

การวิเคราะห์ความเสียหายของตลับลูกปืนโดยการวัดการสั่นสะเทือน ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF BEARINGS BY MEASURING VIBRATION

สมศักดิ์ สิริโปราณานนท์

อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160, somsaks@sau.ac.th

Somsak Siriporananon

Department of Electrical Engineering, Graduate School, Southeast Asia University
19/1 Phetkasam Rd., Nongkhaem, Bangkok 10160, Thailand, somsaks@sau.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์ความเสียหายของตลับลูกปืนในมอเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้การวัดค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 22 กิโลวัตต์ 1465 รอบต่อนาที เพื่อหาความเสียหายของตลับลูกปืน การทดลองทำการวัดค่าจีอีเปรียบเทียบกับค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นของตลับลูกปืนจำนวน 10 ชุด จากผลการทดสอบค่าจีอีของตลับลูกปืนที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าการสั่นสะเทือนสูงขึ้น และจากความสัมพันธ์ของค่าจีอีกับค่าการสั่นสะเทือน สามารถใช้เป็นข้อมูลและแนวทางในการวิเคราะห์แนวโน้มความเสียหายที่เกิดขึ้นของตลับลูกปืน เพื่อใช้ในการวางแผนการบำรุงรักษามอเตอร์ไฟฟ้าก่อนที่จะเกิดผลกระทบกับการผลิตต่อไป

คำสำคัญ: ตลับลูกปืน, ความสั่นสะเทือน, มอเตอร์ไฟฟ้า

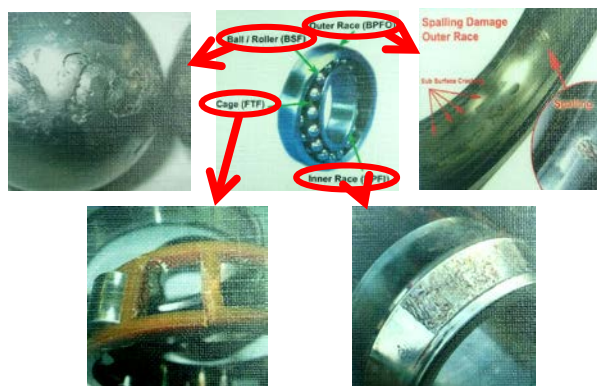
ABSTRACT

This paper presents an analysis of the loss in bearings for electric motors. By measuring and detecting the vibration of 22 kW 1465 rpm motor, In order to identify the efficiency of bearings. This experiments measure the GE values against the vibration values of 10 bearings. The results reveal that higher of bearing geometry are resulting in higher vibration values. In addition to, the relationship of GE values to vibration values can be used as preliminary data and guidelines to analyze the tendency of bearing damage. Which can adopt for planning maintenance of the electric motor before failure of the production process.

KEYWORDS: Bearing, Vibration, Electric Motor

1. บทนำ

ตลับลูกปืน เป็นอุปกรณ์ลดแรงเสียดทานที่ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ อย่างแพร่หลายและถือเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญและส่งผลโดยตรงกับการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องจักร การที่ตลับลูกปืนเกิดความผิดปกติหรือชำรุดเสียหายจะส่งผลให้ตัวเครื่องจักรเกิดปัญหาต่างๆ ตามมาอย่างมากมาย ทำให้เครื่องจักรต้องหยุดการทำงาน เสียเวลาและมูลค่าในการผลิต ดังนั้นการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตลับลูกปืน จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตลับลูกปืนแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตลับลูกปืน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

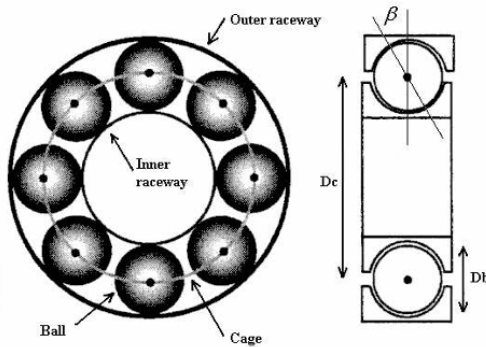
2.1 การชำรุดเสียหายเนื่องจากตลับลูกปืน (Bearing Faults)

ตลับลูกปืนประกอบไปด้วยบล็อกหรือรางวิ่งด้านใน (Inner Raceway), บล็อกหรือรางวิ่งด้านนอก (Outer Raceway) และลูกปืน (Ball) อยู่ระหว่างสองแหว่งนี้ วางบนราง (Cage) ของตลับลูกปืน ดังรูปที่ 1 ภายใต้ภาวะการทำงานปกติ อาจเกิดความผิดพลาดชำรุดเสียหาย อันเนื่องมาจากความล้าของตลับลูกปืนได้ นอกจากนั้นการชำรุดของตลับลูกปืน ยังอาจเกิดมาจากการที่ใช้อินเวอร์เตอร์ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำก็ได้ ผลที่ตามมาคือรางวิ่งเกิดการเสียหาย ลูกปืนเกิดแตกสะเก็ดเล็กๆ ได้ และมันจะเป็นสาเหตุให้เกิดการสั่นและมีเสียงรบกวน หากตลับลูกปืนไม่ได้รับการหล่อลื่นที่เพียงพอ และ/หรือได้รับการติดตั้งอย่างไม่ถูกต้อง (Misalignment) ก็จะทำให้เกิดปัญหานี้ยิ่งมากขึ้น

การเสียหายของตลับลูกปืนอาจแบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ

- 1) รางวิ่งนอกของแบริ่งชำรุดเสียหาย (Outer Raceway Defects)
- 2) รางวิ่งในของแบริ่งชำรุดเสียหาย (Inner Raceway Defects)

- 3) ลูกปืนของแบร์ริงชำรุดเสียหาย (Ball Defects)
- 4) รางของตลับลูกปืนชำรุดเสียหาย (Cage Defects)



รูปที่ 2 โครงสร้างของตลับลูกปืน

ความถี่ของการสั่นเนื่องจากการชำรุดเสียหายของตลับลูกปืนทั้ง 4 ประเภท แสดงได้ด้วยสมการที่ (1) ถึง สมการที่ (4) [1-4]

$$BPFO = \frac{N_b}{2} f_r \left(1 - \frac{D_b \cos(\beta)}{D_c} \right) \quad (1)$$

$$BPFI = \frac{N_b}{2} f_r \left(1 + \frac{D_b \cos(\beta)}{D_c} \right) \quad (2)$$

$$FTF = \frac{f_r}{2} \left(1 - \frac{D_b \cos(\beta)}{D_c} \right) \quad (3)$$

$$BSF = \frac{D_c}{D_b} f_r \left(1 - \left(\frac{D_b \cos(\beta)}{D_c} \right)^2 \right) \quad (4)$$

เมื่อ

$BPFO$ คือ Ball Pass Frequency Outer (Hz)

$BPFI$ คือ Ball Pass Frequency Inner (Hz)

FTF คือ Fundamental Train Frequency (Hz)

BSF คือ Ball Spin Frequency (Hz)

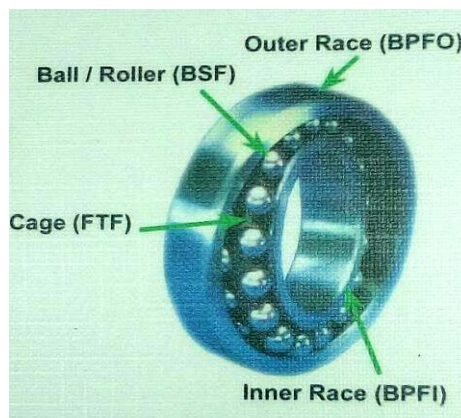
f_r คือ ความถี่การหมุนของโรเตอร์(Hz)

N_b คือ จำนวนของลูกปืน

D_b คือ เส้นผ่าศูนย์กลางลูกปืน(mm.)

D_c คือ เส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์ของลูกปืน(mm.)

β คือ มุมสัมผัสของลูกปืนกับราง



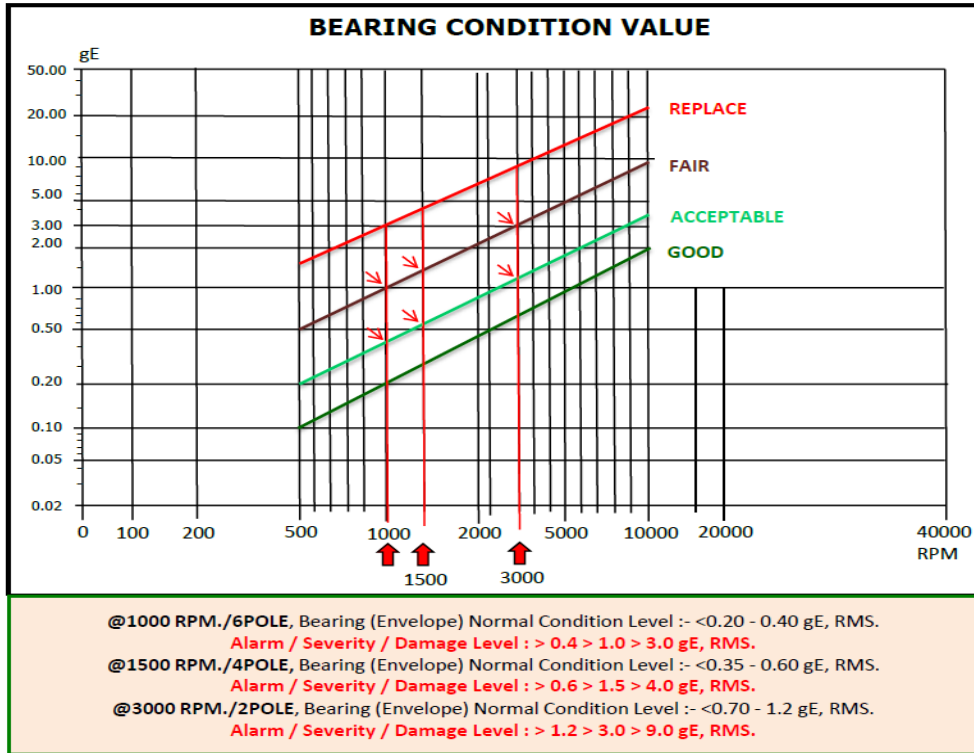
รูปที่ 3 ส่วนต่าง ๆ ของตลับลูกปืนที่เกิดความชำรุดเสียหาย

การวัดค่าความสั่นสะเทือนของตลับลูกปืน โดยใช้หลักการ “Acceleration Enveloping (gE)” [5] เป็นเทคโนโลยีเฉพาะของ SKF ที่ใช้การวิเคราะห์สภาพตลับลูกปืนในภาพรวม ซึ่งเทคนิค Envelope เป็นการแยกเพื่อเอาความถี่ของการกระแทกของลูกกลิ้งกับแหวน ออกจากความถี่ธรรมชาติ โดยการกรองความถี่ต่ำผ่านแบบดิจิตอล (Digital Low Pass Filter) ซึ่งค่าที่ได้เป็นการบ่งชี้ถึง ปัญหาในการหล่อลื่น ผุนผง การติดตั้งตลับลูกปืน รวมถึงความล้าของตัวตลับลูกปืนเอง ซึ่งค่าต่างๆ ของ gE [6] ดังแสดงในรูปที่ 4

3. การออกแบบและขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน เริ่มจากการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 22 กิโลวัตต์ ที่มีตลับลูกปืนที่ผ่านการใช้งาน ปรับความเร็วรอบตามพิกัด 1,465 รอบต่อนาที ทำการวัดการสั่นสะเทือน ด้วยเครื่องมือวัด Spectrum Analysis & Field Balancing ยี่ห้อ ADASH รุ่น A440-VA4 Pro พร้อมตัวตรวจจับสัญญาณสั่นสะเทือน (Vibration Sensor) ดังรูปที่ 5 จากนั้นจำแนกประเภทความเสียหาย

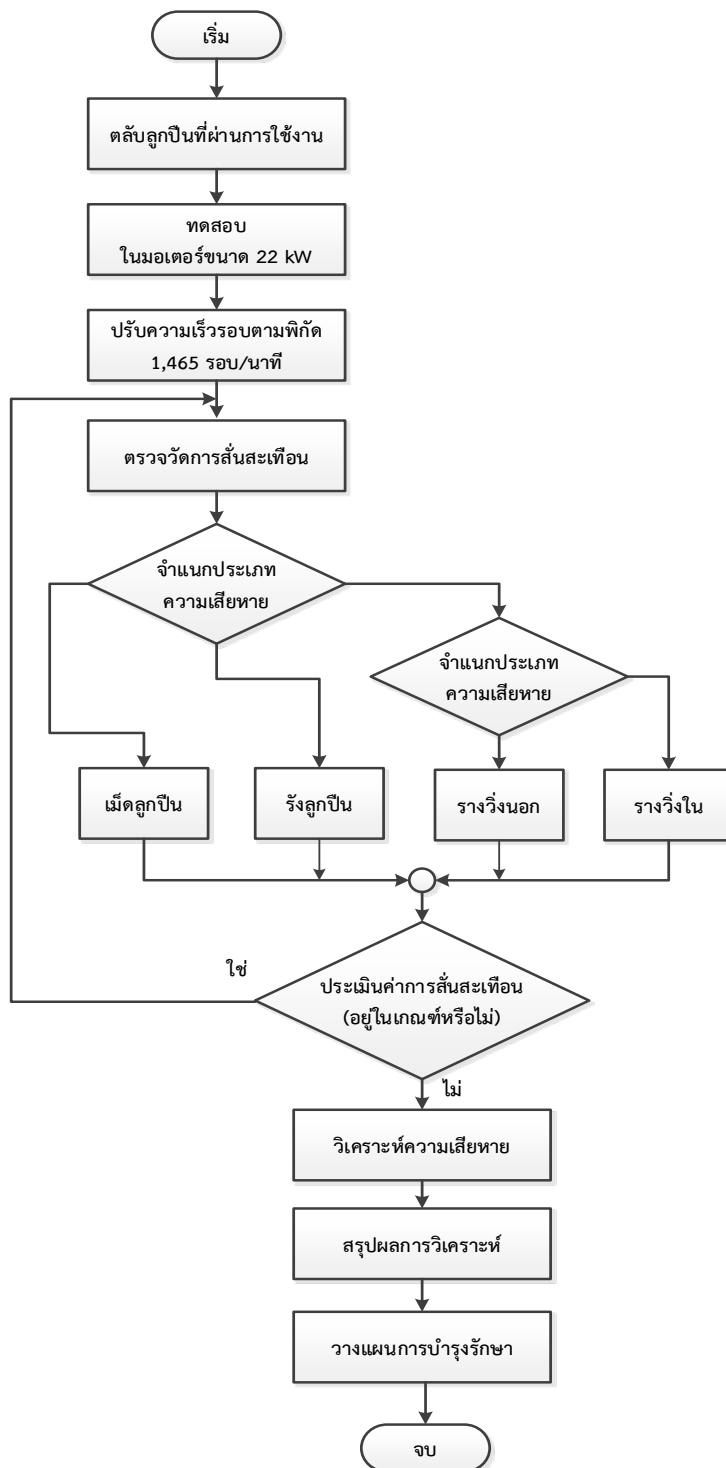
แล้วทำการวิเคราะห์ระดับความเสียหาย เพื่อทำแผนการบำรุงรักษา [7] ต่อไป ดังแสดงขั้นตอนในรูปที่ 6



รูปที่ 4 ค่า gE



รูปที่ 5 เครื่องวัด Spectrum Analysis & Field Balancing



รูปที่ 6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

4. การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 การคำนวณ

ความถี่ของการสั่นสะเทือนเนื่องจากการชำรุดเสียหายของตลับลูกปืนทั้ง 4 ประเภท จากสมการที่ (1), (2), (3) และ (4) สามารถจำแนกความถี่การสั่นเนื่องจากการชำรุดเสียหายตาม โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ $f_r = 1,465 \text{ rpm}$, $N_b = 8$, $D_b = 35 \text{ mm.}$, $D_c = 95 \text{ mm.}$ และ $\beta = 0$ องศา

จากสมการที่ (1)-(4) สามารถคำนวณได้ผลดังนี้

$$BPFO = 61.68 \text{ Hz}$$

$$BPFI = 133.65 \text{ Hz}$$

$$FTF = 7.71 \text{ Hz}$$

$$BSF = 57.28 \text{ Hz}$$

4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

4.2.1 ทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า จนได้ความเร็วรอบที่พิกัดการทำงานของมอเตอร์ (1,465 rpm)

4.2.2 ทำการวัดค่าความสั่นสะเทือน ค่า gE และ ค่ากระแส ของมอเตอร์ไฟฟ้า

4.2.3 ทำการวัดซ้ำทุกๆ 5 นาที รวม 30 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานคงที่

4.2.4 ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนตลับลูกปืนที่ผ่านการใช้งาน จำนวนทั้งสิ้น 10 ชุดตามลำดับ



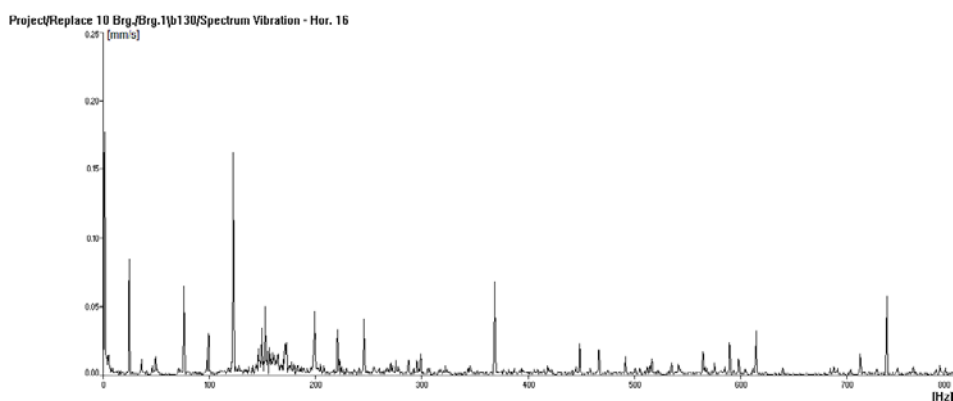
รูปที่ 7 ภาพการทดลอง



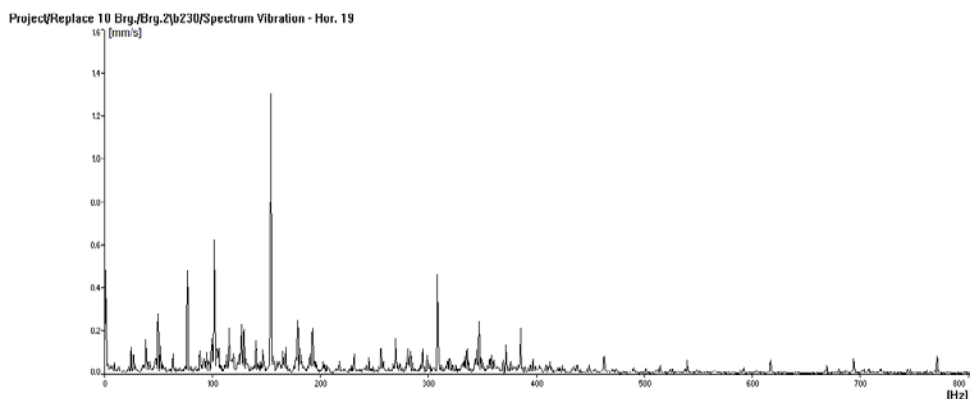
รูปที่ 8 มอเตอร์

4.3 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการวัดความถี่ของการสั่นสะเทือนของตัลลุปูนในแต่ละชุด ที่เวลาการทดลองผ่านไป 30 นาที แสดงได้ดังรูปที่ 9 ถึงรูปที่ 18 ดังนี้

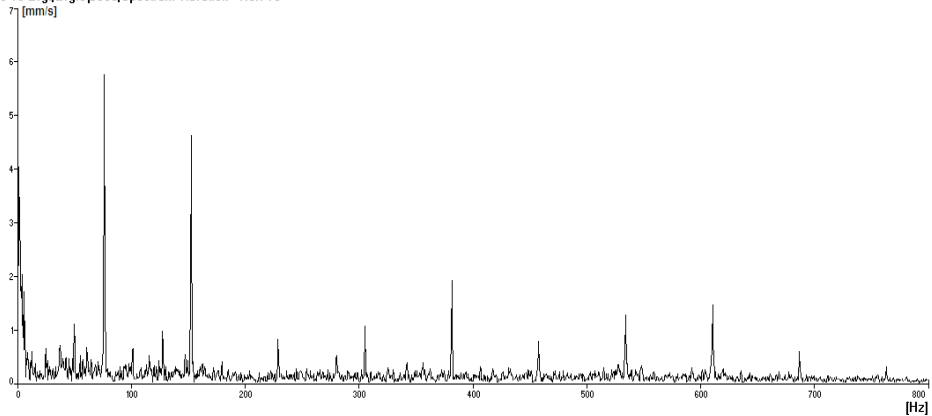


รูปที่ 9 ผลการวัดการสั้นสะเทือน ชุดที่ 1 (30 นาที)



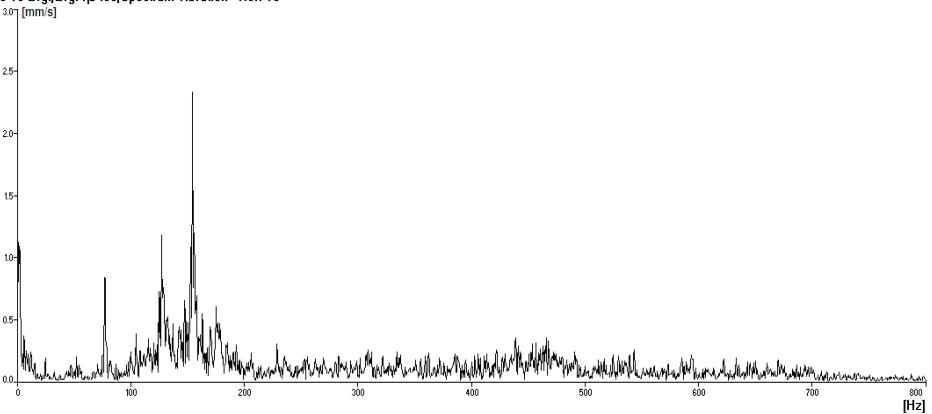
รูปที่ 10 ผลการวัดการสั่นสะเทือน ชุดที่ 2 (30 นาที)

Project/Replace 10 Brg./Brg.3\b330/Spectrum Vibration - Hor. 19



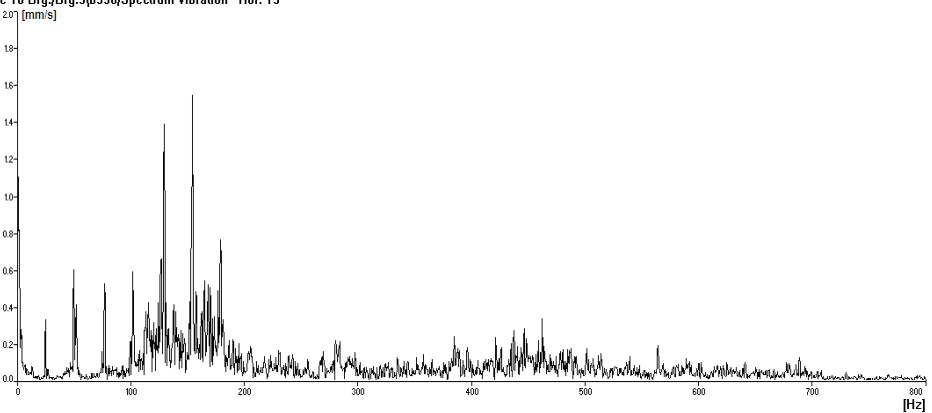
รูปที่ 11 ผลการวัดการสั่นสะเทือน ชุดที่ 3 (30 นาที)

Project/Replace 10 Brg./Brg.4\b430/Spectrum Vibration - Hor. 19



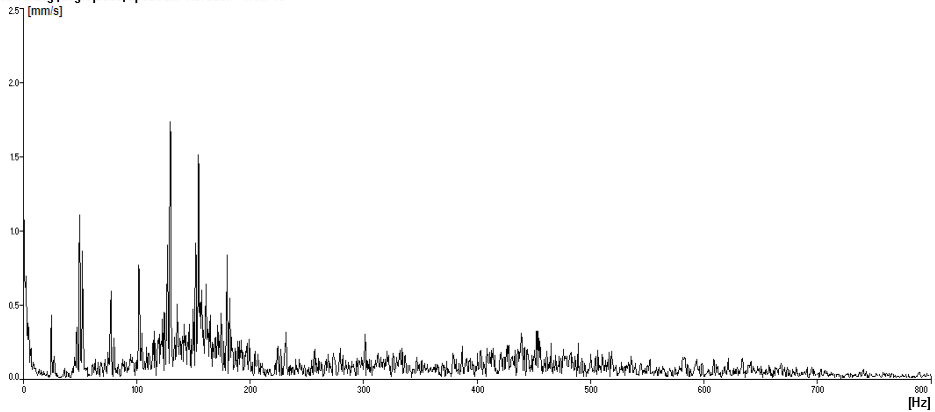
รูปที่ 12 ผลการวัดการสั่นสะเทือน ชุดที่ 4 (30 นาที)

Project/Replace 10 Brg./Brg.5\b530/Spectrum Vibration - Hor. 19



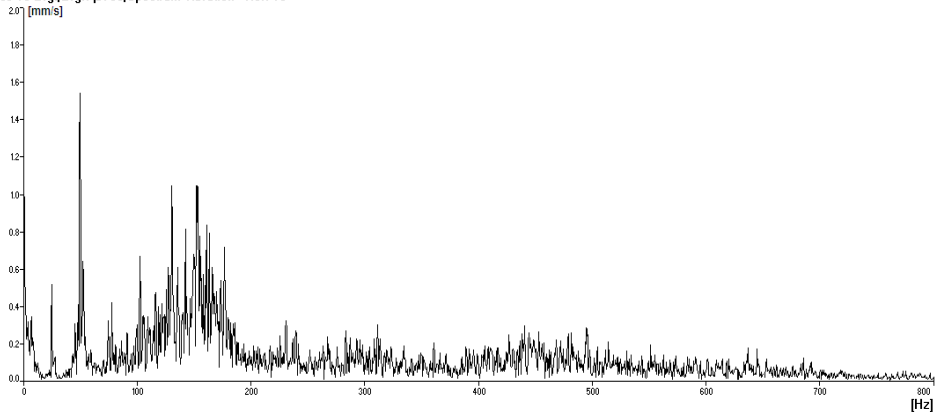
รูปที่ 13 ผลการวัดการสั่นสะเทือน ชุดที่ 5 (30 นาที)

Project/Replace 10 Brg./Brg.6\b630/Spectrum Vibration - Hor. 19



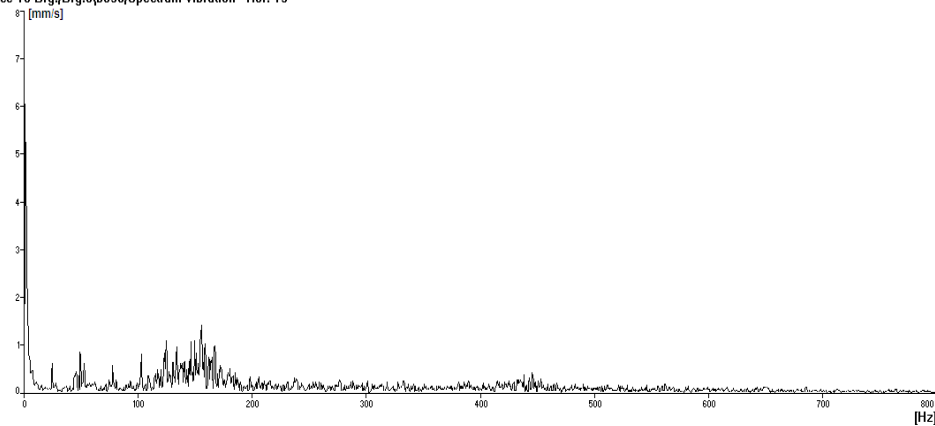
รูปที่ 14 ผลการวัดการสั่นสะเทือน ชุดที่ 6 (30 นาที)

Project/Replace 10 Brg./Brg.7\b730/Spectrum Vibration - Hor. 19



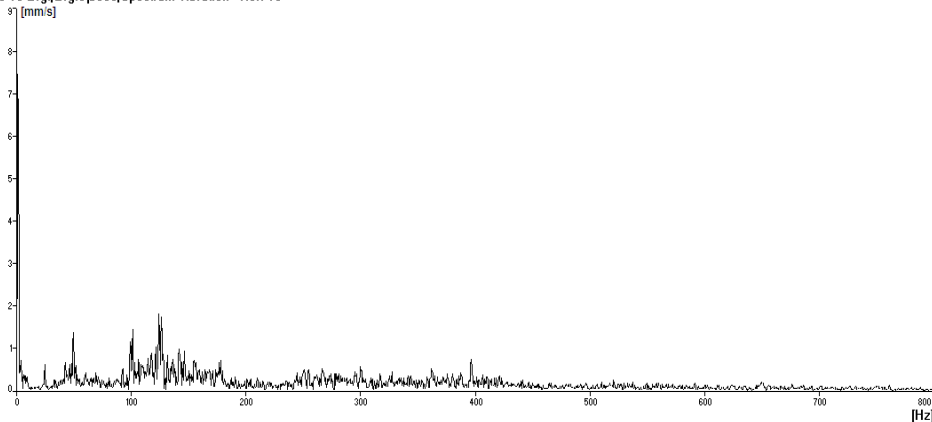
รูปที่ 15 ผลการวัดการสั่นสะเทือน ชุดที่ 7 (30 นาที)

Project/Replace 10 Brg./Brg.8\b830/Spectrum Vibration - Hor. 19



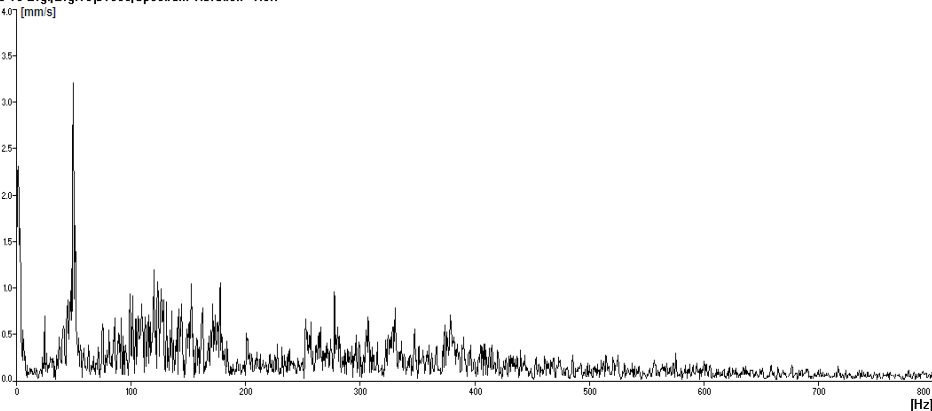
รูปที่ 16 ผลการวัดการสั่นสะเทือน ชุดที่ 8 (30 นาที)

Project/Replace 10 Brg./Brg.9\b930/Spectrum Vibration - Hor. 19



รูปที่ 17 ผลการวัดการสั่นสะเทือน ชุดที่ 9 (30 นาที)

Project/Replace 10 Brg./Brg.10\b1030/Spectrum Vibration - Hor.



รูปที่ 18 ผลการวัดการสั่นสะเทือน ชุดที่ 10 (30 นาที)

จากรูปที่ 9 ถึงรูปที่18 สามารถเขียนความสัมพันธ์ค่าสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาที ของ ค่า gE ค่า FTF ค่า BSF ค่า BPFO และ ค่า BPFI ของตลับลูกปืนแต่ละชุด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสูงสุดที่วัดได้ของตลับลูกปืนในแต่ละชุดในระยะเวลา 30 นาที

Bearing No.	gE	FTF	BSF	BPFO	BPFI
1	1.47	0.0062331	0.00070775	0.00085019	0.00847251
2	1.31	0.0056672	0.00973892	0.00538961	0.01166743
3	5.56	0.8542906	0.63485111	0.73908106	0.3153304

ตารางที่ 1 ค่าสูงสุดที่วัดได้ของตลับลูกปืนในแต่ละชุดในช่วงเวลา 30 นาที (ต่อ)

Bearing No.	gE	FTF	BSF	BPFO	BPFI
4	4.4	0.4391657	0.10760689	0.26712514	0.74503494
5	3.92	0.3332633	0.07229253	0.09364454	0.75249537
6	1.74	0.0140693	0.01998036	0.01772987	0.01921302
7	2.39	0.3715968	0.19987997	0.17899954	0.35547712
8	3.71	0.6523368	0.2546485	0.23242975	0.8135428
9	2.95	0.5004741	0.39798266	0.29140443	0.58551087
10	3.06	0.6620521	0.66253871	0.48075983	0.66507974

4.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากค่า gE ที่เป็นมาตรฐานในการกำหนดความเสียหายของตลับลูกปืนในภาพรวม ดังรูปที่ 4 จากงานวิจัยนี้ ได้ใช้มอเตอร์ขนาด 22 กิโลวัตต์ ความเร็วรอบตามพิกัดที่ 1,465 รอบต่อนาที จะมีระดับความเสียหายของตลับลูกปืน สามารถแบ่งได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การแบ่งระดับความเสียหายของตลับลูกปืนจากตารางมาตรฐานในรูปที่ 4

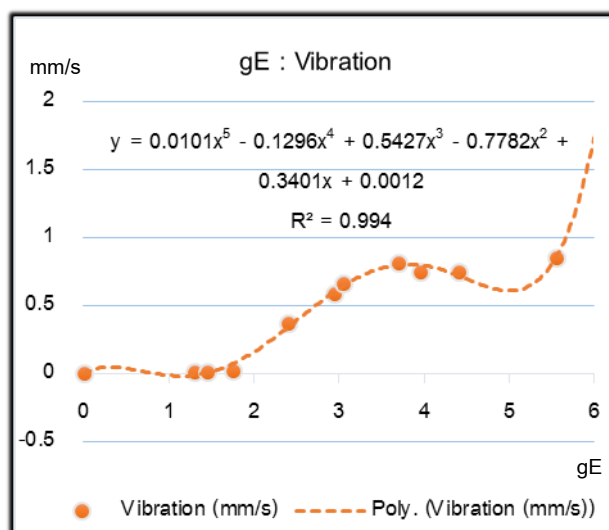
ระดับ	ค่า gE	ระดับความเสียหาย
1	ไม่เกิน 0.60	ปกติ
2	0.61-1.50	เริ่มต้น
3	1.51-4.00	ปานกลาง
4	4.01 ขึ้นไป	เปลี่ยน

จากตารางที่ 2 เทียบกับค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดของตลับลูกปืนแต่ละชุดในตารางที่ 1 สามารถแบ่งระดับความเสียหายของตลับลูกปืนแต่ละชุด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับความเสียหายของตลับลูกปืนแต่ละชุด

ระดับความเสียหาย	Bearing No.	ค่า gE (gE)	ระดับการสั่นสะเทือนสูงสุด (mm/s)
2	2	1.31	0.01166743
	1	1.47	0.00847251
3	6	1.74	0.01998036
	7	2.39	0.37159680
	9	2.95	0.58551087
	10	3.06	0.66507974
	8	3.71	0.81354280
	5	3.92	0.75249537
4	4	4.4	0.74503494
	3	5.56	0.85429060

จากตารางที่ 3 สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่า gE กับค่าการสั่นสะเทือนแสดง ได้ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า gE กับ ค่าการสั่นสะเทือน

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า gE กับ ค่าการสั่นสะเทือน สามารถเขียนสมการ ได้ดังนี้

$$y = 0.0101x^5 - 0.1296x^4 + 0.5427x^3 - 0.7782x^2 + 0.3401x + 0.0012 \quad (5)$$

$$R^2 = 0.994 \quad (6)$$

โดยที่ y คือ ค่าการสั่นสะเทือน

x คือ ค่า gE

R^2 คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (The Coefficient of Determination)

สมการที่ 5 เป็นสมการพหุนามกำลัง 5 ซึ่งมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0.37%

5. สรุปผล

จากงานวิจัยนี้ทำให้สามารถนำผลการวัดค่าความสั่นสะเทือน ณ ความถี่ต่างๆ ตามสมการที่ (1), (2), (3) และ (4) มาเปรียบเทียบกับเป็นค่า gE กับค่าการสั่นสะเทือน ได้ดังสมการที่ (5) ซึ่งสามารถใช้ค่าการสั่นสะเทือนเป็นข้อมูลอ้างอิงไปใช้ในการวิเคราะห์ความเสียหายของตลับลูกปืนในมอเตอร์ไฟฟ้าได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัทชูพันธุ์ อินดัสเทรียล จำกัด ที่สนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือสำหรับทดสอบงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

References

- [1] Li B, Chow MY, Tipsuwan Y, Hung JC. Neural-network-based motor rolling bearing fault diagnosis. IEEE transactions on industrial electronics 2000;47:1060-9.
- [2] Blödt M, Granjon P, Raison B, Rostaing G. Models for bearing damage detection in induction motors using stator current monitoring. IEEE transactions on industrial electronics 2008;55:1813-22.
- [3] Gautier G, Serra R, Mencik JM. Roller bearing monitoring by new subspace-based damage indicator. Shock and Vibration 2015:1-11.

- [4] Suechoey B, Siriporananon S, Pringsakul N, and Chupun P. Analysis of the performance bearings in electric motors. The 3rd SAU National Interdisciplinary Conference 2016; 2016 June 23; Nonthaburi, Thailand. p. 69-73. (In Thai)
- [5] SKF Reliability Systems@ptitudeXchange. Vibration monitoring envelope signal processing. San Diego: SKF Reliability Systems All Rights Reserved; 2004.
- [6] ITM Instruments Inc. X-viber instrument manual ver.1.01. Canada: 2007.
- [7] NTN Bearing Corporation. Care and maintenance of bearing. n.p.: 2017.

ประวัติผู้เขียนบทความ



สมศักดิ์ สิริโปราณานนท์ อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 19/1 ถนนเพชรเกษม เขต
หนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160. E-mail: somsaks@sau.ac.th

วันเกิด: 9 กรกฎาคม 2513

การศึกษา: วศ.บ. สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ปี 2537 และ วศ.ม. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปี 2543
งานวิจัยที่สนใจ: Analysis of The Electric Motor and Transformer.

Article History:

Received: December 23, 2018

Revised: February 11, 2019

Accepted: March 13, 2019