

การวิเคราะห์ความเสียหายของปั๊มด้วยการวัดการสั่นสะเทือน

ANALYSIS OF DAMAGE BY MEASURING THE VIBRATION OF THE PUMP



นางสาวกัญญาภรณ์	สารธิเสน	รหัสนิติ 51363845
นางสาวจินดารัตน์	บัวแดง	รหัสนิติ 51363920
นายอิสระ	สมีนาง	รหัสนิติ 51364194

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... ๒๐ ก.ค. ๒๕๕๕
เลขทะเบียน..... ๒๖๑๑๘๗๑๔
เลขเรียกหนังสือ..... ๗๕.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ๑๓๘ ๑ ๒๕๕๔

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตร

ปีการศึกษา ๒๕๕๔



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อโครงการ : การวิเคราะห์ความเสียหายของปั๊มด้วยการวัดการสั่นสะเทือน
 : Analysis of damage by measuring the vibration of the pump

ผู้ดำเนินโครงการ : นางสาวกัญญกรณ์ สารธิเสน รหัสนิสิต 51363845
 : นางสาวจินดารัตน์ บัวแดง รหัสนิสิต 51363920
 : นายอิสรระ สมีนาง รหัสนิสิต 51364194

ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.ภาณุ พุทธวงศ์

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา : 2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการ

 ที่ปรึกษาโครงการ

(ดร. ภาณุ พุทธวงศ์)

 กรรมการ

(ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

 กรรมการ

(ดร. ศลิษา วีรพันธุ์)

หัวข้อโครงการ : การวิเคราะห์ความเสียหายของปั้มด้วยการวัดการสั่นสะเทือน
ผู้ดำเนินโครงการ : นางสาวกัญญกรณ์ สารธิเสน รหัสนิต 51363845
: นางสาวจินดารัตน์ บัวแดง รหัสนิต 51363920
: นายอิสระ สมีนาง รหัสนิต 51364194
ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.ภาณุ พุทธวงศ์
สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา : วิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา : 2554

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเสียหายของปั้มโดยการวัดการสั่นสะเทือน และศึกษาทฤษฎีการสั่นสะเทือนเพื่อที่จะใช้ในการบำรุงรักษา โดยจะวัดการสั่นสะเทือนของปั้มและมอเตอร์ของปั้มปรับอากาศที่ใช้ในตึกภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล-อุตสาหกรรม และภาควิชาวิศวกรรมโยธา โดยมีเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ใช้หลักการทำงานของหัววัดการสั่นสะเทือนชนิดความเร่งเป็นอุปกรณ์ในการวัด และรวบรวมข้อมูลการสั่นสะเทือนที่ได้จากการวัดการสั่นสะเทือนมาวิเคราะห์ผลโดยใช้ซอฟต์แวร์ Trendline ของบริษัท Schaeffler (Thailand) ซึ่งผลจากการทดลองวัดปั้มและมอเตอร์ทั้งหมด 5 ชุดพบว่า มอเตอร์ตัวที่ 3 มีลักษณะกราฟที่ผิดปกติ ซึ่งอาจเนื่องมาจากมอเตอร์มีการติดตั้งไม่สมบูรณ์ หรือเกิดการผิดปกติภายในตัวมอเตอร์ และยังพบอีกว่า ปั้มตัวที่ 5 มีระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ ส่วนมอเตอร์และปั้มตัวอื่นๆ ไม่ปรากฏอาการผิดปกติใดๆ และยังมีระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ที่ต้ออีกด้วย

Project Title : Analysis of damage by measuring the vibration of the pump
Name : Miss. Kunyaphorn Santhisan Student ID. 51363845
: Miss. Jindarat Buadang Student ID. 51363920
: Mr. Aisara Sameenang Student ID. 51364194
Project Advisor : Dr. Panu Putthawong
Major : Mechanical Engineering
Department : Mechanical Engineering
Academic Year : 2011

Abstract

This project aimed to analyze pump damage by using vibration measurement. Also, the theory of vibration for machine maintenance had been studied. The pumps and the motors in the chiller systems of mechanical-industrial engineering building and of civil engineering building had been measured. The instrument used in this project was the vibration analyzer which used accelerometer as the sensor. The data was gathered and analyzed by the software, Trendline, by the Schaeffler (Thailand) company. The measurement result of five sets of pumps and motors were as follow. Pump number three has irregular spectral signal shape. The caused were maybe from mechanical looseness or other irregularity in the motor. Also, pump number five had quite high spectrum signal but the vibration level was satisfactory. Other pumps and motors had been analyzed and there were nothing irregular and the vibration level was in good level.

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

โครงการฉบับนี้จัดทำขึ้น โดยมุ่งเน้นในเรื่องการศึกษาการวิเคราะห์การสันสะเทือน วิธีการให้เครื่องวัดการสันสะเทือนเครื่องจักร และการบำรุงรักษาพยากรณ์เครื่องจักร ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากการให้คำปรึกษาและให้ความร่วมมือสนับสนุนของอาจารย์ภาณุ พุทธรังค์ รวมทั้งคณาจารย์และบุคลากรทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอขอบคุณคุณคุณภุชงค์ พุทธรังค์ บริษัท Schaeffler (Thailand) ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวัดการการสันสะเทือนเครื่องจักร

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้ดำเนินโครงการอย่างสม่ำเสมอตลอดมา และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือในงานการวิเคราะห์การศึกษาทดลองครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อท่านผู้สนใจได้ในระดับหนึ่ง ตลอดจนเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาต่อไป

คณะผู้ดำเนินโครงการ

นางสาวกัญญาภรณ์	สารธิเสน
นางสาวจินดารัตน์	บัวแดง
นายอิสระ	สมีนาง

สารบัญ

	หน้า
ปกใน	ก
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์	ข
บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ณ
สารบัญสัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.5 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน	2
1.6 สถานที่ปฏิบัติงาน	2
1.7 อุปกรณ์ที่ใช้	2
1.8 งบประมาณ	2
บทที่ 2	
ทฤษฎี	3
2.1 การสันสะเทือน	3
2.2 การแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT) และการประยุกต์ใช้เพื่อวินิจฉัยสภาพเครื่องจักร	11
2.3 มาตรฐาน ISO 10816 เพื่อการวิเคราะห์ความรุนแรงการสันสะเทือน	16
2.4 ปัมป์แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Pumps)	16
2.5 เครื่องวัดการสันสะเทือนขนาดเล็ก	17
2.6 การจัดทำระบบบำรุงรักษาพยากรณ์	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3	
วิธีดำเนินโครงการ	36
3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการสิ้นสະเทือนและงานบำรุงรักษา	36
3.2 การวัดค่าการสิ้นสະเทือนของระบบปั้ม	36
3.3 วิเคราะห์ค่าที่ได้จากการวัดการสิ้นสະเทือน	40
บทที่ 4	
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	47
บทที่ 5	
สรุปผล	65
5.1 สรุปผลจากการทดลอง	65
5.2 ปัญหาที่พบในการทำโครงการ	65
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนา	65
เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก	67
ประวัติผู้จัดทำโครงการ	73



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงสภาพของเครื่องจักร	41
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงการวิเคราะห์การสิ้นสະเทือน	42
ตารางที่ 4.1 สาเหตุและระดับการสิ้นสະเทือนของมอเตอร์แต่ละตัว	62
ตารางที่ 4.2 สาเหตุและระดับการสิ้นสະเทือนของปั้มแต่ละตัว	63



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบสมมติของเครื่องจักรกล	4
รูปที่ 2.2 ลักษณะความแตกต่างของการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก	4
รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่ในเงื่อนไขที่แตกต่างจากแบบฮาร์โมนิก	5
รูปที่ 2.4 ลักษณะการสั่นแบบสุ่ม (Random)	6
รูปที่ 2.5 การสั่นที่เกิดจากแรงกระทก	6
รูปที่ 2.6 การเคลื่อนที่ของการสั่นแบบมีตัวหน่วง	6
รูปที่ 2.7 การสั่นสะเทือนของวัตถุเป็นสัญญาณลานคาบใดๆ	7
รูปที่ 2.8 ระบบที่มีการสั่นสะเทือนแบบบังคับ	9
รูปที่ 2.9 ขนาดการสั่นสะเทือนขณะเกิดความถี่พ้อง	11
รูปที่ 2.10 สัญญาณคลื่นไซน์กับการแสดงเทียบในแกนเวลาและแกนความถี่	12
รูปที่ 2.11 สัญญาณแบบแรนดอมที่ไม่มีรูปแบบแน่นอนตายตัว	12
รูปที่ 2.12 การเทียบขนาดสัญญาณไซน์กับสัญญาณต้นฉบับ	14
รูปที่ 2.13 รูปคลื่นไซน์สองคลื่น ณ ความถี่ 1 เท้าและ 3 เท้า	15
รูปที่ 2.14 รูปคลื่นไซน์จำนวน 41 คลื่นด้วยความถี่และขนาดต่างๆ กัน	15
รูปที่ 2.15 สัญญาณรบกวนที่ใช้อนุกรมฟูรีเยร์ 30 เทอม	15
รูปที่ 2.16 จุดตรวจวัดการสั่นในทิศทางแนวตั้ง	19
รูปที่ 2.17 จุดตรวจวัดการสั่นในทิศทางแนวราบ	20
รูปที่ 2.18 จุดตรวจวัดการสั่นในทิศทางแนวแกนเพลลา	20
รูปที่ 2.19 ผังการกำหนดความถี่การซ่อมบำรุง	22
รูปที่ 2.20 เปรียบเทียบความถี่การหยุดซ่อมเครื่องจักรแต่ละระบบ	24
รูปที่ 2.21 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ซ่อมบำรุงแต่ละระบบ	24
รูปที่ 2.22 ลักษณะการติดตั้งเพลลาไม่ตรงแนวศูนย์	25
รูปที่ 2.23 ลักษณะการเข่งลรอยที่ขาของเครื่องจักร	25
รูปที่ 2.24 มวลส่วนเกินที่ส่งผลให้เพลลาเครื่องจักรไม่สมดุล	26
รูปที่ 2.25 กระทบประกอบและติดตั้งเครื่องจักรไม่ถูกต้อง	26
รูปที่ 2.26 ลักษณะการสั่นของเครื่องจักร	27
รูปที่ 2.27 จุดที่ต้องการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร	27
รูปที่ 2.28 กราฟความพร้อมสมบูรณ์และการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร	28
รูปที่ 2.29 ตัวอย่างการพยากรณ์เวลาซ่อมบำรุงล่วงหน้าในระบบการบำรุงรักษาพยากรณ์	29
รูปที่ 2.30 เทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์สาเหตุเครื่องจักรเสีย	30

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.31 กล้องถ่ายภาพทางความร้อน	31
รูปที่ 2.32 อุปกรณ์ฟังเสียงการสั่นสะเทือน	32
รูปที่ 2.33 แนวทางการวิเคราะห์ความผิดปกติของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นตามทิศทางการวัด	33
รูปที่ 2.34 ตัวอย่างการนำข้อมูลอุณหภูมิเครื่องจักรมาสร้างกราฟเพื่อกำหนดเวลาซ่อม	34
รูปที่ 3.1 เครื่องวัดการสั่นสะเทือนเครื่องจักร	36
รูปที่ 3.2 แผนที่ปั๊มและมอเตอร์ตัวที่ 1 ถึง 5	37
รูปที่ 3.3 ลักษณะของปั๊ม	37
รูปที่ 3.4 จุดวัดมอเตอร์ในแนวราบ (H, Horizontal) ด้านท้าย (Non-drive end)	38
รูปที่ 3.5 จุดวัดมอเตอร์ในแนวตั้ง (V, Vertical) ด้านท้าย (Non-drive end)	38
รูปที่ 3.6 จุดวัดมอเตอร์ในแนวราบ (H, Horizontal) ด้านหน้าแปลนขับ (Drive end)	38
รูปที่ 3.7 จุดวัดมอเตอร์ในแนวตั้ง (V, Vertical) ด้านหน้าแปลนขับ (Drive end)	39
รูปที่ 3.8 จุดวัดปั๊มในแนวราบ (H, Horizontal) ด้านหน้าแปลนขับ (Drive end)	39
รูปที่ 3.9 จุดวัดปั๊มในแนวตั้ง (V, Vertical) ด้านหน้าแปลนขับ (Drive end)	39
รูปที่ 3.10 ลักษณะของกราฟ Time domain และ Frequency domain	40
รูปที่ 4.1 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 01-Motor 01 Non-drive end	47
รูปที่ 4.2 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 01-Motor 01 Drive end	48
รูปที่ 4.3 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 01-Pump 01 Drive end	49
รูปที่ 4.4 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 02-Motor 02 Non-drive end	50
รูปที่ 4.5 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 02-Motor 02 Drive end	51
รูปที่ 4.6 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 02-Pump 02 Drive end	52
รูปที่ 4.7 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 03-Motor 03 Non-drive end	53
รูปที่ 4.8 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 03-Motor 03 Drive end	54
รูปที่ 4.9 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 03-Pump 03 Drive end	55
รูปที่ 4.10 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 04-Motor 04 Non-drive end	56
รูปที่ 4.11 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 04-Motor 04 Drive end	57
รูปที่ 4.12 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 04-Pump 04 Drive end	58
รูปที่ 4.13 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 05-Motor 05 Non-drive end	59
รูปที่ 4.14 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 05-Motor 05 Drive end	60
รูปที่ 4.15 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 05-Pump 05 Drive end	61

สารบัญสัญลักษณ์

f	คือความถี่ (Frequency) มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์ (H_2)
τ	คือคาบ (Perild) มีหน่วยเป็นวินาที
n	คือตัวเลขแสดงจำนวนเท่าของความถี่สัญญาณรายคาบ
x	คือช่วงกว้างของการสั่น (Displacement Amplitude)
C	คือค่าคงที่ใดๆ (Constant)
ω	คือความถี่เชิงมุม (Cuircular Frequency)
t	คือเวลา เป็นวินาที (Second)
Φ	คือมุมเฟส หรือ Phase Angle
ω_n	คือความถี่ธรรมชาติของวัตถุ
ω_f	คือความถี่ของแรงกระทำต่อวัตถุ
T	คือคาบ
k	คือค่านิจสปริง
m	คือมวล (kg)



บทที่ 1 บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การวัดวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เป็นระบบบำรุงรักษาพยากรณ์ (Predictive Maintenance) โดยการตรวจวัดสุขภาพเครื่องจักรสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุผิดปกติของเครื่องจักร ซึ่งครอบคลุมปัญหาต่างๆ ได้เกือบทั้งหมด ทั้งทางกลและไฟฟ้า ตั้งแต่การตรวจสอบหาสาเหตุจากการประกอบ การไม่สมดุล (Unbalance) การติดตั้งไม่ตรงศูนย์ (Misalignment) การสึกหรอหลวมคลาย แบริงเสียหาย เฟืองเกียร์ เรโซแนนท์ (Resonance) การไหลของของไหล มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น เมื่อเครื่องจักรทำงานจะมีการวัดเฝ้าติดตามแนวโน้มการเสื่อมสภาพ วิเคราะห์หาสาเหตุผิดปกติ ทำนายอายุการใช้งาน เพื่อวางแผนเตรียมการแก้ไขได้อย่างถูกต้อง ทำให้รวดเร็ว ลดค่าใช้จ่าย และเพิ่มผลผลิต

ปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆ มีความก้าวหน้ามากขึ้น มีการประดิษฐ์เครื่องมือที่สามารถวัดวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรได้ ทำให้รู้สถานะเครื่องจักรว่ามีสุขภาพเป็นอย่างไร ทำให้รู้สาเหตุ และสามารถแก้ไขความผิดปกติที่จะเกิดขึ้นได้ในช่วงเริ่มต้นก่อนการเดินเครื่อง จึงช่วยให้เครื่องจักรอุปกรณ์มีอายุการใช้งานยาวนานมากขึ้น

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อวิเคราะห์ความเสียหายของปั๊มด้วยการวัดการสั่นสะเทือน
2. เพื่อศึกษาทฤษฎีการสั่นสะเทือนเพื่อนำไปใช้ในงานบำรุงรักษา

ขอบเขต

1. ศึกษาเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน
2. ทำการทดสอบโดยการวัดการสั่นสะเทือนของปั๊มและมอเตอร์ของปั๊มปรับอากาศของตึกภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล-อุตสาหกรรม และตึกภาควิชาวิศวกรรมโยธา-สิ่งแวดล้อม
3. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการสั่นสะเทือนของปั๊มและมอเตอร์ที่ทำกรวัดได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดการสั่นสะเทือนของปั๊มและมอเตอร์
2. เพื่อให้ทราบสาเหตุของการเกิดการสั่นที่ผิดปกติ
3. เพื่อวางแผนเตรียมการแก้ไขความผิดปกติที่จะเกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง
4. สามารถพยากรณ์สภาพการใช้งาน เพื่อกำหนดระยะเวลาการซ่อมบำรุง
5. เพื่อยืดอายุการใช้งานของปั๊มและมอเตอร์ และลดค่าใช้จ่าย

ระยะเวลาการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	2554		2555		
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ศึกษารวบรวมข้อมูลทางทฤษฎีและปฏิบัติ					
วางแผนการดำเนินงานและจัดเตรียมอุปกรณ์					
ดำเนินการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ					
ดำเนินการออกแบบและปรับปรุง					
สรุปผล					

สถานที่ปฏิบัติงาน

ตึก IE ห้อง 508

อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องวัดการสั่นสะเทือนเครื่องจักร
2. เครื่องคอมพิวเตอร์

งบประมาณ

ค่าปริญญารายงาน	1,000 บาท
ค่าจัดทำรูปเล่ม	1,000 บาท
ค่ากระดาษ	1,000 บาท
รวมทั้งหมด	3,000 บาท

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การสั่นสะเทือน

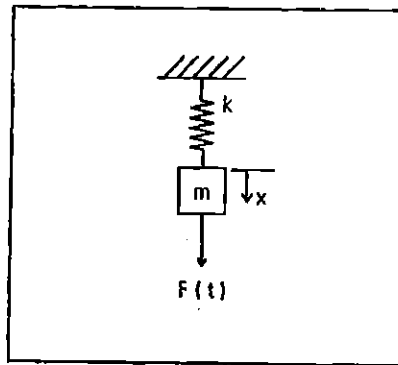
2.1.1 ธรรมชาติของการสั่นสะเทือน

การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของระบบ เช่น เครื่องจักรกล จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือน การเคลื่อนที่ดังกล่าว อาจมีลักษณะรูปร่างที่แน่นอน (Regular form) หรืออาจจะไม่แน่นอน (Irregular) โดยทั่วไปจะแบ่งการสั่นสะเทือนออกเป็นสองกรณี คือ การสั่นสะเทือนอิสระ (Free vibration) และการสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Forced vibration) การสั่นสะเทือนอิสระจะเกิดขึ้นในขณะที่ระบบเคลื่อนที่กลับไปกลับมา การสั่นสะเทือนดังกล่าวเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ (Natural vibration) ซึ่งอาจจะมีค่าเดียวหรือหลายค่าก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการสั่นสะเทือน การสั่นสะเทือนแบบบังคับ คือการเคลื่อนที่ในขณะที่แรงภายนอกกระทำกับระบบและทำให้ระบบมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา เช่นเดียวกับแรงที่กระทำ หรือมีความถี่เท่ากับความถี่ของแรงกระทำ ถ้าความถี่ของแรงที่มากระทำมีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบ ระบบนี้จะอยู่ในสภาวะการเกิดรีโซแนนซ์ ซึ่งจะเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง และเป็นอันตรายต่อระบบอย่างมาก เช่น การชำรุดเสียหายของโครงสร้างปีกเครื่องบิน, สะพาน, และอาคารก่อสร้าง เป็นต้น ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากสภาวะรีโซแนนซ์ ดังนั้น การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนจึงจำเป็นต้องหาความถี่ธรรมชาติของระบบ

โดยปกติเครื่องจักรกลหรือโครงสร้างต่างๆ จะมีตัวหน่วงการเคลื่อนที่ (Damper) อยู่ในระบบด้วย เช่น การเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนที่สัมผัสกัน, การเสียดทานในเนื้อวัสดุในขณะที่วัสดุมีการยืด-หดตัว การเสียดทาน หรือการเคลื่อนที่ด้านอื่นๆ เป็นต้น ในการหาความถี่ธรรมชาติของระบบนั้น จะต้องสมมติว่าตัวหน่วงมีค่าน้อยมาก หรือไม่มีตัวหน่วงในระบบเลย อย่างไรก็ตามตัวหน่วงจะมีผลต่อขนาดของการสั่นสะเทือนในสภาวะรีโซแนนซ์เป็นอย่างมาก

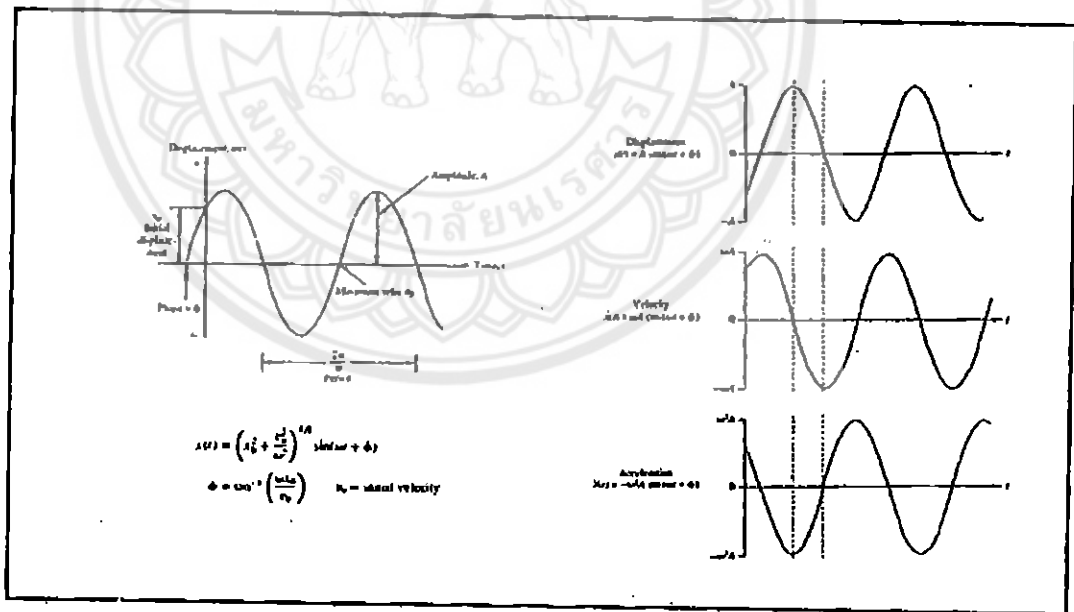
2.1.2 การสั่นสะเทือนของระบบ

สมมติให้ระบบเครื่องจักรกลประกอบด้วยส่วนที่เป็นมวล m และส่วนที่เป็นอิลาสติก หรือมีสปริง k เช่นในภาพที่ 1 การสั่นสะเทือนจะเกิดขึ้น โดยมีการสะสมพลังงานในระบบ มวล m จะสะสมพลังงานจลน์ และสปริงจะสะสมพลังงานศักย์ สมมติให้มวล m เคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้เฉพาะแนวตั้ง จากตำแหน่งสมดุล ถ้าดึงมวล m ในแนวตั้ง จากตำแหน่งสมดุลแล้วปล่อย มวล m จะเคลื่อนที่ขึ้นลง



รูปที่ 2.1 ระบบสมมติของเครื่องจักรกล

ถ้าการเคลื่อนที่ดังกล่าวเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ซ้ำกัน ในเวลาที่เท่ากัน จะเรียกรวมการเคลื่อนที่ในลักษณะนี้ว่า การเคลื่อนที่เป็นรอบ (Cyclic or Periodic) ถ้าสปริงมีค่าคงที่ (แรง/หน่วยยัดตัว) ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนที่ (Displacement) และเวลาจะเป็นลักษณะซายน์ หรือโคซายน์ (Sine or Cosine) และเรียกว่า การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก (Harmonic) ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่ง x คือ ระยะการเคลื่อนที่ และ t คือเวลา ความแตกต่างของรูปคลื่นจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ (Initial condition) ขนาดสูงสุดของระยะการเคลื่อนที่ x เรียกว่าขนาด (Amplitude) ส่วนเฟส หรือมุมการเคลื่อนที่แทนด้วย ϕ และเรียกความถี่รอบว่า ความถี่ (Circular frequency)



รูปที่ 2.2 ลักษณะความแตกต่างของการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก

ในบางครั้งเงื่อนไขการเคลื่อนที่อาจทำให้ระบบเคลื่อนที่ต่างจากแบบฮาร์โมนิก แต่ยังมีลักษณะเป็นรอบ ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ในรูปที่ 3 เป็นการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งที่มีระยะเคลื่อนที่ x เท่ากับหนึ่งรอบ เรียกว่า รอบการเคลื่อนที่หรือรอบ (Cycle) และเวลาที่ให้ในการเคลื่อนที่

หนึ่งรอบ เรียกว่า คาบ ซึ่งแทนด้วย “ τ ” มีหน่วยเป็นวินาที จำนวนรอบการเคลื่อนที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา เป็น ความถี่ ซึ่งแทนด้วย “ f ” โดยทั่วไปจะมีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือให้ตัวย่อ cps. ดังนั้น

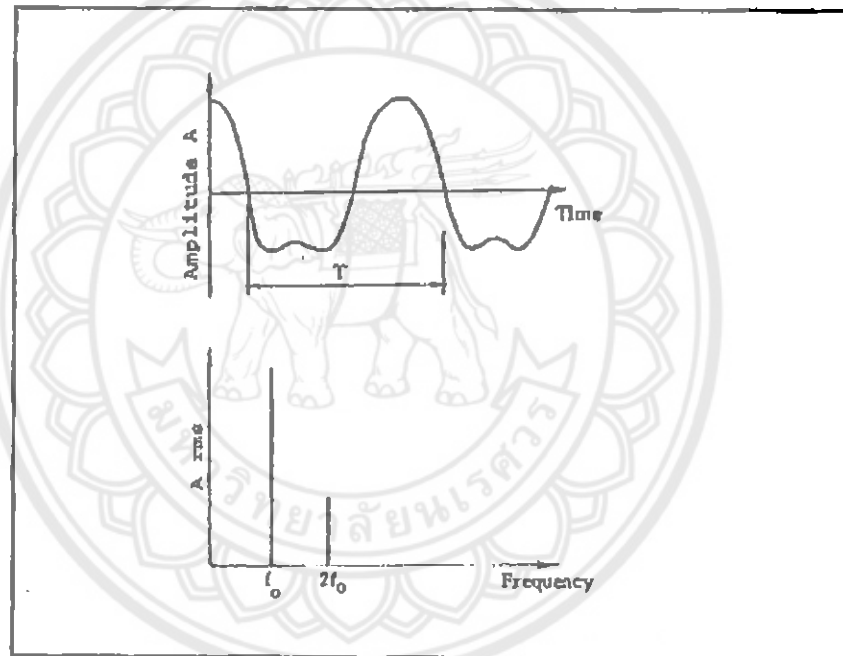
$$f = \frac{1}{\tau} \quad \text{หรือ} \quad \tau = \frac{1}{f}$$

เมื่อ f คือความถี่ (Frequency) มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์ (H_2)

τ คือคาบ (Perild) มีหน่วยเป็นวินาที

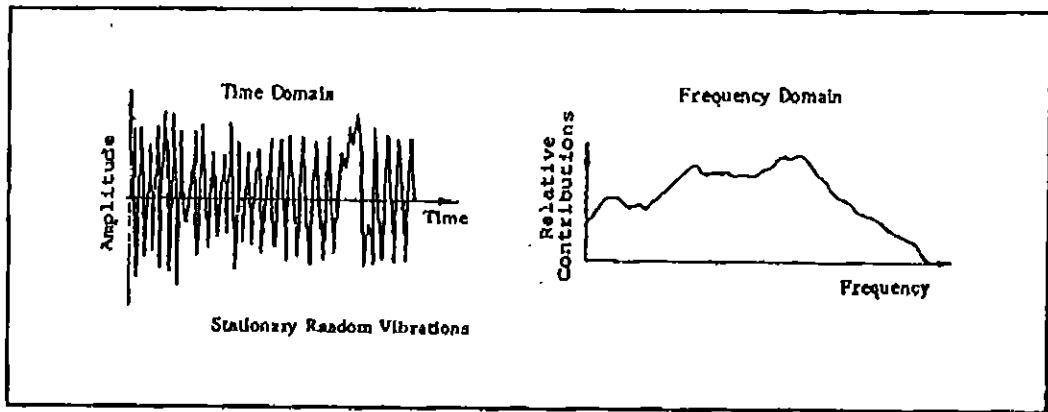
จากความถี่ในหน่วยรอบต่อนาที เราสามารถพิจารณาให้อยู่ในรูปของความถี่เชิงมุม (Circular frequency) คือ ขนาดของมุมที่ระบบเคลื่อนที่ไปในการสั้นต่อหน่วยเวลา ใช้อักษร “ ω ” (Omega) โดยมีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที ความถี่เชิงมุมมีความสัมพันธ์กับความถี่เชิงเส้นตามสมการ

$$\omega = 2\pi f \quad (1)$$



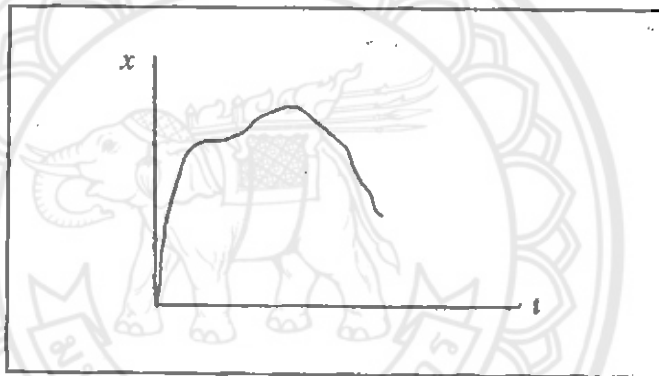
รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่ในเงื่อนไขที่แตกต่างจากแบบฮาร์มอนิก

การสั่นสะเทือนอาจมีลักษณะไม่แน่นอน เช่นในรูปที่ 4 การเคลื่อนที่ที่ไม่มีส่วนที่ซ้ำกันจะเรียกว่า การสั่นสะเทือนแบบสุ่ม (Random) ซึ่งอาจเกิดจากแรงที่มีขนาดไม่แน่นอนกระทำต่อระบบ



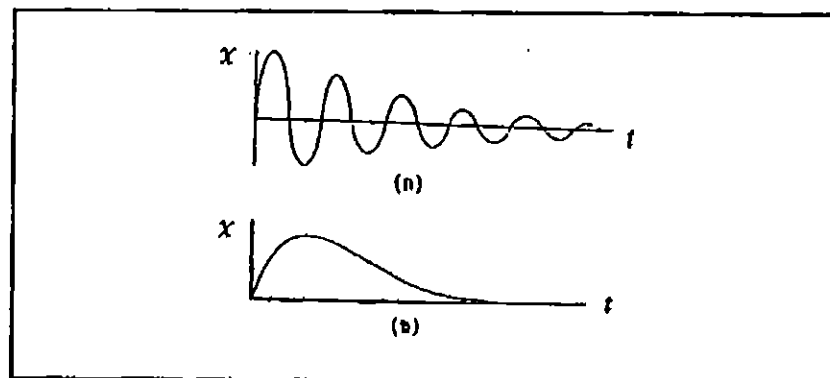
รูปที่ 2.4 ลักษณะการสั่นแบบสุ่ม (Random)

ส่วนการสั่นสะเทือนที่เกิดจากแรงกระแทก (Impact) การตอบสนองของระบบจะใช้เวลาสั้นๆ ลักษณะตามภาพที่ 5



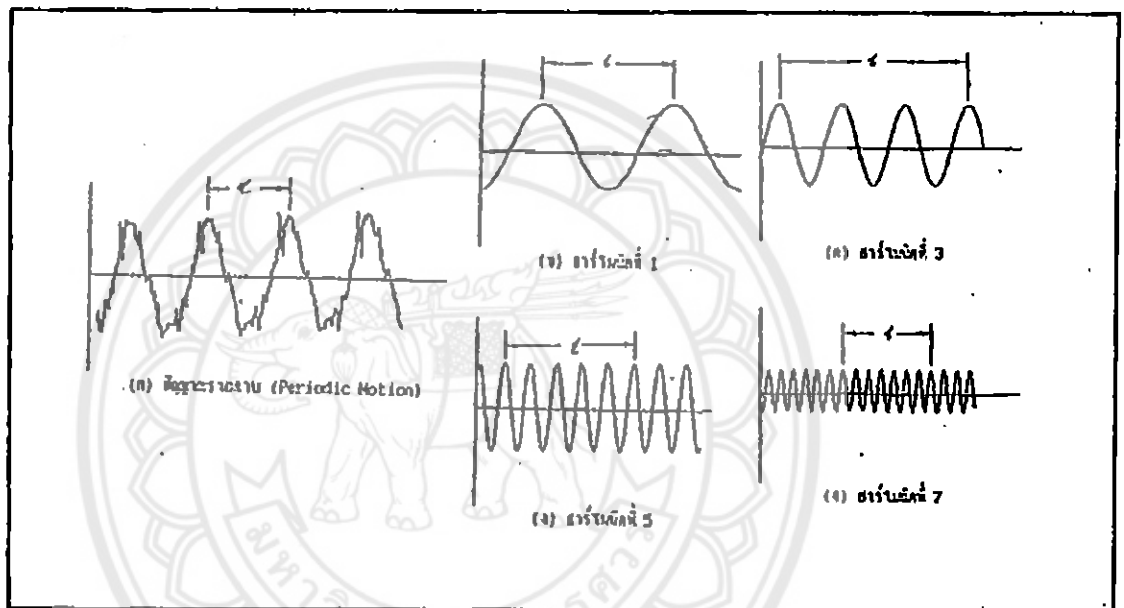
รูปที่ 2.5 การสั่นที่เกิดจากแรงกระแทก

การสั่นสะเทือนของระบบที่มีตัวหน่วงเคลื่อนที่ เช่น ความต้านทานการเคลื่อนที่ของอากาศ ลักษณะการเคลื่อนที่จะเป็นไปตามรูปที่ 6 ก. เราสามารถหาคาบการเคลื่อนที่ได้แต่ ในรูปที่ 6 ข. จะไม่มีคาบการเคลื่อนที่ และเรียกการเคลื่อนที่ในรูปที่ 6 ข. ว่า การเคลื่อนที่ไม่เป็นรอบ (Non-periodic หรือ Aperiodic)



รูปที่ 2.6 การเคลื่อนที่ของการสั่นแบบมีตัวหน่วง

พิจารณาการสั่นของวัตถุเป็นรายคาบใดๆ (Periodic motion) เมื่อทำการวิเคราะห์สัญญาณจากรูปที่ 7 จะเห็นว่าการเคลื่อนที่นี้จะประกอบด้วยสัญญาณคลื่นรูปไซน์ (Sine Wave) จำนวน 4 รูป ที่มีขนาดและความถี่แตกต่างกัน สัญญาณทั้ง 4 นี้จะมีความถี่หนึ่งที่ มีค่าเท่ากับสัญญาณรายคาบ คือในรูปที่ 7 ข. ส่วนสัญญาณที่เหลือมีความถี่เป็น 3 เท่า, 5 เท่า และ 7 เท่าของความถี่สัญญาณรายคาบตามลำดับ โดยที่สัญญาณที่มีความถี่เท่ากับสัญญาณรายคาบจะเรียกว่า สัญญาณมูลฐาน หรือฮาร์โมนิกที่หนึ่ง (Fundamental or First harmonic) สัญญาณที่มีความถี่เป็น 3 เท่าของสัญญาณรายคาบจะเรียกว่า ฮาร์โมนิกที่ 3 (Third harmonic) สัญญาณที่เหลือจะเรียกฮาร์โมนิกที่ 5 และฮาร์โมนิกที่ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 2.7 การสั่นสะเทือนของวัตถุเป็นสัญญาณรายคาบใดๆ ซึ่งรูปที่ 7 ก. สามารถแยกออกเป็นฮาร์โมนิกต่างๆได้ ตามภาพที่ 7 ข. ถึง 7 จ.

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

การวิเคราะห์สัญญาณนี้เป็นผลมาจากการศึกษาของนักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ชื่อฟูรีเยร์ (Fourier) ซึ่งได้เสนออนุกรมตรีโกณมิติในปี 1822 เรียกกันว่า อนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier series) สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการค่าของไซน์ได้ดังนี้

$$f(t) = C_0 + C_1 \sin(\omega t + \Phi_1) + C_2 \sin(2\omega t + \Phi_2) + C_3 \sin(3\omega t + \Phi_3) \quad (2)$$

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

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

จากสมการค่าไซน์เทอมแรกคือ $C_1 \sin(\omega t + \Phi_1)$ ในกรณีของการสั่นสะเทือนจะเรียกว่า ฮาร์โมนิกมูลฐานของการเคลื่อนที่ (Fundamental or First Harmonic) หรือเรียกว่า ฮาร์โมนิกที่ 1 ค่าไซน์ในเทอมที่ 2 คือ $C_2 \sin(2\omega t + \Phi_2)$ ตัวเลขที่นำหน้าความถี่มูลฐาน ω คือ 2 ดังนั้น ในเทอมนี้เรียกว่า ฮาร์โมนิกที่ 2 เป็นต้น

จากสมการฟูรีเยร์ ทำให้สามารถทราบถึงการสั่นสะเทือนของวัตถุ ซึ่งเคลื่อนที่เป็นสัญญาณอย่างไรก็ได้ โดยแยกสัญญาณนั้นออกเป็นอนุกรมของไซน์ โดยที่แต่ละเทอมของไซน์นั้นจะเรียกว่า ฮาร์โมนิก

พิจารณาการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก (Simple harmonic motion) การเคลื่อนที่แบบนี้ก็ คือ การเคลื่อนที่ซึ่งแทนสมการในเทอมของไซน์เพียงเทอมเดียว หรือเพียงฮาร์โมนิกเดียว เช่น การเคลื่อนที่ของลูกตุ้ม (Pendulum) มีสมการดังนี้

$$x = C \sin(\omega t + \Phi) \quad (3)$$

เมื่อ x คือช่วงกว้างของการสั่น (Displacement Amplitude)

C คือค่าคงที่ใดๆ (Constant)

ω คือความถี่เชิงมุม (Circular Frequency)

t คือเวลา เป็นวินาที (Second)

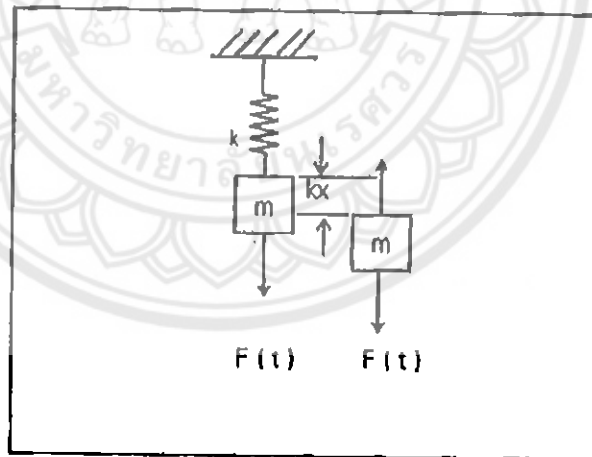
Φ คือมุมเฟส หรือ Phase Angle

2.1.3 ความถี่ธรรมชาติและความถี่พ้อง (Natural frequency and Resonance)

การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับวัตถุหรือระบบ จะพิจารณาจากแรงกระทำต่อวัตถุนั้น และสามารถแยกได้เป็น การสั่นสะเทือนอิสระ (Free vibration) และการสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Forced vibration) ในกรณีของการสั่นสะเทือนอิสระ คือการสั่นสะเทือนของวัตถุ เนื่องจากแรงภายนอกกระทำต่อวัตถุนั้น ในช่วงเวลาสั้นๆ เช่น แรงเคาะหรือแรงกระแทก การเคลื่อนที่ของฐานรองรับ หรือมวลของ

วัตถุอย่างกะทันหัน เป็นต้น ให้สังเกตว่า แรงกระทำต่อวัตถุนั้นจะมีอยู่เพียงช่วงเวลาสั้นๆ เพียงช่วงเวลาเดียวแล้วจะหมดไป หลังจากนั้นวัตถุจะสั่นกลับไปกลับมา โดยไม่มีแรงกระทำอยู่ ตัวอย่างเช่น การเกิด การสั่นสะเทือนจากการเคาะส้อมเสียง โดยส้อมเสียงสามารถสั่นกลับไปกลับมา โดยไม่มีค่าความหน่วง (Damping) อยู่เลย ความถี่ของการสั่นนี้เรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) ของระบบ นั้น การสั่นสะเทือนแบบบังคับคือ การสั่นของวัตถุหรือระบบที่เกิดจากแรงกระทำต่อเนื่องตลอดเวลา ซึ่งแรงกระทำนี้อาจเกิดจากผลของแรงภายในระบบนั่นเอง เช่น แรงจากความไม่สมดุล (Unbalance), แรงจากต้นกำลังขับ หรือเกิดจากแรงภายนอกก็ได้ ซึ่งความถี่ในการสั่นของวัตถุนี้จะขึ้นอยู่กับความถี่ของแรงที่มากระทำด้วย ด้วยเหตุนี้เอง ความถี่ที่เกิดจากแรงภายนอกมากระทำจึงเป็นไปได้ที่จะเป็น ความถี่เดียวกับความถี่ที่เกิดจากการสั่นของระบบเอง ในขณะไม่มีแรงกระทำ เรียกความถี่ธรรมชาติของ ระบบที่อยู่ในความถี่เดียวกันนี้ว่า ความถี่พ้อง (Resonance) ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นแล้วจะทำให้ขนาดของการ สั่นสะเทือนมีมากขึ้น ซึ่งเป็นเหตุให้ระบบนั้นๆ เกิดความเสียหายและเป็นอันตรายต่อผู้ควบคุม หรือก่อ ความรำคาญได้ จึงสรุปได้ว่า ความถี่พ้อง จะเกิดขึ้นเมื่อความถี่ของแรงกระทำต่อวัตถุ (ω_f) เท่ากับ ความถี่ธรรมชาติของวัตถุนั้น (ω_n) ซึ่งจะเป็นผลให้ช่วงของการแกว่งหรือการเคลื่อนที่ (Displacement amplitude) มีค่ามาก ถ้าเกิดในเครื่องจักร, เครื่องยนต์ การที่เกิดการสั่นมากๆ ก็อาจถึงขั้นทำให้ เครื่องจักรนั้นเสียหายได้

ในที่นี้จะกล่าวถึงสมการดิฟเฟอเรนเชียล (Differential equation) เพื่อให้เข้าใจถึงความถี่ พ้องได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.8 ระบบที่มีการสั่นสะเทือนแบบบังคับ

ในรูปที่ 8 แสดงก้อนน้ำหนัก m แขนงบนเพดานด้วยสปริงให้แรง $F(t)$ กระทำต่อก้อนน้ำหนักนี้ โดยให้ $F(t)$ กระทำเป็นคาบในรูปของไซน์ ถ้าสมการ

$$F(t) = F_0 \sin \omega_f t \quad (4)$$

เมื่อ ω_f คือความถี่ของแรงกระทำต่อวัตถุ

เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่ง x ใดๆ จะได้แรงกระทำ 2 แรงบนก้อนน้ำหนัก คือ F และ kx และสามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$m\ddot{x} + kx = F(t) \quad (5)$$

$$m\ddot{x} + kx = F_0 \sin \omega_f t \quad (6)$$

กำหนดให้

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

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

$$\ddot{x} = -\omega_f^2 C \sin \omega_f t$$

แทนค่า x, \dot{x} ลงในสมการการเคลื่อนที่จะได้

$$-m\omega_f^2 C \sin \omega_f t + kC \sin \omega_f t = F_0 \sin \omega_f t \quad (7)$$

นำ $\sin \omega_f t$ ทหารตลอด จะได้

$$C = \frac{F_0}{k - m\omega_f^2} \quad (8)$$

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

$$x = \frac{F_0}{k - m\omega_f^2} \sin \omega_f t \quad (9)$$

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

$$x = \frac{\frac{F_0}{k}}{1 - \frac{\omega_f^2}{\omega_n^2}} \sin \omega_f t \quad (10)$$

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

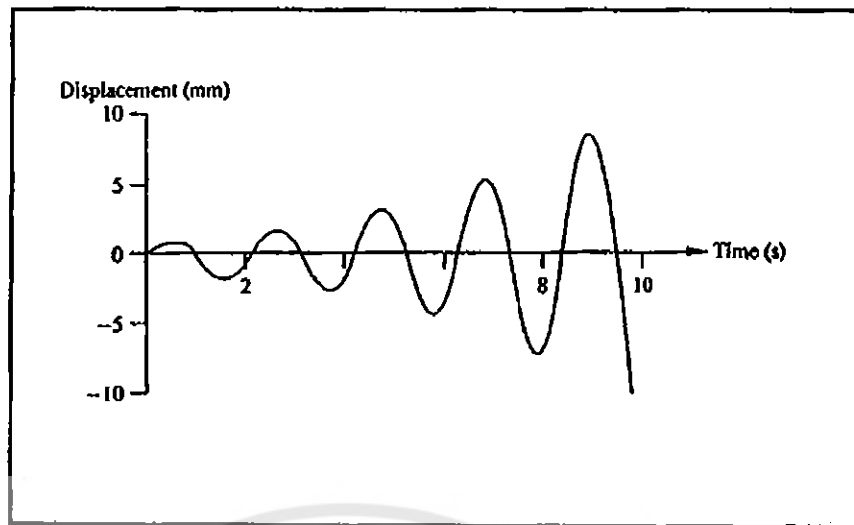
ให้ $x_0 = \frac{F_0}{k}$ และ $r^2 = \frac{\omega_f^2}{\omega_n^2}$

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

$$x = \frac{x_0}{0} \sin \omega_f t \quad (11)$$

$$x = \infty \quad (12)$$

ซึ่งหมายความว่า ขนาดการสั่นสะเทือนจะมีค่ามากที่สุด ผลของความถี่ที่พ้องสามารถเขียนเป็นกราฟตามรูปที่ 9



รูปที่ 2.9 ขนาดการสั่นสะเทือนขณะเกิดความถี่ห้อง

จากรูปที่ 9 ให้สังเกตว่าขนาดการสั่นสะเทือนมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไม่สิ้นสุดในทางทฤษฎี แต่ในความเป็นจริง เนื่องจากระบบมีตัวหน่วง เครื่องจักรที่สั่นในช่วงความถี่ห้องจะสั่นด้วยขนาดการสั่นที่มากที่สุดค่าหนึ่ง และเป็นผลให้ชิ้นส่วนของเครื่องจักรเสียหายในช่วงเวลาต่อมา

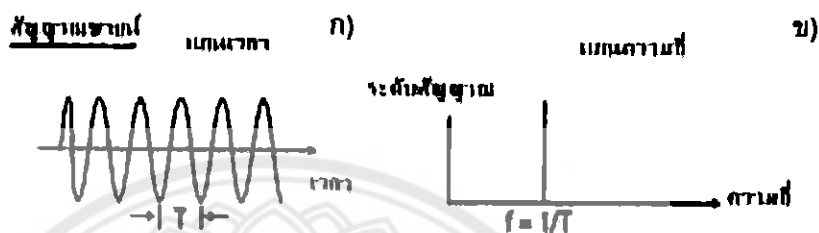
2.2 การแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT) และการประยุกต์ใช้เพื่อวินิจฉัยสภาพเครื่องจักร

2.2.1 แกนอ้างอิงเทียบทางความถี่ด้วยการวิเคราะห์แบบฟูริเยร์

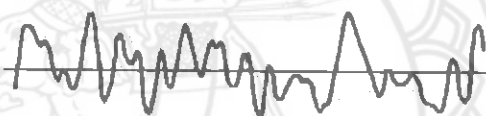
การวัดสัญญาณต่างๆ ในงานทางวิศวกรรม มักจะคุ้นเคยกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณตามเวลาที่เปลี่ยนไป แต่ในบางครั้งหากต้องการทราบสัญญาณเดียวกันนี้ที่พิจารณาในแกนอ้างอิงเทียบทางความถี่ ซึ่งในงานเครื่องจักรกลแล้วถือเป็นข้อมูลที่จะมีประโยชน์ในการวินิจฉัยความเสียหายในเครื่องจักร เหมือนกับที่หมอตตรวจร่างกายคนไข้โดยใช้ Stethoscope ซึ่งเป็นอุปกรณ์ช่วยฟังเสียงการทำงานของอวัยวะต่างๆ ที่มีการเคลื่อนไหวภายในร่างกายหรือการใช้วิธีจับชีพจรเพื่อบอกความผิดปกติของอวัยวะต่างๆ ในร่างกายซึ่งขณะที่หมอตตรวจฟังเสียงนี้ หมอเองก็จะใช้การพิจารณาเสียงสัญญาณกับแกนเทียบทางความถี่เพื่อวินิจฉัยสัญญาณจากร่างกายเราไปด้วยและจากความก้าวหน้าทางเทคนิคในการประมวลผลสัญญาณ (signal processing) ทำให้ปัจจุบันสามารถตรวจพบความเสียหายที่ก่อตัวในเครื่องจักรแต่เนิ่นๆ ได้ โดยอาศัยการวิเคราะห์สัญญาณความถี่จากเครื่องจักร อีกทั้งสามารถระบุชัดเจนไปได้ว่าเกิดความเสียหายที่ชิ้นส่วนใดในเครื่องจักร ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแกนอ้างอิงเทียบทางความถี่กับการวิเคราะห์แบบฟูริเยร์ ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในการประมวลผลสัญญาณของเครื่องมือวัดทางความถี่สมัยใหม่นี้ คือเป็นเครื่องวิเคราะห์แบบการแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform, FFT Analyzer) ซึ่งมีการพัฒนามาจากรากฐานของอนุกรมฟูริเยร์ (Fourier Series)

2.2.2 แขนงอ้างอิงเทียบทางความถี่

ถ้าพิจารณาแกนอ้างอิงเทียบทางเวลาของสัญญาณไซน์ (Sine wave) ดังในรูปที่ 2.10 รูป ก) จะเห็นได้ว่าสัญญาณนี้จะมีการเกิดซ้ำรูปแบบเมื่อเวลาผ่านไป T ซึ่งเรียกว่าคาบของสัญญาณ ซึ่งสัมพันธ์กับความถี่ (การแกว่งขึ้นลงครบรอบ) ของคลื่นนี้คือ $f = 1/T$ คือจำนวนของคาบคลื่นใน 1 วินาที ซึ่งความถี่ f นี้สามารถถูกพล็อตในกราฟแกนอ้างอิงเทียบความถี่ดังในรูป 2.10 รูป ข) แต่ในความเป็นจริงสัญญาณที่วัดจริงนั้นมักไม่ได้มีเพียงรูปคลื่นไซน์ความถี่เดียวนี้ แต่อาจเป็นรูปคลื่นใดๆก็ได้ เช่น สัญญาณรบกวนในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 สัญญาณคลื่นไซน์กับการแสดงเทียบในแกนเวลาและแกนความถี่ของสัญญาณเดียวกันนี้



รูปที่ 2.11 สัญญาณแบบแรนดอมที่ไม่มีรูปแบบแน่นอนตายตัว

ดังนั้น จึงควรหาวิธีการในการพิจารณาสัญญาณที่ซับซ้อนเช่นนี้ให้สามารถที่จะถูกเขียนอธิบายด้วยคณิตศาสตร์ได้ ดังเช่นปริซึม ซึ่งใช้เพื่อการแยกแสงสีขาวออกมาเป็นองค์ประกอบของสีหลัก 7 สี ซึ่งถูกค้นพบโดย เซอร์ ไอแซค นิวตัน โดยองค์ประกอบที่ว่าเป็นคือ สเปกตรัม (Spectrum) ของแสงสีขาวนั่นเอง ในทำนองเดียวกันถ้าสามารถหาปริซึม เพื่อใช้แยกความถี่ของสัญญาณออกมาได้ก็จะทำให้รู้องค์ประกอบของสัญญาณและสามารถที่จะสร้างมันซ้ำขึ้นมาใหม่ได้ ดังเช่นเครื่องเสียงของยุคหนึ่งจะใช้แสงกราฟิกแสดงภาพเคลื่อนไหวของสัญญาณเสียงดนตรีโดยที่จะเป็นลักษณะแท่งกราฟซึ่งแต่ละแท่งแทนช่วงความถี่ ซึ่งปริซึมนี้ใช้ฟิลเตอร์กรองความถี่สัญญาณออกมาแสดงเป็นระดับความดังของสัญญาณ ณ ความถี่นั้นๆ แต่สำหรับกรณีที่ต้องการความละเอียดของความถี่มากต้องใช้ฟิลเตอร์จำนวนมากเพื่อกรองสัญญาณออกมา เช่นในงานวินิจฉัยสภาพเครื่องจักรที่ความถี่ที่ต้องวิเคราะห์จะสูงถึง 20 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งจะเป็นผลให้เครื่องมือวัดมีราคาแพงมากแต่ปัจจุบันเครื่องมือวิเคราะห์สัญญาณจะใช้วิธีการนำสัญญาณที่วัดได้มาคำนวณแบบดิจิตอลแล้วแสดงองค์ประกอบทางความถี่หรือสเปกตรัมของสัญญาณออกมาซึ่งใช้หลักการการแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT) นั่นเอง ซึ่งอาศัยเพียงหน่วยประมวลผล CPU และหน่วยความจำ Memory ของคอมพิวเตอร์ในการคำนวณเท่านั้น ซึ่ง FFT นี้เองที่ถูกใช้เป็นปริซึมเพื่อแยกองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณออกมา

2.2.3 อนุกรมฟูรีเยร์

ถ้าพิจารณาสัญญาณ $x(t)$ ใดๆ ก็ตามในโลกนี้ จะมีคุณสมบัติหนึ่งอยู่คือ สามารถที่จะแยกสัญญาณออกมาเป็น

$$x(t) = \frac{x(t) + x(t)}{2} + \left[\frac{x(t) - x(-t)}{2} \right] \tag{1}$$

หรือเขียนสมการนี้เป็นรูปภาพคือ

เทอม 1 เทอม 2 เทอม 3 เทอม 4 (2)

ในทางคณิตศาสตร์แล้วคลื่นโคไซน์ (Cosine) จะมีคุณลักษณะเป็นฟังก์ชันคู่ส่วนคลื่นไซน์ (Sine) จะมีคุณลักษณะเป็นฟังก์ชันคี่ แต่กระนั้นก็ดีทั้งสองรูปแบบสัญญาณจะเกิดเป็นคาบซ้ำ เพราะฉะนั้น สัญญาณที่พิจารณา (ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าสัญญาณต้นฉบับ) จะต้องเกิดเป็นคาบด้วยซึ่งโดยหลักการคือต้องการนำสัญญาณคลื่นไซน์และโคไซน์หลายๆ ความถี่และหลายขนาดรวมเข้าด้วยกัน และนำไปเทียบกับต้นฉบับว่าสอดคล้องกับเทอมคู่และคี่ของต้นฉบับมากน้อยเพียงใด หรือเขียนเป็นสมการคือ

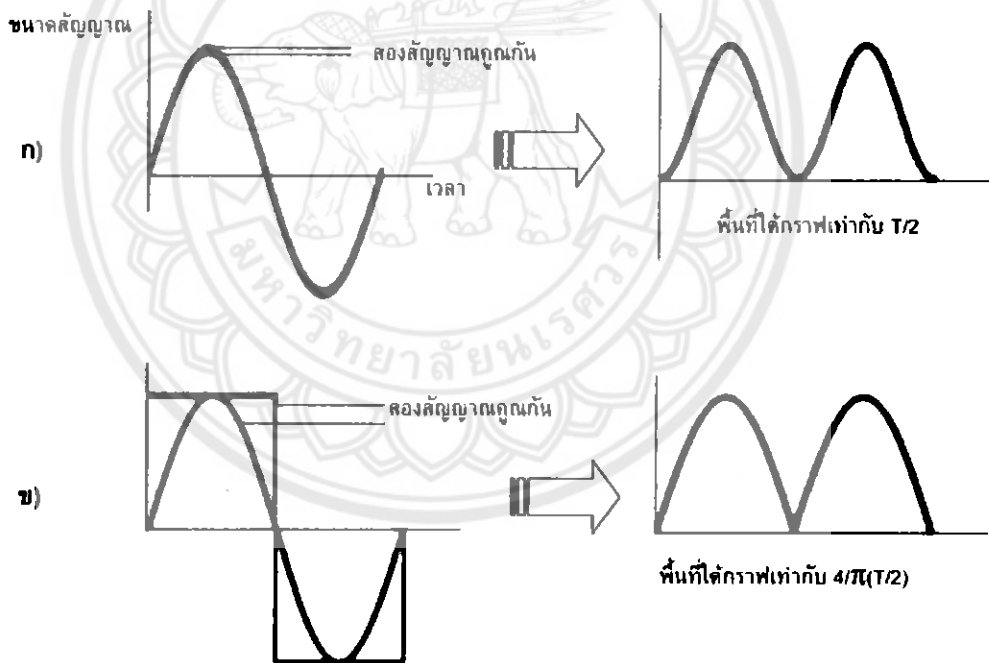
$$x(t) \approx \sum_{n=0}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)) \tag{3}$$

โดยสัญญาณ $x(t)$ ต้นฉบับถูกประมาณด้วยอนุกรมที่ประกอบด้วยเทอมฟังก์ชันโคไซน์และฟังก์ชันไซน์ด้วยขนาดและความถี่ต่างๆซึ่งสมการที่ (3) นี้เรียกว่าเป็นอนุกรมฟูรีเยร์ซึ่งต้องหาว่าขนาดสัญญาณ a_n เป็นเท่าใด ณ ความถี่ $n\omega$ (หรือ $n2\pi$) ของฟังก์ชันคู่ของต้นฉบับและ b_n ขนาดเป็นเท่าใด ณ ความถี่ $n\omega$ ของฟังก์ชันคี่ต้นฉบับและจำนวน n ที่ต้องใช้ก็เทอมความถี่ถึงจะเทียบกับสัญญาณต้นฉบับได้ถูกต้อง

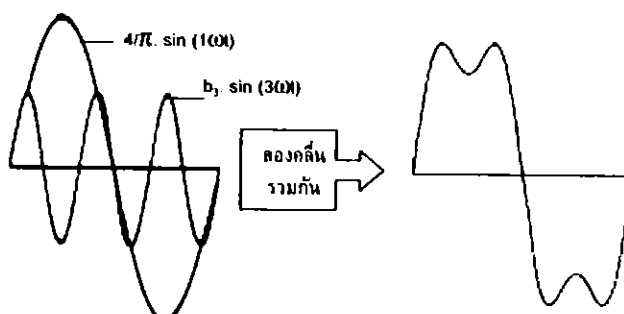
(4)

จะเห็นว่าสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมนี้ไม่มีเทอมฟังก์ชันคู่ เพราะฉะนั้นไม่มีเทอม a_n ($a_n = 0$) แต่จะมีเฉพาะเทอม b_n ถ้าให้คาบเวลาคือ T ให้ $n=1$ เพราะฉะนั้น b_1 คือขนาดของคลื่นไซน์ ณ ความถี่ 1ω ว่าเมื่อนำคลื่นไซน์ไปเทียบกับต้นฉบับแล้วจะให้มีความถี่ b_1 เท่าใด สมมติขนาดคลื่นไซน์เมื่อ

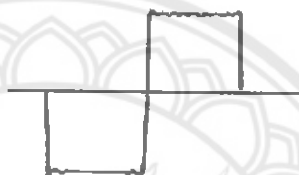
เทียบกับตัวมันเองให้เป็นความถูกต้องของการเทียบกับต้นฉบับเป็น 100% ดังรูปที่ 2.13 รูป ก. โดยถ้าให้ปริมาณที่ใช้เทียบเป็นต้นฉบับคูณกับสัญญาณขาอินที่นำมาเทียบเคียงและหาพื้นที่ใต้กราฟดังกล่าวซึ่งเท่ากับ $T/2$ ในกรณีคลื่นขาอินเทียบกับคลื่นขาอินขนาดเดียวกันและถ้านำคลื่นขาอินนี้ไปเทียบกับคลื่นสี่เหลี่ยมดังในรูปที่ 4 ข โดยคูณคลื่นขาอินขนาด 1 หน่วยกับคลื่นสี่เหลี่ยมนี้ดังที่ได้เป็นรูปที่ 2.13 รูป ข. ด้านขวาซึ่งขนาดพื้นที่ได้รูปเท่ากับ $4T/2\pi$ ซึ่งจะเห็นว่าพื้นที่นี้มีมากกว่าค่า $T/2$ หรือ ร้อยเปอร์เซ็นต์ของคลื่นขาอินเทียบคลื่นขาอินอยู่ $4/\pi$ เท่าซึ่งเทอมนี้เองที่เป็นค่า b_1 ในการขยายคลื่นขาอินที่มีความถี่ 1ω ให้เทียบเท่ากับต้นฉบับ แต่อย่างไรก็ตามการใช้สัญญาณขาอินเพียงหนึ่งเทอมยังไม่สามารถบรรยายสัญญาณต้นฉบับได้ถูกต้อง โดยเฉพาะบริเวณช่วงที่มีการเปลี่ยนของค่าดับคลื่นถ้าเพิ่มคลื่นขาอินที่มีความถี่ 3ω เข้าไปด้วยขนาด b_3 จะทำให้สอดคล้องกับต้นฉบับมากขึ้น (ดูรูปที่ 2.14) ซึ่งขนาด b_3 ก็หาได้ในทำนองเดียวกันโดยมีค่าเท่ากับ $4/3\pi$ ซึ่งถ้าแทน $x(t) \approx \sum b_n \sin n\omega t$ n จำนวน $n=41$ เทอมจะได้สัญญาณที่เหมือนต้นฉบับมาก (รูปที่ 2.15) ซึ่งนี่เองทำให้สามารถวิเคราะห์ความถี่ และขนาดของความถี่ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณคาบใดๆ ก็ได้ด้วยอนุกรมฟูรีเยร์ ซึ่งต่อมาได้ถูกพัฒนาจนเป็นการแปลงฟูรีเยร์อย่างรวดเร็วซึ่งใช้ได้ทั้งกับสัญญาณที่เป็นคาบและไม่เป็นคาบก็ได้และเพิ่มขีดความสามารถในการคำนวณได้เร็วขึ้น ดังรูปที่ 2.16 แสดงการเขียนสมการอนุกรมฟูรีเยร์ที่ใช้แทนสัญญาณแรนครอมซึ่งพบว่าอนุกรมฟูรีเยร์สามารถบรรยายสัญญาณต้นฉบับได้อย่างดี



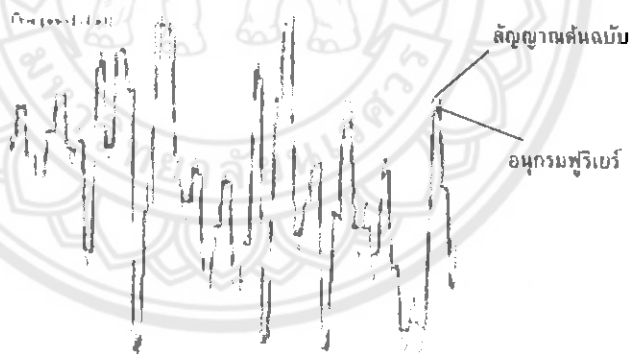
รูปที่ 2.12 การเทียบขนาดสัญญาณขาอินกับสัญญาณต้นฉบับเพื่อหาค่าเทียบเท่าพลังงานสัญญาณคลื่นขาอินกับต้นฉบับซึ่งพบว่าคลื่นสี่เหลี่ยมจะต้องแทนด้วยคลื่นขาอินที่มีความถี่เดียวกันและมีขนาดมากกว่าเป็น $4/\pi$ เท่า



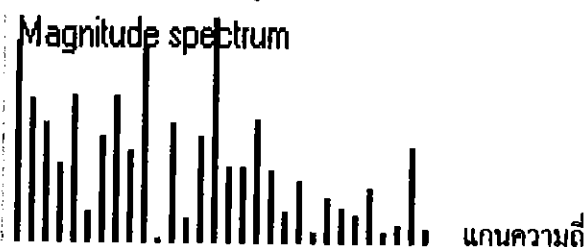
รูปที่ 2.13 รูปคลื่นไซน์สองคลื่น หนึ่ง ความถี่ 1 เท้า และ 3 เท้า ซึ่งมีการหาขนาดเทียบเท่ากับ สัญญาณต้นฉบับและทำการรวมกันให้ใกล้เคียงต้นฉบับมากขึ้น



รูปที่ 2.14 รูปคลื่นไซน์จำนวน 41 คลื่นด้วยความถี่และขนาดต่างๆ กันนำมารวมกันเป็นสัญญาณที่เลียนแบบต้นฉบับ



ขนาดของสเปกตรัมสัญญาณที่แทนด้วยอนุกรมฟูริเยร์



รูปที่ 2.15 สัญญาณรบกวนที่ใช้อนุกรมฟูริเยร์ 30 เทอมเพื่อประมาณแทนสัญญาณและการพล็อตสเปกตรัมของสัญญาณนี้

2.3 มาตรฐาน ISO 10816 เพื่อการวิเคราะห์ความรุนแรงการสั่นสะเทือน

มาตรฐาน ISO 10816 เป็นมาตรฐานแสดงระดับความรุนแรงการสั่นสะเทือนของการใช้งานเครื่องจักรอุปกรณ์ในงานอุตสาหกรรม วัดเป็นความเร็ว mm/sec rms หรือ in/sec ระหว่าง 2-1,000 Hz

ขนาดเครื่องจักร ได้แบ่งขนาดเครื่องจักรเป็น 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มแบ่งตามขนาดต้นกำลัง และลักษณะการติดตั้งเครื่องจักร แบ่งเป็นการติดตั้งบนแท่นยึดหยุด แท่นลูกยาง แท่นสปริง หรือบนแท่นแข็งแรง แท่นคอนกรีต แท่นคานเหล็กขนาดใหญ่ เป็นต้น

ระดับความรุนแรง แบ่งขนาดความรุนแรงการสั่นสะเทือนเป็น 4 ระดับ คือ

A ดี

B น่าพอใจ

C ไม่น่าพอใจ

D ต้องแก้ไข

กลุ่มเครื่องจักร ได้แบ่งกลุ่มเครื่องจักรเป็น 4 กลุ่ม คือ

กลุ่ม 1 เครื่องจักรขนาดใหญ่ ขนาดเครื่องจักรระหว่าง 300 kW ถึง 50 MW โดยถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดความสูงจากแท่นฐานที่ยึดกับฐานมอเตอร์ถึงแนวจุดศูนย์กลางเพลาชับไม่เกิน 315 มม. และได้แบ่งแท่นฐานเป็นการติดตั้งบนแท่นแข็งแรง และแท่นยึดหยุด

กลุ่ม 2 เครื่องจักรขนาดปานกลาง ขนาดเครื่องจักรระหว่าง 15-300 kW โดยถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดความสูงจากแท่นฐานที่ยึดกับฐานมอเตอร์ถึงแนวจุดศูนย์กลางเพลาชับ อยู่ระหว่าง 160-315 มม.

กลุ่ม 3 บีมตั้งแต่ 15 kW ขึ้นไป ชนิดหน้าแปลนขับต่อแยกภายนอก

กลุ่ม 4 บีมตั้งแต่ 15 kW ขึ้นไป ชนิดหน้าแปลนขับต่อร่วมกันภายใน

2.4 บีมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Pumps)

บีมแบบแรงหนีศูนย์กลางมีชิ้นส่วนที่สำคัญอยู่ 3 ชิ้น คือ ใบพัด, เรือนเครื่องสูบ, และ Guide Vane Guide Vane จะอยู่ติดกับเครื่องสูบช่วยให้ของเหลวที่ถูกผลักออกมาค่อยๆเบนทิศทางไปสู่ช่องทางเดินที่เป็นส่วนโค้งได้ดีขึ้น ทำให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยลง ทำให้การเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นพลังงานศักย์ในรูปความดันมีประสิทธิภาพดีขึ้น Guide Vane อาจมีหรือไม่มีก็ได้ขึ้นกับขนาดหรือราคาของบีม ใบพัดติดตั้งอยู่บนแผ่นจานประกบ รัศมีของจานจะเล็กกว่ารัศมีของใบพัดสำหรับใบพัดเปิด ส่วนใบพัดปิดประกอบด้วยจานประกบ 2 แผ่นมีทางให้ของเหลวไหลเข้าได้เพียงทางเดียว ใบพัดกึ่งเปิดเป็นแบบของจานประกบเท่ากับรัศมีของใบพัดมีจานประกบเพียงด้านเดียว อีกด้านหนึ่งของใบพัดจะไม่มีฝาปิด ขณะที่ใบพัดหมุนของเหลวจะผ่านเข้าไปอยู่ในระหว่างครีบบใบพัดถูกทำให้มีความเร่งเพิ่มขึ้นจากแรงในแนวรัศมีพุ่งออก ทำให้เฮดความดันสถิตที่รัศมีขอบนอกใบพัดจะสูงกว่ารัศมีขอบในทางเข้า

ของเหลวที่มีความเร็วสูงที่ขอบนอกใบพัดจะเปลี่ยนจากพลังงานจลน์เป็นพลังงานความดัน ที่ทางเข้า Guide Vane ซึ่งจะติดตั้งอยู่กับที่และเพิ่มพื้นที่หน้าตัดที่ของเหลวไหลผ่านทำให้พลังงานจลน์

ลดลงขณะที่พลังงานความดันเพิ่มขึ้น ในท้ายที่สุดของเหลวเคลื่อนที่จากครีบผิวน้ำเข้าตัวเรือนสูบแล้วเคลื่อนที่ไปทางสูบของปั๊ม บางกรณีตัวเรือนสูบที่ทางออกไม่มีครีบผิวน้ำความดันต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะเกิดในตัวเรือนสูบเพียงอย่างเดียว

2.4.1 คุณสมบัติของปั๊มแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

การออกแบบที่ดีควรทำงานที่จุดออกแบบหรือใกล้เคียงมากที่สุดและทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด แต่วิศวกรมีความต้องการที่จะรู้การทำงานของปั๊มควรทำงานที่จุดออกแบบหรือใกล้เคียงมากที่สุดและประสิทธิภาพสูงสุด และวิศวกรมีความต้องการที่จะรู้การทำงานของปั๊มในเงื่อนไขที่ไม่ได้ออกแบบไว้ด้วยเสมอ เช่น เฮดที่เครื่องสูบน้ำแบบ เราจะต้องตรวจสอบการสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับปั๊มและประสิทธิภาพที่แตกต่างออกไปจากผลของการสูญเสียทำให้ประสิทธิภาพลดลง แม้ว่าปั๊มไม่ได้ทำงานที่จุดออกแบบ เราควรตรวจสอบผลของการทำงานในเงื่อนไขที่ไม่ได้ออกแบบนั้น

2.4.2 การสูญเสียของปั๊ม

กำลังที่ได้จากเพลงปั๊มหรือพลังงานที่ให้ปั๊มโดยเครื่องต้นกำลังขับจะไม่เท่ากับพลังงานที่ของเหลวได้รับ เพราะพลังงานบางส่วนสูญเสียไปขณะที่ผ่านปั๊มให้กับระบบกลไกต่างๆ

1. กำลังที่สูญเสียจากความเสียหายของเครื่องกลเกิดขึ้นแรงเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนปั๊มที่อยู่กับที่และชิ้นส่วนที่หมุนในร่องลื่นและกล่องอัดกันรั่ว

2. กำลังที่สูญเสียจากความเสียหายของใบพัดเกิดจากแรงเสียดทานระหว่าง Guide Vane ที่หมุนและของเหลวที่ไหลผ่านใบพัด

3. กำลังที่สูญเสียจากการรั่วไหลของของเหลวที่เป็นสารทำงานเกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียของเหลวจากการหมุนของใบพัด

4. กำลังที่สูญเสียจากเรือนสูบเปลือกนอก

กำลังที่สูญเสียที่ใบพัดมาจากสาเหตุการสูญเสียพลังงานหรือสูญเสียเฮดในใบพัดที่เกิดจากแรงเสียดทานการกระจายของการไหลและการสะดุดที่ทางเข้าใบพัดการสูญเสียนี้นี้เนื่องมาจากอัตราการไหลผ่านใบพัด

2.5 เครื่องวัดการสั่นสะเทือนขนาดเล็ก

เป็นเครื่องวัดการสั่นสะเทือนขนาดเล็ก แบบมือถือ วัดเป็นความเร็ว ความเร่ง และระยะทาง วัดเปรียบเทียบกับอัตราส่วน Peak กับค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square, RMS) เป็น CF เพื่อวิเคราะห์การเสียหายของแบริ่งตลับลูกปืน

การตรวจวัดคลื่นความถี่ สามารถวัดเป็นคลื่นเวลา (Time domain) คลื่นความถี่ Spectrum (Frequency domain) และสัญญาณคลื่นความถี่สูง สำหรับวิเคราะห์การเสียหายแบริ่งตลับลูกปืนมีหน่วยความจำเก็บข้อมูลวิเคราะห์ได้ 180 ข้อมูล ข้อมูลจุดวัด 500 จุดวัด พิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ รายงานผลการตรวจวัด

2.5.1 หัววัดชนิดความเร่ง

หัววัดการสั่นสะเทือนชนิดความเร่ง (Accelerometers) เป็นหัววัดที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือ ประจุไฟฟ้าออกมาจากหัววัดเอง เมื่อมีแรงการสั่นสะเทือนกระทำกับหัววัด

แรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าที่ออกมาจะมากหรือน้อยขึ้นกับความเร่ง ลักษณะ และแรงการสั่นสะเทือน เป็นลักษณะเดียวกับผลึกควอตซ์ (Quartz) และเซรามิกชนิดพิเศษ เช่น เฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิก (Ferroelectric ceramics) จะเกิดประจุไฟฟ้าออกมาเมื่อมีแรงสั่นสะเทือนกระทำด้วยสภาวะ คล้ายกับ หัววัดแบบความเร็วแบบผลึก แต่หัววัดความเร่งจะวัดการเปลี่ยนแปลงความเร็ว มีหน่วยเป็น G ซึ่งเป็น หน่วยวัดความเร่งนั่นเอง เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity) ที่กระทำกับวัตถุที่ตกลงสู่พื้นดิน

$$\begin{aligned} 1 \text{ G} &= 980.665 \text{ cm/s}^2 \\ &= 10 \text{ m/s}^2 \\ &= 386.087 \text{ in/s}^2 \\ &= 32.18 \text{ ft/s}^2 \end{aligned}$$

สำหรับระบบมาตรฐาน ISO จะใช้ $1 \text{ G} = 10 \text{ m/s}^2$

ความเร่งจะเป็นฟังก์ชันของระยะทาง (Displacement) และย่านความถี่ยกกำลังสอง (Frequency squared)

หัววัดความเร่งมีความเหมาะสมและมีความไวต่อการสั่นสะเทือนความถี่สูงได้ดี เช่น ใช้ ตรวจวัดวิเคราะห์เกียร์ ตลับลูกปืน (Rolling element bearing)

หลักการทำงาน ส่วนประกอบของหัววัดชนิดความเร่งจะคล้ายกับหัววัดแบบความเร็วแบบ ผลึก คือ ประกอบไปด้วย ฐานรองรับ หรือ Frame, แผ่น Piezoelectric disk, มวล, อุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ขยายสัญญาณ (Amplifier) เป็นต้น

เมื่อนำไปจับยึดกับชิ้นส่วนหรือเครื่องจักรที่มีการสั่นสะเทือน แรงการสั่นสะเทือนจะกระทำ ผ่านฐานรองรับมาถึงแผ่น Piezoelectric ซึ่งเป็นวัตถุที่อยู่ระหว่างมวลกับฐานรองรับ ทำให้เกิดแรงกด อัดจากมวลในแนวตั้งฉากกับแผ่น Piezoelectric มีประจุไฟฟ้าออกมา ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ความเร่งการสั่นสะเทือน

ประจุไฟฟ้าที่ออกมามีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับหัววัดแบบความเร็ว โดยขนาดประจุไฟฟ้าที่ ออกมาจากแผ่น Piezoelectric วัดได้เป็นพิโคคูลอมบ์ (Picocoulombs) ต่อ G เมื่อ 1 พิโคคูลอมบ์ เท่ากับ 1 ใน 1 ล้านคูลอมบ์นั่นเอง ซึ่งถือว่าน้อยมาก ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณไฟฟ้าให้ สูงขึ้นเป็นมิลลิโวลต์ต่อ G เช่น 50 mV/G เป็นต้น

ข้อดี

1. มีขนาดเล็ก น้ำหนักน้อย ติดตั้งในที่คับแคบได้
2. เหมาะสำหรับติดตั้ง ตรวจวัดแบบถาวรต่อเนื่อง เช่น แก๊สเทอร์ไบน์ หรือเครื่องจักรที่มี ความเร็วรอบสูงๆ
3. มีความแข็งแรง ทนทาน

4. ใช้ตรวจวัดวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดใหญ่ได้ รวมทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยไม่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนหัววัด

ข้อเสีย มีข้อจำกัดในการใช้งานที่มีความร้อนสูง เพราะความร้อนจะทำให้มีผลต่อการขยายตัวของฐานรองรับ ทำให้เกิดการบีบอัดต่อแผ่น Piezoelectric ทำให้ค่าที่วัดได้เป็นค่าที่ผิด

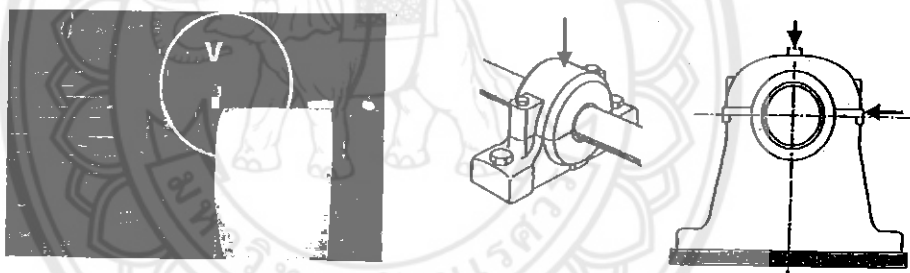
2.5.3 ทิศทางการตรวจวัดและการวิเคราะห์สาเหตุผิดปกติ

เมื่อกำหนดตำแหน่งวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรได้แล้ว สิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ทิศทาง (Direction) เพราะการสั่นสะเทือนผิดปกติแต่ละทิศทางสามารถบอกสาเหตุการผิดปกติเบื้องต้นให้เราทราบได้ โดยทิศทางที่ตรวจวัดแต่ละจุดคือ

1. แนวตั้ง (Vertical, V) เป็นทิศทางตรวจวัด จับยึดหัววัดในแนวตั้งตั้งฉากกับแบร์ริง บูช หรือ โครงสร้างภายนอก (Casing) ของเครื่องจักร ในกรณีที่เครื่องจักรติดตั้งในแนวราบ

ค่าการสั่นสะเทือนที่สูงมากผิดปกติในแนวตั้ง จะบอกลักษณะความเสียหายของโครงสร้างเครื่องจักร เช่น การเสียหายของแบร์ริง บูช การสึกหรอของแบร์ริง การหลวมห่าง การจับยึดโครงสร้างฐานรากไม่แข็งแรง ยึดไม่แน่น การหลวมคลาย

ปกติแรงการสั่นสะเทือนในแนวตั้งส่วนหนึ่งมีผลมาจากแรงโน้มถ่วง (Gravity) ของโลกด้วย

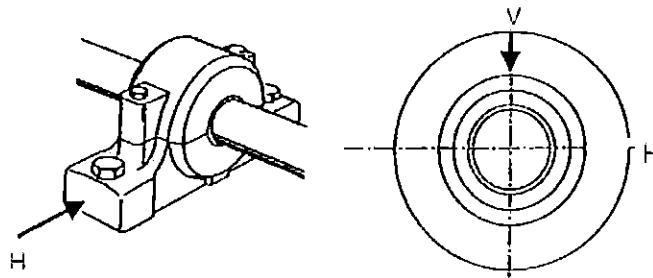


รูปที่ 2.16 จุดตรวจวัดการสั่นในทิศทางแนวตั้ง

2. แนวราบ (Horizontal, H) เป็นทิศการตรวจวัด จับยึด หัววัดในแนวราบตั้งฉากกับแบร์ริง บูช หรือโครงสร้างภายนอก (Casing) ของเครื่องจักร ในกรณีที่เครื่องจักรติดตั้งในแนวราบ

ค่าการสั่นสะเทือนที่สูงมากผิดปกติในแนวราบ จะบอกลักษณะการไม่สมดุลของโรเตอร์ การติดตั้งเอียงศูนย์ (Ecentric) ให้เราทราบ เพราะเครื่องจักรส่วนมากจะมีการเหวี่ยงโยน และเคลื่อนไหวในแนวราบมากกว่า

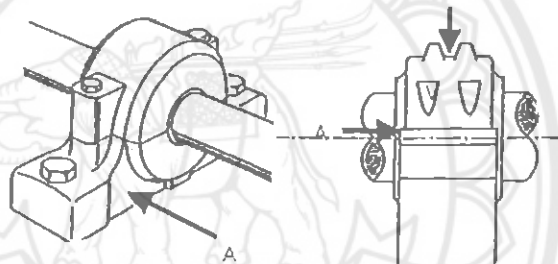
เมื่อโรเตอร์หรือเครื่องจักรเกิดการไม่สมดุล จะทำให้แรงการสั่นสะเทือนเกิดมากขึ้นในแนวรัศมีหรือแนวตั้งและแนวราบ



รูปที่ 2.17 จุดตรวจวัดการสั่นในทิศทางแนวราบ

3. แนวแกนเพลลา (Axial, A) เป็นทิศทางการตรวจวัด จับยึด หัววัดในแนวแกนเพลลาของเครื่องจักร ไม่ว่าจะเครื่องจักรจะติดตั้งในตำแหน่งใด

ค่าการสั่นสะเทือนที่สูงมากผิดปกติในแนวแกนเพลลา จะบอกลักษณะการติดตั้งเครื่องจักรไม่ตรงแนวศูนย์ (Misalignment) การหมุนสายของโรเตอร์ การบิดงอของเพลลา (Bent shaft) การบิดเอียงของฐานรองรับ (Softfoot) การรูน กระแทกของเพลลา แบร็งก์ หน้าแปลน ข้อต่อ เป็นต้น ปกติเครื่องจักรส่วนมากจะมีค่าการสั่นสะเทือนในแนวแกนเพลลาน้อยกว่าตำแหน่งอื่นๆ



รูปที่ 2.18 จุดตรวจวัดการสั่นในทิศทางแนวแกนเพลลา

ทิศทางการตรวจวัดทั้งสาม เป็นการตรวจวัดสำหรับเครื่องจักรที่ติดตั้งในแนวราบ แต่ถ้าหากเป็นกรณีที่เครื่องจักรติดตั้งในแนวตั้ง หรือห้อยแขวน การกำหนดทิศทางแนวตั้ง (V) หรือแนวราบ (H) ก็จะเปลี่ยนไป ส่วนทิศทางในแนวแกนเพลลา (A) จะเป็นทิศทางคงที่เสมอ คือ ทิศทางของหัววัดจะจับยึดตามความยาวของเพลลาเครื่องจักร

2.6 การจัดทำระบบบำรุงรักษาพยากรณ์

2.6.1 การบำรุงรักษาเมื่อเครื่องจักรเสียแล้วซ่อม

การบำรุงรักษาเมื่อเครื่องจักรเสียแล้วจึงซ่อม (BM) เป็นการเดินเครื่องใช้งานไปจนกระทั่งเครื่องจักรเสียหาย ใช้งานไม่ได้ จึงซ่อมแซม แก้ไข หรือเปลี่ยนใหม่ ทำให้มีข้อเสียคือ

1. เสียค่าใช้จ่ายมาก บางกรณีไม่สามารถซ่อมแซมให้ใช้งานได้ต่อไปอีกเพราะเสียหายมาก แก้ไขไม่ได้ ต้องเปลี่ยนใหม่ทั้งหมด ทำให้มีการลงทุนซื้อเครื่องจักรใหม่ที่มีราคาสูงขึ้น ใช้เวลานานขึ้นทั้งกำลังพล และอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ

2. สูญเสียผลผลิต

3. เสียค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงมาก

2.6.2 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน หรือตามแผนที่กำหนดไว้ (PM) เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นจากผู้บริหาร การซ่อมบำรุง สิ่งที่ผู้บริหารงานซ่อมบำรุงพึงปรารถนาคือ ต้องการให้เครื่องจักรทำได้ตามปกติ เดินเรียบ สม่ำเสมอ ผลผลิตสินค้าได้ดี มีประสิทธิภาพ และเป็นมาตรฐานเดียวกันตลอด โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายต่ำสุด จึงพยายามวางแผนระบบการซ่อมบำรุงต่างๆ ตามความเหมาะสมของแต่ละโรงงาน โดยมีเป้าหมายหลัก ดังต่อไปนี้

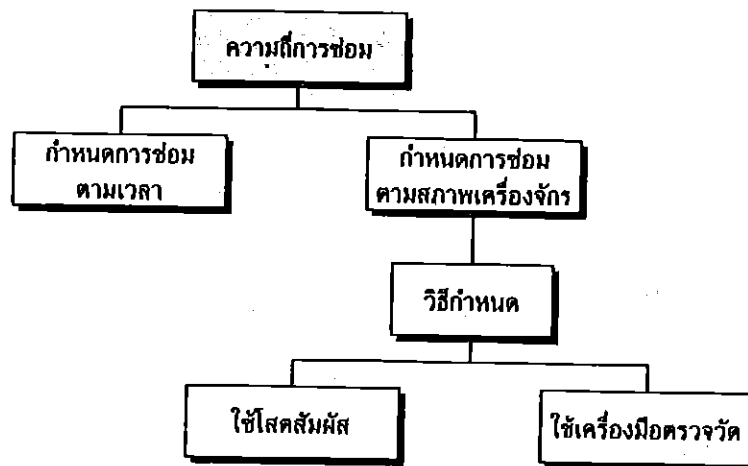
1. ลดการขัดข้องหรือขจัดปัญหาการทำงานของเครื่องจักรให้หมดไป โดยเพิ่มความมั่นใจในการทำงานของเครื่องจักรให้สูงขึ้น
2. ถ้าหลีกเลี่ยงการหยุดเครื่องจักรไม่ได้ ก็ต้องพยายามลดเวลาหยุดเครื่องจักรให้หยุดน้อยที่สุด โดยวางแผนการซ่อมบำรุง กำลังพล และอะไหล่อย่างมีประสิทธิภาพ
3. ลดค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุง โดยพยายามทุกวิถีทาง ทั้งระบบและวิธีการซ่อมบำรุงสมัยใหม่ เพื่อนำไปสู่การประหยัดและเพิ่มผลผลิต

เพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าว โรงงานส่วนมากจึงเลือกใช้ระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) คือการวางแผนปฏิทินบำรุงรักษาล่วงหน้าก่อนที่เครื่องจักรจะเกิดการชำรุด ขัดข้องกะทันหันในระหว่างผลิต โดยออกแบบวางแผนทั้งทางด้านการทำความสะอาด หล่อลื่น การตรวจสภาพปรับแต่ง การวัด การเสื่อมสภาพ การซ่อมเปลี่ยนอย่างสม่ำเสมอ เช่น ทุกสัปดาห์ รายเดือน รายปี เป็นต้น

การกำหนดเวลาซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน ในการวางแผนซ่อมบำรุงเครื่องจักร การกำหนดเวลาซ่อมบำรุงจะถี่หรือห่างมากน้อยเพียงใด ถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญมาก ถ้ากำหนดช่วงเวลาการซ่อมถี่หรือเร็วเกินไป ก็จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองมาก ผลผลิตลดลง ในทางตรงข้ามถ้ากำหนดช่วงเวลาการซ่อมบำรุงห่างเกินไป เครื่องจักรอาจจะเกิดการขัดข้อง หรือเสียหายมาก ก่อนที่จะถึงกำหนดซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนชิ้นส่วน

ฉะนั้น ความเหมาะสม หรือความพอดีในการกำหนดช่วงเวลาในการตรวจซ่อมบำรุง อาจพิจารณาได้จากองค์ประกอบหลายๆ อย่างรวมกัน เช่น จากคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องจักร สภาพแวดล้อมการใช้งาน เวลาการทำงาน หนัก-เบา มาก-น้อย อย่างไร ความถี่ที่เกิดการขัดข้องจากประวัติที่ผ่านมา และซ่อมบำรุงตามการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร เป็นต้น

การกำหนดเวลาซ่อมบำรุง เป็นการซ่อมบำรุงโดยใช้จำนวนเวลาการทำงานของเครื่องจักรเป็นความถี่-ห่าง ของการซ่อมบำรุงเครื่องจักร เช่น การกวาดชั้นขี้สกรู การเปลี่ยนชิ้นส่วน การทำความสะอาดเครื่องจักร เป็นการตรวจสอบซ่อมบำรุงแก้ปัญหาเล็กๆ ก่อนที่จะเกิดการขัดข้องเสียหายขนาดใหญ่ รวมถึงการถ่ายเปลี่ยนสารหล่อลื่นตามเวลากำหนด



รูปที่ 2.19 ผังการกำหนดความถี่การซ่อมบำรุง

ข้อดี

1. เนื่องมีการตรวจสอบสภาพอยู่เสมอ และมีการบำรุงรักษาล่วงหน้า ทำให้ทราบสภาพและตัดสินใจได้ว่า จะใช้งานต่อไปหรือต้องเปลี่ยนใหม่ เพื่อวางแผนการซ่อมบำรุง เตรียมพร้อมอะไหล่และกำลังพล ทำให้เวลาการซ่อมบำรุงลดลงและประหยัดค่าใช้จ่าย
2. การขัดข้องฉุกเฉินลดลง
3. สามารถวางแผนการซ่อมบำรุง ให้สอดคล้องกับแผนการผลิตเพิ่มขึ้น

ข้อเสีย

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

2.6.3 การบำรุงรักษาพยากรณ์

การบำรุงรักษาพยากรณ์ (PdM) เป็นการบำรุงรักษาตามสุขภาพเครื่องจักรในแนวการบำรุงรักษาวิผล (Productive maintenance) ซึ่งเป็นวิธีการกำหนดเวลาซ่อมบำรุงที่ดีที่สุด สามารถใช้ประโยชน์เครื่องจักรและอุปกรณ์ได้สูงสุด นั่นคือ การทำงานจนกระทั่งเสื่อมสภาพลง จึงดำเนินการซ่อมบำรุง หรือปรับปรุงให้กลับคืนสู่สภาพเดิมหรือดียิ่งขึ้น

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

2.6.4 การตรวจวัดสภาพเครื่องจักร

แนวทางการตรวจวัดสภาพเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ แบ่งออกเป็นสองลักษณะ คือ

1. ตรวจวัดจากความรู้สึก เป็นวิธีการพื้นฐานแบบง่าย ๆ ที่พนักงานซ่อมบำรุงควรฝึกฝน ซึ่งถือว่าเป็นทักษะเบื้องต้น เพื่อสร้างประสาทสัมผัสของความเป็น “ช่าง” สร้างสมประสบการณ์จากการสังเกต ความรู้สึกที่คลุกคลีอยู่กับการตรวจสภาพเครื่องจักรเหล่านั้นมาอย่างยาวนาน เช่น ร้อนผิดปกติ เสียงดัง สั่น มีสีกลิ่นผิดปกติ

การตรวจวัดการเสื่อมสภาพวิธีนี้ โอหาสที่จะเกิดความผิดพลาดจากพนักงานมีมาก เนื่องจาก สัมผัสแต่ละคนแตกต่างกัน ไม่สามารถบันทึกเป็นข้อมูลได้ ทำให้ขาดความมั่นใจในการวิเคราะห์สภาพ แต่ข้อดีก็คือ เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดการเสื่อมสภาพในระยะเริ่มแรก สามารถทำนายได้ในเวลาสั้นๆ วันต่อวัน แต่การนายระยะยาว จะต้องมีเครื่องมือตรวจวัดเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เชื่อถือได้

2. ตรวจวัดการเครื่องมือวัดต่างๆ เป็นผลมาจากการวิวัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีอันรวดเร็ว มีการออกแบบผลิตเครื่องมือวัดต่างๆ เป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ตรวจวัดให้เหมาะสมกับงานแทนการตรวจวัดด้วยสัมผัส ทำให้ได้ผลการตรวจวัดถูกต้องเป็นมาตรฐานเดียวกัน ไม่จำกัดว่าจะต้องเป็นผู้ใดผู้หนึ่งในสภาพใด และสามารถพยากรณ์ว่าจะสามารถใช้งานต่อไปได้อีกนานเท่าใด

ในทางปฏิบัติ การกำหนดความถี่การซ่อมบำรุงเครื่องจักรต้องใช้ทั้ง 2 วิธี ทั้งการกำหนดด้วยจำนวนเวลาทำงานของเครื่องจักร และขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้บริหารว่าเครื่องจักรใดจะใช้วิธีใด หรือร่วมกันทั้ง 2 วิธี อย่างไรก็ดี การวัดการเสื่อมสภาพด้วยเครื่องมือวัดย่อมทำให้เกิดความถูกต้อง และเกิดความมั่นใจยิ่งขึ้นในการแก้ไขปัญหา

2.6.5 แนวทางการบำรุงรักษาพยากรณ์

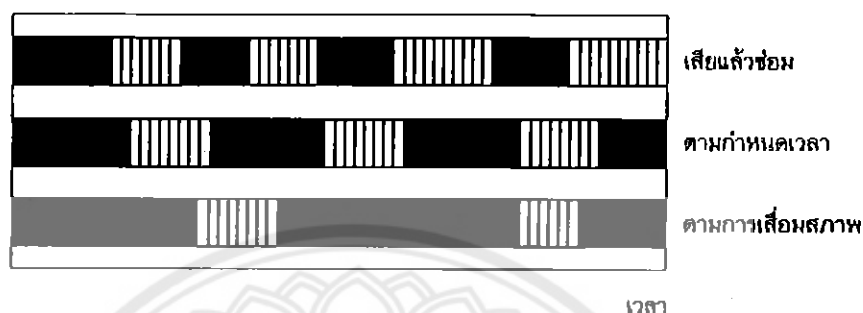
การบำรุงรักษาพยากรณ์ หมายถึง การบำรุงรักษาโดยการตรวจวัดสุขภาพเครื่องจักรอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ เพื่อตรวจสอบแนวโน้มสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในขณะที่เครื่องจักรทำงาน ทำให้ทราบว่าเครื่องจักรทำงานอยู่ในสภาพใด เพื่อคาดการณ์หรือทำนายการซ่อมบำรุงล่วงหน้า โดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดบันทึก วิเคราะห์ผลและแก้ไขปัญหา

ข้อดีที่เห็นได้ชัดเจนของการบำรุงรักษาพยากรณ์ก็คือ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงได้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ และทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า

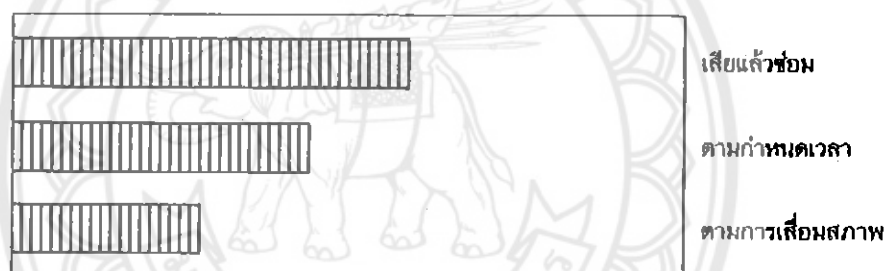
เพื่อให้งานบำรุงรักษาพยากรณ์บรรลุเป้าหมายและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จำเป็นจะต้องมีการปรับปรุงระบบงานและติดตามความเจริญก้าวหน้าของเครื่องมือวัด และเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน ซึ่งปัจจุบันระบบคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการประยุกต์ใช้กับเครื่องมือวัดเกือบทุกประเภท เพื่อสนองความต้องการในการบริหารงานซ่อมบำรุง และขจัดปัญหาการหยุดเครื่องจักรกะทันหัน

ดังนั้น ในการตรวจสอบเครื่องจักร จึงใช้ทั้งการตรวจวัดด้วยไฮดรอสแตตสัมผัสกับเครื่องมือวัดที่จำเป็นบางอย่าง เช่น เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือวิเคราะห์ผลการสึกหรอ เครื่องมือฟังเสียงคลื่นความถี่สูง เครื่องมือตรวจสอบสภาพลูกปืน เป็นต้น

นอกจากนี้ การบำรุงรักษาพยากรณ์ยังหมายถึง การบันทึกข้อมูลต่างๆ เพื่อดูแนวโน้มการผิดปกติเช่น ความดัน อัตราการไหล การจับเวลา เป็นต้น



รูปที่ 2.20 เปรียบเทียบความถี่การหยุดซ่อมเครื่องจักรแต่ละระบบ



รูปที่ 2.21 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ซ่อมบำรุงแต่ละระบบ

2.6.6 การสำรวจเครื่องจักรสำหรับ PdM

จุดเริ่มต้นการทำการบำรุงรักษาพยากรณ์คือ การสำรวจการเสียหายขัดข้องของเครื่องจักรในโรงงานว่ามาจากสาเหตุอะไรบ้าง ซึ่งโดยส่วนมากมักจะเกิดจากสาเหตุต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การปนเปื้อนในสารหล่อลื่น หมายถึง สารหล่อลื่นไม่ว่าจะเป็นจาระบีหรือน้ำมันหล่อลื่น มีการปนเปื้อนจากฝุ่นผงสกปรกที่เป็นได้ทั้งโลหะหรือโลหะ โดยอาจมาจากภายนอกเข้าสู่ภายในเครื่องจักร หรืออาจจะมาจากภาชนะบรรจุเติมสารหล่อลื่นจากการชำรุดของตัวกรองช่องระบายอากาศ (Breather) เข้าภายในเครื่องจักร หรือความสกปรกจากการทำงาน การเสียดสี การสึกหรอภายในเครื่องจักร การปนเปื้อนร่วมกับสารหล่อลื่น

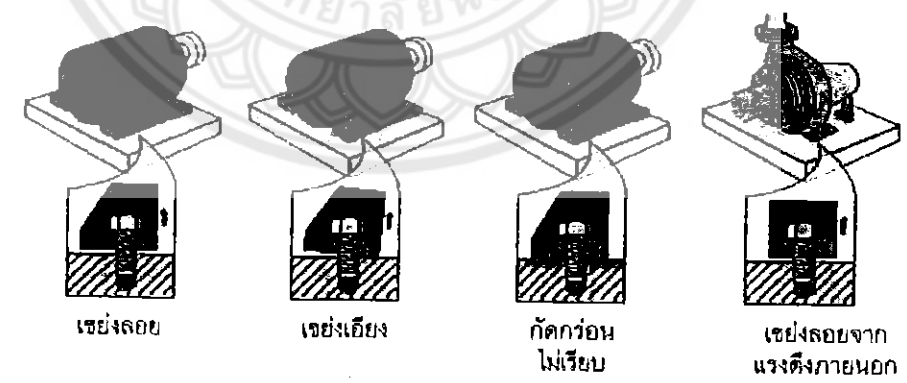
ถ้าการปนเปื้อนมีมากเกินไปก็ทำให้สารหล่อลื่นสกปรก ทำให้ภายในเครื่องจักรสกปรก เครื่องจักรสึกหรอขัดข้อง เสียหายเร็วผิดปกติ

2. สารเพิ่มคุณภาพสารหล่อลื่นหมดสภาพ สารหล่อลื่นเกือบทุกชนิดได้มาจากปิโตรเลียมธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ โดยจะมีการเติมสารเพิ่มคุณภาพ เช่น สารชะล้างทำความสะอาด สารป้องกันการเกิดสนิม เพิ่มความหนืดความทนทานต่อการกัดกร่อนและสึกหรอ เป็นต้น

เมื่อเดินเครื่องใช้งานหรือปล่อยไปตามสภาพแวดล้อมระยะหนึ่ง จะทำให้สารปรุแต่งคุณภาพหมดสภาพขาดคุณสมบัติการหล่อลื่นที่ดี มีผลทำให้ชิ้นส่วนเครื่องจักรเสื่อมสภาพจนเกิดการชำรุดได้

3. ใช้สารหล่อลื่นไม่ถูกต้อง เครื่องจักรแม้ว่าจะจะเป็นประเภทเดียวกัน แต่เมื่อมีภาวะการทำงาน และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ก็ทำให้ความต้องการสารหล่อลื่นแตกต่างกันไปด้วย เช่น แบริ่งพัดลมในสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิปกติกับอุณหภูมิสูง ก็จะใช้จาระบีต่างน้ำมันเบอร์ ซึ่งจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน

4. การติดตั้งเครื่องจักรให้ตรงแนวศูนย์ (Alignment) ถือว่าเป็นปัญหาอันดับต้นๆ ที่ทำให้เครื่องจักรเกิดการเสื่อมสภาพ เสียหายเร็วผิดปกติ เนื่องจากการขาดความรู้ความเข้าใจและทักษะการติดตั้งเครื่องให้ตรงแนวศูนย์ให้อยู่ในพิสัยของความเผื่อ (Tolerance) ที่ยอมรับได้

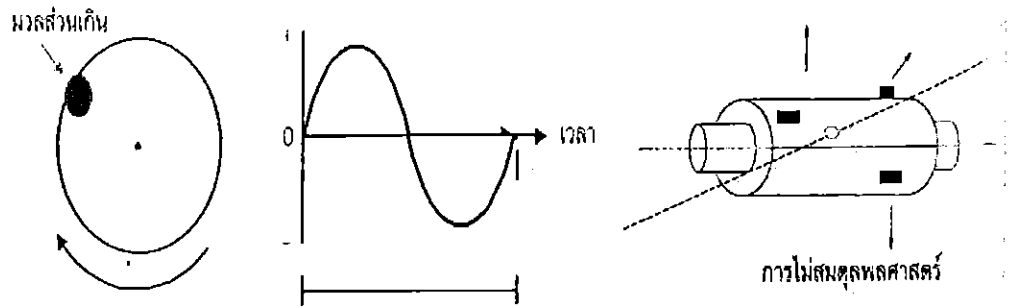


รูปที่ 2.23 ลักษณะการเขย่งลอยที่ขา (Softfoot) ของเครื่องจักร

5. การไม่สมดุลของชิ้นส่วนหมุน ไม่ว่าจะเป็นแผ่นจานกังหัน (Turbine) พัดลม โบลเวอร์ ลูกกลิ้งหรือเพล โรเลอร์ เมื่อหมุนทำงานจะเกิดการสั่นหรือ กัตกว่อน หรือมีมวลเพิ่มขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่ง ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางไม่สมดุล ทำให้จุดศูนย์ถ่วง (CG) เบี่ยงเบนหนีไปจากจุดเดิม หรือเกิดจากการผลิตประกอบโรเตอร์ ทำให้เกิดการเอียงจุดศูนย์กลาง เมื่อชิ้นส่วนเครื่องจักรหมุนทำงานจะทำ

169 98499
ป.ร.
93849
2654

ให้เกิดแรงกระทำในทิศทางแตกต่างกันไม่สม่ำเสมอ มีผลต่อแบริ่งที่รองรับและแท่นติดตั้งเครื่องจักร เนื่องจากความสั่นผิดปกติ ทำให้เกิดการชำรุด เสื่อมสภาพผิดปกติ



รูปที่ 2.24 มวลส่วนเกินที่ส่งผลให้เพลลาเครื่องจักรไม่สมดุล

6. การประกอบติดตั้งไม่ถูกต้อง การเสียหาย การขัดข้องของเครื่องจักร สามเหตุหนึ่งมาจากการประกอบติดตั้งไม่ถูกต้อง เช่น การสวมประกอบ การสวมเพื่อการขยายตัว การสลับชิ้นตอนก่อน-หลัง การสวมประกอบแบริ่งเข้ากับเพลลา หรือเสื่อสวมตลับแบริ่งถูกปinned ด้วยวิธีตอกดีแล้วพลาดไปถูกชิ้นส่วนอื่นของแบริ่งทำให้ชำรุดเสียตั้งแต่ต้น โดยที่ยังไม่ได้มีการใช้งาน

การสวมประกอบแบริ่งเข้าเพลลาบางวิธีอาจจะใช้วิธีต้มน้ำมันให้รูสวมขยายตัวเพื่อสวมประกอบได้ง่าย การใช้ความร้อนสูงมากเกินไปจะทำให้เกิดการขยายตัวมากเกินไป จนทำให้ชิ้นส่วนและเม็ดลูกปืนขยายตัวเบียดกับรางวงแหวน หรือไหม้ดำ ทำให้เสียหายได้ ซึ่งปกติแล้วความร้อนการต้มน้ำมันแบริ่งไม่ควรเกิน 100-110 °C ส่วนเวลานั้นขึ้นอยู่กับขนาดของแบริ่งโดยการเฝ้าวัดการขยายตัวของรูสวมเพลลา

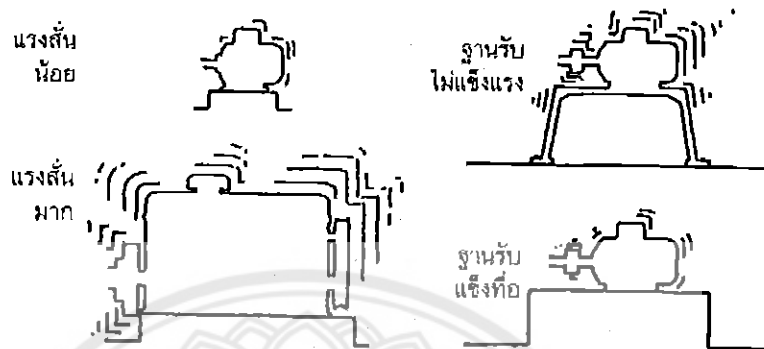


รูปที่ 2.25 การประกอบและติดตั้งเครื่องจักรไม่ถูกต้อง

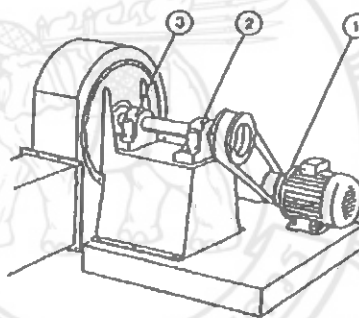
7. เครื่องจักรร้อนผิดปกติ เครื่องที่ร้อนผิดปกติจะทำให้อายุการใช้งานสารหล่อลื่น ชิ้นส่วนขดลวด ไฟฟ้า หน้าสัมผัสสวิตซ์ตัด-ต่อมีอายุการใช้งานสั้นลง

สาเหตุที่เครื่องจักรมีความร้อนสูงผิดปกติอาจมาจากหลายสาเหตุ เช่น ระบบระบายความร้อนน้ำมันหล่อลื่นไม่เพียงพอ สารหล่อลื่นมากเกินไปหรือไม่เพียงพอ สกปรกหรือเกิดการสวมเมื่อไม่ถูกต้อง ขีดกันแน่นหรือหลวมห่างเกินพิกัด การกดขันยึดแน่นไม่ถูกต้อง หรือการออกแบบใช้งานเครื่องจักรที่ไม่เหมาะสม ซึ่งถ้าหากเครื่องจักรมีความร้อนสูงผิดปกติจะทำให้ชิ้นส่วนที่เป็นซีล ยาง พลาสติกเกิดการเสื่อมสภาพ เสียหายเร็วผิดปกติ

8. ความสั่นสะเทือน เครื่องจักรที่มีการสั่นสะเทือนสูงผิดปกติจะทำให้เกิดการเสียหายเสื่อมสภาพทั้งทางกลและทางไฟฟ้า สามเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมาจากหลายสาเหตุ ตั้งแต่การประดิษฐ์เครื่องจักร การเผื่อระยะขีดห่าง การสึกหรอ หลวมคลอน การบิดเสียรูป ทารขยาดัวจากความร้อน การไม่สมดุล แบริ่งชำรุดเสีย การตั้งตั้งไม่ตรงแนวศูนย์ เป็นต้น



รูปที่ 2.26 ลักษณะการสั่นของเครื่องจักรซึ่งมีส่วนที่ขึ้นอยู่กับขนาดเครื่องจักรและฐานรองรับ



รูปที่ 2.27 จุดที่ต้องการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

9. สาเหตุอื่นๆ นอกจากสาเหตุที่กล่าวมาแล้ว ยังอาจมีสาเหตุอื่นอีก เช่น เสียง การรั่ว ความดัน อัตราการไหล การขยายตัว หดตัว การสึกหรอ แตกร้าว ทำให้เครื่องจักรและอุปกรณ์เกิดการเสื่อมสภาพเสียหายขัดข้องได้

จากสาเหตุต่างๆ เหล่านี้ มีวิธีที่จะวัดและวิเคราะห์สาเหตุผิดปกติ การเสียหายหรือการขัดข้องของเครื่องจักรได้ นั่นคือ การบำรุงรักษาวิเคราะห์ หยั้งรู้สาเหตุผิดปกติ แก้ไข และขจัดปัญหาก่อนการใช้งานในกระบวนการผลิตที่เราเรียกว่า การบำรุงรักษาเชิงรุก ซึ่งจะทำให้การเสียหายช่วงเริ่มต้นใช้งานต่ำ อายุการใช้งานเครื่องจักรยาวนานเพิ่มมากขึ้น ผลผลิตเพิ่มขึ้น ลดการเบรกดาวน์ ลดค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงลง

ขณะเดียวกัน การเฝ้าวัดติดตามสุขภาพเครื่องจักรและวิเคราะห์สาเหตุผิดปกติจะทำให้ทราบแนวโน้มการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร เพื่อทำนายอายุการใช้งานเครื่องจักรได้ การวางแผน การประสานงานกับฝ่ายผลิตป้องกันการเบรกดาวน์ สามารถแก้ไขปัญหาได้ถูกต้องตรงสาเหตุ รวดเร็ว ลดค่าใช้จ่าย

2.6.7 ความพร้อมสมบูรณ์และการเสื่อมสภาพเครื่องจักร

1. การบำรุงรักษาเชิงรุก เป็นการบำรุงรักษาโดยการวัด-วิเคราะห์ หยั่งรู้ หาสาเหตุผิดปกติ แก้ไขปรับสภาพก่อนใช้งานในกระบวนการผลิต ซึ่งจะช่วยให้การเสียหายการขัดข้องของเครื่องจักรลดน้อยลง อายุการใช้งานยาวนาน เพิ่มผลผลิต ลดค่าใช้จ่าย

โดยสรุปเหตุผลที่ต้องบำรุงรักษาเชิงรุก มีดังนี้

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

2. การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เป็นการบำรุงรักษาเฝ้าติดตามโดยวัดวิเคราะห์การเสื่อมสภาพเครื่องจักร หาสาเหตุผิดปกติ พยากรณ์อายุใช้งาน วางแผนซ่อมบำรุง ลดการเบรกดาวน์ แก้ไขตรงปัญหา



รูปที่ 2.28 กราฟความพร้อมสมบูรณ์ และการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร

2.6.8 วิธีการบำรุงรักษาพยากรณ์

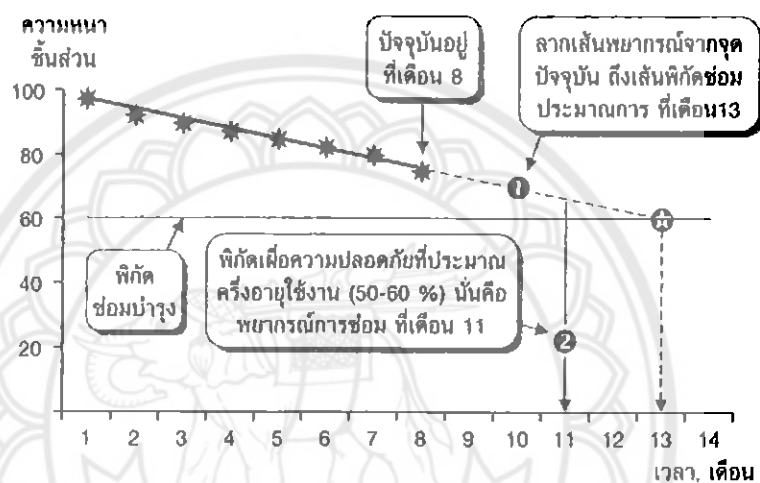
ขณะตรวจวัดสภาพเครื่องจักร เมื่อพบว่าเครื่องจักรมีแนวโน้มผิดปกติ เช่น การสึกหรอของแผ่นผ้าเบรกวัดความหนาได้ 65 มิลลิเมตร ไกลฟีกัดที่ต้องซ่อมหรือเปลี่ยน เช่น ต้องเปลี่ยนที่ 60 มิลลิเมตร จะพยากรณ์ว่าจะให้งานต่อไปได้อีกกี่วัน กี่ชั่วโมง หรือใช้ถึงช่วง PM ครั้งต่อไปได้หรือไม่ เพื่อวางแผนเตรียมการวัสดุ อะไหล่ เครื่องมือกำลังพลไว้ล่วงหน้า

ถ้าเครื่องจักรยังสามารถใช้ได้อีกในช่วงเวลาสั้นๆ ไม่ถึงรอบ PM ครั้งต่อไป ให้ซ่อมหรือเปลี่ยนเฉพาะชิ้นส่วนนั้น โดยอาจจะดำเนินการในช่วงของการควบคุมโหลดทางไฟฟ้า หรือช่วงเปลี่ยนการผลิตตามใบสั่ง ตามล็อต ตามรุ่นที่ผลิต เป็นต้น โดยมีเป้าหมายการใช้งานอย่างคุ้มค่า ลดค่าใช้จ่าย แต่ถ้ายังใช้ได้ถึงกำหนดรอบ PM ก็ให้ซ่อมหรือเปลี่ยนช่วงที่ทำ PM รอบต่อไป

2.6.9 ปัจจัยสำคัญของระบบบำรุงรักษาพยากรณ์

การที่จะเลือกว่าระบบการบำรุงเป็นแบบใดระหว่างการบำรุงรักษาเชิงรุก หรือการบำรุงรักษาพยากรณ์นั้นจะต้องการวัดและกำหนดค่าพิกัดตัดสินใจ เช่น การวัดความร้อน การวัดความเสียหายแบ ริ่ง การวัดความสั่นผิดปกติของเครื่องจักร ค่าที่วัดได้จะต้องนำมาวิเคราะห์อาการผิดปกติโดยแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ดี แยะ (Alarm หรือ Max1) แก๊ซ (Danger หรือ Max2)

ระดับแยะ (Alarm หรือ Max1) หมายถึง ค่าที่วัดได้ เช่น ค่าความร้อน ค่าการปนเปื้อน ค่า ความสั่นมีแนวโน้มถึงค่าที่กำหนด Alarm หรือ Max1 จากค่ามาตรฐานสากลแต่ละประเภทเช่น ค่า ISO ควรเฝ้าติดตาม ตรวจวัดแนวโน้มให้บ่อยขึ้น เพื่อวางแผนซ่อมในช่วงซ่อมบำรุง PM ครึ่งต่อไป



รูปที่ 2.29 ตัวอย่างการพยากรณ์เวลาซ่อมบำรุงล่วงหน้าในระบบการบำรุงรักษาพยากรณ์

ระดับต้องแก๊ซ (Danger หรือ Max2) หมายถึง ค่าที่วัดได้ เช่น ค่าความร้อน การปนเปื้อน ค่า ความสั่นผิดปกติ มีแนวโน้มถึงกำหนด Danger หรือ Max2 จากค่าความร้อน การปนเปื้อน ค่า มาตรฐานสากล เช่น ค่า ISO ควรซ่อมทันทีที่มีความพร้อม โดยวางแผนร่วมกับฝ่ายผลิต ทำให้หลีกเลี่ยง การเกิดเบรกดาวน์ได้

นอกจากนี้ ข้อดีของระบบบำรุงรักษาพยากรณ์ ก็คือ

1. ทำให้รู้ว่าเครื่องจักรมีสภาพเป็นอย่างไร จะใช้งานต่อไปหรือต้องหยุดซ่อม ทำให้เกิดความมั่นใจ
2. ขยายช่วงเวลาการทำ PM ออกไปได้อีก
3. จำนวนรายการของเครื่องจักรที่ทำ PM ลดลง
4. ลดค่าใช้จ่าย วัสดุ อะไหล่ กำลังที่ต้องทำ PM เพื่อนำไปบำรุงรักษาเครื่องจักรอื่น
5. ใช้ตรวจสอบงานซ่อม การติดตั้งเครื่องจักร การรับงานเบื้องต้นก่อนใช้งานเครื่องจักร

2.6.10 องค์ประกอบสำคัญของระบบบำรุงรักษาพยากรณ์

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

2. วิเคราะห์สาเหตุ สามารถวิเคราะห์ได้ว่าการเสื่อมสภาพผิดปกติของเครื่องจักรมาจากสาเหตุใด เช่น มีการปนเปื้อนสารหล่อลื่นผิดปกติเกิดจากการสึกหรอของแบร็ง บูช เพ็อง หรือฝุ่นจากภายนอกเข้าภายในเครื่องจักร

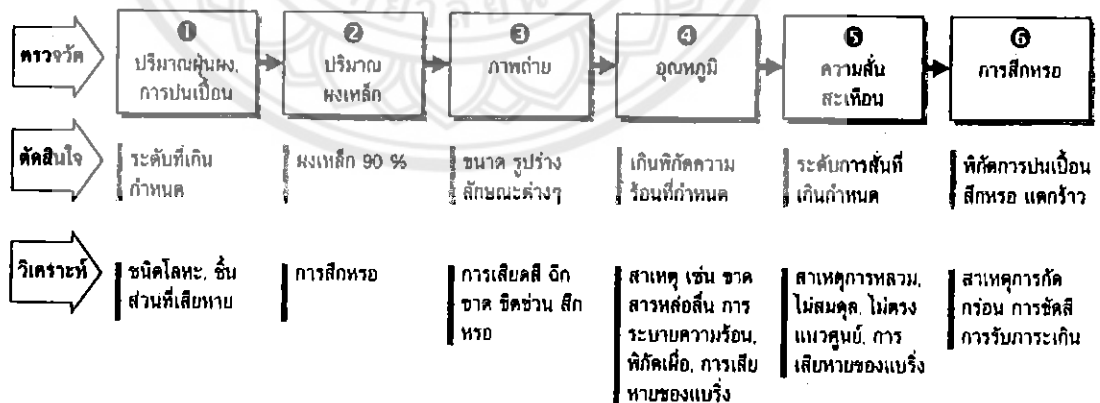
3. ปรับปรุงและแก้ไขปัญหา เมื่อตรวจวัดวิเคราะห์สาเหตุที่ถูกต้องได้แล้ว จะสามารถแก้ไขปัญหาก็ได้ถูกต้อง ตรงสาเหตุ ลดเวลา และค่าใช้จ่ายในการซ่อมและแก้ไขปัญหา เช่น เครื่องจักรมีเสียงดังสั่นผิดปกติ มาจากสาเหตุการไม่สมดุล ถึงแม้จะมีการซ่อมใหญ่ประกอบติดตั้งเครื่องจักรให้ถูกต้องดีอย่างไร ก็แก้ปัญหานั้นไม่ได้

2.6.11 เทคนิคการวิเคราะห์สภาพเครื่องจักร

ในการตรวจวัด-วิเคราะห์สุขภาพเครื่องจักร มีเทคนิคและวิธีดำเนินการดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์สารหล่อลื่น (Oil analysis) แสดงการปนเปื้อนในระบบหล่อลื่นแต่ละจุด ทำให้ทราบว่าจุดใดมีการปนเปื้อนมากผิดปกติกว่าจุดอื่นๆ ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 2.21 ระบบน้ำมันหล่อลื่นที่มีจุดผิดปกติที่เกิดจากแบร็ง จุดที่ 2 มีการปนเปื้อนสูงมากกว่าจุดอื่นๆ คือ 62 ppm

การตรวจวัดวิเคราะห์สามเหตุผิดปกติการสึกหรอภายในของชิ้นส่วนเครื่องจักร จะทำให้ทราบปัญหาการขัดข้องล่วงหน้าก่อนที่เครื่องจะเกิดการเสียหายกะทันหัน



รูปที่ 2.30 เทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์สาเหตุเครื่องจักรเสียหาย

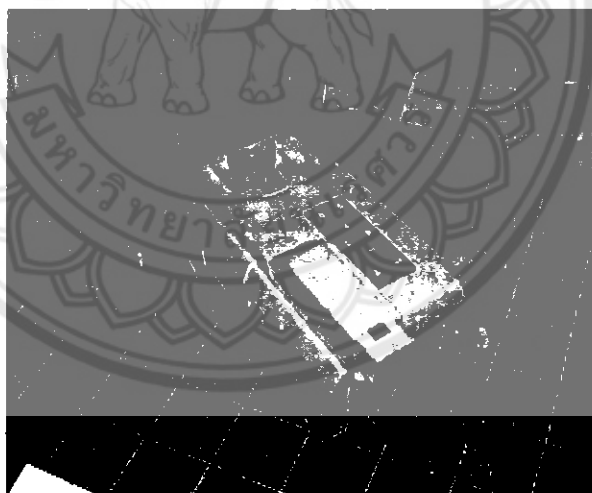
ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จะใช้วิธีการตรวจวิเคราะห์สารหล่อลื่นร่วมกับการวัดความสั่นสะเทือน ทำให้วิเคราะห์สาเหตุการณ้ขัดข้องได้อย่างรวดเร็ว

ถ้าผงปนเปื้อนสีหรือมีขนาดโตขึ้น มีจำนวนเพิ่มขึ้น ก็แสดงว่าเครื่องจักรมีการสึกหรอ ผิดปกติ ขัดข้องรุนแรงเพิ่มขึ้น การเปรียบเทียบสามารถทำได้โดยการถ่ายภาพหรือเก็บจำนวนการสึกหรอในช่วงเวลาที่เท่าๆ กัน

2. เทอร์โมมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น พรอท, มิเตอร์, Thermolabel เปลี่ยนสี, อินฟราเรด, ภาพถ่ายทางความร้อน (Thermography)

อุปกรณ์เหล่านี้ได้นำมาใช้ตรวจวัดความร้อนผิดปกติของเครื่องจักร หรือใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นวิธีการแบบง่ายๆ ใช้กันทั่วไปมีหลายแบบหลายชนิด แต่แบบที่เหมาะสมกับการใช้งานบำรุงรักษาป้องกันควรเป็นแบบตรวจวัดอุณหภูมิแบบไร้การสัมผัส และแบบถ่ายภาพความร้อน ที่ใช้งานได้อย่างปลอดภัย ใช้ได้ทั้งงานไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องกล เพื่อใช้ตรวจสอบวัดการขัดข้องของเครื่องจักร

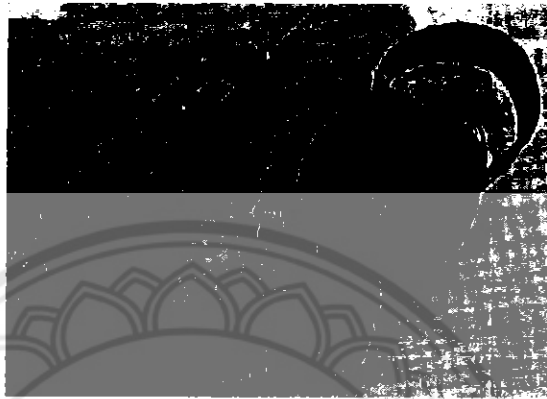
หลักการการทำงานของเทอร์โมมิเตอร์แบบไร้การสัมผัสจะใช้วัดการแผ่รังสีอินฟราเรดจากวัตถุ ถ้าวัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้นหรือลดลง จะทำให้โมเลกุลเกิดการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงจะมีการแผ่รังสีอินฟราเรดมาก ถ้ามีอุปกรณ์มารองรับรังสีโดยผ่านเลนส์นูนรวมรังสีแล้วเปลี่ยนความเข้มของรังสีอินฟราเรดเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า เปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นค่าของอุณหภูมิ อาจจะแสดงเป็นค่าตัวเลข หรือแถบสีแสดงความรุนแรงของปัญหา เช่น สีเขียวปกติ สีเหลืองผิดปกติ สีแดงอันตราย เกินพิกัด หรือเป็นภาพถ่ายลักษณะดิจิทัลได้ ทำให้เห็นภาพผิดปกติจริงจากความร้อนผิดปกติ เป็นต้น



รูปที่ 2.31 กล้องถ่ายภาพทางความร้อน

3. เครื่องมือฟังเสียงระบบอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมือฟังเสียงผิดปกติโดยการขยายสัญญาณเสียงด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า Stethoscope เป็นเครื่องมือที่พัฒนามาจากหลักการฟังเสียงผิดปกติที่ใช้ก้านโลหะหรือไขควง ทำให้สามารถฟังเสียงผิดปกติของเครื่องจักรได้ เช่น การรั่วไหลของแก๊สความดันสูง ระบบสุญญากาศ การทำงานผิดปกติของวาล์วสตีมนำ การสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ซึ่งเป็นการเตือนล่วงหน้าถึงปัญหาต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น ทำให้สามารถตรวจฟังและหาสาเหตุของปัญหา ก่อนเกิดการขัดข้องขนาดใหญ่ได้

การตรวจฟังเสียง สามารถจัดทำเป็นแผนตรวจวัดระบบเสียงผิดปกติตามจุดเครื่องที่สำคัญ ใน โรงงาน เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงงานกลั่นน้ำมัน โรงงานปิโตรเคมี โรงงานปูนซีเมนต์ หรือใช้ตรวจฟังเสียงตามตำแหน่งที่ต้องการ แบบมือถือขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีหัวฟังหลายขนาด ใช้ตรวจสภาพเครื่องจักรแบบง่ายๆ คือ ฟังเสียงผิดปกติของชิ้นส่วนสึกหรอ แหล่งกำเนิดความ สั่นสะเทือน เป็นต้น



รูปที่ 2.32 อุปกรณ์ฟังเสียงการสั่นสะเทือน

4. เครื่องมือตรวจสอบตลับลูกปืน เป็นเครื่องมือตรวจวัดสภาพตลับลูกปืนที่มีหลักการทำงาน โดยวัดความแตกต่างของสัญญาณกระแทกคลื่นเสียง (shock pulse method) ระหว่างเม็ดลูกปืนกับ รางแหวนแบร์ริงระหว่างค่าเริ่มต้น (dB_i = Decibel initial) ของตลับลูกปืนใหม่กับค่าความเสียหายของ ตลับลูกปืนขณะใช้งาน (dB_{sv} = Decibel shock value) ดังนั้น

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

dB_n = ค่าแสดงการผิดปกติของตลับลูกปืน

dB_{sv} = ค่าที่วัดได้จริง

dB_i = ค่าเริ่มต้นของตลับลูกปืนใหม่

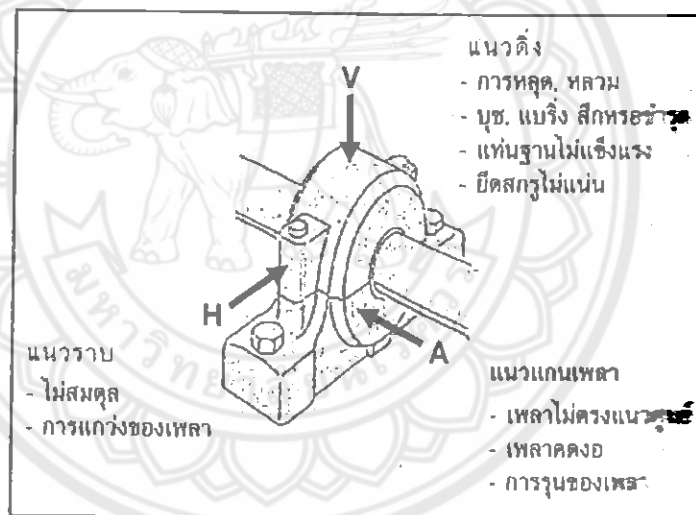
การอ่านค่าผิดปกติของตลับลูกปืน แสดงผลในรูปของบาร์โค้ดหรือตัวเลขดิจิทัล โดยผู้ผลิต บางรายได้นำเอาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาใช้งานร่วมกับเครื่องมือตรวจสภาพ เป็นการเพิ่ม ความสามารถในการวิเคราะห์สภาพหล่อลื่น สภาพตลับลูกปืน เช่น ตลับลูกปืนมีสภาพดี สารหล่อลื่น ปกติ สภาพตลับลูกปืนปานกลาง สารหล่อลื่นผิดปกติ หรือสภาพตลับลูกปืนที่ตี แต่สารหล่อลื่นน้อยหรือ แห้ง เป็นต้น

นอกจากนี้ ยังสามารถออกรายงานผลทางคอมพิวเตอร์ และพิมพ์เป็นเอกสารรายงานได้ ถ้า เป็นเครื่องที่แสดงผลด้วยตัวเลขหรือบาร์โค้ด จะแสดงค่าการเสียหายของตลับลูกปืนเป็นสองค่า คือ ค่าสูงสุด (dB_m) บอกรายงานแบร์ริงกับค่าเฉลี่ย (dB_c) บอกรายงานการหล่อลื่น บางแบบมีแถบสีแสดงสภาพ ของตลับลูกปืนควบคู่กันด้วย เช่น dB_n ถึงระดับแดง แสดงว่ามีอาการผิดปกติอันตราย ต้องติดตาม สภาพอย่างใกล้ชิดวางแผนซ่อม เปลี่ยนแบร์ริง ส่วนสีเหลือง แสดงว่าผิดปกติ และสีเขียว แสดงว่ายังปกติ

นอกจากจะแสดงอาการผิดปกติของตลับลูกปืนให้ทราบแล้ว ยังสามารถคำนวณอายุการใช้งานที่เหลือว่าจะใช้งานได้นานต่อไปอีกเท่าใดด้วย

ถึงแม้ว่าเครื่องตรวจวัดจะทันสมัย สามารถบอกอาการผิดปกติของตลับลูกปืนได้ เช่น สารหล่อลื่นน้อยไม่เพียงพอ แห้งหรือตลับลูกปืนเสีย แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าความเร่งสถานะดังกล่าวจะต้องเสมอไป เนื่องจากเกิดความผิดพลาดจากการวัด เช่น วัดไม่ตรงตำแหน่ง หัววัดเบี่ยงเบนไม่ตรงระยะห่างหรือความหนาของเสื้อสวมตลับลูกปืนมากเกินไป

5. เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน เป็นเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยปกติเครื่องจักรจะทำงานโดยการรับแรงกระทำจากเครื่องต้นกำลัง ซึ่งอาจจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องยนต์ กังหัน ซึ่งจะทำให้เครื่องจักรเกิดการเคลื่อนที่ทุกทิศทางในตำแหน่งอยู่กับที่ เกิดการสั่นสะเทือนที่สามารถตรวจวัดได้เพื่อพิจารณาอาการผิดปกติที่เกิดขึ้น เช่น จากความไม่สมดุล หรือการติดตั้งเครื่องจักรไม่ตรงแนวศูนย์ (Misalignment) การเปลี่ยนแปลงจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการผิดปกติของเครื่องจักร การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนหรือความถี่จะทำให้ทราบความรุนแรงของปัญหาว่าจะต้องแก้ไขอย่างไร จะต้องตรวจวัดอย่างไรใกล้ชิดหรือซ่อมแก้ไขให้ดีขึ้น



รูปที่ 2.33 แนวทางการวิเคราะห์ความผิดปกติของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นตามทิศทางการวัด

เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนในปัจจุบันจะแบ่งการวิเคราะห์ประมวลผลแสดงผลเป็น 2 แบบ คือ

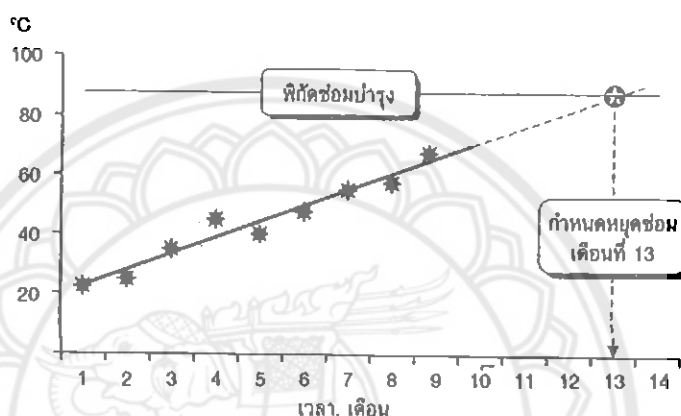
แบบที่ 1 เครื่องวัดค่าการสั่นสะเทือนโดยรวม (Overall) ความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรทั้งหมด แสดงผลในรูปของค่าตัวเลขหรือระดับ เก็บสะสมข้อมูลอัตโนมัติ ถ้าความสั่นสะเทือนเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากครั้งที่ผ่านมามาจนถึงระดับอันตรายจะเตือนให้ทราบ เช่น มีเสียง หลอดไฟ สัญญาณกระพริบ

แบบที่ 2 วิเคราะห์ความถี่สเปกตรัมของส่วนประกอบเครื่องจักรทั้งหมด เช่น แยกความถี่ขนาดการสั่นสะเทือนความถี่ต่างๆ ทำให้ทราบรายละเอียด และสาเหตุความสั่นสะเทือนที่ผิดปกติว่าเกิดจากส่วนประกอบใด จากสาเหตุใด เช่น หลวม ยึดไม่แน่น หรือการไม่สมดุล การติดตั้งไม่ตรงแนว

ศูนย์ เครื่องวัดวิเคราะห์แบบนี้เหมาะสมสำหรับใช้วัดวิเคราะห์หาสาเหตุผิดปกติว่ามาจากสาเหตุใด เพราะการวัดแบบ Overall จะแสดงค่าความรุนแรงโดยรวม อาจใช้วิธีวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงไม่ได้

2.6.12 การทำนายอายุใช้งานเครื่องจักร

การทำนายอายุใช้งานเครื่องจักร เป็นการเฝ้าติดตามบันทึกอาการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร แล้วสร้างกราฟทำนาย ดังรูปที่ 2.25 ความร้อนที่เกิดควบคุมสูงสุดที่กำหนด คือ 85 °C เมื่อเฝ้าติดตามวัดอย่างสม่ำเสมอทุกๆ 1 เดือน แล้วลากเส้นกราฟประมาณการจนถึงพิกัดซ่อมบำรุง ก็สามารถทำนายได้ว่าเดือนที่ 13 จะถึงพิกัดซ่อม



รูปที่ 2.34 ตัวอย่างการนำข้อมูลอุณหภูมิเครื่องจักรมาสร้างกราฟเพื่อกำหนดเวลาซ่อม

2.6.13 ลักษณะของการบำรุงรักษา

การบำรุงรักษาพยากรณ์จะมีลักษณะการทำงานร่วมกัน 3 อย่าง คือ

1. การสำรวจควบคุม เป็นการตรวจวัดสภาพเครื่องจักร เพื่อตรวจดูอาการผิดปกติเบื้องต้นของเครื่องจักร

2. วิเคราะห์ เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา

3. แก้ไข เป็นการซ่อมบำรุงเพื่อแก้ไขปรับปรุงให้กลับคืนสู่สภาพปกติ หรือดีขึ้นกว่าเดิม

เมื่อเป็นเช่นนี้ การตรวจวัดสุขภาพจะทำให้ทราบสาเหตุการขัดข้องได้อย่างรวดเร็ว จากแนวโน้มความรุนแรงตามข้อมูลที่ตรวจวัดตามช่วงเวลาที่เหมาะสม และสามารถพยากรณ์ว่าจะสามารถทำงานได้นานเท่าใด ก่อนที่จะเกิดการขัดข้องหรือเสีย ทั้งนี้ช่างเทคนิคและวิศวกรควรได้รับการฝึกอบรมเกี่ยวกับวิธีการตรวจวัด การวิเคราะห์และการใช้เครื่องมือวัดอย่างถูกต้อง เพื่อให้การตรวจวัดและวิเคราะห์ปัญหาทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.6.14 กระบวนการจัดทำระบบบำรุงรักษา

ผังกระบวนการจัดทำระบบบำรุงรักษาพยาบาล จะช่วยให้ทุกฝ่ายเกิดความเข้าใจ ทั้งแนวความคิด และลำดับการปฏิบัติ ซึ่งขั้นตอนที่สำคัญในการจัดทำระบบบำรุงรักษาพยาบาลมีดังนี้

1. สำรวจเครื่องจักร พิจารณาความเป็นไปได้ของเครื่องจักรที่จะนำเข้าสู่ระบบบำรุงรักษาพยาบาล การทบทวนประสิทธิภาพ ประวัติของเครื่องจักร จำนวน แบบของเครื่องจักร ระดับความสำคัญต่อขบวนการผลิต ชนิด และความถี่ของการขัดข้อง และแนวโน้มที่จะเกิดการขัดข้องอีก

2. เลือกเครื่องจักร ที่สามารถตรวจวัดควบคุมได้ง่าย และความเป็นไปได้อื่นๆที่จะนำมาใช้ในระบบ ถ้าเป็นระยะเริ่มแรกพนักงานมีประสบการณ์น้อยควรเลือกสายการผลิต กลุ่ม พื้นที่ หรือจำกัดจำนวนเครื่องจักร เพื่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน และควรเป็นเครื่องมือที่มีวิธีการใช้แบบง่ายๆ ก่อน

3. เลือกวิธีการตรวจวัด โดยพิจารณาว่าจะตรวจวัดอะไร วัดอย่างไร จะวัดเมื่อใดและจะวัดตรงจุดไหน เลือกตำแหน่งที่ดีที่สุด ที่บอกสภาพการขัดข้องของเครื่องจักร ส่วนใหญ่จะเป็นตำแหน่งที่ทำให้เกิดอาการผิดปกติ เช่น ใกล้กับตลับลูกปืน แทนเครื่องจักร หน้าแปลนต่อต้นกำลัง เป็นต้น

4. กำหนดพิกัดการบำรุงรักษา เป็นการกำหนดระดับหรือค่าพิกัดการตรวจวัด แสดงระดับการทำงานว่า “ปกติ” “ดี” “แย่” หรือ “ต้องแก้ไข” โดยอ้างอิงจากระดับมาตรฐานแต่ละประเภท เช่น การตรวจวัดความร้อนแบริงลูกปืน ระดับปกติไม่ควรเกิน 75-85 °C นอกจากนี้ เครื่องจักรที่มีการตรวจวัดประจำ และมีเป็นจำนวนมาก ควรทำแผนภูมิเส้นทางเดินการตรวจวัดตามลำดับก่อน-หลัง เพื่อประหยัดเวลาในการเดินทาง ป้องกันมิให้เดินทางซับซ้อน ย้อนไป-มา และเพื่อความสะดวกรวดเร็วในการตรวจวัด ควรกำหนดจำนวนและเครื่องหมายที่ชัดเจนบนตำแหน่งของเครื่องจักร

5. การดำเนินการ วิเคราะห์สุขภาพเครื่องจักร ความรุนแรงผิดปกติ ความถี่การตรวจวัดฝ้าระวัง การจัดสร้างข้อมูลตารางรายงานผลการตรวจวัดสภาพเครื่องจักร การสื่อสารข้อมูล การแก้ไขปัญหา เปรียบเทียบผลก่อน-หลัง เพื่อเป็นจุดการเรียนรู้ การฝึกอบรมพัฒนาพนักงาน ขอบเขตความรับผิดชอบแต่ละหน่วยงาน หน้าที่ของแต่ละคน การเชื่อมโยงข้อมูลรายการสภาพเครื่องจักรให้ฝ่ายวางแผน และฝ่ายซ่อม ตลอดจนฝ่ายบริหารโรงงานได้รับทราบ

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการ

วิธีการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของบีมเพื่องานบำรุงรักษาในโครงการนี้ แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนและระบบบำรุงรักษา
2. การวัดค่าการสั่นสะเทือนของบีม
3. วิเคราะห์ค่าที่ได้จากการวัดการสั่นสะเทือน

รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนและงานบำรุงรักษา

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนและระบบบำรุงรักษา และรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ เช่น เอกสาร หนังสือ และอินเทอร์เน็ต เป็นต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่หลากหลาย มีความถูกต้อง และเป็นปัจจุบัน เช่น นิยามศัพท์ เครื่องมือที่ใช้วัดการสั่นสะเทือน หลักการในการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน วิธีการบำรุงรักษาเครื่องจักร มาตรฐานการวิเคราะห์ ความรุนแรงของการสั่นสะเทือน เป็นต้น ข้อมูลที่รวบรวมได้จะถูกนำมาจัดเป็นหมวดหมู่ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

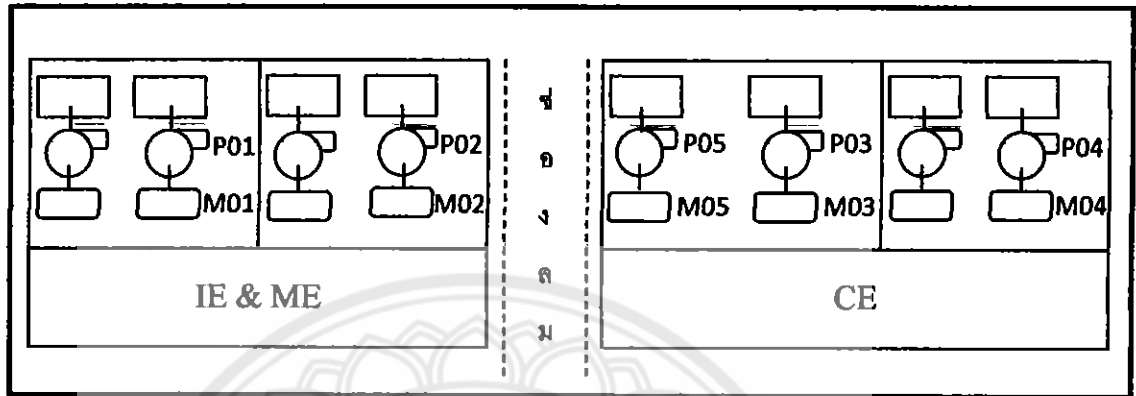
3.2 การวัดค่าการสั่นสะเทือนของระบบบีม

ขั้นตอนนี้เป็นการวัดเพื่อหาค่าการสั่นสะเทือนของระบบบีม เครื่องมือที่ใช้วัดเป็นเครื่องวัดการสั่นสะเทือนเครื่องจักร ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดการสั่นสะเทือนเครื่องจักร

โดยวัดระบบปั๊มปรับอากาศของตึกวิศวกรรมเครื่องกล (ME) และตึกวิศวกรรมโยธา (CE) ซึ่งมีระบบปั๊มทั้งหมด 8 ชุด แต่สามารถทำการวัดได้เพียง 5 ชุด เนื่องจากอีก 3 ชุดมีการชำรุดเสียหาย ไม่สามารถทำงานได้ ในระบบปั๊มแต่ละชุดจะประกอบไปด้วย Motor และ Centrifugal Pump อย่างละ 1 ตัว โดยจะทำการวัดจากมอเตอร์และปั๊มไปที่ละชุด ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนที่ปั๊มและมอเตอร์ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 5



รูปที่ 3.3 ลักษณะของปั๊ม

การวัดนี้จะต้องทำการวัด 2 แนว ได้แก่ แนวตั้ง (V; Vertical) และแนวราบ (H; Horizontal) สำหรับมอเตอร์นั้นจะวัด 2 ด้าน คือ ด้านหน้าแปลนขับ (Drive end) และด้านท้าย (Non-drive end) ส่วนปั๊มจะวัดเฉพาะด้านหน้าแปลนขับ (Drive end) เท่านั้น โดยก่อนการวัดจะต้องบ่อนค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ 1450 r/min 50 Hz ซึ่งจุดที่วัดจะแสดงดังรูปต่อไปนี้



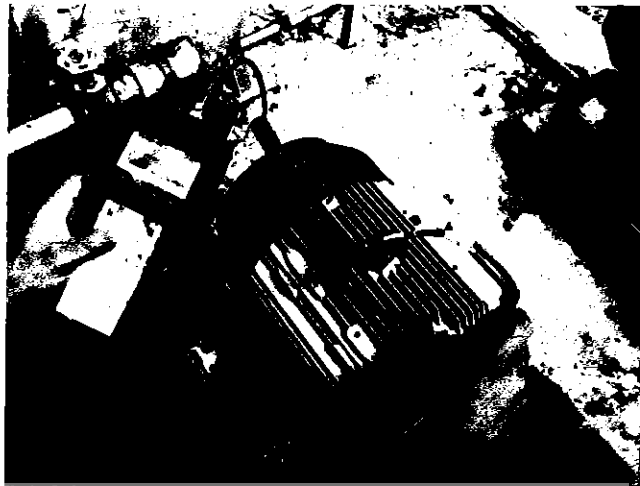
รูปที่ 3.4 จุดวัดมอเตอร์ในแนวราบ (H, Horizontal) ด้านท้าย (Non-drive end)



รูปที่ 3.5 จุดวัดมอเตอร์ในแนวตั้ง (V, Vertical) ด้านท้าย (Non-drive end)



รูปที่ 3.6 จุดวัดมอเตอร์ในแนวราบ (H, Horizontal) ด้านหน้าแปลนขับ (Drive end)



รูปที่ 3.7 จุดวัดมอเตอร์ในแนวตั้ง (V, Vertical) ด้านหน้าแปลนขับ (Drive end)



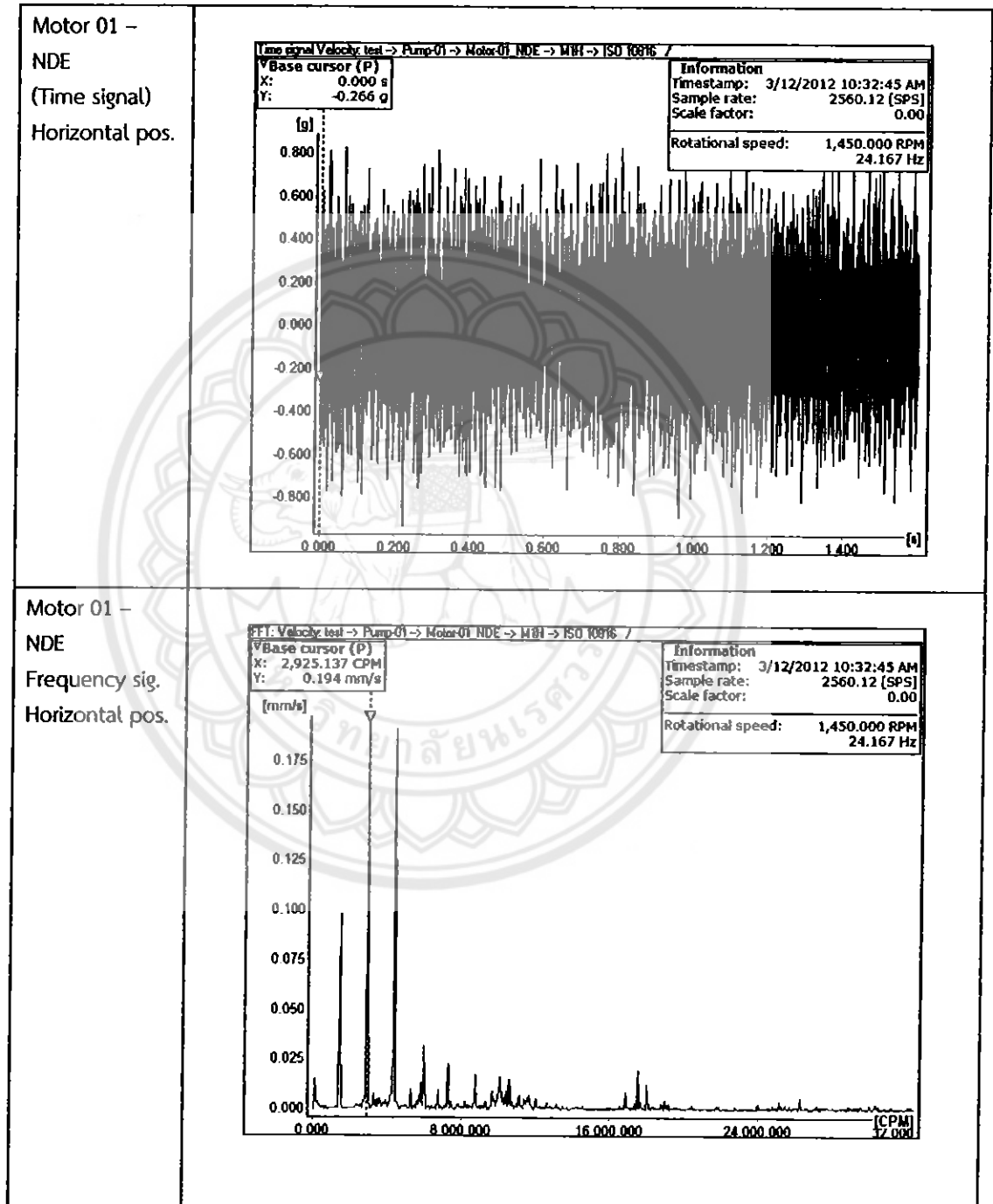
รูปที่ 3.8 จุดวัดปั๊มในแนวราบ (H, Horizontal) ด้านหน้าแปลนขับ (Drive end)



รูปที่ 3.9 จุดวัดปั๊มในแนวตั้ง (V, Vertical) ด้านหน้าแปลนขับ (Drive end)

3.3 วิเคราะห์ค่าที่ได้จากการวัดการสั่นสะเทือน

ขั้นตอนนี้จะเป็นการนำเอาค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้มาทำการวิเคราะห์ โดยผลที่ได้จะอยู่ในรูปของกราฟแสดงค่าความถี่หรือโดเมนความถี่ (Frequency domain) ซึ่งเป็นการแปลงค่ามาจากโดเมนเวลา (Time domain) ดังรูป




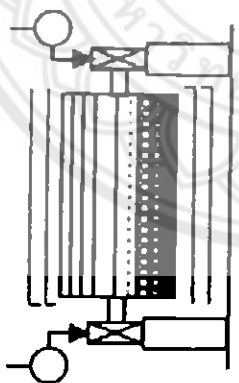
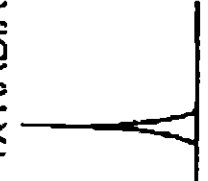
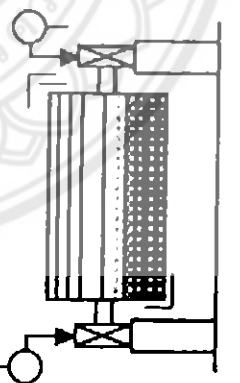
รูปที่ 3.10 ลักษณะของกราฟ Time domain และ Frequency domain


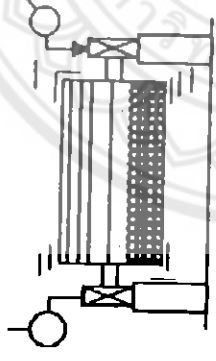

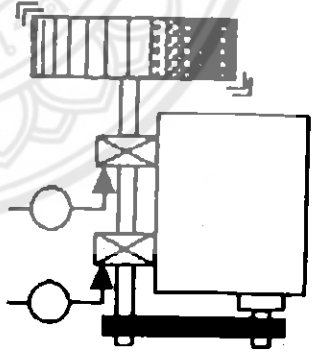
จากนั้นทำการวิเคราะห์แต่ละกราฟที่ได้ เพื่อหาระดับการสั่นสะเทือน ซึ่งกราฟได้บอกขนาดของการสั่นสะเทือนมาให้แล้ว และหาสาเหตุของการสั่นสะเทือนที่ทำให้กราฟออกมาเป็นลักษณะต่างๆ โดยเปรียบเทียบจากตารางดังต่อไปนี้

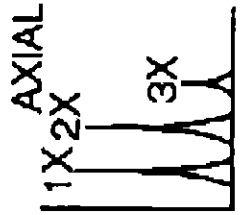
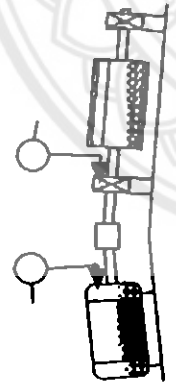
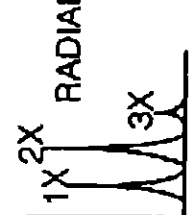
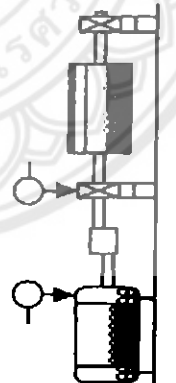
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงสภาพของเครื่องจักร

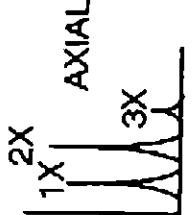

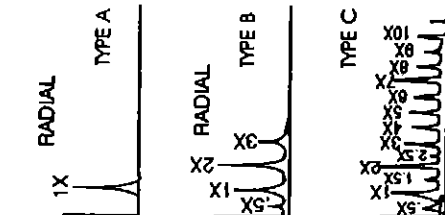
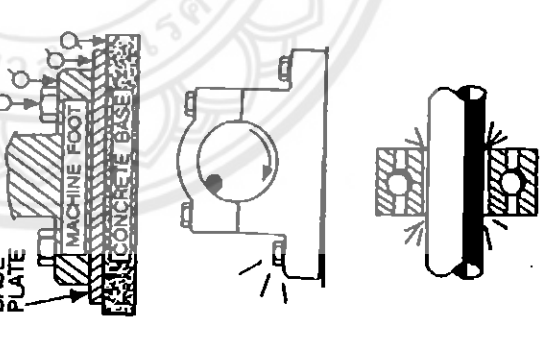
VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816					
Machine		Class I small machine	Class II medium machine	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
In/s	mm/s				
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28			
	0.02	0.45			
	0.03	0.71			
	0.04	1.12			
	0.07	1.80			
	0.11	2.80		satisfactory	
	0.18	4.50			
	0.28	7.10			
	0.44	11.20			
	0.70	18.00			
	0.71	28.00		unacceptable	
	1.10	45.00			

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (อ้างอิงจากบริษัท Schaeffler, Thailand)

ปัญหาที่เกิดขึ้น	รูปคลื่นโดยทั่วไป	ลักษณะความถี่สัมพันธ์ของเฟส	ข้อสังเกต
<p>การไม่สมดุล</p> <p>A. การไม่สมดุลสถิต</p>			<p>การไม่สมดุลสถิตนั้นอาจเป็นสภาวะอินเฟส (คลื่นทั้งสองขบวนเริ่มต้นมีเฟสตรงกัน) และสภาวะของตัวแทน ความสูงของคลื่นเสียหรือแอมพลิจูด ที่เกิดจากความไม่สมดุลนี้อาจเพิ่มขึ้นจากความเร็วกำลังสองจากตัวหมุนตัวแรก (a 3X ความเร็วที่เพิ่มขึ้น = 9X การสั่นสะเทือนที่สูงขึ้น) 1X RPM แสดงถึงสเปกตรัมทั่วไปที่สามารถแก้ไขได้โดยการแทนที่ของน้ำหนักรวมที่ถูกต้องในระนาบ ณ จุดศูนย์กลางของตัวหมุนของแรงโน้มถ่วง (CG) ความแตกต่างของเฟสโดยประมาณอยู่ที่ 0° ที่ควรมีระหว่าง OB & IB ตามแนวนอน และระหว่าง OB & IN ในแนวตรง และยังมีค่าประมาณ 90° ของความแตกต่างของเฟสระหว่างการอ่านค่าแนวนอนและแนวตั้งตรงที่มักเกิดขึ้นในแต่ละตัวหมุนที่ไม่สมดุล ($\pm 30^\circ$)</p>
<p>B. การไม่สมดุลคู่ควบ</p>			<p>ผลของความไม่สมดุลส่วนหนึ่งใน 180° ที่มีการเคลื่อนไหวแบบการมีเฟสตรงข้ามกันในทางเดียวกัน 1X RPM ยังคงแสดงถึงสเปกตรัมทั่วไป แอมพลิจูดที่แปรผันต่อความเร็วที่เพิ่มขึ้นแบบกำลังสองภายใต้ตัวหมุนตัวแรกนั้นมีความเร็วที่สำคัญ และอาจก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนสูงตามแกนและตามรัศมี การแก้ไขนั้นจะต้องแทนที่ด้วยน้ำหนักที่สมดุลของทั้งสองระนาบ จึงจำไว้ว่าต้องมีค่าโดยประมาณ 180° ของความแตกต่างทางเฟสที่จะเกิดขึ้นระหว่าง OB & IB ในแนวนอนและ ระหว่าง OB & IB ในแนวตรง และยังมีค่าประมาณ 90° ของความแตกต่างของเฟสระหว่างการอ่านค่าแนวนอนและแนวตั้งตรงในแต่ละทิศทางที่จะเกิดขึ้น ($\pm 30^\circ$)</p>

ปัญหาที่เกิดขึ้น	รูปคลื่นโดยทั่วไป	ลักษณะความถี่ของเฟส	ข้อสังเกต
<p>C. การไม่สมดุลพลวัต</p>	<p>1X RADIAL</p> 		<p>การไม่สมดุลพลวัตเป็นลักษณะเด่นของความไม่สมดุลที่พบ และยังเป็นอาการร่วมตัวระหว่างการการไม่สมดุลสถิตและการไม่สมดุลคู่ควบ 1X RPM นั้นควบคุมสเปคตรัม และยังคงต้องการการแก้ไขทั้งสองระนาบ ทั้งนี้ คาร์ซีมีความแตกต่างของเฟสระหว่างทิศทางที่ตั้งอยู่ด้านหน้า แบนซ์และด้านหลังที่ยาว ท่ออาจมีค่าไหนดังกล่าว 0° to 180° อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างทางแนวของเฟสควรสัมพันธ์กับความแตกต่างของเฟส เมื่อเปรียบเทียบกับการวัดทิศทางที่ตั้งอยู่ด้านตรงข้ามด้านซับ ($\pm 30^\circ$) ทั้งสองคือ ถ้าเกิดความไม่สมดุลที่เหนือกว่า ประมาณ 90° ของความแตกต่างของเฟสที่มักเกิดขึ้น ระหว่างการอ่านค่าแนวอนและแนวตรงในแต่ละทิศทาง ($\pm 40^\circ$)</p>
<p>D. การไม่สมดุลของโรเตอร์ปลายเพลลา</p>	<p>1X AXIAL & RADIAL</p> 		<p>การไม่สมดุลของโรเตอร์ปลายเพลลาที่ยื่นออกมานั้น เป็นสาเหตุให้เกิด 1X RPM ในอัตราที่สูง ทั้งทิศทางตามแกนและตามรัศมี การอ่านค่าตามแกนที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดการอินเฟส ในขณะที่การอ่านค่ารัศมีอาจไม่แน่นอน อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างทางแนวอนของเฟสอาจสัมพันธ์กับความแตกต่างทางแนวตรงของโรเตอร์ที่ไม่สมดุล ($\pm 30^\circ$) โรเตอร์ที่ไม่สมดุลนั้น มีทั้งการไม่สมดุลสถิตและการไม่สมดุลคู่ควบ ซึ่งแต่ละตัวอาจต้องการการแก้ไขที่คล้ายกัน ดังนั้น การแก้ไขที่หนึ่งมักอาจเป็นการวางตั้งลงระนาบให้มีปฏิสัมพันธ์กับทั้งแรงและคู่ที่ไม่สมดุลนี้</p>

ปัญหาที่เกิดขึ้น	รูปคลื่นโดยทั่วไป	ลักษณะความสัมพันธ์ของเฟส	ข้อสังเกต
<p>การเอียงศูนย์</p> <p>A. การเอียงศูนย์แนวมุม</p>	 <p style="text-align: center;">AXIAL</p>		<p>การไม่ตรงแนวศูนย์แนวมุมคือ ลักษณะที่มีการล้นสะท้อนตามแกนสูง 180° ของเฟสที่ตรงกันข้ามที่มีการเชื่อมต่อกัน โดยทั่วไปมักจะมี การล้นสะท้อนตามแกนที่สูงทั้ง 1X และ 2X RPM อย่างแรกก็ตาม ไม่ใช่เรื่องผิดปกติ ไม้ว่าจะเป็นการควบคุมแรง 1X, 2X หรือ 3X อากาศเหล่านี้อาจใช้จัดปัญหาทางการเชื่อมต่อด้วยเช่นกัน มุมที่มีลักษณะไม่ตรงอย่างมกนั้นอาจกระตุ่น 1X RPM ให้มีการประสานกัน ไม่เหมือนการคลายตัวทางเครื่องย่นตีในแบบที่ 3 การประสานกันที่ลากหลายนี้ไม่ใช่การเกิดระดับสัญญาณรบกวนในสเปกตรัมหลายๆอัน</p>
<p>B. การเอียงศูนย์แนวขนาน</p>	 <p style="text-align: center;">RADIAL</p>		<p>การไม่ตรงแนวศูนย์แนวขนานนั้นมีการล้นสะท้อนที่คล้ายกันแนวมุม แต่จะมีการล้นสะท้อนของรัศมีที่ใกล้เคียงกับ 180° ในเฟสที่ตรงข้ามของการเชื่อมต่อกัน 2X นั้นมักจะใหญ่กว่า 1X แต่ความสูงของมุมจะเกี่ยวข้องกับ 1X ที่ถูกแสดงในชนิดของการเชื่อมต่อกันและการก่อสร้าง เมื่อไม่ว่ามุมหรือรัศมีของมุมที่ไม่ตรงมีความรุนแรงมากขึ้น มันอาจสร้างจุดสูงสุดของค่าแอมพลิจูดในจุดที่สูงกว่าการประสานกัน (4X-8X) หรือแม้แต่ชุดการประสานกันทั้งหมดที่มีความถี่สูง ที่มีความคล้ายคลึงกับ การคลายตัวทางเครื่องจักรกล ชนิดของการเชื่อมต่อกันและอุปกรณ์บ่อยครั้งอาจมีอิทธิพลต่อสเปกตรัมทั้งหมด เมื่อการไม่ตรงแนวศูนย์นั้นเกิดขึ้น ซึ่งไม่ทำให้เกิดระดับสัญญาณรบกวนแต่อย่างใด</p>

ปัญหาที่เกิดขึ้น	รูปคลื่นโดยทั่วไป	ลักษณะความสัมพันธ์ของเฟส	ข้อสังเกต
C. การเอียงศูนย์ของแบริ่งภายในเพลลา			<p>ทิศทางที่ตั้งขึ้นนั้นอาจถูกพิจารณาได้ว่าเป็นการสั่นสะเทือนตามแกน ซึ่งอาจทำให้เกิดการเคลื่อนแนวแบบบิดตัวมุมผสมประมาณ 180° ที่สลับจากบนลงล่าง หรือข้างหนึ่งไปอีกข้างหนึ่ง ดังที่กล่าวทิศทางของแกนในทิศทางเดียวกัน ความพยายามที่จะดีเส้นการเชื่อมต่อหรือความสมดุลที่ตัวหมุนซึ่งไม่อาจบรรเทาปัญหาได้ ทิศทางนั้นมักจะต้องถูกปล่อยออกและมีการติดตั้งที่ถูกต้องเข้าไปแทน</p>
การสีกทรอ หลวมคลายของชิ้นส่วนเครื่องจักร			<p>การคลายตัวทางเครื่องจักรกลถูกแบ่งเป็นทั้ง การสั่นสะเทือนสเปกตรัมชนิด A, B หรือ C ชนิด A นั้นเกิดจากการคลายตัวของโครงสร้างหรือความไม่แข็งแรงของเครื่องยนต์ พื้นฐานหรือ รากฐาน และยังรวมถึงปูนที่เสื่อมสภาพ ข้อต่อที่หมดอายุ หลวม และการบิดเบี้ยวของกรอบหรือฐาน เช่น พื้นอ่อน ๆ การวิเคราะห์เฟสที่พลา นั้นยังแยกค่าโดยประมาณของค่าเฟสที่แตกต่างจาก 90° ถึง 180° ระหว่างการวัดข้อต่อแนวตรง บนเครื่องจักร และวัสดุยึดพื้น หรือตัวมันเอง</p> <p>ชนิด B นั้นมักเกิดโดยการหลวมของน็อต การแตกหักในกรอบโครงสร้างหรือในฐานราก</p> <p>ชนิด C นั้น โดยปกติแล้วจะเกิดขึ้นโดยการต่อที่ไม่พอดีระหว่างส่วนประกอบที่อาจมีการประสานหลายจุด เนื่องจากไม่มีจุดเชื่อมต่อที่ตอบสนองส่วนที่หลวมจากแรงบิดตามทิศทางจากตัวหมุน ซึ่งทำให้เกิดการตัดช่วงเวลาคืบ และการเกิดระดับสัญญาณรบกวนในสเปกตรัมชนิด C นี้มักเกิดจากเส้นทางเกิดหลวมในฝาครอบ การหลวมและการเปิดออกของคานานี้เป็นที่ชัดเจนว่า ไม่ว่าจะเป็นทิศทางของปลายแขนหรือเครื่องมือในก้ามมวน และใบพัดที่หลวม เฟสชนิด C นี้มักจะไม่ใช่เสียงรบกวนจากความหลากหลายจากเครื่องมือวัดหนึ่ง ๆ โดยเฉพาะ ถ้าตัวหมุนนั้นเปลี่ยนทิศทางจากด้านหนึ่งไปด้านหนึ่ง การคลายตัวนี้บ่อยครั้ง</p>

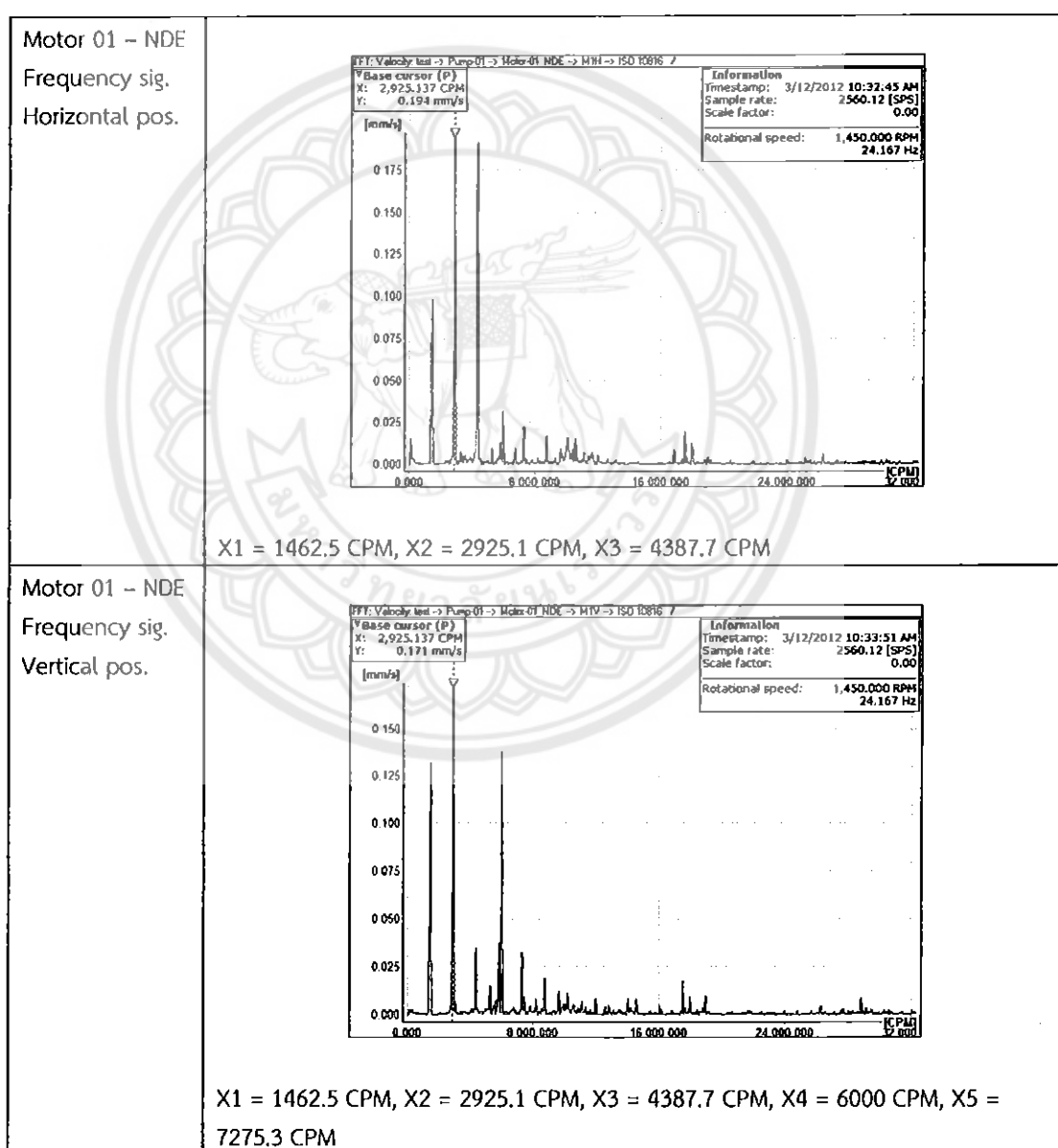
		<p>มักจะมีทิศทางที่สูง และอาจมีการอ่านได้ที่หลากหลาย เมื่อเปรียบเทียบกับการเพิ่มขึ้นที่ระดับ 30° ในรัศมีทิศทางทั้งหมด และยังสังเกตได้ว่าการคลายตัวนี้จะเกิดขึ้นบ่อย ๆ ในส่วนของ การประสานย่อย ๆ ที่ความแน่นอนเป็น ½ หรือ 1/3X RPM (.5X, 1.5X, 2.5X, และอื่น ๆ)</p>
--	--	--



บทที่ 4

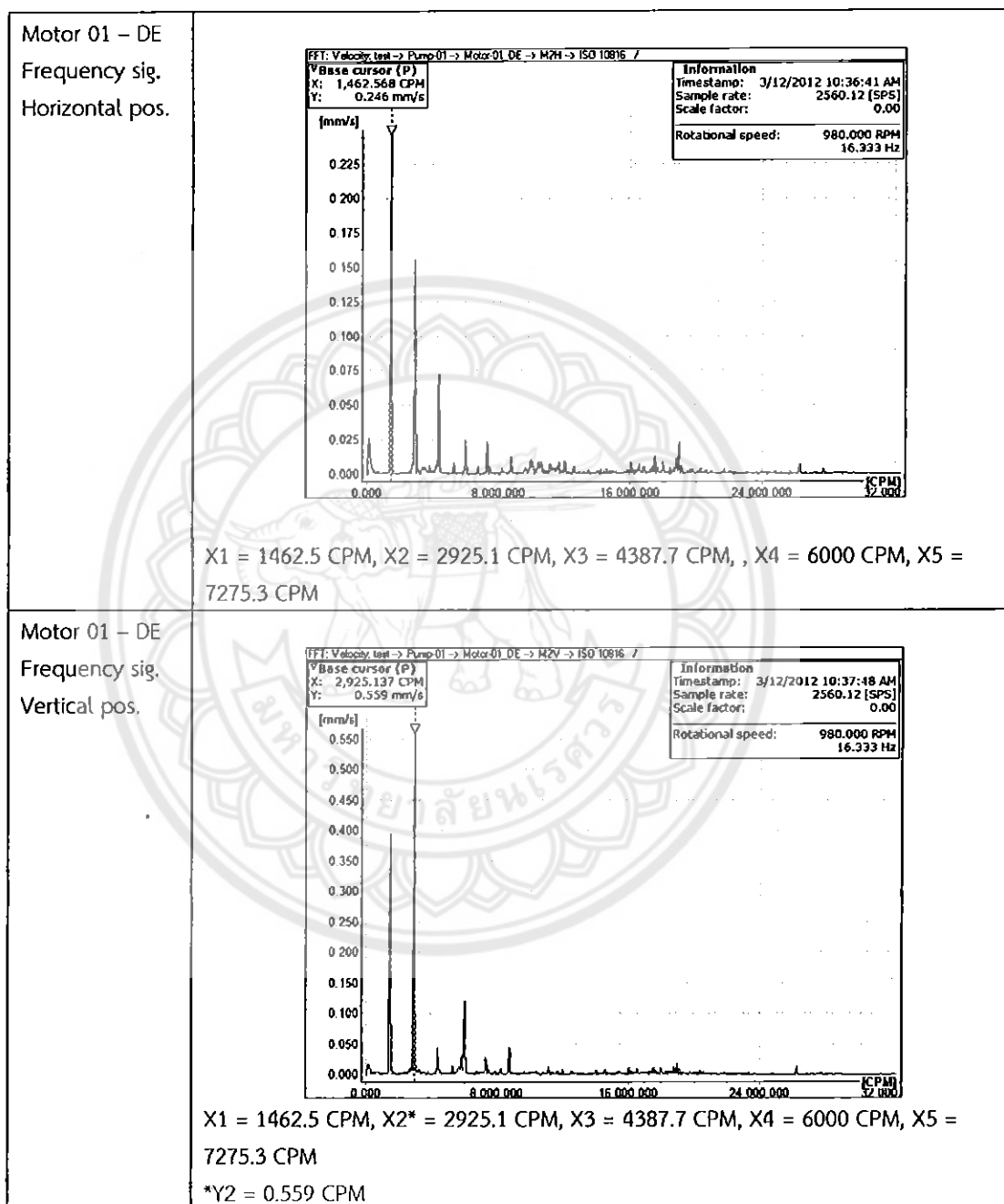
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

จากการทดลองวัดการสั่นสะเทือนของปั๊ม ทำให้ได้กราฟที่แสดงลักษณะของการสั่นสะเทือนในแนว Horizontal และ Vertical ทั้งด้าน Non-drive end และด้าน Drive end ตั้งแต่ปั๊มตัวที่ 1 ถึงปั๊มตัวที่ 5 ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุของการสั่นสะเทือนได้โดยเปรียบเทียบลักษณะของกราฟและระดับของการสั่นสะเทือนได้จากตารางที่ 3.1 และ 3.2 โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ในแต่ละกราฟดังต่อไปนี้



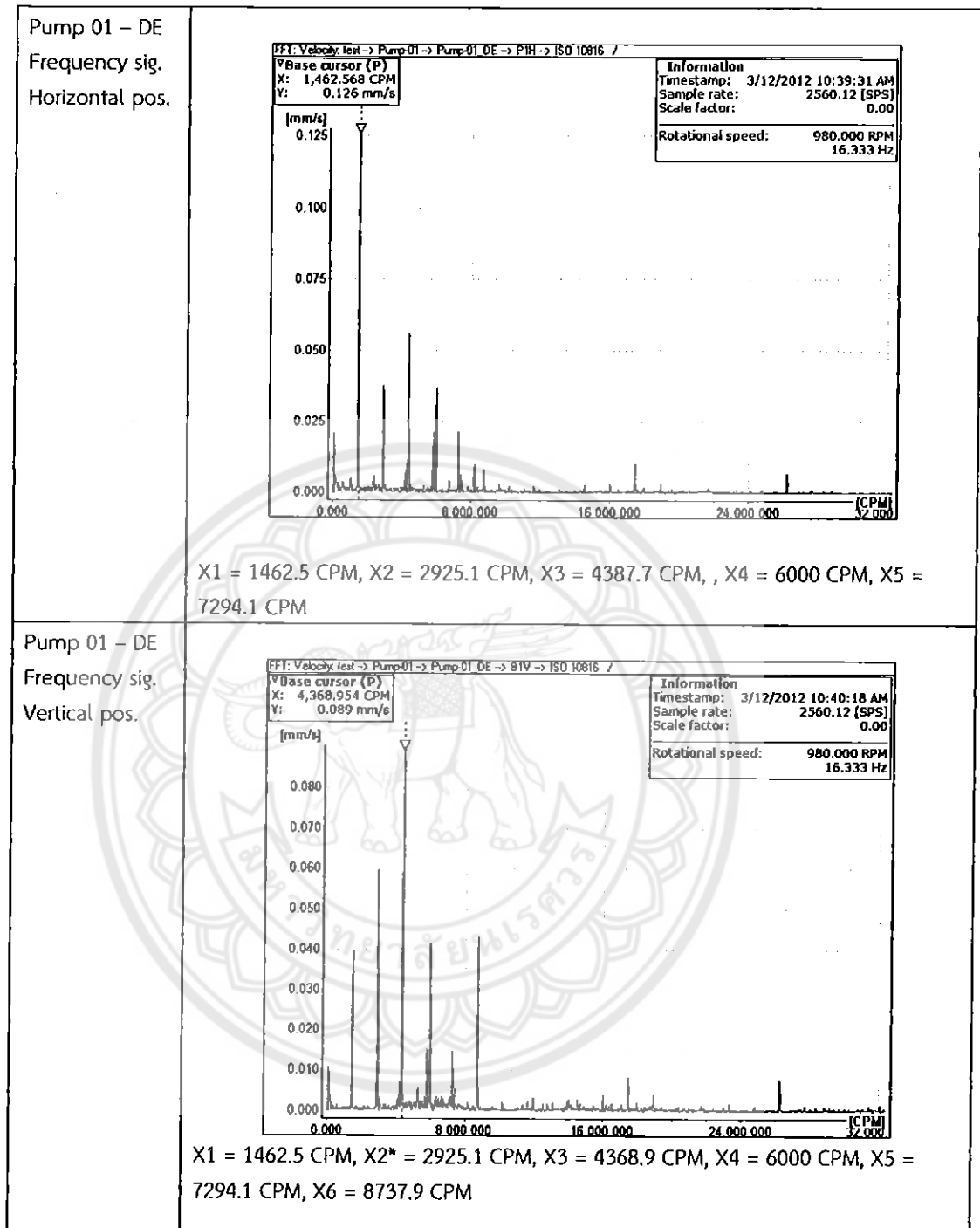
รูปที่ 4.1 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 01 – Motor 01 Non-drive end

จากรูปที่ 4.1 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะของกราฟคล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุเกิดจากการเอียงศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่นและอยู่ในแนวรัศมี และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ ดี



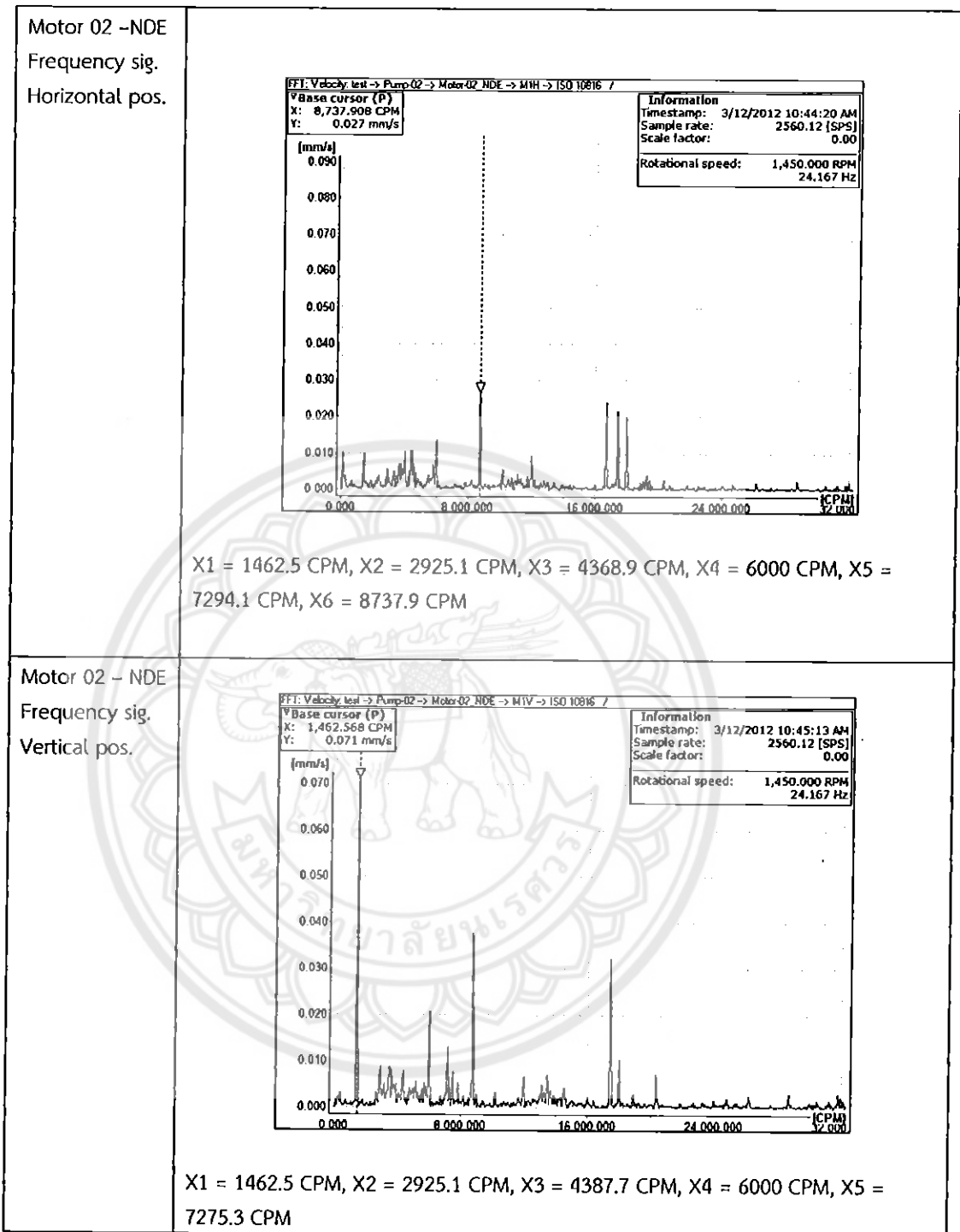
รูปที่ 4.2 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 01 – Motor 01 Drive end

จากรูปที่ 4.2 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะของกราฟคล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุเกิดจากการเอียงศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่นและอยู่ในแนวรัศมี และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ ดี



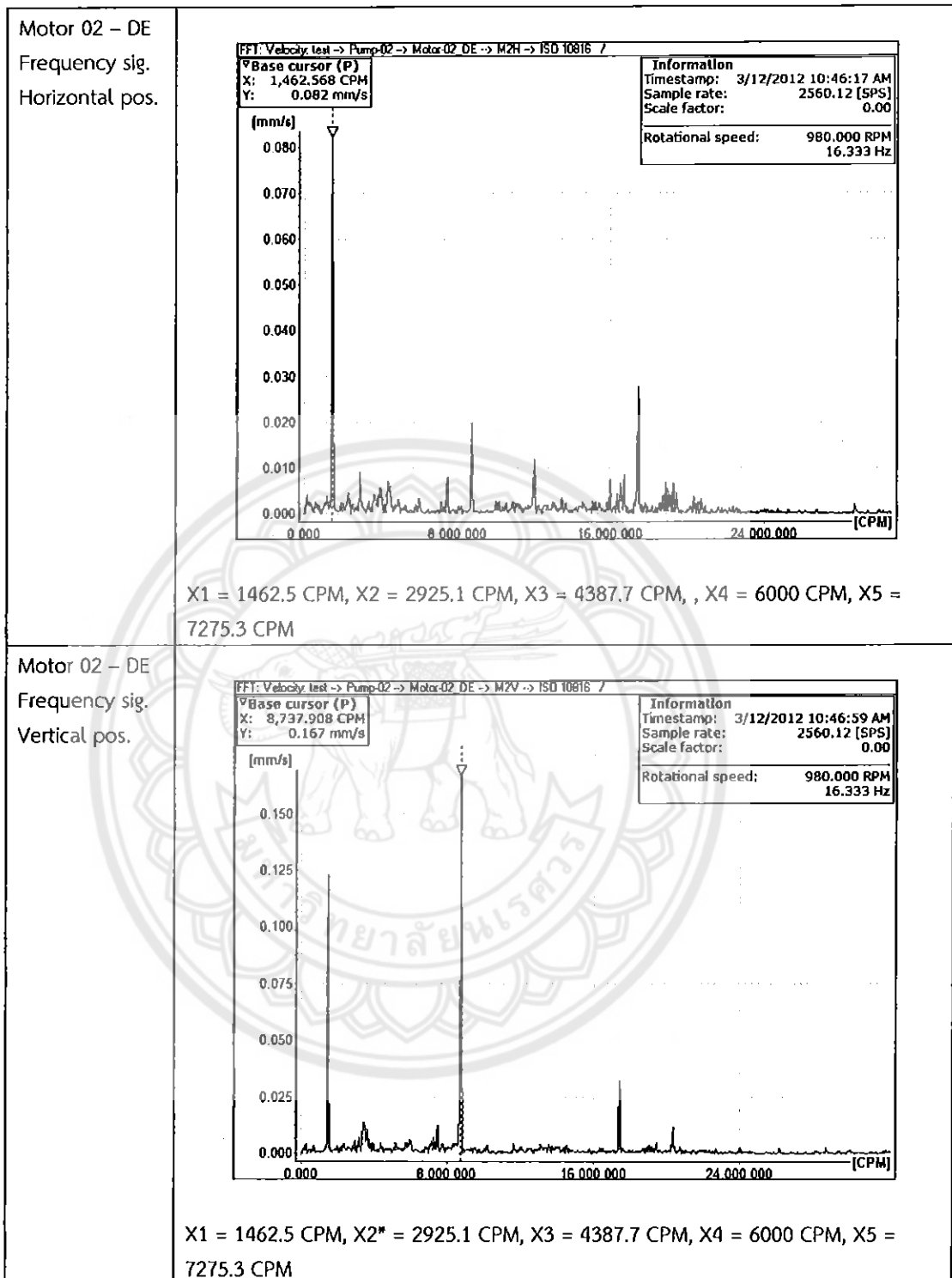
รูปที่ 4.3 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 01 – Pump 01 Drive end

จากรูปที่ 4.3 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะของกราฟคล้ายกับรูปที่ 6 และ ในตารางที่ 3.2 สาเหตุเกิดจากการเอียงศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่นและอยู่ในแวนรัศมี และยังคล้ายกับรูปที่ 8 ชนิด B สาเหตุเกิดจากการสีกหรือหลวมคลายของชิ้นส่วน คือ สกรูหลวม ยึดไม่แน่น หรือฐานยึดมีการแตกร้าว และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ ดี



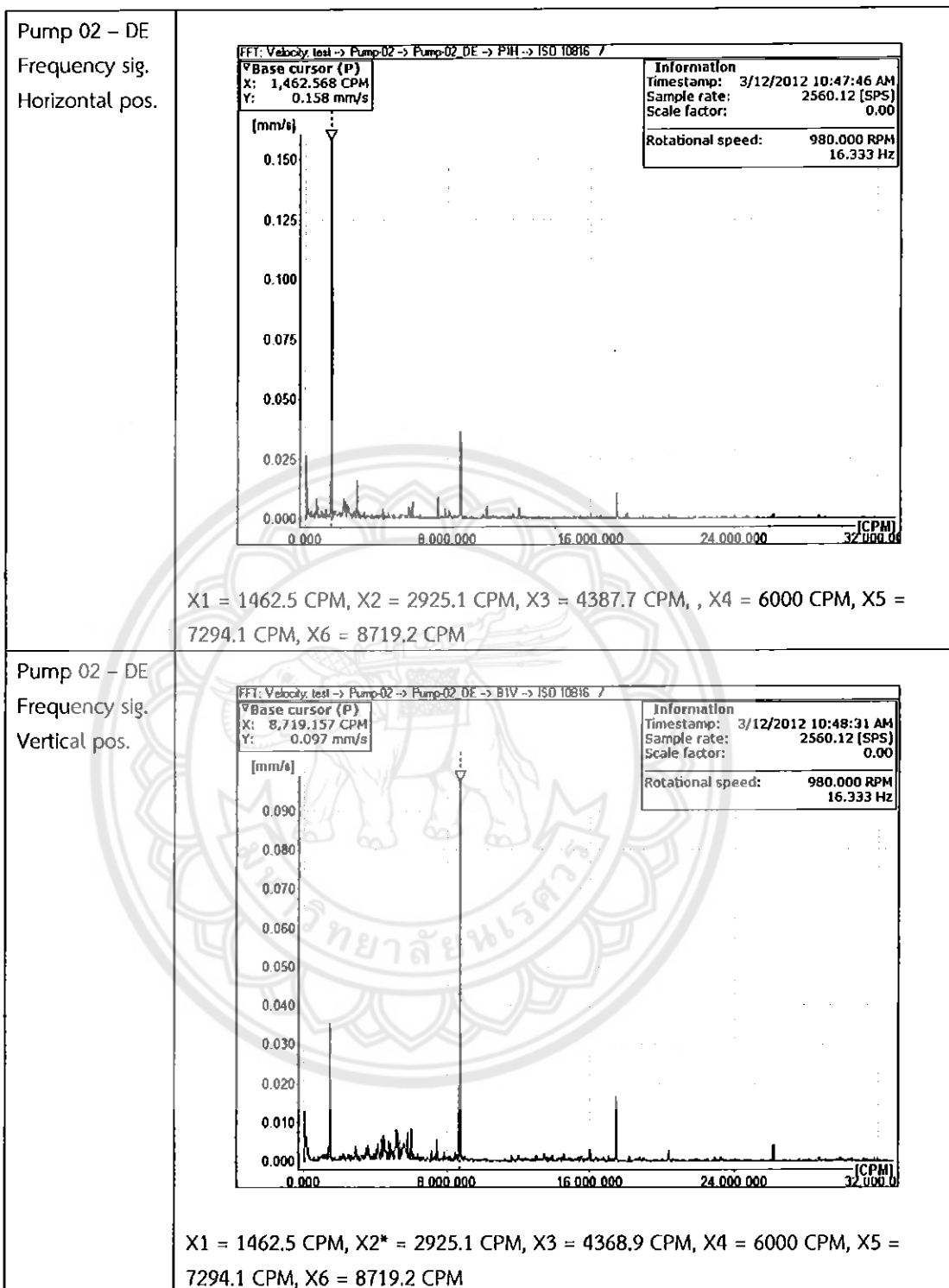
รูปที่ 4.4 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 02 – Motor 02 Non-drive end

จากรูปที่ 4.4 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะของกราฟคล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุเกิดจากการเอียงศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่นและอยู่ในแนวรัศมี และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ ดี



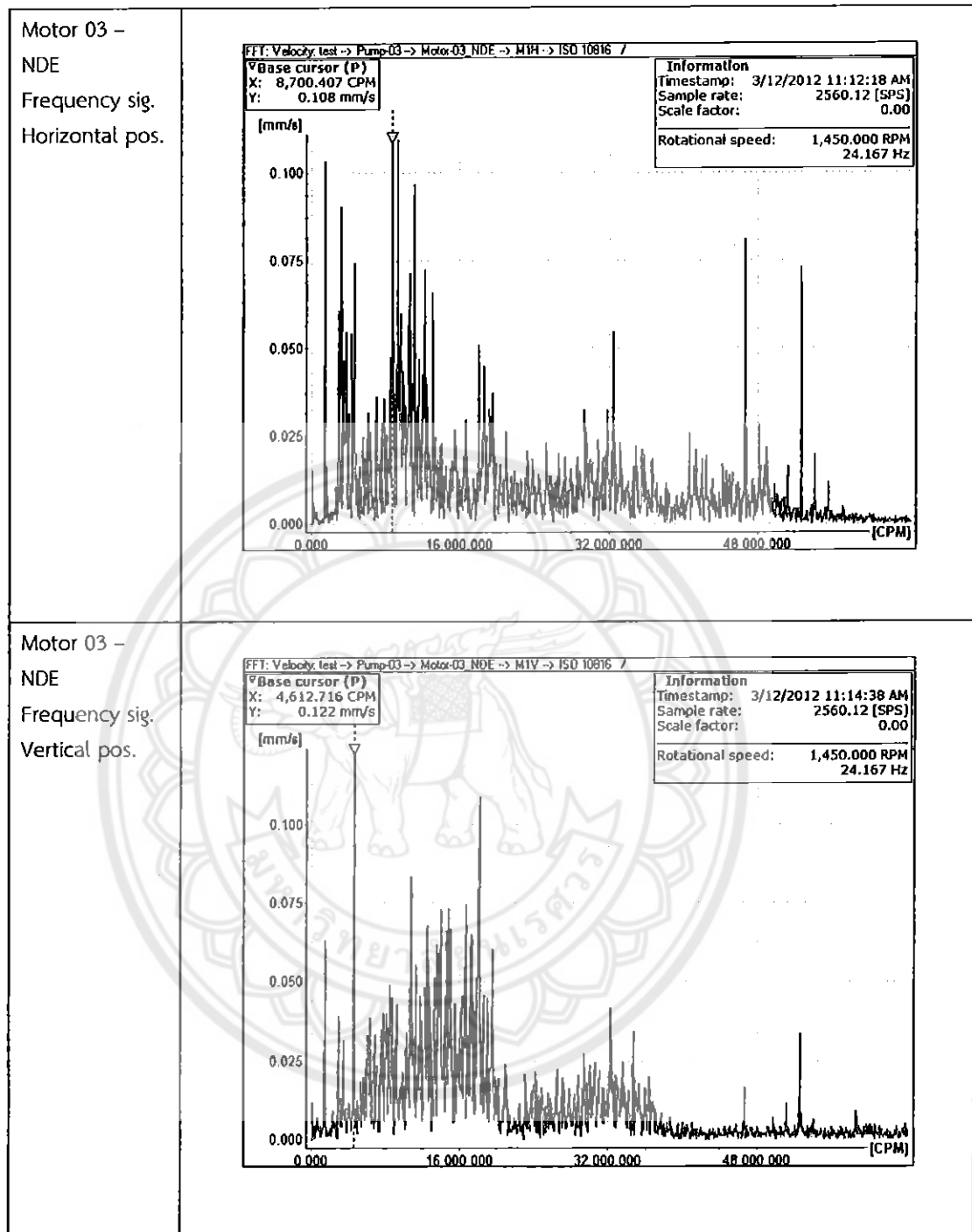
รูปที่ 4.5 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 02 – Motor 02 Drive end

จากรูปที่ 4.5 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะของกราฟคล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุเกิดจากการเอียงศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่นและอยู่ในแนวรัศมี และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ ดี



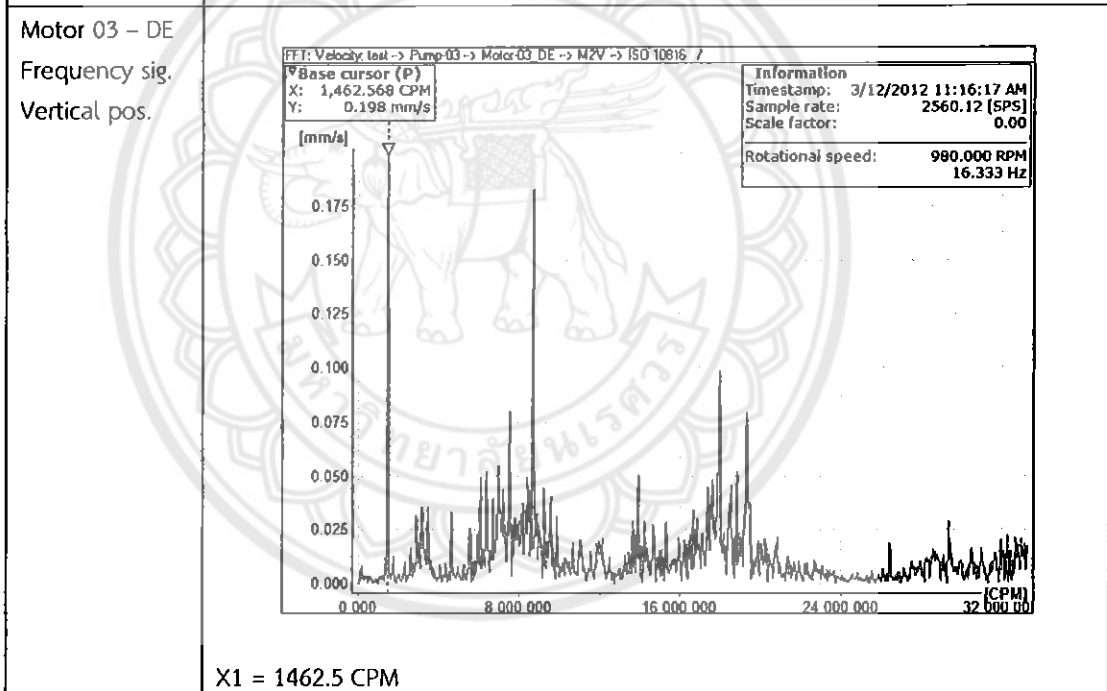
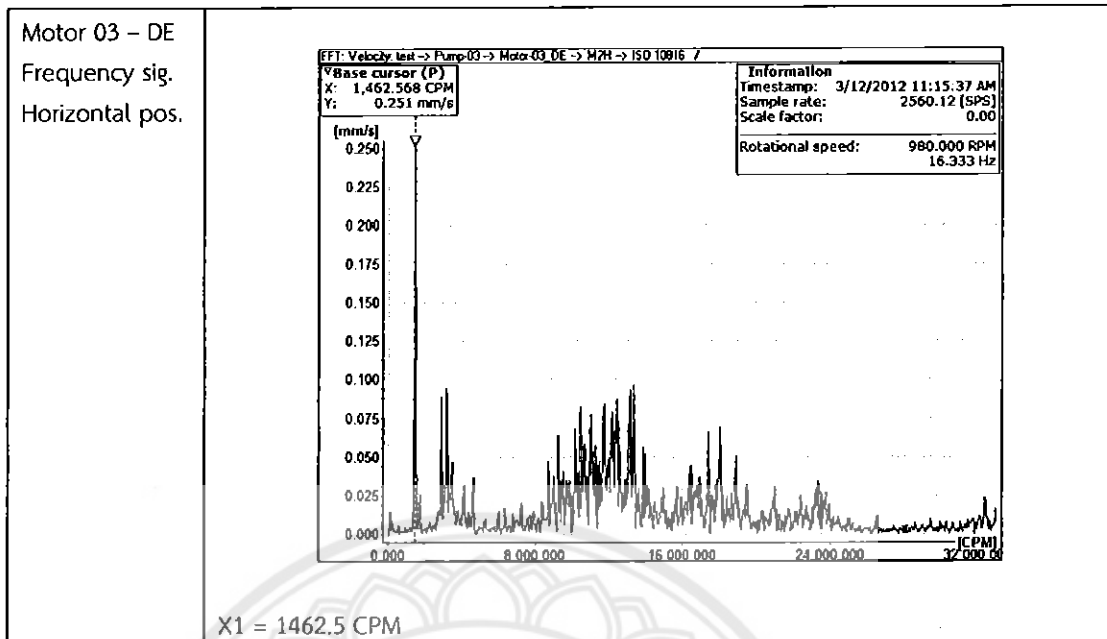
รูปที่ 4.6 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 02 – Pump 02 Drive end

จากรูปที่ 4.6 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะของกราฟคล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุเกิดจากการเยื้องศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่นและอยู่ในแนวรัศมี และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ ดี



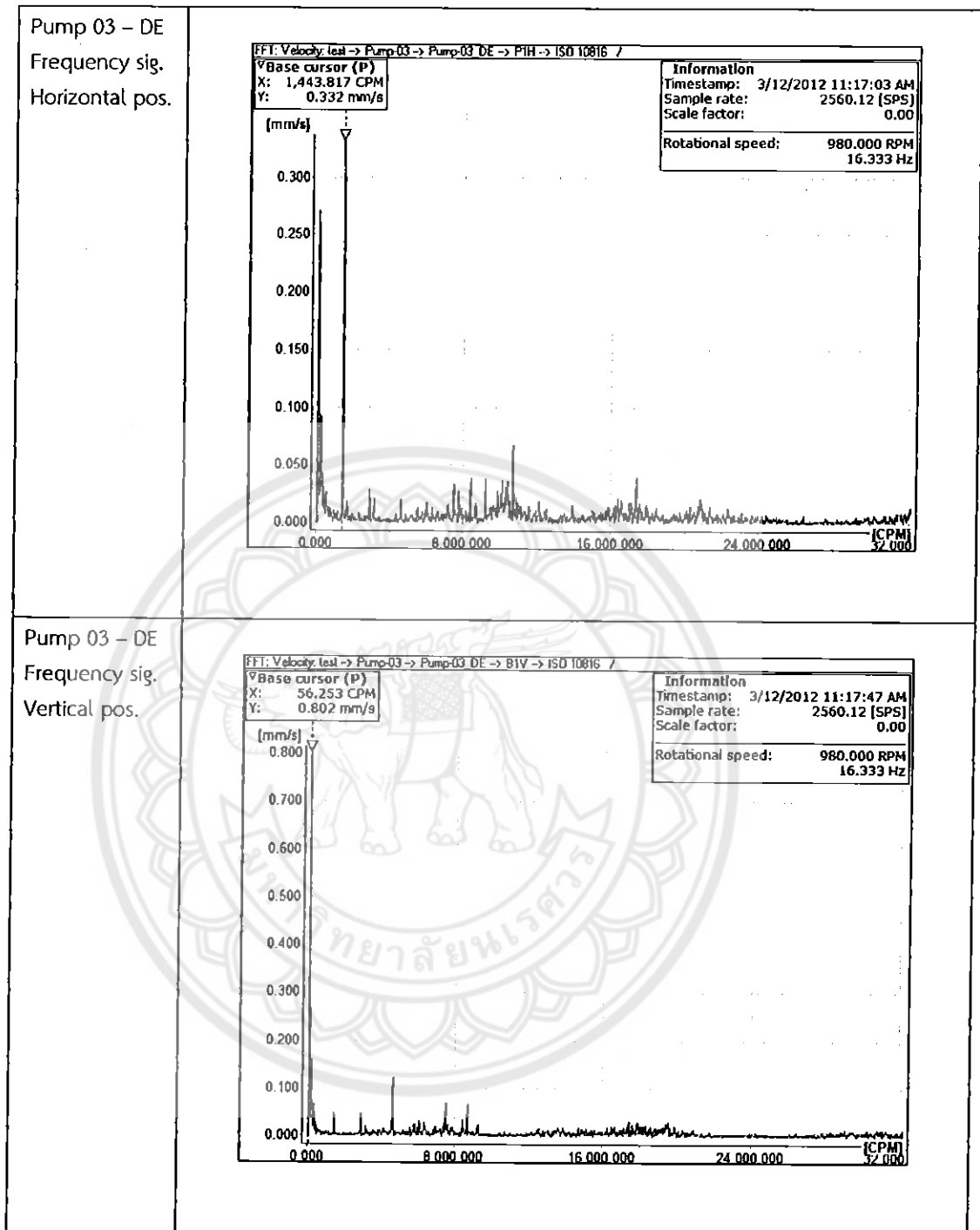
รูปที่ 4.7 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 03 – Motor 03 Non - Drive end

จากรูปที่ 4.7 พบว่าจากการทดลองทั้งสองครั้งค่าที่ปรากฏมีลักษณะผิดปกติทั้งสองครั้งโดยกราฟมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 8 ชนิด C โดยลักษณะของกราฟปรากฏฮาร์โมนิคไม่ชัดเจนเกิดระดับสัญญาณรบกวนในสเปกตรัมซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการต่อที่ไม่พอดีระหว่างส่วนประกอบ การหลวมของฝาครอบ ฐานยึดไม่แน่นโดยระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ ดี



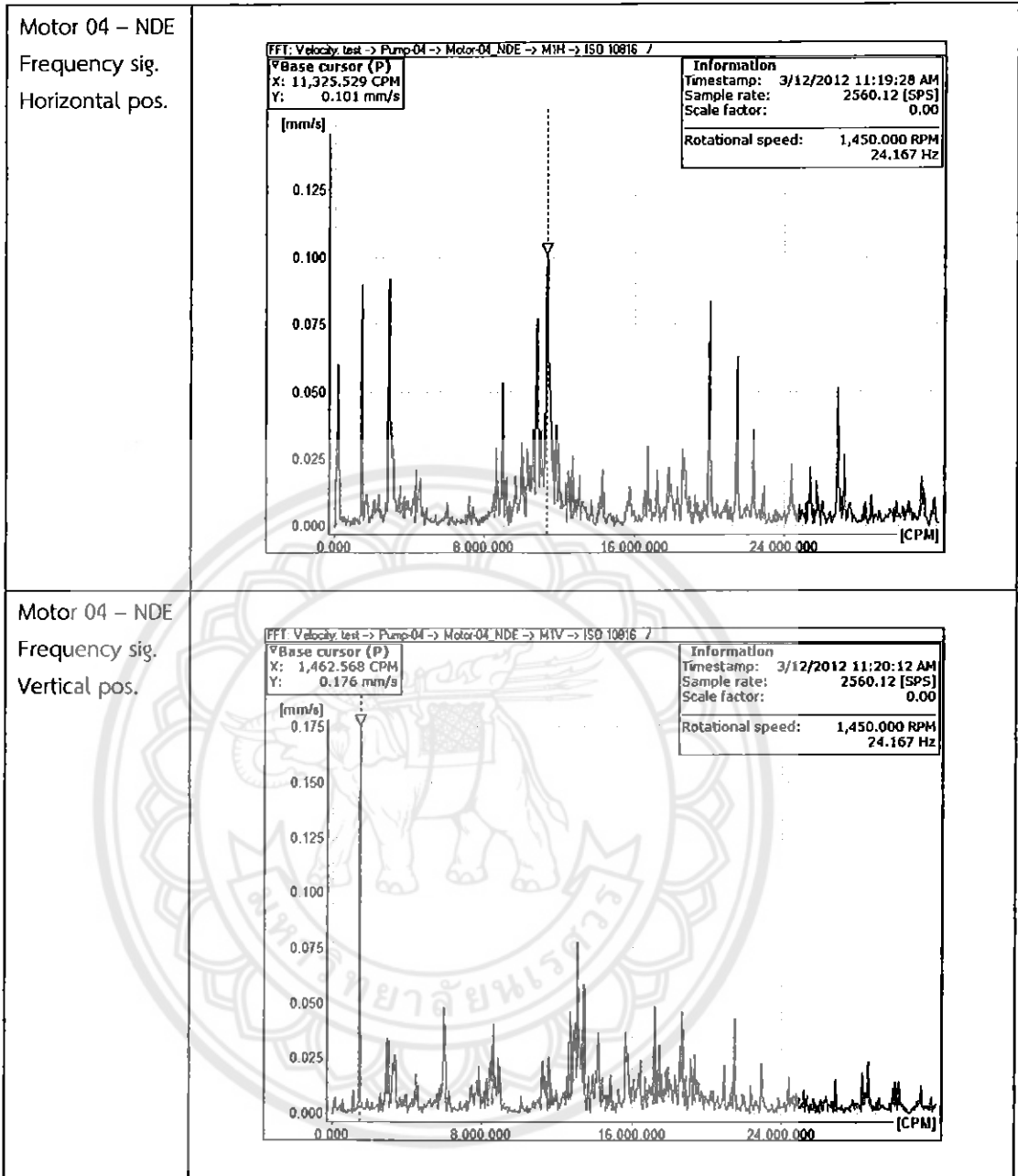
รูปที่ 4.8 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 03 – Motor 03 Drive end

จากรูปที่ 4.8 พบว่าจากการทดลองทั้งสองครั้งค่าที่ปรากฏมีลักษณะผิดปกติทั้งสองครั้งโดยกราฟมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 8 ชนิด C โดยลักษณะของกราฟปรากฏารโมนิคไม่ชัดเจนเกิดระดับสัญญาณรบกวนในสเปกตรัมซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการต่อที่ไม่พอดีระหว่างส่วนประกอบ การหลวมของฝาครอบ ฐานยึดไม่แน่นโดยระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ ดี



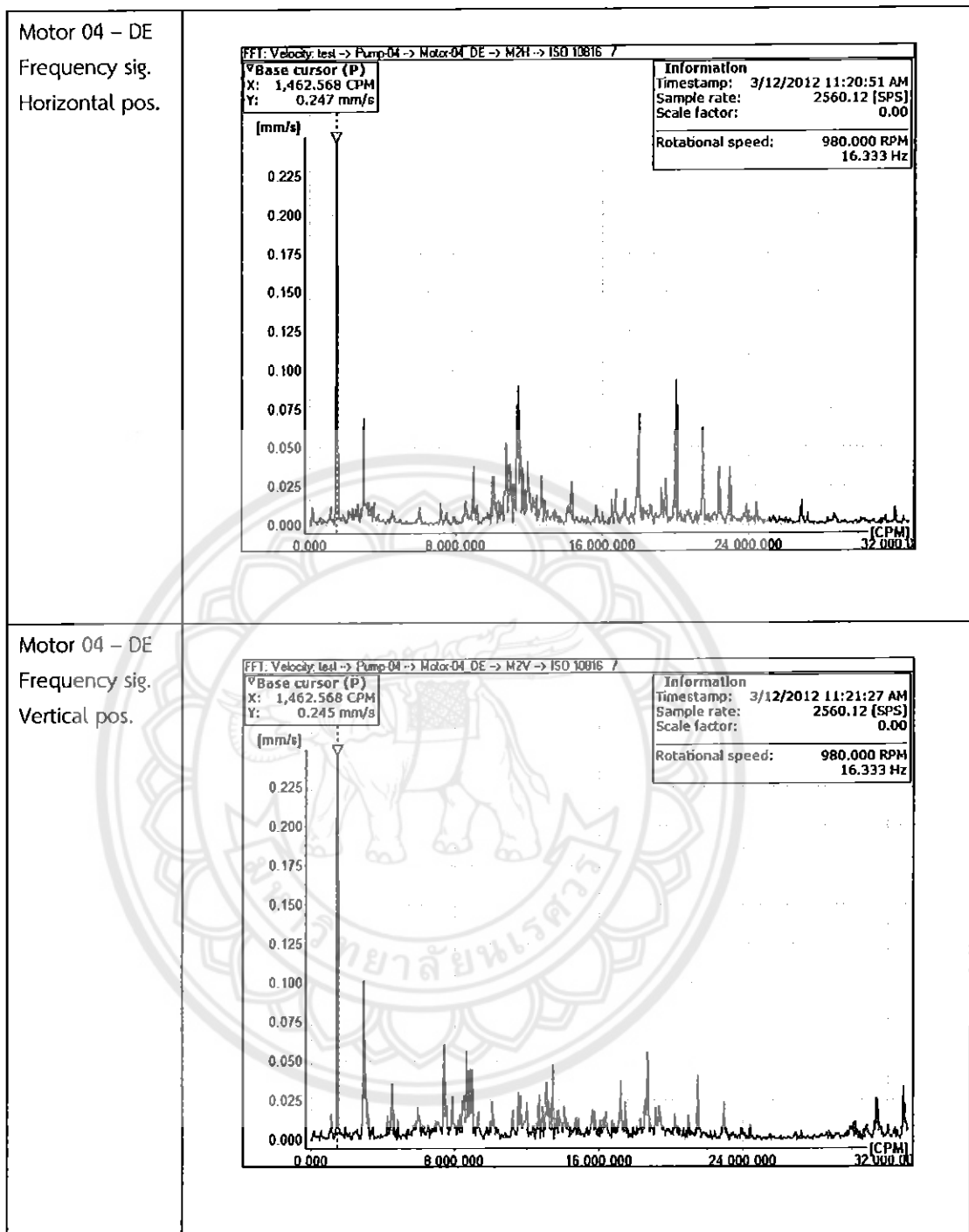
รูปที่ 4.9 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 03 – Pump 03 Drive end

จากรูปที่ 4.9 พบว่าจากรูปที่ 4.4 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะของกราฟคล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุเกิดจากการเยื้องศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่นและอยู่ในแนวรัศมี และมีสาเหตุของการไม่สมดุล และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ ดี



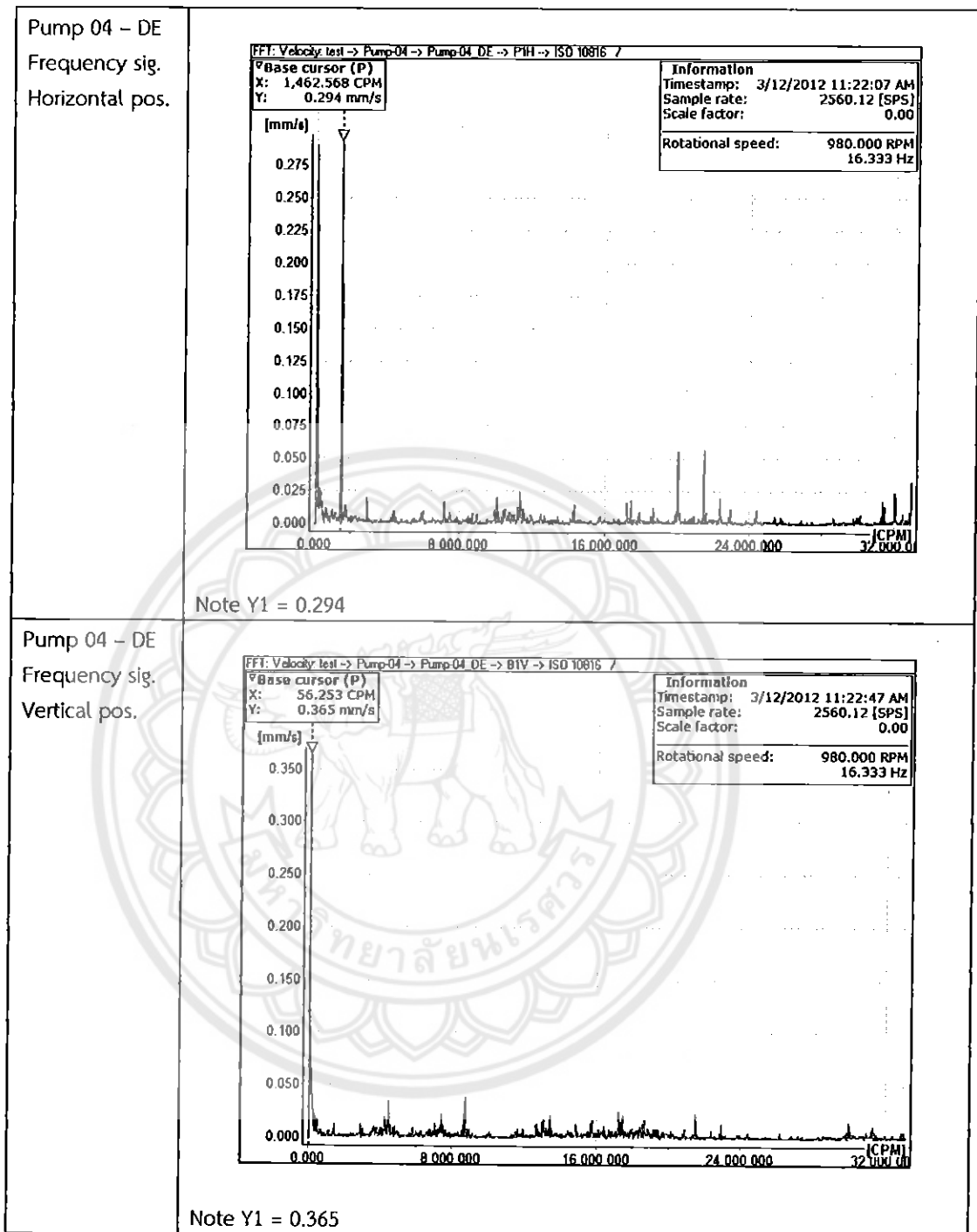
รูปที่ 4.10 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 04 – Motor 04 Non-Drive end

จากรูปที่ 4.10 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะของกราฟคล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุเกิดจากการเอียงศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่นและอยู่ในแนวรัศมี และยังคล้ายกับรูปที่ 8 ชนิด C สาเหตุเกิดจากการสึกหรอหลวมคลายของชิ้นส่วน คือ อาจเกิดการหลวมคลายระหว่างเพลาสองเพลาสองของแบร์ริง และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ ดี



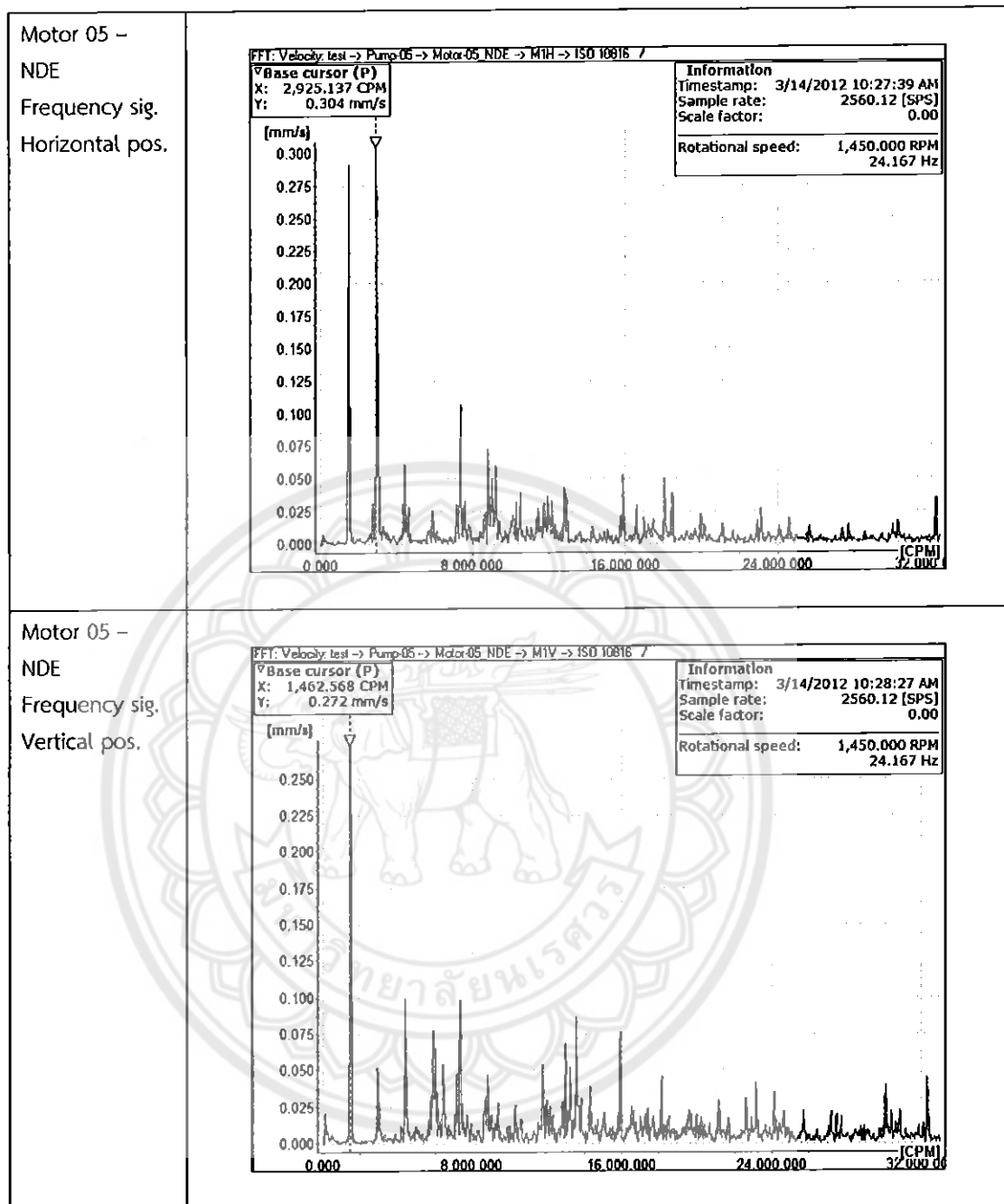
รูปที่ 4.11 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 04 – Motor 04 Drive end

จากรูปที่ 4.11 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะของกราฟคล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุเกิดจากการเอียงศูนย์แนวขนานและการไม่สมดุล เนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่นและอยู่ในแวนรัศมี และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ ดี



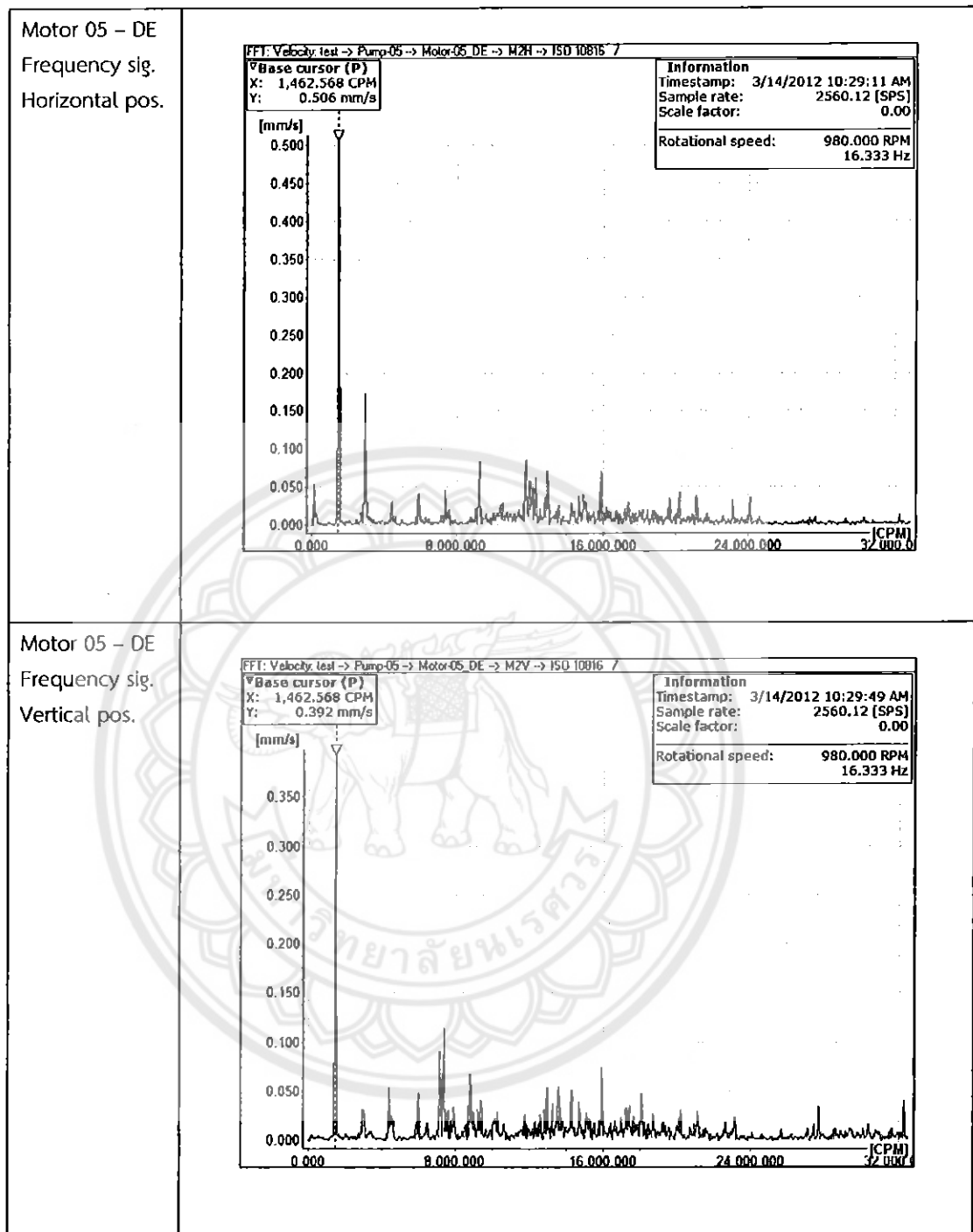
รูปที่ 4.12 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 04 - Pump 04 Drive end

จากรูปที่ 4.12 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะของกราฟคล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุเกิดจากการเอียงศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่นและอยู่ในแนวรัศมีและจากฮาร์โมนิกที่ 2 และยังคงคล้ายกับรูปที่ 8 ชนิด A สาเหตุเกิดจากโครงสร้างหลวมหรือแท่นรองรับเสียรูปบิดเอียงไม่แข็งแรงพบวาระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ ดี



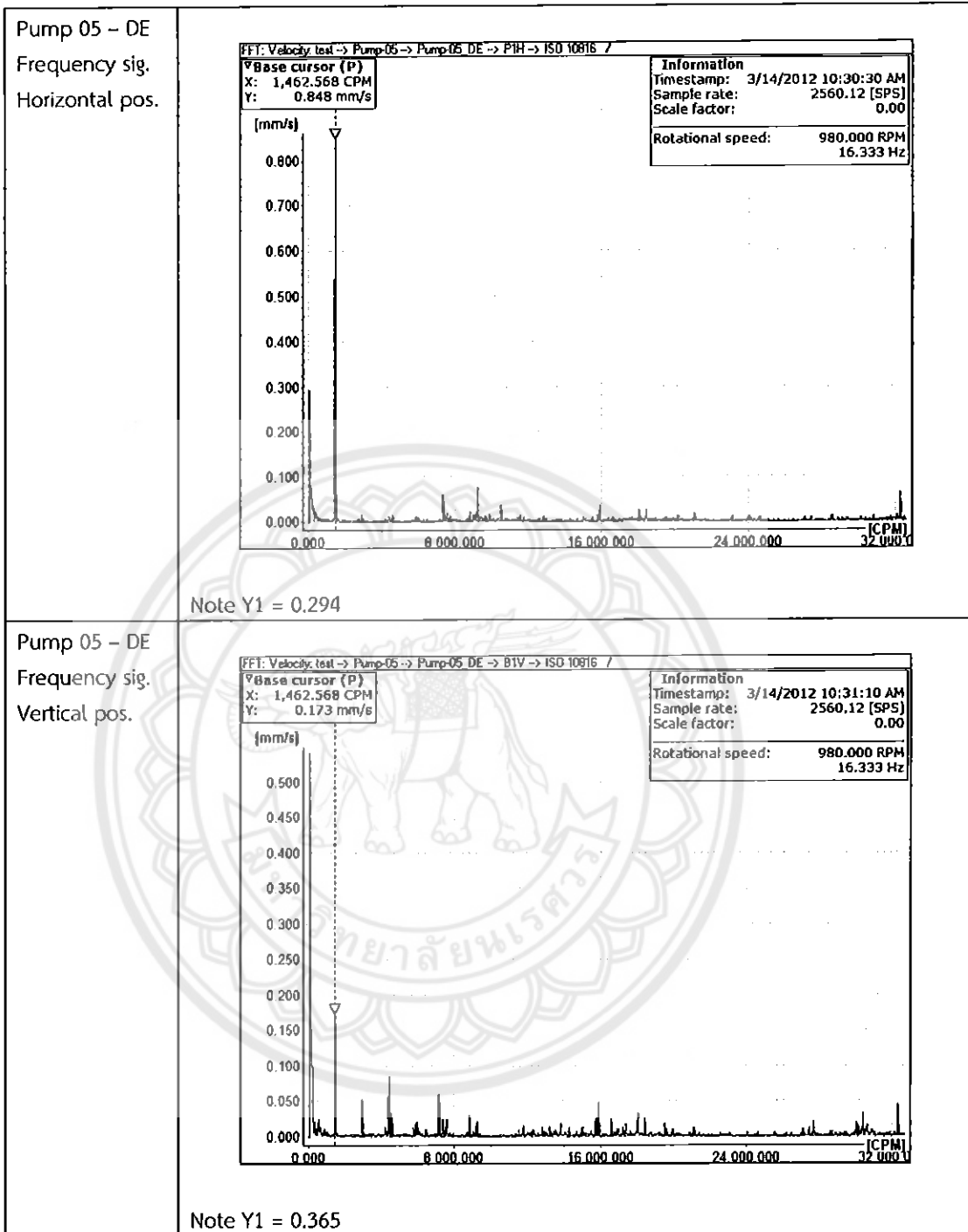
รูปที่ 4.13 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 05 – Motor 05 Non- Drive end

จากรูปที่ 4.13 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะของกราฟคล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุเกิดจากการเยื้องศูนย์แนวขนานและการไม่สมดุล เนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่น และอยู่ในแนวรัศมี และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ ดี



รูปที่ 4.14 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 05 – Motor 05 Drive end

จากรูปที่ 4.14 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะของกราฟคล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2 สาเหตุเกิดจากการเอียงศูนย์แนวขนานและการไม่สมดุล เนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่นและอยู่ในแวนวิคส์มีและจากฮาร์โมนิกที่ 2 และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ ดี



รูปที่ 4.15 ลักษณะการสั่นสะเทือนของ Pump 05 - Pump 05 Drive end

จากรูปที่ 4.15 พบว่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะของกราฟคล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2 แต่ค่าเกินมาตรฐานสาเหตุเกิดจากการเอียงศูนย์แนวขนานและการไม่สมดุล เนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่นและอยู่ในแนวรัศมี และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ ยอมรับได้

ตารางที่ 4.1 สาเหตุและระดับการสิ้นเปลืองของมอเตอร์แต่ละตัว

มอเตอร์	ลักษณะกราฟ ความถี่	สาเหตุ	ระดับการ สิ้นเปลือง
Pump 01 – Motor 01 Non-drive end	คล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2	การเยื้องศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่น และอยู่ในแนวรัศมี	ดี
Pump 01 – Motor 01 Drive end	คล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2	การเยื้องศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่น และอยู่ในแนวรัศมี	ดี
Pump 02 – Motor 02 Non-drive end	คล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2	การเยื้องศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่น และอยู่ในแนวรัศมี	ดี
Pump 02 – Motor 02 Drive end	คล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2	การเยื้องศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่น และอยู่ในแนวรัศมี	ดี
Pump 03 – Motor 03 Non-drive end	คล้ายกับรูปที่ 8 ชนิด C ในตารางที่ 3.2	กราฟมีลักษณะผิดปกติเกิดระดับสัญญาณ รบกวนในสเปกตรัมซึ่งสาเหตุอาจเกิดจาก การต่อที่ไม่พอดีระหว่างส่วนประกอบ การ หลวมของฝาครอบ ฐานยึดไม่แน่น	ดี
Pump 03 – Motor 03 Drive end	คล้ายกับรูปที่ 8 ชนิด C ในตารางที่ 3.2	กราฟมีลักษณะผิดปกติเกิดระดับสัญญาณ รบกวนในสเปกตรัมซึ่งสาเหตุอาจเกิดจาก การต่อที่ไม่พอดีระหว่างส่วนประกอบ การ หลวมของฝาครอบ ฐานยึดไม่แน่น	ดี
Pump 04 – Motor 04 Non-drive end	คล้ายกับรูปที่ 6 และรูปที่ 8 ชนิด C ในตารางที่ 3.2	การเยื้องศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่น และอยู่ในแนวรัศมี และเกิดจากการสึกหรอ หลวมคลายของชิ้นส่วน คืออาจเกิดการ หลวมคลายระหว่างเพลาสองเพลลาของแบ ริง	ดี

มอเตอร์	ลักษณะกราฟ ความถี่	สาเหตุ	ระดับการ สันสะเทือน
Pump 04 – Motor 04 Drive end	คล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2	การเยื้องศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่น และอยู่ในแนวรัศมี	ดี
Pump 05 – Motor 05 Non-drive end	คล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2	การเยื้องศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่น และอยู่ในแนวรัศมี	ดี
Pump 05 – Motor 05 Drive end	คล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2	การเยื้องศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่น และอยู่ในแนวรัศมี	ดี

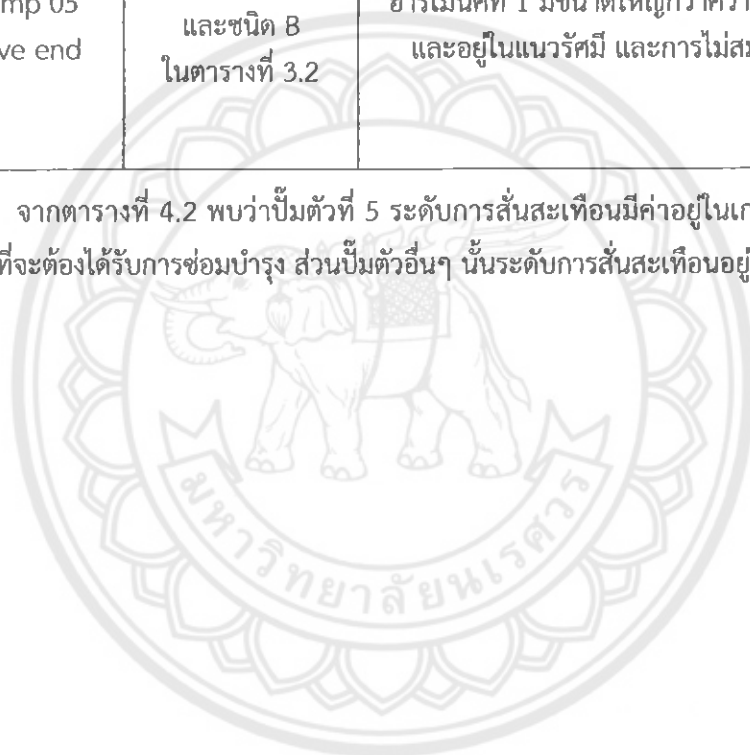
จากตารางที่ 4.1 พบว่ามอเตอร์ตัวที่ 3 มีอาการผิดปกติ ไม่สามารถบอกสาเหตุการสันสะเทือน
ที่ผิดปกตินี้ได้ ดังนั้น มอเตอร์ตัวที่ 3 นี้ควรได้รับการตรวจสอบ เพื่อหาสาเหตุของอาการผิดปกติต่อไป

ตารางที่ 4.2 สาเหตุและระดับการสันสะเทือนของปั๊มแต่ละตัว

ปั๊ม	ลักษณะกราฟ ความถี่	สาเหตุ	ระดับการ สันสะเทือน
Pump 01 – Pump 01 Drive end	คล้ายกับรูปที่ 6 และรูปที่ 8 ชนิด B ในตารางที่ 3.2	การเยื้องศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่น และอยู่ในแนวรัศมี และเกิดจากการสึกหรอ หลวมคลายของชิ้นส่วน คือ สกรูหลวม ยึด ไม่แน่นหรือฐานยึดมีการแตกร้าว	ดี
Pump 02 – Pump 02 Drive end	คล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2	การเยื้องศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ ฮาร์โมนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่น และอยู่ในแนวรัศมี	ดี
Pump 03 – Pump 03 Drive end	คล้ายกับรูปที่ 6 ในตารางที่ 3.2	การเยื้องศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ ฮาร์โมนิกที่ 1 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่น และอยู่ในแนวรัศมี	ดี

ปั๊ม	ลักษณะกราฟ ความถี่	สาเหตุ	ระดับการ สั่นสะเทือน
Pump 04 – Pump 04 Drive end	คล้ายกับรูปที่ 6 และรูปที่ 8 ชนิด A	เกิดจากการเยื้องศูนย์แนวขนาน เนื่องจาก ความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่า ความถี่อื่นและอยู่ในแนวรัศมี และเกิดจาก โครงสร้าง	ดี
Pump 05 – Pump 05 Drive end	คล้ายกับรูปที่ 6 และรูปที่ 8 ชนิด A และชนิด B ในตารางที่ 3.2	การเยื้องศูนย์แนวขนาน เนื่องจากความถี่ ฮาร์มอนิกที่ 1 มีขนาดใหญ่กว่าความถี่อื่น และอยู่ในแนวรัศมี และการไม่สมดุล	น่าพอใจ

จากตารางที่ 4.2 พบว่าปั๊มตัวที่ 5 ระดับการสั่นสะเทือนมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ ซึ่งยังไม่
จำเป็นที่จะต้องได้รับการซ่อมบำรุง ส่วนปั๊มตัวอื่นๆ นั้นระดับการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ที่ดี



บทที่ 5

สรุปผล

5.1 สรุปผลจากการทดลอง

จากการศึกษาทดลองวัดการสั่นสะเทือนของบีมและมอเตอร์โดยใช้เครื่องวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร การตรวจวัดคลื่นความถี่ สามารถวัดเป็นคลื่นเวลา (Time domain) คลื่นความถี่ Spectrum (Frequency domain) ซึ่งใช้หลักการทำงานของหัววัดการสั่นสะเทือนชนิดความเร่ง (Accelerometers) เป็นหัววัดที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือประจุไฟฟ้าออกมาจากหัววัดเอง โดยเมื่อมีแรงการสั่นสะเทือนกระทำกับหัววัด เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์และบำรุงรักษาพยากรณ์ตัวอุปกรณ์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ และยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในบีมและมอเตอร์ให้คุ้มค่า

โดยผลการทดลองที่ได้จากบีมและมอเตอร์โดยสรุปเป็นไปตามตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 โดยสามารถอ้างอิงความเสียหายที่เกิดในบีมและมอเตอร์ตามตามตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

5.2 ปัญหาที่พบในการทำโครงการ

จากการทดลองวัดการสั่นสะเทือนของบีมทั้ง 8 ตัว พบว่ามีบีมที่สามารถวัดได้เพียง 5 ตัว เท่านั้น ส่วนบีมอีก 3 ตัวไม่สามารถเปิดใช้งานได้ เนื่องจากมีการชำรุดเสียหาย สายไฟขาด และแบร์ริงชำรุด จึงทำให้ไม่สามารถทำการตรวจวัดได้ และจากการทดลองวัดการสั่นสะเทือนของบีมตัวที่ 3 พบว่าลักษณะของกราฟคลื่นความถี่มอเตอร์ตัวที่ 3 ที่ได้ออกมามีความผิดปกติไปจากลักษณะกราฟของมอเตอร์ตัวอื่นๆ เป็นอย่างมาก ซึ่งอาจเนื่องมาจากมอเตอร์มีการติดตั้งไม่สมบูรณ์ หรือเกิดความเสียหายภายในตัวมอเตอร์ จึงทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ผิดปกติขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนา

1. ในการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของบีม ควรให้ตำแหน่งวัด และทิศทางของแรงกระทำกับหัววัดของเครื่องวัดการสั่นสะเทือน ให้อยู่ใกล้กับจุดหรือแหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือนมากที่สุด วิศวกรจะต้องสะอาด เรียบแบบสนิทกับหัววัด เพื่อให้ได้ค่าการวัดและย่านความถี่การตรวจวัดที่ถูกต้องแม่นยำ และควรหลีกเลี่ยงส่วนที่เป็นฝาปิดครอบ กระโปรงครอบ จุดที่มีช่องห่าง โพรงว่าง เพราะจะทำให้ได้ค่าที่ผิดพลาด หรือสัญญาณการสั่นสะเทือนไม่เพียงพอ

2. การวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเป็นประจำอยู่เสมอ จะช่วยให้ทราบถึงสภาพการทำงาน of เครื่องจักร เพราะการวัดการสั่นสะเทือนสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุผิดปกติของเครื่องจักรได้ครอบคลุมเกือบทุกปัญหา ทั้งการติดตั้งประกอบเครื่องจักร การสึกหรอ การหลวมคลาย การยึดไม่แน่น แขนไม่แข็งแรง การเสียหายของฟันเกียร์ แบร์ริง ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ออกมาค่อนข้างถูกต้อง ทำให้สามารถแก้ปัญหาได้รวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่าย

เอกสารอ้างอิง

- นายสมศักดิ์ ปรางทอง. 2538. “การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของโครงรถสามล้อเครื่องโดยวิเคราะห์
โมดัล.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย,
คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2538.
- วินัย เวชวิทยาลัง. เทคนิคการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่องานบำรุงรักษา. พิมพ์ครั้งที่ 1.
กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เอ็มแอนด์อี, 2552.
- การทำงานของปั๊มเซนตริฟูกอล (Centrifugal Pump). สืบค้นเมื่อ 21 มกราคม 2555, จาก
<http://www.mwater.in.th/2009/12/14>
- เครื่องสูบน้ำการเกษตร. สืบค้นเมื่อ 21 มกราคม 2555, จาก
<http://www.econ.mju.ac.th/tanarak/wp-content/uploads/2011/04/Pump.pdf>
- ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเทคโนโลยีเครื่องสูบน้ำ. สืบค้นเมื่อ 21 มกราคม 2555, จาก
<http://www.neopro-waterpump.com/index.php?lay=show&ac=article&id=538778759&Ntype=1>
- การบำรุงรักษาเครื่องจักร. สืบค้นเมื่อ 17 มีนาคม 2555, จาก
<http://www.pc-cncmachine.com/cnc-lathe/html>
- การแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว. สืบค้นเมื่อ 27 มีนาคม 2555, จาก
<http://www.race.kmutnb.ac.th/research/general/pdf>
- ประเภทของหัววัดและการเลือกใช้หัววัดการสั่นสะเทือน. สืบค้นเมื่อ 13 เมษายน 2555, จาก
<http://www.tgipmt.com/articles/vibration/34>



FAG Detector III

FAG Detector III เป็นเครื่องมือวัด และวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนที่ออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานง่าย ทั้งด้านการทำข้อมูลจากโปรแกรม และการเก็บข้อมูลทั้งความสั่นสะเทือน และอุณหภูมิ เหมาะสำหรับช่างทุกระดับ ในราคาที่ย่อมเยา

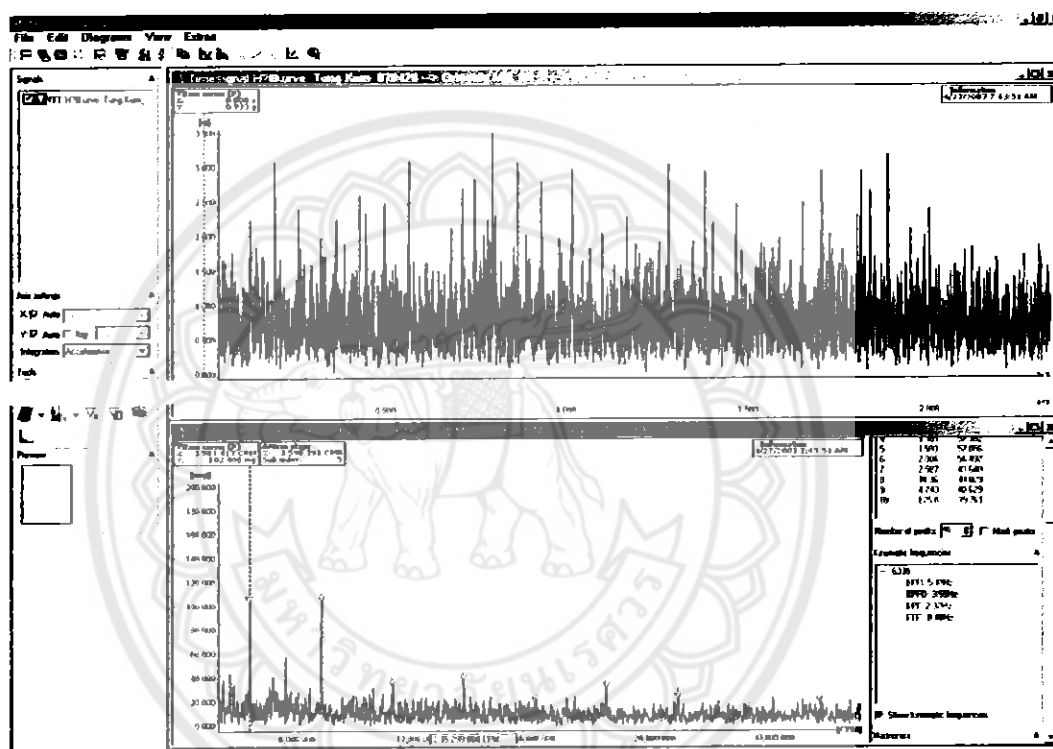
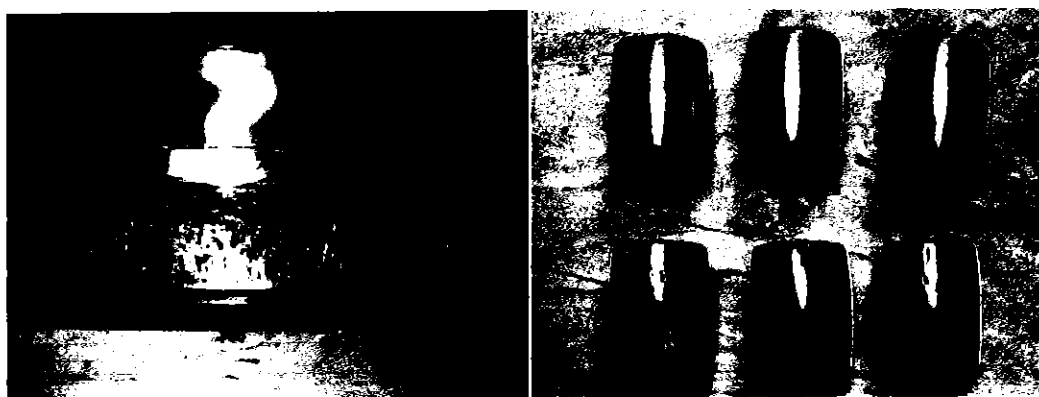


ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ Detector III ในการวิเคราะห์ความผิดปกติของเครื่องจักร

1. สามารถตรวจพบความเสียหายของตลับลูกปืน และเกียร์ ได้แต่ช่วงเริ่มต้นของการเสียหาย
2. สามารถตรวจพบความผิดปกติเชิงกล เช่น การเสียสมดุล การเยื้องศูนย์ ความผิดปกติของสายพานความผิดปกติของการหล่อลื่น อันเป็นต้นเหตุของความเสียหายของตลับลูกปืนและเกียร์ เพื่อแก้ไขแต่เริ่มต้นอันจะนำไปสู่การยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนและอุปกรณ์ และเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักร
3. สามารถคาดการณ์การเสียหายของชิ้นส่วนและอุปกรณ์ เช่นตลับลูกปืนได้ชัดเจน อันจะนำไปสู่การวางแผนงานซ่อม และแผนด้านการจัดการอะไหล่ได้อย่างเหมาะสม

ความผิดปกติของเครื่องจักรที่สามารถตรวจสอบได้

1. การเสียสมดุล (Unbalance)
2. การเยื้องศูนย์ (Misalignment)
3. การหลวมคลอน (Looseness)
4. ความผิดปกติของเกียร์ (Gear Defect)
5. ความผิดปกติของตลับลูกปืน (Bearing Defects)
6. ความผิดปกติของสายพาน, โข่ (Belt Defect)
7. ความผิดปกติของการหล่อลื่น (Lubrication Problem) และอื่นๆ




จุดเด่นของ FAG Detector-III

1. เป็นเครื่องมือวัดและวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนที่มีการเก็บข้อมูลพื้นฐาน waveform, spectrum อย่างครบถ้วน และยังมีเก็บข้อมูลพิเศษทั้งอุณหภูมิและ Demodulation (เพื่อการวิเคราะห์ความผิดปกติของตลับลูกปืนและเกียร์)
2. มีช่องต่อสัญญาณหูฟัง เพื่อใช้ในการฟังเสียงความผิดปกติของตลับลูกปืนและเกียร์ หรือสภาพการหล่อลื่นจากสัญญาณ Demodulation
3. มีฐานข้อมูลด้านความถี่ของความผิดปกติของตลับลูกปืนของ FAG และยี่ห้ออื่นๆ
4. สามารถต่อเพิ่มกับชุดถ่วงสมดุล (Field Balancing Kit) ของ FAG
5. โปรแกรม Trendline3.0 เพื่อการวิเคราะห์และดูแนวโน้มของข้อมูลต่างๆ สามารถติดตั้งได้ไม่จำกัดจำนวนผู้ใช้ และสามารถ Upgrade โปรแกรมได้จาก Internet โดยไม่มีค่าใช้จ่าย

FAG Detector III

FAG Detector III เป็นเครื่องมือวัด และวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนที่ออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานง่าย ทั้งด้านการทำข้อมูลจากโปรแกรม และการเก็บข้อมูลทั้งความสั่นสะเทือน และอุณหภูมิ เหมาะสำหรับช่างทุกระดับ

Item	Specification	Descriptions	FAG
			Detector3
			
	Details	ข้อมูล	Completed package (no software change and no limit) for excellent Price/Performance Ratio
1	Price	ราคา	
2	Number of Channels	จำนวนช่องต่อ Sensor	Basic 1 Ch, up to 2(ICP,AC,DC)
3	Frequency Range	ช่องความถี่ที่สามารถเก็บข้อมูล	10 Hz – 20,000 Hz by CP module
4	Resolution	ความละเอียดของเส้น Spectrum	1,600 , 3,200 line by TP Configuration
5	Memory size	หน่วยความจำภายใน	3 MB(approx. 1600 spectra or 300 time signals)
6	Measures Velocity, Disp & Accel	หน่วยการวัดขณะเร่ง/ผ่อน รอบเครื่อง	Yes
7	Start Up / Coast Down	การวัดการขณะเร่ง/ผ่อน รอบเครื่อง	Yes (Basic Firmware)
8	Tachometer	ชนิดอุปกรณ์วัดรอบเครื่อง	Yes (Option with balance Kit)
9	Analysis Software	Software ที่ใช้ในการ	Trend line

		วิเคราะห์	
10	Software Cost	ราคา Software	No charge
11	Free Software upgrades	ราคา upgrade Software	Yes (by www.FAG.com)
12	Software Licence	การกำหนดผู้ใช้ Software	No limited users
13	Alarms	การเตือน	Overall / spectrum
14	Bearing condition	การวิเคราะห์สภาพตลาด ลูกปืน	Demodulation (HP 750 HZ)
15	Route Collection	การทำฐานข้อมูล เครื่องจักร	Yes
16	Bearing Database	ฐานข้อมูลความถี่ของตลับ ลูกปืน	Yes
17	Warranty	การรับประกัน	1 Year
18	Temperature (Operating)	ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน	0c to 50c
19	Noise Measurement	การฟังเสียง	Not include (real – time)
20	Temperature Sensor (IR)	การวัด / บันทึกอุณหภูมิ	Yes(range – 20c to 55c) with Route
21	Size (LxWxH)mm	ขนาด	230x70x52
22	Weight	น้ำหนัก	Very light weight
23	Battery life	เวลาการใช้งานแบตเตอรี่	NiMH 2000 mAh (approx 8 hour)
24	Batt. change time (Full)	เวลาการชาร์ตแบตเตอรี่	4 hour
25	Display Viewing Area	การแสดงผลบนเครื่อง	LCD (168x64 pixels)
26	Display Spectrum On-Screen	การแสดงผล Spectrum บนเครื่อง	No
27	interface	รูปแบบการเชื่อมต่อข้อมูล	Via Siral to USB adapter
28	Processor	วงจรการประมวลผล	No info
29	Drop test	การทดสอบการกระแทก	No
30	IP class	รหัสการระดับการใช้งาน	IP 40
31	FFT analysis	รูปแบบการวิเคราะห์	Spectrum
Form Balancingสำหรับการถ่วงดุล (อุปกรณ์เสริม).....			
32	Balancing Software	ราคา Software	No change
33	Balancing Plans	จำนวนแถวการถ่วงดุล	1-2
34	Balancing RPM	ความเร็วรอบที่ใช้	30-10000 RPM

35	Phase Reading	ลักษณะการอ่านพิกัดมุม	Numbering
36	Unbalance Display	ลักษณะการอ่าน Unbalance	Numbering (in polar in Software
37	Speed Sensor for Balancing	ชนิดอุปกรณ์วัดรอบเครื่อง	Tachometer (10 cable)
38	Software Option (be paid)		No change
39	Training	การฝึกอบรม	การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน (2 วัน)
			การฝึกอบรมดวงดูล (1 วัน)

