Rattanakosin Journal of Science and Technology:RJST
2021, Volume 4 Issue 1: 54-62
Research Article
Online ISSN: 2673-0553

การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนกรณีรองลื่นมอเตอร์ผิดพร่อง ด้วยพีโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์

Vibration analysis in case of bearing motor defected by piezoelectric sensor

ชูศักยฐ์ กมลขันติธร[1*] และ เอกพล อนุสุเรนทร์[2]

[1*, 2] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

[1*]E-mail: choosak.k@mail.rmutk.ac.th, [2]E-mail: ekkapol.a@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

รองลื่นเป็นอุปกรณ์ลดแรงเสียดทานของเครื่องจักรกลและอุปกรณ์ต่าง ๆ เมื่อติดตั้งรองลื่นเข้ากับเครื่องจักรกลแล้วก็จะใช้งานรองลื่นจนรองลื่นนั้นเสื่อมสภาพ หลังจากนั้นก็จะเปลี่ยนไปใช้รองลื่นตัวใหม่ รองลื่นจึงเป็นอุปกรณ์ที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้ รองลื่นถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญของมอเตอร์ ซึ่งความผิดพร่องของรองลื่นจะส่งผลกระทบต่อการทำงานและประสิทธิภาพ ดังนั้นหากสามารถตรวจจับความผิดพร่องของรองลื่นจากค่าความสั่นสะเทือนได้ก่อนที่มอเตอร์จะเกิดความเสียหายร้ายแรงขึ้น จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา มอเตอร์มีอายุการใช้งานยาวนาน และมีประสิทธิภาพที่ดี บทความวิจัยนี้จึงนำเสนอการวัดและบันทึกค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบเริ่มเดินด้วยตัวเก็บประจุ ขนาด 1/4 แรงม้า ด้วยอุปกรณ์วัดค่าความสั่นสะเทือนชนิดพีโซอิเล็กทริก และ Data Acquisition DEWE 43 กรณีมีโหลดทางกล และในกรณีที่ไม่มีโหลดทางกลของรองลื่นจำนวน 5 คู่ และกรณีศึกษาสำหรับการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบแยกเฟสของพัดลมระบายอากาศขนาด 1/4 แรงม้า ในสถานประกอบการ จำนวน 5 เครื่อง หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เชิงความถี่ด้วยการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว โดยใช้โปรแกรม Dewesoft 7.0 และ MATLAB เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816-1 ทำให้สามารถบ่งบอกความผิดพร่องของรองลื่นเพื่อการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์

คำสำคัญ : ความสั่นสะเทือน รองลื่น มอเตอร์แบบเริ่มเดินด้วยตัวเก็บประจุ มอเตอร์แบบแยกเฟส พีโซอิเล็กทริก การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว มาตรฐาน ISO 10816-1

[*]Corresponding author, e-mail: choosak.k@mail.rmutk.ac.th

Submission date: 26/12/2021 / Acceptance date: 05/ 04/ 2022/ Published date: 22/ 04/ 2022

Abstract

Bearing is a tool for machinery's friction reduction. Once the installation of the bearing completes, it would be functional until its deterioration before the use of the new bearing. Most importantly, a bearing is irreparable. Since the bearing is the major component of the motor, the bearing faults could affect the efficiency and operation. By detecting the bearing faults from its vibration before fatal damage occurs, the motor's maintenance cost will be cheaper, the maintenance life will be longer, and there would be an improvement of its efficiency. This research article proposes the measurement of capacitor start motor at 1/4 horsepower's vibration by using the vibration detection tool called piezoelectric with Data Acquisition DEWE 43 in case of mechanical loads, the absence of mechanical loads on the five pairs of bearing, and the case study on the analysis of five ventilators on their split phase motor at 1/4 horsepower. Then, the data would process through the frequency analysis on the Fast Fourier Transform by using Dewesoft 7.0 and MATLAB compared to the standard ISO 10816-1. The results would indicate the faults of bearing for predictive maintenance.

Keywords: Vibration, Bearing, Capacitor start motor, Split phase motor, Piezoelectric, Fast fourier transform, ISO 10816-1

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า อาคาร สำนักงาน และบ้านเรือน ล้วนแล้วแต่มีเครื่องจักรกลเป็นส่วนหนึ่ง เช่น พัดลม เครื่องปรับอากาศ มอเตอร์ที่ใช้ในสายการผลิต ฯลฯ ซึ่งเครื่องจักรกลเหล่านั้นโดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้มอเตอร์เป็นชิ้นส่วนประกอบหลัก เมื่อใช้งานมอเตอร์ไประยะเวลาหนึ่งก็จะทำให้มอเตอร์เกิดความสั่นสะเทือนเกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุของความสั่นสะเทือนอาจเกิดจากจุดรองรับ เช่น ลูกปืน บูชเพลา เสื้อลูกปืน ฯลฯ สึกหรอ เครื่องจักรเกิดความไม่สมดุล หรือมีชิ้นส่วนใดเคลื่อนหรือหลุดไปจากตำแหน่งปกติ เป็นต้น แต่สาเหตุหนึ่งที่มีความสำคัญคือการชำรุดสึกหรอของรองลื่น การเสื่อมสภาพลงของรองลื่นส่งผลให้มอเตอร์เกิดความสั่นสะเทือนเพิ่มมากขึ้น ไม่สามารถมองด้วยตาเปล่าได้ ดังนั้นหากสามารถทราบความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับรองลื่นของมอเตอร์ได้ ก่อนที่จะเกิดความเสียหายตามมา ก็สามารถป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการวัดและบันทึกค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบเริ่มเดินด้วยตัวเก็บประจุ ขนาด 1/4 แรงม้า ด้วยอุปกรณ์วัดค่าความสั่นสะเทือนชนิดพีโซอิเล็กทริกในกรณีที่มีโหลดทางกล และในกรณีที่ไม่มีโหลดทางกลของรองลื่นจำนวน 5 คู่ และกรณีศึกษาสำหรับการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบแยกเฟสของพัดลมระบายอากาศ ขนาด 1/4 แรงม้า ในสถานประกอบการ จำนวน 5 เครื่อง หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลที่บันทึกผ่าน Data Acquisition DEWE 43 มาทำการวิเคราะห์เชิงความถี่ด้วยการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว ด้วยโปรแกรม Dewesoft 7.0 และ MATLAB เปรียบเทียบกับ

มาตรฐานที่ระบุระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือน ISO 10816-1 ทำให้สามารถบ่งบอกความผิดพร่องของรองลื่นเพื่อการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ ทำให้มอเตอร์มีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น มีความน่าเชื่อถือ และลดต้นทุนการซ่อมบำรุง

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้พีโซอิเล็กทริกสำหรับการวัดความสั่นสะเทือน และการวิเคราะห์ค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบเริ่มเดินด้วยตัวเก็บประจุและมอเตอร์แบบแยกเฟสเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816-1 เพื่อการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบเริ่มเดินด้วยตัวเก็บประจุในกรณีความผิดพร่องของรองลื่นมีดังนี้

Raj Kumar Patel และคณะ[1] นำเสนอบทความวิจัย “Induction Motor Bearing Fault Identification Using Vibration Measurement” กล่าวถึงการค้นหาและระบุความถี่ที่เกิดความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีรองลื่นแบบเม็ดกลม โดยพิจารณาที่ความถี่ของความเร็วในการทำงาน (Running Speed Frequency, fr) ความถี่ที่ผิดพร่องของรองลื่นเม็ดกลม (Ball Spin Frequency, BS) ความถี่จากรางรองลื่นภายใน (Inner Raceway Fault, IRF) และความถี่จากรางรองลื่นภายนอก (Outer Raceway Fault, ORF) โดยการนำข้อมูลความสั่นสะเทือนของรองลื่นผ่านกระบวนการแปลงเวฟเล็ท (Wavelet Transform) และการแปลงฮิลเบิร์ต (Hilbert Transform) ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ความถี่ที่เกิดความผิดพร่องของความเร็วในการทำงานเท่ากับ 29.23 เฮิรตซ์ ความถี่ที่เกิดความผิดพร่องของรองลื่นเม็ดกลมเท่ากับ 68.89 เฮิรตซ์ ความถี่ที่เกิดความผิดพร่องจากรางรองลื่นภายในเท่ากับ 158.34 เฮิรตซ์ และความถี่ที่เกิดความผิดพร่องจากรางรองลื่นภายนอกเท่ากับ 104.76 เฮิรตซ์

Ahmed A. Elfeky, และคณะ [2] นำเสนอบทความวิจัย “Fault Signature Production for Rolling Element Bearings in Induction Motor” กล่าวถึงการตรวจสอบความผิดพร่องที่เกิดกับรองลื่นเม็ดกลม 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 Single Point Defects ซึ่งจะบ่งบอกคุณลักษณะของความถี่ที่เกิดความผิดพร่องที่ขึ้นอยู่กับพื้นผิวของรองลื่นที่มีความผิดพร่อง เช่น รางรองลื่นภายใน รางรองลื่นภายนอก เม็ดกลม และโครง รูปแบบที่ 2 Generalized Roughness Fault ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากของความสั่นสะเทือนของมอเตอร์ และกระแสสเตเตอร์ โดยทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์ที่มีรองลื่นปกติกับมอเตอร์ที่มีความผิดพร่องของรองลื่น ผลการวิจัยสรุปได้ว่า เมื่อพิจารณา Generalized Roughness Fault มอเตอร์มีความสั่นสะเทือน และเสียงรบกวนเพิ่มขึ้น เกิดความถี่แถบข้าง (Sidebands Frequency) รอบ ๆ ความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency) และเกิดองค์ประกอบฮาร์มอนิกที่สามที่กระแสสเตเตอร์สูงขึ้น และเมื่อพิจารณา Single Point Defects ทำให้ทราบค่าความถี่ที่เกิดผิดพร่องของรองลื่น

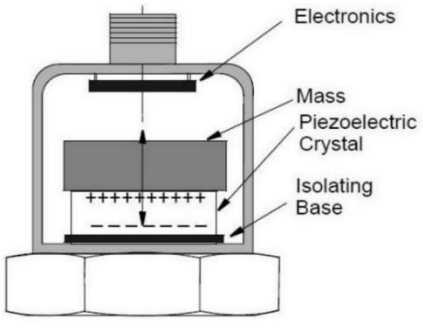
Levent Eren และคณะ[3] นำเสนอบทความวิจัย “Bearing Damage Detection via Wavelet Packet Decomposition of the Stator Current” กล่าวถึงกระบวนการค้นหาความผิดพร่องของรองลื่น สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า 200 โวลต์ 60 เฮิรตซ์ 1,750 รอบต่อนาที 4 ขั้วแม่เหล็ก ด้วยการเก็บรวบรวมค่ากระแสสเตเตอร์จากนั้นจึงนำมาผ่านนอตช์ฟิลเตอร์ (Notch Filter) ก่อนเข้าสู่กระบวนการ Wavelet Packet Decomposition เพื่อ

คำนวณหาค่ารากกำลังสองเฉลี่ยจากค่าสัมประสิทธิ์ของ Wavelet Packet หลังจากนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบกับค่าพื้นฐาน ผลการวิจัยสรุปได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของรางรองลื่นภายนอกสภาพปกติที่ Node 22 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0074 Node23 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0099 และค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของรางรองลื่นภายนอกที่เกิดความผิดพร่องที่ Node 22 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0235 Node23 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0119 และเมื่อเปรียบเทียบค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของโครงรองลื่นสภาพปกติที่ Node 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0396 Node7 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0275 และค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของโครงรองลื่นที่เกิดความผิดพร่องที่ Node 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1099 Node7 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1635

3.1 รองลื่นหรือแบริ่ง

รองลื่น [4] เป็นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องจักรกลหลายชนิด เพื่อช่วยรองรับหรือช่วยยึดชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรกลที่มีการหมุนให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ รองลื่นกาบ (Plain Bearings) และรองลื่นลูกปืน (Rolling Bearing) รองลื่นกาบมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวงโดยมีแกนหมุนอยู่ภายใน ส่วนของแกนหมุนหรือเพลาที่หมุนอยู่ภายในรองลื่นเรียกว่า เจอร์นอล (Journal) ส่วนรูปทรงกระบอกกลวงเรียกว่า เจอร์นอลแบริ่ง (Journal Bearing) ซึ่งมักทำด้วยโลหะหรือส่วนผสมของโลหะที่มีเนื้ออ่อนกว่าเจอร์นอล โดยทั่วไปจะใช้น้ำมันหล่อลื่นมากกว่าการใช้จาระบี และจะใช้จาระบีในกรณีที่รองลื่นไม่มีระบบป้องกันหรือซีลที่เพียงพอ ในส่วนของรองลื่นลูกปืนประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ช่วยในการหมุน เคลื่อนที่อยู่ระหว่างวงแหวนชั้นในและชั้นนอก เช่น ลูกปืนที่ทำด้วยโลหะแข็ง อาจจะมีลักษณะกลมเหมือนลูกบอล รองลื่นลูกปืนบางชนิดจะเกิดการบิดเมื่อได้รับแรงกด นอกจากนี้ยังเกิดการเลื่อนสัมผัสระหว่างตัวลูกปืนกับตัววัสดุที่ยึดลูกปืน ดังนั้นการหล่อลื่นจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดจากการเลื่อนสัมผัส เป็นเกราะหรือซีล ป้องกันความชื้น การกัดกร่อน ตลอดจนสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่จะเข้าไปในรองลื่น ดังนั้นการเลือกใช้งานรองลื่น การติดตั้ง และการใช้งานอย่างถูกวิธีตลอดจนการหล่อลื่น และบำรุงรักษาสามารถทำให้อายุการใช้งานของรองลื่นยาวนาน และส่งผลให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างเต็มสมรรถนะ จากรูปที่ 1 แสดงตลับรองลื่นของมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

รูปที่ 1 ลักษณะตลับรองลื่นที่ผ่านการใช้งาน



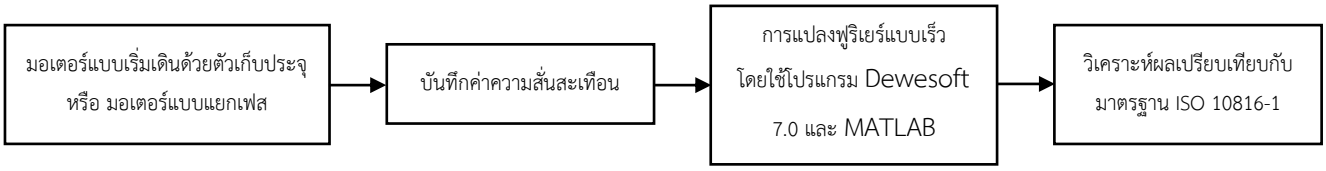
รูปที่ 2 อุปกรณ์วัดความเร่งชนิดพีโซอิเล็กทริก [5]

3.2 อุปกรณ์วัดความสั่นสะเทือน [5]

ความถูกต้องของการวัดความสั่นสะเทือนเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ เพื่อบ่งชี้ถึงขีดความรุนแรงที่เกิดจากแรงสั่นสะเทือน ดังนั้นความถูกต้องในการวัดจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจรู้ความสั่นสะเทือน และอุปกรณ์บันทึกค่าสัญญาณที่ได้จากการวัด อุปกรณ์ตรวจรู้ที่นิยมใช้ในการวัดความสั่นสะเทือนได้แก่ อุปกรณ์วัดตำแหน่งแบบ

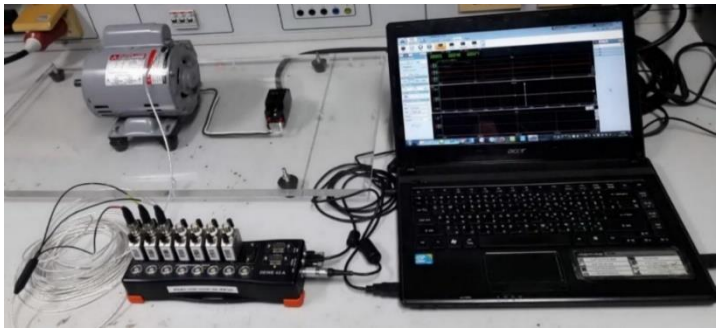
กระแสไฟฟ้า (Eddy Current Proximity Probe) อุปกรณ์วัดความเร็ว (Velocity Transducer) และอุปกรณ์วัดความเร่งแบบพีโซอิเล็กทริก ซึ่งในการเลือกใช้อุปกรณ์เหล่านี้จะต้องพิจารณาช่วงการวัดหรือความถี่เป็นสำคัญ กล่าวคือ การใช้อุปกรณ์วัดตำแหน่งแบบกระแสไฟฟ้านั้นมีช่วงความถี่ที่แคบนั่นหมายถึง มีความเหมาะสมกับเครื่องจักรกลที่มีความสั่นสะเทือนที่ไม่สั่นเร็วมากหรือก็คือ เครื่องจักรกลที่มีความเร็วรอบต่ำจนถึงที่ความถี่สูงถึง 2,000 เฮิรตซ์ ส่วนอุปกรณ์วัดความเร็วนั้นจะอยู่ในช่วง 10 เฮิรตซ์ - 1,000 เฮิรตซ์ และอุปกรณ์วัดความเร่งนั้นสามารถใช้ได้ทั้งความถี่ต่ำจนถึงความถี่สูงมาก ๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์วัดความเร่งแบบพีโซอิเล็กทริก แสดงดังรูปที่ 2 หลักการทำงานของอุปกรณ์วัดความเร่งแบบพีโซอิเล็กทริกก็คือ เมื่อผลึกเกิดการยืดหดหรือบิดจะทำให้เกิดค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าขึ้น ข้อดีของอุปกรณ์วัดความสั่นสะเทือนนี้คือ มีช่วงความถี่ในการทำงานสูง สามารถขยายค่าแรงดันไฟฟ้าได้ สามารถคำนวณหาค่าความสั่นสะเทือนแบบวัดการเคลื่อนที่ และแบบวัดความเร็วได้

4. วิธีดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมการดำเนินการวิจัย

กระบวนการดำเนินการวิจัยดังรูปที่ 3 ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นด้วยการรวบรวมรองลื่นด้านหน้าเพลา เบอร์ 6202Z และรองลื่นด้านหลังเพลา เบอร์ 6201Z ของมอเตอร์แบบเริ่มเดินด้วยตัวเก็บประจุที่ผ่านการใช้งานจำนวน 5 คู่ จากนั้นทำการติดตั้งรองลื่นด้านหน้าเพลา และด้านหลังเพลา ขั้นตอนที่ 2 บันทึกค่าความสั่นสะเทือนด้วย Data Acquisition DEWE 43 โดยติดตั้งอุปกรณ์วัดความสั่นสะเทือนแบบวัดความเร่งชนิดพิโซอิเล็กตริกในตำแหน่งด้านหน้าเพลา และตำแหน่งด้านหลังเพลา ดังรูปที่ 4 ในกรณีที่ไม่มีโหลดทางกล และกรณีที่มีโหลดทางกลขนาด 1.2 กิโลกรัม สำหรับรองลื่น 5 คู่ ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์ค่าความสั่นสะเทือนของรองลื่นด้านหน้าเพลา และด้านหลังเพลา กรณีที่ไม่มีโหลดทางกล และกรณีที่มีโหลดทางกลจากค่าความสั่นสะเทือนที่บันทึก โดยการแปลงฟูริเยร์แบบเร็วด้วยโปรแกรม Dewesoft 7.0 และโปรแกรม MATLAB ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816-1 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ระบุระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือนที่จำเป็นต้องทำการซ่อมบำรุง



รูปที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์วัดความสั่นสะเทือนร่วมกับ Data Acquisition DEWE 43

การแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform, DFT) [6] [7] เป็นกระบวนการหาค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูริเยร์จากข้อมูลที่มีลักษณะเป็นค่าเฉพาะเวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete Data) โดยมีหลักการที่ว่า เมื่อฟังก์ชันที่ต่อเนื่องมีลักษณะเป็นคาบถูกแบ่งเป็นจำนวนที่เท่า ๆ กัน N ช่วง โดยในแต่ละช่วงมีค่า $t_0, t_1, t_2, \ldots, t_{N-2}$ $\left(\Delta t = \frac{T}{N}\right)$ โดยที่ $t_j = j\Delta t$ ดังนั้นสมการค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูริเยร์สามารถประมาณค่าได้จากสมการต่อไปนี้

$$F(t) = 2\sum_{n=0}^{\infty}(a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad n = 0, 1, 2, 3, \ldots \tag{1}$$

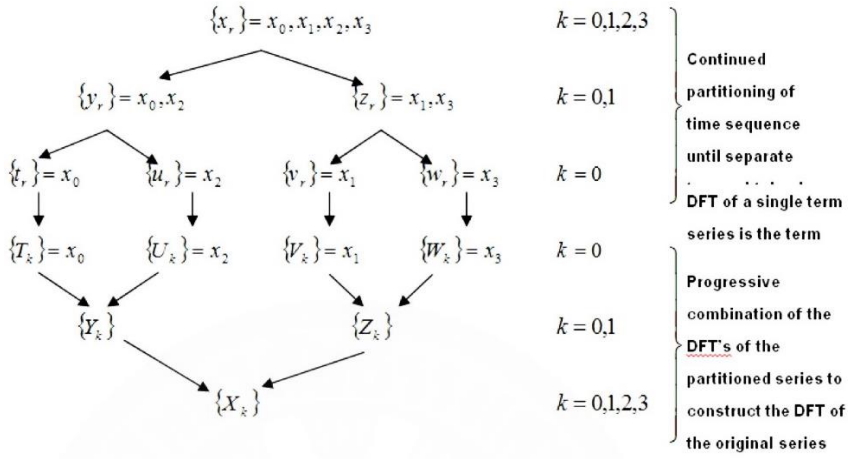
โดยที่ $a_n = \frac{1}{T}\sum_{j=0}^{N-1} F(t)\cos n\omega t_j \Delta t$ และ $b_n = \frac{1}{T}\sum_{j=0}^{N-1} F(t)\sin n\omega\, t_j \Delta t$

จากสมการข้างต้นสามารถแปลงให้อยู่ในรูปสมการเชิงซ้อนได้ดังสมการ (2)

$$F(t) = 2\sum_{n=0}^{N-1} C_n e^{2\pi(nj/N)} \quad n = 0, 1, 2, 3, \ldots, (N-1) \tag{2}$$

โดยที่ $C = \frac{1}{T}\sum_{j=0}^{N-1} F(t)e^{-2\pi i(nj/N)}\Delta t$

การแปลงฟูริเยร์แบบเร็วเป็นกระบวนการคำนวณทางคณิตศาสตร์สาหรับการวิเคราะห์การแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่องที่เหมาะกับการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์โดยจะทำการแยกช่วงชุดข้อมูลออกด้วยช่วงสม่ำเสมอออกเป็นชุดข้อมูลหลาย ๆ ชุด (Shorter Sequences) พร้อมทำการวิเคราะห์หาการแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่องในส่วนย่อยดังกล่าวแทน เพื่อเพิ่มความสะดวกในกระบวนการคำนวณดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนวิธีการแปลงฟูริเยร์แบบเร็วสำหรับ four-term Sequence $\{X_r\}$ [7]

5. ผลและวิจารณ์

จากตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบเริ่มเดินด้วยตัวเก็บประจุด้วยการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว สำหรับรองลื่นที่ผ่านการใช้งานจำนวน 5 คู่ ในกรณีที่ไม่มีโหลดทางกล และในกรณีที่มีโหลดทางกลสำหรับรองลื่นคู่ที่ 1 ค่าความสั่นสะเทือนด้านหน้าเพลามีค่า 0.85 mm/s ด้านหลังเพลามีค่า 1.14 mm/s ในกรณีที่ไม่มีโหลดทางกล และค่าความสั่นสะเทือนด้านหน้าเพลามีค่า 1.32 mm/s ด้านหลังเพลามีค่า 1.43 mm/s ในกรณีที่มีโหลดทางกลเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816-1 สภาพรองลื่นคู่ที่ 1 จะอยู่ในโซน B หมายความว่า รองลื่นด้านหน้าเพลาและรองลื่นด้านหลังเพลายังอยู่ในสภาพปกติสามารถใช้งานได้ต่อไป สำหรับรองลื่นคู่ที่ 3 ค่าความสั่นสะเทือนด้านหน้าเพลามีค่า 2.95 mm/s ด้านหลังเพลามีค่า 1.31 mm/s ในกรณีที่ไม่มีโหลดทางกล และค่าความสั่นสะเทือนด้านหน้าเพลามีค่า 4.10 mm/s ด้านหลังเพลามีค่า 1.64 mm/s ในกรณีที่มีโหลดทางกลเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816-1 สภาพรองลื่นด้านหน้าเพลาอยู่ในโซน C หมายความว่า รองลื่นเริ่มมีสภาพชำรุดสามารถใช้งานได้แต่ต้องเฝ้าติดตามอย่างใกล้ชิด สภาพรองลื่นด้านหลังเพลาอยู่ในโซน B หมายความว่า รองลื่นยังอยู่ในสภาพปกติสามารถใช้งานได้ต่อไป และสำหรับรองลื่นคู่ที่ 5 ค่าความสั่นสะเทือนด้านหน้าเพลามีค่า 8.32 mm/s ด้านหลังเพลามีค่า 1.43 mm/s ในกรณีที่ไม่มีโหลดทางกล และค่าความสั่นสะเทือนด้านหน้าเพลามีค่า 9.25 mm/s ด้านหลังเพลามีค่า 1.77 mm/s ในกรณีที่มีโหลดทางกลเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816-1 สภาพรองลื่นด้านหน้าเพลาอยู่ในโซน D หมายความว่า รองลื่นชำรุดและทำให้เกิดความเสียได้ สภาพรองลื่นด้านหลังเพลาอยู่ในโซน B หมายความว่า รองลื่นยังอยู่ในสภาพปกติสามารถใช้งานได้ต่อไป

สำหรับกรณีศึกษาการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนมอเตอร์แบบแยกเฟสของพัดลมระบายอากาศ ขนาด 1/4 แรงม้า ในสถานประกอบการ จำนวน 5 เครื่อง เมื่อพิจารณารองลื่นคู่ที่ 4 ค่าความสั่นสะเทือนด้านหน้าเพลามีค่า 2.80 mm/s ด้านหลังเพลามีค่า 1.80 mm/s เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816-1 สภาพรองลื่นด้านหน้าเพลาอยู่ในโซน C หมายความว่า รองลื่นเริ่มมีสภาพชำรุดสามารถใช้งานได้แต่ต้องเฝ้าติดตามอย่างใกล้ชิด และสภาพรองลื่นด้านหลังเพลาอยู่ในโซน B หมายความว่า รองลื่นยังอยู่ในสภาพปกติสามารถใช้งานได้ต่อไป และสำหรับรองลื่นคู่ที่ 5 ค่าความสั่นสะเทือนด้านหน้าเพลามีค่า 2.98 mm/s ด้านหลังเพลามีค่า 2.81 mm/s เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816-1 สภาพรองลื่นด้านหน้าเพลาและด้านหลังเพลาอยู่ในโซน C หมายความว่า รองลื่นเริ่มมีสภาพชำรุดสามารถใช้งานได้แต่ต้องเฝ้าติดตามอย่างใกล้ชิด

ตารางที่ 1 ค่าความสั่นสะเทือนของรองลื่นด้านหน้าเพลา และด้านหลังเพลา

รองลื่นคู่ที่		มอเตอร์แบบเริ่มเดินด้วยตัวเก็บประจุ				มอเตอร์แบบแยกเฟส	
		กรณีไม่มีโหลดทางกล		กรณีมีโหลดทางกล		พัดลมระบายอากาศ	
		(mm/s)	ISO 10816-1 (ZONE)	(mm/s)	ISO 10816-1 (ZONE)	(mm/s)	ISO 10816-1 (ZONE)
1	หน้าเพลา	0.85	B	1.32	B	0.48	A
	หลังเพลา	1.14	B	1.43	B	0.46	A
2	หน้าเพลา	1.31	B	1.59	B	0.53	A
	หลังเพลา	1.28	B	1.50	B	0.89	A

รองลื่นคู่ที่		มอเตอร์แบบเริ่มเดินด้วยตัวเก็บประจุ				มอเตอร์แบบแยกเฟส	
		กรณีไม่มีโหลดทางกล		กรณีมีโหลดทางกล		พัดลมระบายอากาศ	
		(mm/s)	ISO 10816-1 (ZONE)	(mm/s)	ISO 10816-1 (ZONE)	(mm/s)	ISO 10816-1 (ZONE)
3	หน้าเพลา	2.95	C	4.10	C	1.26	B
	หลังเพลา	1.31	B	1.64	B	1.38	B
4	หน้าเพลา	1.38	B	1.78	B	2.80	C
	หลังเพลา	1.42	B	1.70	B	1.80	B
5	หน้าเพลา	8.32	D	9.25	D	2.98	C
	หลังเพลา	1.43	B	1.77	B	2.81	C

6. สรุปผล

การวิเคราะห์ค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบเริ่มเดินด้วยตัวเก็บประจุ และมอเตอร์แบบแยกเฟสของพัดลมระบายอากาศ ขนาด 1/4 แรงม้า จากผลการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว พบว่าค่าความถี่ที่บ่งบอกการชำรุดของรองลื่นด้านหน้าเพลา และด้านหลังเพลาจะปรากฏขึ้นที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นผลจากการที่มอเตอร์เฟสเดียวรับกำลังไฟฟ้าชั่วขณะที่มีทั้งซีกบวกและซีกลบ 2 วงรอบ (Cycle) ใน 1 วงรอบของแรงดันอ้างอิง เมื่อใช้ตำแหน่งของความถี่ดังกล่าวสามารถบ่งบอกระดับการชำรุดของรองลื่นเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816-1 กล่าวคือ เมื่อค่าความสั่นสะเทือนเท่ากับ 0.28-0.71 รองลื่นจะอยู่ในโซน A หมายความว่า รองลื่นยังอยู่ในสภาพปกติ เมื่อค่าความสั่นสะเทือนเท่ากับ 1.12-1.80 รองลื่นจะอยู่ในโซน B หมายความว่า รองลื่นยังอนุโลมให้อยู่ในสภาพปกติ เมื่อค่าความสั่นสะเทือนเท่ากับ 2.80-4.50 รองลื่นจะอยู่ในโซน C หมายความว่า รองลื่นเริ่มมีสภาพชำรุด สามารถใช้งานได้ แต่ต้องเฝ้าติดตามอย่างใกล้ชิด และเมื่อค่าความสั่นสะเทือนเท่ากับ 7.10-45.0 รองลื่นจะอยู่ในโซน D หมายความว่า รองลื่นชำรุดและทำให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นผลการวิเคราะห์ค่าความสั่นสะเทือนสามารถบ่งบอกระดับการชำรุดของรองลื่นเพื่อการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ได้

7. กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้เขียนขอขอบคุณผู้ช่วยนักวิจัยนายธีระพงศ์ ลือชาการ และนายฤทธิเดช พุ่มพึ่งพุทธ สำหรับการจัดหารองลื่น การติดตั้งและการทดสอบ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Raj Kuma Patel, Sanjay Agrawal, and Navin Chandra. (2012). Induction Motor Bearing Fault Identification Using Vibration Measurement. Students Conference on Engineering and Systems (SSCES). vol. 1, no. 1 (March) : 1-5.

[2] Ahmed A. Elfeky, Mahmoud I. Masoud, and Ibrahim F. El-Arabawy. (2007). Fault Signature Production for Rolling Element Bearings in Induction Motor. 5th International Conference-Workshop Compatibility in Power Electronics (CPE). vol. 1, no. 1 (May-June) : 1–5.

[3] Levent Eren, and Michael J. Devaney. (2004). Bearing Damage Detection via Wavelet Packet Decomposition of the Stator Current. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. vol. 53, no. 2 (April): 431–436.

[4] Siam Global Lubricant Co.,Ltd.. (2559). แบริ่ง (Bearings). [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.sgl1.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=539375428 (5 มกราคม 2563).

[5] หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ. (2552). การตรวจสอบความสั่นสะเทือนเครื่องจักร. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[6] พีระพล ยุวภูษิตานนท. (2559). การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://embedsigproc.files.wordpress.com/2008/09/dsp_1of2559_6.pdf (5 มกราคม 2563).

[7] D.E. Newland. (2013). An Introduction to Random Vibrations, Spectral & Wavelet Analysis. 3rded. New York : Dover Publication, Inc, Mineola.