

การติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์วิเคราะห์การสั่นสะเทือนโดยใช้สัญญาณวิทยุ

Installation and Testing the Vibration Analysis Instrument

Using Wifi Signal

นายจักรกฤษณ์ ยิ้มแย้ม รหัส 53361849
นายชนภัทร อิ่มภักดี รหัส 53361917
นางสาวสุกัญญา ถิ่นทับ รหัส 53362358

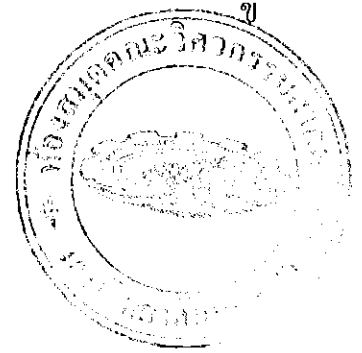
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 20 ก.ค. 2556
เลขทะเบียน..... 1691 4160
เลขเรียกหนังสือ..... นร.
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จ 216 9 2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปีการศึกษา 2556



ใบรับรองโครงการ

หัวข้อโครงการ : การติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์วิเคราะห์การสั่นสะเทือนโดยใช้สัญญาณ
วายฟาย
: Installation and Testing the Vibration Analysis Instrument
Using Wifi

ผู้ดำเนินโครงการ : นายจักรกฤษณ์ ยิ้มแย้ม รหัสนิสิต 53361849
: นายชนภัทร อิ่มภักดี รหัสนิสิต 53361917
: นางสาวสุกัญญา ถินทับ รหัสนิสิต 53362358

ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.ภาณุ พุทธวงศ์
สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา : วิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา : 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร คณะวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการ

.. ที่ปรึกษาโครงการ

(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)

กรรมการ

(ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

กรรมการ

(ดร.ศลิษา วีรพันธ์)

หัวข้อโครงการ : การติดตั้งและการทดสอบอุปกรณ์วิเคราะห์การสั่นสะเทือนโดยใช้
สัญญาณวายฟาย

ผู้ดำเนินโครงการ : นายจักรกฤษณ์ ยิ้มแย้ม รหัสนิต 53361849
: นายชนภัทร อิมภักดี รหัสนิต 53361917
: นางสาวสุกัญญา ถินทับ รหัสนิต 53362358

ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.ภาณุ พุทธวงศ์

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา : 2556

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้งานเครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบไร้สายเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการบำรุงรักษาเครื่องจักร โดยมีกรณีศึกษา คือวัดการสั่นสะเทือนของปั๊มและมอเตอร์ของปั๊มน้ำที่ใช้ในตึกภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล - อุตสาหการ โดยมีเครื่องวัดการสั่นสะเทือนแบบไร้สายโดยใช้สัญญาณ WIFI ในการรับส่งข้อมูล และรวบรวมผลข้อมูลการสั่นสะเทือนที่ได้จากการวัดการสั่นสะเทือน มาวิเคราะห์ผลโดยใช้ซอฟต์แวร์ WivibTrend lite ซึ่งจากการทดสอบพบว่าเครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบไร้สายสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี บางครั้งอาจมีปัญหาเรื่องการเชื่อมต่อสัญญาณ WIFI โดยมีข้อจำกัดในการรับส่งสัญญาณสูงสุดที่ประมาณ 40 เมตร และผลจากการทดสอบและวิเคราะห์จากกรณีศึกษา พบว่าสาเหตุที่เกิดจากการสั่นสะเทือนส่วนใหญ่เกิดจากการไม่สมดุลของเพลลา คาวิตชัน และเกิดจากการหลวมคลอน แต่มีระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ปกติ

Project Title : Installation and Testing the Vibration Analysis Instrument
Using Wifi Signal

Name : Mr. Jakkrid Yimyam Student ID.53361849
: Mr. Chonapat Impukdee Student ID.53361917
: Miss. Sukanya Tintap Student ID.53362358

Project Advisor : Dr. Panu Putthawong

Major : Mechanical Engineering

Department : Engineering

Academic Year : 2013

Abstract

This project intended to study the using of the wireless machine vibration analysis instrument. The theory of the machine vibration was studied. The application of the instrument was to measure the motor and pump which were used in the mechanical-industrial engineering building. The vibration signals from the machines were sent to the instrument by cables and then being sent via WiFi signal to the computer. This enabled the user to analyze the data anywhere far from the measured machine. The software being used is the WiVib Trend Lite. It was found that the application of this instrument to transfer the data using the WiFi signal went well. The limited range of usage was approximately 40 meters in radius. The results of the vibration analysis of the motor and pump were reported. The motor and pump showed the unbalance rotor, looseness from support, and the vibration from cavitation. However, the amplitude of those vibration signals were under normal level.

กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgement)

โครงการฉบับนี้จัดทำขึ้น โดยมุ่งเน้นในเรื่องการศึกษาการวิเคราะห์การสันเสเทือน การติดตั้ง และทดสอบอุปกรณ์วิเคราะห์การสันเสเทือนโดยใช้สัญญาณ WIFI ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากการศึกษาและให้ความร่วมมือสนับสนุนของอาจารย์ภาณุ พุทธรังค์ รวมทั้งคณาจารย์และบุคลากรทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้ดำเนินโครงการอย่างสม่ำเสมอตลอดมา และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือในงานการวิเคราะห์การศึกษาทดลองครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจได้ดีในระดับหนึ่ง ตลอดจนเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาต่อไป

คณะผู้ดำเนินโครงการ

นายจักรกฤษณ์ ยิ้มยิ้ม

นายชนภัทร อิ่มภักดี

นางสาวสุกัญญา ถิ่นทับ

สารบัญ

	หน้า
ปกใน	ก
ใบรับรองปริญญาโท	ข
บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูปภาพ	ญ
สารบัญสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน	2
1.6 สถานที่ปฏิบัติงาน	3
1.7 อุปกรณ์ที่ใช้	3
1.8 งบประมาณ	3



สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 2 ทฤษฎี

หน้า

2.1 การสั่นสะเทือน	4
2.2 ลักษณะของการสั่นสะเทือน	4
2.3 ประเภทของการสั่นสะเทือน	5
2.4 หลักการและความหมายในการวัดและการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน	6
2.5 ความถี่ธรรมชาติและความถี่พ้อง (Natural frequency and Resonance)	6
2.6 การแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT) และการประยุกต์ใช้เพื่อวินิจฉัยสภาพเครื่องจักร	9
2.7 อนุกรมฟูริเยร์	11
2.8 การวัดขนาดการสั่นสะเทือน	15
2.9 มาตรฐานการวิเคราะห์ความรุนแรงการสั่นสะเทือน	17
2.10 การเปรียบเทียบการวัดเป็นความเร่ง และความถี่	22
2.11 เปรียบเทียบจากค่าการสั่นสะเทือนโดยรวม	23
2.12 การจัดทำระบบบำรุงรักษา	24
2.13 การตรวจวัดสภาพเครื่องจักร	26
2.14 แนวทางการบำรุงรักษาพยากรณ์	26
2.15 การสำรวจเครื่องจักรสำหรับ PdM	27
2.16 ความพร้อมสมบูรณ์และการเสื่อมสภาพเครื่องจักร	30
2.17 วิธีการบำรุงรักษาพยากรณ์	31
2.18 องค์ประกอบสำคัญของระบบบำรุงรักษาพยากรณ์	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.19 เทคนิคการวิเคราะห์สภาพเครื่องจักร	32
2.20 การทำนายอายุใช้งานเครื่องจักร	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการงาน	
3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการวัดการสั่นสะเทือนแบบไร้สายและการระบบบำรุงรักษา	35
3.2 การติดตั้งและการตั้งค่าเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบไร้สายให้ถูกต้องตามคู่มือ	35
3.3 วิเคราะห์ค่าที่ได้จากการวัดการสั่นสะเทือน	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	55
4.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของมอเตอร์	54
4.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของ centrifugal pump	59
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลจากการทดลอง	63
5.2 ปัญหาที่พบในการทำโครงการงาน	63
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนา	64
เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก	66
ประวัติผู้จัดทำโครงการงาน	74

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตารางระยะเวลาการปฏิบัติงาน	2
ตารางที่ 3.1 มาตรฐานการสิ้นสเทือน ISO 2372	47
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงการวิเคราะห์การสิ้นสเทือน (อ้างอิงจากบริษัท Schaeffler, Thailand)	48
ตารางที่ 4.1 สาเหตุ และระดับการสิ้นสเทือน	61



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 คลื่นการสั่นสะเทือนแบบด้านทานความถี่	4
รูปที่ 2.2 การสั่นสะเทือนโดยอิสระ (Free Body Vibration) ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักร	5
รูปที่ 2.3 การสั่นสะเทือนโดยแรงภายนอกมากระทำ	5
รูปที่ 2.4 ระบบที่มีการสั่นสะเทือนแบบบังคับ	7
รูปที่ 2.5 ขนาดการสั่นสะเทือนขณะเกิดความถี่พ้อง	9
รูปที่ 2.6 สัญญาณคลื่นไซน์กับการแสดงเทียบในแกนเวลา และแกนความถี่ของสัญญาณเดียวกันนี้	10
รูปที่ 2.7 สัญญาณแบบสุ่มที่ไม่มีรูปแบบแน่นอนตายตัว	10
รูปที่ 2.8 สมการรูปภาพอนุกรมฟูรีเยร์	11
รูปที่ 2.9 สมการรูปภาพของสัญญาณต้นฉบับ	12
รูปที่ 2.10 การเทียบขนาดสัญญาณไซน์กับสัญญาณต้นฉบับเพื่อหาค่าเทียบเท่าพลังงานสัญญาณคลื่นไซน์กับต้นฉบับซึ่งพบว่าคลื่นสี่เหลี่ยมจะต้องแทนด้วยคลื่นไซน์ที่มีความถี่เดียวกันและมีขนาดมากกว่าเป็น $4/3\pi$ เท่า	13
รูปที่ 2.11 รูปคลื่นไซน์สองคลื่น ณ ความถี่ 1 เท่า และ 3 เท่า ซึ่งมีการหาขนาดเทียบเท่ากับสัญญาณต้นฉบับ และทำการรวมกันให้ใกล้เคียงต้นฉบับมากขึ้น	13
รูปที่ 2.12 รูปคลื่นไซน์จำนวน 41 คลื่นด้วยความถี่ และขนาดต่างๆ กันนำมารวมกันเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมต้นฉบับ	14
รูปที่ 2.13 สัญญาณรบกวนที่ใช้อนุกรมฟูรีเยร์ 30 เทอมเพื่อประมาณแทนสัญญาณ และการพล็อตสเปกตรัมของสัญญาณนี้	14
รูปที่ 2.14 ลักษณะรูปคลื่นการสั่น และค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดการสั่นสะเทือน	15
รูปที่ 2.15 การใช้เกณฑ์เปรียบเทียบระหว่างเครื่องจักรที่เหมือนกันในการกำหนดวันหยุดซ่อม	18
รูปที่ 2.16 แผนภูมิความเร็วการสั่นตามมาตรฐาน ISO 2372-1974 E	19
รูปที่ 2.17 แผนภูมิเกณฑ์การสั่นตามมาตรฐาน VDI 2056	20
รูปที่ 2.18 กราฟระดับการสั่นสะเทือนของพัดลมโดยเปรียบเทียบระหว่าง ความเร็วรอบพัดลม (RPM) กับขนาดการสั่น (Pk-Pk)	21

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.19 กราฟเปรียบเทียบการวัดเป็นความเร่งและความเร็ว	22
รูปที่ 2.20 กราฟเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนโดยรวม	23
รูปที่ 2.21 ผังการกำหนดความถี่การซ่อมบำรุง	25
รูปที่ 2.22 การเปรียบเทียบความถี่การหยุดซ่อมเครื่องจักรแต่ละระบบ	27
รูปที่ 2.23 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ซ่อมบำรุงแต่ละระบบ	27
รูปที่ 2.24 ลักษณะการติดตั้งเพลานี้ตรงแนวศูนย์	28
รูปที่ 2.25 ลักษณะการเขย่งลอยที่ขา (Softfoot) ของเครื่องจักร	28
รูปที่ 2.26 มวลส่วนเกินที่ส่งผลให้เพลเครื่องจักรไม่สมดุล	28
รูปที่ 2.28 ลักษณะการสั่นของเครื่องจักรซึ่งมีส่วนที่ขึ้นอยู่กับขนาดเครื่องจักรและฐานรองรับ	29
รูปที่ 2.29 จุดที่ต้องการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร	30
รูปที่ 2.30 กราฟความพร้อมสมบูรณ์ และการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร	30
รูปที่ 2.31 ตัวอย่างการพยากรณ์เวลาซ่อมบำรุงล่วงหน้าในระบบการบำรุงรักษาพยากรณ์	31
รูปที่ 2.32 เทคนิคการตรวจวัด และวิเคราะห์สาเหตุเครื่องจักรเสียหาย	32
รูปที่ 2.33 แนวทางการวิเคราะห์ความผิดปกติของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นตามทิศทางการวัด	33
รูปที่ 2.35 ตัวอย่างการนำข้อมูลอุณหภูมิเครื่องจักรมาสร้างกราฟเพื่อกำหนดเวลาซ่อม	34
รูปที่ 3.1 Motor และ Centrifugal Pump	36
รูปที่ 3.2 เครื่อง WiVib และหัววัด	37
รูปที่ 3.3 แผ่นเหล็ก และแม่เหล็กแรงสูง	38
รูปที่ 3.4 ลักษณะหัววัดติดกับแผ่นเหล็ก	38
รูปที่ 3.5 แสดงช่องสัญญาณ 1-4 (channel)	39
รูปที่ 3.6 แสดงการติดตั้งหัววัดใน แนวตั้ง (V, Vertical) และแนวราบ (H, Horizontal)	39
รูปที่ 3.7 แสดงการวัดความเร็วรอบ	40
รูปที่ 3.8 แสดงสัญญาณ WIFI	41
รูปที่ 3.9 โปรแกรม WiVib Config	42
รูปที่ 3.10 แสดงการเชื่อมต่อกับเครื่อง WiVib	42

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.11 แสดงการเพิ่ม Machine	43
รูปที่ 3.12 แสดงการเพิ่มหัววัด	43
รูปที่ 3.13 แสดงการตั้งค่าในแต่ละหัว	44
รูปที่ 3.14 แสดงการเพิ่ม Measurement	44
รูปที่ 3.15 การตั้งค่า Measurement	45
รูปที่ 3.16 แสดงการตั้ง wake up เพื่อตั้งเวลา	45
รูปที่ 3.17 WiVibTrend Lite	46
รูปที่ 4.1 กราฟการสั่นสะเทือนของหัววัดที่ 1(motor)	55
รูปที่ 4.2 กราฟการสั่นสะเทือนของหัววัดที่ 3 (motor)	56
รูปที่ 4.3 กราฟการสั่นสะเทือนของหัววัดที่ 4 (motor)	57
รูปที่ 4.4 กราฟการสั่นสะเทือนของหัววัดที่ 2 (motor)	58
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างกราฟการสั่นสะเทือนของหัววัดที่ 1 (centrifugal pump)	59
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างกราฟการสั่นสะเทือนของหัววัดที่ 3 (centrifugal pump)	60

สารบัญสัญลักษณ์

A	คือ ขนาดการสั่นสะเทือน มีหน่วยเป็น ไมโครเมตร (μm)
f	คือ ความถี่ (Frequency) มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์ (Hz)
k	คือ ค่า নিজของสปริง
m	คือ มวล มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)
N	คือ ความเร็วรอบ มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที (RPM)
n	คือ ตัวเลขแสดงจำนวนเท่าของความถี่สัญญาณรบกวน
N	คือ จำนวนเดซิเบล มีหน่วยเป็น เดซิเบล (dB)
T	คือ คาบ (Period) มีหน่วยเป็น วินาที (Second)
t	คือ เวลา มีหน่วยเป็น วินาที (Second)
V	คือ ความเร็วการสั่นสะเทือน มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อวินาที (mm/s)
x	คือ ระยะการกระจัดของสปริง มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)
ω	คือ ความถี่เชิงมุม มีหน่วยเป็น radian/sec
ω_f	คือ ความถี่ของแรงกระทำต่อวัตถุ มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)
ω_n	คือ ความถี่ธรรมชาติของวัตถุ มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)
ϕ	คือ มุมเฟส

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยถือว่ามีแหล่งนิคมอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ซึ่งภายในนิคมอุตสาหกรรมนั้นก็จะมีโรงงานต่างๆมากมาย ซึ่งแต่ละโรงงานก็ล้วนมีอัตราการผลิตต่อวันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเครื่องจักรกลถือว่าเป็นหัวใจสำคัญในกรรมวิธีการผลิต ซึ่งเครื่องจักรเหล่านี้ล้วนแต่มีขนาดตัวเครื่องใหญ่แล้ว ยังมีกำลังและความเร็วรอบในการผลิตสูงตามไปอีกด้วย ซึ่งบางครั้งอาจเป็นสาเหตุทำให้เครื่องจักรหยุดทำงานโดยฉุกเฉินจากการชำรุดของตัวเครื่องจักร ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการผลิตและมีค่าใช้จ่ายมากขึ้นจึงทำให้เกิดปัญหาด้านต้นทุนของสถานประกอบการ

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เป็นระบบบำรุงรักษาพยากรณ์ (Predictive-Maintenance) โดยใช้เครื่องมือวัดแบบไร้สาย สามารถวิเคราะห์ปัญหาต่างๆของเครื่องจักรได้ เช่น การไม่สมดุล การติดตั้งไม่ดี การเยื้องศูนย์ การสึกหรอของอุปกรณ์ เป็นต้น ซึ่งการวัดด้วยเครื่องมือชนิดนี้มีความสะดวกสบายกว่าเครื่องมือวัดแบบออฟไลน์ เพราะใช้ระบบสัญญาณแบบไร้สายส่งข้อมูลมายังหน้าจอแสดงผล และการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรจะช่วยให้สามารถวางแผนตรวจสอบอะไหล่ของเครื่องจักรว่ามีความชำรุดเพียงใด ทำให้ลดเวลาการหยุดตัวของเครื่องจักรและที่สำคัญยังช่วยประหยัดต้นทุนในการสูญเสียค่าอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องจักรอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 2.1 เพื่อวิเคราะห์ความเสียหายของมอเตอร์และปั๊มด้วยการวัดการสั่นสะเทือนแบบไร้สายได้
- 2.2 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ทฤษฎีเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และปั๊มเพื่อนำไปใช้ในการบำรุงรักษา

3. ขอบเขต

- 3.1 สามารถติดตั้งและตั้งค่าเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบไร้สายได้
- 3.2 ทำการทดสอบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดสั่นสะเทือนแบบไร้สายได้

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 4.1 เพื่อทราบสาเหตุของการสั่นสะเทือนว่าเกิดจากส่วนใด
- 4.2 เพื่อช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของมอเตอร์และปั๊มได้ และลดต้นทุนการผลิต
- 4.3 สามารถแก้ไขความผิดปกติของมอเตอร์และปั๊มได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว
- 4.4 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์และปั๊มให้ทำงานได้อย่างเต็มที่

5. ระยะเวลาการปฏิบัติงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางระยะเวลาการปฏิบัติงาน

รายการการปฏิบัติงาน	พ.ศ. 2556							
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
รวมกลุ่มหาหัวข้อ Project จากอาจารย์ที่ปรึกษา								
ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนทั้งด้านทฤษฎีและปฏิบัติ								
วางแผนดำเนินงานจัดเตรียมอุปกรณ์และการทดลอง								
ดำเนินการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ								
ดำเนินการออกแบบและปรับปรุงโครงการ								
สรุปผลการทดสอบโครงการ								
จัดทำรูปเล่ม								

6. สถานที่ปฏิบัติงาน

บริเวณใต้ตึกอาคารวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

7. อุปกรณ์ที่ใช้

- 7.1 เครื่องคอมพิวเตอร์
- 7.2 เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน
- 7.3 แผ่นเหล็ก
- 7.4 แม่เหล็กแรงสูง
- 7.5 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ

8. งบประมาณ

8.1 ค่ากระดาษพิมพ์	500	บาท
8.2 ค่าพิมพ์งาน	1000	บาท
8.3 ค่าทำรูปเล่ม	1,500	บาท
รวมเป็นเงิน	3,000	บาท



บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 การสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือน คือ การเคลื่อนที่ของมวลทุกทิศทางในตำแหน่งอยู่กับที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โครงสร้างเครื่องจักร ชิ้นส่วนอุปกรณ์ ที่ติดตั้งทำงานอยู่ในโรงงานต่างๆ ไป หรือสรุปได้ว่า การสั่นสะเทือนเกิดจากแรงกระทำซึ่งทำให้มวลเคลื่อนที่ทุกทิศทุกทางในตำแหน่งอยู่กับที่

การตัดสินใจว่าเครื่องจักรนั้นอยู่ในเกณฑ์ปกติ หรือไม่ปกติพิจารณา ดังนี้

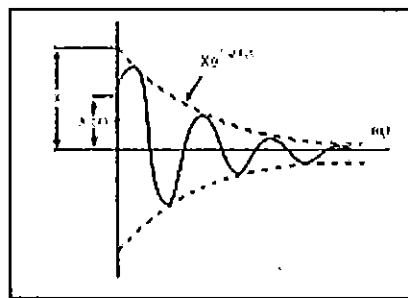
1. การทำงานของเครื่องจักรและแรงที่เกี่ยวข้อง
2. ความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องจักร

2.2 ลักษณะของการสั่นสะเทือน

2.2.1 การสั่นสะเทือนแบบสุ่ม (Random) เป็นการสั่นสะเทือนที่มีคลื่นต่างๆกันไม่แน่นอนไม่ซ้ำกัน

2.2.2 การสั่นสะเทือนแบบต้านทานการสั่น เป็นการสั่นสะเทือนที่มีตัวหน่วงการเคลื่อนที่ของระบบ โดยใช้อุปกรณ์ประเภท (shock absorber) หรือใช้อุปกรณ์ประเภทยาง

2.2.3 การสั่นสะเทือนแบบไม่เป็นรอบ มีผลมาจากในระบบมีความหน่วงมากเกินไป จึงทำให้การเคลื่อนที่ในช่วงแรกมาก และลดลงโดยไม่มีการเคลื่อนที่กลับไปมา เป็นการเคลื่อนที่ไม่เป็นรอบ ไม่มีคาบ

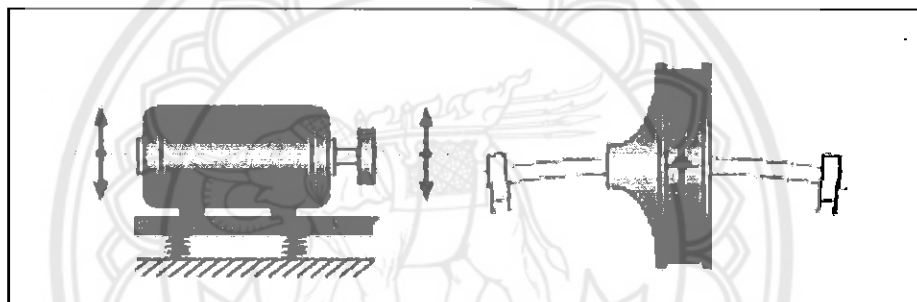


รูปที่ 2.1 คลื่นการสั่นสะเทือนแบบต้านทานความถี่

2.3 ประเภทของการสั่นสะเทือน

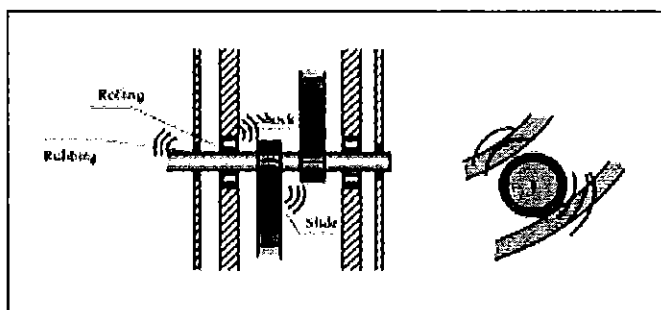
แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ดังนี้

2.3.1 การสั่นสะเทือนอิสระ (Free Body Vibration) คือ การสั่นสะเทือนที่ทิศทางของการสั่นสะเทือนเป็นไปได้อย่างอิสระตามทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนโดยไม่มีส่วนที่เป็นวัตถุแข็งเกร็งมาขัดขวางทิศทางของชิ้นส่วนที่สั่นสะเทือนนั้น ๆ เช่น เครื่องจักรหรือมอเตอร์ที่วางอยู่บนฐานรองรับที่มีความยืดหยุ่นและฐานที่มีความเป็นสปริง หรือใบพัดที่หมุนอยู่บนเพลายาวดังรูปที่ 2.2 ตัวอย่างของการสั่นสะเทือนแบบอิสระ เช่น การปิดสวิทช์เพื่อหยุดเครื่องไม่ให้มีแรงกระทำ เครื่องจักรนั้นจะสั่นด้วยแรงอิสระจนลดลงและหยุดนิ่ง



รูปที่ 2.2 การสั่นสะเทือนโดยอิสระ (Free Body Vibration) ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักร

2.3.2 การสั่นสะเทือนโดยใช้แรง (Forced vibration) คือ การเคลื่อนที่ไปมาของระบบจากแรงภายนอกมากระทำ เช่น แรงเสียดทาน เป็นต้น ทำให้ระบบเกิดการเคลื่อนที่หรือมีความถี่เช่นเดียวกับแรงที่กระทำ



รูปที่ 2.3 การสั่นสะเทือนโดยแรงภายนอกมากระทำ

2.4 หลักการและความหมายในการวัดและการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

การที่จะวิเคราะห์ปัญหาของการสั่นสะเทือนให้ถูกต้องนั้นจำเป็นจะต้องเข้าใจถึงหลักการและความหมายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัด - วิเคราะห์การสั่นสะเทือนและขนาดของการสั่นสะเทือนดังนี้

2.4.1 การวัดระยะทางของการสั่นสะเทือน (Displacement) คือ การวัดระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีการสั่นสะเทือนว่า “มีการเคลื่อนที่ไปจากจุดอ้างอิงเท่าใดในการสั่นสะเทือนแต่ละรอบ” นิยมวัดเป็นมิลลิเมตร (mm) หรือนิ้ววัดแบบเต็มคลื่น (Peak to Peak) ใช้กับการเคลื่อนที่ที่มีความเร็วรอบต่ำๆ ที่ไม่เกิน 1200 rpm หรือ 20 Hz

2.4.2 การวัดความเร็ว (Velocity) เป็นการวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุที่สั่นสะเทือนว่า “มีความเร็วเท่าไรในแต่ละรอบของการสั่นสะเทือน” โดยปกตินิยมวัดเป็นมิลลิเมตร/วินาที (mm/s) และนิ้ว/วินาที (inch/sec) ในการวัดความเร็วเรามักจะวัดแบบ RMS และการวัดการสั่นสะเทือนที่มีความถี่ระหว่าง 20 Hz - 1,000 Hz (หรือความเร็วรอบในการหมุนที่สูงกว่า 1, 200 rpm)

2.4.3 การวัดอัตราเร่ง (Acceleration) การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของความเร็วในการเคลื่อนที่ต่อหน่วยเวลาของวัตถุที่มีการสั่นสะเทือนวัดการสั่นสะเทือนที่ความถี่สูงคือตั้งแต่ 10,000 Hz ขึ้นไปการสั่นสะเทือนที่ความถี่สูงนั้นระยะทางการเคลื่อนที่ที่น้อยและในขณะเดียวกันความเร็วในการเคลื่อนที่ที่จะสูงมาก

2.4.4 ความถี่ (Frequency) คือ จำนวนการเคลื่อนที่ที่ครบรอบการสั่นสะเทือนหรือจำนวนการเคลื่อนที่ของมวลที่เคลื่อนที่ไปมาครบใน 1 รอบเวลา

$$f = \frac{N}{60} \quad (2.1)$$

2.4.5 คาบ (period) คือ เวลาที่มวลเคลื่อนที่ไปมาใน 1 รอบ นั่นคือคาบจะเป็นส่วนกลับของความเร็วรอบหรือความถี่

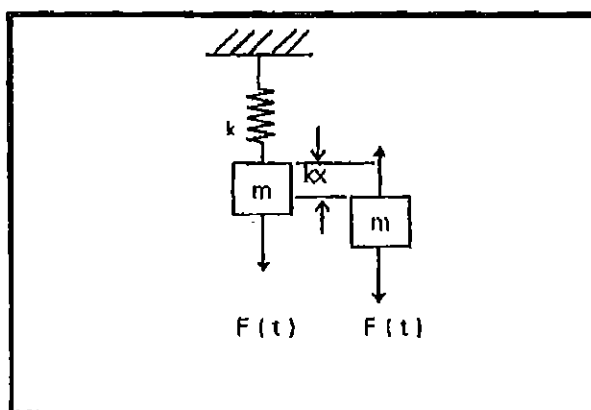
$$T = \frac{1}{f} \quad (2.2)$$

2.4.6 เฟส (phase) คือ มุมที่บ่งบอกทิศทางการเคลื่อนที่ของมวลวัดเป็นองศาที่มวลเคลื่อนที่ไปจากจุดอ้างอิงหรือจุดเริ่มต้น

2.5 ความถี่ธรรมชาติและความถี่พ้อง (Natural frequency and Resonance)

การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับวัตถุหรือระบบ จะพิจารณาจากแรงกระทำต่อวัตถุนั้น และสามารถแยกได้เป็น การสั่นสะเทือนอิสระ (Free vibration) และการสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Forced-vibration) ในกรณีของการสั่นสะเทือนอิสระ คือ การสั่นสะเทือนของวัตถุ เนื่องจากแรงภายนอกกระทำต่อวัตถุนั้น ในช่วงเวลาสั้นๆ เช่น แรงเคาะหรือแรงกระแทก การเคลื่อนที่ของฐานรองรับ หรือมวลของวัตถุอย่างกะทันหัน เป็นต้น ให้สังเกตว่า แรงกระทำต่อวัตถุนั้นจะมีอยู่เพียงช่วงเวลาสั้นๆ เพียงช่วงเวลาเดียวแล้วจะหมดไป หลังจากนั้นวัตถุจะสั่นกลับไปกลับมา โดยไม่มีแรงกระทำอยู่ ตัวอย่างเช่น การเกิดการสั่นสะเทือนจากการเคาะส้อมเสียง โดยส้อมเสียงสามารถสั่นกลับไปกลับมา โดยไม่มีค่าความหน่วง (Damping) อยู่เลย ความถี่ของการสั่นนี้จะเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency; ω_n) ของระบบนั้น การสั่นสะเทือนแบบบังคับ คือ การสั่นของวัตถุหรือระบบที่เกิดจากแรงกระทำต่อเนื่องตลอดเวลา ซึ่งแรงกระทำนี้อาจเกิดจากผลของแรงภายในระบบนั่นเอง เช่น แรงจากความไม่สมดุล (Unbalance), แรงจากต้นกำลังขับเคลื่อน หรือเกิดจากแรงภายนอกก็ได้ ซึ่งความถี่ในการสั่นของวัตถุนี้จะขึ้นอยู่กับความถี่ของแรงที่มากระทำด้วย ด้วยเหตุนี้เอง ความถี่ที่เกิดจากแรงภายนอกมากระทำจึงเป็นไปได้ที่จะเป็นความถี่เดียวกับความถี่ที่เกิดจากการสั่นของระบบเอง ในขณะไม่มีแรงกระทำ เรียกความถี่ธรรมชาติของระบบที่อยู่ในความถี่เดียวกันนี้ว่า ความถี่พ้อง (Resonance) ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นแล้วจะทำให้ขนาดของการสั่นสะเทือนมีมากขึ้น ซึ่งเป็นเหตุให้ระบบนั้นๆ เกิดความเสียหาย และเป็นอันตรายต่อผู้ควบคุม หรือก่อความรำคาญได้ จึงสรุปได้ว่า ความถี่พ้อง จะเกิดขึ้นเมื่อความถี่ของแรงกระทำต่อวัตถุ (ω_f) เท่ากับความถี่ธรรมชาติของวัตถุนั้น (ω_n) ซึ่งจะเป็นผลให้ช่วงของการแกว่งหรือการเคลื่อนที่ (Displacement amplitude) มีค่ามาก ถ้าเกิดในเครื่องจักร, เครื่องยนต์ การที่เกิดการสั่นมากๆ ก็อาจถึงขั้นทำให้เครื่องจักรนั้นเสียหายได้

ในที่นี้จะกล่าวถึงสมการดิฟเฟอเรนเชียล (Differential equation) เพื่อให้เข้าใจถึงความถี่พ้องได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.4 ระบบที่มีการสั่นสะเทือนแบบบังคับ

ในรูปที่ 2.4 แสดงก้อนน้ำหนัก m แขนงบนเพดานด้วยสปริงให้แรง $F(t)$ กระทำต่อก้อนน้ำหนักนี้ โดยให้ $F(t)$ กระทำเป็นคาบในรูปของไซน์ ถ้าสมการ

$$F(t) = F_0 \sin \omega_f t \quad (2.3)$$

เมื่อ ω_f คือ ความถี่ของแรงกระทำต่อวัตถุ

เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่ง x ใดๆ จะได้แรงกระทำ 2 แรงบนก้อนน้ำหนัก คือ F และ kx และสามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$m\ddot{x} + kx = F(t) \quad (2.4)$$

$$m\ddot{x} + kx = F_0 \sin \omega_f t \quad (2.5)$$

กำหนดให้

$$x = C \sin \omega_f t$$

$$\dot{x} = \omega_f C \cos \omega_f t$$

แทนค่า x, \dot{x} ลงในสมการการเคลื่อนที่จะได้

$$-m\omega_f^2 C \sin \omega_f t + kC \sin \omega_f t = F_0 \sin \omega_f t \quad (2.6)$$

นำ $\sin \omega_f t$ ทหารตลอด จะได้

$$C = \frac{F_0}{k - m\omega_f^2} \quad (2.7)$$

แทนค่า C ลงใน $x = C \sin \omega_f t$ จะได้

$$x = \frac{F_0}{k - m\omega_f^2} \sin \omega_f t \quad (2.8)$$

$$x = \frac{F_0}{k} \frac{1}{1 - \frac{\omega_f^2}{\frac{k}{m}}} \sin \omega_f t$$

$$x = \frac{F_0}{k} \frac{1}{1 - \frac{\omega_f^2}{\omega_n^2}} \sin \omega_f t \quad (2.9)$$

โดยที่ $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$

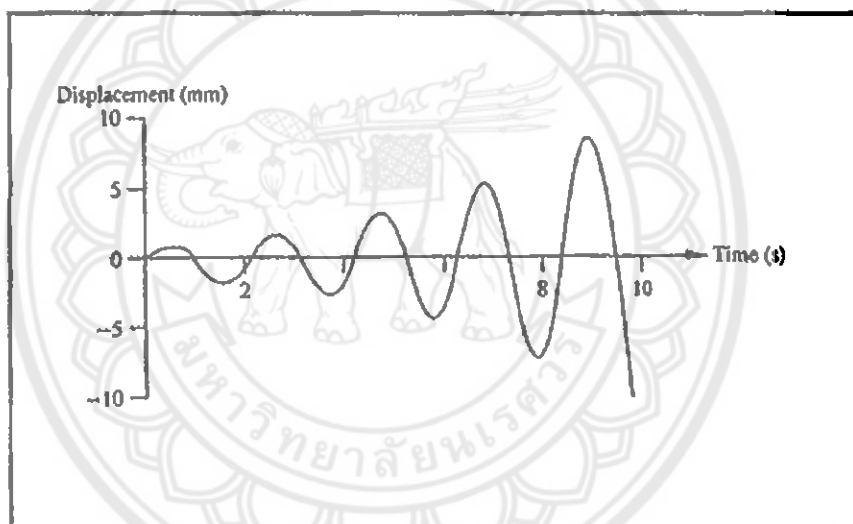
ให้ $x_0 = \frac{F_0}{k}$ และ $r^2 = \frac{\omega_f}{\omega_n}$

ถ้าให้ $\omega_f = \omega_n$ จะได้ $r=1$ และเทอม $1-r=0$ เป็นผลให้

$$x = \frac{x_0}{0} \sin \omega_f t \quad (2.10)$$

$$x = \infty \quad (2.11)$$

ซึ่งหมายความว่า ขนาดการสั่นสะเทือนจะมีค่ามากที่สุด ผลของความถี่พ้องสามารถเขียนเป็นกราฟตามรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ขนาดการสั่นสะเทือนขณะเกิดความถี่พ้อง

จากรูปที่ 2.5 ให้สังเกตว่าขนาดการสั่นสะเทือนมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไม่สิ้นสุดในทางทฤษฎี แต่ในความเป็นจริง เนื่องจากระบบมีตัวหน่วง เครื่องจักรที่สั่นในช่วงความถี่พ้องจะสั่นด้วยขนาดการสั่นที่มากที่สุดค่าหนึ่ง และเป็นผลให้ชิ้นส่วนของเครื่องจักรเสียหายในระยะเวลาต่อมา

2.6 การแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT) และการประยุกต์ใช้เพื่อวินิจฉัยสภาพเครื่องจักร

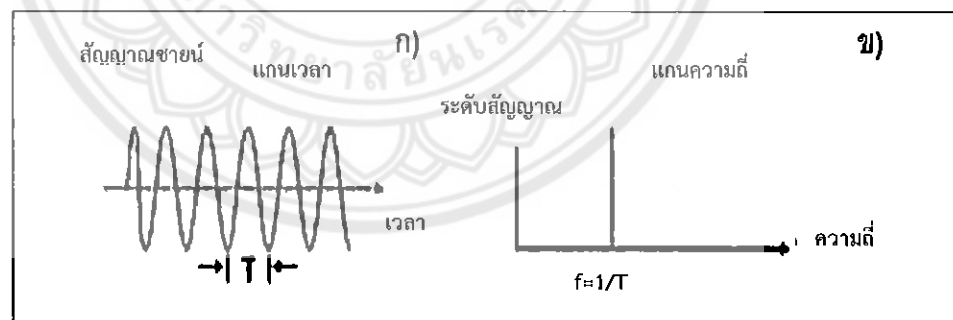
2.6.1 แกนอ้างอิงเทียบทางความถี่ด้วยการวิเคราะห์แบบฟูริเยร์

การวัดสัญญาณต่างๆ ในงานทางวิศวกรรม มักจะคุ้นเคยกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณตามเวลาที่เปลี่ยนไป แต่ในบางครั้งหากต้องการทราบสัญญาณเดียวกันนี้ที่พิจารณาในแกน

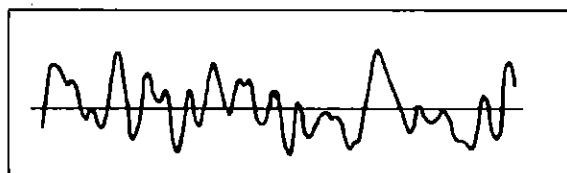
อ้างอิงเทียบทางความถี่ ซึ่งในทางงานเครื่องจักรกลแล้วถือเป็นข้อมูลที่จะมีประโยชน์ในการวินิจฉัยความเสียหายในเครื่องจักร เหมือนกับที่หมอตตรวจร่างกายคนไข้โดยใช้ Stethoscope ซึ่งเป็นอุปกรณ์ช่วยฟังเสียงการทำงานของอวัยวะต่างๆ ที่มีการเคลื่อนไหวภายในร่างกาย หรือการใช้วิธีจับชีพจรเพื่อบอกความผิดปกติของอวัยวะต่างๆ ในร่างกายซึ่งขณะที่หมอตตรวจฟังเสียงนี้ หมอเองก็จะใช้การพิจารณาเสียงสัญญาณกับแกนเทียบทางความถี่เพื่อวินิจฉัยสัญญาณจากร่างกายเราไปด้วย และจากความก้าวหน้าทางเทคนิคในการประมวลผลสัญญาณ (signal processing) ทำให้ปัจจุบันสามารถตรวจพบความเสียหายที่ก่อดัวในเครื่องจักรแต่เนิ่นๆ ได้ โดยอาศัยการวิเคราะห์สัญญาณความถี่ที่ส่งมาจากเครื่องจักร อีกทั้งสามารถระบุชัดเจนไปได้ว่าเกิดความเสียหายที่ชิ้นส่วนใดในเครื่องจักร ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแกนอ้างอิงเทียบทางความถี่กับการวิเคราะห์แบบฟูรีเยร์ ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในการประมวลผลสัญญาณของเครื่องมือวัดทางความถี่สมัยใหม่นี้ คือเป็นเครื่องวิเคราะห์แบบการแปลงฟูรีเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT Analyzer) ซึ่งมีการพัฒนามาจากรากฐานของอนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier Series)

2.6.2 แกนอ้างอิงเทียบทางความถี่

ถ้าพิจารณาแกนอ้างอิงเทียบทางเวลาของสัญญาณไซน์ (Sine wave) ดังในรูปที่ 2.6 (รูป ก) จะเห็นได้ว่าสัญญาณนี้จะมีการเกิดซ้ำรูปแบบเมื่อเวลาผ่านไป T ซึ่งเรียกว่าคาบของสัญญาณ ซึ่งสัมพันธ์กับความถี่ (การแกว่งขึ้นลงครบรอบ) ของคลื่นนี้คือ $f = 1/T$ คือ จำนวนของคาบคลื่นใน 1 วินาที ซึ่งความถี่ f นี้สามารถถูกพล็อตในกราฟแกนอ้างอิงเทียบความถี่ดังในรูปที่ 2.6 (ข) แต่ในความเป็นจริงสัญญาณที่วัดจริงนั้นมักไม่ได้มีเพียงรูปคลื่นไซน์ความถี่เดียวนี้ แต่อาจเป็นรูปคลื่นใดๆก็ได้ เช่น สัญญาณรบกวนในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 สัญญาณคลื่นไซน์กับการแสดงเทียบในแกนเวลา และแกนความถี่ของสัญญาณเดียวกันนี้



รูปที่ 2.7 สัญญาณแบบสุ่มที่ไม่มีรูปแบบแน่นอนตายตัว

ดังนั้นจึงควรหาวิธีการในการพิจารณาสัญญาณที่ซับซ้อนเช่นนี้ให้สามารถที่จะถูกเขียนอธิบายด้วยคณิตศาสตร์ได้ ดังเช่น ปริซึม ซึ่งใช้เพื่อการแยกแสงสีขาวออกมาเป็นองค์ประกอบของสีหลัก 7 สี ซึ่งถูกค้นพบโดย เซอร์ ไอแซคนิวตัน โดยองค์ประกอบที่ว่าเป็นนี้ คือ สเปกตรัม (Spectrum) ของแสงสีขาวนั่นเอง ในทำนองเดียวกันถ้าสามารถหาปริซึมเพื่อใช้แยกความถี่ของสัญญาณออกมาได้ ก็จะทำให้รู้องค์ประกอบของสัญญาณ และสามารถที่จะสร้างมันซ้ำขึ้นมาใหม่ได้ ดังเช่น เครื่องเสียงของยุคหนึ่งจะใช้แสงกราฟิกแสดงภาพเคลื่อนไหวของสัญญาณเสียงดนตรีโดยที่จะเป็นลักษณะแห่งกราฟซึ่งแต่ละแห่งแทนช่วงความถี่ ซึ่งปริซึมนี้ใช้ฟิลเตอร์กรองความถี่สัญญาณออกมาแสดงเป็นระดับความดังของสัญญาณ ณ ความถี่นั้นๆ แต่สำหรับกรณีที่ต้องการความละเอียดของความถี่มากต้องใช้ฟิลเตอร์จำนวนมากเพื่อกรองสัญญาณออกมา เช่น ในงานวินิจฉัยสภาพเครื่องจักรที่ความถี่ที่ต้องวิเคราะห์ที่จะสูงถึง 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งจะเป็นผลให้เครื่องมือวัดมีราคาแพงมากแต่ปัจจุบันเครื่องมือวิเคราะห์สัญญาณจะใช้วิธีการนำสัญญาณที่วัดได้มาคำนวณแบบดิจิตอลแล้วแสดงองค์ประกอบทางความถี่ หรือสเปกตรัมของสัญญาณออกมาซึ่งใช้หลักการการแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT) นั่นเอง ซึ่งอาศัยเพียงหน่วยประมวลผล CPU และหน่วยความจำ Memory ของคอมพิวเตอร์ในการคำนวณเท่านั้น ซึ่ง FFT นี้เองที่ถูกใช้เป็นปริซึมเพื่อแยกองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณออกมา

2.7 อนุกรมฟูริเยร์

ถ้าพิจารณาสัญญาณ $x(t)$ ใดๆ ก็ตามในโลกนี้ จะมีคุณสมบัติหนึ่งอยู่ คือ สามารถที่จะแยกสัญญาณออกมาเป็น

$$x(t) = \frac{x(t) + x(t)}{2} + \left[\frac{x(t) - x(t)}{2} \right] \quad (2.12)$$

หรือเขียนสมการนี้เป็นรูปภาพ คือ

$$x(t) = \left(\text{เทอม 1} + \text{เทอม 2} \right) + \left(\text{เทอม 3} - \text{เทอม 4} \right)$$

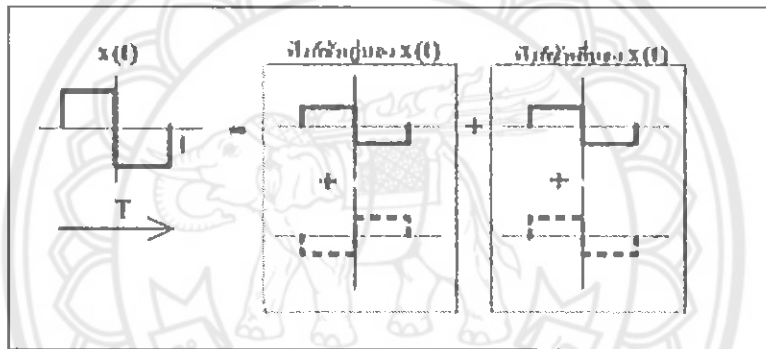
รูปที่ 2.8 สมการรูปภาพอนุกรมฟูริเยร์

ในทางคณิตศาสตร์แล้วคลื่นโคไซน์ (Cosine) จะมีคุณลักษณะเป็นฟังก์ชันคู่ส่วนคลื่นไซน์ (Sine) จะมีคุณลักษณะเป็นฟังก์ชันคี่ แต่กระนั้นก็ดีทั้งสองรูปแบบสัญญาณจะเกิดเป็นคาบซ้ำ เพราะฉะนั้น สัญญาณที่พิจารณา (ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าสัญญาณต้นฉบับ) จะต้องเกิดเป็นคาบด้วยซึ่งโดยหลักการคือต้องการนำสัญญาณคลื่นไซน์และโคไซน์หลายๆ ความถี่และหลายขนาดรวมเข้า

ด้วยกันและนำไปเทียบกับต้นฉบับว่าสอดคล้องกับเทอมคู่และคี่ของต้นฉบับมากน้อยเพียงใด หรือเขียนเป็นสมการคือ

$$x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)) \quad (2.13)$$

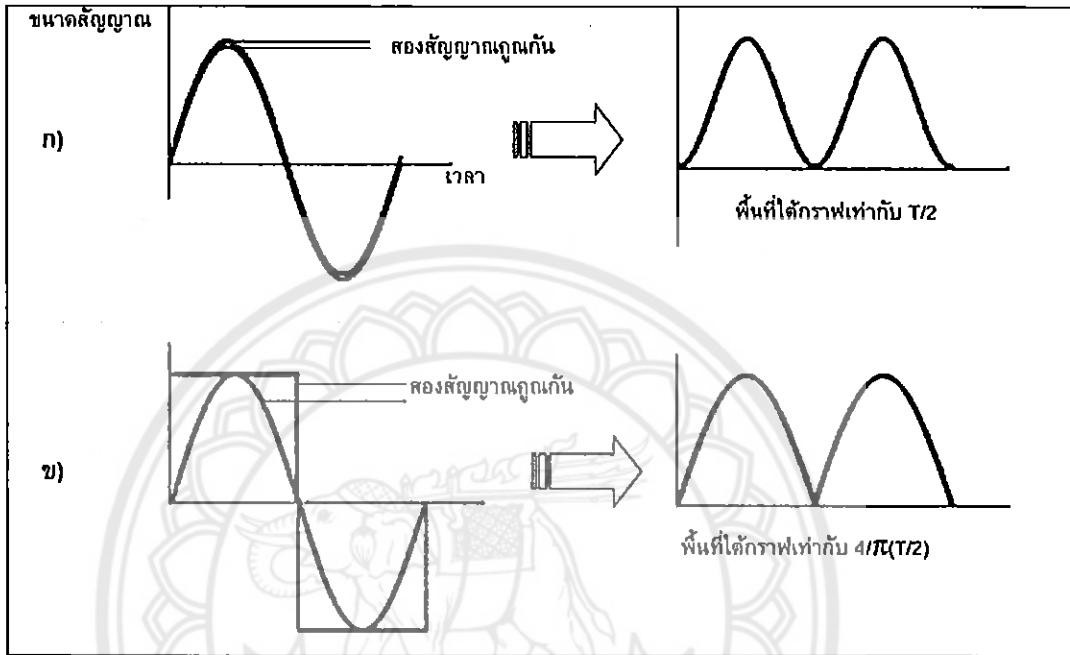
โดยสัญญาณ $x(t)$ ต้นฉบับถูกประมาณด้วยอนุกรมที่ประกอบด้วยเทอมฟังก์ชันโคไซน์ และฟังก์ชันไซน์ด้วยขนาด และความถี่ต่างๆซึ่งสมการที่ (2.13) นี้เรียกว่าเป็นอนุกรมฟูริเยร์ซึ่งต้องหาว่าขนาดสัญญาณ a_n เป็นเท่าใด ณ ความถี่ $n\omega$ (หรือ $2\pi n$) ของฟังก์ชันคู่ของต้นฉบับและ b_n ขนาดเป็นเท่าใด ณ ความถี่ $n\omega$ ของฟังก์ชันคี่ต้นฉบับและจำนวน n ที่ต้องใช้ก็เทอมความถี่ถึงจะเทียบกับสัญญาณต้นฉบับได้ถูกต้อง



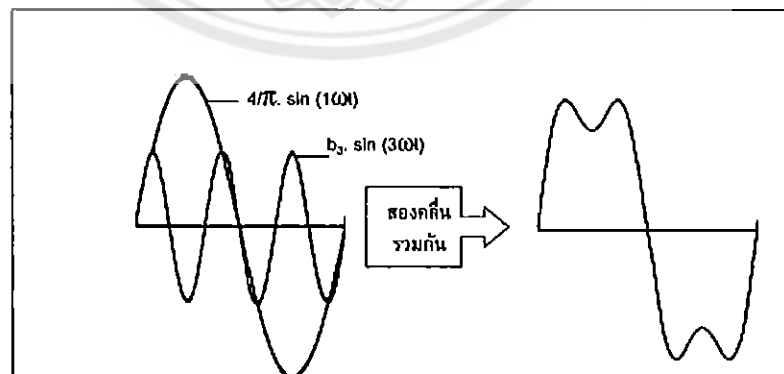
รูปที่ 2.9 สมการรูปภาพของสัญญาณต้นฉบับ

จะเห็นว่าสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมนี้ไม่มีเทอมฟังก์ชันคู่ เพราะฉะนั้นไม่มีเทอม a_n ($a_n=0$) แต่จะมีเฉพาะเทอม b_n ถ้าให้คาบเวลาคือ T ให้ $n=1$ เพราะฉะนั้น b_1 คือขนาดของคลื่นไซน์ ณ ความถี่ 1ω ว่าเมื่อนำคลื่นไซน์นี้ไปเทียบกับต้นฉบับแล้วจะให้มีขนาด b_1 เท่าใด สมมติขนาดคลื่นไซน์เมื่อเทียบกับตัวมันเองให้เป็นความถูกต้องของการเทียบกับต้นฉบับเป็น 100% ดังรูปที่ 2.9 โดยถ้าให้ปริมาณที่ใช้เทียบเป็นต้นฉบับคูณกับสัญญาณไซน์ที่นำมาเทียบเคียง และหาพื้นที่ใต้กราฟดังกล่าวซึ่งเท่ากับ $T/2$ ในกรณีคลื่นไซน์เทียบกับคลื่นไซน์ขนาดเดียวกัน และถ้านำคลื่นไซน์นี้ไปเทียบกับคลื่นสี่เหลี่ยมดังในรูปที่ 2.9 โดยคูณคลื่นไซน์ขนาด 1 หน่วยกับคลื่นสี่เหลี่ยมนี้ดังที่ได้เป็นรูปที่ 2.10 รูป ข. ด้านขวาซึ่งขนาดพื้นที่ใต้รูปเท่ากับ $4T/2\pi$ ซึ่งจะเห็นว่าพื้นที่นี้มากกว่าค่า $T/2$ หรือ ร้อยเปอร์เซ็นต์ของคลื่นไซน์เทียบคลื่นไซน์อยู่ $4/2\pi$ เท่าซึ่งเทอมนี้เองที่เป็นค่า b_1 ในการขยายคลื่นไซน์ที่ความถี่ 1ω ให้เทียบเท่ากับต้นฉบับ แต่อย่างไรก็ตามการใช้สัญญาณไซน์เพียงหนึ่งเทอมยังไม่สามารถบรรยายสัญญาณต้นฉบับได้ถูกต้อง โดยเฉพาะบริเวณช่วงที่มีการเปลี่ยนของค่าฉับพลันถ้าเพิ่มคลื่นไซน์ที่ความถี่ 3ω เข้าไปด้วยขนาด b_3 จะทำให้สอดคล้องกับต้นฉบับมากขึ้น (ดูรูปที่ 2.10) ซึ่งขนาด b_3 ก็หาได้ในทำนองเดียวกันโดยมีค่าเท่ากับ $4/3\pi$ ซึ่งถ้าแทน $x(t) \approx \sum b_n \sin n\omega t$ จำนวน $n=41$ เทอมจะได้สัญญาณที่เหมือนต้นฉบับมาก (รูปที่ 2.13) ซึ่งนี่เองทำให้สามารถวิเคราะห์ความถี่และขนาดของความถี่ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณคาบใดๆ ก็ได้ด้วยอนุกรมฟูริเยร์ ซึ่งต่อมาได้ถูกพัฒนามาจน

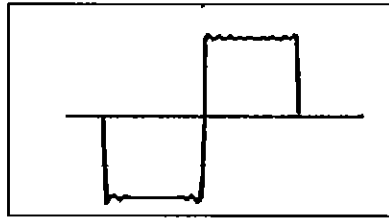
เป็นการแปลงฟูรีเยอร์อย่างรวดเร็วซึ่งใช้ได้ทั้งกับสัญญาณที่เป็นคาบและไม่เป็นคาบก็ได้และเพิ่มขีดความสามารถในการคำนวณได้เร็วขึ้น ดังรูปที่ 2.11 แสดงการเขียนสมการอนุกรมฟูรีเยอร์ที่ใช้แทนสัญญาณสุ่มซึ่งพบว่าอนุกรมฟูรีเยอร์สามารถบรรยายสัญญาณต้นฉบับได้อย่างดี



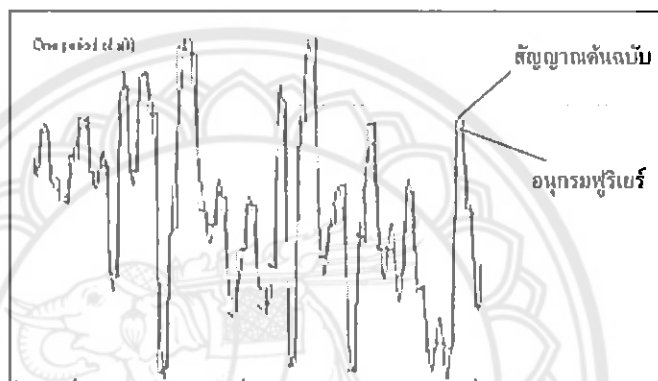
รูปที่ 2.10 การเทียบขนาดสัญญาณชายนกับสัญญาณต้นฉบับเพื่อหาค่าเทียบเท่าพลังงานสัญญาณคลื่นชายนกับต้นฉบับซึ่งพบว่าคลื่นสี่เหลี่ยมจะต้องแทนด้วยคลื่นชายนที่มีความถี่เดียวกัน และมีขนาดมากกว่าเป็น $4/3 \pi$ เท่า



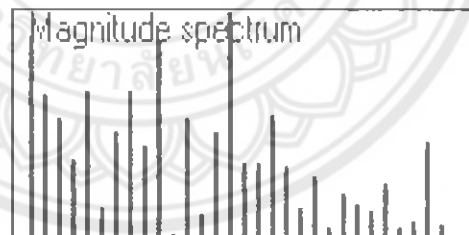
รูปที่ 2.11 รูปคลื่นชายนสองคลื่น ความถี่ 1 เท่า และ 3 เท่า ซึ่งมีการหาขนาดเทียบเท่ากับสัญญาณต้นฉบับ และทำการรวมกันให้ใกล้เคียงต้นฉบับมากขึ้น



รูปที่ 2.12 รูปคลื่นซายน์จำนวน 41 คลื่นด้วยความถี่ และขนาดต่างๆ กันนำมารวมกันเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมต้นฉบับ



ขนาดของสเปกตรัมสัญญาณที่แทนด้วยอนุกรมฟูรีเยร์



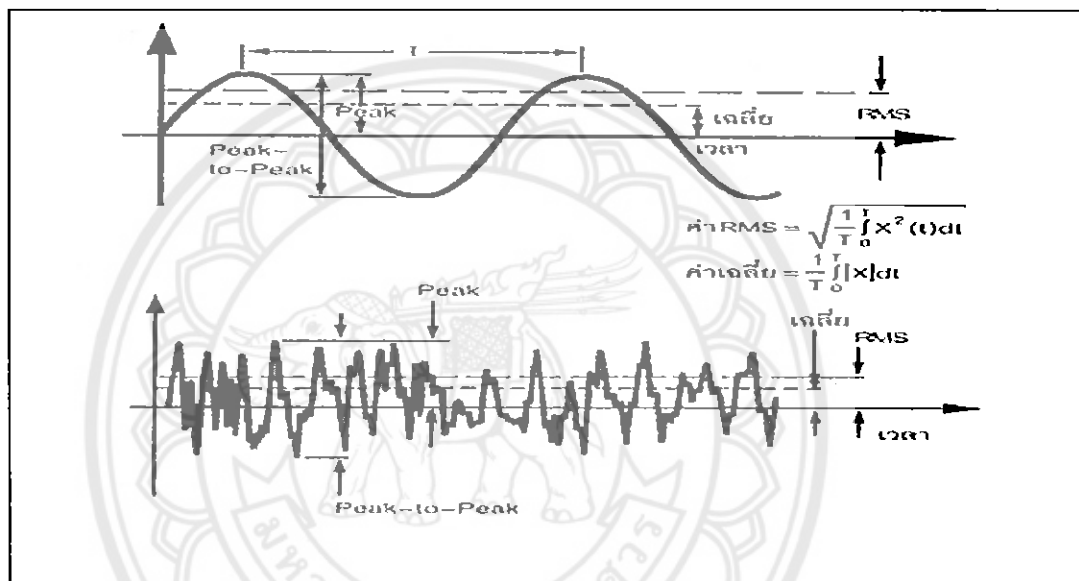
แกนความถี่

รูปที่ 2.13 สัญญาณรบกวนที่ใช้อนุกรมฟูรีเยร์ 30 เทอมเพื่อประมาณแทนสัญญาณ และการพล็อตสเปกตรัมของสัญญาณนี้

2.8 การวัดขนาดการสั่นสะเทือน

ในปัจจุบันนี้เครื่องมือวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักร มีความทันสมัย มีการออกแบบและพัฒนาให้มีความแม่นยำ และมีประสิทธิภาพในการวัด อีกทั้งยังมีหลากหลายรูปแบบให้เลือกตามความต้องการใช้งาน

2.8.1 การวัดค่าการสั่นสะเทือน



รูปที่ 2.14 ลักษณะรูปคลื่นการสั่น และค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการวัดการสั่นสะเทือน

จากรูปที่ 2.14 คือ ลักษณะรูปคลื่นการสั่น และค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการวัดการสั่นสะเทือน สำหรับตำแหน่งการวัดค่าการสั่นสะเทือนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ค่าสูงสุด (Peak) (P, PK) หรือแอมพลิจูด (Amplitude) คือ ค่าการสั่นสะเทือนจากจุดอ้างอิงที่จุดศูนย์หรือจุดเริ่มต้นถึงจุดสูงสุดของคลื่น
2. ค่าสูงสุดบนถึงต่ำสุดล่าง (Peak to Peak) (P-P, PK-PK) หรือ ดับเบิลแอมพลิจูด คือ ค่าการสั่นสะเทือน 2 เท่าของค่าสูงสุด (Amplitude) เหมาะสำหรับการวัดค่าการสั่นสะเทือนชนิดที่เลือกวัดเป็นระยะทาง
3. ค่าเฉลี่ย RMS (Root Mean Square) คือค่าการสั่นสะเทือนรากที่สองของผลรวมกำลังสองของการสั่นสะเทือนในช่วงเวลาหนึ่ง เป็นการเฉลี่ยตลอดคาบ โดยค่าเฉลี่ยที่ได้จะเรียกว่าค่า RMS ถ้าเขียนในรูปสมการจะได้ (X_{RMS} หรือ X_{EFF})

$$X_{\text{RMS}} = 0.07 \times \text{Peak} \quad (2.14)$$

4. อัตราส่วนพีค (Peak ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างค่าความเร่งสูงสุด ต่อค่าความเร่ง RMS หรือเรียกว่า “crest factor” (CF) เหมาะสำหรับการตรวจวัด วิเคราะห์ความเสียหายของตลับลูกปืน โดยอัตราส่วนพีคหาได้จาก

$$\text{Peak ratio} = \text{CF} = \frac{\text{Peak}}{\text{RS}} = \sqrt{2} \quad (2.15)$$

5. ค่าเฉลี่ย (Average) คือ ค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนโดยรวมตลอดคาบ เป็นทั้งค่าบวกและค่าลบ เมื่อเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงหรือจุดเริ่มต้นทำให้ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ สำหรับการสั่นสะเทือนที่มีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์จะได้ค่าเฉลี่ยคือ

$$X_{\text{ave}} = \frac{1}{T} \int_0^T |X| dt = \frac{2}{\pi} \times \text{Peak} = 0.637 \times \text{Peak} \quad (2.16)$$

6. ค่า Form factor คือ อัตราส่วนระหว่างค่า RMS ต่อค่าเฉลี่ย จะได้

$$\text{Form factor} = \frac{\text{ค่าRMS}}{\text{ค่าเฉลี่ย}} = 1.11 \quad (2.17)$$

7. ค่าการสั่นสะเทือนโดยรวม (Overall vibration) คือ ค่าแสดงการสั่นสะเทือนตลอดช่วงความถี่หนึ่ง เนื่องจากการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรแต่ละความถี่ จะมีค่าการสั่นสะเทือนแตกต่างกันออกไป ค่าโดยรวมจะแสดงออกมาในลักษณะ RMS จะได้

$$X_{\text{overall}} = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + \dots + A_n^2} \quad (2.18)$$

$A_1 \dots A_n$ = ค่าการสั่นสะเทือนของแต่ละความถี่ในช่วงความถี่ที่กำหนด

2.8.2 ค่าเปรียบเทียบลักษณะคลื่น

1. หน่วยวัดค่าการสั่นสะเทือนอ้างอิงตามระบบ ISO 1000 ข้อสำคัญก็คือ ค่าวัดการสั่นสะเทือนจะต้องระบุหน่วยวัดและตำแหน่งการวัด เช่น วัดเป็น Peak, RMS หรือ Peak to Peak
2. ค่าวัดเป็นเดซิเบลเปรียบเทียบกับระดับอ้างอิงมาตรฐาน ISO R1683 ได้ว่า ระดับการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นมาก-น้อยเพียงใด โดยวัดเป็นหน่วย (dB, Decibels) จากสูตร

$$N = 20 \log_{10} \left(\frac{a}{a_{\text{ref}}} \right) \quad (2.19)$$

เมื่อ N = จำนวนเดซิเบล dB

a = ขนาดการสั่นที่วัด

a_{ref} = ขนาดเปรียบเทียบมาตรฐาน ISO R1683

3. การเปรียบเทียบตามมาตรฐาน ISO R1683 ขนาดการเปรียบเทียบตามมาตรฐาน ISO แบ่งได้ดังต่อไปนี้

- ถ้าวัดเป็นความเร่ง ระดับเปรียบเทียบ $a_0 = 10^6 \text{ m/s}^2$
- ถ้าวัดเป็นความเร็ว ระดับเปรียบเทียบ $V_0 = 10^9 \text{ m/s}$
- ถ้าวัดเป็นระยะทาง ระดับเปรียบเทียบ $X_0 = 10^{12} \text{ m}$
- ถ้าวัดเป็นแรง ระดับเปรียบเทียบ $F_0 = 10^6 \text{ N}$

4. การเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือน Linear กับ dB ในการเปรียบเทียบการวัดคลื่นความถี่การสั่นสะเทือนแบบ Linear กับแบบ dB ที่ขนาดการสั่นเท่ากันนั้นแบบ Linear จะแสดงสัญญาณคลื่นที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนกว่า

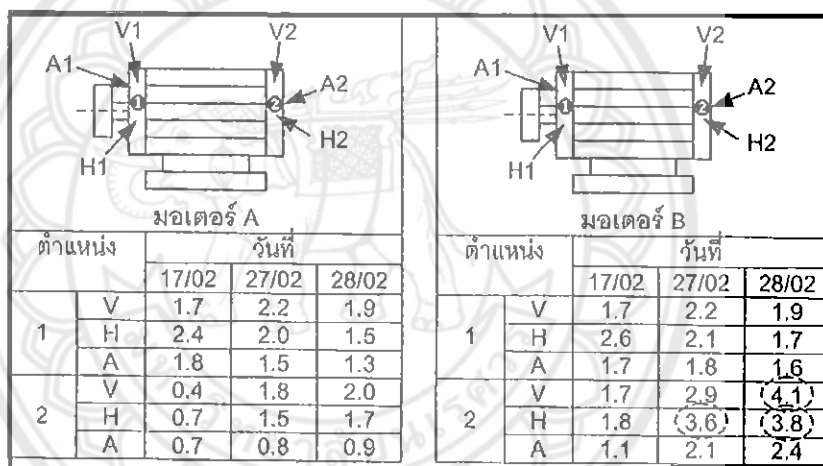
2.9 มาตรฐานการวิเคราะห์ความรุนแรงการสั่นสะเทือน

การตรวจวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ไม่มีเกณฑ์กำหนดที่ตายตัวว่าเครื่องจักรนั้นมีความแข็งแรงทนทานเพียงใด ขนาดความสั่นเท่าใดเครื่องจักรจึงจะเสียหาย เพราะมีตัวแปร หรือปัจจัยต่างๆมากมาย เช่น ขนาดของชิ้นส่วน ระยะห่าง ขนาดน้ำหนัก การประกอบ การติดตั้งใช้งาน ฉะนั้นผู้วิเคราะห์และวินิจฉัยจะต้องใช้ความระมัดระวังในการรวบรวมข้อมูลอื่นๆ มาประกอบให้มากและรอบคอบที่สุดเกณฑ์การตัดสินใจซ่อมแซมและแก้ไขปัญหาชนิดนี้

2.9.1 วิเคราะห์จากแนวโน้ม (Trend analysis) โดยการดูแนวโน้มการสั่นสะเทือนผิดปกติเป็นระยะๆ เช่น ทุกชั่วโมงหรือทุกวัน และนำข้อมูลที่รวบรวมมาเปรียบเทียบกับตามระยะเวลา ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย

2.9.2 ใช้เกณฑ์กำหนดจากผู้ผลิตเครื่องจักร คือการนำค่าการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่วัดได้จากเครื่องมือวัด เปรียบเทียบกับค่าการสั่นสะเทือนที่ผู้ออกแบบหรือผู้ผลิตกำหนด

2.9.3 เปรียบเทียบกับเครื่องจักรที่เหมือนกัน โดยการนำค่าการสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดมาได้ มาเปรียบเทียบกับเครื่องจักรอื่นๆ ที่เหมือนกัน มีขนาด และสภาพการใช้งานเช่นเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบว่าการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรใดสูงผิดปกติกว่าเครื่องจักรอื่นๆ



ตำแหน่ง		วันที่		
		17/02	27/02	28/02
1	V	1.7	2.2	1.9
	H	2.4	2.0	1.5
	A	1.8	1.5	1.3
2	V	0.4	1.8	2.0
	H	0.7	1.5	1.7
	A	0.7	0.8	0.9

ตำแหน่ง		วันที่		
		17/02	27/02	28/02
1	V	1.7	2.2	1.9
	H	2.6	2.1	1.7
	A	1.7	1.8	1.6
2	V	1.7	2.9	(4.1)
	H	1.8	(3.6)	(3.8)
	A	1.1	2.1	2.4

รูปที่ 2.15 การใช้เกณฑ์เปรียบเทียบระหว่างเครื่องจักรที่เหมือนกันในการกำหนดวันหยุดซ่อม

จากรูปที่ 2.15 การตรวจวัดและติดตามการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ B พบว่า ที่ตำแหน่ง 2 มีการสั่นสะเทือนและเสียงดังผิดปกติ เปรียบเทียบกับตำแหน่ง 1 ระหว่างตำแหน่งต่อตำแหน่ง คือ V ต่อ V, H ต่อ H และ A ต่อ A พบว่าตำแหน่ง 2 มีค่าการสั่นสูงกว่า และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

2.9.4 เกณฑ์กำหนดจากมาตรฐานสากล เป็นเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นจากผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ความสามารถเฉพาะด้าน กำหนดเป็นมาตรฐานสากล เช่น

- มาตรฐาน ISO 2372

เป็นแผนภูมิมาตรฐานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในแถบยุโรปและใช้เป็นตารางอ้างอิงเปรียบเทียบ สำหรับการออกแบบและผลิตเครื่องจักร โดยแบ่งระดับความรุนแรงเป็น 4 ระดับ คือ ดีมาก ดี พอใช้ ต้องแก้ไข และแบ่งประเภทของเครื่องจักรเป็น 4 ประเภทตามขนาดของเครื่องจักร ดังนี้

1. ประเภทที่ 1 เป็นเครื่องจักรขนาดเล็ก ถึงขนาด 20 แรงม้า หรือ 25 กิโลวัตต์
2. ประเภทที่ 2 เป็นเครื่องจักรขนาดปานกลางตั้งแต่ 20-100 แรงม้า 15-75 กิโลวัตต์
3. ประเภทที่ 3 เป็นเครื่องจักรที่ติดตั้งบนแท่นรองรับยึดหยุ่นได้ เช่น บนแท่นรองรับสปริง ยางแท่นเครื่องตั้งแต่ขนาด 100-400 แรงม้าหรือ 75-300 กิโลวัตต์
4. ประเภทที่ 4 เป็นเครื่องจักรขนาดใหญ่ ขนาดตั้งแต่ 400 แรงม้า หรือ 300 กิโลวัตต์ขึ้นไป



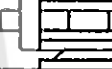
	ประเภทเครื่องจักร ISO 2372-1974 E			
	ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	ประเภทที่ 3	ประเภทที่ 4
การสั่นสะเทือน เป็นความเร็ว: (mm/s ²)	ขนาดเล็ก	ขนาดปานกลาง	ขนาดใหญ่	ขนาดใหญ่มาก
	ไม่เกิน 20 HP หรือ ไม่เกิน 15 kW	20-100 HP หรือ 15-75 kW	ติดตั้งบนแท่นยึดหยุ่น 100-400 HP หรือ 75-300 kW	ติดตั้งบนแท่น ยึดหยุ่น 400 HP ขึ้นไป หรือ 300 kW ขึ้นไป
	ติดตั้งบนแท่นแข็งแกร่ง ไม่เกิน 400 HP หรือ ไม่เกิน 300 kW	ติดตั้งบนแท่นแข็งแกร่ง 400 HP ขึ้นไป หรือ 300 kW ขึ้นไป		
0.71	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก
1.12	ดี	ดี	ดี	ดี
1.8	ดี	ดี	ดี	ดี
2.8	พอใช้	พอใช้	พอใช้	ดี
4.5	พอใช้	พอใช้	พอใช้	ดี
7.1	ต้องแก้ไข	ต้องแก้ไข	พอใช้	ดี
11.2	ต้องแก้ไข	ต้องแก้ไข	ต้องแก้ไข	พอใช้
18	ต้องแก้ไข	ต้องแก้ไข	ต้องแก้ไข	ต้องแก้ไข

รูปที่ 2.16 แผนภูมิความเร็วการสั่นตามมาตรฐาน ISO 2372-1974 E

- มาตรฐาน VDI 2056

เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน ขนาดของการสั่นสะเทือนวัดเป็นความเร็วเฉลี่ย RMS หน่วยเป็น mm/s หรือวัดเป็น VdB โดยแบ่งระดับความรุนแรงเป็น 4 ระดับคือ ดี ยอมรับได้ ยังพอใช้ได้ ต้องแก้ไข และแบ่งประเภทเครื่องจักรเป็น 3 กลุ่มคือ

1. กลุ่ม K เป็นเครื่องจักรขนาดเล็กจนถึงขนาดไม่เกิน 15 กิโลวัตต์ หรือไม่เกิน 20 แรงม้า
2. กลุ่ม M เป็นเครื่องจักรขนาดปานกลางระหว่าง 15-75 กิโลวัตต์หรือ 20-100 แรงม้า
3. กลุ่ม G เป็นเครื่องจักรขนาดใหญ่เกินกว่า 75 กิโลวัตต์ หรือ 100 แรงม้า ขึ้นไป

VDI 2056		Group K	Group M	Group G
				
		< 15 kw	15-75 kw (300 kw)	> 75 kw
ความเร็ว (RMS), VdB (10 ³ mm/s)	ความเร็ว (RMS), (min/s)	เครื่องจักรขนาดเล็ก ไม่เกิน 15 kw	เครื่องจักรขนาดปานกลาง 15-75 kw หรือ ไม่เกิน 300 kw เมื่อติดตั้งบนฐานพิเศษ	เครื่องจักรขนาดใหญ่ เมื่อติดตั้งบนแท่นฐานที่หนักและแข็งแรงที่มีความถี่ธรรมชาติมากกว่าความเร็วของเครื่องจักร
153	45	ต้องแก้ไข	ต้องแก้ไข	ต้องแก้ไข
149	28			ยังพอใช้ได้
145	18		ยังพอใช้ได้	
141	11.2		ยังพอใช้ได้	
137	7.1		ยังพอใช้ได้	
133	4.5	ยอมรับได้	ยอมรับได้	ยังพอใช้ได้
129	2.8			ยอมรับได้
125	1.8	ดี	ดี	ดี
121	1.12			ดี
117	0.71			ดี
113	0.45			
109	0.28			
105	0.18			

รูปที่ 2.17 แผนภูมิเกณฑ์การสั่นตามมาตรฐาน VDI 2056

- มาตรฐาน JIS B 8330

เป็นมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่นที่ใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบความรุนแรงการสั่นสะเทือนของพัลลม ที่ตรวจวัดบนเสื้อแบริ่ง (Bearing case) เป็นความเร็วการสั่นสะเทือนซึ่งหาได้จากสูตร คือ

$$V = \frac{NA\pi}{60,000} \quad (2.20)$$

เมื่อ V = ความเร็วการสั่นสะเทือน, mm/s

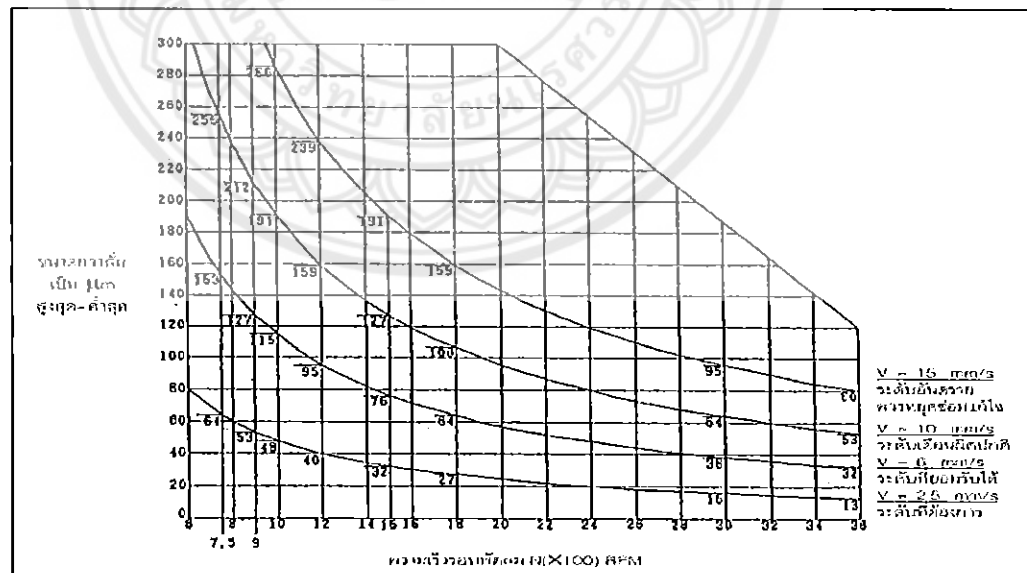
A = ขนาดการสั่นสะเทือน จากค่าสูงสุดบน ถึงต่ำสุดล่าง (Double amplitude หรือ Pk-Pk)

หน่วยเป็น μm

N = ความเร็วรอบพัลลม, RPM

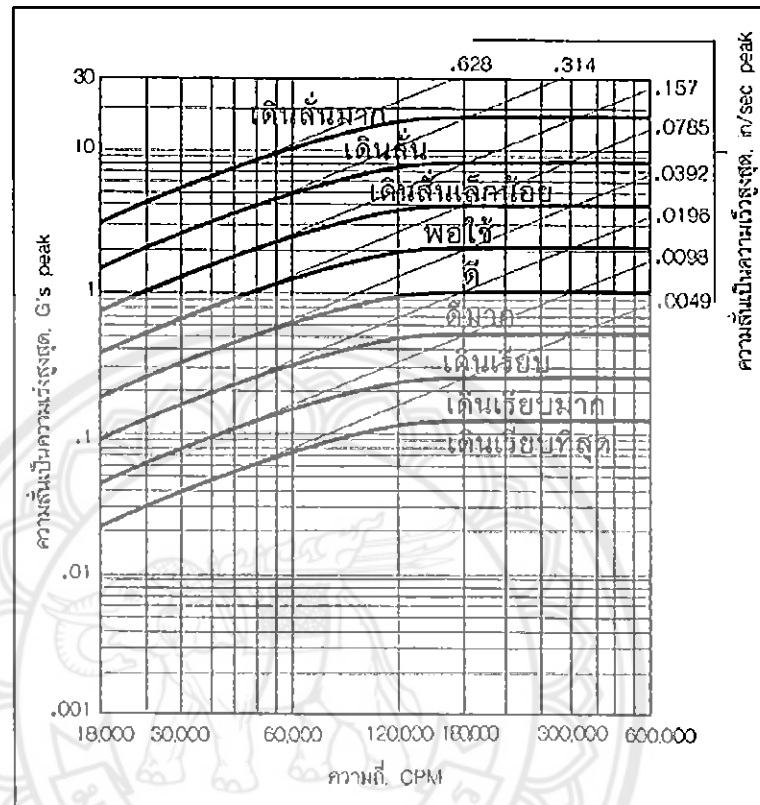
ระดับความรุนแรง

1. ระดับที่ต้องการ (Desired value)
2. ระดับที่ยอมรับได้ (Allowable value)
3. ระดับเตือนผิดปกติ (Value of alarm)
4. ระดับอันตรายควรหยุดซ่อมแก้ไข (Value of trip)



รูปที่ 2.18 กราฟระดับการสั่นสะเทือนของพัลลม โดยเปรียบเทียบระหว่างความเร็วรอบพัลลม (RPM) กับขนาดการสั่น (Pk-Pk)

2.10 การเปรียบเทียบการวัดเป็นความเร่ง และความเร็ว



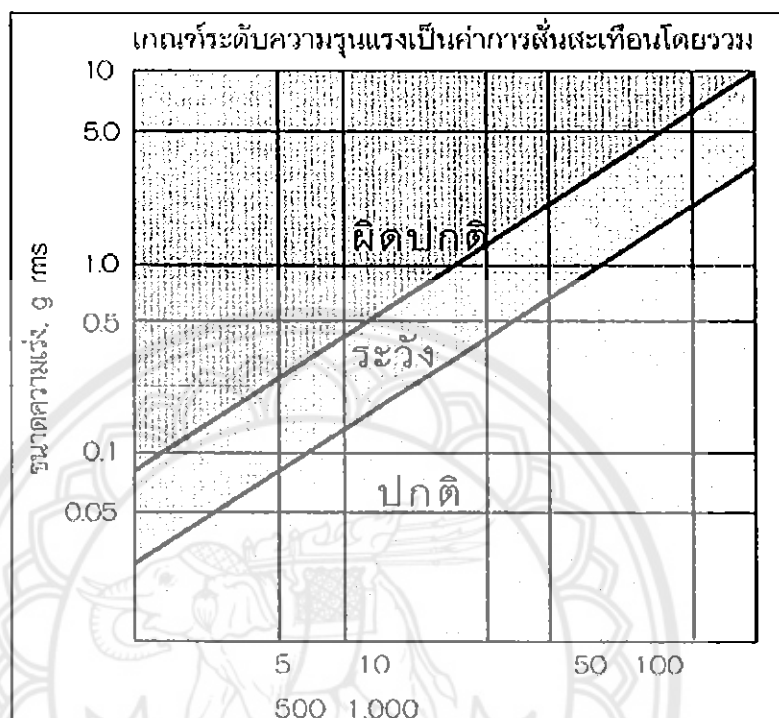
รูปที่ 2.19 กราฟเปรียบเทียบการวัดเป็นความเร่งและความเร็ว

ลักษณะของกราฟ อธิบายตามแกนต่างๆ ได้ดังนี้

- เส้นตรงแนวตั้ง เป็นเส้นแบ่งความถี่ระหว่าง 18,000-600,000 CPM
- เส้นตรงแนวราบ แบ่งขนาดการสั่นสะเทือนความเร่งเป็น G's peak
- เส้นตรงแนวเฉียงจากด้านซ้ายขึ้นไปทางขวา แบ่งขนาดการสั่นสะเทือนเป็นความเร็ว หน่วย

เป็น in/sec peak

2.11 เปรียบเทียบจากค่าการสั่นสะเทือนโดยรวม



รูปที่ 2.20 กราฟเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนโดยรวม

ลักษณะของกราฟ

- สเกลริมซ้ายมือ แบ่งขนาดการสั่นสะเทือนที่วัดเป็นความเร่ง g.rms
- สเกลแนวราบด้านล่าง แบ่งตามความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ของเพลลา

- เส้นตรงแนวเฉียงจากซ้ายขึ้นไปทางขวา แบ่งระดับความรุนแรงการสั่นสะเทือนเป็นระดับ “ปกติ” “เตือนภัย” และ “ต้องแก้ไข”

2.12 การจัดทำระบบบำรุงรักษา

การบำรุงรักษาที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม ส่วนมากแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.12.1 การบำรุงรักษาเมื่อเครื่องจักรเสียแล้วซ่อม (Breakdown Maintenance; BM)

เป็นการใช้งานจนกระทั่งเครื่องจักรเสียหาย ใช้งานไม่ได้ จึงซ่อมแซม แก้ไข หรือเปลี่ยนใหม่ ทำให้มีข้อเสีย คือ

1. เสียค่าใช้จ่ายมาก บางกรณีไม่สามารถซ่อมแซมให้ใช้งานได้ต่อไปอีกเพราะเสียหายมาก แก้ไขไม่ได้ต้องเปลี่ยนใหม่หมด ทำให้มีการลงทุนซื้อเครื่องจักรใหม่ที่มีราคาสูงขึ้น ใช้นเวลายาวนานขึ้นทั้งกำลังพล และอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ

2. สูญเสียผลผลิต

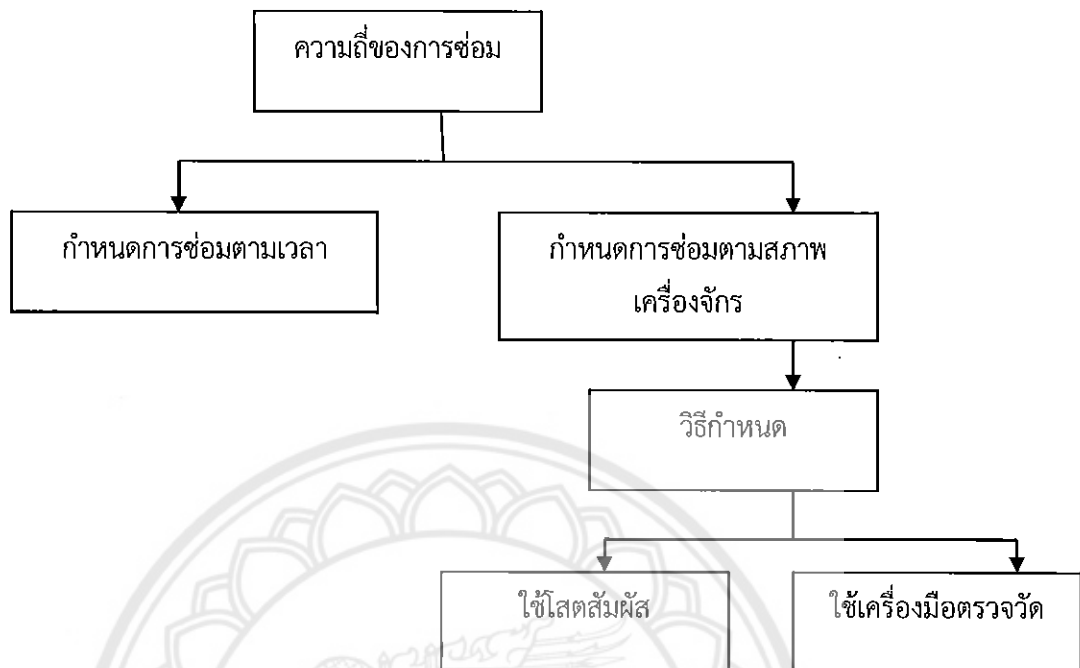
3. เสียค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงมาก

2.12.2 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance; PM)

การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน หรือตามแผนที่กำหนดไว้ (PM) เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นจากผู้บริหารการซ่อมบำรุง สิ่งที่ผู้บริหารงานซ่อมบำรุงพึงปรารถนาคือ ต้องการให้เครื่องจักรทำได้ตามปกติ เดินเรียบสม่ำเสมอ มีประสิทธิภาพ และเป็นมาตรฐานเดียวกันตลอด โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายต่ำสุด ตามความเหมาะสมของแต่ละโรงงาน โดยมีเป้าหมายหลัก ดังต่อไปนี้

- ลดการขัดข้องหรือขจัดปัญหาการทำงานของเครื่องจักรให้หมดไป
- ลดเวลาการหยุดทำงานของเครื่องจักร

ฉะนั้น ความเหมาะสม หรือความพอดีในการกำหนดช่วงความถี่ในการตรวจซ่อมบำรุง อาจพิจารณาได้จากองค์ประกอบหลายๆ อย่างรวมกัน เช่น จากคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องจักร สภาพแวดล้อมการใช้งาน เวลาการทำงาน หน้า-เบา มาก-น้อย อย่างไรก็ตาม ความถี่ที่เกิดการขัดข้องจากประวัติที่ผ่านมา และซ่อมบำรุงตามการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร เป็นต้น



รูปที่ 2.21 ผังการกำหนดความถี่การซ่อมบำรุง

ข้อดี

1. เนื่องจากมีการตรวจสอบสภาพอยู่เสมอ และมีการบำรุงรักษาล่วงหน้า ทำให้ทราบสภาพและตัดสินใจได้ว่า จะใช้งานได้ต่อไปหรือต้องเปลี่ยนใหม่ เพื่อวางแผนการซ่อมบำรุงเตรียมพร้อมอะไหล่ และกำลังพล ทำให้เวลาการซ่อมบำรุงลดลงและประหยัดค่าใช้จ่าย
2. การขัดข้องฉุกเฉินลดลง
3. สามารถวางแผนการซ่อมบำรุง ให้สอดคล้องกับแผนการผลิตเพิ่มขึ้น

ข้อเสีย

1. ถ้าการทำ PM ล่วงหน้ากำหนดให้มีการเปลี่ยนอะไหล่ตามเวลาการใช้งาน ซึ่งอะไหล่บางอย่างอาจยังมีสภาพดี สามารถใช้งานต่อไปได้อีก ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น หากต้องเปลี่ยนใหม่เร็วเกินไป
2. การตรวจสอบสภาพภายในเครื่องจักรขนาดใหญ่ เช่น แบริ่งตลับลูกปืน อาจจะต้องใช้วิธีถอดชิ้นส่วน และเปิด-ปิดฝาครอบ ทำให้ใช้กำลังพลมาก สูญเสียเวลา และอาจทำให้ชิ้นส่วนเกิดการชำรุดเสียหายได้

2.12.3 การบำรุงรักษาพยากรณ์ (Predictive Maintenance; PdM)

การบำรุงรักษาพยากรณ์ (PdM) เป็นการบำรุงรักษาตามสุขภาพเครื่องจักรในแนวการบำรุงรักษาหวิผล (Productive maintenance) ซึ่งเป็นวิธีการกำหนดเวลาซ่อมบำรุงที่ดีที่สุดสามารถใช้ประโยชน์เครื่องจักร และอุปกรณ์ได้สูงสุด นั่นคือ การทำงานจนกระทั่งเสื่อมสภาพลง จึงดำเนินการซ่อมบำรุง หรือปรับปรุงให้กลับคืนสู่สภาพเดิมหรือดียิ่งขึ้น

การกำหนดความถี่การซ่อมบำรุงตามสุขภาพ เหมาะสำหรับเครื่องจักรที่สามารถตรวจวัดสุขภาพได้ เช่น การวิเคราะห์สุขภาพภายในเครื่องจักรจากสารหล่อลื่น การตรวจวัดความร้อน, เสียง, ความสั่นสะเทือน, การสึกหรอของแบริ่ง เป็นต้น

2.13 การตรวจวัดสภาพเครื่องจักร

แนวทางการตรวจวัดสภาพเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ แบ่งออกเป็นสองลักษณะ คือ

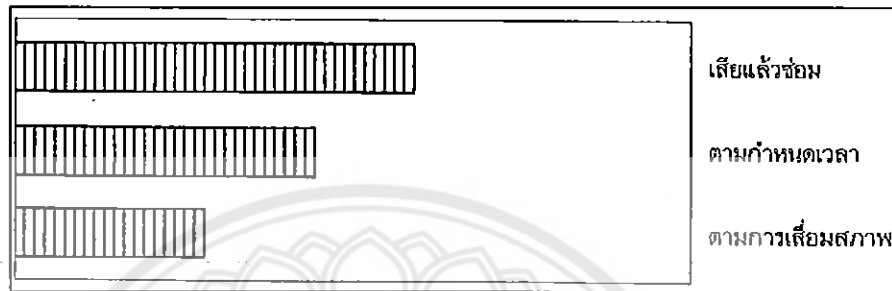
2.13.1 ตรวจวัดจากความรู้สึกเป็นวิธีการพื้นฐานแบบง่ายๆ ที่พนักงานซ่อมบำรุงควรฝึกฝน ซึ่งถือว่าเป็นทักษะเบื้องต้น เพื่อสร้างประสาทสัมผัสของความเป็น “ช่าง” สร้างสมประสบการณ์จากการสังเกต เช่น ร้อนผิดปกติ เสียงดัง สั่น มีสีกลิ่นผิดปกติการตรวจวัดการเสื่อมสภาพวิธีนี้ โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดจากพนักงานมีมาก เนื่องจากสัมผัสสัมผัสแต่ละคนแตกต่างกัน ไม่สามารถบันทึกเป็นข้อมูลได้ ทำให้ขาดความมั่นใจในการวิเคราะห์สภาพเครื่องจักร

2.13.2 ตรวจวัดจากเครื่องมือวัดต่างๆ เป็นผลมาจากการวิวัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีในปัจจุบันอย่างรวดเร็ว มีการออกแบบผลิตเครื่องมือวัดต่างๆ เป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ตรวจวัดให้เหมาะสมกับงานแทนการตรวจวัดด้วยสัมผัส ทำให้ได้ผลการตรวจวัดถูกต้องเป็นมาตรฐานเดียวกัน ไม่จำกัดว่าจะต้องเป็นผู้ใดผู้หนึ่งในสภาพใด และสามารถพยากรณ์ว่าจะสามารถใช้งานต่อไปได้อีกนานเท่าใด

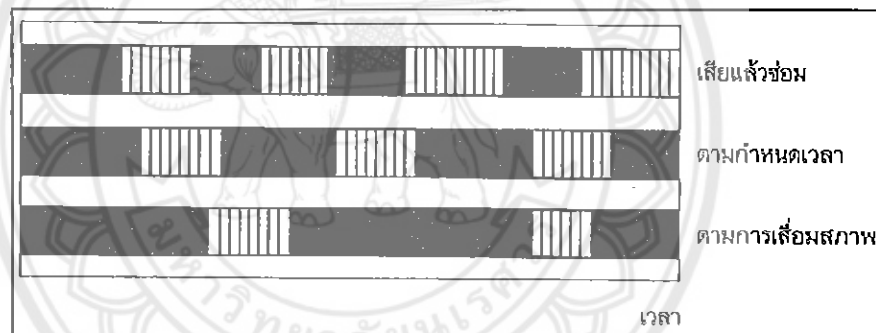
2.14 แนวทางการบำรุงรักษาพยากรณ์

การบำรุงรักษาพยากรณ์ หมายถึง การบำรุงรักษาโดยการตรวจวัดสุขภาพเครื่องจักรอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ เพื่อตรวจสอบแนวโน้มสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในขณะที่เครื่องจักรทำงาน ทำให้ทราบว่าเครื่องจักรทำงานอยู่ในสภาพใด เพื่อคาดการณ์หรือทำนายการซ่อมบำรุงล่วงหน้า โดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดบันทึก วิเคราะห์ผลและแก้ไขปัญหา

ดังนั้น ในการตรวจสอบเครื่องจักร จึงใช้ทั้งการตรวจวัดด้วยโสตประสาทสัมผัสกับเครื่องมือวัดที่จำเป็นบางอย่าง เช่น เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือวิเคราะห์ผลการสึกหรอ เครื่องมือฟังเสียงคลื่นความถี่สูง เครื่องมือตรวจสอบสภาพลูกปืน เป็นต้น



รูปที่ 2.22 การเปรียบเทียบความถี่การหยุดซ่อม



รูปที่ 2.23 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ซ่อมบำรุง

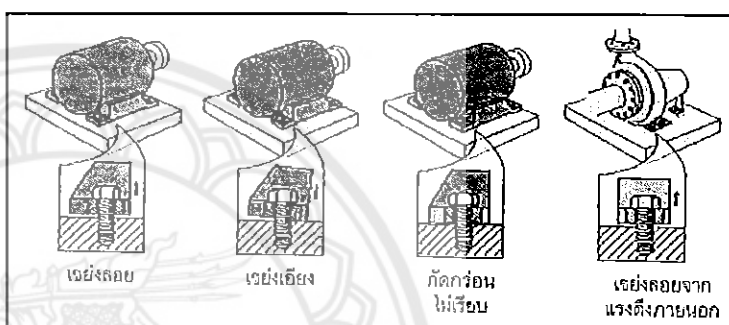
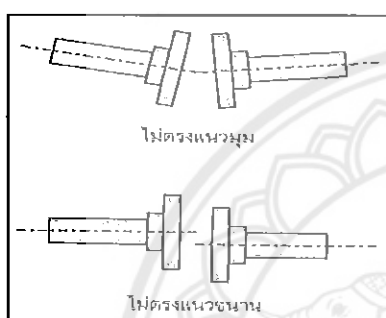
2.15 การสำรวจเครื่องจักรสำหรับ PdM

2.15.1 การปนเปื้อนในสารหล่อลื่น หมายถึง สารหล่อลื่นไม่ว่าจะเป็นจาระบีหรือน้ำมันหล่อลื่น มีการปนเปื้อนจากฝุ่นผงสกปรกที่เป็นได้ทั้งโลหะหรือโลหะ โดยอาจมาจากภายนอกเข้าสู่ภายในเครื่องจักร หรืออาจจะมาจากภาชนะบรรจุเติมสารหล่อลื่นจากการชำรุดของตัวกรองช่องระบายอากาศ (Breather) ถ้าการปนเปื้อนมีมากเกินไปก็ทำให้สารหล่อลื่นสกปรก ทำให้ภายในเครื่องจักรสกปรก เครื่องจักรสึกหรอขัดข้อง เสียหายเร็วผิดปกติ

2.15.2 สารเพิ่มคุณภาพในสารหล่อลื่นที่หมดสภาพ สารหล่อลื่นเกือบทุกชนิดจะได้อมาจากปิโตรเลียมธรรมชาติ หรือจากการสังเคราะห์ โดยจะมีการเติมสารเพิ่มคุณภาพ เช่น สารชะล้างทำความสะอาด สารป้องกันการเกิดสนิม เพิ่มความหนืดความทนทานต่อการกัดกร่อนและสึกหรอ เป็นต้น

2.15.3 ใช้สารหล่อลื่นไม่ถูกต้อง เครื่องจักรแม้ว่าจะเป็นประเภทเดียวกัน แต่เมื่อมีสภาพการทำงาน และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ก็ทำให้ความต้องการสารหล่อลื่นแตกต่างกันไปด้วย

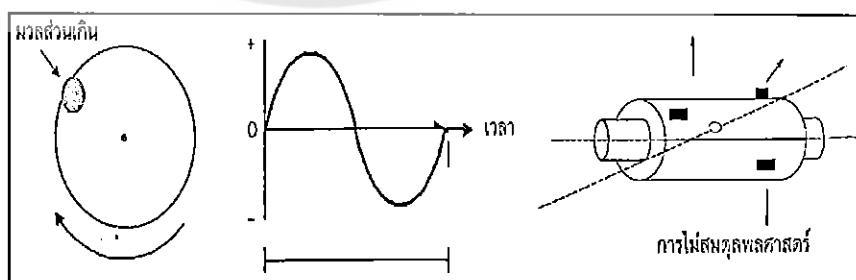
2.15.4 การติดตั้งเครื่องจักรให้ตรงแนวศูนย์ (Alignment) ถือว่าเป็นปัญหาอันดับต้นๆ ที่ทำให้เครื่องจักรเกิดการเสื่อมสภาพ เสียหายเร็วผิดปกติ เนื่องจากการขาดความรู้ความเข้าใจและทักษะการติดตั้งเครื่องให้ตรงแนวศูนย์ให้อยู่ในพิสัยความเสื่อ (Tolerance) ที่ยอมรับได้



รูปที่ 2.24 ลักษณะการติดตั้งเพลานี่ตรงแนวศูนย์

รูปที่ 2.25 ลักษณะการเขย่งลอบที่ขา (Softfoot) ของเครื่องจักร

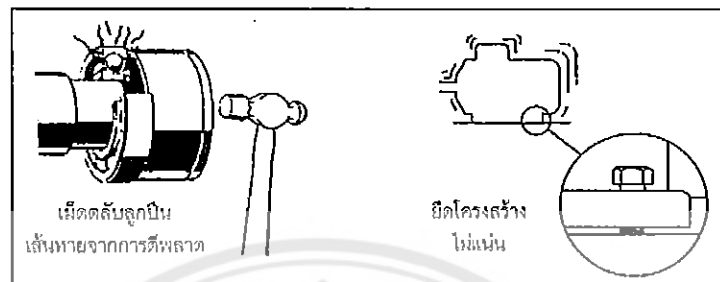
2.15.5 การไม่สมดุลของชิ้นส่วนหมุน ไม่ว่าจะเป็นแผ่นจานกังหัน (Turbine) พัดลม โบลเวอร์ ลูกกลิ้งหรือเพลารโเลอร์ เมื่อหมุนทำงานจะเกิดการสีกหรือ กัดกร่อน หรือมีมวลเพิ่มขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่ง ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางไม่สมดุล ทำให้จุดศูนย์ถ่วง (Center Of Gravity; CG) เบี่ยงเบนหนีไปจากจุดเดิม หรือเกิดจากการผลิตประกอบโรเตอร์ ทำให้เกิดการเยื้องจุดศูนย์กลาง



รูปที่ 2.26 มวลส่วนเกินที่ส่งผลให้เพลารเครื่องจักรไม่สมดุล

2.15.6 การประกอบติดตั้งไม่ถูกต้อง การเสียหาย การขัดข้องของเครื่องจักร สาเหตุหนึ่งมาจากการประกอบติดตั้งไม่ถูกต้อง เช่น การสวมประกอบ การสวมเพื่อการขยายตัว การสลับขั้นตอน

ก่อน - หลัง การสวมประกอบแบริ่งเข้ากับเพลลา หรือเสื่อสวมตลับแบริ่งลูกปืนด้วยวิธีตอกตีแล้วพลาด
ไปถูกชิ้นส่วนอื่นของแบริ่งทำให้ชำรุดเสียตั้งแต่ต้น โดยที่ยังไม่ได้มีการใช้งาน

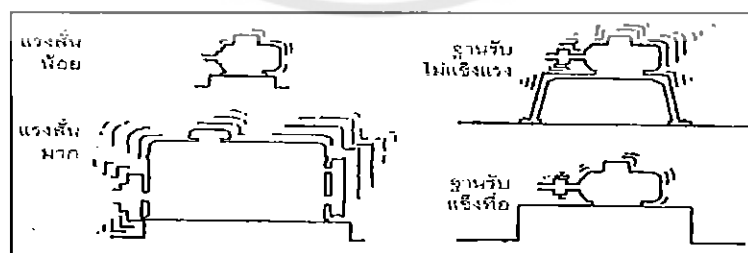


รูปที่ 2.27 การประกอบและติดตั้งเครื่องจักรไม่ถูกต้อง

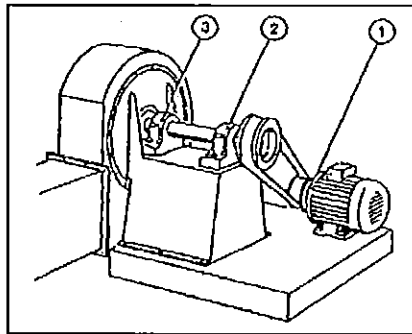
2.15.7 เครื่องจักรร้อนผิดปกติ เครื่องที่ร้อนผิดปกติจะทำให้อายุการใช้งานสารหล่อลื่น
ชิ้นส่วน ขดลวด ไฟฟ้า หน้าสัมผัสสวิตซ์ตัด - ต่อมียอายุการใช้งานสั้นลง

สาเหตุที่เครื่องจักรมีความร้อนสูงผิดปกติอาจมาจากหลายสาเหตุ เช่น ระบบระบาย
ความร้อนน้ำมันหล่อลื่นไม่เพียงพอ สารหล่อลื่นมากเกินไปหรือไม่เพียงพอ ซึ่งถ้าหากเครื่องจักรมี
ความร้อนสูงผิดปกติจะทำให้ชิ้นส่วนที่เป็น ยาง พลาสติกเกิดการเสื่อมสภาพ เสียหายเร็วผิดปกติ

2.15.8 ความสั่นสะเทือน เครื่องจักรที่มีการสั่นสะเทือนสูงผิดปกติจะทำให้เกิดการเสียหาย
เสื่อมสภาพทั้งทางกลและทางไฟฟ้า สาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมาจากหลายสาเหตุ ตั้งแต่การ
ประกอบติดตั้งเครื่องจักร การเผื่อระยะขีดห่าง การสึกหรอ หลวมคลอน การบิดเสียรูป การขยายตัว
จากความร้อน การไม่สมดุล แบริ่งชำรุดเสีย การติดตั้งไม่ตรงแนวศูนย์ เป็นต้น



รูปที่ 2.28 ลักษณะการสั่นของเครื่องจักรซึ่งมีส่วนที่ขึ้นอยู่กับขนาดเครื่องจักรและฐานรองรับ



รูปที่ 2.29 จุดที่ต้องการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

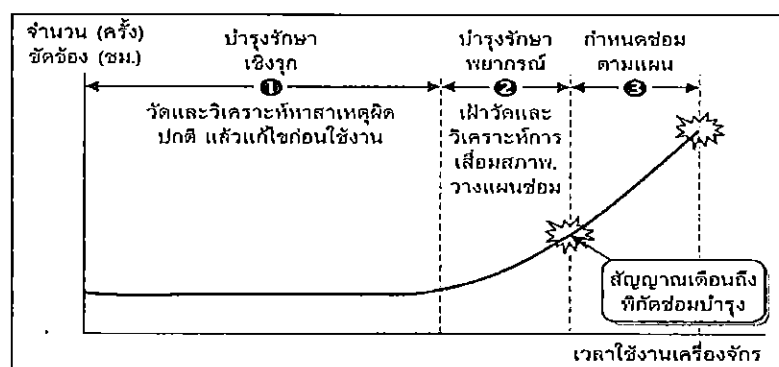
2.15.9 สาเหตุอื่น ๆ นอกจากสาเหตุที่กล่าวมาแล้ว ยังอาจมีสาเหตุอื่นอีก เช่น เสียง การรั่ว ความดัน อัตราการไหล การขยายตัว หดตัว การสึกหรอ แตกกร้าว ทำให้เครื่องจักรและอุปกรณ์เกิดการเสื่อมสภาพเสียหายขัดข้องได้

2.16 ความพร้อมสมบูรณ์และการเสื่อมสภาพเครื่องจักร

2.16.1 การบำรุงรักษาเชิงรุกเป็นการบำรุงรักษาโดยการวัด-วิเคราะห์ หยั่งรู้ หาสาเหตุ ผิดปกติ แก้ไขปรับสภาพก่อนใช้งานในกระบวนการผลิต ซึ่งจะช่วยให้การเสียหายการขัดข้องของเครื่องจักรลดน้อยลง อายุการใช้งานยาวนาน เพิ่มผลผลิต ลดค่าใช้จ่าย

โดยสรุปเหตุผลที่ต้องบำรุงรักษาเชิงรุก มีดังนี้

1. หยั่งรู้ หาสาเหตุการผิดปกติของเครื่องจักรก่อนใช้งานในกระบวนการผลิต
2. ลดสาเหตุ การขัดข้องฉุกเฉิน เมื่อเริ่มใช้งานเครื่องจักร
3. เครื่องจักรมีอายุการใช้งานยาวนานมากขึ้น ทำให้ลดการเบรกดาวน์ ลดค่าซ่อมบำรุง
4. เพิ่มผลผลิต ลดต้นทุนต่อหน่วย เพิ่มกำไร



รูปที่ 2.30 กราฟความพร้อมสมบูรณ์ และการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร

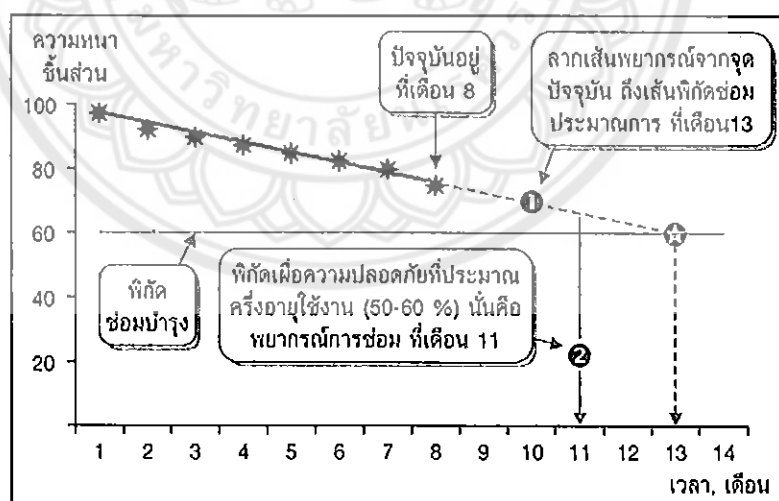
2.16.2 การบำรุงรักษาพยากรณ์ เป็นการบำรุงรักษาเฝ้าติดตามโดยวัดวิเคราะห์การเสื่อมสภาพเครื่องจักร หาสาเหตุผิดปกติ พยากรณ์อายุใช้งาน วางแผนซ่อมบำรุง ลดการเบรกดาวน์ แก้ไขตรงปัญหา

โดยสรุปเหตุผลที่ต้องบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ มีดังนี้

1. พยากรณ์อายุการใช้งานว่าจะสามารถใช้งานได้อีกนานถึงช่วง PM ถัดไปหรือไม่
2. วัด-วิเคราะห์ หาสาเหตุผิดปกติ พยากรณ์วางแผนซ่อมบำรุงไม่ให้เกิดกระทบกับการผลิต
3. แก้ไขปัญหาได้ถูกต้องตรงสาเหตุ ทำได้รวดเร็ว ลดค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุง
4. ลดการเสียหายขัดข้องฉุกเฉิน

2.17 วิธีการบำรุงรักษาพยากรณ์

ขณะตรวจวัดสภาพเครื่องจักร เมื่อพบว่าเครื่องจักรมีแนวโน้มผิดปกติ เช่น การสึกหรอของแผ่นผ้าเบรกวัดความหนาได้ 65 มิลลิเมตร ใกล้พิกัดที่ต้องซ่อมหรือเปลี่ยน เช่น ต้องเปลี่ยนที่ 60 มิลลิเมตร จะพยากรณ์ว่าจะให้งานต่อไปได้อีกกี่วัน กี่ชั่วโมง หรือใช้ถึงช่วง PM ครั้งต่อไปได้หรือไม่ เพื่อวางแผนเตรียมการวัสดุ อะไหล่ เครื่องมือ และกำลังพลไว้ล่วงหน้า



รูปที่ 2.31 ตัวอย่างการพยากรณ์เวลาซ่อมบำรุงล่วงหน้าในระบบการบำรุงรักษาพยากรณ์

2.18 องค์ประกอบสำคัญของระบบบำรุงรักษาพยากรณ์

2.18.1 การสำรวจ ตรวจวัด และควบคุม เป็นการสำรวจรวบรวมว่ามีเครื่องจักรและอุปกรณ์ใดที่สามารถวัดวิเคราะห์สุขภาพได้บ้าง เพื่อวางแผนป้องกันการขัดข้องเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องจักรในโรงงาน เช่น การหาจำนวนปนเปื้อนในสารหล่อลื่น การวัดความร้อน การวัดเสียง ความสั่น การวัดที่สามารถควบคุมได้ มีพิกัดตัดสินใจได้ว่าสภาพใด ดี แย่ ต้องแก้ไข

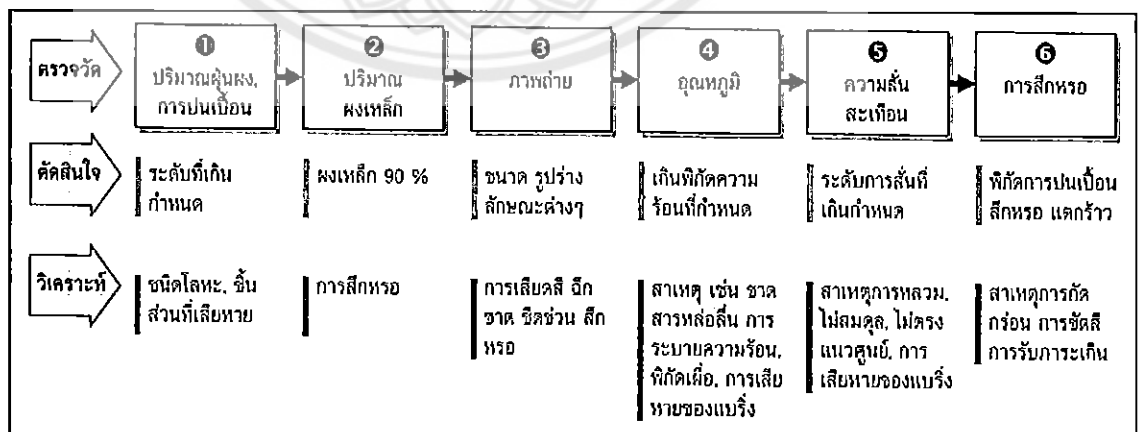
2.18.2 วิเคราะห์สาเหตุสามารถวิเคราะห์ได้ว่าการเสื่อมสภาพผิดปกติของเครื่องจักรมาจากสาเหตุใด เช่น มีการปนเปื้อนสารหล่อลื่นผิดปกติเกิดจากการสึกหรอของแบริงบูช เพือง หรือฝุ่นจากภายนอกเข้าภายในเครื่องจักร

2.18.3 ปรับปรุงและแก้ไขปัญหาเมื่อตรวจวัดวิเคราะห์สาเหตุที่ถูกต้องได้แล้ว จะสามารถแก้ไขปัญหาได้ถูกต้อง ตรงสาเหตุ ลดเวลา และค่าใช้จ่ายในการซ่อมและแก้ไขปัญหา เช่น เครื่องจักรมีเสียงดังสั่นผิดปกติ มาจากสาเหตุการไม่สมดุล ถึงแม้จะมีการซ่อมใหญ่ประกอบติดตั้งเครื่องจักรให้ถูกต้องดี อย่างไรก็ตามก็แก้ปัญหานั้นไม่ได้

2.19 เทคนิคการวิเคราะห์สภาพเครื่องจักร

ในการตรวจวัด-วิเคราะห์สุขภาพเครื่องจักร มีเทคนิคและวิธีดำเนินการดังต่อไปนี้

2.19.1 การวิเคราะห์สารหล่อลื่น (Oil analysis) แสดงการปนเปื้อนในระบบหล่อลื่นแต่ละจุด ทำให้ทราบว่าจุดใดมีการปนเปื้อนมากผิดปกติกว่าจุดอื่นๆ ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 2.31 ระบบน้ำมันหล่อลื่นที่มีจุดผิดปกติที่เกิดจากแบริง จุดที่ 2 มีการปนเปื้อนสูงมากกว่าจุดอื่นๆ คือ 62 ppm



รูปที่ 2.32 เทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์สาเหตุเครื่องจักรเสียหาย

2.19.2 เทอร์โมมิเตอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น พรอท, มิเตอร์, Thermolabel เปลี่ยนสี, อินฟราเรด, ภาพถ่ายทางความร้อน (Thermography)

2.19.3 เครื่องมือฟังเสียงระบบอิเล็กทรอนิกส์ เป็นเครื่องมือฟังเสียงผิดปกติโดยการขยายสัญญาณเสียงด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า Stethoscope เป็นเครื่องมือที่พัฒนามาจากหลักการฟังเสียงผิดปกติที่ใช้ก้านโลหะหรือไขว้ง ทำให้สามารถฟังเสียงผิดปกติของเครื่องจักรได้

2.19.4 เครื่องมือตรวจสอบตลับลูกปืนเป็นเครื่องมือตรวจวัดสภาพตลับลูกปืนที่มีหลักการทำงานโดยวัดความแตกต่างของสัญญาณกระแทกคลื่นเสียง (shock pulse method) ระหว่างเม็ดลูกปืนกับรางแหวนแบริ่งระหว่างค่าเริ่มต้น (dB_i = Decibel initial) ของตลับลูกปืนใหม่กับค่าความเสียหายของตลับลูกปืนขณะใช้งาน (dB_{sv} = Decibel shock value) ดังนี้

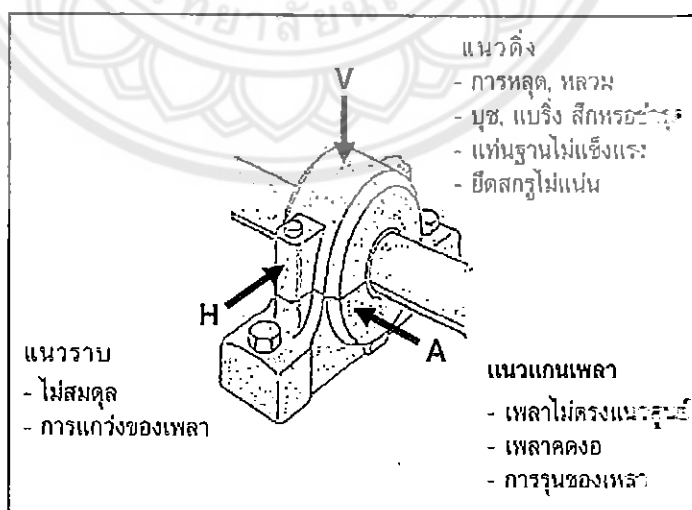
$$dB_n = dB_{sv} - dB_i$$

dB_n = ค่าแสดงการผิดปกติของตลับลูกปืน

dB_{sv} = ค่าที่วัดได้จริง

dB_i = ค่าเริ่มต้นของตลับลูกปืนใหม่

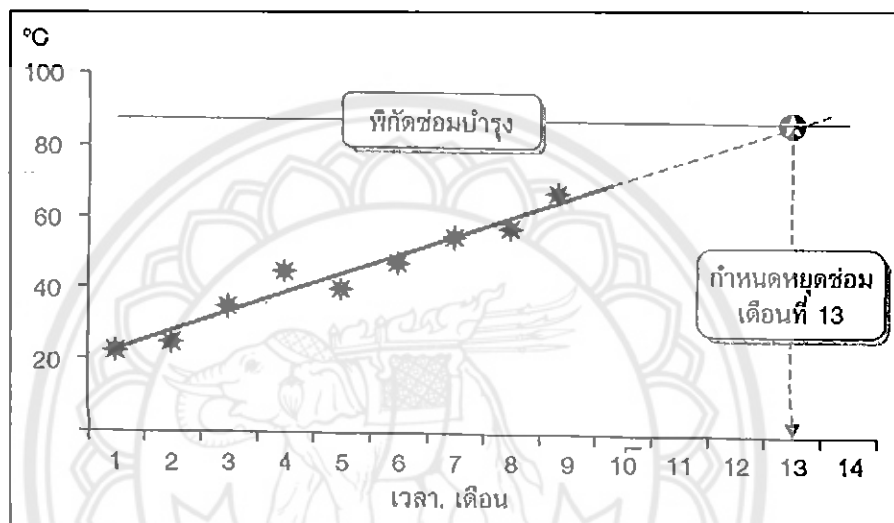
2.19.5 เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน เป็นเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยปกติเครื่องจักรจะทำงานโดยการรับแรงกระทำจากเครื่องต้นกำลัง ซึ่งอาจจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องยนต์ กังหัน ซึ่งจะทำให้เครื่องจักรเกิดการเคลื่อนที่ทุกทิศทางในตำแหน่งอยู่กับที่ เกิดการสั่นสะเทือนที่สามารถตรวจวัดได้เพื่อพิจารณาอาการผิดปกติที่เกิดขึ้น เช่น จากความไม่สมดุล หรือ การติดตั้งเครื่องจักรไม่ตรงแนวศูนย์ (Misalignment)



รูปที่ 2.33 แนวทางการวิเคราะห์ความผิดปกติของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นตามทิศทางการวัด

2.20 การทำนายอายุใช้งานเครื่องจักร

การทำนายอายุใช้งานเครื่องจักร เป็นการเฝ้าติดตามบันทึกอาการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร แล้วสร้างกราฟทำนาย ดังรูปที่ 2.32 ความร้อนฟัดควบคุมสูงสุดที่กำหนด คือ 85°C เมื่อเฝ้าติดตามวัดอย่างสม่ำเสมอทุกๆ 1 เดือน แล้วลากเส้นกราฟประมาณการจนถึงฟัดซ่อมบำรุง ก็สามารถทำนายได้ว่าเดือนที่ 13 จะถึงฟัดซ่อม



รูปที่ 2.35 ตัวอย่างการนำข้อมูลอุณหภูมิเครื่องจักรมาสร้างกราฟเพื่อกำหนดเวลาซ่อม

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการ

วิธีการวัดค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องโดยใช้เครื่องมือการวัดแบบไร้สาย แบ่งออกได้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการวัดการสั่นสะเทือนแบบไร้สาย และระบบการบำรุงรักษา
 2. ติดตั้งและตั้งค่าเครื่องมือการวัดการสั่นสะเทือนแบบไร้สายให้ถูกต้องตามคู่มือ
 3. ทำการวัดค่า และวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัด
- รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการวัดการสั่นสะเทือนแบบไร้สาย และระบบบำรุงรักษา

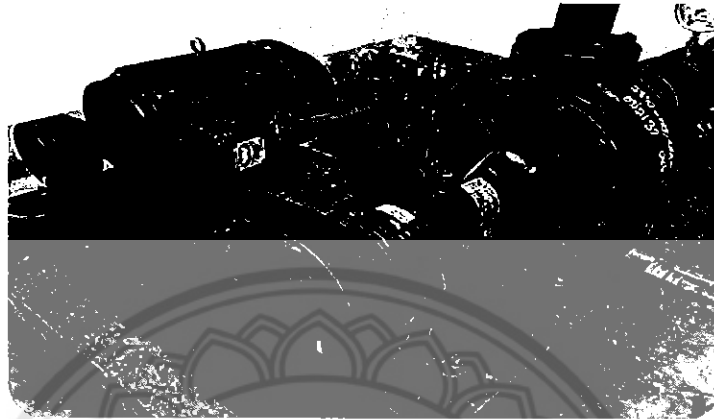
ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนโดยอาจหาได้จากหนังสือ อินเทอร์เน็ต หรือจากแหล่งต่างๆที่เกี่ยวข้อง โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวัดครั้งนี้เป็นเครื่องวัดแบบไร้สาย โดยใช้สัญญาณ WIFI ในการรับส่งข้อมูลจากเครื่องขยายสัญญาณมายังซอฟต์แวร์ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะมีข้อดีว่าการวัดค่าแบบออนไลน์ เพราะไม่ต้องอยู่ที่เครื่องจักร และจอคอมพิวเตอร์ ตลอดเวลา และเหมาะกับเครื่องจักรที่มีช่วงเวลาทำงานไม่คงที่ เพราะอาศัยการตั้งค่าภายในโปรแกรมที่สามารถตั้งได้ว่าควรวัดทุกกี่นาที แล้วค่านั้นก็แสดงผลออกมาที่หน้าจอแสดงผล

3.2 การติดตั้งและการตั้งค่าเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบไร้สายให้ถูกต้องตามคู่มือ

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการติดตั้งเครื่องมือวัด และการตั้งค่าเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวัด คือ WiVib Wireless Monitoring ซึ่งเป็นเครื่องแบบไร้สาย (จากเครื่องขยายสัญญาณส่งข้อมูลผ่าน WIFI มายังคอมพิวเตอร์) เหมาะสำหรับการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่มีเวลาทำงานไม่คงที่ หรือสถานที่ไม่เอื้ออำนวยต่อผู้วัด เช่น มีเสียงดัง อุณหภูมิสูง หรือ อันตรายจากเครื่องจักร

3.2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับ WiVib Wireless Monitoring รุ่น WiVib-4/4 pro

โดยการวัดนี้จะทำการวัดที่ Motor และ Centrifugal Pump อย่างละ 1 ตัว



รูปที่ 3.1 Motor และ Centrifugal Pump

และการวัดนี้จะทำการวัดค่าทั้งหมด 10 วัน (ในวันปัมจะทำงานเฉลี่ย 1-2 ครั้ง ครั้งละ 20 - 25 นาที) เพื่อดูค่าการสั่นว่ามีค่าสูงสุดอยู่ที่เท่าไร โดยทำการวัดที่ Motor 5 วัน และทำการวัด Centrifugal Pump 5 วัน

คุณลักษณะของเครื่องวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน WiVib 4/4 Pro มีดังนี้

- ด้านการวัด

ช่องสัญญาณ ไดนามิก (1-4)

จำนวนช่องสัญญาณ : 4

ICP การเชื่อมต่อ : 2.4mA ที่ 20VDC

ขอบเขตแรงดันขาเข้า : + /- 5V

หน่วยวัด : ความเร่ง ,การกระจัด ,ความเร็ว

ความถูกต้อง : $\pm 2\%$ โดยทั่วไป

ช่องสัญญาณDC (5-8)

จำนวนช่องสัญญาณ : 4

ช่วง : 0-3 V และ 0-10 V

- ด้านการประมวลผล

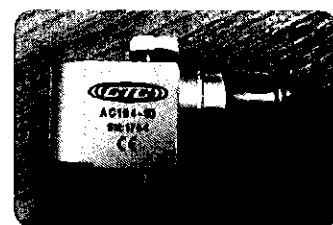
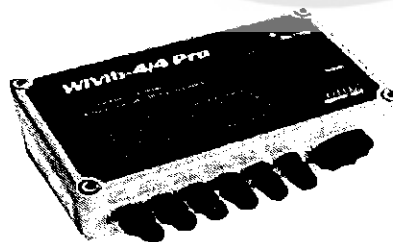
Analog to Digital Converter : 24 บิต ในช่องสัญญาณ 1-4, 16 บิตในช่อง 5-8
 อัตราการสุ่มตัวอย่าง (1-4 chans) : 64 Hz ถึง 102.4 kHz
 ช่วง Bandwidth : 0.5 Hz – 25 Hz ถึง 0.5 Hz -40 Hz

- ด้านการสื่อสาร

โหมด ปลุก : ตั้งค่าช่วงเวลาการปลุก จาก 1 นาทีถึง 1 วัน
 เครือข่าย : รองรับ WiFi802.11b/g
 Addressing : IP แบบคงที่ หรือ Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)
 ความเร็ว : สูงสุด ถึง 54 เมกะบิต/วินาที
 การเข้ารหัสลับ : WEP(64 , 128bit) และWPA/WPA2 PSK (TKIP, AES)

- ด้านทางกล

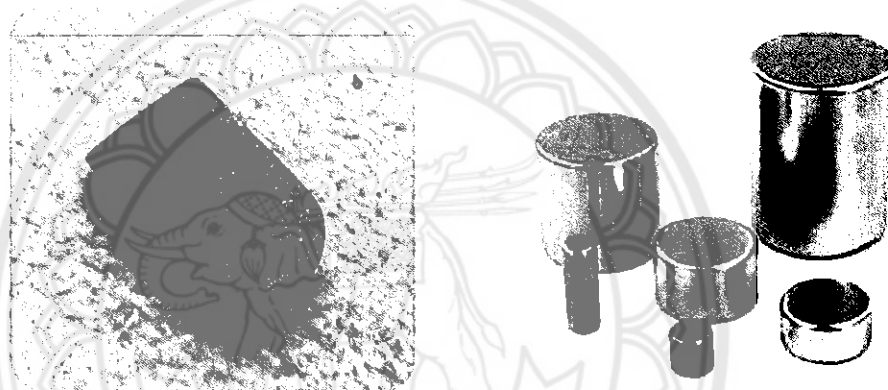
ทำจาก : Glass Reinforced โพลีเอสเตอร์ NEMA 4 , IP67
 ขนาด : 22cm (8.5 ") × 12 ซม. (4.6 ") × 9cm (3.5 ")
 น้ำหนัก : 1.4kg
 เส้นผ่าศูนย์กลางสายเคเบิ้ล: 3mm ถึง6.5mm
 อุณหภูมิ ในการทำงาน : -10 ° C ถึง 60 ° C (14 ° F ถึง 140° F)
 มาตรฐาน : CE, RoHS (Restriction of Hazardous Substances)



รูปที่ 3.2 เครื่อง WiVib และหัววัด

3.2.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้ง

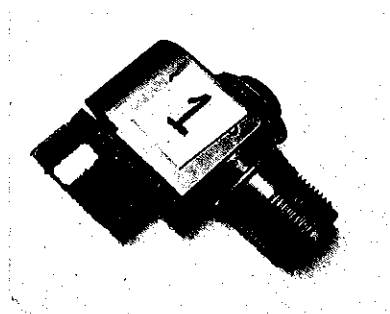
1. ประแจหกเหลี่ยม
2. ไชควง
3. คัตเตอร์
4. แผ่นเหล็กขนาดเท่าหัววัด เนื่องจากหัววัดผลิตจากอลูมิเนียมซึ่งไม่สามารถติดกับแม่เหล็กได้ จึงต้องใช้แผ่นเหล็กมาติดที่หัววัดเพื่อให้หัววัดติดกับแม่เหล็กได้
5. แม่เหล็กแรงสูง ใช้สำหรับยึดติดระหว่างหัววัดกับเครื่องจักรที่ต้องการวัด



รูปที่ 3.3 แผ่นเหล็กและแม่เหล็กแรงสูง

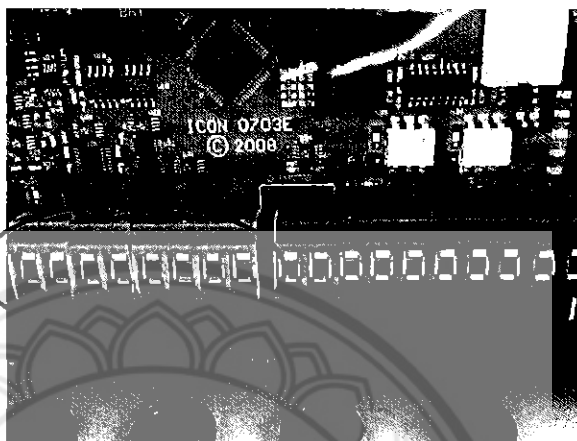
3.2.3 ขั้นตอนการติดตั้ง

1. นำแผ่นเหล็กมาติดกับหัววัด และติดแม่เหล็กแรงสูงที่แผ่นเหล็ก



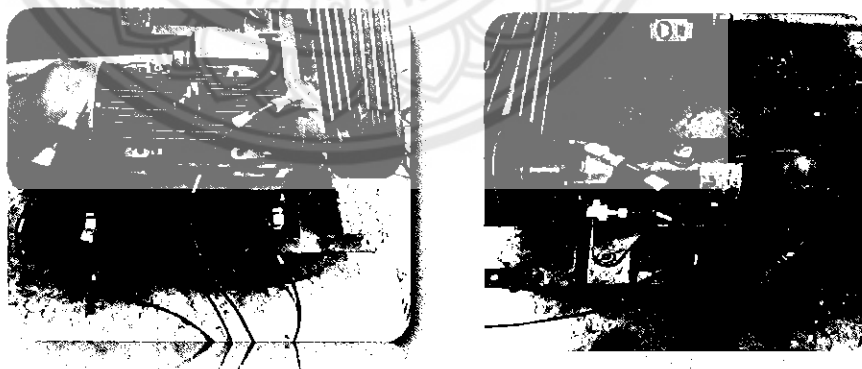
รูปที่ 3.4 ลักษณะหัววัดที่ติดกับแผ่นเหล็กและแม่เหล็ก

2. เปิดฝาครอบด้านบนของ WIVib ออก โดยใช้ประแจหกเหลี่ยม
3. ต่อสายเคเบิลเข้ากับหัววัดทั้ง 4 เส้น อีกด้านหนึ่งของสายเคเบิลต่อเข้ากับช่องสัญญาณที่ 1-4 (เริ่มจากด้านซ้ายสุด)



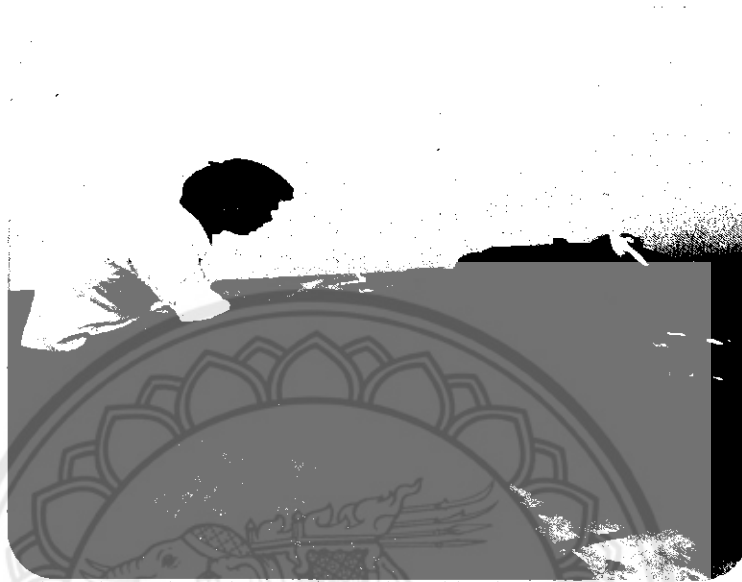
รูปที่ 3.5 แสดงช่องสัญญาณ1-4(channel) มุมมองจากด้านบน

4. เปิดเครื่องและนำหัววัดไปติดที่เครื่องจักรโดย การวัดนี้จะทำการวัด 2 แนว ได้แก่ แนวตั้ง (V, Vertical) และแนวนอน (H, Horizontal) สำหรับมอเตอร์นั้นจะวัด 2 ด้าน คือ ด้านหน้าแปลนขับ (Drive end) และด้านท้าย (Non-drive end) ส่วนปั๊มจะวัดเฉพาะด้านหน้าแปลนขับ (Drive end) เท่านั้น



รูปที่ 3.6 แสดงการติดตั้งหัววัดใน แนวตั้ง (V, Vertical) และแนวนอน (H, Horizontal)

5. ทำการวัดความเร็วรอบ เพื่อนำความเร็วรอบที่วัดไว้ ไปหาความถี่ 1X (ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 1) ของเครื่องจักร



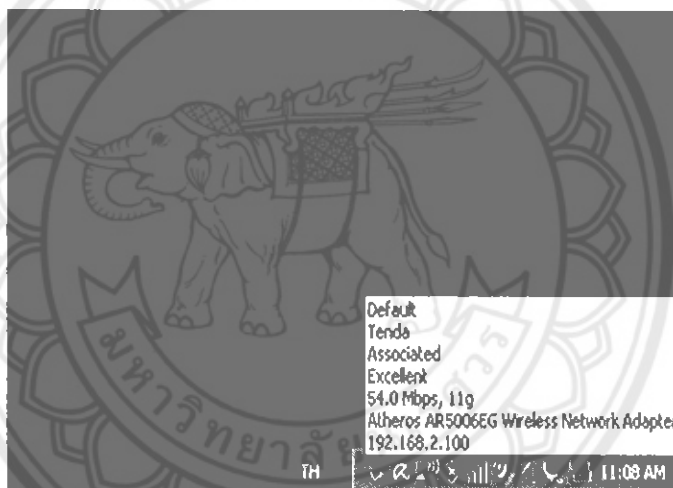
รูปที่ 3.7 แสดงการวัดความเร็วรอบ



3.2.4 วิธีการตั้งค่า WiVibTrend Lite

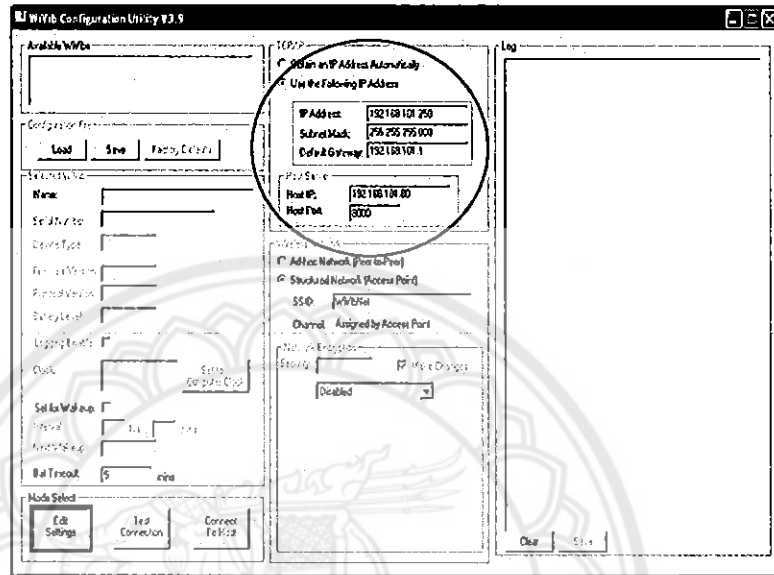
WiVibTrend Lite คือ ซอฟต์แวร์ที่รับสัญญาณผ่าน WIFI มาจากเครื่อง WiVib เพื่อแสดงผลค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากเครื่องจักร โดยมีคุณสมบัติบ่งบอกถึงแนวโน้มการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร การแจ้งเตือนและการตั้งปลุก (ช่วงห่างของเวลาที่ต้องการวัดค่า)

1. เปิดเครื่อง WiVib 4/4 Pro
2. เปิด WIFI Router โดยปรับไปที่โหมด Wireless Router
3. เชื่อมต่อสัญญาณระหว่างเครื่อง WiVib กับคอมพิวเตอร์ ผ่านสัญญาณ WIFI (Router)



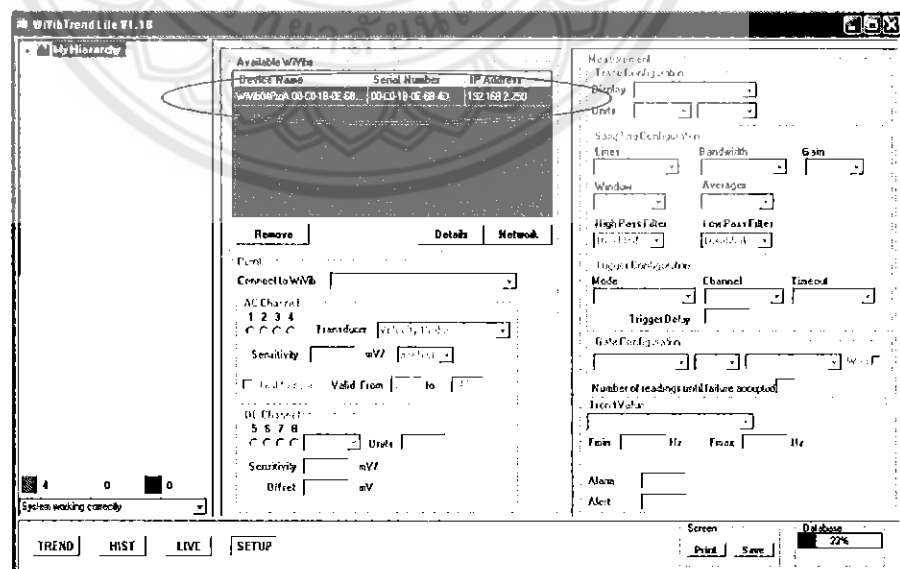
รูปที่ 3.8 แสดงสัญญาณ WIFI

4. เปิดโปรแกรม WiVib Config เลือก Use the Following IP Address กรอก IP Address (Internet Protocol Address) และข้อมูลอื่นๆตามในรูป เพื่อเลือกสัญญาณ WIFI และบันทึกข้อมูลเพื่อความสะดวกในการเรียกใช้สัญญาณในครั้งต่อไป



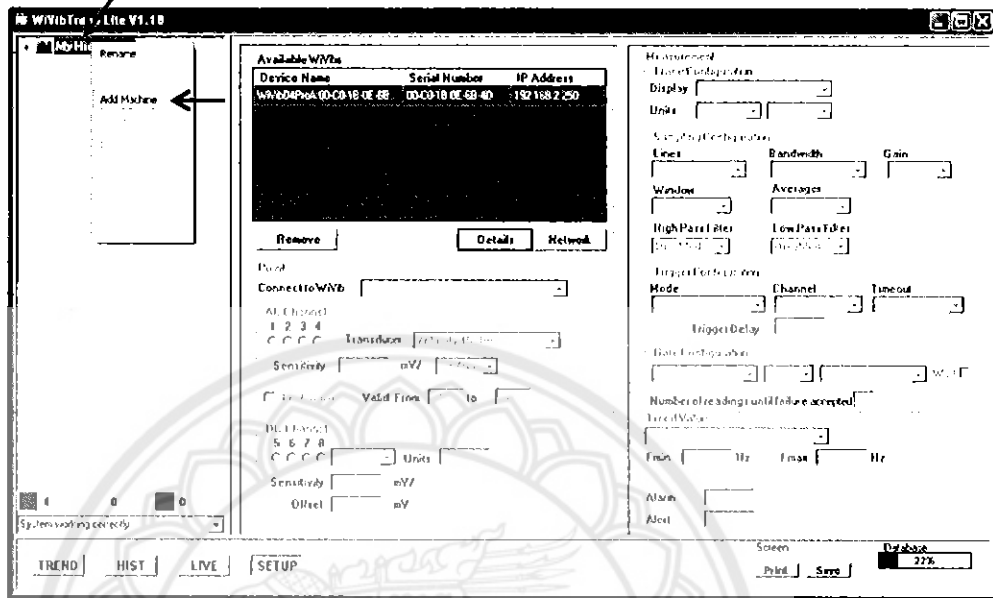
รูปที่ 3.9 โปรแกรม WiVibConfig

5. เปิดโปรแกรม WiVibTrend Lite จากนั้นเลือก SETUP ในช่อง Available WiVib จะแสดง Device Name (ในวงสีแดง) แสดงว่าได้เชื่อมต่อกับเครื่อง WiVib เรียบร้อยแล้ว



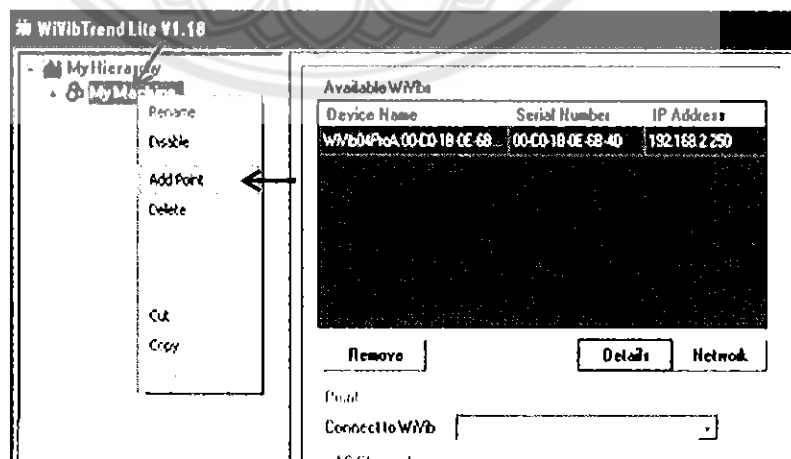
รูปที่ 3.10 แสดงการเชื่อมต่อกับเครื่อง WiVib

6. คลิกขวาที่ My Hierardry เลือก Add Machine



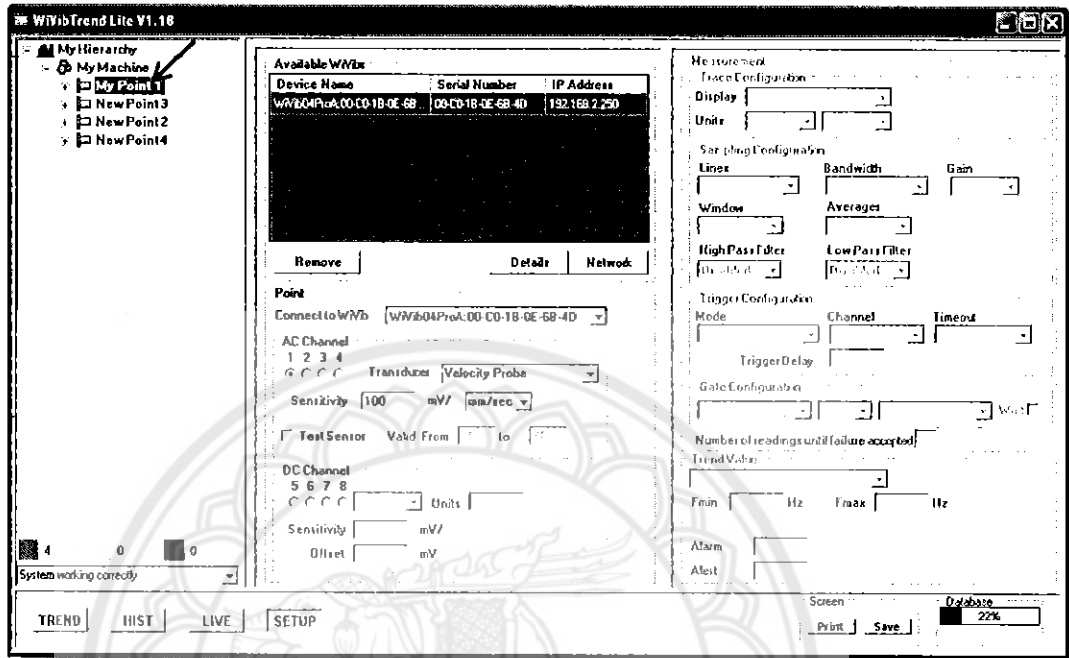
รูปที่ 3.11 แสดงการเพิ่ม Machine

7. คลิกขวาที่ My Machine เลือก Add Point เพิ่มมาทั้งหมด 4 Add Point (เท่ากับจำนวนหัววัดที่เราต้องการวัด) และเปลี่ยนชื่อ (ในที่นี้จะใช้ My Point ตามด้วย 1,2,3,4 ตามหมายเลขของหัววัด)



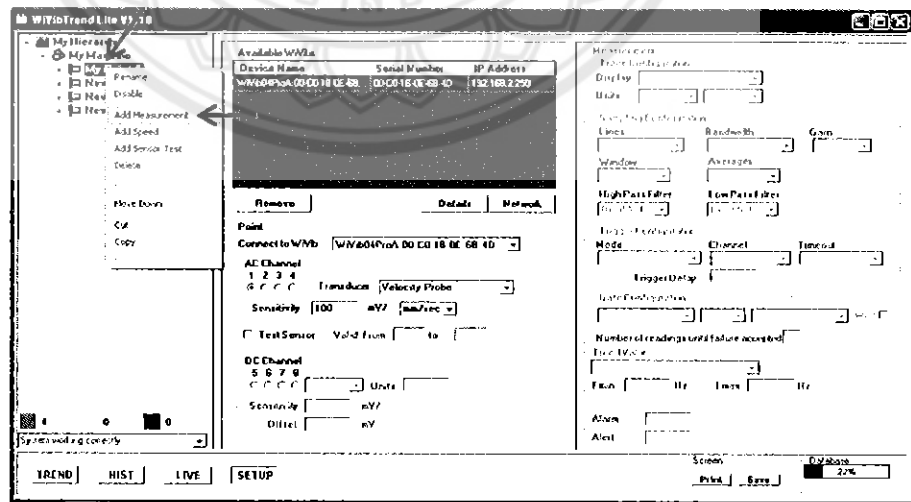
รูปที่ 3.12 แสดงการเพิ่มหัววัด

8. คลิกที่ My Point 1 (หัววัดที่ 1) ตั้งค่าตามในรูป ตั้งค่าเช่นนี้ทั้ง 4 My Point



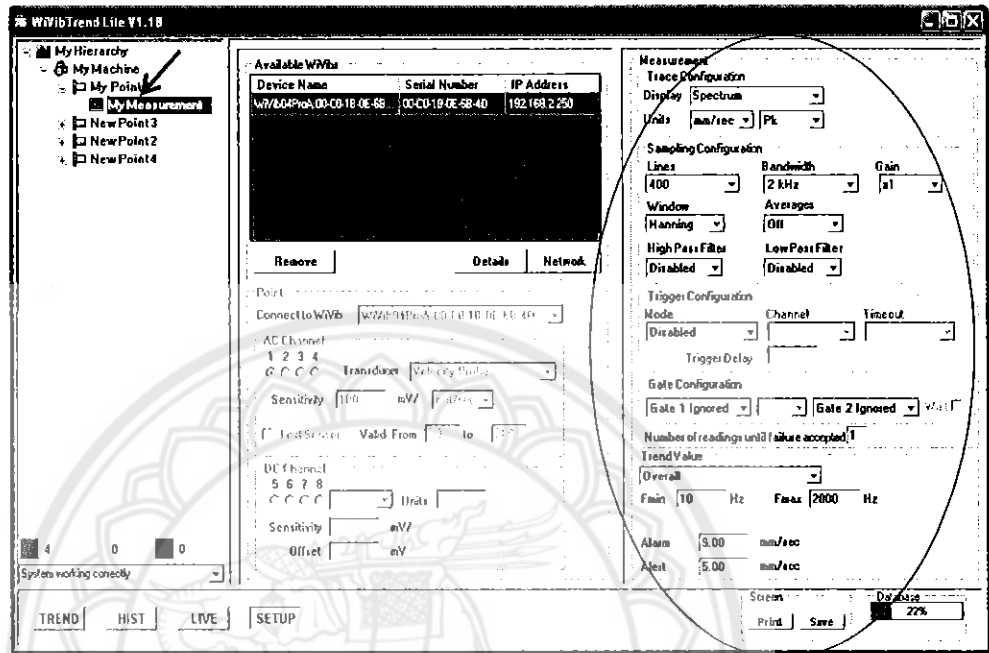
รูปที่ 3.13 แสดงการตั้งค่าในแต่ละหัว

9. คลิกขวาที่ My Point เลือก Add Measurement ทำแบบนี้ทั้ง 4 My Point



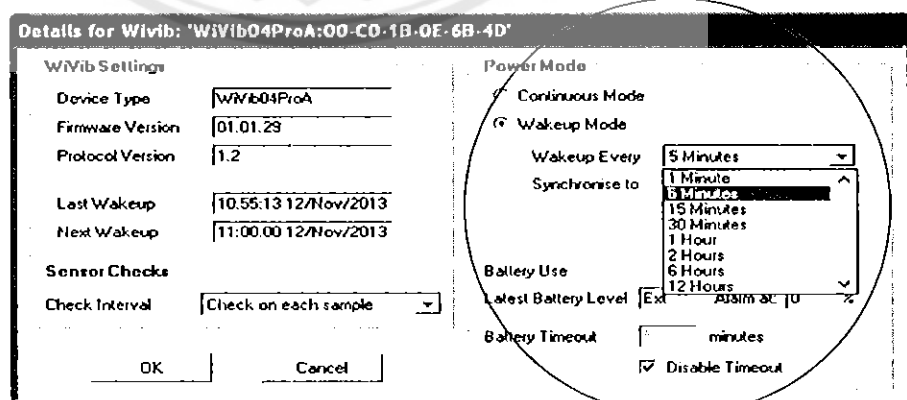
รูปที่ 3.14 แสดงการเพิ่ม Measurement

10. คลิกที่ My Measurement และตั้งค่าตามในรูปทั้ง 4 My Measurement



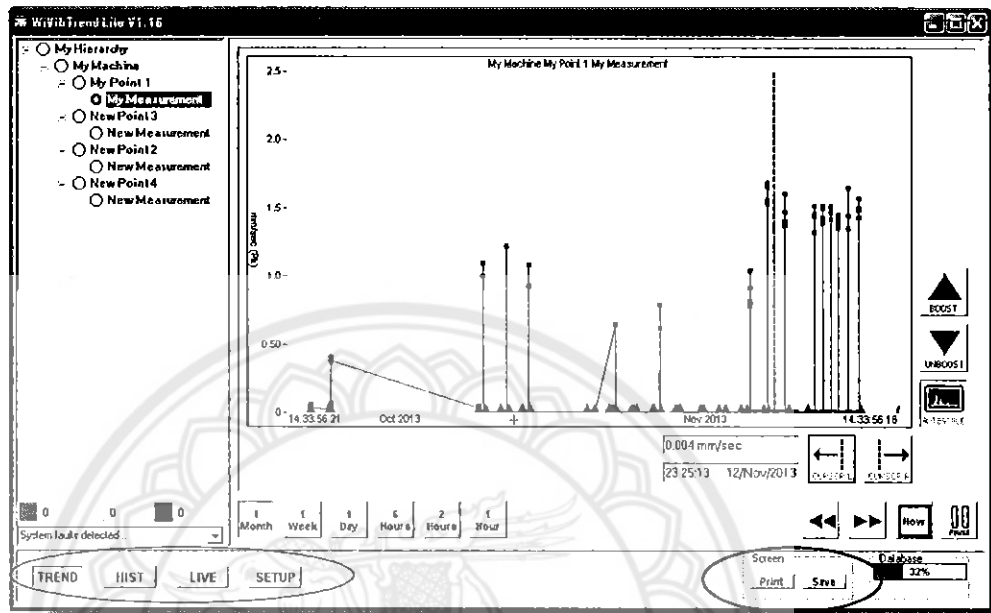
รูปที่ 3.15 การตั้งค่า Measurement

11. คลิกที่ Details เลือก Wakeup Mode เลือก Wakeup Every (ระยะเวลา) และ Synchronise to (ระบุเวลาสิ้นสุดการวัดค่า) แล้วคลิก OK



รูปที่ 3.16 แสดงการตั้ง wake up เพื่อตั้งเวลา

การแสดงผลของ WiVibTrend Lite



รูปที่ 3.17 WiVibTrend Lite

- คลิก TREND จะแสดงกราฟแนวโน้มการสั่นสะเทือน โดยสามารถเลือกช่วงเวลาที่ต้องการ ดูแนวโน้มย้อนหลัง 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 1 วัน, 1 สัปดาห์, 1 เดือนตามต้องการ
- คลิก HIST จะแสดงกราฟการสั่นสะเทือนของจุดเวลาที่ต้องการดู
- คลิก LIVE จะแสดงกราฟการสั่นสะเทือนขณะเวลาปัจจุบันในกรณีที่ว่าดแบบต่อเนื่อง และ จะแสดงกราฟการสั่นสะเทือน ณ จุดเวลาล่าสุด ในกรณีที่ทำการปลูก
- คลิก Print จะปริ้นกราฟที่เปิดดูอยู่
- คลิก Save จะบันทึกกราฟที่เปิดดูอยู่ไปยังที่เก็บเอกสารที่เลือกไว้

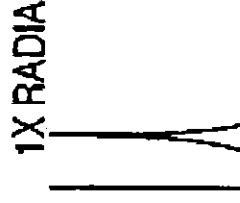
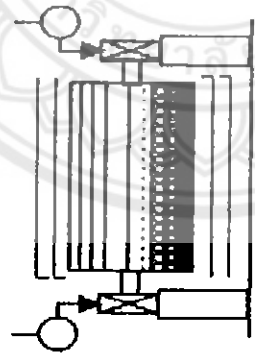
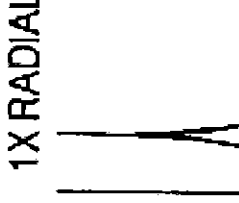
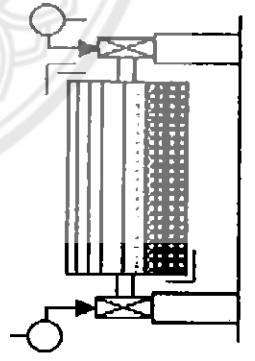
3.3 วิเคราะห์ค่าที่ได้จากการวัดการสั่นสะเทือน


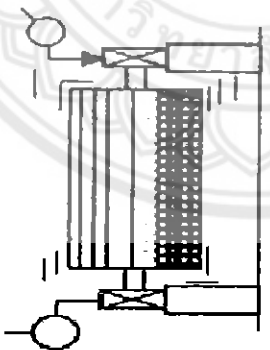
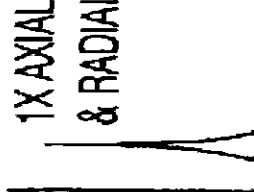
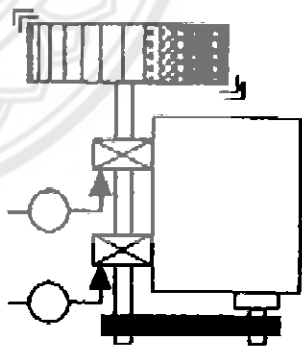
ขั้นตอนนี้จะเป็นการนำเอาค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้มาทำการวิเคราะห์ โดยผลที่ได้จะอยู่ในรูปของกราฟแสดงค่าความถี่หรือโดเมนความถี่ (Frequency domain) ซึ่งกราฟได้บอกขนาดของการสั่นสะเทือนมาให้แล้ว และหาสาเหตุของการสั่นสะเทือนที่ทำให้กราฟออกมาเป็นลักษณะต่างๆ โดยเปรียบเทียบจากตารางดังต่อไปนี้

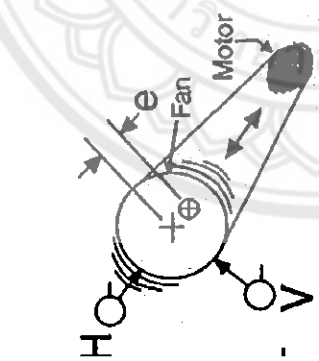
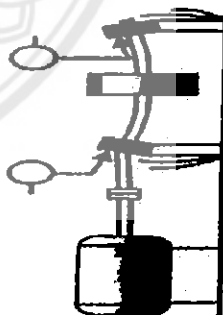
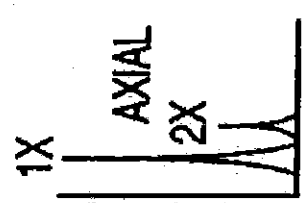
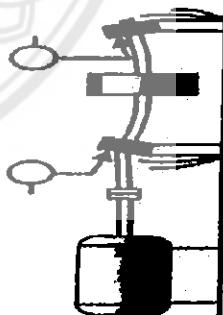
ตารางที่ 3.1 มาตรฐานการสั่นสะเทือน ISO 2372

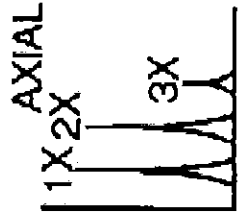
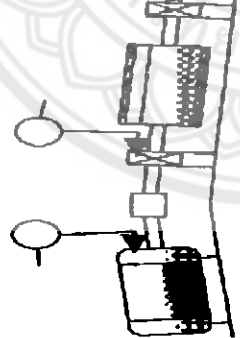
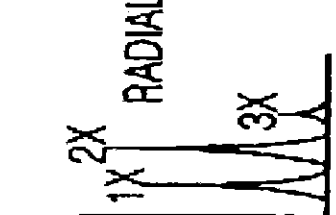
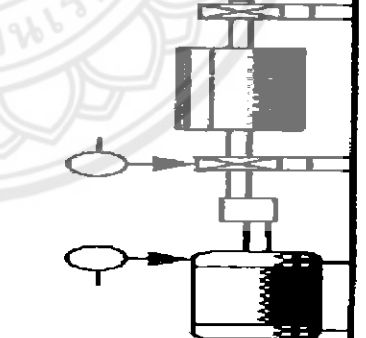
Vibration Standards (ISO 2372)					
Vibration amplitude Velocity mm/s	Machine Sort				
	Class I	Class II	Class III	Class IV	
0 ~ 0.28					
0.28 ~ 0.45					
0.45 ~ 0.71					
0.71 ~ 1.12					
1.12 ~ 1.80	B				
1.80 ~ 2.80		B			
2.80 ~ 4.50	C		B		
4.50 ~ 7.10		C		B	
7.10 ~ 11.20			C		
11.20 ~ 18				C	
18 ~ 28					
28 ~ 45					
> 45					
Class I	สำหรับมอเตอร์ขนาดเล็ก ไม่เกิน 15 กิโลวัตต์			A	สภาพดี
Class II	สำหรับมอเตอร์ขนาดกลาง 15 ~ 75 กิโลวัตต์			B	สภาพพอใช้
Class III	สำหรับ Power motor (hard base)			C	สภาพไม่น่าพอใจ
Class IV	สำหรับ High power moter (stretch base)			D	สภาพไม่สามารถใช้งานได้

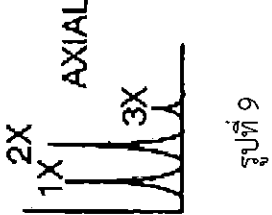

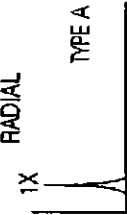
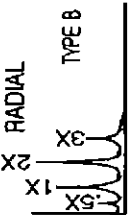
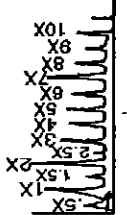
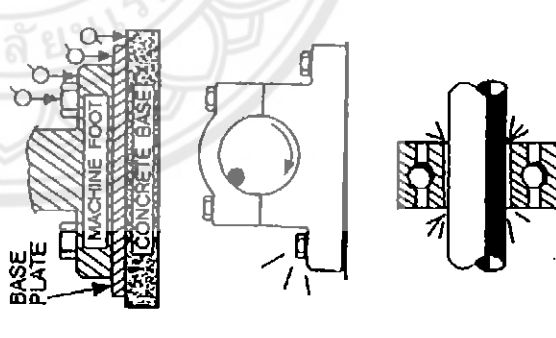
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (อ้างอิงจากบริษัท Schaeffler, Thailand)


ปัญหาที่ เกิดขึ้น	รูปคลื่น โดยทั่วไป	ลักษณะความ สัมพันธ์ของเฟส	ข้อสังเกต
<p>การไม่สมดุล มวล A. แรงไม่ สมดุล</p>	 <p>รูปที่ 1</p>		<p>สัญญาณจะอยู่ในตำแหน่งมุมเดียวกัน และไม่เปลี่ยนแปลงขนาดเนื่องจากการไม่สมดุลจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกำลังสองของความเร็ว ภายใต้ First Rotor Critical (ความเร็วเพิ่มขึ้น 3 เท่า) มีผลให้ค่าการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น 9 เท่า) 1X RPM เกิดขึ้นและสูงกว่าสัญญาณอื่นเสมอ สามารถถูกแก้ปัญหาได้โดยติดมวลถ่วงดุลเพียงก่อนเดียวที่ระนาบ ตรงจุดศูนย์กลางมวลของชิ้นงานหมุน มุมที่ต่างกันระหว่างตำแหน่ง OB & IB ทั้งแนวนอนและแนวตั้งมีค่าประมาณ 0 ; เช่นเดียวกัน, มุมที่แตกต่างระหว่างค่าที่อ่านได้ระหว่างแนวนอนและแนวตั้งบน Bearing แต่ละตัวของชิ้นงานจะมีค่าประมาณ $90^\circ (\pm 30^\circ)$</p>
<p>B. การไม่ สมดุล ของ couple</p>	 <p>รูปที่ 2</p>		<p>ตำแหน่งที่มุมอ่านได้ตรงกันข้าม 180° ระหว่างปลายทั้งสองบนเพลาดียวกัน 1X RPM เกิดขึ้นและสูงเด่นกว่าสัญญาณอื่นเสมอ ขนาดการสั่นจะแปรเปลี่ยนไปตามกำลังสองของความเร็วที่เพิ่มขึ้น ภายใต้ First Rotor Critical Speed อาจเป็นสาเหตุให้การสั่นสะเทือนตามแนวแกนมีค่าสูง เช่นเดียวกับในแนวนอน การแก้ปัญหาต้องติดมวลถ่วงดุลอย่างน้อยใน 2 ระบบ ให้สังเกตว่ามุมต่างกันระหว่างตำแหน่ง OB & IB ทั้งแนวนอนและแนวตั้งมีค่าประมาณ 180° เช่นเดียวกัน, มุมที่แตกต่างระหว่างค่าที่อ่านได้ระหว่างแนวนอนและแนวตั้งบน Bearing แต่ละตัวของชิ้นงานจะมีค่าประมาณ $90^\circ (\pm 30^\circ)$</p>

ปัญหาที่ เกิดขึ้น	รูปคลื่น โดยทั่วไป	ลักษณะความ สัมพันธ์ของเฟส	ข้อสังเกต
C. การไม่ สมดุลทาง ไดนามิก	<p>1X RADIAL</p>  <p>รูปที่ 3</p>		<p>Unbalance เป็นแบบการไม่สมดุลที่พบบ่อยที่สุด คือ แบบการรวมตัวกันของ Force และ Coupe Unbalance 1X RPM สูงเกินกว่าสัญญาณอื่นและต้องการแก้ปัญหาทั้ง 2 ระบบแน่นอน ทั้งนี้ ผลต่างมุมในแวนอร์คมีระหว่างตำแหน่ง OB & IB สามารถมีค่าได้ค่าหนึ่งระหว่าง 0-180° อย่างไรก็ตาม, ผลต่างของมุมเพียงระหว่าง OB & IB ในแวนอร์คมีใกล้เคียงกับแนวตั้ง ($\pm 30^\circ$) ประการต่อมา, ถ้าเป็นการไม่สมดุลเป็นหลักแล้วโดยปกติผลต่างของค่ามุมที่อ่านได้ระหว่างแวนอร์คมีและแนวตั้งมีค่าประมาณ $90^\circ (\pm 40^\circ)$</p>
D. การไม่ สมดุลของ ตัวหมุน	<p>1X AXIAL & RADIAL</p>  <p>รูปที่ 4</p>		<p>ทำให้เกิดค่าสูงที่ 1X RPM ทั้งแนวแกน และแวนอร์คมี ค่าที่อ่านได้ตามแนวแกนมีแนวโน้มทิศทางเดียวกัน ขณะที่ค่าที่อ่านได้ตามแนวรัศมีอาจจะไม่ถึง อย่างไรก็ตาม, ผลต่างมุมในแวนอร์คมีใกล้เคียงกับแนวตั้ง ($\pm 30^\circ$) Overhung Rotor มีผลทั้ง Force และ Coupe Unbalance, ซึ่งแต่ละระบบจะต้องต้องการแก้ไขเช่นกัน ดังนั้นส่วนใหญ่อุปกรณ์ดังกล่าวต้องทำการตีความใน 2 ระบบเพื่อต่อต้านผลทั้ง Force และ Coupe Unbalance</p>

ปัญหาที่เกิดขึ้น	รูปคลื่นโดยทั่วไป	ลักษณะความถี่ของเฟส	ข้อสังเกต
การหมุนผิดปกติ	 <p>รูปที่ 5</p>	 <p>รูปที่ 6</p>	<p>การเอียงศูนย์กลางเมื่อศูนย์กลางการหมุน เอียงจากศูนย์กลางรูปทรงเรขาคณิตของ Pulley, Gear, Bearing, Motor armature เป็นต้น ค่าการสั่นสูงที่ 1X RPM ของชิ้นที่เอียงศูนย์กลางในแนวทิศผ่านจุดศูนย์กลางของชิ้นงานหมุนทั้งสอง เทียบค่ามุมที่อ่านได้จากแวนอนและแนวตั้งมีค่าต่างกันเป็น 0° หรือ 180° (แต่ละค่าบอกถึงการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นตรง) ความพยายามที่จะวางดุลของชิ้นงานหมุนก็มีผลลดการสั่นในทิศทางหนึ่งแต่เพิ่มขึ้นอีกทิศทางหนึ่ง แนวรัศมีเสมอ(ขึ้นอยู่กับขนาดของการเอียงศูนย์กลาง)</p>
การคดงอของเพลลา	 <p>รูปที่ 6</p>		<p>การคดงอของเพลลาทำให้เกิดการสั่นมากตามแนวแกน ด้วยค่ามุมที่ต่างตามแนวแกนบนเครื่องจักรขึ้นเดียวกัน มีแนวโน้มเป็น 180° โดยปกติการสั่นหลักเกิดที่ 1X ถ้าคดงอโค้งกึ่งกลางเพลลา, แต่เป็น 2X ถ้าคดงอโค้งจุดเชื่อมต่อหน้าแปลน (จงระวังค่าที่อ่านจากทิศการวางตัวจับสัญญาณสำหรับแต่ละแนวแกน ถ้ากลับทิศทางกันข้าม) ให้ใช้ Dial Indicator เพื่อยืนยันการคดงอของเพลลา</p>

ปัญหาที่เกิดขึ้น	รูปคลื่นโดยทั่วไป	ลักษณะความถี่สัมพันธ์ของเฟส	ข้อสังเกต
<p>การเยื้องศูนย์</p> <p>A. การเยื้องศูนย์แนวมุม</p>	 <p>รูปที่ 7</p>		<p>การเยื้องศูนย์แนวเชิงมุม มีลักษณะการสั่นที่สูงตามแนวแกน, มุมต่างกัน 180° ระหว่างหน้าแปลน, โดยรูปแบบแล้วจะมีการสั่นสะเทือนสูงตามแนวแกน ด้วยทั้ง 1X และ 2X RPM อย่างไรก็ตาม, ก็ไม่ผิดปกติถ้าเกิดอยู่ที่ 1X, 2X และ 3X ลักษณะเหล่านี้จะชี้ถึงปัญหาการประกอบหน้าแปลนเช่นกัน, การเยื้องศูนย์แนวเชิงมุมที่รุนแรงอาจจะมีสาเหตุทำให้เกิด Harmonics ของ 1X RPM ขึ้นได้มากมาย, ไม่เหมือนกับ Mechanical looseness แบบ C, ตรงที่ harmonics ที่หลากหลายไม่มีการเพิ่มของ Noise Floor ใน Spectrum</p>
<p>B. การเยื้องแนวขนาน</p>	 <p>รูปที่ 8</p>		<p>การเยื้องศูนย์แนวเชิงขนาน มีลักษณะการสั่นคล้ายคลึงกับการเยื้องศูนย์แนวเชิงมุม, แต่แสดงค่าการสั่นสูงในแอมพลิจูดด้วยมุมต่างกันประมาณ 180° ระหว่างหน้าแปลน การสั่นที่ 2X จะโตกว่า 1X จึงการเปรียบเทียบเชิงสัมพัทธ์มักจะถูกกำหนดโดยชนิดและโครงสร้างของหน้าแปลน เมื่อไรก็ตามไม่มีการเยื้องศูนย์แนวเชิงมุมหรือเชิงขนานเริ่มรุนแรง, ก็สามารถสร้างการสั่นสูงของ Harmonics ที่สูงๆ (4X-8X), หรือไม่ใช่เป็นชุด Harmonic ที่คล้ายคลึงปรากฏใน Mechanical looseness ชนิดและวัสดุของหน้าแปลนจะมีอิทธิพลอย่างไรใหญ่หลวงต่อตลอดทั้ง Spectrum เมื่อมีการเยื้องแนวรุนแรง ยังคงไม่รู้รูปการเพิ่มของ Noise Floor ให้เห็น</p>

ปัญหาที่ เกิดขึ้น	รูปคลื่น โดยทั่วไป	ลักษณะความ สัมพันธ์ของเฟส	ข้อสังเกต
C. การเอียง ศูนย์ของ แบริ่งภายใน บนเพลลา	 <p>รูปที่ 9</p>	 <p>PHASE 1 2:00 2 5:00 3 8:00 4 11:00</p>	<p>Bearing เอียงเฉียง (Cocked Bearing) จะเกิดการสั่นที่เห็นได้ในแนวแกน จะเกิดการเคลื่อนที่ไหวบิดซ้ายด้วยมุมที่ต่างกันประมาณ 180° จากบนลงล่าง และ หรือจากข้างหนึ่งไปสู่อีกข้างหนึ่งในทิศแนวแกนบนโครงสร้างรองรับ Bearing เดียวกัน ความพยายามที่จะปรับแนวหน้าแปลน หรือการถ่วงดุลจะไม่ส่งผลต่อการแก้ปัญหา ปกติแล้ว Bearing ต้องถูกถอดออกและติดตั้งให้ถูกต้องเท่านั้น</p>
การสึกหรอ หลวมกลาย ของชิ้นส่วน เครื่องจักร	 <p>รูปที่ 10 RADIAL TYPE A</p>  <p>รูปที่ 11 RADIAL TYPE B</p>  <p>รูปที่ 12 RADIAL TYPE C</p>	 <p>BASE PLATE MACHINE FOOT CONCRETE BASE PLATE</p>	<p>การคลายตัวทางเครื่องจักรกลถูกแบ่งเป็นทั้ง การสั่นสะเทือนสเปกตรัมชนิด A, B หรือ C ชนิด A นั้นเกิดจากการคลายตัวของโครงสร้างหรือความไม่แข็งแรงของเครื่องยนต์ พื้นฐานหรือ รากฐาน และยังรวมถึงปัญหาที่เชื่อมสภาพ ข้อต่อที่หมดอายุ หลวม และการบิดเบี้ยวของกรอบหรือฐาน เช่น พื้นอ่อนๆ การวิเคราะห์เฟสยังเผยค่าโดยประมาณของค่าเฟสที่แตกต่างจาก 90° ถึง 180° ระหว่างการวัดข้อต่อแนวตรง บนเครื่องจักร และวัสดุเย็นพื้นหรือตัวมันเอง</p> <p>ชนิด B นั้นมักเกิดโดยการหลวมของน็อต การแตกหักในกรอบโครงสร้างหรือในฐานราก ชนิด C นั้นโดยปกติแล้วจะเกิดขึ้นโดยการต่อที่ไม่พอดีระหว่างส่วนประกอบที่อาจมีการประสานหลายจุด เนื่องจากไม่มีจุดเชื่อมต่อที่ตอบสนองส่วนที่หลวมจากแรงไดนามิกที่มาจากตัวหมุน ซึ่งทำให้เกิดการตัดช่วงเวลาคดเคี้ยว และการเกิดระดับสัญญาณรบกวนในสเปกตรัม ชนิด C นี้มักเกิดจากเส้นทางเกิดหลวมในฝาครอบ การหลวมและการเปิดออกของคานนี้ เป็นที่ชัดเจนว่า ไม่ว่าจะเส้นทางทิศทางของปลายแขนหรือเครื่องมือในการหมุน และใบพัดที่หลวม เฟสชนิด C นี้มักจะไม่ใช่สัญญาณหลายจากเครื่องมือวัดหนึ่ง</p>

ปัญหาที่ เกิดขึ้น	รูปคลื่น โดยทั่วไป	ลักษณะความ สัมพันธ์ของเฟส	ข้อสังเกต
คาวีเตชัน		120K CPM	<p>โดยเฉพะาะ ถ้าตัวหมุนนั้นเปลี่ยนทิศทางจากด้านหนึ่งไปด้านหนึ่ง การคลายตัวนี้บ่อยครั้ง มักจะมีทิศทางที่สูง และอาจมีการอ่านได้ที่หลากหลาย เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟเพิ่มขึ้นที่ระดับ 30° ในรัศมีทิศทางทั้งหมด และยังสังเกตได้ว่า การคลายตัวนี้จะเกิดขึ้นบ่อย ๆ ในส่วนของ การประสานย่อย ๆ ที่ความแน่นอนเป็น 1/2 หรือ 1/3X RPM (.5X, 1.5X, 2.5X, และอื่น ๆ)</p>

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และปั๊มในโครงการนี้ ผู้วัดได้ติดตั้งหัววัดที่ตำแหน่ง Horizontal และ Vertical ทั้งด้าน Non-drive end และด้าน Drive end ของมอเตอร์ ส่วนปั๊มจะติดตั้งหัววัดที่ตำแหน่ง Horizontal และ Vertical ด้าน Drive end เพียงด้านเดียว และตั้งค่าโปรแกรม WiVibTrend Lite โดยใช้ Wakeup Mode วัดค่าการสั่นสะเทือนทุกๆ 15 นาที เนื่องจากปั๊มจะทำงานครั้งละ 15-20 นาที และใช้หน่วยในการวัดเป็นความเร็ว (mm/s) ทั้งนี้คอมพิวเตอร์สำหรับรับสัญญาณสามารถอยู่ห่างจากเครื่อง WiVib ได้สูงสุดประมาณ 40 เมตร

จากการทดลองวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และปั๊ม ทำให้ได้กราฟที่แสดงลักษณะของการสั่นสะเทือนในแนว Horizontal และ Vertical ทั้งด้าน Non-drive end และด้าน Drive end ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุของการสั่นสะเทือนได้โดยเปรียบเทียบลักษณะของกราฟและระดับของการสั่นสะเทือนได้จากตารางที่ 3.1 และ 3.2 โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ในแต่ละกราฟดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของมอเตอร์

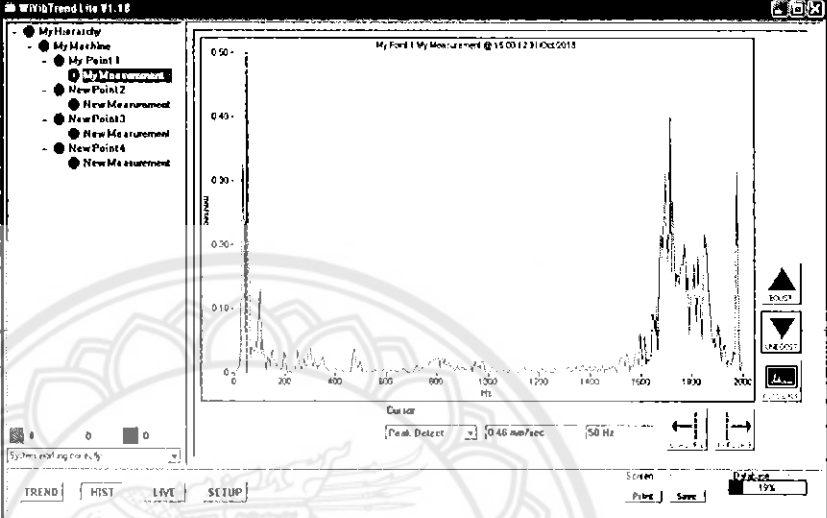
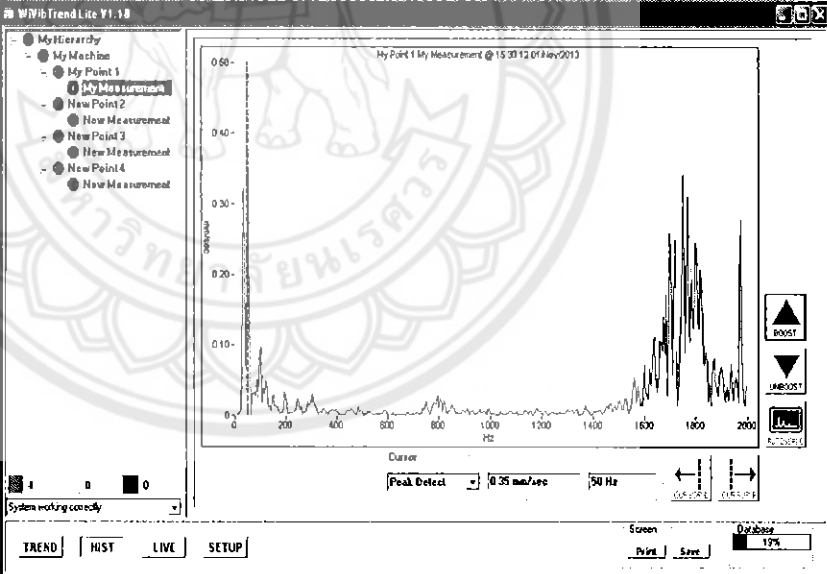
จากป้ายชื่อ (Nameplate) ของมอเตอร์ ที่ความถี่ไฟฟ้า 50Hz จะได้กำลังของมอเตอร์ 15 kW ที่ความเร็วรอบ 2935 rpm

ดังนั้นจะได้ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 1 แทนด้วย $1X=48.97$ Hz, $2X=97.83$ Hz, $3X=146.8$ Hz, $4X=195.7$ Hz, ...

หัววัดที่ 1 Drive end, Vertical position

- ค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยเท่ากับ 0.392 mm/sec
- ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดเท่ากับ 0.46 mm/sec

จากค่าการสั่นสะเทือนเทียบกับมาตรฐาน ISO 2372 พบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ระดับ ปกติ

วันและเวลาที่มอเตอร์ทำงาน	กราฟการสั่นสะเทือน
31/10/56 15:00 น.	
1/11/56 15:30 น.	

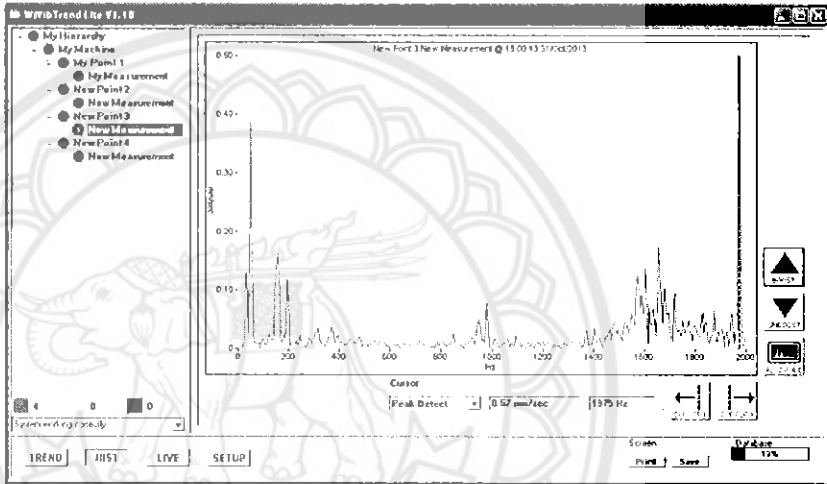
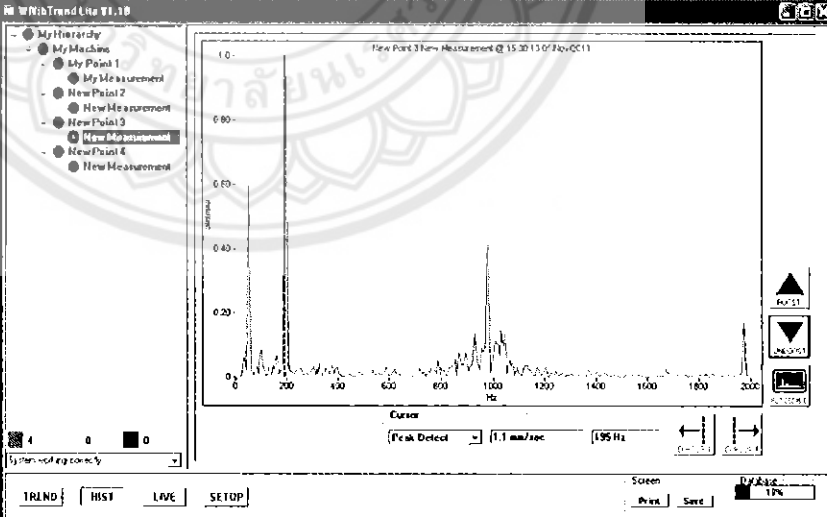
รูปที่ 4.1 กราฟการสั่นสะเทือนของหัววัดที่ 1 (motor)

จากรูปที่ 4.1 พบว่าการสั่นสะเทือนที่ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 1 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่น ลักษณะของกราฟคล้ายกับรูปที่ 1 และ 13 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุน่าจะเกิดจากการไม่สมดุลของเพลลาและจากควิเตชั่นพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับ ปกติ

หัววัดที่ 3 Drive end, Horizontal position

- ค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยเท่ากับ 0.63 mm/sec
- ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดเท่ากับ 1.1 mm/sec

จากค่าการสั่นสะเทือนเทียบกับมาตรฐาน ISO 2372 พบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ระดับ ปกติ

วันและเวลาที่มอเตอร์ทำงาน	กราฟการสั่นสะเทือน
31/10/56 15:00น.	
1/11/56 15:30น.	

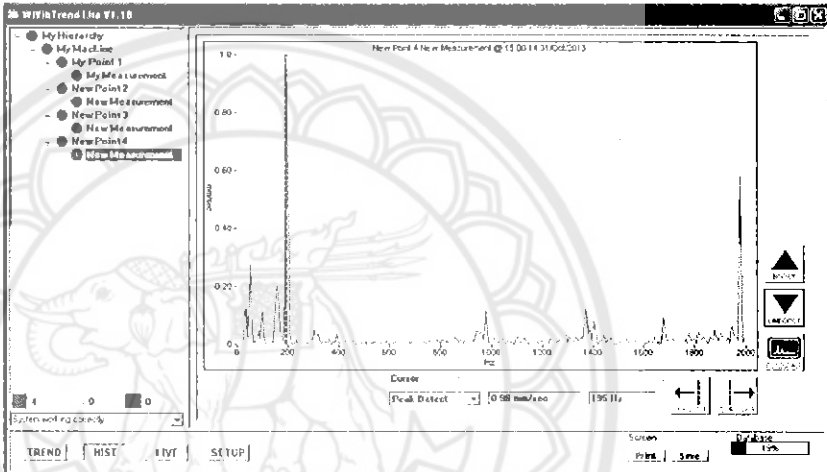
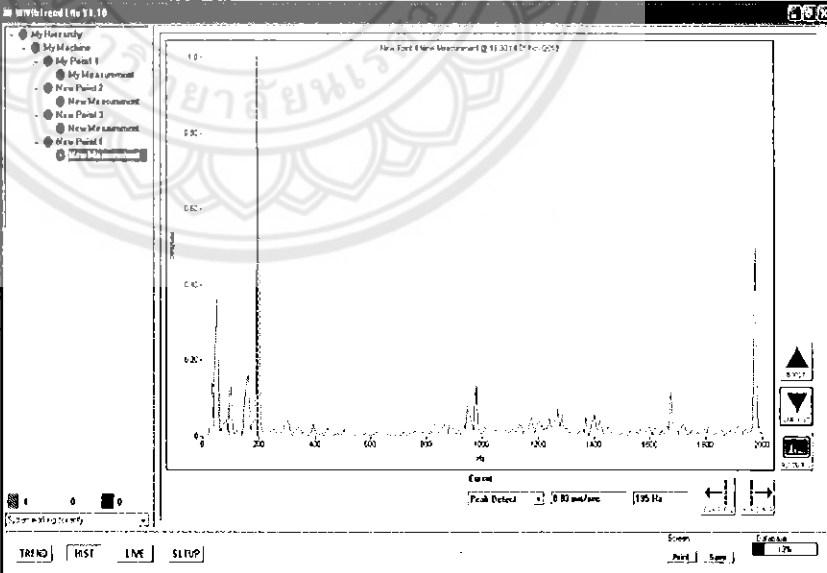
รูปที่ 4.2 กราฟการสั่นสะเทือนของหัววัดที่ 3 (motor)

จากรูปที่ 4.2 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะกราฟคล้ายกับรูปที่ 1 และ 13 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุน่าจะเกิดจากความไม่สมดุลของมวล และควาเวตขึ้นและพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับปกติ

หัววัดที่ 4 Non Drive end, Vertical position

- ค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยเท่ากับ 0.924 mm/sec
- ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดเท่ากับ 1.2 mm/sec

จากค่าการสั่นสะเทือนเทียบกับมาตรฐาน ISO 2372 พบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ระดับ ปกติ

วันและเวลาที่มอเตอร์ทำงาน	กราฟการสั่นสะเทือน
31/10/56 15:00น.	
1/11/56 15:30 น.	

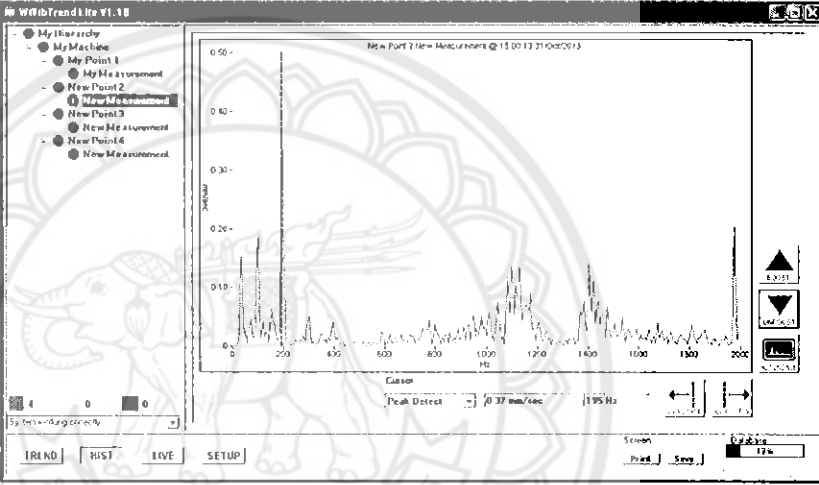
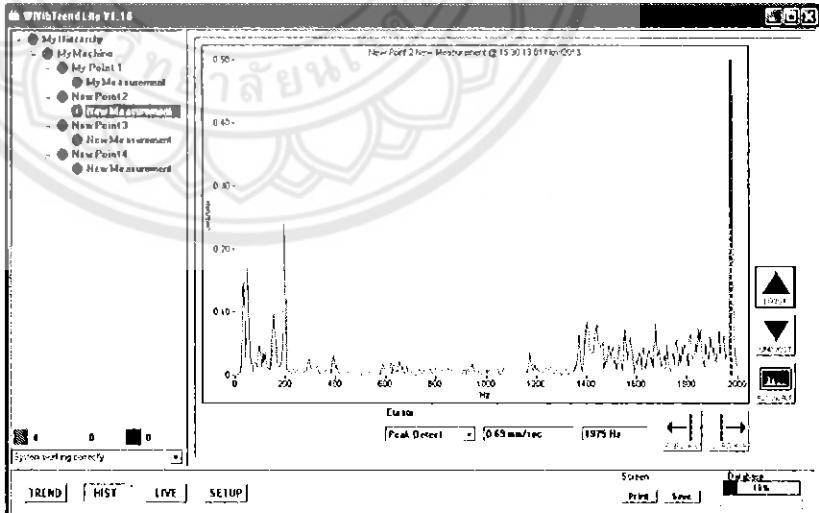
รูปที่ 4.3 กราฟการสั่นสะเทือนของหัววัดที่ 4 (motor)

จากรูปที่ 4.3 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะกราฟคล้ายกับรูปที่ 11 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุน่าจะเกิดจากการหลวมคลอน และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับ ปกติ

หัววัดที่ 2 Non Drive end, Horizontal position

- ค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยเท่ากับ 0.72mm/sec
- ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดเท่ากับ 1.5 mm/sec

จากค่าการสั่นสะเทือนเทียบกับมาตรฐาน ISO 2372 พบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ระดับ พอใช้

วันและเวลาที่มอเตอร์ทำงาน	กราฟการสั่นสะเทือน
31/10/56 15:00 น.	
1/11/56 15:30 น.	

รูปที่ 4.4 กราฟการสั่นสะเทือนของหัววัดที่ 2 (motor)

จากรูปที่ 4.4 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะกราฟคล้ายกับรูปที่ 11 และ 13 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุน่าจะเกิดจากการหลวมคลอน และคาวีเดชั่น และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับพอใช้

4.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของ centrifugal pump

centrifugal pump หมุนด้วยความเร็ว 1960 rpm

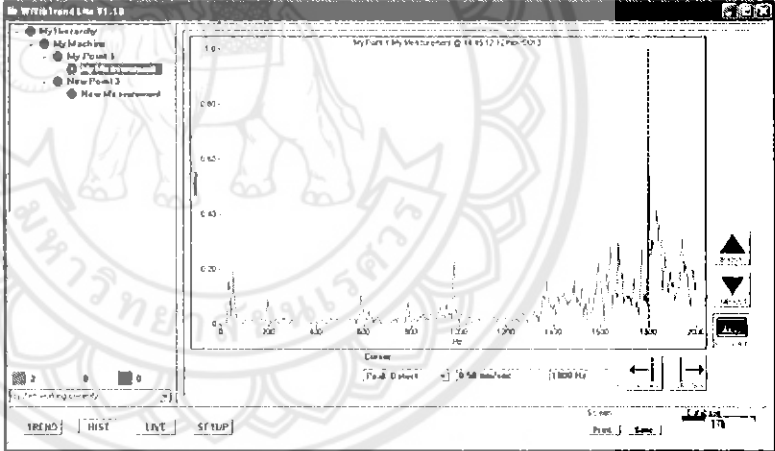
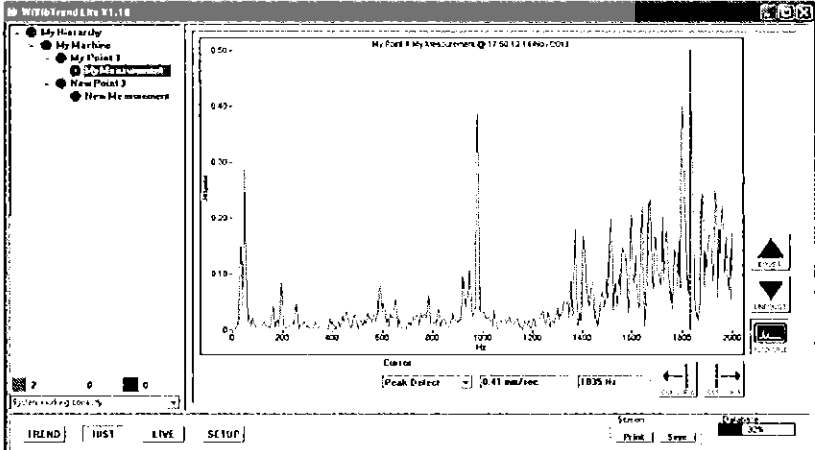
ดังนั้นจะได้ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 1 แทนด้วย $1X=32.67$ Hz , $2X=65.33$ Hz , $3X=98.00$ Hz , $4X=130.67$ Hz, ...

หัววัดที่ 1 , Vertical position

- ค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยเท่ากับ 0.512 mm/sec

- ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดเท่ากับ 0.58 mm/sec

จากค่าการสั่นสะเทือนเทียบกับมาตรฐาน ISO 2372 พบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ระดับ ปกติ

วันและเวลาที่มอเตอร์ทำงาน	กราฟการสั่นสะเทือน
12/11/56 14:45 น.	
14/11/56 17:50 น.	

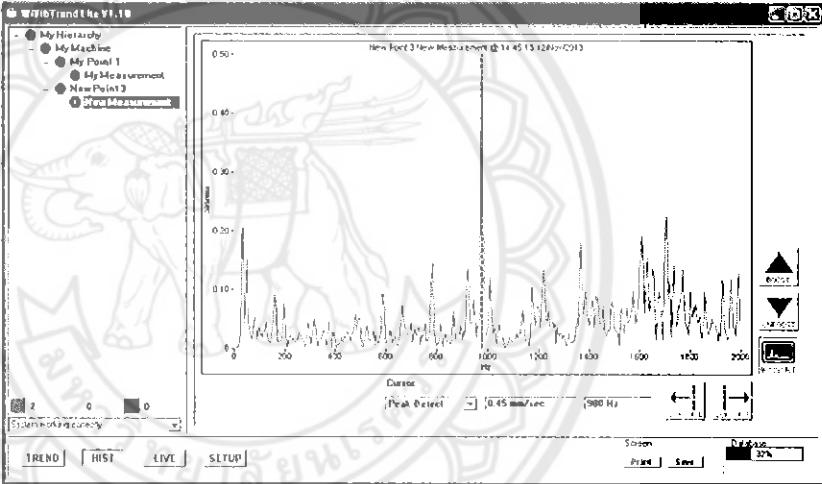
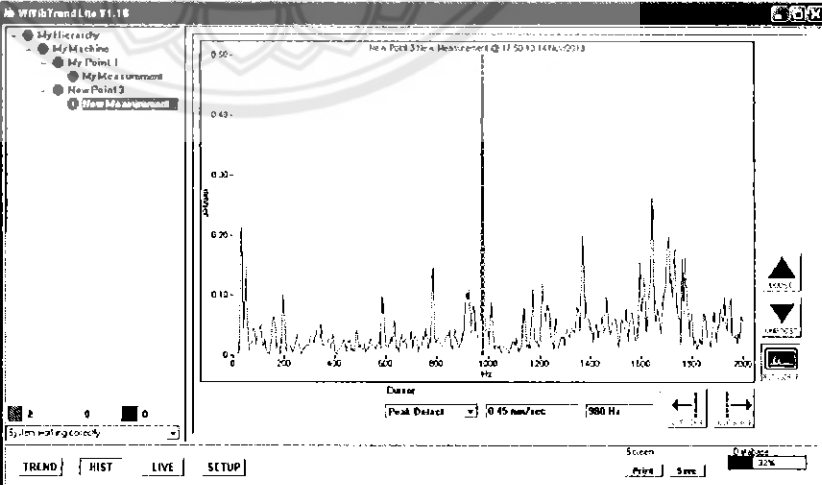
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างกราฟการสั่นสะเทือนของหัววัดที่ 1 (centrifugal pump)

จากรูปที่ 4.5 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะกราฟคล้ายกับรูปที่ 11 และ 13 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุน่าจะเกิดจากการหลวมคลอน และควาวิตะชันพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับ ปกติ

หัววัดที่ 3 , Horizontal position

- ค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยเท่ากับ 0.446 mm/sec
- ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดเท่ากับ 0.55 mm/sec

จากค่าการสั่นสะเทือนเทียบกับมาตรฐาน ISO 2372 พบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ระดับ ปกติ

วันและเวลาที่มอเตอร์ทำงาน	กราฟการสั่นสะเทือน
12/11/56 14:45น.	
14/11/56 17:50น.	

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างกราฟการสั่นสะเทือนของหัววัดที่ 3 (centrifugal pump)

จากรูปที่ 4.6 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะกราฟคล้ายกับรูปที่ 11 และ 13 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุที่น่าจะเกิดเกิดจากการหลวมคลอน และควาเวเตชั่น และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับ ปกติ

ตารางที่ 4.1 สาเหตุและระดับการสั่นสะเทือน

Motor TYP WD160MB	ค่าการ สั่นสะเทือน เฉลี่ย	ค่าการ สั่นสะเทือน สูงสุด	ลักษณะกราฟ ความถี่	สาเหตุ	ระดับการ สั่นสะเทือน
หัววัดที่ 1 Drive end, Vertical position	0.392 mm/sec	0.46 mm/sec	คล้ายกับรูปที่ 6และ10ใน ตารางที่ 3.2	เกิดจากไม่ สมดุลของ เพลลาและจาก ควาเวเตชั่น	ปกติ
หัววัดที่ 2 Non Drive end, Horizontal position	0.72 mm/sec	1.5 mm/sec	คล้ายกับรูปที่ 9และ11 ใน ตารางที่ 3.2	เกิดจากการ หลวมคลอน และควาเวเตชั่น	พอใช้
หัววัดที่ 3 Drive end, Horizontal position	0.63 mm/sec	1.1 mm/sec	คล้ายกับรูปที่1 และ10 ใน ตารางที่3.2	เกิดจากความ ไม่สมดุลของ มวลและควา เวเตชั่น	ปกติ
หัววัดที่ 4 Non Drive end, Vertical position	0.924 mm/sec	1.2 mm/sec	คล้ายกับรูปที่ 9 ในตารางที่ 3.2	เกิดจากการ หลวมคลอน	ปกติ

centrifugal pump	ค่าการ สั่นสะเทือน เฉลี่ย	ค่าการ สั่นสะเทือน สูงสุด	ลักษณะกราฟ ความถี่	สาเหตุ	ระดับการ สั่นสะเทือน
หัววัดที่ 1 , Vertical position	0.512 mm/sec	0.58 mm/sec	คล้ายกับรูปที่9 และ 11ใน ตารางที่3.2	เกิดจากการ หลวมคลอน และควาเวเตชั่น	พอใช้
หัววัดที่ 3 , Horizontal position	0.446 mm/sec	0.55 mm/sec	คล้ายกับรูปที่9 และ 11 ใน ตารางที่3.2	เกิดจากการ หลวมคลอน และควาเวเตชั่น	ปกติ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลจากการทดลอง

จากการศึกษา และทดลองพบว่าเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบไร้สาย (WiVib) โดยใช้สัญญาณ WIFI สามารถติดตั้งและใช้งานง่าย สะดวก วัดผลออกมาอยู่ในรูป คลื่นเวลา (Time - domain) คลื่นความถี่ Spectrum (Frequency domain) ซึ่งในการวัดค่าการสั่นสะเทือนนี้เป็นการวัดโดยที่ไม่ต้องไปอยู่ที่เครื่องจักรและหน้าจอแสดงผลตลอดเวลา แต่อาศัยหลักการตั้งค่าในตัวโปรแกรม เพื่อให้แสดงค่าในเวลาที่กำหนดขึ้น (wake up) และในการวัดจะต้องอาศัยสัญญาณที่ดี เพื่อให้การวัดสามารถวัดค่าได้อย่างแม่นยำตรงสามารถส่งสัญญาณมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และนำผลที่ได้จากการวัดนำมาวิเคราะห์หาค่าการสั่นสะเทือนแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการสั่น เพื่อป้องกันการเสียหาย และลดค่าใช้จ่ายในการใช้งาน

จากการทดสอบวัดค่าการสั่นสะเทือนของปั๊มและมอเตอร์ขนาด 15 กิโลวัตต์ ภายในอาคารภาควิศวกรรมเครื่องกล - อุตสาหการ พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนส่วนใหญ่เกิดจากการไม่สมดุลของเพลลา คาวีเตชัน และเกิดจากการหลวมคลอน แต่มีระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ปกติ ยอมให้ปั๊มและมอเตอร์ทำงานต่อไปได้ตามปกติ

5.2 ปัญหาที่พบในการทำโครงการ

จากการทดสอบการวัดการสั่นสะเทือนของปั๊มและมอเตอร์ทั้ง 10 วัน สิ่งที่เป็นอุปสรรคในการทดลองคือ

5.2.1 ไม่สามารถรู้เวลาการทำงานของปั๊มได้อย่างแน่นอน ต้องคอยสังเกตว่าปั๊มมีแนวโน้มที่จะทำงานในช่วงเวลาใด

5.2.2 การทดลองบางครั้งอาจเกิดปัญหาคือการเชื่อมต่อสัญญาณ WIFI ไม่ได้ อาจเกิดจากห้องที่ใช้ทดลองอาจมีสัญญาณรบกวนเข้ามายังตัวรับสัญญาณ และอาจเกิดจากผนังกำแพงที่หนาอาจทำให้สัญญาณส่งผ่านมาไม่ถึงตัวรับ และมีข้อจำกัดในการเชื่อมต่อสัญญาณที่ไปได้ไกลสุดประมาณ 40 เมตร

5.2.3 ผลจากการทดลองอาจมีลักษณะกราฟที่ผิดปกติ เกิดจากการติดตั้งหัววัด ไม่แน่นหนา จึงทำให้หัวที่ติดกับเครื่องจักรเกิดการหลุดได้ ค่าที่ออกมาจึงมีการผิดพลาดขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. ในการวัดการสั่นสะเทือนแบบไร้สายทุกครั้งต้องคำนึงถึงสถานที่ตั้งและสิ่งแวดล้อมรอบๆ เพราะถ้าสถานที่ตั้งที่ตั้งไม่เหมาะสม เช่น อยู่ในห้องที่มีผนังหนาหลายชั้น หรือ มีสัญญาณรบกวน อาจจะทำให้การเชื่อมต่อสัญญาณมีปัญหาได้

2. ในการติดตั้งต้องตรวจสอบให้ดีว่ามีหัววัดตำแหน่งใดติดไม่แน่นบ้างเพราะเมื่อเครื่องจักรทำงานแรงจากการสั่นสะเทือนจะทำให้หัววัดหลุดได้จะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าได้ และเพื่อป้องกันความปลอดภัยต้องระงับเวลาติดหัววัดที่ปั๊มและมอเตอร์ เพราะถ้าไปติดตอนที่เครื่องทำงานอาจจะทำให้เกิดอันตรายได้

3. ในการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบไร้สายนี้เหมาะกับการวัดค่าการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่มีเวลาทำงานไม่คงที่ จะช่วยในเรื่องความสะดวกสบาย คือ สามารถวัดค่าพร้อมกันได้ครั้งละหลายจุด และผู้วัดไม่จำเป็นต้องอยู่ที่เครื่องจักรและหน้าจอแสดงผลตลอดเวลา ทำให้ไม่เสียเวลาในการวัดมากจนเกินไป

4. เจ้าหน้าที่ที่มีหน้าที่ดูแลปั๊มและมอเตอร์ ควรจัดให้มีการวัดการสั่นสะเทือนของปั๊มและมอเตอร์ อย่างสม่ำเสมออย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง เพื่อติดตามสภาพและประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้น หากเกิดความเสียหายกับเครื่องจักร จะได้แก้ไขได้ทันเวลา

เอกสารอ้างอิง

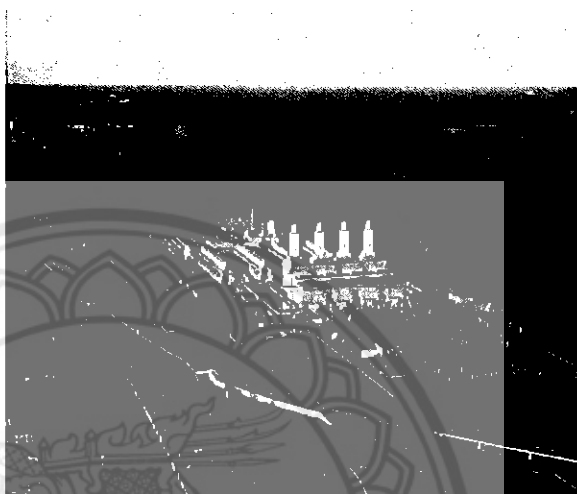
- วินัย เวชวิทยาลัง. (2552). เทคนิคการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่องานบำรุงรักษา
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์บริษัท ส.เอเชียเพลส (1989) จำกัด
- ไทยแลนด์อินดัสตรีดอทคอม. (22 มิถุนายน 2553), การเฝ้าติดตามสภาพเครื่องจักรด้วยวิธีการวัด
และวิเคราะห์การสั่นสะเทือนภาคปฏิบัติ (ตอนที่ 1). สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2556, จาก
[http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=11387§ion=9&count
=Y](http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=11387§ion=9&count=Y)
- บริษัทแซฟไฟเลอร์ (ประเทศไทย) จำกัด. (2556), การตรวจสอบสภาพเครื่องจักรหมุนโดยวิธีการวิเคราะห์
ความสั่นสะเทือน ตอนที่ 1. สืบค้นเมื่อ 21 มิถุนายน 2556, จาก [http://www.itsbangkok.
com/website/index.php/instrument-vibration-inspection/170-inspect-rotating-
machine-with-vibration-method](http://www.itsbangkok.com/website/index.php/instrument-vibration-inspection/170-inspect-rotating-machine-with-vibration-method)
- บริษัทเทอร์โมสแกน จำกัด. (2555), ตรวจสอบความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรด้วยเครื่องวิเคราะห์
ความสั่นสะเทือน. สืบค้นเมื่อ 30 มิถุนายน 2556, จาก <http://www.vibration.in.th/>
- Iconresearch. (2552). WiVib-4/4 Pro Operating Manual. สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2556, จาก
[http://www.iconresearch.co.uk/assets/Manuals/wivib-4-4%20pro%20operating
%20manual%201-1.pdf](http://www.iconresearch.co.uk/assets/Manuals/wivib-4-4%20pro%20operating%20manual%201-1.pdf)



คุณลักษณะของเครื่องวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน WiVib 4/4 Pro

WiVib 4/4
Pro
Batty-
Powered
Wireless
Condition
Monitoring
Solutions
Now
Available on
Standard
WiFi
Networks

WIVIB Wireless
Monitoring



Wireless Vibration

Measurement Icon Research Ltd

Contents

Page 2: Overview

The **WiVib** family of vibration acquisition units from Icon Research provides wireless multi-channel vibration monitoring on standard wireless networks.

Page 3: Products

Page 5: Software Applications

The **WiVib** range communicates via the WiFi 802.11 standard and is fully compatible with all low-cost access points and accessories used on this popular medium, including full security. The **WiVib** links into the network in exactly the same way as any other wireless device.

Page 7: System Integration

Page 8: Ordering Information

Simply mount it on your machine, insert the batteries and you are ready to receive full vibration information over your network.

"I think it's great that the data comes to me, rather than me having to go and fetch it."

ICON
RESEARCH

Wireless Data Acquisition Explained

Why go wireless?

Monitoring of the condition of plant machinery is done in one of two ways, with walk-around data collectors or with an on-line system. For reasons of regular monitoring and reliability of data, an on-line system is usually preferred, but the cost is often prohibitive. Wireless data acquisition can help in both instances. By attaching small wireless units directly to machinery, or replacing existing switch boxes, reliable data can be obtained regularly and at significantly less expense than with walk-around systems. This allows for more efficient deployment of valuable manpower resources.

In the case of on-line systems, huge costs are saved in installation, and the savings don't end there. No cabling means increased reliability together with making the job of removing machinery for servicing so much easier. Lower cost means that less critical, but still important, machinery can be monitored.

Is it reliable?

The acceptance of wireless technology is now universal. Icon has employed the global 802.11 WiFi standard as its networking medium and its proven immunity to external noise and interference means that you will be using the same standard that is used for wireless internet and many other high-integrity applications. Data rate is up to 54Mbits/sec and ranges up to hundreds of feet are possible, depending on the environment. Full encryption of data is available and the WiVib family operates using off-the-shelf

access points that can be purchased from your local computer store or your preferred networking supplier. The diagram below shows a typical installation. WiVibs are installed on the machinery and these communicate with a local access point that resides on the plant network. Each WiVib has its own IP address that is defined in the device at the time of installation. The network handles a WiVib in the same way that it would handle any wireless or cabled device connected.

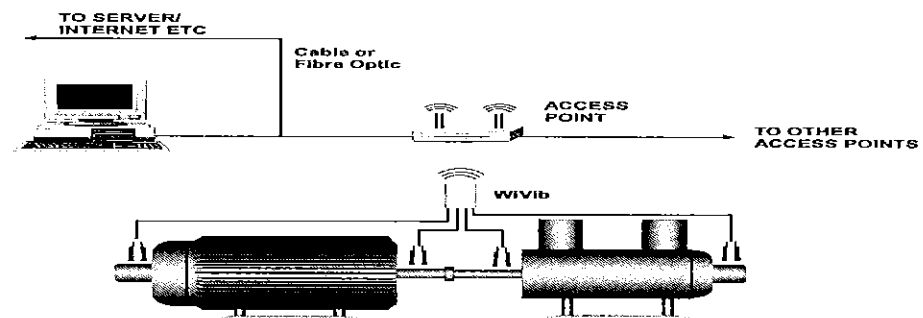
How are measurements made?

When taking measurements, WiVibs can operate in one of two modes, namely *continuous* and *wakeup*. In continuous mode, the device is permanently on and is powered by a DC supply in a range from 10V to 30Vdc. So measurements can be taken at any time.

However, when using batteries, it is important to conserve power to maximise battery life. This is where wakeup mode is used. Each WiVib contains a real-time-clock which can be instructed to wake the WiVib up at any interval varying from one minute to one day. The WiVib takes its measurements as instructed by the application and then "goes to sleep" until woken at the next interval. However, the unit can be instructed to remain on if prolonged machinery diagnostics are required.

How long will my batteries last?

In a typical installation where a set of measurements is taken every six hours in wakeup mode, a battery life of around one year can be expected between battery changes.



WiVib-4/4 Pro

Simultaneous Channel Wireless WiFi 802.11b/g Acquisition Unit

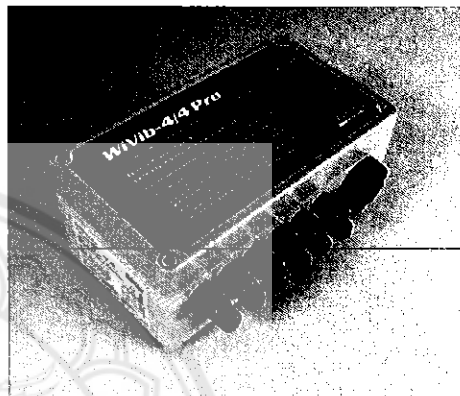
The **WiVib-4/4 Pro** from Icon Research is a wireless multi-channel vibration monitoring device that operates on the universal WiFi 802.11b/g standard. This new device offers simultaneous sampling on its four dynamic channels at 24-bit resolution and up to 102.4kHz sample rate with 12800 spectral line resolution. The additional four DC channels are ideal for measuring process parameters. For example, accelerometers with temperature output can be connected directly to the unit enabling vibration, bearing condition and bearing temperature to be measured.

The **WiVib-4/4 Pro** incorporates an ICP power supply on each of its four dynamic channels so that any standard compatible accelerometer can be connected. Alternatively, the inputs can be AC coupled to interface with buffered signals from other systems. High-resolution acceleration and velocity measurements can be made, together with bearing condition using the built-in demodulator or "envelope" as it is sometimes called. Accelerometer bias voltage checking is incorporated.

The dynamic inputs are also compatible with standard eddy current (proximity) probes allowing direct measurement of displacement, including gap voltage.

The two digital trigger inputs offer flexible triggering options allowing synchronised readings to be taken. The triggers can also be configured to operate as tachometer inputs, PLL's for ordered spectra, and gates for conditional initiation of measurements. One of the triggers can be configured to act as an analog trigger input.

The **WiVib-4/4 Pro** operates on the universal WiFi 802.11b/g standard and offers full WEP, WPA and



WPA2 security. Network configuration is straightforward by connecting to the on-board USB port and running the *WiVibConfig* software utility supplied on any laptop or PC.

Power is provided by two internal 'C' size batteries or a DC supply in the range 10 to 30V. Under battery power, the device requires no connections apart from the sensors and it can be powered up and down by its internal real-time-clock.

The unit has been designed for operation in hazardous locations and is approved for use in ATEX Zone 2 areas. It is currently going through Class 1 Div 2 certification for use in North America.

The unit is housed in a compact rugged enclosure and is sealed to IP67. It is fitted with stainless steel brackets for easy mounting. The twelve sealed glands allow cables of varying diameter to be routed to the unit.

The **WiVib-4/4 Pro** is supplied with a comprehensive suite of support software enabling the device to be configured on your network and useful measurements to be taken right away. Refer to the specification overleaf for full details of the **WiVib-4/4 Pro**.

WIVIB-4/4 PRO TECHNICAL SPECIFICATION

MEASUREMENT

Dynamic Channels (1-4)

No of Channels:	4
ICP Interface:	2.4mA at 20Vdc
Other Coupling:	AC, jumper configurable
Input Voltage Range:	+/-5V
Bias/Gap Measurement:	+/-25V range for ICP bias voltage and eddy probe gap measurement
Measurements:	acceleration, displacement, bearing demod, (velocity by s/w integration)
Gain Ranges:	gain steps 1, 2, 5, 10, 20 and 50
Amplitude Accuracy:	±2% typical in passband
Demodulation Function:	digital demodulator (HP and LP bandpass filter edges programmable steps from 50Hz to 40kHz)

DC Channels (5-8)

No of Channels:	4
Ranges:	0 to +3V and 0 to +10V, jumper selectable
4-20mA Input Option:	100 ohm load, jumper selectable

PROCESSING

ADC:	24 bit simultaneous on channels 1-4 16 bit multiplexed on channels 5-8
Sampling Rate (chans 1-4):	64Hz to 102.4kHz
Bandwidth Ranges:	0.5Hz-25Hz to 0.5Hz-40 kHz
Data Block Lengths:	256 to 32768
Spectral lines:	up to 12800

TRIGGERS

No of Channels:	2 (one analog/digital, one digital)
Coupling:	5V to 24V digital pulse, or analog in range +/-20V
Available Functions:	external trigger, tacho speed, ordered data (by phase-lock-loop), gated acquisition, pre- and post-trigger delay to 32768 samples

COMMUNICATIONS

Wake-up Mode:	programmable from one minute to one day via internal RTC Network
Addressing:	802.11b/g WiFi compatible, FCC and IC certified static IP or DHCP
Speed:	up to 54 Mbits/sec
Encryption:	WEP (64, 128 bit) and WPA/WPA2 PSK (TKIP, AES)
Interface Port:	USB user port

MECHANICAL

Enclosure:	glass reinforced polyester, NEMA 4, IP67
Dimensions:	22cm (8.5") x 12cm (4.6") x 9cm (3.5")
Weight:	1.4kg (3 lbs)
Cable Entries:	12 glands, IP68 rated
Cable Diameter:	3mm to 6.5mm

ENVIRONMENTAL

Operating Temperature:	-10°C to +60°C (14°F to +140°F)
Compliance:	CE, RoHS
ATEX Zone 2 Hazardous Locations:	ATEX Directive 94/9/EC, Certificate Number Baseefa08ATEX0294X
Battery powered:	II 3G Ex nAnL [ib] IIC
Externally powered:	II 3G Ex nAnL IIC
	T4 (-10 °C ≤ Ta ≤ +60 °C)
	T5 (-10 °C ≤ Ta ≤ +60 °C)
	T6 (-10 °C ≤ Ta ≤ +49 °C)

CSA Class 1 Div 2

pending

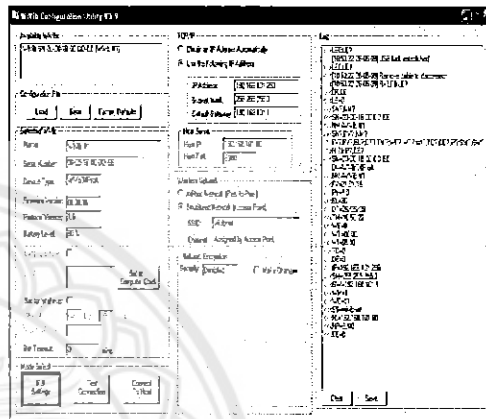
POWER

Input Power:	battery, or DC power (10 to 30Vdc)
Battery Type:	two x lithium 3.6V 'C' cell type LSH 14 (unrestricted transportation version available)
Battery Monitor:	internal battery monitor and critical battery shutdown
Isolation:	1500V from DC power input

Application Software for WiVibs

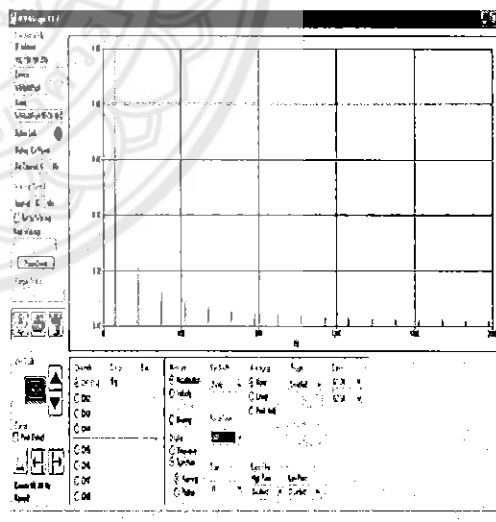
WiVibConfig Easy-to-use tool for configuring your WiVib to work on a wireless network

Configuring your WiVibs to communicate on a wireless network is made easy with the *WiVibConfig* utility. Simply edit the network settings (eg. IP address, SSID etc) and then click able the WiVib onto your network. The panel on the right monitors network activity so you can quickly see if the WiVib has connected to your network, or if further editing of the settings is required. Security settings can be entered and modified as required. Configurations can be saved to file and reloaded so you don't have to re-type all of your settings each time you introduce a new WiVib onto your network. Communication is via a cable from any USB port on your laptop or PC.



WiVibScope Turns your WiVib into a fully featured spectrum analyser

WiVibScope enables both time and spectrum graphs to be displayed from any selected channel of a WiVib. Measurements can be displayed in standard engineering units such as g and ips as well as user-defined units. Simply select the WiVib and the channels that you want to monitor and live traces stream to the high-resolution display. Zoom and cursor with readout function are provided. Settings such as number of spectral lines, bandwidth etc are easily changed with drop-down menus. Any acquisition setting (eg. gain, integration to velocity etc) can be adjusted also. *WiVibScope* is ideal for detailed analysis, system checks and installation setup. Both continuous and wakeup modes are supported.



Application Software for WiVibs

WiVibTrend Lite Easy plant monitoring and analysis for smaller systems

WiVibTrend Lite provides the core functionality of on-line monitoring systems with features such as trending, alert/alarm indication and full analysis capability. It can support typically up to 40 channels with multiple measurements (for example, velocity vibration and bearing condition) being available on each channel.

Its straightforward setup-and-go interface means that you can be logging and trending within minutes of loading the application. A moving chart-recorder updates current measurements while historical pan and zoom functions let you examine previously measured data.

This application is perfect for smaller wireless on-line monitoring systems or getting familiar with wireless monitoring.

WiVibTrend Lite supports a simple *Plant ... Machine ... Point ... Measurement* hierarchy. Alerts and alarms are indicated on the hierarchy and summarised in the table underneath. For a quick check, the red/yellow/green traffic light summary lets you know the status of your plant at a glance.

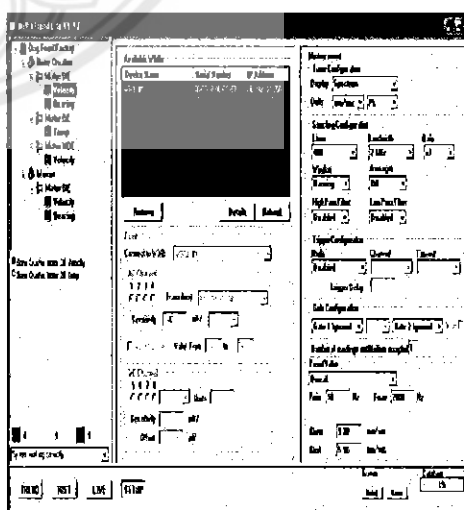
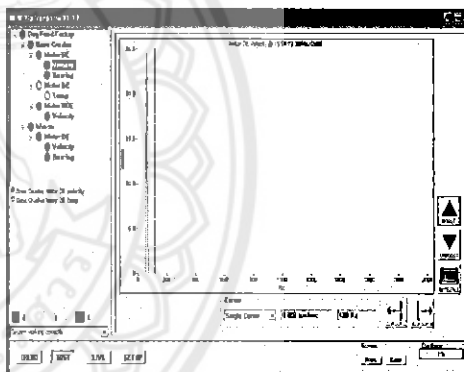
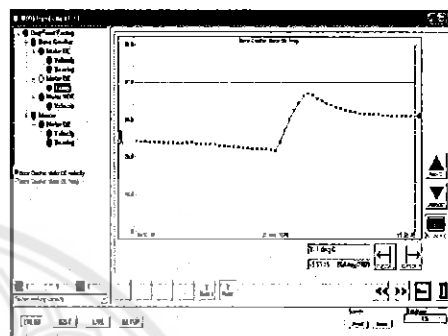
The application supports wakeup and continuous modes on the WiVibs, so you can choose how often you want to scan your machinery. This can be from several times a minute to once a day.

A historical trace, such as a spectrum, can be viewed by selecting the time at which it was gathered on the trend graph. Alternatively, live/latest spectra can be viewed with full cursor readout.

Setting up the machine hierarchy is very straightforward. First, use *WiVibConfig* to connect your WiVibs to the network and then use the single screen setup in *WiVibTrend Lite* to specify what you want to measure and when.

Hardcopies of trends and traces can be printed, or traces can be written to file for emailing or inserting in reports.

WiVib hardware and *WiVibTrend Lite* software combine to produce a powerful machinery monitoring package that is low-cost, quick to install and easy to use. *WiVibTrend Lite* has been specially developed by Icon Research to show the advantages that wireless monitoring can bring to industry. You can get started with a single WiVib and be monitoring your plant within minutes.



Integrating WiVibs With Your System

System Integration

WiVib users may wish to interface their WiVib devices to applications other than those supplied by Icon Research. There are three basic methods by which a systems integrator can gain access to a WiVib and the measurements that it takes, namely:

1. Accessing the *WiVibTrend Lite* OPC Server
2. Controlling the WiVib Server
3. Programming the WiVib directly

The options are listed by ease of implementation (easiest first). The trade-off is usually the flexibility of the solution versus the time and effort to implement it. However, Icon Research is always available to assist regardless of which interface method is chosen.

1. Accessing the *WiVibTrend Lite* OPC Server

WiVibTrend Lite provides the user with the means to configure measurements, and provides a simple display of the data that has been taken. It makes use of an embedded copy of the WiVib Server to control the sampling process.

The OPC Server component of *WiVibTrend Lite* allows the contents of the samples taken to be easily exported to external systems by means of the standard OPC interface.

When enabled, the OPC server runs in the background of *WiVibTrend Lite*, and provides OPC tags for the information that is provided by *WiVibTrend Lite* locally.

Using this method the integrator has just to configure his existing OPC clients to request the required tags from the *WiVibTrend Lite* OPC Server.

The structure and contents of these tags can be found in the *WiVibTrend Lite OPC DA Server Data Dictionary*, and include:

- Status information for all levels of the system hierarchy;
- Values, and alarm status, for all of the trends;

- Traces for both time domain and spectrum measurements;
- Status information for the WiVib sensors to detect failures in the monitoring equipment.

2. Controlling the WiVib Server

The WiVib Server provides the means to control a network of WiVib devices and thus realise a surveillance system by performing the following tasks:

- Scheduling when the WiVib is to be sampled.
- Controlling the sampling of the required measurements.
- Processing the samples by scaling them to the correct units and performing post sampling processes such as FFTs and integration.
- Testing the sensors and checking the sampled data for validity.
- Deriving trend values from the samples.
- Determining alarm conditions.

Using this method enables the integrator to concentrate on the user interface for the setup of the measurements and the display of the results, without having to have a detailed knowledge of how to control the WiVib.

3. Programming the WiVib Directly

When using this method, individual instructions are sent to the device using the specified WiVib command set. This therefore offers the most flexible and efficient interface to the WiVib devices but it also involves the integrator with the mo

ORDERING INFORMATION

Device Type	Order Code
WiVib-4/4 Pro Acquisition Unit (4 x ICP Channels and 4 x DC Channels)	WiVib-4/4 Pro
Accessories	
USB Interface Cable for WiVib-4/4 Pro (Type A to Mini-B)	UC-3
Ferrite Sleeve for CE Compliance	FS-1
Lithium Battery 3.6V Type LSH 14 for WiVib-4/4 Pro (manufacturer Saft) - two required	LSH14
Lithium Battery 3.6V Type LSH 14 for WiVib-4/4 Pro (manufacturer Saft) - two required (no transportation restrictions)	LSH14 Light



Authorised Agent

*Icon Research Ltd
3 Raw Holdings
East Calder
West Lothian
EH53 0HY
UK*

Tel: +44 (0)1506 885000

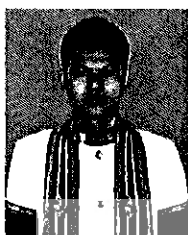
Fax: +44 (0)1506 885501

Web: www.iconresearch.co.uk

All specifications are subject to change without notice

Issue 1

ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ นายจักรกฤษณ์ ยิ้มแย้ม
 ภูมิลำเนา 118/3 ต.ท่าฉนวน อ.งิ้วกราด จ.สุโขทัย 64170
 ประวัติการศึกษา

จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสุโขทัยวิทยาคม จ.สุโขทัย
 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
 วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail jakkrid_yam@hotmail.com



ชื่อ นายชนภัทร อิมภักดี
 ภูมิลำเนา 239/42 ต.บ้านกล้วย อ.เมือง จ.ชัยนาท 17000
 ประวัติการศึกษา

จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนชัยนาทพิทยาคม จ.ชัยนาท
 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail bigband007@hotmail.com



ชื่อ นางสาวสุกัญญา ดินทับ
 ภูมิลำเนา 46 ม.4 ต.มะตูม อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก 65150
 ประวัติการศึกษา

จบชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพุทธชินราชพิทยา จ.พิษณุโลก
 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail por_loveudjseed@hotmail.com