การศึกษาและวิเคราะห์สภาพน้ำมันหม้อแปลงในห้อง OLTC โดยวิธี Duval Triangle ร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จุฑาทิพย์ แหมา[1*] และ รัตนากร ผดุงถิ่น[2]

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์สภาพน้ำมันหม้อแปลงในห้อง OLTC โดยวิธี Duval Triangle ร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยนำประวัติผลการทดสอบสภาพน้ำมันในห้อง OLTC ของหม้อแปลงระดับแรงดัน 115/22kV 50MVA เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการประเมินสภาพ ในการบันทึกข้อมูลที่สะดวกและเป็นระบบ ซึ่งจะใช้เวลาไม่นานในการประเมินสภาพน้ำมันในห้อง OLTC ขั้นตอนในการประเมินสภาพน้ำมันหม้อแปลงในห้อง OLTC ในการวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมัน โดยวิธี Duval Triangle สามารถที่จะชี้ข้อบกพร่อง, สภาพความผิดปกติที่เกิดขึ้นใน OLTC ได้ ซึ่งค่าก๊าซต่างๆ ที่นำมาใช้เพื่อระบุความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับ OLTC ก๊าซทั้งสามตัวจะถูกนำมาพล็อตจุดในสามเหลี่ยมที่ถูกแยกออกเป็นโซนต่างๆ ของความผิดพลาด ซึ่งสามารถช่วยในการวางแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสม อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะส่งผลในด้านความน่าเชื่อถือของระบบสูงขึ้นและช่วยยืดอายุการใช้งานนานขึ้น

คำสำคัญ : การประเมินสภาพ, หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง, อุปกรณ์ปรับแรงดันสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าขณะจ่ายโหลด

[1] ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2] ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* อีเมล์: jhm.kmutnb@gmail.com รับเมื่อ 26 กรกฎาคม 2555 ตอบรับเมื่อ 16 พฤษภาคม 2556

Study and Analysis Condition Assessment of Power Transformer OLTC by Duval Triangle Method via IT Support

Juthathip Haema[1*] and Rattanakorn Phadungthin[2]

Abstract

This paper present to study and analysis condition assessment of power transformer OLTC by Duval Triangle method via IT support. The historical test results of the dissolved gas analysis in the OLTC of power transformers rated 115/22 kV 50 MVA is analyzed as an example. To record the data conveniently and systematically as well as to encounter less time-consuming for the condition evaluation, IT support is required in this work. The recorded data with the quantity of combustible gases produced in the insulating oil of OLTC is analyzed by dissolved gas analysis, which is Duval triangle then applied to specify any faults occurring in the OLTC. Three combustible gases are plotted as a coordinated point into the triangle that is separated into several zones of specific faults. Finally, the known condition can be used to plan appropriate maintenance effectively in the utility. This results in higher system reliability and longer useful lifetime of the OLTC.

Keywords*:* Condition evaluation, power transformer, On Load Tap Changer

[1] Department of Electrical Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of North Bangkok.

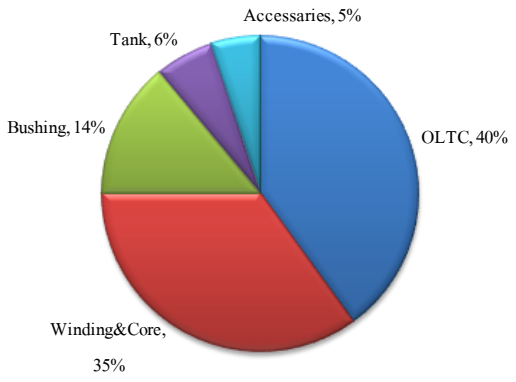
[2] Department of Electronics Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of North Bangkok.

[*] E-mail: jhm.kmutnb@gmail.com Received 26 July 2012, Accepted 16 May 2013

1. บทนำ

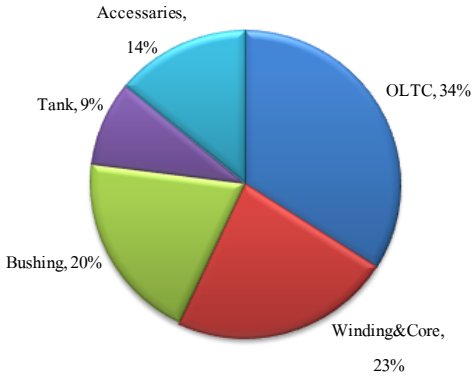
หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในระบบ ซึ่งทำหน้าที่ปรับระดับแรงดันให้สูงหรือต่ำตามความต้องการของระบบไฟฟ้า และยังเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาสูง หม้อแปลงไฟฟ้าโดยทั่วๆ ไป มีอายุประมาณ 25-30 ปี ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับการใช้งาน, สถานที่ติดตั้งและการบำรุงรักษา

อุปกรณ์ปรับแรงดันสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าขณะจ่ายโหลด(On Load Tap Changer; OLTC) เป็นส่วนประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ซึ่ง OLTC ถูกนำมาติดตั้งในหม้อแปลงเพื่อปรับระดับแรงดันขณะจ่ายโหลด จากผลการสำรวจขององค์การ CIGRE (International Conference on Lange High Voltage Electric System) [1] ซึ่งเป็นองค์การระหว่างประเทศทางด้านระบบไฟฟ้า มีสำนักกลางอยู่ที่กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส ได้ทำการสำรวจเกี่ยวกับความเสียหายที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า พบว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้า ส่วนใหญ่ความเสียหายที่พบบ่อยครั้งและมากกว่าอุปกรณ์อื่นๆ คือ OLTC ซึ่งเกิดความเสียหายมากถึง 40%,อุปกรณ์ภายในตัวหม้อแปลง เช่น ขดลวด, แกนเหล็ก เกิดความเสียหาย 35%, บุชชิ่งเกิดความเสียหาย 14%, แท็งค์เกิดความเสียหาย 6% และอุปกรณ์อื่นๆ 5% ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงผลสำรวจขององค์การ CIGRE เปอร์เซ็นต์ความเสียหายที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า

จากการศึกษาความเสียหายของหม้อแปลงไฟฟ้า 115/22 kV 50MVA ในประเทศไทย [2], [3], [4] จะพบว่า OLTC เกิดความเสียหายสูงถึง 34%, อุปกรณ์ภายในตัวหม้อแปลง เช่น ขดลวด, แกนเหล็ก เกิดความเสียหาย 23%, บุชชิ่งเกิดความเสียหาย 20%, อุปกรณ์อื่นๆ เกิดความเสียหาย 14% และแท็งค์ 9% ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการรั่วซึมของห้อง OLTC, การปนเปื้อนในน้ำมันเป็นต้น ดังนั้นในการบำรุงรักษา OLTC จึงมีความสำคัญและเป็นที่น่าสนใจทั้งในประเทศและต่างประเทศ



รูปที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเสียหายที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า 115/22kV 50MVA ในประเทศไทย

การประเมินสภาพภายในห้อง OLTC มีการวิเคราะห์ทั้งทางด้านการทดสอบทางไฟฟ้าและการทดสอบทางด้านน้ำมัน ซึ่งโดยปกติการทดสอบทางด้านไฟฟ้าจะมีวาระการทดสอบทุกๆ 6 ปี ส่วนการทดสอบทางด้านน้ำมันจะมีวาระการทดสอบทุกๆ 6 เดือน หรือ 1 ปี ซึ่งการทดสอบทั้ง 2 วิธีจะบอกถึงข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องในการจำแนกสภาพปกติหรือผิดปกติภายในห้อง OLTC

ในงานวิจัยศึกษาและวิเคราะห์สภาพน้ำมันหม้อแปลงในห้อง OLTC จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิธี Duval Triangle เนื่องจากการทดสอบวิธีนี้ สามารถทำนายความผิดปกติหรือความเสียหาย

ที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้าได้ เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับ OLTC ทันท่วงที จึงนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อป้องกันการเกิดความผิดปกตินั้นได้ทันท่วงที และเป็นแนวทางในการวางแผนสำหรับการบำรุงรักษา อีกทั้งยังสามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของ OLTC ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

OLTC ถูกนำมาติดตั้งในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง เพื่อปรับระดับแรงดันขณะจ่ายโหลด ซึ่ง OLTC ใช้ในการปรับจำนวนรอบของขดลวดหม้อแปลง โดยปกติเพื่อให้แรงดันคงที่อยู่ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง และจ่ายไปยังโหลดตามต้องการ

Tap Changer ภายใต้มาตรฐาน IEC และมาตรฐาน IEEE มีความต่างกันในภาษาที่ใช้ [5] แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ตามมาตรฐานของ IEC

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบ Tap Changer ระหว่าง IEC และ IEEE

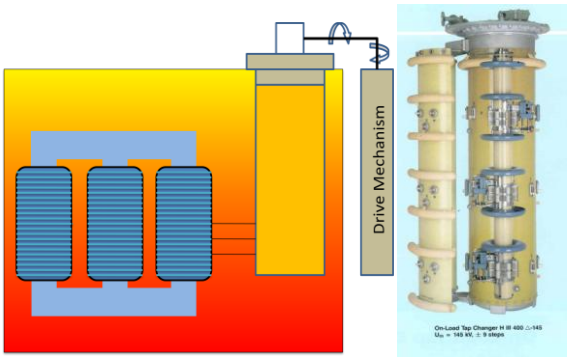
Standard	**IEC**	**IEEE**
Designation	OLTC	LTC
Tap Selection and Acing Control Methods	Selector switches	Arcing tap switches
	Diverter switches	Arcing switch
Current Limiting Method	Mainly resistor type	Resistor and reactor type

2.1 ลักษณะพื้นฐานของ OLTC

อุปกรณ์ปรับแรงดันสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าขณะจ่ายโหลด(OLTC) [6], [7] แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ แบบ Selector-type OLTC และ Diverter-type OLTC

2.1.1 Selector-type OLTC

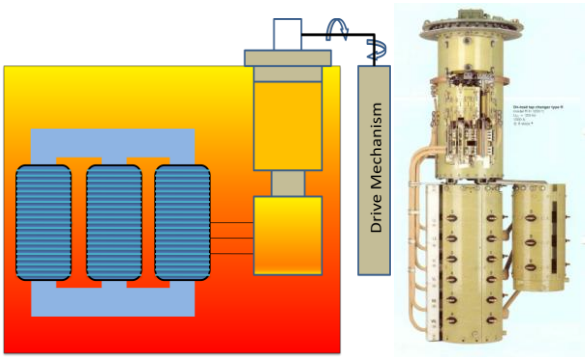
Selector-type ประกอบด้วย Selector และ Diverter switch อยู่ในส่วนประกอบเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งการประยุกต์ใช้งานถูกจำกัดให้ใช้กับหม้อแปลงกำลังขนาดกลาง เพราะแบบ Selector-type มีส่วนประกอบเดียวกัน จึงทำให้เกิดการปนเปื้อนในน้ำมันได้ง่าย ด้วยเหตุนี้ Selector-type OLTC จึงมีราคาถูกกว่าแบบ Diverter-type OLTC



รูปที่ 3 แสดง Selector-type OLTC

2.1.2 Diverter-type OLTC

Diverter-type ประกอบด้วยส่วนของ Selector และ Diverter switch แยกออกจากกัน แสดงดังรูปที่ 4 เพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของน้ำมัน และยังง่ายต่อการบำรุงรักษา จึงเป็นที่นิยมใช้งาน



รูปที่ 4 แสดง Diverter-type OLTC

2.2 หลักการวิเคราะห์

สำหรับการทดสอบทางด้านน้ำมันภายในห้อง OLTC แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

2.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน (OLTC Oil Quality)

การวิเคราะห์การทดสอบวิธีนี้ ประกอบด้วยการทดสอบแรงดันเบรกดาวน์ (Dielectric Strength), การทดสอบปริมาณน้ำในน้ำมัน (Water Content), การทดสอบค่าสีของน้ำมัน (Color)

2.2.2 การวิเคราะห์ก๊าซที่เจือปนในน้ำมัน (Dissolved Gas Analysis; DGA)

การวิเคราะห์การทดสอบวิธีนี้ เป็นที่ยอมรับและนิยมกันอย่างกว้างขวาง เพราะมีความแม่นยำและเชื่อถือได้ ซึ่งการวิเคราะห์การทดสอบประกอบด้วย การทดสอบวิธี Key gas การทดสอบวิธี Ratio การทดสอบวิธี Duval Triangle [8, 9]

งานวิจัยนี้ศึกษาและวิเคราะห์สภาพน้ำมันหม้อแปลงในห้อง OLTC โดยวิธี Duval Triangle ร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถสื่อถึงสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ อีกทั้งยังตรวจจับความผิดปกติเริ่มแรกของหม้อแปลงไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถูกต้อง และแม่นยำสูง [10]

วิธี Duval Triangle จะใช้ก๊าซเพียง 3 ตัวในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ คือ อะเซทิลีน (Acetylene: C_2H_2) บอกถึงการอาร์ค, เอทิลีน (Ethylene: C_2H_4) บอกถึงความร้อนที่เกิดขึ้น มีเทน (Methane: CH_4) บอกถึงการเกิดประกายไฟ ซึ่งก๊าซทั้ง 3 ตัวจะบ่งบอกถึงสภาพปกติหรือผิดปกติน้ำมันในห้อง OLTC ได้จากการคำนวณดังสมการที่ (1) - (3) เพื่อนำไปพล็อตจุดบนสามเหลี่ยม ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5

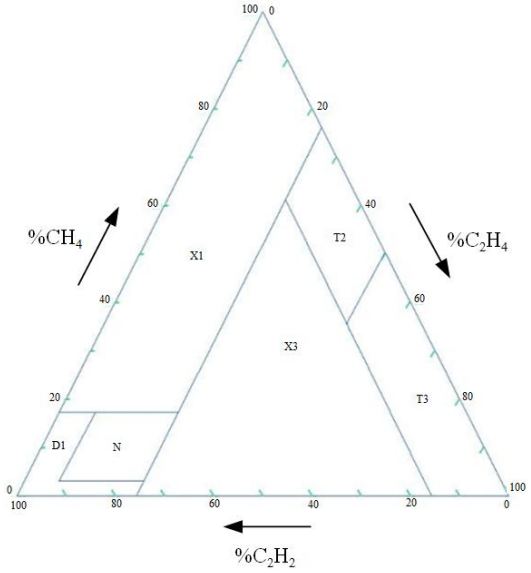
$$\%C_2H_2 = \frac{100x}{x+y+z} \quad (1)$$

$$\%C_2H_4 = \frac{100y}{x+y+z} \quad (2)$$

$$\%CH_4 = \frac{100z}{x+y+z} \quad (3)$$

หมายเหตุ *x* = อะเซทิลีน *(C_2H_2)*, *y* = เอทิลีน *(C_2H_4)*, *z* = มีเทน *(CH_4)*

จากรูปสามเหลี่ยม OLTC ประกอบด้วย 6 โซน ซึ่งในแต่ละโซนจะบ่งบอกถึงสภาพน้ำมันภายในห้อง OLTC แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งโค๊ดของแต่ละโซนจะบ่งบอกสภาพน้ำมันว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร มีสภาพผิดปกติหรือไม่ ทำให้ทราบสภาพเบื้องต้นของน้ำมันหม้อแปลงภายในห้อง OLTC



รูปที่ 5 แสดงสามเหลี่ยม OLTC

ตารางที่ 2 แสดงโค๊ดบ่งบอกสภาพน้ำมันภายในห้อง OLTC

Codes	Explanation
N	Normal Operation
T2	Severe thermal fault (300-700ºC), coking
T3	Severe thermal fault (above 700ºC), heavy coking
X1	Abnormal arcing or thermal fault in progress
X3	Fault T3 or T2 in progress (mostly) with light coking or increased resistance of contacts. Or, severe arcing
D1	Abnormal Arcing

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาและวิเคราะห์สภาพน้ำมันหม้อแปลงในห้อง OLTC มีวัตถุประสงค์เพื่อการเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับ OLTC ได้ทันท่วงที อีกทั้งสามารถพัฒนานำเอาข้อมูลจากฐานข้อมูลที่มีอยู่มาวิเคราะห์ผ่านเว็บไซต์ (Web Application) ได้ ซึ่งการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักดังนี้

3.1 Data Collection

สิ่งสำคัญอันดับแรกในการออกแบบกราฟ เช่น ขนาดของกราฟที่ต้องการแสดงผล ตำแหน่งที่ต้องการวางกราฟ และการวางแกนของกราฟทั้ง 3 จุด ซึ่งเทคนิคในการสร้างนั้น ใช้เว็บบราวเซอร์ในการแสดงผล โดยพื้นที่ที่ใช้กำหนดกราฟคือ ตำแหน่งจุด X และ Y ซึ่งในการสร้างกราฟรูปสามเหลี่ยม มีองค์ประกอบที่สำคัญ คือต้องใช้แกนทั้งสามและจุดสามจุดในการเชื่อมกราฟเป็นรูปสามเหลี่ยม อีกส่วนหนึ่งคือระยะห่างของแต่ละจุด ต้องใช้เทคนิคในการคำนวณที่ดี มิเช่นนั้นรูปที่ออกมาจะไม่เป็นรูปสามเหลี่ยม ถ้าทำงานตามหลักความจริง คือต้องคาดคะเนว่าแกนหรือจุดที่กำหนดนั้นเหมาะสมหรือไม่ ซึ่งถ้าส่วนนี้คำนวณไม่ดีเป็นสิ่งที่ยากในการจะกลับมาแก้ไข แต่สามารถเรียกใช้หน้าที่พิเศษ ในภาษา PHP ในการสร้างกราฟ เพียงกำหนดจุด X และ Y ทั้ง 3 จุดให้เหมาะสม ก็จะได้กราฟออกมาในอัตราส่วนที่เท่ากัน

3.2 Data Classification

ในส่วนนี้เป็นส่วนหลังจากที่ได้ขนาดของกราฟ และรู้ตำแหน่ง X, Y ของมุมทั้ง 3 แล้ว ต้องคำนวณหาสเกลของแต่ละด้านของรูปสามเหลี่ยม เพื่อนำมาเป็นมาตราส่วนในการสร้างกราฟ

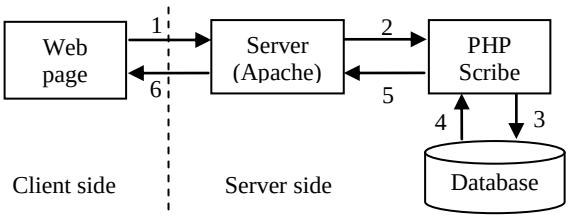
ส่วนนี้เป็นส่วนของข้อมูลที่ค่อนข้างยากและซับซ้อน เนื่องจากต้องเก็บรายละเอียดทั้งหมดของแต่ละสเกลบนกราฟในแต่ละจุด โดยสเกลนั้นจะแบ่งสามเหลี่ยมแต่ละด้านเป็นอัตราส่วน 0 - 100 ทุกด้าน นั้นหมายความว่ามีจุดบนกราฟ ที่จะบอกตำแหน่งของกราฟ ที่ต้องการแสดงผลนั้น 100 จุดบนสเกลซึ่งแต่ละจุด จะมีตำแหน่งชี้เฉพาะว่า จุดที่ 0 มีตำแหน่ง X, Y เท่าไร จุดที่ 50 มีตำแหน่ง X, Y เท่าไรเป็นต้น ซึ่งจากการคำนวณพื้นฐานนั้น ต้องมีจุดหรือตำแหน่ง X, Y เพื่อจัดเก็บข้อมูลนั้น 300 จุด รอบรูปสามเหลี่ยม

3.3 Data Selection

ในส่วนนี้จะนำข้อมูลที่ได้ในแต่ละแกน มาทำการสร้างกลุ่มของข้อมูลเพื่อแบ่งเป็นแกนทั้ง 3 แกนในรูปสามเหลี่ยม ซึ่งข้อมูลที่ได้มาแล้วในข้างต้น เป็นส่วนสำคัญในการออกแบบ ฐานข้อมูล ซึ่งจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มจะประกอบด้วย แกนด้านใดด้านหนึ่งของรูปสามเหลี่ยม ค่าของสเกล และตำแหน่ง X, Y ของแต่ละสเกลนั้นๆ

3.4 Database Management Program and Analysis

การพัฒนาโปรแกรมนั้น ส่วนประกอบที่สำคัญหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว แสดงโครงสร้างหลักการทำงานพื้นฐานของโปรแกรม ดังรูปที่ 6



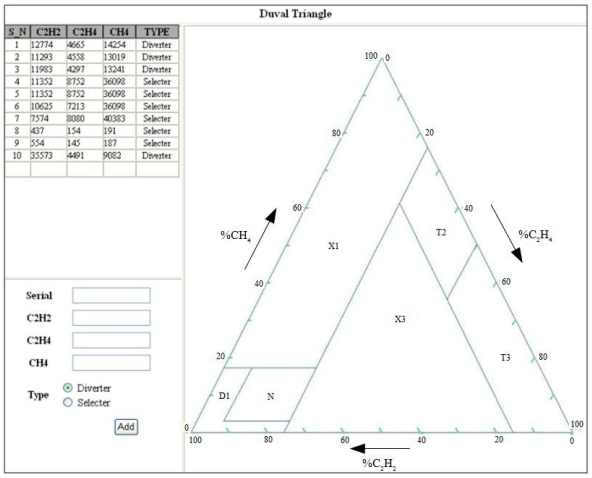
รูปที่ 6 แสดงหลักการทำงานของเว็บเซิร์ฟเวอร์

จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงหลักการทำงานร่วมกันของไคลเอนต์-ไซด์ (Client side) และเซิร์ฟเวอร์-ไซด์ (Server side) ซึ่งการทำงานของไคลเอนต์-ไซด์ สามารถที่จะทำงานโดยการเปิดบราวเซอร์ (Browser) ขึ้นมาใช้งาน ในปัจจุบันบราวเซอร์ที่นิยมใช้กันคือ Internet Explorer, Mozilla Firefox และ Google Chrome.

การทำงานของเซิร์ฟเวอร์-ไซด์ หรือบางทีเรียกว่า เว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web server) คือโปรแกรมที่ทำงานฝั่งเซิร์ฟเวอร์เพื่อรับคำสั่งตามการร้องขอจากไคลเอนต์-ไซด์ โดยผ่านทางบราวเซอร์ต่างๆ และประมวลผลการทำงานจากการร้องขอดังกล่าว แล้วส่งข้อมูลกลับไปยังไคลเอนต์-ไซด์ หรือจะกล่าวได้ว่า เว็บเซิร์ฟเวอร์คือโปรแกรมที่คอยให้บริการแก่ไคลเอนต์-ไซด์ ที่ร้องขอข้อมูลเข้ามาโดยผ่านทางเว็บบราวเซอร์ ซึ่งเป็นเว็บที่เขียนด้วยเซิร์ฟเวอร์-ไซด์ สคริปต์ เช่น ASP PHP Perl และ .Net จะทำงานได้ก็ต้องมีเว็บเซิร์ฟเวอร์เป็นตัวประมวลผล และต้องมีตัวแปรภาษานั้นๆ ในการทำงานร่วมกัน ในงานวิจัยนี้ใช้ PHP ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งเป็นหัวใจหลักในการทำงานของส่วนต่างๆ ทั้งในการประมวลผล การแสดงผลของกราฟ และการติดต่อกับฐานข้อมูล

4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

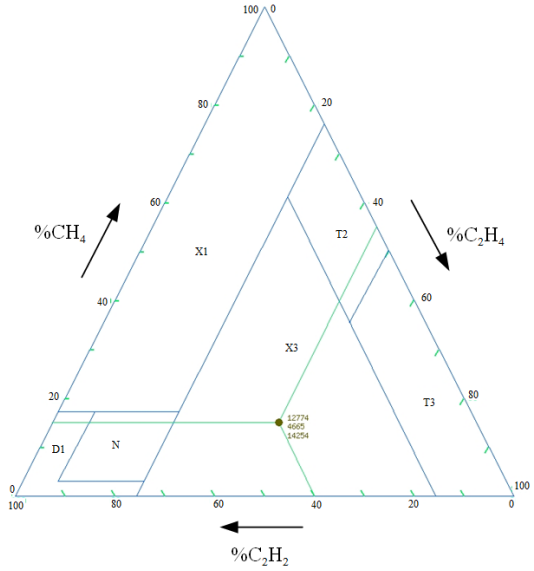
การศึกษาและวิเคราะห์สภาพของน้ำมันหม้อแปลงในห้อง OLTC โดยวิธี Duval Triangle ร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์นี้ สามารถบันทึกผลการทดสอบ, แสดงผลการทดสอบ และประเมินสภาพเบื้องต้นของน้ำมันหม้อแปลงในห้อง OLTC ได้ ในเวลาอันสั้น แสดงดังรูปที่ 7



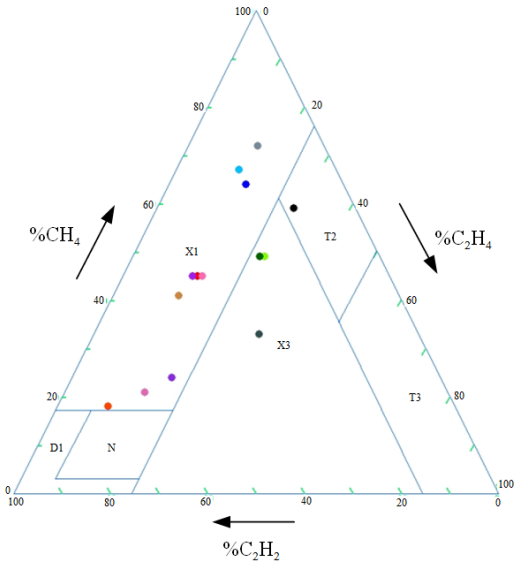
รูปที่ 7 แสดงโปรแกรมวิเคราะห์วิธี Duval Triangle

ในงานวิจัยเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังระดับแรงดัน 115/22 kV 50MVA เป็นตัวอย่างในการศึกษาและวิเคราะห์ผลการทดสอบ เนื่องจากการศึกษาพบว่าหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังระดับแรงดัน 115/22 kV 50 MVA มีความเสียหายเกิดจาก OLTC สูงสุด

จากรูปที่ 8 แสดงการวิเคราะห์สภาพน้ำมันหม้อแปลงในห้อง OLTC ด้วยวิธี Duval Triangle ซึ่งนำค่าก๊าซทั้งสามตัว คือ อะเซทิลีน (C_2H_2) เอทิลีน (C_2H_4) มีเทน (CH_4) มาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อระบุความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับ OLTC ก๊าซทั้งสามตัวจะถูกนำมาพล็อตจุดในสามเหลี่ยมที่ถูกแยกออกเป็นโซนต่างๆ ของความผิดพลาด จะเห็นว่าจุดที่พล็อตอยู่ในโซน X3 หมายความว่าค่าความต้านทานที่หน้าคอนแท็คของ OLTC มีค่าเพิ่มขึ้น อาจทำให้เกิดการอาร์คภายใน OLTC ได้



รูปที่ 8 แสดงการวิเคราะห์วิธี Duval Triangle



รูปที่ 9 (ก) แสดงผลการวิเคราะห์วิธี Duval Triangle

จากรูปที่ 9 (ก) แสดงผลการวิเคราะห์สภาพน้ำมันหม้อแปลงในห้อง OLTC บนสามเหลี่ยม Duval Triangle และรูปที่ 9 (ข) แสดงตารางข้อมูลการวิเคราะห์ของ OLTC แต่ละตัว พร้อมทั้งแสดงโค๊ดบ่งบอกสภาพน้ำมันหม้อแปลงในห้อง OLTC ซึ่งเห็นได้ว่าหม้อแปลง SN XXX1 – SN XX12 อยู่ในโซน X1 หมายความว่า มีความผิดปกติภายในห้อง OLTC หรืออาจจะเกิดฟอร์ทภายใน OLTC ในระดับต่อไป, หม้อแปลง SN XX13 – XX14 อยู่ในโซน X3 หมายความว่า ค่าความต้านทานที่หน้าคอนแท็คของ OLTC มีค่าเพิ่มขึ้น อาจทำให้เกิดการอาร์คภายใน OLTC ได้ และหม้อแปลง SN XX15 อยู่ในโซน T2 หมายความว่า มีความร้อนผิดปกติภายในห้อง OLTC

Point	S_N	C2H2	C2H4	CH4	TYPE	ZONE
	XXX1	12774	4665	14254	Diverter	X1
	XXX2	11293	4558	13019	Diverter	X1
	XXX3	11983	4297	13241	Diverter	X1
	XXX4	11352	8752	36098	Selecter	X1
	XXX5	11352	8752	36098	Selecter	X1
	XXX6	10625	7213	36098	Selecter	X1
	XXX7	7574	8080	40383	Selecter	X1
	XXX8	437	154	191	Selecter	X1
	XXX9	554	145	187	Selecter	X1
	XX10	35573	4491	9082	Diverter	X1
	XX11	36982	4798	9413	Diverter	X1
	XX12	29258	7675	26151	Diverter	X1
	XX13	652	736	1343	Diverter	X3
	XX14	1158	1244	2316	Diverter	X3

รูปที่ 9 (ข) แสดงตารางการวิเคราะห์วิธี Duval Triangle

5. สรุปผล

การศึกษาและวิเคราะห์สภาพของน้ำมันหม้อแปลงในห้อง OLTC โดยวิธี Duval Triangle ร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถหาสาเหตุการเกิดความผิดปกติของน้ำมันในห้อง OLTC ที่เกิดขึ้นได้ เป็นการวิเคราะห์สภาพ, สาเหตุความเสียหายเบื้องต้น และเป็นการป้องกันความเสียหาย เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับ OLTC ได้ทันท่วงที ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกับทฤษฎี ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้บนเว็บไซต์ ช่วยเป็นแนวทางในการวางแผนการบำรุงรักษา OLTC อีกทั้งช่วยพัฒนาระบบไฟฟ้ากำลังให้มีความเสถียรภาพ น่าเชื่อถือและเกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ. ดร. ธนพงศ์ สุวรรณศรี ที่คอยช่วยเหลือแนะนำงานวิจัย รวมทั้งนายวรเมธ แสนมนตรี นักโปรแกรมเมอร์อิสระที่คอยให้คำปรึกษาที่ดีเสมอมา และสุดท้ายขอขอบคุณวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่สนับสนุนงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] CIGRE Working Group 12.05, “An international survey on failures in large power transformer in service”, Electra, no.88, May 1983.

[2] T. Suwanasri, J. Haema, R. Phadungthin and C. Suwanasri, “Diagnostic Techniques to Evaluate Internal Condition of Power”, ECTI-CON 2009, Pattaya, Thailand, May 2009.

[3] R. Phadungthin, E. Chaidee, J. Haema, and T. Suwanasri, “Analysis of Insulating oil to Evaluate the Condition of Power Transformer”, ECTI-CON 2010, Changmai, Thailand, May 2010.

[4] Juthathip Haema, Rattanakorn Phadungthin and Thanapong Suwanasri, “Diagnosis Techniques for Condition Assessment of Power Transformer Load Tap Changer”, GMSARN International Journal, Vol.5, No.2, June 2011, Page 89-96.

[5] AREVA T&D, “Power Transformer”, Expertise, 2008.

[6] FIST Volume 3-30, “Transformer Maintenance”, Oct 2000.

[7] FIST Volume 3-31, “Transformer Diagnostics”, June 2003.

[8] Juthathip Haema, Rattanakorn Phadungthin, “Power Transformer Condition Evaluation by the Analysis of DGA Methods”, APPEEC 2012, Shanghai, China, 27-29 March 2012.

[9] Juthathip Haema, Rattanakorn Phadungthin, “Condition Evaluation of Power Transformer Load Tap Changer via Web Application”, MDEATED 2012, Pattaya, Thailand, 6 -8 March 2012.

[10] Juthathip Haema, Rattanakorn Phadungthin, “Condition Assessment of the Health Index for Power Transformer”, PEAM 2012, Wuhan, China, 14-16 Sep 2012.