

## DRC-22

# การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของพัดลมอุตสาหกรรมด้วยการแปลงเวฟเล็ต

## Vibration Signals Analysis of a Force Draught Fan using Wavelet Transform

พรชัย นิเวศน์รังสรรค์\* และ ณัฐพงษ์ อธิธิประเวศน์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530

\*ติดต่อ: nporncha@mut.ac.th, โทรศัพท์/โทรสาร: 029883666 ext. 3106

### บทคัดย่อ

การทำงานของพัดลมอัดอากาศมีความสำคัญต่อความเชื่อมั่นของโรงงานอุตสาหกรรมการตรวจสอบสถานะของพัดลมอัดอากาศจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาการหยุดเครื่องจักรและปัญหาการลดกำลังการผลิตโดยไม่จำเป็นการศึกษานี้จะจำลองการตรวจสอบพัดลมอัดอากาศในห้องปฏิบัติการด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เงื่อนไขต่าง ๆ เช่นสถานะปกติการเสียสมดุลการเยื้องศูนย์ความเสียหายของแบร็ริงและการหลวมคลอนทางกลสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดได้จะนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะให้รายละเอียดผลการวิเคราะห์ความถี่ที่เวลาต่างๆของสัญญาณการสั่นสะเทือนได้ชัดเจนขึ้นผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคือความถี่ช่วงความเร็วรอบของพัดลม 1xrpm (20-50 Hz), ช่วงใบพัดทำงาน 8xrpm (100-300 Hz) และช่วง >400 Hz การใช้ค่าพลังงานที่ 1xrpm, 8xrpm และพลังงานรวมสามารถประเมินสภาพของพัดลมได้บางกรณีการใช้การเปรียบเทียบระหว่างพลังงานรวมและผลรวมของพลังงานที่ความถี่ 1xrpm และ 8xrpm จะทำให้สามารถประเมินสภาพของพัดลมได้ทุกเงื่อนไขของการจำลอง

**คำหลัก:** การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน, เทคนิคการแปลงเวฟเล็ต, พัดลมอัดอากาศ

### Abstract

The operation of force draught fan has an important role to industry reliability. The condition monitoring of force draught fan is necessary for preventing other problems for example, reduction of production efficiency and machinery breakdown. This study was simulated a condition monitoring of force draught fan in laboratory with various conditions such as normal, blade unbalance, misalignment, bearing defect and mechanical looseness using vibration signals. Detected vibration signals were analyzed using continuous wavelet transform technique. This technique gives more details information of both time and frequency domain. It is found that wavelet coefficients can be classified into 3 groups such as revolution of fan of 1xrpm (20-50 Hz), blade pass frequency of 8xrpm (100-300 Hz) and >400 Hz. The use of energy at 1xrpm, 8xrpm and entire signal energy was able to predict some simulated conditions. The use of two parameters between entire signal energy and summation of energy at 1xrpm and 8xrpm was able to classify easily for each simulated condition.

**Keywords:** Vibration signal analysis, Wavelet transform, Force draught fan

**DRC-22**

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28  
15-17 ตุลาคม 2557 จังหวัดขอนแก่น



## DRC-22

### 1. บทนำ

การตรวจสอบความเสียหายของเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อต้องการให้เครื่องจักรทำงานเต็มความสามารถให้ได้ผลผลิตที่คุ้มค่ามากที่สุด และช่วยป้องกันความเสียหายของเครื่องจักรที่อาจเกิดขึ้นอย่างกะทันหันโดยเฉพาะเครื่องจักรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิต การตรวจสอบความเสียหายได้มีการประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรกลเช่น เทอร์ไบด์เครื่องยนต์ดีเซล คอมเพรสเซอร์ พัดลมระบายอากาศ พัดลมอัดอากาศ พัดลมหอทำความเย็นแบริ่ง และ เกียร์ เป็นต้น การตรวจสอบเหล่านี้มักใช้หัววัดประเภทต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เช่น หัววัดการสั่นสะเทือน (Accelerometer) หัววัดอคูสติคอีมิชชัน (Acoustic Emission) หัววัดกระแส หัววัดระยะ หัววัดความดันหัววัดอุณหภูมิ ไมโครโฟน เป็นต้น

วิธีการวิเคราะห์สัญญาณที่บันทึกได้จากเครื่องจักรกลที่กล่าวข้างต้นมักนิยมใช้เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลาโดเมนความถี่ และทั้งโดเมนเวลาและความถี่ เทคนิคการวิเคราะห์แต่ละเทคนิคจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป การวิเคราะห์บนโดเมนเวลาเป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่บันทึกได้จากเครื่องจักรกล เทคนิคการวัดบนโดเมนเวลามักจะวิเคราะห์ด้วยค่าพารามิเตอร์ทางสถิติเช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความโด่ง ค่าความเบ้ ค่ารากกำลังสองเฉลี่ย ค่าพลังงานของสัญญาณ เป็นต้น เทคนิคการวิเคราะห์นี้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสัญญาณ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและวิธีการวิเคราะห์ที่ไม่ซับซ้อน ส่วนการวิเคราะห์บนโดเมนความถี่มักนิยมใช้ผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สัญญาณที่บันทึกจากเครื่องจักรกลแบบหมุนเนื่องจากสัญญาณที่บันทึกได้ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนที่หมุนและมักจะปรากฏความถี่ที่เป็นจำนวนเท่าของความถี่ของรอบการหมุน วิธีการวิเคราะห์นี้จำเป็นต้องใช้ผู้มีประสบการณ์ถึงจะสามารถประเมินได้ถูกต้อง การวิเคราะห์โดยเทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนเวลา หรือ

โดเมนความถี่นั้นบางครั้งอาจจะประเมินความเสียหายได้บางเงื่อนไขของความเสียหายของเครื่องจักร การใช้เทคนิคการวิเคราะห์ที่ซับซ้อนขึ้นจึงเป็นสิ่งจำเป็น การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ทั้งโดเมนเวลาและความถี่จึงทำให้เห็นรายละเอียดของสัญญาณที่เกี่ยวข้องทั้งเวลาและความถี่ที่สอดคล้องกับพฤติกรรมของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล

การศึกษานี้จะทำการศึกษาการจำลองการตรวจสอบสภาวะของพัดลมอัดอากาศในห้องปฏิบัติการด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน และสัญญาณที่บันทึกได้จะวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการแปลงเวฟเลต ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทั้งบนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ และสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตที่เวลาและความถี่ที่เกี่ยวข้องจะถูกวิเคราะห์ด้วยค่าพารามิเตอร์ทางสถิติและค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณเช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความโด่ง ค่าความเบ้ ค่ารากกำลังสองเฉลี่ย เป็นต้น ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์สามารถนำมาทำนายสภาพของพัดลมอัดอากาศที่เงื่อนไขการจำลองนี้

### 2. การตรวจสอบสภาพของพัดลม

ปัจจุบันการตรวจสอบสภาพของเครื่องจักรกลนิยมใช้หัววัดประเภทต่าง ๆ มาเพื่อนำเอาข้อมูลที่บันทึกได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินสภาพของเครื่องจักรกล หัววัดที่นิยมใช้เช่น หัววัดการสั่นสะเทือน ไมโครโฟน หัววัดกระแส หัววัดแรง หัววัดระยะ เป็นต้น ทั้งนี้หัววัดแต่ละชนิดอาจจะมีเหมาะสมต่อเครื่องจักรกลแต่ละประเภทดังนั้นในอุตสาหกรรมการประเมินสภาพของเครื่องจักรกลอาจใช้หัววัดมากกว่าหนึ่งประเภทเพื่อประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อเครื่องจักร การตรวจสอบสภาพของพัดลมหรือเครื่องจักรกลมีการประยุกต์ใช้หัววัดการสั่นสะเทือน [1-3] หัววัดอคูสติคอีมิชชัน (3) ไมโครโฟน [4] หัววัดกระแส [5] เป็นต้น สัญญาณที่ตรวจวัดได้จะถูกบันทึกและนำมาประมวลผลโดยใช้

## DRC-22

เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลา ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางสถิติของสัญญาณ[2-3] เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ค่าความเบ้ หรือค่าค่าโด่ง เป็นต้น เทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนความถี่มักนิยมใช้การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว หรือการหาค่าสเปกตรัมของสัญญาณ[2-3] ส่วนเทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนเวลาและความถี่จะเป็นวิธีที่ซับซ้อนขึ้นเนื่องจากการวิเคราะห์จะทำทั้งโดเมนเวลาและความถี่ เทคนิคที่นิยมใช้เช่น การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น (Short Time Fourier Transform) หรือการแปลงเวฟเล็ต[6] เป็นต้น การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้นจะเป็นวิธีที่ทำให้ทราบองค์ประกอบความถี่ของสัญญาณที่เวลาต่าง ๆ ได้ดีกว่าวิธีการวิเคราะห์ความถี่ด้วยการแปลงฟูเรียร์แต่รายละเอียดของผลการวิเคราะห์ทุกช่วงความถี่ก็ยังไม่ละเอียดเท่าเทคนิคการแปลงเวฟเล็ต

เทคนิคการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง [7] มีลักษณะการวิเคราะห์สัญญาณในทุกๆค่าของความถี่ การแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่องมีสมการดังนี้

$$CWT(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

เมื่อ  $f(t)$  คือสัญญาณที่ทำการแปลงเวฟเล็ต

$\varphi(t)$  คือเวฟเล็ตแม่ (Mother Wavelet)

$a$  คือพารามิเตอร์ของการปรับสเกล

$b$  คือพารามิเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง

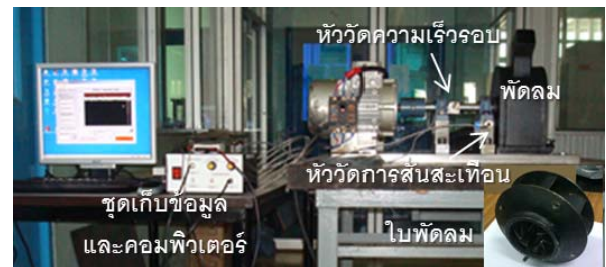
เวฟเล็ตแม่  $\varphi(t)$  อาจพิจารณาเป็นเทอมของฟังก์ชันหน้าต่างที่ใช้ในเทคนิคการแปลงฟูเรียร์ ช่วงเวลาสั้นการแปลงเวฟเล็ตจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้วยการเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์  $a$  และ  $b$  ทั้งบนโดเมนเวลาและความถี่ทำให้สัญญาณในช่วงที่มีความถี่สูงจะมีช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่แคบและสัญญาณในช่วงที่มีความถี่ต่ำจะมีช่วงเวลาวิเคราะห์ที่กว้างวิธีการที่กล่าวนี้จะเป็นการลดข้อดีของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้นซึ่งทำให้ผลการวิเคราะห์ละเอียดยิ่งขึ้นผลการแปลงเวฟ

เล็ตจะอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าของการปรับสเกลและตำแหน่งของการเลื่อนสัญญาณ

การศึกษานี้จะประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform, CWT) เพื่อวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกจากพัดลมอัดอากาศในห้องปฏิบัติการเพื่อประเมินสภาพของพัดลมที่เงื่อนไขการจำลองแบบต่าง ๆ เช่น พัดลมทำงานปกติ ไบพัดลมไม่สมดุล การเยื้องศูนย์กลางของเพลลา การหลวมคลอนทางกล และการเสียหายที่แท้จริง

### 3. การทดลอง

การจำลองการตรวจสอบสภาวะของพัดลมอัดอากาศของการศึกษานี้จะจำลองสภาวะของพัดลมอัดอากาศแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลางชนิดไบคังหน้าในห้องปฏิบัติการ หัววัดการสั่นสะเทือนจะถูกติดตั้งบนฐานยึดของแบริ่ง SKF รุ่น SYJ 25 TF และหัววัดความเร็วรอบจะใช้วัดความเร็วรอบพัดลมนี้จะถูกขับให้ทำงานที่ความเร็วรอบประมาณ 1464 รอบต่อนาที ชุดจำลองพัดลมแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชุดจำลองความเสียหายของพัดลมอัดอากาศ

พัดลมจะถูกจำลองสภาวะการทำงานดังนี้พัดลมทำงานปกติ (N) ไบพัดลมไม่สมดุล (U) การเยื้องศูนย์กลางของเพลลา (M) การหลวมคลอนทางกล (L) และการเสียหายที่แท้จริง (B) เงื่อนไขไบพัดลมไม่สมดุลจะจำลองด้วยการใส่มวลขนาด 30, 60 และ 90 กรัมเพิ่มที่ไบพัดลมโดยการจำลองการไม่สมดุลนี้แทนสัญลักษณ์ด้วย U30, U60 และ U90 ตามลำดับเงื่อนไขการเยื้องศูนย์กลางจะจำลองด้วยการใส่แผ่นซีมรองที่แท้จริงที่

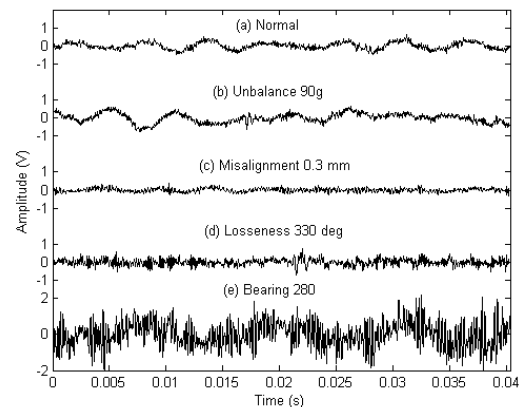
## DRC-22

ระยะเยื้องศูนย์กลาง 0.2, 0.3 และ 0.4 mm ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ M2, M3 และ M4 ตามลำดับเงื่อนไขการหลวมคลอนทางกลจะทำการจำลองด้วยการขันน็อตยึดฐานแบร์ริงให้แน่นด้วยมือเปล่าโดยถือว่าตำแหน่งนี้เป็น 0 องศา จากนั้นทำการคลายน็อตยึดฐานแบร์ริงไปที่ตำแหน่ง 330 และ 300 องศาตามลำดับ สัญลักษณ์แทนการจำลองนี้แทนด้วย L0, L330 และ L300 ตามลำดับ และเงื่อนไขการเสียหายที่แบร์ริงแทนด้วยสัญลักษณ์ B จะจำลองด้วยการใช้จารบีผสมกากเพชรเกรด 100, 280 และ 400 (เบอร์ต่ำจะหายยา) เพื่อให้แบร์ริงเสียหายที่ผิวของร่องนอกรางในและบอล ซึ่งจะทำให้แบร์ริงมีสภาพคล้ายคลึงกับการทำงานจริงสัญลักษณ์แทนการจำลองนี้แทนด้วย B100, B280 และ B400 สัญลักษณ์การสันสะเทือนและสัญญาณวัดรอบจะถูกบันทึก 120,000 ข้อมูลที่ความถี่สุ่ม 50,000 ข้อมูลต่อวินาที ข้อมูลทั้งหมดจะถูกบันทึกเป็นไฟล์เพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป

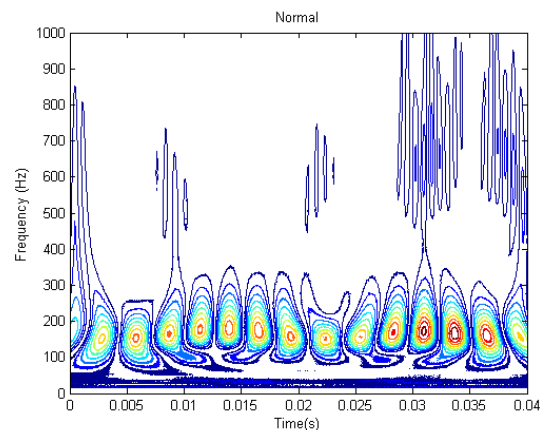
### 4. ผลการทดลอง

ตัวอย่างสัญญาณบนโดเมนเวลาที่บันทึกจากชุดจำลองแสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งพัลซมทำงานที่เงื่อนไข N, U90, M3, L330 และ B280 ตามลำดับ สัญลักษณ์ดังรูปบันทึกจากหัววัดการสันสะเทือนเมื่อพัลซมทำงานครบ 1 รอบ แกนตั้งเป็นแอมพลิจูดของสัญญาณในหน่วยโวลต์ และ แกนนอนเป็นเวลาในหน่วยวินาที ขนาดแอมพลิจูดของแต่ละเงื่อนไขตามความรุนแรงของการสันสะเทือนของพัลซมขณะทำงาน สัญญาณของพัลซมที่แบร์ริงเสียหายจะมีขนาดแอมพลิจูดที่สูงกว่าและสัญญาณการสันสะเทือนจะพบสัญญาณความถี่สูงปรากฏในสัญญาณได้ชัดเจนเมื่อเทียบกับสัญญาณที่บันทึกจากพัลซมที่ทำงานปกติและพัลซมที่เสียหายไม่รุนแรงสัญญาณการสันสะเทือนดังรูปที่ 2 จะถูกประมวลผลด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่องตามสมการที่ (1) โดยใช้ฟังก์ชันหน้าต่างแบบ Gaussian และตัวอย่างผลการแปลงเวฟเลตของสัญญาณดังรูปที่ 2 แสดงเป็นกราฟคอนทัวร์ (Contour) ดังรูปที่ 3 - 7 ตามลำดับแกนของ

กราฟเป็นเวลาในหน่วยวินาที แกนตั้งเป็นความถี่ในหน่วย Hz และเส้นขอบสีต่าง ๆ จากน้ำเงิน เหลือง และแดง เป็นค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลต หรือค่าระดับความสูงที่แตกต่างจากน้อยไปหามาก ผลการแปลงเวฟเลตจะแสดงความถี่ทั้งหมดในช่วง 0-25,000 Hz แต่เพื่อความชัดเจนของการแสดงผลพัลซมจะแสดงช่วงความถี่ 0-1,000 Hz ในช่วงเวลาประมาณ 0.04 วินาทีหรือพัลซมหมุนครบ 1 รอบ



รูปที่ 2 ตัวอย่างสัญญาณการสันสะเทือนที่เงื่อนไขการจำลองต่าง ๆ

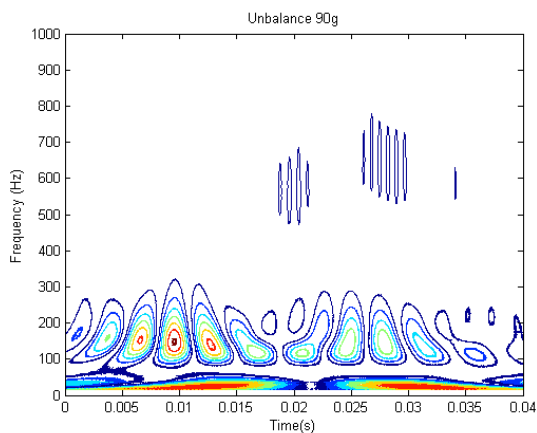


รูปที่ 3 ตัวอย่างผลการแปลงเวฟเลตของพัลซมขณะทำงานปกติ

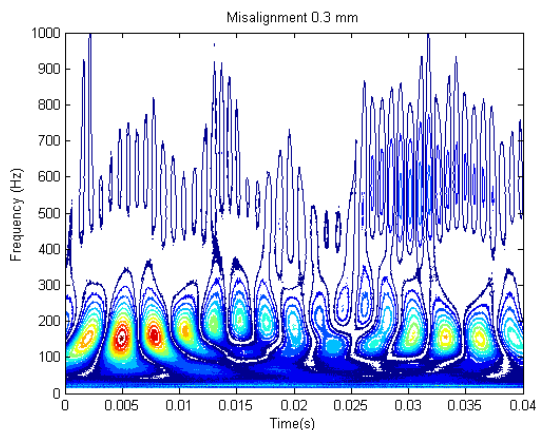
ผลการแปลงเวฟเลตดังรูปที่ 2-6 สามารถแบ่งสัญญาณออกเป็น 3 ช่วงดังนี้ ช่วงแรกความถี่ประมาณ 20-50 Hz ซึ่งจะมีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดเกิดขึ้นที่ประมาณหนึ่งเท่าของความถี่รอบ (1xrpm) หรือประมาณ 24.4Hz ช่วงที่สองความถี่ประมาณ 100-300 Hz จะปรากฏค่าสัมประสิทธิ์เด่นชัดเป็น

**DRC-22**

ช่วง ๆ และจะมีค่าสูงสุดประมาณ 150-200Hz ซึ่งเป็นช่วงประมาณความถี่ของใบพัดลมที่มี 8 ใบพัดหมุนทำงาน (8xrpm) และช่วงที่สามเป็นช่วงความถี่ที่มากกว่า 400 Hz ซึ่งสัญญาณจะปรากฏความถี่อย่างไม่มีการเรียงแบบที่ชัดเจนซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการทางกลของชิ้นส่วนหมุนหรือชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่เคลื่อนที่ ผลการวิเคราะห์แต่ละเงื่อนไขจะมีรายละเอียดรูปแบบสัญญาณที่มีองค์ประกอบของความถี่ที่ใกล้เคียงและแตกต่างกันจึงสามารถนำมาใช้ในประเมินสภาพการทำงานของพัดลมได้



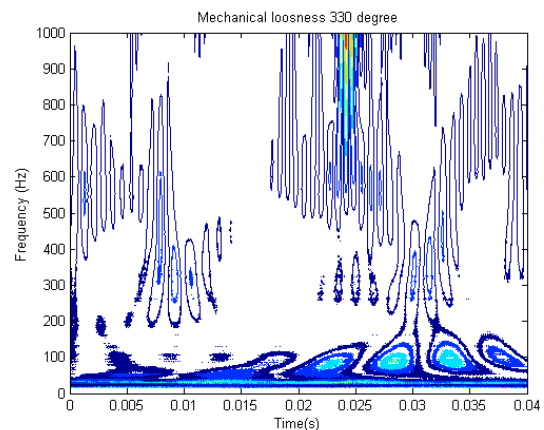
รูปที่ 4 ตัวอย่างผลการแปลงเวฟเลิตของพัดลมที่เงื่อนไขใบพัดลมไม่สมดุลด้วยมวล 90 g



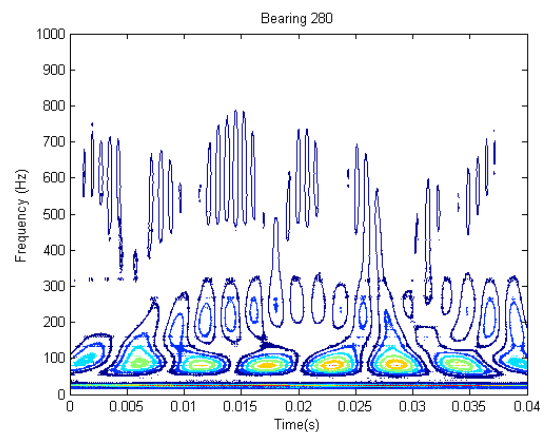
รูปที่ 5 ตัวอย่างผลการแปลงเวฟเลิตของพัดลมที่เงื่อนไขการเยื้องศูนย์กลางของเพลลา 0.3 mm

ผลการแปลงเวฟเลิตของพัดลมที่ทำงานปกติแสดงดังรูปที่ 3 พบว่าจะมีความถี่หลักประมาณ 8xrpm ปรากฏชัดเจนเป็นช่วง ๆ และมีความถี่ประมาณ 1xrpm ที่มีขนาดสัมประสิทธิ์ค่อนข้างต่ำ

ปรากฏเป็นแนวยาว ตัวอย่างผลการแปลงเวฟเลิตที่เงื่อนไขใบพัดลมไม่สมดุลด้วยมวลจำลองขนาด 90 g แสดงดังรูปที่ 4 จะปรากฏช่วงความถี่คล้ายกับเงื่อนไขของพัดลมทำงานปกติ เงื่อนไขการไม่สมดุลของใบพัดจะทำความถี่ช่วง 1xrpm มีค่าสัมประสิทธิ์สูงขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วที่จะเกิดขนาดแอมพลิจูดสูงสุดที่ 1xrpm [2-3] ส่วนช่วงความถี่ 8xrpm ก็ จะปรากฏเห็นเป็นช่วง ๆ แต่รูปแบบจะไม่เหมือนกับเงื่อนไขพัดลมทำงานปกติ ผลการวิเคราะห์ที่เงื่อนไขการเยื้องศูนย์กลางของแกนเพลลาแสดงดังรูปที่ 5 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดเกิดขึ้นที่ความถี่ประมาณ 8xrpm ส่วนค่าที่ความถี่ประมาณ 1xrpm จะปรากฏเป็นแนวยาวที่มีค่าสัมประสิทธิ์ต่ำ ส่วนความถี่ที่สูงกว่า 400 Hz จะปรากฏมากขึ้นแต่ไม่มีรูปแบบที่ชัดเจนซึ่งคาดว่าอาจเป็นผลมาจากการเยื้องศูนย์กลางของเพลลาที่เกิดขึ้น



รูปที่ 6 ตัวอย่างผลการแปลงเวฟเลิตของพัดลมที่เงื่อนไขการหลวมคลอนทางกลที่ตำแหน่ง 330°



**DRC-22**

15-17 ตุลาคม 2557 จังหวัดขอนแก่น

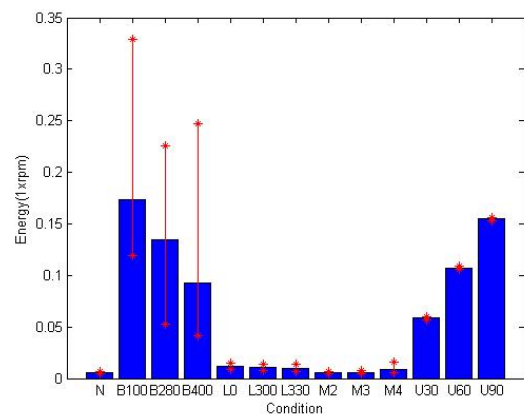
รูปที่ 7 ตัวอย่างผลการแปลงเวฟเลิตซ์ของพัลลวมที่  
เงื่อนไขการเสียหายของแบร์ริง grit 280

ผลการวิเคราะห์ของเงื่อนไขการหลวมคลอนทางกลแสดงดังรูปที่ 6 พบว่ารูปแบบของความถี่ที่เกิดขึ้นจะแตกต่างจากเงื่อนไขอื่นที่กล่าวข้างต้น ความถี่ช่วง 1xrpm จะปรากฏเป็นแนวยาวมีขนาดต่ำ ส่วนความถี่ช่วง 8xrpm จะปรากฏไม่ชัดเจนและปรากฏความถี่ช่วงประมาณ 50-100 Hz ขึ้นแต่รูปแบบไม่แน่นอน นอกจากนี้ยังปรากฏความถี่ที่มากกว่า 400 Hz และไม่มีรูปแบบที่ชัดเจนเช่นกัน คาดว่าอาจเกิดจากผลของการหลวมคลอนของน็อตยึดแบร์ริงจึงทำให้เกิดการกระแทกระหว่างโครงครอบพัลลวมกับฐานยึดจึงทำให้รูปแบบการเกิดขึ้นของความถี่เปลี่ยนแปลงไป ผลการแปลงเวฟเลิตซ์ของการจำลองความเสียหายที่แบร์ริงด้วยจารบีเกรด 280 แสดงดังรูปที่ 7 พบว่ารูปแบบของความถี่ที่ปรากฏจะไม่เหมือนกับเงื่อนไขก่อนหน้า สัมประสิทธิ์ที่มีค่าสูงจะปรากฏที่ความถี่ประมาณ 50-150 Hz หรือประมาณ 4xrpm ส่วนความถี่ช่วง 8xrpm และความถี่ที่มากกว่า 400 Hz จะปรากฏแต่ไม่ชัดเจน

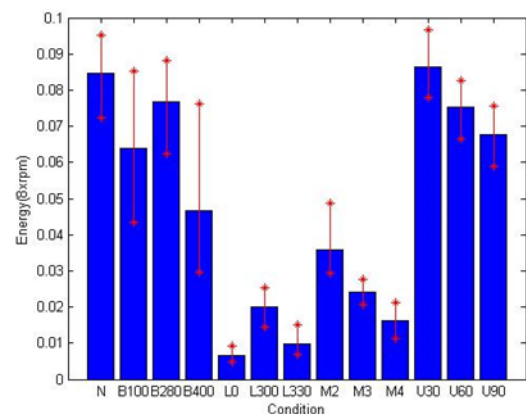
จากการวิเคราะห์ด้วยผลการแปลงเวฟเลิตซ์ข้างต้น จำเป็นต้องใช้ความรู้ความเข้าใจ ความชำนาญและทักษะเกี่ยวกับการทำงานของพัลลวมและการวิเคราะห์ความถี่จึงจะสามารถประเมินสภาพของพัลลวมที่เงื่อนไขการจำลองต่าง ๆ ได้ ดังนั้นเพื่อความสะดวกต่อการวิเคราะห์การศึกษานี้ได้ประยุกต์เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลา เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติเช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ และค่าความโก่ง เป็นต้น แต่ผลการวิเคราะห์ไม่สามารถแยกเงื่อนไขการจำลองได้ถูกต้อง ดังนั้นการวิเคราะห์พลังงานของผลการแปลงเวฟเลิตซ์จึงประยุกต์ใช้โดยวิเคราะห์พลังงานที่ความถี่ประมาณ 1xrpm, 8xrpm และพลังงานรวมของสัญญาณด้วยการหาพื้นที่ใต้กราฟของผลการแปลงเวฟเลิตซ์ผลการวิเคราะห์พลังงานดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 7-9 ตามลำดับกราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยของพลังงานของผลการแปลงเวฟเลิตซ์ที่กล่าวข้างต้นที่เงื่อนไขการจำลอง

ต่าง ๆ ที่คำนวณมาจากสัญญาณที่พัลลวมทำงานประมาณ 80 รอบ ส่วนกราฟ error bar เป็นการแสดงการกระจายของค่าพลังงานที่คำนวณได้ซึ่งจะกำหนดด้วยค่าสูงสุดและต่ำสุดของพลังงานในแต่ละรอบที่วิเคราะห์ได้จึงทำให้ทราบการกระจายตัวของตัวแปรที่วิเคราะห์

ค่าพลังงานที่ความถี่ประมาณ 1xrpm หรือประมาณ 24.4 Hz แสดงดังรูปที่ 8 พบว่า เงื่อนไขการเสียหายที่แบร์ริง B100, B280 และ B400 และการไม่สมดุลของใบพัลลวม U30, U60 และ U90 จะให้ค่าพลังงานที่ความถี่ที่ 1xrpm มีค่าสูงกว่าเงื่อนไขอื่น

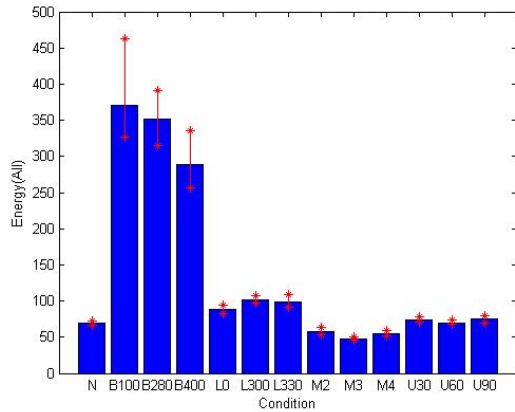


รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ความถี่ 1xrpm ที่เงื่อนไขการจำลองต่าง ๆ



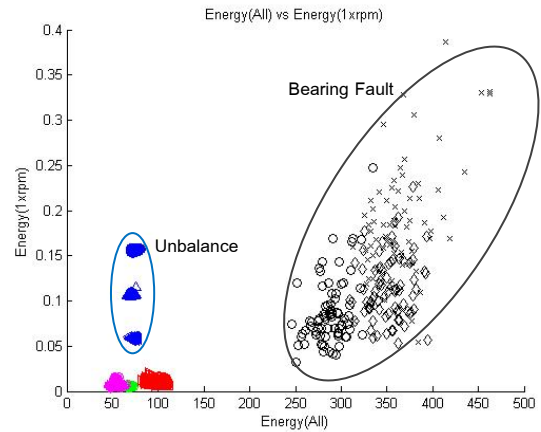
รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ความถี่ 8xrpm ที่เงื่อนไขการจำลองต่าง ๆ

## DRC-22



รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบค่าพลังงานรวมที่เงื่อนไขการจำลองต่างๆ

ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ความถี่ 8xrpm หรือประมาณ 195 Hz แสดงดังรูปที่ 9 พบว่า ค่าพลังงานนี้สามารถแยกออกเป็น 2 กลุ่ม โดยเงื่อนไข N, B100, B280, B400, U30, U60 และ U90 จะมีค่าสูงกว่าเงื่อนไข L0, L300, L330, M2, M3 และ M4 ค่าพลังงานรวมของแต่ละเงื่อนไขการจำลองแสดงดังรูปที่ 10 พบว่า เงื่อนไข B100, B280 และ B400 จะเป็นกลุ่มที่มีพลังงานรวมสูงกว่าเงื่อนไขการจำลองอื่น ๆ ซึ่งมีค่าพลังงานรวมใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณา error bar ของค่าพลังงานพบว่า การกระจายตัวของค่าพลังงานเหล่านี้ในบางครั้งไม่สามารถแยกประเภทของการจำลองทุกเงื่อนไขได้ชัดเจนด้วยค่าพารามิเตอร์เดี่ยว ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์บนโดเมนเวลาของสัญญาณการสั่นสะเทือนด้วยพารามิเตอร์ทางสถิติ [2] ที่สรุปว่าการใช้ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติเพียงค่าเดียว จะไม่สามารถแยกสภาวะของพัลล์มได้ทุกเงื่อนไขของการจำลอง และการใช้การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ 2 ตัวสามารถแยกกลุ่มการจำลองได้ดีขึ้นแต่เงื่อนไขไม่สมดุล การเยื้องศูนย์และการหลวมคลอนทางกลบางกรณีจะไม่สามารถแยกกลุ่มกันได้

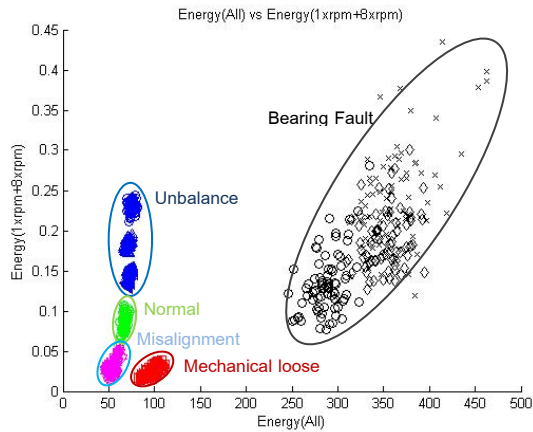


รูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดและค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟที่ 1xrpm

การประเมินสภาพของพัลล์มด้วยการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์สองตัวทำให้สามารถแยกเงื่อนไขของการจำลองได้ชัดเจนมากขึ้นรวมทั้งสามารถเห็นการกระจายตัวของแต่ละกลุ่มข้อมูลได้ชัดเจน การเปรียบเทียบค่าพลังงานรวมและค่าพลังงานที่ 1xrpm แสดงดังรูปที่ 11 พบว่าสามารถแยกความเสียหายได้ชัดเจนออกเป็น 3 กลุ่มคือ ความเสียหายเนื่องจากใบพัดไม่สมดุล ความเสียหายที่เบร็งและเงื่อนไขอื่นที่เหลือจะรวมกลุ่มกัน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าพลังงานรวมและผลรวมของพลังงานที่ 1xrpm และ 8xrpm ดังรูปที่ 12 พบว่า เงื่อนไขการจำลองทั้งหมดสามารถแยกกลุ่มออกได้อย่างชัดเจน เส้นขอบเขตวงรีแสดงถึงความเชื่อมั่นของข้อมูลที่ระดับ 95% ที่อยู่ในขอบเขตนี้ ค่าพลังงานที่ 1xrpm, 8xrpm และพลังงานรวมของสัญญาณจากความเสียหายที่เบร็งจะมีการกระจายตัวมากกว่ากรณีอื่น ๆ เนื่องจาก ความถี่ช่วง 1xrpm และ 8xrpm จะปรากฏในสัญญาณไม่แน่นอน



## DRC-22



รูปที่ 12 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดและค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟที่  $1xrpm+8xrpm$

## 5. สรุปผลการทดลอง

การตรวจสอบสภาพของพัดลมอัดอากาศด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เงื่อนไขพัดลมทำงานปกติ การไม่สมดุลของใบพัด การเยื้องศูนย์กลางของเพลลา การหลวมคลอนทางกล และความเสียหายของแบริ่งสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลาและความถี่ด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่องด้วยฟังก์ชันวินโดว์แบบ Gaussian เพื่อเพิ่มความสามารถของการตรวจสอบสภาพของพัดลมให้แม่นยำยิ่งขึ้น การใช้เทคนิคการแปลงเวฟเล็ตจะทำให้ทราบองค์ประกอบของความถี่ของสัญญาณในช่วงเวลาต่าง ๆ ดังนี้ ช่วง  $1xrpm$  (20-50 Hz) ช่วง  $8xrpm$  (100-300 Hz) และช่วงที่มากกว่า 400 Hz ส่วนรายละเอียดของรูปแบบการเกิดความถี่ช่วงดังกล่าวข้างต้นจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันตามเงื่อนไขการจำลอง และพฤติกรรมของกระบวนการทางกลของการทำงานของพัดลม ช่วงความถี่ประมาณ  $1xrpm$  และ  $8xrpm$  เป็นช่วงที่ปรากฏเด่นชัดในผลการแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณ การประเมินสภาพของพัดลมโดยใช้ค่าพลังงานช่วง  $1xrpm$ ,  $8xrpm$  หรือพลังงานรวมเพียงอย่างเดียวจะไม่ชัดเจนแต่การใช้การเปรียบเทียบระหว่างพลังงานรวมและผลรวมของพลังงานช่วง  $1xrpm$  และ  $8xrpm$  จะทำให้สามารถประเมินสภาพของพัดลมได้ทุกเงื่อนไขของการจำลองรวมทั้งทำให้ทราบการกระจายตัวของข้อมูลด้วย

ขอบเขตวงรีที่ความเชื่อมั่นระดับ 95% ซึ่งเงื่อนไขการเสียหายของแบริ่งจะมีการกระจายตัวของข้อมูลมากกว่ากรณีอื่น

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณชัชชัย ไชยชนะ ผศ.ดร. พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ และอาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครทุกท่านที่สนับสนุนข้อมูล และให้คำปรึกษาสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ghafari, S.H. (2004), *Condition monitoring of industrial fans*, Proceedings of The 22<sup>nd</sup> Seminar on Machine Vibration, CMVA, October 27-29, 2004, Ottawa, pp.1-6.
- [2] พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ และชัชชัย ไชยชนะ (2553) การตรวจสอบสภาพของพัดลมอัดอากาศด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน (DRC 2) การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24 20-22 ตุลาคม 2553 อุบลราชธานี
- [3] วชิรวิทย์ สงสุวรรณ และพรชัย นิเวศน์รังสรรค์ (2555) การตรวจสอบสภาพของพัดลมอัดอากาศด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณอคูสติคิมิซัน (TSF2055) การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26 ตุลาคม 2555 เชียงราย
- [4] A. M. Lyons, A.M., (2007), *Acoustic signal processing for degradation analysis of rotating machinery to determine the remaining useful life*, IEEE Workshop on applications of signal processing to audio and acoustics, October 21-24, 2007, New Paltz, New York, pp. 90-93.
- [5] A. Kord A. (2002), *On line condition monitoring of motors using electrical signature analysis*, The Recent Advances in Condition-Based Plant Maintenance, NITIE, May 17-18, 2002, Mumbai, pp.1-10.

## DRC-22

[6] Shan, J., Bauer, B., and Seeliger, A, (1999), *The joint time-frequency analysis and its application for vibration diagnosis of machines*, Proceeding of the 12<sup>th</sup> International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management, COMADEM, University of Sunderland, England, 1999, S. 271-279.

[7] Peng, Z.K. and Chu, F.L. (2004), *Application of the wavelet transform in machine condition monitoring and fault diagnostics: a review with bibliography*, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 18, No. 2, pp. 199-221.