

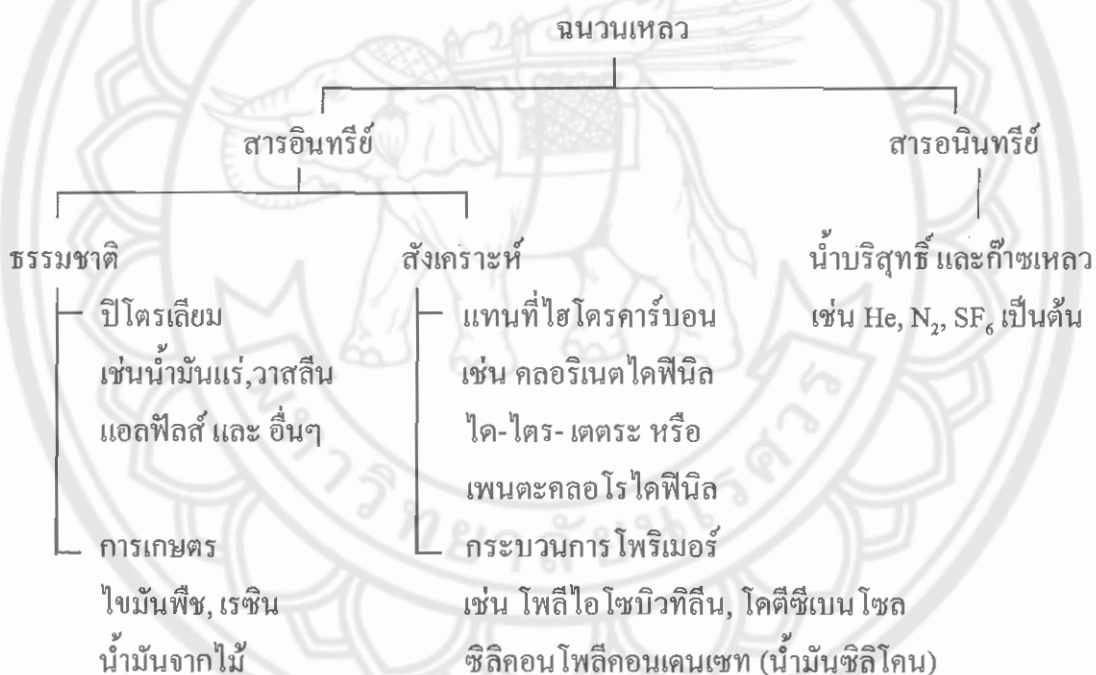
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 น้ำมันหม้อแปลง

2.1.1 การพัฒนาและการใช้น้ำมันหม้อแปลง หม้อแปลงสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1884 และเริ่มมีการบรรจุน้ำมันเป็นฉนวนในปี ค.ศ. 1887 โดยศาสตราจารย์เอลิธู ทอมสัน (Professor Elihu Thomson) โดยใช้น้ำมันจากสารประกอบในดินหรือน้ำมันแร่ (Mineral Oil) ซึ่งจะหาได้ง่ายและมีราคาต่ำ เป็นตัวกลางที่เป็นฉนวนในน้ำมันหม้อแปลง และในปี ค.ศ. 1892 มีการใช้น้ำมันหล่อลื่น (Insulation Liquid Lubricating Oil) เป็นครั้งแรก [6]

2.1.2 ชนิดของฉนวนน้ำมันหม้อ



รูปที่ 2.1 ไตอะแกรมฉนวนเหลว

สามารถแบ่งตามลักษณะของกระบวนการผลิตฉนวนเหลวได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. ประเภทสารอินทรีย์ มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน และฉนวนเหลวประเภทสารอินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติ เช่น น้ำมันปิโตรเลียม, น้ำมันแร่, แอสฟัลต์, น้ำมันพืช, ไขมัน และเรซินธรรมชาติ นอกจากจะเป็นฉนวนที่ได้จากธรรมชาติแล้วยังผลิตได้จากการสังเคราะห์เคมีจากกระบวนการแทนที่โมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในสถานะของเหลวและก๊าซ เช่น

คลอรีเนทไดฟีนีล (Chlorinated Diphenyles) จากกระบวนการทำให้เกิดโครงสร้างโพลิเมอร์ เช่น โพลีไอโซบิวทิลีน (Polyisobutylene) มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าและความร้อนได้ดีกว่าน้ำมันแร่ คือ สามารถติดไฟได้ที่อุณหภูมิสูงจึงมักนิยมนำไปใช้กับเคเบิลแรงสูง คาปาซิเตอร์และซิลิคอนโพลีคอนเดนเซท มีความเสถียรสูงทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ยาก เป็นต้น [5]

2. ประเภทสารอินทรีย์ เช่น น้ำบริสุทธิ์, ไนโตรเจนเหลว, อาร์กอนเหลว, ออกซิเจนเหลว เป็นต้น น้ำบริสุทธิ์มีราคาถูกและผลิตได้ง่ายสามารถใช้เป็นไดอิเล็กตริกได้

จากข้อมูลข้างต้น สามารถสรุปประเภทฉนวนเหลวเป็นไดอะแกรมได้ ดังรูปที่ 2.1

2.1.3 โครงสร้างของน้ำมันหม้อแปลง

น้ำมันหม้อแปลงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจาก น้ำมันดิบปิโตรเลียม (Crude Petroleum) ผ่านกระบวนการกลั่น (Refining Process) เช่น กรดจากการกลั่น, การละลายตัวทำลาย, ไฮโดรเจน, ขบวนการรวมตัวกันองค์ประกอบทางเคมี คือไฮโดรคาร์บอนหรือน้ำมันแร่ และไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอนรวมกันอยู่ [6]

2.1.3.1 น้ำมันแร่ (Mineral Oil)

น้ำมันแร่ คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ ซึ่งประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนหลายชนิดสามารถจำแนกตามลักษณะของโครงสร้างได้ 3 ประเภทคือ

1. พาราฟินิก (Paraffinic) คือ น้ำกลั่นจากถ่านหิน, น้ำมันก๊าซ
2. แนฟทีนิก (Naphthenic) คือ น้ำมันประเภทปิโตรเลียม
3. อโรมาติก (Aromatic) คือ ส่วนผสมของกลั่น

โดยพาราฟินิกและแนฟทีนิกจะมีความเป็นเสถียรภาพ เนื่องจากเป็นไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว ส่วนอโรมาติกจะไม่มีเสถียรเนื่องจากเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวทั้ง 3 ประเภทนี้จะมีโมเลกุลที่มีขนาดและความซับซ้อนของโครงสร้างที่แตกต่างกัน ไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กมีโครงสร้างไม่ซับซ้อนจะอยู่สถานะก๊าซที่อุณหภูมิห้อง ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลสูงจะระเหยยากและมีความหนืดต่ำ ส่วนที่มีมวลโมเลกุลสูงมากและมีโครงสร้างสลับซับซ้อนจะระเหยยากและมีความหนืดสูงหรือมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น ขี้ผึ้งพาราฟิน (Parafin Wax) หรือแอสฟัลท์ (Asphaltic Bitumen) เป็นต้น

น้ำมันดิบนอกจากจะมีองค์ประกอบของทั้ง 3 ประเภทแล้วยังประกอบด้วยสารที่ไม่ใช่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นไฮโดรคาร์บอนอยู่ด้วยเรียกว่าเป็นสิ่งเจือปนหรือสิ่งแปลกปลอมที่ต้องกำจัดออกระหว่างกระบวนการกลั่นปิโตรเลียม

โดยทั่วไปแล้วน้ำมันดิบจะจำแนกออกเป็น 3 ชนิดคือ

1. น้ำมันดิบที่มีพาราฟินิกเป็นมูลฐาน ประกอบด้วยพาราฟินิกและแนฟทีนิกที่มีมวลโมเลกุลมีค่ามากและซับซ้อนสัดส่วนของพาราฟินิกมากกว่า และสัดส่วนของอโรมาติกต่ำ ดังนั้นจึงมีขี้ผึ้ง (Wax) เป็นจำนวนมาก ส่วนแอสฟัลต์มีจำนวนน้อย

2. น้ำมันดิบที่มีเนฟทีนิกเป็นมาตรฐาน มีสัดส่วนของเนฟทีนิกและโอโรมาติกมากกว่าชนิดแรกและมีสัดส่วนของพาราฟีนิกต่ำกว่าเนฟทีนิกที่ผสมอยู่มีมวล โมเลกุลสูง จึงมีสัดส่วนของปริมาณแอสฟัลต์มาก

3. น้ำมันดิบผสม มีสัดส่วนของพาราฟีนิกและเนฟทีนิกที่ใกล้เคียงกัน น้ำมันที่ได้จากน้ำมันดิบชนิดนี้จะคล้ายกับที่ได้จากน้ำมันดิบสองชนิดแรกขึ้นอยู่กับว่าไฮโดรคาร์บอนประเภทใดมีสัดส่วนมากกว่า

การผลิตน้ำมันแร่สามารถใช้น้ำมันได้ทั้ง 3 ชนิดมาเป็นวัตถุดิบเบื้องต้น แต่กระบวนการที่ใช้สำหรับน้ำมันดิบแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน เพื่อควบคุมอัตราส่วนขององค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนทั้ง 3 ประเภทให้เหมาะสม โดยทั่วไปจะมีสัดส่วนของพาราฟีนิก 40-60% เนฟทีนิก 30-50% และโอโรมาติก 5-20% โดยน้ำหนัก เพื่อให้ น้ำมันแร่มีคุณสมบัติเหมาะต่อการนำไปใช้เป็นฉนวนทางไฟฟ้า

นอกจากนี้ยังมีการเติมสารเติมแต่ง (Additive) เพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติของน้ำมันแร่ โดยเฉพาะสารยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Inhibitor) ช่วยให้น้ำมันเกิดออกซิเดชันได้ยากขึ้นและน้ำมันมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

น้ำมันแร่ที่นิยมใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เช่น น้ำมันหม้อแปลงเป็นน้ำมันแร่ที่ใช้ทำหน้าที่เป็นฉนวนและระบายความร้อน ในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง น้ำมันคาปาซิเตอร์มีคุณสมบัติคล้ายกับน้ำมันหม้อแปลงเพียงแต่มีความบริสุทธิ์สูงกว่า จึงใช้เป็นตัวกลางในการแช่กระดาษฉนวนและฟิล์มโพลีเมอร์ในการสร้างคาปาซิเตอร์

2.1.3.2 ไมไฮโดรคาร์บอน (Non-Hydrocarbon)

จะมีอยู่ในน้ำมันปิโตรเลียม โดยจะรวมโครงสร้างของไฮโดรคาร์บอน ด้วยซึ่งคาร์บอนอะตอมจะถูกแทนที่ด้วยซิลเฟอร์, ออกซิเจนหรือไนโตรเจนอะตอม 1, 2, 3 ตัวหรือมากกว่านั้นจะเรียกว่าเป็นการรวมกันแบบไมไฮโดรคาร์บอนเฮเทอโรโรของน้ำมันหม้อแปลง รวมถึงกรดเนฟทีนิก, เอสเทอร์, แอลกอฮอล์, เทอร์รี่แอสเฟลคิกรวมอยู่โดยที่มีซิลเฟอร์และไนโตรเจนรวมอยู่เป็นองค์ประกอบหลัก

โดยทั่วไปน้ำมันปิโตรเลียมที่ยังไม่ได้กลั่นจะมีซิลเฟอร์และส่วนประกอบของซิลเฟอร์ ซึ่งปริมาณซิลเฟอร์ในเนฟทีนิกที่มีอยู่น้อยกว่าพาราฟีนิก ถ้าขาดซิลเฟอร์หรือมีส่วนผสมไม่สม่ำเสมอจะทำให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนหรือการเป็นสนิมของทองแดงที่สัมผัสกับฉนวนน้ำมัน

น้ำมันปิโตรเลียมที่ยังไม่ได้กลั่น ปกติจะรวมตัวกับไนโตรเจนจำนวนเล็กน้อยและมีส่วนที่รวมตัวกับกรดอะมิโนและกลุ่มของกรดคาร์บอนิกด้วยเพื่อทำหน้าที่ต่อต้านการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าและในหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีกรดเนฟทีนิกอยู่จำนวนไม่น้อย แต่สามารถขจัดออกได้ในช่วงที่ทำการกรองน้ำมันเพื่อลดให้มีจำนวนต่ำกว่า 0.02% ของน้ำหนัก

น้ำมันหม้อแปลงและนอกจากนี้ในน้ำมันหม้อแปลงอาจจะมีกรดอิลฟลาติกจำนวนเล็กน้อยและอนุกรมของโอโรมาติก, ส่วนผสมเปอร์ออกไซด์, เอสเทอร์และแอลกอฮอล์ [6]

2.1.4 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหม้อแปลง สาเหตุที่ทำให้น้ำมันหม้อแปลงเสื่อมสภาพลง การปนเปื้อน น้ำมันถูกปนเปื้อนจากความชื้นหรือสารแปลกปลอมอื่นๆ เช่น ฟูน, ซัลเฟอร์ ออกซิเจน, ไนโตรเจน

ความเสื่อม น้ำมันเสื่อมสภาพที่เป็นผลมาจากการเกิดออกซิเดชันสาเหตุหลักๆ คือออกซิเจนเป็นตัวช่วยให้เกิดปฏิกิริยา เช่นความชื้น, ตัวเร่งปฏิกิริยาทองแดงโดยมีตัวเร่ง คือความร้อน, การสั่นสะเทือนและมีความเครียดทางไฟฟ้าสูง [6]

2.1.4.1 สาเหตุที่ทำให้น้ำมันหม้อแปลงเสื่อมสภาพ

1. การเสื่อมสภาพทางออกซิเดชัน คือการเสื่อมสภาพของน้ำมันเริ่มตั้งแต่ที่น้ำมันถูกบรรจุเข้าไปในอุปกรณ์ โดยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวในน้ำมัน จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนภายในอุปกรณ์ (ซึ่งอาจเป็นออกซิเจนที่ละลายกับน้ำมัน หรือคั่งค้างหลังการผลิตจากโรงงานหรือมาจากอากาศโดยตรง ในกรณีหม้อแปลงระบบปิดที่หายใจผ่านซิลิกาเจล) ภายใต้ความชื้น, ทองแดง เหล็กและตัวเร่งปฏิกิริยา (ความร้อนสนามไฟฟ้า) เกิดผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเป็นออกไซด์ในรูปของเพอร์ออกไซด์, แอลกอฮอล์ และกรดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง กรณีที่เกิดขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยากับทองแดง, เหล็ก, วานิชหรือสีในน้ำมันหม้อแปลงเกิดสารที่ค่อนข้างนำไฟฟ้า และละลายในน้ำมันปานกลาง เรียกว่าตะกอนเมื่อตะกอนมีการสะสมตัวมากขึ้นๆ ความสามารถในการละลายจะลดลง เกิดการตกตะกอน และเกิดสารที่ขุ่นหนืดเกาะผิวกระดาษฉนวนตัวถัง, ร่องน้ำมันหรือดริบระบายความร้อนทำให้การระบายความร้อนของอุปกรณ์แยลง สารเสื่อมสภาพนี้จะทำให้สีของน้ำมันเหลืองมากขึ้น จนกลายเป็นสีน้ำตาลอ่อนและสีน้ำตาลเข้มเมื่อมีปริมาณตะกอนมากขึ้น น้ำมันที่ใสจะขุ่นขึ้นความสามารถในการส่งผ่านความร้อนของน้ำมันจะลดน้อยลง นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบสำคัญที่เกิดจะลดความเป็นฉนวนไฟฟ้าของน้ำมัน ส่วนสารเจือปนหรือพวกสารปนเปื้อน ได้แก่ น้ำ ฟูน และเศษผง จะทำให้มันขุ่นมัวและการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

2. การเสื่อมสภาพทางไฮโดรไลติกเนื่องจากน้ำเป็นสารที่มีขั้วมีค่าไดอิเล็กตริกคอนแดนซ์สูงประมาณ 80 ในขณะที่ในน้ำมันมีค่า 2.2 หยคน้ำในน้ำมัน ที่อยู่ในบริเวณที่มีความเครียดสูงจะสร้างปัญหาในการเกิดดีสชาร์จในน้ำมัน ทำให้ความแข็งแรงทางฉนวนลดลง นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสูญเสียทางฉนวน (Dielectric loss) เพิ่มปัจจัยในการสูญเสียและการนำไฟฟ้า

3. การเสื่อมสภาพทางไฟฟ้า เนื่องจากความเครียดของสนามไฟฟ้าทำให้เกิดค่าสูญเสียค่าไดอิเล็กตริกของน้ำมันสูงขึ้นน้ำมันเสื่อมสภาพเร็วขึ้น อาจจะแก้ไขโดยสารประเภทที่มีตัวยับยั้งเข้าไปในน้ำมัน สารประเภทที่มีตัวยับยั้ง ที่เติมในน้ำมันเพื่อปรับปรุงสภาพด้านการต่อต้านออกซิเดชันส่วนใหญ่จะลดคุณสมบัติด้านค่าความแข็งแรงอิมพัลส์ของน้ำมัน

4. การเสื่อมสภาพทางความร้อน เนื่องจากความร้อนจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันให้เร็วขึ้น ทำให้น้ำมันเสื่อมสภาพเร็วขึ้น นอกจากนี้ความร้อนยังเป็นปัจจัยสำคัญในการทำให้กระดาษฉนวนเสื่อมสภาพ หากสภาพการระบายความร้อนของน้ำมันแย่งลง อายุการใช้งานของกระดาษฉนวนจะสั้นลง [7]

2.1.4.2 องค์ประกอบพื้นฐานที่ทำให้น้ำมันหม้อแปลงเสื่อมสภาพ

1. ออกซิเจน คือออกซิเจนได้รับมาจากอากาศภายในหม้อแปลง ซึ่งออกซิเจนทั้งหมดไม่สามารถกำจัดออกไปได้ แม้จะได้รับการติดตั้งเครื่องสูญอากาศประมาณ 0.25% โดยปริมาตร ออกซิเจนก็ยังคงอยู่ภายในออกซิเจนจึงเป็น สาเหตุแรกที่ทำให้ น้ำมันเสื่อมสภาพลง เพราะเป็นตัวที่ทำให้เกิดออกซิเดชัน [6]

ไฮโดรคาร์บอนไม่เสถียรในน้ำมัน + ออกซิเจน + ตัวช่วย + ตัวเร่งปฏิกิริยา = กรดต่างๆ

2. ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา

2.1 ความชื้นสามารถเข้ามาอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง โดยการรั่วซึมจากภายนอกแล้วรวมตัวกันเป็นน้ำหรืออาจจะมาจากปฏิกิริยาที่เกิดจากการออกซิเดชันภายใน

2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาขององค์ประกอบที่เพิ่มการเกิดออกซิเดชัน โดยทั่วไปประกอบด้วย ความร้อน, การสั่นสะเทือน, ความเครียดไฟฟ้าสูง, แรงดันไม่คงที่และวัสดุที่เป็นกระดาษฉนวน

2.1.5 หน้าที่และคุณสมบัติของน้ำมันหม้อแปลง

หน้าที่หลักของน้ำมันหม้อแปลงมี 2 อย่างคือเป็นฉนวนไดอิเล็กตริกและถ่ายเทความร้อน น้ำมันเป็นส่วนหนึ่งของระบบฉนวน ซึ่งชีวิตของหม้อแปลงก็คือชีวิตของระบบฉนวน ซึ่งน้ำมันหม้อแปลงมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันอยู่ 4 ประการ [2] คือ

1. มีค่าความสามารถในการเป็นฉนวนเพียงพอ
2. มีการระบายความร้อนและการส่งผ่านความร้อน
3. รักษาสภาพในส่วนของแกนเหล็กและขดลวดของหม้อแปลง
4. มีก๊าซออกซิเจนรวมอยู่น้อยมากในเซลล์โลสและส่วนอื่นที่ไวต่อการเกิดออกซิเดชัน

เมื่อคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งของหม้อแปลงเปลี่ยนไปหม้อแปลงทั้งหมดจะมีอายุการใช้งานและประสิทธิภาพน้อยลง โดยทั่วไปน้ำมันหม้อแปลงสามารถใช้กับอุปกรณ์หลายชนิด เช่น บุซชิ่ง, เซอร์คิตเบรกเกอร์และการเปลี่ยนแทป เป็นต้น

2.1.6 การตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมันหม้อแปลง

ความน่าเชื่อถือของน้ำมันในระบบขึ้นอยู่กับคุณลักษณะเบื้องต้น ซึ่งมีผลต่ออุปกรณ์น้ำมัน ต้องมีคุณสมบัติพื้นฐานที่แน่นอน ขณะใช้งานระบบของน้ำมันแร่จะเสื่อมสภาพหรือการปนเปื้อนทำให้คุณสมบัติบางอย่างเปลี่ยนแปลงไป การทดสอบที่เพียงพอจะเป็นตัวกำหนดว่าจะยอมรับน้ำมันสำหรับการใช้งานต่อไปหรือไม่ การตรวจสอบทำโดยทดสอบคุณสมบัติ [6]

2.1.6.1 คุณสมบัติทางเคมี เป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงสภาพความเป็น ความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำมัน, การตกตะกอนของสิ่งเจือปน, การกัดกร่อนจากสารประเภทซัลเฟอร์

1. ตัวเลขที่เป็นข้อตกลงกันระหว่างประเทศ (ตัวเลขกรด) การสะเทินจะเกิดจากการออกซิเดชันของน้ำมันกรดอินทรีย์ที่มีปริมาณมากจะเป็นอันตรายต่อระบบฉนวนและจำนวนกรดที่มีอยู่จำนวนเล็กน้อยในน้ำมันแร่ที่มีความจำเป็นต่อการนำไฟฟ้าการกัดกร่อนของเหล็กน้อยที่สุดและอายุการใช้งานของระบบฉนวน

2. ก๊าซที่เกิดขึ้นภายใต้การเกิดอาร์ค

3. ปริมาณน้ำหรือความชื้นที่อยู่ภายใน (Water Content or Moisture Content) น้ำอาจเกิดจากบรรยากาศหรือจากการเสื่อมของวัสดุฉนวนซึ่งเจือปนกับน้ำอาจจะมีผลหรือไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าอิสระต่อน้ำ จะเป็นหยดน้ำเล็กๆ ไม่มีผลต่อหม้อแปลง ปริมาณน้ำของน้ำมันแร่ต้องต่ำ ซึ่งจำเป็นมากเพื่อเพิ่มอายุของฉนวนและลดการเกิดสนิมหรือการกัดกร่อนโลหะ

2.1.6.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้า เป็นตัวบ่งบอกถึงค่าความต้านทานจำเพาะ, การเบรคดาวน์, เปอร์มิตติวิตีสัมพัทธ์ เป็นต้น ดังตารางที่ 2.1

1. ความคงทนไดอิเล็กทริก (แรงดันเบรคดาวน์) เป็นตัวบ่งบอกถึงสิ่งปนเปื้อนต่างๆ เช่น น้ำ, ฝุ่น หรืออนุภาคในการจัดการ ประกอบด้วยการทดสอบ 2 มาตรฐาน

- ASTM D-877 สำหรับการทดสอบเป็นประจำ, อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันไม่เกิน 230 kV, เพื่อตรวจสอบน้ำมันใหม่

- ASTM D-1816 สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันเกิน 230 kV, ทดสอบน้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีต่างๆ เช่น การทำให้บริสุทธิ์

2. ความคงทนอิมพัลส์ จะเกิดขึ้นภายใต้แรงดันทรานเซียนท์ หรือเป็นการทดสอบต่อความคงทนต่อความเครียดอิมพัลส์ เช่น การปะทะให้เกิดแสงสว่าง ปริมาณอโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน มีผลต่อการทดสอบนี้

3. ค่าเปอร์มิตติวิตีสัมพัทธ์ของไดอิเล็กทริกคงที่

2.1.6.3 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ เป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงลักษณะต่างๆ ของน้ำมัน เช่น ความหนืด, ความหนาแน่น, ชนิดของน้ำมัน, จุดวาบไฟ เป็นต้น ดังตารางที่ 2.2

1. ความหนืด (Viscosity) ซึ่งจะเป็นข้อมูลแสดงถึงการวัดความต้านทานต่อการไหล, การส่งผ่านความร้อน, การซึบซาบของน้ำมันในส่วนต่างๆ น้ำมันที่ชั้นนั้นมีความหนืดสูงในขณะที่น้ำมันใสจะมีความหนืดน้อย

ดัชนีความหนืด คือความต้านทานต่อการไหลของน้ำมันที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป น้ำมันที่มีค่าดัชนีความหนืดสูงจะมีความต้านทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมากกว่า น้ำมันที่มีดัชนีความหนืดต่ำ

2. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) เป็นอัตราส่วนน้ำหนักของวัตถุใดๆ เมื่อเทียบกับน้ำ โดยการใช้การปรับค่าอุณหภูมิมาใช้ด้วย ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันประเภทพาราฟินิก ปกติจะต่ำกว่าน้ำมันประเภทแนฟทีนิก

3. อุณหภูมิต่ำสุดที่เริ่มไหลของน้ำมัน (Poor Point)

4. การระเหย (Volatility)

5. ความคงทนต่อการเกิดออกซิไดซ์ (Oxidation Stability) ส่วนมากแล้วน้ำมันประเภทพาราฟินิกเก่าๆ จะมีค่าความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันมากกว่าน้ำมันประเภทแนฟทีนิก

6. ส่วนผสมของเมือกโคลนที่ละลายอยู่ (Sludge Solvency)

7. ความตึงผิว (Interfacial Tension)

ค่าคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันที่ได้จากการทดสอบเป็น ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันหม้อแปลง [7]

คุณสมบัติ	น้ำมันหม้อแปลง
ความถ่วงจำเพาะ g/cm^3	0.9
จุดไฟติด $^{\circ}C$	130-180
สภาพนำความร้อน $mW/cm^{\circ}C$	1.6
ความต้านทานจำเพาะ $Ohm-cm$ ที่ $85^{\circ}C$	100×10^{12}
แฟกเตอร์พลังงานสูญเสียที่ $80^{\circ}C$, 50 Hz	10×10^{-4}
ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC ที่ $20^{\circ}C$ kV/mm	10-25
เปอร์มิตติวิตีสัมพัทธ์ ϵ_r (50 Hz)	2-2.5
ความชื้นที่ยอมให้มีได้สูงสุด (ppm)	50
ความหนืด การขยายตัว ($20-100^{\circ}C$)	$7 \times 10^{-4} / ^{\circ}C$
ผลการแตกตัวขององค์ประกอบ เมื่อเกิดอาร์คไฟฟ้า	ไฮโดรเจน, อะเซตทีลีน

2.1.7 การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหม้อแปลง

การแยกความชื้นและวัสดุที่เป็นของแข็ง (Recondition)

การแยกสารที่มีความเป็นกรดกับสารปนเปื้อนที่ละลายในของเหลวและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกซิเดชัน (Reclaiming)

กรรมวิธีในการแยกเอาความชื้นวัสดุที่เป็นของแข็ง, สารที่มีความเป็นกรด, ก๊าซที่เจือปน, ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกซิเดชันและมีการเติมตัวช่วยยั้ง ทำให้เป็นอิสระต่อกัน เพื่อให้มีคุณสมบัติเหมือนน้ำมันดั้งเดิม (Regeneration) [6]

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะจำเพาะและผลกระทบที่เกิดขึ้น [6]

คุณลักษณะ	คำอธิบายเพิ่มเติม
ความหนืด	ถ้าน้ำมันหม้อแปลงมีความหนืดต่ำ จะทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนดี
ความแข็งแรง	ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงเชิงกำลังไฟฟ้ามีค่าต่ำ แต่จะทำให้ก๊าซที่ละลายในน้ำมันเกิดการแตกตัวมากขึ้นและความเป็นฉนวนของน้ำมันลดลง
จุดวาบไฟ	เป็นระดับอุณหภูมิที่โอบนผิวน้ำมันสามารถติดไฟขึ้นเองได้โดยธรรมชาติ ถ้าน้ำมันหม้อแปลงมีจุดวาบไฟต่ำ จะทำให้น้ำมันระเหยได้ง่าย และขยายตัวได้มาก นั่นคือ ท้ามห้ความดันหม้อแปลงมีค่าสูง
ความหนาแน่น	เป็นค่าที่ระบุไว้เพื่อป้องกันมิให้น้ำมันกลายเป็นน้ำแข็งในสถานะที่เป็นอุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไปจะกำหนดไว้ประมาณ 0.895 g/cm^3 ที่ $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
จุดไหลเท	เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่น ซึ่งจะเป็นค่าอุณหภูมิที่มีค่าต่ำที่สุดที่น้ำมันยังไหลได้
ค่ามุลน้ำมันและค่าความเป็นกรด	เป็นค่าที่เกิดขึ้นภายหลังที่น้ำมันทำปฏิกิริยากับอากาศซึ่งหากมีความเป็นกรดสูง จะทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนต่ำ และยังอาจมีผลต่อการไหลเวียนของน้ำมันในท่อน้ำมันด้วย เพราะวามูลน้ำมันไปเกาะในท่อน้ำมัน
ความแข็งแรงเชิงไฟฟ้า	เป็นค่าที่ระบุความสามารถในการทนต่อแรงดันไฟฟ้า เพื่อให้ น้ำมันคงค่าความเป็นฉนวนได้ดี
การปนเปื้อนของสารอื่น	ได้แก่ สารจำพวก กำมะถันและน้ำ ซึ่งในกรณีของกำมะถันนั้นจะต้องไม่มีอยู่ในน้ำมันเลย ส่วนน้ำก็ต้องอยู่ในพิสัย เพื่อรักษาความเป็นฉนวนของน้ำมัน

2.2 การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความสำคัญในการนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ ตั้งแต่ติดตั้งจนถึงปัจจุบัน ถูกใช้ตลอดเวลา ซึ่งอาจจะเกิดการเสื่อมสภาพและชำรุดได้ จึงจำเป็นต้องได้รับการดูแลบำรุงรักษาอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง เพื่อยืดอายุการใช้งานให้นานที่สุด โดยทั่วไปขนาดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าจะถูกสร้างให้มีขนาดใหญ่ และมีพิกัดที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เพื่อรองรับกับความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า

การบำรุงรักษา (Maintenance) เป็นปัญหาใหญ่ซึ่งจะต้องคำนึงถึงสวัสดิภาพของผู้ปฏิบัติงาน นั่นก็คือความปลอดภัย แล้วจึงต้องคำนึงถึงทฤษฎีการทำงานและเทคโนโลยีของอุปกรณ์ที่จะต้องบำรุงรักษา โดยเฉพาะหม้อแปลงไฟฟ้าที่ต้องใช้กับไฟฟ้าแรงสูง เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาต้นทุนสูงมาก การเสียหายใดๆที่เกิดขึ้นนอกจากจะทำให้ใช้งานด้านบริการทางด้านไฟฟ้าหยุดชะงักลงแล้วยังมีผลกระทบต่ออุปกรณ์อื่นๆอีก ฉะนั้นค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ชนิดนี้จึงค่อนข้างที่จะสูง และอุปกรณ์ทุกชนิดที่มีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น น้ำมัน ห้องหายใจ อุปกรณ์กับดักฟ้าผ่าและอุปกรณ์ป้องกันอื่นๆ ก็จำเป็นต้องดูแลรักษาให้อยู่ในสภาพที่เรียบร้อย

การบำรุงรักษาที่ดี คือหม้อแปลงต้องอยู่ในสภาพใหม่อยู่ตลอดเวลาและสามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นล่วงหน้าได้ หลีกเลี่ยงอุบัติเหตุที่ไม่พึงปรารถนา จึงต้องทำแผนการบำรุงรักษาล่วงหน้าโดยอาศัยความรู้ทางวิศวกรรม การตรวจสอบอยู่เป็นประจำหรือการกำหนดระยะเวลาในการตรวจสอบจะทำให้ทราบถึงปัญหาที่ทำให้อุปกรณ์ต่างๆของหม้อแปลงที่ใช้อยู่ในขณะนั้นเกิดความผิดปกติ ซึ่งถ้าสามารถทราบถึงปัญหาที่เริ่มก่อขึ้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้ง่ายต่อการแก้ไขปัญหา ก่อนที่จะเกิดความเสียหายร้ายแรงขึ้นกับหม้อแปลง จึงต้องมีการวางแผนงานในด้านการบำรุงรักษาที่ดี เพื่อการใช้งานของหม้อแปลงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ซึ่งจะประโยชน์อย่างยิ่งต่อประเทศชาติ

วิธีการบำรุงรักษาหม้อแปลงชนิดป้องกันนั้นมีหลายวิธีด้วยกัน วิธีหนึ่งที่สะดวก ปลอดภัย และประหยัดต้นทุนในการบำรุงรักษาหม้อแปลง คือวิธีการวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง เป็นวิธีที่สามารถทดสอบได้โดยไม่ต้องปลดแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่หม้อแปลงและไม่มีผลกระทบทางการให้บริการ ซึ่งอาศัยก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำมันเมื่อเริ่มมีจุดเสียหายในหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถทำนายความเสียหายที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้าได้ โดยการสูบน้ำมันของหม้อแปลงเครื่องที่ต้องการบำรุงรักษาไปตรวจหาปริมาณก๊าซที่มีอยู่ในหม้อแปลงในขณะนั้น เพื่อหาจุดบกพร่องในหม้อแปลงไฟฟ้า

2.2.1 ความต้องการในการบำรุงรักษาหม้อแปลง

1. การตรวจสอบแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

1.1 การตรวจสอบเป็นประจำ คือการทำให้เป็นกิจวัตรทุกวันหรือบ่อยๆ โดยการสังเกตหม้อแปลงทุกๆตัวที่อยู่ในส่วนรับผิดชอบในขณะที่ใช้งาน โดยเฉพาะอุณหภูมิของน้ำมัน, อุณหภูมิของขดลวด, ขนาดของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขณะนั้น, ระดับน้ำมันและอุณหภูมิบริเวณโดยรอบ ดังตารางที่ 2.3

1.2 การตรวจสอบตามระยะเวลา ในการตรวจสอบตามระยะเวลาจะกำหนดเป็นช่วงๆ เช่น ระยะตั้งแต่ 6 เดือนต่อครั้ง ถึง 3 ปีต่อครั้ง ตามความเหมาะสม เพื่อจะได้ทราบถึงหน้าที่การทำงานของส่วนต่างๆของหม้อแปลงในขณะนั้น ซึ่งการตรวจสอบแบบนี้จะต้องตัดหม้อแปลงออกจากระบบการทำงานก่อนการตรวจสอบ ดังตารางที่ 2.4

1.3 การตรวจสอบเพิ่มเติม ในการตรวจสอบเพิ่มเติมบางอย่างเช่น การสอบคุณสมบัติบางอย่าง เช่น การทดสอบคุณสมบัติด้านไฟฟ้าของหม้อแปลงตามตารางที่แนะนำของผู้ผลิตหม้อแปลง ซึ่งจะต้องสืบหาสาเหตุโดยตลอด

2. ถ้ามีรีเลย์ป้องกันตัวใดตัวหนึ่งส่งสัญญาณเตือนจะต้องสืบหาสาเหตุที่ถูกต้อง เพื่อตรวจสอบว่ารีเลย์ตัวใดที่ส่งสัญญาณเตือนขึ้นมาในขณะนั้น เช่น รีเลย์เปรียบเทียบกระแส, รีเลย์ตรวจสอบค่ากระแสเกิน, รีเลย์ป้องกันความผิดปกติจากดิน ซึ่งอาจจะทำงานร่วมกับรีเลย์จำพวกหนึ่งที่ทำงานแบบกายภาพ (Physically Operating Mechanisms) เช่น บุษโฮลที่รีเลย์, รีเลย์การตรวจจับการเปลี่ยนแปลงแรงดันทันที, รีเลย์ปรับความดัน เป็นต้น ดังตารางที่ 2.5 และตารางที่ 2.7

3. การเปลี่ยนอุปกรณ์ชิ้นส่วนต่างๆ ตามระยะเวลาการใช้งาน เช่น ประเก็น, ตลับลูกปืนของมอเตอร์แบบต่างๆ เช่น ปั๊ม พัดลมหรือการปรับปรุงพ่นสี ใหม่ของตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ระบายความร้อน การที่จะดำเนินการดังกล่าวจะต้องมีการวางแผนการบำรุงรักษาไว้ล่วงหน้า สามารถทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพสูง ดังตารางที่ 2.6

4. เมื่อหม้อแปลงถูกใช้งานในระบบที่ผิดปกติ เช่น ภาระโหลดเกินเป็นเวลาหลายชั่วโมงหรือเกิดการลัดวงจรภายนอก เช่น ในสายส่งหรือบัสบอยครั้งหม้อแปลงควรได้รับการตรวจสอบภายใน

5. เมื่อเกิดอาการที่ผิดปกติบางอย่าง เช่น เสียง, ระดับน้ำมันสูงหรือต่ำ, เกิดการแตกร้าวและอื่นๆ หม้อแปลงไฟฟ้าควรได้รับการสืบหาสาเหตุการเกิดความผิดปกติโดยตลอด [6]

2.2.2 การค้นหาจุดที่เกิดปัญหา

พิจารณาจากการทำงานของรีเลย์ป้องกัน ถ้ารีเลย์ป้องกันตัวใดตัวหนึ่งเกิดส่งสัญญาณเตือนความผิดปกติ ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.3 การตรวจสอบหม้อแปลง [6]

ลำดับที่	รายการ	วิธีดำเนินการ
1	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิของน้ำมันและขดลวด	- อ่านอุณหภูมิจากอุปกรณ์ - เปรียบเทียบกับข้อมูลเก่าที่ผ่านมา - เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นหรือต่ำลงผิดปกติให้ พิจารณาถึงการใช้งาน และอุณหภูมิรอบๆภายนอก (Ambient) ในขณะนั้น
	การอ่านและบันทึกอุณหภูมิ	- อุณหภูมิในการใช้งาน (Load Current) และอุณหภูมิรอบๆภายนอกจะต้องอ่านและบันทึกในเวลาเดียวกัน
2	1) ระดับน้ำมันของหม้อแปลง	- อ่านระดับน้ำมันของอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนถังรองรับน้ำมัน (Conservator Tank) - เปรียบเทียบกับระดับน้ำมันจากแผ่นข้อมูลอ้างอิง (Temperature Chart) ของบริษัทผู้ผลิต
	2) ระดับน้ำมันในบัสบาร์	- ตรวจสอบระดับน้ำมันกับระดับปกติที่กำหนดไว้
3	การรั่วซึมของน้ำมัน	- ตรวจสอบโดยสังเกตตามจุดต่างๆของตัวหม้อแปลงว่ามีที่ใดรั่วซึมหรือไม่ เช่น ตามท่อ หน้าแปลนระบายความร้อน
4	การสันเสี้อันและการเกิดเสียงดังผิดปกติ	- เสียงดังผิดปกติที่เกิดขึ้นภายนอกเช่น มอเตอร์ของปั๊มน้ำมันหรือมอเตอร์พัดลมจะต้องคอยสังเกตอยู่เสมอ - เสียงดังผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในจะต้องแจ้งให้ผู้มีหน้าที่รับผิดชอบโดยเร่งด่วน - การสันผิดปกติสามารถรู้และเปรียบเทียบได้กับวันใช้งานที่ผ่านมา
5	อื่นๆ	
	1) สีที่เปลี่ยน	- สังเกตที่จุดต่อต่างๆ แห่งที่สีเปลี่ยนไป ควรวินิจฉัยว่าเกิดจากการมีความร้อนสูงหรือไม่
	2) คราบฝุ่นละออง	- สังเกตคราบฝุ่นละอองต่างๆที่สะสม โดยเฉพาะที่ระบายความร้อน (Radiator)
	3) สนิม	- สังเกตส่วนที่เป็นสนิม โดยเฉพาะครีบบระบายความร้อน
	4) จุดที่มีน้ำขัง	- ตรวจสอบส่วนต่างๆ ที่อาจจะมีน้ำขังเช่น ก่องข้อต่อสายต่างๆหรือตู้ควบคุม

ตารางที่ 2.4 ข้อเสนอแนะในการพิจารณาระยะเวลาในการตรวจสอบ [6]

ลำดับที่	รายการ	วิธีดำเนินการ
1	ระบบการถ่ายเทอากาศ 6 เดือน/ครั้ง	- ตรวจสอบการเปลี่ยนสีของซิลิกาเจล เนื่องจากการดูดซึ่ม ความชื้นที่เกิดจากการถ่ายเทอากาศ
2	น้ำมันหม้อแปลง 1) ความสามารถในการ เป็นฉนวนไฟฟ้า 2) ความชื้นที่อยู่ในน้ำมัน (Moisture Content) 3) ค่าความเป็นกรด (Acid Value) 3 ปี/ครั้ง	- วัดความสามารถในการเป็นฉนวนไฟฟ้าด้วยเครื่องวัด (Oil Tester) ซึ่งมีมากกว่า 35 kV / 2.5 mm gap - ความชื้นในน้ำมันควรมีค่าน้อยกว่า 30 ppm (Part per Million) - ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g) มีค่าน้อยกว่า 0.2, มีค่า ระหว่าง 0.2-0.4 และมากกว่า 0.4
3	มอเตอร์พัดลมและ มอเตอร์ปั๊ม (Fan motors and Oil Pump Motors) 3 ปี/ครั้ง	- วัดความต้านทานของฉนวนขดลวด - ตรวจสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของมอเตอร์ปั๊ม โดยใช้ อุณหภูมิของน้ำมันเป็นฐาน ซึ่งตัวมอเตอร์ต้องมีอุณหภูมิ ไม่เกินกว่า 10 °C ของอุณหภูมิน้ำมัน
4	ระบบระบายความร้อน ด้วยน้ำ(Cooler of water cooled type) 3 ปี/ครั้ง	- ตรวจสอบการเกาะตัวของตะกอนภายในท่อหล่อเย็น ซึ่ง จะทำให้้อักรการไหลของน้ำมันน้อยลง โดยอาจพิจารณา จากอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิของหม้อแปลงในขณะที่ จ่ายพลังงานตามปกติ
5.	ตู้ควบคุมและกล่องจุดต่อ ต่างๆ.(Control panel and Terminal box) 3 ปี/ครั้ง	- ตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันการรั่วซึมของตู้ควบคุม และกล่องจุดต่อต่างๆ - เปิดสวิตช์ควบคุมทุกตัวและตรวจสอบอุปกรณ์ที่ส่ง สัญญาณทุกตัวว่าทำงานตรงตามแบบแผนที่กำหนดไว้ หรือไม่ - วัดค่าความฉนวนของสายเคเบิลต่างๆ - ตรวจสอบสายเคเบิลต่างๆ ว่ามีฉนวนแตกชำรุดหรือไม่
6	จุดต่อต่างๆ ภายนอก หม้อแปลงไฟฟ้า ทำเป็น ครั้งคราวตาม โอกาสที่ เหมาะสม	- จุดต่อต่างๆภายนอกของหม้อแปลงควรได้รับการ ตรวจสอบว่าจุดใดบ้างที่มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ ซึ่งอาจ สังเกตได้จากสีที่เปลี่ยนไปตรงบริเวณจุดต่ออื่นๆ

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

ลำดับที่	รายการ	วิธีดำเนินการ
7	รีเลย์ป้องกันต่างๆ (Protection Relay)	1) รีเลย์วัดหน้าปิดอุณหภูมิ 2) รีเลย์ป้องกันขดลวดร้อน 3) รีเลย์วัดหน้าปิดน้ำมัน 4) รีเลย์ที่บอกการไหลของน้ำมัน 5) บุษโฮลที่รีเลย์ 6) รีเลย์ที่ตรวจพบก๊าซ 7) รีเลย์การตรวจจับการเปลี่ยนแปลงแรงดันทันที 8) รีเลย์แบบแตกทะเล 9) รีเลย์เปรียบเทียบความดัน (สำหรับน้ำมันและน้ำเย็น)
	1) วัดความต้านทานของฉนวน 3 ปี/ครั้ง	- วัดความต้านทานของอุปกรณ์ป้องกันรวมทั้งสายควบคุมต่างๆ
	2) กระบวนการทำงาน 3 ปี/ครั้ง	- ตรวจสอบกระบวนการทำงานของรีเลย์ป้องกันชนิดต่างๆ ซึ่งบางครั้งอาจทำงาน ในขณะที่หม้อแปลงสามารถใช้งานได้ปกติ

ตารางที่ 2.5 การทำงานของรีเลย์ [6]

ลำดับที่	รีเลย์	หน้าที่และการกระทำ
1	เทอร์โมมิเตอร์ชนิดหน้าปิด (Dial Type Thermometer)	- เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้ จะบอกอุณหภูมิด้านบนของน้ำมันในหม้อแปลง, ประวัติอุณหภูมิของหม้อแปลง และมีอุปกรณ์ส่งสัญญาณบอกเมื่ออุณหภูมิถึงจุดที่ตั้งไว้
2	รีเลย์วัดอุณหภูมิของน้ำมันและขดลวด (Thermal Relay)	- รีเลย์ชนิดนี้จะวัดและบอกอุณหภูมิสูงสุดของน้ำมันและขดลวดหม้อแปลง ควบคุมการทำงานของระบบระบายความร้อนอัตโนมัติ ทั้งยังส่งสัญญาณเตือน หรือตัดหม้อแปลงออกจากระบบเมื่อความร้อนถึงจุดที่ตั้งไว้
3	รีเลย์บอกการไหลของน้ำมัน (Oil Flow Indicator)	- ระบบแม่เหล็กที่เป็นตัวบอกการไหลของน้ำมันและตรวจสอบการทำงานของปั๊ม คือถ้าปั๊มหยุดทำงานเต็มจะย้อนกลับไปอีกด้านหนึ่งคอนแทคไมโครสวิทช์ก็จะส่งสัญญาณเตือน

ตารางที่ 2.6 การบำรุงรักษาชิ้นส่วนต่างๆ [6]

รายการ	ชิ้นส่วน-อุปกรณ์	ระยะเวลาในการบำรุงรักษา
1	การหล่อลื่นมอเตอร์พัดลม	- ทำทุกระยะเวลา 1 ปี
2	ฉนวนแข็งในเครื่องเคลือบ เช่น บุสซิ่ง, การจุดไฟและฉนวนประกอบ	- ระยะเวลาในการบำรุงรักษานั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่หม้อแปลงติดตั้งใช้งานอยู่ เช่น ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีฝุ่นละอองมากหรือไม่
3	การระบายความร้อน 1) ครีบระบายความร้อนตามธรรมชาติ	- ทำความสะอาดทุกๆ 2 ปี
	2) ครีบระบายความร้อนที่ใช้พัดลมช่วย	- ละอองหรือฝุ่นอาจเข้าไปเกาะติดที่ครีบ ซึ่งควรทำความสะอาดเพื่อประสิทธิภาพในการระบายความร้อน
	3) ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ	- ควรตรวจสอบและทำความสะอาดตะกอนภายในท่อทุก 2 ปี
4	สี	- ทาสีใหม่ทุก 5 ปี โดยพิจารณาสภาพแวดล้อมและพื้นที่ใช้งาน
5	แผ่นรองรับความดันเกิน (Bursting Plate)	- อุปกรณ์นี้ควรเปลี่ยนทุกๆ 5 ปี
6	คลัทช์ลูกปืนของมอเตอร์พัดลมหรือมอเตอร์ปั๊ม	- มีอายุใช้งานตามปกติประมาณ 10 ปี
7	ประเก็น	- มีอายุใช้งานตามปกติประมาณ 10 ปี ตั้งแต่เริ่มติดตั้งใช้งาน

ตารางที่ 2.7 หน้าที่ของรีเลย์เมื่อมีรีเลย์ตัวใดตัวหนึ่งเกิดส่งสัญญาณขึ้น [6]

ลำดับที่	รีเลย์	หน้าที่การทำงาน
1	บุชโฮลท์รีเลย์ (1) การทำงานขั้นที่ 1	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นการตรวจจับและช็อบกถึงการเริ่มเกิดก๊าซขึ้นภายในหม้อแปลงที่ไหลไปรวมกันบนของบุชโฮลท์รีเลย์ เมื่อมีปริมาณที่มากพอ (300-400 ซีซี) ก๊าซจะเกิดแรงดันกดลูกลอยทำให้ไมโครสวิทช์ทำงานส่งสัญญาณเตือน - การค้นหาตำแหน่งที่เกิดก๊าซ อาจทำได้โดยวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำมัน
	(2) การทำงานขั้นที่ 2	<ul style="list-style-type: none"> - เกิดจากความเร็วในการเคลื่อนตัวของน้ำมันผ่านตัวผ่านบุชโฮลท์รีเลย์ (100 cm / วินาที) เนื่องจากเมื่อเกิดปัญหารุนแรงเกิดขึ้นภายในหม้อแปลง ทำให้เกิดแรงดันให้น้ำมันไหลอย่างรวดเร็วผ่านไปยังบุชโฮลท์และทำให้น้ำมันดันลูกลอยกระตุ้นการทำงานด้านแรงกด ทำให้ไมโครสวิทช์ทำงานส่งสัญญาณไปยังสวิทช์ตัดคอนอัก โนมัตติ์ ตัดหม้อแปลงออกจากระบบใช้งานทันที
2	รีเลย์การตรวจจับการเปลี่ยนแปลงแรงดันทันที	<ul style="list-style-type: none"> - ทำงานลักษณะคล้ายๆกับบุชโฮลท์รีเลย์ขั้นที่ 2 แต่จะเร็วกว่า เนื่องจากรีเลย์ชนิดนี้ส่วนใหญ่จะติดตั้งอยู่กับตัวหม้อแปลงและยังสามารถตรวจจับความดันก๊าซได้ด้วย - หลักการทำงานจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงและถ่ายเทความดัน ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ รีเลย์จะไม่ทำงาน แต่ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วรีเลย์จะทำงานส่งผลให้ไมโครสวิทช์สั่งตัดหม้อแปลงออกจากระบบ
3	รีเลย์ปรับความดัน	<ul style="list-style-type: none"> - รีเลย์ชนิดนี้มีทั้งแบบแตกทะเลไปเลยและแบบที่สามารถปิดกลับเองได้ รีเลย์ชนิดนี้ทำงานเมื่อความดันในหม้อแปลงมากกว่าปกติ โดยทั่วไปตั้งไว้ประมาณ $0.85 \text{ Kg/cm}^2 \pm 10\%$ (PSI)
4	รีเลย์เปรียบเทียบกระแส	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นรีเลย์ตรวจจับความแตกต่างของกระแสทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของหม้อแปลง ซึ่งปรับเปลี่ยนและส่งผ่านโดยหม้อแปลงกระแส บางครั้งรีเลย์อาจจะทำงาน ถ้ามีกระแสไหลเข้ามามากๆ

2.3 การทดสอบน้ำมันหม้อแปลง

พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นในการใช้ชีวิตประจำวัน หากว่าประเทศใดมีพลังงานไฟฟ้าใช้อย่างทั่วถึงและตลอดเวลาแสดงให้เห็นถึงความเจริญก้าวหน้าของประเทศนั้น การนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อแจกจ่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งระบบผลิต ส่งไปยังระบบจำหน่ายไฟฟ้าซึ่งมีความสำคัญเท่าๆกัน ดังนั้นการรักษาอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในระบบให้มีประสิทธิภาพและสามารถทำงานจ่ายไฟได้ตลอดเวลาตามที่ต้องการ

น้ำมันหม้อแปลงมีหน้าที่หลัก คือเป็นฉนวนและระบายความร้อนที่จะใช้ประโยชน์ในการแจ้งเหตุถึงความผิดปกติภายในหม้อแปลงได้ด้วย เปรียบเสมือนเลือดที่บอกถึงความผิดปกติภายในร่างกายมนุษย์ สามารถบอกให้ทราบก่อนล่วงหน้าที่หม้อแปลงจะเกิดความเสียหาย ซึ่งจะก่อให้เกิดไฟดับโดยไม่มีแผนวางแผนทำให้เกิดความเสียหายต่อหม้อแปลง, เวลาและผลผลิต

2.3.1 การทดสอบน้ำมันหม้อแปลงด้วยวิธีการวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนในน้ำมัน

การวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำมัน เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับการค้นหาและการตัดสินใจความผิดปกติในหม้อแปลงมานานกว่า 30 ปี ถูกพัฒนาในปี ค.ศ.1960 วิธีการวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนในน้ำมันเป็นวิธีที่คิดค้นขึ้นมาเพื่องานบำรุงรักษา เป็นการวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนอยู่ในหม้อแปลง ซึ่งน้ำมันหม้อแปลงจะใช้สำหรับเป็นฉนวน ไฟฟ้าและระบายความร้อนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เช่นหม้อแปลง, หม้อแปลงกระแสในขณะที่หม้อแปลงใช้งานโดยใช้ก๊าซโครมาโตกราฟีจะเป็นตัวแสดงให้เห็นถึงความผิดปกติภายในหม้อแปลงจะมีขดลวด, แกนเหล็กและส่วนประกอบอื่นที่เป็นของแข็ง เช่น กระจาย, กระจายอัดแรงซึ่งทั้งหมดจะจมอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง วัสดุเหล่านี้จะมีซัดจำกัอยู่ที่อุณหภูมิ ดังนั้นเมื่อเกิดความร้อนเกินขีดจำกัด อาจเกิดจากการทำงานตามปกติ หรือจากสภาวะผิดปกติ เช่นขดลวดลัดวงจร น้ำมันหม้อแปลงที่อยู่ใกล้จุดเสียหายจะสลายตัวเกิดเป็นก๊าซที่สามารถติดไฟได้ ซึ่งก๊าซเหล่านี้จะเจือปนในหม้อแปลง อัตราการเกิดก๊าซขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, ชนิดความผิดปกติและความรุนแรงของจุดนั้น วิธีการวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนในน้ำมันหม้อแปลงคือ การนำน้ำมันหม้อแปลงปริมาณเล็กน้อยไปแยกก๊าซที่เจือปนออกมาทำการวิเคราะห์ว่าเป็นก๊าซที่เกิดจากการใช้งานทั่วไปหรือจากความผิดปกติ ส่งผลให้หม้อแปลงเกิดความเสียหายหรือไม่ ซึ่งความผิดปกติที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยในบางครั้งระบบป้องกันของหม้อแปลงไฟฟ้ายังมองไม่เห็นแต่การวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนในน้ำมันสามารถตรวจสอบได้ ในการทดสอบวิธีอื่นๆ เช่นในการทดสอบทางไฟฟ้าของหม้อแปลงต้องปลดวงจรออกจากระบบ แต่วิธีการวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนในน้ำมันหม้อแปลงยังคงสามารถจ่ายโหลดได้ตามปกติ และถ้ามีการทดสอบเป็นวาระจะทำให้รู้ถึงสภาพของก๊าซเหล่านั้นตั้งแต่เริ่มแรก สามารถที่จะป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้ก่อน [6]

ในปัจจุบันวิธีการวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนในน้ำมันหม้อแปลงเป็น วิธีที่มีบทบาทอย่างมากในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ชนิดขดลวดจุ่มน้ำมัน

ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์ก๊าซ [6]

1. พัฒนาการเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติหรือเตือนก่อนที่เกิดความผิดปกติให้สามารถป้องกันการเกิดความผิดปกติได้ทันจะ (Advance warning of developing fault)
2. หาความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากการใช้งานของระบบ (Determining the improper use of units)
3. ตรวจสอบสถานะและเปรียบเทียบสถานะของระบบเก่าและระบบใหม่ว่ามีความแตกต่างกันเท่าไร (Status checks on new and repaired units)
4. ตั้งข้อกำหนดในการปรับปรุงที่เหมาะสม (Convenient scheduling of repairs)
5. ดูแลระบบไม่ให้เกิดภาระโหลดเกิน (Monitoring of units under overload)

2.3.2 สถานะที่เกิดก๊าซขึ้น

1. วัสดุฉนวนที่เป็นของแข็งสามารถทนอุณหภูมิได้ 105 °C กรณีที่มีการสลายตัวของมัน ก๊าซที่เกิดขึ้นคือคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์
2. เมื่อน้ำมันเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีก๊าซเกิดขึ้น ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 สถานะก๊าซที่เกิดขึ้นเนื่องจกอุณหภูมิ [6]

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ก๊าซที่เกิดขึ้น
< 400	C_2H_4 , C_2H_6 , C_3H_8
> 400 ถึง < 600	C_2H_4 , CH_4 , H_2
> 600	C_2H_2 , H_2

2.3.2.1 ก๊าซที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้งานทั่วไป (Normal Condition)

ในการใช้งานปกติอุปกรณ์ไฟฟ้าจะเกิดความร้อนขึ้นระดับหนึ่งก๊าซที่จะเกิดขึ้นส่วนใหญ่คือ ออกซิเจน, ไนโตรเจน, มีเทน, อีเทน, โพรเพน (C_3H_8), คาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซเหล่านี้ส่วนหนึ่งมาจากกระบวนการผลิตอุปกรณ์ในโรงงาน ปริมาณก๊าซจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุการใช้งานของระดับอุณหภูมิของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป [6]

2.3.2.2 ก๊าซที่เกิดขึ้นเนื่องจากสถานะผิดปกติ (Fault Condition)

ก๊าซที่สามารถติดไฟได้

1. ไฮโดรเจน (H_2)
2. มีเทน (CH_4)
3. คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)
4. อีเทน (C_2H_6)
5. เอทิลีน (C_2H_4)
6. อะเซททีลีน (C_2H_2)

ก๊าซอื่นๆ

1. ออกซิเจน (O_2)
2. ไนโตรเจน (N_2)
3. คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ซึ่งก๊าซออกซิเจนและไนโตรเจนเป็นก๊าซที่ไม่ส่งผลให้เกิดความผิดปกติ

ความผิดปกติโดยแบ่งตามประเภทส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลง [6]

1. การเกิดอาร์คหรือกระแสเบรคความสูงซึ่งอาร์คที่เกิดขึ้นในน้ำมัน จะเปลี่ยนแปลงน้ำมัน โดยทำให้แตกตัว ก๊าซส่วนใหญ่ที่พบเป็นไฮโดรเจนประมาณ 70 % อะเซททีลีนประมาณ 25 % ที่เหลือจะเป็นมีเทนและเอทิลีนอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่างๆขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เกิดว่ามีพลังงานมากน้อยเพียงไร (Local energy density) ในกรณีนี้สังเกตจากปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นคือเกือบจะไม่มีคาร์บอนมอนนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์เลย อาร์คที่เกิดขึ้นในกระดาษและน้ำมันจนวนก๊าซที่เกิดขึ้นในจนวนที่ชุ่มแฉะในน้ำมัน ส่วนใหญ่เป็นก๊าซไฮโดรเจนและอะเซททีลีนเช่นกัน แต่จะพบก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และมีเทนสูงเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย

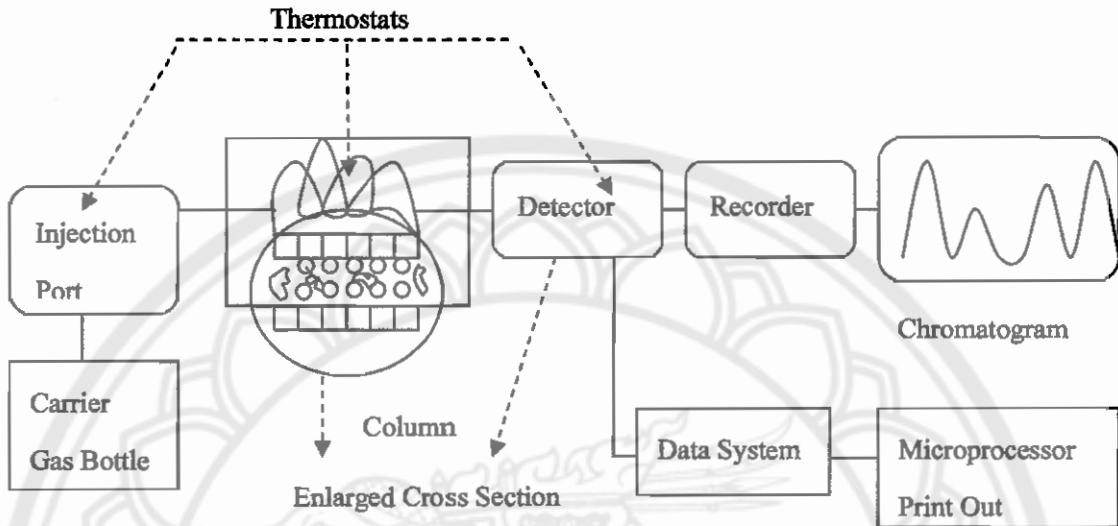
2. โคอโรน่า (ดิสชาร์จบางส่วน) และประกายไฟเกิดขึ้นในกระดาษและน้ำมันจนวน กรณีของดิสชาร์จบางส่วน พลังงานส่วนใหญ่จะใช้ในการไอออนไนซ์ประมาณ 12,000 โวลต์ มากกว่าที่จะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ฉะนั้นก๊าซที่เกิดจะเป็นก๊าซไฮโดรเจน รองลงมาจะเป็นก๊าซมีเทน คาร์บอนมอนนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์

3. การเกิดภาวะความร้อนเกินในน้ำมัน เป็นการเกิดความร้อนเปลี่ยนสภาพของจนวนน้ำมัน ปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณของออกซิเจนและอุณหภูมิรอบๆจุด กรณีที่อุณหภูมิ $500^{\circ}C$ จะเกิดก๊าซเอทิลีน, อีเทนและมีเทน ซึ่งเป็นพวกที่มีโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนต่ำ มีคุณสมบัติละลายได้ดีในน้ำมัน และในกรณีที่มีอากาศผสมอยู่จะพบว่าอุณหภูมิจะต่ำกว่า $500^{\circ}C$ จะเกิดก๊าซออกซิเจน, คาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ $400^{\circ}C$ และน้ำที่อุณหภูมิ $200^{\circ}C$

4. การเกิดภาวะความร้อนเกินในกระดาษจนวนน้ำมัน เป็นการเกิดความร้อนเปลี่ยนสภาพของกระดาษจนวนน้ำมัน ในกรณีของความชื้นเปลี่ยนสภาพของกระดาษชุ่มน้ำมัน โดยที่อุณหภูมิ $140^{\circ}C$ จะพบก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าคาร์บอนมอนนอกไซด์ แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า $250^{\circ}C$ จะพบก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ

2.3.3 การวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมัน

หลังจากทำการแยกก๊าซจากน้ำมันที่เราสงสัยแล้วจะผ่านเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ เพื่อตรวจหาชนิดและปริมาณของก๊าซ ซึ่งก๊าซที่เราสนใจนำมาวิเคราะห์ก๊าซที่สามารถติดไฟได้ [2]

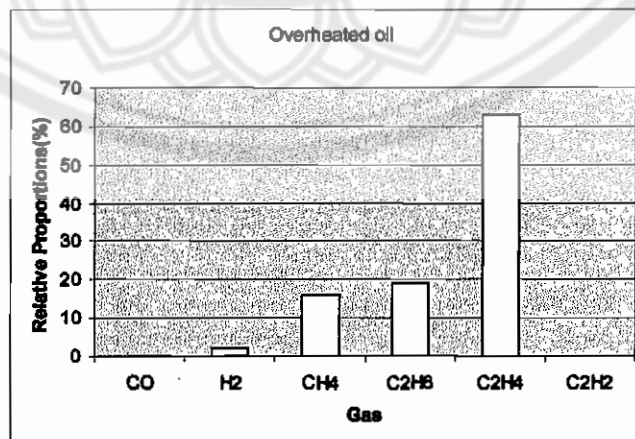


รูปที่ 2.2 กระบวนการของก๊าซโครมาโตกราฟ (Gas Chromatograph :GC)

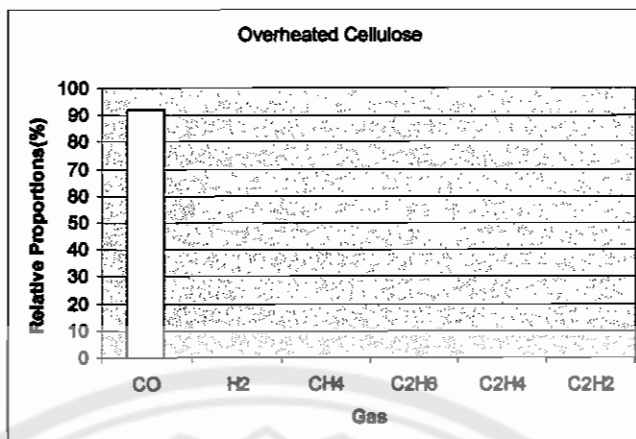
วิธีการทดสอบของการวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนในน้ำมันมีหลายวิธีด้วยกัน ดังนี้

2.3.3.1 วิธี Key Gas

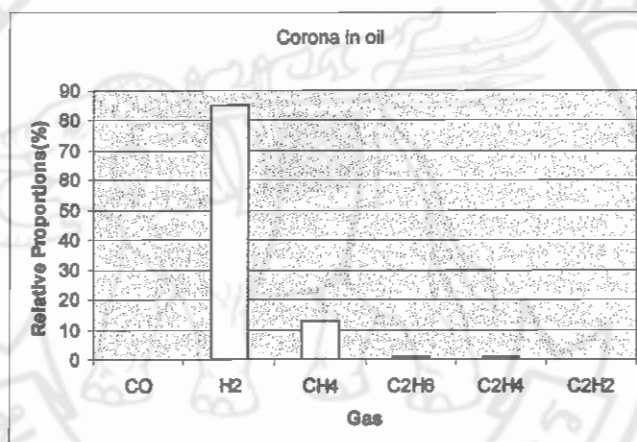
อุณหภูมิของน้ำมันและเซลล์โลสเป็นเงื่อนไขสำคัญในการแยกประเภทของก๊าซ เพื่อการหาคุณสมบัติของความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากก๊าซนั้นๆ หรือจากปริมาณก๊าซที่มากกว่าก๊าซอื่นๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยสังเกตจากสัดส่วนของก๊าซ ซึ่งโดยทั่วไป จะเกิดความเสี่ยงอยู่ที่ 4 ประเภท ดังรูปต่อไปนี้ [1]



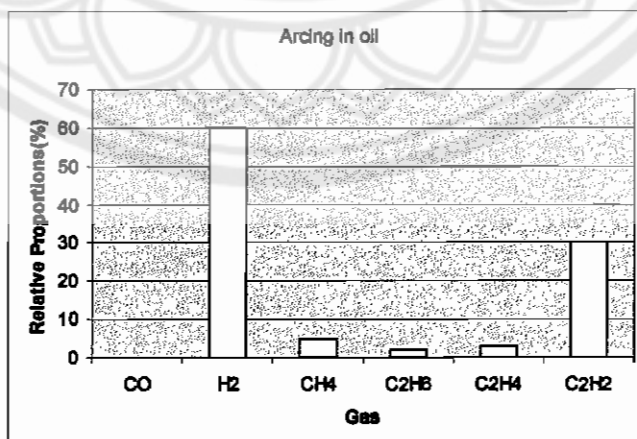
รูปที่ 2.3 กราฟของวิธี Key Gas.คือเอทีลิน



รูปที่ 2.4 กราฟของวิธี Key Gas คือคาร์บอนมอนอกไซด์



รูปที่ 2.5 กราฟของวิธี Key Gas คือไฮโดรเจน



รูปที่ 2.6 กราฟของวิธี Key Gas คืออะเซทิลีน

ตารางที่ 2.9 ความสัมพันธ์ชนิดของความผิดปกติที่เกิดขึ้นโดยวิเคราะห์ด้วยวิธี Key Gas [2]

ก๊าซที่ตรวจพบ	หมายถึง
N_2 plus 5 % or less O_2	Normal operation of sealed transformer.
N_2 plus more than 5 % O_2	Check for tightness of sealed transformer.
N_2 , CO_2 , CO or all	Transformer overload or operating hot, causing some cellulose breakdown. Check operation condition.
N_2 and H_2	Corona discharge, electrolysis of water, or rusting.
N_2 , CO_2 , CO and H_2	Corona discharge involving cellulose or severe overloading of transformer.
N_2 , H_2 , CH_4 with small amount of C_2H_6 and C_2H_4	Sparking or other minor fault causing some breakdown of oil.
N_2 , H_2 , CH_4 with CO_2 , CO and small amounts of other hydrocarbon ; C_2H_2 is usually not present	Sparking or other minor fault in presence of cellulose.
N_2 with high H_2 and other hydrocarbon including C_2H_2	High energy arcing causing rapid deterioration of oil.
N_2 with high H_2 , CH_4 , high C_2H_6 and some C_2H_4	High temperature arcing of oil but in a confined area, poor connections or turn-to-turn short are examples.
Same as above except CO_2 and CO present	Same as above except arcing in combination with cellulose.

2.3.3.2 วิธี The Amount of Key Gases

ตารางที่ 2.10 แนวทางสำหรับก๊าซที่สามารถติดไฟได้ [2]

ก๊าซ	ปกติ (<) (ppm)	ไม่ปกติ (>) (ppm)	หมายถึง
Hydrogen	150	1000	Corona, Arcing.
Methane	25	80	Sparking.
Ethane	10	35	Local overheating.
Ethylene	20	150	Severe overheating.
Acetylene	15	70	Arcing.
Carbon monoxide	500	1000	Severe overheating.
Carbon dioxide	10,000	15,000	Severe overheating.
Nitrogen	1 to 10 %	N.A.	N.A.
Oxygen	0.2 to 3.5%	N.A.	N.A.
Total Combustibles	0.03 %	0.5 %	N.A.

ก๊าซที่สามารถติดไฟได้ทั้งหมด

- ก๊าซที่สามารถติดไฟได้ในช่วงระหว่าง 0-500 ppm แสดงสถานะการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าว่าเป็นปกติและน่าพอใจ
- ก๊าซที่สามารถติดไฟได้ในช่วงระหว่าง 500-1000 ppm อาจจะมีการแยกตัวในจำนวนมากเกินกว่าปกติ (แนะนำให้มีการวิเคราะห์บ่อยขึ้น)
- ก๊าซที่สามารถติดไฟได้ที่มากกว่า 1000 ppm โดยปกติหมายความว่า เป็นที่น่าสังเกต ถ้ารวมจำนวนของก๊าซที่สามารถติดไฟได้แล้วยังคงมีค่าคงที่ บางทีอาจจะยังคงป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นด้วยตัวเองได้ แต่ถ้าค่าของก๊าซที่สามารถติดไฟได้มีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่านั้นก็สามารก่อให้เกิดเป็นอันตรายต่อบริเวณโดยรอบได้

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

2.3.3.3 วิธี Dörnenburg Ratio

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนสำหรับวิธี Dörnenburg Ratio [3]

CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_2\text{H}_2$	ความผิดปกติที่เกิดขึ้น
>1.0	<0.75	<0.3	>0.4	Thermal Decomposition.
<0.1	Not significant	<0.3	>0.4	Corona (Low Intensity PD).
>0.1 <1.0	>0.75	>0.3	<0.4	Arcing (High Intensity PD).

2.3.3.4 วิธี Roger Ratio

ตารางที่ 2.12 อัตราส่วนของก๊าซที่ผิดปกติวิธี Roger Ratio [1]

$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$	ความผิดปกติที่เกิดขึ้น
<0.1	>0.1 <1.0	<1.0	Unit normal.
<0.1	<0.1	<1.0	Low-energy density arcing -- PD.
0.1-3.0	0.1-1.0	>3.0	Arcing-High- energy density discharge.
<0.1	>0.1 <1.0	1.0-3.0	Low temperature thermal.
<0.1	>1.0	1.0-3.0	Thermal < 700 °C.
<0.1	>1.0	>3.0	Thermal > 700 °C.

ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซที่บ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของวัสดุที่เป็นกระดาษฉนวน โดยทั่วไปอัตราส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคาร์บอนมอนนอกไซด์ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 6 มาตรฐานการเบี่ยงเบน 2.5 ของสายส่งหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 7 มาตรฐานการเบี่ยงเบน 4 แต่ก็ขึ้นอยู่กับหลายๆท่านนั้น ควรคำนึงถึงอัตราการเปลี่ยนในคาร์บอนมอนนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ จากการวิเคราะห์ครั้งที่แล้วด้วยเพราะว่าการออกแบบของแต่ละบริษัทไม่เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตามถ้าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ควรดูค่าออกซิเจนต่อไนโตรเจนประกอบซึ่งปกติปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำมันจะอยู่ประมาณ 30% ของปริมาณไนโตรเจนแต่จะถูกใช้ในการเพิ่มขบวนการทำให้ลดลงอยู่

1434 8996

ป.ร.

๑๖๓๒๘ ๑

๒๕๕๖

ประมาณ 10-30% ฉะนั้นถ้าปริมาณของออกซิเจน ลดลงต่ำกว่า 10 % อาจเกิดจากการใช้มากเกินไป ความจำเป็นที่รอบจู้รอื่น

สิ่งที่ควรคำนึงถึงเมื่อทำการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ผลที่ถูกต้อง ต้องทราบสิ่งแวดล้อมหลายอย่าง เพื่อประกอบการวิเคราะห์ผล เช่น ความดันบรรยากาศ, อุณหภูมิ, สถานที่ตั้ง, การจ่ายไหลคของหม้อแปลง, ชนิดของหม้อแปลง, ข้อมูลวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบ, อายุการใช้งานและตำแหน่งของวาล์วที่เก็บตัวอย่างน้ำมัน [6]

สาเหตุที่ใช้วิธีการวิเคราะห์หาก๊าซที่เจือปน

การรอก๊าซที่สะสมในบุชโพลท์มาวิเคราะห์วินิจฉัย ระยะเวลาที่สามารถนำมาทดสอบได้ อาจจะสามารถไปที่จะรักษาหม้อแปลงไว้ได้ จึงนำตัวอย่างน้ำมันมาวิเคราะห์หาก๊าซที่เจือปน ซึ่งสามารถอธิบายได้ถึงการเปลี่ยนแปลงภายในของหม้อแปลงในระยะแรกได้ [6]

