

การวิเคราะห์การสั่นและการตรวจสอบความเสียหายของตั้บดถูกปีนบนเครื่อง  
ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2556

**VIBRATION ANALYSIS AND DAMAGE DETECTION OF  
THE BEARING ON HARD DISK DRIVE TESTER**

**Kittisak Photiseang**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Mechatronics**

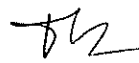
**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2013**

การวิเคราะห์การันและการตรวจสอบความเสียหายของตั้บลูกปืนบนเครื่อง  
ทดสอบฮาร์ดดิสก์ได้รฟ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติใ้ให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(อ. ดร.รื้ทัด คลวิชัย)

ประธานกรรมการ



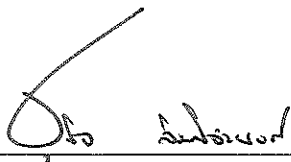
(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสรีอุผล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว)

กรรมการ



(ศ. ดร.ชูกิจ ลิ้มปิ้งำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม



(รศ. ร.อ. ดร.กนดั้ร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

กิตติศักดิ์ โปธิแสง : การวิเคราะห์การสั่นและการตรวจสอบความเสียหายของดรัมลูกปืนบนเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (VIBRATION ANALYSIS AND DAMAGE DETECTION OF THE BEARING ON HARD DISK DRIVE TESTER)

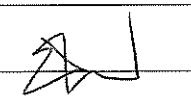
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสวีวุฒ, 97 หน้า.

กระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (HDD) เป็นกระบวนการหนึ่งในการผลิตที่เพิ่มความมั่นใจว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทุกตัวที่ส่งมอบให้กับลูกค้าจะต้องมีคุณภาพที่ผ่านมาตรฐานขั้นสูง เวลาในการทดสอบจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังนั้นทางบริษัทจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มปริมาณการผลิตโดยเพิ่มความเร็วและเพิ่มชั่วโมงการทำงานของเครื่องทดสอบให้มากขึ้นดังนั้นจึงทำให้เครื่องทดสอบไม่สามารถที่จะหยุดเพื่อการซ่อมบำรุงได้บ่อย ๆ สิ่งนี้เองที่ทำให้เกิดการสึกหรอของดรัมลูกปืน และการสึกหรอจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสั่นที่ส่งผลเสียต่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และยังเสียเวลาในการซ่อมบำรุงด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์การสั่นที่เกิดจากดรัมลูกปืนพร้อมกับกำหนดขนาดการสั่นเพื่อกำหนดรายละเอียดในการซ่อมบำรุง อย่างมีประสิทธิภาพ

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนักศึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

KITTISAK PHOTISEANG : VIBRATION ANALYSIS AND DAMAGE  
DETECTION OF THE BEARING ON HARD DISK DRIVE TESTER.  
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. JIRAPHON SRISERTPOL, Ph.D.,  
97 PP.

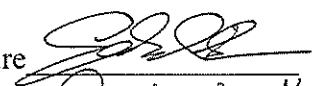
VIBRATION ANALYSIS/ BEARING/ PARAMETER ESTIMATION

Computer is considered a useful tool nowadays, and Hard Disk Drive (HDD) is more important of computer component. Therefore, the HDD industry has been developed for its better efficiency and reliability in order to satisfy the customers. Furthermore, the HDD test process is an important step to claim for the reliability of product. This article is to study, conduct an experiment, and analyze the vibration detection of the bearing, which is an apparatus widely used in various industries. The vibrations normally cause errors and damages on parts. In case of HDD industry, the vibration at the bearing also presents the poor performance. This study had analyzed the property detection of bearing in the Tester by using Modal Analysis. The natural frequency of the bearing was examined by the Measurement Technique, and mode shape obtained by simulation. The experiment results demonstrated a useful technique for the vibration control of the bearing in the manufacturing process.

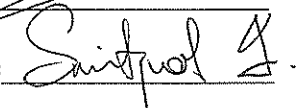
School of Mechanical Engineering

Academic Year 2013

Student's Signature



Advisor's Signature



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลต่าง ๆ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้และให้คำปรึกษาแนะนำ และคอยผลักดันส่งเสริมการทำวิจัยตลอดเวลาตรวจสอบแก้ไขให้วิทยานิพนธ์มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ พี่ดีเรก ชมพูศรี และพี่ธีรภาพ วันลา ที่ให้โอกาสในการศึกษาและคำแนะนำดีๆ ทั้งในด้านการทำงานและการดำเนินชีวิต

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่านที่ให้คำแนะนำในด้านต่างๆ และยังคงคอยให้กำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้ทำวิจัย ทั้งในอดีตตลอดจนถึงปัจจุบัน และกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ปู่ ย่า ตา ยาย ที่ให้การอบรม เลี้ยงดู และส่งเสริมการศึกษามาเป็นอย่างดี รวมถึงครอบครัวที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จด้วยดี

กิตติศักดิ์ โปธิแสง

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) .....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	จ
สารบัญตาราง .....	ฉ
สารบัญรูป .....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	ฎ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ</b> .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.1.1 กระบวนการทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ .....	4
1.1.2 TESTER GEMINI.....	5
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	9
1.3 ข้อยกเว้นเบื้องต้น .....	9
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ .....	9
1.5 วิธีการดำเนินงาน .....	9
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	10
1.7 การจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ .....	10
<b>2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	11
2.1 การสั่นสะเทือนคืออะไร .....	12
2.2 เบื้องต้นเกี่ยวกับการสั่นสะเทือน .....	13
2.2.1 การสั่นสะเทือน.....	13
2.2.2 ที่มาของการสั่นสะเทือน (Vibration Source).....	13
2.2.3 รูปแบบของการสั่นสะเทือน (Vibration Type) .....	15
2.2.4 ค่าและหน่วยที่ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือน .....	16

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3	ทฤษฎีการสั่นสะเทือน .....	22
2.3.1	การเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือน .....	22
2.3.2	พลศาสตร์ของเครื่องจักร .....	26
2.3.3	การสั่นอิสระเมื่อมีตัวหน่วงแบบความหนืด .....	27
2.4	ทฤษฎีการวิเคราะห์หาสาเหตุของการสึกหรอ (Analysis Damage) .....	32
2.4.1	สาเหตุการเสียดของฟันเฟือง (Gear).....	33
2.4.2	ความเสียหายของตลับลูกปืน (Bearing).....	36
2.4.3	ความเสียหายของเพลา (Shafts) .....	37
2.5	ทฤษฎีการวิเคราะห์ความเสียหายของโลหะ (Failure Analysis) .....	39
2.5.1	ความเสียหายที่เกิดจากความล้าของโลหะ (Fatigue Failures) .....	39
2.5.2	ความเสียหายเนื่องจากการอ่อนตัวของวัสดุ (Ductile Failure).....	40
2.5.3	ความเสียหายของวัสดุที่เกิดจากการสึกหรอ (Wear Failures).....	40
2.5.4	การป้องกันการสึกหรอ .....	41
2.6	เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวัด .....	41
2.6.1	อุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือน .....	41
2.6.2	สายนำสัญญาณที่ใช้สำหรับการวัดการสั่นสะเทือน .....	47
2.6.3	เครื่องมือวัดและบันทึกผลการสั่นสะเทือน .....	47
2.6.4	คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ .....	48
2.6.5	การติดตั้งและการกำหนดตำแหน่งการวัด .....	49
2.6.6	การวางตำแหน่งของหัววัดการสั่นสะเทือน .....	49
2.6.7	การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือน .....	49
2.6.8	การตรวจวัดและการจัดเก็บข้อมูล .....	51
2.6.9	การแปลงสัญญาณแบบฟูเรียร์ (Fast Fourier Transform, FFT).....	51
2.6.10	การแสดงผลและเก็บข้อมูล .....	53
2.7	ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง .....	54
2.8	สรุป .....	56



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

<b>3</b>	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	57
3.1	โครงสร้างของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....	59
3.2	หลักการเคลื่อนที่ของแขนกลของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....	62
3.2.1	การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง.....	62
3.2.2	การเคลื่อนที่ในแนวนอน.....	63
3.3	การกำหนดคุณสมบัติเชิงกล.....	63
3.4	การกำหนดเงื่อนไขและขอบเขต.....	64
3.4.1	เงื่อนไขเริ่มต้นและจุดรองรับของระบบ.....	64
3.4.2	เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นงาน.....	64
3.5	ผลการวิเคราะห์.....	64
<b>4</b>	ผลการวิเคราะห์การสันเปรี๊ยะเทียบจากเทคนิคการวัด.....	66
4.1	ขั้นตอนการวัดการสันสะเทือน.....	67
4.2	อุปกรณ์การทดลองและการติดตั้ง.....	67
4.2.1	อุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการทดลอง.....	67
4.2.2	การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง.....	69
4.3	การทดสอบการสันแบบคัดแยกดัลล์ลูกปืน (Physical Damage).....	70
4.4	ผลการทดสอบการสัน.....	71
4.4.1	ผลการทดลองการสันของดัลล์ลูกปืนที่ช่วงความถี่ช่วง 1-2400 Hz.....	71
4.4.2	ผลการสันที่แสดงอยู่ในรูปแบบของโดเมนเวลา.....	74
4.5	สรุปผลการทดสอบ.....	76
<b>5</b>	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	79
5.1	สรุปผลงานวิจัย.....	79
5.2	ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป.....	80
	รายการอ้างอิง.....	81

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

### ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. การปรับตั้งค่าเครื่องมือวัดที่ใช้ทดสอบการสั้นสะเทือน	
วิเคราะห์ปัญหาการสั้นสะเทือน.....	83
ภาคผนวก ข. รายละเอียดต่าง ๆ ของชุดอุปกรณ์วัดการสั้นสะเทือน.....	86
ภาคผนวก ค. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	91
ประวัติผู้เขียน .....	97



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่าการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืน ใหม่ (Proper Bearing).....	75
4.2 แสดงค่าการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืน เริ่มสึกหรอ (Almost Improper Bearing).....	75
4.3 แสดงค่าการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืน สึกหรอ (Improper Bearing) .....	76
4.4 แสดงค่าความถี่ของ 2 ย่านความถี่ที่ 201-400 Hz และย่านความถี่ 1001-1200 Hz.....	76



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	กระบวนการทดสอบ..... 4
1.2	กลไกการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน ..... 4
1.3	กระบวนการอ่านและเขียนข้อมูล ..... 5
1.4	เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ GEMINI (Drawing)..... 7
1.5	ช่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ (Drawing) ..... 8
1.6	ช่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ (Drawing) ..... 8
2.1	ตัวอย่างการสั่นสะเทือนโดยอิสระ (Free Body Vibration) ..... 15
2.2	การสั่นสะเทือนแบบขบกันหรือเคลื่อนที่ผ่าน (Meshing or Passing Vibration) ..... 15
2.3	การสั่นสะเทือนจากแรงเสียดทาน (Frictional Vibration) ..... 16
2.4	รอบของการเคลื่อนที่ (Cycle of Motion) ของเพลา ..... 17
2.5	รอบของการเคลื่อนที่ (Cycle of Motion) ของสปริงแผ่ ..... 17
2.6	ขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) ..... 18
2.7	สปริงที่มีวัตถุซึ่งมีมวล $m$ (kg) แขนงติดอยู่ที่ปลาย..... 20
2.8	การทดสอบความถี่ธรรมชาติของวัตถุที่มีขนาดแตกต่างกัน ..... 21
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง ..... 22
2.10	การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก 2 ค่าโดยที่มีมุมเฟสต่างกัน ..... 24
2.11	การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์โมนิก (Non-harmonic Motion)..... 25
2.12	(ก) แบบจำลองของระบบเชิงกลที่มีการสั่นแบบอิสระ (ข) แผนภาพวัตถุอิสระของมวล .... 28
2.13	ผลตอบสนองของระบบที่สั่นอิสระแบบมีความหน่วงต่ำ ..... 30
2.14	ผลตอบสนองของระบบที่สั่นอิสระแบบความหน่วงวิกฤติ ..... 31
2.15	ผลตอบสนองของระบบที่สั่นอิสระแบบความหน่วงสูง ..... 31
2.16	แสดงการส่งกำลังโดยอาศัยแรงเสียดทาน ..... 32
2.17	แผนภูมิแสดงสัดส่วนความเสียหายของฟันเฟือง ..... 33
2.18	เปรียบเทียบฟันเฟืองที่ส่งกำลังในขณะที่ Center Distance ต่างกัน ..... 34

## สารบัญรูป (ต่อ)

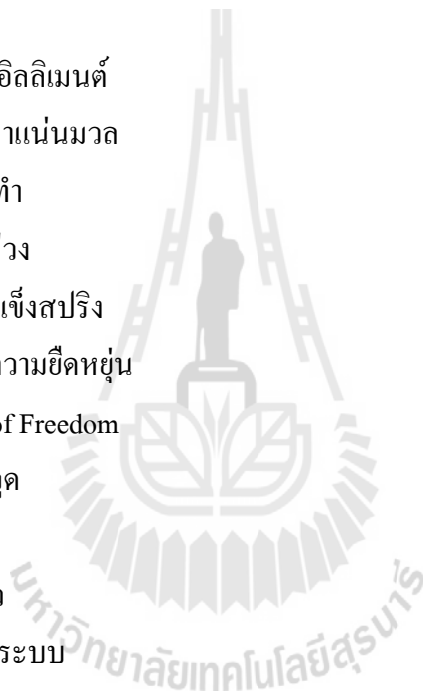
รูปที่	หน้า
2.19 แสดงเปรียบเทียบพื้นเพื่องที่มี Pressure angle ต่างกัน .....	35
2.20 แสดงแรงที่กระทำกับพื้นเพื่อง .....	35
2.21 แสดงส่วนประกอบของตลับลูกปืน .....	37
2.22 แสดงสภาพลึ้มในสภาพหลวมและอัดแน่น .....	38
2.23 แสดงการทำงานของซีลน้ำมัน .....	38
2.24 แสดงรูปแบบความเค้น .....	39
2.25 แสดงรูปแบบความเสียหายจากการอ่อนตัว .....	40
2.26 แสดงรูปแบบความเสียหายจากการสึกหรอ .....	40
2.27 แสดงการติดตั้งของหัววัดการกระจัด (Displacement Probe) หรือ Eddy Probes .....	42
2.28 แสดงการทำงานของ Proximity Probe.....	43
2.29 แสดงหัววัดแบบความเร็ว (Velocity Probe).....	44
2.30 แสดงหัววัดแบบความเร่ง (Accelerometers).....	46
2.31 สายนำสัญญาณที่ใช้สำหรับการวัดการสั่นสะเทือน .....	47
2.32 มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือน (Vibration Meter).....	47
2.33 เครื่องมือเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล (Analyzer) .....	48
2.34 เครื่องมือวิเคราะห์แบบทันทีทันใด (Real-Time Analyzer).....	48
2.35 แสดงการตอบสนองต่อความถี่สูงสุดของ Mounting แต่ละแบบ .....	51
2.36 แสดงการตอบสนองต่อความถี่ธรรมชาติของ Mounting แต่ละแบบ .....	51
2.37 การทำงานของเครื่องวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเมื่อผ่านกระบวนการ FFT .....	52
2.38 กราฟโดเมนเวลาที่ประกอบไปด้วยความถี่ซ้อนกันหลายความถี่.....	53
2.39 แสดงความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลากับโดเมนความถี่ .....	54
3.1 แผนผังแสดงการออกแบบเครื่องจักรกลทั่วไป .....	59
3.2 เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ .....	60
3.3 โครงสร้างของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ .....	60
3.4 ตลับลูกปืนที่ทำให้เกิดการสั่น .....	61
3.5 ลักษณะเคลื่อนที่ของตลับลูกปืน .....	61

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.6	แสดงการเคลื่อนที่ของแกนกลของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ.....	62
3.7	แสดงการเคลื่อนที่ของแกนกลในแต่ละช่วงเวลา.....	63
4.1	ขั้นตอนการวัดการสั่นสะเทือน.....	67
4.2	แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของแกนกล.....	68
4.3	แสดงตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์.....	68
4.4	แสดงอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน.....	69
4.5	แสดงเซนเซอร์วัดการสั่นสะเทือน.....	69
4.6	แสดงขั้นตอนในการทดลอง.....	70
4.7	แสดงค่า ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน.....	71
4.8	แสดงค่า Amplitude ของตลับลูกปืน (ใหม่).....	72
4.9	แสดงค่า Amplitude ของตลับลูกปืน (เริ่มสึกหรอ).....	73
4.10	แสดงค่า Amplitude ของตลับลูกปืน (สึกหรอ).....	74
4.11	แสดงค่า Vibration (g) ของตลับลูกปืนแต่ละแบบ.....	74
4.12	แสดงผลการสั่นสะเทือน อยู่ในรูปแบบของโดเมนเวลา.....	77
4.13	แสดงค่า Vibration ที่ 2 ย่านความถี่ที่เกิดขึ้น.....	77

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$\omega$	=	ความถี่เชิงมุม
$\omega_n$	=	ความถี่ธรรมชาติ
X	=	แนวตั้ง
Y	=	แนวระดับ
Z	=	แนวค้ำ
V	=	ปริมาตรอีลิเมนต์
$\rho$	=	ความหนาแน่นมวล
F	=	แรงกระทำ
C	=	ความหน่วง
K	=	ค่าความแข็งสปริง
E	=	โมดูลัสความยืดหยุ่น
DOF	=	Degree of Freedom
A	=	แอมพลิจูด
X	=	การขจัด
L	=	ความยาว
M	=	มวลของระบบ
'	=	Damping ratio
$\Theta$	=	รูปร่างการสั่น



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ย้อนกลับไปในยุคที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอุตสาหกรรมหนักในทวีปยุโรปที่เริ่มมีการผลิตแบบปริมาณมากจนถึงยุคที่เริ่มมีการแข่งขันกันมากขึ้น ทั้งคุณภาพของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมรวมทั้งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางวิศวกรรมต่าง ๆ และสิ่งที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อีกประการหนึ่งคือต้นทุนการผลิตซึ่งเป็นเรื่องที่ทุกบริษัทให้ความสำคัญควบคู่กันไป สิ่งหนึ่งที่ทีมวิศวกรได้ดำเนินการออกแบบและสร้างเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของบริษัทคือการนำเครื่องจักรอัตโนมัติเข้ามาทำหน้าที่ในการผลิตแทนการใช้แรงงานของมนุษย์ และปัญหาที่ตามมาจากการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติที่ทีมงานวิศวกรค้นพบจากการใช้เครื่องจักรอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมงเป็นเวลาหลายปี คือปัญหาของการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการสึกหรอของตลับลูกปืน ซึ่งปัญหานี้ได้ส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตเป็นอย่างมาก ทั้งทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหาย ทำให้เสียเวลาในการซ่อมบำรุง และทำให้ลูกค้าขาดความมั่นใจในผลิตภัณฑ์ของบริษัทด้วย ดังนั้นวิศวกรผู้ออกแบบจำเป็นต้องหาวิธีและกระบวนการเพื่อที่จะคาดคะเนให้ถูกต้องแม่นยำ (Prediction Maintenance) โดยได้ทำการออกแบบอุปกรณ์สำหรับตรวจจับการสั่นสะเทือนเพื่อที่จะใช้ให้เป็นประโยชน์ในการซ่อมบำรุงก่อนที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหาย (Prevention Maintenance Optimal design)

ความรู้ด้านการสั่นนั้นสำคัญมากสำหรับวิศวกรรมสมัยใหม่การพัฒนาของทฤษฎีการสั่นเป็นส่วนหนึ่งของกลศาสตร์ทางกล ซึ่งเป็นผลทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากการพัฒนาพื้นฐานของวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และ กลศาสตร์

ประวัติของการสั่นทางวิศวกรรม การศึกษาประวัติศาสตร์จะทำให้เราเข้าใจถึงแนวคิดกลไกแรงบังคับจิตใจ ต่อการพัฒนาศาสตร์การสั่นทางวิศวกรรม มนุษย์ในแต่ละยุคสมัยจะให้ความสำคัญกับการสั่นที่เกิดขึ้นหรือพบเห็นอย่างไร การสั่นที่มนุษย์รู้จักเป็นครั้งแรกนั้นไม่ได้ให้ความสำคัญเหมือนกับการสั่นทางกลเพราะมนุษย์ให้คสามสนใจในเรื่องการสั่นของอุปกรณ์ทางดนตรี เช่น กลอง เครื่องสายต่างๆ เป็นต้น ในช่วงกินคริสต์กาลที่ได้รับการบันทึกเป็นหลักฐานเกี่ยวกับการสั่นทางวิศวกรรม คือการศึกษาการสั่นของเส้นเชือกของพีทาโกรัส (Pythagoras) ซึ่งเป็นนักปรัชญาและนักคณิตศาสตร์ชาวกรีก ได้สร้างเครื่องมือทดลองการสั่นของเส้นเชือกที่เรียกว่า Monochord พบว่าความตึงของเส้นเชือกมีผลต่อเสียงที่เกิดขึ้น และความยาวของเส้นเชือกก็มีผลต่อ



ความถี่ในการสั่นของเส้นเชือก มีนักปราชญ์อย่างเช่น อริสโตเติล (Aristotle) ได้เขียนเรื่องที่เกี่ยวข้องกับหลักธรรมชาติของเสียงเป็นต้น

ในด้านของโลกตะวันออกประมาณปี ค.ศ 132 ได้มีการค้นพบหลักฐานว่ามีผู้ที่สนใจเรื่องของการสั่นสะเทือนที่ประเทศจีน ซึ่งได้มีการสร้างเครื่องวัดการสั่นของแผ่นดินไหวขึ้นเป็นเครื่องแรกของโลกนักประดิษฐ์ที่สร้างคือ Zhang Heng เราจะเห็นได้ว่ามนุษย์ในยุคนั้นได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นอย่างมากและให้ความสนใจพฤติกรรมการสั่นจากแผ่นดินไหว

ช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 17 ถือได้ว่าเป็นศตวรรษที่ทำให้กำหนดหลักปรัชญาและวิทยาศาสตร์สมัยใหม่เป็นจำนวนมาก ทั้งที่เกิดขึ้นด้วยความบังเอิญและเป็นแรงบันดาลใจให้นักปราชญ์หลายท่านได้ศึกษาและทดลองเพื่อทำความเข้าใจ จนสามารถอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่พบเห็นให้ เป็นไปตามหลักวิทยาศาสตร์ สำหรับด้านการศึกษาวิศวกรรม สามารถสรุปได้โดยย่อดังนี้ คนแรกที่สนใจด้านนี้คือ กาลิเลโอ (Galileo) สนใจการแกว่งไปมาของโคมไฟที่แขวนอยู่บนเพดานโบสถ์ จึงทำให้เริ่มทำการศึกษาและทดลองวัดการแกว่งตัวของลูกตุ้มซึ่งสามารถสรุปได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นเชือกและความถี่ของการแกว่งของตุ้มอย่างง่ายและยังได้กล่าวถึงการสั่นพ้อง (Resonance) ในช่วงเวลาเดียวกันได้มีผู้เสนอผลการทดลอง และความถี่ของการสั่นของเชือกคือนักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ Marin Mersenne ในช่วงปี ค.ศ 1653-1730 Robert Hook ได้ศึกษาเรื่องการสั่นของสปริง และ Joseph Sauveur ได้ศึกษาเรื่องความถี่ของการสั่นของเส้นเชือก และได้นิยามคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องไว้หลายคำเช่น node และ loop ของการสั่นในเส้นเชือกการนิยามความถี่ของกาสน้ำต่ำสุดว่า ความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency) และความถี่ที่สูงขึ้นว่าความถี่ฮาร์โมนิกส์ (Harmonics frequency) และยังพบว่าเส้นเชือกสามารถสั่นได้มากกว่าหนึ่งความถี่เป็ต้น ในช่วงปี ค.ศ 1642 – 1727 ได้กำเนิดบิดาแห่งกลศาสตร์ในปัจจุบันคือ Sir Isaac Newton ได้กล่าวถึงกฎของแรงโน้มถ่วงและกฎการเคลื่อนที่สามข้อ ซึ่งถือเป็นหัวใจของวิชากลศาสตร์ในปัจจุบัน กฎข้อที่สองของนิวตันนี้เองที่ใช้เป็นเครื่องมือในการคำนวณหาสมการการเคลื่อนที่ของวัตถุ ทำให้นักคณิตศาสตร์และนักวิทยาศาสตร์สามารถหาสมการการเคลื่อนที่ของวัตถุได้

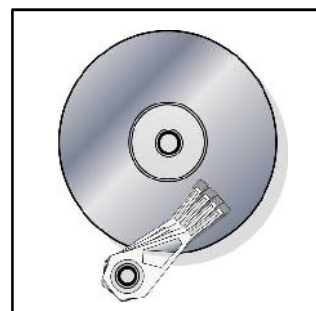
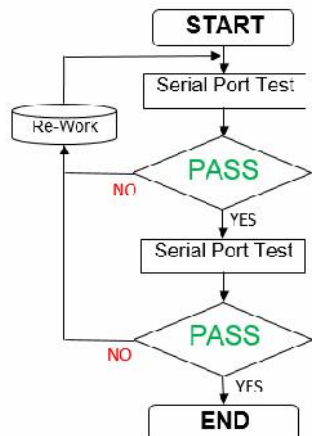
ปลายทศวรรษที่ 19 ทยุฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การสั่นทางกล (Mechanical vibration) ได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วเพราะมีการสร้างเครื่องจักรกลที่มีความเร็วสูง อาทิเช่น มอเตอร์ในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ทำงานที่ความเร็ว 15,000 rpm เครื่องยนต์ก๊าซเทอร์ไบน์ที่มีความเร็วรอบในการทำงาน 10,000 rpm เป็นต้น ซึ่งความไม่สมดุลในการหมุนจะให้เกิดการสั่นที่เราเรียกว่าการสั่นทางกล ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น เช่น เสียงรบกวน หรือทำให้โครงสร้างเสียหาย การเคลื่อนที่ของวัตถุอาจจะสร้างการสั่นเกิดขึ้นเองได้ เช่น การไหลของอากาศที่ปั่นป่วนที่กระทำต่อเครื่องบิน แรงกระทำจากถนนที่มีต่อการเคลื่อนที่ของรถยนต์ และสิ่งแวดล้อมสามารถกำหนดการสั่นได้ เช่น

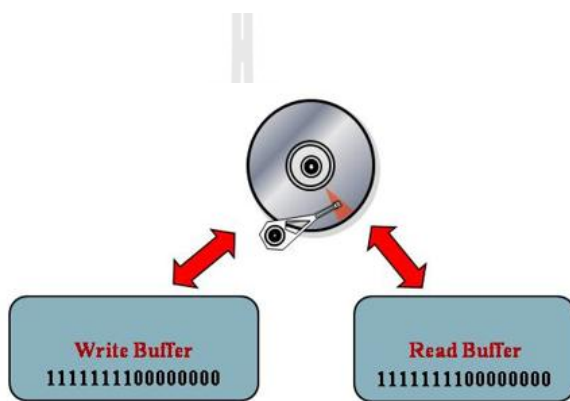
แผ่นดินไหว แรงลมที่กระทำต่ออาคารหรือโครงสร้าง เมื่อระบบมีความซับซ้อนมากขึ้น การหาคำตอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ (Analytical solution) ก็จะมีความยุ่งยากเช่นกัน ในช่วงนี้เองได้มีผู้พยายามหาวิธีการแก้ปัญหาของการสั้นด้วยวิธีการใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงคำนวณเชิงตัวเลข เช่น วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ระบบที่มีหลายลำดับชั้นความอิสระระบบต่อเนื่อง (Continuous system) เป็นต้น

โดยทั่วไปการศึกษาการสั้นทางกลจะอธิบายพฤติกรรมการเคลื่อนที่แกว่งไปมาของระบบทางกลและโครงสร้าง ซึ่งการกระจัด (Displacement) จะมีขนาด (Amplitude) เล็กเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของการกระจัดของวัตถุ การสั้นทางกลบางตั่งเป็นผลที่ไม่พึงประสงค์ของการออกแบบการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ไม่มีคุณภาพ หรือการทำงานของระบบทางกล เช่น ความไม่สมดุลในการหมุนของเครื่องยนต์ ความมาสมดุลมวลในการหมุนของมอเตอร์ กาลไหลของของไหลที่ไม่ราบเรียบ ความไม่สมมาตรของการให้ความร้อน แผ่นดินไหว เป็นต้น สำหรับการสั้นดังกล่าวเรียกว่าการสั่นแบบบังคับ (Force vibration) จะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของภาระกรรมทางกลเสมอ ดังนั้นจะทำให้เกิดความเค้นทางกล (Mechanical stress) และความล้า (Fatigue) ที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบทางกลซึ่งสร้างความเสียหายให้แก่เครื่องจักรนั้นๆ ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นวิศวกรจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบเกี่ยวกับคุณลักษณะต่างๆของการสั้นทางวิศวกรรม ตลอดจนถึงการควบคุมไม่ให้เกิดการสั้นที่ไม่ต้องการอย่างรุนแรงขึ้นในโครงสร้างหรือเครื่องจักร

ปัจจุบันการบำรุงรักษาเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรมและกลยุทธ์ในการบำรุงรักษาแบบตามสภาพ (Condition Based Maintenance) มีความสำคัญมากยิ่งขึ้น โดยกลยุทธ์งานบำรุงรักษาตามสภาพนั้นเป็นกลยุทธ์ที่สามารถตรวจสอบสภาพเครื่องจักรได้ว่า เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตสินค้าต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรม สามารถใช้งานได้ตามปกติหรือไม่ เป็นกลยุทธ์ที่สามารถป้องกันความเสียหายของผลิตภัณฑ์และเหตุการณ์อันเกิดจากเครื่องจักรหยุดกะทันหัน (Break down) ได้ดี โดยกลยุทธ์การบำรุงรักษาตามสภาพนั้น สิ่งสำคัญหรือหัวใจในงานบำรุงรักษาตามสภาพคือ การตรวจสอบเครื่องจักร (Inspection) ซึ่งดัชนีที่ได้รับความนิยมในการตรวจสอบเครื่องจักรคือการวิเคราะห์การสั้นสะเทือน (Vibration Analysis) เนื่องจากการวิเคราะห์การสั้นสะเทือนเป็นเทคโนโลยีที่สามารถทำนายความเสียหายของเครื่องจักรเช่น การเสียสมดุล (Unbalance), การเอียงศูนย์ (Misalignment) , การสึกหรอของฟันเกียร์ (Worn gear) และความเสียหายของแบร์ริง (Bearing defect) เป็นต้น และยังสามารถทราบแนวโน้มที่อุปกรณ์หรือเครื่องจักรกำลังเกิดความเสียหายขึ้นได้ด้วย

เนื่องจากเทคโนโลยีการจัดเก็บข้อมูลถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ ดังนั้นความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลจึงเป็นสิ่งที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง





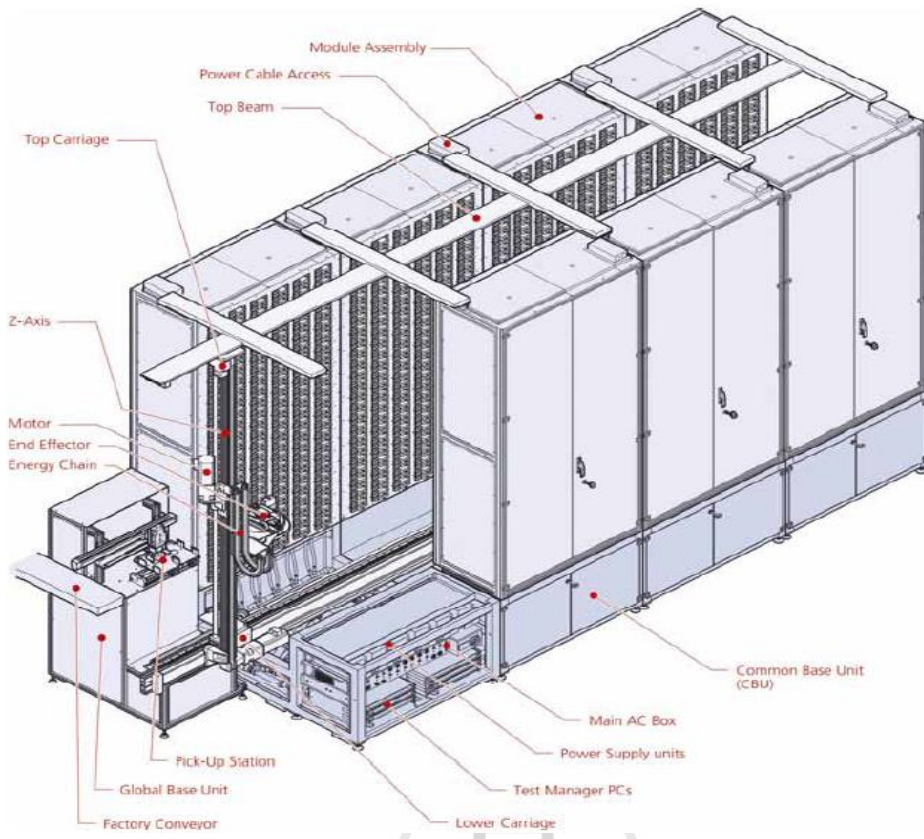
โดยจะมีชุดคอมพิวเตอร์ใช้ในการควบคุมการทำงานหลักทั้งหมดของเครื่องจักรซึ่งประกอบด้วยแขนกล ที่ใช้เพื่อการขนส่งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เข้าและออกจากเครื่องทดสอบและใช้ในการติดต่อระหว่างผู้ใช้งานกับเครื่องจักร

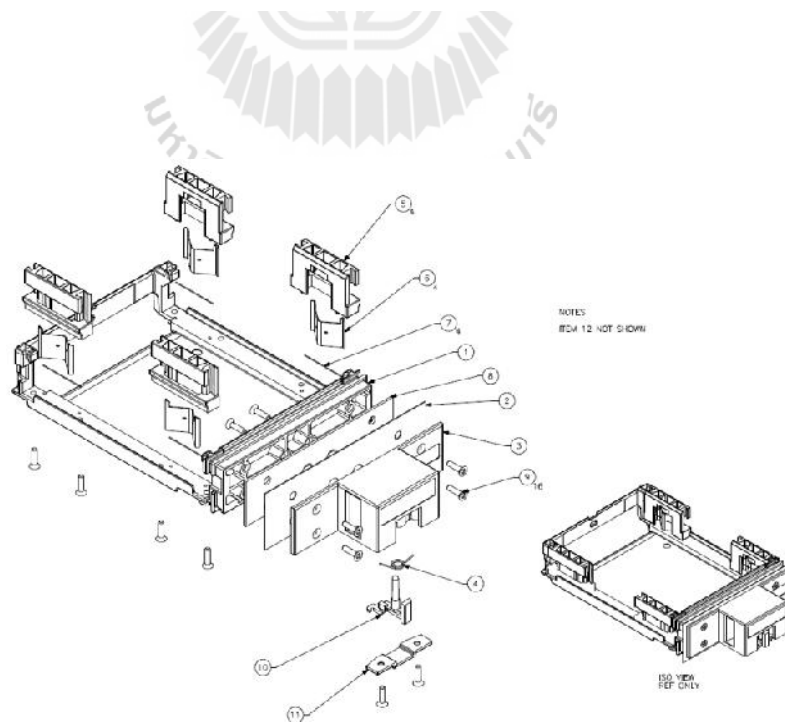
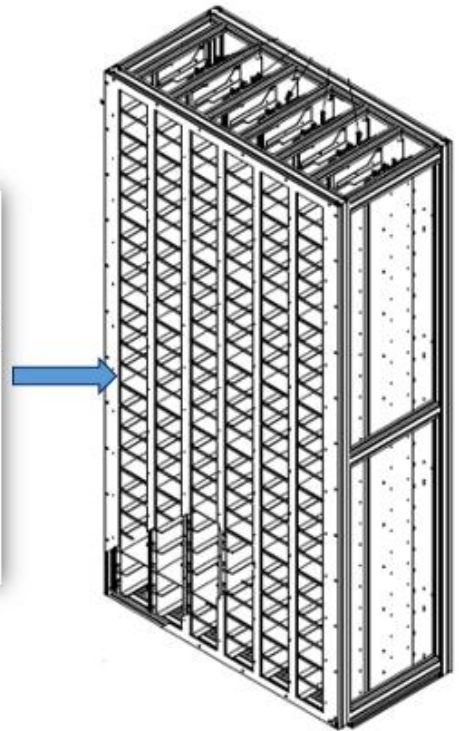
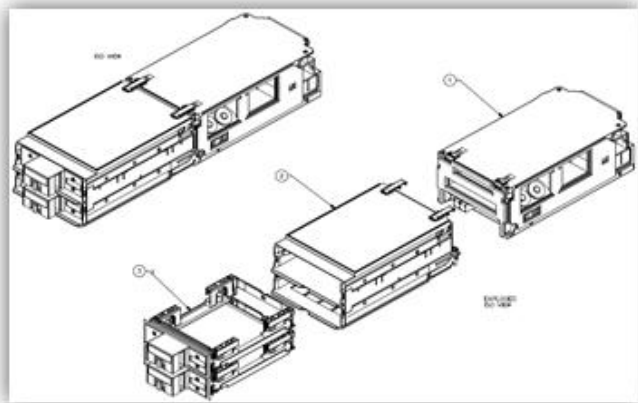
## 2. ส่วนควบคุมระบบ Utility (Common Base Unit)

ซึ่งในส่วนนี้จะมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถควบคุมการจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้า ระบบจ่ายความเย็นให้กับ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

## 3. ส่วนของช่องทดสอบ (Test Slot)

ในส่วนนี้จะใช้ Micro Controller เพื่อควบคุมการทำงานของระบบที่ประกอบไปด้วยระบบทำความร้อนการระบายความร้อนด้วยความเย็นที่มาจากระบบทำความเย็นของเครื่องจักรและฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่อยู่ระหว่างการทดสอบการทำงานและอีกส่วนหนึ่งใช้ในการควบคุมการจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้าให้กับช่องรองรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งการทำงานจะเริ่มจาก Host สั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์ควบคุมหลัก โดยจะให้มีการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในรูปแบบและตำแหน่งใดในเครื่องจักร โดยหลังจากนั้นเครื่อง คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานหลักจะประมวลผลไปยังช่องรองรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่จะทำการทดสอบเข้าไปและเมื่ออยู่ในตำแหน่งที่จะทำการทดสอบแล้วคอมพิวเตอร์หลักก็จะนำคำสั่งที่ได้ประมวลผลมาจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้าให้กับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อเริ่มทำการทดสอบตามที่ script test กำหนดไว้





## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การสั่นและการตรวจสอบความเสียหายของตลับลูกปืนบนเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (GEMINI)

## 1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1.3.1 การศึกษาและวิเคราะห์การสั่นของเครื่องที่เกิดจากตลับลูกปืน
- 1.3.2 การวิเคราะห์การสั่นและหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่น
- 1.3.3 การศึกษาอายุการใช้งานของตลับลูกปืน
- 1.3.4 การวางแผนจัดแหล่งกำเนิดของการสั่น

## 1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- 1.4.1 การวิเคราะห์การสั่นของเครื่องทดสอบที่เกิดจากการสึกหรอของตลับลูกปืนของแกนกลของเครื่องทดสอบ ที่บริษัทซีเคเทค โน โลยี (ประเทศไทย) จำกัด
- 1.4.2 การวิเคราะห์การสั่นที่เกิดขึ้นและหาต้นเหตุของการสั่น
- 1.4.3 การวิเคราะห์การสั่นกับอายุการใช้งานของตลับลูกปืน
- 1.4.4 การวิเคราะห์การสั่นและกำหนดรายละเอียดเพื่อการซ่อมบำรุงอย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.5 วิธีการดำเนินงาน

- 1.5.1 การดำเนินงาน
  1. ศึกษาวรรณกรรมและบทความที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
  2. ออกแบบการทดลอง และวิธีการวัดการสั่นที่เกิดจากตลับลูกปืน โดยแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบตลับลูกปืน ดี กำลังจะเสีย และ เสีย ทำการวิเคราะห์การสั่นด้วยการเปรียบเทียบ
  3. ประยุกต์วิธีการวัดและตำแหน่งที่วัดในการเก็บข้อมูลการสั่นของเครื่องทดสอบที่เกิดขึ้นและนำไปเปรียบเทียบกับสภาพของตลับลูกปืน
  4. เรียบเรียงวิทยานิพนธ์ตรวจสอบแก้ไขและเข้ารูปล่มเพื่อนำเสนอคณะกรรมการ
- 1.5.2 ระเบียบวิธีวิจัย
  1. วิธีการวัดการสั่นของตลับลูกปืน ทั้งสามแบบ
  2. วิเคราะห์การสั่นของเครื่องทดสอบโดยใช้การวัดเปรียบเทียบ
- 1.5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
  1. Laptop Intel Centino Core2 Duo 2.0 GHz, DEWE soft



2. Vibration sensor KISTLER, Triaxial Accelerometer type 8795A50M8

3. Interface box

#### 1.5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. เก็บข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าที่อ่านได้จริงของการสั่นสะเทือน
2. วิเคราะห์การสั่นของตลับลูกปืนที่มีสภาพแตกต่างกัน
3. เปรียบเทียบขนาดการสั่นเพื่อหาความแตกต่างของตลับลูกปืน

#### 1.5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ขนาดการสั่นของตลับลูกปืนแต่ละชนิด
2. เปรียบเทียบขนาดการสั่นของตลับลูกปืนแต่ละชนิด
3. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานกับการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืน

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 วิเคราะห์ผลกระทบจากการสั่นสะเทือนของเครื่องทดสอบที่มีผลต่อการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

1.6.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของเครื่องทดสอบที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

1.6.3 การควบคุมการสั่นของเครื่องทดสอบที่มีผลกระทบต่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในกระบวนการทดสอบโดยการขจัดแหล่งกำเนิดของการสั่นสะเทือน

### 1.7 การจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย 5 บท 3 ภาคผนวก ซึ่งมีรายละเอียดโดยย่อดังนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำซึ่งจะกล่าวถึงความสำคัญของปัญหาวัตถุประสงค์และเป้าหมายของงานวิจัยวิทยานิพนธ์ตลอดจนขอบเขตและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวกับการสั่นสะเทือนอุปกรณ์ที่ใช้คู่ชับการสั่นสะเทือน รวมถึงปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีดำเนินการทดลอง

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลองพร้อมทั้งสรุป

บทที่ 5 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2

### ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสั่นสะเทือนในเครื่องจักรกลนั้น ถือได้ว่าเป็นภาวะอีกหนึ่งชนิดของชิ้นส่วนในระบบ ซึ่งจะทำให้ชิ้นส่วนภายในเครื่องจักรกลรับภาระมากขึ้นเป็นสาเหตุที่จะทำให้เครื่องจักรนั้นมีอายุการใช้งานที่ลดลงและยังส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ด้วย ดังนั้นวิธีการตรวจจับการสั่นสะเทือนในเครื่องจักร โดยการใช้เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนเพื่อที่จะวิเคราะห์ปัญหา และเพื่อติดตามสภาพของเครื่องจักรกลในขณะที่กำลังทำงาน ทำให้สามารถป้องกันการเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องจักร พร้อมทั้งสามารถป้องกันความเสียหายของผลิตภัณฑ์ที่อาจจะเกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือน และเป็น การเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับระบบการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งทำให้หน่วยงานสามารถลด ค่าใช้จ่ายในด้านงานบำรุงรักษาเครื่องจักรซึ่งหมายถึงการลดต้นทุนการผลิตด้วย

ในปัจจุบันเทคโนโลยีในการตรวจสอบเครื่องจักรกล ในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงาน มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Thermography), การทดสอบโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Testing), การปรับความสมดุลและการปรับแต่งลักษณะการเชื่อมต่อของส่วนต่างๆของเครื่องจักร (Balancing/Alignment), การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมัน (Oil Analysis), โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ข้อมูลออกมาเป็นผลลัพธ์ที่เชื่อถือได้หรือการวัดระดับการสั่นสะเทือนทางกล (Vibration) เป็นต้น จากการวัดค่าต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าการวัดความสั่นสะเทือนนั้นเป็นหนึ่งในกระบวนการทดสอบเครื่องจักร ซึ่งมีอยู่หลายวิธีและในแต่ละวิธีนั้นก็จะมีข้อจำกัดทางด้าน การวัดแตกต่างกันออกไป บางเครื่องจักรสามารถตรวจสอบได้หรืออาจจะไม่ได้ในบางชนิด แต่ในเครื่องจักรทุกชนิด สามารถที่จะใช้การวัดระดับการสั่นสะเทือน มาเป็นข้อมูลหลักในการตรวจสอบสภาพการทำงาน ของเครื่องจักรได้

การดำเนินการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ควรศึกษาความสามารถและประโยชน์ของการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเสียก่อน ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความมั่นใจว่าการใช้เทคนิคนี้จะเอื้อประโยชน์ได้อย่างแท้จริง การสั่นสะเทือนนั้นจะอยู่ในรูปของพลังงานที่สูญเสียไปซึ่งการสั่นสะเทือนนั้นเกิดจากปัญหาของเครื่องจักรที่แสดงผลออกมาให้เห็นทางกล ส่งผลทำให้เครื่องจักรสูญเสียพลังงานและสมรรถนะการทำงาน ของเครื่องจักรลดลง เราสามารถวัดค่าของพลังงานที่สูญเสียไปของเครื่องจักรได้ในรูปของการสั่นสะเทือน เครื่องจักรกลต่างๆเมื่อมีการสั่นสะเทือนสูงมากกว่าปกติ

นั้นแสดงว่ามีปัญหาบางอย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้นกับเครื่องจักรกลนั้นๆ ซึ่งต้องหาแนวทางการแก้ไขเพื่อลดการสูญเสียพลังงานและเป็นการรักษาสภาพการทำงานของเครื่องจักรนั้นให้อยู่ในระดับปกติ

ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนนั้นจำเป็นที่จะต้องทราบทฤษฎีพื้นฐานและที่มาของการสั่นสะเทือน ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุภายใต้แรงกระทำ ซึ่งอาจเป็นแรงภายในหรือแรงภายนอกก็ได้ โดยทั่วไปแล้วการสั่นสะเทือนเป็นสิ่งที่เราไม่ต้องการ แต่หลีกเลี่ยงไม่ได้ อย่างดีที่สุดก็คือการพยายามจำกัดขนาดของการสั่นสะเทือนให้อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ สำหรับเครื่องจักรแล้ว การสั่นสะเทือนอาจเกิดได้หลายสาเหตุเช่น การไม่สมดุลของเครื่องจักรที่หมุน การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนของเครื่องจักรตามแนวเส้นตรง การขัดสีกันระหว่างชิ้นส่วนสองชิ้น การหลุดหลวมของชิ้นส่วนของเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งการสั่นสะเทือนเหล่านี้มักมีผลต่อสมรรถภาพและสภาพการใช้งานของเครื่องจักร ดังนั้นในการทำให้เครื่องจักรทำงานได้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้นจำเป็นต้องมีความเข้าใจถึงพฤติกรรมของการสั่นสะเทือน เพื่อที่จะได้สามารถวิเคราะห์ปัญหาและแก้ไขได้ถูกต้อง

## 2.1 การสั่นสะเทือนคืออะไร

การสั่นสะเทือน (Vibration) ในความหมายก็คือ การสั่นหรือการแกว่งของวัตถุหรือชิ้นส่วนต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่ใช้อ้างอิง เช่นการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเมื่อเปรียบเทียบกับฐานของเครื่อง หรือการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืน (Bearing) เมื่อเทียบกับตัวเรือน (Cage or Housing) การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรงจะสามารถทำให้เครื่องจักรเกิดความเสียหายได้ โดยการแตกหักหรือล้าตัวซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นจะมากน้อย เร็วหรือช้าก็จะขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางของแรงที่เกิดจากการสั่นสะเทือน เมื่อเทียบกับขนาดโครงสร้างและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุนั้นๆ ความสั่นสะเทือนเป็นการเคลื่อนที่ทางไดนามิกส์ ซึ่งเป็นผลมาจากการส่งแรงกระตุ้นไปยังมวล โดยการวัดความสั่นสะเทือนจะช่วยให้

- ป้องกันการบาดเจ็บของบุคลากรที่ทำงานควบคุมเครื่องจักรในบริเวณนั้น หากเครื่องจักรมีการสั่นสะเทือนมากเกินไปที่จะทนได้ ส่วนประกอบของเครื่องจักรจะกระทบกันเองอย่างรุนแรง หรือหลุดแตกออกมาทำให้ผู้ที่ทำงานอยู่ในบริเวณนั้นเกิดการบาดเจ็บ หรือถึงขั้นเสียชีวิตได้
- ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม หากการทำงานของเครื่องจักรสะดุดสะดุ้งลงอันเนื่องมาจากความสั่นสะเทือนเกินระดับที่เครื่องสามารถทำงานได้
- หลีกเลี่ยงการเปลี่ยนส่วนประกอบของเครื่องจักรที่มีต้นทุนสูง หรือในบางครั้งอาจไม่สามารถซ่อมแซมได้ ต้องมีการเปลี่ยนชุดใหม่ทั้งหมด

## 2.2 เบื้องต้นเกี่ยวกับการสั่นสะเทือน

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนได้ถูกนำมาใช้ในการหาความถี่ และยังสามารถนำมาใช้ได้ดีสำหรับการวินิจฉัยหาสาเหตุของความผิดปกติของเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องจักรอุปกรณ์เชิงกลในงานอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งต้องมีการนำเทคนิคมาใช้ที่เหมาะสมและถูกต้อง แต่การนำเทคนิคไปใช้ให้เกิดประโยชน์นั้นจะต้องทำความเข้าใจถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเสียก่อน

### 2.2.1 การสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือน (Vibration) คือการเคลื่อนที่ของวัตถุรอบๆจุดสมดุลในช่วงเวลาหนึ่งของการเคลื่อนที่ ไม่ว่าจะการเคลื่อนที่รอบจุดสมดุลนั้นเกิดขึ้นในแบบการเคลื่อนที่เข้าไปเข้ามา หรือจะเป็นการแกว่ง (Oscillation) รอบจุดสมดุลก็ตาม ลักษณะทางกายภาพของปรากฏการณ์การสั่นสะเทือนจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปไปมาของพลังงาน สำหรับระบบที่มีการสั่นสะเทือนนั้นมีองค์ประกอบสำคัญคือ องค์ประกอบที่สะสมพลังงานศักย์ องค์ประกอบที่สะสมพลังงานจลน์ และองค์ประกอบที่หน่วงให้พลังงานของระบบลดลง ซึ่งการเปลี่ยนรูปไปมาของพลังงาน จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่และการเคลื่อนที่นี้จะก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้น กล่าวคือ เมื่อมีการสะสมพลังงานศักย์ขึ้นในระบบ พลังงานนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ ซึ่งอยู่ในลักษณะการเคลื่อนที่ของมวลในระบบ และการเคลื่อนที่นี้จะก่อให้เกิดการสะสมพลังงานศักย์ขึ้นอีก เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ส่วนองค์ประกอบที่หน่วงพลังงานของระบบนั้น ก็จะเปลี่ยนพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของระบบให้อยู่ในรูปอื่น เช่น เสียงหรือความร้อน เป็นต้น จนในที่สุดพลังงานของระบบหมดไป นอกเสียจากว่ามีสิ่งใดสิ่งหนึ่งมากระทำหรือกระตุ้นให้การสั่นสะเทือนยังคงมีอยู่

### 2.2.2 ที่มาของการสั่นสะเทือน (Vibration Source)

โดยปกติแล้ว การทำงานของชิ้นส่วนของเครื่องจักรหรือเครื่องจักรนั้นย่อมมีการสั่นสะเทือน เป็นธรรมชาติของมันอยู่แล้ว ถ้าระดับการสั่นสะเทือนนั้นไม่มากหรืออยู่ในเกณฑ์ปกติก็ถือว่าเป็นเรื่องธรรมดา แต่ถ้าการสั่นสะเทือนมากเกินไปก็อาจส่งผลให้ชิ้นส่วนตลอดจนเครื่องจักรนั้น ๆ มีอายุการใช้งานที่สั้นลง เราจึงต้องหาสาเหตุและที่มาของการสั่นสะเทือนนั้นเพื่อทำการแก้ไขให้การสั่นสะเทือนนั้นอยู่ในระดับปกติ ซึ่งการสั่นสะเทือนนั้นมาจากหลายสาเหตุ เช่น

1. ความไม่สมดุลในการหมุน (Unbalance) จะเกิดขึ้นเมื่อจุดศูนย์กลางของการหมุนและจุดศูนย์กลางของมวลไม่อยู่ในจุด ๆ เดียวกัน เช่น การไม่สมดุลหรือการแกว่งของเพลาคงหรือซาร์ต การไม่สมดุลของใบพัด ล้อช่วยแรง ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ในแนวรัศมีหรือในรูปวงกลม

2. ความไม่ได้อันตรกิริยา (Misalignment) ระหว่างเพลลาของมอเตอร์และปั๊มหรือเพลลาของต้นกำลังกับเพลลาของเครื่องจักร
3. การหลุดหลวมของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักร
4. การที่แบร์ริงหรือบูช เกิดการชำรุดสึกหรอหรือขาดการหล่อลื่น
5. แท่นเครื่องหรือจุดจับยึดของเครื่องจักรไม่แน่น หรือไม่แข็งแรง

สำหรับความเสียหายที่เกิดจากการสั่นสะเทือนนั้นจะเกิดเนื่องจากแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของวัตถุที่สั่นสะเทือนนั้น ๆ โดยที่แรงที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามกฎข้อที่สองของนิวตัน (2nd Newton Laws) ดังสมการ

$$F = ma \quad (2.1)$$

โดยที่  $F$  คือ แรงกระทำที่เกิดขึ้น (N)

$m$  คือ มวลของวัตถุหรือระบบที่เคลื่อนที่ (kg)

$a$  คือ อัตราเร่งที่เกิดขึ้นกับวัตถุหรือระบบที่เกิดการเคลื่อนที่ ( $m/s^2$ )

สำหรับการเคลื่อนที่เชิงมุมนั้นความไม่สมดุลของชิ้นส่วนที่หมุนก็จะเป็นต้นเหตุให้เกิดการสั่นสะเทือน โดยแรงที่เกิดจากการสั่นสะเทือนจะเป็นไปตามสมการ

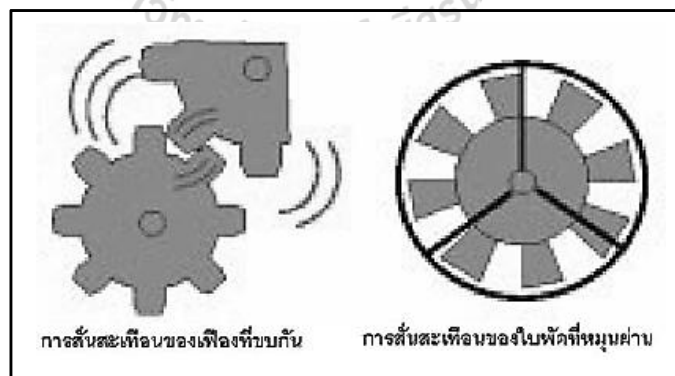
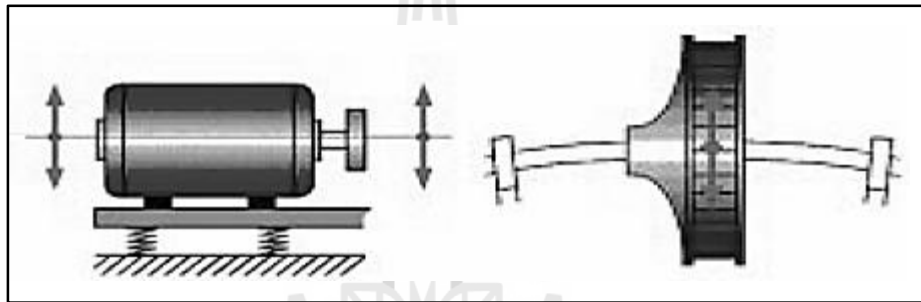
$$F = m_r r^2 \quad (2.2)$$

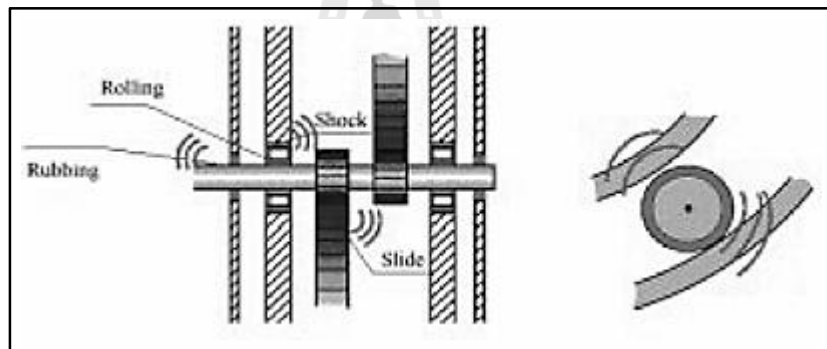
โดยที่  $F$  คือ แรงกระทำที่เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่สมดุลในการหมุน (N)

$m_r$  คือ มวลของวัตถุหรือระบบที่เคลื่อนที่โดยการหมุน (kg)

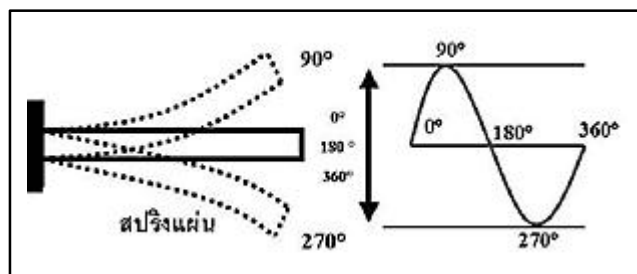
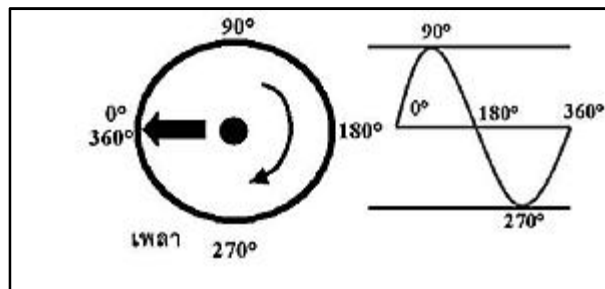
$r$  คือ ระยะห่างระหว่างมวลที่ไม่สมดุล,  $m_r$  จากศูนย์กลางการหมุน (m)

$S$  คือ ความเร็วเชิงมุม ( $2 N_s$ )(m/s) โดยที่  $N_s$  = รอบ/วินาที

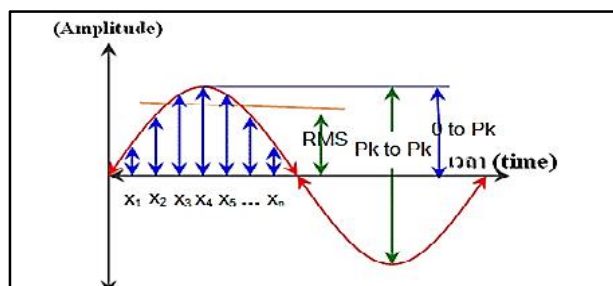




มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี







ซึ่งในด้านคุณภาพของแรงสั่นสะเทือนที่นิยมใช้วัด ได้แก่ Peak value คือ ค่าสูงสุดของขนาดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง, Root mean square value (RMS) คือ ค่าเฉลี่ยของผลรวมของแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ส่วนค่า peak to peak คือค่าสูงสุด ถึงค่าต่ำสุดของขนาดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งๆ ค่าทั้งสามแบบที่กล่าวมาข้างต้น มักจะปรากฏอยู่ทั้งในมาตรฐานของการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร และอุปกรณ์วัดแรงสั่นสะเทือนต่างๆ

- ความถี่ (Frequency)

ความถี่ (Frequency) คือความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของการเคลื่อนที่หรือรอบของการหมุนต่อหน่วยเวลา ในหน่วย SI ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในปัจจุบันจะวัดเป็นรอบต่อวินาที (Rev/s หรือ rps, Hz) ตัวอย่างถ้าหากเพลาหมุนด้วยความเร็ว 1500 รอบต่อนาที (rpm) ความถี่ในการหมุนก็จะเท่ากับ  $1500/60 = 25$  รอบต่อวินาทีหรือ 25 Hz ความถี่ที่เรามักจะพูดถึงกันนั้นจะมีอยู่สองชนิดก็คือ

- ความถี่ในการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร คือความถี่ที่เกิดจากการหมุนหรือการเคลื่อนที่จากการทำงานของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักร เช่น มอเตอร์หมุนด้วยความถี่ 25 Hz (1500 rpm) ซึ่งความถี่ที่เกิดจากการทำงานหรือการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรนี้จะมากหรือน้อยก็จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดภายหลัง โดยที่ความถี่และเวลาในการสั่นสะเทือนจะเป็นไปตามสมการ

$$F = \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

หรือ

$$T = \frac{1}{F} \quad (2.4)$$

โดยที่  $F$  คือ ความถี่ (Frequency)

$T$  คือ เวลาของการสั่นในแต่ละรอบ (Cycle)

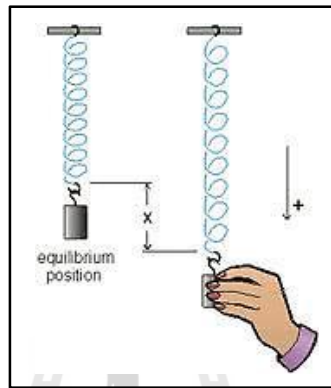
- ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ความถี่ธรรมชาติเป็นความถี่ประจำตัวของวัตถุใด ๆ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะต่าง ๆ ดังนี้คือ ความหยุ่นตัว (Elasticity) และความแข็งแรงของวัตถุ, ขนาดของวัตถุ (Size), รูปทรงของวัตถุ (Dimension) จากรูปที่ 2.7 รูปสปริงที่มีวัตถุซึ่งมีมวล  $m$  (kg) แขนงติดอยู่ที่ปลาย ซึ่งเมื่อเราดึงสปริงดังกล่าวให้ยืดออกและปล่อย สปริงดังกล่าวก็จะสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติของมัน ตามสมการ

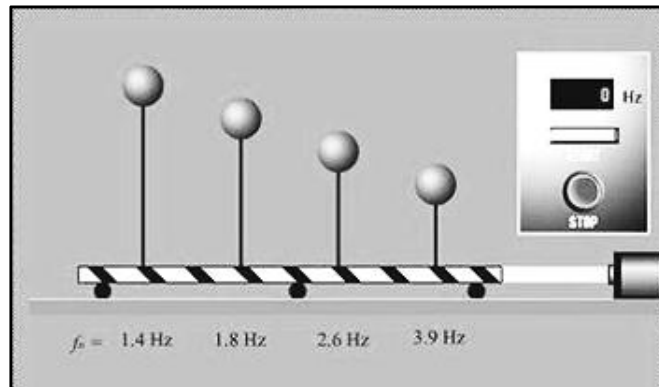
$$F_n = \frac{1}{2f} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

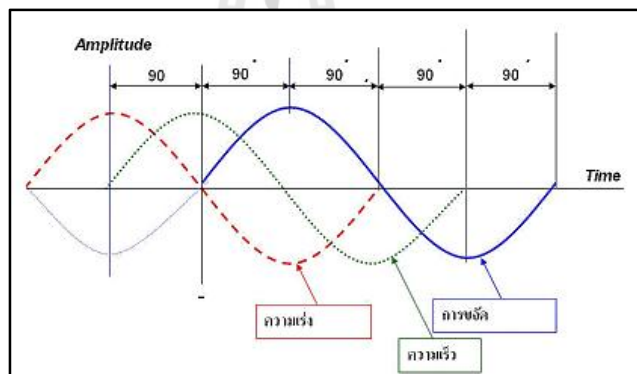
$F_n$

$k$

$m$







มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ลักษณะการเคลื่อนที่ซ้ำไปซ้ำมาเหมือนกันทุกคาบ การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกสามารถแสดงในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์แทนความสัมพันธ์ระหว่างการจัด (x) และ เวลา (t) ดังนี้

$$X(t) = X_0 \sin(\tilde{S}t) \quad (2.6)$$

โดยที่  $X_0$  คือ ค่าการจัดสูงสุดหรือแอมพลิจูด

$\tilde{S}$  คือ ความถี่เชิงมุม (Radians per Second)

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.7)$$

เมื่อ  $T$  คือ คาบเวลา มีหน่วยเป็นวินาทีต่อรอบ (Sec) หรือเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ 1 รอบ ซึ่งส่วนกลับคือความถี่ ( $f$ ) มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที (Cycle per Second; cps) หรือ เฮิร์ตซ์ (Hertz; Hz)

นอกจากนั้นยังสามารถวัดความถี่ของการสั่นได้อีกวิธีหนึ่งคือ การวัดความถี่เชิงมุม (Cycle Frequency;  $\omega$ ) ซึ่งมีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที (Radian per Second) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบของการสั่น ( $\omega t$ ) จะเกิดขึ้นเมื่อมีมุมรวมกันเท่ากับ 360 องศา หรือ 2 เรเดียน ที่จุดดังกล่าวจะสามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังนี้

$$\tilde{S} = \frac{2\pi f}{T} = 2\pi f \quad (2.8)$$

สำหรับเครื่องจักรแบบหมุน ความถี่ส่วนใหญ่จะแสดงด้วยค่าการสั่นสะเทือนต่อ นาที (Vibrations per Minute; vpm) หรือ

$$vpm = \frac{\tilde{S}}{f} \quad (2.9)$$

โดยความหมายแล้วความเร็วเป็นอนุพันธ์ลำดับที่ 1 ของการจัดเทียบกับเวลา ซึ่งสำหรับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกแล้ว สมการของการจัดแสดงได้ดังสมการที่ (2.6) ซึ่งเมื่อหาอนุพันธ์ลำดับที่ 1 ของสมการนี้เทียบกับเวลา แสดงได้ดังต่อไปนี้

$$v = \frac{dx}{dt} = \dot{X} = \tilde{S}X_0 \cos(\tilde{S}t) \quad (2.10)$$

$$-\ddot{X}X_0$$

$$a = \frac{d^2 X}{dt^2} = \ddot{X} = -\ddot{S}^2 X_0 \sin(\ddot{S}t)$$

$$\ddot{S}^2 X_0$$

$$X_1 = a \sin(\ddot{S}t)$$

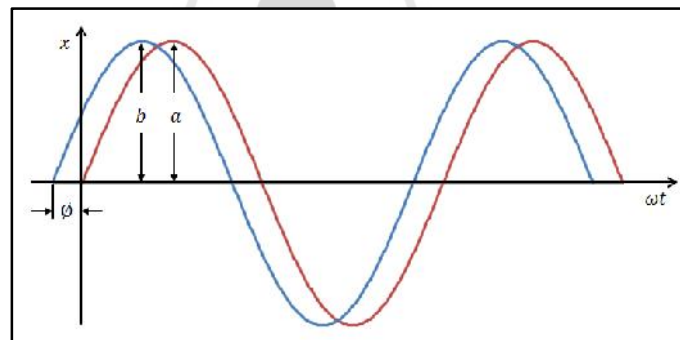
$$X_2 = b \sin(\ddot{S}t + w)$$

$\ddot{S}t$

$w$

$X_2$

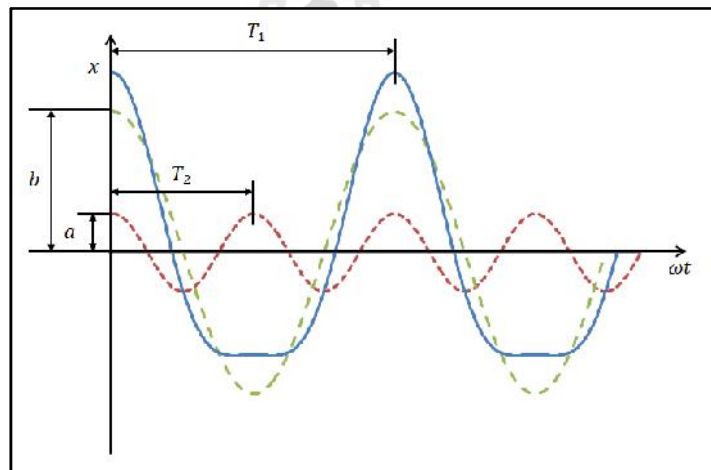
$w/\ddot{S}$



$$X_1 = a \sin(\check{S}_1 t)$$

$$X_2 = b \sin(\check{S}_2 t)$$

$$X = X_1 + X_2 = a \sin(\check{S}_1 t) + b \sin(\check{S}_2 t)$$



$\check{S}, 2\check{S}, 3\check{S}, \dots$

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin(\check{S}t + w_1) + A_2 \sin(\check{S}t + w_2) + A_3 \sin(\check{S}t + w_3) + \dots$$



สั้นสะเทือนทั่วไป ค่า  $2S, 3S, \dots$  จะเป็นการอ้างอิงถึงค่าลำดับที่ฮาร์มอนิกของความถี่หลัก (Primary Frequency;  $S$ ) ในรูปแบบเฉพาะของการสั่นส่วนใหญ่ ค่าความถี่หลักของวัตถุจะมีค่าเป็นหนึ่งในห้าของค่าความเร็วใช้งาน (Running Speed) ของขบวนเครื่องจักร (Machine-train) ซึ่งจะแทนด้วย  $1X$  หรือ  $1S$

นอกจากนี้รูปแบบลักษณะเฉพาะดังกล่าวอาจมีค่าปรากฏที่ตำแหน่งฮาร์โมนิกอื่นๆ เช่น ที่สองเท่า ( $2X$ ) สามเท่า ( $3X$ ) หรือตำแหน่งอื่นๆ ของค่าความเร็วที่ใช้งานหลัก (Primary Running Speed) ซึ่งการประยุกต์ดังกล่าวเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์การสั้นสะเทือน

### 2.3.2 พลศาสตร์ของเครื่องจักร

เหตุผลสำคัญที่ทำให้รูปแบบการสั้นของเครื่องจักรมีความหลากหลายแตกต่างกันนั้นมีสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่แบบพลศาสตร์ของเครื่องจักร (Machine Dynamics) โดยการเคลื่อนที่นี้จะขึ้นอยู่กับมวล (Mass) ความแข็งของสปริง (Stiffness) ความหน่วง (Damping) และลำดับชั้นความเป็นอิสระของการเคลื่อนที่ (Degree of freedom) แต่อย่างไรก็ตามยังจำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการวิเคราะห์ที่อยู่ เพราะรูปแบบของการสั้นสะเทือนที่เกิดจากเครื่องจักรนั้นอาจจะแปรผันไปตามปัจจัยของตำแหน่งหรือปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ในการวัดได้อีกด้วย

1. มวล (Mass) มวลเป็นคุณสมบัติของวัตถุในการอธิบายว่ามีปริมาณเนื้อวัสดุมากเพียงใด ณ เวลานั้น แต่สำหรับหลักการของพลศาสตร์แล้ว มวลจะอธิบายถึงความสามารถของวัตถุในการต้านแรงภายนอกที่มากกระทำได้มากน้อยเพียงใด หรืออาจกล่าวได้ว่า ยิ่งวัตถุมีมวลมากก็ต้องใช้แรงปริมาณมากในการทำให้วัตถุเคลื่อนที่ การวิเคราะห์การสั้นสะเทือนถ้าเครื่องจักรมีมวลมากและสูญเสียสถานะสมดุลแล้วปริมาณการสั้นสะเทือนก็จะมากตามไปด้วย

2. ความแข็งของสปริง (Stiffness) ความแข็งของสปริงนี้เป็นคุณสมบัติของวัตถุที่คล้ายคุณสมบัติของสปริง คือบอกถึงระดับความสามารถของวัตถุในการต้านแรงที่มากกระทำซึ่งจะส่งผลให้ตัววัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงระยะทางหรือมิติรูปร่าง หน่วยของความมั่นคงแข็งแรงมักจะกำหนดเป็นน้ำหนักต่อระยะทาง ( $\text{kg/m}$ ) เครื่องจักรส่วนใหญ่จะมีคุณสมบัติความแข็งของสปริงในแกนของเพลลา (Shaft Stiffness or Longitudinal Stiffness) ความแข็งของสปริงในแนวแกนตั้ง (Vertical Stiffness) ความแข็งของสปริงในแนวแกนนอน (Horizontal Stiffness) ในเครื่องจักรต่างๆ ยิ่งค่าความแข็งของสปริงมีค่าน้อยลงค่าการสั้นสะเทือนจะยิ่งมากขึ้น

3. ความหน่วง (Damping) ความหน่วงเป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงสภาพการต้านการเคลื่อนที่มีผลทำให้ความเร็วของการสั้นลดลง โดยทั่วไปแล้วจะหมายถึงแรงต้านการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการกระทำของของเหลวหรือก๊าซ และการเสียดสีสัมผัสของวัตถุอื่น หน่วยของความหน่วงโดยมากจะกำหนดเป็นน้ำหนักต่อระยะทางต่อเวลา ( $\text{kg/m/sec}$ )

4. ลำดับชั้นความเป็นอิสระของการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (Degree of Freedom of Vibration Analysis) ลำดับชั้นความเป็นอิสระจะเป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าเครื่องจักรกลดังกล่าวมีทิศทางการเคลื่อนที่ได้มากน้อยเพียงใด ยังมีค่ามากยิ่งสามารถเคลื่อนที่ได้หลายทิศทาง ยิ่งไปกว่านั้นจะพบว่าคุณสมบัติของมวล ความแข็งของสปริง และความหน่วงจะมีความสัมพันธ์แตกต่างกันสำหรับแต่ละทิศทางของการเคลื่อนที่ ดังนั้นยิ่งชิ้นส่วนภายในเครื่องจักรมีลำดับชั้นความอิสระมากขึ้นเท่านั้นเพื่อทำความเข้าใจถึงอิทธิพลของลำดับชั้นความเป็นอิสระในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน จึงต้องทำการศึกษาดูอย่างรูปแบบของการสั่นสะเทือนและจำนวนลำดับชั้นความอิสระ มีเครื่องจักรกลจำนวนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่เป็นระบบหนึ่งชั้นความเป็นอิสระ ส่วนใหญ่จะเป็นระบบหลายลำดับชั้นความเป็นอิสระ ซึ่งในระบบสมการของการสั่นจะมีความถี่ธรรมชาติและรูปแบบของการเคลื่อนที่หลายค่าขึ้นอยู่กับจำนวนลำดับชั้นความอิสระที่พบของเครื่องจักรกล

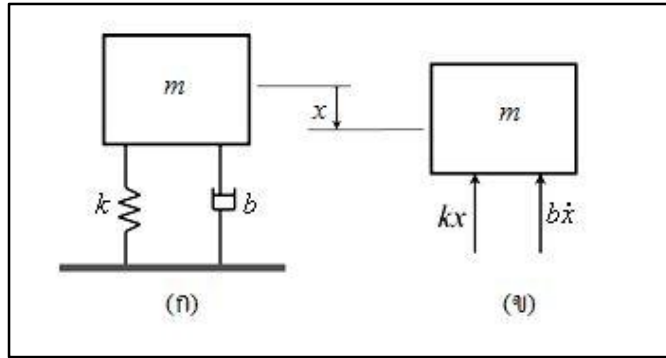
### 2.3.3 การสั่นอิสระเมื่อมีตัวหน่วงแบบความหนืด

การสั่นอิสระของระบบอิสระในความเป็นจริงนั้นจะเกิดการสูญเสียพลังงานไปในรูปต่างๆ การสูญเสียพลังงานที่เราพบเห็นมากที่สุดก็คือการสูญเสียพลังงานไปในรูปของแรงเสียดทานที่เกิดจากความหนืดของของไหล ซึ่งเรานิยมแทนด้วยตัวหน่วงแบบความหนืด แรงเนื่องจากตัวหน่วงแบบความหนืดนี้สามารถหาได้จาก

$$F_d = c\dot{x} \quad (2.16)$$

เมื่อ  $c$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงของตัวหน่วงแบบความหนืด สำหรับเครื่องกลชนิดนั้นแสดงให้เห็นว่าทิศทางของแรงจะตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของมวล

ลักษณะทางกายภาพของปรากฏการณ์การสั่นสะเทือนจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปไปมาของพลังงาน สำหรับระบบที่มีการสั่นสะเทือนนั้นจะมีองค์ประกอบสำคัญ คือ องค์ประกอบที่สะสมพลังงานศักย์ องค์ประกอบที่สะสมพลังงานจลน์ และองค์ประกอบที่หน่วงให้พลังงานของระบบลดลง ซึ่งการเปลี่ยนรูปไปมาของพลังงาน จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่และการเคลื่อนที่นี้จะก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้น กล่าวคือ เมื่อมีการสะสมพลังงานศักย์ขึ้นในระบบ พลังงานนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ ซึ่งอยู่ในลักษณะการเคลื่อนที่ของมวลในระบบ และการเคลื่อนที่นี้จะก่อให้เกิดการสะสมพลังงานศักย์ขึ้นอีก เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ส่วนองค์ประกอบที่หน่วงพลังงานของระบบนั้น ก็จะเปลี่ยนพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของระบบให้อยู่ในรูปอื่น เช่น เสียงหรือความร้อน เป็นต้น จนในที่สุดพลังงานของระบบหมดไป นอกเสียจากว่ามีสิ่งใดสิ่งหนึ่งมากระทำหรือกระตุ้นให้การสั่นสะเทือนยังคงมีอยู่แบบจำลองของระบบแสดงดังรูปที่ 2.12 เมื่อ  $m$  คือ



$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = 0$$

$$\check{S}_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$2' = \frac{b}{b_c}$$

$b_c$

$$b_c = 2m\check{S}_n = 2\sqrt{mk}$$

$$\ddot{x} + 2' \check{S}_n \dot{x} + \check{S}_n^2 x = 0$$

$$X(s) = \frac{\dot{x}(0) + (s + 2' \check{S}_n)x(0)}{s^2 + 2' \check{S}_n s + \check{S}_n^2}$$

เมื่อ  $x(0)$  และ  $\dot{x}(0)$  เป็นสภาวะเริ่มต้น (Initial Condition) และจะได้สมการลักษณะเฉพาะ (Characteristic Equation) คือ

$$s^2 + 2'\tilde{S}_n s + \tilde{S}_n^2 = 0 \quad (2.23)$$

รากของสมการที่ (2.23) คือ

$$s_{1,2} = (-' \pm \sqrt{'^2 + 1})\tilde{S}_n \quad (2.24)$$

จากสมการที่ (2.22) ถึง (2.24) จะเห็นได้ว่าลักษณะของการตอบสนองของระบบจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนความหน่วง นอกเหนือจากนั้นเราจะพบว่าหากค่าอัตราส่วนความหน่วงนี้เป็นศูนย์ ( $= 0$ ) เราก็จะได้การเคลื่อนที่นี้เป็นการเคลื่อนที่แบบไม่มีความหน่วง สำหรับการศึกษารื่องการสั่นแบบไม่มีความหน่วงนี้ เราสามารถแบ่งการพิจารณาค่า  $0$  ออกได้เป็นสามกรณีคือ

- ระบบมีความหน่วงต่ำ (Underdamped System)  $< 1$

กรณีระบบมีความหน่วงต่ำเมื่อ  $< 1$  กรณีนี้ค่าราก  $s_1$  และ  $s_2$  จะเป็นจำนวนจินตภาพสมการผลการตอบสนองของระบบคือ

$$X(s) = \frac{(s + '\tilde{S}_n)x(0)}{(s + '\tilde{S}_n)^2 + \tilde{S}_d^2} + \frac{\dot{x}(0) + '\tilde{S}_n x(0)}{(s + '\tilde{S}_n)^2 + \tilde{S}_d^2} \quad (2.25)$$

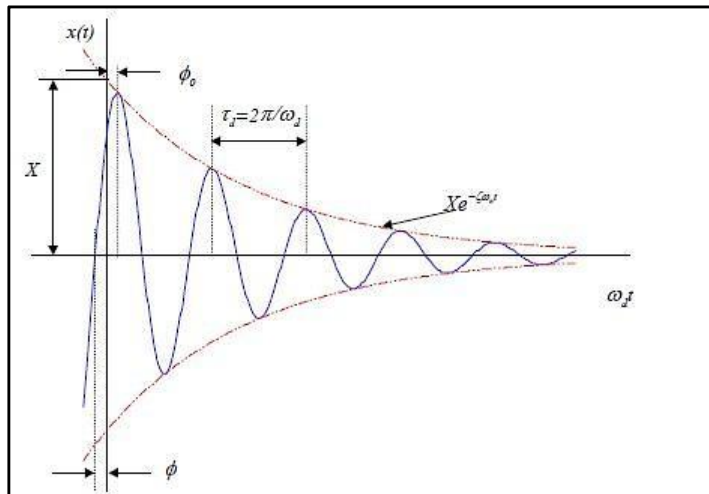
เมื่อนิยามให้ความถี่ของการสั่นแบบหน่วง (Damped Natural Frequency) คือ

$$\tilde{S}_d = \tilde{S}_n \sqrt{1 - '^2} \quad (2.26)$$

หรือจัดรูปให้อยู่ในโดเมนของเวลาได้ คือ

$$x(t) = e^{-'\tilde{S}_n t} [x_0 \cos \tilde{S}_d t + (\frac{'\tilde{S}_n x_0 + \dot{x}_0}{\tilde{S}_d}) \sin \tilde{S}_d t] \quad (2.27)$$

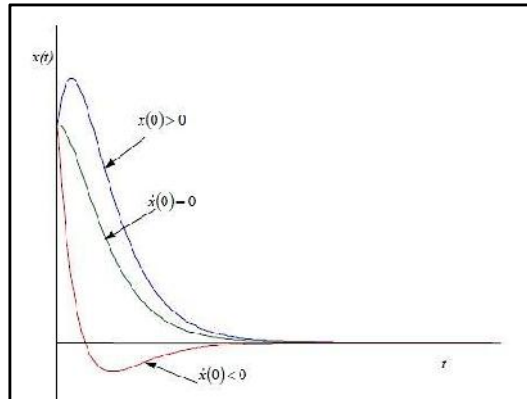
จากผลตอบสนองของระบบในกรณีความหน่วงต่ำนี้เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าของผลตอบสนองจะลดลง นั่นคือช่วงกว้างการสั่นของระบบจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป ทำให้เราสรุปได้ว่าเมื่อเราให้ความหน่วงแก่ระบบ ระบบจะสั่นด้วยความถี่ที่ลดลง การสั่นแบบความหน่วงต่ำนี้เป็นกรณีที่สำคัญที่สุดในการศึกษาการสั่นแบบมีความหน่วงเพราะจะเป็นกรณีเดียวที่ระบบสามารถเกิดการสั่นได้หากว่ามีความหน่วงในระบบ ในรูปที่ 2.13 เป็นการแสดงการสั่นแบบมีความหน่วงต่ำ



$$s_1 = s_2 = \check{S}_n$$

$$X(s) = \frac{x(0)}{s + \check{S}_n} + \frac{\dot{x}(0) + \check{S}_n x(0)}{(s + \check{S}_n)}$$

$$x(t) = x_0 e^{-\check{S}_n t} + (\dot{x}_0 + \check{S}_n x_0) t e^{-\check{S}_n t}$$

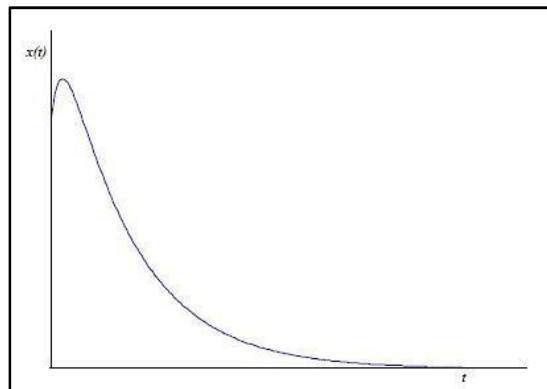


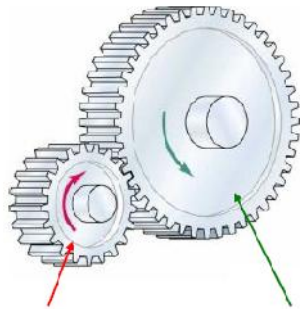
$s_2$

$s_1$

$$x(t) = A_1 e^{(-\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1})\tilde{\omega}_n t} + A_2 e^{(-\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1})\tilde{\omega}_n t}$$

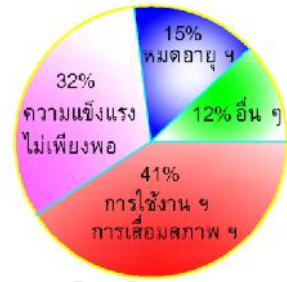
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



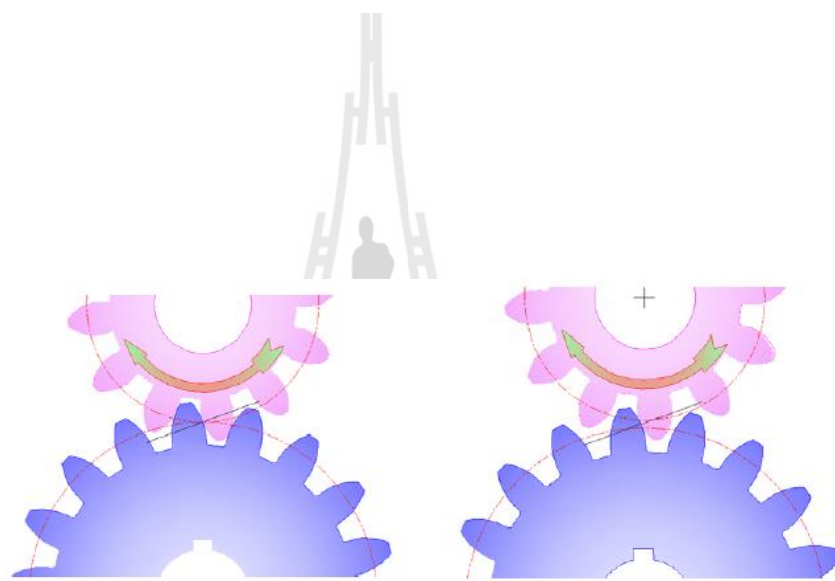


Small gear  
**"Pinion"**  
(usually driving)

Large gear  
**"Gear"**



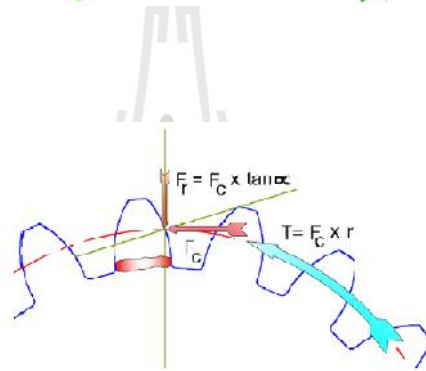
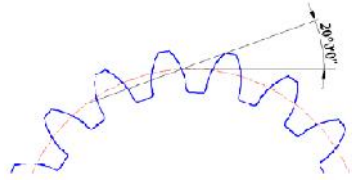




ฟันเฟืองขบกันปกติ

ฟันเฟืองขบกันห่างกว่าปกติ

วิทยาลัยเทคโนโลยีฯ



สามารถทำให้วัสดุใช้งานได้ยาวนานเท่าที่จะสามารถใช้ได้ แต่ก็มีไม่น้อยที่บริษัทผู้ผลิตมีนโยบายในการขายอะไหล่ควบคู่กับการใช้งานที่สมบูรณ์ของสินค้านั้น

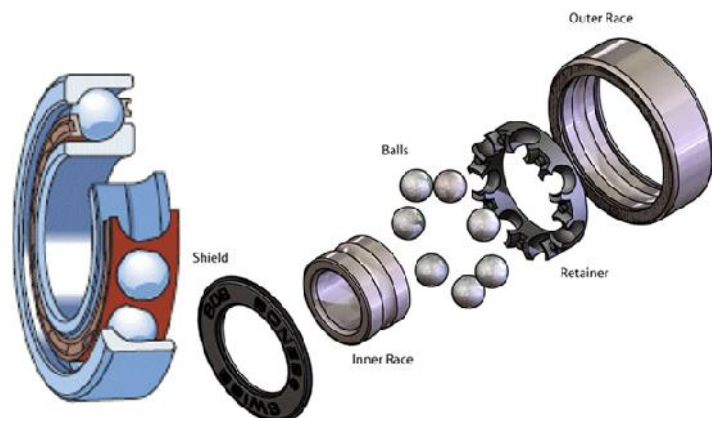
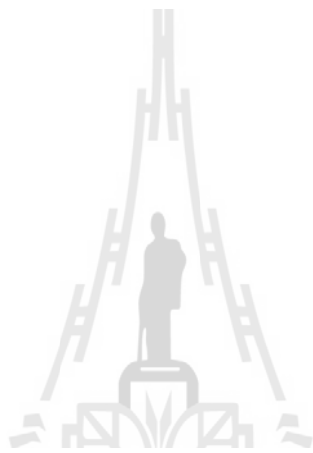
- **การเสียหายของฟันเฟืองเนื่องจากสภาพอื่น (12%)**

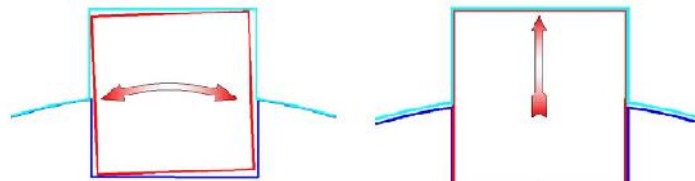
การเสียหายของเฟืองเกิดมาจากความผิดพลาดหรือความไม่เที่ยงตรงของกระบวนการผลิตเป็นเหตุให้ฟันเฟืองที่ใช้งานสัมผัสเพียงจุดเดียวหรือด้านเดียวทำให้เกิดการสึกหรอเสียหายขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการสัมผัสปลายด้านกว้างเพียงด้านเดียวเนื่องจากความลึกของฟันเฟืองไม่ขนานกันการบิดเอียงของฟันเฟืองที่ร่องฟันไม่ขนานกับแกนเพลลาอีกกรณีหนึ่งที่ต้องพิจารณาคือ การประกอบเฟืองส่วนใหญ่จะทำในขณะที่ไม่มีแรงกระทำ (Unload) ซึ่งในความเป็นจริงการบิดตัวของเพลลาและฟันเฟืองในสภาพไร้แรงกระทำและสภาพที่มีแรงกระทำจะต่างกัน มีผลให้จุดสัมผัสของเฟืองเปลี่ยนไปดังนั้นต้องมีการแก้ไขจุดสัมผัสของเฟืองในขณะที่เพลลาเฟืองมีการรับแรงกระทำถึงจะได้ผลดี

#### 2.4.2 ความเสียหายของตลับลูกปืน (Bearing)

ความเสียหายของตลับลูกปืนมีสาเหตุมาจากหลายประการซึ่งสาเหตุดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อทั้งด้านเราจะแยกประเด็นในการพิจารณาเราสามารถแยกสาเหตุได้คือ

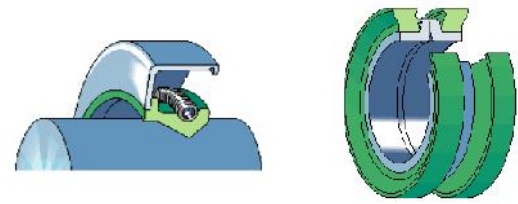
1. การขยายตัวเนื่องจากความร้อนเครื่องจักรกลหรือเฟืองทศส่วนใหญ่จะออกแบบให้ตัวโครงสร้างเป็นตัวรองรับตลับลูกปืนความร้อนที่เกิดจากการทำงานที่ดีหรืออุณหภูมิโดยรอบที่มีการเปลี่ยนแปลงมากการขยายตัวที่ต่างกันของเพลลา กับ โครงสร้าง จะทำให้เกิดแรงดันอย่างสูงที่เพลลาและส่งผลกระทบต่อตลับลูกปืนเราสามารถป้องกันโดยการใส่แผ่นแยก (Distance Piece) ใส่ไว้ในทิศทางการขยายตัวของเพลลา
2. ช่องว่างส่วนเผื่อไม่เพียงพออาจเกิดจากการคว้าน โครงสร้าง เล็กกว่าค่าพิกัดที่กำหนดจะทำให้เมื่อประกอบตลับลูกปืนเข้าไปแล้วเกิดการบีบอัดตัวที่แหวนนอกถ้าเป็นที่เพลลาถึงโตกว่าพิกัดเมื่อประกอบก็จะเกิดการขยายตัวของแหวนในทำให้ช่องว่าง (Tolerance) ของตลับลูกปืนเสียไป การแก้ไขคือการควบคุมค่าพิกัดของทั้งหมดเพื่อให้ได้ช่องว่างตามที่บริษัทผู้ผลิตฯ กำหนดไว้
3. ใช้ตลับลูกปืนไม่เหมาะสมกับแรงที่กระทำแรงกระทำที่สูงแต่ใช้ตลับลูกปืนเล็กไปหรือไม่ได้เผื่อการรับแรงกระแทก (Shock Load) เอาไว้หรือมีแรงกระทำในแนวแกนแต่ใช้ตลับลูกปืน Ball ธรรมดา เป็นต้น
4. การหล่อลื่นไม่ดี การหล่อลื่นส่วนมากใช้วิธีหยดใส่หรือการใช้อ่างน้ำมันซึ่งวิธีการเหล่านี้อาจมีจุดอ่อนทำให้ตลับลูกปืนเสียหายได้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพการหยดน้ำมันขณะความเร็วรอบต่ำและรอบสูงหรือการเปลี่ยนระดับของผิวหน้าของน้ำมันขณะที่เครื่องหยุดนิ่งและ

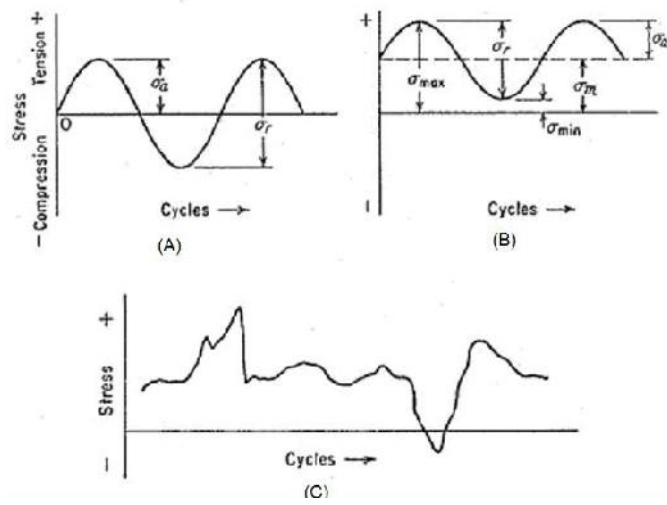


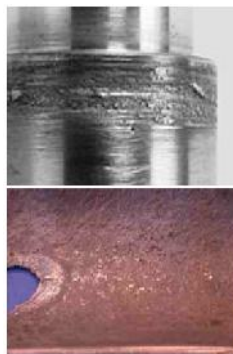
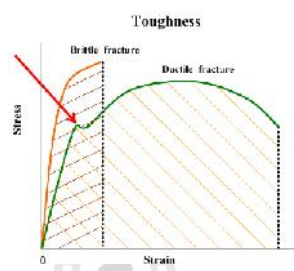


สี่เหลี่ยมบิดตัว

สี่เหลี่ยมไปดึงจนเอียงศูนย์กลาง







#### 2.5.4 การป้องกันการสึกหรอ

การป้องกันการสึกหรอที่นิยมมากที่สุดคือใช้สารหล่อลื่นในรูปแบบของของเหลวเช่น Lubricant oil, ในรูปของของแข็งเช่น graphite และเซรามิกส์ผงทั้งนี้เพื่อจุดประสงค์ดั่งนี้ลดแรงเสียดทานระบายความร้อนป้องกันการรั่วของแรงดัน ทำให้ผิวสะอาด ป้องกันการเกิดการกัดกร่อน การเคลือบผิวแข็งการชุบผิวแข็งโดยมีหลักเกณฑ์ คือ ชั้นของผิวแข็งมากจะต้องมีความบางมาก ส่วนบริเวณที่รับแรงดันจะต้องมีพื้นที่ ที่สามารถรับแรงอัดได้ดี

#### 2.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวัด

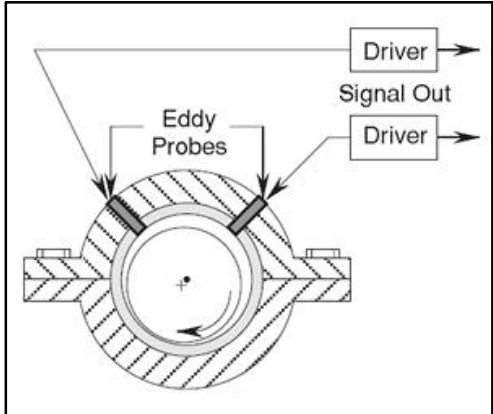
สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งตั้งแต่แรกเริ่มในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนคือ ข้อมูลที่ได้จากการเก็บสัญญาณการสั่นสะเทือน ดังนั้นข้อมูลที่ได้จะมีค่าถูกต้องมากน้อยแค่ไหนปัจจัยที่มีผลโดยตรงอีกปัจจัยหนึ่ง คือ หัววัดการสั่นสะเทือน (Transducer) หากข้อมูลที่ได้มานั้นมีค่าที่ผิดพลาด ต่อให้ผู้ที่ทำการวิเคราะห์มีความสามารถในการวิเคราะห์มากขนาดไหนก็ตาม ก็จะทำให้การวิเคราะห์ถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจริง ไม่สามารถทำได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้ให้ถูกต้อง และต้องทราบถึงคุณลักษณะเฉพาะของหัววัดแต่ละแบบว่ามีคุณสมบัติอย่างไรบ้าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกหัววัดให้ถูกต้องเหมาะสมกับชนิดของการสั่นสะเทือนที่จะทำการตรวจวัด เพื่อให้ได้ค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ถูกต้องในการนำไปวิเคราะห์ต่อไป

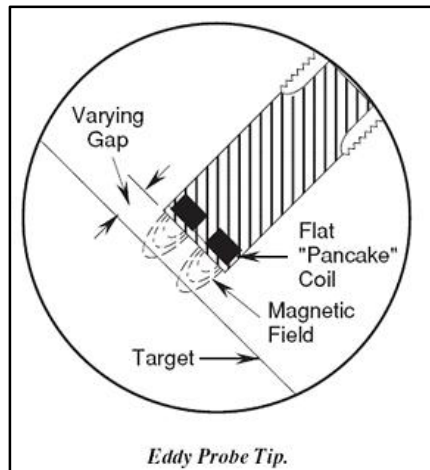
การวัดการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรกลก็เช่นกันมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญคือ อุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือน สายนำสัญญาณ เครื่องมือวัดและบันทึกผลการวัด และซอฟต์แวร์สำหรับจัดเก็บข้อมูลและประมวลผล การหาความบกพร่องของเครื่องจักร โดยวิธีการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความเข้าใจในเรื่องเครื่องมือวัดและการใช้งานเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนและซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์ความบกพร่องของเครื่องจักร เพื่อนำไปประกอบการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนให้มีความถูกต้องและเพิ่มความน่าเชื่อถือ

##### 2.6.1 อุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือน

หัววัดการสั่นสะเทือน (Transducer) ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณทางกล (สัญญาณการสั่นสะเทือน) เช่น การกระจัด ความเร็ว ความเร่ง ให้กลายเป็นปริมาณทางไฟฟ้าที่สามารถตรวจจับได้ เช่น กระแสไฟฟ้า หรือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า เพื่อที่จะส่งสัญญาณทางไฟฟ้านั้นผ่านสายนำสัญญาณไปสู่เครื่องมือวัดเพื่อบันทึกค่าและแปลงกลับมาแสดงผลในเชิงกล หรือนำไปเก็บในอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Vibration Analyzer) แล้วส่งข้อมูลที่ได้เหล่านั้นสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้โปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลการสั่นสะเทือนต่อไป สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรกลมีหลายชนิด โดยทั่วไปแล้วการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนจะทำการ

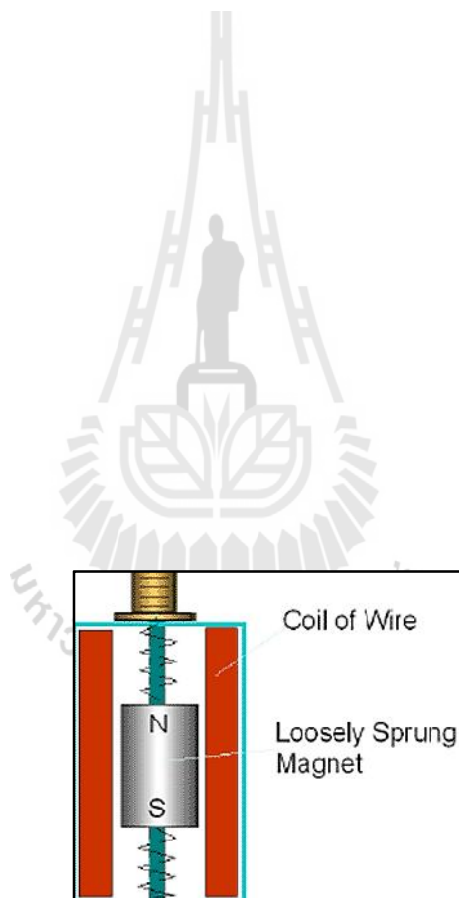






*Eddy Probe Tip.*





4. มีขนาดเล็ก สามารถเคลื่อนย้ายได้ ทำให้สะดวกต่อการตรวจวัด

ข้อเสียของการใช้หัววัดแบบความเร็ว (Velocity Probe)

1. มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว ทำให้เกิดความล้า มีโอกาสสึกหรอสูง เสียหายง่าย (หัววัดความเร็วแบบ Moving coil)

2. มีช่วงความถี่ใช้งานที่จำกัด

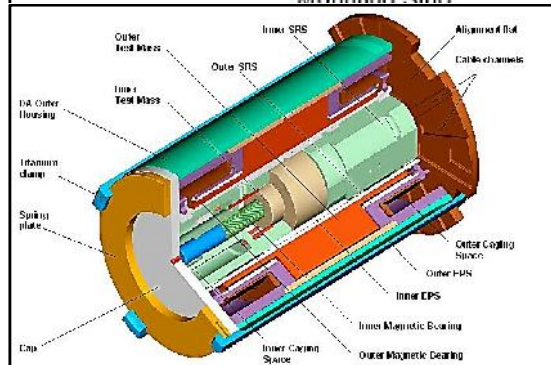
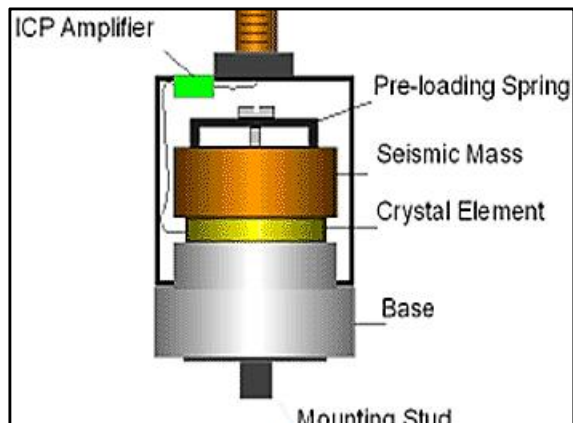
3. ต้องพิจารณาแนวการติดตั้ง เนื่องจากมีผลต่อมวลที่เคลื่อนผ่านขดลวดในหัววัด

4. ไวต่อสนามแม่เหล็กจากภายนอก เนื่องจากว่าหัววัด (Transducer) แบบนี้ใช้สนามแม่เหล็กภายในช่วยในการทำงาน ดังนั้นในการทำงานอาจถูกรบกวนได้ ถ้านำมาวัดใกล้กับมอเตอร์กระแสสลับขนาดใหญ่

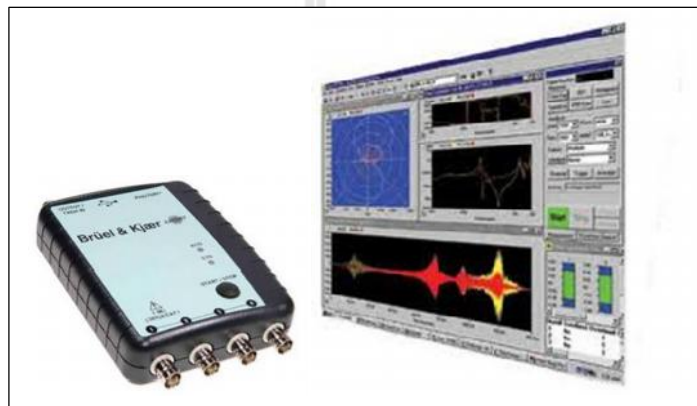
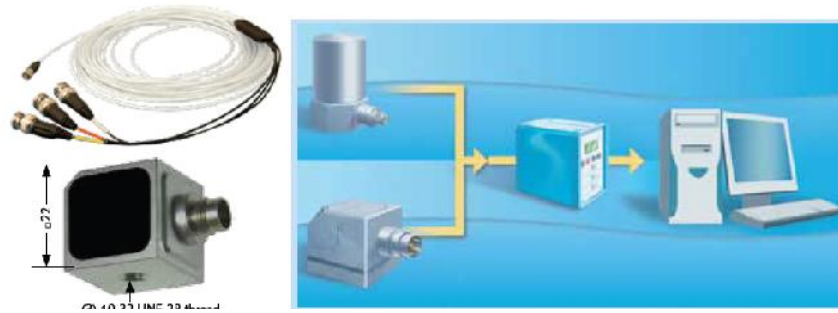
- อุปกรณ์ตรวจวัดแบบความเร่ง (Accelerometers)

หัววัดความเร่ง (Accelerometers) เป็นหัววัดที่มีประจุไฟฟ้าออกมาจากหัววัดเอง เมื่อมีแรงการสั่นสะเทือนมากกระทำกับหัววัด ซึ่งปริมาณของประจุที่ออกมาจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับแรงที่มากกระทำ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า แรงจะแปรผันโดยตรงกับความเร่ง ดังนั้น ถ้ามีแรงการสั่นสะเทือนมาก มากกระทำต่อหัววัด ประจุไฟฟ้าก็จะคลายออกมามาก ซึ่งทำให้รู้ว่ามี ความเร่งมากด้วยเช่นกัน ซึ่งทำให้เราสามารถวัดขนาดของสัญญาณการสั่นสะเทือนในหน่วยของความเร่งได้ หน่วยที่ใช้ในการวัดขนาดของความเร่งนั้น จะอยู่ในหน่วยของ G ซึ่ง  $1\text{ G} = 9.81\text{ m/s}^2$  สำหรับส่วนประกอบของหัววัดแบบความเร่งนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.29 จะประกอบไปด้วย ฐานรองรับ (Base) หรือ เฟรม (Frame), แผ่น Piezoelectric disk, มวลถก (Seismic Mass), อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขยายสัญญาณ (ICP Amplifier), ตัวจับยึด (Mounting Stud) ซึ่งจะใช้จับยึดกับจุดของชิ้นงานที่ต้องการจะวัด

จากรูปที่ 2.29 เมื่อนำหัววัดไปจับยึดกับตำแหน่งที่ต้องการจะวัดของเครื่องจักรที่มีการสั่นสะเทือน แรงจากการสั่นสะเทือนจะกระทำผ่านมาที่ฐานของหัววัดแล้วส่งผ่านไปที่แผ่น Piezoelectric ซึ่งเป็นแผ่นที่อยู่ระหว่างมวลถกกับฐานรองรับทำให้เกิดแรงกดอัดจากมวลในแนวตั้งฉากกับแผ่น piezoelectric เนื่องจากแผ่น piezoelectric มีคุณลักษณะแบบเดียวกับผลึกควอตซ์ (Quartz) เฟอโรโรอิเล็คทริกเซรามิก (Ferroelectric ceramics) จะเกิดประจุไฟฟ้าออกมาเมื่อมีแรงมากกระทำ ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงการสั่นสะเทือนที่มากกระทำ ประจุไฟฟ้าที่ออกมามีค่าน้อยมากโดยขนาดประจุไฟฟ้าที่ออกมาจากแผ่น piezoelectric วัดได้เป็นพิโคคูลอมบ์ (Pico-coulombs) ต่อ G ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณไฟฟ้าให้สูงขึ้นเป็นมิลลิโวลต์ต่อ G เช่น  $100\text{ mV/G}$  เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณก็คือ Integrated Circuit Piezoelectric (ICP) Amplifier นั่นเอง







## 2.6.5 การติดตั้งและการกำหนดตำแหน่งการวัด

การวัดการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรนอกจากองค์ประกอบหลักที่สำคัญที่สุดซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์การตรวจวัดการสั่นสะเทือน สายนำสัญญาณและเครื่องมือการวัดการสั่นสะเทือนแล้วไม่เพียงพอที่จะได้ข้อมูลที่เชื่อถือการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพราะว่าเมื่อลองปฏิบัติจริงเปรียบเทียบกันแล้วจะพบปัญหาและข้อปลีกย่อยอีกมากมาย บางเรื่องอาจจะเป็นเรื่องเล็กน้อยไม่น่าที่จะมีผลกระทบต่อวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ทำให้ผลของการวิเคราะห์นั้นขาดความน่าเชื่อถือ หรือไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร สูญเสียเวลาในการทำการวัดค่าและเก็บข้อมูลหลายครั้ง ซึ่งหลักการที่นำมาใช้และเทคนิคการวัดการสั่นสะเทือนให้เกิดประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นประกอบไปด้วย การเลือกตำแหน่งการวัดและการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือน การศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมต่อการวัดการสั่นสะเทือน การเลือกหน่วยการวัดการสั่นสะเทือน การศึกษาสถานะการทำงานของเครื่องจักร การกำหนดสเกลและการตั้งค่าความถี่ เป็นต้น การกำหนดมาตรฐานของการสั่นสะเทือนเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการกำหนดความรุนแรงของการสั่นสะเทือนในเครื่องจักร ปัจจุบันมาตรฐานการสั่นสะเทือนที่เผยแพร่ทั่วไปจะมีหลายสถาบันด้วยกัน เช่น ISO Standard, VDI Standard, API Standard, NEMA Standard เป็นต้น

## 2.6.6 การวางตำแหน่งของหัววัดการสั่นสะเทือน

หลักพื้นฐานของการสั่นสะเทือนในรูปแบบอย่างง่ายคือ การสั่นสะเทือนจะเป็นผลคูณของแรงกับความสามารถของการเคลื่อนที่ ( $Vibration = Force \times Mobility$ ) จากหลักการดังกล่าวจะนำไปสู่การเลือกตำแหน่งเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือน โดยทั่วไปแล้วจะนิยมติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือนในทิศทางที่มีการเคลื่อนที่ได้ดีที่สุดในการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่ติดตั้งในแนวตั้ง (Vertical) ตำแหน่งการวัดจะมี 3 ทิศทาง คือ แนวระดับ (Horizontal) แนวตั้ง (Vertical) และแนวแกน (Axial)

## 2.6.7 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือน

ความเข้าใจในหลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดสำหรับวัดการสั่นสะเทือนนั้นมีความสำคัญอย่างมากต่อการเก็บข้อมูลการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรกล เพราะถ้ามีการเก็บข้อมูลที่ไม่ถูกต้องไปใช้ในการวินิจฉัยความบกพร่องของเครื่องจักรแล้วจะทำให้เกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือนจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแบบความเร่ง เนื่องจากการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแบบความเร่งจะทำการติดตั้งแบบสัมผัส ซึ่งจุดที่สำคัญที่สุดของการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดชนิดนี้คือ การเกิดการสั่นพ้องของอุปกรณ์ตรวจวัดเอง วิธีการติดตั้งหัววัดแบบความเร่งทำได้หลายวิธีและสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมของช่วงความถี่ที่ต้องการได้



- การยึดอุปกรณ์ตรวจวัดโดยใช้มือกด การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดโดยวิธีนี้เป็นการยึดด้วยการกดอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยมือลงบนเครื่องจักร ในกรณีที่เครื่องจักรบางชนิดไม่สามารถยึดแบบแม่เหล็กได้ เนื่องจากตัวเรือนเครื่องจักรไม่ได้ทำจากเหล็ก ดังนั้นด้วยการยึดด้วยวิธีนี้จะเป็นการสะดวกกว่า

- การยึดอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยแม่เหล็ก การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดโดยวิธีนี้เป็นการยึดด้วยแม่เหล็กถาวรที่ขันแน่นกับอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่ง แล้วนำไปยึดติดกับอุปกรณ์ของชิ้นส่วนของเครื่องจักร วิธีนี้เหมาะสำหรับการตรวจวัดค่าการสั่นสะเทือนเพียงชั่วคราว เนื่องจากสามารถทำได้สะดวกรวดเร็ว ซึ่งการยึดติดด้วยแม่เหล็กถาวรนี้จะมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบแม่เหล็กแบนเรียบและแบบแม่เหล็กสองขา โดยแบบแม่เหล็กสองขาจะมีความสะดวกในกรณีที่ทำการยึดอุปกรณ์ตรวจวัดกับชิ้นส่วนเครื่องจักรที่มีลักษณะทรงกระบอก

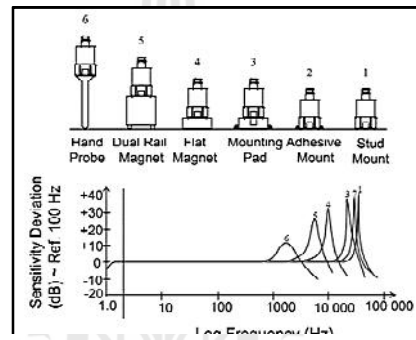
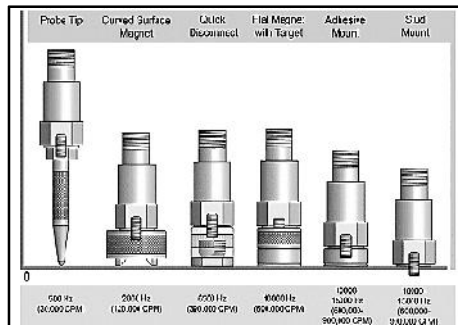
- การยึดอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยเทปกาวสองหน้า การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดโดยวิธีนี้เหมือนกับการติดตั้งด้วยขีผึ้งหรือกาวอีพอกซี แต่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีกว่า

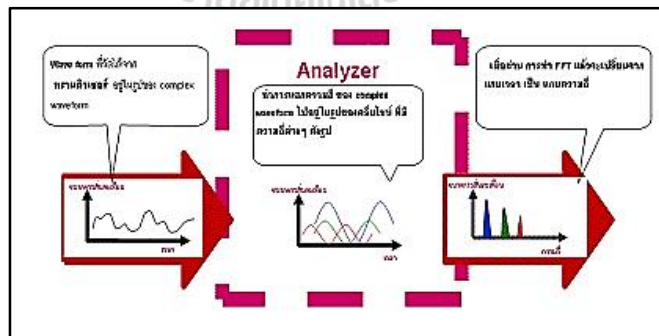
- การยึดอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยกาวอีพอกซี การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดโดยวิธีนี้จะสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ดีกว่าขีผึ้งเล็กน้อย วิธีติดตั้งเหมือนกับการติดตั้งด้วยขีผึ้งคือต้องทำการปรับแต่งผิวหน้าของชิ้นส่วนเครื่องจักรเสียก่อน และทำการเช็ดผิวให้แห้งและสะอาด เพื่อที่จะทำให้กาวอีพอกซีประสานระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งกับผิวของชิ้นส่วนเครื่องจักรได้ดีขึ้น

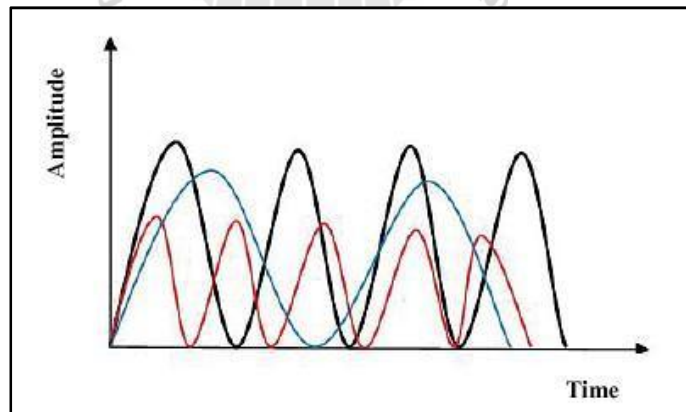
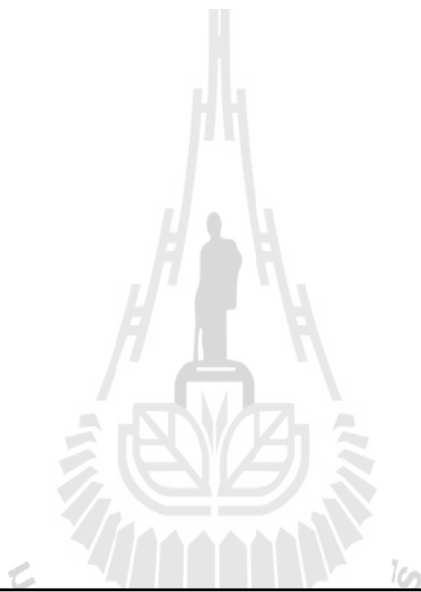
- การยึดอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยขีผึ้ง การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยวิธีนี้เป็นการยึดด้วยขีผึ้ง วิธีการติดตั้งจะต้องทำการปรับแต่งผิวหน้าของชิ้นส่วนเครื่องจักรให้เรียบเสียก่อนและทำการเช็ดผิวให้แห้งสะอาด เพื่อที่จะทำให้ขีผึ้งประสานระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งกับผิวของชิ้นส่วนเครื่องจักรได้ดี ส่วนมากการยึดอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งด้วยวิธีนี้จะเหมาะสมกับอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีขนาดเล็ก ซึ่งการตอบสนองต่อความถี่การใช้งานจะใกล้เคียงกับการยึดอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยสลักเกลียว แต่การยึดด้วยวิธีนี้จะไม่สามารถใช้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงเนื่องจากจะทำให้ขีผึ้งเกิดการละลาย

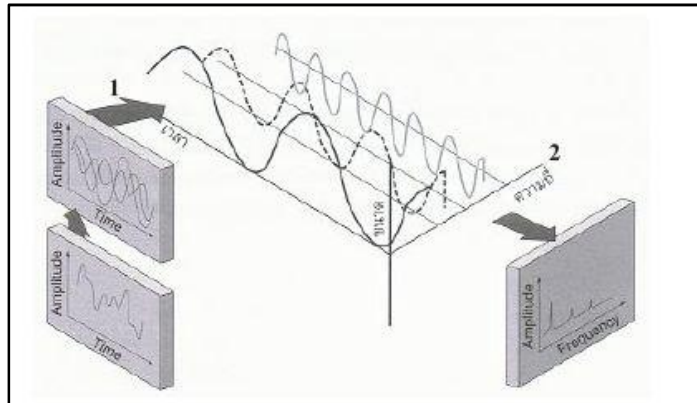
- การยึดอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยสลัก การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดโดยวิธีนี้เป็นการยึดหัววัดที่แน่นหนาแน่นคงที่ที่สุด ความถี่ตอบสนองของการใช้งานจึงมีย่านความถี่ใช้งานที่สุด การยึดด้วยวิธีนี้จึงเหมาะสมสำหรับวัดการสั่นสะเทือนบนเครื่องจักรที่มีความถี่สูงได้

จากรูปที่ 2.24 และ 2.25 แสดงให้เห็นว่า แม้เป็นหัววัดประเภทเดียวกันก็ตาม แต่หากติดตั้งกับตัวจับยึด (mounting) คนละประเภทกัน ช่วงสัญญาณการสั่นสะเทือนที่สามารถเก็บได้ก็จะไม่เท่ากันด้วย และการเลือกใช้ mounting แต่ละแบบที่มีผลต่อความถี่ธรรมชาติ ซึ่งต้องระวังในการเลือกใช้ด้วยว่าสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ต้องการวัดมีค่าสูงไปตรงกับความถี่ธรรมชาติหรือไม่









จิระพล ศรีเสริฐผล สุเมธี ถีสุงเนิน และพิระยยุทธ หวังรักไพบูลย์ (2006) ได้วิเคราะห์ด้านการสั่นสะเทือนเชิงกลของอุปกรณ์สำหรับทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ มีผลต่อการทดสอบที่มีความผิดพลาดและความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งปัญหาที่เกิดจากการสั่นสะเทือนนั้นจึงมีความสำคัญและเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ วิธีวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในเครื่องจักร โดยการใช้เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนเพื่อที่จะวิเคราะห์หาปัญหา เป็นการติดตามสภาพของเครื่องจักรกลในขณะที่กำลังทำงาน ทำให้สามารถป้องกันการเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องจักรได้ และเป็นการเพิ่มความมั่นคงและความน่าเชื่อถือให้กับระบบการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านงานบำรุงรักษาเครื่องจักรลงได้ การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่แสดงรูปร่างการสั่นและความถี่ธรรมชาติจำนวน 5 โหมด ของอุปกรณ์สำหรับทดสอบ ซึ่งจะได้ว่าความถี่พื้นฐาน (Fundamental frequency) ของอุปกรณ์สำหรับทดสอบจะอยู่ในช่วง ความถี่ 49 Hz ถึง 51 Hz และความถี่ธรรมชาติและรูปร่างการสั่นจำนวน 5 โหมดที่ได้จะอยู่ในช่วงความถี่ 51 Hz ถึง 121 Hz ผลที่ได้จากการเทคนิคการวัดจริงจากอุปกรณ์สำหรับทดสอบเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากระเบียบวิธี ไฟไนท์อีลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรมที่มีความถูกต้องที่สอดคล้องกัน ดังนั้นการศึกษา และวิเคราะห์การสั่นของอุปกรณ์สำหรับทดสอบในภาคอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (HDD) โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ เพื่อหาความถี่ธรรมชาติและรูปร่างการสั่นนั้น สามารถนำไปสู่การวิเคราะห์ และแก้ไขปัญหาที่เกิดการเสียหายจากการสั่นสะเทือนได้

จิระพล ศรีเสริฐผล และ สมใจ สุนทรสกุล (2006) ได้ศึกษา ทดสอบและวิเคราะห์ลักษณะการตอบสนองของตัวดูดซับการสั่นขนาดเล็ก (Miniature Shock Absorber) ตามสภาพการใช้งานจริง เพื่อหาตัวแปรบ่งชี้ความสัมพันธ์ แบบมีนัยสำคัญต่อลักษณะการทำงานของชุดขนถ่ายชิ้นงานที่ส่งผลกระทบทำให้เกิดความเสียหายโดยตรงต่อหัวอ่านและบันทึกข้อมูล ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (HDD) อันเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของหัวอ่านและบันทึกข้อมูลลดลง โดยทำการทดสอบและเปรียบเทียบการสั่นที่เกิดจากการติดตั้งตัวดูดซับการสั่นที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันกับระบบ ผลที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมและการเลือกตัวดูดซับการสั่นของชุดขนถ่ายชิ้นงานให้ทำงานได้อย่างมี

ประดิษฐ์ หมู่เมืองสอง และ สุขญาณ หารรษาสุข (2006) ได้วิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ซึ่งกล่าวถึงความเสียหายที่เกิดในเครื่องจักรกลเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นแล้วจะเป็นผลให้เครื่องจักรมีอายุสั้นลง โดยความเสียหายที่พบในเครื่องจักรโดยทั่วไป เช่น การไม่สมดุลของเครื่องจักร (Unbalance) การเอียงแนวแกนของเครื่องจักร (Misalignment) การหลวมคลอนทางกล การโก่งงอของเพลลา การเสียดสีกันของชิ้นส่วน การเอียงศูนย์กลาง (Eccentric) การชำรุดของเฟืองเกียร์เป็นต้น ในการวิเคราะห์ความเสียหายโดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟสเปกตรัม

(Spectrum) โดยแกนตั้งจะเป็นขนาดของการสั่นสะเทือน (Amplitude) โดยจะใช้หน่วยวัดแบบ ระยะทาง ความเร็ว หรือความเร่ง และแกนนอนจะแสดงค่าความถี่ (Frequency) ของการ สั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักรนั้นๆ ในการวิเคราะห์แบบกราฟสเปกตรัมนี้สามารถแปล ความหมายโดยแกนตั้ง ซึ่งจะบ่งบอกถึงความรุนแรงของการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ส่วนแกน นอนจะบอกลักษณะปัญหา หรือแหล่งที่มาของการสั่นสะเทือนนั้นว่าอยู่ตรงตำแหน่งไหนของ เครื่องจักร

## 2.8 สรุป

การสั่นสะเทือนนั้นจะอยู่ในรูปของพลังงานที่สูญเสียไป ซึ่งการสั่นสะเทือนนั้นเกิดจาก ปัญหาของเครื่องจักรที่แสดงผลออกมาให้เห็นทางกล โดยเราสามารถวัดค่าพลังงานที่สูญเสียไป ของเครื่องจักรได้ในรูปของการสั่นสะเทือน ซึ่งการสั่นสะเทือนจะส่งผลทำให้เครื่องจักรสูญเสีย พลังงาน สมรรถภาพในการทำงาน และมีผลต่ออายุการใช้งาน โดยเฉพาะความถี่ของแรงกระทำ (Exciting Frequency) ไปตรงกับความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของระบบหลักทำให้เกิด การสั่นพ้อง (Resonance) สร้างความเสียหายต่ออุปกรณ์อย่างรุนแรง

จากเนื้อหาเรื่องการสั่นสะเทือนนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน กรณีที่เครื่องจักรที่มีส่วนประกอบง่าย ๆ ไม่สลับซับซ้อน และเครื่องมือที่ราคาขนาดปานกลางก็คง พอที่จะทำให้เราสามารถที่จะทำการวัดและวิเคราะห์หาสาเหตุของการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ได้วิธีการตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรนั้น ทำให้สามารถประเมิน หรือ ทำนายความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรและช่วยในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรได้ อย่างแม่นยำ และรวดเร็วมากขึ้น และยังเป็นเครื่องมือที่มีความเหมาะสม กับงานบำรุงรักษาตาม สภาพ โดยควรเก็บข้อมูลเป็นประจำเพื่อทำให้ข้อมูลที่ได้มีความแม่นยำ และนำมาใช้ประโยชน์ใน การวิเคราะห์หาสาเหตุ

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

แนวคิดเบื้องต้นเริ่มจากการหาวิธีการเพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยอ้างอิงแนวคิดจากเครื่องบิน Hrenikoff ได้เสนอการใช้วิธี frame work เพื่อแก้ปัญหาทาง elasticity เป็นรายแรก ต่อมาในปี ค.ศ. 1943 Courant ก็ได้ตีพิมพ์บทความวิชาการเกี่ยวกับการนำวิธีการ Polynomial Interpolation บนขอบเขตสามเหลี่ยม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประมาณผลคำตอบ และนอกจากนี้ Courant ก็ยังแนะนำการใช้วิธีการของ Rayleigh-Ritz มาใช้ในการหาผลคำตอบ ของปัญหาทางวิศวกรรมอีกด้วย จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1953 วิศวกรจึงได้นำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์ มาแก้สมการของ Stiffness Matrix เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1960

การวิเคราะห์หาการกระจัด ความเค้น ความเครียดในชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหรือโครงประกอบของเครื่องกลเป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนหรือโครงสร้างที่มีความซับซ้อนที่ไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีธรรมดา ปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถในการคำนวณมากขึ้น จึงทำให้การวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวทำได้ละเอียด ถูกต้อง รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายต่อการออกแบบงานทางวิศวกรรมเป็นอย่างมาก ในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิเช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อาคารและโครงสร้าง เป็นต้น เกิดขึ้นจากการออกแบบได้โดยตรงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยไม่ต้องลองผิดลองถูกดังเช่นเคยทำกันมาในอดีต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความเป็นมาของการวิเคราะห์ ปัญหาทางวิศวกรรม

ก่อนทำการออกแบบเครื่องจักรกลจะต้องทำความเข้าใจพื้นฐานการออกแบบเบื้องต้นโดยมวลความรู้ความเข้าใจจะต้องครอบคลุมเนื้อหาทุกส่วนอย่างถ่องแท้ทั้งในส่วนของการคำนวณ ความแข็งแรงความเสียหายของชิ้นส่วนและการคำนวณวิเคราะห์อุปกรณ์พื้นฐานทางกลเช่นสลักเกลียว แบริ่ง เฟือง ฯลฯ ความรู้ความเข้าใจในกลศาสตร์พื้นฐานและกลศาสตร์ของวัสดุรวมไปถึงความรู้ความเข้าใจในพื้นฐานวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องเช่น การเขียนแบบทางวิศวกรรม

พื้นฐานการออกแบบเครื่องจักรกล มนุษย์เราสร้างอารยธรรม Civilization และพัฒนาตัวเองขึ้นเหนือสิ่งมีชีวิตอื่นๆด้วยความสามารถในการใช้เครื่องมือ เครื่องจักร (จากยุคหิน จนซับซ้อนอย่างมากในปัจจุบัน) ความซับซ้อนของเครื่องจักรกลแสดงถึงความชาญฉลาดของมนุษย์ การพัฒนา และ เครื่องจักรกลยังดำรงอยู่อย่างต่อเนื่อง และกว้างขวางในทุกสาขาอาชีพด้วยจำนวน



ประชากร และการบริโภคอย่างไม่หยุดยั้งของมนุษย์สามารถเป็นไปได้เพราะการมีอยู่ของเครื่องจักรกลซึ่งผู้ที่สามารถเรียนรู้ และการออกแบบเครื่องจักรกลได้ ก็จะมีส่วนในการช่วยสนับสนุนการอยู่รอด และคุณภาพชีวิตของมนุษยชาติพื้นฐานทางวิศวกรรมที่วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องรู้ปริมาณขั้นต้นในทางฟิสิกส์ มวล (มวลสาร) Mass ระยะทาง (Length) เวลา (Time) อุณหภูมิ (Temperature) กระแสไฟฟ้า (Electric Current) ปริมาณโมลโมเลกุล (Substance Mole) ความสว่าง แสง (Luminous Intensity)

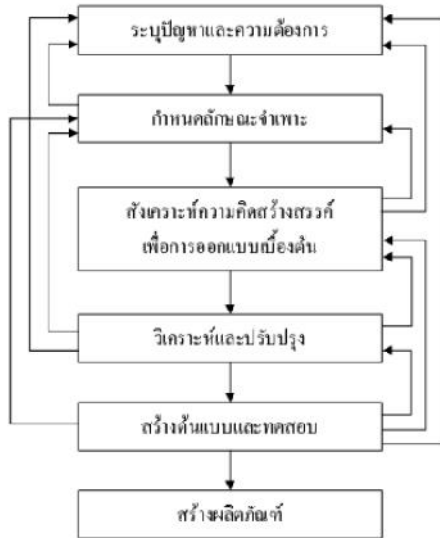
ปริมาณพื้นฐานทางวิศวกรรมที่ควรทราบคือ มวล, เวลา, ความยาว, พื้นที่, ปริมาตร, มุม, อุณหภูมิ, โมเมนต์, งาน, กำลังงาน, ความร้อน, ความหนาแน่น, ความถี่, อัตราไหล, ความหนืด, ความเร็ว, ความเร่ง, แรง, แรงบิด, แรงดัน, ความแข็ง, ความต้านทาน, ความเค้น, กระแสไฟฟ้า, แรงเคลื่อนไฟฟ้า, ความต้านทานไฟฟ้า, ความเข้มสนามแม่เหล็ก

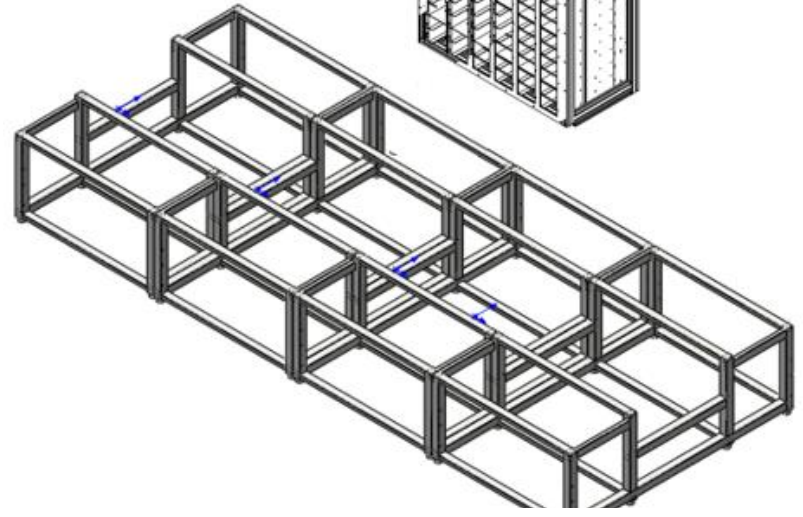
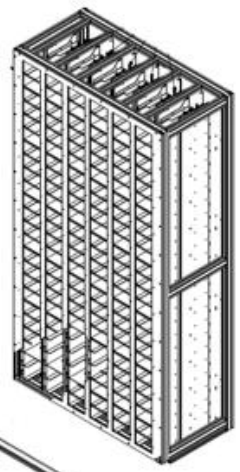
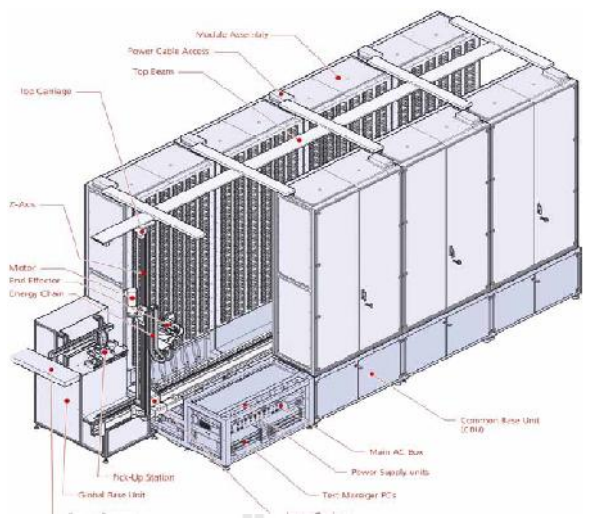
กระบวนการวิเคราะห์โครงสร้างทางพลศาสตร์จำเป็นต้องอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หรือคำนวณค่าต่างๆ เช่น ความถี่ รูปร่างการสั่นสะเทือน และการตอบสนองเชิงพลวัต ส่วนข้อมูลเบื้องต้นต่างๆของแต่ละอิเลลิเมนต์ที่ประกอบขึ้นเป็นระบบ เช่น ค่าของมวลสปริง และความหน่วง ที่อยู่ในรูปเมทริกซ์นั้นอาจอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณซึ่งกระบวนการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมโดยทั่วไปประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

- การสร้างและเลือกแบบจำลอง โครงสร้างที่เหมาะสม
- การแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นอิเลลิเมนต์ย่อย ๆ
- การเลือกชนิด ขนาด และจำนวนพิกัดแต่ละอิเลลิเมนต์ของแต่ละชิ้นส่วนของโครงสร้าง
- การกำหนดคุณสมบัติเชิงกลของแบบจำลอง
- การกำหนดเงื่อนไข ขอบเขต และจุดรองรับของระบบ (Boundary Condition)

อย่างไรก็ตามการที่จะได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องเที่ยงตรงนั้น ผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องมีองค์ความรู้ในหลาย ๆ ด้าน นับตั้งแต่คณิตศาสตร์ขั้นสูง ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ความเข้าใจในส่วนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และประสบการณ์การใช้กราฟิกซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์

ดังนั้นการศึกษาในงานวิจัยนี้จึงได้แบ่งวิธีดำเนินการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือ การวิเคราะห์แบบจำลองวัดค่าด้วย ตลับลูกปืนใหม่ ตลับลูกปืนเริ่มสึกหรอ และตลับลูกปืนที่สึกหรอ และทำให้เกิดความเสียหายต่อ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เทคนิคการวัดเพื่อให้ได้ผลที่สอดคล้องในการหา

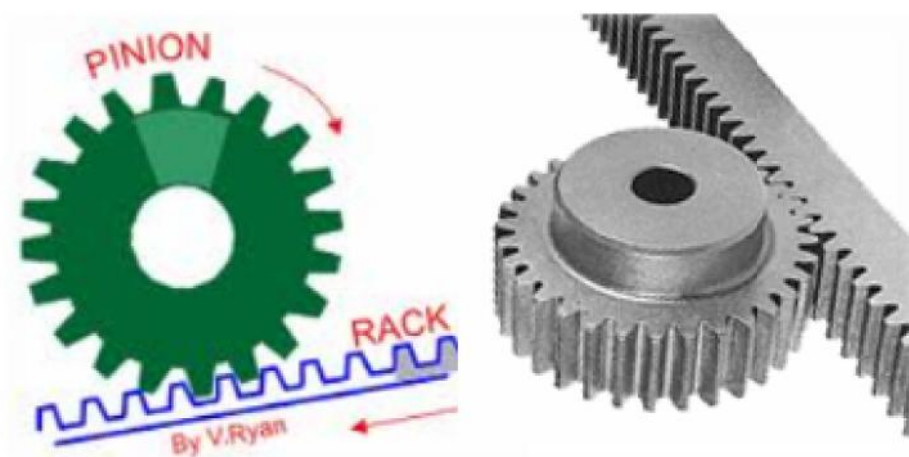




รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของตลับลูกปืนโดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท Proper bearing (ตลับใหม่) Almost improper bearing (เริ่มมีการสึกหรอ) และ Improper bearing (สึกหรอ)

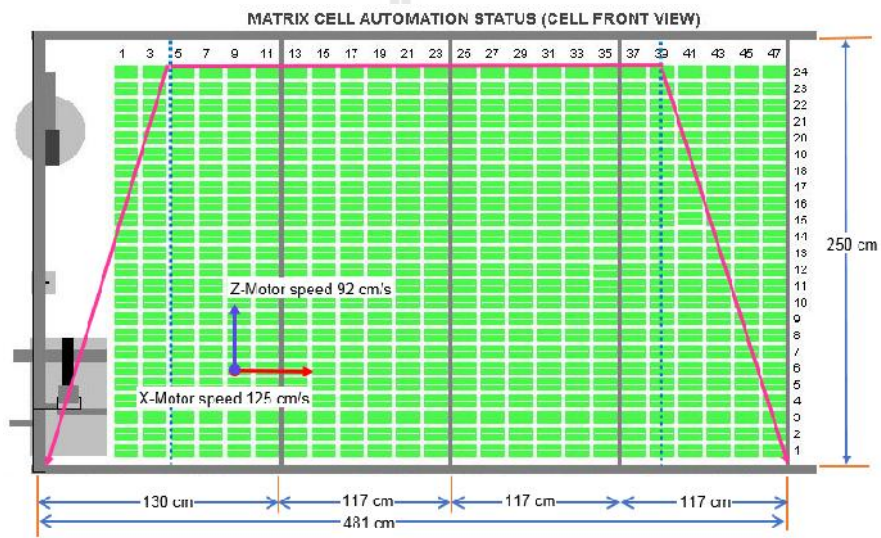


รูปที่ 3.4 ตลับลูกปืนที่ทำให้เกิดการสั่น

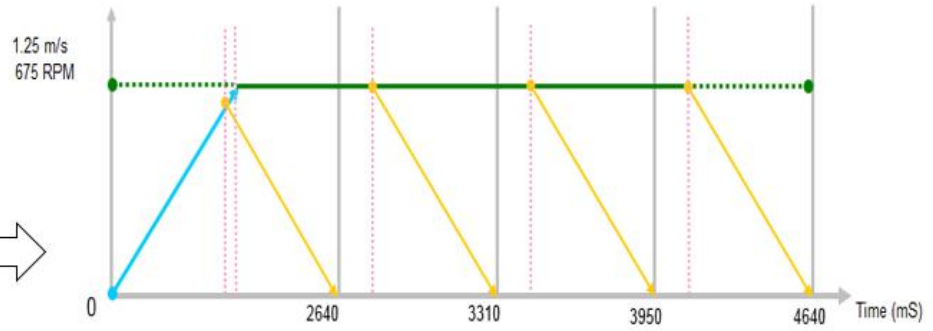


รูปที่ 3.5 ลักษณะการเคลื่อนที่ของตลับลูกปืน

การเคลื่อนที่ของแกนกลของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นใช้มอเตอร์เป็นตัวต้นกำลังส่งกำลังขับเคลื่อนผ่านเพลา (Shaft) เพื่อให้ตลับลูกปืนทั้งตัวบนและตัวล่างขับเคลื่อนไปบนรางเกียร์ (Rack) พร้อมกัน ตลับลูกปืนดังรูปที่ 3.3 เป็นตัวขับเคลื่อนแกนกล หน้าที่การทำงานของแกนกลคือการเคลื่อนที่เพื่อนำฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เข้าและออกจากเครื่องทดสอบซึ่งการเคลื่อนที่ใช้ความเร็ว 125 เซนติเมตรต่อวินาทีในแนวนอน (X-axis) และเคลื่อนที่ในแนวตั้งโดยใช้ความเร็ว 92 เซนติเมตรต่อวินาที (Z-axis) ซึ่งการเคลื่อนที่ทั้งสองแกนนี้จะเคลื่อนที่ไปพร้อมๆ กันและในขณะเดียวกันนั้นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ยังคงดำเนินการทดสอบอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการหยุด



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



Servo motor  
Acceleration = 890mS (79.625 cm)  
Deceleration = 890mS (79.625 cm)



เพื่อให้ได้ผลการศึกษามรรลุเป้าหมายที่วางไว้นั้น จึงกำหนดให้คุณสมบัติของของตลับลูกปืน โดยแบ่งเป็น 3 รูปแบบคือ

- Proper bearing (ใหม่)
- Almost improper bearing (เริ่มมีการสึกหรอ)
- Improper bearing (สึกหรอ)

### 3.4 การกำหนดเงื่อนไขและขอบเขต

เงื่อนไขหรือขอบเขต (Boundary Condition) ของอิลลิเมนต์ในระบบพลวัต จำแนกออกได้เป็นสองประเภทคือ เงื่อนไขที่อยู่ในรูปของแรง และเงื่อนไขที่อยู่ในรูปของการกระจัด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้เป็นแบบไม่มีแรงภายนอกมากระทำกับแบบจำลองของช่องทดสอบ ดังนั้นจึงมีแต่เฉพาะเงื่อนไขในรูปของการกระจัด ซึ่งมีการกำหนดเงื่อนไขและขอบเขตต่างๆ ดังนี้

#### 3.4.1 เงื่อนไขเริ่มต้นและจุดรองรับของระบบ

การทดลองนี้ได้มีการกำหนดให้แบบจำลองของช่องทดสอบนั้น ไม่มีการเคลื่อนที่ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ แต่กำหนดให้แกนกลเคลื่อนที่เข้าและออกดังนั้นจึงกำหนดให้มีจุดติดตั้งเซนเซอร์เพื่อตรวจจับการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการสึกหรอของตลับลูกปืนให้ยึดติดแบบตายตัวอยู่บนคานที่รองรับการเคลื่อนที่ของแกนกล

#### 3.4.2 เงื่อนไขผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงาน

การศึกษาและวิเคราะห์แบบจำลองของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เป็นลักษณะสถิตยศาสตร์ และได้พิจารณาเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) จึงกำหนดเงื่อนไขผิวสัมผัสของชิ้นงานเป็นเนื้อเดียวกัน (Rigidly join bodies together) ซึ่งจะใช้การประกบติดของเฟืองที่ใช้ขับเคลื่อนกับชุดรองรับการเคลื่อนที่ของแกนกล

### 3.5 ผลการวิเคราะห์

การศึกษาและวิเคราะห์ นอกจากจะทำให้เราได้ทำความเข้าใจในทางทฤษฎีและขั้นตอนการหาสร้างสมการตลอดจนขบวนการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องแล้ว การทำความเข้าใจในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปนั้นมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาควบคู่กันไปด้วย เพราะว่าปัญหาในทางปฏิบัติมีรูปร่างลักษณะที่ซับซ้อนและต้องการอิลลิเมนต์เป็นจำนวนมาก

ความเข้าใจหลักการพื้นฐานการคำนวณ และกระบวนการในการออกแบบเครื่องจักรกลเบื้องต้นทำให้สามารถเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ และชิ้นส่วนมาตรฐานสำหรับการใช้งานอย่างถูกต้อง

และเหมาะสมทั้งทางวิศวกร และ ต้นทุน ซึ่งจะทำให้การออกแบบการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรกล  
ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับสภาพการใช้งานอย่างแท้จริง

สามารถรวบรวมแนวคิดการออกแบบเพื่อนำไปต่อยอด และทำความเข้าใจในระดับสูงขึ้น  
เพื่อเป็นการพัฒนาเครื่องจักรกลที่มีความซับซ้อนมากขึ้นต่อไป





## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

แนวคิดเบื้องต้นเริ่มจากการหาวิธีการเพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยอ้างอิงแนวคิดจากเครื่องบิน Hrenikoff ได้เสนอการใช้วิธี frame work เพื่อแก้ปัญหาทาง elasticity เป็นรายแรก ต่อมาในปี ค.ศ. 1943 Courant ก็ได้ตีพิมพ์บทความวิชาการเกี่ยวกับการนำวิธีการ Polynomial Interpolation บนขอบเขตสามเหลี่ยม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประมาณผลคำตอบ และนอกจากนี้ Courant ก็ยังแนะนำการใช้วิธีการของ Rayleigh-Ritz มาใช้ในการหาผลคำตอบ ของปัญหาทางวิศวกรรมอีกด้วย จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1953 วิศวกรจึงได้นำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์ มาแก้สมการของ Stiffness Matrix เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1960

การวิเคราะห์หาการกระจัด ความเค้น ความเครียดในชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหรือโครงประกอบของเครื่องกลเป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนหรือโครงสร้างที่มีความซับซ้อนที่ไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีธรรมดา ปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถในการคำนวณมากขึ้น จึงทำให้การวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวทำได้ละเอียด ถูกต้อง รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายต่อการออกแบบงานทางวิศวกรรมเป็นอย่างมาก ในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิเช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อาคารและโครงสร้าง เป็นต้น เกิดขึ้นจากการออกแบบได้โดยตรงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยไม่ต้องลองผิดลองถูกดังเช่นเคยทำกันมาในอดีต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความเป็นมาของการวิเคราะห์ ปัญหาทางวิศวกรรม

ก่อนทำการออกแบบเครื่องจักรกลจะต้องทำความเข้าใจพื้นฐานการออกแบบเบื้องต้น โดยมวลความรู้ความเข้าใจจะต้องครอบคลุมเนื้อหาทุกส่วนอย่างถ่องแท้ทั้งในส่วนของการคำนวณ ความแข็งแรงความเสียหายของชิ้นส่วนและการคำนวณวิเคราะห์อุปกรณ์พื้นฐานทางกลเช่นสลักเกลียว แบริ่ง เฟือง ฯลฯ ความรู้ความเข้าใจในกลศาสตร์พื้นฐานและกลศาสตร์ของวัสดุรวมไปถึงความรู้ความเข้าใจในพื้นฐานวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องเช่น การเขียนแบบทางวิศวกรรม

พื้นฐานการออกแบบเครื่องจักรกล มนุษย์เราสร้างอารยธรรม Civilization และพัฒนาตัวเองขึ้นเหนือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ด้วยความสามารถในการใช้เครื่องมือ เครื่องจักร (จากยุคหิน จนซับซ้อนอย่างมากในปัจจุบัน) ความซับซ้อนของเครื่องจักรกลแสดงถึงความชาญฉลาดของมนุษย์ การพัฒนา และ เครื่องจักรกลยังคงดำรงอยู่อย่างต่อเนื่อง และกว้างขวางในทุกสาขาอาชีพด้วยจำนวน

ประชากร และการบริโภคอย่างไม่หยุดยั้งของมนุษย์สามารถเป็นไปได้เพราะการมีอยู่ของเครื่องจักรกลซึ่งผู้ที่สามารถเรียนรู้ และการออกแบบเครื่องจักรกลได้ ก็จะมีส่วนในการช่วยสนับสนุนการอยู่รอด และคุณภาพชีวิตของมนุษยชาติพื้นฐานทางวิศวกรรมที่วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องรู้ปริมาณขั้นต้นในทางฟิสิกส์ มวล (มวลสาร) Mass ระยะทาง (Length) เวลา (Time) อุณหภูมิ (Temperature) กระแสไฟฟ้า (Electric Current) ปริมาณโมลโมเลกุล (Substance Mole) ความสว่าง แสง (Luminous Intensity)

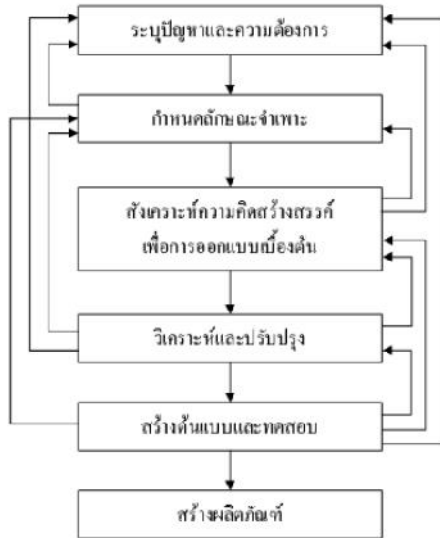
ปริมาณพื้นฐานทางวิศวกรรมที่ควรทราบคือ มวล, เวลา, ความยาว, พื้นที่, ปริมาตร, มุม, อุณหภูมิ, โมเมนต์, งาน, กำลังงาน, ความร้อน, ความหนาแน่น, ความถี่, อัตราไหล, ความหนืด, ความเร็ว, ความเร่ง, แรง, แรงบิด, แรงดัน, ความแข็ง, ความต้านทาน, ความเค้น, กระแสไฟฟ้า, แรงเคลื่อนไฟฟ้า, ความต้านทานไฟฟ้า, ความเข้มสนามแม่เหล็ก

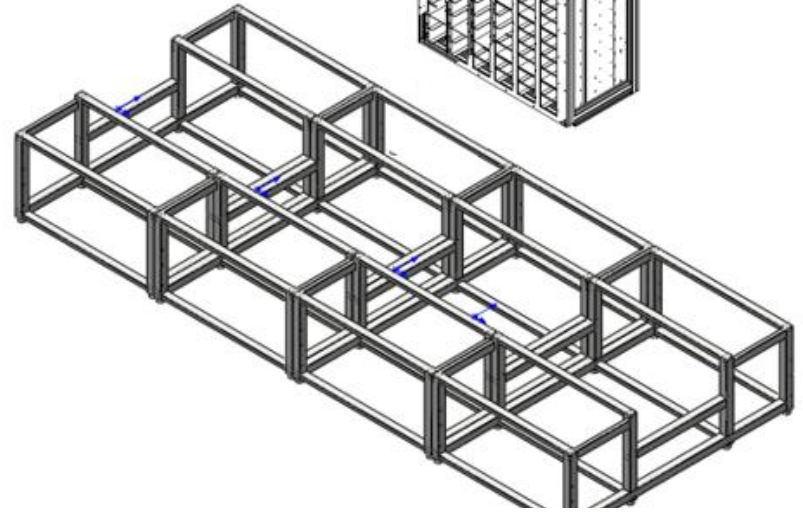
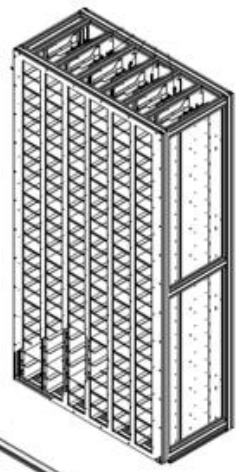
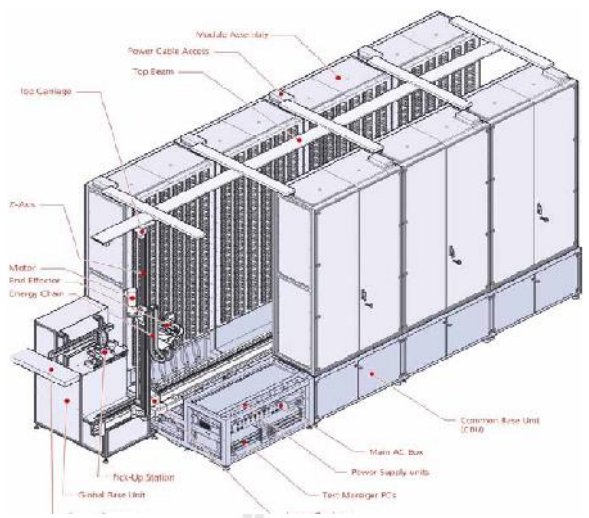
กระบวนการวิเคราะห์โครงสร้างทางพลศาสตร์จำเป็นต้องอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หรือคำนวณค่าต่างๆ เช่น ความถี่ รูปร่างการสั่นสะเทือน และการตอบสนองเชิงพลวัต ส่วนข้อมูลเบื้องต้นต่างๆของแต่ละอิเลลิเมนต์ที่ประกอบขึ้นเป็นระบบ เช่น ค่าของมวลสปริง และความหน่วง ที่อยู่ในรูปเมทริกซ์นั้นอาจอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณซึ่งกระบวนการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมโดยทั่วไปประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

- การสร้างและเลือกแบบจำลอง โครงสร้างที่เหมาะสม
- การแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นอิเลลิเมนต์ย่อย ๆ
- การเลือกชนิด ขนาด และจำนวนพิกัดแต่ละอิเลลิเมนต์ของแต่ละชิ้นส่วนของโครงสร้าง
- การกำหนดคุณสมบัติเชิงกลของแบบจำลอง
- การกำหนดเงื่อนไข ขอบเขต และจุดรองรับของระบบ (Boundary Condition)

อย่างไรก็ตามการที่จะได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องเที่ยงตรงนั้น ผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องมีองค์ความรู้ในหลาย ๆ ด้าน นับตั้งแต่คณิตศาสตร์ขั้นสูง ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ความเข้าใจในส่วนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และประสบการณ์การใช้กราฟิกซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์

ดังนั้นการศึกษาในงานวิจัยนี้จึงได้แบ่งวิธีดำเนินการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือ การวิเคราะห์แบบจำลองวัดค่าด้วย ตลับลูกปืนใหม่ ตลับลูกปืนเริ่มสึกหรอ และตลับลูกปืนที่สึกหรอ และทำให้เกิดความเสียหายต่อ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เทคนิคการวัดเพื่อให้ได้ผลที่สอดคล้องในการหา

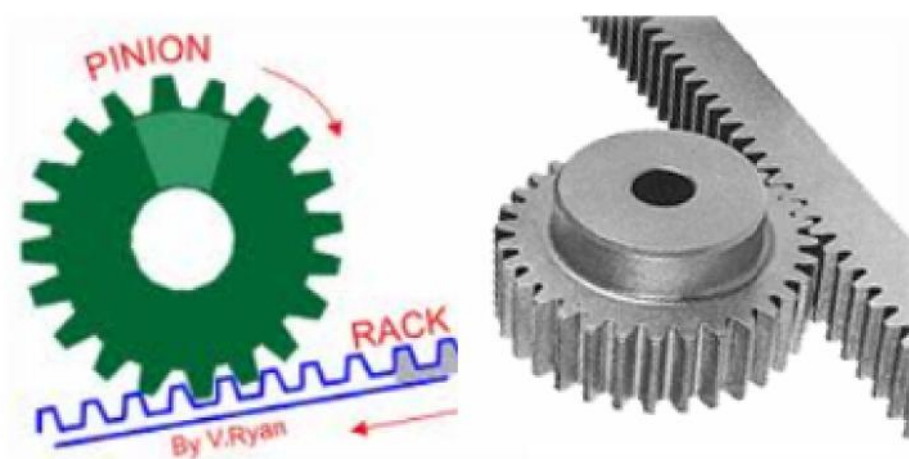




รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของตลับลูกปืนโดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท Proper bearing (ตลับใหม่) Almost improper bearing (เริ่มมีการสึกหรอ) และ Improper bearing (สึกหรอ)

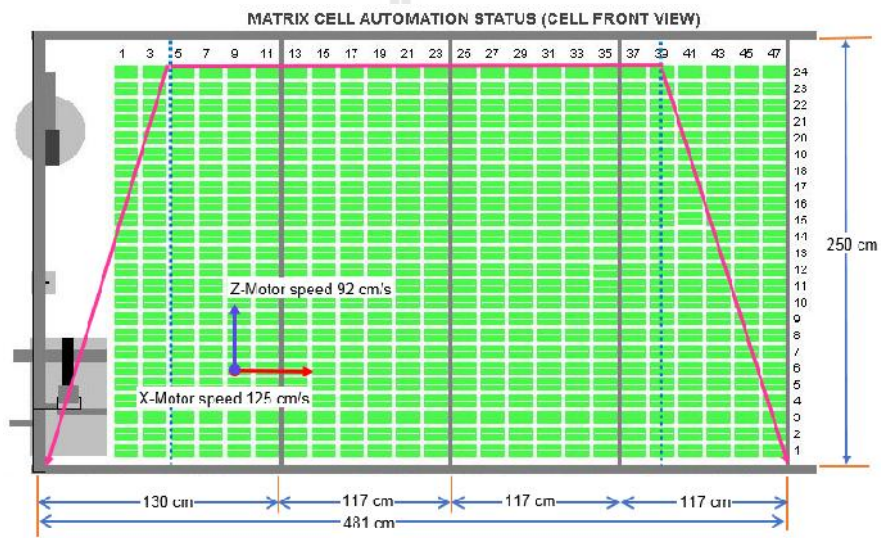


รูปที่ 3.4 ตลับลูกปืนที่ทำให้เกิดการสั่น

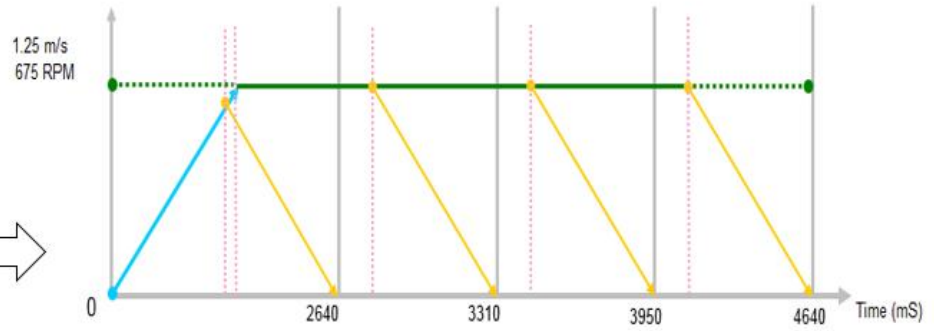


รูปที่ 3.5 ลักษณะการเคลื่อนที่ของตลับลูกปืน

การเคลื่อนที่ของแกนกลของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นใช้มอเตอร์เป็นตัวต้นกำลังส่งกำลังขับเคลื่อนผ่านเพลา (Shaft) เพื่อให้ตลับลูกปืนทั้งตัวบนและตัวล่างขับเคลื่อนไปบนรางเกียร์ (Rack) พร้อมกัน ตลับลูกปืนดังรูปที่ 3.3 เป็นตัวขับเคลื่อนแกนกล หน้าที่การทำงานของแกนกลคือการเคลื่อนที่เพื่อนำฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เข้าและออกจากเครื่องทดสอบซึ่งการเคลื่อนที่ใช้ความเร็ว 125 เซนติเมตรต่อวินาทีในแนวนอน (X-axis) และเคลื่อนที่ในแนวตั้งโดยใช้ความเร็ว 92 เซนติเมตรต่อวินาที (Z-axis) ซึ่งการเคลื่อนที่ทั้งสองแกนนี้จะเคลื่อนที่ไปพร้อมๆ กันและในขณะเดียวกันนั้นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ยังคงดำเนินการทดสอบอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการหยุด



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



Servo motor  
Acceleration = 890mS (79.625 cm)  
Deceleration = 890mS (79.625 cm)



เพื่อให้ได้ผลการศึกษามรรลุเป้าหมายที่วางไว้นั้น จึงกำหนดให้คุณสมบัติของของตลับลูกปืน โดยแบ่งเป็น 3 รูปแบบคือ

- Proper bearing (ใหม่)
- Almost improper bearing (เริ่มมีการสึกหรอ)
- Improper bearing (สึกหรอ)

### 3.4 การกำหนดเงื่อนไขและขอบเขต

เงื่อนไขหรือขอบเขต (Boundary Condition) ของอิลลิเมนต์ในระบบพลวัต จำแนกออกได้เป็นสองประเภทคือ เงื่อนไขที่อยู่ในรูปของแรง และเงื่อนไขที่อยู่ในรูปของการกระจัด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้เป็นแบบไม่มีแรงภายนอกมากระทำกับแบบจำลองของช่องทดสอบ ดังนั้นจึงมีแต่เฉพาะเงื่อนไขในรูปของการกระจัด ซึ่งมีการกำหนดเงื่อนไขและขอบเขตต่างๆ ดังนี้

#### 3.4.1 เงื่อนไขเริ่มต้นและจุดรองรับของระบบ

การทดลองนี้ได้มีการกำหนดให้แบบจำลองของช่องทดสอบนั้น ไม่มีการเคลื่อนที่ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ แต่กำหนดให้แกนกลเคลื่อนที่เข้าและออกดังนั้นจึงกำหนดให้มีจุดติดตั้งเซนเซอร์เพื่อตรวจจับการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการสึกหรอของตลับลูกปืนให้ยึดติดแบบตายตัวอยู่บนคานที่รองรับการเคลื่อนที่ของแกนกล

#### 3.4.2 เงื่อนไขผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงาน

การศึกษาและวิเคราะห์แบบจำลองของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เป็นลักษณะสถิตยศาสตร์ และได้พิจารณาเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) จึงกำหนดเงื่อนไขผิวสัมผัสของชิ้นงานเป็นเนื้อเดียวกัน (Rigidly join bodies together) ซึ่งจะใช้การประกบติดของเฟืองที่ใช้ขับเคลื่อนกับชุดรองรับการเคลื่อนที่ของแกนกล

### 3.5 ผลการวิเคราะห์

การศึกษาและวิเคราะห์ นอกจากจะทำให้เราได้ทำความเข้าใจในทางทฤษฎีและขั้นตอนการหาสร้างสมการตลอดจนขบวนการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องแล้ว การทำความเข้าใจในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปนั้นมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาควบคู่กันไปด้วย เพราะว่าปัญหาในทางปฏิบัติมีรูปร่างลักษณะที่ซับซ้อนและต้องการอิลลิเมนต์เป็นจำนวนมาก

ความเข้าใจหลักการพื้นฐานการคำนวณ และกระบวนการในการออกแบบเครื่องจักรกลเบื้องต้นทำให้สามารถเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ และชิ้นส่วนมาตรฐานสำหรับการใช้งานอย่างถูกต้อง



และเหมาะสมทั้งทางวิศวกร และ ต้นทุน ซึ่งจะทำให้การออกแบบการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรกล  
ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับสภาพการใช้งานอย่างแท้จริง

สามารถรวบรวมแนวคิดการออกแบบเพื่อนำไปต่อยอด และทำความเข้าใจในระดับสูงขึ้น  
เพื่อเป็นการพัฒนาเครื่องจักรกลที่มีความซับซ้อนมากขึ้นต่อไป



## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์การสั่นเปรียบเทียบกับเทคนิคการวัด

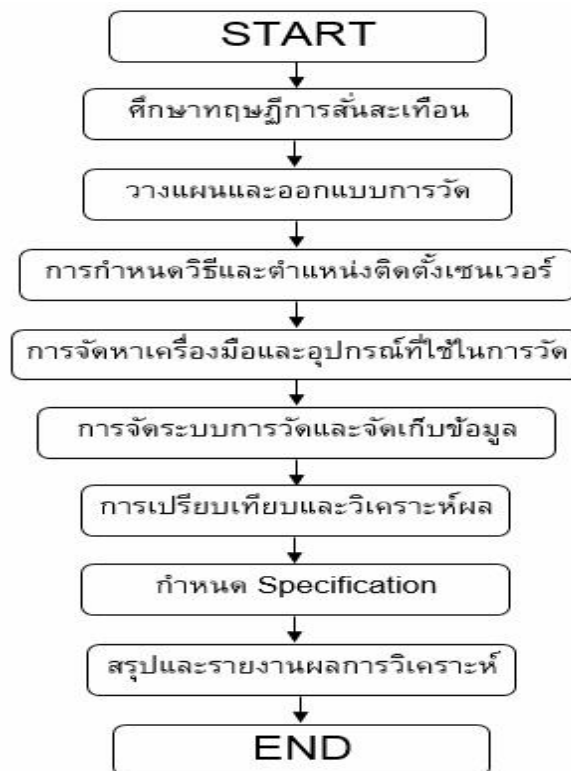
การทดลองเพื่อหาการสั่นสะเทือนของเครื่องทดสอบ ที่มีขนาดกว้าง 183 เซนติเมตรยาว 540 เซนติเมตรสูง 250 เซนติเมตรและน้ำหนักประมาณ 8000 กิโลกรัม ซึ่งชุดแขนกลที่เคลื่อนที่เข้า ออกด้วยความเร็ว 675 รอบต่อนาทีหรือ 125 เซนติเมตรต่อวินาที และเคลื่อนขึ้นลงด้วยความเร็ว 550 รอบต่อนาทีหรือ 92 เซนติเมตรต่อวินาทีทั้งสองแกนนี้ใช้ เซอร์โวแอมพลิไฟเออร์ ในการควบคุม มอเตอร์โดยมอเตอร์จะส่งกำลังขับเคลื่อนผ่านเพลลาโดยใช้ตลับลูกปืนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.3 เซนติเมตรความหนา 1.65 เซนติเมตรขับเคลื่อนอยู่บน Rack ซึ่งน้ำหนักรวมของแขนกลที่ถ่ายลงมาบน Rack ประมาณ 85 กิโลกรัม ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ติดตั้ง Vibration sensor ไวบนราง เกียร์ (Rack) โดยนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาความถี่ที่เกิดจากตลับลูกปืน เพื่อศึกษาการสึกหรอ ของตลับลูกปืนของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ด้วยเทคนิคการวัดซึ่งในบทนี้เป็นผลการทดลอง ที่ได้จากการวัดค่าจริงของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผล จากตลับลูกปืนทั้ง 3 แบบ

1. ตลับลูกปืนใหม่ (Proper Bearing)
2. ตลับลูกปืนเริ่มมีการสึกหรอ (Almost Improper Bearing)
3. ตลับลูกปืนสึกหรอ (Improper Bearing)

การเปรียบเทียบการสั่นท่าทางได้เงื่อนไขเดียวกันคือทำการทดลองที่เครื่องทดสอบเดียวทำการทดลองซ้ำๆด้วยขบวนการเดียวกันซึ่งทำทั้งหมด 8 เครื่องทดสอบ นำข้อมูลที่ได้จากแต่ละเครื่อง มาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าเฉลี่ยนี้จะแยกตามชนิดของตลับลูกปืนทั้งสามแบบแล้วนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาความแตกต่าง โดยจะนำค่าที่ได้จากการตลับลูกปืนที่สึกหรอเพื่อเป็นดัชนีในการตรวจจับตลับลูกปืนที่เริ่มสึกหรอ ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้ช่างซ่อมบำรุงสามารถรู้ได้ว่าตลับลูกปืนที่เริ่มสึกหรอนั้น สร้างแรงสั่นสะเทือนมาที่ค่าเท่าไรซึ่งจะใช้ค่าสั่นสะเทือนนี้เป็นค่าที่จะใช้ในการตรวจจับว่า จะต้องทำการเปลี่ยนตลับลูกปืนเมื่อไร เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะตามมาซึ่งขบวนการนี้เรียกว่า การคาดคะเน (Prediction Maintenance) ซึ่งการคาดคะเนนี้ใช้ข้อมูลทางวิศวกรรมจากการใช้ เซอร์โว ตรวจจับแล้วนำข้อมูลนั้นมาใช้ในการตัดสินใจ

#### 4.1 ขั้นตอนการวัดการสั่นสะเทือน

ในขั้นตอนสำหรับการวัด และการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลโดยใช้เซนเซอร์วัดการสั่นสะเทือนนั้น มีขั้นตอนและรายละเอียดในการดำเนินการดังนี้

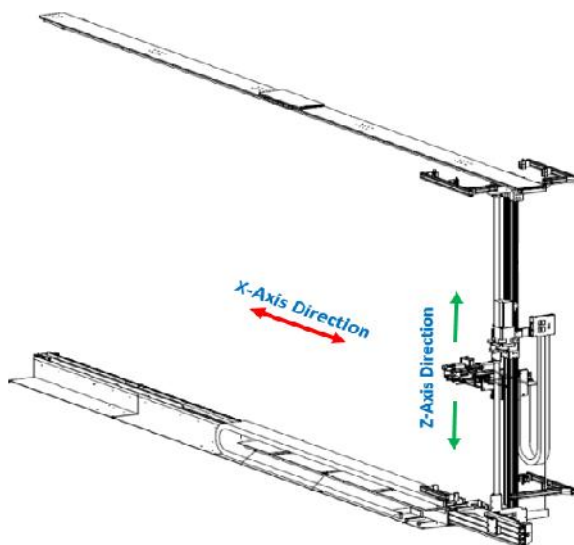


รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการวัดการสั่นสะเทือน

#### 4.2 อุปกรณ์การทดลองและตำแหน่งการติดตั้ง

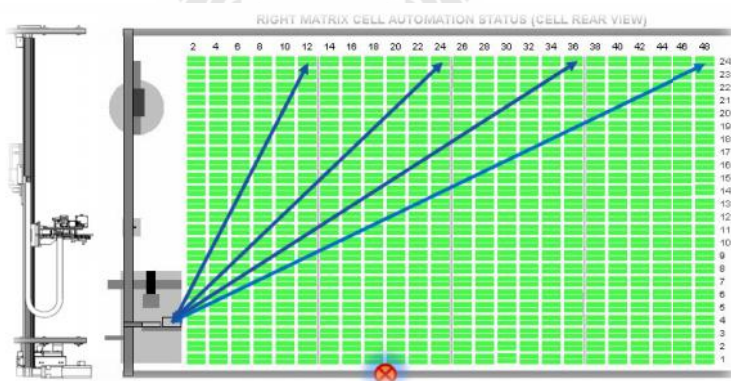
##### 4.2.1 อุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ซึ่งใช้แขนกลในการทำหน้าที่เป็นตัวเคลื่อนย้ายฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เข้าไปในเครื่องเพื่อทำการทดสอบและในขณะเดียวกันก็ทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ทดสอบเสร็จแล้วออกจากเครื่องทดสอบด้วย



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของแชนกกล

2. ชุดอุปกรณ์วัดการสั่นที่เกิดจากตลับลูกปืน (Bearing) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนแชนกกลเพื่อใช้สำหรับการหาความถี่ที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของแชนกกลบนเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์

3. อุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน (Dynamic Signal Analyzer) ใช้สำหรับวัดค่าการสั่นสะเทือนพร้อมบันทึกผลลัพธ์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Kistler

Measurement Technologies รุ่น 10-32 UNF-2B Thread โดยรายละเอียดต่างๆ ของอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือนที่ภาคผนวก ก.



รูปที่ 4.4 แสดงอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน

4. อุปกรณ์ตรวจวัดความเร่ง(Accelerometer Sensor) ใช้เป็นตัวตรวจวัดการสั่นสะเทือนของช่องทดสอบ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Kistler รุ่น 10-32 UNF-2B สามารถวัดค่าได้สามแกนพร้อมๆกัน โดยรายละเอียดต่างๆ ของอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งแสดงที่ภาคผนวก ก.

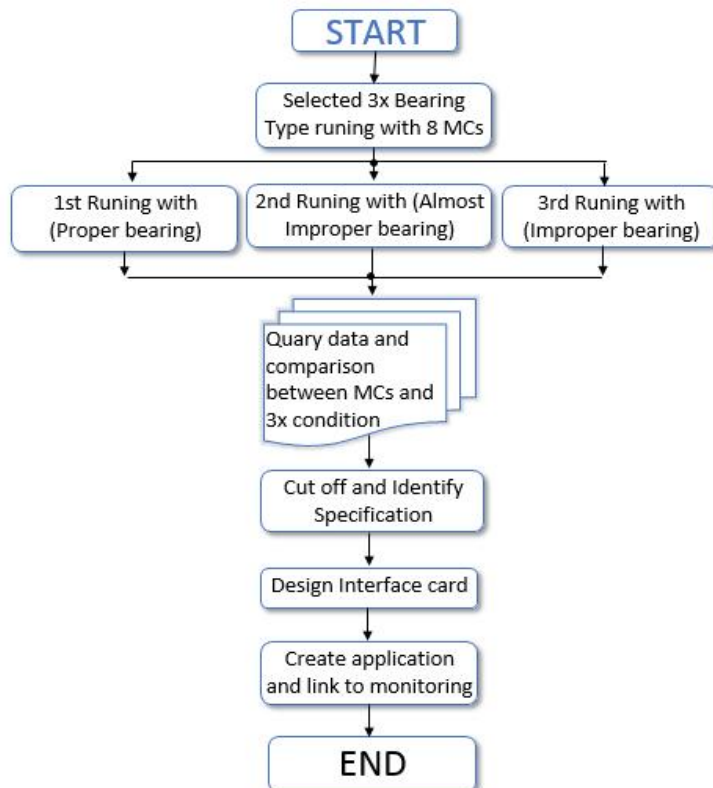
5.

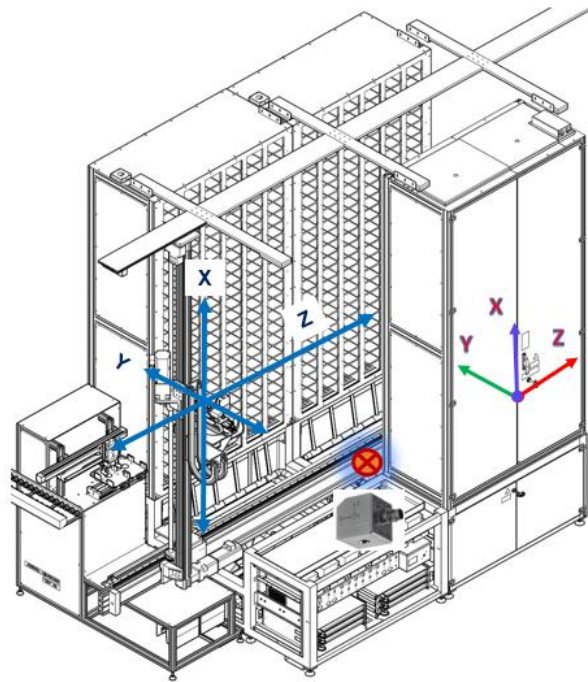


รูปที่ 4.5 แสดงเซนเซอร์วัดการสั่นสะเทือน

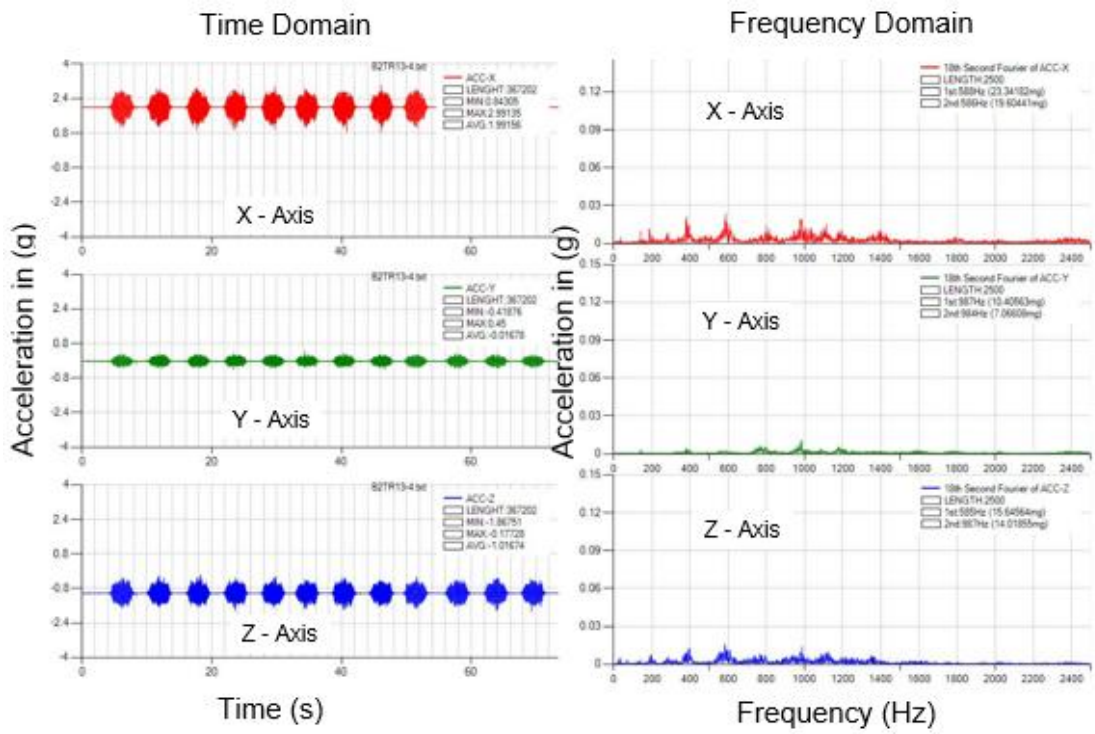
#### 4.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง

การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งไว้ที่ข้างบนตรงกับแกนเครื่องเขย่าสั่น เพื่อนำสัญญาณที่วัดได้ไปวิเคราะห์โดยใช้ Dynamic Signal Analyzer ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและเก็บบันทึกผลการทดลอง โดยข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมดนั้นจะถูกเก็บไว้ที่คอมพิวเตอร์เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป

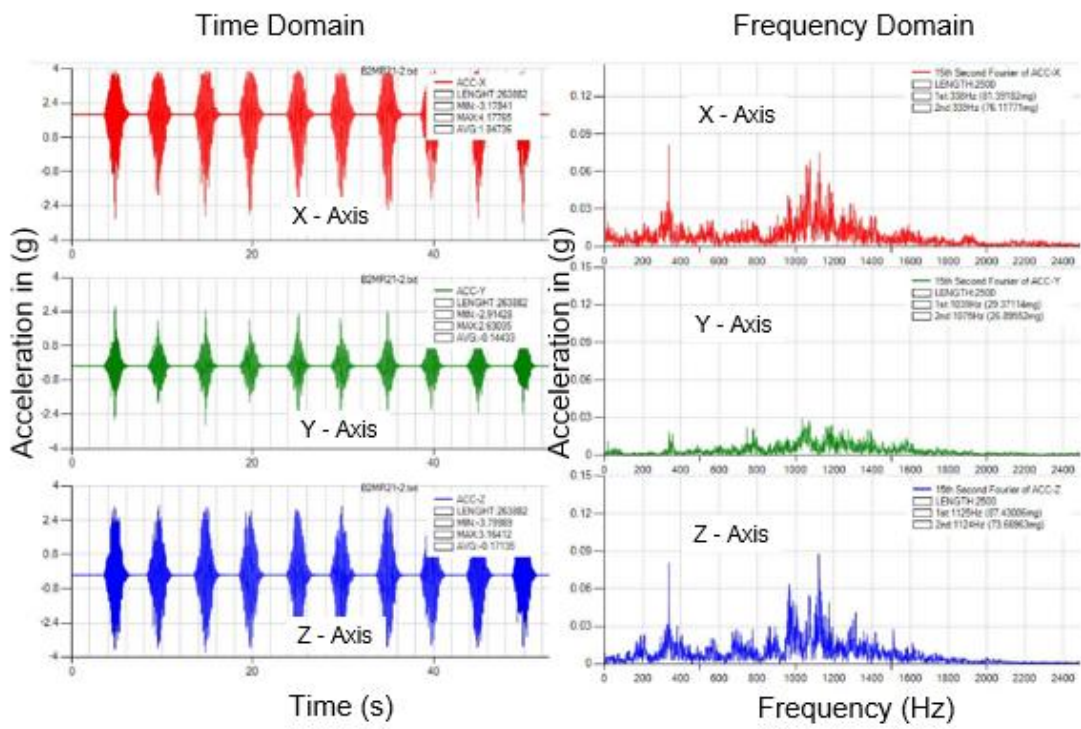


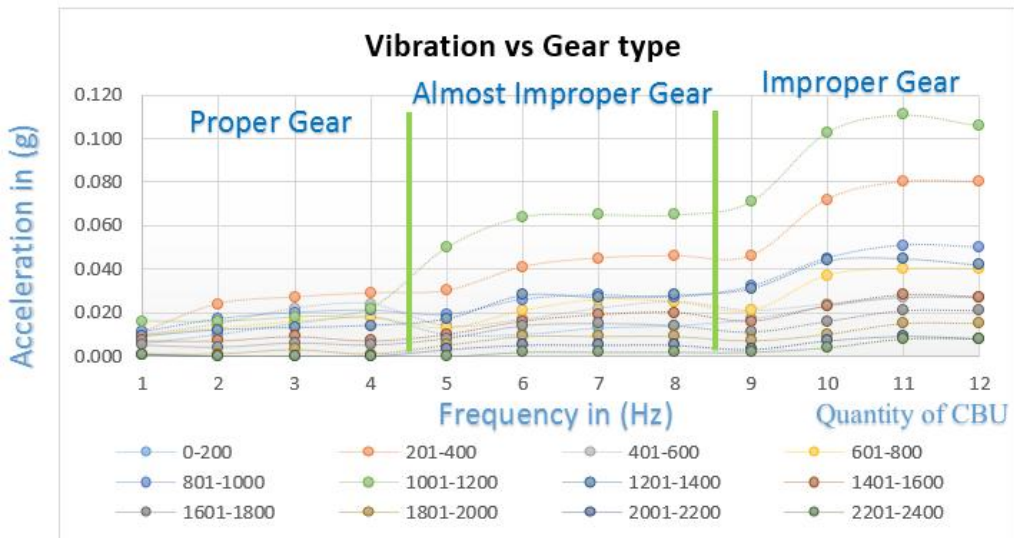
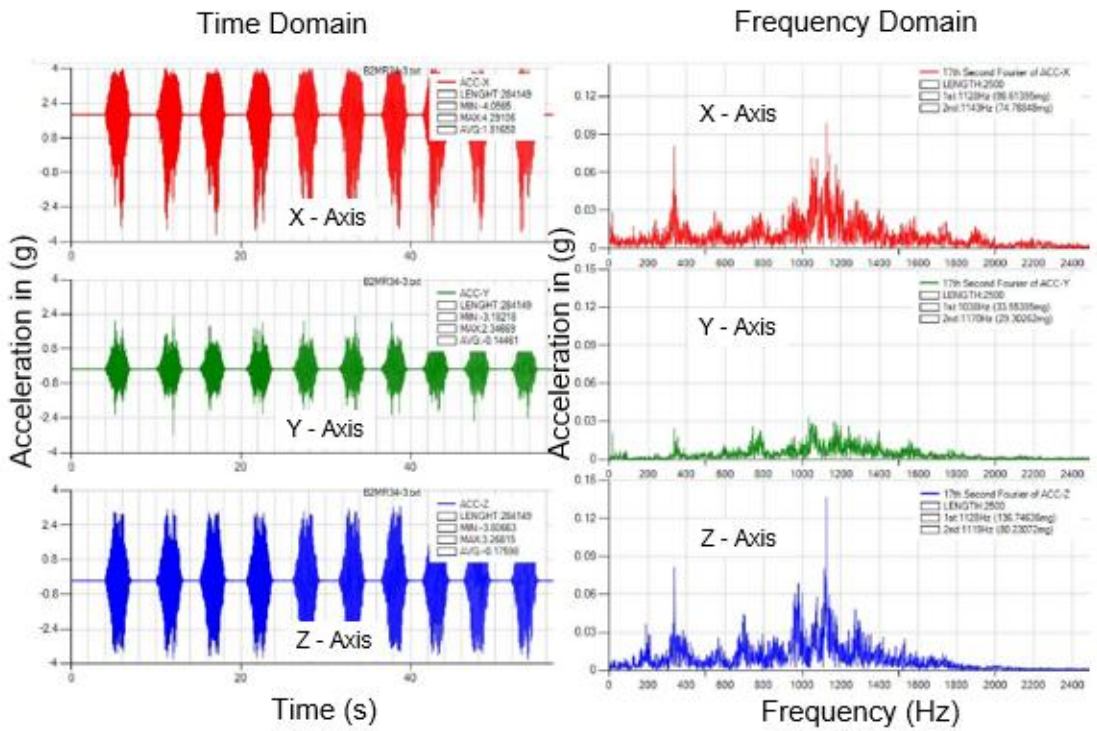


$$F(t) = 0.1 \sin \tilde{S}t$$









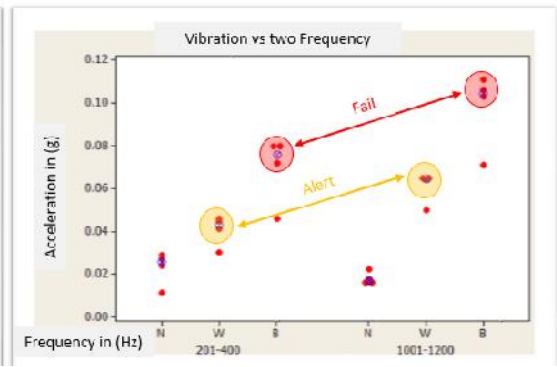
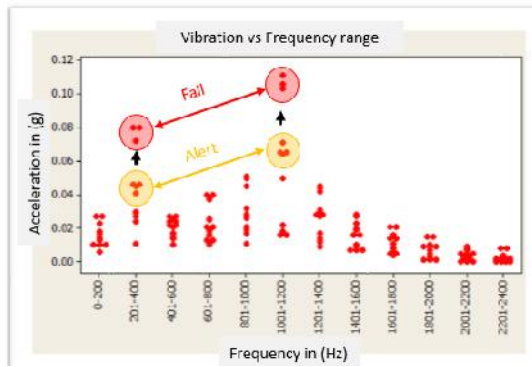
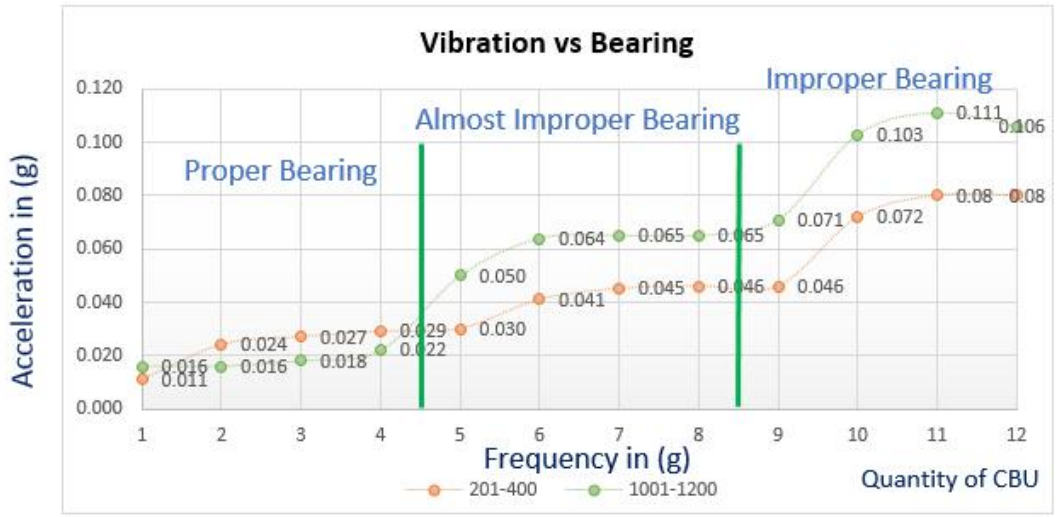
Frequency in (Hz)	Acceleration in (g)			
	CBU 1	CBU 2	CBU 3	CBU 4
0-200	0.006	0.010	0.015	0.018
<b>201-400</b>	<b>0.011</b>	<b>0.024</b>	<b>0.027</b>	<b>0.029</b>
401-600	0.010	0.015	0.022	0.024
601-800	0.010	0.013	0.016	0.018
801-1000	0.011	0.017	0.020	0.021
<b>1001-1200</b>	<b>0.016</b>	<b>0.016</b>	<b>0.018</b>	<b>0.022</b>
1201-1400	0.009	0.012	0.013	0.014
1401-1600	0.007	0.007	0.009	0.007
1601-1800	0.005	0.004	0.006	0.005
1801-2000	0.001	0.001	0.003	0.001
2001-2200	0.001	0.000	0.000	0.000
2201-2400	0.001	0.000	0.000	0.000

Frequency in (Hz)	Acceleration in (g)			
	CBU 1	CBU 2	CBU 3	CBU 4
0-200	0.010	0.010	0.013	0.014
<b>201-400</b>	<b>0.030</b>	<b>0.041</b>	<b>0.045</b>	<b>0.046</b>
401-600	0.014	0.017	0.022	0.025
601-800	0.013	0.021	0.026	0.025
801-1000	0.019	0.026	0.028	0.027
<b>1001-1200</b>	<b>0.050</b>	<b>0.064</b>	<b>0.065</b>	<b>0.065</b>
1201-1400	0.017	0.028	0.027	0.028
1401-1600	0.010	0.016	0.019	0.020
1601-1800	0.008	0.014	0.015	0.014
1801-2000	0.005	0.009	0.009	0.009
2001-2200	0.003	0.005	0.005	0.005
2201-2400	0.000	0.002	0.002	0.002

Frequency in (Hz)	Acceleration in (g)			
	CBU 1	CBU 2	CBU 3	CBU 4
0-200	0.017	0.023	0.027	0.027
<b>201-400</b>	<b>0.046</b>	<b>0.072</b>	<b>0.08</b>	<b>0.08</b>
401-600	0.021	0.024	0.027	0.027
601-800	0.021	0.037	0.04	0.04
801-1000	0.032	0.045	0.051	0.05
<b>1001-1200</b>	<b>0.071</b>	<b>0.103</b>	<b>0.111</b>	<b>0.106</b>
1201-1400	0.031	0.044	0.045	0.042
1401-1600	0.016	0.023	0.028	0.027
1601-1800	0.011	0.016	0.021	0.021
1801-2000	0.007	0.01	0.015	0.015
2001-2200	0.003	0.007	0.009	0.008
2201-2400	0.002	0.004	0.008	0.008



Frequency (Hz)	Acceleration in (g)											
	Proper Bearing				Almost Improper Bearing				Improper Bearing			
	CBU 1	CBU 2	CBU 3	CBU 4	CBU 1	CBU 2	CBU 3	CBU 4	CBU 1	CBU 2	CBU 3	CBU 4
0-200	0.006	0.010	0.015	0.018	0.010	0.010	0.013	0.014	0.017	0.023	0.027	0.027
<b>201-400</b>	<b>0.011</b>	<b>0.024</b>	<b>0.027</b>	<b>0.029</b>	<b>0.030</b>	<b>0.041</b>	<b>0.045</b>	<b>0.046</b>	<b>0.046</b>	<b>0.072</b>	<b>0.08</b>	<b>0.08</b>
401-600	0.010	0.015	0.022	0.024	0.014	0.017	0.022	0.025	0.021	0.024	0.027	0.027
601-800	0.010	0.013	0.016	0.018	0.013	0.021	0.026	0.025	0.021	0.037	0.04	0.04
801-1000	0.011	0.017	0.020	0.021	0.019	0.026	0.028	0.027	0.032	0.045	0.051	0.05
<b>1001-1200</b>	<b>0.016</b>	<b>0.016</b>	<b>0.018</b>	<b>0.022</b>	<b>0.050</b>	<b>0.064</b>	<b>0.065</b>	<b>0.065</b>	<b>0.071</b>	<b>0.103</b>	<b>0.111</b>	<b>0.106</b>
1201-1400	0.009	0.012	0.013	0.014	0.017	0.028	0.027	0.028	0.031	0.044	0.045	0.042
1401-1600	0.007	0.007	0.009	0.007	0.010	0.016	0.019	0.020	0.016	0.023	0.028	0.027
1601-1800	0.005	0.004	0.006	0.005	0.008	0.014	0.015	0.014	0.011	0.016	0.021	0.021
1801-2000	0.001	0.001	0.003	0.001	0.005	0.009	0.009	0.009	0.007	0.01	0.015	0.015
2001-2200	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	0.005	0.005	0.005	0.003	0.007	0.009	0.008
2201-2400	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.002	0.002	0.004	0.008	0.008
Min	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.002	0.002	0.004	0.008	0.008
Max	0.016	0.024	0.027	0.029	0.050	0.064	0.065	0.065	0.071	0.103	0.111	0.106
Range	0.015	0.024	0.027	0.029	0.050	0.062	0.063	0.063	0.069	0.099	0.103	0.098
Avg	0.007	0.010	0.012	0.013	0.015	0.021	0.023	0.023	0.023	0.034	0.039	0.038
Stdev	0.005	0.008	0.009	0.010	0.014	0.017	0.018	0.018	0.020	0.029	0.030	0.029
Rsq btw Almost Improper with Improper bearing									<b>0.986</b>	<b>0.981</b>	<b>0.977</b>	<b>0.965</b>



สั่นและความถี่ทั้ง 2 ย่านทำให้เราได้ทราบค่าความถี่ที่แท้จริงและสามารถกำหนด Specification ของการสั่นสะเทือนได้ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ 201-400 Hz ที่ค่าการสั่นสะเทือน 0.041-0.045 g และ ย่านความถี่ 1001-1200 Hz ที่ค่าการสั่นสะเทือน 0.046-0.065 g ซึ่งทั้งสองย่านความถี่นี้ได้นำมาซึ่ง ข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจว่าจะทำการหยุดเครื่องเพื่อทำการซ่อมบำรุงเมื่อไหร่โดยที่ไม่เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ของบริษัทรวมทั้งยังสามารถช่วยทีมงานวิศวกรวางแผนการบำรุงรักษาอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย



## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลของตลับลูกปืนกับการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากตลับลูกปืนของเครื่องทดสอบเพื่อจำแนกสภาพของตลับลูกปืนที่เหมาะสมกับกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยใช้วิธีตรวจจับการสั่นจากฐาน (Rack & Pinion) และเทคนิคการวัดเพื่อหาความถี่ที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของแกนกล ซึ่งสามารถนำไปสู่การวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาที่ทำให้เกิดการเสียหายจากการสั่นสะเทือนได้ พร้อมทั้งยังได้พัฒนาระบบตรวจจับการสั่น โดยได้นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาเป็นตัวช่วยในการเตือนการสั่นของเครื่องด้วย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ปัญหาสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของแกนกลซึ่งใช้ตลับลูกปืนเป็นตัวขับเคลื่อน โดยนำวิธีการวัดตามสภาพจริงเปรียบเทียบกับระหว่าง 3 แบบของตลับลูกปืน พร้อมทั้งตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์ในการตรวจจับและเทคนิคการวัด มาประยุกต์ใช้ควบคู่กันในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องทดสอบซึ่งจะทำให้สามารถทราบความถี่ที่เกิดขึ้นของเครื่องทดสอบ

#### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้ทุกประการ ซึ่งมีผลการวิจัยดังนี้ ผลของการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากสภาพของตลับลูกปืนทั้ง 3 รูปแบบนั้น ความถี่ที่เกิดขึ้นทำให้เราได้ทราบค่าความถี่ (Frequency in Hz) ของเครื่องทดสอบชนิดนี้ว่าช่วงความถี่ที่สอดคล้องกันจะอยู่ในช่วงความถี่ 201-400Hz และ 1001-1200Hz ซึ่งผลที่ได้จากการใช้เทคนิคการวัดจริงจากการเคลื่อนที่บนตลับลูกปืนจริงได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันและสามารถนำมาใช้ในการตัดสินใจว่าจะหยุดเครื่องเพื่อการบำรุงรักษาเมื่อใด

สำหรับเครื่องทดสอบที่มีคุณสมบัติทางกลของตลับลูกปืนที่เริ่มสึกหรอ (Almost Improper bearing and Improper bearing) เสื่อมสภาพแล้วนั้น จะทำให้ค่าการสั่นสะเทือนเปลี่ยนไปในช่วงความถี่เดียวกันเนื่องจากคุณสมบัติทางกลที่เปลี่ยนแปลงไป โดยมีค่าการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น (Acceleration in g) สอดคล้องกันที่ 2 ช่วงความถี่ (201-400Hz และ 1001-1200Hz)

ดังนั้นการศึกษาและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องทดสอบชนิดนี้ในภาคอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยใช้การเปรียบเทียบหาการสั่นสะเทือนที่สอดคล้องกันตรวจจับ

ได้ที่ 2 ย่านความถี่ที่สามารถนำไปสู่การวิเคราะห์และการวางแผนแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้โดยมุ่งเน้นไปที่ตลับลูกปืนที่เริ่มสึกหรอและขจัดที่มาของแหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือน โดยการเดินให้เปลี่ยนก่อนจะเกิดความเสียหาย

จากผลการศึกษาทำให้ทราบถึงอายุการใช้งานที่เหมาะสมของตลับลูกปืนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของการการสั่นสะเทือนและนำมาซึ่งขบวนการ Eliminate vibration source เมื่ออายุการใช้งานมากกว่า 3 ปี

## 5.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป

1. ความถี่ของแรงที่กระทำต่อเครื่องทดสอบทั้งภายนอกและภายในตัวมันเอง ควรมีความถี่ต่ำกว่าความถี่พื้นฐานของเครื่องทดสอบ
2. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของตลับลูกปืนมีผลกระทบต่อ การสั่นสะเทือน เพราะว่าการขับเคลื่อนของแกนกลจะส่งกำลังผ่านตลับลูกปืน (Rack & Pinion) ทำให้ความถี่และรูปร่างการสั่นเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกัน ฉะนั้นควรจะศึกษาเพิ่มเติมว่าอุปกรณ์ใดที่เป็นแหล่งกำเนิดความถี่นี้บ้าง
3. การเพิ่มหรือลดขนาดของมวลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นจะทำให้ช่วงความถี่ของช่องทดสอบนั้นเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่และส่งผลกระทบต่อขบวนการทดสอบหรือไม่
4. ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องทดสอบ ควรพิจารณาลักษณะแรงกระทำจากภายนอกที่เกิดขึ้นต่อระบบและช่วงความถี่ที่มีผลต่อการอ่าน-เขียนข้อมูลในกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วย
5. การเคลื่อนที่ของแกนกลที่มีมวล 85 กิโลกรัม บน Rack & Pinion นั้นสามารถที่จะกำหนดการสั่นได้ตลอดเวลา ด้วยเทคโนโลยีการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ นั้นมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มความจุของข้อมูล และ การเพิ่มปริมาณการผลิต ควรจะทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มการเคลื่อนที่ให้เร็วขึ้นพร้อมกับการลดการสั่นสะเทือนควบคู่กันไป งานวิจัยฉบับนี้ขอแนะนำการนำสายพาน (Belt) มาใช้แทนรางเกียร์ (Rack & Pinion)
6. สร้างระบบตรวจจับการสั่นสะเทือนของเครื่องแบบอัตโนมัติ ซึ่งออกแบบให้สามารถตรวจจับการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเริ่มสึกหรอของตลับลูกปืน



## รายการอ้างอิง

- จิระพล ศรีเสริฐผล, สุเมธี ถีสุงเนิน และอดิศด บุญมาก. (2551). การทดสอบตัวคูดซับการกระแทก ขนาดเล็กตามสภาพใช้งานจริง เพื่อหาตัวแปรของตัวคูดซับ. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม.สงขลา.
- จิระพล ศรีเสริฐผล และ สมใจ สุนทรสกุล. (2552). การวิเคราะห์การสั่นของชุดขนถ่ายชิ้นงานที่มีผลต่อชิ้นงานหัวอ่านและบันทึกข้อมูล ตามสภาวะการใช้งานจริง. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. ขอนแก่น.
- จิระพล ศรีเสริฐผล Mechanical Vibrations. School of Mechanical Engineering. Suranaree University of Technology.
- เฉลิมขง ประรณนารักษ์และ จิระพล ศรีเสริฐผล. (ตุลาคม 2548). การปรับแต่งค่าความแข็งสปริงของตัวคูดซับการสั่นแบบคานมวลคู่โดยวิธีการควบคุมแบบปรับตัว. ใน การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร.
- จิระพล ศรีเสริฐผล และสุเมธี ถีสุงเนิน. (2552). การศึกษาและวิเคราะห์การสั่นของอุปกรณ์สำหรับทดสอบโดยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์.การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23.เชียงใหม่.
- ราโอ ลิงค์จีเรชู เอส. (2545). การสั่นทางกล. แปลโดย กนต์ธร ชำนิประศาสน์. กรุงเทพฯ: เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า.
- ประดิษฐ์ หมู่เมืองสอง และ สุขญาณ หรรษสุข. (2549)การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน(Vibration Analysis).กรุงเทพฯ: Industrial Management and Technical Series.
- ก่อเกียรติ บุญชูกุลศล , สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และชัยโรจน์ คุณพานิชกิจ . (2539). การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน.กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- เดช พุทธเจริญทอง. (2538). การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: พิมพ์ดี.
- ก่อเกียรติ บุญชูกุลศล, สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และชัยโรจน์ คุณพานิชกิจ. (2540). การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน การเฝ้าตรวจและการจัดการการบำรุงรักษา. ส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).
- หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ. (2550). การตรวจสอบเครื่องจักรกลจากค่าความสั่นสะเทือน วารสาร: Mechanical Technology Magazine ฉบับที่ 6 เล่มที่ 69 หน้า 80-83

เทวิน พันภัย และ ชีระ เกียรติพงษ์กุล. (2550). การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของ Actuator Arm ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์พร้อมทั้งตรวจสอบการสั่นสะเทือนโดยใช้ LDV. บทความ: วิศวกรรมสาร มข. ฉบับที่ 4 หน้า 477-488

Eshleman L. Ronald (2005). **Basic Machinery Vibration**. United States of America: Clarendon Hills.

Mitiguy, P.C. and Banerjee, A.K. (2000). **Determination of Spring Constants for Modeling Flexible Beams**. J. Transactions of the MSC. Software. 6pp.

Mitiguy, P.C. and Banerjee, A.K. (2000). A Constraint Force Algorithm for Formulating Equations of Motion. J. Transactions of the MSC. Software. 3pp.

Mitiguy, P.C. and Reckdahl, K.J. (2000). The Definition of Product of Inertia, J. of the MSC. Software. 6pp.





ภาคผนวก ก

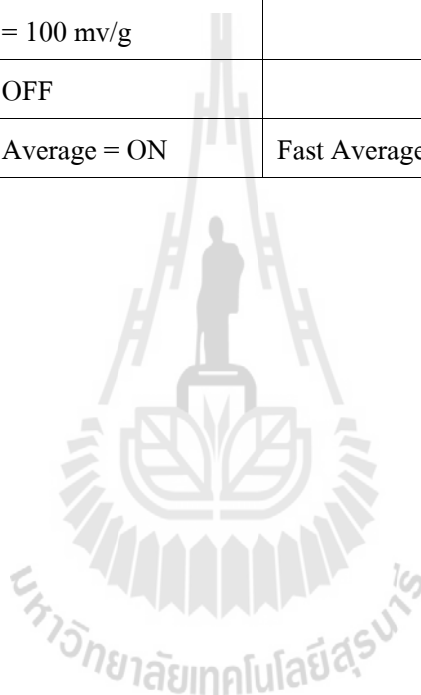
การปรับตั้งค่าเครื่องมือวัดที่ใช้ทดสอบการสั่นสะเทือน



Measurement Settings	Step 1	Step 2	Step 3
Display Format	Quad	Overall=ON	
Scale	Axes scale marker	X=0 to 200	Y=Auto scale
Y unit	Amplitude=Peak		XDCR UNET =M(DISP)
Measurement Data	Channel 1 to 4 =PWR Spectrum		
Trace Coord.	1 to 3 = Linear Magnitude		X-Axis=Linear
Marker	Marker = ON	Peak Trk = ON	

ตารางที่ ข.2 การตั้งค่าเริ่มต้นในโหมด Measurement เพื่อทำการทดลอง

Measurement Settings	Step 1	Step 2	Step 3
Inst Mode	FFT Analysis	Envelope = ON	
Frequency	START = 0 Hz STOP = 2400 Hz	Step size = 2kHz	Resolution (Lines) = 200
Window	Rectangle		
Input	Sensitivity = 100 mv/g		
Source	OFF		
Average	Average = ON	Fast Average	Update rate = 5



ภาคผนวก ข

รายละเอียดต่างๆ ของชุดอุปกรณ์วัดการสิ้นสะท้อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



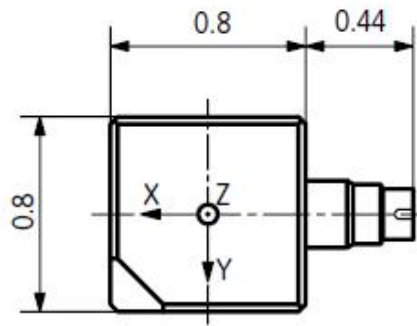
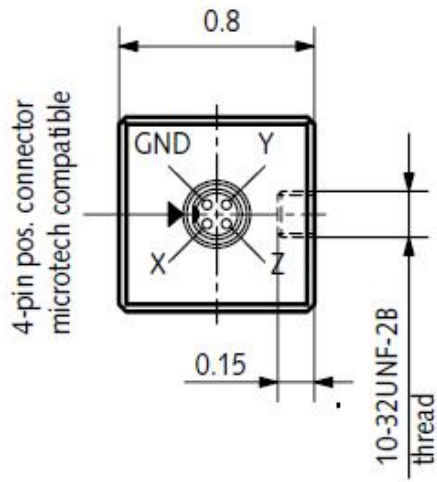
Feature	FFT	Octave	Order	Swept Sine	Correction	Histogram /Time
Power Spec CH 1/2/3/4	Yes	Yes	Yes			
Linear Spec CH 1/2/3/4	Yes			Yes		
Time Channel 1/2/3/4	Yes		Yes	Yes	Yes	Yes
Window Time CH 1/2/3/4	Yes				Yes	
Frequency Response	Yes			Yes		
Coherence	Yes					
Cross Spectrum	Yes			Yes		
Orbit	Yes		Yes			
Math Function	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Data Register	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Waterfall Register	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Capture CH 1/2/3/4/	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติของอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน(ต่อ)

Feature	FFT	Octave	Order	Swept Sine	Correction	Histogram /Time
Composite Power CH 1/2/3/4			Yes			
Order Track CH 1/2/3/4			Yes			
RPM Profile			Yes			
Normalized Variance CH 1/2/3/4				Yes		
Auto Correlation CH 1/2/3/4					Yes	
Cross Correlation					Yes	
Histogram CH 1/2/3/4						Yes
PDF CH 1/2/3/4						Yes
CDF CH 1/2/3/4						Yes







### Technical Data

Specification	Unit	Type 8795A50M8
Acceleration range	g	±50
Acceleration limit	gpk	±100
Threshold (noise 100 µVrms), nom.	grms	0.001
Sensitivity, ±10 %	mV/g	100
Resonant frequency mounted, nom.	kHz	20
Frequency response, ±5 %	Hz	1 ... 4000
Amplitude non-linearity	%FSO	±1
Time constant, nom.	s	0.5
Transverse sensitivity, nom. (max. 3)	%	1.5
Long term stability	%	±1

### Environmental

Base strain sensitivity @ 250 µs	g/µs	0.01
Random vibration, max.	grms	2000
Shock limit (1 ms pulse)	gpk	5000
Temperature coefficient of sensitivity	%/°F	-0.02
Operating temperature range	°F	-320 ... 250
Storage temperature range	°F	-320 ... 300

### Output

Bias, nom.	VDC	11
Impedance	Ω	<100
Voltage full scale	V	±5
Current	mA	2

### Source

Voltage	VDC	20 ... 30
Constant current	mA	2 ... 18
Impedance, min.	kΩ	100

### Construction

Sensing element	Type	quartz-shear
Case/base	material	Titanium
Degree of protection case/connector	Type	hermetic
Connector	Type	4-pin pos.
Ground isolated		with pad
Mass	grams	32
Mounting (10-32 thd.x0.15 dp)	Type	stud

$$1 \text{ g} = 9.80665 \text{ m/s}^2$$

### Included Accessories

- 10-32 mounting stud
- 10-32 to M6 mounting stud; shipped only outside N.A.

### Type

8402  
8411

### Ordering Code

Range	Type 8795A
±50 g, low temperature	50M8

We can also recommend our product series Type 8766A... with extended operating temperature range or TEDS option (see Data sheet 8766A\_000-607).

### Measuring Chain

- 1 Low impedance sensor
- 2 Sensor cable, 4-pin neg. to 3x BNC pos.
- 3 Power supply/signal conditioner
- 4 Output cable, BNC pos. to BNC pos.

### Type

8795A50M8  
1756B...  
51...  
1511



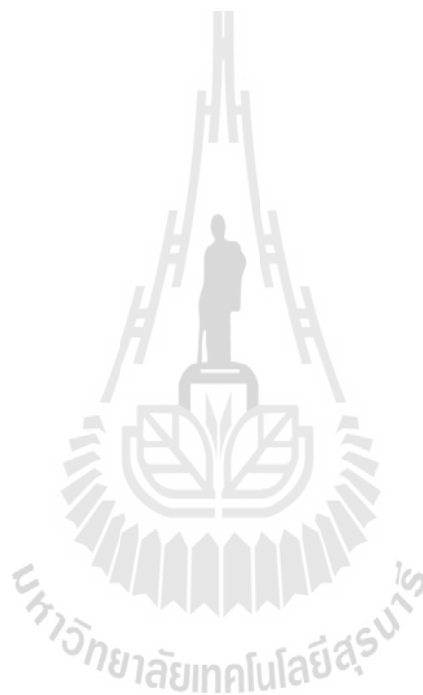
ภาคผนวก ค

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา



## รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Kittisak Photiseang and Jiraphon Srisertpol. (2014). **Vibration Analysis and Damage Detection of the Bearing on Hard Disk Drive Tester**. Proceedings of the International conference on Intelligent Systems, Data Mining and Information Technology (ICIDIT). April 21-22, 2014 Bangkok Thailand. : pp. 124-127.



# Vibration Analysis and Damage Detection of the Bearing on Hard Disk Drive Tester

Jiraphon Srisertpol, and Kittisak Photiseang

**Abstract**—This article is to study, conduct an experiment, and analyze the vibration of the Gemini tester, which is an apparatus widely used in various industries. The vibrations normally cause errors and damages on parts. In case of Hard Disk Drive (HDD) industry, the vibration at the Pocket Slot also presents the poor performance. This study had analyzed the property of a Bearing by using Modal Analysis. The natural frequency of the Bearing was examined by the Measurement Technique. The experiment results demonstrated a useful technique for the vibration control of the Bearing in the manufacturing process.

**Keywords**— Vibration Analysis, Bearing, Parameter Estimation

## I. INTRODUCTION

COMPUTER is considered a useful tool nowadays since its high speed computing with accuracy, precision, and its sharp display. One of the main key inside - components of this powerful tool is the Hard Disk Drive (HDD). Therefore, the HDD industry has been developed for its better efficiency and reliability in order to satisfy the customers. The test process of HDD is an important step to claim for the reliability of products. The test duration of a HDD varies to its capacity. The vibration generated by a Bearing is a key factor to examine HDD's error and damage as shown in Figure 1. And when replace bearing with the new one then Test Slot become to normal. The degeneration of bearing can't be observed as normal shown in Figure 2. This study aimed to analyse the vibration of a Test Slot affecting the mechanical properties of HDD and to classify the bearing that were suitable for the test process to control the vibrating effect of HDD. [1].

In 1984, Clarence W. and Sam S. [2] had analysed the natural frequency of vibration in parts of a shaker by a method of Experimental Modal Analysis (EMA). The results were displayed in both time and frequency domains.

Jiraphon Srisertpol and corps [3, 4] had analyzed the vibration of transfer module that effects to Head Gimbal Assembly(HGA) base on operating Walter D. Pilkey and Sergev V.Purtsezov [5] to present finding of the appropriate variables to get a shock isolator to control the mechanical properties.

Jiraphon Srisertpol is with Department of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakornratchasima, Thailand (corresponding author's e-mail: jiraphon@sut.ac.th).

Kittisak Photiseang, Department of Mechatronics Engineering, Suranaree University of Technology, Nakornratchasima 30000 Thailand, and Seagate Technology, 90 Moo 15 Tambol Sungnoen Amphur Sungnoen Nakornratchasima 30170 (e-mail: kittisak.photiseang@seagate.com)

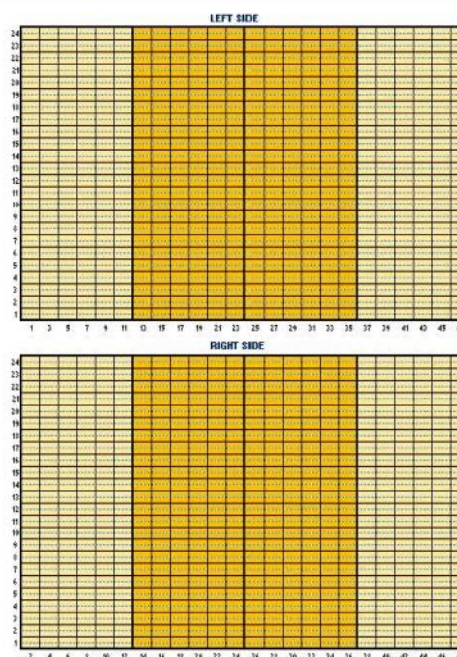


Fig. 1 Test Slot error location



Fig. 2 Bearing appearance

## II. PROCEDURE

The model of a shaker used to test for the natural frequency of the HDD vibrations was depicted in Figure 3. The shaker was tested with the method of Base Excitation which its amplitude was constant,  $Y(t)=28.284\sin \omega t$ , and it was shook under various frequencies to examine for the natural frequency.

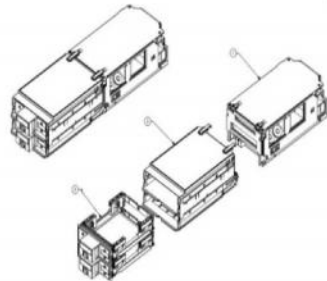


Fig. 3 Structure of the Test Slot

To finding of the isolator properties. The response of the Isolator was analyzed by the methods of Parameter Estimation for the spring stiffness and the damping coefficient comparing with measurement technic.

In the Figure 4, the experiment of the Test Slot with Base Excitation method was given constant amplitude and was observed by the Accelerometer Sensor.

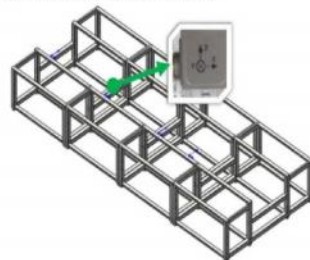


Fig. 4 Experimental Setup

In figure 5, The mathematical model and the Free Body Diagram of the simulating experiment were depicted as following,

$$m_1 \ddot{x}_1 + c \dot{x}_1 + (k_1 + k_2)x_1 - c \dot{x}_2 - k_2 x_2 = k_1 y \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + c \dot{x}_2 + k_2 x_2 - c \dot{x}_1 - k_2 x_1 = 0$$

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c & -c \\ -c & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 \\ 0 \end{bmatrix} y \quad (2)$$

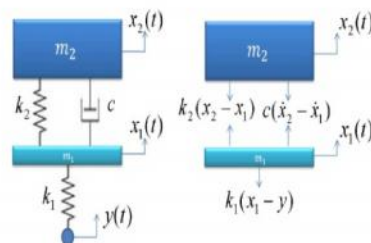


Fig. 5 Free Body Diagram of Simulating Experiment

The experimental of the model has an initial value for the variable as following.

- Mass value  $m_1 = 85$  kg
- Mass value  $m_2 = 50$  kg

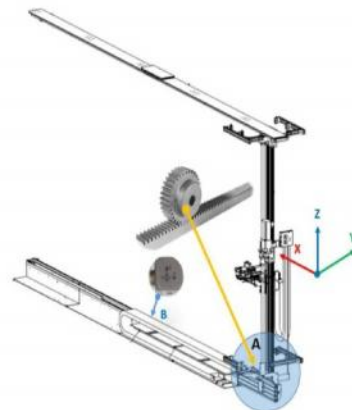


Fig. 6 Setup Position Bearing

This article has an experimental setup three proper and improper bearing property by separates in 3 case as following.

- Case I: Setup all positions with proper bearing property.
- Case II: Setup an almost improper bearing property in positions A.
- Case III: Setup improper bearing property in positions A.

### III. TOOL AND EQUIPMENT

The Dynamic Signal Analyser series 35670A of Agilent Technologies shown in Figure 7 was employed to measure the vibrations.



Fig. 7 Dynamic Signal Analyser

The Accelerometer Sensor series 8395A of Kistler with the ability of measurement 3 axis along x, y and z axes was employed for the accelerate measurement depicted in Figure 8, and the Shaker series M1200W of Spectral Dynamic was depicted in Figure 9, respectively.



Fig. 8 The Accelerometer Sensor series 8395A



Fig. 9 The Vibration and amplifier for measurement

IV. RESULT AND DISCUSSION

From result and vibration analysis of bearing of Test slot that determine amplitude of base constant  $y(t) = 28.28 \sin \omega t$  and various frequency in range 0 – 2400 Hz. The experiment will be finding stiffness (k1) by base excitation method (single degree of freedom), value is  $7.3 \times 10^6$  N/m. And apply k1 to estimate stiffness (k2) and damped (c) in 2DOF (Experimental setup). The result display in fig 10, Xm is response of measurement and Xs is response of simulation. Error between Xm and Xs is small.

Case I: The result show that in fig 11, T1, T2 and T3 is good bearing, time trial 1-3. Frequency acting in range 201–400 Hz and 1001–1200 Hz that acceleration in (g) and display in table 1.

Case II: The result show that in fig 12, T1, T2 and T3 is almost improper bearing, time trial 1-3. Frequency acting in range 201–400 Hz and 1001–1200 Hz that acceleration in (g) and display in table 2.

Case III: The result show that in fig 13, T1, T2 and T3 is improper bearing, time trial 1-3. Frequency acting in range 201–400 Hz and 1001–1200 Hz that acceleration in (g) and display in table III.

TABLE I

PROPER BEARING, ACCELERATION IN (G)				
Bearing classify	Frequency(Hz)	T1	T2	T3
G1 (8 MCs)	201 - 400	0.027	0.029	0.031
	1001 - 1200	0.016	0.018	0.022

TABLE 2

ALMOST IMPROPER BEARING, ACCELERATION IN (G)				
Bearing classify	Frequency(Hz)	T1	T2	T3
G2 (8 MCs)	201 - 400	0.041	0.045	0.046
	1001 - 1200	0.064	0.065	0.065

TABLE III

IMPROPER BEARING, ACCELERATION IN (G)				
Bearing classify	Frequency(Hz)	T1	T2	T3
G3 (8 MCs)	201 - 400	0.072	0.080	0.080
	1001 - 1200	0.103	0.111	0.106

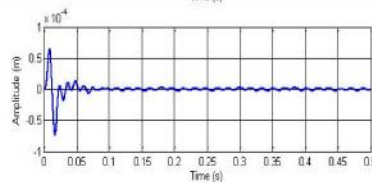
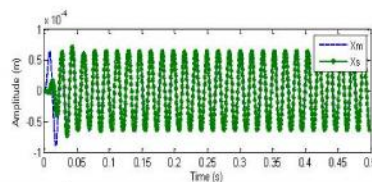


Fig. 10 Response between Measurement and Simulation

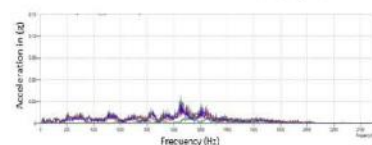
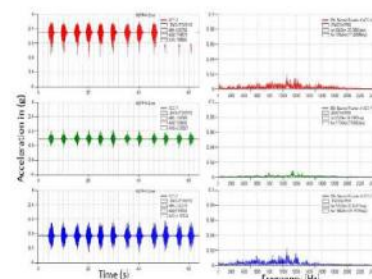


Fig. 11 Displacement transmissibility and Frequency of proper bearing

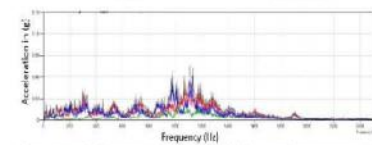
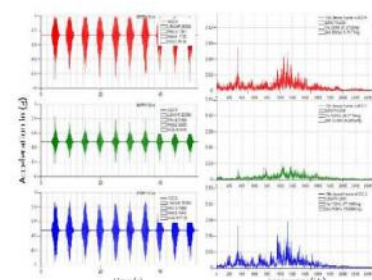


Fig. 12 Displacement transmissibility and Frequency of almost improper bearing

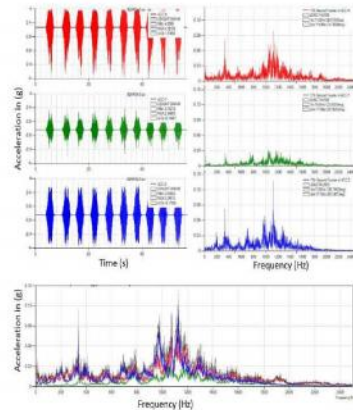


Fig. 13 Displacement transmissibility and Frequency of improper bearing

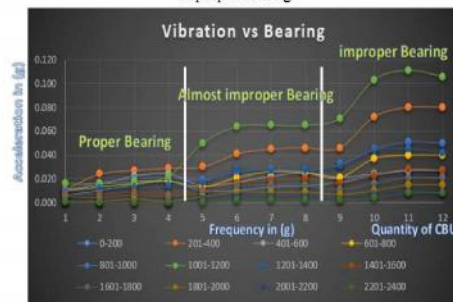


Fig. 14 Displacement transmissibility and Frequency of 3 bearing comparison

The mechanical property of proper bearing had 2 frequency range are 201-400 and 1001-1200 Hz, the vibration has classify almost improper bearing on acceleration in (g) at value 45 and 65 that specification useful for replacement bearing as shown in Table II.

If we will analyze vibration contribute to HDD in test process. We need to know force that generate from HDD test process, for analyzed and design to detect improper bearing to reduce vibration or increase Tester performance.

## V. CONCLUSIONS

This paper was to study the change of mechanical properties in the vibration bearing of a Test Slot in order to classify the appropriate bearing for the Hard Disk Drive test process. The method of Base Excitation and the measurement were employed to analyze for the natural frequency. The investigation could decrease the damage from the vibrations effect.

## ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by Seagate Technology Thailand Ltd., National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC), Industry and University Cooperative Research Center (IUCRC) and Suranaree University of Technology (SUT). The authors would like to thank Seagate Technology, NECTEC, IUCRC and SUT for their financial support.

## REFERENCES

- [1] Jiraphon Srisertpol, Peerayut Wangrakpaiboon and Sumtee Theesungnem (2009) "Vibration Study and Analysis of Test Chamber using Finite Element Method", in Proceedings of the 23th National Mechanical Engineering Conference, 4-7 November 2009, Chiang Mai, Thailand.
- [2] Clarence W. and SAM S.(1984). Experimental Modal Analysis A modeling and design tool, J.deSILVA Associate Professor of Mechanical Engineering. p.56-65.
- [3] Jiraphon Srisertpol and Somjai Soonthomsakul (2009) "Vibration Analysis of Transfer Module Effects to Head Gimbal Assembly(HGA) Base on Operating Situation", in Proceedings of the Industrial Engineering Network Conference 2009, 21-22 October 2009, Khon Kaen, Thailand, p.1556-1561.
- [4] Jiraphon Srisertpol, Sumtee Theesungnem and Adisol Boonmag (2008) "Testing of a Miniature Shock Absorber Base on Operating Situation to Obtain its Parameters", in Proceedings of the Industrial Engineering Network Conference 2008, p.921-926.
- [5] Walter D. Pilkey and Sergev V.Purtsezev. 2005. Optimization of parameters of shock isolator with preview control. Proceeding of International Conference Physics and Control, St.Petersburg, Russia, August 24-26, 2005: p.330-334.
- [6] Jiraphon Srisertpol, Mechanical Vibration School of Mechanical Engineer. Suranaree University of Technology.



## ประวัติผู้เขียน

นายกิตติศักดิ์ โปธิแสง เกิดเมื่อวันที่ 9 ธันวาคม พ.ศ.2513 ที่จังหวัดขอนแก่น เริ่มการศึกษาในระดับประถมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนบ้านดงเหล็กจังหวัดขอนแก่น ต่อมาเข้าศึกษาต่อในระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 ที่โรงเรียนเมืองพลพิทยาคม จังหวัดขอนแก่น เข้าศึกษาต่อในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ปีที่ 1-3 ที่วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น และเข้าศึกษาต่อระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ปีที่ 1-2 ที่โรงเรียนเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาในระดับอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อ พ.ศ.2540 และในปี พ.ศ.2554 ได้ศึกษาต่อในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์ ในขณะที่ศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิต ได้มีประสบการณ์การทำงานเป็นพนักงานบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี จังหวัดนครราชสีมา มีผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ 1 บทความ ดังที่ได้รวบรวมไว้ใน ภาคผนวก ค.

