

การตรวจสอบพัดลมอัดอากาศด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณอคูสติกอิมิชัน Force Draught Fan Monitoring Using Vibration and Acoustic Emission Signals

วชิรวิทย์ สงสุวรรณ และ พรชัย นิเวศน์รังสรรค์*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กทม 10530
โทรศัพท์ 0-2988-3666 ต่อ 3110, โทรสาร 0-2988-3666 ต่อ 3106
*ติดต่อ: npornchai@gmail.com

บทคัดย่อ

พัดลมอัดอากาศเป็นเครื่องจักรสำคัญในโรงงานอุตสาหกรรม การตรวจสอบพัดลมเพื่อป้องกันการเสียหายของเครื่องจักรกระทันหันจึงเป็นสิ่งจำเป็น การศึกษานี้จะจำลองการเสียหายของพัดลมอัดอากาศในห้องปฏิบัติการด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณอคูสติกอิมิชัน สัญญาณจะถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนเวลาและความถี่เพื่อทำนายสถานะของพัดลมที่เงื่อนไขต่าง ๆ เช่น สภาวะปกติ การเสียสมดุล การเยื้องศูนย์ และความเสียหายของแบร็ง การศึกษานี้พบว่า การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติระหว่างค่าความเบ้และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณการสั่นสะเทือนสามารถทำนายเงื่อนไขการทำงานของพัดลมได้ดีกว่าสัญญาณอคูสติกอิมิชัน ส่วนการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนความถี่พบว่าสัญญาณอคูสติกอิมิชันสามารถวิเคราะห์ความถี่หลักที่เกี่ยวข้องกับความถี่ของแบร็งได้ชัดเจนกว่าสัญญาณการสั่นสะเทือน และความถี่ต่ำช่วงการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรไม่มีผลต่อสัญญาณอคูสติกอิมิชัน

คำหลัก: พัดลมอัดอากาศ อคูสติกอิมิชัน การตรวจสอบพัดลม การวิเคราะห์สัญญาณ

Abstract

Force draught fan is a main machine in various industrials. Fan inspection is necessary to prevent any damage form unexpected machine breakdown. This study was to simulate condition monitoring of a laboratory scale of force draught fan using vibration and acoustic emission signals. These signals were analysed using time domain and frequency domain analysis techniques to predict various fan conditions such as normal, unbalance, misalignment and bearing defect. It is found that the comparison of statistical parameters between skewness and standard deviation of vibration signal could be used to predict fan conditions and gave better results than acoustic emission signal. For the frequency domain analysis, it is found that RMS acoustic emission signal could be used to analysis main frequencies that related to bearing frequencies with a better result than vibration signal and the low frequencies of the machine was not effected on the acoustic mission signal.

Keywords: Force draught fan, Acoustic emission, Condition monitoring, Signal analysis.

1. บทนำ

พัดลมเป็นเครื่องจักรสำคัญของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของพัดลมเช่น พัดลมอัดอากาศเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำ พัดลมระบายอากาศในโรงงาน พัดลมหอบทำความเย็น พัดลมเพิ่มความดันแก๊ส เป็นต้น การตรวจสอบสภาวะการทำงานของเครื่องจักร

ต่าง ๆ เพื่อหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการชำรุดเสียหายของชิ้นส่วนและอุปกรณ์เคลื่อนที่ต่าง ๆ มีวิธีการตรวจสอบที่นิยมใช้เช่น การตรวจสอบอุณหภูมิ การวิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่น การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน การวิเคราะห์สัญญาณเสียง การวิเคราะห์สัญญาณอคูสติกอิมิชัน (Acoustic Emission) เป็นต้น

[1] เทคนิคการวิเคราะห์แต่ละแบบจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่นจะทำให้สามารถทราบถึงชิ้นส่วนที่สึกหรอเนื่องจากแต่ละชิ้นส่วนของเครื่องจักรจะมีองค์ประกอบของธาตุที่ต่างกัน แต่การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะต้องเก็บตัวอย่างไปตรวจสอบในห้องปฏิบัติการและเครื่องมือทดสอบมีราคาสูงมาก ส่วนการตรวจสอบด้วยเซนเซอร์ต่าง ๆ เช่น หัววัดการสั่นสะเทือน หรือหัววัดอนุสติกอิมีชันเป็นหัววัดที่สามารถติดตั้งบนเครื่องจักรได้ง่ายโดยใช้ตัวยึดแม่เหล็กจึงไม่จำเป็นต้องปรับแต่งตำแหน่งติดตั้งหัววัด และการเก็บข้อมูลและประมวลผลสามารถกระทำได้ที่ทันทีที่เครื่องจักรที่ต้องการตรวจสอบ

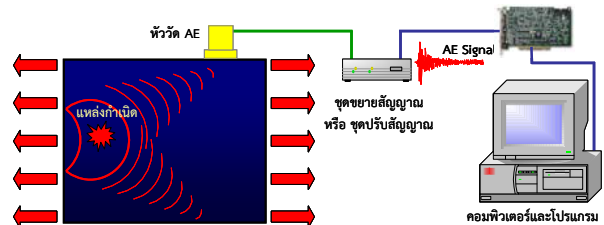
ปัจจุบันหัววัดการสั่นสะเทือนเป็นหัววัดที่นิยมใช้ในการตรวจสอบเครื่องจักรและการประมวลผลสัญญาณที่ตรวจวัดได้นิยมใช้เทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณซึ่งผู้ตรวจสอบจำเป็นต้องมีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์สัญญาณที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรกลที่ตรวจสอบเป็นพิเศษจึงสามารถประเมินสภาพของเครื่องจักรกลได้ถูกต้อง อย่างไรก็ตามการตรวจสอบเครื่องจักรโดยใช้สัญญาณการสั่นสะเทือนมักจะถูกรบกวนจากแหล่งกำเนิดความถี่ต่ำ (<1000 Hz) ที่เกิดจากการทำงานของชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการทดสอบของเครื่องจักร และเครื่องจักรใกล้เคียง ๆ บริเวณที่ทดสอบ จึงทำให้บางครั้งการประเมินผลอาจผิดพลาดได้ การตรวจสอบสภาพของเครื่องจักรกลยังสามารถใช้หัววัดอื่นคือ หัววัดอนุสติกอิมีชันซึ่งจะตรวจวัดสัญญาณอนุสติกอิมีชันที่มีความถี่ช่วงใช้งานช่วง 50kHz – 1MHz ซึ่งสัญญาณรบกวนช่วงความถี่ต่ำ (< 1000 Hz) จะไม่มีผลต่อสัญญาณ งานประยุกต์ของการใช้หัววัดนี้นิยมใช้ในการตรวจสอบหารอยร้าวของท่อ หรือการตรวจสอบสภาพของเครื่องจักรกลอื่น ๆ เช่น ปั๊ม คอมเพรสเซอร์ และเทอร์โบต์ [1-3] การวิเคราะห์สัญญาณอนุสติกอิมีชันนี้สามารถใช้เทคนิคต่าง ๆ ที่นิยมใช้การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนทั้งบนโดเมนเวลาและความถี่

การศึกษานี้จะทำการศึกษาการจำลองการตรวจสอบสถานะของพัดลมอัดอากาศในห้องปฏิบัติการด้วยสัญญาณอนุสติกอิมีชันด้วยเทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนเวลาและบนโดเมนความถี่เพื่อหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่สามารถนำมาทำนายสภาพของพัดลมอัดอากาศนี้ รวมทั้งจะเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างสัญญาณสั่นสะเทือนและสัญญาณอนุสติกอิมีชันซึ่งเป็น

สัญญาณที่นิยมใช้ในการตรวจสอบเครื่องจักรอุตสาหกรรมทั่วไป

2. อคูสติกอิมีชัน

อนุสติกอิมีชันเป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นยืดหยุ่น (Elastic wave) ชั่วขณะเกิดขึ้นเนื่องจากการปลดปล่อยพลังงานภายในเนื้อวัสดุ [1] ซึ่งสามารถแสดงด้วยแผนภาพดังรูปที่ 1 คลื่นอนุสติกอิมีชันนี้มีพฤติกรรมทางฟิสิกส์เหมือนคลื่นทั่วไปคือคลื่นสามารถเกิดการสะท้อน การหักเห การเปลี่ยนโหมด และการลดลงของแอมพลิจูดของคลื่น [1, 4] เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปในวัสดุ คลื่นชนิดนี้สามารถตรวจวัดได้จากหัววัดอนุสติกอิมีชันและสัญญาณอนุสติกอิมีชันที่ตรวจจับได้จะมีความซับซ้อนมากขึ้นอยู่กับเส้นทางการเคลื่อนที่และรูปร่างของชิ้นงาน



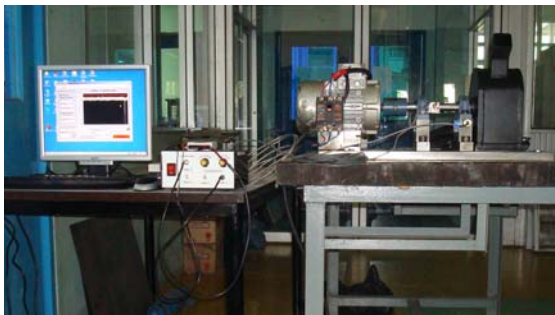
รูปที่ 1 แผนภาพการเกิดสัญญาณอนุสติกอิมีชัน

การวิเคราะห์สัญญาณอนุสติกอิมีชันสามารถใช้วิธีการวิเคราะห์สัญญาณทั่วไปทั้งบนโดเมนเวลาและบนโดเมนความถี่ เช่น การวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางสถิติต่างๆ ของสัญญาณ เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความแปรปรวน และค่าความโด่ง โดยค่าที่คำนวณเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมของเครื่องจักรที่ศึกษา หรือการวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณด้วยเทคนิคการแปลงฟูเรียร์เร็ว (Fast Fourier Transform, FFT) จะทำให้ทราบองค์ประกอบความถี่ที่สำคัญซึ่งมักจะเกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ เป็นต้น

3. การทดลอง

การจำลองการตรวจสอบสถานะของพัดลมอัดอากาศของการศึกษานี้ จะทำกับพัดลมอัดอากาศจำลองแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลางชนิดใบโค้งหน้า หัววัดอนุสติกอิมีชันจะถูกติดตั้งบนฐานยึดของแบริ่ง SKF รุ่น SYJ 25 TF พร้อมด้วยหัววัดการสั่นสะเทือน และสัญญาณวัดความเร็วรอบพัดลมนี้จะถูกขับให้ทำงานที่ความเร็วรอบประมาณ 1464 รอบต่อนาที ชุดจำลองแสดงดังรูปที่ 2 พัดลมจะทำการจำลองสถานะการทำงานดังนี้ พัดลมทำงานปกติ (N)

ใบพัดลมไม่สมดุล (U) การเยื้องศูนย์ของเพลลา (M) และการเสียหายที่แบร์ริง (B) เงื่อนไขใบพัดลมไม่สมดุลจะจำลองด้วยการใส่มวลขนาด 30, 60 และ 90 กรัมเพิ่มที่ใบพัดลม โดยการจำลองการไม่สมดุลนี้แทนสัญญาณลักษณะด้วย U1, U2 และ U3 ตามลำดับ เงื่อนไขการเยื้องศูนย์จะจำลองด้วยการใส่แผ่นซีมรองที่แบร์ริงที่ระยะเยื้องศูนย์ 0.2, 0.3 และ 0.4 mm ซึ่งแทนด้วยสัญญาณลักษณะ M1, M2 และ M3 ตามลำดับ และ เงื่อนไขการเสียหายที่แบร์ริงแทนด้วยสัญญาณลักษณะ B จะจำลองด้วยการใช้จารบีผสมกากเพชรที่มีขนาดกริต 400 เพื่อทำให้แบร์ริงเสียหายที่ผิวของรอกนอก รางใน และบอล โดยให้แบร์ริงมีสภาพคล้ายคลึงกับการทำงานจริง สัญญาณอนุสติกิมิซันจะถูกบันทึกที่ความถี่สุ่ม 1000000 ข้อมูลต่อวินาที ส่วนสัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณวัดรอบจะถูกบันทึกที่ความถี่สุ่ม 50000 ข้อมูลต่อวินาที ข้อมูลทั้งหมดต่อวินาทีจะถูกบันทึกเป็นไฟล์เพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป

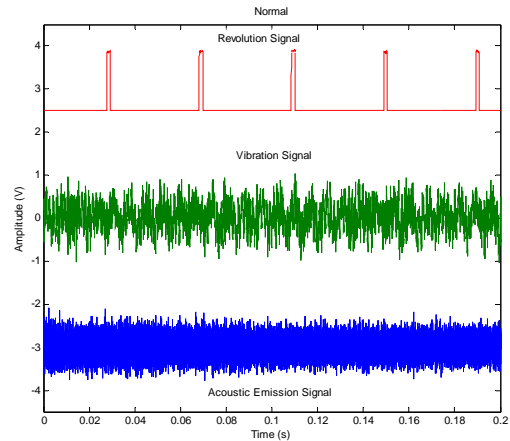


รูปที่ 2 ชุดจำลองพัดลมและอุปกรณ์ต่าง ๆ

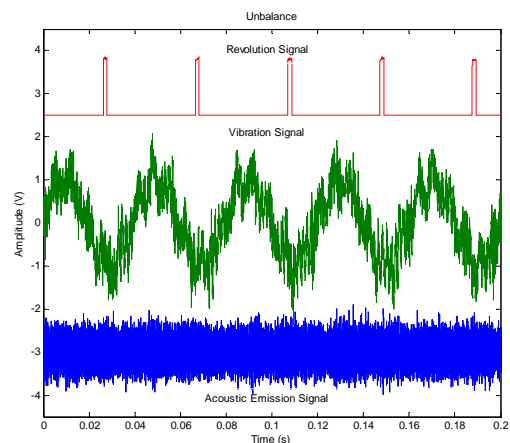
4. ผลการทดลอง

ตัวอย่างสัญญาณความเร็วรอบ สัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณอนุสติกิมิซันที่บันทึกพร้อมกันจากพัดลมจำลองที่เงื่อนไขพัดลมทำงานปกติและเงื่อนไขใบพัดลมไม่สมดุลแสดงดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ โดยแกนนอนเป็นเวลาและแกนตั้งเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าซึ่งจะทำการปรับค่าชดเชยของสัญญาณเพื่อความสะดวกต่อการแสดงผลสัญญาณ สัญญาณความเร็วรอบ (Revolution signal) จะปรากฏเป็นพัลส์ต่อรอบ และสามารถหาคำนวนความเร็วรอบของพัดลมซึ่งมีค่าประมาณ 1464 รอบต่อนาที สัญญาณการสั่นสะเทือน (Vibration signal) ของพัดลมที่ทำงานปกติจะมีลักษณะสัญญาณที่เกิดขึ้นไม่แน่นอนดังรูปที่ 3 ส่วนสัญญาณการสั่นสะเทือนของพัดลมที่ไม่สมดุลจะปรากฏการสั่นของสัญญาณที่ความถี่ต่ำอย่างชัดเจนซึ่งคาดว่าจะจะเป็นความถี่ของการทำงานของพัดลม สัญญาณการสั่นสะเทือนนี้จะถูกผลกระทบของความถี่ต่ำ

เข้ามาในสัญญาณได้ ซึ่งบางครั้งอาจทำให้การวิเคราะห์สัญญาณเกิดการผิดพลาดได้ ส่วนสัญญาณอนุสติกิมิซันจะไม่โดนผลกระทบจากแหล่งกำเนิดที่มีค่าถี่ต่ำต่อสัญญาณเนื่องจากช่วงการทำงานของคลื่นอนุสติกิมิซันจะค่อนข้างสูงประมาณ 50k-1MHz ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณดังรูปที่ 3 และ 4 มีความแตกต่างของแอมพลิจูดของสัญญาณ แต่ลักษณะและรูปร่างของสัญญาณจะใกล้เคียงกัน



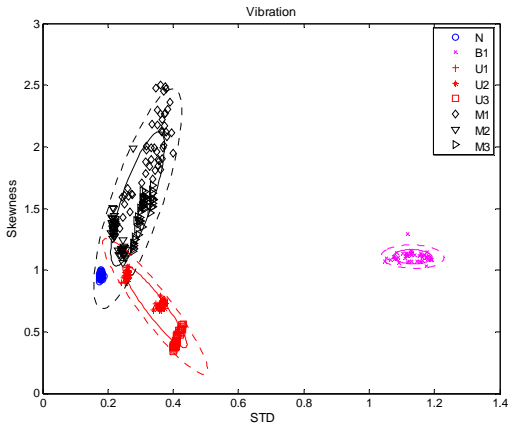
รูปที่ 3 ตัวอย่างสัญญาณต่าง ๆ ที่เงื่อนไขพัดลมทำงานปกติ



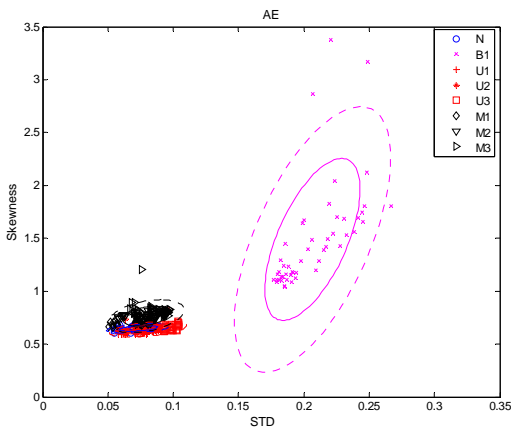
รูปที่ 4 ตัวอย่างสัญญาณต่าง ๆ ที่เงื่อนไขใบพัดลมไม่สมดุล

สัญญาณการสั่นสะเทือนสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ 2 ค่า และนำมาแสดงผลร่วมกันดังที่ได้เสนอวิธีการของการศึกษา พรชัย และชัชชัย [5] ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงผลคือการเปรียบเทียบระหว่างค่าความเบ้และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการจำลองการทำงานของพัดลมที่เงื่อนไขต่าง ๆ แสดง

ดังรูปที่ 5 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ร่วมกันของสัญญาณการสั่นสะเทือนจะสามารถแยกกลุ่มของค่าตอบออกเป็น 4 กลุ่มดังรูปคือ พัดลมทำงานปกติ (N) ใบพัดลมไม่สมดุล (U1, U2 และ U3) การเยื้องศูนย์ (M1, M2 และ M3) และแบร็งเสียหาย (B) ผลการทดลองที่ได้นี้เป็นไปในแนวเดียวกับผลการทดลองของ พรชัยและชัชชัย [5] ผลการทดลองดังรูปที่ 5 ยังสามารถเขียนเส้นขอบเขตการทำนายของกลุ่มข้อมูลซึ่งเขียนเป็นรูปวงรีเส้นทึบและเส้นประ แทนด้วยขอบเขตของการทำนายข้อมูลที่มีความเชื่อมั่นประมาณ 68% และ 95% ตามลำดับ จะเห็นว่าที่ขอบเขตความเชื่อมั่นที่ 95% จะมีผลการวิเคราะห์ของ M1, M2 และ U1 มีค่าใกล้เคียงกันมากและอยู่ขอบเขตเดียวกัน จึงทำให้การทำนายเกิดความผิดพลาดได้



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานร่วมกับค่าความเบ้ของสัญญาณการสั่นสะเทือน



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานร่วมกับค่าความเบ้ของสัญญาณอคูสติกอิมิชชัน

ส่วนผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณอคูสติกอิมิชชันแสดงดังรูปที่ 6 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความเบ้จะคำนวณมาจากสัญญาณอคูสติกอิมิชชันที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (Root

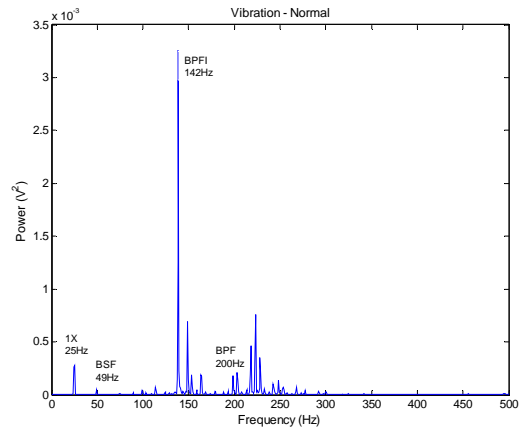
mean square) ที่ช่วงเวลา 1.2 ms จะทำให้ข้อมูลลดลงและทำให้สะดวกต่อการวิเคราะห์ จากรูปที่ 6 พบว่าสัญญาณอคูสติกอิมิชชันสามารถแยกกลุ่มผลการวิเคราะห์ออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มข้อมูลของแบร็งเสียหายและกลุ่มที่รวมผลของข้อมูลกรณีพัดลมทำงานปกติ การเยื้องศูนย์และการไม่สมดุลของใบพัดลม ซึ่งสามารถเขียนเส้นขอบเขตของกลุ่มข้อมูลโดยวงรีเส้นทึบและวงรีเส้นประแทนด้วยขอบเขตของการทำนายข้อมูลที่มีความเชื่อมั่นประมาณ 68% และ 95% ตามลำดับ ซึ่งให้ผลการทำนายไม่แตกต่างกันนัก หากเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์สัญญาณอคูสติกอิมิชชันเทียบกับสัญญาณการสั่นสะเทือนพบว่า ผลการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนจะให้คำตอบที่ดีกว่า ซึ่งคาดว่าอาจเป็นเพราะสัญญาณอคูสติกอิมิชชันที่ตรวจจับได้มีแอมพลิจูดและรูปร่างของสัญญาณที่ใกล้เคียงกันจึงไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ชัดเจน ยกเว้นกรณีของความเสียหายที่แบร็งที่สัญญาณอคูสติกอิมิชชันจะมีสัญญาณแอมพลิจูดที่สูงกว่ากรณีอื่น

การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณอคูสติกอิมิชชันบนโดเมนความถี่ด้วยการใช้การแปลงฟูเรียร์เร็ว สัญญาณที่ใช้วิเคราะห์จะเป็นชุดเดียวกับที่ใช้วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติที่กล่าวก่อนหน้านี้ ความถี่ที่เกิดจากการเสียหายของแบร็งสามารถคำนวณได้โดยใช้ Online Tool ของเว็บไซต์ของผู้ผลิตแบร็ง SKF [6] ความถี่ที่เกี่ยวข้องกับการเสียหายของแบร็ง SKF YAR205-2F ซึ่งเป็นชนิดของแบร็งที่ใช้ในการศึกษาสรุปได้ดังนี้

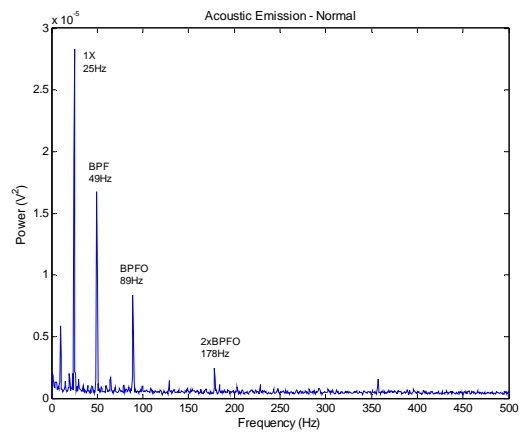
- ความถี่ของความเร็รรอบของพัดลม (Shaft speed frequency, 1xRPM) เท่ากับ 24.4 Hz
- ความถี่ที่รางในเสียหาย (Inner race defect frequency, BPFI) เท่ากับ 132.126 Hz
- รางนอกเสียหาย (Outer race defect frequency, BPFO) เท่ากับ 87.474 Hz
- ความถี่ที่รังเสียหาย (Cage defect frequency, FTF) เท่ากับ 14.681 Hz
- ความถี่ของลูกบอลหมุน (Ball spin frequency, BSF) เท่ากับ 57.520 Hz
- ความถี่ที่บอลเสียหาย (Rolling element defect frequency, BDF) เท่ากับ 115.041 Hz
- ความถี่ของใบพัดลม (Blade pass frequency, BPF) มีค่าเท่ากับ 8xRPM หรือ 195.2 Hz

ตัวอย่างกราฟความถี่ของสัญญาณการสั่นสะเทือน และสัญญาณอคูสติคิมิซันที่เงื่อนไขพัลลัมทำงานปกติ แสดงดังรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ ความถี่ที่วิเคราะห์ได้ จะมีค่าใกล้เคียงกับความถี่ของแบร็งที่คำนวณได้ กราฟความถี่ของสัญญาณการสั่นสะเทือนจะดังรูป 7 จะปรากฏความถี่ของแบร็งที่ชัดเจนเช่น 1xRPM, BSF, BPF และ BPF ซึ่งมีค่าความถี่ประมาณ 25, 50, 142 และ 200 Hz ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบความถี่อื่น ๆ ที่ไม่ทราบแหล่งที่มาปนอยู่ด้วย กราฟความถี่ของสัญญาณอคูสติคิมิซันดังรูปที่ 8 จะปรากฏความถี่ของแบร็งที่สำคัญ เช่น 1xRPM, BSF, BPFO และ 2xBPFO ซึ่งมีค่าความถี่ประมาณ 25, 50, 89 และ 178 Hz ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสัญญาณอคูสติคิมิซันจะไม่ถูกผลกระทบของความถี่ต่ำจึงทำให้ผลการวิเคราะห์ความถี่มีค่าสอดคล้องกับความถี่หลักที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของแบร็ง หัววัดอคูสติคิมิซันเป็นหัววัดที่ไวทำให้สามารถตรวจจับการทำงานของแบร็งซึ่งอาจเกิดการแทรกกันของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่จึงทำให้ปรากฏอยู่ในสัญญาณที่ตรวจจับได้ อย่างไรก็ตามกราฟความถี่ดังรูปที่ 7 และ 8 มีขนาดแอมพลิจูดที่ความถี่น้อยมากและไม่ส่งผลเสียหายต่อการทำงานของพัลลัม

ผลการวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณการสั่นสะเทือน ทุกเงื่อนไขการจำลองสามารถแสดงดังรูปที่ 9 สัญญาณการสั่นสะเทือนจะถูกวิเคราะห์ด้วยการแปลงฟูเรียร์เร็ว แอมพลิจูดของความถี่ที่วิเคราะห์ได้ของแต่ละเงื่อนไขมีค่าแตกต่างกันมากจึงทำให้การแสดงผลบนสเกลเดียวกันทำให้ไม่สามารถเห็นความถี่หลักของสัญญาณได้ชัดเจน ดังนั้นการเปรียบเทียบความถี่หลักของแต่ละเงื่อนไขสามารถกระทำได้โดยแอมพลิจูดของความถี่จะถูกแปลงด้วยการเทียบกับค่าแอมพลิจูดสูงสุดของความถี่ (การทำ Normalization ของแอมพลิจูด) จึงทำให้แอมพลิจูดมีค่าอยู่ในช่วง ± 1 การทำเช่นนี้จะทำให้สามารถเปรียบเทียบความถี่หลักที่มีผลต่อพัลลัมของแต่ละเงื่อนไขได้ชัดเจนขึ้น กราฟความถี่จะมีแกนนอนของกราฟเป็นความถี่และแกนตั้งของกราฟเป็นเงื่อนไขของการทดสอบพัลลัม เส้นประเป็นเส้นแบ่งเงื่อนไขการทดสอบที่แต่ละเงื่อนไขแสดงผล 50 ไฟล์ จะเห็นได้ว่าเงื่อนไขแต่ละการจำลองจะมีความถี่หลักที่แตกต่างกัน ความถี่หลักที่ปรากฏประกอบด้วย 1xRPM, BSF, BPFO, BPF, 2xBPFO และ BPF ซึ่งมีความถี่เท่ากับ 25, 50, 89, 142, 178 และ 200 Hz ตามลำดับ นอกจากนี้ยังปรากฏความถี่อื่น ๆ ที่ไม่ทราบแหล่งที่มาเกิดขึ้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการจำลอง



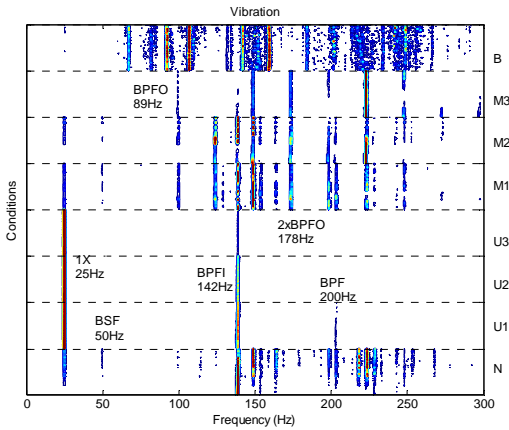
รูปที่ 7 กราฟความถี่ของสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เงื่อนไขพัลลัมทำงานปกติ



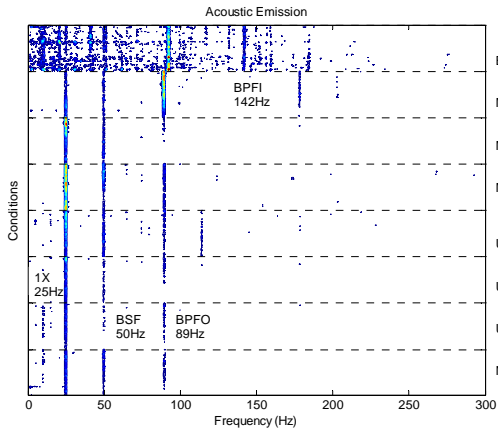
รูปที่ 8 กราฟความถี่ของสัญญาณอคูสติคิมิซันที่เงื่อนไขพัลลัมทำงานปกติ

ส่วนการวิเคราะห์สัญญาณอคูสติคิมิซันบนโดเมนความถี่ทุกเงื่อนไขการจำลองแสดงดังรูปที่ 10 ขนาดแอมพลิจูดของเงื่อนไขต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันที่สามารถเทียบกันได้ ยกเว้นผลของแบร็งเสียหายที่แอมพลิจูดมีค่าสูงมาก ดังนั้นการเปรียบเทียบความถี่หลักของสัญญาณอคูสติคิมิซันจะทำการปรับลดแอมพลิจูดของผลการวิเคราะห์ของแบร็งเสียหายลงให้ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ที่เงื่อนไขอื่น ๆ จากกราฟดังรูปพบว่า ความถี่หลักที่ปรากฏในสัญญาณอคูสติคิมิซันจะเกี่ยวข้องกับการทำงานของแบร็งคือ 1xRPM, BSF, BPFO และ BPF ซึ่งมีความถี่เท่ากับ 25, 50, 89 และ 142 ตามลำดับ ซึ่งแต่ละเงื่อนไขจะมีแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน เช่น เมื่อพัลลัมไม่สมดุลจะมีแอมพลิจูดของความถี่ที่ 1xRPM มีค่ามากที่สุด ส่วนกรณีที่แบร็งเสียหายจะมีความถี่หลักเกิดขึ้นรวมถึงความถี่อื่น ๆ เช่นเดียวกับผลของสัญญาณการสั่นสะเทือน การวิเคราะห์ความถี่นี้จะเห็นว่า

สัญญาณอคูสติกอิมิชชั่นจะปรากฏความถี่หลักที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของแบริ่งที่ชัดเจนกว่าสัญญาณการสั่นสะเทือน ซึ่งคาดว่าสัญญาณอคูสติกอิมิชชั่นจะไม่โดนรบกวนจากสัญญาณที่เกิดจากแหล่งกำเนิดความถี่ต่ำ อย่างไรก็ตามการใช้เทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนความถี่นั้นผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องจักรที่ทดสอบจึงจะสามารถวิเคราะห์ปัญหาได้ถูกต้อง



รูปที่ 4.6 กราฟความถี่ของสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เงื่อนไขการจำลองพัลคมต่าง ๆ



รูปที่ 4.7 กราฟความถี่ของสัญญาณอคูสติกอิมิชชั่นที่เงื่อนไขการจำลองพัลคมต่าง ๆ

5. สรุป

การตรวจสอบสถานะของพัลคมจำลองในห้องปฏิบัติการที่เงื่อนไขพัลคมทำงานปกติ พัลคมไม่สมดุล เพลาเยื้องศูนย์ และแบริ่งเสียหาย โดยตรวจวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณอคูสติกอิมิชชั่นพบว่า การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนด้วยเทคนิคการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติระหว่างค่าความเบ้และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณการสั่นสะเทือนจะให้ผล

การทำนายที่ดีกว่าสัญญาณอคูสติกอิมิชชั่น เนื่องจากแอมพลิจูดของสัญญาณอคูสติกอิมิชชั่นมีรูปแบบและความแตกต่างกันไม่มากนัก ส่วนการวิเคราะห์บนโดเมนความถี่พบว่าสัญญาณอคูสติกอิมิชชั่นจะปรากฏความถี่หลักที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของแบริ่งได้ชัดเจนกว่าสัญญาณการสั่นสะเทือน เนื่องจากหัววัดอคูสติกอิมิชชั่นมีความไวต่อการตรวจจับการทำงานของแบริ่งที่เกิดการกระทบกัน

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Miller R.K. and McIntire P. (1987) Non-Destructive Testing Handbook Vol.5 - Acoustic Emission, American Society for Non-Destructive Testing, USA.

[2] El-Ghamry M.H., Reuben R.L., and Steel, J.A. (2003). The development of automates pattern recognition and statistical feature isolation techniques for the diagnosis of reciprocating machinery faults using acoustic emission, Mechanical system and signal Processing, Vol.17, pp. 805-823.

[3] พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ และวราคม เนติน้อย (2553). การตรวจสอบคอมพิวเตอร์โรตารีด้วยสัญญาณอคูสติกอิมิชชั่น (AMM027) การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี หน้า 1-8

[4] Nivesrangsan P., Steel J.A. and Reuben R.L. (2007). Source location of acoustic emission in diesel engine, Mechanical system and Signal Processing, Vol. 21(2), pp. 1103-1114.

[5] พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ และ ชัชชัย ไชยชนะ (2553). การตรวจสอบสถานะของพัลคมอัดอากาศด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน (DRC02) การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี หน้า 1-8

[6] SKF (2012). Bearing frequencies calculator, <http://is.aptitudexchange.com/engcalc/CalcBearingFrequencies.do>, SKF.