

การวิเคราะห์ความเสียหายของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ด้วยวิธีตรวจวัดอุณหภูมิ และสัญญาณกระแสเตเตอร์

Fault Analysis of 3 Phase Induction Motor by Measuring of Temperature and Stator Current Signal

บุญญฤทธิ์ วังอน¹ ณัฐพล สิทธิศรีจันทร์¹ กิตติศักดิ์ ไชยนา¹ เกรียงศักดิ์ ไกรกิจราษฎร์² และ สมพร เรืองสินชัยวานิช³

Received: August, 2015; Accepted: October, 2015

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (3 Phase Induction Motor) ขนาด 10 แรงม้า (HP) ด้วยวิธีตรวจวัดและวิเคราะห์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ วิเคราะห์อุณหภูมิมอเตอร์และวิเคราะห์สัญญาณกระแสเตเตอร์ (Stator Current Signal Analysis) กรณีความเสียหายเนื่องจากตัวนำโรเตอร์แตก ผลที่ได้จากการทดลองการตรวจสอบอุณหภูมิมอเตอร์เนื่องจากแรงดันไม่สมดุล ค่าความร้อนขณะมอเตอร์ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติทำให้ค่าความร้อนของมอเตอร์เพิ่มสูงขึ้น และการตรวจสอบสัญญาณกระแสเตเตอร์โดยการจำลองความเสียหายของตัวนำโรเตอร์แตกสถานะไม่มีโหลดทางกล พบฮาร์มอนิกส์ของความถี่มูลฐานแบนด์ด้านข้างต่ำและแบนด์ด้านข้างสูงที่ตัวนำโรเตอร์แตก 1 - 3 ตัวนำ หากตัวนำโรเตอร์แตกเพิ่มขึ้นฮาร์มอนิกส์ก็เพิ่มสูงขึ้นตามผลจากการศึกษาความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เพื่อวางแผนบำรุงรักษาแก้ไขได้ตรงกับปัญหาและสภาพนั้น ๆ ได้อย่างเหมาะสมและทันทั่วทั้งที่

คำสำคัญ : มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส; แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล; สัญญาณกระแสเตเตอร์

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา

³ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

E-mail: maxaee_@hotmail.com

Abstract

This paper presents a study and fault analysis of 3 phase 10 HP induction motor by monitoring and the analysis. It is divided into 2 parts, analysis of temperature sensing due to unbalance voltage and stator current signal analysis damage rotor bars. The results of the experiment. Showed that heat while the motor is running at over normal voltage, imbalance causes the motor to heat up and detect the stator current signal by simulation of the broken rotor bars of the no load. Found the harmonic of the fundamental frequency lower side band (LSB) and upper side band (USB) at the rotor broken bars 1-3 conductor if the conductor rotor broken bars up the harmonic is also rising accordingly. The results indicate a disorder that occurs with the motor.

Keywords: 3 Phase Induction Motor; Unbalance Voltage; Motor Current Signal Analysis

บทนำ

มอเตอร์ไฟฟ้าจัดเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในเครื่องจักรกลต่าง ๆ โดยเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำได้รับความนิยมมากชนิดหนึ่งในบรรดามอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งใช้งานในการขับเคลื่อนเครื่องจักรและระบบการผลิตเนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้ มีประสิทธิภาพ มีความน่าเชื่อถือสูง การบำรุงรักษาง่ายและราคาไม่แพง เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่น

มอเตอร์เหนี่ยวนำที่พบในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้ในกระบวนการผลิตและการทำความเย็นในระบบ รวมถึงระบบปั๊มต่าง ๆ ที่ใช้ในการสูบน้ำ การเสียหายของมอเตอร์อาจเกิดได้ทุกช่วงเวลา ดังนั้นหากตรวจพบความผิดปกติของมอเตอร์ก่อนนั้นจะทำให้วางแผนซ่อมแซมและบำรุงรักษา

เมื่อแรงดันไฟฟ้าในระบบเกิดความไม่สมดุล (Unbalance Voltage) ย่อมส่งผลเสียต่อภาพรวมของระบบ เพราะความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย จะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า โดยเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย หากมอเตอร์ทำงานในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์เปลี่ยนไปและอาจเกิดความเสียหายกับมอเตอร์ หากมีการใช้งานมอเตอร์ไปนาน ๆ ย่อมมีการเสื่อมสภาพไปตามกาลเวลาและสภาพแวดล้อมที่มอเตอร์นี้ถูกใช้งาน การเสียหายของมอเตอร์นั้นค่อนข้างจะมีความสำคัญมากในเครื่องจักรหรือระบบการทำงานของผลิตทั้งระบบ ถ้าหากไม่สามารถตรวจสอบสภาพของมอเตอร์ได้ หรือไม่ทราบสาเหตุของความเสียหายที่กำลังเกิดขึ้นในมอเตอร์ได้ล่วงหน้า อาจนำไปสู่ความเสียหายที่รุนแรงจนอาจเกิดการหยุดการทำงานของมอเตอร์อย่างคาดไม่ถึง ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องจักรและระบบการผลิตโดยรวมตามแผนการผลิตที่ได้ตั้งเป้าการผลิตกล่าวคือ สร้างความเสียหาย เช่น ผลิตไม่ได้ตามเป้า เสียเวลาและโอกาส รวมถึงต้นทุนที่เพิ่มขึ้นด้วย

นักวิจัยหลายท่านให้ความสนใจกับผลกระทบที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ เมื่อทำงานในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล อาทิเช่น ในปี 1997 Kersting, W.H. และ Phillips, W.H. (Kersting, W. H. and Phillips, W.H., 1997) ได้พัฒนาการนำวิธีส่วนประกอบสมมาตร (Symmetrical Component) มาประยุกต์ใช้กับสมการมอเตอร์เหนี่ยวนำในขณะได้รับแรงดันไฟฟ้าผิดปกติ โดยนำสมการวิธีส่วนประกอบสมมาตรวิเคราะห์ในรูปแบบเมทริกซ์ ให้สามารถคำนวณได้เมื่อมอเตอร์ได้รับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

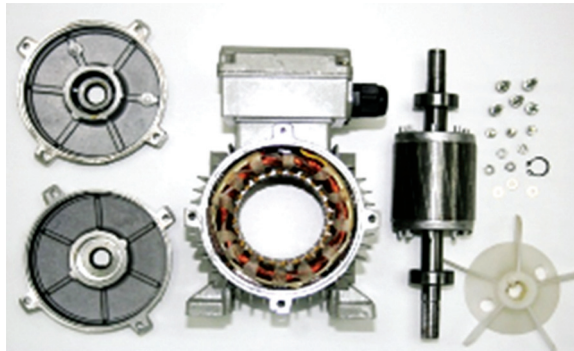
ในปีเดียวกัน Lee, C.-Y. et al. (Lee, C.-Y. et al., 1997) ได้แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบแรงดันไฟฟ้าลำดับลบ (Negative - Sequence Voltage Component) และองค์ประกอบแรงดันไฟฟ้าลำดับบวก (Positive - Sequence Voltage Component) หรือ Voltage Unbalance Factor (VUF) ส่งผลให้เกิดความร้อนผิดปกติกับมอเตอร์ขณะได้รับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

งานวิจัยทางการวินิจฉัยความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ในปัจจุบันมีเทคนิคการวินิจฉัยความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายวิธี เช่น การวิเคราะห์กระแส (Current Signal Analysis) การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (Vibration Analysis) และวิเคราะห์เสียง (Acoustic Analysis) ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับการใช้งาน และความเหมาะสมในการตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ เนื่องจากการตรวจพบความผิดปกติของมอเตอร์ก่อนการเสียหายที่รุนแรงจะส่งผลดีทางด้านอุตสาหกรรม ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์มีหลายชิ้น โดยมีนักวิจัยทั้งสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและสาขาอื่น ๆ วิเคราะห์และตรวจสอบความผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ไฟฟ้า โดยแบ่งออกตามส่วนประกอบที่สำคัญและมักจะพบความเสียหายอยู่บ่อย ๆ เช่น แบริ่ง (Bearing) โรเตอร์บาร์ (Rotor Bar) ขดลวดสเตเตอร์ (Stator Winding) และมีการใช้เทคนิคการวิเคราะห์กระแสเดเตอร์ในมอเตอร์ในการวิเคราะห์ความผิดปกติต่าง ๆ เนื่องจากวิธีนี้มีข้อดีคือสามารถพบฮาร์โมนิกส์ได้แม่นยำและถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเสียหายของตัวนำโรเตอร์ในอินดักชันมอเตอร์ พร้อมแสดงความสัมพันธ์ของความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดปกติในมอเตอร์ (Thomson, W.T. and Fenger, M., 2001; Neelam, M. and Ratna, D., 2007; Culbert, I. et al., 2005; Wangngon, B. and Ruangsinchaiwanich, S., 2013)

ด้วยเหตุนี้การศึกษาและวิเคราะห์ความเสียหายของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบ่งออกเป็น 2 กรณี กรณีความร้อนเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ที่ส่งผลให้เกิดความร้อนที่มอเตอร์ สามารถทำการทดสอบโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สมดุลและใช้กล้องตรวจจับความร้อนถ่ายภาพเพื่อวิเคราะห์ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงการจ่ายแรงดันไม่สมดุลให้กับมอเตอร์ และกรณีวิเคราะห์สัญญาณกระแสเดเตอร์ กรณีความเสียหายเนื่องจากตัวนำโรเตอร์แตก สามารถใช้เทคนิควิเคราะห์สัญญาณกระแสเดเตอร์ เพื่อบ่งบอกความเสียหายที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ การตรวจสอบมอเตอร์ด้วยวิธีดังกล่าวสามารถบ่งบอกความผิดปกติและวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาให้ทันทั่วทั้ง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย

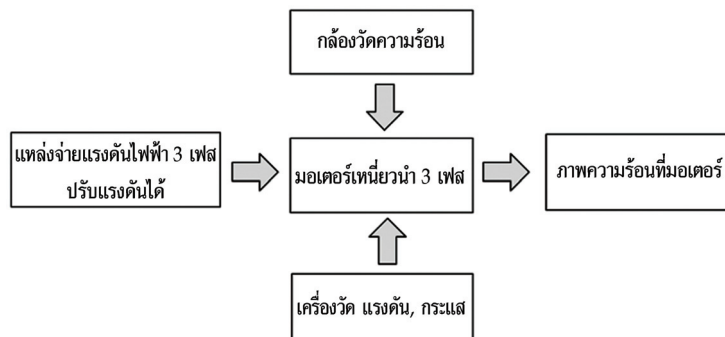
รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในการทดสอบ กรณีตรวจวัดความร้อนเนื่องจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล และกรณีตรวจสอบสัญญาณกระแสเดเตอร์กรณีตัวนำโรเตอร์แตก มีขนาดพิกัด คือ กำลังไฟฟ้า 7.5 กิโลวัตต์ (10 HP) ระบบ 3 เฟส ความถี่ไฟฟ้า 50 เฮิร์ตซ์ ความเร็วรอบ 1,470 รอบต่อนาที รูปทรงโรเตอร์เป็นแบบชนิดบี (B Type)



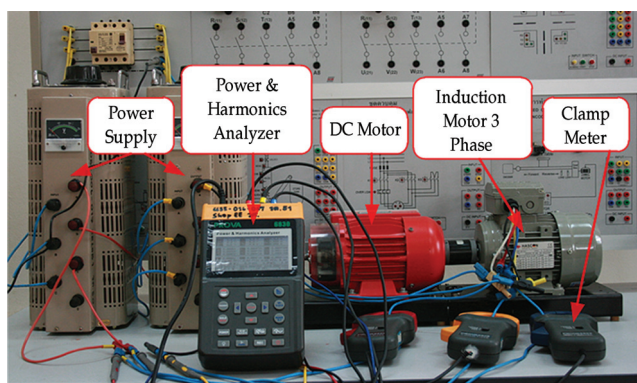
รูปที่ 1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 10 แรงม้า

1. วิเคราะห์ทางความร้อน

โดยกล้องวัดความร้อน ในงานวิจัยนี้ทำการวัดในห้องปฏิบัติการ โดยทดสอบกับมอเตอร์ให้ทำงานในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลในสภาวะกรณีไม่มีโหลด เนื่องจากกล้องวัดความร้อนที่ใช้ในการวัดเป็นเครื่องที่ขอความอนุเคราะห์จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พิษณุโลก จึงมีเวลาจำกัดในการทดลองทางผู้วิจัยจึงเลือกวัดตามความเหมาะสม



รูปที่ 2 ไดอะแกรมการตรวจสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล



รูปที่ 3 การตรวจสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

รูปที่ 3 การทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าแบบไม่สมดุล สามารถคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าได้จากนิยามที่เกี่ยวข้องกับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

ตามมาตรฐานของ IEEE Std 141 (Power Systems Engineering Committee of the Industrial and Commercial Power Systems Department of the IEEE Industry Applications Society, 1994) ได้ให้นิยามของเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าเฟส (Phase Voltage Unbalance in Percent : PVUR (%)) ไว้ดังนี้

$$PVUR(\%) = \frac{\max[|V_a - V_{pavg}|, |V_b - V_{pavg}|, |V_c - V_{pavg}|]}{V_{pavg}} * 100\% \quad (1)$$

เมื่อ

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

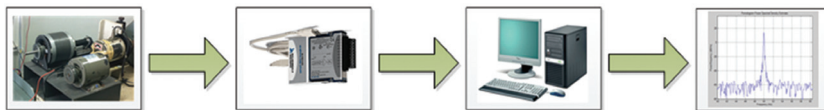
ในงานวิจัยนี้แบ่งรูปแบบการทดสอบตามเหตุการณ์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ที่ป้อนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ แบ่งออกเป็น 4 กรณี คือ

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

การทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล โดยอ้างอิงตามมาตรฐานของ IEEE Std 141 โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สมดุลที่ 5% เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ระดับนี้ถือว่าส่งผลต่ออุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้ามากที่สุด

2. วิเคราะห์สัญญาณกระแสเดเตอร์

การทดสอบสัญญาณกระแสเดเตอร์กรณีตัวนำโรเตอร์แตก ขั้นตอนการตรวจวัดดังรูปที่ 4 เมื่อจำลองความเสียหายของโรเตอร์จากนั้นใช้อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลร่วมกับคอมพิวเตอร์ และแปลงสัญญาณกระแสออกมาในรูปโดเมนเวลา เพื่อนำมาวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4 โดอะแกรมการตรวจสอบสัญญาณกระแสเดเตอร์กรณีตัวนำโรเตอร์แตก



รูปที่ 5 การตรวจสอบสัญญาณกระแสเตเตอร์กรณีตัวนำโรเตอร์แตก

รูปที่ 5 การตรวจสอบสัญญาณกระแสเตเตอร์ ความเสียหายเนื่องจากตัวนำโรเตอร์แตก กรณีจำลองความเสียหายที่ตัวนำโรเตอร์ชุดตรวจสอบประกอบด้วย 7 ส่วนหลัก คือ มอเตอร์เหนี่ยวนำ แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power Supply) โพรบวัดกระแส (Current Probe) ชุดปรับโหลดของมอเตอร์ (Electrodynamometer) เครื่องวัดความเร็วรอบ (Hand Tachometer) ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) และคอมพิวเตอร์ (Computer)

การจำลองความเสียหายตัวนำโรเตอร์แตกติดกัน โดยทำให้ตัวนำโรเตอร์ขาดออกจากกัน พิจารณาเฉพาะมอเตอร์ 3 เฟส เนื่องจากในการทดลองมีความสะดวกในการตรวจวัดกระแสเตเตอร์โดยสามารถวัดค่ากระแสเตเตอร์ รูปที่ 6 แสดงโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในการทดลอง โดยการจำลองความเสียหายให้กับตัวนำโรเตอร์ให้แตกแบบติดกัน มอเตอร์ปกติ (Healthy : HT) ตัวนำโรเตอร์แตก 1 ตัวนำ (1 Broken Bar : 1BB) ตัวนำโรเตอร์แตก 2 ตัวนำ (2 Broken Bar : 2BB) และตัวนำโรเตอร์แตก 3 ตัวนำ (3 Broken Bar : 3BB) เพื่อตรวจสอบสัญญาณกระแสเตเตอร์ผลกระทบเนื่องจากตัวนำโรเตอร์แตก



รูปที่ 6 โรเตอร์ที่ใช้ในการทดลองกรณีตัวนำโรเตอร์แตก (ก) HT (ข) 1BB (ค) 2BB (ง) 3BB

การทดลองการตรวจสอบความเสียหายของแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหักในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ใช้วิธีการวิเคราะห์สัญญาณกระแส กล่าวคือ กรณีแท่งตัวนำผิดปกติหรือแตกหักเกิดขึ้นแบบติดกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสเดเตอร์ที่ความถี่ดังสมการที่ (2) ซึ่งสเปคตรัมที่เกิดขึ้นนี้จะปรากฏบริเวณรอบความถี่มูลฐานจะอยู่ในเทอมขององค์ประกอบแบนด์ข้างด้านต่ำ (Lower Side Band, LSB) และแบนด์ข้างด้านสูง (Upper Side Band, USB)

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

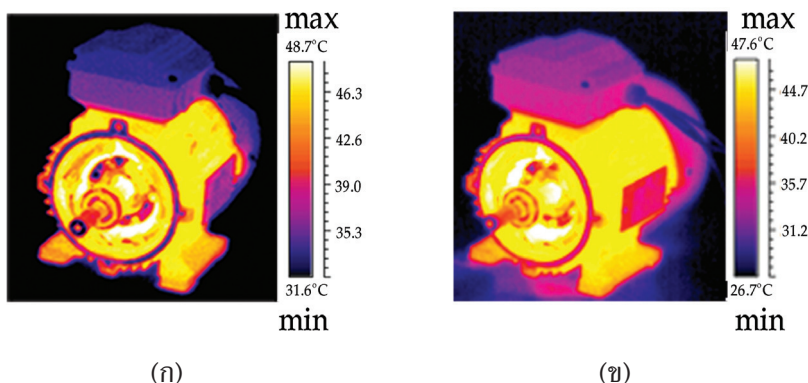
เมื่อ

f_{sb}	คือ	ความถี่ที่เกิดจากแท่งตัวนำเสียหาย (Hz)
f_s	คือ	ความถี่ของแหล่งจ่าย (Hz)
s	คือ	ค่าสลิปของมอเตอร์ และ $k = 1, 2, 3, \dots$

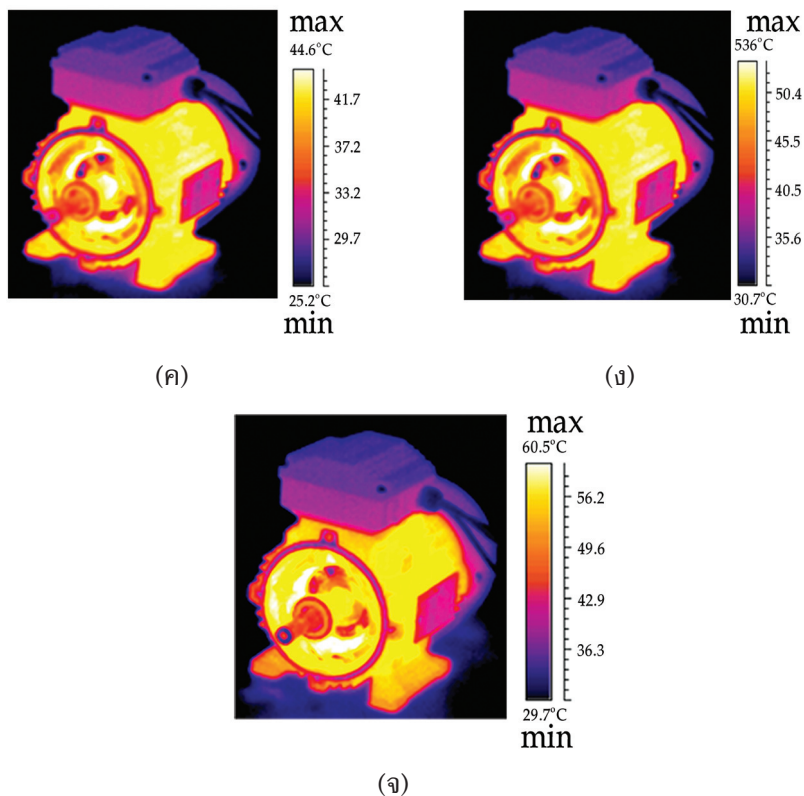
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

1. ผลของอุณหภูมิ

ผลการหาค่าความร้อนสูงสุดโดยใช้กล้องตรวจจับความร้อน ในการวิเคราะห์ในส่วนนี้ ทางทีมงานวิจัยได้วิเคราะห์เฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำประเภท B ที่เป็นมอเตอร์ต้นแบบของงานวิจัย ซึ่งมอเตอร์ประเภทนี้มีการใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เพื่อหาค่าความร้อนสูงสุดจากแบบจำลองการทำงานของมอเตอร์สภาวะแรงดันสมดุล



รูปที่ 7 ผลการกระจายอุณหภูมิโดยกล้องวัดความร้อนขณะไม่มีโหลด (ก) BV (ข) U1P5% (ค) U2P5% (ง) O1P5% (จ) O2P5%



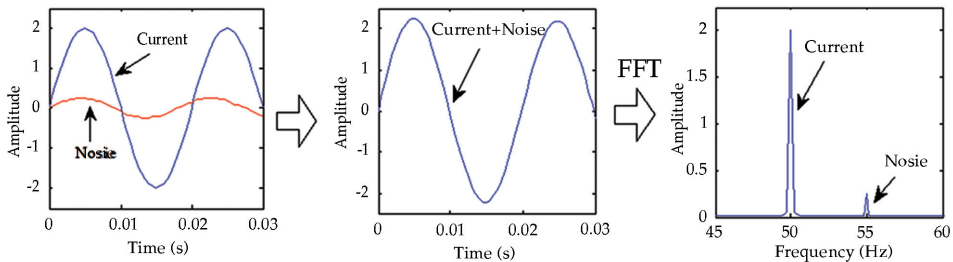
รูปที่ 7 ผลการกระจายอุณหภูมิโดยกล้องวัดความร้อนขณะไม่มีโหลด (ก) BV (ข) U1P5% (ค) U2P5% (ง) O1P5% (จ) O2P5% (ต่อ)

รูปที่ 7 แสดงผลความร้อนจากกล้องตรวจจับความร้อนขณะไม่มีโหลดทางกล โดยในรูปที่ 7(ก) แสดงความร้อนที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงานในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล (Balance Voltage : BV) โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 48.7 องศาเซลเซียส รูปที่ 7(ข) แสดงความร้อนที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงานในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส 5% (1 Phase Under Voltage Unbalance 5% : U1P5%) โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 53.6 องศาเซลเซียส รูปที่ 7(ค) แสดงความร้อนที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงานในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส 5% (2 Phase Under Voltage Unbalance 5% : U2P5%) โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 44.6 องศาเซลเซียส รูปที่ 7(ง) แสดงความร้อนที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงานในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 1 เฟส 5% (1 Phase Over Voltage Unbalance 5% : U1P5%) โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 53.6 องศาเซลเซียส รูปที่ 7(จ) แสดงความร้อนที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงานในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 2 เฟส 5% (2 Phase Over Voltage Unbalance 5% : U2P5%) โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 60.5 องศาเซลเซียส

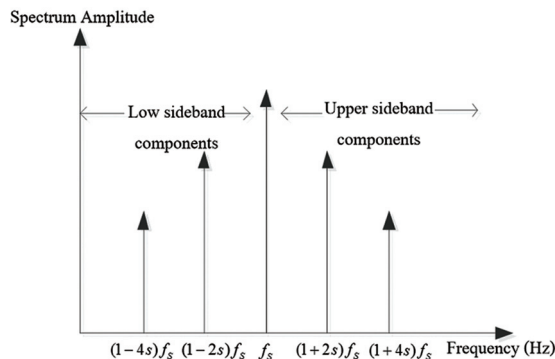
ค่าความร้อนของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นนั้น พบว่าแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลส่งผลต่ออุณหภูมิของมอเตอร์ เมื่อแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติปรากฏว่าค่าความร้อนที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์สูงขึ้นตาม ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ลดลง

2. ผลของสัญญาณกระแสเดเตอร์

รูปที่ 8 แสดงการตรวจสอบสัญญาณกระแสเดเตอร์ที่ไม่มีโหลดทางกล ที่ได้จากการวัดสัญญาณกระแสการกรองสัญญาณ โดยข้อมูลของกระแสไฟฟ้าจะถูกบันทึกโดยใช้ฮาร์ดแวร์ที่มีอัตราการสุ่ม (Sampling) 2 kHz และได้บันทึกขนาดข้อมูลทั้งหมด 10,000 ข้อมูล ดังนั้นค่าความละเอียดของความถี่ (Frequency Resolution) มีค่าเท่ากับ 0.2 Hz สามารถที่จะค้นพบฮาร์มอนิกส์ที่แสดงให้เห็นถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวนำโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จากนั้นทำการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์และแปลงให้อยู่ในโดเมนความถี่ โดยใช้การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) เพื่อวิเคราะห์หาสเปกตรัมความผิดปกติของมอเตอร์ที่เกิดขึ้น

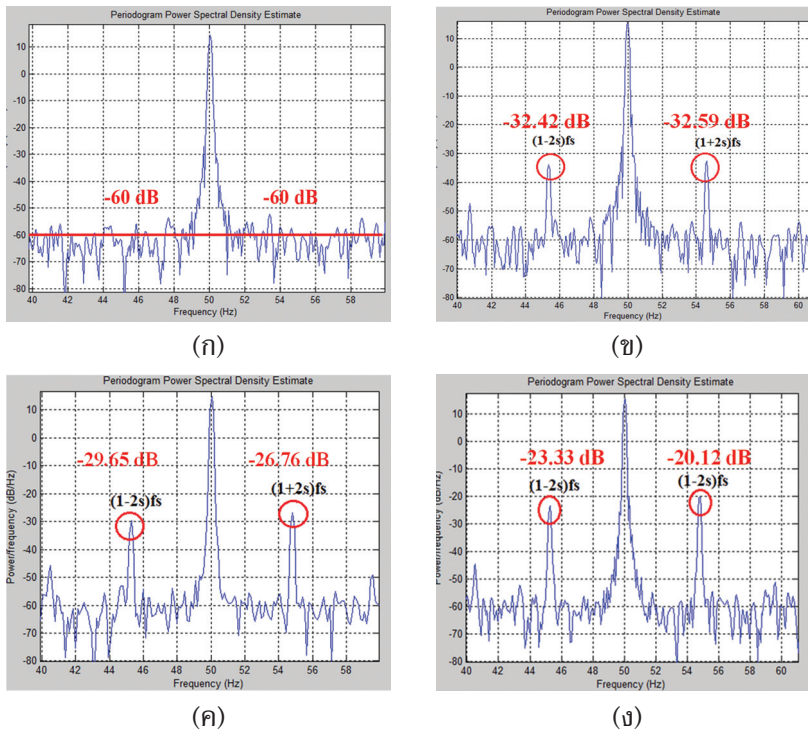


รูปที่ 8 สเปกตรัมแบนด์ด้านข้างเนื่องจากตัวนำโรเตอร์เสียหาย



รูปที่ 9 ตำแหน่งสเปกตรัมแบนด์ด้านข้างของฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้น

ผลของสเปกตรัมกระแสเดเตอร์เมื่อตัวนำโรเตอร์เสียหาย เมื่อพบว่ามีตัวนำโรเตอร์แตกเกิดขึ้น กระแสเดเตอร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลของการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กของโรเตอร์ที่ไม่สมมาตร ทำให้ปรากฏฮาร์มอนิกส์เกิดขึ้นบริเวณรอบความถี่มูลฐานที่ความถี่เท่ากับองค์ประกอบแบนด์ข้างด้านต่ำ (Lower Side Band : LSB) และองค์ประกอบแบนด์ข้างด้านสูง (Upper Side Band : USB) ผลของฮาร์มอนิกส์ที่ปรากฏขึ้นในกระแสเดเตอร์สามารถใช้ในการตรวจสอบความเสียหายของโรเตอร์ได้



รูปที่ 10 ผลจากการตรวจวัดสัญญาณกระแสเตเตอร์ (ก) HT (ข) 1BB (ค) 2BB (ง) 3BB

จากการตรวจสอบสเปกตรัมกระแสเตเตอร์ขณะที่ไม่มีโหลดทางกล ขนาดของสเปกตรัมกระแสเตเตอร์มีหน่วยเป็นเดซิเบลต่อความถี่ (dB/Hz) รูปที่ 10(ก) ขนาดของสเปกตรัมกระแสเตเตอร์มีขนาดต่ำกว่า 60 เดซิเบลต่อความถี่ (dB/Hz) ซึ่งไม่พบสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดจากความเสียหายของตัวนำโรเตอร์ รูปที่ 10(ข) พบขนาดของสเปกตรัมกระแสเตเตอร์องค์ประกอบแบนด์ข้างด้านต่ำ -32.42 dB/Hz และขนาดของสเปกตรัมกระแสเตเตอร์องค์ประกอบแบนด์ข้างด้านสูง -32.59 dB/Hz รูปที่ 10(ค) พบขนาดของสเปกตรัมกระแสเตเตอร์องค์ประกอบแบนด์ข้างด้านต่ำ -29.65 dB/Hz และขนาดของสเปกตรัมกระแสเตเตอร์องค์ประกอบแบนด์ข้างด้านสูง -26.76 dB/Hz รูปที่ 10(ง) พบขนาดของสเปกตรัมกระแสเตเตอร์องค์ประกอบแบนด์ข้างด้านต่ำ -23.33 dB/Hz และขนาดของสเปกตรัมกระแสเตเตอร์องค์ประกอบแบนด์ข้างด้านสูง -20.12 dB/Hz

จากผลการทดสอบพบว่า หากตัวนำโรเตอร์แตกจะส่งผลออกมาในรูปแบบฮาร์มอนิกส์ที่ปะปนมากับสัญญาณกระแสเตเตอร์ หากตัวนำโรเตอร์มีการแตกแบบรุนแรงเพิ่มขึ้นย่อมส่งผลให้สเปกตรัมฮาร์มอนิกส์มีขนาดที่เพิ่มสูงขึ้น สามารถบ่งบอกความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวนำโรเตอร์และวางแผนซ่อมบำรุงก่อนที่จะเกิดความเสียหายรุนแรง

บทสรุป

มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง มีโอกาสได้รับความเสียหาย กรณีตัวนำโรเตอร์แตก และกรณีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สมดุลให้กับมอเตอร์ การใช้งานมอเตอร์ควรมีการตรวจสอบและวิเคราะห์อยู่เป็นประจำ เพื่อให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพที่ดี

การศึกษาและวิเคราะห์ผลทางความร้อน กรณีจ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลให้กับมอเตอร์ ผลตอบสนองที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดความร้อนที่โรเตอร์และสเตเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่ได้รับแรงดันที่ไม่สมดุล สูงกว่าปกติค่าความร้อนสูงสุดก็เพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้มอเตอร์ทำงานประสิทธิภาพต่ำและอายุการใช้งานของมอเตอร์สั้นลง บทความวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำในกระบวนการผลิต จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าในโรงงาน

การศึกษาและวิเคราะห์ผลของสัญญาณกระแสเตเตอร์กรณีตัวนำโรเตอร์แตก เนื่องจากโรเตอร์ถูกใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนทำให้เกิดความเสียหายที่ตัวนำโรเตอร์ ขณะที่มอเตอร์ทำงานส่งผลให้เกิดฮาร์มอนิกส์ที่ปนมากับสัญญาณกระแสเตเตอร์ จากการวิเคราะห์สามารถตรวจพบความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ หากพบฮาร์มอนิกส์ที่มีขนาดสูงขึ้นสามารถบ่งบอกความเสียหายของตัวนำโรเตอร์ที่รุนแรงมากขึ้นเช่นกัน และสามารถวางแผนการซ่อมบำรุงก่อนที่ความเสียหายจะรุนแรงมากยิ่งขึ้น จนส่งผลต่อระบบการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมได้

ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น ขาดอุปกรณ์ที่มีความเที่ยงตรงสูง คือกล้องวัดความร้อนจึงต้องขอความอนุเคราะห์จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พิษณุโลก จึงมีเวลาจำกัดในการทดลอง ทางผู้วิจัยจึงเลือกวัดตามความเหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ โดยได้รับทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก “ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยมืออาชีพแบบมุ่งเป้าตามนโยบายชาติ (PRD) ปี 2559” ขอขอบคุณอาจารย์และนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ล้านนา พิษณุโลก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พิษณุโลก ที่ให้ความร่วมมือรวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

References

Culbert, I., Iris Power Eng. Inc., Toronto, Ont., Canada and Rhodes, W. (2005). Using Current Signature Analysis Technology to Reliably Detect Cage Winding Defects in Squirrel Cage Induction Motors. Record of Conference Papers Industry Applications Society 52nd Annual Petroleum and Chemical Industry Conference. pp. 95-101

- Kersting, W.H. and Phillips, W.H. (1997). Phase Frame Analysis of the Effects of Voltage Unbalance on Induction Machines, Industry Applications. *IEEE Transactions on Industry Applications*. Vol. 33. Issue 2. pp. 415-420
- Lee, C.-Y., Chen, B.-K., Lee, W.-J. and Hsu, Y.-F. (1997). Effects of Various Unbalanced Voltages on the Operation Performance of an Induction Motor Under the Same Voltage Unbalance Factor Condition. *Industrial and commercial power systems, IEEE*. pp. 51-59
- Neelam, M. and Ratna, D. (2007), Motor Current Signature Analysis and its Applications in Induction Motor Fault Diagnosis. *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development*. Vol. 2. Issue 1. pp. 1-4
- Power Systems Engineering Committee of the Industrial and Commercial Power Systems Department of the IEEE Industry Applications Society. (1994). *IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants*. American National Standards Institute IEEE Std 141™-1993(R1999)
- Thomson, W.T. and Fenger, M. (2001). Current Signature Analysis to Detect Induction Motor Faults. *IEEE Industry Applications Magazine*. Vol. 7. Issue 4. pp. 26-34
- Wangngon, B. and Ruangsinchaiwanich, S. (2013). Multiple Fault Detection Technique for Identifying Broken Rotor Bars. *IEEE International Conference Electrical Machines and Systems*. Pusan, Korea. pp. 752-756