



รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

อุปกรณ์และการติดตั้งระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า

Equipments and Installation of Power Distribution System



โดย

นางสาว จัตรีทิพย์ ชูแก้ว 6004220003

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาสหกิจศึกษา

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2560

หัวข้อโครงการ อุปกรณ์และการติดตั้งระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า

Equipments and Installation of Power Distribution System

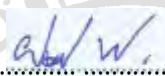
ผู้จัดทำ นางสาว นัศรทิพย์ ชูแก้ว 6004220003

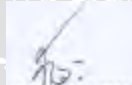
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

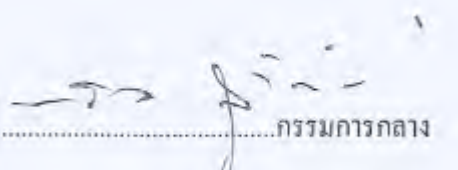
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขงยุทธ นารายณ์

อนุมัติโครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าประจำ
ภาคการศึกษาที่ 3 ปี การศึกษา 2560

คณะกรรมการการสอบโครงการ


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขงยุทธ นารายณ์)


.....พนักงานที่ปรึกษา
(คุณ สุริยา ฐิติ)


.....กรรมการกลาง

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พกิจ สุวัฒน์)


.....ผู้ช่วยอธิการบดีและผู้อำนวยการสำนักสหกิจศึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มารุจ ลิ้มปะวัฒน์)

จดหมายนำส่งรายงาน

วันที่ 2 กันยายน พ.ศ. 2560

เรื่อง ขอส่งรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขงยุทธ นารายณ์

ตามที่ผู้จัดทำ นางสาวฉัตรทิพย์ ชูแก้ว นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ได้ไปปฏิบัติสหกิจศึกษาระหว่างวันที่ 14 เดือนพฤษภาคมพ.ศ. 2561 ถึงวันที่ 30 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2561 ในตำแหน่ง วิศวกรฝึกหัด ณ บริษัท ไทยสโตนเรจ เบตเตอร์ จำกัด (มหาชน) และได้รับมอบหมายจากพนักงานที่ปรึกษาให้ศึกษาและทำรายงานเรื่อง “อุปกรณ์และการติดตั้งระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า”

บัดนี้การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาได้สิ้นสุดแล้ว ผู้จัดทำจึงขอส่งรายงานดังกล่าวมาพร้อมกันนี้ จำนวน 1 เล่มเพื่อขอรับคำปรึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

นางสาวฉัตรทิพย์ ชูแก้ว

นักศึกษาสหกิจศึกษา

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ชื่อโครงการ : อุปกรณ์และการติดตั้งระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า
 ชื่อนักศึกษา : นางสาว ฉัตรทิพย์ ชูแก้ว
 อาจารย์ที่ปรึกษา : พศ.ดร.ขงยุทธ นารายณ์
 ระดับการศึกษา : ปริญญาตรี
 ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
 คณะ : วิศวกรรมศาสตร์
 ภาควิชา/ปีการศึกษา : 3 /2560

บทคัดย่อ

โครงการสหกิจศึกษานี้นำเสนอประสบการณ์ที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับอุปกรณ์และการติดตั้งระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งได้ทำการศึกษา และปฏิบัติงาน ณ บริษัท ไทยสโตน รีเจนเตอริ จำกัด (มหาชน) ในระหว่างโครงการสหกิจศึกษาของมหาวิทยาลัยสยาม ระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าประกอบด้วยสามส่วนหลัก ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้าแบบแปลงลง ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าหลัก และตู้ควบคุมระบบไฟฟ้ารอง อุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยสายไฟฟ้า บัสบาร์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ เฟาเวอร์มิเตอร์ คาปาซิเตอร์เบงค์ แม็กเนติก คอนแท็คเตอร์ เฟาเวอร์แฟกเตอร์คอนโทรลเลอร์ และอื่นๆ ถูกนำเสนอไว้โดยละเอียดเป็นอันดับแรก ก่อนที่เทคนิคการติดตั้งจะถูกแสดงให้เห็น นอกจากนี้เทคนิคการทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบถูกนำเสนอไว้ด้วยเช่นกันในรายงานนี้ ข้อมูลนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อช่วยให้ผู้อ่านเข้าใจวัตถุประสงค์ของระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและเพิ่มความรู้ด้านเทคนิคเกี่ยวกับเรื่องนี้

คำสำคัญ : ระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า / ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าหลัก / ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้ารอง

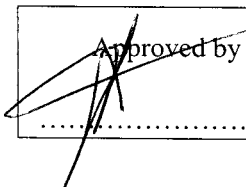
Project Title: Equipment and Installation of Power Distribution Systems
By: Ms. Chattip Chookaew 6004220003
Advisor: Asst. Prof. Dr. Yongyuth Naras
Degree: Bachelor of Engineering
Major: Electrical Engineering
Faculty: Engineering
Semester/Academic Year: 3/2017

Abstract

This cooperative education report presents useful experiences on the equipment and installation of power distribution systems in the factory, which were studied and practiced at the Thai Storage Battery Public Company Limited, during the cooperative education program of Siam University. The power distribution system consists of three major parts: step down distribution transformer, main distribution board (MDB) and sub distribution board (SDB). Equipment and tools necessary for the installation of the power distribution system such as transformers, electric wires, busbars, circuit breakers, power meters, capacitor banks, magnetic contactors, power factor controllers and others were presented in detail before the installation techniques are demonstrated. In addition, the performance testing technique for the system was also presented in this report. The information is intended to help readers understand the purpose of power distribution systems and associated equipment and increase their technical knowledge about it.

Keywords: Power Distribution System / Main Distribution Board / Sub Distribution Board

Approved by



กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgement)

การที่ผู้จัดทำได้มาปฏิบัติงานในโครงการสหกิจศึกษา ณ บริษัท ไทยสโตร์แบริจ จำกัด (มหาชน) ตั้งแต่วันที่ 14 พฤษภาคม ถึงวันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ส่งผลให้ผู้จัดทำได้รับความรู้และประสบการณ์ต่างๆ ที่มีค่ามากมายสำหรับรายงานสหกิจศึกษานี้สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายฝ่ายดังนี้

1. บริษัท ไทยสโตร์แบริจ จำกัด (มหาชน)
2. คุณ สุริยา ฐิติ พนักงานพี่เลี้ยง
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขยยุทธ นารายณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

และบุคคลท่านอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการจัดทำรายงานผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและเป็นที่ปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจกับชีวิตของการทำงานจริงซึ่งผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้จัดทำ

ฉัตรทิพย์ ชูแก้ว

สารบัญ

หน้า

จดหมายนำส่งรายงาน	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	3
2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า.....	3
2.3 แผงควบคุม.....	15
2.4 เซอร์กิตเบรกเกอร์.....	18
2.5 Capacitor Bank.....	20
2.6 สายไฟ.....	21
2.7 รางเคเบิล.....	37
บทที่ 3 รายละเอียดการปฏิบัติงาน	
3.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ.....	39
3.2 ลักษณะการประกอบการผลิตภัณฑ์การให้บริการหลักขององค์กร.....	39
3.3 รูปแบบการจัดการองค์การและการบริหารงาน.....	40
3.4 บทบาทและหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย.....	40
3.5 ชื่อและตำแหน่งพนักงานที่ปรึกษา.....	40
3.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน.....	41
3.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	41
3.8 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้.....	42

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.9 วิธีการดำเนินการ.....	42
3.10 แบบ Single Line Diagram.....	43
บทที่ 4 ผลการปฏิบัติงานตามโครงการ	
4.1 ระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า.....	45
4.2 ชนิดและขนาดของสายไฟ.....	49
4.3 หม้อแปลง.....	51
4.4 Circuit Breaker.....	55
4.5 Capacitor Bank และ Power Factor Controller.....	57
4.6 Digital Panel Meter หรือ DPM และ Current Transformer หรือ CT.....	58
4.7 Magnetic Contactor.....	59
4.8 บัสบาร์ (BUSBAR).....	60
4.9 ติดตั้งสายไฟฟ้าเข้ากับบัสบาร์.....	60
4.10 ติดตั้ง Ground Test Box.....	64
4.11 การตรวจสอบ.....	66
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลของโครงการ.....	69
5.2 ปัญหาที่พบในการทำโครงการ.....	69
5.3 วิธีการแก้ปัญหา.....	69
5.4 ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน.....	69
บรรณานุกรม.....	70
ภาคผนวก.....	71
ประวัติผู้จัดทำ.....	76

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 รูปแสดงการส่งและจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า.....	4
รูปที่ 2.2 รูประบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง.....	4
รูปที่ 2.3 รูประบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	5
รูปที่ 2.4 รูปหม้อแปลงปิดชนิดแบบใช้ก๊าซไนโตรเจน.....	6
รูปที่ 2.5 รูปหม้อแปลงปิดชนิดแบบฉนวนคลีน.....	7
รูปที่ 2.6 รูปหม้อแปลงชนิดแห้ง (Dry – type Transformer) และสิ่งห่อหุ้ม.....	8
รูปที่ 2.7 รูปส่วนประกอบของหม้อแปลงน้ำมัน.....	9
รูปที่ 2.8 รูปส่วนประกอบของหม้อแปลงแห้ง.....	11
รูปที่ 2.9 รูปแผ่นป้ายหม้อแปลง 1500 KVA.....	13
รูปที่ 2.10 รูปฟิวส์แรงสูง (Dropout Fuse).....	14
รูปที่ 2.11 รูปล่อฟ้าแรงสูง (HV. Arrester).....	14
รูปที่ 2.12 รูปตู้ MDB (Main Distribution Board).....	15
รูปที่ 2.13 รูปตู้ SDB (Sub Distribution Board).....	17
รูปที่ 2.14 ACB (Air Circuit Breaker).....	18
รูปที่ 2.15 MCCB (Molded Case Circuit Breaker).....	19
รูปที่ 2.16 MCB (Miniature Circuit Breaker).....	20
รูปที่ 2.17 capacitor bank.....	21
รูปที่ 2.18 ชนิดและการใช้งานของสายไฟฟ้า.....	21
รูปที่ 2.19 สาย CV.....	25
รูปที่ 2.20 สายทนไฟ (FRC).....	26
รูปที่ 2.21 สายไฟฟ้าแรงดันสูง.....	28
รูปที่ 2.22 สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมดีเกลือวเปลือย AAC.....	29
รูปที่ 2.23 สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมแกนเหล็ก ACSR.....	29
รูปที่ 2.24 สาย Partial Insulated Cable (PIC).....	30
รูปที่ 2.25 สาย Space Aerial Cable (SAC).....	30

สารบัญรูปลูกภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.26 สาย Cross-linked Polyethylene (XLPE).....	31
รูปที่ 2.27 60227 IEC 01 สาย THW.....	33
รูปที่ 2.28 สาย VAF.....	34
รูปที่ 2.29 สาย NYY.....	34
รูปที่ 2.30 รางเคเบิลแบบบันได (Ladder Type).....	37
รูปที่ 2.31 รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ (Solid Bottom Type).....	38
รูปที่ 3.1 แผนที่ตั้งบริษัท.....	39
รูปที่ 3.2 โครงสร้างบริหารงานบริษัท.....	40
รูปที่ 3.3 Single Line Diagram ของตู้ MDB (Main Distribution Board).....	43
รูปที่ 3.4 Single Line Diagram ของ SDB (Sub Distribution Board).....	44
รูปที่ 4.1 Single Line Diagram ของระบบ.....	45
รูปที่ 4.2 ตู้ควบคุมหลัก.....	46
รูปที่ 4.3 Single Line Diagram ของ SDB (Sub Distribution Board).....	47
รูปที่ 4.4 ตู้ควบคุมย่อย.....	48
รูปที่ 4.5 การเดินสายเข้าท่อไปต่อที่หม้อแปลง.....	49
รูปที่ 4.6 สายไฟขนาด 240 SQ.MM.....	50
รูปที่ 4.7 การเดินสายไฟบนแลคเคอร์.....	50
รูปที่ 4.8 การเดินสายบนแลคเคอร์ในอาคาร.....	51
รูปที่ 4.9 การติดตั้งหม้อแปลงบนนั้ร้านนอกอาคาร.....	53
รูปที่ 4.10 การติดตั้งหม้อแปลงบนนั้ร้านนอกอาคาร.....	53
รูปที่ 4.11 แผ่นป้ายของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	54
รูปที่ 4.12 ACB (Air Circuit Breaker).....	55
รูปที่ 4.13 MCCB (Molded Case Circuit Breaker).....	56
รูปที่ 4.14 การติดตั้ง Circuit Breaker.....	56
รูปที่ 4.15 Capacitor Bank.....	57
รูปที่ 4.16 หน้าจอแสดงผลของ Power Factor Controller.....	58

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 4.17 จอแสดง Digital Panel Meter.....	58
รูปที่ 4.18 Current Transformer.....	59
รูปที่ 4.19 Magnetic Contactor.....	59
รูปที่ 4.20 บัสบาร์.....	60
รูปที่ 4.21 สายไฟที่หม้อแปลง 24 เส้น.....	61
รูปที่ 4.22 สายไฟจากหม้อแปลงมาที่ MDB 24 เส้น.....	61
รูปที่ 4.23 สายไฟจากหม้อแปลงมาที่ MDB ที่ครบ.....	62
รูปที่ 4.24 การต่อสายเมน สายนิวตรอน สายกราวด์.....	62
รูปที่ 4.25 การต่อสายเมน นิวตรอน สายกราวด์.....	63
รูปที่ 4.26 การต่อสายเมน นิวตรอน สายกราวด์.....	63
รูปที่ 4.27 ติดตั้ง Ground Test Box.....	64
รูปที่ 4.28 เครื่องมือวัด Earth Tester Meter.....	65
รูปที่ 4.29 หลักรัดขนาด 120 ตารางมิลลิเมตร.....	65
รูปที่ 4.30 การต่อหลักดินด้วยชุดเข้าหลอมหลักดิน Exothermic Welding.....	66
รูปที่ 4.31 การต่อหลักดิน.....	66

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ระบบแรงดันและโหลดในการจ่ายไฟของการไฟฟ้า.....	4
ตารางที่ 2.1 อักษรย่อและความหมายของแผ่นป้าย.....	12
ตารางที่ 2.3 ตารางสี Bus bars.....	16
ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของทองแดงและอะลูมิเนียม.....	23
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของฉนวน PVC และ XLPE.....	24
ตารางที่ 2.6 เครื่องหมายการทนไฟ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ.....	27
ตารางที่ 2.7 ขนาดของสายดินสำหรับต่อจากจุดนิวตรอนไปยังหลักดิน.....	35
ตารางที่ 2.8 ขนาดต่ำสุดของสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า.....	36
ตารางที่ 3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	41
ตารางที่ 4.1 อักษรย่อและความหมายของแผ่นป้าย.....	52
ตารางที่ 4.2 การตรวจสอบตู้ MDB.....	66
ตารางที่ 4.3 การตรวจสอบตู้ SDB.....	67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากบริษัท ไทยสโตร์เจ แบริเตอริ จำกัด (มหาชน) กำลังขยายกำลังการผลิตแบตเตอรี่ทำให้ระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมไม่เพียงพอกับโหลดที่ขยายเพิ่มมาใหม่จึงมีความจำเป็นต้องติดตั้งระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มซึ่งประกอบด้วยการติดตั้งหม้อแปลงขนาด 1500 kVA, 24 kV/416-240V ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำมันติดตั้งบนนั่งร้านเดินสายไฟแรงสูงชนิดในท่อร้อยสายเข้ามายังหม้อแปลงและจากหม้อแปลงเข้ามายังตู้ MDB ด้วยสายไฟชนิด XLPE เดินบนแลตเตอร์ตลอดจนติดตั้งตู้ MDB และ SDB ใหม่ ซึ่งทั้งหมดนี้จะต้องใช้อุปกรณ์และการติดตั้งให้เป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงและถูกต้องตามหลักวิชาการ ดังนั้น ระบบดังกล่าวจึงมีความน่าสนใจในการศึกษาและนำมาเสนอในรายงานฉบับนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการทำงานต่างๆ และการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโรงงานอุตสาหกรรม

1.2.2 เพื่อศึกษาหลักการทำงานและการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในตู้ MDB และ SDB ของระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า

1.2.3 เพื่อออกแบบหรือเลือกหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานในระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า

1.2.4 เพื่อออกแบบหรือเลือกอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการติดตั้งตู้ MDB และ SDB

1.2.5 เพื่อสรุปข้อมูลของอุปกรณ์และการติดตั้งระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าใหม่ให้กับทางบริษัท

1.2.6 เพื่อออกแบบหรือเลือกชนิดและขนาดของสายไฟที่ใช้ในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาการทำงานและวิธีการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1500 kVA, 24 kV/416-240V ที่รับไฟจากการไฟฟ้านครหลวง

1.3.2 เลือกและติดตั้งสายไฟของระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า

1.3.3 ทำการเลือกและติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในตู้ MDB

1.3.4 สรุปข้อมูลอุปกรณ์และการติดตั้งระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าใหม่นี้ให้กับทางบริษัท

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้รับความรู้เกี่ยวกับการทำงานและการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโรงงานอุตสาหกรรม

1.4.2 ได้รับความรู้และประสบการณ์เกี่ยวกับการติดตั้งสายไฟในระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า

1.4.3 ได้รับความรู้และประสบการณ์เกี่ยวกับการทำงานและการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในตู้ MDB และ SDB

1.4.4 ได้ข้อมูลอุปกรณ์และการติดตั้งระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้ารวบรวมให้กับบริษัท



บทที่ 2

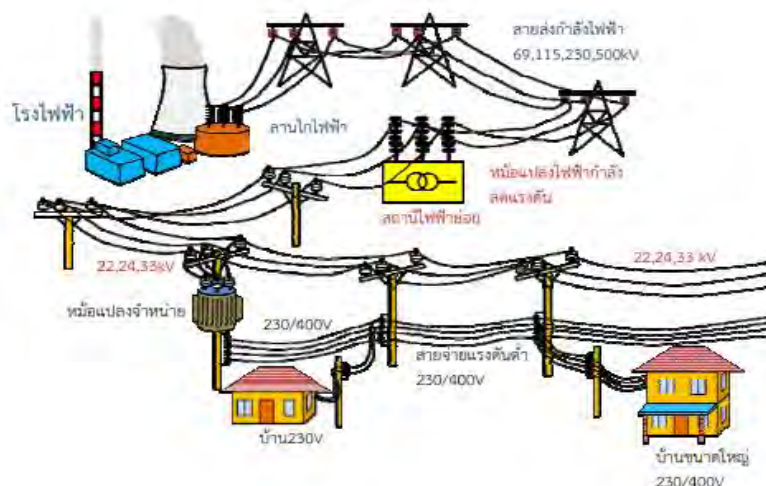
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโรงงานอุตสาหกรรมโดยซื้อหรือรับกำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมถือว่าเป็นผู้ใช้ไฟรายใหญ่ซึ่งมีโหลดที่ใช้ไฟจำนวนมาก จึงมีความจำเป็นที่ต้องติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นของโรงงานเองเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าลงก่อนจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าโรงงานผ่านตู้ไฟหลัก(MDB) และตู้ไฟรอง(SDB) ในการที่จะดำเนินการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้ได้ จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดเหล่านี้เป็นอย่างดี ดังนั้นในบทนี้จะเป็นการอธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการติดตั้งซึ่งได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบ เซอร์คิตเบรกเกอร์ คาปาซิเตอร์แบงก์ สายไฟ บัสบาร์ และรางเดินสายไฟ

2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เป็นอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับของแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นหรือลดลงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการที่ความถี่เท่าเดิมซึ่งอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กผ่านขดลวด และแกนเหล็ก โดยพลังงานไฟฟ้าจะถ่ายเทจากขดลวดด้านจ่ายไฟเข้าหม้อแปลงซึ่งประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ามีอยู่หลายชนิด เช่น หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Power Transformer) หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) หม้อแปลงสำหรับเครื่องมือวัด (Instrument Transformer) ซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกันไปในระบบการส่งและจ่ายพลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งมีระดับแรงดันที่ต้องทำการแปลงอยู่ 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะหม้อแปลงที่ใช้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งก็คือหม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) ซึ่งหม้อแปลงที่เปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าจากระบบ แรงดันปานกลาง (Medium Voltage) แรงดันไม่เกิน 33 kV ไปเป็นระบบแรงดันต่ำ (Low Voltage) เพื่อใช้งานมีขนาดพิกัดเป็น kVA ซึ่งจะแบ่งเป็นระบบ 1 เฟส 2 สาย 1 เฟส 3 สาย และระบบ 3 เฟส 4 สาย



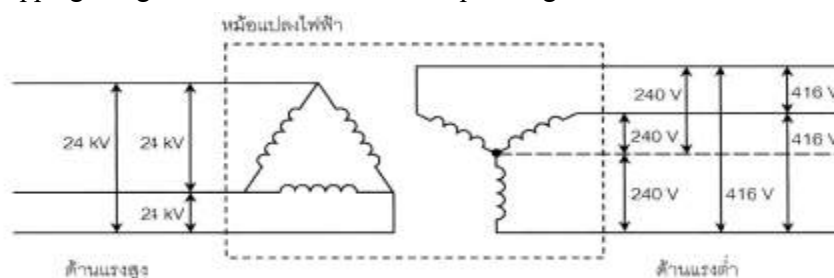
รูปที่ 2.1 แสดงการส่งและจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า

ตารางที่ 2.1 ระบบแรงดันและโหลดในการจ่ายไฟของการไฟฟ้าฯ

ระบบจำหน่าย	กฟน.(MEA)	กฟภ.(PEA)
ระบบแรงสูง	> 15000 kVA 69/115 kV 3Ph 3W	> 10000 kVA 115 kV 3Ph 3W
ระบบแรงกลาง	$\geq 300 - 15000$ kVA 12/24 kV 3Ph 3W	$\geq 250 - 10000$ kVA 22/33 kV 3Ph 3W
ระบบแรงต่ำ	< 300 kVA 240/416 V	< 250 kVA 230/400 V

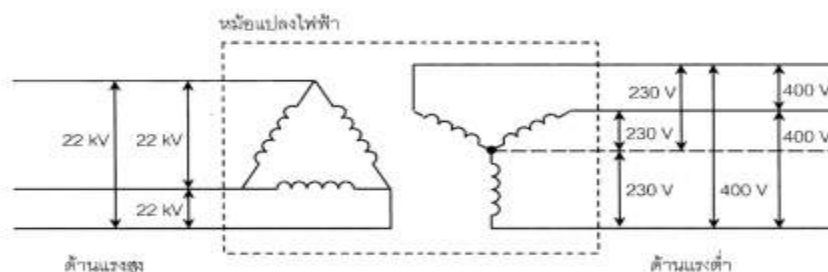
หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีการแปลงระดับแรงดันที่ต่างกันดังนี้

- การไฟฟ้านครหลวง (Metropolitan Electricity Authority ; MEA)
- แรงดันระบบจำหน่าย 24 kV หรือ 12/24 kV และแรงดันใช้งาน 240/415V, 3PH 3W
- Tapping Range: * 4 x 2.5% (Off-Load Tap-Changer on HV Side)



รูปที่ 2.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง

- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (Provincial Electricity Authority ; PEA)
- แรงดันระบบจำหน่าย 22 kV หรือ 33 kV และแรงดันใช้งาน 230/400V, 3PH 3W
- Tapping Range: * 2 x 2.5% (Off-Load Tap Changer on HV Side)



รูปที่ 2.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

- มาตรฐานหม้อแปลงไฟฟ้ามีดังต่อไปนี้
- 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 60076-1,2004 Part 11 : Dry-type Transformer
- IEEE C57.12.00-2000
- General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power and Regulating Transformers

2.2.1 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ หม้อแปลงแบบใช้ของเหลว (Liquid-Immersed Transformers) และหม้อแปลงแบบแห้ง (Dry-Type Transformers)

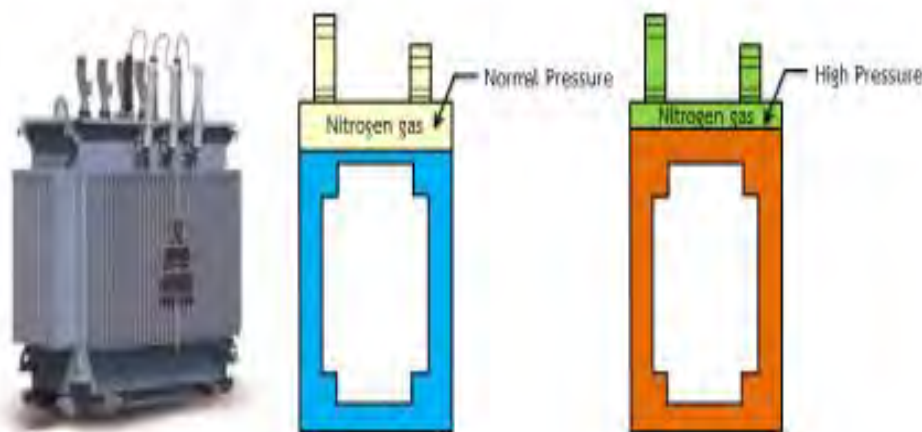
2.2.1.1 หม้อแปลงแบบใช้ของเหลว (Liquid - Immersed Transformers) เป็นหม้อแปลงที่ใช้ของเหลวเป็น ฉนวนและตัวระบายความร้อนแบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

(1) หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้ (Flammable Liquid - Insulated Transformer) หรือเรียกว่า หม้อแปลงน้ำมัน (Oil Type Transformer) เป็นหม้อแปลง ที่ใช้น้ำมันหม้อแปลงเป็นฉนวน และเป็นตัวระบายความร้อนด้วย ซึ่งน้ำมันหม้อแปลงมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ราคาถูก การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก นิยมใช้กับงานภายนอกอาคาร ถ้านำมาติดตั้งภายในอาคารต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง เนื่องจากน้ำมันสามารถติดไฟได้โดยมีจุดติดไฟ (Fire Point) ที่ 165 °C หม้อแปลงน้ำมัน ยังแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

- แบบมีถังพัก (Open Type with Conservator) เป็นหม้อแปลงในระบบจำหน่ายชนิด คั้งเดิม ซึ่งนิยมใช้มานานระบายความร้อนด้วยน้ำมันและมีท่อให้อากาศผ่านเข้าออกได้นอกจากนี้ยังมีสารซิลิกาเจล (Silica Gel) สีฟ้าใสเป็นตัวช่วยดูดความชื้น และเป็นตัวบ่งบอกความเป็นฉนวนของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า

- แบบที่มีตัวถังปิดสนิท (Hermetically Sealed Tank) ในปัจจุบันได้มีการใช้หม้อแปลงที่มีตัวถังปิดสนิทมากขึ้น เนื่องจากหม้อแปลงแบบนี้ไม่มีถังพักไม่ต้องมีซิลิกาเจลไม่ต้องบำรุงรักษา จึงสามารถป้องกันความชื้นได้อย่างสมบูรณ์และเพื่อรองรับการขยายตัวของน้ำมันขณะจ่ายโหลดหรือเกิดจากการลัดวงจรและหม้อแปลงปิดสนิทมีการออกแบบเป็น 2 ลักษณะได้แก่

(ก) หม้อแปลงปิดสนิทแบบใช้ก๊าซไนโตรเจน หม้อแปลงแบบนี้จะอัดก๊าซไนโตรเจนเข้าเหนือน้ำมันเพื่อให้มีที่ว่างสำหรับการขยายตัวของน้ำมัน



รูปที่ 2.4 หม้อแปลงปิดสนิทแบบใช้ก๊าซไนโตรเจน

(๗) หม้อแปลงปิดฉนวนแบบผนังลอนคลื่น (Corrugated Tank) หม้อแปลงแบบนี้จะออกแบบให้ผนังสามารถระบายความร้อนด้วยลอนคลื่นขณะเดียวกันตัวถังสามารถยืดหยุ่นได้เพื่อรองรับการขยายตัวของน้ำมันในหม้อแปลงซึ่งในปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากราคาถูก การบำรุงรักษาน้อยลงและความชื้นภายนอกไม่มีโอกาสเข้าสู่ภายในหม้อแปลง



รูปที่ 2.5 หม้อแปลงปิดฉนวนแบบผนังลอนคลื่น

(2) หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟยาก (Less Flammable Liquid Insulatard Transformer) เป็นหม้อแปลงที่ใช้ของเหลวที่ติดไฟยากเป็นฉนวนและระบบความร้อน โดยทั่วไปนิยมใช้สารซิลิโคน (Silicone) ซึ่งมีจุดติดไฟที่อุณหภูมิไฟไม่ต่ำกว่า 300°C ไม่เป็นพิษต่อบุคคลและสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันมีใช้น้อยแต่มีความปลอดภัยสูงกว่าหม้อแปลงน้ำมันและหม้อแปลงชนิดนี้อนุญาตให้ติดตั้งภายในอาคารได้ตามข้อกำหนด

(3) หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ (Non- Flammable Fluid - Insulatard Transformer) เป็นหม้อแปลงที่มีการใช้น้ำมันน้อยมากและมีการราคาแพงเพราะต้องระมัดระวังการนำฉนวนไม่ติดไฟมาใช้เนื่องจากอาจเป็นพิษต่อบุคคลได้

2.2.1.2 หม้อแปลงชนิดแห้ง (Dry – type Transformer) เป็นหม้อแปลงที่ใช้ฉนวนเป็นของแข็ง นิยมใช้ติดตั้งภายในอาคารมีความปลอดภัยจากการเกิดไฟไหม้สูง เนื่องจากหากหม้อแปลงเกิดระเบิดขึ้นจะไม่มีส่วนที่ติดไฟ หม้อแปลงชนิดนี้มีทั้งชนิดที่เป็นฉนวนเรซินแข็ง (Cast Resin) และฉนวนอากาศ (Air Cooled) แต่ที่นิยมใช้กันมากคือหม้อแปลง Cast Resin ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่มีระหว่างขดลวดอัดด้วย Cast Resin Reinforced Glass Fiber ซึ่ง Resin มีคุณสมบัติติดไฟได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 350°C ทำให้หม้อแปลงชนิดนี้ติดไฟยาก ฉนวน Resin ต้องไม่เป็นพิษต่อบุคคลและสิ่งแวดล้อม รวมถึงต้องอยู่ในสิ่งห่อหุ้ม (Enclosure) ด้วย



รูปที่ 2.6 หม้อแปลงชนิดแห้ง (Dry – type Transformer) และสิ่งห่อหุ้ม

2.2.2 ส่วนประกอบของหม้อแปลง

- (1) ส่วนประกอบของหม้อแปลงน้ำมัน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งประกอบด้วย
 - แกนเหล็ก (Magnetic Core) เป็นแผ่นเหล็กซิลิคอนบางๆ วางเรียงซ้อนกันยึดด้วยแคลมป์บน-ล่าง ทำหน้าที่เป็นวงจรแม่เหล็ก
 - ขดลวดแรงสูง-แรงต่ำ (High voltage - Low Voltage Winding) เป็นลวดทองแดงกลม/แบน เคลือบน้ำยาหรือหุ้มกระดาษฉนวนพันรอบแกนเหล็ก ขดลวดรับแรงสูงสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเหนี่ยวนำขดลวดแรงต่ำ ทำหน้าที่เป็นวงจรไฟฟ้า
 - แท็ปปรับแรงดัน (Tap Changer) เป็นชุดสวิตช์เปลี่ยนเพิ่ม/ลด จำนวนขดลวดแรงสูงเพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าด้านจ่ายหรือแรงต่ำให้เหมาะสมกับการใช้งาน
 - สายไฟและบัสบาร์ (Cable and Busbar) เป็นสายไฟและบัสบาร์ทองแดงเชื่อมต่อเข้ากับชุดแท็ปขดลวดแรงสูงเชื่อมต่อปลายขดลวดแรงสูง-ต่ำระหว่างเฟสและปลายขดลวดกับแกน ลูกถ้วยเพื่อเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าภายนอก
 - น้ำมันหม้อแปลง (Transformer Oil) เป็นน้ำมันแร่ผสมทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและระบายความร้อนของขดลวดและแกนเหล็ก
 - ถังและครีป (Tank and Fin) เป็นโลหะเชื่อมขึ้นรูปบรรจุส่วนประกอบภายในหม้อแปลงและน้ำมันหม้อแปลง มีครีปหรือลอนลูกฟูกสำหรับระบายความร้อนหรือรองรับการขยายตัวของน้ำมันหม้อแปลงชนิดปิด
 - ลูกถ้วยแรงสูง-แรงต่ำ (HV-LV Bushing) เป็นเซรามิกฉนวนมีแกนนำอยู่ภายในสำหรับเชื่อมต่อสายวงจรไฟฟ้าภายในตัวหม้อแปลงกับภายนอก

- ถังพักน้ำมัน (Conservator Tank) อยู่เหนือถังหม้อแปลง มีหน้าที่สำรองในถังลดหรือเพิ่มจากการขยายตัวของหม้อแปลงที่มีถังพัก (เฉพาะหม้อแปลงแบบมีถังพัก)
- ระดับน้ำมัน (Oil Level Gauge) เป็นเกจี่แสดงระดับน้ำมันซึ่งอาจมีลักษณะเป็นร่อง เป็นท่อ หรือเข็มหน้าปัด หม้อแปลงชนิดปิดจะมีลูกลอยชี้บอกการมีอยู่ของน้ำมัน
- อุปกรณ์ระบายความดันหรือท่อกันระเบิด (Pressure-Relief Device) เป็นกลไกสปริงเมื่อ ความดันภายในหม้อแปลงสูงจนชนะแรงสปริง ความดันจะระบายออก
- บุคโฮลซรีเลย์ (Buchholz Relay) เป็นอุปกรณ์ป้องกันทำหน้าที่เตือนหรือตัดวงจรเมื่อเกิดเหตุผิดปกติภายในหม้อแปลง(เฉพาะหม้อแปลงแบบที่มีถังพัก)
- ขั้วต่อสายแรงสูง-แรงต่ำ (HV-LV Terminal) เป็นที่ต่อสายระหว่างแกนลูกถ้วยหม้อแปลงกับสายแรงสูงเข้าและแรงต่ำออกไปใช้งาน
- ถ่อฟ้าหรืออาร์คชิ่งฮอร์น (Arcing Horn) เป็นอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงมิให้ชำรุดเสียหายจากภาวะแรงดันเกินที่เกิดจากฟ้าผ่า
- เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer Pocker) เป็นตัววัดอุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลง
- ที่ต่อสายดิน (Earthing Terminal) เป็นจุดที่ต่อสายจากตัวถังลงสู่ดินเพื่อความปลอดภัยจากไฟรั่ว ลัดวงจร ฟ้าผ่า
- วาล์วถ่ายน้ำมัน (Oil Drain Valve) เป็นวาล์วเปลี่ยนถ่ายน้ำมันออกจากน้ำมันหม้อแปลงหรือเป็นวาล์วเปิดเก็บตัวอย่างน้ำมันทดสอบ



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของหม้อแปลงน้ำมัน

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

(2) ส่วนประกอบของหม้อแปลงแห้ง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งประกอบด้วย

- แกนเหล็ก (Magnetic Core) แกนเหล็กของหม้อแปลงชนิดนี้จะทำด้วยแผ่น Laminations of Grain Oriented Silicon Steel นำมาตัดออกเป็นมุม 45 องศา แล้วประกอบเรียงเข้าด้วยกันอย่างพิถีพิถันเพื่อให้ได้ Core Loss ต่ำและอาบแกนเหล็กที่ประกอบขึ้นด้วย Resin และทาสีเพื่อป้องกันการกัดกร่อน
- ขดลวดแรงสูง (HV) ตัวนำทำจากลวดกลม (Round Winding) หรือเป็นแผ่นตัวนำ (Strip Foil) และตัวนำสามารถใช้ได้ทั้งทองแดงและอลูมิเนียมตามมาตรฐานผู้ผลิต โดยจะมีฉนวนหุ้มระหว่างรอบตัวนำและจะมี Glass Fiber ขึ้นกลางเพื่อให้เกิดความแข็งแรงทางกลเพิ่มขึ้น ฉนวนที่ใช้จะเป็น Class F หรือ Class H ขดลวดที่ได้นี้จะนำไปหล่อด้วย Resin ภายใต้อุณหภูมิสูงเพื่อให้สาร Resin ไตร่ไปทุกส่วนและไม่ให้มีฟองอากาศ
- ขดลวดแรงต่ำ (LV) จะเป็นขดลวดที่จ่ายไฟให้กับโหลด ตัวนำที่ใช้ขดลวดแรงต่ำอาจใช้ทองแดงหรืออลูมิเนียมซึ่งมีรูปแบบเป็นแบบลวดกลม (Round Winding) หรือแผ่นตัวนำ (Strip Foil) คล้ายแรงสูงซึ่งส่วนใหญ่จะใช้แผ่นตัวนำเพราะสามารถกระจายกระแสไฟฟ้าได้ สมำเสมอ ฉนวนที่ใช้จะเป็น Class F (155°C) หรือ Class H (180°C)

- อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เช่น ขั้วต่อสาย อุปกรณ์ปรับแท๊ป ฉนวนรองรับขดลวด ขั้วต่อสายดิน เหล็กประกบกับแกนเหล็ก ชุดล้อเลื่อน



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของหม้อแปลงแห้ง

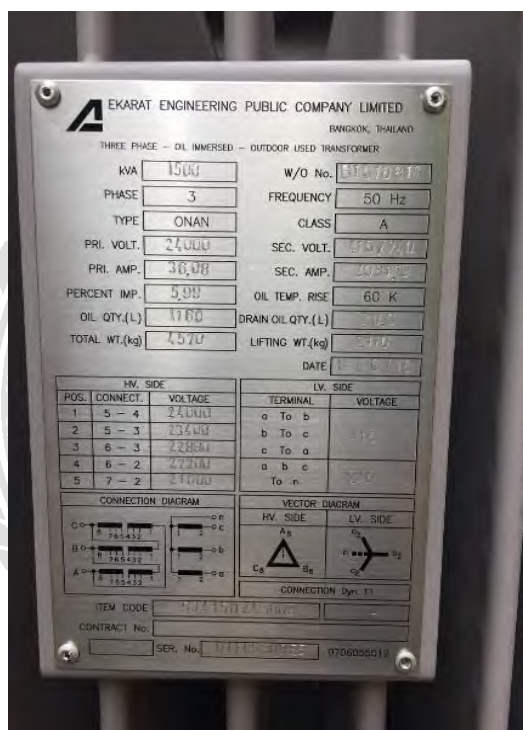
1. Core (แกนเหล็กของหม้อแปลง)
2. Low Voltage Winding (ขดลวดแรงต่ำ)
3. High Voltage Winding (ขดลวดแรงสูง)
4. High Voltage Terminal (ขั้วต่อสายแรงสูง)
5. High Voltage Delta Connection (บาร์ต่อวงจรเดลต้าด้านขดลวด)
6. High Voltage Tapping (อุปกรณ์ปรับแท๊ปขณะไม่จ่ายไฟด้านแรงสูง)
7. Low Voltage Terminal (ขั้วต่อสายแรงต่ำ)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

แผ่นป้ายของหม้อแปลงไฟฟ้า (Name plate) จะติดอยู่ที่ด้านข้างของตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้าด้านใดด้านหนึ่ง ซึ่งจะใช้เป็นตัวบ่งบอรายละเอียดเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้าและเพื่ออ้างอิงกับทางบริษัทฯ ผู้ผลิต เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกัน โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อักษรย่อและความหมายของแผ่นป้าย

ลำดับ	อักษรย่อ	ความหมาย
1	KVA	ขนาดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เป็นกิโลโวลท์-แอมแปร์
2	PHASE	จำนวนเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้าอาจเป็นชนิด 1 เฟส หรือ 3 เฟส
3	FREQUENCY	ความถี่ของระบบไฟฟ้าในการใช้งาน
4	TYPE	ระบบการระบายความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้า
5	CLASS	ชนิดของฉนวนที่ใช้ในการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า
6	PRI. VOLT.	แรงดันที่กำหนดทางด้านแรงสูงหรือปฐมภูมิ
7	SEC. VOLT.	แรงดันที่กำหนดทางด้านแรงต่ำหรือทุติยภูมิ
8	PRI. AMP.	กระแสไฟฟ้าที่กำหนดทางด้านแรงสูง
9	SEC. AMP.	กระแสไฟฟ้าที่กำหนดทางด้านแรงต่ำ
10	PERCENT IMP	ค่าอิมพีแดนท์โวลท์เทจ ที่เทียบเป็นร้อยละ
11	OIL TEMP. RISE	ค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำมันที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับอุณหภูมิโดยรอบขณะใช้งานที่ 100%
12	OIL QTY.(L)	ปริมาณของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งหมด
13	DRAIN OIL QTY.(L)	ปริมาณน้ำมันที่ต้องถ่ายออกในขั้นตอนการผลิต (ข้อมูลนี้ใช้สำหรับ หม้อแปลงไฟฟ้าแบบเติมน้ำมันเต็มเท่านั้น)
14	TOTAL WR. (KG)	น้ำหนักรวมของหม้อแปลงไฟฟ้า
15	LIFTING WT.(KG)	น้ำหนักของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ไม่รวมน้ำหนักตัวถังและน้ำมัน
16	VOLTAGE AND TAP POSITION	ค่าความสัมพันธ์ของแรงดันด้านแรงสูงและแรงต่ำ ตามตำแหน่งแท็ป ต่างๆ

17	CONNECTION DIAGRAM	แผนภูมิแสดงตำแหน่งของขั้วต่างๆ ทั้งด้านปฐมภูมิและทุติย ภูมิ
18	VECTOR DEAGRAM	แผนภูมิแสดงความแตกต่างของมุมเฟส ระหว่างด้านแรงสูง และแรงต่ำ
19	ITEM CODE	รหัสของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละชนิดที่ใช้สำหรับงานออกแบบ
20	SERIAL NUMBER	หมายเลขเครื่องที่บ่งบอกหรืออ้างอิงถึงหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละ เครื่อง เพื่อใช้ในการติดต่อตัวแทนขายหรือศูนย์บริการ



รูปที่ 2.9 แผ่นป้ายหม้อแปลง 1500 KVA

2.2.3 อุปกรณ์ประกอบหม้อแปลง

- ฟิวส์ (Fuse) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันระบบหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าจากภาวะการลัดวงจร (Short Circuit) หรือกระแสเกิน (Over Load) จะมีทั้งฟิวส์ด้านแรงสูง (ติดตั้งด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง) และฟิวส์ ด้านแรงต่ำ (ติดตั้งด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง) ขนาดฟิวส์แรงสูงตามมาตรฐาน EEI-NEMA คือ 1, 2, 3, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 65, 80, 100, 140, 200 A



รูปที่ 2.10 ฟิวส์แรงสูง (Dropout Fuse)

- กั๊บดีกฟ้าผ่า (Lightning Arrester) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันอุปกรณ์หรือระบบและสายส่งไม่ให้ได้รับความเสียหายจากภาวะแรงดันเกิน (Over Voltage) ที่เกิดจากฟ้าผ่าหรือการปลดสับสวิตช์



รูปที่ 2.11 กั๊บดีกฟ้าผ่า (HV. Arrester)

2.3 แผงควบคุมไฟฟ้า

แผงควบคุมไฟฟ้ามีความจำเป็นอย่างยิ่งในการป้องกันระบบไฟฟ้าภายในอาคาร สำนักงาน ไปจนถึงโรงงานขนาดใหญ่ อันที่จะสร้างความเสียหายให้แก่ชีวิตและทรัพย์สินได้รวมไปถึงการตัดตอนวงจรในการบำรุงรักษาและซ่อมแซม ระบบไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย แผงควบคุมไฟฟ้าหลัก MDB (Main Distribution Board) และแผงควบคุมไฟฟ้ารอง SDB (Sub Distribution Board)

(1) แผงควบคุมไฟฟ้าหลัก (Main Distribution Board, MDB)

แผงควบคุมไฟฟ้าหลัก (MDB) เป็นแผงจ่ายไฟขนาดใหญ่ ที่ใช้ในอาคารที่ใช้ในอาคารขนาดใหญ่ กลางถึงขนาดใหญ่และในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีการใช้ไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก สามารถแสดงตัวอย่างของลักษณะตู้ MDB นี้ได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ตู้ MDB (Main Distribution Board)

หน้าที่ของ MDB คือนำไฟฟ้าที่รับมาจากหม้อแปลง แล้วทำการจ่ายไฟไปยังโหลดผ่านไปทางแผงจ่ายไฟย่อยในส่วนต่างๆ ของอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมโดยตู้ MDB มีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

(1) โครงตู้ (Enclosure) เป็นส่วนประกอบหลักทำหน้าที่ยึดตัวอุปกรณ์ต่างๆ ไว้ภายใน และป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่จะทำอันตรายต่อผู้อยู่ใกล้ และป้องกันสิ่งต่างๆ ที่จะทำความเสียหายให้กับตัวอุปกรณ์ภายในได้ เช่น สัตว์เลื้อยคลาน วัตถุแข็งและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสียหาย โครงตู้ทำขึ้นจากโลหะแผ่นนำมาประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างสามารถเปิดฝาตู้ได้ทั้งสี่ด้าน หรือด้านเดียวก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและการใช้งานเป็นหลัก

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

(2.1) บัสบาร์แบบเปลือย

(2.2) บัสบาร์แบบทาสี / หุ้มด้วยพลาสติก

(2.3) บัสบาร์ชุบดินบุก

Bus bars ภายในตู้ให้ทาสีหรือพ่นสีด้วยสีทนความร้อน เพื่อระบุเฟสแสดงได้ดังตารางที่ 2.3 ตารางที่ 2.3 ตารางสี Bus bars มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย กำหนดเมื่อปี 2556

Bus bars	สี 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 (Mold Case Circuit Breaker) โดย ACB จะใช้เป็นเมนเบรกเกอร์ในวงจรและ MCCB ใช้เป็นเบรกเกอร์ย่อยของวงจร หรือใช้เป็นเมนเบรกเกอร์ในตู้ MDB ที่มีขนาดเล็ก การเลือกใช้งานเบรกเกอร์ควรเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานถูกต้องอ้างอิงตามหลักวิศวกรรม

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

(5) อุปกรณ์ป้องกัน (Protection Unit) อุปกรณ์ที่ป้องกันที่ใช้ในตู้ MDB เช่น อุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้า และ ไฟกระชอก (Surge Arrester, Surge Protection) เฟสโปรเทกชัน (phase protection) อุปกรณ์ป้องกันปัญหาทางด้านแรงดันในเฟสไฟตก + ไฟเกิน + ไฟในเฟสเสียหายแบบจับปล้น, Under Voltage ก็แปลตามตัว คือถ้าไฟตก สัมผัส วงจร หรือนำคอนแทคไปใช้งานอย่างอื่น

(6) อุปกรณ์ประกอบ (Accessories) เพื่อให้ตู้ MDB มีความสะดวกในการใช้งานจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ประกอบอื่นๆเพิ่มเติม เช่น CT (Current Transformer) ใช้ต่อร่วมกับแอมป์มิเตอร์เพื่อใช้วัดค่าฟลักกระแสแต่ละเฟส Selector Switch ใช้ต่อร่วมกับโวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์ เพื่อวัดแรงดันและกระแสในแต่ละเฟสพิกัด Pilot Lamp เพื่อแสดงให้เห็นทราบว่าตู้ MDB ทำงานอยู่หรือไม่

(7) อุปกรณ์อื่น เช่น Wattmeter ,Power Factor Meter , kWh Meter , Capacitor Bank , ATS (Automatic Transfer Switch = ใช้กับการตัดต่อวงจรของหม้อแปลงที่รับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีที่ต้องการใช้กำลังไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง) ตู้MDB ส่วนมากจะมีขนาดใหญ่ดังนั้นในการติดตั้งในอาคารจึงมักติดตั้งวางบนพื้น โดยจะต้องทำฐานคอนกรีตสำหรับวาง ตู้ MDB และทำช่องสำหรับวางสายไฟฟ้าด้วย

(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

2.13



รูปที่ 2.13 ตู้ SDB (Sub Distribution Board)

2.4 เซอร์กิตเบรกเกอร์

อุปกรณ์ที่ทำงานเปิดและปิดวงจรไฟฟ้าแบบไม่อัตโนมัติ แต่สามารถเปิดวงจรอัตโนมัติ ถ้ามีกระแสไหลผ่านเกินกว่าที่กำหนดโดยไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

2.4.1 แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Air Circuit Breaker, ACB)

แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์หรือ ACB เป็นเบรกเกอร์ขนาดใหญ่ มีความแข็งแรง ทนทานต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูง มีพิกัดกระแสไฟฟ้าสูงถึง 6300 A ทำให้ราคาของเบรกเกอร์ ACB มีราคาแพง และนับว่าเป็นเบรกเกอร์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในเบรกเกอร์แรงดันไฟฟ้าต่ำ (LV) ส่วนมากใช้เป็น Main เบรกเกอร์ในวงจรไฟฟ้า ถูกติดตั้งไว้ในตู้ MDB เบรกเกอร์ ACB จะมีทั้งแบบติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Type) และแบบถอดออกได้ (Drawout Type) เบรกเกอร์ชนิดนี้สามารถเพิ่มอุปกรณ์เสริมต่างๆ เข้าไปได้ตามความต้องการ ต่างจากเบรกเกอร์ MCCB ที่จะเพิ่มอุปกรณ์เข้าไปภายหลังไม่ได้ เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ป้องกันสายเมน นิยมใช้กับงานแรงดันสูงๆ (HVAC) โครงสร้างทั่วไปทำด้วยเหล็กมีช่องดับอาร์ก (Arcing Chamber) ที่ใหญ่และแข็งแรงเพื่อให้สามารถรับกระแสลัดวงจรจำนวนมากได้ ส่วนใหญ่จะมีหลักการทำงานโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจจับและวิเคราะห์กระแสเพื่อสั่งปลดวงจร ลักษณะของแอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ACB (Air Circuit Breaker)

2.4.2 โมลด์เคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Molded Case Circuit Breaker, MCCB)

โมลด์เคสเซอร์กิตเบรกเกอร์หรือ MCCB เป็นเบรกเกอร์ชนิดหนึ่งที่เป็นทั้งสวิตช์เปิด-ปิด วงจรไฟฟ้า และเปิดวงจรเมื่อมีกระแสเกินหรือไฟลัดวงจร เบรกเกอร์ชนิดนี้ใช้กับกระแสไฟตั้งแต่ 100–2,300 A เหมาะกับติดตั้งในอาคารขนาดใหญ่หรือโรงงานอุตสาหกรรม ติดตั้งในพานะเลบอร์ดลักษณะของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ MCCB สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.15

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



รูปที่ 2.15 MCCB (Molded Case Circuit Breaker)

2.4.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์ลูกย่อย (Miniature Circuit Breaker, MCB)

เซอร์กิตเบรกเกอร์ลูกย่อยหรือ MCB เป็นเบรกเกอร์ชนิดหนึ่ง มีขนาดเล็ก สำหรับใช้ในบ้านหรืออาคารที่มีกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 100 A มีทั้งขนาด 1, 2, 3 และ 4 Pole ใช้ได้กับระบบไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส เบรกเกอร์ลูกย่อย MCB มี 2 แบบที่นิยมใช้กันคือ Plug-on และ DIN-rail ในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้แบบ Plug-on ที่รู้จักกันมากคือเบรกเกอร์ลูกย่อย MCB Square D ของ Schneider Electric เบรกเกอร์ลูกย่อย MCB ส่วนมากใช้ติดตั้งภายในอาคาร ใช้ติดตั้งเป็นอุปกรณ์ป้องกันร่วมกับแผงจ่ายไฟฟ้าย่อย (Load Center) หรือแผงจ่ายไฟฟ้าในห้องพักอาศัย (Consumer Unit) มีฟังก์ชันกระแสลัดวงจรต่ำเป็นเบรกเกอร์ชนิดที่ไม่สามารถปรับตั้งค่ากระแสลัดวงจรได้และส่วนใหญ่จะอาศัยกลไกการปลดวงจร

ในรูปแบบ Thermal และ Magnetic เบรกเกอร์ลูกย่อย MCB ที่เป็นที่รู้จักกันดี เช่น เบรกเกอร์ MCB Square D ของแบรนด์ Schneider ที่จะพบบ่อยตามบ้านเรือนคนไทย นอกจากนี้ยังมีเบรกเกอร์ MCB Schneider รุ่นอื่นๆ อีกมากมายที่ได้รับความนิยม และเบรกเกอร์ MCB ของ ABB จะถูกติดตั้งในตู้คอนซูมเมอร์ ยูนิต หรือตู้โหลดเซ็นเตอร์ ลักษณะของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ MCB สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 MCB (Miniature Circuit Breaker)

2.5 Capacitor Bank

เพื่อป้องกันค่า Power Factor ของระบบไม่ให้ต่ำกว่า 0.85 ตามกฎของการไฟฟ้าท้องถิ่น จึงต้องติดตั้งระบบ Automatic Var Regulator ซึ่งมีขนาดและจำนวนตามที่ระบุในแบบ โดยมี รายละเอียดของ 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 ในแต่ละ เฟส 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 ใน กรณีที่เป็น HRC Fuse จะต้องมีการมี Auxiliary Contact เพื่อสั่งยกเลิกการทำงานของ Step นั้นทันทีถ้า Fuse เฟสใดเฟสหนึ่งขาด
6. มีอุปกรณ์ Three Phase Filter Reactors 7% Detuned

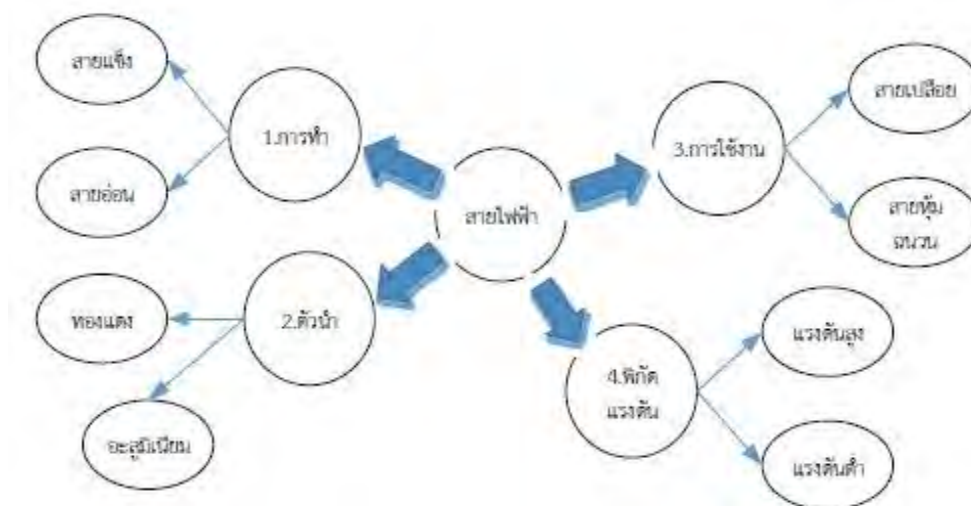


รูปที่ 2.17 capacitor bank

2.6 สายไฟฟ้า

สายไฟฟ้ามีหน้าที่สำหรับนำพลังงานไฟฟ้า จากแหล่งจ่ายไฟไปยังบริษัทไฟฟ้าต่างๆ ในปัจจุบันได้มีผู้ผลิตสายไฟฟ้ามากมายหลายชนิด ตามความต้องการสำหรับการติดตั้งสายไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ ดังนั้นการเลือกใช้สายไฟฟ้าเพื่อให้มีความเหมาะสมปลอดภัย ประหยัด และเชื่อถือได้ จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลายประการด้วยกัน ได้แก่ ความเหมาะสม กับสภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง ความสามารถในการนำกระแสของตัวนำ ขนาดแรงดันตกที่เกิดขึ้น ความสามารถในการทนต่อความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งในขณะใช้งานปกติและขณะเกิดการลัดวงจร

2.6.1 ชนิดและการใช้งานของสายไฟฟ้า



รูปที่ 2.18 ชนิดและการใช้งานของสายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะต่างๆ ได้ดังนี้

- (1) แบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 2 แบบได้แก่
 - สายแข็ง (SOLID WIRE)
 - สายอ่อน (STRANDED WIRE)
- (2) แบ่งตามชนิดของวัสดุตัวนำ 2 ชนิดได้แก่
 - สายทองแดงมีความบริสุทธิ์ของทองแดง 98%
 - สายอลูมิเนียมมีความบริสุทธิ์ของอลูมิเนียม 99.3%
- (3) แบ่งตามลักษณะการใช้งานเป็น 2 แบบได้แก่
 - สายเปลือย (BARE WIRE)
 - สายหุ้มฉนวน (INSULATED WIRE)
- (4) แบ่งตามพิกัดแรงดันสายไฟฟ้า มี 2 ประเภทได้แก่
 - สายไฟฟ้าแรงดันสูง
 - สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

2.6.2 ส่วนประกอบของสายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนได้แก่ ตัวนำ ฉนวน และเปลือก

(1) ตัวนำ



ของสายไฟฟ้าทำมาจากโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูง อาจอยู่ในรูปของตัวนำเดี่ยว (Solid) หรือตัวนำตีเกลียว (Strand) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวนำเล็กๆ ตีเข้าด้วยกันเป็นเกลียวซึ่งมีข้อดีคือ การนำกระแสต่อพื้นที่ของสายไฟฟ้าสูงขึ้น เนื่องจาก ผลของ Skin Effect ลดลง และการเดินสายทำได้ง่าย เพราะมีความอ่อนตัวกว่า โลหะที่นิยมใช้เป็นตัวนำใช้ผลิตสายไฟฟ้าได้แก่ ทองแดง อลูมิเนียม โดยโลหะทั้งสองชนิดมีข้อดีข้อเสียต่างกันไปตามแต่ลักษณะของงาน

ทองแดงเป็นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงมาก มีความแข็งแรง เหนียว ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี แต่มีข้อเสียอยู่คือ มีน้ำหนักมากและราคาสายไฟฟ้าสูง จึงไม่เหมาะสำหรับงานด้านไฟแรงดันสูง แต่จะเหมาะกับการใช้งานสายไฟฟ้าโดยทั่วไป โดยเฉพาะสายไฟฟ้าในอาคาร

อลูมิเนียม เป็นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงรองจากทองแดง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีกระแสเท่ากันแล้ว พบว่า สายไฟฟ้าอลูมิเนียมจะมีน้ำหนักเบาและราคาสายไฟฟ้าถูกกว่าราคาสายไฟฟ้าทองแดง จึงเหมาะกับการเดินสายไฟนอกอาคารและแรงดันสูงถ้าทั้งอลูมิเนียมไว้ในอากาศจะเกิดออกไซด์ของอลูมิเนียม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนฟิล์มบางๆ เกาะตามผิว ช่วยป้องกันการสึกกร่อน แต่

จะมีข้อเสียคือ ทำให้การเชื่อมต่อทำได้ยาก สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของทองแดงและอลูมิเนียมได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของทองแดงและอะลูมิเนียม

คุณสมบัติ	ทองแดง	อะลูมิเนียม
ความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์	100	61
สภาพความต้านทานไฟฟ้าที่ 20 °C ($m\Omega \times 10^{-8}$)	1.724	2.803
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (per °C $\times 10^{-6}$)	17	23
จุดหลอมเหลว (°C)	1083	659
ความนำความร้อน (W / cm °C)	3.8	2.4
ความหนาแน่นที่ 20 °C (g/cm^3)	8.89	2.7

(2) ฉนวน

ฉนวนของสายไฟฟ้าทำหน้าที่ห่อหุ้มตัวนำ เพื่อป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างตัวนำหรือระหว่างตัวนำกับส่วนที่ต่อลงดิน และป้องกันตัวนำจากผลกระทบทางกลและเคมีต่างๆ ในระหว่างที่ตัวนำ นำกระแสไฟฟ้าจะเกิดพลังงานสูญเสีย ในรูปของความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปยังเนื้อฉนวน ความสามารถในการทนต่อความร้อนของฉนวนจะเป็น ตัวกำหนดความสามารถในการทนความร้อนของสายไฟฟ้านั้นเอง การเลือกใช้ชนิดของฉนวนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิใช้งาน ระดับแรงดันของระบบ และสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง วัสดุที่นิยมใช้เป็นฉนวนอุณหภูมิใช้งาน ระดับแรงดันของระบบ และสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง วัสดุที่นิยมใช้เป็นฉนวนสายไฟฟ้ามากที่สุด คือ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Cross linked Polyethylene (XLPE) ฉนวน XLPE มีความแข็งแรง ทนต่อความร้อนและถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าฉนวน PVC ปัจจุบันจึงมีการใช้ฉนวน XLPE เพิ่มมากขึ้น สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของฉนวน PVC และ XLPE ได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของฉนวน PVC และXLPE

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 °C)	3.5	8
ความทนทานต่อแรงดึง (kg / mm ²)	2.5	3

จะเห็นว่าฉนวน XLPE มีความแข็งแรงทนต่อความร้อนและถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าทำให้มีความนิยมที่ฉนวนชนิด XLPE

(3) เปลือก

เปลือกทำหน้าที่หุ้มแกนหรือหุ้มสายไฟฟ้าชั้นนอกสุด เปลือกของสายไฟฟ้าอาจจะมี 1 หรือ 2 ชั้นก็ได้เพื่อป้องกันความเสียหายทางกายภาพที่อาจเกิดขึ้นในขณะติดตั้งหรือใช้งาน การเลือกใช้ชนิดของเปลือกสายไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง วัสดุ ที่นิยมทำเป็นเปลือกสายไฟฟ้ามากที่สุด คือ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Polyethylene (PE) ส่วนกรณีสายไฟฟ้าที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษก็อาจใช้วัสดุ เช่น Flame Retardant Polyvinyl Chloride (FR-PVC) หรือ Low Smoke Halogen Free (LSHF) ก็ได้

2.6.3 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ เป็นสายไฟฟ้าที่ใช้ได้กับแรงดันไม่เกิน 1000 V มีลักษณะเป็นสายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวน โดยที่ตัวนำสำหรับสายไฟฟ้านี้อาจจะใช้ทองแดงหรืออะลูมิเนียมแต่ที่นิยมใช้สำหรับสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ คือ สายทองแดงสายไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีลักษณะเป็นตัวนำดีเกลียวแต่ถ้าเป็น

สายไฟฟ้าขนาดเล็ก ตัวนำก็จะเป็นตัวนำเดี่ยววัสดุฉนวนที่นิยมใช้กับ สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ ได้แก่ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Cross-linked Polyethylene (XLPE)

(1) สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC สายไฟฟ้าชนิดนี้แล้วจะมีตัวนำที่ใช้วัสดุเป็น อะลูมิเนียม และหุ้มด้วยฉนวน PVC โดยอาจจะเป็น PVC ธรรมดาหรือเป็นแบบ Heat Resisting PVC ก็ได้ซึ่งสายไฟฟ้าชนิดนี้สามารถใช้กับ แรงดันได้ไม่เกิน 750 V ตามที่มาตรฐานได้กำหนดโดยสายไฟฟ้า ชนิดนี้จะนำไปตามมาตรฐาน มอก. 293-2541 สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC นั้น สามารถ ใช้สำหรับงานที่อยู่ในระบบจำหน่าย แรงดันต่ำ เดินภายนอกอาคารเป็นสายประธาน (Main) หรือสาย ป้อน (Feeder) โดยจะใช้ในอากาศ เหนือพื้นดิน ทางเดินไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ใช้ สายชนิดนี้เป็นสายประธาน แรงดันต่ำ เดินมาจากหม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformers) พาด บนลูกถ้วยตามเสาไฟฟ้า หรือได้หาลำดับบ้านหรือตึกแถว เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้สายชนิดนี้มีราคาถูก และรับแรงดึงได้พอสมควร

(2) สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน PVC เนื่องจากทองแดงนั้น มีคุณสมบัติข้อดีที่เหนือกว่า อะลูมิเนียมหลายประการด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงกว่าการตัดต่อก็ทำได้ง่ายกว่า จึงนิยมใช้สายไฟฟ้าชนิดนี้กันมาก สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน PVC มีด้วยกันมากมายหลายชนิด และแต่ละชนิดก็เหมาะสมกับงาน แต่ละแบบ โดยที่สามารถจะเป็นสายเชื่อมต่อวงจรเล็กๆ จนกระทั่งเป็น สายประธานหรือสายป้อน

(3) สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน XLPE เนื่องจากคุณสมบัติของฉนวน XLPE ที่มีความสามารถในการที่จะทนต่อความร้อนได้สูงมีความแข็งแรงทนต่อแรงทางกลและการกัดกร่อนทาง เคมีได้ในปัจจุบันจึงมีการใช้สายไฟฟ้าที่หุ้ม ด้วยฉนวน XLPE มากขึ้นโดยสายไฟฟ้าชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า สาย CV หรือ CVW ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ซึ่งไม่ได้อยู่ในมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แต่จะใช้ ตามมาตรฐานอื่น เช่น IEC 60502 โดยทั่วไปสายชนิดนี้จะสามารถใช้งานได้เหมือนกับ สาย NYV จึง นิยมใช้เป็นสายป้อนหรือสายประธาน



รูปที่ 2.19 สาย CV

(4) **สายไฟฟ้าทนไฟ (Fire Resistant Cable)** สายไฟฟ้าปกติจะมีฉนวนหรือเปลือกที่ทำมาจากวัสดุ เช่น PVC หรือ XLPE โดยหากเมื่อวัสดุเหล่านี้ถูกเพลิงไหม้ก็จะทำให้วัสดุเหล่านี้สามารถติดไฟและลุกลามไปทั่วบริเวณตามช่องทางเดินสายไฟนอกจากนี้จะทำให้เกิดควันหนาแน่นและอากาศพิษกระจายไปทั่วซึ่งทำให้คนหมดสติ และเสียชีวิตในที่สุดได้เพื่อแก้ปัญหาจะต้องเลือกสายไฟฟ้าที่ลักษณะทนไฟ โดยสายไฟฟ้าทนไฟมีลักษณะสมบัติที่สำคัญดังต่อไปนี้

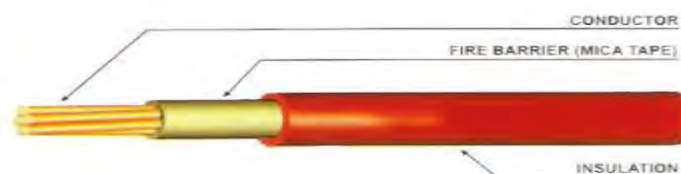
(a) คุณสมบัติด้านเปลวเพลิง (Flame Propagation or Flame Retardancy) คือ คุณสมบัติการหน่วงเหนี่ยวลุกลามของการลุกไหม้ของสายไฟฟ้า เมื่อเกิดไฟไหม้สายไฟฟ้าจะช่วยลดปัญหาลุกลามของไฟไปตามสายไฟฟ้า ดังนั้น บริเวณที่ถูกเพลิงไหม้จะขยายเป็นบริเวณกว้างและเมื่อเอาแหล่งไฟออกก็จะดับเอง (Self-extinguish) กำหนดให้ใช้ตามฐานของ IEC 60332-1 หรือ IEC 60332-3

(b) คุณสมบัติการปล่อยก๊าซกรด (Acid and Corrosive Gas Emission) คือ คุณสมบัติซึ่งแสดงการเกิดกรดหลังจากเกิดไฟไหม้กรดที่เกิดขึ้นจะกัดโลหะของโครงสร้างและ อุปกรณ์อื่นๆ สายไฟฟ้าที่มีสาร Halogen น้อย หรือ ไม่มีเลยก็จะลดการเกิดกรดและก๊าซพิษกำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ IEC 60754-2

(c) คุณสมบัติการปล่อยควัน (Smoke Emission) คือคุณสมบัติที่แสดงค่าปริมาณควันที่จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดเพลิงไหม้สายไฟฟ้ากำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ IEC 61034-2

(d) คุณสมบัติต้านทานการติดไฟ (Fire Resistance) คือคุณสมบัติที่แสดงว่าภายใต้สถานการณ์ไฟไหม้สายไฟฟ้ายังสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ในช่วงเวลาหนึ่งกำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ BS6387 หรือ IEC 60331 ส่วนประกอบของสายไฟฟ้าทนไฟ (FRC) ได้แก่

- ตัวนำ (Conductor) : ทองแดง
- เทปกั้นไฟ (Fire Barrier Tape) : Mica/Glass
- ฉนวน (Insulator) : XLPE 11
- ฉนวนหุ้มชั้นนอก(Outer Sheath) : ทำด้วยสารจำพวก Zero Halogen, Low smoke (OHLS)



รูปที่ 2.20 สายทนไฟ (FRC)

สายไฟฟ้าทนไฟ (FRC) ควรใช้กับระบบและวงจรไฟฟ้าที่มีความสำคัญต่อความปลอดภัย เช่น

1. ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย (Fire Alarm System)
2. ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ (Building Automation)
3. ระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉิน (Emergency Lighting System)
4. ระบบเสียงอากาศ (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. ระบบปั๊มน้ำดับเพลิงและปั๊มอัดอากาศในช่องบันไดหนีไฟ (Fire Pumps and Pressurized Stairs)
10. ในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งต้องการให้ระบบสามารถปฏิบัติงานได้ในขณะที่เกิดไฟไหม้

ตารางที่ 2.6 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
การทนไฟ และน้ำ	650°C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นพ่นน้ำและทำการทดสอบ 650°C เป็นเวลา 15 นาที	W
การทนไฟ และทนแรง กระแทก	650°C เป็นเวลา 15 นาที โดยมีแรงกระแทก	X
	750°C เป็นเวลา 15 นาที โดยมีแรงกระแทก	Y
	950°C เป็นเวลา 15 นาที โดยมีแรงกระแทก	Z

2.6.4 สายไฟฟ้าแรงดันสูง

สายไฟแรงสูงเป็นสายเคเบิลที่มีขนาดใหญ่ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ สายเปลือย และสายหุ้มฉนวน



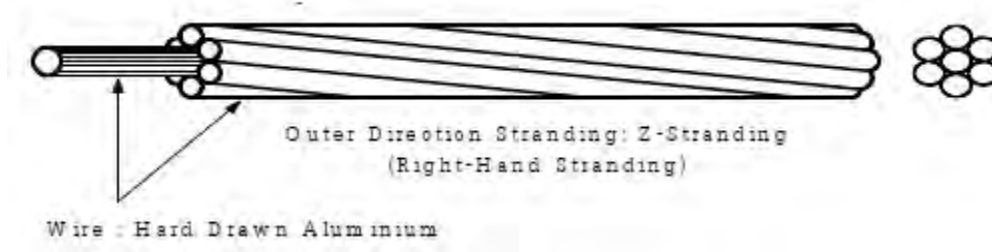
รูปที่ 2.21 สายไฟฟ้าแรงดันสูง

(1) สายเปลือย (Bare Wires)

สายเปลือย คือ สายที่ไม่มีเปลือกฉนวนหุ้มสาย ถ้าหากนำไปใช้กับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำจะไม่ปลอดภัยจึงใช้สายชนิดนี้กับงานแรงดันสูงสายเปลือยนิยมใช้ในงานแรงดันสูงมักจะทำมาจากอะลูมิเนียมเพราะมีน้ำหนักเบาและราคาถูกแต่สายอะลูมิเนียมล้วนจะไม่สามารถรับแรงดึงได้สูงขึ้น โดยการเสริมแกนเหล็กหรือใช้โลหะอื่นผสมสายเปลือยที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่

(a) สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (AAC-All Aluminum Conductor) เป็นตัวนำอะลูมิเนียมพันตีเกลียวเป็นชั้นๆ สายชนิดนี้รับแรงดึงได้ต่ำ จึงไม่สามารถจึงสายให้มีระยะห่างช่วงเสา (Span) มากๆ ได้โดยปกติความยาวช่วงเสาต้องไม่เกิน 50m ยกเว้นสายที่มีขนาด 95mm² ขึ้นไปนั้นสามารถที่จะมีระยะห่างช่วงเสาได้ไม่เกิน 100 m มาตรฐานสำหรับสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือยคือ มอก. 85-2548, IEC 61089:1991 (Aluminum stranded conductors.) สาย AAC มีลักษณะดังรูปที่

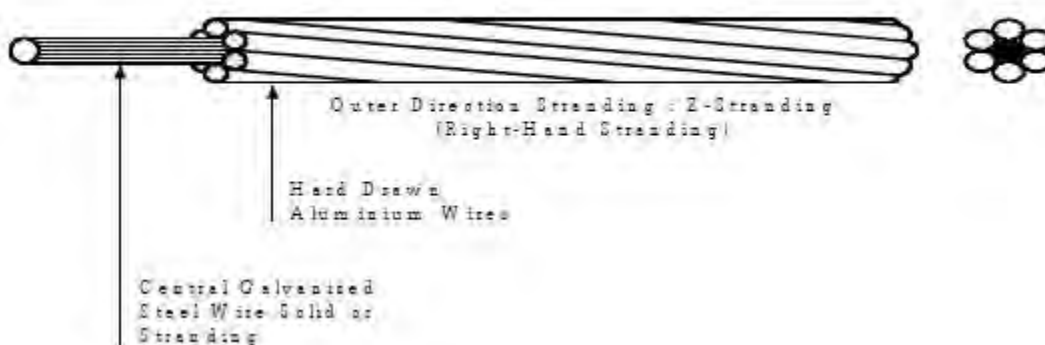
2.22



รูปที่ 2.22 สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย AAC

(b) สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมผสม (AAAC-All Aluminum Alloy Conductor) สายชนิดนี้มี ส่วนผสมของอะลูมิเนียม แมกนีเซียม และซิลิกอน สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมผสมจะมีความเหนียวและรับ แรงดันได้สูงกว่าสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมล้วน จึงสามารถหึงสายให้มีระยะห่างช่วงเสาได้มากขึ้น นิยมใช้ เดินสายบริเวณชายทะเล เพราะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของไอเกลือบริเวณชายทะเลได้ดี มาตรฐาน สำหรับสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย คือ มอก. 85-2548, IEC 61089:1991 (Aluminum alloy stranded conductors) (Aluminum–magnesium–silicon type)

(c) สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR-Aluminum Conductor Steel Reinforced) เป็น สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวและมีสายเหล็กอยู่ตรงกลางเพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้สูงขึ้น ทำให้ สามารถขยายระยะห่างช่วงเสาได้มากขึ้น แต่จะไม่ใช้สายชนิดนี้บริเวณชายทะเล เพราะว่าจะเกิดการกัด กร่อนจากไอของเกลือทำให้อายุการใช้งานสั้นลงมาตรฐานสำหรับสายอะลูมิเนียมแกนเหล็ก คือ มอก. 85-2548 IEC 61089:1991 (Aluminum conductors, steel-reinforced) สาย ACSR มีลักษณะดังรูปที่ 2.23

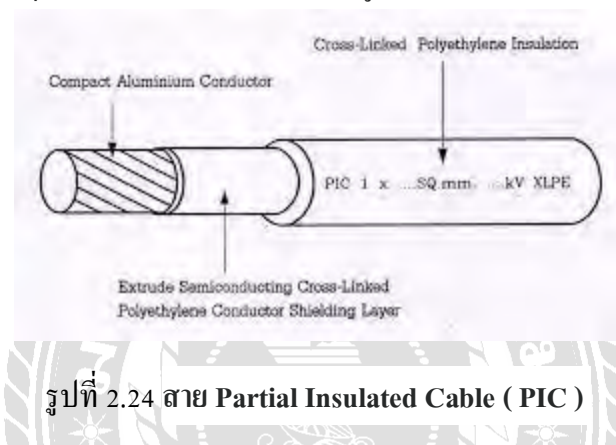


รูปที่ 2.23 สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมแกนเหล็ก ACSR

(2) สายหุ้มฉนวน

ในการเดินสายไฟฟ้าแรงสูงผ่านบริเวณที่มีผู้อยู่อาศัยเพื่อความปลอดภัยจะต้องใช้สายไฟฟ้าแรงสูงที่มีฉนวนหุ้มและการใช้สายหุ้มฉนวนยังช่วยลดการเกิดลัดวงจรจากสัตว์หรือกิ่งไม้แตะถูกสายไฟอีกด้วยทำให้ระบบไฟฟ้ามีความเชื่อถือได้สูงขึ้น สายไฟฟ้าแรงดันสูงหุ้มฉนวนที่นิยมใช้มีดังต่อไปนี้

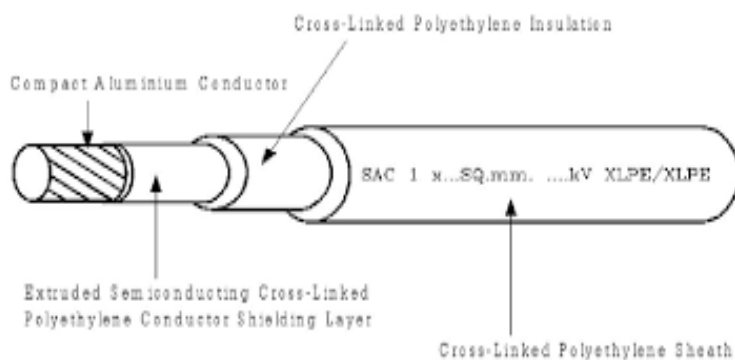
(a) สาย Partial Insulated Cable (PIC) การใช้สายเปลือยจะมีโอกาสเกิดลัดวงจรขึ้นได้ง่ายเพื่อลดปัญหานี้ จึงได้มีการนำสาย PIC มาใช้แทนสายเปลือย โดยโครงสร้างของสาย PIC นี้จะประกอบด้วยตัวนำอะลูมิเนียมเคลือบด้วยฉนวน XLPE 1 ชั้น ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 สาย Partial Insulated Cable (PIC)

แม้ว่าสายชนิดนี้จะมีฉนวน XLPE หุ้มแต่ก็ไม่สามารถที่จะติดตั้งโดยตรงได้เนื่องจากฉนวนเป็นเพียงฉนวนบางซึ่งจะช่วยลดการเกิดลัดวงจรของสายเปลือยเท่านั้น การไฟฟ้าฯได้นำสายชนิดนี้มาใช้งานโดยเดินในอากาศผ่านลูกถ้วยบนเสาไฟฟ้าแทนสายเปลือยแต่ได้ผลไม่ค่อยดี

(b) สาย Space Aerial Cable (SAC) สาย SAC โครงสร้างมันเป็นตัวอะลูมิเนียมเคลือบด้วยฉนวน XLPE หุ้มเช่นเดียวกับสาย PIC แต่จะมีเปลือก (Sheath) ที่ทำจาก XLPE หุ้มฉนวนอีกชั้นหนึ่งทำให้มีความทนทานมากกว่าสาย PIC สาย SAC มีลักษณะดังรูป 2.25

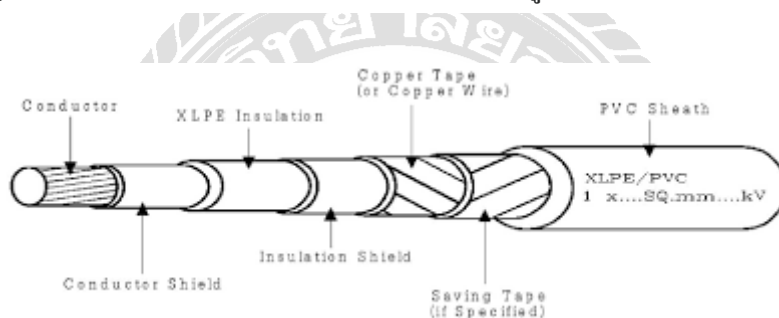


รูปที่ 2.25 สาย Space Aerial Cable (SAC)

แม้ว่าสายชนิดนี้จะมีเปลือก (Sheath) หุ้มฉนวนอีกชั้นหนึ่งแต่ก็ไม่ควรสัมผัสสายโดยตรง เพราะจะเป็นอันตรายได้ในการใช้งานสายชนิดนี้การไฟฟ้าใช้เป็นวงจรเสริมสำหรับวงจรที่ใช้สาย PIC โดยในการเดินสายจะต้องใช้ Spacer เพื่อจำกัดระยะห่างระหว่างสายสายชนิดนี้แม้ว่าจะสามารถวางใกล้กันได้มากกว่าสาย PIC แต่ก็ต้องไม่เกินระยะจำกัดค่าหนึ่งนอกจากนี้จะต้องใช้ Messenger Wire ช่วยดึงสายไว้โดย Messenger Wire จะต่อลงดินทำหน้าที่เป็นสาย Overhead Ground Wire

(c) สาย Preassembly Aerial Cable สายชนิดนี้ จัดเป็นสาย Fully Insulated โดยมีโครงสร้างคล้ายสาย XLPE แต่มีตัวนำเป็นอลูมิเนียม เนื่องจากสายชนิดนี้สามารถวางใกล้กันได้จึงใช้สายชนิดนี้เมื่อสายไฟฟ้าผ่านในบริเวณที่มีระยะห่าง (Clearance) กับอาคารจำกัดหรือผ่านบริเวณที่มีคนอาศัยอยู่ สายชนิดนี้ยังสามารถวางพาดไปกับมุมตึกได้ เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทานมาก

(d) สาย Cross-linked Polyethylene (XLPE) สาย XLPE เป็นสายที่ใช้มากที่สุดในปัจจุบัน จัดเป็นสาย Fully Insulate โดยมีโครงสร้างและส่วนประกอบดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 สาย Cross-linked Polyethylene (XLPE)

ส่วนประกอบต่างๆ ของสาย XLPE มีดังนี้

- ตัวนำ (Conductor) ส่วนใหญ่จะเป็นทองแดงในลักษณะตีเกลียว (Strand) ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบของ Copper Concentric Strand หรือ Copper Compact Strand
- ชีลด์ของตัวนำ (Conductor Shield) ทำด้วยสารกึ่งตัวนำ (Semi Conducting Material) มีหน้าที่ช่วยในสนามไฟฟ้าระหว่างตัวนำกับฉนวนกระจายอย่างสม่ำเสมอในแนวรัศมีเป็นการช่วยลดการเกิด Breakdown ได้
- ฉนวน (Insulation) เป็นชั้นที่หุ้มห่อชั้นชีลด์ของตัวนำอีกทีหนึ่ง ทำด้วยฉนวน XLPE สายเคเบิลที่ติดตั้งผิวด้านนอกของชั้นฉนวนจะต้องเรียบ
- ชีลด์ของฉนวน (Insulation Shield) เป็นชั้นของ Semi Conducting Material หุ้มทับชั้นของฉนวน จากนั้นก็หุ้มด้วยชั้นของลวดทองแดง (Copper wires) หรือเทปทองแดง (Copper Tape) อีกทีหนึ่ง ชีลด์ของฉนวนนี้ จะทำหน้าที่จำกัดสนามไฟฟ้าให้อยู่ในเฉพาะภายในสาย

เคเบิล เป็นการป้องกันการรบกวนระบบสื่อสาร นอกจากนี้การต่อขั้วดินจะช่วยลดอันตรายจากการสัมผัสสายเคเบิลด้วย และทำให้เกิดการกระจายของแรงดันอย่างสม่ำเสมอขณะใช้งาน

- เปลือกนอก (Jacket) ชั้นของเปลือกนอกนี้อาจจะเป็น Polyvinyl Chloride (PVC) หรือ Polyethylene (PE) ก็ได้แล้วแต่ว่าลักษณะของงานจะเป็นอย่างไร ถ้าเป็นงานกลางแจ้งก็มักใช้ Polyvinyl Chloride เพราะว่ามันเหนียวต่อการขีดไฟ ในขณะที่ Polyethylene มักจะใช้งานแบบเดินลอยเนื่องจากความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ส่วนในกรณีที่วางเคเบิลใต้ดินอาจจะมีชั้นของ Service Tape ซึ่งอาจทำด้วยชั้นผ้า (Fabric Tape) ชั้นระหว่างขั้วกับเปลือกนอกช่วยป้องกันการเสียดสีและการกระทบกระแทกสาย XLPE นี้สามารถเดินลอยในอากาศหรือฝังใต้ดินก็ได้ แต่นิยมใช้ฝังใต้ดินเนื่องจากมีความแข็งแรงทนทานสามารถทนต่อความชื้นได้ดี

2.6.5 สายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2553

สายไฟฟ้าแรงต่ำ หุ้มฉนวนพอลิไวนิลไคลอไรด์มีใช้อยู่มากมายและมีมาตรฐานบังคับมานานแล้วฉบับแรกคือ มอก11-2518 ต่อมาได้ปรับปรุงเป็น มอก11-2553 โดยมีรายละเอียดต่างๆดังนี้

● ข้อกำหนดทั่วไป

แรงดันไฟฟ้ากำหนดให้เป็น U_0 / U

U_0 = แรงดัน RMS ระหว่างตัวนำกับดิน

U = แรงดัน RMS ระหว่างตัวนำกับตัวนำ

● สีฉนวน

(1) สายแกนเดี่ยว ไม่ระบุสี

(2) สาย 2 แกน สีฟ้า (N), น้ำตาล (L)

(3) สาย 3 แกน สีเขียวแถบเหลือง (G), สีฟ้า (N), น้ำตาล (L) หรือ น้ำตาล (L1), ดำ (L2), เทา (L3)

(4) สาย 4 แกน สีเขียวแถบเหลือง (G), น้ำตาล (L1), ดำ (L2), เทา (L3)

(5) สาย 5 แกน สีเขียวแถบเหลือง (G) สีฟ้า (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

สาย THW คือ สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำสายแข็งสำหรับงานทั่วไปรหัส 60227 IEC 01 แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 450 / 750 V คล้ายสายไฟฟ้า มอก. 11-2531 หรือเรียกทั่วไปว่าสาย THW ดังแสดงในรูปที่ 2.27 มีขนาด 1.5 mm^2 ถึง 400 mm^2 โดยมีการใช้งานดังนี้

- ใช้งานทั่วไป
- เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย
- ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
- ห้ามเดินบน Cable Trays

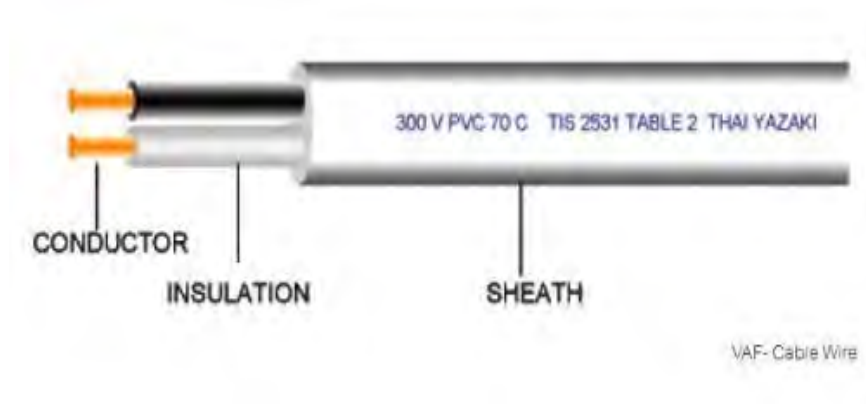


รูปที่ 2.27 สาย THW

(2) สาย VAF

สาย VAF คือ สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวนและเปลือก มี 2 แบบ คือ สายแบบ 2 แกนและ 2 แกนมีสายดินรหัสชนิดกรณีไม่มีสายดิน VAF กรณีมีสายดิน VAF- G หรือ VAF / G แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 300 / 500 V ดังแสดงในรูปที่ 2.28 มีขนาด 1 mm^2 ถึง 16 mm^2 โดยมีการใช้งานดังนี้

- ใช้เดินเกาะผนัง
- เดินในช่องเดินสาย
- ห้ามร้อยท่อ
- ห้ามฝังดิน

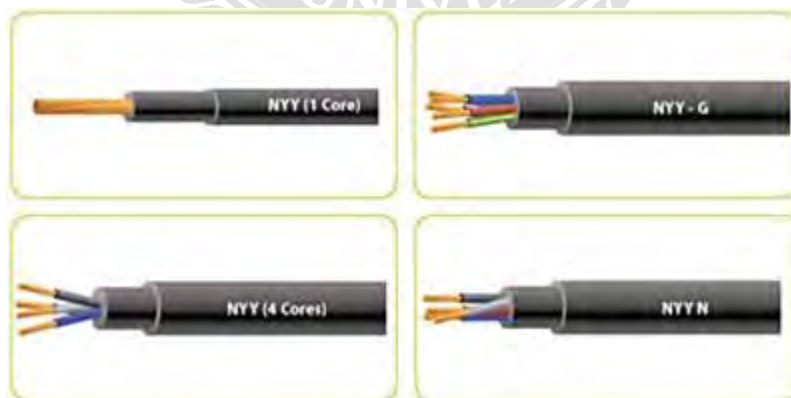


รูปที่ 2.28 สาย VAF

(3) สาย NYY

สาย NYY มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.29 คือ สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวนและเปลือกมี 2 แบบ คือ สายแบบ 2 แกน และ 2 แกนมีสายดินรหัสชนิดกรณีไม่มีสายดิน NYY กรณีมีสายดิน NYY-G 18 แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 450/750 V NYY แกนเดี่ยว มีขนาด 1 mm^2 ถึง 500 mm^2 NYY หลายแกน มีขนาด 1 mm^2 ถึง 500 mm^2 NYY หลายแกนมีสายดิน มีขนาด 1 mm^2 ถึง 500 mm^2 โดยมีการใช้งาน ดังนี้

- ใช้งานทั่วไป
- ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
- เดินบน Cable Trays



รูปที่ 2.29 สาย NYY

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าที่วสท. ได้ปรับปรุงแบบการติดตั้งและลักษณะการติดตั้งสายไฟฟ้า โดยแบ่งเป็นกลุ่มการติดตั้งได้ทั้งหมด 7 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมี / ไม่มีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรือโลหะ ภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อนหรือผนังกันไฟ

กลุ่มที่ 2 สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมี / ไม่มีเปลือกนอกเดินในท่อโลหะหรือโลหะ เคาผนังหรือฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกัน

กลุ่มที่ 3 สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอกเดินเกาะผนัง หรือ เพดานที่ไม่มีสิ่งปิดหุ้มที่คล้ายกัน

กลุ่มที่ 4 สายเคเบิลแกนเดี่ยวหุ้มฉนวนมี / ไม่มีเปลือกนอกวางเรียงแบบมีระยะห่างเดินบนฉนวนลูกถ้วยอากาศ

กลุ่มที่ 5 สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอกเดินในท่อโลหะหรือโลหะฝังดิน

กลุ่มที่ 6 สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกน หุ้มฉนวนมีเปลือกนอกฝังดินโดยตรง

กลุ่มที่ 7 สายเคเบิลแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอกวางบนรางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ, รางเคเบิลแบบระบายอากาศหรือรางเคเบิลแบบบันได

2.6.6 สายดิน (Grounding Conductor)

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

(1) สายดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding) สายดินของระบบไฟฟ้าเป็นการต่อส่วนของระบบไฟฟ้าที่ไม่มีกระแสไหล ผ่าน เช่น จุดนิวตรอนของหม้อแปลงลงดิน โดยขนาดของสายดินสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.7 และมีข้อกำหนดในการต่อสายดินดังนี้

- การต่อจุดนิวตรัลลงดินให้กระทำที่ตู้ Main Distribution Board (MDB) เท่านั้น ห้ามทำต่อสายนิวตรัลใดๆ ลงดินทางด้านโหลด

- ในกรณีที่หม้อแปลงไฟฟ้าติดตั้งอยู่ภายในอาคาร จะต้องต่อจุดนิวตรัลลงดินเพิ่มอย่างน้อยหนึ่งจุด เช่น ที่จุดนิวตรัลของหม้อแปลง

ตารางที่ 2.7 ขนาดของสายดินสำหรับต่อจากจุดนิวตรอนไปยังหลักดิน

ขนาดสายเมนเข้าอาคาร (ตัวนำทองแดง) (ตร.ม.)	ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน (ตัวนำทองแดง) (ตร.ม.)
ไม่เกิน 35	10
เกิน 35 แต่ไม่ถึง 50	16
เกิน 50 แต่ไม่เกิน 95	25

เกิน 95แต่ไม่เกิน 185	35
เกิน 185แต่ไม่เกิน 300	50
เกิน 300แต่ไม่เกิน 500	70
เกิน 500	95

(2) สายดินสำหรับอุปกรณ์ (Equipment Grounding)

สายดินสำหรับอุปกรณ์เป็นการต่อเปลือกนอกหรือส่วนที่เป็นโลหะของวัสดุอุปกรณ์ ในระบบไฟฟ้า ซึ่งไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลงดินที่อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าที่ต้องมีการต่อเปลือกนอกหรือส่วนที่เป็นโลหะลงดิน ได้แก่ หม้อแปลง Switchgears, Distribution Boards, Panel boards, Circuit Breakers, Safety Switches, Bus way, Machine Frames, Steel Supports, Cable Trays, Wire Ways, Junction Boxes, Pull Boxes, Outlet Boxes, ท่อร้อยสายและส่วนที่เป็นโลหะอื่นๆ ในระบบไฟฟ้าที่ผู้ควบคุมงานได้พิจารณาแล้ว เห็นควรต่อลงดิน โดยขนาดของสายดินสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ จะต้องเป็นไปตามตาราง 2.8 ตารางที่ 2.8 ขนาดต่ำสุดของสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแส เกินไม่เกิน (แอมแปร์)	ขนาดต่ำสุดของสายดินบริษัท ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)
16	1.5
20	2.5
40	4
70	6
100	10
200	16
400	25
500	35
800	50
1000	70
1250	95
2000	120
2500	185

4000	240
6000	400

การต่อสายดินสำหรับอุปกรณ์มีข้อกำหนดต่างๆ ดังนี้

- ห้ามใช้ท่อร้อยสายเป็นสายดิน นอกจากระบุไว้เป็นอย่างอื่น
- การต่อสายกับเปลือกวัสดุอุปกรณ์ต้องใช้หางปลาทองแดงขนาดที่เหมาะสมกับสายเท่านั้น
- ในกรณีที่ใช้สายไฟต่อขนานกันและเดินในท่อร้อยสายมากกว่า 1 ท่อสายดินจะต้องอยู่ในแต่ละท่อและต่อขนานกันด้วย

2.7 รางเคเบิล (Cable Tray)

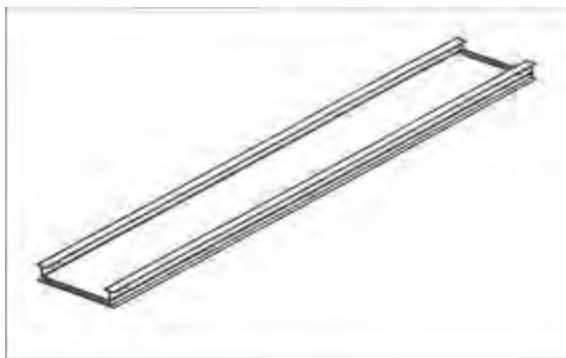
รางเคเบิลเป็นโครงสร้างสำหรับรองรับสายเคเบิล ต้องไม่มีส่วนที่เป็นคมที่อาจทำให้ฉนวนฉีกขาดไม่ว่าจะเป็นท่อสาย (Raceway) นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะติดตั้งได้ง่าย และมีราคาถูกแบ่งออกตามลักษณะได้ดังนี้

2.7.1 รางเคเบิลแบบบันได (Ladder Type) มีลักษณะคล้ายบันได (Rung) ดังแสดงในรูปที่ 2.30 ใช้กับสาย เคเบิลกำลังทำมาจากเหล็กแผ่นมาตรฐานผ่านการพ่นด้วยสีฝุ่น Epoxy/Polyester หรือเคลือบผิวด้วย Hot-Dip Galvanized



รูปที่ 2.30 รางเคเบิลแบบบันได (Ladder Type)

2.7.2 รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ (Solid Bottom Type) เป็นชิ้นเดียวโดยตลอด ด้านล่างเป็นโลหะทึบ ดังแสดงในรูปที่ 2.31 ใช้กับสายตัวนำโดยทั่วไปที่มีขนาดเล็ก ซึ่งสามารถเพิ่ม เคลื่อนย้าย เปลี่ยนแปลงสายไฟฟ้าได้โดยสะดวก



รูปที่ 2.31 รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ (Solid Bottom Type)

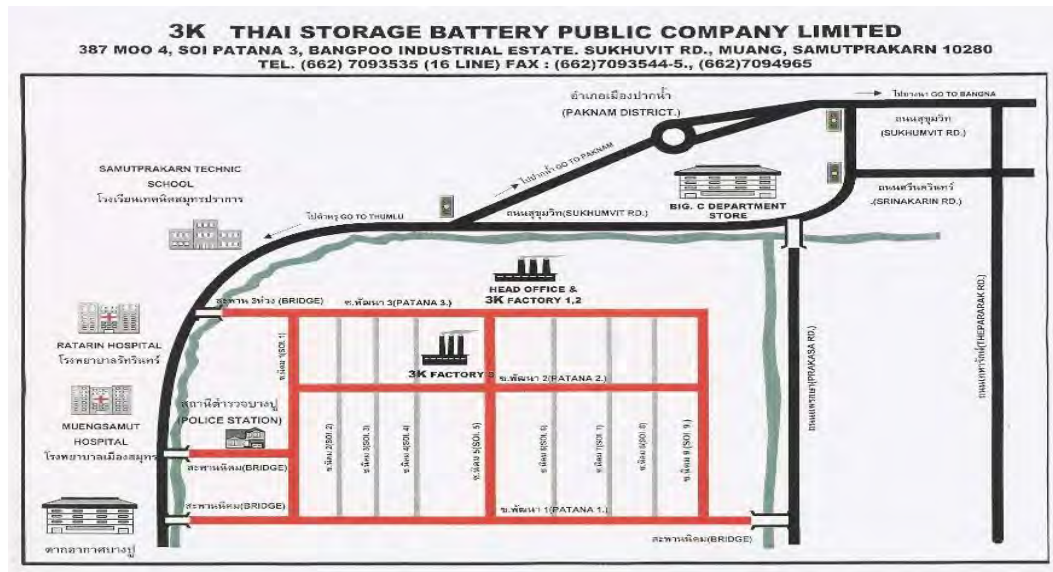


บทที่ 3

รายละเอียดการปฏิบัติงาน

3.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ

บริษัท ไทยสโตร์จ แบตเตอรี่ จำกัด (มหาชน) เลขที่ 387 หมู่ที่ 4 ซอยพัฒนา 3 นิคมอุตสาหกรรมบางปู ถนนสุขุมวิท ตำบลแพรกษา อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10280



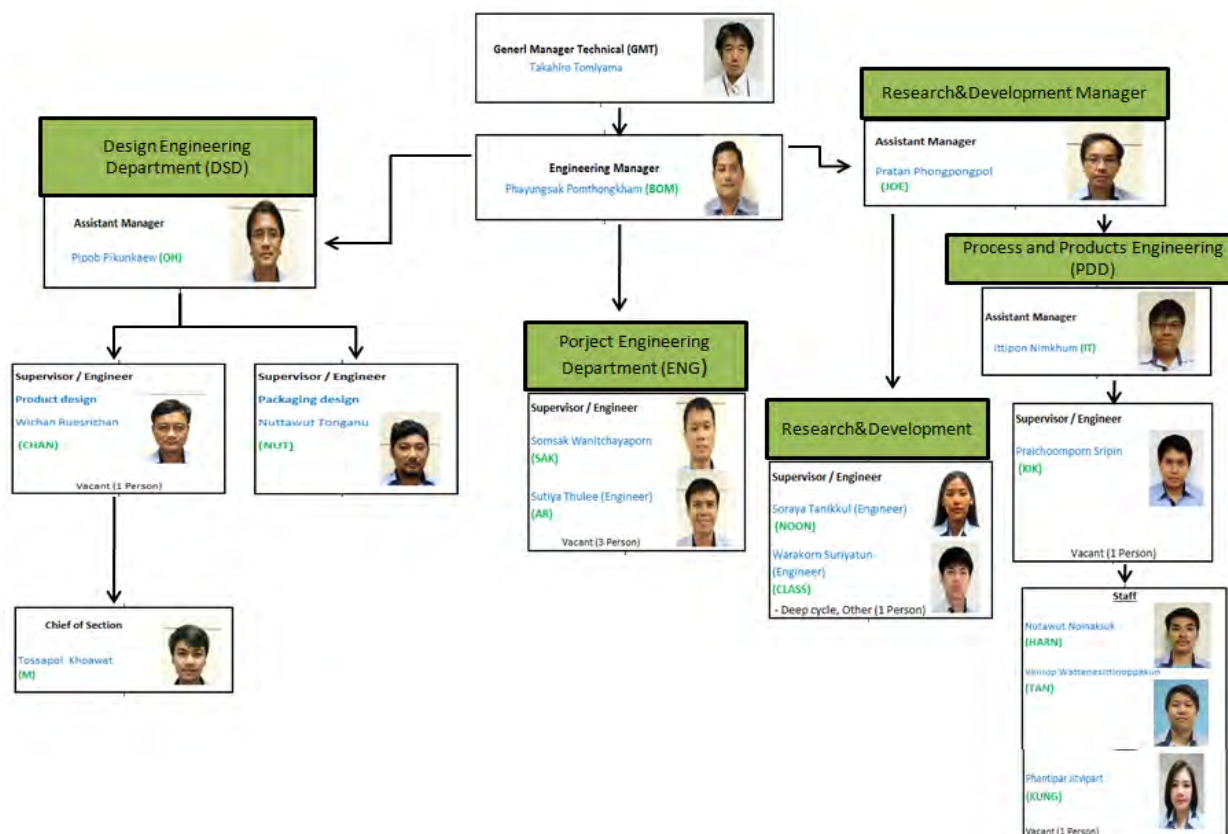
รูปที่ 3.1 แผนที่ตั้งบริษัท

3.2 ลักษณะการประกอบการผลิตภัณฑ์การให้บริการหลักขององค์กร

รับผิดชอบในการปฏิบัติการควบคุมต่างๆ ดูแลการทำงาน วางแผนและการบริหารจัดการและให้คำปรึกษาแนะนำทางด้านวิศวกรรมดังต่อไปนี้

1. Design Engineering Department (DSD)
2. Project Engineering Department (ENG)
3. Research & Development (R&D)
4. Process and Products Engineering (PDD)

3.3 รูปแบบการจัดการองค์การและการบริหารงาน



รูปที่ 3.2 โครงสร้างบริหารงานบริษัท

3.4 บทบาทและหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย

1. ศึกษาและตรวจสอบการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบ
2. ศึกษาและตรวจสอบอุปกรณ์และการติดตั้งตู้ MDB และ SDB
3. ตรวจสอบสายไฟและการติดตั้งสายไฟ
4. จัดทำรายงานเสนอต่อพนักงานที่ปรึกษา

3.5 ชื่อและตำแหน่งพนักงานที่ปรึกษา

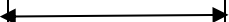
คุณ สุริยา ฐิติ พนักงานที่ปรึกษา ตำแหน่ง Project Engineer Department

3.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน

ระยะเวลาที่ได้ปฏิบัติงานที่บริษัท ไทยสโตร์เจ แบริเตอร์ จำกัด (มหาชน) เริ่มเข้ามาฝึกปฏิบัติสหกิจศึกษาตั้งแต่วันที่ 14 เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2561 ถึงวันที่ 31 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2561 เป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยระยะเวลาในการทำงานใน 1 วันจะทำงานทั้งหมด 9 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งทำงานตามตารางที่บริษัทจัดให้เป็นการทำงานตั้งแต่ เวลา 08.00 น. – 17.00 น. ซึ่งมีเวลาพัก 1 ชั่วโมงคือ ช่วง 12.00 น. วันหยุด หยุดทุกวันอาทิตย์

3.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พฤษภาคม 2560	มิถุนายน 2560	กรกฎาคม 2560	สิงหาคม 2560
1. รวบรวมข้อมูล				
2. วิเคราะห์ข้อมูล				
3. ศึกษาข้อมูล				
4. ทดสอบและเก็บผลการทดสอบ				
5. ประเมินผลการทดสอบ				
6. จัดทำเอกสารโครงการงาน				

3.8 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบ

3.8.1 แบบ Shop Drawing

3.8.2 แบบ Single Line Diagram

3.8.3 เครื่องคอมพิวเตอร์

3.8.4 ใบขออนุญาตเข้าทำงานอันตรายในโรงงาน(สำหรับผู้รับเหมา)

3.8.5 เครื่องมือวัดระยะหรือตลับเมตร

3.8.6 ไชควงหรือสกรูไร

3.9 วิธีการดำเนินการ

3.9.1 ศึกษารายละเอียดของบริษัทและโครงการ

3.9.2 ศึกษาวิธีการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นจนจบโครงการ

3.9.3 ศึกษารายละเอียดและข้อกำหนดของโครงการ

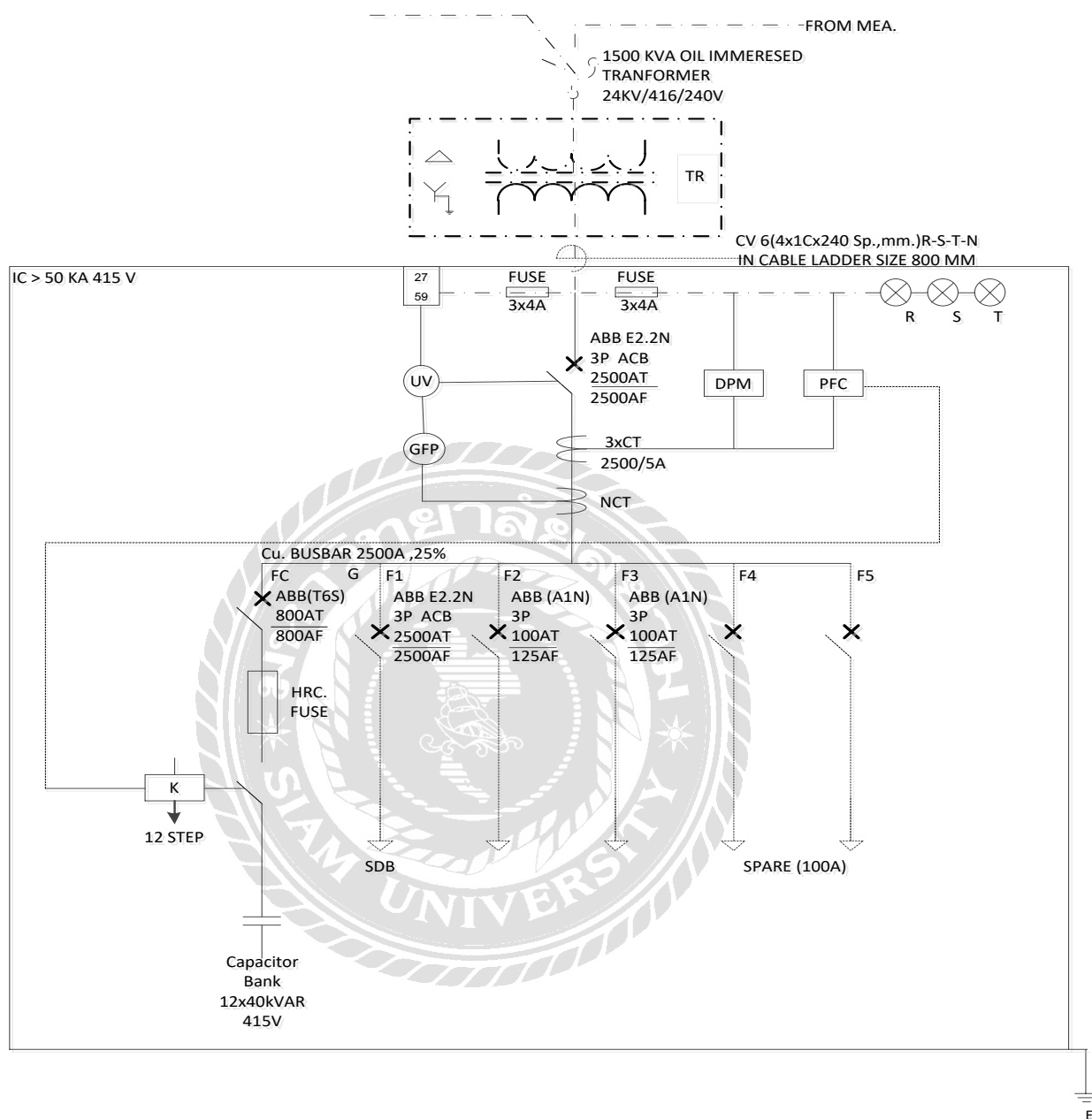
3.9.4 ศึกษาการทำงานของระบบไฟฟ้าในอาคาร

3.9.5 ศึกษาวัสดุ/อุปกรณ์ของระบบไฟฟ้าในอาคาร

3.9.6 การดูหน้างานจริงของระบบไฟฟ้าในอาคาร

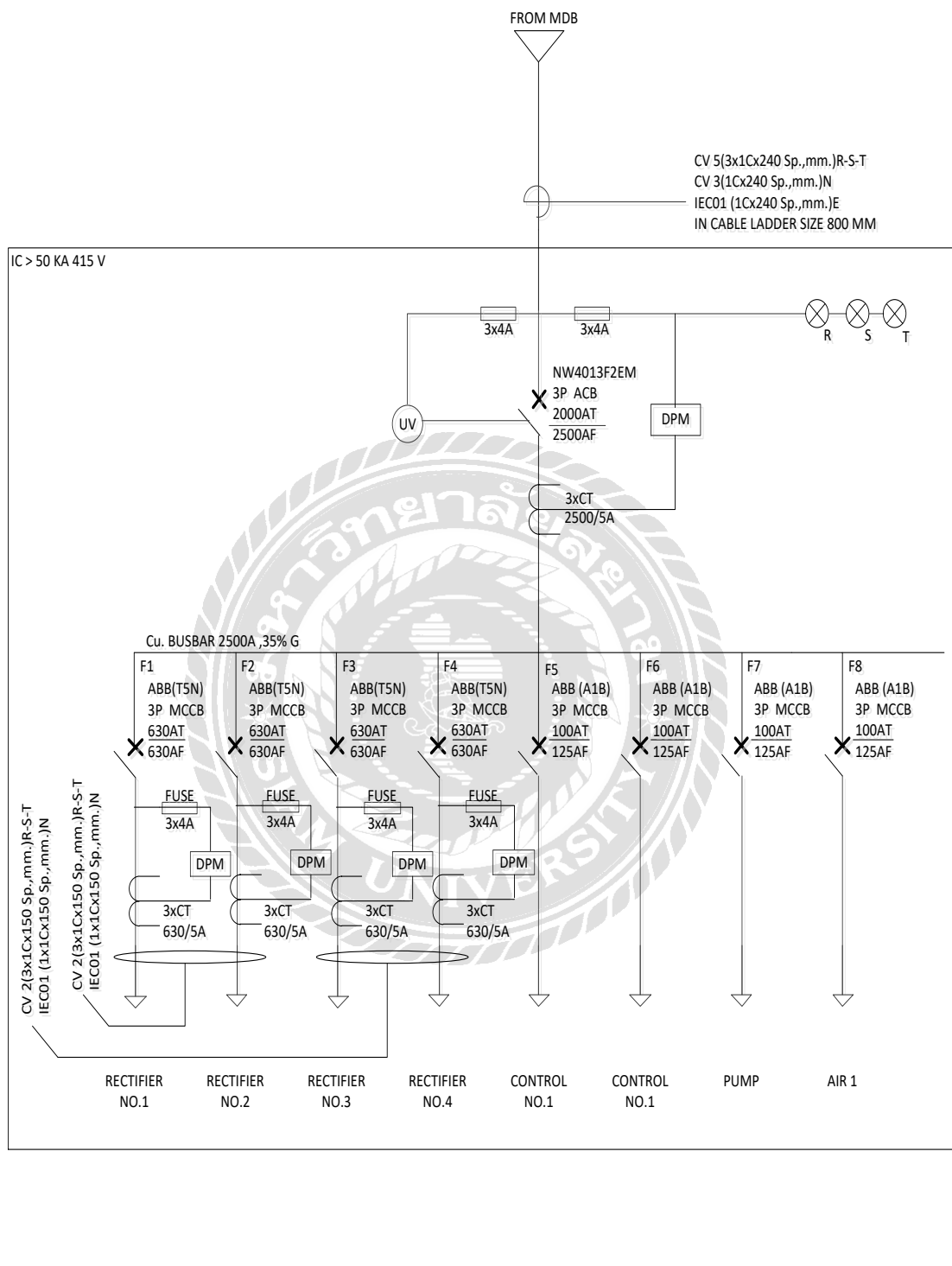
3.9.7 จัดทำเอกสาร

แบบ Single Line Diagram ของตู้ MDB



รูปที่ 3.3 Single Line Diagram ของตู้ MDB (Main Distribution Board)

แบบ Single Line Diagram ของตู้ SDB



รูปที่ 3.4 Single Line Diagram ของ SDB (Sub Distribution Board)

ตู้ MDB (Main Distribution Board) หรือแผงสวิตช์ (Switchboards) ที่อยู่ใน Single Line Diagram ของรูปที่ 4.1 เป็นแผงจ่ายไฟขนาดใหญ่ซึ่งทางโรงงานมี MDB ที่รับไฟมาจากด้านแรงต่ำของหม้อแปลง เพื่อจ่ายให้โหลดต่างๆ เช่น แผงสำรอง แผงย่อย เป็นต้น MDB มีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ โครงห่อหุ้ม บัสบาร์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker : CB) และ Capacitor Bank โดยโครงสร้างแบบ Modular เป็นตู้จ่ายไฟมีความสูงประมาณ 2200 mm ขนาดตามมาตรฐาน ซึ่งความหนาจะต้องคำนึงขนาดและจำนวนของตู้ป้องกันแผงสวิตช์ หลังจากดำเนินการติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้วสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ตู้ควบคุมหลัก (MDB)

ตู้ SDB (Sub Distribution Board) ที่อยู่ใน Single Line Diagram ของรูปที่ 4.3 ห่างจากตู้ MDB 52 m ที่รับไฟมาจาก MDB และติดตั้ง SDB .ให้ใกล้ๆกับโหลดเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดที่จำเป็นต้องการไฟฟ้า แต่มีขนาดและฟังก์ชันของตู้และอุปกรณ์ทางไฟฟ้าลดหลั่นจากตู้ MDB การทำงานเช่น ใช้ควบคุมระบบไฟฟ้าส่วนต่างๆของอาคาร ลักษณะของตู้ SDB ที่ทำการติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้วสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ตู้ควบคุมย่อย (SDB)

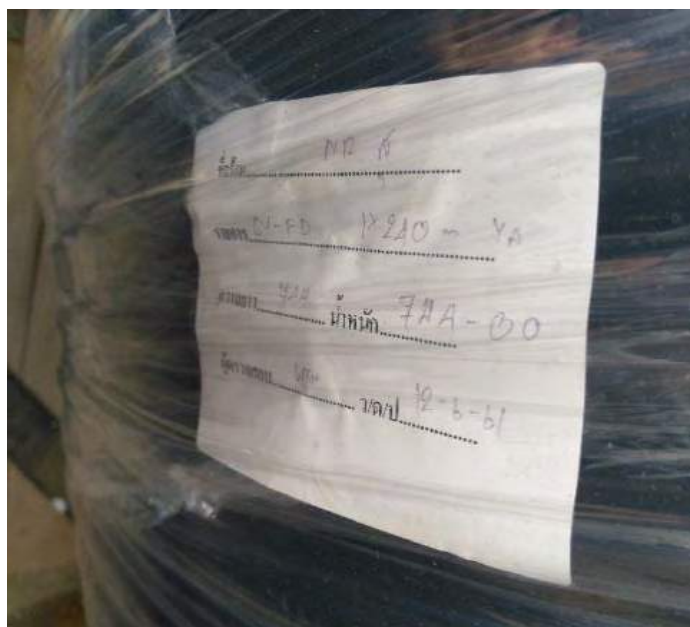
4.2 ชนิดและขนาดของสายไฟ

สายไฟแรงดันสูงจากการไฟฟ้านครหลวงจ่ายกำลังไฟฟ้า 24 kV 3 เฟส 3 สาย ต่อไปยังหม้อแปลงจำหน่ายเพื่อลดแรงดันลงให้ได้แรงดัน L-L เท่ากับ 416V และแรงดัน L-N เท่ากับ 240V โดยใช้สาย SAC 70 SQ.MM. 25 kV มาเข้าฟิวส์แรงสูงผ่านกับดักฟ้าผ่าและการเข้าปลายสายที่ Termination kit แล้วต่อเข้าสาย XLPE 50 SQ.MM.24 kV และเดินสายเข้าที่ร้อยสายไฟไปต่อที่หม้อแปลง ลักษณะของการติดตั้งฟิวส์แรงสูง กับดักฟ้าผ่า และการเข้าปลายสายด้วย Termination Kit ก่อนเข้าที่ร้อยสายสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การเดินสายแรงสูงเข้าที่ร้อยสายไปยังหม้อแปลง

สายไฟฟ้าแรงต่ำที่ออกจากหม้อแปลงไปเข้าสู่ตู้ควบคุมหลักจะใช้สาย XLPE แสดงม้วนของสาย XLPE ได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 สายไฟขนาด 240 SQ.MM

สายแรงต่ำที่ออกจากหม้อแปลงนี้จะเดินในรางเดินสายไฟเคเบิลแลคเคอร์ (Ladder Cable) ซึ่งรางเคเบิลนี้จะเหมาะกับการใช้งานทั้งแบบ Indoor กับ Outdoor ทั้งยังทนต่อการเกิดสนิมได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 การเดินสายไฟบนแลคเคอร์



รูปที่ 4.8 การเดินสายบนแลคเตอร์ในอาคาร

4.3 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ติดตั้งในระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในไลน์การผลิตที่โรงงานขยายเพิ่มขึ้นใช้หี้อะกรูขนาด 1500 kVA, 24 kV/416V-240V ต่อแบบเดลต้า-สตาร์ ประเภทระบายความร้อนด้วยน้ำมัน โดยติดตั้งบนนั่งร้านนอกอาคาร ทำหน้าที่ลดแรงดันที่รับมาจากการไฟฟ้านครหลวง 24 kV ลงให้ได้แรงดัน L-L เท่ากับ 416V และแรงดัน L-N เท่ากับ 240V เพื่อจ่ายให้โหลดโดยผ่านอุปกรณ์ป้องกันและตู้ MDB, ตู้ SDB โดยรายละเอียดต่างๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้านี้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 และสามารถแสดงการติดตั้งหม้อแปลงได้ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดต่างๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า

ลำดับ	อักษรย่อ	ความหมาย
1	kVA	1500 kVA
2	PHASE	3 PHASE
3	FREQUENCY	50 Hz
4	TYPE	ระบบการระบายความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้า ONAN
5	CLASS	A
6	PRI. VOLT.	24000 V
7	SEC. VOLT.	416/240 V
8	PRI. AMP.	36.08 A
9	SEC. AMP.	2081.79 A
10	PERCENT IMP	5.99
11	OIL TEMP. RISE	60 K
12	OIL QTY.(L)	1160
13	DRAIN OIL QTY.(L)	20.6
14	TOTAL WR. (KG)	4570
15	LIFTING WT.(KG)	2110
16	VOLTAGE AND TAP POSITION	ค่าความสัมพันธ์ของแรงดันด้านแรงสูงและแรงต่ำ ตามตำแหน่งแท็ป ต่างๆ
17	CONNECTION DIAGRAM	แผนภูมิแสดงตำแหน่งของขั้วต่างๆ ทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ
18	VECTOR DEAGRAM	แผนภูมิแสดงความแตกต่างของมุมเฟสระหว่างด้านแรงสูงและแรงต่ำ
19	ITEM CODE	53415024808
20	SERIAL NUMBER	61145808EE



รูปที่ 4.9 การติดตั้งหม้อแปลงบนนั่งร้านนอกอาคาร



รูปที่ 4.10 การติดตั้งหม้อแปลงบนนั่งร้านนอกอาคาร

โดยในการบอกรายละเอียดของหม้อแปลงจะแสดงที่แผ่นป้ายของหม้อแปลงไฟฟ้า จะติดอยู่ที่ด้านข้างของตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้าด้านใดด้านหนึ่ง ซึ่งจะใช้เป็นตัวบ่งบอกรายละเอียดเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้า และเพื่ออ้างอิงกับทางบริษัทฯ ผู้ผลิต เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกัน โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

EKARAT ENGINEERING PUBLIC COMPANY LIMITED
BANGKOK, THAILAND

THREE PHASE - OIL IMMERSED - OUTDOOR USED TRANSFORMER

KVA	1500	W/O No.	B1510411
PHASE	3	FREQUENCY	50 Hz
TYPE	ONAN	CLASS	A
PRI. VOLT.	24000	SEC. VOLT.	457/740
PRI. AMP.	36.08	SEC. AMP.	108.12
PERCENT IMP.	5.99	OIL TEMP. RISE	60 K
OIL QTY.(L)	1160	DRAIN OIL QTY.(L)	200
TOTAL WT.(kg)	4570	LIFTING WT.(kg)	240
		DATE	15-06-12

HV. SIDE			LV. SIDE	
POS.	CONNECT.	VOLTAGE	TERMINAL	VOLTAGE
1	5 - 4	24000V	a To b	
2	5 - 3	23400V	b To c	312
3	6 - 3	22800V	c To a	
4	6 - 2	22200V	a b c	370
5	7 - 2	21600V	To n	

CONNECTION DIAGRAM

VECTOR DIAGRAM

HV. SIDE

LV. SIDE

CONNECTION Dyn. T1

ITEM CODE: 403150211000

CONTRACT No.:

SER. No. 0706055612

รูปที่ 4.11 แผ่นป้ายของหม้อแปลงไฟฟ้า

4.4 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

4.4.1 แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Air Circuit Breaker, ACB)

ACB เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำที่สามารถจะทำการดับอาร์คได้ ด้วยอากาศหรือเรียกว่า Air Insulator Circuit Breaker ซึ่ง ACB จะเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดใหญ่ มีพิกัดกระแสไฟฟ้าต่อเนื่องสูง ซึ่งจะมีขนาดใหญ่ใช้สำหรับเป็นเมนเบรกเกอร์จะมีบริกัณฑ์ไฟฟ้าเป็นจำนวนมากอยู่ภายในตัว ซึ่งจะสามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยในงานนี้มีการใช้แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ทั้งหมดสองตัวขนาด 2500 AT/2500 AF ยี่ห้อ ABB รุ่น E2.2N ตัวแรกใช้เป็นเมนเบรกเกอร์ในตู้ MDB และตัวที่สองใช้เป็นเบรกเกอร์ย่อยที่จ่ายไปยังตู้ SDB ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ACB (Air Circuit Breaker)

4.4.2 โมลด์เคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Molded Case Circuit Breaker, MCCB)

MCCB ทำหน้าที่เป็น สวิตช์เปิด-ปิด ด้วยมือและเปิดวงจรโดยอัตโนมัติ (กระแสเกินเนื่องจากโหลดเกินหรือลัดวงจร) เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์เปิดวงจรจะสังเกตเห็นว่าด้ามจับคันโยกจะเลื่อนมาที่ตำแหน่ง Trip ซึ่งจะอยู่กึ่งกลางระหว่าง ON และ OFF ทั้งหมดใช้ 11 ตัว ยี่ห้อ ABB มีขนาด 800 AT/800AF, 630AT/630AF, 100AT/125AF ซึ่งทำหน้าที่เป็นเบรกเกอร์ย่อย สามารถแสดงการติดตั้งได้ดังรูปที่ 4.13 และ 4.14



รูปที่ 4.13 MCCB (Molded Case Circuit Breaker)
การติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ในตู้ MDB สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 การติดตั้ง Circuit Breaker

4.5 Capacitor Bank และ Power Factor Controller

เพื่อควบคุมค่า Power Factor ของระบบไม่ให้ต่ำกว่า 0.85 ตามกฎของการไฟฟ้าท้องถิ่น จึงต้องมีการติดตั้ง Capacitor Bank และ Power Factor Controller เข้าไปในระบบซึ่งมีขนาดและจำนวนตามที่ระบุในแบบ ยี่ห้อที่ใช้ ABB ขนาด 40 kVAR โดยมีรายละเอียดของ Capacitor Bank สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 Capacitor Bank

Power Factor Controller หรือ PFC เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผลค่า Power Factor ว่าเป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือไม่ ซึ่งค่า Power Factor คือค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้า โดยปกติแล้วประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ดีคือ $kW/kVA = 1$ แต่เมื่อมีการใช้งานไฟฟ้ามากเกินไป จะทำให้ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง ซึ่งอุปกรณ์ Power Factor Controller จะช่วยสั่งให้ Capacitor Bank ทำการจ่าย kVAR ในส่วนที่เกิน โดยปกติแล้วการใช้งานไฟฟ้าในโรงงานมักจะไม่คงที่ เนื่องจากมีการเกิดโหลดไฟฟ้าซึ่งเกิดจากเนื่องจากโหลดไฟฟ้า ดังนั้นการติดตั้งคาปาซิเตอร์เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมียระบบควบคุมเพื่อใช้ในการควบคุมการตัดต่อคาปาซิเตอร์ให้เหมาะสมกับโหลด เพื่อเพิ่มคุณภาพของไฟให้ดีขึ้น และไม่โดยปรับค่า PF จากการไฟฟ้าโดยตัวควบคุมตัวนั้นเรียกว่า Power Factor Controller โดยในงานนี้ใช้ยี่ห้อ ABB ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 Power Factor Controller

4.6 Digital Panel Meter (DPM) และ Current Transformer (CT)

Digital Panel Meter ที่เลือกใช้ในงานนี้เป็นยี่ห้อซีเมนส์ รุ่น SENTRON PAC3100 ซึ่งเป็นเครื่องวัดมัลติฟังก์ชันแบบดิจิทัลที่สามารถวัดและแสดงผลของแรงดันทั้ง 3 เฟส kVA kW kVAR และ kWh และสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ด้วย ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำมาใช้กับระบบที่มีการจัดการพลังงาน



รูปที่ 4.17 จอแสดง Digital Panel Meter

Current Transformer หรือ CT

หม้อแปลงกระแสหรือ CT เป็นหม้อแปลงชนิดหนึ่งที่ตั้งใช้งานโดยการคล้องกับสายไฟเพื่อตรวจสอบวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายไฟเส้นนั้นแล้วส่งค่าที่ตรวจวัดได้ไปยัง Digital Panel Meter ต่อไปโดย CT จะทำการลดทอนกระแสไฟฟ้า (Step down) ที่จะวัดนั้นให้เหมาะสมกับพิกัด

กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดกระแสของเครื่องมือวัดรับได้ เช่น อัตราส่วน 15/5A, 50/5A, 150/5A, 500/5A หรือรวมไปจนถึงกระแสสูงๆ เช่น 10,000/5A, 15,000/5A เป็นต้น



รูปที่ 4.18 Current Transformer

4.7 แม็กเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor)

แม็กเนติกคอนแทคเตอร์ คือ อุปกรณ์สวิตช์ตัดต่อวงจรไฟฟ้าเพื่อการเปิด-ปิด ของหน้าสัมผัส (Contact) ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าช่วยในการเปิด-ปิดหน้าสัมผัส ในการตัดต่อวงจรไฟฟ้า เช่น เปิด-ปิด การทำงานของวงจรควบคุมมอเตอร์ นิยมใช้ในวงจรของระบบแอร์ , ระบบควบคุมมอเตอร์ หรือใช้ในการควบคุมเครื่องจักรต่างๆ ในงานนี้ใช้แม็กเนติกคอนแทคเตอร์ในการตัดต่อ Capacitor Bank เพื่อควบคุมค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้เป็นไปตามค่าที่ตั้งไว้โดยควบคุมการตัดต่อของแม็กเนติกคอนแทคเตอร์นี้ โดย Power Factor Controller



รูปที่ 4.19 Magnetic Contactor

4.8 บัสบาร์ (Busbar)

บัสบาร์ เป็นโลหะตัวนำไฟฟ้า นิยมทำจากทองแดงและมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ใช้บัสบาร์เป็นจุดรวมของวงจรภายในตู้ MDB และ SDB โดยรับไฟฟ้าที่จ่ายผ่านแอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (ACB) เข้ามาที่บัสบาร์ของเฟส a,b,c และจากบัสบาร์เหล่านี้ จะถูกต่อไปยังแอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อยเพื่อจ่ายไฟไปยังส่วนอื่นๆ หรือโหลดของระบบต่อไป โดยลักษณะของบัสบาร์ที่ติดตั้งในตู้ MDB ของงานนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 บัสบาร์

4.9 ติดตั้งสายไฟฟ้าเข้ากับบัสบาร์

สายไฟฟ้าที่จะติดตั้งเข้าหม้อแปลงกับตู้ MDB มี 24 เส้น มีสาย Line 1 จำนวน 6 เส้น สีน้ำตาล Line 2 จำนวน 6 เส้น สีดำ Line 3 จำนวน 6 เส้น สีเทา Neutral จำนวน 6 เส้น สีฟ้า Ground จำนวน 1 เส้น สีเขียวแถบเหลือง สีตาม มอก.11-2553 สายเมนใช้สาย XLPE ขนาด 240 SQ.MM. สายนิวตรอน 240 SQ.MM. สายกราวด์ 120 SQ.MM. ตาม Single Line Diagram ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.21 สายไฟที่หม้อแปลง 24 เส้น



รูปที่ 4.22 สายไฟจากหม้อแปลงมาที่ MDB 24 เส้น



รูปที่ 4.23 สายไฟจากหม้อแปลงมาที่ MDB ที่ครบ

การต่อสายเมน สายนิวตรอน สายกราวด์ ของตู้ MDB

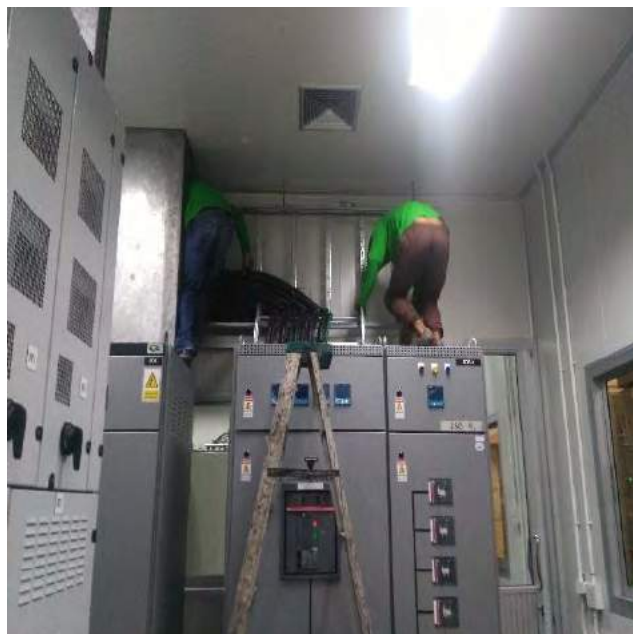
การต่อสายไฟหม้อแปลงจากหม้อแปลงต่อสายไฟเข้าสู่ MDB จาก MDB ต่อสายไฟเข้าสู่ SDB



รูปที่ 4.24 การต่อสายเมน สายนิวตรอน สายกราวด์

การต่อสายเมน นิวตรอน สายกราวด์ ของตู้ SDB

การต่อสายไฟจากตู้ MDB ไปตู้ SDB



รูปที่ 4.25 การต่อสายเมน นิวตรอน สายกราวด์



รูปที่ 4.26 การต่อสายเมน นิวตรอน สายกราวด์

4.10 ติดตั้ง Ground Test Box

การติดตั้งอุปกรณ์ระบบ Ground Test Box ของ ตู้ MDB เป็นสาย 120 ตารางมิลลิเมตร THW เดินในท่อ Ø25 mm. PVC



รูปที่ 4 27 ติดตั้ง Ground Test Box

การต่อสายดิน (Grounding)

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (SYSTEM GROUNDING) คือการนำสาย NEUTRAL ลงดิน เพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันทำงานได้ตามวัตถุประสงค์กรณีเกิด single line to ground fault และลดแรงดันเกินหรือแรงดันตกกรณีโหลดไม่สมดุล คือ จุดต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (จุดต่อลงดินของเส้นศูนย์หรือ นิวตรอน) ต่ออยู่ด้านไฟเข้าของเครื่องตัดวงจรตัวแรกของตู้เมนสวิตช์จุดต่อลงควรต้องมีมากกว่า 1 จุด สายดินละสายเส้นศูนย์สามารถกันได้เพียงแห่งเดียวที่จุดต่อลงดินภายในตู้เมนสวิตช์ห้ามต่อร่วมกันในที่อื่นๆ อีก

การทดสอบหลักดิน

สำหรับหลักดินที่ตกลงไปในพื้นดินแล้วนั้น ก่อนที่จะติดตั้งสายต่อหลักดิน ควรทำการทดสอบหลักดิน โดยการทดสอบทางกลและการทดสอบวัดค่าทางไฟฟ้าสำหรับการทดสอบทางกลนั้น สามารถทำได้เบื้องต้น โดยการใช้มือจับที่ส่วนบนของหลักดินที่โผล่พื้นดินมา แล้วใช้แรงดึงพอเหมาะ เพื่อเป็นการทดสอบความแข็งแรงของหลักดินที่ตกลงไปแล้ว ซึ่งหลักดินที่ตินั้น ต้องมีความแข็งแรง และแน่น เมื่อดึงหรือโยกด้วยแรงพอประมาณจะต้องเคลื่อนที่ไม่ได้โดยง่าย หากพบว่าหลักดินที่ตกลงไปสามารถดึงหรือขยับได้ง่ายๆด้วยมือเปล่า แสดงว่าหลักดินนั้นไม่มีประสิทธิภาพในด้านความแข็งแรง และการถ่ายเทประจุไฟฟ้าก็ย่อมทำได้ไม่ดีด้วย

และในส่วนของการทดสอบวัดค่าทางไฟฟ้า เป็นวิธีการทดสอบอีกขั้นตอนที่ต้องทำ เพื่อตรวจสอบวัดค่าความต้านทานของหลักดินจุดนั้น ด้วยเครื่องมือวัดและทดสอบที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ โดยเครื่องมือที่ใช้วัดทดสอบค่าความต้านทานหลักดินนั้นเรียกว่า Earth Tester Meter หรือ Earth Resistance Tester โดยหลักดินที่ได้มาตรฐานนั้นต้องมีค่าความต้านทานดินไม่เกิน 5 โอห์ม ซึ่งถ้าหากหลักดินที่ตกลงไปนั้น มีความต้านทานสูงเกินกว่า 5 โอห์ม จะต้องตอกแท่งหลักดินเพิ่ม ให้ขนานกับแท่งหลักดินอันแรกที่ตกลงไป แล้วจึงใช้สายต่อฝาก เชื่อมต่อให้หลักดินที่ตกลงไปต่อถึงกันหมด การตอกแท่งหลักดินเพิ่มแล้วต่อฝากถึงกันนั้นจะช่วยให้ค่าความต้านทานหลักดินลดลงได้



รูปที่ 4.28 เครื่องมือวัด Earth Tester Meter



รูปที่ 4.29 หลักดินขนาด 120 ตารางมิลลิเมตร

ระบบหลักดินที่ตอกลึกเข้าไปในดินซึ่งสายต่อหลักดินจะต้องไม่มีการตัดต่อใดๆ โดยการต่อสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดิน วิธีที่ดีที่สุด คือ วิธีการต่อหลักดินด้วยชุดบ้ำหลอมหลักดิน Exothermic Welding ดังแสดงในรูปที่ 4.30 และ 4.31



รูปที่ 4.30 การต่อหลักดินด้วยชุดเบ้าหลอมหลักดิน Exothermic Welding



รูปที่ 4.31 การต่อหลักดิน

หลังจากได้ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆเรียบร้อยแล้วเพื่อตรวจสอบว่าผู้รับเหมาได้ติดตั้งอุปกรณ์ทุกอย่างตามแบบและทำการติดตั้งถูกต้องตามแบบมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบตามรายการที่แสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 การตรวจสอบตู้ MDB

ตู้ MDB	ผลการตรวจสอบ		แนวทางการแก้ปัญหา	
	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง
1.CU Busbar Main 2500A,100% N,25%G	✓			
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 (THW 1x120 SQ.MM.) มี 1 เส้น	✓			
7. ACB (E2.2N) 2500 2500A 3P 36 KA	✓			
8. ACB (E2.2N) 2500 2000A 3P 36 KA	✓			
9. MCCB (T6S) 800 800A 3P	✓			
10. MCCB (A1N) 125 100A 3P มี 2 ตัว	✓			
11. Pilot Lamp,220V,LED type,red	✓			
12. Pilot Lamp,220V,LED type,yellow	✓			
13. Pilot Lamp,220V,LED type,blue	✓			
14. Capacitor 12 step	✓			
15. Power factor controller RVC	✓			
16. Digital Panel Meter	✓			
17. SPARE 100 A มี 2 จุด	✓			
ตู้ MDB ข้างที่ต่อไปที่ตู้ SDB	ผลการตรวจสอบ		แนวทางการแก้ปัญหา	
	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง
18. Line 1 (XLPE 1x240 SQ.MM.) มี 5 เส้น	✓			
19. Line 2 (XLPE 1x240 SQ.MM.) มี 5 เส้น	✓			
20. Line 3 (XLPE 1x240 SQ.MM.) มี 5 เส้น	✓			
21. Neutral (XLPE 1x240 SQ.MM.) มี 3 เส้น	✓			

22. Ground (THW 1x120 SQ.MM.) มี 1 เส้น	✓			
---	---	--	--	--

ตารางที่ 4.3 การตรวจสอบตู้ SDB

ตู้ SDB	ผลการตรวจสอบ		แนวทางการแก้ปัญหา	
	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง
1.CuBusbar Main 2500A,100% N,25%G	✓			
2. Line 1 (XLPE 1x240 SQ.MM.) มี 5 เส้น	✓			
3. Line 2 (XLPE 1x240 SQ.MM.) มี 5 เส้น	✓			
4. Line 3 (XLPE 1x240 SQ.MM.) มี 5 เส้น	✓			
5. Neutral (XLPE 1x240 SQ.MM.) มี 3 เส้น	✓			
6. Ground (THW 1x120 SQ.MM.) มี 1 เส้น	✓			
7. ACB (NW4013F2EM) 3P 2500 2500A	✓			
8. MCCB (T5N) 3P 630 630A มี 4 ตัว	✓			
9. MCCB (A1B) 3P 125 100A มี 4 ตัว	✓			
10. Digital Panel Meter มี 5 ตัว	✓			

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลของโครงการ

จากการที่ได้รับมอบหมายจากสถานประกอบการให้ศึกษา รวบรวมข้อมูล ตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ ในการติดตั้งระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับส่วนงานที่กำลังขยายการผลิตของโรงงานผลิตแบตเตอรี่ ทั้งนี้เพื่อให้อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งเป็นไปตามมาตรฐานและการติดตั้งเป็นไปตามมาตรฐานด้วย โดยการติดตั้งระบบดังกล่าวเสร็จสมบูรณ์ได้มาตรฐานประกอบด้วย การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า และอุปกรณ์ประกอบ การติดตั้งสายไฟฟ้า การติดตั้งตู้ MDB และ SDB

5.2 ปัญหาที่พบในการทำโครงการ

- 5.2.1 มีการขึ้นที่สูงในการปฏิบัติงาน
- 5.2.2 ยกของหนักมากกว่า 1 ตัน
- 5.2.3 มีงานตัด, การเชื่อม
- 5.2.4 อุปกรณ์ เครื่องมือบางชนิดไม่เคยรู้จัก เนื่องจากไม่มีในห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย

5.3 วิธีการแก้ปัญหา

- 5.3.1 ใช้อุปกรณ์ Safety belt และทำ Lifeline ใช้ป้องกันด้วย
- 5.3.2 ใช้คนงานที่ชำนาญงานในการยกวัสดุ
- 5.3.3 ใช้ผ้ากันไฟและถังดับเพลิงเพื่อป้องกันเบื้องต้น
- 5.3.4 สืบค้นข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตและสอบถามจากผู้รับเหมาและพนักงานที่ปรึกษา

5.4 ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน

- 5.4.1 ต้องมีความรู้ความเข้าใจก่อนเข้าปฏิบัติงาน
- 5.4.2 ใช้เครื่องมือให้ถูกต้องกับลักษณะงาน
- 5.4.3 มีการวางแผนและพูดคุยกับทีมงานก่อนปฏิบัติงานทุกครั้ง
- 5.4.4 ควรจัดให้มีเครื่องมืออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการให้ทันสมัย สอดคล้องกับที่มีใช้งานจริง

บรรณานุกรม

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2556). *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของประเทศไทย*.

เข้าถึงได้จาก <https://blog.rmutl.ac.th/montri/assets/ee2556.pdf>

ลือชัย ทองนิล. (2561). *มาตรฐานสายไฟฟ้า*. เข้าถึงได้จาก <http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/Luechai/L3.pdf>

ประเทือง ใจแก้ว. (2561). *แบบระบบไฟฟ้าเบื้องต้น*. เข้าถึงได้จาก <http://www.kruthueang.com/kru/web1/web/mainfile/OYnA64RzeBXS.PDF>

บริษัท สเตเบิล อิเล็กตริก ซัพพลาย จำกัด. (2561). *หม้อแปลงไฟฟ้า*. เข้าถึงได้จาก <http://www.stable.co.th/index.php?lay=show&ac=article&Id=539185370&Ntype=17>

บริษัท ไอต้า อินเตอร์เทรด จำกัด. (2561). *แผงควบคุมไฟฟ้าหลัก (Main Distribution Board, MDB)*. เข้าถึงได้จาก <http://www.aida-intertrade.co.th/2016/mdb-main-distribution-board/>



ภาคผนวก ก

1. นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

Rectifire Circuit	ระบบวงจรไฟฟ้าสำหรับอินเวอร์เตอร์ของกระแสลับปัจจุบัน เป็นกระแสดตรง
MDB	(Main Distribution Board) ระบบควบคุมวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น
SDB	(Sub Distribution Board) ระบบควบคุมวงจรไฟฟ้าสำรอง
PB	Panel of electric Board การควบคุมวงจรไฟฟ้าย่อย
Tranformer	เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่ใช้ในการส่งผ่านพลังงานจากวงจรไฟฟ้าหนึ่งไป ยังอีกวงจรโดยอาศัยหลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า โดยปกติจะใช้ เชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้าแรงสูง และไฟฟ้าแรงต่ำ หม้อแปลง เป็นอุปกรณ์หลักในระบบส่งกำลังไฟฟ้า
Capacitor Bank	ตัวเก็บประจุเพื่อปรับกำลังไฟฟ้า
PLC	โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable logic Control: PLC) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร
IGBT	เป็นสวิตช์หลักในตัวอินเวอร์เตอร์
Refrigerant system	ระบบทำความเย็น
AS-Built Drawing	แบบที่เขียนขึ้นหลังจากการก่อสร้างเสร็จไปเรียบร้อยแล้ว โดยแบบ AS-Built Drawing นี้จะแสดงรายละเอียดของสิ่งที่ได้ก่อสร้างไปจริง
Shop Drawing	แบบที่เขียนขึ้นมาเพื่อใช้ทำงานจริงๆ ณ สถานที่ก่อสร้างเพราะโดย ปกติแบบที่เขียนจากบรรดาสถาปนิก-วิศวกร จะแยกส่วนออกจาก กันทั้งที่การก่อสร้างจะต้องสัมพันธ์กัน เกี่ยวข้องกัน เชื่อมต่อกัน
ACS2V	Acid circulate system 2 Volt (ระบบหมุนเวียนน้ำกรด 2 โวลต์)

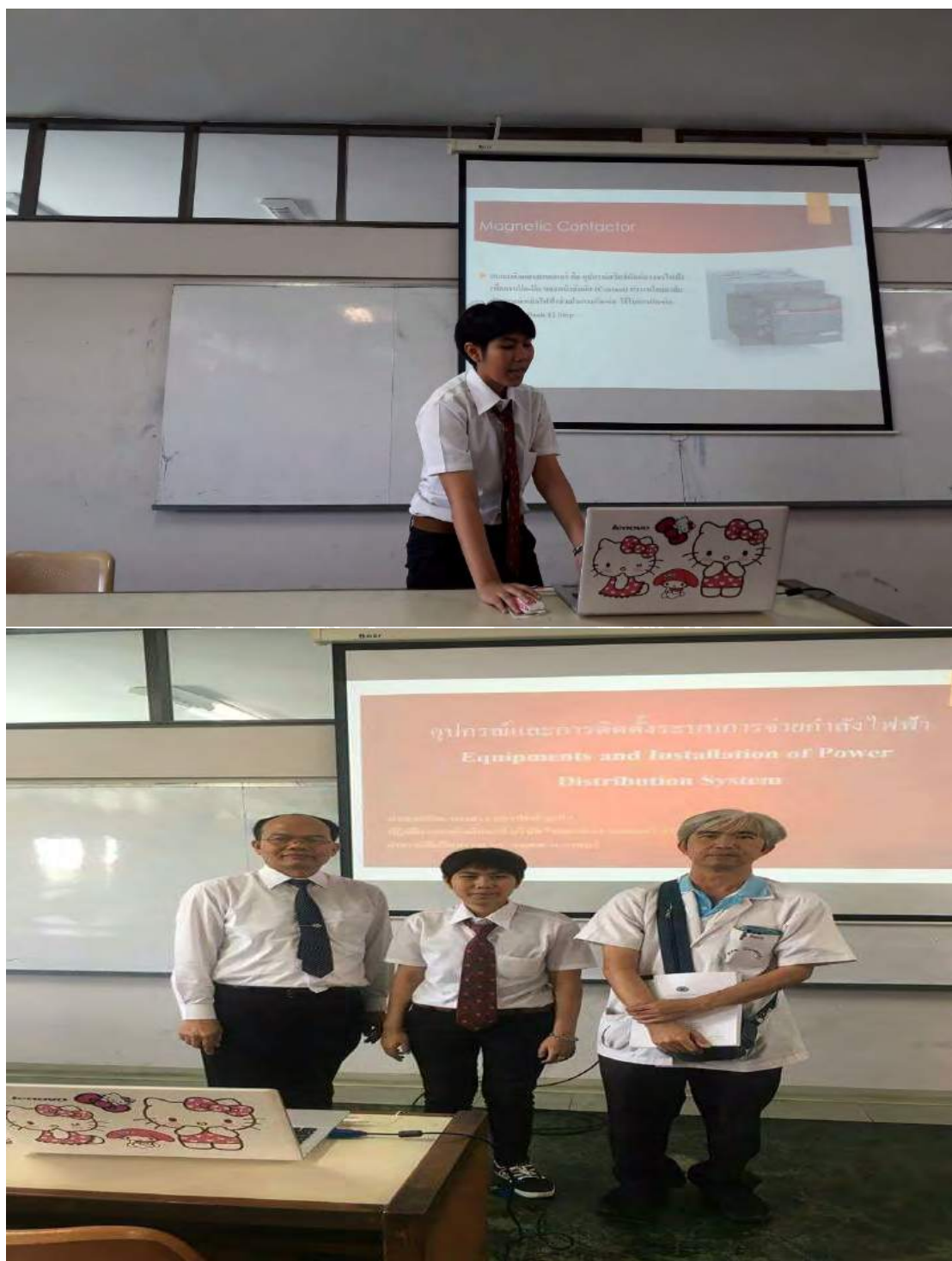
2. ใบอนุญาตเข้าทำงานอันตรายในโรงงาน

หมายเหตุ _____		เอกสารนี้ใช้ได้ภายใน 1 วัน	
เรียน ผู้จัดการฝ่าย _____ (เจ้าของพื้นที่) วันที่ _____			
ตั้งแต่วันที่ _____ น. ถึงเวลา _____ น.			
วัตถุประสงค์งาน _____			
บริเวณพื้นที่ทำงาน			
☐ แก๊ส (Gas)		☐ เครื่องจักร	
☐ พื้นที่อันตราย (Site/Tank)		☐ สายไฟฟ้า (ทาว, มินเนอร์)	
☐ ที่สูงบนหลังคา (Roof)		☐ อื่นๆ (ระบุ) _____	
☐ วัสดุ (ใบ, ฟองน้ำ, กระดาษ, ผนัง)			
สิ่งที่ไม่ให้กีดกันอันตรายในการปฏิบัติงาน			
1) สายไฟฟ้า	☐ มี ☐ ไม่มี	5) แก๊ส	☐ มี ☐ ไม่มี
2) สายระเบิด	☐ มี ☐ ไม่มี	6) ความร้อน	☐ มี ☐ ไม่มี
3) สารกัดกร่อน	☐ มี ☐ ไม่มี	7) เสียงดัง	☐ มี ☐ ไม่มี
4) สุนัข	☐ มี ☐ ไม่มี	8) กระแสไฟฟ้า	☐ มี ☐ ไม่มี
9) เครื่องจักร	☐ มี ☐ ไม่มี	10) มลพิษ	☐ มี ☐ ไม่มี
11) อื่นๆ (ระบุ)			
อุปกรณ์และมาตรการด้านความปลอดภัย			
☐ หมวกนิรภัย	☐ หน้ากากกรองฝุ่น	☐ ชุดกันสารเคมี	☐ ถังดับเพลิงมือถือ
☐ รองเท้านิรภัย	☐ หน้ากากกรองสารเคมี	☐ เข็มขัดนิรภัย	☐ ออกซิเจนมากกว่า 18.5%
☐ แว่นตานิรภัย	☐ ถุงมือ	☐ ป้ายเตือนอันตราย	☐ อื่นๆ (ระบุ) _____
☐ ปลั๊กอุดหู	☐ ชุดกันฝุ่น	☐ อุปกรณ์สื่อสาร	
ผู้ปฏิบัติงาน รวม _____ คน ดังนี้			
1) _____	5) _____	9) _____	
2) _____	6) _____	10) _____	
3) _____	7) _____	11) _____	
4) _____	8) _____	12) _____	
ส่วนที่ 2			
ก่อนเริ่มการทำงานรายละเอียดตามที่ระบุไว้ได้ตรวจสอบอุปกรณ์และมาตรการต่างๆ แล้ว โดยพิจารณาแล้วว่ามีความปลอดภัยที่จะทำงานได้			
ผู้อนุมัติและควบคุมงาน			
ลงชื่อ _____ วันที่ _____		บริษัท/แหล่ง _____ โทร. _____	
ความเห็นผู้จัดการฝ่ายบำรุงรักษา		ความเห็นผู้จัดการฝ่ายที่เกี่ยวข้อง	
☐ อนุมัติ ☐ ไม่อนุมัติ		☐ อนุมัติ ☐ ไม่อนุมัติ	
ลงชื่อ _____ วันที่ _____		ลงชื่อ _____ ผู้จัดการฝ่าย _____ วันที่ _____	
ส่วนที่ 3			
การประเมินความปลอดภัยและอันตรายได้เสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยผู้ควบคุมงานได้ตรวจสอบและพิจารณาแล้วว่ามีความปลอดภัยที่จะทำงานได้			
ผู้อนุมัติและควบคุมงาน			
ลงชื่อ _____ วันที่ _____		บริษัท/แหล่ง _____ โทร. _____	
ผู้ตรวจความปลอดภัย			
ลงชื่อ _____ วันที่ _____		บริษัท _____	
ลงชื่อ _____ วันที่ _____		บริษัท _____	
หมายเหตุ: ผู้ควบคุมงาน = อนุมัติ (เจ้าของงาน) = ผู้ควบคุม (เจ้าของพื้นที่) = ผู้อนุมัติต้นฉบับ = อนุมัติ (ความเห็นต้นฉบับเข้า File)			

อาจารย์ที่ปรึกษาไปนิเทศสหกิจศึกษา



รูปพีเซ็นต์ที่ล้มเหลว



ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ – นามสกุล : นางสาวฉัตรทิพย์ ชูแก้ว
รหัสนักศึกษา : 6004220003
คณะ : วิศวกรรมศาสตร์
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
ที่อยู่ : 222/188 ม.5 ต.แพรกษา อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10280
เบอร์ติดต่อ : 063-4063678

ประวัติการศึกษา

มัธยมศึกษาตอนต้น : โรงเรียนนพคุณวิทยา
มัธยมศึกษาตอนปลาย : โรงเรียนสมุทรปราการ
ปริญญาตรี : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสยาม