

การออกแบบและสร้างระบบสปริง-ตัวหน่วงเพื่อลดการสั่นสะเทือนของ  
แท่นรองเครื่องเล่นแผ่นเสียง

DESIGN AND FABRICATION OF THE SPRING-DAMPER SYSTEM TO  
REDUCE VIBRATION OF THE TURNTABLE PLATFORM



นายกล้าพงศ์ ไชยฟู  
นายชนต เหมวิรัช  
นายปิยาพัทธ์ เขาน้ำคุณากร

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

การออกแบบและสร้างระบบสปริง-ตัวหน่วงเพื่อลดการสั่นสะเทือนของ  
แท่นรองเครื่องเล่นแผ่นเสียง

DESIGN AND FABRICATION OF THE SPRING-DAMPER SYSTEM TO  
REDUCE VIBRATION OF THE TURNTABLE PLATFORM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาก่อนนำออกจำหน่ายหรือถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2555

DESIGN AND FABRICATION OF THE SPRING-DAMPER SYSTEM TO  
REDUCE VIBRATION OF THE TURNTABLE PLATFORM



KLAYPONG CHAIFOO  
TANADON HEMWIRAT  
PIYAPAT CHOWKUNAKORN

ADVISOR  
SAYAM SAGUANRUM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF REQUIREMENT FOR THE  
BACHELOR'S DEGREE OF ENGINEERING  
IN MECHANICAL ENGINEERING,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG การนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างระบบสปริง-ตัวหน่วงเพื่อลดการสั่นสะเทือนของแท่นรองเครื่องเล่น  
แผ่นเสียง

DESIGN AND FABRICATION OF THE SPRING-DAMPER SYSTEM TO REDUCE VIBRATION OF  
THE TURNTABLE PLATFORM

คณะผู้จัดทำ

1. นายคล้ายพงศ์ ไชยฟู รหัสประจำตัว 52010122
2. นายธนดล เหมวิรัช รหัสประจำตัว 52010440
3. นายปิยาพัทธ์ เขาวนคุณากร รหัสประจำตัว 52010731



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สยาม สงวนรัมย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบและสร้างระบบสปริง-ตัวหน่วงเพื่อลดการสั่นสะเทือนของแท่นรองเครื่องเล่นแผ่นเสียง

นายคล้ายพงศ์ ไชยฟู	52010112
นายธนดล เหมวิรัช	52010440
นายปิยาพัทธ์ เชาวนัคนุกร	52010731
อาจารย์สยาม สงวนรัมย์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2555	

### บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของโครงการนี้คือ การออกแบบและสร้างระบบสปริง-ตัวหน่วง สำหรับลดการสั่นสะเทือนของแท่นรองเครื่องเล่นแผ่นเสียงอันเกิดจากความถี่ธรรมชาติ และระบบขับเคลื่อนของเครื่องเล่นแผ่นเสียงที่ไปรบกวนความถี่ของเสียงดนตรี ชั้นแรกจะทดสอบการตอบสนองของโครงสร้างด้วยอุปกรณ์วัดความเร่ง จากนั้นหาความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างใน ภาวะต่าง ๆ ของเครื่องเล่นที่ใช้ระบบมวล สปริง เปรียบเทียบกับเครื่องเล่นที่ใช้ ระบบสปริง -ตัวหน่วง โดยจะพิจารณาทิศทางการสั่นสะเทือนของแท่นรองเครื่องเล่น แผ่นเสียง ใ ห้มีทิศทางขึ้น ลงเพียงอย่างเดียว ตัวแปรที่ใช้คือ อัตราส่วนการหน่วง หลังจากทดสอบพบว่า การการถ่วง มวล และเพิ่มตัวหน่วงที่มีค่าอัตราส่วนการหน่วง 0.10, 0.08 และ 0.06 ช่วยลดการสั่นสะเทือนของความถี่ธรรมชาติในภาวะแรกได้ร้อยละ 37.1 26.7 และ 17.8 ตามลำดับ ภาวะที่สองลดได้ร้อยละ 8.86 4.65 และเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.05 ตามลำดับ ภาวะที่สามลดได้ร้อยละ 20.0 36.7 และ 45.6 ตามลำดับ สำหรับขณะทำงานช่วยลดการสั่นสะเทือนของความถี่แรงขับเคลื่อนบังคับ ในภาวะแรกเพิ่มขึ้นร้อยละ 23.1 9.57 และ ลดลง 35.3 ตามลำดับ ภาวะที่สองลดได้ร้อยละ 85.6 89.5 และ 86.8 ตามลำดับ ภาวะที่สามลดได้ร้อยละ 86.2 81.4 และ 42.4 ตามลำดับ

**คำหลัก** 1. เครื่องเล่นแผ่นเสียง 2. การลดการสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND FABRICATION OF THE SPRING DAMPER SYSTEM TO  
REDUCE VIBRATION OF THE TURNTABLE PLATFORM

KLAYPONG      CHAIFOO  
TANADON      HEMWIRAT  
PIYAPAT      CHOWKUNAKORN  
SAYAM      SAGUANRUM Advisor

**ABSTRACT**

The purpose of this project is to design and fabricate spring-damper system for vibration reduction from its natural and driving-forced frequencies. First, the structure is examined the natural frequencies from spring-mass system turntable and spring-damper system turntable in different mode by accelerometer. Next, frequencies responses are compared. We consider vibration of turntable platform only in vertical direction. Then, The system will be varied mass of turntable platform, spring stiffness and damping stiffness. Finally, The results show weighting mass and add damper that damper ratio are 0.10, 0.08 and 0.06 can reduce the amplitude of the first mode vibration 37.1% 26.7% and 17.8% respectively. the amplitude of the second mode vibration 8.86% 4.65% and increase 4.05% respectively. the amplitude of the third mode vibration 20.0% 36.7% and 45.6% respectively. For Playing turntable can reduce the driving force frequency amplitude of the first mode vibration increase 23.1% 9.57% and decrease 35.3% respectively. the driving force frequency amplitude of the second mode vibration 85.6% 89.5% and 86.8% respectively. the driving force frequency amplitude of the third mode vibration 86.2% 81.4% and 42.4% respectively.

**Keyword:** 1. Turntable 2. Vibration reduction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือด้านต่าง ๆ เสมอมาจากอาจารย์สยาม สงวนรัมย์ อาจารย์ที่ปรึกษา เราขอขอบคุณอาจารย์เป็นอย่างมาก ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เตไปวา ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่เอื้อเฟื้ออุปถัมภ์วัดความเร่ง

ขอขอบคุณ ผศ.ฉัตรพัทธ์ ลิ้มกุล รศ.ดร.พงศ์เจต พรหมวงศ์ ผศ.มณฑล ใจกุล ดร.บำรุง พ่วงเกิด ผศ.ดร.จินดา เจริญ พรพาณิชย์ ผศ.ดร.ปัญญา ชันธุ์สุวรรณ และ ดร.สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง คณะกรรมการสอบโครงการงาน ที่ให้คำแนะนำ และให้ความเมตตา ในการนำเสนอโครงการงาน

ขอขอบคุณนายปาลวัฒน์ นิธิกรประดิษฐ์ และนายปิยะณัฐ สิทธานุกูล เพื่อนนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้คำแนะนำการใช้อุปกรณ์วัดความเร่ง

ขอขอบคุณนายรพีพงศ์ ชิวโอสถ เพื่อน นักศึกษา สาขา วิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้คำแนะนำข้อมูลด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ขอขอบคุณพี่กฤษ ชื่นขำ จาก [www.weloveturtable.com](http://www.weloveturtable.com) ที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ เกี่ยวกับเครื่องเล่นแผ่นเสียง

ขอขอบคุณช่างถวิล ชุนแก้ว ที่ให้คำปรึกษาเรื่องงานกลึง

และขอกราบขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ผู้เลี้ยงดูเราเป็นอย่างดี นอกจากให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ ยังให้กำลังใจและความเอาใจใส่เสมอมาในทุก ๆ ด้าน ขอน้อมระลึกถึงในพระคุณอันสุดประมาณของบุพการีทั้งสองของพวกเรา

นายคล้ายพงศ์ ไชยฟู

นายธนดล เหมวิรัช

นายปิยาพัทธ์ เซาว์นคุณากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญรูป	vi
สารบัญตาราง	x
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความถี่ธรรมชาติและการสั่นพ้อง	3
2.2 พื้นฐานเบื้องต้นของการสั่นสะเทือน	3
2.2.1 การเกิดการสั่นสะเทือน	3
2.2.2 การสั่นสะเทือนแบบฮาร์มอนิก	3
2.2.3 ระบบการสั่นสะเทือนในทิศทางเดียว	4
2.3 ปรากฏการณ์ไทรพอด	5
2.4 ระบบแอนทิสเกตทิง	6
2.5 แบบจำลองของระบบลดการสั่นสะเทือน	9
2.5.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระ	9
2.5.2 การสั่นสะเทือนแบบแรงบังคับ	10
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างระบบสปริงตัว-ทวน่ง	12
3.1 ขั้นตอนการออกแบบ	12
3.1.1 การเลือกชนิดของตัวทวน่ง	12
3.1.2 รูปร่างของตัวทวน่งซึ่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์	12
3.2 การสร้างระบบสปริง-ตัวทวน่ง	13
3.2.1 ระบบรองรับด้วยสปริง 3 ตัว	13

เอกสารนี้เป็นเอกสาร  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 ระบบรองรับด้วยตัวหนังสือ 3 ตัว	14
บทที่ 4 การออกแบบและสร้างระบบสปริงตัว-หนังสือ	18
4.1 วิธีการตรวจวัด	18
4.1.1 ตัวรับรู้	18
4.1.2 โปรแกรมทีวีซอฟต์แวร์	18
4.2 ค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องเล่นแผ่นเสียง	19
4.2.1 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง	20
4.2.2 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหนังสือชุดที่ 1	22
4.2.3 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหนังสือชุดที่ 2	25
4.2.4 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหนังสือชุดที่ 3	28
4.3 ค่าความถี่การสั่นของเครื่องเล่นแผ่นเสียง	32
4.3.1 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง	32
4.3.2 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหนังสือชุดที่ 1	34
4.3.3 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหนังสือชุดที่ 2	36
4.3.4 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหนังสือชุดที่ 3	38
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	42
5.1 สรุปผลการทดลอง	42
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก ก	45
ภาคผนวก ข	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบสปริง-ตัวหน่วง	4
รูปที่ 2.2 ปรัชญาการณืโทรพอด	5
รูปที่ 2.3 แสดงตัวหมุมปรับระดับของระบบแอนทิสเกตทิง	6
รูปที่ 2.4 ระบบแอนทิสเกตทิง	6
รูปที่ 2.5 แผนภาพระบบแอนทิสเกตทิง กำหนดให้จุดสีดำคือ จุดหมุม	7
รูปที่ 2.6 แผนภาพวัตถุอิสระ	7
รูปที่ 2.7 แผนภาพวัตถุอิสระ	8
รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงหนึศูนย์กลางและแรงแอนทิสเกตทิง	9
รูปที่ 3.1 ลูกสูบ 3 ชุด และกระบอกสูบ	12
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยุดของสปริง	14
รูปที่ 3.3 แสดงการติดตั้งมวลเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การหน่วง	14
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของสปริง-ตัวหน่วง ชุดที่ 1 เมื่อกระตุ้นด้วยการกด	15
รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของสปริง-ตัวหน่วง ชุดที่ 2 เมื่อกระตุ้นด้วยการกด	16
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของสปริง-ตัวหน่วง ชุดที่ 3 เมื่อกระตุ้นด้วยการกด	17
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์วัดความเร่งคิสเตอร์ โมเดล 8692 ซี	18
รูปที่ 4.2 โปรแกรมตีวีซอพด์	18
รูปที่ 4.3 ติดตั้งตัวรับรู้และกระตุ้นให้เกิดการสั่นสะเทือนโดยใช้ค้อนพลาสติก	19
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่น-เสียงติดตั้งระบบมวลสปริง เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ	20
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่น-เสียงติดตั้งระบบมวลสปริง เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ	21
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่น-เสียงติดตั้งระบบมวลสปริง พิจารณาที่ความถี่ต่ำ เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ	21
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่น-เสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ	22
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่น-เสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ	22



## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง ขณะทำงาน	32
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง ขณะทำงาน	33
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ขณะทำงาน	33
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 ขณะทำงาน	34
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 ขณะทำงาน	34
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ขณะทำงาน	35
รูปที่ 4.28 กราฟเปรียบเทียบความเร่งของการสั่นของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงและเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ขณะทำงาน	35
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 ขณะทำงาน	36
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 ขณะทำงาน	37
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ขณะทำงาน	37
รูปที่ 4.32 กราฟเปรียบเทียบความเร่งของการสั่นของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงและเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ขณะทำงาน	38
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 ขณะทำงาน	38
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 ขณะทำงาน	39
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ขณะทำงาน	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีโทษตามกฎหมาย และต้องรับผิดชอบต่อผู้ที่เกี่ยวข้องที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.36 กราฟเปรียบเทียบความเร่งของการสั่นของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง 40 และเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ขณะทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบลดการ- สั่นสะเทือนต่าง ๆ เมื่อถูกกระตุ้นด้วยการเคาะ	31
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดขณะทำงานของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบ ลดการสั่นสะเทือนต่าง ๆ	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันเครื่องเล่นแผ่นเสียงถูกนำมาใช้ในการฟังเพลงประเภทออดิโอไฟล์มากขึ้น เนื่องจากแผ่นเสียงมีการบันทึกแบบแอนะล็อกทั้งระบบซึ่งให้สัญญาณที่ราบเรียบกว่าสัญญาณดิจิทัล แต่เครื่องเล่นแผ่นเสียงจำนวนมากขาดการเอาใจใส่ถึงการสันสะเทือนของตัวเครื่องซึ่งจะทำให้เกิดความถี่ไปรบกวนเสียงดนตรี ทำให้อรรถรสของดนตรีไม่เป็นที่พึงพอใจของนักฟังเพลงแบบออดิโอไฟล์

เครื่องเล่นแผ่นเสียงมีแป้นหมุนซึ่งหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม 33.5 รอบต่อนาที โดยมีต้นกำลังมาจากมอเตอร์ส่งไปยังแป้นหมุนที่มีแผ่นเสียงวางอยู่ เมื่อวางหัวอ่านลงบนแผ่นเสียง หัวอ่านจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามร่องของแผ่นเสียง การทำงานของหัวอ่านอาจถูกความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงรบกวน ทั้งความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง ความถี่จากสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น จังหวะการเดิน และความถี่ที่เกิดจากการหมุนของมอเตอร์

วัตถุประสงค์ไม่ต่อเนื่องอาจสันด้วยความถี่เฉพาะหรือชุดของความถี่ค่าหนึ่ง ความถี่ดังกล่าวเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ หากวัตถุประสงค์รบกวนด้วยความถี่ที่มีค่าเป็นจำนวนเท่าของความถี่ธรรมชาติ วัตถุประสงค์นั้นจะสันสะเทือนอย่างรุนแรง และอาจเสียหายได้

เครื่องเล่นแผ่นเสียงจากโครงการก่อน [1] ใช้สปริงเพียงอย่างเดียวเพื่อลดการสันสะเทือนของเครื่องเล่นที่รบกวนความถี่ของเสียงดนตรี เพื่อพัฒนาเครื่องเล่นแผ่นเสียงให้มีคุณภาพดีขึ้นโครงการนี้จึงศึกษาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากตัวหน่วง เนื่องจากตัวหน่วงจะทำหน้าที่ดูดซับพลังงานออกจากระบบที่มีการสัน ทำให้แอมพลิจูดของการสันลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างระบบสปริง-ตัวหน่วงสำหรับลดการสั่นสะเทือนของแท่นรองเครื่องเล่นแผ่นเสียง

1.2.2 เพื่อศึกษาการสั่นสะเทือนแบบอิสระของแท่นรองเครื่องเล่นแผ่นเสียงเมื่อติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วง

1.2.3 เพื่อการศึกษาการสั่นสะเทือนแบบแรงบังคับของแท่นรองเครื่องเล่นแผ่นเสียงที่เกิดจากเครื่องเล่นแผ่นเสียง และการหมุนของมอเตอร์เมื่อติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วง

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้จะแก้ปัญหาใน 3 ส่วน คือ

1.3.1 ศึกษาและติดตั้งระบบแอนทิสเกตทิง เพื่อติดตั้งเข้ากับเครื่องเล่นแผ่นเสียง

1.3.2 ถ่วงสมดุลเครื่องเล่นแผ่นเสียง เพื่อให้เป็นไปตามทฤษฎีปรากฏการณ์ทรพอด

1.3.3 ศึกษาและออกแบบระบบสปริง-ตัวหน่วง เพื่อใช้เป็นระบบรองรับการสั่นสะเทือน แล้วทดลองใช้ค่าสัมประสิทธิ์การหน่วง (Damping coefficient) 3 ค่า

## 1.4 วิธีการดำเนินงาน

โครงการนี้เริ่มต้นด้วยการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับ ส่วนประกอบ และหลักการทำงานของเครื่องเล่นแผ่นเสียง รวมทั้งทฤษฎีการลดการสั่นสะเทือน จากนั้นออกแบบ และสร้างระบบสปริง-ตัวหน่วงจากเครื่องเล่นแผ่นเสียงระบบมวลสปริง ทำการวัดขนาดและค่าความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียง แล้วเปรียบเทียบกับเครื่องเล่นแผ่นเสียงจากโครงการก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ความถี่ธรรมชาติและการสั่นพ้อง

ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) คือ ความถี่ของการสั่นของวัตถุซึ่งเกิดจากการรบกวนหรือให้พลังงานกับวัตถุนั้น ซึ่งจะทำให้วัตถุเกิดการสั่นสะเทือนอย่างอิสระ (Free vibration) เรียกว่า ความถี่ธรรมชาติโดยขึ้นอยู่กับขนาด และรูปร่างของวัตถุนั้น ๆ

การสั่นพ้อง (Resonance) คือ การที่วัตถุถูกกระตุ้นด้วยแรงภายนอกอย่างต่อเนื่อง เรียกว่า การสั่นสะเทือนแบบแรงบังคับ (Forced vibration) วัตถุจะสั่นด้วยความถี่ค่าเดียวกับความถี่ของแรงภายนอกที่มากระตุ้น ถ้าความถี่ของแรงที่มากระตุ้นที่ค่าเท่ากับจำนวนเท่าของความถี่ธรรมชาติของวัตถุ จะทำให้วัตถุอยู่ภายใต้ภาวะของการสั่นพ้อง ซึ่งวัตถุจะสั่นอย่างรุนแรง และอาจทำให้เกิดความเสียหายได้

### 2.2 พื้นฐานเบื้องต้นของการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือน หมายถึง การเคลื่อนที่ของวัตถุในลักษณะที่เป็นรูปคลื่นของการแกว่งไปมา การเคลื่อนไหวนี้มีจังหวะ และทิศทางสม่ำเสมอ การสั่นสะเทือนที่ซับซ้อนจะมีหลายจังหวะ และหลายทิศทาง [4]

#### 2.2.1 การเกิดการสั่นสะเทือน

ลักษณะของการเกิดการสั่นสะเทือนแบ่งได้ 2 ประเภท คือ การสั่นสะเทือนแบบอิสระ และการสั่นสะเทือนแบบแรงบังคับ การสั่นสะเทือนแบบอิสระเกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งของมวลที่อยู่ในสภาพนิ่งไปยังตำแหน่งใหม่ แล้วปล่อยให้กลับตำแหน่งเดิม เช่น การเปลี่ยนตำแหน่งของลูกตุ้มนาฬิกาที่เดิมอยู่ในแนวตั้ง การสั่นสะเทือนแบบแรงบังคับเกิดจากการใส่แรงหรือพลังงานอย่างต่อเนื่อง

#### 2.2.2 การสั่นสะเทือนแบบฮาร์มอนิก

การสั่นสะเทือนแบบฮาร์มอนิก เป็นการสั่นสะเทือนที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุขึ้นลง หรือกลับไปมาอย่างต่อเนื่อง ลักษณะการเคลื่อนที่แบบง่ายที่สุดในรูปของฟังก์ชันไซน์ (Sine function) หรือเรียกการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic motion) สามารถเขียนเป็นสมการของเวลาในรูปของ

$$x(t) = X \sin \omega t \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยมี  $x(t)$  คือ ตำแหน่ง ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง (m) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ออกไป และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  $X$  คือ แอมพลิจูด ของการเคลื่อนที่วัดจากตำแหน่งสมดุล (ที่  $x=0$ )

$t$  คือ เวลา (s)

$\omega$  คือ ความถี่เชิงมุม (Angular frequency) (rad/s)

เนื่องจากการเคลื่อนที่เป็นสมการของเวลา ดังนั้นในการเคลื่อนที่จะมีความเร็ว และความเร่งด้วย

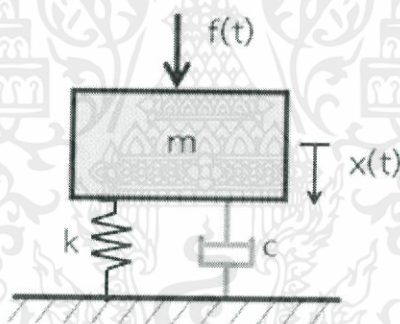
$$v(t) = dx/dt \quad \text{หรือ} \quad v(t) = \omega X \cos \omega t \quad (2.2)$$

$$a(t) = \frac{d^2x}{dt^2} \quad \text{หรือ} \quad a(t) = -\omega^2 X \sin \omega t \quad (2.3)$$

โดยที่  $v(t) = \dot{x}$  = ความเร็วของการเคลื่อนที่ (m/s)

$a(t) = \ddot{x}$  = ความเร่งของการเคลื่อนที่ (m/s<sup>2</sup>)

2.2.3 ระบบการสั่นสะเทือนในทิศทางเดียว หรือแบบหนึ่งองศาเสรี (1-DOF) มีองค์ประกอบ ได้แก่ มวล สปริง และตัวหน่วง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบสปริง-ตัวหน่วง

โดยมี  $m$  คือ มวล (kg)

$k$  คือ ค่าคงของสปริง (N/m)

$c$  คือ ค่าคงตัวการหน่วง (kg/s)

$f(t)$  คือ แรงบังคับที่ใส่ให้ระบบ (N)

สมการการเคลื่อนที่ (Equation of motion) ของระบบหนึ่งองศาเสรี มีแกนการเคลื่อนที่แทน  $z$  ดังรูป คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) \quad (2.4)$$
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีรูปแบบมาตรฐาน คือ

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = \frac{f(t)}{m} \quad (2.5)$$

โดยที่  $\omega_n^2 = \frac{k}{m}$  หรือ  $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$  (rad/s)

และ  $\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$

ค่า  $\omega_n$  คือ ค่าความถี่ธรรมชาติ และ  $\zeta$  คือ อัตราส่วนการหน่วง (Damping ratio) ทั้งสองค่านี้มีผลต่อการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น

ค่า  $\zeta$  มีชื่อเรียกในช่วงต่าง ๆ แตกต่างกันไป คือ

$\zeta = 0$  คือ ระบบไม่ถูกหน่วง (Undamped system)

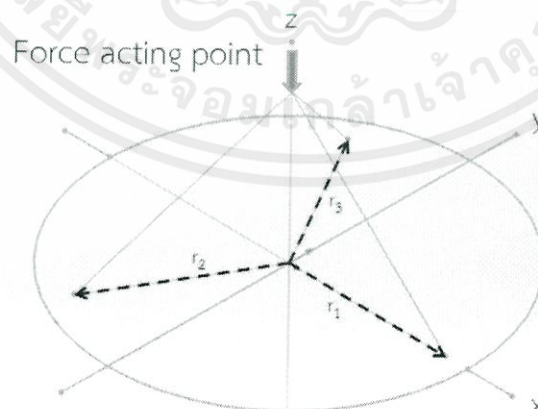
$0 < \zeta < 1$  คือ ระบบหน่วงต่ำ (Underdamped system)

$\zeta = 1$  คือ ระบบหน่วงวิกฤต (Critically damped system)

$\zeta > 1$  คือ ระบบหน่วงเกิน (Overdamped system)

### 2.3 ปรากฏการณ์ไทรพอด (Tripod effect)

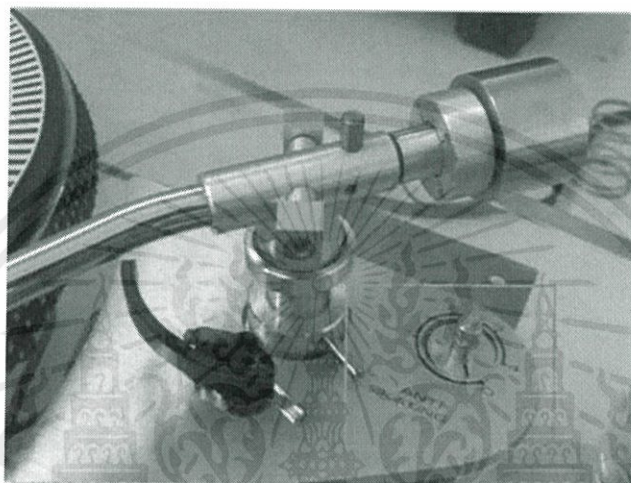
เป็นหลักการกระจายแรงจากจุดศูนย์กลางของแรงไปยังขาทั้งสามของวัตถุในลักษณะสมมูลกัน ซึ่งเป็นหลักการเดียวกันกับระบบขาตั้งกล้องทั่วไป ดังรูปที่ 2.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก **รูปที่ 2.2 ปรากฏการณ์ไทรพอด** ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ระบบแอนทิสเกตติง (Anti-skating System)

ขณะเครื่องเล่นแผ่นเสียงทำงานจะมีแรงหนีศูนย์กลางกระทำที่หัวเข็มจึงทำให้หัวเข็มเกิดการไถลข้ามร่องแผ่นเสียงทำให้เสียรรถรสในการฟังเพลง เครื่องเล่นแผ่นเสียงส่วนใหญ่จึงมีระบบแอนทิสเกตติงเพื่อต้านแรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งจะมีตัวหมุนปรับระดับเพื่อปรับระยะยึดของสปริงในระบบดังรูปที่ 2.3 สำหรับโครงการนี้จะทำการติดตั้งระบบแอนทิสเกตติง โดยกำหนดให้แรงแอนทิสเกตติงแปรผันตามระยะยึดของสปริง [2]

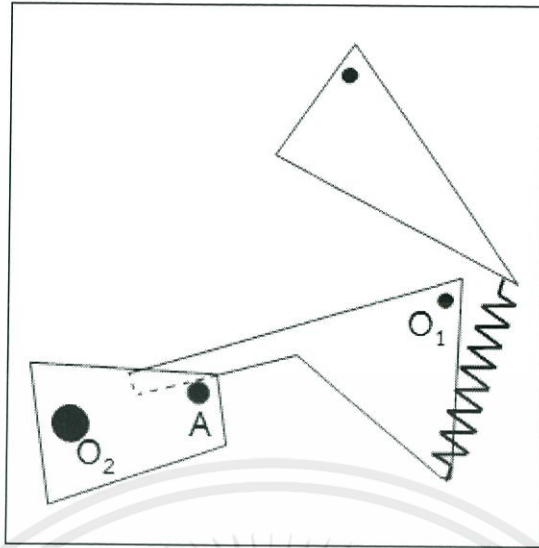


รูปที่ 2.3 แสดงตัวหมุนปรับระดับของระบบแอนทิสเกตติง

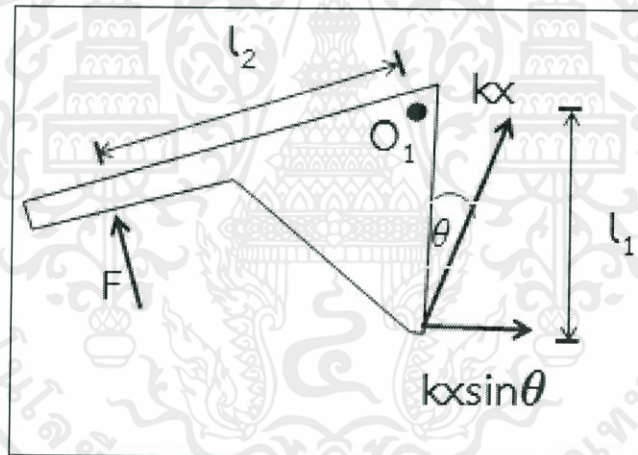


รูปที่ 2.4 ระบบแอนทิสเกตติง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แผนภาพระบบแอนทิสเทตทิง กำหนดให้จุดยึดค้ำคือ จุดหมุน [3] เมื่อจุด A รับแรงกระทำ จากก้านซึ่งมีจุด O<sub>1</sub> เป็นจุดหมุน



รูปที่ 2.6 แผนภาพวัตถุอิสระ

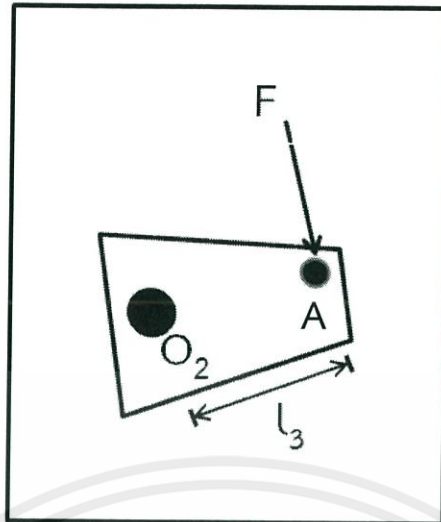
จากรูปที่ 2.6

$$\sum M_{O_1} = 0$$

$$F_s \sin \theta (l_1) - F(l_2) = 0$$

$$F = F_s \left( \frac{l_1}{l_2} \right) \sin \theta \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แผนภาพวัตถุอิสระ

จากรูปที่ 2.7

$$\sum M_{O_2} = 0$$

$$F(l_3) + F_A(l_4) = 0$$

$$F_s \left( \frac{l_1}{l_2} \right) \sin \theta (l_3) + F_A(l_4) = 0$$

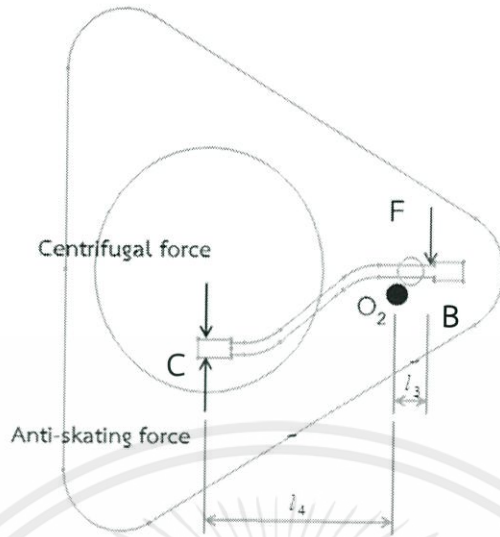
$$F_A = \frac{-F_s(l_1)(l_3)}{(l_2)(l_4)} \sin \theta \quad (2.7)$$

$$F_C = \frac{mv^2}{r}$$

$$v = \omega r$$

$$F_C = \frac{m(\omega r)^2}{r} = m\omega^2 r \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงหนีศูนย์กลางและแรงแอนทิสเกตติง เมื่อแรง  $F$  กระทำที่จุด  $B$  ผ่านจุดหมุน  $O_2$  และพิจารณาแรงลัพธ์ที่จุด  $C$

จากรูปที่ 2.8

แรงหนีศูนย์กลาง = แรงแอนทิสเกตติง

$$m\omega^2 r = \frac{-F_k l_1 l_3}{l_2 l_4} \sin \theta$$

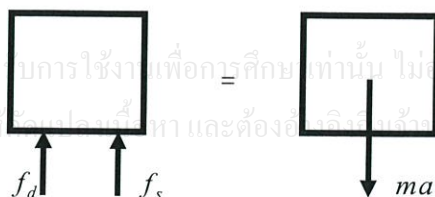
$$x = \frac{-m\omega^2 r l_2 l_4}{k l_1 l_3 \sin \theta}$$

(2.9)

## 2.5 แบบจำลองของระบบลดการสั่นสะเทือน

โครงการนี้ได้ใช้ระบบสปริง-ตัวหน่วงเป็นระบบลดการสั่นสะเทือน ซึ่งใช้วิธีการหน่วงด้วยความหนืด (Viscous damping) เป็นการหน่วงโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของลูกสูบผ่านของไหลในกระบอกสูบ แรงเสียดทานระหว่างของไหลและผิวลูกสูบจะทำให้เกิดการหน่วงการเคลื่อนที่ โดยมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบภายใต้สมมติฐานต่อไปนี้ ให้แท่นรองรับเสียงเคลื่อนที่ตามแนวแกน  $z$  สปริงมีค่า  $k$  คงที่ และตัวหน่วงมีค่า  $c$  คงที่

### 2.5.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เอกสารนี้ทางออนไลน์ และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum F = ma$$

$$-f_d - f_s = m\ddot{x}$$

$$-c\dot{x} - kx = m\ddot{x}$$

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

$$\frac{\ddot{x}}{m} + \frac{c}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0 \quad (2.9)$$

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = 0 \quad (2.10)$$

จากสมการ (2.9) และ (2.10)  $2\zeta\omega_n = \frac{c}{m}$

และ

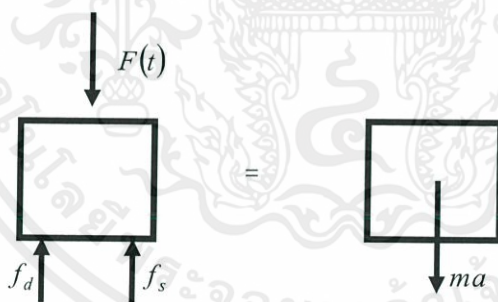
$$\frac{k}{m} = \omega_n^2$$

$$\therefore \zeta = \frac{c}{2m\omega_n}$$

และ

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

### 2.5.2 การสั่นสะเทือนแบบแรงบังคับ



$$\sum F = ma$$

$$F(t) - f_d - f_s = m\ddot{x}$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามคัดลอกไปใช้อีกโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = f(t) \quad (2.11)$$

เมื่อ  $f(t) = \frac{F(t)}{m}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# การออกแบบและสร้างระบบสปริง-ตัวหน่วง

### 3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

#### 3.1.1 การเลือกชนิดของตัวหน่วง

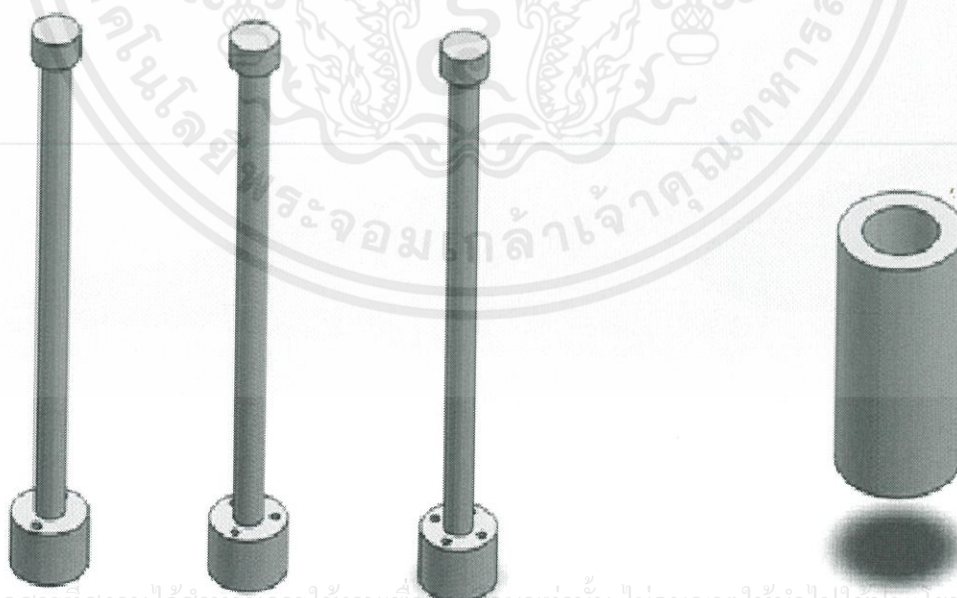
จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการหน่วงเบื้องต้น พบว่าการหน่วงแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. การหน่วงด้วยความหนืด คือ การหน่วงโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของลูกสูบในกระบอกบรรจุของไหล
2. การหน่วงด้วยแรงเสียดทานแห้ง คือ การหน่วงที่อาศัยระบบทางกลเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่มีความเสียดทาน
3. การหน่วงด้วยแรงต้านภายในของแข็ง คือ การหน่วงที่อาศัยความต้านทานแรงที่เกิดขึ้นภายในวัสดุหรือโครงสร้างของตัวหน่วง

จึงพิจารณาเลือกตัวหน่วงที่ใช้วิธีการหน่วงด้วยความหนืดโดยใช้น้ำมันเครื่อง (ทูที ไฮ-สปีด ปตท.) เป็นของไหล

#### 3.1.2 รูปร่างของตัวหน่วง

ลูกสูบลักษณะเป็นทรงกระบอกเจาะรู 2 3 และ 4 รูตามลำดับ และกระบอกสูบลักษณะเป็นทรงกระบอกคว้านรูขนาดเท่ากับลูกสูบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 ลูกสูบ 3 ชุด และกระบอกสูบ

### 3.2 การสร้างระบบสปริง-ตัวหน่วง

การออกแบบระบบรองรับด้วยสปริง-ตัวหน่วง มีวัตถุประสงค์เพื่อลดแรงสั่นสะเทือนจากสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น แรงสั่นสะเทือนจากรถวิ่งและการก้าวเดิน โดยระบบสปริง-ตัวหน่วงจะช่วยลดแรงสั่นสะเทือนดังกล่าวที่ส่งผ่านไปยังแป้นหมุนและโทนอาร์ม ทำให้แท่นรองรับรักษาระดับการสั่นสะเทือนในแอมพลิจูดที่ต่ำลง เสียงดนตรีจึงถูกรบกวนจากการสั่นสะเทือนของโครงสร้างน้อยลง โดยจะแบ่งพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือ สปริง และตัวหน่วง

#### 3.2.1 ระบบรองรับด้วยสปริง 3 ตัว

จากโครงการก่อนกำหนดให้ค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องเล่นแผ่นเสียงระหว่างการก้าวเท้า (Footfall frequency) ที่มากที่สุด และค่าความถี่ธรรมชาติของโทนอาร์ม (Tonearm natural frequency) เป็นดังนี้

$$\text{Footfall frequency} < \text{Turntable frequency} < \text{Tonearm Frequency}$$

$$3 < \text{Turntable frequency} < 8$$

เพราะฉะนั้นค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องเล่นแผ่นเสียงควรอยู่ระหว่าง 4-7 เฮิร์ตซ์ และต้องไม่เป็นจำนวนเท่าของความถี่โทนอาร์ม

จากสูตรความถี่ธรรมชาติของมวลติดสปริง

$$\text{Natural frequency} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ (rad/s)}$$

มวลเครื่องเล่นแผ่นเสียง 8.56 กิโลกรัม แต่เนื่องจากติดตั้งระบบสปริง 3 ตัว เพราะฉะนั้นสปริงจะรับน้ำหนัก

$$m = \frac{8.56}{3} = 2.85 \text{ kg}$$

จะได้

$$4 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_1}{2.85}}$$

$$k_1 = 1.80 \text{ kN/m}$$

$$7 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_2}{2.85}}$$

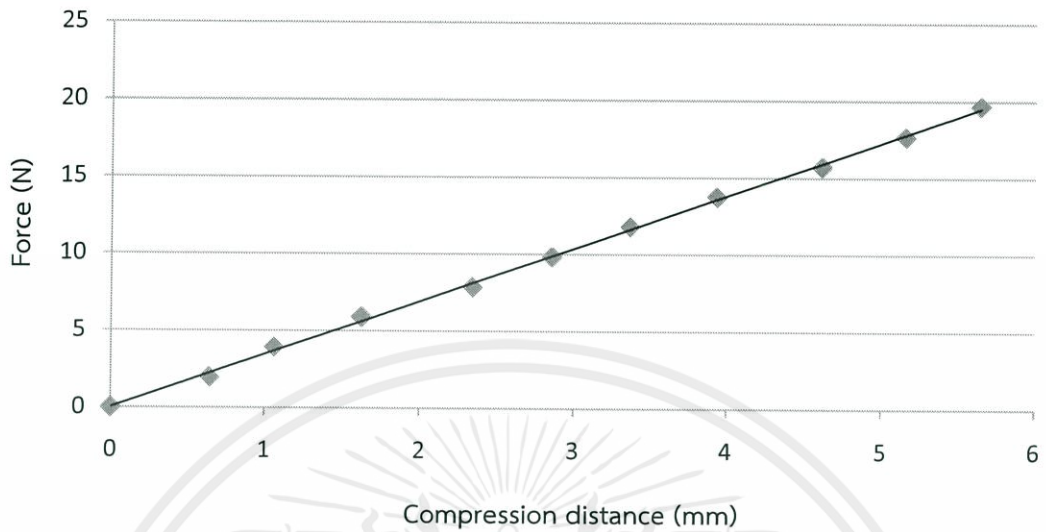
$$k_2 = 5.51 \text{ kN/m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถ้าทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาน้ำจิสสปริงเหมาะสมมีค่าระหว่าง 1.80 ถึง 5.51 กิโลนิวตันต่อเมตร เพื่อเลือกสปริงให้เหมาะสมกับเครื่องเล่นจึงตัดสินใจทดสอบหาคาน้ำจิสสปริงชุดเดียวกับโครงการก่อน โดยใช้มวลกดสปริง

แล้ววัดระยะยุบ จากนั้นนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยุบของสปริง และหาค่า นิจสปริงจากค่าความชันของกราฟ



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยุบของสปริง

สมการเส้นตรงคือ

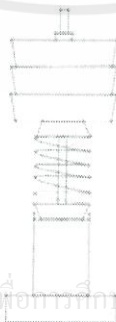
$$y = 3.45x$$

$$\therefore k = 3.45 \text{ kN/m}$$

จะเห็นว่าค่านิจสปริงอยู่ในช่วงที่เหมาะสม จึงเลือกใช้สปริงชุดนี้

### 3.2.2 ระบบรองรับด้วยตัวหน่วง 3 ตัว

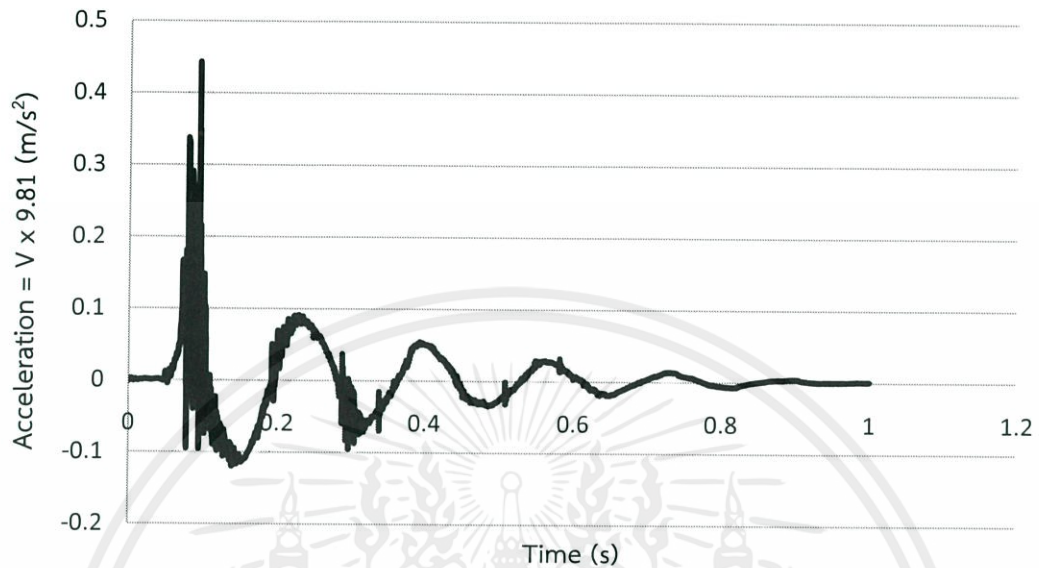
สร้างโดยใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม (SS304) โดยออกแบบให้มีลูกสูบทั้งหมด 3 ชุด ชุดที่หนึ่งเจาะ รู 2 รู ชุดที่สองและสาม เจาะรู 3 และ 4 รู ตามลำดับ จากนั้นทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงของตัวหน่วงทั้ง 3 ชุด โดยการติดตั้งมวล และกด ดังรูปที่ 3.3 และนำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาที่ได้อ่านวนหาค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดงการติดตั้งมวลเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การหน่วง

หาค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงได้จากการเปรียบเทียบสมการการสั่นสะเทือน  $y = ae^{-\zeta\omega_n t}$  และสมการเอกซ์โพเนนเชียล  $y = ae^{-kt}$  หาค่าคงตัวสปริงได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของตัวหน่วงแต่ละชุด



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 เมื่อกระตุ้นด้วยการกด

ค่าคงตัวสปริงเฉลี่ยจากกราฟ คือ 3.55 kN/m  
เมื่อได้ความถี่ธรรมชาติจากกราฟเท่ากับ 37.3 rad/s

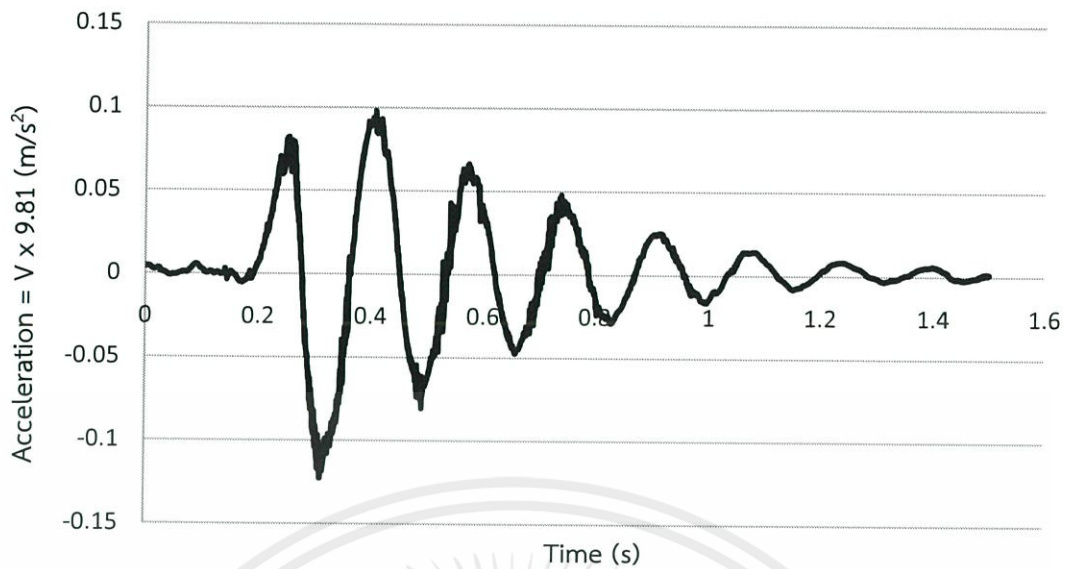
$$k = \zeta\omega_n$$

$$\zeta = 0.10$$

$$\zeta = \frac{c}{2m\omega_n}$$

$$\therefore c = 18.6 \text{ kg/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 เมื่อกระตุ้นด้วยการกด

ค่าคงตัวสปริงเฉลี่ยจากกราฟ คือ 2.90 kN/m  
เมื่อได้ความถี่ธรรมชาติจากกราฟเท่ากับ 37.3 rad/s

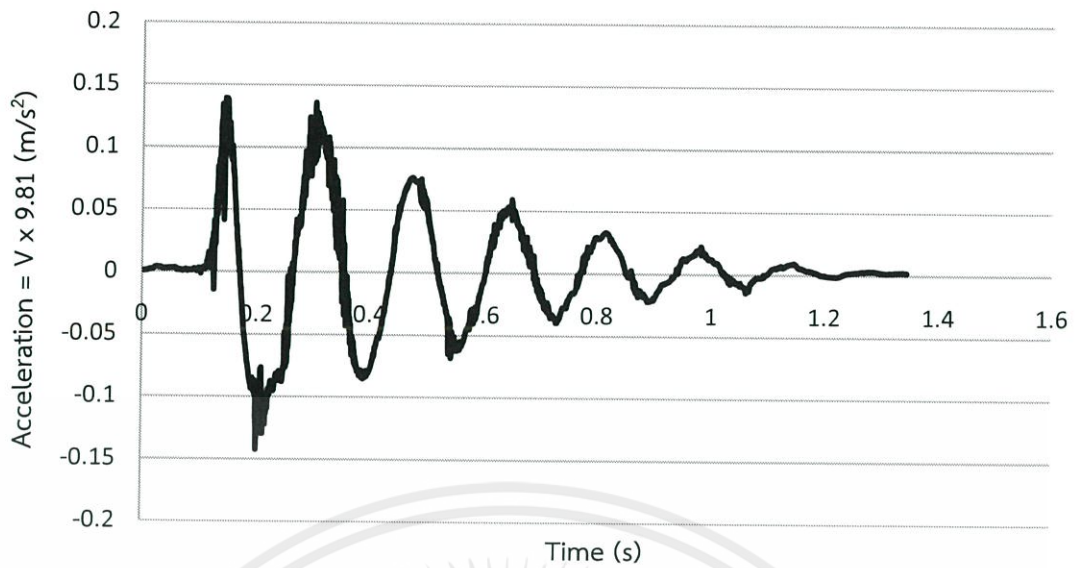
$$k = \zeta \omega_n$$

$$\zeta = 0.08$$

$$\zeta = \frac{c}{2m\omega_n}$$

$$\therefore c = 14.9 \text{ kg/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 เมื่อกระตุ้นด้วยการกด

ค่าคงตัวสปริงเฉลี่ยจากกราฟ คือ 2.22 kN/m  
เมื่อได้ความถี่ธรรมชาติจากกราฟเท่ากับ 37.3 rad/s

$$k = \zeta \omega_n$$

$$\zeta = 0.06$$

$$\zeta = \frac{c}{2m\omega_n}$$

$$\therefore c = 11.2 \text{ kg/s}$$

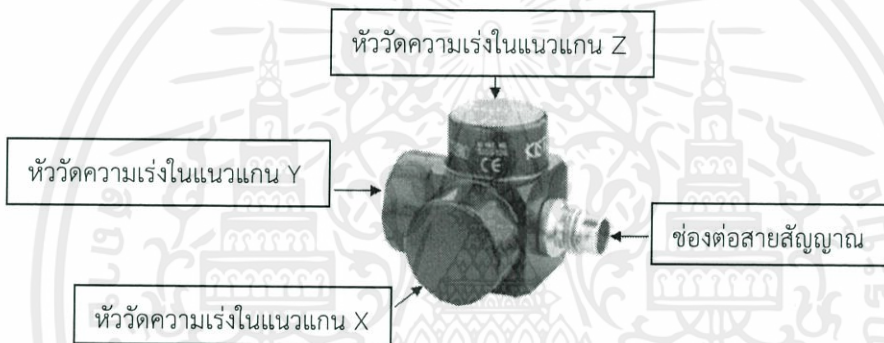
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ขั้นตอนและผลการทดลอง

#### 4.1 วิธีการตรวจวัด

4.1.1 ตัวรับรู้ ใช้อุปกรณ์วัดความเร่งพิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric accelerometer) เป็นอุปกรณ์วัดความเร่ง ใช้ตรวจวัดการสั่นสะเทือนเชิงกลของระบบต่าง ๆ ตัวรับรู้ของอุปกรณ์วัดความเร่งที่ทำจากพิโซอิเล็กทริก ซึ่งเป็นเซรามิกประเภทหนึ่งที่มีความไวต่อความเค้นของวัสดุ เมื่อพิโซอิเล็กทริกได้รับความเค้นดึง ก็จะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าในทิศทางที่ตรงข้ามกับความเค้นดึงในทางกลับกัน ถ้าใส่กระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรก็จะทำให้พิโซอิเล็กทริกเปลี่ยนรูปร่างไปเนื่องจากความเค้นที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 4.1 อุปกรณ์วัดความเร่งคิสเตอร์ โมเดล 8692 ซี

4.1.2 โปรแกรมดีวีซอฟต์ (DEWEsoft) เป็นโปรแกรมที่ใช้แปลงจากอุปกรณ์วัดความเร่งมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา และใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier transform) แปลงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับความถี่

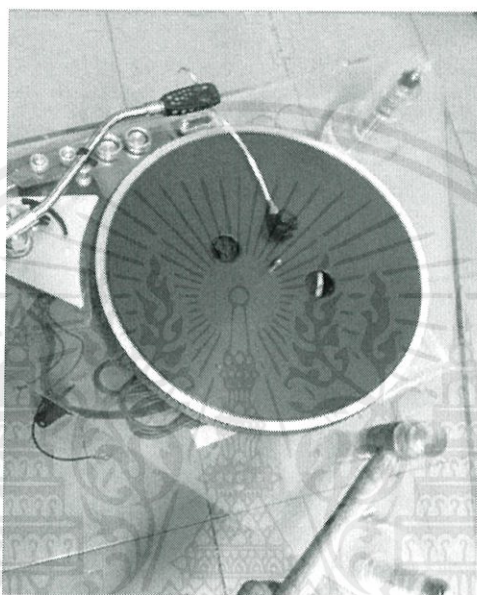
The screenshot shows the DEWEsoft 7.0.5 software interface. At the top, there are menu options: Acquisition, Analysis, Setup files, Ch. setup, Measure. Below the menu is a toolbar with icons for Store, Save, Save as, File details, Scoring, Analog, and Math. The main area contains a table with columns: SLOT, ON/OFF, C, NAME, AMPLIFIER, PHYSICAL VALUES, CAL, and SETUP. The table lists 8 channels (A1.0 to A1.7) with their respective configurations.

SLOT	ON/OFF	C	NAME	AMPLIFIER	PHYSICAL VALUES	CAL	SETUP
0	Unused	A1.0	Daqcard direct 5V	-	-4.827 / 4.749 V	Zero	Set ch. 0
1	Unused	A1.1	Daqcard direct 5V	-	-1.584 / 1.676 V	Zero	Set ch. 1
2	Used	A1.2	Daqcard direct 5V	-	-1.028 / 1.153 V	Zero	Set ch. 2
3	Unused	A1.3	Daqcard direct 5V	-	-4.193 / 4.318 V	Zero	Set ch. 3
4	Unused	A1.4	Daqcard direct 5V	-	-1.552 / 1.696 V	Zero	Set ch. 4
5	Unused	A1.5	Daqcard direct 5V	-	-4.446 / 4.675 V	Zero	Set ch. 5
6	Unused	A1.6	Daqcard direct 5V	-	-3.541 / 3.676 V	Zero	Set ch. 6
7	Unused	A1.7	Daqcard direct 5V	-	-4.249 / 4.382 V	Zero	Set ch. 7

รูปที่ 4.2 โปรแกรมดีวีซอฟต์

## 4.2 ค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องเล่นแผ่นเสียง

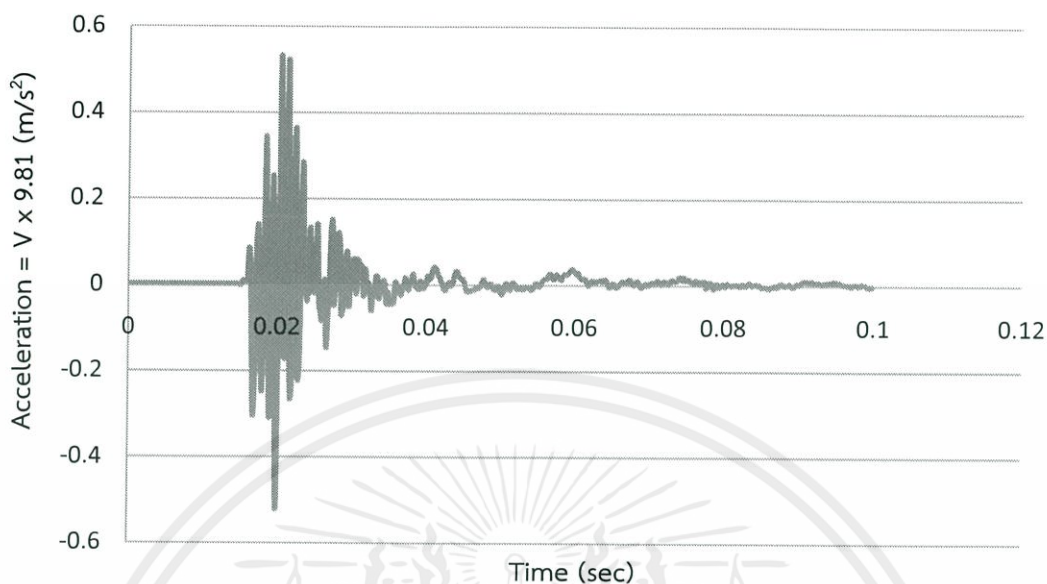
ทดลองโดยติดตั้งเครื่องวัดความเร่งเข้ากับเครื่องเล่นแผ่นเสียงเพื่อวัดการสั่นสะเทือนในแนวแกนตั้ง (z-axis) และกระตุ้นให้เกิดการสั่นสะเทือนโดยใช้ค้อนพลาสติก แล้วใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว แปลงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความถี่ เพื่อเปรียบเทียบความถี่ตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงกับเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงทั้ง 3 ชุด



รูปที่ 4.3 ติดตั้งตัวรับรู้และกระตุ้นให้เกิดการสั่นสะเทือนโดยใช้ค้อนพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

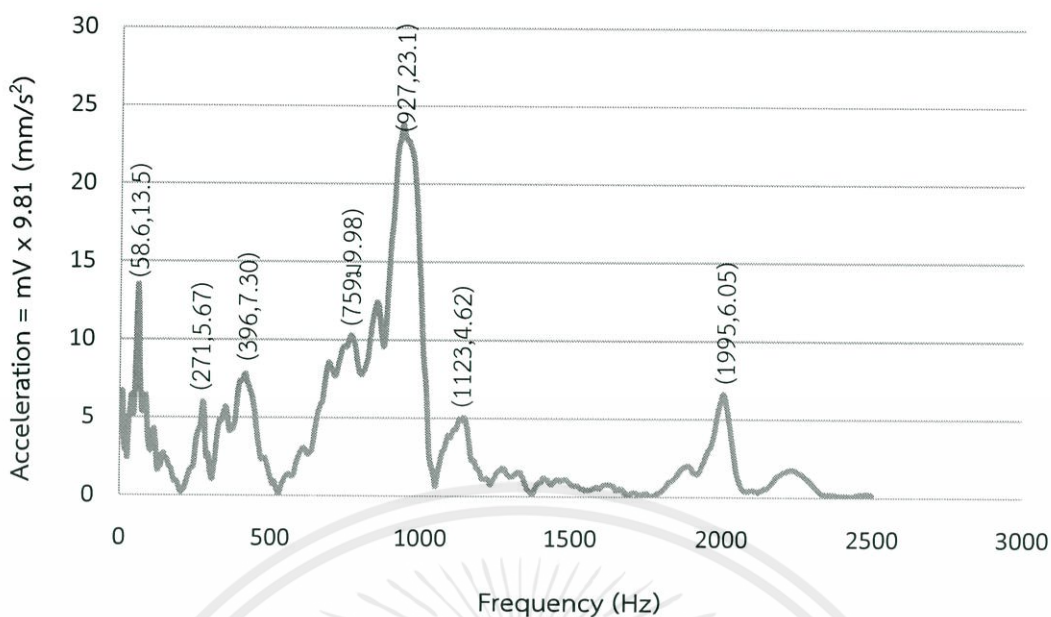
#### 4.2.1 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง



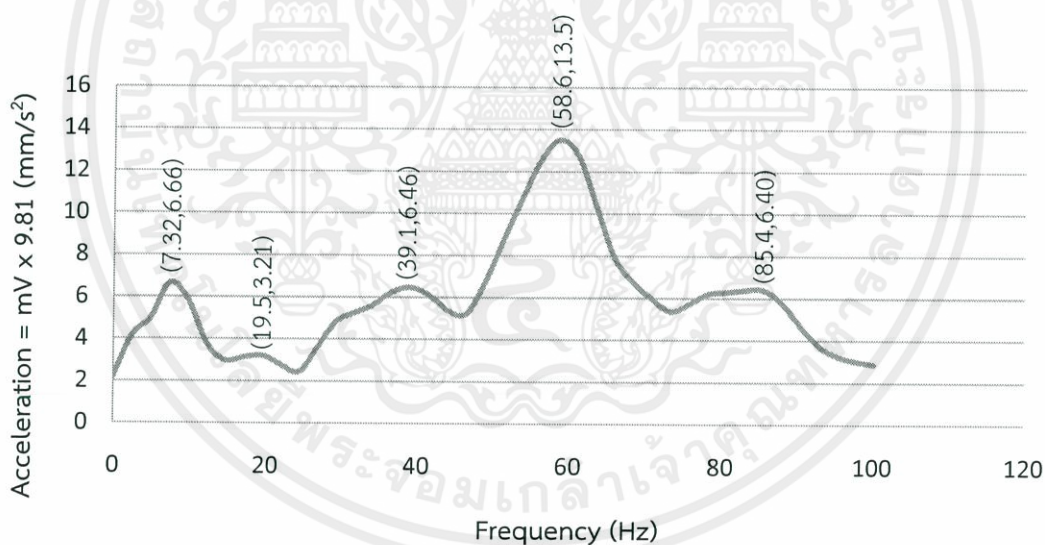
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ

จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาเมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ ลักษณะของกราฟจะเริ่มจากค่าความเร่งติดลบสลับกับค่าบวก เนื่องจากการสั่นขึ้นลงในแนวระดับ โดยที่ขนาดของความเร่งมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนเป็นศูนย์เมื่อหยุดสั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



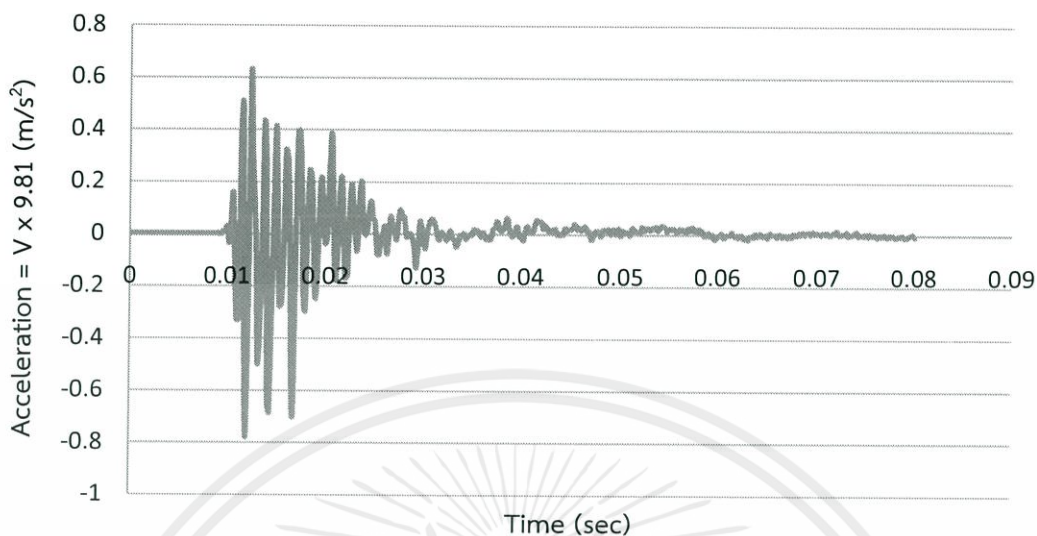
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของคลื่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของคลื่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง พิจารณาที่ความถี่ต่ำ เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ

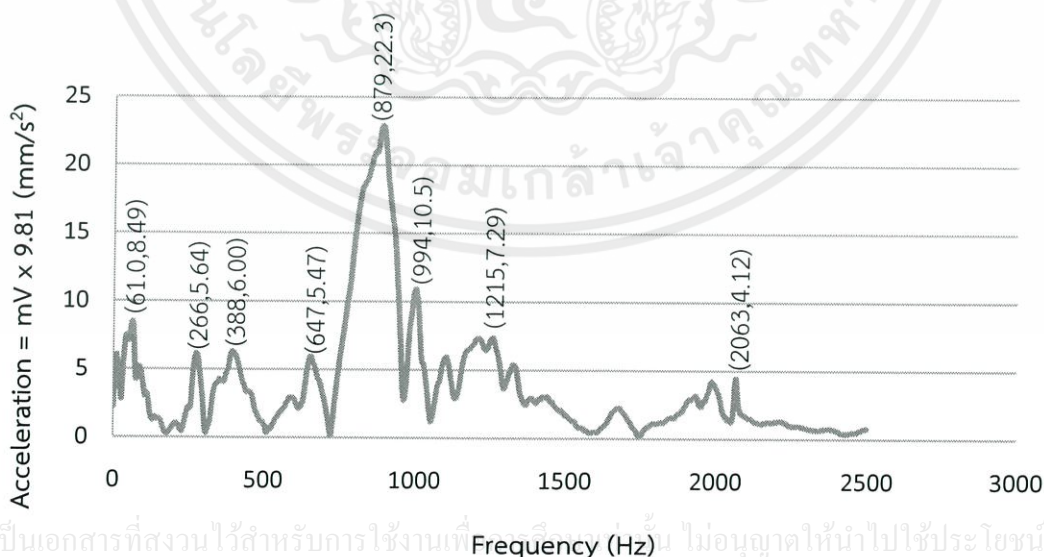
จากรูปที่ 4.6 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่ เมื่อใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว และพิจารณาช่วงความถี่ต่ำ เนื่องจากช่วงความถี่สูงค่าความถี่เชิงมุมมีผลต่อแอมพลิจูดน้อยมาก ค่าความถี่ที่มีความถี่สูงสุดสามค่าแรก คือ 58.6 เฮิร์ตซ์ 7.32 เฮิร์ตซ์ และ 39.1 เฮิร์ตซ์

#### 4.2.2 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ

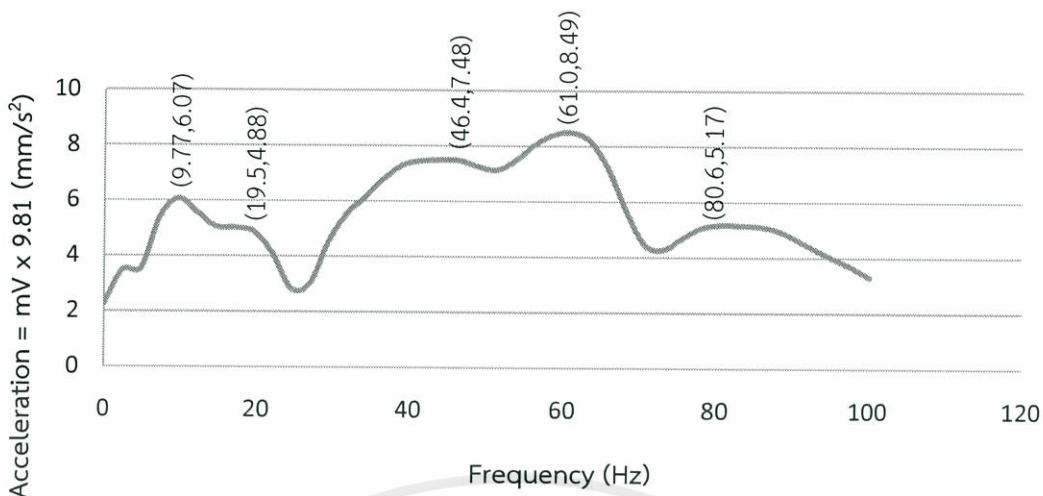
จากรูปที่ 4.7 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาเมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ ลักษณะของกราฟจะเริ่มจากค่าความเร่งติดลบสลับกับค่าบวก เนื่องจากเป็นการสั่นขึ้นลงในแนวระดับ โดยที่ขนาดของความเร่งมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนเป็นศูนย์เมื่อหยุดสั่น



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ

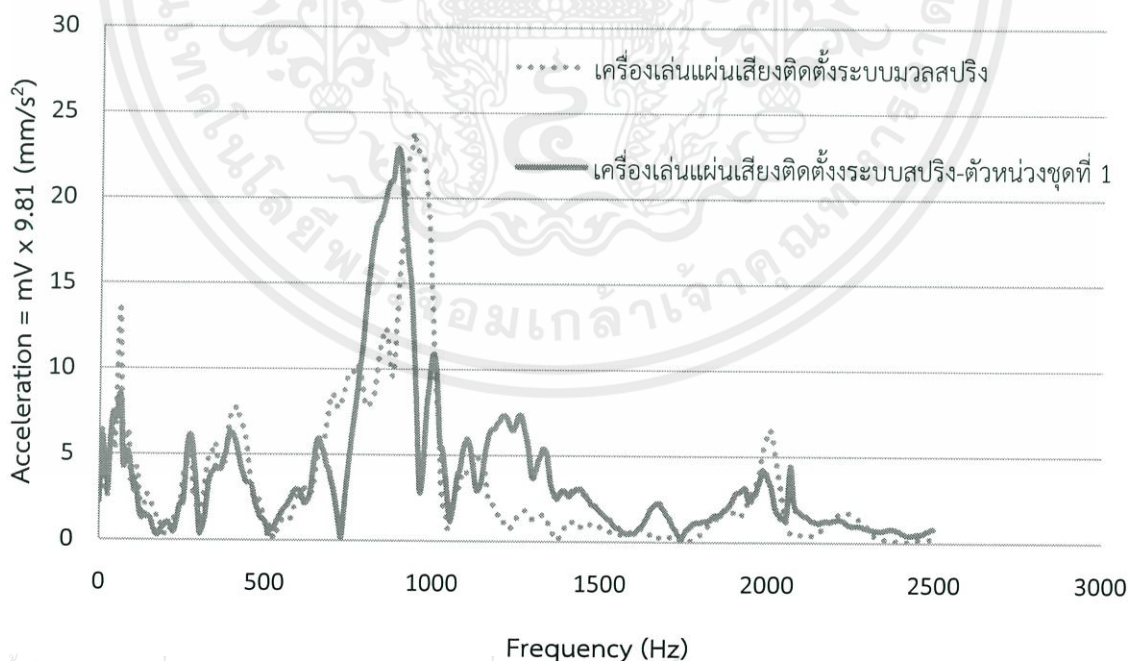
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ Frequency (Hz) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

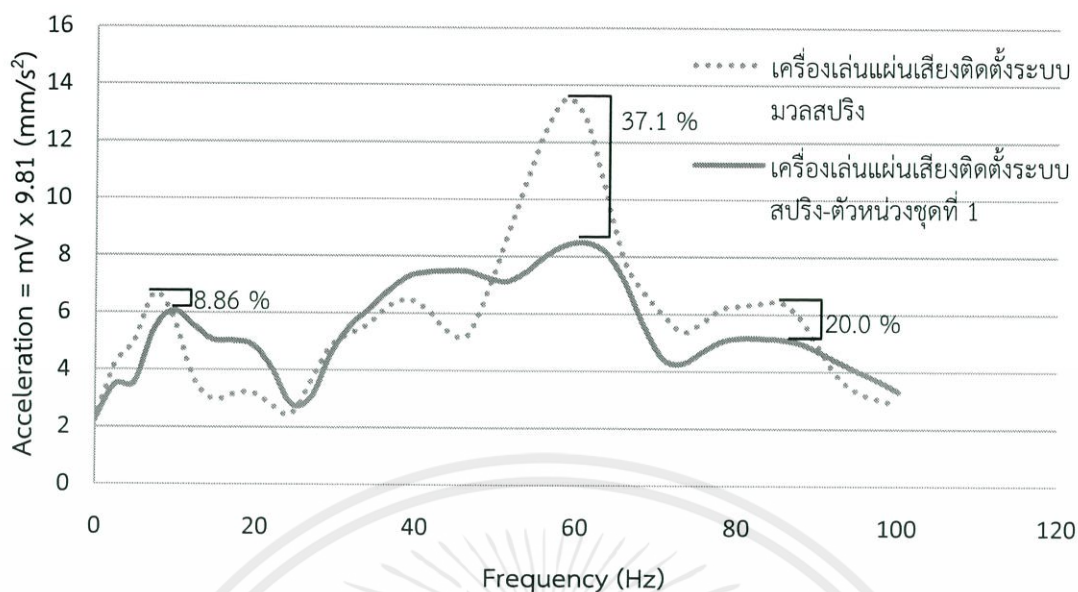


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ

จากรูปที่ 4.9 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่ เมื่อใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว และพิจารณาช่วงความถี่ต่ำ ค่าความถี่ที่มีความเร่งสูงสุดสามค่าแรก คือ 61.0 เฮิรตซ์ 46.4 เฮิรตซ์ และ 9.77 เฮิรตซ์



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบความถี่ของการสั่นของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงและเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ

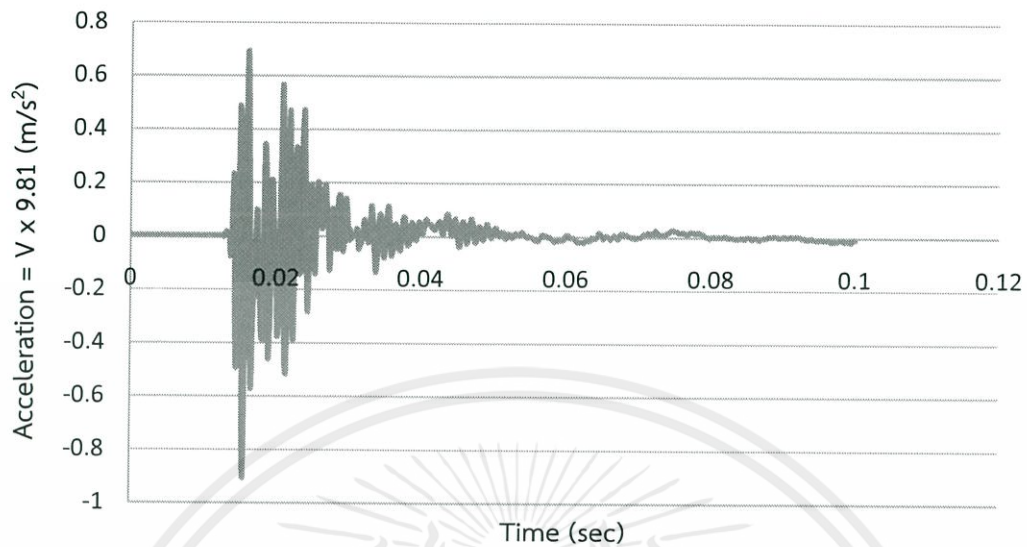


รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบความเร่งของการสั่นของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงและเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ

จากรูปที่ 4.11 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงกับเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 เมื่อใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วพบว่าเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงให้ค่าความเร่งที่สูงกว่าเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 เมื่อพิจารณาที่ความถี่ต่ำ ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดสามค่าแรกลดลงจาก  $132 \text{ mm/s}^2$  ( $13.5 \text{ mV}$ ) เหลือ  $83.3 \text{ mm/s}^2$  ( $8.49 \text{ mV}$ ) คิดเป็นร้อยละ 37.1 ความเร่งสูงสุดถัดมาลดลงจาก  $65.3 \text{ mm/s}^2$  ( $6.66 \text{ mV}$ ) เหลือ  $59.5 \text{ mm/s}^2$  ( $6.07 \text{ mV}$ ) คิดเป็นร้อยละ 8.86 สุดท้ายลดลงจาก  $62.8 \text{ mm/s}^2$  ( $6.40 \text{ mV}$ ) เหลือ  $50.2 \text{ mm/s}^2$  ( $5.12 \text{ mV}$ ) คิดเป็นร้อยละ 20.0

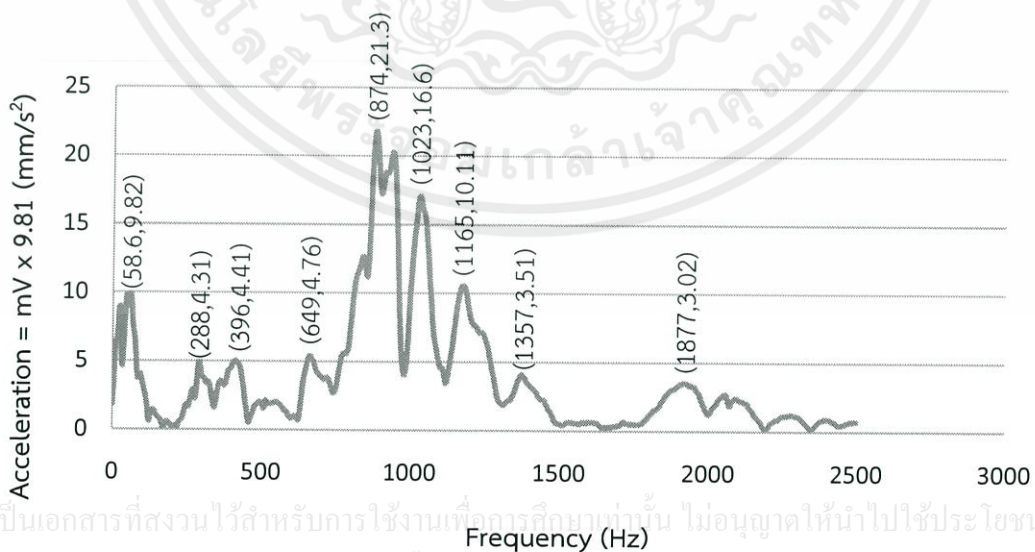
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2



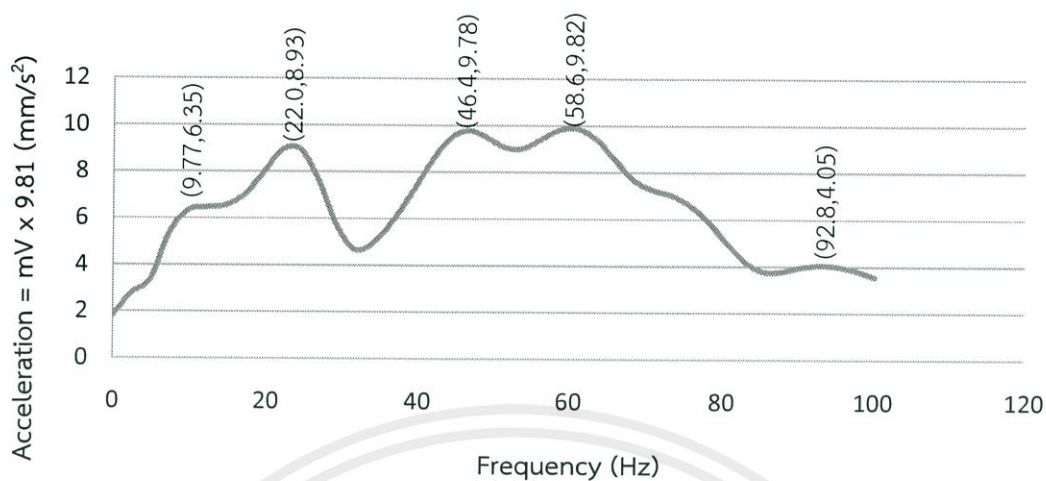
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ

จากรูปที่ 4.12 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาเมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ ลักษณะของกราฟจะเริ่มจากค่าความเร่งติดลบสลับกับค่าบวก เนื่องจากการสั่นขึ้นลงในแนวระดับ โดยที่ขนาดของความเร่งมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนเป็นศูนย์เมื่อหยุดสั่น



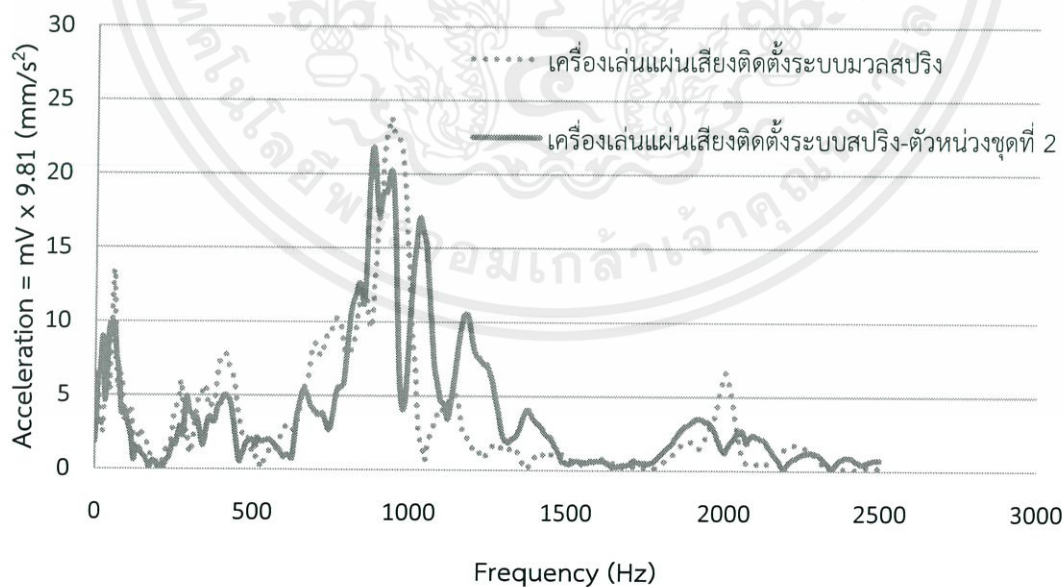
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาร่วมกัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

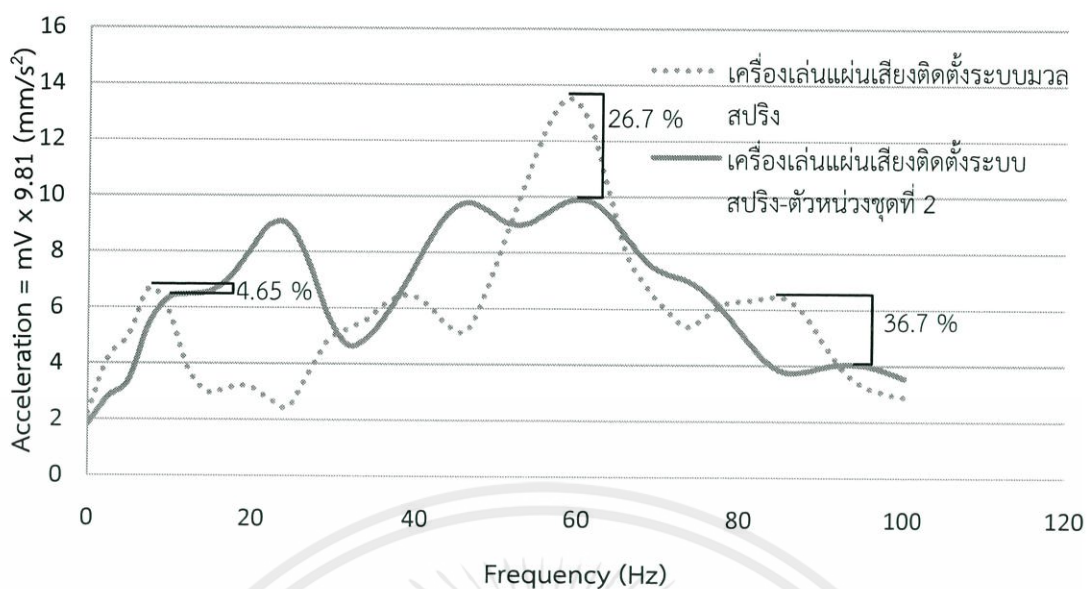


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ

จากรูปที่ 4.14 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่ เมื่อใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว และพิจารณาช่วงความถี่ต่ำ ค่าความถี่ที่มีค่าความเร่งสูงสุดสามค่าแรก คือ 58.6 เฮิรตซ์ 46.4 เฮิรตซ์ และ 22.0 เฮิรตซ์



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบความถี่ของการสั่นของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงและสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ การนำไปใช้

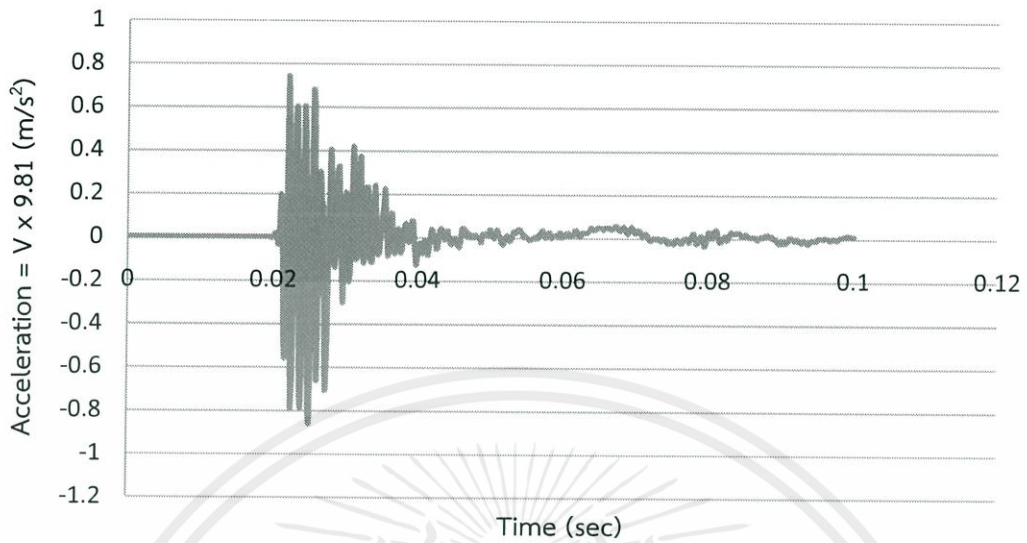


รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบความเร่งของการสั่นของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงและเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ

จากรูปที่ 4.16 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงกับเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 เมื่อใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วพบว่าเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงให้ค่าความเร่งที่สูงกว่าเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 เมื่อพิจารณาที่ความถี่ต่ำ ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดสามค่าแรกลดลงจาก  $132 \text{ mm/s}^2$  ( $13.5 \text{ mV}$ ) เหลือ  $96.7 \text{ mm/s}^2$  ( $9.86 \text{ mV}$ ) คิดเป็นร้อยละ 26.7 ความเร่งสูงสุดถัดมาลดลงจาก  $65.3 \text{ mm/s}^2$  ( $6.66 \text{ mV}$ ) เหลือ  $62.3 \text{ mm/s}^2$  ( $6.35 \text{ mV}$ ) คิดเป็นร้อยละ 4.65 สุดท้ายลดลงจาก  $62.8 \text{ mm/s}^2$  ( $6.40 \text{ mV}$ ) เหลือ  $39.7 \text{ mm/s}^2$  ( $4.05 \text{ mV}$ ) คิดเป็นร้อยละ 36.7

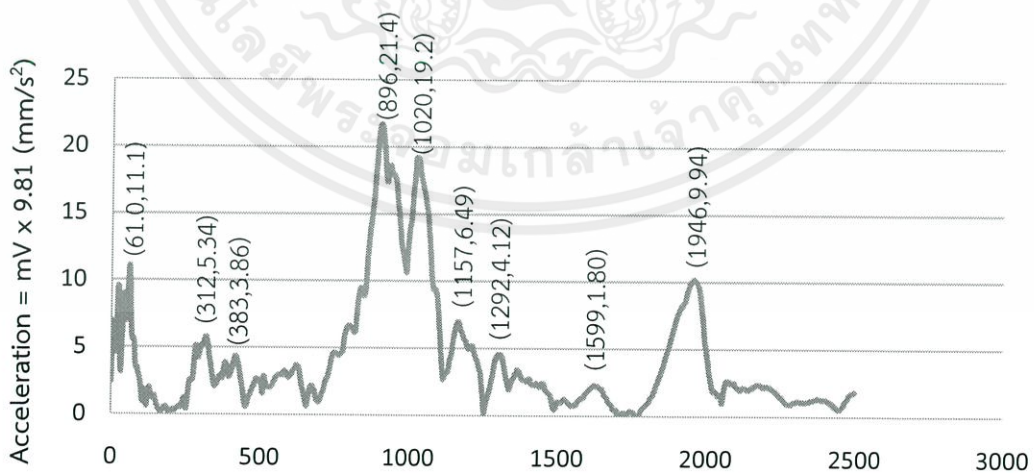
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3

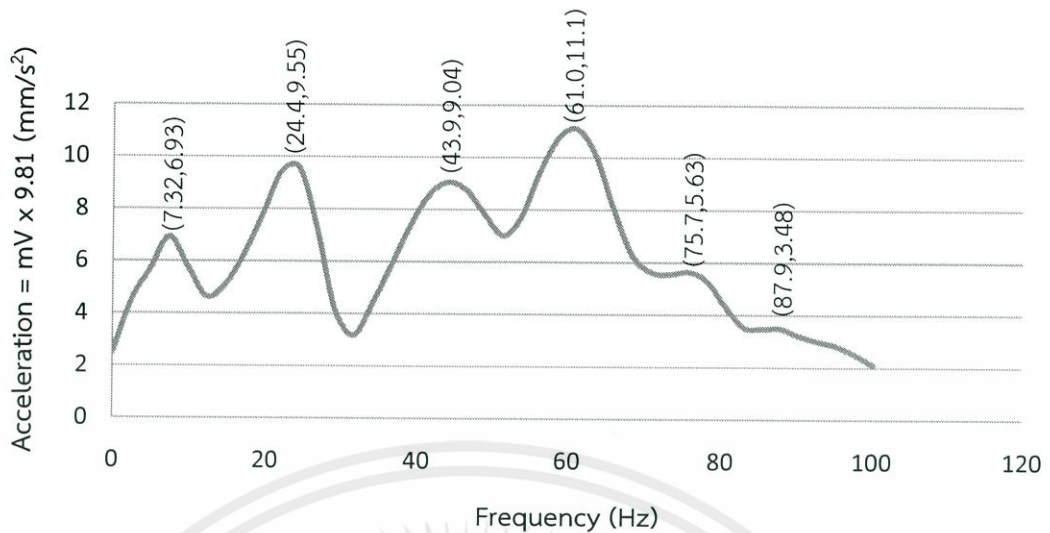


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ

จากรูปที่ 4.17 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาเมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ ลักษณะของกราฟจะเริ่มจากค่าความเร่งติดลบสลับกับค่าบวก เนื่องจากการสั่นขึ้นลงในแนวระดับ โดยที่ขนาดของความเร่งมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนเป็นศูนย์เมื่อหยุดสั่น

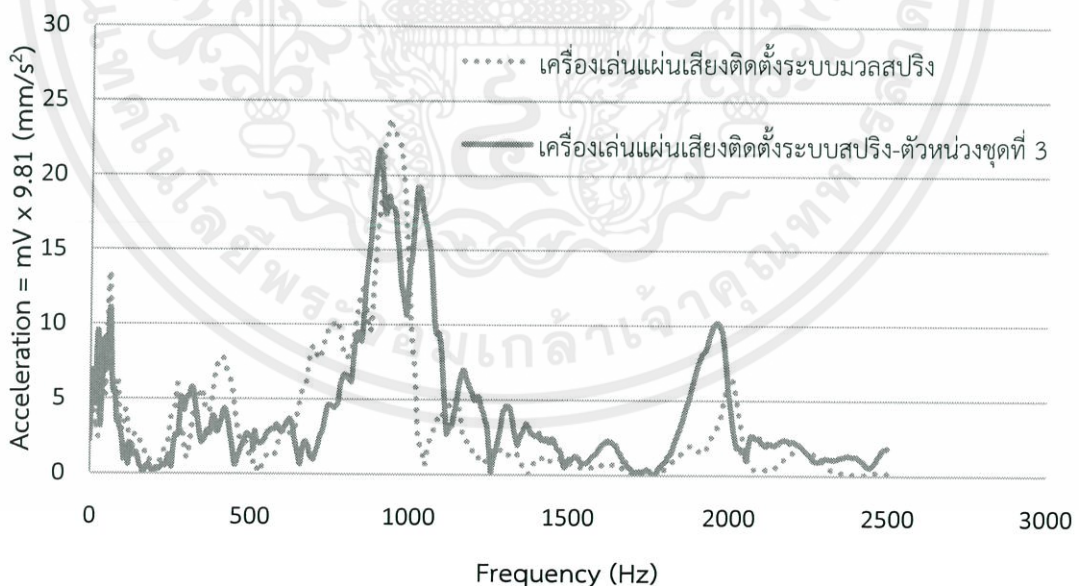


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ

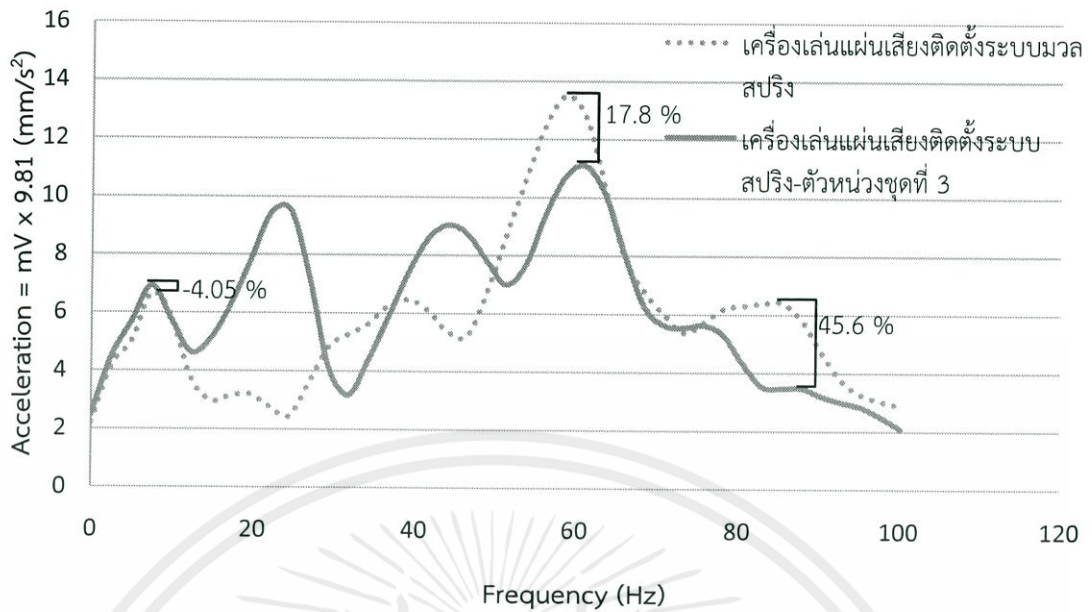
จากรูปที่ 4.19 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่ เมื่อใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว และพิจารณาช่วงความถี่ต่ำ ค่าความถี่ที่มีความเร่งสูงสุดสามค่าแรก คือ 61.0 เฮิรตซ์ 24.4 เฮิรตซ์ และ 43.9 เฮิรตซ์



รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบความถี่ของการสั่นของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงและ

เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... หมายความว่าครีมีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบความเร่งของการสั่นของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงและเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ เมื่อกระตุ้นด้วยการเคาะ

จากรูปที่ 4.21 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงกับเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 เมื่อใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วพบว่าเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงให้ค่าความเร่งที่สูงกว่าเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 เมื่อพิจารณาที่ความถี่ต่ำ ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดสามค่าแรกลดลงจาก  $132 \text{ mm/s}^2$  ( $13.5 \text{ mV}$ ) เหลือ  $109 \text{ mm/s}^2$  ( $11.1 \text{ mV}$ ) คิดเป็นร้อยละ 17.8 ความเร่งสูงสุดถัดมาเพิ่มขึ้นจาก  $67.9 \text{ mm/s}^2$  ( $6.92 \text{ mV}$ ) เป็น  $65.3 \text{ mm/s}^2$  ( $6.66 \text{ mV}$ ) คิดเป็นร้อยละ 4.05 สุดท้ายลดลงจาก  $62.8 \text{ mm/s}^2$  ( $6.40 \text{ mV}$ ) เหลือ  $34.1 \text{ mm/s}^2$  ( $3.48 \text{ mV}$ ) คิดเป็นร้อยละ 45.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบลดการสั่นสะเทือนต่าง ๆ เมื่อถูกกระตุ้นด้วยการเคาะ

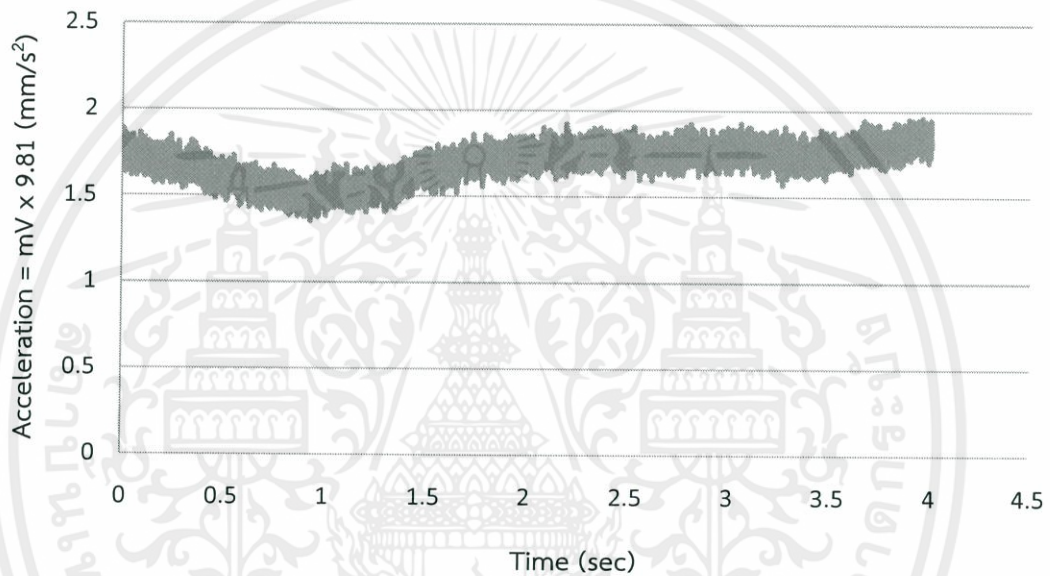
ระบบลดการสั่นสะเทือน	ความเร่งที่พิจารณา
เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง	65.3 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 7.32 Hz 132 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 58.6 Hz 62.8 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 85.4 Hz
เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วง ชุดที่ 1	59.5 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 9.77 Hz 83.3 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 61.0 Hz 50.2 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 85.5 Hz
เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วง ชุดที่ 2	62.3 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 9.77 Hz 96.3 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 58.6 Hz 39.7 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 92.8 Hz
เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วง ชุดที่ 3	68.0 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 7.32 Hz 109 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 61.0 Hz 34.1 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 87.9 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ค่าความถี่การสั่นของเครื่องเล่นแผ่นเสียง

ทดลองโดยติดตั้งเครื่องวัดความเร่งเข้ากับเครื่องเล่นแผ่นเสียงเพื่อวัดการสั่นสะเทือนในแนวแกนตั้ง (z-axis) ขณะเครื่องเล่นแผ่นเสียงทำงาน แล้วใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว แปลงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความถี่ เพื่อเปรียบเทียบความถี่ตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงกับเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงทั้ง 3 ชุด

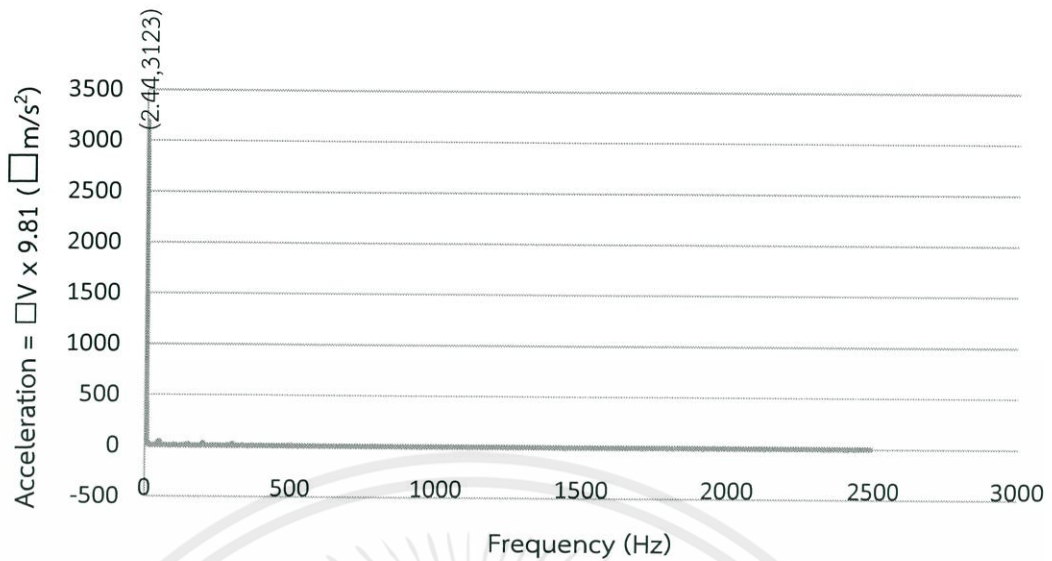
#### 4.3.1 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง



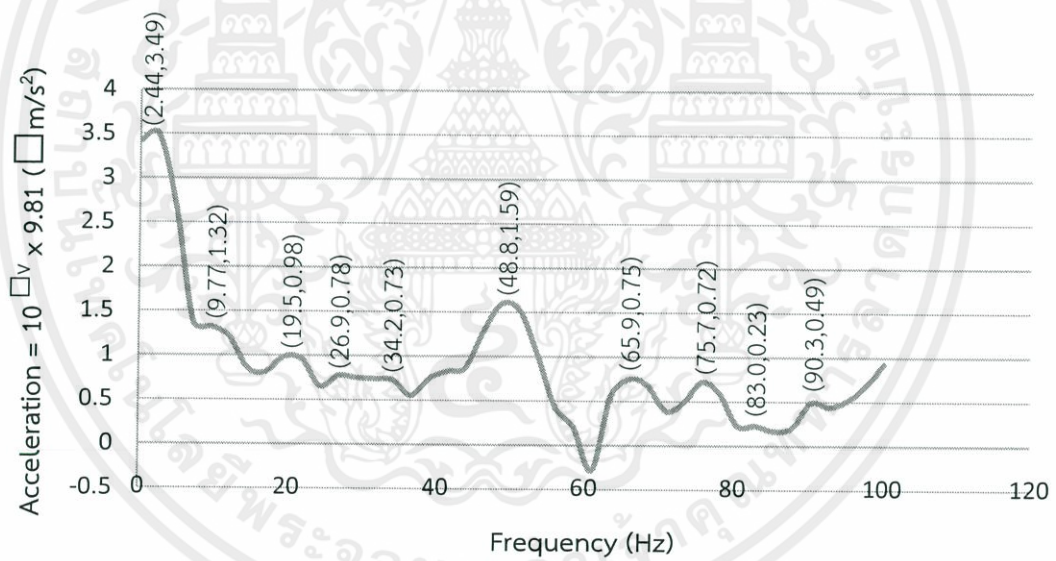
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง ขณะทำงาน

จากรูปที่ 4.12 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา ขณะทำงาน ลักษณะของกราฟมีค่าความเร่งเปลี่ยนแปลงระหว่างทิศทางบวกและลบอย่างคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



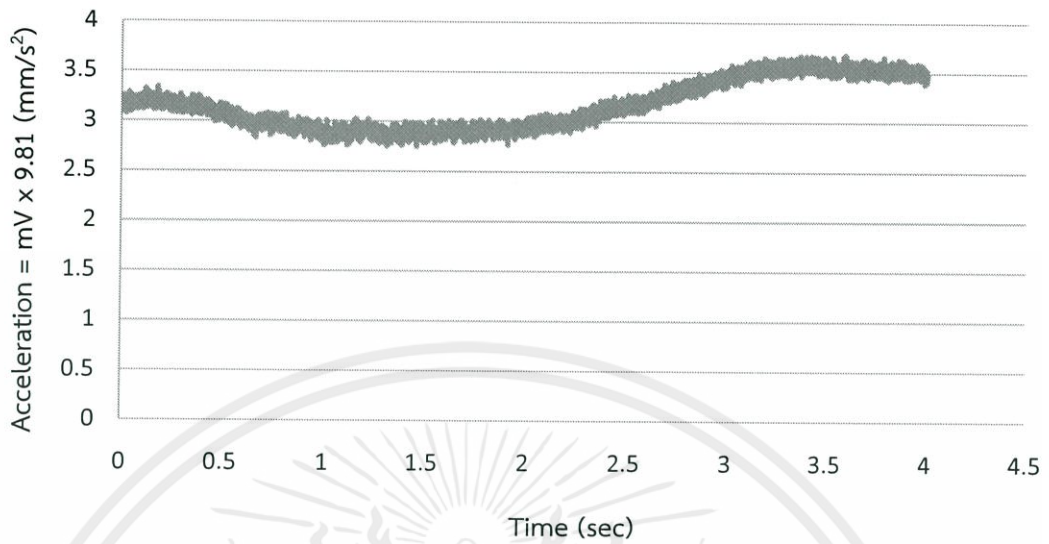
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง ขณะทำงาน



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความถี่กับความถี่ของการเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ขณะทำงาน

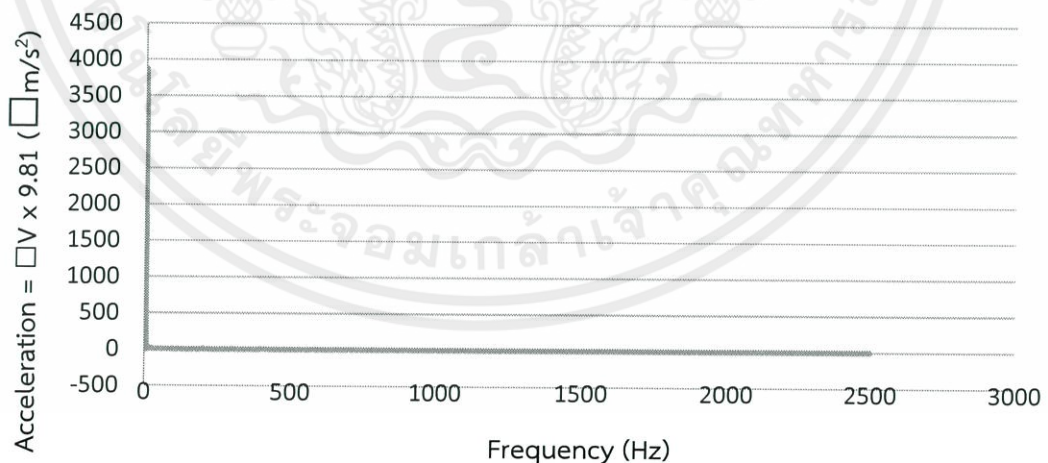
จากรูปที่ 4.24 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความถี่กับความถี่ ขณะทำงาน เมื่อใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว และพิจารณาที่ความถี่ต่ำ ค่าความถี่ที่มีค่าความถี่สูงสุดสามค่าแรก คือ 2.44 เฮิร์ตซ์ 48.8 เฮิร์ตซ์ และ 9.77 เฮิร์ตซ์

#### 4.3.2 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1

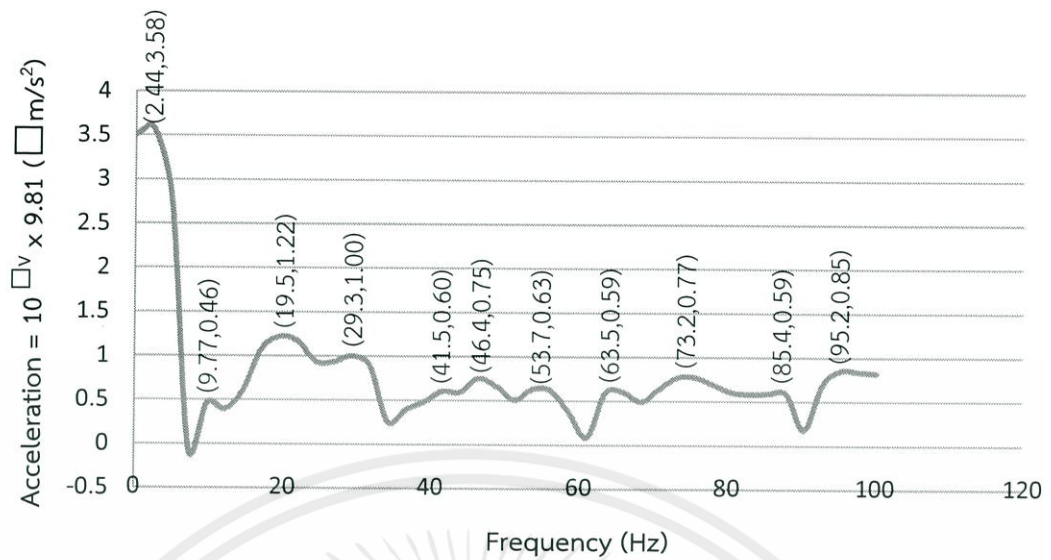


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 ขณะทำงาน

จากรูปที่ 4.25 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา ขณะทำงาน ลักษณะของกราฟมีค่าความเร่งเปลี่ยนแปลงระหว่างทิศทางบวกและลบอย่างคงที่

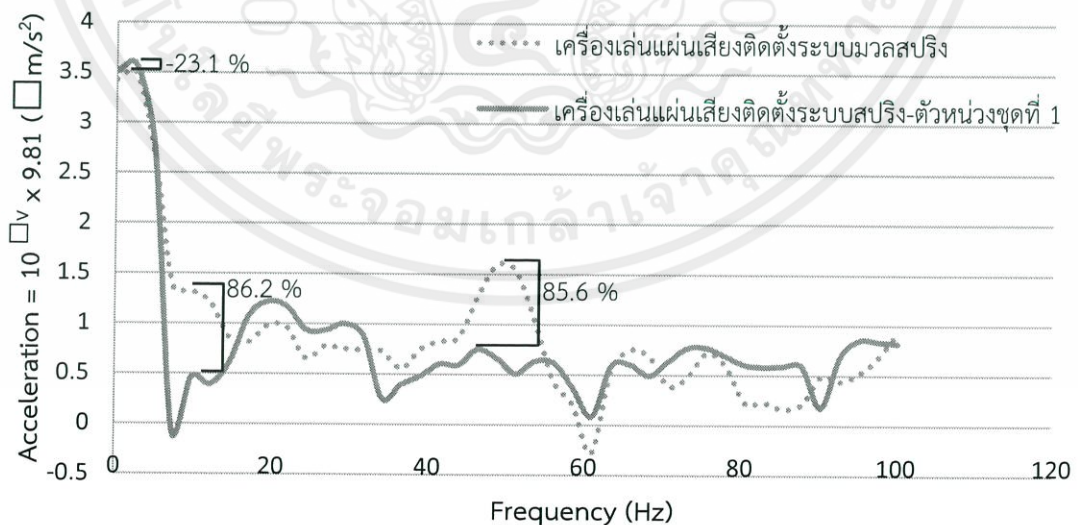


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 ขณะทำงาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความเร่งกับความถี่ของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ขณะทำงาน

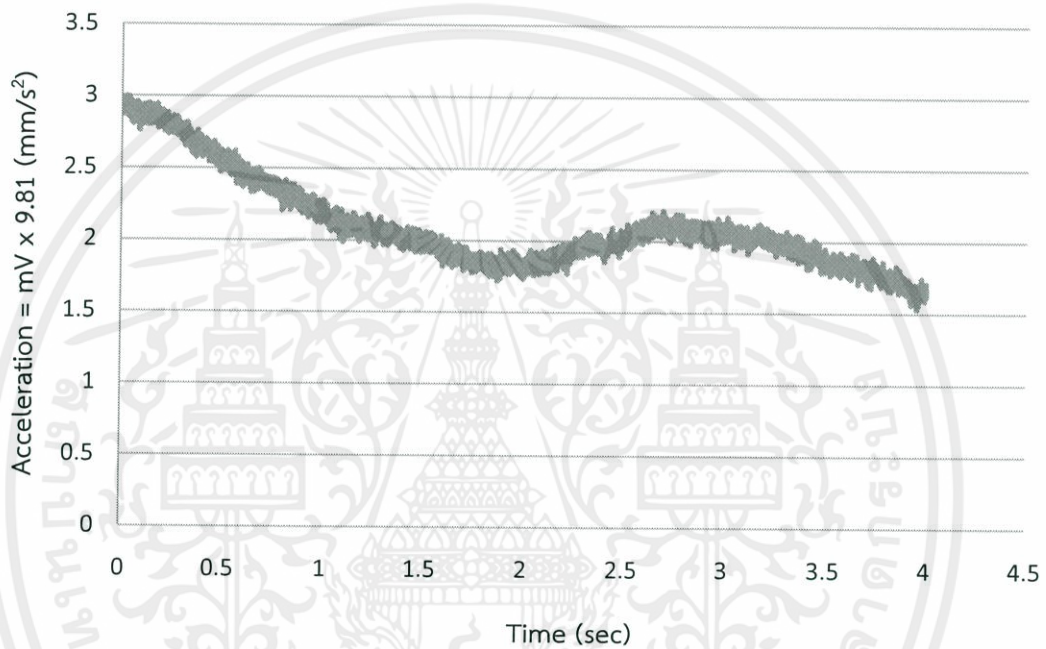
จากรูปที่ 4.27 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความเร่งกับความถี่ ขณะทำงาน เมื่อใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว และพิจารณาที่ความถี่ต่ำ ค่าความถี่ที่มีค่าความเร่งสูงสุดสามค่าแรก คือ 2.44 เฮิรตซ์ 19.5 เฮิรตซ์ และ 29.3 เฮิรตซ์



รูปที่ 4.28 กราฟเปรียบเทียบลอการิทึมของความเร่งของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงและเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ขณะทำงาน

จากรูปที่ 4.28 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริงกับเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1 เมื่อใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดค่าแรกเพิ่มขึ้นจาก  $30.3 \text{ mm/s}^2$  เป็น  $37.3 \text{ mm/s}^2$  คิดเป็นร้อยละ 23.1 การสั่นสะเทือนถัดมาลดลงจาก  $382 \text{ } \mu\text{m/s}^2$  เหลือ  $55.1 \text{ } \mu\text{m/s}^2$  คิดเป็นร้อยละ 85.6 สุดท้ายลดลงจาก  $205 \text{ } \mu\text{m/s}^2$  เหลือ  $28.3 \text{ } \mu\text{m/s}^2$  คิดเป็นร้อยละ 86.2

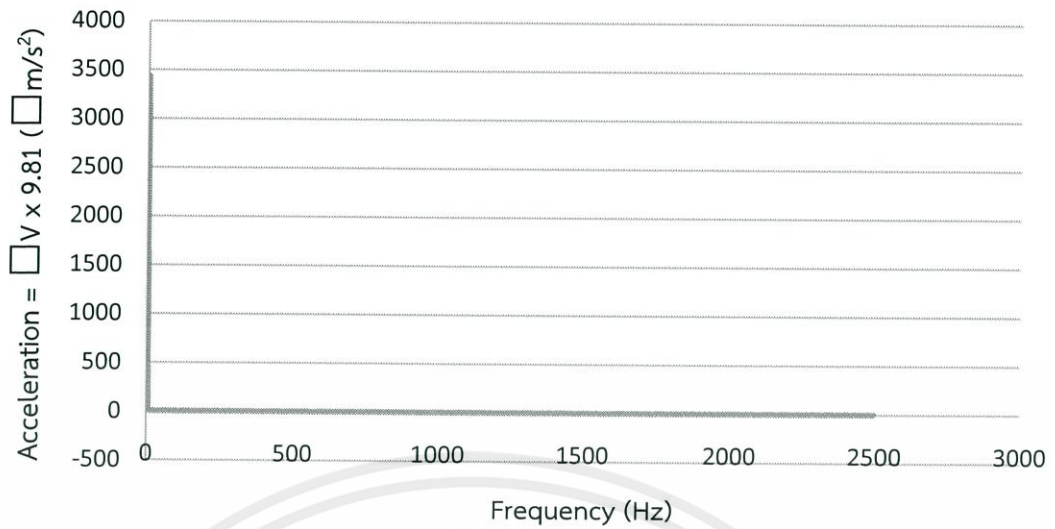
#### 4.3.3 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2



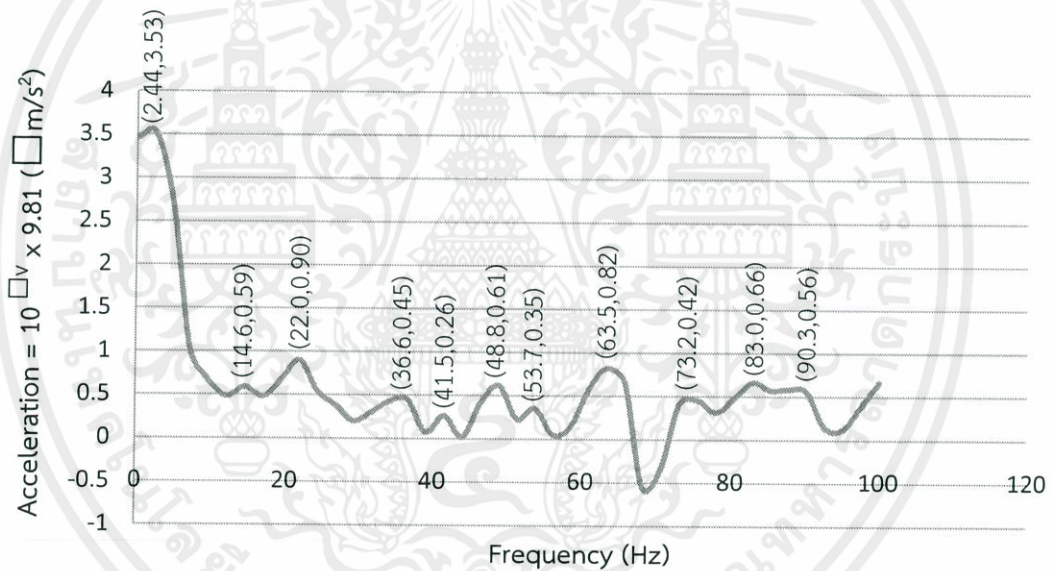
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 ขณะทำงาน

จากรูปที่ 4.29 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา ขณะทำงาน ลักษณะของกราฟมีความเร่งเปลี่ยนแปลงระหว่างทิศทางบวกและลบอย่างคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



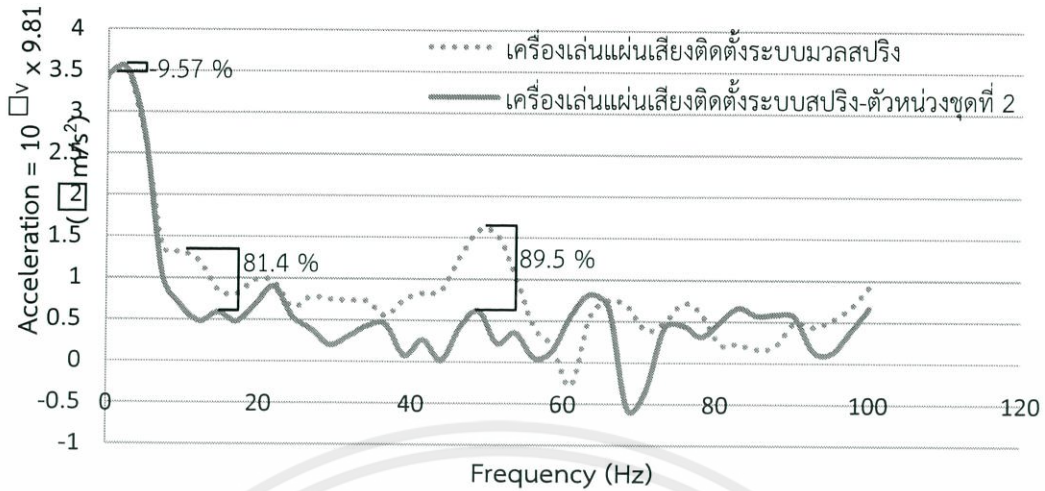
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 ขณะทำงาน



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความถี่กับความถี่ของการเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ขณะทำงาน

จากรูปที่ 4.31 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความถี่กับความถี่ ขณะทำงาน เมื่อใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว และพิจารณาที่ความถี่ต่ำ ค่าความถี่ที่มีค่าความถี่สูงสุดสามค่าแรก คือ 2.44 เฮิร์ตซ์ 22.0 เฮิร์ตซ์ และ 63.5 เฮิร์ตซ์

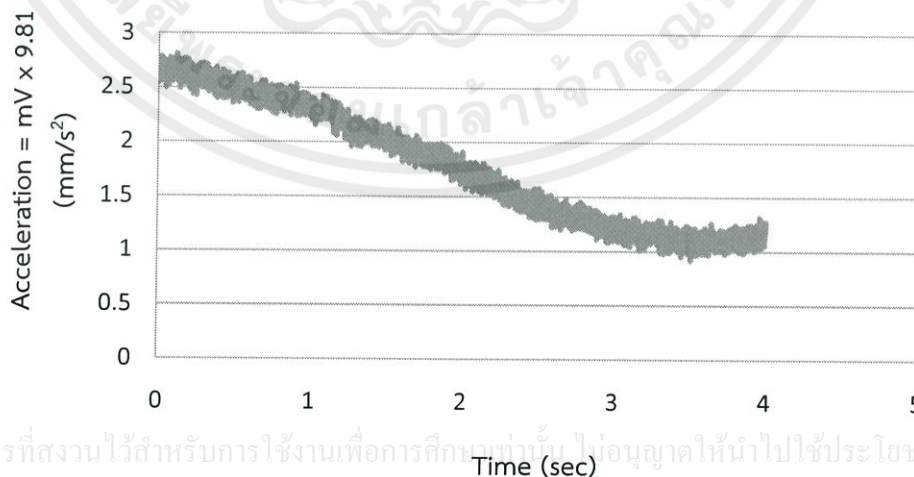
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 กราฟเปรียบเทียบลอการิทึมของความเร่งของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง และเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ขณะทำงาน

จากรูปที่ 4.32 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงกับเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2 เมื่อใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดค่าแรกเพิ่มขึ้นจาก  $30.3 \text{ mm/s}^2$  เป็น  $33.2 \text{ mm/s}^2$  คิดเป็นร้อยละ 9.57 การสั่นสะเทือนถัดมาลดลงจาก  $382 \text{ } \mu\text{m/s}^2$  เหลือ  $40.0 \text{ } \mu\text{m/s}^2$  คิดเป็นร้อยละ 89.5 สุดท้ายลดลงจาก  $205 \text{ } \mu\text{m/s}^2$  เหลือ  $38.2 \text{ } \mu\text{m/s}^2$  คิดเป็นร้อยละ 81.4

#### 4.3.4 เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3

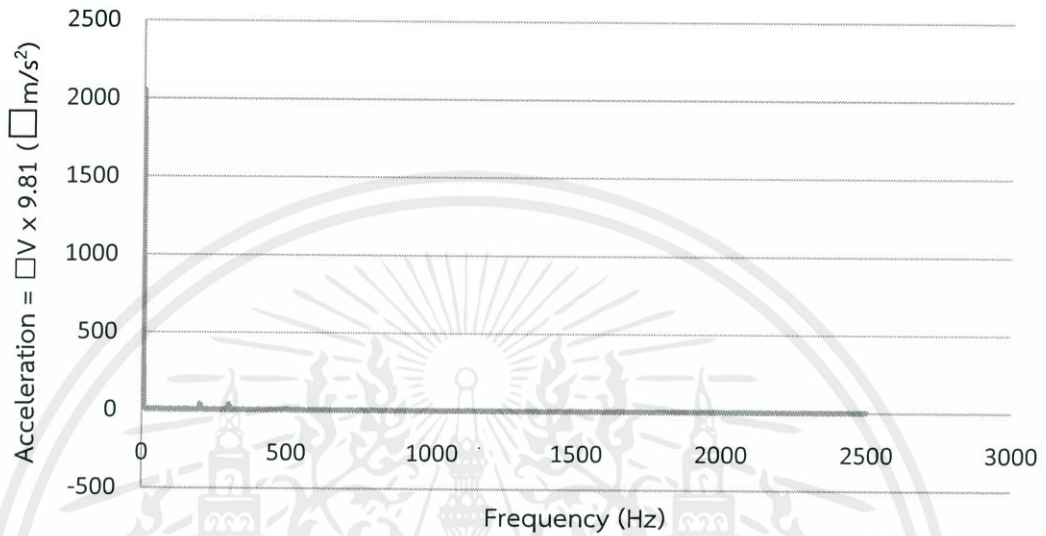


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไปอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

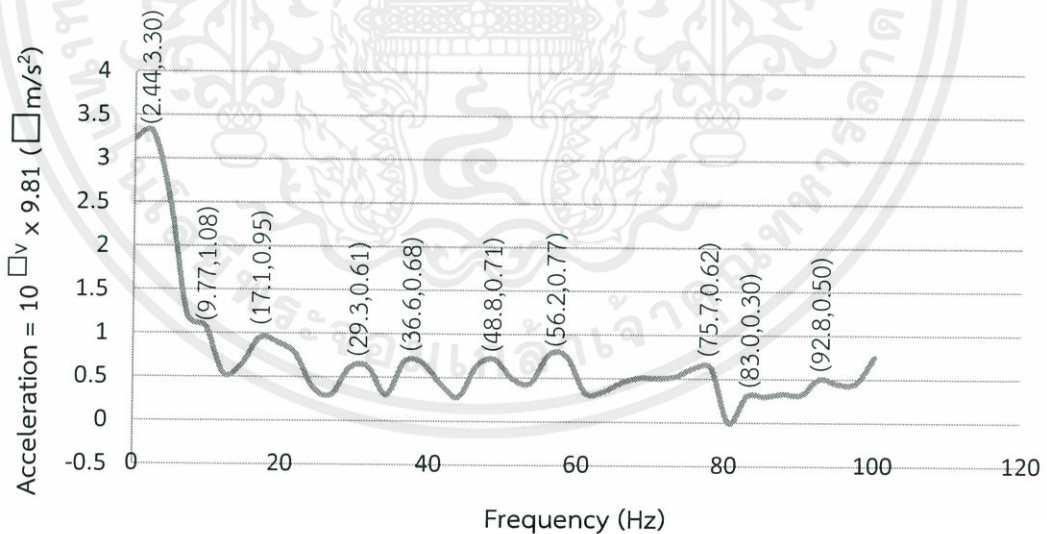
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่นเสียง

ติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 ขณะทำงาน

จากรูปที่ 4.33 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา ขณะทำงาน ลักษณะของกราฟมีค่าความเร่งเปลี่ยนแปลงระหว่างทิศทางบวกและลบอย่างคงที่



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของการสั่นกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 ขณะทำงาน



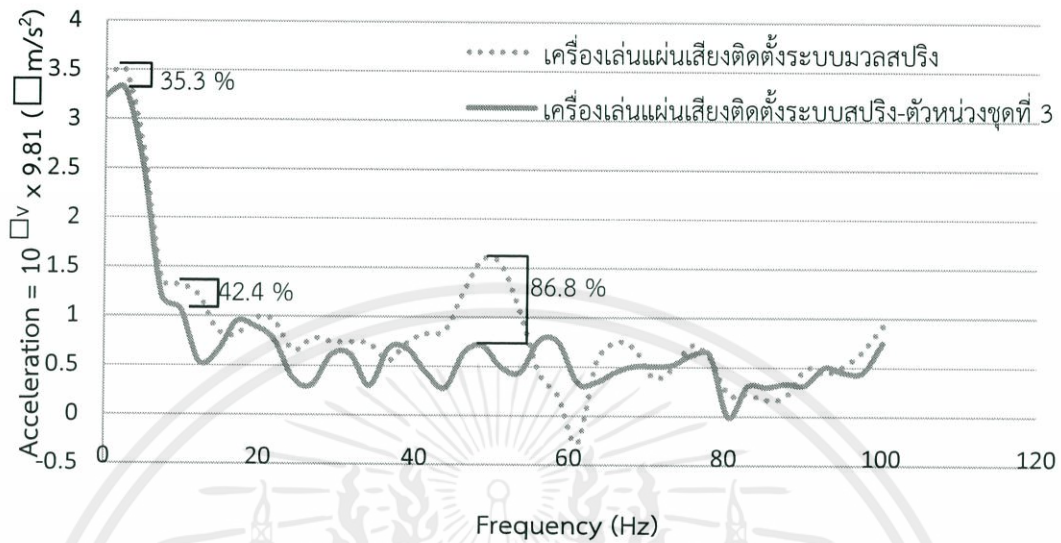
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความเร่งกับเวลาของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ขณะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกครั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.35 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความเร่งกับความถี่ ขณะทำงาน เมื่อใช้

ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว และพิจารณาที่ความถี่ต่ำ ค่าความถี่ที่มีค่าความเร่งสูงสุดสามค่าแรก คือ 2.44 เฮิรตซ์ 17.1 เฮิรตซ์ และ 56.2 เฮิรตซ์



รูปที่ 4.36 กราฟเปรียบเทียบลอการิทึมของความเร่งของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง และเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ขณะทำงาน

จากรูปที่ 4.36 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริงกับเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3 เมื่อใช้ฟังก์ชันผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว พิจารณาที่ความถี่ต่ำ ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดค่าแรกลดลงจาก  $30.3 \text{ mm/s}^2$  เหลือ  $19.6 \text{ mm/s}^2$  คิดเป็นร้อยละ 35.3 การสั่นสะเทือนถัดมาลดลงจาก  $382 \text{ }\mu\text{m/s}^2$  เหลือ  $50.3 \text{ }\mu\text{m/s}^2$  คิดเป็นร้อยละ 86.8 สุดท้ายลดลงจาก  $205 \text{ }\mu\text{m/s}^2$  เหลือ  $118 \text{ }\mu\text{m/s}^2$  คิดเป็นร้อยละ 42.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดขณะทำงานของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบลดการสั่นสะเทือนต่าง ๆ

ระบบลดการสั่นสะเทือน	ความเร่งที่พิจารณา
เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบมวลสปริง	30.3 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 2.44 Hz 205 μm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 9.77 Hz 382 μm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 48.8 Hz
เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วง ชุดที่ 1	37.3 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 2.44 Hz 28.3 μm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 9.77 Hz 55.2 μm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 46.4 Hz
เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วง ชุดที่ 2	33.2 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 2.44 Hz 38.2 μm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 14.6 Hz 40.0 μm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 48.8 Hz
เครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วง ชุดที่ 3	19.6 mm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 2.44 Hz 118 μm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 9.77 Hz 50.3 μm/s <sup>2</sup> ที่ความถี่ 48.8 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบและสร้างระบบสปริง-ตัวหน่วงทั้งสามชุดเพื่อทดลองวัดค่าการสั่นสะเทือนของแท่นรอง พบว่า

1. ความถี่ธรรมชาติสามภาวะแรกของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงทั้งสามชุด เมื่อพิจารณาช่วงความถี่ต่ำ ภาวะแรกมีค่า 7.32-9.77 เฮิรตซ์ ภาวะที่สองมีค่า 58.6-61.0 เฮิรตซ์ และภาวะที่สามมีค่า 85.4-92.8 เฮิรตซ์ ความเร่งในภาวะแรกมีค่า  $59.5 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1)  $62.3 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2) และ  $68.0 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3) ความเร่งในภาวะที่สองมีค่า  $83.3 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1)  $96.3 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2) และ  $109 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3) ความเร่งในภาวะที่สามมีค่า  $50.2 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1)  $39.7 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2) และ  $34.1 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3)

2. ความถี่ตอบสนองของเครื่องเล่นแผ่นเสียงติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงทั้งสามชุดขณะทำงาน เมื่อพิจารณาช่วงความถี่ต่ำ ภาวะแรกมีค่า 2.44 เฮิรตซ์ ภาวะที่สองมีค่า 9.77-14.6 เฮิรตซ์ และภาวะที่สามมีค่า 46.4-48.8 เฮิรตซ์ ความเร่งในภาวะแรกมีค่า  $37.3 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1)  $33.2 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2) และ  $19.6 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3) ความเร่งในภาวะที่สองมีค่า  $28.3 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1)  $38.2 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2) และ  $118 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3) ความเร่งในภาวะที่สามมีค่า  $55.2 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 1)  $40.0 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 2) และ  $50.3 \text{ mm/s}^2$  (ระบบสปริง-ตัวหน่วงชุดที่ 3)

3. การติดตั้งระบบสปริง-ตัวหน่วงทั้งสามชุดมีค่าอัตราส่วนการหน่วง 0.10 0.08 และ 0.06 kg/s ช่วยลดการสั่นสะเทือนจากความถี่ธรรมชาติในภาวะแรกได้ร้อยละ 37.1 26.7 และ 17.8 ภาวะที่สองลดได้ร้อยละ 8.86 4.65 และเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.05 ภาวะที่สามลดได้ร้อยละ 20.0 36.7 และ 45.6 ตามลำดับ สำหรับขณะทำงานการสั่นสะเทือนในภาวะแรกเพิ่มขึ้นร้อยละ 23.1 9.57 และลดลง 35.3 ภาวะที่สองลดได้ร้อยละ 85.6 89.5 และ 86.8 ภาวะที่สามลดได้ร้อยละ 86.2 81.4 และ 42.4 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

ความคลาดเคลื่อนของการทดลองเกิดจาก

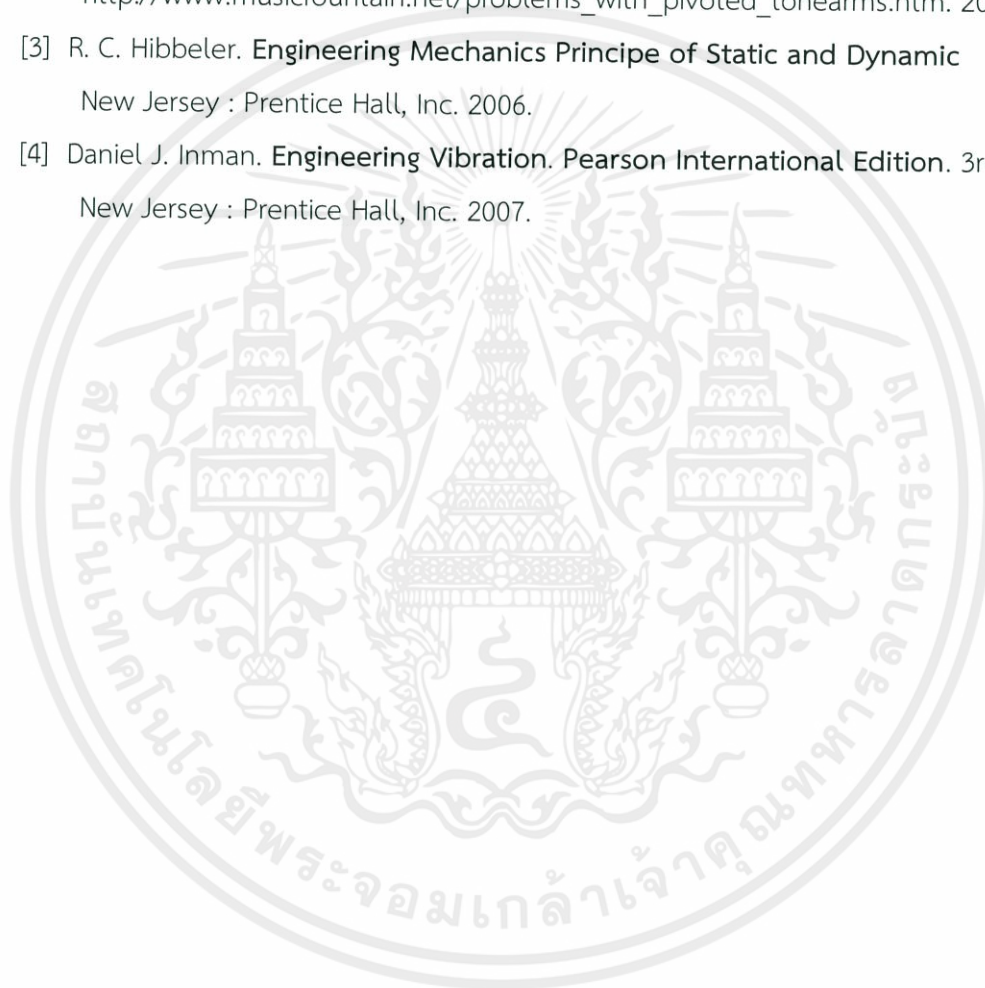
1. อุปกรณ์วัดความเร่งมีความไวสูง
2. แรงเสียดทานระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบ
3. การสั่นสะเทือนมีการกระจายแรงไปในทิศทางแกน  $x$  และแกน  $y$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนชิต ทศนีย์ไตรเทพ, ธนภัทร พิมพ์พรรณชาติ, ธาริณี เผ่าจินดา “การออกแบบและสร้างเครื่องเล่นแผ่นเสียงเพื่อลดการสั่นสะเทือนของแท่นรอง” ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2554
- [2] Music Fountain. “Anti-skating.” [Online]. : Available [http://www.musicfountain.net/problems\\_with\\_pivoted\\_tonearms.htm](http://www.musicfountain.net/problems_with_pivoted_tonearms.htm). 2007
- [3] R. C. Hibbeler. **Engineering Mechanics Principle of Static and Dynamic** New Jersey : Prentice Hall, Inc. 2006.
- [4] Daniel J. Inman. **Engineering Vibration. Pearson International Edition. 3rd ED.** New Jersey : Prentice Hall, Inc. 2007.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงงบประมาณการสร้างระบบสปริง-ตัวหน่วง

ประเภท	จำนวน	ราคา (บาท)
ลูกสูบชุดที่ 1	3	750
ลูกสูบชุดที่ 2	3	750
ลูกสูบชุดที่ 3	3	750
กระบอกสูบ	3	900
เครื่องขยายเสียง	1	5000
หม้อแปลง	1	400
สายไฟ	1	120
ตะกั่ว	20	200
น้ำมันเครื่อง (ทุที ไฮ-สปีด ปตท.)	1	60
	รวม	8930

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

