การตรวจสอบสภาวะของพัดลมอัดอากาศด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน

Condition Monitoring of Force Draught Fan using Vibration Signals

พรชัย นิเวศน์รังสรรค์* และ ชัชชัย ไชยชะนะ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530
*ผู้ติดต่อ: npornchа@mut.ac.th, โทรศัพท์ 0-2988-3666 ต่อ 3110 โทรสาร 0-2988-3666 ต่อ 3106

บทคัดย่อ

การทำงานของพัดลมอัดอากาศมีความสำคัญต่อความเชื่อมั่นของโรงไฟฟ้า การตรวจสอบสภาวะของพัดลมจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาการหยุดเครื่องจักรและปัญหาการลดกำลังการผลิตโดยไม่จำเป็น ปัจจุบันการบำรุงรักษาเครื่องจักรนั้นเป็นกลยุทธ์งานบำรุงรักษาแบบเชิงพยากรณ์ตามสภาพสามารถตรวจสอบและป้องกันความเสียหายเนื่องจากการหยุดเครื่องจักรกะทันหัน การศึกษานี้จะจำลองการตรวจสอบพัดลมอัดอากาศในห้องปฏิบัติการด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนเวลาเพื่อทำนายสภาวะของพัดลมที่เงื่อนไขต่างๆ เช่น สภาวะปกติ การเสียสมดุล การเยื้องศูนย์ ความเสียหายของแบริ่ง และการหลวมคลอนทางกล การวิเคราะห์ด้วยพารามิเตอร์บนโดเมนเวลาพบว่า การใช้เฉพาะค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือค่าความเบ้ไม่สามารถทำนายสภาวะของพัดลมได้ทุกกรณี แต่การใช้พารามิเตอร์ทั้งสองร่วมกันสามารถใช้จำแนกกลุ่มข้อมูลและทำนายสภาวะของพัดลมได้ดี

คำหลัก*:* การตรวจสอบสภาวะ, การตรวจสอบความเสียหาย, สัญญาณสั่นสะเทือน, การวิเคราะห์ทางสถิติ, และพัดลม

Abstract

The operation of force draught fan has an important role to plant reliability. Condition monitoring of this fan is necessary in order to prevent any damage from unexpected machine shutdown and reducing production problems. In the present, maintenance is a condition based maintenance strategy which can be made the machine inspection and prevention from any damage during machine breakdown. This work was to study condition monitoring of a laboratory scale force draught fan using vibration signals which were analysed using time domain analysis techniques in order to predict fan state from various testing conditions such as normal, unbalance, misalignment, bearing defect, and mechanical looseness conditions. Result of the analysis of time domain parameters is that the use of only standard deviation or skewness may be incapable to predict fan conditions. However, the use of both parameters is possible to classify and predict various fan conditions.

Keywords*:* Condition monitoring, Fault detection, Vibration signal, Statistical analysis, and fan

1. บทนำ

พัดลมเป็นเครื่องจักรสำคัญที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันไป เช่น พัดลมเพิ่มความดันแก๊ส, พัดลมระบายอากาศในห้องเคลือบสี, พัดลมระบายอากาศในโรงงาน, พัดลมอัดอากาศเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำ [1-2] พัดลมดูดแก๊สเผาไหม้ออกจากเครื่องกำเนิดไอน้ำขึ้นปล่อง [3] พัดลมหอทำความเย็น [4] พัดลมระบายอากาศในระบบปรับอากาศและระบายอากาศ [5-6] เป็นต้น เมื่อพัดลมเกิดความเสียหายอาจเป็นสาเหตุให้กระบวนการผลิตหยุดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงไฟฟ้าที่ต้องการใช้พัดลมอัดอากาศเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำ [1-2] เพราะการสันดาปเชื้อเพลิงต้องการอากาศจากพัดลมมาช่วยในการเผาไหม้เชื้อเพลิงให้สมบรูณ์เพื่อผลิตความร้อนไปให้กับน้ำจนเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอน้ำที่มีความดันสูงส่งไปขับกังหันไอน้ำจนได้พลังงานกลไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้พลังงานไฟฟ้าออกมา จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตดังกล่าวต้องการความน่าเชื่อถือ, คุณภาพและประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่สูงเพื่อความเสถียรภาพการจ่ายโหลดไปยังสถานีย่อยของการไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องจักรถูกใช้งานนานๆ ก็ต้องมีการเสื่อมสภาพ การเสียหาย การชำรุดสึกหรอ ขัดข้องจากชิ้นส่วนกลไกภายในที่เคลื่อนที่ไปมาหรือจากการหมุน ด้วยเหตุนี้การตรวจสอบสภาวะการทำงานของเครื่องจักรจึงเป็นสิ่งจำเป็น [5-8] การตรวจสอบสภาวะการทำงานของเครื่องจักรเป็นการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์แบบตามสภาพ (Condition Based Maintenance) ซึ่งเกี่ยวกับการตรวจสอบติดตามสภาพในขณะที่เครื่องจักรทำงานปกติโดยไม่จำเป็นต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อหาข้อบกพร่องหรือความผิดปกติที่เกิดขึ้น การตรวจสอบสภาวะการทำงานของเครื่องจักรในปัจจุบันมีเทคนิคในการตรวจสอบหลายวิธีเช่น การตรวจสอบอุณหภูมิ การวิเคราะห์น้ำมัน การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน การวิเคราะห์คลื่นเสียง การวิเคราะห์การไหล และอื่นๆ [9] การศึกษานี้จะจำลองการตรวจสอบสภาวะการทำงานของพัดลมจำลองในห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นพัดลมประเภทเดียวกับที่ใช้งานในโรงไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่ส่งอากาศเข้าห้องเผาไหม้ การตรวจสอบสภาวะการทำงานของพัดลมจำลองจะใช้วิธีการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนเวลาเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางสถิติที่มีผลหรือสามารถใช้ทำนายความเสียหายแต่ละประเภทความเสียหายของเครื่องจักรกลที่เกิดขึ้นได้ เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ค่าความเบ้ (Skewness) ค่าความโด่ง (Kurtosis) ค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square) และค่า Crest factor เป็นต้น [5,10] ส่วนการใช้เทคนิคบนโดเมนความถี่เช่น เทคนิคการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform) เพื่อแปลงสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางด้านเวลาเป็นฟังก์ชั่นที่มีความต่อเนื่องทางด้านความถี่จะนำมาใช้เปรียบเทียบกับเทคนิคการวิเคราะห์ที่ศึกษา

การศึกษานี้จะจำลองการทำนายสภาพของพัดลมจำลองที่เงื่อนไขต่าง ๆ เช่น การทำงานสภาพปกติ การเยื้องศูนย์ การไม่สมดุล การหลวมคลอน และความเสียหายที่แบริ่ง ซึ่งเงื่อนไขที่จำลองเป็นเงื่อนไขที่มักพบเห็นในพัดลมอุตสาหกรรม การตรวจสอบจะใช้เทคนิคการตรวจวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน ส่วนการวิเคราะห์สัญญาณจะวิเคราะห์โดยเทคนิคบนโดเมนเวลาด้วยพารามิเตอร์ทางสถิติเพื่อทำนายสภาวะของพัดลมจำลอง

2. การวิเคราะห์สัญญาณ

สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดและบันทึกจากพัดลมอัดอากาศจะเป็นสัญญาณบนโดเมนเวลา สัญญาณจะแสดงในรูปแบบของแอมพลิจูดที่แปรผันตามเวลาของข้อมูลซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติและค่าพารามิเตอร์บนโดเมนเวลาเช่น ค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ ค่าความโด่ง ค่ารากกำลังสองและค่า Crest factor ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถใช้วิเคราะห์สัญญาณที่ตรวจวัดบนโดเมนเวลาและสามารถนำมาช่วยทำนายสภาวะการทำงานของพัดลม

อัดอากาศ [11] ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีสมการการวิเคราะห์ดังนี้

ค่าเฉลี่ย

$$\text{Mean} = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N} \tag{1}$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\text{STD} = \sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2} \tag{2}$$

ค่าความแปรปรวน

$$\text{Variance} = \sigma^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[x_i - \bar{x}]^2 \tag{3}$$

ค่าความเบ้

$$\text{Skewness} = \sigma^3 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[x_i - \bar{x}]^3 \tag{4}$$

ค่าความโด่ง (Kurtosis)

$$\text{kurtosis} = \sigma^4 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[x_i - \bar{x}]^4 - 3 \tag{5}$$

ค่ารากกำลังสองเฉลี่ย

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} x_i^2}{N}} \tag{6}$$

ค่า Crest factor

$$\text{Crest factor} = \frac{Max(x_i)}{\text{RMS}} \tag{7}$$

ค่าพลังงานของสัญญาณ (Signal energy)

$$E = \int_0^t x(t)^2 dt \tag{8}$$

เมื่อ

N คือ จำนวนข้อมูล,

x_i คือ ข้อมูลหรือแอมปริจูดลำดับที่ i

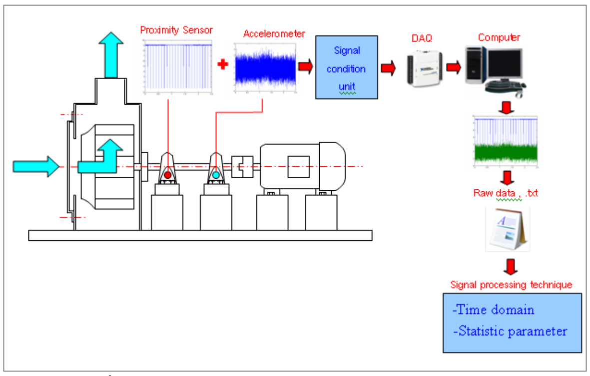
$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

$x(t)$ คือ ข้อมูลหรือแอมปริจูดที่เวลาใด ๆ

การศึกษานี้สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดจากพัดลมอัดอากาศจำลองจะถูกวิเคราะห์ด้วยพารามิเตอร์บนโดเมนเวลา และจะใช้ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้มาทำนายสภาวะการทำงานของพัดลมอัดอากาศที่เงื่อนไขการจำลองต่าง ๆ

3. การทดลอง

การศึกษานี้จะจำลองการตรวจสอบสภาวะการทำงานของพัดลมอัดอากาศแบบเหวี่ยงหนีศูนย์ชนิดใบโค้งหน้า (Forward-curved blade) สัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณวัดรอบจะถูกตรวจวัดพร้อมทั้งบันทึกเป็นไฟล์ และสัญญาณจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาพารามิเตอร์บนโดเมนเวลาต่าง ๆ เพื่อใช้ทำนายสภาวะการทำงานของพัดลมจำลองนี้ แผนผังขั้นตอนการทดลอง ชุดพัดลมจำลอง อุปกรณ์ และระบบเก็บข้อมูลแสดงดังรูปที่ 1

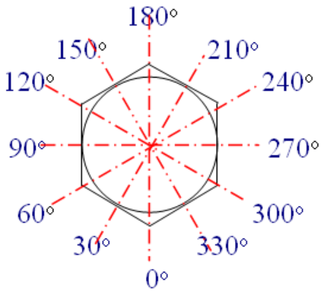


รูปที่ 1 แผนผังการทดลองพัดลมอัดอากาศ

พัดลมอัดอากาศที่ใช้ในการศึกษาเป็นชนิดเหวี่ยงหนีศูนย์มีต้นกำลังเป็นมอเตอร์ 3 เฟส 50 Hz ขนาด 0.5 แรงม้า ทำงานที่ความเร็วรอบสูงสุด 1464 รอบต่อนาที เพลาพัดลมรองรับด้วยชุดวายแบริ่งที่ตัวเสื้อเป็นเหล็กหล่อของ SKF รุ่น SYJ 25 TF ชุดพัดลมและมอเตอร์ต่อเชื่อมด้วยคัปปลิง การจำลองการทำงานของพัดลมอัดอากาศจำลองในห้องปฏิบัติการได้กำหนดสภาวะที่ปกติและเสียหายที่ชิ้นส่วนประกอบดังนี้

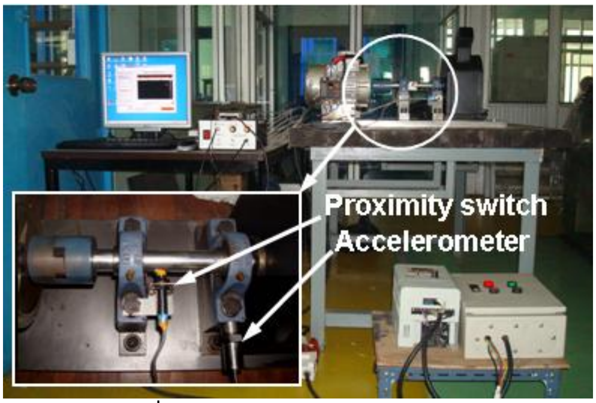
- การทำงานที่สภาวะปกติ (Normal condition) แทนด้วยสัญญลักษณ์ N
- ความเสียหายจากความไม่สมดุล (Unbalancing conditions) - ใช้มวลถ่วงเข้าที่ใบพัดลมด้วยน้ำหนัก 3 ขนาดคือ 30, 60 และ 90 กรัม เงื่อนไขการจำลองแทนด้วยสัญญลักษณ์ U30, U60 และ U90 ตามลำดับ

- ความเสียหายจากการเยื้องแนวแกนเพลา (Misalignment conditions) - การจำลองจะทำให้เพลาเยื้องศูนย์โดยใช้แผ่นชิมรองที่แบริ่งที่ระยะเยื้องศูนย์ต่าง ๆ คือ 0.2, 0.3 และ 0.4 mm เงื่อนไขการจำลองจะแทนด้วยสัญญลักษณ์ M2, M3 และ M4 ตามลำดับ
- ความเสียหายจากการหลวมคลอนทางกล (Mechanical looseness conditions) - มีการคลายสกรูที่ยึดฐานของพัดลมออกที่ตำแหน่งสกรูดังนี้องศา 0, 330 และ 300 เงื่อนไขการจำลองแทนด้วยสัญญลักษณ์ L0, L330 และ L300 ตามลำดับ ทั้งนี้ตำแหน่ง 0 เป็นตำแหน่งที่ขันแน่นด้วยแรงนิ้วมือ และองศาที่ 330 และ 300 เป็นตำแหน่งคลายสกรู ดังรูปที่ 2
- ความเสียหายจากแบริ่ง (Bearing fault conditions) - ชุดแบริ่งจะใช้จารบีผสมกากเพชรใส่เข้าไปในแบริ่งซึ่งมีขนาดกริด (Grid size) จากหยาบไปละเอียด (Grid size) ดังนี้ 100, 280 และ 400 เงื่อนไขการจำลองแทนด้วยสัญญลักษณ์ B100, B280 และ B400 ตามลำดับ



รูปที่ 2 การแบ่งองศาการคลายสลักเกลียวสำหรับการทดลองสภาวะการหลวมคลอนทางกล

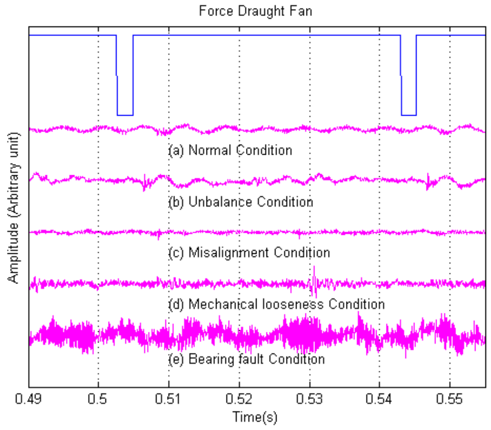
หัววัดการสั่นสะเทือน (Accelerometer) Monitran MTN1100CQ จะติดตั้งอยู่ที่เสื้อแบริ่งด้วยแม่เหล็กถาวร ส่วนหัววัดรอบจะใช้ Proximity switch ติดตั้งให้ตั้งฉากกับเพลาใกล้กับคัปปลิ้งเพื่อวัดรอบการหมุนของเพลา ชุดพัดลมอัดอากาศจำลองและชิ้นส่วนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3 สัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณวัดรอบจะถูกบันทึกพร้อมกันด้วยโปรแกรม LabVIEW และจะถูกเก็บเป็นไฟล์เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลต่อไป การทดลองจะใช้ความถี่สุ่มที่ 50000 ข้อมูลต่อวินาที (หรือ Hz) ต่อช่องสัญญาณ และจำนวนข้อมูลที่บันทึกเท่ากับ 120000 จุด ทั้งจำนวนข้อมูลและความถี่สุ่มจะใช้ค่าเดียวกันตลอดการทดลอง เพื่อความสะดวกต่อการวิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 3 ชุดทดลองพัดลมอัดอากาศ

4. ผลการทดลอง

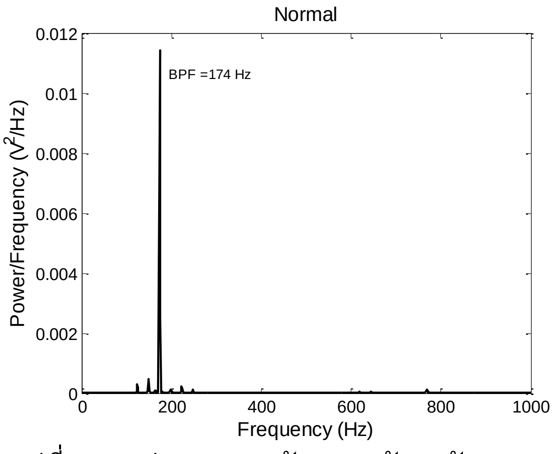
สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดจากพัดลมจำลองด้วยหัววัดการสั่นสะเทือนแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งแสดงสัญญาณที่เงื่อนไขการทดลองดังนี้ (a) สภาวะปกติ (b) ความไม่สมดุล (c) การเยื้องศูนย์ (d) การหลวมคลอนทางกล และ (e) ความเสียหายที่แบริ่ง



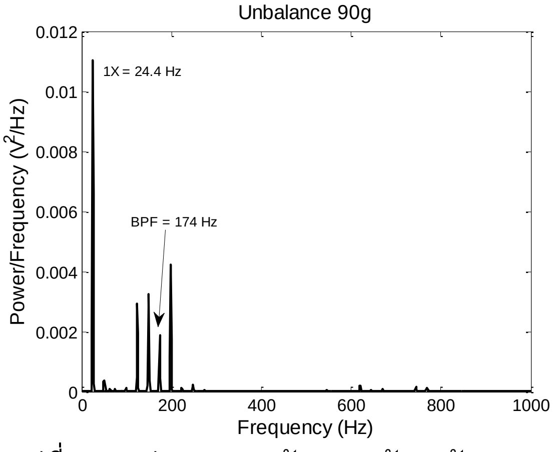
รูปที่ 4 สัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณความเร็วรอบที่สภาวะเงื่อนไขการจำลองต่างๆ

นอกจากนี้สัญญาณความเร็วรอบที่บันทึกจากเพลาของพัดลมจะให้หนึ่งพัลส์ต่อหนึ่งรอบดังรูปที่ 4 พัดลมอัดอากาศขณะทำการจำลองจะทำงานที่ความเร็วรอบประมาณ 1464 รอบต่อนาที (หรือ

ประมาณ 24.4 Hz) สัญญาณการสั่นสะเทือนทั้งหมดจะแสดงบนอัตราส่วนเดียวกันซึ่งลักษณะของสัญญาณที่บันทึกได้จะขึ้นอยู่กับประเภทและความรุนแรงของความเสียหาย สัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกได้จะมีความซับซ้อนซึ่งคาดว่าน่าจะมาจากกระบวนการที่เกิดขึ้นบนพัดลมเช่น การไหลของอากาศที่ปั่นป่วนผ่านใบพัดลม ความบกพร่องรูปทรงล้อพัดลม การหมุนเสียดสีของแบริ่ง และการเสียดสีของอนุภาคขนาดเล็ก (เช่นฝุ่นหรือผงขนาดเล็ก) ที่ปนอยู่ในอากาศกับล้อพัดลม



รูปที่ 5 กราฟ PSD ของสัญญาณพัดลมอัดอากาศที่สภาวะปกติ

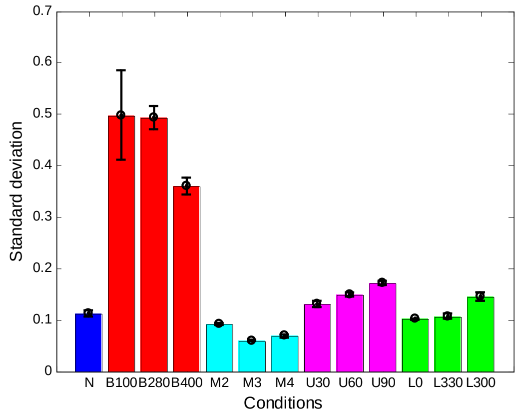


รูปที่ 6 กราฟ PSD ของสัญญาณพัดลมอัดอากาศที่สภาวะไม่สมดุล

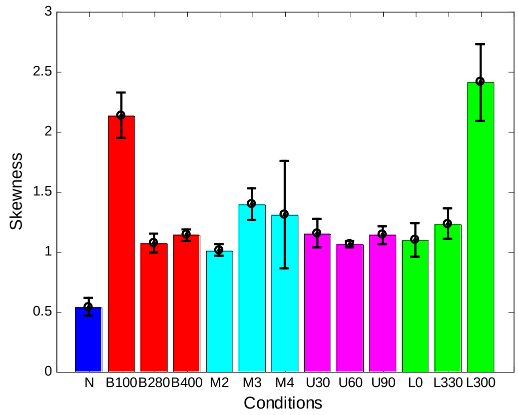
โดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมจะนิยมตรวจสอบเครื่องจักรกลด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนและการวิเคราะห์สัญญาณจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนความถี่เช่น Fast Fourier Transform (FFT) และ Power Spectrum Density (PSD) เพื่อทำนายสภาพของเครื่องจักรกล การวิเคราะห์บนโดเมนความถี่นั้นผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องมีพื้นฐานความรู้และประสบการณ์เกี่ยวกับการวิเคราะห์สัญญาณจึงจะสามารถอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นบนสัญญาณที่ตรวจวัดได้จากเครื่องจักรกล ตัวอย่างการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนความถี่ของพัดลมจำลองด้วยการวิเคราะห์ PSD แสดงไว้ในรูปที่ 5 และ 6 กราฟความถี่ของพัดลมที่ทำงานปกติดังรูปที่ 5 จะปรากฏความถี่ประมาณ 174 Hz ปรากฏชัดเจนซึ่งคาดว่าเป็นความถี่ของใบพัดลมที่หมุน (Blade pass frequency, BPF) โดยพัดลมที่ทดสอบมีจำนวนใบพัดเท่ากับ 8 ใบ ซึ่งความถี่ที่เกิดจะใกล้เคียงกับค่า 8 เท่าของความเร็วรอบพัดลม (8xRPM) เมื่อพัดลมไม่สมดุลด้วยการเพิ่มมวลเข้าไปที่ใบพัดลมขนาด 90 กรัมพบว่าความถี่ที่ 1xRPM (ประมาณ 24.4 Hz) จะปรากฏชัดเจนดังรูปที่ 6 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวไว้ว่าถ้าความไม่สมดุลของเครื่องจักรกลหมุนจะพบเห็นความถี่ 1X เกิดขึ้นอย่างเด่นชัด [12] นอกจากนี้ความถี่ของใบพัดลมที่หมุนก็ยังพบเห็นในกราฟความถี่แต่มีค่าแอมปริจูดที่ต่ำกว่าความถี่ 1X ส่วนความถี่ข้างอื่น ๆ ที่ปรากฏขึ้นอาจเป็นความถี่ที่เกิดจากกระบวนการทางกลของชิ้นส่วนหมุนอื่น ๆ ของพัดลม

การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนความถี่ดังที่กล่าวมานั้นผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการทำงานของพัดลมและวิธีการวิเคราะห์ความถี่จึงจะสามารถแยกความแตกต่างตามเงื่อนไขการทดลองที่จำลองขึ้น ถ้าผู้ปฏิบัติงานที่ไม่มีความชำนาญและทักษะจะไม่สามารถเข้าใจกับสิ่งที่เกิดขึ้นกับพัดลม ดังนั้นการศึกษาการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนด้วยพารามิเตอร์บนโดเมนเวลาดังสมการที่ (1) - (8) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้วิเคราะห์สัญญาณ การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนดังรูปที่ 4 จะทำการหาค่าสัมบูรณ์ (Absolute value) ก่อนแล้วจึงนำมาหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ด้วยค่าพารามิเตอร์ที่กล่าวไว้ข้างต้นพบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ ค่าความแปรปรวน ค่า RMS และค่าพลังงานของสัญญาณสามารถทำนายสภาวะ

การจำลองการทำงานของพัดลมได้บางกรณี ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความเบ้ร่วมกันสามารถใช้ทำนายสภาวะการทำงานของพัดลมจำลองของการศึกษานี้ ตัวอย่างผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์บนโดเมนเวลาแสดงด้วยกราฟแท่งและ errorbar คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความเบ้ แสดงไว้ดังรูปที่ 7 – 8 ตามลำดับ แกนนอนของกราฟแสดงถึงเงื่อนไขการทดลองของพัดลมที่สภาวะต่าง ๆ และแกนตั้งจะแทนด้วยพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ซึ่งเฉลี่ยมาจากทั้งหมด 100 ไฟล์ ส่วน Errorbar แสดงถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่คำนวณของแต่ละพารามิเตอร์ที่แต่ละเงื่อนไขของการจำลอง



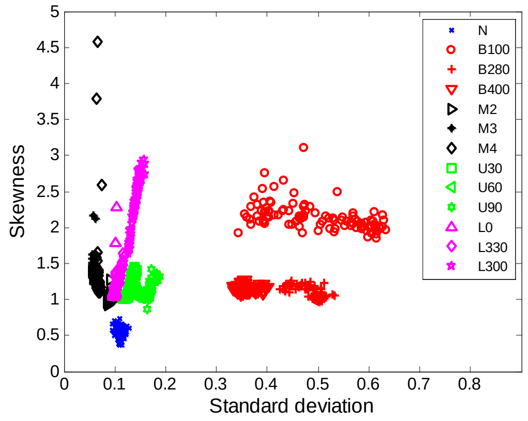
รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เงื่อนไขการจำลองต่าง ๆ และค่าผิดพลาด



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบค่าความเบ้ที่เงื่อนไขการจำลองต่าง ๆ และค่าผิดพลาด

จากรูปที่ 7 – 8 พบว่า ค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขการจำลองการทำงานของพัดลม ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานดังรูปที่ 7 จะเพิ่มขึ้นตามความรุนแรงของการไม่สมดุลและการหลวมคลอนทางกล แต่เงื่อนไขอื่น ๆ ไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่นอน ค่าผิดพลาดจากการวิเคราะห์ของค่าความเบ้ดังรูปที่ 8 จะพบเห็นชัดเจนและมีค่าผิดพลาดมากกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การใช้ค่าพารามิเตอร์เพียงค่าเดียวอาจไม่สามารถนำมาทำนายความเสียหายที่เกิดขึ้นที่พัดลมได้อย่างชัดเจน

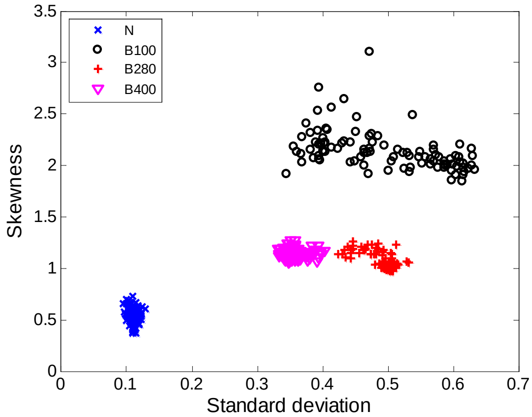
การเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเทียบกับค่าความเบ้แสดงดังรูปที่ 9 ทำให้สามารถแยกเงื่อนไขการทำงานของพัดลมจำลองออกเป็นกลุ่มอย่างชัดเจน เช่น พัดลมทำงานปกติ การเสียหายที่แบริ่ง การไม่สมดุล การเยื้องศูนย์ และการหลวมคลอนทางกล



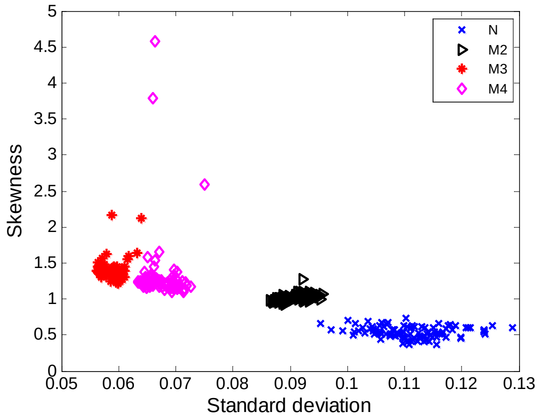
รูปที่ 9 กราฟค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเทียบกับค่าความเบ้ที่เงื่อนไขการจำลองต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเทียบกับค่าความเบ้ระหว่างพัดลมทำงานปกติและพัดลมทำงานที่แต่ละเงื่อนไขจำลอง ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 10 – 13 การวิเคราะห์การเสียหายของแบริ่งเนื่องจากการใส่จารบีผสมผงขัดขนาด 100, 280 และ400 แสดงดังรูปที่ 10 ซึ่งสามารถทำนายสภาวะการทำงานของพัดลมที่สภาวะปกติและการเสียหายที่แบริ่งแต่ละประเภทอย่างชัดเจน ส่วนการจำลองที่เงื่อนไขการเยื้องศูนย์ของแกนเพลาพัดลมแสดงดังรูปที่ 11 พบว่าการเยื้องศูนย์ที่ระยะ 0.2, 0.3 และ 0.4 mm และสภาวะปกติสามารถใช้การเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความเบ้ได้ แต่เงื่อนไขการเยื้องศูนย์ที่ 0.3 (M3) และ 0.4 (M4) mm จะมีข้อมูลที่กระจายตัวออกจาก

กลุ่มอย่างชัดเจนซึ่งจะทำให้การทำนายเกิดการผิดพลาด

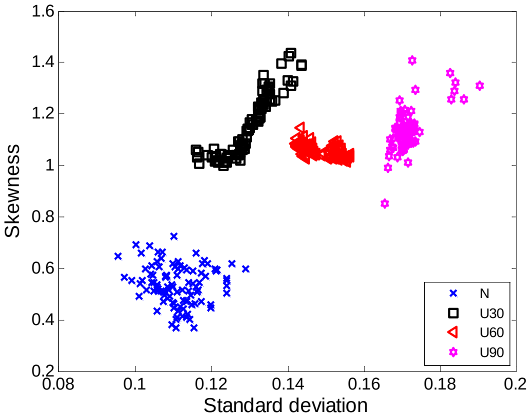


รูปที่ 10 กราฟค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเทียบกับค่าความเบ้ที่เงื่อนไขการจำลองความเสียหายของแบริ่ง

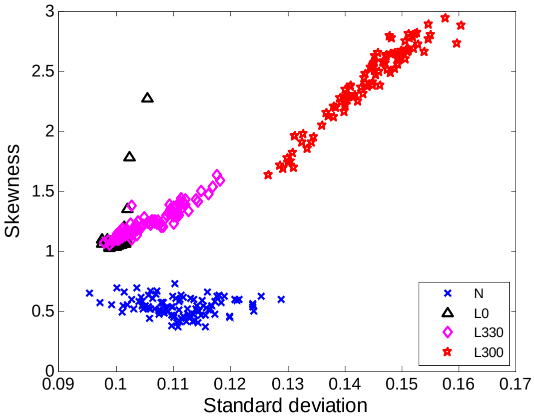


รูปที่ 11 กราฟค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเทียบกับค่าความเบ้ที่เงื่อนไขการจำลองการเยื้องศูนย์

สำหรับกรณีของการไม่สมดุลของใบพัดนั้น การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทั้งสองสามารถใช้ทำนายสภาวะของพัดลมได้อย่างชัดเจนดังรูปที่ 12 ค่าพารามิเตอร์จะกระจายเป็นกลุ่ม ๆ อย่างชัดเจน ส่วนเงื่อนไขการหลวมคลอนทางกลนั้นดังรูปที่ 13 พบว่าเงื่อนไขของการขันสกรูแน่นด้วยนิ้วมือ (L0) และการคลายสกรูมาตำแหน่งองศาที่ 330 (L330) นั้นข้อมูลจะทับกันจึงไม่สามารถแยกเงื่อนไขทั้งสองได้ การใช้การเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความเบ้สามารถใช้ทำนายสภาวะการทำงานของพัดลมระหว่างปกติและผิดปกติได้อย่างชัดเจนซึ่งน่าจะเป็นวิธีการอย่างง่ายที่สามารถพัฒนาไปใช้งานเพื่อใช้ตรวจสอบการทำงานของพัดลมอุตสาหกรรมได้



รูปที่ 12 กราฟค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเทียบกับค่าความเบ้ที่เงื่อนไขการจำลองการไม่สมดุลของใบพัด



รูปที่ 13 กราฟค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเทียบกับค่าความเบ้ที่เงื่อนไขการจำลองการหลวมคลอนทางกล

5. สรุป

การจำลองการตรวจสอบสภาวะการทำงานของพัดลมอัดอากาศด้วยสัญญาณสั่นสะเทือนที่เงื่อนไขการทำงานปกติและเกิดความเสียหายจากการเยื้องศูนย์ ความไม่สมดุล ความเสียหายของแบริ่ง และการหลวมคลอนทางกล ซึ่งนิยมใช้การวิเคราะห์สัญญาณด้วยการใช้เทคนิคบนโดเมนความถี่เช่น FFT หรือ PSD นั้นสามารถใช้ตรวจสอบสภาวะของพัดลมอุตสาหกรรมแต่ผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์สัญญาณและประสบการณ์การวิเคราะห์ความเสียหายของเครื่องจักรจึงจะแปลความหมายของสัญญาณที่วิเคราะห์ได้ แต่การใช้เทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนด้วยการเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความเบ้สามารถใช้แยกประเภทของความเสียหายของพัดลมได้อย่างชัดเจน

ทั้งนี้งานต่อไปจะนำเทคนิคของการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้กับพัดลมอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาเป็นเทคนิคทางเลือกสำหรับการตรวจสอบพัดลมอัดอากาศ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายวินัย นพศรี ผู้ควบคุมดูแลแผนกซ่อมบำรุงเครื่องจักรกล ฝ่ายซ่อมบำรุงของบริษัทโกลว์ พลังงาน จำกัด (มหาชน) และนายอภิชาติ พานวัลย์ ผู้ดูแลห้างหุ้นส่วน เอส.โอ.เอนจิเนียริ่ง จำกัด ที่ให้การช่วยเหลือสนับสนุนในการจัดเตรียมชุดอุปกรณ์การทดลองสำหรับการศึกษาครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Monge Gapper J. G. (2006). Centrifugal fan impeller failure analysis using finite elements, *Ingenieria*, Vol.16(2), ISSN: 1409-2441, pp.55-62.

[2] Marquez A., De Bona J., and Alija. A. (2009). Failure analysis of a blower fan at a petrochemical plant, *Engineering Failure Analysis*, V.16, pp.2417-2426.

[3] Ramos G.A.C. (2004). Mathematics modeling of the behavior in operation of induced draft fans for 350-MW Fossil Power Units to predict its optimum maintenance time, *Electric Power System Research*, Vol.70, pp.109-113.

[4] Donnellan P. (2010). Condition monitoring of cooling tower fan gearboxes, Innogy plc, Windmill Hill Business Park, Whitehill Way, Swindon SN5 6PB, URL: http://www.mechanalysisindia.com, access on 24/06/2010.

[5] Velarde-Suarez S., Ballesteros-Tajadura R., and Hurtado-Cruz. J. (2006). A predictive maintenance procedure using pressure and acceleration signals from a centrifugal fan, *Applied Acoustics*, Vol.67, pp.49-61.

[6] Ghafari S.H. (2004). Condition monitoring of industrial fans, *The Proceedings 22nd Seminar on Machinery Vibration*, October 27-29, Ottawa.

[7] Jardine A.K.S., Lin. D., and Banjevic D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-base maintenance, *Mechanical system and signal processing*, Vol.20, pp.1483-1510.

[8] WIKIPEDIA (2010), Condition monitoring, URL:http://en.wikipedia.org, access on 24/06/2010

[9] Jayaswal P., Wadhwani A.K., and Mulchandani K.B. (2008). Machine fault signature analysis, *International Journal of Rotating Machinery*, Article ID 583982, Vol. 2008, 10 Pages.

[10] Heng R.B.W. and Nor M.J.M. (1998). Statistic Analysis of Sound and Vibration Signals for Monitoring Rolling Element Bearing Condition, *Applied Acoustics*, Vol.53, No.1-3, 1998, pp.211-226.

[11] ทรงพล กลิ่นชะเอม และ พรชัย นิเวศน์รังสรรค์, การตรวจสอบสภาวะของคอมเพรสเซอร์ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22*, 15-17 ตุลาคม 2551, ปทุมธานี.

[12] De Silva C.W. (2005). *Vibration and Shock Handbook (Mechanical Engineering)*, CRC.