



การพัฒนาเพื่อลดเวลาและขั้นตอนในการวิเคราะห์ความเสียหายของตลับลูกปืนแบบ HUB III ด้วย

การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน

กรณีศึกษา บริษัท เอ็นเอสเค เอเชีย แปซิฟิก เทคโนโลยี เซ็นเตอร์(ประเทศไทย) จำกัด พ.ศ. 2556

DEVELOPMENT FOR REDUCING TIME AND PROCESS OF INVESTIGATION RETURN

PARTHUB III BEARING BY VIBRATION ANALYSIS

CASE STUDY OF NSK ASIA PACIFIC TECHNOLOGY CENTRE (THAILAND) CO., LTD.

A.D.2013

นายพนัรักษ์ พงษ์น่วมกุล

โครงการสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

พ.ศ. 2556

การพัฒนาเพื่อลดเวลาและขั้นตอนในการวิเคราะห์ความเสียหายของตลับลูกปืนแบบHUB III ด้วย

การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน

กรณีศึกษา บริษัท เอ็นเอสเค เอเชีย แปซิฟิค เทคโนโลยี เซ็นเตอร์(ประเทศไทย) จำกัด พ.ศ. 2556

DEVELOPMENT FOR REDUCING TIME AND PROCESS OF INVESTIGATION RETURN

PART HUB III BEARING BY VIBRATION ANALYSIS:

CASE STUDY OF NSK ASIA PACIFIC TECHNOLOGY CENTRE (THAILAND) CO., LTD.

A.D.2013

นายพนุรักษ์ พงษ์นุ้มกุล

โครงการสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

พ.ศ. 2556

คณะกรรมการสอบ

TNI

ประธานกรรมการสอบ

(อาจารย์ ดร. เอกอุ ธรรมกรบัญญัติ)

กรรมการสอบ

(อาจารย์เทอดศักดิ์ ใจงาม)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์มานพ ชุมภูแก้ว)

ประธานสหกิจศึกษาสาขาวิชา

(อาจารย์ ผศ.ดร. พิศุทธิ์ พงษ์ชัยฤกษ์)

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อโครงการ         | การพัฒนาเพื่อลดเวลาและขั้นตอนในการวิเคราะห์ความเสียหายของตลับลูกปืน HUB III ด้วย VIBRATION ANALYSIS กรณีศึกษา บริษัทเอ็นเอสเคเอเชีย แปซิฟิก เทคโนโลยี เซ็นเตอร์(ประเทศไทย) จำกัด พ.ศ. 2556<br>Development for Reducing Time and Process of Investigation Return Part HUB III Bearing by Vibration Analysis : A Case study of NSK Asia Pacific Technology centre (Thailand) Co.,Ltd. A.D. 2013 |
| ผู้เขียน            | นายพนุรักษ์ พงษ์นุ่มกุล                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| คณะวิชา             | วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| อาจารย์ที่ปรึกษา    | อาจารย์มานพ ชุมภูแก้ว                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| พนักงานที่ปรึกษา    | ดร.สุกิจ คีเขียงอย่าง                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| ชื่อบริษัท          | บริษัทเอ็นเอสเค เอเชีย แปซิฟิก เทคโนโลยี เซ็นเตอร์(ประเทศไทย) จำกัด                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| ประเภทธุรกิจ/สินค้า | ให้บริการด้านวิศวกรรมในการตรวจสอบความเสียหายของตลับลูกปืน และทำการทดสอบประสิทธิภาพของตลับลูกปืนให้กับ บริษัท เอ็นเอสเค แปริ่งส์ แมนูแฟคเจอร์ริง (ประเทศไทย) จำกัด                                                                                                                                                                                                                             |

### บทสรุป

ในการวิเคราะห์ความเสียหายของตลับลูกปืนโดยวิธีปกตินั้นต้องมีการถอดประกอบและทำความสะอาดซึ่งใช้เวลานานมาก เพื่อแก้ปัญหาเหล่านั้นจึงคิดวิธีการวิเคราะห์ความเสียหายโดยไม่ต้องถอดประกอบ โดยการนำตลับลูกปืนไปหมุนด้วยมอเตอร์แล้วใช้เครื่องตรวจสอบแรงสั่นสะเทือน FFT Analyzer(D2000) มาใช้หาขนาดของการสั่นสะเทือนและความถี่ของการสั่นสะเทือน ซึ่งข้อมูลนี้จะช่วยให้เราสามารถคาดการณ์ได้ว่าตลับลูกปืนนั้นเกิดความเสียหายที่ใด จากการพลอตกราฟเปรียบเทียบกับค่าความถี่เสียหายมาตรฐานของแบร์ริง

ผลลัพธ์จากการใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี FFT นี้จะสามารถคาดการณ์ความเสียหายของตลับลูกปืนที่ Outer Ring ได้ความแม่นยำ 98% Inner Ring ได้ 80% และสามารถจำแนกรูปแบบความเสียหายระหว่าง Indentation กับ Flaking ที่ Inner Ring ได้ที่ความแม่นยำ 84.38%

|                              |                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Project's name</b>        | A Development for Reducing Time and Process of Investigation Return Part HUB III Bearing by Vibration Analysis : A Case study NSK Asia Pacific Technology centre (Thailand) Co.,Ltd. A.D. 2013 |
| <b>Writer</b>                | Mr. Lanurak Phongnumkul                                                                                                                                                                        |
| <b>Faculty</b>               | Faculty of Engineering, Production Engineering Program                                                                                                                                         |
| <b>Faculty Advisor</b>       | Mr.Manop Choomphukaew                                                                                                                                                                          |
| <b>Job Supervisor</b>        | Dr.Sukit Deeyiengyang                                                                                                                                                                          |
| <b>Company's name</b>        | NSK Asia Pacific Technology Centre(Thailand) Co., Ltd.                                                                                                                                         |
| <b>Business Type/Product</b> | Engineering Service & Investigation of Bearings for NSK Bearing Manufacturing(Thailand) Co., Ltd.                                                                                              |

### Summary

In normal, the investigation of bearings take a lot of time for disassembly and cleaning process. For solve this problem, this project found the new method that can analysis damage on bearing without disassembly process. For this method we will turn on each bearing by servo motor and use FFT Analyzer machine(D2000) to measure the amplitude of vibration and frequency, This data can help we to predict the damaged part by comparing plotted data graph with bearing damaging frequency

By using of FFT analysis, we can predict the damage on outer ring with 98% of accuracy , inner ring with 80% and can classified what type of inner ring damage condition, Indentation or flaking with 84.38% of accuracy

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการสหกิจศึกษาฉบับนี้สมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากคร.สุกิจ ดีเยี่ยมอย่างพนักงานที่ปรึกษา นอกจากนี้ยังได้รับการดูแลเป็นอย่างดีและได้รับการถ่ายทอดความรู้อันเป็นประโยชน์ในการทำงานแก่ข้าพเจ้าจากพนักงานทุกท่านในบริษัทและขอขอบคุณ พระคุณ อาจารย์มานพ ชุมภูแก้วอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยดูแลตลอดระยะเวลาการสหกิจศึกษาและ ขอขอบพระคุณ บริษัท เอ็นเอสเค เอเชียแปฟิก เทคโนโลยีเซ็นเตอร์ ประเทศไทย จำกัด ที่เอื้อเฟื้ออุปการะ สถานที่ บุคคลากร ในการ มาสหกิจศึกษาและทำโครงการสหกิจศึกษาในครั้งนี้ และสุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่คอยประสานงานกับบริษัทให้การสหกิจศึกษาครั้งนี้มีขึ้น



## สารบัญ

### หน้า

|                 |   |
|-----------------|---|
| บทสรุป          | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ง |
| สารบัญ          | จ |
| สารบัญตาราง     | ช |
| สารบัญรูปประกอบ | ซ |

### บทที่

#### 1. บทนำ

|                                                                            |   |
|----------------------------------------------------------------------------|---|
| 1.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ                                         | 1 |
| 1.2 ลักษณะธุรกิจของสถานประกอบการหรือการให้บริการหลักขององค์กร              | 2 |
| 1.3 รูปแบบการจัดการขององค์กร                                               | 7 |
| 1.4 ตำแหน่งและหน้าที่งานที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย                           | 8 |
| 1.5 พนักงานที่ปรึกษา และตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา                         | 8 |
| 1.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน                                                  | 8 |
| 1.7 วัตถุประสงค์หรือจุดมุ่งหมายของการปฏิบัติงานหรือโครงการที่ได้รับมอบหมาย | 8 |
| 1.8 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการปฏิบัติงานหรือโครงการที่ได้รับมอบหมาย         | 9 |

#### 2. ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 การสั่นสะเทือน                                                                  | 10 |
| 2.2 ตำแหน่งในการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร                                     | 13 |
| 2.3 การแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT) และการประยุกต์ใช้เพื่อวินิจฉัยสภาพเครื่องจักร | 14 |
| 2.4 แกนอ้างอิงเทียบความถี่                                                          | 14 |
| 2.5 อนุกรมฟูริเยร์ ګุญแจสู่หลักการ                                                  | 16 |
| 2.6 การคำนวณ Radial Direction                                                       | 20 |

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

|                                                                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3. แผนงานการปฏิบัติงานและขั้นตอนการดำเนินงาน</b>                                                                     |           |
| 3.1 แผนงานปฏิบัติงาน                                                                                                    | 22        |
| 3.2 รายระเอียดงานที่ปฏิบัติงานสหกิจศึกษาหรือรายละเอียดโครงการที่ได้<br>รับมอบหมาย                                       | 22        |
| 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการ                                                                                          | 25        |
| <b>4. สรุปผลการดำเนินงาน การวิเคราะห์และสรุปผลต่างๆ</b>                                                                 |           |
| 4.1 ขั้นตอนและผลการดำเนินงาน                                                                                            | 26        |
| 4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล                                                                                                | 28        |
| 4.3 วิเคราะห์และวิจารณ์ข้อมูลโดยเปรียบเทียบผลที่ได้รับกับวัตถุประสงค์และ<br>จุดมุ่งหมายการปฏิบัติงานหรือการจัดทำโครงการ | 41        |
| <b>5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ</b>                                                                                           |           |
| 5.1 สรุปผลการดำเนินการ                                                                                                  | 42        |
| 5.2 แนวทางการแก้ไข                                                                                                      | 42        |
| 5.3 ข้อเสนอแนะจากการดำเนินงาน                                                                                           | 43        |
| <b>เอกสารอ้างอิง</b>                                                                                                    | <b>44</b> |
| <b>ภาคผนวก</b>                                                                                                          | <b>45</b> |
| ก วิธีการตั้งค่าและใช้โปรแกรม DS0221 FFT ในการวัดค่าความถี่                                                             | 47        |
| ข ตัวอย่างการวิเคราะห์ลักษณะผิวของรอยสึกหรอ                                                                             | 55        |
| ค Investigation of Noise Motor Bearings                                                                                 | 59        |
| <b>ประวัติผู้จัดทำโครงการสหกิจ</b>                                                                                      | <b>62</b> |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                     | หน้า |
|----------|---------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1      | แสดงค่าความถี่ที่ได้จากการคำนวณ                                     | 21   |
| 3.1      | แผนงานการทำโครงการ                                                  | 22   |
| 4.1      | แสดงหมายเลขตลับลูกปืนที่เกิดความเสียหายจริงที่ Outer Ring           | 29   |
| 4.2      | แสดงสัญลักษณ์และค่าวัดเสียงของตลับลูกปืนที่ไม่เสียหายที่ Outer Ring | 30   |
| 4.3      | แสดงความเสียหายต่างๆที่ตรวจพบที่ Outer Ring                         | 33   |
| 4.4      | แสดงการคาดการณ์ความเสียหาย ที่ Outer Ring                           | 33   |
| 4.5      | แสดงหมายเลขตลับลูกปืนที่เกิดความเสียหายจริงที่ Inner Ring           | 34   |
| 4.6      | แสดงหมายเลขตลับลูกปืนที่ไม่เกิดความเสียหายที่ Inner Ring            | 36   |
| 4.7      | แสดงความเสียหายต่างๆที่ตรวจพบที่ Inner Ring                         | 38   |
| 4.8      | แสดงการคาดการณ์การแยกชนิดความเสียหายที่ Inner Ring                  | 39   |
| 4.9      | แสดงการคาดการณ์การแยกชนิดความเสียหายที่ Inner Ring                  | 40   |
| ข.1      | การร่อนหลุดของผิววัตถุ (Flaking)                                    | 55   |
| ข.2      | การเกิดรอยกดบุ๋มบนผิวงาน (Indentations)                             | 56   |
| ข.3      | การเกิดสนิมและการกัดกร่อน (Rust and Corrosion)                      | 57   |
| ค.1      | ตารางแสดงผลการ roundness                                            | 61   |

## สารบัญรูปประกอบ

| รูปที่ |                                                                                                                                                                                                   | หน้า |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1    | แผนที่แสดงที่ตั้งของโรงงาน                                                                                                                                                                        | 1    |
| 1.2    | ตัวอย่างตลับลูกปืนสำหรับเครื่องจักรในอุตสาหกรรม                                                                                                                                                   | 2    |
| 1.3    | ตัวอย่างตลับลูกปืนสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์                                                                                                                                                         | 3    |
| 1.4    | ตัวอย่างตลับลูกปืนสำหรับเครื่องจักรที่มีความเที่ยงตรง                                                                                                                                             | 3    |
| 1.5    | แสดงการให้บริการทางวิศวกรรมทั้ง 4 ด้านของบริษัท                                                                                                                                                   | 4    |
| 1.6    | Anechoic room (noise checking)                                                                                                                                                                    | 5    |
| 1.7    | Measuring room (investigation)                                                                                                                                                                    | 5    |
| 1.8    | Scanning Electron Microscope (Material investigation)                                                                                                                                             | 5    |
| 1.9    | Steering Systems testing area                                                                                                                                                                     | 6    |
| 1.10   | Bearings testing area                                                                                                                                                                             | 6    |
| 1.11   | Bearing seminar for customers                                                                                                                                                                     | 6    |
| 1.12   | Regional staff gathered at NSK- APTC for practical training                                                                                                                                       | 6    |
| 2.1    | การสันสะเทือนในอุปกรณ์ต่างๆ                                                                                                                                                                       | 10   |
| 2.2    | ระดับการสันสะเทือนในส่วนต่างๆ                                                                                                                                                                     | 11   |
| 2.3    | ส่วนประกอบของการไม่สมดุลตามตัวอย่างที่ 1                                                                                                                                                          | 13   |
| 2.4    | แสดงตำแหน่งการวัดการสันสะเทือน                                                                                                                                                                    | 14   |
| 2.5    | สัญญาณคลื่นไซน์กับการแสดงเทียบในแกนเวลาและความถี่ของสัญญาณเดียวกัน                                                                                                                                | 15   |
| 2.6    | สัญญาณแบบเรคคอมที่ไม่มีรูปแบบแน่นอนตายตัว                                                                                                                                                         | 15   |
| 2.7    | ภาพแสดงแบบกราฟฟิคของสัญญาณเสียงดนตรีซึ่งแสดงข้อมูลทางความถี่และขนาดออกมาด้วยการใช้ฟิเตอร์กรองความถี่                                                                                              | 16   |
| 2.8    | สมการรูปภาพของฟังก์ชัน                                                                                                                                                                            | 16   |
| 2.9    | สมการฟังก์ชันคี่                                                                                                                                                                                  | 16   |
| 2.10   | สัญญาณต้นฉบับคลื่นสี่เหลี่ยม                                                                                                                                                                      | 17   |
| 2.11   | การเทียบขนาดสัญญาณไซน์กับสัญญาณต้นฉบับเพื่อหาค่าเทียบเท่าพลังงานสัญญาณคลื่นไซน์กับต้นฉบับซึ่งพบว่าคลื่นสี่เหลี่ยมจะต้องแทนด้วยคลื่นไซน์ที่มีความถี่เดียวกันและมีขนาดมากกว่าเป็น $4/\pi(T/2)$ เท่า | 18   |

## สารบัญรูปประกอบ(ต่อ)

| รูปที่ |                                                                                                                                 | หน้า |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.12   | รูปคลื่นชาชน์สองคลื่น ณ ความถี่ 1 เท่า และ3เท่าซึ่งมีการหาขนาดเทียบเท่ากับสัญญาณต้นฉบับและทำการรวมกันให้ใกล้เคียงต้นฉบับมากขึ้น | 19   |
| 2.13   | รูปคลื่นชาชน์จำนวน 41 คลื่นด้วยความถี่และขนาดต่างๆกันนำมารวมกันเป็นสัญญาณที่เหลื่อมต้นฉบับ                                      | 19   |
| 2.14   | สัญญาณรบกวนที่ใช้อุกรมฟูริเยร์ 30 เทอมเพื่อประมาณแทนสัญญาณและการพล็อตสเปกตรัมของสัญญาณนี้                                       | 19   |
| 4.1    | วิธีการตรวจสอบความเสียหายด้วย FFT Analysis                                                                                      | 26   |
| 4.2    | บันทึกกราฟข้อมูล                                                                                                                | 26   |
| 4.3    | Press Bolt ออกจาก Bearing                                                                                                       | 27   |
| 4.4    | ล้างทำความสะอาด Bearing                                                                                                         | 27   |
| 4.5    | เป่าให้แห้ง                                                                                                                     | 27   |
| 4.6    | ถ่ายรูป                                                                                                                         | 28   |
| 4.7    | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน (Magnitude) กับความถี่ (Frequency) ของตลับลูกปืนหมายเลข 24                     | 29   |
| 4.8    | ลักษณะความเสียหายแบบ Flaking ที่ Outer ring ของตลับลูกปืนหมายเลข 24                                                             | 30   |
| 4.9    | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน (Magnitude) กับความถี่ (Frequency) ของตลับลูกปืนหมายเลข 14                     | 31   |
| 4.10   | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน (Magnitude) กับความถี่ (Frequency) ของตลับลูกปืนอันใหม่(ยังไม่ผ่านการใช้งาน)   | 31   |
| 4.11   | Outer ring จากตลับลูกปืนหมายเลข23 ที่ไม่เกิดความเสียหาย                                                                         | 32   |
| 4.12   | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน (Magnitude) กับความถี่ (Frequency) ของตลับลูกปืนหมายเลข 48                     | 32   |
| 4.13   | แผนภาพแสดงสัดส่วนความเสียหายที่ Outer Ring                                                                                      | 34   |
| 4.14   | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน (Magnitude) กับความถี่ (Frequency) ของตลับลูกปืนหมายเลข 21                     | 35   |

## สารบัญรูปประกอบ(ต่อ)

| รูปที่ |                                                                                                             | หน้า |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.15   | ลักษณะความเสียหายแบบ Indentation ที่ Inner ring ของตลับลูกปืนหมายเลข 21                                     | 35   |
| 4.16   | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน (Magnitude) กับความถี่ (Frequency) ของตลับลูกปืนหมายเลข 23 | 36   |
| 4.17   | Inner ring จากตลับลูกปืนหมายเลข 23 ที่ไม่เกิดความเสียหาย                                                    | 37   |
| 4.18   | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน (Magnitude) กับความถี่ (Frequency) ของตลับลูกปืนหมายเลข 17 | 37   |
| 4.19   | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน (Magnitude) กับความถี่ (Frequency) ของตลับลูกปืนหมายเลข 44 | 38   |
| 4.20   | แผนภาพแสดงสัดส่วนความเสียหายที่ Inner Ring                                                                  | 39   |
| 4.21   | แผนภาพแสดงโอกาสผิดพลาดในการพยากรณ์รูปแบบต่างๆ                                                               | 40   |
| 4.22   | แผนภาพแสดงรูปแบบการคาดการณ์ชนิดความเสียหายผิด                                                               | 40   |
| ก.1    | เปิดโปรแกรม All Program > Onosokki DS-2000 > DS0221 FFT                                                     | 47   |
| ก.2    | หน้าโปรแกรม DS0221 FFT                                                                                      | 47   |
| ก.3    | ปรับค่าต่างๆ ก่อนเริ่มทำการทดลอง                                                                            | 48   |
| ก.4    | Display (D) > Display Layout...                                                                             | 48   |
| ก.5    | เปลี่ยนการตั้งค่าเป็น Single                                                                                | 49   |
| ก.6    | หน้าจอแสดงผล 1 Channel                                                                                      | 49   |
| ก.7    | ปรับค่าความถี่                                                                                              | 50   |
| ก.8    | ปรับค่า average                                                                                             | 50   |
| ก.9    | หน้าต่างปรับค่า Average                                                                                     | 51   |
| ก.10   | ปรับชนิดกราฟเป็น Lin                                                                                        | 51   |
| ก.11   | ขั้นตอนการบันทึกกราฟ                                                                                        | 51   |
| ก.12   | กราฟที่บันทึก                                                                                               | 52   |
| ก.13   | ขั้นตอนทำการเฉลี่ยกราฟ                                                                                      | 52   |

## สารบัญรูปประกอบ(ต่อ)

| รูปที่ |                                                  | หน้า |
|--------|--------------------------------------------------|------|
| ก.14   | กราฟที่ทำการเฉลี่ยแล้ว                           | 53   |
| ก.15   | Save กราฟที่ได้ File (F) > Save Record Memory(C) | 53   |
| ข.1    | วงแหวนในของเบร้งส์เม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม           | 55   |
| ข.2    | วงแหวนในของเบร้งส์เม็ดกลมแถวเดียวร่องลึก         | 55   |
| ข.3    | ลูกกลิ้งของเบร้งส์เม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม           | 55   |
| ข.4    | วงแหวนในของเบร้งส์เม็ดรีขาสองแถว                 | 56   |
| ข.5    | วงแหวนในของเบร้งส์เม็ดรีขาสองแถว                 | 56   |
| ข.5    | ลูกกลิ้งของเบร้งส์เม็ดทรงกระบอก                  | 56   |
| ข.6    | วงแหวนนอกของเบร้งส์เม็ดทรงกระบอก                 | 57   |
| ข.7    | วงแหวนในของเบร้งส์เม็ดหมอน                       | 57   |
| ข.8    | ลูกกลิ้งของเบร้งส์เม็ดหมอน                       | 57   |
| ค.1    | Motor Bearings                                   | 59   |
| ค.2    | Magnification photo of inner ring raceway        | 59   |
| ค.3    | Magnification photo of outer ring raceway        | 60   |
| ค.4    | Magnification photo of ball surface              | 60   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ

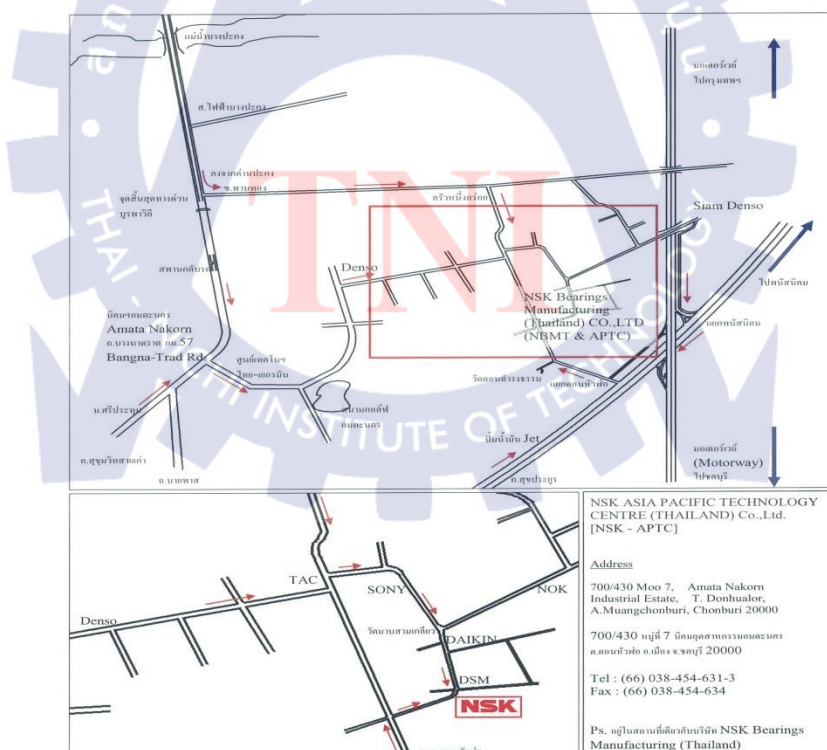
**ชื่อบริษัท** บริษัท เอ็น เอส เค เอเชีย แปซิฟิก เทคโนโลยี เซ็นเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด

**ที่ตั้ง** 700/430 หมู่ 7 นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร ตำบลคอนหัวฟ่อ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20000

700/430 Moo 7, AmataNakorn, T.Donhualor, A.Muang, Chonburi 20000

**โทรศัพท์** 038-454631-3

**โทรสาร** 038-454634



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงที่ตั้งของโรงงาน

## 1.2 ลักษณะธุรกิจของสถานประกอบการหรือการให้บริการหลักขององค์กร

### 1.2.1 ลักษณะธุรกิจ

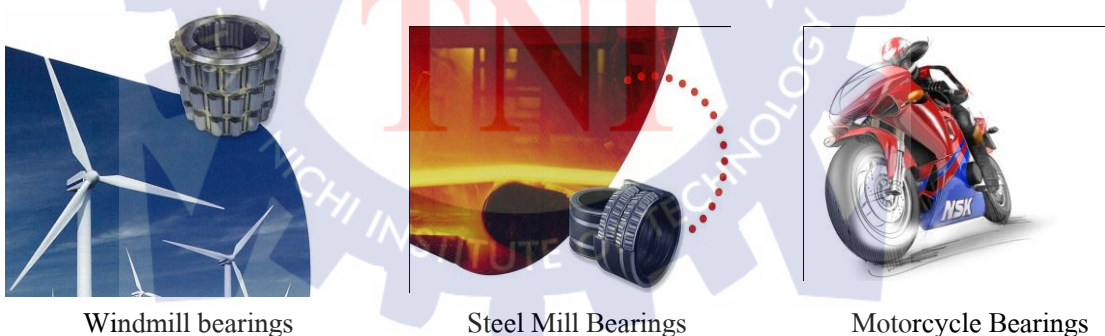
บริษัท เอ็นเอสเค เอเชียแปซิฟิก เทคโนโลยีเซ็นเตอร์ (ประเทศไทย) ให้บริการด้านวิศวกรรมในการตรวจสอบความเสียหายของดัดลูกปืน และทำการทดสอบประสิทธิภาพของดัดลูกปืนให้กับบริษัท เอ็นเอสเค แบร์ริงส์ แมนูแฟกเจอริง (ประเทศไทย) ซึ่งบริษัท เอ็นเอสเค เป็นผู้ผลิต ดัดลูกปืนที่มีผลิตภัณฑ์กว่า 100,000 ชนิดเหมาะสำหรับ อุตสาหกรรมทุกชนิด อาทิเช่น อุตสาหกรรมผลิต เหล็ก, อุตสาหกรรมผลิตรถยนต์, อุตสาหกรรมเกษตร, อุตสาหกรรมสิ่งทอ และอื่นๆ อีกมากมาย

โดยวัตถุประสงค์สำคัญในการก่อตั้ง บริษัท เอ็นเอสเค เอเชียแปซิฟิก เทคโนโลยีเซ็นเตอร์ ขึ้นมาคือ เพื่อตอบสนองต่อปัญหาหลังการขายที่เกิดขึ้น ให้สามารถแก้ไข ปัญหาต่างๆ ได้ทันเวลาที่เพื่อนำไปสู่ความพึงพอใจสูงสุดของลูกค้า (Customer's Satisfaction) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญที่สุดของบริษัท

### 1.2.2 ผลิตภัณฑ์และการบริการ

#### 1.2.2.1 ผลิตภัณฑ์ของบริษัท เอ็นเอสเค (NSK's Products)

##### 1.2.2.1.1 ดัดลูกปืนสำหรับเครื่องจักรในอุตสาหกรรม



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างดัดลูกปืนสำหรับเครื่องจักรในอุตสาหกรรม

### 1.2.2.1.2 ตลับลูกปืนสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์



Steering Systems



Hub Unit Bearings



Tension Pulleys



Water Pump Bearings

### รูปที่ 1.3 ตัวอย่างตลับลูกปืนสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์

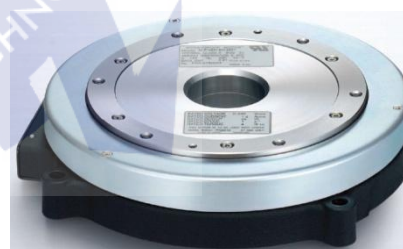
### 1.2.2.1.3 ตลับลูกปืนสำหรับเครื่องจักรที่มีความเที่ยงตรง



Ball Screw



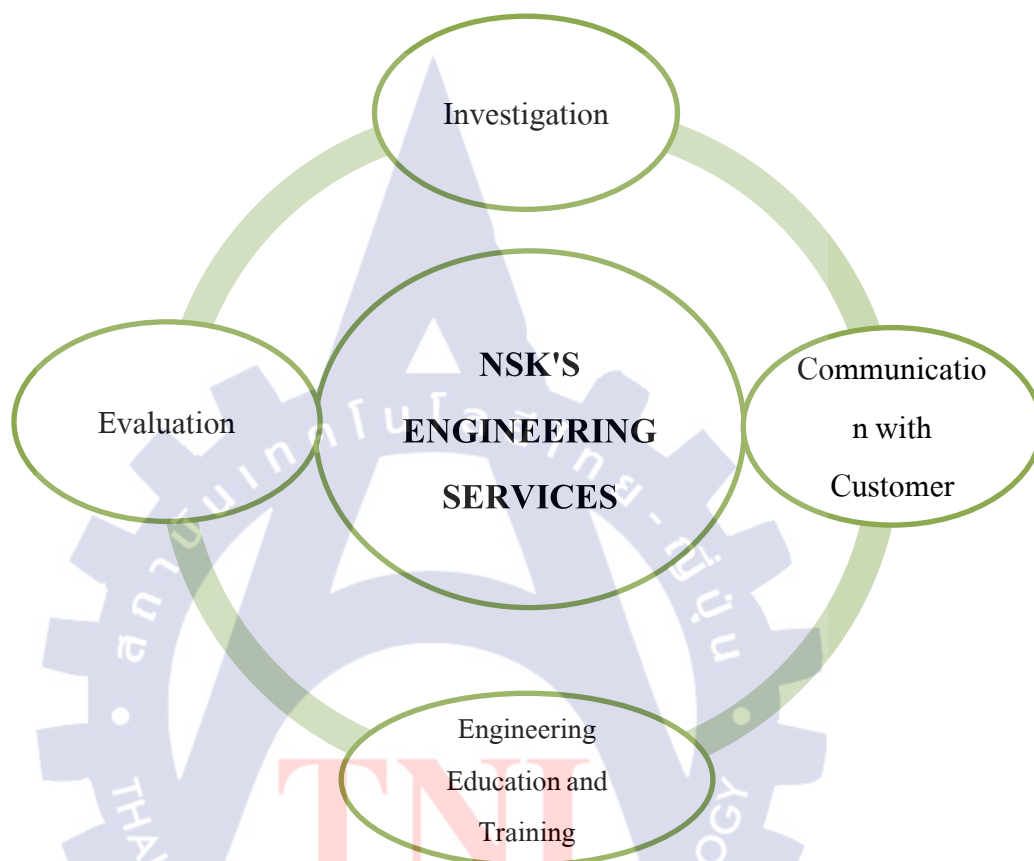
Linear Guide



Megatorque Motors

### รูปที่ 1.4 ตัวอย่างตลับลูกปืนสำหรับเครื่องจักรที่มีความเที่ยงตรง

### 1.2.2.2 การให้บริการทางวิศวกรรม (NSK's Engineering Services)



**รูปที่ 1.5** แสดงการให้บริการทางวิศวกรรมทั้ง 4 ด้านของบริษัท

บริษัท NSK-Asia Pacific Technology Centre ให้บริการทางด้านวิศวกรรมทั้งหมด 4 ด้านดังแสดงดังรูปที่ 1.5 โดยมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อความพึงพอใจสูงสุดของลูกค้า (Customer's Satisfaction) ด้วยจุดมุ่งหมายนี้เองจึงทำให้งานของ NSK-APTC นั้นไม่เพียงแต่เป็นงานด้านการตรวจ สอบ หรือ ประเมินผล เพียงอย่างเดียวแต่ยังรวมถึงการติดต่อสื่อสารกับลูกค้า และ การจัดอบรมให้ความรู้พนักงานของบริษัทลูกค้าอีกด้วย

1.2.2.2.1 Investigation คือการตรวจสอบและการวิเคราะห์ความเสียหายของผลิตภัณฑ์ ที่ผ่านการใช้งานมาแล้วซึ่งหลังการตรวจสอบจะทำให้ทราบว่าเบร้งส่วนนั้นๆเกิดความเสียหายจากสาเหตุใด แล้วจะส่งเป็นรายงานกลับไปยังบริษัทลูกค้า ส่งผลให้สามารถตอบสนองต่อปัญหาของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 1.6 Anechoic room (noise checking)



รูปที่ 1.7 Measuring room (investigation)



รูปที่ 1.8 Scanning Electron Microscope (Material investigation)

1.2.2.2.2 การประเมินผล (Evaluation) คือการตรวจสอบคุณภาพ และประเมินผลิตภัณฑ์ในเครื่องที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ซึ่งจะนำมาตรวจสอบในสภาวะการณ์ (Condition) ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าโดยใช้เครื่องทดสอบที่มีคุณภาพแบบเดียวกันกับศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ (R&D) ประเทศญี่ปุ่น



รูปที่ 1.9 Steering Systems testing area



รูปที่ 1.10 Bearings testing area

1.2.2.2.3 การฝึกอบรมและให้ความรู้แก่ลูกค้าและพนักงานของบริษัท (Education and Training) มีทั้งการฝึกอบรมแก่พนักงานในบริษัทเพื่อเพิ่มความสามารถ รวมทั้งให้ความรู้แก่พนักงานของบริษัทลูกค้า จนถึง การเปิดให้บุคคลภายนอกเข้าเยี่ยมชมโรงงาน และกระบวนการทำงานต่างๆ



รูปที่ 1.11 Bearing seminar for customers

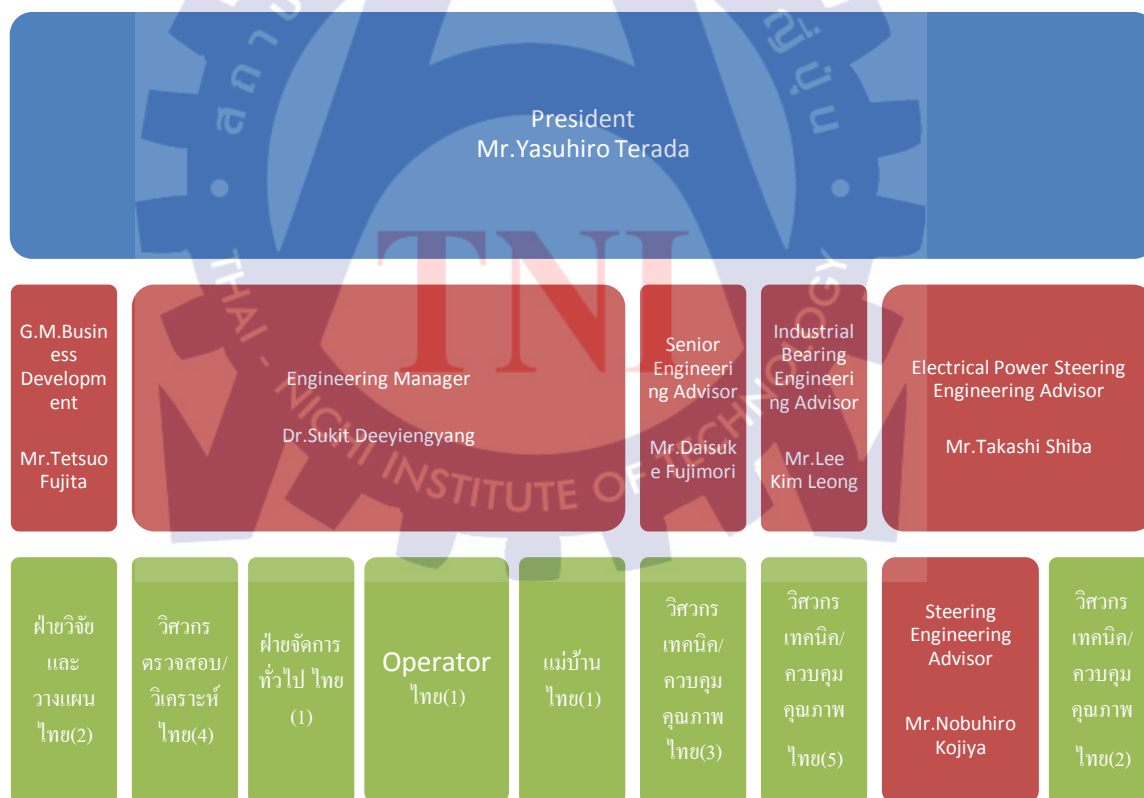


รูปที่ 1.12 Regional staff gathered at NSK-APTC for practical training

### 1.3 รูปแบบการจัดการขององค์กร

NSK-APTC มีการฝึกอบรม การพัฒนาความรู้ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถ (Competence) และ ศักยภาพ (Potential) ของพนักงานให้มีความรู้ (Knowledge) และทักษะ (Skill) ตลอดจนพฤติกรรม (Behavior) ที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

พนักงานของ NSK-APTC จะได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนความรู้ (Knowledge Sharing) ให้มีความรู้ ความเชี่ยวชาญ โดย ทุกๆปีจะ มีการส่งพนักงานของบริษัทไป ฝึกอบรมกับบริษัทสาขาใหญ่ ที่ประเทศญี่ปุ่น เพื่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง อีกทั้งเมื่อพนักงานที่ ได้ไปฝึกอบรมเดินทางกลับมาก็จะมีการ แลกเปลี่ยนประสบการณ์ ความรู้ และทักษะ ที่ได้มาแก่ พนักงานคนอื่นๆอีกด้วย



#### 1.4 ตำแหน่งและหน้าที่งานที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย

ตำแหน่ง ผู้ช่วยวิศวกร  
หน้าที่ ช่วยเหลืองานตามที่วิศวกรได้มอบหมาย

#### 1.5 พนักงานที่ปรึกษา และตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา

พนักงานที่ปรึกษา

ดร.สุกิจ ดีเยี่ยมอย่าง ตำแหน่ง Engineering Manager

#### 1.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน

ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน 17มิถุนายน พ.ศ.2556 – 18 ตุลาคม พ.ศ.2556  
เป็นระยะเวลา 18สัปดาห์

#### 1.7 วัตถุประสงค์หรือจุดมุ่งหมายของการปฏิบัติงานหรือโครงการที่ได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

##### 1.7.1 วัตถุประสงค์ในการปฏิบัติงาน

- 1.7.1.1 เพื่อให้มีความรู้เกี่ยวกับตลับลูกปืนแต่ละชนิด
- 1.7.1.2 เพื่อให้มีทักษะในการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบความเสียหายของตลับลูกปืน
- 1.7.1.3 เพื่อให้เข้าใจขั้นตอน และ วิธีการตรวจสอบตลับลูกปืน
- 1.7.1.4 เพื่อให้เกิดความรู้ทางด้าน Fast Fourier Transform (FFT)
- 1.7.1.5 เพื่อให้มีความรู้และทักษะในการใช้เครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน เพื่อตรวจสอบความเสียหายภายในตลับลูกปืน
- 1.7.1.7 เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหา
- 1.7.1.8 เพื่อฝึกการทำงานร่วมกันเป็นทีม
- 1.7.1.9 เพื่อให้มีความรู้เกี่ยวกับการบริหารงานภายในองค์กร
- 1.7.1.10 เพื่อให้มีความเข้าใจลักษณะสังคม และ การทำงานจริงในสถานประกอบการ

### 1.7.2 วัตถุประสงค์ในการจัดทำโครงการ

- 1.7.2.1 เพื่อเรียนรู้ลักษณะความเสียหายต่างๆของเบร้งส์
- 1.7.2.2 เพื่อลดเวลาและขั้นตอนในการวิเคราะห์ความเสียหายของเบร้งส์
- 1.7.2.3 สามารถแยกเบร้งส์ที่เกิดความเสียหายและไม่เกิดความเสียหายได้
- 1.7.2.4 สามารถแยกตำแหน่งความเสียหายที่เกิดขึ้นของเบร้งส์ได้จนรวมไปถึง อาจจะสามารถแยกชนิดความเสียหายที่เกิดขึ้นได้

### 1.8 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการปฏิบัติงานหรือโครงการที่ได้รับมอบหมาย

- 1.8.1 สามารถวิเคราะห์ความเสียหายของตลับลูกปืนได้
- 1.8.2 สามารถใช้เครื่องมือเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายของตลับลูกปืนได้ถูกต้อง
- 1.8.3 สามารถประยุกต์ใช้เครื่องวัดการสั่นสะเทือน เพื่อตรวจสอบความเสียหายของตลับลูกปืนชนิดอื่นๆ ได้
- 1.8.4 สามารถทำงานร่วมกับพนักงานภายในองค์กรได้ และมีความเข้าใจความรับผิดชอบทั้งหน้าที่ของวิศวกร
- 1.8.5 มีความรู้ความเข้าใจถึงหลักการปฏิบัติงานภายในองค์กร และสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้เป็นอย่างดี

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

#### 2.1 การสั่นสะเทือน

##### 2.1.1 ความหมาย

การสั่นสะเทือน (Vibration) ในความหมายทางวิศวกรรมก็คือ “การสั่นหรือการแกว่งของวัตถุหรือชิ้นส่วนต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่ใช้อ้างอิง ” เช่นการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเมื่อเปรียบเทียบกับฐานของเครื่อง หรือการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืน (Bearing) เมื่อเทียบกับตัวเรือน (Cage or Housing)

การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรงจะสามารถทำให้เครื่องจักรเกิดความเสียหายได้โดยการแตกหักหรือล้าตัวซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นจะมากน้อย เร็วหรือช้าก็จะขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางของแรงที่เกิดจากการสั่นสะเทือนเมื่อเทียบกับขนาด โครงสร้างและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุนั้น ๆ

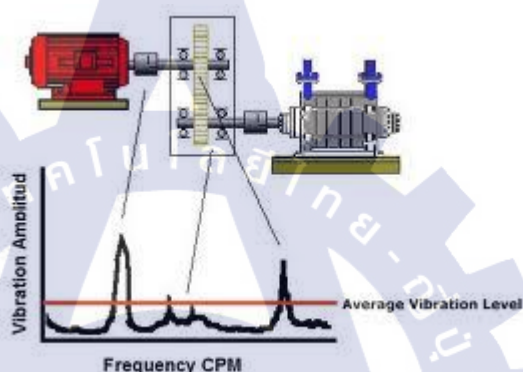


รูปที่ 2.1 การสั่นสะเทือนในอุปกรณ์ต่างๆ

##### 2.1.2 ที่มาของการสั่นสะเทือน (Vibration Source )

โดยปกติแล้วการทำงานของชิ้นส่วนของเครื่องจักรหรือเครื่องจักรนั้นย่อมมีการสั่นสะเทือนเป็นธรรมชาติของมันอยู่แล้ว ถ้าระดับการสั่นสะเทือนนั้นไม่มากหรืออยู่ในเกณฑ์ปกติก็ถือว่าเป็นเรื่องธรรมดา แต่ถ้าการสั่นสะเทือนมากเกินไปก็อาจส่งผลให้ชิ้นส่วนตลอดจนเครื่องจักรนั้น ๆ มีอายุการใช้งานที่สั้นลง เราจึงต้องหาสาเหตุและที่มาของการสั่นสะเทือนนั้นเพื่อทำการแก้ไขให้การสั่นสะเทือนนั้นอยู่ในระดับปกติ ซึ่งการสั่นสะเทือนนั้นมาจากหลายสาเหตุ เช่น

- ความไม่สมดุลในการหมุน (Unbalance) จะเกิดขึ้นเมื่อจุดศูนย์กลางของการหมุนและจุดศูนย์กลางของมวลไม่อยู่ในจุด ๆ เดียวกัน เช่น การไม่สมดุลหรือการแกว่งของเพลลาที่คองหรือชำรุด การไม่สมดุลของใบพัด ล้อช่วยแรง ขึ้นส่วนที่เคลื่อนที่ในแนวนรัศมีหรือในรูปวงกลม
- ความไม่ได้ศูนย์ (Misalignment) ระหว่างเพลลาของมอเตอร์และปั๊มหรือเพลลาของคันกำลังกับเพลลาของเครื่องจักร
- การหลุดหลวมของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักร
- การที่เบร็กหรือบูช เกิดการชำรุดสึกหรอ หรือขาดการหล่อลื่น
- แท่นเครื่องหรือจุดจับยึดของเครื่องจักร ไม่แน่น หรือไม่แข็งแรง



รูปที่ 2.2 ระดับการสั่นสะเทือนในส่วนต่างๆ

### 2.1.3 ความสั่นสะเทือนที่นำไปสู่ความเสียหาย

สำหรับความเสียหายที่เกิดจากการสั่นสะเทือนนั้นจะเกิดเนื่องจากแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของวัตถุที่สั่นสะเทือนนั้น ๆ โดยที่แรงที่เกิดขึ้น จะเป็นไปตามกฎข้อที่สองของนิวตัน (2nd Newton Laws) ดังสมการ

$$F = ma \quad (1)$$

โดยที่  $F$  คือ แรงกระทำที่เกิดขึ้น (N)

$m$  คือ มวลของวัตถุหรือระบบที่เคลื่อนที่ (kg)

$a$  คือ \* อัตราเร่งที่เกิดขึ้นกับวัตถุหรือระบบที่เกิดการเคลื่อนที่ (m/s<sup>2</sup>)

สำหรับการเคลื่อนที่เชิงมุมนั้นความไม่สมดุลของชิ้นส่วนที่หมุนก็จะเป็นตัวทำให้เกิดการสั่นสะเทือน โดยแรงที่เกิดจากการสั่นสะเทือนจะเป็นไปตามสมการ

$$F = m_r \times r \times \omega^2 \quad (2)$$

โดยที่  $F$  คือ แรงกระทำที่เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่สมดุลในการหมุน (N)

$m_r$  คือ มวลของวัตถุหรือระบบที่เคลื่อนที่โดยการหมุน (kg)

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

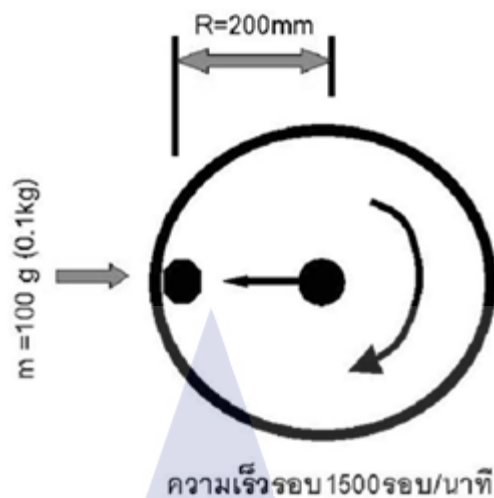
$\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุม (รอบ/วินาที)

ตัวอย่างที่ 1 จากรูปที่ 2.3 เป็นรูปล้อช่วยแรง (Fly Wheel) อันหนึ่งติดอยู่กับมอเตอร์ที่หมุนด้วยความเร็วรอบ 1,500 รอบ/นาที และบนล้อช่วยแรงอันนี้มีวัตถุที่ไม่สมดุล น้ำหนัก 100 กรัม (0.1kg) ติดอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของการหมุนเป็นระยะทาง 200 มิลลิเมตร แรงที่เกิดจากความไม่สมดุลจากวัตถุดังกล่าวจะเป็นไปตามสมการที่ 2 ซึ่งจะเท่ากับ

$$\begin{aligned} F &= 0.1 \text{ kg} \times 0.2 \text{ m} \times 2\pi \times \frac{1500^2}{60} \\ &= 78.53 \text{ kgf} \end{aligned}$$

และถ้าความเร็วในการหมุนของล้อช่วยแรงดังกล่าวเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 3000 รอบ/นาที แรงจากความไม่สมดุลดังกล่าวก็จะเพิ่มเป็น

$$\begin{aligned} F &= 0.1 \text{ kg} \times 0.2 \text{ m} \times 2\pi \times \frac{1500^2}{60} \\ &= 314.15 \text{ kgf} \end{aligned}$$



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของการไม่สมดุลตามตัวอย่างที่ 1

จากตัวอย่างที่ 1 เราจะเห็นว่าเพียงน้ำหนักของมวลที่ไม่สมดุลเพียง 0.1 กิโลกรัมในสภาพตามตัวอย่างก็สามารถทำให้เกิดแรงเหวี่ยงจากการหมุนได้ถึง 78.53 กิโลกรัมที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบ/นาที และเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นเป็น 3,000 รอบต่อนาที แรงดังกล่าวก็เพิ่มขึ้นไปถึง 314.15 กิโลกรัมซึ่งสามารถส่งผลให้เกิดความเสียหายกับชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรได้ถ้าหากเดินเครื่องต่อกันเป็นระยะเวลานาน

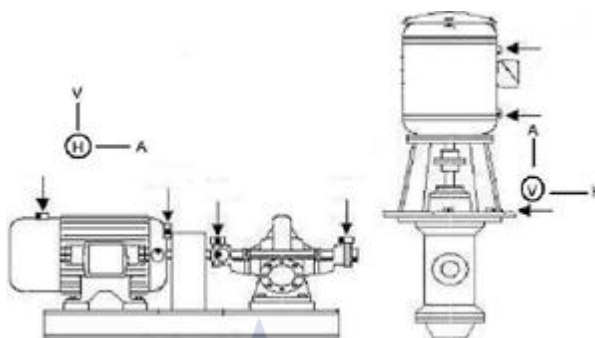
## 2.2 ตำแหน่งในการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

### 2.2.1 จุดวัดในแนวแกน (Axial, A)

### 2.2.2 จุดวัดในแนวรัศมี (Radius) ที่เป็นแนวนอน (Horizontal, H)

### 2.2.3 จุดวัดในแนวรัศมี (Radius) ที่เป็นแนวตั้ง (Vertical, V)

ในการวัดแต่ละแนวนั้นค่าที่ได้จากแต่ละแนวของการวัดจะเป็นตัวที่บ่งบอกถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน โดยหลักการวัดที่ดีควรติดตั้งเซ็นเซอร์วัดในตำแหน่งที่ใกล้กับแหล่งกำเนิดแรงสั่นสะเทือนให้มากที่สุด



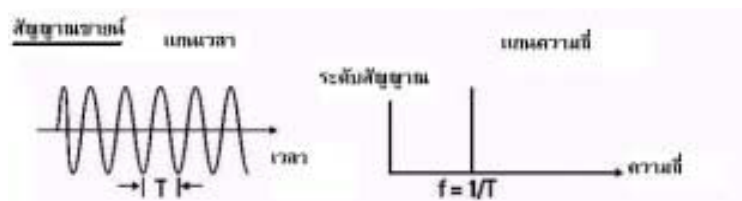
รูปที่ 2.4 แสดงตำแหน่งการวัดการสั่นสะเทือน

### 2.3 การแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT) และการประยุกต์ใช้เพื่อวินิจฉัยสภาพเครื่องจักร

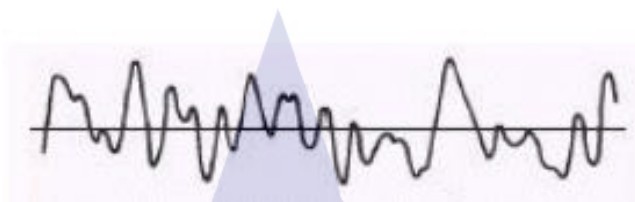
การวัดสัญญาณต่างๆในงานทางวิศวกรรมเรามักจะคุ้นเคยกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณตามเวลาที่เปลี่ยนไปแต่ในบางครั้งเราต้องการทราบสัญญาณเดียวกันนี้ที่พิจารณาในแกนอ้างอิงเทียบทางความถี่ซึ่งในทางงานเครื่องจักรกลแล้วถือเป็นข้อมูลที่จะมีประโยชน์ในการวินิจฉัยความเสียหายในเครื่องจักรเหมือนกับที่หมอตตรวจร่างกายเราโดยใช้ Stethoscope ซึ่งเป็นอุปกรณ์ช่วยฟังเสียงการทำงานของอวัยวะต่างๆที่มีการเคลื่อนไหวภายในร่างกายเราหรือการใช้วิธีจับชีพจรเพื่อบอกความผิดปกติของอวัยวะต่างๆในร่างกายซึ่งขณะที่หมอตตรวจฟังเสียงนี้หมอเองก็จะใช้การพิจารณาเสียงสัญญาณกับแกนเทียบทางความถี่เพื่อวินิจฉัยสัญญาณจากร่างกายเราไปด้วยและจากความก้าวหน้าทางเทคนิคในการประมวลผลสัญญาณ (signal processing) ทำให้ปัจจุบันเราสามารถตรวจพบความเสียหายที่ก่อตัวในเครื่องจักรแต่เนิ่นๆได้โดยอาศัยการวิเคราะห์สัญญาณความถี่สั่นสะเทือนจากเครื่องจักรอีกทั้งสามารถระบุชัดเจนไปได้ว่าเกิดความเสียหายที่ชิ้นส่วนใด

### 2.4 แกนอ้างอิงเทียบทางความถี่

ถ้าพิจารณาแกนอ้างอิงเทียบทางเวลาของสัญญาณไซน์ (Sine wave) เราอาจจะคุ้นเคยรูปลักษณะของมันได้อย่างดีดังในรูปโดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณนี้จะมีการเกิดซ้ำรูปแบบเมื่อเวลาผ่านไป  $T$  ซึ่งเรียกว่าคาบของสัญญาณซึ่งสัมพันธ์กับความถี่ (การแกว่งขึ้นลงครบรอบ) ของคลื่นนี้คือ  $f = 1/T$  คือจำนวนของคาบคลื่นใน 1 วินาทีซึ่งความถี่  $f$  นี้สามารถถูกพล็อตในกราฟแกนอ้างอิงเทียบความถี่ดังในรูป 2.1 แต่ในความเป็นจริงสัญญาณที่วัดจริงนั้นมักไม่ได้มีเพียงรูปคลื่นไซน์ความถี่เดียวนี้แต่อาจเป็นรูปคลื่นใดๆก็ได้เช่นสัญญาณรบกวนในรูปที่ 2.6



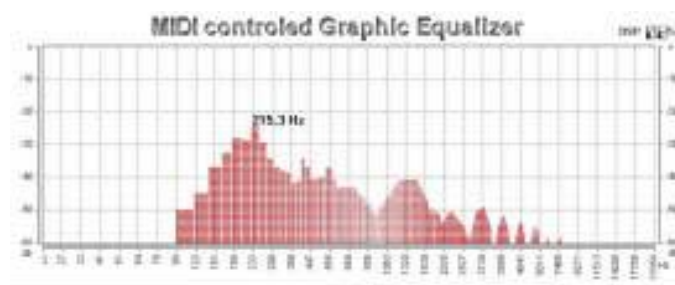
รูปที่ 2.5 สัญญาณคลื่นไซน์กับการแสดงเทียบในแกนเวลาและแกนความถี่ของสัญญาณเดียวกัน



รูปที่ 2.6 สัญญาณแบบแรนดอมที่ไม่มีรูปแบบแน่นอนตายตัว

ดังนั้นเราจะหาวิธีการอย่างไรในการพิจารณาสัญญาณที่ซับซ้อนเช่นนี้ให้สามารถที่จะถูกเขียนอธิบายด้วยคณิตศาสตร์ได้ถ้าท่านผู้อ่านย้อนกลับไปสมัยที่ท่านเรียนวิทยาศาสตร์มัธยมถึงเรื่องปริซึมซึ่งใช้เพื่อการแยกแสงสีขาวออกมาเป็นองค์ประกอบของสีหลัก 7 สีซึ่งถูกค้นพบโดยเซอร์ไอแซกนิวตัน โดยองค์ประกอบที่ว่าเป็นคือสเปกตรัม (Spectrum) ของแสงสีขาวนั่นเอง

ในทำนองเดียวกันถ้าเราสามารถหาปริซึมเพื่อใช้แยกความถี่ของสัญญาณออกมาได้ก็จะทำให้รู้องค์ประกอบของสัญญาณและสามารถที่จะสร้างมันขึ้นมาใหม่ได้สำหรับนักเล่นเครื่องเสียงคงจะเคยเห็นว่าลูกเล่นของเครื่องเสียงยุคหนึ่งจะใช้แสง กราฟิก แสดงภาพเคลื่อนไหวของสัญญาณเสียงดนตรีโดยที่จะเป็นลักษณะแท่งกราฟซึ่งแต่ละแท่งแทนช่วงความถี่ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งปริซึมนี้ใช้ฟิลเตอร์กรองความถี่สัญญาณออกมาแสดงเป็นระดับความดังของสัญญาณ ณ ความถี่นั้นๆ แต่สำหรับกรณีที่ต้องการความละเอียดของความถี่มากต้องใช้ฟิลเตอร์จำนวนมากเพื่อกรองสัญญาณออกมาเช่นในงานวินิจฉัยสภาพเครื่องจักรที่ความถี่ที่ต้องวิเคราะห์จะสูงถึง 20 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งจะเป็นผลให้เครื่องมือวัดมีราคาแพงมากแต่ปัจจุบันเครื่องมือวิเคราะห์สัญญาณจะใช้วิธีการนำสัญญาณที่วัดได้มาคำนวณแบบดิจิตอลแล้วแสดงองค์ประกอบทางความถี่หรือสเปกตรัมของสัญญาณออกมาซึ่งใช้หลักการการแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT) นั่นเองซึ่งอาศัยเพียงหน่วยประมวลผล CPU และหน่วยความจำ Memory ของคอมพิวเตอร์ในการคำนวณเท่านั้นซึ่ง FFT นี้เองที่ถูกใช้เป็นปริซึมเพื่อแยกองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณออกมา



รูปที่ 2.7 ภาพแสดงแบบกราฟฟิคของสัญญาณเสียงดนตรีซึ่งแสดงข้อมูลทางความถี่และขนาดออกมาด้วยการใช้ฟิลเตอร์กรองความถี่

## 2.5 ออนุกรมฟูริเยร์สัญญาณหลักการ

ถ้าพิจารณาสัญญาณ  $x(t)$  ใดๆก็ตามใน โลกนี้จะมีคุณสมบัติหนึ่งอยู่คือสามารถที่จะแยกสัญญาณออกมาเป็นฟังก์ชันคู่และฟังก์ชันคี่ของสัญญาณนั้นกล่าวคือ

$$x(t) = \frac{x(t)}{2} + \frac{x(t)}{2} + \left[ \frac{x(-t)}{2} - \frac{x(-t)}{2} \right] \quad (3)$$

หรือเขียนสมการนี้เป็นรูปภาพคือ

$$x(t) = \left( \text{even part} \right) + \left( \text{odd part} \right) \quad (4)$$

รูปที่ 2.8 สมการรูปภาพของฟังก์ชัน

ถ้าจับคู่ในสมการที่ (3) โดยนำเทอมแรกรวมกับเทอมสามจะกลายเป็นฟังก์ชันคู่ นำเทอมสองรวมกับเทอมสี่จะกลายเป็นฟังก์ชันคี่ซึ่งมีความหมายตามการสมมาตรเทียบกับแกนตั้งในภาพด้านล่างนี้

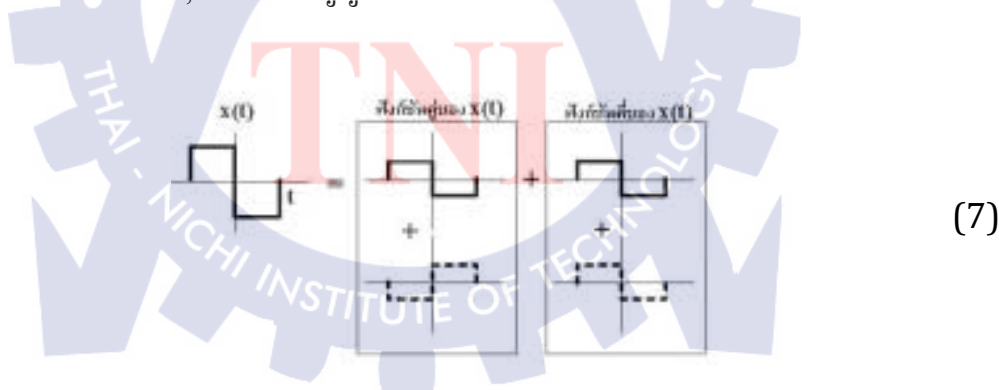
$$x(t) = \text{ส่วนฟังก์ชันคู่ } x(t) + \text{ส่วนฟังก์ชันคี่ } x(t) \quad (5)$$

รูปที่ 2.9 สมการฟังก์ชันคี่

ในทางคณิตศาสตร์แล้วคลื่นโคไซน์ (Cosine) จะมีคุณลักษณะเป็นฟังก์ชันคู่ส่วนคลื่นไซน์ (Sine) จะมีคุณลักษณะเป็นฟังก์ชันคี่แต่กระนั้นก็ดีทั้งสองรูปแบบสัญญาณจะเกิดเป็นคาบซ้ำ เพราะฉะนั้นสัญญาณที่พิจารณา(ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าสัญญาณต้นฉบับ) จะต้องเกิดเป็นคาบด้วยซึ่งโดยหลักการคือต้องการนำสัญญาณคลื่นไซน์และโคไซน์หลายๆความถี่และหลายขนาดรวมเข้าด้วยกันและนำไปเทียบกับต้นฉบับว่าสอดคล้องกับเทอมคู่และคี่ของต้นฉบับมากน้อยเพียงใดหรือเขียนเป็นสมการที่ทุกท่านที่เคยศึกษาอนุกรมฟูริเยร์คงจะคุ้นเคยได้ว่า

$$x(t) \approx \sum_{n=0}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)) \quad (6)$$

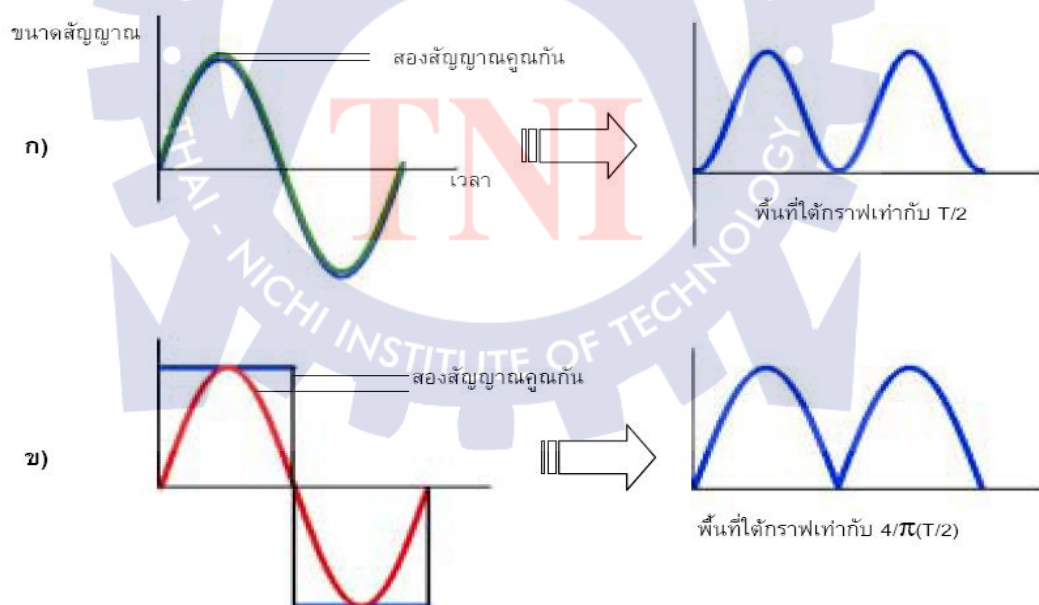
โดยสัญญาณ  $x(t)$  ต้นฉบับถูกประมาณด้วยอนุกรมที่ประกอบด้วยเทอมฟังก์ชันคู่โคไซน์และฟังก์ชันคี่ไซน์ด้วยขนาดและความถี่ต่างๆซึ่งสมการที่ (6) นี้เรียกว่าเป็นอนุกรมฟูริเยร์ซึ่งต้องหาว่าขนาดสัญญาณ  $a$  เป็นเท่าใดจากความถี่  $n\omega$  (หรือ  $n2\pi f$ ) ของฟังก์ชันคู่ของต้นฉบับและ  $b$  ขนาดเป็นเท่าใดจากความถี่  $n\omega$  ของฟังก์ชันคี่ต้นฉบับและจำนวน  $n$  ที่ต้องใช้ก็เทอมความถี่ถึงจะเทียบกับสัญญาณต้นฉบับได้ถูกต้องซึ่งผู้เขียนขอละสมการคณิตศาสตร์ไว้เพียงเท่านี้แต่จะเน้นไปที่การอธิบายความหมายทางกายภาพมากกว่าของอนุกรมฟูริเยร์นี้จะพิจารณาต่อถึงวิธีการหาจำนวน  $n$  และขนาด  $a, b$  สำหรับสัญญาณต้นฉบับคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีคาบเวลาเกิดซ้ำ  $T$



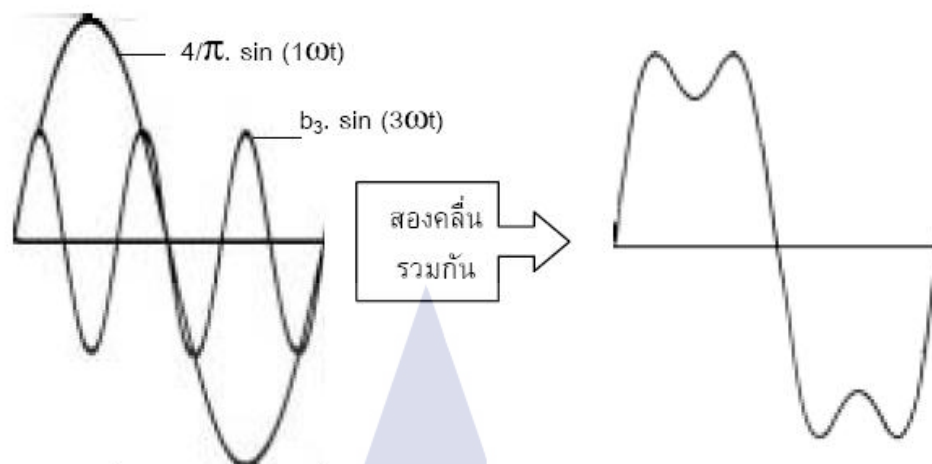
รูปที่ 2.10 สัญญาณต้นฉบับคลื่นสี่เหลี่ยม

ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมนี้ไม่มีเทอมฟังก์ชันคู่เพราะฉะนั้นไม่มีเทอม  $a$  ( $a=0$ ) แต่จะมีเฉพาะเทอม  $b$  ถ้าให้คาบเวลาคือ  $T$  ให้  $n=1$  เพราะฉะนั้น  $b_1$  คือขนาดของคลื่นไซน์ความถี่  $1\omega$  ว่าเมื่อนำคลื่นไซน์ไปเทียบกับต้นฉบับแล้วจะให้มีความ  $b_1$  เท่าใดสมมติขนาดคลื่นไซน์เมื่อเทียบกับตัวมันเองให้เป็นความถูกต้องของการเทียบกับต้นฉบับเป็น 100% โดยถ้าให้

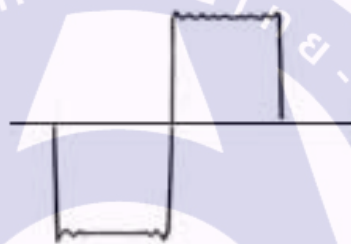
ปริมาณที่ใช้เทียบเป็นต้นฉบับคูณกับสัญญาณขาขึ้นที่นำมาเทียบเคียงและหาพื้นที่ใต้กราฟดังกล่าว ซึ่งเท่ากับ  $T/2$  ในกรณีคลื่นขาขึ้นเทียบกับคลื่นขาลงขนาดเดียวกันและถ้านำคลื่นขาขึ้นนี้ไปเทียบกับคลื่นสี่เหลี่ยมดังในรูปที่ 4 ข โดยคูณคลื่นขาขึ้นขนาด 1 หน่วยกับคลื่นสี่เหลี่ยมนี้ดังที่ได้เป็นรูปที่ 2.7 ข ด้านขวาซึ่งขนาดพื้นที่ใต้รูปเท่ากับ  $4T/2\pi$  ซึ่งจะเห็นว่าพื้นที่นี้มากกว่าค่า  $T/2$  หรือร้อยละ 2.7 ของพื้นที่ของคลื่นขาขึ้นเทียบกับคลื่นขาลงอยู่  $4/\pi$  เท่าซึ่งเทอมนี้เองที่เป็นค่า  $b_1$  ในการขยายคลื่นขาขึ้นที่มีความถี่  $1\omega$  ให้เทียบเท่ากับต้นฉบับแต่อย่างไรก็ตามการใช้สัญญาณขาขึ้นเพียงหนึ่งเทอมยังไม่สามารถบรรยายสัญญาณต้นฉบับได้ถูกต้องโดยเฉพาะบริเวณช่วงที่มีการเปลี่ยนของค่าสัญญาณ ถ้าเพิ่มคลื่นขาขึ้นที่มีความถี่  $3\omega$  เข้าไปด้วยขนาด  $b_3$  จะทำให้สอดคล้องกับต้นฉบับมากขึ้น (รูปที่ 2.8) ซึ่งขนาด  $b_3$  ก็หาได้ในทำนองเดียวกันโดยมีค่าเท่ากับ  $4/3\pi$  ซึ่งถ้าแทน  $x(t) \approx \sum b_n \sin n\omega t$  จำนวน  $n=41$  เทอมจะได้สัญญาณที่เหมือนต้นฉบับมาก (รูปที่ 2.12) ซึ่งนี่เองทำให้เราสามารถวิเคราะห์ความถี่และขนาดของความถี่ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณคาบใดๆก็ได้ด้วยอนุกรมฟูริเยร์ซึ่งต่อมาได้ถูกพัฒนาจนเป็นการแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็วซึ่งใช้ได้ทั้งกับสัญญาณที่เป็นคาบและไม่เป็นคาบก็ได้และเพิ่มขีดความสามารถในการคำนวณได้เร็วขึ้นดังรูปที่ 2.13 แสดงการเขียนสมการอนุกรมฟูริเยร์ที่ใช้แทนสัญญาณเรคคอมซึ่งพบว่าอนุกรมฟูริเยร์สามารถบรรยายสัญญาณต้นฉบับได้อย่างดีซึ่งถ้าผู้อ่านสนใจเป็นพิเศษก็สามารถหาอ่านได้ตามตำราในเอกสารอ้างอิง



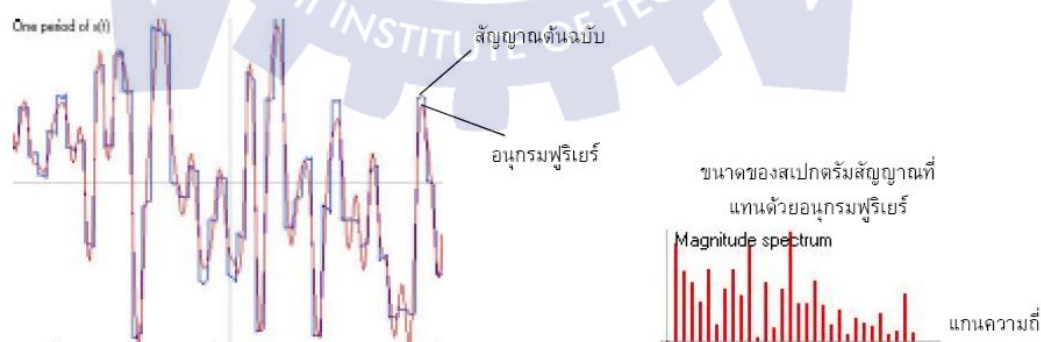
**รูปที่ 2.11** การเทียบขนาดสัญญาณขาขึ้นกับสัญญาณต้นฉบับเพื่อหาค่าเทียบเท่าพลังงานสัญญาณคลื่นขาขึ้นกับต้นฉบับซึ่งพบว่าคลื่นสี่เหลี่ยมจะต้องแทนด้วยคลื่นขาขึ้นที่มีความถี่เดียวกันและมีขนาดมากกว่าเป็น  $4/\pi(T/2)$  เท่า



**รูปที่ 2.12** รูปคลื่นไซน์สองคลื่นความถี่ 1 เท่าและ 3 เท่าซึ่งมีการหาขนาดเทียบเท่ากับสัญญาณต้นฉบับและทำการรวมกันให้ใกล้เคียงต้นฉบับมากขึ้น



**รูปที่ 2.13** รูปคลื่นไซน์จำนวน 41 คลื่นด้วยความถี่และขนาดต่าง ๆ กันนำมารวมกันเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมต้นฉบับ



**รูปที่ 2.14** สัญญาณรบกวนที่ใช้อนุกรมฟูริเยร์ 30 เทอมเพื่อประมาณแทนสัญญาณและการพล็อตสเปกตรัมของสัญญาณนี้

## 2.6 การคำนวณ Radial Direction

### 2.6.1 สูตรการหาความถี่เสียหายที่ตำแหน่งต่างๆของตลับลูกปืน

|                      |   |                |
|----------------------|---|----------------|
| Outer ring frequency | = | $zF_c$         |
| Inner ring frequency | = | $zF_i \pm F_r$ |
| Ball frequency       | = | $2F_b \pm F_c$ |

|        |       |   |             |                                          |
|--------|-------|---|-------------|------------------------------------------|
| โดยที่ | $z$   | = | ball number |                                          |
|        | $F_r$ | = | 25.000 Hz   | ความเร็วรอบ (ในการทดสอบใช้ 1500 rpm)     |
|        | $F_i$ | = | 15.268 Hz   | Inner ring speed ( $F_r - F_c$ )         |
|        | $F_c$ | = | 9.732 Hz    | cage speed                               |
|        | $F_b$ | = | 53.6875 Hz  | rotation speed of ball (rolling element) |

### 2.6.2 ตัวอย่างการคำนวณ

|                      |   |                              |
|----------------------|---|------------------------------|
| Outer ring frequency | = | $zF_c$                       |
|                      | = | (13) (9.732)                 |
|                      | = | 126.516 Hz                   |
| Inner ring frequency | = | $zF_i \pm F_r$               |
|                      | = | (13) (15.268) $\pm$ (25.000) |
|                      | = | 173.484, 223.184             |

|                |   |                            |                     |
|----------------|---|----------------------------|---------------------|
| Ball frequency | = | $2F_b \pm F_c$             | ; 2, 4, 6, 8, 10... |
|                | = | (2) (53.688) $\pm$ (9.732) |                     |
|                | = | 97.644, 177.108            |                     |

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความถี่ที่ได้จากการคำนวณ

|   | Outer ring | Inner ring | Ball |
|---|------------|------------|------|
| 1 | 126        | 173        | 98   |
|   |            | 223        | 117  |
| 2 | 252        | 346        | 196  |
|   |            | 446        | 234  |
| 3 | 378        | 519        | 294  |
|   |            | 669        | 351  |
| 4 | 504        | 692        | 392  |
|   |            | 892        | 468  |
| 5 | 630        | 865        | 490  |
|   |            | 1038       | 585  |
| 6 | 756        | *          | 588  |
|   |            | *          | 702  |
| 7 | 882        | *          | 686  |
|   |            | *          | 819  |
| 8 | 1008       | *          | 784  |
|   |            | *          | 936  |
| 8 | 1008       | *          | 882  |
|   |            | *          | *    |
| 8 | 1008       | *          | 980  |
|   |            | *          | *    |

หมายเหตุ: ใช้ความถี่ถึงแค่ 1000 Hz

### บทที่ 3

## แผนงานการปฏิบัติงานและขั้นตอนการดำเนินงาน

### 3.1 แผนงานปฏิบัติงาน

ตารางที่ 3.1 แผนงานการทำโครงการ

| หัวข้องาน                               | เดือนที่ 1 | เดือนที่ 2 | เดือนที่ 3 | เดือนที่ 4 |
|-----------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| ศึกษาภายในองค์กร                        |            |            |            |            |
| เสนอหัวข้อโครงการให้พนักงานที่ปรึกษา    |            |            |            |            |
| เสนอหัวข้อโครงการให้อาจารย์ที่ปรึกษา    |            |            |            |            |
| ดำเนินการทำโครงการ                      |            |            |            |            |
| 1. จัดเตรียมเครื่องวัด และ แบตเตอรี่    |            |            |            |            |
| 2. จัดเก็บข้อมูล                        |            |            |            |            |
| 3. วิเคราะห์ข้อมูล                      |            |            |            |            |
| 4. สรุปผลการทดสอบ                       |            |            |            |            |
| ปรึกษากับพนักงานที่ปรึกษาเพื่อปรับแก้ไข |            |            |            |            |

### 3.2 รายละเอียดงานที่ปฏิบัติงานสหกิจศึกษา หรือรายละเอียดโครงการที่ได้รับมอบหมาย สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

#### 3.2.1 งานที่ได้รับมอบหมายให้ทำในสายงานต่างๆ

##### 3.2.1.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับตลับลูกปืน

จะเป็นการศึกษาทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับตลับลูกปืน ซึ่งได้ทำการศึกษาจากเอกสารของบริษัทและได้เรียนรู้จากทางผู้จัดการหรือวิศวกรในแผนก โดยเริ่มจากชนิดของตลับลูกปืน ลักษณะความเสียหายที่เกิดกับตลับลูกปืน สาเหตุที่ กิด รวมทั้งวิธีตรวจสอบเพื่อ หาความเสียหายภายในตลับลูกปืน

### 3.2.1.2 ศึกษาลักษณะความเสียหายภายในตลับลูกปืน

ในการตรวจสอบหาความเสียหายภายในตลับลูกปืนนั้นต้องใช้ประสบการณ์ในการตรวจสอบเป็นอย่างมาก โดยวิศวกรจะตรวจสอบหาความเสียหายภายในตลับลูกปืน อันได้แก่ Flaking, Brinelling, Indentation, Cat's Eye เป็นต้น โดยใช้อุปกรณ์ตรวจสอบ ซึ่งจะทำให้ สามารถวิเคราะห์ได้เบื้องต้นว่าความเสียหายลักษณะนี้มาจากสาเหตุอะไร

### 3.2.1.3 ศึกษาและเรียนรู้การใช้งานเครื่อง Roundness Measurements

เครื่อง Roundness Measurements เป็นเครื่องมือวัดสภาพผิววัตถุโดยจะใช้วัด วัตถุที่มีลักษณะโค้งกลม เช่นตลับลูกปืน เมื่อเรานำตลับลูกปืนมาทำการวัด Roundness ต้องมีการเซตเครื่องก่อนซึ่งใช้เวลาพอสมควรในการเซตเครื่อง โดยเครื่องจะทำการเซตค่าระหว่างวัตถุโค้งที่จะวัดกับความกลมจริงทางเรขาคณิต โดยจะได้ตัวเลขออกมาค่าหนึ่ง ตัวเลขนี้จะบ่งบอกถึงความกลมของสิ่งที่วัด โดยจะทำการวัดตรงบริเวณ Race-way(ร่องวิ่ง) ของ Ball เพื่อนำค่าที่ได้ไปเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน โดยเครื่อง Roundness สามารถทำให้เราตรวจพบความผิดปกติบนRace-way ได้ด้วย เช่น หาก Race-way มี Brinelling ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า กราฟที่ได้จากเครื่องจะแสดงให้เห็นตำแหน่งของ Brinelling นั้นๆซึ่งจะทำให้เราสามารถระบุตำแหน่งที่เกิดความเสียหายได้

### 3.2.1.4 การตรวจสอบความเสียหายด้วยกล้อง CCD Microscope

เป็นการอาศัยกล้องกำลังขยายสูงในการตรวจสอบความเสียหายบนตลับลูกปืน เนื่องจากขนาดของความเสียหายมีขนาดเล็กอาจจะไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยความเสียหายนั้นอาจจะเป็นรอยขีดข่วน รอยกดทับจากการรับโหลดมากเกินไป ซึ่ง CCD Microscope ยังสามารถที่จะบันทึกภาพได้อีกด้วย

### 3.2.1.5 การวัดความแข็งของผิวด้วยเครื่อง Hardness Measurement

เครื่อง Hardness Measurement สามารถวัดความแข็งที่ผิวของโลหะได้ โดยการวัดเครื่องจะคำนวณผลลัพธ์และแสดงออกมาเป็นตัวเลขค่าหนึ่ง ซึ่งเราจะนำค่านี้ไปเปรียบเทียบกับค่า มาตรฐาน หากค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ ที่กำหนด ถือว่ามีความแข็งผิวปกติ แต่หากไม่อยู่ในเกณฑ์ ที่กำหนด อาจจะวิเคราะห์ได้ว่าแข็ง ถูกใช้งานในสภาวะที่ไม่เหมาะสมจนกระทั่งทำให้ความแข็งของผิวเหล็กเปลี่ยนไป

### 3.2.1.6 วัดปริมาณน้ำในจาระบีด้วยเครื่อง Moisture Meter

เป็นการตรวจสอบที่ใช้หาค่า เปอร์เซ็นต์ของน้ำใน Grease (จาระบี) ของตลับลูกปืน โดยเครื่อง จะทำการวิเคราะห์ออกมา โดยจะเอาผลลัพธ์มาวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ตลับลูกปืนเกิดความเสียหาย ซึ่งอาจจะเกิด จากน้ำเข้า ตลับลูกปืน โดยเราสามารถ สังเกต ได้เบื้องต้น จากสีของจาระบี หากมีสีอ่อนๆ อาจจะมีเปอร์เซ็นต์น้ำน้อย แต่ถ้ามีสีคล้ำจะมีโอกาสที่มีปริมาณน้ำเข้าไปปนอยู่มากกว่าปกติ

### 3.2.1.7 การวัดเสียง

การวัดเสียงเป็นการวิเคราะห์ความเสียหายของตลับลูกปืนจา การใช้งาน จะทำการทดสอบ โดยการนำตลับลูกปืนไปสวม และกดด้วยแรงประมาณหนึ่ง กับ Servomotor (Air Bearing) โดยเรา สามารถที่จะกำหนดความเร็วรอบการหมุนของ Servomotor ได้ซึ่งทั้งนี้ต้องขึ้นกับชนิดของตลับลูกปืน ด้วย เพราะแต่ละชนิดจะมีค่ากำหนดความเร็วรอบที่ต่างกัน แล้วนำไมโครโฟนไปตั้งให้ได้ความห่าง 10 เซนติเมตร โดยทำมุมก้ม 45 องศาขึ้นแนวดิ่ง แล้วทำการวัดเสียงขณะใช้งานโดยค่าที่ได้จะแสดงที่หน้า จอมอนิเตอร์และนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเพื่อดูความเสียหายที่เกิดขึ้นว่าปกติหรือไม่

## 3.2.2 งานส่วนที่เป็นโครงการในช่วงระยะเวลาศึกษา

เป็นการทดลองประยุกต์ใช้เครื่องตรวจสอบความสั่นสะเทือน FFT (DS-2000) กับตลับลูกปืน ชนิด HUB III ของรถยนต์ HONDA โมเดล CIVIC อาศัยการวิเคราะห์สัญญาณความถี่ของการ สั่นสะเทือนของตลับลูกปืน เพื่อคาดการณ์ความเสียหายภายในว่าเกิดความเสียหาย หรือไม่และเสียหาย ที่ตำแหน่งใด (Outer ring, Inner ring, and Ball) รวมไปถึงอาจสามารถบอกได้ว่าเป็นความเสียหายแบบ ใด โดยอาศัยเครื่องมือการวิเคราะห์แบบการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform, FFT Analyzer) ซึ่งทางผู้ทดลองจะนำตลับลูกปืนไปทดสอบหมุนด้วยเครื่อง Servomotor (Air Bearing) โดย ติดตัวจับสัญญาณความสั่นสะเทือนเข้ากับตลับลูกปืน และทดสอบหมุนที่ความเร็ว 1,500rpm หลังจากนั้นบันทึกกราฟข้อมูลจากการทดลองแล้วนำมาวิเคราะห์ร่วมกับค่าตำแหน่งความถี่เสียหายที่ได้ จากการคำนวณ จะทำให้เราสามารถคาดการณ์ได้ว่าเกิดความเสียหายหรือไม่ ถ้าเกิด เกิดที่ส่วนใดของ แบร์ริงส์ ซึ่งถ้าการตรวจสอบด้วย FFT Analyzer นี้มีความแม่นยำสูงเพียงพอ และสามารถทราบได้ว่าเกิด ความเสียหาย ณ ตำแหน่งใด และเสียหายแบบใด ทางบริษัท NSK-APTC ก็จะนำการ การวิเคราะห์โดย ใช้วิธี FFT Analyzer นี้ไปใช้ทำการตรวจสอบตลับลูกปืนแทนวิธีการเดิม

ซึ่งการทดสอบด้วย FFT นั้นจะช่วยลดระยะเวลาและขั้นตอนในการตรวจสอบ ซึ่งจากเดิมต้องทำการแยกชิ้นส่วนคลัทช์ลูกปืน (HUB III) ออกแล้วนำมาล้าง ทำความสะอาด เพื่อตรวจสอบความเสียหายภายในโดยการใช้เครื่องมือมากมาย ทำให้ใช้เวลานานสำหรับการทดสอบด้วยวิธีปรกตินี้

### 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการ



## บทที่ 4

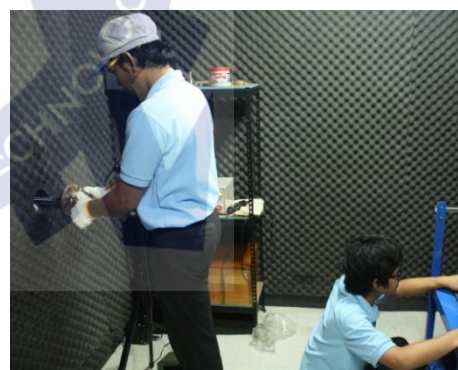
### ผลการดำเนินงาน การวิเคราะห์และสรุปผลต่างๆ

#### 4.1 ขั้นตอนและผลการดำเนินงาน

##### 4.1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

4.1.1.1 จัดเตรียมเบร้งส์ที่จะนำมาทดสอบเพื่อทำการเก็บ Card Tag แล้วนำเบร้งส์ไประบุหมายเลขและสัญลักษณ์โดยจะมีหมายเลขอยู่ข้างแล้วตามด้วยสัญลักษณ์บอกว่า bearing มาจากล้อไหนเช่น 1A 1B หมายถึง bearing ที่มาคู่กันแต่ไม่รู้ว่า bearing ไหนอยู่ข้างซ้ายหรือข้างขวา , 1R 1L หมายถึง bearing ที่มาคู่กันแล้วที่รู้ว่า bearing อยู่ข้างซ้ายหรือข้างขวา , 1U หมายถึง bearing ที่ไม่รู้ว่า เป็นข้างซ้ายหรือข้างขวา และเราจะขีดสัญลักษณ์ bearing ที่เป็นด้าน outboard ทั้ง outer ring , Inner ring และ seal

4.1.1.2 นำเบร้งส์มาทำการทดสอบด้วยเครื่อง FFTโดยการติดเซ็นเซอร์จับแรงสั่นสะเทือนเข้าไปบริเวณ Outer Ring ด้าน Inboard และทำการวัดเสียงด้วยโดยจะตั้งให้เบร้งส์หมุนอยู่ที่ 1500 rpm ให้ไมค์โครโฟน ห่างจากเบร้งส์เป็นระยะ 100 mm แล้วทำการบันทึกข้อมูล



รูปที่ 4.1 วิธีการตรวจสอบความเสียหายด้วย FFT

รูปที่ 4.2 บันทึกกราฟข้อมูล

Analysis

4.1.1.3 หลังจากทำการทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำเบร้งส์มาทำการ Press Bolt ออกก่อนแล้วจึงนำเบร้งส์ทั้งหมดไปกลึงเพื่อที่จะเอาส่วนหัวออก เพื่อให้สามารถถอดส่วนประกอบต่างๆของเบร้งส์ได้



รูปที่4.3 Press Bolt ออกจาก Bearing

4.1.1.4 เมื่อทำการกลึงเสร็จเรียบร้อยแล้วก็นำเบร้งส์มาทำการ Press inner ring ด้าน outboard ออกเพื่อที่จะสามารถแยกส่วนประกอบต่างๆได้

4.1.1.5 แกะ Seal ที่ Outer ring inboard ออก

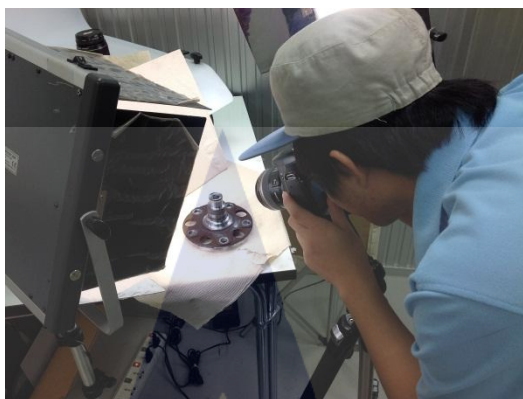
4.1.1.6 หลังจากนั้นนำ bearing ไปล้างทำความสะอาด และเป่าให้แห้ง



รูปที่4.4 ล้างทำความสะอาด Bearing

รูปที่4.5 เป่าให้แห้ง

4.1.1.7 นำbearing ไปถ่ายรูปเก็บบันทึกความเสียหายแบบต่างๆ ไว้ใช้วิเคราะห์ผลการทดสอบ



รูปที่4.6 ถ่ายรูป

## 4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

### 4.2.1 คาดการณ์ลักษณะความเสียหายจากกราฟ

สามารถสรุปผลการทดลองได้เพียง 2 กลุ่ม คือ Outer Ring , Inner Ring ,เนื่องจากการวัดด้วยวิธีนี้ไม่ค่อยตรวจพบแรงสั่นสะเทือนที่ Ball อันอาจเนื่องมาจากบอลเป็นความเสียหายขนาดเล็กและอยู่ด้านในของ Housing ทำให้แรงสั่นสะเทือนส่งมาถึงเซ็นเซอร์ตรวจจับได้น้อย จึงมีข้อมูลไม่พอสำหรับการนำวิเคราะห์ในครั้งนี้

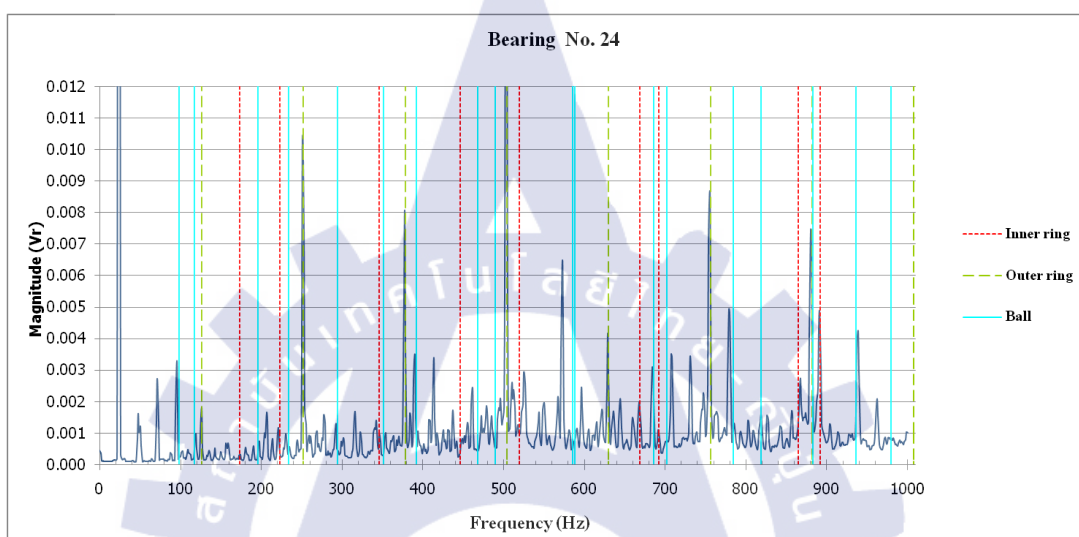
#### 4.2.1.1 Outer Ring

##### 4.2.1.1.1 คาดการณ์ว่าที่ Outer Ring เกิดความเสียหายหรือไม่

โดยในการคาดการณ์ว่าเกิดความเสียหาย หรือไม่ ที่ Outer Ring นี้ จะกำหนดให้ดูจากระดับ Peak ของ Amplitude ซึ่งถ้ามีระดับ Amplitude ตั้งแต่ 0.002 Vr จำนวน 2 Peak ขึ้นไปจะคาดการณ์ว่าเกิดความเสียหาย

ตารางที่ 4.1 แสดงหมายเลขตลับลูกปืนที่เกิดความเสียหายจริงที่ Outer Ring

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
| -  | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | -  | 24 | 25 | 26 |
| 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | -  | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |
| 40 | 41 | 42 | -  | 44 | -  | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |    |    |



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน (Magnitude) กับความถี่ (Frequency) ของตลับลูกปืนหมายเลข 24

แต่ละเส้นนั้นจะเป็นเส้น แสดงความถี่เสียหายของ Outerring , Inner ring และ ball โดยที่เส้นประใหญ่จะแสดงเส้นความถี่ของouter ring เส้นประเล็กจะแสดงเส้นความถี่ของ inner ringและเส้นทึบแสดงความถี่ของballโดยความถี่ที่ได้นั้นได้จากการคำนวณตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่2

ซึ่งจากกราฟนี้จะเห็นได้ว่ามี peak ที่ขึ้นตรงกับเส้นของ outer ring เกิน 0.002จำนวนหลาย Peakจึงทำให้เราสามารถคาดการณ์ได้ว่าเกิดความเสียหายที่ outer ring

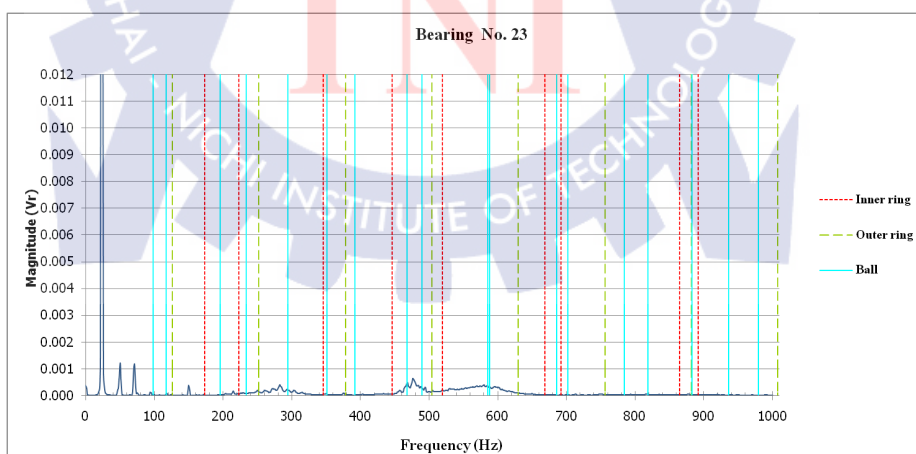


รูปที่ 4.8 ลักษณะความเสียหายแบบ Flaking ที่ Outer ring ของตลับลูกปืนหมายเลข 24

4.2.1.1.2 คาดการณ์ว่าที่ Outer Ring ไม่เกิดความเสียหาย

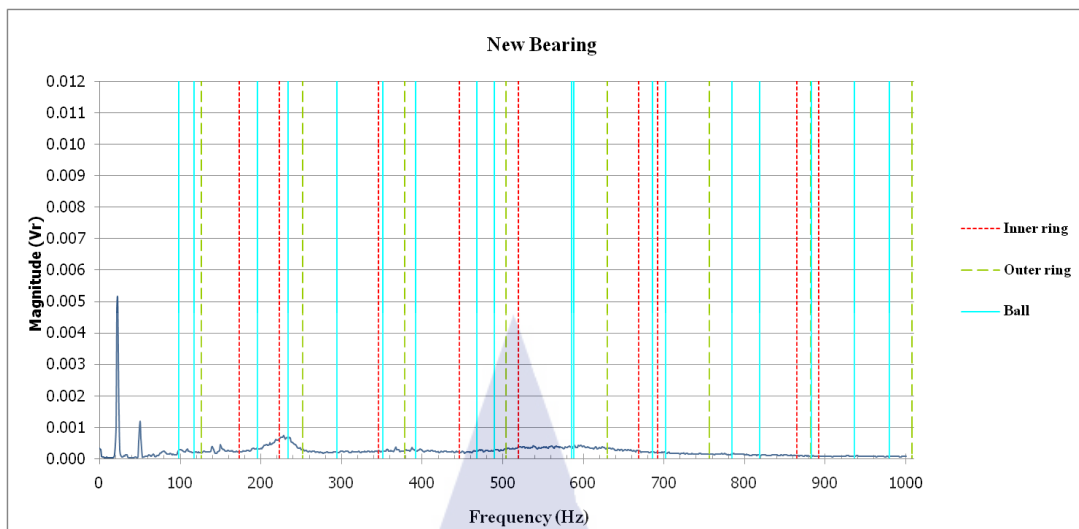
ตารางที่ 4.2 แสดงสัญลักษณ์และค่าวัดเสียงของตลับลูกปืนที่ไม่เสียหายที่ Outer Ring

| Bearing No. | Sound(dB) |
|-------------|-----------|
| 14          | 56.2      |
| 23          | 54.6      |
| 34          | 54.3      |
| 43          | 54.6      |
| 45          | 56.7      |



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน (Magnitude)

กับความถี่ (Frequency) ของตลับลูกปืนหมายเลข 14



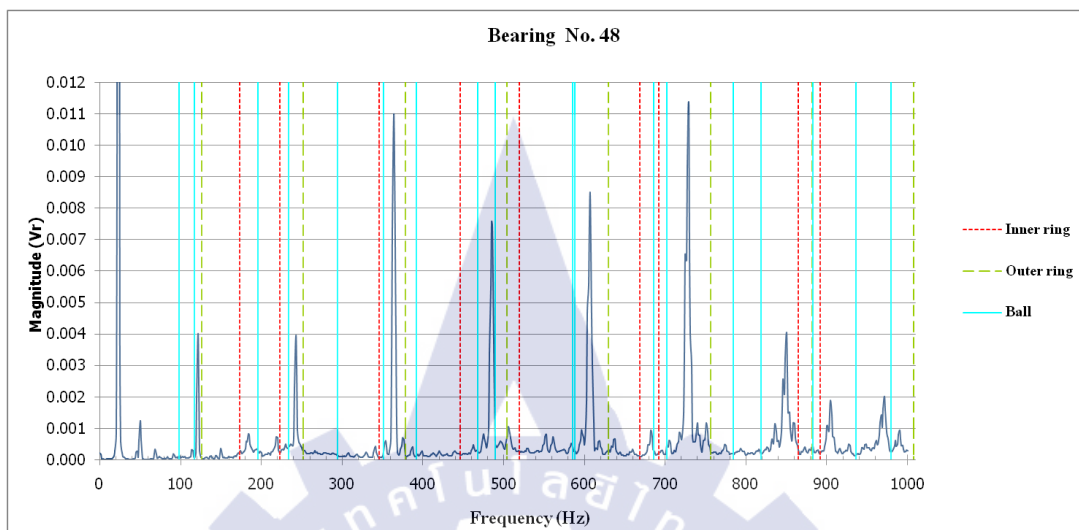
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน(Magnitude) กับความถี่(Frequency) ของตลับลูกปืนอันใหม่(ยังไม่ผ่านการใช้งาน)

จากกราฟนี้จะเห็นได้ว่าไม่มี peak ที่ขึ้นตรงกับเส้นของ outer ring เกิน 0.002 เลยจึงทำให้เราสามารถคาดการณ์ได้ว่าไม่เกิดความเสียหายใดๆที่ outer ring



รูปที่ 4.11 Outer ring จากตลับลูกปืนหมายเลข 23 ที่ไม่เกิดความเสียหาย

4.2.1.1.2 การคาดการณ์ไม่ได้เนื่องจาก กราฟแสดงความถี่ไม่ตรงกับความถี่ที่คำนวณได้จาก ทฤษฎี (Unknown)



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน(Magnitude) กับความถี่(Frequency)ของตลับลูกปืนหมายเลข 48

จากกราฟจะพบว่า แสดงผลออกมาไม่ชัดเจนคือ Peak ของกราฟขึ้นคร่อมระหว่างเส้นสีน้ำเงินและเส้นประสีเขียว จึงทำให้ไม่สามารถที่จะแยกออกว่าเกิดความเสียหายที่ Ball หรือ Outer Ring กันแน่แต่สามารถทราบว่ตลับลูกปืนตัวนี้เกิดความเสียหายแน่นอน สังเกตได้จากเสียงของตลับลูกปืนที่วัดได้ว่ามีค่าสูงกว่าปกติกับระดับความสูงของขนาดของการสั่นสะเทือนของกราฟอยู่ในระดับสูงกว่าค่าของขนาดของการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนที่ยังไม่ได้ใช้งาน ดังนั้นเราจึงได้ทำการถอดส่วนประกอบของตลับลูกปืนออกเพื่อที่จะได้ทราบความเสียหายตามความเป็นจริง โดยเมื่อแกะออกแล้วพบว่าเกิดความเสียหายแบบ Flaking ที่ Outer Ring

การคาดการณ์ไม่ได้รูปแบบนี้เราจะถือว่าเป็นรูปแบบที่เลวร้ายมากที่สุด เนื่องจากไม่สามารถคาดการณ์ความเสียหายที่ส่วนใดๆ ได้เลย จึงไปปรากฏอยู่ในส่วนของการพยากรณ์ผิดพลาดทั้งของ Outer Ring และ Inner Ring

สามารถสรุปผล ในส่วนของ Outer Ring ได้ดังนี้

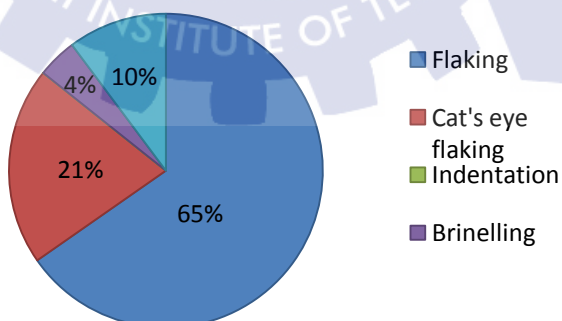
ตารางที่ 4.3 แสดงความเสียหายต่างๆที่ตรวจพบที่ Outer Ring

|                     |  | Outer ring Condition |                   |             |            |                |        |
|---------------------|--|----------------------|-------------------|-------------|------------|----------------|--------|
|                     |  | Flaking              | Cat's eye flaking | Indentation | Brinelling | No Abnormality | Total  |
|                     |  | Ratio                | 65.31%            | 20.41%      | 0.00%      | 4.08%          | 10.20% |
| Amount              |  | <u>32</u>            | <u>10</u>         | 0           | <u>2</u>   | <u>5</u>       | 49     |
| Average Sound(dB)   |  | 82.78                | 72.3              | -           | 79.4       | 55.28          | -      |
| Average Mileage(km) |  | 66985                |                   | -           | 52127      |                | -      |

ตารางที่ 4.4 แสดงการคาดการณ์ความเสียหาย ที่ Outer Ring

| Part       | Result      |           | Correct   |                   |             |            |                | Not Correct   |
|------------|-------------|-----------|-----------|-------------------|-------------|------------|----------------|---------------|
|            | Not Correct | Correct   | Flaking   | Cat's eye flaking | Indentation | Brinelling | No Abnormality | Can't Predict |
| Outer Ring | 1           | <u>49</u> | <u>32</u> | <u>10</u>         | 0           | <u>2</u>   | <u>5</u>       | 1             |
| Accuracy   |             | 98%       |           |                   |             |            |                |               |

สรุป สัดส่วนความเสียหายที่ Outer Ring



รูปที่ 4.13 แผนภาพแสดงสัดส่วนความเสียหายที่ Outer Ring

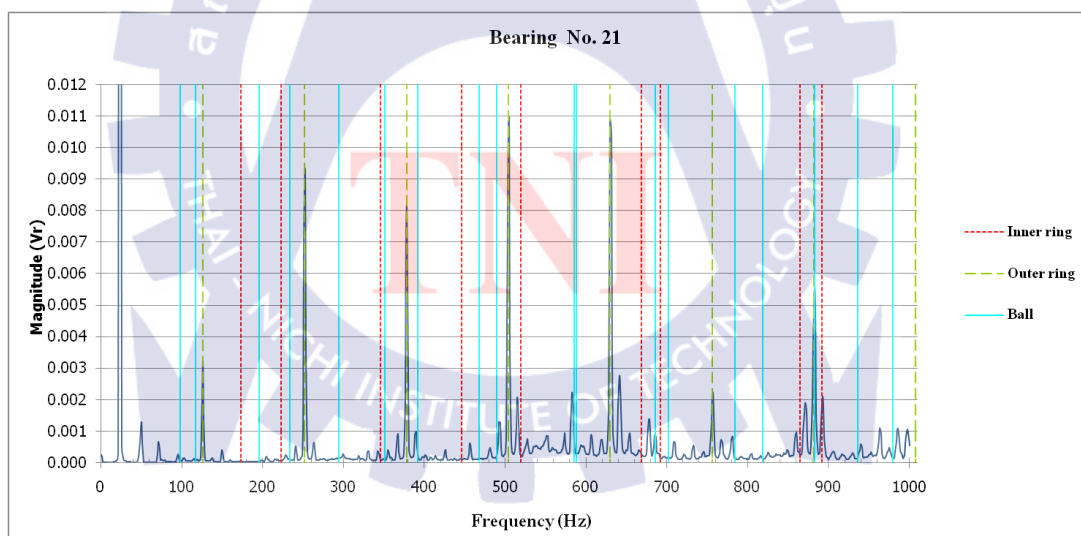
#### 4.2.1.2 Inner Ring

##### 4.2.1.2.1 การคาดการณ์ว่า Inner Ring เกิดความเสียหายหรือไม่

โดยในการคาดการณ์ว่าเกิดความเสียหายหรือไม่ ที่ Inner Ring นี้ จะกำหนดให้ดูจากระดับ Peak ของ Amplitude ซึ่งถ้ามีระดับ Amplitude ตั้งแต่ 0.001 vr จำนวน 2 Peak ขึ้นไปจะคาดการณ์ว่าเกิดความเสียหาย

ตารางที่ 4.5 แสดงหมายเลขตลับลูกปืนที่เกิดความเสียหายจริงที่ Inner Ring

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
| -  | -  | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | -  | 24 | 25 | 26 |
| 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | -  | -  | -  | 36 | -  | 38 | 39 |
| 40 | 41 | 42 | -  | 44 | -  | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |    |    |



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน (Magnitude) กับความถี่ (Frequency) ของตลับลูกปืนหมายเลข 21

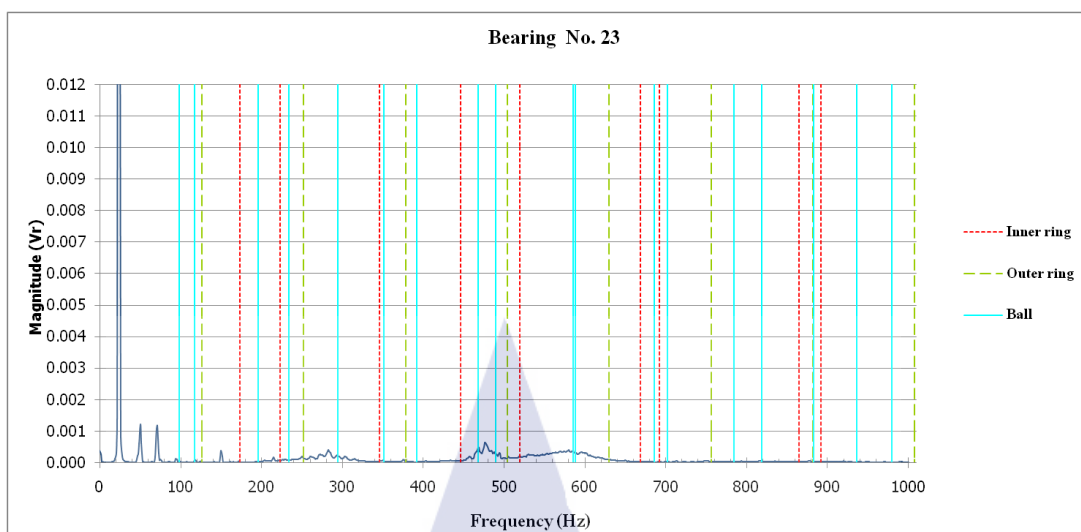
จากกราฟในรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่ามี peak ที่ขึ้นตรงกับเส้นของ Inner ring เกิน 0.001vr จำนวนมากกว่า 1 Peak จึงทำให้เราสามารถคาดการณ์ได้ว่าเกิดความเสียหายที่ Inner Ring



รูปที่ 4.15 ลักษณะความเสียหายแบบIndentation ที่ Inner ring ของตลับลูกปืนหมายเลข 21

ตารางที่ 4.6 แสดงหมายเลขตลับลูกปืนที่ไม่เกิดความเสียหายที่ Inner Ring

| Bearing No. | Sound(dB) |
|-------------|-----------|
| 14          | 56.2      |
| 15          | 71.1      |
| 23          | 54.6      |
| 33          | 69.2      |
| 34          | 54.3      |
| 35          | 70.4      |
| 37          | 69.5      |
| 43          | 54.6      |
| 45          | 56.7      |



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน (Magnitude) กับความถี่ (Frequency) ของดัลลูปปืนหมายเลข 23

จากกราฟในรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าไม่มี peak ที่ขึ้นตรงกับเส้นของ Inner ring เกิน 0.001vr จึงทำให้เราสามารถคาดการณ์ได้ว่าไม่เกิดความเสียหายที่ Inner Ring



รูปที่ 4.17 Inner ring จากดัลลูปปืนหมายเลข 23 ที่ไม่เกิดความเสียหาย

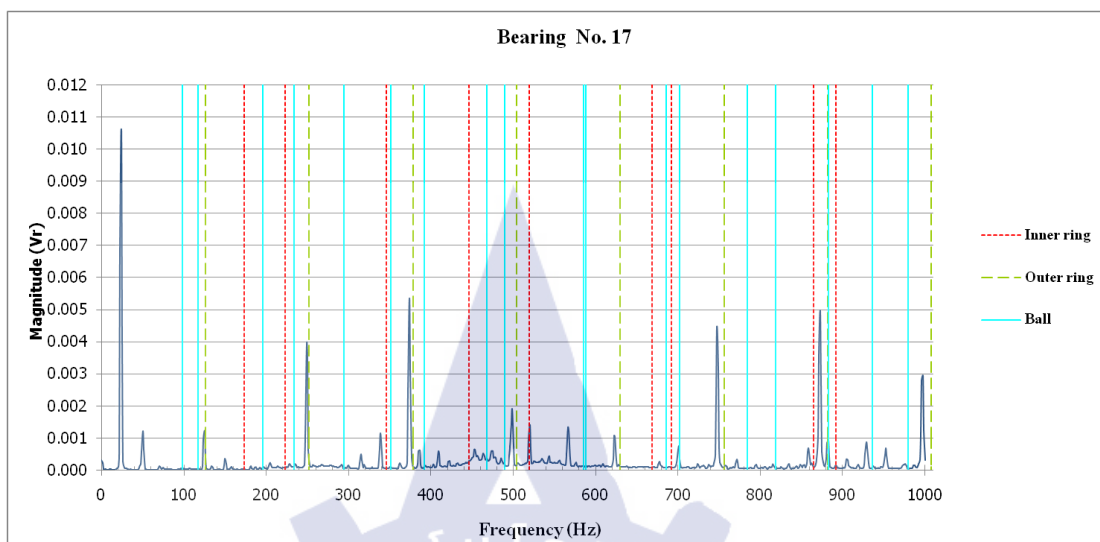
#### 4.2.1.2.2 การคาดการณ์แยกชนิดความเสียหายที่เกิดขึ้นที่ Inner Ring

โดยในการคาดการณ์แยกชนิดความเสียหายนี้ จะกำหนดให้

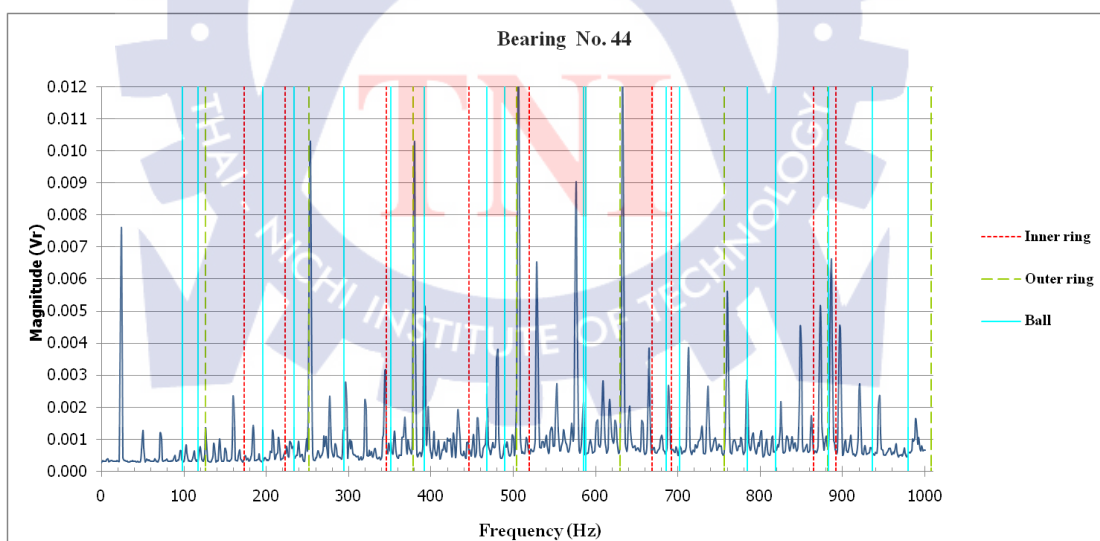
-เมื่อพบระดับ Magnitude ตั้งแต่ 0.001vr-0.005vr จำนวน 2 Peak ขึ้นไป = เกิดความเสียหาย

แบบ Indentation

-พบระดับMagnitude ตั้งแต่0.005vr จำนวน3Peak ขึ้นไป = เกิดความเสียหายแบบFlaking



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน (Magnitude) กับความถี่ (Frequency) ของตลับลูกปืนหมายเลข 17



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการสั่นสะเทือน (Magnitude) กับความถี่ (Frequency) ของตลับลูกปืนหมายเลข 44

จากกราฟในรูปที่ 4.18 จะเห็นได้ว่ามี peak ขนาดระหว่าง 0.001-0.005 ที่ขึ้นตรงกับเส้นของ Inner ring จำนวนมากกว่า 1 Peak จึงทำให้เราสามารถคาดการณ์ได้ว่าเกิดความเสียหาย แบบ Indentation ที่ Inner Ring

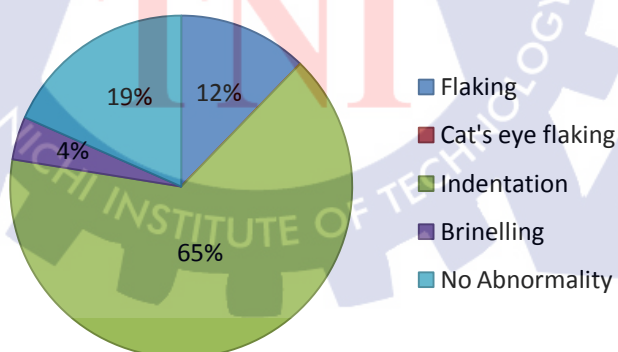
จากกราฟในรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่ามี peak ขนาดตั้งแต่ 0.005vr ที่ขึ้นตรงกับเส้นของ Inner ring จำนวนมากกว่า 2 Peak จึงทำให้เราสามารถคาดการณ์ได้ว่าเกิดความเสียหาย แบบ Flaking ที่ Inner Ring

สามารถสรุปผล ในส่วนของ Inner Ring ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงความเสียหายต่างๆที่ตรวจพบที่ Inner Ring

|               | Inner ring Condition |                   |             |            |                | Total |
|---------------|----------------------|-------------------|-------------|------------|----------------|-------|
|               | Flaking              | Cat's eye flaking | Indentation | Brinelling | No Abnormality |       |
| Ratio         | 12.24%               | 0.00%             | 65.31%      | 4.08%      | 18.37%         | 100%  |
| Amount        | <u>6</u>             | 0                 | <u>32</u>   | <u>2</u>   | <u>9</u>       | 49    |
| Average Sound | 88.3                 | -                 | 80.07       | 79.4       | 63.93          | -     |

สรุป สัดส่วนชนิดความเสียหายที่ Inner Ring



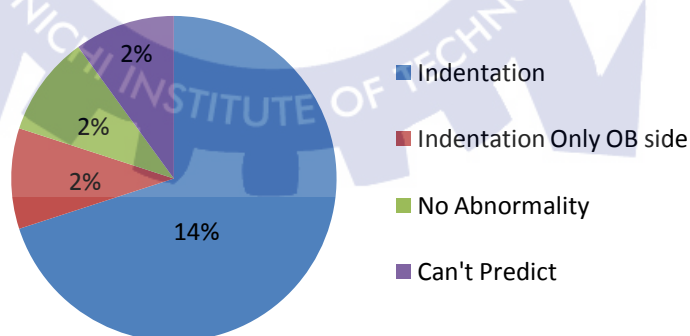
รูปที่ 4.20 แผนภาพแสดงสัดส่วนความเสียหายที่ Inner Ring

กล่าวคือความแม่นยำในการคาดการณ์ว่าจะเกิดความเสียหายของ Inner Ring = 80% (40ตัว) โดยในโอกาสเกิดความผิดพลาด 20% แบ่งเป็นความผิดพลาดจาก 1) คาดว่าเกิดความเสียหายแต่ไม่เกิด 2%(1ตัว) 2) คาดว่าไม่เกิดความเสียหายแต่เกิด Indentation ด้าน OB 2%(1ตัว) 3) คาดว่าไม่เกิดความเสียหายแต่เกิด Indentation ด้าน IB หรือทั้ง 2 ด้าน 14%(7ตัว) 4) คาดการณ์ไม่ได้เนื่องจากค่าความถี่ไม่ตรงกับการคำนวณ 2%(1ตัว) ดังแสดงรูปที่ 4.21

ตารางที่ 4.8 แสดงการคาดการณ์ความเสียหายที่ Inner Ring

| Part        | Result      |                          | Correct  |                   |             |               |                |
|-------------|-------------|--------------------------|----------|-------------------|-------------|---------------|----------------|
|             | Not Correct | Correct                  | Flaking  | Cat's eye flaking | Indentation | Brinelling    | No Abnormality |
| Inner Ring  | <u>10</u>   | <u>40</u>                | <u>6</u> | 0                 | <u>24</u>   | <u>2</u>      | <u>8</u>       |
| Accuracy    |             | 80.00%                   |          |                   |             |               |                |
| Not Correct |             |                          |          |                   |             |               |                |
| Indentation |             | Indentation Only OB side |          | No Abnormality    |             | Can't Predict |                |
| <u>7</u>    |             | <u>1</u>                 |          | <u>1</u>          |             | 1             |                |
| 14.00%      |             | 2.00%                    |          | 2.00%             |             | 2.00%         |                |

โอกาสผิดพลาดในการพยากรณ์การเกิดความเสียหาย  
Inner Ring

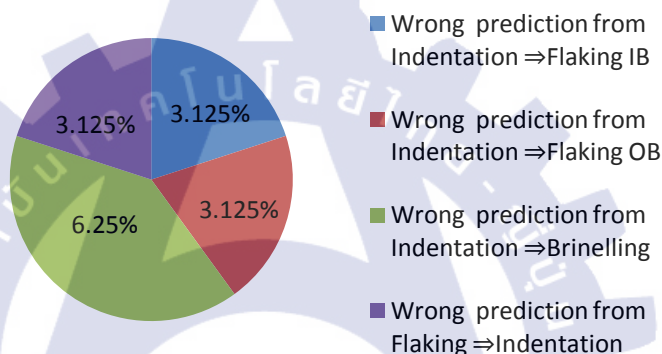


รูปที่ 4.21 แผนภาพแสดงโอกาสผิดพลาดในการพยากรณ์รูปแบบต่างๆ

ตารางที่ 4.9 แสดงการคาดการณ์การแยกชนิดความเสียหายที่ Inner Ring

| Part        | Result      |           | Correct Prediction |             | Wrong prediction |             |              |              |
|-------------|-------------|-----------|--------------------|-------------|------------------|-------------|--------------|--------------|
|             | Not Correct | Correct   | Flaking            | Indentation | from Indentation |             | from Flaking |              |
|             |             |           |                    |             | ⇒Flaking IB      | ⇒Flaking OB | ⇒Brinelling  | ⇒Indentation |
| *Inner Ring | <u>5</u>    | <u>27</u> | <u>4</u>           | <u>23</u>   | <u>1</u>         | <u>1</u>    | <u>2</u>     | <u>1</u>     |
|             | Accuracy    | 84.38%    |                    |             | 3.125%           | 3.125%      | 6.250%       | 3.125%       |

### โอกาสผิดพลาดในการจำแนกชนิดความเสียหายระหว่าง Indentaion กับ Flaking ที่ Inner Ring



รูปที่ 4.22 แผนภาพแสดงรูปแบบการคาดการณ์ชนิดความเสียหายผิด

#### 4.2.2 ทำไมจึงคาดการณ์ผิดพลาดในตลับลูกปืนบางชิ้น

มีเหตุผลที่ได้คาดการณ์ไว้อยู่ 3 กรณี

4.2.2.1 อาจจะเป็นเพราะว่าระยะทางด้าน outboard อาจส่งผลให้ sensor ตรวจจับความสั่นสะเทือนไม่ถึง เนื่องจากการทดสอบนั้นเราจะติดตั้ง sensor ไว้ตรงบริเวณด้าน Inboard การตรวจจับของ sensor จึงความแม่นยำในด้านนี้มากกว่า ทำให้ตรวจพบความเสียหายที่ด้านของ Out Board ได้ยาก

4.2.2.2 มีความน่าจะเป็นในเรื่องของลักษณะร่องรอยของความเสียหาย เช่น อาจะมีขนาดเล็กหรือบาง จนทำให้ sensor ไม่สามารถตรวจจับการสั่นสะเทือนได้

4.2.2.3 มีการให้ Load แตกต่างกันไปส่งผลให้การใช้ Amplitude เป็นมาตรฐานในการกำหนดระดับความเสียหายเกิดข้อผิดพลาด

#### 4.3 วิเคราะห์และวิจารณ์ข้อมูลโดยเปรียบเทียบผลที่ได้รับกับวัตถุประสงค์และ จุดมุ่งหมายการปฏิบัติงานหรือการจัดทำโครงการ

จากผลการวิเคราะห์ ข้อมูลเราสามารถทำได้ตรงกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ กล่าวคือ เราสามารถแยกตลับลูกปืนได้ว่าเกิดความเสียหายหรือไม่อย่างค่อนข้างแม่นยำ และสามารถแยกระดับความเสียหาย ได้ในระดับหนึ่ง รวมไปถึง ได้เรียนรู้เกี่ยวกับลักษณะความเสียหายต่างๆของตลับลูกปืน และช่วยลดเวลาและขั้นตอนในการวิเคราะห์ตลับลูกปืนได้อีกด้วย



## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินการ

จากการทดสอบพบว่า เราสามารถแยกได้ว่าตลับลูกปืนนั้นเกิดความเสียหายหรือไม่และอาจยังทำให้ทราบได้อีกว่า ตลับลูกปืนนั้นเกิดความเสียหายที่ตำแหน่งใด และมีชนิดการเสียหายเป็นแบบใด ผลที่ได้จากการทดสอบนี้ทำให้เราทราบความเสียหายของตลับลูกปืนได้โดยที่เราไม่ต้องถอดส่วนประกอบของตลับลูกปืนเลย จึงทำให้เราสามารถลดเวลาและขั้นตอนในการตรวจสอบความเสียหายได้มากกว่าการตรวจสอบแบบเดิมแต่ในการทดสอบนี้ก็ยังมีบางกรณีที่เราคาดการณ์ผิดพลาด เช่น กรณีการเกิดความเสียหายที่ Inner Ring แต่ตรวจจากกราฟไม่พบแพมพลิจูดระดับเสียหาย หรือ การคาดการณ์รูปแบบความเสียหายผิดพลาดโดย

1) อาจจะเป็นเพราะว่าระยะทางด้าน outboard อาจส่งผลให้ sensor ตรวจจับความสั่นสะเทือนไม่ถึง เนื่องจากในการทำการทดสอบนั้นเราจะติด sensor ไว้ตรงบริเวณด้าน Inboard การตรวจจับของ sensor จึงความแม่นยำในด้านนี้มากกว่าทำให้ตรวจพบความเสียหายที่ด้าน Out Board ได้ยาก

2) มีความน่าจะเป็นในเรื่องของลักษณะร่องรอยของความเสียหาย เช่น อาจมีขนาดเล็กหรือบาง จนทำให้ sensor ไม่สามารถตรวจจับการสั่นสะเทือนได้

3) มีการให้ Load แตกต่างกันไปส่งผลให้การใช้ Amplitude เป็นมาตรฐานในการกำหนดระดับความเสียหายเกิดข้อผิดพลาด

#### 5.2 แนวทางการแก้ไข

อาจจะทำตัวจับชิ้นงานสำหรับเวลาวัดกับเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อช่วยควบคุมระดับการป้อนโหลดให้คงที่ และควรทำการทดสอบด้วยวิธีการนี้เพิ่มเติมเพื่อที่จะให้ได้ตัวอย่างความเสียหายของแบบอื่นๆเพิ่มมากขึ้น จะได้มีสถิติหรือข้อมูลเอาไว้เปรียบเทียบซึ่งจะทำให้การทดสอบนี้มีความแม่นยำมากขึ้น

### 5.3 ข้อเสนอแนะจากการดำเนินงาน

ควรที่จะให้มีการทำการทดสอบโดยใช้วิธี FFT Analysis ในการวิเคราะห์ความเสียหายของ ตลับลูกปืนและเก็บข้อมูลของแต่ละรูปแบบความเสียหายเพื่อนำไปพัฒนาวิธีการนี้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

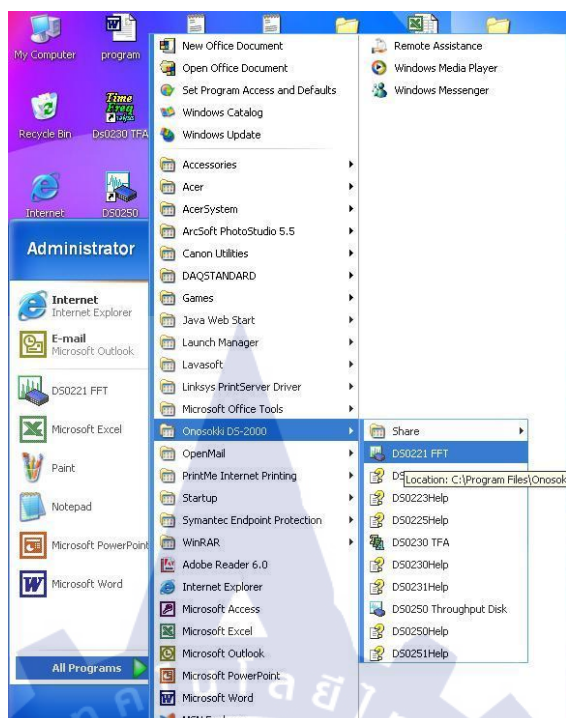




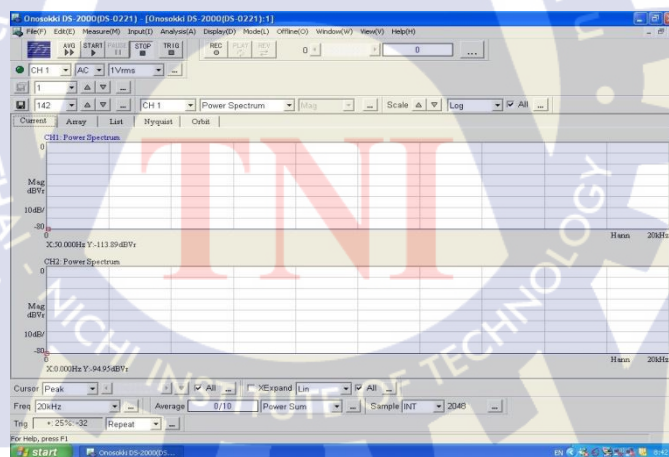
ภาคผนวก ก

วิธีการตั้งค่าและใช้โปรแกรม DS0221 FFT ในการวัดค่าความถี่





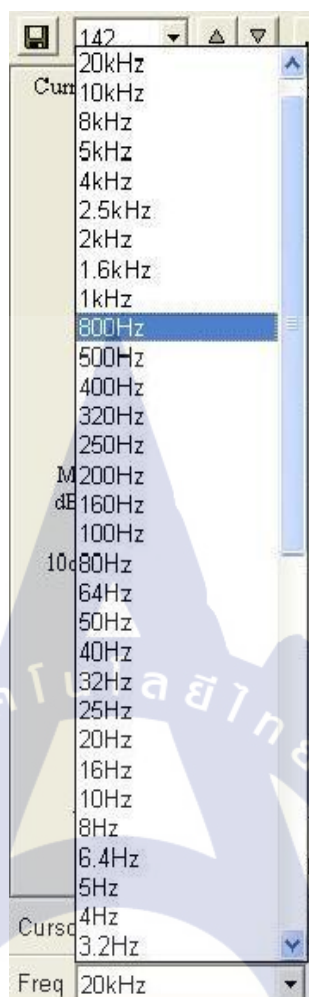
รูปที่ ก.1 เปิดโปรแกรม All Program > Onosokki DS-2000 > DS0221 FFT



รูปที่ ก.2 หน้าโปรแกรม DS0221 FFT





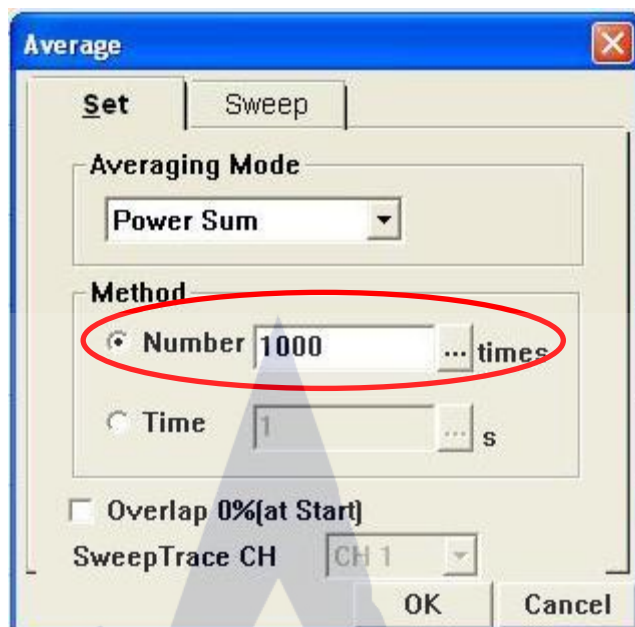


รูปที่ ก.7 ปรับค่าความถี่



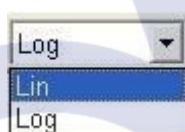
กดที่นี่

รูปที่ ก.8 ปรับค่า average

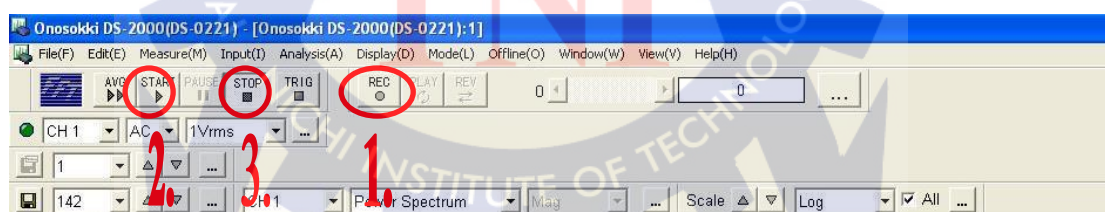


ปรับค่า Number

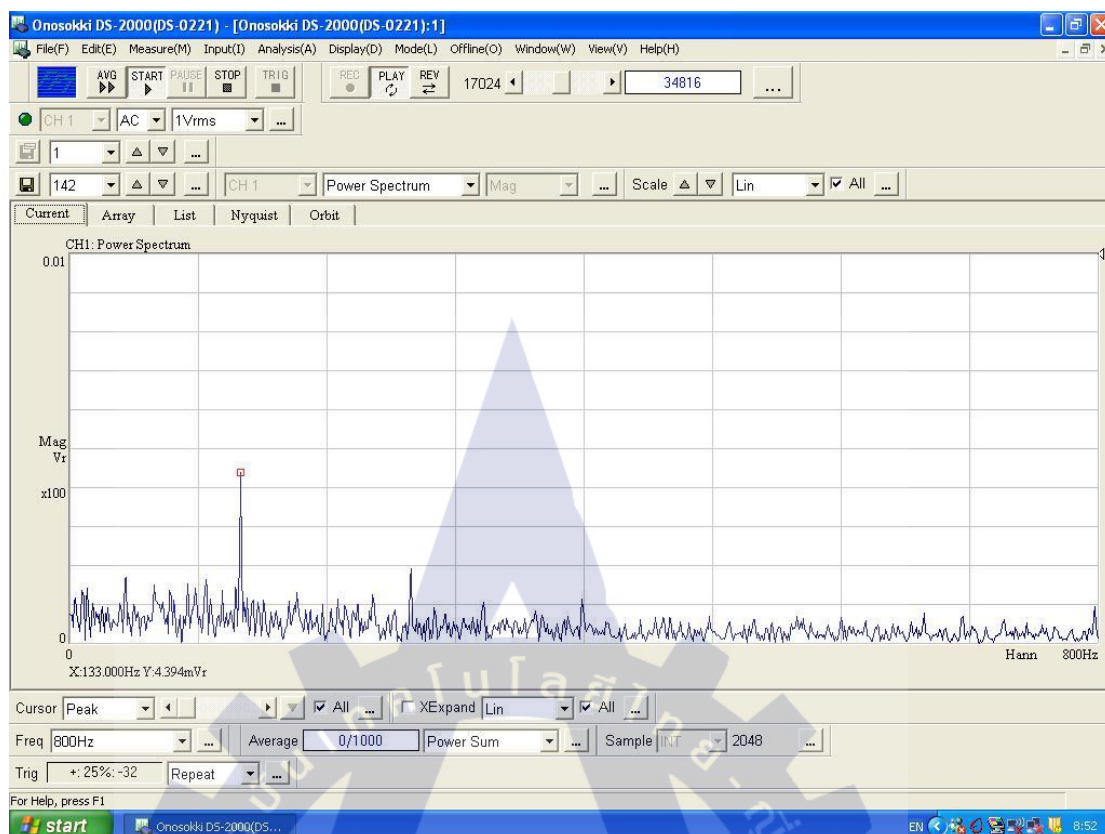
รูปที่ ก.9 หน้าต่างปรับค่า Average



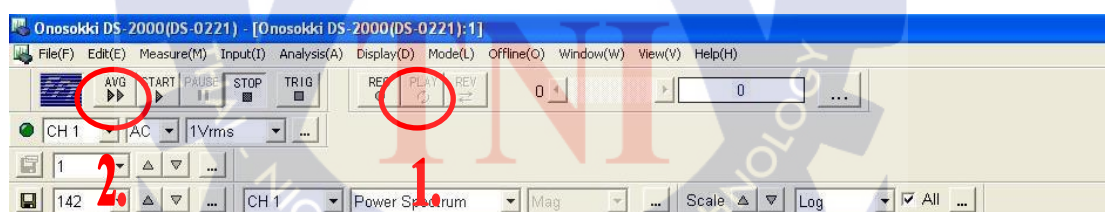
รูปที่ ก.10 ปรับชนิดกราฟเป็น Lin



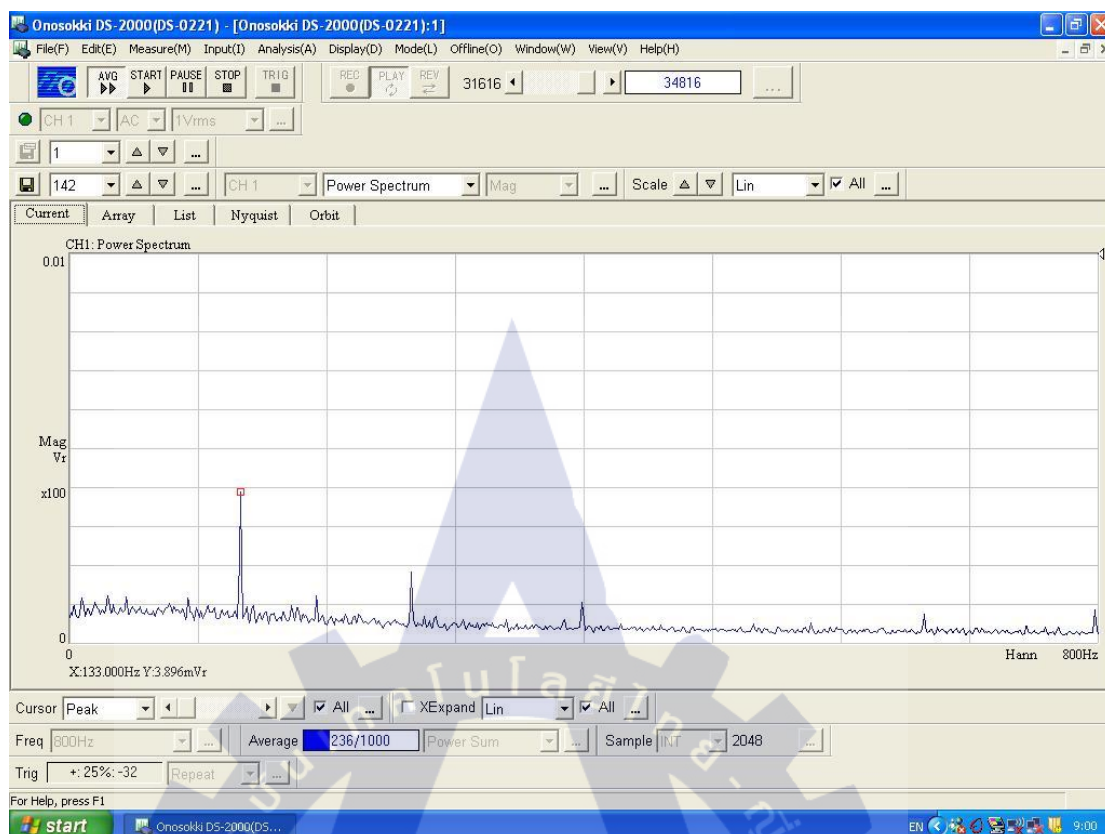
รูปที่ ก.11 ขั้นตอนการบันทึกกราฟ



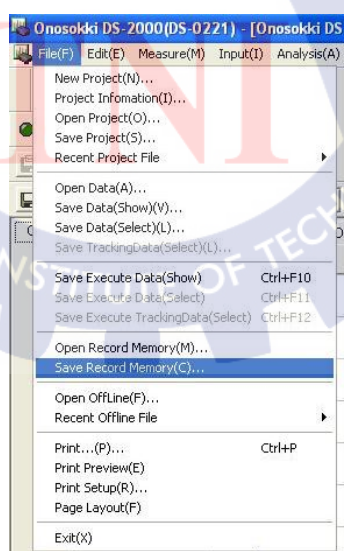
รูปที่ ก.12 กราฟที่บันทึก



รูปที่ ก.13 ขั้นตอนทำการเฉลี่ยกราฟ



รูปที่ ก.14 กราฟที่ทำการเฉลี่ยแล้ว



รูปที่ ก.15 Save กราฟที่ได้ File (F) > Save Record Memory(C)

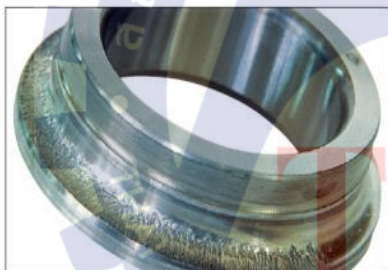


ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการวิเคราะห์ลักษณะผิวของรอยสึกหรอ  
และเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนของตลับลูกปืน

ตารางที่ ข.1 การร่อนหลุดของผิววัตถุ (Flaking)

| ลักษณะ                                                                                                                                            | สาเหตุ                                                                                                                                                                                                                                                | การแก้ไข                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- ผิวรางวิ่งหลุดลอกมาเป็นแผ่นๆ</li> <li>- พื้นผิวหลังจากหลุดลอกออกมาเป็นหลุมและมีความหยาบผิวสูง</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ภาระสูงเกินไป</li> <li>- ติดตั้งรองลื่นไม่เหมาะสม</li> <li>- พิกัดความเผื่อระหว่างเพลากับรองลื่นไม่เหมาะสม</li> <li>- สิ่งสกปรกต่างๆและสนิม</li> <li>- ค่าความแข็งลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นผิดปกติ</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- หาสาเหตุที่ทำให้ภาระสูงเกินไป</li> <li>- พิจารณาสถานะการทำงานและเปลี่ยนขนาดของรองลื่นให้โตขึ้นถ้าจำเป็น</li> <li>- เปลี่ยนมาใช้น้ำมันหล่อลื่นที่มีความหนืดสูงขึ้นและปรับปรุงระบบการหล่อลื่นเพื่อให้ฟิล์มน้ำมันหนาเพียงพอ</li> <li>- กำจัดข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการติดตั้ง</li> </ul> |



รูปที่ ข.1 วงแหวนในของเบร็งส์เม็ดกลมสัมพัทธ์เชิงมุม



รูปที่ ข.2 วงแหวนในของเบร็งส์เม็ดกลมแถวเดียวยาวร่องลึก



รูปที่ ข.3 ลูกกลิ้งของเบร็งส์เม็ดกลมสัมพัทธ์เชิงมุม

ตารางที่ ข.2 การเกิดรอยกดปุ่มบนผิวงาน (Indentations)

| ลักษณะ                                 | สาเหตุ                                                     | การแก้ไข                                                                                                                    |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| - รางวิ่งและเม็ดลูกกลิ้งมีรอยกดปุ่มลึก | - มีสิ่งสกปรกแทรกระหว่างลูกกลิ้งกับรางวิ่งทำให้เกิดรอยปุ่ม | - กำจัดสิ่งสกปรกออกไป<br>- ตรวจสอบการเกิดการร่อนหลุดของผิวในร่องลื่นและในร่องลื่นตัวอื่นๆหากรอยขูดเกิดจากเศษโลหะที่หลุดร่อน |



รูปที่ ข.4 วงแหวนในของแบร์ริงส์เม็ดรีเวาสองแถว



รูปที่ ข.5 วงแหวนในของแบร์ริงส์เม็ดรีเวาสองแถว



รูปที่ ข.5 ลูกกลิ้งของแบร์ริงส์เม็ดทรงกระบอก

### ตารางที่ ข.3 การเกิดสนิมและการกัดกร่อน (Rust and Corrosion)

| ลักษณะ                                                             | สาเหตุ                                                                                                                                                                                  | การแก้ไข                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| - มีสนิมเกิดขึ้นในตัวของเม็ด ลูกกลิ้งและรางวิ่งด้านในของ รong ลื่น | - มีน้ำหรือสารเคมีที่มี คุณสมบัติในการกัดกร่อน (เช่น กรด) รั่วเข้าไปในรong ลื่น<br>- เกิดจากการกลั่นตัวของ ความชื้นในอากาศ<br>- การเก็บและหีบห่อไม่ดี รวมถึงการเคลื่อนย้ายด้วยมือ เปลา่ | - ปรับปรุงซีล<br>- มีการสูมตัวอย่างน้ำมันเพื่อทำ การตรวจวิเคราะห์เป็นระยะ<br>- รมั้ดระวังเป็นพิเศษในขณะ ขนย้ายหรือประกอบรong ลื่น<br>- ตรวจเช็คเพื่อป้องกันการเกิด สนิมเมื่อไม่ได้ใช้เครื่องจักร เป็นเวลานาน |



รูปที่ ข.6 วงแหวนนอกของเบร้งส์เม็ด ทรงกระบอก



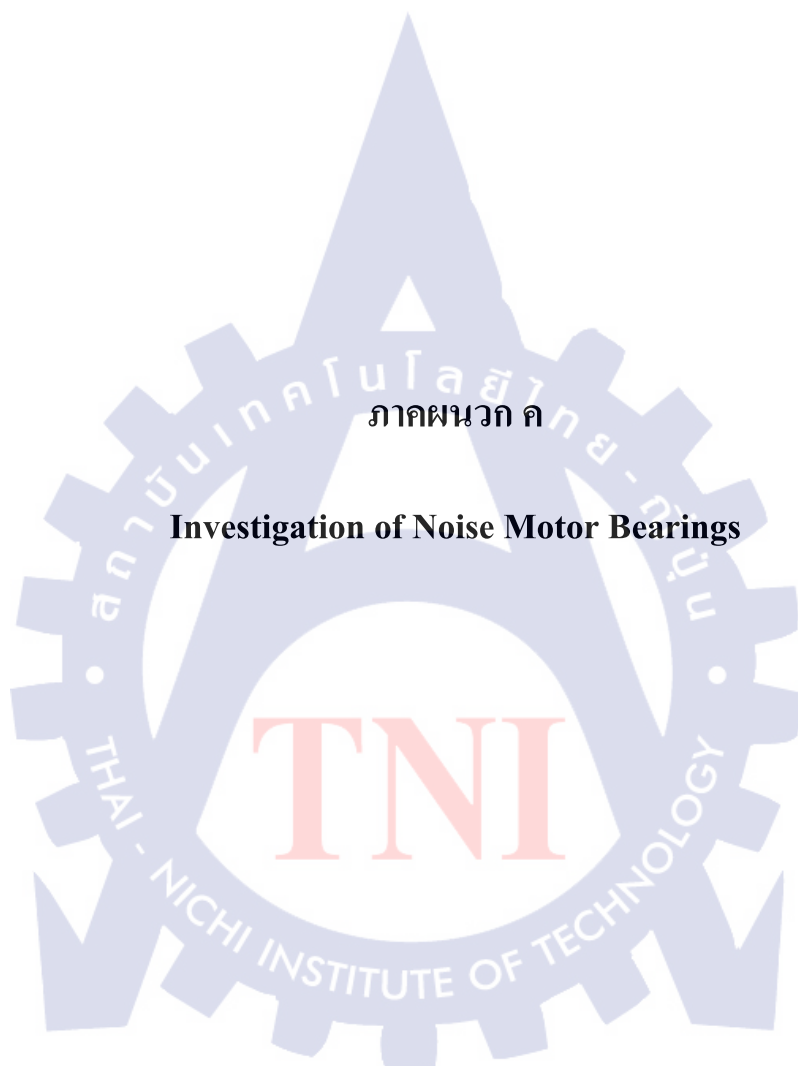
รูปที่ ข.7 วงแหวนในของเบร้งส์เม็ดหมอน



รูปที่ ข.8 ลูกกลิ้งของเบร้งส์เม็ดหมอน

ภาคผนวก ค

## Investigation of Noise Motor Bearings

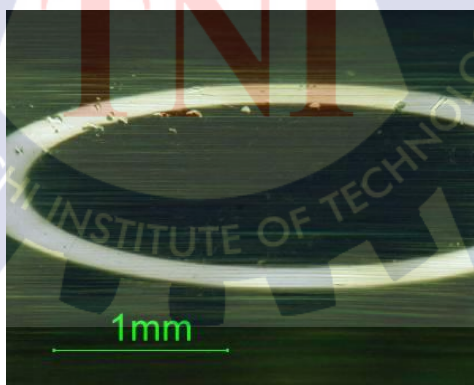


### ค.1 การวิเคราะห์ความเสียหายของตลับลูกปืนมอเตอร์ (Investigation of Noise Motor Bearings)

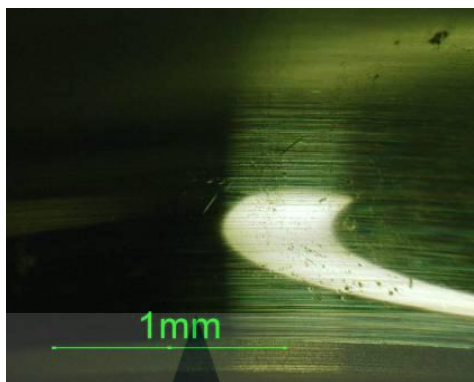


รูปที่ ค.1 Motor Bearings

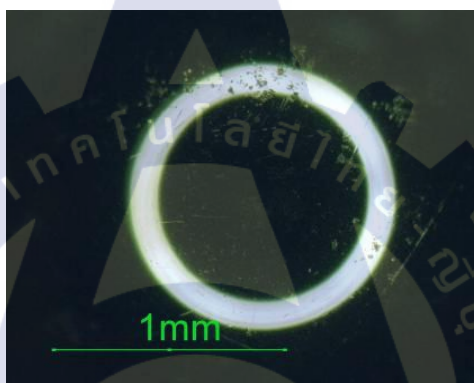
ตลับลูกปืนที่นำมาตรวจสอบนี้นั้นเป็นตลับลูกปืนที่ใช้ในคอมเพรสเซอร์ การที่นำตลับลูกปืนมาตรวจสอบนั้นเนื่องจากเมื่อทางลูกค้านำสินค้าไปทำการทดสอบแล้วพบว่าเกิดเสียงดังทางลูกค้าจึงให้ทางบริษัทผู้ผลิตช่วยตรวจสอบให้ว่าเสียงดังที่เกิดขึ้นนั้นมาจากสาเหตุอะไร



รูปที่ ค.2 Magnification photo of inner ring raceway



รูปที่ ค.3 Magnification photo of outer ring raceway



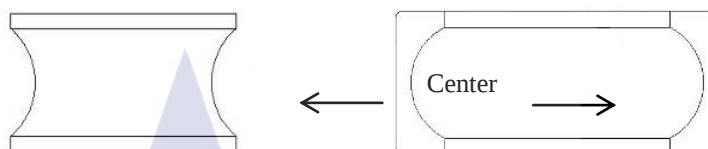
รูปที่ ค.4 Magnification photo of ball surface

เมื่อทำการตรวจสอบแล้วพบว่า คลັบลูกปืนที่เกิดเสียงดังนั้นเป็นเพราะว่า เป็น Indentation การเกิด Indentation นั้นมีสาเหตุมาจาก รับภาระแรงมากเกินไป หรือ รับภาระแรงกะทันหันขณะ ขนส่ง หรือการประกอบ และอาจมีเศษผงติดอยู่ภายใน เช่น ผงโลหะเข้าไปสัมผัสกับร่องวิ่ง และ ลูกกลิ้ง

การปรับปรุงแก้ไข คือ ล้างทำความสะอาดตัวเสื้อ , ปรับปรุงแก้ไขฝาครอบ, กรองน้ำมันที่ใช้ในการหล่อลื่น, ปรับปรุงวิธีการประกอบและการเคลื่อนย้าย ฯ

## ค.2 ผลการตรวจสอบ

### ค.2.1 Bearing raceway roundness

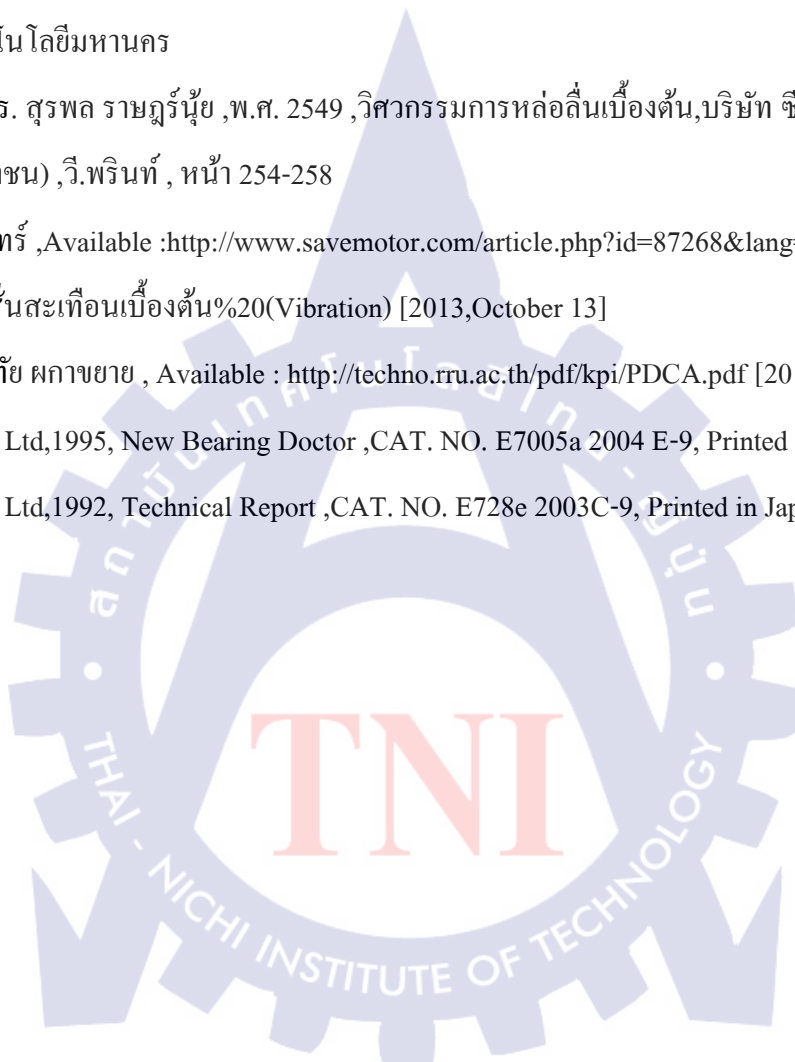


ตารางที่ ค.1 ตารางแสดงผลการ roundness

| Bearing No.   | Roundness of inner ring raceway                                   | Roundness of outer ring raceway                                   |
|---------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Bearing No.1S | Roundness<Inner_1S> : 0.510um<br><br>Roundness: 0.5 $\mu\text{m}$ | Roundness<Outer_1S> : 0.880um<br><br>Roundness: 0.9 $\mu\text{m}$ |
| Bearing No.1L | Roundness<Inner_1L> : 0.353um<br><br>Roundness: 0.4 $\mu\text{m}$ | Roundness<Outer_1L> : 0.749um<br><br>Roundness: 0.7 $\mu\text{m}$ |

## เอกสารอ้างอิง

1. ผศ.ดร.พีระพลยุภูมิตานนท์,พ.ศ. 2551, เอกสารการสอน วิชา The Discrete Fourier Transform (DFT) การแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง, ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
2. รศ.ดร. สุรพล ราษฎร์นัย ,พ.ศ. 2549 ,วิศวกรรมกล้อลั่นเบื่องต้น,บริษัท ซึเอ็ดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน) ,วี.พริ้นท์ , หน้า 254-258
3. บุรินทร์ ,Available :[http://www.savemotor.com/article.php?id=87268&lang=th&headername=การสั่นสะเทือนเบื่องต้น%20\(Vibration\)](http://www.savemotor.com/article.php?id=87268&lang=th&headername=การสั่นสะเทือนเบื่องต้น%20(Vibration)) [2013,October 13]
4. อรุทัย ผกาขาย , Available : <http://techno.rru.ac.th/pdf/kpi/PDCA.pdf> [2013,October 13]
5. NSK Ltd,1995, New Bearing Doctor ,CAT. NO. E7005a 2004 E-9, Printed in Japan
6. NSK Ltd,1992, Technical Report ,CAT. NO. E728e 2003C-9, Printed in Japan



## ประวัติผู้จัดทำโครงการ

|                          |                                                                               |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ – สกุล              | นายพนุรักษ์ พงษ์น่วมกุล                                                       |
| วัน เดือน ปีเกิด         | 18 เมษายน 2535                                                                |
| ประวัติการศึกษา          |                                                                               |
| ระดับประถมศึกษา          | ประถมศึกษาตอนปลาย พ.ศ. 2547<br>โรงเรียนทับทอง                                 |
| ระดับมัธยมศึกษา          | มัธยมศึกษาตอนปลาย พ.ศ. 2553<br>โรงเรียนสารวิทยา                               |
| ระดับอุดมศึกษา           | คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมยานยนต์ พ.ศ. 2556<br>สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น |
| ทุนการศึกษา              | ทุนสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ประเภทที่ 3                                     |
| ประวัติการฝึกอบรม        |                                                                               |
| ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ | -ไม่มี-                                                                       |

