การสั่นสะเทือนจากการไหลของอากาศ

Air Flow Induced Vibration

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ พรพรม บุญพรม ธีระ วรพิทย์พงศ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถ.พญาไท กรุงเทพฯ 10330

บทคัดย่อ

บทความนี้จะกล่าวถึงการศึกษาการสั่นสะเทือนจากการไหลของอากาศผ่านชุดพัดลมที่มีการขับเคลื่อนโดยตรง และขับเคลื่อนโดยสายพาน การตรวจวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนกระทำที่โครงของตลับลูกปืนของชุดพัดลม และที่ตัวเรือนพัดลม พร้อมกันนั้นได้ทำการตรวจวัดหาค่าความถี่ธรรมชาติของพัดลมและชุดประกอบในแนวต่างๆ สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ของชุดพัดลมที่เงื่อนไขต่างๆ กัน และค่าความถี่ธรรมชาติจะถูกนำมาวิเคราะห์ ซึ่งพบว่ามีสัญญาณการสั่นสะเทือนลักษณะสุ่มแถบกว้างที่เรียกว่า Noise Floor เกิดขึ้นที่ความถี่ที่อยู่ต่ำกว่าความเร็วรอบของพัดลม (Subharmonic) และยังพบสัญญาณดังกล่าวที่ความถี่ที่สูงกว่าความเร็วรอบของพัดลม บ่งบอกเป็นสัญญาณที่เกิดจากปัญหาการไหลของอากาศที่เป็นการไหลย้อนกลับ และการไหลแบบปั่นป่วน นอกเหนือจากนั้นยังพบสัญญาณที่แสดงถึงการทำงานของชุดพัดลมอันได้แก่ การทำงานของมอเตอร์ พัดลม สายพาน โดยเฉพาะสายพานจะเห็นสัญญาณที่เป็นฮาร์โมนิกส์ของความเร็วรอบสายพานจำนวนมาก ซึ่งสามารถคาดเดาได้ว่าน่าจะมีความบกพร่องของชุดสายพานอยู่ สัญญาณที่บ่งบอกการทำงานของพัดลม และปัญหาทางกลนั้นหากสัญญาณใดไปตรงกับความถี่ธรรมชาติของชุดพัดลมเข้าก็จะมีการขยายขนาดสัญญาณอย่างมาก เช่น สัญญาณความเร็วรอบพัดลมที่ 3,600 รอบต่อนาที เป็นต้น

Abstract

The paper will describe the study of air flow induced vibration from sets of direct driven and belt driven fan. The vibration signals were picked up at fan ball bearing casing and fan housing. Fan and its accessories' natural frequency in different directions were also measured. The analysis of vibration signals on frequency domain were performed. It was found that the vibration signals related to air flow problem such as recirculation and turbulence can be seen in the form of broad band random signal called noise floor at subharmonic frequency and higher. Besides it was also found some signals indicating fan operating conditions such as the operation of motor, fan, and belt. Sets of belt vibration signal and its harmonics were also seen which indicating some possibility of belt defection. Whenever the vibration signal coincides with the natural frequency, its amplitude will be amplified such as signal at fan speed of 3,600 rpm.

1. บทนำ

เสียงและการสั่นสะเทือนมักเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาต่อสภาพการทำงานหรือสภาพความเป็นอยู่ของผู้คน จึงได้มีความพยายามอย่างมากที่จะควบคุมระดับเสียงและการสั่นสะเทือนจากเครื่องจักรในหลายพื้นที่ของการทำงานให้อยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ การสั่นสะเทือนมักจะมาจากความบกพร่องของเครื่องจักร หรือความบกพร่องของระบบที่ต่อกับเครื่องจักร ในโรงงานอุตสาหกรรมและในอาคารทั่วไปมักจะมีเครื่องจักรกลและระบบที่เกี่ยวข้องกับการไหลอยู่ อาทิเช่น เครื่องสูบน้ำ กังหันน้ำ เครื่องอัดอากาศ เครื่องเป่าลม พัดลม เครื่องปรับอากาศ และท่อลม เป็นต้น ปัญหาความบกพร่องของเครื่องจักรกลเหล่านี้หรือความบกพร่องที่เกิดมาจากการออกแบบและติดตั้งระบบท่อนั้นอาจสามารถตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากการสั่นสะเทือน และในทางปฏิบัติจะพบว่านอกเหนือจากความบกพร่องจากตัวเครื่องจักรแล้วบ่อยครั้งการสั่นสะเทือนจะเกิดขึ้นจากการไหลของของไหลในระบบท่อซึ่งจะไม่เกี่ยวข้องกับความบกพร่องของตัวเครื่องจักร สำหรับในกรณีที่ของไหลเป็นของเหลว ปัญหาการไหลของของเหลวที่เด่นชัดอาจจะอยู่ในรูปของการเกิดปรากฏการณ์คาวิเตชั่น หรือเกิดการไหลย้อน (Recirculation) หรือเกิดการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence) ขึ้น ในกรณีที่ของไหลเป็นอากาศ ปัญหามักจะเกิดจากการไหลแบบปั่นป่วนหรือการไหลย้อน หรือการเกิด Surge ดังนั้นในบทความนี้จะทำการศึกษาหาลักษณะที่เด่นชัดของสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ที่เกิดจากการไหลของอากาศ

2. ชุดพัดลม และเครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน

ในการศึกษาปัญหาการสั่นสะเทือนจากการไหลของอากาศ จะกระทำโดยทำการตรวจวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ชุดพัดลมและระบบท่อต่อ 2 ชุด ชุดพัดลมชุดที่ 1 จะเป็นพัดลมหอยโข่งที่ถูกขับ

เคลื่อนด้วยสายพาน มีจำนวนใบพัด 12 ใบ มอเตอร์ขับเคลื่อนเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ซึ่งสามารถปรับความเร็วรอบได้ 2 ค่า คือ ที่ความเร็วรอบต่ำมอเตอร์จะหมุนด้วยอัตราประมาณ 1500 รอบต่อนาที และที่ความเร็วรอบสูง มอเตอร์จะหมุนด้วยอัตราประมาณ 3000 รอบต่อนาที และมีชุดสายพานต่อระหว่างมอเตอร์กับพัดลม โดยที่พัดลมจะมีความเร็วรอบประมาณ 1800 รอบต่อนาที และ 3600 รอบต่อนาที ที่ความเร็วรอบต่ำและสูงตามลำดับ และมีชุดท่อขาเข้าและขาออกประกอบกับตัวพัดลม ที่ท่อออกมีใบแดมเปอร์เลื่อนปรับพื้นที่การไหลออกของอากาศ ตัวพัดลมและมอเตอร์พร้อมสายพานจะถูกติดตั้งอยู่บนโต๊ะเหล็ก รูปที่ 1 จะแสดงถึงชุดพัดลมชุดที่ 1 สำหรับชุดพัดลมชุดที่ 2 เป็นพัดลมหอยโข่งที่ต่อตรงกับมอเตอร์ มีใบพัดจำนวน 16 ใบ มอเตอร์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวที่มีความเร็วรอบประมาณ 2940 รอบต่อนาที มีท่อต่ออยู่ที่ทางออกของตัวพัดลม การปรับอัตราการไหลของพัดลมชุดนี้ สามารถกระทำได้โดยการปรับพื้นที่ช่วงบริเวณขาเข้าของพัดลมด้วยการหมุนแผ่นจานเข้าหรือออก รูปที่ 2 จะแสดงถึงชุดพัดลมดังกล่าว

ในการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนนั้นจะใช้เครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน MICROLOG รุ่น CMVA10 และทรานสดิวเซอร์สำหรับวัดความเร่ง Accelerometer รุ่น CMSS786M พร้อมทั้งหัวจับยึดเป็นแม่เหล็ก และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PRISM[4] สำหรับ Window เพื่อจัดการและวิเคราะห์ข้อมูล รูปที่ 3 จะแสดงถึงเครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ใช้ในการศึกษานี้

3. ปัญหาจากการไหลของอากาศ

โดยทั่วไปในเครื่องจักรกลที่ใช้ขับเคลื่อนของไหลนั้น หากมีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้น ต้นเหตุของการสั่นสะเทือนอาจสามารถแบ่งได้เป็น 2 ต้นเหตุใหญ่คือ ต้นเหตุจากการชำรุดทางกล และปัญหาจากการไหลของของไหล สำหรับต้นเหตุจากการชำรุดทางกล จะได้แก่ การเกิดการไม่สมดุลของใบพัด การเยื้องแกน การเยื้องศูนย์ การหลุดหลวม และปัญหาการชำรุดจากตลับลูกปืน เป็นต้น ในกรณีที่เป็นปัญหาจากการไหลของของไหล ได้แก่ ปัญหาจากปรากฏการณ์คาวิเตชั่น[2] การไหลย้อนกลับ (Recirculation) การเกิดการไหลปั่นป่วน (*Turbulence*) Surge และ Choking เป็นต้น ลักษณะของสัญญาณการสั่นสะเทือนของการชำรุดทางกล จะมีรูปแบบที่เป็นเอกลักษณ์ที่ค่อนข้างแน่นอน [1,3,4] สำหรับการสั่นสะเทือนจากการไหลนั้นจะขึ้นกับพารามิเตอร์หลายตัว อาทิเช่น ชนิดของของไหล (ของเหลวหรือก๊าซ) ตัวเลขเรย์โนลด์ ตัวเลขคาวิเตชั่น หรือค่า NPSH (Net Positive Suction Head) [2] เป็นต้น สำหรับในกรณีของการไหลของอากาศนั้น ในความเป็นจริงมักมีการปรับปริมาณการไหลในระบบด้วยแดมเปอร์ ซึ่งตัวแดมเปอร์จะถือเป็นสิ่งกีดขวางการไหลชนิดหนึ่ง ดังนั้นอากาศที่ไหลผ่านสิ่งกีดขวางมักมีการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็ว และการไหลมักมีลักษณะของการปั่นป่วน และเกิดการกระแทกกันในลักษณะสุ่ม ดังนั้นสัญญาณการสั่นสะเทือนจากการไหลจึงมักจะอยู่ในรูปของสัญญาณลักษณะสุ่มแบบ Noise floor โดยที่มักเกิดสัญญาณลักษณะสุ่มที่ความถี่ที่ไม่สูงนัก นอกจากนั้นอาจมีสัญญาณที่เกิดขึ้นที่ความถี่ Blade Pass Frequency (BPF) โดยที่ความถี่ Blade Pass Frequency มีค่าเท่ากับ

BPF = จำนวนใบพัดXความเร็วรอบของพัดลม

ในกรณีที่ชุดพัดลมซึ่งมีการขับเคลื่อนด้วยสายพานนั้น ความเร็วรอบของสายพานสามารถหาได้จากความสัมพันธ์

ความเร็วรอบของสายพาน =

$$\frac{3.14\text{x}\text{เส้นผ่านศูนย์กลางมู่เล่x}\text{ความเร็วรอบของมู่เล่}}{\text{ความยาวสายพาน}}$$

4. การตรวจวัดหาค่าความถี่ธรรมชาติ

ในการศึกษาการสั่นสะเทือนจากการไหลของอากาศนี้ ได้มีการทำการตรวจวัดหาความถี่ธรรมชาติของชุดพัดลมและอุปกรณ์ประกอบด้วยเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการศึกษา การตรวจวัดกระทำโดยการนำหัววัดความเร่งยึดติดกับตัวโครงสร้างของชุดพัดลมที่จุดต่างๆ ในทิศทางที่ต่างกัน จากนั้นนำฆ้อนหัวพลาสติกมาทุบที่ตัวโครงสร้าง และวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่ง เพื่อหาความถี่ธรรมชาติของชุดพัดลม และท่อประกอบของพัดลมชุดที่ 1 และ 2 รวมทั้งโต๊ะที่ใช้วางพัดลมชุดที่ 1 สัญญาณที่วัดได้ในแต่ละจุดอาจมีความชัดเจนไม่เท่ากัน สำหรับชุดพัดลมชุดที่ 1 จะสามารถเห็นสัญญาณที่คาดเดาว่าเป็นความถี่ธรรมชาติในแนวต่างๆ ดังต่อไปนี้: ในแนวดิ่ง 150, 1,875, 1950, 2737.5, 3,600, และ 7,050 CPM ในแนวนอน 150, 375, 2,400, 3,300, และ 3,600 CPM ในแนวแกน 150, 375 และ 3,600 CPM และสำหรับโต๊ะรองจะพบสัญญาณที่มีขนาดชัดเจนในแนวดิ่งเป็น 150, 2,775, 3,600, และ 7,050 CPM ในขณะที่พัดลมชุดที่ 2 นั้นเนื่องจากเป็นพัดลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับความหนาของพัดลม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าโครงพัดลมในแนวดิ่งและแนวนอนจะมีความแข็งแกร่งกว่าในแนวแกน ดังนั้นสัญญาณจะเห็นได้ชัดเจนกว่าในแนวแกนมากกว่าในทิศทางอื่น ความถี่ที่เห็นสัญญาณซึ่งคาดเดาว่าเป็นความถี่ธรรมชาติในแนวต่างๆ ของพัดลมชุดที่ 2 มีดังนี้: ในแนวแกน 150, 337.5, 1,087.5, 1,425, 2,962, 3,375, 3,675, 3,787.5, 4,200, 4,650, 5,475, 5,887.5, 6,337.5, และ 6,750 CPM ในแนวนอนสัญญาณไม่ค่อยเด่นชัดนัก ความถี่ที่เห็นมี 150, 637.5, 2,287.5, 3,112.5, และ 3,525 CPM ในแนวดิ่งสัญญาณไม่ค่อยเด่นชัดเช่นกัน ความถี่ที่เห็นมี 150, 637.5, 1,612.5, 2,587.5, 2,925, 4,912.5, และ 6,225 CPM และยังพบความถี่ธรรมชาติที่ 6,000 CPM ที่ท่อออกที่ต่อกับชุดพัดลมชุดที่ 2 ในแนวนอนด้วย

5. สัญญาณการสั่นสะเทือน

จากนั้นการศึกษาการไหลของอากาศก็กระทำต่อโดยทำการตรวจวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ชุดพัดลมชุดที่ 1 โดยใช้หัววัดความเร่งพร้อมหัวแม่เหล็กติดยึดที่โครงตลับลูกปืนที่เพลาพัดลมในแนวแกน, แนวนอน,และแนวดิ่ง และที่โต๊ะวางพัดลมในแนวดิ่ง รูปที่ 4 และ 5 จะแสดงถึงสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ในหน่วยความเร็วที่วัดจากจุดต่างๆ ที่กล่าวถึง โดยให้ชุดพัดลมชุดที่ 1 ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ (เท่ากับ 1,800 CPM) และปรับแดมเปอร์ให้เปิดไว้ 50 % จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่วัดที่โครงของตลับลูกปืนนั้น สัญญาณในแนวดิ่งจะมีขนาดชัดเจนที่สุด ในขณะที่สัญญาณในแนวแกนมีขนาดน้อยสุด แต่สัญญาณทั้งหมดมีลักษณะคล้ายคลึงกัน เมื่อขยายสัญญาณการสั่น

สะเทือนในแนวดิ่งจากรูปที่ 4 มาแสดงในรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่วัดในแนวดิ่งที่โต๊ะจะมีขนาดสูงกว่าที่ตลับลูกปืน แสดงว่ามีการส่งถ่ายการสั่นสะเทือนจากชุดพัดลมมายังโต๊ะ และมีการส่งสัญญาณการสั่นสะเทือนเสริมกัน จะเห็นสัญญาณ Noise floor ลักษณะสุ่มตลอดช่วงความถี่ที่แสดงในรูปที่ 6 และมีสัญญาณลักษณะสุ่มที่เห็นชัดเจนความถี่ต่ำกว่าความเร็วรอบของพัดลม (Subharmonic) ซึ่งเป็นสัญญาณที่แสดงถึงปัญหาของการไหลของอากาศในลักษณะของการไหลย้อนกลับ และยังเห็นสัญญาณอย่างชัดเจนที่ความถี่เท่ากับความเร็วรอบของมอเตอร์ ความเร็วรอบของพัดลม และความเร็วรอบของสายพานและฮาร์โมนิกส์ของมัน ซึ่งแสดงถึงคุณลักษณะการทำงานของพัดลม มอเตอร์ และสายพาน โดยจะเห็นชุดของสัญญาณที่แสดงถึงการทำงานของสายพานเป็นจำนวนมาก (เป็นฮาร์โมนิกส์) ซึ่งสามารถคาดเดาได้ว่าอาจมีความชำรุดของสายพานพอสมควร และสัญญาณที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2,437.5 CPM ซึ่งเท่ากับห้าเท่าของความเร็วรอบของสายพานนั้นจะมีขนาดสูงมาก สาเหตุน่าจะคาดเดาได้ว่าสัญญาณนี้มีความถี่ไปใกล้เคียงกับกับความถี่ธรรมชาติของชุดพัดลมในแนวนอน (ที่ประมาณ 2,400 รอบต่อนาที) จากนั้นก็จะทำการตรวจสอบอีกครั้งโดยการปรับแดมเปอร์ให้เปิดสุด รูปที่ 7 จะแสดงถึงสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดที่โครงตลับลูกปืนของชุดพัดลมในทิศตามแนวแกน แนวดิ่ง และแนวนอน สัญญาณจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ไม่เห็นข้อแตกต่างมากนักโดยเฉพาะสัญญาณ Noise Floor พอจะสรุปได้ว่าการปรับอัตราการไหลโดยการเปิดแดมเปอร์ไม่มีผลต่อการสั่นสะเทือนมากนัก

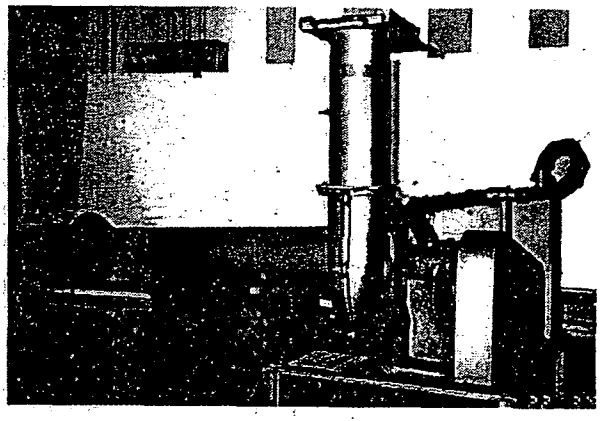
การตรวจวัดกระทำอีกครั้งโดยทำการเปลี่ยนอัตราการหมุนของพัดลมให้สูงขึ้นให้เป็น 3,600 รอบต่อนาที ดังนั้นความเร็วรอบของสายพานจึงมีค่าเท่ากับ 975 รอบต่อนาที รูปที่ 8 และ 9 แสดงถึงสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ในหน่วยความเร็ววัดที่โครงของตลับลูกปืนและที่โต๊ะในแนวดิ่ง จะพบว่ามีสัญญาณมีขนาดสูงกว่าสัญญาณในรูปที่ 4 และ 5 มาก (ขนาดของสัญญาณที่ความเร็วรอบพัดลมประมาณ 16 mm/s เทียบกับประมาณ 2.5 mm/s) และมีขนาดชัดเจนที่สุดในแนวดิ่งเช่นกัน เมื่อขยายสัญญาณในแนวดิ่งจากรูปที่ 8 มาแสดงในรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่ามีสัญญาณ Noise Floor อยู่ที่ความถี่ Subharmonic และที่สูงกว่า แต่สัญญาณที่แสดงการทำงานของชิ้นส่วนกลของชุดพัดลม อันได้แก่ มอเตอร์ พัดลม และสายพาน มีขนาดขยายขึ้นมาก จะเห็นสัญญาณที่ความถี่เท่ากับสองเท่าของความเร็วรอบของสายพาน (1,950 รอบต่อนาที) และที่ความเร็วรอบของพัดลม (3,600 รอบต่อนาที) เมื่อทำการตรวจสอบกับค่าความถี่ธรรมชาติของชุดพัดลมในแนวดิ่งพบว่ามีค่าความถี่ธรรมชาติอยู่ที่ 1,950 และ 3,600 CPM พอดี ทำให้มีการขยายสัญญาณอย่างมาก รูปที่ 11 จะแสดงถึงสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดพัดลมชุดที่ 1 ในความเร็วรอบเดิมแต่ปรับใบแดมเปอร์ให้เปิดสุด จะเห็นได้ว่าสัญญาณมีลักษณะคล้ายคลึงกับในรูปที่ 8

ในกรณีของชุดพัดลมชุดที่ 2 ซึ่งการขับเคลื่อนนั้นกระทำโดยการต่อตรงกับมอเตอร์ เนื่องจากพัดลมชุดนี้ถูกแขวนกับเพลามอเตอร์โดยตรงโดยไม่มีตลับลูกปืนรองรับระหว่างตัวพัดลมกับมอเตอร์ จึงไม่สามารถทำการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนในบริเวณนั้นได้ การตรวจวัดจึงต้องกระทำที่เรือนพัดลมแทน โดยตำแหน่งการวัดถูกแสดงไว้ในรูปที่ 12 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ในหน่วยความเร็วที่วัดที่เรือนพัดลมในแนวแกน แนวนอน และแนวดิ่ง จะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 13 โดยที่ทำการปรับแผ่นจานที่ใช้ปรับอัตราการไหลที่ช่องขาเข้าของพัดลมให้เปิดสุด จะพบว่ามีสัญญาณชัดเจนสุดเกิดขึ้นในแนวแกน ซึ่งจะสามารถอธิบายได้จากลักษณะโครงสร้างของตัวเรือนพัดลมชุดนี้ว่าตำแหน่งที่วัดในแนวแกนนั้นเป็นการวัดที่แผ่นปิดหน้าของพัดลมซึ่งเป็นแผ่นเหล็กผืนใหญ่ ทำให้มีความแข็งเกร็ง (Stiffness) น้อยกว่าส่วนที่ใช้วัดในแนวนอน และแนวดิ่ง ซึ่งเป็นการวัดส่วนที่เป็นสันขอบของพัดลมที่มีความกว้างน้อยมากเมื่อเทียบกับแผ่นปิดด้านหน้า และเมื่อขยายสัญญาณในแนวแกนจากรูปที่ 13 มาแสดงไว้ในรูปที่ 14 จะพบสัญญาณการสั่นสะเทือนลักษณะสุ่มแบบ Noise Floor อยู่ที่ความถี่ต่ำกว่าความเร็วรอบของพัดลม (ซึ่งมีค่าเท่ากับความเร็วรอบของมอเตอร์ในกรณีนี้มีค่าประมาณ 2,950 รอบต่อนาที) และที่ความถี่ที่สูงกว่านั้นซึ่งเป็นการแสดงถึงผลของปัญหาการไหลของอากาศจากการไหลแบบปั่นป่วน และยังเห็นสัญญาณชัดเจนที่ความถี่เท่ากับความเร็วรอบของพัดลม และที่ความถี่ประมาณสองเท่าของความเร็วรอบพัดลมหรือสองเท่าของความถี่ของกระแสไฟฟ้า (ประมาณ 6,000 CPM) ซึ่งบังเอิญไปตรงกับความถี่ธรรมชาติของท่อออกที่ต่อกับชุดพัดลมชุดที่ 2 และยังเห็นสัญญาณขนาดเล็กที่ความถี่ Blade Pass Frequency (47,200 CPM) และเมื่อทำการตรวจวัดอีกครั้งโดยเปลี่ยนเงื่อนไขการไหลโดยปรับแผ่นจานที่ใช้ปรับอัตราการไหลที่ช่องทางขาเข้าของพัดลมให้ขยับปิดเข้าไปประมาณ 50% รูปที่ 15 จะแสดงถึงสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดในทั้งสามทิศทาง พบว่าสัญญาณจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับในรูปที่ 13 แต่มีขนาดต่ำกว่าเล็กน้อย

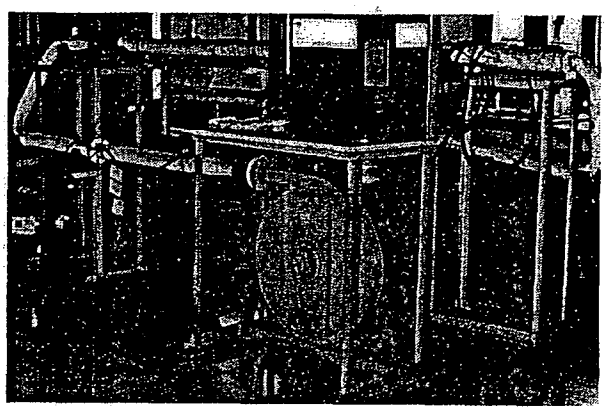
6. บทสรุป

จากการศึกษาการสั่นสะเทือนจากการไหลของอากาศ พบว่าการจำลองปัญหาที่เกิดจากสภาพการไหลของอากาศ เช่น การเกิดการไหลย้อนกลับ การเกิดการไหลปั่นป่วน จากชุดพัดลมทั้งสองชุดยังกระทำได้ไม่ดีนัก ดังนั้นสัญญาณการสั่นสะเทือนที่บ่งบอกถึงต้นเหตุดังกล่าว ซึ่งอยู่ในรูปของสัญญาณลักษณะสุ่มที่ช่วงความถี่ต่ำกว่าความเร็วรอบของพัดลมและที่สูงกว่านั้น ถึงแม้จะสามารถสังเกตเห็นได้ แต่ไม่เด่นชัดมากนัก สาเหตุอาจเกิดจากการจำลองความรุนแรงของปัญหาการไหลนั้นถูกจำกัดเนื่องจากอุปกรณ์ชุดพัดลม ในขณะที่ในชุดพัดลมชุดที่ 1 จะเห็นสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ชัดเจนในแนวดิ่ง ซึ่งเกิดจากการใช้โต๊ะวางชุดพัดลมนั้นมี Stiffness และมวลน้อย จึงทำให้เกิดการสั่นสะเทือนในแนวดิ่งได้สูง ในชุดพัดลมชุดที่ 1 พบสัญญาณการสั่นสะเทือนชัดเจนที่แสดงถึงการทำงานของมอเตอร์ พัดลม และสายพาน โดยเฉพาะฮาร์โมนิกส์ของสายพานที่ห้าเท่าของความเร็วรอบสายพาน ที่มีขนาดชัดเจนมาก ซึ่งคาดว่าจะต้องตรงกับความถี่ธรรมชาติค่าหนึ่งของชุดพัดลม ในขณะที่ไม่สามารถสังเกตเห็นสัญญาณที่ความถี่ Blade Pass Frequency (BPF) และเมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบของพัดลมขึ้นเป็นสองเท่าของความเร็วรอบเดิม ก็จะเห็นสัญญาณในลักษณะเดิม แต่สัญญาณที่ความเร็วรอบพัดลมนั้นมีขนาดขยายขึ้นอย่างมาก และเห็นสัญญาณของ 2 เท่าของความถี่สายพานอย่างชัดเจน สาเหตุเพราะความถี่ดังกล่าวไปตรงกับความถี่ธรรมชาติเข้า ในชุดพัดลมชุดที่ 2 ซึ่งเป็นการจำลองการไหลของอากาศจากชุดพัดลมชนิดต่อตรง พบว่ามีสัญญาณที่

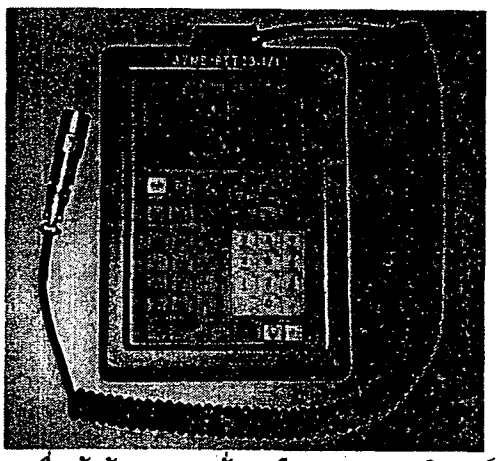
แสดงถึงการทำงานของพัดลม และมีสัญญาณสุ่มตลอดความถี่ และมีสัญญาณที่ประมาณสองเท่าของความเร็วรอบพัดลม และสัญญาณขนาดเล็กที่ความถี่ BPF จากการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ชัดเจนว่าปัญหาการไหลของอากาศที่เป็น การไหลย้อนกลับ และการไหลปั่นป่วนนั้นสามารถตรวจพบได้จากสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ที่อยู่ในรูปสัญญาณสุ่มแบบ Noise Floor ที่ความถี่ไม่สูงนัก รวมทั้งที่บริเวณความถี่ต่ำกว่าความเร็วรอบของพัดลม ระดับของสัญญาณสุ่มแบบ Noise Floor มีค่าเปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลไม่เด่นชัด เนื่องจากความหนาแน่นของอากาศนั้นมีค่าค่อนข้างต่ำ ไม่เหมือนกับในกรณีปัญหาจากการไหลของน้ำ ซึ่งจะเห็นสัญญาณได้ชัดเจนกว่า และการตรวจสอบความถี่ธรรมชาติของชุดพัดลมจะสามารถช่วยให้วิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนได้แม่นยำขึ้น



รูปที่ 1 ชุดพัดลมชุดที่ 1 ซึ่งขับเคลื่อนผ่านสายพาน พร้อมท่อเข้าและออก



รูปที่ 2 ชุดพัดลมชุดที่ 2 พร้อมท่อขาออก



รูปที่ 3 เครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน และทรานสดิวเซอร์ชนิดวัดความเร่ง

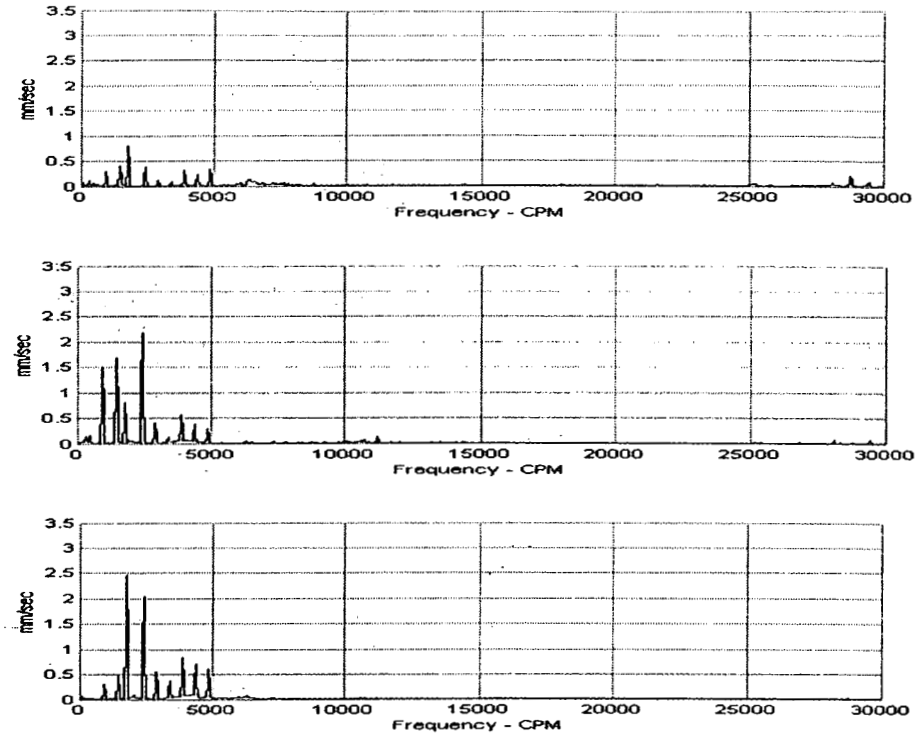
เอกสารอ้างอิง

[1] ก่อเกียรติ บุญชูกุศล สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ "การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน การเฝ้าตรวจและการจัดการการบำรุงรักษา" สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 2540

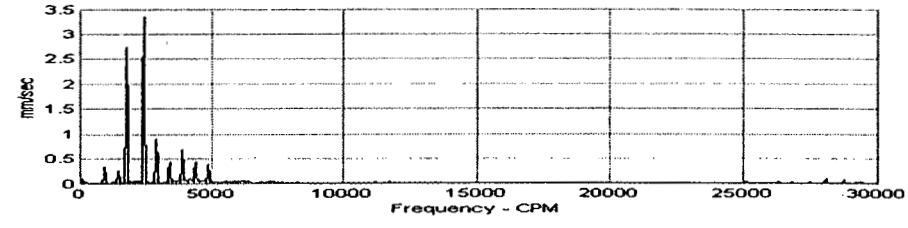
[2] Sank, R. L., Tchobanoglous, G, Newton, D, Bosserman II,B, E., Jones, G, M., "Pumping Station Design", Butterworths, 1989

[3] Berry,J.E., "Concentrated Vibration Signature Analysis and Related Condition Monitoring Techniques.", Technical Associates of Charlotte, Inc., 1984

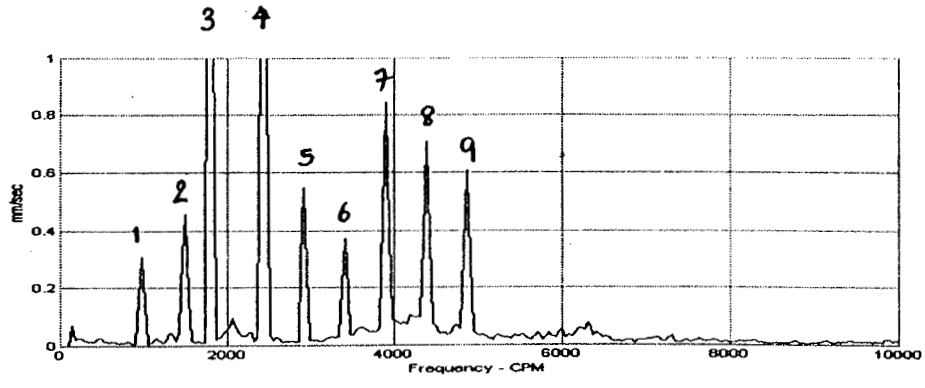
[4] Buscarello, R.T., "Practical Solutuions to Machinery and Maintenace Vibration Problems", Update International , Inc., 1995



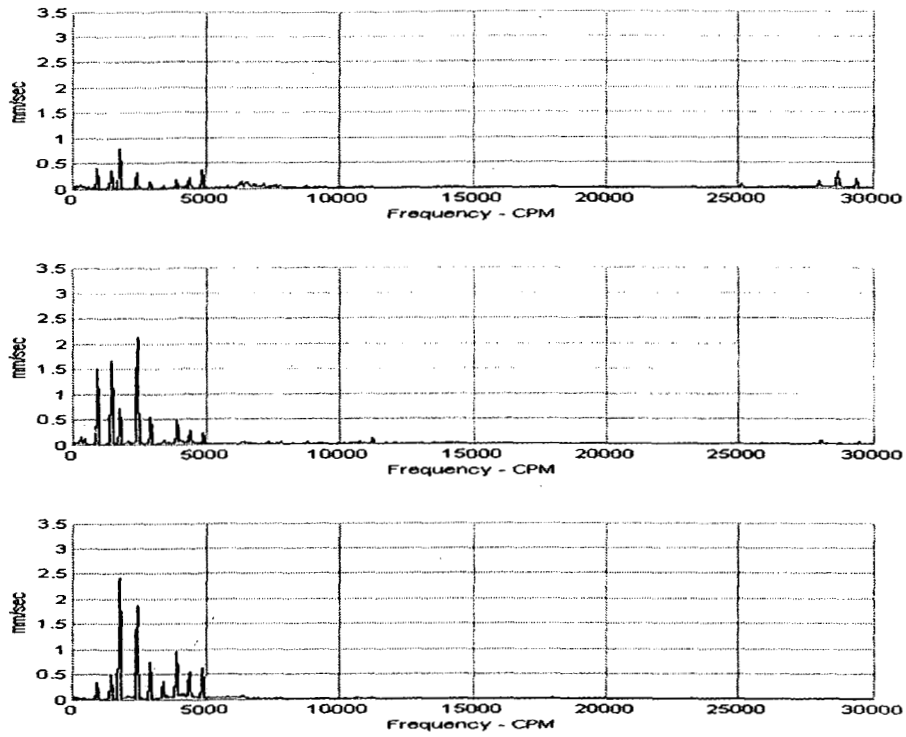
รูปที่ 4 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ในหน่วยความเร็ว ที่วัดที่โครงของดลับลูกปืนพัดลมชุดที่ 1 ซึ่งพัดลมทำงานที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที ในทิศตามแนวแกน แนวนอน และแนวดิ่ง ตามลำดับ โดยปรับแดมเปอร์ที่ท่อออกให้มีพื้นที่การไหลเท่ากับ 50 % ของท่อออก



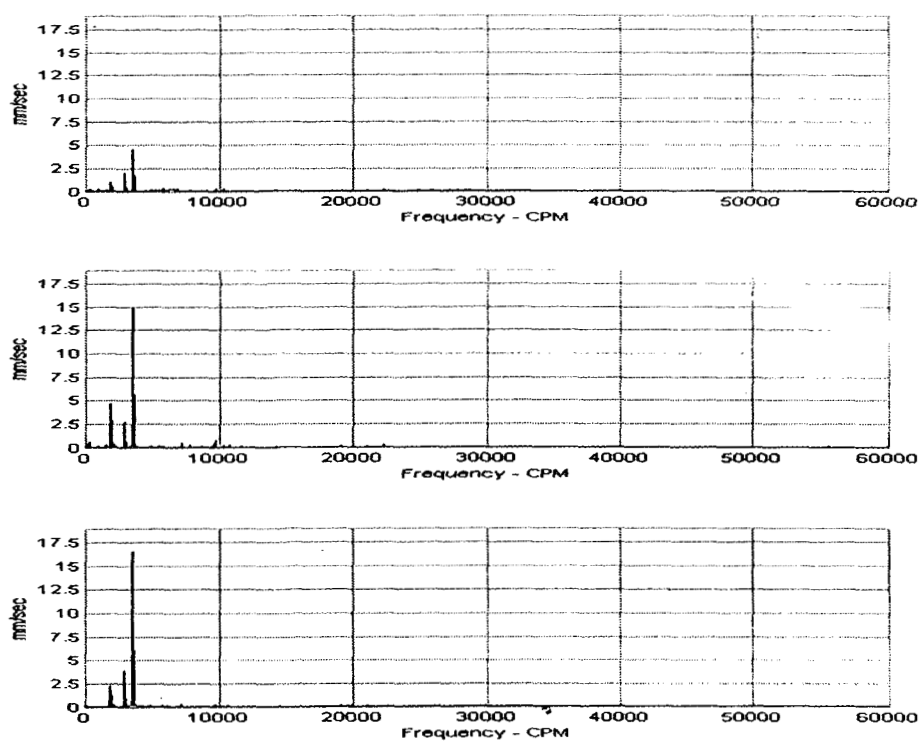
รูปที่ 5 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ในหน่วยความเร็ว ที่วัดที่โต๊ะวางพัดลมในแนวดิ่ง โดยที่พัดลมทำงานที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที



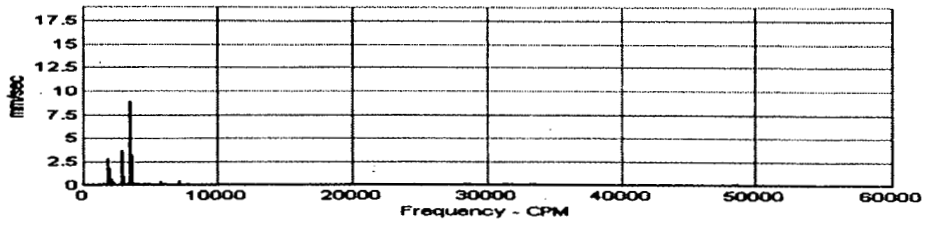
รูปที่ 6 ภาพขยายสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดพัดลมที่ 1 ที่วัดในแนวดิ่ง จากรูปที่ 4 โดยที่ 1 อยู่ที่ 2xB 2 อยู่ที่ 1xM 3 อยู่ที่ 1xF 4-9 อยู่ที่ 5,6,7,8,9,10xB : B=ความเร็วรอบสายพาน, M=ความเร็วรอบมอเตอร์, F=ความเร็วรอบพัดลม



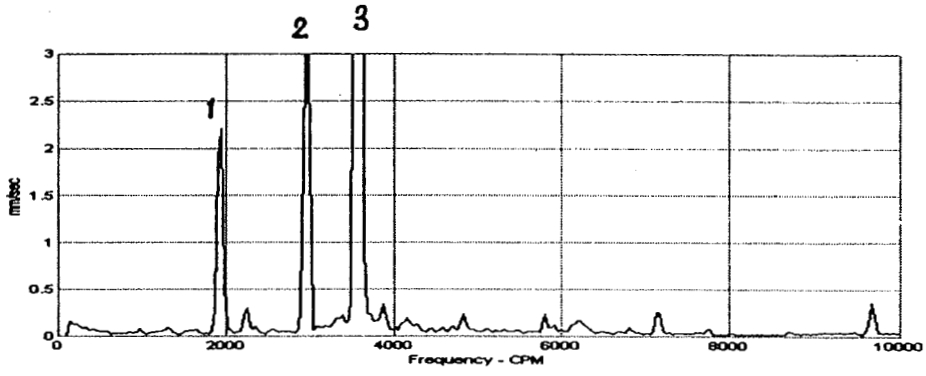
รูปที่ 7 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ในหน่วยความเร็ว ที่วัดที่โครงของตลับลูกปืนพัดลมชุดที่ 1 ซึ่งพัดลมทำงานที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที ในทิศตามแนวแกน แนวนอน และแนวดิ่ง ตามลำดับ โดยปรับแดมเปอร์ที่ท่อออกให้เปิดสุด



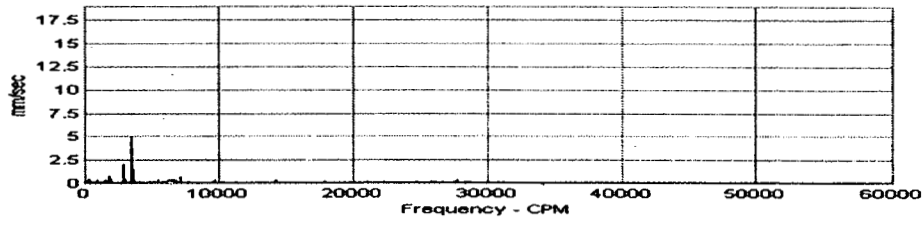
รูปที่ 8 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ในหน่วยความเร็ว ที่วัดที่โครงของตลับลูกปืนพัดลมชุดที่ 1 ซึ่งพัดลมทำงานที่ความเร็วรอบ 3600 รอบต่อนาที ในทิศตามแนวแกน แนวนอน และแนวดิ่ง ตามลำดับ โดยปรับแดมเปอร์ที่ท่อออกให้มีพื้นที่การไหลเท่ากับ 50 % ของท่อออก

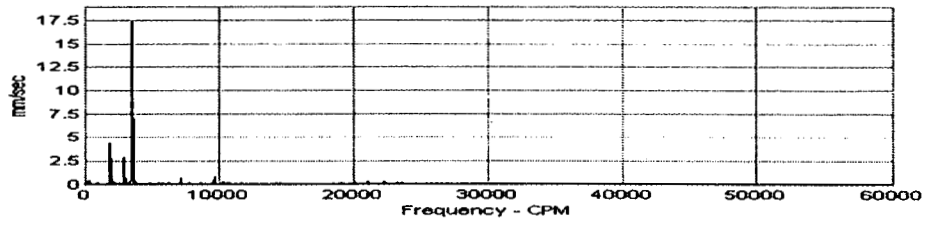


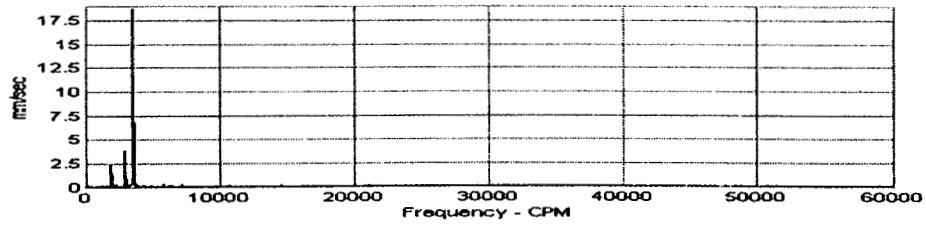
รูปที่ 9 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ในหน่วยความเร็ว ที่วัดที่โต๊ะวางพัดลมในแนวดิ่ง โดยที่พัดลมทำงานที่ความเร็วรอบ 3600 รอบต่อนาที



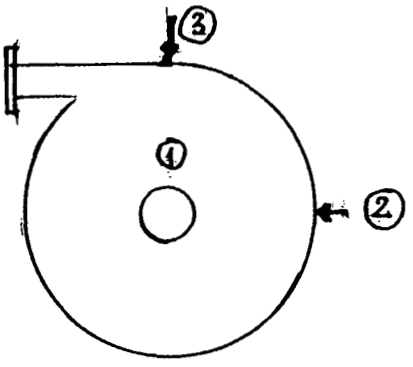
รูปที่ 10 ภาพขยายสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดพัดลมที่ 1 ที่วัดในแนวดิ่ง จากรูปที่ 8 โดยที่ 1 อยู่ที่ 2xB 2 อยู่ที่ 1xM และ 3 อยู่ที่ 1xF : B=ความเร็วรอบสายพาน, M=ความเร็วรอบมอเตอร์, F=ความเร็วรอบพัดลม



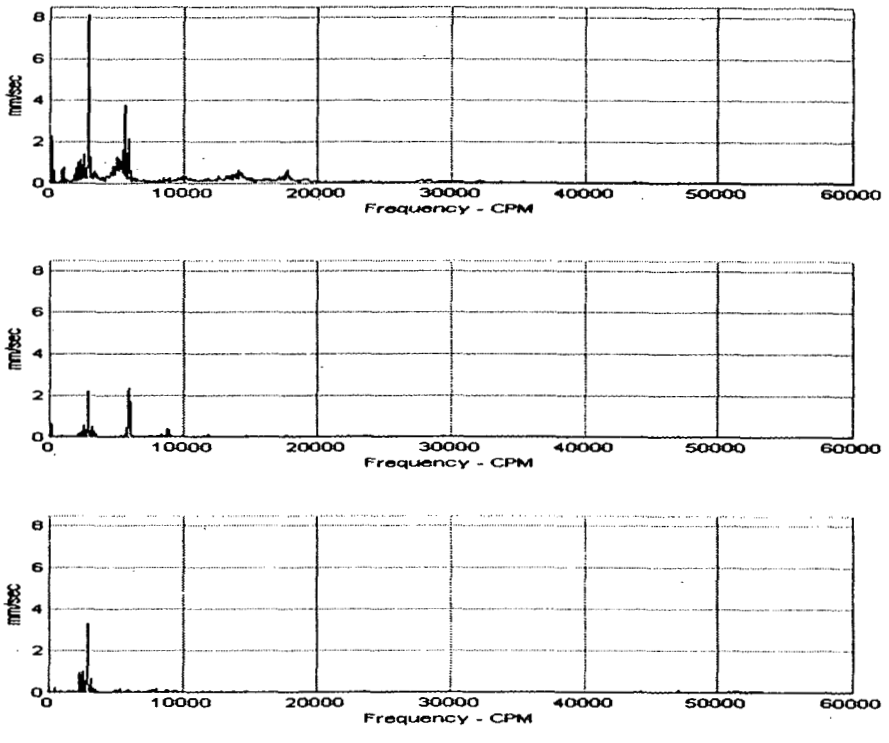




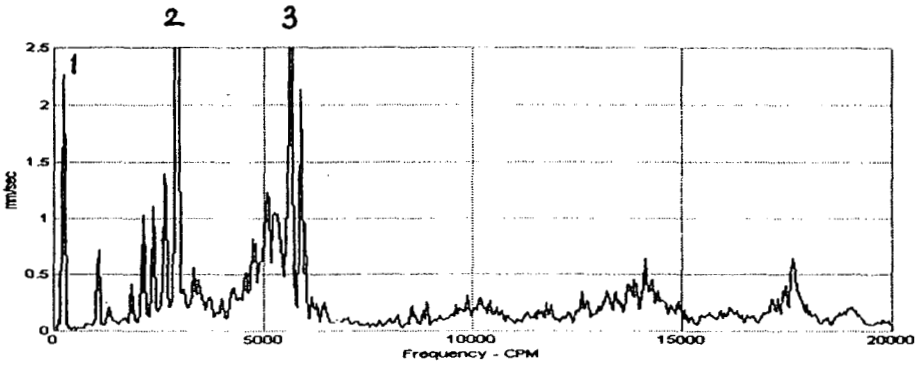
รูปที่ 11 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ในหน่วยความเร็ว ที่วัดที่โครงของตลับลูกปืนพัดลมชุดที่ 1 ซึ่งพัดลมทำงานที่ความเร็วรอบ 3600 รอบต่อนาที ในทิศตามแนวแกน แนวนอน และแนวดิ่ง ตามลำดับ โดยปรับแดมเปอร์ที่ท่อออกให้เปิดสุด



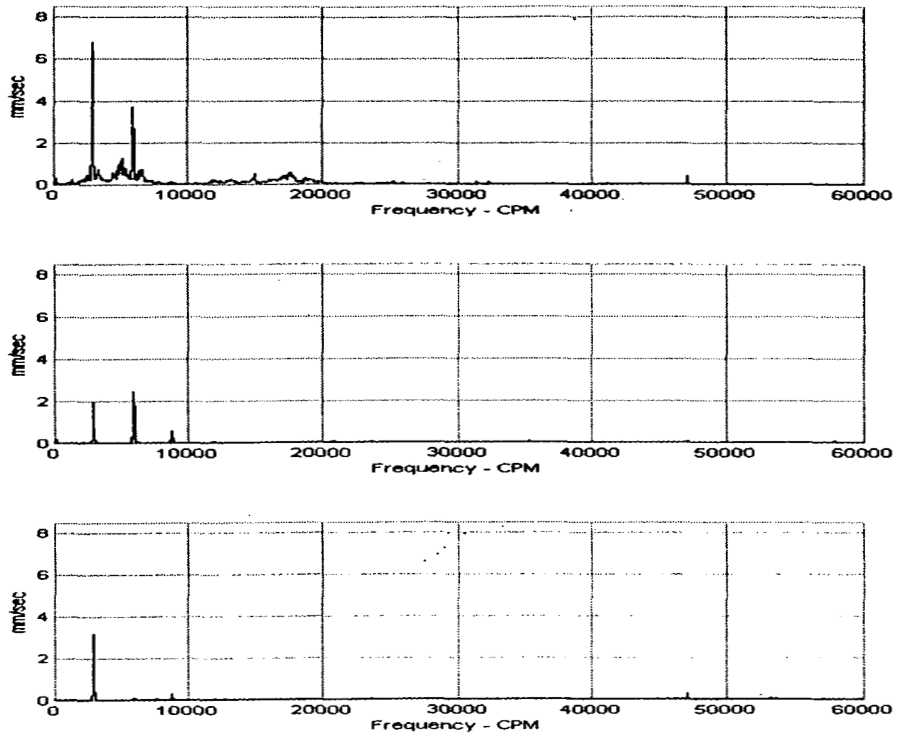
รูปที่ 12 ตำแหน่งวัดบนเรือนพัดลมชุดที่ 2 โดยที่ 1=แนวแกน 2=แนวนอน 3=แนวดิ่ง



รูปที่ 13 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ในหน่วยความเร็ว ที่วัดที่เรือนของพัดลมชุดที่ 2 ในทิศตามแนวแกน แนวนอน และแนวดิ่ง ตามลำดับ โดยเปิดให้มีอัตราการไหลสูงสุด



รูปที่ 14 ภาพขยายสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ในหน่วยความเร็ว ที่วัดในแนวแกนจากรูปที่ 13 โดยที่ 1 อยู่ที่ 262.5 CPM 2 อยู่ที่ 1xF 3 อยู่ที่ 6000 CPM : F=ความเร็วรอบพัดลม



รูปที่ 15 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ในหน่วยความเร็ว ที่วัดที่เรือนของพัดลมชุดที่ 2 ในทิศตามแนวแกน แนวนอน และแนวดิ่ง ตามลำดับ โดยปรับแผ่นจานปิดที่ท่อขาเข้าขยับไปเป็นระยะทาง 50% ของตอนเปิดสุด