การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสรรถนะของมอเตอร์จากการใช้งาน
Efficiency and Performance Analysis of The Motor Usage

ภัควี หะยะมิน [*,***] *และ ชัยยพล ธงชัยสุรัชกูล* [*]

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม [*]
สถาบันนวัตกรรมเทคโนโลยีไทย-ฝรั่งเศส [**]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail : saman_may@hotmail.com, srptc@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสรรถนะของมอเตอร์จากการใช้งาน เป็นการทดสอบสภาพของมอเตอร์จากการใช้งานจริง โดยกำหนดภาระหรือโหลดของมอเตอร์ไว้คงที่ (Fix Load) จากนั้นจึงทำการเก็บบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์จากสภาวะการใช้งานจริง เพื่อทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ สมรรถนะ และเปอร์เซ็นต์ภาระของมอเตอร์ จากการทดสอบพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์แต่ละตัวมีอัตราเพิ่มสูงขึ้น และมีประสิทธิภาพและสมรรถนะที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง สาเหตุมาจากการเสื่อมสภาพของชุดแบริ่ง และการเสื่อมสภาพของฉนวนขดลวดมอเตอร์ โดยเป็นผลมาจากการขาดการบำรุงรักษามอเตอร์ตามระยะเวลาที่เหมาะสมของผู้ใช้งาน

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ ประสิทธิภาพ สมรรถนะ

Abstract

This paper presents the Efficiency and Performance Analysis of the Motor Usage. The load of the motors was fixed. The voltage, current, and power of each motor were recorded during running. The data is used to analyze the performance, the efficiency, and the percentage of motor load. It was found that the cost of electricity and power motor of each rate increase. The performance and the efficiency were reduced continuously. These are caused by the deterioration of the bearings and the insulation of motor winding. The cause is the lack of maintenance on the motor optimal duration of use.

Keywords: analysis, efficiency, performance

1. บทนำ

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับเครื่องจักรต่างๆ เนื่องจากการทำหน้าที่เป็นตัวต้นกำลัง เป็นการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเพื่อขับโหลดต่างๆ โดยเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำได้รับความนิยมมากชนิดหนึ่งในบรรดามอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งถูกใช้งานในการขับเคลื่อนเครื่องจักรและสายพานของระบบการผลิต เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพ มีความน่าเชื่อถือสูง การบำรุงรักษาง่าย และราคาไม่แพงเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่น [1] เมื่อมีการใช้งานเป็นเวลานานย่อมมีการเสื่อมสภาพหรือมีความผิดปกติต่างๆ ที่เกิดขึ้น เนื่องจากโรเตอร์และสเตเตอร์ต้องรับแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กอยู่ตลอดเวลา ความเสียหายที่เกิดขึ้นทางกล จากความร้อนและทางไฟฟ้าจะกระทบโดยตรงกับประสิทธิภาพในการทำงานและอายุการใช้งานของมอเตอร์ ผลกระทบที่เกิดขึ้นอาจส่งผลต่อการทำงานของเครื่องจักรและระบบการผลิตโดยรวมทำให้ไม่สามารถผลิตสินค้าได้ตามเป้า กล่าวคือสร้างความเสียหาย เช่น ผลผลิตไม่ได้ตามเป้า เสียเวลาและโอกาส รวมถึงต้นทุนที่เพิ่มขึ้นด้วย [1-2]

สาเหตุการเสื่อมสภาพของมอเตอร์ส่วนใหญ่มีสาเหตุจากการเลือกมอเตอร์ไม่ตรงกับข้อกำหนดของมอเตอร์นั้นๆ หรือแม้กระทั้งการคำนวณหาข้อกำหนดของมอเตอร์ที่ผิดพลาดของผู้ออกแบบ [2] จากการสืบค้นวรรณกรรมในอดีตที่ผ่านมา W. H. Kersting [3] ได้พัฒนาการนำวิธีส่วนประกอบสมมาตร (Symmetrical Component) มาประยุกต์ใช้กับสมการมอเตอร์เหนี่ยวนำในขณะได้รับแรงดันไฟฟ้าผิดปกติ โดยนำสมการวิธีส่วนประกอบสมมาตรวิเคราะห์ในรูปแบบเมทริก (Phase Fame) ให้สามารถคำนวณได้เมื่อมอเตอร์ได้รับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ต่อมา L. Ching-Yin Lee [4] และ A. Siddique [5] ได้ทำการตรวจสอบหาผลกระทบของความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลร่วมกับ VUF (อัตราส่วนขององค์ประกอบแรงดันไฟฟ้าลำดับลบ (Negative-sequence voltage component) ต่อองค์ประกอบแรงดับลำดับบวก (Positive-sequence voltage component) บนสถานะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส และอิทธิพลตอบสนองบนระบบกำลัง ภายใต้สภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 8 กรณี และ W.T. Thosmson [6] และ Neelam Mehala [7] ได้ศึกษาผลกระทบของตัวนำโรเตอร์เสียหาย โดยใช้เทคนิคการวินิจฉัยสเปกตรัมกระแสสเตเตอร์ (MCSA) ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีมาช่วยในการตรวจสภาพหรือวิเคราะห์ความเสียหายของมอเตอร์จากการใช้งาน เช่น วัดค่ากระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า ซึ่งเป็นการวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพของมอเตอร์ในงานภาคสนาม

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสรรถนะของมอเตอร์จากการใช้งาน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์มอเตอร์จากงานภาคสนาม โดยการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ของมอเตอร์ขณะถูกใช้งานจริง เพื่อเป็นการบ่งบอกประสิทธิภาพและสรรถนะที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ ซึ่งจากวิธีการดังกล่าวสามารถเป็นแนวการในการศึกษา และวิเคราะห์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับตัวมอเตอร์จากการใช้งานและสามารถเป็นแนวทางในการวางแผนการซ่อมบำรุงรักษามอเตอร์ให้ทันท่วงทีได้อีกแนวทางหนึ่ง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์

จากการศึกษาความเสียหายของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ [8-12] พบว่าการเสียหายของมอเตอร์สามารถจำแนกออกเป็น มีสาเหตุหลักมาจากการเสียหายของแบริ่ง ประมาณ 40-50 % ของการเสียหายทั้งหมดที่ได้มีการบันทึกไว้ รองลงมาคือการเสียหายของขดลวดสเตเตอร์ ประมาณ 30-40 % และอีก 5-10% คือการแตกหรือการเสียหายจากโรเตอร์ ซึ่งเป็นการเสียหายทั้งหมดที่ได้ทำการบันทึกไว้ และสุดท้ายคือการเสียหายจากการหนีศูนย์ของโรเตอร์ เป็นการทำให้ช่องว่างระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ไม่เท่ากัน โดยรวมไปถึงการเสียหายเล็กๆ น้อยๆ อื่นๆ รวมกันอีกด้วย

ภาพที่ 1 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์

2.2 การวิเคราะห์ค่าความสูญเสียของมอเตอร์ [13-15]

การวิเคราะห์ค่าความสูญเสียของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ สามารถวิเคราะห์ได้จากวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำดังภาพที่ 1 โดยกำลังไฟฟ้าแต่ละส่วนของมอเตอร์สามารถพิจารณาได้จากสมการ

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ไฟฟ้า (P_{in})

$$P_{in} = \sqrt{3}V_1 I_1 \cos\theta_1 \quad (1)$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียของขดลวดที่สเตเตอร์ ($P_{cu,1}$)

$$P_{cu,1} = 3I_1^2 R_1 \quad (2)$$

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้โรเตอร์ (P_g)

$$P_g = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} \quad (3)$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียของขดลวดที่โรเตอร์ ($P_{cu,2}$)

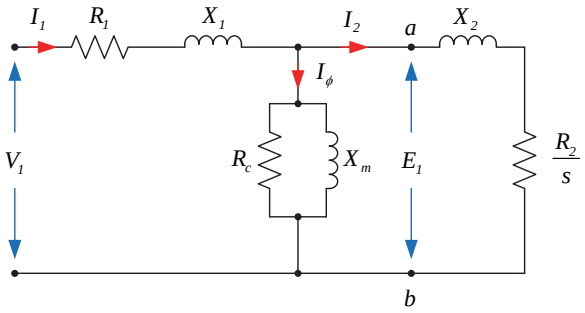
$$P_{cu,2} = 3I_2^2 R_2 = sP_g \quad (4)$$

กำลังไฟฟ้าที่ออกจากโรเตอร์ (P_e)

$$P_e = P_g - P_{cu,2} = (1-s)P_g \quad (5)$$

กำลังไฟฟ้าที่ออกจากมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (P_{out})

$$P_{out} = T\omega_r \quad (6)$$



ภาพที่ 2 วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

2.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของมอเตอร์ [16]

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ ตามนิยามของมาตรฐาน NEMA ได้ระบุเนื้อหาเกี่ยวกับประสิทธิภาพด้านพลังงานของมอเตอร์ ซึ่งกำหนดอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (P_{out}) ที่ใช้ประโยชน์ได้และกำลังไฟฟ้าอินพุต (P_{in}) ที่ป้อนให้กับมอเตอร์โดยการแทนค่าเป็นเปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพของมอเตอร์

$$\eta_m = \left(\frac{W_B}{W_E}\right) \times 100 \quad (7)$$

ค่าการสูญเสียของมอเตอร์

$$Q_{loss} = W_E - W_B \quad (8)$$

หรือ

$$Q_{loss} = \left[\left(\frac{1}{\eta_m}\right) - 1\right] - W_B \quad (9)$$

เมื่อ

W_B = งานหรือกำลังไฟฟ้าที่เพลา (Brake/Shaft Power)

W_E = งานหรือกำลังไฟฟ้าอินต์พุต

ซึ่งค่า W_E สามารถคำนวณได้จาก

$$W_E = \sqrt{3}VI\cos\theta \quad (10)$$

$\cos\theta$ = Power factor (11)

2.4 การวิเคราะห์ภาระของมอเตอร์ [17]

การวิเคราะห์ภาระของมอเตอร์ เป็นการวิเคราะห์ค่ากำลังเพลา (W_B) ที่มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการทดสอบงานภาคสนามไม่สามารถทดสอบได้ จึงนิยมใช้ค่าของกำลังไฟฟ้าทางด้านอินต์พุต (P_{in}) แทนดังนี้

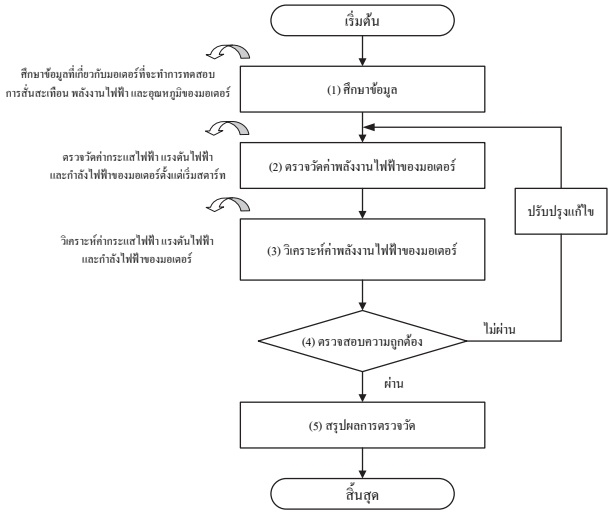
$$\text{ภาระของมอเตอร์} = \left[\frac{\sqrt{3}VI\cos\theta}{\left(\sqrt{3}VI\cos\theta\right)_{rate}}\right] \times 100 \quad (12)$$

หรือ

$$\text{ภาระของมอเตอร์} = \left[\frac{\sqrt{3}VI\cos\theta}{W_{E(rate)}}\right] \times 100 \quad (13)$$

3. ผังดำเนินงาน

การทดสอบการเสื่อมสภาพของมอเตอร์เป็นการทดสอบขณะมอเตอร์ทำงาน มีการเก็บบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ตั้งแต่การเริ่มสตาร์ทมอเตอร์โดยสามารถอธิบายเป็นลำดับขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 3 ลำดับขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนที่ 1: ศึกษาข้อมูลเกี่ยวมอเตอร์ที่ทำการทดสอบ แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 2: ตรวจวัดและบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ขณะทำงาน

ขั้นตอนที่ 3: วิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า เพื่อหาอัตราการเสื่อมสภาพของมอเตอร์

ขั้นตอนที่ 4: ตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ค่าต่างๆ อีกครั้ง

ขั้นตอนที่ 5: สรุปผลจากการตรวจวัด

4. กรณีศึกษา

4.1 เครื่องการที่ใช้ในการตรวจวัด

การตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการใช้งานของมอเตอร์ ได้ทำการเก็บบันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าขณะมอเตอร์ทำงานโดยใช้เครื่องมือวัดดังนี้

ตารางที่ 1 เครื่องมือและอุปกรณ์

ลำดับ	เครื่องมือ	ยี่ห้อ	รุ่น	จำนวน
1	เครื่องวัดและบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้า	Kyoritsu	KEW 6310	1

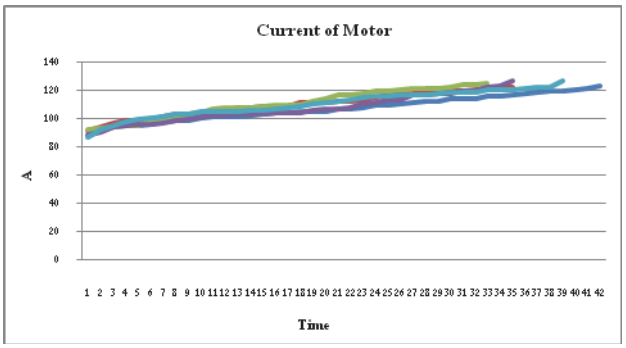
4.2 การทดสอบประสิทธิภาพสภาพมอเตอร์

การทดสอบประสิทธิภาพสภาพของมอเตอร์ ได้ทำการทดสอบปั๊มสูบน้ำ Vertical concrete volute mixed flow pump ของโครงการจ้างเดินระบบ บำรุงรักษาและบริหารจัดการอุโมงค์ระบายน้ำจากบึงมักกะสันลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งขนาดของปั๊มน้ำที่ทำการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ 3 Phase 6,600V 50Hz 125A 1200kW Model: 1800 VIZGM จำนวน 5 เครื่อง

ภาพที่ 4 มอเตอร์ที่ทำการทดสอบ

4.3 การทดสอบด้านการใช้พลังงานของมอเตอร์

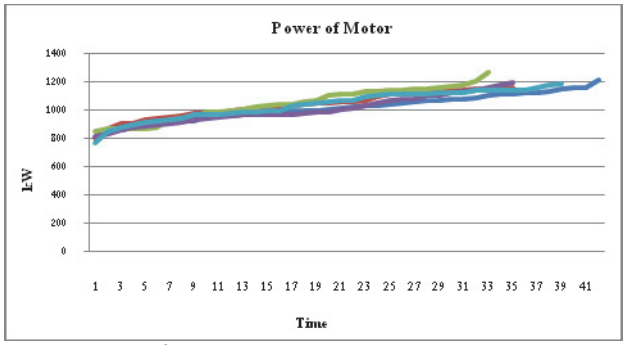
การเก็บบันทึกผลการใช้พลังงานของมอเตอร์ เนื่องจากการทำงานของมอเตอร์มีลักษณะของการเปิดใช้งานของชั่วโมงการทำงานที่แตกต่างกันผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกเก็บค่าของช่วงเวลาการทำงานของมอเตอร์ ณ ชั่วโมงที่ 3 นับจากการสตาร์ทมอเตอร์ในแต่ละครั้ง (ภาระหรือโหลดของมอเตอร์คงที่ (fix load) และมีระดับเท่ากันทั้งหมด) ซึ่งผลของการเก็บบันทึกค่าแสดงกระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าขณะมอเตอร์ใช้งานดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ค่ากระแสของมอเตอร์แต่ละตัว

หมายเหตุ: 1. การแสดงผลการใช้งานของมอเตอร์ มีจำนวนครั้งในการเก็บบันทึกค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากมอเตอร์แต่ละตัวมีจำนวนการใช้งานที่แตกต่างกัน

2. การแสดงผลของเส้นกราฟได้ทำการกำหนดสีกราฟแสดงผลของมอเตอร์แต่ละตัวดังนี้

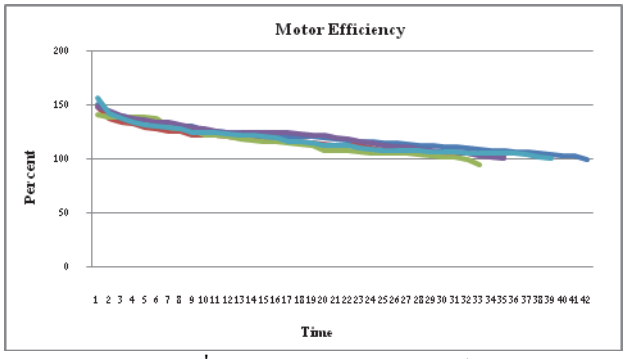


ภาพที่ 6 ค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์แต่ละตัว

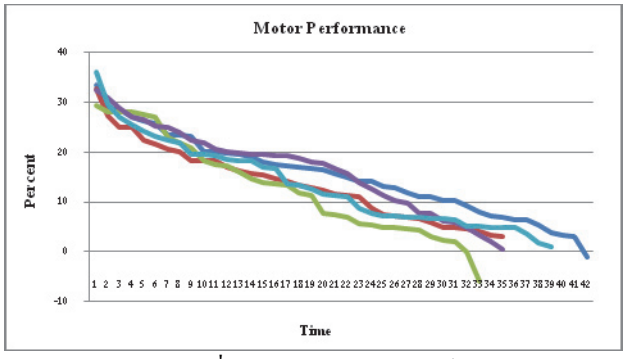
จากการวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าขณะมอเตอร์ถูกใช้งาน พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์มีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ โดยมีลักษณะการใช้งานของมอเตอร์เป็นในลักษณะของโหลดคงที่ แสดงให้เห็นว่ามอเตอร์แต่ละตัวมีอัตราการสูญเสีย (Power losses) ที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน

4.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสมรรถนะของมอเตอร์

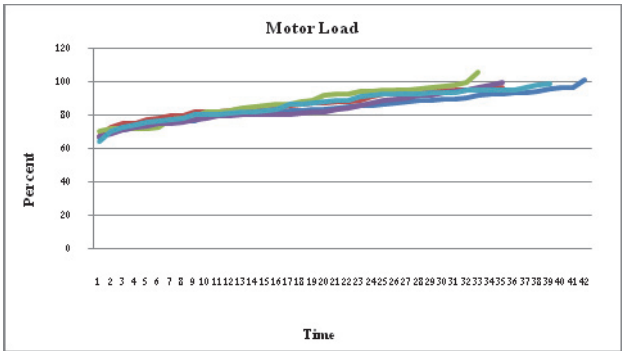
การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพและสมรรถนะของมอเตอร์เป็นการนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้เก็บบันทึกจากการใช้งานมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าประสิทธิภาพ สมรรถนะ และภาระของมอเตอร์จากการใช้งาน



ภาพที่ 7 ประสิทธิภาพของมอเตอร์



ภาพที่ 8 สมรรถนะของมอเตอร์



ภาพที่ 9 ภาระของมอเตอร์

จากการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพและค่าสมรรถนะมอเตอร์แต่ละตัวมีอัตราที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากการขาดการบำรุงรักษามอเตอร์ตามระยะเวลาที่เหมาะสมอย่างต่อเนื่อง และเมื่อนำการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ภาระของมอเตอร์ พบว่ามอเตอร์มีอัตราเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเสื่อมสภาพของชุดแบริ่ง และการเสื่อมสภาพของฉนวนขดลวดมอเตอร์ (จากการประเมินสภาพจากการใช้งานมอเตอร์) และหากผู้ใช้งานทำการละเลยหรือบกพร่องต่อหน้าที่อาจก่อให้เกิดผลเสียหายต่อการใช้งานมอเตอร์ได้

5. สรุป

การทดสอบประสิทธิภาพของมอเตอร์ของการทดสอบปั๊มสูบน้ำ ของโครงการจ้างเดินระบบ บำรุงรักษา และบริหารจัดการอุโมงค์ระบายน้ำจากบึงมักกะสันลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา โดยการกำหนดลักษณะที่โหลดไว้คงที่ พบว่าลักษณะของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์มีอัตราเพิ่มสูงขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสมรรถนะของมอเตอร์พบว่ามีอัตราที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด อีกทั้งยังมีแนวโน้มการเพิ่มของภาระมอเตอร์อย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการละเลยการตรวจสอบและการบำรุงรักษามอเตอร์ตามระยะเวลาที่เหมาะสม เช่น การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance) คือ การบำรุงรักษาในลักษณะการตั้งเวลาชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ หรือการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive maintenance) คือ การตั้งค่าชั่วโมงการทำงานเพื่อเข้ามาตรวจเช็คและทำการวิเคราะห์แนวโน้มของปัญหาที่อาจเกิดขึ้น เพื่อหาแนวทางป้องกัน จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าหากผู้ใช้งานมอเตอร์ทำการละเลยหรือขาดการ

บำรุงรักษามอเตอร์ อาจส่งผลเสียแก่ตัวมอเตอร์หรือการผลิตได้ ซึ่งผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นแนวทางในการศึกษา ค้นคว้า และเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้า อีกทั้งเป็นแนวทางในการวางแผนการบำรุงรักษามอเตอร์ไฟฟ้าอีกด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] บุญญฤทธิ์ วังงอน และคณะ, วิเคราะห์ความเสียหายของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ด้วยวิธีตรวจวัดความร้อนและสัญญาณกระแสสเตเตอร์, วิศวกรรมสาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, Vol.10, No.2, pp 1-7, July-December 2015.

[2] ภัควี หะยะมิน และชัยยพล ธงชัยสุรัชต์กูล, การประเมินสภาพของการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ, การประชุมวิชาการทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและหุ่นยนต์, สมาคมวิชาการหุ่นยนต์แห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ, 2016.

[3] W. H. Kersting and W. H. Phillips, “Phase frame analysis of the effects of voltage unbalance on induction machines”,Industry Applications, IEEE Transactions, vol. 33, pp. 415-420, 1997.

[4] 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, pp. 51-59, 1997.

[5] Mat Siddique, G.S. Yadava and Bhim Singh, “Effects of voltage unbalance on induction motors”, In Electrical Insulation, IEEE International Symposium, pp. 26-29, 2004.

[6] W. T. Thosmson and Mark Fenger, “Current Signature Analysis to Detect Induction motor Fault”, IEEE Industry Application Magazine, Volume 7, Issue 4, Page(s): 26-34, 2001.

[7] Neelam Mehala, and Ratna Dahiya, “Motor Current Signature Analysis and its Applications in Induction Motor Fault Diagnosis”, International Journal of Systems Application, Engineering & Development, Volume 2, Issue 1, Page(s): 29-35, 2007.

[8] IEEE, “IEEE Recommended Practice for Design of Reliable Industrial and Commercial Power System”, IEEE STD 493-1997, 1997.

[9] P.J Tavner and J. Penman, “Condition Monitoring of Electric Machines”, Research Studies Press and John Wiley & Sona, 1987.

[10] M. Haji and H.A., “Pattren Recognition-A Technique for Induction Machines Rotor Broken Bar Detection”, IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 16-4, pp. 312-317, 2001.

[11] S. Nandi and H.A. Toliyat, “Condition Monitoring and fault Detection of Electrical Machines”, Industrial Application Conference, Thirty-fourth IAS Annual Meeting, vol. 1, pp.197-204, 2005.

[12] Motor Reliable Working Group, “Repost of Large Motor Reliability Survey of Industrial and Commercial Installation: Part I and Part II”, IEEE Transaction on Industrial Application, vol. IA-21, No.4, pp.853-872, 2001.

[13] W. Thomson and M.Fenger, “Current Signature Analysis to detect Induction Motor Fault”, IEEE Industry Applications Magazine, pp.26-34, 2001.

[14] พุทธพร เศวตสกุลานนท์, “การวิเคราะห์และการศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบมาตรฐาน และมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบประสิทธิภาพสูง”, การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ ครั้งที่ 1, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, กรุงเทพฯ, 2550.

[15] 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 System, Bengaluru, India, Page(s):1-4, 2012.

[16] ฤชากร จิรกาลวสาน, “ภาระและประสิทธิภาพมอเตอร์”, บทความวิชาการ ชุดที่ 11, สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย, 2549.

[17] บุญทัน ศรีบุญเรือง, “การทดสอบหาประสิทธิภาพมอเตอร์”, ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและแปรสภาพ, คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2549.