



# การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า TRANSFORMER MAINTENANCE

ข้อมูลโดย : คุณ จุมพล พันธุ์คำ

เรียบเรียงโดย : คุณ จริญญา สนั่นเอี่ยม

## การบำรุงรักษาคืออะไร ?

งานบำรุงรักษาจะประกอบด้วย การตรวจสอบที่ทำอย่างสม่ำเสมอ, การทดสอบ, การทำความสะอาดและการปรับแต่งทุกชิ้นส่วนของอุปกรณ์ในเครื่องจักรที่ได้รับการบริการ เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ภายหลัง การบำรุงรักษามักจะเข้าใจผิดซึ่ง **ไม่ใช่การใช้งานเครื่องจักรจนเกิดความเสียหายแล้วจึงทำการซ่อมแซมภายหลัง** ควรกำหนดการบริหารการจัดการวางแผนไว้ล่วงหน้า ผู้รับผิดชอบงานบำรุงรักษางานพื้นฐานเบื้องต้นควรวางแผนปฏิบัติการ ดังหัวข้อต่อไปนี้ :-

- 1) การสำรวจตรวจสอบ (Inspection)
- 2) การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)
- 3) การแก้ไขซ่อมแซม (Overhaul)

## การสำรวจตรวจสอบ(Inspection)

เป็นข้อบ่งชี้ในการสำรวจอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องจักรโดยปราศจากการถอดออกมาซ่อมแซม เป็นการตรวจเช็คเบื้องต้น ในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงานเพื่อต้องการสภาพสถานะการทำงานของเครื่อง การหาข้อบกพร่องในขณะที่เครื่องทำงาน ต้องใช้เวลาตรวจเช็คสิ่งผิดปกติที่จะเป็นสาเหตุให้เครื่องจักรเสียหาย

## การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

เป็นการกำหนดช่วงเวลาของการทำงานรวมทั้งการทดสอบต่างๆ ของเครื่องจักรแต่ละเครื่องเพื่อความเหมาะสมในการบำรุงรักษาจัดช่วงเวลาให้เหมาะสมในการบำรุงรักษา ให้วางแผนจากการสำรวจ, การบำรุงรักษา โดยเบื้องต้นให้ตรวจเช็คและจะต้องเผื่อเวลาการทำงานในแต่ละเครื่องจักรให้มีเวลาทำงานตามปกติ ไม่ต้องเร่งรัดเวลาเพราะจะทำให้คุณภาพงานไม่สมบูรณ์

## การแก้ไขซ่อมแซม (Overhaul)

เมื่อพบปัญหาจากการสำรวจตรวจสอบ งานที่เกี่ยวข้องอันดับแรกคือการรื้อถอนเครื่องจักร ในการวางแผนเบื้องต้นต้องคำนึงถึงอายุการใช้งานของเครื่องจักร หรือปัญหาที่เกิดขึ้นภายหลังการสำรวจและการตรวจเช็คจากการบำรุงรักษา

การปฏิบัติตามการสำรวจมี 2 ประการที่สำคัญคือ “ทำตามรายงานที่บันทึกไว้” และ “แก้ไขให้ตรงจุดอย่างถูกต้อง” โดยไม่ปล่อยทิ้งปัญหาไว้ในขณะช่วงเวลาดำเนินการบำรุงรักษา, ข้อบกพร่องใดๆ ก็ตามที่ถูกพบจากการสำรวจจะต้องได้รับการแก้ไขทันทีไม่ควรปล่อยทิ้งไว้ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหลักทำให้เครื่องจักรชำรุดเสียหายในภายหลังได้ ปัญหาที่ถูกพบจากการสำรวจต้องทำการบันทึกและทำรายงานลงในแบบฟอร์มเพื่อการตรวจติดตามการแก้ไขปัญหา แบบฟอร์มรายงานการสำรวจควรเป็นแบบที่ง่ายต่อการกรอกและเข้าใจง่ายกับเจ้าหน้าที่ภาคสนาม ควรให้มีการเขียนข้อความให้กระชับเข้าใจง่ายจะได้นำไปปฏิบัติอย่างถูกต้อง

# 1. การทำทะเบียนเครื่องจักรและทำแผนการบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า

## 1.1 เครื่องจักรต้องมีการกำหนดชื่อ (Code Name)

การบำรุงรักษาเครื่องจักรจะต้องทำรายงานบันทึกว่าหม้อแปลงหรือเครื่องจักรและจะต้องทำเส้นทาง, ตำแหน่งที่ตั้งและอุปกรณ์ที่ต่อรวมของตัวเครื่อง เพื่อสะดวกในการวางแผน กำหนดนโยบายในการทำงานได้อย่างถูกต้องไม่หลงสำรวจ ตามตัวอย่างด้านล่างนี้

1.1.1 จัดทำ Single line diagram กำหนด Feeder จากที่เริ่มต้นและจุดสิ้นสุด เช่น จาก MUSS(Main Units Supply Switch) ใดจ่ายมายัง Feederใดสิ้นสุด Feeder ที่ใดในระหว่างเส้นทาง มีอุปกรณ์/เครื่องจักรใดบ้าง เป็นต้นว่า

1.1.2 ชื่อของ MUSS

1,1,3 ชื่อ/หมายเลขของ Feeder

1.1.4 แยกหลัก/แยกรอง (Trunk line/Spur line)

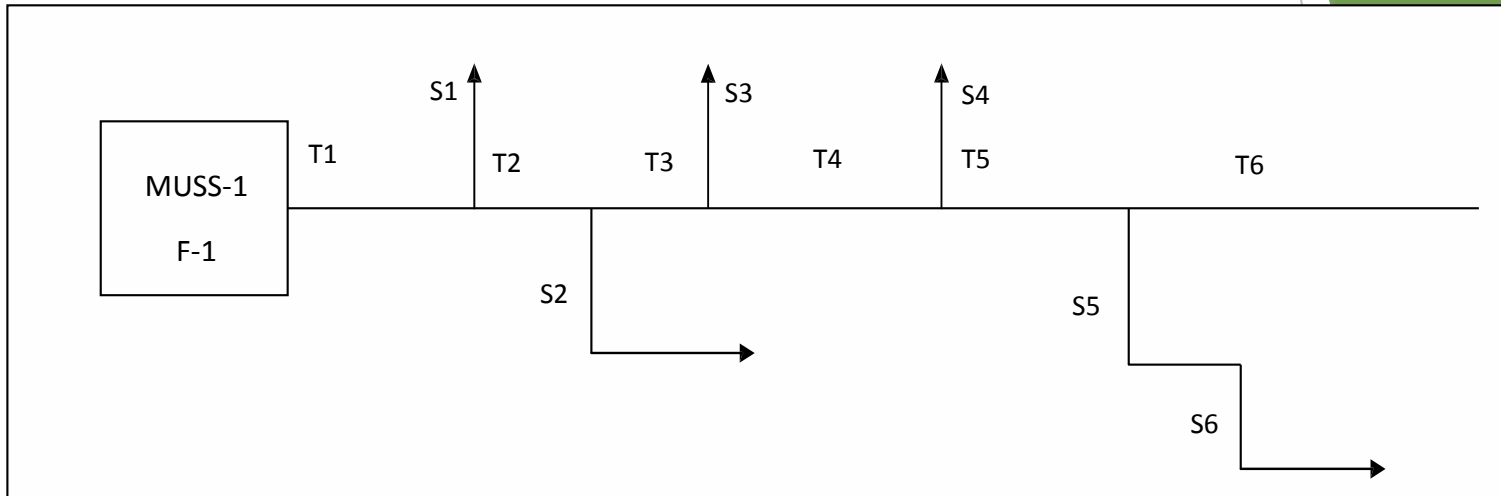
1.1.4.1 กำหนดชื่อ

1.1.4.2 จำนวนเสาไฟ

1.1.4.3 จำนวนหม้อแปลง

1.1.5 Peak load ของแต่ละ Feeder

ตัวอย่างตามภาพด้านล่าง



Tn = Trunk line section No.-n

Sn = Spur line No.-n Where n=1,2,3,4.....

## 1.2. ทำแผนตารางเวลาการสำรวจตามตารางที่ 1 (Distribution Transformer recommended schedules for inspection)

Frequency of inspection	Equipment / Items to be inspected	Points to be checked / note	Remark
1	2	3	4
ทุก 3 เดือน	ฐานที่ตั้ง, คอนตัมหม้อแปลงบนเสาไฟ	เช็คความแข็งแรงของฐานที่ตั้งหม้อแปลงและแนวราบไต้ระดับไม่เอียงลาด	
ทุก 3 เดือน	ขั้วต่อและการต่อสาย	เช็คสภาพขั้วต่อสาย	
ทุก 3 เดือน	Fuses (HT & LT)	เช็คความสะอาด, แน่นและขนาดถูกต้อง	ดูขนาดฟักัดของฟิวส์
ทุก 3 เดือน	Insulating Oil	เช็ครอยรั่วของน้ำมันหม้อแปลง 1. บริเวณ drain valve 2. ประเก็นตามจุดต่างๆ 3. รอยรั่วตามตัวถัง ฯลฯ	ในกรณีที่น้ำมันรั่วมากให้ดูระดับน้ำมันและเติมด้วยถ้าขาด, ถ้าเป็นไปได้ทดสอบน้ำมันด้วย
ทุก 3 เดือน	Bushing	เช็คผิวลูกถ้วยว่ามีรอยบิ่นหรือแตก	
ทุก 3 เดือน	Arcing horns	1. เช็คชำรุดจากการ Flash over 2. แก๊ส/ปรึบระยะห่าง	
ทุก 3 เดือน	กระบอกซิลิกาเจล (Breather)	1. เช็คสีของซิลิกาเจล 2. ถ้วยน้ำมันดักอากาศเข้า-ออก	ถ้าเป็นรุ่นเก่าจะมีสีน้ำเงิน รุ่นใหม่จะมีสีน้ำตาลหรือขาวจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูให้เปลี่ยนใหม่
ทุก 3 เดือน	Earthing	1. ขั้วต่อกราวด์แน่นเรียบร้อย 2. เช็คขนาดสายกราวด์	ให้ดูขนาดสาย/ชนิดของสายกราวด์

ทุก 3 เดือน	ป้ายเตือนอันตราย & ป้ายห้ามป็น	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ติดตั้งยึดแน่นในระดับสายตาและอ่านได้</li> <li>2. ให้เช็คน้ำมันทั้งสองว่ายังอยู่ครบ</li> </ol>	
ทุก 3 เดือน	เช็คอุปกรณ์ Pressure Relief Device	ตรวจสอบความชำรุดเสียหาย, รอยรั่วซึม	
ทุก 3 เดือน	สภาพของน๊อต, สกรู ต่างๆ	ตรวจเช็คทำความสะอาดและขันแน่น	
ทุก 3 เดือน	LT. switch & LT. protection kit.	<p>เช็คตามขั้นตอนดังนี้ :-</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ถ้าฝาครอบสวิทช์ชำรุด</li> <li>2. ถ้าสายไฟ / ตัวสวิทช์ร้อน</li> <li>3. หน้า Contact มีรอยไหม้ / ร้อนจัด</li> <li>4. สายแรงต่ำเหมาะสมตามขนาด</li> <li>5. ขนาดฟิวส์</li> <li>6. ป้องกันน้ำเข้า</li> </ol>	ถ้าขนาดหม้อแปลงเกิน 100 kVA ด้าน LT. ควรทำ Cable box แยกออกจาก หม้อแปลง
ทุก 3 เดือน	Lightning arrestors	<p>เช็คตามขั้นตอนดังนี้ :-</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ลูกถ้วยแตกหักชำรุดเสียหาย</li> <li>2. ขันสายไฟทั้งสองด้านให้แน่น</li> <li>3. รอยอาร์คหรือ Over voltage ของ ฟิวส์</li> </ol>	



### 1.3. การกำหนดเวลาการบำรุงรักษาเชิงป้องกันตารางที่ 2 (Distribution Transformer recommended schedules for Preventive Maintenance)

Note :- ขั้นตอนการทำงานให้ยึดถือจากการสำรวจเป็นหลักเบื้องต้น ส่วนที่ต้องทำเพิ่มเติมตามขั้นตอนในตารางด้านล่าง

Frequency of inspection	Equipment / Items where maintenance is to be done	Details of maintenance Work to be done	Remark
1	2	3	4
ทุก 6 เดือน	ขั้วต่อและการต่อสาย	ขันขั้วต่อสายให้แน่น, เปลี่ยนน็อต / สกรูที่ชำรุด	
ทุก 6 เดือน	Fuses	เปลี่ยนฟิวส์จากอันเก่าใหม่ตามขนาดที่ถูกต้อง	1. ลวดที่ทำฟิวส์จะบางลงตามอายุการใช้งาน 2. การกำหนดขนาดให้ดูตามตารางของฟิวส์
ทุก 6 เดือน	ระดับน้ำมัน	1. ตรวจสอบสีของน้ำมันหม้อแปลง 2. ดูระดับน้ำมัน ถ้าขาดเติมให้ได้ระดับน้ำมันควรทดสอบก่อน 3. ซ่อมรอยรั่วให้หมด	ภายหลังจากเติมน้ำมันให้ทิ้งไว้ 2 ชม. ก่อนจ่ายไฟ
ทุก 6 เดือน	Bushing & Arcing Horns	1. ทำความสะอาดสิ่งสกปรก, คราบสีและคราบฝุ่น 2. ตรวจสอบและเปลี่ยนลูกถ้วยที่บิ่นหรือแตก 3. ตรวจสอบและเปลี่ยนประเก็นลูกถ้วยที่ชำรุด 4. ปรับแต่งตำแหน่งและตั้งระยะของ Arcing Horns	Gap 155 mm. สำหรับลูกถ้วยระบบ 22 kV., Gap 220 mm. สำหรับระบบ 36 kV.

ทุก 6 เดือน	กระบอกซีลิก้าเยล (Breather)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ตรวจสอบสีของซีลิก้าเยลถ้าเสื่อมสภาพให้เปลี่ยน</li> <li>2. เติมผงซีลิก้าเยลจนเต็มกระบอก</li> <li>3. ทำความสะอาดและเติมน้ำมันถ้วยดักอากาศ</li> <li>4. ชันฝากระบอกวิลิก้าเยลให้กดซีลแน่นกันอากาศเข้า</li> </ol>
ทุก 6 เดือน	วัดแรงดัน (Voltage)	วัดแรงดันขณะจ่ายโหลดสูงสุดและถ้าแรงดันไม่ถูกต้องทำการปรับแก้แล้ววัดแรงดันที่ต้องการซ้ำ
ทุก 6 เดือน	ป้ายเตือนอันตราย & ป้ายห้ามป็น	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. เปลี่ยนป้ายเตือนถ้าชำรุด</li> <li>2. ให้ติดตั้งป้ายห้ามป็นในที่ ๆ เหมาะสม</li> </ol>
ทุก 6 เดือน	งานทั่วไป	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ชันน็อต / สกรูให้แน่น</li> <li>2. ล้างทำความสะอาดคราบสกปรก เช่นที่ฝาถัง ตัวถัง</li> </ol>

ทุก 6 เดือน	LT. switch & LT. protection kit.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. เช็คโหลดด้านแรงต่ำ / เปลี่ยนสาย Cable และ LT. switch ใหม่ถ้าขนาดไม่พอ</li> <li>2. เปลี่ยนสาย Cable ที่ชำรุดใหม่ตามขนาดเดิม</li> </ol>	ถ้าขนาดหม้อแปลงเกิน 100 KVA ด้าน LT. ควรทำ Cable box แยกออกจากหม้อแปลง
ทุก 6 เดือน	Load Balancing	วัดกระแส 3 เฟสขณะจ่ายโหลดสูงสุดว่า กระแสทั้ง 3 เฟสใกล้เคียงกัน	ในกรณีที่หม้อแปลงโหลดเกินให้ ย้ายโหลดบางส่วนไปหม้อแปลงใบอื่น หรือเพิ่มขนาดหม้อแปลง
ทุก 6 เดือน	Earth Testing (ควรทำขณะที่อากาศแห้งของปี)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ชั้นขั้วต่อของกราวด์ถึงและ ขั้ว Neutral ให้แน่น</li> <li>2. ตรวจสอบสายกราวด์และเปลี่ยนสายที่ ฉนวนหุ้มแตกตามขนาดเดิม</li> <li>3. เพิ่มจุดกราวด์ถ้าต้องการ</li> </ol>	
ทุก 6 เดือน	Lightning arrestors	ตรวจสอบทำความสะอาดลูกถ้วยว่าแตกหรือ มีรอยอาร์คถ้าชำรุดให้เปลี่ยนใหม่	
ทุก 5 ปี	Distribution Transformer	ควรกรองฉนวนน้ำมันและทำสีภายนอกใหม่	

## 2. การตรวจสอบอุปกรณ์ภายนอกหม้อแปลง

การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า การตรวจสอบจะทำทั้งภายนอกและภายใน การตรวจสอบภายนอกได้แก่อุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ภายนอกหม้อแปลงซึ่งจะมีอุปกรณ์ที่ใช้งานและอุปกรณ์ป้องกัน ส่วนการตรวจสอบภายในหม้อแปลงจะได้รับการทดสอบค่าต่างๆของหม้อแปลง เช่นการวัด Insulation Resistance (IR), Winding Resistance, Ratio เป็นต้น นอกจากการทดสอบแล้วก็ใช้วิธีเก็บตัวอย่างฉนวนน้ำมันหม้อแปลงไปทดสอบหาค่าต่างๆ มาประกอบกันเพื่อดูสภาพของหม้อแปลงว่าปกติหรือต้องทำการแก้ไข และจะแก้ไขอย่างไรต้องวางแผนการจัดการไว้ล่วงหน้าก่อนที่จะเกิดความเสียหายกับหม้อแปลง อุปกรณ์ภายนอกจะแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

## 2.1. อุปกรณ์ภายนอกทั่วไป ได้แก่อุปกรณ์ดังต่อไปนี้ :-

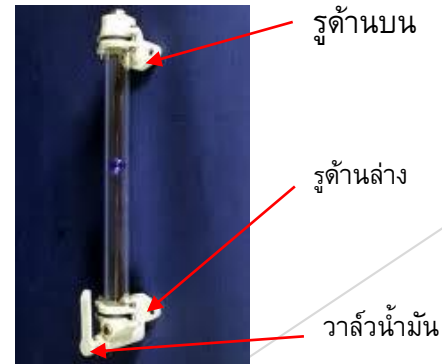
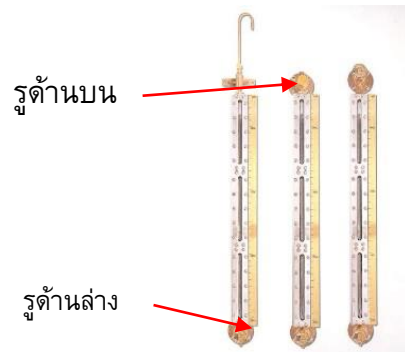
- 1 ระดับน้ำมัน (Oil level Indicator)
- 2 กระจกซิลิกาเจล (Dehydrating breather)
- 3 นามเพลท (Name plate)
- 4 ลูกถ้วยแรงสูงและแรงต่ำ (HV. & LV. Bushing)
- 5 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer, WT. & OT.)
- 6 วาล์วครีป (Radiator valve)
- 7 แท็ป (Off-Circuit Tap changer)
- 8 ทางปลาแรงสูง & แรงต่ำ (HV. & LV. Terminal)

## 2.1.1 การตรวจสอบระดับน้ำมัน (Oil level Indicator check)

ระดับน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้อยู่มีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งพอสรุปที่นิยมใช้กันมากจะมี 2 ลักษณะ คือแบบแท่ง (Bar oil level indicator) และแบบหน้าปัทม์ (Dial oil level indicator) ชนิดนี้จะมีทั้งรุ่นมี Contact switch และไม่มี Contact switch แล้วแต่การใช้งาน

### 2.1.1.1. ระดับน้ำมันแบบแท่ง(Bar oil level indicator)

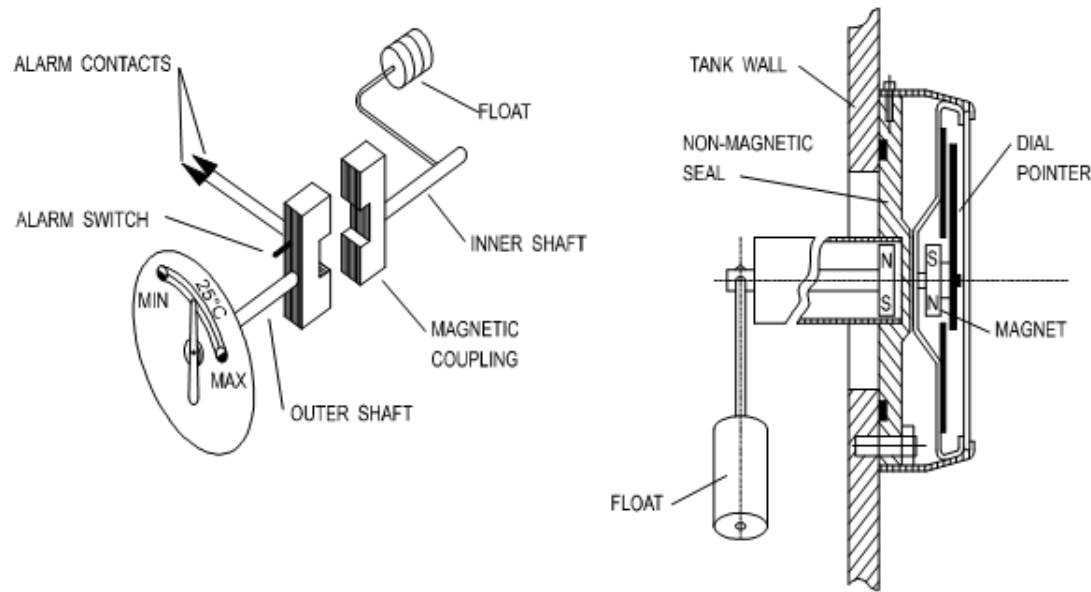
ระดับน้ำมันแบบนี้มักใช้กับหม้อแปลงขนาดเล็กเพราะอัตราปริมาณการขยายตัวของน้ำมันค่อนข้างน้อยเวลาติดตั้งต้องใช้พื้นที่ระนาบตัวแท่งต้องขนานกับข้างถึง Conservator โดยการเจาะรูด้านล่างและด้านบน ตามภาพที่ 1 เพื่อให้ น้ำมันไหลเข้ามาที่ระดับน้ำมันสะดวก ถ้าระดับน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงมากตัวแท่งจะยาวทำให้เกิดการรั่วซึมง่าย ดังนั้นการตรวจเช็คเวลาซ่อมบำรุง ให้ตรวจสอบซีลยางถ้าเสื่อมสภาพให้ทำการเปลี่ยน, รูเจาะด้านบน – ล่าง ต้องไม่อุดตัน, ล้างช่องแผ่นใสให้สะอาด เวลาประกอบกลับควรพยายามขันสกรูกดซีลแผ่นใสเท่าๆกัน เมื่อติดตั้งเสร็จแล้วใช้ไนโตรเจนป้อนเข้าถึง Conservator ประมาณ 1.5 – 2 psi. ดูว่ามีรอยรั่วซึมของน้ำมันที่รูด้านล่างหรืออากาศออกที่รูด้านบน ในกรณีที่ยังรั่วซึมอยู่ให้ทำความสะอาดผิวบริเวณรอบรูเจาะและขันสกรูกดแผ่นใสจนการรั่วซึมหยุด จึงปล่อยแรงดันไนโตรเจนออกตามปกติ



ภาพที่ 1

### 2.1.1.2 ระดับน้ำมันแบบหน้าปัทม์(Dial oil level indicator)

ระดับน้ำมันแบบนี้เหมาะสำหรับหม้อแปลงใหญ่จะมีถัง Conservator ที่บรรจุ น้ำมันมากจะมีลูกลอยด้านที่อยู่ในถัง Conservator เมื่อระดับน้ำมันเปลี่ยนแปลงขึ้น, ลง จะมี ก้านต่อจากลูกลอยมาหมุนแกนที่ติดกับแม่เหล็กถาวรที่ติดอยู่กับหน้าแปลนและหน้าแปลนนี้ จะยึดติดกับข้างถัง Conservator ส่วนชุดหน้าปัทม์จะยึดติดบนหน้าแปลนนี้โดยที่เข็มของ หน้าปัทม์จะยึดติดกับแม่เหล็กถาวรเช่นกัน เมื่อก้านลูกลอยหมุนเข็มก็จะหมุนตามองศาที่ แม่เหล็กหมุนไปจะเห็นว่าสเกลที่หน้าปัทม์ไม่ได้บอกตัวเลขเป็นจำนวนปริมาณน้ำมัน บอก เพียง MAX – MIN และพื้นที่บริเวณเข็มชี้อาจเป็นแถบพื้นที่หรือที่อุณหภูมิของน้ำมัน เนื่องจากว่าอัตราการเพิ่มขึ้น – ลดลงไม่เป็นเส้นตรงเพราะถัง Conservator เป็นรูปทรงกลม ดังนั้นอัตราการลดลงที่บริเวณ MIN ให้ระวังเพราะการเปลี่ยนแปลงจะเร็วกว่าระดับที่อยู่ตรง กลางถึง



ภาพที่ 2

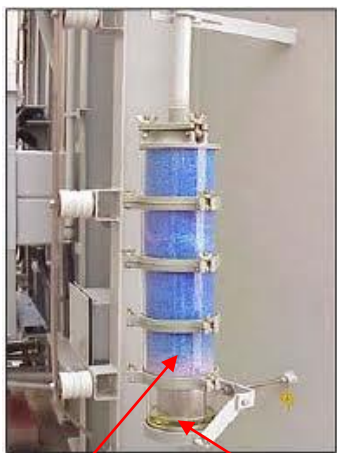
การตรวจเช็คในกรณีที่ไม่มีหรือน้ำมันออกจากถัง Conservator ดูภาพที่ 2 จะเช็คแม่เหล็กที่ติดอยู่ทางด้านเข็มเท่านั้นโดยการถอดหน้าปัทม์ออกจากหน้าแปลนแล้วใช้แม่เหล็กถาวรมาปรับเข็มว่ายังสามารถเคลื่อนตัวตามการเบี่ยงเบนของเข็มแต่ถ้ามีการลดน้ำมันจากถังหม้อแปลงควรถอดหน้าแปลนด้านลูกกลอยออกมาตรวจสอบสภาพด้วยว่ายังใช้งานได้ตามปกติและควรเปลี่ยนซีลหน้าแปลนด้วย อย่างไรก็ตามควรตรวจสอบ 3 – 5 ปี ต่อครั้ง



### 2.1.2. การตรวจระบบอกซิลิกำเยล (Dehydrating Breather)

ระบบอกซิลิกำเยลจะทำหน้าที่กรองความชื้นในอากาศที่จะเข้าสู่ถึง Conservator เพื่อไม่ให้อากาศภายนอกสัมผัสกับน้ำมันในถัง Conservator โดยตรงดูภาพที่ 3 ลักษณะของระบบอกซิลิกำเยลทั่วไปประกอบด้วยฝาปิดด้านบนและด้านล่างประกบระบบอกแก้วใสอยู่ตรงกลางพื้นที่ในกระบอกใสจะเป็นที่บรรจุผงซิลิกำเยลเพื่อดูดความชื้นจากอากาศที่ฝาด้านล่างจะมีถ้วยใส่น้ำมันหม้อแปลงสำหรับดักอากาศไว้ไม่ให้ผงซิลิกำเยลสัมผัสอากาศตลอดเวลา เมื่อหม้อแปลงร้อนขึ้นระดับน้ำมันในถัง Conservator เพิ่มขึ้นอากาศจะถูกดันออกจากกระบอกผ่านตัวดักน้ำมันในถ้วยแต่ถ้าอุณหภูมิเย็นลงระดับน้ำมันในถังลดลงอากาศจะถูกดูดเข้าอากาศจะไหลผ่านน้ำมันในถ้วยผ่านผงซิลิกำเยลเข้าสู่ถึง ดังนั้นความชื้นที่ผงซิลิกำเยลดูดซับไว้จะเริ่มจากด้านล่างขึ้นไปสู่ด้านบน เราจะสังเกตได้ว่าผงซิลิกำเยลจะเปลี่ยนสีจากด้านล่างไปสู่ด้านบนเสมอ ลักษณะของระบบอกซิลิกำเยลอาจมีระบบอกแก้วอันเดียวยาวตลอดหรืออาจทำเป็นชั้นๆต่อเรียงกันคล้ายปีนโตตั้งภาพประกอบ ในการตรวจสอบให้ใช้การสังเกตว่าผงซิลิกำเยลเปลี่ยนสีแล้วควรเปลี่ยนผงซิลิกำเยลใหม่

ในปัจจุบันซิลิกาเจลสีน้ำเงินจะไม่ใช้แล้วเนื่องจากมีสารก่อมะเร็งจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือขาวแทนเมื่อดูดความชื้นแล้วจะมีสีชมพูเช่นเดียวกัน กรณีที่การเปลี่ยนสีของผงซิลิกาเจลอยู่บริเวณฝาด้านบนลงมาด้านล่างแสดงว่าซิลิคาบนร้าวควรเปลี่ยนซิลิก่อน แต่ถ้าหม้อแปลงใช้งานเกิน 1 ปีแล้วสีของผงซิลิกาเจลไม่เปลี่ยนเลยให้ตรวจสอบดูว่าระหว่างหน้าแปลนกระบอกซิลิกาเจลกับหน้าแปลนของถัง Conservator ไม่ได้ดึงแผ่นฟิล์มที่ผู้ผลิตใส่เพื่อกันน้ำมันตอนขนส่งออกให้ดึงออกเสียและให้ดูระดับน้ำมันในถ้วยดักอากาศด้วยว่าอยู่ในระดับที่ทำเครื่องหมายไว้



ผงซิลิกาเจลเริ่มเปลี่ยนสี

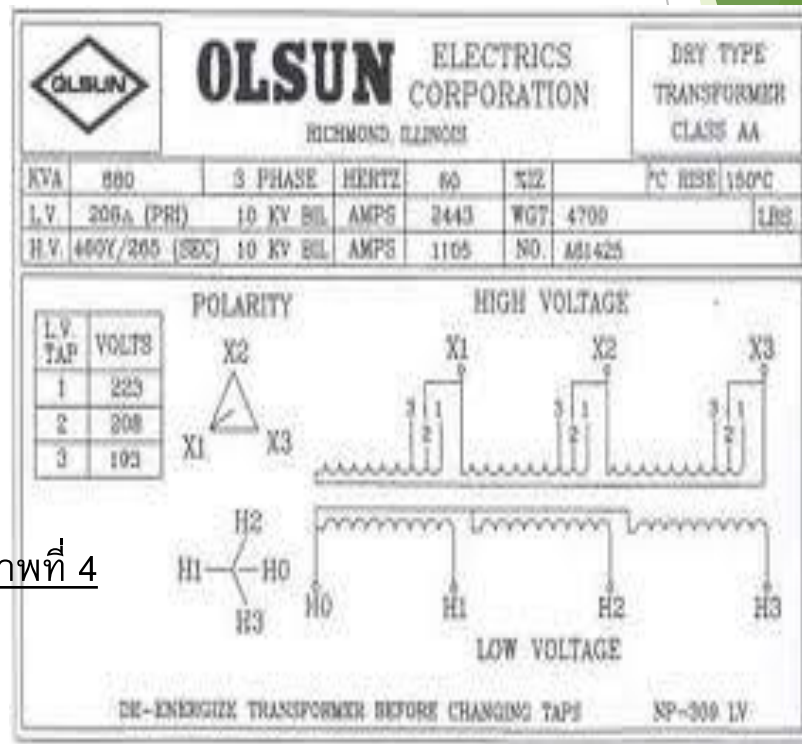


ระดับน้ำมันดักอากาศ

ภาพที่ 3

### 2.1.3. การตรวจสอบเนมเพลท (Name Plate)

เนมเพลทในภาพที่ 4 เปรียบเสมือนบัตรประจำตัวหม้อแปลงควรดูแลให้มีสภาพดี ไม่หลุดเสียหายไม่ปล่อยให้มีความผิดปกติหรือฝุ่นละอองจับจนไม่สามารถอ่านรายละเอียดได้ รวมทั้งป้ายบอกขนาดหรือป้ายบอกขั้วเฟส เป็นต้น เมื่อเวลาจำเป็นต้องเปลี่ยนหรือเคลื่อนย้ายหม้อแปลงจะได้มีข้อมูลในการขนย้ายและช่วยในการหาหม้อแปลงมาทดแทน



ภาพที่ 4

#### 2.1.4. การตรวจสอบลูกถ้วยแรงสูงและแรงต่ำ (HV. & LV. Bushing)

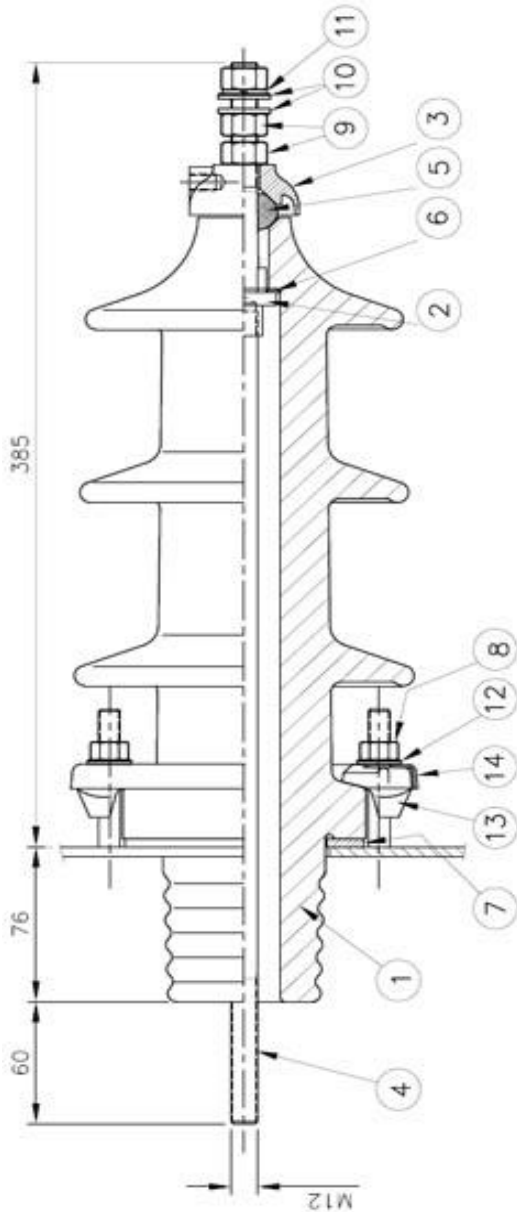
ลูกถ้วยเป็นฉนวนสำหรับขั้วต่อสายของหม้อแปลง ส่วนใหญ่จะเป็นกระเบื้องเคลือบ (Porcelain) มีสีน้ำตาลหรือขาวแล้วแต่ผู้ผลิตตามภาพที่ 5 ความเป็นฉนวนของลูกถ้วยอยู่ที่ระยะความยาวผิว (Creepage) ของลูกถ้วยจึงต้องทำเป็นปีกหลายชั้นเพื่อเพิ่มความยาวผิวเช่นระยะ Creepage ระบบ 24 kV. เท่ากับ 650 mm., 36 kV. เท่ากับ 900 mm. โดยประมาณโดยปกติจะมีผิวเรียบไม่บิ่นแตกกร้าว การตรวจสอบลูกถ้วยให้ตรวจดูผิวลูกถ้วยต้องสะอาดไม่มีรอยอาร์ค, ไม่มีรอยน้ำมันรั่วซึม



รอยอาร์คบนผิวลูกถ้วย

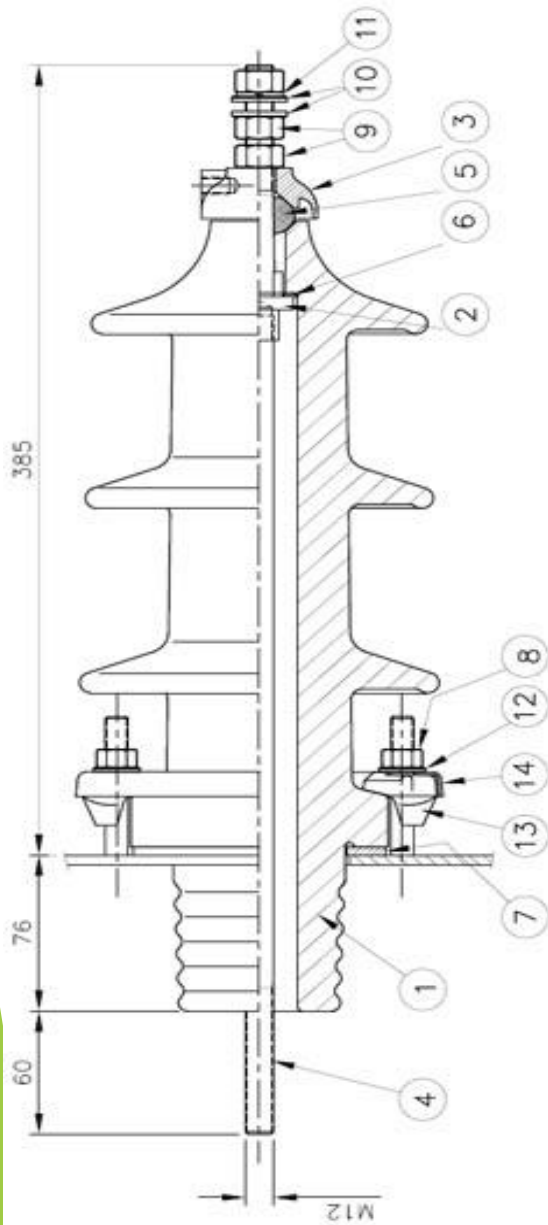
ภาพที่ 5

ภาพที่ 6



- 2.1.4.1 การเปลี่ยนลูกถ้วยหรือการเปลี่ยนซีลลูกถ้วยแรงสูงอันดับแรกจะต้องลดน้ำมันลงให้อยู่ใน ระดับฝาถังแล้วจึงปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้ (ให้ดูภาพประกอบที่ 6)
- 2.1.4.2. คลายน็อตหมายเลข #8 ให้ระวังถ้าสลักเกลียวสกปรกขึ้นสนิมควรฉีดสเปรย์กัดสนิม หรือหล่อลื่นทิ้งไว้ก่อนถอด ประมาณ 30 – 45 นาที
- 2.1.4.3. จากนั้นให้ถอดน็อต #9, #10, #11 โดยยึดฝาครอบลูกถ้วย #3 ไม่ให้แกนหมุนตามจะทำให้ลูกถ้วยแตกได้
- 2.1.4.4. ให้คลายน็อต #9 ห่างจากฝาครอบประมาณ 10 มม.ให้ใช้ค้อนยางเคาะที่แกนแรงสูง #2 เพื่อให้แกนกับซีลยางแยกออกจากกันจะได้ถอดซีลยางลูกคิดออกได้ง่าย
- 2.1.4.5. ถอดน็อต #8 ออกยกแคล้มป์ฐานลูกถ้วย #14 เพื่อถอดลูกถ้วยฐานลูกถ้วย #13 ออก จึงถอดน็อต #9 ออกจากแกน ถอดฝาครอบลูกถ้วยและดึงซีลยางลูกคิดออกโดยจับแกนแรงสูงไว้เพื่อป้องกันแกนร่วงลงไปในถังหม้อแปลง

ภาพที่ 6



- 2.1.4.6. ก่อนที่จะทำการยกลูกถ้วยขึ้นให้เก็บสิ่งของโดยรอบฐาน ลูกถ้วยออกให้หมดเพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งใด ๆ ร่วงลงไปในถัง หม้อแปลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งจำพวกที่เป็นโลหะทั้งหลาย จากนั้นจึงยกลูกถ้วยออกพยายามจับสายแรงสูงไว้อย่าให้ร่วงลงไปในถัง
- 2.1.4.7. ให้ทำความสะอาดผิวฝาถังบริเวณฐานลูกถ้วยให้สะอาด
- 2.1.4.8. ใส่ลูกถ้วยใหม่(ต้องทำความสะอาดผิวนอกและในให้สะอาด)โดยใส่ซีลฐานลูกถ้วย #7 และซีลแกนแรงสูง #6 ไว้ด้วย ให้สอดสายและแกนแรงสูงขณะที่วางลูกถ้วยลง บนฐานฝาถังจนแกนแรงสูงทะลุยอดลูกถ้วยให้จับแกนไว้นำซีลยางลูกคิดใส่ค้ำไว้ที่แกนเพื่อป้องกันแกนร่วงลงไปในถัง
- 2.1.4.9. จัดฐานลูกถ้วยให้อยู่ตรงกลางรัศมีของแกนสลักเกลียวแล้ว ยกแคลมป์ #14 ขึ้นเพื่อใส่ลูกล็อก #13 ให้ครบ วางแคลมป์ลงบนลูกล็อก, ใส่หนอต #8 ขึ้นให้แน่น (Torque ~25 ft-lb หรือ ~35 Nm) โดยสั่ง**เกด**ซีลยางยวบตัวลงไม่เกิน 1/3 ของความหนา เพราะถ้าขันแรงเกินไปจะทำให้ฐานลูกถ้วยแตกได้

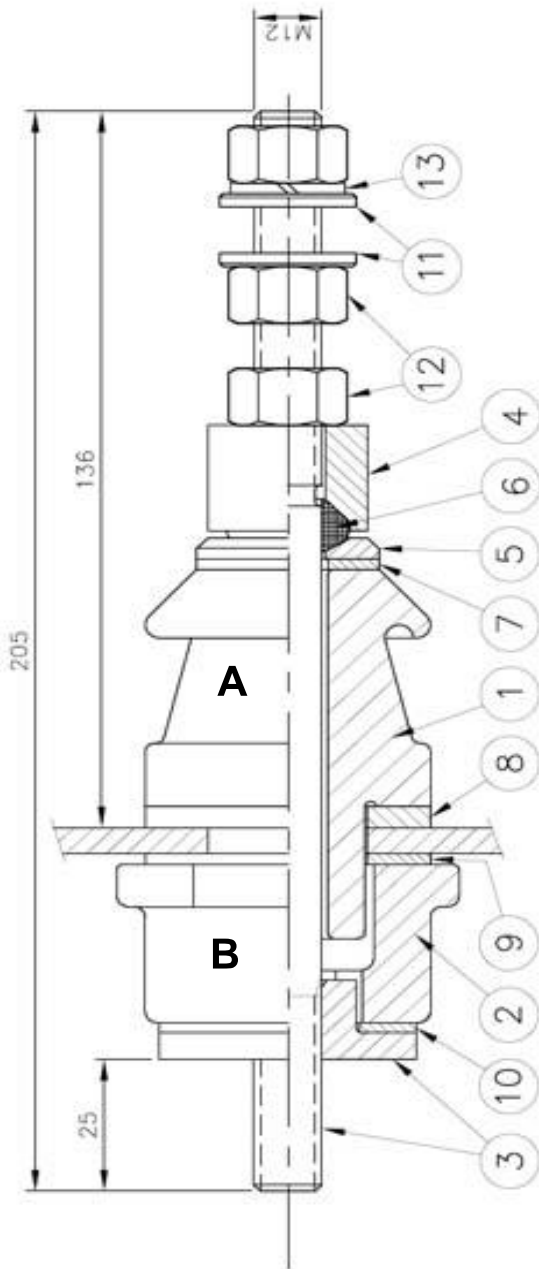
ภาพที่ 7



เข็มสำหรับล็อค  
ลูกถ้วยแรงสูง

- 2.1.4.10. หมุนแกนแรงสูงให้เข็มของแกนตามภาพที่ 7 เข้าร่องของรูลูกถ้วยด้านบนโดยสังเกต จากแกนสามารถดึงขึ้นมาได้อีกประมาณ 10 – 15 มม.แล้วให้ใส่ซีลยางลูกคิต #5 จนสุด ห้ามไม่ให้แกนยุบตัวลงเพราะเข็มล็อคจะหลุดจากตำแหน่ง ใส่ฝาครอบแรงสูงแล้วขันน็อตด้วยมือให้แน่น เพื่อคลายออกตอนเติมน้ำมันใส่อากาศออกจากด้านในลูกถ้วย จึงค่อยขันแน่นภายหลังจะใช้แรงขันประมาณ 70 ft-lb (~95 Nm) ในขณะขันควรร ยึดฝาครอบลูกถ้วยไว้ด้วยกันเข็มของแกนบิดตัวทำให้ลูกถ้วยแตกได้
- 2.1.4.11. ใส่ น็อต #10, #11 และ ขั้วต่อสาย แรงสูง โดยการยึดตัว ขั้วต่อสายแรงสูงไว้เพื่อป้องกันแกนบิดตัว (การขันน็อตบนแกนแรงสูงควรระวังไม่ให้แกนบิดตัวจะทำให้ลูกถ้วยแตก)

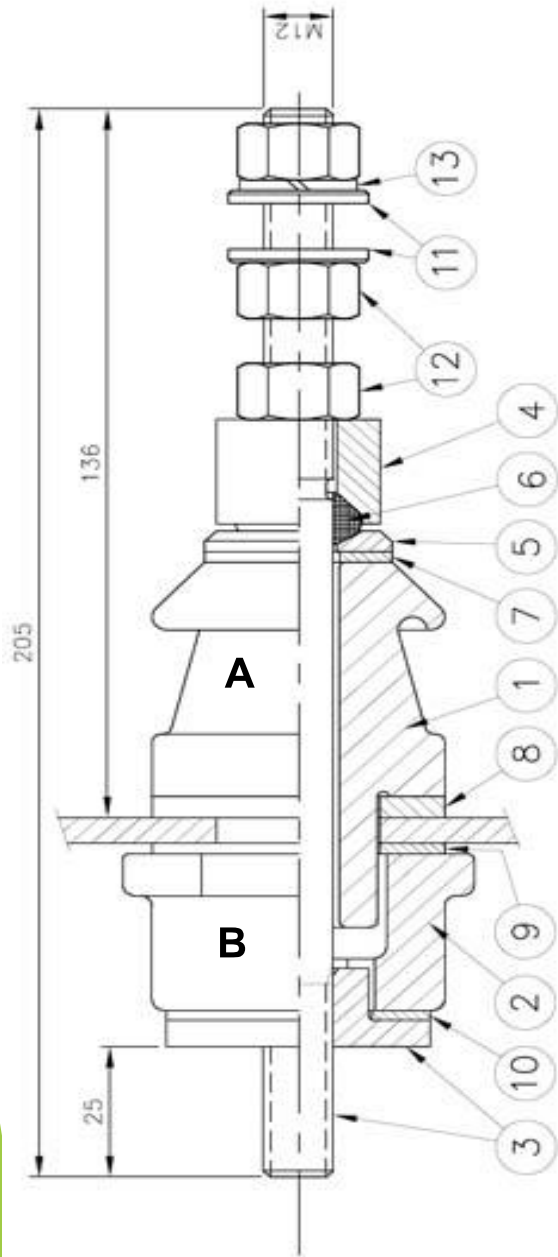
ภาพที่ 8



- 2.1.4.12. ลูกถ้วยแรงต่ำตามภาพที่ 8 จะประกอบด้วยกระเบื้อง 2 ชั้น ชั้นบน (A) จะเป็นตัวลูกถ้วย, ชั้นล่าง (B) จะเป็นคัพลูกถ้วย ในกรณีที่เปลี่ยนลูกถ้วยและซีลทั้งหมด จะต้องยกฝาถังขึ้นเพื่อต้องการเปลี่ยนซีลด้านล่างด้วย แต่ถ้าต้องการเปลี่ยนเฉพาะซีลเพียงอย่างเดียวในกรณีที่แกนแรงต่ำไม่ร้อนจนเสียหาย(จุดต่อต่างๆเกิดการหลวมทำให้ร้อน)ก็จะทำการเปลี่ยนเฉพาะซีลหมายเลข #6, #7, #8 เท่านั้น ขั้นตอนการเปลี่ยนก็ไม่จำเป็นต้องยกฝา การเปลี่ยนทั้งชุดทำตามขั้นตอนดังนี้
- 2.1.4.13. ให้น้ำมันลงต่ำกว่าระดับฝาถังแล้วปลดขั้วต่อสาย (หางปลา)แรงต่ำออก
- 2.1.4.14. ถอดน็อตหมายเลข #12 ออก แล้วถอดฝาครอบลูกถ้วยแรงต่ำ #4 ออก ใช้หม้อนียงเคาะที่แกนแรงต่ำ เพื่อให้ซีลยางลูกคิต #6 หลุดแยกออกจากแกนแรงต่ำ จากนั้นก็ดึงออกจากแกน

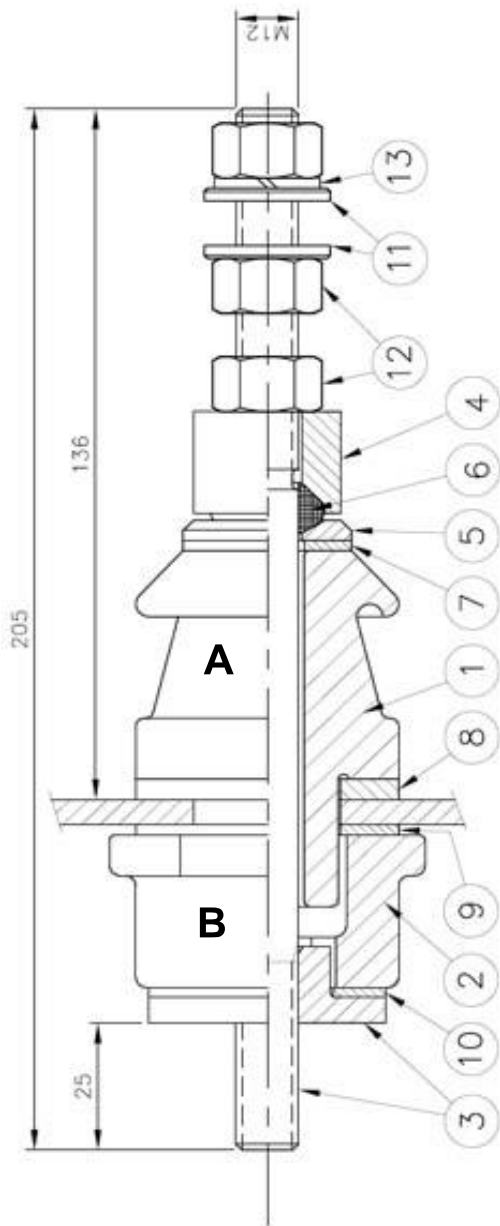


ภาพที่ 8



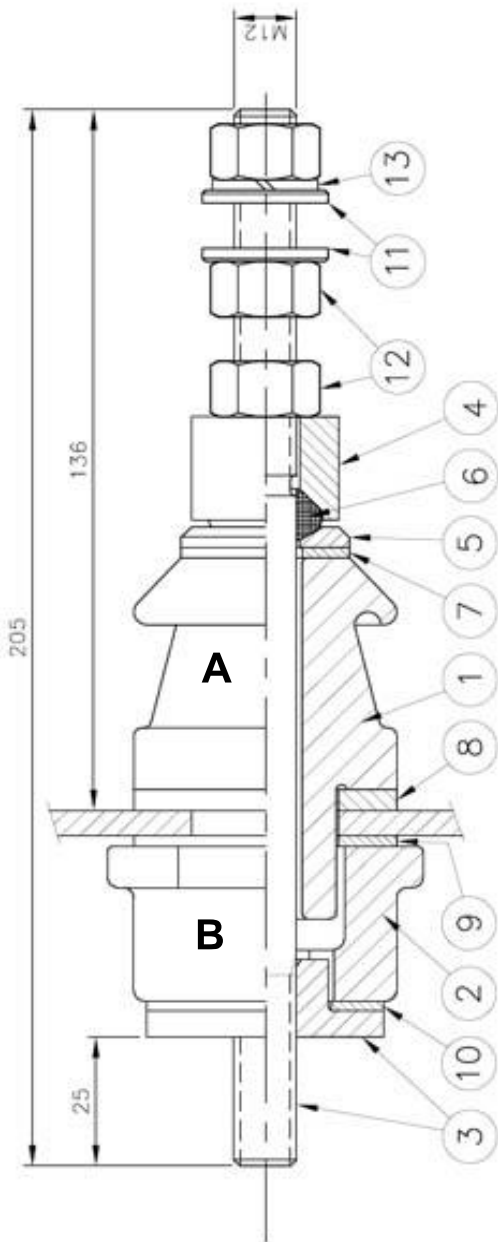
- 2.1.4.15. ถอดแหวนหนา #5, ซีลยาง #7, ลูกถ้วยแรงต่ำ #1 และซีล #8 ออกตามลำดับ
- 2.1.4.16. ให้ถอดน็อต, สกรูฝาถังออกแล้วยกฝาถังขึ้นซึ่งใส่หม้อแปลง (Active Part) จะยึดติดกับฝาให้ยกขึ้นจากปากถังโดยห้ามไม่ให้แกนเหล็กใส่หม้อแปลงสัมผัสกับอากาศ ระยะประมาณ 200-300 มม. ระวังไม่ให้น้ำเข้าถังหม้อแปลงแล้วควรรนำขนไม้มาหนุนระหว่างขอบปากถังกับฝาเพื่อป้องกันอุบัติเหตุฝาร่วงลงมาทับมือขณะกำลังทำงาน, รอกและสลิงยกฝาคควรอยู่ในตำแหน่งยกไว้ตลอด
- 2.1.4.17. ถอดขั้วสายของคอยล์แรงต่ำออก ขั้นตอนนี้ให้ระวังเครื่องมือหรือน็อต, สกรูต่างๆ ร่วงลงไปในถังหม้อแปลง เครื่องมือที่ใช้ทำงานควรผูกเชือกหรือเทปผ้าไว้กับข้อมือหากเครื่องมือร่วงลงไปจะได้ใช้เชือกดึงเครื่องมือกลับขึ้นมาได้ ขณะถอดขั้วสายคอยล์แรงต่ำออกให้จับแกนแรงต่ำไว้ด้วยกันร่วงลงถึงเช่นกัน

ภาพที่ 8



- 2.1.4.18. เมื่อตั้งแกนแรงต่ำออกทางด้านล่างคัพลูกถ้วย #2 จะติดอยู่บนแกนด้วย ให้ถอดซีล #9, คัพลูกถ้วยออกจากแกนแล้วเปลี่ยนซีลหมายเลข #10 ใส่คัพลูกถ้วยโดยวางซีล #9 ด้านบนอีกที
- 2.1.4.19. ทำความสะอาดฝาบริเวณโคนลูกถ้วยทั้งบนและล่าง แล้วนำชุดแกนแรงต่ำร้อยผ่านรูฝาถึงกลับเข้าที่เดิม ระวังให้ดูด้านแบนของคัพอยู่ในตำแหน่งใกล้กับตัวล็อคคัพที่ติดตั้งอยู่ที่ฝา(ตัวล็อคนี้จะป้องกันไม่ให้คัพหมุนขณะขันน็อตล็อค) ถ้าคัพเอียงไม่อยู่ระนาบเดียวกับฝาจะทำให้คัพแตกได้
- 2.1.4.20. ให้นำซีล #8 ใส่ร้อยแกนวางบนฝาถึงแล้วนำลูกถ้วย #1 ใส่ผ่านฝาถึงลงมาพยายามปรับให้โคนลูกถ้วยอยู่ในคัพและซีลทุกชั้นอยู่ในตำแหน่งตรงกลาง แล้วใส่ซีล #7, แหวนบาง #5, ซีลยางลูกคิด #6, แหวนหนา #4 ลงในแกนตามลำดับ แล้วจึงใส่น็อต #12 ชั้นแน่นพอประมาณ เพราะอาจมีการปรับขณะใส่ขั้วสายคอยล์แรงต่ำ

ภาพที่ 8



- 2.1.4.21. นำขั้วสายคอยล์แรงต่ำชั้นติดกับแกนแรงต่ำ ระวังอย่าให้คัพหลุดจากตัวล๊อคคัพ จากนั้นจึงขันน็อต #12 ให้แน่น โดยการยึดขั้วสายคอยล์แรงต่ำไว้อย่าให้คัพและขั้วสายแรงต่ำเปลี่ยนตำแหน่งการขึ้นแรงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของแกนขึ้นกับความชำนาญและทักษะของผู้ปฏิบัติงาน ใส่ขั้วต่อสายแรงต่ำและขันให้แน่นกับแกน ห้ามหลวมโดยเด็ดขาดเพราะกระแสสูงไหลผ่านถ้าหลวมจะเกิดความร้อนจนแกนละลายติดกับขั้วต่อสายและจะทำให้เกิดปัญหาลามจนน้ำมันรั่วได้
- 2.14.22. เปลี่ยนปะเก็นขอบปากฝาถังแล้วหย่อนฝาลงขันยึดสกรูฝาถังให้แน่น จากนั้นให้เติมน้ำมันตามขั้นตอนปฏิบัติและให้ทดสอบรั่วซึมโดยการอัดก๊าซไนโตรเจนเข้าทางท่อซิลิกาเยลด้วยแรงดัน 2.5-3.0 psi. ทิ้งไว้ประมาณ 0.5-1 ชม. ถ้ามีรอยรั่วให้แก้ไขจนไม่มีรอยรั่ว

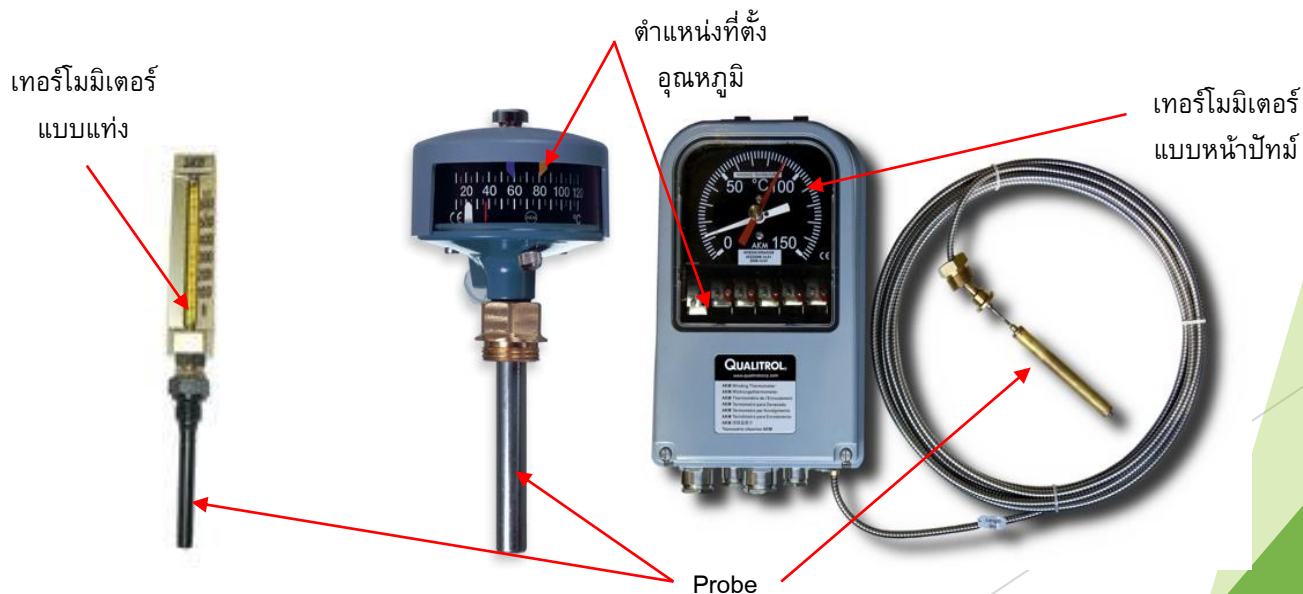
### 2.1.5. การตรวจสอบเทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer, WT. & OT.)

เทอร์โมมิเตอร์จะใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลง(Oil Temperature) ตาม ภาพที่9 และอุณหภูมิของขดลวด (Winding Temperature)จะมีทั้งแบบที่มีและไม่มี Contact switch เนื่องจากอุณหภูมิน้ำมันหม้อแปลงมีค่า Time constant 6-7 ชม. จึงไม่นิยมใช้ Contact ไปควบคุมการสั่ง Trip หม้อแปลง จึงไม่ถือว่าเป็นอุปกรณ์ป้องกันแต่ Contact จะนำไปใช้ควบคุมเรื่องการระบายความร้อนเช่นหม้อแปลงออกแบบเป็น 2 Rated ONAN/ONAF ONAN (Oil Natural Air Natural) หมายถึงขณะใช้งาน Rated นี้จะใช้การระบายความร้อนตามธรรมชาติโดยการใช้น้ำมันระบายความร้อนจาก ขดลวดมาสู่ด้านบน,มาพื้นที่ผิวของถังและครีบริบายความร้อนที่ท่อด้านบนเมื่อ อุณหภูมิน้ำมันเย็นลงก็จะไหลกลับเข้าถังหม้อแปลงด้านล่าง เป็นหลักการ Thermodynamics ตามธรรมชาติ ONAF (Oil Natural Air Force) หลักการโดยรวมจะ เหมือนกับ ONAN เพียงแต่จะเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ครีบริบายโดยใช้พัดลมช่วยระบายความร้อนที่ครีบริบายหม้อแปลงจึงสามารถจ่ายโหลดเพิ่มขึ้นแต่การนำหม้อแปลงที่ออกแบบระบายความร้อนแบบ ONAN มาติดตั้งพัดลมเพิ่มแล้วสามารถมาใช้งานที่ Rated ONAF เลยไม่ได้เพราะไม่ได้ออกแบบไว้ตั้งแต่แรก

ดังนั้นจึงใช้ Thermometer contact สำหรับเป็นการเตือน (Alarm) หรืออาจใช้ไปสั่งให้พัดลมทำงานเป็นหม้อแปลงแบบ ONAN ก็ได้เพื่อลดอุณหภูมิขณะจ่ายโหลดที่ 100% ส่วนถ้าเป็นหม้อแปลงแบบ ONAF ก็จะใช้ Contact ของ Thermometer ไปควบคุมพัดลมขณะทำงานที่ Rated ONAF

ตามปรกติการติดตั้งจะใช้ท่อที่ปิดด้านหนึ่ง ด้านใต้ฝาถังเชื่อมทำเป็นกระเปาะ (Thermometer Pocket) ไว้ ที่ด้านบนฝาถังเวลาจะใช้งานจะเติมน้ำมันหม้อแปลงลงในกระเปาะเพื่อเป็นตัวพาความร้อนชนิดเดียวกัน ส่วนใหญ่นิยมใช้กัน 2 แบบคือแบบแท่งและแบบหน้าปัทม์ แบบหน้าปัทม์จะมีทั้งรุ่นที่มีและไม่มี Contact Switch

การตรวจสอบ Thermometer ให้เตรียมภาชนะใส่น้ำและฮีทเตอร์ต้มน้ำ, เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทแท่งแก้ว โดยถอด Probe ของเทอร์โมมิเตอร์มาจุ่มลงในอ่างต้มน้ำพร้อมกับเทอร์โมมิเตอร์ปรอทนำฮีทเตอร์ต้มน้ำในอ่างให้บันทึกค่าเปรียบเทียบการอ่านอุณหภูมิทุก  $10^{\circ}\text{C}$  ถ้าค่าที่อ่านได้ใกล้เคียงกันตลอดย่านการวัดถือว่าใช้งานได้



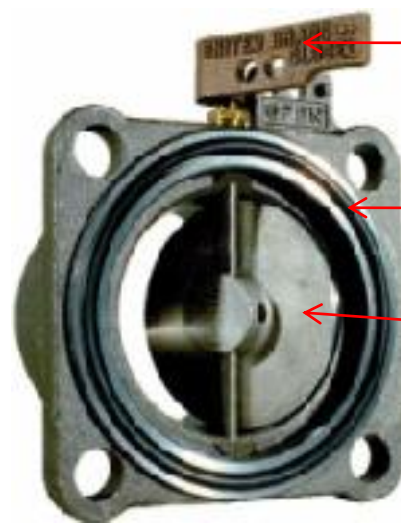
ภาพที่ 9

## 2.1.6. การตรวจสอบวาล์วครีป (Radiator valve)

วาล์วครีปมักติดตั้งกับหม้อแปลงที่มีขนาดใหญ่ ประมาณ 2000 kVA ขึ้นไป วาล์วที่อครีปนี้จะติดตั้งอยู่ระหว่างท่อครีปด้าน Main Tank กับท่อครีปด้านบนและด้านล่าง ทำหน้าที่ปิดกั้นน้ำมันจาก Main tank กับชุดครีปที่บน-ล่าง วาล์วประเภทนี้ไม่สามารถปิดสนิทขณะปิดสนิทจะมีน้ำมันรั่วซึม ออกบ้างเล็กน้อยจะต้องปิดด้วยหน้าแปลนทึบ (Blind flange) ที่ด้านนอกวาล์วด้วย ประโยชน์ที่ติดตั้งวาล์วประเภทนี้เหมาะสำหรับเวลาเคลื่อนย้ายหม้อแปลงหรือจะทำการถอดชุดครีปเพื่อนำไปซ่อมหรือเปลี่ยนครีปชุดใหม่ โดยปรกติภายหลังจากหม้อแปลงติดตั้งใช้งานไปแล้วควรมีการตรวจสอบวาล์วครีปด้วย เพราะอาจสร้างปัญหาขึ้นภายหลังได้



ภาพที่ 10



มือปิดวาล์ว

ซีลโอริง

วาล์วปิดเปิดท่อครีป

ภาพที่ 11

2.1.6.1. การตรวจสอบควรให้ตรวจตำแหน่งของการปิดเปิดวาล์วให้อยู่ในตำแหน่งเปิดเสมอ(ให้ดูคู่มือที่ให้มากับหม้อแปลงว่าตำแหน่งใดเปิด) เนื่องจากถ้าวาล์วปิดอยู่จะทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนลดลงทำให้หม้อแปลงร้อนขึ้นทำดังนี้ (ให้ดูภาพประกอบที่ 10, 11)

2.1.6.2. ตรวจสอบรอยรั่วซึมหากมีรอยรั่วซึมให้สังเกตุดอย่างละเอียดว่ารอยรั่วอยู่ตำแหน่งใด

2.1.6.2.1. ซีลระหว่างหน้าแปลนของถังกับตัววาล์ว

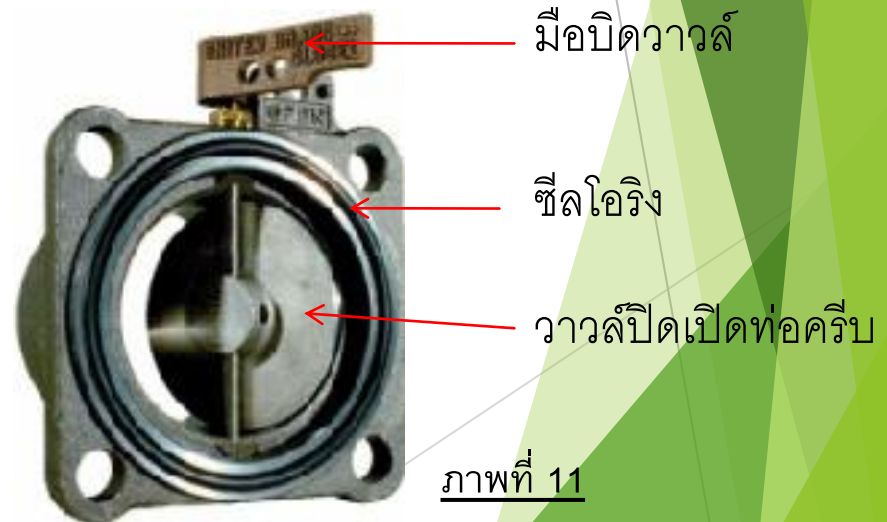
2.1.6.2.2. ซีลระหว่างหน้าแปลนของครีบกับตัววาล์ว

2.1.6.2.3. ซีลก้านวาล์ว ปิด-เปิด

2.1.6.3. ตรวจสอบการผูกרוןของตัววาล์ว



ภาพที่ 10



ภาพที่ 11

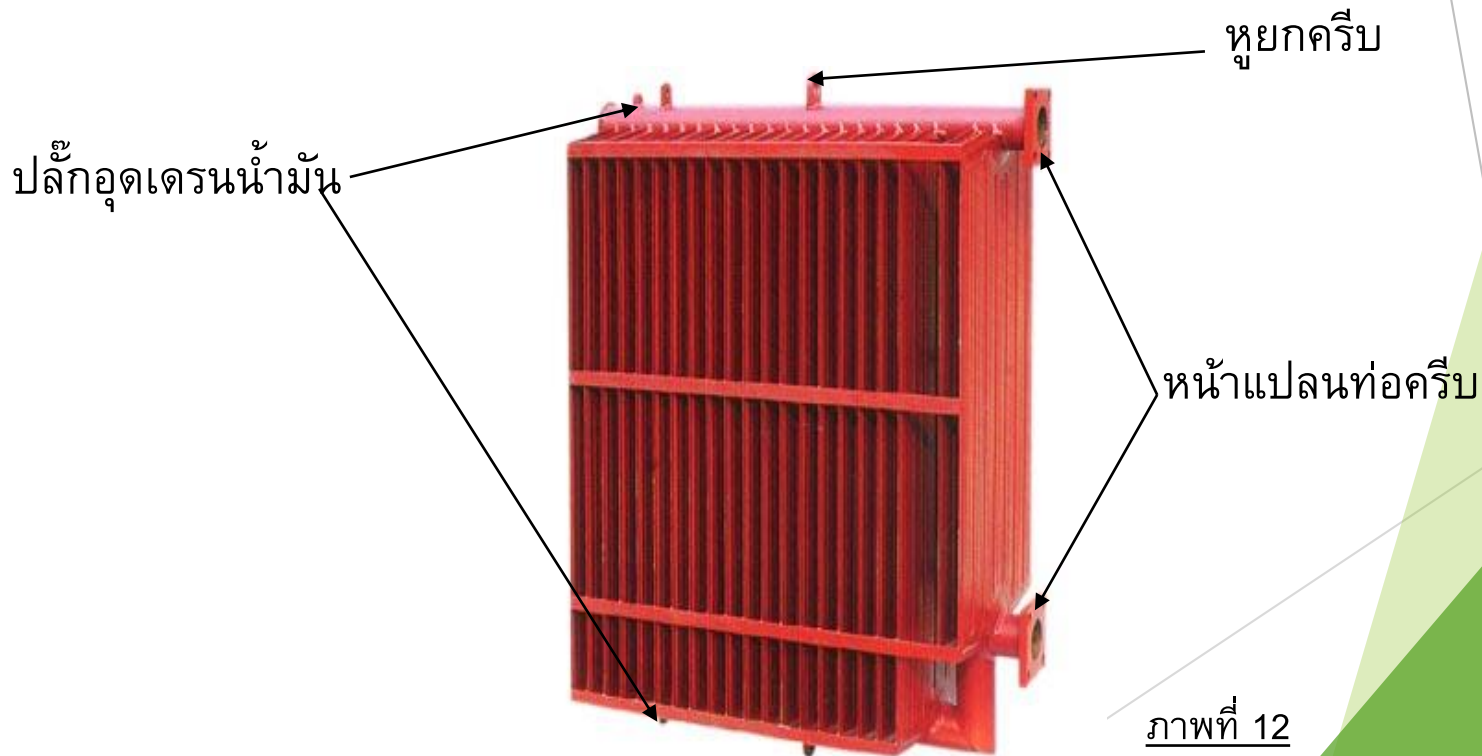
2.1.6.4. การถอดใส่ครีบริบที่มีวาล์วครีบริบที่ติดตั้งอยู่ด้วยจะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ :-

2.1.6.4.1. ให้ปิดวาล์วครีบริบทั้งด้านบนและด้านล่างของครีบริบชุดที่จะซ่อมหรือเปลี่ยน

2.1.6.4.2. ถอดปลั๊กอุดที่ด้านบนและหาภาชนะสะอาดมารองน้ำมันขณะที่ถอดปลั๊กอุดด้านล่างเติมน้ำมันลงจนหมดจากชุดครีบริบ(รูปที่ 12)

2.1.6.4.3. เตรียมหน้าแปลนทึบและให้คนยกครีบริบไว้ เพื่อรับน้ำหนักครีบริบ

2.1.6.5. ถอดสกรูหน้าแปลนครีบริบทั้งด้านบนและด้านล่าง เมื่อถอดครีบริบออกจากวาล์วแล้วให้ปิดวาล์วด้วยหน้าแปลนทึบเพื่อกันน้ำมันรั่วซึมออก

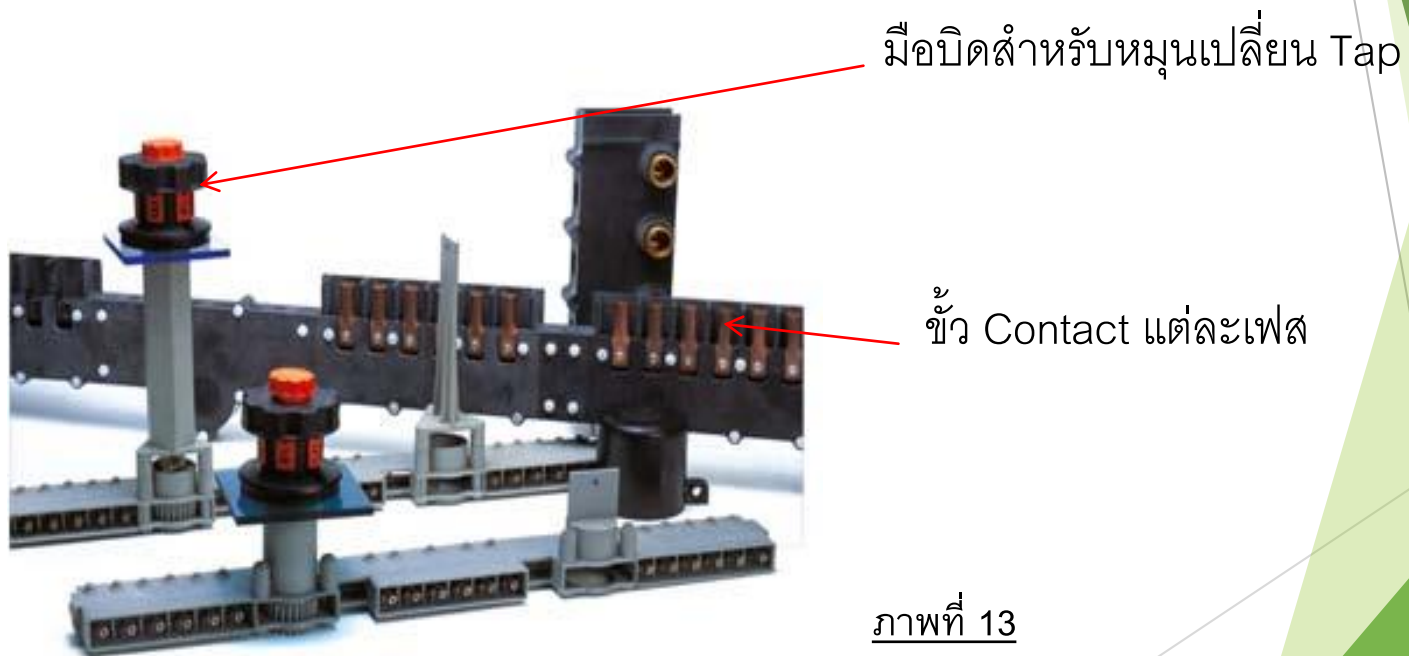




- 2.1.6.6. การใส่ครีบก้นกลับภายหลังการซ่อมหรือเปลี่ยนครีบก้นใหม่ โดยการถอดหน้าแปลนที่บ  
ออก แล้วเปลี่ยนซีลหน้าแปลนวาล์วใหม่ ประกอบครีบก้นเข้ากับวาล์ว บน-ล่าง (ครีบก้นที่จะ  
ติดตั้งเข้าไปใหม่ควรทำความสะอาดให้ปราศจากฝุ่นสิ่งสกปรกทั้งหลายออกให้หมดจึง  
ประกอบเข้าที่เดิม)
- 2.1.6.7. ให้เตรียมวงจรการเติมน้ำมันและกรองน้ำมัน เข้าทางถึง Conservator
- 2.1.6.8. ให้ถอดปลั๊กอุดด้านบนออกแล้วเปิดวาล์วด้านล่าง เพื่อปล่อยน้ำมันเข้าครีบก้น รูของ  
ปลั๊กอุดด้านบนจะระบายอากาศออกจากชุดครีบก้นและให้สังเกตระดับน้ำมันถ้าถึงจุดต่ำสุด  
ให้เติมน้ำมันเข้าถึง Conservator จนน้ำมันล้นออกที่ปลั๊กอุดด้านบนให้ปิดปลั๊กอุด  
ด้านบนให้สนิท
- 2.1.6.9. เปิดวาล์วครีบทวน แล้วเติมน้ำมันที่ถึง Conservator จนได้ระดับตามเดิม
- 2.1.6.10. ถอดวงจรเติมน้ำมันออก
- 2.1.6.11. อัตราแรงดันไนโตรเจนเข้าทางท่อซิลิกาเยลประมาณ 2.5 – 3.0 psi. ตรวจสอบที่หน้าแปลน  
วาล์วว่ามีรอยรั่วซึม ถ้ามีให้แก้ไขจนไม่มีรอยรั่ว จากนั้นปล่อยแรงดันไนโตรเจนออก แล้วใส่  
กระบอกซิลิกาเยลเข้าตามเดิม

### 2.1.7. การตรวจสอบแท็ป (Off-Circuit Tapchanger)

แท็ปเป็นสวิตช์สำหรับเลือกการต่อขดลวดในการเปลี่ยนแท็ปนี้จะต้องตัดกระแสไฟออกจากหม้อแปลงเสียก่อนผู้ผลิตจะออกแบบให้แท็ปติดตั้งอยู่ด้านไพรมารีเพราะมีกระแสต่ำ หน้า Contact ไม่ใหญ่มาก(ดูภาพที่ 13) หน้าทีของแท็ปมีอยู่ 2 หน้าทีด้วยกันคือ



A) สำหรับเปลี่ยนแรงดันของหม้อแปลง การเปลี่ยนแรงดันจะเปลี่ยนเป็นลักษณะเท่าตัวซึ่งจะเกี่ยวกับโครงสร้างของขดลวด มักจะเป็นหม้อแปลงรุ่นเก่าที่การไฟฟ้ามีโครงการเปลี่ยนระบบไฟ จาก 11 kV เป็น 22 kV หรือจาก 12 kV เป็น 24 kV แท้ปประเภทนี้เรียกว่า แท้ปเปลี่ยนระบบไฟเข้าหม้อแปลง

B) สำหรับปรับรักษาระดับแรงดัน ตามปรกติหม้อแปลงทั่วไปจะออกแบบให้ปรับแรงดันได้ไม่เกิน  $\pm 5\%$  ของแรงดันไพรมารีที่ 22000 Volts แรงดันสูงสุดที่หม้อแปลงจะต่อใช้งานได้ไม่เกิน 23100 Volts และแรงดันต่ำสุดไม่เกิน 20900 Volts แต่แท้ปที่ผู้ผลิตออกแบบไว้ในช่วง  $+5\%$  จะแบ่งเป็น 2 แท้ปๆ ละ 2.5% ทางบวก และทางลบจะแบ่งเป็นแท้ปละ 2.5% สรุปได้ว่าทางบวกมี 2 แท้ป, ทางลบมี 2 แท้ปรวมกับที่ Rated เท่ากับ 5 ตำแหน่ง ในเวลาใช้งานเราใช้แรงดันด้านเซคันดารี เมื่อแรงดันตกหรือเกินจาก Rated จะต้องมีการปรับแท้ปให้แรงดันแรงต่ำเหมาะสม ดังนั้นเวลาต้องการเพิ่มแรงดันด้านแรงต่ำจะต้องไปปรับแท้ปให้ลดแรงดันลง

ตัวอย่างเช่น ต้องการแรงดันที่ใช้งาน 400 V. แท้ปที่หม้อแปลงตั้งที่ตำแหน่ง 3 คือที่แรงดัน 22000 V. แต่แรงดันที่ได้เพียง 380 V. เท่ากับว่า % แรงดันหายไป  $(400 - 380) \div 400 \times 100 = 5\%$  ดังนั้นต้องการปรับแท้ปลงที่แท้ป 5 เพราะแท้ปตำแหน่งละ 2.5%

2.1.7.1. การตรวจสอบแท๊ปสามารถตรวจเช็คทั้งทางกลและทางไฟฟ้าตามขั้นตอนดังนี้

2.1.7.1.1. จะตรวจสอบทางกลโดยการบิดหมุนเปลี่ยนตำแหน่งแท๊ปถ้าหมุนได้สะดวก แสดงว่าปรกติ แต่ถ้าไม่สามารถหมุนได้ให้หยุดอย่าฝืนหมุนต่อควรใช้การทดสอบ Winding Resistance ค่า Resistance ทั้งสามเฟสควรใกล้เคียงกัน แต่ถ้าค่าแตกต่างกันมาก แสดงว่าหน้าสัมผัส Contact เกิดการอาร์คติดกันควรต้องยกหม้อแปลงขึ้นตรวจสอบดู

2.1.7.1.2. ตรวจสอบมือบิดว่าสามารถล๊อคได้ตรงตำแหน่ง, ไม่หลุดหรือหลวม(ภายหลัง การตรวจสอบให้ตั้งแท๊ปไว้ที่ตำแหน่งเดิม)

2.1.7.1.3. บริเวณแกนแท๊ป, มือบิดไม่มีน้ำมันรั่วซึม ถ้ามีให้เปลี่ยนซีล O-ring กันแท๊ป

2.1.7.1.4. การวัดค่า Voltage Ratio Test เพื่อตรวจสอบขดลวดว่า Ratio ยังถูกต้องทุกแท๊ป

2.1.7.1.5. การวัดค่า Winding Resistance เพื่อตรวจสอบว่าหน้าสัมผัส Contact Switch ทุกแท๊ปยังคงสภาพใช้งานได้

## 2.1.8. การตรวจสอบขั้วต่อสาย(หางปลา)แรงสูง & แรงต่ำ (HV. & LV. Terminal)

ขั้วต่อสายหรือหางปลาจะติดตั้งยึดติดกับแกนแรงสูงหรือแกนแรงต่ำ เพื่อสะดวกในการต่อสายเข้าและออกจากหม้อแปลงอีกทั้งเป็นทางเดินของกระแสไฟ ประการสำคัญจะอยู่ที่พื้นที่หน้าตัดและพื้นที่ผิวของตัวหางปลา จึงจำเป็นต้องสะอาดและแน่นในขณะที่ติดตั้งเพื่อให้มีหน้าสัมผัสพอสําหรับทางเดินของกระแสไฟ มีลักษณะรูปร่างมีหลายแบบซึ่งแล้วแต่ความต้องการต่อสายในลักษณะใด ถ้าเป็นแบบแคลมป์ (Clamp style) จะต่อกับสายไฟโดยตรง, แบบแบน (Pad style) จะใช้ต่อกับสายที่ย่างหางปลา (Cable lug) หรือบาร์ทองแดง หางปลา



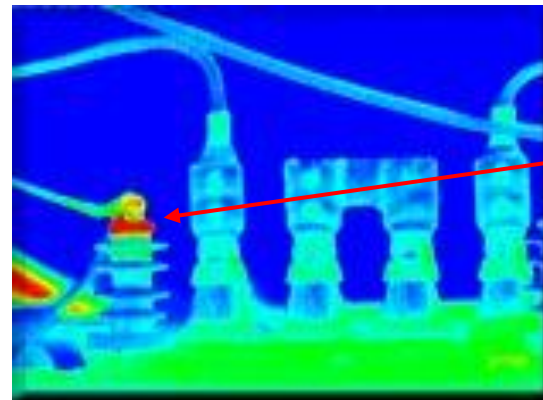
ในการตรวจสอบหางปลา ตามปกติตัวหางปลาจะใช้โลหะ ทองเหลืองผสมทองแดงและชุบผิวด้วยดีบุก จะมีสีขาว เมื่อใช้งานไปสีจะดำคล้ำลงตามอายุการใช้งาน หางปลาแรงต่ำจะมีกระแสไหลผ่านสูงมากจึงมีขนาดใหญ่ ถ้าพบผิวที่มีรอยไหม้เกรียมเป็นสีรุ้งหรือมีรอยอาร์ค ถ้าในกรณีที่ผิวไหม้เกรียมอาจเป็นการหลวม ให้ถอดทำความสะอาดผิวแล้วขันให้แน่นและควรระมัดระวังไม่ให้สลักเกลียวที่ขันยึดตัว (ถ้าสลักเกลียวขาดสามารถเปลี่ยนได้ทันที) การสังเกตสลักเกลียวยึดตัวในขณะที่เราขันสลักแรงที่ออกชั้นที่หือจะออกแรงน้อยลง ถ้าหางปลามีรอยอาร์คละลาย ควรถอดเปลี่ยนใหม่ การเกิดอาร์คจะสร้างปัญหาในการซ่อมเป็นอย่างยิ่งโดยเฉพาะไม่สามารถถอดออกต้องทำการตัดเปลี่ยนใหม่ทั้งแกนและหางปลา ถ้าสามารถถอดหางปลาออกได้แต่เกลียวแกนเสียหายต้องใช้ตะไบแต่งเกลียวตามรูปที่ 15 เพื่อกำจัดคราบไหม้เกรียมออกจากร่องเกลียวให้หมดและจะได้ขันหมุนหางปลาตัวใหม่ลงบนแกนได้สะดวกและไม่เสียพื้นที่ผิว ในการสำรวจก่อนหน้าที่จะบำรุงรักษาควรใช้ IR Thermo-scan ตามรูปที่ 16 เพื่อการสำรวจว่ามีความเสียหายที่จุดต่อ จะได้ทำการเตรียมหางปลาหรือแกนไว้สำหรับเปลี่ยน

ภาพที่ 15



ตะไบแต่งเกลียว Screw file

ภาพที่ 16



IR Thermo scan จะเห็น  
ความร้อนที่ขั้วต่อสาย

### 3. การตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลง (Protection devices)

หม้อแปลงเป็นเครื่องจักรที่ไม่ได้อยู่ใกล้ชิดกับผู้ปฏิบัติงานมักจะไม่ค่อยได้รับการสังเกตความผิดปกติและเป็นเครื่องจักรที่หยุดไม่ได้เนื่องจากความต้องการใช้กระแสไฟตลอดเวลา หม้อแปลงไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องติดอุปกรณ์ป้องกันหลายตำแหน่งหน้าที่สำหรับหม้อแปลงอุปกรณ์ป้องกันทั่วไปที่ติดตั้งที่ตัวหม้อแปลง มีดังนี้ :-

- 1 อุปกรณ์ล่อฟ้า (Lightning Arrestor)
- 2 บุคโฮล์รีเรย์ (Buchholz relay)
- 3 Pressure relief devices (PRD)
- 4 Rapid pressure rise relay (RPRR)
- 5 DGPT2 Combination protection device

อุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องมีการตรวจเช็คเพื่อความมั่นใจว่าในขณะที่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นกับหม้อแปลงอุปกรณ์ที่ติดตั้งต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องเป็นตัวยับยั้งอุบัติเหตุให้เร็วที่สุดเพื่อหยุดการเสียหายที่จะเกิดขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบการทำงานอุปกรณ์ให้มีสภาพการใช้งานที่สมบูรณ์สำหรับหม้อแปลงที่ใช้อยู่มีมากมายหลายแบบดังนั้นอุปกรณ์ป้องกันที่ส่วนใหญ่จากหัวข้อดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งติดตั้งใช้อยู่เป็นส่วนมากการตรวจสอบควรทำดังนี้ :-

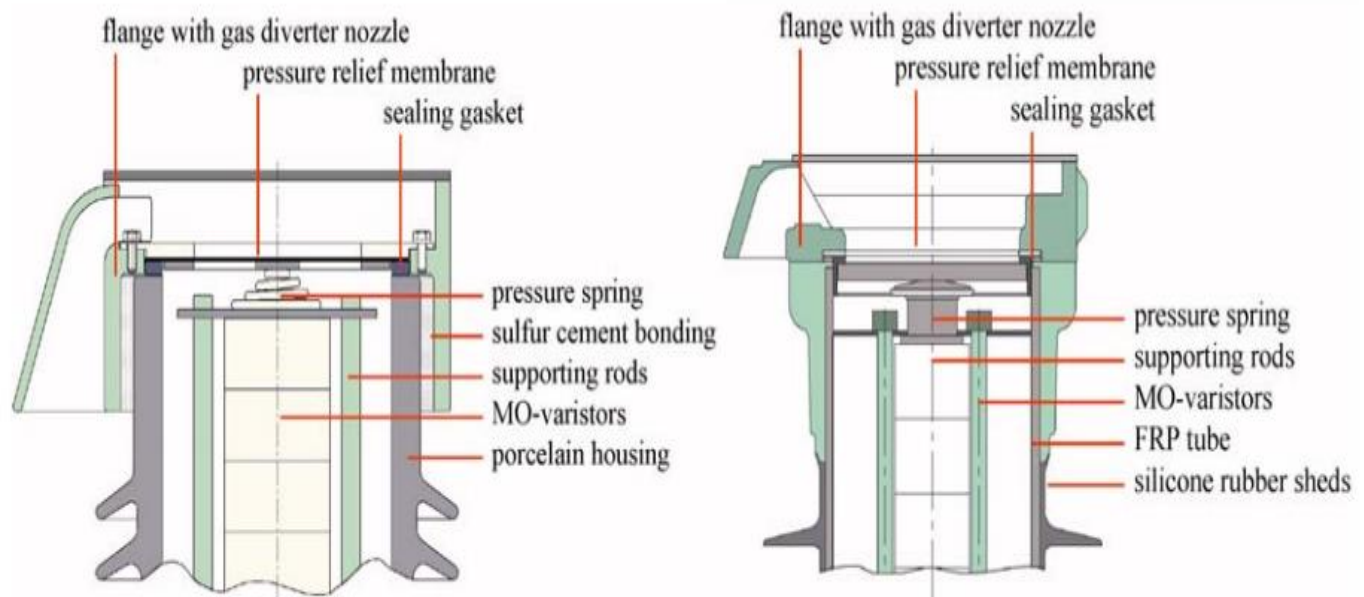
### 3.1. การตรวจสอบอุปกรณ์ล่อฟ้า (Lightning Arrester)

เนื่องจากสายส่งแรงสูงในระบบจะมีความยาวมากดังนั้นอุปกรณ์ที่มาต่อกับสายส่งจะมีมากมายหลายชนิดก็就会有การตัดหรือต่ออุปกรณ์เข้ากับสายส่งหรือเกิด Fault รวมทั้งฟ้าผ่าลงในสายส่งจะทำให้เกิด Surge ขึ้นในสายส่งเป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันเกิน การติดตั้ง Arrester จะเป็นอุปกรณ์สำหรับป้องกันแรงดันเกินที่เกิดจาก Surge หรือฟ้าผ่าลงในสายส่ง Arrester มีหน้าที่ปล่อยผ่านแรงดันเกิน (Bypass) ลงดินอย่างรวดเร็วโดยที่ตัวของ Arrester จะรักษาแรงดังตกร่วมที่ขั้วทั้งสองตามที่ตัวมันกำหนดไว้จึงไม่มีผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับสายส่งซึ่งสามารถทนแรงดันเกินได้ระดับหนึ่ง ภายในตัว Arrester จะประกอบด้วยชิ้นส่วนของ Non linear voltage current เรียกว่า Metal Oxide Varistor(MOV) มาเรียงขนานซ้อนกัน หรือเรียกว่า Metal Oxide(MO) Surge arrester แล้วนำมาบรรจุลงในกระบอกเซรามิก(Ceramic) ตามปรกติจะทำจาก Zinc Oxide (ZnO) และ Bismuth Oxide แล้วนำมาเรียงซ้อนเป็นชั้นๆในลูกถ้วยฉนวนมี 2 แบบคือ แบบกระเบื้อง (Porcelain Arrester) และแบบยางซิลิโคน (Polymer Arrester) จากภาพที่ 17



จะเห็นได้ว่าส่วนประกอบภายใน Arrestor ประกอบด้วยแกนกลางที่ยึดวาง MOV เรียงซ้อนกัน สวมอยู่ในลูกถ้วย ด้านบนจะเป็นหน้าแปลนประกอบด้วย ซีลและ Pressure relief system ที่ตัว Pressure relief จะมีแผ่น Membrane แบบที่เป็นกระเบื้องตัวแผ่นจะยึดติดกับหน้าแปลนโลหะ ส่วนแบบยางซิลิโคนจะมีกระบอกพลาสติกไฟเบอร์สำหรับความแข็งแรงภายในกระบอก (Fibre Reinforced Plastic Tube : FRP) แผ่น Membrane ของ Pressure relief system นี้ ทำหน้าที่ระบายแก๊สที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่าที่ตัว Arrestor หรือเกิดกระแสและแรงดันสูงๆ เพื่อลดแรงดันลง ป้องกันไม่ให้ลูกถ้วยแตกโดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นกระบอกแบบกระเบื้อง เศษที่ระเบิดแตกออกอาจทำอันตรายต่ออุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียงหรือผู้ปฏิบัติงาน

ภาพที่ 17



Porcelain (left) and polymer tube design (right) surge arrester

ลูกถ้วยกระเบื้องถูกออกแบบไว้ให้ทนแรงดันภายในและกระแสชอร์ตเซอร์กิตที่เกิดขึ้นได้ แต่ตัวลูกถ้วยจะถูกทำลายโดย Thermal Mechanical stresses จากความร้อนของการอาร์คที่บริเวณผิวภายนอก ให้ดูภาพที่ 18 ประกอบ



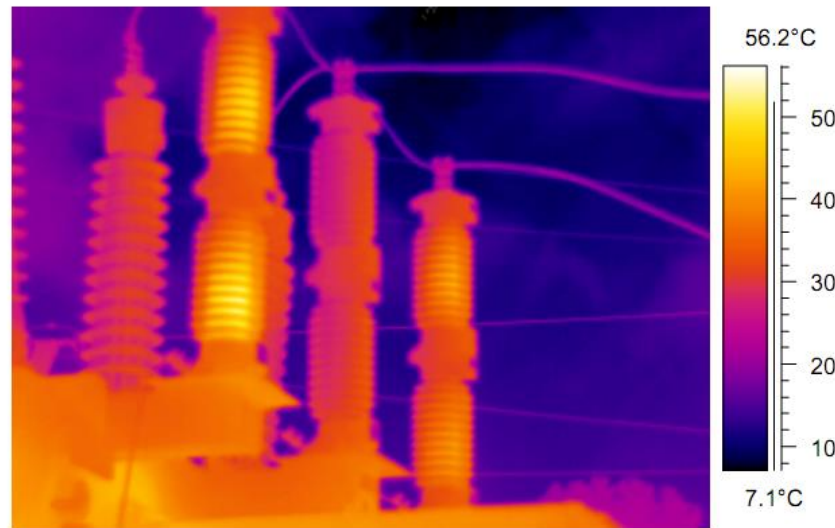
Short circuit behaviour of a porcelain design (left) and polymer tube design surge arrester (right)

ภาพที่ 18

เป็นภาพที่แสดงให้เห็นว่าผิวกระเบื้องภายนอกแตกกระจายแต่รูปทรงลูกถ้วยยังคงสภาพเดิม ดังนั้นการตรวจสอบ Arrester จะทำได้ดังนี้ :-

- 3.1.1. การตรวจสอบสภาพโครงสร้างบริเวณลูกถ้วยต้องไม่มีส่วนชำรุดเสียหาย
- 3.1.2. การตรวจสอบ MOV ช่างในโดยการใช้อุปกรณ์ Insulation Resistance meter(Megger) วัดค่าต้องมีค่ามากกว่า  $50\text{ M}\Omega$  (โดยประมาณ จะไม่เท่ากันทุกผู้ผลิต) ค่าไม่ควรต่ำกว่าหม้อแปลงเพราะเป็นอุปกรณ์ที่ต่อขนานกันอยู่
- 3.1.3. ช่วงเวลาสำรวจก่อนการบำรุงรักษาควรทำ IR Thermo Scan ตามภาพที่ 18 เพื่อดูความผิดปกติและจะได้เตรียมอุปกรณ์ไว้ล่วงหน้า
- 3.1.4. ให้ทดสอบค่า Power factor

ภาพที่ 18



115 kV Arrester  $10^{\circ}$  Centigrade above Ambient

### 3.2. การตรวจสอบบุคโฮล์รีเรย์ (Buchholz relay)

บุคโฮล์รีเรย์เป็นอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงสำหรับตรวจจับก๊าซและอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำมัน อุปกรณ์นี้ถูกออกแบบเพื่อตรวจจับสิ่งที่ผิดปกติหรือความเสียหายที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลง อาจจากสาเหตุแพร่กระจายของก๊าซในวงจรมันหม้อแปลงหรือจากการเหนี่ยวนำขดลวด เป็นต้น สาเหตุที่ก่อให้เกิดก๊าซหรือการไหลของน้ำมันอย่างรุนแรงจากสาเหตุดังนี้

3.2.1. การช็อตเซอร์กิตของแกนเหล็กระหว่างชั้นต่อชั้น (Short circuit core lamination)

3.2.2. ฉนวนของแกนเหล็กแตกหักชำรุดเสียหาย (Broken-down core insulation)

3.2.3. อุณหภูมิขดลวดร้อนเกินไป (Overheating of winding)

3.2.4. จุดสัมผัส, จุดต่อหลวม (Bad contacts)

3.2.5. ช็อตเซอร์กิตระหว่างเฟส (Short circuit between phase)

3.2.6. การช็อตลงดิน (Earth fault)

3.2.7. ลูกถ้วยทะลุเข้าหาตัวถัง (Puncture of bushing insulators inside tank)

3.2.8. น้ำมันลดระดับจากการรั่วซึม (falling of oil level due to leaks)

3.2.9. อากาศรั่วเข้าในระบบการหมุนเวียนน้ำมัน (Ingress of air as a result of defective oil circulation system)

ตัวบิวคโฮลรีเลย์ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก 2 ชิ้น, ฝา(ส่วนบน)และตัวถังบิวคโฮล(ส่วนล่าง) ตัวบิวคโฮลจะมีการติดตั้ง 2 แบบคือแบบขันสกรูกับหน้าแปลน ตัวถังจะมีท่อเข้าออกของน้ำมัน, ช่องกระจกใสไว้ดูระดับน้ำมันและจะมีลูกศรสำหรับเวลาติดตั้งต้องติดตั้งให้หันลูกศรซึ่งไปทางถึง Conservator เสมอ หากติดตั้งด้าน บิวคโฮลจะไม่ทำงาน

ฝาส่วนบน

ตัวถังบิวคโฮล  
รีเลย์ส่วนล่าง



แบบขันเกลียว



แบบหน้าแปลน

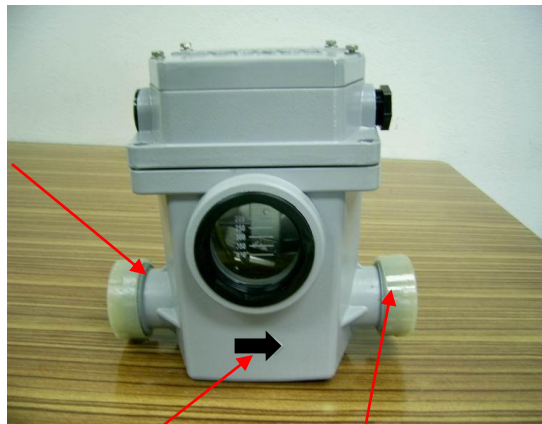


ก้านทดสอบสวิทช์

วาล์วเก็บ  
ตัวอย่างก๊าซ

ภายใต้ฝาด้านบนตามรูปที่ 21 จะเป็นโครงสร้างสำหรับยึดลูกกลอย, แผ่นไดอะแฟรมสำหรับตัดอัตราการไหลของน้ำมัน, สวิตช์, ก้านสำหรับกดทดลองตรวจสอบสวิตช์(ภาพที่ 19)และสำหรับล๊อคลูกกลอยในขณะที่ขนส่งเคลื่อนย้ายหม้อแปลง ส่วนบนของฝาจะมีวาล์วสำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซและกล่องขั้วต่อสายจากสวิตช์ Alarm & Trip ดังแสดงในภาพด้านล่างนี้

ภาพที่ 20



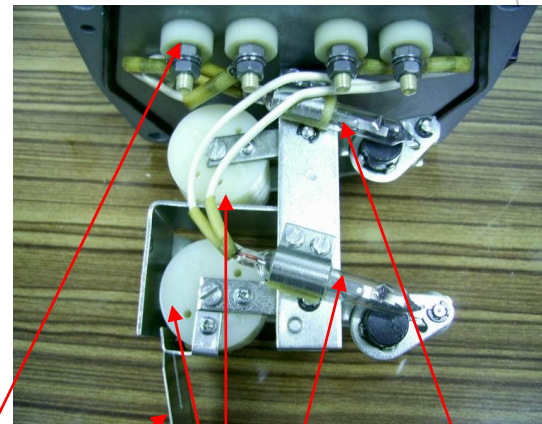
From Main Tank

ลูกศรบอกทิศทางการไหล

To Conservator

Terminal ต่อสาย

ภาพที่ 21



แผ่นไดอะแฟรม

ลูกกลอย บน - ล่าง

Trip contact

Alarm contact

3.2.2. การตรวจสอบบู้คโฮลรีเรย์โดยทั่วไป บู้คโฮลรีเรย์ไม่สามารถตรวจสอบได้ นอกจากการจำลองการทำงานของตัวมันเองดังนี้

3.2.2.1. ให้ตรวจสอบรอยรั่วซึมน้ำมันหม้อแปลงบริเวณหน้าแปลนหรือข้อต่อ

3.2.2.2. ตรวจสอบรอยรั่วซึมน้ำมันบริเวณฝาบนกับฝาล่าง

3.2.2.3. ทำการทดสอบ Alarm contact switch และความคล่องตัวของลูกกลอยเป็นอิสระไม่ติดขัด โดยการกดแกนทดสอบลงครึ่งหนึ่งของระยะกดช่วงแรก ให้วัดความต้านทานหน้า Contact ว่าต่อถึงกัน(บันทึกค่าความต้านทานไว้เพื่อเปรียบเทียบครั้งต่อไป)

3.2.2.4. ทดสอบ Trip contact switch และความคล่องตัวของลูกกลอยโดยกดแกนทดสอบลงจนสุด ให้วัดความต้านทานหน้า Contact ว่าต่อถึงกัน(บันทึกค่าความต้านทานไว้ด้วย)

3.2.2.5. การเช็คในกรณีที่บู้คโฮลรีเรย์ภายหลังการเกิดความผิดปกติของหม้อแปลงเมื่อสวิตช์ได้ทำสัญญาณสั่งการ ดังนี้

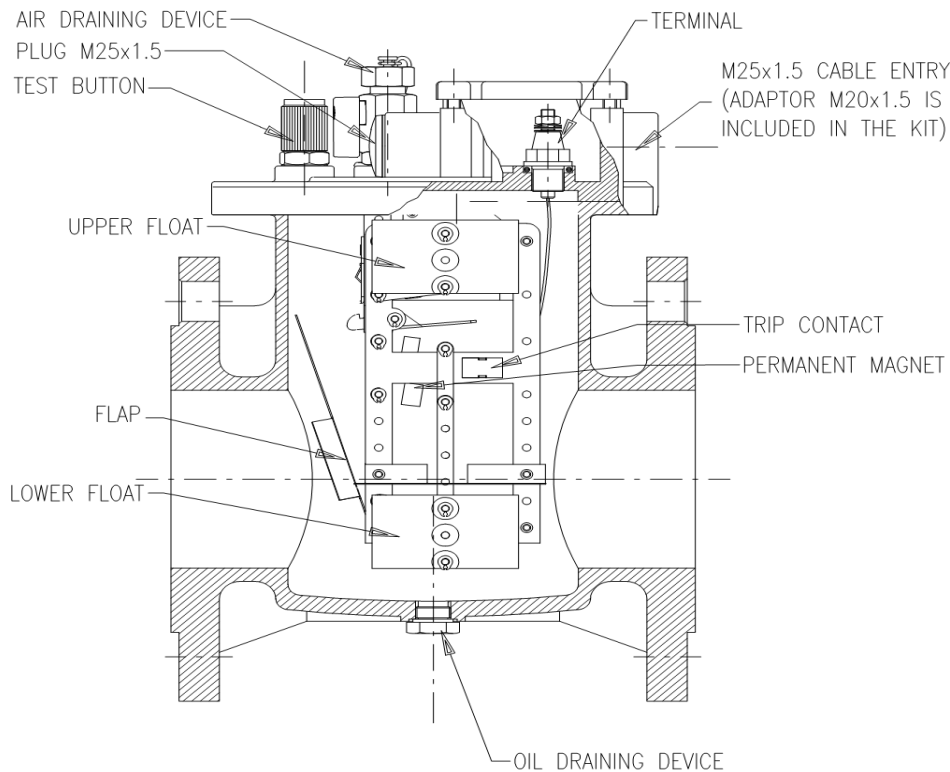
3.2.2.5.1. Alarm Signal เมื่อมีสัญญาณนี้ควรตรวจสอบสังเกตคูสีของก๊าชในช่องใส่สำหรับคูสีของน้ำมัน ปริมาณก๊าชที่อยู่ในตัวบู้คโฮลนี้สามารถเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์โดยใช้ Syringe สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าชทางวาล์วด้านฝาบนของตัวบู้คโฮล(ควรให้ผู้เชี่ยวชาญเก็บตัวอย่างเพื่อป้องกันตัวอย่างเสียหาย)ส่วนสีของก๊าชที่เกิดขึ้นจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

- 3.2.2.5.1.1. ก๊าซสีขาว สาเหตุเกิดจากการอาร์คทางไฟฟ้ากับกระดาษ, ผ้าหรือไหมที่ใช้พันลวด
  - 3.2.2.5.1.2. ก๊าซสีเหลือง สาเหตุเกิดจากไม้หรือกระดาษฉนวนชนิดแข็ง (Card board)
  - 3.2.2.5.1.3. ก๊าซสีเทา สาเหตุเกิดจาก การ Breakdown ของวงจรแม่เหล็ก
  - 3.2.2.5.1.4. ก๊าซสีดำ สาเหตุเกิดจาก การอาร์คแตกตัวกระจายในน้ำมัน
- หมายเหตุ ในบางครั้งอาจมีอากาศตกค้างอยู่ในหม้อแปลงขณะประกอบติดตั้ง หรือภายหลังการเติมน้ำมัน ปริมาณอากาศนี้เป็นสาเหตุให้ Alarm switch ทำงานเสมือนมีก๊าซเช่นกัน แต่จะเกิดช่วงแรกระยะสั้นๆเท่านั้น



3.2.2.5.2 Trip Signal สัญญาณนี้จะสั่งให้วงจรตัดไฟออกจากหม้อแปลง จะมีขั้นตอนเหมือนกับ Alarm คือต้องดูสีของก๊าซและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น และเป็นวิธีที่ดีที่สุดคือการนำก๊าซไปวิเคราะห์ ในกรณีนี้ไม่ควรป้อนไฟเข้าหม้อแปลงอีกทันทีเพราะอาจทำให้เพิ่มความเสียหายกับหม้อแปลงอย่างรุนแรงได้

หมายเหตุ การที่ Trip contact ตามภาพที่ 22 ทำงานอาจมีสาเหตุจากการรั่วของน้ำมัน ซึ่งถ้าเป็นกรณีนี้ควรแก้ไขการรั่วให้เรียบร้อยก่อน จากนั้นให้เติมน้ำมันเข้าที่ถัง Conservator จนได้ระดับ จึงสามารถจ่ายไฟเข้าหม้อแปลงได้



ภาพที่ 22

### 3.3. การตรวจสอบ Pressure relief devices (PRD)

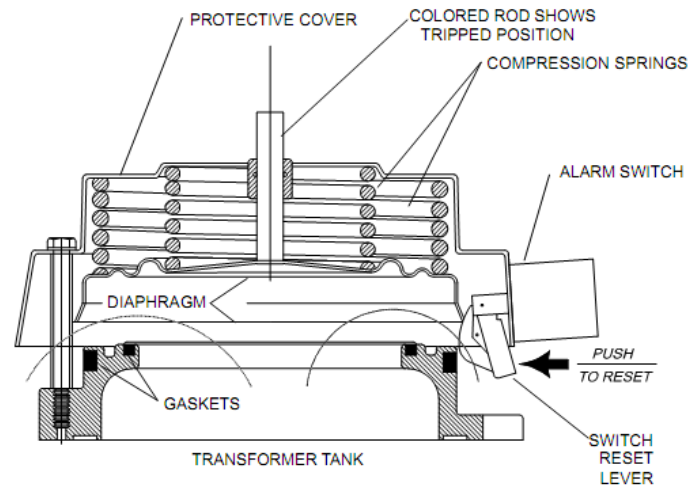
อุปกรณ์นี้เป็นอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญที่สุดท้ายของหม้อแปลงแบบน้ำมันเมื่อเกิดแรงดันเกิน ภายในถึงหม้อแปลงที่เกิดจากการช็อตเซอร์กิต, จะทำให้น้ำมันแตกตัวเป็นก๊าซปริมาณมากมายมหาศาลทันทีทันใด PRD จะต้องทำงานทันทีจากรูปที่ 23 ถ้าไม่ทำงานทันทีที่จะระบายแรงดันที่เกิดขึ้นภายในไม่กี่วินาทีตัวถังหม้อแปลงอาจทนแรงดันไม่ได้ตัวถังจะระเบิดออกมาและจะมีไฟลุกท่วมจากน้ำมันเป็นบริเวณกว้างได้

ภาพที่ 23



ข้อควรระวัง ห้ามทาหรือพ่นสีที่ตัวอุปกรณ์ PRD โดยเด็ดขาดเพราะว่าสีจะทำให้กระเบื้องยกหรือแกนกระทู้งผิดปกติไม่คล่องตัว หมายถึงการทำงานจะผิดพลาดอาจต้องใช้แรงดันมากกว่ากำหนด เป็นอุปสรรคในการระบายแรงดันออกจากตัวถังหม้อแปลงขณะเกิดปัญหา และให้สังเกตุด้านบนของตัว PRD จะมีตัวชี้สถานะการทำงานเป็นก้านหมุนกระดกขึ้นเมื่อ PRD ทำงานจะมีสีที่เห็นได้ชัดเจน(มักมีสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน)ซึ่งตัวชี้นี้จะทำงานโดยมีจุดหมุนจะรับแรงกระแทกจากก้านกระทู้ง ถ้าพ่นสีจุดหมุนจะผิดปกติและสีจะเปลี่ยนไปมองเห็นได้ไม่ชัดเจน หากมีการพ่นสีไปแล้วควรเปลี่ยนใหม่หรือให้ช่างสีออกจนขึ้นส่วนต่างๆ สามารถขยับตัวได้คล่อง โดยการนำมาทดสอบแรงดันทำงานในห้องทดสอบว่าทำงานที่แรงดันกำหนดไว้

อุปกรณ์ PRD ตามภาพที่ 24 ประกอบด้วยสปริงกดแผ่นงานไดอะแฟรม (Compression spring) สปริงนี้จะกดงานไดอะแฟรมตามแรงที่กำหนดไว้ เมื่อแรงดันลดลงจะปิดลงตามเดิมจะยึดติดอยู่ระหว่างฝาครอบ (Protective cover) กับแผ่นงานเพื่อถอดงานไว้กับซีลตลอดเวลา ส่วนฐานของ PRD จะยึดติดกับด้านบนฝาถังหม้อแปลงที่ทำช่องระบายน้ำมันไว้ ถ้าแรงดันน้ำมันเกินกำหนดแผ่นงานจะยกตัวขึ้นเปิดช่องน้ำมันให้ไหลออกช่องนี้ เมื่อแรงดันลดลงแผ่นงาน ก็จะปิดลงตามเดิม ภายหลังจากตัว PRD ทำงานไปแล้วตัวก้านชี้สถานะจะถูกยกค้างไว้ให้สังเกตเห็นได้ง่าย (จะมีสีเหลืองสดสำหรับน้ำมันหม้อแปลง ส่วนสีน้ำเงินสดจะใช้สำหรับน้ำมันซิลิโคน) ก้านนี้จะโผล่พ้นจากตำแหน่งเดิม(ด้านบนฝา)ประมาณ 2 นิ้ว เมื่อต้องการรีเซ็ต (Reset) ให้กดก้านลงจนระดับเสมอกับฝาครอบ PRD และต้องทำการรีเซ็ตสวิตช์ด้วยโดยการดันเข้าด้านในตามภาพประกอบที่ 24



ภาพที่ 24

ข้อควรระวัง สกรูที่ขันตัว PRD ติดบนฝาถังควรขันให้แน่น ไม่ควรปล่อยให้สกรูขันฝาครอบกับฐานหลวมควรศึกษาจากคู่มือและให้ปฏิบัติตามอย่างระมัดระวังเพราะสกรูนี้จะเป็นตัวตั้งแรงกดแผ่นงานและรับแรงดันของสปริงตลอดเวลา

## การตรวจสอบประจำปี

หากมี Fault เกิดขึ้นควรตรวจสอบทันทีโดยดูจากตัวชี้สถานะว่าทำงานหรือไม่ ถ้า PRD ทำงานควรมีการทดสอบค่าต่างๆของหม้อแปลง ว่าสถานะยังคงใช้งานต่อได้ ไม่ควรจ่ายไฟเข้าหม้อแปลงซ้ำโดยไม่ได้รับการทดสอบก่อน หากหม้อแปลงสามารถใช้งานตามปกติควรมีการทดสอบ Contact switch ปีละครั้ง โดยการดึงก้านรีเซ็ตสวิตช์ออกมาด้านนอกเมื่อได้ยินเสียงคลิกแสดงว่าสวิตช์อยู่ในตำแหน่งที่ทำงานให้ตรวจสอบขั้วสวิตช์วัดค่า Contact resistance บันทึกค่าไว้ และส่งสัญญาณไปที่ชุด Annunciator Indicator แสดงผลถูกต้องหรือไม่ แล้วทำการรีเซ็ตสวิตช์โดยการผลักก้านเข้าด้านในจนมีเสียงคลิกแสดงว่าสวิตช์ถูกรีเซ็ตเรียบร้อยแล้วพร้อมใช้งาน

## การตรวจสอบทุก 3 ถึง 5 ปี

เนื่องจากการตรวจเช็ค PRD ต้องถอดออกมาตรวจเช็คระหว่างแผ่นไดอะแฟรมกับซิลภายใต้แรงดันมีการรั่วซึมอาจเกิดจากซิลเสื่อมสภาพและทดสอบว่า PRD ยังทำงานตามที่แรงดันกำหนดไว้ ดังนั้นในช่วงเวลาที่เหมาะสมคือเมื่อมีการกรองน้ำมันหรือเปลี่ยนน้ำมันหม้อแปลง ในช่วงบำรุงรักษาหม้อแปลง ก่อนที่จะทำการลดระดับน้ำมันควรขึ้นไปบนฝาถังหม้อแปลงและตรวจสอบดูรอบๆ อุปกรณ์ PRD ด้วยว่ามีร่องรอยรั่วซึมของน้ำมันที่บริเวณประเก็นส่วนที่ติดกับฝาถังหรือบริเวณแผ่นไดอะแฟรมให้ทำการเปลี่ยนซิลทั้งหมด แต่ถ้าตัว PRD มีอายุการใช้งานมาแล้ว 30 ปีควรเปลี่ยน PRD ใหม่ทั้งตัว ควรดูคู่มือของหม้อแปลงว่าระบุให้ใช้ PRD ขนาดแรงดันที่เท่าไร เพื่อกันไม่ให้ใช้แรงดันเกิน อาจทำให้ถังหม้อแปลงเสียหายได้

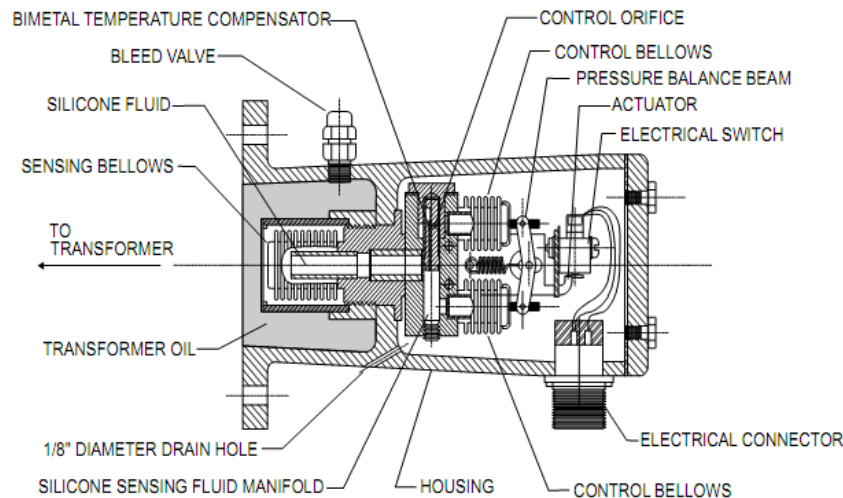
### 3.4. การตรวจสอบ Rapid Pressure Rise Relay (RPRR)

หม้อแปลงขนาดใหญ่เมื่อเวลาเกิดปัญหาเนื่องจากการอาร์คในน้ำมันจะทำให้ก๊าซแตกตัวในปริมาณมากมหาศาลแรงดันนี้จะสร้างปัญหาให้กับตัวถังหม้อแปลงจะทำให้น้ำมันพุ่งออกมาและติดไฟลุกไหม้ในพื้นที่บริเวณกว้าง ทำให้อุปกรณ์อื่นที่ติดตั้งอยู่ใกล้เคียงเสียหายและจะเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานด้วย จึงจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ RPRR ตามรูปที่ 25 เพื่อป้องกันไม่ให้ถังหม้อแปลงชำรุดเสียหาย

ภาพที่ 25



อุปกรณ์ RPRR นี้จะทำหน้าที่ตรวจจับแรงดันที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วอันเนื่องจากสาเหตุของการอาร์คภายในหม้อแปลงจะติดตั้งไว้ให้ทำงานก่อน PRD ไปทำการตัดไฟออกจากหม้อแปลงในช่วงเวลาหม้อแปลงทำงานปรกติจะมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันภายในถึงเช่นจากแรงดันของ Oil pump หรือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เป็นต้นแรงดันดังกล่าวมีอัตราการเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลงอย่างช้าๆ ตัว RPRR จะไม่ทำงานแต่ถ้าแรงดันเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันถึงจะทำงาน



ภาพที่ 26

ส่วนประกอบของ RPR ตามภาพที่ 26 จะมีกระบอกลูกฟูก(Bellows) อยู่ 3 ชุด กระบอกตัวรับแรงดันจะยืด-หด ตามแรงดันในถังหม้อแปลง ภายในกระบอกตัวที่ต่อกับแรงดันน้ำมันหม้อแปลงจะรับแรงแล้วจะเคลื่อนตัวมากดซิลิโคนเหลวผ่านท่อซิลิโคนไปที่ลูกฟูก 2 ตัวด้านบนและด้านหนึ่งมี Bimetal temperature compensator ที่ช่องด้านบนตัวกระบอกลูกฟูกก็จะยืดตัวไปผลักหรือดึงก้านกระเดื่องให้เปิดช่องน้ำมันมากหรือน้อยตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงส่วนอีกด้านหนึ่งเป็นช่องเปิดกว้างเพื่อรองรับแรงดันน้ำมันที่เปลี่ยนแปลงกระทันหัน ดังนั้นการเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันอย่างช้าๆระยะการยืดตัวของกระบอกลูกฟูกจะใกล้เคียงกัน ก้านbalance จะไม่สั่งให้สวิตช์ทำงานแต่ถ้าเกิดแรงดันขึ้นอย่างรวดเร็วซิลิโคนเหลวจะไหลไปทางด้านกระบอกที่เปิดช่องกว้างกว่าทำให้การยืดตัวมากกว่าไปผลักก้านBalance ให้สวิตช์ทำงาน เมื่อแรงดัน Balance แล้วปริมาณเหลวซิลิโคนจะไหล Balance กัน ทั้ง 2 กระบอก ก้านกระเดื่องจะถอยกลับมาในตำแหน่งเดิม (เท่ากัน) ทำให้ก้านกระเดื่องไม่กดกับสวิตช์ RPR นี้จะรีเซ็ตตัวเองเมื่อแรงดันไม่เปลี่ยนแปลง ในกรณีที่รีเลย์ตัวนี้ทำงานจะสั่งตัดไฟออกจากหม้อแปลง ห้ามจ่ายไฟเข้าหม้อแปลงจนกว่าจะหาสาเหตุพบและแก้ไขเรียบร้อยแล้วจึงป้อนไฟเข้าหม้อแปลงใหม่ได้

## การตรวจสอบทุก 3 ถึง 5 ปี

อุปกรณ์ RPRR ควรทดสอบตามคู่มือของผู้ผลิตและอุปกรณ์ในการตรวจสอบจะประกอบด้วย บั้มลูกลยาง, ท่อยางและ Pressure gauge 5 psi. ตามรูปที่ 27 ก่อนตรวจสอบให้ยกเลิกสัญญาณสั่ง Trip, ใช้ Ohmmeter วัด Contact switch แล้วต่อท่อยางเข้าที่ท่อสำหรับป้อนแรงดัน (ให้ดูคู่มือผู้ผลิตประกอบ) จากนั้นให้บีบบั้มลูกลยางโดยทำ 2 ครั้ง ๆแรกให้ค่อย ๆ บั้มลมเข้าไปช้า ๆ Contact switch จะไม่ทำงาน ครั้งที่สองให้บีบบั้มอากาศเข้าอย่างรวดเร็ว Contact switch จะต้องทำงาน ในขณะเดียวกันให้ตรวจสอบด้วยว่า สัญญาณที่ Annunciator แสดงสถานะได้ถูกต้อง ถ้าเป็นไปได้ให้ต่อสัญญาณ Trip เข้า Breaker switch ว่าสามารถสั่งตัดไฟออกจากหม้อแปลงเท่ากับว่าเป็นการตรวจสอบทั้งระบบ



ภาพที่ 27

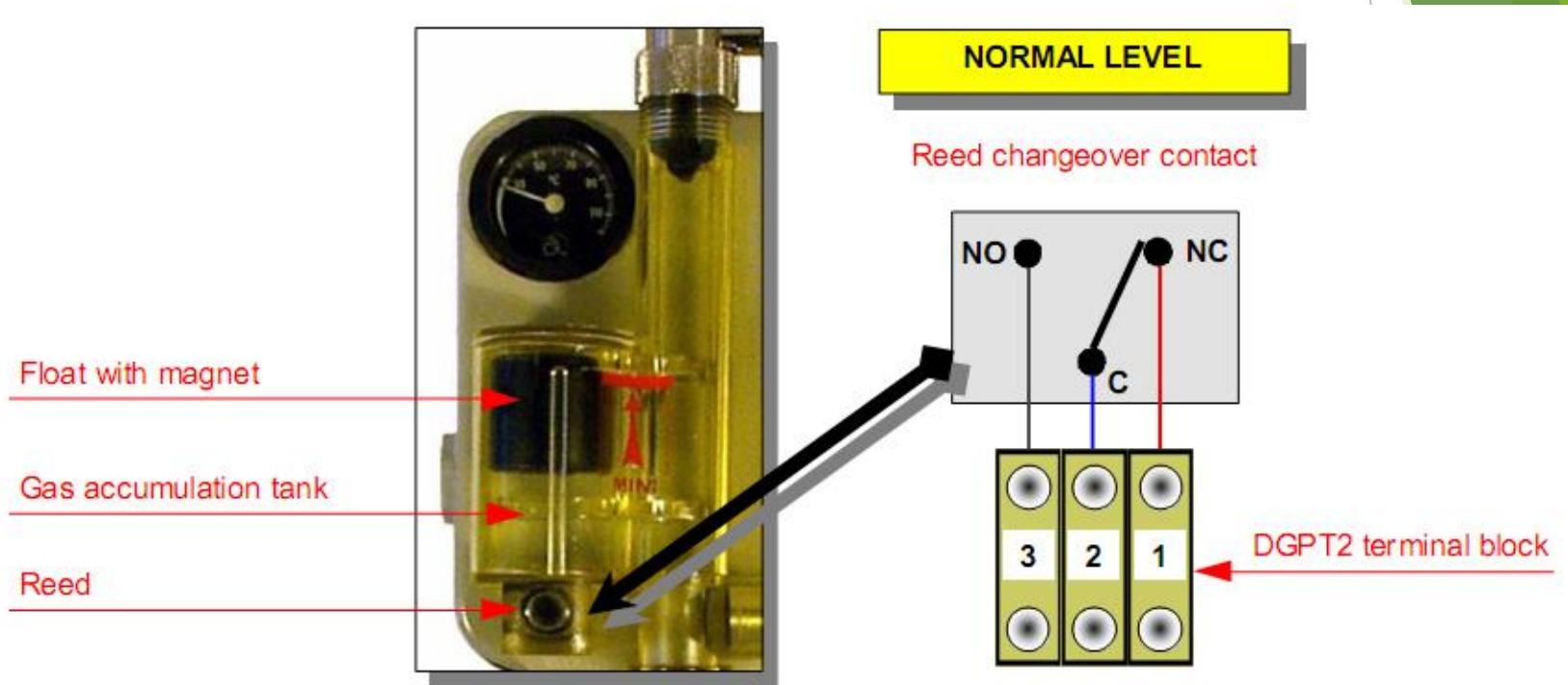
### 3.5. การตรวจสอบ DGPT2 Combination protection device

หม้อแปลงที่ใช้ในเครือข่ายกระแสไฟฟ้าระบบจำหน่าย (Electrical Distribution Network) ซึ่งมีหน้าที่จ่ายกระแสไฟให้กับผู้ใช้ไฟต่างๆ จึงจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ ป้องกันเพื่อจุดประสงค์ดังนี้

- 3.5.1. โดยทั่วไปหม้อแปลงจะติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันด้านไพรมารี เพื่อป้องกันความผิดปกติที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรงทางไพรมารี
- 3.5.2. จะทำการตัดไฟออกจากหม้อแปลงในกรณีที่ด้านเซคันดารี ใช้กระแสเกินหรือเกิดความผิดปกติจนทำให้อุณหภูมิหม้อแปลงสูงเกินจากที่ได้ออกแบบไว้
- 3.5.3. หน้าที่ของอุปกรณ์นี้มีหน้าที่คือ Discharge of Gas - Pressure of tank – Thermometer ≥ set point (DGPT2)
- 3.5.4. DGPT2 เป็นอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้กับหม้อแปลงแบบปิดผนึก (Fully filled หรือแบบ Hermatically sealed) จะประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจจับดังนี้ :-

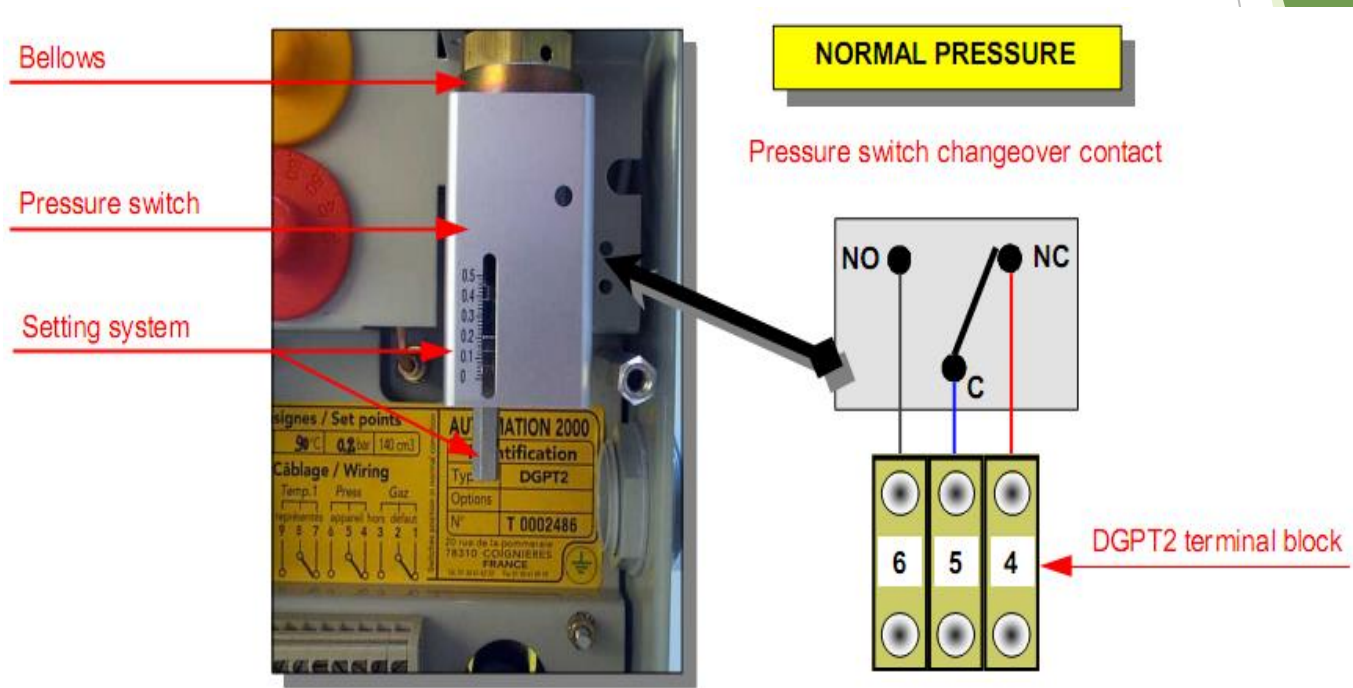


3.5.4.1. ตรวจจับก๊าซหรือการลดระดับน้ำมัน (Discharge of Gas or Significant drop in level) เป็นการตรวจจับก๊าซที่เกิดขึ้นจากปัญหาทางด้านไฟฟ้า รวมทั้งการเกิด Partial Discharge ของฉนวนที่ทำให้เกิดก๊าซที่ละน้อยมาสะสมรวมตัวกันอย่างช้าๆ ส่วนอีกหน้าที่ถ้าในกรณีที่เกิดการรั่วซึมของน้ำมันระดับน้ำมันลดลง



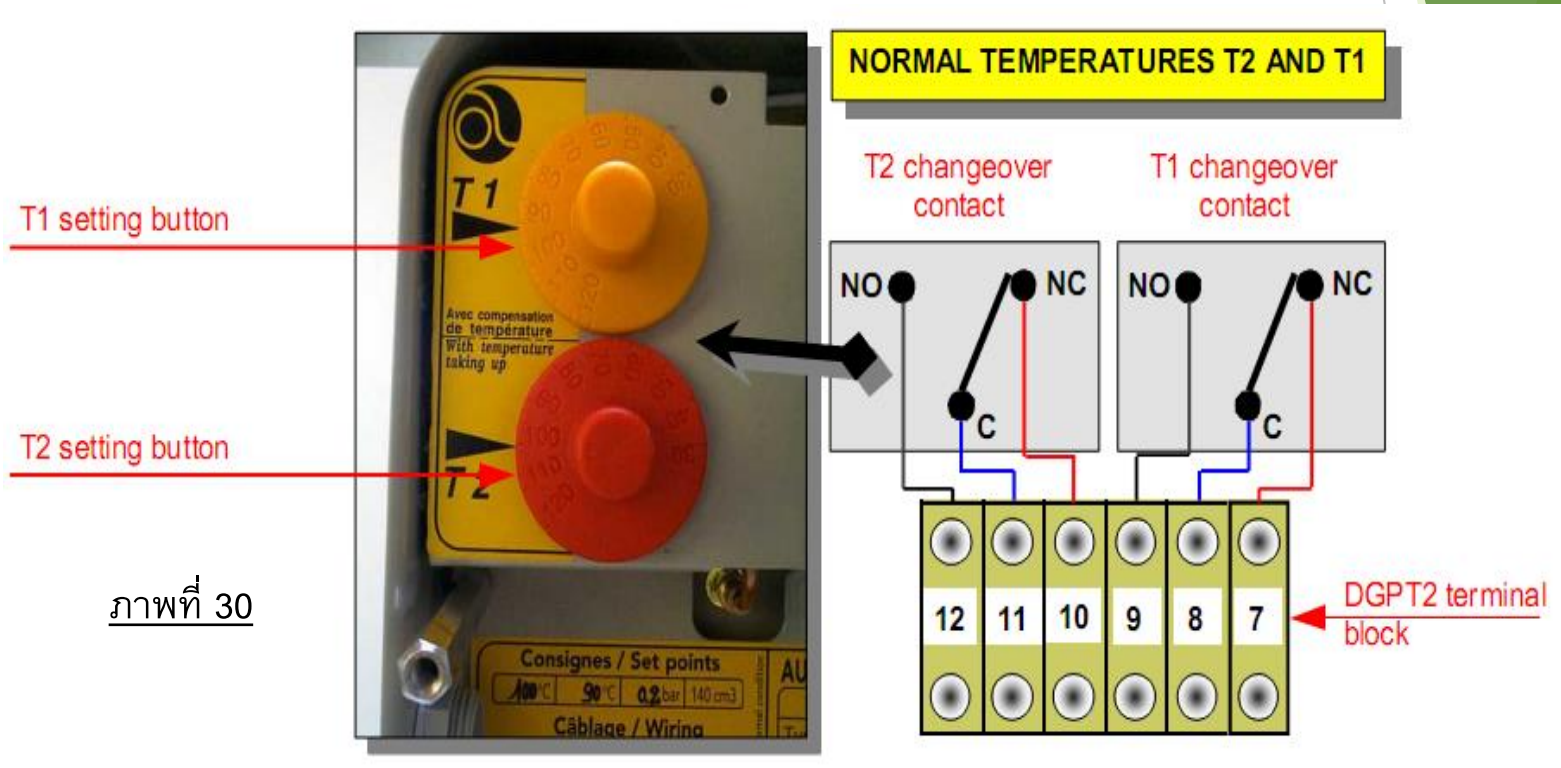
ภาพที่ 28

3.5.4.2 ตรวจจับแรงดันน้ำมันในถัง (Tank Pressure) ในขณะที่หม้อแปลงเกิดการช็อตขึ้นภายในหม้อแปลง จากการอาร์คทำให้น้ำมันแตกตัวขยายปริมาณมากและถังหม้อแปลงปิดผนึกหมด ไม่มีทางออก สิ่งที่สำคัญถึงคือต้องไม่ให้น้ำมันหม้อแปลงระเบิดออกมาด้านนอกจะเป็นอันตรายมากจึงต้องใช้อุปกรณ์นี้เพื่อตัดไฟออกจากหม้อแปลง ตามรูป 29



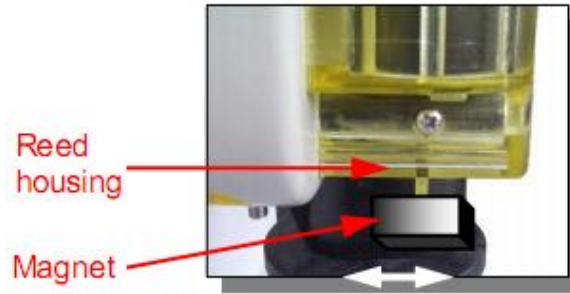
ภาพที่ 29

3.5.4.3. ตรวจจับอุณหภูมิน้ำมัน (Oil Temperature) จากภาพที่ 30 อุณหภูมิน้ำมันหม้อแปลงเกิดจากการใช้งานขณะจ่ายโหลดหรือจากการเกิดข้อผิดพลาดภายในหม้อแปลง Contact switch ของ Thermometer สามารถตั้งค่าได้ 2 ตำแหน่ง



ภาพที่ 30

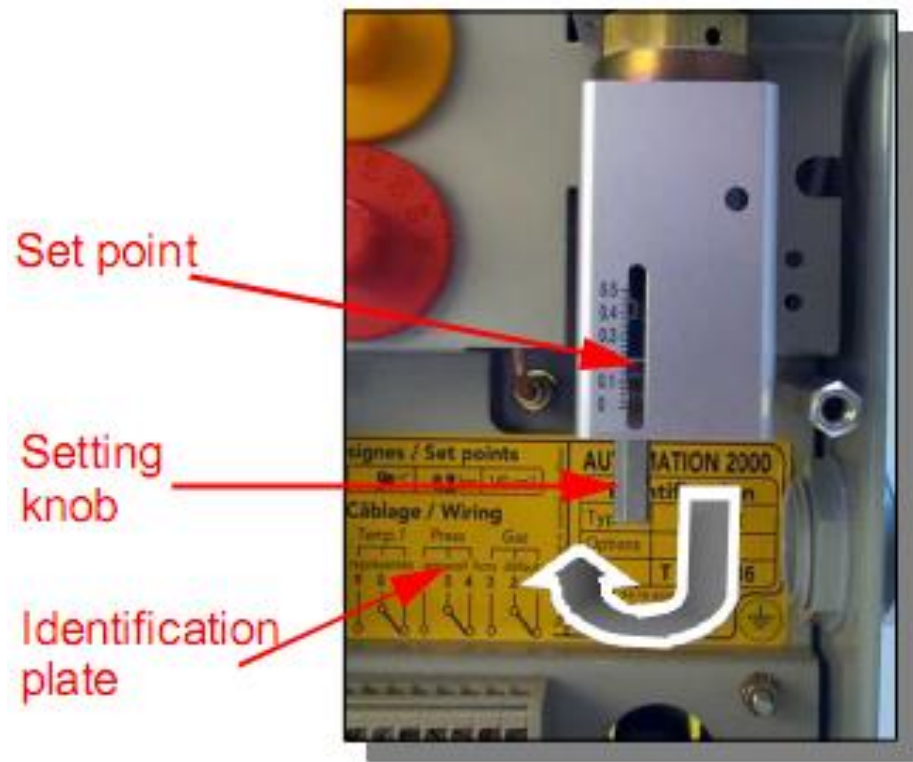
3.5.4.4. การตรวจสอบ DGPT2 ตามปรกติแล้วอุปกรณ์ชนิดนี้ไม่ต้องการบำรุงรักษาที่พิเศษ เพียงแต่เป็นการตรวจเช็คธรรมดา, การทำความสะอาดซึ่งจุดต่างๆที่ควรตรวจสอบดังนี้



ภาพที่ 31

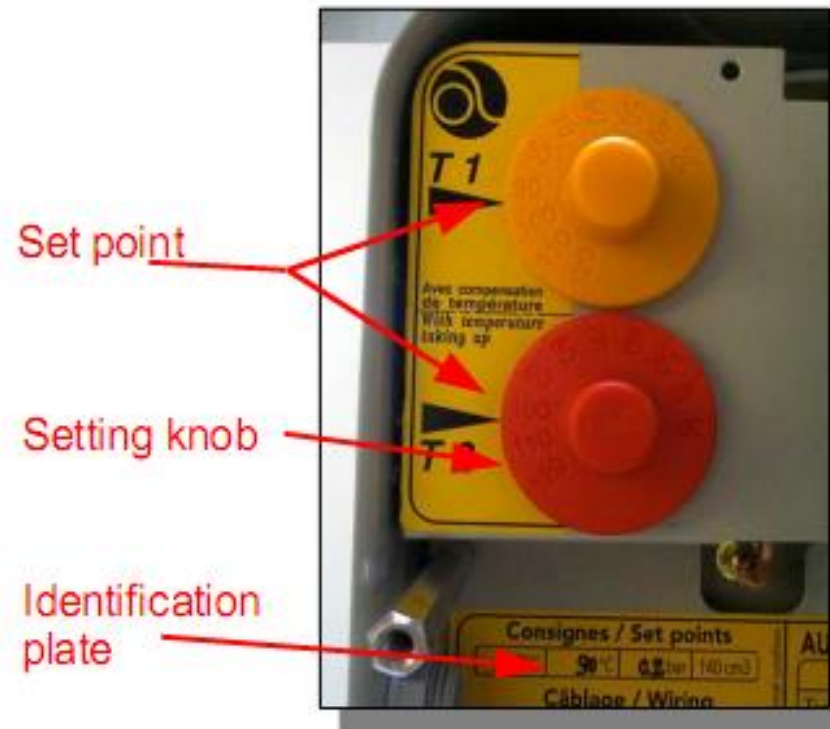
- 3.5.4.4.1. ตัวกระบอกใสของระดับน้ำมัน (Transparent Body) ภายหลังจากการใช้งานไปนานๆ สภาวะแวดล้อมอาจมีฝุ่นหรือคราบมาจับที่ตัวกระบอกใสควรทำความสะอาดให้สามารถมองดูระดับน้ำมันได้ ห้ามใช้แอลกอฮอล์ล้างโดยเด็ดขาด จะทำให้ผิวขุ่นมัวได้
- 3.5.4.4.2. การตรวจสอบระดับน้ำมัน(Oil Level)ให้ตรวจดูว่าลูกลอยเคลื่อนตัวขึ้นลงตามอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิใช้งานขณะจ่ายโหลด ถ้าการเคลื่อนตัว ขึ้น-ลง เล็กน้อย ก็ไม่จำเป็นต้องเติมน้ำมัน แต่ถ้าระดับน้ำมันลดต่ำลงมามากๆจน Gas Discharge switch ทำงานควรเก็บตัวอย่างก๊าซไปทดสอบ DGA.
- 3.5.4.4.3 การตรวจเช็คประจำปี ควรตรวจเช็คการทำงานของ Contact switch และจุด Set point ต่างๆทำดังนี้
  - 3.5.4.4.3.1 การเช็ค Reed contact switch โดยการใช้แม่เหล็กถาวรมาแตะที่ตำแหน่งใต้ Reed switch แล้วใช้ Ohmmeter วัดที่ขั้ว Contact ว่าทำงานปรกติ ตามภาพที่ 31

3.5.4.4.3.2. การเช็ค Pressure switch ก่อนทำการเช็คให้จดบันทึกค่าที่ตั้ง Pressure ไว้ แล้วให้เลื่อนปุ่มปรับตั้งค่ามาที่เข็มแสดง Pressure ในถังให้อยู่ระดับเดียวกันจน Contact switch ทำงานจากการใช้ Ohmmeter วัดค่าได้ จากนั้นให้ปรับค่าตั้งไว้ที่ค่าเดิม ตามภาพที่ 32



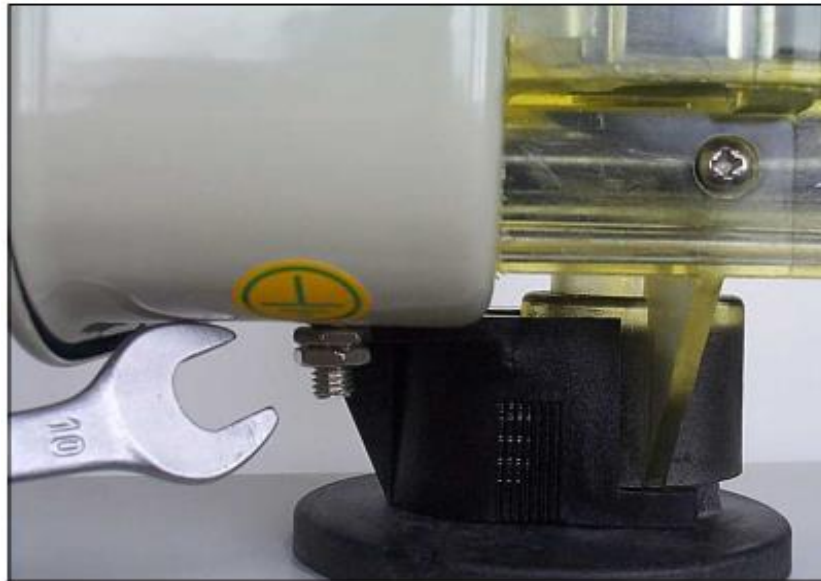
ภาพที่ 32

3.5.4.4.3.3. การเซ็ท Thermometer switch T1 & T2 ให้บันทึกค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ทั้ง T1 & T2 จากนั้นให้หมุนปุ่มตั้งค่ามาที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $30^{\circ}\text{C}$  แล้วใช้ Ohmmeter วัดค่าความต้านทาน Contact switch ตามภาพที่ 33



ภาพที่ 33

3.5.4.4.3.4. การต่อลงกราวด์ ตัวกล่องโลหะควรต่อลงกราวด์ให้ตรวจสอบสายให้แน่น, ไม่ขาด, จุดต่อสะอาด ตามภาพที่ 34



Unscrew the two nuts on the earth screw of the housing by approximately 5 mm.

ภาพที่ 34

#### 4. การตรวจสอบรอยรั่วซึมหม้อแปลง (Transformer oil leak check)

หม้อแปลงที่ใช้ฉนวนน้ำมัน ควรระวังเรื่องของการรั่วซึมของน้ำมันเพราะการรั่วจะทำให้สาเหตุอื่นตามมาซึ่งไม่เป็นผลดีกับหม้อแปลง น้ำมันหม้อแปลงเปรียบเสมือนเลือดที่หล่อเลี้ยงร่างกายของคนดังนั้นจึงควรมีการดูแลฉนวนน้ำมันอย่างมีระบบและการรั่วก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หม้อแปลงเสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควร หม้อแปลงที่มีขนาดใหญ่ที่บริเวณรอบฐานหม้อแปลงจะต้องมีบ่อรองรับน้ำมันหม้อแปลงในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุเพราะน้ำมันหม้อแปลงสามารถติดไฟได้และทำลายสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในการบำรุงรักษาหม้อแปลงการตรวจสอบรอยรั่วซึมควรทำการสำรวจและแก้ไขเมื่อพบปัญหาการรั่วไม่ควรปล่อยทิ้งไว้ ตามภาพที่ 35



ภาพที่ 35 อุบัติเหตุที่เกิดจากถังหม้อแปลงเสียหาย



หม้อแปลงในขณะที่จ่ายโหลดอยู่จะมีอุณหภูมิสูงน้ำมันขยายตัวและความหนืดของน้ำมันจะน้อยทำให้สามารถแทรกตัวเข้าพื้นที่ๆเป็นรอยแตกของแนวเชื่อมได้ง่ายจึงเป็นเหตุให้รอยรั่วซึมจะพบได้ภายหลังการใช้งานไปแล้วไม่น้อยกว่า 1 เดือนแล้วแต่ร่องรอยแตกและระยะทางที่น้ำมันจะเดินทางออกมาให้เห็น ตามภาพที่ 36 เมื่ออุณหภูมิเย็นลงแรงดันลดลงอาจทำให้ความชื้นภายนอกแทรกเข้าไปในเนื่อน้ำมันน้ำมันก็จะค่อยๆ สะสมความชื้นไว้และไหลวนไประบายความร้อนที่ขดลวดและกระดาษฉนวน กระดาษฉนวนก็จะเก็บความชื้นไว้เมื่อระยะเวลาผ่านไปสภาพเนื่อกระดาษจะค่อยๆถูกทำลายไปจนเสื่อมสภาพของเสียที่กระดาษถูกทำลายก็จะปะปนอยู่ในน้ำมันซึ่งจะหมุนเวียนไปทั่วหม้อแปลง จะมาเคลือบตามผิวของคอยล์และแกนเหล็กซึ่งที่เป็นของเสียเหล่านี้จะเป็นฉนวนของการระบายความร้อนทำให้การระบายความร้อนของคอยล์และแกนเหล็กไม่สมบูรณ์จึงเกิดความร้อนสะสมขึ้นทำให้หม้อแปลงร้อนขึ้นอายุการใช้งานของหม้อแปลงก็จะสั้นลงด้วย สาเหตุต่างๆที่พบจากการรั่วซึมที่พบบ่อย ดังนี้

4.1. บริเวณขอบปากถังหม้อแปลง สาเหตุจากฝาถังกับปากถังไม่สามารถกดซีลได้สนิทจึงไม่สามารถทนแรงดันของน้ำมันภายในได้อาจเกิดจากซีลเสื่อมสภาพ, สกรูฝาถังขันไม่แน่นหรือฝาถังและขอบปากถังไม่เรียบโก่งงอ, หรือการประกอบ Active part สูงเกินไปทำให้ฝาถังโก่งงอ, โครงสร้างฝาและขอบปากถังไม่แข็งแรงพอที่จะขันบีบซีลให้แน่นได้ เป็นต้น



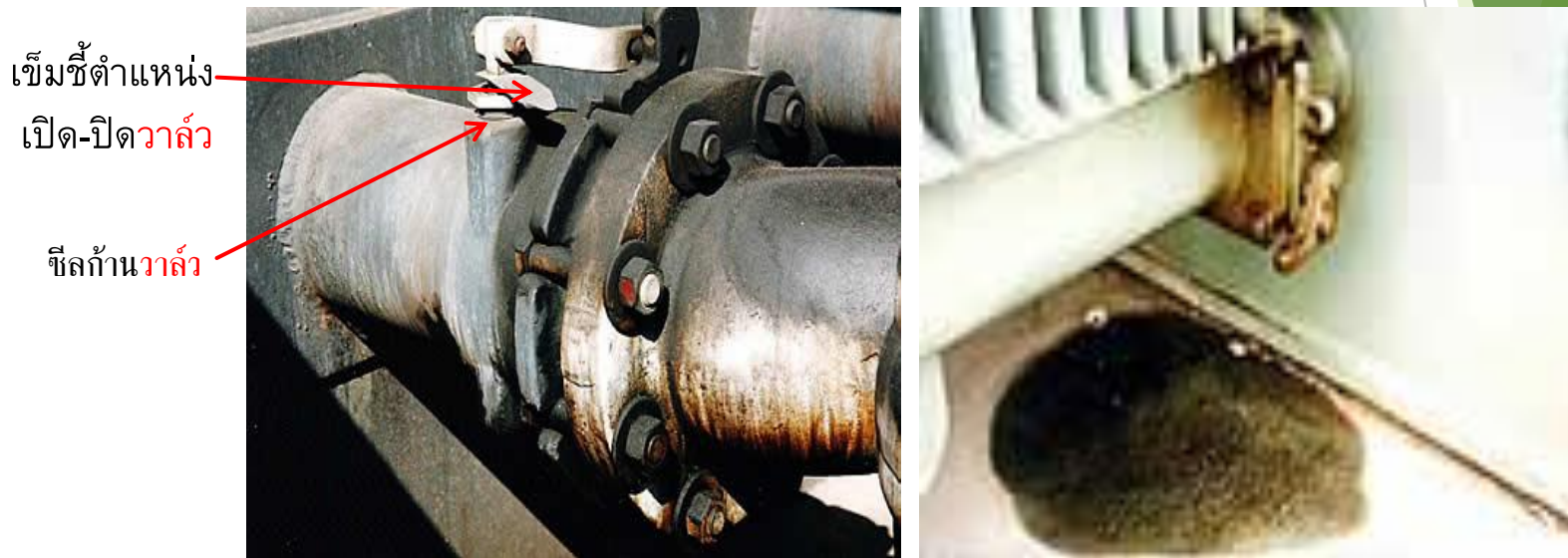
ภาพที่ 36

4.2. บริเวณครีบบระบายความร้อน สาเหตุจากการเชื่อมหรือ Seam welding ไม่สมบูรณ์ ตามภาพที่ 37 แนวเชื่อมในการประกอบติดกับท่อครีบ, ระหว่างแผ่นครีบที่แนว Seam ไม่ต่อเนื่องหรือแนวแตก ถ้าเป็นแบบ Corrugate เกิดจากแนวเชื่อมไม่แข็งแรง หรือการบิดตัวของถังในขณะยก(โดยปรกติแล้วการระบายความร้อนแบบนี้จะใช้ตัวถังขึ้นรูปเป็นลูกฟูกเหล็กจะบางไม่แข็งแรง)



ภาพที่ 37

4.3. บริเวณวาล์วท่อครีป สาเหตุโดยมากมาจากซีล เนื่องจากวาล์วครีปจะถูกประกบด้วยหน้าแปลนท่อครีปทั้งทางด้านถังและตัวครีปขณะผลิตอาจไม่ขนานกันจึงทำให้การกดซีลไม่เท่ากันโดยรอบหรืออาจเกิดจากการผูกרון รวมทั้งการประกอบกรงชั้นสกรู หน้าแปลนวาล์วไม่ขันทแยงมุมถ้าขันด้านใดด้านหนึ่งก่อนจะทำให้เอียงไม่สามารถกดซีลได้เต็มหน้าแปลน อีกจุดหนึ่งคือซีลก้านบิตวาล์ว ในขณะที่ตรวจรอยรั่วซีมของวาล์วครีปควรตรวจด้วยว่าวาล์วครีปได้เปิดทุกตัวไม่ควรปิดขณะใช้งาน ให้ดูรูปที่ 38



ภาพที่ 38

4.4. บริเวณตัวถังหม้อแปลง (Main Tank) สาเหตุมาจากแนวเชื่อมเป็นส่วนใหญ่ ตัวถังจะประกอบขึ้นจากเหล็กแผ่นมาต่อชนกันแล้วเชื่อมตามภาพที่ 39 และอุปกรณ์ที่เสริมความแข็งแรงตัวถังจะต้องเชื่อมยึดติดกัน ดังนั้นแนวเชื่อมจึงจำเป็นต้องไม่มีรอยแตก และสามารถทนแรงดันได้ไม่ต่ำกว่า 10 psi. เนื่องจากว่าถ้าถังมีความสูงมากกว่า 2.0 เมตรขึ้นไปในบริเวณก้นถังจะมีแรงดันถึง 10 psi. โดยประมาณ



ภาพที่ 39

4.5. บริเวณเตรนวาล์ว (Drain valve) เตรนวาล์วจะเป็นจุดที่ต่ำสุดของถังมีหน้าที่ปล่อยน้ำมันออกจากตัวถังให้หมดเมื่อต้องการซ่อมสาเหตุโดยมากมาจากการประกอบชิ้นไม่แน่นแต่สาเหตุที่พบส่วนใหญ่มาจากการเก็บตัวอย่างน้ำมันขณะทำการบำรุงรักษาเพราะต้องขันปลั๊กอุดวาล์วก่อนที่จะเก็บตัวอย่างการขันปลั๊กอุดควรจับยึดที่ตัววาล์วไม่ให้ขยับตัวจากท่อเตรนที่เชื่อมติดกับตัวถังถ้าออกแรงบิดปลั๊กอุดโดยไม่จับตัววาล์วไว้จะเกิดแรงบิดที่ท่อเตรนด้วยแนวเชื่อมอาจแตกได้



ภาพที่ 40

4.6. บริเวณบนฝาถัง เนื่องจากด้านบนฝาถังหม้อแปลงจะมีอุปกรณ์ติดตั้งอยู่เป็นจำนวนมากได้แก่ ลูกถ้วยแรงสูง,แรงต่ำ, แท๊ป, PRD เป็นต้น สาเหตุส่วนมากเกิดจากการเสื่อมสภาพของซีล ตามภาพที่ 41 เมื่อพบปัญหาที่เกี่ยวกับซีลควรเปลี่ยนทั้งชุด ไม่ควรขันกดให้แน่นขึ้นแล้วใช้งานต่อไป เพราะซีลที่เกิดการรั่วอาจเนื่องจากความร้อนหรือตัวเนื้อวัสดุที่ใช้แข็งตัวไม่ยืดหยุ่นจึงไม่ควรใช้ต่อ รอยรั่วซึมจะสังเกตได้จากคราบน้ำมันผสมกับฝุ่นจะมีคราบโดยรอบ ถ้าไม่แน่ใจว่าใช้รอยรั่วให้เช็ดบริเวณที่สงสัยให้สะอาดทิ้งไว้แล้วมาสำรวจอีกครั้งถ้ามีคราบน้ำมันแสดงว่ารั่ว



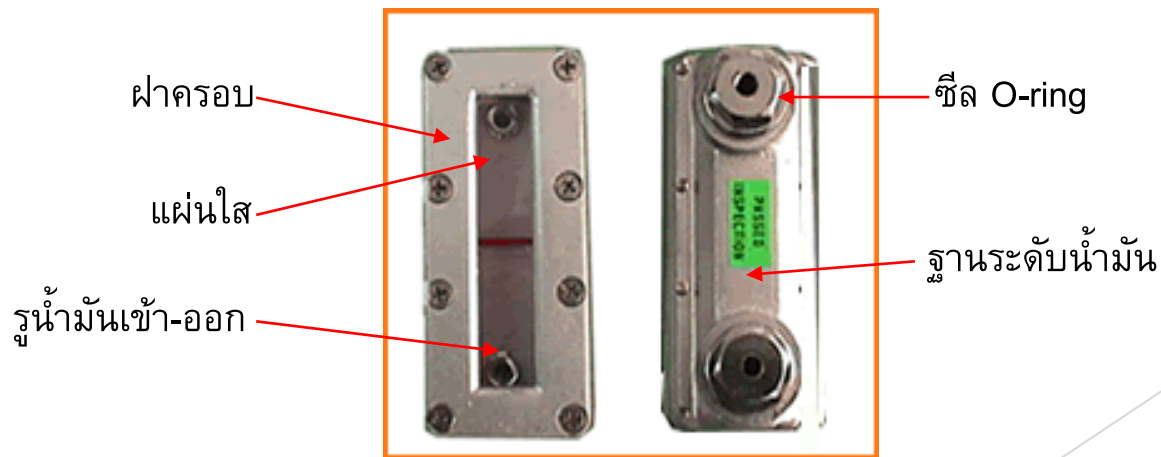
ลักษณะคราบน้ำมัน

ภาพที่ 41

## 5. การซ่อมอุปกรณ์ที่โรงงาน

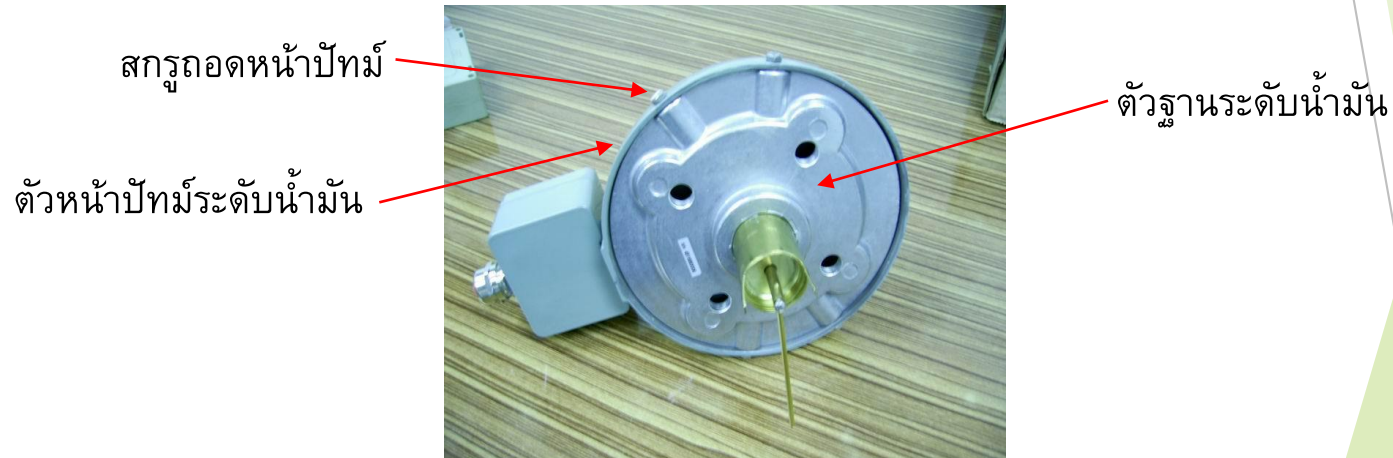
เมื่อพบปัญหาหรืออุปกรณ์ที่เสียหายการซ่อมที่สมบูรณ์ควรนำเข้าโรงงานผู้ผลิตซ่อมจะดีกว่าการซ่อมที่โรงงานแต่ในบางกรณีที่ไม่สามารถนำหม้อแปลงออกไปซ่อมที่โรงงานได้ จำเป็นที่จะต้องซ่อมโรงงานจะทำได้บางกรณีเท่านั้นไม่แนะนำว่าสามารถทำได้ทุกปัญหาที่เกิดขึ้น เช่น ซีลต่างๆ, แกนแรงต่ำ, ระดับน้ำมัน, ระบายออกซิลิกาเจล เป็นต้น

- 5.1. ระดับน้ำมัน ถ้าระดับน้ำมันรั่วถ้าเป็นแบบแท่ง ให้ลดระดับน้ำมันในถัง Conservator แล้วถอดแผ่นฝา ครอบด้านหน้าออกจะมีซีลระหว่างฐานกับแผ่นใส แล้วจึงถอดสกรูที่ยึดตัวฐานกับด้านข้างถึง Conservator ด้านบนและด้านล่างจะมี O-ring เมื่อเปลี่ยนแล้วประกอบกับเข้าที่เดิม ตามภาพที่ 42



ภาพที่ 42

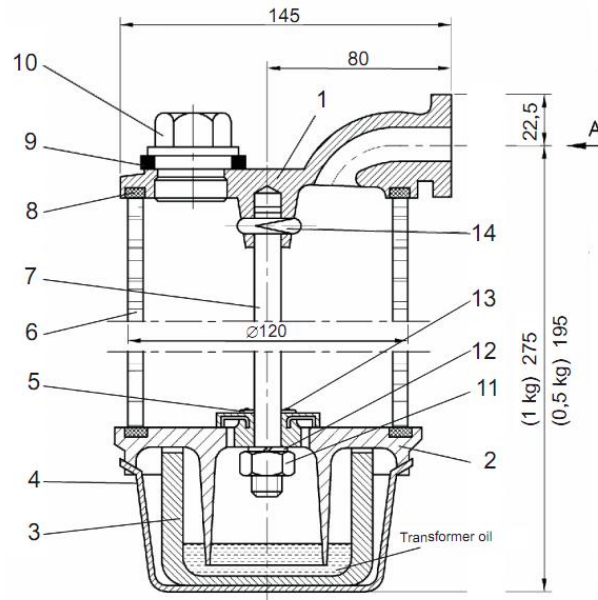
ส่วนระดับน้ำมันแบบหน้าปัทม์ ถ้าพบว่ารั่วที่ซีลหลังจากลดน้ำมันแล้วให้ถอดหน้าปัทม์ออกจากฐานที่ยึดติดกับ Conservator แล้วถอดตัวฐานออกเพื่อเปลี่ยนซีลชั้นฐานติดกลับที่เดิมจากนั้นจึงใส่ตัวหน้าปัทม์ตามเดิม ให้ดูภาพที่ 43



ภาพที่ 43

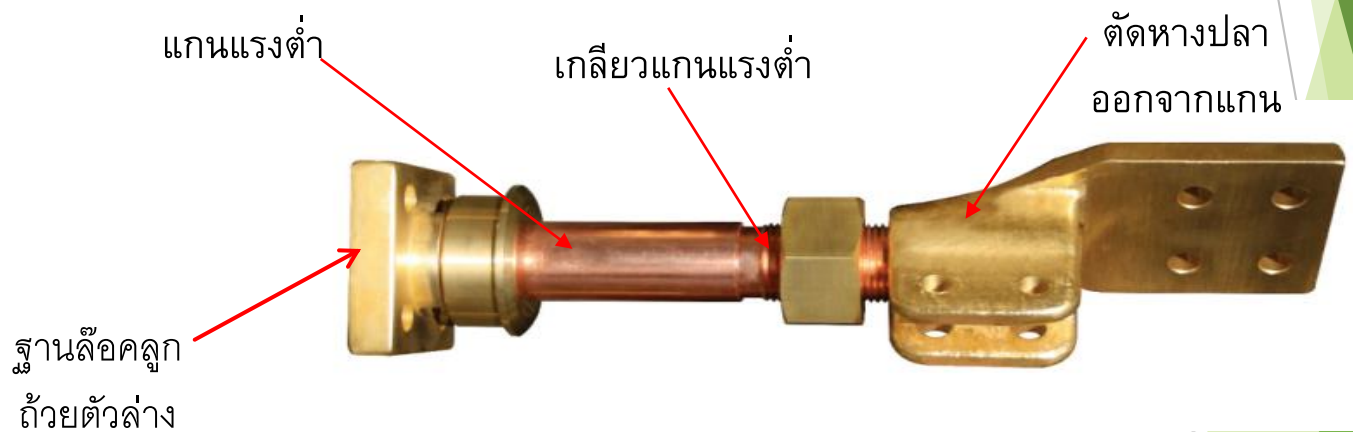


5.2. ครอบอกซิลิกาเยล ให้ดูภาพประกอบที่ 44 การเปลี่ยนซีลครอบอกซิลิกาเยลให้ทำการ ถอดเหล็กรัดด้วยน้ำมัน #4 และถ้วยดักอากาศ #3 ออก, ถอดปลั๊กอุด #10 ออกแล้วเท ผงซิลิกาเยลทิ้ง(แยกเป็นขยะสารมีพิษ) แล้วขันน็อต #11 ดึงฝาครอบด้านล่าง #2 ออก พร้อมครอบอกใส #6 จะเห็นซีลที่ฝาครอบด้านบนบน-ล่าง #8 ให้เปลี่ยนใหม่การประกอบ กลับให้ระวังจัดตำแหน่งให้ครอบอกใสอยู่ในตำแหน่งกดซีลพอดีจึงทำการขันน็อต #11 ให้แน่น จากนั้นเติมผงซิลิกาเยลลงในครอบอกปิดปลั๊กอุด(ควรเปลี่ยนซีล #9 ด้วย)ติดตั้ง ครอบอกซิลิกาเยลเข้ากับถัง Conservator โดยเปลี่ยนซีลหน้าแปลนด้วย แล้วเติมน้ำมัน หม้อแปลงลงในถ้วยดักอากาศ #3 ติดตั้งถ้วยด้วยเหล็กรัด #4 เมื่อติดตั้งเสร็จแล้วควร สังเกตดูฟองอากาศผ่านถ้วยดักอากาศด้วยถ้ามีแสดงว่าอากาศผ่านเข้า-ออกถูกต้อง



ภาพที่ 44

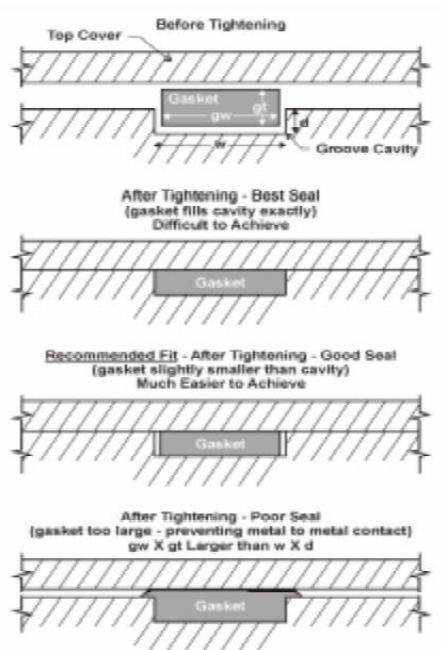
5.3. แขนหางปลา โดยมากมักจะมีปัญหาที่แกนแรงต่ำ ตามภาพที่ 45 เนื่องจากแกนแรงต่ำรับภาระกระแสสูงถ้าเกิดหลวมหรือสกรูปรกจากการเกิดสนิมทองเหลือง ซึ่งผลของอาการนี้จะทำการถอดหางปลาหรือขั้วต่อสายไม่สามารถถอดได้ควรใช้วิธีตัดหางปลาออกทิ้งควรระวังอย่าให้ถูกเกลียวแกนเสียหายเมื่อถอดหรือแกะหางปลาออกแล้วให้สำรวจว่าแกนยังคงสภาพที่จะใช้งานได้ดีให้แต่งเกลียวแกนแรงต่ำด้วยตะไบแต่งเกลียวแล้วทดลองใส่หางปลาจะต้องไม่หลวมคลอนมากสามารถขันหางปลาบีบแน่นได้ ถ้าแกนชำรุดควรเปลี่ยนแกนใหม่



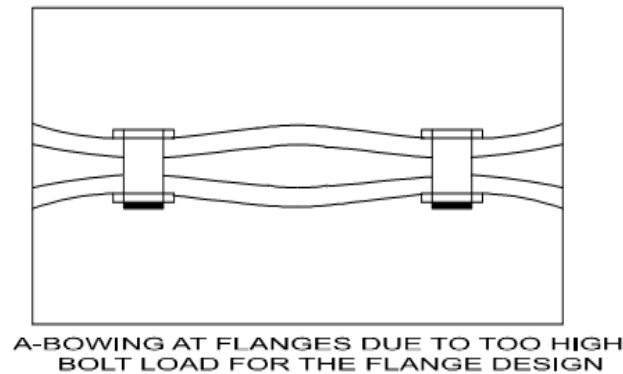
ภาพที่ 45

5.4. ประเก็นฝาถัง ตามภาพที่ 46 เมื่อมีการรื้อซ่อมหรือมีการเปิดฝาถังเพื่อซ่อมสิ่งใดก็ตาม ต้องเปลี่ยนประเก็นฝาถังใหม่ ประเก็นที่เปลี่ยนใหม่ควรตามขนาดเดิมเพราะ ผู้ออกแบบจะเผื่อพื้นที่ให้ซีลขยายตัวหรือยุบตัวตามที่ออกแบบไว้จะเต็มพื้นที่พอดีทำให้ประสิทธิภาพการซีลได้ตามที่ออกแบบไว้ การขันสกรูฝาถังไม่ควรขันแน่นจนเกินไป ทำให้ฝายุบตัว ดูภาพที่ 47 การกดซีลจะไม่เต็มตามความยาว ทำให้น้ำมันรั่วได้

ภาพที่ 46



ภาพที่ 47



## 6. การกรองหรือการเปลี่ยนฉนวนน้ำมัน (Oil Purified or Oil Change)

ฉนวนน้ำมันที่ใช้จะเสื่อมสภาพเองจากความชื้นที่มีในกระดาดฉนวนหรือความชื้นที่น้ำมันสัมผัสกับอากาศและความร้อนจากการใช้งาน ความชื้นบางส่วนจากการผลิตอบแห้งไม่หมดและน้ำมันที่สัมผัสอากาศจะมีความชื้น ความชื้นนี้จะไปสะสมที่กระดาดฉนวนเมื่อใช้งานมีความร้อนความชื้นก็จะออกมาปนอยู่ในน้ำมัน เมื่อน้ำมันมีน้ำปนอยู่ก็เกิดการ Oxidation ในเนื้อน้ำมันทำให้น้ำมันเสื่อมสภาพกลายเป็นของเสียน้ำมันเป็นตะกอนหรือเรียกว่า Sludge ทำให้สถานะแวดล้อมภายในหม้อแปลงเสียหาย เนื่องจากน้ำมันทำหน้าที่ระบายความร้อนที่คอยล์จะพาตะกอนนี้ไปเกาะอยู่ตามผิวของคอยล์ซึ่งร้อนอยู่ทำให้ตะกอนที่เคลือบนี้แข็งตัวและเป็นฉนวนความร้อนทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนลดลง ทำให้หม้อแปลงร้อนขึ้น จึงต้องมีการติดตามผลการทดสอบน้ำมันทุกปี ถ้าคุณภาพน้ำมันยังมีสภาพดีอยู่ภายใน 3 – 5 ปีควรมีการกรองน้ำมัน(ถึงแม้หม้อแปลงจะไม่ใช้งานน้ำมันก็จะเสื่อมสภาพได้เช่นกันเนื่องจากความชื้นที่มีอยู่ภายใน)

การกรองน้ำมันที่ถูกต้องควรใช้ความละเอียดของไส้กรองที่ 5 Micron จะสามารถกรองตะกอนหยาบๆ ได้บางส่วน การแวคคัมในถังควรทำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้เพราะน้ำหรือความชื้นจะแตกตัวระเหยออกจากน้ำมันได้ดีและความร้อนของน้ำมันควรมีอุณหภูมิ 60 - 70°C ในกรณีที่หม้อแปลงมีความชื้นสูงมากควรทำการกรองหมุนวนน้ำมันร้อน (Hot Oil Circulating) จนแกนเหล็กร้อนถึง 60 - 65°C อย่างน้อย 2 ชั่วโมงภายหลังอุณหภูมิหม้อแปลงถึง 60°C ถึงจะดึงความชื้นออกจากหม้อแปลงได้บางส่วน(ควรส่งเข้าอบในโรงงานจะได้ประสิทธิภาพดีกว่า)

ถ้าผลทดสอบของน้ำมันพบว่าการเสื่อมสภาพมากควรเปลี่ยนน้ำมันใหม่หรือทำการปรับสภาพน้ำมันใหม่ (Oil Reclaim) การเปลี่ยนน้ำมันใหม่จะผ่านการอบ Active part ด้วยทำให้แกนเหล็กและคอยล์แห้งความชื้นที่หลงเหลืออยู่น้อยลงใกล้เคียงกับหม้อแปลงใหม่ในกรณีที่กระดาษฉนวนยังมีสภาพดีอยู่แต่ถ้ากระดาษฉนวนเสื่อมสภาพแล้วควรพันคอยล์เปลี่ยนใหม่จะดีกว่า

## 7. การทดสอบหม้อแปลงภาคสนาม (Transformer Field Testing)

การทดสอบหม้อแปลงที่หน้างานจะเป็นการทดสอบ 2 แบบคือทดสอบทางไฟฟ้าและการทดสอบของฉนวนน้ำมันเพื่อตรวจสอบว่าหม้อแปลงยังคงใช้งานได้หรือไม่ การทดสอบจะทำเมื่อขณะบำรุงรักษาและเมื่อหม้อแปลงเกิดมีปัญหาคือสิ่งผิดปกติภายในหม้อแปลงเพื่อพิสูจน์ว่าจะใช้หม้อแปลงต่อไปได้อีกหรือต้องส่งเข้าโรงงานซ่อม ในกรณีที่ช่วงเวลาดำรงรักษาจะทำการทดสอบก่อนและภายหลังการบำรุงรักษาเพื่อเป็นการพิสูจน์สภาพหม้อแปลงสามารถใช้งานได้ต่อไปและยังใช้เป็นค่าตั้งต้นภายหลังจากการบำรุงรักษา

7.1. การทดสอบทางไฟฟ้า ที่หน้างานหมายถึงการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าหม้อแปลงเพื่อพิสูจน์ค่าทางไฟฟ้าว่ายังทำงานถูกต้องตามที่ออกแบบไว้และสามารถตรวจสอบความเป็นฉนวนภายในหม้อแปลงยังคงสภาพใช้งานได้ดีจึงต้องทำขณะดับกระแสไฟหรือเมื่อเกิดความผิดปกติเสียหายก็จะต้องทำการทดสอบทางไฟฟ้าด้วย ซึ่งจะมีการทดสอบที่จำเป็น(ยังมีการทดสอบอื่นอีกมักจะใช้กับ Power Transformer) ดังนี้

7.1.1. Winding Resistance Test การทดสอบ Winding Resistance ภาคสนามเป็นการตรวจสอบว่าขั้วต่อต่างๆหลวม, รอยเชื่อมแตกร้าว ความต้านทานหน้าสัมผัสของแท็บ โดยเปรียบเทียบกับผลทดสอบของโรงงาน

7.1.2. Ratio Test การทดสอบ Ratio เป็นการป้อนไฟเข้าที่ขดลวดแรงสูงเพื่อเปรียบเทียบจำนวนรอบของขดลวดระหว่างขดแรงสูงกับขดแรงต่ำ ในขณะเดียวกันเป็นการพิสูจน์ว่าวงจรแม่เหล็กยังสามารถทำงานได้ตามปกติเนื่องจากกระแสของเครื่อง Ratio meter ที่ป้อนเข้าหม้อแปลงเป็นการป้อนในลักษณะ No-load จะเป็น Exciting current ที่โวลต์ต่ำ แต่ถ้าไม่สามารถวัดได้แสดงว่าหม้อแปลงมีปัญหาภายใน

7.1.3. Insulation Resistance(IR) & Polarization Index(PI) Test หรือการทดสอบ Megger test จะเป็นการทดสอบค่าความต้านทานฉนวนของขดลวดหม้อแปลงจะทำการวัดระหว่างขดลวดแรงสูงกับขดลวดแรงต่ำ(HV.-LV.), ขดลวดแรงสูงกับกราวด์(HV.-G), ขดลวดแรงต่ำกับกราวด์(LV.-G) วงจรการทดสอบต้องช้อตขั้วขดลวดแรงสูงทุกขั้ว(A,B,C)ถึงกันทั้งสามเฟส และช้อตขั้วแรงต่ำทุกขั้ว(a,b,c,n)ถึงกันทั้งสามเฟสแล้วถึงทำการวัด ค่าของ IR เป็นค่าที่วัดได้ในนาที่ที่ 1 ของทุกการวัดในแต่ละขดลวด สำหรับหม้อแปลงใช้งานแล้วจะมีค่า IR สูงกว่า 300 MΩ ส่วนค่าของ PI เป็นค่าที่วัดในนาที่ที่ 10หารด้วยค่าที่นาที่ที่ 1 และมักจะวัดระหว่างขดลวดแรงสูงกับขดลวดแรงต่ำ(HV.-LV.) ค่า PI ให้ดูตารางที่ 3

ตารางที่ 3

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)
Above 2.0	ดี(Good)

7.1.4. Exciting Current เป็นการป้อนแรงดันเข้าหม้อแปลง(อาจไม่ต้องถึง Rated voltage ก็ได้) เพื่อการหาจุดบกพร่องหรือสิ่งผิดปกติของวงจรมแม่เหล็กแกนเหล็ก, การเคลื่อนตัวของขดลวด, การช้อตรอบของฉนวนขดลวดรอบต่อรอบหรือแท็ปมีปัญหาช้อตซ้ำ Contact ถ้าเกิดปัญหาดังกล่าวการที่จะป้อนกระแส Exciting จะต้องใช้กระแสปริมาณมากกว่าปกติ

1.5 Short Circuit Impedance เป็นการทดสอบค่า อิมพีแดนซ์ (%Z) เพื่อหาจุดบกพร่องของขดลวดที่เปลี่ยนรูปร่างโครงสร้างไปจากเดิมอันเนื่องมาจากภายหลังการเกิดความเสียหายหรือเกิด Fault อย่างรุนแรงทำให้ขดลวดเปลี่ยนสภาพโครงสร้างไปจากเดิม โดยการเปรียบเทียบกับค่า %Z ที่เนมเพลท ค่าที่ยอมรับได้ไม่ควรเกิน  $\pm 3\%$  โดยทั่วไปมักนิยมใช้การป้อนโวลท์แบบ Single Phase ด้านขดไฟโพรมารี่และช้อตซ้ำแรงต่ำไว้ ในกรณีที่ทดสอบหม้อแปลง 3 เฟสขณะทดสอบในแต่ละเฟสควรปรับกระแสให้อ่านค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดแล้วมาคำนวณเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับเนมเพลท วิธีคำนวณดังนี้

$$\%Z \text{ หม้อแปลง Single Phase} = (1 \div 10) \times [(E_m \div I_m) \times KVA_r \div (kV_r)^2]$$

$E_m$  = Voltage ที่วัดได้ มีหน่วยเป็น โวลท์ (V)

$I_m$  = กระแสที่วัดได้ มีหน่วยเป็นแอมป์ (A)

$kVA_r$  = ค่า kVA ที่ Rated

$kV_r$  = ค่าแรงดันไฟโพรมารี่ ที่ Rated

$$\%Z \text{ หม้อแปลง 3 Phase} = (1 \div 50) \times [(E_{A-B} + E_{B-C} + E_{C-A}) \div I_m] \times [KVA_r \div (kV_r)^2]$$

$E_{A-B}$  = Voltage Phase A-B มีหน่วยเป็นโวลท์ (V)

$E_{B-C}$  = Voltage Phase B-C มีหน่วยเป็นโวลท์ (V)

$E_{C-A}$  = Voltage Phase C-A มีหน่วยเป็นโวลท์ (V)

$I_m$  = กระแสที่วัดได้ มีหน่วยเป็นแอมป์ (A)

$kVA_r$  = ค่า kVA ที่ 3 Phase ที่ Rated

$kV_r$  = ค่าแรงดันไฟโพรมารี่ ที่ Rated



## 7.2 การทดสอบฉนวนน้ำมัน

ฉนวนน้ำมันเปรียบเสมือนกับเลือดของคนเราเมื่อต้องการตรวจสอบสุขภาพจะต้องนำตัวอย่างเลือดไปตรวจสอบว่ามีโรคภัยไข้เจ็บใดบ้างสำหรับหม้อแปลงก็เช่นกันภายหลังจากใช้งานมาแล้ว 3-5 ปีควรตรวจสอบน้ำมันเพื่อที่เราต้องการรู้ว่ามึสิ่งผิดปกติใดบ้างที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงเราต้องทำการเก็บตัวอย่างน้ำมัน (การเก็บสามารถทำได้ในขณะที่หม้อแปลงยังใช้งานอยู่ ยกเว้นแบบ Fully Sealed) การเก็บตัวอย่างน้ำมันควรทำตามขั้นตอนวิธีปฏิบัติการเก็บตัวอย่างน้ำมัน โดยถือหลักเบื้องต้นว่าภาชนะต้องสะอาดและทึบแสงเนื่องจากสารบางตัวในน้ำมันไวต่อแสงทำให้ค่าเปลี่ยนไปจากเดิม การเก็บต้องระวังสิ่งปนเปื้อนบริเวณวาล์ว สำหรับหม้อแปลงโดยทั่วไป หัวข้อการทดสอบน้ำมันมีดังนี้

- 1) Acid Number ASTM D974-92
- 2) Interfacial Tension (IFT) (ASTM D971)
- 3) Oil Dielectric strength(DBV) ASTM D877-87
- 4) Colour ASTM D1500-91
- 5) Specific Gravity ASTM D1298-85
- 6) Visual Examination ASTM D1524-94
- 7) Sediment ASTM D1698-84
- 8) Water Content (KF) ASTM D1533-88
- 9) Dissolved Gas Analysis(DGA) ASTM D3612-93
- 10) Liquid Power Factor ASTM D924-92
- 11) Inhibitor Content (DBPC) ASTM D2668
- 12) Furan Analysis ASTM D5837
- 13) Metal in Oil ASTM D3635
- 14) Particle count ASTM D6786-08
- 15) Polychlorinated Biphenyls(PCBs) ASTM D4059
- 16) Degree of Polymerization(DP) ASTM D4243-99
- 17) Pour point ASTM D6892-03(2008)
- 18) Corrosive sulfur ASTM D1275
- 19) Passivator ASTM WK24216

7.2.1. Acid Number ASTM D974-92 ในฉนวนน้ำมันใหม่ความเป็นกรดจะน้อยมาก แต่เมื่อใช้งานไปแล้วจะเกิดความชื้นทำให้มีปฏิกิริยาเคมี Oxidation เปลี่ยนสภาพเนือ น้ำมันกลายเป็นกรด สภาพความเป็นกรด ที่มากขึ้นจะไปทำลายขดลวดและกระดาษฉนวนให้เสียหาย ค่าที่ได้จากการทดสอบจะวัดจากน้ำมัน 1 กรัมจะต้องใช้ Potassium Hydroxide (KOH) ปริมาณกี่มิลลิกรัมที่จะทำให้สภาพน้ำมันเป็นกลาง โดยมีหน่วยเป็น mg KOH/gm จะมีค่าไม่เกิน 0.2 mg KOH/gm ให้ดูค่าจากตารางที่ 4

**Table 4 Suggested limits for in-service oils by group and voltage class**

Type of oil	Voltage class (kV)	Acid number (mg KOH/g, max)
New oil as received from refinery		0.03
Serviced aged Oil Group I (satisfactory condition)	<69	0.2
	69-288	0.2
	>345	0.1
Serviced aged oil Group II (require only reconditioning)		0.2
Serviced aged oil Group III (poor condition)		0.5

7.2.2. Interfacial Tension (IFT) ASTM D971 เป็นการวัดแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันกับน้ำกลั่นในถ้วย Beaker เดียวกันส่วนที่เป็นน้ำมันจะลอยอยู่ด้านบนโดยจะวัดแรงตึงผิวที่แนวเส้นแบ่งของน้ำมันกับน้ำกลั่น มีหน่วยเป็น Dynes/cm. หรือ mN/m ค่าของน้ำมันใหม่จะอยู่ประมาณ 40 – 50 Dynes/cm. ส่วนน้ำมันที่ใช้แล้วไม่ควรให้ต่ำกว่า 25 Dynes/cm. ซึ่งค่า IFT ที่ 25 Dynes/cm. แสดงว่าน้ำมันเสื่อมสภาพมีสิ่งปนเปื้อนในเนื้อน้ำมันมากควรทำ Oil Reclaim หรือเปลี่ยนน้ำมันใหม่ การกรองจะช่วยแก้ปัญหาได้แค่ช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้นให้ดูจากตารางที่ 5

Table 5 Suggested limits for in-service oils by group and voltage class

Type of oil	Voltage class (KV)	Interfacial tension, dynes/cm, min
New oil as received		40
New oil received in new equipment		35
New oil after filling and standing, prior to energizing		35
Service aged oil	≤69	24
	69-288	26
	>345	30
Oil to be reconditioned or reclaimed Group II		24

7.2.3. Oil Dielectric Strength ASTM D877 หรือ Dielectric Breakdown Voltage(DBV) การทดสอบนี้จะนำน้ำมันตัวอย่างมาทดสอบในภาชนะสำหรับทดสอบซึ่งภายในจะมี Electrode สำหรับป้องกันแรงดันที่ตั้งระยะห่างไว้โดยมีน้ำมันอยู่ตรงกลางเมื่อป้องกันแรงดันจนน้ำมันทนแรงดันไม่ได้กระแสจะลัดวงจรข้าม Electrode ที่แรงดันเท่าไรจะทำการบันทึกไว้ การทดสอบจะมีมาตรฐานอยู่ 2 ชนิด คือของอเมริกา กับ ยุโรป อเมริกาจะใช้มาตรฐาน IEEE ASTM D877 จะใช้ Electrode ทรงกลม Ø25.4 mm. หน้าตัดเรียบระยะระหว่าง 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. ตามตารางที่ 6 ทั้งสองมาตรฐาน แต่ถ้าน้ำมันใหม่สำหรับ ASTM D877 จะต้องมากกว่า 35 kV. สำหรับ IEC 60156 จะต้องมีค่ามากกว่า 50 kV.

**Table 6 Oil Dielectric Strength**

Minimum dielectric breakdown voltage (kV)	Equipment class (kV)
26	≤69
26	>69-288
26	≥345

7.2.4. Color ASTM D1500-91, ASTM Color scale เป็นการทดสอบสีของฉนวนน้ำมันเมื่อใช้งานไปแล้วหรือน้ำมันที่เก็บไว้นานจะเกิดการเสื่อมสภาพของเนื่อน้ำมันสาเหตุมาจากความชื้นที่มีอยู่ในน้ำมันและความร้อนจากการใช้งาน การทดสอบนี้จะเป็นการบ่งชี้ว่าสีของน้ำมันที่ใช้งานแล้วนำไปเปรียบเทียบกับสเกลสีมาตรฐานว่าคุณภาพฉนวนน้ำมันอยู่ในสภาพใด โดยค่าที่ทดสอบได้ให้ดูจากตารางที่ 7 ด้านล่างนี้

**Table 7 Relative condition of oil based on color**

<b>Color comparator number</b>	<b>ASTM color</b>	<b>Oil condition</b>
0.0-0.5	Clear	New oil
0.5-1.0	Pale yellow	Good oil
1.0-2.5	Yellow	Service-aged oil
2.5-4.0	Bright yellow	Marginal condition
4.0-5.5	Amber	Bad condition
5.5-7.0	Brown	Severe condition (reclaim oil)
7.0-8.5	Dark brown	Extreme condition (scrap oil) <sup>a</sup>

- 7.2.5. Specific Gravity ASTM D1298-85 การวัดนี้เป็นการวัดความหนาแน่นของน้ำมันหม้อแปลงซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำมันต่อปริมาตรเทียบกับน้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน ณ. ที่อุณหภูมิเดียวกัน(ใช้ที่  $15.6^{\circ}\text{C}$ )ความหนาแน่นของฉนวนน้ำมันมีผลกับประสิทธิภาพการพาความร้อน ในบางประเทศที่มีอุณหภูมิต่ำมาก ๆ ถ้าความหนาแน่นของฉนวนน้ำมันสูงใกล้เคียงกับน้ำคือ 1.0 และความหนาแน่นของน้ำแข็งมีค่าเท่ากับ 0.91 จะเกิดการแข็งตัวของน้ำหรือความชื้นในน้ำมันทำให้ค่าของการเป็นฉนวนลดลงเพราะน้ำแข็งจะมีน้ำหนักกว่าอาจตกลงไปจับที่ขดลวดจะเกิดการลัดวงจรได้ ตามปรกติค่าความหนาแน่นของฉนวนน้ำมันหม้อแปลงจะมีค่าเท่ากับ 0.84-0.91(refer to ASTM D3487-88)
- 7.2.6. Visual Examination ASTM D1524-94 การทดสอบนี้เป็นการวัดที่ครอบคลุมถึงปริมาณน้ำในน้ำมันและตะกอนแขวนลอย เช่นเศษผงโลหะ, Sludge, Carbon, Fiber และสิ่งสกปรกทั้งหลายเป็นต้น การที่สิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ เหล่านี้ที่ละลายอยู่ในน้ำมันจะทำให้สภาพแวดล้อมภายในหม้อแปลงแย่ง และการกรองน้ำมันไม่สามารถที่จะนำสิ่งสกปรกเหล่านี้่ออกได้หมด การทดสอบนี้ควรดูการทดสอบ Colour ASTM D1500-91เป็นการยืนยันการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน เพราะถ้ามีตะกอนแขวนลอยมากสีของน้ำมันจะเข้มขึ้นด้วย
- 7.2.7. 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) เกิดจากการเสื่อมสภาพของเนื้อฉนวนน้ำมันจากการใช้งานจะมีความร้อนและความชื้นในฉนวนน้ำมัน เป็นสารเรซิน, สารจำพวกโพลีเมอร์ค่อย ๆ สะสมรวมตัวกันจนเป็นตะกอนแขวนลอยในเนื้อน้ำมัน จากการตรวจสอบถ้า Sludge มีปริมาณต่ำอยู่สามารถทำการกรองโดยการทำ Oil Reclaim ได้ แต่ถ้ามีค่าสูงมากควรนำหม้อแปลงเข้า Overhaul ทำการล้างขดลวด, แกนเหล็ก และเปลี่ยนน้ำมันใหม่เพื่อยืดอายุการใช้งานสามารถใช้งานได้ต่อไป

7.2.8. Water Content (KF) ASTM D1533-88 ความชื้นในน้ำมันส่วนใหญ่มาจากฉนวนกระดาษที่ใช้เนื่องจาก ขบวนการผลิตไม่สามารถถึงความชื้นออกจากเนื้อกระดาษได้หมด 100% จะมีปริมาณความชื้นที่ตกค้างอยู่ ประมาณ 0.2-0.5% ต่อน้ำหนักของฉนวนกระดาษ ความชื้นนี้เมื่อขณะใช้งานจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความชื้น ส่วนนี้ออกมาปะปนในฉนวนน้ำมัน ค่าความชื้นของฉนวนกระดาษขึ้นอยู่กับค่าความชื้นของน้ำมันจึงต้องดูแลและ ควบคุมความชื้นของน้ำมันโดยการควบคุมอุณหภูมิใช้งานหรือควบคุมการจ่าย Load ไม่ให้อุณหภูมิใช้งานสูง เกินไป Load ควรจ่ายประมาณ 80% ของขนาดหม้อแปลง เพื่อป้องกันความชื้นที่ฉนวนกระดาษด้วย ค่าและการ จัดการให้ดูตารางที่ 8 และตารางที่ 9 เป็นการคำนวณจาก ปริมาณความชื้นในน้ำมันและอุณหภูมิของน้ำมัน

**Table 8 Guidelines for interpretation of % saturation of water in oil**

% Water saturation of oil(ppm.)	Condition
0-5	Dry insulation
6-20	Moderate to wet. Lower numbers indicate fairly dry to moderate levels of water in the insulation, whereas values towards the upper limit indicate moderately wet insulation.
21-30	Wet
>30	Extremely wet

**Table 9 Guidelines for interpretation of % moisture by dry weight of paper**

% Moisture by dry weight in paper(%)	Condition
0-2	Dry paper
2-4	Wet paper
>4.5	Excessively wet paper

7.2.9. Dissolved Gas Analysis(DGA) ASTM D3612-93 การทดสอบนี้เป็นการวัดค่าปริมาณก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำมันด้วยปริมาณเท่าไรภายหลังจากการเติมน้ำมันหรือควรมีค่าตั้งต้นในช่วงเวลาก่อนเพื่อเปรียบเทียบกับค่าทดสอบปัจจุบันว่ามีปริมาณก๊าซใดที่เพิ่มขึ้นจากเดิมด้วยปริมาณเท่าไรการเพิ่มปริมาณก๊าซต่างๆจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความผิดปกติภายในหม้อแปลงควรรีบทำการแก้ไขก่อนที่จะเกิดความเสียหาย การทดสอบ DGA สามารถบ่งชี้ได้ว่าการ Arcing, Partial Discharge, เกิดการ Sparking, หรือการใช้งาน Over Load โดยการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซที่เปลี่ยนแปลง ชนิดของก๊าซต่างๆจะบ่งชี้สาเหตุที่เกิดขึ้นได้จากตัวอย่างดังนี้

DISOLVED GAS ANALYSIS (DGA) IN PPM.

HYDROGEN	OXIGEN	NITROGEN	METHANE	CARBON MONOXIDE	CARBON DIOXIDE	ETHANE	ETHYLENE	ACETYLENE	TOTAL COMBUSTIBLE	TOTAL GAS
31	10336	56918	84	576	7044	58	10	ND	759	75057

7.2.9.1. ปริมาณ Oxygen Gas( $O_2$ ) เพิ่มขึ้นจากเดิมมากกว่า 22% แสดงว่าเกิดการ Oxidation สูงหมายถึงมีปริมาณน้ำมากทำให้ปฏิกิริยา Oxidation ของ Oxygen จะเปลี่ยนสภาพให้เกิดความเป็นกรดมากขึ้น

7.2.9.2. ก๊าซ Carbon Dioxide( $CO_2$ ) ถ้าผลการทดสอบพบว่าปริมาณก๊าซนี้มีค่าต่ำกว่า 5000 ppm. แสดงว่าคุณภาพของฉนวนกระดาษยังอยู่ในสภาพดี แต่ถ้ามีค่าสูงเกินกว่า 5000 ppm. แสดงว่าสภาพของฉนวนกระดาษไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไป

7.2.9.3. ก๊าซ Carbon Monoxide(CO) ก๊าซนี้เกิดจากความร้อนอาจมาจากการจ่าย Load หรือจากรอยต่อของ Bus bar หรือจุดต่อของเส้นลวดในขดลวด สกปรกหรือหลวมเป็นต้น



- 7.2.9.4. ก๊าซ Hydrogen( $H_2$ ) ปริมาณก๊าซนี้ปรกติจะมีค่าไม่เกิน 150 ppm. ถ้ามีค่าถึง 200-300 ppm. แสดงว่ากระดาศนวนเริ่มมีความชื้นและถ้าค่าเกิน 500 ppm. แสดงว่าฉนวนกระดาศนวนชื้นมากอาจทำให้เกิด Partial Discharge ทำให้กระดาศนวนชำรุดเสียหายได้
- 7.2.9.5. ในกรณีวิเคราะห์สาเหตุอย่างคร่าวๆให้ดูจากอัตราส่วนของก๊าซ Carbon Dioxide กับ Carbon Monoxide ( $CO_2 \div CO$ ) ถ้าอัตราส่วนมีค่าน้อยกว่า 3 แสดงว่ามีปัญหาทางด้านไฟฟ้า แต่ถ้ามีค่าเกิน 7.5 หมายถึงหม้อแปลงมีสภาพปรกติ
- 7.2.9.6. ก๊าซ Methane( $CH_4$ ) ก๊าซนี้เกิดจาก Over Heat อาจเกิดจากการ Short circuit ของวงจรแม่เหล็ก หรือเกิดจาก Eddy current จากเส้นแรงแม่เหล็ก Leakage Flux ไปเหนี่ยวนำโลหะที่ใกล้เคียงจนเกิดจุดความร้อนสูง การจ่าย Load สูงเกินพิกัดเป็นเวลานานก็สามารถทำให้เกิดก๊าซนี้ได้เช่นกันตามปรกติจะมีค่าไม่เกิน 100 ppm. หากเกิน 100-150 ppm. แสดงว่าเกิดการ Over Heat
- 7.2.9.7. ก๊าซ Acetylene( $C_2H_2$ ) ก๊าซนี้เกิดจากการ Arc ในน้ำมันตามปรกติจะมีค่าเป็นศูนย์ ถ้ามีค่าเกิดขึ้นแสดงว่าเกิดการ Arc ขึ้นภายในหม้อแปลง ถ้ามีค่าต่ำกว่า 10-50 ppm. ควรตรวจ DGA ซ้ำ ถ้าค่าลดลงหรือหายไปแสดงว่าการ Arc เกิดชั่วคราวแล้วหยุด ควรกรองน้ำมันเพื่อลดปริมาณก๊าซออก

7.2.10. Liquid Power Factor ASTM D924-92 การทดสอบนี้เป็นการวัดความสูญเสียของฉนวนน้ำมัน(Dielectric losses) เมื่อ น้ำมันถูกใช้ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับและเป็นตัวบ่งชี้ของกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อน Power factor คืออัตราส่วนของกำลังสูญเสีย(Watts) กับ Effective Power(VA) ค่าพิกัดของ Power factor เกิดจากสิ่งสกปรกเจือปนในฉนวนน้ำมันเนื่องจากมีปริมาณน้ำมากเกินไปรวมทั้งตะกอนแขวนลอย หรือสิ่งสกปรกอื่นเกิดจากการเสื่อมสภาพของเนื้อน้ำมัน ซึ่งจะมีค่า power factor at 25 °C of <0.2%. ตามปรกติค่าทดสอบ Power factor ห้องทดสอบจะทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 °C และ 100 °C เหตุที่ทดสอบที่ 100 °C จะเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิใช้งาน ดูค่าจากตารางที่ 10

**Table 10 Maximum suggested power factors for different categories of new and service aged oils**

Type of oil	Voltage class (kV)	% Power factor at 25 °C	% Power factor at 100 °C
New oil as received		0.05	0.30
New oil received in new equipment	<69	0.15	1.50
	69-230	0.10	1.00
New oil after filling and standing, prior to energizing		0.10	-
Service aged oil Group I (satisfactory condition)	<69	0.5	
	69-288	0.5	
	≥345	0.5	
Service aged oil Group II (require only reconditioning)	<69	0.5	
	69-288	0.5	
	≥345	0.3	
Service aged oil Group III (poor condition)	<69	1.0	
	69-288	0.7	
	≥345	0.3	

7.2.11. Inhibitor Content(DBPC) ASTM D2668 การทดสอบนี้เป็นการหาปริมาณสารที่เติมไว้ใน  
ฉนวนน้ำมันใหม่คือสาร 2,6-Detertiary-Butyl Paracresal และ 2,6-Detertiary-Butyl Phenol เพื่อ  
จุดประสงค์ชะลอการเกิด Oxidation ในน้ำมันหรือสารนี้จะช่วยไล่ก๊าซ Oxygen ออกจากน้ำมัน  
ขณะที่เกิดการ Oxidation สารนี้จะถูกใช้ไปจนหมด สารนี้เติมได้ภายหลังจากการทำ Oil Reclaim  
ค่าปรกติจะมีปริมาณ 0.2% ของปริมาณน้ำหนักของน้ำมัน ดูตารางที่ 11

Table 11 Inhibitor Content

Acceptance	Questionable	Unacceptance
$\geq 0.2\%$	$\geq 0.1\%$	$< 0.1\%$
	$< 0.2\%$	

7.2.12. Furan Analysis ASTM D5837 ฉนวนแข็งที่ใช้ในหม้อแปลงทำมาจากกระดาษ ซึ่งโครงสร้างของกระดาษประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลส(Cellulose Fibers) เซลลูโลสเป็นสารโพลิเมอร์ที่ต่อกันเป็นเส้นยาว ถ้าเป็นกระดาษใหม่จำนวนโมเลกุลความยาวของโมเลกุลนี้เราเรียกว่า “Degree of Polymerization” (DP) เส้นใยเรียงต่อกันประมาณ 1000-1200 เส้น แต่เมื่อนำมาประกอบและอบแห้งในหม้อแปลงแล้วจะมีอยู่ประมาณ 800-1000 เส้น เมื่อกระดาษถูกใช้งานไปเส้นใยนี้จะถูกทำลายจากความชื้น, Carbon Monoxide และCarbon Dioxideด้วยปฏิกิริยาทางเคมีทำให้โมเลกุลของเส้นใยสูญเสียความแข็งแรงและเปลี่ยนเป็นสารประกอบเรียกว่า Furan สารนี้จะเป็นตะกอนละลายปนอยู่ในน้ำมันถ้ามีปริมาณมากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิหม้อแปลงสูงขึ้น, ค่าปริมาณก๊าซ Oxygenเพิ่มมากขึ้นและค่าความชื้นในน้ำมันสูงแสดงว่าภายในหม้อน้ำมันเริ่มมีสารประกอบ Furan แล้ว ชนิดของ Furan มีอยู่ 5 รูปแบบดังนี้

7.2.12.1. 2-Furaldehyde(2FAL) เป็นสารประกอบที่เกิดจากความร้อนโดยปรกติจะมีค่าไม่เกิน 250 ppb. แต่ถ้ามีค่าถึง 2500 ppb. ฉนวนกระดาษนี้ไม่สามารถใช้งานได้ต่อไป

7.2.12.2. 2-Furyl alcohol(2FOL) สารประกอบนี้เกิดจากความชื้นปรกติจะมีค่าไม่เกิน 30 ppb.(ในกรณีที่มีปริมาณน้ำในเนื้อกระดาษไม่เกิน 3%) ถ้าค่าเกินจากนี้แสดงว่ากระดาษเปียก(paper is wet)

7.2.12.3 2-Acetyl Furan(2ACF) โดยมากพบในหม้อแปลงที่เสียหายอันเนื่องจากฟ้าผ่าจนกระดาษไหม้ จะมีสารประกอบตัวนี้สูงมาก

7.2.12.4. 5-Methyl-2-Furaldehyde(5M2F) สารประกอบตัวนี้เกิดจากความร้อนเฉพาะจุด(Hot spot) จากการลัดวงจรทำให้กระดาษไหม้

7.2.12.5. 5-Hydroxymethyl-2-Furaldehyde(5H2F) เป็นสารประกอบที่เกิดจากผลของการมีก๊าซ Oxygen สูงทำให้เกิดการ Oxidation ถ้าตรวจพบสารประกอบนี้แล้วแสดงว่ากระดาษมีความชื้นสูง(เปียก)

7.2.13. Metal in Oil ASTM D3635 การทดสอบนี้เป็นการหาปริมาณสารโลหะ ที่ละลายอยู่ในฉนวน น้ำมัน โดยการใช้กรรมวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry ซึ่งโลหะนี้อาจเกิดมาจาก แหล่ง น้ำมันหรือจากกรรมวิธีการกลั่นหรือจากการบำรุงรักษา ในกรณีน้ำมันจากการใช้งานจะเกิด จากการ กัดกร่อนของทองแดงจากความเป็นกรดของน้ำมัน จะมีค่าไม่เกิน 25-100 ppb.

7.2.14. Particle count ASTM D6786-08 การทดสอบนี้เป็นการวัดจำนวน ขนาดและความเข้มข้นของ สารประกอบในเนื้อฉนวนน้ำมันที่ใช้แล้ว การทดสอบนี้ใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงสิ่งปนเปื้อนหรือตะกอน แขนงลอยในฉนวนน้ำมัน ซึ่งจะมีผลทำให้ค่า Oil dielectric breakdown ลดลงและค่าของ Power factor ของฉนวนน้ำมันสูงขึ้น ชนิดและปริมาณของเศษโลหะหรือตะกอนจะมีผลกับคุณสมบัติของ ฉนวนน้ำมันโดยตรง การเกิดเศษของโลหะมาจาก Cooling Pump เป็นต้น ค่าของผลการทดสอบ ให้ดูตารางที่ 12 ประกอบด้านล่างนี้

**Table 12 Particle count**

Relative number of particles per 10 mL. of oil	Relative condition
<1500	Normal
1500-5000	Marginal
>5000	Contaminated

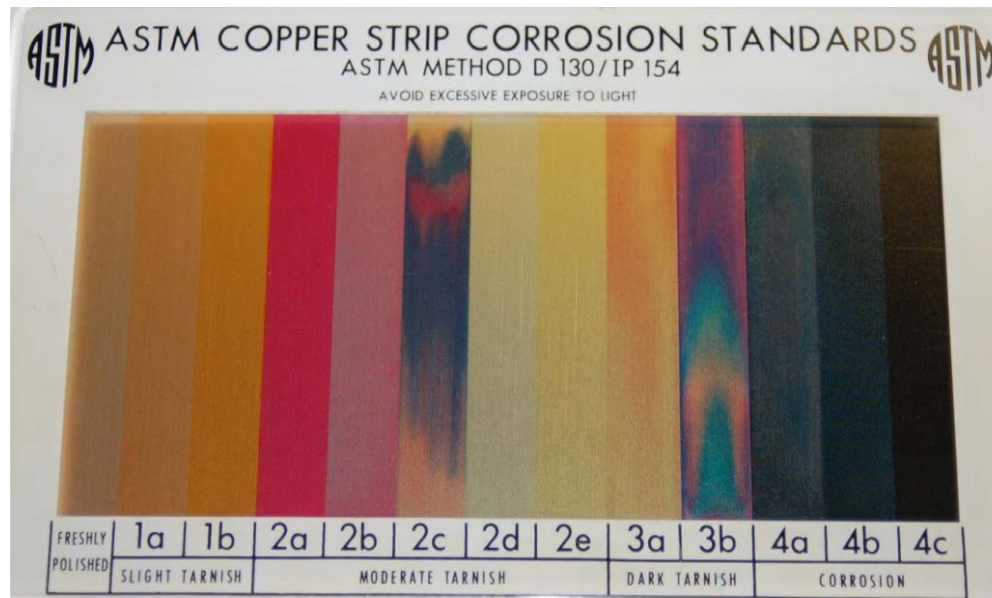
7.2.15. Polychlorinated Biphenyls(PCBs) ASTM D4059 การหา PCBs ในน้ำมันด้วยกรรมวิธี Gas Chromatography สาร PCBs เป็นสารพิษมีอันตรายต่อร่างกายเมื่อสัมผัสทำลายระบบประสาท, ระบบ ภูมิคุ้มกันและเป็นสารก่อมะเร็ง ทำลายยากถ้าทิ้งลงพื้นดินสารนี้จะตกตะกอนไปรวมอยู่ในแหล่งน้ำ ห้าม ถูกต้องหรือสัมผัสโดยตรง

7.2.16. Degree of Polymerization(DP) ASTM D4243-99 เป็นการทดสอบค่าความเสื่อมหรืออายุการใช้งานของฉนวนกระดาษทางไฟฟ้า การหามี 2 วิธี โดยการเก็บตัวอย่างกระดาษมาละลายในสารละลายพิเศษแล้วนำมาวัดความหนืด ส่วนอีกวิธีหนึ่ง เนื่องจากฉนวนกระดาษเมื่อนำมาใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้าหรือคาปาซิเตอร์ ขณะเมื่อใช้งานจะมีความร้อนจากการใช้งานคุณสมบัติของฉนวนกระดาษจะเปลี่ยนไปโมเลกุลของกระดาษจะถูกทำลายทำให้เส้นใยกระดาษหลุดออกมาเป็นรูปแบบของตะกอนแขวนลอยที่เรียกว่า Furan ผสมอยู่ในน้ำมัน ให้ดูตารางที่ 13 เปรียบเทียบด้านล่าง

**Table 13 Compare table age of used paper between Furan and Degree of Polymerization**

Not Thermally Upgraded Paper 2FAL (ppb.)	Thermally Upgraded Paper Total Furan	Calculated DP	Estimated Life Of Used (%)
58	51	800	0
130	100	700	10
292	195	600	21
654	381	500	34
1464	745	400	50
1720	852	380	54
2021	974	360	58
2374	1113	340	62
2789	1273	320	66
3277	1455	300	71
3851	1664	280	76
4524	1902	260	81
5315	2175	240	87
6245	2487	220	93
7337	2843	200	100

- 7.2.17. Pour point ASTM D6892-03(2008) เป็นการทดสอบน้ำมันปิโตรเลียมเมื่อใช้งานในสภาพที่อุณหภูมิเย็นจัดจะทำให้มีความหนืดสูงจนแข็งตัว ห้องทดสอบสามารถทดสอบได้ตั้งแต่อุณหภูมิ  $-51^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-11^{\circ}\text{C}$  น้ำมันหม้อแปลงจากผู้ผลิต เช่น Shell Diala A และ AX ค่า Pour Point จะประมาณ  $-50^{\circ}\text{C}$
- 7.2.18. Corrosive sulfur ASTM D1275 เป็นการทดสอบว่าเกิด Corrosive sulfur ในฉนวนน้ำมันปริมาณมากน้อยเพียงใด จะมีวิธีการทดสอบอยู่ 2 แบบคือแบบ A และ B, แบบ A เป็นแบบเก่าจะใช้ทองแดงมาตรฐานต้มกับน้ำมันที่อุณหภูมิน้ำมันทดสอบ  $140^{\circ}\text{C}$  ด้วยเวลา 19 ชั่วโมง ซึ่งปัจจุบันจะใช้วิธีการแบบ B โดยจะใช้อุณหภูมิทดสอบที่  $150^{\circ}\text{C}$  ด้วยเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อทองแดงผ่านการต้มด้วยน้ำมันตัวอย่างจะถูกกรด Sulfur กัดกร่อนผิวจนเปลี่ยนสีแล้วนำมาเทียบกับแถบสีมาตรฐานตามภาพที่ 48 ว่าตรงกับแถบสีใด ระดับสีที่คล้ำขึ้น (Tarnish level) จะบอกถึงการเกิด Corrosion ระดับใด ให้ดูจากตารางที่ 14



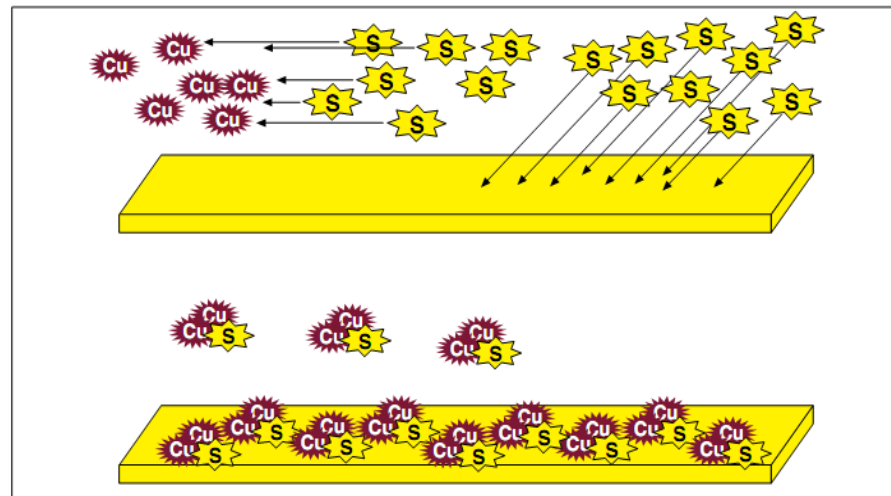
ตารางที่ 14

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



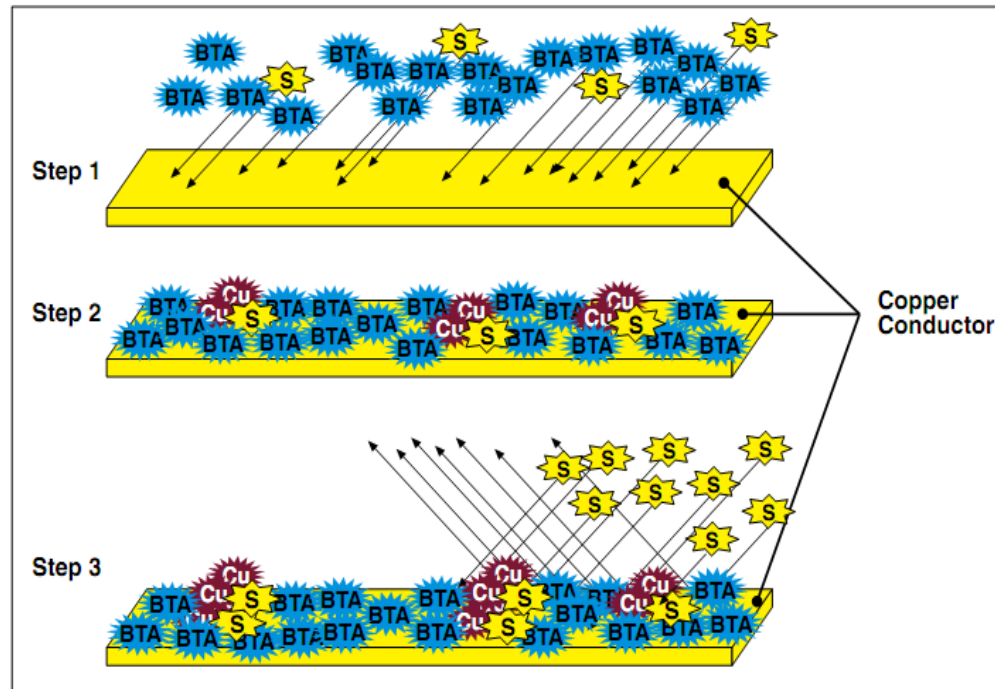
## 7.2.19. Passivator ASTM WK24216 การทดสอบนี้เป็นการหาค่าความเข้มข้นของสารละลาย

Benzotriazole(BTA) และ Irgamet 39 ในน้ำมันใหม่หรือน้ำมันที่ใช้แล้ว น้ำมันหม้อแปลงโดยทั่วไปผู้ผลิต จะทำการกำจัดสาร Sulfur ออกไม่หมด 100% จะเหลือค้างอยู่ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งสารนี้จะทำปฏิกิริยา โดยตรงกับทองแดง(Corrosive sulfur) ตามมาตรฐาน ASTM D1275 จะเป็นการทดสอบว่าน้ำมันเกิด Corrosive Sulfur ปริมาณเท่าใด การกักกรองทองแดงให้กลายเป็นเกลือทองแดง(Copper Sulfide) คราบ เกลื่อนี้เป็นสื่อทางไฟฟ้า จะมาจับอยู่ระหว่างรอบของขดลวดหรือกระดาดจนวนทำให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้ เกิดการช้อตรอบทำให้หม้อแปลงเสียหายได้ จึงได้มีการเติมสาร Passivator ลงในน้ำมันใหม่หรือน้ำมันใช้ แล้วสารนี้จะถูกใช้หมดไปก็สามารถเติมได้ให้ดูภาพประกอบ ภาพที่ 49 เป็นการเกิดคราบเกลือทองแดง จาก Sulfur ที่มีอยู่ในน้ำมัน ส่วนภาพที่ 50 สาร Passivator ที่มีอยู่ในน้ำมันจะยับยั้งไม่ให้สาร Sulfur มา ทำปฏิกิริยากับทองแดง ความเข้มข้นของสาร Passivator ที่ใช้เติมในฉนวนน้ำมันมีปริมาณไม่เกิน 100 ppm.(mg/kg)



- Corrosive Sulfur Attack of Copper Conductor and Ions  
(Cu=Copper; S=Sulfur)

ภาพที่ 49 เป็นการเกิดคราบเกลือทองแดง จาก Sulfur ที่มีอยู่ในน้ำมัน



Action of a Passivator (BTA = BTA or its derivatives)

ภาพที่ 50 สาร Passivator ที่มีอยู่ในน้ำมันจะยับยั้งไม่ให้สาร Sulfur มาทำปฏิกิริยากับทองแดง

8. การติดตามผลภายหลังการบำรุงรักษา เนื่องจากหม้อแปลงได้มีกิจกรรมเข้าไปเปลี่ยนสภาพแวดล้อมจากเดิม เช่น มีการถอดสายไฟ, มีการเปิดปิดวาล์ว เป็นต้น ภายหลังจากการบำรุงรักษาจึงจำเป็นต้องมีการตรวจติดตามว่าหม้อแปลงยังมีสภาพใช้งานได้ดีตามเดิม ภายในระยะเวลา 1 เดือนหลังจากการบำรุงรักษาควรมีการตรวจติดตามว่ามีความผิดปกติกับหม้อแปลง ดังนี้

- 8.1. รอยรั่วซึมของฉนวนน้ำมัน ถ้าหม้อแปลงมีการเปลี่ยนซิลหรือมีการถอดอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับฉนวน น้ำมัน เช่น ซิลลูกลถ้วย, ซิลฝาถัง, Buchholz Relay, วาล์วคريب, เทรนวาล์ว เป็นต้น ให้ตรวจดูบริเวณที่ได้ทำการแก้ไขว่ามีรอยรั่วซึมของน้ำมันหรือไม่ ถ้ามีต้องรีบทำการแก้ไข ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรง
- 8.2. มีฟองอากาศออกจากถ้วยน้ำมันที่กระบอกซิลิก้าเยลถ้ามีฟองอากาศออกแสดงว่าการระบายปรกติ ถ้าไม่มีฟองอากาศออกให้หาสาเหตุว่ามีสิ่งใดอุดตันทางออกของอากาศ
- 8.3. ให้สังเกตว่าเมื่อป้อนกระแสไฟเข้าหม้อแปลงขณะยังไม่มีโหลดควรมีเสียงฮัม 50 Hz. ดังขึ้นและค่อยๆ ลดลงจนความดังสม่ำเสมอถือว่าหม้อแปลงปรกติ ให้ทิ้งระยะเวลาไว้ประมาณครึ่งชั่วโมงจึงทำการจ่ายโหลด
- 8.4. ให้บันทึกอุณหภูมิน้ำมันหม้อแปลงเทียบกับผลบันทึกเดิมว่าเท่ากันหรือลดลง(ขณะจ่ายโหลดเท่าเดิม) ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าเดิมให้ตรวจสอบวาล์วคريبเปิดทุกชุดหรือไม่ สังเกตจากคريبชุดนั้นจะมีความร้อนน้อยกว่าจากคريبอื่น ให้ทำการเปิดวาล์วคريبโดยดูเครื่องหมายให้เหมือนกับชุดอื่นที่เปิดแล้ว
- 8.5. Alarm & Trip contact ทำงานไม่ถูกต้องให้ตรวจสอบว่าสัญญาณมาจากอุปกรณ์ใด โดยมากมักจะเป็นที่ Buchholz Relay อาจมีอากาศตกค้างภายใต้ฝาถังน้ำมันไหลเข้ามาที่ ตัว Buchholz Relay ทำให้ระดับน้ำมันใน Buchholz Relay ลดลงสั่งให้สวิตซ์ทำงาน
- 8.6. ให้ประเมินผลทดสอบทางไฟฟ้าว่ามีสิ่งใดผิดปกติหรือไม่ เช่น Winding Resistance ในแต่ละเฟสควรใกล้เคียงกันและค่าที่แท้ป สูงสุดมาที่ต่ำสุด ค่า Resistance ควรมีค่าจากมากมาน้อย เนื่องจากความยาวลวดที่แท้ปแรงดันสูงจะยาวกว่าแท้ปที่แรงดันต่ำ

- 8.7. การประเมินผลทดสอบน้ำมันเมื่อได้รับผลการทดสอบควรตรวจสอบว่ามีสิ่งใดผิดปกติหรือเป็นข้อแนะนำให้เฝ้าระวังจากห้องแล็บหรือควรปฏิบัติอย่างไรกับหม้อแปลง
- 8.7.1. ในกรณีที่มีการกรองน้ำมันค่าของ Dielectric Breakdown Voltage ควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 35 kV. แต่ถ้ามีการเปลี่ยนน้ำมันใหม่ค่า DBV. ไม่ควรต่ำกว่า 40 kV.
- 8.7.2. ค่า DGA. ตามที่แล็บแนะนำว่าควรมีการตรวจสอบซ้ำหรือไม่ ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงอาจจะภายใน 7 วันหรือ 15 วันหรือ 1 เดือน ควรเก็บตัวอย่างไปทดสอบตามที่กำหนด
- 8.7.3. ความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด (Acid Number) กับแรงตึงผิว (Interfacial Tension-IFT) ตามธรรมชาติเมื่อน้ำมันเสื่อมสภาพลงค่าความเป็นกรดจะสูงขึ้นแต่ค่าแรงตึงผิวน้ำมันจะลดลง ถ้าค่าแรงตึงผิวลดลงถึง 20 Dynes/cm. และค่าความเป็นกรดสูงขึ้นถึง 0.2 mg KOH/mg แสดงว่าน้ำมันได้เสื่อมสภาพลงแล้วควรทำ Oil Reclaim หรือเปลี่ยนน้ำมันใหม่
- 8.7.4. สีของน้ำมันจะเป็นตัวบ่งชี้ได้เช่นกันว่าน้ำมันเสื่อมสภาพหรือไม่เพราะถ้าสีน้ำมันเข้มขึ้นหรือเป็นสีดำแสดงว่าเนื้อของน้ำมันเสื่อมสภาพและมีตะกอนแขวนลอยอยู่มากไม่ควรใช้งานต่อไปควรเปลี่ยนใหม่

การบำรุงรักษาหม้อแปลงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องวางแผนจัดการให้มีการบำรุงรักษาอย่างมีระบบเพื่อให้มีอายุการใช้งานได้นานและหวังว่าผู้ปฏิบัติงานสามารถนำไปใช้กับงานบำรุงรักษาหม้อแปลงได้อย่างถูกต้องอย่างมีประสิทธิภาพ

## เอกสารอ้างอิง

- Transformer Maintenance United States Department of Interior Bureau of Reclamation Denver, Colorado
- IEEE Standard C57.12.00-1993 Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers (ANSI).
- Transformer Maintenance Guide, by J.J Kelly, S.D. Myers, R.H. Parrish, S.D. Meyers Co. 1981.
- Transformer General Gasketing Procedures, by Alan Cote, S.D. Meyers Co. 1987.
- IEEE Standard 62-1995, IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electrical Power Apparatus, Part 1: Oil Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors.
- FIST 3-5 Maintenance of Liquid Insulation: Mineral Oils and Askarels. 1992.
- ANSI/ASTM D 971-91, Standard Test Method for Interfacial Tension of Oil Against Water by the Ring Method.

ขอขอบคุณ คุณ จุมพล พันธุ์คำ

จบครับ.

สวัสดี.