

การวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมันหม้อแปลงเพื่อตรวจสอบการฉีกขาดบางส่วนในหม้อแปลงกำลัง

Dissolved Gas Analysis for Partial Discharge Detection in Power Transformers

จิรศักดิ์ บุญโชติ¹ นักรชช สุภพิทักษ์กุล¹ และ ธนพงศ์ สุวรรณศรี²¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 0-2549-4990-2 E-Mail: en_jeerasak@yahoo.com

²บัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์นานาชาติสิรินธร ไทย-เยอรมัน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนพิบูลย์สงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 โทรศัพท์ 02-913-2500 E-Mail: thanapongs@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

การตรวจวัดการฉีกขาดบางส่วนภายในหม้อแปลงกำลัง สามารถทำได้หลายวิธี การวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำมันหม้อแปลงเป็นวิธีหนึ่งที่มีความนิยมอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถตรวจหาความผิดปกติของหม้อแปลงไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องดับไฟหรือปลดโหลด เมื่อหม้อแปลงมีอุณหภูมิความร้อน จะทำให้เกิดก๊าซชนิดต่างๆ ตามประเภทของความผิดปกติ ซึ่งความสัมพันธ์ของการแตกตัวของก๊าซในหม้อแปลงกับระดับความร้อน สามารถนำมาวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการประเมินระดับความรุนแรงของความคิดเห็น ก่อนที่ฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้าจะได้รับความเสียหายรุนแรง งานวิจัยนี้เน้นการตรวจสอบการฉีกขาดบางส่วน ผลการทดลองพบว่าเมื่อเกิดการฉีกขาดบางส่วนมากกว่า 200pC จะเกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และมีเทน (CH_4) ตั้งแต่ระดับเริ่มต้นของไฟไหม้และเพิ่มขึ้นตามความรุนแรงตลอดช่วงของการเกิดการฉีกขาดบางส่วน

คำสำคัญ: การฉีกขาดบางส่วน, ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง

Abstract

Various methods have been applied in detecting the Partial Discharge (PD) in the power transformers. Dissolved Gas Analysis (DGA) is one of the most useful techniques to detect incipient faults in oil-filled transformers due to it can be used to detect fault without disconnecting load. As the transformer under the thermal stress, the cause of insulation oil decomposition to gases depend on the severity of abnormalities within the first transformer insulation. Analysis of these relationships can be used to detect faults. This study focuses on partial discharge detection. More than 200pC, the hydrogen (H_2) and methane

(CH_4) can be detected that will be the beginning of the problem and it will increase severity during the partial discharge.

Keywords: Partial Discharge, Dissolved Gas Analysis, DGA

1. บทนำ

ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า หากหม้อแปลงไฟฟ้าเกิดความเสียหายจะส่งผลกระทบต่ออย่างมากทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้า ปัจจุบันมีวิธีตรวจสอบมากมายเพื่อแจ้งเตือนล่วงหน้าก่อนปัญหาลุกลามใหญ่โต การวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง (Dissolved Gas Analysis, DGA) [1] เป็นวิธีหนึ่งที่มีความนิยมอย่างมาก งานวิจัยนี้ได้จำลองการเกิดการฉีกขาดบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง เพื่อวิเคราะห์หาแนวโน้มความเสียหายขั้นรุนแรงในระดับที่เป็นอันตรายต่อหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อเป็นแนวทางในการบำรุงรักษาและป้องกันความเสียหายนั้นได้ทันทั่วทั้ง

2. หลักการและทฤษฎี

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 ซึ่งมีน้ำมันเต็มถังได้ ก๊าซที่ได้จะลอยอยู่เหนือน้ำมันโดยมี gas blanket ป้องกันไม่ให้ไหลเข้าออกภายนอกได้

2) การเก็บตัวอย่างก๊าซบริเวณ head space และนำมาวิเคราะห์แบบแยกชนิด

3) Dissolved gas analysis (DGA) เป็นการนำตัวอย่างน้ำมันมาแยกก๊าซเพื่อหาปริมาณของก๊าซแต่ละชนิด สามารถใช้ได้กับหม้อแปลงที่ใช้ น้ำมันเป็นฉนวนทุกประเภท ซึ่งมีข้อดีคือแปลกลับไปสู่ประเภทของปัญหาได้ ข้อเสียคือ วิธีการค่อนข้างซับซ้อน

2.2 สภาวะหลักที่ทำให้เกิดก๊าซที่แสดงความผิดปกติ

สภาวะผิดปกติ (Abnormal Condition) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามความร้อนของสภาวะผิดปกติ [1]

1) Corona หรือ Partial discharge สร้างความร้อนไม่สูงนัก เป็นปัญหาทางไฟฟ้าที่ส่งพลังงานต่ำๆ ออกมา

2) การเผาไหม้หรือการเกิดความร้อนเกินปกติ สร้างความร้อนปานกลาง และเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณก๊าซจะสะสมไปตามเวลา

3) การอาร์ก เป็นปัญหารุนแรงที่สุด มีความร้อนสูงมากเกิดขึ้นเนื่องจากการไหลอย่างต่อเนื่องของกระแสสูง

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) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

2.3 วิธีการวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนในน้ำมัน

ในการวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนในน้ำมัน จะแยกก๊าซออกจากน้ำมัน จากนั้นก๊าซที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่เครื่อง Gas Chromatography (GC) เพื่อแยกชนิดและวัดปริมาณเป็น part per million (ppm) เมื่อทราบปริมาณก็นำมาแปลผลเพื่อใช้งาน วิธีแปลผลปริมาณก๊าซมีหลายแบบ ขอกล่าวถึงวิธีที่นิยมและเหมาะสมกับงานวิจัยนี้ คือ

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

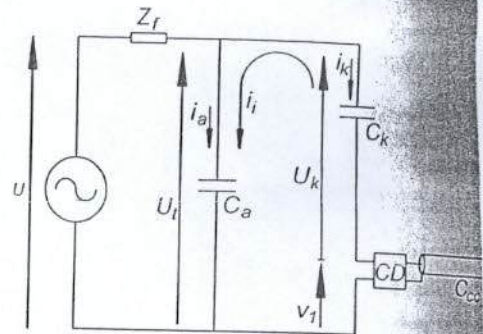
2) วิธี R.R. Rogers (CEGB Fault Gas Ratios) [1] วิเคราะห์จากอัตราส่วนของก๊าซ CH_4/H_2 , C_2H_6/CH_4 , C_2H_4/C_2H_6 และ C_2H_2/C_2H_4 , CO_2/CO แต่ละชุดเป็นอัตราส่วนของก๊าซเกิดที่อุณหภูมิสูงต่อก๊าซเกิดที่อุณหภูมิต่ำลดลงมา อัตราส่วนเหล่านี้จะถูกนำมาแปลงเป็น code 0, 1, 2, 5 แล้วจึงนำ code ทั้งสี่มาแปลผล การแปล code จะทำต่อเมื่อได้พิจารณา Gas Limits and warning level [1] แล้วเท่านั้น

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

4) วิธี Key Gas [1] เป็นการหาคุณลักษณะของสภาวะผิดปกติแบ่งออกเป็น 4 ประเภทตามก๊าซหลัก 4 ชนิด คือ C_2H_6 , CO, C_2H_2 และ H_2

2.4 การทดสอบดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง

ใช้วิธีวิเคราะห์จากวงจรสมมูลการตรวจวัดตามข้อกำหนดในมาตรฐานสากล IEC 60270 This test is performed by applying a high voltage U to the test object Z_T through a coupling capacitor C_c , and a connecting cable CC , and a blocking capacitor C_k is connected in parallel with the test object. The circuit diagram is shown in Figure 1.



รูปที่ 1 วงจรสมมูลการตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วน

หน้าที่การทำงานและคุณสมบัติสำคัญของอุปกรณ์ทดสอบเป็นดังนี้

1) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูง U ใช้ในการวางทดสอบและมีขนาดพิกัดเพียงพอที่จะจ่ายโหลดได้

2) ตัวกรองสัญญาณหรืออิมพีแดนซ์ Z_T ใช้ในการรับกวนจากแหล่งจ่าย เช่น ฮาร์โมนิกส์ และดิสชาร์จบางส่วน หม้อแปลงทดสอบเองที่ใช้เป็นแหล่งจ่าย เป็นต้น

3) ตัวเก็บประจุคัปปลิง C_c ใช้เป็นส่วนเชื่อมต่อกับสัญญาณความถี่สูงให้ครบวงจรระหว่าง C_c , C_k และ CD ประจุคัปปลิงต้องเป็นชนิดที่มีค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance) ต่ำ ทนแรงดันได้โดยปราศจากดิสชาร์จบางส่วน ทดสอบ อาจเรียกว่า "Blocking Capacitor" (อังกฤษ)

4) อุปกรณ์รับสัญญาณ CD และเครื่องมือวัด MI อุปกรณ์นี้จะทำงานร่วมกันคือทำหน้าที่อินทิเกรต (Integrate) MI ที่ไหลในวงจรทดสอบเนื่องจากการเกิดดิสชาร์จบางส่วน สัญญาณ CC เป็นสายที่เชื่อมต่อระหว่าง CD และ MI อุปกรณ์ จะทำหน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือเป็นตัวกรองกระแส (ถึง 400 เฮิรตซ์)

หลักการทำงานของวงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจวัดบางส่วน เริ่มจากการต่อขั้ว ป้อนแรงดันทดสอบจากแหล่งจ่ายแรงดันสูง Z_T ให้กับวงจรทดสอบจนกระทั่งเกิดดิสชาร์จบางส่วน ทดสอบ C_c ทำให้เกิดแรงดันตกที่ขั้วของ C_c , C_k จะดิสชาร์จ

เมื่อแรงดันตก ผลดังกล่าวทำให้เกิดกระแสรั่ว i_r ไหลวนครบวงจรระหว่าง C_1 , C_2 และ CD ดังนั้น CD และ MI วัดประจุไฟฟ้าที่ถ่ายเทระหว่าง C_1 และ C_2 โดยการอินทิเกรตกระแสรั่ว i_r เพื่อนำไปแสดงผลต่อไป

3. ขั้นตอนการทดสอบ PD ในน้ำมันหม้อแปลง

ขั้นตอนการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง ได้แบ่งขั้นตอนการสอบเป็นหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์

1) ภาชนะทดสอบน้ำมันหม้อแปลง (Test Cell) ผู้วิจัยจึงได้เทียบเคียงกับมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบค่าความคงทนของน้ำมันหม้อแปลง IEC 156 Second Edition, (1995-07) [4] ในเรื่องปริมาณตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบ คือ 600 ml ซึ่งเป็นปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ DGA ที่ต้องการตัวอย่างน้ำมันเพียง 150 ml

2) อิเล็กโตรด เป็นการทดสอบภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ อิเล็กโตรดที่ใช้จึงเป็นแบบแผ่นระนาบขนาน ดังรูปที่ 2

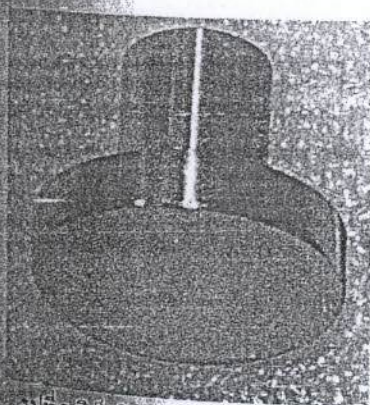
3) น้ำมันหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบ เป็นน้ำมันหม้อแปลงไฮดรอลิก Mineral Oil ซึ่งเป็นน้ำมันหม้อแปลงที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด มีค่าจากการทดสอบดังคั่นดังนี้ ความชื้น 14 ppm. [5] , ค่าความคงทน 67 kV [4] และปริมาณก๊าซดังตารางที่ 1

4) เครื่องมือวัดดิสชาร์จบางส่วน เป็นไปตามมาตรฐานสากล IEC 60270 Third Edition, (2000) [1] ดังรูปที่ 3

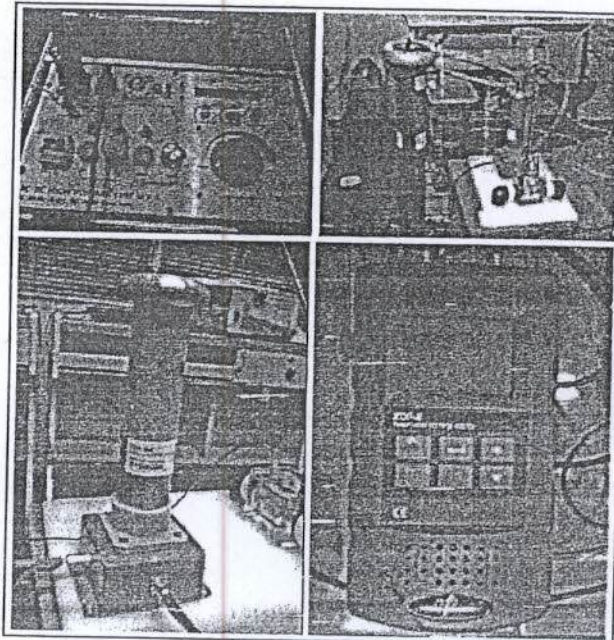
5) เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมันหม้อแปลง (Dissolved Gas Analysis, DGA) เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานสากล ASTM D-1612-02 [6] ดังรูปที่ 4

ตารางที่ 1 ปริมาณก๊าซคั่นก่อนการทดสอบ (ppm.)

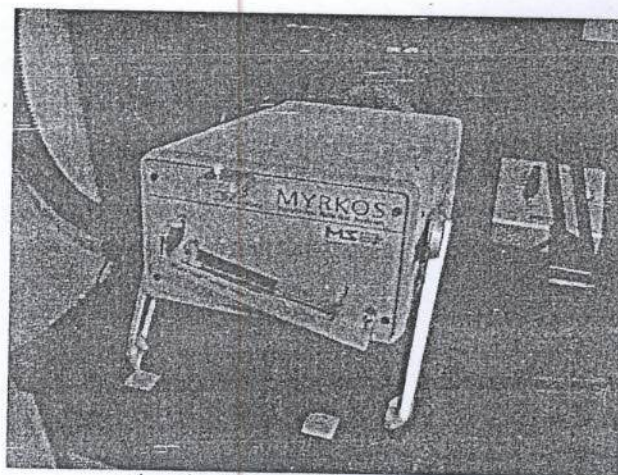
ก๊าซ	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO ₂
ปริมาณ	0	0	0	0	0	2	517



รูปที่ 2 อิเล็กโตรดแบบแผ่นระนาบขนาน



รูปที่ 3 เครื่องมือวัดดิสชาร์จบางส่วน



รูปที่ 4 เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมันหม้อแปลง

3.2 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์

1) ปรับระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดตามที่กำหนด (ได้จากการทดสอบ)

2) เติมน้ำมันหม้อแปลงใหม่ในภาชนะทดสอบจำนวน 600 ml และทิ้งไว้ 5 นาที ก่อนเริ่มทดสอบเพื่อไม่ให้มีฟองก๊าซ ภายในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

3) ค่อยๆ ป้อนแรงดันทดสอบจากแหล่งจ่าย V ให้กับวงจรทดสอบจนกระทั่งเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่น้ำมันหม้อแปลงตามค่าที่กำหนดในตารางที่ 2 คงค่าไว้ 15 นาที (เวลาได้จากการทดสอบ)

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

4. ผลการทดสอบ DGA

การทดสอบคิซาร์บางส่วนที่น้อยกว่า 200 pC ซึ่งเป็นการคิซาร์ที่มีพลังงานต่ำมาก ต้องใช้เวลาทดสอบนานมากจึงจะทำให้ผล DGA เปลี่ยนแปลง จึงไม่ขอกล่าวถึงในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 2 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 2 ผลการทดสอบ DGA ภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ อิเล็กโตรดแบบระนาบ-ระนาบ (Plane-to-Plane) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร ผลการทดสอบเป็นค่ากลางของการทดสอบ 5 ครั้ง โดยตัดค่าที่สูงสุดและต่ำสุดออก (ดูที่ H₂) นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ในข้อ 2.3

วิเคราะห์โดยวิธี Dömenberg ratio [1] วิเคราะห์ว่าเกิดโคโรนา ความรุนแรงต่ำ ในทุกระดับคิซาร์บางส่วน

วิเคราะห์โดยวิธี CEEB Fault Gas Ratios [1] ได้ Code {5 0 0 0} วิเคราะห์ว่าเกิดคิซาร์บางส่วน ในทุกระดับคิซาร์บางส่วน

วิเคราะห์โดยวิธี California State University-Sacramento Guidelines (Key Gases) [1] วิเคราะห์ว่าเกิดคิซาร์บางส่วนหรือมีสปาร์ค และผลการทดสอบที่มีคิซาร์บางส่วนน้อยกว่า 1000 pC วิเคราะห์ว่าไม่มีความผิดปกติ

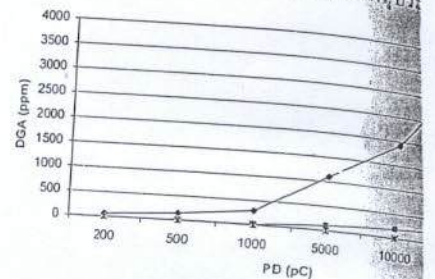
วิเคราะห์โดยวิธี Key Gas [1] พบว่าเกิดโคโรนาในน้ำมันหม้อแปลง

การวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนในน้ำมันหม้อแปลงในทุกวิธีที่อ้างถึงข้างต้น ไม่สามารถบอกระดับความรุนแรงของการเกิดคิซาร์บางส่วนได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าระดับคิซาร์บางส่วนที่มากกว่า 20,000 pC จะเกิดเบรกดาวน์ในบางครั้ง

5. สรุป

จากการทดลองพบว่าเมื่อเกิดคิซาร์บางส่วน จะเกิดก๊าซไฮโดรเจน (H₂) และมีเทน (CH₄) ตั้งแต่ระดับเริ่มต้นของปัญหา และเพิ่มขึ้นตามความรุนแรงตลอดช่วงของการเกิดคิซาร์บางส่วน แสดงดัง

กราฟในรูปที่ 5 ผลการทดลองสามารถใช้วิเคราะห์ความรุนแรงของการเกิดคิซาร์บางส่วน เพื่อป้องกันความเสียหายได้ทันทั่วทั้งที่ ตรงตามวัตถุประสงค์



รูปที่ 5 กราฟแสดงผลการทดลอง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือทดสอบ (PD) และเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมันหม้อแปลงจากบริษัท ดาต้าเอ็นเทอร์พรีส จำกัด และได้รับความอนุเคราะห์ใหม่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทั้งหมด จากบริษัท สุวรรณ จำกัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated by Partial Discharge in Immersed Transformers, IEEE Standard C57.104-1993
- [2] ธนพงศ์ สุวรรณศรี, แคทเธีย สุวรรณศรี. 2551. โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง วิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง. การประชุมวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31, นครนายก, ประเทศไทย. ตุลาคม 2551: 153-156.
- [3] High-voltage test techniques Partial discharge measurement, IEEE Standard 60270 Third edition 2000-12, 2000
- [4] Insulating liquids-Determination of the breakdown voltage by 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 D153-00, 2005
- [6] Standard Test Method for Analysis of Gases Dissolved in Insulating Oil by Gas Chromatography, ASTM Standard D3612-02, 2009