

# วิเคราะห์ความเสียหายของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ด้วยวิธีตรวจวัดความร้อนและสัญญาณกระแสเตเตเตอร์

## Fault analysis of induction motor 3 phase by measure heat and stator current signal

บุญญฤทธิ วังอน<sup>1\*</sup>, ณัฐพล สิทธิศรีจันทร์<sup>1</sup>, กิตติศักดิ์ ไชยนา<sup>1</sup>, สุชิน คนดี<sup>1</sup>, ธีรวัฒน์ แก้วเขียว<sup>1</sup>,  
เกรียงศักดิ์ ไกรกิจราษฎร์<sup>2</sup>, สมพร เรืองสินชัยวานิช<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12000

E-mail: maxaee@hotmail.com

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา 56000 E-mail: yai\_2063@hotmail.com

<sup>3</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ปทุมธานี 12000 E-mail: sompomru@yahoo.co.uk

**บทคัดย่อ** - บทความนี้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์สมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (Induction Motor 3 phase) ขนาด 1 กิโลวัตต์ (kW) ด้วยวิธีตรวจวัดและวิเคราะห์ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ วิเคราะห์ทางความร้อนเนื่องจากแรงดันไม่สมดุล (Unbalance Voltage) และวิเคราะห์สัญญาณกระแสเตเตเตอร์ (Stator Current Signal Analysis) กรณีความเสียหายเนื่องจากตัวนำโรเตอร์แตก ผลที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ขณะที่มอเตอร์ทำงาน ที่ค่อนข้างใหม่สำหรับอุตสาหกรรมผลิตน้ำแข็ง เนื่องจากไม่จำเป็นต้องหยุดมอเตอร์เพื่อทำการตรวจสอบ ให้เสียเวลาในการผลิต, วิเคราะห์จากข้อมูลจริง ขณะทำงานจริง เช่น ความสั่นสะเทือนขณะทำงานที่โหลดจริง, อุณหภูมิจริงขณะทำงานหรือกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่โหลดจริงในช่วงนั้นๆ ทำให้สามารถประเมินสภาพปัจจุบันของมอเตอร์ได้ตรงความเป็นจริงมากที่สุด เพื่อวางแผนบำรุงรักษา แก้ไขได้ตรงกับปัญหาและสภาพนั้นๆ ได้อย่างเหมาะสม และทันเวลาที่ เป็นต้น

**คำสำคัญ** - มอเตอร์เหนี่ยวนำ, สัญญาณกระแสเตเตเตอร์, แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

**Abstract** - This paper presents a study and analysis of the performance of an induction motor 3 phase, 1 kW by monitoring and the analysis is divided into 2 parts, including analysis of heat due to unbalance voltage and stator current signal analysis. The broken rotor bars are the results from the analysis while the motor is operating. Relatively new for the manufacture of ice. Since they do not

have to stop to check the motor. For a time in the production, analysis of real data. While working as a real shock when working on real, actual temperature during work or going on the real power in it. Enables them to assess the current condition of the motor is the most truthful. Plan to maintain exactly the problem solved and that are appropriate and timely manner so on, etc.

**Keyword** - Induction Motor, Motor Current Signal Analysis, Unbalance Voltage

### 1. บทนำ

มอเตอร์ไฟฟ้าจัดเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในเครื่องจักรกลต่างๆ โดยเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำได้รับความนิยมมากชนิดหนึ่งในบรรดามอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งใช้งานในการขับเคลื่อนเครื่องจักรและระบบการผลิต เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้ มีประสิทธิภาพ มีความน่าเชื่อถือสูง การบำรุงรักษาง่ายและราคาไม่แพงเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่น

เมื่อมีการใช้งานมอเตอร์ไปนานๆ ย่อมมีการเสื่อมสภาพไปตามกาลเวลาและสภาพแวดล้อมที่มอเตอร์นั้นถูกใช้งาน การเสียหายของมอเตอร์นั้นค่อนข้างจะมีความสำคัญมากในเครื่องจักรหรือระบบการทำงานของการผลิตทั้งระบบ ถ้าหากไม่สามารถตรวจสอบสภาพของมอเตอร์ได้ หรือไม่รู้อาณาบริเวณความเสียหายที่กำลังเกิดขึ้นในมอเตอร์ได้ล่วงหน้า อาจนำไปสู่ความเสียหายที่รุนแรงจนอาจเกิดการหยุดการทำงานของมอเตอร์อย่างคาดไม่ถึง ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องจักรและระบบการผลิตโดยรวมตามแผนการผลิตที่ได้ตั้งเป้าไว้การผลิตกล่าวคือ

สร้างความเสียหาย เช่น ผลผลิตไม่ได้ตามเป้า เสียเวลาและโอกาส รวมถึงต้นทุนที่เพิ่มขึ้นด้วย

มอเตอร์เหนี่ยวนำที่พบในโรงงานน้ำแข็งส่วนใหญ่จะใช้ในกระบวนการผลิตน้ำแข็งและการทำความเย็นในระบบรวมถึงระบบปั๊มต่างๆ ที่ใช้ในการสูบน้ำ การเสียหายของมอเตอร์อาจเกิดได้ทุกช่วงเวลา ดังนั้นหากตรวจพบความผิดปกติของมอเตอร์ก่อนนั้นจะทำให้วางแผนซ่อมแซมและบำรุงรักษาให้ทันที่

ปี 1997 W. H. Kersting and W. H. Phillips [1] ได้พัฒนาการนำวิธีส่วนประกอบสมมาตร (Symmetrical Component) มาประยุกต์ใช้กับสมการมอเตอร์เหนี่ยวนำในขณะได้รับแรงดันไฟฟ้าผิดปกติ โดยนำสมการวิธีส่วนประกอบสมมาตรวิเคราะห์ในรูปแบบเมทริก (Phase Feme) ให้สามารถคำนวณได้เมื่อมอเตอร์ได้รับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ปี 1997 L. Ching-Yin Lee [2] และในปี 2004 A. Siddique [3] ทำการตรวจสอบหาผลกระทบของความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลร่วมกับ VUF (อัตราส่วนขององค์ประกอบแรงดันไฟฟ้าลำดับลบ) Negative-sequence voltage component) ต่อองค์ประกอบแรงดันไฟฟ้าลำดับบวก (Positive - sequence voltage component) บนสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส และอิทธิพลผลตอบสนองบนระบบกำลัง ภายใต้สภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 8 กรณี

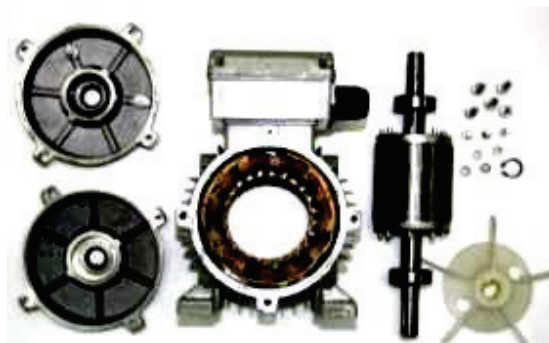
งานวิจัยที่สนับสนุนแนวความคิดการวินิจฉัยความผิดปกติ ในกรณีโรเตอร์บาร์เสียหายมีหลายชิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานวิจัยของ W. T. Thosmson, and Mark Fenger [4], Neelam Mehala, and Ratna Dahiya [5] และ Ashish Kumar, and Mohit Sinha [6] ได้ศึกษา ผลกระทบของตัวนำโรเตอร์เสียหาย โดยใช้เทคนิคการวินิจฉัยสเปกตรัมกระแสเดเตอร์ (MCSA)

ปัจจุบันเทคโนโลยีในการวิเคราะห์มอเตอร์โดยส่วนใหญ่โรงงานอุตสาหกรรมจะตรวจวัดเบื้องต้น เช่น วัดค่ากระแสแรงดัน กำลังไฟฟ้า และความร้อน โดยค่าที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนและการนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์ค่อนข้างยาก อีกทั้งยังขาดอุปกรณ์และเทคโนโลยีขั้นสูงที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาและวิเคราะห์ความร้อนเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ที่ส่งผลให้เกิดความร้อนที่มอเตอร์ สามารถจำทดสอบโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สมดุลและใช้กล้องตรวจจับความร้อนถ่ายภาพเพื่อวิเคราะห์ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงการจ่ายแรงดันไม่สมดุลให้กับมอเตอร์ การศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณกระแสเดเตอร์ กรณีความเสียหายเนื่องจากตัวนำโรเตอร์แตก สามารถใช้เทคนิควิเคราะห์สัญญาณกระแสเดเตอร์ เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ การตรวจสอบมอเตอร์ด้วยวิธีดังกล่าวสามารถบอกความผิดปกติและวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาให้ทันที่

## 2. กรณีศึกษามอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวต้นแบบ มีขนาดพิกัดที่สำคัญ คือ กำลังไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ ระบบ 3 เฟส ความถี่ไฟฟ้า 50 เฮิร์ตซ์ ความเร็วรอบ 1,470 รอบต่อนาที รูปทรงโรเตอร์เป็นแบบชนิดบี (B Type) ดังตารางที่ 1



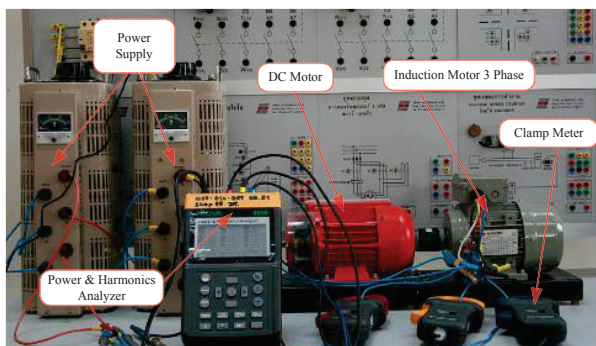
รูปที่ 1 มอเตอร์ตัวต้นแบบและส่วนประกอบต่างๆ ของมอเตอร์

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวต้นแบบ

Parameter	Value
Rated power	1 kW
Rated voltage	220 V
Rated frequency	50 Hz
Rated speed	1,370 rpm
Number of poles	4
Number of stator slots	24
Number of rotor bars	22

## 3. การวิเคราะห์ทางด้านความร้อน

การวิเคราะห์โดยกล้องวัดความร้อน ในงานวิจัยนี้จะทำการวัดในห้องปฏิบัติการ โดยทดสอบกับมอเตอร์ต้นแบบ (มอเตอร์เหนี่ยวนำ Class B ให้ทำงานในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล สภาวะต่างๆ บางกรณี เพราะกล้องวัดความร้อนที่ใช้วัด เป็นเครื่องที่ขอความอนุเคราะห์จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จึงมีเวลาจำกัดในการทดลอง ทางผู้วิจัยจึงเลือกวัดตามความเหมาะสม



รูปที่ 2 การทดสอบแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

รูปที่ 2 การทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสในสภาวะแรงดันไฟฟ้าแบบไม่สมดุล สามารถคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าได้จากนิยามที่เกี่ยวข้องกับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ตามมาตรฐานของ IEEE Std 141 ได้ให้นิยามของเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าเฟส (Phase Voltage Unbalance in Percent : PVUR (%)) ไว้ดังนี้

$$PVUR(\%) = \frac{\text{maximum voltage deviation average phase voltage}}{\text{average phase voltage magnitude}} * 100 \quad (1)$$

$$PVUR(\%) = \frac{\max[|V_a - V_{avg}|, |V_b - V_{avg}|, |V_c - V_{avg}|]}{V_{avg}} * 100\%$$

เมื่อ  $V_{avg} = \frac{V_a + V_b + V_c}{3}$

ในงานวิจัยนี้แบ่งรูปแบบการทดสอบตามเหตุการณ์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ที่ป้อนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ แบ่งออกเป็น 4 กรณี คือ

- 1) แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส ( 1 - Under Voltage Unbalance )
- 2) แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส ( 2 - Under Voltage Unbalance )
- 3) แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 1 เฟส ( 1 - Over Voltage Unbalance )
- 4) แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 2 เฟส ( 2 - Over Voltage Unbalance )

สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 1% - 5% ได้ บทความนี้นำเสนอที่ 5% เนื่องจากส่งผลกระทบต่อมอเตอร์มากที่สุด

#### 4. การวิเคราะห์สัญญาณกระแสสแตเตอร์

การวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยกระแสสแตเตอร์ คือ การทดลองการตรวจจับความเสียหายของแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหักในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ใช้วิธีการวิเคราะห์สัญญาณกระแส กล่าวคือ กรณีแท่งตัวนำผิดปกติหรือแตกหักเกิดขึ้นแบบติดกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสสแตเตอร์ที่ความถี่ตามสมการที่ (2) ซึ่งสเปกตรัมที่เกิดขึ้นนี้จะปรากฏบริเวณรอบความถี่มูลฐานจะอยู่ในทอมขององค์ประกอบแบนด์ข้างต่ำ (Lower Side Band, LSB) และแบนด์ข้างสูง (Upper Side Band, USB) [4-6] แสดงดังรูปที่ 3

$$f_{sb} = (1 \pm 2ks)f_s \quad (2)$$

เมื่อ  $f_{sb}$  คือ ความถี่ที่เกิดจากแท่งตัวนำเสียหาย (Hz)

$f_s$  คือ ความถี่ของแหล่งจ่าย (Hz)

$s$  คือ ค่าสลิปของมอเตอร์ และ  $k = 1, 2, 3, \dots$

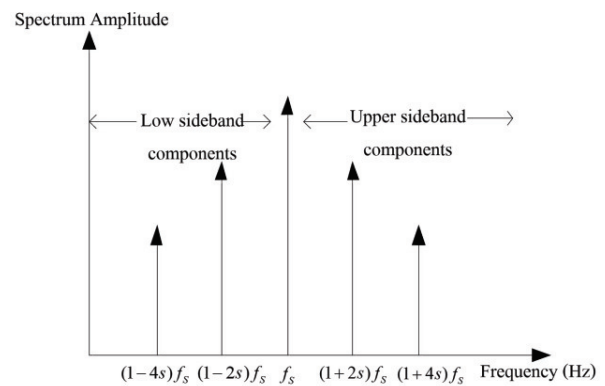
ค่าสลิป ( $s$ ) นิยามโดยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วทางกล ( $n_m$ ) กับความเร็วซิงโครนัส ( $n_s$ )

$$s = \frac{n_s - n_m}{n_s} \quad (3)$$

ความเร็วซิงโครนัส ( $n_s$ ) มีสัมพันธ์กับความถี่ของแหล่งจ่ายดังนี้

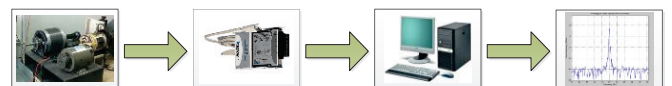
$$n_s = \frac{120 \times f_s}{p} \quad (4)$$

เมื่อ  $p$  คือ จำนวนโพลของมอเตอร์

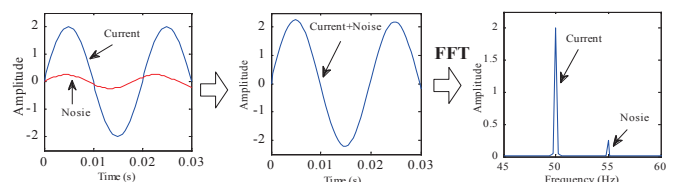


รูปที่ 3 สเปกตรัมแบนด์ข้างเนื่องจากตัวนำโรเตอร์เสียหาย

รูปที่ 4 แสดงการรูปแบบการเก็บข้อมูลสัญญาณกระแสสแตเตอร์ กรณีศึกษาความเสียหายเนื่องจากตัวนำโรเตอร์แตก รูปที่ 5 แสดงการตรวจสอบสัญญาณกระแสสแตเตอร์ที่ได้มาจากเรื่องวัดสัญญาณกระแสมากรองสัญญาณสัญญาณ โดยข้อมูลของกระแสไฟฟ้าจะถูกบันทึกโดยใช้ออสซิลอสโคป ซึ่งมีอัตราการสุ่ม (Sampling) 2 kHz และได้บันทึกขนาดข้อมูลทั้งหมด 10,000 ข้อมูล ดังนั้นค่าความละเอียดของความถี่ (Frequency Resolution) มีค่าเท่ากับ 0.2 Hz สามารถที่จะค้นพบฮาร์มอนิกที่แสดงให้เห็นถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวนำโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จากนั้นทำการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์และแปลงให้อยู่ในโดเมนความถี่ โดยการใช้การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier -Transform: FFT) เพื่อวิเคราะห์หาสเปกตรัมความผิดปกติของมอเตอร์ที่เกิดขึ้น

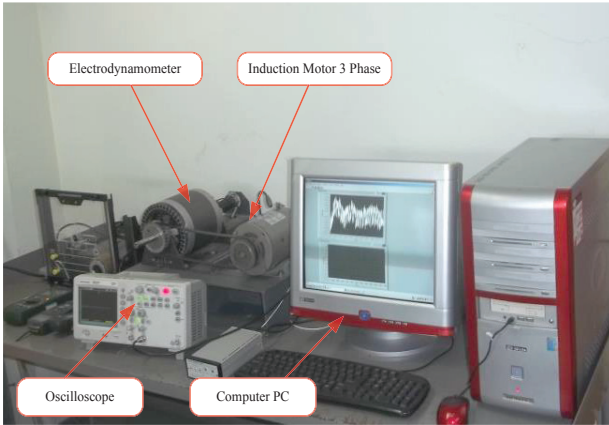


รูปที่ 4 การเก็บข้อมูลสัญญาณกระแสสแตเตอร์



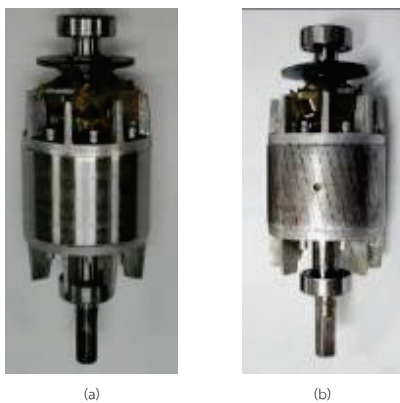
รูปที่ 5 สเปกตรัมแบนด์ข้างเนื่องจากตัวนำโรเตอร์เสียหาย

รูปที่ 6 การตรวจวัดสัญญาณกระแสเตเตอร์ ความเสียหายเนื่องจากตัวนำโรเตอร์แตก กรณีจำลองความเสียหายที่ตัวนำโรเตอร์ชุดตรวจสอบประกอบด้วย 7 ส่วนหลัก คือ มอเตอร์เหนี่ยวนำ, แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power Supply), โพรบวัดกระแส (Current Probe), ชุดปรับโหลดของมอเตอร์ (Electrodynamometer), เครื่องวัดความเร็วรอบ (Hand Tachometer), ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) และคอมพิวเตอร์ (Computer)



รูปที่ 6 การตรวจสอบสัญญาณกระแสเตเตอร์

การทดลองเมื่อตัวนำโรเตอร์แตกติดกัน พิจารณาเฉพาะมอเตอร์ 3 เฟส เนื่องจากในการทดลองมีความสะดวกในการตรวจวัดกระแสเตเตอร์โดยสามารถวัดค่ากระแสเตเตอร์ รูปที่ 7 แสดงโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ใช้ในการทดลอง โดยการจำลองความเสียหายให้กับตัวนำโรเตอร์ให้แตกแบบติดกัน มอเตอร์ปกติ (HT), ตัวนำโรเตอร์แตก 1 ตัวนำ (1BB), ตัวนำโรเตอร์แตก 2 ตัวนำ (2BB) และตัวนำโรเตอร์แตก 3 ตัวนำ (3BB) เพื่อตรวจสอบสัญญาณกระแสเตเตอร์ผลกระทบเนื่องจากตัวนำโรเตอร์แตก



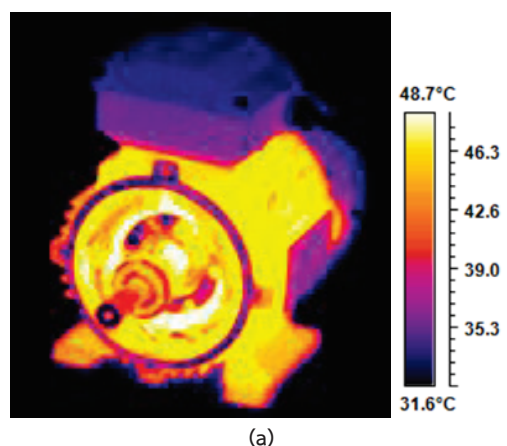
รูปที่ 7 โรเตอร์ที่ใช้ในการทดลองกรณีตัวนำโรเตอร์แตก (a) HT (b) 1BB (c) 2BB (d) 3BB

## 5. ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

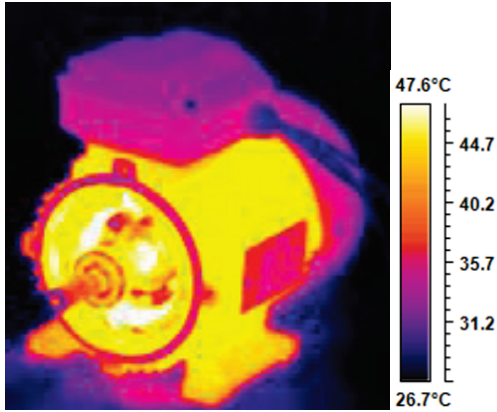
### 5.1 วิเคราะห์ทางความร้อน

ผลการหาค่าความร้อนสูงสุดโดยใช้กล้องตรวจจับความร้อนในการวิเคราะห์ในส่วนนี้ทางทีมงานวิจัยได้วิเคราะห์เฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำประเภท B ที่เป็นมอเตอร์ต้นแบบของงานวิจัยซึ่งมอเตอร์ประเภทนี้มีการใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายเพื่อหาค่าความร้อนสูงสุดจากแบบจำลองการทำงานของมอเตอร์สภาวะแรงดันสมดุลและไม่สมดุล

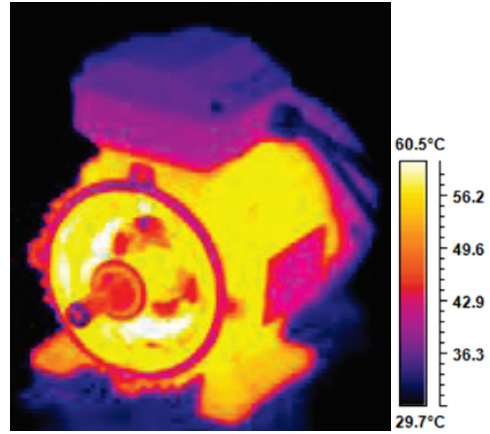
ในรูปที่ 8 แสดงภาพการถ่ายเทความร้อนจากกล้องตรวจจับความร้อนขณะไม่มีโหลดทางกล โดยในรูป 8a แสดงความร้อนที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงานในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล (BV) รูป 8b แสดงความร้อนที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงานในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส 5 % (U1P5%) และรูป 8c, 8d และ 8e แสดงความร้อนที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงานในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส 5% (U2P5%), สูงกว่าปกติ 1 เฟส 5 % (O1P5%) และ สูงกว่าปกติ 2 เฟส 5 % (O2P5%) ตามลำดับ



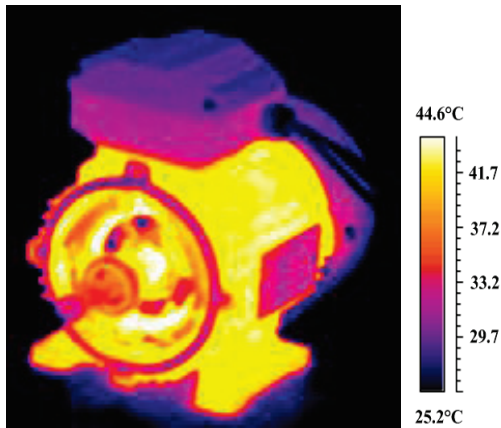




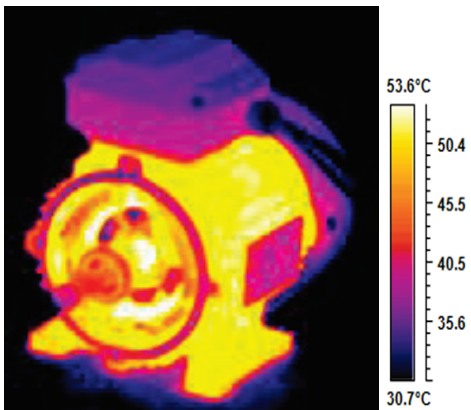
(b)



(e)



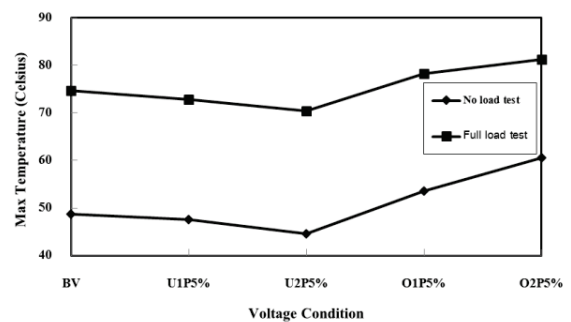
(c)



(d)

รูปที่ 8 ผลของอุณหภูมิโดยกล้องวัดความร้อนขณะไม่มีโหลด  
(a) BV (b) U1P5% (c) U2P5% (d) O1P5% (e) O2P5%

จากการวิเคราะห์ทางด้านความร้อนโดยใช้กล้องตรวจจับความร้อนสามารถสรุปออกมาเป็นกราฟเปรียบเทียบค่าความร้อนสูงสุดของสภาวะการจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่างๆ ที่กรณีโหลดเต็มพิกัด (Full Load) และ กรณีไม่มีโหลด (No Load) ดังรูปที่ 9

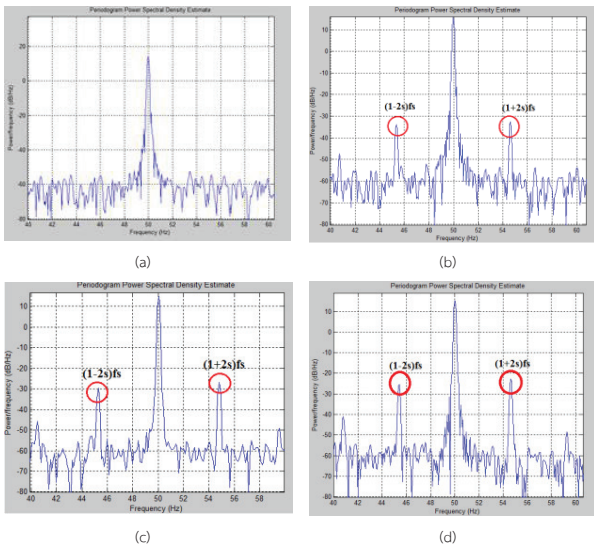


รูปที่ 9 ค่าความร้อนสูงสุดโดยกล้องวัดความร้อน

จากรูปที่ 9 พบว่าเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าสมมูล (BV) ค่าความร้อนอยู่ที่ 48.7 °C เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่สมมูลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส 5 % (U1P5%) ค่าความร้อนจะลดลงกว่าแรงดันปกติอยู่ที่ 47.6 °C และเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่สมมูลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส 5% (U2P5%) ค่าความร้อนจะลดลงมากที่สุดอยู่ที่ 44.6 °C แต่เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 1 เฟส 5% (O1P5%) ค่าความร้อนจะเพิ่มขึ้นกว่าแรงดันปกติที่สุดอยู่ที่ 53.6 °C และเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 2 เฟส 5% (O2P5%) ค่าความร้อนจะมากที่สุดอยู่ที่ 60.5 °C ค่าความร้อนของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าไม่สมมูล โดยส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการแหล่งจ่ายของการไฟฟ้าและแหล่งจ่ายของโรงงานที่ไม่ควบคุมระดับแรงดันให้สมมูล ส่งผลให้มอเตอร์เกิดความร้อนรวมทั้งอายุการใช้งานของมอเตอร์ก็สั้นลง

## 5.2. วิเคราะห์สัญญาณกระแสเตเตอร์

ผลของสเปกตรัมกระแสเตเตอร์เมื่อตัวนำโรเตอร์เสียหาย เมื่อพบว่ามีตัวนำโรเตอร์แตกเกิดขึ้น กระแสเตเตอร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลของการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กของโรเตอร์ที่ไม่สมมาตร ทำให้ปรากฏฮาร์โมนิกเกิดขึ้นบริเวณรอบความถี่มูลฐานที่ความถี่เท่ากับ  $(1-2s)f_s$  (Lower-Sideband, LSB) และ  $(1+2s)f_s$  (Upper-Sideband, USB) [7] ผลของฮาร์โมนิกที่ปรากฏขึ้นในกระแสเตเตอร์สามารถใช้ในการตรวจสอบความเสียหายของโรเตอร์ได้ จากการตรวจจับสเปกตรัมกระแสเตเตอร์ แสดงดังรูปที่ 10 a พบว่าขนาดของสเปกตรัมกระแสเตเตอร์ที่มีขนาดต่ำกว่า 60 เดซิเบล (dB) จะหมายถึงสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดจากระบบหรืออุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นมอเตอร์ปกติ (HV) รูปที่ 10 b, 10 c และ 10 d เป็นมอเตอร์ที่เกิดความเสียหายตัวนำโรเตอร์แตก 1 ตัวนำ (1BB), ตัวนำโรเตอร์แตก 2 ตัวนำ (2BB) และตัวนำโรเตอร์แตก 3 ตัวนำ (3BB) ตามลำดับ



รูปที่ 10 ผลจากการตรวจวัดสัญญาณกระแสเตเตอร์  
(a) HT (b) 1BB (c) 2BB (d) 3BB

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองตำแหน่งความเสียหาย ของตัวนำโรเตอร์

% Load	Experimental Frequency		Calculated Frequency		% Error	
	$(1-2s)f_s$ (LSB)	$(1+2s)f_s$ (USB)	$(1-2s)f_s$ (LSB)	$(1+2s)f_s$ (USB)	$(1-2s)f_s$ (LSB)	$(1+2s)f_s$ (USB)
0%	49.62	50.54	49.60	50.40	0.040	0.227
20%	47.95	52.00	48.13	51.87	0.375	0.250
40%	47.15	52.86	47.07	52.53	0.170	0.624
60%	46.65	53.35	46.47	53.53	0.386	0.337
80%	45.96	54.10	46.00	54.00	0.087	0.185
100%	45.35	54.60	45.40	54.60	0.110	0.000

จากตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบผลจากการคำนวณ ตำแหน่งความถี่ฮาร์โมนิกที่ติดกับผลการทดลองตำแหน่งความถี่ที่ได้จากการทดลอง พบว่าเมื่อทดลองปรับโหลด ตั้งแต่ 0, 20, 40, 60, 80, และ 100% ตำแหน่งของความถี่ฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้น เนื่องจากตัวนำโรเตอร์แตก 1 BB, 2 BB และ 3 BB พบความเสียหายทุกกรณี เป็นไปตามสมการที่ (2) โดยผลจากการคำนวณและผลการทดลองมีความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สามารถบอกความเสียหายของโรเตอร์เพื่อวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาให้ทันท่วงที

## 6. สรุป

มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง มีโอกาสได้รับความเสียหายจากตัวนำโรเตอร์แตก และการจ่ายแรงดันที่ไม่สมดุลให้กับมอเตอร์ การใช้งานควรมีการตรวจสอบและวิเคราะห์ที่อยู่เป็นประจำเพื่อให้มอเตอร์พร้อมใช้งานและมีการซ่อมบำรุงรักษาอย่างทันท่วงที

การศึกษาและวิเคราะห์ผลทางความร้อน กรณีจ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลให้กับมอเตอร์ ผลตอบสนองที่เกิดขึ้นทำให้เกิดความร้อนที่โรเตอร์และสเตเตอร์ของมอเตอร์ แตกต่างจากการตรวจวัดความร้อนแบบธรรมดาที่วัดค่าอุณหภูมิที่เฟรมของมอเตอร์ ทำให้ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ส่งผลให้อายุการใช้งานของมอเตอร์สั้นลงและมอเตอร์ทำงานประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการจ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลให้กับมอเตอร์

การศึกษาและวิเคราะห์ผลของสัญญาณกระแสเตเตอร์ เนื่องจากตัวนำโรเตอร์แตก แตกต่างจากการตรวจวัดที่ต้องหยุดกระบวนการผลิตโดยให้ความชำนาญของผู้ซ่อมบำรุงเข้ามาตรวจวัดและประเมินสภาพทางกายภาพของมอเตอร์ เนื่องจากมอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนทำให้อาจเกิดความเสียหายที่ตัวนำโรเตอร์ ส่งผลให้เกิดสัญญาณฮาร์โมนิกที่ปนมากับสัญญาณกระแสเตเตอร์ จากการวิเคราะห์สามารถตรวจพบความผิดปกติที่เกิดขึ้น สามารถวางแผนการซ่อมบำรุงก่อนที่ความเสียหายจะรุนแรงมากยิ่งขึ้น

## 7. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ โดยได้รับทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก “โครงการยกระดับปริญญาโทเป็นงานวิจัยตีพิมพ์ งานสร้างสรรค์ และงานบริการวิชาการสู่ชุมชน 2558” โดยความอนุเคราะห์จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดพิษณุโลก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. H. Kersting and W. H. Phillips. Phase frame analysis of the effects of voltage unbalance on induction machines. *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol. 33, pp. 415-420, 1997.
- [2] L. Ching-Yin, Bin-Kwie Chen, Wei-Jen Lee and Yen-Feng Hsu. Effects of various unbalanced voltages on the operation performance of an induction motor under the same voltage unbalance factor condition. In *Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, 1997.* pp. 51-59.
- [3] Mat Siddique, G.S.Yadava and Bhim Singh. Effects of voltage unbalance on induction motors. in *Electrical Insulation, IEEE International Symposium on*, 2004, pp. 26-29.
- [4] W. T. Thosmson, and Mark Fenger, "Current Signature Analysis to Detect Induction motor Faults" *IEEE Industry Application Magazine*, Volume 7, Issue 4, 2001, Page(s):26-34
- [5] Neelam Mehala, and Ratna Dahiya, "Motor Current Signature Analysis and its Applications in Induction Motor Fault Diagnosis" *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development*, Volume 2, Issue 1, 2007, Page(s):29-35
- [6] Ashish Kumar, and Mohit Sinha, "A New Burg Method based Approach to MCSA for Broken Rotor Bar Detection", 2012 *IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems*, Bengaluru, India, 2012, Page(s):1-4