

**การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่กับเครื่องจักรกลหมุน
: การเสียหายของแบริ่ง**

**Analysis of Vibration Signal in Frequency Domain on Rotating Machine
: Bearing Damage**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ไชยะภินันท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ

หน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีการบำรุงรักษาเครื่องจักรกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

สภาวะการเสียหายของแบริ่งถูกสร้างขึ้นบนแบริ่งในชุดทดลอง และได้มีการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ และทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายจากทฤษฎี พบว่ามีสัญญาณเด่นชัดที่ 1xRPM และ 2xRPM และมีสัญญาณเด่นชัดในช่วงความถี่ของการเสียหายของแบริ่งและมีสัญญาณ Random ที่ความถี่สูง และยังพบสัญญาณที่คาดเดาว่าเป็นสัญญาณความถี่ธรรมชาติของแบริ่งด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลทางทฤษฎีที่ระบุว่าเป็นการเสียหายของแบริ่งในสถานะที่ 3

Abstract

Condition of bearing defect was constructed on an experimental set. Measurement of vibration signal in frequency domain was taken and comparison with theoretical prediction was made. Vibration signals were found at 1xRPM, 2xRPM and also in bearing defect frequency region with random signal at high frequency region. There was also vibration signal at frequency which supposed to be bearing component natural frequency. The measured signal agree quite well with theoretical prediction on 3 failure stage of rolling element bearing.

1. บทนำ

ในระบบการบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance) การอ่านสัญญาณการสั่นสะเทือนจากเครื่องจักรที่ทำงานอยู่ จะเป็นองค์ประกอบหลักอย่างหนึ่งในกระบวนการของการใช้ระบบการบำรุงรักษาดังกล่าว และในการวิเคราะห์ความบกพร่อง (Diagnosis) ของเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ใช้งานอยู่ มักใช้การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่มาเป็นตัวพิจารณา มีคำราและเอกสารเผยแพร่จำนวนไม่น้อยที่กล่าวถึงลักษณะของสัญญาณที่เกิดขึ้นหากเครื่องจักรจะมีความบกพร่องเฉพาะสาเหตุ [1-5] ซึ่งจะดูค่อนข้างชัดเจนและเข้าใจได้ไม่ยาก แต่ในทางปฏิบัติผู้ใช้เครื่องมือวัดซึ่งทำการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่กับเครื่องจักรจริงมักจะประสบปัญหาว่า สัญญาณที่อ่านมาได้นั้นมีความซับซ้อนไม่เรียบง่ายเหมือนกับลักษณะที่กำหนดไว้ในคำรา ทำให้ไม่สามารถระบุชี้ชัดว่าเป็นข้อบกพร่องชนิดใด และในความเป็นจริงแล้ว ความซับซ้อนขององค์ประกอบอื่น อาทิ เช่น ความเร็ววิกฤต Critical Speed ของเครื่องจักร ภาระ ความเร็วรอบ ความไม่สมบรูณ์ของส่วนประกอบเครื่องจักรอื่น มักมีผลต่อสัญญาณการสั่นสะเทือนที่แสดงออกมา ที่กล่าวมานี้ยังไม่รวมถึง ความซับซ้อนของการเข้าใจและเลือกเครื่องมือวัดและอุปกรณ์การวัดให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน เพื่อให้ได้สัญญาณที่ถูกต้อง เพราะว่าเครื่องมือวัดในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และการแปลงสัญญาณที่วัดได้ซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อก (Analog) มาเป็นสเปกตรัม โดยผ่านการอินทิเกรตของวงจรถ่ายที่ทำหน้าที่แปลงทางฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform - FFT) จะมีผลของสัญญาณรบกวน (Noise) และความคลาดเคลื่อนจากการแปลงทางอิเล็กทรอนิกส์อยู่ ตลอดจน ความไว (Sensitivity) ของหัววัด การเลือกจำนวนเส้นของการแสดงผล (Frequency Line) การเลือกตัวกรองสัญญาณ Filter (Hanning, Flat top, Uniform) ต่างก็มีผลต่อสัญญาณที่รับเข้ามาและสัญญาณที่แสดงออกมามานั้น

ในบทความนี้ จะไม่กล่าวถึงความซับซ้อนและผลกระทบของอุปกรณ์วัดต่อสัญญาณที่อ่านได้ แต่จะเน้นไปในส่วนของผลกระทบของตัวเครื่องจักรที่ทำงานอยู่ต่อสัญญาณที่อ่านได้ บทความนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ของชุดทดลองเครื่องจักรกลหมุนภายใต้สภาวะของการเสียหายของแบร้ง เปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎี เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการสั่นสะเทือนจากสภาวะดังกล่าว

2. การเสียหายของแบริ่งชนิดลูกกลิ้ง (Rolling Element Bearing Defect)

แบริ่งมีหลายชนิด แต่โดยลักษณะหลักๆสามารถแบ่งออกเป็น Journal Bearing และ Rolling Element Bearing ในบทความนี้จะกล่าวถึงการเสียหายของแบริ่งชนิดลูกกลิ้ง (Rolling Element Bearing) เท่านั้น รูปที่ 1 จะแสดงถึงลักษณะทั่วไปและเทอมที่เกี่ยวข้องของแบริ่งชนิดลูกกลิ้ง

องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณการสั่นสะเทือนของแบริ่งนั้น มีดังต่อไปนี้

2.1 ความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนแบริ่งและฐานรองรับ (Natural Frequency of Installed Bearing Components and Supported Structure)

2.2 ความถี่การเสียหายของแบริ่ง (Bearing Defect Frequency) ซึ่งจะมีค่าอยู่หลายค่า ได้แก่

2.2.1 ความถี่ของรางใน (Inner Race Frequency) BPFI ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$BPFI = \frac{N_b}{2} \cdot \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos\theta \right) \times RPM$$

เมื่อ N_b = จำนวนของลูกปืนหรือลูกกลิ้ง
 B_d = เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกปืนหรือลูกกลิ้ง (นิ้วหรือมม.)
 P_d = เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของแบริ่ง (นิ้วหรือมม.)
 θ = มุมสัมผัส (องศา)

2.2.2 ความถี่ของรางนอก (Outer Race Frequency) BPFO ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$BPFO = \frac{N_b}{2} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos\theta \right) \times RPM$$

2.2.3 ความถี่ของการหมุนของลูกปืน (Ball Spin Frequency) BSF ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$BSF = \frac{P_d}{2 \cdot B_d} \cdot \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \right)^2 \cdot (\cos\theta)^2 \right] \times RPM$$

2.2.4 ความถี่พื้นฐาน (Fundamental Cage (Train) Frequency) FTF ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$FTF = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos\theta \right) \times \text{RPM}$$

ความเสียหายในแบร้งชนิดลูกกลิ้งนี้สามารถแบ่งออกเป็น 4 สถานะ ซึ่งเป็นสถานะการเสียหายที่ลำดับจากน้อยที่สุดไปหามากที่สุด กล่าวคือ สถานะที่ 1 ถึง สถานะที่ 4 แต่ละสถานะจะมีสัญญาณการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน

สถานะที่ 1 เป็นสถานะการเสียหายของแบร้งในช่วงแรกซึ่งมักจะไม่สามารถบ่งบอกได้จากสัญญาณการสั่นสะเทือนปกติ สัญญาณความเสียหายจะปรากฏในช่วงความถี่สูงซึ่งเป็นช่วงความถี่อุตสาหกรรม 250,000 - 350,000 เฮิรตซ์ และเมื่อการสึกหรอเพิ่มขึ้น สัญญาณมักจะเคลื่อนตัวไปปรากฏที่ความถี่ต่ำลงคือประมาณ 20,000 - 60,000 เฮิรตซ์ (1,200,000 - 3,600,000 รอบต่อนาที - RPM) ซึ่งสัญญาณที่ความถี่เหล่านี้มักต้องใช้หน่วยการวัดพิเศษ คือ ใช้หน่วยการวัดเป็น Spike Energy (gSE) หรือ HFD (g) หรือ Shock Pulse (dB)

สถานะที่ 2 เป็นสถานะการเสียหายที่เพิ่มขึ้นจากสถานะแรก ทำให้เกิดการกระตุ้นความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนแบร้ง (Bearing Component Natural Frequency) f_n ซึ่งโดยทั่วไปมักจะเกิดอยู่ในช่วง 30,000 - 120,000 RPM

สถานะที่ 3 เป็นสถานะการเสียหายของแบร้งที่เพิ่มมากขึ้น ก่อให้เกิดสัญญาณการสั่นสะเทือนขึ้นที่ความถี่ของการเสียหายของแบร้ง (Bearing Defect Frequency) และซัค ฮาร์โมนิกของความถี่ดังกล่าว และอาจมีสัญญาณ Side Band เกิดขึ้นรอบสัญญาณที่ความถี่ของการเสียหายของแบร้ง และความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนแบร้ง

สถานะที่ 4 เป็นสถานะที่แบร้งเสียหายมาก ซึ่งในสถานะนี้สัญญาณการสั่นสะเทือนจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก จนส่งผลกระทบไปสู่ขนาดของสัญญาณที่ความถี่ $1 \times \text{RPM}$ และซัคฮาร์โมนิกของสัญญาณดังกล่าว สัญญาณที่ความถี่ของการเสียหายของแบร้งและความถี่ธรรมชาติ ที่เป็นลักษณะแยกกันจะถูกทำให้หายไปกลายเป็นสัญญาณที่คลุมกว้างตลอดช่วงความถี่สูง ซึ่งเรียกว่า Noise Floor ตัวอย่างสัญญาณทั้ง 4 สถานะดังที่ได้กล่าวมานั้นจะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2

3. ชุดทดลองเครื่องจักรกลหมุนและเครื่องมือวัด

ชุดทดลองที่ใช้ทดสอบหาลักษณะของสัญญาณการสั่นสะเทือนจากสถานะการเสียหายของแบริ่ง จะประกอบด้วย มอเตอร์ขับเคลื่อน เพลาหมุน ข้อต่อ แบริ่ง 1 และ แบริ่ง 2 แผ่นโรเตอร์ 1 และ แผ่นโรเตอร์ 2 ประกอบบนฐานของชุดทดลอง โดยมีแบริ่งที่เสียหายอยู่ในตำแหน่งแบริ่ง 2 และชุด Inverter รายละเอียดดังกล่าวจะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3

เครื่องมือวัดเป็นเครื่องวิเคราะห์ผลการสั่นสะเทือน IRD 885 ที่สามารถรับสัญญาณเข้า 2 สัญญาณพร้อมกัน เครื่องมือวัดจะสามารถแสดงผลเป็นสัญญาณการสั่นสะเทือนทั้งโดเมนความถี่และโดเมนเวลา และมุมเฟส โดยใช้ประกอบกับหัววัดแบบ Accelerometer รุ่น IRD 970 และใช้คู่กับหัวยึดแม่เหล็ก รายละเอียดดังกล่าวจะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4

4. การทดลองและสัญญาณการสั่นสะเทือน

การทดลองกระทำโดยนำแบริ่งที่ถูกทำให้เสียหายด้วยการใช้ไฟฟ้าทำให้เกิดอาร์ก และนำไปใส่ไว้ที่แบริ่งที่ 2 ของชุดทดลอง ดังรูปที่ 5 จากนั้นจึงเดินเครื่องมอเตอร์ที่ความเร็วรอบ 1,000 RPM และ 1,400 RPM และวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนที่แบริ่ง 2 ในทิศทาง แนวอน แนวตั้ง และ แนวแกน

แบริ่งที่ถูกใช้ในการทดลองนี้เป็นของบริษัท NTN รหัส UN 204D1 ชนิด Single-row Deep-groove Ball Bearing มีเม็ดลูกปืน 8 เม็ด ค่า Defect Frequency (ค่าเป็นจำนวนเท่าของความถี่รอบ) เป็นดังนี้

- ความถี่รางใน BPFI (Inner Race Frequency) เท่ากับ 4.95
- ความถี่รางนอก BPFO (Outer Race Frequency) เท่ากับ 3.05
- ความถี่เม็ดลูกปืนหมุน BSF (Ball Spin Frequency) เท่ากับ 3.98
- ความถี่รั้งพื้นฐาน FTF (Fundamental Cage (Train) Frequency) เท่ากับ 0.38

เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบสัญญาณทางทฤษฎีจะพบว่าช่วงสัญญาณสามารถแบ่งตามช่วงความถี่ กล่าวคือ ช่วงความถี่ A เป็นช่วงของฮาร์มอนิกของ 1xRPM 2xRPM 3xRPM และ ช่วงความถี่ B เป็นช่วงของความถี่การเสียหายของแบริ่ง (Bearing Defect Frequency) ช่วงความถี่ C เป็นบริเวณของความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนแบริ่ง ซึ่งมักจะเป็นความถี่สูงถึง 120 k RPM ในการทดลองจึงตั้งความถี่ของเครื่องมือวัด (F_{max}) ไว้ที่ 120,000 RPM เพื่อตรวจสอบ

สัญญาณที่ความถี่สูง จากรูปที่ 6 ซึ่งแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปของความเร่ง โดยมีหน่วยเป็น g's ในแนวนอนจะพบสัญญาณเป็นกลุ่มในช่วงความถี่ต่ำ และสัญญาณเป็น Noise Floor ที่ความถี่ค่อนข้างสูง และมีสัญญาณค่อนข้างชัดเจนที่ความถี่ประมาณ 72,600 RPM ส่วนในช่วงความถี่ต่ำก็ใช้ความสามารถของเครื่องมือวัดในส่วนของการ Zoom ที่จะขยายสัญญาณในช่วงความถี่ต่ำ

ดังนั้นโดยสรุป ที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที จะพบสัญญาณเด่นชัดที่ 1xRPM 3.1xRPM 4xRPM 5xRPM 6.2xRPM และสัญญาณชัดเจนที่ 72,600 RPM รวมถึงสัญญาณ Random และ Noise Floor ที่ความถี่สูง

สำหรับสัญญาณในแนวตั้ง ในการแสดงสัญญาณในลักษณะเดียวกันจะพบสัญญาณเด่นชัดที่ 3.1xRPM 4xRPM 5xRPM และ 6.2xRPM รวมทั้งสัญญาณ Random ที่ความถี่สูง ซึ่งมีค่าสูงอยู่ที่ความถี่ประมาณ 84,000 RPM

สำหรับสัญญาณในแนวแกน ในการแสดงสัญญาณในลักษณะเดียวกันจะพบสัญญาณเด่นชัดที่ 1xRPM 3.1xRPM 4xRPM 5xRPM และ 72,600 RPM และสัญญาณ Random ที่ความถี่สูง

ในกรณีของความเร็วยุโรปเท่ากับ 1,400 RPM สัญญาณจะถูกแสดงในลักษณะเดียวกับที่ได้กล่าวไว้ในกรณีของความเร็วยุโรปเท่ากับ 1,000 RPM ซึ่งในรูปที่ 7 จะแสดงสัญญาณในแนวนอนที่เด่นชัดที่ 1xRPM 3.1xRPM 4xRPM 6.2xRPM และสัญญาณ Random ที่ความถี่สูง ในแนวตั้งจะพบสัญญาณเด่นชัดที่ 3.1xRPM 4xRPM 5xRPM และ 6.2xRPM รวมทั้งสัญญาณ Random ที่ความถี่สูง ในแนวแกนจะพบสัญญาณเด่นชัดที่ 1xRPM 3.1xRPM 4xRPM 6.2xRPM และสัญญาณ Random และ Raise Noise Floor ค่อนข้างสูง

การวิเคราะห์สัญญาณจะพบความถี่ทั้ง 1xRPM 2xRPM และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า Bearing Defect Frequency จะพบว่าในช่วงความถี่ต่ำ ในทุกแนวจะมีสัญญาณที่ 3.1xRPM 4xRPM 5xRPM และ 6.2xRPM ซึ่งจะสอดคล้องกับข้อมูล Bearing Defect Frequency ที่ใช้ คือ 3.1xRPM ใกล้เคียงกับ BPFO ซึ่งเท่ากับ 3.05xRPM และ 4xRPM ใกล้เคียงกับ BSF ซึ่งเท่ากับ 3.98xRPM และ 5xRPM ใกล้เคียงกับ BPFI ซึ่งเท่ากับ 4.95xRPM และ 6.2xRPM ใกล้เคียงกับ 2 เท่าของ BPFO ซึ่งเท่ากับ 6.1xRPM และยังมีสัญญาณค่อนข้างชัดเจนที่ความถี่ประมาณ 7xRPM 8xRPM และ 9xRPM ด้วย สัญญาณที่เด่นชัดอีกความถี่หนึ่งคือที่ 72,600 RPM ซึ่งน่าจะเป็นสัญญาณความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนแบริ่ง

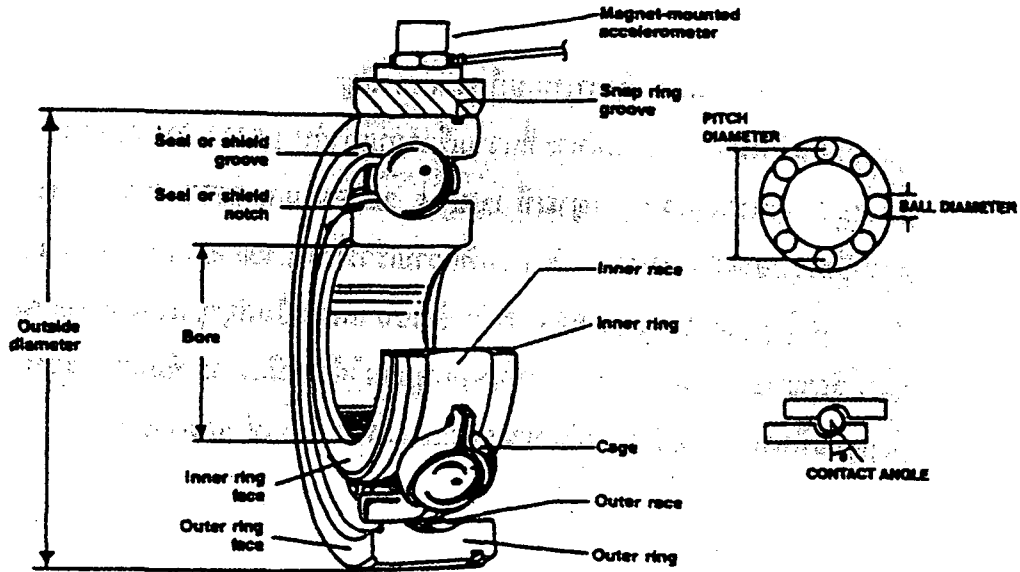
เมื่อเปรียบเทียบกับทางทฤษฎี จะพบว่าสัญญาณที่วัดได้สอดคล้องกับสัญญาณทางทฤษฎีค่อนข้างมาก โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1,000 RPM กับการเสียหายของแบร้งสภาวะ 3 เพราะจะพบสัญญาณที่ 1xRPM 2xRPM และ BPFI BPFO และ 2xBPFO และความถี่ธรรมชาติของแบร้ง สำหรับที่ความเร็วรอบ 1,400 RPM จะมีลักษณะเหมือนกันยกเว้นขนาดสัญญาณที่ 72,600 RPM จะไม่ชัดเจน แต่จะเป็นสัญญาณ Random Noise Floor แต่ก็ยังมีสัญญาณที่ 2xBPFO อยู่ ดังนั้นพออนุมานได้ว่า เนื่องจากเพิ่มความเร็วรอบสูงขึ้น และสัญญาณที่พบอยู่ระหว่างการเสียหายของแบร้งสภาวะ 3 เข้าสู่สภาวะ 4

5. บทสรุป

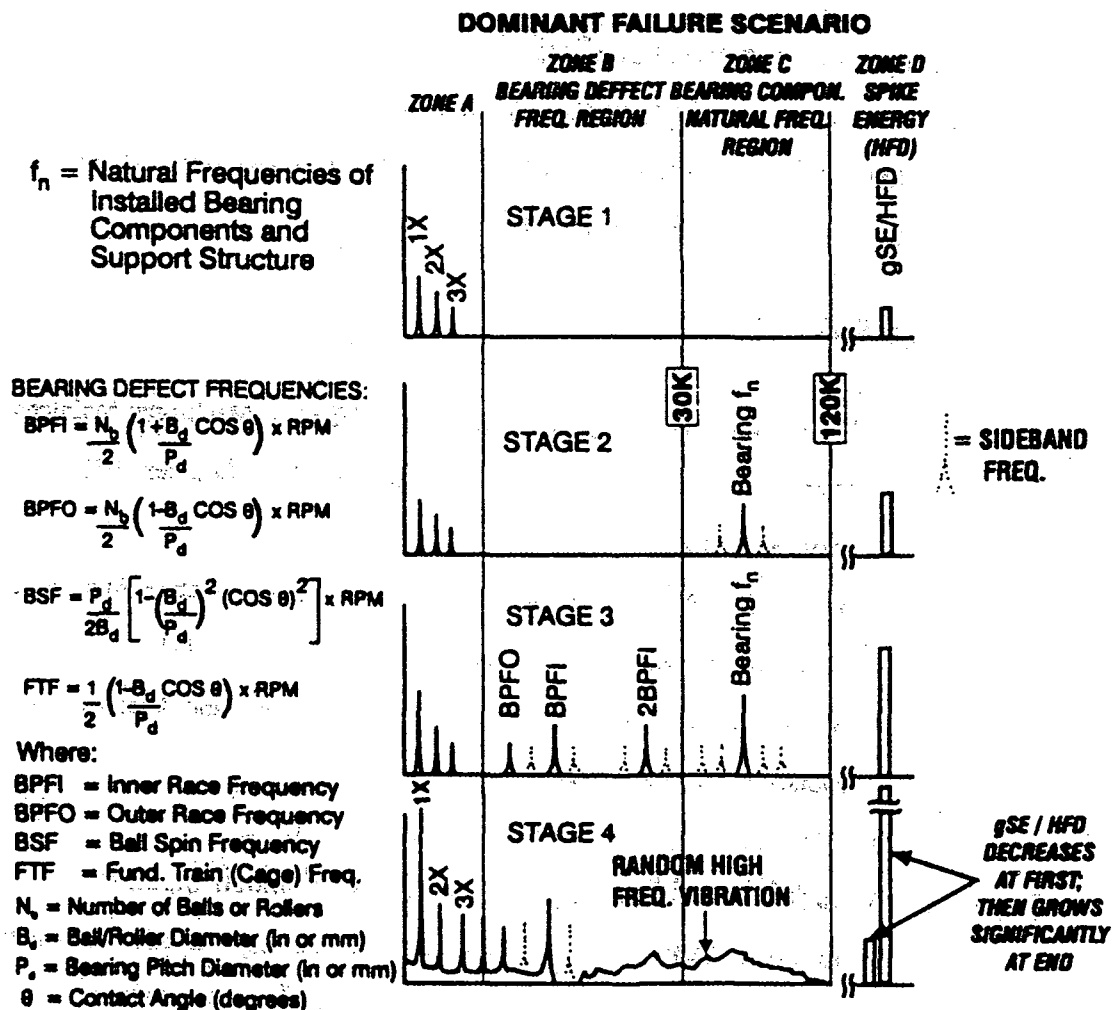
การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนจะพบว่าสัญญาณที่ได้จากชุดทดลองในสภาวะการเสียหายของแบร้งสอดคล้องกันไปตามทฤษฎี แต่ความแม่นยำในการวิเคราะห์สัญญาณขึ้นกับความแม่นยำของข้อมูลของแบร้งจากบริษัทผู้ผลิต เพื่อใช้คำนวณค่า Bearing Defect Frequency และความสามารถของเครื่องมือวัดในการเลือกความละเอียดในการแสดงผลและความสามารถในการขยายสัญญาณ (Zoom) ถ้าเครื่องมือวัดไม่มีความสามารถดังกล่าว ก็จะไม่สามารถแยกแยะสัญญาณในช่วงความถี่ต่างๆ ได้ชัดเจน โดยเฉพาะถ้าความเสียหายของแบร้งยังอยู่ในสภาวะที่ 1 และ 2 ซึ่งจะสังเกตได้ค่อนข้างยาก

6. เอกสารอ้างอิง

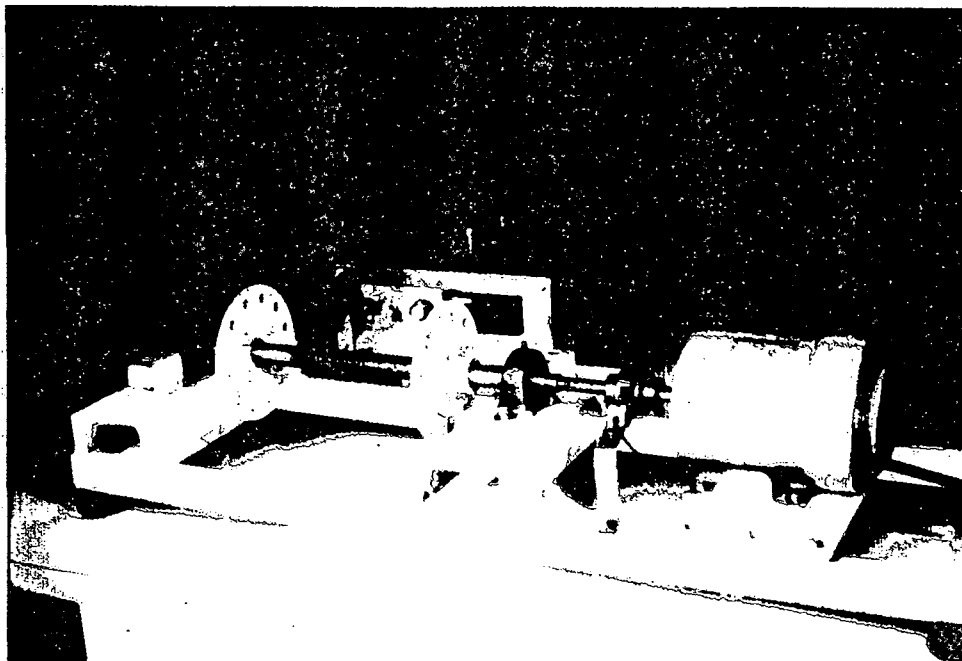
1. "Dynamic Signal Analyzer Applications ; Effective Machinery Maintenance Using Vibration Analysis", Application Note 243-1, October 1983, Hewlett Packard.
2. Berry, J.E., "Predictive Maintenance and Vibration Signature Analysis II", Technical Associates of Charlotte, Inc., First Edition, 1994.
3. Wowk, Victor, "Machinery Vibration ; Measurement and Analysis", McGraw Hill, Inc., 1991.
4. IRD Mechanalysis :- Vibration Technology - 1.
5. สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ , ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ , ก่อเกียรติ บุญชูกุล , เอกสารอบรมทางวิชาการ เรื่อง "Rotating Machinery Vibration Measurement and Analysis for Productive Maintenance", จัดโดย สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2535.



รูปที่ 1 ลักษณะทั่วไปและเทอมที่เกี่ยวข้องของแบริ่งชนิดลูกกลิ้ง



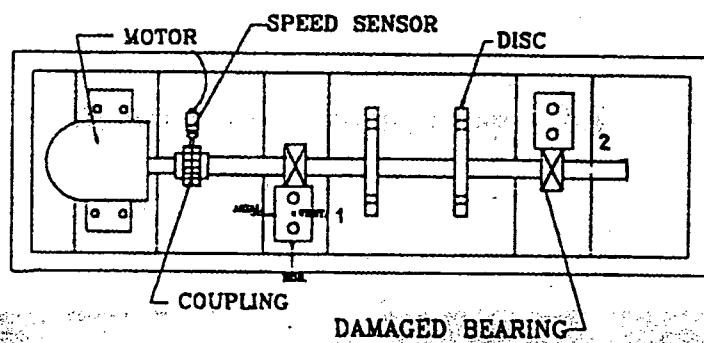
รูปที่ 2 สัญญาณการสั่นสะเทือนของการเสียหายของแบริ่งในสถานะที่ 1 ถึง 4



รูปที่ 3 ชุดทดลองสภาวะการเสียหายของแบร่ริง



รูปที่ 4 เครื่องมือวัด



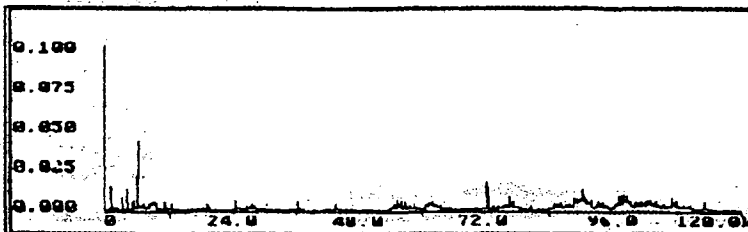
รูปที่ 5 ชุดทดลองเบร้งที่เสียหาย

MACHINE: BEARING DEFECT POS: 2 DIR: N KEYPAD: NUMERIC DATE: 03-26-96
RPM: 1800 INSPECTION CODE: FUNCTION: Analysis - FFT TIME: 10:31:03

NOTES: NO LOAD

STO Store CLR Clear
Pause for Disp Options
(2) for True Zoom

(Enter) to exit



FFT Settings

Ampl .10
Units g
FFT Lines 3200
FFT Avg 1
Fmax 120000 CPM
Trigger off
Overlap 8%

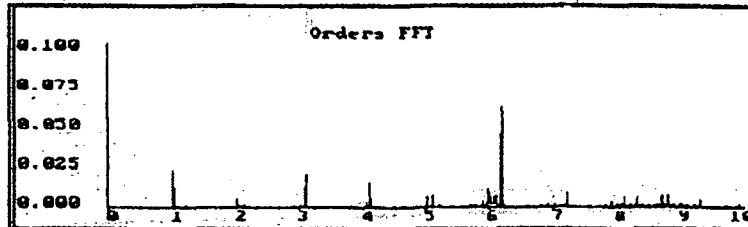
Cursor Data
Cursor Frequency 8 CPM
Cursor Amplitude 0.001 g's

(Enter) to exit

NOTES: NO LOAD
ZOOM

FILTER TUNE/STROBE: OFF
SENSOR: -IRD 970/544/483
INPUT CHANNEL: A-970
FREE MEMORY: 8957K

(Enter) to exit



FFT Settings

Ampl .10
Units g
FFT Lines 3200
FFT Avg 1
Fmax 120000 CPM
Trigger off
Overlap 8%

Display Options

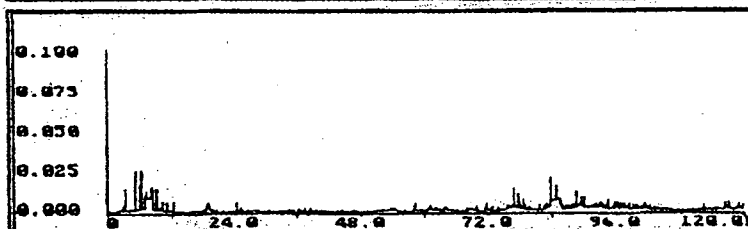
Full Spectrum
Orders Spectrum
Expand Display
Magnify = 01
Exit

MACHINE: BEARING DEFECT POS: 2 DIR: U KEYPAD: NUMERIC DATE: 03-26-96
RPM: 1800 INSPECTION CODE: FUNCTION: Analysis - FFT TIME: 11:08:27

NOTES: NO LOAD

STO Store CLR Clear
Pause for Disp Options
(2) for True Zoom

(Enter) to exit



FFT Settings

Ampl .10
Units g
FFT Lines 3200
FFT Avg 1
Fmax 120000 CPM
Trigger off
Overlap 8%

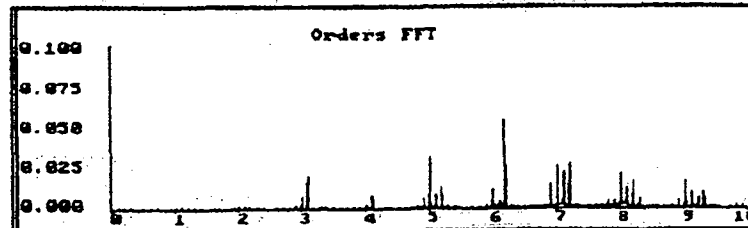
Cursor Data
Cursor Frequency 8 CPM
Cursor Amplitude 0.001 g's

(Enter) to exit

NOTES: NO LOAD
ZOOM

FILTER TUNE/STROBE: OFF
SENSOR: -IRD 970/544/483
INPUT CHANNEL: A-970
FREE MEMORY: 8957K

(Enter) to exit



FFT Settings

Ampl .10
Units g
FFT Lines 3200
FFT Avg 1
Fmax 120000 CPM
Trigger off
Overlap 8%

Display Options

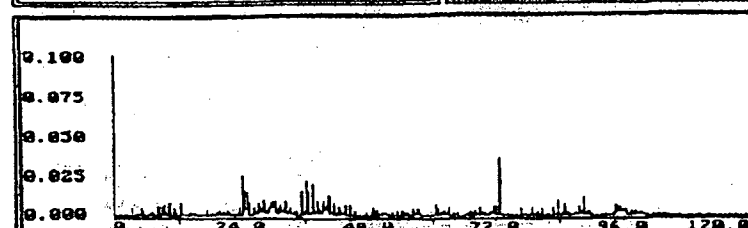
Full Spectrum
Orders Spectrum
Expand Display
Magnify = 01
Exit

MACHINE: BEARING DEFECT POS: 2 DIR: A KEYPAD: ALPHA DATE: 03-26-96
RPM: 1800 INSPECTION CODE: FUNCTION: Analysis - FFT TIME: 11:10:33

NOTES: NO LOAD

STO Store CLR Clear
Pause for Disp Options
(2) for True Zoom

(Enter) to exit



FFT Settings

Ampl .10
Units g
FFT Lines 3200
FFT Avg 1
Fmax 120000 CPM
Trigger off
Overlap 8%

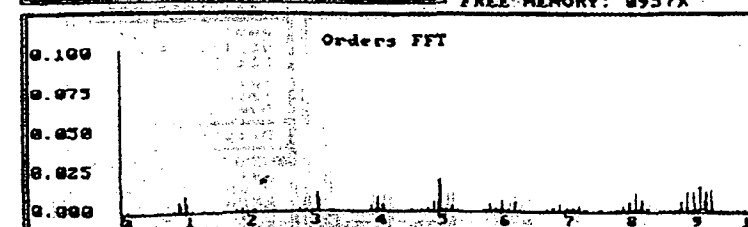
Cursor Data
Cursor Frequency 8 CPM
Cursor Amplitude 0.001 g's

(Enter) to exit

NOTES: NO LOAD
ZOOM

FILTER TUNE/STROBE: OFF
SENSOR: -IRD 970/544/483
INPUT CHANNEL: A-970
FREE MEMORY: 8957K

(Enter) to exit



FFT Settings

Ampl .10
Units g
FFT Lines 3200
FFT Avg 1
Fmax 120000 CPM
Trigger off
Overlap 8%

Display Options

Full Spectrum
Orders Spectrum
Expand Display
Magnify = 01
Exit

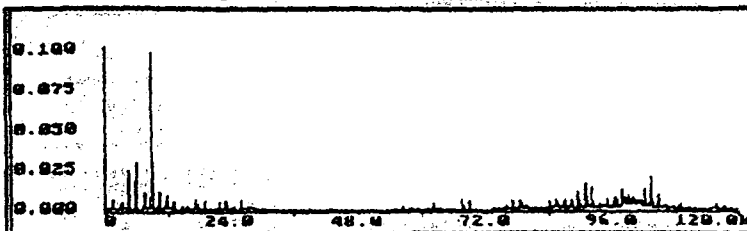
รูปที่ 6 สัญญาณการสั่นสะเทือนจากแบริ่งที่เสียหายที่ความเร็วรอบ 1,000 RPM

MACHINE: BEARING DEFECT POS: 2 DIR: M KEYPAD: NUMERIC DATE: 07-26-96
 RPM: 1400 INSPECTION CODE: FUNCTION: Analysis - FFT TIME: 11:23:06

NOTES: NO LOAD

STO Store CLR Clear
 Pause for Disp Options
 (2) for True Zoom

(Enter) to exit



FFT Settings
 Ampl: 10
 Units: 3
 FFT Lines: 3200
 FFT Avg: 1
 Fmax: 120000 CPM
 Trigger off
 Overlay 0%

Cursor Data
 Cursor Frequency: 0 CPM
 Cursor Amplitude: 0.001 g/s

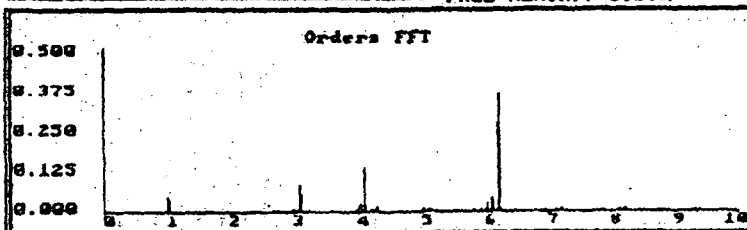
(Enter) to exit

NOTES: NO LOAD

200M

FILTER TUNE/STROBE: OFF
 SENSOR: -LRD 978/344/403
 INPUT CHANNEL: A-978
 FREE MEMORY: 8937K

(Enter) to exit



FFT Settings
 Ampl: 30
 Units: 3
 FFT Lines: 3200
 FFT Avg: 1
 Fmax: 120000 CPM
 Trigger off
 Overlay 0%

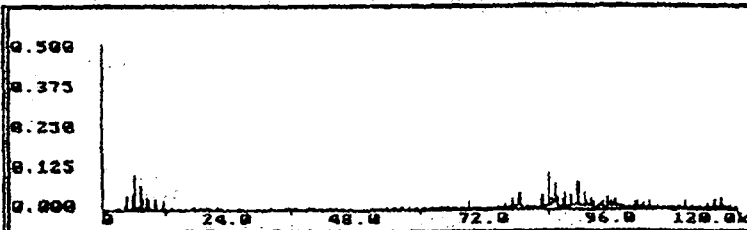
Display Options
 Full Spectrum
 Orders Spectrum
 Expand Display
 Magnify: 01
 Exit

MACHINE: BEARING DEFECT POS: 2 DIR: V KEYPAD: NUMERIC DATE: 07-26-96
 RPM: 1400 INSPECTION CODE: FUNCTION: Analysis - FFT TIME: 11:30:43

NOTES: NO LOAD

STO Store CLR Clear
 Pause for Disp Options
 (2) for True Zoom

(Enter) to exit



FFT Settings
 Ampl: 30
 Units: 3
 FFT Lines: 3200
 FFT Avg: 1
 Fmax: 120000 CPM
 Trigger off
 Overlay 0%

Cursor Data
 Cursor Frequency: 0 CPM
 Cursor Amplitude: 0.001 g/s

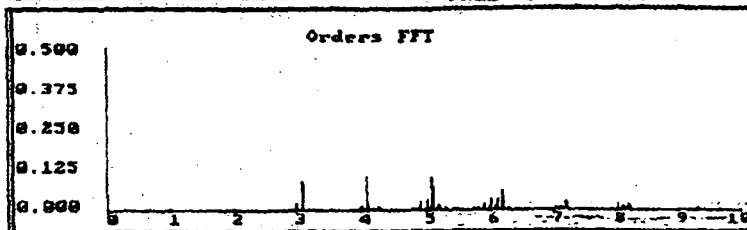
(Enter) to exit

NOTES: NO LOAD

200M

FILTER TUNE/STROBE: OFF
 SENSOR: -LRD 978/344/403
 INPUT CHANNEL: A-978
 FREE MEMORY: 8937K

(Enter) to exit



FFT Settings
 Ampl: 30
 Units: 3
 FFT Lines: 3200
 FFT Avg: 1
 Fmax: 120000 CPM
 Trigger off
 Overlay 0%

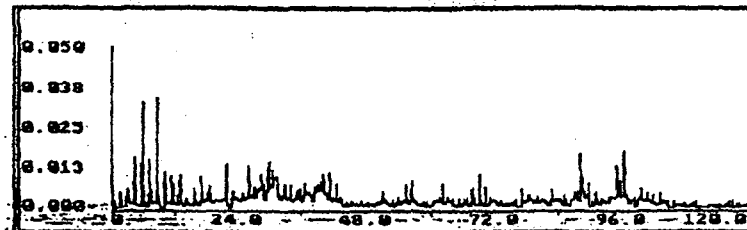
Display Options
 Full Spectrum
 Orders Spectrum
 Expand Display
 Magnify: 01
 Exit

MACHINE: BEARING DEFECT POS: 2 DIR: A KEYPAD: NUMERIC DATE: 07-26-96
 RPM: 1400 INSPECTION CODE: FUNCTION: Analysis - FFT TIME: 11:36:08

NOTES: NO LOAD

STO Store CLR Clear
 Pause for Disp Options
 (2) for True Zoom

(Enter) to exit



FFT Settings
 Ampl: 03
 Units: 3
 FFT Lines: 3200
 FFT Avg: 1
 Fmax: 120000 CPM
 Trigger off
 Overlay 0%

Cursor Data
 Cursor Frequency: 0 CPM
 Cursor Amplitude: 0.000 g/s

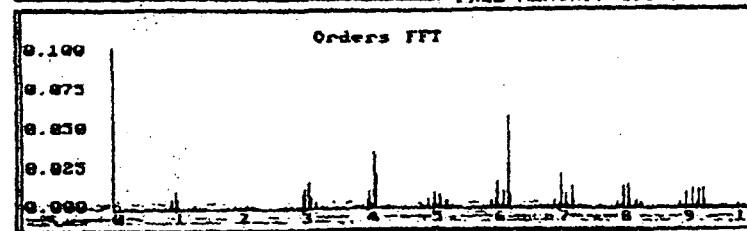
(Enter) to exit

NOTES: NO LOAD

200M

FILTER TUNE/STROBE: OFF
 SENSOR: -LRD 978/344/403
 INPUT CHANNEL: A-978
 FREE MEMORY: 8937K

(Enter) to exit



FFT Settings
 Ampl: 10
 Units: 3
 FFT Lines: 3200
 FFT Avg: 1
 Fmax: 120000 CPM
 Trigger off
 Overlay 0%

Display Options
 Full Spectrum
 Orders Spectrum
 Expand Display
 Magnify: 01
 Exit

รูปที่ 7 สัญญาณการสั่นสะเทือนจากแมชชีนที่เสียบสายที่ความเร็วรอบ 1,400 RPM