PROCEEDINGS

7th PHAYAO RESEARCH CONFERENCE

รายงานสืบเนื่องจากการ
ประชุมทางวิชาการระดับชาติ

พะเยาวิจัยครั้งที่ 7

25-26 มกราคม 2561

ณ หอประชุมพญางำเมือง
มหาวิทยาลัยพะเยา

ISBN : 978-616-7820-58-3

สารบัญ (ต่อ)

กลุ่มการวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การนำเสนอแบบ Oral Presentation

SCI – 001 การออกแบบอะแดปเตอร์สเตอร์ในระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่านักศึกษา **โดย** นเร็นศ ชัยธานี 739

SCI – 002 การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอม้าอะลูมิเนียมเกรด 7075 สำหรับรถฟอร์มูล่านักศึกษาด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ **โดย** จิรพงศ์ สุขาทิพย์ สุระ ลาภทวี และภาสกร พันธุ์โอภาส 748

SCI – 003 การลดของเสียในกระบวนการเคลือบกราเวียร์ กรณีศึกษา โรงงานผลิตกระสอบพลาสติกสาน **โดย** วรุทัย เดชตานนท์ จิรวัฒน์ โลพันดุง จุฑามณี วิทยา ชนาภา เชือกโคกกรวด และนุชวรา หาญสูงเนิน 760

SCI – 004 การลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก กรณีศึกษา บริษัทผลิตชิ้นส่วนนาฬิกา **โดย** ณรงค์ฤทธิ์ ร่วมสุข ณัฐวุฒิ ศักดิ์วัฒนพงษ์ สุรนันท์ หงวนกระโทก อภิเดช นนทะคำจันทร์ และละอองดาว ขุนงิ้ว 769

SCI – 005 การจัดการขยะพลาสติกชนิดพลาสติกชนิดพีอีที กรณีศึกษา สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น **โดย** อนุชา บรรจง เสรีย์ ตู้ประกาย และสุรเดช ภัทรวิเชียร 781

SCI – 006 การตรวจสอบและบำรุงรักษาเชิงป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่ายอย่างมีประสิทธิภาพ: กรณีศึกษา บริษัท ซูมิรับเบอร์ ไทยอีสเทิร์น คอร์ปอเรชั่น จำกัด **โดย** บรรจง จุรีพงษ์ และเลิศเลขา ศรีรัตนะ 789

SCI – 007 การออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา **โดย** วิศิษฐ สองเมือง และสุระ ลาภทวี 797

SCI – 008 การศึกษาอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับชนิดฟลายอิ้งคาปาซิเตอร์ด้วยเทคนิค SPWM ที่การฉีด ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 ในสัญญาณอ้างอิง **โดย** สถิตย์พร เกตุสกุล สุรสิทธิ์ ประกอบกิจ กุลสมทรัพย์ เย็นฉ่ำชลิต และวิทูรย์ ชิงถ้วยทอง 804

SCI – 009 การประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะใช้งาน ภายใต้สภาวะแรงดัน ไม่สมดุล ด้วยวิธีเชิงพันธุกรรมแบบหลายวัตถุประสงค์ **โดย** ธีระวัฒน์ ผุสดี กฤษดา ทัศกานิเวศน์ อนันต์ชัย ขอเตชะ และวิวัฒน์ ทิพจร 817

SCI – 010 ชุดฝึกฉีดยาบริเวณต้นแขนสำหรับนักศึกษาพยาบาล **โดย** เสนอ สะอาด และดรุณี ชายทอง 830

SCI – 011 อิทธิพลของมุมและจำนวนชั้นเส้นใยของท่อคาร์บอนไฟเบอร์เติมโฟมที่มีต่อความสามารถในการดูดซับพลังงานภายใต้แรงกระแทก **โดย** นิรุต อ่อนสลุง วัชรายุทธ ลำดวน คุณานนต์ ศักดิ์กำปัง และวิศิษฐ์ จันทร์ชื่น 841

SCI – 012 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้าง ถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก กรณีศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม จังหวัดปทุมธานี **โดย** วิชากร จันทร์ชนะ 854

SCI – 013 การออกแบบและพัฒนาสายการปอกผลมะพร้าวอ่อน **โดย** กษิดิ์เดช เกษมณี 863

SCI – 015 การศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของโมดูลเทอร์โมอิเล็คทริค **โดย** พชร ว่องไพศาลกิจ กระวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค 870

SCI – 016 การทดสอบความเป็นฉนวนของหม้อแปลงด้วยวิธีกระแสโพลาไรซ์-ดีโพลาไรซ์และวิธีหาความชื้นในน้ำมันหม้อแปลง **โดย** สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์ มนัส บุญเทียรทอง และเจนณรงค์ มีสมพงษ์ 883

SCI – 017 พฤติกรรมของผิวสัมผัสระหว่างทรายกับโครงสร้าง **โดย** ปรัชญา แสนแปง ณัฐธนนท์ ยันอินทร์ นิพันธ์ อินสุข สุภาภรณ์ มาละสุทธิ์ และสุริยาวุธ ประอ้าย 892

SCI – 018 ระบบเฝ้าระวังสำหรับโรงเพาะเห็ดผ่านระบบเครือข่าย **โดย** ตระกูลพันธ์ แสงเจริญวัฒนา พัชรินทร์ ประจวบแท่น และจักรพนธ์ อบมา 900

SCI – 019 การศึกษาแนวทางการออกแบบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับการผลิตวัสดุมุงหลังคาจากหญ้าแฝก **โดย**กฤษดา สายแสง กระวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค 912

SCI – 020 การลดการสั่นสะเทือนของเครื่องประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ด้วยวิธีการต้านการสั่นสะเทือนแบบแอคทีฟโดยใช้ตัวขับเปียโซ**โดย** อภิสิทธิ์ แก้วหนู 923

SCI – 021 การศึกษาปัจจัยที่เป็นสาเหตุที่ส่งผลต่อความล่าช้าในการก่อสร้างกำแพงกันดิน กรณีศึกษา องค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม จังหวัดปทุมธานี **โดย** อุลินท์ บัวพุด วัณัฐกานต์ รัตนธีรวงศ์ และเอนก เนรมิตรครบุรี 935

การทดสอบความเป็นฉนวนของหม้อแปลงด้วยวิธีกระแสโพลาไรซ์-ดีโพลาไรซ์และวิธีหาความชื้นในน้ำมันหม้อแปลง

Insulation test of transformer by Polarization– Depolarization current method and moisture finding in transformer oil method

สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์[1*] มนัส บุญเทียรทอง[1] และ เจนณรงค์ มีสมพงษ์[1]

Sakhon Woothipatanapan[1*], Manat Boonthianthong[1] and Chennarong Meesomphong[1]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการทดสอบความเป็นฉนวนของหม้อแปลงโดยวิธีทดสอบด้วยกระแสโพลาไรซ์-ดีโพลาไรซ์ (พีดีซี) และวิธีทดสอบด้วยการหาความชื้นในน้ำมันหม้อแปลง การทดสอบทั้งสองวิธีดังกล่าวได้ทดสอบกับหม้อแปลงที่ใช้งานจริงที่วิเคราะห์จากค่าความชื้นเพื่อดูความเป็นฉนวนของหม้อแปลงเทียบกับค่าความชื้นมาตรฐานของวิธีทดสอบนั้น ๆ จากนั้นทำการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการทดสอบทั้งสองวิธี ด้วยผลการทดสอบจากทั้งสองวิธีดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ดูแลหม้อแปลงเลือกว่าในสถานการณ์ใดควรทดสอบความเป็นฉนวนของหม้อแปลงด้วยวิธีใด นอกจากนั้นจากผลการทดสอบทั้งสองวิธียังเป็นการแสดงว่าถึงเวลาที่ต้องซ่อมบำรุงหม้อแปลงก่อนถึงวาระซ่อมบำรุงตามปกติ ดังนั้นการทดสอบหม้อแปลงด้วยวิธีที่นำเสนอจึงช่วยป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายรุนแรงต่อหม้อแปลงที่ใช้งาน ช่วยประหยัดงบประมาณในการเปลี่ยนหม้อแปลงใหม่ และช่วยรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังอีกด้วย

คำสำคัญ: กระแสโพลาไรซ์-ดีโพลาไรซ์, ความชื้นในน้ำมันหม้อแปลง, ซ่อมบำรุงหม้อแปลง

Abstract

This paper presents the insulating oil test of transformer by Polarization–Depolarization Current (PDC) method and moisture finding in transformer oil method. Both of these methods have been tested with actual transformer. These methods are analyzing the moisture content to show the transformer's insulation to compare with the standard moisture of the test methods. Compare between the advantages and disadvantages of both methods. Based on the results of both tests, the transformer supervisor will decide which method will be used in any situation and prove to preventive maintenance the transformer before the regular preventive maintenance. The result is that it protects against severe damage to the transformer, which saves budgets for replacing the transformers and stabilizes the power system.

Keywords: polarization–depolarization current, moisture in transformer oil, transformer preventive maintenance

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10800

[1] Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, 10800

* Corresponding author e – mail: sakhon.w@rmutp.ac.th

บทนำ

พลังงานไฟฟ้าถือเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในทุกภาคส่วน โดยระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่ได้ทำการติดตั้งและใช้งานมาเป็นระยะเวลานานอาจส่งผลกระทบต่อการใช้ไฟฟ้า เช่น เกิดความผิดปกติของแรงดันไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์หรือระบบไฟฟ้า จึงเป็นเหตุให้มีปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพกำลังไฟฟ้า และปัญหาดังกล่าวทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับผลกระทบไม่มากก็น้อย [1]

เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาดังกล่าวจึงควรเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยหม้อแปลงถือว่าเป็นอุปกรณ์หลักตัวหนึ่งที่ต้องการการบำรุงรักษาและประเมินสภาพความพร้อมใช้งานอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งหม้อแปลงในระบบไฟฟ้ากำลังมักจะเป็นชนิดน้ำมัน โดยน้ำมันหม้อแปลงทำหน้าที่เป็นฉนวนและต้องทำการตรวจสอบความชื้นเพื่อดูความเป็นฉนวนของหม้อแปลงอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงได้

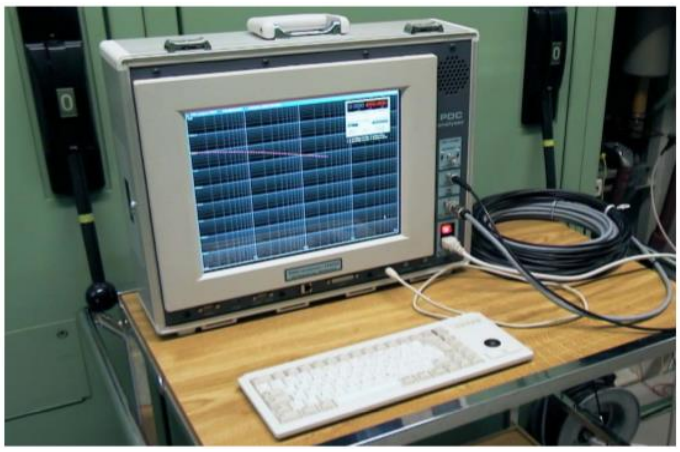
บทความวิจัยนี้นำเสนอการทดสอบหาความชื้นของหม้อแปลงสองวิธี คือ วิธีกระแสโพลาไรซ์-ดีโพลาไรซ์ (พีดีซี) และวิธีหาความชื้นในน้ำมันหม้อแปลง แล้วนำทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบให้เข้าใจถึงรายละเอียดของขั้นตอนการทดสอบและผลลัพธ์ที่ได้ เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจประเมินสภาพและซ่อมบำรุงหม้อแปลงได้ทันก่อนที่จะเกิดความเสียหายรุนแรงต่อไป

การทดสอบความเป็นฉนวนของหม้อแปลง

การทดสอบความชื้นที่เลือกใช้ในบทความนี้มีสองวิธีดังนี้

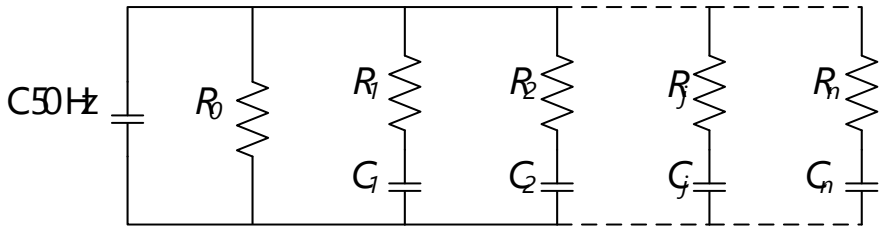
การทดสอบด้วยวิธีพีดีซี

วิธีนี้จะอาศัยเครื่อง PDC-ANALYSER-1 MOD ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยเครื่องนี้ใช้สำหรับการวัดเพื่อวิเคราะห์ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าของวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและระบบฉนวนป้องกัน โดยใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ที่มีระบบปฏิบัติการ Windows ซึ่งสามารถใช้วัดค่าทางไฟฟ้าในย่านวัดที่หลากหลาย ปรับย่านวัดแรงดันไฟฟ้าที่ทำการวัดให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ และสามารถทำการทดสอบในสถานีไฟฟ้าแรงสูงหรือในห้องปฏิบัติการได้ [2]



ภาพที่ 1 เครื่อง PDC-ANALYSER-1 MOD

ในการวิเคราะห์ค่าพีดีซีนั้น ตัวเครื่องจะมีโปรแกรมการประมวลผลที่ได้กำหนดค่าไว้แล้ว ทั้งนี้ค่าที่ได้จะแสดงเป็นกราฟเส้นโค้ง ซึ่งแบ่งออกเป็นสองเส้นกราฟคือ เส้นกราฟค่ากระแสโพลาไรซ์ i_p (t) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (1) โดยมีผลมาจากค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำลังเพิ่มขึ้น (U) ในช่วงเวลาชาร์จ (t_c) และเส้นกราฟกระแสดีโพลาไรซ์ i_d (t) โดยเป็นค่าที่ได้มาจากการวัดเทียบกับสายดินซึ่งเป็นกระแสที่กำลังลดลงในช่วงดิสชาร์จ i_j (t) ที่ไหลผ่านขดลวดหม้อแปลงที่ประกอบด้วยค่าความต้านทาน (R_j) ซึ่งอนุกรมกับค่าการเก็บประจุ (C_j) ในช่วงเวลาดิสชาร์จที่ทดสอบ (T_j) ดังการต่อวงจรในภาพที่ 2



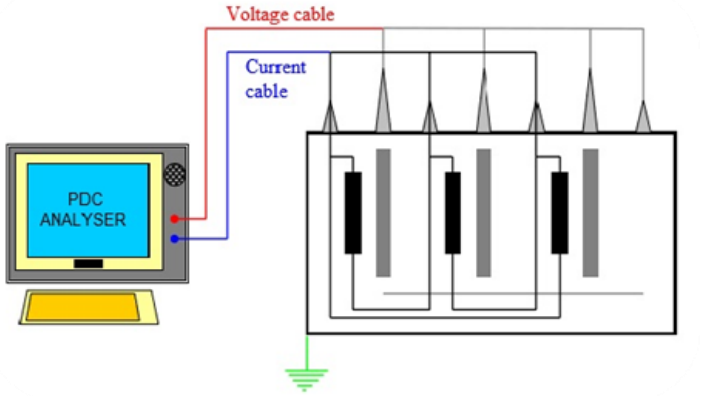
ภาพที่ 2 เครื่อง PDC–ANALYSER–1 MOD

ค่ากระแสโพลาไรซ์ i_p (t) และค่ากระแสดีโพลาไรซ์ i_d (t) สามารถหาได้จากสมการที่ (1) และ สมการที่ (2) ตามลำดับ

$$I_p(t) = \sum_j i_j(t) + i\infty = U.\sum_j \left(\frac{1}{Rj}e^{-t/\tau j}\right) + \frac{U}{R\infty} \quad \text{for } t < t_c \qquad (1)$$

$$I_d(t) = -U.\sum_j \frac{1}{Rj}\left(1 - e^{-tc/\tau j}\right).e^{-tc/\tau j} \quad \text{for } t > t_c \qquad (2)$$

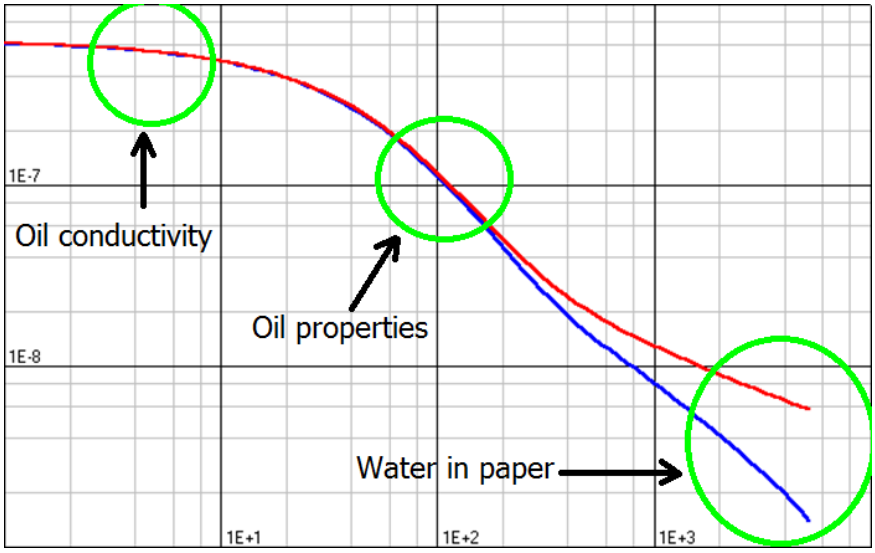
การต่อใช้งานของเครื่อง PDC–ANALYSER–1MOD เข้ากับหม้อแปลงจะทำโดยต่อสายชุดวัดแรงดันไฟฟ้าเข้าที่ด้านขั้วด้านบนของบุชชิ่ง (ด้านแรงสูง) และต่อสายชุดวัดค่ากระแสที่ด้านปลายของบุชชิ่ง (ด้านแรงต่ำ) โดยต้องต่อสายดินที่ตัวหม้อแปลงลงดินโดยตรง จากนั้นจะทำการชาร์จประจุอย่างต่อเนื่องโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเวลานาน เพื่อทำการประเมินความเป็นฉนวนโดยดูจากการนำกระแสไฟฟ้า ซึ่งไดอะแกรมการต่อวงจรเพื่อทำการทดสอบ และรูปการติดตั้งเครื่อง PDC–ANALYSER–1MOD เพื่อทำการทดสอบวัดความชื้นของหม้อแปลงได้ดังแสดงไว้ดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4 ตามลำดับ [3]–[4]



ภาพที่ 3 ไดอะแกรมการต่อวงจรเพื่อทำการทดสอบ

ภาพที่ 4 การติดตั้งเครื่อง PDC–ANALYSER–1MOD เพื่อทดสอบ

ผลที่ได้จากการทดสอบจะออกมาในลักษณะของเส้นกราฟสองเส้นคือ เส้นกราฟกระแสโพลาไรซ์และเส้นกราฟกระแสดีโพลาไรซ์ดังแสดงในภาพที่ 5 จากเส้นกราฟทั้งสองสามารถแสดงได้ถึงค่าการนำไฟฟ้าและการปนเปื้อนของความชื้น โดยคุณสมบัติการนำไฟฟ้าและการปนเปื้อนของความชื้นที่มีในอุปกรณ์จะส่งผลต่อความชันของเส้นกราฟโดยเฉพาะเส้นกราฟกระแสโพลาไรซ์จะขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นฉนวน หรืออาจกล่าวได้ว่ายิ่งอุปกรณ์ที่ทดสอบมีความเป็นฉนวนน้อย ค่าการนำไฟฟ้าก็ยิ่งสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เส้นกราฟสูงขึ้นตามไปด้วย



ภาพที่ 5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อเส้นกราฟในการทดสอบ

เมื่อได้เส้นกราฟทั้งสองเส้นแล้วจะต้องใช้โปรแกรมทำการประเมินผลออกมาอีกครั้ง [5] โดยการตั้งค่าที่ระบุไว้ตอนเริ่มต้นจากค่าต่ำสุดและค่อย ๆ เพิ่มค่าความชื้นตามลำดับ แล้วนำเส้นกราฟที่ได้จากการวัดมาพิจารณาที่ปลายเส้นกราฟทั้งสองเพื่อเทียบกับค่าความชื้นมาตรฐานโดยให้เส้นกราฟอยู่ใกล้เคียงหรือทับกันมากที่สุดจนได้ค่าความชื้นที่ต้องการออกมาเป็นเปอร์เซ็นของความชื้น โดยผลที่ได้จากการทดสอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีพีดีซี

ลำดับที่	อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ	การทดสอบค่าความชื้น		
		มาตรฐานที่ใช้	ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ระดับผลลัพธ์
1	หม้อแปลงยี่ห้อ A	IEC61620	2.5 % of moisture by dry weight	พอใช้
2	หม้อแปลงยี่ห้อ B	IEC61620	2.5 % of moisture by dry weight	พอใช้
3	หม้อแปลงยี่ห้อ C	IEC61620	3.0 % of moisture by dry weight	ต้องปรับปรุง
4	หม้อแปลงยี่ห้อ D	IEC61620	2.5 % of moisture by dry weight	พอใช้
5	หม้อแปลงยี่ห้อ E	IEC61620	3.5 % of moisture by dry weight	ต้องปรับปรุง

หมายเหตุ: การทดสอบด้วยวิธีพีดีซีค่าความชื้นตามมาตรฐานต้องไม่เกิน 3 % of moisture by dry weight

จากการทดสอบด้วยวิธีพีดีซี ซึ่งค่าตามมาตรฐาน IEC61620 ต้องไม่เกิน 3 % ดังนั้นมีหม้อแปลง 3 ยี่ห้ออยู่ในเกณฑ์พอใช้ นั่นคือ ยี่ห้อ A, B และ D เนื่องจากมีค่าความชื้นจากการทดสอบ 2.5 % ซึ่งต่ำกว่า 3 % เพียงเล็กน้อย โดยในทางปฏิบัติถือว่าพอทำงานได้ และมีหม้อแปลง 2 ยี่ห้ออยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุงนั่นคือยี่ห้อ C และ D เนื่องจากมีค่าความชื้นจากการทดสอบ 3.0 % และ 3.5 % ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีความชื้นสูงเกินมาตรฐาน จึงไม่สามารถนำมาใช้งานได้ โดยเฉพาะหม้อแปลงยี่ห้อ E นั้นมีค่าความชื้นสูงเกินมาตรฐานมากซึ่งยากต่อการแก้ไข จึงไม่ควรนำมาใช้งานเป็นอย่างยิ่งเพราะจะเกิดความเสียหายต่อตัวหม้อแปลงและต่อระบบไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องได้

การทดสอบด้วยวิธีหาความชื้นในน้ำมันหม้อแปลง

หม้อแปลงส่วนมากจะเป็นชนิดน้ำมัน โดยจะใช้น้ำมันทำหน้าที่เป็นฉนวนและเป็นตัวระบายความร้อน น้ำมันจึงต้องมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไม่เป็นตัวนำทางไฟฟ้าเพื่อป้องกันความเสียหาย ในการทดสอบหม้อแปลงวิธีนี้สามารถทำได้ด้วยการนำน้ำมันหม้อแปลงมาทดสอบหาค่าความชื้นโดยอ้างอิงมาตรฐาน ASTM D1533 [6] ซึ่งวิธีการทดสอบนี้เป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายและมีผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือ การทดสอบด้วยน้ำมันนอกเหนือจากการหาค่าความชื้นแล้ว ยังสามารถทดสอบค่าแรงดันพังทลายที่ทนได้ รวมทั้งทดสอบความเป็นกรดได้อีกด้วย [7]

ความชื้นที่ปะปนในฉนวนเหลวจะมีหลายรูปแบบ รูปแบบหนึ่งก็คือน้ำอิสระ (free water) การมีอยู่ของน้ำอิสระสามารถแก้ไขได้ด้วยการกรองหรือวิธีอื่น ความชื้นที่ปะปนอยู่ในน้ำมันไม่สามารถมองได้ด้วยตา เปล่า โดยทั่วไปจะบอกปริมาณด้วยวิธีทางกายภาพหรือทางเคมี ความชื้นที่ปะปนอยู่ในน้ำมันจะส่งผลต่อค่าความชื้นอิ่มตัว ปริมาณ และขนาดของสิ่งปนเปื้อนซึ่งขึ้นอยู่กับการเก็บตัวอย่าง การทดสอบวิธีนี้มีความเหมาะสมต่อการหาค่าความชื้นที่ปะปนในน้ำมันหม้อแปลงซึ่งเป็นฉนวน โดยหน่วยของการวัดค่าความชื้นที่ปะปนในน้ำมันคือ มิลลิกรัม/กิโลกรัม (mg/kg) โดยทั่วไปน้ำมันหม้อแปลงใหม่ที่รับมาจากผู้ผลิตจะมีความชื้นน้อยกว่า 25 mg/kg ดังนั้นน้ำมันหม้อแปลงใหม่จะถูกทดสอบความชื้นที่ปะปนในกรณีที่จำเป็นเท่านั้น

การทดสอบจะทำในห้องปฏิบัติการโดยต้องบรรจุในขวดทึบแสง และไม่ให้มีช่องว่างในขวดเพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ เพราะจะทำให้ผลการทดสอบผิดเพี้ยน โดยขั้นตอนการทดสอบความชื้นที่ปะปนในน้ำมันหม้อแปลงได้แสดงไว้ในภาพที่ 6

(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทดสอบด้วยวิธีหาความชื้นในน้ำมันหม้อแปลง
(ก) ดูดตัวอย่างน้ำมัน (ข) นำตัวอย่างน้ำมันเข้าเครื่องทดสอบ (ค) ทดสอบหาความชื้นปะปนในน้ำมัน

เมื่อทดสอบตัวอย่างน้ำมันในห้องปฏิบัติการแล้วนำผลที่ได้มาบันทึกและเทียบกับค่าความชื้นมาตรฐานตามที่มีการกำหนดไว้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาความชื้นในน้ำมันหม้อแปลงจากตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ A

ตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ A			
หัวข้อการทดสอบ	**มาตรฐานที่ใช้**	**ค่าที่ได้จากการทดสอบ**	**ระดับผลลัพธ์**
ค่าการเจือปนของน้ำ	ASTM D1533 (ต้องไม่เกิน 35 ppm)	14 ppm	ดี
ค่าแรงดันพังทลายที่ทนได้ (ระยะห่างของหัวทดสอบ 1.00 mm.)	ASTM D1816 (ต้องไม่ต่ำกว่า 21 kV)	21.6 kV	พอใช้ได้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาความชื้นในน้ำมันหม้อแปลงจากตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ B

ตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ B			
หัวข้อการทดสอบ	**มาตรฐานที่ใช้**	**ค่าที่ได้จากการทดสอบ**	**ระดับผลลัพธ์**
ค่าการเจือปนของน้ำ	ASTM D1533 (ต้องไม่เกิน 35 ppm)	11 ppm	ดีมาก
ค่าแรงดันพังทลายที่ทนได้ (ระยะห่างของหัวทดสอบ 1.00 mm.)	ASTM D1816 (ต้องไม่ต่ำกว่า 21 kV)	31.4 kV	ดีมาก

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาความชื้นในน้ำมันหม้อแปลงจากตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ C

ตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ C			
หัวข้อการทดสอบ	**มาตรฐานที่ใช้**	**ค่าที่ได้จากการทดสอบ**	**ระดับผลลัพธ์**
ค่าการเจือปนของน้ำ	ASTM D1533 (ต้องไม่เกิน 35 ppm)	30 ppm	พอใช้ได้
ค่าแรงดันพังทลายที่ทนได้ (ระยะห่างของหัวทดสอบ 1.00 mm.)	ASTM D1816 (ต้องไม่ต่ำกว่า 21 kV)	19.8 kV	ต้องปรับปรุง

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบหาความชื้นในน้ำมันหม้อแปลงจากตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ D

ตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ D			
หัวข้อการทดสอบ	**มาตรฐานที่ใช้**	**ค่าที่ได้จากการทดสอบ**	**ระดับผลลัพธ์**
ค่าการเจือปนของน้ำ	ASTM D1533 (ต้องไม่เกิน 35 ppm)	31 ppm	พอใช้ได้
ค่าแรงดันพังทลายที่ทนได้ (ระยะห่างของหัวทดสอบ 1.00 mm.)	ASTM D1816 (ต้องไม่ต่ำกว่า 21 kV)	25.1 kV	ดีมาก

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบหาความชื้นในน้ำมันหม้อแปลงจากตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ E

ตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ E			
หัวข้อการทดสอบ	**มาตรฐานที่ใช้**	**ค่าที่ได้จากการทดสอบ**	**ระดับผลลัพธ์**
ค่าการเจือปนของน้ำ	ASTM D1533 (ต้องไม่เกิน 35 ppm)	39 ppm	ต้องปรับปรุง
ค่าแรงดันพังทลายที่ทนได้ (ระยะห่างของหัวทดสอบ 1.00 mm.)	ASTM D1816 (ต้องไม่ต่ำกว่า 21 kV)	15.4 kV	ต้องปรับปรุง

ในการทดสอบด้วยวิธี DGA สามารถทดสอบได้ 2 หัวข้อ โดยอ้างอิงจากมาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้องดังนี้

หัวข้อที่ 1 คือการทดสอบการเจือปนของน้ำ จากการทดสอบตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงทั้ง 5 ตัวอย่างคือน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ A, B, C, D และ E ดังข้อมูลในตารางที่ 2 ตารางที่ 3 ตารางที่ 4 ตารางที่ 5 และตารางที่ 6 ตามลำดับผลการทดสอบที่ได้ออกมามี 4 ตัวอย่างที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือมีการเจือปนของน้ำไม่เกิน 35 ppm ตามมาตรฐาน ASTM D1533 นั่นคือน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ A, B, C และ D ยกเว้นตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ E ที่มีการเจือปนของน้ำมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนด จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน จำเป็นต้องทำการปรับปรุงค่าการเจือปนของน้ำให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนนำมาใช้งาน

หัวข้อที่ 2 คือการทดสอบค่าแรงดันพังทลายที่ทนได้ การทดสอบผลที่ได้ออกมาคือมี 3 ตัวอย่างที่มีผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดตามมาตรฐาน ADTM D1816 หรือมีค่าแรงดันพังทลายที่ทนได้ไม่ต่ำกว่า 21 kV นั่นคือน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ A, B และ D ยกเว้นตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ C และ E ที่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน จำเป็นต้องทำการปรับปรุงค่าแรงดันพังทลายที่ทนได้ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนนำมาใช้งาน

ขอยกตัวอย่างการทดสอบน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ A และ ยี่ห้อ E มาเปรียบเทียบกันเพื่อให้เกิดความชัดเจนดังนี้

น้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ A มีผลการทดสอบการเจือปนของน้ำคือ 14 ppm ตามค่ามาตรฐาน ASTM D1533 ที่ต้องไม่เกิน 35 ppm ดังนั้นค่าที่ได้จากการทดสอบครั้งนี้จึงอยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนหัวข้อการทดสอบค่าแรงดันพังทลายที่ทนได้ตามมาตรฐาน ASTM D1816 ที่ต้องไม่ต่ำกว่า 21 kV มีผลการทดสอบคือ 21.6 kV ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย ดังนั้นค่าแรงดันพังทลายที่ทนได้จึงอยู่ในเกณฑ์พอใช้ นั่นคือน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ A สามารถใช้เป็นฉนวนของหม้อแปลงได้เมื่อดูจากผลการทดสอบด้วยวิธี DGA แต่ไม่ควรใช้แรงดันทดสอบที่สูงเกินค่ามาตรฐานมากนัก

น้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ E มีผลการทดสอบการเจือปนของน้ำคือ 39 ppm ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐาน ASTM D1533 ที่ต้องไม่เกิน 35 ppm ดังนั้นค่าที่ได้จากการทดสอบครั้งนี้จึงอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง ส่วนหัวข้อการทดสอบค่าแรงดันพังทลายที่ทนได้ตามมาตรฐาน ASTM D1816 ที่ต้องไม่ต่ำกว่า 21 kV มีผลการทดสอบคือ 15.4 kV ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานอยู่มาก ดังนั้นค่าแรงดันพังทลายที่ทนได้จึงอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง นั่นคือน้ำมันหม้อแปลงยี่ห้อ E ไม่สามารถใช้เป็นฉนวนของหม้อแปลงได้เมื่อดูจากผลการทดสอบด้วยวิธี DGA และเมื่อดูจากเกณฑ์ทั้ง 2 หัวข้อถือว่าห่างจากค่ามาตรฐานมาก ซึ่งยากต่อการปรับปรุงหรืออาจไม่คุ้มค่าในการลงทุนเพื่อปรับปรุง จึงไม่สมควรใช้น้ำมันยี่ห้อ E เป็นฉนวนของหม้อแปลงเป็นอย่างยิ่ง

วิจารณ์และสรุปผล

จากการทดสอบหาความชื้นของหม้อแปลงทั้งสองวิธีมีรายละเอียดแตกต่างกันดังนี้

วิธีพีดีซี

ข้อดี

1. สามารถหาค่าความชื้นสะสมที่อยู่ในกระดาษฉนวนได้ จึงทำให้ได้ค่าเชิงลึกเนื่องจากความชื้นที่ปนเปื้อนในหม้อแปลงนั้น 99% จะซึมซับอยู่ในกระดาษฉนวน และมีเพียง 1% อยู่ในน้ำมันหม้อแปลง
2. สามารถทำการทดสอบได้ทั้งในสถานีไฟฟ้าแรงสูง และในห้องปฏิบัติการทดสอบ

ข้อเสีย

1. ต้องทำการตัดไฟ (Off-Line) ระบบส่งจ่ายเสียก่อน จึงจะทำการทดสอบได้
2. ใช้ระยะเวลาในการทดสอบที่นานทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ

วิธีหาความชื้นในน้ำมันหม้อแปลง

ข้อดี

1. สามารถเก็บตัวอย่างน้ำมันได้ขณะที่หม้อแปลงทำงานอยู่ หรือขณะจ่ายไฟ (On Line) ได้
2. สามารถทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงได้คราวละมากๆ และใช้ระยะเวลาเพียงเล็กน้อยในการเก็บตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงที่นำมาทดสอบ

ข้อเสีย

1. ระหว่างการเก็บตัวอย่างน้ำมันที่จะทำการทดสอบต้องระวังการปนเปื้อนจากสิ่งแปลกปลอมจากภายนอก รวมถึงภาชนะที่ใช้บรรจุต้องปราศจากความชื้น
2. ในการทดสอบและวิเคราะห์จะต้องทดสอบในห้องปฏิบัติการเท่านั้น เพื่อเป็นการป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งไม่พึงประสงค์ที่อาจจะส่งผลต่อการทดสอบ

ข้อเสนอแนะ

1. การตัดสินใจเพื่อวางแผนบำรุงรักษาหม้อแปลงจากวิธีการทดสอบความเป็นฉนวนของหม้อแปลงด้วยสองวิธีที่นำเสนอ ควรพิจารณาจากเหตุปัจจัยและสภาวะที่จะทำการทดสอบที่เหมาะสมของการใช้งานหม้อแปลงตัวนั้น ๆ
2. เพื่อให้หม้อแปลงมีอายุการใช้งานยาวนานและลดต้นทุนในการซื้อหม้อแปลงใหม่ จำนวนการทดสอบความเป็นฉนวนของหม้อแปลงควรมากกว่ารอบการบำรุงรักษาปกติเพื่อให้ทราบถึงความผิดปกติได้ก่อนและทำการซ่อมบำรุงล่วงหน้าก่อนที่จะเกิดความเสียหายรุนแรง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัย ขอขอบคุณ คุณศรุดา เพ็งสุวรรณ ตำแหน่ง วก. ระดับ 5 แผนกทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง กองทดสอบไฟฟ้าแรงสูง ฝ่ายบำรุงรักษาระบบส่ง และ ว่าที่ ร.ต.โพธิ์ทอง ปราณีตพลกรัง ตำแหน่งช่างระดับ 5 แผนกทดสอบสภาพฉนวนและวิเคราะห์ กองทดสอบไฟฟ้าแรงสูง ฝ่ายบำรุงรักษาระบบส่ง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้การสนับสนุนการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

1. เจนณรงค์ มีสมพงษ์, มนัส บุญเทียรทอง, สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์ และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ. (2559). การแก้ไขปรับปรุงปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า. เอกสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8, (หน้า 845–848).
2. Electrical Insulation Diagnostic SYSTEM PDC–ANALYSER–1MOD, Alff Engineering, Gomweg 7, ch. 8915 Hausen am Albis, Switzerland. (pp. 2–8).
3. เจนณรงค์ มีสมพงษ์, สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์ และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ. การวิเคราะห์ค่าความเป็นฉนวนและความชื้นในหม้อแปลงไฟฟ้า. ใน:เอกสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9. จันทบุรี ; 2560. หน้า 88–91.
4. เจนณรงค์ มีสมพงษ์, สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์ และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ. การวิเคราะห์ค่าความเป็นฉนวนของบุชชิ่งหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง. ใน:วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1; 2560. หน้า 102–110.
5. B. Danny, J. Benefield, and D. Caverly, “Southern Company Trench Bushing Failure Investigation an Evolving Story 2006/2007,” Doble Client Conference; 2007.
6. Standard Test Method for Water in Insulating Liquids by Coulometric Karl Fischer Titration, ASTM Standard D1533.
7. มาตรฐานทดสอบน้ำมันหม้อแปลง, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, ประเทศไทย; 2555.