมาก ส่งผลให้กระแสไหลผ่านวงจรมากเกินไป เป็นสิ่งที่ตรงกันข้ามกับการลัดวงจรคือ "วงจรเปิด" ซึ่งเป็นความต้านทานที่ไม่สิ้นสุดระหว่างสองโหนด อาจเกิดขึ้นจากการติดตั้งที่ไม่มีคุณภาพทำให้ความเป็นฉนวนเสียหาย ทำให้ตัวนำมีการสัมผัสกับตัวนำด้วยกัน หรือระหว่างตัวนำกับโลหะนำไฟฟ้า

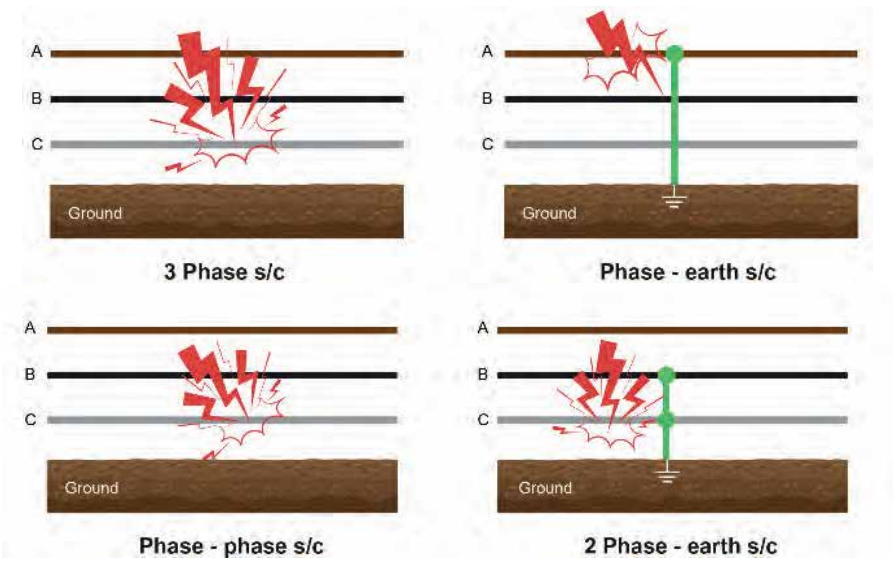
นิยาม ไฟฟ้าลัดวงจร คือ การเชื่อมต่อที่ผิดปกติระหว่างสองโหนดหรือสองส่วนของวงจรไฟฟ้าที่ตั้งใจให้มีแรงดันต่างกัน ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าถูกจำกัดโดยความต้านทานเทียบเท่า Thevenin ของเครือข่ายที่เหลือเท่านั้น อาจทำให้วงจรหรือระบบไฟฟ้าเสียหาย เกิดความร้อนสูงเกิน ไฟไหม้ หรือการระเบิดได้ แม้ว่าโดยปกติจะเป็นผลจากความผิดพลาด โดยอาจมีบางกรณีที่เกิดการลัดวงจรโดยเจตนา ตัวอย่างเช่น เพื่อการป้องกันวงจรเซ็นเซอร์ในการตรวจจับแรงดันไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์วงจร การลัดวงจร หมายถึงการเชื่อมต่อระหว่างสองโหนดที่บังคับให้โหนดเหล่านั้นมีแรงดันเท่ากัน ในการลัดวงจร 'ในอุดมคติ' หมายความว่าไม่มีความต้านทานและไม่มีแรงดันตกคร่อมการเชื่อมต่อ ในวงจรจริง ผลลัพธ์คือการเชื่อมต่อโดยแทบไม่มีความต้านทาน ในกรณีเช่นนี้ กระแสจะถูกจำกัดโดยความต้านทานของวงจรที่เหลือเท่านั้น จึงทำให้เกิดความเสียหายขึ้นในระบบไฟฟ้านั้นๆ

ตามมาตรฐาน IEC 60909 ใช้กับการคำนวณกระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสไฟฟ้าแรงดันต่ำ และในระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสไฟฟ้าแรงดันสูง ทำงานที่ความถี่ 50 Hz หรือ 60 Hz กำหนดขั้นตอนทั่วไป ปฏิบัติได้จริง อย่างระมัดระวัง นำไปสู่ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำที่ยอมรับได้ และเกี่ยวข้องกับการคำนวณกระแสลัดวงจร ในกรณีของการลัดวงจรที่สมดุลหรือไม่สมดุล (IEC, 60909)

ไฟฟ้าลัดวงจรของระบบไฟฟ้า แบ่งเป็น 4 รูปแบบดังนี้

1. ไฟฟ้าลัดวงจรแบบ 3 เฟสสมดุล (Balanced three phase short circuit)
2. ไฟฟ้าลัดวงจรแบบระหว่างสายไฟกับสายไฟ หรือ L to L ไม่ต่อกับสายดิน (Line to line short circuit without earth connection)
3. ไฟฟ้าลัดวงจรแบบสายไฟกับสายไฟและสายดิน หรือ L to L ที่ต่อกับสายดิน (Line to line short circuit with earth connection)
4. ไฟฟ้าลัดวงจรแบบสายไฟกับสายดิน หรือ L to earth (Line to earth short circuit)




**รูปที่ 7.1** รูปแบบไฟฟ้าลัดวงจร

หมายเหตุ. จาก *IEC60909 short-circuit calculation*. IEC, 2016.

กระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่มีค่าความรุนแรงที่สุด คือ ไฟฟ้าลัดวงจรแบบ 3 เฟสสมดุล ซึ่งในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำจะใช้การคำนวณไฟฟ้าลัดวงจรแบบง่ายๆ เป็นแบบสามเฟสสมดุล และไฟฟ้าลัดวงจร L to earth เป็นไฟฟ้าลัดวงจรที่มีโอกาสเกิดขึ้นบ่อยที่สุด

สำหรับการคำนวณโดยละเอียด โปรดศึกษาตารางข้อมูลของผู้ผลิต (สายเคเบิล) และ/หรือใช้ซอฟต์แวร์วิศวกรรมกำลังไฟฟ้า หรือหนังสือเรียนโดยเฉพาะ

ในกรณีของการลัดวงจร ข้อจำกัดเพียงอย่างเดียวของกระแสคืออิมพีแดนซ์ของวงจรและพลังงานลัดวงจรที่มีอยู่ ซึ่งรวมถึงอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย โดยปกติจะเป็นหม้อแปลงสถานีย่อยหรือกลุ่มของหม้อแปลง

กรณีไฟฟ้าลัดวงจรเกิดขึ้นใกล้แหล่งจ่าย อิมพีแดนซ์จะเป็นศูนย์ เรียกว่า bolted fault ซึ่งเป็นกรณีไฟฟ้าลัดวงจรที่มีความรุนแรงที่สุดเนื่องจากมีระยะทางที่สั้นที่สุด

ปกติความต้านทานของหม้อแปลงมักจะระบุเป็น % ของแรงดันไฟฟ้าหลักที่จำเป็นในการทำให้กระแสโหลดเต็มในขั้วทุติยภูมิ ถ้าขั้วโหลดลัดวงจร

### 7.2 อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง

อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงทั่วไปในประเทศไทยที่พิกัด 800 – 2500 kVA คือ 6 % ดังนั้นหาก 6 % ของแรงดันแหล่งจ่ายสร้างกระแสโหลดเต็ม จากนั้นด้วยการลัดวงจรทุติยภูมิและแรงดันแหล่งจ่ายปกติ 100 % ในการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า ผู้ผลิตเอง ก็อยากจะมีการผลิตหม้อแปลงให้ค่าอิมพีแดนซ์ต่ำๆ เพื่อจะได้มีค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรต่ำๆ ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งก็ไม่สามารถทำได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นทั่วโลกจึงมีการทดลองใช้งานกันมาอย่างยาวนานแล้ว จึงมีการกำหนดพิกัดอิมพีแดนซ์ในค่าที่เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด

**ตัวอย่างการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้า**

หม้อแปลงไฟฟ้า 1000 kVA, 3 phase, 4 wire, 22 kV / 230 – 400 V, %Z = 6 %
จงคำนวณหากระแสโหลดเต็มที่ (full load current) และกระแสลัดวงจรที่ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า

จากสูตรการหากระแสโหลด

$$I_{FL} = \frac{kVA}{\sqrt{3}\,V}$$

$$I_{FL} = \frac{1000 \times 1000\ VA}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$= 1{,}443\ A$$

จากสูตรการหากระแสลัดวงจร

$$I_{S/C} = \frac{\left(\frac{kVA}{\sqrt{3}\,V}\right)}{\%Z} \text{ หรือ } = \frac{I_{FL}}{\%Z}$$

$$= \frac{1{,}443}{6\%}$$

$$= \frac{1{,}443}{6/100}$$

= 24,057 A หรือ 24.057 kA หรือ 24.1 kA

หมายเหตุ

1. การคำนวณหาค่ากระแสโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างง่ายๆ สามารถคูณ 1.5 ที่ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า เช่น หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA จะมีกระแสโหลดที่ 1,500 A ซึ่งจะสะดวกมากในการคำนวณกระแสโหลดอย่างรวดเร็วและใกล้เคียงได้

2. ในกรณีที่มีขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าที่ 2,000 kVA ก็สามารถนำ 2 คูณโดยตรงที่ค่ากระแสโหลดและค่ากระแสลัดวงจรที่คำนวณได้ทันที คือ กระแสโหลดที่ 1,443 x 2 = 2,886 A (3,000 A) และกระแสลัดวงจรที่ 24.1 x 2 = 48.2 kA เป็นต้น

3. การคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรที่ได้แล้ว ไม่จำเป็นต้องคูณค่าเผื่อใดๆ สามารถใช้ค่านั้นๆ ไปเทียบกับตารางการเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ของผู้ผลิต (ที่ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้) โดยปกติผู้ผลิตจะทราบกันดีอยู่แล้วว่าการใช้หม้อแปลงขนาดเท่าไหร่จะใช้พิกัดกระแส Ampere frame โดยประมาณเท่าไหร่ ที่แบ่งเป็นรุ่นๆ แบ่งเป็นช่วงๆ ซึ่งพิกัดค่ากระแสลัดวงจรของเบรกเกอร์ก็จะอยู่ในรุ่นและช่วงที่มีของผู้ผลิตโดยทั่วไปอยู่แล้ว ในปัจจุบันเท่าที่มีการเก็บข้อมูลและตัวเลขการใช้งานตามพิกัดหม้อแปลงและขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่หมายรวมถึงพิกัด AF และ พิกัดการทนกระแสลัดวงจรในระบบ โดยส่วนใหญ่ที่มีเลือกใช้กันตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน มีค่าสูงเกินกว่าการใช้งานจริง ทั้งนี้แนะนำให้มีการตรวจสอบค่ากระแสลัดวงจรที่ต้นน้ำ หรือหมายถึงค่ากระแสลัดวงจรก่อนเข้าโครงการหรือเข้าอาคารของเรา จากการไฟฟ้าฯ ในท้องที่นั้นๆ เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานและการป้องกันที่ถูกต้องประกอบการเลือกใช้งาน




หม้อแปลง 1000 kVA 400 V เปรียบเทียบค่า %Z ที่ 6 % และ 8 % จะมีค่า $I_{s/c}$ ต่างกันอย่างไร ลองมาคำนวณดูกัน

1. 1000kVA, 400V, Z=6%

   Is/c = 1,000,000 / (1.732 x 400) / 0.06

   = 24.057 kA

2. 1000kVA, 400V, Z=8%

   Is/c = 1,000,000 / (1.732 x 400) / 0.08

   = 18.042 kA

ดังนั้นสรุปได้ว่า ถ้าค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ ก็จะมีผลทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรมีค่าสูง (ค่าผกผัน)

# บทที่ 8

# การออกแบบระบบไฟฟ้า

## 8.1 การออกแบบระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าถือเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่ง สำหรับการดำรงชีวิตในปัจจุบัน ระบบไฟฟ้าที่ปลอดภัย มีเสถียรภาพที่ดีในบ้านหรือในอาคาร ที่ช่วยอำนวยความสะดวก ช่วยชีวิตมนุษย์และสัตว์ให้ลดการเสียชีวิต สำหรับประเทศไทยงานระบบไฟฟ้าและงานระบบเครื่องกล ถือว่ายังถูกละเลย ไม่ได้รับความใส่ใจจากเจ้าของโครงการหรือส่วนงานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง จึงทำให้เจ้าของอาคารหรือผู้ใช้อาคารได้รับผลกระทบอย่างหนัก ในการใช้งานตลอดมาอย่างยาวนาน ยิ่งไม่มีการบำรุงรักษาดูแลระบบประกอบอาคารอย่างใกล้ชิด ก็ยิ่งสร้างปัญหาให้กับผู้อยู่อาศัย ผู้ใช้งานอย่างยิ่งยวด ทั้งนี้ขอสรุปขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าหลักๆ มีดังนี้

1. การออกแบบงานสถาปัตยกรรม โครงสร้าง และงานส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันของทุกๆ อาคาร ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้า ต้องสอบถามความต้องการใช้ไฟฟ้าอย่างละเอียดทุกจุด โดยส่วนใหญ่ๆ จะออกแบบงานโครงสร้างอาคารและงานสถาปัตยกรรมก่อน แล้วค่อยออกแบบงานระบบไฟฟ้าและระบบเครื่องกลใส่เพิ่มเติมในอาคาร ทั้งนี้ขณะที่มีออกแบบงานสถาปัตยกรรมและส่วนโครงสร้างอาคาร ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าสามารถทำการสำรวจความต้องการของผู้ใช้ประกอบร่วมด้วยได้

สำหรับงานออกแบบระบบไฟฟ้า มีองค์ประกอบและปัจจัยหลายอย่าง ที่เราจะต้องนำมาพิจารณาในแต่ละโครงการ ที่แตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดและลักษณะของการใช้งาน ของแต่ละโครงการนั้นๆ ในหลายโครงการส่วนที่เป็นขั้นตอนร่วมที่คล้ายคลึงกันสำหรับงานออกแบบของทุกโครงการ งานระบบไฟฟ้าจะต้องทำงานร่วมกับส่วนงานต่างๆ เช่น

1.1 งานด้านภูมิทัศน์ งานสถาปัตยกรรมและงานโยธา

1.2 งานด้านเครื่องกล

1.3 งานด้านประปาน้ำดี น้ำเสีย และงานสิ่งแวดล้อม (ตำแหน่งและเส้นทาง)

1.4 การไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ขึ้นกับแต่ละพื้นที่ตั้งของโครงการ (พื้นที่ตั้ง ตำแหน่งและเส้นทางของระบบไฟฟ้า)

1.5 บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (NT) หรือบริษัทเอกชนที่ประกอบกิจการเฉพาะ (ตำแหน่ง เส้นทาง เครือข่ายการให้บริการ)



**รูปที่ 8.1** ภาพประกอบงานด้านภูมิทัศน์และสถาปัตยกรรม

หมายเหตุ. จาก https://images.app.goo.gl/KVRSfDqm5uiZJgUW9

2. การออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง การออกแบบระบบไฟฟ้ากำลังอาจแบ่งเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 ศึกษาแบบทางด้านภูมิทัศน์และงานสถาปัตยกรรมอย่างละเอียด เช่น

2.1.2 งานระบบไฟฟ้า หรืองานอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าสำหรับภายนอกอาคาร

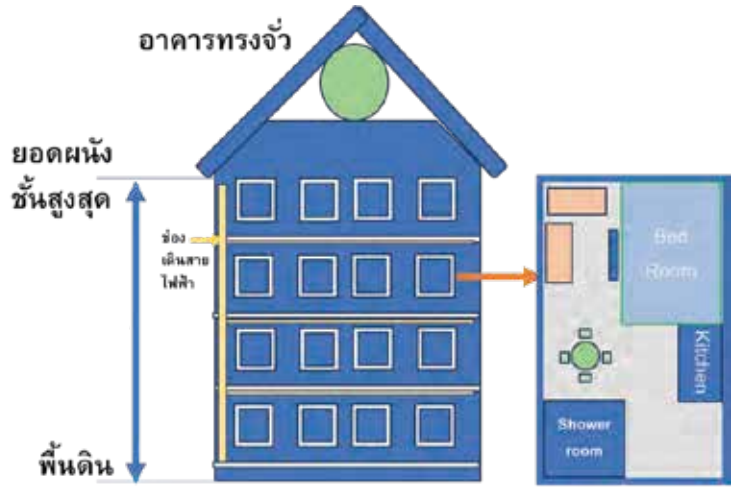
2.1.2 ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าของแต่ละชั้น จำนวนชั้น ความสูงของแต่ละชั้น และความสูงทั้งหมดของอาคาร กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ อาคารขนาดใหญ่พิเศษ เป็นต้น

2.1.3 ความต้องการใช้งานแต่ละส่วนต่างๆ ของอาคาร เช่น ห้องประชุม สำนักงาน เฟอร์นิเจอร์ที่มีระบบไฟฟ้าประกอบ ห้องพัก ทางเดิน การใช้งานภายนอกอาคาร เป็นต้น

2.1.4 ประเภทของเพดานแบบเปลือย หรือแบบมีฝ้า ฝ้าแบบ T - BAR หรือ ฝ้าแบบเรียบ หรือ acoustic สำหรับพื้นที่ที่ต้องการคุณภาพของเสียง

2.1.5 ทำเลหรือพื้นที่ที่จะเลือกห้องไฟฟ้า ต้องมีขนาดเพียงพอสำหรับการปฏิบัติงานและเปลี่ยนซ่อมบำรุงบริภัณฑ์ไฟฟ้าทีมีขนาดใหญ่ที่สุด เช่น หม้อแปลง แผงสวิตช์ เป็นต้น

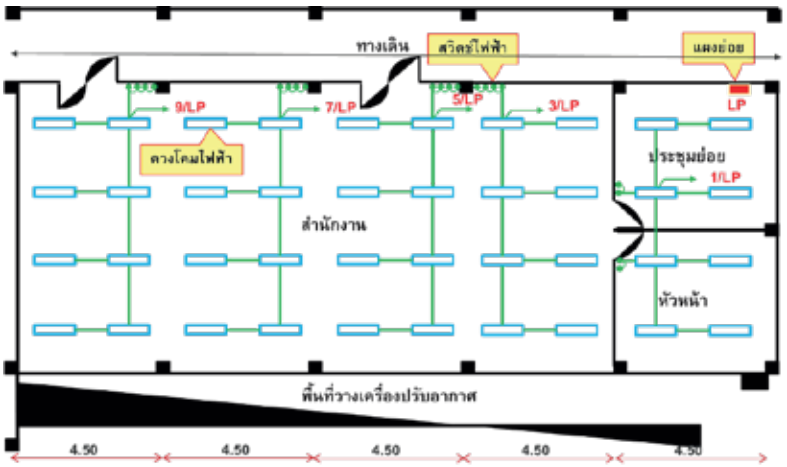
2.1.6 ช่องเดินสายไฟฟ้า (electrical shaft) เป็นช่องเดินสายไฟฟ้าระหว่างชั้นของอาคารทั้งในแนวตั้งและแนวนอนในแต่ละชั้น ส่วนใหญ่จะเป็นแนวตั้งระหว่างชั้นตลอดความสูงของอาคาร




**รูปที่ 8.2** การออกแบบระบบไฟฟ้าภายในอาคาร

หมายเหตุ. จาก *เอกสารประกอบการสัมมนา ความรู้พื้นฐานในงานช่างไฟฟ้า รุ่นที่ 6*, โดย เอกชัย ประสงค์, 2563, โรงเรียนข้าราชการส่วนท้องถิ่น, จังหวัดปทุมธานี.

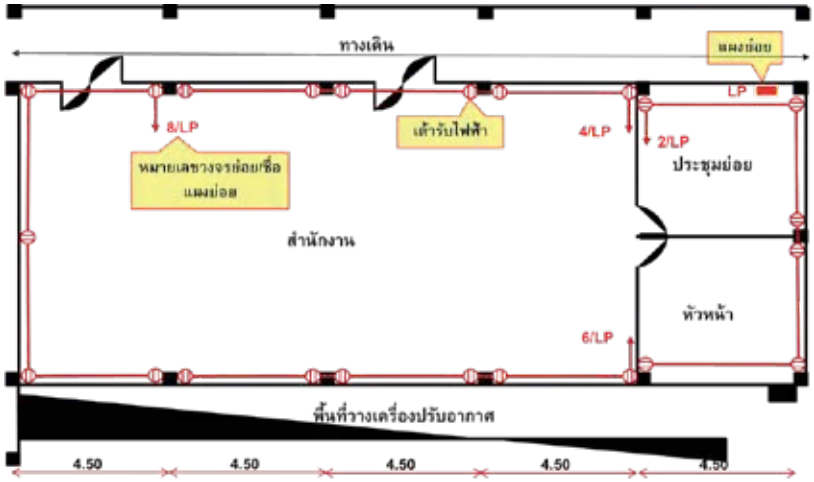
2.2 การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างตามความต้องการการใช้งานส่วนต่างๆ ของทั้งภายนอกและภายในอาคาร การเลือกชนิดหลอด ชนิดโคมไฟ และตำแหน่งของการติดตั้งโคมไฟ เช่น ห้องทำงานที่ต้องการความส่องสว่าง 500 lux เป็นต้น




**รูปที่ 8.3** การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

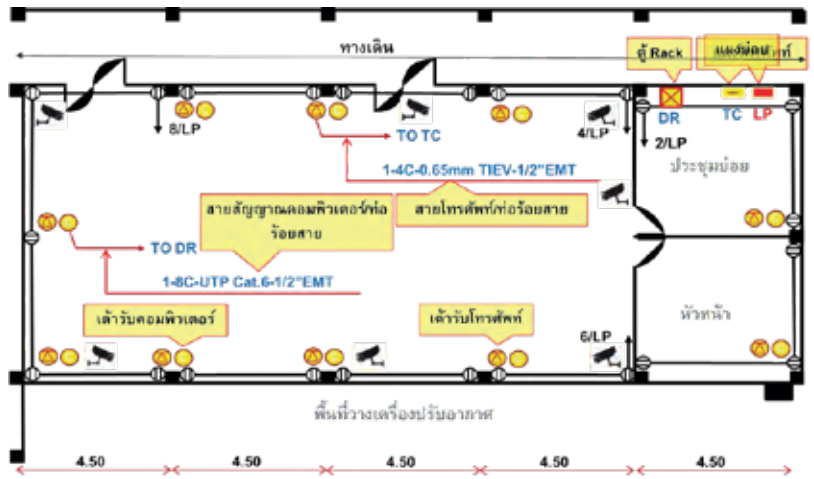
หมายเหตุ. จาก *เอกสารประกอบการสัมมนา ความรู้พื้นฐานในงานช่างไฟฟ้า รุ่นที่ 6*, โดย เอกชัย ประสงค์, 2563, โรงเรียนข้าราชการส่วนท้องถิ่น, จังหวัดปทุมธานี.

2.3 การออกแบบระบบเต้ารับ โดยต้องสอบถามการใช้งานและการประเมินการใช้ตามลักษณะการใช้งานที่ผู้ออกแบบต้องมีประสบการณ์ การออกแบบตำแหน่งเต้ารับที่ส่วนมากจะวางตามเสาหรือตามผนังหรือตามมุมต่างๆ สำหรับที่ชั้นระดับพื้นดิน (Ground Floor) หรือระดับชั้นล่าง หรือระดับชั้นที่น้ำมีโอกาสท่วมถึง หรือชั้นล่างของบ้านที่อยู่อาศัย ห้ามติดตั้งเต้ารับที่สูงจากพื้นไม่มากนัก เช่น ห้ามติดตั้งเต้ารับสูงจากพื้น 20 – 30 ซม. เนื่องจากมีโอกาสเสี่ยงกับไฟรั่ว เมื่อมีน้ำท่วมถึง หรือเสี่ยงกับเด็กเล็กหรือเด็กๆที่เริ่มคลาน หรือยังไม่รู้ถึงอันตรายจากการใช้ไฟฟ้า




**รูปที่ 8.4** การออกแบบระบบเต้ารับไฟฟ้า

หมายเหตุ. จาก *เอกสารประกอบการสัมมนา ความรู้พื้นฐานในงานช่างไฟฟ้า รุ่นที่ 6*, โดย เอกชัย ประสงค์, 2563, โรงเรียนข้าราชการส่วนท้องถิ่น, จังหวัดปทุมธานี.



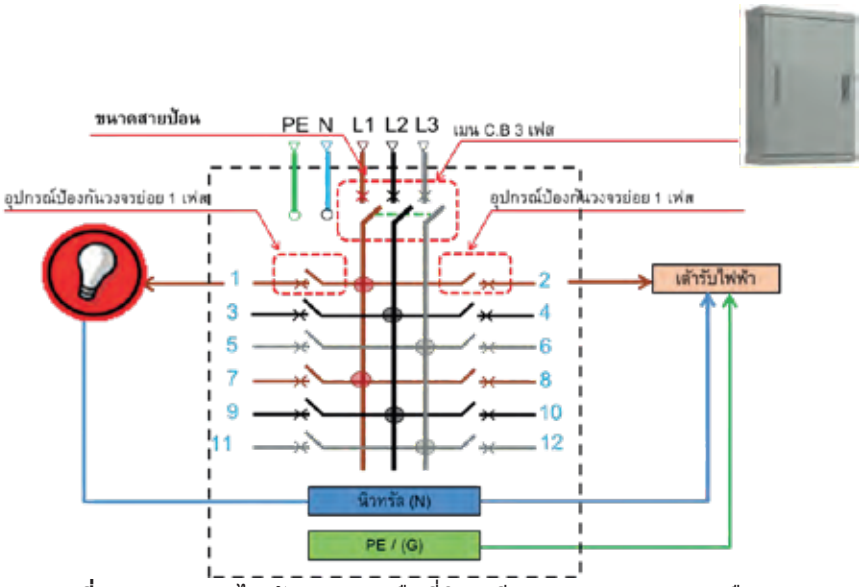

**รูปที่ 8.5** การออกแบบระบบเต้ารับโทรศัพท์ เต้ารับคอมพิวเตอร์ และตู้ Rack

หมายเหตุ. จาก *เอกสารประกอบการสัมมนา ความรู้พื้นฐานในงานช่างไฟฟ้า รุ่นที่ 6*, โดย เอกชัย ประสงค์, 2563, โรงเรียนข้าราชการส่วนท้องถิ่น, จังหวัดปทุมธานี.

2.4 การออกแบบเครื่องใช้ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ไฟฟ้า หรือสิ่งอำนวยความสะดวกที่เกี่ยวข้องต้องใช้ไฟฟ้า เพื่อกำหนดตำแหน่งและชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าที่ได้จากเจ้าของโครงการหรือตามกระบวนการผลิต หรือตามความต้องการใช้งาน

2.5 การออกแบบความเกี่ยวข้อง ความสัมพันธ์ เพื่อกำหนดตำแหน่งของแผงจ่ายไฟฟ้าที่จะจ่ายไฟฟ้าให้โหลดแต่ละส่วนแต่ละพื้นที่ที่ต้องการใช้ไฟฟ้า

2.6 การออกแบบวงจรย่อยสำหรับโหลดต่างๆ โดยต้องคำนึงถึงแผงจ่ายไฟฟ้าว่าต้องมีวงจรย่อยสูงสุดกี่วงจร โดยต้องทราบรายละเอียดของแผงจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส หรือที่นิยมเรียกว่า Load center หรือ L/C ที่มีจำนวนวงจรย่อยตั้งแต่ 12 – 48 วงจร และสำหรับแผงจ่ายไฟฟ้า 1 เฟส ที่ใช้ Consumer Unit หรือ CU มีวงจรย่อยตั้งแต่ 4 – 20 วงจร ถ้าวงจรที่ใช้งานมีมากกว่านี้ ควรเพิ่มจำนวนแผงจ่ายไฟฟ้า L/C หรือ Consumer Unit ตามจำนวนความต้องการ




**รูปที่ 8.6** แผงจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส หรือที่นิยมเรียกว่า Load center หรือ L/C

หมายเหตุ. จาก *เอกสารประกอบการสัมมนา ความรู้พื้นฐานในงานช่างไฟฟ้า รุ่นที่ 6*, โดย เอกชัย ประสงค์, 2563, โรงเรียนข้าราชการส่วนท้องถิ่น, จังหวัดปทุมธานี.

2.7 การออกแบบจัดทำ Load Schedule ของแผงจ่ายไฟฟ้าให้ครบทุกแผง

2.8 การออกแบบจัดทำ Feeder Schedule ของ Distribution Board: DB จาก Panelboard

2.9 การออกแบบจัดรวบรวมโหลดของระบบอื่นๆ ที่ใช้ไฟฟ้าจากวิศวกรสาขาที่เกี่ยวข้อง เช่น

2.9.1 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ

2.9.2 ระบบสุขาภิบาล

2.9.3 ระบบลิฟต์

2.9.4 ระบบบันไดเลื่อน

2.9.5 ระบบประตูเลื่อนไฟฟ้า เป็นต้น

2.10 การออกแบบ Riser Diagrams และ Load schedule

2.11 การออกแบบจัดทำ Main Schedule เพื่อหาขนาดของ Main Distribution Board (MDB) การบริหารจัดหาขนาดมิเตอร์ ขนาดหม้อแปลง ขนาดสวิตช์เกียร์ไฟฟ้าแรงดันปานกลาง

2.12 การออกแบบจัดหาขนาด Standby Generator Set (ถ้ามี) จากแผงจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉิน (Emergency Main Distribution Board, EMDB)

2.13 การออกแบบ Single Line Diagrams

2.14 การระบุหมายเหตุ หรือ ข้อกำหนดที่สำคัญ และในส่วนสัญลักษณ์ต่างๆ ที่มีในแบบ

## 8.2 การคำนวณวงจรย่อยและสายป้อน

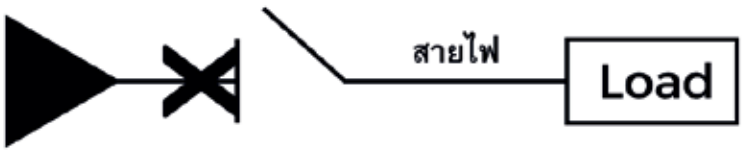
**วงจรย่อย (Branch Circuit)** หมายถึง ตัวนำวงจรในวงจรระหว่างอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินจุดสุดท้ายกับจุดจ่ายไฟ ซึ่งอาจแบ่งออกได้ดังนี้

**วงจรย่อยสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้า (Branch Circuit, Appliance)** หมายถึง วงจรย่อยที่จ่ายไฟฟ้าให้จุดจ่ายไฟที่มีเครื่องใช้ไฟฟ้ามาต่อมากกว่า 1 จุดขึ้นไป เช่น วงจรไม่มีการต่อจากสายดวงโคม

**วงจรย่อยสำหรับจุดประสงค์ทั่วไป (Branch Circuit, General Purpose)** หมายถึง วงจรย่อยที่จ่ายไฟฟ้าให้กับจุดจ่ายไฟเพื่อใช้สำหรับแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้า

**วงจรย่อยเฉพาะ (Branch Circuit, Individual)** หมายถึง วงจรย่อยที่จ่ายไฟฟ้าให้บริภัณฑ์ใช้สอยหนึ่งชิ้นเท่านั้น

การคำนวณวงจรย่อยจึงต้องให้มีความสัมพันธ์กับส่วนของโหลดหรือเครื่องใช้ไฟฟ้า สายไฟ และบริภัณฑ์ไฟฟ้าในส่วนอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำความเข้าใจในเรื่องคุณสมบัติของโหลด สายไฟ และอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน ให้ทำงานได้อย่างสัมพันธ์กันเพื่อความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าอย่างแท้จริง




**รูปที่ 8.7** วงจรย่อยที่ประกอบไปด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์, สายไฟ และโหลด

**ขั้นตอนการออกแบบคำนวณวงจรย่อยมีดังนี้**

1. จากวงจรย่อยด้านบน การคำนวณวงจรย่อยอันดับแรกต้องรู้ถึงคุณสมบัติหรือลักษณะสมบัติของโหลดหรือเครื่องใช้ไฟฟ้า ว่าโหลดนี้มีลักษณะการใช้งานอย่างไร มีกราฟคุณสมบัติอย่างไรที่จะต้องหาขนาดอุปกรณ์ป้องกันและสายไฟฟ้า เพื่อให้ทำงานสัมพันธ์กับโหลดอย่างเหมาะสม

2. จากข้อที่ 1 ต้องออกแบบคำนวณเลือกอุปกรณ์ป้องกัน เซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อป้องกันโหลด ควบคุมโหลดให้ได้อย่างปกติตามคุณสมบัติของโหลด และเซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถป้องกันกระแสเกินและกระแสลัดวงจรของโหลดได้ เพื่อไม่ให้โหลดเป็นอันตรายได้ โดยปกติที่ผ่านมากว่า 50 ปี ทั้งในประเทศไทยและในหลายๆ ประเทศก็มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน จึงมีการใช้ตัวคูณ 1.25 หรือการเผื่อเพิ่มเติมอีก 25 % ที่นิยมเรียกกันว่า Safety factor ซึ่งผู้ผลิตเซอร์กิตเบรกเกอร์มีคุณสมบัติการใช้งานที่แตกต่างจากความเข้าใจนี้ เนื่องจากเมื่อกว่า 50 ปีที่ผ่านมา ทางอเมริกาได้เข้ามาตั้งฐานทัพในเมืองไทย มาช่วยพัฒนาด้านการก่อสร้างอาคารและงานระบบ โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์ของอเมริกามีความสามารถในการทำงานเพียง 80 % เท่านั้น ในยุคนั้นผู้ออกแบบจึงต้องมีการเผื่อการใช้งานเพิ่มเติมอีก 25 % เพื่อให้เซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถทำงานควบคุมและป้องกันโหลดได้ ทั้งนี้ในปัจจุบันเซอร์กิตเบรกเกอร์มากกว่า 95 % จะมาจากค่ายยุโรปที่ได้เข้ามาในประเทศไทยและในนานาประเทศมากกว่า 40 ปีแล้ว เซอร์กิตเบรกเกอร์โดยส่วนใหญ่ของค่ายยุโรปที่มีมาตรฐาน IEC 60898, IEC 60947-2 และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เป็นที่นิยมใช้งานกันสากลทั่วโลก เซอร์กิตเบรกเกอร์จะมีความสามารถในการทำงานที่ 100 % ตามข้อกำหนดของมาตรฐานและของผู้ผลิต ที่สามารถใช้งานร่วมกับโหลดนั้นๆ ได้ ดังนั้นมากกว่า 40 ปี ที่ผ่านมา เราใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ค่ายยุโรป เราจะเผื่ออีก 25 % ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ 100 % มีการ Safety factor คูณเผื่ออีก 25 % จึงทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เลือกใช้งานนี้เป็น 100 % + 25 % = 125 % ทำให้การเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์มีขนาดใหญ่เกินไปไม่น้อยกว่า 25 % และในการเลือกสายไฟ เราก็จะเผื่อไปอีก 100 – 125 % จากการเผื่อมากๆ การเลือกใช้งานดังกล่าวมีผลกระทบถึงสายป้อน กระทบวงจรที่อยู่ในระบบไฟฟ้าด้านบนอีกหลายๆส่วน ทำให้บริภัณฑ์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าทุกๆ layer เช่น SDB, DB และ MDB มีการเผื่อทุกๆ layer จากการออกแบบและเลือกใช้บริภัณฑ์ไฟฟ้าดังกล่าว จะมีผลกระทบกับขนาดของช่องเดินสาย พื้นที่ติดตั้งบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่างๆ รวมถึงห้องไฟฟ้า เป็นต้น

3. จากข้อที่ 2 การออกแบบคำนวณเลือกใช้สายไฟ จะนำค่าที่เลือกขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์มาคูณ 1.25 หรือ 125 % เพื่อเลือกขนาดของสายไฟ ทั้งนี้การออกแบบเลือกใช้งานสายไฟสามารถเลือกขนาดสายไฟได้ 100 % - 125 % เพื่อเป็นการทำงานที่ไม่ให้เกิดอันตรายกับวงจรย่อย ในกรณีที่โหลดมีการทำงานอย่างต่อเนื่องหรือการทำงานที่เกินกำลัง หรือการทำงานเกินกำลังในภาวะผิดปกติ เซอร์กิตเบรกเกอร์จะคอยป้องกันโหลดและสายไฟ ไม่ให้เกิดอันตรายทั้งโหลดและสายไฟ

ทั้งนี้โดยปกติการคำนวณหาขนายสายไฟฟ้า ต้องพิจารณาจากพิกัดกระแสใช้งานของโหลดเป็นหลักประกอบกับลักษณะและเงื่อนไขของการใช้งานร่วมด้วย

4. การใช้กราฟคุณสมบัติของโหลด เซอร์กิตเบรกเกอร์ และสายไฟ ทำการทดสอบลงในกราฟการทำงานที่มีความสัมพันธ์ หรือ Coordination Curve Characteristic หรือการใช้โปรแกรมช่วยในการทดสอบความสัมพันธ์ในการทำงานของโหลดและบริภัณฑ์ไฟฟ้า

### 8.3 ตัวอย่างกรณีศึกษาการคำนวณวงจรย่อย

**ตัวอย่างที่ 8.1**

วงจรย่อยโหลดเป็นฮีตเตอร์ 10 A ที่ 1 Phase 230 V. 50 Hz. เซอร์กิตเบรกเกอร์ติดตั้งใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกิน 25°C การเดินสายไฟกลุ่มที่ 2 แบบร้อยท่อโลหะเกาะผนัง ชนิด 60227 IEC01 / IEC01 ที่ 38°C (Ca = 1) จงออกแบบคำนวณ เพื่อเลือกขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์และสายไฟเพื่อใช้ในการควบคุมและป้องกันระบบไฟฟ้าของวงจรย่อยดังภาพ กำหนดให้ ฮีตเตอร์ ขนาด 10 A การติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ใช้งานที่ไม่เกิน 30 °C




**รูปที่ 8.8** วงจรโหลดย่อยฮีตเตอร์

| **การออกแบบคำนวณที่เหมาะสม** | **การออกแบบคำนวณวิธีแบบเดิม** |
|---|---|
| ขนาดโหลดเป็นฮีตเตอร์ = 10 A | ขนาดโหลดฮีตเตอร์ = 10 A |
| 1.การหาขนาด CB = 10 A | 1.การหาขนาด CB = 10 x 1.25 |
| **ดังนั้นเลือกขนาด CB. = 10 A หรือ 10AT** | = 12.5 A |
| **= C10 กราฟแบบ C** | **ดังนั้นเลือกขนาด CB = 16 A หรือ 16AT** |
| **ขนาด CB ที่เหมาะสมจะต่างกับวิธีแบบเดิม 60%** | |
| 2.การหาขนาดสายไฟและวิธีการเดินสาย เป็นสาย PVC มีการเดินสายกลุ่มที่ 2 (ตารางที่ 5-20 : วสท.) | 2.การหาขนาดสายไฟ $I_t \geq I_n$ x 1.25 |
| @โดยการกำหนดตัวคูณปรับค่า Ca และ Cg | $\geq$ 16 x 1.25 |
| Ca ที่อุณหภูมิ 40°C ไม่ต้องปรับค่า = 1 | $\geq$ 20 A |
| (ตารางที่ 5-43 : วสท.) | ตามตารางที่ 5-20 ของมาตรฐานการติดตั้งฯ |
| Cg ที่ 1 กลุ่มวงจรไม่ต้องปรับค่า = 1 | **ดังนั้นเลือกขนาดสายไฟ = 2.5 ตร.มม** |
| (ตารางที่ 5-8 : วสท.) | แบบแกนเดียวที่สามารถรับกระแสไฟได้ถึง 21 A |
| สูตรการหาขนาดสายไฟ $I_t \geq I_n / (Ca \times Cg)$ | ตามกรอบสีแดง ด้านล่างของตารางที่ 5-20 |

| | |
|---|---|
| กำหนดให้ $I_t$ = กระแสที่ได้รับการปรับค่าแล้ว<br>$I_n$ = กระแสของโหลด<br>แทนค่าตามสูตร $I_t \geq I_n / (Ca \times Cg)$<br>$I_t \geq 10 / (1 \times 1)$<br>การหาขนาดสายไฟ ($I_t$) $\geq$ 10 A<br>เลือกสายไฟแกนเดียว IEC 01 เดินสายแบบร้อยท่อ กลุ่ม 2 สำหรับวงจรย่อยโหลดฮีตเตอร์ 10 A 1 Ph 230V ตามตารางที่ 5-20 ของมาตรฐานการติดตั้งฯ<br>**เลือกขนาดสายไฟที่ขนาด 1.5 ตร.มม** ที่สามารถรับกระแสได้ถึง 15 A ตามกรอบสีเขียว ด้านล่างของตารางที่ 5-20<br>**โดยมาตรฐานฯ ระบุให้เลือกต่ำสุด 2.5 ตร.มม ตามมาตรฐานฯ ข้อ 3.1.3** | ทั้งนี้ก็บางส่วนมีหาขนาดสายไฟ โดยคิดจากขนาดกระแสของโหลด $I_t \geq I_n \times 1.25$<br>$\geq 10 \times 1.25$<br>$\geq 12.5$ A<br>ตามตารางที่ 5-20 ของมาตรฐานการติดตั้งฯ ใช้ขนาดสายไฟที่ 1.5 ตร.มม. แต่ข้อกำหนด 3.1.3 ตามมาตรฐานการติดตั้ง ให้สายไฟของวงจรย่อยไม่เล็กกว่า 2.5 ตร.มม. |

**ตารางที่ 5-20** ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มี/ไม่มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1kV อุณหภูมิตัวนำ 70° C อุณหภูมิโดยรอย 40°C เดินในท่อร้อยสายในอากาศ

| 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 | 60227 IEC 01, 60227 IEC 02, 60227 IEC 05, 60227 IEC 06, 60227 IEC 10, NYY, VCT, IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย | | | | | | | |
| ขนาดสาย(ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | | | | | |
| 1 | 10 | 10 | 9 | 9 | 12 | 11 | 10 | 10 |
| 1.5 | 13 | 12 | 12 | 11 | 15 | 14 | 13 | 13 |
| 2.5 | 17 | 16 | 16 | 15 | 21 | 20 | 18 | 17 |
| 4 | 23 | 22 | 21 | 20 | 28 | 26 | 24 | 23 |
| 6 | 30 | 28 | 27 | 26 | 36 | 33 | 31 | 30 |
| 10 | 40 | 37 | 37 | 34 | 50 | 45 | 44 | 40 |
| 16 | 53 | 50 | 49 | 45 | 66 | 60 | 59 | 54 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

**ตารางที่ 5-43**

ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก ใช้กับค่าขนาดกระแสของเคเบิ้ล เมื่อเดินในอากาศ

| อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส) | จนวน | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 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 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

**ตารางที่ 5–8** ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสเนื่องจากจำนวนสายที่นำกระแสในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกัน หรือเดินสายบนผิวมากกว่า 1 กลุ่มวงจร

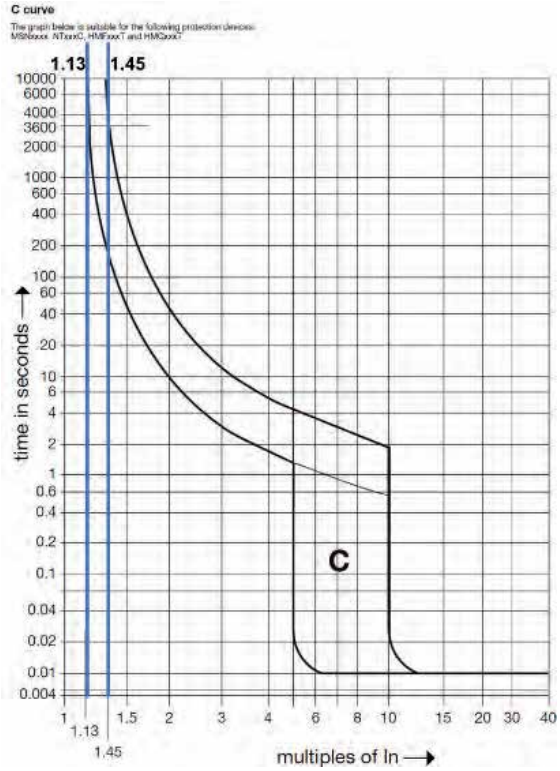
| จำนวนกลุ่มวงจร | ตัวคูณปรับค่ากรณีในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกัน | ตัวคูณปรับค่ากรณีเดินสายบนผิวหรือเดินสายเกาะผนัง |
|---|---|---|
| 2 | 0.80 | 0.85 |
| 3 | 0.70 | 0.79 |
| 4 | 0.65 | 0.75 |
| 5 | 0.60 | 0.73 |
| 6 | 0.57 | 0.72 |
| 7 | 0.54 | 0.72 |
| 8 | 0.52 | 0.71 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

**ข้อสรุป**

1. เมื่อทราบข้อกำหนดของโหลดและข้อจำกัดอื่นๆ แล้ว การออกแบบคำนวณวงจรย่อยที่โหลดนั้นต้องมีการเลือกขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเหมาะสมกับโหลด โดยที่การออกแบบคำนวณแบบเดิมๆ ที่ได้ผลลัพธ์การเลือกขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่แตกต่างกันถึง 25 % ที่การเลือกขนาดใหญ่กว่าการออกคำนวณที่เหมาะสม แต่จริงๆแล้ว การออกแบบคำนวณแบบเดิมๆ จะต่างกันมากถึง 60 % เพราะเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 10 AT กับ ขนาด 16 AT ดังนั้นเห็นได้ชัดเจนว่าการออกแบบคำนวณที่เหมาะสม จะต้องพิจารณาถึงโหลดและการเลือกใช้งานเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ต้องทราบถึงคุณสมบัติของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ว่า C10 หมายถึง เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 10 AT Curve C ที่มีการทำงานสำหรับหน้าที่ป้องกันกระแสเกินเริ่มต้นที่ 13% - 45% หมายถึงเซอร์กิตเบรกเกอร์จะเริ่มทำงาน (ทริป) ตั้งแต่ 11.3 A – 14.5 A

2. เมื่อได้ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์แล้ว จะออกแบบคำนวณหาขนาดสายไฟ โดยเริ่มต้นจากการเลือกขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ 10 A การออกแบบคำนวณแบบเดิมๆ ที่มีการเลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ 16 A ก็จะใช้ 1.25 คูณ = 20A เมื่อเลือกขนาดสายไฟตามตารางที่ 5-20 จะได้ขนาดสายไฟ IEC01 แกนเดียว 1 เฟส 230 V เดินสายแบบร้อยท่อ ใช้สายไฟที่ขนาด 2.5 ตร.มม (21A) ซึ่งแตกต่างกับการออกแบบคำนวณที่เหมาะสม จะมีการคำนึงถึงอุณหภูมิการใช้งาน และจำนวนกลุ่มวงจร จะได้ขนาดสายไฟขนาด 1.5 ตร.มม (15A) ซึ่งแตกต่างกันมากถึง 40 % (2.5 vs 1.5 ตร.มม) ซึ่งมีผลมาจาก 2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการออกแบบคำนวณที่มากเกินการใช้งาน คือ การคูณ 1.25 ในการหาขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์และสายไฟ **ทั้งนี้มาตรฐานฯ ระบุให้เลือกต่ำสุด 2.5 ตร.มม ตามมาตรฐานฯ ข้อ 3.1.3**




**กราฟ C : ตัดทันทีที่ ≧ 5-10 In**
ใช้กับโหลด R, L, C

**รูปที่ 8.9** กราฟ Tripping Curve Type C IEC 60898

หมายเหตุ. จาก International Electrotechnical Commission (IEC). (n.d. e). *IEC60898 Electrical accessories – circuit breakers for overcurrent protection for household and similar installations*. IEC.

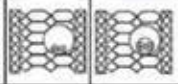
**ตัวอย่างที่ 8.2** ห้องประชุมในอาคาร BCC1 มี 3 วงจรย่อย ดังนี้

1. วงจรเต้ารับ 10 A จำนวน 2 วงจร ที่ 230 V 1 Phase และ
2. มีวงจรเครื่องปรับอากาศ 36,000 BTU ที่ 230 V 1 Phase กินกระแสไฟฟ้าที่ 15.5 – 17 A (ไม่ให้เดินสายวงจรเต้ารับร่วมกับวงจรเครื่องปรับอากาศ) จงคำนวณหาขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ติดตั้งใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกิน 30°C การเดินสายไฟกลุ่มที่ 2 แบบร้อยท่อโลหะเกาะผนัง ชนิด 60227 IEC01 / IEC01 ที่อุณหภูมิ 40°C จงออกแบบและคำนวณ เพื่อเลือกขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์และสายไฟ เพื่อใช้ในการควบคุมและป้องกันระบบไฟฟ้าวงจรย่อยกำหนดให้ 1. วงจรเต้ารับ 10 A 2. เครื่องปรับอากาศ 36,000 BTU, 230 V, 1 phase กินกระแสไฟฟ้าที่ 15.5 – 17 A (คิดที่ 17 A) การติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ใช้งานควบคุมทั้ง 3 วงจรที่อุณหภูมิไม่เกิน 30°C

| **การออกแบบคำนวณที่เหมาะสม** | **การออกแบบคำนวณวิธีแบบเดิม** |
|---|---|
| **1.วงจรย่อยเต้ารับ** = 10 A (จำนวน 2 วงจร)<br>1.1 การหาขนาด CB = 10 A<br>**ดังนั้นเลือกขนาด CB = 10 A หรือ 10 AT**<br>**(ของทั้ง 2 วงจรเต้ารับ) = C10 กราฟแบบ C**<br>1.2 การหาขนาดสายไฟและวิธีการเดินสายเป็นสาย PVC มีการเดินสายกลุ่มที่ 2 (ตารางที่ 5-20 : วสท.)<br>@โดยการกำหนดตัวคูณปรับค่า Ca และ Cg<br>Ca ที่อุณหภูมิ $\leq$ 40°C ไม่ต้องปรับค่า = 1 (ตารางที่ 5-43 : วสท.)<br>Cg ที่ 2 กลุ่มวงจรปรับค่า = 0.85 (ตารางที่ 5-8 : วสท.)<br>สูตรการหาขนาดสายไฟ $I_t \geq I_n / (Ca \times Cg)$<br>กำหนดให้ $I_t$ = กระแสที่ได้รับการปรับค่าแล้ว<br>$I_n$ = กระแสของโหลด<br>แทนค่าตามสูตร $I_t \geq I_n / (Ca \times Cg)$<br>$I_t \geq 10 / (1 \times 0.85)$<br>การหาขนาดสายไฟ ($I_t$) $\geq$ 11.76 A<br>เลือกสายไฟแกนเดียว IEC 01 เดินสายแบบร้อยท่อเกาะผนัง กลุ่ม 2 สำหรับวงจรย่อยเต้ารับ 11.76 A 1 Ph 230 V ตามตารางที่ 5-20 ของมาตรฐานการติดตั้งฯ เลือกขนาดสายไฟที่ขนาด 1.5 ตร.มม ที่สามารถรับกระแสได้ถึง 15 A ตามกรอบสีเขียว<br>แต่เนื่องจากวงจรเต้ารับหรือวงจรย่อย**ต้องใช้สายไฟขนาดต่ำสุดที่ 2.5 ตร.มม.** (รับได้ 21 A) วงจรเต้ารับนี้ควรจะเลือก**ขนาด CB = 16 A หรือ 16 AT** | **1.วงจรย่อยเต้ารับ** = 10 A<br>1.1 การหาขนาด CB = 10 x 1.25<br>= 12.5 A<br>**ดังนั้นเลือกขนาด CB = 16 A หรือ 16AT**<br>1.2 การหาขนาดสายไฟ $I_t \geq I_n$ x 1.25<br>$\geq$ 16 x 1.25<br>$\geq$ 20 A<br>ตามตารางที่ 5-20 ของมาตรฐานการติดตั้งฯ<br>**ดังนั้นเลือกขนาดสายไฟ = 2.5 ตร.มม**<br>แบบแกนเดียวที่สามารถรับกระแสไฟได้ถึง 21 A ตามกรอบสีน้ำเงิน ตามตารางที่ 5-20<br>(ปัจจุบันสามารถเลือกขนาดสายไฟที่มีขนาดมากกว่า 16 A ได้ ) |

**ตารางที่ 5-20**

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มี/ไม่มีเปลือก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในท่อร้อยสายในอากาศ

| 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 | |
| ชนิดฉนวนที่ใช้งาน | 60227 IEC 01, 60227 IEC 02, 60227 IEC 05, 60227 IEC 06, 60227 IEC 10, NYY, VCT, IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย | | | | | | | |
| ขนาดสาย(ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | | | | | |
| 1 | 10 | 10 | 9 | 9 | 12 | 11 | 10 | 10 |
| 1.5 | 13 | 12 | 12 | 11 | 15 | 14 | 13 | 13 |
| 2.5 | 17 | 16 | 16 | 15 | 21 | 20 | 18 | 17 |
| 4 | 23 | 22 | 21 | 20 | 28 | 26 | 24 | 23 |
| 6 | 30 | 28 | 27 | 25 | 36 | 33 | 31 | 30 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

**ตารางที่ 5-43**

ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C ใช้กับค่าขนาดกระแสของเคเบิล เมื่อเดินในอากาศ

| อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส) | 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 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

**ตารางที่ 5-8**

ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสเนื่องจากจำนวนสายที่นำกระแสในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกัน หรือเดินสายบนผิวมากกว่า 1 กลุ่มวงจร

| จำนวนกลุ่มวงจร | ตัวคูณปรับค่ากรณีในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกัน | ตัวคูณปรับค่ากรณีเดินสายบนผิวหรือเดินสายเกาะผนัง |
|---|---|---|
| 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 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

**ตารางที่ 8.1** ตารางการเลือกใช้เบรกเกอร์และสายไฟของเครื่องปรับอากาศ (1 Ph. 230 V)

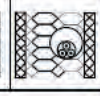
| ขนาดเครื่องปรับอากาศ (BTU) | กระแสใช้งานโดยประมาณ (A) | ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ (A) | สายไฟ (sq.mm) |
|---|---|---|---|
| 9000 | 3.5 – 4 | 10 | 2.5 |
| 12000 | 5 - 6 | 10 | 2.5 |
| 15000 | 5.5 – 6.5 | 10 | 2.5 |
| 18000 | 7 - 8 | 10 | 2.5 |
| 24000 | 8.5 - 9.5 | 16 | 2.5 |
| 30000 | 14.5 - 16 | 20 | 4 |
| 36000 | 15.5 - 17 | 20 | 4 |

จากตารางที่ 6.1 กระแสใช้งานโดยประมาณเป็นค่ากระแสสูงสุดของเครื่องปรับอากาศขณะทำงาน

| การออกแบบคำนวณที่เหมาะสม | การออกแบบคำนวณวิธีแบบเดิม |
|---|---|
| **2.วงจรปรับอากาศ (15.5 -17 A คิดที่ 17 A)**<br>**กระแสกระชาก 1.75 เท่า**<br>2.1 การหาขนาด CB (15.5-17 A คิดที่ 17 A)<br>**ดังนั้นเลือกขนาด CB = 20 A หรือ 20 AT**<br>**= C20 กราฟแบบ C**<br>CB C20 สามารถรับกระแสกระชากได้ที่ 5-7 เท่า ที่สามารถควบคุมวงจรปรับอากาศได้ โดยไม่ทริป<br>2.2 การหาขนาดสายไฟและวิธีการเดินสาย เป็นสาย PVC มีการเดินสายร้อยท่อเกาะผนัง กลุ่มที่ 2 ตารางที่ 5-20<br>@โดยการกำหนดตัวคูณปรับค่า Ca และ Cg<br>Ca = 1 ที่ 5-43, Cg ที่ 1 กลุ่ม = 1 ที่ 5-8<br>สูตรการหาขนาดสายไฟ It ≥ In / (Ca x Cg)<br>แทนค่าตามสูตร It ≥ In / (Ca x Cg)<br>It ≥ 17 / (1 x 1)<br>การหาขนาดสายไฟ (It) ≥ 17 A<br>เลือกสายไฟแกนเดียว IEC 01 เดินสายแบบร้อยท่อ กลุ่ม2 สำหรับวงจรย่อยปรับอากาศ 17 A 1 Ph 230 V ตามตารางที่ 5-20 มาตรฐานการติดตั้งฯ **เลือกขนาดสายไฟที่ขนาด 2.5 ตร.มม** ที่สามารถรับกระแสได้ถึง 21 A ตามกรอบสีน้ำเงินด้านล่างของตารางที่ 5-20 | **2.วงจรปรับอากาศ (15.5 -17 A คิดที่ 17 A)**<br>**กระแสกระชาก 1.75 เท่า**<br>2.1 การหาขนาด CB = 17 x 1.75<br>= 29.75 A<br>**ดังนั้นเลือกขนาด CB = 29.75 A หรือ 32 AT**<br>2.2 การหาขนาดสายไฟ $I_t \geq I_n$ x 1.25<br>≥ 17 x 1.25<br>≥ 21.25 A<br>ตามตารางที่ 5-20 ของมาตรฐานการติดตั้งฯ<br>**ดังนั้นเลือกขนาดสายไฟ = 4 ตร.มม**<br>แบบแกนเดียวที่สามารถรับกระแสไฟได้ถึง 28 A ตามกรอบสีแดง ตามตารางที่ 5-20<br>(ปัจจุบันสามารถเลือกขนาดสายไฟที่มีขนาดมากกว่า 21.25 A ได้ โดยใช้ขนาดสายไฟ 4 ตร.มม) |

**ตารางที่ 5-20**

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มี/ไม่มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0/U$) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในท่อร้อยสายในอากาศ

| 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 | 60227 IEC 01, 60227 IEC 02, 60227 IEC 05, 60227 IEC 06, 60227 IEC 10, NYY, VCT, IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย | | | | | | | |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | | | | | |
| 1 | 10 | 10 | 9 | 9 | 12 | 11 | 10 | 10 |
| 1.5 | 13 | 12 | 12 | 11 | 15 | 14 | 13 | 13 |
| 2.5 | 17 | 16 | 16 | 15 | 21 | 20 | 18 | 17 |
| 4 | 23 | 22 | 21 | 20 | 28 | 26 | 24 | 23 |
| 6 | 30 | 28 | 27 | 25 | 36 | 33 | 31 | 30 |
| 10 | 40 | 37 | 37 | 34 | 50 | 45 | 44 | 40 |
| 16 | 53 | 50 | 49 | 45 | 66 | 60 | 59 | 54 |
| 25 | 70 | 65 | 64 | 59 | 88 | 78 | 77 | 70 |
| 35 | 86 | 80 | 77 | 72 | 109 | 97 | 96 | 86 |

**ตารางที่ 5-43**

ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C ใช้กับค่าขนาดกระแสของสายเคเบิล เมื่อเดินในอากาศ

| อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส) | 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 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

**ตารางที่ 5-8**

ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสเนื่องจากจำนวนสายที่นำกระแสในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกัน หรือเดินสายบนผิวมากกว่า 1 กลุ่มวงจร

| จำนวนกลุ่มวงจร | ตัวคูณปรับค่ากรณีในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกัน | ตัวคูณปรับค่ากรณีเดินสายบนผิวหรือเดินสายเกาะผนัง |
|---|---|---|
| 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 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

**ข้อสรุปจากตัวอย่างที่ 8.1 และตัวอย่างที่ 8.2**

**1. การออกแบบคำนวณสำหรับวงจรเต้ารับ**

1.1 เมื่อทราบข้อกำหนดของโหลดและข้อจำกัดอื่นๆ แล้ว การออกแบบคำนวณวงจรย่อยที่โหลดนั้น ต้องมีการเลือกขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเหมาะสมกับโหลด โดยที่การออกแบบคำนวณแบบเดิมๆ ที่ได้ผลลัพธ์การเลือกขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่แตกต่างกันถึง 25 % ที่การเลือกขนาดใหญ่กว่าการออกคำนวณที่เหมาะสม แต่จริงๆแล้ว การออกแบบคำนวณแบบเดิมๆ จะต่างกันมากถึง 60 % เพราะเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 10 AT กับ ขนาด 16 AT ดังนั้นเห็นได้ชัดเจนว่าการออกแบบคำนวณที่เหมาะสม จะต้องพิจารณาถึงโหลดและการเลือกใช้งานเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ต้องทราบถึงคุณสมบัติของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ว่า C10 หมายถึง เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 10 AT Curve C ที่มีการทำงานสำหรับหน้าที่ป้องกันกระแสเกินเริ่มต้นที่ 13 % - 45 % หมายถึงเซอร์กิตเบรกเกอร์จะเริ่มทำงาน (ทริป) ตั้งแต่ 11.3 A – 14.5 A

1.2 เมื่อได้ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์แล้ว จะออกแบบคำนวณหาขนาดสายไฟ โดยเริ่มต้นจากการเลือกขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ 10 A การออกแบบคำนวณแบบเดิมๆ ที่มีการเลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ 16 A ก็จะใช้ 1.25 คูณ จะได้ขนาดสายไฟที่ 20 A เมื่อเลือกขนาดสายไฟตามตารางที่ 5-20 จะได้ขนาดสายไฟ IEC 01 แกนเดียว 1 เฟส 230 V เดินสายแบบร้อยท่อ ใช้สายไฟที่ขนาด 2.5 ตร.มม ซึ่งแตกต่างกับการออกแบบคำนวณที่เหมาะสม จะมีการคำนึงถึงอุณหภูมิการใช้งาน และจำนวนกลุ่มวงจร จะได้ขนาดสายไฟขนาด 1.5 ตร.มม ซึ่งแตกต่างกันมากถึง 40 %

(2.5 กับ 1.5 ตร.มม) ซึ่งมีผลมาจาก 2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการออกแบบคำนวณที่มากเกินการใช้งาน คือ การคูณ 1.25 ในการหาขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์และสายไฟ ทั้งนี้วงจรเต้ารับและวงจรย่อยตามข้อกำหนดที่ 3.1.3 ของมาตรฐานติดตั้งฯ จะให้ใช้สายไฟขนาด 2.5 ตร.มม ผลที่ได้ทั้งแบบที่เหมาะสมกับวิธีแบบเดิม จึงได้ค่าที่เท่ากัน ซึ่งหากเป็นพิกัดกระแสใช้งานอื่นๆ ที่สูงขึ้นเราก็จะเห็นผลที่แตกต่างกันได้ชัดเจนมากขึ้น

**2. การออกแบบคำนวณสำหรับวงจรปรับอากาศ**

2.1 การหาขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ของวงจรปรับอากาศที่กระแส (15.5 -17 A คิดที่ 17 A) มีกระแสกระชากที่ 1.75 เท่า ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ออกแบบคำนวณได้จากแบบที่เหมาะสมเท่ากับ 20 A โดยแบบวิธีแบบเดิม เท่ากับ 32 A ที่แตกต่างกันถึง 60 % โดยมีผลกระทบอย่างเห็นได้ชัดสำหรับการเลือกขนาดสายไฟ

2.2 การหาขนาดสายไฟของวงจรปรับอากาศ การออกแบบคำนวณที่เหมาะสม เพื่อหาขนาดสายไฟจากสูตรการหาขนาดสายไฟ It $\geq$ In / (Ca x Cg) โดยการกำหนดตัวคูณปรับค่า Ca และ Cg ค่า Ca ที่อุณหภูมิ < 40 $^{0}$C ไม่ต้องปรับค่า = 1 ตามตารางที่ 5-43 ค่า Cg ที่ 2 กลุ่มวงจรไม่ต้องปรับค่า = 0.85 ตามตารางที่ 5-8 และกระแสของโหลดที่ 17 A จะได้ขนาดของสายไฟ (It) $\geq$ 20 A เลือกสายไฟแกนเดียว IEC 01 เดินสายแบบร้อยท่อ กลุ่ม 2 สำหรับวงจรย่อยปรับอากาศ 17 A 1 Ph 230 V ตามตารางที่ 5-20 มาตรฐานการติดตั้งฯ เลือกขนาดสายไฟที่ขนาด 2.5 ตร.มม. ที่สามารถรับกระแสได้ถึง 21 A ตามกรอบสีน้ำเงิน ด้านล่างของตารางที่ 5-20

ซึ่งมีความแตกต่างกับการออกแบบคำนวณวิธีแบบเดิมที่ 1 ตามที่แสดงในตารางคำนวณ เมื่อได้ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ของวงจรปรับอากาศแล้ว จะออกแบบคำนวณหาขนาดสายไฟแบบโดยเริ่มต้นจากพิกัดกระแสของเครื่องปรับอากาศที่ 17 A แล้วคูณ 125 % จะได้ขนาดกระแสของสายไฟที่ 17 x 1.25 = 21.25 A เลือกขนาดสายไฟ ตามตารางที่ 5-20 ของมาตรฐานการติดตั้งฯ จะได้**สายไฟขนาด = 4 ตร.มม.** แบบแกนเดียวที่สามารถรับกระแสไฟได้ถึง 28 A

หรือวิธีแบบเดิมๆที่ 2 ที่หนักกว่าวิธีแบบเดิมที่ 1 อีกอย่างมาก ที่เริ่มต้นจากการเลือกขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ 32 A เมื่อต้องการออกแบบคำนวณหาขนาดสายไฟ จะคิดโดย 32 x 1.25 $\geq$ 40 A เพื่อไปเลือกขนาดสายไฟ ตามตารางที่ 5-20 จะได้ขนาดสายไฟที่ 10 ตร.มม ที่รับกระแสได้ถึง 50 A

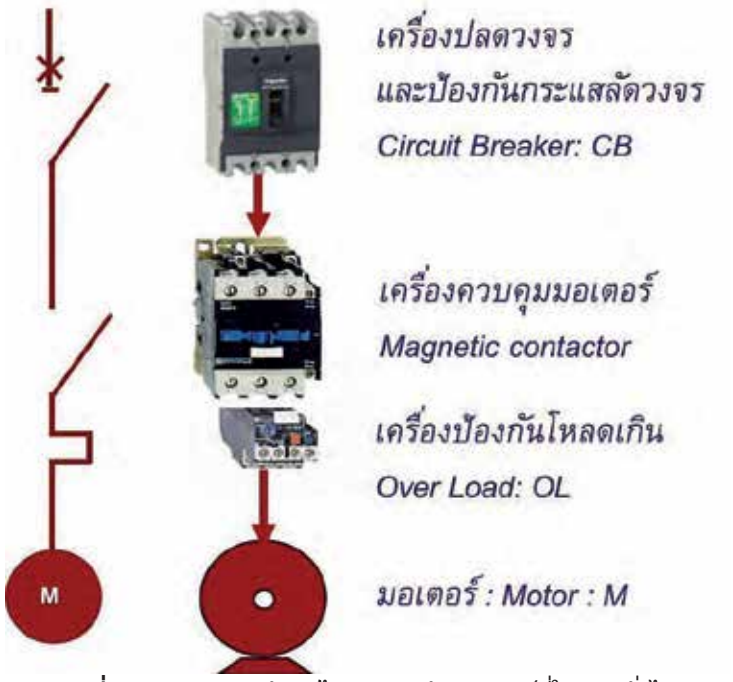
ดังนั้นการหาขนาดสายไฟ**แบบวิธีที่เหมาะสม จะได้สายไฟที่ 2.5 ตร.มม (21 A)** เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแบบเดิมที่ 1 จะได้ขนาดสายไฟที่ 4 ตร.มม (28 A) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมากถึง 60% (2.5 ตร.มม กับ 4 ตร.มม) ที่ค่ากระแสแตกต่างกันถึง 33% (21 A กับ 28 A) และ
เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแบบเดิมที่ 2 จะได้ขนาดสายไฟที่ 10 ตร.มม (50 A) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมากๆ ถึง 300% (2.5 ตร.มม กับ 10 ตร.มม) ที่ค่ากระแสแตกต่างกันถึง 138% (21 A กับ 50 A)

ความแตกต่างกันอย่างชัดเจน มีผลมาจากปัจจัยการออกแบบคำนวณที่มากเกินการใช้งาน คือ การคูณ 1.25 ในการหาขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์และสายไฟ

## 8.4 การคำนวณวงจรบริภัณฑ์ไฟฟ้าหรือเครื่องป้องกันและสายป้อนมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ วงจรมอเตอร์ และเครื่องควบคุม รวมถึงสายป้อนมอเตอร์ ถือเป็นอีกหนึ่งบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ถูกละเลย มีการออกแบบคำนวณและเลือกใช้ไม่ตรงกับคุณสมบัติของมอเตอร์และบริภัณฑ์ไฟฟ้าสำหรับเครื่องควบคุมที่เหมาะสม เนื่องจากมีการออกแบบคำนวณและเลือกใช้ขนาดที่ไม่เหมาะสม ไม่สามารถควบคุมหรือป้องกันมอเตอร์ได้อย่างดี ในส่วนนี้จะกล่าวเฉพาะมอเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป ไม่ได้กล่าวถึงมอเตอร์ในบริเวณอันตราย

การออกแบบคำนวณเครื่องควบคุม รวมถึงสายป้อนมอเตอร์ ต้องมีการพิจารณารายละเอียดคุณลักษณะสมบัติเฉพาะของมอเตอร์ที่ใช้งาน และการพิจารณาจากกราฟคุณสมบัติของมอเตอร์และเครื่องควบคุม รวมถึงบริภัณฑ์ไฟฟ้าประกอบที่เกี่ยวข้อง เช่น มอเตอร์สตาร์ทเตอร์ แมคเนติกคอนแทคเตอร์ สายไฟ เป็นต้น เพื่อนำมาออกแบบคำนวณเครื่องควบคุม การเลือกใช้ และการติดตั้งที่ถูกต้องได้อย่างเหมาะสม ที่ผ่านมาในอดีตจากประสบการณ์ของทุกท่านจะเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ แมคเนติกคอนแทคเตอร์ โอเวอร์โหลด สำหรับควบคุมมอเตอร์โดยมีวงจรดังนี้




**รูปที่ 8.10** วงจรบริภัณฑ์ไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป

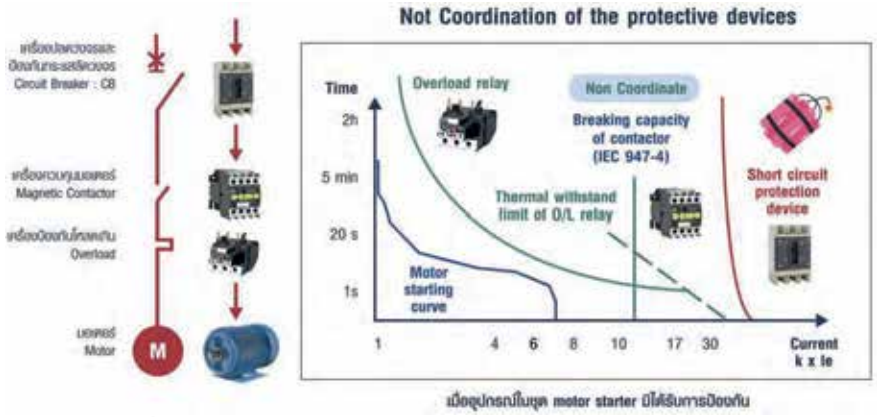
หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.: จาก *Brochure and technical data for LV switchgear*, 2024b, โดย Schneider Electric.

## 8.5 บริภัณฑ์ไฟฟ้าเพื่อป้องกันมอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้าหรือ โหลดหรือ บริภัณฑ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลาย ช่วยอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน และเป็นส่วนหนึ่งการขับเคลื่อนทางอุตสาหกรรมในภาคส่วนต่างๆ อย่างแพร่หลาย การออกแบบคำนวณบริภัณฑ์ไฟฟ้าเพื่อป้องกันหรือเครื่องควบคุมมอเตอร์ที่ผ่านมามีการใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบธรรมดา แมคเนติกคอนแทคเตอร์ โอเวอร์โหลด และอื่นๆ โดยมีการออกแบบคำนวณเพื่อเลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบธรรมดาที่จำเป็นต้องเลือกใช้ขนาดใหญ่ๆ มากกว่า 4 - 7 เท่าของกระแสใช้งาน เพื่อให้มอเตอร์สามารถสตาร์ทหรือมีการกระชากให้มอเตอร์เริ่มหมุนได้ โดยกระแสที่กระชากส่วนใหญ่มีขนาดมากกว่า 4 - 7 เท่าของกระแสใช้งาน จึงมีการเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบธรรมดาและเพิ่มขนาดพิกัดกระแสป้องกันกระแสเกินมากขึ้น 4 - 7 เท่าของกระแสใช้งานด้วย มอเตอร์ดังกล่าวจึงจะสามารถสตาร์ทหรือเริ่มหมุนได้ ถ้ามีการใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบธรรมดาที่มีพิกัดกระแสเกินไม่ได้ตามพิกัดกระแสสตาร์ท ก็จะไม่สามารถสตาร์ทมอเตอร์ดังกล่าวได้ ดังนั้นถ้ามีการเผื่อขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีขนาดใหญ่ๆ เกินมากๆ เซอร์กิตเบรกเกอร์ของวงจรมอเตอร์นั้นๆ ก็จะสูญเสียหน้าที่ในการป้องกันกระแสเกินและกระแสลัดวงจรไปอย่างที่ไม่ต้องการ สำหรับการป้องกันกระแสเกินอาจใช้โอเวอร์โหลดช่วยป้องกันได้ แต่ในส่วนการป้องกันกระแสลัดวงจรนั้น ไม่มีส่วนใดที่มีหน้าที่ป้องกันกระแสลัดวงจรได้ดีไปกว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์ (เซอร์กิตเบรกเกอร์หรือฟิวส์)

การออกแบบคำนวณ ตามกราฟคุณสมบัติการป้องกันกระแสลัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีพิกัดที่ขนาดใหญ่มากๆ ตามขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เลือกใช้ ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถทำหน้าที่ป้องกันกระแสลัดวงจรสำหรับการควบคุมการทำงานมอเตอร์ได้ ซึ่งเป็นอันตรายอย่างมากกับระบบไฟฟ้า ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ทั้งนี้อีกหนึ่งหน้าที่ของเซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับการป้องกันกระแสเกิน ก็จะไม่สามารถทำงานเพื่อป้องกันมอเตอร์ได้ จึงต้องมีเครื่องป้องกันโหลดเกินหรือ Overload: OL อีกหนึ่งตัวด้านล่างของแมคเนติคคอนแทคเตอร์เพื่อป้องกันกระแสเกินของมอเตอร์ ดังนั้นวงจรเชิงเดี่ยวดังกล่าวด้านบน จึงเป็นวงจรมอเตอร์ที่ไม่เหมาะสม เพราะขนาดและประเภทของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เลือกใช้งานไม่เหมาะสม และยังมีหน้าที่ซ้ำซ้อนกับ OL แต่เป็น OL ที่ไม่สามารถทำงานเพื่อป้องกันมอเตอร์ได้เลย

การออกแบบและคำนวณมอเตอร์ สำหรับวงจรเชิงเดี่ยว (Single Line Diagram: SLD) บริภัณฑ์ไฟฟ้า เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบธรรมดา แมคเนติกคอนแทคเตอร์ โอเวอร์โหลด หรือบริภัณฑ์ไฟฟ้าอื่นๆ ที่ได้นำกราฟคุณสมบัติของบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่างๆ มาทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะสมบัติการทำงาน เพื่อป้องกันและควบคุมมอเตอร์ ที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบธรรมดาที่เลือกใช้นี้ ไม่สามารถป้องกันกระแสเกินและป้องกันกระแสลัดวงจรของมอเตอร์ได้ และยังต้องมีการทำงานที่ทับซ้อนของการป้องกันกระแสเกินของเซอร์กิตเบรกเกอร์และโอเวอร์โหลด ดังภาพด้านล่างนี้

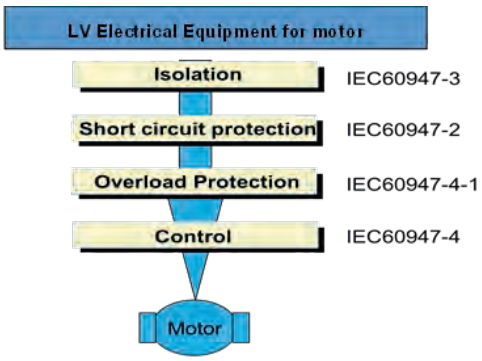



**รูปที่ 8.11** ตัวอย่างกราฟของอุปกรณ์ในชุดมอเตอร์ที่ไม่เหมาะสม

หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.: จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.: จาก Brochure and technical data for LV switchgear*, 2024b, โดย Schneider Electric.

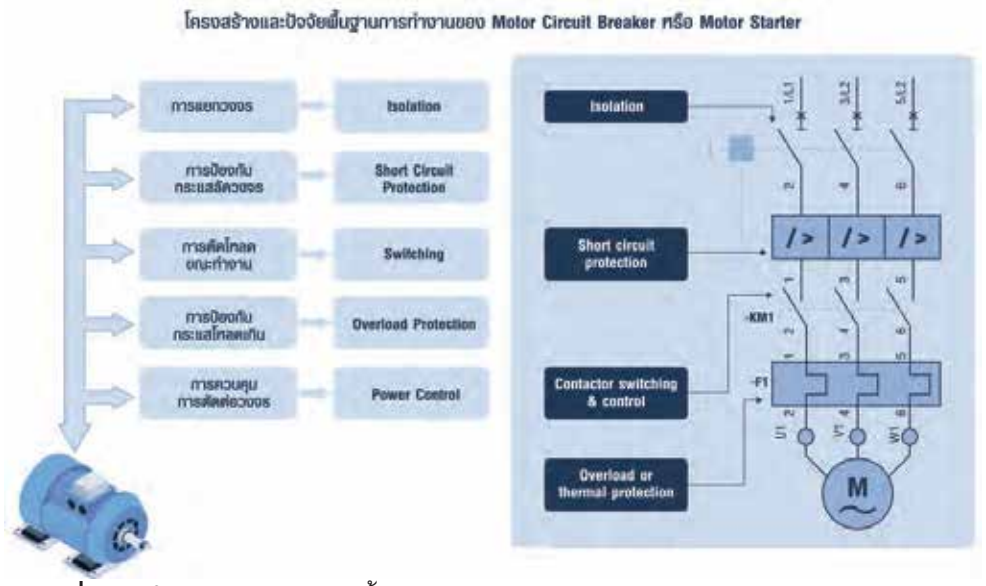
ที่ผ่านมาหลายสิบปี มีเทคโนโลยีที่นำมาใช้เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับมอเตอร์ โดยใช้มอเตอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์หรือมอเตอร์สตาร์ทเตอร์ ที่มีการออกแบบคำนวณเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับการเป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าหรือเครื่องควบคุมมอเตอร์โดยตรง ที่มีหน้าที่ดังนี้

1. ตัดต่อและ Isolation วงจร ตาม IEC 60947-3,4
2. ป้องกันกระแสเกินและกระแสลัดวงจร ตาม IEC 60947-2
3. การควบคุมและการตัดต่อวงจรโดย Power control ตาม IEC 60947-4




**รูปที่ 8.12** มาตรฐาน IEC ที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์

หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.: จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.: จาก Brochure and technical data for LV switchgear*, 2024b, โดย Schneider Electric.

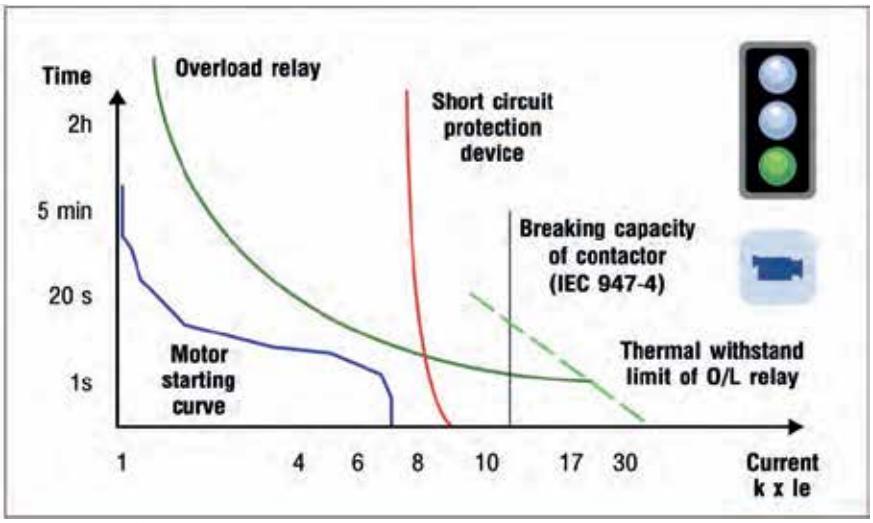



**รูปที่ 8.13** โครงสร้างและปัจจัยพื้นฐานการทำงานของ Motor Circuit Breaker หรือ Motor Starter

หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.: จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.: จาก Brochure and technical data for LV switchgear*, 2024b, โดย Schneider Electric.

สำหรับการออกแบบคำนวณ ที่เหมาะสมทันสมัย มีการเลือกใช้งานมาอย่างยาวนานมากกว่า 20 ปีที่ผ่านมา จะมีการเลือกใช้มอเตอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Motor Circuit Breaker) หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์สตาร์ทเตอร์ (Circuit Breaker Starter) เป็นประเภทที่เหมาะสมกับการใช้ควบคุมมอเตอร์อย่างดี โดยมอเตอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้งานจะมีโครงสร้าง และปัจจัยพื้นฐานการทำงาน ที่เป็นไปตามมาตรฐานในการทำงานควบคุมมอเตอร์อย่างเหมาะสมดังนี้

กราฟคุณสมบัติการทำงานร่วมกันอย่างเหมาะสมของการเลือกใช้บริภัณฑ์ไฟฟ้ามอเตอร์ มอเตอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์(ตัดต่อวงจร+ป้องกันกระแสเกิน+ป้องกันกระแสลัดวงจร) และแมคเนติคคอนแทคเตอร์ อย่างเหมาะสมดังรูป




**รูปที่ 8.14** กราฟการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ที่เหมาะสม

หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.: จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.: จาก Brochure and technical data for LV switchgear*, 2024b, โดย Schneider Electric.

ข้อกำหนดตามมาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบคำนวณบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่างๆ เพื่อวงจรมอเตอร์ดังนี้

- มอเตอร์ใช้งานประเภทต่อเนื่องขนาดเกิน 1 แรงม้า มอเตอร์แต่ละตัวต้องมีการป้องกันการใช้งานเกินกำลังด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้ (6.3.12.1: วสท.)

ก. เครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลัง (Overload: O.L) ติดตั้งแยกต่างหากจากมอเตอร์และทำงานสัมพันธ์กับกระแสของมอเตอร์ ขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังต้องไม่เกินร้อยละของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ ดังนี้

- ❖ มอเตอร์ที่ระบุตัวประกอบใช้งาน (service factor) ไม่น้อยกว่า 1.15 ร้อยละ 125
- ❖ มอเตอร์ที่ระบุอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ไม่เกิน 40 $^{0}$C ร้อยละ 125
- ❖ มอเตอร์อื่นๆ ร้อยละ 100

ข. เครื่องป้องกันอุณหภูมิสูงเกินกำหนด ที่ติดตั้งที่ตัวมอเตอร์ซึ่งได้ออกแบบเพื่อป้องกันมอเตอร์เสียหายจากอุณหภูมิสูงเกินกำหนดเนื่องจากการใช้งานเกินกำลังหรือเริ่มเดินไม่สำเร็จ ต้องตัดกระแสที่เข้ามอเตอร์ไม่เกินร้อยละของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ตามคำแนะนำของผู้ผลิต (วสท.,2567) กรณีไม่มีข้อมูลให้ปรับตั้งดังนี้

- ❖ มอเตอร์ที่มีกระแสโหลดเต็มที่ไม่เกิน 9 แอมแปร์ ร้อยละ 170
- ❖ มอเตอร์ที่มีกระแสโหลดเต็มที่ตั้งแต่ 9.1 ถึง 20 แอมแปร์ ร้อยละ 156
- ❖ มอเตอร์ที่มีกระแสโหลดเต็มที่ เกินกว่า 20 แอมแปร์ ร้อยละ 140

**ขนาดหรือการปรับตั้งสำหรับวงจรที่มีมอเตอร์ตัวเดียว** (6.3.21 อ้างอิงมาจากมาตรฐาน วสท.)

เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรระหว่างสายและป้องกันการรั่วลงดินสำหรับวงจรย่อย เครื่องป้องกันฯ ต้องสามารถทนกระแสเริ่มเดินของมอเตอร์ได้ และมีขนาดหรือการปรับตั้งไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 6-3 ถ้าค่าที่กำหนดในตารางที่ 6-3 ไม่ตรงกับมาตรฐานของฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ ให้ใช้ขนาดตามมาตรฐานที่สูงถัดไปได้ กรณีที่เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรตัดวงจรขณะมอเตอร์เริ่มเดินในสภาพการใช้งานปกติ ให้เปลี่ยนขนาดของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรให้สูงขึ้นไปได้ดังนี้

**ตารางที่ 8.2** พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรระหว่างสายและป้องกันการรั่วลงดินของวงจรย่อยมอเตอร์ (ตารางที่ 6-3 : วสท.)

| ชนิดของมอเตอร์ | ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ฟิวส์ทำงานไว | ฟิวส์หน่วงเวลา | เซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดทันที | เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน |
| มอเตอร์ 1 เฟส | 300 | 175 | 800 | 250 |
| มอเตอร์กระแสสลับแบบโพลีเฟสอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากแบบเวาด์โรเตอร์ | 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 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน (inverse time circuit breaker) ขนาดไม่เกิน 100 แอมแปร์ ให้เปลี่ยนขนาดสูงขึ้นไปได้อีกแต่ต้องไม่เกินร้อยละ 400 ของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ ถ้าขนาดเกิน 100 แอมแปร์ ให้เปลี่ยนขนาดสูงขึ้นไปได้อีกแต่ต้องไม่เกินร้อยละ 300 ของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ (6.3.21.4: วสท.)

## 8.6 สายไฟสำหรับมอเตอร์

1. สายไฟสำหรับมอเตอร์ตัวเดียว ต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าร้อยละ 125 ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ ยกเว้นมอเตอร์ชนิดที่สามารถปรับความเร็วได้หลายค่า สายไฟที่ใช้จะต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าพิกัดกระแสบนแผ่นป้ายของมอเตอร์ตามคุณลักษณะสมบัติของมอเตอร์ (6.3.5.1)

2. สายไฟของวงจรย่อยมอเตอร์ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 1.5 ตร.มม. (6.3.5.2: วสท.)

3. สายไฟของมอเตอร์ที่ใช้งานประเภทต่อเนื่อง สายไฟที่ต่อระหว่างทุติยภูมิของมอเตอร์กับเครื่องควบคุมต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่า 1.25 ของกระแสโหลดเต็มที่ด้านทุติยภูมิ หรือเป็นไปตามคุณสมบัติที่ทำ Coordination (6.3.6.1: วสท.)

4. สายไฟของมอเตอร์ที่ใช้งานไม่ต่อเนื่อง สายไฟต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าจำนวนร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่ด้านทุติยภูมิของมอเตอร์ ตามตารางด้านล่างนี้ (ตารางที่ 6-1 มฐ.การติดตั้งฯ) (6.3.6.2: วสท.)

**ตารางที่ 8.3** ขนาดกระแสของสายสำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานไม่ต่อเนื่อง (ตารางที่ 6-1 : วสท.)

| ประเภทการใช้งาน | ร้อยละของพิกัดกระแสบนแผ่นป้ายประจำเครื่อง | | | |
|---|---|---|---|---|
| | มอเตอร์พิกัดใช้งาน 5 นาที | มอเตอร์พิกัดใช้งาน 15 นาที | มอเตอร์พิกัดใช้งาน 30 และ 60 นาที | มอเตอร์พิกัดใช้งานต่อเนื่อง |
| ใช้งานระยะสั้น เช่นมอเตอร์หมุนปิด-เปิดวาล์ว ฯลฯ | 110 | 120 | 150 | - |
| ใช้งานเป็นระยะ เช่นมอเตอร์ลิฟต์ มอเตอร์ปิด-เปิดสะพาน ฯลฯ | 85 | 85 | 90 | 140 |
| ใช้งานเป็นคาบ เช่นมอเตอร์หมุนลูกกลิ้ง ฯลฯ | 85 | 90 | 95 | 140 |
| ใช้งานที่เปลี่ยนแปลง | 110 | 120 | 150 | 200 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สายไฟสำหรับวงจรมอเตอร์หลายตัว สายไฟที่จ่ายกระแสให้กับมอเตอร์มากกว่า 1 ตัว ต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าผลรวมของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ทุกตัวบวกกับร้อยละ 25 ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ตัวใหญ่ที่สุดในวงจร ในกรณีที่มอเตอร์ตัวใหญ่ที่สุดมีหลายตัวให้บวกร้อยละ 25 เพียงตัวเดียว ในกรณีที่มีมอเตอร์แบบใช้งานไม่ต่อเนื่องปนอยู่ด้วย ในการหาขนาดสายให้ดำเนินการดังนี้

- หาขนาดกระแสของสายสำหรับมอเตอร์แบบใช้งานไม่ต่อเนื่อง ตามตารางที่ 6-1 (6.3.6.2)
- หาขนาดกระแสของสายสำหรับมอเตอร์แบบใช้งานต่อเนื่องโดยใช้ค่าร้อยละ 100 ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ (6.3.7.2)
- ตรวจค่ากระแสจากข้อ 6.3.7.1 และ 6.3.7.2 เมื่อพบว่าค่าดังกล่าวของมอเตอร์ตัวใดสูงสุดให้คูณด้วย 1.25 แล้วบวกด้วยค่าขนาดกระแสของสายสาหรับมอเตอร์ตัวอื่นที่เหลือใน ข้อ 6.3.7.1 และ 6.3.7.2 ทั้งหมด จะได้กำหนดขนาดกระแสของสายที่จ่ายไฟให้แก่มอเตอร์เหล่านั้น (6.3.7.3: วสท.)

## 8.7 ตัวอย่างกรณีศึกษาการออกแบบและเลือกใช้บริภัณฑ์ไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า

**ตัวอย่างที่ 8.3**

โรงงาน BCC1 มีมอเตอร์ 3 ตัว ดังนี้ M1 = 60 A, M2 = 50 A, M3 = 40 A จงคำนวณหาขนาดสายป้อนของมอเตอร์ทั้งสามตัว

วิธีทำ

มอเตอร์ M1 = 60 A กินกระแสสูงสุด

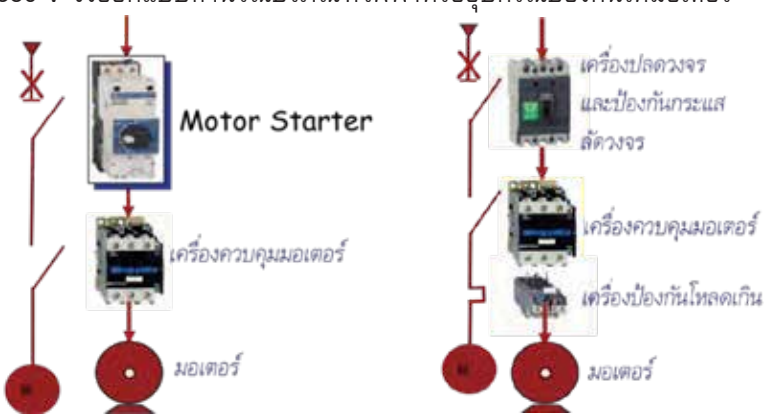
จากสูตรขนาดสายป้อนของมอเตอร์ = 1.25 x มอเตอร์ที่กินกระแสสูงสุด + มอเตอร์ตัวที่เหลือ

ดังนั้นขนาดสายป้อนของมอเตอร์ทั้ง 3 ตัว = (1.25 x 60) + 50 + 40 = 165 A

- การต่อสายแยกจากสายป้อน สายไฟต้องเดินในท่อร้อยสายไฟและยาวไม่เกิน 3 เมตร (6.3.11.1)
- การต่อสายแยกจากสายป้อน มีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่า 1/3 ของขนาดกระแสของสายป้อนและมีการป้องกันความเสียหายทางกายภาพ ความยาวไม่เกิน 7.5 เมตร (6.3.11.2)
- ขนาดกระแสเท่ากับสายป้อน คือ การต่อสายแยกจากสายป้อน มีขนาดกระแสเท่ากับสายป้อน (6.3.11.3: วสท.)

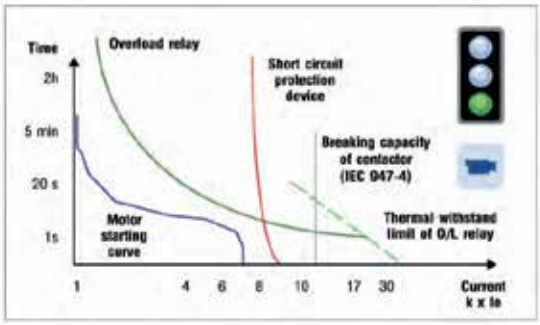
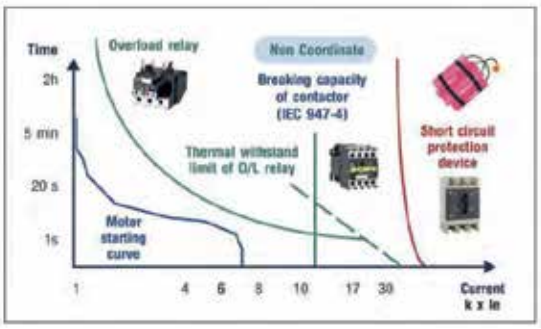
**ตัวอย่างที่ 8.4**

โรงงาน BCC1 Squirrel-cage Motors (AC3) 3 เฟส 22 kW, 41 A ใช้งานแบบต่อเนื่องตามพิกัด 380 V จงออกแบบคำนวณบริภัณฑ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ป้องกันให้มอเตอร์




**รูปที่ 8.15** ตัวอย่างการเปรียบเทียบการออกแบบบริภัณฑ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์

หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.: จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.: จาก Brochure and technical data for LV switchgear*, 2024b, โดย Schneider Electric.

| การออกแบบคำนวณที่เหมาะสมตาม มฐ. | การออกแบบคำนวณวิธีแบบเดิม |
|---|---|
| Squirrel-cage Motors 3 เฟส 22 kW, 41 A 380 V จงออกแบบคำนวณหา Motor Starter CB และเครื่องควบคุมมอเตอร์หรือแมคเนติคคอนแทคเตอร์<br>1. Motor CB = Motor 3 Ph. 22 kW 41 A 400 V<br>= GV3P50 rating **50 A** (Build in O.L)<br>CB.O.L = 37 – 50 A<br>2. Magnetic = LC1D50A<br>Coordinated. | Squirrel-cage Motors 3 เฟส 22 kW, 41 A 380 V จงออกแบบคำนวณหา CB เครื่องควบคุมมอเตอร์หรือแมคเนติคคอนแทคเตอร์และโอเวอร์โหลด<br>1.CB = 250 % x 41= 2.5 x 41 = 102.5 A<br>= **100 AT**<br>2.Magnetic = ใช้ขนาด 50 A หรือ LC1D50A<br>3.O.L = 37 – 50A<br>Non coordinated. |
|  |  |

หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.: จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.: จาก Brochure and technical data for LV switchgear*, 2024b, โดย Schneider Electric.

**ตารางที่ 8.4** ตารางการเลือกบริภัณฑ์ไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์



ตารางการเลือกสินค้า สำหรับการสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า (Star-Delta) สูงสุดถึง 75 กิโลวัตต์ที่ 400/415V โคออดิเนชั่น ประเภทที่ 2

คุณลักษณะมอเตอร์ 3 เฟส

TeSys Control > Protect > Power > Active

B

22

| กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) | พิกัดกระแส | มอเตอร์เบรคเกอร์ | คอนแทคเตอร์วงจรเมน (KM1) | คอนแทคเตอร์วงจรเดลต้า (KM2) | คอนแทคเตอร์วงจรสตาร์ (KM3) | ช่วงปรับกระแสโอเวอร์โหลด (A) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.5 | 3.6 | GV2P08 | LC1D09** | LC1D09 | LC1D09** | 2.5...4 |
| 2.2 | 4.8 | GV2P10 | LC1D18** | LC1D18** | LC1D18** | 4...6.3 |
| 3 | 6.5 | GV2P14 | LC1D18** | LC1D18** | LC1D18** | 6...10 |
| 4 | 8.5 | GV2P14 | LC1D18** | LC1D18** | LC1D18** | 6...10 |
| 5.5 | 11.5 | GV2P16 | LC1D25** | LC1D25** | LC1D25** | 9...14 |
| 7.5 | 15.5 | GV2P20 | LC1D25** | LC1D25** | LC1D25** | 12...18 |
| 9 | 18.1 | GV2P21 | LC1D25** | LC1D25** | LC1D25** | 17...23 |
| 11 | 22 | GV2P22 | LC1D25** | LC1D25** | LC1D25** | 20...25 |
| 15 | 29 | GV3P32 | LC1D40A** | LC1D40A** | LC1D40A** | 23...32 |
| 18.5 | 35 | GV3P40 | LC1D50A** | LC1D50A** | LC1D40A** | 30...40 |
| 22 | 41 | GV3P50 | LC1D50A** | LC1D50A** | LC1D40A** | 37...50 |
| 30 | 55 | GV3P65 | LC1D65A** | LC1D65A** | LC1D40A** | 48...65 |

หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.: จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.: จาก Brochure and technical data for LV switchgear*, 2024b, โดย Schneider Electric.

**ตารางที่ 6-3**

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรระหว่างสายและป้องกันการรั่วลงดินของวงจรย่อยมอเตอร์

| ชนิดของมอเตอร์ | ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ฟิวส์ทำงานไว | ฟิวส์หน่วงเวลา | เซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดทันที | เซอร์กิตเบรกเกอร์เวลาผกผัน |
| มอเตอร์ 1 เฟส | 300 | 175 | 800 | 250 |
| มอเตอร์กระแสสลับแบบโพลีเฟสอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากแบบเวาด์โรเตอร์ | 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 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

**<u>ตัวอย่างที่ 8.5</u>**

อาคาร BCC2 ช่วยออกแบบคำนวณเลือกใช้บริภัณฑ์ไฟฟ้าต่าง ๆของมอเตอร์ 3 เฟส 380 V ดังนี้

M1 55 kW, 97 A ใช้งาน 5 นาที ใช้สำหรับลูกกลิ้งบดแป้ง

M2 37 kW, 66 A ใช้งาน 5 นาที ใช้เป็นมอเตอร์ปิด - เปิดวาล์ว

M3 22 kW, 41 A ใช้งานแบบต่อเนื่องตามพิกัด

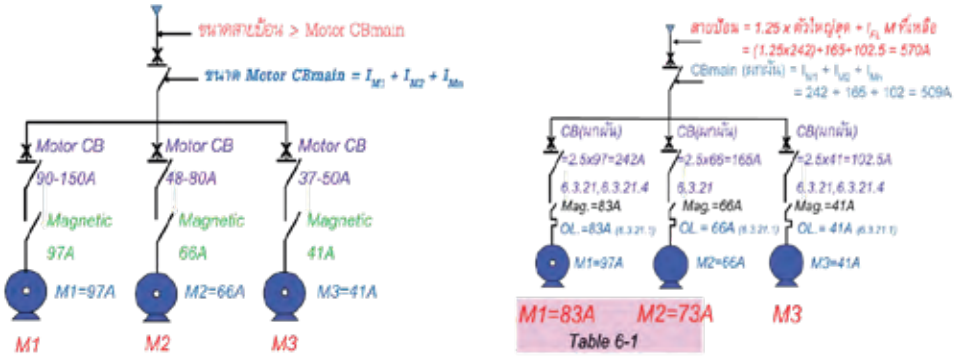
โดย M1 M2 M3 เป็นมอเตอร์อื่นๆ ตาม มฐ.ข้อ 6.3.12.1 ก

**ตารางที่ 6-1** ขนาดกระแสของสายสำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานไม่ต่อเนื่อง

| | ประเภทการใช้งาน | ร้อยละของพิกัดกระแสบนแผ่นป้ายประจำเครื่อง | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | มอเตอร์พิกัดใช้งาน 5 นาที | มอเตอร์พิกัดใช้งาน 15 นาที | มอเตอร์พิกัดใช้งาน 30 และ 60 นาที | มอเตอร์พิกัดใช้งานต่อเนื่อง |
| M2 | ใช้งานระยะสั้น เช่นมอเตอร์หมุนปิด-เปิดวาล์ว ฯลฯ | 110 | 120 | 150 | - |
| | ใช้งานเป็นระยะ เช่นมอเตอร์ลิฟต์ มอเตอร์ปิด-เปิดสะพาน ฯลฯ | 85 | 85 | 90 | 140 |
| M1 | ใช้งานเป็นคาบ เช่นมอเตอร์หมุนลูกกลิ้ง ฯลฯ | 85 | 90 | 95 | 140 |
| | ใช้งานที่เปลี่ยนแปลง | 110 | 120 | 150 | 200 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เปรียบเทียบการออกแบบคำนวณบริภัณฑ์ไฟฟ้า เช่น Motor CB, CB, Magnetic, OL, Motor CBmain, และสายไฟแบบที่เหมาะสม กับแบบวิธีแบบเดิม




**รูปที่ 8.16** การเปรียบเทียบการออกแบบตามตัวอย่างที่ 8.5

| การออกแบบคำนวณที่เหมาะสมตาม มฐ. | การออกแบบคำนวณวิธีแบบเดิม |
|---|---|
| กำหนดให้<br>**M1 55 kW**, 97 A ใช้งาน 5 นาที เป็นลูกกลิ้งบดแป้ง ตามตารางเลือกใช้ Motor CB, Magnetic etc.<br>**Motor CB for M1 = GV4P115 (65 -115 A)**<br>**Magnetic contactor = LC1D115 (97 A)**<br>**OL ใช้ที่ Motor CB ไม่จำเป็นต้องเพิ่ม OL** อีก<br>ขนาดสายไฟ $\geq$ 97 A | กำหนดให้<br>**M1 55 kW**, 97 A ใช้งาน 5 นาที เป็นลูกกลิ้งบดแป้ง<br>ตาราง 6-1 ได้ K1 = 85 % หรือ 0.85<br>ขนาดสาย M1 = 0.85 x 97 = 83 A (M1 = Max)<br>**CB M1(ผกผัน) = 2.5 x 97**<br>**= 242 A** (6.3.21, 6.3.21.4)<br>**Magnetic contactor & OL = 83 A** (6.3.21.1) |
| **M2 37 kW**, 66 A, ใช้งาน 5 นาที ใช้เป็นมอเตอร์ปิด – เปิดวาล์ว ตารางการเลือกใช้ฯ<br>**Motor CB for M2 = GV4P80 (40-80A)**<br>**Magnetic contactor = LC1D80 (66 A)**<br>**OLใช้ที่ Motor CB ไม่จำเป็นต้องเพิ่ม OL** อีก<br>ขนาดสายไฟ $\geq$ 66 A | **M2 37 kW**, 66 A, ใช้งาน 5 นาที ใช้เป็นมอเตอร์ปิด – เปิดวาล์ว ตาราง 6-1 ได้ K1 = 110% หรือ 1.1<br>ขนาดสาย M2 = 1.1 x 66 = 73 A<br>**CB M2(ผกผัน) = 2.5 x 66**<br>**= 165 A** (6.3.21, 6.3.21.4)<br>**Magnetic contactor & O.L = 66 A** |
| **M3 22 kW**, 41 A ใช้งานแบบต่อเนื่องตามพิกัด<br>**Motor CB for M3 = GV3P50 (37-50A)**<br>**Magnetic contactor = LC1D50 (41 A)**<br>**OL ใช้ที่ Motor CB ไม่จำเป็นต้องเพิ่ม OL** อีก<br>ขนาดสายไฟ $\geq$ 41 A | **M3 22 kW**, 41 A ใช้งานแบบต่อเนื่องตามพิกัด<br>ขนาดสาย M3 = 41 A<br>**CB M3(ผกผัน) = 2.5 x 41**<br>**= 102.5A** (6.3.21, 6.3.21.4)<br>**Magnetic contactor & OL = 41 A** |
| **การหาขนาด CBmain**<br>Motor CBmain = M1 + M2 + M3<br>= 97 + 66 + 41<br>Motor CBmain = 204 A<br>**Motor CB. Main = NS400.MA (200 – 330 A)**<br>**ขนาดสายป้อนที่มีพิกัดมากกว่า 204 A**<br>การเลือกขนาด Motor CBmain, Motor CB, Magnetic สามารถสตาร์ทมอเตอร์ ได้ โดยควรพิจารณา Coordination Curve ของ Motor, Motor CBmain, Motor CB, Magnetic และสายไฟร่วมกัน | **การหาขนาด CBmain**<br>**CBmain(ผกผัน)= 242 +165 + 102.5 = 509 A**<br>การเลือกขนาดของ CB แบบธรรมดา Magnetic และ OL อาจไม่สามารถสตาร์ทมอเตอร์ และ CB อาจไม่สามารถทำงานสัมพันธ์ Non Coordinated<br>ขนาดสายป้อน $\geq$ (1.25 x M1) + M2 + M3<br>$\geq$ (1.25 x 83) + 73 + 41<br>**ขนาดสายป้อน $\geq$ 217.75 A**<br>การเลือก CB, Magnetic, OL และสายไฟ อาจไม่สามารถทำงานสัมพันธ์ที่ดี (Non Coordinated) |

หมายเหตุ การเลือกใช้ Motor CB, Magnetic contactor, Overload(OL) ที่แสดงไว้นั้น ท่านสามารถดูได้จากเอกสารแนบท้ายนี้ หรือสามารถใช้ผลิตภัณฑ์ตราสินค้าอื่นๆ ได้ตามเหมาะสมทั้งนี้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าการออกแบบคำนวณที่เหมาะสม จะได้ผลที่เหมาะสม ขนาดเล็กกว่าอย่างมากเมื่อเทียบกับการออกแบบคำนวณวิธีแบบเดิม (ขนาดสายไฟสามารถใช้ตามมฐ.ฯ) ทั้งนี้การเลือกแบบที่เหมาะสมจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดูลักษณะการทำงานของมอเตอร์ ให้ Coordination Setting ของบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่างๆ

**ตารางที่ 8.5** ตารางการเลือกบริภัณฑ์ไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์


ตารางการเลือกสินค้า สำหรับการสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า (Star-Delta) สูงสุดถึง 75 กิโลวัตต์ที่ 400/415V โคออดิเนชั่น ประเภทที่ 2

TeSys
Control > Protect > Power > Active
B
22

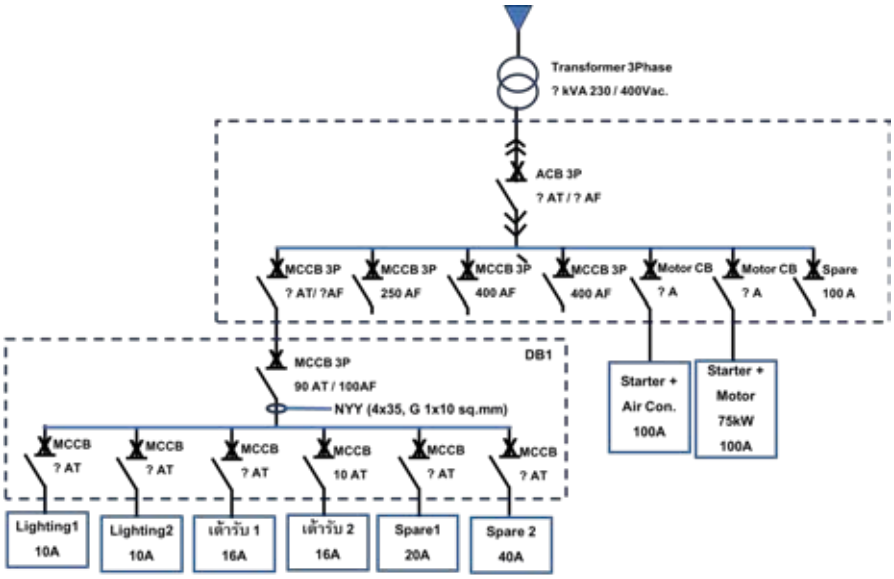
หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.: จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.: จาก Brochure and technical data for LV switchgear*, 2024b, โดย Schneider Electric.

**ตัวอย่างที่ 8.6**

อาคาร BCC3 มี 6 วงจรเดินสายไฟ IEC01 แบบกลุ่มที่ 2 ตาม Single line จงออกแบบคำนวณหาขนาด CB และ สายไฟของวงจรย่อย บริภัณฑ์ประธาน Main Distribution Board และหาขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้ารวมสายไฟ ดังรายละเอียดนี้

1. วงจรแสงสว่าง 3 Ph ขนาด 5 A จำนวน 2 วงจร
2. เต้ารับ 3 Ph ขนาด 16 A จำนวน 2 วงจร
3. Spare1 3 Ph 20 A 1 วงจร
4. Spare2 3 Ph 40 A 1 วงจร
5. เครื่องปรับอากาศ 3 Ph 50 Ton ขนาด 100 A
6. มอเตอร์ 3 Ph 75 kW 400 V ขนาด 100 A

จากโจทย์สามารถเขียน Single line diagram ได้ดังนี้




**รูปที่ 8.17** Single Line Diagram ของตัวอย่างที่ 9.6

| การออกแบบคำนวณที่เหมาะสม | การออกแบบคำนวณวิธีแบบเดิม |
|---|---|
| **1.วงจรแสงสว่าง 3 Ph. ขนาด 5 A**<br>**จำนวน 2 วงจร**<br>1.1 การหาขนาด CB = 5 A<br>**ดังนั้นเลือกขนาด MCB 3P = 6 A or 6 AT or C6**<br>**หรือเลือก MCCB 3P ที่ 6 AT ซึ่ง MCCB มีความสามารถในการรับกระแสลัดวงจรมากกว่า MCB** | **1.วงจรแสงสว่าง 3 Ph. ขนาด 5 A**<br>**จำนวน 2 วงจร**<br>1.1 การหาขนาด CB = 5 x 1.25 = 6.25 A<br>**ดังนั้นเลือกขนาด CB = 10 A หรือ 10 AT**<br>**หรือเลือก MCCB 3P 10 AT** |

| | |
|---|---|
| 1.2 การหาขนาดสายไฟและวิธีการเดินสายเป็นสาย PVC เดินสายกลุ่มที่ 2 (ตารางที่ 5-20: วสท.)<br>@โดยการกำหนดตัวคูณปรับค่า Ca และ Cg<br>Ca ที่ < 40 ºC ไม่ต้องปรับค่า = 1<br>(ตารางที่ 5-43: วสท.)<br>Cg ที่ 2 กลุ่มวงจรปรับค่า = 0.85<br>(ตารางที่ 5-8: วสท.)<br>สูตรการหาขนาดสายไฟ It $\geq$ In / (Ca x Cg)<br>กำหนดให้ It = กระแสที่ได้รับการปรับค่าแล้ว<br>In = กระแสของโหลด<br>แทนค่าตามสูตร It $\geq$ In / (Ca x Cg)<br>It $\geq$ 5 / (1 x 0.85)<br>การหาขนาดสายไฟ (It) $\geq$ 5.88 A เลือกสายไฟแกนเดียว IEC 01 เดินสายแบบร้อยท่อเกาะผนังกลุ่ม 2 สำหรับเต้ารับ 5.88 A 3 Ph<br>(ตารางที่ 5-20)<br>**เลือกสายไฟที่ 1.0 ตร.มม** (รับได้ 10 A)<br>กรณีวงจรสุดท้ายสามารถใช้สายไฟ 1.0 ตร.มม ตามมฐ. 6.1.6.2 **หากไม่ใช่วงจรสุดท้าย ใช้สายไฟ 2.5 ตร.มม. (18 A)**<br>**2.วงจรย่อยเต้ารับ 1 Ph x 3 10 A 2 วงจร (6)**<br>2.1 การหาขนาด CB = 10 A<br>ดังนั้นเลือกขนาด MCCB. = 10 A หรือ 10 AT<br>2.2 การหาขนาดสายไฟและวิธีการเดินสายเป็นสาย PVCมีการเดินสายกลุ่มที่ 2 (ตารางที่ 5-20: วสท.)<br>Ca ที่อุณหภูมิ $\leq$ 40 ºC ไม่ต้องปรับค่า = 1<br>ตามตารางที่ 5-43: วสท.<br>Cg ที่ 2 กลุ่มวงจรปรับค่า = 0.85 (ตารางที่ 5-8)<br>กำหนดให้ $I_t$ = กระแสที่ได้รับการปรับค่าแล้ว<br>$I_n$ = กระแสของโหลด<br>การหาขนาดสายไฟ $I_t \geq I_n$ / (Ca x Cg)<br>$I_t \geq 10$ / (1 x 0.85)<br>การหาขนาดสายไฟ ($I_t$) $\geq$ 11.76 A | 1.2 การหาขนาดสายไฟ $I_t \geq I_n$ x 1.25<br>$\geq$ 10 x 1.25<br>$\geq$ 12.5 A<br>ตามตารางที่ 5-20 ของมาตรฐานการติดตั้งฯ<br>**ดังนั้นเลือกขนาดสายไฟ = 1.5 ตร.มม**<br>แบบแกนเดียวที่สามารถรับกระแสไฟได้ถึง 13 A<br>ตามตารางที่ 5-20 กรณีวงจรสุดท้ายสามารถใช้สายไฟ 1.0 ตร.มม ตามมฐ. 6.1.6.2<br>**หากไม่ใช่วงจรสุดท้าย ใช้สายไฟ 2.5 ตร.มม. (18 A)**<br>**2.วงจรย่อยเต้ารับ 1 Ph x 3 10 A 2 วงจร (6)**<br>2.1 การหาขนาด CB = 10 x 1.25 = 12.25 A<br>**ดังนั้นเลือกขนาด MCCB 3P C16 at 16 AT**<br>2.2 การหาขนาดสายไฟ It $\geq$ In x 1.25<br>$\geq$ 16 x 1.25<br>$\geq$ 20 A<br>ตามตารางที่ 5-20 ของมาตรฐานการติดตั้งฯ<br>**ดังนั้นเลือกขนาดสายไฟ = 4 ตร.มม** แบบแกนเดียวที่สามารถรับกระแสไฟได้ถึง 24 A<br>ตามตารางที่ 5-20 |

| | |
|---|---|
| เลือกสายไฟแกนเดียว IEC 01 เดินสายแบบร้อยท่อเกาะผนัง กลุ่ม 2 เลือกขนาดสายไฟที่ขนาด 1.5 ตร.มม ที่สามารถรับกระแสได้ถึง 13 A เนื่องจาก **วงจรเต้ารับต้องใช้สายไฟขนาด 2.5 ตร.มม.** (รับได้ 18 A) **วงจรเต้ารับนี้** **เลือก MCCB 3P 16 AT** | |
| **3. วงจร Spare 20 A 1 วงจร** | **3.วงจร Spare 20 A 1 วงจร** |
| 3.1 การหาขนาด CB = 20 A | 3.1 การหาขนาด CB = 20 x 1.25 = 25 A |
| **ดังนั้นเลือกขนาด MCCB = 20 A หรือ 20 AT** | **ดังนั้นเลือก MCCB 3P = 25 AT** |
| 3.2 การหาขนาดสายไฟและวิธีการเดินสายแบบร้อยท่อเกาะผนัง กลุ่ม 2 @โดย Ca และ Cg =1 | 3.2 การหาขนาดสายไฟ It $\geq$ In x 1.25 |
| แทนค่าตามสูตร It $\geq$ In / (Ca x Cg) | $\geq$ 25 x 1.25 |
| It $\geq$ 20 / (1 x 1) | $\geq$ 31.25 A |
| การหาขนาดสายไฟ (It) > 20 A | ตามตารางที่ 5-20 ของมาตรฐานการติดตั้งฯ |
| เลือกสายไฟแกนเดียว IEC 01 เดินสายสำหรับวงจร spare 20 A 3Ph. ตามตารางที่ 5-20 **เลือกสายไฟ 4 ตร.มม** ที่สามารถรับกระแสได้ถึง 24 A | **ดังนั้นเลือกขนาดสายไฟ = 4 ตร.มม** แบบแกนเดียวที่สามารถรับกระแสไฟได้ถึง 24 A ตามตารางที่ 5-20 |
| **4.วงจร Spare 40 A 1 วงจร** | **4.วงจร Spare 40 A 1 วงจร** |
| 4.1 การหาขนาด CB = 40 A | 4.1 การหาขนาด CB = 40 x 1.25 = 50 A |
| **ดังนั้นเลือกขนาดMCCB = 40 A หรือ 40 AT** | **ดังนั้นเลือก MCCB 3P = 50 AT** |
| 4.2 การหาขนาดสายไฟและวิธีการแบบร้อยท่อเกาะผนัง กลุ่ม 2 @โดย Ca และ Cg = 1 | 4.2 การหาขนาดสายไฟ It $\geq$ In x 1.25 |
| แทนค่าตามสูตร It $\geq$ 40 / (1 x 1) | $\geq$ 50 x 1.25 |
| การหาขนาดสายไฟ (It) $\geq$ 40 A | $\geq$ 62.5 A |
| เลือกสายไฟแกนเดียว IEC 01 เดินสายสำหรับวงจร spare 40 A 3 Ph ตามตารางที่ 5-20 **เลือกสายไฟ 10 ตร.มม** ที่สามารถรับกระแสได้ที่ 44 A | ตามตารางที่ 5-20 ของมาตรฐานการติดตั้งฯ **ดังนั้นเลือกขนาดสายไฟ = 16 ตร.มม** แบบแกนเดียวที่สามารถรับกระแสไฟได้ถึง 66 A |
| **5.การหาขนาด CBmain ของ DB1** | **5.การหาขนาด CBmain ของ DB1** |
| @วงจรแสงสว่างทั้ง 2 วงจร กินกระแส 5A ที่ 3Ph. มีค่า(1.732x400x5=3,464VA)ตามมฐ.ตารางที่ 3-1 ดีมานด์แฟกเตอร์สำหรับแสงสว่าง ส่วนเกิน 3,000VA จึงใช้ Demand Factor: DF ที่ 35% | @วงจรแสงสว่างทั้ง 2 วงจร กินกระแส 5A ที่ 3Ph. มีค่า(1.732x400x5=3,464VA) ตามมฐ. ตารางที่ 3-1 ดีมานด์แฟกเตอร์สำหรับแสงสว่าง ส่วนเกิน 3,000VA จึงใช้ Demand Factor: DF ที่ 35% |
| = (3,000 x 1) + (464 x 0.35) | = (3,000 x 1) + (464 x 0.35) |
| = 3,162 VA | = 3,162 VA |

= (3,162 / 1.732 / 400)

= 4.56 A หรือคิดที่ 5A

CBmain DB1 = I1 + I2 + I3 +I4

= 5+5+10+10+20+40

= 90 A

**เลือก CBmain = 90 AT/100 AF**

@วงจรเต้ารับทั้ง 2 วงจร

(1.732x400x10=6,928VA) ตาม มฐ.ตารางที่ 3-1 ดีมานด์แฟกเตอร์สำหรับเต้ารับ ไม่เกิน 10kVA แรก จึงใช้ Demand Factor: DF ที่ 100%

เลือกสายป้อน ≥ 90 A โดยพิจารณาการเดินสายกลุ่ม 7 แบบรางเคเบิ้ลมีฝาปิด

(T 5-33) สายแกนเดียว ที่อุณหภูมิ 40 °C (Ca=1) มี 1 วงจร (Cg=1)

สายป้อน It ≥ In / (Ca x Cg)

≥ 90 / (Ca x Cg)

≥ 90 / (1 x 1) ≥ 92 A

**เลือกสายป้อน DB1 ขนาด NYY 4x35,G 1x10 Sq.mm** ตาม T 5-33 สาย NYY 35 ตร.มม รับกระแสได้ถึง 96A

**เลือกสายป้อนตามตารางที่ 5-33 และสายดินตาม 4-2**

**6. วงจรย่อยปรับอากาศ 3Ph ขนาด 100 A**

6.1 การหาขนาด CB เนื่องจากเป็นโหลดเฉพาะที่มีกระแสกระชากสูง ควรเลือกเป็น Motor CB.

**ดังนั้นเลือกขนาด Motor CB. = 100 A** (75 kW)

**เลือกใช้ Motor CB. = GV4P150H** (70-150 A)

**Magnetic Contactor = LC1D150**

6.2 การหาขนาดสายไฟและวิธีการเดินสายเป็นสาย PVC มีการเดินสายกลุ่มที่ 2 ตารางที่ 5-20

Ca = 1 Cg = 1 (ตารางที่ 5-43 และ 5-8: วสท.)

It ≥ 100 / (1 x 1)

การหาขนาดสายไฟ (It) ≥ 100 A

= (3,162 / 1.732 / 400)

= 4.56 A หรือคิดที่ 5A

CBmain DB1 = I1 + I2 + I3 +I4

= 5+5+16+16+25+50

= 117 A

**เลือก CBmain = 120 AT/125 AF**

@วงจรเต้ารับทั้ง 2 วงจร

(1.732x400x16=6,928VA) ตามมฐ.ตารางที่ 3-1 ดีมานด์แฟกเตอร์สำหรับเต้ารับ ไม่เกิน 10kVA แรก จึงใช้ Demand Factor: DF ที่ 100%

เลือกสายป้อน ≥ 117 A โดยพิจารณาการเดินสายกลุ่ม 7 แบบรางเคเบิ้ลมีฝาปิด สายแกนเดียว ที่อุณหภูมิ 40 °C (Ca=1) มี 1 วงจร (Cg=1)

สายป้อน It ≥ In / (Ca x Cg)

≥ 117 / (Ca x Cg)

≥ 117 / (1 x 1) ≥ 117 A

**เลือกสายป้อน DB1 ขนาด NYY 4x50, G 1x16 Sq.mm**

ตาม T 5-33 สาย NYY 50 ตร.มม รับกระแสได้ถึง 117A **เลือกสายป้อนตามตารางที่ 5-33 และสายดินตาม 4-2**

**6. วงจรย่อยปรับอากาศ 3Ph ขนาด 100 A**

6.1 ตาม 6.3.21.4 การหาขนาด CB <100 A ใช้ไม่เกิน 400% ของกระแสโหลดเต็มที่ของ = 100 x 4 = 400 A

**ดังนั้นเลือกขนาด MCCB. = 400 A**

6.2 การหาขนาดสายไฟ It > In x 1.25

> 100 x 1.25

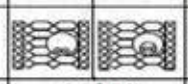
> 125 A

ตามตารางที่ 5-20 ของมาตรฐานการติดตั้งฯ

| | |
|---|---|
| เลือกสายไฟแกนเดียว IEC 01 เดินสายแบบร้อยท่อเกาะผนัง กลุ่ม 2 สำหรับวงจรปรับอากาศ 100 A 3 Ph ตามตารางที่ 5-20<br>**ดังนั้นเลือกสายไฟ 50 ตร.มม** ที่สามารถรับกระแสได้ถึง 117 A<br>**7.วงจรย่อยมอเตอร์ 3Ph ขนาด 100 A**<br>7.1 เลือกเป็น Motor CB. = 100 A หรือที่ 75kW เลือกใช้ **Motor CB. = GV7 RE150** (90-150A)<br>**Magnetic Contactor = LC1 D150**<br>7.2 การหาขนาดสายไฟและวิธีการเดินสายแบบร้อยท่อเกาะผนัง กลุ่ม 2 @โดย Ca และ Cg =1<br>แทนค่าตามสูตร It ≥ In / (Ca x Cg)<br>It ≥ 100 / (1 x 1)<br>การหาขนาดสายไฟ (It) ≥ 100 A<br>เลือกสายไฟแกนเดียว IEC 01 เดินสายสำหรับวงจรมอเตอร์ 100 A 3 Ph ตารางที่ 5-20<br>**ดังนั้นเลือกสายไฟ 50 ตร.มม ที่สามารถรับกระแสได้ 117 A**<br>กระแสรวม ≥ 90+250+400+400+100+100+100<br>≥ 1,440 A<br>**ACB 3Ph. = 1,440AT / 1600AF สำหรับเมนเบรกเกอร์**<br>**พิจารณาเลือกหม้อแปลง**<br>**Tr. 1,000 kVA = 1,000 kVA / (1.732x400) = 1,443 A**<br>**พิจารณาเลือกสายเมน** ตารางที่ 5-33 วางบนรางเคเบิลมีฝาปิด ≥ 1,443A<br>≥ 4 x 240, PE 1x95 ตร.มม (T5-33 @ 1,640A)<br>**เมื่อมีการใช้งานควรมีการปรับตั้ง Coordination System อย่างต่อเนื่อง** | **ดังนั้นเลือกขนาดสายไฟ = 70 ตร.มม** แบบแกนเดียวที่สามารถรับกระแสไฟได้ถึง 149 A<br>**7.วงจรย่อยมอเตอร์ 3Ph ขนาด 100 A**<br>7.1 ตาม 6.3.21.4 การหาขนาด CB < 100 A ใช้ไม่เกิน 400 % ของกระแสโหลดเต็มที่ของ = 100 x 4 = 400 A<br>**ดังนั้นเลือกขนาด MCCB. = 400 A**<br>7.2 การหาขนาดสายไฟ It ≥ In x 1.25<br>≥ 100 x 1.25<br>≥ 125 A<br>ตามตารางที่ 5-20 ของมาตรฐานการติดตั้งฯ<br>**ดังนั้นเลือกขนาดสายไฟ = 70 ตร.มม** แบบแกนเดียวที่สามารถรับกระแสไฟได้ถึง 149 A<br>กระแสรวม ≥ 120+250+400+400+100+100+100<br>≥ 2,070 A<br>**ACB 3Ph. = 2,070AT / 2500AF สำหรับเมนเบรกเกอร์**<br>**พิจารณาเลือกหม้อแปลง**<br>**Tr. 1,600 kVA = 1,600 kVA / (1.732x400) = 2,309A**<br>**พิจารณาเลือกสายเมน** ตารางที่ 5-33 วางบนรางเคเบิลมีฝาปิด ≥ 2,070A<br>≥ 6x240, PE 1x95 ตร.มม (T5-33 @ 2,460A) |

**ตารางที่ 5-20**

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มี/ไม่มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในท่อร้อยสายในอากาศ

| 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 | |
| หลักฐานเคเบิลที่ใช้งาน | 60227 IEC 01, 60227 IEC 02, 60227 IEC 05, 60227 IEC 06, 60227 IEC 10, NYY, VCT, IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ, สายใช้ฮาโลเจน, สายควันน้อย | | | | | | | |
| ขนาดสาย(ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | | | | | |
| 1 | 10 | 10 | 9 | 9 | 12 | 11 | 10 | 10 |
| 1.5 | 13 | 12 | 12 | 11 | 16 | 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 | 66 | 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 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

**ตารางที่ 5-43**

ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40°C ใช้กับค่าขนาดกระแสของสายเคเบิล เมื่อเดินในอากาศ

| อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส) | 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 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

**ตารางที่ 5-8**

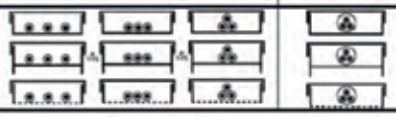
ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสเนื่องจากจำนวนสายที่นำกระแสในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกันหรือเดินสายบนผิวมากกว่า 1 กลุ่มวงจร

| จำนวนกลุ่มวงจร | ตัวคูณปรับค่ากรณีในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกัน | ตัวคูณปรับค่ากรณีเดินสายบนผิวหรือเดินสายเกาะผนัง |
|---|---|---|
| 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 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

**ตารางที่ 5-33**

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC วางบนรางเคเบิลมีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ แบบระบายอากาศ แบบบันได

| ลักษณะการติดตั้ง | กลุ่มที่ 7 | | | |
|---|---|---|---|---|
| จำนวนตัวนำกระแส | 22 | | 33 | |
| ลักษณะตัวนำ | แกนเดียว | หลายแกน | แกนเดียว | หลายแกน |
| รูปแบบการติดตั้ง |  | |  | |
| ระบบไฟฟ้า | AC หรือ DC | | AC | |
| รหัสชนิดเคเบิลใช้งาน | IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ สายไร้ฮาโลเจน สายควันน้อย | | | |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | |
| 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. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

**ตารางที่ 8.6** ตารางการเลือกบริภัณฑ์ไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์

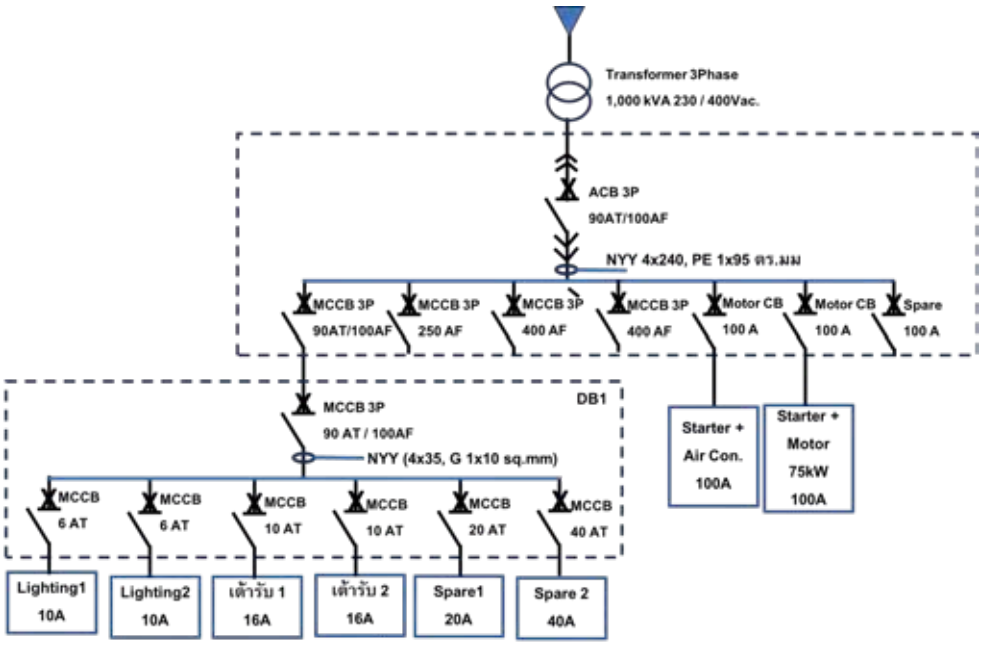


ตารางการเลือกสินค้า สำหรับการสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า (Star-Delta) สูงสุดถึง 75 กิโลวัตต์ที่ 400/415V โคออดิเนชั่น ประเภทที่ 2

TeSys
Control > Protect > Power > Active
B
22

| กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) | ดีกัด กระแส | แมกเนติกเซอกเกอร์ | คอนแทคเตอร์ วงจรแม่ (KM1) | คอนแทคเตอร์ วงจรเดลต้า (KM2) | คอนแทคเตอร์ วงจรสตาร์ (KM3) | ช่วงปรับกระแสโอเวอร์โหลด (A) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.5 | 3.6 | GV2P08 | LC1D09** | LC1D09 | LC1D09** | 2.5...4 |
| 2.2 | 4.9 | GV2P10 | LC1D18** | LC1D18** | LC1D18** | 4...6.3 |
| 3 | 6.5 | GV2P14 | LC1D18** | LC1D18** | LC1D18** | 6...10 |
| 4 | 8.5 | GV2P14 | LC1D18** | LC1D18** | LC1D18** | 6...10 |
| 5.5 | 11.5 | GV2P16 | LC1D25** | LC1D25** | LC1D25** | 9...14 |
| 7.5 | 15.5 | GV2P20 | LC1D25** | LC1D25** | LC1D25** | 13...18 |
| 9 | 18.1 | GV2P21 | LC1D25** | LC1D25** | LC1D25** | 17...23 |
| 11 | 22 | GV2P22 | LC1D25** | LC1D25** | LC1D25** | 20...25 |
| 15 | 29 | GV3P32 | LC1D40A** | LC1D40A** | LC1D40A** | 23...32 |
| 18.5 | 35 | GV3P40 | LC1D50A** | LC1D50A** | LC1D40A** | 30...40 |
| 22 | 41 | GV3P50 | LC1D50A** | LC1D50A** | LC1D40A** | 37...50 |
| 30 | 55 | GV3P65 | LC1D65A** | LC1D65A** | LC1D40A** | 48...65 |
| 37 | 66 | GV4P80 | LC1D80** | LC1D80** | LC1D80** | 40...80 |
| 45 | 80 | GV4P115 | LC1D115** | LC1D115** | LC1D115** | 65...115 |
| 55 | 97 | GV4P115 | LC1D115** | LC1D115** | LC1D115** | 65...115 |
| 75 | 132 | GV4P150/H | LC1D150** | LC1D150** | LC1D150** | 70...150 |

หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.: จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.: จาก Brochure and technical data for LV switchgear*, 2024b, โดย Schneider Electric.




**รูปที่ 8.18** Single Line Diagram ของตัวอย่างที่ 9.6 ที่ออกแบบคำนวณแล้วเสร็จ

## 8.8 ข้อสรุปเรื่องการออกแบบคำนวณเลือกใช้บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมมอเตอร์

ตามตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง สามารถเห็นได้ชัดเจนจากรายการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่เหมาะสมกับวิธีแบบเดิม เรื่องขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะมีขนาดแตกต่างกันอย่างมาก การเลือกใช้บริภัณฑ์ไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง เพราะจะทำให้ระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้าทำงานได้อย่างเหมาะสม ทำงานได้อย่างถูกต้อง ปลอดภัย ไม่มีผลกระทบกับบริภัณฑ์ไฟฟ้าประกอบร่วมอื่นๆ (OL, Magnetic, สายไฟ) ที่มีผลทำให้บริภัณฑ์ไฟฟ้าร่วมอื่นๆ มีขนาดใหญ่มากขึ้นอย่างไร้ประโยชน์ทางวิศวกรรม ที่สำคัญจะทำให้ต้นทุนการเลือกใช้นั้นสูงขึ้นอย่างมาก โดยไม่เกิดความปลอดภัยใดๆ กับระบบไฟฟ้าดังกล่าว

## 8.9 การติดตั้งมอเตอร์

การติดตั้งมอเตอร์ต้องติดตั้งให้ถูกต้อง ตามหลักเกณฑ์อย่างระมัดระวัง เพราะการติดตั้งมอเตอร์เป็นจุดเริ่มต้นของการใช้งานและการบริหารจัดการบำรุงรักษาให้มอเตอร์มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ต้องติดตั้งให้ได้ระดับ (Alignment) เพื่อการทำงานที่ถูกต้อง
- ต้องติดตั้งมอเตอร์อย่างแน่น ถูกต้อง เหมาะสมตามคู่มือการติดตั้งของผู้ผลิตฯ
- ต้องติดตั้งมอเตอร์ ในพื้นที่การทำงานที่มีการระบายอากาศถ่ายเทได้ดี

- ต้องติดตั้งในสถานที่ที่สามารถระบายอากาศได้สะดวก และเข้าถึงเพื่อการบำรุงรักษาได้โดยง่าย ยกเว้น มอเตอร์ที่เป็นส่วนประกอบของบริภัณฑ์สำเร็จรูป
- มอเตอร์แบบเปิดที่มีแปรงถ่าน ต้องติดตั้งในสถานที่ หรือมีมาตรการป้องกันไม่ให้ประกายไฟที่อาจเกิดขึ้นกระเด็นไปถูกวัสดุติดไฟได้
- ในสถานที่มีฝุ่นละอองหรือวัสดุปลิวได้ซึ่งสามารถเกาะติดหรือเข้าในมอเตอร์ได้มากพอที่จะทำให้ระบายอากาศไม่สะดวก ต้องใช้มอเตอร์แบบปิด
- การติดตั้งมอเตอร์และเครื่องควบคุม โดยเครื่องควบคุมหรืออุปกรณ์ป้องกันหรืออุปกรณ์ตัดต่อวงจรที่ใช้งาน ต้องอยู่ในระยะที่มองเห็น มีระยะห่างไม่เกิน 15 เมตรจากมอเตอร์ ถ้ามอเตอร์อยู่ในระยะที่มองไม่เห็น หรือมีระยะห่างเกิน 15 เมตรจากมอเตอร์ ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันหรืออุปกรณ์ตัดต่อวงจรที่ตำแหน่งใกล้มอเตอร์อีก 1 ชุด เพื่อความปลอดภัยในการทำงานและการบำรุงรักษา




ขอฝากทุกท่านที่ทำงานด้านวิศวกรรม หรือช่าง หรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรม ท่านต้องมีการสังเกต เก็บข้อมูล วิเคราะห์สังเคราะห์งานด้านวิศวกรรมให้ดี ไม่ว่าจะเป็นส่วนวางโครงการ งานออกแบบ ควบคุมงาน รับเหมา จำหน่ายหรือผลิต ดูแลโครงการ เป็นต้น จะต้องมีการนำงานที่เคยทำ มาพิจารณาจากข้อมูลข้างต้น เพื่อวิเคราะห์หาส่วนที่ดี หรือส่วนที่ไม่สะดวก หรือส่วนที่ไม่เหมาะสม เพื่อปรับใช้กับงานที่กำลังทำ หรืองานที่จะเกิดขึ้นใหม่ หรือให้เป็นข้อมูล เพื่อการพัฒนางานวิศวกรรมทั้งส่วนบุคคล หน่วยงาน และประเทศชาติต่อไป ถึงเป็นการสร้างงานวิศวกรรมที่มีคุณภาพอีกหนึ่งผลงานครับ

# บทที่ 9

# การบริหารการออกแบบสำหรับอาคารชุด อาคารสูง หรือ อาคารขนาดใหญ่พิเศษ

การออกแบบและคำนวณระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารชุด ถึงเป็นศาสตร์และศิลป์ในการบริหารจัดการที่ต้องมีความปลอดภัย ความละเอียดรอบคอบในเรื่องต่างๆ ทางด้านวิศวกรรม รวมถึงการบริหารจัดการให้ทันเวลาที่ต้องการ ที่มีมากมายในบางช่วงของการเปลี่ยนแปลงไลฟ์สไตล์ที่ต้องการอยู่อาศัยในอาคารชุดกันเป็นอย่างมาก ซึ่งปัจจุบันในอดีตที่ผ่านมามีความระมัดระวังในเรื่องการคุ้มครองผู้บริโภคหรือผู้อยู่อาศัยในอาคารชุด โดยความประสงค์ที่ดีของการจัดทำมาตรฐานฯในอดีต ที่นำมาตรฐานนานาประเทศมาปรับใช้ให้เหมาะสมกับกายภาพ ภูมิศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ กาลเวลา งบประมาณ และข้อจำกัดต่างๆ เช่น สิ่งแวดล้อม และภาวะโลกเดือด ที่ต้องคำนึงถึงความเป็นกลางทางคาร์บอนร่วมด้วย

สำหรับการออกแบบอาคารชุด อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ จะมีข้อจำกัด เงื่อนไขที่แตกต่างออกไปอย่างเยอะมาก ทั้งนี้ในการบริหารจัดการงานออกแบบระบบไฟฟ้าที่ดี จำเป็นอย่างยิ่งที่มีต้องประสบการณ์ การรวบรวมเก็บบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลอย่างจริงจัง เพราะพฤติกรรมการใช้งานอาคารแต่ละประเภท แต่ละวัตถุประสงค์การใช้งานที่แตกต่างกันออกไป จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีระบบการเก็บข้อมูล การสื่อสารข้อมูล การใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำมาวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารชุดในปัจจุบันที่มีใช้งานกันอยู่ และที่สำคัญถือเป็นบทเรียนของประสบการณ์ในการออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคารต่อๆ ไป ให้เกิดความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ ความมั่นคง ความมีเสถียรภาพ และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญ ดังนั้นกระบวนการบริหารจัดการการออกแบบระบบไฟฟ้า จึงเป็นขั้นตอนแรกที่จะนำพาให้เกิดความปลอดภัย จึงต้องมีปัจจัยทางด้านกฎหมาย มาตรฐาน ประสบการณ์ของผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าเป็นอย่างดี

ตามข้อกำหนดกฎกระทรวงในส่วนกฎหมายที่เกี่ยวข้องได้อธิบายรายละเอียดต่างๆ เพื่อเป็นการปกป้องผู้บริโภคหรือผู้ใช้สอยจำนวนมากในอาคารชุด อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ สำหรับการคำนวณโหลดที่กล่าวในมาตรฐานการติดตั้งฯ บทที่ 9 จะถือเป็นค่าต่ำสุด หากการติดตั้งจริงมีโหลดมากกว่าที่คำนวณนี้ก็ต้องใช้ค่าตามที่ติดตั้งจริง โดยการคำนวณโหลด

แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ โหลดส่วนกลาง และโหลดห้องชุด ซึ่งโหลดที่คำนวณได้ต้องไม่ต่ำกว่าที่กำหนด มีดังนี้

1. โหลดส่วนกลาง ถือเป็นโหลดส่วนกลางทั้งหมดที่มีใช้เป็นส่วนกลาง เช่น แสงสว่างห้องโถง ทางเดิน ลิฟต์ สระว่ายน้ำ เครื่องสูบน้ำ ระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน เป็นต้น โดยความต้องการใช้ไฟฟ้า สามารถคำนวณจากโหลดที่ติดตั้ง อนุญาตให้ใช้ค่าดีมานด์แฟกเตอร์ที่ระบุในบทที่ 3 ของมาตรฐานการติดตั้งฯหรือมาตรฐานอื่นที่การไฟฟ้ายอมรับ ในเรื่องการคำนวณหาขนาดตัวนำประธาน สายป้อน และหม้อแปลงไฟฟ้า

2. โหลดห้องชุดประเภทที่อยู่อาศัย ถือเป็นโหลดส่วนใหญ่ที่มีการคำนวณจากขนาดพื้นที่ในห้องชุด ไม่รวมพื้นที่เฉลียง และห้ามใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ ที่แบ่งได้ดังนี้

2.1 ห้องชุดที่ไม่มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง โดยโหลดห้องชุดมีสูตรดังนี้

ก) ห้องชุดที่มีพื้นที่ไม่เกิน 55 sq.m = [90 x พื้นที่ห้อง(sq.m)] + 1,500 VA

ข) ห้องชุดที่มีพื้นที่มากกว่า 55 sq.m และ $\leq$ 180 sq.m = [90 x พื้นที่ห้อง (sq.m)] + 3,000 VA

ค) ห้องชุดที่มีพื้นที่มากกว่า 180 sq.m = [90 x พื้นที่ห้อง(sq.m)] +6,000 VA

2.2 ห้องชุดที่มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง โดยโหลดห้องชุดมีสูตรดังนี้

ก) ห้องชุดที่มีพื้นที่ไม่เกิน 55 sq.m = [20 x พื้นที่ห้อง(sq.m)] + 1,500 VA

ข) ห้องชุดที่มีพื้นที่มากกว่า 55 sq.m และ $\leq$ 180 sq.m = [20 x พื้นที่ห้อง (sq.m)] + 3,000 VA

ค) ห้องชุดที่มีพื้นที่มากกว่า 180 sq.m = [20 x พื้นที่ห้อง(sq.m)] +6,000 VA

2.3 โหลดห้องชุดประเภทสำนักงานหรือร้านค้าทั่วไป ขนาดความต้องการใช้ไฟฟ้าในห้องชุด ให้คำนวณจากขนาดพื้นที่ในห้องชุด (ไม่รวมพื้นที่เฉลียง) และห้ามใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ แบ่งได้ดังนี้

ก) ห้องชุดที่ไม่มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง ให้ใช้ค่า 155 VA / sq.m

ข) ห้องชุดที่มีระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง ให้ใช้ค่า 85 VA / sq.m

ค) ห้องชุดประเภทสำนักงานหรือร้านค้าหรือเพื่อการอื่นใดที่ใช้ไฟฟ้ามากเป็นพิเศษ เช่น ห้องอาหารที่ใช้เตาไฟฟ้า หรือเครื่องทำความร้อนมากๆ ตู้แช่เย็นขนาดใหญ่ และโหลดอื่นๆ ที่ใช้ไฟมากเป็นพิเศษ ต้องพิจารณาตามสภาพที่จะใช้จริงและต้องแสดงรายการคำนวณโหลดของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะใช้ติดตั้งจริง

ง) โหลดห้องชุดประเภทอุตสาหกรรม คำนวณได้จากขนาดพื้นที่ในห้องชุด (ไม่รวมพื้นที่เฉลียง) และห้ามใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ โดยโหลดของห้องชุดใช้ค่าไม่น้อยกว่า 220 VA / sq.m ทั้งแบบที่มีและไม่มีความเย็นส่วนกลาง หรือคำนวณจากโหลดจริงที่ติดตั้ง

## 9.1 เครื่องวัดไฟฟ้าของห้องชุด (มฐ.วสท. 9.1.3)

ขนาดเครื่องวัดไฟฟ้าแรงต่ำประจำห้องชุด ให้ใช้ขนาดเครื่องวัดตามความต้องการใช้ไฟฟ้าตามการไฟฟ้าฯ โดยขนาดต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดในตารางที่ 9-1, 9-2, 9-3 หรือ 9-4 ของมาตรฐานการติดตั้งฯ แล้วแต่กรณีๆ (9.1.3.1)

**ตารางที่ 9.1** ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ สำหรับห้องชุดประเภทอยู่อาศัย (สำหรับการไฟฟ้านครหลวง) (ตารางที่ 9-1 : วสท.)

| ลำดับที่ | ประเภท | พื้นที่ห้อง ตารางเมตร | 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. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กำหนดให้ 1P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 1 เฟส 2 สาย

3P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 3 เฟส 4 สาย

**ตารางที่ 9.2** ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ สำหรับห้องชุดประเภทอยู่อาศัย (สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) (ตารางที่ 9-2 : วสท.)

| ลำดับที่ | ประเภท | พื้นที่ห้องตารางเมตร | พิกัดสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแส (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. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กำหนดให้ 1) 1P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 1 เฟส 2 สาย
3P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 3 เฟส 4 สาย

2) ขนาดเครื่องวัดฯ ให้อ้างอิงจากมาตรฐานปัจจุบันของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

**ตารางที่ 9.3** ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ สำหรับห้องชุดประเภทสำนักงานหรือร้านค้าทั่วไป (สำหรับการไฟฟ้านครหลวง) (ตารางที่ 9-3 : วสท.)

| ลำดับที่ | ประเภท | พื้นที่ห้องตารางเมตร | 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. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กำหนดให้ 1) 1P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 1 เฟส 2 สาย
3P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 3 เฟส 4 สาย

2) ห้องชุดที่มีพื้นที่มากกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 9-3 นี้จะกำหนดขนาดของเครื่องวัดฯ เป็นรายๆไป

**ตารางที่ 9.4** ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ สำหรับห้องชุดประเภทสำนักงานหรือร้านค้าทั่วไป (สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) (ตารางที่ 9-4 : วสท.)

| No. | ประเภท | พื้นที่ห้องตารางเมตร | พิกัดสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแส (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) |
| | | 1,150 | 200 | - | |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กำหนดให้ 1) 1P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 1 เฟส 2 สาย
3P หมายถึง เครื่องวัดฯ ชนิด 3 เฟส 4 สาย

2) ห้องชุดที่มีพื้นที่มากกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 9 - 4 นี้จะกำหนดขนาดของเครื่องวัดฯ เป็นรายๆ ไป

3) ขนาดเครื่องวัดฯ ให้อ้างอิงจากมาตรฐานปัจจุบันของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

## 9.2 การป้องกันกระแสเกินของเครื่องวัดไฟฟ้า (มฐ.วสท. 9.1.4)

ต้องมีเซอร์กิตเบรกเกอร์ทางด้านไฟเข้าเครื่องวัดไฟฟ้าทุกเครื่อง พิกัดกระแสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ต้องไม่ต่ำกว่าขนาดกระแสที่คำนวณจากขนาดพื้นที่ห้องตามข้อ 9.1.2 ถ้าขนาดที่คำนวณได้ ไม่ใช่ขนาดมาตรฐานของผู้ผลิตให้ใช้ขนาดใกล้เคียงที่สูงขึ้นถัดไป แต่ต้องมีขนาดไม่สูงกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3-4 หรือ 3-5 ของมาตรฐานการติดตั้งฯ ห้ามใช้วิธีการติดตั้งแบ็คอัพฟิวส์ (back up fuse) เพื่อเพิ่มพิกัดกระแสลัดวงจร และห้ามใช้วิธี แคสเคดเซอร์กิตเบรกเกอร์ (cascade circuit breaker) ในส่วนของเซอร์กิตเบรกเกอร์ก่อนเข้าเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า อนุญาตให้ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดจำกัดกระแส (current limiting circuit breaker) เพื่อลดค่ากระแสลัดวงจรได้

โดยเครื่องป้องกันกระแสเกิน ต้องเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สามารถตัดกระแสลัดวงจรสูงสุดที่อาจเกิดขึ้น ณ จุดนั้น ได้โดยคุณสมบัติยังคงเดิม และต้องไม่ต่ำกว่า 10 กิโลแอมแปร์ ตามมาตรฐานเซอร์กิตเบรกเกอร์ IEC60898 ที่แรงดัน 230 / 400 V (9.1.9.2)

**ตารางที่ 9.5** พิกัดสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินและโหลดสูงสุดตามขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (สำหรับการไฟฟ้านครหลวง) (ตารางที่ 3-4 : วสท.)

| ขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (แอมแปร์) | พิกัดสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน (แอมแปร์) | โหลดสูงสุด (แอมแปร์) |
|---|---|---|
| 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. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กำหนดให้ พิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน มีค่าต่ำกว่าที่กำหนดในตารางได้ แต่ทั้งนี้ต้องไม่น้อยกว่า 1.25 เท่าของโหลดที่คำนวณได้

**ตารางที่ 9.6** ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ ขนาดสายไฟฟ้า เซฟตี้สวิตช์ คัตเอาต์ และคาร์ทริดจ์ฟิวส์สำหรับตัวนำประธาน (สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) (ตารางที่ 3-5 : วสท.)

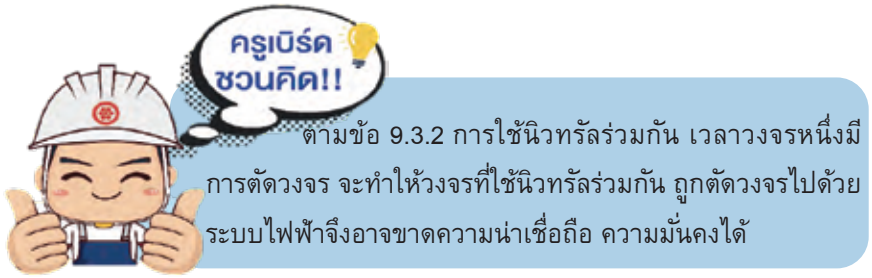
| ขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (แอมแปร์) | ขนาดตัวนำประธาน เล็กที่สุดที่ยอมให้ใช้ได้ (ตร.มม.) | | บริภัณฑ์ประธาน | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | เซฟตีสวิตช์หรือ โหลดเบรกสวิตช์ | | คัตเอาต์ใช้ร่วมกับ คาร์ทริดจ์ฟิวส์ | | เซอร์กิต เบอร์เกอร์ |
| | สายอะลูมิเนียม | สายทองแดง | ขนาดสวิตช์ต่ำสุด (แอมแปร์) | ขนาดฟิวส์สูงสุด (แอมแปร์) | ขนาดคัต เอาต์ต่ำสุด (แอมแปร์) | ขนาดฟิวส์สูงสุด (แอมแปร์) | ขนาดปรับ ตั้งสูงสุด (แอมแปร์) |
| 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. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

### 9.3 ตัวนำประธานเข้าห้องชุด (หรือ สายไฟประธานเข้าห้อง) (มฐ. วสท. 9.1.5)

1. ตัวนำเฟส ของตัวนำประธานเข้าห้องชุดต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินหรือบริภัณฑ์ประธานตามข้อ 9.1.6 และต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 6 sq.mm

2. ตัวนำนิวทรัล มีขนาดเพียงพอที่จะรับกระแสไม่สมดุลสูงสุด และมีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าตามข้อ 4.20 ที่เป็นไปตามข้อ 3.2.4 และห้ามให้แต่ละห้องชุดใช้ตัวนำนิวทรัลร่วมกัน




### 9.4 บริภัณฑ์ประธานประจำห้องชุด (Consumer Unit) (มฐ. วสท. 9.1.6)

ต้องมีบริภัณฑ์ประธานที่แต่ละห้องชุด โดยขอบล่างของบริภัณฑ์ประธานต้องสูงไม่เกิน 1.60 เมตร จากพื้น เพื่อสะดวกในการใช้งาน และไม่ควรซ่อนในตู้หรือที่ลับตา(ใต้ฝา)

## 9.5 สายป้อน (จากแผงสวิตช์รวมไปถึงแผงสวิตช์ของเครื่องวัดไฟฟ้า) (มฐ. วสท. 9.1.7)

1. โหลดสำหรับสายป้อนห้องชุด ให้คำนวณจากผลรวมของโหลดในห้องชุด ตามข้อ 9.1.2 และใช้ค่าโคอินซิเดนต์แฟกเตอร์ (co-incidence factor) ตามตารางที่ 9-5 และ 9-6 เพื่อคำนวณลดขนาดสายป้อนได้
2. สายป้อนสำหรับไฟส่วนกลางต้องแยกต่างหากจากสายป้อนของห้องชุด
3. สายป้อนต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินตามข้อ 9.1.9.3 และขนาดตัวนำนิวทรัลต้องเป็นไปตามข้อ 3.2.4
4. สายป้อนต้องเดินในช่องเดินสายโลหะ หรือใช้บัสเวย์ หรือบัสดัก หรือบัสบาร์ทรังกิ้ง
5. ในกรณีสายป้อนเดินในช่องสำหรับการเดินสาย ห้ามมีท่อของระบบอื่นที่ไม่ใช่ระบบไฟฟ้า เช่น ท่อก๊าซ ท่อประปา ท่อน้ำทิ้งเดินร่วมกัน

**ตารางที่ 9.7** ค่าโคอินซิเดนต์แฟกเตอร์ สำหรับห้องชุดประเภทอยู่อาศัย (ตารางที่ 9-5 : วสท.)

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

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กำหนดให้ลำดับห้องชุดให้เริ่มจากห้องชุดที่มีโหลดสูงสุดก่อน

**ตารางที่ 9.8** ค่าโคอินซิเดนต์แฟกเตอร์ สำหรับห้องชุดประเภทสำนักงานหรือร้านค้าทั่วไปและประเภทอุตสาหกรรม (ตารางที่ 9-6 : วสท.)

| ลำดับห้องชุด | โคอินซิเดนต์แฟกเตอร์ |
|---|---|
| 1-10 | 1.0 |
| 11 ขึ้นไป | 0.85 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กำหนดให้ลำดับห้องชุดให้เริ่มจากห้องชุดที่มีโหลดสูงสุดก่อน

**9.6 แผงสวิตช์แรงต่ำ** (MDB or DB or LC) (จากหม้อแปลงถึงเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของห้องชุด) (มฐ. วสท. 9.1.9)

1. แผงสวิตช์แรงต่ำต้องเป็นไปตามข้อ 5.17 ระดับการป้องกันของตู้แผงสวิตช์แรงต่ำต้องไม่ต่ำกว่า IP 31 และโครงสร้างของแผงสวิตช์แรงต่ำต้องสามารถรับแรงที่เกิดจากกระแสลัดวงจรได้
2. เครื่องป้องกันกระแสเกิน ต้องเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สามารถตัดกระแสลัดวงจรสูงสุดที่อาจเกิดขึ้น ณ จุดนั้นได้โดยคุณสมบัติยังคงเดิม และต้องไม่ต่ำกว่า 10 กิโลแอมแปร์
3. เครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อนต้องมีพิกัดกระแสไม่ต่ำกว่าผลรวมของโหลดที่คำนวณได้ตามข้อ 9.1.7.1
4. เครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อนไฟฟ้าส่วนกลาง อนุญาตให้มีได้ไม่เกิน 1 ตัวสำหรับหม้อแปลงแต่ละลูก และต้องสามารถล็อกกุญแจได้ในตำแหน่งปลด ยกเว้น วงจรที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันอัคคีภัย และวงจรช่วยชีวิต
5. เครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำของหม้อแปลง ต้องมีพิกัดกระแสไม่ต่ำกว่า ผลรวมของโหลดที่คำนวณได้ตามข้อ 9.1.2 และเป็นไปตามข้อ 6.4.3.1 อนุญาตให้ใช้ค่าโคอินซิเดนต์แฟกเตอร์ ตามตารางที่ 9-5 และ 9-6 ได้

**9.7 ตัวนำประธานแรงต่ำจากหม้อแปลงไปยังแผงสวิตช์รวม (มฐ. วสท. 9.1.10)**

ตัวนำประธานแรงต่ำจากหม้อแปลงไปยังแผงสวิตช์รวมต้องมีขนาดกระแสไม่น้อยกว่าพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน ตามข้อ 9.1.9.5 สำหรับขนาดตัวนำนิวทรัลต้องเป็นไปตามข้อ 3.2.4 ตัวนำประธานที่เดินภายในอาคารต้องเดินช่องเดินสายโลหะ ยกเว้น การเดินสายในห้องหม้อแปลงและห้องไฟฟ้า รวมถึงอนุญาตให้เดินสายบนรางเคเบิ้ลได้

**9.8 หม้อแปลงและห้องหม้อแปลง (มฐ. วสท. 9.1.8)**

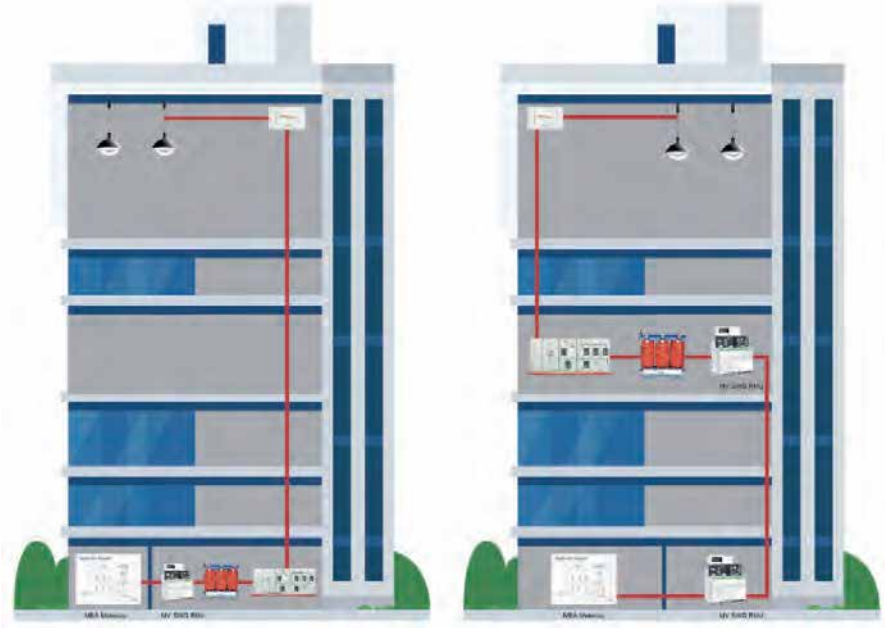
1. หม้อแปลงและห้องหม้อแปลงต้องเป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 6.4 หากติดตั้งภายในอาคารต้องเป็นชนิดแห้งหรือฉนวนไม่ติดไฟ ติดตั้งอยู่ในเครื่องห่อหุ้มที่มีระดับการป้องกัน ต้องไม่ต่ำกว่า IP21 และฉนวนต้องไม่เป็นพิษต่อบุคคลและสิ่งแวดล้อม ห้ามติดตั้งหม้อแปลงชนิดฉนวนติดไฟได้ภายในอาคาร ใต้อาคาร บนดาดฟ้า หรือบนส่วนยื่นของอาคาร
2. การคำนวณโหลดสำหรับหม้อแปลงให้คำนวณตามข้อ 9.1.2 และเฉพาะโหลดของห้องชุด อนุญาตให้ใช้ค่าโคอินซิเดนต์แฟกเตอร์ตามตารางที่ 9-5 และ 9-6 ได้
3. ขนาดของหม้อแปลงเมื่อไม่ใช้พัดลมเป่า (forced air cooled) ต้องไม่เล็กกว่าโหลดที่คำนวณได้จากข้อ (2) (9.1.8.2)
4. หม้อแปลงสำหรับจ่ายไฟส่วนของห้องชุด ต้องมีคุณสมบัติตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าฯ

**9.9 แผงสวิตช์แรงดันปานกลาง** ที่แรงดัน 12 kV, 22 kV, 24 kV, 33 kV (**มฐ. วสท. 9.1.11**)

แผงสวิตช์แรงดันปานกลางหรือในมาตรฐานการติดตั้งปี 64 ยังเป็นแผงสวิตช์แรงดันสูง โดยได้อธิบายในบบที่ 5 ของหนังสือเล่มนี้มาแล้ว สำหรับแผงสวิตช์แรงดันปานกลางต้องเป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 5.17 และเพิ่มเติมดังนี้

1. เครื่องป้องกันกระแสเกินแรงดันปานกลาง ถ้าใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ต้องเป็นชนิดฉนวนไม่ติดไฟหากใช้ชุดฟิวส์กำลัง (power fuse) ซึ่งต้องใช้ประกอบกับสวิตช์สำหรับตัดโหลดพิกัดกระแสของเครื่องป้องกันกระแสเกินต้องสอดคล้องกับ ตารางที่ 6-5

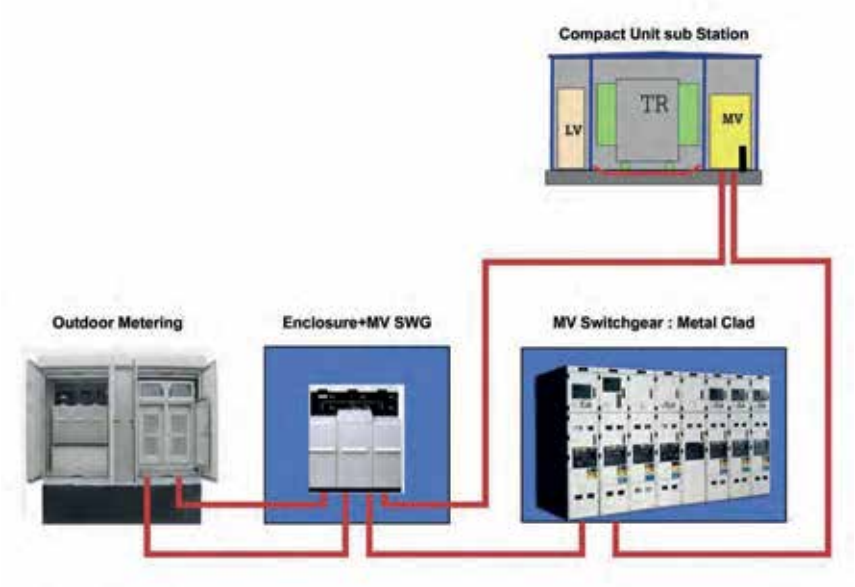
2. ระดับการป้องกันของเครื่องห่อหุ้ม ต้องไม่ต่ำกว่า IP 31



**รูปที่ 9.1** เครื่องวัดแรงดันปานกลางและห้องไฟฟ้า




**รูปที่ 9.2** ห้องเครื่องวัดแรงดันปานกลางและ MV Switchgear




**รูปที่ 9.3** การต่อ Outdoor Meter กับ MV Switchgear แบบ Ring Loop

หมายเหตุ จาก *บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ก, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.

เครื่องวัดแรงดันปานกลางแบบภายในอาคารทั้งสองแบบจะมีการใช้งานน้อยลง เนื่องจากระบบไฟฟ้าในปัจจุบันจะเป็นการรับไฟแรงดันปานกลางแบบใต้ดิน และทางการไฟฟ้าไม่ต้องขออนุญาตที่จะเข้าอาคารหากมีการเข้าพื้นที่เพื่อดูมิเตอร์แรงดันปานกลาง ทำให้เป็นที่สะดวกสำหรับการจ่ายไฟแบบใต้ดิน โดยมีตู้มิเตอร์แรงดันปานกลางแบบภายนอกอาคารและมีสวิตช์เกียร์แรงดันปานกลางในเครื่องห่อหุ้ม เพื่อสะดวกสำหรับการทำงานทั้งการไฟฟ้าฯและเจ้าของอาคารในการเข้าปฏิบัติดำเนินงานรวมถึงการเข้าบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า

**9.10 การต่อลงดิน (มฐ. วสท. 9.1.12)** เป็นไปตามข้อกำหนดในบทที่ 4

1. ห้องชุดทุกห้อง ต้องมีระบบสายดินเตรียมพร้อมไว้สำหรับต่อกับอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ วงจรเต้ารับต้องต่อผ่านเครื่องตัดไฟรั่ว และเต้ารับต้องเป็นชนิดมีสายดินและมีการต่อลงดิน

2. การต่อฝากสายดินเข้ากับตัวนำนิวทรัล ให้ต่อที่แผงบริภัณฑ์ประธานรวมแรงต่ำของอาคารชุดเท่านั้น และห้ามต่อฝากสายดินของบริภัณฑ์เข้ากับตัวนำนิวทรัลที่แผงสวิตช์ของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าและที่บริภัณฑ์ประธานของห้องชุด

3. การต่อตัวนำเข้ากับหลักดินให้ใช้วิธีการต่อเชื่อมด้วยความร้อน และมีค่าความต้านทานตามกำหนดใน มฐ.วสท.ข้อ 4.27 คือไม่เกิน 5 โอห์ม

4. การตอกฝังหลักดินลงในพื้นดิน ตำแหน่งของหลักดินจะต้องอยู่ห่างจากผนัง กำแพง หรือฐานรากของอาคารในรัศมีไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร เพื่อไม่ให้ตรงตำแหน่งเสาเข็ม และปลายบนของหลักดินจะต้องอยู่ต่ำจากผิวดินไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร เพื่อจัดทำเป็นส่วนพื้นที่ที่จะใช้ตรวจสอบการต่อลงดินที่เข้าถึงสะดวก ถ้าจำเป็นจะปิดต้องปิดด้วยคอนกรีตและทำสัญลักษณ์เพื่อให้ทราบว่าเป็นจุดต่อลงดิน

**9.11 การป้องกันไฟดูด (มฐ. วสท. 9.1.13)**

ต้องมีการป้องกันไฟดูดโดยใช้เครื่องตัดไฟรั่วตามที่กำหนดในข้อ 3.1.8 และ 3.1.9

**ข้อมูลสำคัญที่ได้จากงานวิจัยสำหรับอาคารชุด**

สำหรับในปัจจุบันที่ได้ข้อมูลของงานวิจัย Oversize Electrical Appliance Impacts on Condominium Energy Efficiency and Cost-Effectiveness Management : Experts Perspectives By Dr. Techatat Buranaaudsawakul ให้แนวทางการใช้งานโดยตรงที่ผสมผสานแนวทางต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น ที่สันนิษฐานว่าการเปลี่ยนบริภัณฑ์ไฟฟ้าขนาดใหญ่(หม้อแปลง)ให้มีขนาดที่เหมาะกับการใช้พลังงานกระแสไฟฟ้าจริงยิ่งขึ้น นั้นสามารถลดพลังงานที่สูญเสียของหม้อแปลงได้ พร้อมทั้งลดต้นทุน(ค่าไฟฟ้า+ต้นทุนในการก่อสร้าง) และที่สำคัญเป็นการสร้างความปลอดภัยในการตั้งค่า Ampere Trip: AT ให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง

ผลการวิจัย มีกลุ่มตัวอย่างหม้อแปลงไฟฟ้าจำนวน 485 ตัว การประเมินด้านเทคนิคของอาคารชุด จำนวน 2 รายการ คือ ผู้ดูแลคอนโดมีเนียม และการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมไฟฟ้าผลการวิจัยกับผลการสัมภาษณ์ สรุปได้ว่าคอนโดมิเนียมส่วนใหญ่ติดตั้งบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าจะใช้พลังงานไฟฟ้าจริง ที่อยู่ระหว่าง 5.4% ถึง 7.1% ของพิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า และเซอร์กิตเบรกเกอร์ การศึกษางานวิจัยครั้งนี้ จึงนำเสนอการลดต้นทุนลงได้ทั้งหมด 54% โดยลดขนาดบริภัณฑ์ไฟฟ้าเหล่านี้ (เช่น MV Switchgear 2 ชุด, หม้อแปลงชนิดแห้ง 2 ชุด, สาย LV 10 ม. (XLPE), แผงจำหน่ายหลัก, Busduct (MDB-DB), เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) แม้ว่าการวิเคราะห์นี้จะจำกัดอยู่เพียงกรุงเทพฯ ประเทศไทยนี้เท่านั้น เนื่องจากคอนโดมีเนียมในกรุงเทพฯ จะมีอัตราความหนาแน่นของผู้อยู่อาศัยเป็นจำนวนมาก โดยคอนโดมีเนียมที่อยู่ในกลุ่มตัวอย่างมีทั้งระดับล่าง กลางๆ เป็นหลัก เพื่อให้เห็นถึงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเต็มที่ในเวลาที่ผู้อยู่อาศัยกลับมาอยู่ห้องของคอนโดมิเนียม

ดังนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและคำนวณสำหรับคอนโดมีเนียมนี้จะสร้างผลกระทบของบริภัณฑ์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของคอนโดมิเนียมและการจัดการความคุ้มค่า : มุมมองของผู้เชี่ยวชาญ ที่นานาประเทศยังไม่มีการจัดทำงานวิจัยประเภทนี้มาก่อน จึงจะเป็นกรณีศึกษาให้เกิดการบริหารจัดการคอนโดมิเนียมตั้งแต่ออกแบบ

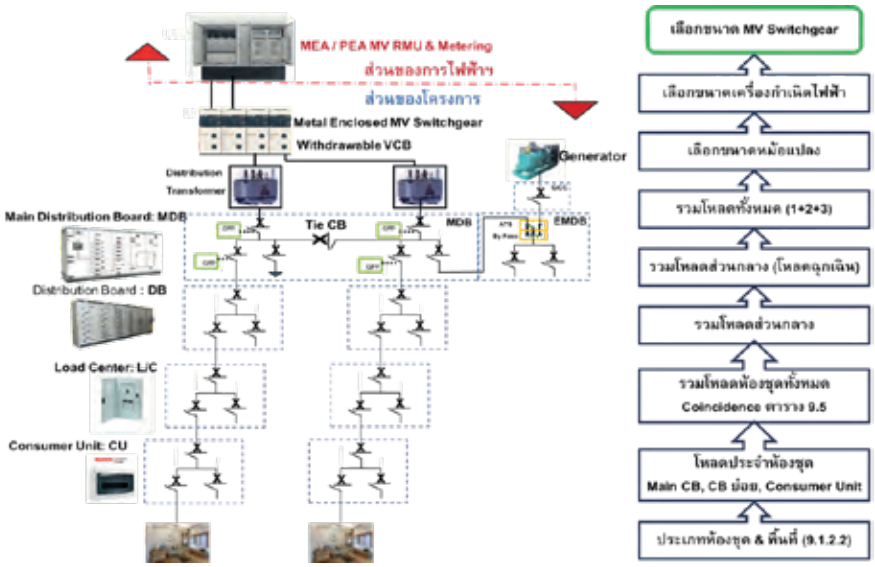
ติดตั้ง การควบคุมการติดตั้ง การดำเนินการใช้งาน และการบำรุงรักษาให้เกิดการใช้งานอย่างมีประสิทธิผลทั่วโลก

สำหรับหนังสือคู่มือการบริหารงานออกแบบและการติดตั้งระบบไฟฟ้า ในส่วนของตัวอย่างการออกแบบการคำนวณอาคารชุด อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ จะมีการอธิบายเป็น 2 แนวทาง ในส่วนการออกแบบคำนวณที่เหมาะสมตามมาตรฐานการติดตั้งฯ และตามการออกแบบคำนวณวิธีแบบเดิม

## 9.12 ตัวอย่างกรณีศึกษาอาคารชุด 8 ชั้นและอาคารชุด 28 ชั้น

**ตัวอย่างที่ 9.1**

**คอนโดมิเนียม BCC1** สูง 8 ชั้น แบบมีร้านค้าชั้นล่าง 10 ห้อง (5 x 30 sq.m และ 5 x 40 sq.m) และห้องชุด 190 ห้อง มีผู้พักอาศัย 90% ของจำนวนห้องที่มีอยู่ในคอนโดฯ แบบไม่มีระบบทำความเย็นส่วนกลาง โดยใช้โหลดตามจริง ห้องชุดจำนวน 180 ห้องมีพื้นที่ 30 sq.m และ 10 ห้องมีพื้นที่ 40 sq.m รวม 190 ห้องชุด แต่ละห้องชุดมี 1 ห้องนอน 1 ห้องน้ำ พร้อมระเบียง โซนห้องรับแขก และห้องครัว พร้อมสิ่งอำนวยความดวกครบครัน ตอบโจทย์วิถีการดำเนินชีวิต อยู่ใกล้รถไฟฟ้า จงออกแบบและคำนวณหาขนาดของบริภัณฑ์ไฟฟ้าของคอนโดมิเนียมหรืออาคารชุดที่อยู่ในพื้นที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค




**รูปที่ 9.4** ตัวอย่างการบริหารจัดการออกแบบอาคารชุด 8 ชั้นในตัวอย่างที่ 9.1

หมายเหตุ จาก *บทที่ 2 สายไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า* เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย, โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2567ข, โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.

กำหนดให้

**1. ห้องชุดประเภทอยู่อาศัย ไม่มีระบบทำความเย็น โดยมีส่วนร้านค้า (คิดตามจริง) และส่วนห้องชุด (คิด Coincident ที่ 190 ห้องชุด)**

| | |
|---|---|
| 1.1 ส่วนร้านค้า 30 sq.m | = 155 x A ตาม วสท. ข้อ 9.1.2.3.1 |
| | = 155 x 30 |
| | = 4,650 VA |
| เลือกมิเตอร์ของส่วนร้านค้า | = 15(45) 1 Ph |
| ส่วนร้านค้า 30 sq.mจำนวน 5 ห้อง | = 5 x 4,650 |
| | = 23,250 VA |
| 1.2 ส่วนร้านค้า 40 sq.m | = 155 x A ตาม วสท. ข้อ 9.1.2.3.1 |
| | = 155 x 40 |
| | = 6,200 VA |
| ส่วนร้านค้า 40 sq.mจำนวน 5 ห้อง | = 5 x 6,200 |
| | = 31,000 VA |
| เลือกมิเตอร์ของส่วนร้านค้า 40 sq.m | = 15(45) 1 Ph |
| รวมโหลดของร้านค้า (1.1+1.2) | = 23,250 + 31,000 |
| | = 54,250 VA |

**การหาขนาดโหลดห้องชุด**

| | |
|---|---|
| ห้องชุดที่มีพื้นที่ <55 sq.m | = (90 x A) + 1,500 |
| 1.3 ส่วนห้องชุด 30 sq.m | = (90 x 30) + 1,500 |
| | = 4,200 VA |
| เลือกมิเตอร์ของห้องชุด | = 15(45) 1 Ph |
| 1.4 ส่วนห้องชุด 40 sq.m | = (90 x 40) + 1,500 |
| | = 5,100 VA |
| เลือกมิเตอร์ของห้องชุด | = 15(45) 1 Ph |

**การคิดค่า Coincidence ของห้องชุด 190 ห้อง (1.3+1.4) มีดังนี้**

| | |
|---|---|
| ห้องที่ 1-10 = ( 0.9 x 5,100 x 10 ) | = 45,900 VA |
| ห้องที่ 11-20 = ( 0.8 x 4,200 x 10 ) | = 33,600 VA |
| ห้องที่ 21-30 = ( 0.7 x 4,200 x 10 ) | = 29,400 VA |
| ห้องที่ 31-40 = ( 0.6 x 4,200 x 10 ) | = 25,200 VA |
| ห้องที่ 41 ขึ้นไป ( 0.5 x 4,200 x 150) | = 315,000 VA |

**รวมขนาดโหลดห้องชุด = 449,100 VA (ตาราง 9.5)**

รวมโหลดร้านค้าและห้องชุด = 54,250 + 449,100

**1 รวมโหลดร้านค้าและห้องชุด** = 503,350 VA

ทุกร้านค้าและห้องชุดใช้เมน CB = MCB 2P C50 10 kA

สายเมนเข้าห้องชุด = 2-16 / 10PE เดินในร้อยท่อร้อยสายไฟ 1" EMT ต่อจากราง wireway

วงจรแสงสว่าง = MCB 1P C10 6kA เลือกใช้สายไฟ = 2-2.5 / 2.5PE

วงจรเต้ารับ = RCBO 16A 30mA 6kA เลือกใช้สายไฟ = 2-2.5 / 2.5PE

วงจรปรับอากาศ = MCB 1P C16 (12000BTU) 6kA เลือกใช้สายไฟ = 2-4 / 2.5PE

วงจรเครื่องทำน้ำอุ่น = RCBO 1P C25 (4,500W) 6kA เลือกใช้สายไฟ = 2-4 / 2.5PE

**เลือก Consumer Unit ≥ 7 cct (7 ช่อง) ก็จะเหลือให้ใส่ CB สำรองเผื่ออีก 1 วงจรได้**

**2 โหลดไฟฟ้าส่วนกลาง**

2.1 ส่วนจอดรถ พื้นที่ส่วนกลาง ห้องเครื่อง ห้องเก็บของ ทางเดิน = 70 kVA
แสงสว่างส่วนกลาง ล็อบบี้ อื่นๆ

2.2 Spare = 100 kVA

**รวมโหลดไฟฟ้าส่วนกลาง = 170 kVA**

**3 ขนาดโหลดไฟฟ้าส่วนกลาง(โหลดฉุกเฉิน)**

| | | |
|---|---|---|
| 3.1 | ไฟฟ้ากำลังส่วนกลาง | = 20 kVA |
| 3.2 | แสงสว่างส่วนกลาง | = 30 kVA |
| 3.3 | Pressurized Pump (2x10 kW) | = 20 kVA |
| 3.4 | Passenger & Service Lift 2x50 kW | = 100 kVA |
| 3.5 | Fireman Lift 3 Ea.(3 x 50 kW) | = 150 kVA |
| 3.6 | ปั๊มน้ำประปา (2 x 22 kW 1Ph) | = 30 kVA |
| 3.7 | Jockey Pump 7.5 kW | = 8 kVA |
| 3.8 | Waste Pump | = 15 kVA |
| 3.9 | Spare | = 50 kVA |

**ขนาดโหลดส่วนกลาง(โหลดฉุกเฉิน) = 423 kVA**

4. รวมโหลดทั้งหมด (1+2+3) = 503.35+170+423
= 1,096.35 kVA

5. ใช้หม้อแปลง 2 ลูกๆละ = 1,096.35 / 2
ใช้ขนาดหม้อแปลงลูกละ = 548.17 kVA (9.1.8.3)

ดังนั้นเลือกขนาดหม้อแปลง = 630 kVA, 2 ตัว แบบ Oil Immersed

โดยแบ่งการจ่ายกระแสไฟฟ้าตามจำนวนชั้น เช่น หม้อแปลงตัวที่ 1 จ่ายโหลดชั้น 1-3 และหม้อแปลงตัวที่ 2 จ่ายโหลดชั้นที่ 4-8

โดยทำการ Tie หม้อแปลงทั้ง 2 ตัว ตาม single line เพื่อทดแทนกันได้ในกรณีที่ MV Switchgear หรือ หม้อแปลงหรือ เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ เกิดความเสียหายในระบบไฟฟ้า ทั้งนี้ กรณีที่มีการใช้หลักการ tie โหลด ต้องพิจารณาปริมาณการใช้โหลดอย่างรอบคอบ อาจมีแผนสำรองในการ Shadding หรือ ตัดบางวงจรออกบางส่วน เพื่อให้ปริมาณาการใช้ไฟฟ้าเพียงพอเหมาะสมกับขนาดหม้อแปลงที่ใช้งาน

5.1 ขนาด Main ACB = 630 / (1.732 x 400)
= 909 A
= 900AT/1000AF (LSIG) 3P 35 kA (General CB Spec.)

ขนาดกระแสลัดวงจร (Z=4%) = 630,000 (1.732x400V/0.04)
= 22.7 kA




5.2 ใช้สายเมนตามตารางที่ 5-20 เดินสายในท่อร้อยสายในอากาศ แกนเดียว กลุ่ม 2 3(4x300 Sq.mm)

**6. ขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง**

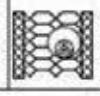
จากโหลดข้อ 3 ที่ 423 kVA จึงเลือก Gen. = 500 kVA 3 Ph 0.8 PF ใช้ ATS 4P 630 A ปกติจะมีการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองเพียงบางส่วนของขนาดหม้อแปลง เช่น 30% ของหม้อแปลง เพื่อใช้เฉพาะวงจรช่วยชีวิตหรือบางวงจรที่สำคัญเท่านั้น

**7. ขนาดกระแสของสวิตช์เกียร์แรงดันปานกลาง**

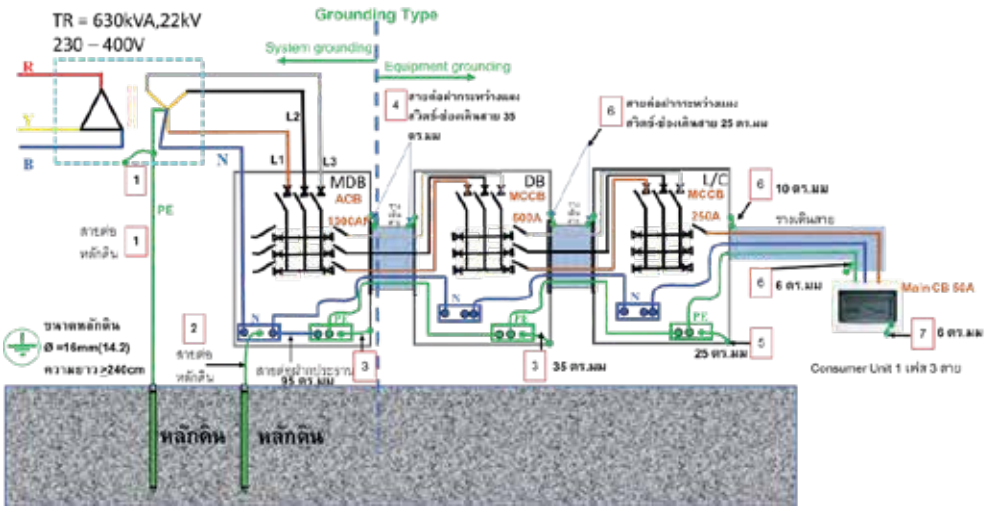
MV SWG = 630 kVA / (1.732x24 kV)
= 15.16 A

เลือกพิกัดกระแสของ MV SWG 2IN 2OUT 200A 3Ph. @ 16 A

**ตารางที่ 5-20** ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มี/ไม่มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในท่อร้อยสายในอากาศ

| 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 | 60227 IEC 01, 60227 IEC 02, 60227 IEC 05, 60227 IEC 06, 60227 IEC 10, NYY, VCT, IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย | | | | | | | |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | | | | | |
| 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. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.




**รูปที่ 9.5** การออกแบบระบบไฟฟ้าและการหาขนาดสายดินของอาคารชุด 8 ชั้น ตามตัวอย่างที่ 9.1

**ตารางที่ 4-1** ขนาดต่ำสุดของสายต่อลงดิน

| ขนาดตัวนำประธาน (ตัวนำทองแดง) (sq.mm) | ขนาดต่ำสุดของสายต่อลงดิน (ตัวนำทองแดง) (sq.mm) |
|---|---|
| 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 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

* แนะนำให้ติดตั้งในท่ออโลหะ หากติดตั้งในท่อโลหะต้องมีการต่อฝากเข้ากับท่อโลหะ

**ตารางที่ 4-2** ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า

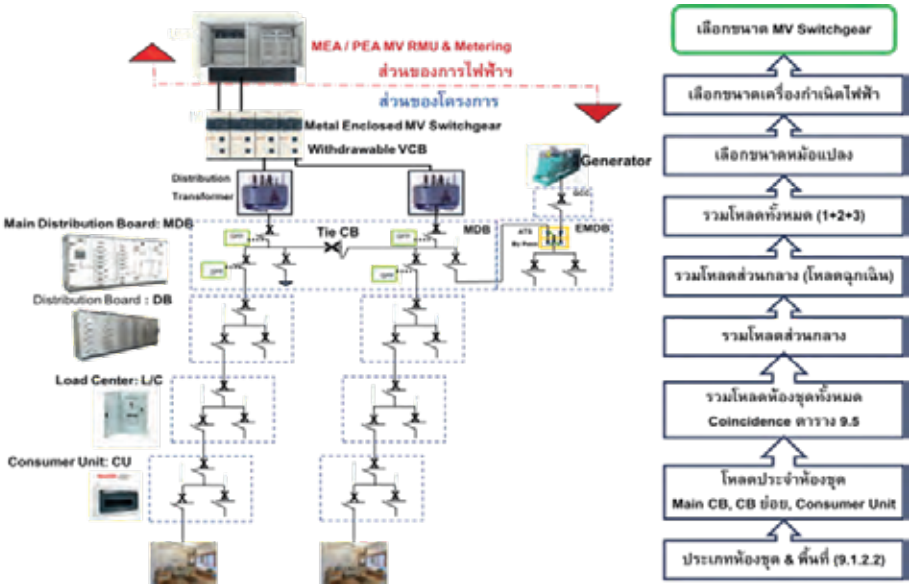
| พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสไม่เกิน (A) | ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (sq.m) |
|---|---|
| 20 | 2.5* |
| 40 | 4* |
| 70 | 6 |
| 100 | 10 |
| 200 | 16 |
| 400 | 25 |
| 500 | 35 |
| 800 | 50 |
| 1000 | 70 |
| 1250 | 95 |
| 2000 | 120 |
| 2500 | 185 |
| 4000 | 240 |
| 6000 | 400 |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กำหนดให้ *ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าใช้สำหรับที่อยู่อาศัยหรืออาคารของผู้ใช้ไฟที่อยู่ห่างจากหม้อแปลงระบบจำหน่ายระยะไม่เกิน 100 เมตร
กรณีที่ผู้ใช้ไฟอยู่ห่างจากหม้อแปลงระบบจำหน่ายระยะเกิน 100 เมตร ให้ดูภาคผนวก ญ. ตารางที่ ญ.6 ถึง ตารางที่ ญ.12 (มาตรฐานการติดตั้งฯ วสท.)

**ตัวอย่างที่ 9.2**

**อาคารชุด BCC2** สูง 28 ชั้น ผู้พักอาศัย 100% แบบไม่มีระบบทำความเย็นส่วนกลาง โดยใช้โหลดตามจริง ห้องชุดมีพื้นที่ 30 sq.m (หัก พท.ระเบียง เสา ช่องท่อ) รวม 333 ห้องชุด 1 ห้องนอน 1 ห้องน้ำ พร้อมระเบียง โซนห้องรับแขก และห้องครัว พร้อมสิ่งอำนวยความสะดวกครบครัน ตอบโจทย์วิถีการดำเนินชีวิต (ชั้น 1-7 เป็นที่จอดรถ) จงออกแบบและคำนวณหาขนาดของบริภัณฑ์ไฟฟ้าของอาคารชุด อยู่ในการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค




**รูปที่ 9.6** ตัวอย่างการออกแบบอาคารชุด 28 ชั้นในตัวอย่างที่ 9.2

กำหนดให้ ห้องชุดประเภทอยู่อาศัย ไม่มีระบบทำความเย็น

พื้นที่ <55 sq.m = (90 x A) +1,500 (โดย A เท่ากับพื้นที่เท่ากับ 30 ตร.ม.)

= (90 x 30) + 1,500

= 4,200 VA

เลือกมิเตอร์ของห้องชุด = 15(45) 1 Ph

ใช้เมน CB ประจำห้องชุด = MCB 2P C50 10kA

สายเมนเข้าห้องชุด = 2-16 / 10PE เดินในร้อยท่อร้อยสายไฟ 1” EMT ต่อจากราง wireway

วงจรแสงสว่าง = MCB 1P C10 6kA เลือกใช้สายไฟ = 2-2.5 / 2.5PE

วงจรเต้ารับ = RCBO 16A 30mA 6kA เลือกใช้สายไฟ = 2-2.5 / 2.5PE

วงจรปรับอากาศ = MCB 1P C16 (12000BTU) 6kA เลือกใช้สายไฟ = 2-4 / 2.5PE

วงจรเครื่องทำน้ำอุ่น = RCBO 1P C25 (4,500W) 6kA เลือกใช้สายไฟ = 2-4 / 2.5PE

**เลือก Consumer Unit ≥ 7 cct (7 ช่อง)**

หมายเหตุ วงจรเต้ารับ วงจรเครื่องทำน้ำอุ่น หรือวงจรตามมฐ. ข้อ 3.18 หรือ 3.19 ต้องมีเครื่องตัดไฟรั่ว

**1. การหาขนาดโหลดของอาคารชุด 333 ห้อง**

| ห้อง | Load(VA) | Coincident | Sum Load |
|---|---|---|---|
| 1-10 | 4,200 | 0.9 | 37,800 |
| 11-20 | 4,200 | 0.8 | 33,600 |
| 21-30 | 4,200 | 0.7 | 29,400 |
| 31-40 | 4,200 | 0.6 | 25,200 |
| 41-333 | 4,200 | 0.5 | 615,300 |
| 333 | รวมขนาดโหลดห้องชุด | | 741,300 |

**รวมขนาดโหลดห้องชุด = 741,300 VA (ตาราง 9.5)**

**2. โหลดไฟฟ้าส่วนกลาง**

2.1 แสงสว่างส่วนกลาง = 70 kVA

2.2 ไฟฟ้ากำลังส่วนกลาง = 50 kVA

2.3 Spare = 100 kVA

**รวมโหลดไฟฟ้าส่วนกลาง = 220 kVA**

หมายเหตุ วงจรเต้ารับ วงจรเครื่องทำน้ำอุ่น หรือวงจรตามมฐ. ข้อ 3.18 หรือ 3.19 ต้องมีเครื่องตัดไฟรั่ว

**3. ขนาดโหลดไฟฟ้าส่วนกลาง(โหลดฉุกเฉิน)**

3.1 ไฟฟ้ากำลังส่วนกลาง = 20 kVA

3.2 แสงสว่างส่วนกลาง = 30 kVA

3.3 Pressurized Pump (2x10 kW) = 20 kVA

3.4 Passenger Lift 50 kW = 50 kVA

3.5 Fireman Lift 3 Ea.(3 x 50 kW) = 150 kVA

3.6 ปั๊มน้ำประปา (2 x 22 kW 1Ph) = 30 kVA

3.7 Jockey Pump 7.5k W = 8 kVA

3.8 Waste Pump = 15 kVA

3.9 Spare = 50 kVA

**ขนาดโหลดส่วนกลาง(โหลดฉุกเฉิน) = 373 kVA**

4. รวมโหลดทั้งหมด (1+2+3) = 741.3+220+373

= 1,334.3 kVA

5. ใช้หม้อแปลง 2 ลูกๆละ = 1,334.3 / 2

ใช้ขนาดหม้อแปลงลูกละ = 667.15 kVA (9.1.8.3)

ดังนั้นเลือกขนาดหม้อแปลง = 800 kVA, 2 ตัว

โดยแบ่งการจ่ายกระแสไฟฟ้าตามจำนวนชั้น เช่น หม้อแปลงตัวที่ 1 จ่ายโหลดชั้น 1 - 14 และหม้อแปลงตัวที่ 2 จ่ายโหลดชั้นที่ 14 - 28

โดยทำการ Tie หม้อแปลงทั้ง 2 ตัว ตาม single line เพื่อทดแทนกันได้ในกรณีที่ MV Switchgear หรือ หม้อแปลงหรือ เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ เกิดความเสียหายในระบบไฟฟ้า ทั้งนี้ กรณีที่มีการใช้หลักการ tie โหลด ต้องพิจารณาปริมาณการใช้โหลดอย่างรอบคอบ อาจมีแผนสำรองในการ Shadding หรือ ตัดบางวงจรออกบางส่วน เพื่อให้ปริมาณาการใช้ไฟฟ้าเพียงพอเหมาะสมกับขนาดหม้อแปลงที่ใช้งาน

5.1 ขนาด Main ACB = 800 / (1.732 x 400)

= 1,155 A

ขนาดกระแสลัดวงจร (Z=6%) = 800,000 (1.732x400V/0.06)

= 19.24 kA

ดังนั้นเลือก ACB 3P Draw-out ที่ 1,150AT / 1250AF (LSIG) 3P 35kA (General CB Spec.)

เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีขนาด $\geq$ 1,000A ต้องมี GFP

5.2 ใช้สายเมนตามตารางที่ 5-20 เดินสายในท่อร้อยสายในอากาศ แกนเดียว กลุ่ม 2

4(4x240 Sq.mm)

**6. ขนาดเครื่องกำหนดไฟฟ้าสำรอง**

จากโหลดข้อ 3 ที่ 373 kVA จึงเลือก Gen. = 400 kVA 3 Ph 0.8PF ใช้ ATS 4P 630 A

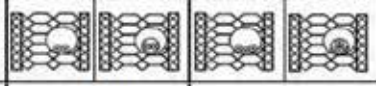
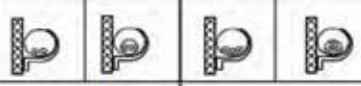
**7. ขนาดสวิตช์เกียร์แรงดันปานกลาง**

MV SWG = 800kVA / (1.732x24kV)

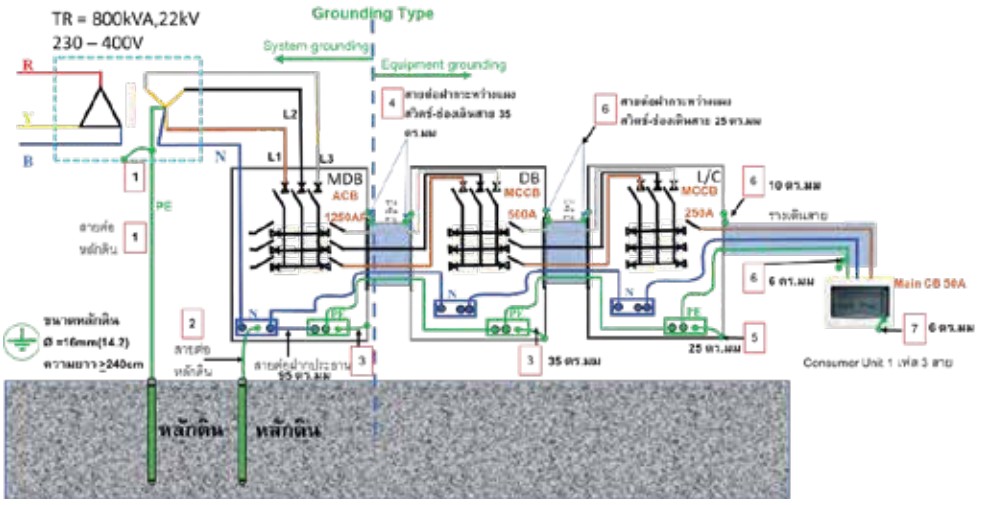
= 19.245 A

เลือก MV SWG 2IN 2OUT 200 A 3Ph. @ 20 A

**ตารางที่ 5-20** ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มี/ไม่มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในท่อร้อยสายในอากาศ

| 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 | 60227 IEC 01, 60227 IEC 02, 60227 IEC 05, 60227 IEC 06, 60227 IEC 10, NYY, VCT, IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย | | | | | | | |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | | | | | |
| 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 | - | - | - | - | 478 | - | 406 | - |
| 500 | - | - | - | - | 545 | - | 464 | - |

หมายเหตุ. จาก *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564* (พิมพ์ครั้งที่ 4), โดย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), 2567, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.




**รูปที่ 9.7** การออกแบบระบบไฟฟ้าและการหาขนาดสายดินของอาคารชุด 28 ชั้น ตามตัวอย่างที่ 9.2

จากตัวอย่าง อาคารชุด BCC2 สูง 28 ชั้น สำหรับผู้พักอาศัยที่มีความหนาแน่นมากกว่า 100% ของจำนวนห้องที่มีอยู่ในอาคารชุด แบบไม่มีระบบทำความเย็นส่วนกลาง โดยใช้โหลดตามจริง ห้องชุดมีพื้นที่ 30 sq.m รวม 333 ห้องชุด 1 ห้องนอน 1 ห้องน้ำ พร้อมระเบียง โซนห้องรับแขก และห้องครัว พร้อมสิ่งอำนวยความสะดวกครบครัน หลังจากได้ออกแบบและก่อสร้างติดตั้งไปแล้วมากกว่า 5 ปี ทางผู้เขียนได้เข้าไปสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงปลายเดือนมีนาคม เวลา 20.00 – 23.00 เป็นช่วงเวลาที่มีผู้อาศัยกลับมายังที่พักอาศัยห้องชุดกันอย่างเต็มที่ โดยมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ 100 A โดยเฉลี่ยทั้ง 3 เฟส ที่หม้อแปลงทั้ง 2 ตัว ซึ่งจากการออกแบบคำนวณจะเห็นได้ชัดเจนว่าการออกแบบคำนวณที่ทำไว้นั้นมีปริมาณสูงเกินความต้องการเป็นจำนวนมาก เมื่อเทียบกับผลการสำรวจอาคารชุดหลังการติดตั้งใช้งานมาแล้วมากกว่า 5 ปี โดยมีข้อควรระวังดังนี้

1. ต้นทุนการลงทุนขั้นต้นมีอัตราสูงมากๆ
2. มีการตั้งค่า Ampere Trip: AT = Ampere Frame: AF ซึ่งเป็นอันตรายอย่างยิ่งที่ CB จะไม่ทริปเมื่อมีกระแสเกิน
3. ไม่มีการทำงานที่สัมพันธ์กันในระบบไฟฟ้าหลังจากมีการใช้งานไปแล้ว ต้อง Coordinate Setting ใหม่ จึงต้องมีการตั้งค่าใหม่หลังการติดตั้งใช้งานไปแล้ว ตามจำนวนการใช้พลังงานไฟฟ้า
4. ต้นทุนในการบริหารจัดการดำเนินงานและการซ่อมบำรุงที่สูงตามการออกแบบคำนวณ
5. สูญเสียพื้นที่ในการติดตั้งบริภัณฑ์ไฟฟ้าและพื้นที่ในการใช้งานที่ขนาดใหญ่เกินการใช้งาน
6. สูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นที่หม้อแปลงไฟฟ้าและส่วนอื่นๆ
7. สูญเสียดุลการค้าระหว่างประเทศ
8. สูญเสียต้นทุนในการเตรียมการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ

จากการสรุปผลข้างต้นนี้ได้ศึกษาจาก งานวิจัยของผู้เขียนที่ศึกษาว่า ผลกระทบของเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของคอนโดมิเนียมและการจัดการความคุ้มค่า: มุมมองของผู้เชี่ยวชาญ พบว่า มีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า หรือ บริภัณฑ์ไฟฟ้า ตั้งแต่ แผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันปานกลาง หม้อแปลงไฟฟ้า และแผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ มีขนาดใหญ่เกินกว่าการใช้งานจริงอย่างมาก ซึ่งมีผลกับการลงทุนเริ่มต้นที่มีราคาสูงเกินกว่าการใช้งานจริงที่มีการเผื่ออย่างมากๆ แล้ว อยู่มากกว่า 54% ซึ่งมีผลกับเรื่องความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และยังเป็นเรื่องความปลอดภัยที่มีการตั้งค่า Ampere Trip ใกล้เคียงกับ Ampere Frame อย่างมาก โดยกระแสใช้งานจริงในช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานสูงสุดเพียงแค่ 6% ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถทำงานได้ในหน้าที่การป้องกันกระแสเกิน รวมถึงเป็นการสร้างความสูญเสียที่

เกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีการใช้งานเพียงแค่ไม่เกิน 6% ทำให้เกิดความสูญเสีย และยังส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาประจำปีที่ราคาสูงกว่าความเป็นจริงในการใช้งานอย่างยิ่ง (Buranaaudsawakul, T.; Wisaeng, K. Oversized Electrical Appliance Impacts on Condominium Energy Efficiency and Cost-Effectiveness Management: Experts' Perspectives. Appl. Syst. Innov. 2021, 4, 98. https://doi.org/10.3390/asi4040098)

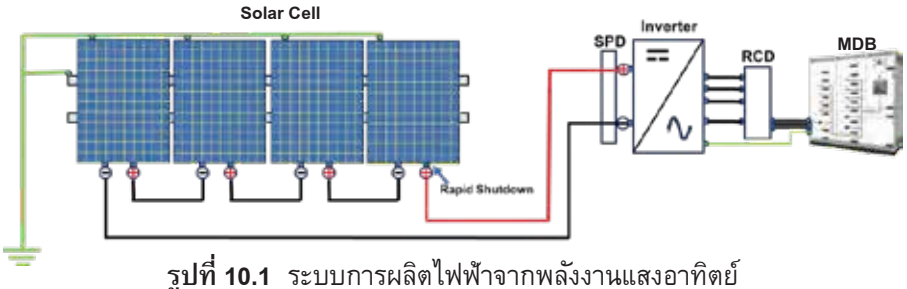
ทั้งนี้ยังรวมถึงการออกแบบในส่วนของอาคารขนาดใหญ่ ในส่วนของห้างสรรพสินค้า ที่มีการใช้งาน โดยทีมงานวิศวกรของเจ้าของได้มีการศึกษาวิเคราะห์พัฒนาการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดผลกระทบของการลงทุนเริ่มต้นและการใช้งาน จากงานวิจัย เรื่อง สำหรับ *ผลกระทบของอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ต่อการจัดการพลังงานของห้างสรรพสินค้าประเทศไทย* พบว่ามีการออกแบบเลือกใช้บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่สูงเกินกว่าการใช้งาน โดยมีการใช้งานจริงเพียงแค่ 39% ของพิกัดความสามารถของหม้อแปลงที่สามารถจ่ายได้ในภาวะการณ์ปกติ ยังไม่รวมการทำงานของหม้อแปลงในช่วง Forced air cool ที่สามารถเพิ่มศักยภาพในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าได้อีก 40% (Techatat Buranaaudsawakul, Taweesak Thongsan, Jirawan Lengpanich, Worawat Sa-ngiamvibool, "The Impact of Oversized Electrical Equipments on Energy Management of Thailand Department Stores," International Journal of Engineering Trends and Technology, vol. 70, no. 12, pp. 35-41, 2022. Crossref, https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V70I12P205)

ดังนั้นการใช้งานมาตรฐานเพื่อการออกแบบและการติดตั้งทางไฟฟ้า วิศวกรไฟฟ้า ผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงาน ผู้รับเหมา ผู้ดูแลใช้งานอาคาร รวมถึงผู้ดูแลเรื่องการบำรุงรักษา ต้องมีการสอดรับประสานงานต่อกัน เพื่อการให้มีการออกแบบระบบไฟฟ้าให้มีความปลอดภัย มีความมั่นคง มีเสถียรภาพ มีความเชื่อถือได้ และมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อตอบโจทย์ทางวิศวกรรมอย่างยั่งยืนร่วมกัน

# บทที่ 10

# การบริหารการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายทั่วโลกมากกว่า 10 ปี ที่ผ่านมา สำหรับกระแสการใช้พลังงานทดแทนที่มีคาร์บอนในปริมาณน้อยที่สุด เพื่อช่วยร่วมกันรักษ์โลก ลดโลกร้อน ปัจจุบันน่าจะถือว่าช่วยลดโลกเดือดแล้วมั้ง สำหรับทางด้านวิศวกรรม เราจะกล่าวถึงความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon neutrality) เพื่อมุ่งสู่การปล่อยก๊าซสุทธิเป็นศูนย์ (Net zero emission) ที่ผ่านมาประเทศไทย โดยการไฟฟ้าฯ ได้ส่งเสริมสนับสนุนเรื่องพลังงานทดแทนอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด ตั้งแต่แผงโซลาร์เซลล์และบริภัณฑ์ไฟฟ้า ในช่วงเริ่มแรกที่ยังมีราคาที่สูงมากๆ โดยทางการไฟฟ้าฯ ได้ให้ผลตอบแทนที่สูง เพื่อให้ผู้ลงทุนมาร่วมช่วยกันผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างยั่งยืนร่วมกัน ปัจจุบันต้นทุนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ถูกลงอย่างมาก ทั้งยังมีเทคโนโลยีต่างๆ เพิ่มเติมเข้ามาให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ปลอดภัยมากยิ่งขึ้น โดยผู้เขียนได้จำลองภาพระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับภาพแผงสวิตช์ในแผ่นพับของ บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน) เพื่อให้เห็นการใช้งานจริง ดังภาพ




**รูปที่ 10.1** ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

หมายเหตุ. จาก *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ], โดย บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน), ม.ป.ป.

## 10.1 บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ มีดังนี้

1. แผงโซลาร์เซลล์
2. ฐานติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์
3. Grounding
4. สายไฟ
5. Connection
6. Combiner box
7. Inverter
8. Protection
9. Battery and Battery Storage System (Energy Storage System: ESS)

### 10.1.1 แผงโซลาร์เซลล์ (Photovoltaic : PV)

ทำหน้าที่รับพลังงานแสงอาทิตย์และแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง แผงโซลาร์เซลล์มีด้วยกัน 2 ประเภท ดังนี้

**10.1.1.1 Amorphous** แบบอะมอร์ฟัส เป็นแผงโซลาร์เซลล์ที่ไวแสงมาก สามารถรับแสงอ่อนๆ ที่ได้กำลังไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ หรือประสิทธิภาพค่อนข้างด้อย จึงไม่เป็นที่นิยมใช้กัน



**รูปที่ 10.2** แผงโซลาร์แบบ Amorphous

หมายเหตุ. จาก https://www.google.com/url

**10.1.1.2 Crystalline** แบบคริสทะไลน์ เป็นแผงโซลาร์เซลล์ในรูปของผลึกแบบแผ่นฟิล์มชั้นบางๆ ที่แบ่งได้อีก 2 แบบ คือ Mono crystalline แบบโมโนคริสทะไลน์หรือแผงชนิดผลึกเดี่ยว และแบบ Poly crystalline แบบโพลีคริสทะไลน์หรือแผง

ชนิดผสม โดยแบบโมโนจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าและราคาแพงกว่าแบบโพลี ประมาณ 10 – 20% จึงเป็นที่นิยมใช้แบบโพลีกันเป็นส่วนใหญ่

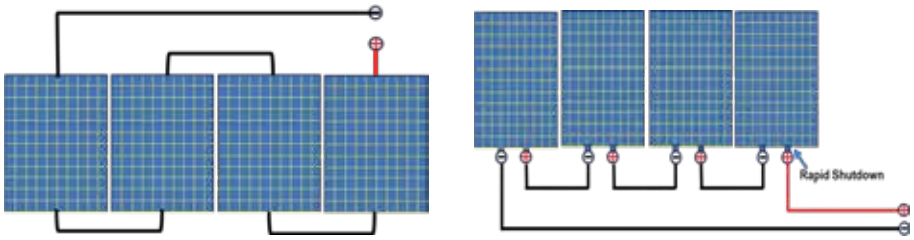


| Mono crystalline | Poly crystalline | Thin film |
|---|---|---|
| Eff.: 17-22% | Eff.: 15-18% | Eff.: 10-13% |

**รูปที่ 10.3** แผงโซลาร์แบบ Mono crystalline Poly crystalline และ Thin film หมายเหตุ. จาก https://www.google.com/url, https://www.google.com/imgres,

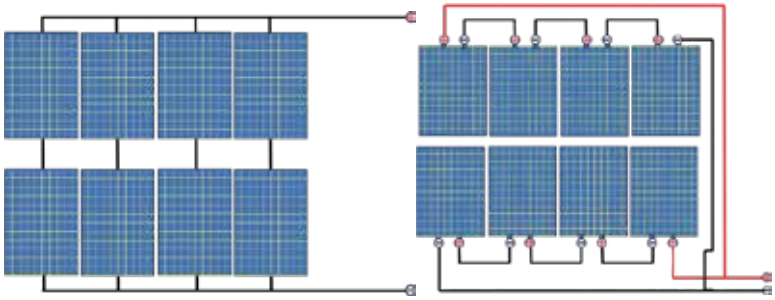
การต่อของโซลาร์เซลล์มีด้วยกัน 2 แบบดังนี้

1) การต่อโซลาร์เซลล์แบบ String เป็นการต่อแบบอนุกรมระหว่างแผงโซลาร์เซลล์




**รูปที่ 10.4** การต่อแผงโซลาร์เซลล์แบบ String

2) การต่อโซลาร์เซลล์แบบ Array เป็นการนำการต่อแบบ String มาต่อขนานระหว่าง String ด้วยกัน มีรูปแบบการต่อดังนี้



**รูปที่ 10.5** การต่อแผงโซลาร์เซลล์แบบ Array

### 10.1.2 ฐานติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์

การติดตั้งฐานบนหลังคาจะต้องมีความเหมาะสมกับส่วนของหลังคา หากไม่เหมาะสมกับหลังคาหรือกระเบื้องหลังคาจะมีผลกระทบอื่นๆ ตามมาอีกเยอะมาก เช่น กระเบื้องบิ่นหรือแตก น้ำรั่ว ยึดฐานที่ติดตั้งแผงโซลาร์ไม่แข็งแรง สำหรับฐานติดตั้งแผงโซลาร์ของโซลาร์ฟาร์ม เป็นเทคโนโลยีปกติและเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่สะดวกในการติดตั้ง เสมือนเกลียวของสกรู ทำให้มีความแข็งแรงสูงมาก



**รูปที่ 10.6** ฐานติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคา

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*




**รูปที่ 10.7** ฐานติดตั้งแผงโซลาร์ฟาร์ม

หมายเหตุ. จาก T*echnical Presentation of solar rooftop* [แผ่นพับ], โดย บริษัท เข็มเหล็ก จำกัด. ม.ป.ป.

### 10.1.3 Grounding (สายดิน)

เป็นการต่อสายดินระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ โครงสร้างฐานที่ติดตั้งโซลาร์เซลล์ โครงหลังคาที่เป็นโลหะลงดินในฟากฝั่งไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงโซลาร์เซลล์ การต่อสายดิน ถือเป็นเรื่องที่สำคัญสำหรับความปลอดภัยของผู้ใช้งาน ผู้เกี่ยวข้องทุกภาคส่วน ยังเป็นเรื่องสำคัญกับบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องในการใช้งาน ยังผลให้ระบบไฟฟ้าหรือระบบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้รับความปลอดภัย เชื่อถือได้ ความมั่นคงและเสถียรภาพที่ดีของแต่ละระบบด้วย ดังนั้นการตรวจสอบระบบสายดินและระบบการต่อลงดินจึงเป็นส่วนหนึ่งที่ต้องทำอย่างต่อเนื่อง



**รูปที่ 10.8** การต่อสายดินระหว่างแผงโซลาร์เซลล์

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

### 10.1.4 สายไฟ

เป็นส่วนที่นำกระแสไฟฟ้า สำหรับงานโซลาร์เซลล์ สายไฟจะนำไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตขึ้นที่แผงโซลาร์ไปที่ Inverter เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ที่นำมาใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านเรา ที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยทั่วไป โดยสายไฟที่ใช้งานจะต้องมีคุณสมบัติในการทนกับสภาพต่างๆ ดังนี้

1) สายไฟที่มีการนำกระแสไฟฟ้าตามพิกัดจะมีความร้อนจากการนำกระแสไฟฟ้า เช่น 70°C หรือ 90°C เป็นต้น

2) สายไฟที่มีการใช้งานภายนอกอาคารมีอุณหภูมิสูงหรือร้อนมากๆ จากสภาพอากาศของประเทศไทย

3) สายไฟที่ใช้งานนี้ยังมีการติดตั้งกับโครงสร้างที่มีการเก็บหรือสะสมความร้อนที่ตัวโครงสร้างจากสภาพอากาศภายนอกอาคาร ทำให้มีผลกระทบกับการนำกระแสและอายุการใช้งานของสายไฟร่วมด้วย

4) สายไฟที่ใช้งานต้องมีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง (Flame propagation or Flame retardant) ตามมาตรฐาน มอก.2756 หรือ IEC60332-1,2,3

5) สายไฟที่ใช้งานต้องมีคุณสมบัติไม่ปล่อยก๊าซกรด (Acids gas emission) ทนต่อการกัดกร่อนสูง ไม่มีส่วนประกอบที่ทำให้เกิดสารฮาโลเจนตามมาตรฐาน มอก.2757-1,2 หรือ IEC 60754-1,2

6) สายไฟที่ใช้งานต้องมีคุณสมบัติการปล่อยควัน (Smoke emission) ที่น้อยเมื่อถูกไฟไหม้ สายไฟที่มีควันน้อยกำหนดได้ตามมาตรฐาน มอก.2758 หรือ IEC 61034-2

7) สายไฟที่ใช้งานต้องมีคุณสมบัติต้านทานการติดไฟหรือทนไฟ (Fire resistance) ขณะเกิดเพลิงไหม้ ยังสามารถทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างปกติ ตามมาตรฐาน มอก.3197 หรือ BS6387 หรือ มอก.2755 หรือ IEC 60331

8) สายไฟที่ใช้งานต้องมีคุณสมบัติทนต่อรังสียูวี (UV Protection) ที่ขณะใช้งานภายนอกหรือภายในอาคารก็ตาม เพื่อให้สายไฟยังคงใช้งานได้อย่างยาวนานอย่างมีประสิทธิภาพ

9) สายไฟที่ใช้งานต้องมีคุณสมบัติทนกับความชื้น การกั้นน้ำ ความคงทนของสายไฟดังกล่าวอย่างมาก เพราะมีการติดตั้งใช้งานสายไฟภายนอกอาคารโดยส่วนใหญ่

10) สายไฟและการต่อที่ใช้งานต้องมีความแข็งแรง มีค่าความต้านทานน้อยที่สุด ไม่ให้เกิดความไม่เข้ากันทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference: EMI)

ดังนั้นสายไฟที่ใช้งานกับงานโซลาร์เซลล์จึงจำเป็นต้องใช้สายไฟเฉพาะที่เรียกว่า Solar cable, สายไฟฟ้า H1Z2Z2-K (PV Cable) หรือสายโซลาร์เซลล์ ตัวนำไฟฟ้าทองแดงชนิดสายอ่อน เคลือบดีบุก ฉนวนและเปลือก Cross-linked Polyolefin สามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ AC 1.0/1.0 kV , DC 1.5 kV (Max.1.8 kV)

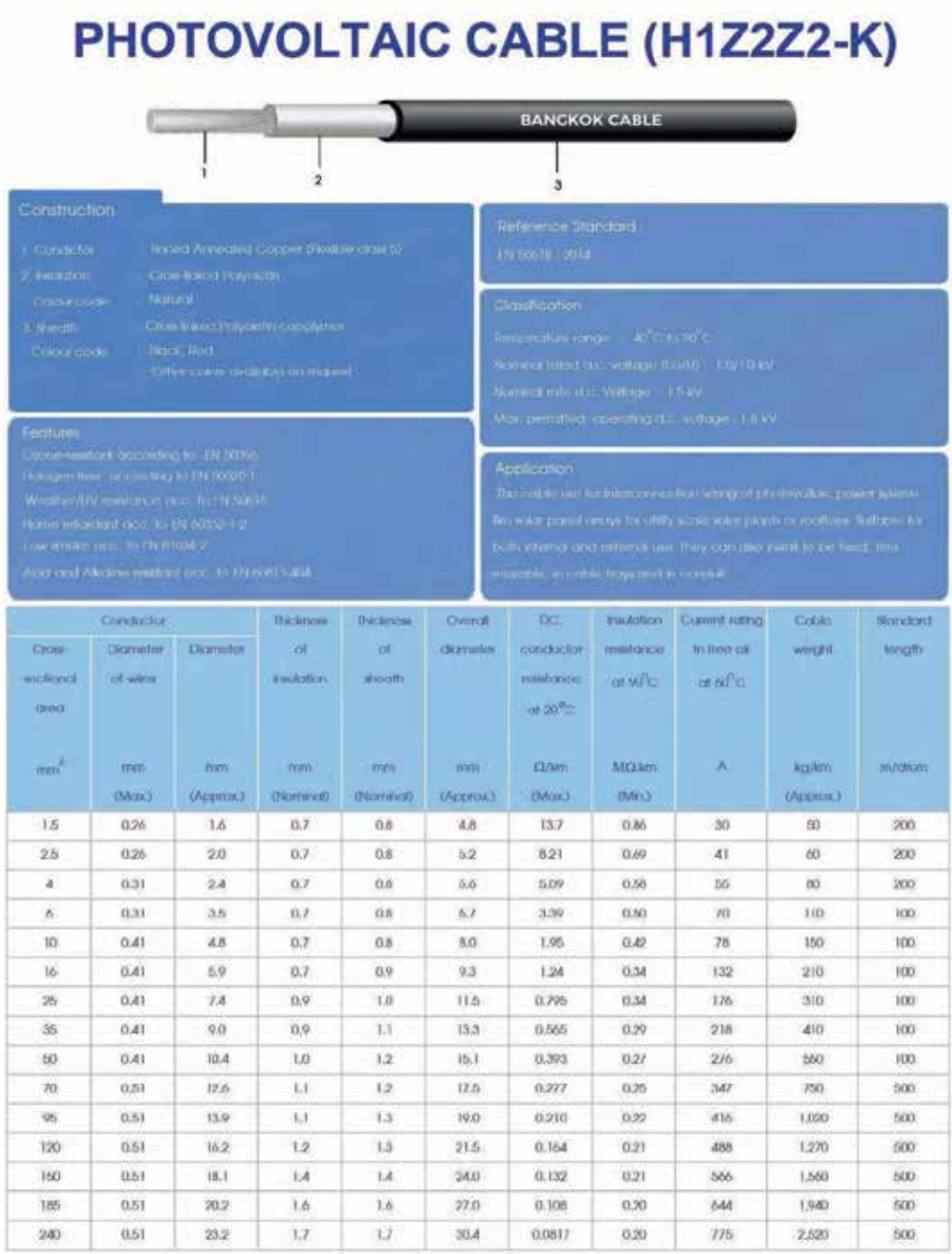



**รูปที่ 10.9** สายไฟ H1Z2Z2-K (PV Cable)

หมายเหตุ. จาก *Technical data of PV cable*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.

การติดตั้งใช้งานสำหรับแผงโซลาร์เซลล์ ในระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้ติดตั้งได้ทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร โดยมีการเดินสายในรางเดินสายหรือร้อยท่อได้ สามารถใช้งานแบบติดตั้งอยู่กับที่ เช่น โซลาร์เซลล์บนหลังคา โซลาร์ฟาร์ม หรือแบบเคลื่อนที่ เช่น โซลาร์ลอยน้ำ (floating solar) เป็นต้น สามารถเลือกใช้งานตามคุณลักษณะสมบัติพิเศษกว่าสายไฟปกติ และมีพิกัดกระแสดังนี้

**โครงสร้างและตารางการเลือกใช้สายไฟ สำหรับงานโซลาร์เซลล์**



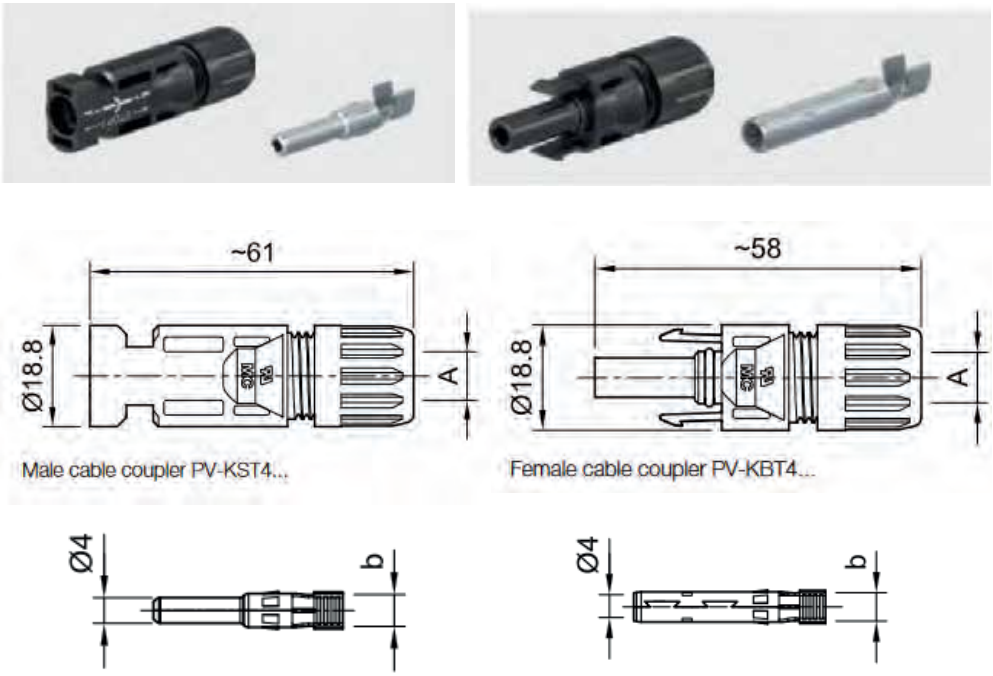

| Conductor | | | Thickness of insulation | Thickness of sheath | Overall diameter | DC conductor resistance at 20°C | Insulation resistance at 90°C | Current rating in free air at 60°C | Cable weight | Standard length |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cross sectional area | Diameter of wire | Diameter | | | | | | | | |
| mm² | mm (Max.) | mm (Approx.) | mm (Nominal) | mm (Nominal) | mm (Approx.) | Ω/km (Max.) | MΩ.km (Min.) | A | kg/km (Approx.) | m/drum |
| 1.5 | 0.26 | 1.6 | 0.7 | 0.8 | 4.8 | 13.7 | 0.86 | 30 | 50 | 200 |
| 2.5 | 0.26 | 2.0 | 0.7 | 0.8 | 5.2 | 8.21 | 0.69 | 41 | 60 | 200 |
| 4 | 0.31 | 2.4 | 0.7 | 0.8 | 5.6 | 5.09 | 0.58 | 55 | 80 | 200 |
| 6 | 0.31 | 3.5 | 0.7 | 0.8 | 6.7 | 3.39 | 0.50 | 70 | 110 | 100 |
| 10 | 0.41 | 4.8 | 0.7 | 0.8 | 8.0 | 1.95 | 0.42 | 98 | 150 | 100 |
| 16 | 0.41 | 5.9 | 0.7 | 0.9 | 9.3 | 1.24 | 0.34 | 132 | 210 | 100 |
| 25 | 0.41 | 7.4 | 0.9 | 1.0 | 11.5 | 0.795 | 0.34 | 176 | 310 | 100 |
| 35 | 0.41 | 9.0 | 0.9 | 1.1 | 13.3 | 0.565 | 0.29 | 218 | 410 | 100 |
| 50 | 0.41 | 10.4 | 1.0 | 1.2 | 15.1 | 0.393 | 0.27 | 276 | 550 | 100 |
| 70 | 0.51 | 12.6 | 1.1 | 1.2 | 17.5 | 0.277 | 0.25 | 347 | 750 | 500 |
| 95 | 0.51 | 13.9 | 1.1 | 1.3 | 19.0 | 0.210 | 0.22 | 416 | 1,030 | 500 |
| 120 | 0.51 | 16.2 | 1.2 | 1.3 | 21.5 | 0.164 | 0.21 | 488 | 1,270 | 500 |
| 150 | 0.51 | 18.1 | 1.4 | 1.4 | 24.0 | 0.132 | 0.21 | 566 | 1,560 | 500 |
| 185 | 0.51 | 20.2 | 1.6 | 1.6 | 27.0 | 0.108 | 0.20 | 644 | 1,940 | 500 |
| 240 | 0.51 | 23.2 | 1.7 | 1.7 | 30.4 | 0.0817 | 0.20 | 775 | 2,520 | 500 |

**รูปที่ 10.10** โครงสร้างและตารางการเลือกใช้สายไฟ H1Z2Z2-K

หมายเหตุ. จาก *Technical data of PV cable*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.

### 10.1.5 Connection

จุดต่อสายไฟ หรือ connector หรือที่นิยมเรียกว่า MC4 มาจาก multi-contact ขนาด 4 $mm^2$ การต่อหรือจุดต่อต่างๆ สำหรับการต่อทางไฟฟ้ากระแสตรงถือเป็นเรื่องสำคัญมากๆ หากมีปัญหาการต่อ จะมีผลทำให้เกิดอาร์ค และลุกลามเป็นเพลิงไหม้ได้ เมื่อเกิดเพลิงไหม้ การดับเพลิงสำหรับงานโซลาร์เซลล์บนหลังคา ถือเป็นเรื่องอันตรายอย่างสำคัญยิ่ง มีโอกาสทำให้ที่อยู่อาศัยหรืออาคารที่มีโซลาร์เซลล์บนหลังคาเกิดเพลิงไหม้ทั้งบ้านและอาคารได้ทั้งหมด รวมถึงอาจลุกลามไปยังอาคารข้างเคียงได้ด้วย

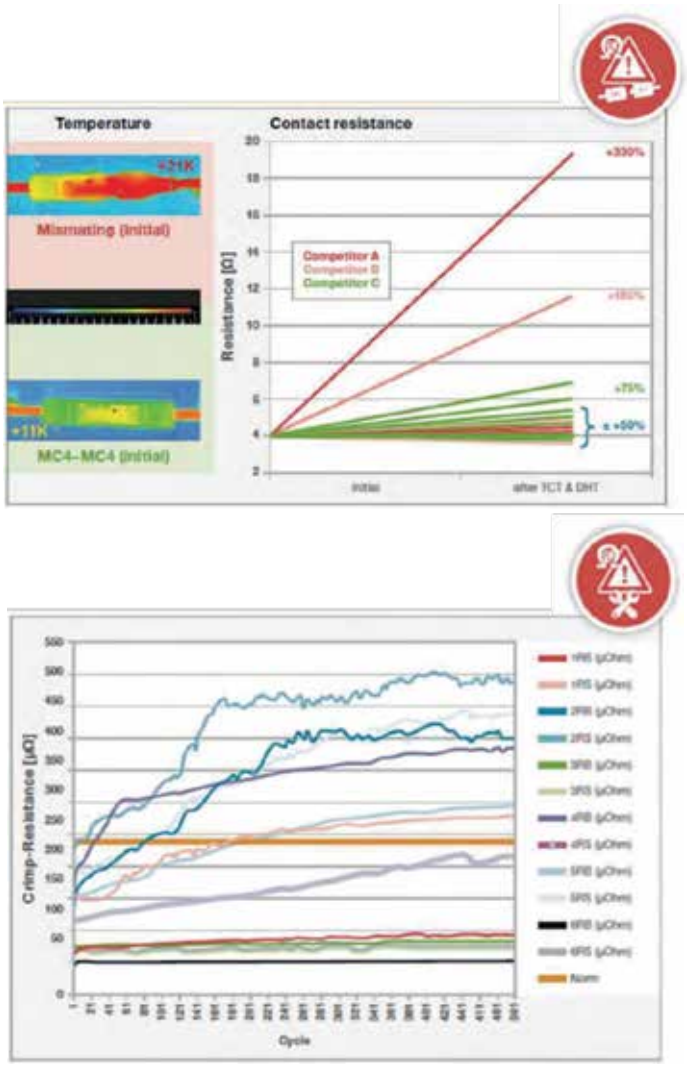



**รูปที่ 10.11** อุปกรณ์สำหรับจุดต่อในระบบโซลาร์เซลล์

หมายเหตุ. จาก Technical presentation data, โดย STAUBLI Electrical Connectors AG., n.d., n.p.

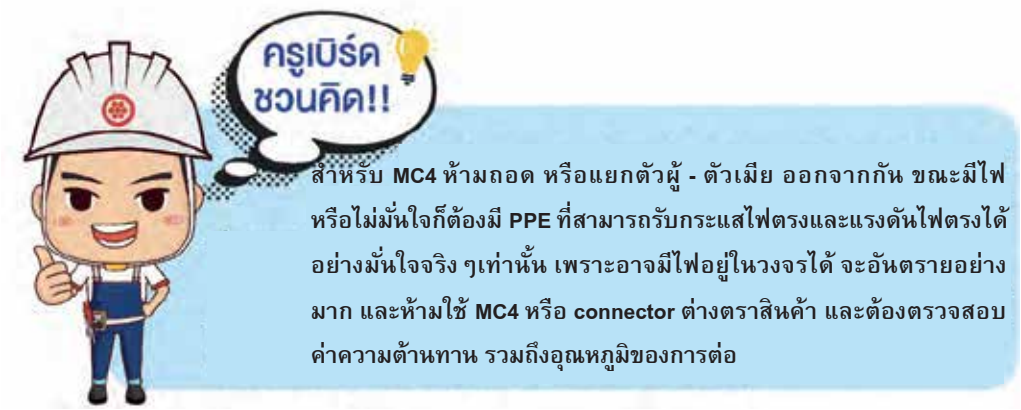
ปัญหาสำหรับการต่อสายไฟ PV Cable กับขั้วต่อ MC4 หรือระหว่าง MC4 ตัวผู้ – ตัวเมีย ที่ไม่แข็งแรงและยึดไม่แน่น ทำให้เกิดอาร์คที่จุดต่อนั้นๆ และอาจลุกลามลุกไหม้ไปยังส่วนต่างๆ ได้ ทั้งนี้การต่อสายไฟของระบบไฟฟ้ากระแสตรงอาจสร้างความไม่เข้ากันของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ด้วย






**รูปที่ 10.12** ตัวอย่างความเสียหายที่เกิดจากขั้วต่อที่ไม่แข็งแรง และภาพระหว่างให้หลีกเลี่ยงการต่อที่ไม่ดีทำให้ความร้อนกับความต้านทานสูงขึ้น กับ การติดตั้งและการบีบที่ถูกต้องทำให้มีความต้านทานน้อย ตามลำดับภาพ

หมายเหตุ. จาก Technical presentation data, โดย STAUBLI Electrical Connectors AG., n.d., n.p.




### 10.1.6 Combiner box

เป็นตัวรวมไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อส่งไฟฟ้ากระแสตรงที่รวมได้ไปแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ Inverter ซึ่ง Combiner box นี้ยังมี เซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน และมี Surge Protection Device (SPD) ทำหน้าที่ป้องกันระบบ ที่เวลาไฟฟ้ามีแรงดันสูงเกินไป เช่น กรณีเกิดฟ้าผ่า เป็นต้น



**รูปที่ 10.13** Combiner Box

หมายเหตุ. จาก T*echnical Presentation of solar rooftop* [แผ่นพับ], โดย บริษัท ฮาโก้ อิเลคทริค (ประเทศไทย) จำกัด. ม.ป.ป.ข

### 10.1.7 Inverter (เครื่องแปลงไฟ)

อินเวอร์เตอร์ เป็นส่วนสำคัญที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่เกิดขึ้นจากแผงโซลาร์เซลล์ มารวมไฟฟ้ากระแสตรงที่ Combination box และผ่านเข้าสู่ Inverter จะทำให้ได้ไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านและอาคาร



**รูปที่ 10.14** อินเวอร์เตอร์ในระบบโซลาร์เซลล์

หมายเหตุ. จาก *Technical data presentation and photo, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.*

ปัจจุบันอินเวอร์เตอร์จะมีระบบป้องกันต่าง ๆ ดังนี้

1. Rapid Shutdown: RSD หรือ ระบบหยุดการทำงานแบบฉุกเฉิน ทำหน้าที่ลดแรงดันหรือเปิดวงจรอย่างอัตโนมัติ เพื่อให้แผงโซลาร์เซลล์หยุดการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ได้ในระยะอันสั้น หรือ จะมีการลดแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 80V ภายในเวลาไม่เกิน 30 วินาที เพื่อป้องกันผู้ที่ทำงานกับแผงโซลาร์เซลล์ เช่น ผู้ล้างแผงโซลาร์เซลล์ หรือ พนักงานดับเพลิง เป็นต้น ให้ได้รับความปลอดภัยจากไฟฟ้า

2. Arc-Fault Circuit Interrupter: AFCI เพื่อหยุดการทำงานเมื่อตรวจจับได้มีการเกิดอาร์กขึ้นในระบบ หรือเกิดเหตุการณ์ที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านอากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากตัวนำเสื่อมสภาพ (สายหักใน) หรือจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ ไม่ได้ต่อกันแน่น ปัญหาการเกิดอาร์กนี้ หากปล่อยไว้อาจนำมาสู่ปัญหาเพลิงไหม้ในภายหลังได้

3. ระบบป้องกันไฟรั่ว เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วตั้งแต่อินเวอร์เตอร์ ถึงแผงโซลาร์เซลล์ หรือการป้องกันไฟฟ้ารั่วฝั่งไฟฟ้ากระแสตรง หรือในส่วน DC to Ground protection

4. Insulation detection การตรวจจับการค่าเป็นฉนวน ที่ช่วยให้ทราบถึง พฤติกรรมของความเสียหายในระดับของแผง

5. ระบบป้องกันฟ้าผ่า เพื่อป้องกันกระแสฟ้าผ่าที่อาจเกิดขึ้นกับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อป้องกันแผงโซล่าร์หรือส่วนอื่นๆ ให้ปลอดภัยจากกระแสฟ้าผ่าที่มี

ปริมาณสูงๆ ทั้งนี้การเลือก Surge Protection Device: SPD ควรต้องดูเงื่อนไขอื่นๆ ประกอบร่วมด้วย รวมถึงปัจจุบันอินเวอร์เตอร์จะมีคุณสมบัติของการป้องกันฟ้าผ่าที่หลากหลายมากขึ้น

6. การป้องกันกระแสเกิน และการป้องกันกระแสลัดวงจร

7. การป้องกันกระแสไฟฟ้าย้อนกลับ (Zero Export Controller) ทำหน้าที่ตรวจจับกระแสไหลย้อนกลับ ถ้ามีกระแสไฟไหลย้อนกลับ ก็จะไปสั่งตัดวงจรที่เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ของระบบโซลาร์ในทันที บางทีอาจเรียกว่า Smart String Level Disconnection: SSLD ที่ช่วยป้องกันกระแสเกิน กระแสย้อน และป้องกันกระแสลัดวงจรใน DC bus ใน Inverter ด้วย

8. Smart Connector Level Detection: SCLD เป็นการตรวจจับระดับอุณหภูมิที่จุดต่อต่างๆ ถ้าหากมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น Inverter จะทำหน้าที่ตัดการทำงาน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

9. RCD type B สำหรับการป้องกันไฟรั่วจาก Inverter ไปยังแผงเมนสวิตช์ เพื่อป้องกันไฟรั่วในส่วนไฟฟ้ากระแสสลับ

### 10.1.8 Protection and metering (อุปกรณ์ป้องกันและมิเตอร์)

ระบบโซลาร์จะต้องมีการป้องกันและการแสดงค่าทางไฟฟ้าในส่วนของการป้องกันกระแสเกิน การป้องกันแรงดันเกิน การป้องกันแรงดันตก การป้องกันความถี่ การแสดงค่าทางไฟฟ้าต่างๆ เช่น แรงดัน กระแส ความถี่ ฮาร์มอนิกส์ Power Factor และ Test Block (สำหรับการทดสอบ) เป็นต้น



**รูปที่ 10.15** Protection ในระบบโซลาร์เซลล์

หมายเหตุ. จาก T*echnical Presentation of solar rooftop* [แผ่นพับ], โดย บริษัท ฮาโก้ อิเลคทริค (ประเทศไทย) จำกัด. ม.ป.ป.ข

### 10.1.9 Battery Energy Storage System

ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ เป็นระบบที่ใช้เก็บพลังงานที่ผลิตได้จากระบบโซลาร์เก็บไว้ที่แบตเตอรี่เพื่อใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางคืน หรือช่วงที่ไม่สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบโซลาร์ได้ นอกจากนี้ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ยังสามารถใช้ในการช่วยบริหารจัดการพลังงานภายในบ้านหรืออาคาร เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และลดต้นทุนค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด



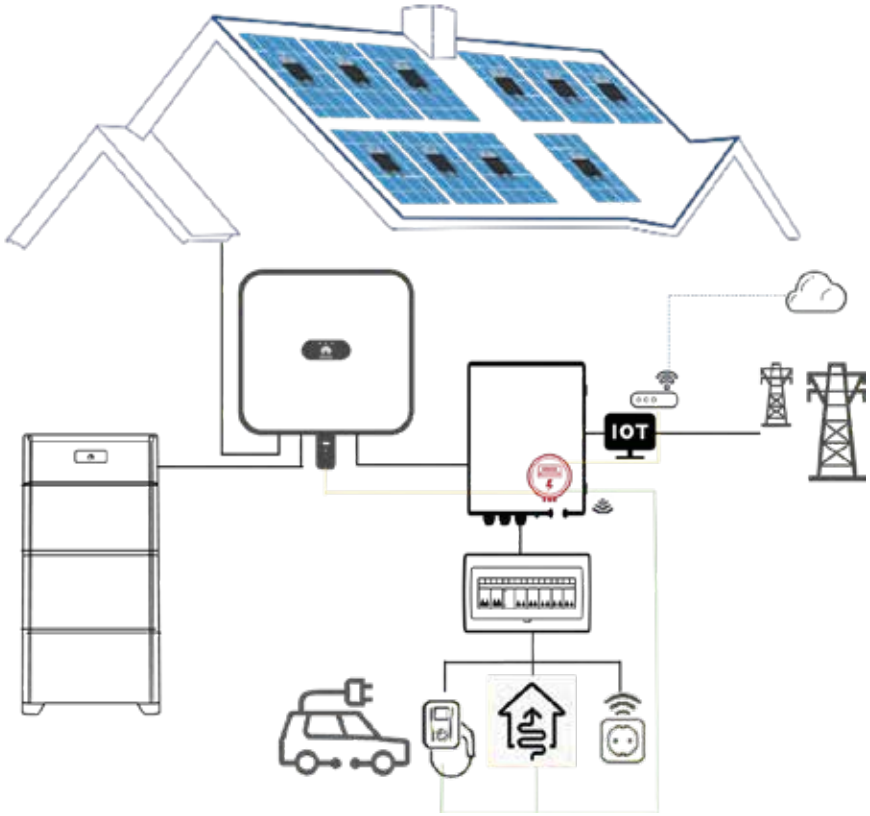
**รูปที่ 10.16** ระบบโซลาร์เซลล์ EV Charger และ Smart Home Application

หมายเหตุ. จาก *การออกแบบ BESS ร่วมกับ PV system, แนวทางการออกแบบ ติดตั้งบำรุงรักษาระบบ SOLAR ROOFTOP และระบบกักเก็บพลังงาน อย่างปลอดภัยและคุ้มค่า*, โดย ปฏิภาณ กาลวิบูลย์, 2567, โรงแรม เอสซี ปาร์ค, กรุงเทพฯ.; จาก *Brochure and technical data presentation*, โดย Huawei Technologies CO.,LTD., n.d., n.p.

ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ในปัจจุบันมักเชื่อมต่อกับโซลาร์อินเวอร์เตอร์ในรูปแบบไฮบริดอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะง่ายต่อการติดตั้งสำหรับการใช้งานในบ้านพักอาศัย และยังสามารถสำรองจ่ายไฟฟ้าให้บ้านพักอาศัยได้เมื่อเกิดเหตุขัดข้องจากโครงข่ายไฟฟ้า

อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ถือเป็นอุปกรณ์ที่มีความอันตราย เนื่องจากมีพลังงานสะสมในตัวเองมาก การติดตั้งในบ้านพักอาศัย ควรคำนึงถึงเรื่องความปลอดภัยและเลือกใช้อุปกรณ์ที่ได้รับมาตรฐาน หากเป็นไปได้ต้องติดตั้งแบตเตอรี่หรือระบบกักเก็บพลังงานในที่มีการระบายอากาศที่ดี ไม่ร้อน (ปกติควรมีอุณหภูมิ ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) เพราะความร้อนมีผลกับประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ทั้งนี้พื้นที่ที่เก็บแบตเตอรี่ ต้องเป็นพื้นที่ที่สามารถป้องกันการลามไฟ หรือป้องกันเพลิงไหม้ที่อาจเกิดขึ้นได้สำหรับระบบการกักเก็บพลังงาน หรือขึ้นรูปแบบโครงสร้างของระบบการกักเก็บพลังงานที่เลือกใช้

ก่อนที่แบตเตอรี่จะเกิดไฟไหม้ หรือ อาจเรียกว่า Thermal runaway แบตเตอรี่จะเกิดความร้อนขึ้น และร้อนขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ความร้อนหรืออุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้กระแสของแบตเตอรี่ไหลมากขึ้นด้วย ส่วนใหญ่จะเป็นในช่วงที่มีการชาร์ทไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่) ดังนั้นหากเรามีระบบตรวจจับความร้อน ก็จะสามารถช่วยลดความร้อน หรือความรุนแรงของการเกิดเพลิงไหม้ได้ หรือสามารถเตรียมการในการดับเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้การดับเพลิงจากแบตเตอรี่ลิเธียม ต้องใช้สารเคมีเฉพาะ ที่มั่นใจได้ว่าสามารถดับเพลิงที่เกิดขึ้นจากแบตเตอรี่นั้นๆ ได้จริง เพราะน้ำสามารถลดความร้อนของแบตเตอรี่ได้ แต่การดับเพลิงของแบตเตอรี่นั้นอาจจะดับได้ช้ามากๆ หรือไม่ได้ประสิทธิผลแท้จริง จึงไม่เหมาะสมกับการดับเพลิงจากแบตเตอรี่ลิเธียม




**รูปที่ 10.17** ระบบโซลาร์เซลล์ EV Charger และ Smart Home Application

หมายเหตุ. จาก *การออกแบบ BESS ร่วมกับ PV system, แนวทางการออกแบบ ติดตั้งบำรุงรักษาระบบ SOLAR ROOFTOP และระบบกักเก็บพลังงาน อย่างปลอดภัยและคุ้มค่า*, โดย ปฏิภาณ กาลวิบูลย์, 2567, โรงแรม เอสซี ปาร์ค, กรุงเทพฯ.; จาก *Brochure and technical data presentation*, โดย Huawei Technologies CO.,LTD., n.d., n.p.

## 10.2 การเลือกใช้งานโซลาร์เซลล์สำหรับบ้าน

การเลือกใช้งานโซลาร์เซลล์บนหลังคาสำหรับบ้านพักที่อยู่อาศัย โดยปกติเจ้าของบ้านต้องดูพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ว่ามีการใช้ไฟฟ้าในช่วงกลางวันมากกว่าช่วงกลางคืนเท่าใด เมื่อเทียบกับการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด หรือหากมีการใช้ไฟฟ้าช่วงเย็นและกลางคืนเท่านั้นการติดตั้งโซลาร์เซลล์ในขณะนี้ยังถือว่าไม่คุ้มค่าหรืออาจมีการคุ้มทุนที่ต้องใช้เวลานานแสนนานมาก ทั้งนี้หากมีการใช้ไฟฟ้าในช่วงระหว่างวันมากๆ หรือเท่าไหร่จึงคุ้มค่า สามารถพิจารณาได้จากรายการคำนวณหลายๆ แนวทางดังนี้

## 10.3 การคำนวณการใช้ไฟฟ้า

ตารางการคำนวณการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน(ค่าไฟฟ้าต่อเดือน), จำนวนหน่วยของการใช้งาน (Total Unit: TU), คิดการใช้ไฟฟ้าช่วงระหว่างวัน 80% (80% TU), การใช้งานแสงอาทิตย์ได้ 80% (80% Sun), ค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (ประหยัดได้) ตามตารางดังนี้

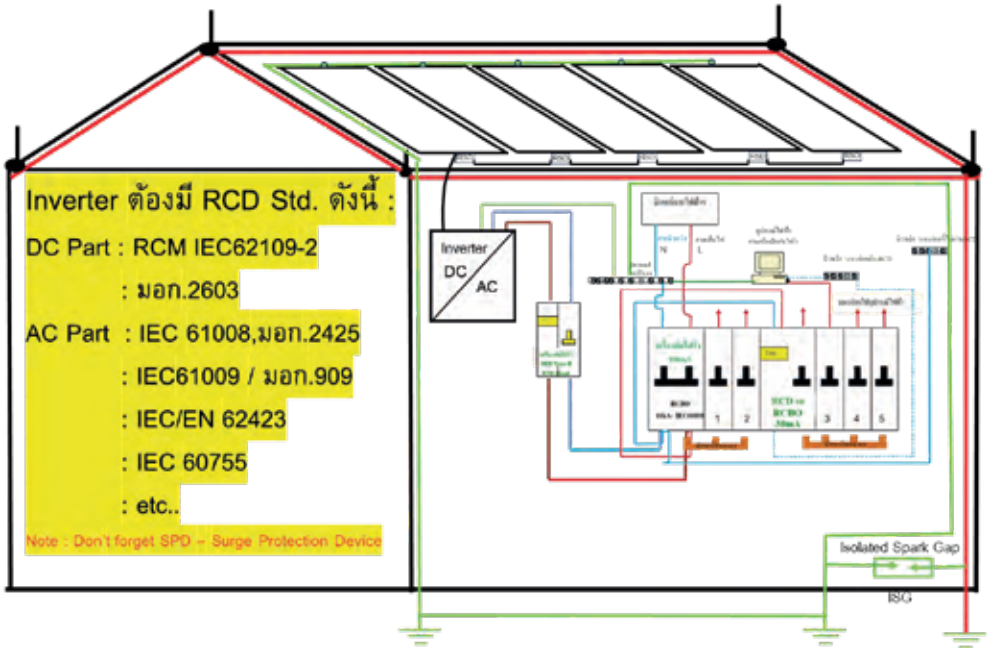
**ตารางที่ 10.1** ตารางการคำนวณการใช้ไฟฟ้า

| ค่าไฟต่อเดือน | Total Unit(TU) | 80% TU | 80% Sun | ประหยัดได้ | 60% TU | 80% Sun | ประหยัดได้ | 50% TU | 80% Sun | ประหยัดได้ | 40% TU | 80% Sun | ประหยัดได้ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1000 | 246 | 196.8 | 157.44 | 557.27 | 147.6 | 118.08 | 362.11 | 123 | 98.4 | 557.27 | 98.4 | 78.72 | 166.95 |
| 1500 | 347 | 277.6 | 222.08 | 877.77 | 208.2 | 166.56 | 602.49 | 173.5 | 138.8 | 877.77 | 138.8 | 111.04 | 327.20 |
| 2000 | 448 | 358.4 | 286.72 | 1,198.28 | 268.8 | 215.04 | 842.87 | 224 | 179.2 | 1,198.28 | 179.2 | 143.36 | 487.46 |
| 2500 | 549 | 439.2 | 351.36 | 1,518.79 | 329.4 | 263.52 | 1083.25 | 274.5 | 219.6 | 1,518.79 | 219.6 | 175.68 | 647.71 |
| 3000 | 650 | 520 | 416 | 1,839.29 | 390 | 312 | 1323.63 | 325 | 260 | 1,839.29 | 260 | 208 | 807.96 |
| 3500 | 751 | 600.8 | 480.64 | 2,159.80 | 450.6 | 360.48 | 1564.01 | 375.5 | 300.4 | 2,159.80 | 300.4 | 240.32 | 968.21 |
| 4000 | 852 | 681.6 | 545.28 | 2,480.30 | 511.2 | 408.96 | 1804.38 | 426 | 340.8 | 2,480.30 | 340.8 | 272.64 | 1,128.47 |
| 4500 | 953 | 762.4 | 609.92 | 2,800.81 | 571.8 | 457.44 | 2044.76 | 476.5 | 381.2 | 2,800.81 | 381.2 | 304.96 | 1,288.72 |
| 5000 | 1053 | 842.4 | 673.92 | 3,118.14 | 631.8 | 505.44 | 2282.76 | 526.5 | 421.2 | 3,118.14 | 421.2 | 336.96 | 1,447.39 |
| 6000 | 1255 | 1004 | 803.2 | 3,759.15 | 753 | 602.4 | 2763.52 | 627.5 | 502 | 3,759.15 | 502 | 401.6 | 1,767.89 |
| 7000 | 1457 | 1165.6 | 932.48 | 4,400.16 | 874.2 | 699.36 | 3244.28 | 728.5 | 582.8 | 4,400.16 | 582.8 | 466.24 | 2,088.40 |
| 8000 | 1658 | 1326.4 | 1061.12 | 5,038.00 | 994.8 | 795.84 | 3722.66 | 829 | 663.2 | 3,759.16 | 663.2 | 530.56 | 2,407.32 |
| 9000 | 1860 | 1488 | 1190.4 | 5,679.00 | 1116 | 892.8 | 4203.42 | 930 | 744 | 4,400.15 | 744 | 595.2 | 2,727.82 |
| 10000 | 2062 | 1649.6 | 1319.68 | 6,320.02 | 1237.2 | 989.76 | 4684.17 | 1031 | 824.8 | 5,038.00 | 824.8 | 659.84 | 3,048.33 |

**ตารางที่ 10.2** การเลือกขนาดโซลาร์เซลล์ อัตราค่าไฟฟ้าต่อเดือน และการเปรียบเทียบอัตราคืนทุน

| Item / P(kW) | 1.6kW | 3kW | 5kW | 5kW | 10kW |
|---|---|---|---|---|---|
| ระบบไฟฟ้า | 1 Phase | 1 Phase | 1 Phase | 3 Phase | 3 Phase |
| ค่าไฟ/เดือน (บาท) | 1,500-2,500 | 2,501-4,000 | 4,001-8,000 | 4,001-8,000 | > 8,000 |
| ประหยัด / เดือน(บาท) | 1,000 | 2,000 | 3,000 | 3,300 | 6,000 |
| จำนวนแผง | 3 | 6 | 9 | 10 | 18 |
| พื้นที่ (ตร.ม.) | 8 | 15 | 22 | 25 | 44 |
| ลงทุน (บาท) | 105,000 | 140,000 | 210,000 | 230,000 | 380,000 |
| ระยะคืนทุน (ปี) | 8 - 9 | 5 - 6 | 5 - 6 | 5 - 6 | 5 - 6 |

ปัจจุบันเทคโนโลยีและการแข่งขันที่รุนแรงมีผลทำให้ราคาต่ำลงมาก ทั้งนี้ต้องเลือกใช้ของที่มีคุณภาพ เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน บ้าน อาคารที่อยู่อาศัยข้างเคียง และผู้เกี่ยวข้องร่วมด้วย




**รูปที่ 10.18** ภาพแนะนำการติดตั้งโซลาร์เซลล์บนหลังคาและระบบไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง
หมายเหตุ จาก *ทุกชีวิตมีคุณค่า ปลอดภัยด้วยเครื่องตัดไฟรั่ว สำหรับยุคนี้ EV, Solar, ปลั๊กพ่วง etc.,* โดย เตชทัต บูรณะอัศวกุล, 2564ค, สภาวิศวกร, กรุงเทพฯ.

## 10.4 การออกแบบคำนวณระบบโซลาร์เซลล์สำหรับบ้านหรือที่อยู่อาศัย

การออกแบบคำนวณระบบโซลาร์เซลล์ บ้านหลังหนึ่งต้องใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ อุปกรณ์ไฟฟ้าในช่วงกลางวันที่ต้องการใช้ในบ้าน มีโคมไฟ LED จำนวน 3ชุด (6W X 3 ) ใช้งาน 6 ชม.ต่อวัน, LED TV 50 นิ้ว (120 W) ใช้งาน 3 ชม.ต่อวัน คำนวณหาขนาดของแผง = [ค่าการใช้พลังงานรวมทั้งหมด] / 5 ชม. (ปริมาณแสงอาทิตย์ใน 1 วัน)

= [((6 x 3 ดวง) x 6 ชม.) + (120 x 3 ชม.)] / 5 ชม.

= 115.2 W

ดังนั้นขนาดของแผงโซลาร์เซลล์ = 12V 115.2W เลือกใช้ที่ 12V 120W หรือมากกว่า เช่น 12V 250W

### 10.4.1 Inverter (เครื่องแปลงไฟ)

ชุดโคมไฟ LED 6 W, 3ชุด (6 W x 3) ใช้งาน 6 ชม.ต่อวัน และ LED TV 50” (120 W) ใช้งาน 3 ชม.ต่อวัน

= (6 W X 3 ชุด) + (120 W)

= 156 W

ดั้งนั้นขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟ (Inverter) ควรใช้ ขนาด 200 W 12 โวลต์ ดังนั้นควรเลือกฟิวส์ขนาด 10 A เพื่อป้องกันระบบไฟฟ้า และ RCD Type B 10 A 30 mA

การออกแบบคำนวณหาขนาดกระแส / ชม. (Ampere Hour: Ah) ของแบตเตอรี่สามารถคำนวณได้ดังนี้

Ah = ค่าพลังงานรวม / [แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ x 0.6 (% การใช้งานกระแสไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่) x 0.85 (ประสิทธิภาพของ Inverter)]

= [((6W x 3 ชุด) x 6ชม.) + (120W x 3 ชั่วโมง)] / (12V x 0.6 x 0.85)

= 94.117 Ah

ดังนั้นขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ = 12 V 94.117 Ah หรือมากกว่า เลือก 12 V 100 Ah หรือ 125 Ah

### 10.4.2 เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟ (Charging Controller)

เป็นควบคุมการประจุกระแสไฟให้แบตเตอรี่ โดยต้องมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า กระแสไฟ (A) ที่ไหลผ่านจากแผงโซลาร์เซลล์สู่แบตเตอรี่ ขนาดของเครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟ ควรมีขนาดใหญ่กว่ากระแสไฟของแผงโซลาร์เซลล์ เช่น แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 250 W 10 A ควรใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟขนาด 10 A หรือมากกว่า ดังนั้นควรเลือกฟิวส์ขนาด 10 A เพื่อป้องกันระบบไฟฟ้า

**บ้านหลังนี้จะใช้อุปกรณ์ระบบโซลาร์เซลล์ ดังนี้**

1. แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Cell Panel) ขนาด 12 V 250 W
2. แบตเตอรี่ (Battery) ขนาด 12 V 100 Ah หรือมากกว่า
3. เครื่องควบคุม (Solar Charge Controller) ขนาด 10 A
4. Inverter (เครื่องแปลงไฟ) ขนาด 200 W 10 A ต้องมีฟังก์ชั่น Rapid Shutdown, Emergency Stop etc.
5. Fuse ขนาด 10 A
6. RCD Type B 10 A 30 mA

**ตัวอย่างการคำนวณการออกแบบและใช้งานโซลาร์ แบบเบื้องต้น**

กำหนดให้ มีอุปกรณ์ไฟฟ้าดังนี้ จะกินกระแสไฟฟ้ากี่แอมป์ และจะติดตั้งโซลาร์ขนาดเท่าใด

1. เครื่องปรับอากาศ 18,000 BTU (7A.) จำนวน 2 ตัว = 14 A.
2. LED แสงสว่าง 10 W จำนวน 40 ดวง = (10 x 40) / 230 = 1.74 A.
3. คอมพิวเตอร์ 4 เครื่อง กินไฟ 0.5A ต่อเครื่อง รวม = 2 A.
4. ตู้เย็น 1 เครื่อง กินไฟ 240W (คำนวณแบบง่ายๆ) = (240 / 230) = 1.04 A.

**โดยรวมการใช้กระแสไฟฟ้าทั้งสิ้น = 18.78 A.**

เลือกติดตั้งแผงโซลาร์ขนาด 600 Wp จำนวน 10 แผง = 600 x 10

= 6,000 Wp หรือ 6 kW

โดยเลือกใช้ Inverter ขนาด 5kW เพื่อให้ Inverter สามารถจ่ายโหลดได้ที่ 5 kW

Inverter ขนาด 5kW สามารถจ่ายกระแสให้โหลดได้ = 5000 / 230

= 21.739A = 21.74 A.

ดังนั้นการติดตั้งแผงโซลาร์ขนาด 6 kWp และเลือกใช้ Inverter = 5kW จะสามารถจ่ายโหลดหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าข้างต้นได้ที่ 21.74 A. ซึ่งโหลดตามโจทย์ที่ให้มาที่ 18.78A. ดังนั้นโซลาร์ที่เลือกใช้มีขนาดเพียงพอกับการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าข้างต้น

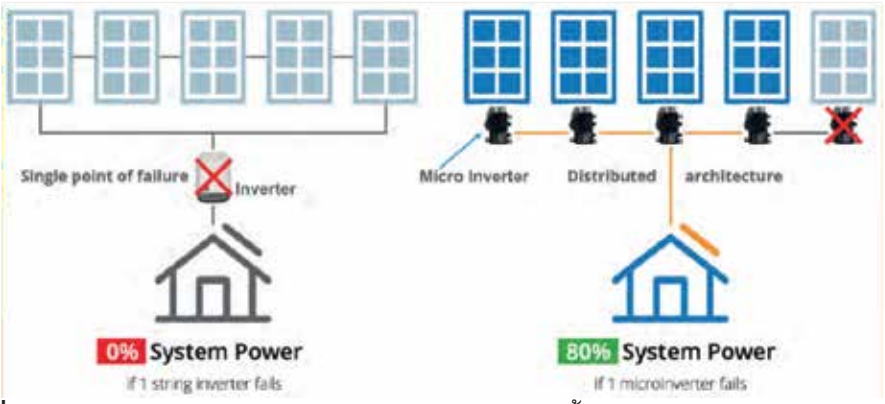
ทั้งนี้การใช้งานโซลาร์ สามารถจ่ายโหลดได้ประมาณ 21.7A โดยมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาดังนี้

1. ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์ อินเวอร์เตอร์ อุปกรณ์ประกอบและการติดตั้งที่มีประสิทธิภาพในการรับแสงอาทิตย์ที่มีความเข้มของแสง การระบายอากาศ เวลาในการรับแสงอาทิตย์ เป็นต้น
2. ทั้งนี้ต้องพิจารณาประเภทของโหลดหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานร่วมด้วย

หมายเหตุ การเลือกใช้แผงโซลาร์และอินเวอร์เตอร์ ควรเลือกขนาดพิกัด Wp ของแผงโซลาร์รวมที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้มากกว่าขนาดอินเวอร์เตอร์ประมาณ 10% ที่เลือกใช้ เช่น ตัวอย่างด้านบนที่เลือกแผงโซลาร์รวม 6 kWp ให้เหมาะสมกับขนาดอินเวอร์เตอร์ที่ 5kW

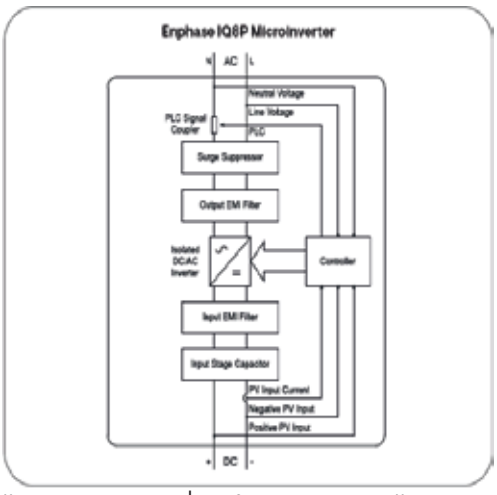
## 10.5 การใช้โซลาร์เซลล์กับ Micro Inverter

ปกติแผงโซลาร์เซลล์จะรับพลังงานแสงอาทิตย์แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและไปต่อรวมกันเข้าที่ Inverter เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ไปใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยทั่วไปกัน สำหรับ Micro Inverter นี้จะมีการต่อกับแผงโซลาร์เซลล์ทุกแผง โดยเมื่อแผงโซลาร์เซลล์ต่อกับ Micro Inverter แล้วจะได้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับทันที ซึ่งเป็นที่ได้รับความนิยมอย่างมากสำหรับบ้านที่อยู่อาศัย เนื่องจากไฟฟ้ากระแสตรงจะมีกระแสอาร์คต่อเนื่องที่ยาวนานมาก (Arcing current) ดังนั้น Micro Inverter จึงเป็นทางเลือกในการติดตั้งโซลาร์เซลล์บนหลังคาที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง เพราะที่หลังแผงโซลาร์เซลล์มีการต่อ Micro Inverter ก็จะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับทันที เป็นเหมือนเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือการเดินไฟฟ้าทั่วไป ลดการเกิดอาร์คจากไฟฟ้ากระแสตรงได้ ทั้งนี้ต้องมาพิจารณาดูกันว่า Micro Inverter จะมีความทนทานกับภาวะอากาศร้อนและชื้นสำหรับเมืองไทยได้ยาวนานเท่าใด โดยการใช้ Inverter แบบปกติก็จะมีการติดตั้งอยู่ใต้หลังคาเช่นกัน ก็จะต้องมาพิจารณาเปรียบเทียบกันว่า Inverter ปกติ กับ Micro Inverter แบบใดจะปลอดภัยและทนทานสำหรับประเทศไทยได้มากกว่ากัน




**รูปที่ 10.19** การใช้ Inverter ปกติ และ Micro Inverter ในการติดตั้งใช้งานและกรณี Single point of failure หมายเหตุ. จาก *Technical Catalogue and presentation*, โดย Enrich GE CO.,LTD., n.d., n.p.






**รูปที่ 10.20** Micro Inverter เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่แผงโซลาร์เซลล์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ หมายเหตุ. จาก *Technical Catalogue and presentation*, โดย Enrich GE CO.,LTD., n.d., n.p.

ข้อกำหนดในการเลือกใช้ไมโครอินเวอร์เตอร์

1. ปัจจุบันไมโครอินเวอร์เตอร์ที่เลือกใช้ 1 ตัว สามารถต่อกับแผงโซลาร์ได้มากกว่า 1 แผง
   แบบ 1 : 2 หมายถึง ไมโครอินเวอร์เตอร์ 1 ตัว สามารถใช้แผงโซลาร์ได้ 2 แผง
   แบบ 1 : 4 หมายถึง ไมโครอินเวอร์เตอร์ 1 ตัว สามารถใช้แผงโซลาร์ได้ 4 แผง
2. การใช้ไมโครอินเวอร์เตอร์ ต้องพิจารณาพิกัด Wp ของแผงโซลาร์ประกอบด้วย เช่น เมื่อใช้ไมโครอินเวอร์เตอร์ 1 ตัว ควรเลือกใช้พิกัดแผงโซลาร์ไม่เกิน 550 Wp เพราะต้องมีการจำกัดพิกัดกระแสขาเข้าของไมโครอินเวอร์เตอร์

## 10.6 การออกแบบคำนวณระบบโซลาร์เซลล์สำหรับอาคาร

พลังงานไฟฟ้าถือเป็นต้นทุนพื้นฐานสำหรับการอยู่อาศัยและการพาณิชย์โดยตรง มากกว่า 20 ปีที่ผ่านมาทั่วโลกและในประเทศไทยมีการใช้โซลาร์เซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ถือเป็นพลังงานแบบหนึ่งที่ยั่งยืนและมีแนวโน้มที่ถูกลงเรื่อย ๆ ปัจจุบันจึงเป็นที่นิยมการใช้ระบบโซลาร์เซลล์บนหลังคา โซลาร์ฟาร์ม หรือ โซลาร์ลอยน้ำกันอย่างมาก ทั้งนี้การทำลายแผงโซลาร์เซลล์ในประเทศไทยเรายังไม่มีกระบวนการหรือโรงงานที่ทำลายหรือแยกส่วนเพื่อกำจัดแผงโซลาร์เซลล์ โดยการทำลายแผงต้องใช้เงินลงทุนที่สูงมาก ๆ ผนวกกับที่ต้องใช้เทคโนโลยีชั้นสูง จึงเป็นสิ่งที่คนไทยและทั่วโลกยังต้องหากระบวนการกำจัดและทำลายแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุกันอย่างจริงจังมากกว่าการฝังกลบฝังดินโดยทั่วไป แนวทางการออกแบบคำนวณระบบโซลาร์เซลล์สำหรับอาคารแบบบนหลังคาของอาคาร มีดังนี้

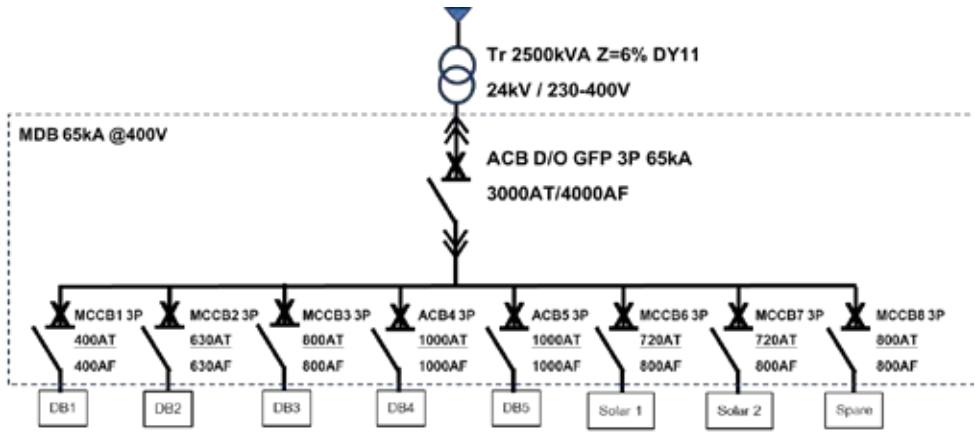
1. เก็บบันทึกและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าประจำวัน ประจำเดือน และประจำปี เพื่อคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน และในแต่ละเดือน

2. การสำรวจหลังคาของอาคาร ในส่วนความแข็งแรง ความเสื่อมสภาพ อุปสรรคในส่วนต่าง ๆ (ลูกหมุน หมุนระบายอากาศเป็นต้น) พื้นที่การรับแสงระหว่างวัน + ทิศทาง[พิกัดเส้นละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude)] เป็นต้น
3. คำนวณพื้นที่ที่จะติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ โดย layout การวางแผงโซลาร์เซลล์ ควรระมัดระวังเงาของเสา กำแพง ต้นไม้ ที่บังการรับแสงของแผงโซลาร์เซลล์
4. นำข้อมูลที่ได้เข้าโปรแกรมกระบวนการวิเคราะห์การรับแสงอาทิตย์ แบบสมการพาราโบล่าคว่ำ เพื่อให้ทราบถึงปริมาณการรับแสงอาทิตย์ระหว่างวัน และค่าจำนวนชั่วโมงที่รับแสงอาทิตย์สูงสุด (Peak Sun Hours: PSH)
5. นำค่าปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่คาดว่าจะผลิตพลังงานได้ใน 1 ปี จาก layout ที่ทดลองวางไว้
6. กรณีที่ใช้โปรแกรมช่วยคำนวณ จะแสดงรายละเอียดการคำนวณและเลือกบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ให้เบ็ดเสร็จ หากมีการคำนวณด้วยตนเอง ก็ต้องพิจารณาเริ่มต้นจากจำนวนแผงโซลาร์เซลล์ที่วางได้ โดยไม่มีเงาใด ๆ บัง และมีการรับแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพ
7. เมื่อได้จำนวนแผงโซลาร์เซลล์ที่มีประสิทธิผลในการรับแสงอาทิตย์ที่ดีแล้ว ให้พิจารณาจำนวน string จำนวน array เพื่อนำเข้า Combination box เพื่อส่งต่อไปที่ Inverter และ แผงควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ ให้นำไปใช้งานในระบบไฟฟ้า

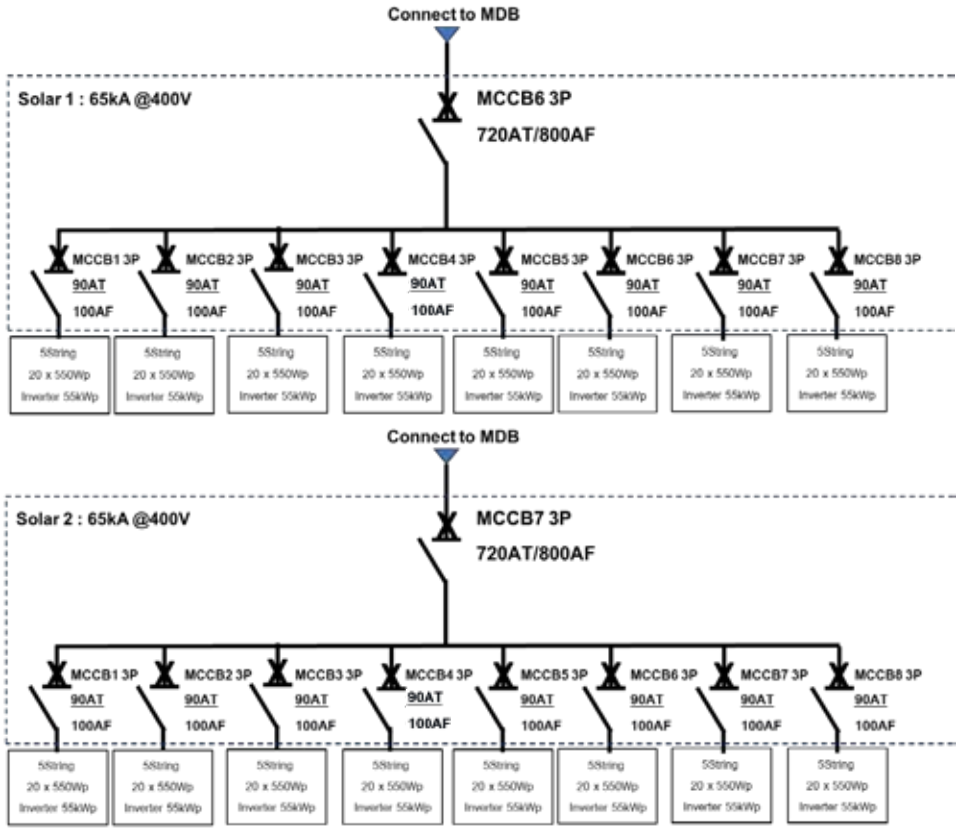
## 10.7 ตัวอย่างกรณีศึกษาการออกแบบคำนวณและเลือกใช้ระบบโซลาร์เซลล์บนหลังคา

**ตัวอย่างที่ 10.1**

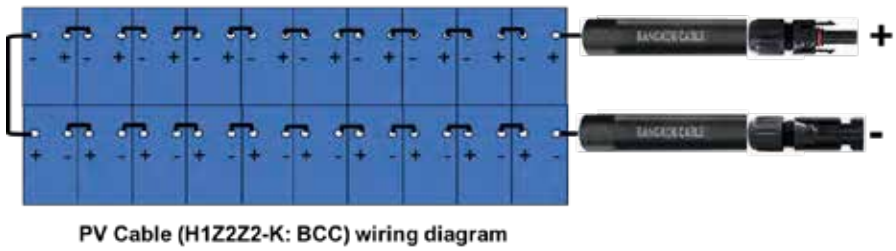
การออกแบบคำนวณเลือกใช้ระบบโซลาร์เซลล์สำหรับหลังคาของอาคาร มีพื้นที่บนหลังคาที่สามารถวางแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 550Wp, (2278 x 1134 x 35), 40.9Vmp., 13.45A(Imp), 49.62Voc., 14.03A(Isc), Temp"Coeff. Of Voc -0.28 % / $^{0}$C โดยมี Single Line Diagram ของอาคารโรงงาน BCC1 มีรายละเอียดในการเพิ่มเติมระบบโซลาร์เซลล์บนหลังคาดังนี้




**รูปที่ 10.21** Single Line Diagram ที่ 1 ของระบบไฟฟ้า

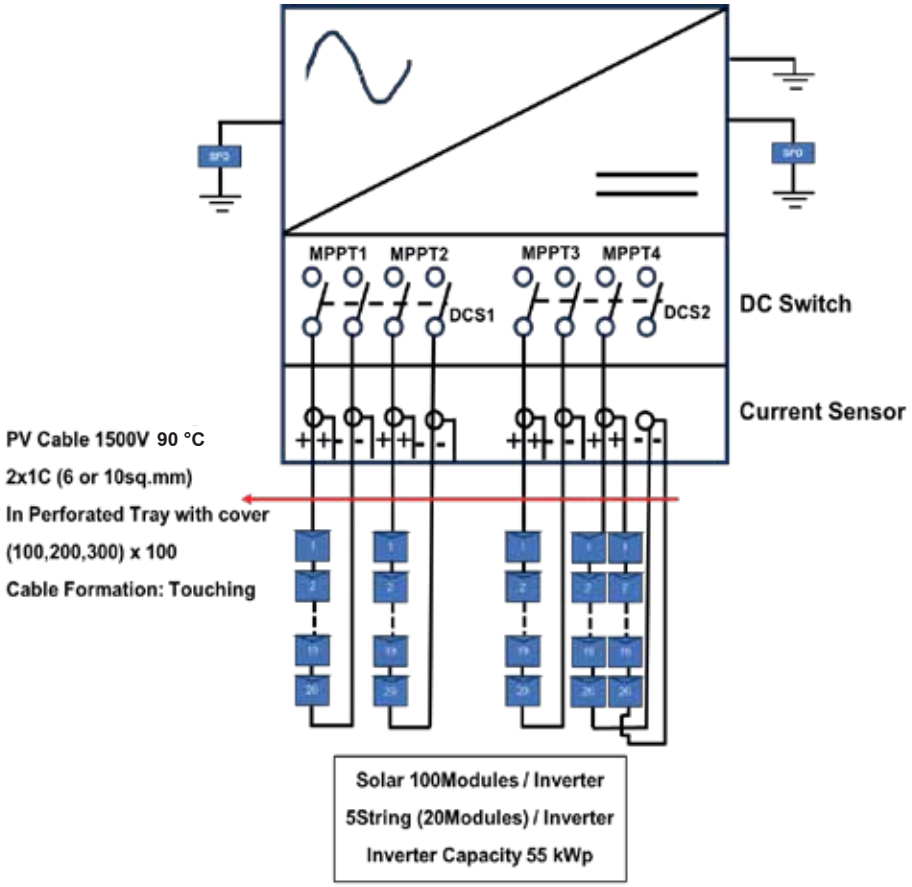



**รูปที่ 10.22** Single Line Diagram ที่ 2 ของระบบไฟฟ้าและระบบโซลาร์เซลล์บนหลังคา



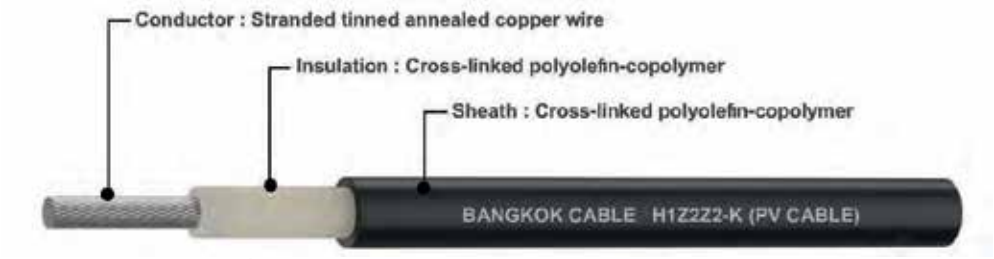

**รูปที่ 10.23** การต่อสายไฟ PV Cable ในแต่ละ string (20 Solar / String)

หมายเหตุ. จาก *Technical data of PV cable*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.; จาก Technical presentation data, โดย STAUBLI Electrical Connectiors AG., n.d., n.p.




**รูปที่ 10.24** การต่อวงจรของระบบโซลาร์เซลล์บนหลังคา เข้าอินเวอร์เตอร์

PV Cable สายไฟสำหรับงานโซลาร์เซลล์ (H1Z2Z2-K) ตัวนำเป็นทองแดง เคลือบดีบุก ฉนวนและเปลือกแบบ Cross-Linked Polyolefin ที่อุณหภูมิ 90 $^{0}$C ทนแรงดันไฟฟ้าได้ที่ AC 1.0 / 1.0 kV, DC 1.5 kV (max.1.8 kV) สายไฟชนิดสายอ่อนทนและสะดวกต่อการติดตั้งในรางเดินสายไฟหรือท่อร้อยสายไฟ ภายนอกอาคาร




**รูปที่ 10.25** โครงสร้าง PV Cable สำหรับงานโซลาร์เซลล์

หมายเหตุ. จาก *Technical data of PV cable*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.

การต่อสายไฟ PV Cable กับ ตัวเชื่อมต่อ MC4 ต้องต่อสายอย่างแข็งแรงยึดแน่นมากที่สุด หรือ การเชื่อมโดยการบัดกรีระหว่างสายไฟ PV Cable กับขั้วต่อ MC4 ด้วย เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องมากที่สุด เนื่องจากการบีบอัดขั้วต่อ MC4 เข้ากับสายไฟ PV Cable อาจทำให้มีความไม่แข็งแรงยึดแน่นเพียงพอได้ ตามรูป




**รูปที่ 10.26** การต่อสายไฟ PV Cable เข้ากับหัวต่อ MC4

หมายเหตุ. จาก *Technical data of PV cable*, โดย Bangkok Cable CO.,LTD., n.d., n.p.; จาก Technical presentation data, โดย STAUBLI Electrical Connectiors AG., n.d., n.p.

## 10.8 การเลือกใช้งาน Inverter

เครื่องแปลงไฟ หรือ Inverter มีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ มี 3 รูปแบบให้ใช้งานดังนี้

1. ระบบของอินเวอร์เตอร์โซลาร์แบบออฟกริดหรือสแตนอโลน (Off Grid Solar Inverter or Standalone) อินเวอร์เตอร์โซลาร์แบบออฟกริด (Off Grid Solar Inverter) หรือ Stand alone เป็นระบบที่ไม่ใช้ไฟฟ้าจากทางการไฟฟ้าฯ เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ที่ผลิตและเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ที่แบตเตอรี่ การใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าก็จะได้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ดังนั้นการผลิตพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์จะถูกไปเก็บไว้ที่แบตเตอรี่ที่เก็บพลังงานไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าก็จะมีเครื่องแปลงไฟหรืออินเวอร์เตอร์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ที่อินเวอร์เตอร์โซลาร์เซลล์แบบออฟกริดจะการใช้งานในเวลากลางคืนเป็นหลัก อินเวอร์เตอร์ระบบนี้จึงเหมาะสมสำหรับสถานที่ที่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึง พื้นที่ห่างไกล เช่น บนภูเขา หรือบนดอย เนื่องจากต้องมีการลงทุนค่อนข้างสูงในการเก็บพลังงานไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่

2. ระบบอินเวอร์เตอร์โซลาร์แบบระบบออนกริดหรือแบบเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า (On-Grid Solar System) ระบบอินเวอร์เตอร์โซลาร์แบบระบบออนกริดหรือแบบเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า (On-Grid Solar System) เป็นระบบที่ทำงานเฉพาะช่วงที่โซลาร์เซลล์รับแสงอาทิตย์หรือแสงไฟเท่านั้น เมื่อโซลาร์เซลล์ได้รับแสงอาทิตย์แผงโซลาร์เซลล์ก็จะได้ไฟฟ้ากระแสตรง ให้กับอินเวอร์เตอร์เพื่อ

แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เป็นของระบบออนกริดที่จะช่วยประหยัดและลดพลังงานไฟฟ้าของกริดหรือลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้า ซึ่งกรณีนี้ในปัจจุบันมีความนิยมมาก เพราะสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ ได้เป็นอย่างดี จึงต้องมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวันที่มีแสงอาทิตย์ หากมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางคืน ก็จะไม่ถือว่าช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้

3. ระบบอินเวอร์เตอร์โซลาร์แบบระบบไฮบริด (Hybrid Solar Inverter) ระบบอินเวอร์เตอร์โซลาร์แบบระบบไฮบริด (Hybrid Solar Inverter) เป็นระบบที่นำหลักการทำงานของทั้งออฟกริดและออนกริด มาใช้ร่วมกัน จึงเป็นที่มาของคำว่า Hybrid นั่นเอง ซึ่งการทำงานจะสามารถทำงานได้พร้อมกันทั้งสองระบบ ไม่ว่าจะเป็น การใช้งานในตอนกลางวันที่ได้พลังงานจากแสงอาทิตย์ และมีแบตเตอรี่สำหรับเก็บสำรองพลังงาน เพื่อนำพลังงานมาใช้ในเวลาที่ไม่มีแสง ซึ่งข้อดีของ Hybrid Solar Inverter คือจะช่วยเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิต ทำให้สามารถใช้งานพลังงานไฟฟ้าได้ตลอด 24 ชั่วโมง จึงทำให้ลดต้นทุน ลดค่าใช้จ่าย ในเรื่องของค่าไฟฟ้าและประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี จึงเหมาะสำหรับสถานที่ที่ต้องมีการใช้ไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง เช่น โรงพยาบาล สถานที่จัดเก็บสินค้าเพื่อรักษาอุณหภูมิ หรือแม้แต่การใช้งานที่บ้านก็ทำได้เช่นกัน โดยระบบไฮบริดนั้นจำเป็นต้องมีลงทุนค่อนข้างสูงเพื่อสามารถใช้งานได้ตลอด 24 ชั่วโมง

**ข้อแนะนำการใช้งานระบบโซลาร์**

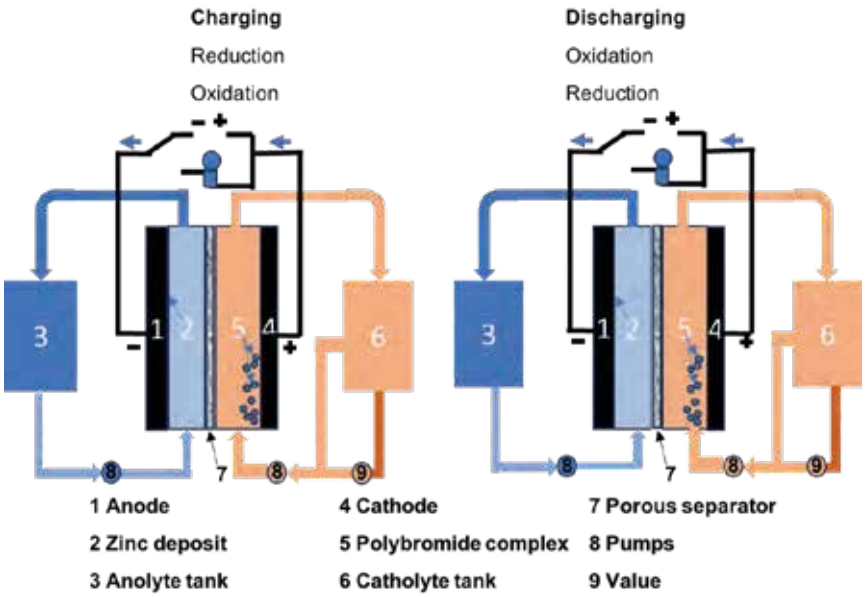
1. วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบโซลาร์เซลล์ ต้องบริหารจัดการทำแผนโครงการ หลักการและเหตุผล เงื่อนไขข้อจำกัด มาตรฐาน การเลือกใช้ การใช้งาน การบำรุงรักษา และจัดทำแผนฉุกเฉิน แผนสำรอง การรื้อถอน การยกย้ายและการทำลายเมื่อครบอายุการใช้งาน
2. กรณีการพิจารณาหลักการระหว่างอินเวอร์เตอร์แบบจุดศูนย์รวม กับไมโครอินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกัน
3. ต้องติดตั้งตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย:ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ต้องติดตั้ง Rapid Shutdown: RSD, AFCI, RCD type B, Emergency stop และอุปกรณ์ป้องกันอื่นๆ ตามมาตรฐานฯ
4. ต้องใช้สายไฟแบบ PV cable ในการติดตั้งระบบโซลาร์ และเดินในช่องเดินสายไฟที่ถูกต้องปลอดภัย
5. ช่องเดินสายแบบรางตะกร้า (Basket tray) ปัจจุบันนานาประเทศยังไม่มีมาตรฐานของรางตะกร้า ซึ่งลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของช่องเดินสายไฟที่เป็นแบบรางตะกร้าน่าจะไม่ครอบคลุมป้องกันสายไฟในระบบโซลาร์ ได้ดีเท่าที่ควร
6. การออกแบบระบบโซลาร์ ต้องมีพื้นที่สำหรับการเดินเพื่อการบำรุงรักษา และการขึ้นทำความสะอาดแผงโซลาร์ (ห้ามยืนบนแผงโซลาร์)

7. ขณะติดตั้งแผงโซลาร์ ต้องมีการเคลื่อนย้ายแผงโซลาร์ด้วยความระมัดระวังและยกแผงอย่างถูกวิธี เพื่อไม่ให้แผงโซลาร์เสียหาย
8. ความต่อเนื่องของระบบช่องเดินสายไฟ ต้องพิจารณาวัสดุที่เกี่ยวข้องอย่างดี เช่น วัสดุและการชุบของช่องเดินสายไฟ สกรูและแหวน หางปลา ที่จะต้องมีคุณสมบัติไม่เป็นสนิม กรณีที่เป็นสนิมต้องมีการบำรุงรักษาและป้องกันการเกิดสนิมเป็นประจำ เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องทางไฟฟ้าตามมาตรฐาน
9. การติดตั้งอินเวอเตอร์ ต้องอยู่ในพื้นที่ที่มีการระบายอากาศได้ดี และพื้นที่นั้นต้องไม่เปียกชื้น มีพื้นที่เพียงพอสำหรับการใช้งาน การบำรุงรักษา
10. Connector หรือ connection หรือ จุดต่อต่างๆ ต้องให้มั่นใจว่ามีความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอ โดยต้องเลือก MC4 ที่มีคุณภาพอย่างดี ตรวจสอบการต่อ MC4 อย่างดีทุกจุดต่อ ถ้าหากสามารถเชื่อมและมีฉนวนป้องกันจุดต่ออย่างดี ก็จะช่วยลดความเสี่ยงลงได้
11. ก่อนใช้งานต้องมีการทดสอบค่าความเป็นฉนวน และค่าความคงทนฉนวณ อย่างละเอียดทุกส่วน โดยต้องมีการแผนการตรวจสอบทดสอบเป็นประจำ

### 10.9 ระบบกักเก็บพลังงาน (Battery Energy Storage System: BESS or ESS)

การกักเก็บพลังงาน จากการผลิตไฟฟ้าโดย PV Rooftop ที่เหลือใช้หรือออกแบบคำนวณมาเพื่อการใช้งานโดยปกติและมีเผื่อไว้ให้เก็บพลังงานเข้าแบตเตอรี่ เพื่อนำไปใช้พลังงานไฟฟ้าในอีกช่วงเวลาหนึ่ง เช่น การเก็บพลังงานส่วนเกินที่ผลิตได้จาก PV solar ตอนกลางวันและนำไปใช้งานช่วงเวลากลางคืน เรียกว่า self-consumption ส่วนการเก็บพลังงานช่วงที่ใช้โหลดน้อยๆและนำมาใช้ช่วงที่มีโหลดสูง เรียกว่า peak shaving ซึ่งทั้งสองแบบนี้ต้องมีการคำนวณ เพื่อหาขนาดการใช้ ESS อย่างเหมาะสมเพียงพอ ทั้งนี้ต้องมีการพิจารณา PV solar ที่ทำการออกแบบว่าจะมีวัตถุประสงค์ใดบ้าง เช่น จ่ายขนานกับกริด หรือ จ่ายแบบ off-grid โดยทำงานร่วมกับแหล่งจ่ายลังงานไฟฟ้าอื่นๆ ได้ โดยส่วนใหญ่การใช้ PV solar เพื่อเป็นการลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าเป็นหลักใหญ่

10.9.1 โครงสร้างการทำงานของแบตเตอรี่




**รูปที่ 10.27** โครงสร้างการทำงานของแบตเตอรี่

หมายเหตุ. จาก การทำงานของแบตเตอรี่, (n.p), โดย Lessmartgrids, https://images.app.goo.gl/9s7zVQgKMhUMog1H6

การกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบพลังงานเคมี อาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชั่น (Oxidation-Reduction Reaction) เป็นกลไกการถ่ายโอนของอิเล็กตรอนระหว่างขั้วแคโทด (Cathode) และขั้วแอโนด (Anode) กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า (กระทรวงพลังงาน, 2560) ซึ่งในปัจจุบันมี 3 ประเภท ดังนี้

10.9.1.1 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid) เป็นเทคโนโลยีที่เก่ามีมาอย่างยาวนาน มีการใช้ตะกั่วบริสุทธิ์ (Pb) เป็นขั้วแอโนด (Anode) และจะใช้ส่วนผสมระหว่างตะกั่วบริสุทธิ์ (Pb) และตะกั่วเปอร์ออกไซด์ ($PbO_2$) เป็นขั้วแคโทด (Cathode) เมื่อจุ่มขั้วทั้ง 2 ลงไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ที่เป็นกรดซัลฟิวริก นิยมมาใช้งานกับรถยนต์ เนื่องจากเป็นแบตเตอรี่ที่มีความจุที่สูงกระแสไหลได้มาก มีต้นทุนต่ำและง่ายในการผลิต

10.9.1.2 แบตเตอรี่นิกเกิล (Nickel: Ni) ใช้นิกเกิลเป็นขั้วแคโทด (Cathode) ส่วนขั้วแอโนด (Anode) ปัจจุบันมีใช้อยู่ 3 ประเภท ได้แก่ นิกเกิล-แคดเมียม (Ni-Cd) นิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ (Ni-MH) และนิกเกิล-สังกะสี (Ni-Zn) เมื่อจุ่มขั้วทั้ง 2 ลงไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ที่ทำด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ใช้นำมาทำเป็นแบตเตอรี่ก้อนทรงกระบอกขนาดเล็กๆ เช่น แบตเตอรี่ขนาด AAA ไปจนถึง ขนาดใหญ่อย่างแบตเตอรี่ประเภท Stationary ที่มีความจุหลายเมกะวัตต์

10.9.1.3 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium Ion) เป็นเทคโนโลยีแบตเตอรี่ขั้นสูงที่ใช้ลิเทียมไอออนเป็น องค์ประกอบสำคัญ โดยจะมีการใช้คาร์บอนหรือแกรไฟต์ (Graphite) เป็นขั้วแอโนด (Anode) และใช้วัสดุที่ทำขั้วแคโทด (Cathode) แตกต่างกันไปตามชนิดของแบตเตอรี่ ซึ่งได้แก่

- ลิเทียม โคบอลต์ ออกไซด์ (LCO)
- ลิเทียม แมงกานีส ออกไซด์ (LMO)
- ลิเทียม นิกเกิล โคบอลต์ อลูมิเนียมออกไซด์ (NCA)
- ลิเทียม นิกเกิล แมงกานีส โคบอลต์ออกไซด์ (NMC)
- ลิเทียม เหล็ก ฟอสเฟส (LFP)
- ลิเทียม ไททาเนต (LTO)

การผลิตและใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากคุณสมบัติที่สามารถให้แรงดันไฟฟ้าที่สูง รวมถึงยังมีการประจุต่อหน่วยมวล และหน่วยปริมาตรที่สูงขึ้นอีก ทำให้สามารถนำไปใช้ในงานได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า ยานยนต์ไฟฟ้า รวมถึงการใช้งานในระดับโครงข่ายไฟฟ้า ในปัจจุบันยังมีแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่อยู่ระหว่างการพัฒนา เช่น ลิเทียมซัลเฟอร์ (Lithium Sulfur, LiS) และลิเทียมแอร์ (Lithium-Air, Li-Air) เป็นกลุ่มของ Solid-State Battery ที่มีประสิทธิภาพสูง กำลังเป็นที่นิยมมาใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าด้วยเช่นเดียวกัน

10.9.2 การออกแบบ PV solar มีปัจจัยดังนี้

10.9.2.1 โหลดหรืออุปกรณ์ที่ใช้งาน หรือปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน

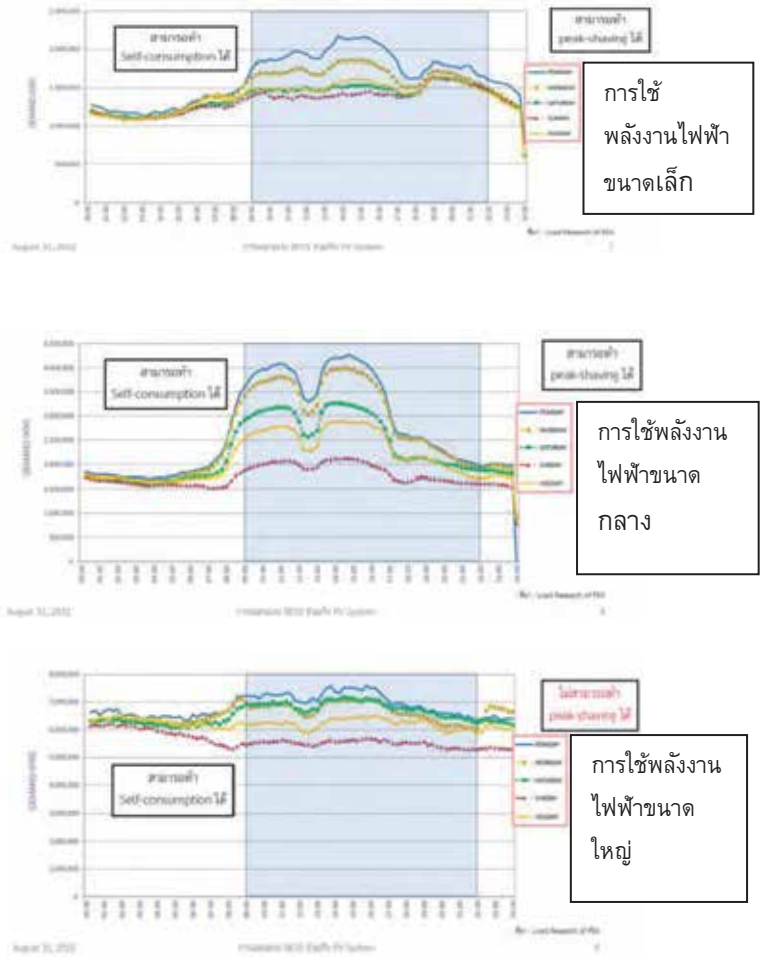
10.9.2.2 ขนาดพื้นที่ในการติดตั้งแผงโซลาร์

10.9.2.3 การกำหนดวัตถุประสงค์ให้มีการใช้งาน PV solar ร่วมกับ BESS จึงจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบขนาดของ BESS

10.9.3 หลักการออกแบบ BESS ร่วมกับ PV solar จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการพิจารณาวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่น ประเภทโหลด การทำงานของโหลด โดยมีเกณฑ์ปัจจัยการออกแบบดังนี้

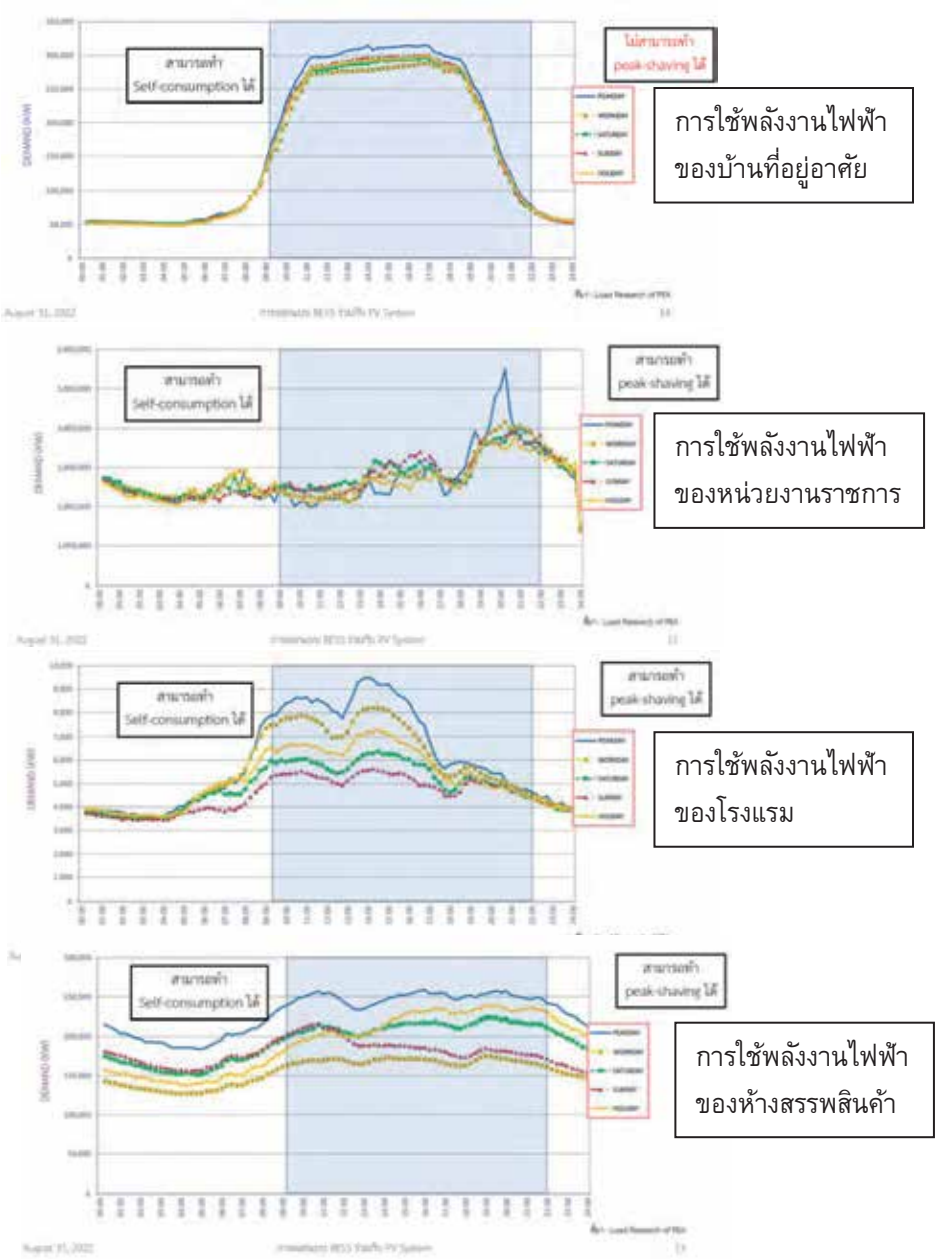
10.9.3.1 การพิจารณาวัตถุประสงค์การใช้งาน โดยพิจารณาประเภทโหลด การใช้งานโหลด การลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าช่วงสูงสุดหรือบางช่วง หรือต้องการเพิ่มเสถียรภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า หรือการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อกักเก็บพลังงาน โดยมีการประเภทดังนี้

10.9.3.1.1 แบ่งประเภทโหลดตามลักษณะหรือขนาดของการใช้งาน เช่น การใช้พลังงานไฟฟ้าขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่




**รูปที่ 10.28** การใช้พลังงานไฟฟ้าขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ตามลำดับ หมายเหตุ. จาก ผล*การศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้า*จากฐานข้อมูลของ*กองเศรษฐกิจพลังไฟฟ้า*, โดย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2560, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

10.9.3.1.2 แบ่งโหลดตามประเภทอุตสาหกรรม เช่น บ้านที่อยู่อาศัย หน่วยงานราชการ โรงแรม และห้างสรรพสินค้า โดยมีลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าตามกราฟดังนี้




**รูปที่ 10.29** การใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านที่อยู่อาศัย หน่วยงานราชการ โรงแรม และห้างสรรพสินค้า ตามลำดับ

หมายเหตุ. จาก ผล*การศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้า*จากฐานข้อมูลของ*กองเศรษฐกิจพลังไฟฟ้า*, โดย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2560, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

10.9.3.2 การคำนวณและการกำหนดขนาดของ PV solar สามารถทำได้ดังนี้

10.9.3.2.1 การกำหนดขนาด BESS แบบทั่วไป (เกษียร สุขีโมกข์, 2567, พฤษภาคม)

**ตัวอย่างที่ 10.2** มีโหลดขนาด 100kW เลือกใช้ PV solar 200kWp ให้หาการผลิตพลังงานไฟฟ้าและขนาดแบตเตอรี่

กำหนดให้ โหลดขนาด 100 kW, PV solar 200kWp

PV solar 200kWp สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 80% = (80/100) x 200kWp

= 160 kW

ขนาด PCE = 160 kW – 100 kW

= 60 kW

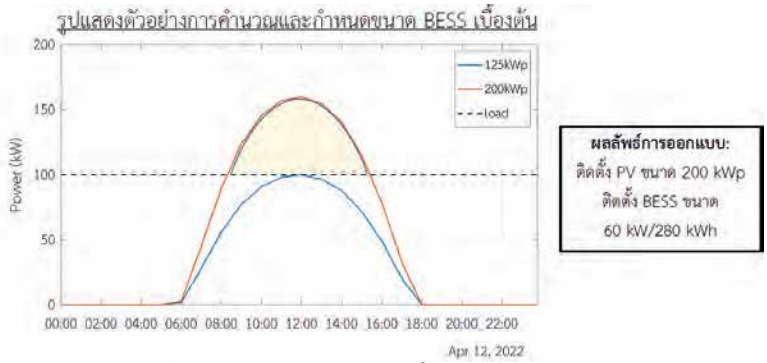
ขนาดแบตเตอรี่สามารถคำนวณได้จากกราฟพื้นที่ของ PV ส่วนที่เกินจากการใช้โหลด เป็นการใช้งานงานแบบ self-consumption จากรายการคำนวณข้างต้น ปริมาณ 60kW ที่ได้จาก PV solar ไม่สามารถทำให้ระบบแบตเตอรี่จ่ายโหลดได้ที่ 100kW อย่างพอเพียง เพราะขนาดของ PCE เล็กกว่าขนาดของโหลดที่ใช้งาน

@ การกำหนดขนาดแบตเตอรี่ แบบ net - zero solution ที่ระบบไม่ได้ต่อเชื่อมกับโครงข่าย หรือแบบใช้เอง ไม่ได้ใช้ไฟฟ้าจากโครงข่าย

ตัวอย่างที่ 2 กำหนดให้ โหลดขนาด 100 kW (ใช้งานเฉลี่ยทั้งวัน) = 24 x 100

= 2400 kWh / day

PV สามารถจ่ายโหลดเฉลี่ย 7 ชั่วโมง ระบบไฟฟ้ายังต้องการให้จ่ายโหลดอีก 17 ชม. = 1700 kWh การพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟของ PV ส่วนเกินจากการจ่ายโหลด โดยการอินทิเกรตพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมู พื้นที่ A = 280 kWh ตามกราฟดังนี้




**รูปที่ 10.30** การคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของ PV

หมายเหตุ. จาก *การออกแบบ BESS ร่วมกับ PV system, แนวทางการออกแบบ ติดตั้งบำรุงรักษาระบบ SOLAR ROOFTOP และระบบกักเก็บพลังงาน อย่างปลอดภัยและคุ้มค่า*, โดย เกษียร สุขีโมกข์, 2567, โรงแรม เอสซี ปาร์ค, กรุงเทพฯ.

@PV solar 200kWp กรณีติดตั้ง BESS โดยการขยายขนาด PV 60% จาก 100 เป็น 160 kW

PV solar 200kWp สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 80% = (80/100) x 200kWp

= 160 kW

จากกราฟพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินประมาณ 280 kWh ซึ่งไม่เพียงพอต่อการจ่ายโหลด (1700kWh)

@PV solar 500kWp กรณีติดตั้ง BESS โดยการขยายขนาด PV 400% = 500 kWp

PV solar 500kWp สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 80% = (80/100) x 500kWp

ดังนั้นเพิ่ม PV 400% (จาก 100kW เป็น 400kW) ใช้ solar 500kWp = 400 kW

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าส่วนเกิน = 400 – 100

= 300 kW

พลังงานไฟฟ้าส่วนเกินประมาณ = 300 kW x 6

= 1800 kwh

จากกราฟพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินประมาณ 1800 kWh ซึ่งเพียงพอต่อการจ่ายโหลด (1700kWh)

**สรุปการคำนวณและการกำหนดขนาด BESS**

1. พิจารณาประเภทโหลด การใช้งานโหลดแบบรายชั่วโมง รายวัน รายเดือน และรายปี เพื่อกำหนดวัตถุประสงค์ในการใช้งานให้เหมาะสม
2. คำนวณและกำหนดขนาด PV solar หรือแหล่งจ่ายไฟอื่นๆ ที่ต้องการ charge
3. คำนวณและกำหนดขนาด BESS (สามารถใช้จำลองทางคณิตศาสตร์) อาจมีการเพิ่ม/ลดตามการใช้งาน
4. การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์หลากหลายรูปแบบ

**การติดตั้งแบตเตอรี่**

1. มีระบบป้องกันการลัดวงจร การป้องกันกระแสเกิน และ AFCI เป็นต้น
2. ต้องอยู่ในพื้นที่เฉพาะ ไม่เปียกชื้น มีการกั้น เพื่อกันแบตเตอรี่อาจจะ breakdown ได้
3. ต้องอยู่ในพื้นที่ที่มีอากาศระบายอย่างเพียงพอ ไม่อยู่ในพื้นที่ร้อน ที่อาจจะทำให้อายุของแบตเตอรี่สั้นลงอย่างรวดเร็วมาก และควรจัดหาพื้นที่ที่สามารถทนการลุกไหม้จากแบตเตอรี่ โดยการพิจารณาทิศทางการติดตั้งการระบายอากาศของแบตเตอรี่ เป็นต้น
4. มีระบบการเตือน เช่น เตือนด้วยอุณหภูมิ เตือนด้วยควัน มีระบบการดับเพลิง และป้องกันการลามไฟ เป็นต้น
5. อาจมีมาตรการ วิธีการคลุมผ้าทนไฟ ที่ได้รับการทดสอบ และการเก็บผ้าคลุมที่ถูกวิธี เพื่อยืดอายุผ้าคลุมทนไฟ
6. อาจมีกระบวนการในการซ้อมดับเพลิงที่อาจจะเกิดขึ้น จากแบตเตอรี่ อย่างถูกวิธี

# บทที่ 11

# การบริหารการออกแบบและการติดตั้งทางไฟฟ้า

กลยุทธ์การบริหารงานก่อสร้างให้บรรลุเป้าหมายให้โครงการแล้วเสร็จตามกำหนดเวลาและงบประมาณที่ตั้งไว้ แบบมีคุณภาพ อย่างมีประสิทธิผล มีประสิทธิภาพ ลดงานแก้ไข ลดงานศูนย์เสีย สามารถได้งานเพิ่มเติมหรืองานต่อเนื่องที่มีกำไรมากขึ้นอย่างเหมาะสม สำหรับผู้รับเหมาหรือผู้จัดการโครงการต้องมีทั้งศาสตร์และศิลป์ควบคู่กัน มีความรู้ความสามารถด้านทฤษฎี ด้านวิชาการ ด้านปฏิบัติการ วิชาชีพ การบริหารงานและการบริหารทรัพยากรบุคคลจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ในการบริหารโครงการ หรือการบริหารโครงงานก่อสร้าง (Project management) คือ การบริหารจัดการทรัพยากรที่มีอยู่ ในท่ามกลางปัญหาที่รู้ล่วงหน้าและปัญหาหน้างานใหม่ๆ ให้สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายที่วางไว้ (นทีกานต์ สุเมธสิทธิกุล, ม.ป.ป.) ซึ่งมีหลายเครื่องมือ ดังนี้

## 11.1 การบริหารโครงการโดยใช้ PERT / CPM

การวางแผนงาน โดยการใช้เทคนิค PERT: Program Evaluation and Review Technique / CPM: Critical Path Method เป็นการวิเคราะห์ข่ายงานที่มักนำมาใช้บริหารจัดการโครงการ ตั้งแต่ จุดเริ่มต้น - เสร็จสิ้นโครงการ

11.1.1 PERT ออกแบบมาเพื่อใช้กับโครงการที่มีความซับซ้อนสูง ต้องดำเนินการผ่านงานตามลำดับขั้นตอนและ/หรือทำงานควบคู่กับโครงการอื่นๆ เป้าหมายโดยรวมของ PERT คือการทำให้โครงการแล้วเสร็จตามกำหนดเวลาและงบประมาณ รวมถึงประเมินขอบเขตภาพรวมของโครงการอย่างแม่นยำระหว่างขั้นตอนการกำหนดขอบเขต

11.1.2 CPM ออกแบบมาเพื่อการสร้างแบบจำลองโครงการที่คุณสามารถใช้ในการวิเคราะห์ วางแผน และกำหนดเวลาโครงการที่ซับซ้อนได้ เพื่อจัดหาวิธีการหาเส้นทางวิกฤตโดยต้องแจกแจงรายการกิจกรรมทั้งหมดที่ต้องทำให้เสร็จสิ้น เพื่อจะได้ทราบรายละเอียดทั้งหมด ให้โครงการแล้วเสร็จ ตามระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละกิจกรรม และความเกี่ยวเนื่องกันระหว่างกิจกรรมเหล่านี้ เส้นทางวิกฤตคือระยะเวลาที่นานที่สุดที่จะช่วยทำให้โครงการ

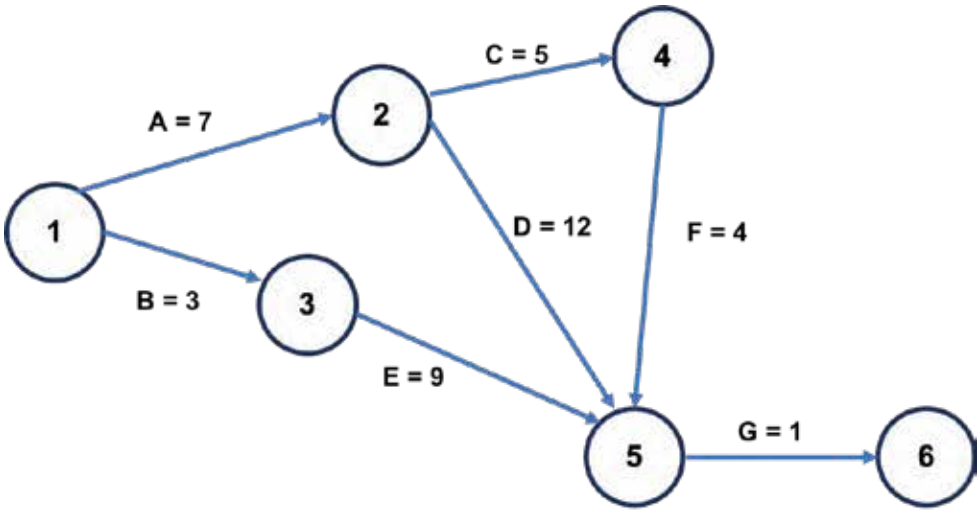
โดยรวมแล้วเสร็จ วิธีการหาเส้นทางวิกฤตช่วยให้คุณเข้าใจลำดับเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการดำเนินโครงการให้แล้วเสร็จ

การวิเคราะห์ข่ายงานของ PERT / CPM มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาวิกฤติของโครงการ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ข่ายงาน การแยกแยะขั้นตอนการแจกแจงกิจกรรม การประมาณเวลาของกิจกรรม การเขียนข่ายงาน จากการแยกแยะกิจกรรมต่างๆ ที่ต้องทำอย่างสัมพันธ์กัน

วิเคราะห์หาวิถีวิกฤต (critical path analysis) หลังจากเขียนข่ายงานเสร็จแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือการหาวิถีวิกฤตของข่ายงาน จากวิถีวิกฤตนี้จะทำให้ทราบถึงเวลาแล้วเสร็จของโครงการว่าเป็นเท่าใด และกิจกรรมใดบ้างที่อยู่ในวิถีวิกฤต ซึ่งจะทำไปสู่การวางแผนตัดสินใจเพื่อควบคุมโครงการอย่างเข้มข้น หรือเร่งรัดโครงการต่อไป

**ตัวอย่างที่ 11.1**

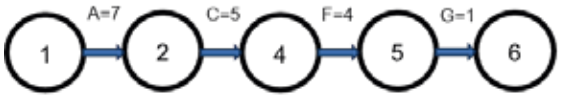
จงคำนวณหาเวลาเริ่มต้นเร็วที่สุด และเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุดของแต่ละกิจกรรมของข่ายงานโครงการ




การวิเคราะห์ข่ายงาน

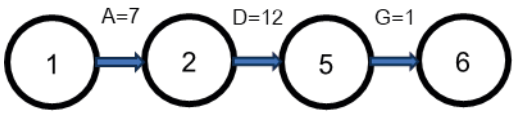
ในการคำนวณวิเคราะห์ข่ายงาน หาวิถีวิกฤตจำเป็นต้องทราบถึงนิยามต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้คือ

Path ที่ 1 มีระยะเวลาในแต่ละกิจกรรมดังนี้



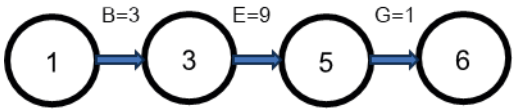

**Path 1 (1 2 4 5 6) : 7+5+4+1= 17**

Path ที่ 2 มีระยะเวลาในแต่ละกิจกรรมดังนี้




**Path 2 (1 2 5 6) : 7+12+1= 20**

Path ที่ 3 มีระยะเวลาในแต่ละกิจกรรมดังนี้




**Path 3 (1 3 5 6) : 3+9+1= 13**

ดังนั้น Path ที่ 2 จะเป็นวิถีวิกฤต ที่ใช้ระยะเวลาในการดำเนินโครงการยาวนานที่สุด ทางผู้บริหารโครงการฯ ต้องมีการพิจารณาแนวทางในการลดระยะเวลาในกิจกรรมหรือมีการบริหารกิจกรรมให้ได้ประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเปลี่ยนแนวคิดกิจกรรม เพื่อให้ระยะเวลาในการทำกิจกรรมสั้นลงอย่างมีประสิทธิผลจริง

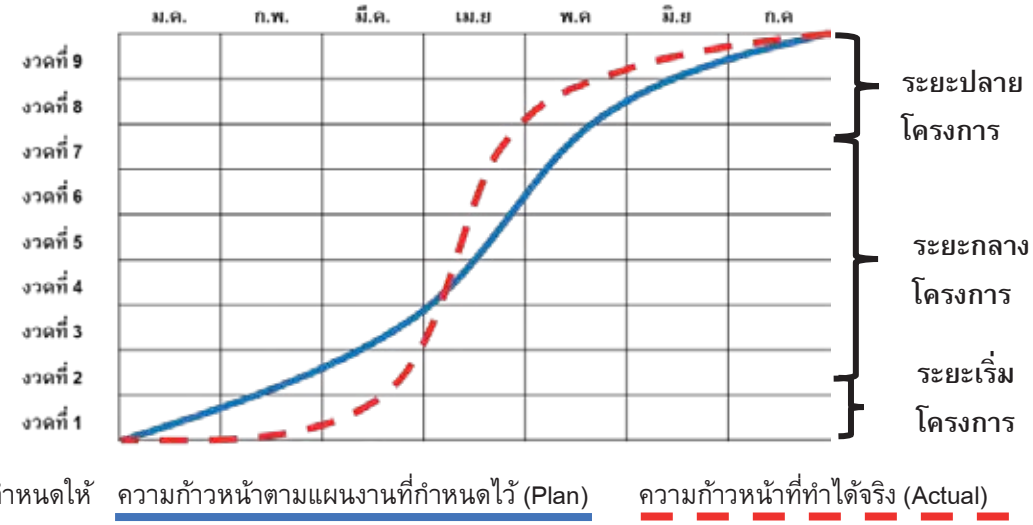
### 11.2 การบริหารโครงการโดยใช้ S-curve

เพื่อการบริหารจัดการโครงการ เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือที่ใช้วางแผน แบ่งงานย่อยๆ ที่จะดำเนินการ โดยการเลือกใช้วิธีการหรือกระบวนการที่เหมาะสม ในเวลาอันสั้น หรือเป็นไปตามแผนงานที่ได้วางกรอบของเวลาไว้ของโครงการ งบประมาณ ทรัพยากรที่มี ข้อจำกัด ความเสี่ยง จึงมีความจำเป็นที่ต้องมีแผนงานที่ชัดเจน ซึ่ง S-curve เป็นการเรียกตามลักษณะของพฤติกรรมโครงการ ที่มีระยะของโครงการด้วยกันดังนี้ (ประสาน รัตนสาลี, ม.ป.ป.)

ก. ระยะเริ่มโครงการ สำหรับงานออกแบบ เช่น การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ การจัดทำงบประมาณ และสำหรับงานติดตั้งฯ การทำจดหมายขอเข้าทำงาน การเตรียมสถานที่ทำงานที่โครงการ(site preparation) การเปิดหน้างาน(site clearing) การเปิดประชุมโครงการ(kickoff meeting)

ข. ระยะกลางของโครงการ เป็นช่วงการทำงาน ความคืบหน้าของโครงการ เป็นช่วงทางชันของกราฟ S-curve โดยปกติจะเป็นช่วงที่มีระยะเวลาค่อนข้างยาวนานที่สุดของทั้งโครงการ

ค. ระยะปลายโครงการ เป็นช่วงที่ทำงานใกล้แล้วเสร็จ เป็นช่วงการเก็บจุดบกพร่อง เก็บรายละเอียดปลีกย่อย เพิ่มเติมข้อกำหนดข้อจำกัดในการออกแบบ หรือ การทำความสะอาด หรือการจัดอบรมการใช้งาน การส่งมอบงานแล้วเสร็จ หรือถือเป็นช่วงการเบิกงวดสุดท้าย ดังนั้นเส้นกราฟจะต่อจากช่วงลาดชั้นของระยะกลางโครงการ เข้าสู่ช่วงโค้งขึ้นน้อยๆ ตามการทำงานจริง




**รูปที่ 11.1** ตัวอย่าง S-curve มี 9 งวดงาน และมีระยะเวลาของโครงการรวม 7 เดือน จากกราฟ S-curve สามารถวิเคราะห์ระยะเวลาและกิจกรรมได้ตามระยะโครงการดังนี้

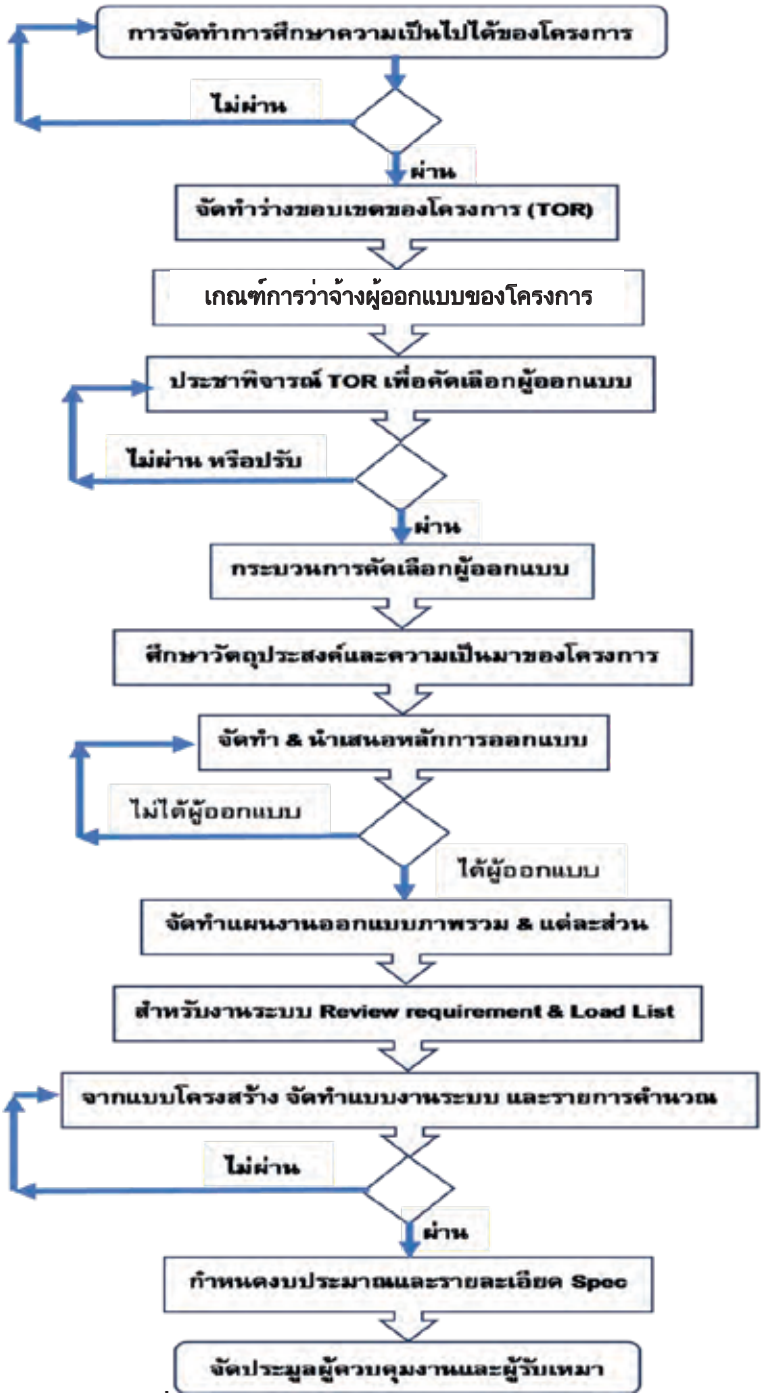
- ระยะเริ่มโครงการ ความก้าวหน้าที่ทำได้จริง มีความล่าช้ากว่า ความก้าวหน้าตามแผนที่กำหนดไว้เล็กน้อย
- ระยะกลางโครงการ ถือว่ามีความก้าวหน้าที่ทำได้จริง มีความก้าวหน้ามากกว่าความก้าวหน้าตามแผนที่กำหนดไว้
- ระยะเวลาสิ้นสุดโครงการ ก็ถือว่ามีความก้าวหน้าที่ทำได้จริง มีความก้าวหน้ามากกว่าความก้าวหน้าตามแผนที่กำหนดไว้

## 11.3 การบริหารโครงการโดยการจัดทำ Flow chart

การจัดทำ Flow chart โครงการ เป็น Flow chart แบบหลักทั่วๆ ไป หรือ Flow chart เฉพาะโครงการ หรือเฉพาะส่วนงาน โดยจะขอแบ่งแยกในส่วนงานออกแบบ และส่วนงานติดตั้ง ที่จะต้องเข้าไปประสานกัน หรือลักษณะโครงการที่จะเข้าแข่งขันทำราคาเป็นเรื่องสำคัญ เพราะหากมีแต่การจัดทำราคาแข่งขัน ไม่สามารถสู้ราคา หรือ ต่อรองราคาหรือการต่อรอง เพื่อให้ได้งานโครงการนั้นๆ ก็จะเป็นต้นทุนการเสียโอกาสในการจัดทำราคา ที่ต้องใช้เวลามากพอสมควรในแต่ละโครงการที่ต้องประเมินราคาแข่งขันประมูลให้ได้งานนั้นๆ ดังนั้นบางโครงการที่มืออาชีพจะมีการว่าจ้างผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงาน ผู้ประเมินราคา และผู้รับเหมา และบางโครงการอาจมีเพียงผู้รับเหมาที่ทำหน้าที่ทั้งออกแบบ ประเมินราคาและเป็นผู้รับเหมางานแบบรวบยอดทั้งหมด ซึ่งกรณีนี้ส่วนใหญ่เรียกว่า Turnkey หรือ Engineering Procurement and Construction: EPC ดังนั้นเจ้าของงาน (Owner) ต้องมีข้อมูลเพียงพอสำหรับการเลือกแนวทางทั้งสอง

การบริหารการออกแบบระบบไฟฟ้า ถือเป็นขั้นตอนที่จะต้องรับทราบวัตถุประสงค์ ความเป็นมาของโครงการ การเตรียมการ การออกแบบเพื่อการก่อสร้าง การควบคุมงานก่อสร้าง การตรวจสอบทวนสอบทดสอบความพร้อมใช้งาน การรับประกันโครงการและความพร้อมใช้งานของโครงการ สิ่งเหล่านี้ถือเป็นส่วนหนึ่งของการออกข้อกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบที่สำคัญ โดยในบางครั้งจะมีคณะกรรมการกำหนดรายละเอียดขอบเขตงาน (Term of Reference: TOR) เริ่มต้นเป็นส่วนงานแรกๆ จึงมีขั้นตอนการจ้างออกแบบ การว่าจ้างที่ปรึกษาโครงการ และการว่าจ้างผู้รับเหมาตามลำดับ

**Flow chart** สำหรับงานออกแบบ เบื้องต้น




**รูปที่ 11.2** Flow chart สำหรับงานออกแบบ เบื้องต้น

กระบวนการและขั้นตอนการบริหารงานติดตั้งทางไฟฟ้า หรือโครงการที่ดี ต้องมีปัจจัยที่หลากหลายซับซ้อน จึงเป็นความท้าทายในการบริหารจัดการหลายๆ โครงการพร้อมกัน ภายใต้เงื่อนไขของเวลาและทรัพยากรที่มีจำกัด ที่สามารถแบ่งได้เป็น 5 ส่วนหลักๆ ดังนี้

1. การเริ่มโครงการ หมายถึงมีการเซ็นสัญญา เข้าทำโครงการอย่างเป็นทางการ จากการประเมินภาพรวมของโครงการ ตั้งแต่เข้าสำรวจหน้างาน สำรวจสภาพแวดล้อมสังคมรอบๆ โครงการ เพื่อพิจารณาอุปสรรค์และปัญหาต่างๆ เช่น ตำแหน่งที่อยู่ของโครงการ(ในเมืองหรือต่างจังหวัด ก็แตกต่างกันมาก) แหล่งของแรงงานทั้งแบบมีฝีมือและแรงงานโดยตรง (สามารถสรรหาแรงงานฝีมือมีคุณภาพในราคาที่เหมาะสม ไม่แพงมาก และมีปริมาณแรงงานเพียงพอกับความต้องการ) ตามการงบประมาณหรือราคาที่ได้ประมูลไว้ ตามข้อกำหนดของแบบฯ รายละเอียด (specification) รายชื่อตราสินค้าในแต่ละอุปกรณ์วัสดุที่เลือกใช้งาน (vendor list) เพื่อการวางแผนเข้าบริหารงานโครงการให้ประสบผลสำเร็จตามเป้าหมายที่วางไว้

2. การวางแผน ผู้ประเมินราคาหรือเสนอราคาเบื้องต้นก่อนการประมูลให้ได้รับงาน ก็จะมีการวางแผนหรือการคาดการณ์ หรือการได้ข้อมูลเพิ่มเติมระหว่างการประมูล ดังนั้นเมื่อได้รับงานประมูลมาแล้ว ระหว่างการรอเซ็นสัญญา จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการวางแผนอย่างละเอียดในแต่ละกิจกรรมและปัญหาอุปสรรค์ความเสี่ยงต่างๆ เพื่อวางแผนโดยละเอียดในการบริหารโครงการให้แล้วเสร็จก่อนหรือตามกำหนดการของโครงการและตามงบประมาณที่ได้ประเมินไว้ การวางแผนที่ดีควรลงรายละเอียดว่าแต่ละทีมงาน พนักงานแต่ละคนต้องทำกิจกรรมอะไรบ้าง

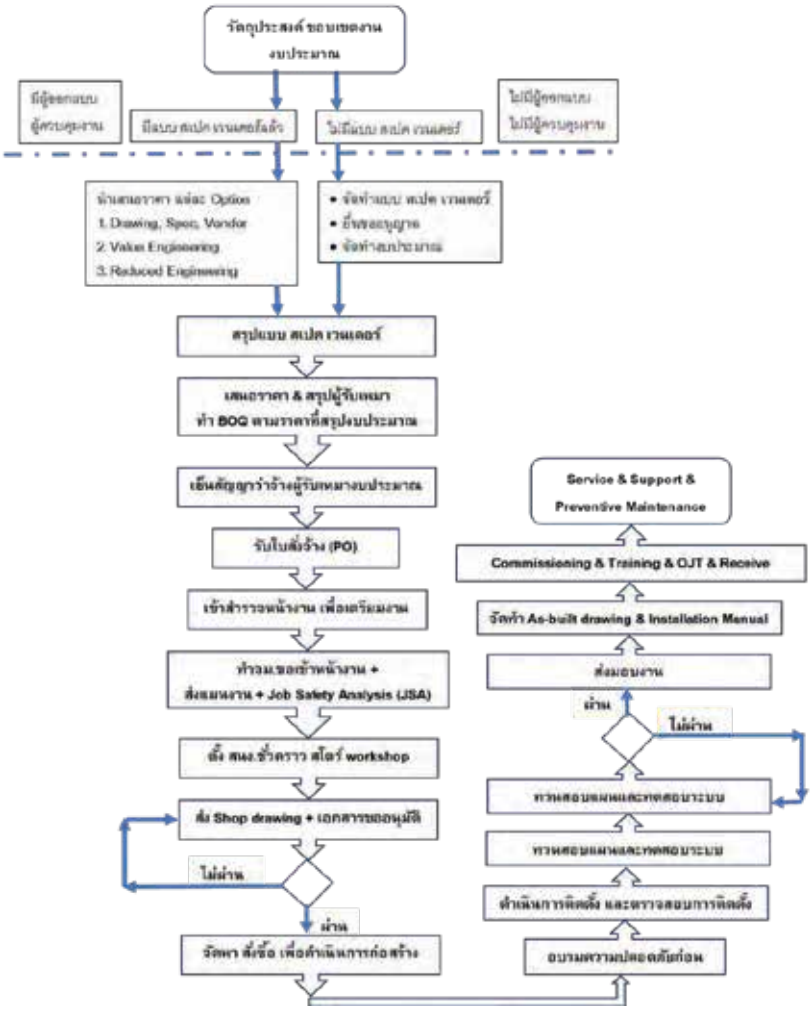
3. การดำเนินการ เป็นการดำเนินการตามแผนที่วางไว้ และมีการจัดการความเสี่ยงหรือปัจจัยต่างๆที่อาจจะส่งผลกระทบต่อโครงการ ที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง คือวิเคราห์การประเมินโครงการในแต่ละช่วงของแต่ละกิจกรรมหรือแต่ละช่วงเวลาตามแผนที่ได้วางไว้

4. การตรวจสอบและควบคุม เป็นอีกหนึ่งกระบวนการที่สำคัญอย่างยิ่ง ปกติจะทำหลังการดำเนินการซึ่งปัจจุบันต้องพยายามคิดหากระบวนการที่มีการตรวจสอบและควบคุมขณะดำเนินการไปในคราวเดียวกัน เพื่อลดขั้นตอนและลดความพลี่ยงในความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นขณะดำเนินงานในแต่ละกระบวนการ โดยการตรวจสอบและควบคุมให้กิจกรรมในโครงการดำเนินไปตามแผนที่วางไว้ ทั้งด้านเวลา ต้นทุน และคุณภาพของงาน

5. การปิดโครงการ ถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่ทำการส่งมอบผลลัพธ์ของโครงการให้กับลูกค้า ซึ่งปัจจุบันในส่วนของการรับเหมาติดตั้ง M&E นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการ Commissionning ระบบให้ทางลูกค้ามั่นใจว่าระบบสามารถทำงานได้จริง และการเก็บแก้ไขงานต่างๆ การทำความสะอาด การเก็บของย้ายของต่างๆ ที่สำนักงานชั่วคราวหรือที่หน้างาน ให้เกิดความสมบูรณ์ พร้อมส่งมอบงานที่สุด โดยขั้นตอนสุดก่อนการปิดโครงการ คือ การอบรมให้ผู้งานสามารถเข้าใจและใช้งานได้อย่างถูกต้อง เพื่อปิดโครงการอย่างสมบูรณ์

6. การเข้าตรวจสอบทวนสอบทดสอบประจำปี เป็นขั้นตอนที่ช่วยเก็บตกงานหรือเป็นพี่เลี้ยงให้กับเจ้าของโครงการว่าหลังจากมีการใช้งานแล้วหนึ่งปี จะมีปัญหาใดที่ทำให้ผู้ใช้งานหรือเจ้าของโครงการไม่สะดวก ไม่เป็นไปตามหลักการทางวิศวกรรม หรือไม่เป็นไปตามการใช้งานที่ควรเป็น หรือที่สำคัญเพื่อเป็นการตรวจสอบทวนสอบทดสอบระบบให้มั่นใจในการใช้งานก่อนจะหมดประกันในแต่ละปี เพื่อให้โครงการสามารถตั้งงบประมาณในการบำรุงรักษาระบบต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพ อยู่คงทนได้นานอย่างมีคุณภาพ ซึ่งส่วนนี้ทางเจ้าของโครงการจะประทับใจกับการให้บริการอย่างยิ่ง

**Flow chart การรับเหมางานติดตั้ง M & E (Mechanical and Electircal)**




**รูปที่ 11.3** Flow chart การรับเหมางานติดตั้ง M & E (Mechanical and Electircal)

**11.4 การบริหารโครงการเพื่อความปลอดภัยและบรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการอย่างยั่งยืน**

การบริหารโครงการติดตั้งระบบประกอบอาคาร จะให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการด้านความปลอดภัย ยิ่งปัจจุบันมีแรงงานต่างด้าวหลากหลายสัญชาติ ก็ยิ่งมีความเสี่ยงอย่างสูงมากๆ ในการสื่อสาร การบริหารจัดการอย่างมาก เพราะเมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้น ก็จะได้รับผลกระทบและความเสียหายตามมาอีกอย่างมากมาย อาจทำให้โครงการหรือบริษัทต้องปิดตัวลงพร้อมๆ กับหนี้สินและความผิดทางอาญา เสียชื่อเสียงของบริษัทฯ ดังนั้นการบริหารโครงการจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีจุดเริ่มต้น กระบวนการดำเนินงาน และบรรลุวัตถุประสงค์โครงการแล้วเสร็จอย่างสมบูรณ์ ด้วยข้อแนะนำบางส่วนดังนี้

1. การคัดเลือกบุคคลากรให้เหมาะสมตามความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ ให้เป็นไปตามมาตรฐานและข้อกำหนดของกฎหมายเป็นพื้นฐาน เช่น ช่างไฟฟ้า ก็ต้องได้รับหนังสือรับรองความรู้ความสามารถช่างไฟฟ้า ของกรมพัฒนาฝีมือแรงงาน เป็นขั้นต้น

2. การจัดสรรงบประมาณด้านความปลอดภัย สำหรับเรื่องความปลอดภัยสำหรับโครงการติดตั้งงานระบบประกอบอาคาร ที่ต้องเน้นย้ำบรรลุเรื่องความปลอดภัย เพราะความปลอดภัยเป็นสิ่งที่ ห้ามต่อรอง ห้ามลดหย่อน ห้ามเดี๋ยว ซึ่งโครงการส่วนใหญ่มีการจัดสรรงบประมาณระหว่าง 2 – 8% ของมูลค่าโครงการ ทั้งนี้การลดงบประมาณในส่วนของความปลอดภัยขึ้นอยู่กับการบริหารจัดการในเรื่องบุคลากร การพูดคุยอย่างเป็นทางการทุกเช้า หรือระหว่างการทำงาน การจัดฝึกอบรม การให้รางวัล เป็นต้น เพื่อให้เกิดความตระหนัก การควบคุมตรวจสอบการทำงานตลอดระยะเวลาการทำงาน และการสรุปประเมินเรื่องความปลอดภัยในการทำงานแบบสองทิศทางระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับผู้ควบคุมงานเป็นประจำทุกวัน ทุกสัปดาห์ ทุกเดือน เป็นต้น

3. การบริหารโครงการก่อสร้าง ให้เป็นไปตามหลักการและแผนงานที่ได้เตรียมการไว้ โดยต้องมีการบริหารจัดการ วางแผน ดำเนินการ ตรวจสอบ และนำมาปฏิบัติ แบบครบวงจรซ้ำแล้วซ้ำตลอดเวลาตามหลักการ วงจรเดมมิ่ง (Plan Do Check Action) โดยมีส่วนประกอบของบุคลากร ดังนี้

- ผู้จัดการโครงการ (Project Manager)
- ผู้จัดการไซต์งาน (Site Manager)
- วิศวกรประจำไซต์งาน (Site Engineer) / ผู้จัดการก่อสร้าง (Construction Manager)
- วิศวกรไฟฟ้าและวิศวกรเครื่องกล (Electrical & Mechanical Engineer)

- หัวหน้าช่างและหัวหน้าคนงาน (Head of Technician and Labor) / หัวหน้าผู้รับเหมาย่อย (Head of Sub contractor)
- เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย (Safety Officer)
- ผู้ควบคุมคุณภาพ และรับประกันผลงาน (Quality Control & Assurance)
- บัญชีการเงิน และจัดซื้อ (Financial & Procurement)
- ธุรการทั่วไป (Administrative Officer: Admin)

**ขอให้ทุกท่าน ทุกภาคส่วนมีความรับผิดชอบ ฝึกฝนพัฒนาตนเองอย่างสม่ำเสมอ เสริมสร้างพลานามัยให้แข็งแรงทั้งกายใจ เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการและชีวิตการทำงานของท่าน ขององค์กรท่านอย่างยั่งยืนร่วมกัน**

# ภาคผนวก

**ตารางพิกัดสายไฟฟ้าของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.)**

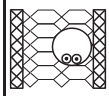
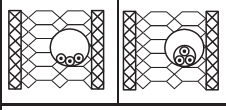
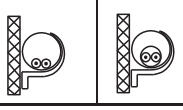
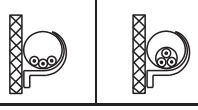
**ตารางที่ 5-8**

**ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสเนื่องจากจำนวนสายที่นำกระแสในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกันหรือเดินสายบนผิวมากกว่า 1 กลุ่มวงจร**

| จำนวนกลุ่มวงจร | ตัวคูณปรับค่ากรณีในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกัน | ตัวคูณปรับค่ากรณีเดินสายบนผิวหรือเดินสายเกาะผนัง |
|---|---|---|
| 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**

**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มี/ไม่มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0/U$) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินในท่อร้อยสายในอากาศ**

| 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 | 60227 IEC 01, 60227 IEC 02, 60227 IEC 05, 60227 IEC 06, 60227 IEC 10, NYY, VCT, IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย | | | | | | | |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | | | | | |
| 1 | 10 | 10 | 9 | 9 | 12 | 11 | 10 | 10 |
| 1.5 | 13 | 12 | 12 | 11 | 15 | 14 | 13 | 13 |
| 2.5 | 17 | 16 | 16 | 15 | 21 | 20 | 18 | 17 |
| 4 | 23 | 22 | 21 | 20 | 28 | 26 | 24 | 23 |
| 6 | 30 | 28 | 27 | 25 | 36 | 33 | 31 | 30 |
| 10 | 40 | 37 | 37 | 34 | 50 | 45 | 44 | 40 |
| 16 | 53 | 50 | 49 | 45 | 66 | 60 | 59 | 54 |
| 25 | 70 | 65 | 64 | 59 | 88 | 78 | 77 | 70 |
| 35 | 86 | 80 | 77 | 72 | 109 | 97 | 96 | 86 |
| 50 | 104 | 96 | 94 | 86 | 131 | 116 | 117 | 103 |
| 70 | 131 | 121 | 118 | 109 | 167 | 146 | 149 | 130 |
| 95 | 158 | 145 | 143 | 131 | 202 | 175 | 180 | 156 |
| 120 | 183 | 167 | 164 | 150 | 234 | 202 | 208 | 179 |
| 150 | 209 | 191 | 188 | 171 | 261 | 224 | 228 | 196 |
| 185 | 238 | 216 | 213 | 194 | 297 | 256 | 258 | 222 |
| 240 | 279 | 253 | 249 | 227 | 348 | 299 | 301 | 258 |
| 300 | 319 | 291 | 285 | 259 | 398 | 343 | 343 | 295 |
| 400 | - | - | - | - | 475 | - | 406 | - |
| 500 | - | - | - | - | 545 | - | 464 | - |

***หมายเหตุ***

*1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

*2) ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ในท่อร้อยสาย ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-8*

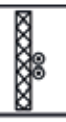
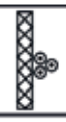
*3) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47*

*4) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งานในตารางที่ 5-48*

*5) สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันไม่เกิน 1.5 กิโลโวลต์ได้*

ตารางที่ 5-21

**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดง หุ้มฉนวนพีวีซี (PVC) หรือครอสลิงก์พอลิเอทิลีน (XLPE) มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 °C หรือ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินเกาะผนังในอากาศ**

| ลักษณะการติดตั้ง | กลุ่มที่ 3 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ลักษณะสาย | แบน | 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 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 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, VCT ,60227 IEC 10, IEC 60502-1 | | IEC 60502-1 | |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | | | | | | |
| 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) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

*2) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47*

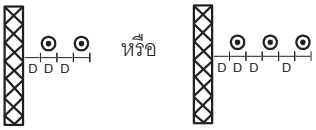
*3) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งานในตารางที่ 5-48*

*4) สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันไม่เกิน 1.5 กิโลโวลต์ได้*

*5) ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-8 คอลัมน์ 3*

**ตารางที่ 5-22**

**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนพีวีซี มอก.11 สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0/U$) ไม่เกิน 450/750 โวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ**

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

***หมายเหตุ***

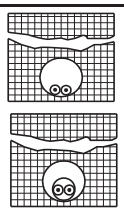
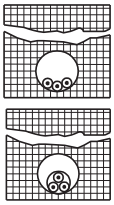
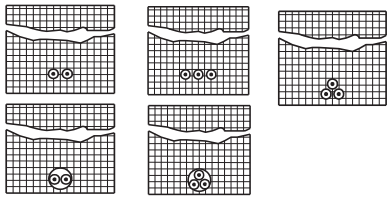
*1) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้ง ในตารางที่ 5-47*

*2) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48*

*3) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 องศา ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

**ตารางที่ 5-23**

**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0/U$) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ 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 |  |  |  |
| รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน | NYY, VCT, ตามมาตรฐาน IEC 60502-1 | | |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | |
| 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***

*1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 30 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-44*

*2) ในกรณีเดินเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-45 หรือ 5-46*

*3) ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ในท่อร้อยสาย ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ใน ตารางที่ 5-8*

*4) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้ง ในตารางที่ 5-47*

*5) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48*

*6) งานติดตั้งระบบไฟฟ้าที่เป็นทรัพย์สินของการไฟฟ้าฯ ให้พิจารณาขนาดกระแสตามมาตรฐาน การไฟฟ้าฯ ยกเว้นไม่มีกำหนดไว้*

**ตารางที่ 5-24**

**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก.11-2553 สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 300/500 โวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC หรือ 90 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC เดินในอากาศ**

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

***หมายเหตุ***

*1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 ºC ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

*2) ค่าขนาดกระแสเฉพาะรหัสเคเบิล 60227 IEC 06 เท่านั้น*

*3) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48*

**ตารางที่ 5-25**

**ขนาดกระแสของสายอ่อน (flexible cord) ตัวนำทองแดงหลายแกนหุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก.11-2553 สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 300/500 โวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC หรือ 90 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC เดินในอากาศ**

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

***หมายเหตุ***

*1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 ºC ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

*2) สายอ่อนตัวนำทินเซล ที่มีรหัสเคเบิล 60227 IEC 41 มีค่าขนาดกระแส = 0.7 แอมแปร์ ที่อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC และอุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC*

*3) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48*

**ตารางที่ 5-26**

**ขนาดกระแสของสายเคเบิลอ่อน (flexible cable) ตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก.11 สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0/U$) ไม่เกิน 450/750 โวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินในอากาศ**

| จำนวน/ลักษณะ ตัวนำกระแส | 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 |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | |
| 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 | - |

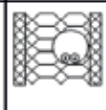
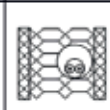
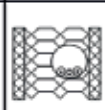
***หมายเหตุ***

*1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

*2) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48*

**ตารางที่ 5-27**

**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน มี/ไม่มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0/U$) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินร้อยในท่อร้อยสายในอากาศ**

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

***หมายเหตุ***

*1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

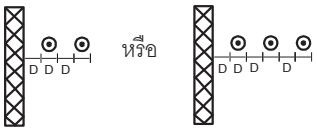
*2) ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ในท่อร้อยสาย ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ใน ตารางที่ 5-8*

*3) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47*

*4) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งานในตารางที่ 5-48*

**ตารางที่ 5-28**

**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าแกนเดียวตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีนสำหรับขนาดแรงดัน ($U_0/U$) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ**

| ลักษณะการติดตั้ง | กลุ่มที่ 4 | |
|---|---|---|
| รูปแบบการติดตั้ง |   |   |
| รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน | ตามมาตรฐาน IEC 60502-1 | |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | |
| 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 |

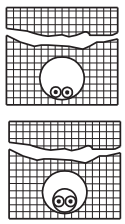
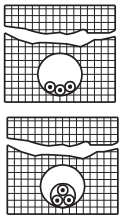
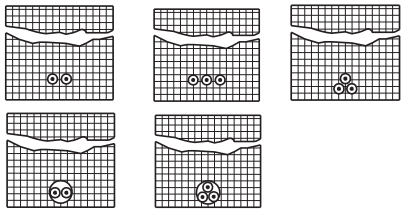
***หมายเหตุ***

*1. ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47*

*2. อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 องศา ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

**ตารางที่ 5-29**

**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก ขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ 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 | IEC 60502-1 | | |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | |
| 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***

*1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 30 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-44*

*2) ในกรณีเดินเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-45 หรือ 5-46*

*3) ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ในท่อร้อยสาย ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ใน ตารางที่ 5-8*

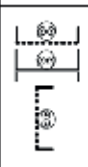
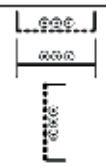
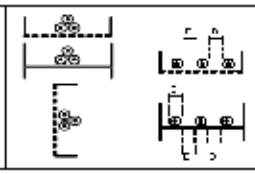
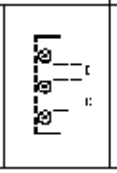
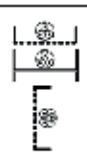
*4) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้ง ในตารางที่ 5-47*

*5) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48*

*6) งานติดตั้งระบบไฟฟ้าที่เป็นทรัพย์สินของการไฟฟ้าฯ ให้พิจารณาขนาดกระแสตามมาตรฐาน การไฟฟ้าฯ ยกเว้นไม่มีกำหนดไว้*

**ตารางที่ 5-30**

**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_o$/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบระบายอากาศ แบบบันได**

| ลักษณะการติดตั้ง | กลุ่มที่ 7 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนตัวนำกระแส | 2 | | 3 | | | | |
| ชนิดของตัวนำ | แกนเดียว | หลายแกน | แกนเดียว | | | | หลายแกน |
| รูปแบบการติดตั้ง |  |  |  |  | |  |  |
| ระบบไฟฟ้า | AC หรือ DC | | AC | | | | |
| รหัสชนิดเคเบิลใช้งาน | 60227 IEC 10, NYY, VCT และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ควันโลหะ, สายกันน้ำ เป็นต้น | | | | | | |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | | | | |
| 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 | 98 |
| 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***

*1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

*2) ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-40 และตารางที่ 5-41 สำหรับสายแกนเดียวและสายหลายแกน ตามลำดับ*

*3) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47*

*4) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48*

*5) สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันระบุไม่เกิน 1.5 กิโลโวลต์ได้*

**ตารางที่ 5-30 (ก)**

**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_o/U$) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ**

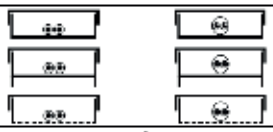
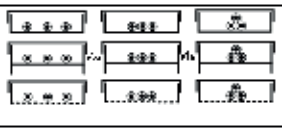
| ลักษณะการติดตั้ง | กลุ่มที่ 7 | | | |
|---|---|---|---|---|
| จำนวนตัวนำกระแส | 2 | | 3 | 3 หรือ 4 |
| ลักษณะตัวนำ | แกนเดียว | หลายแกน | แกนเดียว | หลายแกน |
| รูปแบบการติดตั้ง |  |  |  |  |
| ระบบไฟฟ้า | AC หรือ DC | | AC | |
| รหัสชนิดเคเบิลใช้งาน | 60227 IEC 10, NYY, VCT และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น | | | |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | |
| 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***

1) *อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*
2) *กรณีสายแกนเดียว มีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-40 แต่หากระยะห่างระหว่างกลุ่มวงจร (นับจากผิวนอกของแต่ละกลุ่มวงจรที่อยู่ถัดไป) มากกว่า 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของตัวนำกระแสนั้น ไม่ต้องใช้ตัวคูณปรับค่าตามตารางที่ 5-40 โดยต้องมีการจับยึดที่สามารถรักษาระยะห่างของสายได้ตลอดแนว*
3) *กรณีสายหลายแกน มีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-41 แต่หากระยะห่างระหว่างกลุ่มวงจร (นับจากผิวนอกของแต่ละกลุ่มวงจรที่อยู่ถัดไป) มากกว่า 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของตัวนำกระแสนั้น ไม่ต้องใช้ตัวคูณปรับค่าตามตารางที่ 5-41 โดยต้องมีการจับยึดที่สามารถรักษาระยะห่างของสายได้ตลอดแนว*
4) *ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47 โดยตัวนำกระแสแต่ละกลุ่มวงจรไม่สามารถวางซ้อนกันได้*
5) *ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48*
6) *สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันระบุไม่เกิน 1.5 กิโลโวลต์ได้*

**ตารางที่ 5-31**

**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซีมีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0/U$) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลมีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ แบบระบายอากาศ แบบบันได**

| ลักษณะการติดตั้ง | กลุ่มที่ 7 | | | |
|---|---|---|---|---|
| จำนวนตัวนำกระแส | 2 | | 3 | |
| ลักษณะตัวนำ | แกนเดียว | หลายแกน | แกนเดียว | หลายแกน |
| รูปแบบการติดตั้ง |  | |  |  |
| ระบบไฟฟ้า | AC หรือ DC | | AC | |
| รหัสชนิดเคเบิลใช้งาน | 60227 IEC 10, NYY, VCT และสายที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ๆ เช่น สายแกนไฟ สายโรงงาน สายดวงโคมทั่วไป | | | |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | |
| 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 | 95 | 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**

1) *อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

2) *กรณีสายแกนเดียว มีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-40 แต่หากระยะห่างระหว่างกลุ่มวงจร (นับจากผิวนอกของแต่ละกลุ่มวงจรที่อยู่ถัดไป) มากกว่า 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของตัวนำกระแสนั้น ไม่ต้องใช้ตัวคูณปรับค่า ตามตารางที่ 5-40 โดยต้องมีการจับยึดที่สามารถรักษาระยะห่างของสายได้ตลอดแนว*

3) *กรณีสายหลายแกน มีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-41 แต่หากระยะห่างระหว่างกลุ่มวงจร (นับจากผิวนอกของแต่ละกลุ่มวงจรที่อยู่ถัดไป) มากกว่า 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของตัวนำกระแสนั้น ไม่ต้องใช้ตัวคูณปรับค่า ตามตารางที่ 5-41 โดยต้องมีการจับยึดที่สามารถรักษาระยะห่างของสายได้ตลอดแนว*

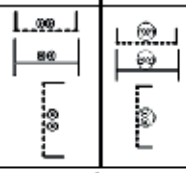
4) *ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47 โดยตัวนำกระแสแต่ละกลุ่มวงจรสามารถวางซ้อนกันได้*

5) *ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48*

6) *สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันระบุไม่เกิน 1.5 กิโลโวลต์ได้*

**ตารางที่ 5-32**

**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_o/U$) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบระบายอากาศ แบบบันได**

| ลักษณะการติดตั้ง | กลุ่มที่ 7 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนตัวนำกระแส | 2 | | 3 | | | | |
| ลักษณะตัวนำกระแส | แกนเดียว | หลายแกน | แกนเดียว | | | | หลายแกน |
| รูปแบบการติดตั้ง |  | | | | | | |
| ระบบไฟฟ้า | AC หรือ DC | | AC | | | | |
| วัสดุฉนวนที่ใช้งาน | IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้สารฮาโลเจน, สายกันน้ำ เป็นต้น | | | | | | |
| ขนาดตาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | | | | |
| 1 | | 19 | | | | | 18 |
| 1.5 | - | 24 | - | - | - | - | 21 |
| 2.5 | - | 33 | - | - | - | - | 28 |
| 4 | - | 45 | - | - | - | - | 38 |
| 6 | - | 57 | - | - | - | - | 48 |
| 10 | | 76 | | | | | 60 |
| 16 | | 105 | | | | | 91 |
| 25 | 147 | 136 | 126 | 123 | 166 | 147 | 118 |
| 35 | 182 | 168 | 160 | 154 | 206 | 183 | 144 |
| 50 | 220 | 205 | 197 | 188 | 250 | 224 | 175 |
| 70 | 282 | 263 | 254 | 244 | 321 | 288 | 224 |
| 95 | 343 | 320 | 311 | 298 | 391 | 364 | 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***

*1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

*2) กรณีสายแกนเดียว มีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-40*

*3) กรณีสายหลายแกน มีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-41*

*4) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47*

*5) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48*

*6) สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันระบุไม่เกิน 1.5 กิโลโวลต์ได้*

**ตารางที่ 5-32 (ก)**

**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0/U$) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ**

| ลักษณะการติดตั้ง | กลุ่มที่ 7 | | | |
|---|---|---|---|---|
| จำนวนตัวนำกระแส | 2 | | 3 | |
| ลักษณะตัวนำ | แกนเดียว | หลายแกน | แกนเดียว | หลายแกน |
| รูปแบบการติดตั้ง | 66 | 67 | 66<br>69<br>68 | 67 |
| ระบบไฟฟ้า | AC หรือ DC | | AC | |
| รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน | IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติใกล้เคียง ๆ เช่น ชนิดแกนไฟ ชนิดไร้ตัวโลหะ สายหุ้มฉนวน | | | |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | |
| 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 | 119 | 108 |
| 35 | 160 | 156 | 147 | 134 |
| 50 | 207 | 190 | 190 | 163 |
| 70 | 267 | 245 | 244 | 208 |
| 95 | 328 | 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***

1) *อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

2) *กรณีสายแกนเดียว มีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-40 แต่หากระยะห่างระหว่างกลุ่มวงจร (นับจากผิวนอกของแต่ละกลุ่มวงจรที่อยู่ถัดไป) มากกว่า 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของตัวนำกระแสนั้น ไม่ต้องใช้ตัวคูณปรับค่าตามตารางที่ 5-40 โดยต้องมีการจับยึดที่สามารถรักษาระยะห่างของสายได้ตลอดแนว*

3) *กรณีสายหลายแกน มีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-41 แต่หากระยะห่างระหว่างกลุ่มวงจร (นับจากผิวนอกของแต่ละกลุ่มวงจรที่อยู่ถัดไป) มากกว่า 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของตัวนำกระแสนั้น ไม่ต้องใช้ตัวคูณปรับค่าตามตารางที่ 5-41 โดยต้องมีการจับยึดที่สามารถรักษาระยะห่างของสายได้ตลอดแนว*

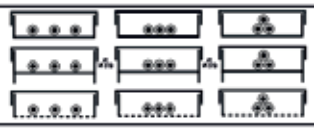
4) *ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47 โดยตัวนำกระแสแต่ละกลุ่มวงจรไม่สามารถวางซ้อนกันได้*

5) *ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48*

6) *สามารถใช้งานในระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดันระบุไม่เกิน 1.5 กิโลโวลต์ได้*

**ตารางที่ 5-33**

**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงหุ้มครอสลิงกต์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน ($U_0/U$) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิลมีฝาปิด แบบด้านล่างทึบ แบบระบายอากาศ แบบบันได**

| ลักษณะการติดตั้ง | กลุ่มที่ 7 | | | |
|---|---|---|---|---|
| จำนวนตัวนำกระแส | 2 | | 3 | |
| ลักษณะตัวนำ | แกนเดียว | หลายแกน | แกนเดียว | หลายแกน |
| รูปแบบการติดตั้ง |  |  |  |  |
| ระบบไฟฟ้า | AC หรือ DC | | AC | |
| ชนิดเคเบิลใช้งาน | IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สายทนไฟ สายไร้ฮาโลเจน สายควันน้อย | | | |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | |
| 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**

1) *อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

2) *กรณีสายแกนเดียว มีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-40 แต่หากระยะห่างระหว่างกลุ่มวงจร (นับจากผิวนอกของแต่ละกลุ่มวงจรที่อยู่ใกล้ที่สุด) มากกว่า 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของตัวนำกระแสนั้น ไม่ต้องใช้ตัวคูณปรับค่าตามตารางที่ 5-40 โดยต้องมีการจับยึดที่สามารถรักษาระยะห่างของสายได้ตลอดแนว*

3) *กรณีสายหลายแกน มีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-41 แต่หากระยะห่างระหว่างกลุ่มวงจร (นับจากผิวนอกของแต่ละกลุ่มวงจรที่อยู่ใกล้ที่สุด) มากกว่า 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของตัวนำกระแสนั้น ไม่ต้องใช้ตัวคูณปรับค่าตามตารางที่ 5-41 โดยต้องมีการจับยึดที่สามารถรักษาระยะห่างของสายได้ตลอดแนว*

4) *ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47 โดยตัวนำกระแสแต่ละกลุ่มวงจรสามารถวางซ้อนกันได้*

**ตารางที่ 5-34**

**ขนาดกระแสของสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ตัวนำและเปลือก (Sheath) ทองแดง หุ้ม/ไม่หุ้มพีวีซี โดยเปลือกทองแดงสามารถสัมผัสได้ อุณหภูมิเปลือก 70 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C**

| ลักษณะการติดตั้ง | | กลุ่มที่ 7 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ลักษณะการจัดวางสาย | | เดินเกาะผนังในอากาศ หรือ วางบนรางเคเบิลชนิดด้านล่างทึบ ไม่มีฝาปิด | | | วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบระบายอากาศ หรือแบบบันได | | |
| จำนวนตัวนำกระแส | | 2 | 3 | | 2 | 3 | |
| ลักษณะตัวนำ | | แกนเดียว/หลายแกน | แกนเดียว | แกนเดียว/หลายแกน | แกนเดียว/หลายแกน | แกนเดียว | แกนเดียว/หลายแกน |
| รูปแบบการติดตั้ง | | หรือ | | หรือ | | | |
| รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้ | | IEC 60702 | | | | | |
| ขนาดแรงดัน | ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | | | |
| 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***

*1) สำหรับเคเบิลแกนเดียว เปลือกทองแดงแต่ละเส้นของวงจรเดียวกันต้องต่อประสานเข้าด้วยกันที่ปลาย ทั้ง 2 ด้าน ของวงจร*

*2) กรณีเคเบิลเปลือกนอกไม่หุ้มพีวีซี ค่าขนาดกระแสตามตารางที่ 5-34 ต้องคูณปรับค่าด้วย 0.9*

*3) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

*4) ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-40*

*5) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47*

**ตารางที่ 5-35**

**ขนาดกระแสของสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ตัวนำและเปลือก (Sheath) ทองแดง โดยเปลือกทองแดงไม่สามารถให้บุคคลสัมผัสหรือไม่สามารถสัมผัสกับวัสดุติดไฟได้ อุณหภูมิเปลือก 105 °C อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C**

| ลักษณะการติดตั้ง | | กลุ่มที่ 7 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ลักษณะการจัดวางสาย | | เดินเกาะผนังในอากาศ หรือ วางบนรางเคเบิลชนิดด้านล่างทึบ ไม่มีฝาปิด | | | วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบระบายอากาศ หรือแบบบันได | | |
| จำนวนตัวนำกระแส | | 2 | 3 | | 2 | 3 | |
| ลักษณะตัวนำ | | แกนเดียว/หลายแกน | แกนเดียว | แกนเดียว/หลายแกน | แกนเดียว/หลายแกน | แกนเดียว | แกนเดียว/หลายแกน |
| รูปแบบการติดตั้ง | | หรือ | | หรือ | | | |
| รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้ | | IEC 60702 | | | | | |
| ขนาดแรงดัน | ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | | | |
| 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***

1) *สำหรับเคเบิลแกนเดียว เปลือกทองแดงแต่ละเส้นของวงจรเดียวกันต้องต่อประสานเข้าด้วยกันที่ปลาย ทั้ง 2 ด้าน ของวงจร*

2) *อุปกรณ์ที่ต่อกับสายเคเบิลชนิดเอ็มไอนี้ จะต้องตรวจสอบให้ทราบแน่ชัดว่า ขั้วต่อสายเหมาะสมที่จะใช้ กับตัวนำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียสด้วย*

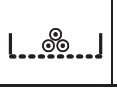
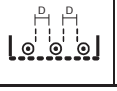
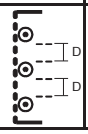
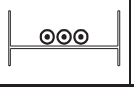
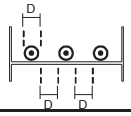
3) *อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

4) *ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-40*

5) *ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47*

**ตารางที่ 5-36**

**ขนาดกระแสของสายเคเบิล ตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน เปลือกนอกพีวีซี มีชีลด์ ขนาดแรงดัน ($U_0/U$) ตั้งแต่ 3.6/6 กิโลโวลต์ ถึง 18/30 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC วางบนรางเคเบิลไม่มีฝาปิด แบบระบายอากาศ หรือแบบบันได**

| ลักษณะการติดตั้ง | กลุ่มที่ 7 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนตัวนำกระแส | 3 | | | | | | | | |
| รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้ | ตามมาตรฐาน IEC 60502-2 | | | | | | | | |
| ชนิดรางเคเบิล | แบบระบายอากาศ | | | | | | แบบบันได | | |
| รูปแบบการติดตั้ง |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | | | | | | |
| 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***

*1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 ºC ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43*

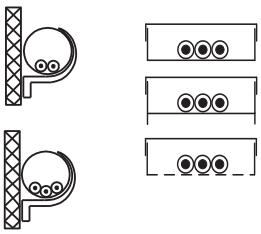
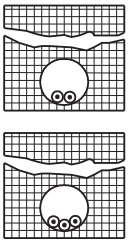
*2) ในกรณีเดินเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-40*

*3) ตัวนำชีลด์มีการต่อลงดินที่ปลายทั้ง 2 ด้าน และ / หรือต่อลงดินหลายตำแหน่ง*

*4) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47*

**ตารางที่ 5-37**

**ขนาดกระแสของสายเคเบิล ตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน เปลือกนอกพีวีซี มีซีลด์ ขนาดแรงดัน ($U_0/U$) ตั้งแต่ 3.6/6 กิโลโวลต์ ถึง 18/30 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 90 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC (เดินร้อยในท่อในอากาศและรางเคเบิลแบบมีฝาปิด) และ 30 ºC (ร้อยท่อฝังดิน)**

| ลักษณะการติดตั้ง | กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 7 | กลุ่มที่ 5 |
|---|---|---|
| จำนวนตัวนำกระแส | ไม่เกิน 3 | |
| ลักษณะตัวนำ | แกนเดียว | |
| รูปแบบการติดตั้ง |  |  |
| รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน | ตามมาตรฐาน IEC 60502-2 | |
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | |
| 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***

*1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 ºC (เดินร้อยในท่อในอากาศ) และ 30 ºC (ร้อยท่อฝังดิน) ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43 และ 5-44 ตามลำดับ*

*2) งานติดตั้งระบบไฟฟ้าที่ต้องการมอบทรัพย์สินหรือเป็นทรัพย์สินของการไฟฟ้าฯ ให้พิจารณาขนาดกระแสตามมาตรฐานการไฟฟ้าฯ ยกเว้นไม่มีกำหนดไว้*

*3) ในกรณีสายเคเบิลแกนเดียว วางบนรางเคเบิล เป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ ระบุไว้ในตารางที่ 5-40*

**ตารางที่ 5-38**

**ขนาดกระแสสายเคเบิลตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนครอสลิงกด์พอลิเอทิลีน มีเปลือกนอก อุณหภูมิตัวนำ 90 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 30 ºC ขนาดแรงดัน ($U_0$/U) 3.6/6 ถึง 18/30 กิโลโวลต์ เดินใน duct bank ไม่เกิน 8 ท่อ**

| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแสต่อ 1 วงจร (แอมแปร์) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 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)*

*1) การคำนวณอิงจากมาตรฐาน IEC 60287 ตามสภาพเงื่อนไขดังต่อไปนี้*

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

*2) งานติดตั้งระบบไฟฟ้าที่ต้องการมอบทรัพย์สินหรือเป็นทรัพย์สินของการไฟฟ้าฯ ให้พิจารณาขนาดกระแสตามมาตรฐานการไฟฟ้าฯ ยกเว้นไม่มีกำหนดไว้*

**ตารางที่ 5-39**

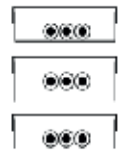
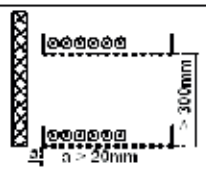
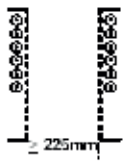
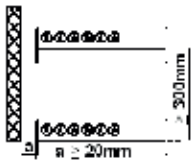
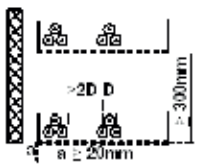
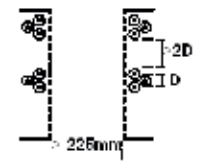
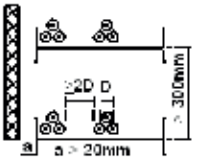
**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าเครื่องเชื่อม (ตัวนำทองแดง) ตาม มอก. 448-2525**

| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 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 |

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

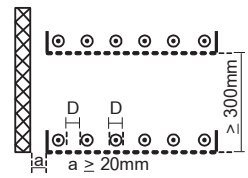
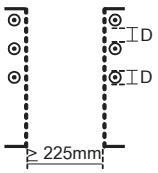
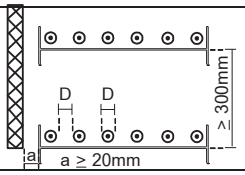
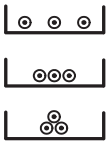
**ตารางที่ 5-40**

**ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว วางบนรางเคเบิลตั้งแต่ 1 วงจรขึ้นไป**

| วิธีการติดตั้ง | | จำนวนรางเคเบิล | จำนวนกลุ่มวงจรต่อรางเคเบิล 1 | 2 | 3 | 4 | 5-6 | 7-9 | ลักษณะการจัดเรียงเคเบิล |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| รางเคเบิลมีฝาปิดแบบระบายอากาศแบบทึบได้ และแบบด้านล่างทึบ |  | 1 | ดูตารางที่ 5-40 (ก) ช่องที่ 2 | | | | | | วางชิดติดกัน วางแบบสามเหลี่ยม และวางห่างกันไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล |
| รางเคเบิลแบบระบายอากาศ (หมายเหตุ 2 และ 5) |  | 1<br>2<br>3 | 1.00<br>0.96<br>0.95 | 0.91<br>0.87<br>0.85 | 0.87<br>0.81<br>0.78 | 0.82<br>0.78<br>0.76 | 0.78<br>0.74<br>0.70 | 0.77<br>0.69<br>0.65 | รูปแบบวางชิดกันในแนวราบ |
| รางเคเบิลแบบระบายอากาศวางแนวตั้ง (หมายเหตุ 3 และ 5) |  | 1<br>2 | 1.00<br>0.95 | 0.86<br>0.84 | 0.80<br>0.77 | 0.76<br>0.72 | 0.71<br>0.67 | 0.70<br>0.66 | รูปแบบวางชิดกันในแนวตั้ง |
| รางเคเบิลแบบทึบได้ (หมายเหตุ 2 และ 5) |  | 1<br>2<br>3 | 1.00<br>0.98<br>0.97 | 0.97<br>0.93<br>0.90 | 0.96<br>0.89<br>0.86 | 0.94<br>0.88<br>0.83 | 0.93<br>0.86<br>0.80 | 0.92<br>0.83<br>0.77 | รูปแบบวางชิดกันในแนวราบ |
| รางเคเบิลแบบระบายอากาศ (หมายเหตุ 2)) |  | 1<br>2<br>3 | 1.00<br>0.97<br>0.96 | 0.98<br>0.93<br>0.92 | 0.96<br>0.89<br>0.86 | 0.93<br>0.85<br>0.82 | 0.89<br>0.80<br>0.76 | -<br>-<br>- | |
| รางเคเบิลแบบระบายอากาศวางแนวตั้ง (หมายเหตุ 3)) |  | 1<br>2 | 1.00<br>1.00 | 0.91<br>0.90 | 0.89<br>0.86 | 0.88<br>0.85 | 0.87<br>0.83 | - | รูปแบบวางชิดกันแบบสามเหลี่ยม ห่างกันไม่น้อยกว่า 2 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล |
| รางเคเบิลแบบทึบได้ (หมายเหตุ 2)) |  | 1<br>2<br>3 | 1.00<br>0.97<br>0.96 | 1.00<br>0.95<br>0.94 | 1.00<br>0.93<br>0.90 | 1.00<br>0.92<br>0.89 | 1.00<br>0.91<br>0.86 | | |

**ตารางที่ 5-40 (ต่อ)**

**ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว เมื่อวางบนรางเคเบิลตั้งแต่ 1 วงจรขึ้นไป**

| วิธีการติดตั้ง | | จำนวนราง เคเบิล | จำนวนกลุ่มวงจรต่อรางเคเบิล | | | | | | ลักษณะการจัดเรียงเคเบิล |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5-6 | 7-9 | |
| รางเคเบิลแบบระบายอากาศ (หมายเหตุ 2)) |  | 1 | 1.00 | 0.93 | 0.90 | 0.87 | 0.83 | - | วางห่างกันไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล |
| | | 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 | 1 | 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 | | | | | | การจัดวางในแนวนอน |

***หมายเหตุ***

*1) ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการวางสายไฟฟ้าเป็นกลุ่มชั้นเดียว หรือเป็นกลุ่มวางชิดกันเป็นสามเหลี่ยมเท่านั้น*

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

*3) ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการติดตั้งรางเคเบิลในแนวดิ่งที่มีระยะห่างระหว่างรางเคเบิลในแนวราบ ไม่น้อยกว่า 225 มม.เท่านั้น*

*4) ในกรณีที่จำนวนรางเคเบิลมากกว่าหนึ่งราง ตัวคูณปรับค่าให้คิดจากรางเคเบิลที่มีกลุ่มวงจรมากที่สุด*

*5) กรณีจำนวนรางเคเบิล 1 ราง และกลุ่มวงจรมากกว่า 9 ให้ใช้ตัวปรับค่าเช่นเดียวกับ 9 กลุ่มวงจร*

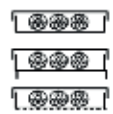
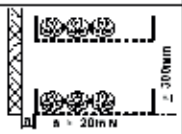
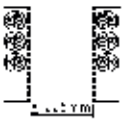
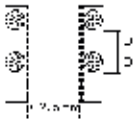
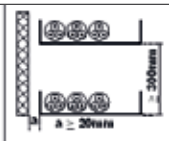
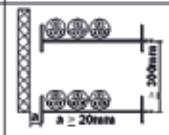
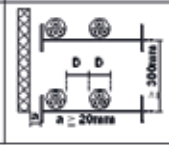
**ตารางที่ 5-40(ก)**

**ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว วางบนรางเคเบิล เป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร**

| ช่องที่ 1<br>จำนวนกลุ่มวงจร | ช่องที่ 2<br>ตัวปรับค่ารางเคเบิลมีฝาปิดทั้ง 3 แบบ | ช่องที่ 3<br>ตัวปรับค่ารางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ |
|---|---|---|
| 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 เมื่อวางบนรางเคเบิลเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร**

| วิธีการติดตั้ง | | จำนวนรางเคเบิล | จำนวนเคเบิลต่อรางเคเบิล | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5-6 | 7-9 |
| รางเคเบิลมีฝาปิด แบบระบายอากาศ แบบบันได และ แบบล้างน้ำ |  | 1 | พูดตารางที่ 5-40 (n) 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 | - |
| รางเคเบิลแบบระบายอากาศวางแนวตั้ง (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 |
| รางเคเบิลแบบระบายอากาศวางแนวตั้ง (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***

1) *ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการวางสายไฟฟ้าชั้นเดียวเท่านั้น*

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

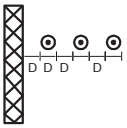
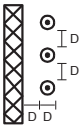
3) *ตัวคูณปรับค่าขนาดกระแสให้ใช้กับการติดตั้งรางเคเบิลในแนวดิ่งที่มีระยะห่างระหว่างรางเคเบิลในแนวราบ ไม่น้อยกว่า 225 มม. เท่านั้น*

4) *ในกรณีที่จำนวนรางเคเบิลมากกว่าหนึ่งราง ตัวคูณปรับค่าให้คิดจากรางเคเบิลที่มีกลุ่มวงจรมากที่สุด*

5) *กรณีจำนวนรางเคเบิล 1 ราง และกลุ่มวงจรมากกว่า 9 ให้ใช้ตัวปรับค่าเช่นเดียวกับ 9 กลุ่มวงจร*

**ตารางที่ 5-42**

**ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มฉนวนพีวีซีตาม มอก.293-2541 ขนาดแรงดัน ($U_0$/U) ไม่เกิน 450/750 โวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70 ºC อุณหภูมิโดยรอบ 40 ºC เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ**

| รูปแบบการติดตั้ง |  |  |
|---|---|---|
| ขนาดสาย (ตร.มม.) | ขนาดกระแส (แอมแปร์) | |
| 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*** *อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 ºC ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43* | | |

**ตารางที่ 5-43**

**ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 ºC ใช้กับค่าขนาดกระแสของเคเบิล เมื่อเดินในอากาศ**

| อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส) | 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 ºC ใช้กับค่าขนาดกระแสของเคเบิล เมื่อเดินใต้ดิน**

| อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส) | 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 | 1.0 | 1.0 |
| 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 กิโลโวลต์ ฝังดินโดยตรง เมื่อวางเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร วางเรียงกันแนวระดับ**

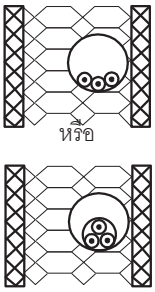
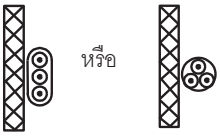
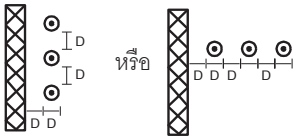
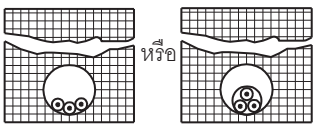
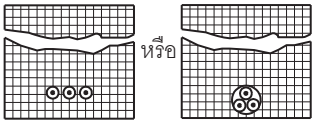
| จำนวนวงจร | ระยะห่างระหว่างผิวด้านนอกเคเบิล แต่ละวงจร (มม.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | วางชิดกัน | เส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล 1 เส้น | 125 | 250 | 500 |
| 2 | 0.75 | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.90 |
| 3 | 0.65 | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 |
| 4 | 0.60 | 0.60 | 0.70 | 0.75 | 0.80 |
| 5 | 0.55 |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

**ตารางที่ 5-46**

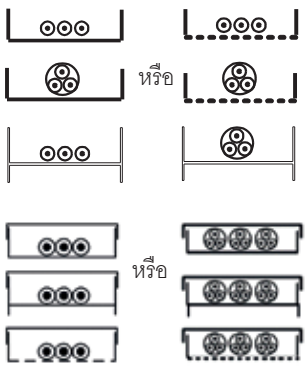
**ตัวคูณปรับค่าสำหรับสายเคเบิลแกนเดียว หรือหลายแกน ขนาดแรงดัน ($U_0/U$) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ ร้อยท่อฝังดินโดยตรง เมื่อวางเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร วางเรียงกันแนวระดับ**

| 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 |
|---|---|---|---|
| สายแกนเดียวหรือหลายแกน หุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินช่องเดินสายโลหะหรืออโลหะ ภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อน หรือผนังกันไฟ |  | กลุ่มที่ 1 | ฝ้าเพดาน หรือผนังกันไฟที่เป็นฉนวนความร้อนคือวัสดุที่มีค่าการนำทางความร้อน (thermal con-ductance) อย่าง น้อย 10 $W/m^2 \bullet K^*$ |
| สายแกนเดียวหรือหลายแกน หุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินในช่องเดินสายโลหะหรืออโลหะเดินเกาะผนังหรือเพดาน หรือฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกัน |  | กลุ่มที่ 2 | กรณีฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกันผนังนั้นจะต้องมีค่าความต้านทานความร้อน (thermal resistivity) ไม่เกิน 2 $K \bullet m/W$ |
| สายแกนเดียวหรือหลายแกน หุ้มฉนวนมีเปลือกนอก เดินเกาะผนัง หรือเพดาน ที่ไม่มีสิ่งปิดหุ้มที่คล้ายกัน |  | กลุ่มที่ 3 | - |
| สายเคเบิลแกนเดียวหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก วางเรียงกันแบบมีระยะห่าง เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ |  | กลุ่มที่ 4 | ระยะห่างถึงผนังและระหว่างเคเบิลไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล |
| สายแกนเดียวหรือหลายแกน หุ้มฉนวนมีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรืออโลหะฝังดิน |  | กลุ่มที่ 5 | - |
| สายแกนเดียว หรือหลายแกน หุ้มฉนวน มีเปลือกนอก ฝังดินโดยตรง |  | กลุ่มที่ 6 | - |

**ตารางที่ 5-47 (ต่อ)**
**รูปแบบการติดตั้งอ้างอิง**

| วิธีการเดินสาย | รูปแบบการติดตั้ง | ลักษณะการติดตั้ง | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|
| สายเคเบิลแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก วางบนรางเคเบิลมีฝาปิดและไม่มีฝาปิดแบบด้านล่างทึบ, รางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือรางเคเบิลแบบบันได |  | กลุ่มที่ 7 | รางเคเบิลแบบระบายอากาศจะต้องมีพื้นที่รูระบายอากาศไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของพื้นผิวรางเคเบิลทั้งหมด |
| **หากไม่มีเอกสารยืนยันว่าค่าการนำความร้อนมีค่าน้อยกว่า 10 W/m$^2$.K ให้ถือว่าการเดินสายร้อยท่อภายในฝาเพดาน หรือผนังกันไฟใด ๆ จะต้องมีค่าขนาดกระแสตามลักษณะการติดตั้งตามกลุ่มที่ 1 นี้ ระบุไว้* | | | |

**ตารางที่ 5-48**

**ข้อกำหนดการใช้งานของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดง หุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก.11-2553 มอก.11 เล่ม 101-2559**

| รหัสชนิดเคเบิล/ชื่อเรียก | ขนาดสาย (ตร.มม.) | ลักษณะตัวนำ | จำนวนแกน | อุณหภูมิตัวนำ | เปลือกนอก | แรงดันไฟฟ้า Uo/U (โวลต์) | การใช้งาน |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60227 IEC 01 | 1.5-400 | เดี่ยวแข็ง (Solid) หรือตีเกลียว (Stranded) | แกนเดียว | 70°C | ไม่มี | 450/750 | • ใช้งานทั่วไป<br>• เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย<br>• ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง |
| 60227 IEC 02 | 1.5-240 | ฝอย (Flexible) | แกนเดียว | 70°C | ไม่มี | 450/750 | • ใช้งานทั่วไป<br>• เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย<br>• ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง |
| 60227 IEC 05 | 0.5-1.0 | เดี่ยวแข็ง (Solid) | แกนเดียว | 70°C | ไม่มี | 300/500 | • ใช้งานทั่วไป<br>• เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย<br>• ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง |
| 60227 IEC 06 | 0.5-1.0 | ฝอย (Flexible) | แกนเดียว | 70°C | ไม่มี | 300/500 | • ใช้งานทั่วไป<br>• เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย<br>• ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง |
| 60227 IEC 07 | 0.5-2.5 | เดี่ยวแข็ง (Solid) | แกนเดียว | 90°C | ไม่มี | 300/500 | • ใช้งานทั่วไป<br>• เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย<br>• ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง |

**ตารางที่ 5-48 (ต่อ)**

**ข้อกำหนดการใช้งานของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดง หุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก.11-2553 มอก.11 เล่ม 101-2559**

| รหัสชนิดเคเบิล/ชื่อเรียก | ขนาดสาย (ตร.มม.) | ลักษณะตัวนำ | จำนวนแกน | อุณหภูมิตัวนำ | เปลือกนอก | แรงดันไฟฟ้า Uo/U (โวลต์) | การใช้งาน |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60227 IEC 08 | 0.5-2.5 | ฝอย (Flexible) | แกนเดียว | 90°C | ไม่มี | 300/500 | ● ใช้งานทั่วไป<br>● เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย<br>● ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง |
| 60227 IEC 10 | 1.5-35 | ตีเกลียว (Stranded) | หลายแกน (มี/ไม่มีสายดิน) | 70°C | มี | 300/500 | ● ใช้งานทั่วไป<br>● เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย<br>● วางบนรางเคเบิล<br>● 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<br>● ใช้งานภายในเครื่องใช้ไฟฟ้า |
| 60227 IEC 53 | 0.75-2.5 | ฝอย (Flexible) | หลายแกน (มี/ไม่มีสายดิน) | 70°C | มี | 300/500 | ● ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ (ใช้งานหนัก)<br>● ใช้ต่อเข้าดวงโคม |
| 60227 IEC 56 | 0.5-0.75 | ฝอย (Flexible) | หลายแกน (มี/ไม่มีสายดิน) | 90°C | มี | 300/300 | ● ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ (ใช้งานหนัก) |

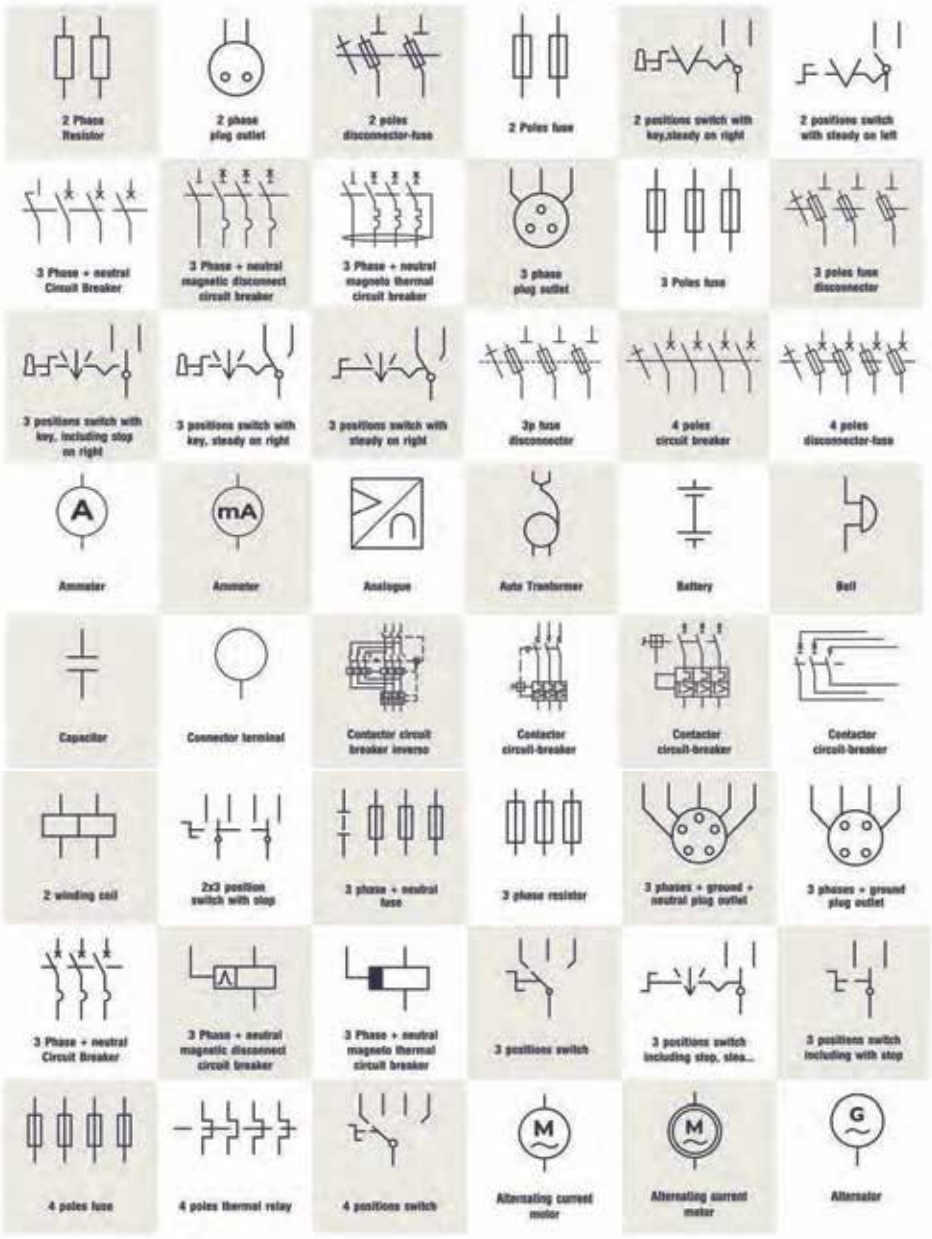
**ตารางที่ 5-48 (ต่อ)**

**ข้อกำหนดการใช้งานของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดง หุ้มฉนวนพีวีซี ตาม มอก.11-2553 มอก.11 เล่ม 101-2559**

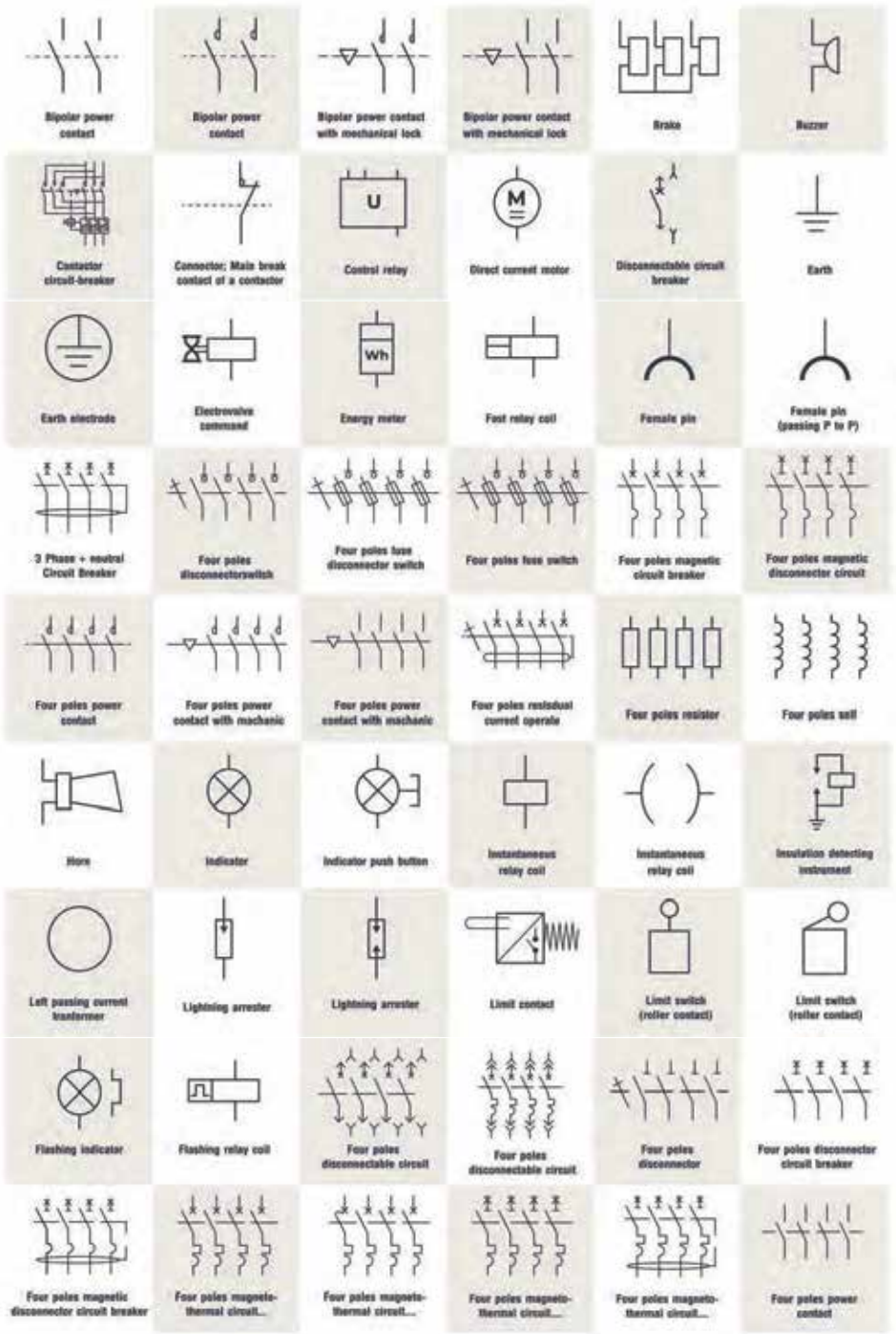
| รหัสชนิดเคเบิล/ชื่อเรียก | ขนาดสาย (ตร.มม.) | ลักษณะตัวนำ | จำนวนแกน | อุณหภูมิตัวนำ | เปลือกนอก | แรงดันไฟฟ้า Uo/U (โวลต์) | การใช้งาน |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60227 IEC 57 | 0.75-2.5 | ฝอย (Flexible) | หลายแกน (มี/ไม่มีสายดิน) | 90°C | มี | 300/500 | ● ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้ (ใช้งานหนัก)<br>● ใช้ในดวงโคมไฟฟ้าที่มี/ไม่มีบัลลาสต์<br>● ใช้ในป้ายโฆษณา/ป้ายไฟฟ้า |
| NYY | 1-500 | ตีเกลียว (Stranded) | แกนเดี่ยว | 70°C | มี | 450/750 | ● ใช้งานทั่วไป<br>● วางบนรางเคเบิล<br>● ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง |
| | 1-300 | | หลายแกน | | | | |
| NYY-G | 1-300 | | หลายแกน มีสายดิน | | | | |
| VAF<br>VAF-G | 1-16 | เดี่ยวแข็ง (Solid) หรือตีเกลียว (Stranded) | 2 แกน<br>2 แกนมีสายดิน | 70°C | มี | 300/500 | ● เดินเกาะผนัง<br>● เดินในช่องเดินสาย ห้ามร้อยท่อ<br>● ห้ามฝังดิน |
| VCT<br>VCT-G | 1-35 | ฝอย (Flexible) | แกนเดี่ยว หลายแกน และหลายแกนมีสายดิน | 70°C | มี | 450/750 | ● ใช้งานทั่วไป<br>● ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า<br>● วางบนรางเคเบิล<br>● ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง |
| ***หมายเหตุ*** *การใช้งานต้องสอดคล้องกับวิธีการเดินสายด้วย* | | | | | | | |

# สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าที่ระบุในแบบงานระบบไฟฟ้า

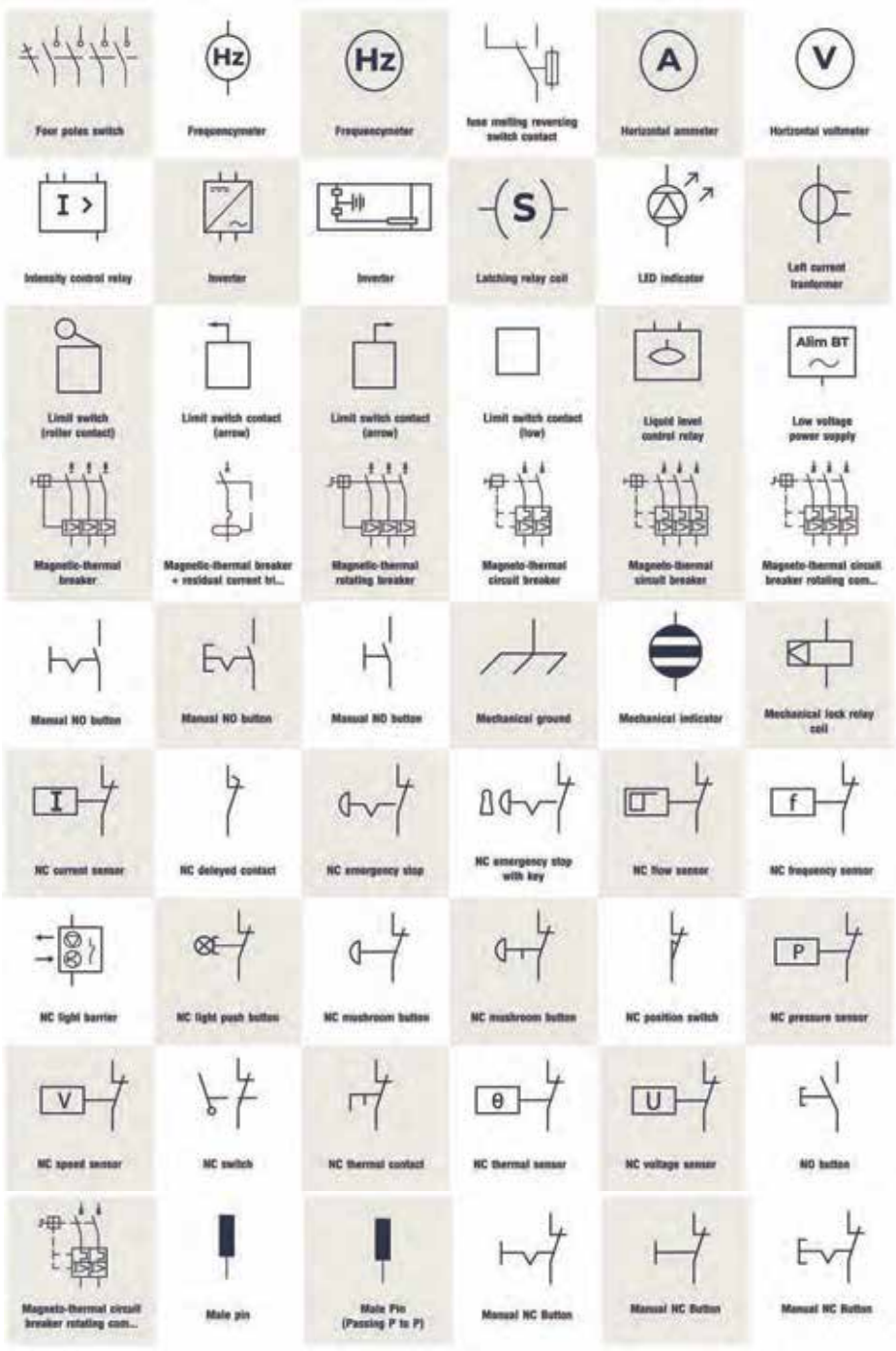
1. ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับแผงสวิตช์ไฟฟ้า



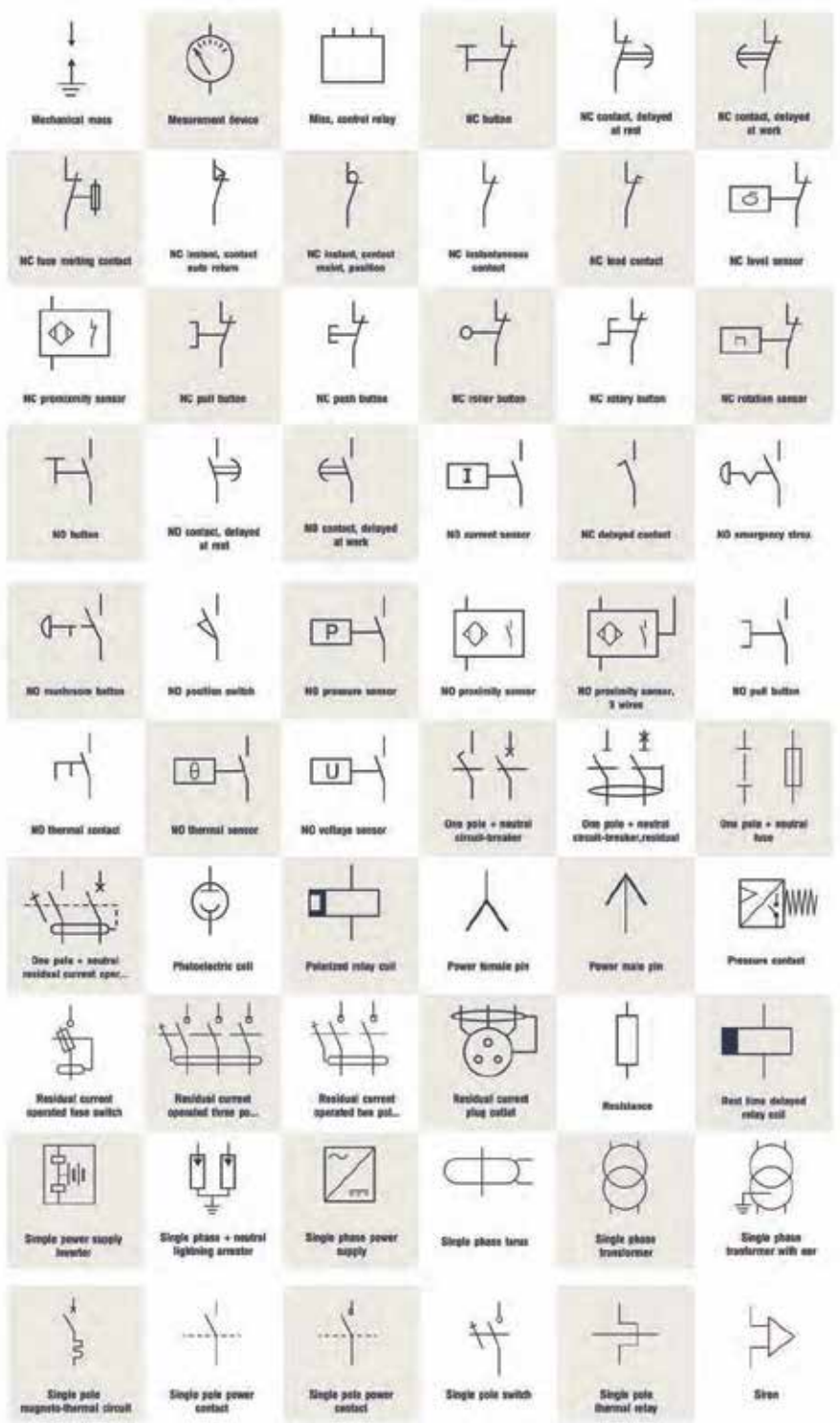

อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60617



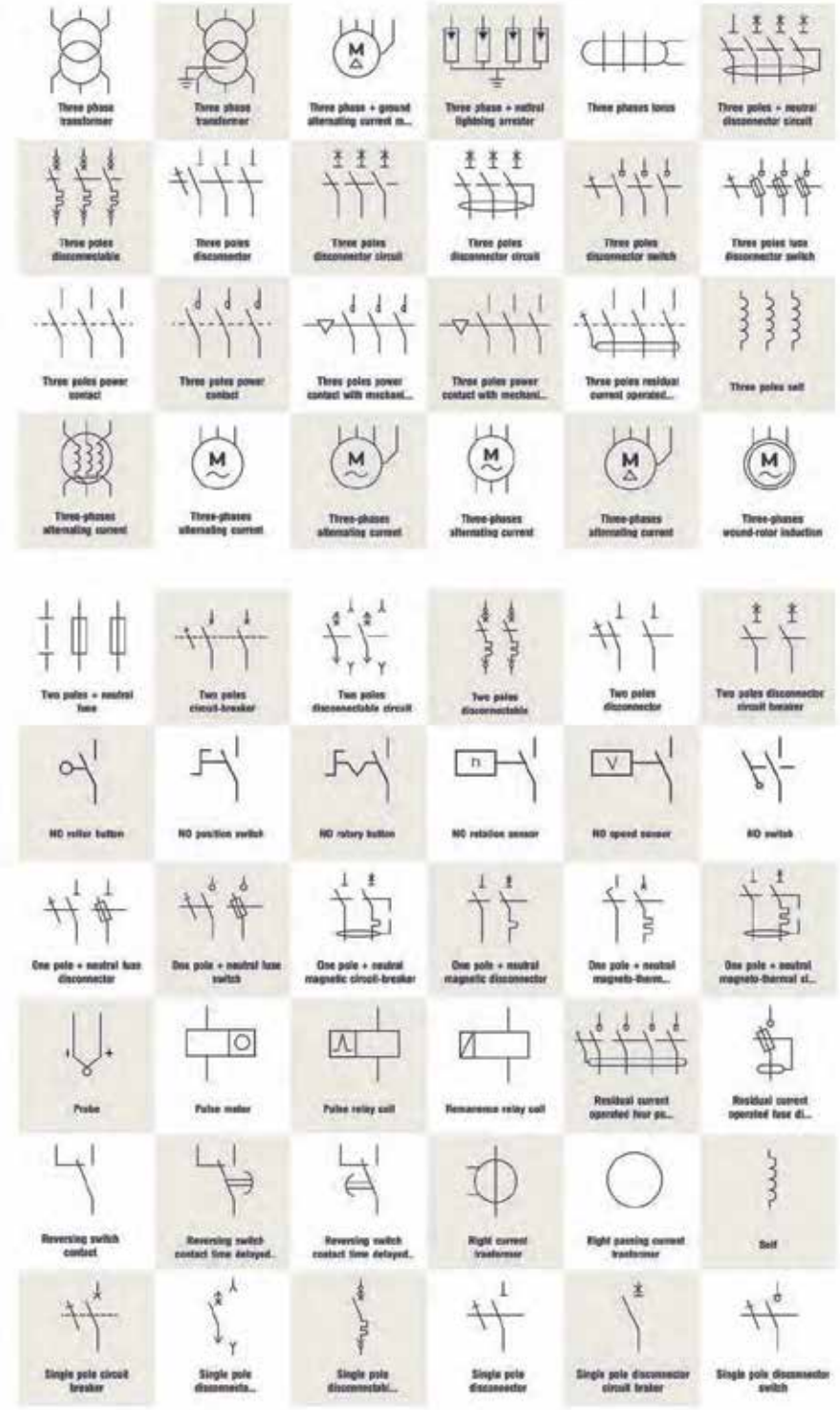

**อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60617**



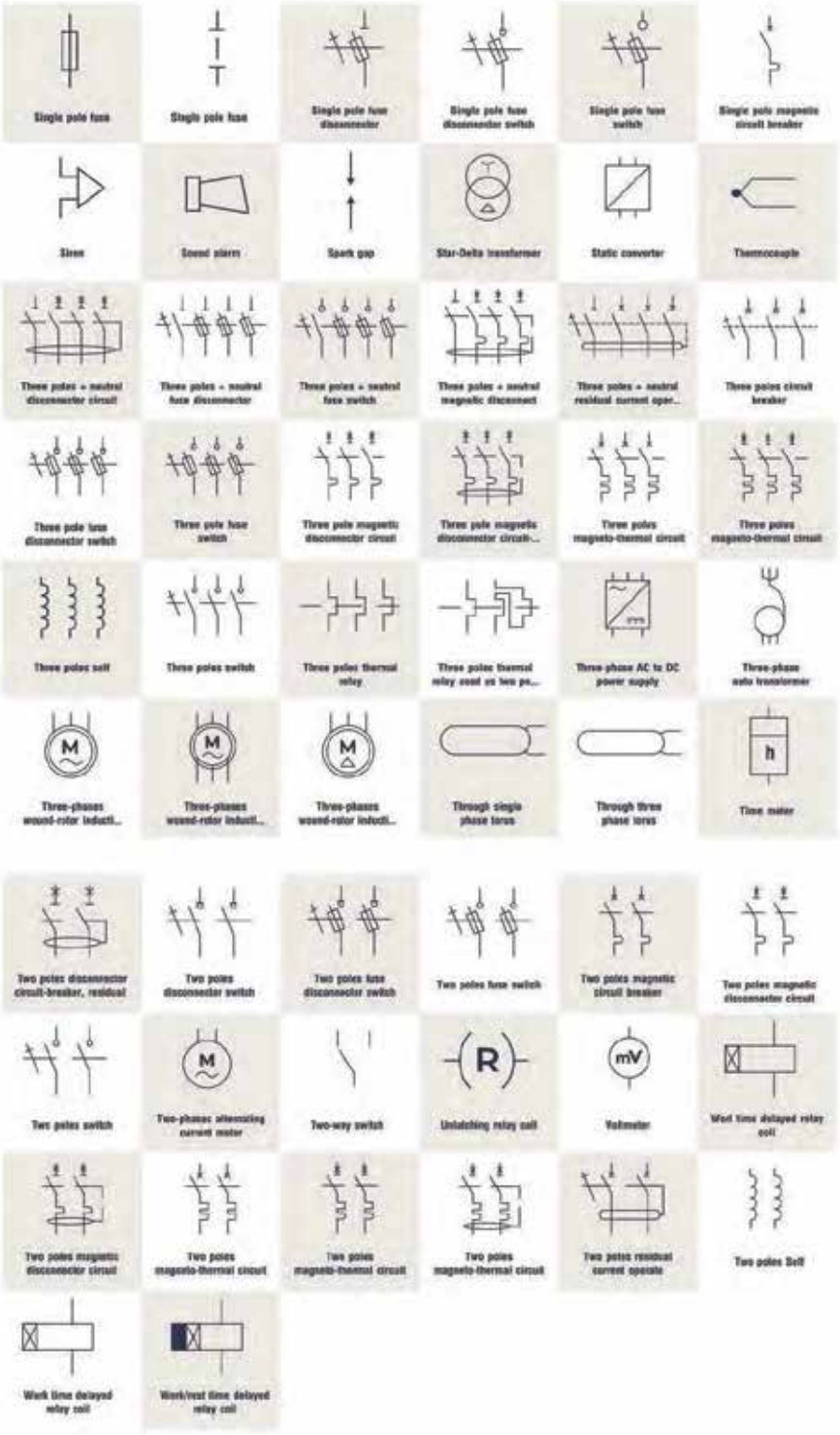

**อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60617**




**อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60617**




**อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60617**




**อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60617**

**2. ตัวอย่างอักษรย่อที่เกี่ยวข้องกับการเดินพาดสายไฟ**

| GENERAL ABBREVIATION | |
|---|---|
| **SYMBOL** | **DESCRIPTION** |
| **AC** | ABOVE CEILING LEVEL |
| **AFF** | ABOVE FINISHED FLOOR |
| **BC** | BARE COPPER CONDUCTOR |
| **C** | AT CEILING LEVEL |
| **Cu** | COPPER |
| **EC** | EMPTY CONDUIT |
| **EMT** | ELECTRICAL METALLIC TUBING |
| **EXP** | EXPLOSION PROOF |
| **GRD** | GROUND CONDUCTOR |
| **FLEX** | FLEXIBLE METAL CONDUIT |
| **IMC** | INTERMIDIATE METAL CONDUIT |
| **NIC** | NOT IN CONTRACT |
| **RSC** | RIGID STEEL CONDUIT |
| **WP** | WEATHERPROOF |

3. ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าสื่อสาร

## TEL. SYSTEM SYMBOLS

| SYMBOL | DESCRIPTION |
|---|---|
| PABX | PRIVATE AUTOMATIC BRANCH EXCHANGE |
| ATT | ATTENDANT CONSOLE (OPERATOR) |
| MDF | MAIN DISTRIBUTION FRAME |
| TC/X | TELEPHONE WIRE TERMINATION CABINET, LOCATED AT 'x' |
| | TELEPHONE OUTLET, MINIATURE (MODULAR JACK) TYPE 4-POLE |
| | FLOOR TYPE TELEPHONE OUTLET |
| T | TELEPHONE HANDHOLE |
| n | TELEPHONE OUTLET FOR EXTENSION LINE NUMBERRED 'n' (MODULAR JACK TYPE4-PLOE) |
| | TELEPHONE OUTLET FOR DIRECT LINE (MODULAR JACK TYPE4-PLOE) |
| | ONE OF 4-CORE 0.5 mm.(TIEV) INCONDUIT Ø 1/2" INCH. |
| x | "x" OF 4-CORE 0.5 mm.(TIEV) INCONDUIT Ø 1/2" INCH. |
| x,y | "X" OF 4-CORE 0.5 mm.(TIEV) INCONDUIT Ø "Y" INCH. |

## COMPUTER SYSTEM SYMBOLS

| SYMBOL | DESCRIPTION |
|---|---|
| C | COMPUTER OUTLET |
| HUB/n | HUB (DISTRIBUTION PANEL FOR DATA SYSTEM) NUMBERRED 'n'; WITH SWITCH 10/100/1000 Mbyte |

**3. ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าสื่อสาร (ต่อ)**

| CCTV SYMBOL | |
|---|---|
| **SYMBOL** | **DESCRIPTION** |
| CCTV | CCTV PANEL WITH SWITCHER MULTIPLEXER |
|  | CCTV CAMERA (HALF DOME) |
|  | CCTV CAMERA (WATHER PROOF) |

| MATV. SYSTEM | |
|---|---|
| **SYMBOLS** | **DESCRIPTION** |
|  | ANTENNA |
|  | 2-WAY SPLITER |
|  | 3-WAY SPLITER |
|  | 1-WAY TAP-OFF |
|  | 2-WAY SPLITER |
|  | 4-WAY SPLITER |
|  | TELEVISION SOCKET |
|  | HEAD END AMPLIFIER |
|  | SATELITE |

4. ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้

| FIRE ALARM SYMBOLS | |
|---|---|
| **SYMBOL** | **DESCRIPTION** |
| W | FIRE ALARM CONTROL PANEL |
| A ANN | ANNUNCIATOR BOARD |
| CM x | ADDRESSABLE CONTROL MODULE FOR ZONE "x" |
| DM x | ADDRESSABLE DETECTOR MODULE FOR ZONE "x" |
| GANN | GRAPHIC ANNUN CIATOR |
| RGANN | REMOTE GRAPHIC ANNUN CIATOR |
| SD | SMOKE DETECTOR (PHOTOELECTRIC TYPE) |
| SD AD | ADDRESSABLE SMOKE DETECTOR |
| H | COMBINATION TYPE HEAT DETECTOR (RATE-OF-RISE & FIXED TEMP) |
| H 200°F | FIXED TEMPERATURE HEAT DETECTOR OF (200F) |
| H AD | ADDRESSABLE HEAT DETECTOR |
| M | MANUAL STATION (TYPE AS SPECIFIED) |
| H | HORN WITH STROBE LIGHT |
| | END-OF-LINE RESISTOR |
| | WREING WITH 2 OF 1.5 mm. CONDUCTORS IN O 1/2 INCH CONDUIT |
| n-x,y | WREING WTH "n" OF "x"2mm. CONDUCTORS IN O "y" INCHES CONDUIT |

4. ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ (ต่อ)

| FIRE ALARM SYSTEM | |
|---|---|
| **SYMBOLS** | **DESCRIPTION** |
| H | HEAT DETECTOR |
| S | SMOKE DETECTOR |
| B | ALARM BELL |
| M | MANUAL STATION |
|  | END OF LINE ELEMENT |
| MM | MONITOR MODULE |
| CM | CONTROL MODULE |
| FI | FAULT SOLATOR MODULE |
| FCP | FIRE ALARM CONTROL PANEL |
| ANN | ANNUNCIATOR |
|  | MONITOR MODULE FOR KEY SWITCH |
|  | INDICATOR LAMP LED |

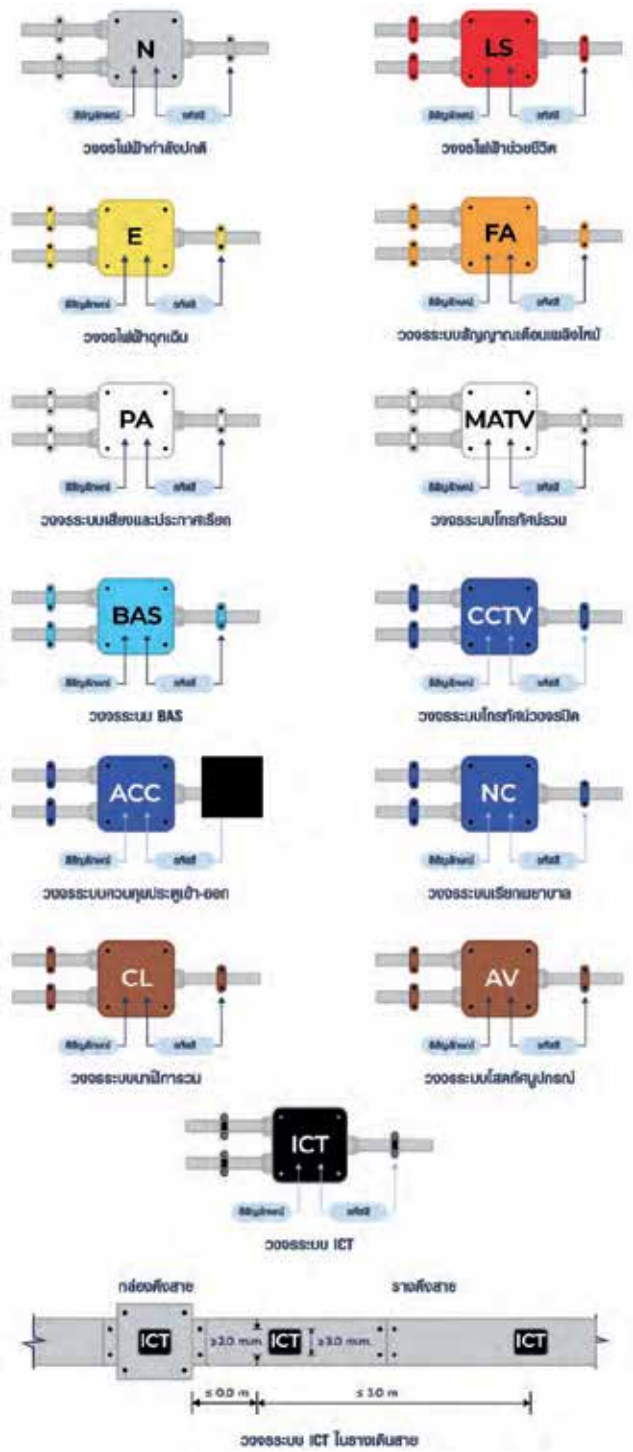
**5. ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งสวิตซ์และเต้ารับ**

| SWITCHES SYSTEM | |
|---|---|
| **SYMBOLS** | **DESCRIPTION** |
| S1 | 10 A. ONE WAY SWITCH |
| S2 | TWO-WAY SWITCH |
| SD | DIMMER SWITCH |
| SF | SWITCH FAN |
| | DUPLEX OUTLET 2P+E WITH GROUND |
| WP | DUPLEX OUTLET 2P+E WITH PROOF |
| | SIMPLEX OUTLET 2P+E WITH GROUND |
| Ref | REFIXGERATOR OUTLET |

**6. ตัวอย่างของสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง**

| LIGHTING FIXTURE | |
|---|---|
| **SYMBOLS** | **DESCRIPTION** |
| | ELECTRICAL FAN 5 BRAND |
| | ดวงโคม DOWNLIGHT ติดใต้ฝ้าเพดาน |
| | ดวงโคม DOWNLIGHT ฝังฝ้าเพดาน |
| | ดวงโคม DOWNLIGHT แขวนฝ้าเพดาน |
| | ดวงไฟกิ่งติดผนัง |
| | ดวงโคมฝังผนัง |
| | SPOT LIGHT |
| | โคมไฟสนาม (ระบุรุ่นภายหลัง) |
| | UNDERWATERLIGHT |
| | ดวงโคม FLUORESCENT T5 ยาว 0.60 ม |
| | 1x28 W. FLUORESCENT T5 LOUVER REFLECTER WITH BALLAST LOWWATT LOSS |
| | 1x18 W. FLUORESCENT T5 LAMP WITH PRIMATIC DIFFUSER |
| | STEP LIGHT WITH 5W.LED 12V DC LAMP, OUTDOOR TYPE. |
| | SPOT LIGHT 12 W LED LAMP |
| | LANSCAPE LIGHTING LED TYPE LAMP 12 W 12V DC |
| | POOL LIGHT WITH 12W./12V/220V LED LAMP |
| | 1x12W. LED-LAMP.,UP LIGHT |
| | 1x32W FLUORESCENT SQUARE TYPE WITH BALLAST LOWWATT LOSS |
| | LOW BAY DIA 315 mm. WITH TCD 26W COMPACT FLUORESCENT LAMP. |
| | CEILING OR WALL MOUNTED EXIT SIGN LUMINAIRE LED 3 W |
| | BATTERY EMERGENCY LIGHT 2 HOUSE 2X5 W LED |
| | EMERGENCY DOWN LIGHT 1x3 W LED WITH BATTERY 2 HOUSE |

**7. รหัสสีและสัญลักษณ์สำหรับงานระบบฯ**



# เอกสารอ้างอิง


1. มาตรฐานติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย 2545 ฉบับปรับปรุง ปี พ.ศ. 2556.

2. เอกสารประกอบคำบรรยายการสอน “มาตรฐาน การเลือกใช้ การออกแบบ และการบำรุงแผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ”

3. เอกสารบทความ “เหมือนเล็กน้อยกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ ตอนที่ 1 และ ตอนที่2” ของ อาจารย์ เตชทัต บูรณะอัศวกุล

4. เอกสารบทความ “การบริหารจัดการตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า หลังจากวิกฤติมหาอุทกภัย ในปี 2011” ของ อาจารย์ เตชทัต บูรณะอัศวกุล

5. สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม: มอก.1436 – 2540.

6. International Engineering Commission: IEC 60439-1,2, IEC 61439-1,2,3, IEC 60529, IEC 60898, IEC 60947-2 เป็นต้น.

7. ASEFA: Blokset as IEC 60439-1, IEC 61439-1,2,3 information and Engineering. ASEFA ‘s Planner.

8. Schneider Electric: Blokset as IEC60439-1, IEC61439-1,2,3 and Circuit breaker information

มาตรฐานติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย 2545 ฉบับปรับปรุง ปี พ.ศ. 2556.

เอกสารการบรรยายและการสอน มาตรฐาน การออกแบบ การเลือกใช้ การติดตั้งและการบำรุงรักษา สวิตช์เกียร์ไฟฟ้าแรงดันสูง ของ อาจารย์ เตชทัต บูรณะอัศวกุล

เอกสารและภาพประกอบผลิตภัณฑ์ของทาง บริษัท ชไนเดอร์ อิเล็คทริค(ประเทศไทย) จำกัด

IEC standard จาก สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม

**บรรณานุกรม**


กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). *กฎกระทรวงพลังงาน กำหนดประเภทหรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน*. https://webkc.dede.go.th/testmax/node/5297

กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2535). *กฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 33 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร*. https://download.asa.or.th/03media/04law/cba/mr/mr35-33-upd69.pdf

กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2537). *กฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 39 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร*. https://download.asa.or.th/03media/04law/cba/mr/mr37-39-upd63.pdf

กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2555). *กฎกระทรวงมหาดไทย เรื่อง กำหนดประเภทและระบบความปลอดภัยของอาคารที่ใช้เพื่อประกอบกิจการเป็นสถานบริการ พ.ศ. 2555.* https://info.dpt.go.th/app-service/wan/lawdpt/data/02/2560/129_30a_300355_100860.PDF

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. (2554). *กฎกระทรวงแรงงาน ความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน มาตรา 6*. https://www.tosh.or.th/images/file/2016/osh-act.b.e.2554.pdf

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. (2558). *กฎกระทรวงแรงงาน กำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้า*. https://ubonratchathani.labour.go.th/attachments/article/142/%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%AF.pdf

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. (2565). *กฎกระทรวงแรงงาน การจัดให้มีเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานบุคลากร หน่วยงาน หรือคณะบุคคล เพื่อดำเนินการด้านความปลอดภัยในสถานประกอบกิจการ พ.ศ. 2565*. https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2565/A/039/T_0009.PDF

การไฟฟ้านครหลวง. (ม.ป.ป.). *เอกสารทางเทคนิคระบบจำหน่ายไฟฟ้า*. การไฟฟ้านครหลวง.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.). (2548). *ระบบเคเบิ้ลใต้ดิน*. ม.ป.พ.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2560). *ผลการศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้าจากฐานข้อมูลของกองเศรษฐกิจพลังไฟฟ้า*. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (ม.ป.ป.). *เอกสารทางเทคนิคระบบจำหน่ายไฟฟ้า*. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.

เกษียร สุขีโมกข์. (2567, พฤษภาคม). การออกแบบ BESS ร่วมกับ PV system. *เอกสารประกอบการสัมมนาแนวทางการออกแบบติดตั้งบำรุงรักษา ระบบ SOLAR ROOFTOP และระบบกักเก็บพลังงาน อย่างปลอดภัยและคุ้มค่า*. โรงแรม เอสซี ปาร์ค, กรุงเทพฯ.

เตชทัต บูรณะอัศวกุล. (2560ก). บทที่ 1 ความปลอดภัยเบื้องต้นในการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า. *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ* (หน้า 3-34). สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย: โชติอนันต์ ครีเอชั่น.

เตชทัต บูรณะอัศวกุล. (2560ข). บทที่ 5 หลักการใช้ทั่วไปของเครื่องใช้ไฟฟ้าสำหรับใช้ในที่อยู่อาศัย. *ช่างไฟฟ้า และ วิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ* (น. 95-100). สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย โชติอนันต์ ครีเอชั่น.

เตชทัต บูรณะอัศวกุล. (2564ค, 29 มกราคม). *เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง ทุกชีวิตมีคุณค่าปลอดภัยด้วยเครื่องตัดไฟรั่ว สำหรับยุคนี้ EV, Solar, ปลั๊กพ่วง etc.*. สภาวิศวกร, กรุงเทพฯ.

เตชทัต บูรณะอัศวกุล. (2567ก, 27 เมษายน). *เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง การประยุกต์ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ สำหรับ Ground fault protection*. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

เตชทัต บูรณะอัศวกุล, (2567ข, มิถุนายน). บทที่ 2 มาตรฐานสายไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า. *เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย*. โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.

เตชทัต บูรณะอัศวกุล. (2567ค, มิถุนายน). บทที่ 6 บริภัณฑ์ไฟฟ้า. *เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย.* โรงแรม เอส รัชดา, กรุงเทพฯ.

เตชทัต บูรณะอัศวกุล. (ม.ป.ป.ก). *สวิตช์เกียร์และคอนโทรลเกียร์ แรงดันต่ำ*. สภาวิศวกร.

เตชทัต บูรณะอัศวกุล. (ม.ป.ป.ข). *สวิตช์เกียร์และคอนโทรลเกียร์ แรงดันปานกลาง.* สภาวิศวกร.

นทีกานต์ สุเมธสิทธิกุล. (ม.ป.ป.). *การวางแผนโครงการด้วย PERT/CPM*. http://staff.cs.psu.ac.th/natikan/344-381/pret-cpm_1/pert.htm

บริษัท เข็มเหล็ก จำกัด. (ม.ป.ป.). T*echnical Presentation of solar rooftop* [แผ่นพับ]. บริษัท.

บริษัท เจริญชัย หม้อแปลง จำกัด. (ม.ป.ป.). *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิคของหม้อแปลงไฟฟ้า*. บริษัท.

บริษัท นาโน อิเลคทริค จำกัด. (ม.ป.ป.ก). *เอกสารทางเทคนิคเซอร์กิตเบรกเกอร์.* บริษัท.

บริษัท นาโน อิเลคทริค จำกัด. (ม.ป.ป.ข). *เอกสารทางเทคนิคสวิตช์และเต้ารับ.* บริษัท.

บริษัท ยู-การผลิต จำกัด. (ม.ป.ป.). *Brochure and technical data of conduit* [แผ่นพับ]. บริษัท.

บริษัท ยูไอ สตีลไพพ์ จำกัด (ม.ป.ป.). *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ]. บริษัท.

บริษัท ศรีเจริญ คอนดูเลต จำกัด. (ม.ป.ป.). *Brochure of electrical conduit fittings & accessories* [แผ่นพับ]. บริษัท.

บริษัท สยามวินพาร์ท อินดัสทรี จำกัด (ม.ป.ป.). Brochure and presentation of electrical fittings and accessories [แผ่นพับ]. บริษัท.

บริษัท อธิพัฒน์-ธนวัต จำกัด. (ม.ป.ป.). *Brochure and technical data of conduit and fitting* [แผ่นพับ]. บริษัท.

บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน). (ม.ป.ป.). *เอกสารการบรรยายและเอกสารทางเทคนิค* [แผ่นพับ]. บริษัท.

บริษัท เอวีร่า จำกัด. (ม.ป.ป.ก). *เอกสารทางเทคนิคคาปาซิเตอร์.* บริษัท.

บริษัท เอวีร่า จำกัด. (ม.ป.ป.ข). *เอกสารทางเทคนิคอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ*. บริษัท.

บริษัท แอร์โรว์ ซินดิเคท จำกัด (มหาชน). (ม.ป.ป.). *Brochure and technical data of conduit* [แผ่นพับ]. บริษัท.

บริษัท ฮาโก้ อิเลคทริค (ประเทศไทย) จำกัด. (ม.ป.ป.). *Brochure and technical data of conduit* [แผ่นพับ]. บริษัท.

บริษัท ฮาโก้ อิเลคทริค (ประเทศไทย) จำกัด. (ม.ป.ป.). T*echnical Presentation of solar rooftop* [แผ่นพับ]. บริษัท.

ประสาน รัตนสาลี. (ม.ป.ป.). *การสร้าง, S-Curve เพื่อติดตามงานสร้าง โดย MS Excel (S-Curve for monitor)*. ม.ป.พ.

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. (2559). *การออกแบบระบบไฟฟ้า*. โซติอนันต์ครีเอชั่น

ลือชัย ทองนิล. (2560). *การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า* (พิมพ์ครั้งที่ 34). สำนักพิมพ์ภาษาและวัฒนธรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

วิกิพีเดีย. (ม.ป.ป.). *กราวด์ (ไฟฟ้า).* https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%94%E0%B9%8C_(%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2)

วิทยา ธีระสาส์น. (ม.ป.ป.). *เอกสารการบรรยาย การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า*. ม.ป.พ.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.). (2565). *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย: ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา พ.ศ. 2565*. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สภาวิศวกร. (2566). *กฎกระทรวงมหาดไทย กำหนดสาขาวิชาชีพวิศวกรรมและวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม*. https://coe.or.th/pro-law/13126/

สภาสถาปนิก. (2566). *พระราชบัญญัติสถาปนิก การกำหนดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล*. https://act.or.th/th/legal-1/

สมพล เจริญพงศ์พัฒนะ. (ม.ป.ป.). *แบบ Static Var Generator: SVG*. ม.ป.พ.

สมศักดิ์ วัฒนะศรีมงคล. (ม.ป.ป.). *การทดสอบแรงดันตก*. ม.ป.พ.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (ม.ป.ป.). *การกักเก็บพลังงานไฟฟ้าเคมี*. https://www.facebook.com/EppoThailand/photos/a.166889340171253/1788898201303684/?type=3

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2564). *ชุดประกอบสวิตช์เกียร์และเกียร์ควบคุมไฟฟ้าแรงดันต่ำ*. สำนักงาน.

สุธี ปิ่นไพสิฐ. (ม.ป.ป.). *สวิตช์เกียร์และคอนโทรลเกียร์ แรงดันต่ำ*. สภาวิศวกร.

เอกชัย ประสงค์. (2563, มีนาคม). *เอกสารประกอบการสัมมนา ความรู้พื้นฐานในงานช่างไฟฟ้า รุ่นที่ 6*. โรงเรียนข้าราชการส่วนท้องถิ่น, จังหวัดปทุมธานี

**ภาษาอังกฤษ**

Bangkok Cable CO.,LTD. (n.d.). *Technical data of PV cable*. n.p.

Bangkok Cable CO.,LTD. (n.d.). *Technical data presentation and photo*. n.p.

Bullard. (n.d.). หมวกดับเพลิง. https://santofire.co.th/product/firehelmet-bullard-fx/

Buranaaudsawakul, T., Thongsan, T., Lengpanich, J., & Sa-ngiamvibool, W. (2022). The impact of oversized

Buranaaudsawakul, T.; Wisaeng, K. (2021). Oversized Electrical Appliance Impacts on Condominium Energy Efficiency and Cost-Effectiveness Management: Experts' Perspectives. *Appl. Syst. Innov*. 4(4), 98. https://doi.org/10.3390/asi4040098

Dhaka farm. (n.d.). Architecture design concept. https://images.app.goo.gl/KVRSfDqm5uiZJgUW9

Eaton CO.,LTD. (n.d.). *Technical presentation for LV – MV Switchgear*. n.p.

electrical equipment on energy management of Thailand department stores. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 70(12), 35-41. https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V70I12P205

Enphase CO.,LTD. (n.d.). *Technical data for micro – inverter*. n.p.

Enrich GE CO.,LTD. (n.d.). *Technical Catalogue and presentation.* Enrich GE. n.p.

Hickey, Robert B. (2009). *Electrical engineer 's portable handbook* (2nd ed.). McGraw-Hill.

Huawei Technologies CO.,LTD. (n.d.). *Brochure and technical data presentation*. n.p.

International Electrotechnical Commission (IEC). (1999). *IEC 60439 Low voltage switchgear and controlgear assemblies*. IEC.

International Electrotechnical Commission (IEC). (2002). *IEC60898 Electrical accessories – circuit breakers for overcurrent protection for household and similar installations*. IEC.

International Electrotechnical Commission (IEC). (2007). *IEC 62271 High voltage switchgear and controlgear*. IEC.

International Electrotechnical Commission (IEC). (2016a). *IEC60364-6 Low-voltage electrical installation Part 6: Verification.* IEC.

International Electrotechnical Commission (IEC). (2016b). *IEC60909 short-circuit calculation*. IEC.

International Electrotechnical Commission (IEC). (2019a). *IEC60529 Degree of protection provided by enclosures.* IEC.

International Electrotechnical Commission (IEC). (2019b). *IEC60947-2 Low-voltage switchgear and controlgear Part 2 circuit breakers*. IEC.

International Electrotechnical Commission (IEC). (2023). *IEC 61439 Low voltage switchgear and controlgear assemblies*. IEC

Kumwell Corporation CO.,LTD. (n.d.). *Technical Catalogue, presentation and photo.* Kumwell.

Lessmartgrids. (n.d.). การทำงานของแบตเตอรี่. https://images.app.goo.gl/KVRSfDqm5uiZJgUW9

National Fire Protection Association (NFPA). (2023).*The National Electrical Code (NFPA 70)*. NFPA.

Schneider Electric. (2024a). *Low Voltage and Industry Product Price List*. Schneider Electric.

Schneider Electric. (2024b). *Brochure and technical data for LV switchgear*. Schneider Electric.

Schneider Electric. (2024c). *Brochure and technical data for MV switchgear*. Schneider Electric.

STAUBLI Electrical Connectiors AG. (n.d.) Technical presentation data. n.p.

Underground Cable System Technical Committee from EGAT&PEA&MEA. (2024, July 25). *Lecture notes for underground system,* The Queen Sirikit National Convention Center (QSNCC), Bangkok.

Wikipedia. (n.d.). *Earthing system*. https://en.wikipedia.org/wiki/Earthing_system

# ดัชนีค้นคำ


**A**

Active filter 5-51
AFCI 10-12
Air Circuit Breaker 5-89
Amorphous 10-2
Array 10-3
Auxiliary contact 5-88

**B**

Battery Energy Storage System 10-14
Bypass 2-23

**C**

Circuit-breaker 5-75
Concentrated load 6-8
CPM 11-1
Crystalline 10-2

**D**

Detuned filter 5-48
Distributed load 6-8

**E**

Earthing 4-2
Eddy Current Loss 5-28
Emergency stop 10-27
Equipment earthing 4-4

**F**

Flow chart 11-5
Fuse 5-95

**G**

Grounding 4-2

**H**

Harmonic 5-44
High side 5-13
Hysteresis Loss 5-28

**I**

IEC 60529 5-60
Imbalance 5-50
Inverter 10-12

**L**

Lead-Acid 10-29
Lithium Ion 10-30
Low side 5-13

**M**

Micro Inverter 10-20
Miniature Circuit Breaker 5-79
Motor mechanism 5-88
Moulded Case Circuit Breaker 5-83
MV Switchgear 5-2

**N**

Net - zero solution 10-33
Nickel 10-29

**P**

Partially Type-Tested low-voltage switchgear and controlgear assembly 5-55
Partition 5-61
Performance requirements 5-67
Personal Protective Equipment 2-9
PERT 11-1
Photovoltaic 10-2

Pollution 5-82
Protection and Metering 10-13
PV Cable 10-25

**R**

Rapid Shutdown 10-27
Residual Current Device 5-98
Residual current operated circuit breaker with integral over-current protection 5-100
Residual current operated circuit breaker without integral over-current protection 5-99
Residual Sensing: RS 4-12
Rotary Handle 5-88
Routine Test 5-29
RSD 10-27

**S**

S -Curve 11-3
$SF_6$ Circuit Breaker 5-5
Shunt release 5-87
Source Ground Return: SGR 4-13
Special Test 5-29
String 10-3
Sulfur hexafluoride 5-4
System earthing 4-3

**T**

Type-Tested Low-voltage switchgear and controlgear assembly 5-55

**V**

Vacuum Circuit Breaker 5-5
VCB 5-5

**Z**

Zero Sequence Sensing: ZSS 4-13

**ก**

กระแสไฟฟ้า 1-12
การกักเก็บพลังงาน 10-28
การกั้น 2-16
การกั้นแยก 1-6
การคายประจุ 5-36
การทดสอบเฉพาะแบบ 5-29
การทดสอบประจำ 5-29
การทดสอบพิเศษ 5-29
การทดสอบแรงดันตก 6-13
การบริหารโครงการ 11-1
การลัดวงจร 7-1
การวิเคราะห์ข่ายงาน 11-2
การสัมผัสโดยตรง 2-15
การสัมผัสโดยอ้อม 2-18
กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง 2-38
กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ 2-38
กำลังไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก 2-38
กำลังสูญเสียในขดลวด 5-28
กำลังสูญเสียไฟฟ้าไม่มีโหลด 5-28
กำลังสูญเสียไฟฟ้ามีโหลด 5-28

**ข**

ขดลวดทุติยภูมิ 5-13
ขดลวดปฐมภูมิ 5-13
ของเหลวติดไฟได้ 5-15

ของเหลวติดไฟยาก 5-15
ของเหลวไม่ติดไฟ 5-15
ขั้วแคโทด 10-29
ขั้วแอโนด 10-29
เข็มขัดรัด 2-12

**ค**

คลังสินค้า 1-6
ความต้านทานคายประจุ 5-36
คาปาซิเตอร์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ 5-34
คาร์ทริดฟิวส์ 5-96
เครื่องกั้นและเครื่องหมาย 2-13
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1-12
เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟ 10-18
เครื่องตัดไฟรั่ว 5-98
เครื่องวัดไฟฟ้าของห้องชุด 9-3
เครื่องห่อหุ้ม 5-20

**ฉ**

ฉนวนไฟฟ้า 1-12

**ช**

ช่องเดินสายไฟฟ้า 8-3
ชุดต่อลงดิน 2-14
ชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลัง 5-34

**ด**

ดาดฟ้า 1-3

**ถ**

ถนนสาธารณะ 1-3
ถุงมือ 2-10

**ท**

ที่ปิดหู 2-11
ที่ว่าง 1-3

**บ**

บริภัณฑ์ประธานประจำห้องชุด 9-8
บริภัณฑ์ไฟฟ้า 1-12
บริภัณฑ์ไฟฟ้า 5-1
บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ 5-1
บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันปานกลาง 5-1
บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันสูง 5-1
แบตเตอรี่ตะกั่วกรด 10-29
แบตเตอรี่นิกเกิล 10-29
แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 10-30
แบบคริสทะไลน์ 10-2
แบบไฟฟ้า 2-14
แบบอะมอร์ฟัส 10-2

**ป**

ปลั๊กฟิวส์ 5-97

**ผ**

ผนังกันไฟ 1-3
ผลกระทบของฮาร์มอนิก 5-44
แผงโซลาร์เซลล์ 10-2
แผงสวิตช์แรงดันปานกลาง 9-11
แผงสวิตช์แรงต่ำ 9-10
แผงสวิตช์ฯ แรงดันต่ำแบบที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบ 5-55
แผงสวิตช์ฯ แรงดันต่ำแบบที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบเป็นบางส่วน 5-55

**พ**

พื้นที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคาร 1-2
พื้นที่อาคาร 1-2
เพลิงประเภท ซี 1-11
เพลิงประเภท ดี 1-11

เพลิงประเภท บี 1-11
เพลิงประเภท เอ 1-11

**ฟ**

ฟิวส์ 5-95
ฟิวส์เส้น 5-95
ไฟฟ้ากระแสตรง 2-29
ไฟฟ้ากระแสสลับ 2-29
ไฟฟ้าช็อต 2-14
ไฟฟ้าลัดวงจรแบบ 3 เฟสสมดุล 7-2
ไฟฟ้าลัดวงจรแบบสาย L to L
ไม่ต่อกับสายดิน 7-2
ไฟฟ้าลัดวงจรแบบระหว่างสาย
L to earth 7-2
ไฟฟ้าลัดวงจรแบบสาย L to L
ที่ต่อกับสายดิน 7-2

**ภ**

ภัตตาคาร 1-6

**ร**

รองเท้านิรภัย 2-10
ระดับมลพิษ 5-82
ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ 10-14
ระบบท่อยืน 1-3
ระบบป้องกันฟ้าผ่า 1-15
ระบบเมตริก 2-25
ระยะเข้าถึง 1-11
รีแอคเตอร์คายประจุ 5-36
แรงดันตกคร่อม 6-1
แรงดันไฟฟ้า 1-12
โรงงาน 1-6

**ล**

ลิฟท์ดับเพลิง 1-3

**ว**

วงจรย่อย 8-6
วัตถุระเบิด 1-11
วัตถุไวไฟ 1-11
วัสดุทนไฟ 1-3
วัสดุไม่ติดไฟ 1-6
เวคเตอร์กรุ๊ป 5-26
แว่นตา 2-11

**ส**

สวิตช์ 1-12
สายป้อน 9-9
สายไฟแบบเปลือย 5-115
สายไฟฟ้า 5-108
สายไฟหุ้มฉนวน 5-116
สำนักงาน 1-6

**ห**

หมวกนิรภัย ประเภท B 2-9
หมวกนิรภัย ประเภท D 2-10
หม้อแปลง 9-10
หม้อแปลงชนิดแห้ง 5-16
หม้อแปลงน้ำมัน 5-21
หม้อแปลงไฟฟ้า 5-13
หอพัก 1-6
โหลดห้องชุดประเภทที่อยู่อาศัย 9-2
โหลดส่วนกลาง 9-2

**อ**

อาคารขนาดใหญ่พิเศษ 1-2
อาคารชุด 1-6

อาคารสูง 1-2
อาคารอยู่อาศัยรวม 1-5
อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง 7-3
อุปกรณ์ฉนวนยาง 2-12
อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล 2-9
อุปกรณ์ล็อคและป้าย 2-13

**ฮ**

ฮาร์มอนิกเรโซแนนซ์ 5-46

## รายการรูป


| รูปที่ | คำอธิบาย | หน้าที่ |
|---|---|---|
| 1.1 | ตัวอย่างกฎหมายกระทรวงมหาดไทยที่เกี่ยวข้อง | 1-1 |
| 1.2 | อาคารสูง | 1-2 |
| 2.1 | เครื่องหมายมาตรฐานทั่วไปและมาตรฐานบังคับ | 2-4 |
| 2.2 | หมวกนิรภัยสำหรับกระแสไฟฟ้าแรงดันสูง | 2-9 |
| 2.3 | หมวกนิรภัย | 2-10 |
| 2.4 | รองเท้านิรภัย | 2-10 |
| 2.5 | ถุงมือยาง | 2-11 |
| 2.6 | แว่นตา | 2-11 |
| 2.7 | ที่ปิดหู | 2-11 |
| 2.8 | เข็มขัดรัด (Safety belt) | 2-12 |
| 2.9 | อุปกรณ์ฉนวนยาง | 2-12 |
| 2.10 | เครื่องกั้นและเครื่องหมาย | 2-13 |
| 2.11 | อุปกรณ์ล็อคและป้าย | 2-13 |
| 2.12 | ชุดต่อลงดิน | 2-14 |
| 2.13 | แบบไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัย | 2-14 |
| 2.14 | การสัมผัสโดยตรง | 2-15 |
| 2.15 | การตรวจสอบฉนวนชำรุด | 2-15 |
| 2.16 | การกั้น หรือ ส่วนการกั้นทางไฟฟ้า | 2-16 |
| 2.17 | สิ่งกีดขวางหรือการทำรั้วกั้น | 2-16 |
| 2.18 | ระยะที่ไม่สามารถเอื้อมถึงได้ | 2-17 |
| 2.19 | การใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล | 2-17 |
| 2.20 | เครื่องตัดไฟรั่ว | 2-17 |
| 2.21 | การสัมผัสโดยอ้อม | 2-18 |
| 2.22 | การต่อสายดินของอุปกรณ์และการต่อสายดินของระบบไฟฟ้า | 2-18 |
| 2.23 | เครื่องปลดวงจร หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ | 2-19 |
| 2.24 | เครื่องมือหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีฉนวนหุ้มสองชั้น | 2-19 |
| 2.25 | ระบบไฟฟ้าและแสงสว่างของสระว่ายน้ำ | 2-19 |
| 2.26 | การใช้เครื่องตัดไฟรั่ว | 2-20 |
| 2.27 | พื้นที่อันตรายจากกระแสไฟฟ้า | 2-21 |
| 2.28 | ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่จะผ่านร่างกาย | 2-22 |
| 2.29 | อิมพีแดนซ์ระหว่างทั้งสองมือกับอวัยวะส่วนต่างๆ | 2-22 |

## รายการรูป


| รูปที่ | คำอธิบาย | หน้าที่ |
|---|---|---|
| 2.30 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและปริมาณกระแสที่ไหลผ่านเข้าสู่ร่างกาย | 2-23 |
| 2.31 | สัญลักษณ์ความปลอดภัย | 2-24 |
| 2.32 | โคมไฟฟ้าป้ายทางออกฉุกเฉิน และ ป้ายทางออกฉุกเฉิน | 2-24 |
| 2.33 | ความสัมพันธ์กันของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และ ความต้านทาน | 2-28 |
| 2.34 | ไฟฟ้ากระแสตรง | 2-29 |
| 2.35 | ไฟฟ้ากระแสสลับ | 2-29 |
| 2.36 | วงจรการวัดค่ากระแสไฟฟ้า โดยใช้แอมป์มิเตอร์ | 2-30 |
| 2.37 | แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า | 2-30 |
| 2.38 | แรงดันไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้า | 2-31 |
| 2.39 | การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจาก โวลต์มิเตอร์ | 2-31 |
| 2.40 | การวัดค่ากำลังไฟฟ้าจาก วัตต์อาวร์มิเตอร์ หรือ kWh meter | 2-32 |
| 2.41 | ความต้านทานและสัญลักษณ์ความต้านทาน | 2-33 |
| 2.42 | สวิตช์ไฟฟ้าทางเดียว | 2-36 |
| 2.43 | สวิตช์ไฟฟ้า 2 ทาง | 2-36 |
| 2.44 | วงจรการต่อสวิตช์ไฟฟ้าแบบทางเดียวและแบบสองทางเพื่อควบคุมหลอดไฟ | 2-37 |
| 2.45 | สัญลักษณ์ ,วิธีการต่อเต้ารับไฟฟ้า | 2-37 |
| 2.46 | วงจรเต้ารับไฟฟ้าและการตรวจสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้า | 2-38 |
| 2.47 | ตัวอย่างเฟสเซอร์ของกำลังไฟฟ้า | 2-38 |
| 2.48 | มอเตอร์และโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้า | 2-40 |
| 3.1 | ภาพระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าของประเทศไทย | 3-3 |
| 3.2 | ระบบการจ่ายไฟฟ้าของประเทศไทยและการกำกับดูแล | 3-4 |
| 4.1 | ตัวอย่างการต่อลงดิน | 4-1 |
| 4.2 | ภาพประกอบของ SPD | 4-3 |
| 4.3 | ภาพประกอบการเลือกใช้หลักดิน และส่วนประกอบการทำหลักดิน ที่ต้องคำนึงถึงคุณภาพที่ได้มาตรฐาน | 4-4 |
| 4.4 | ระบบ TN—S | 4-6 |
| 4.5 | ระบบ TN—C | 4-6 |
| 4.6 | ระบบ TN—C—S | 4-7 |
| 4.7 | ระบบ TT | 4-8 |
| 4.8 | ระบบ IT network | 4-9 |
| 4.9 | การต่อลงดินระบบ 1 เฟส 3 สาย | 4-10 |

## รายการรูป


| รูปที่ | คำอธิบาย | หน้าที่ |
|---|---|---|
| 4.10 | การต่อลงดินของระบบ 3 เฟส 5 สาย | 4-11 |
| 4.11 | Single line การใช้ Ground Fault Protection | 4-11 |
| 4.12 | ระบบ RS | 4-12 |
| 4.13 | ระบบ ZSS | 4-13 |
| 4.14 | ระบบ SGR | 4-13 |
| 4.15 | ภาพชนิดการต่อลงดิน (Grounding type) | 4-14 |
| 4.16 | การวัดค่าความต้านทานดิน | 4-15 |
| 4.17 | ตัวอย่าง กรณีศึกษาการต่อลงดิน | 4-19 |
| 4.18 | สรุปคำตอบตัวอย่าง กรณีศึกษาการต่อลงดิน | 4-23 |
| 4.19 | การตรวจสอบวัดค่า Ground loop ของระบบป้องกันฟ้าผ่าและการต่อลงดิน เป็นประจำ | 4-24 |
| 5.1 | ภาพโครงสร้างสวิตช์เกียร์ฯ ที่เป็นแบบ AIS หรือ Metal Clad Metal Enclosed Switchgear | 5-4 |
| 5.2(ก) | ภาพประกอบตัวอย่างของ VCB | 5-5 |
| 5.2(ข) | SF6 Circuit breaker | 5-5 |
| 5.3 | ภาพประกอบตัวอย่างของ Switch With Fuse และ Switch | 5-5 |
| 5.4 | ภาพประกอบ Protection Relay | 5-6 |
| 5.5(ก) | ภาพประกอบของ Current transformer | 5-6 |
| 5.5(ข) | ภาพประกอบของ Current transducer | 5-6 |
| 5.6 | ภาพประกอบของ Voltage transformer | 5-6 |
| 5.7 | ภาพโครงสร้างสวิตช์เกียร์ฯ AIS แบบ Metal Clad / Metal Enclosed Switchgear ที่กั้นแยกแต่ละส่วนโดยเหล็ก | 5-7 |
| 5.8 | ภาพโครงสร้างสวิตช์เกียร์ฯ แบบ AIS แบบ Compartment Switchgear ที่กั้นแยกบางส่วนโดยเหล็กหรือ ฉนวน | 5-8 |
| 5.9 | การส่งและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าระบบแรงดันและโหลดในการจ่ายไฟของการไฟฟ้าฯ | 5-14 |
| 5.10(ก) | หม้อแปลงชนิดแห้ง (Dry-type Transformer) | 5-16 |
| 5.10(ข) | สิ่งห่อหุ้ม | 5-16 |
| 5.11 | ส่วนประกอบของหม้อแปลงน้ำมันแบบ Corrugated Tank | 5-17 |
| 5.12 | รูปแสดง ตัวอย่างส่วนประกอบของหม้อแปลงแห้ง | 5-17 |
| 5.13 | การติดตั้งพัดลมไว้ในเครื่องห่อหุ้มแบบติดตั้งพัดลมไว้ด้านล่าง (Cross Flow Fan: CFF) | 5-19 |

## รายการรูป


| รูปที่ | คำอธิบาย | หน้าที่ |
|---|---|---|
| 5.14 | การเกิดรอยที่ผิวของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแห้ง | 5-20 |
| 5.15 | หม้อแปลงแบบติดตั้งพัดลมไว้ด้านล่าง | 5-20 |
| 5.16 | เครื่องห่อหุ้ม (Enclosure) | 5-21 |
| 5.17 | เวกเตอร์กรุ๊ป | 5-26 |
| 5.18 | การเขียนสัญลักษณ์ที่ Name Plate หม้อแปลงแสดงการระบายความร้อน | 5-28 |
| 5.19 | รูปแสดงการจ่ายไฟระบบแรงสูงและการต่อขนานหม้อแปลง | 5-30 |
| 5.20 | ตัวอย่างการผลิตคาปาซิเตอร์ | 5-35 |
| 5.21(ก) | สัญลักษณ์ และรูปของคาปาซิเตอร์ | 5-35 |
| 5.21(ข) | Capacitor | 5-35 |
| 5.21(ค) | Controller | 5-35 |
| 5.21(ง) | Magnetic contactor | 5-35 |
| 5.22 | ตัวอย่างโครงสร้างของคาปาซิเตอร์ | 5-36 |
| 5.23 | เฟสเซอร์ของอิมพิแดนซ์ | 5-37 |
| 5.24 | เวกเตอร์ที่มุมล้าหลัง (lagging) และเวกเตอร์ที่มุมนำหน้า (leading) | 5-38 |
| 5.25 | ตัวอย่างเวกเตอร์ก่อนและหลังการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง | 5-38 |
| 5.26 | แนวทางการคำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์แบงค์แบบภาพรวม กรณี Q = 100% | 5-39 |
| 5.27 | แนวทางการคำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์แบงค์แบบภาพรวม กรณี Q = 62% | 5-39 |
| 5.28 | แนวทางการคำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์แบงค์แบบภาพรวม กรณี Q = 32% | 5-40 |
| 5.29 | ตัวอย่างการติดตั้ง Reactive Power แบบ Individual และ Group compensation | 5-40 |
| 5.30 | ตัวอย่างการติดตั้ง Reactive Power แบบ Central และ Combine compensation | 5-41 |
| 5.31 | Power Triangle และการคำนวณหาค่า Reactive power ในกรณีต่างๆ | 5-41 |
| 5.32 | วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม | 5-46 |
| 5.33 | วงจรเรโซแนนซ์ขนาน | 5-46 |
| 5.34 | ความสัมพันธ์การออกแบบคำนวณปรับปรุงค่า PF ในระบบไฟฟ้า | 5-48 |
| 5.35 | การปรับแก้ไขฮาร์มอนิกส์โดย SVG | 5-49 |
| 5.36 | การแก้ปัญหา Harmonic ในระบบไฟฟ้าด้วย SVG | 5-50 |
| 5.37 | การปรับเวกเตอร์ของกระแสที่หม้อแปลงไฟฟ้าให้สมดุลด้วย SVG | 5-51 |
| 5.38 | การแก้ปัญหา Harmonic ในระบบไฟฟ้าด้วย Active filter | 5-51 |
| 5.39 | การเพิ่มโมดูล SVG | 5-52 |
| 5.40 | Single line diagram for SVG | 5-53 |
| 5.41 | แผงสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ ตาม IEC 60439-1 , IEC61439-2,3 แบบ Type-Tested Assembly | 5-54 |

## รายการรูป


| รูปที่ | คำอธิบาย | หน้าที่ |
|---|---|---|
| 5.42 | ระดับการป้องกันสิ่งแปลกปลอมที่เป็นของแข็งและของเหลว IP : IEC 60529 | 5-60 |
| 5.43 | Switchboard partition form หรือ รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ | 5-61 |
| 5.44 | สัญลักษณ์และรูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ | 5-62 |
| 5.45 | รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ (Switchboard partition form) ทั้ง 7 รูปแบบ | 5-62 |
| 5.46 | รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ Form 1 | 5-63 |
| 5.47 | รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ Form 2a | 5-63 |
| 5.48 | รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ Form 3a | 5-64 |
| 5.49 | รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ Form 4a | 5-64 |
| 5.50 | รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ Form 2b | 5-64 |
| 5.51 | รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ Form 3b | 5-65 |
| 5.52 | รูปแบบการกั้นของแผงสวิตซ์ Form 4b | 5-65 |
| 5.53 | ลักษณะแบบ open-type ASSEMBLY และ dead-front ASSEMBLY | 5-70 |
| 5.54 | ลักษณะแบบ cubicle-type ASSEMBLY และ multi-cubicle-type ASSEMBLY | 5-70 |
| 5.55 | ลักษณะแบบ desk-type-ASSEMBLY และ box-type + box-type | 5-70 |
| 5.56 | ภาพประกอบของแผงสวิตซ์ที่ได้ต่อวงจรป้องกันอย่างต่อเนื่องกันทั้งระบบไฟฟ้า | 5-72 |
| 5.57 | ภาพสัญลักษณ์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วไป และเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ withdrawable ตามมาตรฐาน IEC ตามลำดับ | 5-75 |
| 5.58 | MCB Din rail 1Pole, 2Poles และ 3Poles < 63A และ MCB 1Pole = 80-125A | 5-76 |
| 5.59 | MCB Plug in 1Pole, 2Poles และ 3Poles < 63A | 5-76 |
| 5.60 | ภาพกราฟ B, C และ D ตามมาตรฐาน IEC 60898 | 5-77 |
| 5.61 | C.B แบบ Bolt-on ยึดบนราง Din rail และประกอบอยู่ใน consumer unit ที่สามารถเชื่อมต่อขั้นสกรูทั้งทางเข้า-ออก ได้ด้วยสายไฟ หรือ บัสบาร์ | 5-78 |
| 5.62 | C.B แบบ Plug-in ยึดบนราง บัสบาร์ และประกอบอยู่ใน consumer unit ที่สามารถเชื่อมต่อไฟได้ทันทีเมื่อ Plug ลงที่รางบัสบาร์ เพียงต่อสายไฟไปใช้งานเท่านั้น (ทั้งนี้ยังมีแบบ Bolt on ด้วย) | 5-78 |
| 5.63 | ภาพ MCB 1 Pole, 2 Poles และ 3 Poles < 63 A และ MCB 1 Pole = 80-125 A ของ IEC 60947-2 | 5-79 |
| 5.64 | Moulded Case Circuit Breaker | 5-83 |
| 5.65 | ฉลากด้านหน้าของ MCCB | 5-83 |
| 5.66 | ฉลากด้านข้างของ MCCB | 5-84 |
| 5.67 | สัญลักษณ์บริเวณก้านของ MCCB | 5-84 |
| 5.68 | MCCB ขณะเปิดฝาด้านหน้า | 5-85 |

## รายการรูป


| รูปที่ | คำอธิบาย | หน้าที่ |
|---|---|---|
| 5.69 | ภาพประกอบการเรียงลำดับการทำงาน (ตัดวงจร) ในกรณีที่ CB มีค่า Icw | 5-86 |
| 5.70 | ภาพส่วนประกอบอุปกรณ์เสริมของ MCCB | 5-86 |
| 5.71 | ภาพประกอบของ shunt trip | 5-87 |
| 5.72 | ภาพประกอบ Auxiliary contact | 5-88 |
| 5.73 | ภาพ Direct rotary handle และ Extended Rotary handle (แบบมีแกนต่อ) ใช้ติดที่ฝาตู้ แบบตู้ลึก | 5-88 |
| 5.74 | ภาพประกอบของ Motor mechanism | 5-89 |
| 5.75 | ภาพประกอบของอุปกรณ์เสริมของบัสบาร์ต่อเพิ่ม ขั้วต่อ ฉนวนกั้นขั้วต่อ และแผ่นฉนวนกั้นขั้วต่อ | 5-89 |
| 5.76 | Air Circuit Breaker | 5-90 |
| 5.77 | ด้านหน้าของ Air circuit breaker | 5-91 |
| 5.78 | ภาพประกอบ Micro Logic ของ Air Circuit breaker | 5-92 |
| 5.79 | ACB แบบ Fixed Type และ Withdrawable Type | 5-93 |
| 5.80 | อุปกรณ์เสริมของ Air Circuit Breaker | 5-93 |
| 5.81 | ภาพวงจรและการเลือกใช้งานเซอร์กิตเบรกเกอร์ | 5-94 |
| 5.82 | สัญลักษณ์ของฟิวส์ | 5-95 |
| 5.83 | รูปภาพฟิวส์เส้น, ฟิวส์แผ่น และ Cutout | 5-95 |
| 5.84 | ฟิวส์กระบอกหรือฟิวส์เฟอร์รูล, รูปแบบการใช้งานของร่วมกับ Fuse Holder และฟิวส์ของเต้ารับแบบพ่วง โดยส่วนใหญ่จะมีขนาดกระแส 2 – 40 A หรือไม่เกิน 125 A | 5-96 |
| 5.85 | ฟิวส์แบบใบมีด หรือ Blade Fuse ที่จะใช้ร่วมกับ เซฟตี้สวิตช์ หรือ HRC Fuse base (มีขนาด 1 เฟสไม่เกิน 1250 A หรือ แบบ 3 เฟส ไม่เกิน 630 A) | 5-96 |
| 5.86 | ภาพปลั๊กฟิวส์และฐานฟิวส์ | 5-97 |
| 5.87 | รูปภาพวงจร รูปภาพเครื่องตัดไฟรั่ว ที่มีส่วนประกอบภายในของ เครื่องตัดไฟรั่ว | 5-98 |
| 5.88 | ภาพเครื่องตัดไฟรั่ว RCCB แบบไม่มีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน และ/หรือลัดวงจร หรือ ที่ตาม มอก.2425 | 5-100 |
| 5.89 | ภาพเครื่องตัดไฟรั่ว RCBO แบบไม่มีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน และ/หรือลัดวงจร หรือ ที่ตาม มอก.909 | 5-100 |
| 5.90 | แบบการต่อเครื่องตัดไฟรั่ว RCD : RCCB แบบควบคุมทุกวงจร | 5-101 |
| 5.91 | แบบการต่อเครื่องตัดไฟรั่ว RCD: RCBO พิกัดป้องกัน 30mA ควบคุมทุกวงจร | 5-102 |
| 5.92 | แบบการต่อเครื่องตัดไฟรั่ว RCD : RCCB แบบควบคุมบางวงจร | 5-103 |

## รายการรูป


| รูปที่ | คำอธิบาย | หน้าที่ |
|---|---|---|
| 5.93 | แบบการต่อเครื่องตัดไฟรั่ว : RCBO แบบควบคุมบางวงจร | 5-104 |
| 5.94 | แบบการต่อเครื่องตัดไฟรั่ว แบบควบคุมเฉพาะวงจร (Residual Current Coordination) | 5-105 |
| 5.95 | ตัวอย่างภาพประกอบและขั้นตอนในการตรวจสอบหาวงจรที่มีกระแสไฟรั่ว กรณีที่มีกระแสไฟรั่วมากกว่า 1 วงจร และมีผลรวมของกระแสไฟรั่วเท่ากับ หรือมากกว่า 30 mA | 5-106 |
| 5.96 | ขนาดของตัวนำและฉนวนของสายไฟฟ้า | 5-108 |
| 5.97 | ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า | 5-108 |
| 5.98 | โครงสร้างสายไฟฟ้าและส่วนประกอบต่างๆ | 5-109 |
| 5.99 | เกราะสำหรับสายไฟฟ้า | 5-111 |
| 5.100 | การใช้งานบัสบาร์ สำหรับแผงสวิตช์ | 5-113 |
| 5.101 | Flexible busbar และ การต่อระหว่าง Flexible busbar กับหม้อแปลงฯ | 5-113 |
| 5.102 | สาย FHC | 5-115 |
| 5.103 | สาย AAC | 5-115 |
| 5.104 | สาย ACSR | 5-116 |
| 5.105 | สาย PIC | 5-116 |
| 5.106 | สาย SAC | 5-117 |
| 5.107 | สาย PAC | 5-118 |
| 5.108 | มาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย วสท. พ.ศ.2564 ฉบับล่าสุด | 5-119 |
| 5.109 | รหัสของสายไฟฟ้า | 5-124 |
| 5.110 | การทดสอบคุณสมบัติความต้านทานการลุกลามของเปลวไฟของสายไฟตาม มอก.2756 เล่ม 1 หรือ IEC 60332-1 | 5-125 |
| 5.111 | การทดสอบคุณสมบัติความต้านทานการลุกลามของเปลวไฟของสายไฟตาม มอก.2756 เล่ม 3 หรือ IEC 60332-3 | 5-126 |
| 5.112 | การวัดระยะการลามของเปลวไฟหลังจากทำการทดสอบ | 5-127 |
| 5.113 | การทดสอบคุณสมบัติการปล่อยก๊าซกรดตาม IEC 60754-1 | 5-128 |
| 5.114 | การทดสอบคุณสมบัติการปล่อยก๊าซกรดตาม IEC 60754-2 | 5-128 |
| 5.115 | การทดสอบคุณสมบัติการปล่อยควัน | 5-129 |
| 5.116 | การทดสอบการเผาไหม้อย่างเดียว | 5-130 |
| 5.117 | การทดสอบการเผาไหม้พร้อมฉีดน้ำ | 5-131 |
| 5.118 | การทดสอบการเผาไหม้พร้อมมีแรงกระแทก | 5-131 |
| 5.119 | สายทนไฟ BCC | 5-131 |

## รายการรูป


| รูปที่ | คำอธิบาย | หน้าที่ |
|---|---|---|
| 5.120 | การติดตั้งสายไฟฟ้าใต้ดิน | 5-133 |
| 5.121 | การเดินสายในช่องเดินสายผ่านท่อ ในระบบสายใต้ดิน | 5-137 |
| 5.122 | การต่อสายไฟสำหรับสายไฟฟ้าใต้ดินชนิดแรงต่ำ | 5-138 |
| 5.123 | การเดินสายไฟแบบลอย | 5-138 |
| 5.124 | ท่อโลหะหนา RSC | 5-140 |
| 5.125 | ท่อโลหะหนาปานกลาง IMC | 5-140 |
| 5.126 | ท่อโลหะบาง EMT | 5-141 |
| 5.127 | ท่อโลหะอ่อน FMC แบบ Square lock | 5-143 |
| 5.128 | อุปกรณ์ประกอบของท่อ (Fitting) | 5-144 |
| 5.129 | รางเดินสายประเภท Screw-type | 5-145 |
| 5.130 | รางเดินสายประเภท Snap-on type หรือ Press-lock type | 5-146 |
| 5.131 | รางเดินสายประเภท U-lock Type | 5-146 |
| 5.132 | รางเดินสายแบบมีลูกขั้น (cable support) | 5-147 |
| 5.133 | การต่อสายไฟระหว่างท่อนของรางไฟฟ้า | 5-147 |
| 5.134 | รางเคเบิลแบบ Corrugated Tray ท่อนตรง | 5-148 |
| 5.135 | ท่ออโลหะ | 5-149 |
| 5.136 | อุปกรณ์ประกอบของท่ออโลหะ (Fitting) | 5-150 |
| 5.137 | ท่ออ่อนลายลูกฟูก uPVC สีเหลือง สีขาว และสีดำ | 5-150 |
| 5.138 | รางอโลหะ | 5-151 |
| 6.1 | การแบ่งช่วงของแรงดันตกคร่อมในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ | 6-3 |
| 6-2 | ภาพวงจรสมมูลและเฟสเซอร์ไดอะแกรม | 6-3 |
| 6.3 | การเดินสายไฟแบบ Trefoil | 6-5 |
| 6.4 | การเดินสายไฟแบบ Touching flat | 6-6 |
| 6.5 | การเดินสายไฟแบบ Space flat | 6-7 |
| 6.6 | ภาพวงจรสมมูล สู่ วงจรสมมูลแบบ Voltage divider ของสายไฟและโหลด | 6-7 |
| 6.7 | โหลดชนิด Concentrated Load | 6-8 |
| 6.8 | โหลดชนิด Distributed Load | 6-8 |
| 6.9 | ตัวอย่างการหาเปอร์เซนต์แรงดันตกคร่อมที่ระบบไฟฟ้า 1 เฟส | 6-9 |
| 6.10 | ตัวอย่างการหาเปอร์เซนต์แรงดันตกคร่อมในระบบที่มีการเปลี่ยนโหลดจากระบบไฟฟ้าสามเฟสเป็นหนึ่งเฟส | 6-10 |
| 6.11 | ตัวอย่างการหาเปอร์เซ็นต์แรงดันตกคร่อมของระบบปรับอากาศ | 6-12 |

## รายการรูป


| รูปที่ | คำอธิบาย | หน้าที่ |
|---|---|---|
| 6.12 | วงจรสมมูลสำหรับใช้ในการหาค่าแรงดันตก | 6-13 |
| 6.13 | Diagram การทดสอบแรงดันตก | 6-14 |
| 7.1 | รูปแบบไฟฟ้าลัดวงจร | 7-2 |
| 8.1 | ภาพประกอบงานด้านภูมิทัศน์และสถาปัตยกรรม | 8-2 |
| 8.2 | การออกแบบระบบไฟฟ้าภายในอาคาร | 8-3 |
| 8.3 | การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง | 8-3 |
| 8.4 | การออกแบบระบบเต้ารับไฟฟ้า | 8-4 |
| 8.5 | การออกแบบระบบเต้ารับโทรศัพท์ เต้ารับคอมพิวเตอร์ และตู้ Rack | 8-4 |
| 8.6 | แผงจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส หรือที่นิยมเรียกว่า Load center หรือ L/C | 8-5 |
| 8.7 | วงจรย่อยที่ประกอบไปด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์, สายไฟ และโหลด | 8-6 |
| 8.8 | วงจรโหลดย่อยฮีตเตอร์ | 8-8 |
| 8.9 | กราฟ Tripping Curve Type C IEC 60898 | 8-12 |
| 8.10 | วงจรบริภัณฑ์ไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป | 8-20 |
| 8.11 | ตัวอย่างกราฟของอุปกรณ์ในชุดมอเตอร์ที่ไม่เหมาะสม | 8-22 |
| 8.12 | มาตรฐาน IEC ที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ | 8-22 |
| 8.13 | โครงสร้างและปัจจัยพื้นฐานการทำงานของ Motor Circuit Breaker หรือ Motor Starter | 8-23 |
| 8.14 | กราฟการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ที่เหมาะสม | 8-24 |
| 8.15 | ตัวอย่างการเปรียบเทียบการออกแบบบริภัณฑ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ | 8-28 |
| 8.16 | การเปรียบเทียบการออกแบบตามตัวอย่างที่ 8.5 | 8-32 |
| 8.17 | Single Line Diagram ของตัวอย่างที่ 9.6 | 8-35 |
| 9.1 | เครื่องวัดแรงดันปานกลางและห้องไฟฟ้า | 9-11 |
| 9.2 | ห้องเครื่องวัดแรงดันปานกลางและ MV Switchgear | 9-11 |
| 9.3 | การต่อ Outdoor Meter กับ MV Switchgear แบบ Ring Loop | 9-12 |
| 9.4 | ตัวอย่างการออกแบบอาคารชุด 8 ชั้นในตัวอย่างที่ 10.1 | 9-14 |
| 9.5 | การออกแบบระบบไฟฟ้าและการหาขนาดสายดินของอาคารชุด 8 ชั้น ตามตัวอย่างที่ 9.1 | 9-18 |
| 9.6 | ตัวอย่างการออกแบบอาคารชุด 28 ชั้นในตัวอย่างที่ 9.2 | 9-21 |
| 9.7 | การออกแบบระบบไฟฟ้าและการหาขนาดสายดินของอาคารชุด 28 ชั้น ตามตัวอย่างที่ 9.2 | 9-24 |
| 10.1 | ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ | 10-1 |

## รายการรูป


| รูปที่ | คำอธิบาย | หน้าที่ |
|---|---|---|
| 10.2 | แผงโซลาร์แบบ Amorphous | 10-2 |
| 10.3 | แผงโซลาร์แบบ Mono crystalline Poly crystalline และ Thin film | 10-3 |
| 10.4 | การต่อแผงโซลาร์เซลล์แบบ String | 10-3 |
| 10.5 | การต่อแผงโซลาร์เซลล์แบบ Array | 10-3 |
| 10.6 | ฐานติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคา | 10-4 |
| 10.7 | ฐานติดตั้งแผงโซลาร์ฟาร์ม | 10-4 |
| 10.8 | การต่อสายดินระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ | 10-5 |
| 10.9 | สายไฟ H1Z2Z2-K (PV Cable) | 10-7 |
| 10.10 | โครงสร้างและตารางการเลือกใช้สายไฟ H1Z2Z2-K | 10-8 |
| 10.11 | อุปกรณ์สำหรับจุดต่อในระบบโซลาร์เซลล์ | 10-9 |
| 10.12 | ตัวอย่างความเสียหายที่เกิดจากขั้วต่อที่ไม่แข็งแรง และภาพระหว่างให้หลีกเลี่ยงการต่อที่ไม่ดีทำให้ความร้อนกับความต้านทานสูงขึ้น กับ การติดตั้งและการบีบที่ถูกต้องทำให้มีความต้านทานน้อย ตามลำดับภาพ | 10-10 |
| 10.13 | Combiner Box | 10-11 |
| 10.14 | อินเวอร์เตอร์ในระบบโซลาร์เซลล์ | 10-12 |
| 10.15 | Protection ในระบบโซลาร์เซลล์ | 10-13 |
| 10.16 | ระบบโซลาร์เซลล์ EV Charger และ Smart Home Application | 10-14 |
| 10.17 | ระบบโซลาร์เซลล์ EV Charger และ Smart Home Application | 10-15 |
| 10.18 | ภาพแนะนำการติดตั้งโซลาร์เซลล์บนหลังคาและระบบไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง | 10-17 |
| 10.19 | การใช้ Inverter ปกติ และ Micro Inverter ในการติดตั้งใช้งานและกรณี Single point of failure | 10-20 |
| 10.20 | Micro Inverter เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่แผงโซลาร์เซลล์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ | 10-21 |
| 10.21 | Single Line Diagram ที่ 1 ของระบบไฟฟ้า | 10-23 |
| 10.22 | Single Line Diagram ที่ 2 ของระบบไฟฟ้าและระบบโซลาร์เซลล์บนหลังคา | 10-24 |
| 10.23 | การต่อสายไฟ PV Cable ในแต่ละ string (20 Solar / String) | 10-24 |
| 10.24 | การต่อวงจรของระบบโซลาร์เซลส์บนหลังคา เข้าอินเวอร์เตอร์ | 10-25 |
| 10.25 | โครงสร้าง PV Cable สำหรับงานโซลาร์เซลล์ | 10-25 |
| 10.26 | การต่อสายไฟ PV Cable เข้ากับหัวต่อ MC4 | 10-26 |
| 10.27 | โครงสร้างการทำงานของแบตเตอรี่ | 10-29 |
| 10.28 | การใช้พลังงานไฟฟ้าขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ตามลำดับ | 10-31 |
| 10.29 | การใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านที่อยู่อาศัย หน่วยงานราชการ โรงแรมและห้างสรรพสินค้า ตามลำดับ | 10-32 |

## รายการรูป


| รูปที่ | คำอธิบาย | หน้าที่ |
|---|---|---|
| 10.30 | การคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของ PV | 10-33 |
| 11.1 | ตัวอย่าง S Curve มี 9 งวดงาน และมีระยะเวลาของโครงการรวม 7 เดือน | 11-4 |
| 11.2 | Flow chart สำหรับงานออกแบบ เบื้องต้น | 11-6 |
| 11.3 | Flow chart การรับเหมางานติดตั้ง M & E (Mechanical and Electircal) | 11-8 |

## รายการตาราง


| ตารางที่ | คำอธิบาย | หน้าที่ |
|---|---|---|
| 2.1 | หน่วยวัดความยาวระบบเมตริก | 2-25 |
| 2.2 | หน่วยวัดน้ำหนักระบบเมตริก | 2-25 |
| 2.3 | เครื่องหมายสัญลักษณ์ของจำนวนเท่า หรือ เศษส่วนของตัวเลข หน่วยของระบบเมตริก | 2-26 |
| 2.4 | ชื่อและสัญลักษณ์ของหน่วยพื้นฐาน | 2-27 |
| 2.5 | แสดงสภาพต้านทานไฟฟ้า ของสารบางชนิด ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส | 2-34 |
| 4.1 | เปรียบเทียบ Earthing กับ Grounding | 4-2 |
| 4.2 | เปรียบเทียบระบบสายดิน | 4-9 |
| 4.3 | ขนาดต่ำสุดของสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (ตารางที่ 4-1 : วสท.) | 4-17 |
| 4.4 | ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตารางที่ 4-2 : วสท.) | 4-18 |
| 4.5 | ขนาดต่ำสุดของสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (ตารางที่ 4-1 : วสท.) | 4-20 |
| 4.6 | ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าตามพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (ตารางที่ 4.2 : วสท.) | 4-22 |
| 5.1 | Type test items | 5-9 |
| 5.2 | แรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่าย | 5-14 |
| 5.3 | พิกัดหม้อแปลงน้ำมัน 3 เฟส แรงดัน 12 kV– 24 kV / 230 V – 400 V | 5-21 |
| 5.4 | พิกัดหม้อแปลงน้ำมัน 1 เฟส แรงดัน 12 kV – 24 kV / 230 V | 5-22 |
| 5.5 | พิกัดหม้อแปลงแห้ง 3 เฟส แรงดัน 24 kV / 230 V – 400 V | 5-23 |
| 5.6 | ค่า BIL ที่พิกัดแรงดัน | 5-24 |
| 5.7 | การแท็ปแยกแรงดันของ กฟภ. | 5-24 |
| 5.8 | การแท็ปแยกแรงดันของ กฟน. | 5-25 |
| 5.9 | สัญลักษณ์แสดงวิธีระบายความร้อน | 5-27 |
| 5.10 | ตารางแสดงขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับหม้อแปลง | 5-31 |
| 5.11 | ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำด้านไฟออก หม้อแปลง 3 เฟส 230 V/400 V (แนะนำ) | 5-33 |
| 5.12 | รายการการทวนสอบโดยการออกแบบ | 5-59 |
| 5.13 | สรุปฟอร์มตู้และลักษณะการกั้น | 5-66 |
| 5.14 | ฉนวนกันความร้อนค่าความต้านทานต่ำสุดด้วย (IEC 60364-6) | 5-71 |
| 5.15 | การทดสอบความคงทนของฉนวน | 5-72 |
| 5.16 | การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ CB ตามมาตรฐาน IEC ในปัจจุบันที่มีใช้กัน ซึ่งไม่รวม C.B ขนาดกระแสสูงๆ ของ IEC 60947-2 | 5-82 |
| 5.17 | การเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวนำทองแดงและอะลูมิเนียม | 5-110 |

**รายการตาราง**


| ตารางที่ | คำอธิบาย | หน้าที่ |
|---|---|---|
| 5.18 | ตารางเปรียบเทียบสีของสายไฟฟ้าเก่า-ใหม่ ตาม มอก. 11-2531 และ มอก. 11-2553 | 5-121 |
| 5.19 | ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบตามขนาดของสายไฟตาม มอก.2756 เล่ม 1 | 5-126 |
| 5.20 | ความลึกในการติดตั้งใต้ดิน สำหรับระบบแรงต่ำ (ตารางที่ 5-1 : วสท.) | 5-135 |
| 8.1 | ตารางการเลือกใช้เบรกเกอร์และสายไฟของเครื่องปรับอากาศ (1 Ph. 230 V) | 8-15 |
| 8.2 | พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรระหว่างสายและป้องกันการรั่วลงดินของวงจรย่อยมอเตอร์ (ตารางที่ 6-3 : วสท.) | 8-25 |
| 8.3 | ขนาดกระแสของสายสำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานไม่ต่อเนื่อง (ตารางที่ 6-1 : วสท.) | 8-26 |
| 8.4 | ตารางการเลือกบริภัณฑ์ไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ | 8-30 |
| 8-5 | ตารางการเลือกบริภัณฑ์ไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ | 8-34 |
| 8.6 | ตารางการเลือกบริภัณฑ์ไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ | 8-42 |
| 9.1 | ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ สำหรับห้องชุดประเภทอยู่อาศัย (สำหรับการไฟฟ้านครหลวง) (ตารางที่ 9-1 : วสท.) | 9-3 |
| 9.2 | ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ สำหรับห้องชุดประเภทอยู่อาศัย (สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) (ตารางที่ 9-2 : วสท.) | 9-4 |
| 9.3 | ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ สำหรับห้องชุดประเภทสำนักงานหรือร้านค้าทั่วไป (สำหรับการไฟฟ้านครหลวง) (ตารางที่ 9-3 : วสท.) | 9-5 |
| 9.4 | ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ สำหรับห้องชุดประเภทสำนักงานหรือร้านค้าทั่วไป (สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) (ตารางที่ 9-4 : วสท.) | 9-6 |
| 9.5 | พิกัดสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินและโหลดสูงสุดตามขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (สำหรับการไฟฟ้านครหลวง) (ตารางที่ 3-4 : วสท.) | 9-7 |
| 9.6 | ขนาดของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแรงต่ำ ขนาดสายไฟฟ้า เซฟตีสวิตช์ คัตเอาต์ และคาร์ทริดจ์ฟิวส์สำหรับตัวนำประธาน (สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) (ตารางที่ 3-5 : วสท.) | 9-8 |
| 9.7 | ค่าโคอินซิเดนต์แฟกเตอร์ สำหรับห้องชุดประเภทอยู่อาศัย (ตารางที่ 9-5 : วสท.) | 9-9 |
| 9.8 | ค่าโคอินซิเดนต์แฟกเตอร์ สำหรับห้องชุดประเภทสำนักงานหรือร้านค้าทั่วไป และประเภทอุตสาหกรรม (ตารางที่ 9-6 : วสท.) | 9-9 |
| 10.1 | ตารางการคำนวณการใช้ไฟฟ้า | 10-16 |
| 10.2 | การเลือกขนาดโซลาร์เซลล์ อัตราค่าไฟฟ้าต่อเดือน และการเปรียบเทียบอัตราคืนทุน | 10-17 |

# คำนิยม



BANGK⊙K CABLE

ขอชื่นชมและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าตำราเล่มนี้จะเกิดอรรถประโยชน์อย่างแท้จริง เนื่องจากผู้แต่งมีศักยภาพเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในวงการวิศวกรรมอย่างยิ่ง

ผู้อ่านและผู้ใช้งานตำราคู่มือนี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริง เกิดประโยชน์กับวงการวิศวกรรม เพื่อพัฒนาประเทศในลำดับสูงยิ่งขึ้นต่อไป

**คุณเกษม กุหลาบแก้ว**
อดีตรองผู้ว่าการ การไฟฟ้านครหลวง

# คำนิยม



BANGK◎K CABLE

การประกอบวิชาชีพอย่างมืออาชีพ มีองค์ประกอบสำคัญ คือ มีสติและใช้ปัญญา มีจรรยาบรรณ มีหลักปฏิบัติ มีมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ และมีใบอนุญาตการประกอบวิชาชีพ

ผมขอชื่นชม คุณเตชทัต บูรณะอัศวกุล ในความเพียรพยายาม ความมุ่งมั่น และความวิริยะอุตสาหะ เขียนคู่มือการบริหารการออกแบบและการติดตั้งทางไฟฟ้า เล่มนี้ออกมาเป็นผลสำเร็จ คู่มือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ประกอบวิชาชีพ ทุกระดับ ตั้งแต่ นักศึกษา นิสิต วิศวกรผู้ช่วย วิศวกรโครงการ ผู้บริหารโครงการ เจ้าของโครงการ ผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงาน ผู้ดำเนินการก่อสร้าง ผู้ผลิต ผู้ดูแลบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า นับเป็นเอกสารที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาบุคลากร และพัฒนาองค์กร ขอชื่นชมครับ

**คุณประสงค์ ธาราไชย**
นายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
ในพระบรมราชูปถัมภ์ พ.ศ.2551-2553

# คำนิยม



BANGK◎K CABLE

ประเทศไทยมีมาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้ามาหลายปีแล้ว การนำมาตรฐานมาใช้จำเป็นต้องมีคู่มือเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้ได้อย่างสะดวก และเป็นแนวทางปฏิบัติในวิชาชีพทางวิศวกรรมไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นวิศวกรผู้รับเหมา วิศวกรผู้ออกแบบ หรือวิศวกรผู้ควบคุมงาน ตลอดจนวิศวกรไฟฟ้าและภาคส่วนอื่นๆ ทั้งนักศึกษา นิสิต วิศวกรผู้ช่วย วิศวกรโครงการ ผู้บริหารโครงการ เจ้าของงาน ผู้ควบคุมงาน ผู้รับเหมา ผู้ผลิต - ผู้ขาย และผู้ดูแลบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า

หนังสือคู่มือเล่มนี้ได้รวบรวมความรู้ทางวิชาการจากมาตรฐานการติดตั้ง ทั้งระบบไฟฟ้าและกฎหมายที่จำเป็นต้องทราบและนำไปใช้ รวมถึงความรู้เกี่ยวกับโซล่าร์ซึ่งเป็นมาตรฐานและความรู้ใหม่ที่วิศวกรจำเป็นต้องนำไปใช้

หนังสือเล่มนี้ยังมีส่วน “ครูเบิร์ดชวนคิด” ที่ช่วยอธิบายหัวข้อสำคัญและประเด็นที่ต้องเน้นย้ำอย่างชัดเจน ทำให้ผู้อ่านเกิดความเข้าใจและคลายความสงสัย ผมเชื่อว่าหนังสือคู่มือเล่มนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีในการสนับสนุนและส่งเสริมความรู้และความเชี่ยวชาญของบุคลากรในวงการระบบไฟฟ้า ช่วยให้พวกเขาตื่นตัวและเรียนรู้ได้อย่างรวดเร็ว เสมือนผ่านประสบการณ์มาอย่างยาวนาน เพื่อให้วิศวกรไฟฟ้าก้าวสู่การเป็นมืออาชีพที่สามารถตอบโจทย์และบรรลุเป้าหมายทางวิศวกรรมอย่างแท้จริง

**นายภูเธียร พงษ์พิทยาภา**

ประธานกรรมการบริหาร

บริษัท เซ็กโก้ เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด

# คำนิยม



BANGK◎K CABLE

การออกแบบ การติดตั้ง การใช้งานและการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ให้มีความปลอดภัยความน่าเชื่อถือ ความมั่นคง ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และความยั่งยืนเป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับงานวิศวกรรมไฟฟ้า หนังสือคู่มือเล่มนี้ได้รวบรวมข้อมูลทางวิชาการ ทางวิชาชีพตามมาตรฐานและข้อกำหนดของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องตามประสบการณ์อย่างรอบคอบแบบครบวงจร เหมาะอย่างยิ่งสำหรับวิศวกรไฟฟ้า นิสิตนักศึกษา ผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงาน ผู้บริหารโครงการ ตลอดจนผู้รับเหมา ผู้ดูแลบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า

หนังสือคู่มือเล่มนี้ จะเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีสำหรับบุคลากรในวงการงานระบบไฟฟ้าที่จะเข้ามาศึกษาแบบทางลัดได้อย่างรวดเร็ว เพื่อบรรลุเป้าหมายการเป็นวิศวกรมืออาชีพได้อย่างแท้จริง

**นายพรเทพ ธัญญพงศ์ชัย**
ผู้ตรวจสภาวิศวกรสมัยที่ 8

# คำนิยม



BANGK⊙K CABLE

ครั้งแรกที่ข้าพเจ้าได้เห็นหนังสือ “คู่มือการบริหารการออกแบบ การติดตั้ง การใช้งานและการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า” ก็รู้สึกได้ทันทีว่าคู่มือเล่มนี้มีความแปลกใหม่ทั้งชื่อของคู่มือ และยังมีข้อมูลอื่นที่น่าสนใจอีกมากสำหรับวิศวกรรวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้อง และเมื่อเปิดดูเนื้อหาก็พบว่าเป็นคู่มือที่ให้ความรู้หลายๆ ด้านตั้งแต่กฎหมายที่เกี่ยวข้อง มาตรฐานการออกแบบ การบริหารการออกแบบ ซึ่งไม่พบว่ามีเขียนไว้ในคู่มืออื่นใดที่ข้าพเจ้าได้เคยพบเห็นมาก่อน เนื้อหาบางส่วนยังมีการอ้างอิงมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางจึงเห็นว่าคู่มือเล่มนี้น่าจะเป็นประโยชน์อย่างมากกับหลายท่าน และเป็นคู่มือเล่มหนึ่งที่ทุกท่านควรมีติดมือไว้

ข้าพเจ้าจึงขอแสดงความชื่นชมยินดีกับทั้งผู้เขียนและผู้สนับสนุน ที่ทำให้คู่มือเล่มนี้ประสบความสำเร็จ ออกมาอวดโฉมท่านทั้งหลายได้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ดร.เตชทัต บูรณะอัศวกล ผู้แต่งคู่มือเล่มนี้จะสร้างสรรค์ผลงานดี ๆ เช่นนี้ออกมาอีกเพื่อประโยชน์กับแวดวงวิศวกรรมต่อไป

**นายลือชัย ทองนิล**
เลขาธิการสภาวิศวกร (สมัยที่ 8)
กรกฎาคม 2567

# คำนิยม



BANGK⊙K CABLE

ขอชื่นชม อ.ดร.เตชทัต ที่มีความตั้งใจ จัดทำตำราเล่มนี้ ที่ครบถ้วน สมบูรณ์อย่างดี ในการบริหารการออกแบบ การติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า

**ผศ.ดร.อุทัย ไชยวงค์วิลาน**
อดีตประธานสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ. 2560-2562

# คำนิยม



ตำราเล่มนี้ มีเนื้อหาสาระที่สำคัญครอบคลุมทุกมิติ ตั้งแต่ด้านกฎหมายที่เกี่ยวข้องทุกกระทรวง ด้านมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ความรู้พื้นฐานด้านวิศวกรรมระบบการจ่ายไฟของประเทศไทย บริภัณฑ์ของระบบไฟฟ้า การคำนวณการออกแบบระบบไฟฟ้า รวมถึงการบริหารการออกแบบและติดตั้งสำหรับอาคารชุด อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษรวมทั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงาน พลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา และยังมีตัวอย่างกรณีศึกษาการออกแบบ และการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ ที่มีความสมบูรณ์แบบมากๆ เล่มหนึ่ง

BANGK◎K CABLE

ผู้เขียนตำราเล่มนี้ มีประสบการณ์มากมายและหลากหลาย ขับเคลื่อนงาน วิศวกรรมของไทยให้มีความก้าวหน้าทันต่อการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีในโลกปัจจุบันและอนาคต และเป็นบุคคลสำคัญที่ร่วมผลักดันและขับเคลื่อนคู่มือติดตั้งไฟฟ้าและเครื่องกลให้กับสมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย (TEMCA) และยังรับอาสาเป็นประธานคณะทำงานคู่มือติดตั้งสายไฟฟ้าและช่องเดินสาย อีกทั้งเป็นคณะทำงาน ในคู่มืออื่นๆ อีกหลายเล่ม ทำให้คู่มือติดตั้งไฟฟ้า และเครื่องกลของสมาคมเทมก้าประสบความสำเร็จอย่างยิ่ง ส่งผลให้ประเทศในภูมิภาคอาเซียน เช่น ประเทศฟิลิปปินส์ ประเทศอินโดนีเซีย ประเทศมาเลเซีย มาร่วมกันทำข้อตกลงเพื่อยกระดับคู่มือติดตั้งไฟฟ้าของ TEMCA ไปสู่คู่มือติดตั้งไฟฟ้าอาเซียนต่อไป เป็นก้าวที่สำคัญที่ยิ่งใหญ่และภาคภูมิใจของวิศวกรรมไทย ปัจจุบันผู้เขียนตำราเล่มนี้คือ อาจารย์เดชทัต บูรณะอัศวกุล เป็นประธานสาขาไฟฟ้าวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย(วสท.) และยังมีหน้าที่เกี่ยวกับทางวิชาการอีกมากมายที่อุทิศตนเพื่อวงการวิศวกรรมทั้งไทยและต่างประเทศ

ในตำราเล่มนี้ยังมีเรื่องเด็ดๆ โดย ครูเบิร์ดชวนคิดที่นำหัวเรื่องที่น่าสนใจ หัวข้อประเด็นที่สำคัญประเด็นที่ต้องเน้นย้ำมาอธิบายให้ผู้อ่านที่อยู่ในวงการวิศวกรรมไฟฟ้าตั้งแต่การออกแบบการติดตั้งการใช้งานและการบำรุงรักษา รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องคลายความสงสัยและเกิดความกระจ่าง

ตำราเล่มนี้มีความสมบูรณ์แบบและมีศักยภาพสูงมากๆ เล่มหนึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีสำหรับวิศวกรไฟฟ้าหรือบุคลากรที่เกี่ยวข้องหรือทำงานในวงการวิศวกรรมไฟฟ้าที่สนใจการบริหารงานออกแบบ งานติดตั้ง งานปฏิบัติการ รวมทั้งการบำรุงรักษา ระบบไฟฟ้า เข้ามาอ่านมาศึกษาทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจได้อย่างรวดเร็วเสมือนผ่านประสบการณ์มาอย่างยาวนาน ทำให้ระบบงานทุกภาคส่วนมีผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพประสิทธิผล ก่อให้ความคุ้มค่าต่อการลงทุนและมีความปลอดภัย ตอบโจทย์บรรลุเป้าหมายอย่างแท้จริง เพื่อเป็นก้าวสำคัญในการสร้างความเจริญและความมั่นคงของประเทศไทยเราสืบไป

**บุญศักดิ์ เกียรติจรูญเลิศ**
ประธานสมาพันธ์ผู้รับเหมาไฟฟ้าอาเซียน
ประธานสมาพันธ์ผู้รับเหมาไฟฟ้าเอเชียแปซิฟิก

# คำนิยม



การประกอบวิชาชีพวิศวกรรม ต้องกระทำตามหลักปฏิบัติและจรรยาบรรณของวิชาชีพ โดยที่เหมาะสมและถูกต้องตามหลักและปฏิบัติและวิชาการ คือมีมาตรฐาน และหลักปฏิบัติที่ดี นอกจากนั้น ผู้ปฏิบัติวิชาชีพยังต้องรู้จักพัฒนาตนเองทั้งในด้านความสามารถ ทักษะ และประสบการณ์ โดยเรียนรู้ในการปฏิบัติงานและพัฒนาตนเองอยู่เสมอตลอดเวลา เพื่อให้ทันสมัยและทันต่อเหตุการณ์ หนังสือคู่มือที่ท่านกำลังอ่านอยู่นี้ เกี่ยวข้องกับ การวางแผน การออกแบบ การติดตั้ง การใช้งาน และการบำรุงรักษา ในระบบไฟฟ้า

BANGK◎K CABLE

เพื่อให้มีความปลอดภัย ความน่าเชื่อถือได้ มีความมั่นคง มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และรวมถึงการคำนึงถึงความยั่งยืน นับเป็นส่วนที่สำคัญในงานวิศวกรรม สำหรับหนังสือคู่มือฉบับนี้ ถือเป็นหนังสือคู่มือทางวิศวกรรมไฟฟ้าอีกเล่มหนึ่งที่ได้รวบรวมองค์ความรู้หลายๆ เรื่อง มีการอ้างอิงและการประยุกต์ใช้หลักการทางมาตรฐานทางไฟฟ้า และกฎหมายที่เกี่ยวข้องรวมถึงเทคโนโลยีของอุปกรณ์และวัสดุต่างๆ ตั้งแต่ ระบบรูปแบบการรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้า จนถึงระบบโซลาร์ ซึ่งสามารถนำมาเป็นพื้นฐาน และอ้างอิงกับการประกอบวิชาชีพทางไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ยังใช้สำหรับการศึกษาทางวิชาการ และหลักปฏิบัติวิชาชีพ ซึ่งมาจากประสบการณ์ตรง มีการวิเคราะห์ สังเคราะห์ และวิจัย แบบครบวงจร ของผู้เขียน คือ ดร. เตชทัต บูรณะอัศวกุล

ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับ วิศวกรไฟฟ้าและช่างเทคนิคไฟฟ้า ที่ใช้ในการประกอบวิชาชีพ นอกจากนี้ นิสิต นักศึกษา วิศวกรผู้ช่วย วิศวกร วิศวกรโครงการ ผู้บริหารโครงการ รวมถึง ผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงาน ผู้รับเหมา ผู้ผลิต-ผู้ขาย ผู้ดูแลบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าทั้งทางภาครัฐและเอกชนเจ้าของงาน ก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ในหนังสือคู่มือเล่มนี้ยังมีครูเบิร์ดชวนคิด ที่นำหัวเรื่อง หัวข้อประเด็นสำคัญๆ ประเด็นที่ต้องเน้นย้ำ มาอธิบายให้เกิดความกระจ่าง คลายสงสัย ถือว่าเป็นหนังสือคู่มือที่มีประโยชน์มากๆ

จากที่อ่านหนังสือคู่มือฯ เล่มนี้หลายรอบ ถือเป็นคู่มือที่มีคุณค่าอีกเล่มหนึ่ง ที่บุคลากรในวงการงานระบบไฟฟ้า ควรจะมีไว้ข้างกาย เพื่อใช้เป็นแหล่งศึกษาแบบทางลัด ได้อย่างรวดเร็ว เสมือนได้อยู่ข้างๆ ผู้มีความรู้และมีประสบการณ์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม ทางสังคมและสิ่งแวดล้อมให้กับเพื่อนวิศวกรไฟฟ้าที่กำลังมีปัญหาในการปฏิบัติงาน จะได้แก้ปัญหาได้ตรงจุดและตอบโจทย์การทำงานทางวิศวกรรมได้ และสามารถบรรลุเป้าหมายและวัตถุประสงค์ ได้อย่างตรงโจทย์ของผู้มีส่วนได้เสียทั้งหมดได้ อย่างปลอดภัยและมีความยั่งยืนต่อประเทศไทยต่อไป

**กิตติพงษ์ วีระโพธิ์ประสิทธิ์**
อุปนายกสภาวิศวกร และกรรมการสภาวิศวกร
สมัยที่ 7-8

# คำนิยม



BANGK◎K CABLE

หนังสือ “การบริหารการจัดการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า” มีเนื้อหาที่ทันยุคสมัย ครอบคลุมหัวข้อสำคัญในงานระบบไฟฟ้าทั้งด้านการออกแบบ การประกอบติดตั้ง การใช้งาน รวมถึงการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า นอกจากนั้น ยังมีเนื้อหาอธิบายเรื่องการติดตั้งระบบโซลาร์บนหลังคา การกักเก็บพลังงาน ซึ่งนับเป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทและเป็นที่สนใจอย่างมากในปัจจุบัน

มีการเรียบเรียงเนื้อหาอย่างเป็นระบบ ตามลำดับจากหลักการทางทฤษฎีต่างๆ การประยุกต์ใช้ การแก้ปัญหา ผู้เขียนนำประสบการณ์มาประกอบการบรรยาย ทำให้เข้าใจได้ง่าย สามารถนำไปปรับประยุกต์ใช้ในการทำงานที่มีสถานการณ์ต่างๆ

หนังสือเล่มนี้ จึงควรมีไว้เป็นคู่มือเล่มหนึ่ง สำหรับท่านที่ทำงานในด้านการดูแล อำนวยการใช้งานระบบไฟฟ้า และยังเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับผู้ที่สนใจในเทคโนโลยีพลังงานทดแทน พลังงานสะอาด และการจัดเก็บพลังงาน ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องพิจารณาในการดูแลบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าต่อไป

ควรมีไว้เป็นคู่มือการเรียนรู้ทบทวนและประกอบการทำงานอย่างยิ่งครับ

**ผศ.ดร.ธเนศ วีระศิริ**
นายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
ในพระบรมราชูปถัมภ์
วาระปีพ.ศ 2560 - 2562 และวาระ ปี 2563 - 2565

# คำนิยม



BANGK◎K CABLE

หนังสือคู่มือ “การบริหาร การออกแบบ การติดตั้ง การใช้งาน และการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า” ของอาจารย์ เตชทัต บูรณะอัศวกุล ฉบับนี้ ตามที่ได้อ่านจากต้นฉบับ ของอาจารย์แล้ว ก็ขอให้คำวิจารณ์ดังนี้

หนังสือคู่มือในลักษณะนี้มีผู้เขียนออกมาหลายฉบับ ซึ่งส่วนใหญ่เป็น อาจารย์มหาวิทยาลัย นักวิชาการ และผู้ใช้งานจริงหลายท่าน เนื้อหาส่วนมากจะมีแนวทางอ้างอิงจากมาตราฐานต่างๆ คล้ายคลึงกัน ดังนั้นฉบับของอาจารย์เตชทัต บูรณะอัศวกุล ก็มีแนวทางเช่นเดียวกัน แต่มีส่วนที่แตกต่างเพิ่มเติมมาอย่างมีสาระคือ ในบทที่ 1 ว่าด้วยกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้รวบรวมข้อกฎหมายสำคัญในการทำงานกับระบบไฟฟ้า ซึ่งค่อนข้างทันสมัยกับการใช้งานในปัจจุบัน เป็นสิ่งที่ช่างไฟฟ้าและผู้ใช้งานต้องระมัดระวัง และในบทสุดท้ายเกี่ยวกับการติดตั้งและใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์ โซลาร์เซลล์ ซึ่งนับเป็นหัวข้อที่ทันสมัย กับยุคปัจจุบันที่ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานค่อนข้างสูง และเริ่มเป็นที่นิยมติดตั้งกันทั่วไป

เนื้อหาในหนังสือบทอื่นๆ ก็เป็นลักษณะอธิบายการติดตั้งระบบไฟฟ้าที่สำคัญๆ โดยทั่วไป แต่มีการอัพเดทข้อมูลที่เข้ากับเวลาปัจจุบัน สามารถใช้งานได้จริง หนังสือคู่มือฉบับนี้เหมาะสำหรับนักศึกษา, ช่างไฟฟ้า และนักออกแบบ นำไปใช้เป็นคู่มืออ้างอิงเพื่อการใช้งานติดตั้งระบบไฟฟ้าทั่วไปได้โดยรวม ต้องขอขอบคุณอาจารย์ที่ได้อุทิศเวลามารวบรวมข้อมูลเขียนหนังสือคู่มือฉบับนี้ เพื่อเป็นประโยชน์แก่ประชาชนทั่วไป

ด้วยความยินดีอย่างยิ่ง

**เชิดศักดิ์ วิทูราภรณ์**
กรรมการผู้จัดการบริษัท SECCO HV จำกัด
ที่ปรึกษากิตติมศักดิ์สมาคมช่างเหมาไฟฟ้า
และเครื่องกลไทย

# คำนิยม



BANGK◎K CABLE

เทคโนโลยีทันสมัยเกิดขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา วิศวกรจึงต้องเพิ่มทักษะการทำงานให้ทันกับสถานการณ์ต่างๆ อยู่เสมอ การเพิ่มทักษะการเรียนรู้ พัฒนาตนเอง ก็เป็นกลไกที่สาคัญยิ่ง และเป็นช่องทางที่สะดวกและสามารถทำได้ทันที เพื่อจะได้นำความรู้ ความเข้าใจมาประยุกต์ใช้กับการทำงานและจะได้เป็นวิศวกรที่มีคุณภาพ

ในตำราเล่มนี้ได้นำหัวข้อ ประเด็นสำคัญ มาอธิบายให้เกิดความกระจ่าง คลายสงสัย รวบรวมข้อมูลทางวิชาการ ทางวิชาชีพ ซึ่งสอดคล้องตามมาตรฐาน อีกทั้งสอดแทรกประสบการณ์ต่างๆ ของผู้เขียนได้อย่างน่าสนใจ ดังนั้น ตำราเล่มนี้จะเกิดประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับวิศวกรไฟฟ้า วิศวกรสายงานต่างๆ บุคลากรในวงการงานระบบไฟฟ้า รวมถึงผู้ที่มีความสนใจในด้านระบบไฟฟ้า

ผมคิดว่าตำราเล่มนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีสำหรับอ่านเพื่อประยุกต์ใช้พัฒนาตนเองสู่การเป็นวิศวกรไฟฟ้ามืออาชีพ และเพื่อเป็นกำลังสำคัญของประเทศในอนาคต

**นายไพบูลย์ อังคณากรกุล**
กรรมการผู้จัดการ
บริษัท อาซีฟา จากัด (มหาชน)

# คำนิยม



BANGK◎K CABLE

ในช่วงสิบกว่าปีที่เคยทำงานร่วมกับ ดร.เตชทัต บูรณะอัศวกุล ที่ วสท. มานั้น ก็เห็นว่าท่านเป็นนักวิชาการที่มีหลักการมาตรฐานที่ดีมากท่านหนึ่งของ วสท. พี่ๆ หลายท่านก็ออกหนังสือตำราต่างๆ มาหลายท่านแล้ว วันหนึ่งผมจึงหวังไว้ว่า คงจะได้เห็นผลงานของท่านบ้าง จวบจนวันนี้ท่านก็ทำสำเร็จแล้ว สำหรับ ดร.เตชทัต นั้น ก็ถือว่าเป็นผู้อยู่เบื้องหลังความสำเร็จในมาตรฐานต่างๆ ของวสท. มาอย่างมากมาย มีประสบการณ์มาตรฐานและการทำงานมาหลากหลายด้าน จึงถือเป็นโอกาสที่ดีที่ท่านจะได้แชร์ประสบการณ์ที่จะตอบโจทย์ให้แก่ผู้อ่านทุกท่านได้ตรงเป้าตรงประเด็น

ในการออกแบบและติดตั้งรวมถึงการ 0&M เป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญของวิศวกรไฟฟ้ากำลังรวมถึงนิสิต นักศึกษา ผู้ที่เกี่ยวข้องใน Ecosystem ของงานระบบ โดยเฉพาะงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ยิ่งปัจจุบันมีความก้าวหน้าของเทคโนโลยีต่างๆ มากมาย เช่น มีการติดตั้ง Solar Roftop บนหลังคาอาคาร รวมถึงปัจจัยแวดล้อมที่ต้องคำนึงถึงในเรื่องความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จึงเป็นการดีที่หากมีหนังสือหรือคู่มือสักเล่มหนึ่งที่มาตอบโจทย์เหล่านี้ได้ เพื่อใช้เป็นคู่มืออ้างอิงในการทำงาน ที่ถูกต้องตรงตามมาตรฐานและเป็นไปตามตัวบทกฎหมายที่เกี่ยวข้องหนังสือเล่มนี้ของ ดร.เตชทัตฯ จะมาช่วยไขข้อสงสัยให้แก่ผู้อ่านทุกท่าน พร้อมตัวอย่างที่จะทำให้ผู้อ่านสามารถติดตามและทำความเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้นได้เป็นอย่างดี

ผมคิดว่าตำราฯ เล่มนี้ จะเป็นจุดเริ่มต้นที่ดี สำหรับบุคลากรในวงการงานระบบไฟฟ้ากำลังในการเรียนลัดผ่านประสบการณ์นยาวนานของผู้แต่งเพื่อให้วิศวกรไฟฟ้ากำลังเป็นมืออาชีพที่ รู้จริงและมีหลักในการทำงานที่ดี เพื่อเป็นกำลังสำคัญของการพัฒนาประเทศไทยเจริญรุ่งเรืองสืบไป

**ดร.ประดิษฐ์ เฟื่องฟู**
รองผู้ว่าการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

# คำนิยม



BANGKOK CABLE

การออกแบบ การติดตั้ง การใช้งาน และการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า นับว่าเป็นหนังสือทางวิศวกรรมไฟฟ้าภาษาไทยเล่มหนึ่ง ที่มีความครอบคลุมเนื้อหาเกี่ยวกับการออกแบบ การติดตั้ง การใช้งาน และการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้ามากที่สุด โดยได้อธิบายถึงกฎหมายที่เกี่ยวข้อง มาตรฐานและพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าที่สำคัญ ระบบการจ่ายไฟฟ้าของประเทศไทย บริภัณฑ์ไฟฟ้า รวมถึงการบริหารการออกแบบสำหรับอาคารชุด อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ และการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา จึงนับได้ว่าหนังสือเล่มนี้เหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้เป็นคู่มือประกอบการเรียนและการทำงานจริงสำหรับผู้อ่านไม่ว่าจะเป็นนิสิต นักศึกษา อาจารย์ วิศวกรผู้ช่วย วิศวกรโครงการ ผู้บริหารโครงการ เจ้าของงาน ผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงาน ผู้รับเหมา ผู้ผลิต-ผู้ขาย และผู้ดูแลบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งจะให้สามารถทำงานได้อย่างมืออาชีพ และตอบโจทย์บรรลุเป้าหมายอย่างแท้จริง

นอกจากนี้ในหนังสือเล่มนี้ยังมี “ครูเบิร์ดชวนคิด” ที่นำเสนอหัวเรื่องหรือหัวข้อประเด็นสำคัญที่ต้องเน้นย้ำมาอธิบายให้เกิดความกระจ่าง และคลายข้อสงสัย ทำให้หนังสือนี้มีความน่าสนใจและแตกต่างจากหนังสือเล่มอื่น นอกจากนี้ยังทำให้เห็นว่าผู้แต่งหนังสือเล่มนี้ เป็นผู้ที่รู้จริง คิดเป็น และปฏิบัติจริง ไม่ได้เป็นนักทฤษฎีอย่างเดียว

ผมเชื่อมั่นว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่บุคลากรในวงการวิศวกรรมระบบไฟฟ้าที่จะสามารถเรียนรู้แบบทางลัดเสมือนผ่านประสบการณ์การทำงานจริงมาอย่างยาวนาน เพื่อให้มีองค์ความรู้นำไปประยุกต์ใช้ทำงานวิศวกรรมไฟฟ้าได้อย่างมืออาชีพเพื่อเป็นกำลังสำคัญในการพัฒนาชุมชน สังคม และประเทศชาติต่อไป

**ดร.วิโรจน์ บัวคลี่**
รองผู้ว่าการดิจิทัลและการสื่อสาร
สายงานดิจิทัลและการสื่อสาร
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

# คำนิยม



BANGK◎K CABLE

การประกอบวิชาชีพวิศวกรรม ต้องกระทำตามหลักปฏิบัติและจรรยาบรรณการออกแบบ การติดตั้ง การใช้งาน และการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า เพื่อให้มีความปลอดภัย ความน่าเชื่อถือ ความมั่นคง และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับงานวิศวกรรมไฟฟ้า หนังสือคู่มือ หรือตำราเล่มนี้ ถือเป็นหนังสือคู่มือที่ได้รวบรวม ความรู้ทางวิชาการ ประสบการณ์ทางวิชาชีพ และมาตรฐานที่ใช้งานได้อย่างครบถ้วน ดังนั้น วิศวกรไฟฟ้าตั้งแต่นักศึกษา วิศวกร ผู้บริหารโครงการ ในงานทุกภาคส่วน จึงได้ประโยชน์เป็นอย่างยิ่ง

ในหนังสือคู่มือเล่มนี้ยังมีครูเบิร์ดชวนคิด ที่นำหัวเรื่อง หัวข้อประเด็นสำคัญ ประเด็นที่ต้องเน้นย้ำมาอธิบายให้เกิดความกระจ่าง คลายสงสัย ช่วยให้ผู้อ่านได้รับความเข้าใจได้ง่ายขึ้น

ผมคิดว่าหนังสือคู่มือเล่มนี้ จะเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีสำหรับบุคลากรในงานระบบไฟฟ้า สามารถเข้ามาศึกษาได้อย่างรวดเร็ว ประยุกต์ใช้ประสบการณ์ที่มีอยู่ในหนังสือคู่มือให้เหมาะสมกับ การทำงานปัจจุบัน เพื่อให้วิศวกรไฟฟ้าเป็นมืออาชีพ ทำงานวิศวกรรมได้ตอบโจทย์บรรลุเป้าหมายอย่างแท้จริง และเป็นกำลังสำคัญของการพัฒนาประเทศไทยของเราต่อไป

**ธีรวุฒิ เวทะธรรม**
รองผู้ว่าการพัฒนาระบบส่ง

# คำนิยม



BANGK◎K CABLE

หนังสือตำรา “บริหารการออกแบบ การติดตั้ง การใช้งานและการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า” เป็นคลังความรู้ที่มีคุณค่าสำหรับผู้ที่มีความสนใจทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็น นักศึกษา นิสิต วิศวกรผู้ช่วย วิศวกร วิศวกรโครงการ และผู้บริหารโครงการ รวมถึงในภาคส่วนของเจ้าของงาน ผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงาน ผู้รับเหมา ตลอดจนผู้ผลิต-ผู้ขาย และผู้ดูแลบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า โดยรวบรวมข้อมูลทางวิชาการและวิชาชีพ ครอบคลุมรายละเอียดที่สำคัญในทุกขั้นตอนของระบบไฟฟ้าและเป็นไปตามมาตรฐาน ทั้งการออกแบบ การติดตั้ง การใช้งาน ไปจนถึงการบำรุงรักษา ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับงานวิศวกรรม เพื่อให้ได้ระบบไฟฟ้าที่มีความปลอดภัย น่าเชื่อถือและคุ้มค่าเนื้อหาของหนังสือคู่มือเล่มนี้ผ่านการวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลอย่างเป็นระบบ กลั่นกรองจากประสบการณ์จริงโดยผู้เชี่ยวชาญในวงการ

นอกจากนี้ยังมี “ครูเบิร์ดชวนคิด” ซึ่งเป็นการนำประเด็นสำคัญที่ต้องการเน้นย้ำมาอธิบายให้เข้าใจได้ง่ายและชัดเจนยิ่งขึ้น ทำให้หนังสือเล่มนี้เป็นแหล่งข้อมูลที่ครบถ้วน น่าเชื่อถือ และใช้ประโยชน์ได้จริงผมเชื่อว่าตำราเล่มนี้จะเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับบุคลากรในวงการระบบไฟฟ้าเปรียบเสมือนทางลัดซึ่งช่วยให้พัฒนาความรู้และทักษะในด้านระบบไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว เพื่อก้าวสู่ความเป็นมืออาชีพ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นกำลังสำคัญในการพัฒนาประเทศไทยต่อไป

**นายฉัตรชัย มาวงศ์**
ผู้ช่วยผู้ว่าการธุรกิจบำรุงรักษา (ชธธ.)
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)

# ประวัติผู้แต่งและเรียบเรียง



## ดร.เตชทัต บูรณะอัศวกุล
Dr.Techatat Buranaaudsawakul

**ประวัติการศึกษาและกิจกรรมทางสังคม**

ปริญญาตรี : วิศวกรรมไฟฟ้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปริญญาโท : บริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ปริญญาโท : วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ปริญญาเอก : นวัตกรรมและดิจิทัล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ปริญญาเอก : วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

**ตำแหน่ง**

อาจารย์ : วิทยาลัย พิชญบัณฑิต
อาจารย์พิเศษ : มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
: KMUTT & KMITL
: บริษัท อาซีฟา จำกัด (มหาชน)

- ประธานสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ : วสท.
- ประธานคณะกรรมการร่างมาตรฐานระบบสายไฟฟ้าใต้ดิน : วสท.
- ประธานคณะกรรมการร่างมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า : วสท.
- ประธานคณะกรรมการร่างมาตรฐานไฟฟ้าสาธารณะ : วสท.
- ประธานคณะกรรมการประจำมาตรฐานระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ : วสท.
- ประธานอนุกรรมการ มาตรฐานการบริหารจัดการ การทำงานและการบำรุงรักษา ในดาดาเซนเดอร์
- ประธานคณะกรรมการประจำ มาตรฐาน DATA CENTER : วสท.
- ผู้ชำนาญการสอบเลื่อนระดับภาคี - สามัญ ,สามัญ - วุฒิวิศวกร และภาคีพิเศษ : สภาวิศวกร
- อนุกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า และอนุกรรมการสวัสดิการฯ : สภาวิศวกร
- อนุกรรมการกำหนดมาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ สาขาอาชีพช่างไฟฟ้าภายในอาคาร ระดับ 1 และ 2: กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน
- อนุกรรมการวิชาการรายสาขา เครื่องตัดวงจรไฟฟ้า สวิตช์เกียร์ เกียร์ควบคุม และชุดประกอบ : สมอ.
- ที่ปรึกษาทางวิชาการ : สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย : TEMCA
- ที่ปรึกษาสมาคมผู้ตรวจสอบและบริหารความปลอดภัยอาคาร: BSA

**ผลงานทางวิชาการ**

- หนังสือการบริหารการออกแบบ และการติดตั้งทางไฟฟ้า
- หนังสือช่างไฟฟ้า และวิศวกรไฟฟ้า อย่างมืออาชีพ
- หนังสือ108 คำถาม กับเรื่องช่างไฟฟ้าภายในอาคาร ระดับ 1