



## การประเมินสภาพความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพความร้อนโดยใช้พีซีซีเอ็มในกรณีศึกษาสถานีไฟฟ้าบ้านบังเมาะ แขวงจำปาสัก สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

พุทธสุวรรณค์ จันดาวงศ์\* คมสันต์ ดาโรจน์ และ ดนุ วิโรจน์อุไรเรือง  
สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 06 5315 7797 อีเมล: phoutsavanh.cit59@ubru.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.05.005  
รับเมื่อ 31 มกราคม 2563 แก้ไขเมื่อ 23 เมษายน 2563 ตอปรับเมื่อ 9 มิถุนายน 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 24 พฤษภาคม 2564  
© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังตามสภาพเป็นกระบวนการที่สำคัญที่ช่วยรักษาความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้ากำลังให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินสภาพทางความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาด 25 เมกะโวลต์แอมแปร์ ณ สถานีไฟฟ้าย่อยบ้านบังเมาะของการไฟฟ้าสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายทางความร้อน ขั้นแรกเริ่มจากการถ่ายภาพความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังด้วยกล้องส่องความร้อน แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบการกระจายอุณหภูมิที่ตัวถังหม้อแปลง ครีระบายความร้อน และบุชชิ่งด้วยการแบ่งส่วนของภาพถ่ายความร้อนที่มีอุณหภูมิในกลุ่มเดียวกันโดยใช้อัลกอริทึมพีซีซีเอ็ม แล้วจึงประเมินสภาพทางความร้อนด้วยมาตรฐานทางความร้อนของอุปกรณ์ไฟฟ้า ผลที่ได้พบว่า สภาพทางความร้อนของหม้อแปลงกรณีศึกษาอยู่ในเกณฑ์ปกติ ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ต่อยอดสำหรับการพัฒนาระบบประเมินสภาพความร้อนแบบออนไลน์ เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนซ่อมบำรุงหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในระบบไฟฟ้าตอนใต้ของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวต่อไป

**คำสำคัญ:** หม้อแปลงไฟฟ้า กล้องส่องความร้อน การประมวลผลภาพความร้อน

การอ้างอิงบทความ: พุทธสุวรรณค์ จันดาวงศ์, คมสันต์ ดาโรจน์ และ ดนุ วิโรจน์อุไรเรือง, “การประเมินสภาพความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพความร้อนโดยใช้พีซีซีเอ็ม ในกรณีศึกษาสถานีไฟฟ้าบ้านบังเมาะ แขวงจำปาสัก สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว,” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 31, ฉบับที่ 3, หน้า 406-415, ก.ค.-ก.ย. 2564.



## Thermal Evaluation of Power Transformers Based on Infrared Thermograms and Image Segmentation Using Fuzzy C-Means: A Case Study of Bangyoh Substation, Champasak Province, Laos PDR

Phoutsavanh Chandavong\*, Komson Daroj and Danu Wiroteurairuang

Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratcahthani Rajabhat University, Ubon Ratchathani, Thailand

\* Corresponding Author, Tel 06 5315 7797 E-mail: phoutsavanh.cit59@ubru.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.05.005

Received 31 January 2020 ; Revised 23 April 2020 ; Accepted 9 June 2020; Published online: 24 May 2021

© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

Condition-based maintenance of a power transformer is a vital process of conserving reliability of a power system at standard level. This research study assesses the thermal condition of a 25 MVA power transformer installed at Bangyoh substation of Electricite Du Laos by using a thermal image processing technique called thermograms. The procedure is started by thermal photographing of a selected power transformer by using a thermal camera. Consequently, a temperature distributed profile of a transformer tank, radiator and bushing can be conducted by dividing thermal zonals of a thermograms using a fuzzy c-means algorithm. Eventually, the thermal condition is evaluated. It was found that thermal condition of the case study transformer is at a satisfying level. The proposed procedures can be implemented as an on-line monitoring system, which can be used as a guiding framework for transformer maintenance planning in the southern area of Electricite Du Laos.

**Keywords:** Transformer, Thermal Camera, Thermal Image Processing.

Please cite this article as: P. Chandavong, K. Daroj, and D. Wiroteurairuang, "Thermal evaluation of power transformers based on infrared thermograms and image segmentation using fuzzy c-means: A case study of Bangyoh substation, Champasak province, Laos PDR," *The Journal of KMUTNB*, vol. 31, no. 3, pp. 406–415, Jul.–Sep. 2021 (in Thai).

## 1. บทนำ

ปัจจุบันรัฐวิสาหกิจไฟฟ้าลาวได้มีการก่อสร้างระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงระดับ 115, 230 และ 500 กิโลโวลต์ ทางภาคใต้เพิ่มมากขึ้นเพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งภายในและต่างประเทศรวมทั้งเป็นการเสริมให้ระบบมีเสถียรภาพสูงขึ้น ทำให้งานด้านการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นภาระที่สำคัญที่การไฟฟ้าลาวต้องคำนึงถึงและดำเนินการอย่างเหมาะสมเพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีความเชื่อถือได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

งานวิจัยนี้จึงได้สังเกตเห็นความสำคัญของการบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในสถานีไฟฟ้าย่อยคือ หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่มีต่อความเชื่อถือได้ของระบบ [1] ปัญหาเบื้องต้นที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังมักจะเริ่มจากความร้อนสูงเกินไป ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบต่างๆ ตามมา เช่น การเสื่อมสภาพของฉนวนอันเป็นสาเหตุให้เกิดการดิสชาร์จบางส่วนภายในหม้อแปลง การประเมินสภาพทางความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังโดยใช้กล้องส่องความร้อน [2] จัดเป็นวิธีบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมพลังงาน เช่น การตรวจสอบการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า จุดต่อสายไฟฟ้า และหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งวิธีบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีจุดเด่นคือ สามารถประเมินผลกระทบในสภาวะการทำงานปกติโดยไม่ต้องหยุดกระบวนการ ดำเนินการได้สะดวก ค่าใช้จ่ายต่ำ และมีความแม่นยำสูง ผลที่ได้จากการประเมินความร้อนสามารถใช้วางแผนในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาต่อยอดระบบให้เป็นแบบออนไลน์และสามารถแจ้งเตือนผู้ที่เกี่ยวข้องได้รับทราบและเตรียมหามาตรการแก้ไขเมื่อมีเหตุผิดปกติเกิดขึ้น ซึ่งคล้ายกับ [3] ได้พัฒนาระบบตรวจจับความร้อนและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหม้อแปลงไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพความร้อน สำหรับเฟิร์มแวร์และสามารถแจ้งเตือนผู้ปฏิบัติงานก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้น

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบการประเมินสภาพทางความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเพื่อเป็นแนวทางสำหรับพัฒนาให้เป็นระบบตรวจประเมินแบบออนไลน์ในอนาคตโดย

เริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย เช่น ผลกระทบจากความร้อนของของหม้อแปลงไฟฟ้า อัลกอริทึมในการแยกส่วนภาพความร้อนและมาตรฐานความร้อนของอุปกรณ์ไฟฟ้า จากนั้นก็เริ่มเข้าสู่กระบวนการถ่ายภาพความร้อนโดยมีการตั้งค่าต่างๆ ของกล้องความร้อนให้เหมาะสม นำภาพความร้อนเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์ภาพถ่ายและแยกส่วนภาพด้วยอัลกอริทึมพีซีซีมีนหลังจากนั้นก็แปลงค่าสีที่ได้เป็นอุณหภูมิ และนำอุณหภูมิที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเงื่อนไข และประเมินสภาพด้วยเกณฑ์การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิ ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ได้นำเสนอดังต่อไปนี้

### 1.1 ผลกระทบจากความร้อน

ความร้อนที่สูงเกินไปในส่วนต่างๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบใช้น้ำมันเป็นฉนวน [4] มักเกิดในส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า แผงระบายความร้อน และบุชชิ่ง [5] ในสองส่วนแรกจะเกิดขึ้นจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กและขดลวดขณะจ่ายโหลดปกติโดยความร้อนที่เกิดขึ้นจะส่งผ่านจุดขดลวดและแกนเหล็กไปยังน้ำมันหม้อแปลงสู่ตัวถังแล้วจึงออกไปยังบรรยากาศภายนอกในที่สุด ความร้อนที่สูงเกินไปในตัวถังหม้อแปลง และแผงระบายความร้อนที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานจะส่งผลให้น้ำมันหม้อแปลง และฉนวนกระดาษที่หุ้มขดลวดเกิดการเสื่อมสภาพจนอาจเกิดการดิสชาร์จบางส่วนและลัดวงจรได้ในที่สุด ส่วนความเสียหายหลักทางความร้อนที่ตัวบุชชิ่งมักเกิดจากข้อต่อหลวมเนื่องจากแรงสั่นสะเทือนของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อใช้หม้อแปลงไประยะเวลาหนึ่ง [6] การเกิดมีฝุ่นเกาะที่บุชชิ่งหรือเกิดจากการเสื่อมสภาพของฉนวนบุชชิ่งเอง ส่งผลให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าที่สูงเกินไป และเกิดมีความร้อนที่สูงผิดปกติจนทำให้เกิดมีความเสียหายภายหลังได้

### 1.2 อัลกอริทึมพีซีซีมีน

ในบทความนี้จะใช้อัลกอริทึมพีซีซีมีน (Fuzzy C-mean) ในการจัดกลุ่มทางความร้อนโดยแบ่งเป็นพื้นที่ที่ร้อนมาก ร้อนปานกลาง และร้อนน้อย [7] มีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดจำนวนกลุ่มออกเป็น  $C$  กลุ่ม แล้วเลือกค่าตัวแทนของกลุ่มเริ่มต้นโดยการสุ่มพร้อมกำหนดค่าความเป็นสมาชิก ( $m$ ) ในกลุ่ม

2) คำนวณความเป็นสมาชิก  $U$  ด้วยสมการที่ (1)

$$U_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \frac{d_{ij}^2}{d_{kj}^{(m-1)}}} \quad (1)$$

โดย

$d_{ij}$  คือ ระยะห่างระหว่างตัวแทนของกลุ่มที่  $c_i$  กับค่าข้อมูลในกลุ่ม ตามสูตรของ Euclidean Distance ดังสมการที่ (2)

$$d_{ij} = \|c_i - x_j\| \quad (2)$$

โดย

$c_i$  คือ ตัวแทนของกลุ่มที่  $i$

$x_j$  คือ ข้อมูลตัวที่  $j$

$m$  คือ ค่าความเป็นสมาชิก โดยที่

3) คำนวณค่าดัชนีวัดความผิดพลาดด้วยสมการที่ (3)

$$J(U, c_1, c_2, \dots, c_c) = \sum_{i=1}^c J_i = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n U_{ij}^m \|c_i - x_j\|^2 \quad (3)$$

โดยที่  $U_{ij}$  เป็นค่าสมาชิกของข้อมูลตัวที่  $j$  ของกลุ่ม  $i$

4) คำนวณตัวแทนของกลุ่มใหม่และปรับค่าความเป็นสมาชิกของสมาชิกทุกตัวในกลุ่มดังสมการที่ (4)

$$c_i = \frac{\sum_{j=1}^n U_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^n U_{ij}^m} \quad (4)$$

5) ทำซ้ำจากขั้นตอนที่ 2 จนตัวแทนปรับค่าเข้าสู่ศูนย์กลางของกลุ่มได้ตามเงื่อนไขที่ทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของการจัดกลุ่มมีค่าน้อยสุด

### 1.3 อุณหภูมิส่วนต่างของอุปกรณ์

อุณหภูมิส่วนต่างของอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังสามารถคำนวณจากสมการที่ (5)

$$\Delta T = T_{meas} - T_{max\,corr} \quad (5)$$

กำหนดให้

$\Delta T$  คือ อุณหภูมิส่วนต่างของอุปกรณ์

$T_{meas}$  คือ อุณหภูมิสูงสุดของอุปกรณ์ที่วัดได้จริง

$T_{max\,corr}$  คือ อุณหภูมิสูงสุดที่อนุญาตของอุปกรณ์สามารถ

คำนวณจากสมการที่ (6)

$$T_{max\,corr} = \{(S_{meas} / S_{rated})^2 (T_{rise})\} + T_{amb} \quad (6)$$

กำหนดให้

$S_{meas}$  คือ กำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงขณะจ่ายโหลด

$S_{rated}$  คือ ขนาดกำลังหม้อแปลงไฟฟ้า

$T_{amb}$  คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

$T_{rise}$  คือ อุณหภูมิแวดล้อม

### 1.4 มาตรฐานความร้อนของอุปกรณ์

จาก [8] เกณฑ์ของอุณหภูมิที่ใช้ในการประเมินสภาพทางความร้อนของอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยกล้องส่องความร้อนแสดงดังได้ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิ

ระดับ	$\Delta T$ (°C)	ข้อแนะนำ
5	$\Delta T < 10$	ปกติ
4	$10 \leq \Delta T < 25$	อาจเกิดมีข้อบกพร่อง
3	$25 \leq \Delta T < 40$	อาจเกิดมีข้อบกพร่องให้เฝ้าระวัง
2	$40 \leq \Delta T < 70$	อุปกรณ์อาจเสียหายต้องได้มีการแก้ไข
1	$70 \leq \Delta T$	ต้องแก้ไขโดยด่วน

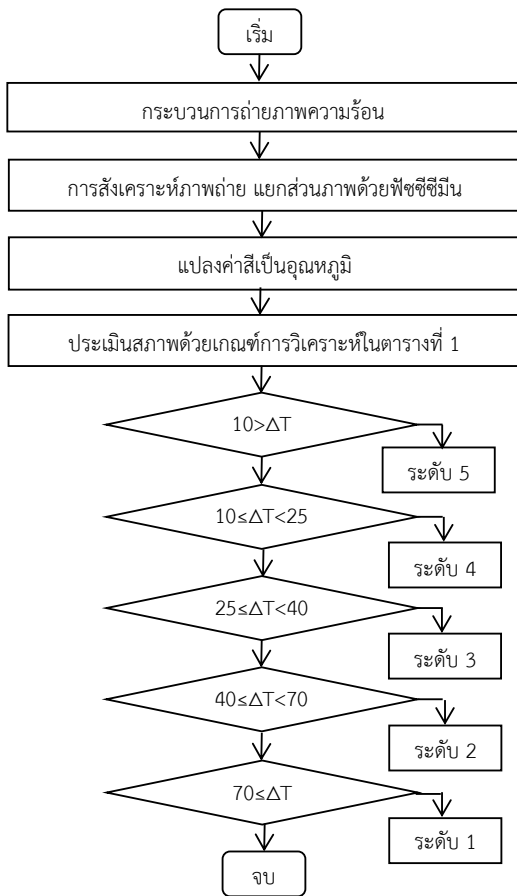
ค่าอุณหภูมิที่อยู่ในมาตรฐานที่ใช้ในการประเมิน (อุณหภูมิแวดล้อม/อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น/อุณหภูมิสูงสุด) แสดงได้ดังนี้

อุณหภูมิของถังหม้อแปลง 30/55/85

อุณหภูมิของแผงระบายความร้อน 30/55/85

อุณหภูมิของบushing 40/55/95

งานวิจัยนี้ได้ใช้เกณฑ์อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 55 องศาเซลเซียส ของทุกอุปกรณ์ในการประเมิน



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการการประเมินสภาพความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 25 เมกะโวลต์แอมแปร์ ของ บริษัท OSAKA ELECTRIC 115/22 กิโลโวลต์ แบบใช้น้ำมันเป็นฉนวน เริ่มนำใช้ปี 2008 และใช้ซอฟต์แวร์แมตแล็บที่มีฟังก์ชันการประมวลผลภาพในการวิจัยวิธีการดำเนินการวิจัยแสดงได้ดังรูปที่ 1 โดยรายละเอียดแต่ละขั้นตอนอธิบายได้ดังนี้

### 2.1 การถ่ายภาพความร้อน

การถ่ายภาพความร้อนที่ถังหม้อแปลง แผงระบายความร้อน และบุชชิ่งจะใช้กล้องส่องความร้อนรุ่น HT 18 มีช่วงการวัดอุณหภูมิอยู่ที่ -20 ถึง 300 องศาเซลเซียส เลนส์มุมกว้าง



รูปที่ 2 การถ่ายภาพความร้อนหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

27 x 35 องศา หน้าจอสีขนาด 3.2 นิ้ว (220 x 160) ค่าความแม่นยำ  $\pm 2$  องศาเซลเซียส หรือ 2 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 2 มีขั้นตอนดังนี้

- 1) กำหนดค่า Emissivity ของการถ่ายภาพซึ่งเป็นค่าความสามารถในการสะท้อนรังสีความร้อนของวัตถุโดยที่ถังหม้อแปลง และแผงระบายความร้อนกำหนด Emissivity = 0.95 และบุชชิ่งกำหนดค่า Emissivity = 0.93
- 2) ตั้งค่าระยะห่างจากกล้องถึงหม้อแปลงประมาณ 6 เมตร ตามข้อแนะนำที่ระบุในคู่มือการใช้งานของกล้อง
- 3) ดำเนินการถ่ายภาพความร้อนที่ตัวถังหม้อแปลง แผงระบายความร้อน และบุชชิ่งตามลำดับ

### 2.2 การสังเคราะห์ภาพถ่ายความร้อน

เป็นขั้นตอนที่นำภาพถ่ายทางความร้อนมาจัดเตรียมก่อนแยกบริเวณความร้อนเป็น 3 ส่วน ด้วยอัลกอริทึมพีซีซีเอ็ม รายละเอียดดังนี้

- 1) ตัดพื้นที่ภาพถ่ายความร้อนให้ครอบคลุมตัวถัง แผงระบายความร้อนและบุชชิ่ง
- 2) นำภาพถ่ายแต่ละส่วนมาแบ่งพื้นที่ความร้อนด้วยอัลกอริทึมพีซีซีเอ็มตามรายละเอียดที่กล่าวถึงในหัวข้อ 1.2

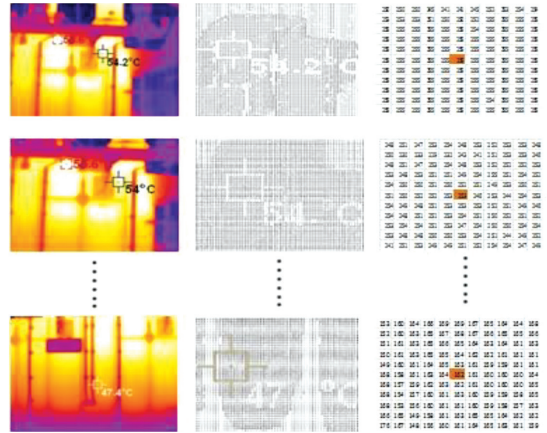
### 2.3 การแปลงค่าสีเป็นอุณหภูมิ

การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีแต่ละพิกเซลของภาพถ่ายทางความร้อนกับค่าอุณหภูมิมีขั้นตอนดังนี้

1) วัดค่าอุณหภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 30 จุด ให้ครอบคลุมระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นด้วยฟังก์ชันการวัดค่าอุณหภูมิที่ใช้เลเซอร์ของกล้องให้ครอบคลุมบริเวณความร้อนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงจนถึงจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ

2) นำข้อมูลค่าสีและอุณหภูมิที่ได้จากจุดมาพล็อตกราฟ และสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับอุณหภูมิ

3) นำข้อมูลที่แปลงจากค่าสีเป็นอุณหภูมิมาวิเคราะห์ทางสถิติที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของค่าสีกับอุณหภูมิ

## 2.4 การประเมินสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

ผลที่ได้จากขั้นตอนที่ 2.2 และ 2.3 สามารถสร้างกราฟการกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณตัวถัง แผงระบายความร้อน และบุชชิ่ง สุดท้ายก็นำอุณหภูมิที่สูงสุดมาเปรียบเทียบและประเมินผลด้วยเกณฑ์การทดสอบบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าตามที่กล่าวถึงในหัวข้อ 1.4

## 3. ผลการทดลอง

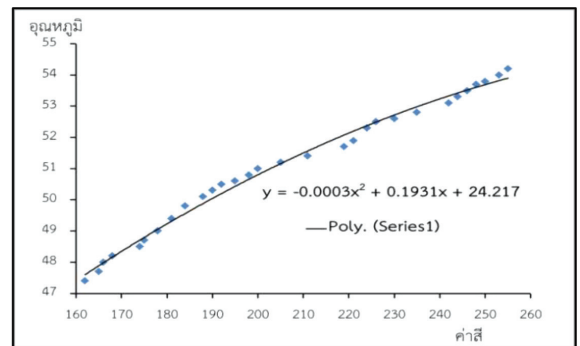
ณ เวลาที่ทำการถ่ายภาพความร้อนคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้ามีดังนี้ จ่ายโหลด 14 เมกะวัตต์แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 115/22.75 กิโลโวลต์ อุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส และค่าของหม้อแปลงเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส

### 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับอุณหภูมิ

ผลการดำเนินงานตาม 2.3 แสดงได้ดังรูปที่ 3 (ก) ภาพถ่ายความร้อนในจุดต่างๆ ของถังหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน รูปที่ 3 (ข) ภาพขยายของค่าสีที่ได้จากภาพความร้อนแล้วแยกส่วนด้วยอัลกอริทึมพีซีซีเอ็ม รูปที่ 3 (ค) ภาพของค่าสีที่ขยายให้เห็นค่าสีที่อยู่ในวงของเคอร์เซอร์วัดอุณหภูมิ

จากรูปที่ 3 พล็อตเป็นกราฟพร้อมเส้นแนวโน้มสมการโพลีโนเมียลดีกรีสองดังรูปที่ 4

เมื่อใช้สมการโพลีโนเมียลดีกรีสองแทนแนวโน้มกราฟจะได้สมการแมปปิงค่าสีกับอุณหภูมิดังสมการที่ (7)



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับอุณหภูมิ

$$y = -0.0003x^2 + 0.1931x + 24.217 \quad (7)$$

โดยที่  $y$  คือ ค่าอุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) และ  $x$  คือ ค่าสี

การกำหนดค่า Emissivity ในขั้นตอนการถ่ายภาพความร้อนของตัวถังหม้อแปลงและแผงระบายความร้อน ต้องแตกต่างจากบุชชิ่ง เนื่องจากวัสดุมีความแตกต่างกัน ทำให้สมการที่ (7) สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ทั้งสามส่วน

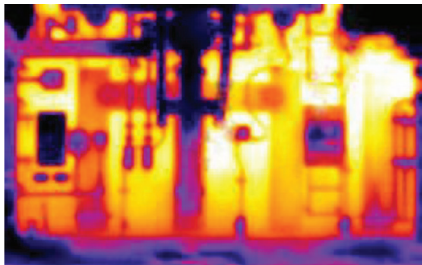
### 3.2 ภาพความร้อนหม้อแปลงไฟฟ้า

จากจากขั้นตอนการวิจัยที่อธิบายในหัวข้อที่ 3) มีรายละเอียดดังนี้





(ก)



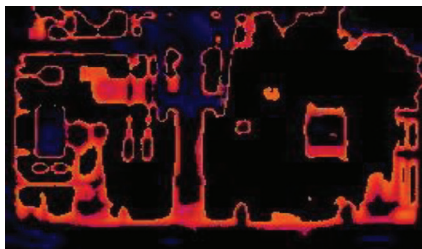
(ข)



(ค)

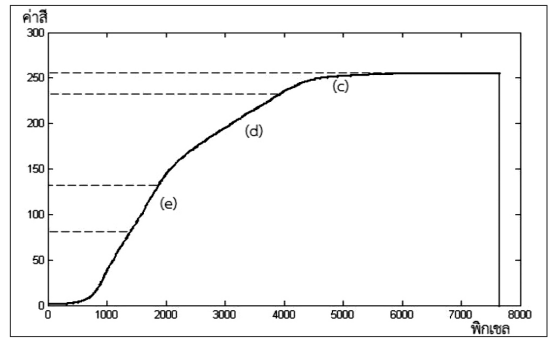


(ง)

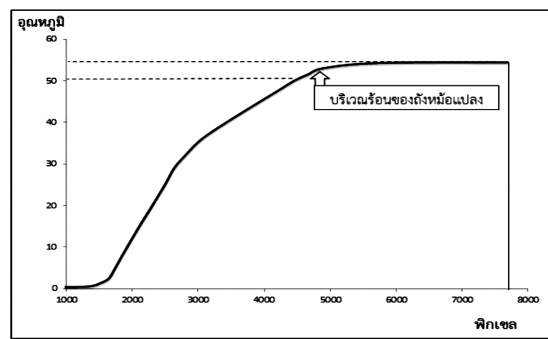


(จ)

รูปที่ 5 ความร้อนของถังหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 6 ค่าสีของถังหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 7 อุณหภูมิของถังหม้อแปลงและส่วนที่ร้อนสุด

### 3.2.1 ถังหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

รูปที่ 5 (ก) ภาพถ่ายด้วยกล้องธรรมดา (ข) ภาพถ่ายด้วยกล้องส่องความร้อน (ค) บริเวณความร้อนสูงมีค่าสี 230 ถึง 255 อุณหภูมิร้อนสุดเท่ากับ 55.4 องศาเซลเซียส (ง) บริเวณความร้อนปานกลางมีค่าสี 130 ถึง 230 (จ) บริเวณความร้อนน้อยมีค่าสี 71 ถึง 130

ความสัมพันธ์ของทีกเซตกับค่าสีภาพความร้อนรูปที่ 5 สามารถแสดงกราฟได้ดังรูปที่ 6

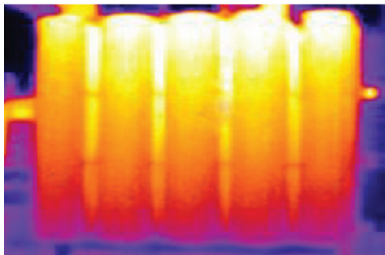
เมื่อแปลงค่าสีของรูปที่ 6 เป็นอุณหภูมิด้วยสมการที่ (6) จะได้ดังรูปที่ 7

### 3.2.2 แผงระบายความร้อน

รูปที่ 8 (ก) ภาพถ่ายด้วยกล้องธรรมดา (ข) ภาพถ่ายด้วยกล้องส่องความร้อน (ค) บริเวณความร้อนสูงมีค่าสี 230 ถึง 255 มีอุณหภูมิร้อนสุดเท่ากับ 54.6 องศาเซลเซียส (ง) บริเวณความร้อนปานกลางมีค่าสี 130 ถึง 230 (จ) บริเวณความร้อนน้อยมีค่าสี 71 ถึง 130



(ก)



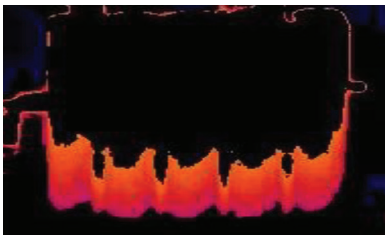
(ข)



(ค)

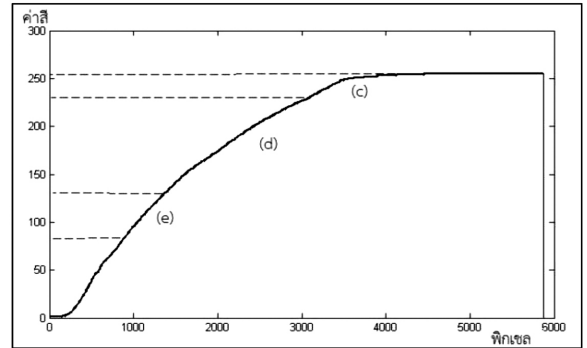


(ง)

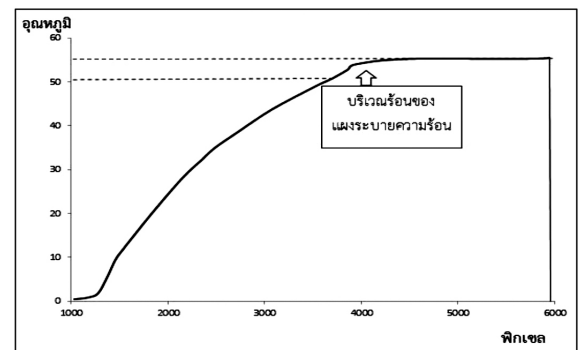


(จ)

รูปที่ 8 ความร้อนของแผงระบายความร้อน



รูปที่ 9 ค่าสีของแผงระบายความร้อน



รูปที่ 10 อุณหภูมิแผงระบายความร้อนและส่วนที่ร้อนสุด

สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ของพิกเซลกับค่าสีของภาพความร้อนรูปที่ 8 ได้ดังรูปที่ 9

เมื่อแปลงค่าสีของรูปที่ 9 เป็นอุณหภูมิด้วยสมการที่ (6) จะได้ดังรูปที่ 10

รูปที่ 11 (ก) ภาพถ่ายด้วยกล้องธรรมดา (ข) ภาพถ่ายด้วยกล้องส่องความร้อน (ค) บริเวณร้อนสุด เป็นส่วนของถึงหม้อแปลงที่เชื่อมต่อกับบุงซิ่ง (ง) บริเวณร้อนปานกลาง มีอุณหภูมิ เท่ากับ 48.2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นบริเวณร้อนของบุงซิ่งมีค่าสี 130 ถึง 230 (จ) บริเวณร้อนน้อยมีค่าสี 71 ถึง 130

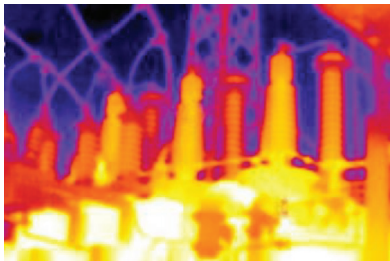
สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ของพิกเซลกับค่าสีของภาพความร้อนรูปที่ 11 ได้ดังรูปที่ 12

เมื่อแปลงค่าสีของรูปที่ 12 เป็นอุณหภูมิด้วยสมการที่ (6) จะได้ดังรูปที่ 13

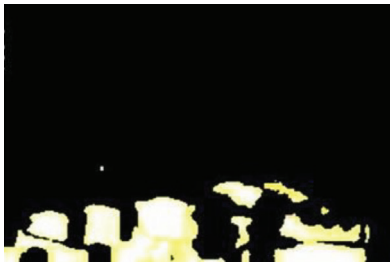




(ก)



(ข)



(ค)

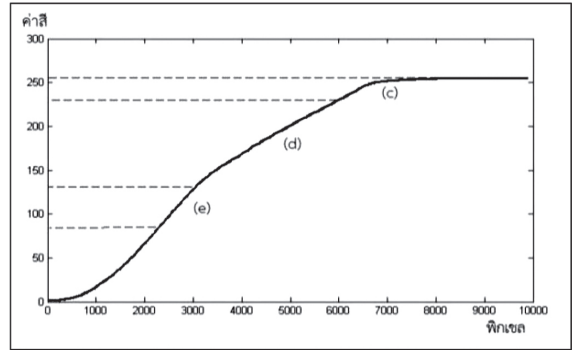


(ง)

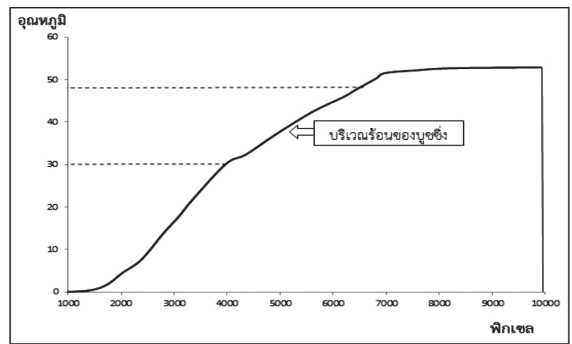


(จ)

รูปที่ 11 ความร้อนของบุชชิ่ง



รูปที่ 12 ค่าสีของบุชชิ่ง



รูปที่ 13 อุณหภูมิของบุชชิ่ง

### 3.3 สภาพทางความร้อน

ผลการประเมินสภาพทางความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาด 25 เมกะโวลต์แอมแปร์ ของกรณีศึกษาสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2

จากตาราง 2 พบว่า  $T_{meas}$  ของถังหม้อแปลง แผงระบายความร้อน และบุชชิ่ง มีค่า 55.4, 54.6 และ 48.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ  $T_{max\ corr}$  มีค่า 47.284 องศาเซลเซียส เท่ากันทั้ง 3 ส่วน เพราะมี  $T_{rise}$  เท่ากัน  $\Delta T$  มีค่า 8.15, 7.31 และ 0.91 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตารางที่ 1 พบว่าทั้ง 3 ส่วน อยู่ในระดับที่ปกติตามมาตรฐาน [4]

### 4. อภิปรายผลและสรุป

บทความนี้ได้ทำการประเมินสภาพทางความร้อนหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่สถานีไฟฟ้าย่อยบ้านบังเยาะ แขวงจำปาสัก สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ด้วยเทคนิค

## ตารางที่ 2 ผลสภาพทางความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้า

ส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า	$T_{meas}$ (°C)	$T_{max\ corr}$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	เกณฑ์การประเมิน
ถังหม้อแปลงไฟฟ้า	55.4	47.284	8.15	ระดับ 5
แผงระบายความร้อน	54.6	47.284	7.31	ระดับ 5
บุชชิ่ง	48.2	47.284	0.91	ระดับ 5

การประมวลผลสภาพความร้อนโดยใช้ฟิสิกส์มีขั้นตอน คือ การถ่ายภาพความร้อน การสังเคราะห์ภาพถ่าย การแปลงค่าสีเป็นอุณหภูมิ และขั้นตอนการประเมินสภาพ พบว่า  $\Delta T$  ของตัวถัง ครีระบายความร้อน และบุชชิ่งอยู่ในเกณฑ์ปกติ ในอนาคตมีแผนที่จะพัฒนาระบบนี้ให้เป็นระบบออนไลน์ เพื่อให้การเฝ้าระวังหม้อแปลงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Q. Khan, A. A. Khan, and F. Ahmad, "Condition monitoring tool for electrical equipment – Thermography," presented at 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), Chennai, India, March 3–5, 2016.
- [2] C. Szafron, "Application of thermal imaging in electrical equipment examination," in *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Int. Conference IEEEIC*, Cottbus, 2008, pp. 99–101.
- [3] Z. A. Jaffery and A. K. Dubey, "Design of early fault detection technique for electrical assets using Infrared thermograms," *Journal of Infrared Physics & Technology*, vol. 63, pp. 753–759, 2014.
- [4] *General requirements for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers*, American National Standard Institute/IEEE C57.12.00-1987, 1981.
- [5] A.S.N. Huda and S. Taib, "Application of infrared thermography for predictive/preventive maintenance of thermal defect in electrical equipment," *Applied Thermal Engineering*, vol.61, no. 2, pp. 220–227, 2013.
- [6] S. T. Jan, R. Afzal, and A. Z. Khan, "Transformer failures, causes & impact," in *Proceedings International Conference Data Mining, Civil and Mechanical Engineering (ICDMCME'2015)*, 2015, pp. 49–52.
- [7] S. Albayrak and F. Amasyali, "Fuzzy C-Mean clustering on medical diagnostic system," presented at International Twelfth Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks-TAINN2003, Turkish, July 2003.
- [8] *Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment*, Burlington, United States of America, 2008.