

การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนในเครื่องสูบน้ำแบบใบพัด
VIBRATION ANALYSIS OF CENTRIFUGAL PUMP

นายธรราร	วิศวพงศ์พันธ์	รหัส 52361017
นายวรกานต์	สาริกรรณ์	รหัส 52361260
นายศุภชัย	งามเมือง	รหัส 52361369

กองส่งเสริมวิศวะกรรมศาสตร์
วันที่รับ...../2 ต.ค./2556
เลขทะเบียน.....16430090
เลขเรียกหนังสือ.....ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๒๒๘๒ ก

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2555



แบบเสนอโครงร่างโครงการ

ชื่อหัวข้อโครงการ	การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนในเครื่องสูบน้ำแบบใบพัด		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายธรรธร	วิศวพงศ์พันธ์	รหัส 52361017
	นายวรกานต์	สาริกรรณ์	รหัส 52361260
	นายศุภชัย	งามเมือง	รหัส 52361369
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.ภาณุ	พุทธวงศ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2555		

คณะกรรมการการสอบโครงการ

(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)

(ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

กรรมการ

(ดร.ศลิษา วีรพันธุ์)

กรรมการ

ชื่อหัวข้อโครงการ : การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนในเครื่องสูบน้ำแบบใบพัด

ผู้ดำเนินโครงการ : นายธราธร วิศวพงศ์พันธ์ รหัส 52361017
 นายวรกานต์ สาริกรณ์ รหัส 52361260
 นายศุภชัย งามเมือง รหัส 52361369

ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.ภาณุ พุทธวงศ์

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2555

บทคัดย่อ

จากการทดลองวัดความสั่นสะเทือนและวิเคราะห์ผลที่ได้ของเครื่องจักรด้วยเครื่อง Detector III ผ่านโปรแกรม Trendline ทำให้เราสามารถทราบถึงขนาดของการสั่นสะเทือนซึ่งจะนำมาเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816 ว่าเกินค่ามาตรฐานหรือไม่ และพบว่าทฤษฎี การเกิด harmonic ของใบพัดเป็นจริงจามทฤษฎี เราก็สามารถประมาณจำนวนใบพัดของปั้มน้ำที่มีได้จากสเปคตรัมของเครื่องจักรนั้นๆ และยังสามารถตรวจสอบการทำงานของชุดมอเตอร์และปั้มน้ำว่าทำงานอยู่ในสภาพปกติหรือไม่ เพื่อแนะนำการซ่อมและบำรุงรักษาได้ทัน่วงที

ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller มีทั้งหมด 4 ชุด แต่สามารถใช้งานได้เพียง 2 ชุดคือชุดที่ 1 และชุดที่ 3 ซึ่งจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ฝั่งคือ ชุดที่ 1 และชุดที่ 2 จะเป็นของฝั่งของภาค ME และชุดที่ 3 และชุดที่ 4 จะเป็นฝั่งของภาค IE และได้ทำการวัดขนาดการสั่นสะเทือนชุดที่ 1 และชุดที่ 3 ได้ผลว่ามีขนาดการสั่นสะเทือนไม่เกินมาตรฐาน ISO 10816 แสดงว่ายังไม่เกิดความเสียหายในตลับลูกปืนและยังสามารถทำงานได้เป็นปกติ และชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล มีทั้งหมด 2 ชุด ภายในอาคาร แต่สามารถใช้งานได้เพียง 1 ชุด คือชุดที่ 1 และไม่มีการแบ่งฝั่งการทำงาน จากการวัดขนาดการสั่นสะเทือนชุดที่ 1 พบว่ามีขนาดการสั่นสะเทือนที่เกินค่ามาตรฐาน ISO 10816 อย่างมากชุดตลับลูกปืนเกิดความเสียหายแล้วถ้ายังไม่มีการซ่อมบำรุงโดยเร็วก็อาจจะทำให้เกิดความเสียหายขั้นจนไม่สามารถใช้งานได้อีก ก็จะทำให้ น้ำทั้งอาคารไม่ไหล

PROJECT TITLE : VIBRATION ANALYSIS OF CENTRIFUGAL PUMP

Name : Tharathon Vissavaphongphan Code 52361017
 Worakarn Sarikan Code 52361260
 Supachai Ngammuang Code 52361369

Project advisor : Dr. Panu Putthawong

Major : Mechanical Engineering
Department : Mechanical Engineering
Academic year : 2012

Abstract

Experimental measurement of vibration and mechanical analysis of the results obtained with the device. Detector III program Trendline allows us to know the size of the vibration, which will be compared with the ISO 10816 standards that exceed the standard or not. And found that the harmonic theory of propeller strikes a theory. We can estimate the number of blades of the water pump from the spectrum of the machine. You can also check the motor and pump that work in normal condition or not. To guide the repair and maintenance in the future.

Motor driven pumps, cooling system, air conditioning Chiller having all four sets, but can be used two sets of Series 1 and Series 3, which will divide the work into two banks of the Series 1 and Series 2 should be side of the ME and Series 3 and Series 4 is a side of the IE and the measurement of vibration Series 1 and Series 3 has a small vibration than standard ISO 10816 that not damage the bearings and also can work as normal. There are two sets of water pumps and sanitation in the buildings, but can only be used one set is set to 1 and does not break the bank. Of the measured vibration Part 1 revealed that the vibration than the standard ISO 10816 is very uniform bearing damage if not serviced as soon as it could be causing more damage to. I can not use it to make. Water does not flow throughout the building.

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

จากการที่รายวิชาโครงการทางวิศวกรรมเครื่องกล บรรจุในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร จึงได้จัดทำโครงการเรื่อง “การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนในเครื่องสูบน้ำแบบใบพัด”

ในระหว่างการปฏิบัติงานนั้นทำให้กลุ่มของข้าพเจ้าได้รับความรู้ และประสบการณ์ในด้านต่างๆมาก และปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ก็จะสำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จาก

- ดร.ภาณุ พุททวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูล การทำปริญญาานิพนธ์ และคำแนะนำตลอดการทำปริญญาานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี
- กรรมการ และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ตลอดจนคำแนะนำ
- สมาชิกกลุ่ม และเพื่อนๆทุกคน

และบุคคลท่านอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบคุณบิดา มารดา ที่คอยช่วยเหลือสนับสนุน และเป็นกำลังใจในการทำโครงการทางวิศวกรรมจนสำเร็จ

คณะผู้จัดทำโครงการ

นายธราธร	วิศวพงศ์พันธ์
นาวารกานต์	สาริกกรณ์
นายศุภชัย	งามเมือง

สารบัญ

หน้า	
ใบรับรองปริญญาโท	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ	1
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.6 แผนการดำเนินงาน	2
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้า	4
2.1.1 ตลับลูกปืน	4
ก. เจอร์นัลแบร์ริง (Journal Bearing)	4
ข. โรลลิ่งแบร์ริง (Rolling Bearing or Anti-friction Bearing)	5
2.1.2 การใช้สายพาน	5
2.2 การสั่นสะเทือน	6
2.2.1 ความถี่ธรรมชาติ	6
2.2.2 เรโซแนนซ์	6
2.2.3 ความถี่	7
2.2.4 ขนาดของการสั่นสะเทือน	7
2.2.5 การสั่นสะเทือนจากใบพัด	9

2.2.6 Blade Pass Frequency (BPF)	10
2.2.7 Cavitation	11
2.3 การวิเคราะห์แบบสเปคตรัม	11
2.3.1 การแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว	11
2.3.2 การจำแนกความถี่การสั่นสะเทือน	13
2.3.3 คลื่นเวลาและคลื่นความถี่สเปคตรัม	13
2.4 มาตรฐาน ISO 10816	15
บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง	
3.1 ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน	16
3.2 ตำแหน่งของเครื่องจักรที่ทำการวัดค่าสั่นสะเทือน	18
3.3 ขั้นตอนการวัดค่าการสั่นสะเทือนเพื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎี	19
3.4 ขั้นตอนการตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือนกับปั้มน้ำจริง	21
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 การวิเคราะห์สเปคตรัมของ ชุดทดลองปั้มน้ำ	27
4.2 การวิเคราะห์สเปคตรัมของ - -	
ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller	27
4.3 การวิเคราะห์สเปคตรัมของ ชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล	29
4.4 การตรวจสอบมาตรฐานการสั่นสะเทือน ISO 10816	30
4.4.1 ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller ชุดที่ 1	31
4.4.2 ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller ชุดที่ 3	31
4.4.3 ชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล ชุดที่ 1	32
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	35
5.1.1 การตรวจสอบชุดปฏิบัติการปั้มน้ำซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎี - harmonic ของใบพัดปั้มน้ำ	35
5.1.2 เพื่อศึกษาการใช้เครื่อง detector III - และโปรแกรมวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน Trendline	35
ก. ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ - Chiller ชุดที่ 1	35
ข. ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ - Chiller ชุดที่ 2	35
ค. ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ - Chiller ชุดที่ 3	35

Chiller ชุดที่ 4	35
ง. ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนของระบบปรับอากาศแบบ-	
จ. ชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาลชุดที่ 1	35
ฉ. ชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาลชุดที่ 2	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
5.2.1 ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนของระบบปรับอากาศแบบ-	
Chiller 1 และ 3	36
5.2.2 ชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาล	36
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก ก	39
ประวัติผู้จัดทำโครงการ	51



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน	2
1.2 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ	3
4.1 ขนาดของการสิ้นสະเทือนแต่ละตำแหน่ง ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller ชุดที่ 3	32
4.2 ขนาดของการสิ้นสະเทือนแต่ละตำแหน่ง ชุดปั้มน้ำสุขาภิบาลชุดที่ 1	33



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 เจอร์นัลแบร์ริง (Journal Bearing)	4
2.2 โรลลิ่งแบร์ริง (Rolling Bearing or Anti-friction Bearing)	5
2.3 แสดง coupling ที่เพลาด้านขับสายพาน	5
2.4 แสดงคุณภาพแรงสั่นสะเทือนแบบ RMS	8
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง	9
2.6 การเคลื่อนที่ผ่านหัววัดการสั่นสะเทือนครบ 1 รอบ	9
2.7 ไบพัต 4 ไบพุ่มน 1 รอบ เกิดคลื่นไซน์ 4 รอบและสเปคตรัมเป็น 4x	10
2.8 Complex waveform	11
2.9 แผนภาพการทำงานของเครื่องวิเคราะห์การสั่น สะเทือน เมื่อผ่านกระบวนการ FFT	13
2.10 ตัวอย่างสเปคตรัมจากมอเตอร์	14
2.11 ตารางเปรียบเทียบขนาดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ISO 10816	15
3.1 ตำแหน่งในการวัดความสั่นสะเทือน	16
3.2 ตำแหน่งของเครื่องจักรที่ทำการวัดค่าสั่นสะเทือน	18
3.3 ตั้งความเร็วรอบของปั๊มทั้งน้ำ 2 ที่ 1200 rpm	19
3.4 เริ่มทำการวัดค่าการสั่นสะเทือน	19
3.5 ไบพัตของปั๊มน้ำ	20
3.6 ฐานวางปั๊มทั้ง 2 ชุด	20
3.7 วัดที่ตำแหน่ง NDE-V ปั๊ม Chiller ที่ส่วน Motor	21
3.8 วัดที่ตำแหน่ง NDE-H ปั๊ม Chiller ที่ส่วน Motor	21
3.9 วัดที่ตำแหน่ง DE-V ปั๊ม Chiller ที่ส่วน Motor	22
3.10 วัดที่ตำแหน่ง DE-H ปั๊ม Chiller ที่ส่วน Motor	22
3.11 วัดปั๊มที่จุด DE-H ปั๊ม Chiller ที่ส่วน Pump	23
3.12 วัดปั๊มที่จุด DE-V ปั๊ม Chiller ที่ส่วน Pump	23
3.13 วัดที่ตำแหน่ง NDE-H ส่วน Motor ของปั๊มน้ำ	24
3.14 วัดที่ตำแหน่ง NDE-V ส่วน Motor ของปั๊มน้ำ	24
3.15 วัดที่ตำแหน่ง DE-H ส่วน Motor ของปั๊มน้ำ	25
3.16 วัดที่ตำแหน่ง DE-V ส่วน Motor ของปั๊มน้ำ	25
3.17 วัดที่ตำแหน่ง Belt-H Coupling ปั๊มน้ำ	26
3.18 วัดที่ตำแหน่ง Belt-V Coupling ปั๊มน้ำ	26
3.19 วัดที่ตำแหน่ง DE-H Coupling ปั๊มน้ำ	27
3.20 วัดที่ตำแหน่ง DE-V Coupling ปั๊มน้ำ	27

4.1	สเปคตรัมของ ชุดทดลองปั้มน้ำ	27
4.2	ใบพัดของชุดทดลองปั้มน้ำ	28
4.3	สเปคตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller	29
4.4	สเปคตรัมของ ชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล	30
6.1	สเปคตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller	40
6.2	สเปคตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller	40
6.3	สเปคตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller	41
6.4	สเปคตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller	41
6.5	สเปคตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller	42
6.6	สเปคตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller	42
6.7	สเปคตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller	43
6.8	สเปคตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller	43
6.9	สเปคตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller	44
6.10	สเปคตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller	44
6.11	สเปคตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล	45
6.12	สเปคตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล	45
6.13	สเปคตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล	46
6.14	สเปคตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล	46
6.15	สเปคตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล	47
6.16	สเปคตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล	47
6.17	สเปคตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล	48
6.18	สเปคตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล	48
6.19	สเปคตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล	49
6.20	สเปคตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล	49
6.21	เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน Detector III	50
6.22	ชุดทดลองป้มนภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล (เลขครุภัณฑ์ 4320-006-015 งปม.2540)	50

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

ω_n	คือ ความถี่ธรรมชาติ, rad / sec
k	คือ ค่าต้านทานการยืดหยุ่นของวัสดุ N / m
m	คือ มวล, kg
r	คือ อัตราส่วนระหว่างความถี่ของแรงกระทำต่อความถี่ธรรมชาติของระบบ
f	คือ ความถี่ของแรงกระทำ
ω_n	คือ ความถี่ธรรมชาติ
D	คือ การกระจัด หรือ การเคลื่อนที่, $\mu m-Pk$
V	คือ ความเร็ว, $mm/sec -pk$
A	คือ ความเร่ง mm/sec^2-pk
f	คือ ความถี่, $cycle per sec$
π	คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ $22/7$
n	คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด
X	คือ ช่วงกว้างของการสั่น (Displacement Amplitude)
C	คือ ค่าคงที่ใดๆ (Constant)
ω	คือ ความถี่เชิงมุม (Circular Frequency)
t	คือ เวลา เป็นวินาที (Second)
ϕ	คือ มุมเฟส หรือ Phase Angle
No.Blades	คือ จำนวนใบพัดของเครื่องสูบที่มี
rpm	คือ ความเร็วรอบของเครื่องสูบ, $revolution/min$

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับเครื่องจักรต่างๆ เนื่องจากทำหน้าที่เป็นตัวต้นกำลังโดยแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเพื่อขับโหลดต่างๆ ความเสื่อมสภาพจากการใช้งานหรือความผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้นเนื่องจากโรเตอร์และสเตเตอร์ต้องรับแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กอยู่ตลอดเวลา ความเสียหายที่เกิดขึ้นทางกลจากความร้อนและทางไฟฟ้าจะกระทบโดยตรงกับประสิทธิภาพในการทำงานและอายุการใช้งานของมอเตอร์ ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักร มาใช้ในการตรวจสอบสภาพและวิเคราะห์ความเสียหายของมอเตอร์ โดยจะทำการวัดในขณะที่มอเตอร์กำลังทำงาน จึงทำให้รู้สถานะของมอเตอร์ว่ามีสภาพเป็นอย่างไร ทำให้รู้สาเหตุที่ทำให้เกิดการเสียหาย และจะทำให้สามารถแก้ไขความผิดปกติที่จะเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะเป็นการช่วยให้มอเตอร์มีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาทฤษฎีการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนในเครื่องสูบน้ำแบบใบพัด และจำนวนใบพัดที่ปั้มน้ำมี

1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน detector III ผ่านโปรแกรมวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน Trendline

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์และปั้มน้ำ

1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

1.4.1 วัดความสั่นสะเทือนของชุดทดลอง เครื่องสูบน้ำแบบใบพัด

1.4.2 วัดและวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนของปั้มน้ำเย็นและปั้มน้ำสุขาภิบาล กลุ่มอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์เครื่องกลและอุตสาหกรรม

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

ตารางที่ 1.2 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

ลำดับ	รายการ	บาท
1	กระดาษและเครื่องเขียน	1000
2	จัดทำรูปเล่มรายงาน	1500
3	HDD สำหรับเก็บสำรองข้อมูล (2 ชิ้น)	500
รวม		3000



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยโครงสร้างมอเตอร์จะเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงทุกอย่าง จะมีข้อแตกต่างออกไปบ้างก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้เพราะว่าสภาพที่นำมาใช้งานแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั่วไปจะเป็นชนิดเปิด (open type) กล่าวคือขดลวดอาร์มเจอร์ และขดลวดสนามแม่เหล็กจะพันเป็นแบบเปิดทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นกับลวดอย่างไรก็ตามเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงเครื่องเดียว สามารถใช้ทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าได้ และในส่วประกอบหลักๆของมอเตอร์ที่ช่วยให้การหมุนตัวของโรเตอร์เป็นไปอย่างราบรื่นและแรงเสียดทานต่ำก็คือตลับลูกปืน

2.1.1 ตลับลูกปืน

ตลับลูกปืน (Bearing) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับการหมุนของเพลลา โดยตลับลูกปืนมีหน้าที่ถ่ายทอดแรงที่เกิดขึ้นจากเพลาลงไปสู่ฐานของเครื่องจักร และลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส ทำให้ช่วยเพิ่มสมรรถนะของเครื่องจักรกลต่างๆ ลดการสึกหรอ ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

ก. เจอร์นัลแบร์ริง (Journal Bearing)

เจอร์นัลแบร์ริง (Journal Bearing) เป็นแบร์ริงที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ เพลลาที่หมุนเรียกว่าเจอร์นัล ส่วนรองรับเพลลาเรียกว่า แบร์ริง และน้ำมันหล่อลื่น สำหรับความสามารถในการหมุน หรือความสามารถรองรับการเคลื่อนที่ของเจอร์นัลขึ้นกับคุณสมบัติ ความหนืด ความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 2.1 เจอร์นัลแบร์ริง (Journal Bearing)

ข. โรลลิ่งแบร์ริง (Rolling Bearing or Anti-friction Bearing)

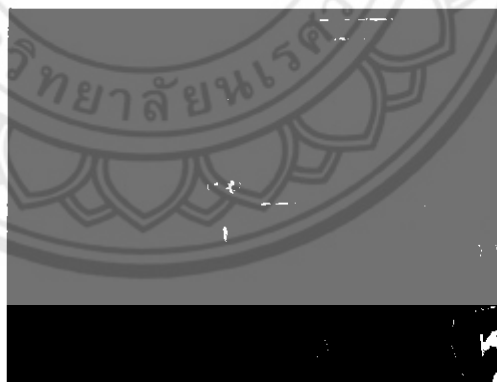
โรลลิ่งแบร์ริง (Rolling Bearing or Anti-friction Bearing) เป็นแบร์ริงที่ใช้งานเป็นส่วนใหญ่เรียกในท้องตลาดว่า ตลับลูกปืน ซึ่งประกอบด้วยลูกกลิ้ง เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เม็ดลูกปืน ที่ถูกจับยึดด้วยตัวยึดลูกกลิ้ง (Retainer) และติดตั้งไว้ระหว่างวงแหวนภายนอก (Outer Ring) และวงแหวนภายใน (Inner Ring)



รูปที่ 2.2 โรลลิ่งแบร์ริง (Rolling Bearing or Anti-friction Bearing)

2.1.2 การใช้สายพาน

เมื่อมีการใช้สายพานในการขับเคลื่อนเครื่องจักรอื่น ๆ จะมีการตั้งเครื่องจักรให้ขนาดกันและมีเพลายื่นออกมาให้ปลายเพลาทิ้งสองอยู่ในเส้นตรงเดียวกัน แล้วก็จะมี pulley เป็นบากร่องสายพานไว้เพื่อทำให้สามารถหมุนขับเคลื่อนเครื่องจักรไปได้ และแกนเพลายื่นออกมาก็จำเป็นต้องมี coupling ซึ่งภายใน coupling ก็จะมีลูกปืนอยู่ภายในอีก ตัวหนึ่งเพื่อรองรับน้ำหนักและการหมุน



รูปที่ 2.3 แสดง coupling ที่เพลาด้านขับเคลื่อนสายพาน

2.2 การสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือน คือ ปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่ไปกลับไปกลับมาของวัตถุภายใต้แรงกระทำ ซึ่งโดยทั่วไปนั้น การสั่นสะเทือนเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นกับเครื่องจักร แต่มักหลีกเลี่ยงไม่ได้ อย่างดีที่สุดก็คือการพยายามจำกัดขนาดของการสั่นให้อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ โดยในการศึกษาการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรนั้น พื้นฐานที่ต้องทำความเข้าใจ คือ โดเมนเวลา (wave form) โดเมนความถี่ (spectrum) การแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform), ขนาดของการสั่นสะเทือน (amplitude), ความถี่ (frequency), หน่วยวัดขนาดของการสั่นสะเทือน

2.2.1 ความถี่ธรรมชาติ

ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) คือความถี่ประจำตัวของระบบโครงสร้างหรือเครื่องจักรเมื่อมีแรงกระทำอิสระ ทำให้ระบบหรือเครื่องจักรนั้นเกิดการสั่นสะเทือนเกิดความถี่อิสระ หรือเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ ความถี่การสั่นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ รูปร่าง ขนาด และโครงสร้างของเครื่องจักรนั้นๆ การเปลี่ยนแปลงความถี่ธรรมชาติของระบบ หรือเครื่องจักรใดๆ ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของมวล (Mass) และความแข็งแกร่ง หรือความต้านทานการยืดหยุ่น (Stiffness) ของเครื่องจักร การหาความถี่ธรรมชาติของวัสดุใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

เมื่อ

ω_n คือ ความถี่ธรรมชาติ, rad/sec

k คือ ค่าต้านทานการยืดหยุ่นของวัสดุ, N/m

m คือ มวล, kg

2.2.2 เรโซแนนซ์

เรโซแนนซ์ (Resonance) คือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เมื่อความถี่ของแรงกระทำ หรือแรงกระตุ้นระบบมีความถี่เดียวกันกับความถี่ธรรมชาติของระบบนั้น ขนาดของการสั่นสะเทือน ณ จุดนี้เรียกว่า “ขนาดเรโซแนนซ์” ซึ่งจะทำให้เกิดการขยายตัวการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นอย่างรุนแรง ทำให้เกิดผลเสียต่อระบบได้ ถ้ากำหนดให้ r เป็นอัตราส่วนระหว่าง ความถี่ของแรงกระทำต่อความถี่ธรรมชาติของระบบ จากสมการที่ 2

$$r = \frac{f}{\omega_n} \quad (2)$$

เมื่อ

r คือ อัตราส่วนระหว่างความถี่ของแรงกระทำต่อความถี่ธรรมชาติของระบบ

f คือ ความถี่ของแรงกระทำ

ω_n คือ ความถี่ธรรมชาติ

2.2.3 ความถี่

ความถี่ในที่นี้หมายถึง จำนวนรอบของการสั่นสะเทือน ต่อหน่วยเวลา ซึ่งสามารถอธิบายอยู่ในรูปของ รอบต่อวินาที (cycle per second, Hz), รอบต่อนาที (cycle per minute, CPM) แต่ถ้าต้องการอธิบายถึงความเร็วของเครื่องจักรจะใช้ รอบ ต่อ นาที (revolution per minute, RPM) ซึ่งในการศึกษางานด้านการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญ อีกตัวหนึ่งคือ ลำดับชั้น (order) เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงว่าเมื่อเครื่องจักรเกิดการสั่นสะเทือนแล้ว แรงกระทำที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับความเร็วของเครื่องจักร มีค่าเป็นเท่าไร

2.2.4 ขนาดของการสั่นสะเทือน (Amplitude)

เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการบ่งบอกสภาพของเครื่องจักร โดยในที่นี้จะกล่าวถึงพารามิเตอร์หลักที่นิยมใช้ได้แก่

1. การกระจัด (displacement)
2. ความเร็ว (velocity)
3. ความเร่ง (acceleration)

ส่วนใหญ่นั้นในการตรวจสอบแรงสั่นสะเทือนของเครื่องจักรนิยมใช้ พารามิเตอร์ทั้งสามชนิดในการวิเคราะห์หาความผิดปกติของเครื่องจักร อาทิเช่น การกระจัด (displacement) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร ของโครงสร้าง หรือของส่วนที่มีการหมุนของเครื่องจักร สำหรับพารามิเตอร์ความเร็ว (velocity) คือความเร็วในการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของเครื่องจักรเมื่อเกิดการสั่น แสดงถึงความเสียหายของเครื่องจักรที่เกิดการแรงล้า (fatigue) ของเครื่องจักรนั่นเอง ยิ่งเครื่องจักรมีขนาดของความเร็วมากแสดงว่า เครื่องจักรมีโอกาสเกิดความเสียหายจากแรงล้ามากนั่นเอง ความเร่ง (acceleration) คืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมวลในการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกฎข้อสองของนิวตัน $\sum F = ma$ พบว่า ค่าความเร่งมีความสัมพันธ์กับแรงที่กระทำกับเครื่องจักร กล่าวคือ เมื่อสนใจพารามิเตอร์ความเร่งแสดงว่ากำลังสนใจแรงที่เกิดการกระแทกภายในเครื่องจักร อาทิเช่น แรงกระแทกที่เกิดจากการขบกันของฟันเกียร์ ว่ามีความผิดปกติหรือไม่ เป็นต้น โดยสามารถแปลงหน่วยระหว่างการกระจัด, ความเร็ว และความเร่งได้ จากสมการที่ 3 และ สมการที่ 4ตามลำดับ

$$V = 2\pi f D \quad (3)$$

$$A = 2\pi f V = (2\pi f)^2 D \quad (4)$$

เมื่อ

D คือ การกระจัด หรือ การเคลื่อนที่, $\mu\text{m-Pk}$

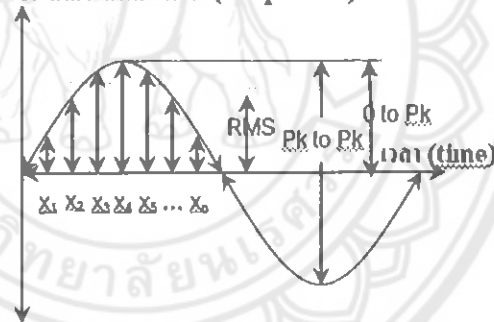
V คือ ความเร็ว, mm/sec-pk

A คือ ความเร่ง $\text{mm/sec}^2\text{-pk}$

f คือ ความถี่, cycle per sec

π คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ $22/7$

ขบวนการสั่นสะเทือน (Amplitude)



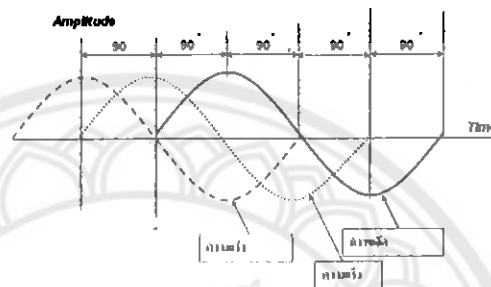
รูปที่ 2.4 แสดงคุณภาพแรงสั่นสะเทือนแบบ RMS

ในด้านคุณภาพของแรงสั่นสะเทือนที่นิยมใช้วัด ได้แก่ Peak value คือ ค่าสูงสุดของขนาดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง, Root mean square value (RMS) คือ ค่าเฉลี่ยของผลรวมของแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ดังสมการ

$$RMS = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_n^2}{n}} \quad (5)$$

เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

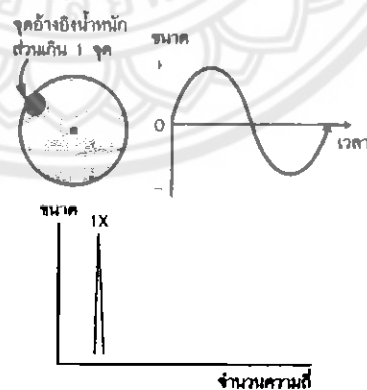
ค่า peak to peak คือค่าสูงสุด ถึงค่าต่ำสุดของขนาดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งๆ ค่าทั้งสามแบบที่กล่าวมาข้างต้น มักจะปรากฏอยู่ทั้งในมาตรฐานของการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร และอุปกรณ์วัดแรงสั่นสะเทือนต่างๆ และยังพบว่าส่วนของความเร็ว และความเร่งจะมีมุมเฟสนำการกระจัดอยู่ 90 องศา และ 180 องศา ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง

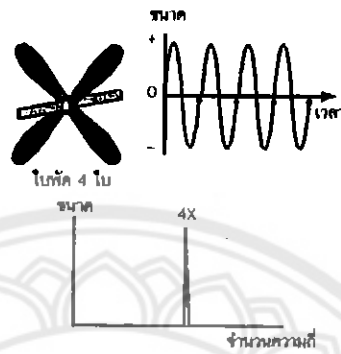
2.2.5 การสั่นสะเทือนจากใบพัด

ถ้าใช้จุดอ้างอิงนำหน้าทวนขึ้นขึ้นส่วนหมุนที่จุดหนึ่ง ดังรูปที่ 2.6 เมื่อจุดอ้างอิงนั้นหมุนผ่านหัววัดการสั่นสะเทือนครบ 1 รอบ เกิดคลื่นการสั่นในรูปของคลื่นไซน์ 1 รอบ เมื่อผ่านการคำนวณจำนวนนับความถี่ FFT หรือ สเปกตรัม จะแสดงความถี่เท่ากับหนึ่งความถี่ หรือเท่ากับ 1 เท่าของความเร็วรอบของชิ้นส่วนหมุนเป็น 1X



รูปที่ 2.6 การคลื่นที่ผ่านหัววัดการสั่นสะเทือนครบ 1 รอบ

ถ้าชิ้นส่วนหมุน เช่น กังหันมีใบพัด 4 ใบพัดตั้งรูปที่ 2.7 หมุนผ่านหัววัดการสั่นสะเทือนครบ 1 รอบ มีแรงกระทำการสั่นเป็น 4 ครั้ง ฉะนั้นถ้าชิ้นงานหมุนครบ 1 รอบ จะเกิดคลื่นไซน์เป็น 4 รอบใน 1 รอบ การหมุนเป็น 4X



รูปที่ 2.7 ใบพัด 4 ใบหมุน 1 รอบ เกิดคลื่นไซน์ 4 รอบและสเปกตรัมเป็น 4x

2.2.6 Blade Pass Frequency (BPF)

BPF เป็นความถี่ที่วัดได้จาก จำนวนใบพัด คูณด้วย ความเร็วรอบ และจะปรากฏในกราฟ สเปกตรัมความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรประเภท เครื่องสูบน้ำแบบใบพัด พัดลม และคอมเพรสเซอร์ ปกติ BPF จะไม่แสดงถึงความเสียหายของเครื่องจักรอย่างไรก็ตาม ถ้าช่องว่างระหว่าง rotating vane กับ stationary diffuser ไม่เท่ากันตลอดในเครื่องสูบน้ำจะทำให้แอมพลิจูดของ BPF และฮาร์มอนิกของมันปรากฏเด่นชัด นอกจากนี้หาก BPF ไปสอดคล้องกับความถี่ธรรมชาติของเครื่องสูบน้ำ ก็จะเสริมให้ความสั่นสะเทือนรุนแรงยิ่งขึ้น

ค่า BPF สูงยังอาจเป็นผลมาจาก

- ก. ใบพัดที่สึกหรอหยุดหมุนบนเพลลา
- ข. รอยเชื่อมที่ยึด diffuser vane ฉีกขาด
- ค. การหักมุมอย่างทันทีของท่อ หรือมีสิ่งกีดขวางการไหลในท่อ
- ง. การตั้งค่า damper
- จ. ใบพัดมีการเอียงศูนย์ในตัวเสื้อเครื่องสูบน้ำ

BPF หาได้จากสมการที่ 6

$$BPF = No.Blades \times rpm \quad (6)$$

เมื่อ $No.Blades$ คือ จำนวนใบพัดของเครื่องสูบน้ำที่มี

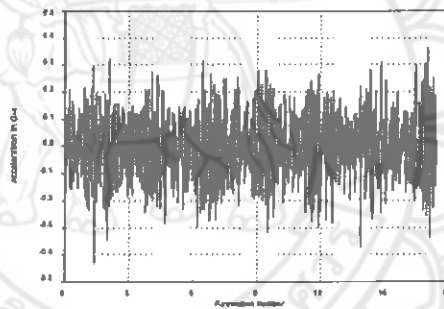
rpm คือ ความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ , $revolution/min$

2.2.7 Cavitation

ปรากฏการณ์ cavitation ทำให้เกิดพลังงานเป็นแถบกว้างย่านความถี่สูงแบบสุ่ม บางครั้งอาจอยู่ทับช่วงความถี่ฮาร์โมนิกของ BPF ปรากฏการณ์นี้เกิดจากแรงดูดของเครื่องสูบน้ำเพียงพอ หากไม่ได้รับการแก้ไขจะทำให้เกิดความเสียหายรุนแรงภายในเครื่องสูบน้ำโดยเฉพาะใบพัด เราสามารถสังเกตได้จากเสียงคล้ายๆ ก้อนกรวดเล็กๆ กระทบกับใบพัด และไม่ได้เกิดตลอดเวลาที่ความดันด้านดูดไม่เพียงพอ นั่นคือ ขณะตรวจวัดอาจตรวจพบหรือไม่ก็ได้

2.3 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม (Spectrum Analysis)

สัญญาณในรูปของคลื่นไซน์ หรือ แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย (Simple harmonic) ซึ่งประกอบไปด้วยแกนของเวลา และแกนของขนาดของการสั่น ซึ่งเรียกว่า โดเมนเวลา หรือ waveform โดยในความเป็นจริงนั้น สัญญาณที่นำมาวิเคราะห์การสั่นสะเทือนนั้น เป็นสัญญาณในรูปแบบ complex waveform ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งเป็นการยากที่จะแยกปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรนั้นๆ ได้



รูปที่ 2.8 Complex waveform

2.3.1 การแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform, FFT)

สัญญาณรายคาบใดๆ สามารถแยกออกเป็นสัญญาณรูปไซน์ ซึ่งมีความถี่และขนาดต่างๆ กัน เรียกว่า ฮาร์โมนิก (Harmonic) อันดับของฮาร์โมนิกขึ้นอยู่กับความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่สัญญาณรายคาบนั้น ในทางกลับกันเราอาจสร้างสัญญาณที่มีรูปคลื่นต่างๆ กันได้ โดยใช้สัญญาณไซน์หลายสัญญาณมารวมกัน โดยสังเกตได้ว่าอันดับของฮาร์โมนิกยิ่งสูงขึ้น ขนาดของสัญญาณจะยิ่งลดลง

การวิเคราะห์สัญญาณนี้เป็นผลมาจากการศึกษาของนักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ชื่อฟูรีเยร์ (Fourier) ซึ่งได้เสนออนุกรมตรีโกณมิติในปี 1822 เรียกกันว่า อนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier series) สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการค่าของไซน์ได้ดังสมการที่ 7

$$f(t) = C_0 + C_1 \sin(\omega t + \phi_1) + C_2 \sin(2\omega t + \phi_2) + C_3 \sin(3\omega t + \phi_3) \quad (7)$$

ซึ่งสมการนี้สามารถใช้ได้ดีในการแก้ปัญหาต่างๆ ทางฟิสิกส์ เช่น การนำความร้อน และการสั่นสะเทือนด้วย โดยสังเกตว่าไซน์ (Sine) มีมุมเพิ่มขึ้นเป็นอนุกรม คือ $1^\omega, 2^\omega, 3^\omega, \dots, n^\omega$ เมื่อ ω คือ ความถี่เชิงมุม (Circular frequency)

Fourier ได้สรุปว่าสัญญาณรายคาบใดๆ ก็ตามในที่นี้ เป็นสัญญาณการสั่นสะเทือนของวัตถุ มีรูปร่างเป็นอย่างไรก็ได้ จะประกอบด้วยสัญญาณคลื่นรูปไซน์เป็นจำนวนมาก โดยมีสัญญาณรูปไซน์อยู่ อันหนึ่งที่มีขนาดมากที่สุด มีความถี่เท่าสัญญาณรายคาบนั้น ซึ่งเรียกว่า สัญญาณมูลฐานหรือฮาร์โมนิกที่หนึ่ง (Fundamental or First Harmonic) ส่วนสัญญาณอื่นๆ จะมีความถี่เป็นจำนวนเท่าที่เป็นตัวเลขลงตัวของความถี่ต่ำสุดนี้ เรียกว่า ฮาร์โมนิกที่ n เมื่อ n เป็นตัวเลขแสดงจำนวนเท่าของความถี่สัญญาณรายคาบนั้น

จากสมการค่าไซน์เทอมแรกคือ $C_1 \sin(\omega t + \phi_1)$ ในกรณีของการสั่นสะเทือนจะเรียกว่า ฮาร์โมนิกมูลฐานของการเคลื่อนที่ (Fundamental or First Harmonic) หรือเรียกว่า ฮาร์โมนิกที่ 1 ค่าไซน์ในเทอมที่ 2 คือ $C_2 \sin(2\omega t + \phi_2)$ ตัวเลขที่นำหน้าความถี่มูลฐาน ω คือ 2 ดังนั้น ในเทอมนี้เรียกว่า ฮาร์โมนิกที่ 2 เป็นต้น

จากสมการฟูรีเยร์ ทำให้สามารถทราบถึงการสั่นสะเทือนของวัตถุ ซึ่งเคลื่อนที่เป็นสัญญาณอย่างไรก็ได้ โดยแยกสัญญาณนั้นออกเป็นอนุกรมของไซน์ โดยที่แต่ละเทอมของไซน์นั้นจะเรียกว่า ฮาร์โมนิก

พิจารณาการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย (Simple harmonic motion) การเคลื่อนที่แบบนี้ก็คือ การเคลื่อนที่ซึ่งแทนสมการในเทอมของไซน์เพียงเทอมเดียว หรือเพียงฮาร์โมนิกเดียว เช่น การเคลื่อนที่ของลูกตุ้ม (Pendulum) ดังสมการที่ 8

$$X = C \sin(\omega t + \phi_c) \quad (8)$$

- เมื่อ X คือ ช่วงกว้างของการสั่น (Displacement Amplitude)
 C คือ ค่าคงที่ใดๆ (Constant)
 ω คือ ความถี่เชิงมุม (Circular Frequency)
 t คือ เวลา เป็นวินาที (Second)
 ϕ คือ มุมเฟส หรือ Phase Angle

FFT คือเทคนิคการคำนวณทางคณิตศาสตร์แบบดิจิทัลของ Fourier ชาวฝรั่งเศส ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดการสั่นสะเทือน และจำนวนคลื่นความถี่ของชิ้นส่วนหมุนหรือเคลื่อนที่แต่ละชิ้นที่ประกอบรวมกันในเครื่องจักร

2.3.2 การจำแนกความถี่การสั่นสะเทือน

ยกตัวอย่างเกียร์มอเตอร์ของเครื่องจักรชนิดหนึ่ง มีส่วนประกอบของเครื่องจักรที่สำคัญ ได้แก่โรเตอร์ของมอเตอร์ขับ เฟืองเกียร์ครอบ และตลับลูกปืน เมื่อเครื่องจักรทำงาน ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะเกิดการหมุนเคลื่อนที่ เกิดแรงสั่นสะเทือนและจำนวนคลื่นความถี่ที่แตกต่างกัน เมื่อนำสัญญาณผ่านเข้าเครื่องวิเคราะห์สัญญาณทางดิจิทัลตามวิธีการของ FFT จะทำให้เห็นคลื่นความถี่การสั่นสะเทือนในลักษณะต่างๆ เช่น คลื่นเวลาการสั่นในแต่ละเวลา และความถี่สเปกตรัม ทำให้สามารถวิเคราะห์การสั่นสะเทือนผิดปกติของเครื่องจักรได้ว่า มีสาเหตุมาจากชิ้นส่วนใดของเครื่องจักร เช่น การไม่สมดุล ความเสียหายของแบร็งตลับลูกปืน หรือการขบกันของเฟืองเกียร์ เป็นต้น

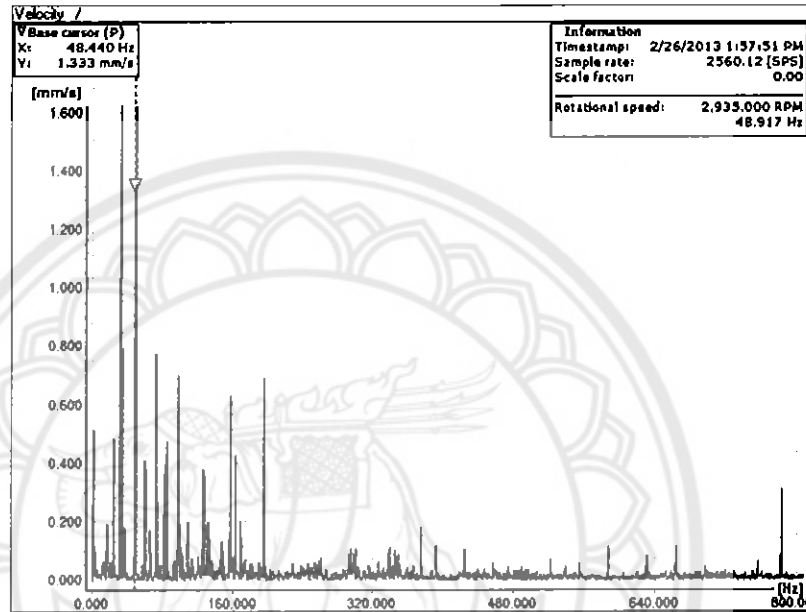
2.3.3 คลื่นเวลา และคลื่นความถี่สเปกตรัม

คลื่นเวลา เป็นการตรวจวัดการสั่นสะเทือนอย่างหนึ่ง โดยการตรวจดูลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดการสั่นในแต่ละเวลาในเวลาใดเวลาหนึ่ง สเปกตรัม เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดการสั่นกับจำนวนความถี่แต่ละตำแหน่ง โดยการจำแนกคำนวณนับสัญญาณคลื่นความถี่ที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องจักรจากคลื่นไซน์ สเปกตรัม ตามวิธีของ FFT



รูปที่ 2.9 แผนภาพการทำงานของเครื่องวิเคราะห์การสั่นสะเทือน เมื่อผ่านกระบวนการ FFT

โดยในปัจจุบันนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนแบบ FFT จะมีกระบวนการทางคณิตศาสตร์นี้อยู่เพื่อช่วยในการ แปลง wave form ไปเป็น spectrum

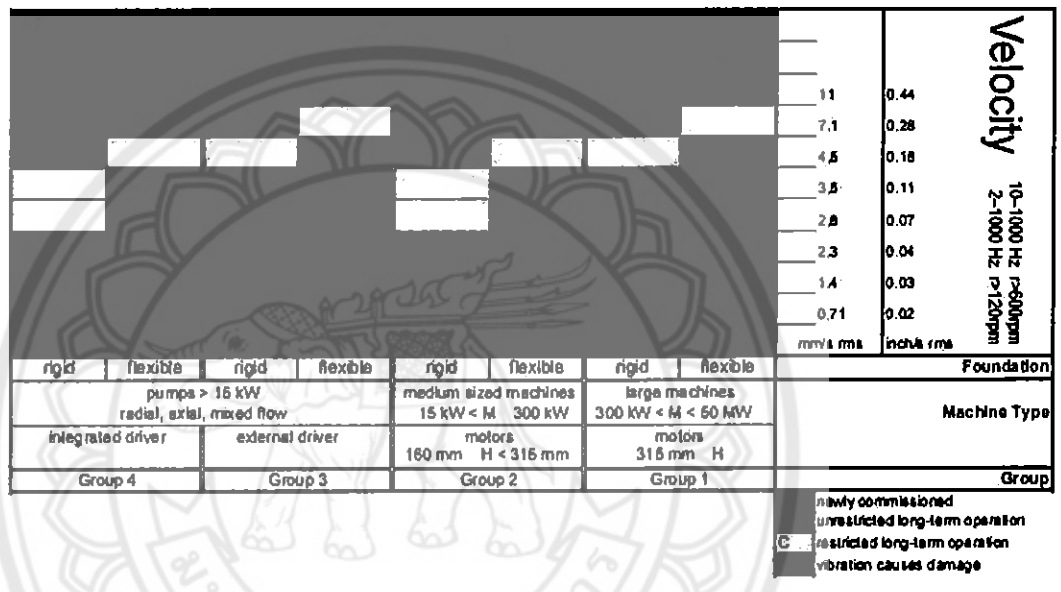


รูปที่ 2.10 ตัวอย่างสเปกตรัมจากมอเตอร์

2.4 มาตรฐาน ISO 10816

ค่าการสั่นสะเทือนที่ได้จากการวัดจะนำมาเปรียบเทียบกับ ค่ามาตรฐานการสั่นสะเทือนของ เครื่องจักร ISO 10816 ซึ่งในมอเตอร์ต้นกำลังของปั้มน้ำที่ได้ทำการวัดมีขนาดไม่เกิน 15 kW จะสามารถเปรียบเทียบได้ตามรูปที่ 2.8

Velocity threshold values ISO 10816-3



รูปที่ 2.11 ตารางเปรียบเทียบขนาดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ISO 10816

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นแรกทำการตั้งค่าและตำแหน่งในการตรวจสอบความสั่นสะเทือนจากคอมพิวเตอร์ลงในเครื่อง Detector III โดยผ่านโปรแกรม Trendline เพื่อตรวจสอบความสั่นสะเทือนตามตำแหน่งที่ได้ตั้งค่าไว้ ดังนี้

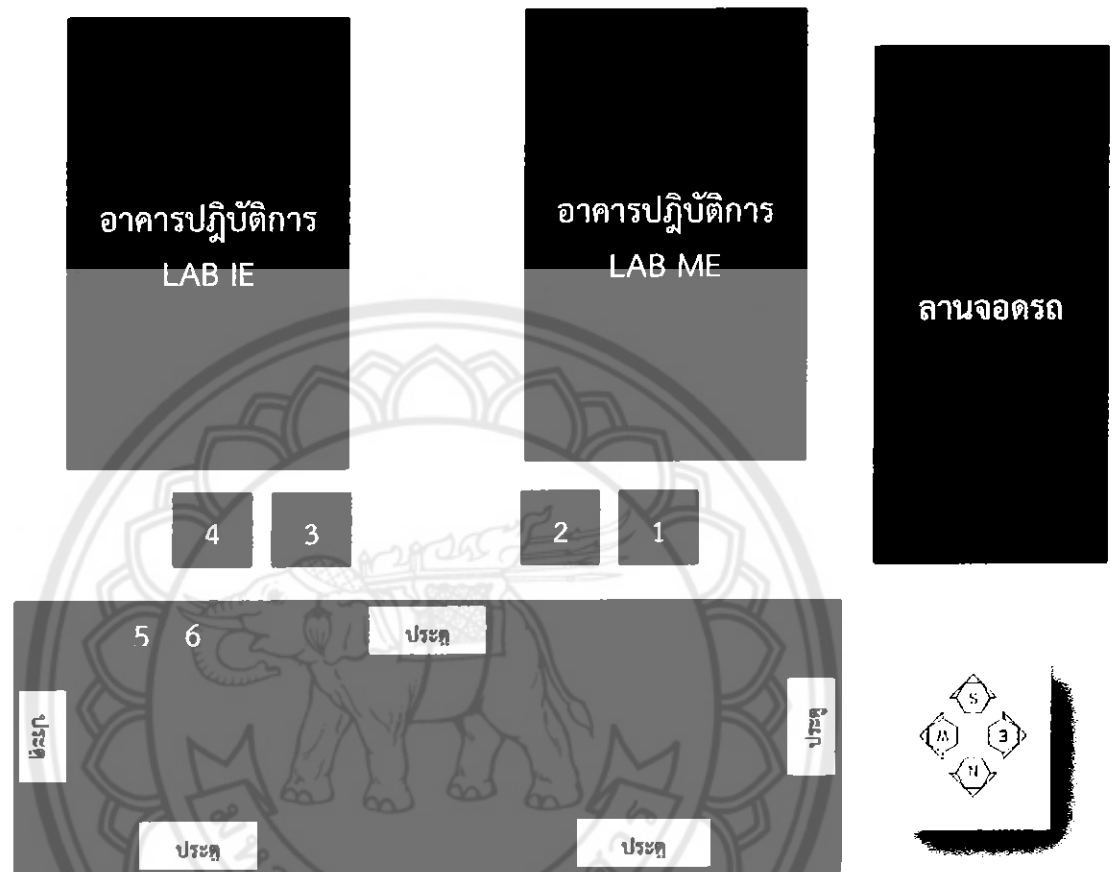
3.1 ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน





รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งการติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือน

- 3.1.1 จุดที่ 1 ด้านตรงข้ามเพลลาขับเคลื่อนตั้งที่มอเตอร์ (NDE-V)
- 3.1.2 จุดที่ 2 ด้านตรงข้ามเพลลาขับเคลื่อนนอนที่มอเตอร์ (NDE-H)
- 3.1.3 จุดที่ 3 ด้านเพลลาขับเคลื่อนตั้งที่มอเตอร์ (DE-V)
- 3.1.4 จุดที่ 4 ด้านเพลลาขับเคลื่อนนอนที่มอเตอร์ (DE-H)
- 3.1.5 จุดที่ 5 ด้านเพลลาขับเคลื่อนตั้งที่ปั๊มน้ำ (DE-V)
- 3.1.6 จุดที่ 6 ด้านเพลลาขับเคลื่อนนอนที่ปั๊มน้ำ (DE-H)

3.2 ตำแหน่งของเครื่องจักรที่ทำการวัดค่าสั่นสะเทือน



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งของเครื่องจักรที่ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือน

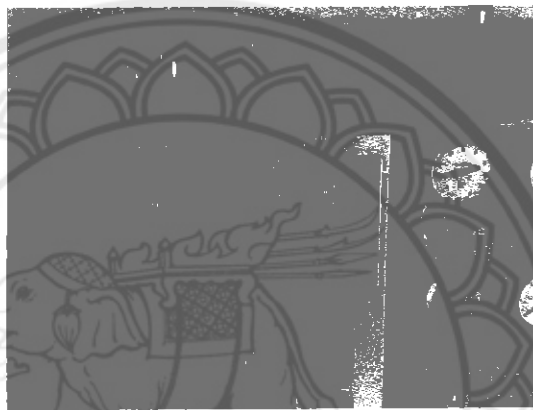
- หมายเหตุ
-  คือ ชุดมอเตอร์ขับปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ-Chiller
 -  คือ ชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาล

3.3 ขั้นตอนการวัดค่าการสั่นสะเทือนเพื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎี

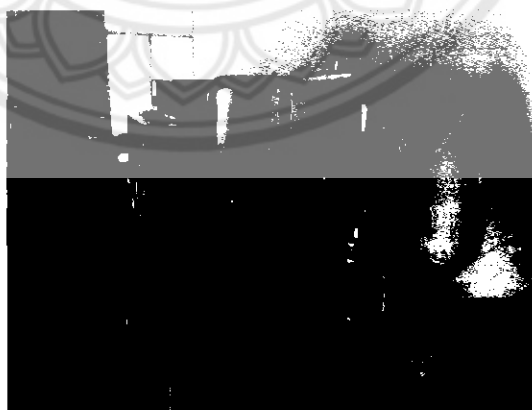
3.3.1 วัดชุดทดลองปั้มน้ำ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

(เลขครุภัณฑ์ 4320-006-015 งบม.2540) นำเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับทฤษฎีและวัดค่าสั่นสะเทือน

โดยจะทำการวัดปั้มน้ำ 2 ชุด ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm และต้องตั้งความเร็วรอบของเครื่อง Detector III ให้ตรงกับความเร็วรอบของเครื่องจักรที่วัดด้วย

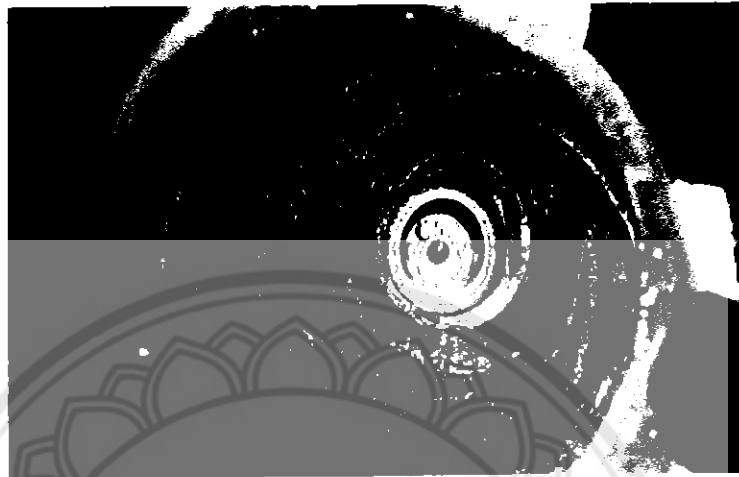


รูปที่ 3.3 ตั้งความเร็วรอบของปั้มน้ำทั้ง 2 ที่ 1200 rpm



รูปที่ 3.4 เริ่มทำการวัดค่าการสั่นสะเทือน

3.3.2 ถอดปั้มน้ำเพื่อนับจำนวนใบพัดมาเปรียบเทียบกับผลการวัดว่าตรงกันหรือไม่



รูปที่ 3.5 ใบพัดของชุดทดลองปั้มน้ำ

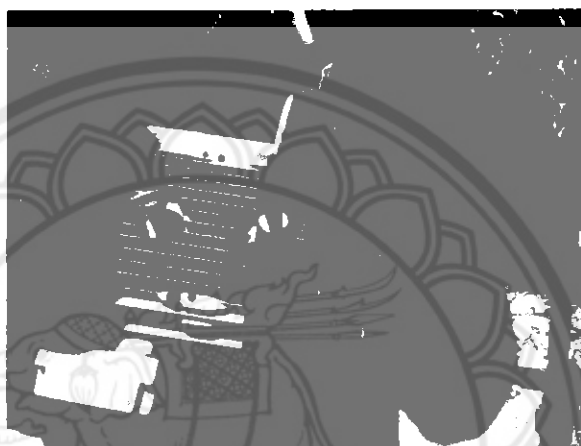


รูปที่ 3.6 ฐานวางปั้มน้ำทั้ง 2 ชุด

3.4 ขั้นตอนการตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือนกับปั้มน้ำจริง

3.4.1 วัดที่มอเตอร์ขับเคลื่อนปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller ทำงานที่ความเร็วรอบ 1450 rpm

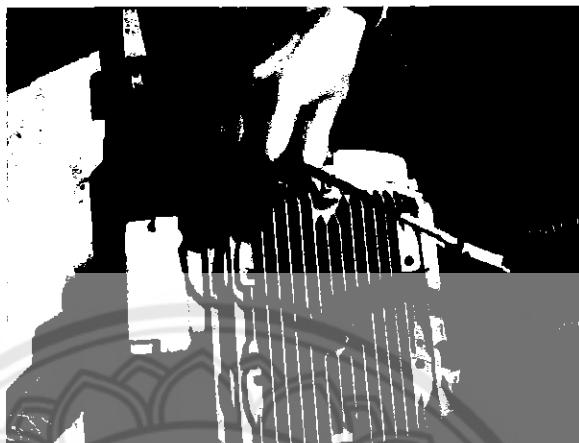
ก. ที่ส่วน Motor จะวัดเป็นจุดๆ โดยจะแบ่งเป็น NDE-H ,NDE-V, DE-H, DE-V



รูปที่ 3.7 วัดที่ตำแหน่ง NDE-V



รูปที่ 3.8 วัดที่ตำแหน่ง NDE-H

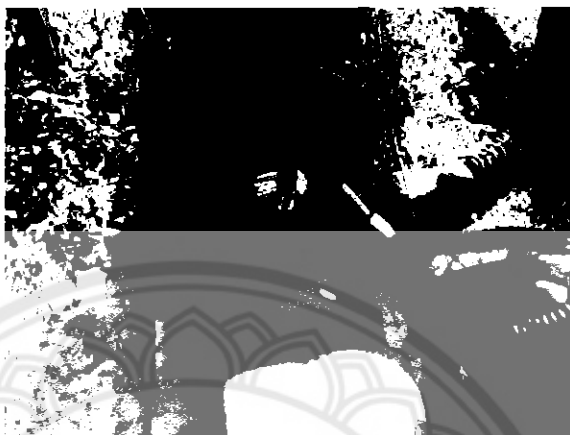


รูปที่ 3.9 วัดที่ตำแหน่ง DE-V



รูปที่ 3.10 วัดที่ตำแหน่ง DE-H

3.4.2 ที่ส่วน Pump จะแบ่งวัด 2 จุด คือ DE-H, DE-V



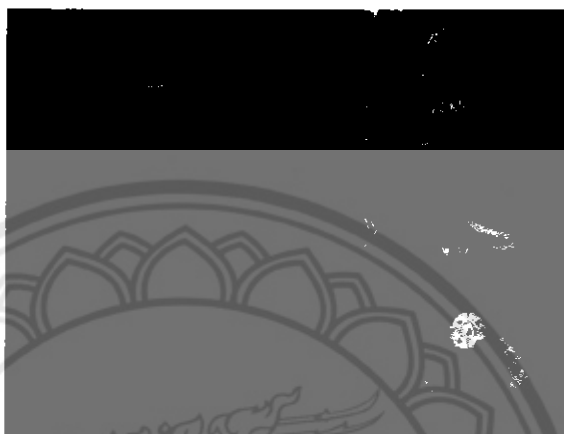
รูปที่ 3.11 วัดบ่ิมที่จุด DE-H



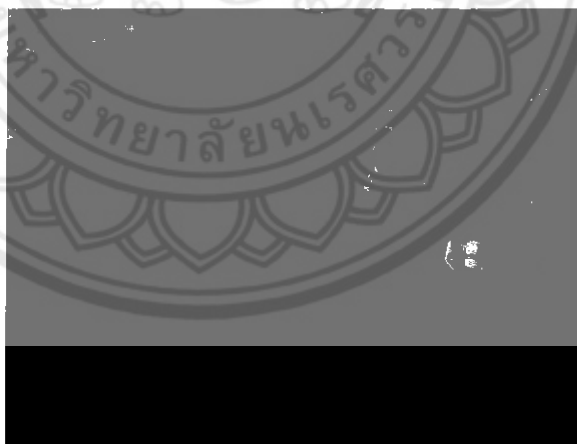
รูปที่ 3.12 วัดที่จุด DE-V

3.4.3 วัดป้อน้ำสุขาภิบาลภายในตึก ME ทำงานที่ความเร็วรอบ 2935 rpm

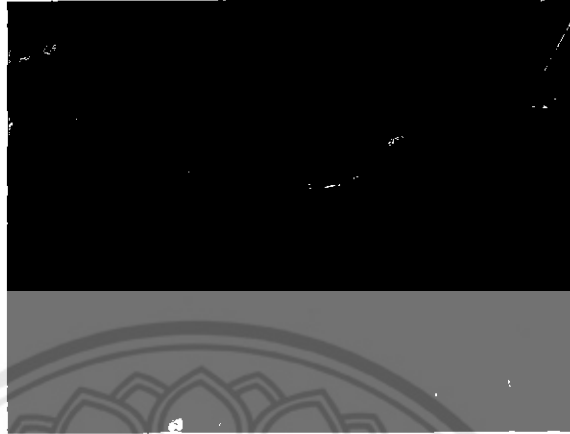
ก. ส่วน Motor จะแบ่งการวัดเป็น 4 จุดคือ NDE-H, NDE-V, DE-H, DE-V



รูปที่ 3.13 วัดที่ตำแหน่ง NDE-H



รูปที่ 3.14 วัดที่ตำแหน่ง NDE-V

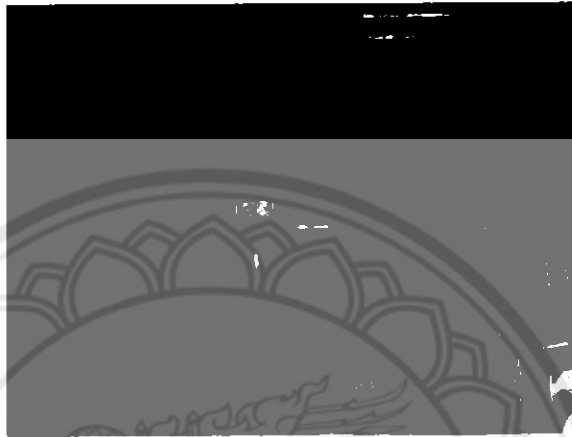


รูปที่ 3.15 วัดที่ตำแหน่ง DE-H

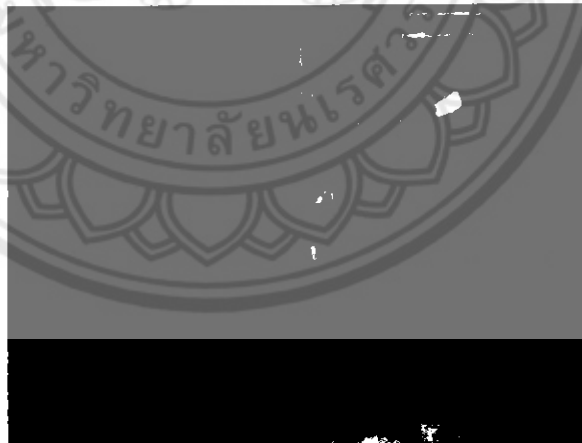


รูปที่ 3.16 วัดที่ตำแหน่ง DE-V

ข. ส่วน Coupling ป้อนน้ำจะแบ่งการวัดเป็น 4จุด คือ Belt-H ,Belt-V, -
DE-H ,DE-V



รูปที่ 3.17 วัดที่ตำแหน่ง Belt-H



รูปที่ 3.18 วัดที่ตำแหน่ง Belt-V



รูปที่ 3.19 วัดที่ตำแหน่ง DE-H

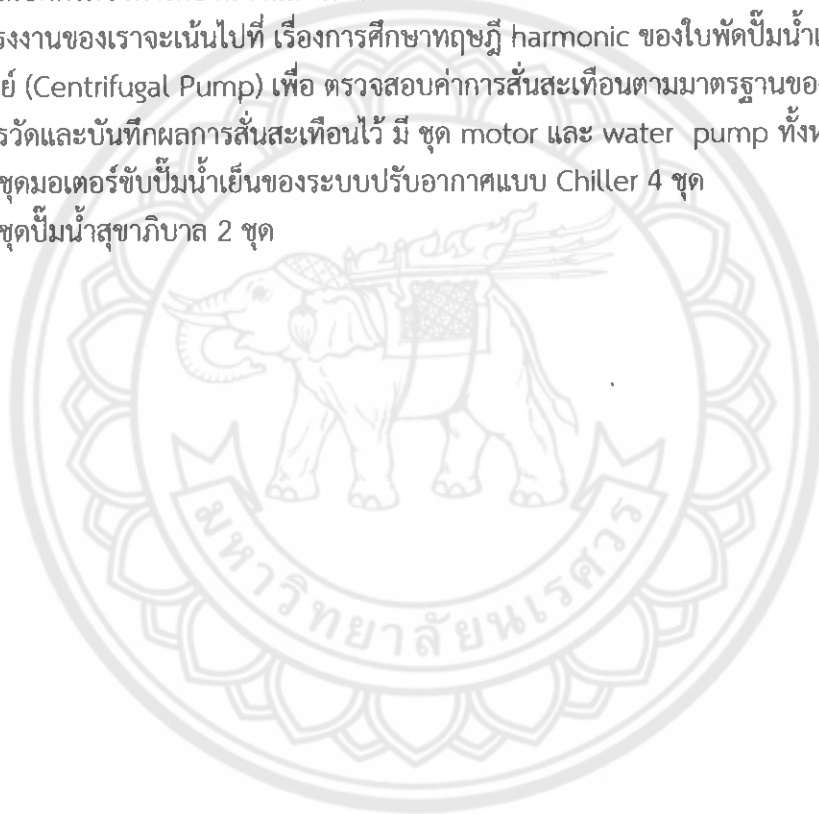


รูปที่ 3.20 วัดที่ตำแหน่ง DE-V

บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

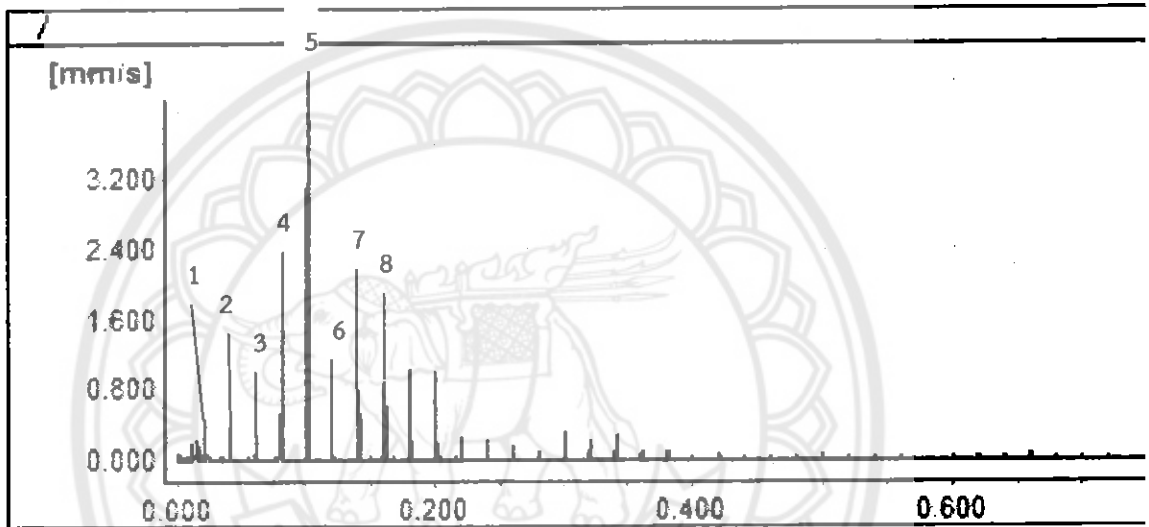
จากการวัดค่าความสั่นสะเทือนของ motor และ pump น้ำทั้ง 6 ชุด โดยเครื่องวัดความสั่นสะเทือน Detector III ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยน wave form ที่ได้จากการวัด ผ่าน FFT ออกมาเป็นค่าสเปคตรัมซึ่งทำให้อ่านค่าและวิเคราะห์ความผิดปกติได้ง่ายขึ้นผ่านโปรแกรม Trendline โดยในโครงการของเราจะเน้นไปที่ เรื่องการศึกษาทฤษฎี harmonic ของใบพัดปั้มน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Pump) เพื่อ ตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือนตามมาตรฐานของ ISO 10816 และทำการวัดและบันทึกผลการสั่นสะเทือนไว้ มี ชุด motor และ water pump ทั้งหมด 6 ชุด คือ

1. ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller 4 ชุด
2. ชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล 2 ชุด

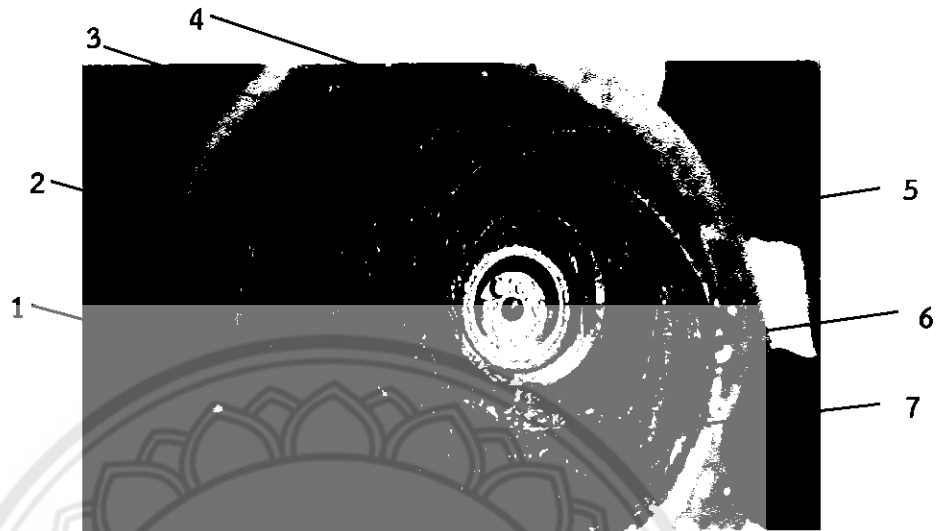


4.1 การวิเคราะห์สเปกตรัมของ ชุดทดลองปั้มน้ำ

มอเตอร์ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ซึ่งค่าที่ออกมาจากสเปกตรัมจะเป็นการเทียบระหว่าง ความเร็วของการสั่นสะเทือน mm/s (แกน Y) เทียบกับ ความถี่รอบต่อวินาที Hz (แกน X) ซึ่งจะพบว่าเกิดปรากฏการณ์ harmonic ทุกๆ $\frac{rpm}{60} = \frac{1200}{60} = 20Hz$ ดังนั้นจะเกิด harmonic จากใบพัดทุกๆ $20 Hz$ โดยประมาณ



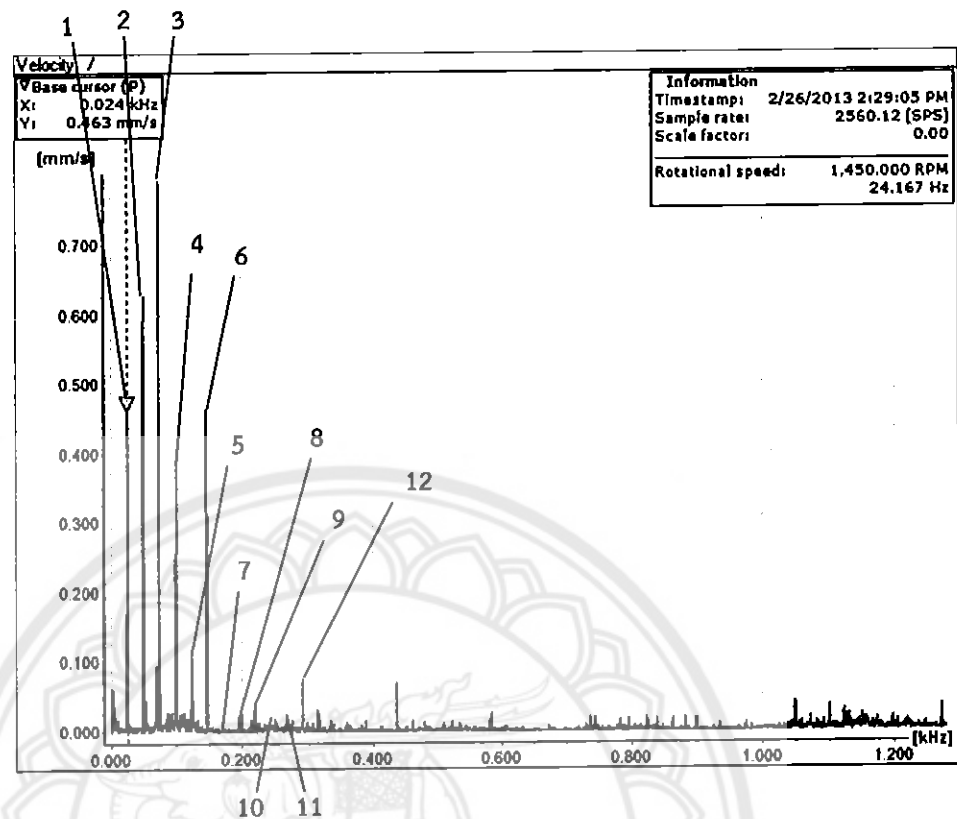
จากรูปที่ 4.1 สเปกตรัมจะเกิด harmonic จากใบพัดทุกๆ $20 Hz$ จะเห็นได้ว่า harmonic ที่ $6 \times 20 Hz = 120 Hz$ เริ่มหายไป ทำให้เราสามารถประมาณใบพัดจากการเกิด harmonic ของใบพัดได้เมื่อสเปกตรัมเริ่มมีค่าต่ำลงจนแทบจะเป็น $0 mm/s$ และในช่วงหลัง $8 \times 20 Hz = 160 Hz$ เป็นต้นไปจะเป็นช่วงเริ่ม harmonic ที่ 1 ใหม่ของชุดใบพัดทำให้เราสามารถประมาณใบพัดของปั้มน้ำนี้ได้ประมาณ 7 ใบพัด



รูปที่ 4.2 ใบพัดของชุดทดลองปั้มน้ำ

4.2 การวิเคราะห์สเปกตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller

ใช้มอเตอร์ความเร็วรอบ 1450 รอบต่อนาที ซึ่งค่าที่ออกมาจากสเปกตรัมจะเป็นการเทียบระหว่าง ความเร็วของการสั่นสะเทือน $\frac{mm}{s}$ (แกน Y) เทียบกับ ความถี่รอบต่อวินาที Hz (แกน X) ซึ่งจะพบว่าเกิดปรากฏการณ์ harmonic ทุกๆ $\frac{rpm}{60} = \frac{1470}{60} = 24Hz$ ดังนั้นจะเกิด harmonic จากใบพัดทุกๆ $24 Hz$ โดยประมาณ



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller

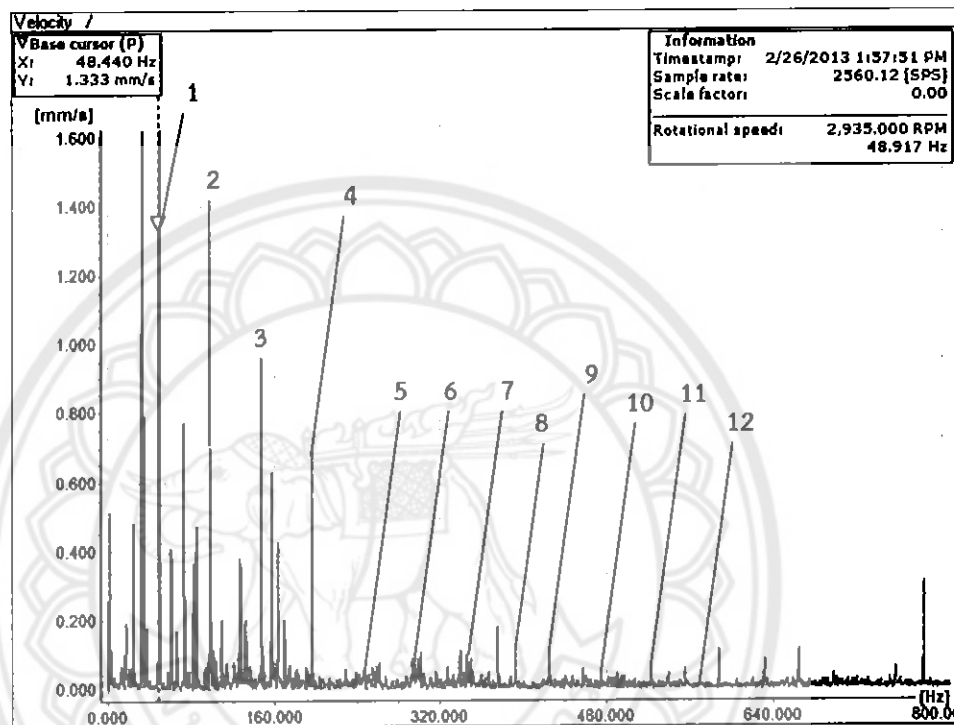
หมายเหตุ จากรูปที่ 4.3 ขยาย scale แกน y เพื่อดู harmonic ไบพัด พบว่ามีความถี่ harmonic ของไบพัดเกิดขึ้นตลอดช่วงความถี่ทั้งหมด จะพบว่าจะมีสเปกตรัมอื่นๆเข้ามาพร้อมกับเนื่องจากเป็น ปั๊มที่ใช้งานจริงจัง อาจจะมีการสีกหรือ การหลวมคลอนของอุปกรณ์ยึด และมีการเกิดควาเวตชันด้วย

จากรูปที่ 4.3 สเปกตรัมจะเกิด harmonic จากไบพัดทุกๆ 24 HZ จะเห็นได้ว่า harmonic ที่ $10 \times 24 \text{ Hz} = 240 \text{ Hz}$ เริ่มหายไป ทำให้เราสามารถประมาณไบพัดจากการเกิด harmonic ของ ไบพัดได้เมื่อสเปกตรัมเริ่มมีค่าต่ำลงจนแทบจะเป็น 0 mm/s และในช่วงหลัง $10 \times 24 \text{ Hz} = 240 \text{ Hz}$ เป็นต้นไปจะเป็นช่วงเริ่ม harmonic ที่ 1 ใหม่ของชุดไบพัดทำให้เราสามารถประมาณไบพัดของปั๊มน้ำนี้ได้ประมาณ 8 ไบพัด

4.3 การวิเคราะห์สเปกตรัมของ ชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล

ซึ่งใช้ความเร็วรอบ 2935 รอบต่อนาที จาก $\frac{rpm}{60} = \frac{2935}{60} = 48.917Hz$ ดังนั้นจะเกิด

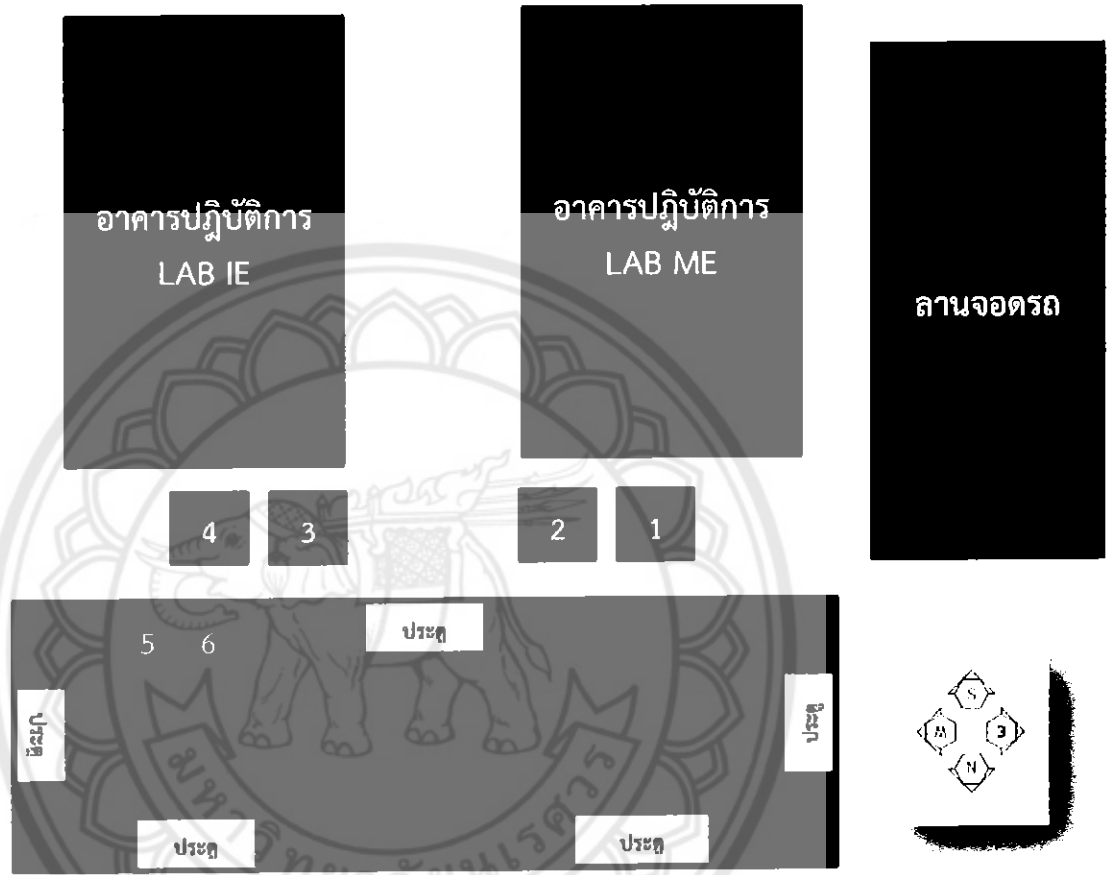
harmonic จากใบพัดทุกๆ $48.917Hz$ โดยประมาณ





รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของ ชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล

หมายเหตุ จากรูปที่ 4.4 ขยาย scale แกน y เพื่อดู harmonic ใบพัด พบว่ามีความถี่ harmonic ของใบพัดเกิดขึ้นตลอดช่วงความถี่ทั้งหมด จะพบว่าจะมีสเปกตรัมอื่นๆเข้ามาพร้อมด้วยเนื่องจากเป็น ปั้มน้ำที่ใช้งานจริงจึง อาจจะมีการสีกหรือ การหลวมคลอนของอุปกรณ์ยึด และมีการเกิดควาวิตชั่นด้วย จากรูป 4.4 จะเห็นได้ว่าจะมี harmonic ของใบพัดทุกๆ $48.917Hz$ เราสามารถประมาณจำนวน ใบพัดของปั้มน้ำได้จาก harmonic ของใบพัด โดยสังเกตว่าช่วง harmonic ที่ $12 \times 48.917Hz = 587Hz$ harmonic จะเริ่มหายไปและขึ้นมาใหม่อีกครั้งที่ ช่วง harmonic $13 \times 48.917Hz = 635.921Hz$ จากข้อสังเกตนี้ทำให้เราพบว่าเมื่อ harmonic เริ่มหายไปเป็น สัญญาณบอกกว่ามีการ harmonic ครบชุดใบพัดนั้นแล้ว และจะขึ้นมาใหม่เป็นการวนตั้งแต่ harmonic ที่ 1 ของใบพัดต่อไปเรื่อยๆ ดังนั้นเราจะมาสารณประมาณใบพัดของปั้มน้ำนี้ได้ ประมาณ 12 ใบพัด

4.4 การตรวจสอบมาตรฐานการสิ้นสะท้อน ISO 10816



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งของเครื่องจักรที่ทำการวัดค่าการสิ้นสะท้อน

- หมายเหตุ
-  คือ ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller
 -  คือ ชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาล

4.4.1 ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller ชุดที่ 1
 มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วรอบ 1450 rpm ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ
 แบบ Chiller ชุดที่ 1 มีระดับการสั่นสะเทือนที่ไม่เกินมาตรฐาน ISO 10816 ทุกจุด

4.4.2 ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller ชุดที่ 3
 มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วรอบ 1450 rpm ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ
 แบบ Chiller ชุดที่ 3 มีระดับการสั่นสะเทือนที่เกินมาตรฐาน ISO 10816 ทั้งหมด 1 จุดจาก 6 จุด ดัง
 ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขนาดของการสั่นสะเทือนแต่ละตำแหน่ง ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ
 แบบ Chiller ชุดที่ 3

Plant	Motor&Pump	ตำแหน่ง	แกน	ผลการวัด
Chiller Pump 3	Motor 3	DE	แกนตั้ง	ค่าการสั่นสะเทือน 4.59 mm/s มีขนาดการ สั่นสะเทือนมากกว่าค่ามาตรฐานเล็กน้อย แต่ยัง อยู่ในค่าที่ยอมรับได้

จากการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller
 ทั้งหมดซึ่งมีอยู่ 4 ชุด ซึ่งจุดประสงค์ที่ติดตั้งไว้ถึง 4 ชุด ซึ่งจะแบ่งโซนทำของเป็นโซนละ 2 ชุด คือ ชุด
 ที่ 1 และชุดที่ 2 รับภาระเครื่องอาคารโซน ME และชุดที่ 3 และชุดที่ 4 รับภาระอีกเครื่องอาคารโซน IE
 โดยแต่ละโซนจะมีชุดสำรองโซนละ 1 ชุด และจากการของเปิดใช้งานเครื่องก็พบว่าสามารถทำงานได้
 จริงเพียง 2 ชุดเท่านั้น คือชุดที่ 1 และชุดที่ 3 ซึ่งชุดที่ 2 และชุดที่ 4 เกิดความเสียหายไม่สามารถ
 เดินเครื่องได้ นั่นก็หมายความว่าแต่ละโซนสามารถใช้งานจริงได้เพียง 1 ชุดเท่านั้นถ้าหากเกิด
 เหตุขัดข้องกับชุดที่สามารถใช้งานได้ ของโซนใดโซนหนึ่ง หรือทั้ง 2 โซน ระบบทำความเย็นจะหยุด
 ทำงานในโซนโซนนั้นทันที และจากการตรวจวัดความสั่นสะเทือนในชุดที่ 1 พบว่ามีขนาดการ
 สั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ISO 10816 ยังสามารถทำงานได้เป็นปกติ แต่ชุดที่ 3 พบ 1 จุดที่มี
 ขนาดการสั่นสะเทือนมากกว่าค่ามาตรฐาน ISO 10816 เล็กน้อยแต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่
 ควรเฝ้าระวังตรวจเช็คความผิดปกติเป็นระยะ

4.4.3 ชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาลชุดที่ 1

มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วรอบ 2935 rpm ชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาล มีระดับการสั่นสะเทือนที่เกินมาตรฐาน ISO 10816 ทั้งหมด 7 จุดจาก 8 จุดดังตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.2 ขนาดของการสั่นสะเทือนแต่ละตำแหน่ง ชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาลชุดที่ 1

Plant	Motor&Pump	ตำแหน่ง	แกน	ผลการวัด
Water Pump 1	Motor 5	NDE	แกน นอน	มีค่าการสั่นสะเทือน 10.84 mm/s ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานมาก
Water Pump 1	Motor 5	NDE	แกนตั้ง	มีค่าการสั่นสะเทือน 8.42 mm/s ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานมาก
Water Pump 1	Motor 5	DE	แกน นอน	มีค่าการสั่นสะเทือน 10.86 mm/s ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานมาก
Water Pump 1	Motor 5	DE	แกนตั้ง	มีค่าการสั่นสะเทือน 11.28 mm/s ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานมาก
Water Pump 1	Pump 5	Belt-H	แกน นอน	มีค่าการสั่นสะเทือน 7.01 mm/s ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานมาก
Water Pump 1	Pump 5	Belt-V	แกนตั้ง	มีค่าการสั่นสะเทือน 10.10 mm/s ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานมาก
Water Pump 1	Pump 5	DE-V	แกนตั้ง	มีค่าการสั่นสะเทือน 7.01 mm/s ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานมาก

จากการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาล ซึ่งมีทั้งหมด 2 ชุด แต่ใช้ได้เพียงชุดเดียวคือ ชุดที่ 1 และเมื่อตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนพบว่าเกือบทุกจุดมีการสั่นสะเทือนสูงกว่า มาตรฐานการสั่นสะเทือน ISO 10816 มาก ชุดแบร์ริงเกือบทั้งหมดมีการสึกหรอ ถ้ายังไม่มีการซ่อมบำรุงโดยเร็ว อาจส่งผลกระทบคือ น้ำทั้งอาคารไม่ไหล และชุดอุปกรณ์ภายในมอเตอร์เกิดความเสียหายอย่างถาวร

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การตรวจสอบชุดปฏิบัติการปั๊มซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎี harmonic ของใบพัดปั๊มน้ำ

ซึ่งการเปรียบเทียบนี้จะนับ harmonic ที่เกิดขึ้น โดย harmonic ของใบพัดจะเกิดขึ้นในจำนวนเท่าของความถี่ที่เท่าๆกัน ซึ่งผลจากการนับ harmonic ของใบพัดที่บันทึกค่ามาได้ ตรงกับจำนวนใบพัดจริง แสดงว่าการนับ harmonic ของใบพัดที่ได้จากการตรวจสอบเป็นไปตามทฤษฎี

5.1.2 เพื่อศึกษาการใช้เครื่อง detector III และโปรแกรมวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน Trendline

เราได้ทำการวัดปั๊มที่ใช้งานจริงซึ่งสามารถตรวจสอบความผิดปกติของปั๊มได้โดยเครื่อง Detector III จะเป็นตัววัดค่า และนำมาแปลผลให้เป็นรูปของกราฟโดยใช้โปรแกรม Trendline ซึ่งการตรวจสอบนี้ จะอ้างอิงตาม ISO 10816 ผลที่ได้สามารถบอกได้ว่าปั๊มตัวไหนมีความผิดปกติ จากการตรวจสอบปั๊มทั้ง 6 ชุด ได้ผลดังนี้

ก. ชุดมอเตอร์ขับปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller ชุดที่ 1 ไม่ตรวจพบความผิดปกติจากการสั่นสะเทือนที่เกินกว่าค่ามาตรฐาน ISO 10816

ข. ชุดมอเตอร์ขับปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller ชุดที่ 2 เสียหาย ไม่ได้ทำการตรวจวัดค่าการสั่นสะเทือน

ค. ชุดมอเตอร์ขับปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller ชุดที่ 3 ตรวจพบความผิดปกติจากการสั่นสะเทือนที่เกินกว่าค่ามาตรฐาน ISO 10816 ทั้งหมด 1 จุด จาก 6 จุดที่ตรวจวัด แต่ยังไม่รุนแรงมากให้มีการตรวจเช็คเป็นระยะๆ

ง. ชุดมอเตอร์ขับปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller ชุดที่ 4 เสียหาย ไม่ได้ทำการตรวจวัดค่าการสั่นสะเทือน

จ. ชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาลชุดที่ 1

ตรวจพบความผิดปกติจากการสั่นสะเทือนเกินกว่าค่ามาตรฐาน ISO 10816 เป็นอย่างมากทั้งหมด 7 จุด จาก 8 จุดที่ตรวจวัด ชุดแบริ่งและอุปกรณ์ภายในเริ่มเกิดความเสียหายแล้ว ควรส่งทีมซ่อมบำรุงเข้าไปทำการซ่อมแซมโดยเร็วเพราะหากถ้าเกิดความเสียหายจนไม่สามารถเดินเครื่องได้น้ำทั้งอาคารก็จะไม่มีไหล

ฉ. ชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาลชุดที่ 2 เสียหายไม่ได้ทำการตรวจวัดค่าการสั่นสะเทือน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller 1 และ 3

ควรมีการบำรุงรักษาและทำความสะอาดบริเวณรอบๆ เครื่องจักร เพื่อที่จะได้ลดปัจจัยที่มีโอกาสทำให้เกิดความเสียหายในเครื่องจักร เช่น หนู งู และแมลง ต่างๆ อาจจะมาทำลายอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ จนก่อให้เกิดความเสียหายตามมาได้

5.2.2 ชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาล

มีค่าการสั่นสะเทือนเกินกว่าค่ามาตรฐาน ISO 10816 ซึ่งอาจเกิดได้ หลายปัจจัย เช่น ฐานรองชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาลติดตั้งไม่ได้มาตรฐาน หรือมีการการเสื่อมสภาพและการสึกหรอของตัวฐาน การหลวมคลอนของชิ้นส่วนต่างๆ จึงควรมีการตรวจสอบซ่อมบำรุงเป็นการด่วนเพราะอาจจะทำให้ชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาลเกิดความเสียหายในชิ้นส่วนอุปกรณ์ภายในที่สำคัญ



เอกสารอ้างอิง

- [1] Glenn D. White; Introduction to Machine Vibration; DLI Engineering Corporation; 1998
- [2] Advanced Spectral Analysis; PdMA Corporation
- [3] Don Taft; Vibration Problems Associated with Two Pole, Alternating Current Motors; Plant Superintendent R.A. Reed Electric Co. Los Angeles, California
- [4] S.V. Bowers, and K.R. Piety; Proactive Motor Monitoring Through Temperature, Shaft Current and Magnetic Flux Measurements; Computational Systems, Incorporated
- [5] A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans; ELECTRIC MACHINERY Fifth Edition; McGraw-Hill; 1992
- [6] Stewart V. Bowers, Ph.D.; The State of Flux; Computational Systems, Incorporated
- [7] Stewart V. Bowers, Ph.D.; Flux Technology Overview; Computational Systems, Incorporated
- [8] David Kowal; Proactive Maintenance Strategy for Electrically Induced Bearing Damage; Computational Systems, Inc.
<http://www.vcharkarn.com/vblog/32721/1/30#P2> สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2555
- [9] ก่อเกียรติ บุญชูกุล, สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ. (2540). การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน การเฝ้าตรวจและการจัดการการบำรุงรักษา. ส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).
- [10] หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ. (2550). การตรวจสอบเครื่องจักรกลจากค่าความสั่นสะเทือน วารสาร: Mechanical Technology Magazine ฉบับที่ 6 เล่มที่ 69 หน้า 80-83
- [11] Eshleman L. Ronald (2005). Basic Machinery Vibration. United States of America: Clarendon Hills.
http://www.tgipmt.com/en/articles/vibration/33/basic_vibration_analysis_for_condition-based_monitoring สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2555
- [12] เทคนิคการวัดความสั่นสะเทือนและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน เพื่องานบำรุงรักษา (วินัย เวชวิทยาขลัง)
- [13] http://www.ie.psu.ac.th/student_performance/Bearing/index2.html สืบค้นเมื่อ 28 มีนาคม 2556
- [14] <http://www.sasasia.net/customize-%E0%B8%95%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%90%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%81>

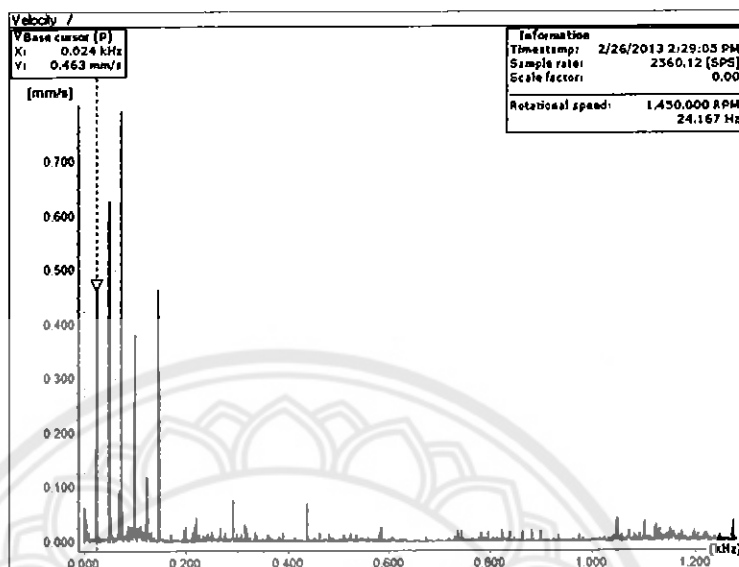
[%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%99\(ISO108163\)-12018-1.html](#) สืบค้นเมื่อ 28 มีนาคม 2556

[15] TABLE I ILLUSTRATED VIBRATION DIAGNOSTIC CHART [Schaeffler \(Thailand\) Co., Ltd.](#)

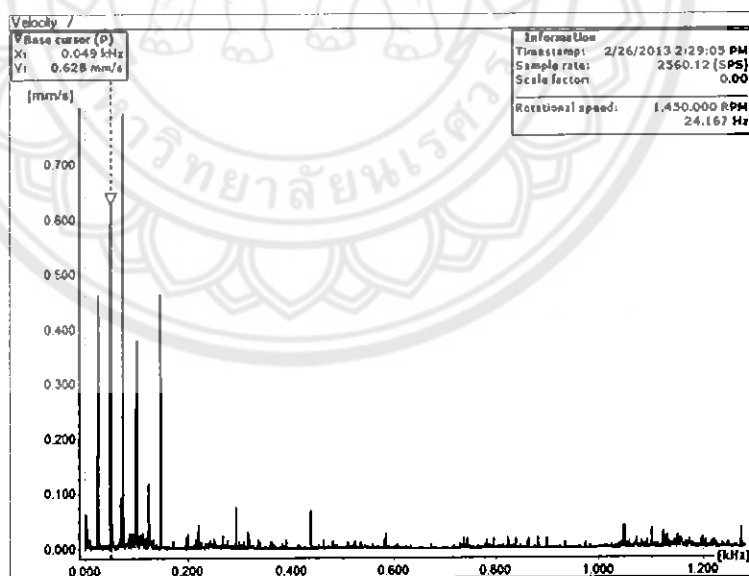


ภาคผนวก ก

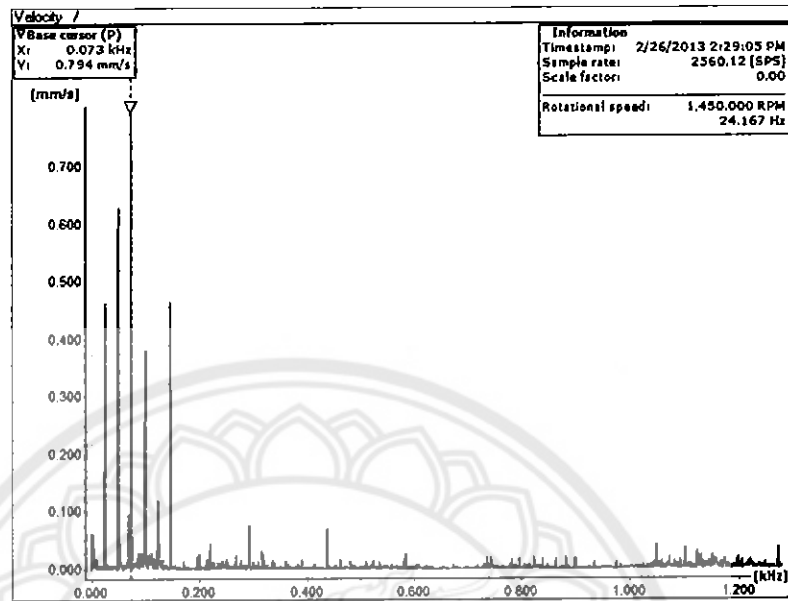




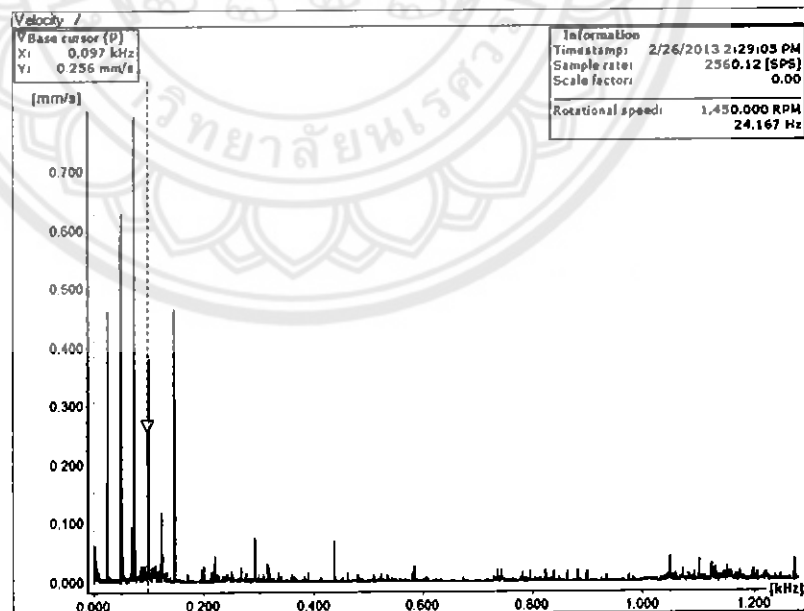
รูปที่ 6.1 สเปกตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller



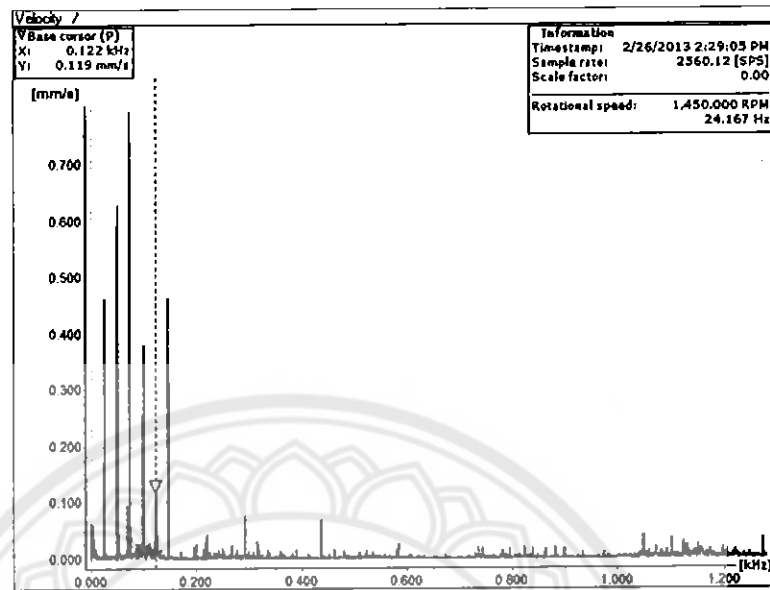
รูปที่ 6.2 สเปกตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller



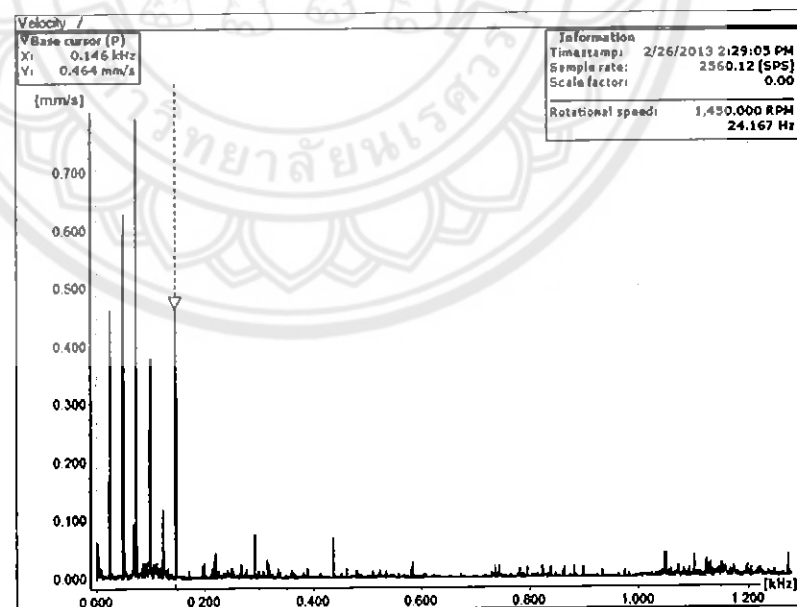
รูปที่ 6.3 สเปกตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller



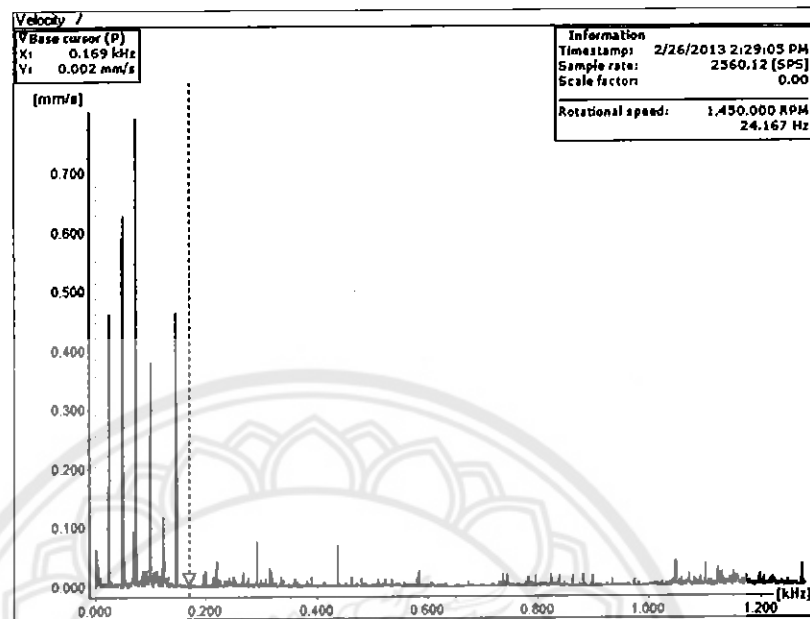
รูปที่ 6.4 สเปกตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller



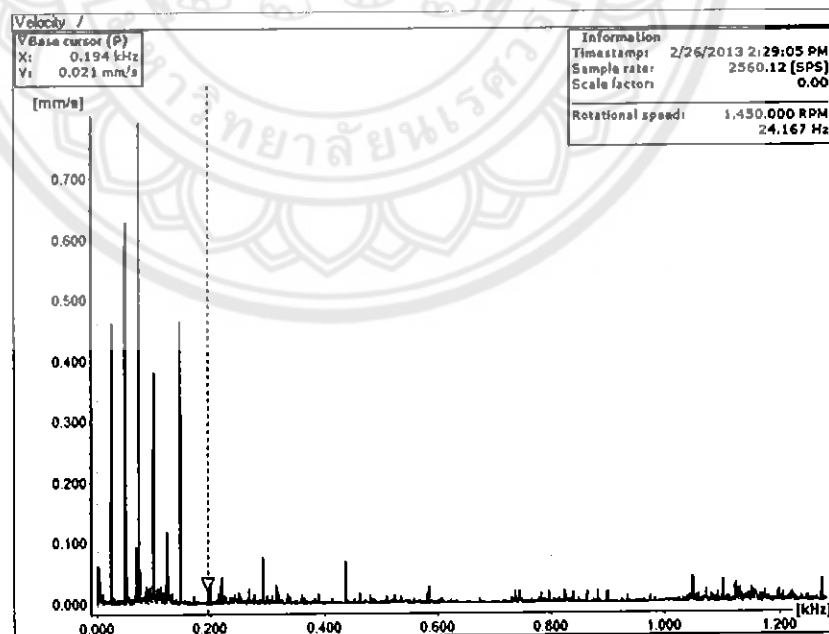
รูปที่ 6.5 สเปกตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller



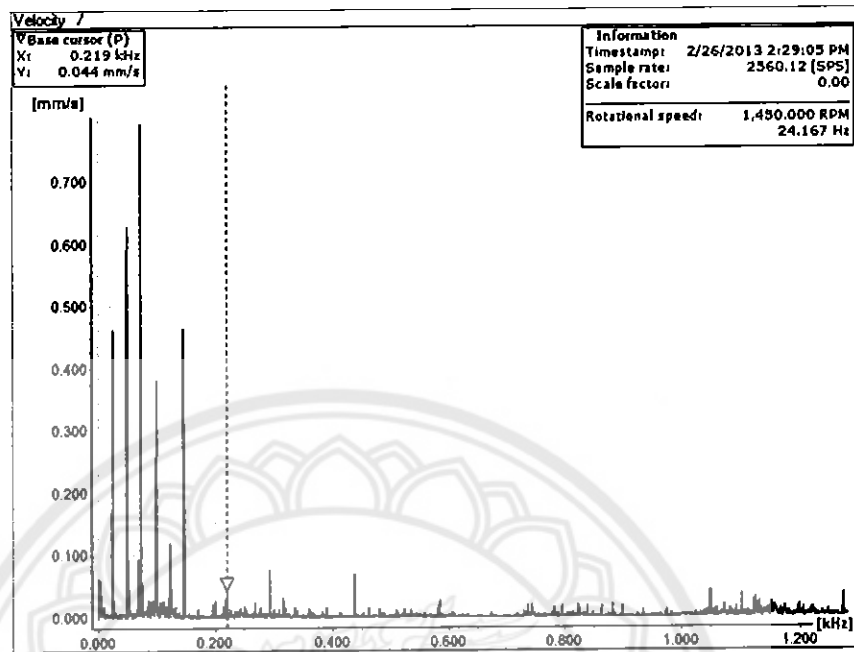
รูปที่ 6.6 สเปกตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller



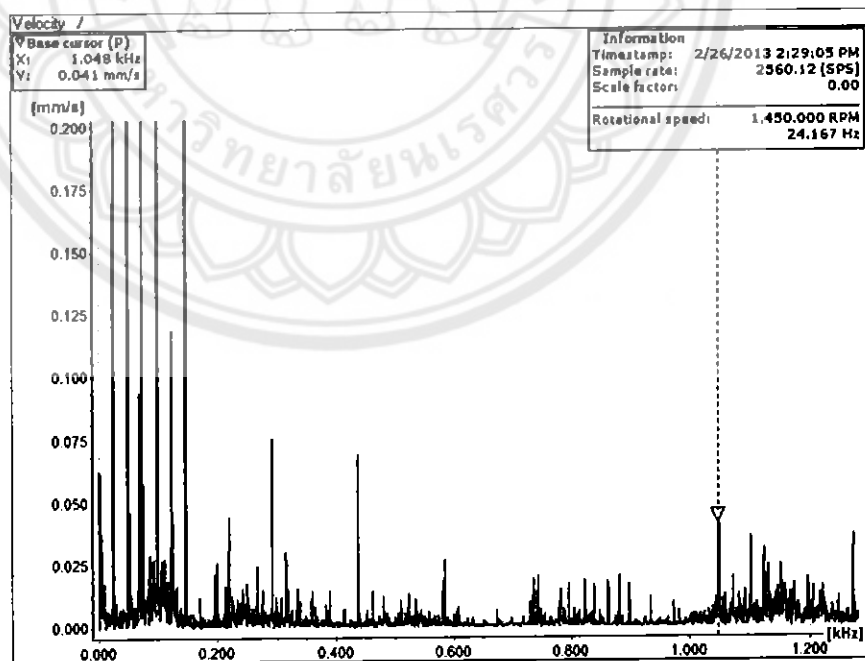
รูปที่ 6.7 สเปกตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller



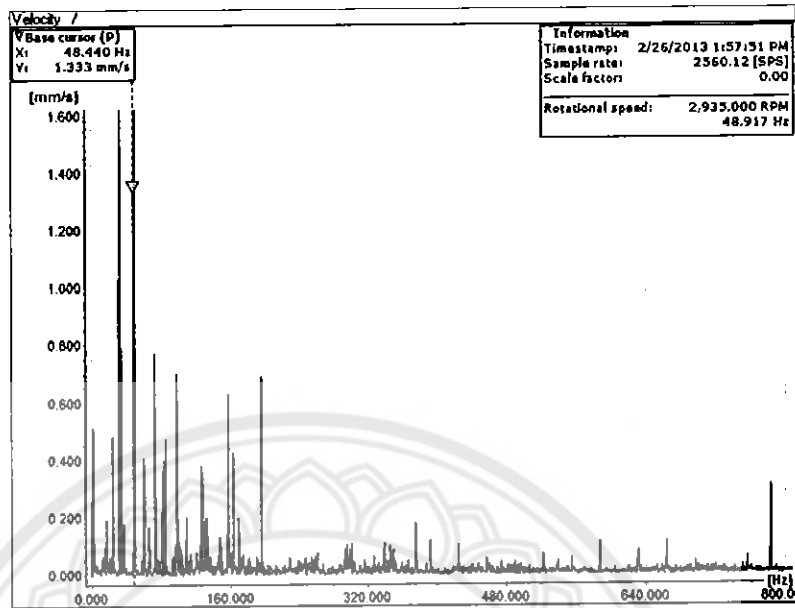
รูปที่ 6.8 สเปกตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller



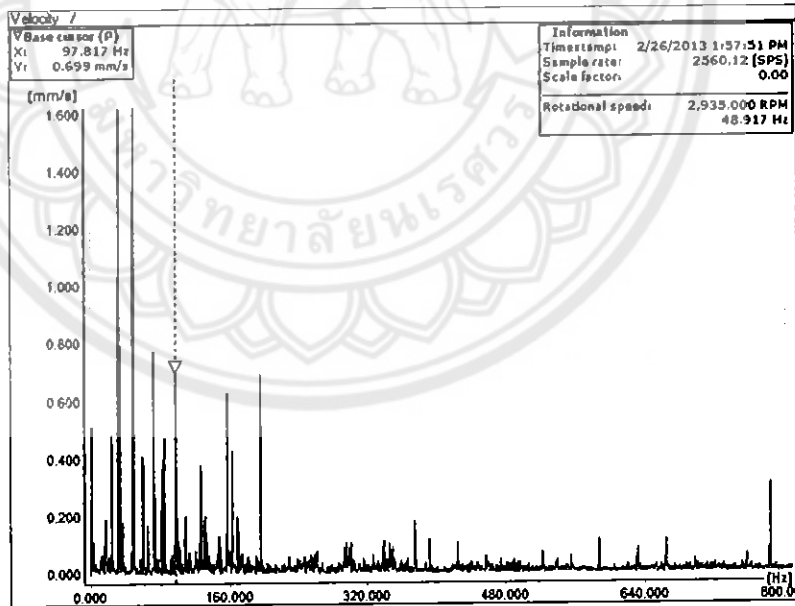
รูปที่ 6.9 สเปกตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller



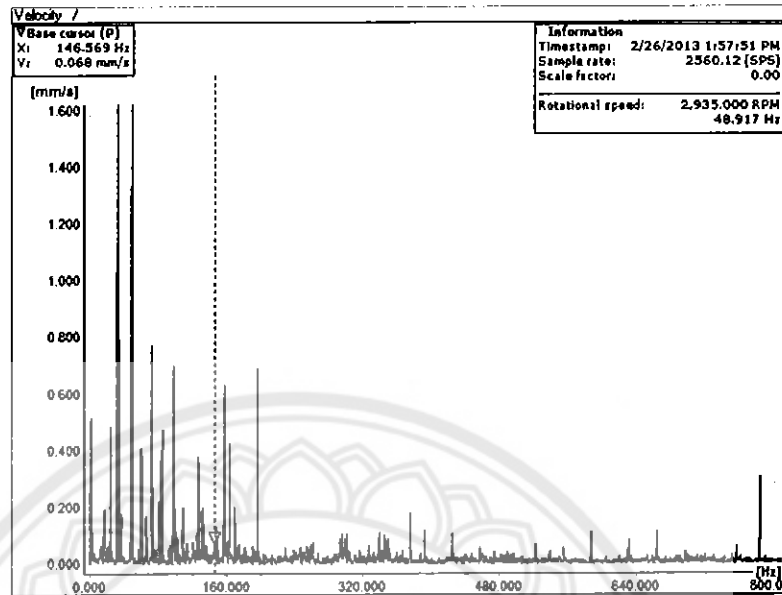
รูปที่ 6.10 สเปกตรัมของ ชุดมอเตอร์ขับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบ Chiller (ขยายสเกลเพื่อเพิ่มความละเอียด)



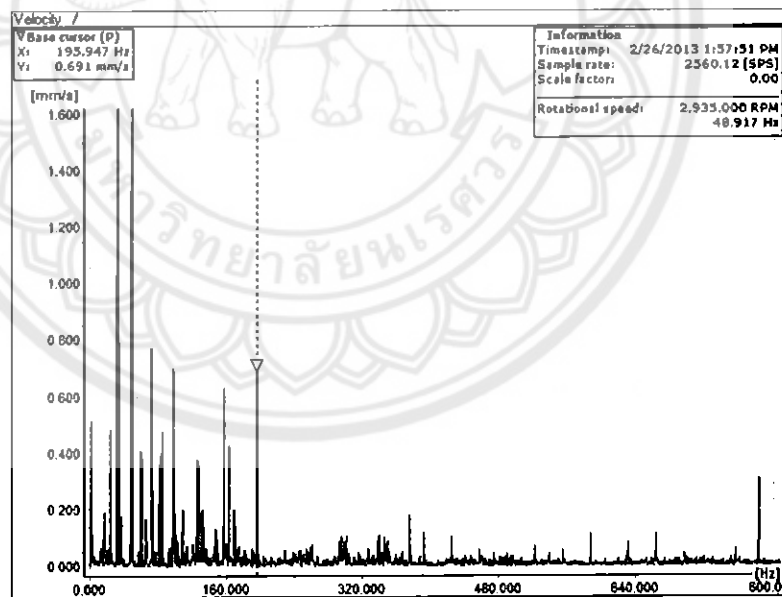
รูปที่ 6.11 สเปกตรัมชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาล



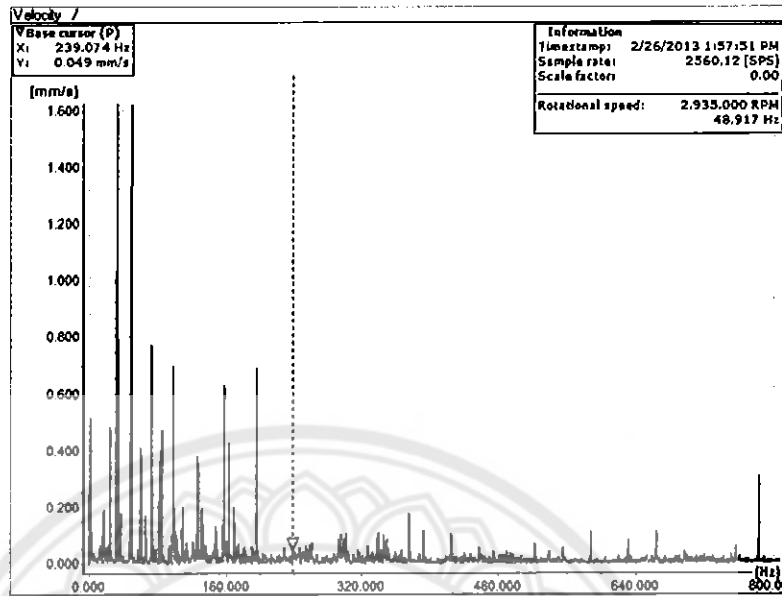
รูปที่ 6.12 สเปกตรัมชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาล



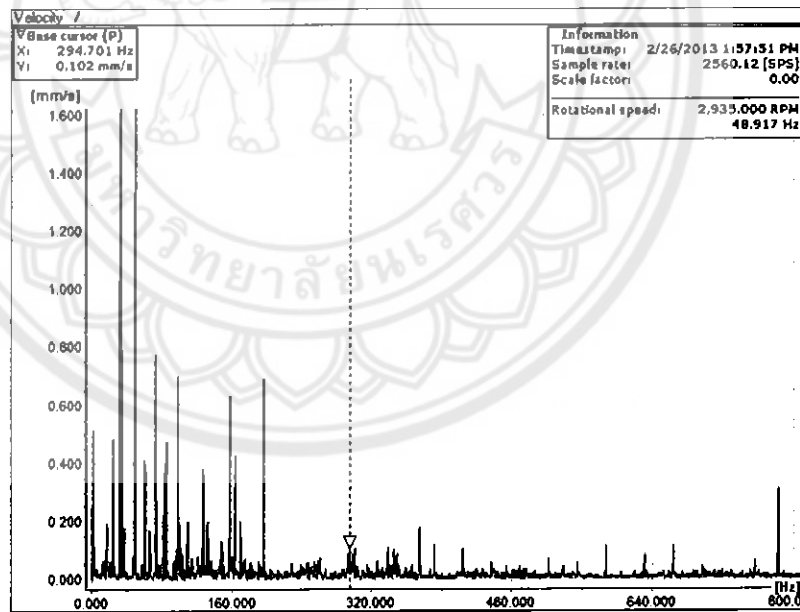
รูปที่ 6.13 สเปกตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล



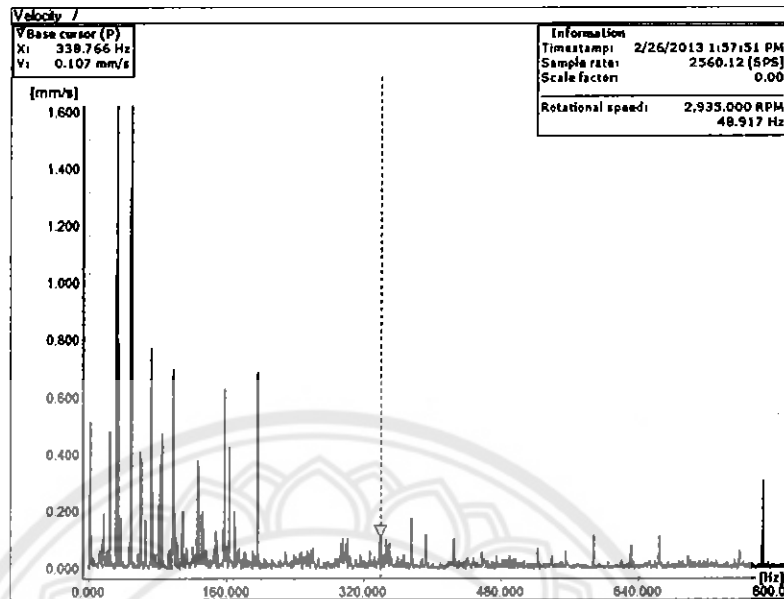
รูปที่ 6.14 สเปกตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล



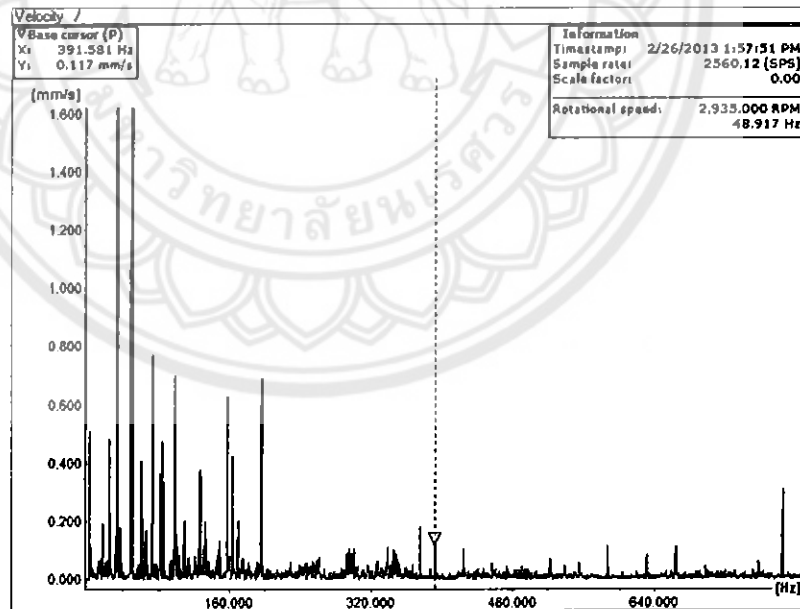
รูปที่ 6.15 สเปกตรัมชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาล



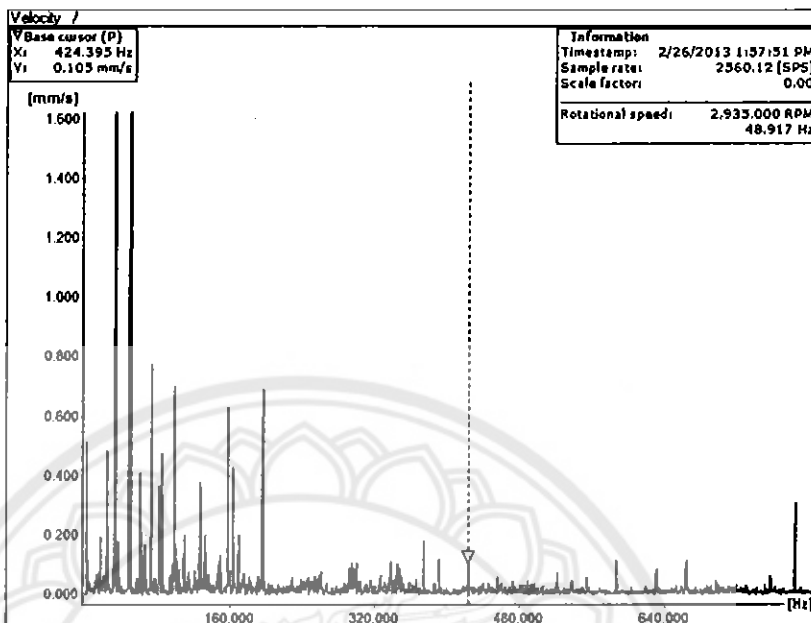
รูปที่ 6.16 สเปกตรัมชุดปั๊มน้ำสุขาภิบาล



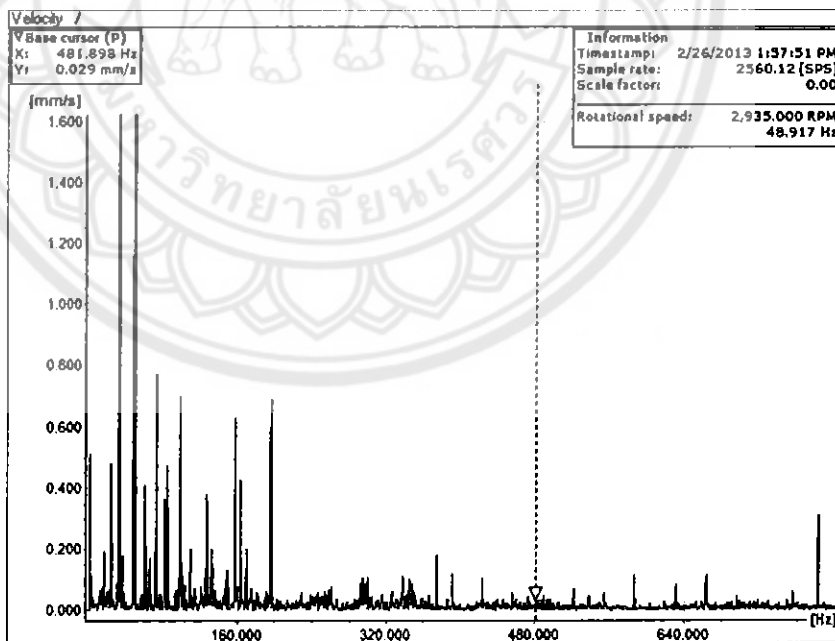
รูปที่ 6.17 สเปกตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล



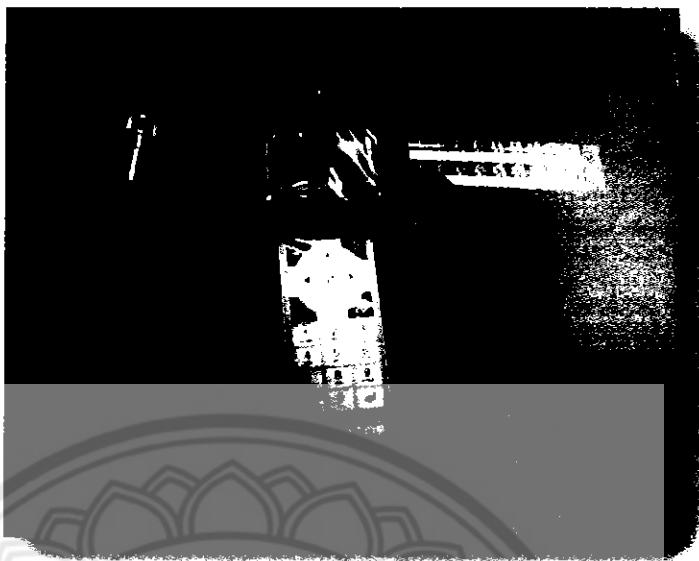
รูปที่ 6.18 สเปกตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล



รูปที่ 6.19 สเปกตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล



รูปที่ 6.20 สเปกตรัมชุดปั้มน้ำสุขาภิบาล



รูปที่ 6.21 เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน Detector III



รูปที่ 6.22 ชุดทดลองป้อนภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
(เลขครุภัณฑ์ 4320-006-015 งปม.2540)