

การบำรุงรักษาอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าโดยการประมวลผลภาพความร้อน Maintenance of Power Substation Equipment Using Infrared Thermograms

พุทธสวรรค์ จันดาวงศ์^{1*}, ดนู วิโรจน์อุไรเรือง²
^{1*,2} คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

Phoutsavanh Chandavong^{1*} and Danu Wiroteurairuang²
^{1*,2} Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratcahthani Rajabhat University^{1*}
E-mail : phoutsavanh.cG59@ubru.ac.th^{1*}, Danu.w@ubru.ac.th²

บทคัดย่อ

การบำรุงรักษาอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าเป็นสิ่งหนึ่งที่สำคัญและจำเป็นมาก ปัญหาสำคัญที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า คือ ความร้อน ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้ามีการรับภาระทางไฟฟ้ามากและนาน ทำให้อุปกรณ์มีการชำรุด และเกิดมีความร้อน ถ้าปล่อยไว้นาน อาจทำให้เกิดความเสียหายขึ้นในอนาคต ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง เสียโอกาสในการจ่ายไฟ ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วไป และ กลุ่มอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เพื่อตรวจหาความผิดปกติและคาดการณ์ข้อบกพร่องหรือตรวจสอบคุณภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้า ในบทความนี้ได้นำเสนอกรอบพัฒนากลไกการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและวิเคราะห์บริเวณร้อนของอุปกรณ์ ขั้นแรกนำภาพความร้อนมาเพื่อจะแบ่งส่วนภาพด้วย อัลกอริทึม เคมี ผลของการแบ่งส่วนภาพจะระบุบริเวณที่สนใจ จากนั้นจะถูกระบุโดยใช้สถิติเชิงเรขาคณิตและคุณสมบัติที่เกี่ยวข้อง สุดท้ายสถานะของอุปกรณ์จะถูกดำเนินการด้วยคะแนน จากการศึกษาตัวอย่างเช่น หม้อแปลงไฟฟ้า Transformer (TR) มีคะแนน 84.32 Circuit Breaker (CB) มีคะแนน 106.03 Lighting Arrester (LA) มีคะแนน 89.44 Current Transformer (CT) มีคะแนน 81.70 Capacitor Voltage Transformer (CVT) มีคะแนน 105.20 C-Bank มีคะแนน 84.02 Disconnecting Switch (DS) มีคะแนน 60.46 ซึ่งคะแนนเหล่านี้จะนำมาทำการแจ้งเตือนในระดับ 1 2 และ 3 เพื่อแจ้งเตือนให้เรารู้ว่าอุปกรณ์กำลังชำรุดมากน้อยเพียงใด ทำให้มีความสะดวกต่อการบำรุงรักษา อินฟราเรดเทอร์โมแกรมเป็นวิธีประหยัด สะดวก และมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ภาพความร้อน อุปกรณ์สถานีไฟฟ้า การประมวลผลภาพ

Abstract

Maintenance of equipment in the power station is very important and necessary. Major problems that may occur to the equipment is heat. The reason for this problem is due to a lot of working load and a long operation time of equipment. This will make equipment damage and expose to high temperature. If it has been left for a long time, any catastrophe would be happened in the future, leading to high costs of maintenance, Losing the opportunity to supply power, which affects the general customer and large industrial groups. To detect anomalies and predict possible faults or check the quality of equipment, this paper proposes the development

mechanism framework to monitor the temperature variations, and analyze hot regions of equipment. First, the infrared image is acquired in order to be segmented further using K-means. The result segmentation will be identified for Region Of Interest (ROI) and then being analyzed using geometrical statistics and related features. Finally, the status of transformer is carried out by using tolerant score. In this study, the sample Transformer (TR) score is 84.32, Circuit Breaker (CB) score is 106.03, Lighting Arrester (LA) score is 89.44, Current Transformer (CT) score is 81.70, Capacitor Voltage Transformer (CVT) score is 105.20, C-Bank score is 84.02, Disconnecting Switch (DS) score is 60.46. These scores are used to alert at level 1, 2 and 3, This will remind us that how defective the equipment was. There is convenience for maintenance. Infrared thermogram is economy, convenient and efficient.

Keywords : Thermal imaging, Equipment, Image processing

1. บทนำ

ปัจจุบัน การไฟฟ้าลาว (ฟฟล) ได้มีการสร้างสถานีไฟฟ้า สายส่ง และ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับความต้องการใช้ไฟฟ้านับวันยิ่งมากขึ้น ดังนั้น หลังจากการสร้างเสร็จและใช้งานแล้ว การบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ ฟฟล จะต้องดำเนินการต่อไปเพื่อให้ระบบไฟฟ้ายังสามารถใช้งานได้อย่างถูกต้อง และ เกิดความปลอดภัยสูงสุด ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ การวินิจฉัยอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้ภาพความร้อน กล้องถ่ายภาพความร้อนสามารถทำการสแกนพื้นผิวของอุปกรณ์โดยที่ไม่มีการทำลายและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้ตรวจหาปัญหาหรือความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้สามารถ ลดเวลาในการแก้ไขปัญหาและการบำรุงรักษา [1] ข้อบกพร่องภายใน และภายนอกของอุปกรณ์ไฟฟ้าเช่น ข้อต่อหลวม ปัญหาหน้าสัมผัส โหลดเกิน โหลดไม่สมดุล และ ติดตั้งอุปกรณ์ที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจะเกิดความร้อนที่อาจนำไปสู่ความล้มเหลวของอุปกรณ์ ความล้มเหลวของอุปกรณ์ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง ใช้กำลังคนมากและยังเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุหรือเสียชีวิต อุณหภูมิเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับการประเมินสภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังนั้น การตรวจสอบอุณหภูมิของอุปกรณ์คือหนึ่งในวิธีการบำรุงรักษาที่ดีที่สุด [2] ความร้อนอินฟราเรด (IRT) เป็นวิธีการวัดอุณหภูมิของอุปกรณ์ไฟฟ้าจากระยะไกล และให้ภาพความร้อนซึ่งหมายถึงการกระจายอุณหภูมิพื้นผิวของอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งสามารถ ลดการหยุดการทำงานของระบบ หรือระบบล่ม สามารถจัดกำลังคนให้เหมาะสมกับงาน ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ และเพิ่มอายุการใช้งานของอุปกรณ์ เทคโนโลยีการตรวจจับภาพความร้อนอินฟราเรด ได้มีการเติบโตและเป็นเครื่องมือตรวจสอบสภาพที่ได้รับการยอมรับกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมพลังงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการวินิจฉัยอุปกรณ์ที่สำคัญในสถานีไฟฟ้าเช่น หม้อแปลงไฟฟ้า Transformer (TR) Circuit Breaker (CB) Lighting Arrester (LA) Current Transformer (CT) Capacitor Voltage Transformer (CVT) C-Bank Disconnecting Switch (DS) ทั้งนี้ภาพถ่ายความร้อนสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของความเสียหายดังกล่าวจากลักษณะของรูปแบบการกระจายของอุณหภูมิที่มีผลต่อความเสียหายของอุปกรณ์ในไฟฟ้า

Jaffery และคณะ ใช้ Infrared thermography เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและวิเคราะห์บริเวณร้อนในอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้ Infrared thermography เทคนิคนี้ช่วยป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าก่อนที่จะเกิดความ

เสียหาย ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เทคนิคการแบ่งกลุ่มตามสีที่จะใช้ในการรวมบริเวณร้อนยังวิเคราะห์บริเวณร้อนและยังรวมถึงการประมาณการอัตราการเปลี่ยนแปลงของความร้อนในอุปกรณ์สำหรับการตรวจหาและการคาดการณ์ความผิดพลาดที่อาจเกิดในอนาคต [3] Jadin และ Taib ได้ใช้กล้องอินฟราเรดเข้าในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า วิธีนี้ได้รับความสนใจมากขึ้นและกลายเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการบำรุงรักษา อุปกรณ์ไฟฟ้า เนื่องจากมีความไวและความแม่นยำสูง ดังนั้นจึงใช้ภาพความร้อนเพื่อวินิจฉัยอุปกรณ์ [4] Dutta และคณะได้ทำการวิจัยความร้อนของอุปกรณ์ไฟฟ้า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะนำไปสู่ความล้มเหลวในอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังนั้นการตรวจสอบความร้อนจะมีบทบาทสำคัญในการระบุความผิดพลาดที่เริ่มเกิดขึ้น ระบบการตรวจสอบแบบใช้ภาพความร้อนอินฟราเรดทำให้ค่าใช้จ่ายที่คุ้มค่า เชื่อถือได้และถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการตรวจสอบและวินิจฉัยความผิดปกติของอุปกรณ์ไฟฟ้า

Chou และ Yao ได้นำเสนอระบบวินิจฉัยแบบอัตโนมัติ สำหรับปัญหาที่สำคัญเช่นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ทุกปีการเกิดอุบัติเหตุในสถานที่ทำงานต่างๆที่เกิดขึ้น เนื่องจากการบำรุงรักษาที่ไม่พึงประสงค์ ไม่ว่าวิธีการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าจะเข้มงวดเพียงใดมันก็มักจะมีผลลบและทำลาย เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้ามีจำนวนมากและปัญหาการขาดแคลนกำลังคน ความร้อนอินฟราเรดใช้ในการวินิจฉัยโดยอัตโนมัติ การประมวลผลภาพความร้อนตามวิธีการทางสถิติและใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อระบุจุดร้อนและอุณหภูมิ ระบบการวินิจฉัยความร้อนที่เสนอในบทความนี้สามารถใช้เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกในการปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจสอบ [6]

2. ทฤษฎี

2.1 K-means Segmentation

K-means Segmentation [3] เป็นการจัดกลุ่มด้วย อัลกอริทึม, K-means จะแบ่งส่วนออกเป็น k กลุ่ม โดยแทนแต่ละกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของกลุ่มซึ่งใช้ป็นจุดศูนย์กลาง (centroid) ของกลุ่มในการวัดระยะห่างของข้อมูลในกลุ่มเดียวกัน. ในขั้นตอนแรกของการจัดกลุ่มด้วย K-means คือการกำหนดจำนวนกลุ่ม และ กำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นของแต่ละกลุ่ม. ขั้นตอนที่สอง คือการสร้างกลุ่มข้อมูลและความสัมพันธ์กับจุดศูนย์กลางที่ใกล้ที่สุด, แต่ละจุดจะถูกกำหนดจุดศูนย์กลางที่ใกล้เคียงที่สุดจนครบทุกจุด และ คำนวณจุดศูนย์กลางใหม่ โดยหาค่าเฉลี่ยทุกวัตถุที่อยู่ในกลุ่ม หากจุดศูนย์กลางที่อยู่ในกลุ่มเปลี่ยนตำแหน่ง จะได้จุดที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มใหม่ และ ใกล้กับจุดศูนย์กลางใหม่. ทำซ้ำแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งจุดศูนย์กลางจำนวน k จุดไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ถูกจัดให้อยู่ใน คลัสเตอร์ เดียวกันเป็นตัวแทนของทุกข้อมูลใน คลัสเตอร์นั้น

อัลกอริทึม K-means ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้ :

ขั้นตอน 1: กำหนดจำนวนกลุ่ม โดยสุ่มค่ากลางมาจำนวน K ชุด แทนด้วย C_k

k คือจำนวนกลุ่ม

ขั้นตอน 2: คำนวณระยะห่างต่ำสุด k ระหว่างแต่ละเซนทรอยด์และสมาชิกภายในกลุ่ม

$$k = \operatorname{argmin} \|x_k - c_k\| \quad (1)$$

x_k คือชุดข้อมูลนำเข้า

C_k คือค่ากลาง

นำชุดข้อมูลนำเข้า x_k เป็นสมาชิกในกลุ่ม k ที่มีระยะทางที่น้อยที่สุดจะเป็นกลุ่มที่ชนะ

ขั้นตอน 3: คำนวณจุดศูนย์กลาง k จุดใหม่โดยคำนวณหาค่าเฉลี่ยทุกวัตถุที่อยู่ในกลุ่ม แล้วคำนวณค่ากลางของ

แต่ละกลุ่มใหม่ โดยเฉลี่ยจากข้อมูลที่เป็นสมาชิกของกลุ่มนั้นทุก C_k

$$C_k = \frac{1}{|q_i|} \sum_{x_i \in q_i} x_i \quad (2)$$

x_i ข้อมูลของจุด

q_i ชุดของข้อมูลกำหนดจุดของแต่ละเซนเซอร์

ขั้นตอน 4: คำนวณหาระยะทางรวมทั้งหมด แทนด้วย D ซึ่งเป็นผลรวมของระยะทางทั้งหมดระหว่างแต่ละจุดศูนย์กลางและสมาชิกที่สอดคล้องกันภายในกลุ่ม สามารถอธิบายได้ โดยสมการต่อไปนี้

$$D = \sum_{i=1}^N \frac{k}{\sum_{j=1}^k 1/I_{ij}} \quad (3)$$

I_{ij} แสดงถึงการเป็นสมาชิกของกลุ่ม k ถ้า $I_{ij} = 1$ x_i เป็นสมาชิกของ q_i

ขั้นตอน 5: ทำซ้ำ (ขั้นตอน 2 หา ขั้นตอน 4) จนกระทั่งเงื่อนไข, ระยะทางรวม ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

$$1 - \frac{D^{old}}{D^{new}} \leq \alpha \quad (4)$$

สำหรับ α เป็นค่าคงที่มีขนาดเล็กมาก

2.2 สถิติทางเรขาคณิต (Geometrical statistic)

2.2.1 คุณสมบัติทางสถิติ (statistic features)

คุณสมบัติทางสถิติ ใช้ในการตรวจสอบสถานะของความร้อนวัตถุ โดยทั่วไปคุณสมบัติสถิติที่โดดเด่นที่สุดที่สามารถนำมาใช้รวมถึงความแปรปรวนของภาพ (σ^2) ค่าเฉลี่ยของค่าพิกเซลภาพ (μ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ในงานวิจัยนี้ ค่าเฉลี่ยของค่าพิกเซลของภาพมีบทบาทสำคัญในการวินิจฉัยภาพความร้อน ค่าเฉลี่ยของค่าพิกเซลภาพจะคำนวณดังนี้:

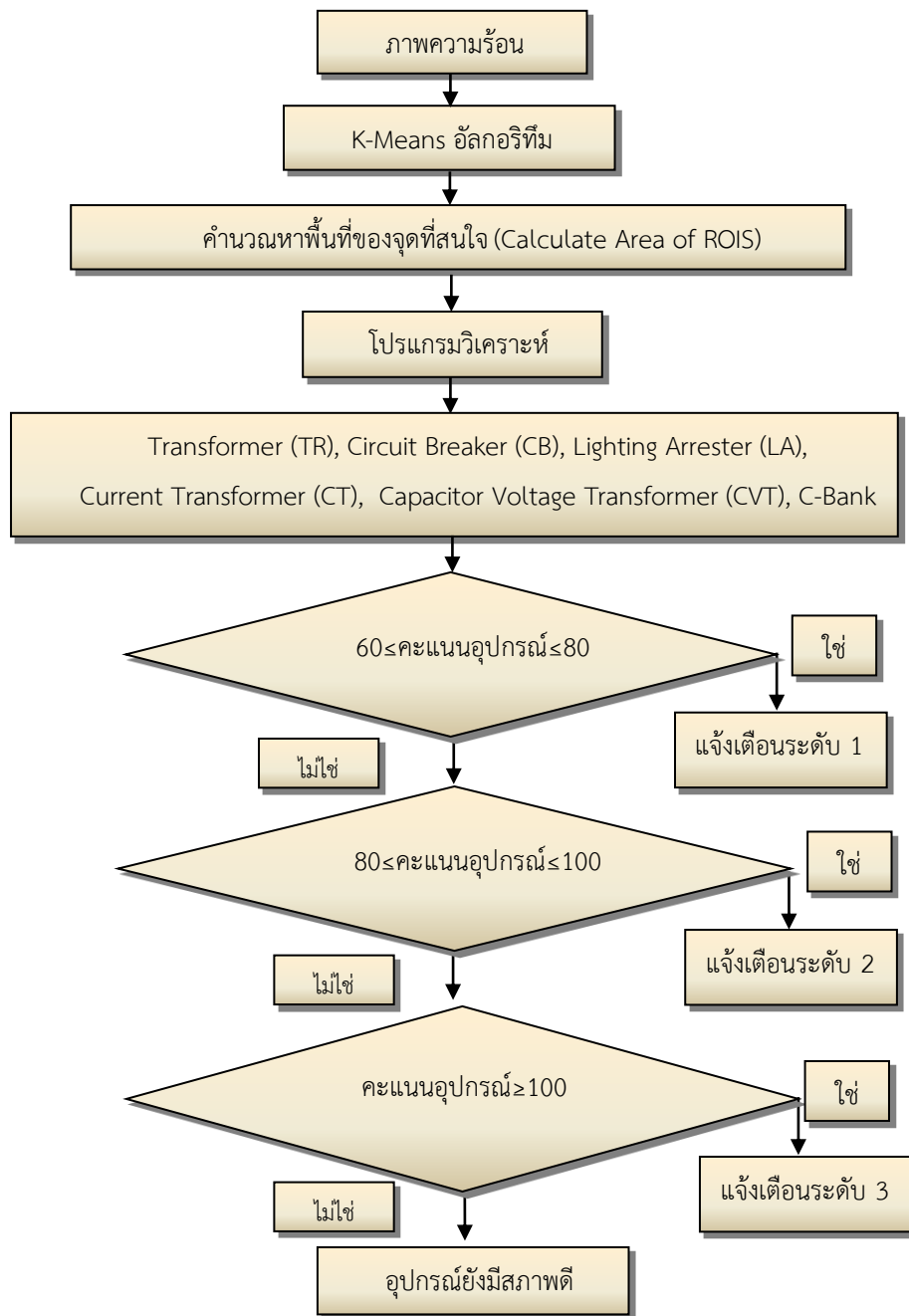
$$\text{ค่าเฉลี่ยของค่าพิกเซลภาพ } (\mu) = \sum_{x \times y} \frac{P_{xy}}{x \times y} \quad (5)$$

P_{xy} คือค่าพิกเซล ที่สอดคล้องกันที่ตำแหน่ง x, y

2.2.2 คุณลักษณะทางเรขาคณิต (Geometrical features)

คุณลักษณะทางเรขาคณิตของความร้อนวัตถุ จะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทางเรขาคณิตเช่นเส้นโค้ง เส้น พื้นผิว จุด กลุ่มและขอบ อย่างไรก็ตาม งานนี้จะเน้นในบริเวณที่สนใจและพื้นที่ที่มีอุณหภูมิร้อน

3. อัลกอริทึม การวิเคราะห์ด้วยภาพเทอร์โมแกรม



รูปที่ 1 โฟลวชาร์ต

นำภาพความร้อนเข้าโปรแกรม Computer ที่มีการออกแบบไว้ ด้วย K-means algorithm ที่สามารถแยกส่วนที่ผิดปกติได้อย่างแม่นยำหลังจากนั้นจะได้ค่าแต่ละส่วนที่สนใจแล้วนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยของส่วนที่ผิดปกติ หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วย geometrical statistics และ relatete features แล้วได้ค่าความเสียหายของอุปกรณ์ นำค่านี้มาเปรียบเทียบกับเงื่อนไขที่ตั้งไว้ ถ้าหากสูงเกินค่าที่กำหนด โปรแกรมจะทำการแจ้งเตือน ตามขั้นตอน.

จากกระบวนการดังกล่าว สามารถแทนได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$K - mean_k(I_{E_i}) = \sum_{i=1}^k Seg_{E_i} \quad (5)$$

$$ROI_{E_{i=1 \rightarrow m}} ROI(Seg_{110 \leq Inten(E_i) \leq 256}) \quad (6)$$

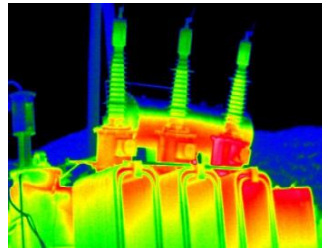
$$Tolerantscore_{ROI_E} = \frac{\sum_{i=1}^m [Inten_{ROI_i} \times w_E]}{n} \quad (7)$$

แจ้งเตือนระดับ 1 : $60 \leq$ คะแนนอุปกรณ์ไฟฟ้า ≤ 80

แจ้งเตือนระดับ 2 : $80 \leq$ คะแนนอุปกรณ์ไฟฟ้า ≤ 100

แจ้งเตือนระดับ 3 : คะแนนอุปกรณ์ไฟฟ้า ≤ 100

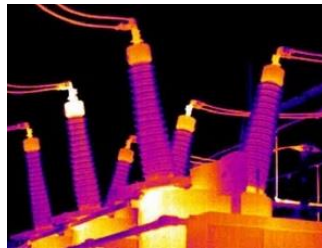
ฟังก์ชันของ อัลกอริทึม K-mean โดยที่ I_{E_i} คือรูปอุปกรณ์ไฟฟ้า, Seg_{E_i} คือค่าของภาพที่แบ่งส่วนเสร็จแล้ว, ROI คือ Region Of Interesting, E คืออุปกรณ์ไฟฟ้า, i คือลำดับอุปกรณ์ไฟฟ้า, m คือ ค่าที่สูงของพิกเซลของพื้นที่, $Inten(E_i)$ คือความเข้มสีของพิกเซลของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ i $Tolerantscore_{ROI_E}$ คือคะแนนของพื้นที่ที่สนใจในภาพ E, n คือจำนวนพิกเซลของภาพ, และ w_E คือน้ำหนักของภาพอุปกรณ์ไฟฟ้า



รูปที่ 2 Transformer



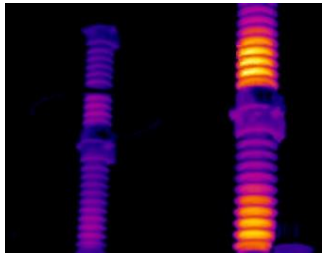
รูปที่ 3 Transformer segmented



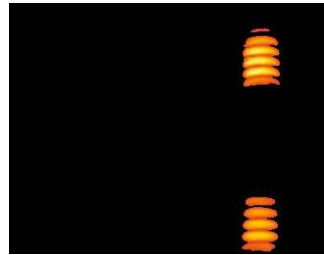
รูปที่ 4 CB



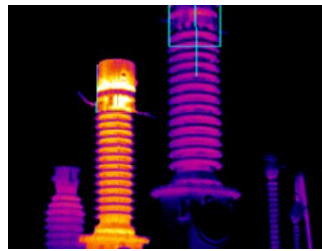
รูปที่ 5 CB segmented



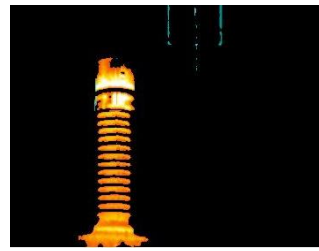
รูปที่ 6 LA



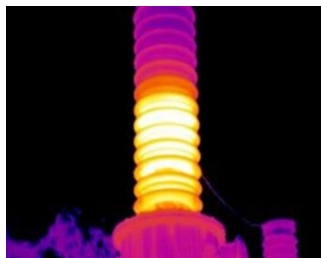
รูปที่ 7 LA segmented



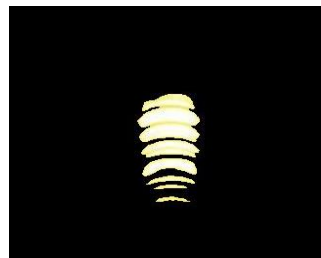
รูปที่ 8 CT



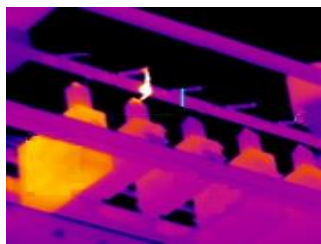
รูปที่ 9 CT segmented



รูปที่ 10 CVT



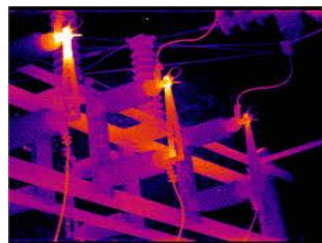
รูปที่ 11 CVT segmented



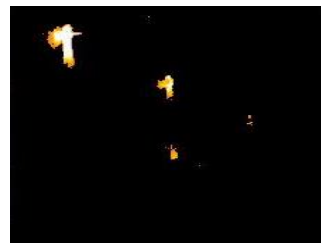
รูปที่ 12 C-Bank



รูปที่ 13 C-Bank segmented



รูปที่ 14 DS



รูปที่ 15 DS segmented

รูปที่ 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 คือรูปภาพความร้อนของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำคัญในสถานีไฟฟ้า; รูปที่ 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 คือรูปภาพความร้อนของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกแบ่งส่วน หรือแยกส่วนที่มีความร้อนสูงผิดปกติ ด้วย K-means อัลกอริทึม. [8] ระดับอุณหภูมิที่แสดงในภาพความร้อน ของอุปกรณ์ไฟฟ้า จะมีระดับโทนสีที่แตกต่างกัน เช่น สี น้ำตาล แดงเข้ม แดง ส้ม เหลือง เหลืองอ่อน จนถึงสีขาว ได้หมายถึงแต่ละระดับอุณหภูมิที่แสดงในกล้องความร้อน

4. ผลลัพธ์

จากสมการเราจะได้ค่าเฉลี่ยของอุปกรณ์ไฟฟ้าดังนี้ :

ตาราง 1 คะแนนของอุปกรณ์ไฟฟ้า

อุปกรณ์ไฟฟ้า	ค่าเฉลี่ยพื้นที่ของ อุปกรณ์ไฟฟ้า (AVG)	น้ำหนัก (W)	คะแนน (S)	เปอร์เซ็นต์ AVG (%)
Transformer	130.46	0.7	84.32	47.24
CB	176.73	0.6	106.03	69.31
LA	149.07	0.6	89.44	58.46
CT	163.41	0.5	81.70	64.08
CVT	210.41	0.5	105.20	82.51
C-Bank	168.05	0.5	84.02	65.90
DS	151.16	0.4	60.46	59.28

ในตารางเราจะให้ค่าน้ำหนักแต่ละอุปกรณ์ไม่เท่ากัน และ มีบางอุปกรณ์ก็เท่ากัน, ซึ่งเราจะให้ค่าน้ำหนักจากอุปกรณ์ที่เสียหายบ่อยหาไม่ค่อยเสียหายบวกกับความสำคัญมากน้อยเพียงใดในระบบไฟฟ้าในสถานี, จะเห็นได้จากค่าน้ำหนักในตารางที่ 1

จากกระบวนการวินิจฉัยข้างบน เราจะได้ค่าคะแนนของแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้า, แต่ละอุปกรณ์ที่ผิดปกตินั้นเกิดขึ้นจากการรับภาระทางไฟฟ้ามากเกินไป และ เป็นเวลาอันยาวนานทำให้อุปกรณ์มีการชำรุดจึงทำให้ความร้อนเกิดขึ้น และเมื่อใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนของอุปกรณ์ไฟฟ้าก็จะเห็นได้ถึงความร้อนที่เกิดขึ้นและสามารถจัดเตรียมซ่อมบำรุงรักษาได้ท่วงทันเวลา.

5. สรุปผล

การบำรุงรักษาอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพ และ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา นี่คือการประเด็นหลักของการไฟฟ้าลาว. การบำรุงรักษาอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าโดยการประมวลผลภาพความร้อนเป็นอีกทางเลือกที่ดี ในการตรวจจับความร้อนที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี และ สามารถทำให้เรารู้ล่วงหน้าถึงแนวโน้มความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อีกด้วย.

6. อ้างอิง

- [1] Zou H, Huang F. A novel intelligent fault diagnosis method for electrical equipment using infrared thermography. *Journal of Infrared Physics & Technology*. 2015; 73 : 29-35.
- [2] A.S.N. Huda, S. Taib, and D.B. Ishak, Necessity of Quantitative Based Thermographic Inspection of Electrical Equipments. *PIERS Proceedings*, 2012; 1852: 27-30.
- [3] Jaffery Z. A. and Dubey A. K. Design of early fault detection technique for electrical assets using Infrared thermograms. *Journal of Infrared Physics & Technology*. 2014; 63 : 753–759.
- [4] Jadin M. S and Taib S. Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography. *Journal of Infrared Physics & Technology*. 2012; 55 : 236–245.
- [5] Dutta T, Sil J and Chottopadhyay P. Condition Monitoring of Electrical Equipment using Thermal Image Processing. *IEEE First International Conference on Control*. 2016 978-1-4799-1769-1769.
- [6] Chou Y C and Yao L. Automatic diagnosis of electrical equipment using infrared thermography”, In *Proc. of Int. Conf. on Soft Computing and Pattern Recognition*, IEEE Computer Society. 2009; 155-160.
- [7] Sammouda R, Aboalsamh H and Saeed F. Comparison between K mean and Fuzzy C-Mean methods for segmentation of Near Infrared Fluorescent Image for Diagnosing Prostate Cancer. *IEEE Computer Vision and Image Analysis Applications (ICCVIA)*. 2015; 978-1-4799-7186-7186.
- [8] Wai Kit Wong, Poi Ngee Tan, Chu Kiong Loo and Way Soong Lim. An Effective Surveillance System Using Thermal Camera. *International Conference on Signal Acquisition and Processing*. 2009; 978-0-7695-3594-4.