



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การตรวจสอบและซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ของหม้อแปลงไฟฟ้า  
Inspection and Overhaul of a Power Transformer

นายกานต์ธเนศ ดีมี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การตรวจสอบและซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ของหม้อแปลงไฟฟ้า  
Inspection and Overhaul of a Power Transformer

นายกานต์ธเนศ ดีมี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การตรวจสอบและซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ของหม้อแปลงไฟฟ้า

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายกานต์ธเนศ ดีมี

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.วรชาติ สุวรรณงาม

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายทวิวัฒน์ชัย ยั่งยืน

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท บีแอลซีพี จำกัด

## บทคัดย่อ

รายงานสหกิจศึกษานี้ เป็นส่วนหนึ่งของวิชาสหกิจศึกษา ที่กำหนดให้นักศึกษาทำโครงการร่วมกับสถานประกอบการตลอดระยะเวลาหนึ่งภาคเรียนการศึกษา โดยรายงานฉบับนี้ นำเสนอถึง หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ น้ำมันแร่ เป็นตัวกลางในการระบายความร้อน ขั้นตอนบำรุงรักษาครั้งใหญ่ของหม้อแปลง วิธีตรวจสอบและทดสอบหม้อแปลง รวมไปถึงการวางแผนในการบำรุงรักษาครั้งใหญ่ในครั้งถัดไป ซึ่งผู้จัดทำได้รับมอบหมายให้จัดเตรียมเอกสารแสดงรายละเอียดขั้นตอนในการบำรุงรักษาครั้งใหญ่ของหม้อแปลงไฟฟ้าจากหน้างานจริง เพื่อนำเอกสารที่ได้มาเป็นความรู้ให้กับผู้รับเหมาหรือผู้ทำงานก่อนเริ่มทำงาน ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ทำงานและเพื่อความราบรื่นในการทำงาน ซึ่งนำไปสู่การลดระยะเวลาในการทำงาน

**Cooperative Title:** Inspection and Overhaul of a Power Transformer

**Student intern name:** Mr.Kanthanate Deemee

**Faculty:** Engineering

**Department:** Electrical Engineering

**Advisor name:** Asst.Prof.Dr.Warachart Suwan-ngam

**Mentor name:** Mr.Tawatchai Youngyuen

**Company:** BLCP Power Limited

## ABSTRACT

This cooperative educational report is a part of cooperative educational program that assigned the student to make a project with company within one semester. This report describes the principle of power transformer, parts of power transformer which are cooled by mineral oil, the procedure of overhaul of the transformer, inspection and testing the transformer and planning for next overhaul. The student task is to prepare the document describing the procedure for overhauling the transformer. This document will be useful for either contractors or workers for their safety and reduction of the working time.

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก บริษัท บีแอลซีพี เพาเวอร์ จำกัด ที่ได้ให้โอกาสให้ข้าพเจ้าได้ร่วมปฏิบัติสหกิจศึกษาและได้เป็นส่วนหนึ่งของบริษัท ตลอดระยะเวลาหนึ่งภาคเรียนการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.วรชาติ สุวรรณงาม อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์นิเทศ ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอด กระทั่งรายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่ให้การอบรมสั่งสอน สนับสนุน ข้าพเจ้าในทุกๆด้าน และคอยให้คำปรึกษาต่างๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ นายทวีธรรมชัย ยั่งยืน พนักงานที่ปรึกษา ผู้ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำและทักษะในการทำงานด้านต่างๆ รวมไปถึงพนักงานในแผนกวิศวกรรมทุกคน ที่กรุณาให้ความรู้และคำปรึกษาต่างๆเกี่ยวกับโรงไฟฟ้าและโครงการที่ได้รับมอบหมาย จนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคน ที่ช่วยให้คำแนะนำและคอยให้ความช่วยเหลือ ในเรื่องต่างๆ และคอยเป็นกำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากรายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้ ขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ จนรายงานฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และขอมอบให้แก่ผู้สนใจศึกษา ข้าพเจ้าหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจได้ไม่มากนักน้อย

กานต์ธเนศ ดีมี

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 หม้อแปลงกำลัง (Power transformer).....	4
2.2 การบำรุงรักษาหม้อแปลง.....	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน.....	31
3.1 การจัดเตรียมและตรวจสอบสภาพก่อนเริ่มทำงาน.....	31
3.2 การถ่ายน้ำมันออกจากถังน้ำมันสำรองและหม้อแปลง.....	33
3.3 การเปลี่ยนชิ้นส่วนหม้อแปลง.....	35
3.4 การเปลี่ยนอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลง.....	42
3.5 การเติมน้ำมันหม้อแปลงภายใต้ความดันสุญญากาศ.....	45
3.6 การทดสอบรอยรั่วซึมหม้อแปลง (Oil Leakage test).....	48
3.7 การตรวจสอบการติดตั้งและการทดสอบหม้อแปลง.....	49
บทที่ 4 ผลการติดตั้งและตรวจสอบทางวิศวกรรมและผลการวางแผนการซ่อมบำรุง.....	51
4.1 การตรวจสอบอุปกรณ์.....	51
4.2 ผลการติดตั้ง rubber bag.....	54
4.3 ผลการติดตั้ง Oil cooling pump.....	56
4.4 ผลการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน (Protective device).....	57
4.5 ผลการเติมน้ำมันภายใต้แรงดันสุญญากาศ.....	58

## สารบัญ (ต่อ)

4.6 ผลการทดสอบหม้อแปลง .....	59
4.7 ผลการวางแผนซ่อมบำรุง.....	67
<b>บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน.....</b>	<b>69</b>
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน .....	69
5.2 ปัญหาและอุปสรรค .....	69
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	70
<b>บรรณานุกรม .....</b>	<b>71</b>
ภาคผนวก.....	72
ประวัติผู้เขียน .....	76

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าของ Polarization index ในกรณีต่างๆ.....	24
2.2 การเกิด Corrosion ในระดับต่างๆ .....	30
4.1 ผลการตรวจสอบอุปกรณ์.....	51
4.2 ผลการติดตั้ง rubber bag .....	54
4.3 ผลการติดตั้ง Oil cooling pump .....	56
4.4 ผลการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน (Protective device).....	57
4.5 ผลการเติมน้ำมันภายใต้แรงดันสุญญากาศ.....	59
4.6 ผลของการวิเคราะห์ของค่า Polarization index.....	60
4.7 ผลการทดสอบของวงจรถูกป้องกัน .....	62
4.8 ผลการทดสอบมอเตอร์พัดลมระบายความร้อน.....	63
4.9 ผลการทดสอบ Oil cooling pump.....	66
1 เกณฑ์การทดสอบวงจรถูกป้องกัน.....	73
2 เกณฑ์การทดสอบมอเตอร์พัดลมระบายความร้อน.....	73
3 เกณฑ์การทดสอบ Oil cooling pump .....	74
4 เกณฑ์การตรวจสอบอุปกรณ์.....	74
5 เกณฑ์การติดตั้ง Oil cooling pump.....	74
6 เกณฑ์การติดตั้ง rubber bag.....	75
7 เกณฑ์การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน .....	75
8 เกณฑ์การเติมน้ำมันภายใต้แรงดันสุญญากาศ.....	75

## สารบัญญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 หม้อแปลงกำลังขนาด 810 MVA.....	5
2.2 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Shell type และ Core type.....	5
2.3 ถังหม้อแปลงที่บรรจุชุด Active Part เพื่อทำสุญญากาศและเติมน้ำมัน .....	7
2.4 ถังน้ำมันสำรอง.....	7
2.5 Buchholz relay .....	8
2.6 ลูกกลอยของ Buchholz relay ที่ต่อกับสวิทช์ .....	9
2.7 ลูกกลอยลูกบนลดระดับลงส่งสัญญาณ Alarm เมื่อเกิดความผิดปกติไม่รุนแรง.....	9
2.8 ลูกกลอยลูกล่างส่งสัญญาณ Trip เมื่อเกิดความผิดปกติรุนแรง.....	9
2.9 โครงสร้างภายในของ Buchholz relay.....	10
2.10 กระจาปะระองความชื้น .....	10
2.11 ส่วนประกอบของ Pressure relief.....	11
2.12 ไดอะแกรมส่วนประกอบของ Pressure relief.....	12
2.13 ชุดเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่ติดตั้งกับขดลวดหม้อแปลง .....	12
2.14 รีเลย์รักษาระดับแรงดัน.....	13
2.15 โครงสร้างของที่วัดระดับน้ำมันแบบหน้าปิด .....	15
2.16 ป้ายชื่อ .....	16
2.17 อุปกรณ์ล่อฟ้า.....	17
2.18 ความเสียหายของลูกถ้วยแบบผิวกระเบื้อง (ซ้าย) และแบบพอลิเมอร์ (ขวา) .....	18
2.19 การทำ Thermo scan.....	18
2.20 เทอโมมิเตอร์แบบแท่งและแบบหน้าปิด .....	21
2.21 คราบน้ำมันที่เกิดจากการรั่วของหม้อแปลง.....	22
2.22 การยับยั้งการทำปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟอร์กับทองแดงโดยสาร Passivator.....	29
2.23 แลบสีมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบการเกิด Corrosion.....	30
3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ก่อนถ่ายน้ำมัน .....	34
3.2 การติดตั้ง rubber bag.....	36
3.3 ขั้นตอนการเปลี่ยน Oil cooling pump.....	39
3.4 Oil & Winding temperature indicator .....	41
3.5 การเปลี่ยน Buchholz relay.....	43
3.6 การเปลี่ยน Pressure relief.....	44

## สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

3.7 การติดตั้งอุปกรณ์ก่อนเติมน้ำมันหม้อแปลง .....	45
3.8 การไล่อากาศออกจากถังน้ำมันสำรอง.....	46
3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระดับน้ำมัน .....	47
3.10 การทดสอบรอยรั่วซึมหม้อแปลง .....	48
4.1 การทดสอบ Breakdown voltage ของน้ำมันหม้อแปลง .....	52
4.2 ถังอากาศแห้ง .....	52
4.3 ถังเก็บน้ำมัน .....	53
4.4 เครื่องกรองน้ำมัน (Oil purifier).....	53
4.5 การตรวจสอบถังน้ำมันสำรอง .....	55
4.6 การตรวจสอบปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในถังน้ำมันสำรอง.....	55
4.7 การติดตั้ง Oil cooling pump .....	56
4.8 การเปลี่ยน Buchholz relay.....	58
4.9 การเปลี่ยน Pressure relief.....	58
4.10 การให้ความดันสุญญากาศก่อนการเติมน้ำมัน .....	59
4.11 ภาพตารางการทำงานที่วางแผนไว้ในแรกเริ่ม.....	67
4.12 ภาพตารางการทำงานที่วางแผนไว้สำหรับครั้งต่อไป .....	68
5.1 ภาพตารางการทำงานจริงเมื่อเกิดปัญหา.....	70

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี เป็นโรงไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้ารายใหญ่เป็นอันดับต้นๆของประเทศไทย โดยทั้งกำลังการผลิตและการเปิดดำเนินการทั้งสองหน่วยผลิต มีความสอดคล้องกับแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า (Power Development Plan - PDP) ของประเทศไทย เพื่อช่วยในการเสริมสร้างเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า รักษาความสมดุลของปริมาณการผลิต และปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศ นอกจากนี้โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี มีต้นทุนในการผลิตต่อหน่วยอยู่ในระดับที่มีส่วนช่วยลดต้นทุนการผลิตโดยรวมของประเทศ รวมทั้งช่วยชะลอการขึ้นราคาปลีกของค่าไฟฟ้าภายในประเทศท่ามกลางสถานการณ์น้ำมันราคาสูงที่ผันผวนตามตลาดโลกในปัจจุบัน

ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีนั้น จะมีงานที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ คือ การซ่อมแซมและบำรุงรักษา ซึ่งมีบทบาทที่ช่วยให้การผลิตกระแสไฟฟ้านั้นเป็นไปอย่างราบรื่น ซึ่งการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์และเครื่องจักรนั้นจะมีผลโดยตรงกับประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของบริษัท ในการซ่อมแซมและบำรุงรักษาจะแบ่งเป็นการบำรุงรักษาที่เป็นประจำ (Routine Maintenance) คือ การซ่อมบำรุงรักษาตามคาบเวลาของแต่ละอุปกรณ์เพื่อให้อุปกรณ์ทำงานได้อย่างสม่ำเสมอ และการซ่อมบำรุงรักษาครั้งใหญ่ (Overhaul Maintenance) คือ การซ่อมบำรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์โดยที่เครื่องจักรหยุดการทำงานและไม่มีกระแสไฟฟ้า (Plant shut down) เพื่อที่จะซ่อมแซมและตรวจสอบเครื่องจักรอย่างละเอียด รวมไปถึงการเปลี่ยนอุปกรณ์และเครื่องจักรบางส่วน เพื่อให้การผลิตไฟฟ้ามีประสิทธิภาพเสมือนครั้งแรกที่เริ่มผลิต

ซึ่งในช่วงที่ผู้จัดทำได้มาทำสหกิจศึกษานั้น ทางบริษัทได้มีการซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ (Overhaul) เพื่อให้อุปกรณ์และเครื่องจักรกลับมาอยู่ในสภาพที่ดีเหมือนครั้งแรกที่เริ่มทำงาน ซึ่งรวมถึงอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้า เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า สถานีส่งจ่ายไฟฟ้า อุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า ฯลฯ ซึ่งผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการบำรุงรักษา ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้จัดทำโครงการการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบและซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ของหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อที่จะซ่อมแซมและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพที่ดีเหมือนครั้งที่เริ่มทำงาน เนื่องจาก หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากในการส่งจ่ายไฟฟ้า

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อเรียนรู้หลักการทำงานและกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า BLPC Power ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าความร้อน (Thermal Power Plant)
- 1.2.2 เพื่อนำความรู้ที่ได้จากหน้างานจริงมาจัดทำเอกสารแสดงขั้นตอนของการทำงาน ในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด
- 1.2.3 เพื่อศึกษา ตรวจสอบและทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ภายในหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดน้ำมัน
- 1.2.4 เพื่อศึกษา ตรวจสอบและทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันภายในหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดน้ำมัน
- 1.2.5 เพื่อนำเอกสารและความรู้ที่ได้ ถ่ายทอดให้กับผู้รับเหมาเพื่อให้เข้าใจขั้นตอนการทำงานก่อนเริ่มต้นทำงาน
- 1.2.6 เพื่อนำผลที่ได้จากการทำงานจริงมาวางแผนสำหรับการทำงานในครั้งถัดไป

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการนี้ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบและซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ (Overhaul) และรวมไปถึงการเปลี่ยนอุปกรณ์บางชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำมันและพัดลม แบบ วาย-เดลต้า ขนาดพิกัด 810 MVA, 24 kV/500 kV ซึ่งในการทำการตรวจสอบและซ่อมบำรุงครั้งนี้จะมีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง คือ บีมน้ำมันหม้อแปลง (Oil cooling pump), Rubber bag, ฉนวนน้ำมัน (Insulation oil), แกนเหล็ก, ขดลวด, ฉนวนไฟฟ้า และรวมไปถึงระบบป้องกันต่างๆที่เกี่ยวข้อง ซึ่งวิธีการและอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบและซ่อมบำรุงนั้น ต้องมีความเหมาะสมกับอุปกรณ์และเป็นไปตามมาตรฐานสากล

## 1.4 วิธีการศึกษา

- 1.4.1 ศึกษากระบวนการทำงานของโรงไฟฟ้าถ่านหิน
- 1.4.2 ศึกษาหลักการทำงานและองค์ประกอบโดยรวมของหม้อแปลงไฟฟ้า
- 1.4.3 ศึกษาการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้า

- 1.4.4 ศึกษาวิธีการตรวจสอบ ซ่อมแซมและบำรุงรักษาและติดตั้งอุปกรณ์ ให้มีความถูกต้องตามมาตรฐานสากล และมีความปลอดภัย
- 1.4.5 ตรวจสอบ ซ่อมแซม บำรุงรักษาและติดตั้งอุปกรณ์ที่หน้างานจริง
- 1.4.6 ทดสอบการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้า

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 เข้าใจถึงหลักการทำงานและกระบวนการผลิตไฟฟ้า ทั้งทางทฤษฎีและการทำงานจริงของโรงไฟฟ้าถ่านหิน
- 1.5.2 เข้าใจถึงหลักการทำงานและส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดน้ำมัน จากการศึกษาปฏิบัติงานจริง
- 1.5.3 เข้าใจถึงหลักการวัดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดเพื่อการตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้า
- 1.5.4 เข้าใจวิธีการตรวจสอบ ซ่อมแซม บำรุงรักษาและติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ
- 1.5.5 ทราบขั้นตอนการปฏิบัติงานอย่างปลอดภัยและเป็นระบบของบริษัท
- 1.5.6 มีความรับผิดชอบต่องานที่ได้รับมอบหมายและมีการคิด วิเคราะห์ อย่างเป็นระบบ
- 1.5.7 ได้รับประสบการณ์ทำงานจากการปฏิบัติงานจริง

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการการตรวจสอบและวิธีการบำรุงรักษาครั้งใหญ่ (Overhaul) ของหม้อแปลงไฟฟ้าในช่วงที่ไม่จ่ายกระแสไฟฟ้า (Outage) ของโรงไฟฟ้า บีแอลซีพี เพาเวอร์ จำกัด เริ่มจากหลักการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้า และวิธีการตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งล้วนเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ทำงานควรทราบก่อนที่จะเริ่มปฏิบัติงาน เมื่อมีความเข้าใจถึงทฤษฎีและหลักการการตรวจสอบและบำรุงรักษา จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม และปลอดภัย ซึ่งจะทำให้การปฏิบัติงานมีความราบรื่นและมีส่วนช่วยลดระยะเวลาในการปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นผลดีต่อบริษัทในด้านเศรษฐศาสตร์

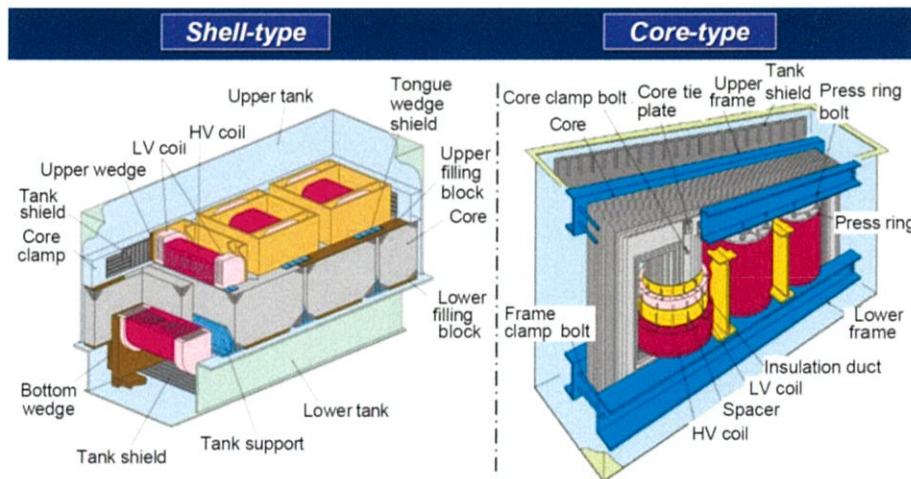
#### 2.1 หม้อแปลงกำลัง (Power transformer) [1]

หม้อแปลงกำลัง เป็นอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นและสำคัญในระบบไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนแรงดันให้สูงขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับระบบส่งกำลังไฟฟ้าเพื่อลดขนาดกระแสในสายลง ทำให้ใช้ขนาดสายตัวนำเล็กลงและเปลี่ยนแรงดันให้ต่ำลงเพื่อให้เหมาะสมกับระบบจำหน่าย และการใช้พลังงานไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้านับว่าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำคัญที่สุดในบรรดาอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหลาย การขัดข้องหรือการชำรุดเสียหายของหม้อแปลงไฟฟ้ามักมีผลกระทบต่อการใช้ไฟ หรือขบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอย่างมาก



ภาพที่ 2.1 หม้อแปลงกำลังขนาด 810 MVA

ดังนั้นหม้อแปลงกำลังจะหมายถึงหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสูง เช่น 50 MVA ,115/22 kV ที่ใช้ในสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เป็นต้น



ภาพที่ 2.2 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Shell type และ Core type [1]

### 2.1.1. หลักการทำงานของหม้อแปลงกำลัง

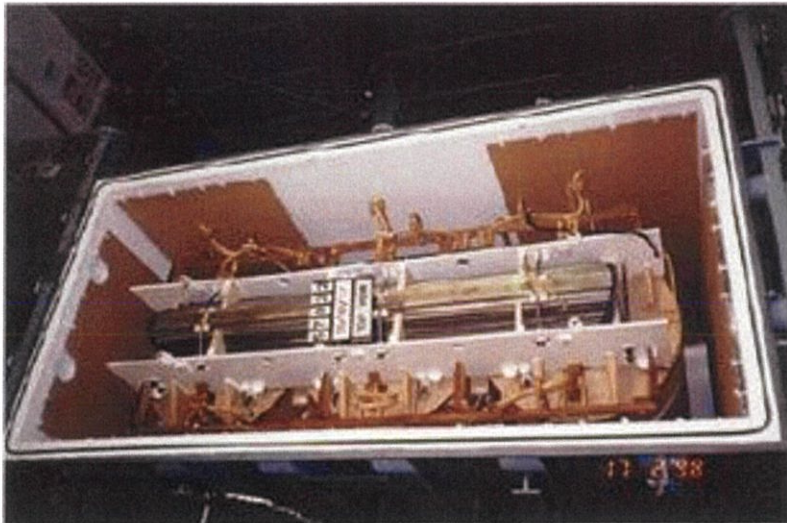
หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ (Ideal Transformer) ถือว่า การสร้างเส้นแรงแม่เหล็กจะเป็นไขว้ขอยึดตามรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้า การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น อาศัยของการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กในการสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้กับตัวนำ คือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดตัวนำ ก็จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบๆตัวนำนั้น และถ้ากระแสที่ไหลในวงจรไฟฟ้ามีขนาดและทิศทางที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ก็จะทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย และเมื่อสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวตัดผ่านตัวนำ ก็จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวนำนั้น โดยขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กและความเร็วในการตัดผ่านตัวนำของสนามแม่เหล็ก เมื่อขดลวดชุดที่ 1 เป็นขดลวดที่ได้รับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเพื่อทำการเหนี่ยวนำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กหลักขึ้นในแกนเหล็ก จะเรียกขดลวดชุดที่ได้รับไฟจ่ายเข้าป็นนี้ว่า ขดลวดชุดหลัก หรือ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) ในขณะที่ขดลวดชุดที่ 2 เป็นขดลวดที่ได้รับผลของเส้นแรงแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเพื่อจ่ายไฟให้แก่โหลด เรียกขดลวดชุดจ่ายไฟออกนี้ว่า ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding)

ในเรื่องของการส่งผ่านเปลี่ยนแปลงพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น ไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงผลการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเนื่องจากแกนเหล็ก (Core Losses) และการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเนื่องจากลวดทองแดงตัวนำ (Copper Loss) ของขดลวด แต่ในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่นำมาใช้นั้น ค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเหล่านี้จะต้องมีค่าไม่เกินหนึ่งเปอร์เซ็นต์ของพิกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งหม้อแปลงที่มีพิกัดกำลังสูงๆ เพราะจะเป็นการสูญเสียทั้งในแง่ของพลังงานและเงิน ดังนั้นประสิทธิภาพโดยประมาณของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังจะถือว่าประมาณใกล้เคียง หรือเท่ากับ 100%

### 2.1.2 ส่วนประกอบของหม้อแปลง

#### 2.1.2.1 ถังหม้อแปลง (Transformer Tank)

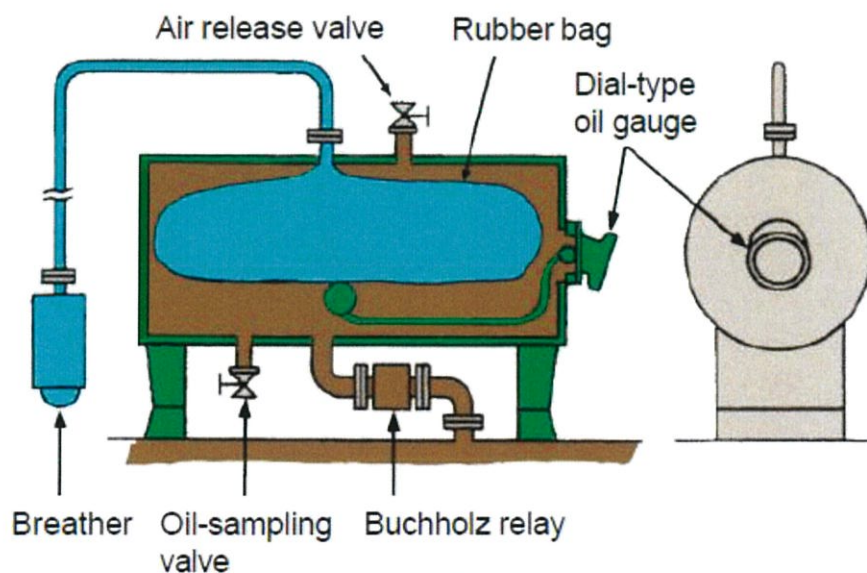
ถังหม้อแปลงเป็นส่วนประกอบที่ใช้บรรจุขดลวด, แกนเหล็ก และฉนวนน้ำมัน ดังนั้นถังหม้อแปลงจำเป็นมากสำหรับหม้อแปลงที่ใช้ของเหลวเป็นตัวช่วยระบายความร้อนของหม้อแปลง อาจเป็นรูปเหลี่ยมหรือรูปโค้งก็ได้ แต่สำหรับหม้อแปลงกำลังนิยมใช้เป็นรูปเหลี่ยม วัสดุที่ใช้ในการผลิตถังหม้อแปลงนั้นเป็นแผ่น (Steel Plate) ที่มีคุณภาพสูง แข็งแรง ทนต่อความร้อนได้ดี ต้องเป็นเหล็กที่ไม่เป็นตัวสื่อแม่เหล็ก (Non-magnetic Steel) อันเป็นเหตุให้มีฟลักซ์แม่เหล็กตกค้าง (Residual flux) อยู่ได้ โดยถังหม้อแปลงจะมีลักษณะดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ถังหม้อแปลงที่บรรจุชุด Active Part เพื่อทำสุญญากาศและเติมน้ำมัน [1]

### 2.1.2.2 ถังน้ำมันสำรอง (Conservator Tank)

ถังน้ำมันสำรองทำหน้าที่เก็บน้ำมันสำรองไว้ เพื่อรองรับการขยายตัวหรือหดตัวของน้ำมันภายในตัวถังหม้อแปลงขณะจ่ายกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมี rubber bag ทำหน้าที่รองรับความดันที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการขยายตัวของน้ำมันหม้อแปลงและ ป้องกันไม่ให้อากาศภายนอกสัมผัสกับน้ำมันหม้อแปลงภายใน โดยมีที่วัดระดับน้ำมันติดตั้งอยู่ด้านข้างถังหรือหม้อแปลงบางผลิตภัณฑ์ จะติดตั้งอยู่ที่ตัวถังของหม้อแปลง หม้อแปลงบางชนิดอาจจะติดตั้ง Buchholz relay ที่ส่วนบนของถังน้ำมันสำรองเพื่อส่งสัญญาณเตือนกรณีมีการรั่วของตัวถังหม้อแปลงหรือ rubber bag รั่ว ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2.4

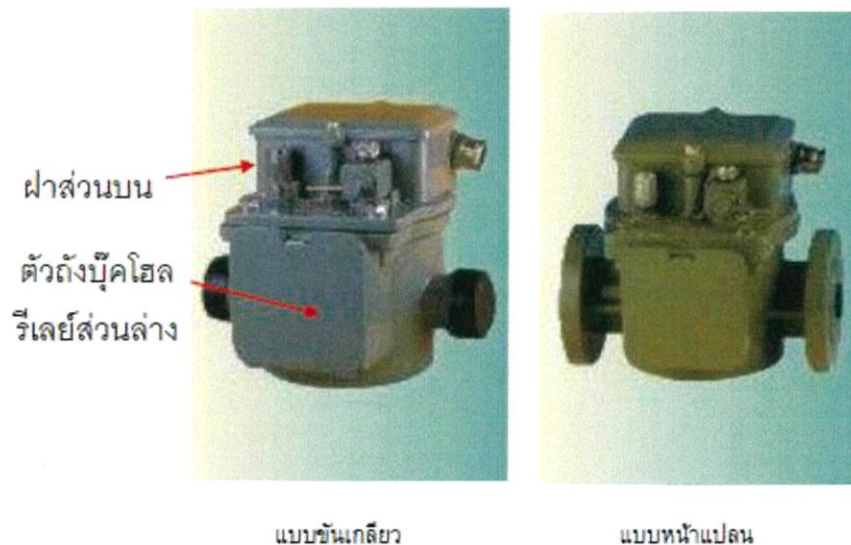


ภาพที่ 2.4 ถังน้ำมันสำรอง [1]

### 2.1.2.3 Buchholz relay

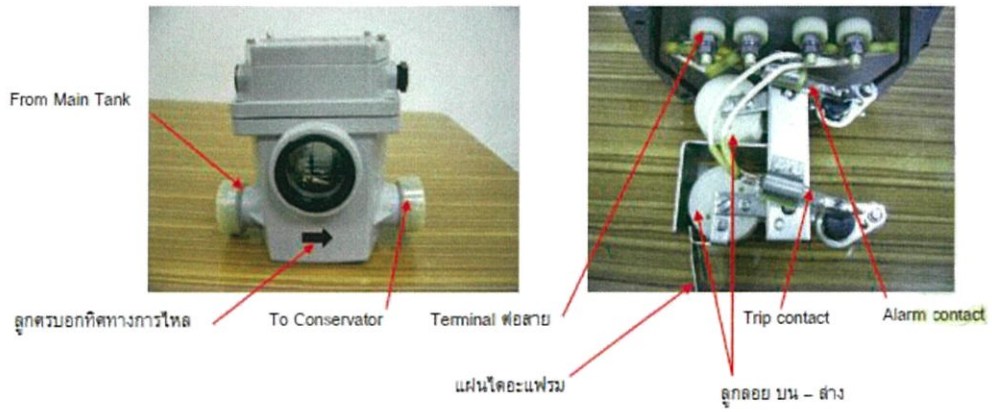
Buchholz relay เป็นอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงสำหรับตรวจจับก๊าซและอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำมัน อุปกรณ์นี้ถูกออกแบบเพื่อตรวจจับสิ่งที่ผิดปกติหรือความเสียหายที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลง ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุแพร่กระจายของก๊าซในวงจรน้ำมันหม้อแปลงหรือจากการเหนี่ยวนำขดลวด เป็นต้น สาเหตุที่ก่อให้เกิดก๊าซหรือการไหลของน้ำมันอย่างรุนแรง คือ การลัดวงจรของแกนเหล็กระหว่างชั้นต่อชั้น, ฉนวนของแกนเหล็กแตกหักชำรุดเสียหาย, อุณหภูมิขดลวดร้อนเกินไป, จุดสัมผัส, จุดต่อหลวม, การลัดวงจรระหว่างเฟส, การลัดวงจรลงดิน, ลูกถ้วยทะลุเข้าหาตัวถัง, น้ำมันลดระดับจากการรั่วซึม และอากาศรั่วเข้าไปในระบบการหมุนเวียนน้ำมัน

Buchholz relay ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก 2 ชิ้น, ฝา (ส่วนบน) และตัวถัง Buchholz relay (ส่วนล่าง) Buchholz relay จะมีการติดตั้ง 2 แบบ คือ แบบชั้นสกรูและแบบหน้าแปลน ตัวถังจะมีท่อเข้าออกของน้ำมัน มีช่องกระจกใสไว้ดูระดับน้ำมัน และจะมีลูกศรสำหรับเวลาติดตั้งต้องติดตั้งให้หันลูกศรชี้ไปทางถึงน้ำมันสำรองเสมอ หากติดกลับด้าน Buchholz relay จะไม่ทำงาน

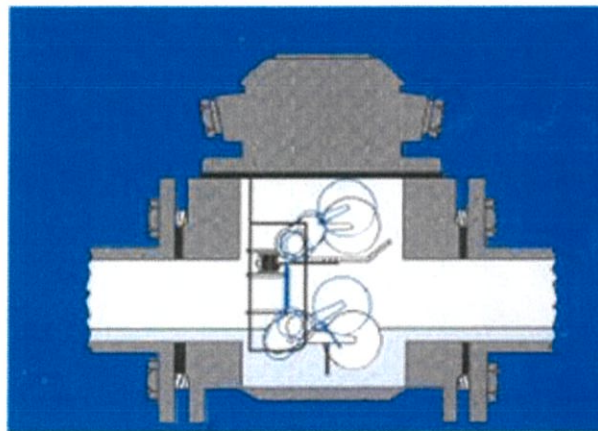


ภาพที่ 2.5 Buchholz relay [2]

ภายใต้ฝาด้านบนตามรูปที่ 2.5 จะเป็นโครงสร้างสำหรับยึดลูกกลอย แผ่นไดอะแฟรมสำหรับดักอัตราการไหลของน้ำมัน, สวิตช์, ก้านสำหรับกดทดลองตรวจสอบสวิตช์และสำหรับล๊อคลูกกลอยในขณะที่ขนส่งเคลื่อนย้ายหม้อแปลง ส่วนบนของฝาจะมีวาล์วสำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซและกล่องขั้วต่อสายจากสวิตช์ Alarm & Trip ดังแสดงในภาพที่ 2.6

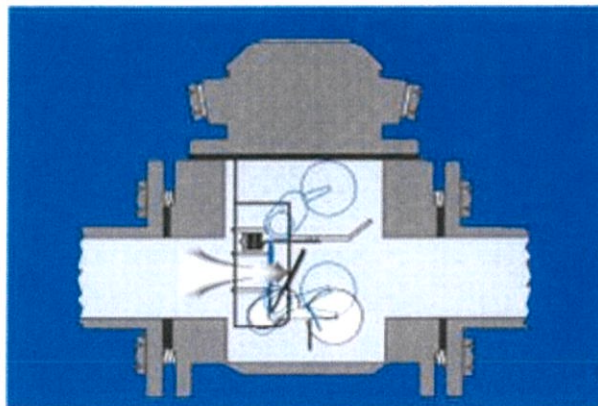


ภาพที่ 2.6 ลูกลอยของ Buchholz relay ที่ต่อกับสวิตช์ [2]

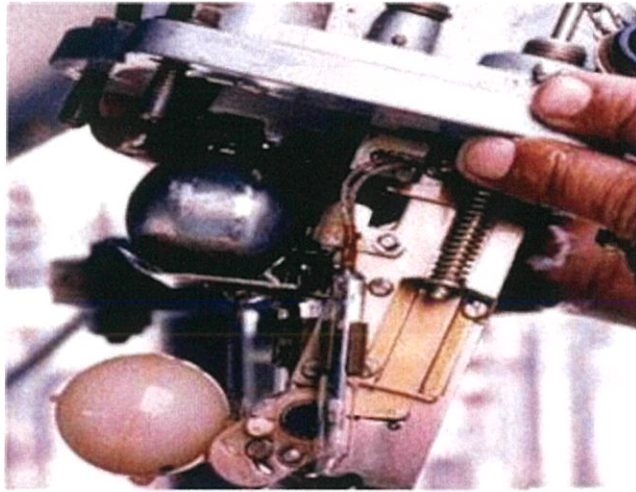


ภาพที่ 2.7 ลูกลอยลูกบนลดระดับลงส่งสัญญาณ Alarm เมื่อเกิดความผิดปกติไม่รุนแรง

[1]



ภาพที่ 2.8 ลูกลอยลูกล่างส่งสัญญาณ Trip เมื่อเกิดความผิดปกติรุนแรง [1]



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างภายในของ Buchholz Relay [1]

#### 2.1.2.4 กระจเปาะกรองความชื้น (Dehydrating filter breather)

กระจเปาะกรองความชื้นจะทำหน้าที่กรองความชื้นในอากาศที่จะเข้าสู่ถึงน้ำมันสำรองเพื่อไม่ให้ความชื้นภายนอกสัมผัสกับน้ำมันในถังน้ำมันสำรองโดยตรงดูภาพที่ 2.10 ลักษณะของกระจเปาะกรองความชื้นทั่วไปประกอบด้วยฝาปิดด้านบนและด้านล่างประกบกระจเปาะ แก้วใสอยู่ตรงกลางพื้นที่ในกระจเปาะใสจะเป็นที่บรรจุผงซิลิกาเจลเพื่อดูดความชื้นจากอากาศที่ฝาด้านล่างจะมีถ้วยใส่น้ำมันหม้อแปลงสำหรับดักอากาศไว้ไม่ให้ผงซิลิกาเจลสัมผัสอากาศตลอดเวลาเมื่อหม้อแปลงร้อนขึ้นระดับน้ำมันในถังน้ำมันสำรองเพิ่มขึ้นอากาศจะถูกดันออกจากกระจเปาะผ่านตัวดักน้ำมันในถ้วย แต่ถ้าอุณหภูมิเย็นลง ระดับน้ำมันในถังลดลง อากาศจะถูกดูดเข้า อากาศจะไหลผ่านน้ำมันในถ้วยผ่านผงซิลิกาเจลเข้าสู่ถัง ดังนั้น ความชื้นที่ผงซิลิกาเจลดูดซับไว้จะเริ่มจากด้านล่างขึ้นไปสู่ด้านบน



ภาพที่ 2.10 กระจเปาะกรองความชื้น

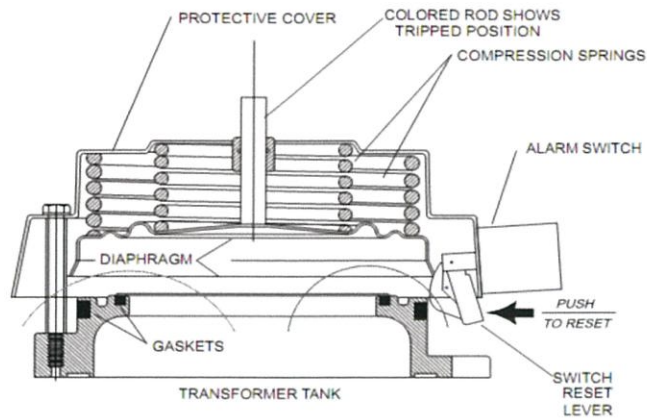
### 2.1.2.5 ลีนระบายความดัน (Pressure relief)

Pressure relief ทำหน้าที่ระบายความดันภายในถังหม้อแปลงที่มากเกินไป กำหนดเพื่อป้องกันถังหม้อแปลงไม่ให้เกิดความเสียหาย เนื่องจากความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงเช่น เกิดประกายไฟ (Arcing) อันเป็นผลทำให้เกิดแรงดันของแก๊สสูงขึ้น แรงดันของแก๊สที่สูงมากนี้จะผ่านท่อระบายความดันไปกระแทกแผ่นระบายแรงดัน (Busting plate) ที่ส่วนบนเพื่อออกสู่ภายนอกซึ่งป้องกันการระเบิดของหม้อแปลงเนื่องจากแรงดันผิดปกติภายในและจะสั่งตัดวงจรทันที



ภาพที่ 2.11 ส่วนประกอบของ Pressure relief [2]

อุปกรณ์ Pressure relief ตามภาพที่ 2.11 ประกอบด้วยสปริงกดแผ่นงาน ไตอะแฟรม (Compression spring) สปริงนี้จะกดงานไตอะแฟรมตามแรงที่กำหนดไว้เมื่อแรงดันลดลงจะปิดลงตามเดิมจะยึดติดอยู่ระหว่างฝาครอบ (Protective cover) กับแผ่นงานเพื่อกดงานไว้กับซีลตลอดเวลาส่วนฐานของ Pressure relief จะยึดติดกับด้านบนฝาถังหม้อแปลงที่ทำช่องระบายน้ำมันไว้ ถ้าแรงดันน้ำมันเกินกำหนด แผ่นงานจะยกตัวขึ้นเปิดช่องน้ำมันให้ไหลออกช่องนี้ เมื่อแรงดันลดลงแผ่นงานก็จะปิดลงตามเดิมภายหลังจากตัว Pressure relief ทำงานไปแล้วตัวก้านชี้สถานะจะถูกยกค้างไว้ให้สังเกตเห็นได้ง่าย (จะมีสีเหลืองสดสำหรับน้ำมันหม้อแปลงส่วนสีน้ำเงินสดจะใช้สำหรับน้ำมันซิลิโคน) ก้านนี้จะโผล่พ้นจากตำแหน่งเดิม (ด้านบนฝา) ประมาณ 2 นิ้ว เมื่อต้องการรีเซ็ต (Reset) ให้กดก้านลงจนระดับเสมอกับฝาครอบ Pressure relief และต้องทำการรีเซ็ตสวิตช์ด้วยโดยการดันเข้าด้านในตามภาพที่ 2.12



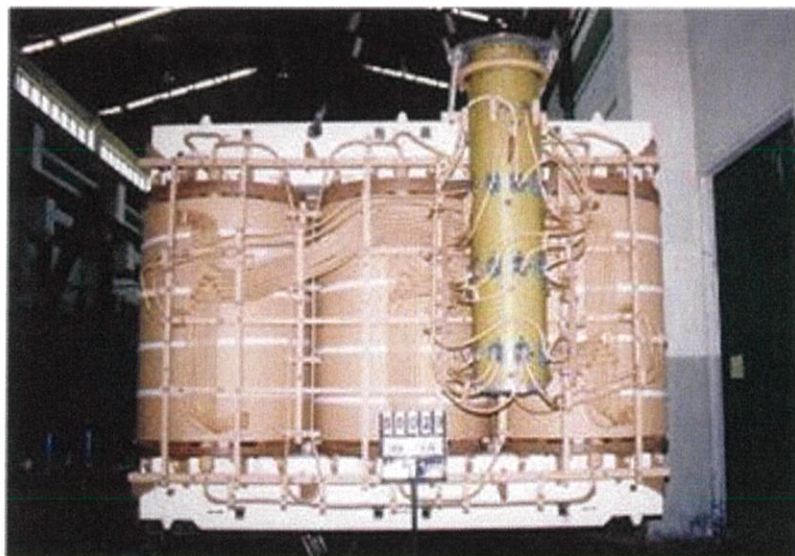
ภาพที่ 2.12 ไดอะแกรมส่วนประกอบของ Pressure relief [2]

#### 2.1.2.6 Arcing Horn

Arcing Horn เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยปรับให้แรงดันที่คร่อมลูกถ้วยแต่ละลูกให้มีค่าใกล้เคียงกัน เพื่อที่จะให้เกิดอาร์คที่ Arcing Horn แทนที่จะเกิดที่ Bushing ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ Bushing เสียหายและยืดอายุการใช้งานของ Bushing ซึ่ง Arcing Horn เป็นอุปกรณ์เหมือนเขาสัตว์ จะติดตั้งที่ Bushing ของหม้อแปลง

#### 2.1.2.7 ชุดเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า (On Load Tap Changer: OLTC)

ชุดเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนจำนวนรอบของขดลวดหม้อแปลงเพื่อให้ได้แรงดันออกมาตามต้องการ โดยไม่มีการหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านหม้อแปลง



ภาพที่ 2.13 ชุดเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่ติดตั้งกับขดลวดหม้อแปลง [1]

### 2.1.2.8 รีเลย์รักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulating Relay)

รีเลย์รักษาระดับแรงดัน ทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนแรงดันของหม้อแปลง เพื่อให้ได้ระดับแรงดันที่ต้องการ ทำงานอัตโนมัติโดยรับแรงดันมาจาก Potential Transformer (PT) ที่ต่ออยู่ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง โดย PT ดังกล่าวจะมีอัตราส่วนทางด้านทุติยภูมิเป็น 110 โวลต์ เพราะขีดจำกัดแรงดัน Input ของรีเลย์จะอยู่ระหว่าง 85–150 โวลต์ เราสามารถกำหนดแรงดันที่ต้องการโดยกำหนดที่ระดับของแรงดันไฟฟ้าและเลือกเปอร์เซ็นต์ Bandwidth เพื่อกำหนดช่วงแรงดันที่เบี่ยงเบนที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ ยังมีช่วงเวลาหน่วงเมื่อแรงดันที่ตรวจจับมากกว่าหรือต่ำกว่า Bandwidth เพื่อให้รีเลย์สั่งให้ชุดเปลี่ยนแรงดันทำงานอย่างเหมาะสม โดยรีเลย์รักษาระดับแรงดันจะติดตั้งอยู่ที่ตู้รีโมทภายในอาคารควบคุม



ภาพที่ 2.14 รีเลย์รักษาระดับแรงดัน [1]

## 2.2 การบำรุงรักษาหม้อแปลง [2]

งานบำรุงรักษาจะประกอบด้วย การตรวจสอบที่ท่าอย่างสม่ำเสมอ การทดสอบ การทำความสะอาดและการปรับแต่งทุกชิ้นส่วนของอุปกรณ์ในเครื่องจักร เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นภายหลัง การบำรุงรักษาควรกำหนดการบริหารการจัดการวางแผนไว้ล่วงหน้า ผู้รับผิดชอบงานบำรุงรักษางานพื้นฐานเบื้องต้นควรวางแผนปฏิบัติการ ดังหัวข้อต่อไปนี้

1) การสำรวจตรวจสอบ (Inspection) เป็นข้อบ่งชี้ในการสำรวจอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องจักร โดยปราศจากการถอดออกมาซ่อมแซม เป็นการตรวจสอบเบื้องต้น ในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงาน เพื่อต้องการสภาพสถานะการทำงานของเครื่องจักร การหาข้อบกพร่องในขณะที่เครื่องทำงานต้องใช้เวลาตรวจสอบสิ่งผิดปกติที่จะเป็นสาเหตุให้เครื่องจักรเสียหาย

2) การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เป็นการกำหนดช่วงเวลาของการทำงานรวมทั้งการทดสอบต่างๆของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง เพื่อความเหมาะสมในการบำรุงรักษา จัดช่วงเวลาให้เหมาะสมในการบำรุงรักษา โดยวางแผนจากการสำรวจและการบำรุงรักษา ซึ่งเบื้องต้น

ให้ตรวจสอบ และจะต้องเผื่อเวลาการทำงานในแต่ละเครื่องจักรให้มีเวลาทำงานตามปกติ ไม่ต้องเร่งรัดเวลาเพราะจะทำให้คุณภาพงานไม่สมบูรณ์

3) การซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ (Overhaul) เมื่อพบปัญหาจากการสำรวจตรวจสอบ งานที่เกี่ยวข้องอันดับแรกคือการรื้อถอนเครื่องจักร ในการวางแผนเบื้องต้นต้องคำนึงถึงอายุการใช้งานของเครื่องจักรหรือปัญหาที่เกิดขึ้นภายหลังการสำรวจและการตรวจสอบจากการบำรุงรักษา การปฏิบัติตามการสำรวจ มี 2 ประการที่สำคัญคือ “ทำตามรายงานที่บันทึกไว้” และ “แก้ไขให้ตรงจุดอย่างถูกต้อง” โดยไม่ปล่อยทิ้งปัญหาไว้ในขณะช่วงเวลาบำรุงรักษา โดยข้อบกพร่องใดๆก็ตามที่ถูพบจากการสำรวจจะต้องได้รับการแก้ไขทันทีไม่ควรปล่อยทิ้งไว้ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหลักทำให้เครื่องจักรชำรุดเสียหายในภายหลังได้ ปัญหาที่ถูพบจากการสำรวจต้องทำการบันทึกและทำรายงานลงในแบบฟอร์มเพื่อการตรวจติดตามการแก้ไขปัญหา แบบฟอร์มรายงานการสำรวจควรเป็นแบบที่ง่ายต่อการกรอกและเข้าใจง่ายกับเจ้าหน้าที่ภาคสนาม ควรให้มีการเขียนข้อความให้กระชับเข้าใจง่าย ซึ่งจะนำไปสู่การปฏิบัติอย่างถูกต้อง

## 2.2.1 การตรวจสอบอุปกรณ์ภายนอกหม้อแปลง

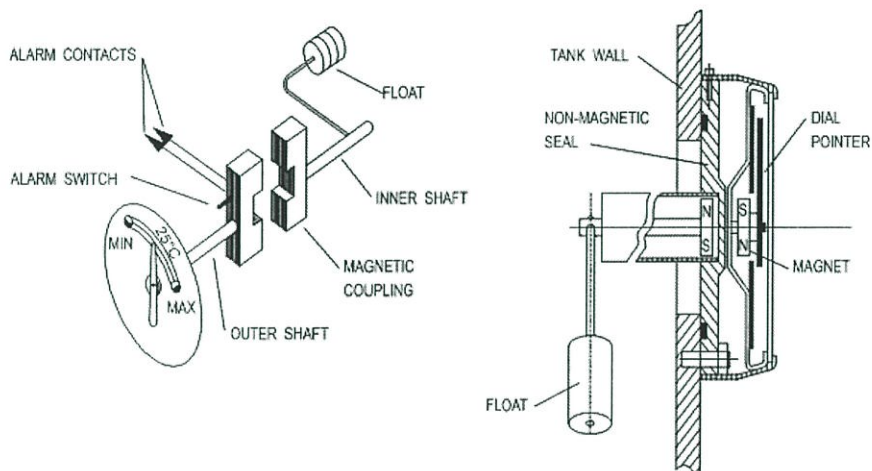
การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า การตรวจสอบจะทำทั้งภายนอกและภายใน การตรวจสอบภายนอก ได้แก่ อุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ภายนอกหม้อแปลงซึ่งจะมีอุปกรณ์ที่ใช้งานและอุปกรณ์ป้องกัน ส่วนการตรวจสอบภายในหม้อแปลงจะได้รับการทดสอบค่าต่างๆของหม้อแปลง เช่นการวัด Insulation Resistance (IR), Winding Resistance, Ratio เป็นต้น นอกจากการทดสอบแล้ว ก็ใช้วิธีเก็บตัวอย่างฉนวนน้ำมันหม้อแปลงไปทดสอบหาค่าต่างๆ มาประกอบกันเพื่อคุณภาพของหม้อแปลงว่าปกติหรือต้องทำการแก้ไข และจะแก้ไขอย่างไรต้องวางแผนการจัดการไว้ล่วงหน้าก่อนที่จะเกิดความเสียหายกับหม้อแปลง อุปกรณ์ภายนอกจะแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ อุปกรณ์ภายนอกทั่วไปและอุปกรณ์ป้องกัน

### 2.2.1.1 อุปกรณ์ภายนอกทั่วไป

#### 2.2.1.1.1 การตรวจสอบระดับน้ำมัน (Oil level gauge inspection)

อุปกรณ์ในการตรวจสอบระดับน้ำมันเรียกว่า ระดับน้ำมัน โดยจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ ระดับน้ำมันแบบแท่ง และระดับน้ำมันแบบหน้าปัด (Dial oil level gauge) โดยระดับน้ำมันที่ได้รับการ overhaul ในครั้งนี้จะเป็นระดับน้ำมันแบบหน้าปัด ซึ่งเหมาะสำหรับหม้อแปลงขนาดใหญ่ ถังน้ำมันสำรองที่บรรจุน้ำมันจำนวนมากจะมีลูกลอยด้านที่อยู่ถึงน้ำมันสำรอง เมื่อระดับน้ำมันเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลง จะมีก้านต่อจากลูกลอยมาหมุนแกนที่ติดกับแม่เหล็กถาวรที่ติดอยู่กับหน้าแปลน และหน้าแปลนนี้จะยึดติดกับข้างถังน้ำมันสำรองส่วนชุดหน้าปัดจะยึดติดบนหน้าแปลนนี้

โดยที่เข็มของหน้าปัดจะยึดติดกับแม่เหล็กถาวรเช่นกัน เมื่อก้านลูกลอยหมุนเข็มก็จะหมุนตามองศาที่แม่เหล็กหมุนไป จะเห็นว่าสเกลที่หน้าปัดไม่ได้บอกตัวเลขเป็นจำนวนปริมาณน้ำมัน บอกเพียง MAX-MIN และพื้นที่บริเวณเข็มชี้อาจเป็นแถบพื้นที่หรือที่อุณหภูมิของน้ำมัน เนื่องจากอัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลงไม่เป็นเส้นตรงเพราะถึงน้ำมันสำรองเป็นรูปทรงกระบอก ดังนั้นอัตราการลดลงที่บริเวณ MIN ให้ระวังเพราะการเปลี่ยนแปลงจะเร็วกว่าระดับที่อยู่ตรงกลางถึง



ภาพที่ 2.15 โครงสร้างของที่วัดระดับน้ำมันแบบหน้าปัด [2]

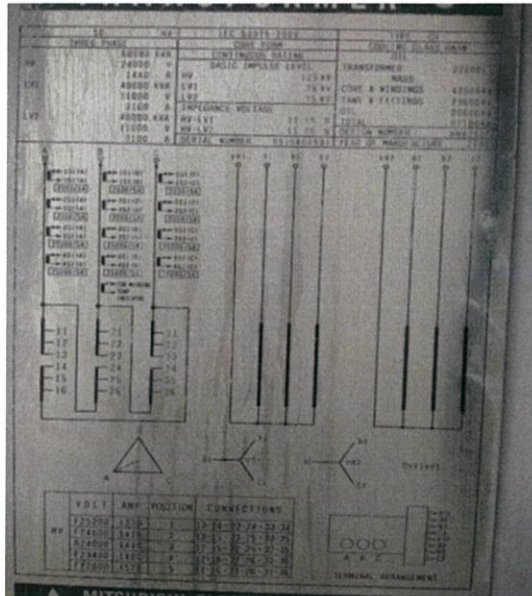
การตรวจสอบในกรณีที่ไม่มีการนำน้ำมันออกจากถังน้ำมันสำรองดูภาพที่ 2.15 จะตรวจสอบแม่เหล็กที่ติดอยู่ทางด้านเข็มเท่านั้น โดยการถอดหน้าปัดออกจากหน้าแปลนแล้วใช้แม่เหล็กถาวรมาปรับเข็มว่ายังสามารถเคลื่อนตัวตามการเบี่ยงเบนของเข็ม แต่ถ้ามีการลดน้ำมันจากถังหม้อแปลงควรถอดหน้าแปลนด้านลูกลอยออกมาตรวจสอบสภาพด้วยว่ายังใช้งานได้ตามปกติและควรเปลี่ยนซีลหน้าแปลนด้วย อย่างไรก็ตามควรตรวจสอบ 3 – 5 ปี ต่อครั้ง

#### 2.2.1.1.2 การตรวจกระเปาะกรองความชื้น (Dehydrating Filter Breather inspection)

ตรวจสอบผงซิลิกาเจลจากการเปลี่ยนสีจากด้านล่างไปสู่ด้านบน ถ้าหากผงซิลิกาเจลเปลี่ยนสีแล้วควรเปลี่ยนผงซิลิกาเจลใหม่

#### 2.2.1.1.3 การตรวจสอบป้ายชื่อ (Name Plate inspection)

ป้ายชื่อในภาพที่ 2.16 เปรียบเสมือนบัตรประจำตัวหม้อแปลงควรดูแลให้มีสภาพดีไม่หลุดเสียหาย ไม่ปล่อยให้มีการบวมหรือฝุ่นละอองจับจนไม่สามารถอ่านรายละเอียดได้ รวมทั้งป้ายบอกขนาดหรือป้ายบอกขั้วเฟส เป็นต้น เมื่อเวลาจำเป็นต้องเปลี่ยนหรือเคลื่อนย้ายหม้อแปลงจะได้มีข้อมูลในการขนย้ายและช่วยในการหาหม้อแปลงมาทดแทน



ภาพที่ 2.16 ป้ายชื่อ [2]

#### 2.2.1.1.4 การตรวจสอบลูกถ้วย (Bushing inspection)

การตรวจสอบลูกถ้วยให้ตรวจสอบผิวลูกถ้วยต้องสะอาดไม่มีรอยอาร์คและไม่มีรอยน้ำมันรั่วซึม

#### 2.2.1.2 การตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลง (Protection devices inspection)

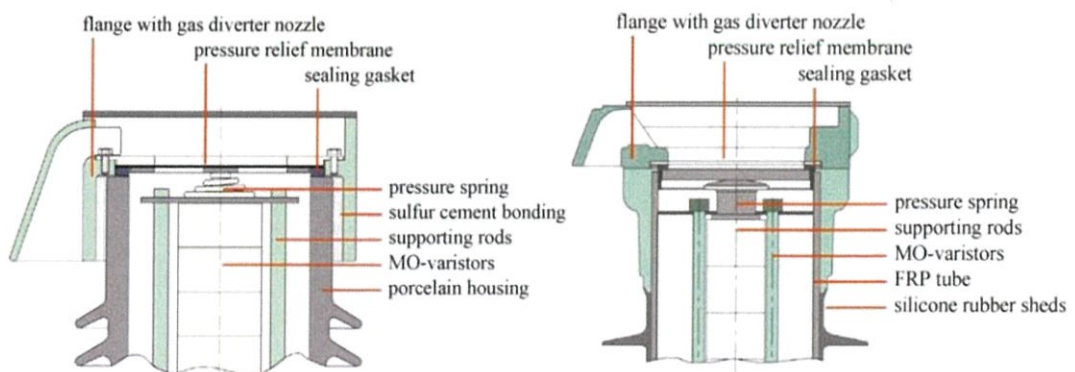
หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ไม่ได้อยู่ใกล้ชิดกับผู้ปฏิบัติงานมักจะไม่ค่อยได้รับการสังเกตความผิดปกติและเป็นเครื่องจักรที่หยุดไม่ได้ เนื่องจากความต้องการใช้กระแสไฟตลอดเวลา หม้อแปลงไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องติดอุปกรณ์ป้องกันหลายตำแหน่งหน้าที่ โดยในส่วนของอุปกรณ์ป้องกันต่างๆไปที่ติดตั้งที่ตัวหม้อแปลง มีดังนี้

- อุปกรณ์ล่อฟ้า (Lightning Arrestor)
- Buchholz relay
- Pressure relief
- เทอร์โมมิเตอร์ (Winding & Oil temperature indicator)

อุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องได้รับการตรวจสอบเพื่อความมั่นใจว่าในขณะที่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นกับหม้อแปลง อุปกรณ์ที่ติดตั้งต่างๆเหล่านี้จะต้องเป็นตัวยับยั้งอุบัติเหตุให้เร็วที่สุด ยับยั้งความเสียหายที่จะเกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ให้มีสภาพการใช้งานที่สมบูรณ์ สำหรับหม้อแปลงที่ใช้อยู่มีมากมายหลายแบบ ดังนั้น อุปกรณ์ป้องกันที่ส่วนใหญ่จากหัวข้อดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งที่ติดตั้งให้อยู่เป็นส่วนมาก การตรวจสอบควรทำดังนี้

### 2.2.1.2.1 การตรวจสอบอุปกรณ์ล่อฟ้า (Lightning Arrester inspection)

เนื่องจากสายส่งแรงสูงในระบบจะมีความยาวมากดังนั้นอุปกรณ์ที่มาต่อกับสายส่งจะมีมากมายหลายชนิด ก็จะมีการตัดหรือต่ออุปกรณ์เข้ากับสายส่งหรือเกิด Fault รวมทั้งฟ้าผ่าลงในสายส่งจะทำให้เกิด Surge ขึ้นในสายส่งเป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันเกิน การติดตั้ง Arrester จะเป็นอุปกรณ์สำหรับป้องกันแรงดันเกินที่เกิดจาก Surge หรือฟ้าผ่าลงในสายส่ง Arrester มีหน้าที่ปล่อยผ่านแรงดันเกิน (Bypass) ลงดินอย่างรวดเร็วโดยที่ตัวของ Arrester จะรักษาแรงดันตกคร่อมที่ขั้วทั้งสองตามที่กำหนดไว้ จึงไม่มีผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่อยู่กับสายส่งซึ่งสามารถทนแรงดันเกินได้ระดับหนึ่ง ภายในตัว Arrester จะประกอบด้วยชิ้นส่วนของ Nonlinear voltage current เรียกว่า Metal Oxide Varistor (MOV) มาเรียงขนานซ้อนกัน หรือเรียกว่า Metal Oxide (MO) Surge arrester แล้วนำมาบรรจุลงในกระบอกเซรามิก (Ceramic) ตามปกติจะทำจาก Zinc Oxide (ZnO) และ Bismuth Oxide แล้วนำมาเรียงซ้อนเป็นชั้นๆ ในลูกถ้วยฉนวน มี 2 แบบคือ แบบกระเบื้อง (Porcelain Arrester) และแบบยางซิลิโคน (Polymer Arrester) จากภาพที่ 2.17 จะเห็นได้ว่าส่วนประกอบภายใน Arrester ประกอบด้วยแกนกลางที่ยึดวาง MOV เรียงซ้อนกันรวมอยู่ในลูกถ้วยด้านบนจะเป็นหน้าแปลนประกอบด้วย ซีลและ Pressure relief system ที่ตัว Pressure relief จะมีแผ่น Membrane แบบที่เป็นกระเบื้องตัวแผ่นจะยึดติดกับหน้าแปลนโลหะ ส่วนแบบยางซิลิโคนจะมีกระบอกพลาสติกไฟเบอร์สำหรับความแข็งแรงภายในกระบอก (Fiber Reinforced Plastic Tube : FRP) แผ่น Membrane ของ Pressure relief system นี้ ทำหน้าที่ระบายแก๊สที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่าที่ตัว Arrester หรือเกิดกระแสและแรงดันสูงๆ เพื่อลดแรงดันลงป้องกันไม่ให้ลูกถ้วยแตกโดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นกระบอกแบบกระเบื้อง เศษที่ระเบิดแตกออกอาจทำอันตรายต่ออุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียงหรือผู้ปฏิบัติงาน



ภาพที่ 2.17 อุปกรณ์ล่อฟ้า [2]

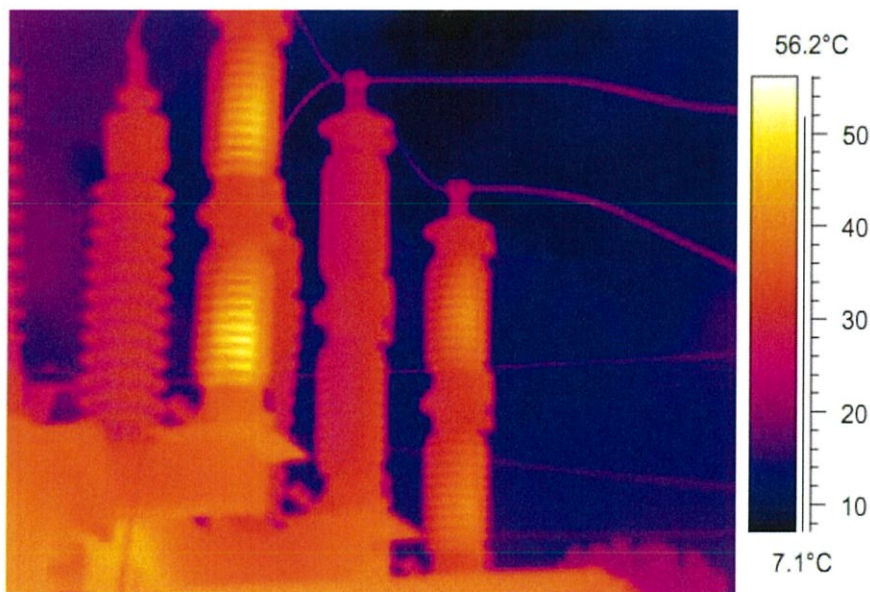
ลูกถ้วยกระเบื้องถูกออกแบบไว้ให้ทนแรงดันภายในและกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น แต่ตัวลูกถ้วยจะถูกทำลายโดย Thermal Mechanical stresses จากความร้อนของการอาร์คที่บริเวณผิวภายนอก โดยลักษณะความเสียหายของลูกถ้วยทั้ง 2 ประเภท ได้แสดงในภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 ความเสียหายของลูกถ้วยแบบผิวกระเบื้อง (ซ้าย) และแบบพอลิเมอร์ (ขวา) [2]

การตรวจสอบ Arrester จะทำได้ดังนี้

- 1) ตรวจสอบสภาพโครงสร้างบริเวณลูกถ้วยต้องไม่มีส่วนชำรุดเสียหาย
- 2) ตรวจสอบ MOV ช้างในโดยใช้เครื่อง Insulation Resistance meter (Megger) วัดค่าต้องมีค่ามากกว่า 50 MΩ โดยประมาณ ค่าไม่ควรต่ำกว่าหม้อแปลงเพราะเป็นอุปกรณ์ที่ต่อขนานกันอยู่
- 3) ช่วงเวลาสำรวจก่อนการบำรุงรักษาควรทำ IR Thermo Scan ตามภาพที่ 2.19 เพื่อดูความผิดปกติและจะได้เตรียมอุปกรณ์ไว้ล่วงหน้า
- 4) ให้ทดสอบค่า Power factor



ภาพที่ 2.19 การทำ Thermo scan [2]

#### 2.2.1.2.2 การตรวจสอบ Buchholz relay (Buchholz relay inspection)

การตรวจสอบ Buchholz relay โดยทั่วไป Buchholz relay ไม่สามารถตรวจสอบได้นอกจากการจำลองการทำงานของตัวมันเองดังนี้

- 1) ให้ตรวจสอบรอยรั่วซีมน้ำมันหม้อแปลงบริเวณหน้าแปลนหรือข้อต่อ
- 2) ตรวจสอบรอยรั่วซีมน้ำมันบริเวณฝาบนกับฝาล่าง
- 3) ทำการทดสอบ Alarm contacts witch และความคล่องตัวของลูกลอยเป็นอิสระไม่ติดขัด โดยการกดแกนทดสอบลงครึ่งหนึ่งของระยะกวดช่วงแรกให้วัดความต้านทานหน้าสัมผัสว่าต่อถึงกัน (บันทึกค่าความต้านทานไว้เพื่อเปรียบเทียบครั้งต่อไป)
- 4) ทดสอบ Trip contact switch และความคล่องตัวของลูกลอยโดยกดแกนทดสอบลงจนสุดให้วัดความต้านทานหน้า Contact ว่าต่อถึงกัน (บันทึกค่าความต้านทานไว้ด้วย)
- 5) การตรวจสอบในกรณีที่ Buchholz relay ภายหลังการเกิดความผิดปกติของหม้อแปลงเมื่อสวิตช์ได้ทำสัญญาณสั่งการ ดังนี้

5.1) Alarm Signal เมื่อมีสัญญาณนี้ควรตรวจสอบเหตุดูสีของก๊าซในช่องใส่สำหรับดูสีของน้ำมัน ปริมาณก๊าซที่อยู่ในตัว Buchholz relay นี้สามารถเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์โดยใช้ Syringe สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซทางวาล์วด้านฝาบนของตัว Buchholz relay (ควรให้ผู้เชี่ยวชาญเก็บตัวอย่างเพื่อป้องกันตัวอย่างเสียหาย) ส่วนสีของก๊าซที่เกิดขึ้นจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

- ก๊าซสีขาว สาเหตุเกิดจากการอาร์คทางไฟฟ้ากับกระดาศ
- ก๊าซสีเหลือง สาเหตุเกิดจากไม้หรือกระดาศฉนวนชนิดแข็ง
- ก๊าซสีเทา สาเหตุเกิดจากการ Breakdown ของวงจรแม่เหล็ก
- ก๊าซสีดำ สาเหตุเกิดจากการอาร์คแตกตัวกระจายในน้ำมัน

หมายเหตุ ในบางครั้งอาจมีอากาศตกค้างอยู่ในหม้อแปลงขณะประกอบติดตั้ง หรือภายหลังการเติมน้ำมัน ปริมาณอากาศนี้เป็นสาเหตุให้ Alarm switch ทำงานเสมือนมีก๊าซเช่นกัน แต่จะเกิดช่วงแรกระยะสั้นๆเท่านั้น

5.2) Trip Signal สัญญาณนี้จะสั่งให้วงจรตัดไฟออกจากหม้อแปลงจะมีขั้นตอนเหมือนกับ Alarm คือต้องดูสีของก๊าซและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น และวิธีที่ดีที่สุดคือการนำก๊าซไปวิเคราะห์ ในกรณีนี้ไม่ควรป้อนไฟเข้าหม้อแปลงอีกทันที เพราะอาจจะทำให้เพิ่มความเสียหายกับหม้อแปลงอย่างรุนแรงได้

หมายเหตุ การที่ Trip contact ทำงานอาจมีสาเหตุจากการรั่วของน้ำมัน ซึ่งถ้าเป็นกรณีนี้ควรแก้ไขการรั่วให้เรียบร้อยก่อน จากนั้นให้เติมน้ำมันเข้าที่ถังน้ำมันสำรองจนได้ระดับ จึงสามารถจ่ายไฟเข้าหม้อแปลงได้

### 2.2.1.2.3 การตรวจสอบ Pressure relief (Pressure relief inspection)

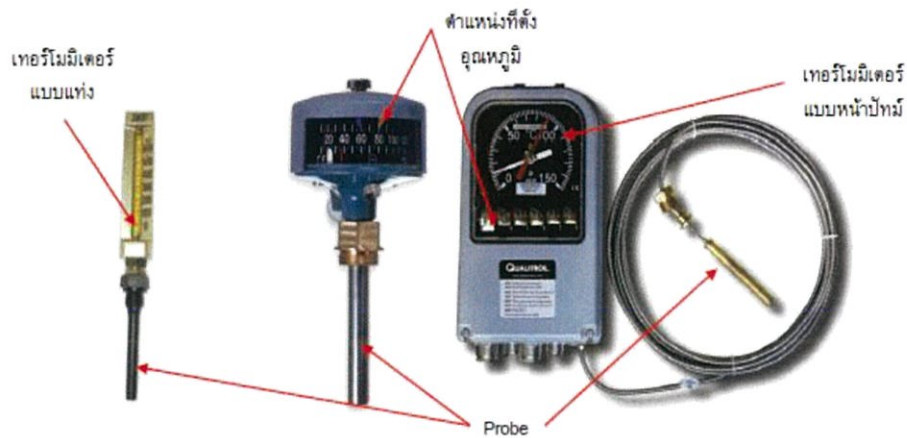
เนื่องจากการตรวจสอบ Pressure relief ต้องถอดออกมาตรวจสอบระหว่างแผ่นไดอะแฟรมกับซีลภายใต้แรงดันมีการรั่วซึมอาจเกิดจากซีลเสื่อมสภาพและทดสอบว่า Pressure relief ยังทำงานตามที่แรงดันกำหนดไว้ ดังนั้นในช่วงเวลาที่เหมาะสมคือ เมื่อมีการกรองน้ำมันหรือเปลี่ยนน้ำมันหม้อแปลงในช่วงบำรุงรักษาหม้อแปลงก่อนที่จะทำการลดระดับน้ำมันควรขึ้นไปบนฝาถังหม้อแปลงและตรวจสอบครอบๆอุปกรณ์ Pressure relief ด้วยว่ามีร่องรอยรั่วซึมของน้ำมันที่บริเวณประเก็นส่วนที่ติดกับฝาถังหรือบริเวณแผ่นไดอะแฟรม ให้ทำการเปลี่ยนซีลทั้งหมดแต่ถ้าตัว Pressure relief มีอายุการใช้งานมาแล้ว 30 ปี ควรเปลี่ยน Pressure relief ใหม่ทั้งตัว ควรดูคู่มือของหม้อแปลงว่าระบุให้ใช้ Pressure relief ขนาดแรงดันที่เท่าไรเพื่อกันไม่ให้ใช้แรงดันเกินอาจทำให้ถังหม้อแปลงเสียหายได้

ข้อควรระวัง ห้ามทาหรือพ่นสีที่ตัวอุปกรณ์โดยเด็ดขาด เพราะสีจะทำให้กระเบื้องยกหรือแกนกระทุ้งฝืด ไม่คล่องตัว หมายถึงการทำงานจะผิดพลาด อาจต้องใช้แรงดันมากกว่ากำหนดเป็นอุปสรรคในการระบายแรงดันออกจากตัวถังหม้อแปลงขณะเกิดปัญหา และให้สังเกตที่ด้านบนของตัวอุปกรณ์ จะมีตัวชี้สถานะการทำงานเป็นก้านหมุนกระดกขึ้นเมื่อ Pressure relief ทำงานจะมีสีที่เห็นได้ชัดเจน (มักมีสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน) ซึ่งตัวชี้นี้จะทำงานโดยมีจุดหมุนจะรับแรงกระแทกจากก้านกระทุ้ง ถ้าพ่นสีจุดหมุนจะฝืดและสีจะเปลี่ยนไปมองเห็นได้ไม่ชัดเจน หากมีการพ่นสีไปแล้วควรเปลี่ยนใหม่หรือให้ช่างสีออกจนชิ้นส่วนต่างๆสามารถขยับตัวได้คล่อง โดยการนำมาทดสอบแรงดันทำงานในห้องทดสอบว่าทำงานที่แรงดันกำหนดไว้

### 2.2.1.2.4 การตรวจสอบเทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer inspection)

ตามปกติการติดตั้งจะใช้ท่อที่ปิดด้านหนึ่ง ด้านใต้ฝาถังเชื่อมทำเป็นกระเปาะ (Thermometer Pocket) ไว้ที่ด้านบนฝาถังเวลาจะใช้งานจะเติมน้ำมันหม้อแปลงลงในกระเปาะเพื่อเป็นตัวพาความร้อนชนิดเดียวกัน ส่วนใหญ่นิยมใช้กัน 2 แบบคือแบบแทงและแบบหน้าปิด โดยการ overhaul ในครั้งนี้เป็นแบบหน้าปิด

การตรวจสอบ Thermometer ให้เตรียมภาชนะใส่น้ำและฮีทเตอร์ต้มน้ำ เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทแทงแก้ว โดยถอด Probe ของเทอร์โมมิเตอร์มาจุ่มลงในอ่างต้มน้ำพร้อมกับเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท นำฮีทเตอร์ต้มน้ำในอ่างให้บันทึกค่าเปรียบเทียบการอ่านอุณหภูมิทุก 10°C ถ้าค่าที่อ่านได้ใกล้เคียงกันตลอดย่านการวัดถือว่าใช้งานได้

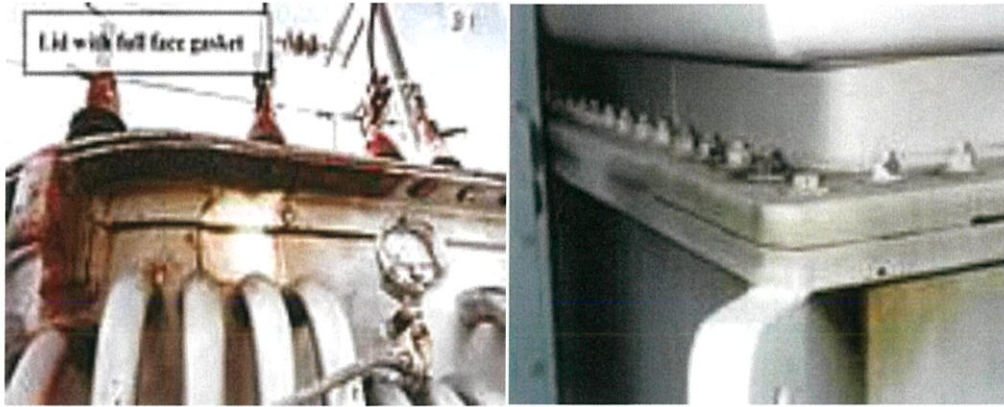


ภาพที่ 2.20 เทอโมมิเตอร์แบบแท่งและแบบหน้าปัด [2]

### 2.2.2 การตรวจสอบรอยรั่วซึมหม้อแปลง (Transformer oil leak inspection)

หม้อแปลงที่ใช้ฉนวนน้ำมัน ควรระวังเรื่องของการรั่วซึมของน้ำมันเพราะการรั่วจะทำให้สาเหตุอื่นๆตามมา ซึ่งไม่เป็นผลดีกับหม้อแปลง น้ำมันหม้อแปลงเปรียบเสมือนเลือดที่หล่อเลี้ยงร่างกายของคน ดังนั้น จึงควรมีการดูแลฉนวนน้ำมันอย่างมีระบบและการรั่วก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หม้อแปลงเสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควร หม้อแปลงที่มีขนาดใหญ่ที่บริเวณรอบฐานหม้อแปลงจะต้องมีบ่อรองรับน้ำมันหม้อแปลงในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุเพราะน้ำมันหม้อแปลงสามารถติดไฟได้และทำลายสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ในการบำรุงรักษาหม้อแปลง การตรวจสอบรอยรั่วซึมควรทำการสำรวจและแก้ไขเมื่อพบปัญหาการรั่วไม่ควรปล่อยทิ้งไว้

หม้อแปลงในขณะที่จ่ายโหลดอยู่จะมีอุณหภูมิสูง น้ำมันจะขยายตัวและความหนืดของน้ำมันจะน้อยทำให้สามารถแทรกตัวเข้าพื้นที่ๆเป็นรอยแตกของแนวเชื่อมได้ง่ายจึงเป็นเหตุให้รอยรั่วซึมจะพบได้ภายหลังการใช้งานไปแล้วไม่น้อยกว่า 1 เดือน แล้วแต่ร่องรอยแตกและระยะทางที่น้ำมันจะเดินทางออกมาให้เห็นตามภาพที่ 2.21 เมื่ออุณหภูมิเย็นลง แรงดันลดลง อาจทำให้ความชื้นภายนอกแทรกเข้าไปในเนื้อน้ำมัน น้ำมันก็จะค่อยๆสะสมความชื้นไว้และไหลวนไประบายความร้อนที่ขดลวดและกระดาษฉนวน กระดาษฉนวนก็จะเก็บความชื้นไว้ เมื่อระยะเวลาผ่านไป สภาพเนื้อกระดาษจะค่อยๆถูกทำลายไปจนเสื่อมสภาพ ของเสียจากกระดาษที่ถูกทำลายก็จะปะปนอยู่ในน้ำมัน ซึ่งจะหมุนเวียนไปทั่วหม้อแปลงจะมากลือตามผิวของคอยล์และแกนเหล็ก สิ่งที่เป็นของเสียเหล่านี้จะเป็นฉนวนของการระบายความร้อนทำให้การระบายความร้อนของคอยล์และแกนเหล็กไม่สมบูรณ์ จึงเกิดความร้อนสะสมขึ้นทำให้หม้อแปลงร้อนขึ้นอายุการใช้งานของหม้อแปลงก็จะสั้นลงด้วย



ภาพที่ 2.21 คราบน้ำมันที่เกิดจากการรั่วของหม้อแปลง [2]

### 2.2.3 การกรองหรือการเปลี่ยนฉนวนน้ำมัน (Oil Purified or Oil Change)

ฉนวนน้ำมันที่ใช้จะเสื่อมสภาพเองจากความชื้นที่มีในกระดาษฉนวนหรือความชื้นที่น้ำมันสัมผัสกับอากาศและความร้อนจากการใช้งาน ความชื้นบางส่วนจากการผลิตอบแห้งไม่หมด และน้ำมันที่สัมผัสอากาศจะมีความชื้น ความชื้นนี้จะไปสะสมที่กระดาษฉนวนเมื่อใช้งานมีความร้อน ความชื้นก็จะออกมาปนอยู่ในน้ำมัน เมื่อน้ำมันมีน้ำปนอยู่ก็เกิดการ Oxidation ในเนื้อน้ำมันทำให้ น้ำมันเสื่อมสภาพกลายเป็นของเสียของน้ำมัน เป็นตะกอนหรือเรียกว่า Sludge ทำให้สภาวะแวดล้อมภายในหม้อแปลงเสียหาย เนื่องจากน้ำมันทำหน้าที่ระบายความร้อนที่คอยล์จะพาตะกอนนี้ไปเกาะอยู่ตามผิวของคอยล์ซึ่งร้อนอยู่ทำให้ตะกอนที่เคลือบนี้แข็งตัวและเป็นฉนวนความร้อนทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนลดลง ทำให้หม้อแปลงร้อนขึ้น จึงต้องมีการติดตามผลการทดสอบน้ำมันทุกปี ถ้าคุณภาพน้ำมันยังมีสภาพดีอยู่ภายในเวลา 3-5 ปี ควรมีการกรองน้ำมัน (ถึงแม้หม้อแปลงจะไม่ใช้งานน้ำมันก็จะเสื่อมสภาพได้เช่นกันเนื่องจากความชื้นที่มีอยู่ภายใน)

การกรองน้ำมันที่ถูกต้องควรใช้ความละเอียดของไส้กรองที่ 5 ไมครอน จะสามารถกรองตะกอนหยาบๆได้บางส่วน การทำสุญญากาศในถังควรทำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพราะน้ำหรือความชื้นจะแตกตัวระเหยออกจากน้ำมันได้ดี และความชื้นของน้ำมันควรมีอุณหภูมิ 60-70°C ในกรณีที่หม้อแปลงมีความชื้นสูงมากควรทำการกรองหมุนวนน้ำมันร้อน (Hot Oil Circulating) จนแกนเหล็กร้อนถึง 60-65 °C อย่างน้อย 2 ชั่วโมงภายหลังอุณหภูมิหม้อแปลงถึง 60°C ถึงจะดึงความชื้นออกจากหม้อแปลงได้บางส่วน

ถ้าผลทดสอบของน้ำมันพบว่าการเสื่อมสภาพมาก ควรเปลี่ยนน้ำมันใหม่หรือทำการปรับสภาพน้ำมันใหม่ (Oil Reclaim) การเปลี่ยนน้ำมันใหม่จะผ่านการอบ Active part ด้วยทำให้แกนเหล็กและคอยล์แห้ง ความชื้นที่หลงเหลืออยู่น้อยลงใกล้เคียงกับหม้อแปลงใหม่ในกรณีที่กระดาษฉนวนยังมีสภาพดีอยู่ แต่ถ้ากระดาษฉนวนเสื่อมสภาพแล้วควรพันคอยล์เปลี่ยนใหม่

## 2.2.4 การทดสอบหม้อแปลงภาคสนาม (Transformer Field Testing)

การทดสอบหม้อแปลงที่หน้างานจะเป็นการทดสอบ 2 แบบคือทดสอบทางไฟฟ้าและการทดสอบของฉนวนน้ำมัน เพื่อตรวจสอบว่าหม้อแปลงยังคงใช้งานได้หรือไม่ การทดสอบจะทำเมื่อขณะบำรุงรักษาและเมื่อหม้อแปลงเกิดมีปัญหาหรือสิ่งผิดปกติภายในหม้อแปลง เพื่อพิสูจน์ว่าจะใช้หม้อแปลงต่อไปได้อีกหรือต้องส่งเข้าโรงงานซ่อม ในกรณีที่ช่วงเวลาดำเนินการบำรุงรักษาจะทำการทดสอบก่อนและหลังการบำรุงรักษาเพื่อเป็นการพิสูจน์สภาพหม้อแปลงสามารถใช้งานได้ต่อไปและยังใช้เป็นค่าตั้งต้นภายหลังจากการทำบำรุงรักษา

### 2.2.4.1 การทดสอบทางไฟฟ้า

การทดสอบทางไฟฟ้าที่หน้างาน หมายถึงการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าหม้อแปลงเพื่อพิสูจน์ค่าทางไฟฟ้าว่ายังทำงานถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ และสามารถตรวจสอบความเป็นฉนวนภายในหม้อแปลงว่ายังคงสภาพใช้งานได้ดีจึงต้องทำขณะดับกระแสไฟหรือเมื่อเกิดความผิดปกติเสียหายก็จะต้องทำการทดสอบทางไฟฟ้าด้วย ซึ่งจะมีการทดสอบที่จำเป็นได้แก่

- Winding Resistance Test
- Ratio Test
- Insulation Resistance (IR) & Polarization Index (PI) Test
- Exciting Current
- Short Circuit Impedance

- Winding Resistance Test การทดสอบ Winding Resistance ภาคสนามเป็นการตรวจสอบว่าขั้วต่อต่างๆหลวม รอยเชื่อมแตกกร้าวและความต้านทานหน้าสัมผัสของแทป โดยเปรียบเทียบกับผลทดสอบของโรงงาน

- Ratio Test การทดสอบอัตราส่วน เป็นการป้อนไฟเข้าที่ขดลวดแรงสูงเพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนรอบของขดลวดระหว่างขดแรงสูงกับขดแรงต่ำ ในขณะที่เดียวกันเป็นการพิสูจน์ว่าวงจรแม่เหล็กยังสามารถทำงานได้ตามปกติเนื่องจากกระแสของเครื่อง Ratio meter ที่ป้อนเข้าหม้อแปลงเป็นการป้อนในลักษณะ No-load จะเป็น Exciting current ที่โวลต์ต่ำ แต่ถ้าไม่สามารถวัดได้แสดงว่าหม้อแปลงมีปัญหาภายใน

- Insulation Resistance (IR) & Polarization Index (PI) Test หรือการทดสอบ Megger test จะเป็นการทดสอบค่าความต้านทานฉนวนของขดลวดหม้อแปลงจะทำการวัดระหว่างขดลวดแรงสูงกับขดลวดแรงต่ำ, ขดลวดแรงสูงกับกราวด์, ขดลวดแรงต่ำกับกราวด์ วงจรการทดสอบต้องช็อตขั้วขดลวดแรงสูงทุกขั้ว (A,B,C) ถึงกันทั้งสามเฟสและช็อตขั้วแรงต่ำทุกขั้ว (a,b,c,n) ถึงกันทั้งสามเฟสแล้วถึงทำการวัด ค่าของ IR เป็นค่าที่วัดได้ในนาที่ที่ 1 ของทุกการวัดในแต่ละขดลวด โดยสำหรับ

หม้อแปลงที่ใช้งานแล้วจะมีค่า IR สูงกว่า 300 MΩ ส่วนค่าของ PI เป็นค่าที่วัดในนาที่ที่ 10 ทหารด้วยค่าที่นาที่ที่ 1 และมักจะวัดระหว่างขดลวดแรงสูงกับขดลวดแรงต่ำ ซึ่งของค่า PI ให้ดูตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าของ Polarization index ในกรณีต่างๆ

Polarization Index (PI)	Insulation Condition
น้อยกว่า (Less than) 1.0	อันตราย (Dangerous)
1.0 – 1.1	ฉนวนแย่มาก (Very poor)
1.1 – 1.25	ปานกลาง (Questionable)
1.25 – 2.0	พอใช้ได้ (Satisfactory)
มากกว่า 2.0 (More than) 2.0	ดี (Good)

- Exciting Current เป็นการป้อนแรงดันเข้าหม้อแปลงเพื่อการหาจุดบกพร่องหรือสิ่งผิดปกติของวงจรแม่เหล็กแกนเหล็ก การเคลื่อนตัวของขดลวด การเชื่อมต่อของฉนวนขดลวดรอบต่อรอบ หรือแทปมีปัญหาลัดวงจรที่ขั้ว Contact ถ้าเกิดปัญหาดังกล่าว การที่จะป้อนกระแส Exciting จะต้องใช้กระแสปริมาณมากกว่าปกติ

- Short Circuit Impedance เป็นการทดสอบค่า อิมพีแดนซ์ (%Z) เพื่อหาจุดบกพร่องของขดลวดที่เปลี่ยนรูปร่างโครงสร้างไปจากเดิม อันเนื่องมาจากภายหลังการเกิดความเสียหายหรือเกิด Fault อย่างรุนแรง ทำให้ขดลวดเปลี่ยนสภาพโครงสร้างไปจากเดิม โดยการเปรียบเทียบกับค่า %Z ที่ป้ายชื่อ ค่าที่ยอมรับได้ไม่ควรเกิน +3% โดยทั่วไปมักนิยมใช้การป้อนแรงดันแบบ Single Phase ด้านขดปฐมภูมิและช็อตขั้วแรงต่ำไว้ ในกรณีที่ทดสอบหม้อแปลง 3 เฟส ขณะทดสอบในแต่ละเฟสควรปรับกระแสให้อ่านค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดแล้วมาคำนวณ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับป้ายชื่อ ซึ่งวิธีคำนวณมีดังนี้

$$\%Z_{\text{หม้อแปลงเฟสเดียว}} = \left(\frac{1}{10}\right) \times \left[\left(\frac{E_m}{I_m}\right) \times \frac{kVAr}{2kVr}\right] \quad (2-1)$$

โดยที่  $E_m$  แทน แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ (V)  
 $I_m$  แทน กระแสที่วัดได้ (A)  
 $kVAr$  แทน ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏที่พิกัด (kVA)  
 $kV.r$  แทน ค่าแรงดันปฐมภูมิที่พิกัด (kV)

$$\%Z_{\text{หม้อแปลงสามเฟส}} = \left(\frac{1}{50}\right) \times \left[\left(\frac{EA-B+EB-C+EC-A}{I_m}\right) \times \frac{kVAr}{2kVr}\right] \quad (2-2)$$

โดยที่	EA-B	แทน	VoltgePhaseA-B (V)
	EB-C	แทน	VoltgePhaseB-C (V)
	EC-A	แทน	VoltgePhaseC-A (V)
	I <sub>m</sub>	แทน	กระแสที่วัดได้ (A)
	kV.r	แทน	ค่าแรงดันปฐมภูมิที่พิกัด (kV)

#### 2.2.4.2 การทดสอบฉนวนน้ำมัน

ฉนวนน้ำมันเปรียบเสมือนกับเลือดของคนเราเมื่อต้องการตรวจสอบสุขภาพจะต้องนำตัวอย่างเลือดไปตรวจสอบว่ามีโรคภัยไข้เจ็บใดบ้าง สำหรับหม้อแปลงก็เช่นกัน ภายหลังจากใช้งานมาแล้ว 3-5 ปี ควรจะตรวจสอบน้ำมัน เพื่อที่เราต้องการรู้ว่ามีสิ่งผิดปกติใดบ้างที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลง เราต้องทำการเก็บตัวอย่างน้ำมัน (การเก็บสามารถทำได้ในขณะที่หม้อแปลงยังใช้งานอยู่ ยกเว้นแบบ Fully Sealed) การเก็บตัวอย่างน้ำมันควรทำตามขั้นตอนวิธีปฏิบัติ การเก็บตัวอย่างน้ำมันโดยถือหลักเบื้องต้นว่าภาชนะต้องสะอาดและทึบแสง เนื่องจากสารบางตัวในน้ำมันไวต่อแสงทำให้ค่าเปลี่ยนไปจากเดิม การเก็บต้องระวังสิ่งปนเปื้อนบริเวณวาล์ว ในหม้อแปลงโดยทั่วไป การทดสอบน้ำมัน ได้แก่

- Acid Number ASTM D974-92
- Interfacial Tension (IFT) ASTM D971
- Oil Dielectric Strength ASTM D877 หรือ Dielectric Breakdown Voltage
- Color ASTM D1500-91, ASTM Color scale
- Specific Gravity ASTM D1298-85
- Visual Examination ASTM D1524-94
- Sediment (Sludge condition) ASTM D1698-84
- Water Content (KF) ASTM D1533-88
- Dissolved Gas Analysis (DGA) ASTM D3612-93
- Inhibitor Content (DBPC) ASTM D2668
- Furan Analysis ASTM D5837
- Passivator ASTM WK24216
- Corrosive sulfur ASTM D1275

#### 1) Acid Number ASTM D974-92

ในฉนวนน้ำมันใหม่ ความเป็นกรดจะน้อยมาก แต่เมื่อใช้งานไปแล้วจะเกิดความชื้นทำให้มีปฏิกิริยาเคมี Oxidation เปลี่ยนสภาพเนื่อน้ำมันกลายเป็นกรด สภาพความเป็นกรดที่มากขึ้นจะไปทำลายขดลวดและกระดาษฉนวนให้เสียหาย ค่าที่ได้จากการทดสอบวัดจากการทดสอบว่า น้ำมัน 1 กรัม จะต้องใช้ Potassium Hydroxide (KOH) ปริมาณกี่มิลลิกรัมที่จะทำให้สภาพน้ำมันเป็นกลาง โดยมีหน่วยเป็น mg KOH/mg

#### 2) Interfacial Tension (IFT) ASTM D971

เป็นการวัดแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันกับน้ำกลั่นในถ้วย เดียวกัน ส่วนที่เป็นน้ำมันจะลอยอยู่ด้านบนโดยจะวัดแรงตึงผิวที่แนวเส้นแบ่งของน้ำมันกับน้ำกลั่นมีหน่วยเป็น Dynes/cm. หรือ mN/m ค่าของน้ำมันใหม่จะอยู่ประมาณ 40-50 Dynes/cm. ส่วนน้ำมันที่ใช้แล้วไม่ควรให้ต่ำกว่า 25 Dynes/cm. ซึ่งค่า IFT ที่ 25 Dynes/cm. แสดงว่าน้ำมันเสื่อมสภาพ มีสิ่งปนเปื้อนในเนื่อน้ำมันมาก ควรทำ Oil Reclaim หรือเปลี่ยนน้ำมันใหม่

#### 3) Oil Dielectric Strength ASTM D877 หรือ Dielectric Breakdown Voltage (DBV)

การทดสอบนี้จะนำน้ำมันตัวอย่างมาทดสอบในภาชนะสำหรับทดสอบ ซึ่งภายในจะมี Electrode สำหรับป้อนแรงดันที่ตั้งระยะห่างไว้โดยมีน้ำมันอยู่ตรงกลาง เมื่อป้อนแรงดันจนน้ำมันทนแรงดันไม่ได้ กระแสจะลัดวงจรข้าม Electrode ที่แรงดันเท่าไรจะทำการบันทึกไว้ การทดสอบจะมีมาตรฐานอยู่ 2 ชนิด คือของอเมริกากับยุโรป อเมริกาจะใช้มาตรฐาน IEEE ASTM D877 จะใช้ Electrode ทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 mm. หน้าที่ดัดเรียบระยะระหว่าง Electrode ห่างกัน 2.5 mm. ยุโรปจะใช้มาตรฐาน IEC 60156 จะใช้ Electrode รูปทรงหัวเห็ด ระยะระหว่าง Electrode ห่างจากกัน 2.5 mm. การทดสอบนี้เป็นการทดสอบว่าฉนวนน้ำมันสามารถทนแรงดันในระยะห่าง 2.5 mm. ได้กี่ kV. ค่าไม่ควรต่ำกว่า 26 kV. แต่ถ้าน้ำมันใหม่สำหรับ ASTM D877 จะต้องมากกว่า 35 kV. สำหรับ IEC 60156 จะต้องมีความมากกว่า 50 kV.

#### 4) Color ASTM D1500-91, ASTM Color scale

เป็นการทดสอบสีของฉนวนน้ำมันเมื่อใช้งานไปแล้วหรือน้ำมันที่เก็บไว้นานจะเกิดการเสื่อมสภาพของเนื่อน้ำมัน สาเหตุมาจากความชื้นที่มีอยู่ในน้ำมันและความร้อนจากการใช้งาน การทดสอบนี้จะเป็นการบ่งชี้ว่าสีของน้ำมันที่ใช้งานแล้วนำไปเปรียบเทียบกับสีมาตรฐานว่าคุณภาพฉนวนน้ำมันอยู่ในสภาพใด

#### 5) Specific Gravity ASTM D1298-85

การวัดนี้เป็นการวัดความหนาแน่นของน้ำมันหม้อแปลงซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำมันต่อปริมาตร เทียบกับน้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน ณ ที่อุณหภูมิเดียวกัน (ใช้ที่ 15.6°C) ซึ่งความหนาแน่นของฉนวนน้ำมันมีผลกับประสิทธิภาพการพาความร้อน

#### 6) Visual Examination ASTM D1524-94

การทดสอบนี้เป็นการวัดที่ครอบคลุมถึงปริมาณน้ำในน้ำมันและตะกอนแขวนลอย เช่น เศษผงโลหะ Sludge Carbon Fiber และสิ่งสกปรกทั้งหลาย เป็นต้น การที่สิ่งปนเปื้อนต่างๆ เหล่านี้ละลายอยู่ในน้ำมันจะทำให้สภาพแวดล้อมภายในหม้อแปลงแย่งลง และการกรองน้ำมันไม่สามารถที่จะนำสิ่งสกปรกเหล่านี้ออกได้หมด การทดสอบนี้ควรดูการทดสอบ Color ASTM D1500-91 เป็นการยืนยันการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน เพราะถ้ามีตะกอนแขวนลอยมากสีของน้ำมันจะเข้มขึ้นด้วย

#### 7) Sediment (Sludge condition) ASTM D1698-84

การทดสอบนี้เป็นการวัดตะกอนแขวนลอยในฉนวนน้ำมัน ซึ่งการทดสอบนี้จะทำเมื่อค่าของ IFT น้อยกว่า 0.026 N/m หรือ 26 dyn/cm และค่า Acid Number มากกว่า 0.15 mg KOH/g ตะกอนแขวนลอย (Sediment หรือ Sludge) เกิดจากการเสื่อมสภาพของเนื้อฉนวนน้ำมันจากการใช้งาน จะมีความร้อนและความชื้นในฉนวนน้ำมันเป็นสารเรซิน สารจากพวกโพลีเมอร์จะค่อยๆ สะสมรวมตัวกันจนเป็นตะกอนแขวนลอยในเนื้อน้ำมัน จากการตรวจสอบถ้า Sludge มีปริมาณต่ำอยู่สามารถทำการกรองโดยการทำ Oil Reclaim ได้ แต่ถ้ามีค่าสูงมากควรนำหม้อแปลงเข้า Overhaul ทำการล้างขดลวด, แกนเหล็ก และเปลี่ยนน้ำมันใหม่เพื่อยืดอายุการใช้งานสามารถใช้งานได้ต่อไป

#### 8) Water Content (KF) ASTM D1533-88

ความชื้นในน้ำมันส่วนใหญ่มาจากฉนวนกระดาษที่ใช้เนื่องจากขบวนการผลิตไม่สามารถถึงความชื้นออกจากเนื้อกระดาษได้หมด 100% จะมีปริมาณความชื้นที่ตกค้างอยู่ประมาณ 0.2-0.5% ต่อน้ำหนักของฉนวนกระดาษ ความชื้นนี้เมื่อขณะใช้งานจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความชื้นส่วนนี้ออกมาปะปนในฉนวนน้ำมัน ค่าความชื้นของฉนวนกระดาษขึ้นอยู่กับค่าความชื้นของน้ำมัน จึงต้องดูแลและควบคุมความชื้นของน้ำมันโดยการควบคุมอุณหภูมิใช้งานหรือควบคุมการจ่ายภาระไฟฟ้าไม่ให้อุณหภูมิใช้งานสูงเกินไป ควรจ่ายประมาณ 80% ของขนาดหม้อแปลง เพื่อป้องกันความชื้นที่ฉนวนกระดาษด้วย

#### 9) Dissolved Gas Analysis (DGA) ASTM D3612-93

การทดสอบนี้เป็นการวัดค่าปริมาณก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำมัน ภายหลังจากการเติมน้ำมันหรือควรมีค่าตั้งต้นในช่วงเวลา ก่อน เพื่อเปรียบเทียบกับค่าทดสอบปัจจุบันว่ามีปริมาณก๊าซใดที่เพิ่มขึ้นจากเดิมด้วยปริมาณเท่าไร การเพิ่มปริมาณก๊าซต่างๆ จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความผิดปกติภายในหม้อแปลง ควรรีบทำการแก้ไขก่อนที่จะเกิดความเสียหาย การทดสอบ DGA สามารถบ่งชี้ได้ว่าการ Arcing, Partial Discharge, เกิดการ Sparking หรือการใช้งาน Over Load โดยการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซที่เปลี่ยนแปลงชนิดของก๊าซต่างๆ จะบ่งชี้สาเหตุที่เกิดขึ้นได้จากตัวอย่างดังนี้

- ปริมาณ Oxygen Gas (O<sub>2</sub>) เพิ่มขึ้นจากเดิมมากกว่า 22% แสดงว่าเกิดการ Oxidation สูง หมายถึงมีปริมาณน้ำมาก ทำให้ปฏิกิริยา Oxidation ของ Oxygen จะเปลี่ยนสภาพให้เกิดความเป็นกรดมากขึ้น

- ก๊าซ Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) ถ้าผลการทดสอบพบว่าปริมาณก๊าซนี้มีค่าต่ำกว่า 5000 ppm. แสดงว่าคุณภาพของฉนวนกระดาษยังอยู่ในสภาพดี แต่ถ้ามีค่าสูงเกินกว่า 5000 ppm. แสดงว่าสภาพของฉนวนกระดาษไม่สามารถใช้งานได้ต่อไป

- ก๊าซ Carbon Monoxide (CO) ก๊าซนี้เกิดจากความร้อนอาจมาจากการจ่ายภาระไฟฟ้าหรือจากรอยต่อของ Bus bar หรือจุดต่อของเส้นลวดในชุดลวดสกรปรกหรือหลวม เป็นต้น

- ก๊าซ Hydrogen (H<sub>2</sub>) ปริมาณก๊าซนี้ ปกติจะมีค่าไม่เกิน 150 ppm. ถ้ามีค่าถึง 200-300 ppm. แสดงว่ากระดาษฉนวนเริ่มมีความชื้น และถ้าค่าเกิน 500 ppm. แสดงว่าฉนวนกระดาษชื้นมากอาจทำให้เกิด Partial Discharge ทำให้กระดาษชำรุดเสียหายได้

- ในกรณีวิเคราะห์สาเหตุอย่างคร่าวๆ ให้ดูจากอัตราส่วนของก๊าซ Carbon Dioxide กับ Carbon Monoxide ถ้าอัตราส่วนมีค่าน้อยกว่า 3 แสดงว่ามีปัญหาทางด้านไฟฟ้า แต่ถ้ามีค่าเกิน 7.5 หมายถึงหม้อแปลงมีสภาพปกติ

- ก๊าซ Methane (CH<sub>4</sub>) ก๊าซนี้เกิดจาก Overheat อาจเกิดจากการ Short circuit ของวงจรแม่เหล็กหรือเกิดจาก Eddy current จากเส้นแรงแม่เหล็ก Leakage Flux ไปเหนี่ยวนำโลหะที่ใกล้เคียงจนเกิดจุดความร้อนสูงการจ่ายภาระไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเป็นเวลานาน ก็สามารถทำให้เกิดก๊าซนี้ได้เช่นกัน ตามปกติก๊าซ Methane จะมีค่าไม่เกิน 100 ppm. ถ้าหากเกิน 100-150 ppm. แสดงว่าเกิดการ Overheat

- ก๊าซ Acetylene (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) ก๊าซนี้เกิดจากการ Arc ในน้ำมัน ตามปกติจะมีค่าเป็นศูนย์ ถ้ามีค่าเกิดขึ้นแสดงว่าเกิดการ Arc ขึ้นภายในหม้อแปลงถ้ามีค่าต่ำกว่า 10-50 ppm. ควรตรวจ DGA ซ้ำถ้าค่าลดลงหรือหายไปแสดงว่าการ Arc เกิดชั่วคราวแล้วหยุดควรกรองน้ำมัน เพื่อลดปริมาณก๊าซ

#### 10) Inhibitor Content (DBPC) ASTM D2668

การทดสอบนี้เป็นการหาปริมาณสารที่เติมไว้ในฉนวนน้ำมันใหม่ คือสาร 2,6-Detertiary-Butyl Paracresal และ 2,6-Detertiary-Butyl Phenol เพื่อชะลอการเกิด Oxidation ในน้ำมันหรือสารนี้จะช่วยไล่ก๊าซ Oxygen ออกจากน้ำมัน ขณะที่เกิดการ Oxidation สารนี้จะถูกใช้ไปจนหมด สารนี้เติมได้ภายหลังจากการทำ Oil Reclaim ค่าปกติจะมีปริมาณ 0.2% ของปริมาณน้ำหนักของน้ำมัน

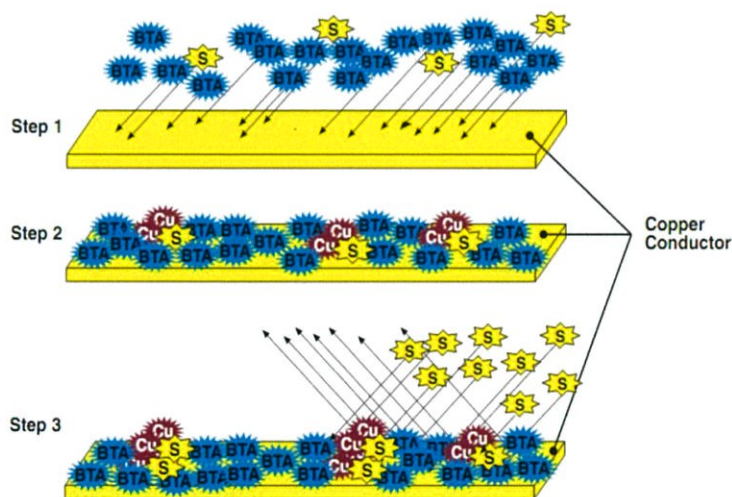
#### 11) Furan Analysis ASTM D5837

ฉนวนแข็งที่ใช้ในหม้อแปลงทำมาจากกระดาษ ซึ่งโครงสร้างของกระดาษประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose Fibers) เซลลูโลสเป็นสารโพลีเมอร์ที่ต่อกันเป็นเส้นยาว ถ้าเป็นกระดาษใหม่ จำนวนโมเลกุลความยาวของโมเลกุลนี้เราเรียกว่า “Degree of Polymerization” (DP) เส้นใยเรียงต่อกันประมาณ 1000-1200 เส้น แต่เมื่อนำมาประกอบและอบแห้งในหม้อแปลงแล้วจะมีอยู่ประมาณ 800-1000 เส้น เมื่อกระดาษถูกใช้งานไปเส้นใยนี้จะถูกทำลายจากความชื้น Carbon Monoxide และ Carbon Dioxide ด้วยปฏิกิริยาทางเคมีทำให้โมเลกุลของเส้นใยสูญเสีย

ความแข็งแรงและเปลี่ยนเป็นสารประกอบเรียกว่า Furan สารนี้จะเป็นตะกอนละลายปนอยู่ในน้ำมัน ถ้ามีปริมาณมากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิหม้อแปลงสูงขึ้น ค่าปริมาณก๊าซ Oxygen เพิ่มมากขึ้นและทำให้ความชื้นในน้ำมันสูง แสดงว่าภายในเนื่อน้ำมันเริ่มมีสารประกอบ Furan แล้ว

### 12) Passivator ASTM WK24216

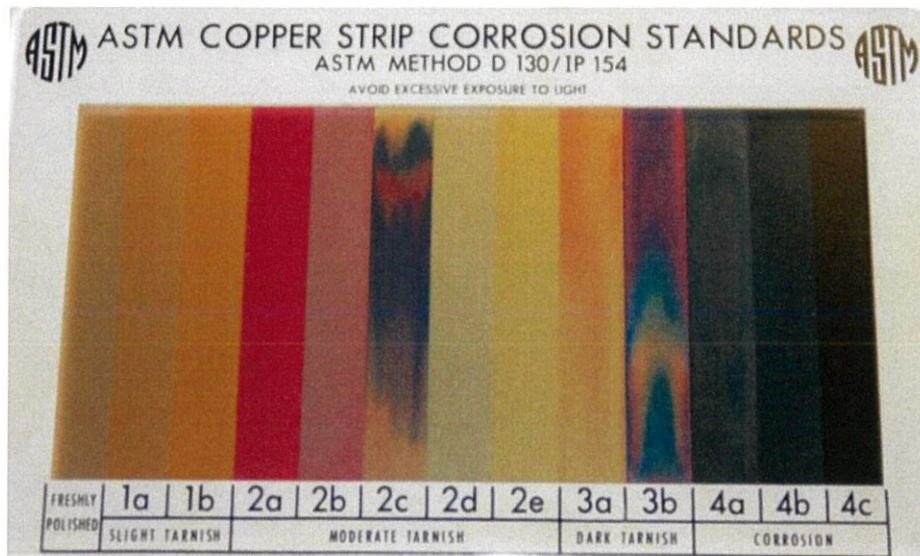
การทดสอบนี้เป็นการหาค่าความเข้มข้นของสารละลาย Benzotriazole (BTA) และ Irgamet39 ในน้ำมันใหม่หรือน้ำมันที่ใช้แล้ว น้ำมันหม้อแปลงโดยทั่วไปผู้ผลิตจะทำการกำจัดสาร Sulfur ออกไม่หมด 100% จะเหลือค้างอยู่ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งสารนี้จะทำปฏิกิริยาโดยตรงกับทองแดง (Corrosive sulfur) ตามมาตรฐาน ASTM D1275 จะเป็นการทดสอบว่าน้ำมันเกิด Corrosive Sulfur ปริมาณเท่าใด การกัดกร่อนทองแดงทำให้กลายเป็นเกลือทองแดง (Copper Sulfide) คราบเกลือนี้เป็นสื่อทางไฟฟ้าจะมาจับอยู่ระหว่างรอบของขดลวดหรือกระดาดชนวนทำให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้ เกิดการลัดวงจรระหว่างขดลวดทำให้หม้อแปลงเสียหายได้ จึงได้มีการเติมสาร Passivator ลงในน้ำมันใหม่หรือน้ำมันใช้แล้ว สารนี้จะถูกใช้หมดไปและสามารถเติมได้ ภาพที่ 2.22 สาร Passivator ที่มีอยู่ในน้ำมันจะยับยั้งไม่ให้สาร Sulfur มาทำปฏิกิริยากับทองแดง ความเข้มข้นของสาร Passivator ที่ใช้เติมในฉนวนน้ำมันควรมีปริมาณไม่เกิน 100 ppm. (mg/kg)



ภาพที่ 2.22 การยับยั้งการทำปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟอร์กับทองแดงโดยสาร Passivator [2]

### 13) Corrosive sulfur ASTM D1275

เป็นการทดสอบว่าเกิด Corrosive sulfur ในฉนวนน้ำมันปริมาณมากน้อยเพียงใด จะมีวิธีการทดสอบอยู่ 2 แบบคือแบบ A และ B โดยแบบ A เป็นแบบเก่าจะใช้ทองแดงมาตรฐานต้มกับน้ำมันที่อุณหภูมิฉนวนทดสอบ 140°C ด้วยเวลา 19 ชั่วโมง ซึ่งปัจจุบันจะใช้วิธีการแบบ B โดยจะใช้อุณหภูมิทดสอบที่ 150°C ด้วยเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อทองแดงผ่านการต้มด้วยน้ำมันตัวอย่างจะถูกกรด Sulfur กัดกร่อนผิวจนเปลี่ยนสีแล้วนำมาเทียบกับแถบสีมาตรฐาน ตามภาพที่ 2.23 ว่าตรงกับแถบสีใด ระดับสีที่คล้ำขึ้น (Tarnish level) จะบอกถึงการเกิด Corrosion ระดับใด ให้ดูจากตารางที่ 2.2



ภาพที่ 2.23 แถบสีมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบการเกิด Corrosion [2]

ตารางที่ 2.2 การเกิด Corrosion ในระดับต่างๆ

CLASSIFICATION	TARNISH LEVEL	DESCRIPTION
Noncorrosive	1a	Light orange, almost the same as freshly polished strip
	1b	Dark orange
	2a	Claret red
	2b	Lavender
	2c	Multicolored with lavender blue or silver, or both, overlaid on claret red
	2d	Silvery
	2e	Brassy or gold
	3a	Magenta overcast on brassy strip
	3b	Multicolored with red and green showing (peacock), but no gray
Corrosive	4a	Transparent black, dark gray, or dark brown with peacock green barely showing
	4b	Graphite or lusterless black
	4c	Glossy or jet black

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน โดยเริ่มจากการจัดเตรียมและตรวจสอบสภาพก่อนเริ่มทำงาน การถ่ายน้ำมันออกจากถังสำรองน้ำมันและหม้อแปลง การเปลี่ยนชิ้นส่วนของหม้อแปลง การเปลี่ยนอุปกรณ์ป้องกันของหม้อแปลง การเติมน้ำมันภายใต้สภาวะสุญญากาศ การทดสอบหารอยรั่ว และสุดท้ายคือการทดสอบฟังก์ชันการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้า

#### 3.1 การจัดเตรียมและตรวจสอบสภาพก่อนเริ่มทำงาน [3]

ในขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญมากก่อนที่จะเริ่มทำงาน ซึ่งจะทำให้การทำงานดำเนินไปอย่างราบรื่น โดยขั้นตอนการจัดเตรียมและตรวจสอบสภาพก่อนเริ่มทำงานจะเป็นดังนี้

3.1.1 จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่สำคัญต่อการดำเนินงาน (Necessary equipment and special tools) โดยจะมีอุปกรณ์ดังนี้

- ท่อไวนิลใส (Vinyl hose)
- สีเคลือบ (Red varnish)
- ท่อต่อแยก (Pipe adapter)
- ตัวควบคุมแรงดัน (Pressure regulator)
- หน้าแปลนแยก (Flange adapter)
- วาล์วล็อค (Lock valve)
- ประแจขันนอต (Torque)
- กระดาษซับน้ำมัน (Oil blotting paper)
- มาตรวัดความดัน (Compound gauge)
- นอตนำร่อง (Guide bolt)
- มาตรวัดพีรานี (Pirani vacuum gauge)
- ประเก็นเหลว (Liquid gasket)
- น้ำมันหม้อแปลง (Insulation oil)

- เครื่องกรองน้ำมัน (Oil purifier)
- ถังเก็บน้ำมัน (Oil storage tank)
- แก๊สไนโตรเจนและอากาศแห้ง (N2 and dry air cylinder)
- ที่ เปิด-ปิด วาล์วครีป (Switcher valve)

### 3.1.2 จัดตั้งน้ําร้าน

การจัดตั้งน้ําร้านนั้น น้ําร้านที่ทางผู้รับเหมานำมาติดตั้งนั้น ต้องผ่านการตรวจสอบจากบริษัทก่อนทุกครั้ง และในการติดตั้ง ผู้ทำการติดตั้งต้องปฏิบัติตามกฎความปลอดภัยของบริษัท โดยต้องสวมหมวกนิรภัย รองเท้านิรภัย แวนตานิรภัย และสายรัดลำตัวทุกครั้งก่อนขึ้นที่สูง

### 3.1.3 ตรวจสอบชิ้นส่วนสำหรับการเปลี่ยน

ชิ้นส่วนที่นำมาเปลี่ยนนั้น จะเป็นชิ้นส่วนใหม่ทั้งหมด ซึ่งทางบริษัทได้จัดซื้อมาจากประเทศญี่ปุ่น โดยการตรวจสอบชิ้นส่วนทั้งหมด จะตรวจสอบโดยที่ปรึกษาด้านเทคนิค จากประเทศญี่ปุ่น โดยทำการตรวจสอบเพื่อหาข้อบกพร่องของชิ้นส่วนก่อนนำไปติดตั้ง เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาหลังการติดตั้ง

### 3.1.4 ตรวจสอบวงจรไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า

การตรวจสอบวงจรไฟฟ้า จะทำการตรวจสอบโดยที่ปรึกษาด้านเทคนิค จากประเทศญี่ปุ่น โดยจะจดบันทึกหมายเลขของสายไฟให้ตรงตามเทอมินอล เพื่อป้องกันการผิดพลาดในการใส่สายไฟ

### 3.1.5 ทดสอบความต้านทานของฉนวนไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้า (IR Test)

การทดสอบความต้านทานของฉนวนไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้า (Insulation resistance test) จะทำเพื่อหาคุณสมบัติการเป็นฉนวนของฉนวนไฟฟ้า เพื่อประกอบการพิจารณาว่าจำเป็นต้องเปลี่ยนสายใหม่หรือไม่ โดยมีมาตรฐานคือ ค่าความต้านทานของฉนวนต้องมากกว่า 1 จิกะโอห์ม หากน้อยกว่านี้ต้องทำการเปลี่ยนสายไฟ

### 3.1.6 ทดสอบค่า Breakdown Voltage ของน้ำมันหม้อแปลง

ในการทดสอบค่า Breakdown Voltage ของน้ำมันนั้น ต้องทำเพื่อทดสอบว่าน้ำมันนั้นสามารถทนแรงดันได้ตามมาตรฐานหรือไม่ ถ้าหากค่าที่ได้จากการทดสอบไม่เป็นไปตามมาตรฐาน

จะต้องทำการให้ความร้อนแก่น้ำมัน (Hot oil circulation) ซึ่งมาตรฐานนั้น ค่าที่ได้ต้องมากกว่า 60 kV ในฝั่งแรงสูง เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน IEC156

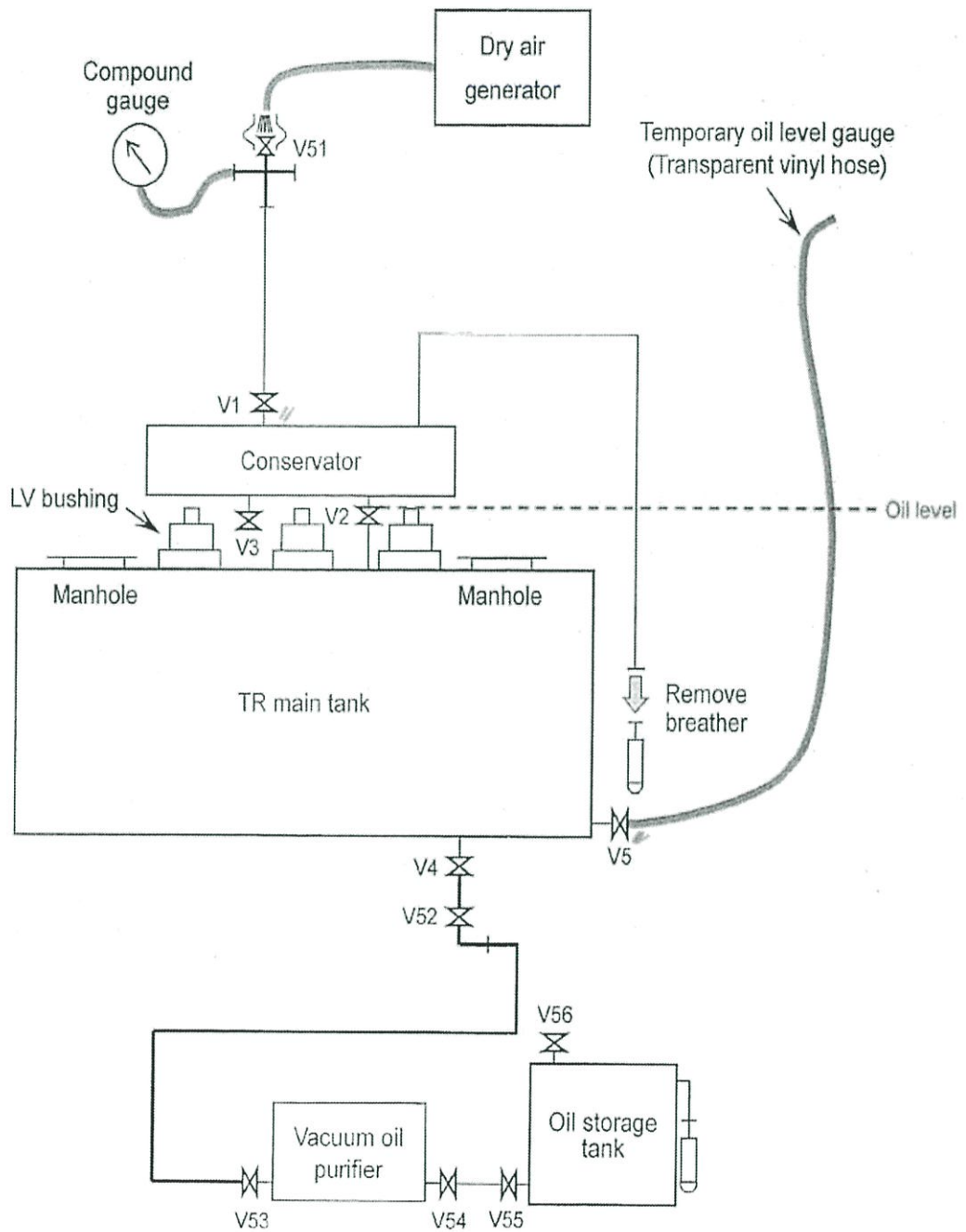
### 3.2 การถ่ายน้ำมันออกจากถังน้ำมันสำรองและหม้อแปลง [3]

ขั้นตอนแรกของการ overhaul หม้อแปลง ต้องทำการถ่ายน้ำมันออกจากหม้อแปลง โดยจะแบ่งเป็นการถ่ายน้ำมันออกจากถังสำรองน้ำมันและการถ่ายน้ำมันออกจากถังหม้อแปลง

#### 3.2.1 การถ่ายน้ำมันออกจากถังสำรองน้ำมัน (Drain oil from conservator)

การถ่ายน้ำมันออกจากถังสำรองน้ำมัน มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ถอดชุดกรองความชื้นสำหรับหม้อแปลงออกจากท่อ เพื่อให้อากาศใน rubber bag เปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว
- 2) ติดตั้งมาตรวัดความดัน (Compound gauge) สำหรับวัดความดันของอากาศแห้งที่ต้องใส่เข้าไปในถังน้ำมันสำรอง และติดตั้งมาตรวัดชั่วคราวโดยการต่อท่อไวน์ลิสกับหม้อแปลงเพื่อวัดระดับของน้ำมัน ดังภาพที่ 3.1
- 3) ถ่ายน้ำมันออกจากถังน้ำมันสำรอง โดยอัดอากาศแห้ง (Dry air) ในถังน้ำมันสำรอง โดยปรับความดันแก๊สจาก 0 MPa ถึง 0.01 Mpa โดยสาเหตุที่ต้องอัดอากาศแห้ง เนื่องจากเพื่อต้องการให้อากาศข้างในไม่มีความชื้นและคนที่เข้าไปตรวจสอบและเปลี่ยน rubber bag สามารถหายใจได้
- 4) ถ่ายน้ำมันออกจนกระทั่งระดับน้ำมันต่ำกว่าถังน้ำมันสำรอง โดยน้ำมันที่ถูกถ่ายออกมาจะถูกเก็บที่ถังเก็บน้ำมัน



ภาพที่ 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ก่อนถ่ายน้ำมัน [3]

### 3.2.2 การถ่ายน้ำมันออกจากถังหม้อแปลง (Drain oil from main tank)

การถ่ายน้ำมันออกจากถังหม้อแปลง (Main tank) มีขั้นตอนคล้ายกับการถ่ายน้ำมันจากถังน้ำมันสำรอง แต่จะต่างกันตรงที่ต้องอัดแก๊สไนโตรเจนเข้าทางวาล์ว V2 ดังแสดงในภาพที่ 3.1 โดยสาเหตุที่ใช้แก๊สไนโตรเจนนั้น เนื่องจาก ไม่ต้องการให้มีความชื้นและออกไซด์สัมผัสกับอากาศ โดยถ่ายน้ำมันออกจนกระทั่งระดับน้ำมันต่ำกว่าตัวหม้อแปลง 100 มิลลิเมตร

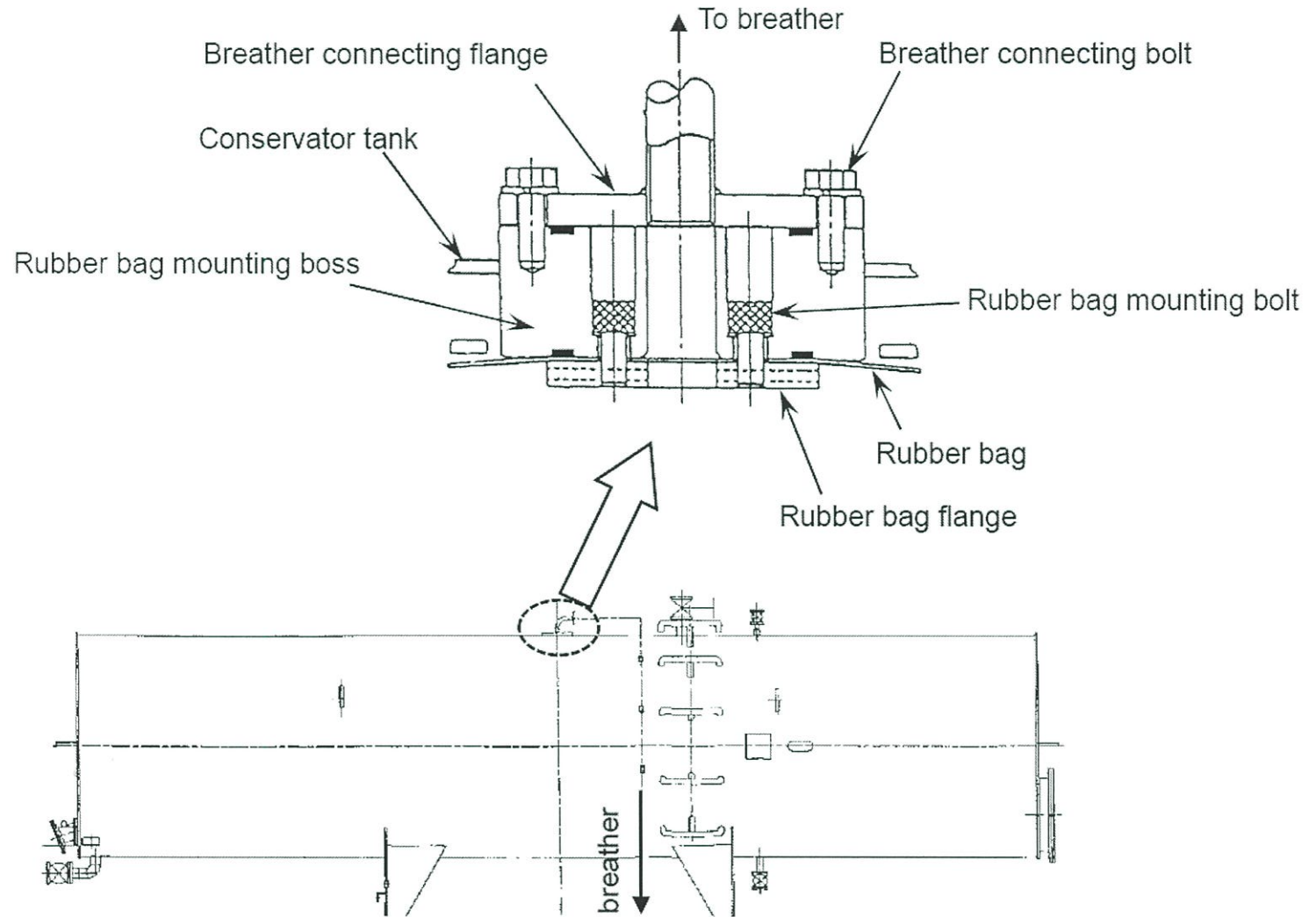
### 3.3 การเปลี่ยนชิ้นส่วนหม้อแปลง

#### 3.3.1 การเปลี่ยน rubber bag และ Oil level gauge [4]

การเปลี่ยน rubber bag และ Oil level gauge จะทำพร้อมกันหลังจากที่ถ่ายน้ำมันจากถังน้ำมันสำรองเสร็จแล้ว ซึ่งก่อนที่จะทำการเปลี่ยนนั้น ต้องตรวจสอบปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในถังน้ำมันสำรองเพื่อความปลอดภัยต่อผู้ทำงาน โดยจะต้องมีปริมาณของแก๊สออกซิเจนมากกว่า 18%

##### 3.3.1.1 ขั้นตอนการเปลี่ยน rubber bag

- 1) ถอดท่อที่ต่อระหว่าง rubber bag กับ dehydrating filter breather ออกจากตัวถังน้ำมันสำรอง
- 2) ถอดนอต 4 ตัว ที่ยึด rubber bag ออก และปลดหูยึด rubber bag ออกจากตัวถัง ดังภาพที่ 3.2 และนำ rubber bag ออกมา ก่อนที่จะทำความสะอาดข้างในตัวถัง
- 3) ทำการเปลี่ยน rubber bag โดยนำหูของ rubber bag ไปคล้องกับตัวถัง แล้วขันนอตยึด 4 ตัว โดยใช้สกรุนำร่อง (Guide bolt)
- 4) เมื่อติดตั้ง rubber bag เสร็จแล้ว อัดแก๊สไนโตรเจนเข้าใน rubber bag จนกระทั่ง rubber bag ขยายตัว เพื่อให้ทราบว่า rubber bag รั่วหรือไม่และ ไม่มีส่วนใดที่พับหรือติดกันอยู่
- 5) เปลี่ยนประเก็นยาง และทาประเก็นเหลวและสีเคลือบที่ประเก็นยางก่อนปิดฝาถัง



ภาพที่ 3.2 การติดตั้ง rubber bag [4]

### 3.3.1.2 ขั้นตอนการเปลี่ยน Oil level gauge

- 1) ถอด Oil level gauge ออก
- 2) ทำการปรับเทียบ Oil level gauge โดยใช้มือตัดที่ก้านของลูกลอย
- 3) เปลี่ยนประเก็นยาง และทาประเก็นเหลวและสีเคลือบที่ประเก็นยางก่อนติดตั้ง

### 3.3.2 การเปลี่ยน Oil cooling pump และ Oil flow indicator [3]

การเปลี่ยน Oil cooling pump จะทำหลังจากถ่ายน้ำมันออกจากหม้อแปลงเสร็จแล้ว ซึ่งจำเป็นต้องถ่ายน้ำมันออกจากแผงระบายความร้อนเสียก่อน จึงจะสามารถเปลี่ยน Oil cooling pump ได้ หลังจากเปลี่ยนเสร็จ จึงค่อยเติมน้ำมันกลับสู่แผงระบายความร้อน โดยผ่านเครื่องกรองน้ำมันภายใต้ความดันสุญญากาศ

#### 3.3.2.1 ขั้นตอนการถ่ายน้ำมันออกจากแผงระบายความร้อน

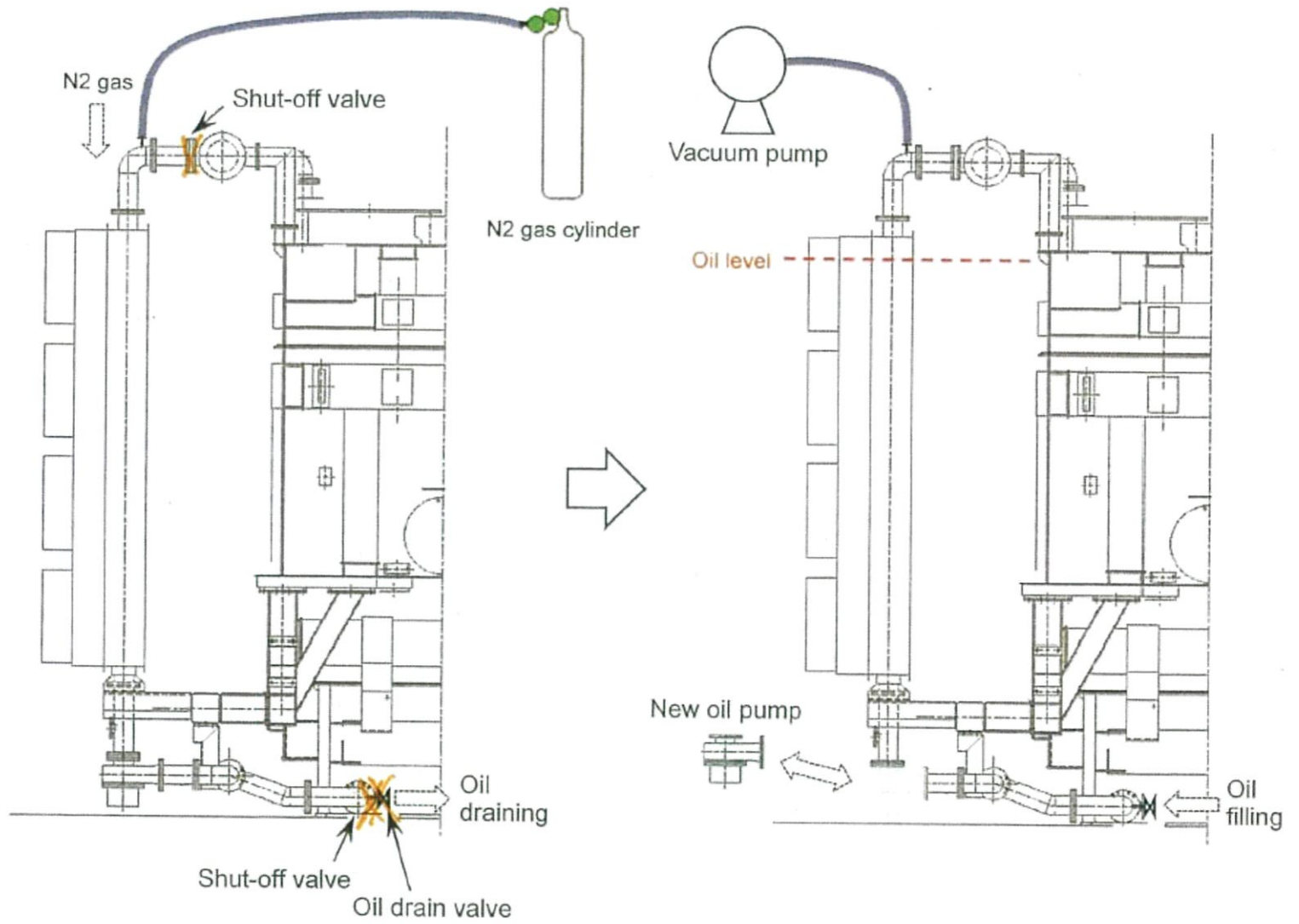
- 1) ปิดวาล์ว บน-ล่าง ของแผงระบายความร้อน ดังรูป
- 2) อัดแก๊สไนโตรเจนทาง release valve เพื่อไล่น้ำมันลงมาจนหมด ดังภาพที่ 3.3

#### 3.3.2.2 ขั้นตอนการเปลี่ยน Oil cooling pump และ Oil flow indicator

- 1) ถอด Oil cooling pump และ Oil flow indicator ออกจากหม้อแปลง
- 2) ทำความสะอาดหน้าแปลนของท่อให้สะอาดอย่างระมัดระวังไม่ให้เกิดรอยขีดข่วน โดยเช็ดล้างด้วยแอลกอฮอล์
- 4) ติดตั้ง Oil cooling pump และ Oil flow indicator อันใหม่อย่างระมัดระวัง โดยปรับระดับด้วย Pin alignment และต้องเปลี่ยนประเก็นยาง และทาประเก็นเหลวและสีเคลือบที่ประเก็นยางก่อนติดตั้ง
- 5) ชันนอตของ Oil cooling pump ด้วย Torque ด้วยแรง 210 Nm.

### 3.3.2.3 ขั้นตอนการเติมน้ำมันเข้าสู่แผงระบายความร้อน (Oil filling into radiator)

- 1) ต่อ Flange adapter สองทางที่ release valve ด้วยท่อไวนิลใส เพื่อต่อกับมาตรวัดความดัน (Compound gauge) และสำหรับต่อเข้าปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) ของเครื่องกรองน้ำมัน
- 2) vacuum ภายในแผงระบายความร้อนจนความดันเป็น -0.1 Mpa จากนั้นหยุดการ vacuum โดยน้ำมันที่เก็บอยู่ใน Oil storage tank จะถูกนำมาให้ความร้อนผ่านเครื่องกรองน้ำมันเพื่อไล่ความชื้นก่อนเติมกลับเข้าไป (อุณหภูมิระหว่าง 40-60 องศาเซลเซียส)
- 3) เติมน้ำมันเข้าสู่แผงระบายความร้อน (Radiator) ด้วย 170 ลิตรต่อแผง (มีทั้งหมด 8 แผง) โดยอ่านค่าปริมาณน้ำมันที่เติมได้จาก Oil flow meter
- 4) เมื่อน้ำมันถูกเติมเข้ามา 170 ลิตร จากนั้นทำการหยุดเติม หลังจากนั้นหักสาย vacuum แล้วนำสายไวนิลมาต่อเข้ากับถังแก๊สไนโตรเจน จากนั้นเติมแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่แผงระบายความร้อนจนกระทั่งอ่านความดันจากมาตรวัดได้ 0 Mpa
- 5) ทำความสะอาดหน้าแปลนของ release valve จากนั้นเปลี่ยนประเก็นยาง และทำประเก็นเหลวและสีเคลือบที่ประเก็นยางก่อนปิดหน้าแปลน
- 6) เปิดวาล์วคريبทั้งบนและล่าง



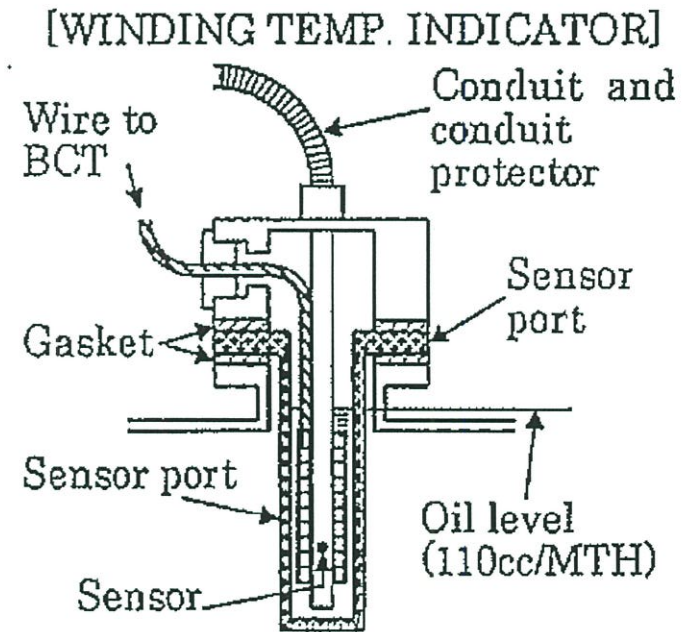
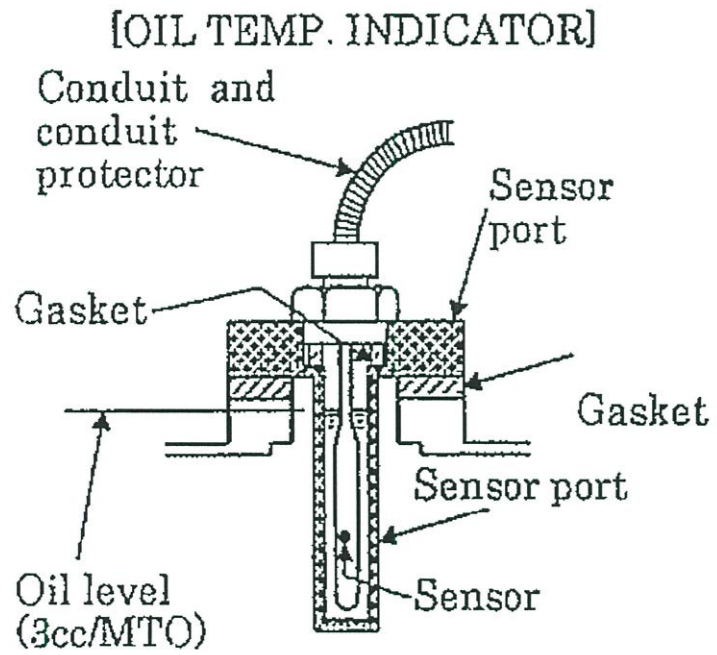
ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการเปลี่ยน Oil cooling pump [3]

### 3.3.3 การเปลี่ยน Oil temperature indicator และ Winding temperature indicator [3]

การเปลี่ยนทั้ง 2 อุปกรณ์นี้ จะมีขั้นตอนเหมือนกัน ดังภาพที่ 3.4

#### 3.3.3.1 ขั้นตอนการเปลี่ยน Oil temperature indicator และ Winding temperature indicator

- 1) ถอดอุปกรณ์ออกจากตัวหม้อแปลง ทำความสะอาดหน้าแปลนอย่างระมัดระวัง เพื่อไม่ให้มีสิ่งสกปรกตกลงไปในหลุม และนำน้ำมันภายในหลุมออกมาโดยใช้ผ้าซับน้ำมัน
- 2) นำน้ำมันจากหม้อแปลงมาเปลี่ยน โดยใช้ น้ำมัน 110 มิลลิลิตร สำหรับ Winding temperature indicator และ 3 มิลลิลิตร สำหรับ Oil temperature indicator
- 3) ติดตั้งอุปกรณ์อย่างระมัดระวัง และเปลี่ยนประกันใหม่



ภาพที่ 3.4 Oil & Winding temperature indicator [5]

### 3.4 การเปลี่ยนอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลง

#### 3.4.1 การเปลี่ยน Buchholz relay [5]

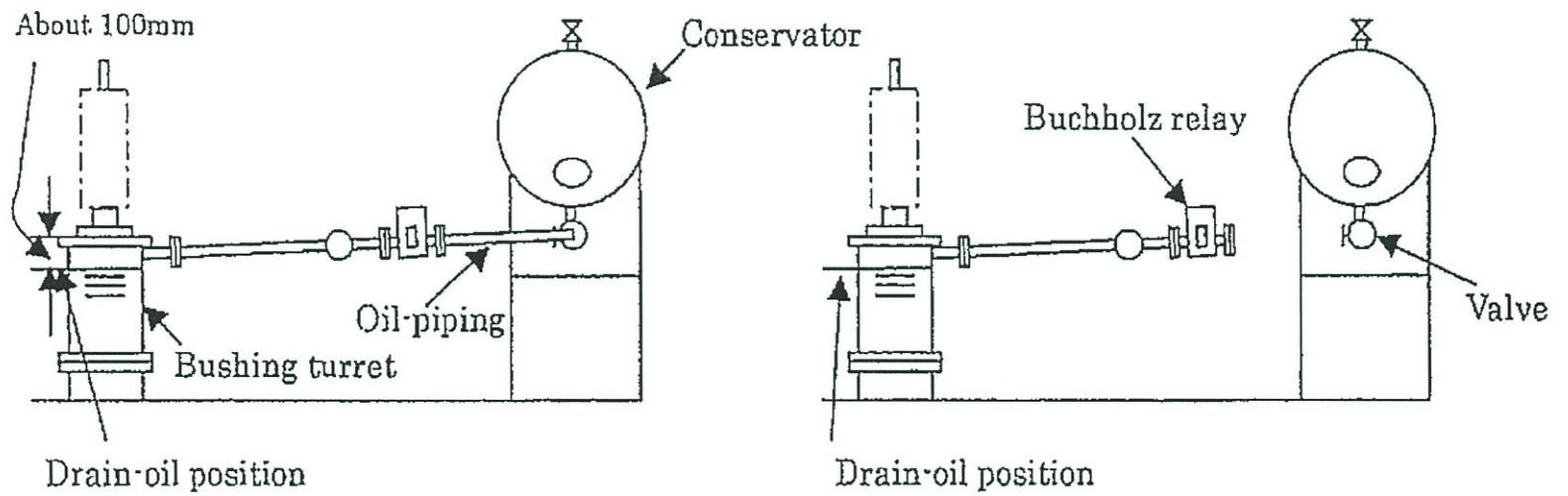
การเปลี่ยน Buchholz relay จะทำหลังจากถ่ายน้ำมันออกจากตัวหม้อแปลงแล้ว (ระดับน้ำมันต่ำกว่าจุดสูงสุดของถัง 100 มิลลิเมตร) ซึ่งการเปลี่ยน Buchholz relay จะเป็นไปตามภาพที่ 3.5 โดยมีขั้นตอนมีดังนี้

- 1) ปิดวาล์วที่ต่อจากถังน้ำมันสำรอง
- 2) ถอด Buchholz relay ออกจากท่อ หลังจากนั้นทำความสะอาดหน้าแปลน
- 3) ติดตั้ง Buchholz relay อันใหม่อย่างระมัดระวัง และเปลี่ยนประเก็นใหม่
- 4) ตรวจสอบว่าโหมตการทำงานของ Buchholz relay อยู่ในโหมตใช้งานหรือไม่ ถ้าไม่ใช่ให้ทำการปรับโหมตมาที่โหมตใช้งาน

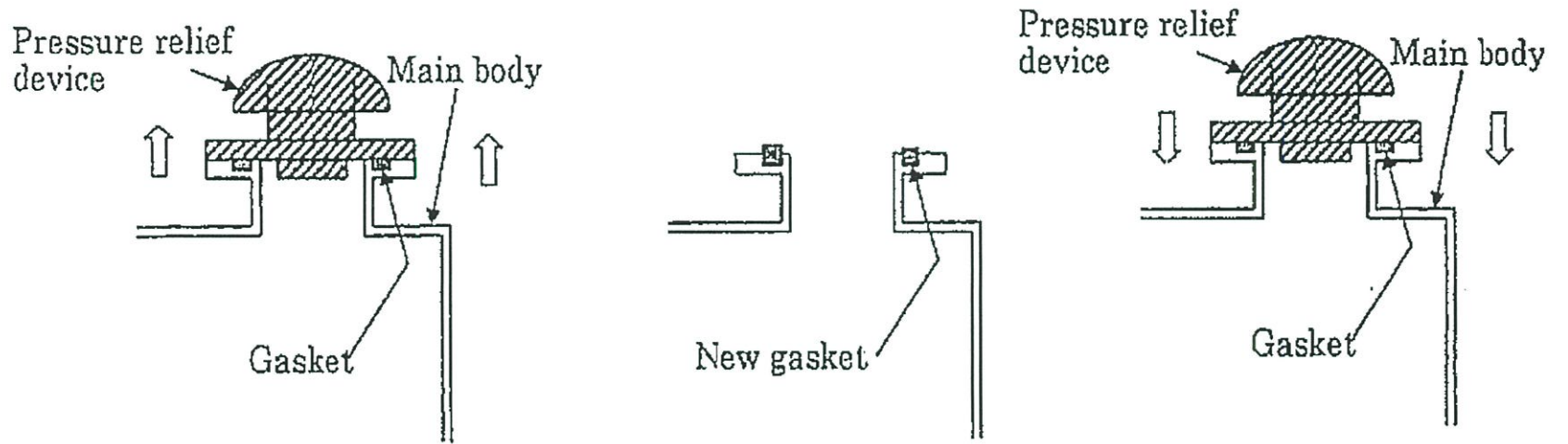
#### 3.4.2 การเปลี่ยน Pressure relief [5]

การเปลี่ยน Pressure relief จะทำหลังจากที่ถ่ายน้ำมันออกจากตัวหม้อแปลงเสร็จแล้ว (ระดับน้ำมันต่ำกว่าจุดสูงสุดของถัง 100 มิลลิเมตร) ซึ่งการเปลี่ยน Pressure relief จะเป็นไปตามภาพที่ 3.6 โดยมีขั้นตอนมีดังนี้

- 1) ถอด Pressure relief ออกจากนั้นทำความสะอาดหน้าแปลนให้สะอาดอย่างระมัดระวัง โดยระวังไม่ให้มีเศษผงหล่นลงไปข้างในน้ำมัน
- 2) ติดตั้ง Pressure relief อันใหม่ อย่างระมัดระวัง เปลี่ยนประเก็นใหม่



ภาพที่ 3.5 การเปลี่ยน Buchholz relay [5]



ภาพที่ 3.6 การเปลี่ยน Pressure relief [5]

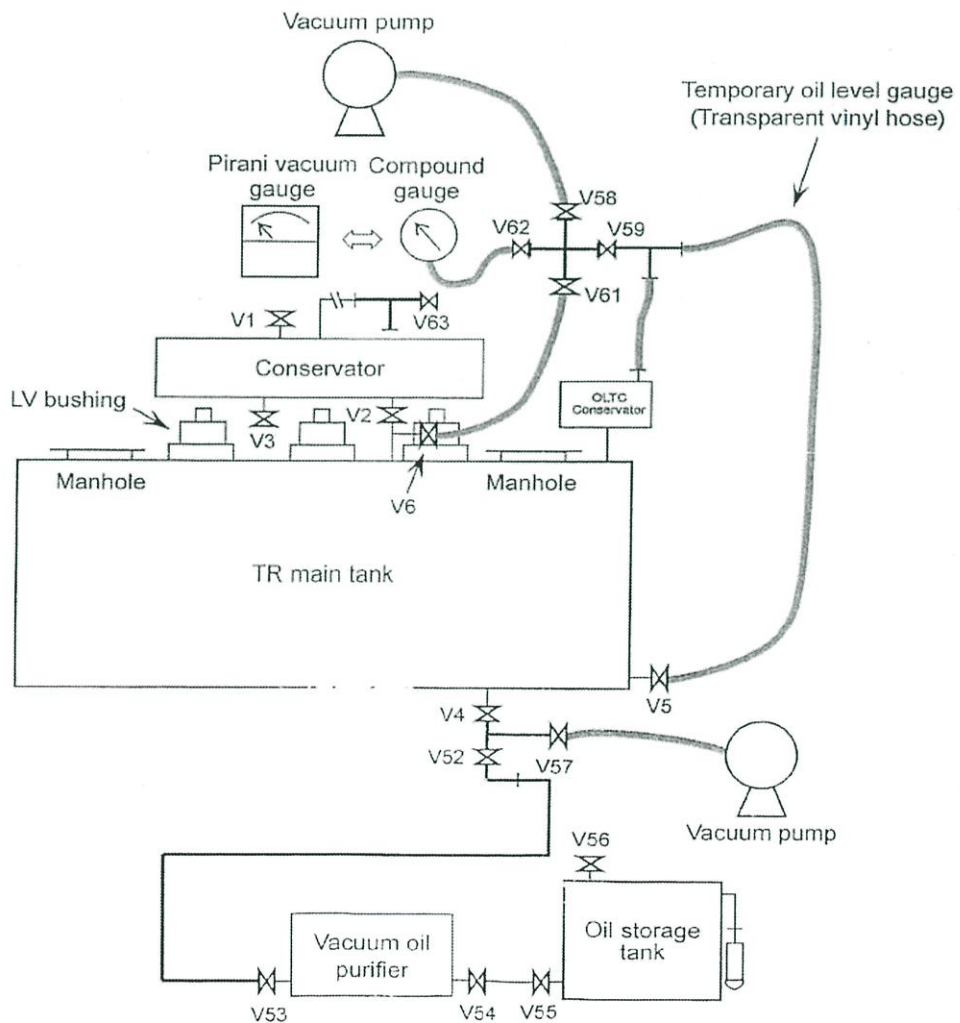
### 3.5 การเติมน้ำมันหม้อแปลงภายใต้ความดันสุญญากาศ [3]

การเติมน้ำมันหม้อแปลง เป็นขั้นตอนที่ต้องให้ความสำคัญมาก เนื่องจากมีขั้นตอนที่ซับซ้อน และต้องระวังไม่ให้น้ำมันสัมผัสกับอากาศภายนอก ซึ่งในการเติมน้ำมันหม้อแปลงนั้นจะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ การทำความดันภายในให้เป็นสุญญากาศ การเติมน้ำมัน และการไล่อากาศ

#### 3.5.1 การทำความดันภายในให้เป็นสุญญากาศ (Pulling vacuum)

- 1) จัดเตรียมเครื่องกรองน้ำมัน, ถังเก็บน้ำมัน, บั๊มสุญญากาศ, มาตรวัดสุญญากาศ (Vacuum gauge), ท่อต่อ, ท่อน้ำมัน, ท่อไวนิล และวาล์ว และติดตั้งอุปกรณ์ดังภาพที่

3.7



ภาพที่ 3.7 การติดตั้งอุปกรณ์ก่อนเติมน้ำมันหม้อแปลง [3]

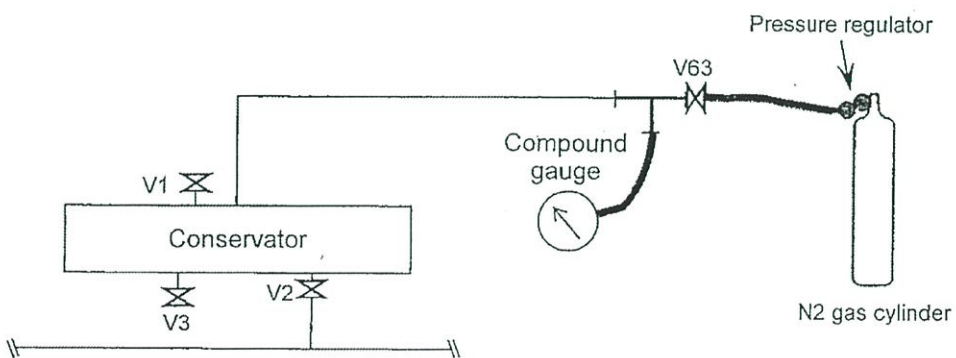
- 2) ทำการ vacuum เพื่อไล่ความชื้น โดยให้ความดันสูญญากาศอยู่ที่ 0.5 Torr (70 Pa) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
- 3) ในขณะที่ทำการ vacuum อยู่ นั้น ให้ทำการกรองน้ำมันในถังเก็บน้ำมัน โดยกรองผ่านเครื่อง กรองน้ำมัน โดยให้อุณหภูมิน้ำมันอยู่ที่ 40-60 องศาเซลเซียส
- 4) ทำการทดสอบค่า Breakdown voltage ของน้ำมันด้วยมาตรฐาน IEC156 ในทุกๆ ชั่วโมงขณะกรอง เมื่อได้ค่าแล้วนำมาเฉลี่ย ค่าที่ได้ต้องมากกว่า 60 kV/2.5 mm.Gap

### 3.5.2 การเติมน้ำมัน (Oil filling)

- 1) เมื่อครบสี่ชั่วโมงหลังจากการ vacuum ให้หยุดการ vacuum และเปลี่ยน Vacuum gauge เป็น Compound gauge แทน
- 2) เติมน้ำมันจนกระทั่งอ่านค่าจาก Compound gauge ได้ 0-0.05 kg/cm<sup>2</sup>
- 3) หลังจากนั้นเติมน้ำมันขึ้นไปถึงถังเก็บน้ำมันสำรอง โดยการเปิดวาล์ว V1 และ V2 และปิดวาล์ว V62, V59 และ V5 จนกระทั่งระดับน้ำมันอยู่ในระดับ 2

### 3.5.3 การไล่อากาศ (Release the remaining air)

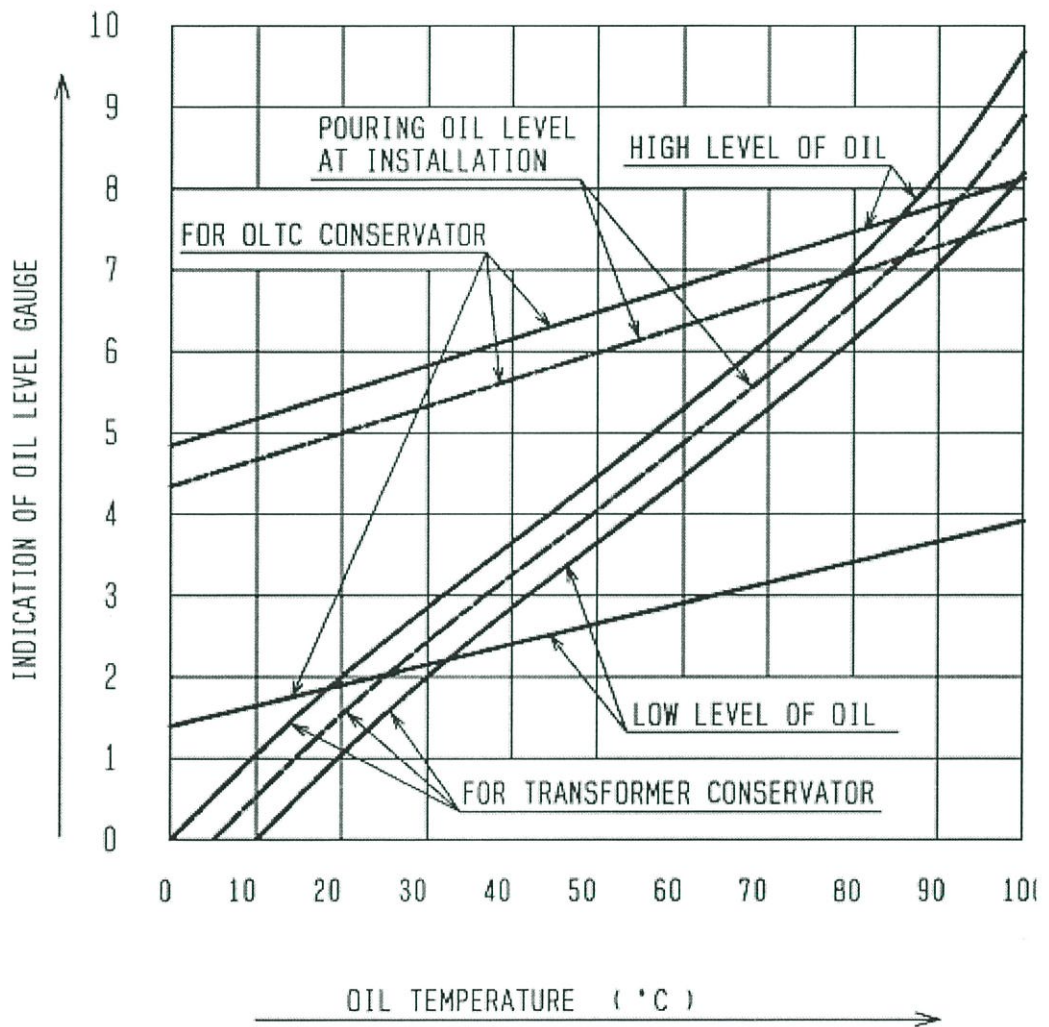
- 1) ถอด Compound gauge ที่ต่ออยู่กับ วาล์ว V62 มาต่อเข้ากับวาล์ว V63 ที่ต่อเข้ากับถังไนโตรเจน เพื่ออ่านค่าความดันที่อัดใน Rubber bag



ภาพที่ 3.8 การไล่อากาศออกจากถังน้ำมันสำรอง [3]

- 2) อัดไนโตรเจนใน rubber bag ด้วยความดัน 0.01-0.02 MPa โดยอัดเพื่อไล่อากาศออกจาก ถังน้ำมันสำรอง

- 3) เมื่อ rubber bag ขยายตัว ทำให้อากาศไหลออกทางวาล์ว V1 โดยอัดไนโตรเจนจนกระทั่งมีน้ำมันไหลออกมาจากวาล์ว V1 นั้นแสดงว่า สามารถไล่อากาศออกจากหม้อแปลงได้หมดแล้ว
- 4) หลังจากนั้นถอดวาล์ว V63 ออก แล้วเติมน้ำมันจนกระทั่งได้ระดับตามภาพที่ 3.9

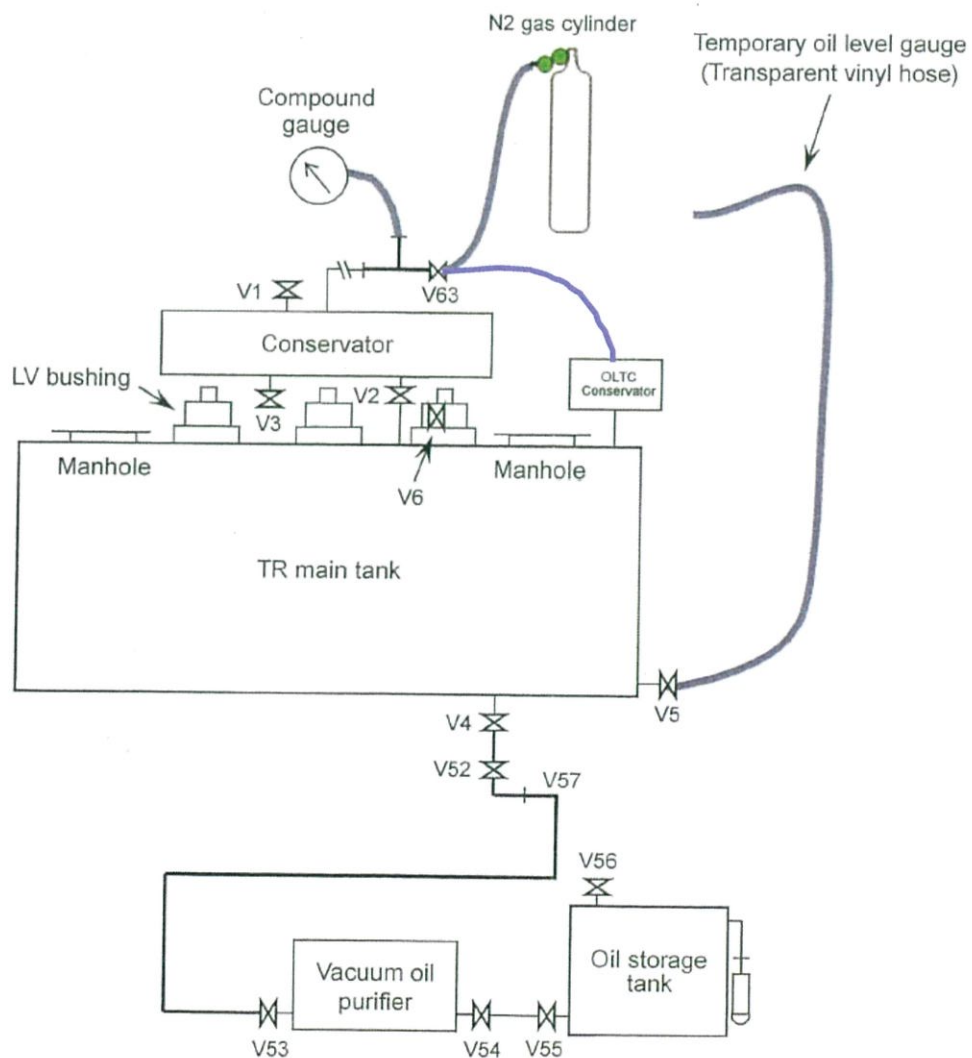


ภาพที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระดับน้ำมัน [6]

### 3.6 การทดสอบรอยรั่วซีมหม้อแปลง (Oil leakage test) [3]

การทดสอบรอยรั่วซีมของหม้อแปลงนั้น ถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายหลังจากการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ และการเติมน้ำมัน โดยทดสอบเพื่อหาจุดรั่วไหลของหม้อแปลง โดยการทดสอบสามารถทำได้ดังนี้

- 1) นำแก๊สไนโตรเจนอัดเข้าไปที่ rubber bag และถึงน้ำมันสำรองของ on load tap change ด้วยความดัน 0.03 MPa เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3.10
- 2) เมื่อครบ 12 ชั่วโมง ตรวจสอบดูที่มาตรวัดว่าความดันตกลงหรือไม่ หากพบว่าความดันตกลงมาก ให้ตรวจสอบหารอยรั่วอย่างเร่งด่วน



ภาพที่ 3.10 การทดสอบรอยรั่วซีมหม้อแปลง [3]

### 3.7 การตรวจสอบการติดตั้งและการทดสอบหม้อแปลง [6]

การตรวจสอบและทดสอบจะทำหลังจากการ Overhaul เสร็จแล้ว เพื่อให้มั่นใจว่าหม้อแปลงสามารถทำงานได้อย่างปกติและมีประสิทธิภาพ ไม่มีข้อผิดพลาดก่อนเริ่มทำงาน โดยต้องทำการตรวจสอบการติดตั้ง ตรวจสอบและทดสอบฟังก์ชันการใช้งานและทดสอบทางไฟฟ้า

#### 3.7.1 การตรวจสอบการติดตั้ง

ในการติดตั้งอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนของหม้อแปลงนั้น ต้องดำเนินไปตามขั้นตอนที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งต้องได้รับการยอมรับจากผู้เชี่ยวชาญ (Technical advisor) ทั้งนี้ในการตรวจสอบต้องดำเนิน ดังนี้

- 1) ตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ที่ใช้ก่อนดำเนินงาน
- 2) ตรวจสอบอุปกรณ์การยก และที่จัดเก็บอุปกรณ์
- 3) ทดสอบค่าน้ำมันก่อนถ่ายน้ำมัน
- 4) ตรวจสอบขั้นตอนการเปลี่ยน rubber bag โดยต้องเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์
- 5) ตรวจสอบภายในถังน้ำมันสำรอง
- 6) ตรวจสอบการต่อท่อ
- 7) ตรวจสอบการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน
- 8) ตรวจสอบการต่อสายของอุปกรณ์ป้องกัน
- 9) ตรวจสอบการเติมน้ำมันให้ถูกต้องตามมาตรฐาน
- 10) ตรวจสอบรอยรั่วของหม้อแปลง

#### 3.7.2 การตรวจสอบและทดสอบฟังก์ชันการใช้งาน

การทดสอบนี้ ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เนื่องจากทำเพื่อทดสอบว่าหม้อแปลงสามารถทำงานได้เป็นปกติหรือไม่ โดยสิ่งที่ต้องการทดสอบ มีดังนี้

- 1) ทดสอบค่าความต้านทานของฉนวนไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้า (Insulation resistance test)
- 2) ทดสอบการทำงานของพัดลมระบายความร้อน
- 3) ทดสอบการทำงานของ Oil cooling pump
- 4) ตรวจสอบด้วยการมองเห็น (Visual inspect)

- 5) ตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟสำรอง
- 6) ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน

### 3.7.3 การทดสอบทางไฟฟ้า

การทดสอบทางไฟฟ้าของหม้อแปลงนั้น ทำเพื่อทดสอบว่าหม้อแปลงยังอยู่ในสภาพปกติ และสามารถทำงานได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายในภายภาคหน้า โดยต้องทำการทดสอบดังนี้

- 1) ทดสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าของฉนวน (Insulation resistance & Polarization index)
- 2) ทดสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าของขดลวดหม้อแปลง (DC Winding resistance)
- 3) ทดสอบตัวประกอบกำลังฉนวน (Insulation power factor)
- 4) การทดสอบอัตราส่วนและลำดับเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้า

## บทที่ 4

### ผลการติดตั้งและตรวจสอบทางวิศวกรรมและผลการวางแผนการซ่อมบำรุง

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงเหตุผลในการติดตั้งอุปกรณ์และชิ้นส่วนของหม้อแปลงในแต่ละตัว ผลการติดตั้งและตรวจสอบอุปกรณ์และชิ้นส่วน และผลการทดสอบหม้อแปลง ซึ่งผลเหล่านี้จะนำไปสู่การวางแผนในการซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ในครั้งหน้าเพื่อลดต้นทุนของการซ่อมบำรุงอีกด้วย

#### 4.1 การตรวจสอบอุปกรณ์

##### 4.1.1 ผลการตรวจสอบ

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบอุปกรณ์

รายการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	บันทึก
ป้อนสัญญาณภาค	ดี	7,600 ลิตร/นาทีก
เครื่องทดสอบน้ำมัน	ดี	100 kV
เครื่องกรองน้ำมัน	ดี	12,000 ลิตร/ชั่วโมง
อากาศแห้ง	ดี	-
ถังเก็บน้ำมัน	ดี	20,000 ลิตร



ภาพที่ 4.1 การทดสอบ Breakdown voltage ของน้ำมันหม้อแปลง



ภาพที่ 4.2 ถังอากาศแห้ง



ภาพที่ 4.3 ถังเก็บน้ำมัน



ภาพที่ 4.4 เครื่องกรองน้ำมัน (Oil purifier)

## 4.2 การติดตั้ง rubber bag

### 4.2.1 เหตุผลในการติดตั้ง

Rubber bag เป็นอุปกรณ์ที่รองรับการขยายตัวของน้ำมันเพื่อให้ความดันในหม้อแปลงคงที่ซึ่งจะต้องสัมผัสกับน้ำมันหม้อแปลงตลอดเวลา จึงก่อให้เกิดการสึกหรอไปตามระยะเวลา ดังนั้น ทางโรงไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องเปลี่ยน rubber bag เพื่อให้การทำงานของหม้อแปลงดำเนินอย่างราบรื่น

### 4.2.2 ผลการติดตั้งและตรวจสอบ

#### ตารางที่ 4.2 ผลการติดตั้ง rubber bag

รายการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	บันทึก
เปิดฝาและทำความสะอาดหน้าแปลน	ดี	-
วัดค่า O <sub>2</sub> ภายในถังน้ำมันสำรอง (มากกว่า 18%)	ดี	20.5%
ต้องมีผู้ดูแลภายนอกอย่างน้อย 1 คน	ดี	-
การนำ rubber bag ออกจากถังน้ำมันสำรอง	ดี	-
ทำความสะอาดภายในถังน้ำมันสำรอง	ดี	-
ตรวจสอบภายในถังเพื่อหาจุดบกพร่อง	ดี	-
นำ rubber bag อันใหม่ใส่อย่างระมัดระวัง	ดี	-
ติดตั้ง rubber bag และขันนอตด้วยแรง 60 Nm.	ดี	-
เกี่ยว rubber bag กับตะขอข้างในถังน้ำมันสำรอง	ดี	-
ตรวจสอบมาตรวัดระดับน้ำมัน	ดี	-



ภาพที่ 4.5 การตรวจสอบถึงน้ำมันสำรอง



ภาพที่ 4.6 การตรวจสอบปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในถึงน้ำมันสำรอง

### 4.3 การติดตั้ง Oil cooling pump

#### 4.3.1 เหตุผลในการติดตั้ง

Oil cooling pump เป็นส่วนที่สำคัญต่อการระบายความร้อนของหม้อแปลง ซึ่งเป็นส่วนที่สัมผัสกับน้ำมันโดยตรงและทำงานตลอดเวลา ซึ่งทางผู้ประกอบการเล็งเห็นว่า หากไม่มีการเปลี่ยนอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าได้

#### 4.3.2 ผลการติดตั้งและตรวจสอบ

#### ตารางที่ 4.3 ผลการติดตั้ง Oil cooling pump

รายการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	บันทึก
ทำความสะอาดหน้าแปลน	ดี	-
ทา red varnish ที่ประเก็น	ดี	-
ตรวจสอบตำแหน่งการติดตั้งให้ถูกต้อง	ดี	-
ขันนอตด้วยแรง 210 Nm.	ดี	-



ภาพที่ 4.7 การติดตั้ง Oil cooling pump

#### 4.4 การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน (Protective device)

##### 4.4.1 เหตุผลในการติดตั้ง

อุปกรณ์ป้องกันในที่นี้หมายถึง อุปกรณ์ที่จะทำงานเมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นกับหม้อแปลง ซึ่งประกอบด้วย Buchholz relay, Pressure relief และ Oil & Winding temperature indicator โดยอุปกรณ์เหล่านี้จำเป็นต้องมีความพร้อมต่อการใช้งานเสมอเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้

##### 4.4.2 ผลการติดตั้งและตรวจสอบ

#### ตารางที่ 4.4 ผลการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน (Protective device)

รายการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	บันทึก
ทำความสะอาดหน้าแปลน	ดี	-
ทา red varnish ที่ประเก็น	ดี	-
ตรวจสอบตำแหน่งการติดตั้งให้ถูกต้อง	ดี	-
ตรวจสอบความเสียหาย, คราบฝุ่น, น้ำ และสนิม	ดี	-



ภาพที่ 4.8 การเปลี่ยน Buchholz relay



ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยน Pressure relief

#### 4.5 การเติมน้ำมันภายใต้แรงดันสุญญากาศ

##### 4.5.1 เหตุผลที่ต้องเติมน้ำมันภายใต้แรงดันสุญญากาศ

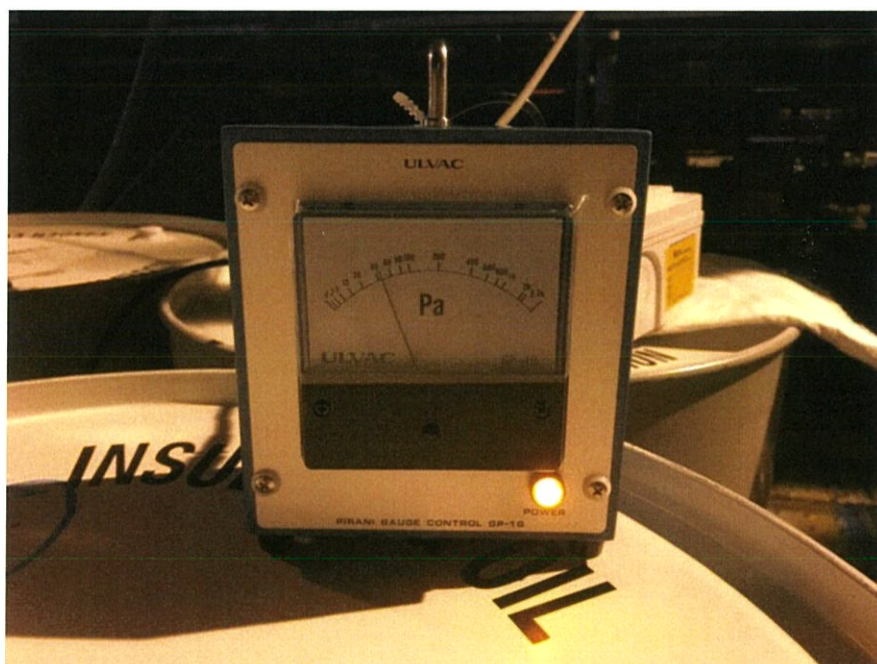
ในการเติมน้ำมันหม้อแปลง ภายในถังหม้อแปลงจำเป็นต้องอยู่ในสภาพที่เป็นสุญญากาศ เนื่องจากไม่ต้องการให้มีความชื้นหลงเหลืออยู่ภายในหม้อแปลง โดยหลักการคือ

เมื่อความดันลดลงจะทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำแล้วถูกดูดออกไปผ่านปั๊มสุญญากาศ ซึ่งในการกรองน้ำมันก็เป็นสุญญากาศเช่นกัน เนื่องจากในการกรองนั้น จะให้ความร้อนกับน้ำมันหม้อแปลงที่ 40-60 องศาเซลเซียส เมื่ออยู่ในสภาวะสุญญากาศ น้ำที่ผสมอยู่กับน้ำมันก็จะระเหยออกได้ง่ายเช่นกัน

#### 4.5.2 ผลและการตรวจสอบการเติมน้ำมันภายใต้แรงดันสุญญากาศ

##### ตารางที่ 4.5 ผลการเติมน้ำมันภายใต้แรงดันสุญญากาศ

รายการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	บันทึก
ให้ความดันสุญญากาศ น้อยกว่า 0.5 Torr (70 Pa)	ดี	0.3 Torr (40 Pa)
Breakdown voltage test หลังเติมน้ำมัน	ดี	73.6 kV
ตรวจสอบวาล์วแต่ละตัว	ดี	-



ภาพที่ 4.10 การให้ความดันสุญญากาศก่อนการเติมน้ำมัน

#### 4.6 การทดสอบหม้อแปลง

##### 4.6.1 การทดสอบรอยรั่วของหม้อแปลง

###### เหตุผลในการทดสอบ

ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหารอยรั่วของหม้อแปลง ก่อนที่จะเริ่มทำงาน โดยการอัดไนโตรเจนเข้าในหม้อแปลงที่ความดัน 0.03 MPa เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

#### 4.6.2 การทดสอบค่าความต้านทานของฉนวนไฟฟ้า (Insulation resistance test)

##### เหตุผลในการทดสอบ

ในการทดสอบนี้จะทดสอบโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปที่สายไฟที่ต้องการเทียบกับสายดิน (Ground) เป็นเวลา 1 นาที โดยการทดสอบนี้ทำเพื่อหากระแสรั่วไหล (Leakage current) ของฉนวน ถ้าหากค่าที่อ่านได้จากเครื่องมีค่าต่ำมากๆ (น้อยกว่า 2 เมกกะโอม) แสดงว่ามีการเสื่อมหรือเสียหายของฉนวน ต้องทำการตรวจสอบหรือเปลี่ยนสายใหม่โดยด่วน

#### 4.6.3 การทดสอบค่าดัชนีการเปลี่ยนขั้ว (Polarization index)

##### เหตุผลในการทดสอบ

ในการทดสอบนี้จะทดสอบคล้ายกับการทดสอบค่าความต้านทานของฉนวนไฟฟ้า แต่จะแตกต่างกันตรงที่ต้องทำการทดสอบเป็นเวลา 10 นาที โดยค่าที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับ Insulation resistance test เป็นค่าอัตราส่วน ซึ่งค่าอัตราส่วนที่ได้นี้จะบอกถึงความอึดตัวของฉนวนเป็นฉนวน โดยมีมาตรฐาน ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ผลของการวิเคราะห์ของค่า Polarization index

ค่า Polarization index (PI)	ผลการวิเคราะห์
มากกว่า 2.00	ดี
ระหว่าง 1.25 – 2.00	พอใช้
ระหว่าง 1.10 – 1.25	ปานกลาง
ระหว่าง 1.00 – 1.10	แย่มาก
น้อยกว่า 1.00	อันตราย

#### 4.6.4 การทดสอบความต้านทานไฟฟ้าของขดลวดหม้อแปลง (DC winding resistance)

##### เหตุผลในการทดสอบ

ในการทดสอบนี้ เป็นการจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปในแต่ละขดลวดของหม้อแปลง โดยเครื่องทดสอบจะวัดแรงดันตกคร่อมเพื่อนำมาคำนวณเป็นค่าความต้านทานของขดลวด (VI method)

#### 4.6.5 การทดสอบตัวประกอบกำลังฉนวน (Insulation power factor test)

##### เหตุผลในการทดสอบ

ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อวัดค่าความสูญเสียในฉนวนหรือ Dielectric loss โดยผลที่ได้จะเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังงานที่สูญเสียไปในฉนวนกับผลคูณแรงดันและกระแสที่จ่ายให้กับชิ้นงานหรือหม้อแปลงนั้น จุดประสงค์เพื่อหาการเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้า

#### 4.6.6 การทดสอบอัตราส่วนและลำดับเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้า (Measurement of voltage ratio and phase displacement)

##### เหตุผลในการทดสอบ

เป็นการวัดอัตราส่วนของแรงดันของหม้อแปลงเทียบกับค่าที่กำหนด เพื่อคำนวณว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในพิสัยมาตรฐานหรือไม่ และเป็นการวัดค่าความต่างเฟสของขดลวดทั้งสองด้านหรือที่เรียกว่า การหา vector group ของหม้อแปลง

#### 4.6.7 การทดสอบฟังก์ชันการใช้งาน (Function test)

##### 4.6.7.1 เหตุผลในการทดสอบ

การทดสอบฟังก์ชันการใช้งานของหม้อแปลงนั้น เป็นการทดสอบเพื่อให้เห็นถึงความบกพร่องก่อนการเริ่มเดินเครื่องจริง เพื่อให้มั่นใจว่าหม้อแปลงสามารถทำงานได้อย่างราบรื่นไม่ติดขัด โดยต้องทำการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัว และต้องบันทึกค่าที่ได้เพื่อนำมาเปรียบเทียบหาความผิดปกติ

#### 4.6.7.2 ผลของการทดสอบ

##### 4.6.7.2.1 ผลการทดสอบวงจรป้องกัน

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบของวงจรป้องกัน

Subject			Result		
Devices or Equipment		Terminal No.	Tightness of screw	Insulation resistance (GΩ)	Remarks
Oil temperature indicator	ALARM	26D1 – 26D2	Good	33.0	Setting 85°C
	TRIP	26D3 – 26D4	Good	117.6	Setting 95°C
Winding temperature indicator for HV	Cooler control	26wgD1-26wgD2	Good	95.7	Setting 75°C
	ALARM	26wgD3-26wgD4	Good	56.9	Setting 115°C
	TRIP	26wgD5-26wgD6	Good	95.0	Setting 120°C
Dial Oil level gauge	For TR	33Q1-1 – 33Q2-1	Good	5.25	
Dial Oil level gauge	For OLTC	33Q1-2 – 33Q2-2	Good	4.97	
Buchholz relay	NO. 1	96-1 – 96-01	Good	2.95	ALARM
	NO. 2	96-2 – 96-02	Good	2.46	TRIP
Pressure relief	NO. 1	96D1-1 – 96D2-1	Good	3.04	
	NO. 2	96D1-2 – 96D2-2	Good	2.90	
Protective relay for OLTC	NO. 1	63Q1-1 – 63Q2-1	Good	22.4	
	NO. 2	63Q1-2 – 63Q2-2	Good	19.90	
Oil flow indicator	NO. 1	69Q1-1 – 69Q2-1	Good	9.75	
	NO. 2	69Q1-2 – 69Q2-2	Good	5.93	
	NO. 3	69Q1-3 – 69Q2-3	Good	4.14	
	NO. 4	69Q1-4 – 69Q2-4	Good	8.42	
	NO. 5	69Q1-5 – 69Q2-5	Good	4.51	
	NO. 6	69Q1-6 – 69Q2-6	Good	2.35	
	NO. 7	69Q1-7 – 69Q2-7	Good	5.48	
	NO. 8	69Q1-8 – 69Q2-8	Good	3.05	

4.6.7.2.2 ผลการทดสอบมอเตอร์พัดลมระบายความร้อน

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบมอเตอร์พัดลมระบายความร้อน

Unit No.	Fan position	Terminal No.	Current (A)	Rotation	Tightness of screw	Insulation resistance( $G\Omega$ )	Remarks
No. 1	1-1	FR-1	3.32	Correct	Good	1.122	1.3kW/380V/ 50Hz
		FS-1	3.34		Good		
		FT-1	3.34		Good		
	1-2	FR-1	3.34	Correct	Good	29.5	
		FS-1	3.34		Good		
		FT-1	3.35		Good		
	1-3	FR-1	3.39	Correct	Good	46.1	
		FS-1	3.32		Good		
		FT-1	3.33		Good		
	1-4	FR-1	3.47	Correct	Good	28.7	
		FS-1	3.43		Good		
		FT-1	3.43		Good		
TH	49F1-1			Good	6.93		
	49F2-1			Good			
No. 2	2-1	FR-2	3.22	Correct	Good	2.64	1.3kW/380V/ 50Hz
		FS-2	3.27		Good		
		FT-2	3.33		Good		
	2-2	FR-2	3.43	Correct	Good	2.64	
		FS-2	3.43		Good		
		FT-2	3.44		Good		
	2-3	FR-2	3.24	Correct	Good	2.64	
		FS-2	3.21		Good		
		FT-2	3.24		Good		
	2-4	FR-2	3.46	Correct	Good	2.64	
		FS-2	3.45		Good		
		FT-2	3.46		Good		
	TH	49F1-2			Good	6.22	
		49F2-2			Good		
No.3	3-1	FR-3	3.34	Correct	Good	5.07	1.3kW/380V/ 50Hz
		FS-3	3.33		Good		
		FT-3	3.35		Good		
	3-2	FR-3	3.20	Correct	Good	5.07	
		FS-3	3.16		Good		
		FT-3	3.18		Good		
	3-3	FR-3	3.33	Correct	Good	5.07	
		FS-3	3.30		Good		
		FT-3	3.35		Good		
	3-4	FR-3	3.24	Correct	Good	5.07	
		FS-3	3.21		Good		
		FT-3	3.26		Good		

Unit No.	Fan position	Terminal No.	Current (A)	Rotation	Tightness of screw	Insulation resistance(GΩ)	Remarks
No. 4	4-1	FR-4	3.22	Correct	Good	4.42	1.3kW/380V/ 50Hz
		FS-4	3.20		Good		
		FT-4	3.20		Good		
	4-2	FR-4	3.34	Correct	Good	4.42	
		FS-4	3.30		Good		
		FT-4	3.30		Good		
	4-3	FR-4	3.18	Correct	Good	4.42	
		FS-4	3.25		Good		
		FT-4	3.25		Good		
	4-4	FR-4	3.38	Correct	Good	4.42	
		FS-4	3.36		Good		
		FT-4	3.37		Good		
TH	49F1-4			Good	8.31		
	49F2-4			Good			
No. 5	5-1	FR-5	3.37	Correct	Good	3.00	1.3kW/380V/ 50 Hz
		FS-5	3.31		Good		
		FT-5	3.33		Good		
	5-2	FR-5	3.23	Correct	Good	3.00	
		FS-5	3.18		Good		
		FT-5	3.21		Good		
	5-3	FR-5	3.45	Correct	Good	3.00	
		FS-5	3.38		Good		
		FT-5	3.48		Good		
	5-4	FR-5	3.45	Correct	Good	3.00	
		FS-5	3.40		Good		
		FT-5	3.46		Good		
	TH	49F1-5			Good	8.42	
		49F2-5			Good		
No.6	6-1	FR-6	3.19	Correct	Good	11.22	1.3kW/380V/ 50Hz
		FS-6	3.16		Good		
		FT-6	3.16		Good		
	6-2	FR-6	3.40	Correct	Good	44.7	
		FS-6	3.38		Good		
		FT-6	3.41		Good		
	6-3	FR-6	3.40	Correct	Good	0.919	
		FS-6	3.44		Good		
		FT-6	3.29		Good		
	6-4	FR-6	3.31	Correct	Good	7.99	
		FS-6	3.28		Good		
		FT-6	3.30		Good		
	TH	49F1-6			Good	6.87	
		49F2-6			Good		

Unit No.	Fan position	Terminal No.	Current (A)	Rotation	Tightness of screw	Insulation resistance(GΩ)	Remarks
No. 7	7-1	FR-7	3.32	Correct	Good	2.24	1.3kW/380V /50Hz
		FS-7	3.29		Good		
		FT-7	3.32		Good		
	7-2	FR-7	3.42	Correct	Good	2.24	
		FS-7	3.41		Good		
		FT-7	3.46		Good		
	7-3	FR-7	3.32	Correct	Good	2.24	
		FS-7	3.28		Good		
		FT-7	3.34		Good		
	7-4	FR-7	3.38	Correct	Good	2.24	
		FS-7	3.39		Good		
		FT-7	3.40		Good		
	TH	49F1-7			Good	7.22	
		49F2-7			Good		
No. 8	8-1	FR-8	3.34	Correct	Good	2.83	
		FS-8	3.32		Good		
		FT-8	3.41		Good		
	8-2	FR-8	3.35	Correct	Good	2.83	
		FS-8	3.30		Good		
		FT-8	3.32		Good		
	8-3	FR-8	3.31	Correct	Good	2.83	
		FS-8	3.26		Good		
		FT-8	3.28		Good		
	8-4	FR-8	3.30	Correct	Good	2.83	
		FS-8	3.31		Good		
		FT-8	3.30		Good		
	TH	49F1-8			Good	9.94	
		49F2-8			Good		

4.6.7.2.3 ผลการทดสอบ Oil cooling pump

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบ Oil cooling pump

Pump No.	Terminal	Current (A)	Rotation	Tightness of screw	Insulation resistance (GΩ)	Remarks
No. 1	PR-1	4.31	Correct	Good	4.47	2.0 kW /380 V/ 50 Hz
	PS-1	4.37		Good		
	PT-1	4.35		Good		
No. 2	PR-2	4.27	Correct	Good	5.67	
	PS-2	4.31		Good		
	PT-2	4.29		Good		
No. 3	PR-3	4.30	Correct	Good	7.91	
	PS-3	4.34		Good		
	PT-3	4.34		Good		
No. 4	PR-4	4.27	Correct	Good	7.75	
	PS-4	4.30		Good		
	PT-4	4.31		Good		
No. 5	PR-5	4.20	Correct	Good	10.39	
	PS-5	4.25		Good		
	PT-5	4.27		Good		
No. 6	PR-6	4.30	Correct	Good	9.65	
	PS-6	4.35		Good		
	PT-6	4.38		Good		
No. 7	PR-7	4.32	Correct	Good	3.50	
	PS-7	4.36		Good		
	PT-7	4.31		Good		
No. 8	PR-8	4.25	Correct	Good	3.39	
	PS-8	4.30		Good		
	PT-8	4.31		Good		

#### 4.7 ผลการวางแผนซ่อมบำรุง

แผนการบำรุงรักษาหม้อแปลงในครั้งนี้ ได้จากการวางแผนโดยบริษัท ซึ่งมีระยะเวลา 12 วัน โดยตารางการทำงานมีดังนี้

Schedule of Overhaul power transformer			Oct-17													
			Date	19th	20th	21st	22nd	23rd	24th	25th	26th	27th	28th	29th	30th	31st
				Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue
Item	Description	Working (Days)	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th	
<b>1</b>	<b>Generator transformer</b>	<b>12</b>														
1.1	Meeting	0.5	■													
1.2	Preparation	0.5		■												
1.3	Aux. Wiring check	0.5		■												
1.4	Oil drain from conservator	0.5			■											
1.5	Replace of rubber bag & Oil level gauge	1.5			■	■	■									
1.6	Replace of protective relays	3							■	■	■					
1.7	Oil filling under vacuum + Oil purify	2									■	■				
1.8	Replace oil pump and oil flow indicator ( Oil pump : 8pc	5						■	■	■	■	■				
1.9	Final check including cooler control panel	2												■	■	
1.10	Site cleaning	1													■	

ภาพที่ 4.11 ภาพตารางการทำงานที่วางแผนไว้ในแรกเริ่ม [7]

จากการทำงานจริง ทำให้ทราบว่า ในการทำงานบางขั้นตอนสามารถลดระยะเวลาการทำงานได้ และปัญหาที่เกิดขึ้นจากหน้างานจะต้องมีการเตรียมพร้อมสำหรับปัญหาที่จะเกิดขึ้นสำหรับการบำรุงรักษาในครั้งต่อไป โดยขั้นตอนที่สามารถลดระยะเวลาการทำงานได้มีดังนี้

##### 4.7.1 การเปลี่ยน rubber bag

ในขั้นตอนการเปลี่ยน rubber bag จะทำหลังจากถ่ายน้ำมันออกจากถังเก็บน้ำมันสำรองหมดแล้ว ซึ่งในขั้นตอนการเปลี่ยน rubber bag จะสามารถลดระยะเวลาการทำงานได้จาก 1.5 วัน เหลือเพียง 0.5 วัน ทั้งนี้ เนื่องจากความสามารถในการทำงานของผู้ทำงาน

##### 4.7.2 การเปลี่ยนอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลง

ในขั้นตอนการเปลี่ยนอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงจะทำหลังจากถ่ายน้ำมันออกจากตัวถังหม้อแปลงแล้ว (ถ่ายออกประมาณ 10 เซนติเมตร จากขอบบนหม้อแปลง) ซึ่งในขั้นตอนการเปลี่ยน อุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงจะสามารถลดระยะเวลาการทำงานได้จาก 2 วัน เหลือ 1.5 วัน ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการทำงานของผู้ทำงาน

#### 4.7.3 การเปลี่ยน Oil cooling pump

ในขั้นตอนการเปลี่ยน Oil cooling pump จะทำหลังจากถ่ายน้ำมันออกจากแผงระบายความร้อนออกหมดแล้ว ซึ่งในขั้นตอนการเปลี่ยนการเปลี่ยน Oil cooling pump จำนวน 8 ตัว จะสามารถระยะเวลาการทำงานได้จาก 6 วันเหลือเพียง 3 วัน ทั้งนี้ เนื่องจากความสามารถในการทำงานของผู้ทำงาน

#### 4.7.4 การเติมน้ำมันหม้อแปลงภายใต้แรงดันสุญญากาศ

ในขั้นตอนการเติมน้ำมันหม้อแปลงภายใต้แรงดันสุญญากาศจะทำหลังจากติดตั้งอุปกรณ์ครบทุกชิ้นแล้ว ซึ่งในขั้นตอนการเติมน้ำมันหม้อแปลงภายใต้แรงดันสุญญากาศจะสามารถลดระยะเวลาการทำงานได้จาก 2 วัน เหลือ 1.5 วัน ทั้งนี้ เนื่องจากความสามารถในการทำงานของผู้ทำงาน

จากผลการทำงานจริง ผู้จัดทำได้ทำการวางแผนการทำงานที่เหมาะสมกับสถานประกอบการและพนักงาน ซึ่งมีส่วนช่วยลดระยะเวลาการทำงาน ทั้งนี้ ความสามารถในการลดระยะเวลาการทำงานนั้น หมายถึงความสามารถในการลดต้นทุนการบำรุงรักษา และมีส่วนช่วยให้โรงไฟฟ้าสามารถเข้าสู่กระบวนการผลิตไฟฟ้าได้เร็วยิ่งขึ้น ซึ่งกำหนดการวางแผนสำหรับการบำรุงรักษาครั้งหน้าที่ผู้จัดทำได้วางแผน มีดังนี้

Schedule of Overhaul power transformer			Oct-17												
			Date	19th	20th	21st	22nd	23rd	24th	25th	26th	27th	28th	29th	30th
Item	Description	Working (Days)	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue
			1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th
<b>1</b>	<b>Generator transformer</b>	<b>12</b>													
1.1	Meeting	0.5	█												
1.2	Preparation	0.5		█											
1.3	Aux. Wiring check	0.5			█										
1.4	Oil drain from conservator	0.5				█									
1.5	Replace of rubber bag & Oil level gauge	1.5					█								
1.6	Replace of protective relays	3						█							
1.7	Oil filling under vacuum + Oil purify	2							█						
1.8	Replace oil pump and oil flow indicator ( Oil pump : 8pc	5								█					
1.9	Final check including cooler control panel	2									█				
1.10	Site cleaning	1													█

ภาพที่ 4.12 ภาพตารางการทำงานที่วางแผนไว้สำหรับครั้งต่อไป (ปรับแต่งจาก [7])

จากรูป เมื่อเปรียบเทียบตารางการทำงานระหว่างที่วางแผนไว้แรกเริ่มกับที่วางแผนสำหรับครั้งต่อไปแล้ว จะเห็นว่าระยะเวลาจะต่างกัน 4 วัน ซึ่งยังเหลือจำนวนวันสำหรับการตรวจสอบข้อผิดพลาด ทั้งนี้ ทางโรงไฟฟ้าต้องเตรียมพร้อมกับการบำรุงรักษาครั้งใหญ่ในครั้งต่อไป

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงาน

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงผลการดำเนินงานทั้งหมด ปัญหาและอุปสรรคขณะดำเนินงาน รวมถึงข้อเสนอแนะ เพื่อให้การดำเนินงานราบรื่นและสำเร็จตามระยะเวลาที่กำหนดไว้อย่างมีมาตรฐาน

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงาน ผู้จัดทำได้มีความเข้าใจถึงทฤษฎีและหลักการปฏิบัติของการติดตั้งชิ้นส่วนและอุปกรณ์ป้องกันของหม้อแปลง รวมไปถึงการทดสอบหม้อแปลง ซึ่งการติดตั้งและทดสอบนั้น ต้องดำเนินไปตามมาตรฐานสากลที่มีการระบุไว้ ทั้งนี้ เพื่อให้หม้อแปลงทำงานได้อย่างราบรื่นไม่ติดขัดและผู้ทำงานมีความปลอดภัยในการทำงาน

จากการดำเนินงาน ผู้จัดทำได้สังเกตเห็นความสำคัญในแต่ละขั้นตอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนการติดตั้งต้องระมัดระวัง เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ต้องทำภายในสภาวะสุญญากาศ และต้องระวังไม่ให้น้ำมันสัมผัสกับอากาศหรือความชื้น เนื่องจาก จะทำให้น้ำมันฉนวนมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนที่แย่ง ซึ่งในการทดสอบหม้อแปลงนั้น ทำเพื่อทดสอบการทำงานของหม้อแปลงก่อนเริ่มทำงานจริง และให้มั่นใจว่า หม้อแปลงมีสภาพการทำงานที่ดีและไม่มีข้อผิดพลาด และในการตรวจสอบหม้อแปลงส่วนใหญ่จะเป็นการวัดค่า Breakdown Voltage และความต้านทานของฉนวนไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบฉนวนน้ำมันและฉนวนไฟฟ้าว่ายังปกติหรือไม่ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในภายหลัง

จากผลการดำเนินงาน ผู้จัดทำได้ทำการวางแผนการทำงานที่เหมาะสมกับสถานประกอบการและผู้ทำงาน ซึ่งมีส่วนช่วยลดระยะเวลาการทำงาน ทั้งนี้ ความสามารถในการลดระยะเวลาการทำงานนั้น หมายถึงความสามารถในการลดต้นทุนการบำรุงรักษา และมีส่วนช่วยให้โรงไฟฟ้าสามารถเข้าสู่กระบวนการผลิตไฟฟ้าได้เร็วยิ่งขึ้น

#### 5.2 ปัญหาและอุปสรรค

จากการทำงานจริง และปัญหาที่เกิดขึ้น ทำให้แผนงานที่วางไว้ไม่แน่นอน ดังนั้นกรณีที่เกิดขึ้น red varnish ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องใช้ทาประเก็นอย่างก่อนที่จะทำการติดตั้ง ได้มาถึงประเทศไทยเลย กำหนดการไป 5 วัน ซึ่งทำให้ผู้ทำงานต้องเร่งทำงานให้เสร็จภายในเวลาที่กำหนดไว้ จึงทำให้กำหนดการการทำงานเป็นดังนี้

Schedule of Overhaul power transformer			Oct-17													
			Date	19th	20th	21st	22nd	23rd	24th	25th	26th	27th	28th	29th	30th	31st
				Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue
Item	Description	Working (Days)	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th	
<b>1</b>	<b>Generator transformer</b>	<b>12</b>														
1.1	Meeting	0.5	■													
1.2	Preparation	0.5		■												
1.3	Aux. Wiring check	0.5			■											
1.4	Oil drain from conservator	0.5								■						
1.5	Replace of rubber bag & Oil level gauge	1.5									■					
1.6	Replace of protective relays	3				■						■				
1.7	Oil filling under vacuum + Oil purify	2											■			
1.8	Replace oil pump and oil flow indicator ( Oil pump : 8pc	5										■				
1.9	Final check including cooler control panel	2													■	
1.10	Site cleaning	1													■	

ภาพที่ 5.1 ภาพตารางการทำงานจริงเมื่อเกิดปัญหา (ปรับแต่งจาก [7])

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาที่เกิดขึ้น เมื่อทางสถานประกอบการต้องการให้งานเสร็จภายในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งจะส่งผลเสียต่อสุขภาพของพนักงานและอาจก่อให้เกิดอันตรายจากการทำงานได้ ดังนั้น ในการเตรียมพร้อมกับปัญหาที่จะเกิดขึ้นในการบำรุงรักษาครั้งถัดไป จึงควรจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ให้พร้อมก่อนถึงวันทำงาน และควรมีเครื่องมือและอุปกรณ์สำรองในยามฉุกเฉิน

## บรรณานุกรม

- [1]. Atom. nongcom. *nongcom*. [ออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ 30 กันยายน 2560] <http://nongcom-electrical.blogspot.com/2015/08/power-transformer.html#more>.
- [2]. จรัส สนเอี่ยม. *การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า Transformer Maintenance*. 2547.
- [3]. MITSUBISHI ELECTRIC CO. *REPLACEMENT MANUAL OF OIL PUMP AND PROTECTIVE RELAYS FOR MELCO TRANSFORMER*. : MITSUBISHI ELECTRIC CO., 2560.
- [4]. MITSUBISHI ELECTRIC CO. *REPLACEMENT MANUAL OF RUBBER BAG OF CONSERVATOR FOR MELCO TRANSFORMER*. : MITSUBISHI ELECTRIC CO., 2560.
- [5]. MITSUBISHI ELECTRIC CO. *Procedure for replace part of Gen TR*. : MITSUBISHI ELECTRIC CO., 2559.
- [6]. MITSUBISHI ELECTRIC CO. *Generator Transformer Maintenance Manual*. : MITSUBISHI ELECTRIC CO., 2552.
- [7]. BLCP Power Limited. *Schedule for EMJ Transformer by BLCP rev01*. Rayong : BLCP Power Limited, 2560.

ภาคผนวก

เกณฑ์การตรวจสอบ

## ภาคผนวก

### เกณฑ์การตรวจสอบ

ในการตรวจสอบการติดตั้งอุปกรณ์และการทดสอบหม้อแปลง จำเป็นต้องมีเกณฑ์สำหรับการตรวจสอบ เพื่อให้ได้ผลการตรวจสอบและทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานของผู้ผลิต

#### 1. เกณฑ์การทดสอบวงจรป้องกัน

ตารางที่ 1 เกณฑ์การทดสอบวงจรป้องกัน

รายการตรวจสอบ	เกณฑ์การตรวจสอบ
Insulation resistance	More than $2M\Omega$ with 500V Insulation resistance meter
Instruments	500V Insulation resistance meter, Digital Multi-meter

#### 2. เกณฑ์การทดสอบมอเตอร์พัดลมระบายความร้อน

ตารางที่ 2 เกณฑ์การทดสอบมอเตอร์พัดลมระบายความร้อน

รายการตรวจสอบ	เกณฑ์การตรวจสอบ
Insulation resistance	More than $2M\Omega$ with 500V Insulation resistance meter
Rotation of fans	Cooling air should be blown to radiators by cooling fan running
Current (A)	Three-phase unbalance should be less than 10% Three-phase unbalance = $[(\max-\min)/(\text{average of three phase})] \times 100\%$

### 3. เกณฑ์การทดสอบ Oil cooling pump

ตารางที่ 3 เกณฑ์การทดสอบ Oil cooling pump

รายการตรวจสอบ	เกณฑ์การตรวจสอบ
Insulation resistance	More than 2MΩ with 500V Insulation resistance meter
Rotation of pump	Clockwise of phase sequence at the pump terminals
Current (A)	Three-phase unbalance should be less than 10% Three-phase unbalance = $[(\text{max}-\text{min})/(\text{average of three phase})] \times 100\%$

### 4. เกณฑ์การตรวจสอบอุปกรณ์

ตารางที่ 4 เกณฑ์การตรวจสอบอุปกรณ์

รายการตรวจสอบ	เกณฑ์การตรวจสอบ
ปั๊มสูญญากาศ	อยู่ในสภาพดี ใช้งานได้เป็นปกติ
เครื่องทดสอบน้ำมัน	อยู่ในสภาพดี ใช้งานได้เป็นปกติและเป็นไปตามมาตรฐาน IEC156
เครื่องกรองน้ำมัน	อยู่ในสภาพดี ใช้งานได้เป็นปกติ
อากาศแห้ง	อยู่ในสภาพดี ใช้งานได้เป็นปกติ
ถังเก็บน้ำมัน	อยู่ในสภาพดี ใช้งานได้เป็นปกติ

### 5. เกณฑ์การติดตั้ง Oil cooling pump

ตารางที่ 5 เกณฑ์การติดตั้ง Oil cooling pump

รายการตรวจสอบ	เกณฑ์การตรวจสอบ
หน้าแปลน	สะอาด ไม่มีคราบน้ำหรือฝุ่นเกาะ
การทำ red varnish ที่ประเก็น	ทำให้ทั่วทั้งประเก็น
การตรวจสอบตำแหน่งการติดตั้งให้ถูกต้อง	ใช้ Alignment pin ในการจัดตำแหน่ง
การติดตั้ง Oil cooling pump	ขันนอตด้วยแรง 210 Nm.

## 6. เกณฑ์การติดตั้ง rubber bag

### ตารางที่ 6 เกณฑ์การติดตั้ง rubber bag

รายการตรวจสอบ	เกณฑ์การตรวจสอบ
ฝาและหน้าแปลน	สะอาด ไม่มีคราบน้ำหรือฝุ่นเกาะ
ค่า O <sub>2</sub> ภายในถังน้ำมันสำรอง	มากกว่า 18%
ผู้สังเกตการณ์หรือผู้ดูแลภายนอก	อย่างน้อย 1 คน
การนำ rubber bag ออกจากถังน้ำมันสำรอง	ต้องปูผ้าใบ เพื่อไม่ให้น้ำมันหยดลงพื้น
การทำความสะอาดภายในถังน้ำมันสำรอง	ทำความสะอาดโดยใช้ผ้าซับน้ำมัน
การตรวจสอบภายในถัง	หาจุดบกพร่อง
การนำ rubber bag อันใหม่ใส่ถังน้ำมันสำรอง	ต้องปูผ้าใบเพื่อไม่ให้สัมผัสกับนั่งร้าน
การติดตั้ง rubber bag	ขันนอตด้วยแรง 60 Nm.
การตรวจสอบมาตรวัดระดับน้ำมัน	ระดับน้ำมันตรงตามมาตรวัด

## 7. เกณฑ์การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน

### ตารางที่ 7 เกณฑ์การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน

รายการตรวจสอบ	เกณฑ์การตรวจสอบ
หน้าแปลน	สะอาด ไม่มีคราบน้ำหรือฝุ่นเกาะ
การทำ red varnish ที่ประเก็น	ทำให้ทั่วทั้งประเก็น
การตรวจสอบตำแหน่งการติดตั้ง	ติดตั้งอุปกรณ์อย่างถูกต้องตามคู่มือ

## 8. เกณฑ์การเติมน้ำมันภายใต้แรงดันสุญญากาศ

### ตารางที่ 8 เกณฑ์การเติมน้ำมันภายใต้แรงดันสุญญากาศ

รายการตรวจสอบ	เกณฑ์การตรวจสอบ
ความดันสุญญากาศ	น้อยกว่า 0.5 Torr (70 Pa)
Breakdown voltage test หลังเติมน้ำมัน	มากกว่า 70kV
การตรวจสอบวาล์วแต่ละตัว	เปิด-ปิด ได้ดี และสนิท

## ประวัติผู้เขียน



- ชื่อ - นามสกุล : นายกานต์ธเนศ ดีมี
- วัน เดือน ปีเกิด : 26 เมษายน พ.ศ.2539
- ภูมิลำเนา : 299 หมู่ 18 ตำบล อีสาน อำเภอ เมืองบุรีรัมย์ จังหวัด บุรีรัมย์ 31000
- อีเมลล์ : kanthanate1996@gmail.com
- ประวัติการศึกษา : ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น  
โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม จังหวัดบุรีรัมย์  
: ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย  
โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม จังหวัดบุรีรัมย์  
: ระดับปริญญาตรี  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า หลักสูตรวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ประวัติการทำงาน : 1 มิถุนายน - 31 กรกฎาคม พ.ศ.2560  
นักศึกษาฝึกงาน  
Ta Hwa University of Science and Technology  
: 7 สิงหาคม - 24 พฤศจิกายน พ.ศ.2560  
นักศึกษาสหกิจศึกษา แผนก Electrical Control and Instrument  
บริษัท บีแอลซีพี เพาเวอร์ จำกัด