



รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA
Installation of a 1,000 kVA Electrical Transformer

โดย

นายทัศนัย มะคุ้มใจ 6623200001

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 152-497 สหกิจศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้า 1
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2568

หัวข้อโครงการ การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA
 Installation of a 1,000 kVA Electrical Transformer

รายชื่อผู้จัดทำ นายทัศนัย มะคุ้มใจ รหัสนักศึกษา 6623200001

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิภาวัลย์ นาคทรัพย์

อนุมัติให้โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาและการศึกษาเชิงบูรณาการ
กับการทำงาน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสยาม ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2568



คณะกรรมการสอบโครงการ

Wu Su

.....อาจารย์นิเทศ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิภาวัลย์ นาคทรัพย์)

คุณ ดารงค์สกุลไทย

.....พนักงานที่ปรึกษา

(นายชันษา ดารงค์สกุลไทย)

Abul W.

.....กรรมการกลาง

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ นาราษฎร์)

ดร. มารุจ ลิ้มปะวัฒน์

.....ผู้ช่วยอธิการบดีและผู้อำนวยการสำนักสหกิจศึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มารุจ ลิ้มปะวัฒน์)

จดหมายนำส่งรายงาน


วันที่ 8 มิถุนายน พ.ศ. 2569

เรื่อง ขอส่งรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา
เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิภาวัลย์ นาคทรัพย์

ตามที่ผู้จัดทำ นายทัศนัย มะคุ้มใจ นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยามได้ปฏิบัติงานสหกิจศึกษาและการศึกษาเชิง
บูรณาการกับการทำงาน ระหว่างวันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2569 ถึงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2569 ใน
ตำแหน่ง ช่างชำนาญการ แผนกซ่อมบำรุง โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียนและได้รับมอบหมายจาก
พนักงานที่ปรึกษา ให้ศึกษาและทำรายงานเรื่อง "การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA "

บัดนี้การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาและการศึกษาเชิงบูรณาการกับการทำงานได้สิ้นสุดลงแล้ว
นายทัศนัย มะคุ้มใจ จึงขอส่งรายงานดังกล่าวมาพร้อมกันนี้จำนวน 1 เล่ม เพื่อขอรับคำปรึกษาต่อไป
จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

ลงชื่อ 
(นายทัศนัย มะคุ้มใจ)
ผู้จัดทำ

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

การที่ผู้จัดทำได้มาปฏิบัติสหกิจศึกษา ณ แผนกซ่อมบำรุง โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน ตั้งแต่วันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2569 ถึงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2569 ได้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ด้วยดี ส่งผลให้ผู้จัดทำได้รับความรู้ประสบการณ์ทำงานต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการเรียนและสามารถนำความรู้ประสบการณ์ที่ได้ไปใช้ในการประกอบอาชีพในอนาคตด้วยความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากแผนกซ่อมบำรุง โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน ที่ให้โอกาสผู้จัดทำ เข้ามาปฏิบัติสหกิจศึกษา กรุณาเสียสละเวลาอบรม สอนงานและช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการปฏิบัติสหกิจศึกษา จึงขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้ จากการสนับสนุนหลายฝ่าย ดังนี้

- 1) นายชันษา ดำรงค์สกุลไทย (พนักงานที่ปรึกษา)
- 2) ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิภาวัลย์ นาคทรัพย์ (อาจารย์ที่ปรึกษา)

และบุคคลที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำในการจัดทำรายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อ แผนกซ่อมบำรุง โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน และผู้สนใจปฏิบัติสหกิจศึกษาในงานการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาโครงการต่อไป รวมทั้งในการค้นคว้าของกลุ่มที่สนใจ หากโครงการฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้

ทัศนัย มะคุ้มใจ
ผู้จัดทำ

หัวข้อโครงการ :	การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA
หน่วยกิต :	5 หน่วยกิต
ผู้จัดทำ :	นายทัศนัย มะคุ้มใจ 6623200001
อาจารย์ที่ปรึกษา :	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิภาวัลย์ นาคทรัพย์
ระดับการศึกษา :	ปริญญาตรี (วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต)
สาขาวิชา :	วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะ :	วิศวกรรมศาสตร์
ภาคการศึกษา/ปีการศึกษา	2/2568

บทคัดย่อ

โครงการสหกิจศึกษาเล่มนี้นำเสนอประสบการณ์การปฏิบัติงานเกี่ยวกับการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA ภายในโรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน กรุงเทพมหานคร ตามมาตรฐานความปลอดภัยทางไฟฟ้าและมาตรฐานการปฏิบัติงานภายในสถานพยาบาล

โดยปฏิบัติงาน ณ แผนกซ่อมบำรุง โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน ตั้งแต่วันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2569 ถึงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2569 ในการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าครั้งนี้ ประกอบไปด้วยการวางแผนและประเมินความเสี่ยง การตัดแยกระบบไฟฟ้าหลัก (Shutdown) และการติดตั้งเชื่อมต่อระบบพร้อมทดสอบการทำงาน ณ ตำแหน่งใหม่

ซึ่งการปฏิบัติงานครั้งนี้ได้รับการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับงานที่ได้รับมอบหมายเป็นอย่างดีจากผู้ที่มีความเชี่ยวชาญด้านระบบไฟฟ้ากำลังในโรงพยาบาล หัวหน้าฝ่ายอาคารสถานที่และสิ่งแวดล้อม และทีมงานซ่อมบำรุงของโรงพยาบาล โครงการนี้ทำให้มีความรู้ความสามารถในการควบคุมงานการเคลื่อนย้ายและติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าในพื้นที่จำกัด ได้เป็นอย่างดี และการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิบัติงานอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะการวางแผนงานให้ส่งผลกระทบต่อการใช้บริการทางการแพทย์น้อยที่สุด จึงทำให้สามารถปฏิบัติงานการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าได้อย่างราบรื่น ตลอดจนนำประสบการณ์ที่ได้รับไปปฏิบัติงานควบคุมการบำรุงรักษาและปรับปรุงระบบไฟฟ้าในโรงพยาบาลได้

คำสำคัญ : หม้อแปลงไฟฟ้า/การติดตั้ง/ซ่อมบำรุง

Project Title	Installation of a 1,000 kVA Electrical Transformer
Credits	5 Units
By	Mr. Thatsanai Makhumjai 6623200001
Advisor	Asst. Prof. Wipavan Narksarp
Degree	Bachelor of Engineering
Major	Electrical Engineering
Faculty	Engineering
Semester/Academic year	2/2025

Abstract

This cooperative education project report presents the practical experience gained during the Installation of a 1000 kVA electrical transformer within the Bangkok Christian Hospital, Bangkok. The operation was conducted in compliance with electrical safety standards and the specific operational standards required for healthcare facilities.

The internship was undertaken at the Maintenance Department of Bangkok Christian Hospital from January 12, 2026, to May 1, 2026. This transformer installation process comprised several critical phases: planning and risk assessment, main electrical system shutdown, transportation and mobilization, and finally, installation, system integration, and functional testing at the new site.

During this operation, valuable knowledge regarding the assigned tasks was effectively transferred from specialists in hospital power electrical systems, the Head of the Buildings and Environment Department, and the hospital's maintenance team. This project enhanced the author's knowledge and competency in supervising the relocation and installation of transformers within confined spaces, as well as in systematic problem-solving during operations. A key focus was operational planning designed to minimize disruption to medical services. This approach ensured the transformer Installation was executed smoothly. Furthermore, the experience gained is applicable to supervising future maintenance and improvement of electrical systems in a hospital setting.

Keywords: transformer, Installation, maintenance

Wt Se
 (Co-op Advisor.)

Approved by
Wt Se

สารบัญ

	หน้า
จดหมายนำส่งรายงาน	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract)	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ข้อมูลของสถานประกอบการและลักษณะงานที่ได้รับมอบหมาย	1
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.3 วัตถุประสงค์	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ระบบการส่งและจ่ายไฟฟ้า	3
2.1.1 โครงสร้างระบบกำลังไฟฟ้า	5
2.1.2 แหล่งพลังงานและการผลิตพลังงานไฟฟ้า	8
2.1.3 โครงสร้างระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า	13
2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)	24
2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้า	24
2.2.2 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า	26
2.2.3 ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้า	28
2.2.4 ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้า	38
2.2.5 นิยามที่ควรทราบเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้า	40
2.2.6 การติดตั้งและการเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้า	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.7 การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า	67
2.3 ข้อกำหนดและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง	70
2.3.1 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564	70
2.3.2 ข้อกำหนดของการไฟฟ้านครหลวง	73
2.3.3 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522	77
2.4 แผงควบคุมไฟฟ้า	80
2.4.1 แผงควบคุมไฟฟ้าหลัก (Main Distribution Board, MDB)	80
2.4.2 ตู้ควบคุมไฟฟ้ารอง (Sub Distribution Board, SDB)	82
2.5 เซอร์กิตเบรกเกอร์	83
2.5.1 แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Air Circuit Breaker, ACB)	83
2.5.2 โมลด์เคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Molded Case Circuit Breaker, MCCB)	84
2.5.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์ลู่ย่อย (Miniature Circuit Breaker, MCB)	85
2.6 Capacitor Bank	86
2.7 สายไฟฟ้า	87
2.7.1 ชนิดและการใช้งานของสายไฟฟ้า	87
2.7.2 ส่วนประกอบของสายไฟฟ้า	87
2.7.3 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	89
2.7.4 สายไฟฟ้าแรงดันสูง	92
2.7.5 สายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2553	96
2.7.6 สายดิน (Grounding Conductor)	99
2.8 รางเคเบิล (Cable Tray)	101
2.8.1 รางเคเบิลแบบบันได (Ladder Type)	102
2.8.2 รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ (Solid Bottom Type)	102
2.8.3 รางเคเบิลแบบมีช่องระบายอากาศ (Perforated Type)	103

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 รายละเอียดการปฏิบัติงาน	104
3.1 รายละเอียดการปฏิบัติงานตามโครงการ	104
3.1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	104
3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงาน	104
3.1.3 การปฏิบัติงาน	105
3.1.4 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	105
3.2 รายละเอียดการปฏิบัติงานตามที่ได้รับมอบหมาย	131
3.2.1 Preventive Maintenance Generator	131
บทที่ 4 ผลการปฏิบัติงาน	137
4.1 ผลการปฏิบัติงานตามโครงการ	137
4.2 ผลการปฏิบัติงานตามที่ได้รับมอบหมาย	139
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	142
5.1 สรุปผลโครงการ	142
5.2 ประโยชน์ด้านสังคม	142
5.3 ประโยชน์ด้านการปฏิบัติงาน	142
5.4 ข้อดีของการปฏิบัติงานโครงการสหกิจศึกษา	142
5.5 การแก้ไขปัญหาในการปฏิบัติงาน	143
5.6 ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน	143
บรรณานุกรม	144
ภาคผนวก	145
ภาคผนวก ก หนังสือยินยอมให้เผยแพร่รายงานการปฏิบัติงานโครงการสหกิจศึกษา	146
ภาคผนวก ข ภาพการนิเทศงานของอาจารย์	148
ภาคผนวก ค การสอบโครงการสหกิจศึกษา	151
ภาคผนวก ง การตรวจสอบการลอกเลียนวรรณกรรมทางวิชาการโดยใช้โปรแกรม อักษรวิสุทธิ์	154

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
แบบสรุปโครงงานสหกิจศึกษาและการศึกษาเชิงบูรณาการกับการทำงาน (CWIE)	
มหาวิทยาลัยสยาม	
ประวัติผู้จัดทำ	156



สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	มาตรฐานของระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทย	7
ตารางที่ 2.2	ระดับแรงดันไฟฟ้า โดยกำหนดเป็นขีดจำกัด ($\pm 10 \%$)	8
ตารางที่ 2.3	ระบบแรงดันและโหลดในการจ่ายไฟของการไฟฟ้าฯ	24
ตารางที่ 2.4	ระดับการป้องกันตามมาตรฐาน IEC 60529 หรือมอก. 513-2553	36
ตารางที่ 2.5	หม้อแปลงน้ำมัน (Hermetically Sealed) 3 เฟส แรงดัน 12 – 24 kV / 230 – 400 V	38
ตารางที่ 2.6	หม้อแปลงน้ำมัน 1 เฟสแรงดัน 12 – 24 kV / 230 V	39
ตารางที่ 2.7	หม้อแปลงแห้ง (Cast Resin Dry Type Transformer) 3 เฟส แรงดัน 24 kV / 230 – 400 V	39
ตารางที่ 2.8	ค่า BIL ตามมาตรฐาน IEC	40
ตารางที่ 2.9	มาตรฐานแท่งของ กฟภ. $\pm 2 \times 2.5\%$	41
ตารางที่ 2.10	มาตรฐานแท่งของ กฟน. $-4 \times 2.5\%$	42
ตารางที่ 2.11	สัญลักษณ์แสดงวิธีระบายความร้อน	46
ตารางที่ 2.12	หม้อแปลงชนิดแห้ง	49
ตารางที่ 2.13	หม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟได้	50
ตารางที่ 2.14	หม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟยาก	50
ตารางที่ 2.15	วิธีการระบายความร้อน	52
ตารางที่ 2.16	ขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับหม้อแปลง	61
ตารางที่ 2.17	ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟเข้า (Fuse) ของหม้อแปลง 3 เฟส 22 kV, 33kV	64
ตารางที่ 2.18	ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำด้านไฟออกหม้อแปลง 3 เฟส 230/400V	65
ตารางที่ 2.19	รายการตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงน้ำมัน	68
ตารางที่ 2.20	ตารางสี Bus Bars มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย	81
ตารางที่ 2.21	เปรียบเทียบคุณสมบัติของทองแดงและอะลูมิเนียม	88

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.22	คุณสมบัติของฉนวน PVC และ XLPE	89
ตารางที่ 2.23	เครื่องหมายการทนไฟ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ	92
ตารางที่ 2.24	ขนาดของสายดินสำหรับต่อจากจุดนิวทรัลไปยังหลักดิน	100
ตารางที่ 2.25	ขนาดต่ำสุดของสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า	100
ตารางที่ 3.1	ขั้นตอนและระยะเวลาการดำเนินงาน	104
ตารางที่ 4.1	ผลการดำเนินงานตามโครงการ	137
ตารางที่ 4.2	รายการตรวจสอบตู้ Main Distribution Board	138



สารบัญรูปภาพ

	หน้า	
รูปที่ 2.1	สัญลักษณ์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต	3
รูปที่ 2.2	สัญลักษณ์ของการไฟฟ้านครหลวง	4
รูปที่ 2.3	สัญลักษณ์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	4
รูปที่ 2.4	โครงสร้างของระบบกำลังไฟฟ้า	5
รูปที่ 2.5	การติดตั้งเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์	12
รูปที่ 2.6	โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิง	13
รูปที่ 2.7	หลักการการทำงานของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์	15
รูปที่ 2.8	โครงสร้างหลักการทำงานของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ	16
รูปที่ 2.9	โครงสร้างหลักการทำงานของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ	17
รูปที่ 2.10	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบที่มีรองลื่นบังคับแนว 3 ชุด	17
รูปที่ 2.11	เครื่องกังหันน้ำแบบรวม	18
รูปที่ 2.12	ขดลวดสเตเตอร์	19
รูปที่ 2.13	ตัวหมุนของเครื่องกำเนิด	19
รูปที่ 2.14	ระบบสายส่งและจ่ายไฟฟ้า	20
รูปที่ 2.15	การส่งและจ่ายไฟฟ้าพาดผ่านไปในอากาศ	20
รูปที่ 2.16	การส่งและจ่ายไฟฟ้าเป็นเคเบิลใต้ดิน	21
รูปที่ 2.17	ระบบการจำหน่ายไฟฟ้า	22
รูปที่ 2.18	สถานีการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า	23
รูปที่ 2.19	การต่อวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลต้า-วาย (กฟน.)	25
รูปที่ 2.20	การต่อวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลต้า-วาย (กฟภ.)	25
รูปที่ 2.21	หม้อแปลงปิดฉนวนแบบใช้ก๊าซไนโตรเจน	27
รูปที่ 2.22	หม้อแปลงปิดฉนวนแบบผนังเป็นลอนคลื่น (Corrugated)	27
รูปที่ 2.23	หม้อแปลงชนิดแห้ง (Dry-type Transformer) และสิ่งหล่อหุ้ม	23
รูปที่ 2.24	ตัวอย่างส่วนประกอบของหม้อแปลงน้ำมันแบบ Corrugated Tank	30
รูปที่ 2.25	แผ่นป้ายของหม้อแปลง	31

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 2.26	ฟิวส์แรงสูง (Dropout Fuse)	32
รูปที่ 2.27	ล่อฟ้าแรงสูง (HV. Arrester)	32
รูปที่ 2.28	ตัวอย่างส่วนประกอบของหม้อแปลงแห้ง	34
รูปที่ 2.29	เครื่องห่อหุ้ม (Protective Enclosure)	35
รูปที่ 2.30	แบบติดตั้งพัดลมไว้ด้านบน	37
รูปที่ 2.31	แบบติดตั้งพัดลมไว้ด้านล่าง	38
รูปที่ 2.32	TAP -4 x 2.5%	41
รูปที่ 2.33	วงจรสมมูลของหม้อแปลงและการลัดวงจร	43
รูปที่ 2.34	เวกเตอร์กรุปของหม้อแปลงชุดหนึ่งเป็น Dy 5	44
รูปที่ 2.35	เวกเตอร์กรุปของหม้อแปลงชุดหนึ่งเป็น Dy 11	44
รูปที่ 2.36	ตัวอย่างการต่อขดลวดตาม Vector Group ต่างๆ	45
รูปที่ 2.37	ระยะห่างสำหรับหม้อแปลง	51
รูปที่ 2.38	ระบบหมุนเวียนอากาศสำหรับห้องหม้อแปลง	53
รูปที่ 2.39	การติดตั้งหม้อแปลงแบบแขวน	57
รูปที่ 2.40	การติดตั้งหม้อแปลงแบบนั่งร้าน	58
รูปที่ 2.41	แบบตัวอย่างลานหม้อแปลง	59
รูปที่ 2.42	การจ่ายไฟระบบแรงสูงและการป้องกันกระแสเกินด้านไฟเข้า	60
รูปที่ 2.43	การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าของหม้อแปลงที่อยู่ภายนอกอาคาร	66
รูปที่ 2.44	ตู้ MDB (Main Distribution Board)	80
รูปที่ 2.45	ตู้ควบคุมไฟฟ้ารอง (Sub Distribution Board, SDB)	83
รูปที่ 2.46	ACB (Air Circuit Breaker)	84
รูปที่ 2.47	MCCB (Molded Case Circuit Breaker)	84
รูปที่ 2.48	MCB (Miniature Circuit Breaker)	85
รูปที่ 2.49	Capacitor Bank	86
รูปที่ 2.50	สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน XLPE (หรือสาย CV)	90

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.51 สายไฟฟ้าทวนไฟ (FRC)	91
รูปที่ 2.52 สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย AAC	93
รูปที่ 2.53 สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมแกนเหล็ก ACSR	94
รูปที่ 2.54 สาย Partial Insulated Cable (PIC)	94
รูปที่ 2.55 สาย Space Aerial Cable (SAC)	95
รูปที่ 2.56 สาย Cross-linked Polyethylene (XLPE)	95
รูปที่ 2.57 สาย THW	97
รูปที่ 2.58 สาย VAF	98
รูปที่ 2.59 สาย NYY 4 แกน	98
รูปที่ 2.60 รางเคเบิลแบบบันได (Ladder Type)	102
รูปที่ 2.61 รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ (Solid Bottom Type)	102
รูปที่ 2.62 รางเคเบิลแบบมีช่องระบายอากาศ (Perforated Type)	103
รูปที่ 3.1 แบบงานการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA	105
รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายจากดาวเทียม ณ สถานที่ปฏิบัติงาน โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน	106
รูปที่ 3.3 ตารางโหลดของตู้ MDB	107
รูปที่ 3.4 แบบ Single Line Diagram	108
รูปที่ 3.5 รูปแบบการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า	108
รูปที่ 3.6 อาคารที่ทำการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 1,000 kVA	109
รูปที่ 3.7 สถานที่ติดตั้งหม้อแปลง (เก่า)	110
รูปที่ 3.8 สถานที่ติดตั้งหม้อแปลง (ใหม่)	110
รูปที่ 3.9 รื้อถอนสิ่งปลูกสร้างเก่า	111
รูปที่ 3.10 เจ้าหน้าที่การไฟฟ้านครหลวงทำการตัดกระแสไฟออกจากหม้อแปลง	111
รูปที่ 3.11 ปลดสายออกจากตู้ MDB	112
รูปที่ 3.12 รื้อถอนสายไฟฟ้าเก่า	112
รูปที่ 3.13 เชื่อมต่อสายไฟฟ้าเพื่อใช้งานชั่วคราว	113

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.14 การเจาะพื้นคอนกรีตเพื่อติดตั้งเสานั่งร้าน (คอร์.)	114
รูปที่ 3.15 ตรวจสอบพื้นถนนเก่า	115
รูปที่ 3.16 ติดตั้งเสาस्टับคอนกรีต	116
รูปที่ 3.17 ยึดเสานั่งร้านติดกับเสาस्टับ	116
รูปที่ 3.18 แบบติดตั้งเสาस्टับและเสานั่งร้าน (คอร์.)	116
รูปที่ 3.19 ติดตั้งคานนั่งร้านหม้อแปลง	117
รูปที่ 3.20 ติดตั้งคานนั่งร้านหม้อแปลงเสร็จ	117
รูปที่ 3.21 แบบติดตั้ง คานนั่งร้านหม้อแปลงไฟฟ้า	117
รูปที่ 3.22 ปลดสายไฟออกจากหม้อแปลง	118
รูปที่ 3.23 เคลื่อนย้ายหม้อแปลงไฟฟ้า	118
รูปที่ 3.24 ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าไว้บนคานนั่งร้าน	119
รูปที่ 3.25 ติดตั้งอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในระบบไฟฟ้าบนหัวเสา	119
รูปที่ 3.26 ติดตั้งหม้อแปลงและอุปกรณ์หัวเสาเสร็จเรียบร้อย	120
รูปที่ 3.27 ราง Cable Tray	120
รูปที่ 3.28 ติดตั้งราง Cable Tray ทางด้านหม้อแปลง	121
รูปที่ 3.29 ติดตั้งราง Cable Tray ทางด้านห้องไฟฟ้า	121
รูปที่ 3.30 เดินสายไฟฟ้า XLPE ขนาด 240 SQ.mm จากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังตู้ MDB	122
รูปที่ 3.31 จัดวางสายเคเบิลบนราง Cable Tray	122
รูปที่ 3.32 ตัดสายไฟเพื่อนำเข้าช่องร้อยสายของตู้ MDB	123
รูปที่ 3.33 ติดตั้งสายไฟทางด้านตู้ MDB	123
รูปที่ 3.34 เข้าสายไฟที่ขั้วแรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้า	124
รูปที่ 3.35 ติดตั้งสายไฟทางด้านหม้อแปลงไฟฟ้าเสร็จเรียบร้อย	124
รูปที่ 3.36 เจ้าหน้าที่เตรียมอุปกรณ์สำหรับติดตั้งหัวเสา	125
รูปที่ 3.37 เจ้าหน้าที่เตรียมอุปกรณ์ Surge Arrester	125
รูปที่ 3.38 เจ้าหน้าที่ทำการติดตั้ง Surge Arrester บนหัวเสา	126

สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.39 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งบนหัวเสา	126
รูปที่ 3.40 ตรวจสอบการขันโบลต์ที่ บัสบาร์ (Busbar)	127
รูปที่ 3.41 ตรวจสอบ Phase Rotation (หมุนทวนเข็มนาฬิกา)	128
รูปที่ 3.42 ตรวจสอบการทำงานของระบบไฟฟ้า (1)	128
รูปที่ 3.43 ตรวจสอบการทำงานของระบบไฟฟ้า (2)	129
รูปที่ 3.44 ตำแหน่งติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าใหม่	129
รูปที่ 3.45 ดำเนินการเคลื่อนย้ายหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA เสร็จเรียบร้อย	130
รูปที่ 3.46 ทางบริษัท Consult ให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการทำงาน	130
รูปที่ 3.47 Checklist Preventive Maintenance Generator	132
รูปที่ 3.48 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)	133
รูปที่ 3.49 ตรวจสอบสภาพภายนอกเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)	133
รูปที่ 3.50 ตรวจสอบการรั่วซึม	134
รูปที่ 3.51 ตรวจสอบระดับน้ำมันเชื้อเพลิง	134
รูปที่ 3.52 ตรวจสอบแบตเตอรี่	135
รูปที่ 3.53 หน้าจอแสดงผล (แรงดันไฟฟ้า ความถี่ และความเร็รรอบ)	136
รูปที่ 3.54 หน้าจอแสดงผล (แรงดันแบตเตอรี่ แรงดันน้ำมัน และอุณหภูมิ)	136
รูปที่ 4.1 รายงานการตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)	139
รูปที่ 4.2 รายงานการตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ตรวจสอบโดยบริษัทที่ รับผิดชอบ (1)	140
รูปที่ 4.3 รายงานการตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ตรวจสอบโดยบริษัทที่ รับผิดชอบ (2)	141

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ข้อมูลของสถานประกอบการและลักษณะงานที่ได้รับมอบหมาย

ชื่อและที่ตั้งสถานประกอบการ

แผนกซ่อมบำรุง โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน เลขที่ 124 ถนนสีลม แขวงสุริยวงศ์ เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร 10500

ลักษณะการประกอบการ

โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียนเป็นโรงพยาบาลเอกชนที่ไม่แสวงหาผลกำไร (Not-For-Profit Private Hospital) ที่มีลักษณะการประกอบการคือ การให้บริการด้านสาธารณสุขแก่ผู้ป่วย โดยเน้นการดูแลแบบองค์รวมทั้งด้านร่างกาย จิตใจ และอารมณ์ ดำเนินการภายใต้มูลนิธิแห่งสภาคริสตจักรในประเทศไทย และยึดมั่นในปณิธานที่จะให้บริการแก่ทุกคนชั้นอย่างดีที่สุด

ลักษณะงานที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย

นายทัศนัย มะคุ้มใจ ได้รับมอบหมายให้ควบคุมงานติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 KVA

ชื่อและตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา

นายชันษา ดำรงค์สกุลไทย ตำแหน่งหัวหน้าฝ่ายอาคารสถานที่และสิ่งแวดล้อม

ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน

ระยะเวลาในการปฏิบัติงานทั้งสิ้น 4 เดือน ตั้งแต่วันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2569 ถึงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2569

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากโรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน มีการปรับปรุงอาคารหลายแห่ง เปลี่ยนแปลงทางหลักที่ใช้สัญจรภายในพื้นที่โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน ทำให้สถานที่ติดตั้งหม้อแปลงอาคารที่พักอาศัยของบุคลากรทางการแพทย์เดิม มีส่วนกีดขวางและเป็นอันตรายต่อผู้สัญจร จึงมีความจำเป็นต้องเคลื่อนย้ายหม้อแปลงขนาด 1,000 kVA, 24 kV/416-240V ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำมัน ติดตั้งบนฐานคอนกรีต เดินสายไฟแรงสูงชนิดร้อยท่อเข้ามายังหม้อแปลง และจากหม้อแปลงเข้ามายังตู้ MDB ด้วยสายไฟชนิด XLPE เดินบนราง Cable Tray ตลอดจนติดตั้งตู้ MDB และเพิ่มขนาดสายไฟเป็น 6-(4x1Cx240 Sq.mm.) เพื่อรองรับโหลดที่เพิ่มขึ้น

ซึ่งอุปกรณ์และการติดตั้งทั้งหมดนี้จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง และถูกต้องตามหลักวิชาการ ดังนั้น ระบบดังกล่าวจึงมีความน่าสนใจในการฝึกศึกษาและนำมาเสนอในรายงานฉบับนี้

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้จัดทำจึงได้จัดทำโครงการการเคลื่อนย้ายหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA โดยมีเนื้อหาการศึกษาดังนี้

1.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA

1.2.2 ความรู้ด้านความปลอดภัยในการทำงาน

1.2.3 ข้อกำหนด มาตรฐาน และกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาการติดตั้งและทดสอบก่อนใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA

1.3.2 เพื่อฝึกทักษะการวางแผน การปฏิบัติงาน และสามารถแก้ไขปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน

1.3.3 เพื่อฝึกความรับผิดชอบต่อนหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1.4.1 ดำเนินการควบคุมงานการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA ณ อาคารที่พักอาศัยของบุคลากรทางการแพทย์ โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน

1.4.2 ศึกษาการการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA การติดตั้งและทดสอบก่อนใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA เพื่อตรวจสอบความสามารถในการรองรับโหลดที่เพิ่มขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA ณ อาคารที่พักอาศัยของบุคลากรทางการแพทย์ โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน

1.5.2 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการติดตั้งและทดสอบก่อนใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA เพื่อตรวจสอบความสามารถในการรองรับโหลดที่เพิ่มขึ้น

1.5.3 สามารถวางแผน ปฏิบัติงาน และแก้ไขปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน ตามหลักการวิศวกรรม ตลอดจนนำประสบการณ์ที่ได้รับไปปฏิบัติงานควบคุมการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการส่งและจ่ายไฟฟ้า

สำหรับประเทศไทยนั้น ได้มีการนำเอาไฟฟ้ามาใช้ตั้งแต่วันที่ ๒๐ กันยายน พ.ศ. ๒๔๒๗ ซึ่งมีเจ้าหมื่นไวยวรนาถ ได้เป็นผู้ริเริ่มดำเนินการติดตั้งระบบไฟฟ้าที่กรมทหารหน้า เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับพระบรมมหาราชวัง และหลังจากนั้นได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งรัฐบาลได้ตราพระราชบัญญัติและจัดตั้งหน่วยงานขึ้นมา โดยให้มีความรับผิดชอบในการผลิตและการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าภายในประเทศไทยดังนี้

1). การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT : Electricity Generating Authority of Thailand) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย หรือมีชื่อย่อว่า กฟผ. มีหน้าที่ในการผลิตและจัดหาแหล่งพลังงานมาผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการในการใช้ภายในประเทศไทย โดยทำการจัดจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าที่ทำการผลิตได้ให้กับ 2 หน่วยงาน คือ การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ได้ทำหน้าที่ผลิตและจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีระดับแรงดันสูง 69 kV, 115 kV, 230 kV ตามลำดับ และระบบแรงดันสูง 500 kV ซึ่งเป็นระบบสายส่งไฟฟ้าแรงดันสูงเท่าที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมีอยู่ในขณะนี้



รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

ที่มา : <https://www.egat.co.th/home/>

2). การไฟฟ้านครหลวง (MEA : Metropolitan Electricity Authority) การไฟฟ้านครหลวง หรือมีชื่อย่อว่า กฟน. ซึ่งเป็นอีกหน่วยงานหนึ่งที่มีหน้าที่ในการจัดและให้บริการจัดจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าในเขตปริมณฑล ซึ่งได้แก่ กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ และนนทบุรี นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ดูแลและบำรุงรักษาระบบจำหน่ายในเขตพื้นที่ให้บริการ โดยเฉพาะสายส่งไฟฟ้าแรงดันสูง สายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง สถานีเปลี่ยนแปลงแรงดัน สายจำหน่ายแรงดันต่ำ หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ

จำหน่าย โดยพลังงานทั้งหมด การไฟฟ้านครหลวงทำการซื้อจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย แล้วนำมาจัดจำหน่ายให้กับประชาชน ซึ่งระดับแรงดันไฟฟ้าที่รับซื้อมาได้แก่ ระดับแรงดันสูงระบบ 69 kV, 115 kV และ 230 kV



การไฟฟ้านครหลวง

Metropolitan Electricity Authority

รูปที่ 2.2 สัญลักษณ์ของการไฟฟ้านครหลวง

ที่มา : <https://www.mea.or.th/>

3). การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หรือ กฟภ. (PEA : Provincial Electricity Authority) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หรือมีชื่อย่อว่า กฟภ. ซึ่งเป็นอีกหน่วยงานหนึ่งที่มีหน้าที่ในการจัดหาและให้บริการจัดจำหน่ายพลังงานในจังหวัดต่าง ๆ ทั่วประเทศไทย โดยให้บริการในพื้นที่นอกเหนือจากการให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งพลังงานไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่แล้วทำการรับซื้อจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยส่วนหนึ่ง และทำการผลิตเองบางส่วน ส่วนการจัดซื้อทำการจัดซื้อในระบบสายส่งแรงสูงได้แก่ ระดับแรงดันสูงระบบ 69 kV, 115 kV และ 230 kV หลังจากนั้นทำการลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า ตามระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งเป็นระบบแรงดัน 11 kV, 22 kV และ 33 kV ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 สัญลักษณ์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ที่มา : <https://www.pea.co.th/>

ส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าเองบางส่วนนั้น การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ผลิตพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 25 ถึง 1,400 kW ด้วยเครื่องยนต์ดีเซล เพื่อให้บริการแก่ประชาชนในเขตชุมชน อำเภอ และจังหวัดที่อยู่ห่างไกลจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่ยังขยายเขตเข้าไปไม่ถึง และนอกจากนี้ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยังได้จัดซื้อพลังงานไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าย่อย ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือก ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้ามวลชีวภาพ เป็นต้น

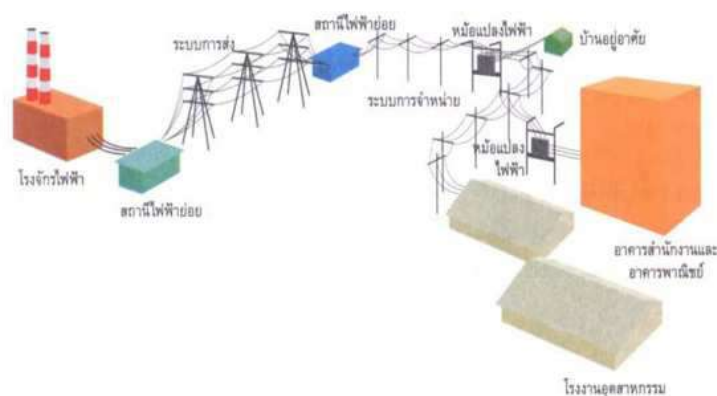
2.1.1 โครงสร้างระบบกำลังไฟฟ้า

โครงสร้างของระบบกำลังไฟฟ้า ซึ่งโครงสร้างของระบบกำลังไฟฟ้ามีส่วนประกอบอยู่ด้วยกัน 3 ส่วน มีดังนี้ คือ

- 1) ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือเราเรียกว่าโรงต้นกำลังไฟฟ้า (Generation System)
- 2) ระบบสายส่งและจ่ายกำลังไฟฟ้า (Transmission System) และระบบส่งย่อยกำลังไฟฟ้า (Subtransmission systems) และ

- 3) ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System)

ในระบบกำลังไฟฟ้า โดยทั่วไปซึ่งประกอบด้วย ระบบการผลิต ระบบส่งและจ่ายไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งหมายถึง แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่หลายกิโลวัตต์ (kW) ที่ผลิตสำหรับระบบส่งและระบบจำหน่ายย่อย และเป็นระบบที่สามารถนำพลังงานไฟฟ้าส่งไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ ภาคอุตสาหกรรม ภาคธุรกิจ และภาคครัวเรือน ซึ่งระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้า และระบบการส่งพลังงานไฟฟ้านี้ จะอยู่ในความดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และในส่วนระบบส่งไฟฟ้าและระบบจำหน่ายจะมีการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคทำหน้าที่รับผิดชอบในส่วนนี้ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของระบบกำลังไฟฟ้า

ที่มา : <https://nongcom-electrical.blogspot.com>

จากรูปที่ 2.4 เมื่อเราพิจารณาโครงสร้างระบบไฟฟ้ากำลัง จะพบว่า ระบบไฟฟ้ากำลัง ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกตามหน้าที่ได้ดังนี้ คือ

1. โรงจักรไฟฟ้า โรงจักรไฟฟ้าหรือเราเรียกว่า โรงต้นกำลังไฟฟ้า ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยมีชุดของเครื่องกำเนิดทำหน้าที่ผลิตแรงดันไฟฟ้าในระดับแรงดันหนึ่ง แล้วส่งผ่านหม้อแปลงกำลังไฟฟ้า (Transformer) เพื่อทำหน้าที่ยกระดับแรงดันให้สูงขึ้น แล้วส่งไปยังสถานเิกสวิตช์ไฟฟ้า เพื่อส่งเข้าสู่ระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าต่อไป

2. สายส่งกำลังไฟฟ้า สายส่งกำลังไฟฟ้า มีหน้าที่ในการส่งพลังงานไฟฟ้า จากโรงจักรไฟฟ้าไปยังสถานีไฟฟ้าต้นทางที่ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตจัดเตรียมไว้ ซึ่งระบบแรงดันไฟฟ้าที่ส่งขึ้นสายส่งไฟฟ้ามีอยู่ด้วยกันคือ ระบบแรงดันไฟฟ้าในระบบ 69 kV, 115 kV, 230 kV และระบบแรงดัน 500 kV ตามลำดับ

3. สถานีไฟฟ้าต้นทาง สถานีไฟฟ้าต้นทาง มีหน้าที่รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งไฟฟ้า เข้ามายังหม้อแปลงกำลังไฟฟ้า หลังจากนั้นลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลง เพื่อให้มีระดับแรงดันเท่ากับระบบส่งไฟฟ้าย่อย

4. สายส่งกำลังไฟฟ้าย่อย สายส่งกำลังไฟฟ้าย่อย เป็นวงจรสายส่งไฟฟ้าที่ออกจากสถานีไฟฟ้าต้นทาง ทำหน้าที่ส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยอีกครั้งหนึ่งด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าระบบ 69 kV และ 115 kV

5. สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยนี้ โดยทำหน้าที่รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งกำลังไฟฟ้าย่อย เข้ามายังหม้อแปลงกำลังไฟฟ้า แล้วลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่าย

6. สายป้อนหลัก สายป้อนหลัก ถือว่าเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ของสายป้อนออกจากสถานีไฟฟ้าย่อย เพื่อนำเอาพลังงานไฟฟ้าไปจ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบจำหน่ายในระดับแรงดันที่ป้อนของระบบจำหน่ายไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยระดับแรงดัน 12 kV และ 24 kV เป็นของการไฟฟ้านครหลวง 11, 22 kV และ 33 kV เป็นของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

7. สายป้อนย่อย สายป้อนย่อย เป็นวงจรของสายป้อนที่ทำหน้าที่โดยแยกจากสายป้อนหลัก เพื่อนำเอาพลังงานไฟฟ้าไปจ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ ที่ทำการติดตั้งอยู่ตามถนน ตรอก หรือซอยต่าง ๆ

8. หม้อแปลงจำหน่าย หม้อแปลงจำหน่าย มีหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าของสายป้อนไฟฟ้าให้ลดลงเท่ากับระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับใช้งานของโหลดต่าง ๆ ซึ่งเราถือว่าเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าระดับของแรงดันต่ำ

9. สายจำหน่ายแรงดันต่ำ สายจำหน่ายแรงดันต่ำ ถือว่าเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำ ซึ่งเป็นวงจรไฟฟ้าที่รับพลังงานไฟฟ้าจากหม้อแปลงระบบจำหน่าย โดยที่หม้อแปลงทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงมาให้พอดีกับโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ เช่น ระดับแรงดันไฟฟ้าของโหลดในวงจรแรงดันต่ำระบบ 3 เฟส 4 สาย ซึ่งมีระดับแรงดันไฟฟ้า 220/380 V เป็นต้น

ประเทศไทยใช้ระดับแรงดันไฟฟ้า โดยมีมาตรฐานของระดับแรงดันไฟฟ้า โดยมีระดับแรงดันในระบบแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งแสดงถึงมาตรฐานของระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทย

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานของระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทย

ประเภทแรงดัน	แรงดันระหว่างสาย (V)
แรงดันต่ำ	220/380 (3 เฟส 4 สาย)
แรงดันปานกลาง	11,000
	12,000
	22,000
	24,000
	33,000
แรงดันสูง	69,000
	115,000
	230,000
แรงดันสูงพิเศษ	500,000

และเพื่อจุดประสงค์ในการออกแบบให้เครื่องมือและอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ใช้งานได้ตามปกติในระบบไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ โดยมีขีดจำกัดของระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน ดังตารางที่ 2.2 โดยแสดงระดับแรงดันไฟฟ้า โดยกำหนดเป็นขีดจำกัด ($\pm 10\%$)

ตารางที่ 2.2 ระดับแรงดันไฟฟ้า โดยกำหนดเป็นขีดจำกัด ($\pm 10\%$)

ระบบแรงดันไฟฟ้า	แรงดันไฟฟ้าสูงสุด	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด
220 V	242 V	198 V
380 V	418 V	342 V
11 kV	12 kV	10 kV
22 kV	24 kV	20 kV
24 kV	26.8 kV	21.6 kV
33 kV	36 kV	30 kV
69 kV	72.5 kV	60 kV
115 kV	123 kV	100 kV
230 kV	245 kV	200 kV
500 kV	550 kV	450 kV

2.1.2 แหล่งพลังงานและการผลิตพลังงานไฟฟ้า

การผลิตพลังงานไฟฟ้านั้น จากการค้นพบของไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) เมื่อนำเอาขดลวดตัวนำไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก หรือนำเอาสนามแม่เหล็กนั้นเคลื่อนที่ผ่านขดลวดตัวนำไฟฟ้าแล้ว จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นบนขดลวดตัวนำไฟฟ้านั้น จากหลักการดังกล่าวนี้ จึงเป็นผลทำให้เกิดเครื่องกำเนิดขึ้นมา โดยเครื่องกำเนิดมีส่วนประกอบอยู่ด้วยกัน 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เคลื่อนที่หรือตัวหมุน (Rotor) โดยส่วนที่เคลื่อนที่จะประกอบด้วยขดลวดตัวนำไฟฟ้าที่ฝังหรือพันอยู่ในร่องของแกนเหล็กที่ทำหน้าที่เป็นแกนเหล็กหมุน เมื่อแกนเหล็กหมุนหรือตัวหมุนหมุนตัดผ่านสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวนำที่ฝังหรือพันอยู่ในร่องของแกนเหล็ก

2. ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) โดยส่วนที่อยู่กับที่จะประกอบด้วยขดลวดตัวนำไฟฟ้าฝังหรือพันอยู่ในร่องของแกนเหล็กของชุดที่อยู่กับที่ ซึ่งทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าจากตัวกระตุ้น เมื่อมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นแล้ว มีขดลวดตัวนำไฟฟ้าหรือตัวหมุนมาหมุนผ่านสนามแม่เหล็กดังกล่าว จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดตัวนำไฟฟ้าหรือตัวหมุนนั้น

จากส่วนประกอบดังกล่าว 2 ส่วน นั่นคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และในปัจจุบันแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่จะผลิตด้วยการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ ดังนั้น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจะต้องมีพลังงานทางกลมาช่วยขับเคลื่อนของเครื่องกำเนิดให้กับส่วนที่เคลื่อนที่หรือตัวหมุนนั้นหมุนเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมา

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าถือว่าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเพลลาของส่วนที่เคลื่อนที่หรือตัวหมุนจะได้รับพลังงานทางกลในรูปของทอร์ก (Torque) คูณกับความเร็วเชิงมุม (angular velocity) ของเพลลาของเครื่องกำเนิด โดยได้สมการดังนี้ คือ

$$P = T \times \omega \text{ กิโลวัตต์ (kW)} \quad (2.1)$$

เมื่อ $P =$ กำลังทางกลที่เกิดขึ้นที่เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ (kW)

$T =$ ทอร์กที่เกิดขึ้นที่เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มี
หน่วยเป็น นิวตัน/เมตร (Newton/m)

$\omega =$ ความเร็วเชิงมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีหน่วยเป็น
เรเดียน/วินาที (rad/sec)

โดยพลังงานทางกลนี้ จะได้มาจากเครื่องกังหัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน ตามพื้นฐานการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีดังนี้คือ

1. กังหันประเภทไฮดรอลิก โดยใช้พลังงานน้ำเป็นตัวขับเคลื่อน และ
2. กังหันประเภทไอน้ำ โดยใช้เชื้อเพลิงมาทำการเผาไหม้ให้เกิดเป็นพลังงานความร้อน แล้วนำพลังงานความร้อนได้ไปต้มน้ำให้เดือดกลายเป็นไอน้ำอีกครั้ง หลังจากนั้นแล้วนำไอน้ำที่ได้ไปขับเคลื่อนเครื่องกังหันตามลำดับ

จากการได้มาซึ่งพลังงานไฟฟ้ามาใช้นั้น จะต้องทำการเปลี่ยนพลังงานจากรูปแบบอื่น ๆ มาเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเหล่านั้นยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้ดังนี้คือ

1. แหล่งพลังงานประเภทความร้อน
2. แหล่งพลังงานประเภทไม่ใช้ความร้อน

1. แหล่งพลังงานประเภทความร้อน

แหล่งพลังงานประเภทความร้อนสามารถทำการแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภทด้วยกัน คือ

1) เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel)สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ตามสถานะได้ดังต่อไปนี้

ก. สถานะของแข็ง ได้แก่ ถ่านหิน ลิกไนต์

ข. สถานะของเหลว ได้แก่ น้ำมันเตา

ค. สถานะเป็นแก๊ส ได้แก่ แก๊สธรรมชาติ

2) พลังงานนิวเคลียร์ (Nuclear)

พลังงานนิวเคลียร์ เป็นการนำเอาพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ในรูปแบบของการแตกตัวของธาตุยูเรเนียม (Nuclear Fission of Uranium) โดยมีการใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบแตกตัว เพื่อนำเอาพลังงานความร้อนที่ได้จากการแตกตัวของธาตุยูเรเนียม 235 (U235) เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้จากการแตกตัว แล้วปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของความร้อนที่อยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบแตกตัว พลังงานความร้อนที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการต้มน้ำให้เดือดกลายเป็นไอ แล้วจากนั้นนำไอน้ำที่ได้ไปขับเคลื่อนเครื่องกังหันตามลำดับ แล้วจึงผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาอีกทอดหนึ่ง

3) พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถนำพลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในรูปแบบของความร้อน โดยการนำเอาความร้อนที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์โดยการติดตั้งแผงรับความร้อน จากนั้นนำความร้อนที่ได้นี้ไปต้มน้ำให้เดือดกลายเป็นไอ แล้วนำไอน้ำที่ได้ไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำที่ต่อเพลาเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อไป

4) พลังงานความร้อนใต้พิภพ (Geothermal)

พลังงานความร้อนใต้พิภพ ถือว่าเป็นพลังงานความร้อนจากใต้พื้นผิวของโลก โดยยิ่งลึกลงไปมากเท่าใด ความร้อนใต้พื้นผิวโลกยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น ที่ความลึก 25 - 30 กิโลเมตร จะมีความร้อนหรืออุณหภูมิประมาณ 250 - 1,000 °c โดยแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพส่วนใหญ่จะอยู่แถบหรือบริเวณที่ยังมีภูเขาไฟยังดับไม่สนิทและบริเวณที่มีแหล่งน้ำพุร้อน ซึ่งความร้อนที่ได้จากใต้พิภพนี้สามารถนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าได้

5) มวลชีวภาพ (Biomass)มวลชีวภาพ ถือว่าเป็นสารอินทรีย์วัตถุที่นำมาผ่านกระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์ แล้วนำแก๊สที่ผลิตได้มาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

6) ขยะและแก๊สจากท่อระบายสิ่งปฏิกูล (Garbage and Sewage)ขยะที่มีและเกิดขึ้นอยู่ทุกวันนี้ ขยะบางชนิดสามารถคัดแยกแล้วนำขยะที่ได้บางชนิดไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการ

เผาไหม้ได้ ดังนั้น เมื่อแยกแยะขยะออกจากกันแล้ว จะได้ขยะที่ไม่ติดไฟกับติดไฟ หลังจากนั้นนำขยะที่ ติดไฟได้นำไปเป็นเชื้อเพลิงผสมกับถ่านหิน เพื่อนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ส่วนแก๊สที่ได้จากท่อระบายสิ่งปฏิกูลนั้น สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเช่นกัน

2 แหล่งพลังงานประเภทไม่ให้ความร้อน

แหล่งพลังงานประเภทไม่ให้ความร้อน สามารถแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ดังนี้คือ

1) พลังงานน้ำ (Hydro)

ประเทศไทยเรานั้นได้มีการนำพลังงานน้ำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นส่วนใหญ่ พลังงานน้ำที่ได้ถือว่าเป็นประหยัดที่สุดและไม่ก่อให้เกิดมลพิษ (Pollution) แต่มีข้อเสียคือ การใช้พลังงานจากน้ำนั้น จะต้องลงทุนก่อสร้างเขื่อนกั้นน้ำสูง ระบบการส่งและจ่ายกำลังไฟฟ้าจะอยู่ห่างไกลจากศูนย์กลางของโหลด ส่วนข้อดีของพลังงานน้ำนั้นนอกจากประหยัดแล้ว ยังสามารถเดินเครื่องกำเนิดผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทันที

2) พลังงานน้ำขึ้น – น้ำลง (Tidal)

ในประเทศฝรั่งเศส ซึ่งเป็นประเทศหนึ่งในโลกไม่กี่ประเทศที่นำเอาระบบน้ำขึ้นน้ำลงมาใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยมีกำลังผลิตสูงถึง 240 MW โดยพลังงานน้ำขึ้นน้ำลงที่ได้จะเป็นพลังงานในรูปของพลังงานศักย์

3) พลังงานคลื่นในทะเล (Wave)

พลังงานคลื่นในทะเล โดยมีประเทศญี่ปุ่นได้มีการทดลองเกี่ยวกับเครื่องจักรไฟฟ้าในลักษณะของทุ่นลอยน้ำ หลังจากนั้นได้นำทุ่นไปลอยในน้ำทะเล เมื่อทะเลเกิดคลื่นขึ้น ทุ่นที่ลอยอยู่จะทำการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของคลื่นทะเลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้

4) พลังงานลม (Wind)

พลังงานลมถือว่าเป็นพลังงานธรรมชาติอีกชนิดหนึ่งที่บริสุทธิ์ โดยการใช้ลมมาผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของลม ซึ่งเป็นการใช้กังหันลมให้เป็นพลังงานทางกล แล้วนำพลังงานกลที่ได้ไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งในประเทศไทยได้มีการทำการทดลองอยู่ที่แหลมพรหมเทพในจังหวัดภูเก็ต และมีอีกหลายแห่งในประเทศที่กำลังอยู่ในระหว่างการศึกษาและค้นคว้าอยู่ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้ยังไม่สม่ำเสมอ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระแสลมที่พัดผ่านไม่สม่ำเสมอ จึงได้มีการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าที่ได้ในรูปของชุดแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงก่อนที่จะนำเอาพลังงานที่เก็บได้ออกมาผ่านกระบวนการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เรียกว่า อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ก่อนนำออกไปใช้งาน

5) การเปลี่ยนรูปพลังงานรังสีอาทิตย์โดยตรง (Direct Solar Conversion)

การเปลี่ยนรูปพลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ เป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์โดยตรง ทำการเปลี่ยนพลังงานโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ หรือเรียกว่า “เซลล์สุริยะ” (Solar Cells) โดยใช้คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำไฟฟ้ามาทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงที่ได้จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำแผงเซลล์สุริยะมาประกอบติดตั้งลงบนโครงเหล็กแล้วติดตั้งบนหลังคาอาคารหรือสถานที่ที่มีแสงอาทิตย์ส่องถึง โดยพลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระในเซลล์สุริยะเกิดการเคลื่อนที่ ซึ่งการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนก็คือกระแสไฟฟ้านั่นเอง พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะถูกเก็บสะสมไว้ในชุดของแบตเตอรี่ หลังจากนั้นจะนำออกไปใช้งานจะต้องทำการแปลงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้วยเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับก่อนนำออกไปใช้งาน

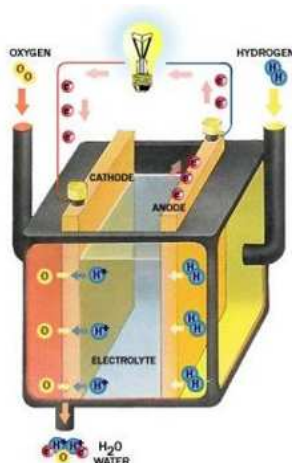


รูปที่ 2.5 การติดตั้งเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา : <https://www.asolar.co.th>

6) เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell)

เซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งเป็นกระบวนการแยกโมเลกุลของน้ำด้วยพลังงานไฟฟ้า ทำให้ได้ส่วนประกอบของไฮโดรเจนกับออกซิเจน และต่อมาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในกระบวนการหรือรูปแบบของการย้อนกลับในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแก๊สธรรมชาติด้วยระบบเซลล์เชื้อเพลิง ทำได้โดยการนำเอาไฮโดรเจนที่ได้จากก๊าซธรรมชาติมาทำปฏิกิริยาทางเคมีกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้ได้น้ำและพลังงานไฟฟ้าออกมา



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิง
ที่มา : <http://www.il.mahidol.ac.th>

ในกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง ทำได้โดยการส่งก๊าซธรรมชาติและน้ำไอน้ำเข้าไปในเครื่องที่ทำการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิง ซึ่งภายในเครื่องเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงนี้ ก๊าซธรรมชาติจะทำปฏิกิริยากับไอน้ำทำให้ได้ไฮโดรเจนออกมา แล้วจากนั้นส่งเข้าไปในเซลล์เชื้อเพลิง ในขณะเดียวกันจะต้องอัดอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศเข้าไปในเซลล์เชื้อเพลิงด้วย อากาศกับก๊าซไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกันจนกระทั่งทำให้ได้น้ำและไฟฟ้ากระแสตรงออกมา ซึ่งไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ก่อนจะถูกนำไปใช้งานจะต้องนำไปผ่านเครื่องเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ หรือเรียกว่า เครื่องอินเวอร์เตอร์ ก่อนถึงจะนำพลังงานไฟฟ้า ไปใช้งานกับโหลดทั่ว ๆ ไปได้ ส่วนน้ำที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนกับออกซิเจนนั้น ปล่อยทิ้งไป

2.1.3 โครงสร้างระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า

ระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า จะประกอบด้วย 3 ส่วนประกอบด้วยกันคือ ระบบการผลิตไฟฟ้า ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบการผลิตไฟฟ้า ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้า เป็นระบบที่ทำการเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปแบบอื่น ๆ ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ ระบบการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ของน้ำไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ระบบการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า เป็นต้นระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือเราเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โรงจักรไฟฟ้า หรือโรงต้นกำลังไฟฟ้า โดยเป็นการเรียกชื่อตามลักษณะของแหล่งพลังงานที่มีหรือใช้ชนิดของพลังงานที่เป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่ใช้ในโรงจักรไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. โรงจักรไฟฟ้า (Power Plant) โรงจักรไฟฟ้าที่ทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าแล้วนำมาใช้กับโหลดทั่ว ๆ ไป สามารถแบ่งได้ตามลักษณะของแหล่งพลังงานได้ดังนี้ คือ

ก. โรงจักรไฟฟ้าที่ใช้แหล่งพลังงานประเภทไม่ให้ความร้อน ซึ่งได้แก่ โรงจักรไฟฟ้าที่ใช้พลังงานน้ำ

ข. โรงจักรไฟฟ้าที่ใช้แหล่งพลังงานประเภทให้ความร้อน ซึ่งได้แก่ โรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน และยังสามารถแบ่งโรงจักรไฟฟ้าประเภทนี้ได้อีก โดยแบ่งออกตามลักษณะของการใช้เชื้อเพลิงที่ใช้ได้ดังนี้

1) โรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนแบบธรรมดา

โรงจักรไฟฟ้าที่ใช้พลังงานความร้อนแบบธรรมดา เป็นโรงจักรไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงที่เราเรียกว่า “ฟอสซิล” ซึ่งเชื้อเพลิงที่ให้ความร้อนจากการเผาไหม้ และโรงจักรไฟฟ้าประเภทนี้มีดังต่อไปนี้ คือ

- โรงจักรไฟฟ้าพลังงานไอน้ำ
- โรงจักรไฟฟ้าพลังงานกังหันแก๊ส
- โรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม และ
- โรงจักรไฟฟ้าพลังงานเครื่องยนต์ดีเซล

2) โรงจักรไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

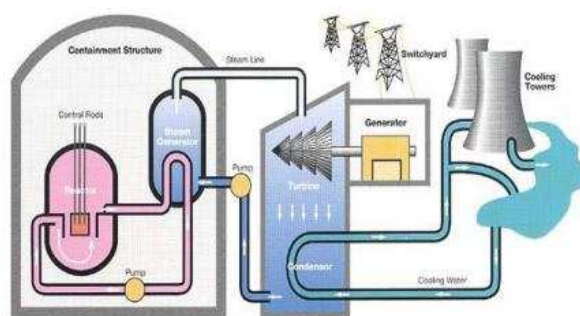
โรงจักรไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ เป็นโรงจักรไฟฟ้าที่ทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ด้วยพลังงานความร้อนแบบพิเศษ โดยเฉพาะพลังงานความร้อนที่นำมาใช้นั้น ได้มาจากการแตกตัวหรือการรวมตัวของอะตอมจากสสารทุกชนิดในธรรมชาติ ซึ่งจะประกอบด้วยโมเลกุล ในแต่ละโมเลกุลจะประกอบด้วยอะตอม ในแต่ละอะตอมจะประกอบด้วยนิวเคลียสที่อยู่เป็นแกนกลางของอะตอมและมีอิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสนั้น และภายในนิวเคลียสซึ่งประกอบด้วยอนุภาคของโปรตอนและนิวตรอนรวมกันอยู่ อิเล็กตรอนที่โคจรรอบ ๆ นิวเคลียสมีสภาพเป็นประจุลบ ส่วนโปรตอนมีสภาพเป็นประจุบวก และนิวตรอนมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า มีมวลเท่ากับอิเล็กตรอนและมีมวลน้อยกว่าโปรตอนประมาณ 2,000 เท่า ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสสารหรือสารที่มีอิเล็กตรอนเท่ากับโปรตอนจะเรียกสารนั้นว่า สารที่เสถียร มีมวลของสารบางชนิดที่ไม่เสถียรหรือน้ำหนักของสารนั้นไม่เท่ากัน เมื่อนิวเคลียสแตกตัวได้ด้วยการถูกยิงด้วยนิวตรอน เช่น สารยูเรเนียม การแตกตัวของสารยูเรเนียม - 235 (U^{235}) เมื่อถูกยิงด้วยนิวตรอนจะเกิดการแตกตัวเป็น สตรอนเชียม 94 (Sr^{94}) ซีซียม 140 (Ce^{140}) จะเกิดการสลายตัวเพื่อกลับเข้าสู่สถานะเสถียร ในขณะที่มีการแตกตัวหรือเกิดปฏิกิริยาขึ้นนั้น จะมีนิวตรอนอิสระเกิดขึ้นมาและมีพลังงานจำนวนหนึ่งเกิดขึ้นด้วยการยิงนิวตรอนใส่มวลสารแล้วเกิดการแตกตัว ซึ่งเราเรียกว่า ปฏิกิริยานิวเคลียร์ การแตกตัวของสารยูเรเนียม - 235 พลังงานที่ได้จากการ

แตกตัวจำนวน 1 กรัม จะมีค่าเท่ากับการได้พลังงานจากการเผาไหม้ถ่านหินจำนวนถึง 3 ตัน ซึ่งเป็นพลังงานที่สูงมาก

จากนิวตรอนอิสระที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ การแตกตัวหรือการรวมตัวกันดังกล่าวข้างต้นนั้น จะชนกับนิวเคลียสของสารยูเรเนียมต่อไปอีก ซึ่งก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องที่เราเรียกว่า ปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยพลังงานที่ได้นี้มีค่ามหาศาลมาก และพลังงานนิวเคลียร์สามารถพัฒนาเป็นลูกระเบิดที่จะสามารถทำลายล้างได้สูงมาก และพัฒนาเป็นโรงจักรไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ได้

หลักการการทำงานของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

โรงจักรไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์มีหลักการทำงาน ดังนี้คือ โดยการใช้เครื่องเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบแตกตัว เมื่อเกิดการแตกตัวของสารยูเรเนียม - 235 ก็จะทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นในเตาปฏิกรณ์ โดยการนำเอาหลักการของโรงไฟฟ้าพลังงานไอน้ำมาใช้ โดยความร้อนที่เกิดขึ้นนั้น จะนำพาความร้อนออกมาโดยตัวระบายความร้อนด้วยน้ำธรรมดา น้ำมวลหนัก หรือใช้แก๊สฮีเลียมมาผ่านเครื่องที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อน ความร้อนที่ระบายออกมาจะทำให้น้ำในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ หลังจากนั้นนำไอน้ำที่ได้ไปขับเครื่องกังหันไอน้ำ โดยเครื่องกังหันไอน้ำจะมีเพลลาต่อเชื่อมเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป ส่วนไอน้ำที่เหลือออกจากเครื่องกังหันไอน้ำแล้ว จะนำไปผ่านเครื่องควบแน่น เพื่อควบแน่นให้ไอน้ำเปลี่ยนสถานะการเป็นน้ำ แล้วนำน้ำที่ได้กลับเข้าไปในระบบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำอีกครั้ง เพื่อใช้ในระบบต่อไป



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. เพาเวอร์พอยต์. วิทยาลัยเทคนิคพลบุรี, 2550

3) โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ

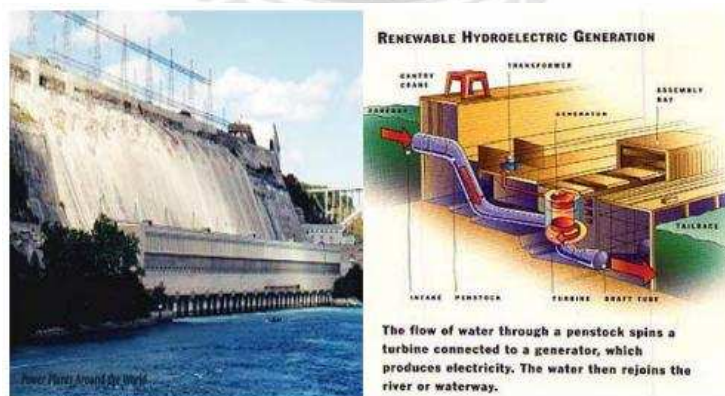
โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ เป็นโรงจักรไฟฟ้าที่อาศัยพลังงานของน้ำที่ได้จากการกักเก็บน้ำไว้ในเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำที่อยู่ในที่สูงกว่าโรงจักรไฟฟ้า หลังจากนั้นนำพลังงานจลน์ของน้ำที่ปล่อยออกมาจากเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำมาตามท่อโมเมนต์ส่งน้ำเข้าไปหมุนเครื่องกังหันน้ำ แล้วนำพลังงานกลที่ได้จากการหมุนเครื่องกังหันน้ำมาขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับเครื่องกังหัน ทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมา ซึ่งเป็นการเปลี่ยนพลังงานกลที่ได้จากเครื่องกังหันน้ำมาเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานของน้ำสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$P = 9.8 \times Q \times h \quad \text{กิโลวัตต์ (kW)} \quad (2.2)$$

- เมื่อ $P =$ พลังงานของน้ำมีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ (kW)
 $Q =$ อัตราการไหลของน้ำ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที (m^3/sec)
 $h =$ ความสูงของน้ำจากระดับน้ำเขื่อนถึงกังหันน้ำ มีหน่วยเป็น เมตร (m)

โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำดังกล่าวนี้ ยังสามารถแบ่งตามประเภทของลักษณะการไหลของน้ำได้ดังนี้

- โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบไม่มีอ่างเก็บน้ำ
- โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบมีอ่างเก็บน้ำ
- โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบน้ำกลับเพื่อกักเก็บ



รูปที่ 2.8 โครงสร้างหลักการทำงานของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ

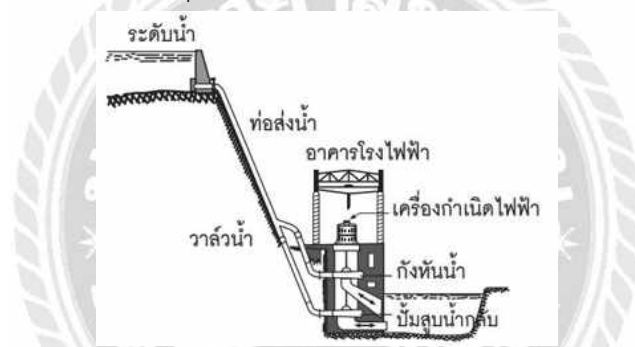
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. เพาเวอร์พอยต์. วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี, 2550

โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ โรงจักรประเภทนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ เขื่อน (Dam) ท่อส่งน้ำ หรืออุโมงค์ (Penstock) กังหันน้ำ (Water Turbine) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีรูปแบบการดำเนินการดังนี้

1) รูปแบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้าประเภทนี้มีรูปแบบของการใช้งานที่พบมากที่สุด คือ การติดตั้งเพลลาของเครื่องกำเนิดในแนวตั้ง ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบ ดังนี้ คือ

ก. รูปแบบที่มีรองลื่นบังคับ 3 ชุด (Three guide bearing type)

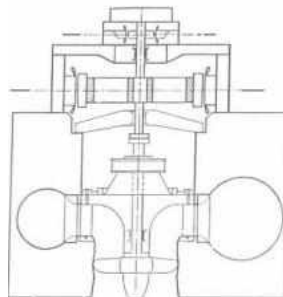
การติดตั้งเพลลาของเครื่องกำเนิดในแนวตั้งในรูปแบบที่มีรองลื่นบังคับ 3 ชุด ซึ่งแบบนี้จะมีรองลื่นแบบปรับแรงผลัก (Thrust bearing) ของพลังงานจลน์ที่ได้จากน้ำทำการติดตั้งเหนือฝาครอบด้านบนของเครื่องกังหันน้ำ โดยตัวเครื่องกังหันน้ำนั้นจะเป็นตัวรองรับน้ำหนักของเครื่องกำเนิดและส่วนที่หมุน ส่วนรองลื่นบังคับ 3 ชุด ทำการจัดเรียงโดยให้รองลื่นบังคับแนว



รูปที่ 2.9 โครงสร้างหลักการทำงานของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. เพาเวอร์พอยต์. วิทยาลัยเทคนิคลพบุรี, 2550.

ชุดที่ 1 ติดตั้งให้ใกล้ใบพัดของเครื่องกังหันให้ใกล้ที่สุด ชุดที่ 2 และ 3 โดยทำการติดตั้งอยู่ด้านบนและด้านล่างของตัวหมุน ดังแสดงดังรูปที่ 2.10

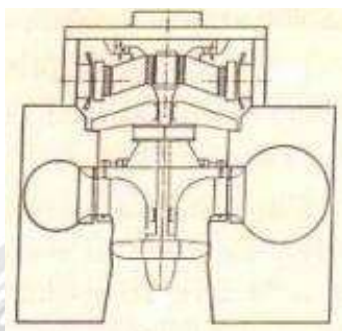


รูปที่ 2.10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบที่มีรองลื่นบังคับแนว 3 ชุด

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. เพาเวอร์พอยต์. วิทยาลัยเทคนิคลพบุรี, 2550.

ข. รูปแบบกังหันแบบร่ม (Umbrella type)

เครื่องกังหันแบบนี้ ร่องลื่นแบบรับแรงผลึกของน้ำและร่องลื่นบังคับของแนวชุดบน จะต้องทำการติดตั้งไว้บนฝาครอบด้านบนของเครื่องกังหันน้ำและเป็นตัวรับน้ำหนักตัวที่หมุน โดยส่วนของตัวหมุนจะทำการยึดติดอยู่กับส่วนปลายเพลลาของเครื่องกังหันและหมุนอยู่ในตัว โดยมีโครงหรือเปลือกของเครื่องกำเนิดยึดอยู่กับที่และวางอยู่บนฐานรากของโรงไฟฟ้า ดังแสดง ในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 เครื่องกังหันน้ำแบบร่ม

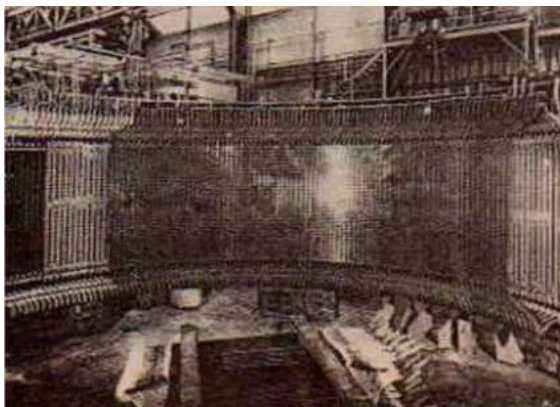
ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. เพาเวอร์พอยต์. วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี, 2550

2) ส่วนประกอบหลักของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในโรงจักรไฟฟ้า พลังงานน้ำมีส่วนประกอบด้วยกัน ดังนี้คือ

ก. ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) ซึ่งประกอบด้วยส่วนของโครงหรือเปลือกที่ติดตั้งให้อยู่กับที่ โดยทำมาจากเหล็กและทำการแบ่งออกเป็น ส่วน ๆ เพื่อง่ายต่อการขนส่ง เมื่อมาถึงสถานที่ติดตั้งแล้วสามารถเชื่อมต่อกันภายหลังได้

- ส่วนของแกนเหล็ก โดยแกนเหล็กเป็นแกนเหล็กผสมซิลิกอนทำเป็นแผ่นบาง ๆ นำมาเรียงอัดซ้อนกันแล้วยึดติดกันด้วยสลักเกลียวและมีแผ่นปิดหัวท้าย จากนั้นนำไปติดตั้งเข้ากับโครงหรือเปลือกของส่วนที่อยู่กับที่อีกครั้งหนึ่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- ชุดของขดลวดที่อยู่กับที่ ชุดของขดลวดจะใช้ตัวนำที่เป็นทองแดงที่ออกแบบให้เป็นแผ่นแถบพร้อมกับหุ้มด้วยฉนวนไฟฟ้า ซึ่งเป็นแผ่นไมก้าและทำการอาบด้วยเรซินสังเคราะห์อีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นนำไปอบด้วยความร้อน เพื่อให้ขดลวดนั้นมีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งตัวนำทองแดงที่เป็นขดลวดจะฝังอยู่ในตัวของส่วนที่อยู่กับที่ที่เรียกว่า สเตเตอร์ โดยขดลวดจะเชื่อมต่อจุดต่อด้วยทองเหลืองดังแสดงในรูปที่ 2.12 โดยขดลวดจะแยกออกเป็น ส่วน ๆ เพื่อการขนย้ายและนำไปติดตั้งได้สะดวก

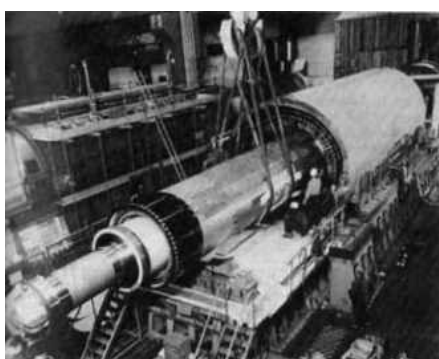


รูปที่ 2.12 ขดลวดสเตเตอร์

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. เพาเวอร์พอยต์. วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี, 2550

ข. ตัวหมุน (Rotor) ซึ่งประกอบด้วย

- โครงสร้างส่วนประกอบของตัวหมุน (spider) ซึ่งเป็นส่วนประกอบวงในของโรเตอร์ โดยมีศูนย์กลางของศูนย์กลางและมีซี่เหล็กซึ่งเป็นแกนที่มีความแข็งแรงทำการเชื่อมต่อจากแผ่นเหล็กที่ศูนย์กลางดุมลื้อไปยังส่วนวงนอกของโรเตอร์
- ขั้วแม่เหล็ก (field pole) ในรอบวงนอกของโรเตอร์จะทำการติดตั้งขั้วแม่เหล็กสำหรับเป็นขดลวดสนามแม่เหล็ก (field coil) (โดยขดลวดนี้ จะทำการอาบด้วยเรซินสังเคราะห์ และส่วนปลายของขดลวดจะหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วอีกครั้งหนึ่ง) ซึ่งขดลวดนี้จะพันลงบนโรเตอร์โดยมีฉนวนรองรับอีกชั้นหนึ่ง ส่วนขดลวดที่พันนั้นจะต้องอาบด้วยเรซินสังเคราะห์ และส่วนปลายของขดลวดจะหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วอีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นนำไปอบให้ความร้อน เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของขดลวดให้ทนทานต่อแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของโรเตอร์ในขณะทำการหมุนเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า

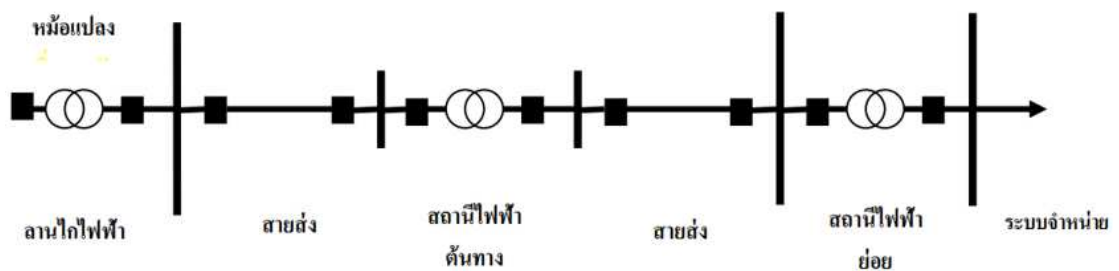


รูปที่ 2.13 ตัวหมุนของเครื่องกำเนิด

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. เพาเวอร์พอยต์. วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี, 2550

ระบบสายส่งและจ่ายไฟฟ้า (Transmission System)

ระบบสายส่งและจ่ายไฟฟ้า ซึ่งเป็นการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าส่งต่อไปให้กับระบบจำหน่ายหรือสถานีย่อย โดยระบบจำหน่ายจะเป็นศูนย์กลางของการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดต่าง ๆ หรือผู้ใช้ไฟฟ้า โดยมีการคำนึงถึงระยะทางในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในระยะใกล้และประหยัดที่สุด ลักษณะการส่งจ่ายพลังงานนี้ จะส่งจ่ายไฟฟ้าพาดผ่านไปในอากาศ (Overhead Power Line) หรือใช้การส่งจ่ายไฟฟ้าเป็นเคเบิลใต้ดิน (Underground Cable)



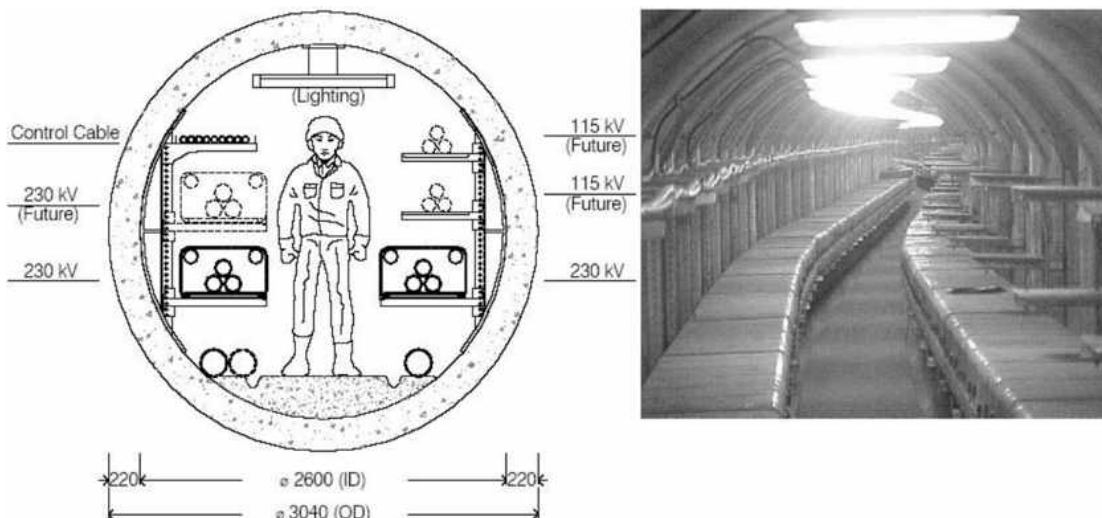
รูปที่ 2.14 ระบบสายส่งและจ่ายไฟฟ้า

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. เพาเวอร์พอยต์. วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี, 2550



รูปที่ 2.15 การส่งและจ่ายไฟฟ้าพาดผ่านไปในอากาศ

ที่มา : <https://pws.npru.ac.th/>



รูปที่ 2.16 การส่งและจ่ายไฟฟ้าเป็นเคเบิลใต้ดิน

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. เพาเวอร์พอยต์. วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี, 2550

ระบบสายส่งและจ่ายไฟฟ้านี้ จากการเชื่อมโยงระบบสายส่งกำลังไฟฟ้ากับโรงจักรไฟฟ้า หรือ โรงต้นกำลังไฟฟ้ากับสถานีไฟฟ้าย่อย เพื่อการจัดจำหน่ายแล้ว สายส่งกำลังไฟฟ้ายังต้องเชื่อมโยงกับ แหล่งจ่ายหรือโรงจักรไฟฟ้าอื่นอีก ซึ่งถือว่าเป็นระบบที่ดี สามารถเชื่อมโยงแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าถึงกัน หมดระหว่างสถานีต่อสถานีไฟฟ้าย่อย ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ซึ่งมีเหตุผลของการเชื่อมโยงดังนี้

- ทำให้ระบบการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายให้ใหญ่ขึ้น สามารถจ่ายพลังงานได้มากขึ้น เป็นการป้องกัน เหตุขัดข้องของโรงจักรไฟฟ้า ทางด้านใดด้านหนึ่ง ผู้ใช้ไฟฟ้ายังได้รับพลังงานไฟฟ้าได้จากโรงจักร ไฟฟ้าอีกด้านหนึ่ง ทำให้ระบบเกิดความมั่นคงหรือระบบมีเสถียรภาพและเชื่อถือได้มากขึ้น
- เป็นการประหยัดทางด้านเชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิต ได้ สามารถถ่ายเทได้ระหว่างระบบของโรงจักรไฟฟ้า ดังนั้น ในช่วงเวลาใดที่ต้องการพลังงานไฟฟ้า ลดลงก็สามารถทำการหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากโรงจักรไฟฟ้าบางแห่งได้ ถ้าช่วงเวลาใดที่ ต้องการพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าก็สามารถเดินเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าจากโรงจักรไฟฟ้าได้ทันที
- สามารถทำการวางแผนในการโปรแกรมการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้าได้อย่าง มีประสิทธิภาพ เช่น กำหนดได้ว่าโรงจักรไฟฟ้าโรงใดจ่ายให้กับโหลดฐาน (Base Load) และโรงจักร ไฟฟ้าใดจ่ายให้กับโหลดที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) และโรงจักรไฟฟ้าโรงใดสามารถ เป็นเครื่องสำรองพลังงานไฟฟ้าได้

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System)

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า เป็นระบบที่ถูกลดระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าให้มีแรงดัน 12 kV และ 24 kV ที่ใช้ในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง ระดับแรงดันไฟฟ้า 11 kV, 22 kV และ 33 kV เป็นระบบที่ให้บริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยสายจำหน่ายนี้เรียกว่า สายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) หรือสายจำหน่ายแรงดันสูง โดยแรงดันสูงนี้ส่วนใหญ่จะจำหน่ายให้กับโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสายจำหน่ายประเภทนี้จะเห็นได้บริเวณรอบ ๆ ตัวเมืองหรือในเขตอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ ส่วนระดับแรงดันที่ต่ำลงมากอีกจะทำการแปลงให้มีแรงดันต่ำด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าเช่นกัน เราเรียกว่า สายป้อนทุติยภูมิ (Secondary Feeder) หรือ สายจำหน่ายแรงดันต่ำ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าย่อยหรือบ้านเรือนทั่ว ๆ ไปทั้งในเมืองและชนบท



รูปที่ 2.17 ระบบการจำหน่ายไฟฟ้า

ที่มา : <https://samuibuild.com/>

สถานีเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า

สถานีเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้านี้ เป็นสถานีกึ่งกลางที่ทำหน้าที่รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบหนึ่งแล้วส่งต่อไปยังอีกระบบหนึ่ง และขณะเดียวกันก็ทำหน้าที่การเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับที่จะใช้ในระบบนั้น ๆ เช่น เมื่อระดับแรงดันจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเข้ามาแล้ว ทำการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นแล้วส่งผ่านไปยังระบบส่งกำลังไฟฟ้า หรือรับระดับแรงดันจากระบบส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามาแล้วทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลง แล้วส่งผ่านไปยังระบบจำหน่ายอีกครั้งหนึ่ง

โดยภายในสถานีเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้านี้จะประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า อุปกรณ์ตัดตอน อุปกรณ์ควบคุมและป้องกันไฟฟ้า

สถานีเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้านี้ มีหน้าที่และการทำงานสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแรงดันสูงกับแรงดันต่ำ และรับพลังงานไฟฟ้าเข้ามาหรือส่งออกจากระบบจำหน่าย
2. ทำการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับระบบ และรักษาแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ก่อนจะทำการส่งไปยังระบบอื่นต่อไป
3. เป็นสถานที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัด อุปกรณ์ตัดตอน อุปกรณ์ควบคุมและป้องกันระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.18 สถานีการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า

ที่มา : <https://www.italthaiengineering.com>

4. เป็นจุดเชื่อมโยงของระบบการสื่อสารทั้งหมด

สถานีเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้านี้ ถ้าอยู่ในบริเวณใกล้แหล่งเครื่องกำเนิดหรือโรงจักรไฟฟ้า จะเรียกว่า ลานสวิตช์ไฟฟ้าหรือลานไก ถ้าอยู่ระหว่างสายส่งไฟฟ้าและสายส่งไฟฟ้าย่อย เราเรียกว่า สถานีไฟฟ้าย่อยต้นทาง และถ้าอยู่ใกล้กับระบบจำหน่าย จะเรียกว่า สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย

2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้า

ในการออกแบบ ควบคุมการติดตั้ง การอำนวยความสะดวกใช้งาน ตรวจสอบ ทดสอบ ของระบบไฟฟ้ากำลัง ไม่ว่าจะเป็นส่วนของการผลิต การส่ง และการจำหน่ายนั้น อุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญอย่างหนึ่งก็คือ หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เป็นอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับของแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น หรือลดลงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการที่ความถี่เท่าเดิม ซึ่งอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กผ่านขดลวดและแกนเหล็ก โดยพลังงานไฟฟ้าจะถ่ายเทจากขดลวดด้านจ่ายไฟเข้าหม้อแปลงซึ่งประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ามีอยู่หลายชนิด เช่น หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Power Transformer) หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) หม้อแปลงสำหรับเครื่องมือวัด (Instrument Transformer) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะหม้อแปลงที่ใช้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งก็คือหม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่เปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าจากระบบแรงดันปานกลาง (Medium Voltage) แรงดันไม่เกิน 33 kV ไปเป็นระบบแรงดันต่ำ (Low Voltage) เพื่อใช้งานมีขนาดพิกัดเป็น kVA ซึ่งจะแบ่งเป็น ระบบ 1 เฟส 2 สาย 1 เฟส 3 สาย และระบบ 3 เฟส 4 สาย

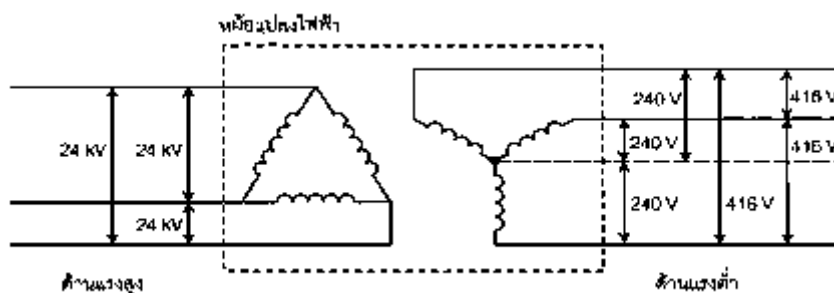
ตารางที่ 2.3 ระบบแรงดันและโหนดในการจ่ายไฟของการไฟฟ้า

ระบบจำหน่าย	กฟน.(MEA)	กฟภ.(PEA)
ระบบแรงดันสูง	>15,000 kVA 69/115 kV 3Ph 3W	>10,000 kV 155 kV 3 Ph 3W
ระบบแรงดันปานกลาง	≥300 – 15,000 kVA 12/24 kV 3Ph 3W	≥250 – 10,000 kVA 22/33 kV 3Ph 3W
ระบบแรงดันต่ำ	<300 kVA 240/416	< 250 kVA 230/400 V

การใช้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า

- การไฟฟ้านครหลวง (Metropolitan Electricity Authority; MEA)

- แรงดันระบบจำหน่าย 24 kV หรือ 12/24 kV และแรงดันใช้งาน 240/416 V, 3PH 3W
- Tapping Range: -4x 2.5% (Off-Load Tap-Changer on HV Side)

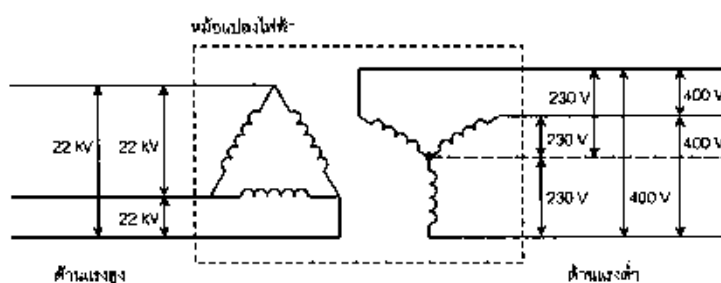


รูปที่ 2.19 การต่อวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลต้า-วาย (กฟน.)

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (Provincial Electricity Authority; PEA)

- แรงดันระบบจำหน่าย 22 kV หรือ 33 kV และแรงดันใช้งาน 230/400 V, 3PH 3W
- Tapping Range: $\pm 2 \times 2.5\%$ (Off-Load Tap Changer on HV Side)



รูปที่ 2.20 การต่อวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลต้า-วาย (กฟภ.)

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

ปัจจุบันค่าตัวเลขแรงดันไฟฟ้าซึ่งเรียกว่า แรงดันที่ระบุ (Nominal Voltage) ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ของ วสท. ให้มีค่าแรงดันไฟฟ้าระบุเพียงค่าเดียวเช่น แรงดันไฟฟ้า 220/380 V และ 240/416 V ให้เหลือเพียงค่าเดียวคือ 230/400 V เป็นต้น สำหรับประเทศไทย ระบบไฟฟ้าแรงต่ำ ชนิด 3 เฟส 4 สาย กำหนดเป็น 230/400 V และ ตามมาตรฐาน IEC จะใช้ค่าตัวเลขต่ำตามด้วยค่าตัวเลขสูง

- มาตรฐานหม้อแปลงไฟฟ้า

- มอก.384-2543/TIS 384-2000
- IEC 60076 Power Transformer
 - IEC 60076-1, 2011 Part 1: General
 - IEC 60076-2, 2011 Part 2: Temperature Rise
 - IEC 60076-3, 2000 Part 3: Insulation Level and Dielectric Tests
 - IEC 60076-4, 2002 Part 4: Lightning and Switching Impulse
 - IEC 60076-5, 2006 Part 5: Withstand Short Circuit
 - IEC 60076-11, 2004 Part 11: Dry-type Transformer
- IEEE C57.12.00-2000
 - General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power and Regulating Transformers

2.2.2 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าจำหน่ายที่ใช้ในปัจจุบันมี 2 แบบคือ

- หม้อแปลงแบบใช้ของเหลว (Liquid – Immersed Transformers)
- หม้อแปลงแบบแห้ง (Dry - Type Transformers)

หม้อแปลงแบบใช้ของเหลว (Liquid-Immersed Transformers)

หม้อแปลงที่ใช้ของเหลวเป็นฉนวนและตัวระบายความร้อนแบ่งเป็น

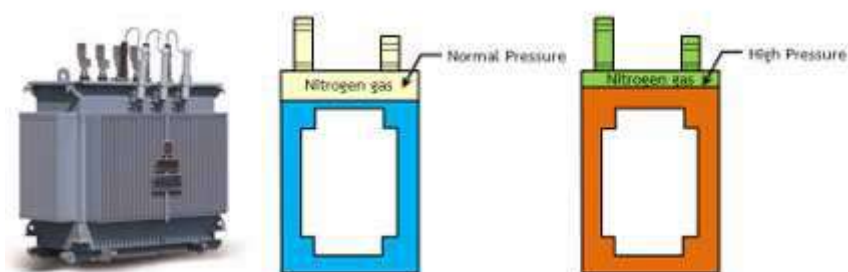
1. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้ (Flammable Liquid - Insulated Transformer) หรือเรียกว่า หม้อแปลงน้ำมัน (Oil Type Transformer) เป็นหม้อแปลงที่ใช้น้ำมันหม้อแปลงเป็นฉนวนและเป็นตัวระบายความร้อนด้วย ซึ่งน้ำมันหม้อแปลงมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ราคาถูก การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก นิยมใช้กับงานภายนอกอาคาร ถ้านำมาติดตั้งภายในอาคารต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง เนื่องจากน้ำมันสามารถติดไฟได้ โดยมีจุดติดไฟ (Fire Point) ที่ 165 °C หม้อแปลงน้ำมัน ยังแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

- แบบมีถังพัก (Open Type with Conservator) เป็นหม้อแปลงในระบบจำหน่ายชนิด

ดั้งเดิมซึ่งนิยมใช้มานาน ระบายความร้อนด้วยน้ำมันและมีท่อให้อากาศผ่านเข้าออกได้ นอกจากนี้ยังมีสาร ซิลิกาเจล (Silica Gel) สีฟ้าใสเป็นตัวช่วยดูดความชื้น และเป็นตัวบ่งบอกความเป็นฉนวนของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า

- แบบที่มีตัวถังปิดผนึก (Hermetically Sealed Tank) ในปัจจุบันได้มีการใช้หม้อแปลงที่มีตัวถังปิดผนึกมากขึ้น เนื่องจากหม้อแปลงแบบนี้ไม่มีถังพัก ไม่ต้องมีซิลิกาเจล ไม่ต้องบำรุงรักษา จึงสามารถป้องกันความชื้นได้อย่างสมบูรณ์ และเพื่อรองรับการขยายตัวของน้ำมันขณะจ่ายโหลดหรือเกิดจากการลัดวงจร และหม้อแปลงปิดผนึกมีการออกแบบเป็น

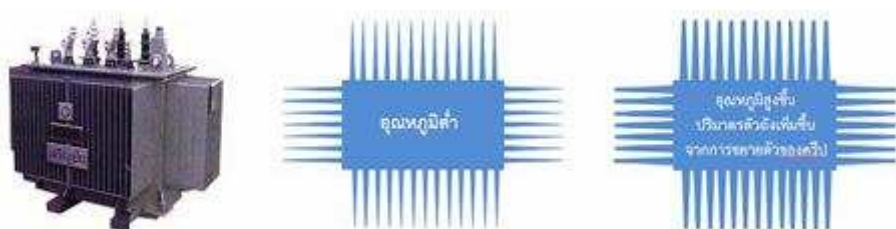
1) หม้อแปลงปิดผนึกแบบใช้ก๊าซไนโตรเจน หม้อแปลงแบบนี้จะอัดก๊าซไนโตรเจนเข้าเหนือน้ำมันเพื่อให้มีที่ว่างสำหรับการขยายตัวของน้ำมัน



รูปที่ 2.21 หม้อแปลงปิดผนึกแบบใช้ก๊าซไนโตรเจน

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

2) หม้อแปลงปิดผนึกแบบผนังเป็นลอนคลื่น (Corrugated Tank) หม้อแปลงแบบนี้จะออกแบบให้ผนังสามารถระบายความร้อนด้วยลอนคลื่น ขณะเดียวกันตัวถังสามารถยืดหยุ่นได้เพื่อรองรับการขยายตัวของน้ำมันหม้อแปลง ซึ่งในปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากราคาถูก การบำรุงรักษาน้อยลง และความชื้นภายนอกไม่มีโอกาสเข้าสู่ภายในหม้อแปลงได้



รูปที่ 2.22 หม้อแปลงปิดผนึกแบบผนังเป็นลอนคลื่น (Corrugated)

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

2. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟยาก (Less-Flammable Liquid-Insulated Transformer) เป็นหม้อแปลงที่ใช้ของเหลวที่ติดไฟยากเป็นฉนวนและระบายความร้อน โดยทั่วไปนิยมใช้สารซิลิโคน (Silicone) ซึ่งมีจุดติดไฟที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 300 °C ไม่เป็นพิษต่อบุคคลและสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันมีใช้น้อยแต่มีความปลอดภัยสูงกว่าหม้อแปลงน้ำมัน และหม้อแปลงชนิดนี้อนุญาตให้ติดตั้งภายในอาคารได้ตามข้อกำหนด

3. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ (Non-Flammable Fluid-Insulated Transformer) เป็นหม้อแปลงที่มีการใช้งานน้อยมากและมีราคาแพงเพราะต้องระมัดระวังการนำฉนวนไม่ติดไฟมาใช้ เนื่องจากอาจเป็นพิษต่อบุคคลได้

หม้อแปลงชนิดแห้ง (Dry-type Transformer)

เป็นหม้อแปลงที่ใช้ฉนวนเป็นของแข็ง นิยมใช้ติดตั้งภายในอาคาร มีความปลอดภัยจากการเกิดเพลิงไหม้สูง เนื่องจากหากหม้อแปลงเกิดระเบิดขึ้นจะไม่มีส่วนที่ติดไฟ หม้อแปลงชนิดนี้มีทั้งชนิดที่เป็นฉนวนเรซินแห้ง (Cast Resin) และฉนวนอากาศ (Air Cooled) แต่ที่นิยมใช้กันมากคือหม้อแปลง Cast Resin ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่มีระหว่างขดลวดอัดด้วย Cast Resin Reinforced Glass Fiber ซึ่ง Resin มีคุณสมบัติติดไฟได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 350 °C ทำให้หม้อแปลงชนิดนี้ติดไฟยาก ฉนวน Resin ต้องไม่เป็นพิษต่อคนและสิ่งแวดล้อม รวมถึงต้องอยู่ในสิ่งห่อหุ้ม (Enclosure) ด้วย



รูปที่ 2.23 หม้อแปลงชนิดแห้ง (Dry-type Transformer) และสิ่งห่อหุ้ม

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

2.2.3 ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้า

ส่วนประกอบของหม้อแปลงน้ำมัน มีดังนี้

- แกนเหล็ก (Magnetic Core) เป็นแผ่นเหล็กซิลิโคนบางๆ วางเรียงซ้อนกันยึดด้วยแคล้ม บน-ล่าง ทำหน้าที่เป็นวงจรเส้นแรงแม่เหล็ก

- ขดลวดแรงสูง-แรงต่ำ (High voltage - Low Voltage Winding) เป็นลวดทองแดงกลม/แบน เคลือบน้ำยาหรือหุ้มกระดาษฉนวนพันรอบแกนเหล็ก ขดลวดรับแรงสูงสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเหนี่ยวนำขดลวดแรงต่ำ ทำหน้าที่เป็นวงจรไฟฟ้า
- แท็ปปรับแรงดัน (Tap Changer) เป็นชุดสวิตช์เปลี่ยนเพิ่ม/ลด จำนวนขดลวดแรงสูงเพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าด้านจ่ายหรือแรงต่ำให้เหมาะสมกับการใช้งาน
- สายไฟและบัสบาร์ (Cable and Busbar) เป็นสายไฟและบัสบาร์ทองแดงเชื่อมต่อเข้ากับชุดแท็ปขดลวดแรงสูง เชื่อมต่อปลายขดลวดแรงสูง-ต่ำระหว่างเฟสและปลายขดลวดกับแกนลูกถ้วย เพื่อเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าภายนอก
- น้ำมันหม้อแปลง (Transformer Oil) เป็นน้ำมันแร่ผสมทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและระบายความร้อนของขดลวดและแกนเหล็ก
- ถังและครีป (Tank and Fin) เป็นโลหะเชื่อมขึ้นรูปบรรจุส่วนประกอบภายในหม้อแปลงและน้ำมันหม้อแปลง มีครีปหรือลอนลูกฟูกสำหรับระบายความร้อนหรือรองรับการขยายตัวของน้ำมันหม้อแปลงชนิดปิด
- ลูกถ้วยแรงสูง-แรงต่ำ (HV-LV Bushing) เป็นเซรามิคฉนวนมีแกนนำอยู่ภายในสำหรับเชื่อมต่อสายวงจรไฟฟ้าภายในตัวหม้อแปลงกับภายนอก
- ถังพักน้ำมัน (Conservator Tank) อยู่เหนือถังหม้อแปลง มีหน้าที่สำรองในถังลดหรือเพิ่มจากการขยายตัวของหม้อแปลงที่มีถังพัก (เฉพาะหม้อแปลงแบบมีถังพัก)
- ระดับน้ำมัน (Oil Level Gauge) เป็นเกจชี้แสดงระดับน้ำมันซึ่งอาจมีลักษณะเป็นร่องเป็นท่อ หรือเข็มหน้าปิด หม้อแปลงชนิดปิดจะมีลูกลอยชี้บอกการมีอยู่ของน้ำมัน
- อุปกรณ์ระบายความดันหรือท่อกันระเบิด (Pressure-Relief Device) เป็นกลไกสปริงเมื่อความดันภายในหม้อแปลงสูงจนชนะแรงสปริง ความดันจะระบายออก
- บุคโฮลซ์รีเลย์ (Buchholz Relay) เป็นอุปกรณ์ป้องกันทำหน้าที่เตือนหรือตัดวงจรเมื่อเกิดเหตุไม่ปกติภายในหม้อแปลง (เฉพาะหม้อแปลงแบบที่มีถังพัก)
- ขั้วต่อสายแรงสูง-แรงต่ำ (HV-LV Terminal) เป็นที่ต่อสายระหว่างแกนลูกถ้วยหม้อแปลงกับสายแรงสูงเข้าและแรงต่ำออกไปใช้งาน
- ล่อฟ้าหรืออาร์คชิ่งฮอร์น (Arcing Horn) เป็นอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงมิให้ชำรุดเสียหายจากภาวะแรงดันเกินที่เกิดจากฟ้าผ่า
- เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer Pocket) เป็นตัววัดอุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลง

- ที่ต่อสายดิน (Earthing Terminal) เป็นจุดที่ต่อสายจากตัวถังลงสู่ดินเพื่อความปลอดภัยจากไฟรั่ว ลัดวงจร ไฟผ่า
- วาล์วถ่ายน้ำมัน (Oil Drain Valve) เป็นวาล์วเปลี่ยนถ่ายน้ำมันออกจากน้ำมันหม้อแปลงหรือเป็นวาล์วเปิดเก็บตัวอย่างน้ำมันทดสอบ



1. Magnetic Core (แกนเหล็ก)
2. Low Voltage Winding (ขดลวดแรงต่ำ)
3. High Voltage Winding (ขดลวดแรงสูง)
4. Corrugated Tank (ตัวถังและครีบบระบายความร้อน)
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 2.24 ตัวอย่างส่วนประกอบของหม้อแปลงน้ำมันแบบ Corrugated Tank

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

- แผ่นป้าย เป็นป้ายที่บ่งบอกถึงข้อมูลต่างๆ ของหม้อแปลง ประกอบด้วย
 - Rate kVA : มีขนาดกำลังที่กำหนดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถจ่ายโหลดได้มีหน่วยเป็น kVA
 - Phase : แสดงจำนวนเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้า เช่น 1 เฟส 3 เฟส

- H.V. Volt : ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดของหม้อแปลงด้านแรงสูงหรือด้านปฐมภูมิ เช่น 24,000 V
- L.V. Volt : ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดของหม้อแปลงด้านแรงต่ำหรือด้านทุติยภูมิ เช่น 416/240 V
- Type of Cooling: ระบบระบายความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้าเช่น ONAN
- H.V. Amp. : กระแสไฟฟ้าที่กำหนดด้านแรงสูง
- L.V. Amp. : กระแสไฟฟ้าที่กำหนดด้านแรงต่ำ
- Ins. Oil : ชนิดน้ำมันที่ใช้ เช่น MINERAL OIL
- % Imp : ค่าอิมพีแดนซ์เทียบร้อยละ
- Ins. Class : ชนิดของฉนวนในการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า เช่น Class A
- Oil Quantity : ปริมาณน้ำมันที่อยู่ในหม้อแปลงทั้งหมดเป็นลิตร
- Total Weight : น้ำหนักรวมของหม้อแปลงไฟฟ้า (kg)
- Connection Diagram: แผนผังแสดงตำแหน่งของขั้วต่างๆ ของขดลวดด้านแรงสูงและแรงต่ำ
- Vector Diagram: แผนผังแสดงความแตกต่างของมุมเฟสระหว่างด้านแรงสูงแรงต่ำ
- HV. Side (Pos, Connect, Voltage) : ตำแหน่งแท่งที่ขดลวดสัมพันธ์กับแรงดันของขั้วต่อต่างๆ ด้านแรงสูง
- LV. Side (Terminal, Voltage): แรงดันที่ขั้วต่อด้านแรงต่ำ

RATED KVA		STANDARD	IEC 60076
H.V. VOLT.	24000	L.V. VOLT.	416 / 240
H.V. AMP.		L.V. AMP.	
PHASE	3	FREQUENCY	50
TYPE OF COOLING	ONAN	TEMP. VOLT AT	75 °C
VECTOR GROUP	Dyn11	INS. OIL	MINERAL OIL
TYPE	STEP DOWN	H.V. WINDING	COILS IN
INS. CLASS	A	L.V. WINDING	COILS IN
TEMP. WINDING	65 °C	OIL QUANTITY	
TEMP. HOT OIL	60 °C	TOTAL WEIGHT	
AMB. TEMP.	40 °C	SIGNAL No.	
DATE			

H.V. SIDE		L.V. SIDE	
POS.	CONNECT	TERMINAL	VOLTAGE
1	S - 4	H TO B	
2	S - 2	B TO H	416
3	E - 3	E TO B	
4	B - 2	B TO E	240
5	T - 2	T TO H	

รูปที่ 2.25 แผ่นป้ายของหม้อแปลง

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

อุปกรณ์ประกอบหม้อแปลง

- ฟิวส์ (Fuse) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันระบบหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า จากภาวะการณ ลัดวงจร (Short Circuit) หรือกระแสเกิน (Over Load) จะมีทั้งฟิวส์ด้านแรงสูง (ติดตั้งด้านปฐมภูมิ ของหม้อแปลง) และฟิวส์ด้านแรงต่ำ (ติดตั้งด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง) ขนาดฟิวส์แรงสูงตาม มาตรฐาน EEI-NEMA คือ 1, 2, 3, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 65, 80, 100, 140, 200 A



รูปที่ 2.26 ฟิวส์แรงสูง (Dropout Fuse)

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

- ล่อฟ้า (Lightning Arrester) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันอุปกรณ์หรือระบบและ สายส่งไม่ให้ได้รับความเสียหายจากภาวะแรงดันเกิน (Over Voltage) ที่เกิดจากฟ้าผ่าหรือการปลด สับสวิตช์



รูปที่ 2.27 ล่อฟ้าแรงสูง (HV. Arrester)

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

ส่วนประกอบของหม้อแปลงแห้ง

- แกนเหล็ก (Magnetic Core) แกนเหล็กของหม้อแปลงชนิดนี้จะทำด้วยแผ่น Laminations of Grain Oriented Silicon Steel นำมาตัดออกเป็นมุม 45 องศา แล้วประกอบเรียงเข้าด้วยกันอย่างพิถีพิถันเพื่อให้ได้ Core Loss ต่ำและอาบแกนเหล็กที่ประกอบขึ้นด้วย Resin และทาสีเพื่อป้องกันการกัดกร่อน

- ขดลวด (Winding) หม้อแปลงแห้งประกอบด้วยขดลวดหม้อแปลง 2 ชุด คือ ขดลวดแรงสูง (HV) และขดลวดแรงต่ำ (LV)

- ขดลวดแรงสูง (HV) ตัวนำทำจากลวดกลม (Round Winding) หรือเป็นแผ่นตัวนำ (Strip Foil) และตัวนำสามารถใช้ได้ทั้งทองแดงและอลูมิเนียมตามมาตรฐานผู้ผลิต โดยจะมีฉนวนหุ้มระหว่างรอบตัวนำและจะมี Glass Fiber ชั้นกลางเพื่อให้เกิดความแข็งแรงทางกลเพิ่มขึ้น ฉนวนที่ใช้จะเป็น Class F หรือ Class H ขดลวดที่ได้นี้จะนำไปหล่อด้วย Resin ภายใต้สุญญากาศเพื่อให้สาร Resin แทรกไปทุกส่วนและไม่ให้มีฟองอากาศ
- ขดลวดแรงต่ำ (LV) จะเป็นขดลวดที่จ่ายไฟให้กับโหลด ตัวนำที่ใช้ขดลวดแรงต่ำอาจใช้ทองแดงหรืออลูมิเนียมซึ่งมีรูปแบบเป็นแบบลวดกลม (Round Winding) หรือแผ่นตัวนำ (Strip Foil) คล้ายแรงสูงซึ่งส่วนใหญ่จะใช้แผ่นตัวนำเพราะสามารถกระจายกระแสไฟที่ได้สม่ำเสมอ ฉนวนที่ใช้จะเป็น Class F (155 °C) หรือ Class H (180 °C)
- อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เช่น ขั้วต่อสาย อุปกรณ์ปรับแท๊ป ฉนวนรองรับขดลวด ขั้วต่อสายดิน เหล็กประกบกับแกนเหล็ก ชุดล้อเลื่อน



1. Core (แกนเหล็กหม้อแปลง)
2. Low Voltage Winding (ขดลวดแรงต่ำ)
3. High Voltage Winding (ขดลวดแรงสูง)
4. High Voltage Terminal (ขั้วต่อสายแรงสูง)
5. High Voltage Delta Connection (บาร์ต่อวงจรเดลต้าด้านขดลวด)
6. High Voltage Tapping (อุปกรณ์ปรับแก้ป้อนขณะไม่จ่ายไฟด้านแรงสูง)
7. Low Voltage Terminal (ขั้วต่อสายแรงต่ำ)
8. Neutral Terminal (ขั้วต่อสายนิวทรัลด้านแรงต่ำ)
9. Lifting Eyes (หูยกหม้อแปลง)
10. Upper Yoke Clamp (เหล็กประกบกับแกนเหล็กด้านบน)
11. Spacer Block (ฉนวนรองรับขดลวด)
12. Earthing Terminal (ขั้วต่อสายดิน)
13. Lower Yoke Clamp (เหล็กประกบกับแกนเหล็กด้านล่าง)
14. Roller Profile (ชุดล้อเลื่อน)

รูปที่ 2.28 ตัวอย่างส่วนประกอบของหม้อแปลงแห้ง

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

การป้องกันความร้อนหม้อแปลงแห้ง

หม้อแปลงแห้งชนิด Cast Resin จะต้องมีระบบป้องกันความร้อนเกินสำหรับขดลวด ระบบป้องกันความร้อนประกอบด้วยตัวรับสัญญาณ (Sensors) และรีเลย์ความร้อน (Temperature Relay)

- ตัวรับสัญญาณ (Sensors) ตัวรับสัญญาณทำด้วย PTC (Positive Temperature Coefficient) ซึ่งมันจะเปลี่ยนค่าความต้านทานตามอุณหภูมิ ตัวรับสัญญาณจะติดตั้งใกล้ขดลวดแรงต่ำมีจุดที่จะเกิดความร้อนสูงสุด ซึ่งตัวรับสัญญาณอาจจะมี 2 หรือ 3 ตัว

ต่อเฟส และจะส่งสัญญาณไปยังรีเลย์ความร้อนให้ทำงาน เมื่ออุณหภูมิหม้อแปลงมีค่าสูงกว่าค่าที่ปรับตั้งไว้โดยแต่ละตัวจะมีหน้าที่ดังนี้

- ตัวรับสัญญาณที่ 1 อุณหภูมิปรับตั้ง 90-110 °C
พัดลม (Fan) ทำงาน
- ตัวรับสัญญาณที่ 2 อุณหภูมิปรับตั้ง 130-140 °C
เตือน (Alarm) ทำงาน
- ตัวรับสัญญาณที่ 3 อุณหภูมิปรับตั้ง 150 °C
ตัดวงจร (Trip) ทำงาน

ตัวรับสัญญาณจะต่ออนุกรมกันแล้วต่อเข้ากับวงจรควบคุมของรีเลย์ความร้อน

- รีเลย์ความร้อน (Temperature Relay) รีเลย์ความร้อนจะรับสัญญาณจากตัวรับสัญญาณ เมื่ออุณหภูมิของหม้อแปลงมีค่าสูงกว่าค่าที่ปรับตั้งไว้จะสั่งให้รีเลย์ทำงาน ซึ่งจะทำให้พัดลมทำงาน (Fan) การเตือน (Alarm) และการตัดวงจร (Trip) ตามลำดับ ตามอุณหภูมิที่ได้ปรับตั้งค่าไว้

เครื่องห่อหุ้ม (Protective Enclosure)

หม้อแปลงแห้งต้องติดตั้งไว้ในเครื่องห่อหุ้ม เนื่องจากส่วนที่เป็น Resin ของหม้อแปลง Cast Resin จะสัมผัสไม่ได้เพราะจะทำให้เกิดไฟช็อตจากแรงดันเหนี่ยวนำ สำหรับเครื่องห่อหุ้มที่ใช้ในอาคารตามมาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยโดยของ วสท. กำหนดไว้ว่าเครื่องห่อหุ้มต้องมีค่าระดับการป้องกันไม่ต่ำกว่า IP 21 และถ้าต้องการความปลอดภัยมากขึ้นสามารถใช้ค่า IP สูงขึ้นได้ สำหรับเครื่องห่อหุ้มที่ใช้ภายนอกอาคารนั้น ต้องมีค่าระดับการป้องกันไม่น้อยกว่า IP 33



รูปที่ 2.29 เครื่องห่อหุ้ม (Protective Enclosure)

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

ระดับการป้องกันของเครื่องห่อหุ้ม

ระดับการป้องกันของเครื่องห่อหุ้ม คือ การกำหนดค่าความสามารถในการป้องกันวัตถุที่จะสอดเข้าไปในอุปกรณ์ไฟฟ้าและความสามารถในการป้องกันของเหลวเข้าไปในอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยกำหนดเป็นตัวเลขหลังอักษร IP

ค่า IP (Ingress Protection) กำหนดมาจากมาตรฐาน IEC 60529 หรือ มอก.513-2553 แสดงสัญลักษณ์ด้วย IP ตามด้วยตัวเลข 1 หรือ 2 ตามประเภทการป้องกัน เช่นเครื่องห่อหุ้มมีค่าระดับการป้องกัน IP33 หมายถึงของแข็งหรือวัตถุที่มีขนาดตั้งแต่ 2.5 มม. ไม่สามารถผ่านลอดเข้าไปข้างในได้และมีการป้องกันหยดน้ำ น้ำสาดในแนวทำมุม 60° กับแนวตั้งได้ ดังรายละเอียดระดับการป้องกันตามตาราง

ตารางที่ 2.4 ระดับการป้องกันตามมาตรฐาน IEC 60529 หรือมอก. 513-2553

ตัวเลขตัวที่ 1		ตัวเลขตัวที่ 2	
ประเภทการป้องกันวัตถุจากภายนอก		ประเภทการป้องกันของเหลว	
เลข	ระดับการป้องกัน	เลข	ระดับการป้องกัน
0	ไม่มีการป้องกัน	0	ไม่มีการป้องกัน
1	ป้องกันวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตร เช่น สัมผัสด้วยมือ	1	ป้องกันหยดน้ำเฉพาะในแนวตั้ง
2	ป้องกันวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า 12 มิลลิเมตร เช่น นิ้วมือ	2	ป้องกันหยดน้ำและน้ำสาดทำมุมไม่เกิน 15 องศา กับแนวตั้ง
3	ป้องกันวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า 2.5 มิลลิเมตร เช่น เครื่องมือ เส้นลวด	3	ป้องกันหยดน้ำและน้ำสาดทำมุมไม่เกิน 60 องศา กับแนวตั้ง
4	ป้องกันวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร เช่น เครื่องมือเล็กๆ เส้นลวดเล็กๆ	4	ป้องกันน้ำสาดเข้าทุกทิศทาง
5	ป้องกันฝุ่น	5	ป้องกันน้ำฉีดเข้าทุกทิศทาง
6	ผนึกกันฝุ่น	6	ป้องกันน้ำฉีดอย่างแรงเข้าทุกทิศทาง
		7	ป้องกันน้ำท่วมชั่วคราว
		8	ป้องกันน้ำเมื่อใช้งานอยู่ใต้น้ำ

การเพิ่มพิกัดของหม้อแปลงแห้งด้วยการใช้พัดลม

หม้อแปลงแห้งชนิด Cast Resin สามารถทำให้จ่ายโหลดได้เพิ่มประมาณ 30-40% ของพิกัดปกติของหม้อแปลงได้โดยการติดตั้งพัดลมช่วยในการระบายความร้อน เมื่อหม้อแปลงเริ่มจ่ายโหลดเกินพิกัด ตัวรับสัญญาณความร้อนที่ฝังอยู่ใกล้จุดความร้อนสูงสุดจะส่งสัญญาณให้ชุดควบคุมรีเลย์ ความร้อนทำงานและสั่งให้พัดลมทำงานเพื่อระบายความร้อนที่เพิ่มขึ้นออกไป พัดลมระบายความร้อนแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

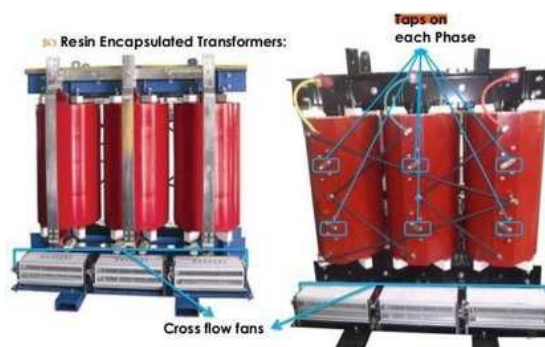
- แบบติดตั้งพัดลมไว้ด้านบน (Cover Mounted Fan; CMF) การติดตั้งพัดลมแบบ CMF นั้น พัดลมจะดูดลมโดยให้ผ่านตัวหม้อแปลงเพื่อนำความร้อนออกมา ดังนั้นเครื่องห่อหุ้ม (Enclosure) จะต้องออกแบบให้มีมิติชิดเพื่อบังคับลมให้ผ่านตัวหม้อแปลง เครื่องห่อหุ้มในลักษณะนี้ใช้วิธีระบายความร้อนตามธรรมชาติ (AN) ได้ยาก ตัวหม้อแปลงจะร้อนมากๆ พัดลมที่ติดตั้งต้องมีขนาดใหญ่และทำงานบ่อย



รูปที่ 2.30 แบบติดตั้งพัดลมไว้ด้านบน

ที่มา : FB วิศวกรออกแบบไฟฟ้า Electrical Design Engineer

- แบบติดตั้งพัดลมไว้ด้านล่าง (Cross Flow Fan; CFF) การติดตั้งพัดลมแบบ CFF พัดลมจะเป่าลมจากด้านล่างผ่านช่องอากาศ (Air Ducts) ระหว่างขดลวดแรงสูงและแรงต่ำและผ่านขดลวดด้านล่างนอก ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนจะดี เครื่องห่อหุ้มนี้สามารถทำให้มีช่องระบายอากาศได้ หม้อแปลงจึงสามารถจ่ายโหลดแบบระบายความร้อนตามธรรมชาติ AN ได้เต็มพิกัด พัดลมจะทำงานในช่วงการทำงานเกินโหลดหม้อแปลงเท่านั้น พัดลมจึงมีขนาดเล็กและช่วงเวลาทำงานน้อย ในปัจจุบันการติดตั้งพัดลมแบบ CFF ได้รับความนิยมมากกว่าเพราะมีเหตุผลทางเทคนิคที่ดีกว่าแบบ CMF



รูปที่ 2.31 แบบติดตั้งพัดลมไว้ด้านล่าง

ที่มา : FB วิศวกรออกแบบไฟฟ้า Electrical Design Engineer

2.2.4 ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้า

ตารางที่ 2.5 หม้อแปลงน้ำมัน (Hermetically Sealed) 3 เฟส แรงดัน 12 – 24 kV / 230 – 400 V

หม้อ แปลง (kVA)	No load Loss (W)	Load Loss at 75° C (W)	Total Losses at 75° C (W)	Impedance at 75° C (%)	ขนาด (มิต) หม้อแปลง			Oil qty. (Litres)	Total Weight (kgs)
					H(mm)	L(mm)	W(mm)		
100	250	1,550	1,800	4	1,140	930	635	160	585
160	360	2,100	2,460	4	1,190	1,070	680	215	845
250	500	2,950	3,450	4	1,285	1,080	735	255	1,065
315	700	3,900	4,600	4	1,310	1,190	795	360	1,395
400	850	4,600	5,450	4	1,330	1,245	825	390	1,550
500	1,000	5,500	6,500	4	1,405	1,420	855	480	1,910
630	1,200	6,500	7,700	4	1,445	1,490	970	565	2,155
800	1,300	10,000	11,300	6	1,495	1,790	1,090	655	2,555
1,000	1,600	13,000	14,600	6	1,515	1,840	1,270	740	2,845
1,250	1,800	15,500	17,300	6	1,635	2,050	1,290	860	3,595
1,600	2,100	19,500	21,600	6	1,695	2,130	1,300	1,010	4,200
2,000	2,600	22,500	25,100	6	1,845	2,160	1,390	1,220	5,200
2,500	3,000	26,500	29,500	6	2,120	2,310	1,420	1,465	6,130

หมายเหตุ ข้อมูลหม้อแปลง เปลี่ยนแปลงไปตามมาตรฐานผู้ผลิตแต่ละราย

ตารางที่ 2.6 หม้อแปลงน้ำมัน 1 เฟส แรงดัน 12 – 24 kV / 230 V

หม้อ แปลง (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. (Litres)	Total Weight (kgs)
					H(mm)	L(mm)	W(mm)		
10	70	160	230	20	1,180	550	460	45	160
20	110	330	440	20	1,200	580	475	52	190
30	150	480	630	20	1,230	610	490	60	220
50	190	740	930	22	1,250	630	510	70	255
75	240	960	1,200	22	1,265	730	610	80	355

หมายเหตุ ข้อมูลหม้อแปลง เปลี่ยนแปลงไปตามมาตรฐานผู้ผลิตแต่ละราย

ตารางที่ 2.7 หม้อแปลงแห้ง 3 เฟส แรงดัน 24 kV / 230 – 400 V

หม้อ แปลง (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. (Litres)	Total Weight (kgs)
					H(mm)	L(mm)	W(mm)		
400	1,200	4,850	6,050	6	1,460	1,440	820	56	1,350
500	1,500	5,500	6,000	6	1,460	1,540	820	56	1,550
630	1,650	6,900	8,550	6	1,500	1,650	820	57	1,800
800	1,950	8,300	10,250	6	1,600	1,700	820	58	2,200
1,000	2,300	9,700	12,000	6	1,700	1,700	1,000	59	2,643
1,250	2,750	11,700	14,450	6	1,720	1,760	1,000	60	3,650
1,600	3,100	14,000	17,100	6	1,720	2,050	1,000	63	3,650
2,000	4,100	17,000	21,200	6	2,180	2,060	1,280	64	4,750
2,500	5,000	20,000	25,000	6	2,000	2,220	1,280	66	5,604

หมายเหตุ ข้อมูลหม้อแปลง เปลี่ยนแปลงไปตามมาตรฐานผู้ผลิตแต่ละราย

2.2.5 นิยามที่ควรทราบเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้า

- ขนาดพิกัด (kVA) คือ ขนาดของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่หม้อแปลงสามารถจ่ายออกไปให้แก่โหลดโดยที่ส่วนประกอบสำคัญของหม้อแปลงมีอุณหภูมิไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งทดสอบได้โดยใช้ Temperature Rise Test

- ค่า BIL (Basic Impulse Insulation Level) คือ ค่าที่แสดงความทนต่อแรงดันฟ้าผ่าหรือแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะ (Impulse) ปกติจะเกิดจากฟ้าผ่า ถ้าแรงดันเกินชั่วขณะที่เกิน BIL อนุญาตของหม้อแปลงจะชำรุดและใช้งานไม่ได้ หม้อแปลงจะต้องผ่านการทดสอบ BIL เพื่อทดสอบถึงความทนต่อแรงดันฟ้าผ่าก่อนที่จะนำมาใช้งาน สำหรับค่า BIL ตามมาตรฐาน IEC กำหนดค่า BIL ไว้ตามที่แสดงไว้ในตาราง 1.8

ตารางที่ 2.8 ค่า BIL ตามมาตรฐาน IEC

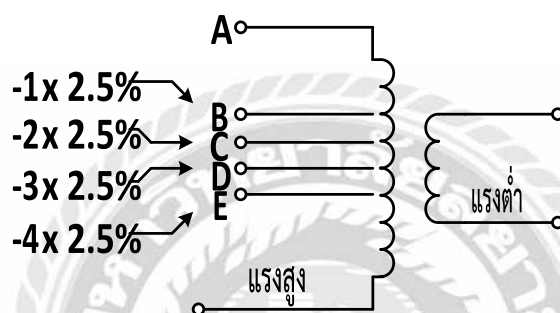
Rate Voltage (kV)	3.6	12	22-24	36
BIL (kV)	45	75	125	170

- แรงดันพิกัด (Rated Voltage) คือ แรงดันที่จ่ายให้ทางด้านปฐมภูมิหรือแรงดันที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำทางด้านทุติยภูมิขณะไม่มีโหลด เช่น 12 kV / 240-416 V, 22 kV / 230-400 V

- แท็ปเชนเจอร์ (Tap Changer) เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลง เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ ให้คงที่ หรือเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะงาน เช่นหม้อแปลงที่ใช้กับเตาหลอม เป็นต้น แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ Off-Load Tap Changer และ On-Load Tap Changer

- Off-Load Tap Changer** เป็นแท็ปที่ต้องดับไฟก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแท็ป ใช้งานทั่วไป
- On-Load Tap Changer เป็นแท็ปที่ใช้กับหม้อแปลงที่ต้องจ่ายไฟตลอดเวลา ไม่สามารถดับไฟเพื่อปรับแท็ปได้ หรือถ้าดับไฟแล้วอาจจะส่งผลกระทบต่อธุรกิจหรือกระบวนการผลิตได้ มีราคาแพงกว่าหม้อแปลงแบบ Off-Load Tap Changer

- การแท็บบแยกแรงดัน (Tappings) คือ การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลงได้ซึ่งจะคิดเป็นอัตราส่วนของแรงดันพิกัด (Rated Voltage) การปรับแท็บบแยกแรงดันนั้นต้องการให้แรงดันไฟฟ้าที่ออกจากหม้อแปลงสอดคล้องกับโหลดตามความต้องการ การเปลี่ยนแท็บบจะเปลี่ยนทางด้านขดลวดแรงสูง ซึ่งจะง่ายกว่าการเปลี่ยนแท็บบด้านแรงต่ำ เพราะเมื่อแท็บบทางด้านแรงสูงจะมีกระแสอาร์กน้อย ค่าแท็บบกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดันด้านไฟเข้า (Rated Primary Voltage) การไฟฟ้านครหลวงกำหนดแท็บบแยกไว้เป็น $\pm 2 \times 2.5\%$ การไฟฟ้านครหลวงกำหนดการแท็บบแยกไว้เป็น $-4 \times 2.5\%$ ซึ่งหมายถึง เปลี่ยนได้ 4 ชั้น ชั้นละ -2.5% รวมแล้วได้ -10% เครื่องหมาย (-) หมายถึง เปลี่ยนแท็บบให้ทางด้านแรงสูงลดต่ำลง 4 ชั้น ชั้นละ 2.5% ทำให้แรงดันด้านแรงต่ำเพิ่มขึ้น 10%



รูปที่ 2.32 TAP $-4 \times 2.5\%$

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

ตารางที่ 2.9 มาตรฐานแท็บบของ กฟภ. $\pm 2 \times 2.5\%$

Tap No.	Pri Volt (V)	Sec Volt (V)	Ratio
1	24,000	416	57.69
2	23,400	416	56.25
3	22,800	416	54.81
4	22,140	416	53.22
5	21,600	416	51.92

ตารางที่ 2.10 มาตรฐานแท็ปของ กฟน. $-4 \times 2.5\%$

Tap No.	Pri Volt (V)	Sec Volt (V)	Ratio
1	24,000	416	57.69
2	23,400	416	56.25
3	22,800	416	54.81
4	22,140	416	53.22
5	21,600	416	51.92

ตัวอย่างการแท็ปแยกแรงดัน

หม้อแปลงการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระบบ 22 kV เมื่อวัดแรงดันด้านแรงต่ำได้ 390 V ต้องการแรงดันที่ 400 V และตำแหน่งแท็ปของหม้อแปลงอยู่ที่ แท็ป 3

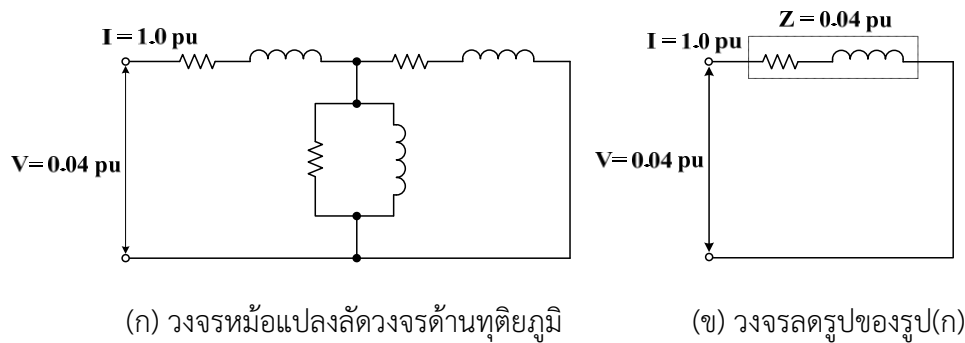
วิธีทำ คำนวณ แรงดันด้านแรงสูง = แรงดันด้านแรงต่ำ \times Ratio = $390 \times 55 = 21,450$ V

คำนวณหา Ratio ที่ต้องการแรงดัน 400 V = $21,450 / 400 = 53.63$

ต้องปรับตำแหน่งแท็ปไปที่แท็ป 4 (Ratio = 53.625) จะได้แรงดันด้านแรงต่ำ = $21,450 / 53.625 = 400$ V หรือใช้วิธีเทียบ % แรงดันตก คือ % แรงดันตก = $(390-400) / 400 \times 100 = -2.5\%$ ที่ตำแหน่งแท็ป 3 แท็ปแต่ละแท็ปต่างกันขึ้นลง 2.5% ดังนั้นต้องปรับจากแท็ป 3 ไปเป็นแท็ป 4 จะได้แรงดันด้านแรงต่ำที่ 400 V

- แรงดันไฟฟ้าอิมพีแดนซ์ (Impedance Voltage) คือ ค่าแรงดันที่ต้องการด้านแรงสูงหรือปฐมภูมิที่ทำให้กระแสฟลักซ์ไหลผ่านในขณะที่ขดลวดด้านแรงต่ำหรือทุติยภูมิลัดวงจร โดยปกติจะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันฟลักซ์ (Rated Voltage) เช่น หม้อแปลงที่มีแรงดันไฟฟ้าอิมพีแดนซ์ 4% ก็คือถ้าเกิดลัดวงจรด้านแรงต่ำหรือทุติยภูมิของหม้อแปลงแล้วป้อนแรงดันไฟฟ้าทางด้านแรงสูงหรือปฐมภูมิ 4% ของแรงดันไฟฟ้าฟลักซ์ (Rated Voltage) จะมีกระแสไหล 100% นั่นก็คืออิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงมีค่า 4% หรือ 0.04PU ซึ่งเป็นอิมพีแดนซ์รวมของขดลวดทางด้านแรงสูงและแรงต่ำ

- หม้อแปลงที่มีขนาดตั้งแต่ 50 kVA ถึง 630 kVA จะมี % อิมพีแดนซ์ = 4%
- หม้อแปลงที่มีขนาดตั้งแต่ 800 kVA ถึง 2,500 kVA จะมี % อิมพีแดนซ์ 6%



(ก) วงจรหม้อแปลงลดวงจรด้านทุติยภูมิ

(ข) วงจรลดรูปของรูป(ก)

รูปที่ 2.33 วงจรสมมูลของหม้อแปลงและการลดวงจร

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

- เวกเตอร์กรุป (Vector Group) คือการบอกวิธีการต่อขดลวดภายในหม้อแปลง 3 เฟส โดยบ่งชี้บอกถึงมุมต่างเฟส (Phase Shift) ระหว่างขดลวดด้านแรงสูงหรือปฐมภูมิและแรงต่ำหรือทุติยภูมิ เมื่อเราวัดแรงดันที่ขั้วของหม้อแปลงชนิด 1 เฟส เทียบกันจะไม่เกิด Phase Angle Difference ระหว่างขดลวดแรงสูงกับแรงต่ำ แต่สำหรับหม้อแปลง 3 เฟส สามารถเลือกต่อขดลวดภายในหม้อแปลงด้านแรงสูงหรือปฐมภูมิหรือแรงต่ำหรือทุติยภูมิได้หลายรูปแบบซึ่งทำให้เกิด Phase Angle Difference ระหว่างด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิได้ ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์โดยใช้เป็น Vector Diagram

- ด้านปฐมภูมิ กำหนดเป็น Delta : D, Star : Y, Interconnection (zigzag) : Z
- ด้านทุติยภูมิ กำหนดเป็น Delta : d, Star : y, Interconnection (zigzag) : z
- จำนวนตัวเลข การจัดเฟส (Phase Displacement) จะเขียนด้วยตัวเลขนาฬิกา คือ 1, 2, 3, 4, 5, 6 แสดงถึงมุมต่างกันด้วยตัวเลขละ 30 องศา คือ 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180° เป็นต้น ซึ่งการจัดเฟสที่เขียนด้วยตัวเลขนาฬิกาโดยการเทียบการเหนี่ยวนำระหว่าง Primary Terminal-Neutral กับ Secondary Terminal-Neutral โดยพิจารณาการหมุน Phase Vector ว่าด้าน Secondary ตาม Primary อยู่กี่นาฬิกา การหมุนจะหมุนตามเข็มหรือทวนเข็มนาฬิกาก็ได้ แต่จะเป็นไปตาม Phase Sequence ของแรงดันที่ต่อเข้า

ดังนั้นการหมุนของแรงดันอีกด้านจะตามไปด้วย โดยทั่วไปที่ใช้งานกันจะแบ่งได้ 4 กลุ่ม คือ

กลุ่ม 1 : Zero Phase Displacement ได้แก่ Yy0, Dd0, Dz0

กลุ่ม 2 : 180° Phase Displacement ได้แก่ Yy6, Dd6, Dz6

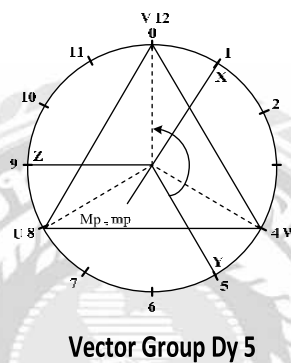
กลุ่ม 3 : 30° Lag Phase Displacement ได้แก่ Dy1, Yd1, Yz1

กลุ่ม 4 : 30° Lead Phase Displacement ได้แก่ Dy11, Yd11, Yz11

นอกจากนี้ยังมีการต่อที่ทำให้เกิดการจัดเฟสได้อีกหลายรูปแบบ

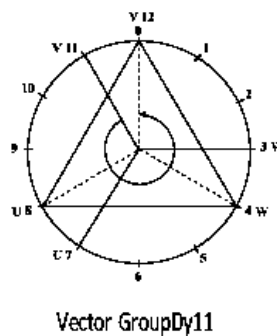
ตัวอย่าง เวกเตอร์กรุปของหม้อแปลงชุดหนึ่งเป็น Dy 5 และ Dy11

Dy 5 มีค่าตัวเลข = 5 ดังนั้นเฟสของแรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำตามหลังเฟสของแรงดันไฟฟ้าด้านแรงสูงอยู่ $5 \times 30^\circ = 150^\circ$ ตามรูปจะเห็นเฟส y แรงต่ำตามหลังเฟส V แรงสูงอยู่ 150° ตามรูป

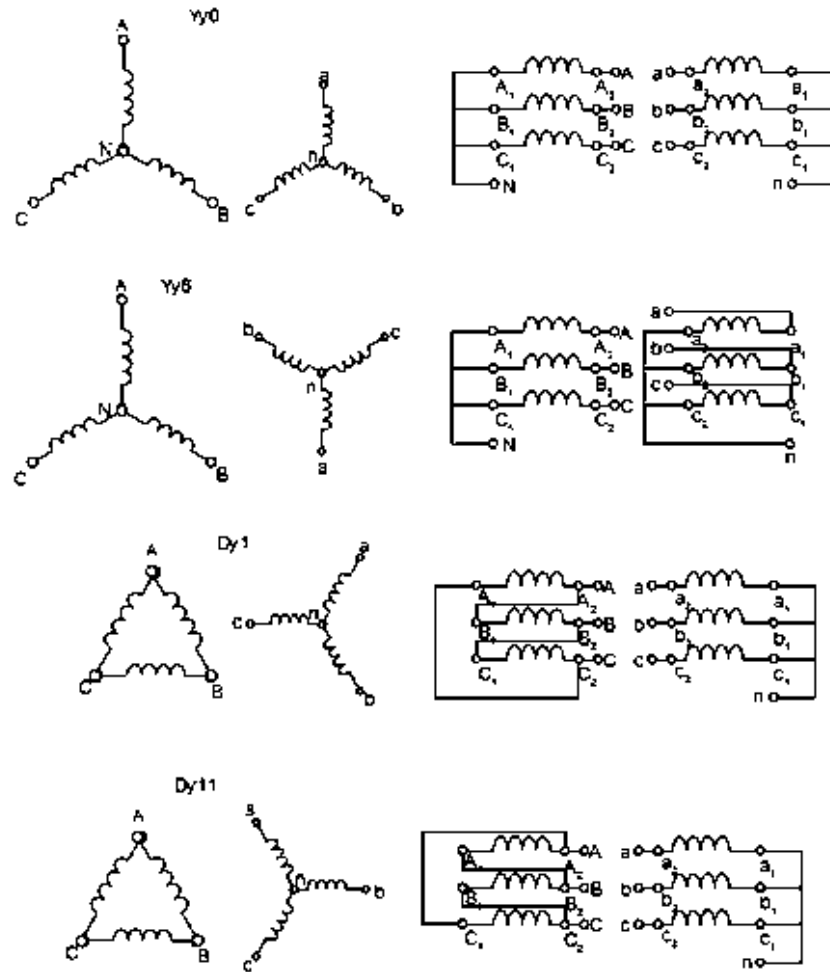


รูปที่ 2.34 เวกเตอร์กรุปของหม้อแปลงชุดหนึ่งเป็น Dy 5
ที่มา : <https://genesys.co.th/>

Dy11 มีค่าตัวเลข = 11 ดังนั้นเฟสแรงดันไฟฟ้าแรงต่ำตามหลังเฟสของแรงดันไฟฟ้าแรงสูงอยู่ $11 \times 30^\circ = 330^\circ$ ตามรูป



รูปที่ 2.35 เวกเตอร์กรุปของหม้อแปลงชุดหนึ่งเป็น Dy 11
ที่มา : <https://genesys.co.th/>



รูปที่ 2.36 ตัวอย่างการต่อขดลวดตาม Vector Group ต่างๆ

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

- การระบายความร้อนของหม้อแปลง ความร้อนที่เกิดจากการใช้งานและค่าสูญเสียภายในหม้อแปลงจะทำให้หม้อแปลงมีอายุการใช้งาน ที่สั้นลงหรือหม้อแปลงอาจจะชำรุดได้จึงต้องมีการระบายความร้อนออกจากตัวหม้อแปลงและการระบาย ความร้อนที่ดีก็ทำให้หม้อแปลงสามารถจ่ายโหลดได้เพิ่มขึ้นด้วย การระบายความร้อนจากขดลวดมาที่ตัวถัง จะอาศัยฉนวนหม้อแปลงเป็นตัวกลางระบาย การระบายความร้อนออกจากตัวหม้อแปลงสู่ภายนอกมีหลายวิธี และจะใช้สัญลักษณ์แสดงวิธีระบายความร้อนดังตาราง 2.11

ตารางที่ 2.11 สัญลักษณ์แสดงวิธีระบายความร้อน

การหมุนเวียนของตัวระบายความร้อน	สัญลักษณ์
โดยวิธีธรรมชาติ (Natural)	N
โดยวิธีขับหรืออัด (Forced)	F

ตัวกลางระบายความร้อน	สัญลักษณ์
น้ำมัน	O
ก๊าซ	G
น้ำ	W
อากาศ	A

การเขียนสัญลักษณ์ที่ Name Plate หม้อแปลงแสดงการระบายความร้อนจะเขียนเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ 2 ตัว หรือ 4 ตัว



ตัวอย่างของการระบายความร้อน

AF : หม้อแปลงชนิดแห้งระบายความร้อนด้วยวิธีอัดอากาศ (Forced Air)

AN : หม้อแปลงชนิดแห้งระบายความร้อนด้วยวิธีหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ (Air Cooled)

ONAF : หม้อแปลงชนิดฉนวนน้ำมันระบายความร้อนด้วยวิธีอัดอากาศ

ONAN : หม้อแปลงชนิดฉนวนน้ำมันระบายความร้อนด้วยวิธีหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ

- กำลังสูญเสียทางไฟฟ้า (Power Loss)

หม้อแปลงมีกำลังสูญเสียทางไฟฟ้าอยู่ 2 ส่วนคือ -

- กำลังสูญเสียไฟฟ้าไม่มีโหลด คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลง (Core Loss) เมื่อใช้งานหม้อแปลงที่แรงดันพิกัด โดยที่ขดลวดทุกขดขมึงเปิดวงจร

ไว้ กำลังสูญเสียไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสาเหตุจาก Eddy Current Loss และ Hysteresis Loss ซึ่งค่า No Load Loss นี้มีค่าคงที่ ที่แรงดันพิกัดและความถี่พิกัด

- กำลังสูญเสียไฟฟ้ามี่โหลด (Load Loss) คือ กำลังสูญเสียในขดลวด (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 ระหว่างการผลิต ประกอบด้วย

- การทดสอบอัตราส่วนของแรงดัน (Ratio Test) : IEC 60076-1
- การทดสอบขั้วหรือสัญลักษณ์กลุ่มเวกเตอร์ (Polarity And Vector Group Test) : IEC60076-1
- 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) : IEC60076-4
- 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

2.2.6 การติดตั้งและการเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า มีการติดตั้งเป็น 2 แบบ คือ

การติดตั้งภายในอาคาร แบ่งเป็น

- ติดตั้งไว้ในบริเวณที่จัดไว้สำหรับการติดตั้งหม้อแปลงโดยเฉพาะ
- ติดตั้งในห้องหม้อแปลง

การติดตั้งภายนอกอาคาร แบ่งเป็น

- บนเสาและนั่งร้านหม้อแปลง
- ลานหม้อแปลง
- เครื่องห่อหุ้ม

1) ข้อกำหนดเฉพาะการติดตั้งหม้อแปลงชนิดต่างๆ

หม้อแปลงและห้องหม้อแปลงจะต้องอยู่ในสถานที่ซึ่งบุคคลที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าถึงเพื่อที่จะทำการตรวจสอบ ดูแล บำรุงรักษาหม้อแปลงได้โดยสะดวก หม้อแปลงที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิดทั้งที่ติดตั้งภายในอาคาร ห้องหม้อแปลงหรือภายนอกอาคารมาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของ วสท. ได้มีข้อกำหนดเฉพาะสำหรับการติดตั้งหม้อแปลงชนิดต่าง ๆ ตามตารางที่ให้ไว้ดังนี้

หม้อแปลงชนิดแห้ง
ตารางที่ 2.12 หม้อแปลงชนิดแห้ง

ติดตั้งในอาคาร (In Door)	ต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง	ติดตั้งภายนอกอาคาร (Out Door)
<ul style="list-style-type: none"> - แรงดันไม่เกิน 33 kV - ขนาดไม่เกิน 112.5 kVA - ห่างจากวัสดุติดไฟไม่น้อยกว่า 0.30 ม. <u>ยกเว้น</u> - กั้นด้วยแผ่นกันความร้อน - อยู่ในเครื่องห่อหุ้มที่ปิด ส่วนที่มีไฟฟ้าไว้มิดชิด 	<ul style="list-style-type: none"> - แรงดันไม่เกิน 33 kV - ขนาดเกิน 112.5 kVA <u>ยกเว้น</u> - หม้อแปลงมีระบบทนอุณหภูมิฉนวน (Insulation System Temperature) ไม่ต่ำกว่า 150 °C หรือสูงกว่าและกั้นด้วยแผ่นกันความร้อนหรือติดตั้งห่างจาก วัสดุติดไฟได้ไม่น้อยกว่า 1.80 ม. ในแนวนอนและ 3.60 ม. ในแนวตั้ง - หม้อแปลงมีระบบทนอุณหภูมิของฉนวนไม่ต่ำกว่า 150 °C อยู่ในเครื่องห่อหุ้มส่วนที่มีไฟฟ้าไว้ อย่างมิดชิด 	<ul style="list-style-type: none"> - ต้องมีเครื่องห่อหุ้มที่ทนสภาพอากาศ - หม้อแปลงที่มีขนาดเกิน 112.5 kVA ต้องติดตั้งห่างจากวัสดุติดไฟไม่น้อยกว่า 0.30 ม.

หม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟได้

ตารางที่ 2.13 หม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟได้

ติดตั้งภายในอาคาร	ติดตั้งภายนอกอาคาร
<p>- ต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง ยกเว้น - หม้อแปลงใช้กับเตาหลอมไฟฟ้าที่มีขนาดไม่เกิน 75kVA หากไม่อยู่ในห้องหม้อแปลงต้องมีรั้วล้อมรอบและระยะ ห่างระหว่างหม้อแปลงกับรั้ว ต้องไม่น้อยกว่า 1.00 ม.</p>	<p>- หากติดตั้งหม้อแปลงใกล้กับวัสดุหรืออาคารที่ติดไฟได้ หรือติดตั้งใกล้ทางหนีไฟ ประตู หรือ หน้าต่าง ต้องมี การปิดกั้นเพื่อป้องกันไฟที่เกิดจากของเหลวของหม้อ แปลงลุกลามไปติดวัสดุหรือ ส่วนของอาคารที่ติดไฟได้ ส่วนที่มีไฟฟ้าด้านแรงสูง ต้องอยู่ห่างจากโครงสร้างอื่น ไม่น้อยกว่า 1.80 ม.</p>

หม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟยาก

ตารางที่ 2.14 หม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟยาก

ติดตั้งภายในอาคาร	ติดตั้งภายนอกอาคาร
<p>- อาคารที่ติดตั้งเป็นอาคารที่ติดไฟได้หรือมีวัสดุติดไฟ ได้ในพื้นที่ที่ติดตั้งหม้อแปลง หม้อแปลง ต้องติดตั้งใน ห้องหม้อแปลงหรือต้องมีระบบดับเพลิงอัตโนมัติและมี การกั้นเก็บของเหลวที่ไหลออกมาโดยการทำบ่อพัก (SUMP) หรือทำที่กั้น - อาคารที่ติดตั้งเป็นอาคารไม่ติดไฟตาม TYPE I และ TYPE II ตาม NFPA 220-1985 หรือเทียบเท่าและไม่มี วัสดุที่ติดไฟได้ในพื้นที่ติดตั้งหม้อแปลง ไม่ต้องมีระบบ ดับเพลิงอัตโนมัติแต่ต้องมีการกั้นของเหลวซึ่งอาจไหลออกมา - หม้อแปลงที่มีพิกัดแรงดันเกิน 33 KV ต้องติดตั้งใน ห้องหม้อแปลง เท่านั้น</p>	<p>- หากติดตั้งหม้อแปลงใกล้กับวัสดุหรืออาคารที่ติดไฟได้ หรือติดตั้งใกล้ทางหนีไฟ ประตู หรือ หน้าต่าง ต้องมีการ ปิดกั้นเพื่อป้องกันไฟที่เกิดจากของเหลวของหม้อแปลง ลุกลามไปติดวัสดุหรือ ส่วนของอาคารที่ติดไฟได้ ส่วนที่มี ไฟฟ้าด้านแรงสูงต้องอยู่ห่างจากโครงสร้างอื่นไม่น้อยกว่า 1.80 ม.</p>

- หม้อแปลงฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ

สามารถติดตั้งได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร และถ้าติดตั้งภายในอาคารต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลงโดยรายละเอียดการติดตั้งเป็นไปตามหัวข้อห้องหม้อแปลง

2) ห้องหม้อแปลง

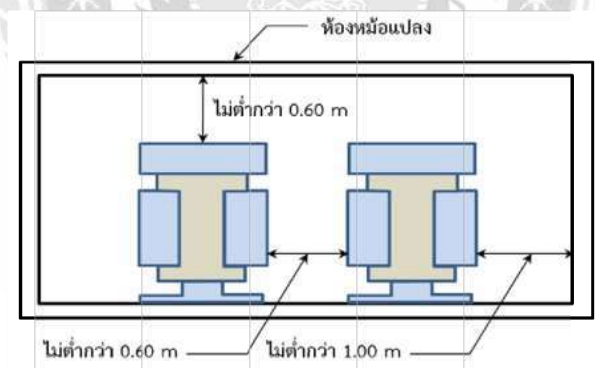
หลักในการพิจารณาในการออกแบบติดตั้งห้องหม้อแปลงของหม้อแปลงชนิดต่าง ๆ มีดังนี้
ห้องหม้อแปลงสำหรับหม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟและฉนวนของเหลวติดไฟยาก

- ตำแหน่งที่ตั้ง

จะต้องติดตั้งอยู่ในสถานที่ที่สามารถขนย้ายหม้อแปลง เข้า – ออก ทั้งลูกได้สามารถระบายอากาศสู่ภายนอกได้ หากใช้ท่อลมต้องเป็นชนิดทนไฟ ห้องหม้อแปลงต้องให้ผู้ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องเข้าถึงได้โดยสะดวกเพื่อการตรวจสอบและบำรุงรักษา

- ระยะห่าง

ระยะห่างระหว่างหม้อแปลงกับผนังหรือประตูห้องหม้อแปลง ต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 1.00 ม. ระยะห่างระหว่างหม้อแปลงไม่ต่ำกว่า 0.60 ม. ที่วางเพื่อปฏิบัติงานบริเวณเหนือที่ตั้งหม้อแปลงหรือเครื่องหุ้มของหม้อแปลงต้องไม่ต่ำกว่า 0.60 ม.



รูปที่ 2.37 ระยะห่างสำหรับหม้อแปลง

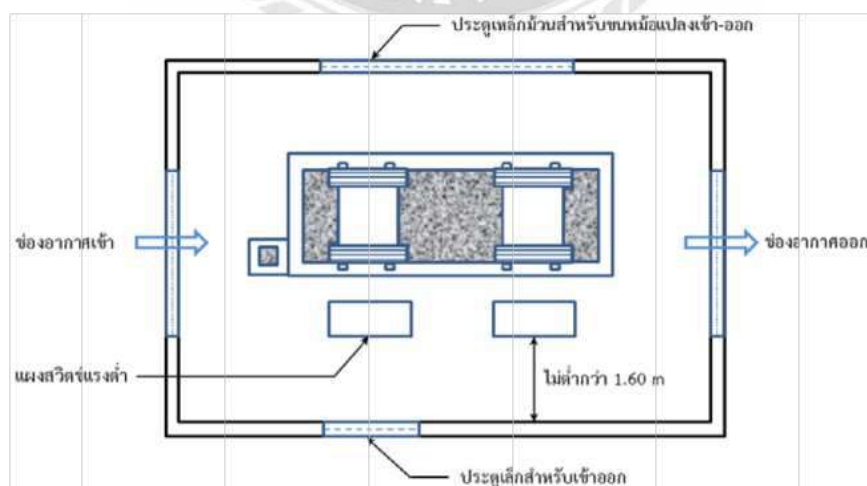
ที่มา : <https://genesys.co.th/>

- การระบายอากาศ

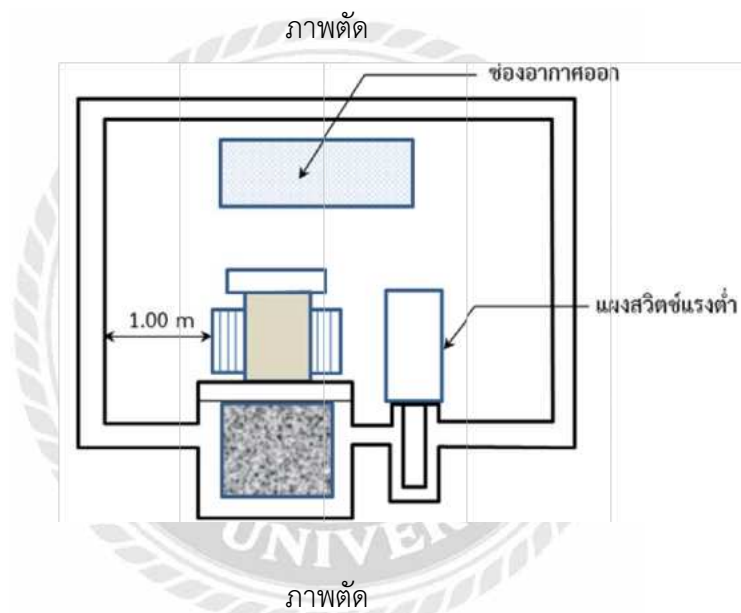
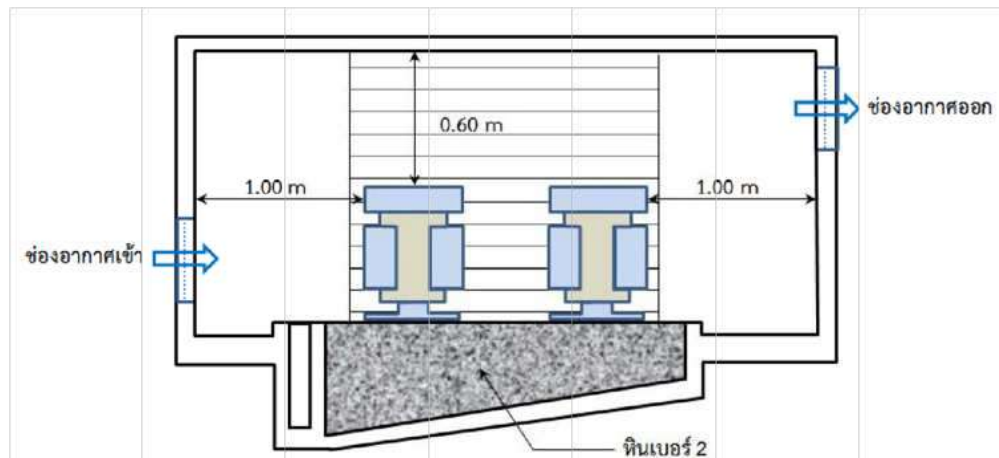
ช่องระบายอากาศควรอยู่ห่างจากประตู หน้าต่าง ทางหนีไฟและวัสดุติดไฟได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ อุณหภูมิภายในห้องหม้อแปลงต้องไม่เกิน 40 °C การระบายความร้อนในห้องหม้อแปลงสามารถทำได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่ง ดังนี้

ตารางที่ 2.15 วิธีการระบายความร้อน

ใช้ระบบหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ	ระบายความร้อนด้วยพัดลม	ระบายความร้อนด้วยเครื่องปรับอากาศ
<p>-ช่องระบายอากาศต้องมีทั้งทางด้านเข้าและด้านออก</p> <p>- พื้นที่ของช่องระบายอากาศแต่ละด้าน (เมื่อไม่ติดลวดตาข่าย) ต้องไม่น้อยกว่า 0.001 ตร.ม./kVA ของหม้อแปลงที่ใช้งาน (kVA_{TRANS}) และต้องไม่เล็กกว่า 0.05 ตร.ม. ปิดด้วยลวดตาข่ายหมายเหตุ ตำแหน่งช่องอากาศด้านเข้าต้องอยู่ใกล้พื้นห้องสูงไม่น้อยกว่า 0.10ม. และด้านออกอยู่บนผนังด้านตรงข้ามใกล้เพดานหรือหลังคา</p>	<p>-ช่องระบายอากาศด้านเข้าต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 0.001 ตร.ม./kVA และไม่น้อยกว่า 0.05 ตร.ม.</p> <p>- ด้านอากาศออกใช้พัดลมที่สามารถดูดอากาศออก 8.40 ลบ.ม./นาที่/หนึ่งกิโลวัตต์ของค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียทั้งหมดของหม้อแปลงเมื่อมีโหลดเต็มที่ (kW_{LOSS})</p>	<p>- เครื่องปรับอากาศที่ใช้ต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 3,412 BTU/หนึ่งกิโลวัตต์ของค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียทั้งหมดของหม้อแปลงเมื่อมีโหลดเต็มที่ (kW_{LOSS})</p> <p>- ไม่มีช่องระบายอากาศออก</p>
<p>พื้นที่ช่องระบายอากาศ (C_{VENT})</p> <p>$\geq 0.001 \times kVA_{TRANS}$ (ตรม.)</p>	<p>ขนาดความจุพัดลม (C_{FAN})</p> <p>$\geq 8.40 \times kW_{LOSS}$ (ลบ.ม./นาที่)</p>	<p>ขนาดเครื่องปรับอากาศ (C_{AIR})</p> <p>$\geq 3,412 \times kW_{LOSS}$</p> <p>(ปีที่ยูต่อชั่วโมง)</p>



แบบแปลน



รูปที่ 2.38 ระบบหมุนเวียนอากาศสำหรับห้องหม้อแปลง

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

- โครงสร้างของห้องหม้อแปลง

ผนังและหลังคาหม้อแปลง

- คอนกรีตเสริมเหล็กความหนาไม่น้อยกว่า 125 มม.
- อิฐ คอนกรีต คอนกรีตบล็อก ความหนาไม่น้อยกว่า 200 มม.

หมายเหตุ

ถ้าบริเวณที่ติดตั้งหม้อแปลงมีการติดตั้งเครื่องดับเพลิงอัตโนมัติ เช่น น้ำ ฮาลอน หรือ คาร์บอนไดออกไซด์ความหนาแน่นสามารถลดลงได้คือคอนกรีตเสริมเหล็กหนาไม่น้อยกว่า 65 มม. อิฐ คอนกรีต คอนกรีตบล็อกหนาไม่น้อยกว่า 100 มม.

พื้นที่ห้อง

- คอนกรีตเสริมเหล็กหนา 125 มม.
- รับน้ำหนักหม้อแปลงและเครื่องอุปกรณ์อื่นๆ ได้อย่างปลอดภัย
- พื้นห้องต้องลาดเอียงและมีทางระบายฉนวนของเหลวของหม้อแปลงไปลงบ่อพัก (sump)

บ่อพักน้ำมัน (Sump)

- สามารถบรรจุปริมาณของเหลวของหม้อแปลงลูกที่มากที่สุด ($V_{FLUID\ MAX}$) ได้ไม่น้อยกว่า 3 เท่า
- ใส่หินเบอร์ 2 จนเต็ม
- ถ้าบ่อพักอยู่นอกห้องต้องมีท่อขนาดไม่เล็กกว่า 50 มม. ระบายของเหลวออกจากห้องหม้อแปลงไปลงบ่อพักปลายท่อด้านหม้อแปลงต้องปิดด้วยตะแกรง

$$\text{ปริมาตรความจุของบ่อพักน้ำมัน } (C_{SUMP}) \geq 3 \times V_{FLUID\ MAX} \text{ (ลิตร)} \quad (2.3)$$

ตัวอย่าง

หม้อแปลงน้ำมัน จำนวน 2 ลูก ขนาด 800 kVA (W 1,290 x L 1,840 x H 1,495 mm.) และ ขนาด 1,250 kVA (W 1,290 x L 2,050 x H 1,635 mm.) 22 kV ติดตั้งในห้องหม้อแปลง
จงคำนวณหา

1. ขนาดห้องหม้อแปลง
2. ขนาดช่องระบายอากาศถ้าหม้อแปลงนี้ระบายความร้อนด้วยวิธีหมุนเวียนตามธรรมชาติ
3. ขนาดความจุพัดลมถ้าหม้อแปลงนี้ระบายอากาศออกด้วยพัดลม
4. ขนาดเครื่องปรับอากาศถ้าหม้อแปลงนี้ระบายความร้อนด้วยเครื่องปรับอากาศ
5. ขนาดบ่อพัก

วิธีทำ

1. ขนาดห้องหม้อแปลง

ตามข้อกำหนด ผนังห้องต้องอยู่ห่างจากหม้อแปลงไม่น้อยกว่า 1.00 ม. เพดานต้องสูงจากหม้อแปลงหรือเครื่องท่อบ่มไม่น้อยกว่า 0.60 ม. และระยะห่างระหว่างหม้อแปลงต้องไม่น้อยกว่า 0.60 ม.

ขนาดห้อง กว้าง = 1,000 + 1,290 + 1,000 = 3,290 มม. หรือ 3.29 ม.
ยาว = 1,000 + 1,840 + 600 + 2,050 + 1,000 = 6,490 มม. หรือ 6.49 ม.
สูง = 1,290 + 600 = 1,890 มม. หรือ 1.89 ม.

2. ขนาดช่องระบายอากาศถ้าหม้อแปลงนี้ระบายความร้อนด้วยวิธีหมุนเวียนตามธรรมชาติ

$$\begin{aligned} \text{ขนาดช่องระบายอากาศ (CVENT)} &\geq 0.001 \times \text{kVA TRANS (ตร.ม.)} & (2.4) \\ &= 0.001 \times (800 + 1,250) \\ &= 2.05 \text{ ตร.ม.} \end{aligned}$$

3. ขนาดความจุพัดลมถ้าหม้อแปลงนี้ระบายอากาศออกด้วยพัดลม

หม้อแปลงขนาด 800 kVA มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW_{LOSS}) = 1,300+10,000=11,300 W.

หม้อแปลงขนาด 1,250 kVA มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW_{LOSS}) = 1,800+15,500=17,300 W.

รวมค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW_{LOSS}) = 11,300 + 17,300 = 28,600 W หรือ = 28.6 kW

$$\begin{aligned} \text{ขนาดความจุพัดลม (C}_{\text{FAN}}) &\geq 8.40 \times \text{kW}_{\text{LOSS}} \text{ (ลบ.ม./นาที)} & (2.5) \\ &= 8.40 \times 28.6 = 240.24 \text{ ลบ.ม./ นาที} \end{aligned}$$

4. ขนาดเครื่องปรับอากาศถ้าหม้อแปลงนี้ระบายความร้อนด้วยเครื่องปรับอากาศ

รวมค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW_{LOSS}) = 11,300 + 17,300 = 28,600 W หรือ = 28.6 kW

$$\begin{aligned} \text{ขนาดเครื่องปรับอากาศ (CAIR)} &\geq 3,412 \times \text{kW LOSS (ปีที्่यूต่อชั่วโมง)} & (2.6) \\ &= 3,412 \times 28.6 = 97,583 \text{ ปีที्่यू/ ชั่วโมง} \end{aligned}$$

5. ขนาดบ่อพัก

$$\text{ปริมาตรความจุของบ่อพักน้ำมัน (C}_{\text{SUMP}}) \geq 3 \times V_{\text{FLUID MAX}} \text{ (ลิตร)} \quad (2.7)$$

คิดจากหม้อแปลงที่มีปริมาตรน้ำมันมากที่สุด คือ ขนาด 1,250 kVA = 860 ลิตร

ขนาดบ่อพัก = 3 × 860 = 2,580 ลิตร หรือ = 2.58 ลบ.ม.

- ส่วนประกอบอื่นๆ ของห้องหม้อแปลง

- ประตูต้องเป็นเหล็กหนาไม่น้อยกว่า 1.6 มม. ทนการบุกรุกก่อนมีการจับยึดไว้อย่างแน่น
- มีประตูฉุกเฉินสำรองชนิดที่เปิดออกภายนอกเป็นทางออกได้สะดวกและรวดเร็ว
- มีธรณีประตูสูงไม่ต่ำกว่า 0.10 ม. เพื่อป้องกันน้ำมันหม้อแปลงไหลออกเมื่อเกิดการระเบิด
- เครื่องปลดวงจรที่ตั้งในห้องหม้อแปลงต้องเป็นชนิดสวิตช์สำหรับปลดโหลด (Load Break)
- เครื่องห่อหุ้มส่วนที่มีไฟฟ้าทั้งหมด ต้องเป็นวัสดุไม่ติดไฟ
- ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่ง ตัวถังหม้อแปลง เครื่องห่อหุ้ม ต้องต่อลงดิน สายต่อหลักดินต้องเป็นสายทองแดงมีขนาดไม่ต่ำกว่า 35 มม.²
- มีแสงสว่างเพียงพอไม่น้อยกว่า 200 ลักซ์
- มีเครื่องดับเพลิงชนิดที่ใช้ดับไฟจากไฟฟ้า (Class C) ขนาดไม่น้อยกว่า 6.5 กก. ติดตั้งไว้ที่ผนังด้านนอกห้องหม้อแปลง
- ห้ามมีระบบท่ออื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องอยู่ในห้องหรือผ่านห้องหม้อแปลง ยกเว้นท่อสำหรับระบบดับเพลิงหรือระบบระบายความร้อนของหม้อแปลง
- ควรมีป้ายเตือนแสดงข้อความ “อันตรายไฟฟ้าแรงสูง” และ “เฉพาะเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเท่านั้น” ให้เห็นอย่างชัดเจนติดไว้ที่ผนังด้านนอกห้องหม้อแปลง

- ห้องหม้อแปลงสำหรับหม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ

ห้องหม้อแปลงนี้ใช้ข้อกำหนดเดียวกันกับหม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟได้ แต่ไม่ต้องมีบ่อพัก แต่ต้องสามารถระบายน้ำ น้ำมันหรือฉนวนของเหลวของหม้อแปลงที่อาจรั่วไหลออกจากห้องได้ และความหนาของผนังห้องให้เป็นดังนี้

- คอนกรีตเสริมเหล็กต้องหนาไม่น้อยกว่า 65 มม.
- อิฐทนไฟ คอนกรีต คอนกรีตบล็อก ต้องหนาไม่น้อยกว่า 100 มม.

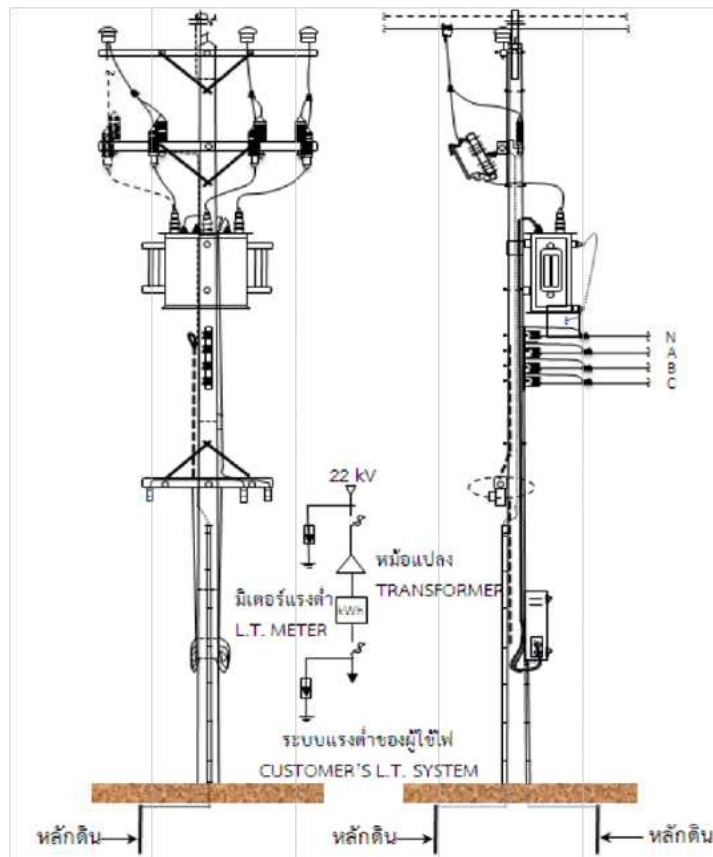
- ห้องหม้อแปลงสำหรับหม้อแปลงชนิดแห้ง

ห้องหม้อแปลงนี้ให้ใช้ข้อกำหนดเดียวกันกับหม้อแปลงฉนวนของเหลวไม่ติดไฟและไม่ต้องมีบ่อพักและท่อระบายของเหลว

3) การติดตั้งบนเสาและนั่งร้านหม้อแปลง

การติดตั้งหม้อแปลงของการไฟฟ้า ฯ มี 3 แบบคือ

- แบบแขวน ใช้สำหรับติดตั้งหม้อแปลง 1 เฟส และ 3 เฟส ขนาดตั้งแต่ 10 - 160 kVA และสูงสุดได้ถึง 250 kVA

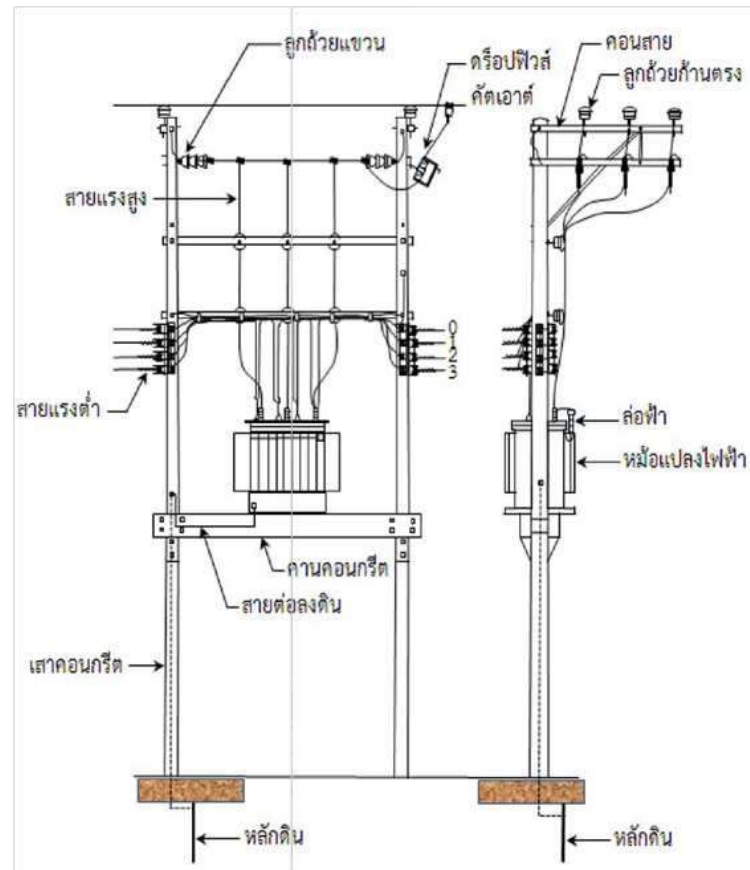


รูปที่ 2.39 การติดตั้งหม้อแปลงแบบแขวน

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

- แบบนั่งร้าน ใช้สำหรับติดตั้งหม้อแปลง 3 เฟส โดยแบ่งตามความสามารถในการรับน้ำหนักได้ 2 ขนาด คือ
 1. ขนาดรับน้ำหนัก 4.5 ตัน
 2. ขนาดรับน้ำหนัก 6.5 ตัน

ขนาดการรับน้ำหนักของนั่งร้านหม้อแปลงจะต้องสอดคล้องกันทั้งหมดทั้งชุดนั่งร้านหม้อแปลงซึ่งได้แก่เสาไฟฟ้า คานและอุปกรณ์ประกอบ และต้องเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฯ รวมทั้งวิศวกรในสาขาที่เกี่ยวข้องรับรองความมั่นคงแข็งแรง



รูปที่ 2.40 การติดตั้งหม้อแปลงแบบนั่งร้าน

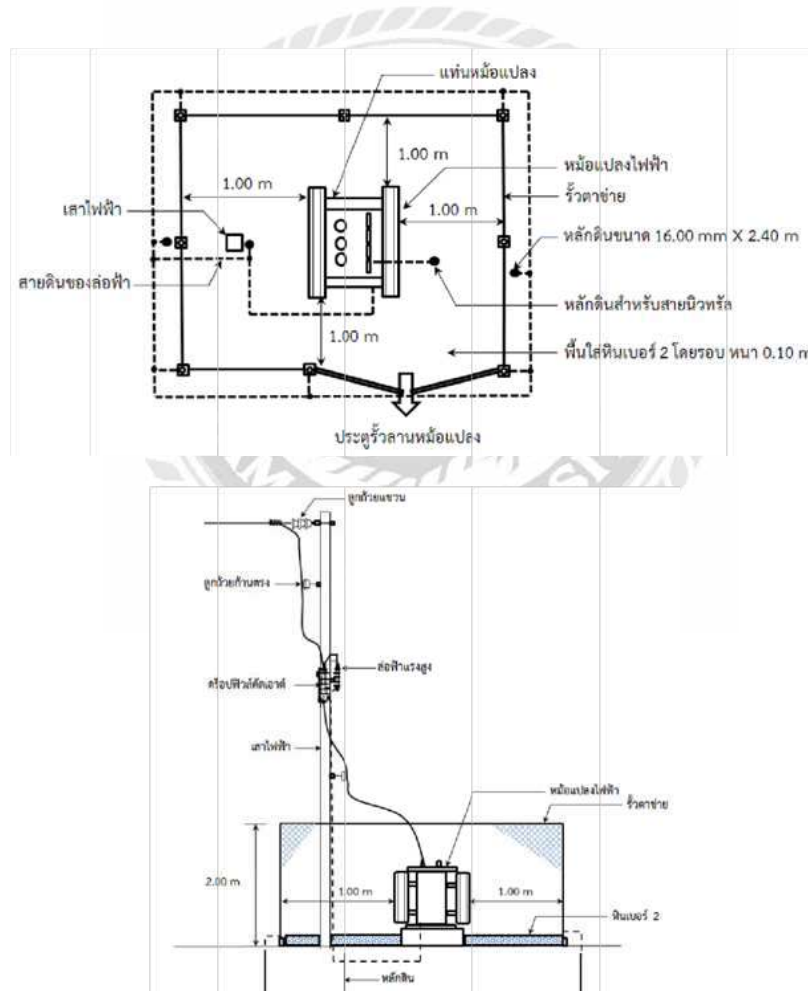
ที่มา : <https://genesys.co.th/>

4) ลานหม้อแปลง (Transformer Yard)

ลานหม้อแปลงเป็นพื้นที่สำหรับติดตั้งหม้อแปลงที่อยู่ภายนอกอาคารซึ่งต้องตั้งอยู่ในพื้นที่ล้อมซึ่งอาจจะเป็นกำแพงหรือรั้วที่คล้องกุญแจได้ และให้เข้าได้เพื่อการตรวจสอบและบำรุงรักษาเฉพาะบุคคลหรือผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเท่านั้น

ข้อกำหนดของหม้อแปลงบนลานหม้อแปลง

- ที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานส่วนที่มีไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแรงสูงเหนือที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานต้องอยู่สูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 2.75 เมตร หรือมีที่กั้น เพื่อป้องกันการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าโดยไม่ได้ตั้งใจ
- ระยะห่าง
 - ก) ระยะห่างตามแนวระดับระหว่างรั้วหรือผนังกั้นกับส่วนที่มีไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแรงสูงต้องไม่น้อยกว่า 1.20 เมตร สำหรับแรงดันไม่เกิน 33 เควี
 - ข) ระยะห่างตามแนวระดับระหว่างหม้อแปลงต้องไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร ระยะห่างระหว่างหม้อแปลงกับรั้วหรือผนังต้องไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร



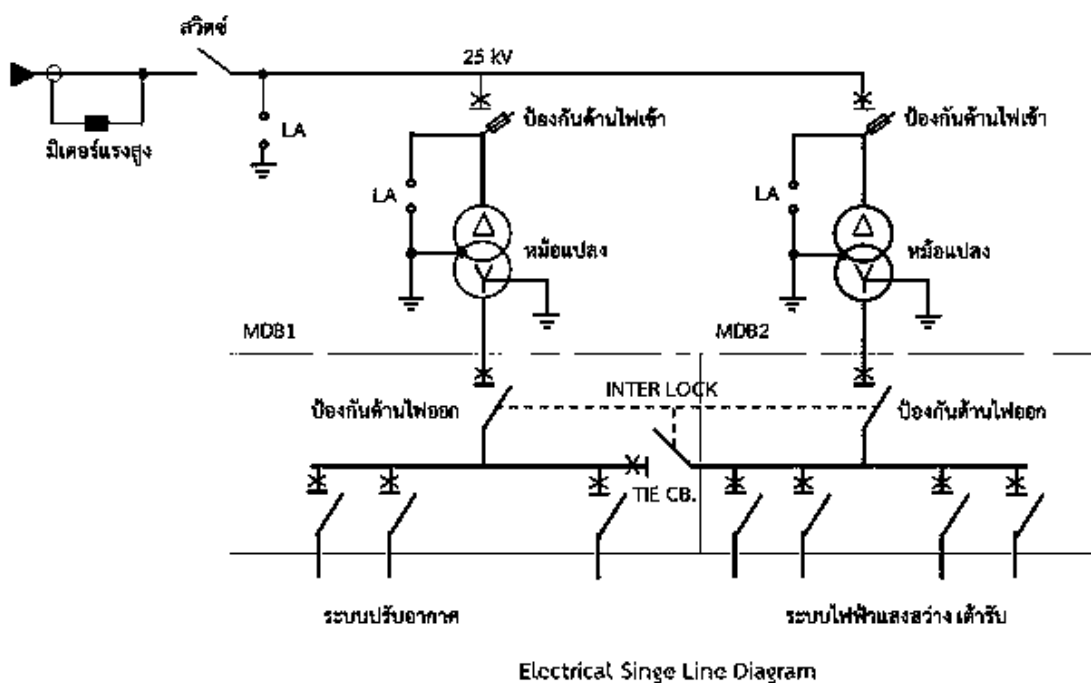
รูปที่ 2.41 แบบตัวอย่างลานหม้อแปลง

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

5) การป้องกันกระแสเกินของหม้อแปลง

หม้อแปลงต้องมีการป้องกันกระแสเกินทั้งทางด้านไฟเข้า (Primary) และด้านไฟออก (Secondary) ขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกินค่าที่กำหนดให้เป็นไปตามมาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของ วสท. สำหรับค่าที่คำนวณได้หากไม่ตรงกับขนาดหม้อแปลงตามมาตรฐานผู้ผลิตสามารถเลือกใช้ขนาดที่ใกล้เคียงที่สุดถัดขึ้นไปได้

ในกรณีที่มีการต่อขนานหม้อแปลง หม้อแปลงแต่ละลูกต้องมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เหมือนกัน หม้อแปลงแต่ละลูกต้องมีการป้องกันกระแสเกินทั้งทางด้านแรงสูงและแรงต่ำ และต้องมีสวิตช์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูงที่สามารถปลดและสับหม้อแปลงได้พร้อมกัน



รูปที่ 2.42 การจ่ายไฟระบบแรงสูงและการป้องกันกระแสเกินด้านไฟเข้า

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

- การป้องกันกระแสเกินด้านไฟเข้า

มีไว้เพื่อป้องกันกระแสเกินอันเนื่องมาจากเกิดการลัดวงจรด้านแรงสูงหรือภายในตัวหม้อแปลงเอง ค่าปรับตั้งสูงสุดในตารางตามมาตรฐานถ้าใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นเครื่องป้องกันกระแสเกิน จะเลือกใช้ค่าสูงสุดไม่เกิน 4-6 เท่าของพิกัดกระแสด้านไฟเข้า ในกรณีเลือกใช้ฟิวส์เป็นเครื่องป้องกัน

กระแสเกินจะกำหนดให้ใช้ ไม่เกิน 300% ของพิกัดกระแสด้านไฟเข้าของหม้อแปลง แต่ไม่ต่ำกว่า 125% ของพิกัดกระแสหม้อแปลงด้านไฟเข้า เพราะฟิวส์อาจจะขาดได้การใช้งานจริงควรกำหนดค่าให้เหมาะสมและต้องคำนึงถึงกระแสในขณะสับสวิทช์จ่ายไฟให้กับหม้อแปลงตอนแรกที่มีกระแสสูงชั่วขณะ (Transformer Inrush Current) เครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟเข้าจะต้องทนค่ากระแสนี้ได้โดยไม่ขาดหรือปลดวงจรโดยทั่วไปถ้าเลือกใช้ Fuse ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้ จะใช้ขนาด 1.5 – 2.0 เท่าของกระแสพิกัดไฟด้านไฟเข้า

ขนาดฟิวส์แรงสูงตามมาตรฐาน IEE-NEMA คือ 1, 2, 3, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 65, 80, 100, 140, 200 A

ตารางที่ 2.16 ขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับหม้อแปลง

ขนาด อิมพีแดนซ์ของ หม้อแปลง	ด้านไฟเข้า		ด้านไฟออก		
	แรงดัน มากกว่า 750 V		แรงดัน มากกว่า 750 V		แรงดัน ไม่เกิน 750 V
	เซอร์กิต เบรกเกอร์	ฟิวส์	เซอร์กิต เบรกเกอร์	ฟิวส์	เซอร์กิตเบรก เกอร์ หรือฟิวส์
ไม่เกิน 6 %	600 %	300 %	300 %	250 %	125 %
มากกว่า 6 % แต่ไม่เกิน 10 %	400 %	300 %	250 %	225 %	125 %

- การป้องกันกระแสเกินด้านไฟออก

ขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟออกแบ่งออกเป็นแรงดันที่มากกว่า 1,000 โวลต์ และแรงดันที่ไม่เกิน 1,000 โวลต์ซึ่งกำหนดให้ใช้ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ ก็ได้ และมีค่าไม่เกิน 125% ของพิกัดกระแสหม้อแปลงด้านไฟออก หากไม่ตรงกับขนาดตามมาตรฐานผู้ผลิต สามารถใช้ขนาดใกล้เคียงได้ แต่ต้องไม่เกินค่าปรับตั้งสูงสุดที่กำหนดไว้

ในการออกแบบระบบไฟฟ้าจ่ายไฟให้กับอาคารหรือสถานประกอบการต่างๆ เมื่อคำนวณโหลดได้แล้ว จะต้องเลือกขนาดหม้อแปลงตามมาตรฐานที่สอดคล้องกับโหลด เช่น ขนาด 315, 400, 500, 630, 800, 1,000, 1,250, 1,600, 2,000, 2,500 kVA เป็นต้น การกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟออกของหม้อแปลงซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์จะกำหนดมาจากโหลดของหม้อแปลงที่คำนวณได้หรืออาจกำหนดจากเครื่องป้องกันกระแสเกินจากขนาดหม้อแปลงก็ได้

โดยทั่วไปที่นิยมใช้จะกำหนดจากเครื่องป้องกันกระแสเกินจากขนาดหม้อแปลงเพราะสะดวกกว่าและเป็นการสำรองสำหรับการเพิ่มโหลดในอนาคตด้วย แต่อย่างไรก็ตามสายไฟฟ้าเมนด้านแรงต่ำที่ออกจากหม้อแปลงต้องสอดคล้องกับขนาดของเครื่องป้องกันกระแสเกินด้วย

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐาน IEC ได้กำหนดค่า AF ไว้ดังนี้ คือ 63, 100, 125, 160, 200, 315, 400, 500, 630, 800, 1,000, 1,250, 1,600, 2,000, 2,500, 3,150 (3,200), 4,000, 5,000, 6,300 A สำหรับค่า AT บริษัทผู้ผลิตจะผลิตออกมาหลายๆ ค่า แล้วแต่ความต้องการของบริษัทนั้น ๆ

การกำหนดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟออกหรือแรงต่ำยังต้องคำนึงถึงค่าพิกัดตัดกระแสลัดวงจร (kA) ต้องไม่น้อยกว่าค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่ติดตั้งที่ขั้วทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดหม้อแปลง ค่า Impedance Voltage ของหม้อแปลง และความจุลัดวงจร (Short-circuit Capacity; MVA) ด้วย

ตัวอย่าง หม้อแปลงจำหน่ายขนาด 2,000 kVA, 22kV/ 230-400V, %U = 6 % จงคำนวณหา Fuse ทางด้าน แรงสูง (HV) Circuit Breaker ทางด้านแรงต่ำ (LV) และค่ากระแสลัดวงจรที่ขั้วแรงต่ำของหม้อแปลง

วิธีทำ

1. กำหนดขนาด

Fuse ด้านแรงสูง หากกระแสโหลดเต็มทางด้านแรงสูง

$$I = 2,000/1.732 \times 22 = 52.48 \text{ A} \text{ กำหนดขนาด Fuse ไม่ต่ำกว่า } 125\% \text{ และไม่เกิน } 300\%$$

$$\text{ขนาด Fuse} = 1.25 \times 52.48 = 65.6 \text{ A}$$

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

2. กำหนดขนาด

Circuit Breaker ด้านแรงต่ำ

ปรับตั้งไม่เกิน 125% ของกระแสพิกัดหม้อแปลงด้านแรงต่ำ

$$I = 2,000 \times 1,000 / 1.732 \times 400 = 2,886 \text{ A}$$

$$\text{กำหนดขนาด Circuit Breaker ที่ } 125\% = 1.25 \times 2,886 = 3,607 \text{ A}$$

เลือกใช้ Circuit Breaker ขนาดสูงสุด 3,600 AT- 4,000 AF

3. ค่ากระแสลัดวงจรที่ชั่วแรงต่ำของหม้อแปลง

- วิธีที่ 1 คิกระบบไฟฟ้าเป็นแบบ Infinite Bus และกระแสลัดวงจรแบบสมดุ

$$\text{สูตรกระแสลัดวงจร} \quad I_c = \frac{100 \times I_n}{\%U} \quad (2.8)$$

โดย I_n = กระแสพิกัดของหม้อแปลงด้านแรงต่ำ (A)

$\%U$ = % อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง

$$I_{sc} = \frac{100 \times 2,886}{6} = 48.1 \text{ kA}$$

- วิธีที่ 2 คิแบบ MVA (MVA Method)

$$\text{หาค่า MVA ลัดวงจร} \quad MV A_{sc} = \frac{MV A_{tr} \times 100}{\%Z} \quad (2.9)$$

$$\text{หากระแสลัดวงจร} \quad I_{sc} = \frac{MV A_{sc}}{\sqrt{3} \times V_{kv}} \quad (2.10)$$

เมื่อ $MV A_{sc}$ = กำลังไฟฟ้าลัดวงจร (MVA)

$MV A_{tr}$ = พิกัดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง (MVA) เช่น $2,000 \text{ kVA} = 2 \text{ MVA}$

$\%Z$ = อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง (ใช้ $\%U$ หรือ $\%6$)

V_{kv} = แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย (Line-to-Line) หน่วย kV เช่น $400 \text{ V} = 0.4 \text{ kV}$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$MV A_{sc} = \frac{2 \times 100}{\%6} = 33.33 \text{ MVA}$$

$$I_{sc} = \frac{33.33}{\sqrt{3} \times 0.4} = 48.11 \text{ kA}$$

- วิธีที่ 3 การคำนวณโดยใช้ค่าอิมพีแดนซ์จริงเป็นโอห์ม (Ohmic Method)

$$\text{หาค่าอิมพีแดนซ์เป็นโอห์ม} \quad Z_{ohm} = \frac{\%Z \times V_{kv}^2}{100 \times MV A_{tr}} \quad (2.11)$$

$$\text{หากระแสลัดวงจร} \quad I_{sc} = \frac{V_{kv} \div \sqrt{3}}{Z_{ohm}} \quad (2.12)$$

เมื่อ $Z_{ohm} =$ ค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงในหน่วยโอห์ม (Ω)
 $V_{kv} \div \sqrt{3} =$ แรงดันเฟส (Phase Voltage) หน่วย kV

ตัวอย่างการคำนวณ

$$Z_{ohm} = \frac{6 \times 0.4^2}{100 \times 2} = 0.0048 \Omega$$

$$I_{sc} = \frac{0.4 \div \sqrt{3}}{0.0048} = 48.1 \text{ kA}$$

ในทางปฏิบัติ การเลือกฟิวส์ป้องกันกระแสเกิน ควรเผื่อค่าความปลอดภัยไว้ประมาณ 25% เพื่อรองรับความคลาดเคลื่อนของเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ กระแสลัดวงจรสมทบจากมอเตอร์ และ Safety Factor ดังนั้น ค่ากระแสลัดวงจรที่ใช้ในการออกแบบจะเท่ากับ $48.1 \times 1.25 = 60 \text{ kA}$

ตารางที่ 2.17 ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟเข้า (Fuse) ของหม้อแปลง 3 เฟส 22 kV , 33kV

ฟิวส์หม้อแปลง (kVA)	กระแสฟิวส์ด้านแรงสูง 22kV (A)	กระแสฟิวส์ด้านแรงสูง 33 kV (A)	ขนาดฟิวส์แรงสูง 22 kV (A)	ขนาดฟิวส์แรงสูง 33 kV (A)	หมายเหตุ
100	2.62	1.75	6	3	ขนาดฟิวส์แรงสูงที่เลือกใช้ ใช้ฟิวส์ประมาณ 1.5 - 2 เท่า ของกระแสฟิวส์ด้านแรงสูงของหม้อแปลง
160	4.19	2.79	8	6	
250	6.56	4.37	10	8	
315	8.26	5.51	15	10	
400	10.49	6.99	15,20	15	
500	13.12	8.74	20, 25	15	
630	16.53	11.02	25, 30	20	
800	20.99	13.99	30, 40	25	
1,000	26.24	17.49	40, 50	30	
1,250	32.80	21.86	50, 65	40	
1,600	41.99	27.99	65, 80	50	
2,000	52.48	34.99	80, 100	65	
2,500	65.60	43.73	100, 140	80	

ตารางที่ 2.18 ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำด้านไฟออกหม้อแปลง 3 เฟส 230/400V

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัดด้านแรงต่ำ (A)	125% กระแสพิกัดด้านแรงต่ำ	ขนาดปรับตั้ง CB	ขนาด AF ของ CB (A)	ค่าพิกัดกระแสลัดวงจร (kA)	หมายเหตุ
100	144	180	160	200	10	ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำใช้ไม่เกิน 125 % ของกระแสพิกัดด้านแรงต่ำ (No Load) ของหม้อแปลง
160	231	288	250	250	10	
250	360	450	400	500	15	
315	455	568	500 - 550	630	18	
400	577	721	600 - 700	800	18	
500	722	903	800 - 900	1,000	22	
630	909	1,136	1,000 - 1,100	1,250	30	
800	1,155	1,443	1,250 - 1,400	1,600	25	
1,000	1,443	1,804	1,500 - 1,800	2,000	30	
1,250	1,804	2,255	1,900 - 2,200	2,500	42	
1,600	2,309	2,886	2,400 - 2,800	3,200	50	
2,000	2,886	3,607	2,900 - 3,600	4,000	65	
2,500	3,608	4,510	3,700 - 4,500	5,000	80	

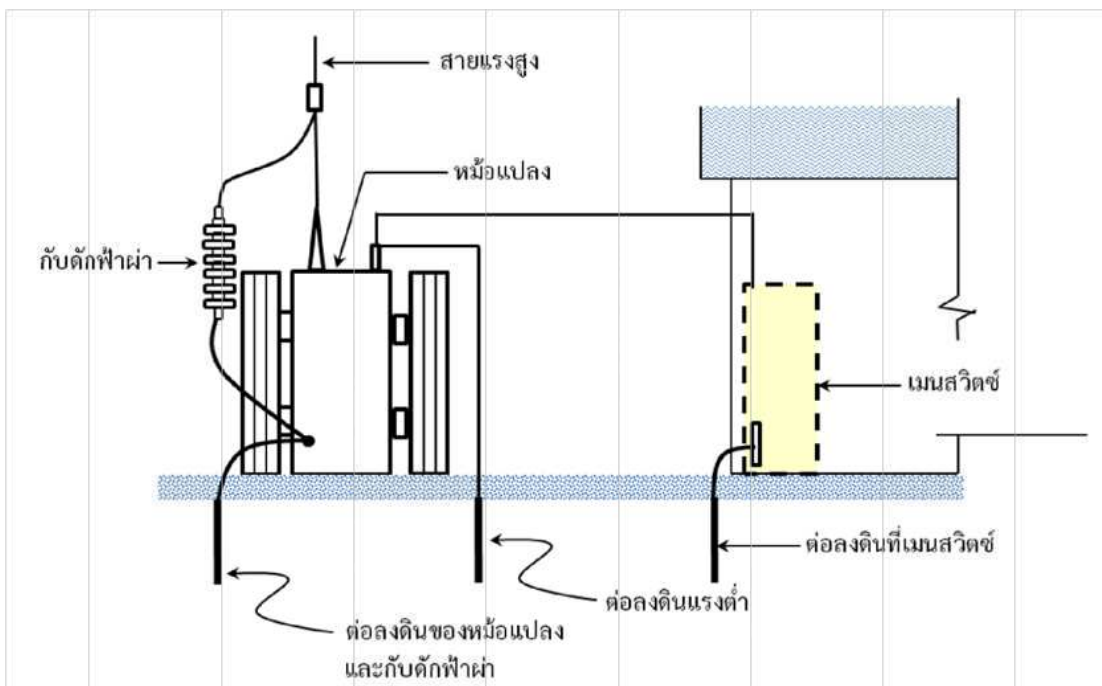
6) การต่อลงดินของหม้อแปลงไฟฟ้า

- การต่อลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่า

การต่อลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือที่เรียกกันทั่วๆไปที่เรียกว่ากับดักฟ้าผ่ามิใช่เพื่อป้องกันความเสียหายของระบบไฟฟ้าและบริเวณที่ไฟฟ้าอันเนื่องจากฟ้าผ่าโดยอาศัยหลักการลดแรงดันไฟฟ้าเกินที่คร่อมบริเวณที่ไฟฟ้าให้เหลือน้อยที่สุดสำหรับการต่อลงดินที่หม้อแปลงจะติดตั้งที่ทางด้านแรงสูง สายต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าต้องต่อร่วมกับสายต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลงและต้องให้สั้นที่สุดเพื่อลดแรงดันตกคร่อมในสายไฟฟ้า สายต่อลงดินนี้ต้องแยกต่างหากจากสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้าด้านแรงต่ำ(สายเส้นที่มีการต่อลงดินหรือสายนิวทรัล) เพื่อป้องกันแรงดันเกินนี้ไปทำให้บริเวณที่ไฟฟ้าเสียหาย

- การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าของหม้อแปลง

ผู้ใช้ไฟฟ้าที่รับไฟแรงสูงจากการไฟฟ้าฯ ซึ่งต้องมีการติดตั้งหม้อแปลง ทางด้านไฟออกแรงต่ำ ต้องมีการต่อลงดิน สายเส้นที่มีการต่อลงดินนี้เรียกว่าสายนิวทรัลและสายนิวทรัลนี้จะต้องเดินไปยังแผงเมนสวิตช์แรงต่ำ ไม่ว่าจะใช้งานหรือไม่ก็ตามและต้องต่อลงดินที่แผงเมนสวิตช์นี้ ในกรณีที่หม้อแปลงติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร มาตรฐานฯ กำหนดให้ต้องต่อลงดินเพิ่มอีกอย่างน้อยอีกหนึ่งจุด ทางด้านไฟออกของหม้อแปลง ณ จุดที่ติดตั้งหม้อแปลงหรือจุดอื่นที่เหมาะสมภายนอกอาคาร



รูปที่ 2.43 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าของหม้อแปลงที่อยู่ภายนอกอาคาร

ที่มา : <https://genesys.co.th/>

7) การเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้า

การเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบโหลดหลายๆ อย่าง ซึ่งมีแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้หม้อแปลง ดังนี้

- ระบบไฟฟ้าที่จ่ายให้หม้อแปลงและจ่ายให้Load เช่น ระดับแรงดัน ความถี่ จำนวนเฟส
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์และการทดสอบ เช่น มอก. IEC , IEEE
- ชนิดของหม้อแปลงที่เลือกใช้เช่น หม้อแปลงน้ำมันหรือหม้อแปลงแห้ง
- การระบายความร้อนของหม้อแปลง เช่น ONAN, AN, AF
- ค่าใช้จ่ายของราคาหม้อแปลง เช่นการใช้งาน การบำรุงรักษา

- ค่าสูญเสียของหม้อแปลง เช่น ค่าสูญเสียในแกนเหล็ก (No Load Loss) ค่าสูญเสียในขดลวด (Load Loss)
- เวกเตอร์รูปของหม้อแปลง เช่น Dyn11,Dd0
- อุณหภูมิแวดล้อม ความชื้น ไอเกลือ ผงฝุ่น
- ข้อจำกัดทางด้านขนาด น้ำหนัก
- สถานที่ติดตั้ง การใช้งาน เช่นในพื้นที่อันตราย โรงกลั่นน้ำมัน
- แรงดันไฟฟ้าอิมพีแดนซ์ขนาดกระแสลัดวงจร และแรงดันตกที่ปลายสาย
- ลักษณะของ Tap Changer ตามพื้นที่ของแต่ละการไฟฟ้า
- ลักษณะและทิศทางของตัวนำด้านจ่ายไฟและรับไฟ
- อายุการใช้งานของหม้อแปลง
- การขนานหม้อแปลง

2.2.7 การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า

การตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้อุปกรณ์ต่าง ๆ มีสภาพพร้อมใช้งาน ตามที่ต้องการอย่างมีประสิทธิภาพมีความเชื่อถือได้ มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานและผู้ปฏิบัติงานในส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้าและส่วนประกอบก็ต้องมีการตรวจสอบ ดูแลและบำรุงรักษา ยกตัวอย่างเช่น การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงน้ำมัน

การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงน้ำมัน

ตารางที่ 2.19 รายการตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงน้ำมัน

ลำดับ	รายการตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบและการดำเนินการ	หมายเหตุ
1.	ลูกถ้วยแรงสูง แรงต่ำ	ตรวจสอบสภาพผิว รอยไหม้ ชำรุด รอย แตกบิ่น ฝุ่น คราบสกปรกและทำความสะอาด สะอาด ซ่อมรอยชำรุด รอย อารักหรือ เปลี่ยนลูกถ้วยใหม่	
2.	ขั้วต่อสาย แรงสูง แรงต่ำ	ตรวจสอบขั้วต่อสาย ดูรอยไหม้อารัก เป็น สนิมหรือ เกิดออกไซด์ ชำรุดและทำความสะอาด ขั้วและ หน้าสัมผัสต่างๆ ชั้นน็อต ขั้วต่อสายทุกตัวให้แน่นหรือ เปลี่ยนขั้วต่อสายใหม่	ปกติอุณหภูมิ ขั้วต่อ สายไม่ ควรเกิน 70°C
3.	สภาพตัวถัง	ตรวจเช็ครอยรั่วซึม ของน้ำมันตามแนว เชื่อมการเกิด สนิมหรือการกัดกร่อนของ ตัวถัง คราบสกปรก ฝุ่น ถ้า พบรอยรั่วซึม ให้แก้ไข โดยการเชื่อมหรือเปลี่ยนปะเก็น ทำความสะอาดขัดทำสีเพื่อให้การระบาย ความร้อนได้ดี	
4.	น้ำมันรั่วซึม	ตรวจสอบครีบบระบายความร้อนปะเก็น หรือซีลยาง ต่างๆ ฝาถัง วาล์ว ถ่าน้ำมัน และเปลี่ยนปะเก็นหรือซี ลยางในส่วนที่มี น้ำมันรั่วซึมและชั้นน็อตให้แน่น	
5.	อุณหภูมิหม้อแปลง	ตรวจสอบอุณหภูมิปัจจุบันและอุณหภูมิ สูงสุด ตรวจสอบการทำงานของ เทอร์โมมิเตอร์ ถ้าอุณหภูมิ หม้อแปลงสูง เกินปกติต้องตรวจสอบกระแสใช้งานหาก เกินให้ลดปริมาณการใช้โหลดให้เหมาะสม	ระดับอุณหภูมิ ห้าม เกิน 100°C

ลำดับ	รายการตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบและการดำเนินการ	หมายเหตุ
6.	สารดูดความชื้น (Silica Gel) (เฉพาะ รุ่น Open Type) หม้อแปลง ชนิด Sealed Tank จะไม่มีสารดูด ความชื้น	ตรวจสอบสีของสารดูดความชื้น (ปกติสารดูดความชื้นจะมีสีม่วงน้ำเงิน เมื่อใช้งานมานานจะมีความชื้นสูงสีจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู ไม่สามารถดูดความชื้นได้อีกต่อไป ให้เปลี่ยนสารดูดความชื้นในปัจจุบัน Silica Gel เป็นสีส้ม จะเป็นชนิดที่ไม่มีสารโคบอล เป็นส่วนประกอบ ซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเมื่อเสื่อมสภาพจะกลายเป็นสีน้ำเงินอมเขียว)	ควรตรวจ ทุก ๆ 6-12 เดือน
7.	กั๊บดั๊กฟ้าผ่า สายดิน และหลักดิน	ตรวจสอบสภาพทั่วไป รอยบิ่น แตก อาร์ก ตรวจสอบจุดต่อสายดินและสภาพสายดิน ว่าหลุดหลวมหรือสีกร่อนหรือไม่ วัดค่าความต้านทานหลักดิน เปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุดและตรวจเช็คสายดินให้อยู่ในสภาพ ใช้งานได้ดี แข็งแรง	ค่าความต้านทานหลักดินไม่เกิน 5 โอห์ม
8.	ความต้านทานฉนวน (Insulation Resistance)	วัดค่าความต้านทานด้วย เมกโอห์มมิเตอร์ ระหว่างขดลวดแรงสูง-แรงต่ำ ขดลวดแรง สูง กับตัวถัง (Tank) และขดลวดแรงต่ำกับตัวถัง ต้องไม่ต่ำกว่า 1,000 Megaohm ที่ 20°C	ใช้เมกโอห์มมิเตอร์ 1,000-2,500 V.
9.	แกนล่อฟ้า (Arcing Horn)	วัดระยะบน-ล่าง ของแกนล่อฟ้าให้ได้ตามเกณฑ์	- ระบบ 11-12 KV. ระยะห่าง 85 mm -ระบบ 22-24 KV. ระยะห่าง 155mm -ระบบ 33 KV. ระยะห่าง 220 mm

ลำดับ	รายการตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบและการดำเนินการ	หมายเหตุ
10..	ค่าความเป็นฉนวน ของน้ำมัน (Dielectric Strength)	ตรวจสอบค่าความเป็นฉนวนของน้ำมัน หม้อ แปลงโดยใช้เครื่องทดสอบ ถ้ามีค่าต่ำ กว่า มาตรฐานควรเปลี่ยนหรือกรองน้ำมัน	ค่าตามมาตรฐาน ASTM -ค่าน้ำมัน 30 kV ใช้ได้ - ค่า น้ำมัน 25-30 kV ใช้ได้หรือกรอง - ค่าน้ำมัน 20- 25kV ใช้ได้หรือ กรอง - ค่าน้ำมัน ต่ำกว่า 20 kV ควร เปลี่ยน

2.3 ข้อกำหนดและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง

ข้อกำหนดในการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้ามีรายละเอียดค่อนข้างมาก โดยอ้างอิงจากมาตรฐานหลัก 2 แห่ง คือ มาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) และ ข้อกำหนดของการไฟฟ้าฯ (การไฟฟ้านครหลวง - กฟน. หรือ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค - กฟภ.) ซึ่งโดยทั่วไปข้อกำหนดของการไฟฟ้าฯ จะอ้างอิงมาตรฐาน วสท. เป็นพื้นฐาน แล้วเพิ่มเติมข้อกำหนดเฉพาะสำหรับการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2.3.1 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564

มาตรฐาน วสท. (เช่น มอก. หรือ มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ) จะเน้นไปที่ความปลอดภัยและประสิทธิภาพทางวิศวกรรมเป็นหลัก โดยครอบคลุมเนื้อหาสำคัญดังนี้

1.) การป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)

การป้องกันกระแสเกินเป็นหัวใจสำคัญในการปกป้องหม้อแปลงไฟฟ้าจากความเสียหายอันเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าที่สูงผิดปกติ

- การป้องกันด้านปฐมภูมิ (Primary Protection)

- กำหนดให้มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน (เช่น ฟิวส์แรงสูง หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์) ที่ด้านปฐมภูมิ เพื่อป้องกันหม้อแปลงจากกระแสลัดวงจร (Short Circuit) ที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลง หรือความผิดปกติ (Fault) ที่ด้านทุติยภูมิ

- ขนาดพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันต้องถูกเลือกให้เหมาะสม (Sizing) โดยต้องสามารถทนกระแสพุ่งเข้า (Inrush Current) ชณะจ่ายไฟให้หม้อแปลงได้โดยไม่ตัดวงจร (Trip) แต่ต้องตัดวงจรอย่างรวดเร็วเมื่อเกิดการลัดวงจรจริง

- **การป้องกันด้านทุติยภูมิ (Secondary Protection)**

- กำหนดให้มีอุปกรณ์ป้องกันที่ด้านทุติยภูมิ (เช่น Air Circuit Breaker – ACB หรือ Molded Case Circuit Breaker - MCCB) เพื่อป้องกันภาวะโหลดเกิน (Overload) ซึ่งเกิดจากการใช้งานที่เกินกำลังพิกัดของหม้อแปลง

- ขนาดของอุปกรณ์ป้องกันด้านทุติยภูมิมักจะถูกเลือกให้สอดคล้องกับพิกัดกระแสปกติ (Full Load Ampere - FLA) ของหม้อแปลง

- **การประสานงานการป้องกัน (Protection Coordination)** มาตรฐานเน้นย้ำว่าการตั้งค่าอุปกรณ์ป้องกันทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิต้องมีความสัมพันธ์กัน เพื่อให้มั่นใจว่าเมื่อเกิดความผิดปกติ อุปกรณ์ป้องกันที่อยู่ใกล้จุดเกิดเหตุที่สุดจะทำงานก่อน (Selectivity) ป้องกันไม่ให้ไฟฟ้าดับเป็นวงกว้างโดยไม่จำเป็น

2.) การต่อลงดิน (Grounding)

การต่อลงดินเป็นมาตรการความปลอดภัยที่สำคัญที่สุดในการติดตั้งหม้อแปลง โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

- **การต่อลงดินของอุปกรณ์ (Equipment Grounding)**

- กำหนดให้ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งทั้งหมดของหม้อแปลง (เช่น ตัวถัง, เปลือกหุ้มโครงสร้าง) ซึ่งปกติไม่ควรมีไฟฟ้า ต้องถูกต่อลงดิน

- วัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อจำกัดแรงดันสัมผัส (Touch Voltage) ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยในกรณีที่เกิดไฟฟ้ารั่วจากฉนวนที่ชำรุดลงสู่โครงโลหะ และเพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินจะทำงานตัดวงจรเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดิน (Ground Fault)

- **การต่อลงดินของระบบ (System Grounding)**

- กำหนดวิธีการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ (ด้านแรงต่ำ) โดยทั่วไปคือการต่อจุดนิวทรัล (Neutral) ของขดลวดทุติยภูมิลงดิน

- วัตถุประสงค์คือ เพื่อสร้างเส้นทางให้กระแสลัดวงจรลงดินไหลกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟ (หม้อแปลง) ได้ครบวงจร ทำให้ระบบป้องกัน (เช่น เบรกเกอร์) ตรวจจับและตัดวงจรได้ และยังช่วยรักษาเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าในระบบเทียบกับดิน

3.) สถานที่ติดตั้ง (Location)

การเลือกสถานที่ติดตั้งมีผลโดยตรงต่อความปลอดภัย การบำรุงรักษา และอายุการใช้งานของหม้อแปลง

- การเข้าถึง (Accessibility)

- สถานที่ติดตั้งต้องมีพื้นที่ว่างเพียงพอ (Working Space) รอบตัวหม้อแปลง ตามที่มาตรฐานกำหนด เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถเข้าตรวจสอบและบำรุงรักษาได้อย่างปลอดภัยและสะดวก

- ต้องจำกัดการเข้าถึงสำหรับผู้ที่ไม่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะประชาชนทั่วไป โดยอาจใช้วิธีการติดตั้งในห้องที่ปิดล็อก การล้อมรั้ว หรือการติดตั้งบนที่สูง (เช่น บนเสา)

- การป้องกันความเสียหายทางกายภาพ (Physical Protection)

- ห้ามติดตั้งในบริเวณที่เสี่ยงต่อการถูกยานพาหนะชน หรือถูกกระทบกระแทก จากกิจกรรมปกติ เว้นแต่จะมีการป้องกันที่เพียงพอ เช่น การติดตั้งเสาหิน (Bollards) หรือติดตั้งบนฐานยกสูง

- สภาพแวดล้อม (Environment)

- ต้องไม่อยู่ในบริเวณที่มีสารไวไฟ, สารกัดกร่อน, ไอระเหย หรือฝุ่นละอองที่ติดไฟได้ในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตราย (Hazardous Locations) เว้นแต่หม้อแปลงนั้นจะถูกออกแบบมาสำหรับสภาพแวดล้อมนั้นๆ โดยเฉพาะ (เช่น หม้อแปลงชนิด Dry-type ที่มี Enclosure ป้องกันพิเศษ หรือหม้อแปลงชนิดทนการระเบิด)

4.) การระบายอากาศ (Ventilation)

หม้อแปลงไฟฟ้าสร้างความร้อนขึ้นขณะทำงาน (จาก Core Loss และ Copper Loss) ซึ่งต้องมีการระบายความร้อนนี้ออกไปอย่างเพียงพอ

- วัตถุประสงค์ เพื่อควบคุมอุณหภูมิโดยรอบ (Ambient Temperature) ของหม้อแปลงให้อยู่ในระดับที่ออกแบบไว้ และป้องกันไม่ให้อุณหภูมิภายในตัวหม้อแปลงสูงเกินพิกัด (Overheating) ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของฉนวนสั้นลงอย่างมาก หรือเกิดการลัดวงจรภายในได้

- ข้อกำหนดสำหรับห้องหม้อแปลง (Vault)

- หากติดตั้งภายในอาคารหรือห้องปิด ต้องจัดให้มีช่องระบายอากาศ (ช่องลมเข้าล่าง และช่องลมออก-บน) ที่มีขนาดเพียงพอสำหรับการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ (Natural Convection)

- ในกรณีที่การระบายอากาศโดยธรรมชาติไม่เพียงพอ (เช่น ห้องอยู่ใต้ดิน หรือมีขนาดเล็ก) มาตรฐานกำหนดให้ต้องติดตั้งระบบระบายอากาศแบบบังคับ (Forced Ventilation) เช่น พัดลมดูดอากาศ โดยต้องคำนวณอัตราการไหลของอากาศ (CFM) ให้สัมพันธ์กับปริมาณความร้อน (Losses) ที่หม้อแปลงปล่อยออกมา

5.) ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับหม้อแปลงชนิดน้ำมัน (Oil-filled)

เนื่องจากน้ำมันฉนวนในหม้อแปลง (Mineral Oil) เป็นสารติดไฟได้ มาตรฐาน วสท. จึงมีข้อกำหนดที่เข้มงวดเป็นพิเศษสำหรับการติดตั้งภายในอาคารหรือใกล้กับอาคาร

• การกักเก็บน้ำมัน (Oil Containment)

- กรณีติดตั้งภายในอาคาร หรือในตำแหน่งที่หากน้ำมันรั่วไหลแล้วอาจก่อให้เกิดอันตรายหรือลุกลามไปยังพื้นที่อื่นได้ มาตรฐานมักกำหนดให้ต้องสร้าง "บ่อดักน้ำมัน" (Oil Containment Pit) หรือขอบกั้น

- บ่อนี้ต้องมีปริมาตรเพียงพอที่จะรองรับน้ำมันทั้งหมดที่อยู่ในตัวหม้อแปลงได้ (อย่างน้อย 110% ของปริมาตรน้ำมัน) เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของน้ำมันหากเกิดการรั่วไหล

• การป้องกันอัคคีภัย (Fire Protection)

- เมื่อติดตั้งภายในอาคาร ห้องหม้อแปลง (Vault) จะต้องถูกสร้างด้วยวัสดุที่มีอัตราการทนไฟ (Fire Rating) ตามที่กำหนด (เช่น ผนังและเพดานทนไฟได้ 3 ชั่วโมง ประตูทนไฟ 1.5 - 3 ชั่วโมง)

- ต้องมีการเว้นระยะห่าง (Clearance) จากผนังที่ติดไฟได้ หรืออาจต้องมีการติดตั้งผนังกันไฟ (Fire Barrier) คั่นกลาง เพื่อจำกัดการลุกลามของเพลิงไหม้

- อาจต้องมีการติดตั้งระบบตรวจจับควันหรือความร้อน และระบบดับเพลิงอัตโนมัติ (เช่น ระบบ CO₂ หรือ Novec) ตามความเหมาะสมของสถานที่และความเสี่ยง

2.3.2 ข้อกำหนดของการไฟฟ้าแรงสูง

การติดตั้งหม้อแปลงแบบนั่งร้าน (H-Frame Pole-Mounted) เป็นรูปแบบที่การไฟฟ้าแรงสูงควบคุมเข้มงวดมาก เนื่องจากเป็นการติดตั้งในที่สาธารณะและเชื่อมต่อโดยตรงกับระบบจำหน่ายแรงสูง (24 kV) ข้อกำหนดเหล่านี้จึงเน้นความปลอดภัยต่อสาธารณะ ความมั่นคงของระบบไฟฟ้า และความสะดวกในการบำรุงรักษาของเจ้าหน้าที่ การไฟฟ้าแรงสูง

1.) โครงสร้างและตำแหน่งการติดตั้ง

ข้อกำหนดนี้เน้นความแข็งแรงทางกลและความถูกต้องตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง

• ชุดนั่งร้าน (H-Frame)

- เป็นไปตามแบบมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้านครหลวงมีแบบมาตรฐาน (Standard Drawing) ที่ระบุขนาด ความหนา และรูปแบบของโครงเหล็กนั่งร้านอย่างชัดเจน (เช่น แบบ ม.4-010)

- วัสดุและการป้องกันสนิม โครงเหล็กทั้งหมดต้องเป็นเหล็กที่ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) และต้องผ่านการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot-dip Galvanized) เพื่อทนทานต่อสภาพอากาศและการกัดกร่อนตลอดอายุการใช้งาน

• เสาไฟฟ้า (Poles)

- ความแข็งแรง ต้องใช้เสาคอนกรีตอัดแรง (เช่น เสาขนาด 12.00 ม. หรือ 14.30 ม. ขึ้นไป ขึ้นอยู่กับขนาดหม้อแปลงและสภาพพื้นที่) ที่มีพิกัดการรับน้ำหนัก (Load Rating) เพียงพอ ไม่ใช่แค่รับน้ำหนักหม้อแปลง แต่รวมถึงโครงเหล็ก อุปกรณ์ประกอบ แรงลม และน้ำหนักของเจ้าหน้าที่ขณะปฏิบัติงาน

• ตำแหน่งการติดตั้ง

- การอนุมัติจากการไฟฟ้านครหลวง ตำแหน่งที่จะปักเสาและติดตั้งหม้อแปลง ต้องได้รับอนุมัติจากการไฟฟ้านครหลวงก่อนเสมอ

- ความสะดวกในการปฏิบัติงาน ต้องมีพื้นที่ว่างรอบเสาเพียงพอให้รถกระเช้า (Boom Truck) ของการไฟฟ้านครหลวง สามารถเข้าจอดและปฏิบัติงาน (เช่น ปลด-สับ Drop-out Fuse หรือเปลี่ยนหม้อแปลง) ได้อย่างสะดวกและปลอดภัย

- ความปลอดภัยสาธารณะ ต้องไม่กีดขวางทางเท้า ทางเข้า-ออกอาคาร หรือผิวจราจร และต้องไม่อยู่ในจุดที่เสี่ยงต่อการถูกยานพาหนะชนได้ง่าย

2.) ระยะห่างความปลอดภัย (Safety Clearances)

ข้อกำหนดที่สำคัญที่สุดเพื่อป้องกันอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน การไฟฟ้านครหลวงจะไม่อนุญาตให้จ่ายไฟฟ้าหากระยะห่างเหล่านี้ไม่ได้ตามเกณฑ์

- **ความสูงจากพื้น (Vertical Clearance)**
 - ส่วนที่ต่ำที่สุดของหม้อแปลง หรือส่วนที่มีไฟฟ้าแรงสูง ต้องมีความสูงจากระดับพื้นดิน ทางเท้า หรือผิวจราจร ตามที่การไฟฟ้านครหลวงกำหนด (โดยทั่วไปจะสูงมาก เช่น มากกว่า 5.5 - 6 เมตร) เพื่อให้พ้นจากยานพาหนะทุกชนิดและบุคคลทั่วไป
- **ระยะห่างจากอาคารและสิ่งปลูกสร้าง (Horizontal/Building Clearance)**
 - การไฟฟ้านครหลวงกำหนดระยะห่าง "ในแนวนอน" ที่เข้มงวดมาก จากสายไฟแรงสูงและตัวหม้อแปลงไปยังส่วนต่างๆ ของอาคาร
 - หน้าต่าง ประตู ช่องเปิด ต้องมีระยะห่างมากพอ (เช่น 3.00 เมตรขึ้นไป) เพื่อป้องกันคนยื่นมือหรือวัสดุ (เช่น ไม้กวาด, เหล็ก) ออกมาสัมผัส หรือเกิดการอาร์ก (Arc Flash) เข้าสู่อาคาร
 - ระเบียง กันสาด ชายคา ต้องมีระยะห่างทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง เพื่อป้องกันการป็นป้ายหรือสัมผัสโดยบังเอิญ
 - ป้ายโฆษณา ต้องอยู่ห่างจากแนวสายไฟและหม้อแปลงในระยะที่ปลอดภัยเพื่อป้องกันอันตรายต่อผู้ติดตั้งหรือบำรุงรักษาป้าย
- **ระยะห่างจากแนวสายไฟอื่น**
 - ต้องรักษาระยะห่างที่ปลอดภัยจากสายสื่อสาร (เช่น สายโทรศัพท์, สายอินเทอร์เน็ต Fiber Optic) ซึ่งมักจะติดตั้งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า เพื่อป้องกันไฟฟ้าแรงสูงเหนี่ยวนำหรือกระโดดข้ามไปยังสายสื่อสารเมื่อเกิดเหตุผิดปกติ

3.) อุปกรณ์ป้องกันด้านแรงสูง

อุปกรณ์เหล่านี้ทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ ปลอดภัยเพื่อบำรุงรักษาและป้องกันระบบจำหน่ายหลักของการไฟฟ้านครหลวง

- **ดรอปฟิวส์คัทเอาต์ (Drop-out Fuse Cutout)**
 - หน้าที่สวิตช์ (Switching) เป็นจุดที่เจ้าหน้าที่การไฟฟ้านครหลวง ใช้ "Hot Stick" (ไม้ปฏิบัติงานแรงสูง) ในการปลด (Open) เพื่อตัดกระแสไฟออกจากหม้อแปลง ก่อนการบำรุงรักษา

- หน้าที่ป้องกัน (Protection) ภายในกระบอกฟิวส์จะมี "ฟิวส์ลิงก์" (Fuse Link) ซึ่งจะหลอมละลายและตัดวงจร (ทรอปเอาท์) โดยอัตโนมัติ เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตัวหม้อแปลง หรือมีการใช้ไฟเกินพิกัดอย่างรุนแรง เพื่อป้องกันไม่ให้ความผิดพลาดนี้กระทบกับสายส่งหลัก (Main Feeder) ของการไฟฟ้านครหลวง จนทำให้ไฟฟ้าดับเป็นวงกว้าง

- การเลือกขนาด การไฟฟ้านครหลวงจะกำหนดขนาดพิกัดกระแสของฟิวส์ลิงก์ (เช่น 3A, 5A, 10A) ให้เหมาะสมกับขนาด kVA ของหม้อแปลง

- ล้อฟ้า (Surge Arrester / Lightning Arrester)

- หน้าที่คือป้องกันหม้อแปลงจากแรงดันไฟฟ้าที่สูงเกินชั่วขณะ (Transient Overvoltage) ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากฟ้าผ่า หรือการสับสวิตช์ในระบบ

- การทำงานคือล้อฟ้าจะทำหน้าที่เป็น "วาล์วระบาย" โดยจะนำกระแสไฟกระชาก (Surge Current) ที่สูงมากนี้ลงสู่ระบบสายดินอย่างรวดเร็ว ก่อนที่มันจะเข้าไปทำลายฉนวนภายในของหม้อแปลง ต้องติดตั้งให้ใกล้ขั้วบushing แรงสูงของหม้อแปลงมากที่สุด

4.) การต่อลงดิน (Grounding)

ระบบต่อลงดินเป็นหัวใจของความปลอดภัย การไฟฟ้านครหลวงกำหนดมาตรฐานที่เข้มงวดมาก

- การต่อลงดินของอุปกรณ์ (Equipment Grounding)

- วัตถุประสงค์เพื่อความปลอดภัยต่อผู้สัมผัส โครงสร้างโลหะทั้งหมดที่ปกติไม่มีไฟ (Non-Current Carrying Parts) จะต้องถูกต่อถึงกันและต่อลงดิน ได้แก่

- ตัวถังหม้อแปลง (Transformer Tank)
- โครงเหล็กนั่งร้าน (H-Frame)
- ขั้วต่อลงดินของล้อฟ้า (Surge Arrester)

หากเกิดไฟรั่ว (เช่น ฉนวนเสื่อม) ลงบนโครงโลหะ กระแสรั่วไหลจะไหลลงดินทันที ทำให้ฟิวส์ทำงานตัดวงจร ป้องกันไม่ให้ตัวถังหม้อแปลงมีไฟค้าง

- การต่อลงดินของระบบ (System Grounding)

- วัตถุประสงค์เพื่อเสถียรภาพของแรงดันด้านแรงต่ำ ขั้วต่อต้านแรงต่ำที่เป็นจุดนิวทรัล (เช่น ขั้ว X0) จะต้องถูกต่อลงดิน

- ค่าความต้านทานดิน

- การไฟฟ้านครหลวงบังคับให้ค่าความต้านทานรวมของระบบดิน (วัดที่หลักดิน) ต้องมีค่าไม่เกิน 5 โอห์ม ($\leq 5 \Omega$) หากค่าความต้านทานสูงเกินไป (เช่น 50 โอห์ม) เมื่อเกิดไฟรั่วหรือลัดวงจรลงดิน กระแสที่ไหลลงดินจะมีค่าน้อยเกินไป อาจไม่เพียงพอที่จะทำให้ฟิวส์แรงสูงทำงานตัดวงจรได้ทันทั่วทั้งที่ ทำให้เกิดสภาวะอันตรายค้างอยู่ในระบบ

- หากวัดค่าได้เกิน 5 โอห์ม ผู้ติดตั้งต้องตอกหลักดิน (Ground Rod) เพิ่ม หรือใช้วิธีปรับปรุงดิน (Soil Treatment) จนกว่าจะได้ค่าตามมาตรฐาน

5.) ป้ายคำเตือนและอุปกรณ์เสริมความปลอดภัย

- ป้ายคำเตือน

- ต้องทำการติดตั้ง "ป้ายเตือนอันตรายไฟฟ้าแรงสูง" ที่ได้มาตรฐาน (พื้นขาวอักษรแดงหรือดำ รูปหัวกะโหลกไขว้หรือสัญลักษณ์ฟ้าผ่า)

- ต้องติดตั้งในตำแหน่งที่บุคคลทั่วไปสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนจากระดับพื้นดิน เพื่อเตือนให้ระวังอันตราย

- อุปกรณ์ป้องกันสัตว์ (Animal Guards)

ในหลายพื้นที่การไฟฟ้านครหลวงอาจกำหนดให้ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันสัตว์ เช่น ครอบฉนวนที่บุชชิ่ง (Bushing Cover) หรือฉนวนหุ้มสายไฟ (Line Guard) เพื่อป้องกันสัตว์ เช่น กระรอก, นก, หรือ งู ปีนป้ายและทำให้เกิดการลัดวงจรข้ามเฟส หรือลัดวงจรลงดิน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักอย่างหนึ่งของไฟฟ้าดับและหม้อแปลงเสียหาย

2.3.3 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

เพื่อให้การติดตั้งและใช้งานระบบไฟฟ้าในอาคารประเภทดังกล่าวเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพปลอดภัย และสอดคล้องกับหลักวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้า กฎหมายอาคารจึงได้กำหนดข้อบังคับที่เกี่ยวข้องไว้ในกฎกระทรวง โดยเฉพาะข้อกำหนดด้านระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าหลัก ระบบสำรองไฟฟ้า ฉากฉนวน ระบบสายดิน ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า และระบบสัญญาณเตือนเพลิงไหม้ ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นมาตรการสำคัญในการลดความเสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สิน

1.) ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าหลัก

ตามข้อ 11 แห่งกฎกระทรวงว่าด้วยกฎหมายควบคุมอาคาร ได้กำหนดให้อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องมีระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในระบบแสงสว่างและระบบกำลัง โดยการติดตั้งต้องดำเนินการตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทั้งนี้ หากสถานที่ตั้งอยู่นอกเขตความรับผิดชอบของหน่วยงานดังกล่าว ให้ใช้มาตรฐานความปลอดภัยทางไฟฟ้าของสำนักงานพลังงานแห่งชาติเป็นเกณฑ์อ้างอิง

ในระบบจ่ายไฟฟ้าดังกล่าว จะต้องมีการติดตั้งสวิตช์ประธาน (Main Switch) ซึ่งต้องแยกจากพื้นที่ใช้สอยส่วนอื่นโดยชัดเจน อาจจัดเป็นห้องเฉพาะภายในอาคารหรืออาคารแยกออกมาโดยเฉพาะก็ได้ นอกจากนี้ การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดเดียวกัน และสามารถจัดให้อยู่ในบริเวณเดียวกับสวิตช์ประธานได้

แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายวงจรย่อยเมื่อใช้งานเต็มที่ จะต้องมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 5\%$ จากแรงดันที่จ่ายจากแผงสวิตช์ประธาน เพื่อความเสถียรในการจ่ายไฟฟ้าและความปลอดภัยของระบบ

2.) ระบบสายดิน (Grounding System)

ตามข้อ 12 ของกฎหมายควบคุมอาคาร ได้กำหนดให้แผงสวิตช์วงจรย่อยทุกแผงต้องมีการต่อลงดิน ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานระบบไฟฟ้า และลดความเสี่ยงจากไฟฟ้ารั่วหรือไฟฟ้าลัดวงจร การต่อสายดิน รวมถึงหลักสายดินและวิธีการติดตั้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หรือใช้มาตรฐานของสำนักงานพลังงานแห่งชาติในพื้นที่ที่อยู่นอกความรับผิดชอบของหน่วยงานดังกล่าว

3.) ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า

ตามข้อ 13 กำหนดให้อาคารสูงทุกหลังต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งต้องประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก ได้แก่ เสาล่อฟ้า สายล่อฟ้า สายตัวนำ สายนำลงดิน และหลักสายดิน โดยสายนำลงดินจะต้องมีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่าสายทองแดงตีเกลียวขนาด 30 ตารางมิลลิเมตร และต้องเป็นระบบที่แยกเป็นอิสระจากระบบสายดินของระบบไฟฟ้าอื่น

อาคารแต่ละหลังต้องมีสายตัวนำล้อมรอบตัวอาคาร และมีสายนำลงดินห่างกันไม่เกิน 30 เมตร โดยต้องมีจำนวนไม่น้อยกว่าสองสายต่ออาคาร นอกจากนี้ โครงสร้างเหล็กเสริมหรือเหล็กรูปพรรณที่ใช้ในโครงสร้างอาคารสามารถใช้แทนสายนำลงดินได้ หากมีการติดตั้งระบบถ่ายประจุ

ไฟฟ้าที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ทั้งระบบนี้ต้องเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยของสำนักงานพลังงานแห่งชาติ

4.) ระบบไฟฟ้าสำรองสำหรับกรณีฉุกเฉิน

ข้อ 14 ระบุว่า อาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องมีระบบจ่ายไฟฟ้าสำรองในกรณีฉุกเฉิน โดยระบบนี้ต้องเป็นอิสระจากระบบไฟฟ้าหลัก และสามารถทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อระบบปกติหยุดทำงาน แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองต้องสามารถจ่ายพลังงานได้ตามข้อกำหนด ดังนี้

- จ่ายไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง สำหรับระบบไฟฉุกเฉิน เช่น เครื่องหมายแสดงทางหนีไฟ ทางเดิน ห้องโถง บันได และระบบสัญญาณเตือนเพลิงไหม้
- จ่ายไฟฟ้าได้ตลอดเวลาการใช้งาน สำหรับระบบที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยและภารกิจสำคัญ เช่น ลิฟต์ดับเพลิง เครื่องสูบน้ำดับเพลิง ห้องฉุกเฉิน ระบบสื่อสาร และกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมที่อาจเป็นอันตรายหากกระแสไฟฟ้าขัดข้อง

5.) การติดตั้งระบบไฟฟ้าสำหรับลิฟต์ดับเพลิง

ข้อ 15 ระบบไฟฟ้าที่ใช้กับลิฟต์ดับเพลิงต้องต่อจากแผงสวิตช์ประธานของอาคารโดยตรง และต้องเป็นวงจรไฟฟ้าเฉพาะที่แยกจากวงจรทั่วไปโดยเด็ดขาด วงจรไฟฟ้าสำรองสำหรับลิฟต์ดับเพลิงยังต้องมีการป้องกันเพลิงไหม้อย่างเหมาะสมเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน

6.) ระบบสัญญาณเตือนเพลิงไหม้

ข้อ 16 กำหนดให้ทุกชั้นของอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องติดตั้งระบบสัญญาณเตือนเพลิงไหม้ ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลักสองประการ ได้แก่

- อุปกรณ์ส่งสัญญาณแจ้งเตือน ที่สามารถส่งเสียงหรือสัญญาณอย่างทั่วถึงภายในอาคารเพื่อให้ผู้ใช้อาคารรับรู้และอพยพได้อย่างทันท่วงที
- อุปกรณ์แจ้งเหตุเพลิงไหม้ ซึ่งรวมถึงระบบแจ้งเหตุอัตโนมัติและระบบที่สามารถสั่งงานด้วยมือ เพื่อให้ระบบส่งสัญญาณทำงานได้ทันทีที่เกิดเหตุ

7.) แบบแปลนระบบไฟฟ้า

ตามข้อ 17 กำหนดให้มีการจัดทำแบบแปลนระบบไฟฟ้าเพื่อประกอบการขออนุญาตก่อสร้าง โดยต้องประกอบด้วย

- แผนผังวงจรไฟฟ้าของแต่ละชั้นในมาตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งแสดงรายละเอียดการเดินสายและการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งในระบบแสงสว่าง ระบบกำลัง ระบบสัญญาณเตือนเพลิงไหม้ และระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน
- รายละเอียดระบบสายดิน ระบบสายประธาน และอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ
- รายการประกอบแบบที่แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวม
- แผนผังการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า แผงควบคุม แผงจ่ายไฟ และระบบไฟฟ้าสำรอง
- รายละเอียดการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า

2.4 แผงควบคุมไฟฟ้า

แผงควบคุมไฟฟ้ามีความจำเป็นอย่างยิ่งในการป้องกันระบบไฟฟ้าภายในอาคาร สำนักงานไปจนถึงโรงงานขนาดใหญ่ อันที่จะสร้างความเสียหายให้แก่ชีวิตและทรัพย์สินได้รวมไปถึงการตัดต่องจรในการบำรุงรักษาและซ่อมแซม ระบบไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย แผงควบคุมไฟฟ้าหลัก MDB (Main Distribution Board) และแผงควบคุมไฟฟ้ารอง SDB (Sub Distribution Board)

2.4.1 แผงควบคุมไฟฟ้าหลัก (Main Distribution Board, MDB)

แผงควบคุมไฟฟ้าหลัก (MDB) เป็นแผงจ่ายไฟขนาดใหญ่ ที่ใช้ในอาคารที่ใช้ในอาคารขนาดกลางถึงขนาดใหญ่และในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีการใช้ไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก สามารถแสดงตัวอย่างของลักษณะตู้ MDB นี้ได้ดังรูปที่ 2.44



รูปที่ 2.44 ตู้ MDB (Main Distribution Board)

ที่มา : <https://www.safesiri.com/>

หน้าที่ของ MDB คือ นำไฟฟ้าที่รับมาจากหม้อแปลง แล้วทำการจ่ายไฟไปยังโหลดผ่านไปทางแผงจ่ายไฟย่อยในส่วนต่างๆ ของอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมโดยตู้ MDB มีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

(1) โครงตู้ (Enclosure) เป็นส่วนประกอบหลักทำหน้าที่ยึดตัวอุปกรณ์ต่างๆ ไว้ภายใน และป้องกันอันตรายจาก กระแสไฟฟ้าที่จะทำอันตรายต่อผู้ที่อยู่ใกล้ และป้องกันสิ่งต่างๆ ที่จะทำความเสียหายให้กับตัวอุปกรณ์ภายในได้ เช่น สัตว์เลื้อยคลาน วัตถุแข็ง และสิ่งแฉล้มอื่น ๆ ที่เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสียหาย โครงตู้ทำขึ้นจากโลหะ แผ่นนำมาประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างสามารถเปิดฝาตู้ได้ทั้งสี่ด้าน หรือด้านเดียวก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและ การใช้งานเป็นหลัก

(2) บัสบาร์ (Busbar) มีทั้งชนิดที่ตัวนำทำด้วยทองแดง รูปร่างของบัสบาร์ที่นิยมใช้กันทั่วไปเป็นแบบ Flat คือ มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เนื่องจากติดตั้งง่าย ระบายความร้อนดี แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

(2.1) บัสบาร์แบบเปลือย

(2.2) บัสบาร์แบบทาสี / หุ้มด้วยพลาสติก

(2.3) บัสบาร์ชุบดีบุก Bus bars ภายในตู้ให้ทาสีหรือพ่นสีด้วยสีทนความร้อน เพื่อระบุเฟสแสดงได้ดังตารางที่ 2.20

ตารางที่ 2.20 ตารางสี Bus bars มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย กำหนดเมื่อปี 2556

Bus bars	สีของ Bus bars
เฟส A	สีน้ำตาล (Brown)
เฟส B	สีดำ (Black)
เฟส C	สีเทา (Grey)
Neutral	สีน้ำเงิน (Blue)
Ground	สีเขียวหรือสีเขียวคาดเหลือง (G/Y)

(3) เซอร์กิต เบรกเกอร์ (Circuit Breaker) Circuit Breaker มีสองแบบ คือ ACB (Air Circuit Breaker) และ MCCB (Molded Case Circuit Breaker) โดย ACB จะใช้เป็นเมนเบรกเกอร์ในวงจรและ MCCB ใช้ เป็นเบรกเกอร์ย่อยของวงจร หรือใช้เป็นเมนเบรกเกอร์ในตู้ MDB ที่มีขนาดเล็ก การเลือกใช้งานเบรกเกอร์ควรเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานถูกต้องอ้างอิงตามหลักวิศวกรรม

(4) เครื่องวัดไฟฟ้า (Metering) เครื่องวัดพื้นฐานที่ใช้ในตู้ MDB คือ โวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์ หรือจะเลือกใช้เป็น ดิจิทัล เพาเวอร์ มิเตอร์ ใช้เพื่อแสดงผลการวัดแรงดันและกระแสในแต่ละเฟสพิกัด และหากตู้ MDB ขนาดใหญ่มักมีอุปกรณ์เพิ่มเติม เช่น Watt Hour Meter, PF. Controller

(5) อุปกรณ์ป้องกัน (Protection Unit) อุปกรณ์ที่ป้องกันที่ใช้ในตู้ MDB เช่น อุปกรณ์ป้องกันแรงดัน ฟิวส์ และ ไฟกระชอก (Surge Arrester, Surge Protection) เฟสโพรเทกชัน (phase protection) อุปกรณ์ ป้องกันปัญหาทางด้านแรงดันในเฟสไฟตก + ไฟเกิน + ไฟในเฟสเสียหายแบบฉับพลัน, Under Voltage ก็แปลตามตัว คือถ้าไฟตก สั่นปลด วงจร หรือนำคอนแทกไปใช้งานอย่างอื่น

(6) อุปกรณ์ประกอบ (Accessories) เพื่อให้ตู้ MDB มีความสะดวกในการใช้งานจึงจำเป็นต้องมี อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น CT (Current Transformer) ใช้ต่อร่วมกับแอมป์มิเตอร์เพื่อใช้วัดค่า พิกัดกระแสแต่ละเฟส Selector Switch ใช้ต่อร่วมกับโวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์ เพื่อวัดแรงดันและ กระแสในแต่ละเฟสพิกัด Pilot Lamp เพื่อแสดงให้เห็นว่าตู้ MDB ทำงานอยู่หรือไม่

(7) อุปกรณ์อื่น เช่น Wattmeter, Power Factor Meter, kWh Meter, Capacitor Bank, ATS (Automatic Transfer Switch = ใช้กับการตัดต่อวงจรของหม้อแปลงที่รับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีที่ต้องการใช้กำลังไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง) ตู้ MDB ส่วนมากจะมีขนาดใหญ่ตั้งนั้น ในการติดตั้งในอาคารจึงมักติดตั้งวางบนพื้น โดยจะต้องทำฐานคอนกรีตสำหรับวางตู้ MDB และทำ ช่องสำหรับวางสายไฟฟ้าด้วย

2.4.2 ตู้ควบคุมไฟฟ้ารอง (Sub Distribution Board, SDB)

ตู้ควบคุมไฟฟ้ารองหรือ SDB จะมีลักษณะและส่วนประกอบคล้ายกันกับตู้ MDB แต่จะมีพิกัดของอุปกรณ์ตัดตอนเล็กกว่า ดังนั้น ขนาดโครงสร้างจึงเล็กกว่า การติดตั้งจึงสามารถวางบนพื้นหรือวางติดผนังได้ ใช้ในการควบคุมในส่วนที่ต้องการควบคุมส่วนที่เฉพาะลงไปอีก เช่น ควบคุมระบบไฟฟ้าของชั้นต่างๆ ในอาคารสูง หรือควบคุมระบบไฟฟ้าของอาคารที่อยู่ติดกันที่มีขนาดเล็กกว่า โดยจะถูกควบคุมที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ติดตั้งในตู้ MDB อีกชั้นหนึ่ง ลักษณะของตู้ SDB สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.45 ตู้ควบคุมไฟฟ้ารอง (Sub-Distribution Board, SDB)

ที่มา : <https://www.pmswitchboard.com/>

2.5 เซอร์กิตเบรกเกอร์

อุปกรณ์ที่ทำงานเปิดและปิดวงจรไฟฟ้าแบบไม่อัตโนมัติ แต่สามารถเปิดวงจรอัตโนมัติ ถ้ามีกระแสไหลผ่านเกินกว่าที่กำหนดโดยไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

2.5.1 แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Air Circuit Breaker, ACB)

แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์หรือ ACB เป็นเบรกเกอร์ขนาดใหญ่ มีความแข็งแรง ทนทานต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูง มีพิกัดกระแสไฟฟ้าสูงถึง 6,300 A ทำให้ราคาของเบรกเกอร์ ACB มีราคาแพง และนับว่าเป็นเบรกเกอร์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในเบรกเกอร์แรงดันไฟฟ้าต่ำ (LV) ส่วนมากใช้เป็น Main เบรกเกอร์ในวงจรไฟฟ้า ถูกติดตั้งไว้ในตู้ MDB เบรกเกอร์ ACB จะมีทั้งแบบติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Type) และแบบถอดออกได้ (Draw out Type) เบรกเกอร์ชนิดนี้สามารถเพิ่มอุปกรณ์เสริมต่างๆ เข้าไปได้ตามความต้องการ ต่างจากเบรกเกอร์ MCCB ที่จะเพิ่มอุปกรณ์เข้าไปภายหลังไม่ได้ เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ป้องกันสายเมน นิยมใช้กับงานแรงดันสูงๆ (HVAC) โครงสร้างทั่วไปทำด้วยเหล็กมีช่องดับอาร์ก (Arcing Chamber) ที่ใหญ่และแข็งแรงเพื่อให้สามารถรับกระแสลัดวงจรจำนวนมากได้ ส่วนใหญ่จะมีหลักการทำงานโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจจับและวิเคราะห์กระแสเพื่อสั่งปลดวงจร



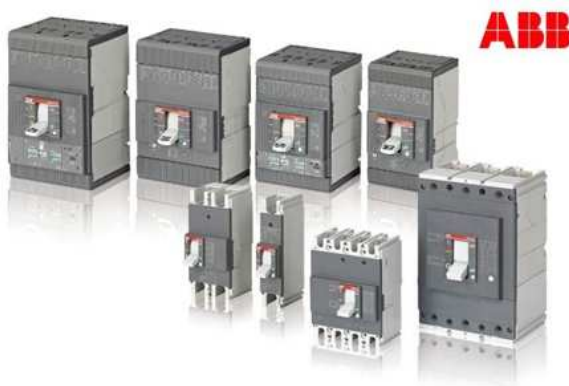
รูปที่ 2.46 ACB (Air Circuit Breaker)

ที่มา : <https://www.enscigroup.com/>

2.5.2 โหมดเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Molded Case Circuit Breaker, MCCB)

โหมดเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์หรือ MCCB เป็นเบรกเกอร์ชนิดหนึ่งที่เป็นทั้งสวิตช์เปิด-ปิด วงจรไฟฟ้า และเปิดวงจรเมื่อมีกระแสเกินหรือไฟลัดวงจร เบรกเกอร์ชนิดนี้ใช้กับกระแสไฟตั้งแต่ 100–2,300 A เหมาะกับติดตั้งในอาคารขนาดใหญ่หรือโรงงานอุตสาหกรรม ติดตั้งในพานะบอร์ด ลักษณะของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ MCCB สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.47

การเลือกใช้งานบางครั้งจะเลือกเบรกเกอร์ผิดประเภท ระหว่าง MCB กับ MCCB เนื่องจากเบรกเกอร์ทั้ง 2 แบบมีฟังก์ชันกระแสใช้งาน (AT) ที่คล้ายกัน แต่ถ้าจะให้แน่นอนจริงๆ ต้องดูที่ค่าพิกัดกระแสลัดวงจรสูงสุดที่ปลอดภัยของเบรกเกอร์ตัวนั้นๆ หรือค่า IC (kA) หากใช้ในอาคารขนาดใหญ่ต้องใช้เบรกเกอร์ MCCB และถ้าในบ้านพักถึงจะใช้เบรกเกอร์ลูดย่อย MCB



รูปที่ 2.47 MCCB (Molded Case Circuit Breaker)

ที่มา : <https://www.rbc-rubicon.com/>

2.5.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์ลู่ย่อย (Miniature Circuit Breaker, MCB)

เซอร์กิตเบรกเกอร์ลู่ย่อยหรือ MCB เป็นเบรกเกอร์ชนิดหนึ่ง มีขนาดเล็ก สำหรับใช้ในบ้านหรืออาคารที่มีกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 100 A มีทั้งขนาด 1, 2, 3 และ 4 Pole ใช้ได้กับระบบไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส เบรกเกอร์ลู่ย่อย MCB มี 2 แบบที่นิยมใช้กันคือ Plug-on และ DIN-rail ในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้แบบ Plug-on ที่รู้จักกันมากคือเบรกเกอร์ลู่ย่อย MCB Square D ของ Schneider Electric

เบรกเกอร์ลู่ย่อย MCB ส่วนมากใช้ติดตั้งภายในอาคาร ใช้ติดตั้งเป็นอุปกรณ์ป้องกันร่วมกับแผงจ่ายไฟฟ้าย่อย (Load Center) หรือแผงจ่ายไฟฟ้าในห้องพักอาศัย (Consumer Unit) มีฟังก์ชันกระแสลัดวงจรต่ำ เป็นเบรกเกอร์ชนิดที่ไม่สามารถปรับตั้งค่ากระแสลัดวงจรได้ และส่วนใหญ่จะอาศัยกลไกการปลดวงจรในรูปแบบ Thermal และ Magnetic เบรกเกอร์ลู่ย่อย MCB ที่เป็นที่ยอมรับกันดี เช่น เบรกเกอร์ MCB Square D ของแบรนด์ Schneider ที่จะพบบ่อยตามบ้านเรือนคนไทย นอกจากนี้ยังมีเบรกเกอร์ MCB Schneider รุ่นอื่นๆ อีกมากมายที่ได้รับความนิยม และเบรกเกอร์ MCB ของ ABB จะถูกติดตั้งในตัวคอนซูมเมอร์ยูนิต หรือตู้โหลดเซ็นเตอร์



รูปที่ 2.48 MCB (Miniature Circuit Breaker)

ที่มา : <https://www.sqdgrouops.com/>

2.6 Capacitor Bank

เพื่อป้องกันค่า Power Factor ของระบบไม่ให้ต่ำกว่า 0.85 ตามกฎของการไฟฟ้าท้องถิ่น จึงต้องติดตั้งระบบ Automatic Var Regulator ซึ่งมีขนาดและจำนวนตามที่ระบุในแบบ โดยมีรายละเอียดของ Capacitor ดังต่อไปนี้

1. เป็นชนิด Dry Capacitor , Metallized Polypropylene Film of Self-Healing Characteristics ผลิตตามมาตรฐาน IEC, UL หรือ JIS
2. เป็นชนิด 3P 525V, 50 Hz มีการต่อเป็นเดลต้า พร้อมมี Discharge Resistor ในแต่ละเฟส มีค่าการสูญเสีย (Loss) ไม่เกิน 0.5 วัตต์ ต่อ เควียร์ ซึ่งรวมค่าสูญเสียใน Discharge Resistor แล้ว
3. มี Degree of Protection อย่างน้อย IP42
4. สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิโดยรอบไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส
5. มีอุปกรณ์ป้องกันเป็น Circuit Breaker หรือ HRC, Fuse ทุก Step ตามที่ระบุในแบบ ในกรณีที่ เป็น HRC Fuse จะต้องมี Auxiliary Contact เพื่อสั่งยกเลิกการทำงานของ Step นั้นทันทีถ้า Fuse เฟสใดเฟสหนึ่งขาด
6. มีอุปกรณ์ Three Phase Filter Reactors 7% Detuned



รูปที่ 2.49 Capacitor Bank

ที่มา : <http://www.tpelectriccenter.com/>

2.7 สายไฟฟ้า

สายไฟฟ้ามีหน้าที่สำหรับนำพลังงานไฟฟ้า จากแหล่งจ่ายไฟไปยังบริษัทไฟฟ้าต่างๆ ในปัจจุบันได้มีผู้ผลิตสายไฟฟ้ามามากมายหลายชนิด ตามความต้องการสำหรับการติดตั้งสายไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ ดังนั้นการเลือกใช้สายไฟฟ้า เพื่อให้มีความเหมาะสม ปลอดภัย ประหยัด และเชื่อถือได้ จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลายประการด้วยกัน ได้แก่ ความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง ความสามารถในการนำกระแสของตัวนำ ขนาดแรงดันตกที่เกิดขึ้น ความสามารถในการทนต่อความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งในขณะใช้งานปกติและขณะเกิดการลัดวงจร

2.7.1 ชนิดและการใช้งานของสายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะต่างๆ ได้ดังนี้

- (1) แบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 2 แบบ ได้แก่
 - สายแข็ง (SOLID WIRE)
 - สายอ่อน (STRANDED WIRE)
- (2) แบ่งตามชนิดของวัสดุตัวนำ 2 ชนิด ได้แก่
 - สายทองแดงมีความบริสุทธิ์ของทองแดง 98%
 - สายอะลูมิเนียมมีความบริสุทธิ์ของอะลูมิเนียม 99.3%
- (3) แบ่งตามลักษณะการใช้งานเป็น 2 แบบ ได้แก่
 - สายเปลือย (BARE WIRE)
 - สายหุ้มฉนวน (INSULATED WIRE)
- (4) แบ่งตามพิกัดแรงดันสายไฟฟ้า มี 2 ประเภท ได้แก่
 - สายไฟฟ้าแรงดันสูง
 - สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

2.7.2 ส่วนประกอบของสายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ ตัวนำ ฉนวน และเปลือก

(1) **ตัวนำ** ของสายไฟฟ้าทำมาจากโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูง อาจจะอยู่ในรูปของตัวนำเดี่ยว (Solid) หรือตัวนำตีเกลียว (Strand) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวนำเล็กๆ ตีเข้าด้วยกันเป็นเกลียวซึ่งมีข้อดีคือ การนำกระแสต่อพื้นที่ของสายไฟฟ้าสูงขึ้น เนื่องจากผลของ Skin Effect ลดลง

และการเดินสายทำได้ง่าย เพราะมีความอ่อนตัวกว่า โลหะที่นิยมใช้เป็นตัวนำใช้ผลิตสายไฟฟ้า ได้แก่ ทองแดง อะลูมิเนียม โดยโลหะทั้งสองชนิดมีข้อดีข้อเสียต่างกันไปตามแต่ลักษณะของงาน

ทองแดง เป็นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงมาก มีความแข็งแรง เหนียว ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี แต่มีข้อเสียอยู่คือ มีน้ำหนักมากและราคาสายไฟฟ้าสูง จึงไม่เหมาะสำหรับงานด้านไฟแรงดันสูง แต่จะเหมาะกับการใช้งานสายไฟฟ้าโดยทั่วไป โดยเฉพาะสายไฟฟ้าในอาคาร

อะลูมิเนียม เป็นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงรองจากทองแดง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับในกรณี กระแสเท่ากันแล้ว พบว่า สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมจะมีน้ำหนักเบาและราคาสายไฟฟ้าถูกกว่าราคา สายไฟฟ้าทองแดง จึงเหมาะกับการใช้งานเดินสายไฟนอกอาคารและแรงดันสูง ถ้าทิ้งอะลูมิเนียมไว้ใน อากาศจะเกิดออกไซด์ของอะลูมิเนียม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนฟิล์มบางๆ เกาะตามผิว ช่วยป้องกันการ สึกกร่อน แต่จะมีข้อเสียคือ ทำให้การเชื่อมต่อทำได้ยาก สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของ ทองแดงและอะลูมิเนียมได้ดังตารางที่ 2.21

ตารางที่ 2.21 เปรียบเทียบคุณสมบัติของทองแดงและอะลูมิเนียม

คุณสมบัติ	ทองแดง	อะลูมิเนียม
ความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์	100	61
สภาพความต้านทานไฟฟ้าที่ 20 °C ($m\Omega \times 10^{-8}$)	1.724	2.803
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน ($per\ ^\circ C \times 10^{-6}$)	17	23
จุดหลอมเหลว (°C)	1,083	659
ความนำความร้อน ($W / cm\ ^\circ C$)	3.8	2.4
ความหนาแน่นที่ 20 °C (g / cm^3)	8.89	2.7

(2) **ฉนวน** ฉนวนของสายไฟฟ้าทำหน้าที่ห่อหุ้มตัวนำ เพื่อป้องกันการสัมผัสกันโดยตรง ระหว่างตัวนำ หรือระหว่างตัวนำกับส่วนที่ต่อลงดิน และป้องกันตัวนำจากผลกระทบทางกลและเคมี ต่างๆ ในระหว่างที่ตัวนำนำกระแสไฟฟ้าจะเกิดพลังงานสูญเสียในรูปของความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้น จะถ่ายเทไปยังเนื้อฉนวน ความสามารถในการทนต่อความร้อนของฉนวนจะเป็นตัวกำหนด ความสามารถในการทนความร้อนของสายไฟฟ้านั้นเอง การเลือกใช้ชนิดของฉนวนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ใช้งาน ระดับแรงดันของระบบ และสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง วัสดุที่นิยมใช้เป็นฉนวนสายไฟฟ้า มากที่สุด คือ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Cross-linked Polyethylene (XLPE) ฉนวน XLPE มีความแข็งแรง ทนต่อความร้อนและถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าฉนวน PVC ปัจจุบันจึงมีการใช้ฉนวน XLPE เพิ่มมากขึ้น สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของฉนวน PVC และ XLPE ได้ดังตารางที่ 2.22

ตารางที่ 2.22 คุณสมบัติของฉนวน PVC และ XLPE

คุณสมบัติ	PVC	XLPE
พิกัดอุณหภูมิสูงสุดขณะใช้ (°C)	70	90
พิกัดอุณหภูมิสูงสุดขณะลัดวงจร (°C)	120	250
ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก	6	2.4
ความหนาแน่น (g / cm^3)	1.4	0.92
ความนำความร้อน ($cal / cm. sec ^\circ C$)	3.5	8
ความทนทานต่อแรงดึง (kg / mm^2)	2.5	3

จะเห็นว่าฉนวน XLPE มีความแข็งแรงทนต่อความร้อนและถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า ทำให้มีความนิยมที่ฉนวนชนิด XLPE

(3) เปลือก เปลือกทำหน้าที่หุ้มแกนหรือหุ้มสายไฟฟ้าชั้นนอกสุด เปลือกของสายไฟฟ้าอาจจะมี 1 หรือ 2 ชั้นก็ได้ เพื่อป้องกันความเสียหายทางกายภาพที่อาจเกิดขึ้นในขณะติดตั้งหรือใช้งาน การเลือกใช้ชนิดของเปลือกสายไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง วัสดุที่นิยมทำเป็นเปลือกสายไฟฟ้ามากที่สุด คือ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Polyethylene (PE) ส่วนกรณีสายไฟฟ้าที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษก็อาจใช้วัสดุ เช่น Flame Retardant Polyvinyl Chloride (FR-PVC) หรือ Low Smoke Halogen Free (LSHF) ก็ได้

2.7.3 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ เป็นสายไฟฟ้าที่ใช้ได้กับแรงดันไม่เกิน 1,000 V มีลักษณะเป็นสายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวน โดยที่ตัวนำสำหรับสายไฟฟ้าชนิดนี้อาจจะใช้ทองแดงหรืออะลูมิเนียม แต่ที่นิยมใช้สำหรับสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ คือ สายทองแดง สายไฟฟ้าขนาดใหญ่มีลักษณะเป็นตัวนำตีเกลียว แต่ถ้าเป็นสายไฟฟ้าขนาดเล็ก ตัวนำก็จะเป็นตัวนำเดี่ยว วัสดุฉนวนที่นิยมใช้กับสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ ได้แก่ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Cross-linked Polyethylene (XLPE)

(1) สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC สายไฟฟ้าชนิดนี้จะมีตัวนำที่ใช้วัสดุเป็นอะลูมิเนียม และหุ้มด้วยฉนวน PVC โดยอาจจะเป็น PVC ธรรมดาหรือเป็นแบบ Heat Resisting PVC ก็ได้ ซึ่งสายไฟฟ้าชนิดนี้สามารถใช้กับแรงดันได้ไม่เกิน 750 V ตามที่มาตรฐานได้กำหนด โดยสายไฟฟ้าชนิดนี้จะเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 293-2541 สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC นั้น สามารถใช้สำหรับงานที่อยู่ในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ เดินภายนอกอาคารเป็นสายประธาน

(Main) หรือสายป้อน (Feeder) โดยจะใช้ในอากาศเหนือพื้นดิน ทางกรไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้สายชนิดนี้เป็นสายประธานแรงดันต่ำ เดินมาจากหม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformers) พาดบนลูกถ้วยตามเสาไฟฟ้า หรือใต้ชายคาบ้านหรือตึกแถว เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ สายชนิดนี้มีราคาถูก และรับแรงดึงได้พอสมควร

(2) สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน PVC เนื่องจากทองแดงนั้น มีคุณสมบัติข้อดีที่เหนือกว่าอะลูมิเนียมหลายประการด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงกว่า การตัดต่อก็ทำได้ง่ายกว่า จึงนิยมใช้สายไฟฟ้าชนิดนี้กันมาก สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน PVC มีด้วยกันมากมายหลายชนิด และแต่ละชนิดก็เหมาะกับงานแต่ละแบบ โดยที่สามารถจะเป็นสายเชื่อมต่อวงจรเล็กๆ จนกระทั่งเป็นสายประธานหรือสายป้อน

(3) สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน XLPE เนื่องจากคุณสมบัติของฉนวน XLPE ที่มีความสามารถในการที่จะทนต่อความร้อนได้สูง มีความแข็งแรงทนต่อแรงทางกลและการกัดกร่อนทางเคมีได้ ในปัจจุบันจึงมีการใช้สายไฟฟ้าที่หุ้มด้วยฉนวน XLPE มากขึ้น โดยสายไฟฟ้าชนิดนี้มีชื่อเรียกว่าสาย CV หรือ CVW ซึ่งไม่ได้อยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แต่จะใช้ตามมาตรฐานอื่น เช่น IEC 60502 โดยทั่วไปสายชนิดนี้จะสามารถใช้งานได้เหมือนกับสาย NYY จึงนิยมใช้เป็นสายป้อนหรือสายประธาน



รูปที่ 2.50 สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน XLPE (หรือสาย CV)

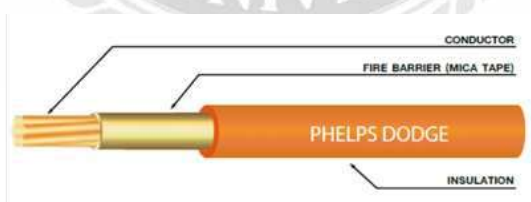
ที่มา : <https://www.bangkokcable.com/>

(4) สายไฟฟ้าทนไฟ (Fire Resistant Cable) สายไฟฟ้าปกติจะมีฉนวนหรือเปลือกที่ทำมาจากวัสดุ เช่น PVC หรือ XLPE โดยหากเมื่อวัสดุเหล่านี้ถูกเพลิงไหม้ก็จะทำให้วัสดุเหล่านี้สามารถติดไฟและลุกลามไปทั่วบริเวณตามช่องทางเดินสายไฟ นอกจากนี้ก็จะทำให้เกิดควันหนาแน่นและอากาศพิษกระจายไปทั่ว ซึ่งทำให้คนหมดสติ และเสียชีวิตในที่สุดได้ เพื่อแก้ปัญหาจะต้องเลือกสายไฟฟ้าที่มีลักษณะทนไฟ โดยสายไฟฟ้าทนไฟมีลักษณะสมบัติที่สำคัญดังต่อไปนี้

- คุณสมบัติต้านเปลวเพลิง (Flame Propagation or Flame Retardancy) คือ คุณสมบัติการหน่วงเหนี่ยวลุกลามของการลุกไหม้ของสายไฟฟ้า เมื่อเกิดไฟไหม้สายไฟฟ้าจะช่วยลดปัญหาลุกลามของไฟไปตามสายไฟฟ้า ดังนั้น บริเวณที่ถูกเพลิงไหม้จะขยายเป็นบริเวณกว้างและเมื่อเอาแหล่งไฟออกก็จะดับเอง (Self-extinguish) กำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ IEC 60332-1 หรือ IEC 60332-3
- คุณสมบัติการปล่อยก๊าซกรด (Acid and Corrosive Gas Emission) คือ คุณสมบัติซึ่งแสดงการเกิดกรดหลังจากเกิดไฟไหม้ กรดที่เกิดขึ้นจะกัดโลหะของโครงสร้างและอุปกรณ์อื่นๆ สายไฟฟ้าที่มีสาร Halogen น้อย หรือไม่มีเลยก็จะลดการเกิดกรดและก๊าซพิษ กำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ IEC 60754-2
- คุณสมบัติการปล่อยควัน (Smoke Emission) คือคุณสมบัติที่แสดงค่าปริมาณควันที่จะเกิดขณะเกิดเพลิงไหม้สายไฟฟ้า กำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ IEC 61034-2
- คุณสมบัติต้านทานการติดไฟ (Fire Resistance) คือคุณสมบัติที่แสดงว่าภายใต้สถานการณ์ไฟไหม้สายไฟฟ้ายังสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ในเวลาหนึ่ง กำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ BS 6387 หรือ IEC 60331

ส่วนประกอบของสายไฟฟ้าทนไฟ (FRC) ได้แก่

- ตัวนำ (Conductor) : ทองแดง
- เทปกั้นไฟ (Fire Barrier Tape) : Mica/Glass
- ฉนวน (Insulator) : XLPE
- ฉนวนหุ้มชั้นนอก (Outer Sheath) : ทำด้วยสารจำพวก Zero Halogen, Low smoke (OHLS)



รูปที่ 2.51 สายไฟฟ้าทนไฟ (FRC)

ที่มา : <https://www.pdcable.com/>

สายไฟฟ้าทนไฟ (FRC) ควรใช้กับระบบและวงจรไฟฟ้าที่มีความสำคัญต่อความปลอดภัย เช่น

1. ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย (Fire Alarm System)
2. ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ (Building Automation)
3. ระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉิน (Emergency Lighting System)

4. ระบบเสียงประกาศ (Public Address System)
5. ระบบไฟฟ้าสำรอง (Standby Power System)
6. ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network System)
7. ระบบโทรทัศน์วงจรปิด (Closed Circuit TV System)
8. ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน (Lifts and Escalators System)
9. ระบบปั้มน้ำดับเพลิงและปั้มอัดอากาศในช่องบันไดหนีไฟ (Fire Pumps and Pressurized Stairs)
10. ในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งต้องการให้ระบบสามารถปฏิบัติงานได้ในขณะที่เกิดไฟไหม้

ตารางที่ 2.23 เครื่องหมายการทนไฟ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ

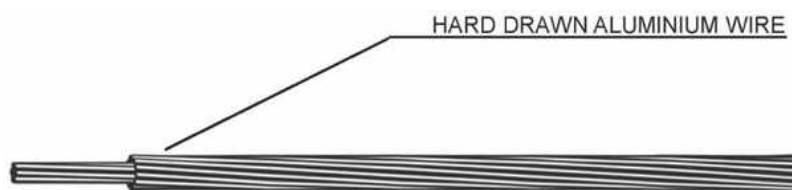
ประเภท	การทดสอบ	เครื่องหมาย
การทนไฟ	650°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	A
	750°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	B
	950°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	C
	650°C เป็นเวลา 20 นาที	S
การทนไฟและน้ำ	650°C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นพ่นน้ำและทำการทดสอบ 650°C เป็นเวลา 15 นาที	W
การทนไฟและแรงกระแทก	650°C เป็นเวลา 15 นาที โดยมีแรงกระแทก	X
	750°C เป็นเวลา 15 นาที โดยมีแรงกระแทก	Y
	950°C เป็นเวลา 15 นาที โดยมีแรงกระแทก	Z

2.7.4 สายไฟฟ้าแรงดันสูง

สายไฟแรงสูงเป็นสายตีเกลียวมีขนาดใหญ่ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ สายเปลือย และสายหุ้มฉนวน

(1) **สายเปลือย (Bare Wires)** สายเปลือย คือ สายที่ไม่มีเปลือกฉนวนหุ้มสาย ถ้าหากนำไปใช้กับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำจะไม่ปลอดภัย จึงใช้สายชนิดนี้กับงานแรงดันสูง สายเปลือยนิยมใช้ในงานแรงดันสูงมักจะทำมาจากอะลูมิเนียมเพราะมีน้ำหนักเบาและราคาถูก แต่สายอะลูมิเนียมล้วนจะไม่สามารถรับแรงดึงได้สูงขึ้น โดยการเสริมแกนเหล็กหรือใช้โลหะอื่นผสม สายเปลือยที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

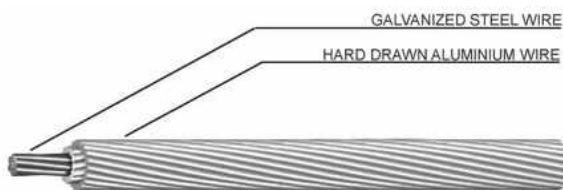
- **สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (AAC-All Aluminum Conductor)** เป็นตัวนำอะลูมิเนียมตีเกลียวเป็นชั้นๆ สายชนิดนี้รับแรงดึงได้ดี จึงไม่สามารถชิงสายให้มีระยะห่างช่วงเสา (Span) มากๆ ได้ โดยปกติความยาวช่วงเสาต้องไม่เกิน 50 m ยกเว้นสายที่มีขนาด 95 mm² ขึ้นไปนั้น สามารถที่จะมีระยะห่างช่วงเสาได้ไม่เกิน 100 m มาตรฐานสำหรับสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย คือ มอก. 85-2548, IEC 61089:1991 (Aluminum stranded conductors.)



รูปที่ 2.52 สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย AAC

ที่มา : <https://www.thaicablewires.com/>

- **สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมผสม (AAAC-All Aluminum Alloy Conductor)** สายชนิดนี้มีส่วนผสมของอะลูมิเนียม แมกนีเซียม และซิลิกอน สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมผสมจะมีความเหนียวและรับแรงดึงได้สูงกว่าสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมล้วน จึงสามารถชิงสายให้มีระยะห่างช่วงเสาได้มากขึ้น นิยมใช้เดินสายบริเวณชายทะเล เพราะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของไอเกลือบริเวณชายทะเลได้ดี มาตรฐานสำหรับสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย คือ มอก. 85-2548, IEC 61089:1991 (Aluminum alloy stranded conductors) (Aluminum–magnesium–silicon type)
- **สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR-Aluminum Conductor Steel Reinforced)** เป็นสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวและมีสายเหล็กอยู่ตรงกลางเพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้สูงขึ้น ทำให้สามารถขยายระยะห่างช่วงเสาได้มากขึ้น แต่จะไม่ใช้สายชนิดนี้บริเวณชายทะเล เพราะว่าจะเกิดการกัดกร่อนจากไอของเกลือทำให้อายุการใช้งานสั้นลง มาตรฐานสำหรับสายอะลูมิเนียมแกนเหล็ก คือ มอก. 85-2548, IEC 61089:1991 (Aluminum conductors, steel-reinforced)

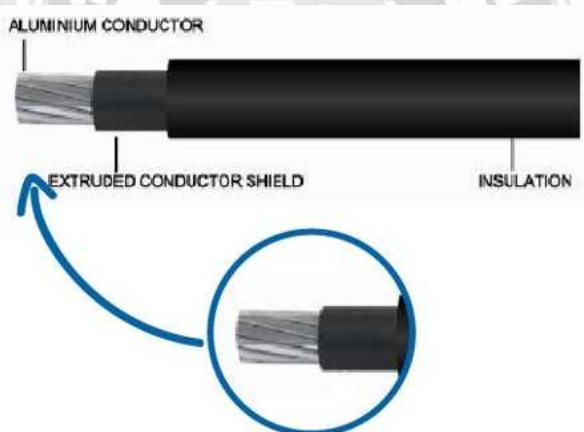


รูปที่ 2.53 สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมแกนเหล็ก ACSR

ที่มา : <https://www.thaicablewires.com/>

(2) **สายหุ้มฉนวน** ในการเดินสายไฟฟ้าแรงสูงผ่านบริเวณที่มีผู้อยู่อาศัยเพื่อความปลอดภัย จะต้องใช้สายไฟฟ้าแรงสูงที่มีฉนวนหุ้ม และการใช้สายหุ้มฉนวนยังช่วยลดการเกิดลัดวงจรจากสัตว์หรือกิ่งไม้แตะถูกสายไฟอีกด้วย ทำให้ระบบไฟฟ้ามีความเชื่อถือได้สูงขึ้น สายไฟฟ้าแรงดันสูงหุ้มฉนวนที่นิยมใช้ มีดังต่อไปนี้

- **สาย Partial Insulated Cable (PIC)** การใช้สายเปลือยจะมีโอกาสเกิดลัดวงจรขึ้นได้ง่าย เพื่อลดปัญหานี้ จึงได้มีการนำสาย PIC มาใช้แทนสายเปลือย โดยโครงสร้างของสาย PIC นี้จะประกอบด้วยตัวนำอะลูมิเนียมตีเกลียวหุ้มด้วยฉนวน XLPE 1 ชั้น

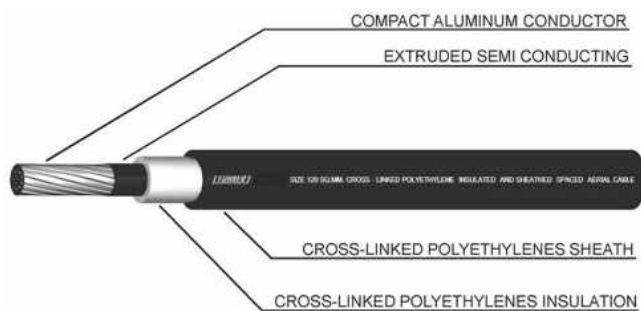


รูปที่ 2.54 สาย Partial Insulated Cable (PIC)

ที่มา : <https://wehome.co.th/>

แม้ว่าสายชนิดนี้จะมีฉนวน XLPE หุ้ม แต่ก็ไม่สามารถที่จะแตะต้องโดยตรงได้เนื่องจากฉนวนเป็นเพียงฉนวนบาง ซึ่งจะช่วยลดการเกิดลัดวงจรของสายเปลือยเท่านั้น การไฟฟ้าฯ ได้นำสายชนิดนี้มาใช้งานโดยเดินในอากาศผ่านลูกถ้วยบนเสาไฟฟ้าแทนสายเปลือยแต่ได้ผลไม่ค่อยดี

- **สาย Space Aerial Cable (SAC)** สาย SAC โครงสร้างมันเป็นตัวนำอะลูมิเนียมตีเกลียวฉนวน XLPE หุ้มเช่นเดียวกับสาย PIC แต่จะมีเปลือก (Sheath) ที่ทำจาก XLPE หุ้มฉนวนอีกชั้นหนึ่ง ทำให้มีความทนทานมากกว่าสาย PIC



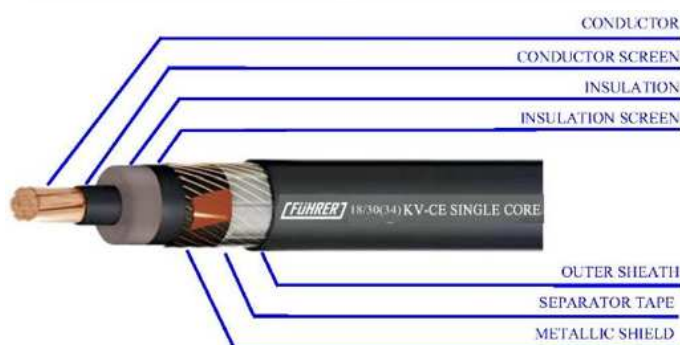
รูปที่ 2.55 สาย Space Aerial Cable (SAC)

ที่มา : <https://www.thaicablewires.com/>

แม้ว่าสายชนิดนี้จะมีเปลือก (Sheath) หุ้มฉนวนอีกชั้นหนึ่ง แต่ก็ไม่ควรสัมผัสสายโดยตรง เพราะจะเป็นอันตรายได้ ในการใช้งานสายชนิดนี้ การไฟฟ้าฯ ใช้เป็นวงจรเสริมสำหรับวงจรที่ใช้สาย PIC โดยในการเดินสายจะต้องใช้ Spacer เพื่อจำกัดระยะห่างระหว่างสาย สายชนิดนี้แม้ว่าจะสามารถวางใกล้กันได้มากกว่าสาย PIC แต่ก็ต้องไม่เกินระยะจำกัดค่าหนึ่ง นอกจากนี้จะต้องใช้ Messenger Wire ช่วยดึงสายไว้โดย Messenger Wire จะต่อลงดิน ทำหน้าที่เป็นสาย Overhead Ground Wire

- สาย Preassembly Aerial Cable สายชนิดนี้ จัดเป็นสาย Fully Insulated โดยมีโครงสร้างคล้ายสาย XLPE แต่มีตัวนำเป็นอะลูมิเนียม เนื่องจากสายชนิดนี้สามารถวางใกล้กันได้จึงใช้สายชนิดนี้ เมื่อสายไฟฟ้าผ่านในบริเวณที่มีระยะห่าง (Clearance) กับอาคารจำกัดหรือผ่านบริเวณที่มีคนอาศัยอยู่ สายชนิดนี้ยังสามารถวางพาดไปกับมุมตึกได้ เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทานมาก

- สาย Cross-linked Polyethylene (XLPE) สาย XLPE เป็นสายที่ใช้มากที่สุดในปัจจุบัน จัดเป็นสาย Fully Insulated



รูปที่ 2.56 สาย Cross-linked Polyethylene (XLPE)

ที่มา : <https://www.thaicablewires.com/>

ส่วนประกอบต่างๆ ของสาย XLPE มีดังนี้

- ตัวนำ (Conductor) ส่วนใหญ่จะเป็นทองแดงในลักษณะตีเกลียว (Strand) ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบของ Copper Concentric Strand หรือ Copper Compact Strand
- ชีลด์ของตัวนำ (Conductor Shield) ทำด้วยสารกึ่งตัวนำ (Semi-Conducting Material) มีหน้าที่ช่วยในสนามไฟฟ้าระหว่างตัวนำกับฉนวนกระจายอย่างสม่ำเสมอในแนวรัศมี เป็นการช่วยลดการเกิด Breakdown ได้
- ฉนวน (Insulation) เป็นชั้นที่หุ้มห่อชั้นชีลด์ของตัวนำอีกทีหนึ่ง ทำด้วยฉนวน XLPE สายเคเบิลที่ตีนั้นผิวด้านนอกของชั้นฉนวนจะต้องเรียบ
- ชีลด์ของฉนวน (Insulation Shield) เป็นชั้นของ Semi-Conducting Material หุ้มทับชั้นของฉนวน จากนั้นก็หุ้มด้วยชั้นของลวดทองแดง (Copper wires) หรือเทปทองแดง (Copper Tape) อีกทีหนึ่ง ชีลด์ของฉนวนนี้ จะทำหน้าที่จำกัดสนามไฟฟ้าให้อยู่ในเฉพาะภายในสายเคเบิล เป็นการป้องกันการรบกวนระบบสื่อสาร นอกจากนี้การต่อชีลด์ลงดินจะช่วยลดอันตรายจากการสัมผัสสายเคเบิลด้วย และทำให้เกิดการกระจายของแรงดันอย่างสม่ำเสมอขณะใช้งาน
- เปลือกนอก (Jacket) ชั้นของเปลือกนอกนี้อาจจะเป็น Polyvinyl Chloride (PVC) หรือ Polyethylene (PE) ก็ได้แล้วแต่ว่าลักษณะของงานจะเป็นอย่างไร ถ้าเป็นงานกลางแจ้งก็มักใช้ Polyvinyl Chloride เพราะว่ามันเฉื่อยต่อการติดไฟ ในขณะที่ Polyethylene มักจะใช้งานแบบเดินลอยเนื่องจากความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ส่วนในกรณีที่วางเคเบิลใต้ดิน อาจจะมีชั้นของ Service Tape ซึ่งอาจทำด้วยชิ้นผ้า (Fabric Tape) คั่นระหว่างชีลด์กับเปลือกนอก ช่วยป้องกันการเสียดสีและการกระแทก สาย XLPE นี้สามารถเดินลอยในอากาศหรือฝังใต้ดินก็ได้ แต่นิยมใช้ฝังใต้ดินเนื่องจากมีความแข็งแรงทนทานสามารถทนต่อความชื้นได้ดี

2.7.5 สายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2553

สายไฟฟ้าแรงต่ำ หุ้มฉนวนพอลิไคลโอโรไครด์มีใช้อยู่มากมายและมีมาตรฐานบังคับมานานแล้ว ฉบับแรกคือ มอก. 11-2518 ต่อมาได้ปรับปรุงเป็น มอก. 11-2553 โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

- **ข้อกำหนดทั่วไป** แรงดันไฟฟ้ากำหนดให้เป็น U_0 / U (เช่น 450/750 V)
 - U_0 = แรงดัน RMS ระหว่างตัวนำกับดิน
 - U = แรงดัน RMS ระหว่างตัวนำกับตัวนำ

- สีฉนวน

- สายแกนเดี่ยว ไม่ระบุสี
- สาย 2 แกน ฟ้า (N), น้ำตาล (L)
- สาย 3 แกน เขียวแถบเหลือง (G), ฟ้า (N), น้ำตาล (L) หรือ น้ำตาล (L1), ดำ (L2), เทา (L3)
- สาย 4 แกน เขียวแถบเหลือง (G), น้ำตาล (L1), ดำ (L2), เทา (L3)
- สาย 5 แกน เขียวแถบเหลือง (G), ฟ้า (N), น้ำตาล (L), ดำ (L2), เทา (L3)

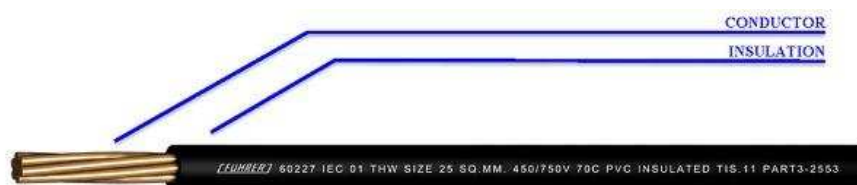
ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สายมีการกำหนดสีต่างๆ ดังนี้

- สายเฟส A สีน้ำตาล
- สายเฟส B สีดำ
- สายเฟส C สีเทา
- สายนิวทรัล สีฟ้า
- สายดิน สีเขียวแถบเหลือง

สายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2553 ที่นิยมใช้งานมีดังนี้

(1) สาย THW คือ สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำสายแข็งสำหรับงานทั่วไป รหัส 60227 IEC 01 แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 450/750 V คล้ายสายไฟฟ้า มอก. 11-2531 หรือเรียกทั่วไปว่าสาย THW โดยมีการใช้งานดังนี้

- ใช้งานทั่วไป
- เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย
- ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
- ห้ามเดินบน Cable Trays

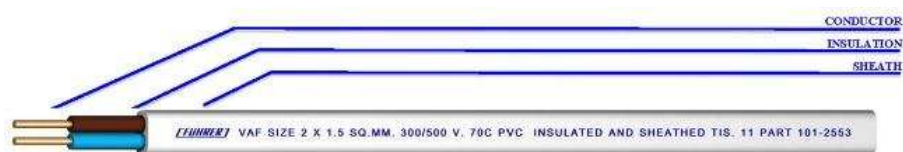


รูปที่ 2.57 สาย THW

ที่มา : <https://www.thaicablewires.com/>

(2) สาย VAF คือ สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวนและเปลือก มี 2 แบบ คือ สายแบบ 2 แกนและ 2 แกนมีสายดิน รหัสชนิดกรณีไม่มีสายดิน VAF กรณีมีสายดิน VAF-G หรือ VAF/G แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 300/500 V โดยมีการใช้งานดังนี้

- ใช้เดินเกาะผนัง
- เดินในช่องเดินสาย
- ห้ามร้อยท่อ
- ห้ามฝังดิน

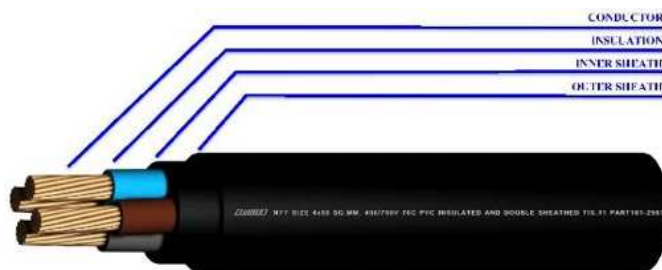


รูปที่ 2.58 สาย VAF

ที่มา : <https://www.thaicablewires.com/>

(3) สาย NYY คือ สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวนและเปลือกมี 2 แบบ คือ สายแบบ 2 แกน และ 2 แกนมีสายดิน รหัสชนิดกรณีไม่มีสายดิน NYY กรณีมีสายดิน NYY-G แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 450/750 V NYY แกนเดียว มีขนาด 1 mm² ถึง 500 mm² NYY หลายแกน มีขนาด 1 mm² ถึง 500 mm² NYY หลายแกนมีสายดิน มีขนาด 1 mm² ถึง 500 mm² โดยมีการใช้งานดังนี้

- ใช้งานทั่วไป
- ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
- เดินบน Cable Trays



รูปที่ 2.59 สาย NYY 4 แกน

ที่มา : <https://www.thaicablewires.com/>

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าที่ วสท. ได้ปรับปรุงแบบการติดตั้งและลักษณะการติดตั้งสายไฟฟ้า โดยแบ่งเป็นกลุ่มการติดตั้งได้ทั้งหมด 7 กลุ่มดังนี้

- **กลุ่มที่ 1** สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรืออลูมิเนียม ภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อนหรือผนังกันไฟ
- **กลุ่มที่ 2** สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรืออลูมิเนียม เดินเกาะผนังหรือฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกัน
- **กลุ่มที่ 3** สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอกเดินเกาะผนัง หรือเพดานที่ไม่มีสิ่งปิดหุ้มที่คล้ายกัน
- **กลุ่มที่ 4** สายเคเบิลแกนเดี่ยวหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอกวางเรียงแบบมีระยะห่างเดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ
- **กลุ่มที่ 5** สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอกเดินในท่อโลหะหรืออลูมิเนียมฝังดิน
- **กลุ่มที่ 6** สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกน หุ้มฉนวนมีเปลือกนอกฝังดินโดยตรง
- **กลุ่มที่ 7** สายเคเบิลแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอกวางบนรางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ, รางเคเบิลแบบระบายอากาศหรือรางเคเบิลแบบบันได

2.7.6 สายดิน (Grounding Conductor)

สายดินสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ สายดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding) และสายดินสำหรับอุปกรณ์ (Equipment Grounding)

(1) **สายดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding)** สายดินของระบบไฟฟ้าเป็นการต่อส่วนของระบบไฟฟ้าที่ไม่มีกระแสไหลผ่าน เช่น จุดนิวทรัลของหม้อแปลงลงดิน โดยขนาดของสายดินสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.24 และมีข้อกำหนดในการต่อสายดินดังนี้

- การต่อจุดนิวทรัลลงดินให้กระทำที่ตู้ Main Distribution Board (MDB) เท่านั้น ห้ามทำต่อสายนิวทรัลใดๆ ลงดินทางด้านโหลด
- ในกรณีที่หม้อแปลงไฟฟ้าติดตั้งอยู่ในอาคาร จะต้องต่อจุดนิวทรัลลงดินเพิ่มอย่างน้อยหนึ่งจุด เช่น ที่จุดนิวทรัลของหม้อแปลง

ตารางที่ 2.24 ขนาดของสายดินสำหรับต่อจากจุดนิวทรัลไปยังหลักดิน

ขนาดสายเมนเข้าอาคาร (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)	ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)
ไม่เกิน 35	10
เกิน 35 แต่ไม่ถึง 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

(2) สายดินสำหรับอุปกรณ์ (Equipment Grounding) เป็นการต่อเปลือกนอกหรือส่วนที่เป็นโลหะของวัสดุอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า ซึ่งไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลงดิน ที่อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าที่ต้องมีการต่อเปลือกนอกหรือส่วนที่เป็นโลหะลงดิน ได้แก่ หม้อแปลง Switchgears, Distribution Boards, Panel boards, Circuit Breakers, Safety Switches, Busway, Machine Frames, Steel Supports, Cable Trays, Wire Ways, Junction Boxes, Pull Boxes, Outlet Boxes, ท่อร้อยสาย และส่วนที่เป็นโลหะอื่นๆ ในระบบไฟฟ้าที่ผู้ควบคุมงานได้พิจารณาแล้ว เห็นควรต่อลงดิน โดยขนาดของสายดินสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ จะต้องเป็นไปตามตาราง 2.25

ตารางที่ 2.25 ขนาดต่ำสุดของสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่อง ป้องกันกระแสเกินไม่เกิน (แอมแปร์)	ขนาดต่ำสุดของสายดินบริษัทไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)
16	1.5
20	2.5
40	4
70	6
100	10

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่อง ป้องกันกระแสเกินไม่เกิน (แอมแปร์)	ขนาดต่ำสุดของสายดินบริษัทไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)
200	16
400	25
500	35
800	50
1,000	70
1,250	95
2,000	120
2,500	185

การต่อสายดินสำหรับอุปกรณ์มีข้อกำหนดต่างๆ ดังนี้

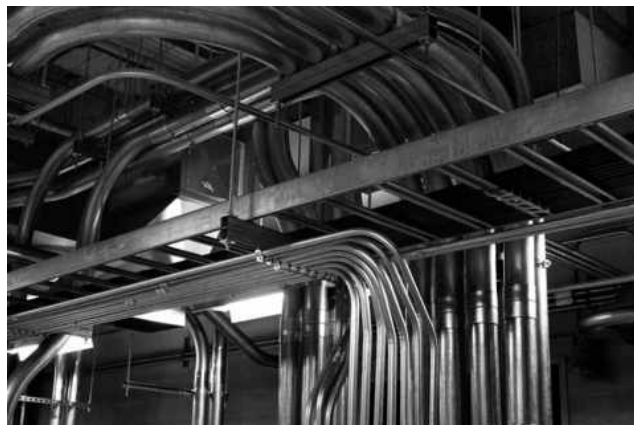
- ห้ามใช้ท่อร้อยสายเป็นสายดิน นอกจากระบุไว้เป็นอย่างอื่น
- การต่อสายกับเปลือกวัสดุอุปกรณ์ต้องใช้หางปลาทองแดงขนาดที่เหมาะสมกับสายเท่านั้น
- ในกรณีที่ใช้สายไฟต่อขนานกันและเดินในท่อร้อยสายมากกว่า 1 ท่อ สายดินจะต้องอยู่ในแต่ละท่อและต่อขนานกันด้วย

2.8 รางเคเบิล (Cable Tray)

รางเคเบิลเป็นโครงสร้างสำหรับรองรับสายเคเบิล ต้องไม่มีส่วนที่เป็นคมที่อาจทำให้ฉนวนฉีกขาด ไม่ถือว่าเป็นท่อสาย (Raceway) นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะติดตั้งได้ง่าย และมีราคาถูก แบ่งออกตามลักษณะได้ดังนี้

2.8.1 รางเคเบิลแบบบันได (Ladder Type)

มีลักษณะคล้ายบันได (Rung) ใช้กับสายเคเบิลกำลัง ทำมาจากเหล็กแผ่นมาตรฐานผ่านการพ่นด้วยสีฝุ่น Epoxy/Polyester หรือเคลือบผิวด้วย Hot-Dip Galvanized

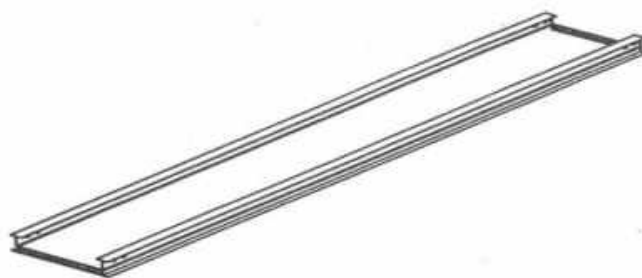


รูปที่ 2.60 รางเคเบิลแบบบันได (Ladder Type)

ที่มา : <https://kjl.co.th/>

2.8.2 รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ (Solid Bottom Type)

เป็นชั้นเดียวโดยตลอด ด้านล่างเป็นโลหะทึบ ใช้กับสายตัวนำโดยทั่วไปที่มีขนาดเล็ก ซึ่งสามารถเพิ่ม เคลื่อนย้าย เปลี่ยนแปลงสายไฟฟ้าได้โดยสะดวก



รูปที่ 2.61 รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ (Solid Bottom Type)

ที่มา : <http://www.tatc.ac.th/>

2.8.3 รางเคเบิลแบบมีช่องระบายอากาศ (Perforated Type)

รางสำหรับเดินสายไฟฟ้าและสายสัญญาณที่มีรูบริเวณท้องราง ช่วยในการระบายความร้อนได้ดี เหมาะสำหรับงานที่ต้องการระบายอากาศเป็นพิเศษ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมหรืองานกลางแจ้ง และมีน้ำหนักเบา (งานเบา) ทำจากวัสดุหลากหลาย เช่น เหล็ก, อลูมิเนียม หรือสแตนเลส และมีให้เลือกทั้งแบบชุบกัลวาไนซ์สำหรับงานภายนอกและพ่นสีสำหรับงานภายใน



รูปที่ 2.62 รางเคเบิลแบบมีช่องระบายอากาศ (Perforated Type)

ที่มา : <https://altoonabustest.com/>



บทที่ 3 รายละเอียดการปฏิบัติงาน

3.1 รายละเอียดการปฏิบัติงานตามโครงการงาน

3.1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.1.1.1 กำหนดหัวข้อการทำโครงการงาน ขออนุมัติโครงการและวางแผนการดำเนินงาน

3.1.1.2 ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.1.3 ดำเนินการปฏิบัติงานการควบคุมงานติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า โดยทีมงานของแผนกซ่อมบำรุง โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน งานติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA

3.1.1.4 อภิปรายและสรุปผลการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 ขั้นตอนและระยะเวลาการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ม.ค. 2569	ก.พ. 2569	มี.ค. 2569	เม.ย. 2569	พ.ค. 2569
กำหนดหัวข้อการทำโครงการงาน ขออนุมัติโครงการ และวางแผนการดำเนินงาน					
ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง					
ดำเนินการปฏิบัติงานการควบคุมงานติดตั้ง หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA					
สรุปผลการดำเนินงาน					

3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

3.1.2.1 หนังสือมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 (วสท.)

3.1.2.2 หนังสือเนื้อหาเกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้า

3.1.2.3 คู่มือข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าเพื่อติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง

3.1.2.4 หนังสือหรือข้อมูลเกี่ยวกับพรบ.ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

3.1.2.5 คู่มือความปลอดภัยในการปฏิบัติงานก่อสร้าง



รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายจากดาวเทียม ณ สถานที่ปฏิบัติงาน โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน
ที่มา : <https://www.google.com/maps>

3.1.4.2 ดำเนินการวางแผนการปฏิบัติงาน วันเข้าปฏิบัติงานและเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน และทำความรู้จักกับทีมงาน ผู้ปฏิบัติงานด้านไฟฟ้า ประชุมถึงแผนการดำเนินการ

การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าในครั้งนี้ ได้ทำการเพิ่มโหลดทางไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ และเครื่องทำน้ำอุ่น จึงต้องทำการคำนวณโหลดทางไฟฟ้าใหม่ ขนาดสายไฟฟ้าที่ต้องใช้ และขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์

ตัวอย่างการคำนวณหาขนาด MCCB ที่ตู้ MDB

$$= \text{ผลรวมของโหลดที่เฟส A} + \text{ผลรวมของโหลดที่เฟส B} + \text{ผลรวมของโหลดที่เฟส C} \quad (3.1)$$

$$= 182,800 + 181,300 + 179,500$$

ดังนั้น โหลดรวม (Total Connected Load) = 543,600 VA

$$I_F = \frac{543,600}{\sqrt{3} \times 415} = 756.26 \text{ A}$$

$$CB \geq 756.26 \text{ A}$$

เนื่องด้วย แผง MDB นี้เชื่อมต่อกับหม้อแปลงขนาด 1,000 KVA โดยทั่วไป เบรกเกอร์ป
ระธานจะถูกกำหนดขนาดให้สอดคล้องกับพิกัดกระแสเต็มพิกัด (Full Load Amps) ของหม้อแปลง

$$I_{FLA} = \frac{S_{TR} \times 1,000}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} \quad (3.2)$$

โดยที่ S_{TR} (ขนาดหม้อแปลง) = 1,000 kVA และ V_{L-L} (แรงดันสาย) = 415 V

จะได้

$$I_{FLA} = \frac{1,000 \times 1,000}{\sqrt{3} \times 415} \approx 1,391.2 A$$

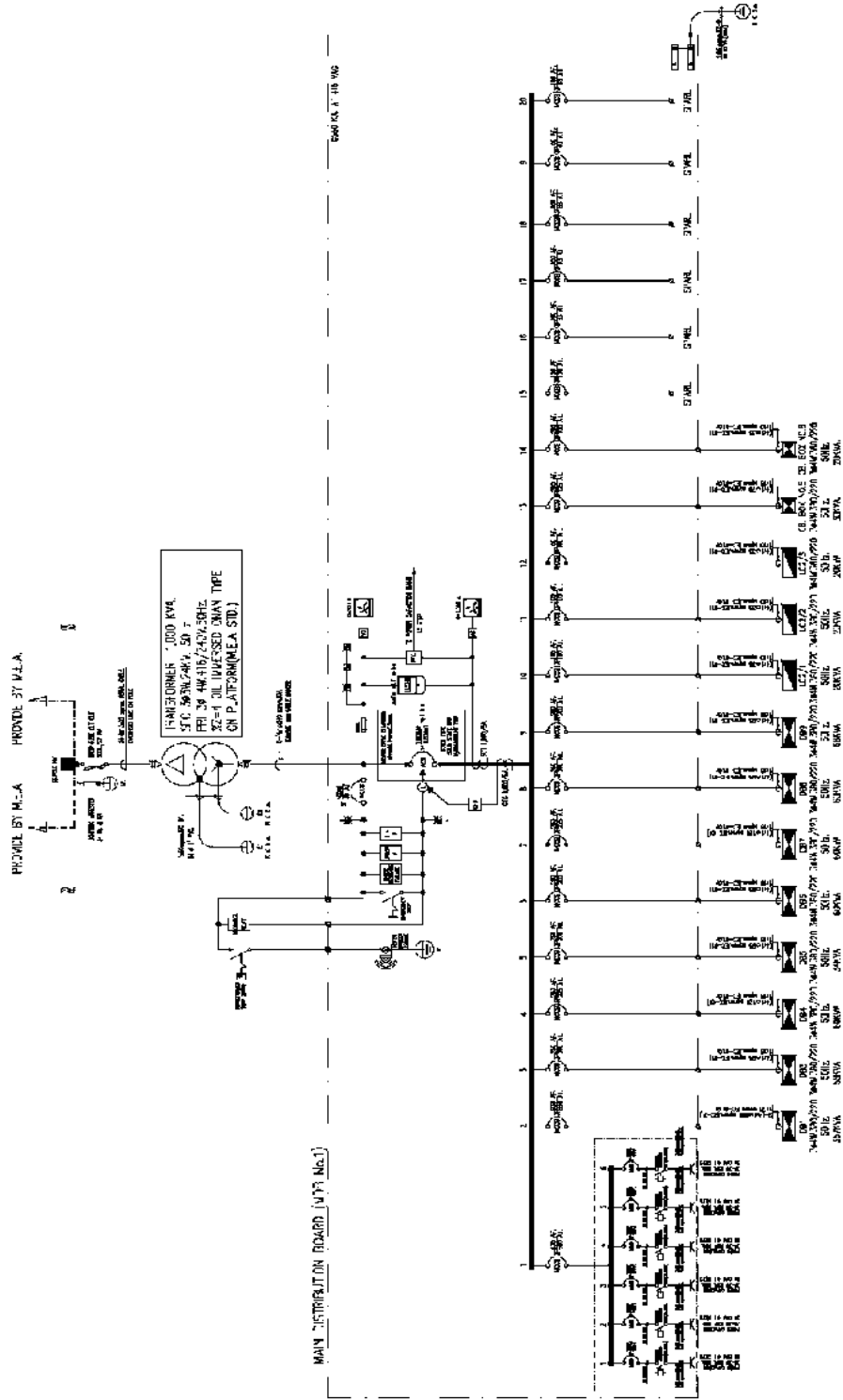
เลือกฟิวส์เบรกเกอร์ขนาด 1,500 AT/1,600 AF , IC >= 65 kA

เลือกสายไฟ XLPE ขนาด 6(4x240 Sq.mm) ขนาดสายดิน 95 SQ.mm เดินในราง Cable Ladder
ลักษณะการติดตั้งกลุ่ม 7 (ดังรูปที่ 3.3)

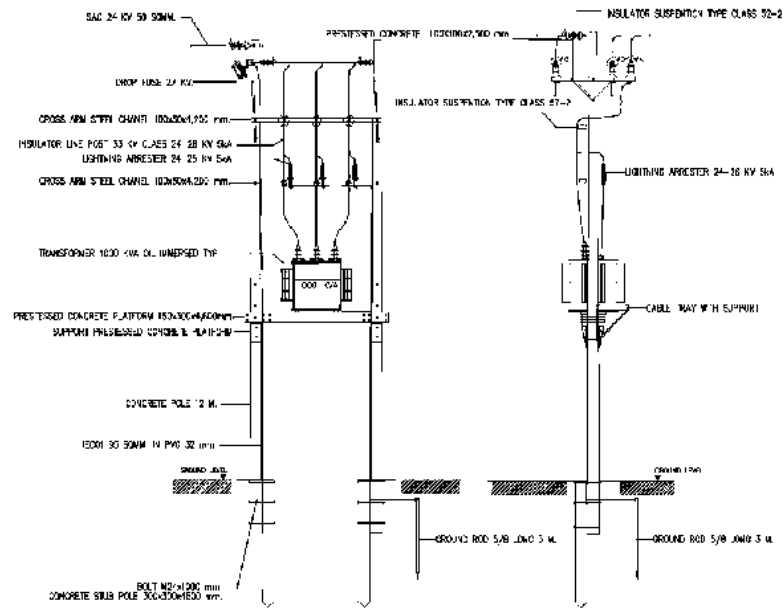
PANEL BOARD LOAD SCHEDULE										
PANEL NO.		MDB		LOCATION			FLOOR 2 nd			
CAPACITY		15 ccts.		MOUNTING			SURFACE			
CONNECTED TO.		TR.1000KVA		IC			> 25KA.A" 240V./415V.			
CCT. NO.	LOAD DESCRIPTION	CONNECTED LOAD (VA)			BRANCH CB.			CONDUCTOR		CONDUIT or WIREWAY
		PH-A	PH-B	PH-C	POLE	AT.	AF.	SIZE sq.mm.	TYPE	
1	LP1	5,400	6,400	5,900	3	40	100	4x10/4C	IEC 01	1" IMC
2	LP2	25,500	22,600	22,600	3	150	250	4x95/16G	IEC 01	2 1/2" IMC
3	LP3	27,600	19,200	18,300	3	150	250	4x95/16G	IEC 01	2 1/2" IMC
4	LP4	18,300	27,600	19,200	3	150	250	4x95/16G	IEC 01	2 1/2" IMC
5	LP5	21,700	18,300	27,600	3	150	250	4x95/16G	IEC 01	2 1/2" IMC
6	LP6	27,600	19,200	18,300	3	150	250	4x95/16G	IEC 01	2 1/2" IMC
7	LP7	18,300	27,600	19,200	3	150	250	4x95/16G	IEC 01	2 1/2" IMC
8	LP8	19,200	18,300	27,600	3	150	250	4x95/16G	IEC 01	2 1/2" IMC
9	LP9	14,200	16,000	16,800	3	100	100	4x50/10G	IEC 01	2" IMC
10	ROOF LP		2,100		2	30	100	2x6/4G	IEC 01	3/4" IMC
11	CB FOR LFT	4,000	4,000	4,000	3	30	100	4x10/4G	IEC 01	1" IMC
12	SPACE									
13	SPACE									
14	SPACE									
15	SPACE									
DEMAND LOAD TOTAL		182,600	181,300	179,500	MAIN CB.			MAIN FEEDER		
TOTAL CONNECTED LOAD (VA)		543,800			MCCB 1500AT/1600AF.3P. IC>= 65KA.			6(4x240) Sqmm. IEC-60502-1 (XLPE) IN CABLE LADDER 800W x 100H mm. G-95 Sqmm. EC-01 in PVC 1" ลักษณะการติดตั้ง กลุ่มที่ 7		

รูปที่ 3.3 ตารางโหลดของตู้ MDB

1) ศึกษาแบบงานที่ได้รับมอบมา และวางแผนดำเนินการกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องใน การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า แบบ SINGLE LINE DIAGRAM ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แบบ Single Line Diagram



TYPICAL DETAIL TRANSFORMER PLATFORM

รูปที่ 3.5 รูปแบบการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า

3.1.4.3 เมื่อวางแผนการดำเนินการแล้วเสร็จ ดำเนินการปฏิบัติงานตามแผนที่วางไว้ และรายงานความก้าวหน้าและปัญหาอุปสรรคที่พบขณะปฏิบัติงาน ให้ผู้บังคับบัญชาทราบ

3.1.4.4 ดำเนินการตรวจสอบสถานที่ อาคารที่จะทำการปฏิบัติงาน ดังรูปที่ 3.6 ลงพื้นที่ที่ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าเดิมและสถานที่ที่จะทำการติดตั้งหม้อแปลงใหม่



รูปที่ 3.6 อาคารที่ทำการย้ายหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 1,000 kVA



รูปที่ 3.7 สถานที่ติดตั้งหม้อแปลง (เก่า)



รูปที่ 3.8 สถานที่ติดตั้งหม้อแปลง (ใหม่)

1) ทำการเตรียมสถานที่ที่จะติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าใหม่และเชื่อมต่อสายไฟเพื่อใช้งานชั่วคราว

(1) รื้อถอนสิ่งปลูกสร้างเก่า ดังรูปที่ 3.9 โดยจะทำการรื้อหลังคา ทางเข้าและโครงสร้างที่เป็นส่วนของโรงจอดรถมอเตอร์ไซค์ออก เพื่อที่จะทำการขุดเจาะ และติดตั้งเสานิ่งร้านเพื่อรองรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่จะมาติดตั้งใหม่



รูปที่ 3.9 รื้อถอนสิ่งปลูกสร้างเก่า

(2) ดังรูปที่ 3.10 เจ้าหน้าที่จากการไฟฟ้านครหลวง กำลังทำการตัดกระแสไฟฟ้าออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า (Drop out Fuse) โดยการใช้ไม้ชักฟิวส์ (Hot Stick) ในการปฏิบัติงาน



รูปที่ 3.10 เจ้าหน้าที่การไฟฟ้านครหลวงทำการตัดกระแสไฟออกจากหม้อแปลง

(3) ก่อนการถอดสายไฟออกจากตู้ MDB ต้องทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ บัสบาร์ (Busbar) หรือขั้วต่อสาย (Terminal) หลัก ของตู้ MDB ก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีกระแสไหลในวงจร และทำการร้อยถอนสายไฟฟ้าเก่าออก ดังรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 ปลดสายออกจากตู้ MDB



รูปที่ 3.12 รื้อถอนสายไฟฟ้าเก่า

(4) ทำการเชื่อมต่อ สายเมน (Feeder Cables) เข้ากับ แผงควบคุมหรือตู้จ่ายไฟหลัก (MDB - Main Distribution Board) เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังพื้นที่หรืออุปกรณ์ที่ต้องการใช้งานชั่วคราว ดังรูปที่ 3.13

(ข้อควรระวัง : สำคัญที่สุดคือต้องมั่นใจว่าแหล่งจ่ายไฟต้นทางได้ถูกตัดการเชื่อมต่อแล้ว)



รูปที่ 3.13 เชื่อมต่อสายไฟฟ้าเพื่อใช้งานชั่วคราว

2) ต่อไปจะเป็นขั้นตอนการเตรียมขุดเจาะพื้นคอนกรีตเพื่อที่จะทำการติดตั้งเสาน้ำรั่ว (คอร์.) และสิ่งที่ต้องคำนึงคือระยะแนวตั้ง เพราะความผิดพลาดในการติดตั้ง ไม่ว่าจะเป็นการจัดการฐานราก การเชื่อมต่อทางไฟฟ้า การต่อลงดิน (Grounding) หรือการทดสอบก่อนการจ่ายไฟ (Commissioning) ล้วนสามารถนำไปสู่ผลกระทบที่รุนแรงได้ ตั้งแต่การทำงานที่ไม่มีประสิทธิภาพ อายุการใช้งานของหม้อแปลงที่สั้นลง การลัดวงจร (Short Circuit) ไปจนถึงการระเบิดและอัคคีภัย ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินและเป็นอันตรายถึงชีวิต

(1) ก่อนขุดเจาะ จะต้องทำการวัดระยะห่างระหว่างเสาทั้งสองต้นให้แม่นยำตามแบบมาตรฐานและเมื่อได้ระยะห่างที่กำหนด จึงจะเริ่มทำการขุดเจาะพื้นคอนกรีตเพื่อติดตั้งเสาน้ำรั่ว (คอร์.) ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การเจาะพื้นคอนกรีตเพื่อติดตั้งเสาน้ำรั่ว (คอร์.)

(2) ขณะทำการขุดเจาะ ปัญหาที่พบคือพื้นที่กำลังทำการขุดเจาะนั้น เคยเป็นพื้นถนนที่ใช้สัญจรภายในโรงพยาบาล ดังรูปที่ 3.15 ทำให้พื้นมีความแข็งแรงกว่าคิดไว้ จึงต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะทางในการขุดเจาะ



รูปที่ 3.15 ตรวจสอบพื้นถนนเก่า

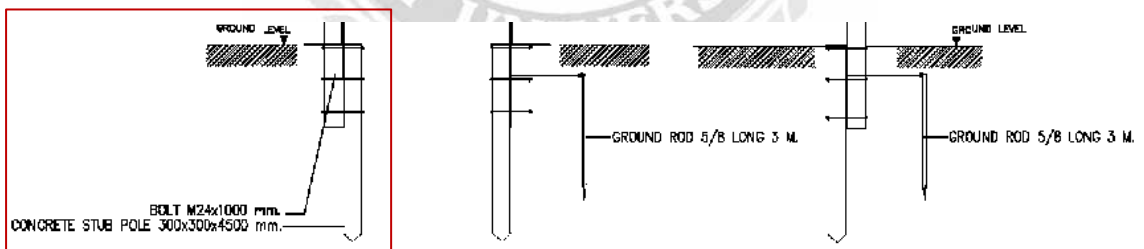
(3) เมื่อชุดหลุมได้ลึกตามที่กำหนดแล้ว ทำการติดตั้งเสาเสตบคอนกรีตลงก่อน ดังรูปที่ 4.16 แล้วจึงนำเสานิ่งร้าน (คอร.) มายึดติดกับเสาเสตบคอนกรีต ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 3.16 ติดตั้งเสาเสตบคอนกรีต



รูปที่ 3.17 ยึดเสานิ่งร้านติดกับเสาเสตบ



TYPICAL DEATAIL TRANSFORMER PLATFROM

รูปที่ 3.18 แบบติดตั้งเสาเสตบและเสานิ่งร้าน (คอร.)

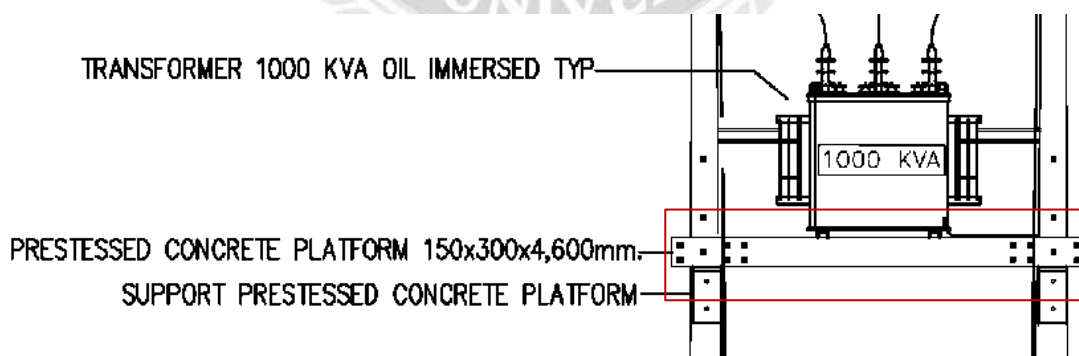
(4) ทำการปรับเสาให้ได้แนวตั้งและแนวระดับตรงกันทั้งสองต้น จึงจะทำการ
 กลบดินและบดอัดให้แน่นได้ จากนั้นจะทำการติดตั้งคานนั่งร้านโดยการใส่ครนยกคาน และทำการ
 ยึดติดกับเสาไฟฟ้าที่ทำการติดตั้งไปก่อนหน้านี้ ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ติดตั้งคานนั่งร้านหม้อแปลง



รูปที่ 3.20 ติดตั้งคานนั่งร้านหม้อแปลงเสร็จ



รูปที่ 3.21 แบบติดตั้ง คานนั่งร้านหม้อแปลงไฟฟ้า

3) ทำการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA

(1) เมื่อทำการเตรียมสถานที่ ที่จะทำการติดตั้งหม้อแปลงใหม่แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า โดยจะต้องทำการปลดสายไฟฟ้าเก่าออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า (ดังรูปที่ 3.22) และทำการติดตั้งโดยใช้เครนยกเพื่อนำไปติดตั้งที่ทำการเตรียมการไว้ (ดังรูปที่ 3.23)



รูปที่ 3.22 ปลดสายไฟออกจากหม้อแปลง



รูปที่ 3.23 เคลื่อนย้ายหม้อแปลงไฟฟ้า

(2) เมื่อนำหม้อแปลงไฟฟ้ามาติดตั้งไว้บนคานนั่งร้านที่เตรียมไว้แล้ว ทำการยึดฐานของหม้อแปลงเข้ากับคานให้มั่นคงแข็งแรง ป้องกันการสั่นสะเทือนหรือเคลื่อนตัว ดังรูปที่ 3.24 และจากนั้นจึงทำการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าบนหัวเสา ได้แก่ Drop Fuse 27kV , Surge Arrester และ ลูกถ้วย ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.24 ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าไว้บนคานนั่งร้าน

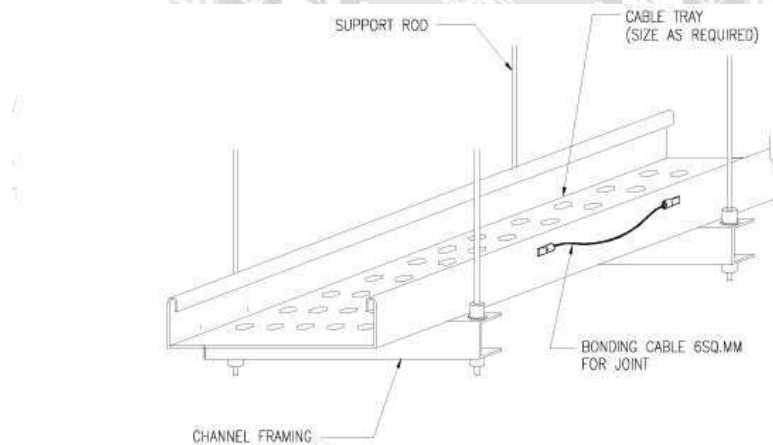


รูปที่ 3.25 ติดตั้งอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในระบบไฟฟ้าบนหัวเสา



รูปที่ 3.26 ติดตั้งหม้อแปลงและอุปกรณ์หัวเสาเสร็จเรียบร้อยแล้ว

3) ติดตั้งราง Cable Tray สำหรับเดินสายไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังตู้ MDB



CABLE TRAY CEILING (SLAB) SUPPORT SYSTEM
 6-(4x1cx240 Sqmm.) CV. IN CABLE TRAY 800x100
 FOR MAIN DISTRIBUTION BOARD (MDB No.1)
 BOT. +2600MM

รูปที่ 3.27 ราง Cable Tray

(3) ทำการติดตั้งรางเดินสายไฟ Cable Tray จากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังตู้ MDB เพื่อที่จะทำการเดินสายไฟฟ้าใหม่



รูปที่ 3.28 ติดตั้งราง Cable Tray ทางด้านหม้อแปลง

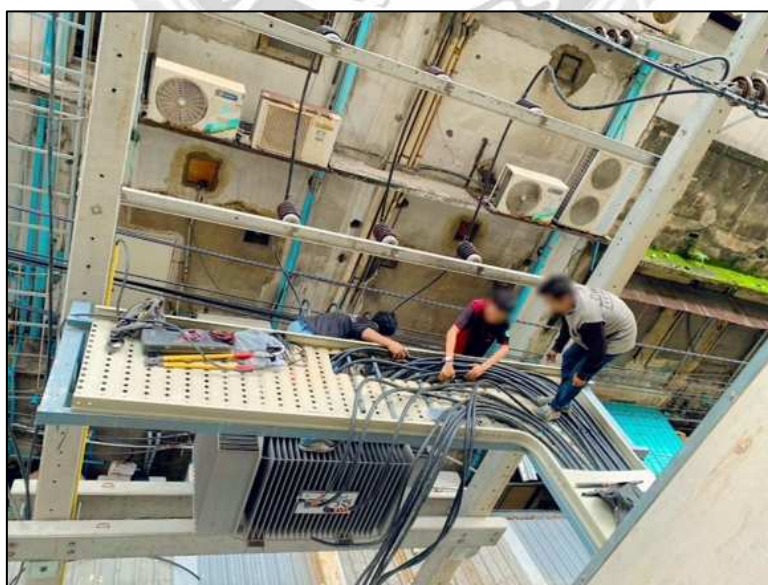


รูปที่ 3.29 ติดตั้งราง Cable Tray ทางด้านห้องไฟฟ้า

(4) ทำการเดินสายไฟฟ้า XLPE ขนาด 240 SQ.mm จากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังตู้ MDB (มาร์คสายไฟโดยการใช้เทปแต่ละสีพันรอบปลายสายไฟ ได้แก่ L₁=สีน้ำตาล , L₂=สีดำ , L₃=สีเทา , N=น้ำเงิน) โดยรูปแบบการจัดเรียงสายไฟคือการจัดวางสายแบบสามเหลี่ยม (Trefoil Formation) เพราะช่วยลดการเกิดสนามแม่เหล็ก (Magnetic Fields) และ เพิ่มความสามารถในการนำกระแส (Ampacity) ของสายไฟ ดังรูปที่ 3.30 และ รูปที่ 3.31

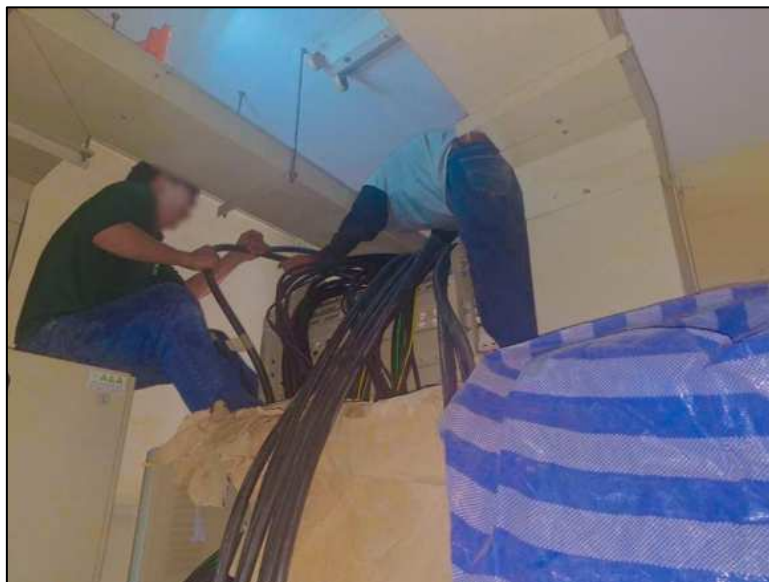


รูปที่ 3.30 เดินสายไฟฟ้า XLPE ขนาด 240 SQ.mm จากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังตู้ MDB



รูปที่ 3.31 จัดวางสายเคเบิลบนราง Cable Tray

(5) ทำการติดตั้งสายไฟทางด้านตู้ MDB โดยการติดตั้งมีความยากตรงที่ สายไฟเป็นสายขนาดใหญ่จึงทำให้ตัดสายและนำเข้าไปในช่องร้อยสายของตู้ MDB ยากขึ้น (ดังรูปที่ 3.32) จากนั้นทำการย้าหางปลาที่ปลายสายทุกเส้น (ต้องใช้คีมย้ำไฮดรอลิก) และทำการยึดติดกับบัสบาร์ (ดังรูปที่ 3.33)



รูปที่ 3.32 ตัดสายไฟเพื่อนำเข้าช่องร้อยสายของตู้ MDB



รูปที่ 3.33 ติดตั้งสายไฟทางด้านตู้ MDB

(6) ทำการติดตั้งสายไฟทางด้านหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการขั้นตอนการเข้าสาย จะเหมือนกันกับทางด้านตู้ MDB คือ ย้ำทางปลาที่ปลายสายทุกเส้น และยึดเข้ากับขั้วต่อแรงต่ำที่หม้อแปลงไฟฟ้า (ดังรูปที่ 3.34) โดยที่ต้องใช้ "ประแจปอนด์" (Torque Wrench) ขึ้นยึดตามค่าแรงบิด (Torque Value) ที่ผู้ผลิตหม้อแปลงกำหนด



รูปที่ 3.34 เข้าสายไฟที่ขั้วแรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 3.35 ติดตั้งสายไฟทางด้านหม้อแปลงไฟฟ้าเสร็จเรียบร้อย

- 4) เชื่อมต่อสายไฟฟ้าแรงสูงเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 1,000 kVA
(1) เจ้าหน้าที่การไฟฟ้านครหลวงเตรียมอุปกรณ์สำหรับติดตั้งอุปกรณ์หัวเสาที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแรงสูง ได้แก่ Drop Fuse และ Surge Arrester ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 เจ้าหน้าที่เตรียมอุปกรณ์สำหรับติดตั้งหัวเสา

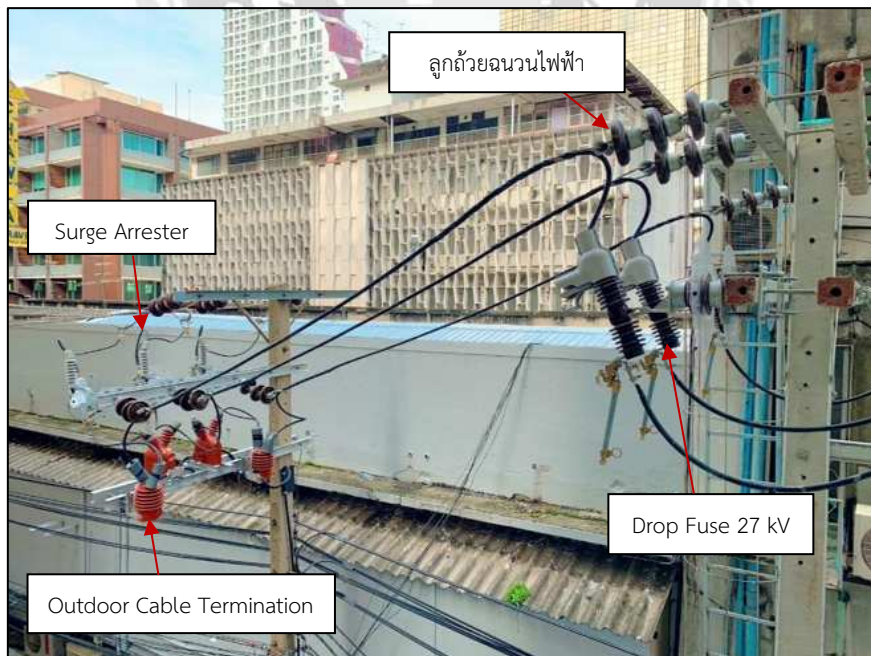


รูปที่ 3.37 เจ้าหน้าที่เตรียมอุปกรณ์ Surge Arrester

(2) เจ้าหน้าที่ทำการติดตั้ง Surge Arrester บนหัวเสา เพื่อที่จะเชื่อมต่อสายไฟระบบแรงสูงไปยังระบบไฟฟ้าของโรงพยาบาลที่ทำการติดตั้งรอไว้ก่อนแล้ว ดังรูปที่ 3.39



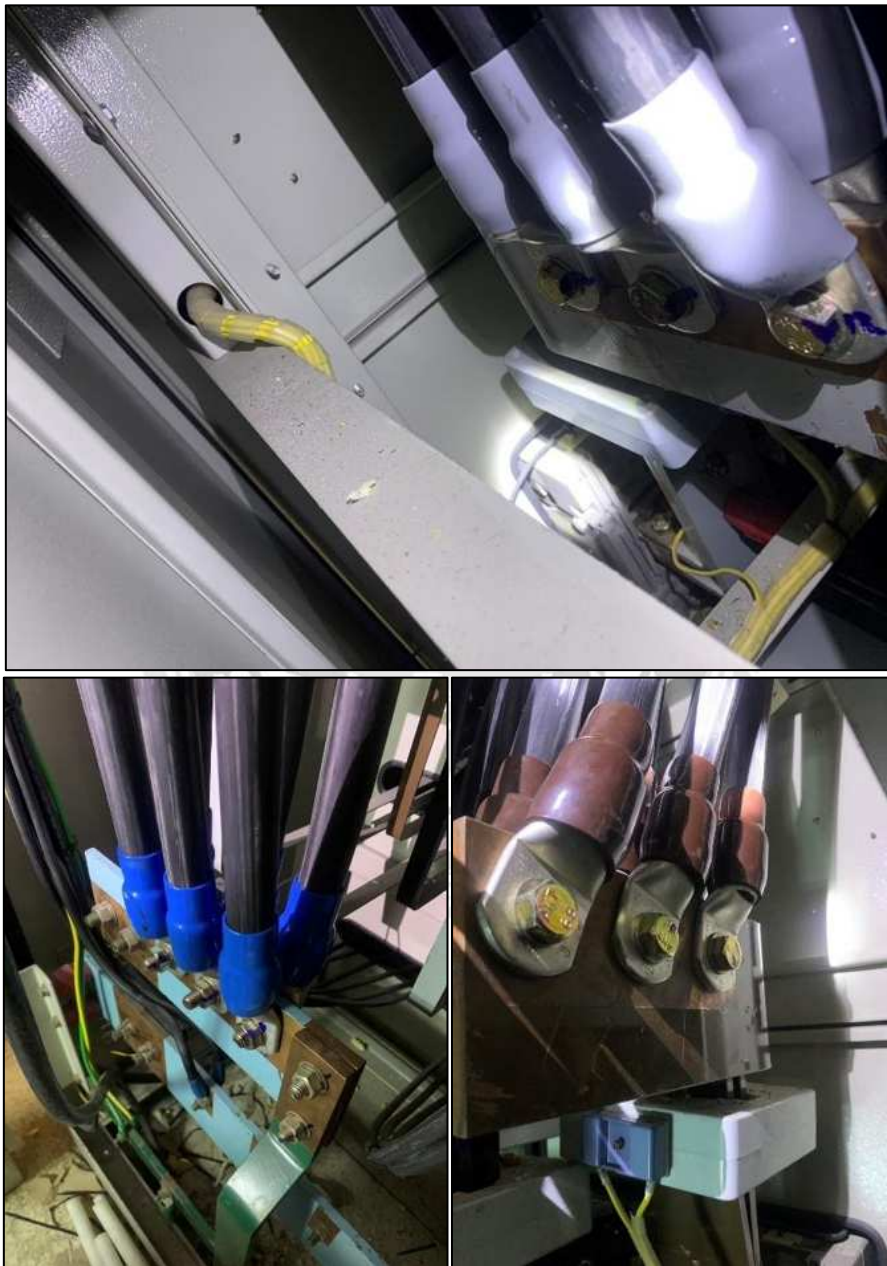
รูปที่ 3.38 เจ้าหน้าที่ทำการติดตั้ง Surge Arrester บนหัวเสา



รูปที่ 3.39 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งบนหัวเสา

5) ตรวจสอบความถูกต้องและทำการ On Circuit เพื่อเดินเครื่องหม้อแปลงไฟฟ้า

(1) ทำการตรวจเช็คความถูกต้องของระบบไฟฟ้าและความปลอดภัย เช่น ตรวจสอบการขันโบลต์ที่ บัสบาร์ (Busbar) ในตู้ MDB ทุกจุด (R, S, T, N, G) ดังรูปที่ 3.40 (รอยขีดปากกาเมจิกแสดงให้เห็นว่ามีการขันเสร็จเรียบร้อยแล้ว)



รูปที่ 3.40 ตรวจสอบการขันโบลต์ที่ บัสบาร์ (Busbar)

(2) ตรวจสอบ Phase Rotation โดยการใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่องตรวจวัดลำดับเฟส (Phase Rotation Indicator) เพื่อเช็คค่า R (L_1), S (L_2), และ T (L_3) เรียงลำดับถูกต้องหรือไม่ ดังในรูปที่ 3.41 จะแสดงให้เห็นว่า เฟสกลับทางหมุน [หมุนทวนเข็มนาฬิกา (L)] เนื่องด้วยระบบไฟฟ้าของทางโรงพยาบาลเป็นแบบเฟสกลับทางหมุน



รูปที่ 3.41 ตรวจสอบ Phase Rotation (หมุนทวนเข็มนาฬิกา)

(3) เริ่มทำการ On Circuit เดินเครื่องหม้อแปลงไฟฟ้า และตรวจสอบการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าและระบบไฟฟ้าที่ทำการติดตั้งใหม่ ดังรูปที่ 3.42 จะเป็นหน้าจอแสดงกระแสต่อเฟส (Amps per Phase) ซึ่งควรมีค่าไม่ต่างกันมากเกินไป (Balance)



รูปที่ 3.42 ตรวจสอบการทำงานของระบบไฟฟ้า (1)



รูปที่ 3.43 ตรวจสอบการทำงานของระบบไฟฟ้า (2)

3.1.4.5 ดำเนินการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA พร้อมทั้งตรวจสอบความปลอดภัยและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า เสร็จเรียบร้อย และทำการคืนสภาพที่จอดรถมอเตอร์ไซด์ ให้กลับคืนมาใช้งานได้เหมือนเดิม ดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 ตำแหน่งติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าใหม่



รูปที่ 3.45 ดำเนินการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA เสร็จเรียบร้อย



รูปที่ 3.46 ทางบริษัท Consult ให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการทำงาน

3.2 รายละเอียดการปฏิบัติงานตามที่ได้รับมอบหมาย

นอกจากงานที่ทำปฏิบัติตามโครงการแล้ว ทางพนักงานที่ปรึกษา ยังได้มอบหมายงานที่เกี่ยวข้องกับการดูแลและซ่อมแซมเครื่องจักร อุปกรณ์ หรือระบบต่างๆ ตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายหรือการชำรุดจนทำให้การทำงานหยุดชะงัก ได้แก่ งานตรวจสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ในส่วนของอาคารโรงพยาบาล ทำการตรวจเช็คเป็นรายสัปดาห์ โดยมีรายละเอียดการปฏิบัติงานดังนี้

3.2.1 Preventive Maintenance Generator

1) ทำการตรวจสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตามรายการที่กำหนด ดังรูปที่ 3.47 และทำการบันทึกผลลงในใบ Checklist

รายการที่ทำการตรวจสอบ ประกอบไปด้วย

- ระดับน้ำมันเครื่อง น้ำหล่อเย็น และน้ำมันเชื้อเพลิง
- ความสมบูรณ์ของท่ออ่อน และข้อต่อต่าง ๆ
- สวิตช์ลูกลอย (ถ้ามี)
- ระดับอิเล็กทรอนิกส์ของแบตเตอรี่
- สายคอนโทรลต่าง ๆ
- สวิตช์ควบคุม

รายงานการตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ายี่ห้อ.....ขนาด.....KVA No.

ระบบการทำงาน	รายละเอียด		
ระดับน้ำมันเครื่อง	..... เคียงทอ	เค็ม / เปลี่ยน	จำนวน ลิตร
ระดับน้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์	..... เคียงทอ	เค็ม	จำนวน ลิตร
ไส้กรองอากาศ	..... ใช้งานได้ / เป่า	เปลี่ยน	ยี่ห้อ รุ่น จำนวน
ไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง	..... ใช้งานได้	เปลี่ยน	ยี่ห้อ รุ่น จำนวน
ไส้กรองน้ำมันเครื่อง	..... ใช้งานได้	เปลี่ยน	ยี่ห้อ รุ่น จำนวน
ระบบท่อน้ำมันเชื้อเพลิง	..... ดี	รั่ว / ซิม	แก้ไข
ระบบท่อน้ำมันเครื่อง	..... ดี	รั่ว / ซิม	แก้ไข
ระบบท่อน้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์	..... ดี	รั่ว / ซิม	แก้ไข
แบตเตอรี่	..... ใช้งานได้	ใช้ไม่ได้	เปลี่ยนใหม่ ยี่ห้อ ขนาด Ah
ระบบไฟชาร์จแบตเตอรี่	..... ใช้งานได้	ใช้ไม่ได้	
ชนิด Belt / ระดับน้ำกลั่นในแบตเตอรี่	<input type="checkbox"/> แห้ง	<input type="checkbox"/> น้ำกรด /	มี แก๊ง เค็มจำนวน ขวด
ระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในถังใช้รวม	..... มี	ไม่มี	จำนวน ลิตร

ตรวจสอบขณะเครื่องทำงาน

ระบบการทำงาน	รายละเอียด	
การสั่นไหวของเครื่องยนต์	..... ปกติ	ผิดปกติ
ความดันน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์	อ่านค่าได้	ค่าที่ยอมรับได้ มากกว่า 35 psi , 2.5 bar.
ความเร็วรอบเครื่องยนต์	อ่านค่าได้	rpm. ปกติ 1450 - 1500 rpm.
กระแสไฟฟ้าแบตเตอรี่	..... ทำงาน	ไม่ทำงาน
อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์	อ่านค่าได้	ค่าที่ยอมรับได้ น้อยกว่า 200 F ^o , 93 C ^o
ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์	นาน	นาที ไม่ควรต่ำกว่า 15 นาที เริ่ม.....สิ้นสุด.....

กระแสไฟฟ้าที่ได้

แรงดันไฟฟ้า Volt. ปรับค่าเป็น Volt. ปกติ 230/400 v. ± 10 %
 ความถี่ Hz ปรับค่าเป็น Hz ค่าที่ยอมรับได้ 48 - 52 Hz.

ข้อมูลเพิ่มเติม

.....

ผู้ตรวจสอบ 1
 ผู้ตรวจสอบ 2
 วันที่

รูปที่ 3.47 Checklist Preventive Maintenance Generator



รูปที่ 3.48 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

เริ่มจากการตรวจสอบสภาพภายนอกเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เบื้องต้น ว่ามีความเสียหายตรงจุดใดหรือไม่ มีการรั่วซึมหรือเสียงของเครื่องทำงานผิดปกติ รวมไปถึงไส้กรองต่าง ๆ ว่ามีการอุดตันหรือไม่ ดังรูปที่ 3.49



รูปที่ 3.49 ตรวจสอบสภาพภายนอกเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)



รูปที่ 3.50 ตรวจสอบการรั่วซึม

ตรวจสอบระดับน้ำมันเชื้อเพลิง ระดับน้ำมันเครื่อง ระดับน้ำหล่อเย็นให้เพียงพออยู่เสมอ
สังเกตการรั่วซึมของของเหลว ท่ออ่อน ข้อต่อส่วนต่าง ๆ และทำการบันทึกผล



รูปที่ 3.51 ตรวจสอบระดับน้ำมันเชื้อเพลิง

ตรวจสอบแรงดันของแบตเตอรี่และระดับอิเล็กโทรไลต์ของแบตเตอรี่ และแบตเตอรี่ชาร์จเจอร์ทำหน้าที่ผลิตและจ่ายไฟไปยังแบตเตอรี่ เพื่อให้แบตเตอรี่มีแรงดัน ความเสถียร และพลังงานที่เพียงพอต่อการสตาร์ทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.52 ตรวจสอบแบตเตอรี่

เมื่อทำการตรวจสอบเสร็จแล้ว จากนั้นจะเป็นการตรวจสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ขณะเครื่องทำงาน ว่าทำงานปกติหรือไม่ แรงดันไฟฟ้า ความถี่และความเร็วรอบเป็นอย่างไร และทำการบันทึกผล



รูปที่ 3.53 หน้าจอแสดงผล (แรงดันไฟฟ้า ความถี่ และความเร็รรอบ)



รูปที่ 3.54 หน้าจอแสดงผล (แรงดันแบตเตอรี่ แรงดันน้ำมัน และอุณหภูมิ)

บทที่ 4

ผลการปฏิบัติงาน

จากการที่ได้รับมอบหมายงานในการฝึกสหกิจศึกษาจากทางมหาวิทยาลัย ผู้จัดทำได้ดำเนินการศึกษารายละเอียดของงานที่ได้รับมอบหมาย โดยมีหน้าที่หลักในการจัดเตรียมแผนการเข้าปฏิบัติงานให้สอดคล้องกับแผนงานของโครงการ รวมถึงการเตรียมเครื่องมือให้พร้อมสำหรับการปฏิบัติงาน ผู้จัดทำได้ดำเนินการตามแผนงานที่ได้รับมอบหมายอย่างเคร่งครัด โดยได้เข้าร่วมการตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้า การตรวจเช็คและควบคุมสภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงาน เพื่อให้มั่นใจได้ว่า อุปกรณ์ทุกชิ้นอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ระหว่างการฝึกปฏิบัติงาน ได้พบปัญหาบางประการ และผู้จัดทำได้ดำเนินการแก้ไขปัญหานั้นอย่างเหมาะสม เพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับเป้าหมายของโครงการ

4.1 ผลการปฏิบัติงานตามโครงการ

ตารางที่ 4.1 ผลการดำเนินงานตามโครงการ

ลำดับ	งานที่ปฏิบัติ	ปริมาณงานที่ทำ (ร้อยละ)	ผลการดำเนินการ
1	ดำเนินการวางแผนการปฏิบัติงานและประชุมถึงแผนการดำเนินการ	100	ดำเนินการแล้วเสร็จ
2	การเตรียมพื้นที่ปฏิบัติงาน	100	ดำเนินการแล้วเสร็จ
3	การปลดสายหม้อแปลงไฟฟ้าเก่าและการเชื่อมต่อสายไฟฟ้าชั่วคราว	100	ดำเนินการแล้วเสร็จ
4	การขุดเจาะและการติดตั้งเสาตั้งร้าน (คอร.) เพื่อติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า	100	ดำเนินการแล้วเสร็จ
5	การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า	100	ดำเนินการแล้วเสร็จ
6	การเดินสายไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังตู้ MDB	100	ดำเนินการแล้วเสร็จ
7	การเชื่อมต่อสายไฟฟ้าแรงสูงจากการไฟฟ้านครหลวง	100	ดำเนินการแล้วเสร็จ
8	การตรวจสอบและทดลองการทำงานของระบบไฟฟ้า	100	ดำเนินการแล้วเสร็จ

หลังจากได้ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆเรียบร้อยแล้ว เพื่อตรวจสอบว่าผู้ปฏิบัติงานได้ติดตั้งอุปกรณ์ทุกอย่างตามแบบและทำการติดตั้งถูกต้องตามแบบมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบตามรายการที่แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 รายการตรวจสอบตู้ Main Distribution Board

รายการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ		แนวทางการแก้ไข
	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	
1. Main CU. BUSBAR 3x400A With 100% NEUTRAL, 30% GROUND BUS	✓		
2. Line 1 (XLPE 1x240 SQ.MM.) มี 6 เส้น	✓		
3. Line 2 (XLPE 1x240 SQ.MM.) มี 6 เส้น	✓		
4. Line 3 (XLPE 1x240 SQ.MM.) มี 6 เส้น	✓		
5. Neutral (XLPE 1x240 SQ.MM.) มี 6 เส้น	✓		
6. Ground (IEC01 1x95 SQ.MM.) มี 1 เส้น	✓		
7. ACB 1600AT, 1600AF, 3P, 50 kA	✓		
8. MCCB 500AT, 630AF, 3P มี 1 ชุด	✓		
9. MCCB 630AT, 630AF, 3P มี 1 ชุด	✓		
10. MCCB 225AT, 250AF, 3P มี 2 ชุด	✓		
11. MCCB 200AT, 250AF, 3P มี 5 ชุด	✓		
12. MCCB 125AT, 250AF, 3P มี 2 ชุด	✓		
13. MCCB 100AT, 100AF, 3P มี 4 ชุด (SPARE 1 ชุด)	✓		
14. MCCB 63AT, 100AF, 3P (SPARE 5 ชุด)	✓		
15. Pilot Lamp,220V, LED (R, S, T) มี 3 ชุด	✓		
16. Capacitor 12 step	✓		
17. Power factor controller RVC	✓		
18. Digital Panel Meter	✓		

4.2 ผลการปฏิบัติงานตามที่ได้รับมอบหมาย

รายงานการตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
เครื่องกำเนิดไฟฟ้ายี่ห้อ Cummins ขนาด 1000 KVA No. 1

ระบบการทำงาน	รายละเอียด
ระดับน้ำมันเครื่อง	<input checked="" type="checkbox"/> เพียงพอ เดิม / เปลี่ยน จำนวน ลิตร
ระดับน้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์	<input checked="" type="checkbox"/> เพียงพอ เดิม จำนวน ลิตร
ไส้กรองอากาศ	<input checked="" type="checkbox"/> ใช้ได้ / เป่า เปลี่ยน อีหื้อ รุ่น จำนวน
ไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง	<input checked="" type="checkbox"/> ใช้ได้ เปลี่ยน อีหื้อ รุ่น จำนวน
ไส้กรองน้ำมันเครื่อง	<input checked="" type="checkbox"/> ใช้ได้ เปลี่ยน อีหื้อ รุ่น จำนวน
ระบบท่อน้ำมันเชื้อเพลิง	<input checked="" type="checkbox"/> ดี รั่ว / ซึม แก๊ซ
ระบบท่อน้ำมันเครื่อง	<input checked="" type="checkbox"/> ดี รั่ว / ซึม แก๊ซ
ระบบท่อน้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์	<input checked="" type="checkbox"/> ดี รั่ว / ซึม แก๊ซ
แบตเตอรี่	<input checked="" type="checkbox"/> ใช้ได้ ใช้ไม่ได้ เปลี่ยนใหม่ อีหื้อ ขนาด Ah
ระบบไฟชาร์จแบตเตอรี่	<input checked="" type="checkbox"/> ใช้ได้ ใช้ไม่ได้
ชนิด Batt. / ระดับน้ำกลั่นในแบตเตอรี่	<input type="checkbox"/> แห้ง <input checked="" type="checkbox"/> น้ำกรด / มี แห้ง เดิมจำนวน ขวด
ระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในถังใช้งาน	<input checked="" type="checkbox"/> มี ไม่มี จำนวน <u>450</u> ลิตร

ตรวจสอบขณะเครื่องทำงาน

ระบบการทำงาน	รายละเอียด
การสั่นรบกวนของเครื่องยนต์	<input checked="" type="checkbox"/> ปกติ ผิดปกติ แก๊ซ
ความดันน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์	อ่านค่าได้ <u>08.42</u> ค่าที่ยอมรับได้ มากกว่า 35 psi , 2.5 bar.
ความเร็วรอบเครื่องยนต์	อ่านค่าได้ <u>1516</u> rpm. ปกติ 1450 - 1500 rpm.
กระแสไฟแบตเตอรี่	<input checked="" type="checkbox"/> ทำงาน ไม่ทำงาน แก๊ซ
อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์	อ่านค่าได้ <u>68 c°</u> ค่าที่ยอมรับได้ น้อยกว่า 200 F° , 93 C°
ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์	นาน <u>15</u> นาที ไม่ควรต่ำกว่า 15 นาที เริ่ม <u>9.00</u> สิ้นสุด <u>9.15</u>

กระแสไฟฟ้าที่ได้

แรงดันไฟฟ้า 230 Volt. ปรับค่าเป็น Volt. ปกติ 230/400 V. ± 10 %
ความถี่ 50.50 Hz. ปรับค่าเป็น Hz. ค่าที่ยอมรับได้ 48 - 52 Hz.

ข้อมูลเพิ่มเติม

.....
.....

ผู้ตรวจสอบ 1 อ.วรากรณ์
ผู้ตรวจสอบ 2 จิรายุ
วันที่


FI-4100-MAIN-11-01

รูปที่ 4.1 รายงานการตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

071 **01761**

เลขที่ เลขที่

บริษัท คัมมินส์ ดีเซลเอสเอช (ประเทศไทย) จำกัด
 2106 อาคารเฟนทรี 4 ถนนสุขุมวิท
 แขวงพระโขนงใต้ เขตพระโขนง กรุงเทพฯ 10260
 โทรศัพท์ +66 2 301 7500



Date: 5/9/68 Engine Model: KTA38 S/N: 15315895
 Job No.: 10684975 Generator Model: S/N: Spec:
 Customer Name: พ.กมลพฤกษ์ชัย Gen 2 Type Control: Easy Gen Type ATS:
 Job Site: Hour: 105 Hr. Kw: 400 Hz: 50
 Equipment Manufacturer: Amp: 1641 Volt: 400 Phase: 3

รายละเอียด

1. ตรวจสอบระบบหล่อลื่น

1.1) ระดับน้ำมันเครื่องที่เหล็กระดับ Low Between Low&High High normal abnormal
 1.2) ตรวจเช็ครอยรั่วความหนาแน่นและจุดเชื่อมต่อต่างๆ ของระบบหล่อลื่น normal abnormal
 1.3) ตรวจเช็คสภาพกรองน้ำมันเครื่อง ไม่ชำรุด ไม่รั่วซึม P/N: LF670 จำนวน 4 ลูก normal abnormal
 1.4) ตรวจเช็คกรองขยายพาส (ถ้ามี) ไม่ชำรุด ไม่รั่วซึม P/N: LF 777 จำนวน 2 ลูก normal abnormal

2. ระบบหล่อเย็น

2.1) ระดับน้ำหรือน้ำยาหล่อเย็นในหม้อน้ำ normal abnormal
 2.2) ตรวจเช็คความเข้มข้นของน้ำยาหล่อเย็น ค่าอ่านได้ normal abnormal
 2.3) ตรวจเช็คสภาพอุปกรณ์ Water Sensors สามารถทำงานได้ตามปกติ? normal abnormal
 2.4) ตรวจเช็คสภาพของหม้อน้ำ หรือรังผึ้ง รั่วหรือรั่วซึม หรือชำรุด หรือไม่? normal abnormal
 2.5) ตรวจสภาพตะกอนในหม้อน้ำหล่อเย็น normal abnormal
 2.6) ตรวจเช็คสภาพสายพานพัดลมหม้อน้ำอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน? ไม่ชำรุด ไม่แตก ไม่หลุดร่อน normal abnormal
 2.7) ตรวจเช็คสภาพกรองน้ำยาหล่อเย็น รั่วซึม ไม่บุบ หรือชำรุด P/N: NF2016 จำนวน 4 ลูก normal abnormal
 2.8) ตรวจเช็คสภาพท่อจ่ายและเข็มขัดรัดท่อระบบหล่อเย็น ไม่หลุด ไม่หลวม ไม่ชำรุด normal abnormal
 2.9) ตรวจเช็คดักลวกเป็นผลาบน้ำพัดลมหม้อน้ำ ไม่มีเสียงผิดปกติ ไม่ชำรุด เข็มและอัดจารบี normal abnormal

3. ระบบระบายอากาศ

3.1) ตรวจเช็คสภาพกรองอากาศ ไม่สกปรก ไม่อุดตัน ไม่ชำรุด P/N: AF25278 จำนวน 2 ลูก normal abnormal
 3.2) ตรวจเช็คอุปกรณ์วัดการกรองอากาศอุดตัน (Air Indicator) ไม่แตกหัก หรือชำรุด สภาพพร้อมใช้งาน normal abnormal
 3.3) ตรวจเช็คจุดเชื่อมต่อ น็อต สกรู เข็มขัดรัดสาย อยู่ในสภาพแน่นหนา normal abnormal

4. ระบบป้องกันการสั่นสะเทือน

4.1) ตรวจเช็คสภาพลูกยางรองแท่นเครื่อง / สปริง ไม่แตก ไม่ชำรุด normal abnormal
 4.2) ตรวจสอบฐานคอนกรีต หรือฐานที่รองรับ Generator ต้องอยู่ในสภาพปกติ ไม่แตกร้าว normal abnormal

5. ระบบไอเสีย

5.1) ตรวจเช็คสภาพท่อไอเสีย อยู่ในสภาพปกติ ไม่เปรีแตก หรือมีรอยรั่ว normal abnormal
 5.2) ตรวจเช็คสภาพ Aluminium Jacket และฉนวนกันความร้อน ไม่ชำรุด หรือ หลุดร่วง normal abnormal
 5.3) ตรวจเช็คสภาพ Exhaust Manifold ท่อรวมไอเสีย ไม่มีคราบน้ำมันสะสมตกค้าง normal abnormal
 5.4) ตรวจเช็คจุดเชื่อมต่อ จุดยึด น็อต สกรู เข็มขัดรัดสาย อยู่ในสภาพแน่นหนา normal abnormal
 5.5) ตรวจเช็คสภาพปลายท่อไอเสีย หรือ การป้องกันน้ำเข้าเครื่องยนต์ผ่านท่อไอเสีย อยู่ในสภาพดี normal abnormal

6. ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง

6.1) ตรวจสอบสภาพของถังน้ำมัน หลอดวัดระดับ และวาล์วต่างๆ ต้องอยู่ในสภาพปกติ ไม่ชำรุด หรือมีรอยรั่ว normal abnormal
 6.2) ระดับน้ำมันเชื้อเพลิง 450 Liter ขนาดความจุถัง 500 Liter normal abnormal
 6.3) ทำการ Drain น้ำ และตะกอนที่วาล์ว Drain กันถังน้ำมันเชื้อเพลิง normal abnormal
 6.4) ตรวจเช็คระบบท่อน้ำมันจาก Transfer Pump ไปยัง Fuel Pump ต้องไม่รั่วซึม และพร้อมใช้งาน normal abnormal
 6.5) ตรวจเช็คกรองน้ำมันเชื้อเพลิง ไม่ชำรุด ไม่รั่วซึม P/N: FS 1006 จำนวน 2 ลูก normal abnormal
 6.5) ตรวจเช็คกรอง Fuel Pro Filter ไม่ชำรุด ไม่รั่วซึม ไม่สกปรกหรืออุดตัน P/N: normal abnormal

7. ระบบแบตเตอรี่และ Charger

7.1) Brand Battery / ยี่ห้อ: G5 Battery Battery Model/ รุ่น: N100 normal abnormal
 7.2) ตรวจสอบสภาพทั่วไปของแบตเตอรี่ ไม่แตก ไม่บวม normal abnormal
 7.3) ตรวจสอบขั้วของแบตเตอรี่อยู่ในสภาพปกติ แน่นหนา ไม่มีออกไซด์ที่ขั้ว normal abnormal
 7.4) ตรวจเช็คสายของแบตเตอรี่อยู่ในสภาพปกติ ไม่ชำรุด ไม่มีรอยไหม้ normal abnormal
 7.5) ค่า CCA ตาม Spec ของ Battery: 765 Amp ทำการวัดค่า CCA Battery
 ลูกที่ 1: 668 Amp ลูกที่ 2: 885 Amp ลูกที่ 3: _____ Amp ลูกที่ 4: _____ Amp
 ลูกที่ 5: _____ Amp ลูกที่ 6: _____ Amp ลูกที่ 7: _____ Amp ลูกที่ 8: _____ Amp
 7.6) ตรวจสอบระดับน้ำกลั่นของแบตเตอรี่ อยู่ในระดับมาตรฐาน normal abnormal
 7.7) ความถ่วงจำเพาะของอิเล็กโทรไลต์แบตเตอรี่ อยู่ในระดับมาตรฐาน normal abnormal
 7.8) ตรวจเช็ค Battery Charger ทำงานปกติหรือไม่? ไฟแสดงการทำงานปกติ ไม่มีไฟ Alarm แสดง normal abnormal

AG2006

รูปที่ 4.2 รายงานการตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ตรวจสอบโดยบริษัทที่รับผิดชอบ (1)

071
01761

7.9) ตรวจสอบสายไฟเชื่อมต่อ AC Main ไป ชุดแบตเตอรี่ชาร์จเจอร์ ไป แบตเตอรี่ ไม่ขาด ไม่ชำรุด เช้าสายแน่น normal abnormal

7.10) ตรวจสอบค่าแรงดัน Battery ขณะ On Battery Charger ค่าที่อ่านได้ 26.9 Vdc normal abnormal

7.11) ตรวจสอบสภาพสายพานไดรฟ์ชาร์จอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ไม่ชำรุด หรือมีรอยแตก ไม่ตรึง normal abnormal

8. ระบบการเข้าสายไฟฟ้า Power และสายไฟของ Control

8.1) ตรวจสอบเช็คสภาพของ Circuit Breaker ที่ Generator ต้องอยู่ในสภาพดี ไม่แตก ไม่ชำรุด normal abnormal

8.2) ตรวจสอบเช็คสภาพสายไฟ Power ของ Generator ไม่สกปรก น๊อต ไม่คลาย ไม่มีสิ่งแปลกปลอม ไม่มีรอยอาร์ก normal abnormal

8.3) ตรวจสอบเช็คสภาพแรงดันของสายไฟ Power และสาย AC Sensing อยู่ในสภาพดี ไม่ชำรุด ไม่หลวม ไม่มีรอยอาร์ก normal abnormal

8.4) ตรวจสอบเช็คสภาพแรงดันหรือความถี่ ของ Alternator สภาพปกติ ไม่สกปรก ไม่ชำรุด หรือมีรอยอาร์กไหม้ normal abnormal

8.5) ตรวจสอบเช็คสภาพจุดเชื่อมต่อกราวด์ ทุกจุด ไม่หลุดหลวม หรือขาด normal abnormal

8.6) ตรวจสอบเช็คสภาพของสายไฟชุด Control Generator อยู่ในสภาพดี ไม่ชำรุด ไม่หลวม ไม่หลวม ไม่มีรอยอาร์ก normal abnormal

9. ระบบ Emergency Stop Shutdown และ Remote Start

9.1) ทดสอบการใช้งานไม่หยุดฉุกเฉิน EMERGENCY STOP PUSH normal abnormal

9.2) ทดสอบระบบ Remote Start ในขณะ Genset ใน AUTO mode normal abnormal

10. การตรวจเช็คและการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ขณะเดินเครื่อง

ด้านไฟ Generator						
NO.	รายการ	ค่าที่วัด	จุดที่วัดค่า	ค่าที่วัดได้		หมายเหตุ
				No Load	On Load	
1	แรงดันไฟฟ้า (Voltage)	VL - L (Volt)	L1-L2	354		
			L2-L3	354		
			L3-L1	354		
		VL - N (Volt)	L1-N	222		
			L2-N	222		
			L3-N	222		
2	กระแสไฟฟ้า (Current)	Iphase (Amp)	L1	-		
			L2	-		
			L3	-		
3	ความถี่ ไฟฟ้า (Hertz)	Hz	L-N or L-L	50		
4	ความเร็วรอบ	RPM	-	1507		

10.1) ค่า Engine Water Temp 45 °C °C °F normal abnormal

10.2) ค่า Engine Oil Temp (น้ำมัน) - °C °C °F normal abnormal

10.3) ค่า Engine Oil Pressure 5.61 Bar Bar Psi kPa normal abnormal

10.4) ค่า Battery Voltage 28.0 Vdc normal abnormal

ตรวจสอบเช็คสีของควมที่ปลายท่อไอเสียขณะใช้งานที่ 1500 รอบต่อนาที สีดำ สีขาว สีไม่มี normal abnormal

12. ความสะอาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

12.1) ทำความสะอาดเครื่องยนต์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า normal abnormal

13. ข้อเสนอแนะ

* วัดค่า AMr (เบี่ยงคลัทท์ที่ 8.4 โคน)

เวลาทำงานปกติ NT รวม Total ชม. Hrs. เวลาทำงานล่วงเวลา OT รวม Total ชม. Hrs.

เวลาเดินทางไป รวม Total ชม. Hrs. เลข กม. ODO รวม Total กม. Kms.

เวลาเดินทางกลับ รวม Total ชม. Hrs. เลข กม. ODO รวม Total กม. Kms.

เปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องและไส้กรองต่างๆ วันที่เปลี่ยน ชั่วโมง Replaced Not Replace

CDT Service Personal	Customer
Technician Sign.....	Customer Sign.....
Service Supervisor Sign.....	Mobile Phone.....
วันที่ Date..... 5 / 9 / 68	E-mail Address.....

รูปที่ 4.3 รายงานการตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ตรวจสอบโดยบริษัทที่รับผิดชอบ (2)

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงการ

ดำเนินการปฏิบัติงานการควบคุมงานติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า โดยทีมงานของแผนกซ่อมบำรุง โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน งานติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1000 KVA ทำให้สามารถนำความรู้ทางทฤษฎีไปใช้ประโยชน์ในการปฏิบัติงานจริงและได้เผยแพร่ความรู้ให้กับผู้ปฏิบัติงานระบบไฟฟ้าของบริษัทรับเหมา ซึ่งการดำเนินโครงการสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากการให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำจากพนักงานพี่เลี้ยง รวมถึงความอนุเคราะห์จากหน่วยงานที่เอื้อต่อการฝึกงานครั้งนี้

5.2 ประโยชน์ด้านสังคม

- 5.2.1 เรียนรู้การวิเคราะห์ปัญหาและแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ
- 5.2.2 เรียนรู้การแลกเปลี่ยนความคิดเห็นต่อผู้อื่นภายในหน่วยงาน
- 5.2.3 เรียนรู้ชีวิตการทำงาน การวางตัวในสังคม

5.3 ประโยชน์ด้านการปฏิบัติงาน

- 5.3.1 เรียนรู้การปฏิบัติงานจริง
- 5.3.2 นำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ภาคทฤษฎีไปปรับใช้จริง
- 5.3.3 ได้รับประสบการณ์ใหม่ ที่ไม่พบในชั้นเรียน

5.4 ข้อดีของการปฏิบัติงานโครงการสหกิจศึกษา

- 5.4.1 ได้ฝึกปฏิบัติในสถานการณ์จริง ทำให้ได้เรียนรู้ถึงการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า
- 5.4.2 ได้ประสบการณ์ในส่วนของการมีปฏิสัมพันธ์กับบุคคลในองค์กร
- 5.4.3 ได้นำความรู้ทางภาคทฤษฎีไปเผยแพร่ให้กับผู้ปฏิบัติงานระบบไฟฟ้าของบริษัทรับเหมาเพื่อนำไปใช้งานให้เกิดความปลอดภัยและถูกต้องตามมาตรฐาน

5.5 การแก้ไขปัญหาในการปฏิบัติงาน

5.5.1 เนื่องด้วยสถานที่ปฏิบัติงานจริงมีความยากลำบากในการปฏิบัติงาน ด้วยสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวย มีฝนตกลงมาขณะเตรียมการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าและความเข้าใจแบบงานที่ผิดพลาด จึงต้องแก้ไขงานให้ตรงตามแบบมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวง

5.5.2 ขาดประสบการณ์ในการทำงานทำให้การตัดสินใจแก้ไขงานเฉพาะหน้า กระทบถึงความต่อเนื่องของงานที่ปฏิบัติ

5.6 ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน

5.6.1 ศึกษาหาความรู้ในทางทฤษฎีเพิ่มเติม

5.6.2 เรียนรู้ สอบถาม และขอคำแนะนำจากผู้มีประสบการณ์ตรง

5.6.3 มีความมุ่งมั่นที่จะเรียนรู้มากขึ้น เพื่อที่จะปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมายได้อย่างถูกต้อง สมบูรณ์มากที่สุด และดำเนินการทันตามระยะเวลาที่กำหนด



บรรณานุกรม

- กฎกระทรวง ฉบับที่ 33. (พ.ศ. 2535). *ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522.* (2535, 17 กุมภาพันธ์). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 109
- ธนฤต ศรีจำปา. (ม.ป.ป.). *ระบบกำลังไฟฟ้า แหล่งกำเนิดพลังงานและการผลิตพลังงานไฟฟ้า โครงสร้างระบบการส่งและจ่ายไฟฟ้า*. <https://pubhtml5.com/iois/itny/basic/>
- ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. (2557). *การออกแบบระบบไฟฟ้า (พิมพ์ครั้งที่ 4 ฉบับปรับปรุง ตามมาตรฐานวสท. 2556)*. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โซติอเนชั่น ศรีเอชั่น.
- พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522. (2522, 14 พฤษภาคม). *ราชกิจจานุเบกษา*.
- ลือชัย ทองนิล. (ม.ป.ป.). *การตรวจสอบความปลอดภัยระบบไฟฟ้า*. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ลือชัย ทองนิล. (ม.ป.ป.). *การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า ตามมาตรฐานของการไฟฟ้า*. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2564). *มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564*.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

หนังสือยินยอมให้เผยแพร่โครงการสหกิจศึกษา



โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน

124 ถ. สีลม เขตบางรัก กรุงเทพฯ 10500

โทร. 0-223 -1000, 0-2625-9000 FAX. 0-2236-2911

27 เมษายน พ.ศ. 2569

เรื่อง หนังสือยินยอมให้เผยแพร่รายงานปฏิบัติงานโครงการสหกิจศึกษา

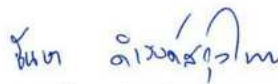
เรียน อธิการบดี มหาวิทยาลัยสยาม

เนื่องจาก นายทัศนัย มะคุ้มใจ รหัสนักศึกษา 6623200001 สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม เข้าร่วมปฏิบัติงานตามโครงการสหกิจศึกษา ณ แผนกซ่อมบำรุง โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน เมื่อวันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2569 ถึงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2569

ทางโรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน ได้ตรวจสอบข้อมูลทั้งหมดในรายงานปฏิบัติงานตามโครงการสหกิจศึกษา และการศึกษาเชิงบูรณาการในการปฏิบัติงาน เรื่องการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน ของนายทัศนัย มะคุ้มใจ รหัสนักศึกษา 6623200001 สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ทางโรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน ยินยอมให้นักศึกษาและมหาวิทยาลัยสยาม เผยแพร่รายงานปฏิบัติงานโครงการสหกิจศึกษาดังกล่าวต่อสาธารณะ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาต่อไป

ขอแสดงความนับถือ



(นายชันษา ดำรงค์สกุลไทย)

หัวหน้าฝ่ายอาคารสถานที่และสิ่งแวดล้อม



ภาคผนวก ข

ภาพการนิเทศงานของอาจารย์นิเทศก์สหกิจศึกษา

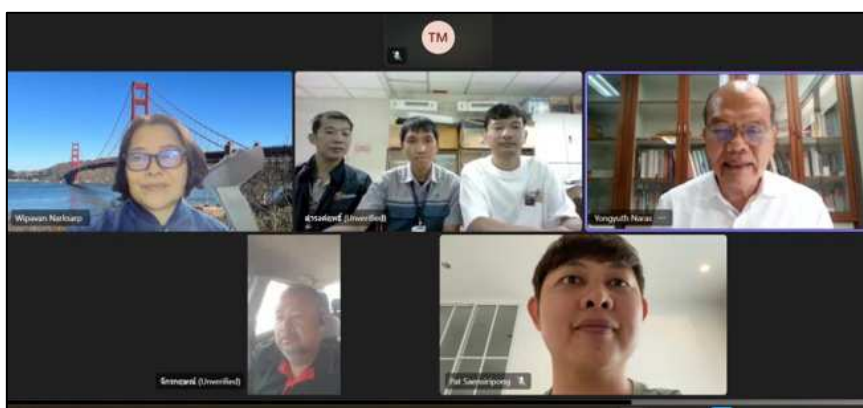
ชื่ออาจารย์นิเทศสหกิจศึกษา

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ นาราษฎร์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิภาวัลย์ นาคทรัพย์
3. อาจารย์จักรกฤษณ์ จันทร์เขียว

นักศึกษาสหกิจศึกษา

ชื่อ-นามสกุล ทศนัย มะค่อมใจ รหัสนักศึกษา 6623200001

นิเทศงานสหกิจศึกษา นิเทศสหกิจออนไลน์และนิเทศสหกิจที่สถานประกอบการ



รูปที่ ข 1 ภาพการนิเทศของอาจารย์นิเทศสหกิจศึกษา ครั้งที่ 1 (ออนไลน์)



รูปที่ ข 2 ภาพการนิเทศของอาจารย์นิเทศสหกิจศึกษา ครั้งที่ 2 (ที่สถานประกอบการ)



รูปที่ ข 3 ภาพการนิเทศของอาจารย์นิเทศสหกิจศึกษา ครั้งที่ 2 (ที่สถานประกอบการ)



รูปที่ ข 4 ภาพการนิเทศของอาจารย์นิเทศสหกิจศึกษา ครั้งที่ 2 (ที่สถานประกอบการ)



ภาคผนวก ค

การสอบโครงงานสหกิจศึกษา

การสอบโครงการสหกิจศึกษา



รูปที่ ค 1 ภาพการสอบโครงการสหกิจศึกษา



รูปที่ ค 2 ภาพการสอบโครงการสหกิจศึกษา



รูปที่ ค 3 ภาพการสอบโครงงานสหกิจศึกษา



รูปที่ ค 4 ภาพการสอบโครงงานสหกิจศึกษา



ภาคผนวก ง

การตรวจสอบการลอกเลียนวรรณกรรมทางวิชาการโดยใช้โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์

Plagiarism Checking Report

Created on 2026-04-05 01:00:08 at 01:00 AM

Submission Information

ID	SUBMISSION DATE	SUBMITTED BY	ORGANIZATION	FILENAME	STATUS	SIMILARITY INDEX
4704589	Apr 5, 2026 at 00:44 AM	Thatsanai.mak@siam.edu	มหาวิทยาลัยสยาม	เล่มสหกิจศึกษา (ทัศนัย มะคุ้มใจ).pdf	Completed	1.17%

Match Overview

NO.	TITLE	AUTHOR(S)	SOURCE	SIMILARITY INDEX
1	ความคุ้มทุนในการใช้ระบบน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรกรรมในพื้นที่หมู่ที่ 9 และ หมู่ที่ 14 ตำบลเสิงสาง อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา,Economic analysis of system for agriculture in moo 9 and moo 14\, Esingsag sub-district\, Esingsag district\, Nakhon Ratchasima	สมศักดิ์ ไชยโคตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	0.20 %
2	การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าสำหรับประเมินสมรรถนะทางเทคนิคของ เครือข่ายระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม	ทง ศรีสุนทร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	0.13 %
3	การพัฒนาโปรแกรมการเรียนรู้ภาษาอังกฤษเพื่อการสื่อสารออนไลน์ด้วยตนเอง ของผู้เรียนระดับอาชีวศึกษาในจังหวัดขอนแก่นเพื่อเตรียมเข้าสู่ตลาดแรงงาน	จิรพัชร บุญพรหม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสาน	0.11 %
4	การเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อความร้อน ที่ติดตั้งวัสดุพูนแบบตาข่ายทองแดง	สีชานาญ, สุรเชษฐ & ชมภูคำ, อธิพัฒน์ & ฤทธิเดช, สัมพันธ์	วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม	0.10 %
5	การศึกษาคุณลักษณะการเกิดอิเล็กทริคอลลทรในวัสดุเอ็กซ์แอลพีอีที่ใช้เป็น ฉนวนของสายเคเบิล,Studies on electrical treeing characteristics in XLPE cable insulation.	กฤษณะ หวังสอาด	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	0.10 %
6	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าผิดนัดชำระค่าไฟฟ้า กรณีศึกษา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 (ภาคใต้) จังหวัดนครศรีธรรมราช,Factors affecting the customers to Miss a Payment for their electrical bills : a case study of the provincial electrical authority sect	สายผึ้ง ปานพุ่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต	0.09 %
7	เครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศที่ช่วยในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น กรณีศึกษา อาคารพักอาศัย	อัญชรา คำไพโรจน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	0.09 %
8	แนวทางการดำเนินงานประกันคุณภาพภายในสถานศึกษาของกลุ่มโรงเรียนสิงหนาทราชาลัย สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาแม่ฮ่องสอน เขต 1	วัชรวิ แสงสุวรรณ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่	0.09 %



แบบสรุปโครงการสหกิจศึกษาและการศึกษาเชิงบูรณาการกับการทำงาน (CWIE)

มหาวิทยาลัยสยาม

ข้อมูลของนักศึกษา

1. ชื่อ - สกุล : นายทัศนัย มะคุ้มใจ
2. สาขาวิชา/คณะ : สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. E-mail นักศึกษา : Thatsanai.mak@siam.edu
4. ชื่อโครงการ/ผลงาน : การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA
5. ชื่อสถานประกอบการ : แผนกซ่อมบำรุง โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน
6. ที่อยู่สถานประกอบการ : เลขที่ 124 ถนนสีลม แขวงสุริยวงศ์ เขตบางรัก
กรุงเทพมหานคร 10500
7. ระยะเวลาปฏิบัติงาน : ตั้งแต่วันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2569 ถึงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2569
8. ผู้นิเทศงานในสถานประกอบการ
ชื่อ - สกุล : นายชันษา ดำรงค์สกุลไทย
ตำแหน่ง : หัวหน้าฝ่ายอาคารสถานที่และสิ่งแวดล้อม
แผนก : ซ่อมบำรุง

ข้อมูลโครงการ/ผลงาน

1. โครงการ/ผลงาน/งานประจำ ได้รับการจัดระบบการทำงานที่เหมาะสมจากสถานประกอบการ ทั้งลักษณะงาน และระยะเวลา มีการจัดระบบพี่เลี้ยงสอนงาน

.....ศึกษาเรียนรู้การควบคุมงานติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA ด้วยการศึกษากับพนักงาน พี่เลี้ยง ตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง อย่างเหมาะสมตามระยะเวลาการปฏิบัติงาน ได้เป็น อย่างดี ตั้งแต่วันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2569 ถึงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2569.....

2. การดำเนินงานมีความถูกต้อง มีระเบียบแบบแผนและทำให้นักศึกษามีโอกาสประยุกต์ใช้วิชา ความรู้/ทักษะ ตามที่ได้เรียนมา โดยใช้ความรู้ทักษะในการศึกษากระบวนการ การวิเคราะห์ และการแก้ปัญหาหรือสร้างแนวทางใหม่

.....การดำเนินงานมีความถูกต้อง ตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง มีระเบียบแบบแผนและ ทำให้นักศึกษามีโอกาสประยุกต์ใช้วิชาความรู้และทักษะที่ได้จากการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาในครั้งนี้ สามารถนำมาใช้ทำงานตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้าได้ในอนาคต และสามารถนำประสบการณ์ที่ได้ มาประยุกต์ปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิบัติงานได้ เช่น การแก้ไขปัญหาเรื่องการเตรียม พื้นที่ปฏิบัติงานเนื่องจากสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการปฏิบัติงานจนการก่อให้อันตรายต่อชีวิต และทรัพย์สินได้ การแก้ไขปัญหาเรื่องที่ไม่สามารถดำเนินงานต่อได้เนื่องจากสภาพของเครื่องมือและ เครื่องจักรกล รวมทั้งการแก้ไขปัญหาร่วมกับผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียกับงานที่ปฏิบัติให้เสร็จสิ้นไปได้ด้วยดี

3. เป็นโครงการ/ผลงานที่นำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเป็นรูปธรรมในสถานประกอบการ

หมายเหตุ : -หากเป็นงานประจำต้องสามารถนำไปพัฒนาองค์กร/หน่วยงานได้อย่างชัดเจน อาทิ ลดเวลาในการทำงานประจำ/ลดต้นทุนค่าใช้จ่าย

- โครงการมีการสร้างความคิดสร้างสรรค์ให้กับสถานประกอบการในระหว่างปฏิบัติ สหกิจศึกษาและการศึกษาเชิงบูรณาการกับการทำงาน หรือมีการยื่นจดคุ้มครองทรัพย์สินทาง ปัญญาหรือไม่ ถ้ามีโปรดอธิบาย

.....การปฏิบัติงานสหกิจศึกษา เรื่อง การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA เป็นการศึกษาริเริ่มรู้ การควบคุมงานติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA ที่ถูกต้องตามมาตรฐานของ การไฟฟ้า นครหลวง และองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าจากพนักงานพี่เลี้ยงมีความรู้และประสบการณ์ ใน งานการควบคุมงานติดตั้งหม้อแปลง เป็นการเสริมสร้างองค์ความรู้และประสบการณ์ให้แก่บุคลากร สามารถนำความรู้และประสบการณ์ที่ได้ไปใช้ในการควบคุมงานติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA ได้ถูกต้องตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง เพื่อความมั่นคงของระบบไฟฟ้าและ รักษาผลประโยชน์ขององค์กรเป็นที่สูงสุด.

หมายเหตุ: แบบฟอร์มฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายงานสหกิจศึกษา โปรดนำเข้าไปในเล่มรายงานต่อจากหน้าประวัติผู้เขียนด้วย

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นาย ทศนัย มะคুমใจ

คณะ : วิศวกรรมศาสตร์

สาขา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ที่อยู่ : เลขที่ 114/81 ซอยโรงน้ำพริก ถนนจรัญสนิทวงศ์ 22 แขวงบ้านช่างหล่อ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700

ประวัติการศึกษา : พ.ศ.2558 สำเร็จการศึกษา ระดับ มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนการศึกษานอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัย เขตบางกอกน้อย กทม.

พ.ศ.2564 สำเร็จการศึกษา ระดับ มัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนการศึกษานอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัย เขตบางกอกน้อย กทม.

พ.ศ.2566 สำเร็จการศึกษา ระดับ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

สาขาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม (สยามเทค) กทม.

เบอร์โทรศัพท์ : 090-967-9775

E-mail : T.Makhumchai@gmail.com



<https://drive.google.com/drive/folders/1zoW6mSB42Kkrbx0zNFJkCLUobSXpXA3d?usp=sharing>



รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA

Installation of a 1,000 kVA Electrical Transformer

โดย

นายทัศนัย มะคุ้มใจ 6623200001

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 152-497 สหกิจศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้า 1

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2568