การวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อการวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

Dissolved Gas Analysis in Transformer Oil for Preventive Maintenance Planning

จิตติมา ณรงค์ วิชชากร เฮงศรีธวัช พศวีร์ ศรีโหมด และ เพชร นันทิวัฒนา

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

2410/2 ถ.พหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 0-2579-1111ต่อ 2272

E-mail: vichchakorn.he@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมันหม้อแปลงเพื่อการวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ซึ่งน้ำมันมีหน้าที่สำคัญในการช่วยระบายความร้อนและเป็นฉนวนทางไฟฟ้าของหม้อแปลง ดังนั้นการเสื่อมสภาพใดๆ ก็ตามที่เกิดขึ้นในน้ำมันอาจนำไปสู่ความเสียหายของหม้อแปลงก่อนเวลาอันควร โดยเมื่อน้ำมันอยู่ภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความเครียดทางไฟฟ้าสูง จะเกิดการแตกตัวของกลุ่มก๊าซออกจากน้ำมัน ทั้งนี้ลักษณะของความผิดพร่องที่ไม่เหมือนกันของหม้อแปลงก็จะทำให้เกิดก๊าซต่างชนิดกันด้วย ซึ่งการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของก๊าซเหล่านี้จะช่วยจำแนกและระบุลักษณะของความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงได้ นอกจากนี้ยังใช้เป็นแนวทางวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้ทันเวลา ผลการวิเคราะห์ก๊าซจากหม้อแปลงตัวอย่างแสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของก๊าซไฮโดรเจนและอะเซทิลีนรวมถึงคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งหมายถึงมีการเกิดอาร์ครุนแรงในน้ำมันจากการไหลอย่างต่อเนื่องของกระแสค่าสูงจนทำให้เกิดความเสียหายของฉนวน ดังนั้นจึงควรเร่งดำเนินการตรวจสอบเพื่อหาจุดบกพร่องและแก้ไขทันที

คำสำคัญ: น้ำมันหม้อแปลง, การบำรุงรักษาหม้อแปลง, การวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมัน

ABSTRACT

This paper presents techniques of dissolved gas analysis in transformer oil for preventive maintaining planning. The oil has important function to provide cooling and electrical insulation for the transformer operation. Any deterioration in the oil can lead to the premature failure of the transformer. When the oil is subjected to high thermal and electrical stress, gases are generated from the decomposition of the oil. Different type of fault will generate different gases. The analysis of these gases will provide the identification of the type of fault in the transformer and used for planning preventive maintenance. As the example results, it is shown that the hydrogen and acetylene tend to be increased. This means there is a severe arc in the oil due to the continuous flow of high currents causing insulation damage. Therefore, it should be investigated to find the bug and fix it immediately.

KEYWORDS : Transformer Oil, Transformer Maintenance, Dissolved Gas Analysis

1. บทนำ (Introduction)

คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันหม้อแปลงจัดเป็นสารประกอบที่มีส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) เป็นหลัก และทันทีที่หม้อแปลงเริ่มมีการใช้งานน้ำมันก็จะเริ่มเสื่อมสภาพลงจากหลายปัจจัย เช่น การเกิดแรงดันสูงเกิน การมีความร้อนสูงเกิน และการมีสภาพแวดล้อมการทำงานที่ไม่ปกติ เป็นต้น ซึ่งในกระบวนการเสื่อมสภาพของน้ำมันนี้ ปริมาณสารประกอบของไฮโดรคาร์บอน เช่น มีเทน (Methane), อีเทน (Ethane), อะเซทิลีน (Acetylene), เอทิลีน (Ethylene) และอื่นๆ จะถูกสร้างขึ้นโดยผสมปนอยู่กับก๊าซจำพวกคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide), คาร์บอกไดออกไซด์ (Carbon dioxide) และไฮโดรเจน (Hydrogen) ซึ่งก๊าซเหล่านี้จะอยู่รวมกันภายในถังปิดของหม้อแปลงและอาจเกิดระเบิดได้หากมีก๊าซบางตัวในปริมาณที่มากเกินไป ทั้งนี้ ชนิดและปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นในน้ำมันจะขึ้นอยู่กับสภาวะเงื่อนไขในการทำงานของหม้อแปลง ดังนั้นการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงจึงมีประโยชน์ต่อการบอกถึงสุขภาพของหม้อแปลง เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยทั่วไปการวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมันมักถูกเรียกว่า DGA (Dissolved Gas Analysis) โดยทุกวิธีจะต้องเก็บตัวอย่างน้ำมันในขณะที่หม้อแปลงกำลังทำงานอยู่หรืออาจถูกปลดออกจากระบบในระยะเวลาไม่นาน ตัวอย่างน้ำมันจะถูกทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาชนิดและปริมาณของก๊าซต่างๆ ด้วยวิธีโครมาโตรกราฟฟี (Chromatography) และทำการแปลผลซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เพื่อบอกถึงลักษณะความผิดปกติที่อาจเกิดจากความร้อนสูงในฉนวน การทำงานเกินพิกัด การเกิดดีสชาร์จบางส่วน (Partial discharge) หรือการเกิดอาร์ค (Arcing) ในหม้อแปลง

2. ลักษณะความผิดปกติและการเกิดก๊าซในน้ำมัน (Faults and Gas Generation)

สาเหตุการเกิดก๊าซในน้ำมันเป็นเพราะการแตกตัวของพันธะทางเคมีระหว่างอะตอมที่ใช้สร้างเป็นโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนของน้ำมัน การเกิดความผิดปกติ (Fault) ลักษณะต่างๆ ในหม้อแปลงจะก่อให้เกิดพลังงานสำหรับการแตกตัวของพันธะเคมีดังกล่าว ซึ่งก๊าซสำคัญ (Key gas) ที่เกิดขึ้นจะมีอยู่ด้วยกัน 7 ชนิดได้แก่ ไฮโดรเจน (H_2) , มีเทน (CH_4) , อีเทน (C_2H_6) , เอทิลีน (C_2H_4) , อะเซทิลีน (C_2H_2) , คาร์บอกไดออกไซด์ (CO_2) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) โดยลักษณะความผิดปกติของหม้อแปลงอาจแบ่งออกได้ 3 ประเภทดังนี้

1) **โคโรน่า (Corona)** หรือดีสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge) เป็นลักษณะปัญหาทางไฟฟ้าที่ส่งพลังงานต่ำๆ ออกมาในน้ำมันโดยจะพบก๊าซไฮโดรเจนและมีเทนในปริมานพอสมควร และยังสามารถพบก๊าซอีเทนและเอทิลีนปริมาณน้อยปนอยู่ด้วย ซึ่งหากมีการดีสชาร์จในกระดาษฉนวนก็จะพบการเพิ่มปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์

2) **การเกิดความร้อนสูงเกิน (Overheating)** เป็นลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณก๊าซจะสะสมไปตามเวลา โดยหากเกิดขึ้นในน้ำมันส่วนเดียวจะพบก๊าซไฮโดรเจน, มีเทน, อีเทน, และเอทิลีน ปริมาณของก๊าซแต่ละชนิดจะขึ้นกับค่าความร้อนจากปัญหานั้นๆ ซึ่งถ้ามีความร้อนสูงมากๆ จะพบปริมาณก๊าซอะเซทิลีนด้วย ในกรณีที่เกิดความร้อนสูงเกินบริเวณกระดาษฉนวนจะพบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณมากเนื่องมาจากการเสื่อมของกระดาษที่มีโครงสร้างเป็นเซลลูโลส (Cellulose)

3) **การเกิดอาร์ก (Arcing)** จัดเป็นปัญหาที่รุนแรงที่สุด เนื่องจากมีความร้อนสูงจากการไหลอย่างต่อเนื่องของค่ากระแสสูงในน้ำมัน ซึ่งจะพบก๊าซไฮโดรเจนและอะเซทิลีนปริมาณมาก

3. วิธีแปลผลการทดสอบก๊าซ (Interpretation of Result)

การแปลความหมายของก๊าซสำคัญทั้ง 7 ชนิดที่ได้จากการทำ DGA จะสามารถบอกถึงสภาพการทำงานของหม้อแปลงได้ว่าเป็นปกติหรือผิดปกติในลักษณะใด ซึ่งวิธีการแปลผลที่ได้รับความนิยมมีอยู่ด้วยกัน 6 วิธีคือ

(1) วิธี IEEE Method
(2) วิธี Key Gas Method
(3) วิธี Roger's Ratio Method
(4) วิธี IEC Method
(5) วิธี Doernenburg Ratio Method
(6) วิธี Duval Triangle Method

3.1 วิธี IEEE Method

การแปลผลตามมาตรฐาน IEEE C57-104 (1991) จะพิจารณาจากค่าผลรวมของก๊าซทั้งหมดที่สามารถติดไฟได้ (Total Dissolved Combustible Gases: TDCG) โดยจะดูอัตราการเพิ่มขึ้นของ TDCG ร่วมกับแนวโน้มการเกิดขึ้นของก๊าซทั้ง 7 ชนิด เพื่อวิเคราะห์สภาพของก๊าซในหม้อแปลง ซึ่งสามารถแบ่งสถานะ (Status) ออกเป็น 4 แบบตามตารางที่ 1 โดยผลรวมของก๊าซที่ติดไฟได้แสดงไว้ในสมการที่ (1)

$$TDCG = H_2 + CH_4 + C_2H_2 + C_2H_4 + C_2H_6 + CO \quad (1)$$

โดยที่ TDCG คือผลรวมทั้งหมดของก๊าซที่สามารถจุดติดไฟได้ (ppm)

ตารางที่ 1 ขีดจำกัดของก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง (ppm) ตามมาตรฐาน IEEE

Status	Hydrogen (H_2)	Methane (CH_4)	Acetylene (C_2H_2)	Ethylene (C_2H_4)	Ethane (C_2H_6)	Carbon monoxide (CO)	Carbon dioxide (CO_2)	TDCG
Condition 1	< 100	< 120	< 1	< 50	< 65	< 350	< 2500	<= 720
Condition 2	101-700	121-400	2-9	51-100	66-100	351-570	2500-4000	721-1920
Condition 3	701-1800	401-1000	10-35	101-200	101-150	571-1400	4001-10000	1921-4630
Condition 4	> 1800	> 1000	> 35	> 200	> 150	> 1400	> 10000	> 4630

Condition 1: ค่า TDCG ที่ต่ำกว่าระดับนี้แสดงว่าหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติ แต่หากก๊าซตัวใดมีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์ควรใช้วิธีอื่นช่วยในการวิเคราะห์ผล

Condition 2: ค่า TDCG ในช่วงนี้แสดงถึงการเผาไหม้สูงกว่าปกติควรมีการตรวจสอบเพิ่มเติมและควรนำค่า DGA ไปคำนวณและประเมินก๊าซที่ถูกผลิตขึ้นต่อวัน

Condition 3: ค่า TDCG ในช่วงนี้แสดงถึงระดับที่สูงของการสลายตัวของเซลลูโลสฉนวนหรือน้ำมัน ควรนำค่า DGA ไปคำนวณและประเมินก๊าซที่ถูกผลิตขึ้นต่อวันและเริ่มวางแผนปลดการทำงานของหม้อแปลงเพื่อตรวจสอบละเอียด

Condition 4: ค่า TDCG ที่สูงกว่าระดับนี้แสดงถึงระดับของการสลายตัวของเซลลูโลสฉนวนหรือน้ำมันมากเกินไป ควรทำการปลดหม้อแปลงออกจากการทำงานเพื่อเข้าบำรุงรักษาทันที

3.2 วิธี Key Gas Method

ตามข้อแนะนำของมาตรฐาน IEEE C57-104 (1991) วิธีการนี้จะถูกใช้เมื่อหม้อแปลงไม่เคยได้รับการวิเคราะห์ก๊าซแต่ละชนิดมาเป็นเวลานาน โดยยังคงพิจารณาจากค่า TDCG เป็นหลักร่วมกับการเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดของก๊าซบางตัวเพื่อระบุถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับหม้อแปลงได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์เหตุผิดปกติจากปริมาณก๊าซสำคัญในน้ำมันหม้อแปลงตามมาตรฐาน IEEE

Case	Fault	Principle gas	CO	H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2
1	Overheated oil	C_2H_4	-	2%	16%	19%	63%	-
2	Overheated cellulose	CO	92%	-	-	-	-	-
3	Corona in oil	H_2	-	85%	13%	1%	1%	-
4	Arcing in oil	C_2H_2	-	60%	5%	2%	3%	30%

3.3 วิธี Roger's Ratio Method

วิธีการนี้จะพิจารณาเกณฑ์จากค่าอัตราส่วนของก๊าซแต่ละชนิด โดยค่าอัตราส่วนที่สำคัญซึ่งจะนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลมีอยู่ด้วยกัน 5 ค่าตามตารางที่ 3 ซึ่งแสดงในหน่วยส่วนต่อล้าน (ppm) อย่างไรก็ตาม วิธีการของ Roger's Ratio (R.R. Rogers, 1978) จะพิจารณาเฉพาะค่าอัตราส่วนของ R1, R2 และ R5 เท่านั้น โดยมีขีดจำกัดของค่าอัตราส่วนสัมพันธ์ตามลักษณะของความผิดปกติ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 อัตราส่วนสำคัญของก๊าซแต่ละชนิด

Ratio	Gas (ppm)
R1	CH_4/H_2
R2	C_2H_2/C_2H_4
R3	C_2H_2/CH_4
R4	C_2H_6/C_2H_2
R5	C_2H_4/C_2H_6

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์เหตุผิดปกติจากค่าอัตราส่วนก๊าซด้วยวิธี Roger's Ratio

Case	Fault	R2	R1	R5
0	Unit normal	< 0.1	0.1 – 1.0	< 1.0
1	Low energy density arcing	< 0.1	< 0.1	< 0.1
2	High energy discharge arcing	0.1 – 3.0	0.1 – 1.0	> 3.0
3	Low temperature thermal	< 0.1	0.1 – 1.0	1.0 – 3.0
4	Thermal fault < 700 °C	< 0.1	> 1.0	1.0 – 3.0
5	Thermal fault > 700 °C	< 0.1	> 1.0	> 3.0

3.4 วิธี IEC Method

วิธีการแปลผลตามมาตรฐาน IEC 60599 (1999) จะคล้ายกับวิธีของ Roger's Ratio โดยการพิจารณาจากค่าอัตราส่วนก๊าซ 3 จำนวน (R1,R2,R5) ในหน่วย ppm เพื่อระบุถึงลักษณะความผิดปกติต่างๆ ที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงซึ่งแบ่งออกเป็นความผิดปกติทางไฟฟ้าและอุณหภูมิ 6 ลักษณะ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์เหตุผิดปกติจากค่าอัตราส่วนก๊าซด้วยวิธี IEC

Case	Fault	R2	R1	R5
PD	Partial discharge	-	< 0.1	< 0.2
D1	Low energy discharge	> 1	0.1 – 0.5	> 1
D2	High energy discharge	0.6 – 2.5	0.1 – 1.0	> 2.0
T1	Thermal fault < 300 °C	-	> 1.0	< 1.0
T2	Thermal fault 300 °C to 700 °C	< 0.1	> 1.0	1.0 – 4.0
T3	Thermal fault > 700 °C	< 0.1	> 1.0	> 4.0

3.5 วิธี Doernenburg Ratio Method

วิธีการของ Doernenburg (Rohit Kumar Arora, 2013) จะใช้ค่าอัตราส่วนก๊าซจำนวน 4 ค่า (R1,R2,R3,R4) เพื่อระบุลักษณะความผิดปกติของหม้อแปลงซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะตามตารางที่ 6 โดยจะพิจารณาร่วมกับขีดจำกัดปริมาณของก๊าซแต่ละชนิดตามตารางที่ 7

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์เหตุผิดปกติจากค่าอัตราส่วนก๊าซด้วยวิธี Doernenburg's Ratio

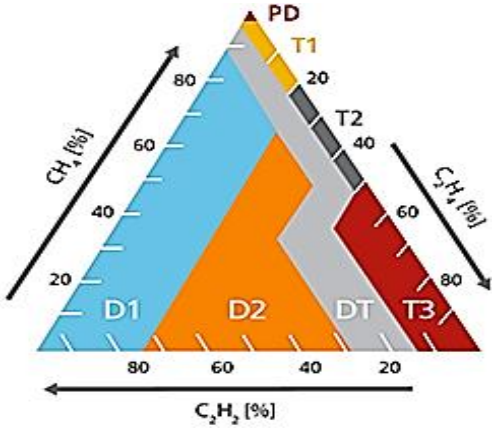
Case	Fault diagnosis	R1	R2	R3	R4
1	Thermal decomposition	> 1.0	< 0.75	< 0.3	> 0.4
2	Corona (Low intensity partial discharge)	< 0.1	-	< 0.3	> 0.4
3	Arcing (High intensity partial discharge)	0.1 – 1.0	> 0.75	> 0.3	< 0.4

ตารางที่ 7 ขีดจำกัดปริมาณของก๊าซแต่ละชนิดตามวิธีของ Doernenburg Ratio

Gas	Limit (ppm)
H_2	100
CH_4	120
C_2H_4	50
C_2H_2	35
C_2H_6	1
CO	350

3.6 วิธี Duval's Triangle Method

วิธีการนี้ถูกคิดและนำเสนอโดย Mr. Duval โดยใช้รูปสามเหลี่ยมตามภาพที่ 1 ในการอธิบายลักษณะความผิดปกติของหม้อแปลงซึ่งแบ่งเป็น 7 ลักษณะตามตารางที่ 8 วิธี Duval's Triangle (M.Duval, 2008) จะพิจารณาจากค่าร้อยละของก๊าซ 3 ชนิด ได้แก่ CH_4 , C_2H_2 และ C_2H_4 ตามสมการที่ (2) ถึง (4) เพื่อหาจุดตัดของเส้นตรงภายในสามเหลี่ยมว่าอยู่ในบริเวณใดซึ่งจะเป็นการบอกถึงลักษณะความผิดปกติของหม้อแปลง



ภาพที่ 1 การระบุลักษณะความผิดปกติด้วยสามเหลี่ยมของ Duval

$$\%CH_4 = \left(\frac{CH_4}{CH_4 + C_2H_2 + C_2H_4}\right)\times 100 \quad (2)$$

$$\%C_2H_2 = \left(\frac{C_2H_2}{CH_4 + C_2H_2 + C_2H_4}\right)\times 100 \quad (3)$$

$$\%C_2H_4 = \left(\frac{C_2H_4}{CH_4 + C_2H_2 + C_2H_4}\right)\times 100 \quad (4)$$

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์เหตุผิดปกติจากค่าร้อยละของก๊าซด้วยวิธี Duval's Triangle

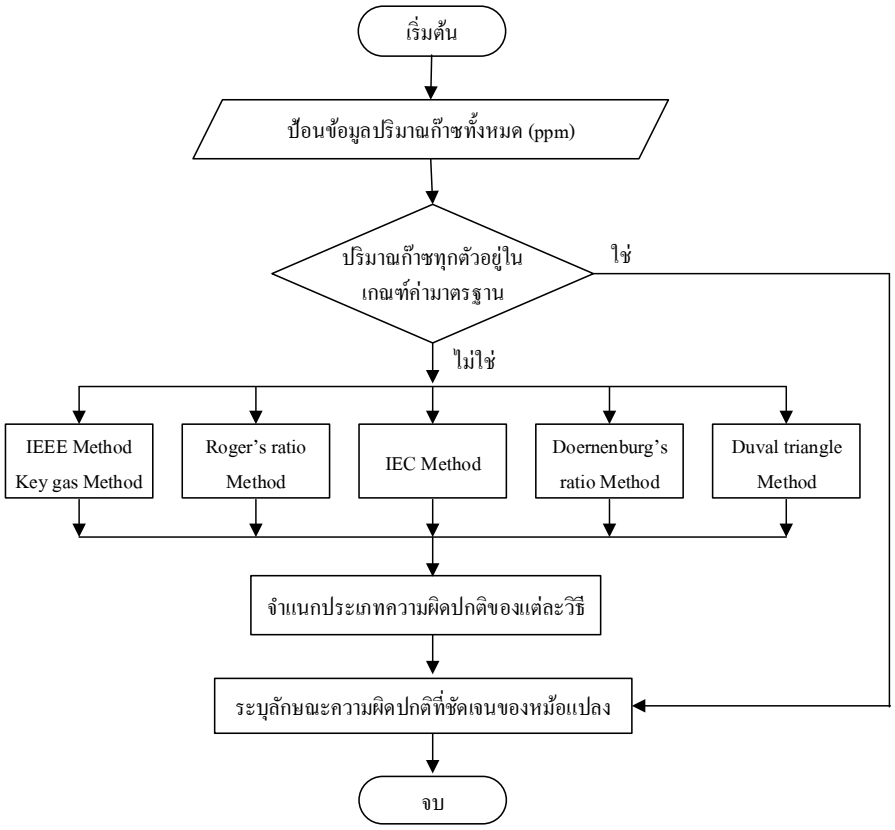
Case	Fault Diagnosis	CH_4	C_2H_2	C_2H_4
PD	Partial discharge	98%	-	-
D1	Low energy discharge	-	> 13%	< 23%
D2	High energy discharge	-	13% – 29%	23% - 38%
			> 29%	> 23%
T1	Thermal fault < 300 °C	-	< 4%	< 20%
T2	Thermal fault 300 °C to 700 °C	-	< 4%	20% – 50%
T3	Thermal fault > 700 °C	-	< 15%	> 50%
DT	Combination of thermal and electrical fault	-		

4. ผลการวิเคราะห์ค่าก๊าซในน้ำมัน (Results of DGA)

โดยทั่วไปกระบวนการวิเคราะห์ค่าก๊าซในน้ำมันจะเริ่มจากการพิจารณาปริมาณก๊าซทั้ง 7 ชนิด โดยอาจเทียบกับค่าปกติตามที่มาตรฐาน IEC 60599 (1999) กำหนดตามตารางที่ 9 ซึ่งถ้าอยู่ในเกณฑ์ก็แสดงว่าหม้อแปลงอยู่ในสภาพปกติ แต่ถ้ามีก๊าซตัวหนึ่งตัวใดหรือหลายตัวมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ จำเป็นต้องใช้วิธีการแปลผลค่าก๊าซซึ่งควรกระทำในหลายๆ วิธีเพื่อจะได้นำประเภทความผิดปกติที่ได้จากแต่ละวิธีมาระบุลักษณะความผิดปกติของหม้อแปลงที่ชัดเจนแม่นยำขึ้น โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ผลแสดงดังภาพที่ 2

ตารางที่ 9 ข้อกำหนดปริมาณปกติของก๊าซในน้ำมันหม้อแปลงตามมาตรฐาน IEC

Gas	Hydrogen (H_2)	Methane (CH_4)	Ethane (C_2H_6)	Ethylene (C_2H_4)	Acetylene (C_2H_2)	Carbon dioxide (CO_2)	Carbon monoxide (CO)
ppm	< 100	< 50	< 50	< 50	< 5	< 5000	< 200

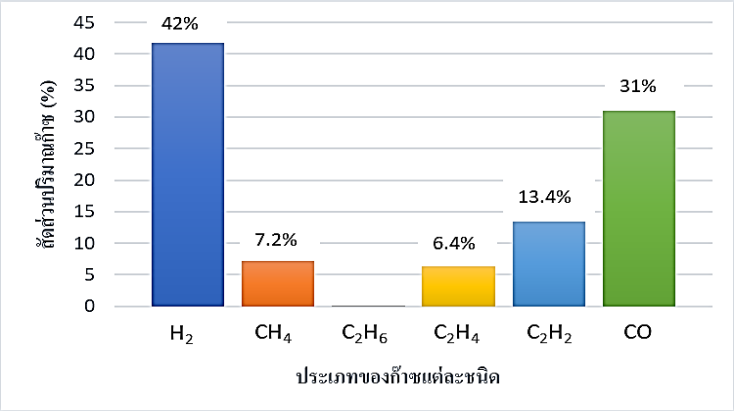


ภาพที่ 2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมันเพื่อระบุลักษณะความผิดปกติของหม้อแปลง

ตารางที่ 10 ตัวอย่างผลค่าก๊าซของหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบ

Gas	H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2	CO_2	CO	TDCG
ppm	633	109	< 1	96	203	262	469	1510

ตารางที่ 10 เป็นผลการทดสอบค่าก๊าซจริงที่ได้จากการทำ DGA ของหม้อแปลงไฟฟ้าตัวหนึ่ง สำหรับใช้เป็นตัวอย่างการวิเคราะห์ลักษณะความผิดปกติของหม้อแปลงด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าปริมาณก๊าซเกือบทั้งหมดมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยหากพิจารณาตามวิธี IEEE (ตารางที่ 1) ด้วยค่า TDCG เท่ากับ 1510 สถานะของหม้อแปลงจะอยู่ในเงื่อนไขที่ 2 (TDCG: 721-1920) หมายถึงเริ่มเกิดความผิดปกติและควรมีการตรวจสอบด้วยวิธีอื่นเพิ่มเติม ซึ่งจากวิธี Key gas method โดยการพิจารณาปริมาณของก๊าซแต่ละชนิดยกเว้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะเห็นว่าก๊าซไฮโดนเจน (H_2) และก๊าซอะเซทิลีน (C_2H_2) มีสัดส่วนการเพิ่มขึ้นที่สูงอย่างชัดเจนตามภาพที่ 3 แสดงว่าหม้อแปลงมีความผิดปกติในลักษณะเกิดอาร์คในน้ำมัน และทำให้เกิดความร้อนสูงเกินที่กระดาษฉนวนจึงทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ขึ้นด้วย



ภาพที่ 3 สัดส่วนการเกิดก๊าซแต่ละชนิดของหม้อแปลงทดสอบเพื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี Key gas method

ตารางที่ 11 ผลอัตราส่วนของก๊าซแต่ละชนิดของหม้อแปลงทดสอบ

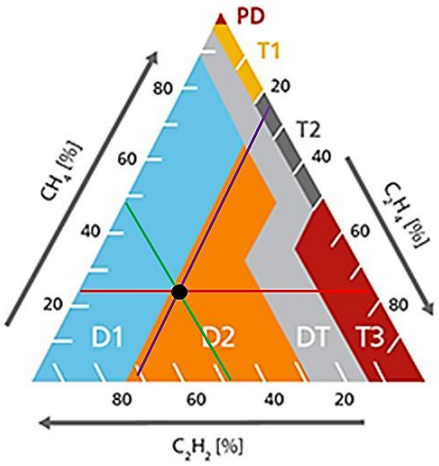
Ratio	Gas (ppm)	Value
R1	CH_4/H_2 = (109/633)	0.172
R2	C_2H_2/C_2H_4 = (203/96)	2.115
R3	C_2H_2/CH_4 = (203/109)	1.862
R4	C_2H_6/C_2H_2 = (1/203)	< 0.1
R5	C_2H_4/C_2H_6 = (96/1)	96

การวิเคราะห์ผลด้วยวิธีอัตราส่วนก๊าซทั้ง 5 ค่า สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 11 โดยวิธีของ Roger's Ratio จะพิจารณาเฉพาะค่าอัตราส่วน R1 , R2 และ R5 ซึ่งจากการเทียบค่ากับตารางที่ 4 จะเห็นว่าสถานะอยู่ในกรณีที่ 2 หมายถึงหม้อแปลงเกิดอาร์คแบบใช้พลังงานสูง (High energy discharge arcing) ในทำนองเดียวกันกับวิธีของ IEC สภาพของหม้อแปลงถูกบ่งชี้ไปที่ความผิดปกติทางไฟฟ้า D2 (ตารางที่ 5) ซึ่งหมายถึงเกิดการดีสชาร์จแบบใช้พลังงานสูง (High energy discharge) สำหรับวิธีการของ Doernenburg's Ratio จะพิจารณาจากค่าอัตราส่วน R1 , R2 , R3 และ R4 ซึ่งจากตารางที่ 6 ผลประเมินชี้ให้เห็นถึงการเกิดอาร์คแบบรุนแรง (High intensity partial discharge) เช่นเดียวกัน

การวิเคราะห์ผลด้วยวิธี Duval's Triangle จะต้องคำนวณค่าร้อยละของก๊าซ 3 ชนิด ตามสมการที่ (2) ถึง (4) ซึ่งสามารถแสดงค่าที่คำนวณได้ตามตารางที่ 12 โดยเมื่อนำค่าทั้งหมดไปกำหนดลงในรูปสามเหลี่ยมของ Duval จะเห็นว่าจุดตัดที่เกิดจากเส้นทั้งสามอยู่ในบริเวณ D2 ซึ่งจากตารางที่ 8 จะหมายถึงการเกิดดีสชาร์จแบบพลังงานสูง (High energy discharge) ตามภาพที่ 4

ตารางที่ 12 ตัวอย่างปริมาณก๊าซสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duval's Triangle

Gas	Concentration (ppm)	Percentage
Methane (CH_4)	109	26.72 %
Acetylene (C_2H_2)	203	49.75 %
Ethylene (C_2H_4)	96	23.53 %
Total Gas	408	100 %



ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความผิดปกติของหม้อแปลงทดสอบด้วยวิธี Duval's Triangle

จากการแปลผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้ของแต่ละวิธีสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 13 ซึ่งแสดงให้เห็นชัดเจนว่าหม้อแปลงนี้มีลักษณะความผิดปกติทางไฟฟ้าเกิดขึ้น โดยการวิเคราะห์จากทุกวิธีถูกบ่งชี้ว่าหม้อแปลงเกิดการอาร์คที่ค่อนข้างรุนแรง ซึ่งจำเป็นที่จะต้องรีบวางแผนเพื่อทำการตรวจสอบและหาทางแก้ไขต่อไป

ตารางที่ 13 สรุปผลการวิเคราะห์เหตุผิดปกติของแต่ละวิธี

Method	Case	Fault Diagnosis
IEEE (TCDG)	Condition 2	Low level decomposition, requires individual gas analysis
Key Gas	4	Arcing in oil
Roger's Ratio	2	High energy discharge arcing
IEC	D2	High energy discharge
Doernenburg's Ratio	3	Arcing (High intensity partial discharge)
Duval's Triangle	D2	High energy discharge

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมันหม้อแปลงถือเป็นเรื่องสำคัญและจำเป็นที่จะต้องทำอย่างน้อยปีละครั้ง เนื่องจากผลการทดสอบสามารถบอกถึงลักษณะของความผิดปกติเกิดขึ้นในการทำงานของหม้อแปลง ซึ่งอาจมีตั้งแต่ระดับความรุนแรงน้อยไปถึงขั้นเกิดการลุกไหม้ได้ ดังนั้น การแปลผลทดสอบซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงสภาพของหม้อแปลงในปัจจุบัน เพื่อใช้วางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายและยังเป็นการยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงด้วย ผลการวิเคราะห์ค่าก๊าซจากหม้อแปลงตัวอย่างแสดงให้เห็นถึงปริมาณที่สูงของก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซอะเซทิลีน (C_2H_2) หมายถึงมีการเกิดอาร์คระดับค่อนข้างรุนแรงในน้ำมันจากการไหลอย่างต่อเนื่องของกระแสค่าสูงจนทำให้เกิดความเสียหายของฉนวน จึงทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ขึ้นด้วย ซึ่งโดยทั่วไปการอาร์คมักเกิดขึ้นหลังจากการเกิดปัญหาอื่นก่อน เช่น ฉนวนขดลวดมีการแตกหัก หรือความเป็นฉนวนบางส่วนอาจจะลดลงจนไม่สามารถทนความเครียดของตัวนำไฟฟ้าได้ ถ้าขดลวดมีการลัดวงจรระหว่างรอบหรือระหว่างเฟส หรือเฟสถึงดิน การอาร์คที่เกิดขึ้นจากเหตุเหล่านี้จะทำให้หม้อแปลงเกิดความเสียหายทันที เมื่อการอาร์คเกิดขึ้นในบริเวณของขดลวดจะต้องทำการยกไส้หม้อแปลงและพันขดลวดใหม่ นอกจากนี้การหลวมของจุดต่อต่างๆ ก็เป็นอีกสาเหตุของการอาร์คได้ด้วยเช่นกัน แต่การอาร์คที่เกิดจากการแตกหักของฉนวนจะมีความสำคัญมากกว่า

6. เอกสารอ้างอิง

IEEE C57.104-1991. **Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers.**

R.R. Rogers. 1978. **Concepts used in the development of the IEEE and IEC codes for the interpretation of incipient faults in power transformers by dissolved gas in oil analysis.** IEEE Transactions on Electrical Insulation, vol. EI-13, no. 5, pp. 349-354.

IEC 60599. 1999. **Guide to the Interpretation of Dissolved and Free Gases Analysis**. NTT IEC.

Rohit Kumar Arora. 2013. **Different DGA techniques for monitoring of transformer.** International Journal of Electronics and Electrical Engineering, vol. 1, no. 4.

M.Duval. 2008. **The duval triangle for load tap changers: non-mineral oils and low temperature faults in transformers.** IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 24, no. 6.

Tirathai Journal. **Transformer Oils.** ปีที่ 4, ฉบับที่ 11, ธันวาคม 2557.