

โครงการออกแบบสร้างและทดสอบการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์
และแบตเตอรี่รถจักรยานไฟฟ้าดัดแปลง

Design and Vibration testing of support motor parts and battery of
electric bicycle conversion

นายวิเชียร พนมเวสน์	รหัสสนิลิต	51380842
นายเอกชัย สายทอง	รหัสสนิลิต	51380996
นายเอกพจน์ ทวี	รหัสสนิลิต	51381009

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 1600299X
เลขเรียกหนังสือ..... ปร.
นาย..... 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อโครงการ : โครงการออกแบบสร้างและทดสอบการสั่นสะเทือนของ
ชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และแบตเตอรี่รถจักรยานไฟฟ้า
ดัดแปลง

Design and Vibration testing of support motor
parts and battery of electric bicycle conversion

ผู้ดำเนินโครงการ : นายวิเชียร พนมเวสน์ รหัสนิสิต 51380842
นายเอกชัย สายทอง รหัสนิสิต 51380996
นายเอกพจน์ ทวี รหัสนิสิต 51381009

อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงการ

(ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

.....กรรมการ

(ดร.ภาณุพงษ์ พงษ์วงศ์)

.....กรรมการ

(ดร.นินนาท ราชประดิษฐ์)

หัวข้อโครงการ : โครงการออกแบบสร้างและทดสอบการสั่นสะเทือนของ
ชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และแบตเตอรี่รถจักรยานไฟฟ้าตัดแปลง

ผู้ดำเนินโครงการ : นายวิเชียร พนมเวสน์ รหัสนิสิต 51380842
~~นายเอกชัย สายทอง รหัสนิสิต 51380996~~
นายเอกพจน์ ทวี รหัสนิสิต 51381009

อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2554

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่ของจักรยานเสือภูเขา TRINX เกียร์ 21 สปีด มีโชคอัพหน้า โครงอลูมิเนียมขนาด 26 นิ้ว รวมทั้งศึกษาและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน โดยการใช้แผ่นยางรองที่มีขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร ติดตั้งเข้าไประหว่างชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์กับตัวมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่กับตัวรถจักรยานและทดลองกับถนนพื้นเรียบ พื้นลูกระนาด พื้นหลังเต่า และพื้นผิวขรุขระด้วยความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทำการวัดการสั่นสะเทือนชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่ โดยใช้โทรศัพท์มือถือ ติดตั้งโปรแกรมไวเบรชัน วัดความเร่งพบว่า การสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่จะเกิดการสั่นสะเทือนมากที่สุดในแนวแกน y (แนวตั้ง) และสภาพพื้นผิวที่เกิดการสั่นสะเทือนมากที่สุดคือพื้นผิวขรุขระที่สุด ส่วนพื้นผิวหลังเต่า พื้นลูกระนาด พื้นผิวเรียบ มีขนาดขาดการสั่นสะเทือนลดลงตามลำดับ เมื่อทำการปรับปรุงโดยการติดตั้งแผ่นยางหนา 3 มิลลิเมตร ค่าการสั่นสะเทือนมีแนวโน้มลดลง

Project title : Design and Vibration testing of support motor parts
and battery of electric bicycle conversion

Name : Mr. Wichain Phanomvet ID 51380842

~~Mr. Ekachai Saithong ID 51380996~~

Mr. Ekaphot Tawee ID 51381009

Project advisor : Dr. Ananchai U-kaew

Major : Mechanical Engineering

Department : Mechanical Engineering

Academic year : 2011

Abstract

In this project, we first study design and build support motor parts and the storage battery of TRINX gear mountain bike 21 speed with front shock absorbers 26-inch aluminum frame. Next, we study and analysis of vibration by using a rubber sheet with a thickness of 3 mm. install the support motor parts with the motor and the storage battery with a bicycle and experiments with the flat surface road, the washboard surface, the cambered surface and the roughness surface with speed 15 kilometers per hour. Measure the vibrations of support motor parts and the storage battery using mobile phones to install Vibration program. Finally, we measure acceleration found that the vibration of support motor parts and the storage battery are a lot of vibration in the axis y (vertical) and surface of the vibration is the most roughness surface while the cambered surface, the washboard surface, the flat surface have a vibration decreased, respectively. When the update by installing a rubber thickness of 3 mm. we obtain that the vibration is likely to decline.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือในด้านการให้คำแนะนำในการทำโครงการจาก ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการให้คำปรึกษาแนะนำแก่ผู้ดำเนินโครงการตลอดมา คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณเพื่อนทุกท่านที่ช่วยเหลืองานด้านการทดลองภาคสนามจะกระทั่งโครงการประสบความสำเร็จและเรียบร้อยไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจสม่ำเสมอตลอดมา



คณะผู้จัดทำ

นายวิเชียร พนมเวสน์

นายเอกชัย สายทอง

นายเอกพจน์ ทวี

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญ (ต่อ).....	ฉ
สารบัญ (ต่อ).....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูป.....	ฌ
สารบัญรูป (ต่อ).....	ฎ
สัญลักษณ์.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของการดำเนินงาน.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ.....	3
1.7 อุปกรณ์ที่ใช้.....	4
1.9 งบประมาณ.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	5

2.1 การสันสะเทือนทางวิศวกรรม.....	5
2.2 การป้องกันการสันสะเทือน.....	8
2.3 อุปกรณ์ตรวจจับการสันสะเทือน.....	10
2.4 การวิเคราะห์สัญญาณ.....	17
<hr/>	
บทที่ 3 วิธีดำเนินการดำเนินโครงการ.....	19
3.1 การออกแบบโครงสร้างชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่.....	19
3.2 การวัดค่าการสันสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และ ที่เก็บแบตเตอรี่.....	27
3.3 ขั้นตอนการใช้โปรแกรมไวกอร์ชันบนโทรศัพท์มือถือ เพื่อเก็บค่าการสันสะเทือน.....	30
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	33
4.1 ลักษณะโดยทั่วไปในการทดลอง.....	33
4.2 ลักษณะการสันสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์.....	33
4.3 ลักษณะการสันสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่.....	38
4.4 แผนภูมิแสดงค่าการสันสะเทือนเฉลี่ยก่อนและหลังการปรับปรุง.....	44
บทที่ 5 สรุปผล.....	46
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	46
5.2 ปัญหาในการทำโครงการ.....	46
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	46
เอกสารอ้างอิง.....	47
ภาคผนวก.....	48
ภาคผนวก ก. ตารางคุณสมบัติของเหล็ก.....	49

ภาคผนวก ข. แบบขึ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่.....	53
ภาคผนวก ค. การทำการทดลอง.....	56
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	60



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ.....	3
--	---



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงกราฟการขจัด	7
รูปที่ 2.2 แสดงกราฟความเร็ว	8
รูปที่ 2.3 แสดงกราฟความเร่ง.....	8
รูปที่ 2.4 เครื่อง VIBROMETER	11
รูปที่ 2.5 เครื่อง ACCELEROMETER.....	11
รูปที่ 2.6 แสดงการติดตั้งของหัววัดการกระจัด	13
รูปที่ 2.7 แสดงหัววัดความเร็ว	13
รูปที่ 2.8 แสดงหัววัดความเร่ง	14
รูปที่ 2.9 ความแตกต่างระหว่าง SENSOR สองชนิดนี้.....	15
รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างหลักการทำงานของสปริง.....	15
รูปที่ 2.11 หลักการของ GYROSCOPE.....	16
รูปที่ 2.12 สัญญาณในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่.....	18
รูปที่ 3.1 ตำแหน่งการติดตั้งชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์	19
รูปที่ 3.2 ลักษณะโครงจักรยานและลักษณะการติดตั้งมอเตอร์	21
รูปที่ 3.3 การออกแบบชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์โดยใช้โปรแกรม SOLID WORK	22
รูปที่ 3.4 ชิ้นงานชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์จริง	22
รูปที่ 3.5 การติดตั้งชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์	22
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งติดตั้งที่เก็บแบตเตอรี่.....	23
รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะการติดตั้งที่เก็บแบตเตอรี่	25
รูปที่ 3.8 การออกแบบที่เก็บแบตเตอรี่โดยใช้โปรแกรม SOLID WORK.....	25
รูปที่ 3.9 การสร้างชิ้นงานโดยการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมอาร์กอน.....	26
รูปที่ 3.10 การตกแต่งชิ้นงานด้วยเครื่องเจียรก่อนนำชิ้นงานไปพ่นสี	26
รูปที่ 3.11 ชิ้นงานที่เก็บแบตเตอรี่จริง.....	26
รูปที่ 3.12 ตำแหน่งการติดตั้งที่เก็บแบตเตอรี่และยึดด้วยน็อต	27
รูปที่ 3.13 แสดงภาพของโปรแกรมที่ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือน.....	27
รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ .	29

รูปที่ 3.15 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่.....	29
รูปที่ 3.16 แสดงหน้าต่างโปรแกรมไวยเบรชั่น.....	30
รูปที่ 3.17 แสดงหน้าต่างการตั้งค่าความถี่และเวลา.....	30
รูปที่ 3.18 แสดงหน้าต่างเริ่มต้นการเก็บค่าการสั่นสะเทือน.....	30
รูปที่ 3.19 แสดงหน้าต่างกราฟโดเมนของเวลา.....	31
รูปที่ 3.20 แสดงหน้าต่างกราฟโดเมนของความถี่.....	31
รูปที่ 3.21 แสดงหน้าต่างการส่งข้อมูลไปยังอีเมลแอดเดรส.....	32
รูปที่ 3.22 แสดงข้อมูลของการสั่นสะเทือน.....	32
รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ ขณะรถจักรยานเคลื่อนที่บนถนนพื้นเรียบ.....	34
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ ขณะรถจักรยานเคลื่อนที่บนพื้นลูกระนาด.....	35
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ ขณะรถจักรยานเคลื่อนที่บนพื้นหลังเต่า.....	37
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ ขณะรถจักรยานเคลื่อนที่บนพื้นขรุขระ.....	38
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ เคลื่อนที่บนถนนเรียบ.....	39
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ ขณะเคลื่อนที่บนพื้นลูกระนาด.....	41
รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ ขณะเคลื่อนที่บนพื้นหลังเต่า.....	42
รูปที่ 4.8 ลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะเคลื่อนที่บนพื้นขรุขระ.....	43
รูปที่ 4.9 แผนภูมิแสดงค่าการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ กับที่เก็บแบตเตอรี่แนวแกน x.....	44
รูปที่ 4.10 แผนภูมิแสดงค่าการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ กับที่เก็บแบตเตอรี่แนวแกน y.....	44
รูปที่ 4.11 แผนภูมิแสดงค่าการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ กับที่เก็บแบตเตอรี่แนวแกน z.....	45

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
σ_a	ความทนแรงดึงที่จุดใช้งาน	N/mm^2
σ_y	ความทนแรงดึงที่จุดล้าตัว	N/mm^2
FS	ค่าความปลอดภัย	-
M	โมเมนต์ดัด	N.m
S	โมดูลัสหน้าตัด	m^3
w	แรงเฉื่อย	N/m
x	ระยะกว้าง	m



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันปัญหาทางด้านพลังงานเริ่มมีความรุนแรงมาก เนื่องจากมีการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองประกอบกับราคาของพลังงานเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น เนื่องจากทรัพยากรธรรมชาติทางด้านพลังงานลดลงอย่างรวดเร็วและมีแนวโน้มที่จะหมดลงในอนาคตอันใกล้จึงมีการคิดค้นหาวิธีแก้ปัญหาทางด้านพลังงานหลายวิธีและหนึ่งในวิธีนั้นคือการใช้พลังงานไฟฟ้า เพราะเป็นพลังงานที่สะอาด พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั่วไปอย่างเห็นได้ชัดคือการใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนยานพาหนะ หลักการของมอเตอร์คือเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลจึงมีการสร้างยานพาหนะที่ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน เช่น รถยนต์ไฟฟ้า รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า รถจักรยานไฟฟ้า

ด้วยเหตุดังกล่าวจึงมีการสร้างรถจักรยานไฟฟ้า เนื่องจากมีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนจักรยานสามารถทนแรงจากการปั่นและใช้แทนรถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมันได้โดยไม่ต้องสร้างมลพิษและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมนอกจากนี้ยังมีราคาที่ไม่สูงมาก ซึ่งสอดคล้องกับการประหยัดพลังงาน

อย่างไรก็ตามจักรยานไฟฟ้ายังมีจุดด้อยคือ อุปกรณ์ที่ติดตั้งได้แก่มอเตอร์และแบตเตอรี่มีความไม่คงทนเมื่อใช้งานเป็นเวลานานเนื่องจากปัญหาการสั่นสะเทือนขณะเคลื่อนที่อยู่บนถนนของรถ รวมทั้งปัญหาการสั่นสะเทือนที่มาจากตัวมอเตอร์ซึ่งเป็นอันตรายเมื่อใช้งานเป็นเวลานาน

จากปัญหาดังกล่าว เราจึงเห็นความสำคัญเรื่องการสั่นสะเทือนของรถจักรยานไฟฟ้าจึงมีการสร้างขึ้นส่วนที่ใช้รองรับมอเตอร์และแบตเตอรี่ที่มีความเหมาะสมกับรถจักรยาน รวมทั้งศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนของรถจักรยานและหาวิธีลดการสั่นสะเทือน โดยมีแนวคิดคือ ใช้แผ่นยางติดตั้งเข้าไประหว่างชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์กับตัวมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่กับตัวรถจักรยานเพื่อลดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อออกแบบและสร้างชิ้นส่วนที่ใช้รองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่
- 2) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่

1.3 ขอบเขตของการดำเนินงาน

ออกแบบและสร้างชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่ของจักรยานเสือภูเขา TRINX เกียร์ 21 สปีด มีโชคอัพหน้า โครงอลูมิเนียม ล้อขนาด 26 นิ้ว รวมทั้งศึกษาและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน โดยทำการทดลองด้วยการติดตั้งชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่กับตัว

จักรยานทดลองกับถนนพื้นเรียบ พื้นลูกระนาด พื้นหลังเต่าและพื้นผิวขรุขระด้วยความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยติดตั้งแผ่นยางรองหนา 3 มิลลิเมตร รองระหว่างชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์กับตัวมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่กับตัวรถจักรยาน เพื่อลดการส่งผ่านการสั่นสะเทือนไปยังชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์กับที่เก็บแบตเตอรี่

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถออกแบบและสร้างชิ้นส่วนที่ใช้รองรับมอเตอร์และแบตเตอรี่ได้
- 2) ทราบลักษณะการสั่นสะเทือนและสามารถลดการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่ได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ออกแบบและสร้างชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่
 - 2) ศึกษาเรื่องการสั่นสะเทือนและอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน (Accelerometer)
 - 3) ศึกษาและทดลองวัดการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่กับจักรยานเสือภูเขา TRINX เกียร์ 21 สปีดมิโซคัพหน้า โครมอลูมิเนียม ล้อขนาด 26 นิ้ว โดยทำการทดลองวิ่งบนพื้นถนนเรียบ พื้นลูกระนาด พื้นหลังเต่าและพื้นผิวขรุขระด้วยความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- เงื่อนไขในการทดลองมีดังนี้
- 3.1) วัดการสั่นสะเทือนใน 3 แนวแกน
 - ตามแนวยาวของรถ (x)
 - ตามแนวตั้งของรถ (y)
 - ตามแนวขวางของรถ (z)
 - 3.2) ตำแหน่งของการวัด
 - ชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ที่ติดตั้งบริเวณล้อหลัง
 - ที่เก็บแบตเตอรี่ที่ติดตั้งบริเวณล้อหลังของรถจักรยาน
 - 3.3) สภาพพื้นผิวที่ทำการทดลอง
 - พื้นเรียบ พื้นลูกระนาด พื้นหลังเต่าพื้นขรุขระ
 - 4) วิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่วัดได้เพื่อหาขนาดของการสั่นสะเทือนและความถี่
 - 5) วิเคราะห์ผล สรุป และ จัดทำรายงาน

1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและระยะเวลาในการปฏิบัติงาน (Gantt chart)

การดำเนินงาน	พ.ศ.2554							พ.ศ.2555		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาการสิ้นสละเทียนและเครื่องมือวัด										
2.ออกแบบชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และแปดเตอร์										
3.สร้างชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และแปดเตอร์										
4.ติดตั้งชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และแปดเตอร์กับตัวจักรยาน										
5.ทดลองโดยใช้เครื่องมือวัด										
6.ศึกษาและหาวิธีลดการสิ้นสละเทียน										
7.ติดตั้งแผ่นยางและทำการทดลอง										
8.รวบรวมค่าที่ได้จากการทดลองและวิเคราะห์ผล										
9.สรุปผลการทดลองและทำรายงาน										

1.7 อุปกรณ์ที่ใช้

- 1) โทรศัพท์มือถือติดตั้งโปรแกรม ไลน์เบอร์ชั้น
- 2) คอมพิวเตอร์
- 3) เครื่องเชื่อมอาร์กอน
- 4) เครื่องเจาะ
- 5) เครื่องเจียร
- 6) เครื่องมือช่าง

1.8 งบประมาณ

เหล็กฉากขนาด 22 mm. x 2.5 mm .x 6m.	210 บาท
เหล็กแบน 19 mm. x 2 mm. x 6 m.	185 บาท
เหล็กแผ่น 300 mm. x 300 mm. x 3mm.	270 บาท
แผ่นยางขนาดหนา 3 mm.	200 บาท
น็อตขนาด M6 จำนวน 10 ตัว	40 บาท
สีกะป๋อง	150 บาท
เคเบิลไทร์	100 บาท
รวม	1,155 บาท

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสั่นสะเทือนทางวิศวกรรม การป้องกันการสั่นสะเทือนและแนว
ทางการลดการสั่นสะเทือนโดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การสั่นสะเทือนทางวิศวกรรม

การสั่นสะเทือนของวัตถุต่างๆเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นพร้อมกับการถือกำเนิดของโลกใบนี้ การสั่นสะเทือนของวัตถุต่างๆที่เกิดขึ้น มีทั้งที่ก่อให้เกิดประโยชน์และเป็นที่ต้องการ เช่นการสั่นของเส้นเสียงของมนุษย์และสัตว์สำหรับใช้ในการติดต่อสื่อสารหรือการสั่นของเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสายหรือกลอง เป็นต้น ขณะเดียวกันจะมีการสั่นสะเทือนบางอย่างที่ทำให้เกิดโทษและไม่เป็นที่ต้องการ เช่นการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร หรือการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว ซึ่งอาจทำให้เกิดการเสียหายได้

การศึกษาเรื่องการสั่นสะเทือนทางวิศวกรรม เป็นการศึกษาเพื่อให้วิศวกรมีความเข้าใจถึงการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆของโครงสร้างหรือของเครื่องจักรว่ามีคุณลักษณะเป็นอย่างไร วิธีการหลีกเลี่ยงหรือป้องกันการสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเสียหายมีวิธีการอย่างไร รวมถึงการวัดและการควบคุมการสั่นสะเทือนที่อาจเกิดขึ้นในชิ้นส่วนต่างๆของโครงสร้างหรือเครื่องจักรด้วย

การแบ่งประเภทของการสั่นสะเทือนสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ดังนี้

2.1.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระและการสั่นสะเทือนแบบบังคับ

1) การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free vibration) หมายถึงการสั่นสะเทือนของระบบในลักษณะที่หลังจากมีการรบกวนระบบที่หยุดนิ่งอยู่ที่จุดสมดุลครั้งแรกเพื่อให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นแล้วการสั่นสะเทือนนั้นดำเนินต่อไปโดยไม่มีแรงจากภายนอกมากระทำกับระบบอีกเลย การรบกวนระบบอาจจะเป็นการทำให้เกิดการขจัดเบื้องต้นหรือทำให้เกิดความเร็วเริ่มต้นหรือทั้งสองแบบรวมกันก็ได้

2) การสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Forced vibration) หมายถึงการสั่นสะเทือนของระบบภายใต้แรงกระทำจากภายนอกซึ่งแรงจากภายนอกนี้อาจเป็นแรงในลักษณะซ้ำตัวเองหรือไม่ซ้ำตัวเองก็ได้ การสั่นสะเทือนในลักษณะนี้ก็เช่นการสั่นเนื่องจากความไม่สมดุลของเครื่องจักรที่เกิดจากการหมุน สิ่งหนึ่งที่เรารู้พบกับการสั่นสะเทือนแบบบังคับก็คือการหาความถี่ของแรงกระทำกับระบบนั้นไปพ้องกับความถี่ธรรมชาติของระบบพอดิศัยการสั่นที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะที่มีช่วงกว้างการสั่นที่สูงมาก เราเรียกการสั่นสะเทือนในลักษณะนี้ว่า การสั่นพ้อง (Resonance) ซึ่งผลของการสั่นพ้องนี้มักจะทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างที่กำลังเกิดการสั่นอยู่ ดังนั้นในการออกแบบวิศวกรรมมักจะหลีกเลี่ยง

การเกิดการสั่นพ้องของระบบยกเว้นในระบบที่ต้องการให้เกิดการสั่นมากๆเช่นลำโพงขนาดใหญ่เป็นต้น

2.1.2 การสั่นสะเทือนแบบมีความหน่วงและไม่มีความหน่วง

1) การสั่นสะเทือนแบบไม่มีความหน่วง (Undamped vibration) หมายถึงการ

สั่นสะเทือนที่ไม่มีการสูญเสียพลังงานให้กับสิ่งแวดล้อมของระบบ ไม่ว่าจะอยู่ในรูปแรงเสียดทานหรือแรงต้านทานอื่นใด ซึ่งเมื่อระบบเคลื่อนที่แบบไม่มีความหน่วงจะทำให้เกิดพลังงานรวมของระบบในระหว่างการเคลื่อนที่ที่มีค่าคงที่การสั่นที่ไม่มีความหน่วงของระบบในความเป็นจริงจะเกิดขึ้นได้ในอวกาศเท่านั้นเพราะวัตถุที่เกิดการเคลื่อนที่โดยทั่วไปแล้วจะเกิดการสูญเสียพลังงานบ้างอย่างน้อยที่สุดก็จะสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานกับอากาศรอบข้าง สำหรับระบบที่เกิดการสั่นสะเทือนแบบไม่มีความหน่วงและเป็นการสั่นสะเทือนแบบอิสระ ความถี่ของการสั่นของระบบจะเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ(Natural frequency) ซึ่งความถี่นี้ถือว่าเป็นปริมาณที่มีความสำคัญมากในการออกแบบเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์หรือโครงสร้าง

2) การสั่นสะเทือนแบบมีความหน่วง (Damped vibration) หมายถึงการ

สั่นสะเทือนที่เกิดการสูญเสียพลังงานในระหว่างเกิดการเคลื่อนที่ของระบบไม่ว่าจะมาจากสาเหตุใดก็ตาม ซึ่งเป็นผลทำให้พลังงานรวมของระบบมีค่าลดลง โดยทั่วไปแล้วการสั่นสะเทือนตามสภาพความเป็นจริงนั้นจะเป็นการสั่นสะเทือนแบบมีความหน่วงแทบทั้งสิ้น

2.1.3 การสั่นสะเทือนแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น

1) การสั่นสะเทือนแบบเชิงเส้น (Linear vibration) หมายถึงระบบของการ

สั่นสะเทือนซึ่งประกอบด้วยมวล สปริงและตัวหน่วง มีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงค่าของแรงกระทำไปอย่างเชิงเส้นกับระยะทางหรือความเร็วของพิกัดที่ใช้

2) การสั่นสะเทือนแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear vibration) หมายถึงมีปริมาณใด

ปริมาณหนึ่งของระบบเปลี่ยนแปลงไม่เป็นเชิงเส้นกับระยะทางหรือความเร็วซึ่งความแตกต่างของการสั่นสะเทือนทั้งสองแบบนี้ก็คือ สมการการเคลื่อนที่จะได้เป็นสมการอนุพันธ์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น (Linear และ Nonlinear Differential Equation) ตามลำดับ ซึ่งผลที่ตามมาคือการแก้สมการอนุพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นนั้นจะมีความยุ่งยากมากกว่าแบบที่ไม่เชิงเส้นมาก

นอกเหนือจากนั้นแล้ว หากการสั่นสะเทือนเป็นการสั่นสะเทือนเชิงเส้นจะทำให้เราไม่สามารถใช้หลักการของการรวมตำแหน่ง (Principle of Superposition) ซึ่งหลายๆกรณีจะช่วยลดความยุ่งยากในการคำนวณลงไปได้มาก แต่สำหรับการสั่นสะเทือนไม่เชิงเส้นนั้นเราจะใช้หลักการดังกล่าวไม่ได้

2.1.4 การสั่นสะเทือนแบบกำหนดได้และการสั่นสะเทือนแบบสุ่ม

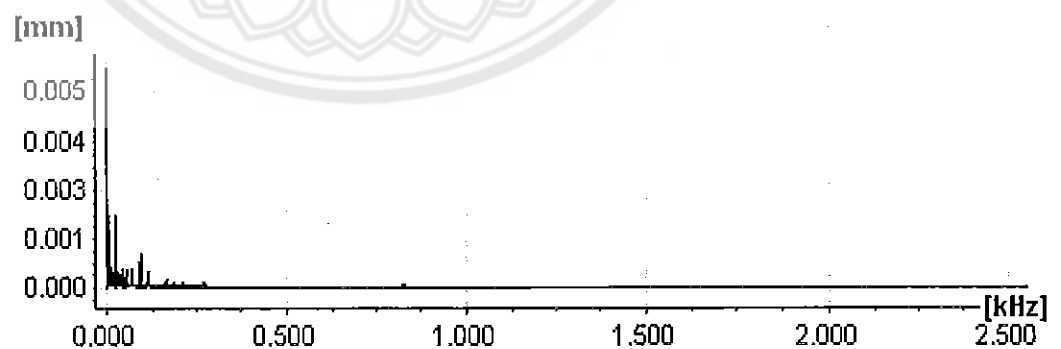
1) การสั่นสะเทือนแบบกำหนดได้ (Deterministic vibration) หมายถึงระบบเกิดการสั่นสะเทือนอยู่ภายใต้แรงกระทำจากภายนอกลักษณะใดก็ตาม ถ้าหากว่าตลอดเวลาที่แรงกระทำอยู่นั้นเราสามารถกำหนดขนาดของแรงได้หรือทราบค่าความสัมพันธ์ของแรงซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลาที่แรงนั้นกระทำเราจึงเรียกรวมแรงกระทำนั้นว่า แรงที่กำหนดค่าได้ (Deterministic force) ซึ่งผลของแรงนี้จะทำให้เกิด การสั่นสะเทือนแบบกำหนดได้ (Deterministic vibration)

2) การสั่นสะเทือนแบบสุ่ม (Random vibration) หมายถึงแรงที่กระทำต่อระบบไม่สามารถกำหนดขนาดที่เวลาใดๆได้อย่างแน่นอนเราเรียกรวมแรงแบบนี้ว่าแรงแบบสุ่ม (Undeterministic หรือ Random force) และการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่เกิดจากแรงดังกล่าวจะเรียกว่า การสั่นสะเทือนแบบสุ่ม(Random vibration)

2.1.5 ขนาดของการสั่นสะเทือน (Amplitude)

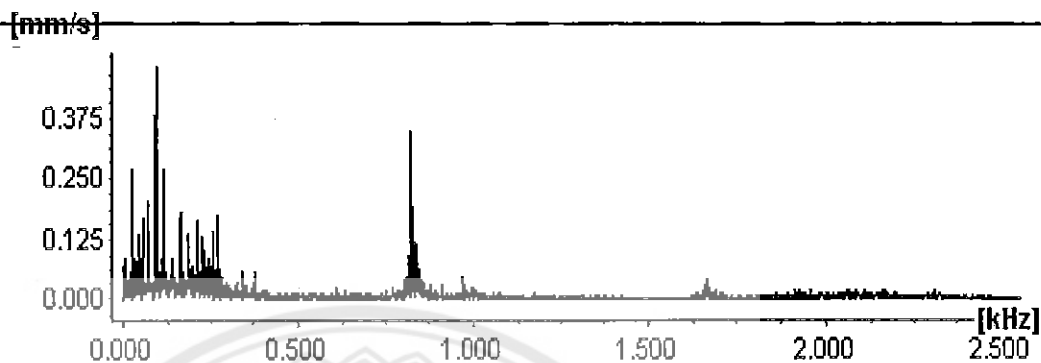
การที่จะบอกถึงระดับความรุนแรงของเครื่องจักรนั้น จะอาศัยการบอกเป็นขนาดของการสั่นสะเทือน ถ้าขนาดของการสั่นสะเทือนมีค่าเพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับภาวะปกติแสดงว่าเครื่องจักรนั้นเริ่มมีปัญหา ซึ่งขนาดของการสั่นสะเทือนที่ใช้ในปัจจุบันและเป็นที่ยอมรับกันมากที่สุดมีอยู่ 3 แบบคือ

1) การขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่ (Displacement) หมายถึงระยะการเคลื่อนที่ของวัตถุ หรือมวลจากจุดสมดุลเคลื่อนที่ไปสู่จุดที่สูงสุดแล้วเคลื่อนที่ไปสู่จุดที่ต่ำสุด (Peak to Peak) ซึ่งเป็น ค่าระยะทางทั้งหมดที่วัตถุเคลื่อนที่จากจุดสูงสุดไปสู่จุดต่ำสุดในแต่ละรอบของการเคลื่อนที่ของวัตถุ นั้นๆ



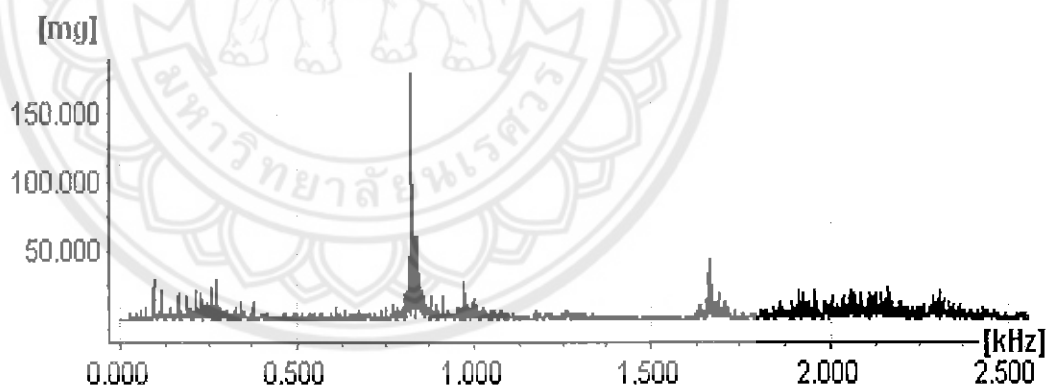
รูปที่ 2.1 แสดงกราฟการขจัด

2) ความเร็ว (Velocity) หมายถึงความเร็วของการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุ วัตถุ จะมีความเร็วเป็นศูนย์เมื่อเคลื่อนที่อยู่จุดสูงสุดและต่ำสุด และมีความเร็วสูงสุดในขณะที่เคลื่อนที่ ผ่านจุดสมดุล ซึ่งค่าการขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่มีความสัมพันธ์กับความเร็ว



รูปที่ 2.2 แสดงกราฟความเร็ว

3) ความเร่ง (Acceleration) หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุ ในขณะที่ วัตถุที่เคลื่อนที่กลับไปกลับมา โดยจะมีค่าสูงสุดเมื่ออยู่ในตำแหน่งสูงสุดและต่ำสุดเมื่อผ่านจุดสมดุล



รูปที่ 2.3 แสดงกราฟความเร่ง

2.2 การป้องกันการสั่นสะเทือน

ในองค์ประกอบต่างๆของเครื่องจักรกลและโครงสร้างมักจะมีส่วนที่ทำให้เกิดการสั่นมากมาย ไม่ว่าจะเป็นการสั่นอันเนื่องมาจากการหมุนของส่วนประกอบต่างๆการกระแทกของเครื่องจักร การเคลื่อนที่ไปมาของชิ้นส่วนของเครื่องจักร การไหลผ่านของของเหลวผ่านโครงสร้างของเครื่องจักร เป็นต้น ดังนั้นเมื่อมีแหล่งกำเนิดแรงกระทำเหล่านี้ก็จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรหรือโครงสร้างตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การสั่นสะเทือนของระบบดังกล่าวอาจจะนำมาซึ่งความเสียหายของระบบเอง หรือหากในกรณีวิกฤติก็อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสียชีวิตของผู้ใช้เครื่องจักรเหล่านั้นได้

เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นในระบบบางครั้งหากว่าการสั่นสะเทือนนั้นไม่ได้ทำให้เกิดความสูญเสีย การเสียหายหรือทำความรำคาญกับผู้ใช้มากนัก เราอาจยอมให้เกิดการสั่นเหล่านั้น แต่เมื่อใดก็ตามการสั่นสะเทือนมีความรุนแรง สร้างเสียงดัง ทำให้ผู้ใช้ตกอยู่ในสภาพการทำงานที่ไม่เหมาะสมหรืออาจเป็นอันตรายได้ วิศวกรมีหน้าที่ต้องการลดการสั่นสะเทือนนั้นให้อยู่ในสภาพที่ยอมรับได้

วิธีการลดหรือควบคุมการสั่นสะเทือนให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยหลักการแล้วจะมีวิธีหลักๆอยู่ดังต่อไปนี้

2.2.1 การควบคุมความถี่ธรรมชาติของระบบ

ถ้าหากว่าความถี่ของแรงกระทำนี้มีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบ การสั่นพ้องจะเกิดขึ้น ลักษณะสำคัญของการสั่นพ้องก็คือขนาดของการสั่นสะเทือนจะสูงขึ้นมาก แม้ว่าขนาดของแรงกระทำจะมีค่าไม่มากก็ตามในระบบของเครื่องจักรหรือโครงสร้างต่าง ๆ นั้นการขจัดที่เกิดขึ้นในขนาดที่มากนั้นเป็นสิ่งที่เราไม่ต้องการ เพราะอาจนำมาซึ่งความเค้นและความเครียดที่สูงซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายได้ไม่ว่าเป็นกรณีของการวิบัติโดยทันทีหรือการวิบัติเนื่องจากความล้า ดังนั้นเราจำเป็นต้องกำจัดการสั่นที่ไม่ต้องการเหล่านั้นออกไป อย่างไรก็ตามในกรณีส่วนใหญ่แล้วเราไม่สามารถที่จะเข้าไปเปลี่ยนแปลงความถี่ของแรงภายนอกที่กระทำได้มากนักเพราะโดยส่วนใหญ่รูปแบบการทำงานของเครื่องจักรเหล่านั้นถูกกำหนดขึ้นอย่างแน่นอนเปลี่ยนแปลงได้ยาก ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติของอุปกรณ์หลักของเราเพื่อที่จะป้องกันการสั่นพ้อง

2.2.2 การเพิ่มตัวหน่วง

การพิจารณาระบบการสั่นสะเทือนบางครั้งเราจะตัดค่าความหน่วงของระบบออกจากการพิจารณาเพื่อช่วยให้การพิจารณาของระบบการสั่นง่ายขึ้น โดยเฉพาะกรณีที่เรสนใจที่จะหาค่าความถี่ธรรมชาติของการสั่น แต่ในความเป็นจริงแล้วระบบจะมีตัวหน่วงประกอบอยู่ด้วยไม่มากนัก การที่เรามีตัวหน่วงอยู่ในระบบนั้นในทางปฏิบัติถือว่ามีความประโยชน์อยู่หลายประการ เช่น โชคอัพของรถยนต์จะช่วยลดการสั่นและเพิ่มความนิ่มนวลในการขับขี่ เป็นต้น

2.2.3 อุปกรณ์ลดการสั่นสะเทือน

การที่เครื่องจักรทำงานในสภาพต่างๆไปเป็นไปได้ที่เครื่องจักรอาจจะเกิดการสั่นอย่างรุนแรงขึ้นได้บ้างในบางรอบการทำงานของเครื่องซึ่งผลส่วนใหญ่มาจากการหมุนแบบไม่สมดุลของชิ้นส่วนต่างๆ จากนั้นแรงจากการสั่นสะเทือนนี้จะส่งผลกระทบมาที่ฐานติดตั้งและแรงที่ส่งผ่านกระทำมาที่ฐานนี้จะทำให้ฐานเกิดการเสียหายอีกกรณีหนึ่งคือถ้าเราติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ากับ

ชิ้นส่วนซึ่งมีการสั่นสะเทือนมากๆ อุปกรณ์เหล่านั้นอาจจะเกิดการเสียหายจากการสั่นสะเทือนได้เช่นกัน

วิธีการป้องกันการสั่นสะเทือนที่เกิดกับฐานหรืออุปกรณ์ที่เราไม่ให้เกิดการสั่นอย่างรุนแรงคือการใช้เครื่องลดการสั่นสะเทือนแบบฉนวนการสั่น (Vibration isolation) โดยหลักการแล้วเครื่องลดการสั่นสะเทือนประเภทนี้ประกอบด้วยสปริงและตัวหน่วง ที่นำเข้าไปแทรกระหว่างส่วนที่เกิดการสั่นและส่วนที่เราไม่ต้องการให้เกิดการสั่น ทำให้อุปกรณ์นี้เป็นเสมือนฉนวน (Isolator) ของการสั่น สำหรับวิศวกรแล้วการออกแบบเครื่องลดการสั่นสะเทือนแบบฉนวนการสั่นประเภทนี้มักจะเป็นการศึกษาถึงการเลือกเครื่องลดการสั่นสะเทือนที่เหมาะสม ซึ่งนั่นก็คือการเลือกค่าความแข็งของสปริงและค่าความหน่วงที่เหมาะสมกับระบบนั่นเอง

ในทางปฏิบัติเราสามารถที่จะเลือกผลิตภัณฑ์ลดการสั่นที่จัดทำสำเร็จรูปได้ซึ่งมีผู้ผลิตหลายรายด้วยกันซึ่งมีทั้งแบบตายตัว (Passive isolator) คือจะมีเฉพาะสปริงและตัวหน่วงที่มีค่าคุณสมบัติคงที่และแบบปรับค่าได้ (Active isolator) คือจะมีเครื่องมือวัดในตัวเพื่อปรับค่าความหน่วงและค่าความแข็งของสปริงด้วย

2.2.4 เครื่องซบการสั่นสะเทือน

เป็นตัวป้องกันการสั่นสะเทือนจากอุปกรณ์ที่สั่นลงสู่พื้นหรือจากพื้นที่สั่นสู่อุปกรณ์ แต่ถ้าหากว่าอุปกรณ์ที่เราต้องการจะป้องกันการสั่นสะเทือนนั้นเป็นตัวก่อการสั่นเราจะลดการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์นั้นโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าเครื่องซบการสั่นสะเทือน (Vibration absorbers) ลักษณะการทำงานของเครื่องซบการสั่นสะเทือนก็คืออุปกรณ์หลักของเราติดตั้งอยู่เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นเมื่อเราติดตั้งเครื่องซบการสั่นสะเทือนนี้เข้ากับอุปกรณ์หลัก เครื่องซบการสั่นสะเทือนนี้จะดูดกลืนการสั่นสะเทือนไปทำให้เครื่องซบการสั่นสะเทือนนี้จะเป็นตัวที่เกิดการสั่นสะเทือนแทน และอุปกรณ์หลักจะมีการสั่นสะเทือนน้อยลงหรือหยุดการสั่น การที่จะเกิดลักษณะการซบการสั่นสะเทือนจากอุปกรณ์หลักไปเช่นนี้ได้มันเราจะต้องติดตั้งเครื่องซบการสั่นสะเทือนที่มีความถี่ธรรมชาติที่เหมาะสมเข้ากับอุปกรณ์หลักของเรา

2.3 อุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือน

เมื่อเราใช้ทรานสดิวเซอร์ร่วมกับอุปกรณ์อื่นใดก็ตามเพื่อใช้วัดการสั่นสะเทือน เรานิยมเรียกอุปกรณ์นั้นว่าอุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือน (Vibration pickup) โดยทั่วไปอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับการสั่นสะเทือนที่นิยมใช้จะเป็นประเภท seismic instrument โดยอุปกรณ์ seismic นี้จะประกอบไปด้วยระบบ มวล-สปริง-ตัวหน่วงติดตั้งบนส่วนที่เกิดการสั่นสะเทือน จากนั้นการขจัด ความเร็วหรือความเร่งของชิ้นส่วนที่เครื่องวัดติดตั้งอยู่ จะสามารถหาได้จากการวัดการขจัดของมวลที่อยู่ภายในสัมพันธ์กับฐานที่อุปกรณ์นี้ติดตั้งอยู่

สำหรับเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบต่างๆที่ใช้หลักการของอุปกรณ์ seismic จะมีดังต่อไปนี้

1) Vibrometer

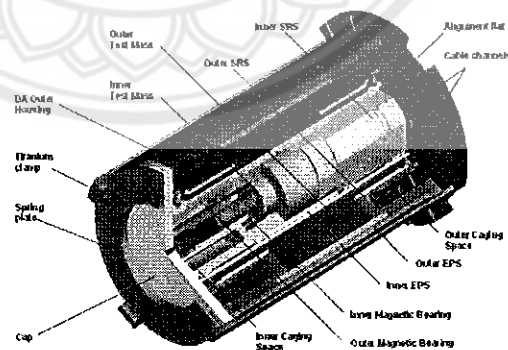
Vibrometer (ดังรูปที่2.4) หรือเป็นที่รู้จักในอีกชื่อหนึ่งว่า Seismometer เป็นเครื่องมือใช้วัดการขจัดของวัตถุที่เกิดการสั่นสะเทือน และใช้หาการขจัดสัมพัทธ์ระหว่างมวลและฐาน ซึ่งรับความรู้สึกผ่านเซนเซอร์



รูปที่ 2.4 เครื่อง vibrometer (<http://www.eastern-energy.net/product-th>)

2) Accelerometer

อุปกรณ์วัดความเร่ง (รูปที่2.5) คือเครื่องมือที่ใช้วัดความเร่งที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เครื่องวัดความเร่งนี้มีการนำไปใช้กันอย่างกว้างขวางไม่ว่าจะในโทรศัพท์มือถือถึงรวมถึงการวัดค่าแผ่นดินไหวด้วย เมื่อเราใช้เครื่องวัดความเร่งนี้วัดและบันทึกค่าความเร่งนี้วัดและบันทึกค่าความเร่งที่เกิดขึ้นได้แล้วเราสามารถหาค่าความเร็วและการขจัดได้



รูปที่ 2.5 เครื่อง accelerometer (<http://bme231metrology.blogspot.com>)

หัววัดการสั่นสะเทือน

หัววัดการสั่นสะเทือน (Transducer) ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณทางกล (สัญญาณการสั่นสะเทือน) เช่น การกระจัด ความเร็ว ความเร่ง ให้กลายเป็นปริมาณทางไฟฟ้าที่สามารถตรวจจับได้ เช่น กระแสไฟฟ้า หรือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า ปริมาณทางไฟฟ้าเหล่านี้จะถูกนำไปเก็บในอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Vibration Analyzer) แล้วส่งข้อมูลที่เก็บเหล่านั้นสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้โปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลการสั่นสะเทือนต่อไป

ประเภทของหัววัดสัญญาณการสั่นสะเทือน

โดยทั่วไปแล้วการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนจะทำการวัดออกมาในปริมาณของการกระจัด (Displacement) ความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) ซึ่งในงานการวัดการสั่นสะเทือน จะแบ่ง Transducer ออกเป็นสามประเภทด้วยกัน คือ

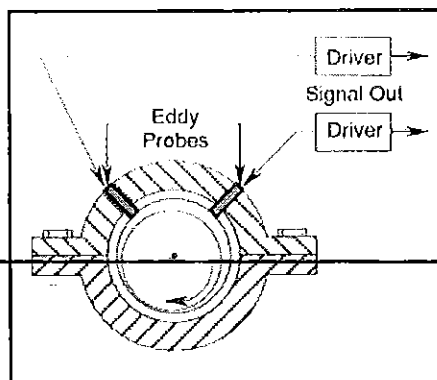
หัววัดการกระจัด (Displacement Probe)

หัววัดความเร็ว (Velocity Probe)

หัววัดความเร่ง (Accelerometers)

หัววัดการกระจัด (Displacement Probe)

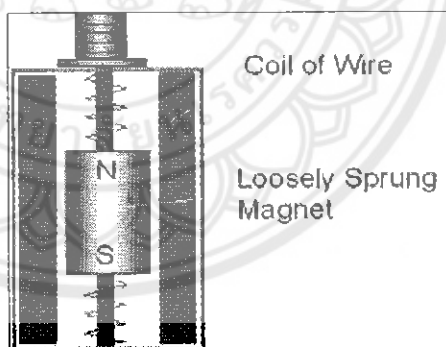
หัววัดแบบนี้ใช้กับการวัดการเคลื่อนที่ของเพลลาหมุน หรือเพลลาหยุดนิ่งสำหรับระบบของการวัด มีส่วนประกอบหลักๆ คือ เพลลาหมุนที่ต้องการวัดการเคลื่อนที่ หัว Proximity Probe สายสัญญาณจากหัววัดมาที่ตัวขับ (Driver หรือ Oscillator-Demodulator) ต่อจากนั้นจะส่งสัญญาณเข้าสู่อุปกรณ์การเก็บสัญญาณ อุปกรณ์การแสดงค่าแบบ On-line หรือจะเป็น Vibration Analyzer ก็ได้ สำหรับหลักการทำงานจะอาศัยการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กระหว่างหัววัด กับ ชิ้นส่วนที่ต้องการวัด กล่าวคือ สัญญาณความถี่สูงจาก Driver สร้างสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นที่ Transducer โดยความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับแรงดัน โดย Output จะถูกส่งออกมาในรูปของ DC Voltage ซึ่งแทนความแรงของสนามแม่เหล็ก เมื่อสนามแม่เหล็กส่งผ่านไปยังผิวของวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้า จะเกิดกระแสไหลวนขึ้นมาบนพื้นผิวดำนำ แล้วทำให้เกิดสนามแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กเดิมซึ่งจะมีผลทำให้สนามแม่เหล็กเดิม ถูกหักล้างซึ่งทำให้สนามแม่เหล็กรวมมีค่าลดลง มีผลทำให้ค่า DC Voltage Output มีค่าลดลง ยิ่งผิวของเพลลาอยู่ใกล้กับ Probe มากขึ้นเท่าใด กระแสไหลวนจะเกิดมากขึ้น มีผลทำให้ DC Voltage Output น้อยลงตามไปด้วย



รูปที่ 2.6 แสดงการติดตั้งของหัววัดการกระจัด (Displacement Probe)

สำหรับหัววัดแบบ Proximity Probe นั้น สามารถใช้ได้กับโลหะที่นำไฟฟ้าตั้งแต่ Aluminum ถึง Steel สำหรับระบบหัววัดแบบ Proximity Probe โดยทั่วไปแล้วจะมีช่วงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของ DC Voltage Output กับระยะห่างของหัววัดกับเพลลาหมุนแบบเป็นเชิงเส้นที่ระยะ 0.25-2.5 mm และสามารถจับสัญญาณตั้งแต่ความถี่ต่ำไปถึงความถี่ที่มากกว่า 10 kHz ได้

หัววัดความเร็ว (Velocity Probe)



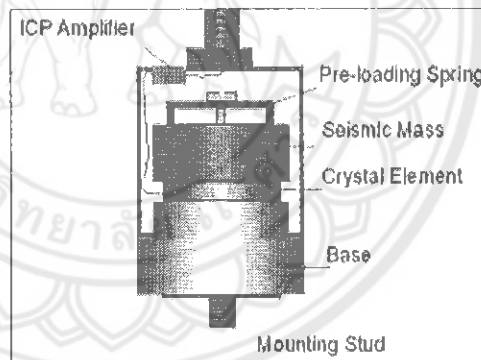
รูปที่ 2.7 แสดงหัววัดแบบความเร็ว (Velocity Probe)

หัววัดแบบความเร็ว (Velocity Probe) จะประกอบด้วย มวลที่เป็นแม่เหล็กถาวร ซึ่งจะถูกแขวนไว้กับสปริงและถูกล้อมรอบด้วยขดลวดไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.7 เมื่อหัววัดถูกทำให้สั่นสะเทือน จะทำให้มวลที่เป็นแม่เหล็กถาวร เคลื่อนที่สั่นขึ้นลง ซึ่งจะไปตัดผ่านขดลวด (Coil of Wire) ทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเปลี่ยนแปลง สนามแม่เหล็กจึงเกิดการเปลี่ยนแปลง ก็จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวด ซึ่งปริมาณของกระแสที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นมาจะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของมวลที่เคลื่อนที่ตัดผ่านเส้นฟลักซ์แม่เหล็ก จะเห็นได้ว่า หัววัดแบบ

ความเร็วแบบนี้ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ด้วยตัวของหัววัดเอง โดยไม่ต้องการแหล่งจ่ายจากภายนอก จึงสามารถป้อนสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อเอาไว้ตรวจติดตามและเก็บข้อมูลได้ โดยไม่ต้องใช้สัญญาณภายนอกเพิ่มเติม โดยทั่วไปช่วงการใช้งานของหัววัดแบบความเร็วนี้จะอยู่ระหว่างความถี่ 10 Hz ถึง 1500 Hz

หัววัดความเร่ง (Accelerometers)

หัววัดความเร่ง (Accelerometers) เป็นหัววัดที่มีประจุไฟฟ้าออกมาจากหัววัดเอง เมื่อมีแรงการสั่นสะเทือนมากกระทำกับหัววัด ซึ่งปริมาณของประจุที่ออกมาจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับแรงที่มากกระทำ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า แรงจะแปรผันโดยตรงกับความเร่ง ดังนั้น ถ้ามีแรงการสั่นสะเทือนมาก มากกระทำต่อหัววัด ประจุไฟฟ้าก็จะคลา่ยออกมามาก ซึ่งทำให้รู้ว่ามีมีความเร่งมากด้วยเช่นกัน ซึ่งทำให้เราสามารถวัดขนาดของสัญญาณการสั่นสะเทือนในหน่วยของความเร่งได้ หน่วยที่ใช้ในการวัดขนาดของความเร่งนั้น จะอยู่ในหน่วยของ G ซึ่ง $1\text{ G} = 9.81\text{ m/s}^2$ สำหรับส่วนประกอบของหัววัดแบบความเร่งนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8 จะประกอบไปด้วย ฐานรองรับ (Base)หรือ เฟรม (Frame), แผ่น Piezoelectric disk, มวลกต (Seismic Mass), อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขยายสัญญาณ (ICP Amplifier), ตัวจับยึด(Mounting Stud) ซึ่งจะจับยึดกับจุดของชิ้นงานที่ต้องการจะวัด



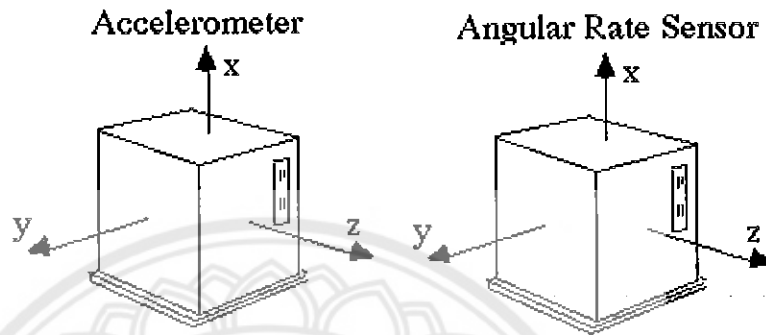
รูปที่ 2.8 แสดงหัววัดแบบความเร่ง (Accelerometers)

เมื่อนำหัววัดไปจับยึดกับตำแหน่งที่ต้องการจะวัดของเครื่องจักรที่มีการสั่นสะเทือนแรงจากการสั่นสะเทือน จะกระทำผ่านมาที่ฐานของหัววัดแล้วส่งผ่านไปที่แผ่น Piezoelectric ซึ่งเป็นแผ่นที่อยู่ระหว่างมวลกตกับฐานรองรับ ทำให้เกิดแรงกตอัดจากมวลในแนวตั้งฉากกับแผ่น piezoelectric เนื่องจากแผ่น piezoelectric มีคุณลักษณะแบบเดียวกับผลึกควอตซ์ (Quartz) เฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิก (Ferroelectric ceramics) จะเกิดประจุไฟฟ้าออกมาเมื่อมีแรงมากกระทำ ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงการสั่นสะเทือนที่มากกระทำ ประจุไฟฟ้าที่ออกมามีค่าน้อยมากโดยขนาดประจุไฟฟ้าที่ออกมาจากแผ่น piezoelectric วัดได้เป็นพิโคคูลอมบ์ (Pico-coulombs) ต่อ G ดังนั้น

จึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณไฟฟ้าให้สูงขึ้นเป็นมิลลิโวลต์ต่อ G เช่น 100 mV/G เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณก็คือ Integrated Circuit Piezoelectric(ICP) Amplifier

หลักการการทำงานของ Accelerometer และ Gyroscope ใน I phone

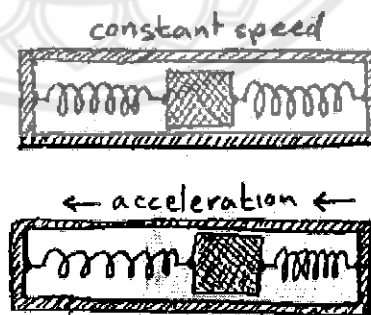
~~Sensor ชนิดหนึ่งที่ใช้วัดความเอียงนั่นก็คือ Accelerometer และ Gyroscope~~



รูปที่ 2.9 ความแตกต่างระหว่าง Sensor สองชนิดนี้

Accelerometer คือ ถ้าแปลตรงตัวก็คือ Acceleration + Meter หรือมิเตอร์ ความเร่งตามนิยามก็คือ Sensor วัดความเร่งเพิ่มขึ้น หรือลดลง (ในหน่วย m/s^2) ตัวอย่าง ความเร่งของแรงโน้มถ่วงก็คือ $9.8 m/s^2$ หรือ a (มาจาก Acceleration)

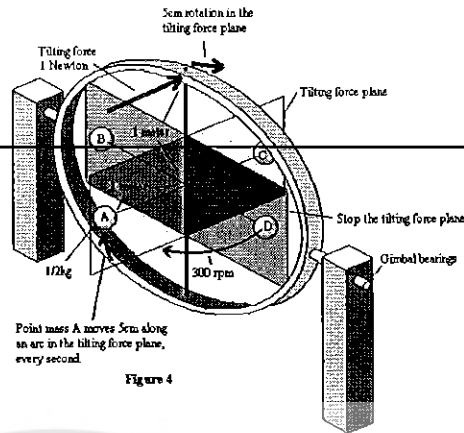
โดยหลักการการทำงาน ให้นึกถึงห้องสี่เหลี่ยมเล็กๆ ที่ทุกด้านของกำแพงจะมีสปริงติดอยู่เวลาที่ห้องนี้เอียงไปทางใดทางหนึ่ง สปริงก็จะยุบไปด้านนั้นๆ โดยสมมุติว่าแรงดันของสปริงมีน้อยกว่าแรงโน้มถ่วงของโลกและใช้วงจรไฟฟ้าในการดึง Output Analog ออกมาใช้งาน (หรือ Output Digital ซึ่งก็แล้วแต่ตัว Sensor)



รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างหลักการการทำงานของสปริง

เราจะใช้ Accelerometer สำหรับเป็นตัวชี้ว่าอยู่ในสถานะ Static (นิ่งเฉย) หรือ Dynamic (เคลื่อนไหวทันทีทันใด หรือหยุดทันทีทันใด) นั่นทำให้ Accelerometer เป็น sensor สำหรับบอกสถานการณ์เอียงได้เป็นอย่างดี (Tilt Sensor)

Gyroscope คือ Sensor Gyro จะทำหน้าที่วัดความเร็วเชิงมุม ก็คือโอเมก้า (วัตถุนี้จะหมุนรอบแกนด้วยความเร็วเท่าใด)



รูปที่ 2.11 หลักการของ Gyroscope (<http://www.spicydog.org>)

ยกตัวอย่าง ถ้าเราจับ Accelerometer มาเอียงแล้ววัด Output เราจะได้ค่า ค่าหนึ่งซึ่งบ่งบอกถึงการเอียงในรูปแบบนั้นๆ ถ้าเราเปลี่ยนไปค่านี้ก็จะเปลี่ยนตามแต่ถ้าเราจับ Gyro มาเอียงแล้ววัด Output เราจะพบว่า Output ของ Gyro จะออกก็ต่อเมื่อเกิดการเอียง หรือกำลังจะเอียง หรือเกิดการเคลื่อนไหว (วัตถุอยู่นิ่ง Gyro วัดค่าไม่ได้ เพราะไม่มีความเร็ว)

บทบาทของ Gyro คือ ในเมื่อ Accelerometer สามารถวัดความเอียงได้เรียบร้อยไม่มีความจำเป็นจะต้องวัดความเร็วเชิงมุม เพราะว่า Output ของ Accelerometer มีผลกับแรงโน้มถ่วง หมายถึงค่า Output ของ Accelerometer ไม่มีทางหยุดนิ่งเฉย แม้ปล่อยทิ้งไว้ มันก็จะวิ่งขึ้นๆ ลงๆ สั้นไปสั้นมา ต่างกับ Gyro ที่ปล่อยทิ้งไว้ค่า Output ที่ได้ก็จะนิ่ง ไม่เกิดการสั้นและถ้าเรานำ Output ของ Gyro มาใช้กรรมวิธีการ Discrete Integral ก็จะสามารถหามุมได้ (เพราะ Output ของ Gyro เป็นความเร็วเชิงมุม)

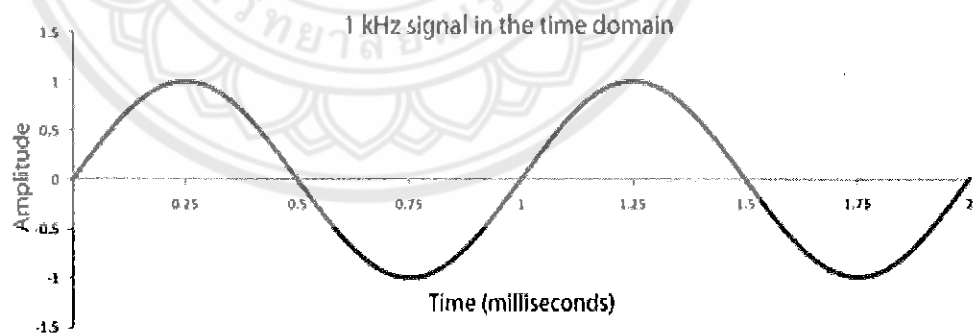
ส่วนกรรมวิธีในการ Integral ใน MCU เราจะใช้ Discrete Integral เป็นการอินทิเกรตมือ หลักการคล้ายๆ กับการคูณใน MCU การคูณใน MCU ทำได้โดยการบวก ไปจนครบจำนวนครั้ง การอินทิเกรตก็เหมือนกัน ให้มองกลับไปทีรากฐานการอินทิเกรต ถ้ามีกราฟมาให้มันก็คือพื้นที่ใต้กราฟ เราจะอินทิเกรตเราทำได้โดยแบ่งพื้นที่ใต้กราฟเป็นเส้นเล็กๆ แล้วหาพื้นที่เล็กๆ นั้น จากนั้นก็จับมารวมกัน ถ้าเราแบ่งพื้นที่เล็กๆ นั้นด้วยเวลา t_0, t_1, t_2, t_n นั่นก็คือเอาพื้นที่ ที่เวลา t_0 มารวมกับพื้นที่ที่เวลา t_1 เอาพื้นที่ไปรวมกับพื้นที่ที่เวลา t_2 ไปเรื่อยๆ ถึง t_n โดยไม่สนใจว่าพื้นที่นั้นมีค่าเป็นบวกหรือลบ สุดท้ายแล้วคำตอบจะบอกเราเองว่าผลลัพธ์ที่ได้เข้าไปในทิศทางใด

นี่เป็นสาเหตุให้เกิดการผสมผสานระหว่าง Sensor สองตัวนี้ ทำให้มีทฤษฎีมารองรับมากมาย เช่น Kalman Filter, Complementary Filter ใช้การผสมผสานข้อดีของทั้งสอง Sensor

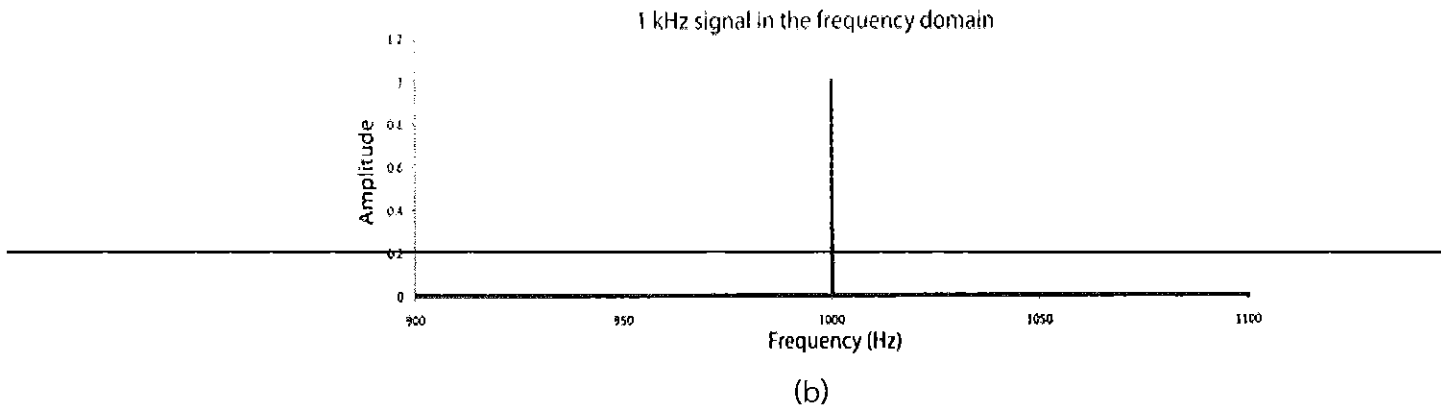
2.4 การวิเคราะห์สัญญาณ

การวิเคราะห์สัญญาณหมายถึงวิธีการที่เราตีความหมายของสัญญาณที่เราวัดว่าประกอบด้วยอะไรบ้างและส่วนใดในสัญญาณที่วัดได้นั้นถือว่ามีความสำคัญต่อการสันสະเทือน เราทราบอยู่แล้วว่าในการสันสະเทือนนั้นความถี่และขนาดของการสันสະเทือนจะมีความสำคัญมากกว่ารูปแบบ หรือลักษณะการสันสະเทือนที่เปลี่ยนตามเวลา ดังนั้นเมื่อเราวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา หรือเรานิยมเรียกว่า สัญญาณที่อยู่ในโดเมนของเวลา (Time domain) ซึ่งสัญญาณที่เราตรวจจับได้ในการวัดต่างๆไปเพราะเป็นการวัดค่าที่เวลาต่างๆและเพื่อให้เราสามารถตีความหมายที่เป็นประโยชน์ของสัญญาณได้เราจำเป็นต้องนำสัญญาณมาแปรความหมายให้เป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณตามความถี่ต่างๆหรือกล่าวสั้นๆก็คือเปลี่ยนสัญญาณให้มาอยู่ในโดเมนความถี่ (Frequency domain)

ตัวอย่างของความสำคัญที่ต้องมีการเปลี่ยนโดเมนของสัญญาณก็เช่น หากเราใช้เครื่องมือวัดความเร่งเพื่อวัดความเร่งของเครื่องจักรเครื่องหนึ่ง สิ่งที่เราจะได้ออกมาในลักษณะของความเร่งในโดเมนเวลา ซึ่งสมมติว่ามีลักษณะของรูปคลื่นดังที่แสดงในรูปที่ 2.12 (a) จากรูปเราจะทราบว่าความเร่งเนื่องจากการสันของเครื่องจักรนี้เมื่อเวลาๆหนึ่งมีค่าเป็นเท่าใดและความเร่งสูงสุดที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่าใด อย่างไรก็ตาม ถ้าหากว่าส่วนต่างๆของเครื่องจักรทำงานที่ความถี่ต่างกันซึ่งอาจเกิดขึ้นได้กรณีที่มีการใช้เฟืองทดรอบเพื่อให้ส่วนต่างๆทำงานที่รอบต่างๆตามที่เราต้องการ ดังนั้นเราอาจไม่ได้ข้อมูลว่าชิ้นส่วนใดเกิดการสันมากที่สุด เพราะการสันที่วัดได้จากความเร่งรวมจากการสันที่เกิดขึ้นทั้งหมด



(a)



รูปที่ 2.12 สัญญาณในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

(<http://www.minelab.com/asia/consumer/knowledge-base/terminology>)

อย่างไรก็ตามหากเราเปลี่ยนสัญญาณในโดเมนเวลานี้ให้มาอยู่ในโดเมนความถี่ จะทำให้เราได้กราฟที่แสดงในรูป 2.12 (b) ในรูปนี้เราได้หาขนาดของความถี่และความถี่ต่างๆและจากในรูปเราพบว่าชิ้นส่วนที่ความถี่ 1000 Hz จะทำให้เกิดความถี่สูงสุด ดังนั้นหากเราตรวจสอบว่าในเครื่องจักรของเรามีชิ้นส่วนใดที่ทำหน้าที่ความถี่ 1000 Hz เราก็จะได้ชิ้นส่วนนั้นเป็นชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดการสั่นมากที่สุด การทำเช่นนี้จะทำให้เราทราบข้อมูลที่มีประโยชน์เราทราบข้อมูลที่มีประโยชน์ในการแก้ไขหรือปรับปรุงการทำงานของชิ้นส่วนนั้นได้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

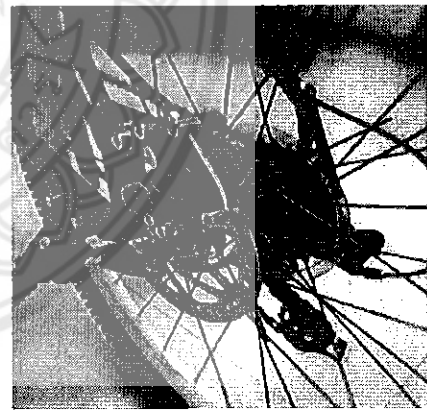
วิธีการดำเนินโครงการประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนออกแบบประกอบ ติดตั้ง ชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่ และขั้นตอนการวัดการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่ โดยขั้นตอนในการวัดค่าการสั่นสะเทือนจะแบ่งย่อยไปอีก 2 ขั้นตอน คือ การวัดการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และการวัดการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ โดยการใช้แผ่นยางรองขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร ใช้รองระหว่างชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์กับตัวมอเตอร์ และที่เก็บแบตเตอรี่กับตัวรถจักรยาน และทำการเก็บค่า วิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนโดยใช้โปรแกรม ไวเบรชั่นในโทรศัพท์มือถือ รายละเอียดของวิธีการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบโครงสร้างชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่

3.1.1 การออกแบบโครงสร้างชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์

1) เลือกตำแหน่งติดตั้งชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์

ในส่วนของตำแหน่งติดตั้งชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ จากโครงรถจักรยานเดิมจะเป็นตำแหน่งของดิสก์เบรก ทำการนำดิสก์เบรกออกและติดตั้งสเตอร์แทนลงไป



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งการติดตั้งชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์

2) ชั่งน้ำหนักของมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์มีน้ำหนักเท่ากับ 2.15 กิโลกรัม

3) การออกแบบชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์จะต้องออกแบบให้รองรับน้ำหนักมอเตอร์ที่มีน้ำหนัก 2.15 กิโลกรัม

ก. ข้อจำกัดในการออกแบบ

- รับน้ำหนักได้ 2.15 กิโลกรัม
- ความยาวฐานล่าง 240 มิลลิเมตร

ข. คำนวณหาขนาดเหล็กที่ใช้รองรับมอเตอร์

- มวลของมอเตอร์ 2.15 กิโลกรัม
- ใช้น็อตยึดขึ้นส่วนรองรับมอเตอร์ 2 จุด

4) การคำนวณหาความหนาของเหล็กที่ใช้

เลือกใช้เหล็ก AISI 1020 HR มีค่า σ_y เท่ากับ $43 \text{ ksi} = 43 \times 6.985 = 296.50 \text{ N/mm}^2$

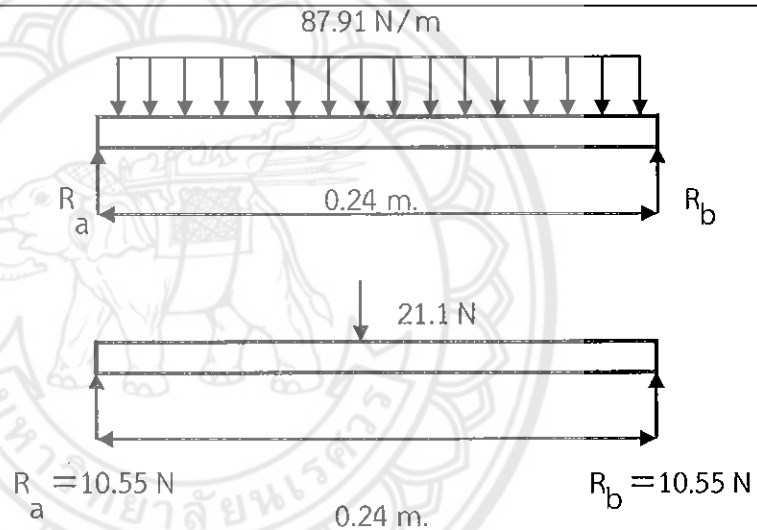
(ตาราง ก.1)

$$\sigma_y = \text{ความทนแรงดึงที่จุดล้าตัว (N/mm}^2\text{)}$$

$$FS = \text{ค่าความปลอดภัย} = 2$$

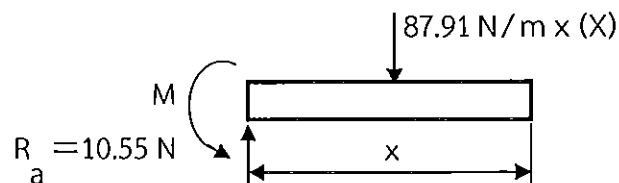
เนื่องจากมอเตอร์หนัก 2.15 กิโลกรัม และจุดยึดน็อตห่างกัน 0.24 เมตร

จะได้แรงกระจายบนคานเท่ากับ $\frac{2.15 \times 9.81}{0.24} = 87.91 \text{ N/m}$



จากสมการความเค้นส่วนเปลี่ยน $\sigma_a = \frac{\sigma_y}{FS}$

$$\sigma_a = \frac{296.50 \times 10^6}{2} = 148.25 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$



เนื่องจากโมเมนต์ตัดมีค่าสูงสุดอยู่ที่กึ่งกลางคานที่ตำแหน่ง 0.12 เมตร

$$\text{จาก } M = R_a x - w \frac{x^2}{2}$$

$$M = (10.55 \times 0.12) - (87.91 \times \frac{0.12^2}{2}) \text{ N.m}$$

$$M = 0.63 \text{ N.m}$$

จาก
$$S = \frac{M}{\sigma_a}$$

M = โมเมนต์ดัด (N.m)

S = โมดูลัสหน้าตัด (m^3)

$$\text{แทนค่า } S = \frac{0.63}{148.25 \times 10^6} = 4.25 \times 10^{-9} \text{ m}^3$$

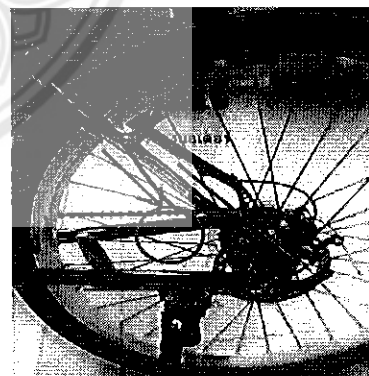
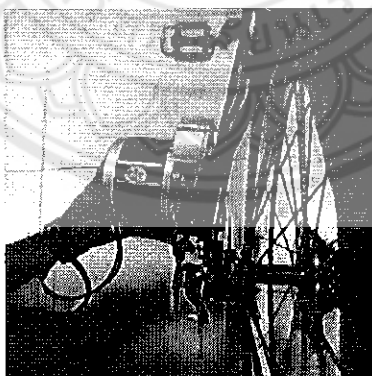
จากตารางโลหะ เลือกเหล็กขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร เพราะมีความหนา

ใกล้เคียงกับการคำนวณและเพื่อขนาดไว้เพื่อรับแรงกระทำของมอเตอร์ และง่ายต่อการซื้อหา

เลือกใช้ชนิดที่เป็นเหล็กแข็งเกรด 8.8 ขนาด M6 หัวหกเหลี่ยม (Hex Head) เพราะสามารถรับน้ำหนักสูงสุดถึง 9005 N (ตาราง ก.3) และง่ายต่อการซื้อหา

5) วัดขนาดของจักรยานเพื่อการออกแบบ

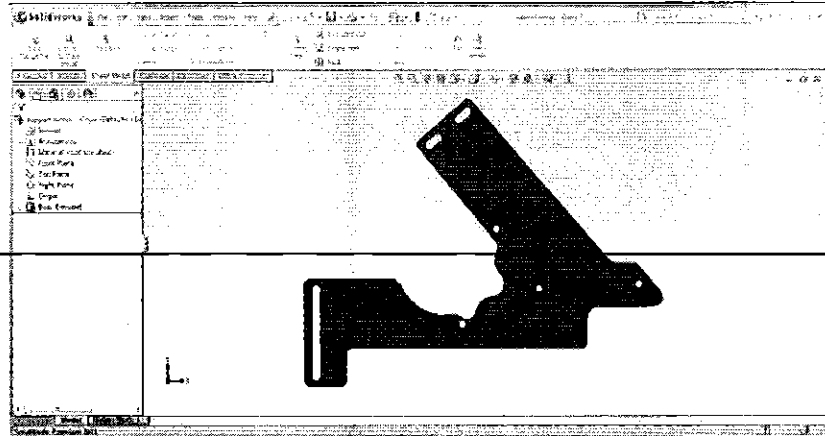
จากรูปที่ 3.2 แสดงการวัดขนาดของโครงรถจักรยานแล้วนำไปออกแบบชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ โดยจะต้องออกแบบให้สเตอร์กับเฟืองของมอเตอร์ตรงกันพอดี มีรูปร่างโค้งรับกับตัวมอเตอร์เพื่อติดตั้งมอเตอร์เข้ากับชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ และต้องออกแบบให้ชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์สามารถติดตั้งเข้ากับโครงรถจักรยานได้อย่างพอดี



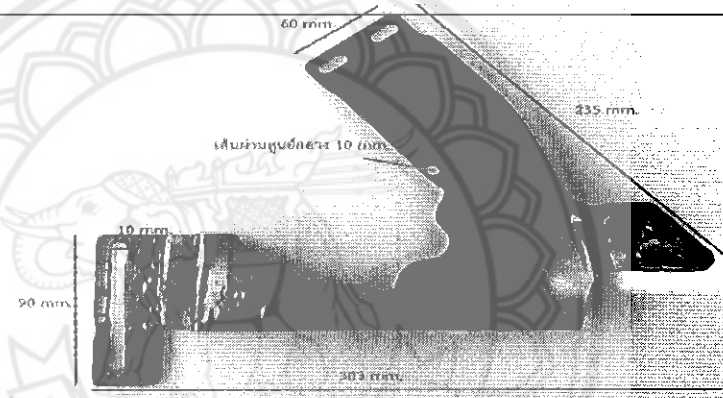
รูปที่ 3.2 ลักษณะโครงรถจักรยานและลักษณะการติดตั้งมอเตอร์

6) เขียนแบบโดยใช้โปรแกรม Solidwork ในคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 3.3 แสดงการออกแบบชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์โดยใช้โปรแกรม Solidwork เพื่อนำไปสร้างเป็นชิ้นงานจริง จะได้ชิ้นงานจริงดังรูปที่ 3.4



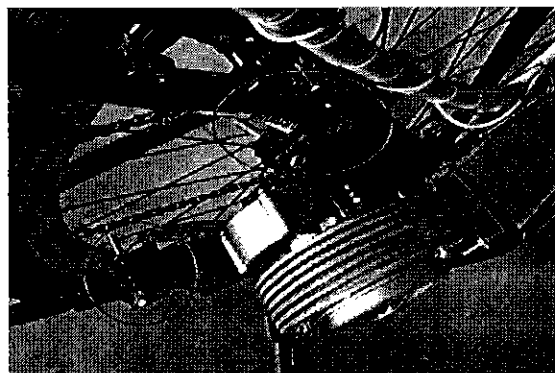
รูปที่ 3.3 การออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solidwork



รูปที่ 3.4 ชิ้นงานชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์จริง

7) การติดตั้งชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์

การติดตั้งชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์นั้นจะใช้ยางรองที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร รองระหว่างชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์กับตัวรถจักรยาน ทำการยึดด้วยน็อตแสดงดังรูปที่ 3.5

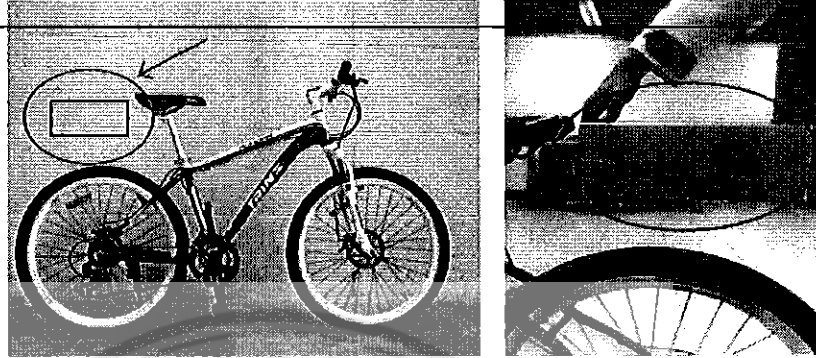


รูปที่ 3.5 การติดตั้งชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์

3.1.2 การออกแบบโครงสร้างที่เก็บแบตเตอรี่

1) เลือกตำแหน่งติดตั้งที่เก็บแบตเตอรี่

ในส่วนของตำแหน่งติดตั้งที่เก็บแบตเตอรี่ จากโครงรถจักรยานเดิม



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งติดตั้งที่เก็บแบตเตอรี่

2) ชั่งน้ำหนักของมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์มีน้ำหนักเท่ากับ 7 กิโลกรัม

3) การออกแบบที่เก็บแบตเตอรี่จะต้องออกแบบให้รองรับน้ำหนักของแบตเตอรี่ที่มีน้ำหนัก 7 กิโลกรัม

ก. ข้อกำหนดในการออกแบบ

- รับน้ำหนักได้ 7 กิโลกรัม
- ความยาวฐานล่าง 170 มิลลิเมตร

ข. คำนวณหาขนาดเหล็กที่ใช้เก็บแบตเตอรี่

- มวลแบตเตอรี่ 7 กิโลกรัม
- ใช้นอตยึดที่เก็บแบตเตอรี่ 2 จุด

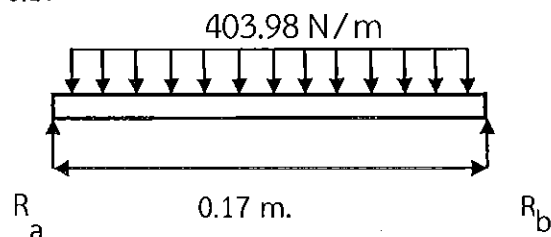
4) การคำนวณหาความหนาของเหล็กที่ใช้เลือกใช้เหล็ก AISI 1020 HR มีค่า σ_y เท่ากับ 43 ksi $43 \times 6.985 = 296.50 \text{ N/mm}^2$ (ตาราง ก.1)

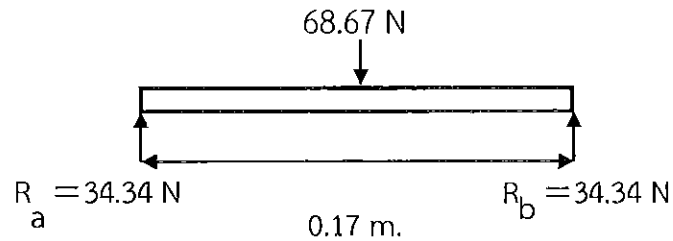
$$\sigma_y = \text{ความทนแรงดึงที่จุดล้าตัว (N/mm}^2\text{)}$$

$$FS = \text{ค่าความปลอดภัย} = 2$$

เนื่องจากมอเตอร์หนัก 7 กิโลกรัม และจุดยึดนอตห่างกัน 0.17 เมตร

$$\text{จะได้แรงกระจายบนคานเท่ากับ } \frac{7 \times 9.81}{0.17} = 403.98 \text{ N/m}$$





จากสมการความเค้นส่วนเปลี่ยน $\sigma_a = \frac{\sigma_y}{FS}$

$$\sigma_a = \frac{296.50 \times 10^6}{403.98 \text{ N/m} \times (X)} = 148.25 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

เนื่องจากโมเมนต์ดัดมีค่าสูงสุดอยู่ที่กึ่งกลางคานที่ตำแหน่ง 0.085 เมตร

จาก $M = R_a x - w \frac{x^2}{2}$

$$M = (34.34 \times 0.085) - (403.98 \times \frac{0.085^2}{2}) \text{ N.m}$$

$$M = 1.46 \text{ N.m}$$

จาก $S = \frac{M}{\sigma_a}$

$M =$ โมเมนต์ดัด (N.m)

$S =$ โมดูลัสหน้าตัด (m^3)

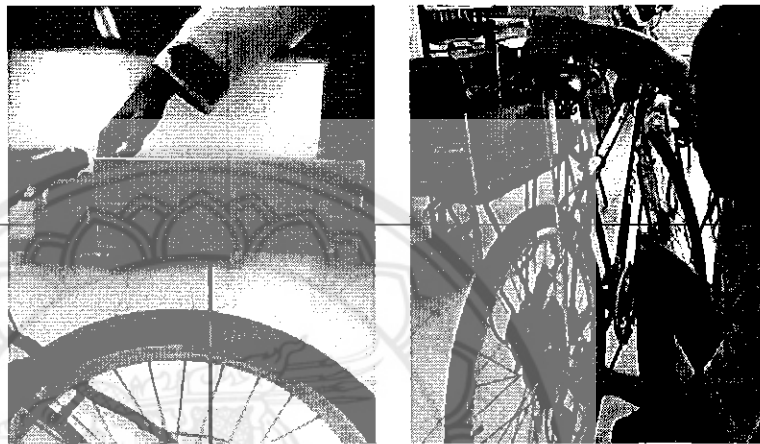
$$\text{แทนค่า } S = \frac{1.46}{148.25 \times 10^6} = 9.85 \times 10^{-9} \text{ m}^3$$

จากตารางโลหะ เลือกเหล็กขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร เพราะมีความหนาใกล้เคียงกับการคำนวณและเผื่อขนาดไว้เพื่อรับแรงกระแทกจากสภาพถนน และง่ายต่อการซื้อหา

เลือกใช้น็อตที่เป็นเหล็กแข็งเกรด 8.8 ขนาด M6 หัวหกเหลี่ยม (Hex Head) เพราะสามารถรับน้ำหนักสูงสุดถึง 9005 N (ตาราง ก.3) และง่ายต่อการซื้อหา

5) วัดขนาดของจักรยานเพื่อการออกแบบ

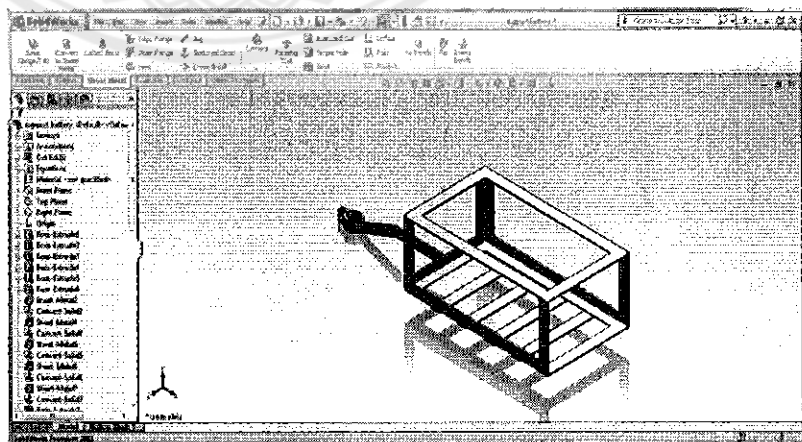
จากรูปที่ 3.7 แสดงการวัดขนาดของโครงรถจักรยานและกล่องเก็บแบตเตอรี่แล้วนำไปออกแบบที่เก็บแบตเตอรี่ โดยจะต้องออกให้ติดตั้งกล่องเก็บแบตเตอรี่อย่างพอดีเพื่อไม่ให้กล่องเก็บแบตเตอรี่เกิดการสั่นสะเทือน และยังคงออกแบบให้ที่เก็บแบตเตอรี่สามารถติดตั้งเข้ากับโครงรถจักรยานได้อย่างพอดีอีกด้วย



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะการติดตั้งที่เก็บแบตเตอรี่

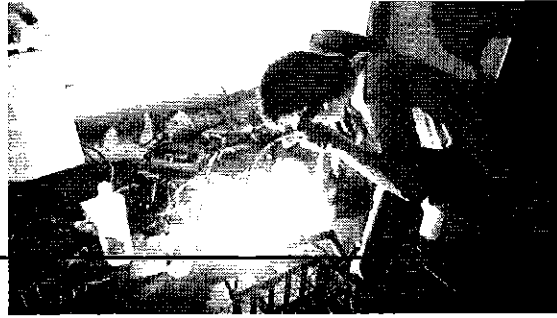
6) เขียนแบบโดยใช้โปรแกรม Solidwork ในคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 3.8 แสดงการออกแบบที่เก็บแบตเตอรี่โดยใช้โปรแกรม Solidwork เพื่อนำไปสร้างเป็นชิ้นงานจริง จากนั้นทำการตกแต่งชิ้นงานและทำการพ่นสี จะได้ชิ้นงานจริงดังรูปที่ 3.11



16002957
 2/5.
 35590
 2574

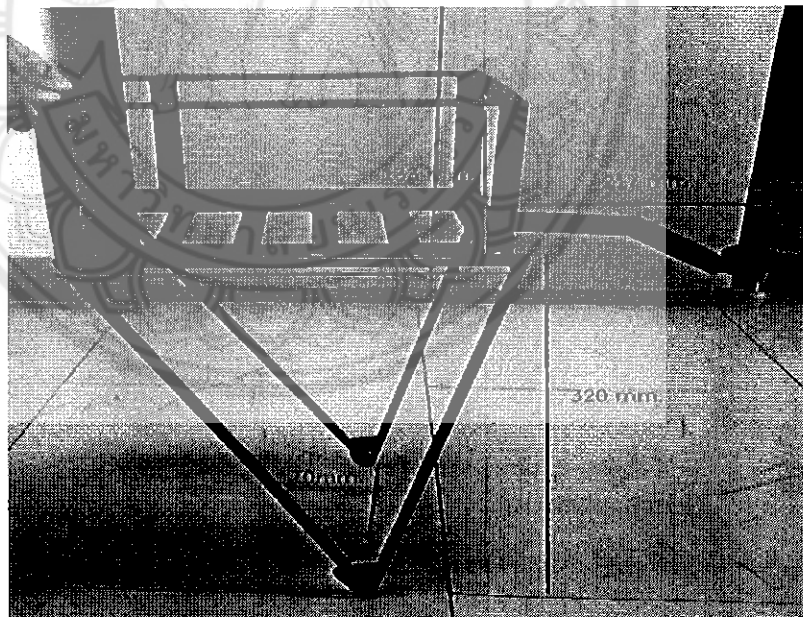
รูปที่ 3.8 การออกแบบที่เก็บแบตเตอรี่โดยใช้โปรแกรม Solidwork



รูปที่ 3.9 การสร้างชิ้นงานโดยการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมอาร์กอน



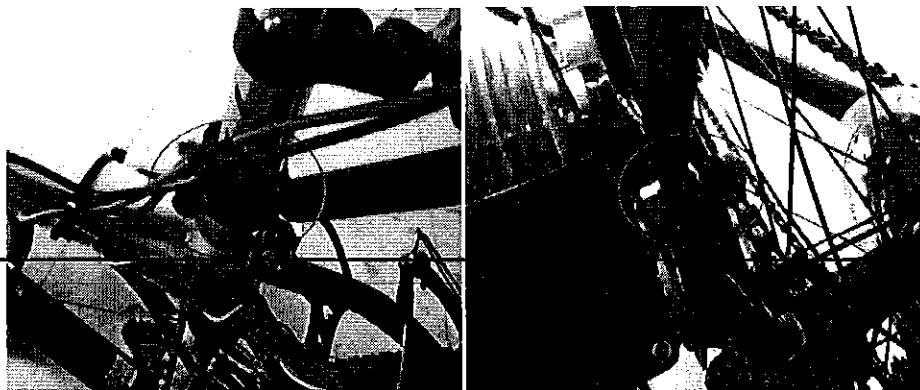
รูปที่ 3.10 การตกแต่งชิ้นงานด้วยเครื่องเจียรก่อนนำชิ้นงานไปพ่นสี



รูปที่ 3.11 ชิ้นงานที่เก็บแบตเตอร์จริง

7) การติดตั้งที่เก็บแบตเตอร์

การติดตั้งที่เก็บแบตเตอร์นั้นจะใช้ยางรองที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร รองระหว่างที่เก็บแบตเตอร์กับตัวรถจักรยาน ทำการยึดด้วยน็อตแสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ตำแหน่งการติดตั้งที่เก็บแบตเตอรี่และยึดด้วยนอต

3.2 การวัดค่าการสั่นสะเทือนของที่รองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่

วัตถุประสงค์

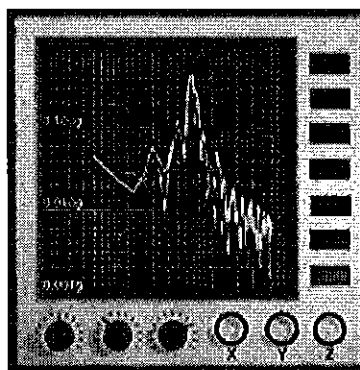
- 1) เพื่อวัดค่าการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งที่รองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่
- 2) เพื่อวิเคราะห์หาแหล่งการสั่นสะเทือน

อุปกรณ์ที่ใช้

- 1) จักรยานเสือภูเขา TRINX
- 2) โทรศัพท์มือถือที่ติดตั้งโปรแกรมไวเบรชัน
- 3) คอมพิวเตอร์

ข้อมูลของอุปกรณ์และโปรแกรม

โปรแกรมชื่อ Vibration ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่ติดตั้งในโทรศัพท์มือถือ เวอร์ชัน 1.67
ปรับปรุงเมื่อเดือนธันวาคม 2011



รูปที่ 3.13 แสดงภาพของโปรแกรมที่ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือนวิเคราะห์สเปกตรัมโดยใช้สร้างขึ้นใน accelerometers ภายใน iPhone ได้แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาเลือกเอา ดี.ซี. ออกติกับหน้าต่างแฮมและดำเนินการ FFT ในแต่ละช่องในการผลิตสเปกตรัมความถี่ accelerometer มีความไวประมาณ 0.02g และช่วงของ $\pm 2g$ ทำให้ iPhone ที่สำคัญพอที่จะวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่เคลื่อนไหวมากที่สุด

การตั้งค่า

- อัตราตัวอย่างที่สามารถปรับจาก 10Hz ถึง 100Hz
- ความยาวข้อมูล Selectable 128-1024 ตัวอย่าง
- เริ่มต้นล่าช้าตัวแปร 0-20 วินาที
- ขนาดแนวตั้งที่สามารถปรับได้สำหรับซีรีส์ทั้งเวลาและข้อมูลความถี่
- ตัวเลือก ดี.ซี. ลบเพื่อกำจัดของเวกเตอร์แรงโน้มถ่วงที่นำรำคาญ
- หน้าต่างแฮม Switchable สำหรับการวิเคราะห์ความถี่
- ข้อมูลความถี่การวางแผนเป็นเชิงเส้นเป็นเส้นตรงเข้าสู่ระบบเข้าสู่ระบบ, เข้าสู่

ระบบเชิงเส้นและเส้นเข้าสู่ระบบ

- การสั่นสะเทือนคำนวณ RMS สำหรับแต่ละช่องและสำหรับทั้งสามช่องทางรวมกัน
- เอกสารผลของคุณโดยการถ่ายภาพรวมของหน้าจอและซิงค์พวกเขาไปยัง

คอมพิวเตอร์ของคุณหรือโดยการส่งอีเมลของ CSV จัดรูปแบบข้อมูลคลื่นและความถี่

ข้อจำกัดของ iPhone

iPhone ไม่ได้ถูกออกแบบมาเป็นวิเคราะห์สเปกตรัมและมีข้อจำกัดใน ฮาร์ดแวร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน

- ตามเอกสารอัตราตัวอย่างสูงสุดสำหรับ accelerometer เป็น 100Hz จำกัดความถี่สูงสุดถึง 50 เฮิรตซ์
- ความไวของแต่ละช่องที่ดูเหมือนจะเป็นเกี่ยวกับ 0.01g RMS เครื่องมือนี้ไม่สำคัญพอสำหรับการวัดสัญญาณรบกวนในตารางแยกการสั่นสะเทือน แต่มันมีความไวเพียงพอที่จะวัดและเครื่องจักรที่เคลื่อนไหวมากที่สุด

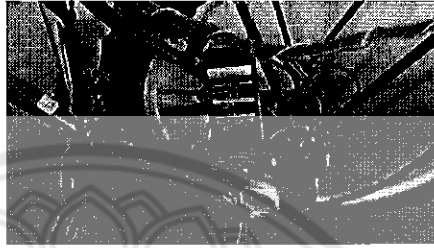
• มีจำนวน จำกัด ของแรมในอุปกรณ์และผมพบว่าสำหรับชุดข้อมูลที่ยาวกว่า 1024 จุดซื้อชะลอตัวลงเนื่องจากปัญหาการจัดการหน่วยความจำหากมีความจำเป็นในการชุดข้อมูลอีกต่อไปผมอาจจะสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของการใช้หน่วยความจำ

• ข้อมูลที่ได้มากว้างใน 128 จุดและ 256 จุดโหมดจะแสดงสดที่มันถูกที่ได้มาสำหรับ 512 จุดและ 1024 จุดโหมดเท่านั้นแถบความคืบหน้าจะแสดงขึ้น เนื่องจากวิธีการปฏิบัติวางแผนปรับปรุงหน้าจอเวลาวาดเป็นเวลานานเกินไปในชุดข้อมูลขนาดใหญ่ซอฟต์แวร์มีความยืดหยุ่นมากและใช้งานง่าย มันถูกเขียนขึ้นเพื่อจำลองสโคปที่ใช้วิเคราะห์สเปกตรัมที่คุ้นเคย อัตราตัวอย่าง

และความล่าช้าตัวอย่างจะปรับได้อย่างง่ายดาย โดยใช้ตัวเลื่อนและผู้ใช้สามารถเลือกความยาวของข้อมูลที่ได้และระดับตามแนวตั้งที่ใช้สำหรับการแสดงผล เมื่อตั้งค่าการกำหนดค่าความต้องการของคุณกดปุ่มตัวอย่างและข้อมูลที่ได้มา

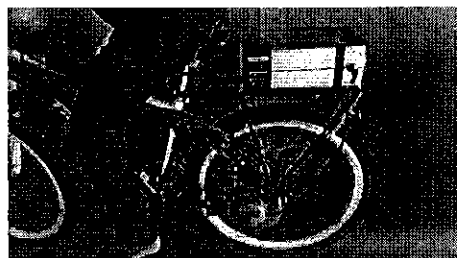
ขั้นตอนการทดลอง

- 1) นำโทรศัพท์มือถือเปิดโปรแกรมไวนอร์ซัน แล้วนำไปติดตั้งบริเวณชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์

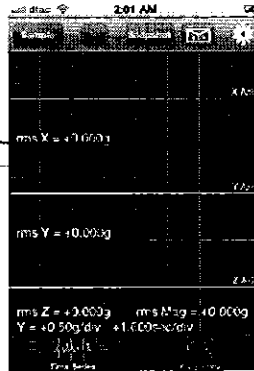
- 2) กดปุ่มเริ่มต้น Sample เพื่อเริ่มต้นการเก็บค่าการสั่นสะเทือน
- 3) ปิดคันเร่งที่รถจักรยานให้มีความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยไม่ให้รถเคลื่อนที่
- 4) รอฟังเสียงสัญญาณเตือนการเก็บค่าการสั่นสะเทือนดังขึ้น ใช้เวลา 13 วินาที แล้วส่งข้อมูลไปยังอีเมลแอดเดรส
- 5) ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1 ข้อ 2 และข้อ 3 แต่จะเปลี่ยนให้รถเคลื่อนที่บนถนนแต่สภาพถนนคือ เคลื่อนที่ผ่านถนนเรียบ เคลื่อนที่ผ่านถนนขรุขระ เคลื่อนที่ผ่านหลังเต่า เคลื่อนที่ผ่านลูกขนาด บันทึกผลการสั่นสะเทือน
- 6) ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 2 ถึง ข้อ 4 แต่เปลี่ยนตำแหน่งบริเวณที่ติดตั้งโทรศัพท์มือถือจากที่ติดตั้งตรงชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ไปติดตั้งบริเวณที่เก็บแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่

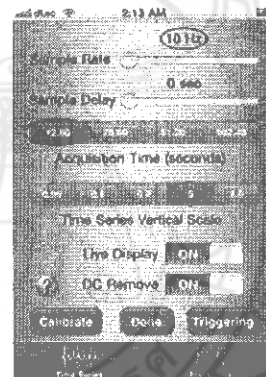
3.3 ขั้นตอนการใช้โปรแกรมไวเบรชันบนโทรศัพท์มือถือเพื่อเก็บค่าการสั่นสะเทือน

1) เปิดโปรแกรมไวเบรชัน บนโทรศัพท์มือถือ ดังรูป 3.16



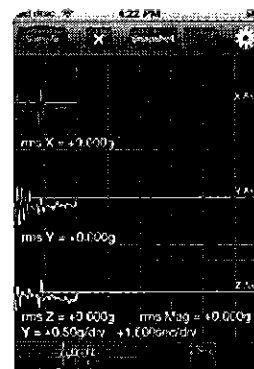
รูปที่ 3.16 แสดงหน้าต่างโปรแกรมไวเบรชัน

2) ทำการตั้งค่าความถี่ที่ 10-Hz เวลาในการเก็บค่าการสั่นสะเทือน 12.8 วินาที เพื่อใช้ในการเก็บค่าการสั่นสะเทือน ดังรูป 3.17



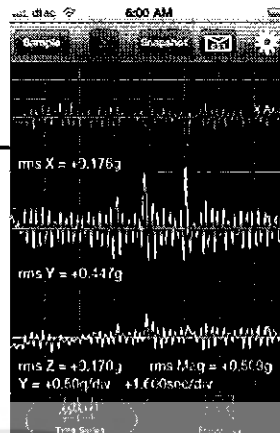
รูปที่ 3.17 แสดงหน้าต่างการตั้งค่าความถี่และเวลา

3) กดปุ่ม Sample เพื่อเริ่มต้นการเก็บค่าการสั่นสะเทือน ดังรูป 3.18

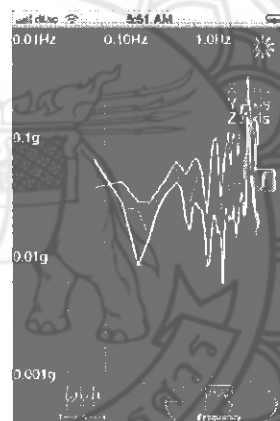


รูปที่ 3.18 แสดงหน้าต่างเริ่มต้นการเก็บค่าการสั่นสะเทือน

4) จะได้กราฟโดเมนของเวลาดังรูป 3.19 และกดปุ่ม Frequency จะได้กราฟโดเมนของความถี่ดังรูป 3.20

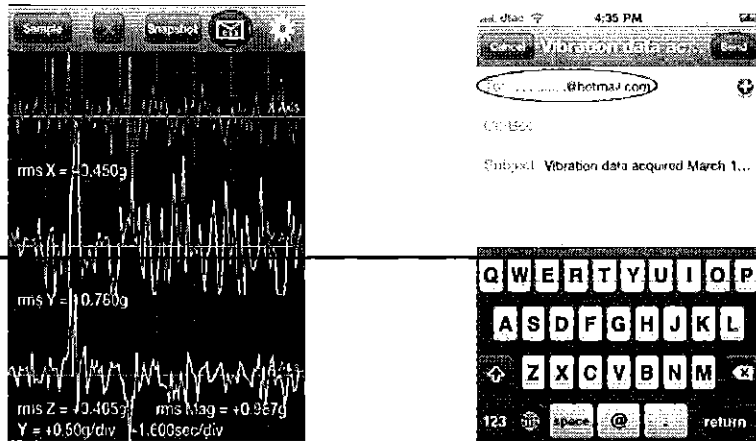


รูปที่ 3.19 แสดงหน้าต่างกราฟโดเมนของเวลา



รูปที่ 3.20 แสดงหน้าต่างกราฟโดเมนของความถี่

5) กดปุ่ม CSV ดังรูป 3.21 ทำการกรอกอีเมลแอดเดรส เมื่อกรอกอีเมลแอดเดรสที่รับข้อมูลเรียบร้อยแล้วทำการกดปุ่ม Send เพื่อส่งข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าการสั่นสะเทือนไปยังอีเมลแอดเดรส และนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์การสั่นสะเทือน



รูปที่ 3.21 แสดงหน้าต่างการส่งข้อมูลไปยังอีเมลแอดเดรส

6) ความไหลดข้อมูลที่ได้จากอีเมลแอดเดรสแล้วนำไปเปิดในโปรแกรมไมโครซอฟท์ Excel จะได้ค่าที่แสดงดังรูปที่ 3.22

Point	Requested Time (s)	Actual Time (s)	X (mm/s)	Y (mm/s)	Z (mm/s)
0	0	0	0.05285	0.09236	0.25533
1	0.1	0.09889	-0.09811	0.01216	-0.38612
2	0.2	0.19569	0.03159	0.05523	0.01926
3	0.3	0.30267	0.1626	-0.15176	-0.07784
4	0.4	0.40002	-0.0245	0.02949	-0.0304
5	0.5	0.50013	-0.11073	-0.01936	0.07591
6	0.6	0.50047	0.05151	-0.02395	0.02591
7	0.7	0.70067	-0.03835	0.02201	0.02539
8	0.8	0.80083	-0.05246	0.07233	0.10541
9	0.9	0.90128	0.18541	0.06584	0.06848
10	1	1.00132	-0.04111	0.00072	0.01379
11	1.1	1.10151	-0.11593	-0.08764	0.06168
12	1.2	1.20174	-0.03444	-0.05311	-0.02506
13	1.3	1.30159	0.06654	0.03516	0.12723
14	1.4	1.42212	-0.04312	0.07444	0.05103
15	1.5	1.50212	-0.12734	0.04111	-0.09491
16	1.6	1.60154	-0.10165	-0.13075	0.01501
17	1.7	1.70275	0.00311	0.02635	0.05486
18	1.8	1.80196	0.02317	0.02279	-0.16025
19	1.9	1.90329	-0.00527	-0.02619	-0.16072
20	2	2.00342	0.04658	-0.00417	-0.02808
21	2.1	2.10362	-0.08745	-0.01782	0.23597
22	2.2	2.20402	0.04357	-0.11707	0.09941
23	2.3	2.30425	0.05937	-0.07034	-0.06416
24	2.4	2.40431	0.00011	0.01813	-0.08638
25	2.5	2.50448	0.10596	-0.07797	0.0455
26	2.6	2.6047	-0.02479	0.05864	-0.05403
27	2.7	2.70491	-0.00247	0.00951	0.27318
28	2.8	2.80512	0.05489	-0.00631	-0.12169
29	2.9	2.90446	0.00002	0.02821	0.01000

รูปที่ 3.22 แสดงข้อมูลของการสั่นสะเทือน

7) นำค่าที่ได้จาก รูปที่ 3.22 ไปสร้างกราฟ โดยแนวตั้งเป็นค่า Amplitude (mm/s) แนวนอนเป็นค่าของเวลา Time (s) แล้ววิเคราะห์ค่าสั่นสะเทือนในแต่ละแนวแกน

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้เป็นการแสดงแสดงถึงการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บ

แบตเตอรี่ในแกนต่างๆเปรียบเทียบระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะโดยทั่วไปในการทดลอง

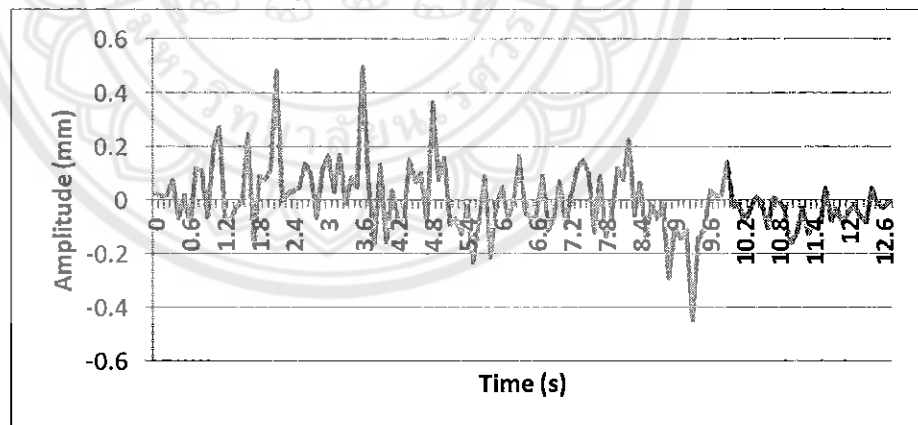
การสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่ทำการศึกษาโดยใช้จักรยานเสือภูเขา TRINX เกียร์ 21 สปีด มีโช๊คพหน้า โครงอลูมิเนียม ขนาด 26 นิ้ว ทำการทดลองที่ความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทำการทดลองโดยสภาพถนนพื้นเรียบ พื้นลูกระนาด พื้นหลังเต่า และพื้นขรุขระ ด้วยโปรแกรมไวกเกอร์ชั้นในโทรศัพท์มือถือ

4.2 ลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์

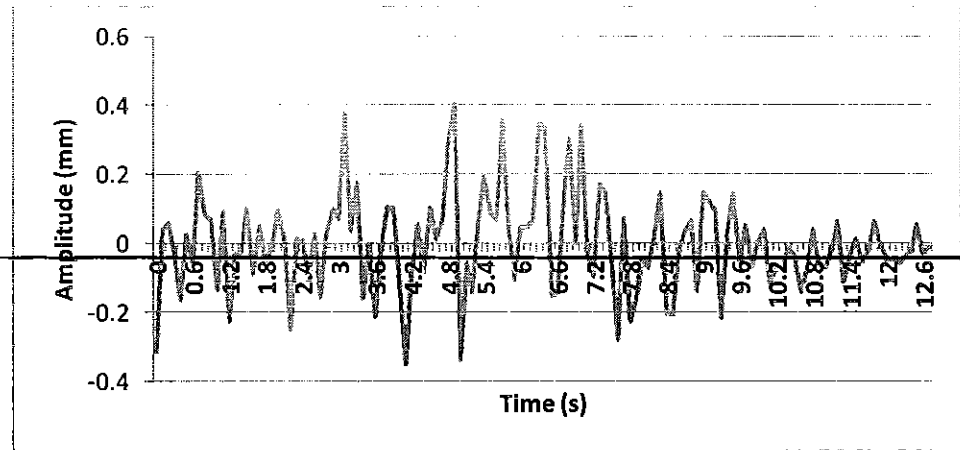
4.2.1 ลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ขณะเคลื่อนที่บนถนน

เรียบ

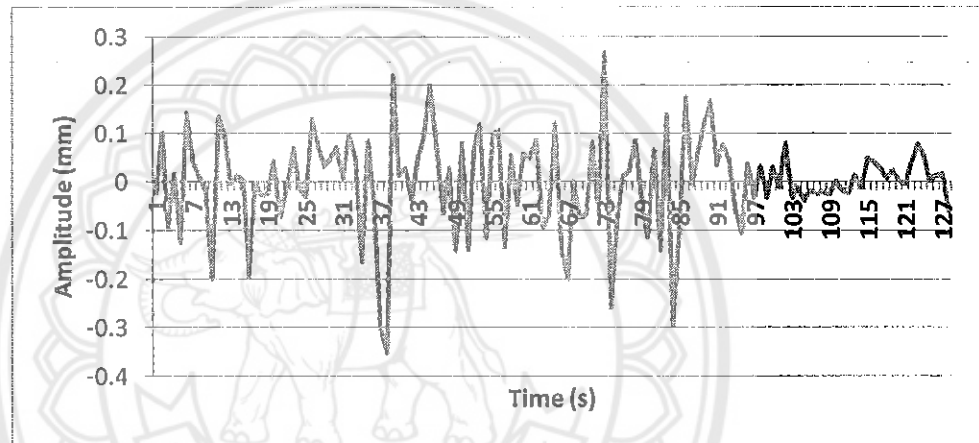
กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ขณะเคลื่อนที่บนถนนเรียบในแนวแกน x , y และ z แสดงในรูปที่ 4.1



(ก) แนวยาว



(ข) แนวตั้ง



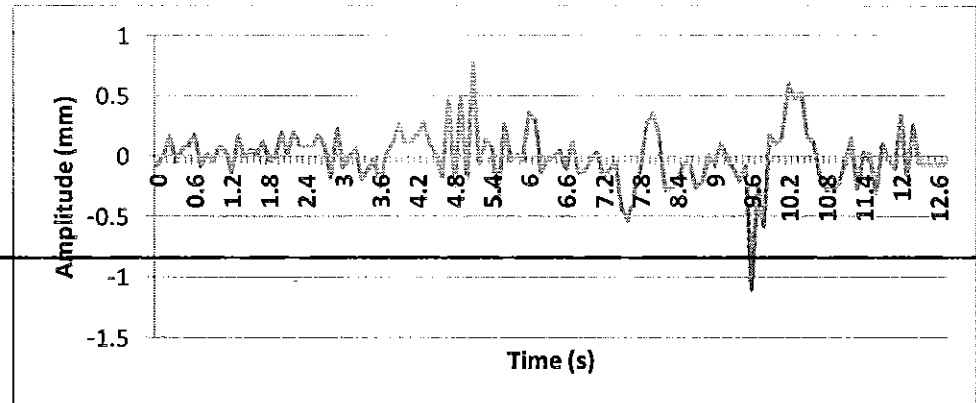
(ค) แนวขวาง

รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์
ขณะรถจักรยานเคลื่อนที่บนถนนพื้นเรียบ

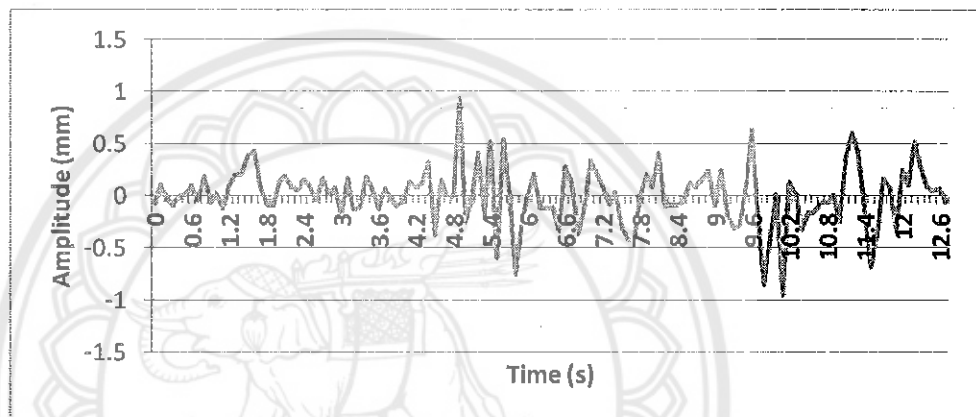
จากการทดสอบการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ขณะจักรยานเคลื่อนที่บนถนนพื้นเรียบ (รูปที่ 4.1) พบว่า ภาพ (ก) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 0.493 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -0.448 มิลลิเมตร ภาพ (ข) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 0.402 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -0.349 มิลลิเมตร และภาพ (ค) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 0.267 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -0.352 มิลลิเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบทั้งสามแกนพบว่า แนวยาวมีค่าของแอมพลิจูดสูงที่สุดเป็นผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมากที่สุด

4.2.2 ลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ขณะเคลื่อนที่บนลูกระนาด

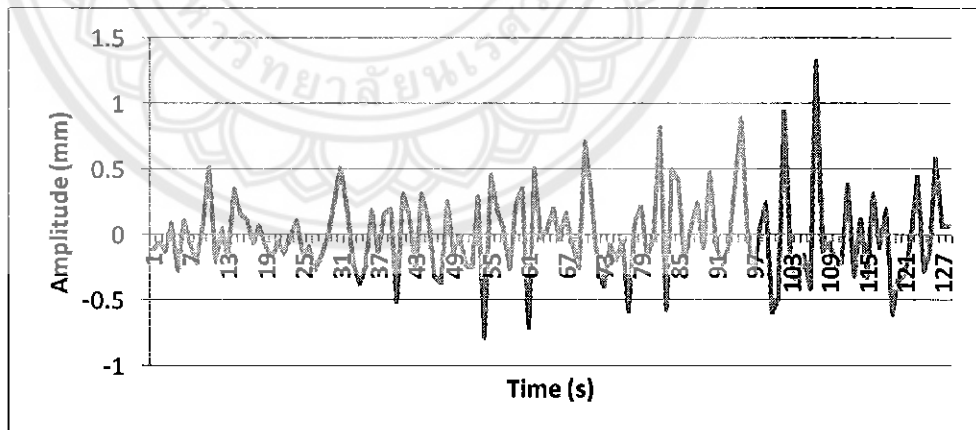
กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ขณะเคลื่อนที่บนพื้นระนาบในแนวแกน x, y และ z แสดงในรูปที่ 4.2



(ก) แนวยาว



(ข) แนวตั้ง



(ค) แนวขวาง

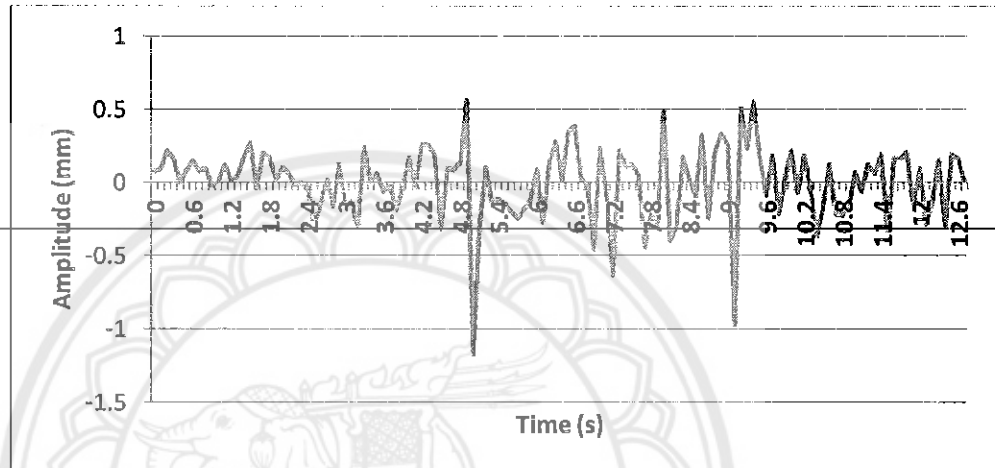
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ขณะ
รถจักรยานเคลื่อนที่บนพื้นลูกระนาด

จากการทดสอบการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ขณะจักรยานเคลื่อนที่
บนพื้นลูกระนาด (รูปที่ 4.2) พบว่า (ก) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 0.777 มิลลิเมตร และแอมพลิจูด
ต่ำสุดเท่ากับ -1.101 มิลลิเมตร ภาพ (ข) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 0.928 มิลลิเมตร และแอมพลี

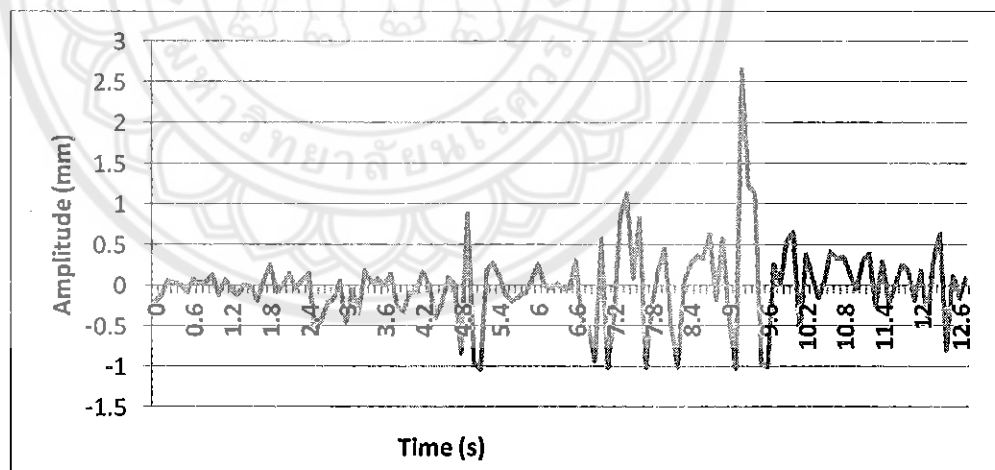
จุดต่ำสุดเท่ากับ -0.958 มิลลิเมตร และภาพ (ค) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 1.322 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -0.711 มิลลิเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบทั้งสามแกนพบว่าแนวขวางมีค่าของแอมพลิจูดสูงที่สุดเป็นผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมากที่สุด

4.2.3 ลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ขณะเคลื่อนที่บนหลังเต่า

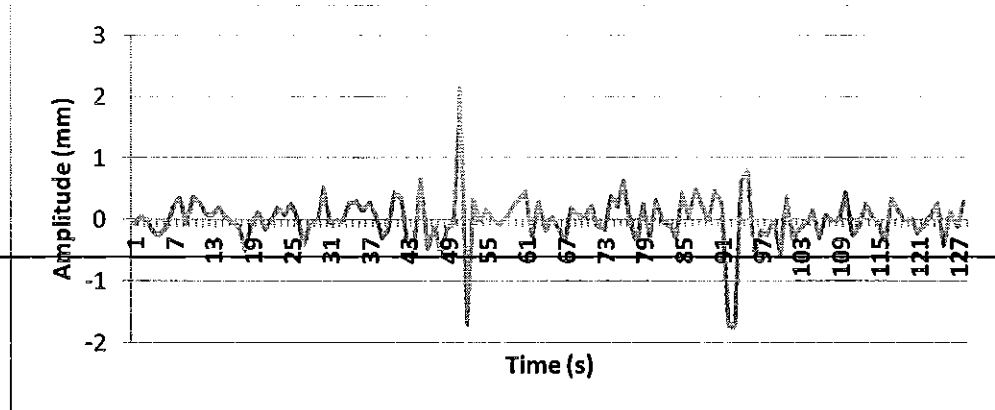
กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ขณะเคลื่อนที่บนหลังเต่าในแนวแกน x , y และ z แสดงในรูปที่ 4.3



(ก) แนวยาว



(ข) แนวตั้ง



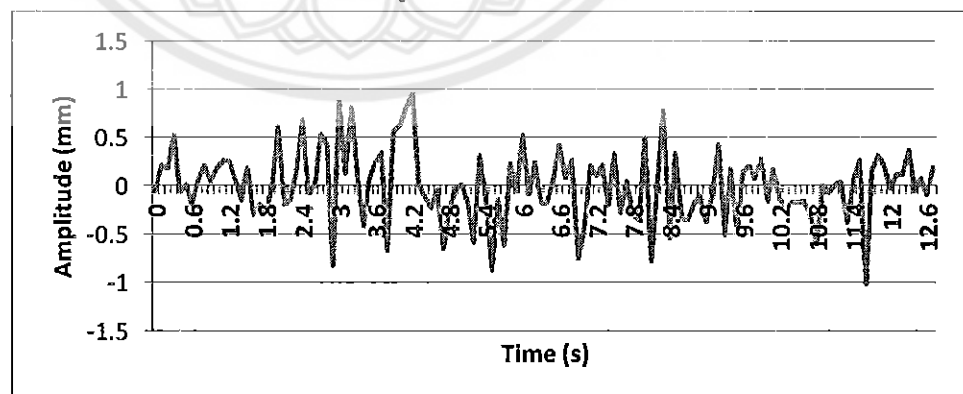
(ค) แนวขวาง

รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์
ขณะรถจักรยานเคลื่อนที่บนหลังเต่า

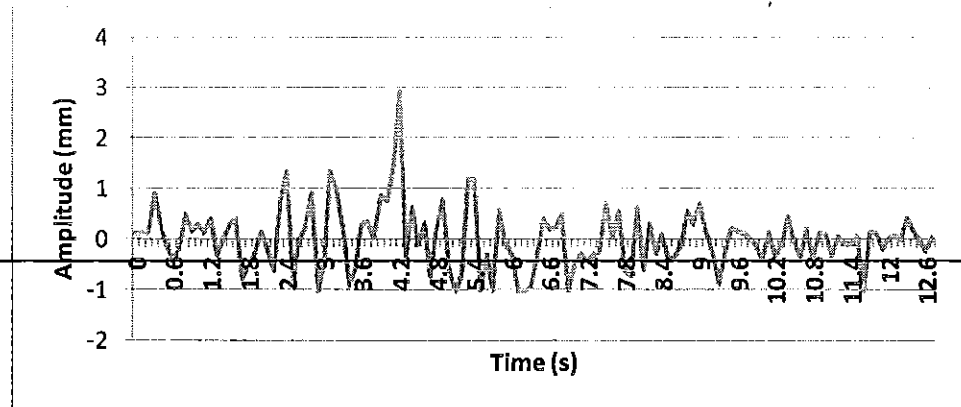
จากการทดสอบการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ขณะจักรยานเคลื่อนที่บนหลังเต่า (รูปที่ 4.3) พบว่า ภาพ (ก) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 0.564 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -1.176 มิลลิเมตร ภาพ (ข) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2.646 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -1.043 มิลลิเมตร และภาพ (ค) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2.130 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -1.766 มิลลิเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบทั้งสามแกนพบว่าแนวตั้งมีค่าของแอมพลิจูดสูงสุดเป็นผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมากที่สุด

4.2.4 ลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ขณะเคลื่อนที่บนพื้นขรุขระ

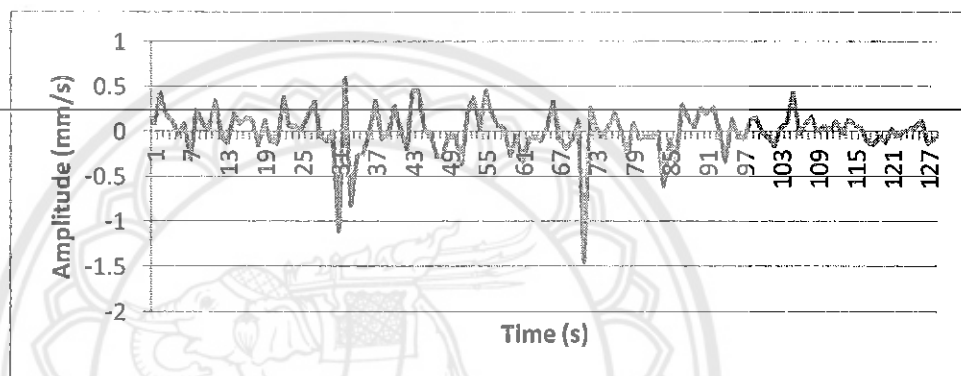
กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ขณะเคลื่อนที่บนพื้นขรุขระในแนวแกน x, y และ z แสดงในรูปที่ 4.4



(ก) แนวยาว



(ข) แนวตั้ง



(ค) แนวขวาง

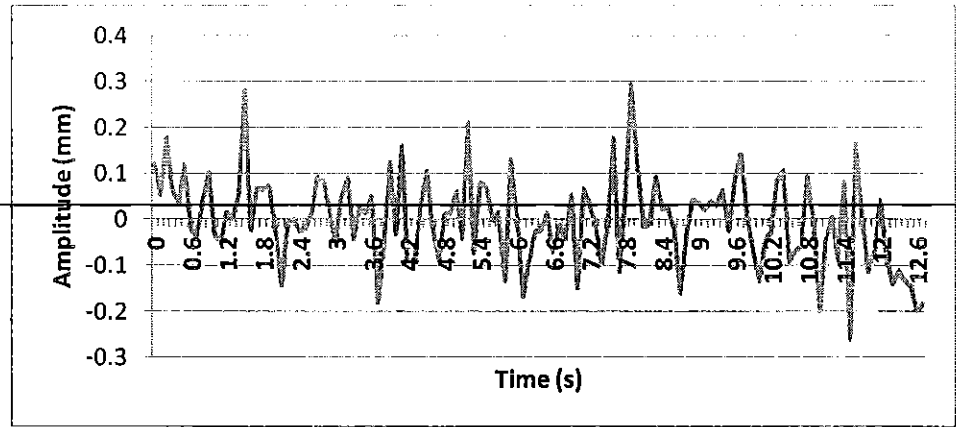
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์
ขณะรถจักรยานเคลื่อนที่บนพื้นขรุขระ

จากการทดสอบการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์ขณะจักรยานเคลื่อนที่บนพื้นขรุขระ (รูปที่ 4.4) พบว่า ภาพ (ก) จะได้อัมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 0.939 มิลลิเมตร และอัมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -0.178 มิลลิเมตร ภาพ (ข) จะได้อัมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2.901 มิลลิเมตร และอัมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -0.946 มิลลิเมตร ภาพ (ค) จะได้อัมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 0.587 มิลลิเมตร และอัมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -1.457 มิลลิเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบทั้งสามแกนพบว่าแนวตั้งมีค่าของอัมพลิจูดสูงที่สุดเป็นผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมากที่สุด

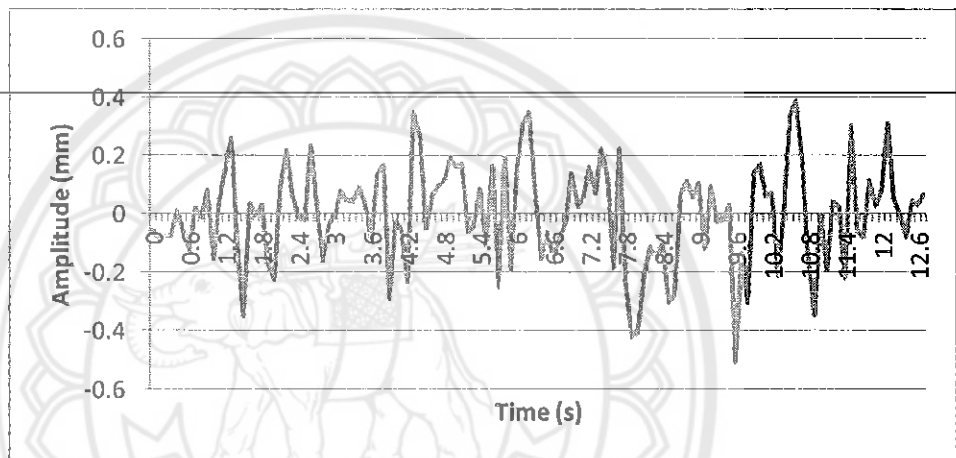
4.3 ลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่

4.3.1 ลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะเคลื่อนที่บนถนนเรียบ

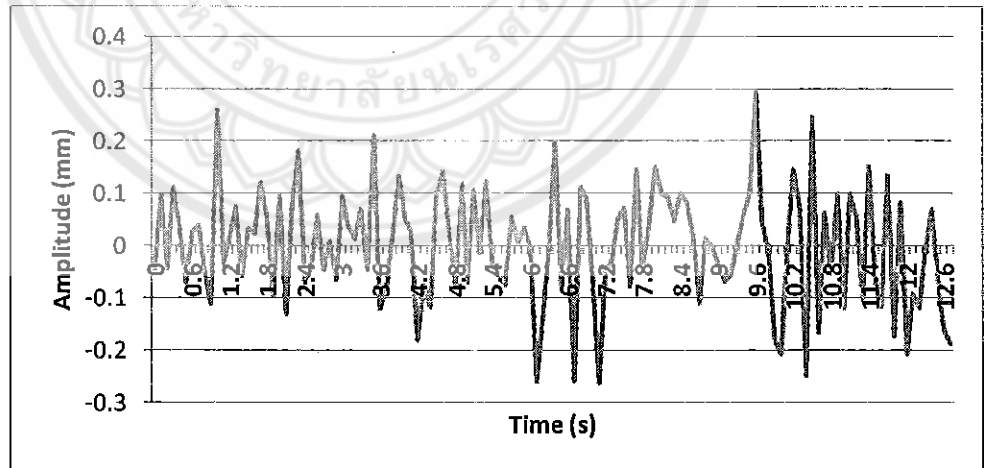
กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะเคลื่อนที่บนถนนเรียบในแนวแกน x , y และ z แสดงในรูปที่ 4.5



(ก) แนวยาว



(ข) แนวตั้ง

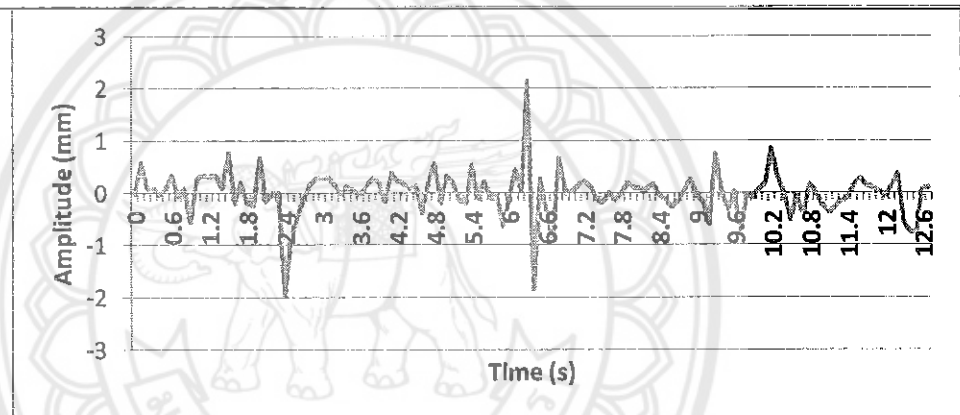


(ค) แนวขวาง

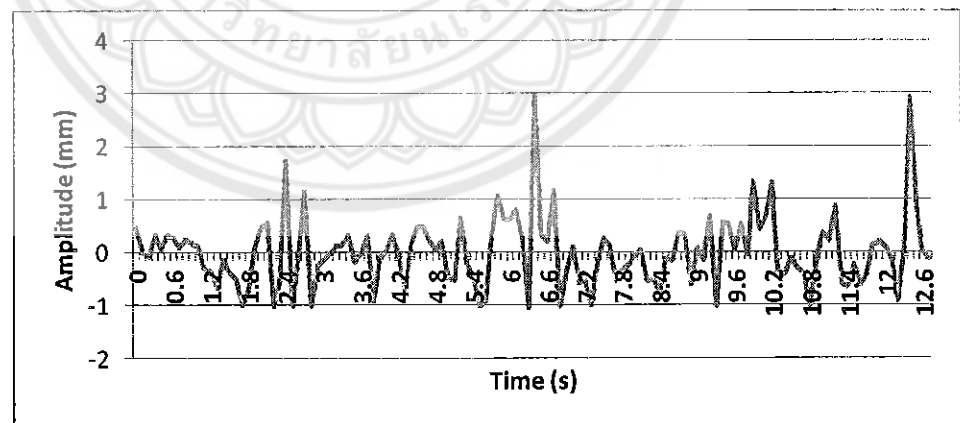
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่เคลื่อนที่บนถนนเรียบ

จากการทดสอบการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะจักรยานเคลื่อนที่บนถนนเรียบ (รูปที่ 4.5) พบว่า ภาพ (ก) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 0.294 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -0.264 มิลลิเมตร ภาพ (ข) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 0.386 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -0.509 มิลลิเมตร และภาพ (ค) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 0.293 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -0.263 มิลลิเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบทั้งสามแกนพบว่าแนวตั้งมีความเร่งมากที่สุดเป็นผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือน

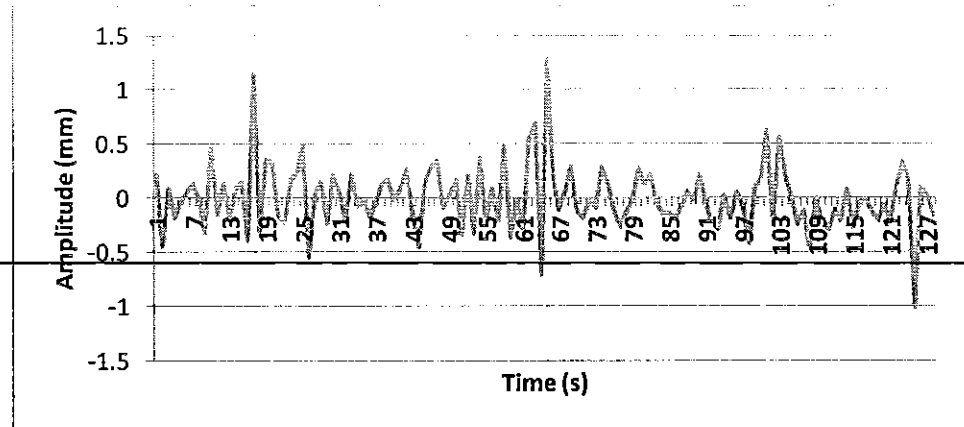
4.3.2 ลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะเคลื่อนที่บนพื้นลูกระนาด
กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะเคลื่อนที่บนพื้นลูกระนาดในแนวแกน x , y และ z แสดงในรูปที่ 4.6



(ก) แนวยาว



(ข) แนวตั้ง



(ค) แนวขวาง

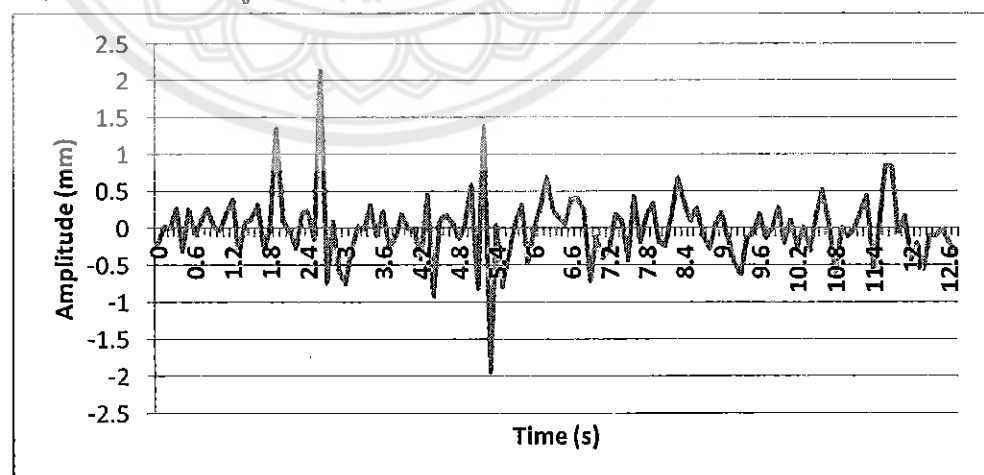
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะเคลื่อนที่บนพื้นลูกระนาด

จากการทดสอบการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะจักรยานเคลื่อนที่บนพื้นลูกระนาด

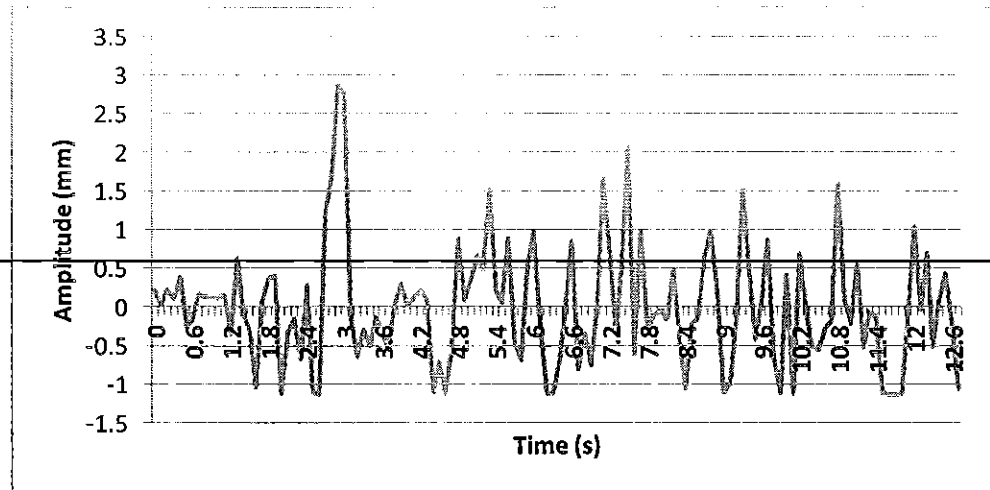
ขนาด (รูปที่ 4.6) พบว่า ภาพ (ก) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2.141 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -1.938 มิลลิเมตร ภาพ (ข) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2.974 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -1.059 มิลลิเมตร และภาพ (ค) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 1.274 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -1.010 มิลลิเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบทั้งสามแกนพบว่าแนวตั้งมีความเร่งมากที่สุดเป็นผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือน

4.3.3 ลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะเคลื่อนที่บนหลังเต่า

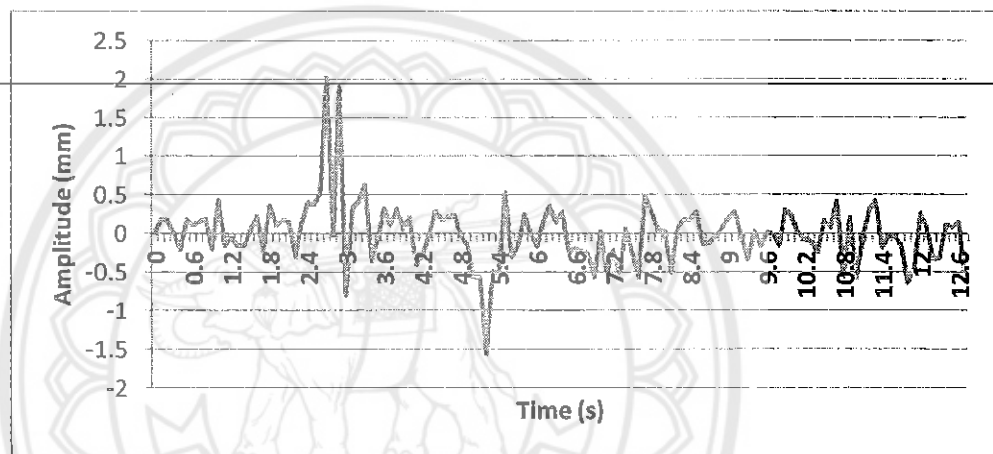
กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะเคลื่อนที่บนหลังเต่าในแนวแกน x, y และ z แสดงในรูปที่ 4.7



(ก) แนวยาว



(ข) แนวตั้ง



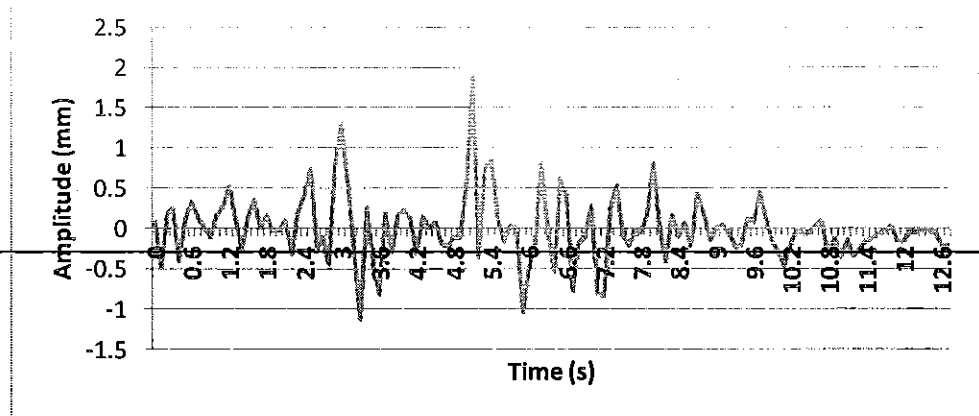
(ค) แนวขวาง

รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะเคลื่อนที่บนพื้นหลังเต่า

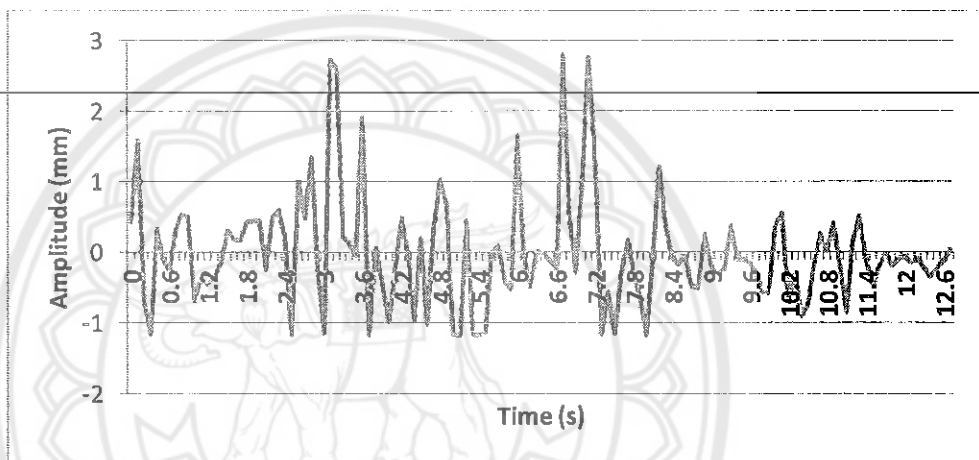
จากการทดสอบการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะจักรยานเคลื่อนที่บนพื้นหลังเต่า (รูปที่ 4.7) พบว่า ภาพ (ก) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2.122 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -1.942 มิลลิเมตร ภาพ (ข) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2.868 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -1.135 มิลลิเมตร และภาพ (ค) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2.017 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -1.559 มิลลิเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบทั้งสามแกนพบว่าแนวยาวมีความเร่งมากที่สุดเป็นผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือน

4.3.4 ลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะเคลื่อนที่บนพื้นขรุขระ

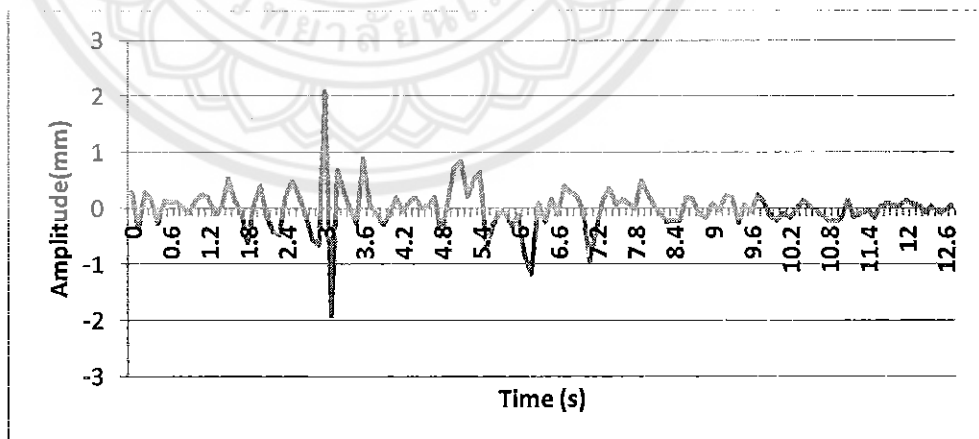
กราฟเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะเคลื่อนที่บนพื้นขรุขระในแนวแกน x , y และ z แสดงในรูปที่ 4.8



(ก) แนวยาว



(ข) แนวตั้ง



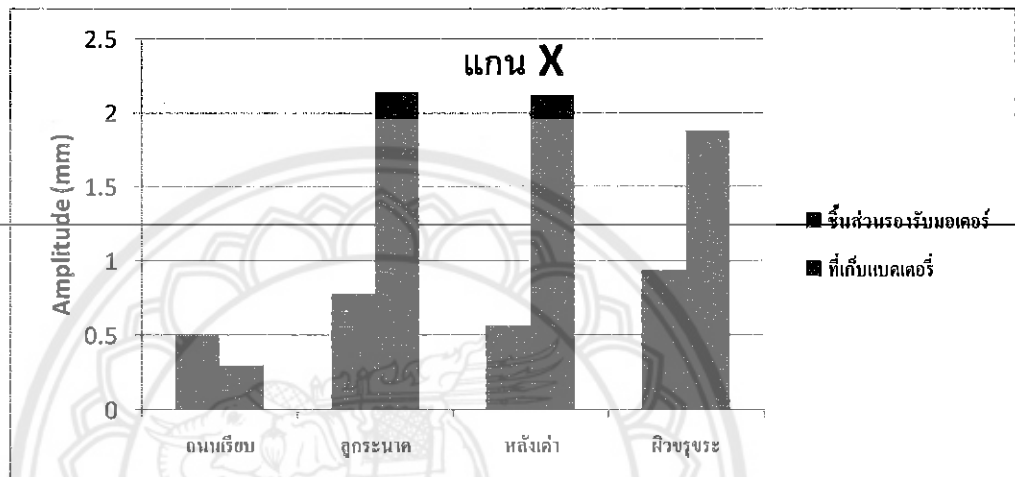
(ค) แนวตั้ง

รูปที่ 4.8 ลักษณะการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะเคลื่อนที่บนพื้นขรุขระ

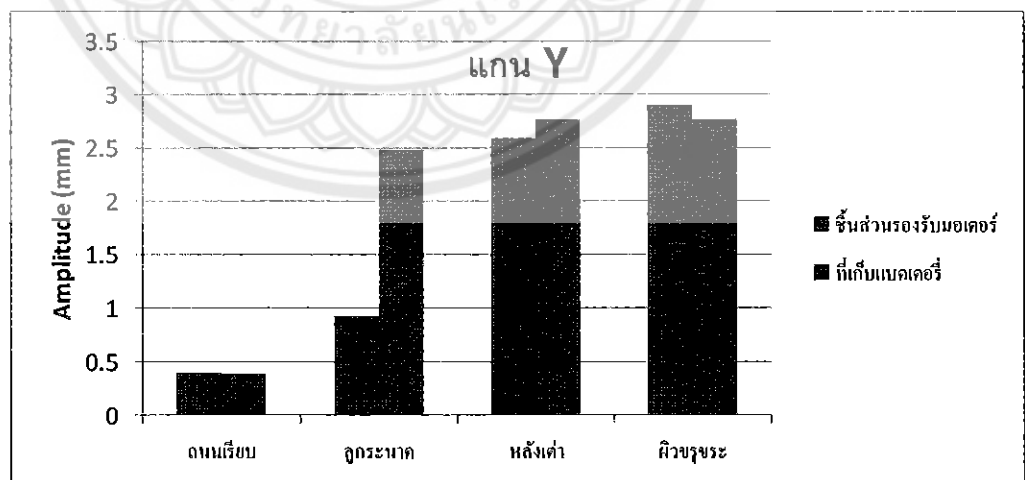
จากการทดสอบการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่ขณะจักรยานเคลื่อนที่บนพื้นขรุขระ (รูปที่ 4.8) พบว่า ภาพ (ก) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 1.880 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -

1.123 มิลลิเมตร ภาพ (ข) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2.792 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -1.174 มิลลิเมตร และภาพ (ค) จะได้แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2.080 มิลลิเมตร และแอมพลิจูดต่ำสุดเท่ากับ -1.918 มิลลิเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบทั้งสามแกนพบว่าแนวตั้งมีความแรงมากที่สุด เป็นผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือน

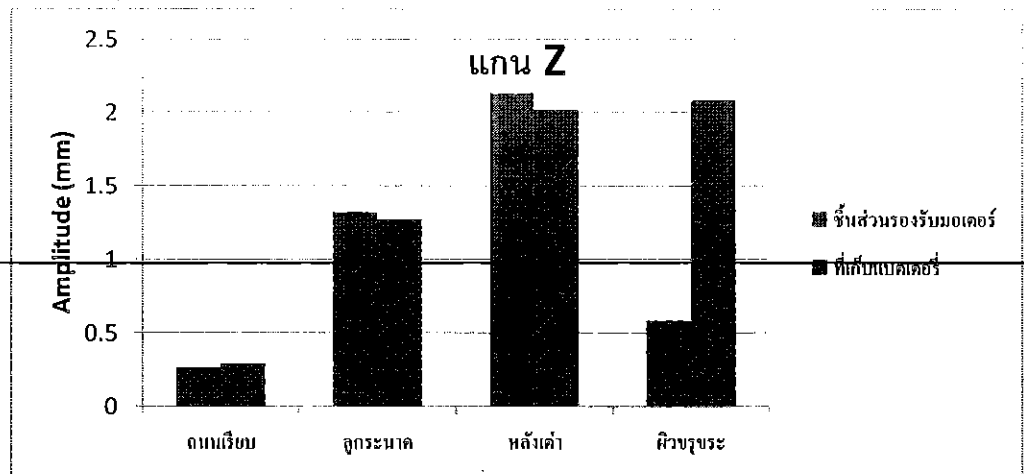
4.4 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือน



รูปที่ 4.9 แผนภูมิแสดงค่าการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์กับที่เก็บแบตเตอรี่แนวแกน x



รูปที่ 4.10 แผนภูมิแสดงค่าการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์กับที่เก็บแบตเตอรี่แนวแกน y



รูปที่ 4.11 แผนภูมิแสดงค่าการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบชั้นส่วนรองรับมอเตอร์
กับที่เก็บเบสคอนกรีตแนวแกน z

จากรูปที่ 4.9 ถึง รูปที่ 4.11 พบว่า ค่าของการสั่นสะเทือนจะแตกต่างกันออกไป ซึ่ง แกน x และแกน z จะมีค่าการสั่นสะเทือนที่ต่ำกว่าแกน y โดยค่าของการสั่นสะเทือนที่สูงที่สุดเท่ากับ 2.90 มิลลิเมตรเมตร เมื่อเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวขรุขระ การสั่นสะเทือนส่งผลโดยตรงทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนเมื่อใช้งานเป็นเวลานานๆ

บทที่ 5

สรุปผล

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาออกแบบติดตั้งชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และแบตเตอรี่ เพื่อวิเคราะห์ การสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์และที่เก็บแบตเตอรี่ของจักรยานเสือภูเขา TRINX เกียร์ 21 สปีด มีโซคัพหน้า โครมอลูมิเนียม ขนาด 26 นิ้ว โดยใช้ความเร็วของจักรยานที่ 15 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง ทำการทดลองในสภาพถนนที่ต่างกัน ทั้งหมด 5 สภาพ ได้แก่ ถนนเรียบ ถนนขรุขระ ลูก ทรายขนาด หลังเต่า

จากการทดลองพบว่า การสั่นสะเทือนของที่รองรับมอเตอร์และแบตเตอรี่ จะเกิดการ สั่นสะเทือนมากที่สุดในแนวแกน y (แนวตั้ง) และสภาพพื้นผิวที่เกิดการสั่นสะเทือนมากที่สุดคือพื้นผิว ขรุขระ ส่วนพื้นผิวหลังเต่า พื้นลูกทรายขนาด พื้นผิวเรียบ มีขนาดขาดการสั่นสะเทือนน้อยลงตามลำดับ

5.2 ข้อจำกัดในการทำโครงการ

- 1) ชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์เกิดการชำรุดเนื่องจากแรงกระชากจากมอเตอร์ เมื่อ นำไปใช้ในการทดลองสั่นสะเทือนที่รุนแรงเป็นเวลานานๆ
- 2) ในการออกแบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ลดการสั่นสะเทือนจึงทำให้เกิดการ สั่นสะเทือนสูงเนื่องจากยางรองไม่สามารถลดการสั่นสะเทือนได้มากเท่าที่ควร
- 3) ในการทดลองและเก็บค่าแต่ละครั้งใช้เวลานานเนื่องจากต้องใช้สัญญาณอินเตอร์เน็ตเพื่อ ส่งข้อมูล

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

- 1) การใช้แผ่นยางรองสามารถจะลดการสั่นสะเทือนได้ไม่มาก อาจมีการพัฒนาโดย การติดตั้งโซคัพในส่วนของที่รองรับแบตเตอรี่เพื่อที่ลดการสั่นสะเทือน
- 2) ที่รองรับเกิดการเสียรูปเนื่องจากแรงกระชากของมอเตอร์ที่กระทำ ควรเพิ่มความหนาของ เหล็กให้มากกว่าเดิม 1 ถึง 2 มิลลิเมตร
- 3) ควรมีการเพิ่มสภาพพื้นผิวในการทดสอบ เช่น พื้นที่เป็นเนิน พื้นที่เป็นดินโคลน หรือพื้น หญ้า

เอกสารอ้างอิง

[1] กนต์ธร ชำนิประศาสน์.(2545).การสั่นทางกล Mechanical vibrations.กรุงเทพฯ:บริษัท เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า จำกัด

-- [2] มงคล จิรวรรณเดช.(2548).กลศาสตร์วัสดุ Mechanical of materials.กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล

[3] วินัย เวชวิทยาชลิ่ง “เทคนิคการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่องานบำรุงรักษา” เอ็มแอนด์อี 2552.

[4] เหล็กฉาก (Equal Angles).[เพิ่มข้อมูล].ตารางเหล็กฉาก.สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2555. จาก <http://www.zubbsteel.com/Products/equal-angle.html>.

-- [5] สุวัตชัย กล้าเกิดผล.[เพิ่มข้อมูล].เทคนิค fft และผลกระทบจากการแปรปรวนของ สัญญาณต่อการวัดการสั่นสะเทือน.สืบค้นเมื่อ10มีนาคม 2555. จาก <http://www.tjipmt.com/articles/vibration>



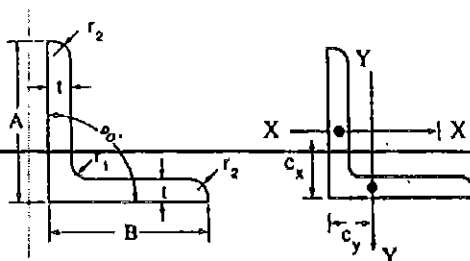




ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาและเหล็กกล้าผสม
(mechanical properties of plain carbon alloy steels)

AISI Type	Condition	Tensile Strength, ksi	Yield Strength, ksi	Elongat.in 2 in, %	Reduction in Area, %	Hardness, BHN	Mechin-ability (Based on 1112 = 100)
1010	HR	64	42	28	67	107	45
	CD	78	68	16	63	129	55
	CDA	64	48	28	65	131	55
1020	HR	65	43	36	59	143	50
	CD	78	66	20	55	156	65
	A	57	52	37	66	111	90
	N	64	50	36	68	131	75
1030	HR&turned	72	44	31	63	140	-
	CD	84	76	16	57	177	65
	A	67	50	31	58	126	-
	N	76	51	32	61	149	-
1040	HR	91	58	27	50	201	63
	CD	100	88	17	42	207	65
	A	75	51	30	57	149	-
	N	85	50	28	55	170	60
1045	HR	98	59	24	45	212	56
	CD	103	90	14	40	217	60
	A	90	55	27	54	174	60
	N	99	61	25	49	207	-
1050	HR	105	67	15	-	-	-
	CD	114	104	9	-	-	54
	A	92	43	24	40	187	-
	N	109	62	20	39	217	-
1095	HR	142	83	18	38	295	-
	A	95	38	13	21	192	-
	N	147	73	10	14	293	-
1118	HR	75	50	35	55	140	-
	CD	85	75	25	55	170	80
	A	65	41	35	67	131	80
	N	69	46	34	68	143	80
2330	CD	105	90	20	50	212	50
	A	85	61	28	58	179	50
	N	100	68	26	56	207	-
3140	CD	107	92	17	50	212	55
	A	100	61	25	51	197	55
	N	129	87	20	58	262	-
4130	HRA	86	56	29	57	183	65
	CDA	98	87	21	52	201	70
	N	97	63	26	60	197	50

ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติของเหล็กฉาก (EQUAL ANGLE)



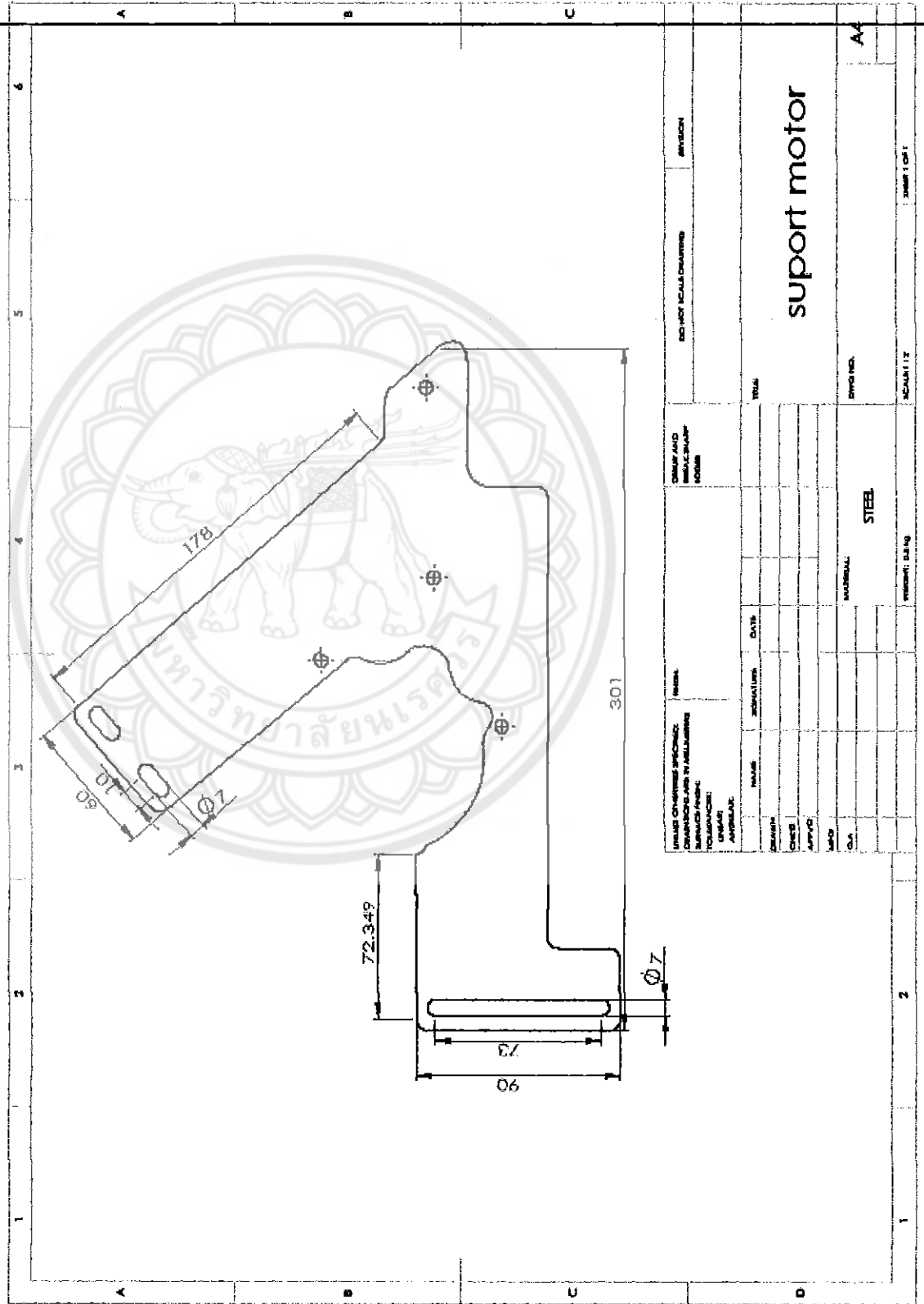
ขนาด (mm)					พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg/m)	ระยะจุดศูนย์กลาง		โมเมนต์เฉื่อย (cm ⁴)				จุดกึ่งกลาง (cm)				โมเมนต์เฉื่อย	
A	B	t	r1	r2			Cx	Cy	Ix	Iy	max lx	max ly	rx	ry	max rx	max ry	Sx	Sy
25	25	3	4	2	1.427	1.12	0.719	0.719	0.797	0.797	1.26	0.332	0.747	0.747	0.94	0.483	0.448	0.448
25	30	3	4	2	1.727	1.36	0.844	0.844	1.42	1.42	2.26	0.69	0.908	0.908	1.14	0.685	0.651	0.651
40	40	3	4.6	2	2.336	1.83	1.09	1.09	3.63	3.63	6.6	1.46	1.23	1.23	1.65	0.78	1.21	1.21
45	45	4	6.5	3	3.492	2.74	1.27	1.24	6.6	6.6	10.3	2.7	1.36	1.36	1.72	0.88	2	2
45	45	6	6.5	3	4.302	3.38	1.28	1.28	7.91	7.91	12.5	3.29	1.36	1.36	1.71	0.974	2.46	2.46
50	50	4	6.5	3	3.892	3.08	1.37	1.37	9.08	9.08	14.4	3.78	1.53	1.53	1.92	0.993	2.49	2.49
50	50	6	6.5	3	4.802	3.77	1.41	1.41	11.1	11.1	17.6	4.58	1.62	1.62	1.91	0.978	3.09	3.09
50	50	8	6.5	4.5	6.644	4.43	1.44	1.44	12.8	12.8	20	5.23	1.5	1.5	1.88	0.963	3.55	3.55
60	60	4	6.5	3	4.692	3.69	1.61	1.61	16	16	25.4	6.62	1.85	1.85	2.33	1.19	3.66	3.66
60	60	5	6.6	3	6.802	4.55	1.66	1.66	19.6	19.6	31.2	8.08	1.84	1.84	2.32	1.18	4.52	4.52
65	65	6	6.5	3	6.367	6	1.77	1.77	25.3	25.3	40.1	10.6	1.99	1.99	2.61	1.28	6.36	6.36
65	65	6	6.5	4	7.627	6.91	1.81	1.81	28.4	28.4	46.6	12.2	1.98	1.98	2.49	1.27	6.26	6.26
65	65	8	6.5	6	9.261	7.66	1.88	1.88	36.8	36.8	69.3	15.3	1.94	1.94	2.44	1.26	7.96	7.96
70	70	6	6.5	4	8.127	6.38	1.93	1.93	37.1	37.1	69.9	16.3	2.14	2.14	2.69	1.37	7.33	7.33
75	75	6	6.5	4	8.727	6.85	2.06	2.06	46.1	46.1	73.2	19	2.3	2.3	2.9	1.48	8.47	8.47
75	75	9	6.5	6	12.69	9.96	2.17	2.17	64.4	64.4	102	26.7	2.25	2.25	2.84	1.45	12.1	12.1
75	75	12	6.5	6	16.66	13	2.29	2.29	81.9	81.9	129	34.6	2.22	2.22	2.79	1.44	15.7	15.7
80	80	6	6.5	4	9.327	7.32	2.18	2.18	56.4	56.4	83.6	23.2	2.46	2.46	3.1	1.69	9.7	9.7
90	90	6	10	6	10.55	8.28	2.42	2.42	80.7	80.7	128	33.4	2.77	2.77	3.48	1.78	12.3	12.3
90	90	7	10	6	12.22	9.59	2.46	2.46	93	93	148	38.3	2.76	2.76	3.48	1.77	14.2	14.2
90	90	10	10	7	17	13.3	2.67	2.67	125	125	199	61.7	2.71	2.71	3.42	1.74	19.5	19.5
90	90	13	10	7	21.71	17	2.69	2.69	166	166	248	66.3	2.68	2.68	3.38	1.73	24.8	24.8
100	100	7	10	6	13.62	10.7	2.71	2.71	129	129	206	63.2	3.08	3.08	3.88	1.98	17.7	17.7

ตารางที่ ก.3 ขนาดของน็อตหกเหลี่ยม (Hex Head)

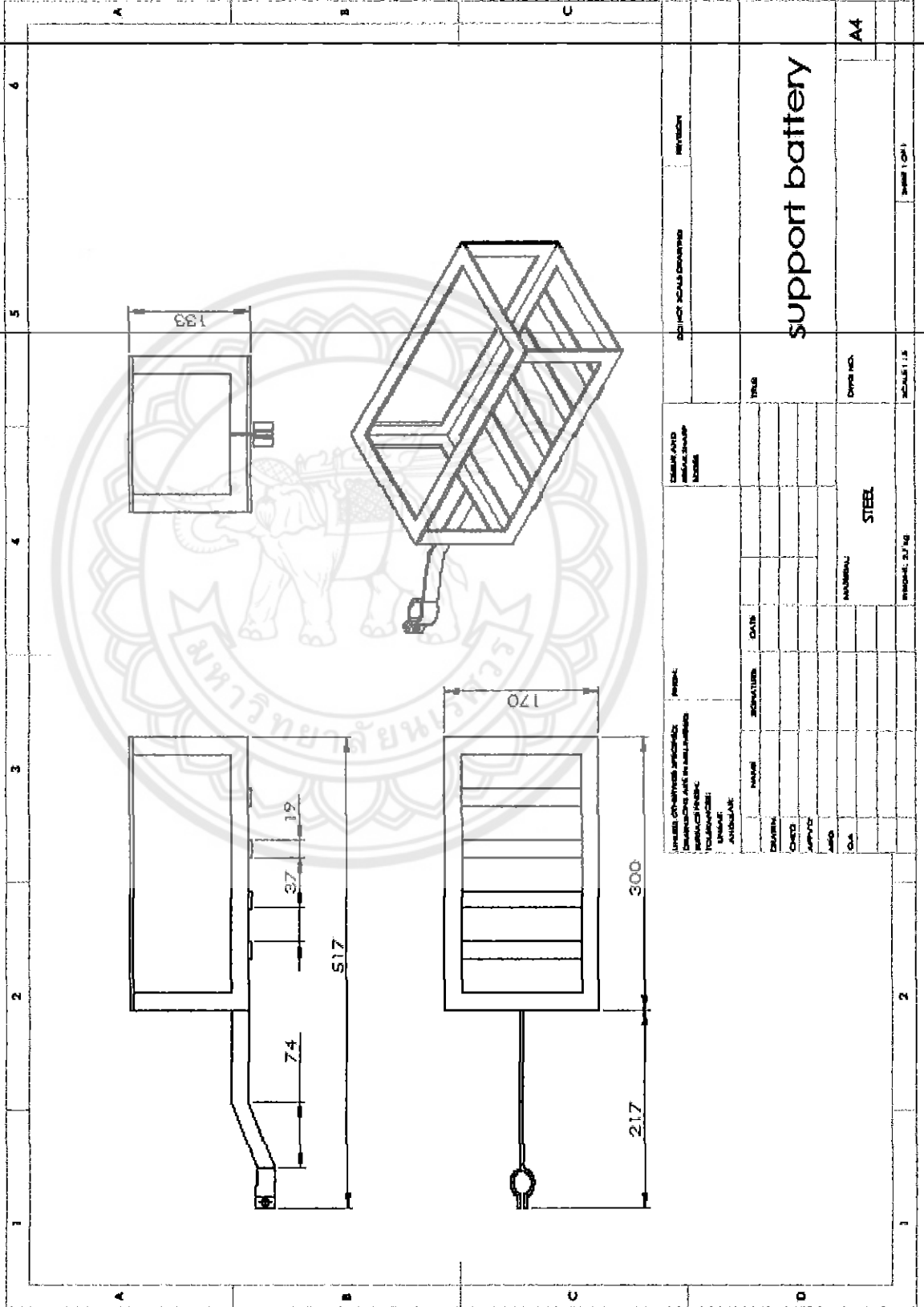
Thread Sizes	Stress Area mm ²	Property Class 8.8				Property Class 10.9			
		Torque		Induced Load		Torque		Induced Load	
		Nm	Kgm.	N	Kgs	Nm	Kgm	N	Kgs
M4	8.78	3.0	0.30	3877	395	4.3	0.44	5695	580
M5	14.2	6.0	0.62	6361	648	8.9	0.91	9344	952
M6	20.1	10.3	1.05	9005	918	15.1	1.54	13230	1348
M8	36.6	25.0	2.54	16400	1671	37.0	3.73	24080	2455
M10	58.0	50.0	5.11	26360	2686	74.0	7.50	38700	3946
M12	84.3	87.0	8.90	38300	3905	128.0	13.08	56300	5735
(M14)	115.0	139.0	14.17	52300	5327	205.0	20.82	76800	7824
M16	157.0	214.0	21.82	72300	7375	315.0	32.06	106300	10832
(M18)	192.0	304.0	30.97	91200	9300	435.0	44.10	129900	13246
M20	245.0	431.0	43.91	116400	11868	615.0	62.54	165800	16903
(M22)	303.0	586.0	59.74	144000	14677	835.0	85.08	205100	20904
M24	353.0	745.0	75.94	167700	17100	1060.0	108.00	238700	24333
(M27)	459.0	1090.0	111.00	218100	22234	1550.0	158.00	310400	31640
M30	561.0	1480.0	150.00	266600	27175	2105.0	214.60	379400	38671
(M33)	694.0	2013.0	205.20	329800	33618	2865.0	292.00	469300	47839



รูปที่ ข.1 แบบชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์



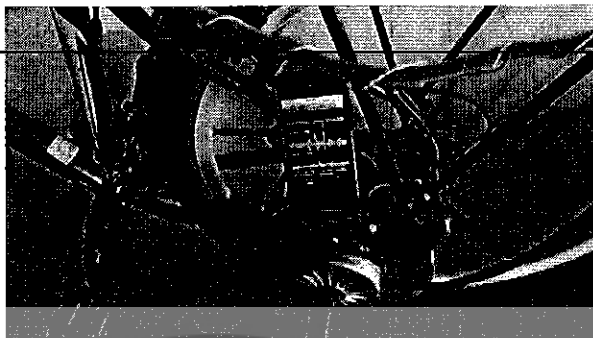
รูปที่ ข.2 ที่เก็บแบตเตอรี่



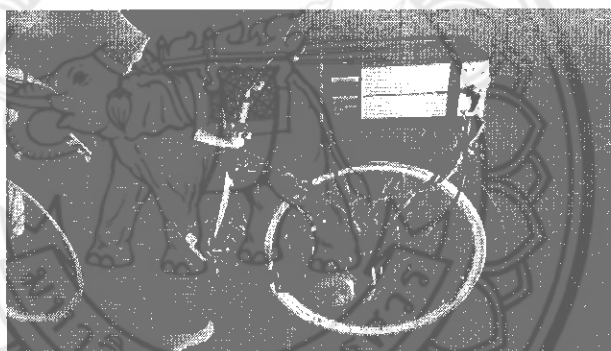
UNIVERSITY OF WAJIRATSAI (มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณ)		DESIGN AND DRAWING		REVISION	
UNIVERSITY OF WAJIRATSAI (มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณ)		DESIGN AND DRAWING		REVISION	
DATE	PROJECT				
DESIGNER	SIGNATURE	DATE			
CHECK					
APPROVE					
AJED					
DATE					
MATERIAL		STEEL		DIMS. INCH.	
WEIGHT: 2.7 KG				SCALE: 1:1.5	
				SHEET (OF)	
				A4	

support battery

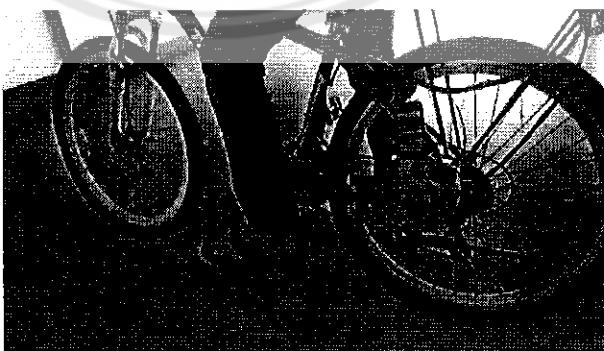
ภาคผนวก ค
การทำการทดลอง



รูปที่ ค.1 วัดการสันสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์โดยอยู่กับที่



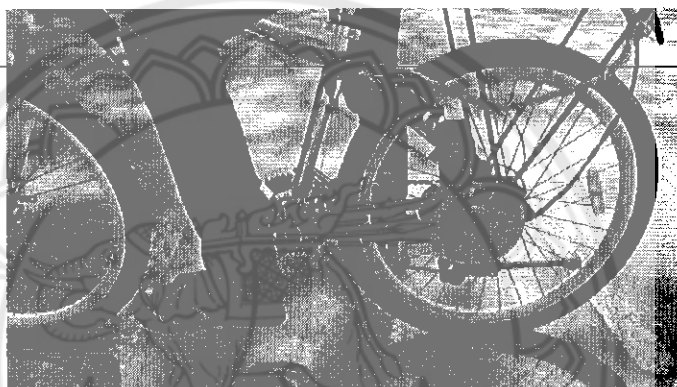
รูปที่ ค.2 วัดการสันสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่โดยอยู่กับที่



รูปที่ ค.3 วัดการสันสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์บนพื้นเรียบ



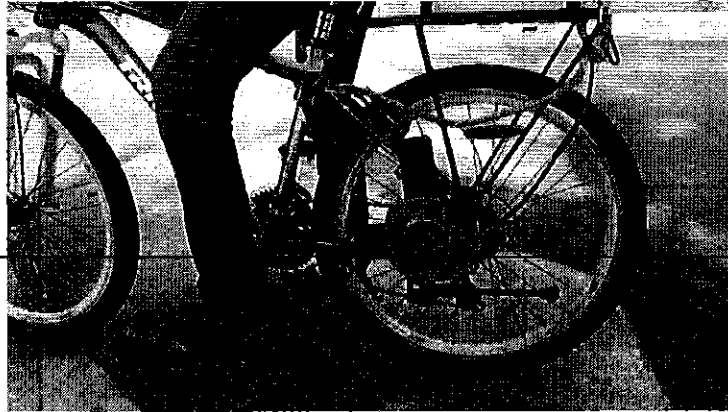
รูปที่ ค.4 วัดการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่บนพื้นเรียบ



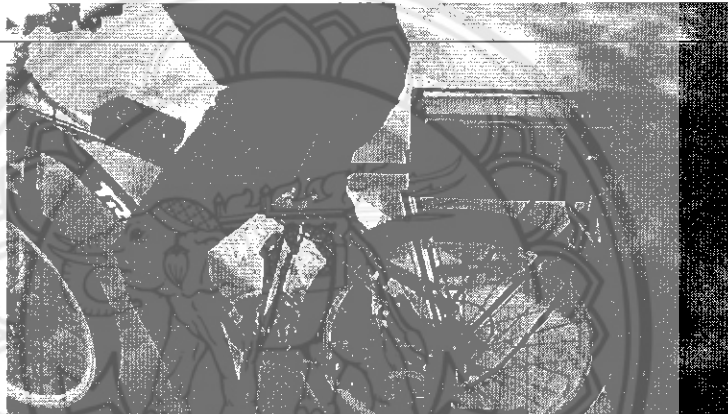
รูปที่ ค.5 วัดการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์บนพื้นลูกระนาด



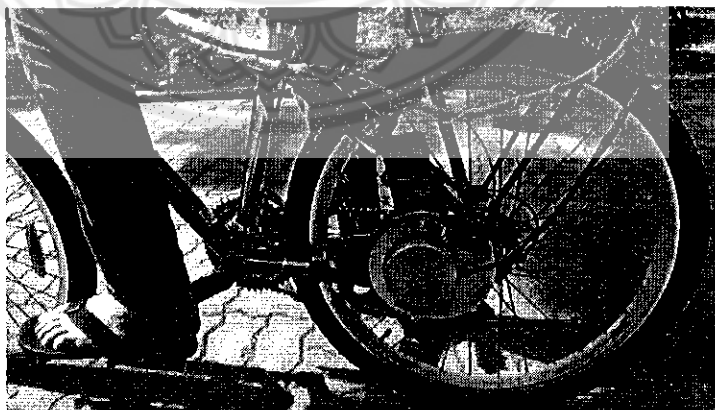
รูปที่ ค.6 วัดการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่บนพื้นลูกระนาด



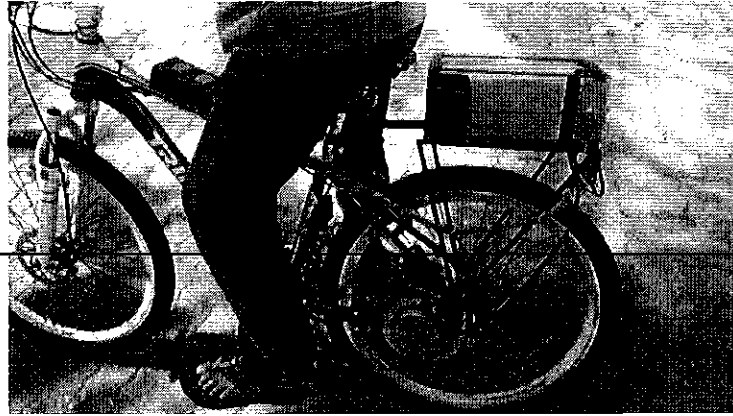
รูปที่ ค.7 วัดการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์บนพื้นหลังเต่า



รูปที่ ค.7 วัดการสั่นสะเทือนของที่เก็บแบตเตอรี่บนพื้นหลังเต่า



รูปที่ ค.8 วัดการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนรองรับมอเตอร์บนพื้นขรุขระ



รูปที่ ค.8 วัดการสันเสเทือนของทีเก็บแบตเตอรึบนพื้นขรุขระ



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายวิเชียร พนมเวสร์

- ภูมิลำเนา 53/61 หมู่ 7 ต.วัดไทร อ.เมือง

จ.นครสวรรค์ 60000

- จบการศึกษาระดับมัธยมจาก

โรงเรียนนวมินทราชูทิศ มัชฌิม จังหวัด นครสวรรค์

- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2554

E-mail : khondee me@hotmail.com



ชื่อ นายเอกชัย สายทอง

- ภูมิลำเนา 451 หมู่ 2 ต.คลองยาง อ.สวรรคโลก

จ. สุโขทัย 64110

- จบการศึกษาระดับมัธยมจาก

โรงเรียนสวรรคค่อนันต์วิทยา จังหวัด สุโขทัย

- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2554

E-mail : panda_me_125@hotmail.com



ชื่อ นายเอกพจน์ ทวี

- ภูมิลำเนา 169/1 หมู่ 1 ต.ทุ่งเสลี่ยม อ.ทุ่งเสลี่ยม

จ.สุโขทัย 64150

- จบการศึกษาระดับมัธยมจาก

โรงเรียนทุ่งเสลี่ยมชนูปถัมภ์ จังหวัด สุโขทัย

- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2554

E-mail : ekaphot_milk@hotmail.com