

การวิเคราะห์สัญญาณสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่เกิดจากการหลวมคลอนของโรเตอร์บาร์

The Vibration Signal Analysis of Motor Caused by The Loosening of The Rotor Bars

สรพัตย์ กันหารินทร์¹ ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน²

สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

Sunput Kanharint¹ Dumrongkiat Ratana-Amornpin²

Master Program in Engineering Technology (MET), Graduate School, Thai-Nichi Institute of Technology

Sanput.kan@gmail.com¹ dumrongkiat@tni.ac.th²

บทคัดย่อ

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เพื่อติดตามสภาพของชิ้นส่วนอุปกรณ์ในขณะที่มอเตอร์กำลังเดินเครื่องทำงานตามปกติ ซึ่งไม่จำเป็นต้องหยุดมอเตอร์ โดยใช้หลักการตรวจวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน เพื่อหาความไม่สมมาตรของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ (Stator / Rotor Air Gap Eccentricity) กราฟสเปกตรัมสามารถวิเคราะห์การสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงที่ความถี่ของการสั่นสะเทือนสองเท่าของความถี่สาย (Twice Line Frequency: 2xFL) และความถี่ของบาร์โรเตอร์ (Rotor Bar Pass Frequency: RBPF) วินิจฉัยได้ว่าการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นจากความผิดปกติที่มีสาเหตุจากไฟฟ้าทำให้บาร์โรเตอร์ของมอเตอร์ปั๊มน้ำป้อนหม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้าเกิดความเสียหายแบบหลวมคลอน งานวิจัยพบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย ระหว่างการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ และการบำรุงรักษาแบบขัดข้องกะทันหัน พบว่าการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์สามารถลดต้นทุนได้ถึง 42.57% นอกจากนี้ การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์จะใช้เวลาซ่อมมอเตอร์น้อยกว่าการบำรุงรักษาแบบขัดข้องกะทันหัน เป็นเวลา 15 วัน ดังนั้น ทำให้การดำเนินการแบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มีโอกาสขายไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 33.33%

คำสำคัญ: การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์, การบำรุงรักษาแบบขัดข้องกะทันหัน, การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนสเปกตรัม, ความถี่ของการสั่นสะเทือนสองเท่าของความถี่สาย, ความถี่ของบาร์โรเตอร์, มาตรฐานการสั่นสะเทือน ISO 10816-3

Abstract

Predictive maintenance (PredM) is monitoring the deterioration condition of components during operations in progress, without obstructing the production. The vibration signal is used to detect the symmetry between the stator and rotor air gap eccentricity. Spectra graph can be used to analyze the high amplitude of twice line frequency (2xFL) and rotor bar pass frequency (RBPF) vibration. The electrical problem results in the vibration spectra. The rotor bar of the motor boiler feed pump in power plant is loosen damaged. The comparison of maintenance cost between PredM and Breakdown Maintenance (BM) is shown that the PredM cost can be reduced by 42.57%. In addition, PredM overhaul task takes 15 days shorter than BM. The sales of electricity is likely to be increased by 33.33%

Keywords: Predictive Maintenance, Breakdown Maintenance, Vibration Spectrum Analysis, 2xFL, RBPF, Vibration Standard ISO 10816-3

1. บทนำ

ปัจจุบันความจำเป็นในการใช้ไฟฟ้ามีมากขึ้น ทำให้โรงไฟฟ้าต้องผลิตไฟฟ้าให้พอเพียงกับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากไฟฟ้าไม่สามารถกักเก็บได้เหมือนน้ำประปา ส่งผลให้โรงไฟฟ้าต้องผลิตไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง การขัดข้องกะทันหัน (Breakdown) ของชิ้นส่วนเครื่องจักรต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจะมีผลกระทบอย่างมากในการผลิตไฟฟ้า การเลือกใช้งานบำรุงรักษาที่เหมาะสมให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ จะช่วยให้ระบบผลิตไฟฟ้ามีความพร้อมและน่าเชื่อถือในการผลิตไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น เช่น บาร์โรเตอร์ของมอเตอร์ปั๊มน้ำป้อนหม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้าเกิดความเสียหายแบบหลวมคลอน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวจึงควรมีการตรวจสอบติดตามความผิดปกติเหล่านี้ เพื่อป้องกันความล้มเหลวที่จะเกิดขึ้น บาร์โรเตอร์หลวมคลอนไม่ทำให้เกิดความล้มเหลวทันที แต่ถ้าจำนวนของบาร์โรเตอร์หลวมคลอนมากๆ มอเตอร์จะมีแรงบิดไม่มากพอที่จะขับโหลด ทำให้เกิดการสั่นของมอเตอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ส่วนอื่นๆ เสียหายตามมา เทคนิคต่างๆ ได้รับการพัฒนาเพื่อตรวจสอบเฝ้าติดตามการหลวมคลอนของบาร์โรเตอร์ โดยไม่ต้องหยุดเครื่องจักร เพราะเครื่องจักรขนาดใหญ่การหยุดเพื่อถอดประกอบหรือโรเตอร์จะเสียค่าใช้จ่ายมาก เช่น ค่าเสียโอกาสในการขายไฟฟ้าเพื่อหยุดตรวจเช็ค ค่าแรงงานในการถอดประกอบ ค่าเปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่ประกันกันรั่ว และแบร์ริง เป็นต้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การซ่อมบำรุงแบบขัดข้องกะทันหัน (Breakdown Maintenance: BM)

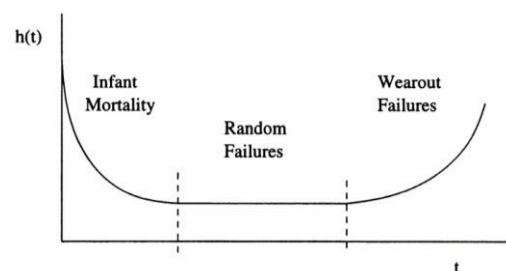
งานบำรุงรักษาที่เป็นงานซ่อมเครื่องจักรหลังจากที่เครื่องจักรเกิดขัดข้องกะทันหัน โดยเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เสียหาย ซ่อมแซมชิ้นส่วนบางส่วน หรือทำชิ้นส่วนขึ้นมาใหม่ เพื่อให้เครื่องจักรสามารถกลับมาใช้งานใหม่ได้ดี [7]

2.2 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance: PredM)

งานบำรุงรักษาที่กำหนดให้มีการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรหรือตรวจวัดสภาพการทำงานด้วยเครื่องมือที่สามารถวิเคราะห์สภาพความรุนแรงที่ผิดปกติ ทำให้พยากรณ์อายุการใช้งานของเครื่องจักร และวางแผนที่จะแก้ไขก่อนที่จะเกิดการขัดข้องกะทันหันของเครื่องจักร [7]

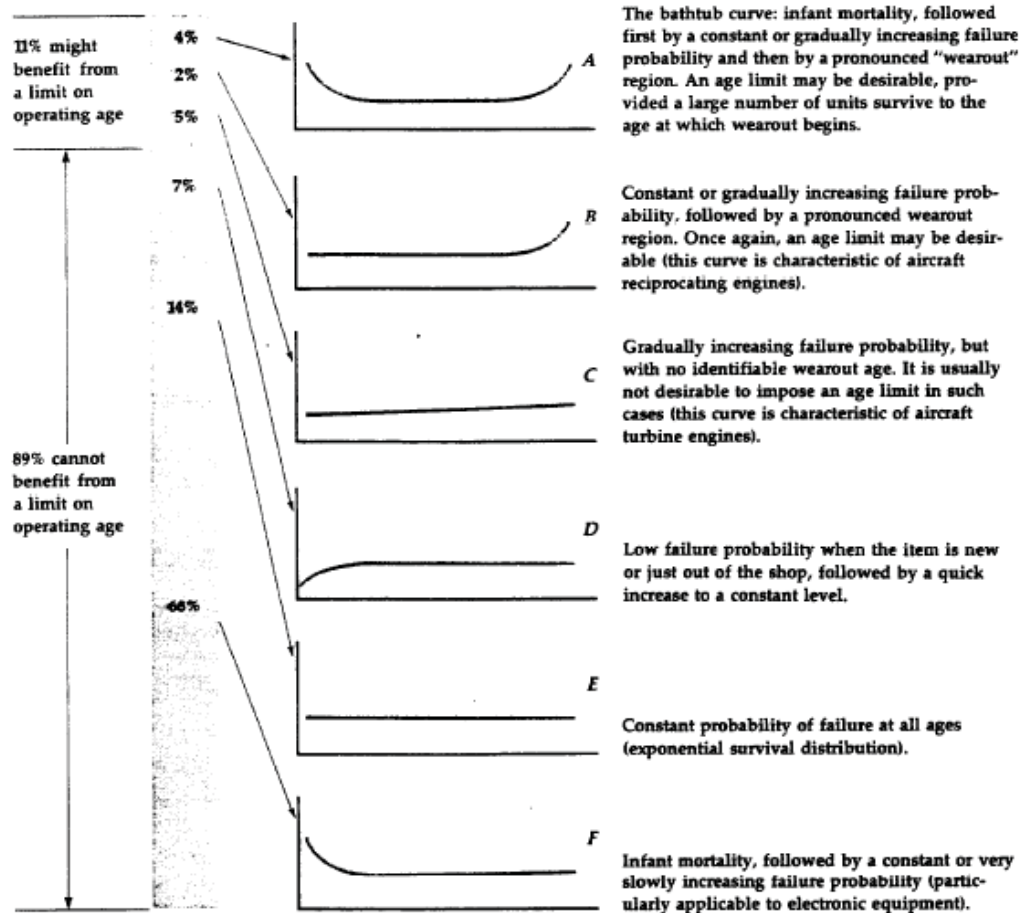
2.3 วิวัฒนาการของการบำรุงรักษา

ก่อนปี 1950 เป็นยุคที่เครื่องจักรออกแบบมาให้ใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน มีความแข็งแรง การซ่อมบำรุงจึงเปลี่ยนแค่อะไหล่และซ่อมแซมอุปกรณ์บางตัวที่ขัดข้องกะทันหันและหมดอายุการใช้งาน (Breakdown Maintenance: BM) ต่อมาระหว่างปี ค.ศ. 1950 – 1970 ผู้ผลิตเครื่องจักรเป็นผู้กำหนดการซ่อมบำรุงรักษา เพราะผู้ที่มีความเข้าใจในการใช้งานของเครื่องจักรมีไม่มากนัก และคิดว่าการชำรุดเสียหายหรือสึกหรอของเครื่องจักรมีลักษณะเป็นเส้นโค้งรูปร่างน้ำ (Bathtub Curve) เท่านั้น ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 The classical bathtub curve [8]

ยุคหลังปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา พบว่าการชำรุดของเครื่องจักรมีอยู่ 6 รูปแบบหลัก รูปแบบ A, B และ C เป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM) เพราะการสึกหรอของเครื่องจักรมีความสัมพันธ์กับอายุการใช้งาน ส่วนรูปแบบ D, E และ F เลือกใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance: PredM) เนื่องจากอายุการใช้งานไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราการสึกหรอของเครื่องจักร ดังรูปที่ 2

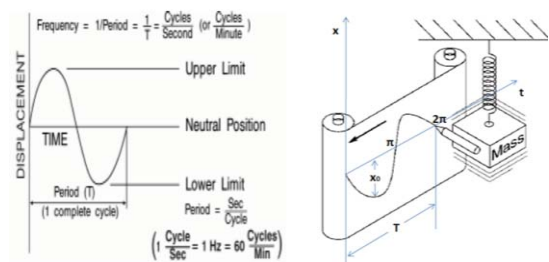


รูปที่ 2 Age-reliability patterns [9]

2.2 การสั่นสะเทือน (Vibration)

การสั่นสะเทือน คือการเคลื่อนที่ของวัตถุรอบๆ จุดสมดุลในช่วงเวลาหนึ่งของการเคลื่อนที่ ไม่ว่าการเคลื่อนที่รอบจุดสมดุลนั้นจะเกิดขึ้นในแบบการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา หรือจะเป็นการแกว่งรอบจุดสมดุลก็ตาม เช่น การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา หรือการเคลื่อนที่ของมวลที่ติดกับสปริง เป็นต้น **ความถี่** (Frequency) วัตถุที่มีการสั่นจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาผ่านตำแหน่งคงที่หนึ่ง เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสูงสุดค่าหนึ่ง และย้อนกลับมายังตำแหน่งคงที่เดิม ถือว่ามีการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ (1 Cycle) ในช่วงเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hertz; Hz) **แอมพลิจูด** (Amplitude) วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบสั่นจะมีค่าระยะทางหรือการกระจัด (Displacement) มากที่สุดในแต่ละข้างของตำแหน่งคงที่หนึ่ง มีหน่วยเป็นความยาว ความรุนแรง

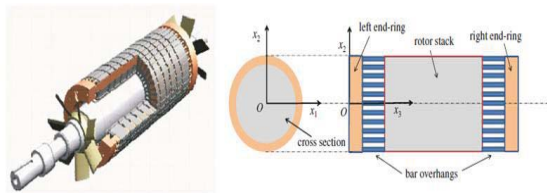
ของการสั่นจะขึ้นกับค่าแอมพลิจูดนี้ **ความเร็ว** (Velocity) วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบสั่นจะมีการกระจัด (Displacement) ที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ในระหว่างการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็นระยะทางต่อเวลา **ความเร่ง** (Acceleration) การเปลี่ยนแปลงความเร็วของการสั่นของวัตถุจากค่า 0 ถึงค่าสูงสุดระหว่างการสั่นแต่ละรอบเทียบกับเวลา มีหน่วยเป็นระยะทางต่อหน่วยเวลากำลังสอง [1]
ดังรูปที่ 3



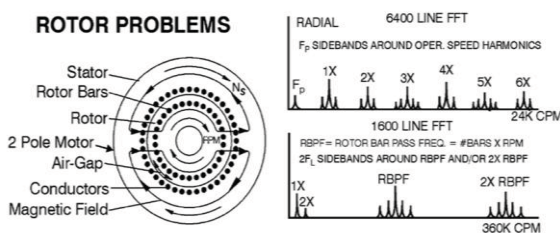
รูปที่ 3 ลักษณะองค์ประกอบของการสั่นสะเทือน [2]

2.3 ปัญหาของโรเตอร์ (Rotor Problem)

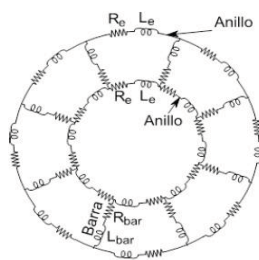
โครงสร้างของโรเตอร์มอเตอร์ประกอบด้วย เพลา (Shaft) บาร์โรเตอร์ (Rotor Bar) จุดเชื่อมต่อของวงแหวนรอบนอก (Shorting Ring) แผ่นลามิเนตของโรเตอร์ (Rotor Laminate) [3] ดังรูปที่ 4 การแตกหักบาร์โรเตอร์ จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์สูงที่ 1X พร้อมกับความถี่ข้างเคียงของความถี่ตัดผ่านขั้ว (Pole Pass Frequency: PF) และถ้าปัญหาเกิดจากการหลวมของบาร์โรเตอร์ (Loose Rotor Bar) สเปกตรัมจะแสดงสัญญาณความถี่ของโรเตอร์บาร์ (Rotor Bar Pass Frequency: RBPF) พร้อมกับความถี่ข้างเคียงที่ 2 x ความถี่ทางไฟฟ้า (2FL) รอบๆ RBPF [2] ดังรูปที่ 5 วงจรแม่เหล็กของโรเตอร์มีลักษณะเป็นตาข่ายที่มีตัวต้านทาน (Resistance) และ ตัวเหนี่ยวนำ (Inductance) [4] ดังรูปที่ 6



รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างของบาร์โรเตอร์ [3]



รูปที่ 5 ลักษณะของสเปกตรัมแสดงปัญหาทางไฟฟ้าของมอเตอร์ [2]



รูปที่ 6 วงจรความต้านทาน (Resistance) และตัวเหนี่ยวนำ (Inductance) ของบาร์โรเตอร์ [4]

2.4 การสั่นสะเทือนตามมาตรฐานสากล

(ISO10816-3 Standard)

การกำหนดระดับความสำคัญและความเร่งส่วนแบ่งออกเป็น 4 ระดับคือ **ระดับดี** เป็นระดับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่ปกติหรือเครื่องจักรที่ติดตั้งใหม่ **ระดับพอใช้** เป็นระดับการสั่นสะเทือนที่ยอมให้เครื่องจักรทำงานได้ในช่วงสั้นๆ และติดตามดูแลแนวโน้มความรุนแรงสม่ำเสมอ **ระดับที่ควรปรับปรุง** เป็นระดับการสั่นสะเทือนที่อันตรายควรหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการแก้ไข แต่ถ้าไม่สามารถหยุดเครื่องจักรได้ ควรเฝ้าติดตามอย่างใกล้ชิดเพราะเครื่องจักรสามารถเกิดความขัดข้องฉุกเฉินได้ และ**ระดับหยุดเครื่องจักร** เป็นระดับการสั่นสะเทือนที่เป็นอันตรายต่อเครื่องจักร ควรหยุดเครื่องจักรเพื่อหาสาเหตุและแก้ไขให้เป็นปกติ

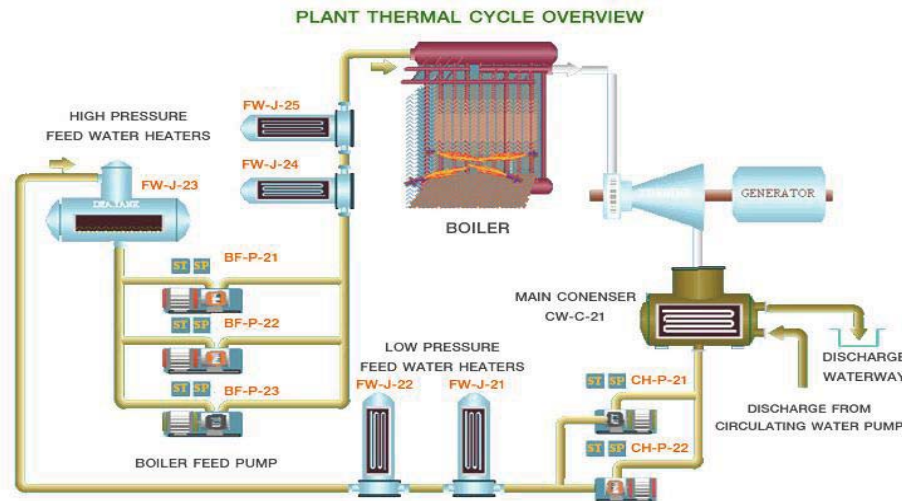
3.วิธีการดำเนินงาน

3.1 ศึกษารายละเอียดของระบบ

โรงไฟฟ้าพลังความร้อน (Thermal Power Plant) ใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ เช่น น้ำมันเตา นิวเคลียร์ ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ มาต้มน้ำให้เป็นไอน้ำความดันสูงไปขับเคลื่อนกังหันให้หมุนเป็นพลังงานกล และต่อเพลาเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าซึ่งมีแรงดันและความถี่ตามที่กำหนดไว้ อุปกรณ์หลักของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน กังหันไอน้ำ ได้แก่หม้อกำเนิดไอน้ำ (Boiler) น้ำบริสุทธิที่ปราศจากแร่ธาตุ (Deminerize Water) จะถูกสูบน้ำโดย Motor Boiler Feed Pump (MBFP) เข้าไปสู่หม้อและรักษาระดับน้ำในหม้อน้ำให้เหมาะสม หม้อไอน้ำจะเปลี่ยนน้ำให้เป็นไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงและส่งไอน้ำไปที่เครื่องกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เครื่องกังหันไอน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานความร้อนของไอน้ำให้เป็นพลังงานกล โดยเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) มีแบบต่อตรงเข้ากับเพลลาของเครื่องกังหันไอน้ำเมื่อเครื่องกังหันไอน้ำหมุน จะทำให้เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนด้วย และแบบมี Gear Box ซึ่งทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังและเปลี่ยนความเร็วรอบหมุนจากเครื่องกังหันไอน้ำไปสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเพลลาของเครื่องกังหันไอน้ำต่อเข้ากับเพลลาชุดของ Pinion Gear ส่วนเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเข้ากับ

เพลาชุดของ Wheel Gear เมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะส่งเข้าไปยังหม้อแปลงไฟฟ้า

แรงดันสูงเพื่อจ่ายให้กับสายส่งแรงสูงต่อไป ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตัวอย่างรูปแบบวัฏจักรโรงไฟฟ้าพลังความร้อน [6]

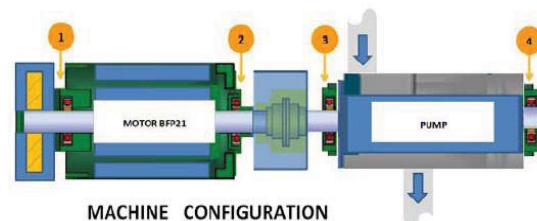
3.2 จัดทำแผนการตรวจวัดและเก็บข้อมูล

การซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์ (PdM) หมายถึง การทำงานบำรุงรักษาโดยกำหนดให้มีกิจกรรมการตรวจวัดสภาพการทำงานหรือวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร-อุปกรณ์ ด้วยเครื่องมือตรวจจับหรือเครื่องมือทดสอบที่สามารถวิเคราะห์สภาพความรุนแรงของความผิดปกติได้ ทำให้สามารถคาดการณ์ถึงอายุการใช้งาน และวางแผนแก้ไขก่อนที่จะเกิดการชำรุดเสียหายได้ทันกาล [7] โดยดำเนินการวัดเก็บข้อมูลเบื้องต้น เพื่อประเมินเป็นฐานข้อมูลในรูปของกราฟแนวโน้ม (Trend Plot) ถ้าเครื่องจักรมีการสั่นสะเทือนเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ให้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิดขึ้นและรายงานสรุปผลของปัญหา จัดทำแผนการบำรุงรักษาเพื่อจัดเตรียมอะไหล่สำรอง และดำเนินการบำรุงรักษาตามแผนที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 8

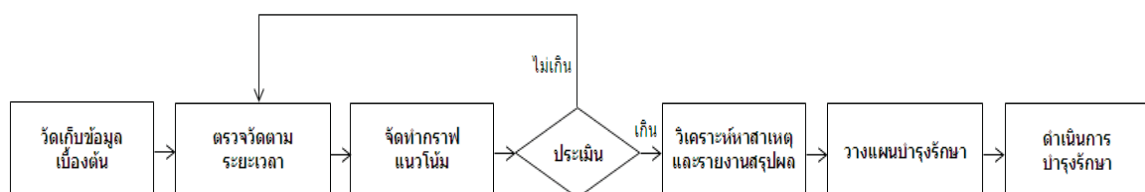
3.3 การวางตำแหน่งหัววัดการสั่นสะเทือน

การวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ไฟฟ้าและคอมเพรสเซอร์ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์และได้กำหนดขอบเขตการวัด (Perimeters) เป็น 2 จุดใหญ่ๆ คือจุดที่ 1 ด้านท้ายมอเตอร์ (Motor Non Drive End) จุดที่ 2 มอเตอร์ด้านขับโหลด (Motor Drive End) แต่ละจุดดำเนินการวัด 3 แนว คือ แนวตั้ง (Vertical) แนวข้าง (Horizontal) และแนวแกน (Axial) ดังรูปที่ 9

หัววัดการสั่นสะเทือนเป็นชนิด Piezoelectric accelerometer แบบ Shear 100mV. ย่านความถี่ที่ใช้วัด 0 ถึง 400 kHz



รูปที่ 9 ตำแหน่งที่ใช้วัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์



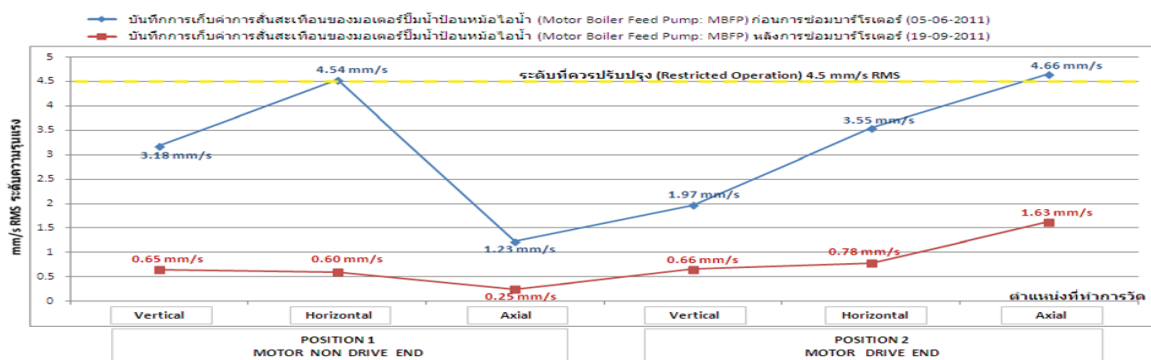
รูปที่ 8 ผังดำเนินงานการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

4 สรุปผลการวิจัย

4.1 วัดค่าและเก็บข้อมูลการสั่นสะเทือน

ตารางที่ 1 บันทึกการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบก่อนซ่อมและหลังซ่อมบาร์โรเตอร์ โซ่กราฟแนวโน้มดังรูปที่ 10

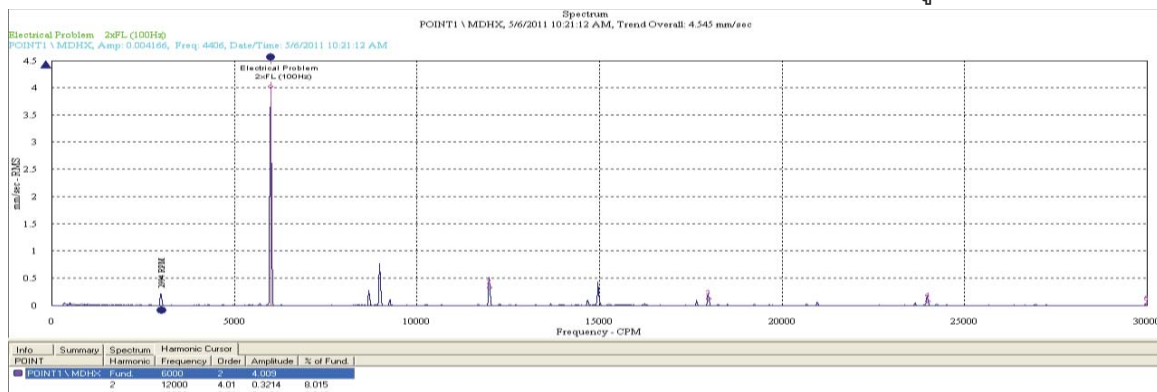
RUNNING CONDITION	DIRECTION	UNIT	MOTOR BOILER FEED PUMP		Status
			Position (1) Motor Non Drive End	Position (2) Motor Drive End	
ON LOAD 100%	Vertical	mm/s - RMS	3.18	1.97	Before
	Horizontal	mm/s - RMS	4.54	3.55	
	Axial	mm/s - RMS	1.23	4.66	
ON LOAD 100%	Vertical	mm/s - RMS	0.65	0.66	After
	Horizontal	mm/s - RMS	0.60	0.78	
	Axial	mm/s - RMS	0.25	1.63	



4.2 วิเคราะห์สาเหตุ

จากการตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ขณะเดินเครื่อง ก่อนซ่อมบาร์โรเตอร์ พบว่าค่าการสั่นอยู่ในระดับที่ควรปรับปรุง ที่มอเตอร์ตำแหน่ง 1H (Motor NDE) เท่ากับ 4.54 mm/s และตำแหน่ง 2A (Motor DE) เท่ากับ 4.66 mm/s แสดงตารางที่ 1 ทำ

การวัดการสั่นของมอเตอร์ในหน่วยของความเร็วจาน (Velocity-mm/sRMS) พบความถี่การสั่นสะเทือนที่ 6000 CPM เท่ากับ 2xFL (100Hz) ปัญหาน่าจะเกิดจากการผิดปกติของสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ที่ไม่สมมาตรของช่องว่างอากาศ (Air Gap) ระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ แสดงกราฟสเปกตรัม ดังรูปที่ 11



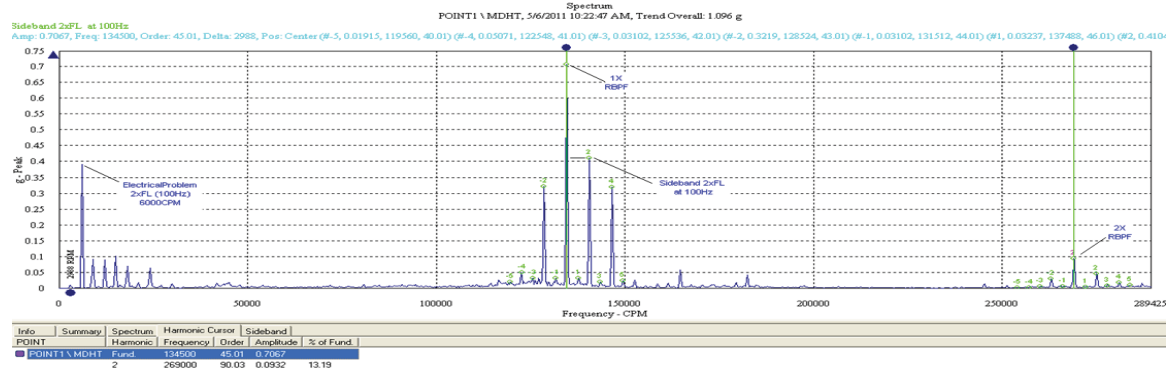
ในหน่วยความเร่ง (Acceleration-gPeak) วัด
การสั่นสะเทือนของมอเตอร์ โดยเปิด
Fmax=400000CPM และ Line Solution=6400 line กราฟ
สเปกตรัม 1X Rotor Bar Pass Frequency: RBPF
ของมอเตอร์ที่ 134500 CPM พร้อมด้วยความถี่

ข้างเคียง (Side Band) เท่ากับ 2xFL (100Hz) ที่
6000CPM

$$\text{RBPF} = \text{Bars} * \text{Speed} \quad (1)$$

$$134500 = 45 * 2988$$

จากกราฟสเปกตรัมที่พบ ระบุได้ว่าบาร์โรเตอร์น่าจะ
หลวมคลอน แสดงกราฟสเปกตรัม ดังรูปที่ 12

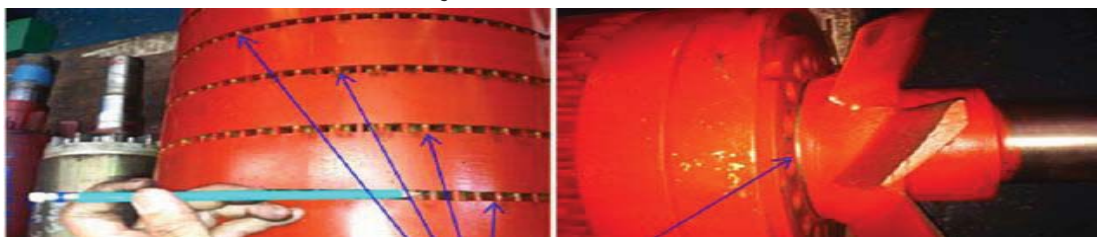


รูปที่ 12 สเปกตรัมแสดงความถี่ที่ตำแหน่ง 1H พบสัญญาณความถี่ของ RBPF
(ก่อนซ่อม)

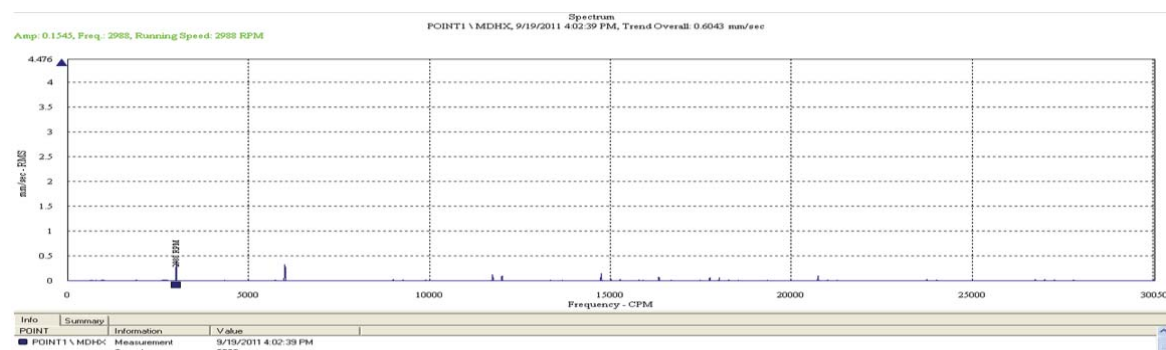
4.3 หยอดเพื่อซ่อมบำรุง

หลังจากหยุดเครื่องจักรเพื่อตรวจสอบสภาพ
บาร์โรเตอร์มอเตอร์พบว่า เกิดการหลวมคลอนของบาร์
โรเตอร์ โดยเลื่อนออกจากร่องสล๊อต ประมาณ 5mm.
ดังรูปที่ 13 และยังพบว่าฐานของมอเตอร์ไม่ได้ระดับกัน
เมื่อติดตั้งใช้งานทำให้สเตเตอร์บิดตัวเกิดปัญหาช่อง

อากาศไม่สมมาตรขึ้นได้ หลังจากซ่อมชุดโรเตอร์ของ
มอเตอร์โดยการเปลี่ยนบาร์โรเตอร์ใหม่ และปรับฐาน
ของมอเตอร์ให้ได้ระดับที่เท่ากันทั้งหมด พบว่าค่าการ
สั่นสะเทือนของเครื่องจักรลดลงที่ตำแหน่ง 1H จาก
4.54 mm/s ลดลงเหลือ 0.60 mm/s ดังรูปที่ 14



รูปที่ 13 การตรวจสอบบาร์โรเตอร์ (ก่อนซ่อม)



รูปที่ 14 สเปกตรัมแสดงความถี่ที่ตำแหน่ง 1H ค่าการสั่นสะเทือน 0.6 mm/s
(หลังซ่อม)

5. ข้อเสนอแนะ

การคัดเลือกเครื่องจักรเพื่อทำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ จะต้องพิจารณาถึงความสำคัญของเครื่องจักรว่ามีผลกระทบมากน้อยเพียงใดต่อการผลิต เพราะเครื่องมือใช้การตรวจติดตามการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์บางอย่างมีราคาสูงมาก และบุคลากรที่เชี่ยวชาญเฉพาะด้านมีน้อย ถ้าเลือกเครื่องจักรที่มีระดับความสำคัญต่ำหากเลือกใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ผลลัพธ์ที่ได้อาจจะไม่คุ้มค่าใช้จ่าย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้พบว่าการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์สามารถลดต้นทุนในการซ่อมมอเตอร์ปั๊มน้ำป้อนหม้อไอน้ำได้ถึง **42.57%** เมื่อเปรียบเทียบกับการบำรุงรักษาแบบซ่อมเมื่อเสีย ดังตารางที่ 2 นอกจากนี้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์จะใช้เวลาซ่อมมอเตอร์น้อยกว่าการบำรุงรักษาแบบขัดข้องกะทันหัน เป็นเวลา 15 วัน เนื่องจากต้องสั่งลวดจากต่างประเทศ ทำให้การดำเนินการแบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มีโอกาสขายไฟฟ้าเพิ่มขึ้น **33.33%** ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์จะถูกกว่าการบำรุงรักษาแบบซ่อมเมื่อเสีย **42.57%**

รายการที่ซ่อมมอเตอร์ปั๊มน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (Motor Boiler Feed Pump)	ราคาที่ซ่อม (บาท)	Breakdown Maintenance	Predictive Maintenance
ค่าถอดประกอบ ติดตั้ง อะไหล่สิ้นเปลืองและขนส่ง	500,000	/	/
ค่าพันขดลวดสเตเตอร์และเคลือบฉนวน VPI Process (สั่งลวดจากต่างประเทศ เนื่องจากเป็นมอเตอร์ Medium Voltage)	800,000	/	
ค่าเปลี่ยนบาร์โรเตอร์และ Balancing	450,000	/	/
ค่าวิเคราะห์การสั่นสะเทือน	55,000		/
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด		1,750,000 บาท	1,005,000 บาท

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าเสียโอกาสในการขายไฟฟ้าการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์จะใช้ระยะเวลาซ่อมน้อยกว่าการบำรุงรักษาแบบขัดข้องกะทันหัน **15 วัน** มีโอกาสขายไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น **33.33%** มูลค่า **40.81725 ล้านบาท**

แผนการบำรุงรักษา	จำนวนวันที่หยุดซ่อมมอเตอร์ ปั๊มน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	ค่าเสียโอกาสในการขายไฟฟ้า (Generator ขนาด 75,000 KW) เมื่อเดิน Half Load ที่ 37,500 KW
การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์	30 วัน	81.6345 ล้านบาท
การบำรุงรักษาแบบขัดข้องกะทันหัน	45 วัน	122.45175 ล้านบาท

หมายเหตุ: ขายไฟฟ้า On Peak หน่วยละ 3.854 บาท (KW/Hr) ช่วงเวลา 9.00-22.00 น.

ขายไฟฟ้า Off Peak หน่วยละ 2.042 บาท (KW/Hr) ช่วงเวลา 22.00-9.00 น.

โรงไฟฟ้าเดินจ่ายโหลดเพียงครึ่งเดียว(Half Load) เนื่องจากมอเตอร์ปั๊มน้ำป้อนหม้อไอน้ำ
เดินเครื่อง 1 ตัว ส่วนอีก 1 ตัวสงซ่อม



เอกสารอ้างอิง

- [1] ประดิษฐ์ หมูเมืองสอง. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีอีดียูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2550.
- [2] E. James; P. Berry; 'Technical Associates of Charlotte' 1997
- [3] L. Beneduce; G. Caruso; D. Iannuzzi; F. Maceri; E. Pagano; and L. Piegari; 'Analysis of a structural failure mode arising in cage rotors of induction machines' Received: 14 October 2010 / Accepted: 24 March 2011 / Published online: 11 April 2011© Springer-Verlag 2011
- [4] E. Talbot Christian; N. Saavedra; V. Pedro; and M. Anibal; 'Diagnosis of Induction Motors **Bar** Condition' *Information Tecnology*. 2013, Vol. 24 Issue 4, p85-94. 10p.
- [5] M. Amarnath; R. Shrinidhi; A. Ramachandra; and S. Kandagal; 'Prediction of Defects in Antifriction Baring using Vibration Signal Analysis' *IE (I) Journal – MC*, 2004
- [6] KHANOM Thermal Power Plant, http://www.khanom.egco.com/th/our_power_plant_power_production_process.php สืบค้น April 18, 2016
- [7] S. Supat; 'Efficacy of Maintenance' Bangkok , Se-Education Public Company Limited, 2006
- [8] IEEE TRANSACTIONS ON RELIABILITY, VOL. 52, NO. 1, MARCH 2003
- [9] Nowlan, F. Stanley. and Heap, Howard F. Reliability Centered Maintenance. United Airlines, Braun-Brumfield Inc; 1978