

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 9
2-3 พฤษภาคม 2554

การตรวจสอบดิสชาร์จบางส่วนภายในหม้อแปลงกำลัง โดยการวิเคราะห์ก๊าซใน น้ำมันหม้อแปลง

Partial Discharge Detection of Power Transformer by Dissolved Gas Analysis

จีระศักดิ์ บุญโชติ^{1*} ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล² ธนพงศ์ สุวรรณศรี³

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

³บัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์นานาชาติสิรินธร ไทย-เยอรมัน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ
กรุงเทพมหานคร 10800

Jeerasak Boonchot^{1*} Chatchai Suppitaksakul² Thanapong Suwanasri³

^{1,2} Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,
Thanyaburi, Pathumthani 12110

³The Sirindhorn International Thai-German Graduate School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North
Bangkok, Bangsue, Bangkok 10800

E-mail: jeerasak@yahoo.com*, chatchai.s@en.mutt.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนภายในหม้อแปลงกำลังสามารถทำได้ด้วยการวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง ซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวนแทรกซึมและระบายความร้อน เมื่อน้ำมันหม้อแปลงสัมผัสความร้อนตามประเภทของความผิดปกติจะทำให้ห่วงโซ่ไฮโดรคาร์บอนแตกตัวออกเป็นก๊าซชนิดต่างๆ ซึ่งความสัมพันธ์ของการแตกตัวของก๊าซในน้ำมันหม้อแปลงกับระดับความร้อนสามารถนำไปวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการประเมินระดับความรุนแรงของความผิดปกติของหม้อแปลงก่อนที่ฉนวนหม้อแปลงจะได้รับความเสียหายเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการบำรุงรักษาและป้องกันความเสียหายนั้นได้ทันทีที่งานวิจัยนี้เน้นการตรวจสอบดิสชาร์จบางส่วน ผลการทดลองพบว่าเมื่อเกิดดิสชาร์จบางส่วน จะเกิดก๊าซไฮโดรเจน (H₂) และมีเทน (CH₄) ตั้งแต่ระดับเริ่มต้นของปัญหา และเพิ่มขึ้นตามความรุนแรงตลอดช่วงของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

คำหลัก ดิสชาร์จบางส่วน, ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง,

Abstract

Recently, Dissolved Gas Analysis (DGA) technique is a method for detecting Partial Discharge (PD) in power transformers. As the transformer oil under thermal stress according to types of the disorder, the Hydrocarbon chain will liberate gases which relates to level of heat in the transformer oil. The analysis of this relationship can be used to assess severity of abnormalities within the first transformer insulation

transformer has been severely affected. Approach to maintenance and damage prevention is timely. This study focuses on partial discharge monitoring because some damage to the majority of the insulation within the transformer due to voltage durability. As the results, it is shown that the hydrogen (H₂) and methane (CH₄) tend to be increased severity during the partial discharge occurred.

Keywords: Partial Discharge, Dissolved Gas Analysis, DGA

1. บทนำ

ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากล่าวได้ว่า หม้อแปลงกำลังเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญและมีราคาสูงมาก หากหม้อแปลงเกิดความเสียหายจะส่งผลกระทบต่ออย่างมากทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้า ปัจจุบันมีวิธีตรวจสอบมากมายเพื่อแจ้งเตือนล่วงหน้าก่อนปัญหาลุกลามใหญ่โต การวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง (Dissolved Gas Analysis, DGA) [1] เป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับการนิยมน้อยมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถตรวจหาความผิดปกติของหม้อแปลงไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องดับไฟหรือปลดโหลด งานวิจัยนี้ได้จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง เพื่อวิเคราะห์หาแนวโน้มความเสียหายขั้นรุนแรงในระดับที่เป็นอันตรายต่อหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อเป็นแนวทางในการบำรุงรักษาและป้องกันความเสียหายนั้นได้ทันทีที่

2. หลักการและทฤษฎี

การวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำมันเป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับการค้นหาและการตัดสินใจความผิดปกติในหม้อแปลงมานานกว่า 30 ปี [2] ซึ่งเป็นวิธีที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อการบำรุงรักษาโดยการวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง โดยทั่วไปน้ำมันหม้อแปลงทำหน้าที่เป็นฉนวนทางไฟฟ้าและระบายความร้อนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง น้ำมันหม้อแปลงที่อยู่ใกล้จุดเสียหายจะสลายตัวเกิดเป็นก๊าซที่สามารถติดไฟได้และก๊าซที่ไม่ติดไฟ ก๊าซเหล่านี้จะเจือปนอยู่ในน้ำมันหม้อแปลงซึ่งอัตราการเกิดก๊าซและประเภทของก๊าซขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ในการทดสอบทางไฟฟ้าของหม้อแปลงต้องปลดหม้อแปลงออกจากระบบ แต่วิธีวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำมันหม้อแปลงยังสามารถจ่ายโหลดได้ ถ้ามีการทดสอบเป็นวาระจะทำให้รู้ปริมาณก๊าซตั้งแต่เริ่มแรก อัตราการเพิ่มขึ้นของก๊าซต่อเวลาทำให้สามารถป้องกันความเสียหายที่จะเกิดได้

2.1 วิธีการตรวจวัดก๊าซ

การตรวจวัดที่นิยมทำกันในปัจจุบันมีอยู่ 3 วิธี คือ [1]

1) Total combustible gas (TCG) เป็นการวัดปริมาณก๊าซที่ติดไฟที่เกิดขึ้นในตัวหม้อแปลง คือ มีเทน, อีเทน, เอทิลีน, อะเซทิลีน, คาร์บอนมอนอกไซด์ และ ไฮโดรเจน เป็นวิธีที่ใช้กับหม้อแปลงชนิดที่มี gas blanket ซึ่งมีช่องว่างเหนือน้ำมัน และไม่สามารถใช้กับหม้อแปลงที่ใช้ conservator ซึ่งมีน้ำมันเต็มถึงได้ ก๊าซที่ได้จะลอยอยู่เหนือน้ำมันโดยมี gas blanket ป้องกันไม่ให้ไหลเข้าออกภายนอกได้ ข้อดีของการตรวจวัดชนิดนี้คือ ง่าย ให้ผลรวมของก๊าซออกมาเป็นค่าเดียว ส่วนข้อเสียคือ ไม่แสดงถึงก๊าซที่แสดงปัญหาอื่นๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์, ไนโตรเจน, ออกซิเจน และเนื่องจากก๊าซที่เกิดในน้ำมันต้องใช้เวลาแพร่ขึ้นสู่อากาศ ดังนั้นจึงมีความล่าช้าของการแสดงปัญหาค่อนข้างมาก นอกจากนี้แล้วผลตรวจวัดไม่สามารถแปลกลับไปสู่ประเภทของปัญหาได้

2) การเก็บตัวอย่างก๊าซบริเวณ Head space และนำมาวิเคราะห์แบบแยกชนิด ข้อดีของการตรวจวัดชนิดนี้คือ ทราบปริมาณก๊าซแยกชนิดและแปลกลับไปสู่ประเภทของปัญหาได้ ข้อเสียคือ วิธีการค่อนข้างซับซ้อน และต้องใช้กับหม้อแปลงชนิดที่มี gas blanket ซึ่งมีช่องว่างเหนือน้ำมันเท่านั้น

3) Dissolved gas analysis (DGA) เป็นการนำตัวอย่างน้ำมันมาแยกก๊าซเพื่อหาปริมาณของก๊าซแต่ละชนิด สามารถใช้ได้กับหม้อแปลงที่ใช้น้ำมันเป็นฉนวนทุกประเภท ซึ่งมีข้อดีคือแปลกลับไปสู่ประเภทของปัญหาได้ ข้อเสียคือ วิธีการค่อนข้างซับซ้อน

2.2 สภาวะหลักที่ทำให้เกิดก๊าซที่แสดงความผิดปกติ

สภาวะผิดปกติ (Abnormal Condition) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามความร้อนของสภาวะผิดปกติ [1]

1) Corona หรือ Partial discharge สร้างความร้อนไม่สูงนัก เป็นปัญหาทางไฟฟ้าที่ส่งพลังงานต่ำๆ ออกมา ในน้ำมันจะพบไฮโดรเจนและมีเทนในปริมาณพอสมควร และสามารถพบอีเทนและเอทิลีนปริมาณน้อยอยู่ด้วย หากตีสสารจในกระดาษจะพบการ

เพิ่มปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์

2) การเผาไหม้หรือการเกิดความร้อนเกินปกติ สร้างความร้อนปานกลาง และเป็นปัญหาที่เกิดอย่างต่อเนื่อง ปริมาณก๊าซจะสะสมไปตามเวลา หากเกิดขึ้นในน้ำมันส่วนเดียว จะพบไฮโดรเจน, มีเทน, อีเทน และเอทิลีน ปริมาณของแต่ละก๊าซขึ้นกับความร้อนจากปัญหานั้นๆ หากมีความร้อนสูงมาก กรณีปัญหาเกิดขึ้นบริเวณกระดาษ จะพบคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ ในปริมาณมากอันสืบเนื่องมาจากการเสื่อมของกระดาษ

3) การอาร์ก เป็นปัญหารุนแรงที่สุด มีความร้อนสูงมาก เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลอย่างต่อเนื่องของกระแสสูง ในน้ำมันจะพบไฮโดรเจนและอะเซทิลีนปริมาณมาก ส่วนมีเทนและเอทิลีนเกิดขึ้นไม่มากนัก หากปัญหาเกิดให้ส่วนที่มีกระดาษมาเกี่ยวข้องจะพบคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์

ก๊าซที่เกิดขึ้นเนื่องจากสภาวะผิดปกติ (Abnormal Condition) ประกอบด้วยก๊าซ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) ก๊าซที่สามารถติดไฟได้ดังนี้ ไฮโดรเจน (H_2) มีเทน (CH_4) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) อีเทน (C_2H_6) เอทิลีน (C_2H_4) และอะเซทิลีน (C_2H_2)

2) ก๊าซกลุ่มอื่นๆ ดังนี้ ออกซิเจน (O_2) ไนโตรเจน (N_2) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

2.3 วิธีการวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนในน้ำมัน

ในการวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนในน้ำมัน จะแยกก๊าซออกจากน้ำมัน จากนั้นก๊าซที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่เครื่อง Gas Chromatography (GC) เพื่อแยกชนิดและวัดปริมาณเป็น part per million (ppm) พอทราบปริมาณ จะนำมาแปลผล โดยวิธีแปลผลปริมาณก๊าซมีหลายแบบ ขอกล่าวถึงวิธีที่นิยมและเหมาะสมกับงานวิจัยนี้ คือ

1) วิธี Dörmenberg ratio [1] เป็นวิธีวิเคราะห์จากอัตราส่วนของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในน้ำมันหม้อแปลง คือ CH_4/H_2 , C_2H_2/C_2H_4 , C_2H_2/CH_4 , C_2H_2/C_2H_6 โดยพิจารณาให้ตรง 3 ใน 4 ค่าของอัตราส่วนในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนสำหรับวิธี Dörmenberg Ratio [1]

CH_4/H_2	C_2H_2/C_2H_4	C_2H_2/CH_4	C_2H_2/C_2H_6	Abnormal Condition
>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) วิธี R.R. Rogers (CEGB Fault Gas Ratios) [1] วิเคราะห์จากอัตราส่วนของก๊าซ CH_4/H_2 , C_2H_2/CH_4 , C_2H_4/C_2H_6 และ C_2H_2/C_2H_4 , CO_2/CO แต่ละชุดเป็นอัตราส่วนของก๊าซเกิดที่อุณหภูมิสูงต่อก๊าซเกิดที่อุณหภูมิต่ำถัดลงมา อัตราส่วนเหล่านี้จะ

ถูกนำมาแปลงเป็น Code 0, 1, 2, 5 ในตารางที่ 2 แล้วจึงนำ Code ทั้งสี่มาแปลผล ในตารางที่ 3 การแปล Code จะทำต่อเมื่อได้พิจารณา Gas Limits and warning level [1] แล้วเท่านั้น ต้องรับทราบอยู่เสมอว่าการใช้งานอัตราส่วนจากก๊าซสองชนิดที่มีปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์จะทำให้การแปลผลผิดพลาด

ตารางที่ 2 CEGB Fault Gas Ratios [1]

RATIO	RANGE	CODE
CH ₄ /H ₂	<= 0.1	5
	> 0.1 < 1	0
	>= 1 < 3	1
	>= 3	2
C ₂ H ₆ /CH ₄	< 1	0
	>= 1	1
C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	< 1	0
	>= 1 < 3	1
	>= 3	2
C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	< 0.5	0
	>= 0.5 < 3	1
	>= 3	2

ตารางที่ 3 CEGB Fault Gas Diagnostics [1]

CODE	DIAGNOSIS
0 0 0 0	ปรกติ
5 0 0 0	Partial discharge
1,2 0 0 0	ความร้อนเกิน แต่ < 150 °C
1,2 1 0 0	ความร้อนเกิน แต่อยู่ในช่วง 150 – 200 °C
0 1 0 0	ความร้อนเกิน แต่อยู่ในช่วง 200 – 300 °C
0 0 1 0	ความร้อนเกินในส่วนของตัวนำไฟฟ้า
1 0 1 0	เกิดการระเบิดไหลวนในขดลวด
1 0 2 0	เกิดการระเบิดไหลวนในแกนเหล็กและตัวถัง, จุดต่อร้อน
0 0 0 1	แฟลชโอเวอร์แต่ไม่มีกระแสต่อเนื่อง
0 0 1,2 1,2	อาร์ก โดยมีพลังงานไหลอย่างต่อเนื่อง
0 0 2 2	สปาร์คต่อเนื่องจากคัทดีไฟฟ้าที่ลอยอยู่
5 0 0 1,2	Partial Discharge แบบมีร่องรอยความเสียหาย (ดูจาก CO)
CO ₂ / CO > 11	ฉนวนกระดาษมีอุณหภูมิสูงกว่าการทำงานปรกติ

3) วิธี California State University-Sacramento Guidelines (Key Gases) [1] ใช้ปริมาณก๊าซแต่ละชนิดมาแปลโดยตรง ผลจากก๊าซแต่ละชนิดไม่มีความเกี่ยวข้องกับก๊าซอื่นเลยดังตารางที่ 4 ซึ่งใช้เป็นข้อมูลสนับสนุน CEGB Fault Gas Ratios และ Gas Limits and warning level ให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

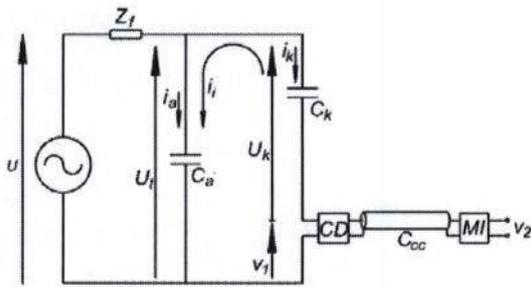
ตารางที่ 4 California State University-Sacramento Guidelines [1]

ก๊าซ	ปรกติ (<)	ผิดปรกติ (>)	แปลผล
Hydrogen	150 ppm	1000 ppm	โคโรน่า, อาร์ก
Methane	25	80	สปาร์ค
Ethane	10	35	บริเวณความร้อนเกิน
Ethylene	20	150	ความร้อนเกินรุนแรง
Acetylene	15	70	อาร์ก
Carbon monoxide	500	1000	ความร้อนเกินรุนแรง
Carbon dioxide	10,000	15,000	ความร้อนเกินรุนแรง
Total Combustibles	0.03 %	0.5 %	-

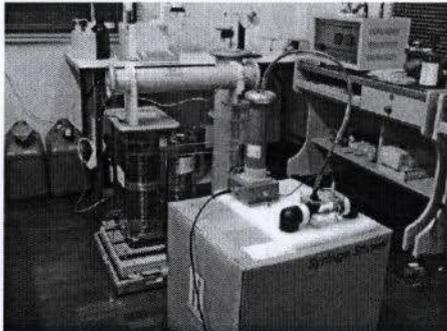
4) วิธี Key Gas [1] เป็นการหาคุณลักษณะของความผิดปกติแบ่งออกเป็น 4 ประเภทตามก๊าซหลัก 4 ชนิด คือ C₂H₄, CO, C₂H₂ และ H₂

2.4 การทดสอบดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง

ดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นในเนื้องานเหลว ซึ่งมีโพรงหรือฟองก๊าซ หรือสิ่งเจือปนแปลกปลอมที่มีค่าเปอร์มิตติวิตีต่ำกว่าในเนื้องานหลัก ทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าในโพรงหรือสิ่งเจือปนดังกล่าวมีค่าสูงกว่าเนื้องานรอบๆ ซึ่งอาจพิสูจน์ได้จากทการวิเคราะห์หาค่าที่มีค่าเปอร์มิตติวิตีต่างกันวางซ้อนกัน ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอเมื่อขั้นตอนงานซ้อนได้รับแรงดันถึงระดับหนึ่งแล้วจะทำให้โพรงก๊าซมีความเครียดสนามไฟฟ้าเกินค่าวิกฤต และเกิดเบรกดาวน์ในโพรงก๊าซเช่นนี้จะทำให้เนื้องานโดยรอบเสียหาย การเนื้องานเสื่อมสภาพ อายุการใช้งานจะสั้นลง และนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน์ได้ในที่สุด การวัดและประเมินค่าดิสชาร์จบางส่วนภายในน้ำมันหม้อแปลง จะใช้วิธีวิเคราะห์จากวงจรสมมูลการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนตามข้อกำหนดในมาตรฐานสากล IEC 60270 Third Edition, (2000) [3] ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง U, ตัวกรองสัญญาณ (Filter) จากแหล่งจ่าย Z_p, วัสดุทดสอบ (Test Object) C_p, ตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling Capacitor) C_k, อุปกรณ์รับสัญญาณ (Coupling Device) CD, สายนำสัญญาณ (Connecting Cable) CC, และเครื่องมือวัด MI ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2 และวงจรจริงที่ใช้ในการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลงแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 วงจรสมมูลการตรวจจ็ับดิสชาร์จบางส่วน [3]



รูปที่ 3 วงจรจริงที่ใช้ทดสอบดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง

หน้าที่การทำงานและคุณสมบัติสำคัญของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรทดสอบเป็นดังนี้

- 1) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูง U ใช้ในการจ่ายแรงดันให้วงจรทดสอบและมีขนาดพิกัดเพียงพอที่จะจ่ายโหลดได้
- 2) ตัวกรองสัญญาณหรืออิมพีแดนซ์ Z_f ใช้ในการกรองสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่าย เช่น ฮาร์มอนิกส์ และดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดภายในหม้อแปลงทดสอบเองที่ใช้เป็นแหล่งจ่าย เป็นต้น และหน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ป้องกันดิสชาร์จบางส่วนจากวงจรทดสอบไหลย้อนลงกรวดผ่านทางแหล่งจ่ายตัวกรองดังกล่าวต้องทนแรงดันทดสอบได้และปราศจากดิสชาร์จบางส่วนที่แรงดันทดสอบ ดังนั้นในกรณีที่ใช้หม้อแปลงทดสอบปราศจากดิสชาร์จบางส่วนเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงอาจไม่จำเป็นต้องใช้ตัวกรอง เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงทดสอบมีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำอยู่แล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งหม้อแปลงทดสอบที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก
- 3) ตัวเก็บประจุคัปปลิง C_k ใช้เป็นส่วนเชื่อมต่อหรือคัปปลิงสัญญาณความถี่สูงให้ครบวงจรระหว่าง C_a , C_k และ CD ดังนั้นตัวเก็บประจุคัปปลิงต้องเป็นชนิดที่มีค่าความเหนี่ยวนำภายใน (Stray Inductance) ต่ำ ทนแรงดันได้โดยปราศจากดิสชาร์จบางส่วนที่แรงดันทดสอบ อาจเรียกว่า "Blocking Capacitor"
- 4) อุปกรณ์รับสัญญาณ CD และเครื่องมือวัด MI อุปกรณ์ทั้งสองส่วนนี้จะทำงานร่วมกันคือทำหน้าที่อินทิเกรต (Integrate) กระแสพัลส์ i ที่ไหลในวงจรทดสอบเนื่องจากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยมีสายนำสัญญาณ CC เป็นสายที่เชื่อมต่อระหว่าง CD และ MI อุปกรณ์รับสัญญาณ จะทำหน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ

เป็นตัวกรองกระแสความถี่ต่ำ (50 ถึง 400 เฮิรตซ์) และฮาร์มอนิกส์ต่างๆ จากแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบไม่ให้เข้าไปที่เครื่องมือวัดได้ ส่วนเครื่องมือวัดดิสชาร์จบางส่วนจะทำหน้าที่สำคัญอีก 3 ประการคือ เป็นวงจรถยายสัญญาณ (Amplifier) เป็นวงจรถองสัญญาณชนิดผ่านแถบ เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่มาจากแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบ และลดสัญญาณความถี่สูงที่มาจากคลื่นวิทยุและใช้ในการแสดงผลดิสชาร์จบางส่วน

หลักการทำงานของวงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจ็ับดิสชาร์จบางส่วน เริ่มจากการค่อยๆ บ้อนแรงดันทดสอบจากแหล่งจ่าย U ผ่านตัวกรอง Z_f ให้กับวงจรทดสอบจนกระทั่งเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่วัสดุทดสอบ C_a ทำให้เกิดแรงดันตกที่ขั้วของ C_a , C_k จะดิสชาร์จประจุไปที่ C_k เพื่อชดเชยแรงดันตก ผลดังกล่าวทำให้เกิดกระแสพัลส์ i ไหลวนครบวงจรระหว่าง C_a , C_k และ CD ดังนั้น CD และ MI วัดประจุไฟฟ้าที่ถ่ายเทระหว่าง C_a และ C_k โดยการอินทิเกรตกระแสพัลส์ i เพื่อนำไปแสดงผลต่อไป

3. ขั้นตอนการทดสอบ PD ในน้ำมันหม้อแปลง

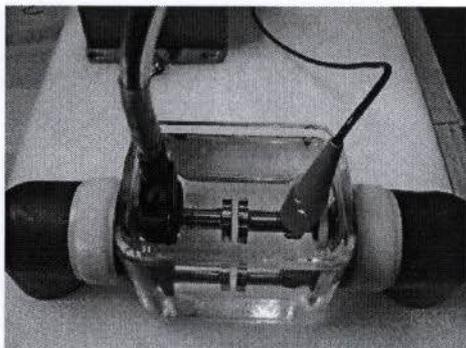
ขั้นตอนการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง ได้แบ่งขั้นตอนการสอบเป็นหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ภาชนะทดสอบน้ำมันหม้อแปลง (Test Cell) ภาชนะทดสอบดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลงยังไม่มีมาตรฐานสากลใคร่จะ ผู้วิจัยจึงได้เทียบเคียงกับมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบค่าความคงทนนวนน้ำมันหม้อแปลง IEC 156 Second Edition, (1995-07) [4] ในเรื่องปริมาณตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบ คือ 600 ml ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอกับการทดสอบ DGA ที่ต้องการตัวอย่างน้ำมันเพียง 150 ml ดังรูปที่ 4
- 2) อิเล็กโตรด เป็นการทดสอบภายใต้สนามไฟฟ้าสนามสม่ำเสมอ อิเล็กโตรดที่ใช้จึงเป็นแบบแผ่นระนาบขนาน ดังรูปที่ 4
- 3) น้ำมันหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบ เป็นน้ำมันหม้อแปลงใหม่ชนิด Mineral Oil ซึ่งเป็นน้ำมันหม้อแปลงที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด มีค่าจากการทดสอบตั้งต้นดังนี้ ความชื้น 14 ppm [5] , ค่าความคงทนนวน 67 kV [4] และปริมาณก๊าซดังตารางที่ 5
- 4) เครื่องมือวัดดิสชาร์จบางส่วน เป็นไปตามมาตรฐานสากล IEC 60270 Third Edition, (2000) [1] ดังรูปที่ 5
- 5) เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมันหม้อแปลง (Dissolved Gas Analysis, DGA) เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานสากล ASTM D-3612-02 [6] ดังรูปที่ 6

ตารางที่ 5 ปริมาณก๊าซตั้งต้นก่อนการทดสอบ (ppm)

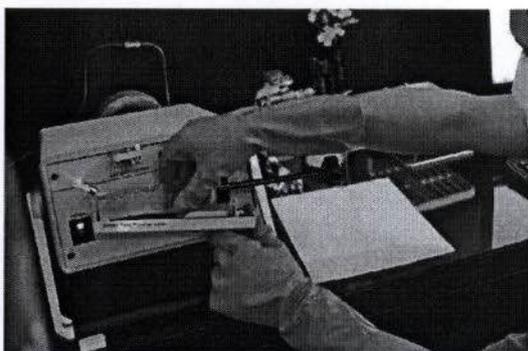
ก๊าซ	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO ₂
ปริมาณ	0	0	0	0	0	2	517



รูปที่ 4 ภาชนะทดสอบน้ำมันหม้อแปลง (Test Cell)



รูปที่ 5 เครื่องมือวัดดิสชาร์จบางส่วน



รูปที่ 6 เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมันหม้อแปลง

3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลงตามรูปที่ 3 โดยปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ปรับระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดตามที่กำหนด (ได้จากการทดสอบ)
- 2) เติมน้ำมันหม้อแปลงใหม่ในภาชนะทดสอบจำนวน 600 ml และทิ้งไว้ 5 นาที ก่อนเริ่มทดสอบเพื่อไม่ให้มีฟองก๊าซ

ภายใต้ห้องที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

3) ค่อยๆ บิดแรงดันทดสอบจากแหล่งจ่าย U ให้กับวงจรทดสอบจนกระทั่งเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่น้ำมันหม้อแปลงตามค่าที่กำหนดในตารางที่ 6 คงค่าไว้ 15 นาที (เวลาได้จากการทดสอบ)

4) หยุดบิดแรงดันและเก็บตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงไปทดสอบ DGA ตามมาตรฐานสากล ASTM D-3612-02 [6]

4. ผลการทดสอบ DGA

การทดสอบดิสชาร์จบางส่วนที่น้อยกว่า 200 pC ซึ่งเป็นการดิสชาร์จที่มีพลังงานต่ำมาก ต้องใช้เวลาทดสอบนานมากจึงจะทำให้ผล DGA เปลี่ยนแปลง จึงไม่ขอกล่าวถึงในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบ DGA ภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (หน่วย ppm)

No.	Description	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO ₂
1	>200 pC in oil	55	4	0	0	0	2	529
2	>500 pC in oil	149	13	0	0	0	4	514
3	>1,000 pC in oil	287	22	0	0	0	2	532
4	>5,000 pC in oil	1106	98	3	1	0	2	537
5	>10,000 pC in oil	1913	185	7	1	0	3	552
6	>20,000 pC in oil	3589	253	13	2	0	4	548

จากตารางที่ 6 ผลการทดสอบ DGA ภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ อิเล็กโทรดแบบระนาบ-ระนาบ (Plane-to-Plane) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร ผลการทดสอบเป็นค่ากลางของการทดสอบ 5 ครั้ง โดยตัดค่าที่สูงสุดและต่ำสุดออก (ดูที่ H₂) นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ในข้อ 2.3

วิเคราะห์โดยวิธี Dörmenberg ratio [1] วิเคราะห์ว่าเกิดโคโรนาค่าความรุนแรงต่ำ ในทุกระดับดิสชาร์จบางส่วน

วิเคราะห์โดยวิธี CEEB Fault Gas Ratios [1] ได้ Code (5 0 0 0) วิเคราะห์ว่าเกิดดิสชาร์จบางส่วน ในทุกระดับดิสชาร์จบางส่วน

วิเคราะห์โดยวิธี California State University-Sacramento Guidelines (Key Gases) [1] วิเคราะห์ว่าเกิดดิสชาร์จบางส่วนหรือมีสปาร์ค และผลการทดสอบที่มีดิสชาร์จบางส่วนน้อยกว่า 1000 pC วิธีนี้วิเคราะห์ว่าไม่มีความผิดปกติ

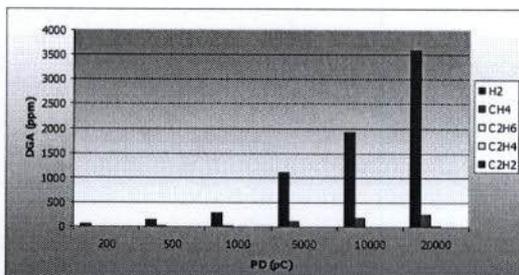
วิเคราะห์โดยวิธี Key Gas [1] พบว่าเกิดโคโรนาในน้ำมันหม้อแปลง

การวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนในน้ำมันหม้อแปลงในทุกวิธีที่ย่างถึงข้างต้น ไม่สามารถบอกระดับความรุนแรงของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าระดับดิสชาร์จบางส่วนที่มากกว่า 20,000 pC จะเกิดเบรกดาวน์ในบางครั้ง

5. สรุป

จากการทดลองพบว่าเมื่อเกิดดิสชาร์จบางส่วน จะเกิดก๊าซไฮโดรเจน (H₂) และมีเทน (CH₄) ตั้งแต่ระดับเริ่มต้นของปัญหา

และเพิ่มขึ้นตามความรุนแรงตลอดช่วงของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน แสดงดังกราฟในรูปที่ 7 ผลการทดลองสามารถใช้วิเคราะห์หาแนวโน้มการเพิ่มความรุนแรงของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน เพื่อวางแผนบำรุงรักษาและป้องกันความเสียหายได้ทันทีที่ตรงตามวัตถุประสงค์การทดลอง



รูปที่ 7 กราฟแสดงผลการทดลอง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือทดสอบดิสชาร์จบางส่วน (PD) และเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมันหม้อแปลง (DGA Analysis) จากบริษัท ดาด้าเอ็นทีกรุ๊ป จำกัด และได้รับความอนุเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงใหม่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทั้งหมด จากบริษัท สุวรรณวงศ์ เอ็นจิเนียริง จำกัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers, IEEE Standard C57.104-1991, 1992
- [2] ธนพงศ์ สุวรรณศรี, แคทเธรียา สุวรรณศรี. 2551. การพัฒนาโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลงด้วยวิธีวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31, นครนายก, 29-31 ตุลาคม 2551: 153-156.
- [3] High-voltage test techniques Partial discharge measurements, IEC Standard 60270 Third edition 2000-12, 2000
- [4] Insulating liquids-Determination of the breakdown voltage at power frequency-Test method, IEC Standard 156 Second edition 1995-07, 1995
- [5] Standard Test Method for Water in Insulating Liquids by Coulometric Karl Fischer Titration, ASTM Standard D 1533-00, 2005
- [6] Standard Test Method for Analysis of Gases Dissolved in Electrical Insulating Oil by Gas Chromatography, ASTM Standard D 3612 - 02, 2009