

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเชิงทดลองการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้า

Experimental Study on Vibration of a Washing Machine

โดย

นายเกรียงไกร เพชรลิต

นายไกรฤกษ์ พึ่งร่วมกลาง

ป.พ.
๙๙๕๗
๒๕๒๙

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 72847

วัน,เดือน,ปี 23 ส.ย. 2550

b. 11๗๖3248
i.

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเชิงทดลองการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้า
Experimental Study on Vibration of a Washing Machine



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาเชิงทดลองการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้า

Experimental Study on Vibration of a Washing Machine

ผู้จัดทำ

1. นายเกรียงไกร เพชรลิ รหัสประจำตัว 46010059
2. นายไกรฤกษ์ พึ่งร่มกลาง รหัสประจำตัว 46010067



อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเชิงทดลองการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้า

เกรียงไกร เพชรลิ

รหัสประจำตัว 46010059

ไกรฤกษ์ พึ่งร่วมกลาง

รหัสประจำตัว 46010067

รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้า โดยในการศึกษาเชิงทดลองได้กำหนดจำนวนขั้นอิสระออกเป็นสองขั้นคือ แกน X แกน Y ขณะที่ทำการศึกษาเชิงทดลองได้มีการติดตั้งชุดทดลองเพื่ออธิบายภาวะการสั่นสะเทือนภายใต้แรงภายนอกที่ต่าง ๆ กัน และที่ความเร็วรอบที่ต่าง ๆ กัน โดยการใช้เครื่องวัดความเร่ง ขั้นตอนถัดมาคือการนำผลไปจำลองการสั่นด้วยโปรแกรม MATLAB จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีของการสั่นสะเทือน โดยตัวแปรหลักของการศึกษาเชิงทดลองสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าคือมวล ค่าคงตัวของสปริง และค่าคงตัวของตัวหน่วง ดังนั้นโครงการนี้จึงเป็นโครงการที่ศึกษาว่าคุณลักษณะของสปริงและคุณลักษณะของตัวหน่วงช่วงใดสามารถที่จะทำให้การสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าลดลงและอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้

Experimental Study on Vibration of a Washing Machine

Kriengkrai	Petli	46010059
Kraileuk	Pungromklang	4600067
Assoc. Prof. Dr. mongkol mongkolwongroj		Advisor

ABSTRACT

This project deals with the vibration characteristics of a washing machine. In this study, The three-degree of freedom second order damped system model is formulated theoretically along x, y . The experiment is set up to obtain the vibration model under varying load and speed using accelerometers in order to compare with the theoretical results. The key parameters of the vibration characteristics for a washing machine are mass, springs coefficients and damping coefficients. Therefore, in this study the optimum spring and damping coefficients of the isolator need to be obtained in order to get vibration of the washing machine in the acceptable level.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีโดยมี รศ. ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาได้ให้คำแนะนำ สั่งสอน และเสนอแนะแนวทางแก้ไขตลอดเวลาในการทำวิจัย ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตา กรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำ

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ผู้จัดทำมีวันนี้ คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง เป็นผู้ให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังคอยให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ประโยชน์ทั้งหลายอันพึงมี พึงได้แก่บุคคลหนึ่ง บุคคลใดที่ได้จากการอ่านปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบคุณความดีทั้งหลายทั้งปวงให้กับคณะบุคคลที่ได้กล่าวไว้เบื้องต้น

เกรียงไกร เพชรลิ
ไกรฤกษ์ พึ่งร่มกลาง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	I
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	1
1.4 วิธีดำเนินการ	2
1.5 สมมุติฐานที่ใช้ในการทดลอง	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	5
2.1 เครื่องวัดความเร่ง	5
2.2 ทฤษฎีการสุ่มค่า (Sampling Theorem)	6
2.3 Sampling, Allasing, and Windows	8
2.4 Sensors	10
2.5 Amplitude Sensors	10
2.6 สัญญาณ (Signal)	14
2.7 การวิเคราะห์สัญญาณ	15
2.8 Bandpass Filter	17
2.9 การทดสอบและการวิเคราะห์การสั่น	18
2.10 Spectrum	19
2.11 สเปกตรัมของสัญญาณ	21
2.12 การวัดฟังก์ชันการตอบสนองต่อความถี่	21
2.13 D.C. Motors	22
2.14 Drive Belts	22
2.15 Mismatched, Worn, or Stretched Belts	23
2.16 Eccentric Sheaves, sheave Run out	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.17 Belt Resonance, Belt Slap	23
2.18 ความเสียหาย ณ อุปกรณ์ต่าง ๆ	24
2.18.1 DC Motor	24
2.18.2 Belt drive problems	24
2.18.3 Mass Unbalance	27
บทที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	31
บทที่ 4 วิธีการทดลอง	33
4.1 การหาค่าคงตัวของสปริง	33
4.2 การหาค่าคงตัวของตัวหน่วง	33
4.3 การทดลองเพื่อหาค่าการสั่นสะเทือน	33
บทที่ 5 ผลการทดลอง	35
5.1 กราฟผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา	35
5.2 กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ของมวลกับขนาดของแอมพลิจูดของการสั่น	83
5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับขนาดของแอมพลิจูดของสปริง-ตัวหน่วง	89
5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริง	92
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	100
ภาคผนวก	101
บรรณานุกรม	102

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงแผนภาพอิสระของแรงที่จะนำมาพิจารณา	3
2.1 แสดงการสุมตัวอย่าง	6
2.2 block diagram ของ FFT analyzer	8
2.3 การสุมตัวอย่างของกระบวนการเก็บข้อมูล	9
2.4 เซนเซอร์ที่นิยมใช้ในการปรับสภาพเครื่อง 3 ชนิด	12
2.5 คลื่นรูป sine จะถูกกลบด้วยเสียงรบกวนทำให้เกิด Zero-positive crossover ได้ง่าย จึงเกิดการกระพริบของ strobe มาก	13
2.6 สัญญาณใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่	16
2.7 การตอบสนองของเครื่องกรองสัญญาณ	17
2.8 การทดสอบการสั่นของรถ	19
2.9 รูปแสดงการสั่นใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่	20
2.10 แสดงสเปกตรัมการสั่นของ DC Motor	22
2.11 แสดงการเกิด Eccentric Sheave	23
2.12 แสดงการเกิด Belt Resonance	23
2.13 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ DC Motor	24
2.14 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Mismatched belts	25
2.15 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Belt/pulley misalignment	25
2.16 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Eccentric pulleys	26
2.17 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Belt resonance	27
2.18 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Loose bearing fit	27
2.19 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Force unbalance	28
2.20 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Couple unbalance	28
2.21 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Dynamics unbalance	28
2.22 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Overhung rotor unbalance	29
2.23 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Eccentric rotor	29
2.24 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Resonance	30
3.1 ชุดทดลองเครื่องซักผ้าแบบตั้ง ในแกนซักพร้อมมอเตอร์	31
3.2 แสดงเครื่องวัดความเร่ง	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ	32
5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อไม่ได้เพิ่มมวลของสปริง- ตัวห้อยชุดที่หนึ่งที่มีความเร็ว 150 รอบต่อนาที	36
5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 500 กรัมของสปริง- ตัวห้อยชุดที่หนึ่งที่มีความเร็ว 150 รอบต่อนาที	38
5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัมของสปริง- ตัวห้อยชุดที่หนึ่งที่มีความเร็ว 150 รอบต่อนาที	40
5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัมของสปริง- ตัวห้อยชุดที่หนึ่งที่มีความเร็ว 150 รอบต่อนาที	42
5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่ม ไม่ได้เพิ่มมวลของสปริง- ตัวห้อยชุดที่หนึ่งที่มีความเร็ว 700 รอบต่อนาที	44
5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวลเป็น 500 กรัมของสปริง- ตัวห้อยชุดที่หนึ่งที่มีความเร็ว 700 รอบต่อนาที	46
5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัมของสปริง- ตัวห้อยชุดที่หนึ่งที่มีความเร็ว 700 รอบต่อนาที	48
5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัมของสปริง- ตัวห้อยชุดที่หนึ่งที่มีความเร็ว 700 รอบต่อนาที	50
5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อไม่ได้เพิ่มมวล ของสปริง- ตัวห้อยชุดที่สองที่มีความเร็ว 150 รอบต่อนาที	52
5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 500 ของสปริง- ตัวห้อยชุดที่สองที่มีความเร็ว 150 รอบต่อนาที	54
5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัมของสปริง- ตัวห้อย ชุดที่สองที่มีความเร็ว 150 รอบต่อนาที	56
5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัมของสปริง- ตัวห้อยชุดที่สองที่มีความเร็ว 150 รอบต่อนาที	58
5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อ ไม่ได้เพิ่มมวล ของสปริง- ตัวห้อยชุดที่สองที่มีความเร็ว 700 รอบต่อนาที	60

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 500 กรัม ของสปริง- ตัวหน่วงชุดที่สองที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที	62
5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัม ของสปริง- ตัวหน่วงชุดที่สองที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที	64
5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัม ของสปริง- ตัวหน่วงชุดที่สองที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที	66
5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อไม่ได้เพิ่มมวล ของสปริง- ตัวหน่วงชุดที่สามที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที	68
5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 500 กรัม ของสปริง- ตัวหน่วงชุดที่สามที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที	70
5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัม ของสปริง- ตัวหน่วงชุดที่สามที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที	72
5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัม ของสปริง- ตัวหน่วงชุดที่สามที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที	74
5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อไม่ได้เพิ่มมวล ของสปริง- ตัวหน่วง ชุดที่สามที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที	76
5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 500 กรัม ของสปริง- ตัวหน่วงชุดที่สามที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที	78
5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัม ของสปริง- ตัวหน่วงชุดที่สามที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที	80
5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัม ของสปริง- ตัวหน่วงชุดที่สามที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที	82
5.25 แสดงค่าความสัมพันธ์ของมวลกับขนาดของแอมพลิจูดของการสั่นที่ ความเร็ว 150 รอบต่อนาทีของ สปริง-ตัวหน่วงชุดที่หนึ่ง	83
5.26 แสดงค่าความสัมพันธ์ของมวลกับขนาดของแอมพลิจูดของการสั่นที่ ความเร็ว 700 รอบต่อนาทีของ สปริง-ตัวหน่วงชุดที่หนึ่ง	84
5.27 แสดงค่าความสัมพันธ์ของมวลกับขนาดของแอมพลิจูดของการสั่นที่ ความเร็ว 150 รอบต่อนาทีของ สปริง-ตัวหน่วงชุดที่สอง	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.28 แสดงค่าความสัมพันธ์ของมวลกับขนาดของแอมพลิจูดของการสั่นที่ ความเร็ว 700 รอบต่อนาทีของ สปริง-ตัวหน่วงชุดที่สอง	86
5.29 แสดงค่าความสัมพันธ์ของมวลกับขนาดของแอมพลิจูดของการสั่นที่ ความเร็ว 150 รอบต่อนาทีของ สปริง-ตัวหน่วงชุดที่สาม	87
5.30 แสดงค่าความสัมพันธ์ของมวลกับขนาดของแอมพลิจูดของการสั่นที่ ความเร็ว 700 รอบต่อนาทีของ สปริง-ตัวหน่วงชุดที่สาม	88
5.31 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับขนาดของแอมพลิจูด ของสปริง-ตัวหน่วงชุดที่หนึ่ง	89
5.32 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับขนาดของแอมพลิจูด ของสปริง-ตัวหน่วงชุดที่สอง	90
5.33 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับขนาดของแอมพลิจูด ของสปริง-ตัวหน่วงชุดที่สาม	91
5.34 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัว ของสปริงเมื่อไม่ได้เพิ่มมวลที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที	92
5.35 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริง เมื่อไม่ได้เพิ่มมวลที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที	93
5.36 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริง เมื่อเพิ่มมวล 500 กรัมที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที	94
5.37 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริง เมื่อเพิ่มมวล 500 กรัมที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที	95
5.38 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริง เมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัมที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที	96
5.39 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริง เมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัมที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที	97
5.40 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริง เมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัมที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที	98
5.41 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริง เมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัม ที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.42 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของตัวหน่วงเมื่อไม่ได้เพิ่มมวลที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที	100
5.43 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของหน่วงเมื่อไม่ได้เพิ่มมวลที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที	101
5.44 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของหน่วงเมื่อเพิ่มมวล 500 กรัมที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที	102
5.45 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของหน่วงเมื่อเพิ่มมวล 500 กรัมที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที	103
5.46 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของหน่วงเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัมที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที	104
5.47 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของหน่วงเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัมที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที	105
5.48 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของหน่วงเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัมที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที	106
5.49 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของหน่วงเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัม ที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันได้มีการใช้เครื่องซักผ้ากันอย่างแพร่หลาย ซึ่งการใช้งานแต่ละครั้งย่อมมีการสั่นสะเทือน การสั่นสะเทือนเกิดจากการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของชิ้นส่วนของเครื่องซักผ้าที่อยู่ในช่วงยัดหย่อนได้ เนื่องจากแรงที่กระทำซึ่งอาจเป็นแรงภายนอก แรงที่เกิดจากการสั่นสะเทือนจะส่งผ่านทำให้ส่วนต่างๆ ของเครื่องซักผ้าเสียหาย ทำให้เกิดเสียง และความไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน เป็นเหตุให้อายุการใช้งานของเครื่องซักผ้าสั้นลงได้ จึงได้มีการศึกษาพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าเพื่อหาสาเหตุและปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้า การสั่นสะเทือนที่โหดต่างๆ กัน จะมีค่าไม่เท่ากันและที่ที่ค่าคุณลักษณะของสปริงและตัวหน่วงที่ต่างๆ กัน ล้วนทำให้ค่าของแรงสั่นสะเทือนที่ต่างกันด้วย เราจึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาว่าชนิดและขนาดของค่าคุณลักษณะใดที่สามารถลดการสั่นสะเทือนได้มากที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงค่าของภาระและค่าค่าคุณลักษณะต่างๆ ที่มีผลทำให้ค่าของการสั่นสะเทือนมีค่ามากที่สุดทำให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องซักผ้าและผู้ใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

ในปฏิญานี้เป็นการศึกษาค่าของพารามิเตอร์ คือ ค่าคงที่ของสปริงและค่าคงที่ตัวหน่วง โดยนำสปริงมาหาค่าคงที่ของสปริง และค่าคงที่ของตัวหน่วง จากนั้นนำสปริงมาประกอบเข้ากับชุดทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าคงตัวของสปริงและตัวหน่วงว่าค่าของพารามิเตอร์ใดที่สามารถลดแรงสั่นสะเทือนที่รับจากชุดทดลองได้มากที่สุด เมื่อชุดทดลองที่ได้รับการต่างกันและที่ความเร็วรอบต่างกัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 สร้างชุดทดลองของเครื่องซักผ้าที่ได้ออกแบบไว้เพื่อใช้ในการทดลองหาค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากการรองรับของสปริงแต่ละชนิด
- 1.3.2 นำสปริงแต่ละชนิดมาทดลองเพื่อหาค่าคงตัวของสปริงและค่าคงตัวของตัวหน่วง
- 1.3.3 นำสปริงแต่ละชนิดมาประกอบเข้ากับชุดทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อหาว่าค่าของพารามิเตอร์เท่าใดที่สามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้มากที่สุดเมื่อระบบได้รับการต่างกัน
- 1.3.4 เขียน โปรแกรมเพื่อจำลองการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้า
- 1.3.4 หาค่าความสัมพันธ์ของค่าคงตัวของสปริง ค่าคงตัวของตัวหน่วงและสามารถลดแรงสั่นสะเทือนเพื่อนำมาวิเคราะห์และสรุปผล

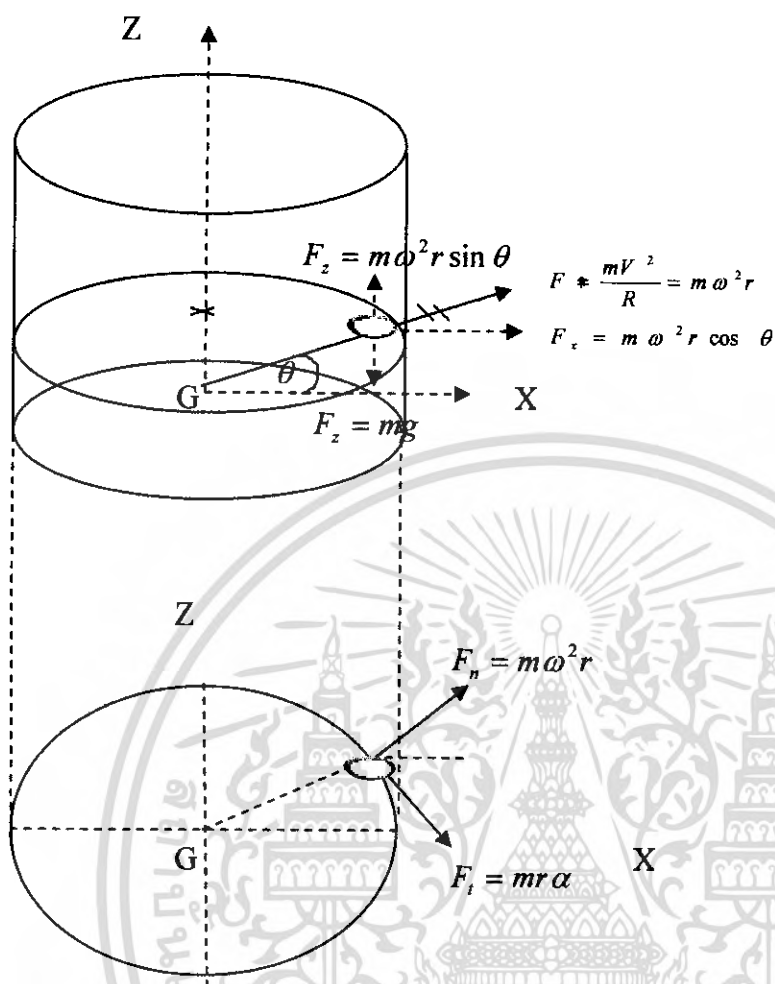
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการดำเนินการ

การดำเนินการแบ่งออกเป็นสามส่วนหลักๆด้วยกัน ส่วนแรกเป็นการออกแบบและจัดทำชุดทดลอง ส่วนที่สองเป็นการหาค่าคงที่ของพารามิเตอร์ซึ่งได้แก่ ค่าคงที่ของสปริงและตัวหน่วง และส่วนสุดท้ายเป็นการนำสปริงมาประกอบเข้ากับชุดทดลอง จากนั้นจ่ายกระแสไฟเข้าสู่มอเตอร์เพื่อให้ชุดทดลองทำงาน แล้วใช้อุปกรณ์วัดค่าของการสั่นสะเทือน จากนั้นเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์ และเปลี่ยนขนาดของภาระที่ให้กับระบบของชุดทดลองว่าค่าพารามิเตอร์ใดที่สามารถลดการสั่นสะเทือนได้มากที่สุด แล้วจึงมาหาความสัมพันธ์กับค่าคงตัวของสปริงเบะค่าคงตัวของตัวหน่วงเพื่อนำมาสรุปผลการทดลองและนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

1.5 สมมติฐานของการทดลอง

- พิจารณาให้ มอเตอร์ ชุดเฟือง สายพาน และส่วนต่างๆที่ยึดติดอยู่กับถังชักผ้าเป็นมวล m
- ชุดทดลองถูกยึดด้วยสปริงที่มีความหน่วงพิจารณาแบบสองมิติ ที่มีค่าความแข็งและค่าความหน่วงของสปริงคงที่ในแต่ละทิศทางและเป็นอิสระซึ่งกันและกัน
- งานหมุนหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ ในสองระดับความเร็วคือ 150 รอบต่อนาที และ 700 รอบต่อนาที
- พิจารณาผลของความหน่วงเฉพาะผลของความหน่วงที่เกิดจากสปริงเท่านั้น
- จุด G เป็นจุดกำเนิดของระบบแกนรวมหรือแกนอ้างอิง XZ โดยที่แกน X จะอยู่ในแนวนอน, Z จะอยู่ในแนวตั้ง
- พิจารณาผลจากแรงโน้มถ่วงและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเท่านั้น
- พิจารณาการสั่นเนื่องมาจากการกระทำจากแรงที่ก่อให้เกิดความไม่สมดุลเท่านั้น



รูปที่ 1.1 แสดงแผนภาพอิสระของแรงที่จะนำมาพิจารณา

จาก FBD เราจะได้ว่า

$$F_x = (m_{\text{งานหมุน}} + m_{\text{มวล}}) \omega^2 r \cos \theta \sin \omega t$$

$$F_z = (m_{\text{มวล}} \omega^2 r \cos - m_{\text{งาน}} g - m_{\text{มวล}} g) \sin \theta \sin \omega t$$

จากข้อมูลที่ได้จากการวัด

มวล (m)	=	17	กิโลกรัม
ความเร็วของการทำงาน	=	150	รอบต่อนาที
ความเร็วของการทำงานเวลาปั่น	=	700	รอบต่อนาที

ชุดสปริง-ตัวหน่วงชุดที่หนึ่ง

ค่าคงที่ของสปริงตามแนวแกน X	=	534.4	นิวตัน/เมตร
ค่าคงที่ของสปริงตามแนวแกน Z	=	11254	นิวตัน/เมตร
ค่าคงที่ของตัวหน่วงตามแนวแกน X	∴	27.44	นิวตัน.เมตร/วินาที

เอกสารนี้ค่าคงที่ของตัวหน่วงตามแนวแกน Z เพื่อการศึกษา 40.4 นิวตัน.เมตร/วินาที ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดสปริง-ตัวห่น่วงชุดที่สอง

ค่าคงที่ของสปริงตามแนวแกน X	=	404.0	นิวตัน/เมตร
ค่าคงที่ของสปริงตามแนวแกน Z	=	14270	นิวตัน/เมตร
ค่าคงที่ของตัวห่น่วงตามแนวแกน X	=	86.2	นิวตัน.เมตร/วินาที
ค่าคงที่ของตัวห่น่วงตามแนวแกน Z	=	107.65	นิวตัน.เมตร/วินาที

จุดสปริง-ตัวห่น่วงชุดที่หนึ่ง

ค่าคงที่ของสปริงตามแนวแกน X	=	823.9	นิวตัน/เมตร
ค่าคงที่ของสปริงตามแนวแกน Z	=	21481	นิวตัน/เมตร
ค่าคงที่ของตัวห่น่วงตามแนวแกน X	=	151	นิวตัน.เมตร/วินาที
ค่าคงที่ของตัวห่น่วงตามแนวแกน Z	=	195.92	นิวตัน.เมตร/วินาที

แล้วนำค่าต่างๆเหล่านี้ไปวิเคราะห์ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 เครื่องวัดความเร่ง

เครื่องวัดความเร่ง (Accelerometer) คือ เครื่องมือที่ใช้วัดความเร่งที่เกิดจากการสั่นของวัตถุ เครื่องมือวัดความเร่งนี้มีการนำไปใช้กันอย่างกว้างขวาง ในการวัดความสั่น รวมถึงการวัดค่าแผ่นดินไหวด้วย เมื่อเราใช้เครื่องวัดความเร่งนี้วัดและบันทึกค่าความเร่งที่เกิดขึ้นได้แล้วเราสามารถหาค่าความเร็วและการขจัดได้จากการหาปริพันธ์ของค่าที่วัดได้อันดับแรกในการวิเคราะห์เราจะหาอนุพันธ์ของสมการ ซึ่งสามารถเขียนได้รูป

$$-z(t)\omega_n^2 = \frac{1}{\left[(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \{-Y\omega^2 \sin(\omega t - \phi)\} \quad (2.1)$$

ซึ่งถ้าเราออกแบบให้

$$\frac{1}{\left[(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \approx 1 \quad (2.2)$$

สมการจะมีรูปเป็น

$$-z(t)\omega_n^2 \approx -Y\omega^2 \sin(\omega t - \phi) \quad (2.3)$$

เมื่อเราเทียบค่าสมการ (2.3) กับ $y = Y \sin \omega t$ หรือ $y = -\omega^2 Y \sin \omega t$ เราจะได้ว่าค่า $z(t)\omega_n^2$ นี้จะเป็นค่าของความเร่งของฐาน y ยกเว้นว่าจะเกิดความแตกต่างของเฟส ϕ ดังนั้นอุปกรณ์นี้จะเป็นการบันทึกค่าโดยตรงของความเร่ง $y = -z(t)\omega_n^2$ ในขณะที่เวลาในการบันทึกความเร่งจะเป็น $t' = \frac{\phi}{\omega}$ และโดยทั่วไปถ้าหากว่า y นี้เป็นการเคลื่อนที่ภายใต้ฮาร์โมนิกส์เดียว ค่าการแตกต่างของเฟสจะไม่เป็นเรื่องสำคัญสำหรับการวัด

จากสมการ (2.2) การที่จะให้ ω_n มีค่ามากๆ มวล m จะต้องมีค่าน้อยและ k มีค่ามากหรือสปริงจะมีขนาดสั้น และด้วยเหตุนี้จึงทำให้ขนาดของเครื่องมือนี้มีขนาดเล็ก การที่มีขนาดเล็กทำให้อุปกรณ์ประเภทนี้เป็นที่นิยมในการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติเราอาจไม่สามารถทำให้สมการ (2.2) นี้เป็นจริงอย่างแท้จริงนั่นคือด้านซ้ายของสมการอาจไม่เท่ากับ 1 พอดี และทำให้ด้านซ้ายมือของสมการ (2.2) คือ

$$\frac{1}{\left[(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

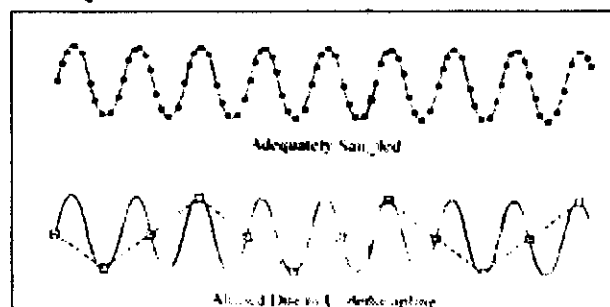
อาจจะต้องมีการปรับค่าและจำนวนใหม่ให้ถูกต้องเพื่อที่จะได้วัดค่าความแรงของระบบที่ต้องการวัดได้อย่างถูกต้อง

2.2 ทฤษฎีการสุ่มค่า (Sampling Theorem)

ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งของ Signal Theory ก็คือ Sampling Theorem ซึ่งมีความสำคัญมากหากต้องการจะเปลี่ยนสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital แล้วให้คงรูปแบบของสัญญาณเดิมไว้ให้มากที่สุด ในความเป็นจริง สัญญาณทุกชนิดจะเป็นลักษณะ Continuous คือต่อเนื่อง ในการที่จะแทนสัญญาณเหล่านี้ให้คอมพิวเตอร์เข้าใจ อุปกรณ์ DAQ จำเป็นต้องตรวจสอบสัญญาณเหล่านี้บ่อยที่สุดและให้ค่าที่เป็นเลขเต็มหน่วย (Discrete Number) ที่คอมพิวเตอร์สามารถรับได้ การแบ่งจำนวนและความละเอียด ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในส่วนที่ผ่านมา เช่น ถ้ามี Code Width เท่ากับ 0.25 mV จะไม่สามารถอ่านค่าสัญญาณ 0.21 mV ได้ แต่ต้องอ่านเป็น 0.25 mV หรือ 0 mV

อีกส่วนหนึ่งคือความถี่ในการเก็บข้อมูล เพราะการเก็บข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ จะทำในลักษณะเปลี่ยนเส้นต่อเนื่อง Analog Signal ให้เป็นกราฟแท่งวางต่อกัน มีระยะห่างเท่ากับ คาบ (ส่วนกันของความถี่) ของการเก็บข้อมูล และความสูงของกราฟแท่งจะห่างกันเป็นหน่วยๆตามค่าของ Code Width ตามที่เห็นมาแล้วก่อนหน้านี้ เมื่อคอมพิวเตอร์บันทึกผลข้อมูลที่ได้ไปแล้วนำไปวิเคราะห์ คอมพิวเตอร์ก็จะทำการวิเคราะห์คล้ายกับการต่อจุดปลายของสัญญาณ และก็เพียงหวังว่าเราจะได้สัญญาณที่มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณจริงมากที่สุด นั่นคือเหตุผลที่เรียกว่าเป็นวิธีการแทนสัญญาณ

ในการกำหนด Sampling Rate ก็คือ การกำหนดว่า การทำ ADC นั้นกระทำเพียงใด แท่งกราฟแต่ละแท่งจะมาแทนที่ ADC แต่ละครั้ง ถ้า ADC เกิดขึ้นทุกๆครั้งวินาที เราเรียกว่า Sampling Rate มีค่าเท่ากับ 2 ครั้งต่อวินาที หรือ 2 Hz หรืออาจกล่าวว่าการเก็บตัวอย่างเท่ากับ 0.5 วินาที สิ่งที่พบก็คือ Sampling Rate นี้มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะเป็นสิ่งสำคัญที่จะกำหนดว่าสัญญาณ Digital ที่เปลี่ยนแปลงมาจากสัญญาณ Analog นั้นจะมีความคล้ายสัญญาณที่กำลังวัดอยู่มากน้อยเพียงใด หาก Sampling Rate ที่กำหนดไม่สูงพอก็อาจจะเกิดการแปรความหมายหรือการวิเคราะห์สัญญาณที่ผิดพลาดขึ้นได้ ซึ่งนิยมเรียกว่า aliasing รูปต่อไปนี้เป็นการแสดงสัญญาณ Sine Wave ที่มีความถี่หนึ่งด้วย sampling rate ที่ต่าง ๆ กัน จากรูปจะเห็นการเกิด aliasing ขึ้นถ้าค่า Sampling Rate มีค่าต่ำ



รูปที่ 2.1 แสดงการสุ่มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปด้านบนนี้ โดยเริ่มจากการเก็บสัญญาณที่ความถี่ต่ำ ๆ ก่อน จากนั้นเพิ่มความถี่ขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงความถี่ที่เราเก็บข้อมูลค่าเท่ากับ 2 เท่าของความถี่ของสัญญาณ อาจจะได้รูปของสัญญาณครบถ้วน หรืออาจผิดพลาดไปกลายเป็นสัญญาณ DC ก็ได้ แต่เมื่อความถี่ในการเก็บข้อมูล เริ่มสูงขึ้น ก็จะได้ข้อมูลที่ครบถ้วนมากขึ้น

ข้อพึงระวังก็คือถ้าหากเกิด aliasing ขึ้นในระบบการวัดแล้วไม่มีทางที่จะนำสัญญาณที่เป็น aliases นี้ออกไปได้นั้นคือเหตุสำคัญที่ทำให้ไม่ต้องเก็บตัวอย่างให้รวดเร็วพอตัวอย่างของ aliasing ที่พบได้บ่อย แม้จะไม่ตรงกับหลักกับหลักการ DAQ มากนัก ก็คือคงเคยสังเกตลึบในภาพยนตร์ที่บางครั้งดูเหมือนว่า หมุนกลับทิศทางการที่มันควรจะ เป็น สาเหตุเพราะการบันทึกภาพลงฟิล์มแต่ละเฟรม โดยปกติแล้วแต่ละเฟรมจะบันทึกภาพห่างกัน $\frac{1}{30} - \frac{1}{25}$ วินาที ซึ่งก็เป็นคาบของการเก็บข้อมูล ซึ่งความถี่นี้อาจไม่เหมาะสมกับความถี่รอบของลึบในขณะนั้น ภาพที่ปรากฏออกมาจึงตีความผิดไป

ถ้าเช่นนั้นจะทราบได้อย่างไรว่า ควรจะเก็บตัวอย่างด้วยความถี่เท่าใด Nyquist เป็นผู้ที่น่าเสนอทฤษฎีด้านการเก็บตัวอย่างนี้ ซึ่งต่อมานิยมเรียก Nyquist's theorem ซึ่งกล่าวไว้ว่า

“เพื่อป้องกัน ไม่ให้เกิด aliasing แล้วการเก็บสัญญาณ Sampling Rate จะต้องมากกว่า 2 เท่าของความถี่สูงสุดที่บรรจุอยู่ในสัญญาณที่จะทำการเก็บ”

และเรียกความถี่ ซึ่งเท่ากับ 2 เท่าของความถี่สูงสุด ($2f_{\max}$) ว่า Nyquist's Frequency ตัวอย่างเช่น มีสัญญาณที่มีองค์ประกอบที่มีความถี่สูงสุดในสัญญาณนั้นเท่ากับ 1000 Hz จำเป็นต้องเลือก Sampling Rate ให้มากกว่า 2000 Hz เพื่อป้องกัน aliases

จะเห็นว่า Nyquist Sampling Theorem นี้จะนำมาใช้อย่างได้ผล ต้องทราบความถี่ที่สูงที่สุดที่ประกอบอยู่ในสัญญาณนั้น แต่ถ้ายังไม่ทำการวัดจะทราบได้อย่างไรว่าสัญญาณที่จะวัดนั้นมีความถี่สูงสุดเท่าใด คำตอบของคำถามนี้ก็จะต้องสามารถประมาณการได้ว่าสัญญาณที่ต้องการวัดนั้นมีความถี่สูงสุดที่เป็นองค์ประกอบ ในสัญญาณนั้นเท่ากับเท่าใด จากนั้นอาจใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Lowpass Filter เป็นตัวกรองสัญญาณ ให้เฉพาะสัญญาณที่มีความถี่ต่ำผ่านไปก่อน ส่วนสัญญาณที่มีความถี่สูงจะถูกแยกออก ทำให้ใช้ Sampling Rate ที่ต่ำลงได้

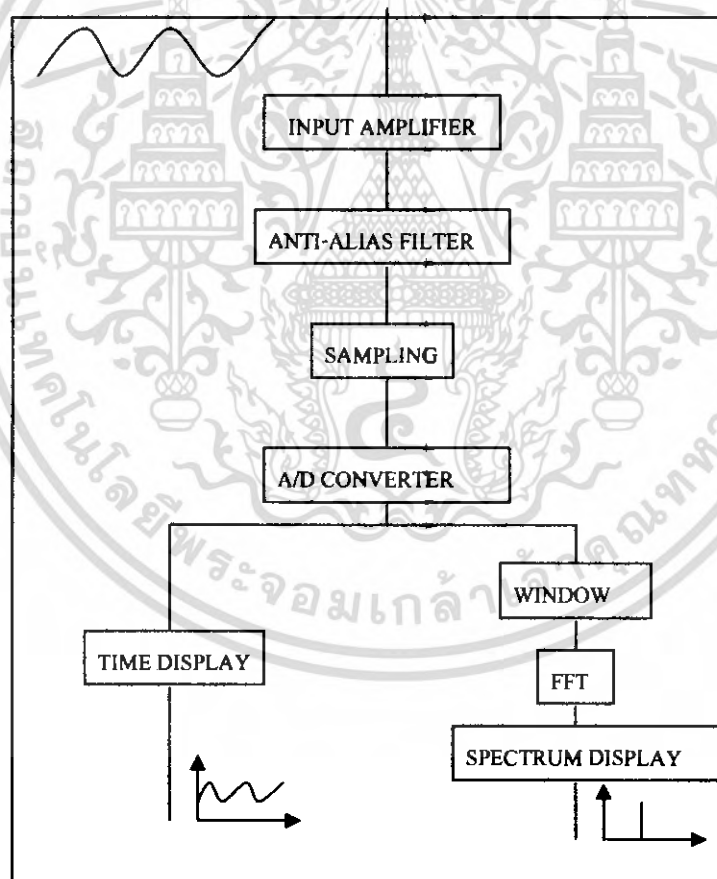
การใช้ Sampling Rate ที่สูงจะสามารถป้องกัน Aliasing ของสัญญาณได้ดี แต่การที่เราเก็บข้อมูลบ่อยครั้งมาก ๆ จะทำให้สิ้นเปลืองหน่วยความจำ ความยุ่งยากในการประเมินผลและอื่น ๆ ตามมา ดังนั้น สิ่งที่เหมาะสมที่สุดที่วิศวกรควรทำคือประมาณ f_{\max} ในสัญญาณให้ได้ก่อน แล้วจึงเลือก Sampling Rate

Sampling Rate นี้จะไม่ค่อยมีความหมายกับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้า ๆ เช่น DC Signal เพราะค่าสัญญาณไม่ได้เปลี่ยนไปตามเวลามากนัก การเก็บสัญญาณด้วยอัตราต่ำ ๆ ก็สามารถทำได้และให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Sampling, Allasing, and Windows

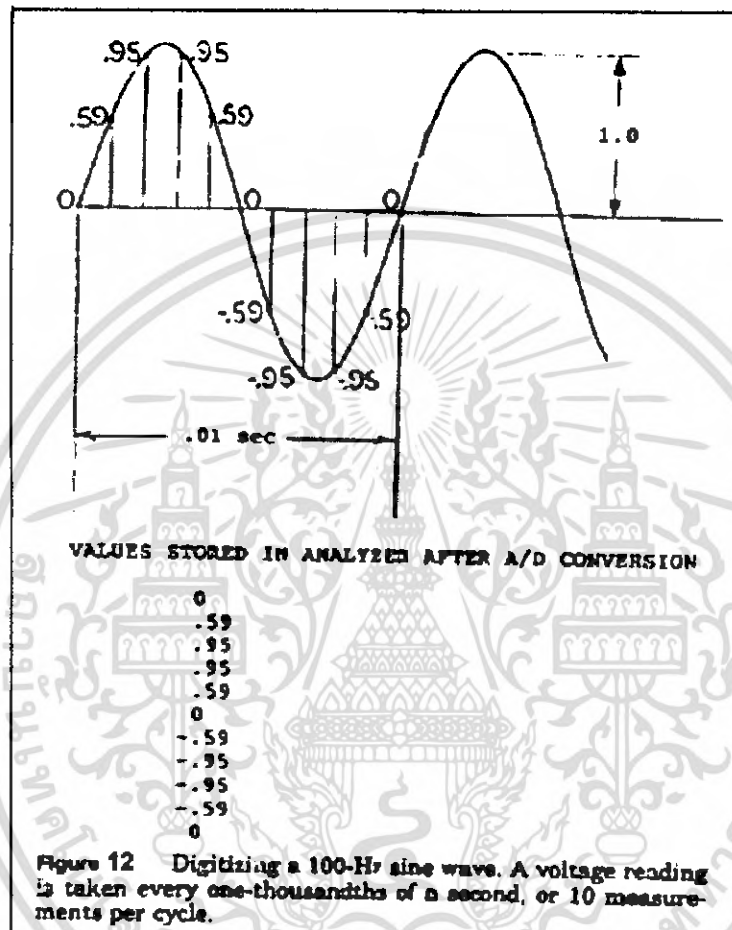
รูปที่ 2.2 คือ block diagram ของ FFT spectrum analyzer โค้ดจะแถมจะแสดงว่า เมื่อรูปแบบคลื่นเข้ามา ในที่นี้ให้เป็น คลื่น sine ในขั้นแรกจะทำการขยายสัญญาณ โดย amplifier ต่อจากนั้นจะผ่าน antialias filter ตัวที่ใช้คือ low-pass filter วัตถุประสงค์ของการทำเช่นนี้ก็เพราะต้องการให้สัญญาณจะได้เด่นชัดขึ้น time block ของข้อมูลเป็นสิ่งที่จับยึดและช่วยในกระบวนการสุ่มตัวอย่างในช่วงที่ analog-to-digital(A/D) เปลี่ยนข้อมูลเป็นดิจิทัล ในรูปของดิจิทัลสามารถแสดงเป็น time waveform หรือ ดำเนินการไปจนถึงสเปกตรัมความถี่ เมื่อทำงานสำเร็จแล้ว window function จะทำการขจัดส่วนที่ error ออก FFT transformation จะได้ออกมาแล้วและผลลัพธ์ของข้อมูลสามารถออกมาในโดเมนความถี่ ในส่วนนี้จะอธิบายกระบวนการที่ได้กล่าวถึงข้างต้น โดยในขั้นแรกจะเกี่ยวกับการ sampling และ digitizing functions



รูปที่ 2.2 block diagram ของ FFT analyzer

Analyzer ไม่สามารถที่จะทำการแปลงฟูเรียร์แบบต่อเนื่องได้ คอมพิวเตอร์นั้นสามารถทำการคำนวณได้อย่างรวดเร็วแต่จะเป็นข้อมูลในแบบบิตของเวลา นี่ก็คือวัตถุประสงค์ของส่วนการสุ่มตัวอย่าง รูปที่ 2.3 อธิบายการสุ่มตัวอย่างและกระบวนการเก็บข้อมูลสำหรับคลื่น sine แบบธรรมดา เมื่ออาร์คไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครบสมบูรณ์บ่งบอกเวลาของ waveform ข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำคอมพิวเตอร์จะเป็นตารางของตัวเลขที่บรรจุทั้งแอมพลิจูดและข้อมูลเฟส นี่เป็นสิ่งจำเป็นเพราะว่า FFT คือกระบวนการเก็บข้อมูลทางคณิตศาสตร์ที่กระทำกับตัวเลข



รูปที่ 2.3 การสุ่มตัวอย่างของกระบวนการเก็บข้อมูล

เครื่องหมายของ spectrum analyzer จะจดจำการอ่านค่า 50,000 voltage/second หรือมากกว่า นั้นบน waveform ที่เข้ามา analyzer ที่มีความถี่อยู่ในช่วง 0 ถึง 20,000 Hz จะวัด โวลต์ของสัญญาณเข้าที่ least twice ที่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ 20,000 Hz นี้เรียกว่า *Nyquist criterion* สัญญาณความถี่ที่สามารถเกิดการ false peak ได้ในโดเมนความถี่ เรียกว่า *Aliasing* ซึ่งเป็นผลของมาจากผลิตภัณฑ์ของกระบวนการเก็บข้อมูล

จะมีอะไรเกิดขึ้นบ้างเมื่ออัตราในการวัดซ้ำ สัญญาณความถี่สูงจะสะท้อนกลับเป็นช่วงความถี่ต่ำ จะปรากฏเส้นตั้งใน โดเมนความถี่ของ FFT spectrum analyzer ในความเป็นจริงแล้ว มันเป็นเรื่องที่หลอกลวงและไม่ใช่ว่าข้อมูลจริง เป็นจินตภาพของข้อมูลความถี่สูงที่ส่งเข้ามาใน analyzer เมื่อเราวัดที่ความเร็วต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ดีของ aliasing คือใช้ strobe light หยุดการเคลื่อนที่ความเร็วสูง strobe flashing rate เป็นการวัดความเร็ว เมื่ออัตราของ flash เท่ากับความเร็วในการหมุนคุณจะสามารถหยุดการเคลื่อนที่ได้ นี่คือการเปรียบเทียบไปหาค่าที่คงที่ โดยการเปลี่ยนแปลงของ flash rate slightly คุณสามารถทำการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือถอยหลังได้ในการเคลื่อนที่ที่ช้า ๆ นี่คือนิมิต phantom image ของข้อมูลความถี่ต่ำที่เกิดขึ้นด้วยการเคลื่อนที่ความเร็วสูงเมื่อความเร็วในการวัดต่ำ Aliasing จะขจัดออกไปได้สองวิธี วิธีแรกคือวัดข้อมูลที่ส่งเข้ามาที่ความถี่สูงกว่าสองเท่าของความถี่ที่เราสนใจ ก็คือ ถ้าช่วงความถี่ของ analyzer อยู่ที่ 20,000 Hz ก็ควรจะทำการวัดความเร็วที่สูงกว่า 40,000 Hz เพื่อหลีกเลี่ยงข้อมูลที่ผิดพลาดของความถี่ต่ำ วิธีที่สอง ก็คือการใช้ร่วมกับวิธีแรกที่กำหนดความถี่ที่จะเข้ามาใน analyzer Low-pass filters เป็นการใช้ waveform ที่เข้ามาไปขจัดข้อมูลความถี่สูงที่เป็นสาเหตุของ phantom ออกไป ซึ่งจะเรียกว่า *anti alias filter*

ยังมีคุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งของ FFT analyzer ที่ผู้ใช้งานควรระวังคือ windowing ย้อนกลับไปที่การเก็บข้อมูลของการสุ่มตัวอย่างที่ตำแหน่งระหว่าง discrete block ของเวลา FFT analyzer สมมุติว่าสัญญาณที่แสดงใน block ของเวลาจะแสดงเวลาทั้งหมดทั้งก่อนและหลังจากการสุ่มตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม การแปลงฟูริเยร์จะคาดการณ์ล่วงหน้าว่าจะนำไปสู่ความผิดพลาดที่เรียกว่า *leakage* ถ้าสัญญาณไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้นและสุดท้ายของบล็อกเวลา

2.4 Sensors

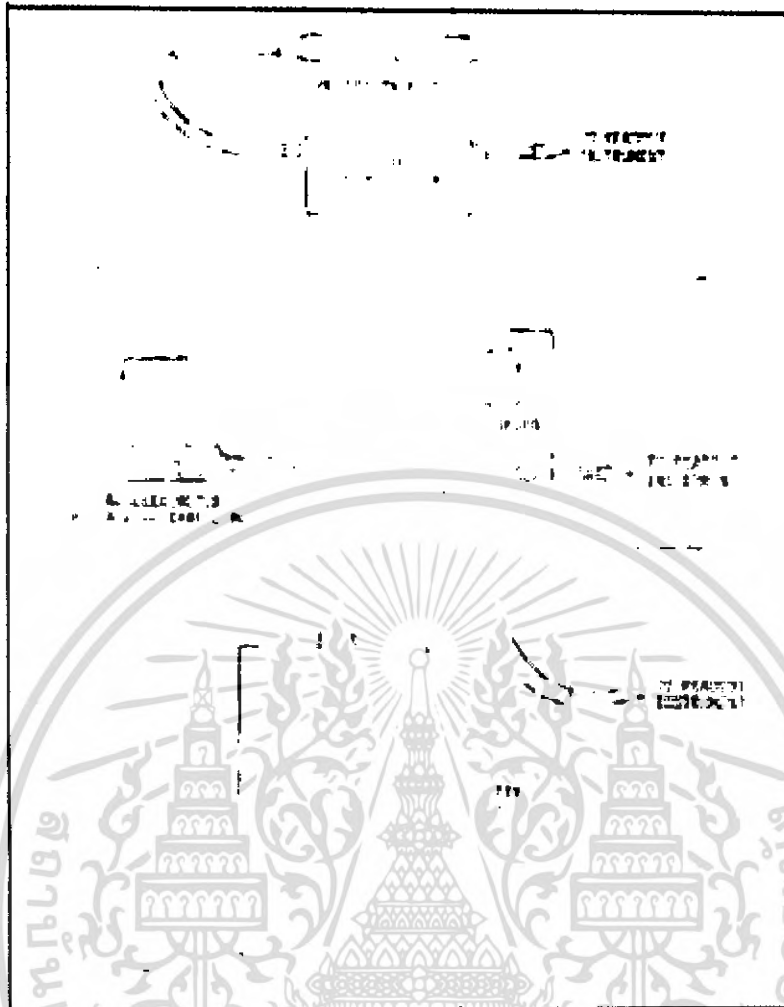
จุดมุ่งหมายของการทำให้เครื่องจักรอยู่ในสภาพสมดุล คือ เพื่อสังเกตจุดหนา (Heavy Spot) ที่ปริมาณและตำแหน่ง ปริมาณทางกายภาพ 2 ชนิดที่ต้องการวัดคือ ช่วงกว้างของการสั่นและมุมเฟส การวัดช่วงกว้างการสั่นนั้นสามารถทำได้โดยอาศัยเครื่องส่งสัญญาณการสั่นที่นิยม 3 ชนิดคือ Accelerometer, Velocity Pickup และ Proximity ส่วนเครื่องมือวัดชนิดอื่น เช่น Dial Indicators, Optical Interferometers, Strain Gages และ Linear Variable Differential Transformers (LVDT) การวัดค่ามุมเฟสสามารถทำได้ 2 วิธี คือ Strobe Method และ Trigger-sensors Method ซึ่ง 2 วิธีนี้จะใช้ Sensor และการติดตั้งคนละประเภท

2.5 Amplitude Sensors

ตัวเลือกของ Amplitude sensors บางครั้งถูกเลือกจากการใช้งานของเครื่องมืออ่านผล โดยเฉพาะชนิดที่ทันสมัยจะสามารถใส่ Sensors ชนิดใดก็ได้ลงไป ตามรูปที่ 2.4 แสดงภาพ Sensors วัดการสั่นที่นิยมใช้จุดที่น่าสนใจ คือ Velocity pickup ไม่ต้องการอุปกรณ์เสริมสำหรับการรับสัญญาณ ค่าที่อ่านได้มีความต่างศักย์ที่เพียงพอและมีความต้านทานค่าพอที่ทำให้สามารถต่อโดยตรงเข้ากับเครื่องมืออ่านค่า เช่น Oscilloscope, Voltmeter หรือ Analyzer สังเกตว่าจะมี Accelerometer นั่นคือด้านการคำนวณ Voltage และแบบ Charge เครื่องมือทั้งสองชนิดนี้ไม่สามารถใช้สลับกันได้ใน การวัดสัญญาณนำไปใช้

เครื่องมือ Voltage Accelerometer ต้องการแหล่งจ่ายไฟที่มีราคาต่ำ ในขณะที่ Charge Accelerometer นั้นต้องการตัวขยายสัญญาณที่มีราคาแพง ระบบแบบ Charge ไม่เป็นที่นิยมใช้ในการปรับสภาพเครื่องจักรให้อยู่ในสภาพสมดุล เพราะเครื่องมือมีความทนทานต่ออุณหภูมิ ความชื้น การสั่น และคลื่นรบกวน ได้ต่ำ Sensors ทั้งสามชนิดนี้สามารถใช้ในการปรับสภาพเครื่องจักรให้สมดุลได้ แต่ควรใช้ Sensors ชนิดเดียวกันในการทำงานแต่ละชนิด ยิ่งไปกว่านั้นต้องใช้ตัวแปรในการวัดชนิดเดียวกันด้วย เช่น ค่าการกระจัด ความเร็ว หรือความเร่ง เนื่องจากการสลับค่าตัวแปรหรือSensors ที่ใช้วัดสลับไปมานั้น จะทำให้เฟสเลื่อน และสเกลของ Amplitude คลาดเคลื่อน การเปลี่ยนจากการวัดการกระจัดมาเป็นการวัดความเร็วนั้นจะทำให้เฟสเลื่อนไป 90°และทำให้Amplitude เปลี่ยน ดังนั้นค่าตัวแปรที่ใช้ในการวัดการสั่นนั้นต้อง ไม่เปลี่ยนระหว่างการปรับสภาพเครื่องจักรเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการผิดพลาดของเฟสและการเปลี่ยน Amplitude ถ้าใช้ความเร็วในการวัดก็ให้วัดด้วยตัวแปรความเร็วจนกว่าการปรับสภาพเครื่องนั้นจะเสร็จ แล้วจึงสามารถเปลี่ยนตัวแปรและ Sensors ที่ใช้วัด เมื่อเริ่มการปรับสภาพเครื่องครั้งใหม่

การเกิดผลการปรับสภาพเครื่องที่เท่ากันสามารถเกิดขึ้นได้ ตามทฤษฎีแล้วจะเกิดกับตัวแปรที่เป็นปริมาณเชิงเส้น เช่น ไมล์ , นิ้ว หรือ โวลต์ ไม่ควรวัดค่า Amplitude แบบลอการิทึมในการปรับสภาพเครื่อง ถ้าหากใช้ค่าลอการิทึมนั้นจะต้องเปลี่ยนกลับไปเป็นปริมาณเชิงเส้นก่อนที่จะทำการคำนวณแบบเวกเตอร์ระหว่างการปรับสภาพเครื่อง ค่า Amplitude แบบเชิงเส้นจะถูกวัดได้และมีจุดประสงค์เพื่อขยับให้เกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของ Amplitude ให้มากเท่าที่จะทำได้ การคำนวณของคณิตศาสตร์จะไม่ได้รับผลกระทบเท่ากับหน่วยที่ใช้ แต่ตัวเลขต้องเป็นค่าเชิงเส้นเมื่อเทียบกับค่าอื่น ๆ

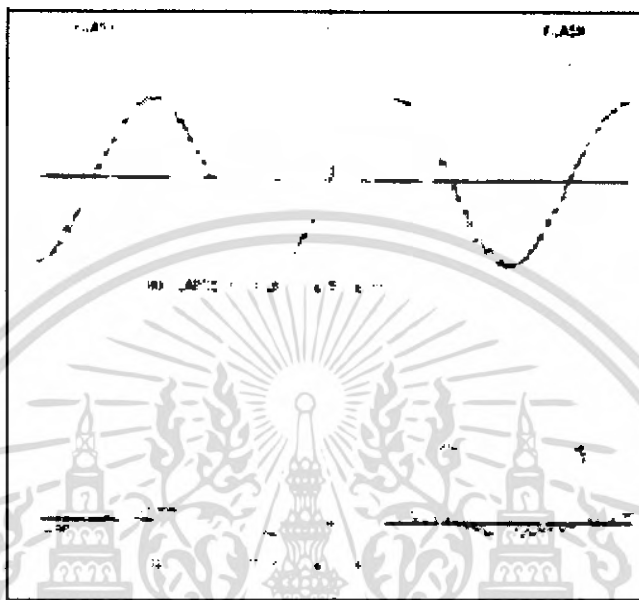


รูปที่ 2.4 เซนเซอร์ที่นิยมใช้ในการปรับสภาพเครื่อง 3 ชนิด

มีข้อที่ใช้ในการพิจารณาสำหรับการเลือกใช้ Sensors นั้นคือ Proximity Probe ไม่มีการเกิด Electronic Timing Lag ให้มีความแม่นยำที่จุดการทำงานสูง ในโรเตอร์จุดการทำงานสูงและใช้งานหนัก จะเกิดขึ้นพร้อมกัน ดังนั้นตำแหน่งที่ถูกต้องสำหรับการวางตำแหน่งน้ำหนักสามารถทำได้โดยไม่ต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibration) เครื่อง Proximity Probe จะมีสมบัติเหล่านี้เหนือกว่าเครื่องส่งสัญญาณชนิดอื่นในการปรับสภาพเครื่อง แต่เครื่องนี้ก็มีข้อเสียคือ มักจำเป็นต้องหมუნซ้ำ ๆ เมื่อแสดงผลการวัด ทำให้ต้องกำจัดคุณสมบัตินี้จากการวัดที่ความเร็วการทำงานเพื่อที่จะหาความไม่สมดุลแบบไดนามิกส์

การวัดการกระจัดเป็นไมล์นั้นดีสำหรับการวัด Amplitude ในการปรับสภาพเครื่องพร้อมกับเมื่อใช้ตัวกรองสัญญาณที่ปรับค่าได้ เนื่องจาก Amplitude แบบ Sine Wave (มีหน่วยเป็นโวลต์) นั้นมีค่ามากและไฟ Strobe สามารถลดลงจนถึงระดับที่ไม่สมดุล ข้อจำกัดของตัวกรองสัญญาณที่ปรับค่าได้ที่ใช้ในการปรับสภาพเครื่องนั้นคือเกิดแสงแฟลชมากที่ระดับต่ำ วงจรการเปรียบเทียบมีการหาค่าจุด Zero-to-Positive Crossover ชาก เมื่อ Sine Wave มีขนาดเล็กลง โดยเฉพาะในการแสดงเสียงรบกวนทางไฟฟ้า (รูปที่ 2.5) ดังนั้น เมื่อความเร็วรอบต่ำกว่า 3600 rpm สามารถใช้ตัวแปรเป็นความเร็วในการปรับไม่วากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพเครื่องได้ที่ความเร็วรอบมากกว่า 3600 rpm มักจะใช้ความเร่งในการวัด และใช้การกระจัดในการวัดความถี่ต่ำกว่านั้น ความเร่งเป็นสัดส่วนกับความเร็วกำลังสอง ดังนั้นค่าความต่างศักย์จริงที่ได้จาก Sensors จะหาได้เมื่อแสดงความเร่งมากกว่า 3600 rpm



รูปที่ 2.5 คลื่นรูป sine จะถูกกลับด้วยเสียงรบกวนทำให้เกิด Zero-positive crossover ได้ง่าย จึงเกิดการกระพริบของ strobe มาก

ในเครื่องมืออ่านผลสมัยใหม่นั้น ตัวแปรต่าง ๆ สามารถหาได้จาก Sensor หลายชนิด ตามปกติแล้ว ในปัญหาการปรับสภาพเครื่องที่ไม่ซับซ้อนซึ่งนับเป็น 80% ของทั้งหมดสามารถหาทำได้ด้วย Sensor หลายชนิด โดยการใช้หน่วยการวัด และผลที่ส่วนมากจะเท่ากัน แต่ Accelerometer ก็มีข้อดีที่เหนือกว่าเครื่องมืออื่น ๆ อยู่ 3 อย่างคือ มีความทนทานต่อคลื่นแม่เหล็กรบกวน การขึ้นอยู่กับสถานการณ์ทางกายภาพของการปรับสภาพเครื่อง และมีขนาดเล็ก

Accelerometer มีความไวที่คลื่นรบกวนความถี่ 60 Hz ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการเมื่อมีการปรับสภาพเครื่องที่ความเร็วรอบ 3600 rpm (60 Hz) คลื่นแม่เหล็กรบกวนไม่สามารถลดลงได้ด้วย การใส่ náหนักในส่วนที่หมุน มันมักจะให้ผลการสั่นที่ไม่ดีและทำให้การปรับสภาพเครื่องได้ผลที่ไม่น่าพอใจ

ข้อดีอีกอย่างของ Accelerometer คือ สามารถใช้ตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับแรงที่ไม่สมดุล สำหรับ Proximity Probe นั้นใช้วัดค่าการกระจัดในส่วนที่หมุน ค่าการกระจัดที่วัดเป็นค่าการกระจัดสัมพัทธ์ ซึ่งมีตัวแปรอื่น ๆ มาเกี่ยวข้องด้วย ความสามารถซึมผ่านแม่เหล็ก, คุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่ผิว, ขอบบพร่องที่ผิว และความแข็งแรงของฉนวนไฟฟ้า และมีข้อสันนิษฐานว่า

1. เมื่อติดตั้ง Proximity Probe แล้ว ไม่สามารถจะเคลื่อนที่ได้

2. การกระจัดเป็นสัดส่วนกับความไม่สมดุลการใช้เครื่อง Proximity Probe ในการปรับสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อขนาดเท่านี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เครื่องจะช่วยลดการกระจัดในส่วนที่เกิดการหมุนที่ระนาบที่เครื่องทำการวัด
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุที่บ่งชี้ และต้องอยู่เบื้องหลังของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดสัญญาณแผ่นดินไหวทำหน้าที่วัดการเคลื่อนที่บนส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Accelerometer ที่มีความไวต่อแรงกระทำมาก มันจะวัดความเร่งสัมบูรณ์อ้างอิงกับพื้นที่ภายในความเร่งที่ได้เป็นสัดส่วนกับแรง เมื่อมวลขณะเคลื่อนที่นั้นคงที่

ความเร่ง = แรง/มวล

ความต่างศักย์ที่แสดงของ Accelerometer นั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่ไม่สมดุลที่ส่งผลกระทบต่อส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ ภายในช่วงความเร็วเกือบทั้งหมดของการปรับสภาพเครื่องนั้น ผลที่อ่านออกมาของ Accelerometer นั้นเป็นเชิงเส้น ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความไม่สมดุลมากกว่า Sensor ชนิดอื่น การใช้ Accelerometer สำหรับการปรับสภาพเครื่องนั้นช่วยลดแรงที่กระทำในส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ ดังนั้นแรงไดนามิกสับบน Bearing จะถูกทำให้ลดลง

เครื่อง Accelerometer ที่มีขนาดเล็กอาจจะไม่มีข้อดี แต่บางครั้งก็เป็นสิ่งจำเป็น เครื่องส่งสัญญาณขนาดใหญ่ไม่สามารถติดตั้งไว้ที่ Bearing ที่มีขนาดเล็กหรือขนาดกลางได้

เครื่องส่งสัญญาณความเร็วเป็นเครื่องวัดการสั่นไหวและอ้างอิงกับสภาพภายนอกได้ นั่นคือมันสามารถวัดค่าการเคลื่อนที่สัมบูรณ์ได้โดยตรงและมีประโยชน์มากในการปรับสภาพเครื่อง การใช้เครื่องส่งสัญญาณความเร็วทำให้ส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ไม่ยุ่งยาก เพราะผลการอ่านค่าสามารถต่อเข้าโดยตรงกับเครื่องอ่านผล โดยไม่ต้องใช้เครื่อง Oscillator หรือ Demodulators, เครื่องจ่ายไฟ หรือเครื่องชาร์จ ค่าการวัดจะตกลงน้อยกว่า 3600 rpm แต่มันยังคงสามารถใช้ในการปรับสภาพเครื่องได้ การใช้งานเครื่อง Velocity Probe ในการปรับสภาพเครื่องนั้นช่วยลดการเคลื่อนที่ในส่วนที่ไม่หมุนได้ด้วย

2.6 สัญญาณ (Signal)

ลักษณะของสัญญาณที่จะเข้าสู่เครื่องมือวัดเป็นสิ่งที่กำหนดระบบที่ใช้ในการเก็บข้อมูลทั้งหมดและถ้าหากระบบเก็บข้อมูลที่มีอยู่ไม่สามารถที่จะเก็บสัญญาณที่ออกมาจาก Transducer ได้ อาจจำเป็นต้องเปลี่ยนเครื่องมือเก็บสัญญาณหรือ Transducer อย่างใดอย่างหนึ่ง สิ่งที่ทำให้เกิดข้อจำกัดของอุปกรณ์ส่วนใหญ่จะมาจาก เวลาการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล

เวลา มักจะเป็นตัวแปรที่วิกฤติที่สุดในการวัดแทบทุกรูปแบบ ไม่ว่าจะต้องการที่จะวัดปริมาณใดๆ ก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของปริมาณนั้น ไปด้วยเวลามักจะทำให้การวัดเปลี่ยนแปลงวิธีการไปด้วย การวัดอุณหภูมิในห้องปรับอากาศอาจจะใช้เครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีการแตกต่างไปจากการวัดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของจรวด เพราะลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเทียบกับเวลาของสิ่งทั้งสองนั้นแตกต่างกันมาก ดังนั้นในการวัดปริมาณใด ๆ ก็ตาม อาจจะไม่ใช่พอถ้ารู้เฉพาะว่าจะวัดอะไรเท่านั้น แต่จะต้องรู้ว่ามันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง ดังนั้นแม้แต่สัญญาณที่เรียกว่า DC Signal (Direct Current ในความหมายด้านการวัด ไม่ได้หมายถึงไฟฟ้ากระแสตรงเพียงอย่างเดียว แต่หมายถึงปริมาณสัญญาณที่ช้ามาก) ก็ยังต้องเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

เวลาที่มีความสำคัญในการออกแบบ DAQ (Data Acquisition) Software อยู่สองประการคือ หากต้องการทราบว่า อัตราการสุ่มข้อมูล หรือ Sampling Rate ซึ่งเป็นค่าที่บอกว่าคอมพิวเตอร์ต้องทำการวัดบ่อยครั้งเพียงใดในช่วงเวลาหนึ่ง และประการที่สองจำเป็นต้องทราบว่าเมื่อวัดปริมาณนั้น ๆ ได้แล้ว มีเวลาเหลืออีกเท่าใดเพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผล

การแบ่งประเภทสัญญาณ

สามารถแยกประเภทสัญญาณได้ตามลักษณะของมัยได้เป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ

1. Digital Signal
2. Analog Signal

สำหรับปริมาณที่เกิดขึ้นตามปรากฏการณ์ธรรมชาติต่าง ๆ จะเป็นสัญญาณประเภท Analog แทบทั้งสิ้น ส่วนสัญญาณ Digital นั้นโดยมากแล้วจะเป็นสัญญาณที่มนุษย์สร้างขึ้น และมักใช้ประโยชน์ในงานควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

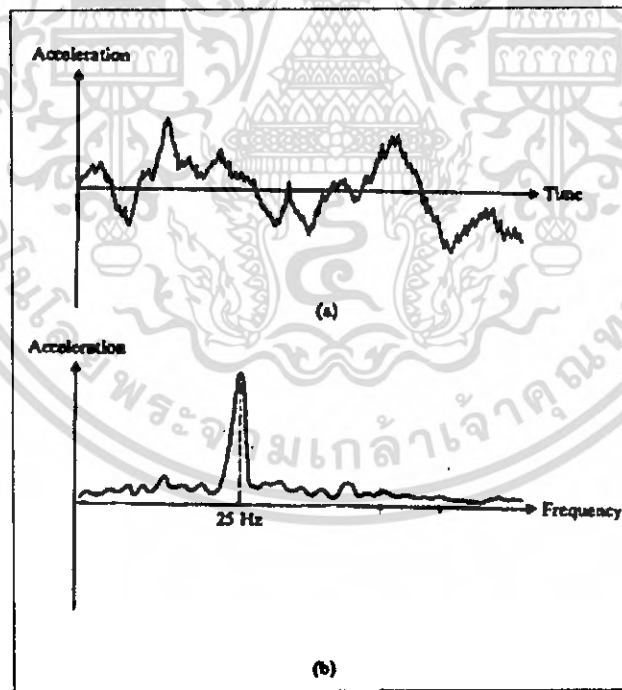
โดยปกติเมื่อสัญญาณผ่านออกมาจาก Transducer หรือ Signal Conditioner มาแล้ว สัญญาณจะมีลักษณะเป็นสัญญาณไฟฟ้าแต่ยังคงเป็น Analog Signal อยู่ การจะนำปริมาณนั้นเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า AC (Analog to Digital Converter บางครั้งเรียกย่อ ADC) เมื่อสัญญาณเข้าสู่ ADC จะได้รับการเปลี่ยนลักษณะให้เป็นสัญญาณ digital จากนั้นจึงสามารถให้คอมพิวเตอร์ดึงข้อมูลของสัญญาณนั้นออกมาได้ ข้อมูลที่สำคัญที่บรรจุอยู่ในสัญญาณนั้นก็เช่น รูปร่าง, ปริมาณ, ความถี่ เป็นต้น เป็นงานที่หนักมากในการที่จะเปลี่ยนสัญญาณ Analog ในรูป Time-domain ไปอยู่ในรูป Digital frequency domain โดยจำเป็นต้องคำนวณเกี่ยวกับสัญญาณนี้ วิธีที่ใช้ในการเปลี่ยนโดเมนเวลาไปเป็นโดเมนความถี่ก็คือการใช้ Fourier transform โดยเป็นการพัฒนามาจาก Fourier series

2.7 การวิเคราะห์สัญญาณ

การวิเคราะห์สัญญาณ หมายถึง วิธีการที่เราสามารถตีความหมายของสัญญาณที่เราวัดว่าประกอบด้วยอะไรบ้าง และส่วนใดในสัญญาณที่วัดได้นั้นถือว่ามีความสำคัญต่อการสั้น เราทราบคืออยู่แล้วว่าในการสั้นนั้นความถี่และขนาดการสั้นจะมีความสำคัญมากกว่ารูปแบบ หรือลักษณะการสั้นที่เปลี่ยนตามเวลา ดังนั้นเมื่อเราวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา หรือเรานิยมเรียกว่า สัญญาณที่อยู่ใน โดเมนของเวลา ซึ่งเป็นสัญญาณที่เราตรวจจับได้ในการวัดทั่ว ๆ ไป เพราะเป็นการวัดค่าที่เวลาต่าง ๆ และเพื่อให้เราสามารถที่จะตีความหมายที่เป็นประโยชน์ของสัญญาณ ได้เราจำเป็นต้องนำสัญญาณนั้นมาแปรความหมายให้เป็นการเปลี่ยนแปลงของขนาดของสัญญาณตามความถี่ต่าง ๆ หรือกล่าวสั้น ๆ ก็คือเปลี่ยนสัญญาณให้มาอยู่ในโดเมนความถี่นั่นเอง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของความสำคัญที่ต้องมีการเปลี่ยน โดเมนของสัญญาณก็เช่นหากเราใช้เครื่องมือวัดความเร่งเพื่อวัดความเร่งของเครื่องจักรเครื่องหนึ่ง สิ่งที่เราจะได้ออกมาในลักษณะของความเร่งในโดเมนเวลา ซึ่งสมมุติว่ามีลักษณะเป็นรูปคลื่นที่แสดงในรูปที่ 2.6(a) จากรูปเราจะทราบว่าความเร่งเนื่องจากการสั่นของเครื่องจักรนี้ เมื่อเวลาหนึ่ง ๆ มีค่าเป็นเท่าใด และความเร่งสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่าใด อย่างไรก็ตาม ถ้าหากว่าส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรทำงานที่ความถี่ต่าง ๆ กัน ซึ่งอาจเกิดได้ในกรณีที่มีการใช้เฟืองทดรอบเพื่อให้ได้ส่วนต่าง ๆ ทำงานที่รอบต่าง ๆ กันตามที่เรต้องการ ดังนั้นเราอาจไม่ได้ข้อมูลว่าชิ้นส่วนใดเกิดการสั่นมากที่สุด เพราะการสั่นที่วัดได้เป็นการวัดความเร่งรวมจากการสั่นที่เกิดขึ้นทั้งหมด อย่างไรก็ตามหากเราเปลี่ยนสัญญาณใน โดเมนเวลานี้ให้อยู่ในโดเมนความถี่ ซึ่งจะทำให้เราได้กราฟในรูปที่ 2.6(b) ในรูปนี้ เราได้ขนาดของความเร่งที่ความถี่ต่าง ๆ และจากในรูปเราพบว่าชิ้นส่วนที่สั่นด้วยความถี่ 25 Hz จะทำให้เกิดความเร่งสูงสุด ดังนั้นหากเราตรวจสอบว่าในเครื่องจักรของเรามีชิ้นส่วนใดที่ทำหน้าที่ความถี่ 25 Hz เราก็จะ ได้ว่าชิ้นส่วนนั้นเป็นชิ้นที่ทำให้เกิดการสั่นมากที่สุดนั่นเอง การทำเช่นนี้จะทำให้เราทราบข้อมูลที่มีประโยชน์ในการแก้ไขหรือปรับปรุงการทำงานของชิ้นส่วนนั้นได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.6 สัญญาณใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่

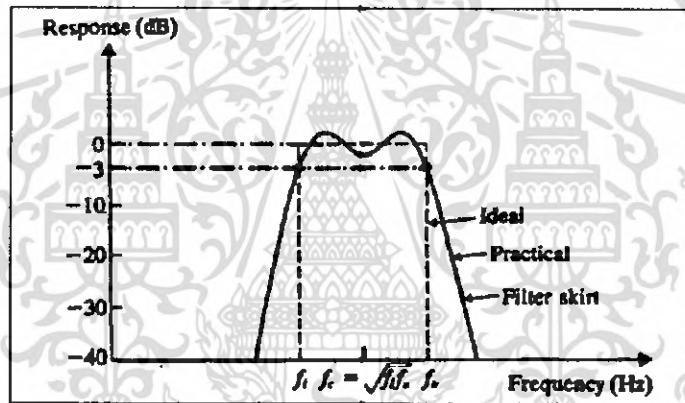
เมื่อคอมพิวเตอร์และระบบดิจิทัลเข้ามามีบทบาทในวงการวิศวกรรมในปัจจุบันนี้ การเปลี่ยนสัญญาณในโดเมนเวลาให้อยู่ในโดเมนความถี่สามารถทำได้แบบใช้เวลาจริง(Real Time) ไม่ว่าจะเป็นการใช้การเปลี่ยนรูปอย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform, FFT) หรือการใช้ตัวกรองสัญญาณดิจิทัล (Digital Filtering) ซึ่งการพิจารณาการทำงานของเครื่องจักรที่กำลังทำงานอยู่นั้น การพิจารณาได้ในไม่วารณี่ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาจริงนี้มีประโยชน์ในการตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรได้อย่างใกล้ชิด ทำให้เราสามารถทราบความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

สำหรับตัวกรองสัญญาณดิจิทัล และ FFT จะมีประสิทธิภาพในการทำงานที่แตกต่างกัน โดยความกว้างของสัญญาณ (Bandwidth) จะเป็นตัวกำหนด ดังนั้นในเบื้องต้นเราจะกล่าวถึงองค์ประกอบพื้นฐานของการวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งก็คือ Bandpass filter.

2.8 Bandpass Filter

Bandpass Filter เป็นวงจรไฟฟ้าที่ยอมให้สัญญาณไฟฟ้าผ่านในช่วงความถี่หนึ่งเท่านั้นที่สามารถผ่านออกไปได้ โดยจะตัดสัญญาณที่มีความถี่มากกว่าและน้อยกว่าช่วงที่กำหนดออกไป วงจรไฟฟ้านี้สามารถสร้างโดยใช้ตัวต้านทาน Inductor และ ตัวเก็บประจุ



รูปที่ 2.7 การตอบสนองของเครื่องกรองสัญญาณ

จากรูปที่ 2.7 ได้แสดงถึงการตอบสนองของเครื่องกรองสัญญาณ โดยกำหนดความถี่ต่ำที่ผ่านได้เป็น f_1 และความถี่สูงที่ผ่านได้เป็น f_2 อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติสัญญาณที่ผ่านได้นี้อาจมีค่าต่ำหรือสูงกว่าที่เรากำหนดเล็กน้อย ทำให้การตอบสนองในทางเป็นจริงอาจจะแตกต่างออกจากทฤษฎีไปบ้าง ตามคุณภาพของวงจรไฟฟ้า สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ศิลปะขบของสัญญาณที่อยู่นอกความถี่ที่สุด นั่นคือช่วงสัญญาณ (Bandwidth) ทางอุดมคติจะเป็น $B = f_2 - f_1$ ในทางปฏิบัติตัวกรองสัญญาณที่ความถี่ f_1 และ f_2 ที่การตอบสนองอยู่ในช่วงค่า $3db$ ต่ำกว่าค่ากลาง จะเรียกว่า cutoff frequency

การกรองสัญญาณจะแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1. Constant percent bandwidth filter – เครื่องกรองสัญญาณสัดส่วนช่วงกว้างคงที่
2. Constant bandwidth filter – เครื่องกรองสัญญาณช่วงกว้างคงที่

โดยในเครื่องกรองสัญญาณสัดส่วนช่วงกว้างคงที่ อัตราส่วนของช่วงกว้างเทียบกับความถี่กลางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าหรือไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{f_u - f_l}{f_c}$$

จะมีค่าคงที่ ส่วนในเครื่องกรองสัญญาณแบบช่วงกว้างคงที่ ค่า $f_u - f_l$ จะคงที่ไม่ว่าความถี่กลาง $f_c = \sqrt{f_u f_l}$ จะมีค่าเท่าใดก็ตาม

ความแตกต่างของเครื่องกรองสัญญาณทั้งสองแบบนี้จะอยู่ในรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับช่วงสัญญาณ ยกตัวอย่างเช่น octave and filter ซึ่งจะมี upper cutoff frequency เป็นสองเท่าของ lower cutoff frequency ในการวิเคราะห์สัญญาณจะให้รายละเอียดต่ำ และอาจมีสัญญาณรบกวนมาก แต่ one-half-octave band filter จะให้ความละเอียดเป็นสองเท่า แต่ต้องการเวลาคำนวณเป็นสองเท่าเช่นกัน เครื่อง spectrum analyzer ซึ่งสามารถเลือกแบบ octave และ one-third octave filter สามารถใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณรบกวน โดยเครื่องกรองจะตั้งให้มีค่ากลางของความถี่ f_c เพื่อให้การกรองสัญญาณควบคุมทุกช่วงความถี่ที่เราสนใจ เนื่องจาก upper cutoff frequency ของช่วงความถี่แรกที่กำหนดจะเท่ากับ lower cutoff frequency ของความถี่ถัดไป ตัวกรองสัญญาณจะสามารถกรองค่าให้ปรากฏได้ครอบคลุมตามที่ เราได้แสดงในรูป

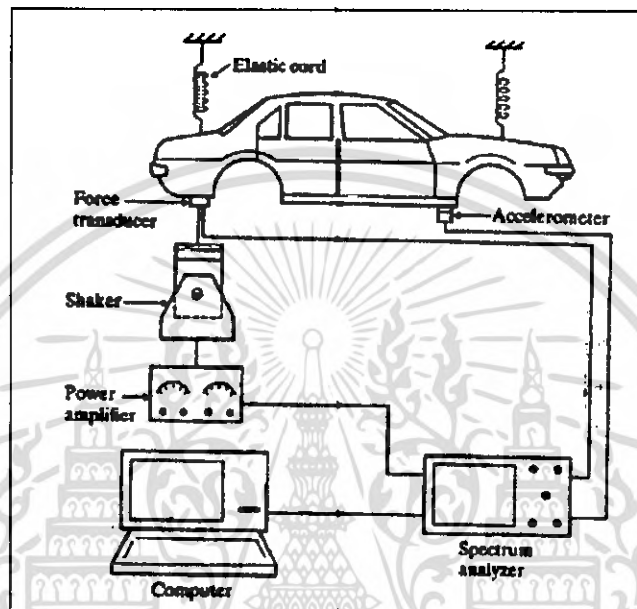
ในปัจจุบันนี้คอมพิวเตอร์ได้เข้ามาเกี่ยวข้องกับงานทางด้านวิศวกรรมเป็นอย่างมาก ดังนั้นในระยะไม่กี่ปีที่ผ่านมา เราจะพบอุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณแบบดิจิทัลออกสู่ตลาดในรูปแบบต่างๆ มากมาย และได้มีการรวบรวมเครื่องมือหลายๆ แบบในอดีต ไว้ในเครื่องเดียวกัน หรือแม้แต่การสร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริง (Virtual Instrument) โดยการวัดสัญญาณต่างๆ เข้าสู่คอมพิวเตอร์ จากนั้นโปรแกรมจะทำหน้าที่วิเคราะห์สัญญาณในรูปแบบต่างๆ ตามที่ผู้ใช้ต้องการ ตัวอย่างโปรแกรมประเภทนี้ก็อย่างเช่น LabVIEW หรือ DasyLAB เป็นต้น

2.9 การทดสอบและการวิเคราะห์การสั่น

การตอบสนองของเครื่องจักร โครงสร้างหรือระบบพลวัตใด ๆ สามารถที่จะวัดได้โดยการกระตุ้นระบบนั้นด้วยความถี่ต่าง ๆ การตอบสนองที่วัดได้จะสามารถบ่งบอกถึงความถี่ธรรมชาติ รูปร่างโหมดและคุณสมบัติด้านความหน่วงของระบบได้ สำหรับระบบที่มีหลายลำดับชั้นความเป็นอิสระการบ่งชี้ค่าความถี่ธรรมชาติ และรูปแบบของแต่ละโหมดมีความสำคัญและเป็นงานที่ทำหายมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อค่าความถี่ธรรมชาติมีค่าใกล้เคียงกันมาก ๆ เมื่อค่าความถี่ของการกระตุ้นค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ค่าความถี่ธรรมชาติและรูปร่างโหมดสามารถที่จะตรวจจับได้ หรือแม้แต่สามารถที่จะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แม้ว่าค่าอัตราส่วนความหน่วงของแต่ละความถี่ธรรมชาติหรือรูปร่างโหมดของแต่ละโหมดจะไม่สามารถประมาณด้วยตาเปล่าได้ เราสามารถหาค่ามันได้จากแผนภาพการตอบสนองต่อความถี่

ในการวัดการตอบสนองของระบบเราสามารถจัดอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามรูปที่ได้แสดงรูปที่ 2.9 ซึ่งเราจะเห็นว่าระบบจะถูกแขวนอยู่บนที่รองรับที่ยืดหยุ่น ได้ เพื่อให้เป็นการรองรับแบบ free-free (ปลายอิสระสองด้าน) จากนั้นเครื่องกระตุ้นการสั่นจะกระตุ้นให้เกิดสัญญาณการสั่นผ่านเครื่องวัดแรง เมื่อไม่มีการหนีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบสั่นเราจะวัดการตอบสนองซึ่งอาจจะใช้เครื่องวัดความเร่งที่ติดอยู่กับระบบ ส่วนเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม จะทำหน้าที่อ่านและบันทึกค่าขนาดของแรงและสัญญาณการตอบสนองที่วัดค่าได้จากทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 2.8 การทดสอบการสั่นของรถ

สำหรับสัญญาณที่ใช้กระตุ้นการสั่นจะ ได้มาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณซึ่งอาจเป็นอุปกรณ์ที่เป็นชิ้นเดียว หรืออาจเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และโดยส่วนมากแล้วสัญญาณนี้มักจะได้รับการขยายให้มีขนาดที่เหมาะสม

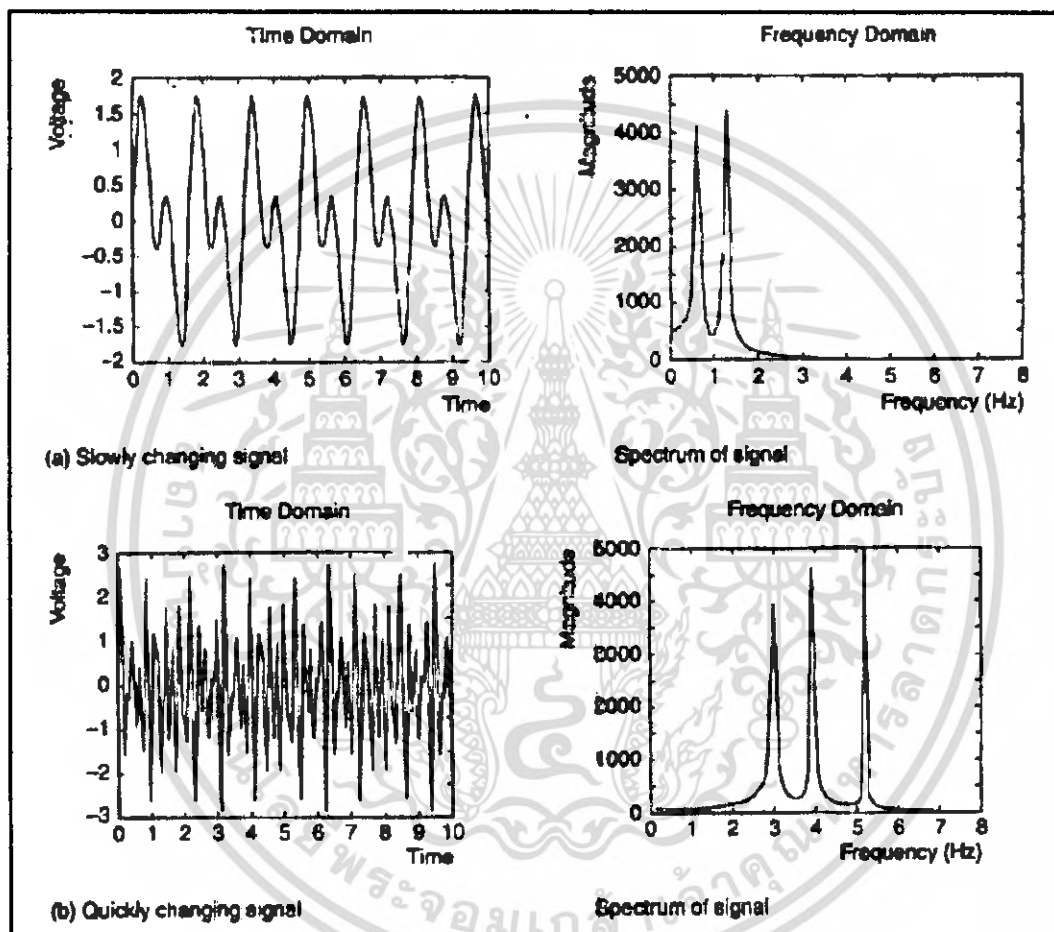
คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บและรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป หรือในปัจจุบันนี้เรามีโปรแกรมที่สามารถทำให้คอมพิวเตอร์ของเรากลายเป็น เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมและเครื่องกำเนิดสัญญาณ ได้ด้วย

เราเห็น ได้ว่าการตอบสนองของระบบ ไม่ว่าจะเป็นแบบ discrete หรือ continuous ก็ตาม สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นระบบที่ประกอบด้วยระบบที่มีหนึ่งลำดับชั้นความเป็นอิสระหลาย ๆ ระบบรวมกันอยู่ เพราะเราสามารถนำหลักการของการรวมตำแหน่ง (super position) และเราทราบแล้วว่าผลกระทบของโหมดการสั่นที่มีความถี่สูง ๆ จะมีผลกระทบต่อ การตอบสนอง โดยรวมน้อยกว่าโหมดการสั่นที่มีความถี่ต่ำ ดังนั้นการจำลองระบบต่อเนื่องเราอาจพิจารณาโดยใช้โหมดการสั่นลำดับแรก ๆ เท่านั้น

2.10 Spectrum

สเปกตรัมคือการแสดงขององค์ประกอบความถี่ที่แสดงในรูปของสัญญาณ ความสำคัญขององค์ประกอบความถี่ในสัญญาณเป็นการแสดงขนาดของสเปกตรัมที่ความถี่นั้น ๆ สเปกตรัมเป็นการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลอตระหว่างขนาดเทียบกับความถี่ เมื่อเป็นเช่นนั้นแล้วแสดงว่า ขอบเขตความถี่ (*frequency domain*) เป็นการให้ข้อมูลของสัญญาณโดยที่แสดงในรูปของความถี่ บ่อยครั้งที่คำนวณโดยใช้ FFT (fast Fourier transform) สัญญาณความถี่ต่ำจะคงที่หรือเปลี่ยนแปลงช้ามากเมื่อเทียบกับเวลา ซึ่งปรากฏที่ฝั่งซ้ายสุดของสเปกตรัม สัญญาณความถี่สูงจะตรงกันข้าม คือ เปลี่ยนแปลงเร็วมากกับเวลา ซึ่งปรากฏทางฝั่งขวาของสเปกตรัม



รูปที่ 2.9 รูปแสดงการสั้นใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่

รูปที่ 2.9 แสดงทั้ง โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่ สำหรับสัญญาณที่แตกต่างกันทั้งสอง สเปกตรัมสำหรับสัญญาณ (a) สามารถแสดงข้อมูลที่เป็นประโยชน์ที่สัญญาณบรรจุเฉพาะความถี่ที่แตกต่างกันสองค่าซึ่งสร้างสเปกตรัมที่มีรูปร่างคล้ายตะปู 2 รูปที่ 0.64 Hz และ 1.27 Hz ส่วนรูปตะปูในสเปกตรัมของสัญญาณ (b) แสดงสัญญาณที่บรรจุความถี่ที่แตกต่างกันสามค่าคือ 2.86, 3.82 และ 5.09 Hz ความถี่แสดงในสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วคือสูงกว่าของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแบบช้า ซึ่งคาดหมายว่า สำหรับสัญญาณอื่น ๆ สเปกตรัมให้ข้อมูลที่กระจัดกระจายเมื่อลักษณะเฉพาะของสัญญาณไม่สามารถหาได้ง่ายในการแสดงของโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีเฉพาะ เพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ความหมายของสเปกตรัมก็คือการเกี่ยวข้องกับ โดเมนความถี่ ในส่วนของโดเมนความถี่ ทุก ๆ ไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณดิจิทัลจะมีเครื่องหมายลักษณะเฉพาะของมัน ตัวอย่างเช่น

A sine wave จะมีแค่ความถี่เดียว แต่ถ้าเป็น white noise จะมีองค์ประกอบเป็นทุก ๆ ความถี่ ถ้าสัญญาณเป็นแบบราบเรียบแสดงว่าเป็นองค์ประกอบของความถี่ต่ำ ถ้ารูปร่างเป็นเส้นและเปลี่ยนแปลงรวดเร็วแสดงว่าเป็นองค์ประกอบของความถี่สูง

A square wave บรรจุมหาซิกความถี่ต่ำ จะแสดงเส้นที่ราบเรียบเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบขึ้นและลงถ้าเป็นองค์ประกอบความถี่สูงการส่งผ่านรูปร่างจะเป็นเส้น

$$y(t) = \frac{4}{\pi} \left\{ \sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \frac{1}{7} \sin(7\omega t) + \frac{1}{9} \sin(9\omega t) + \dots \right\}$$

2.11 สเปกตรัมของสัญญาณ

คือการที่อธิบายถึงว่าสัญญาณนั้นมียุทธศาสตร์ประกอบความถี่อะไรบรรจุอยู่ ตัวอย่างเช่น สำหรับ square wave สเปกตรัมจะแสดงยอดที่แบ่งแยกออกของ sine wave ที่รวมกันเป็นตัวมัน ข้อมูลนี้เป็นข้อมูลที่มีเหตุผลสำคัญมาก

สเปกตรัมของสัญญาณจะมีอยู่ 2 ส่วน คือ สเปกตรัมขนาดและสเปกตรัมเฟส Magnitude spectrum เกี่ยวข้องกับขนาดหรือแอมพลิจูดขององค์ประกอบของความถี่ Phase spectrum จะให้ความสัมพันธ์ของเฟสกับองค์ประกอบความถี่ที่แตกต่างกัน

2.12 การวัดฟังก์ชันการตอบสนองต่อความถี่

ในการวัดการตอบสนองต่อความถี่ของระบบ เราสามารถใช้ Fast Fourier Transform (FFT) หรือ Spectrum Analyzer ในการวิเคราะห์ หากระบบมี input หนึ่งค่าและ output หนึ่งค่าเราต้องใช้ช่องสัญญาณสำหรับ FFT สองช่อง โดยช่องหนึ่งสำหรับแรงกระทำที่ input และอีกช่องหนึ่งสำหรับการวัดการตอบสนอง เราอาจต้องการช่องสัญญาณ FFT เพิ่มขึ้นหากมีการวัด output เช่น ความเร่งหลายจุดขึ้น ในกรณีนี้เรามักจะกระตุ้นระบบที่จุดหนึ่งและวัดการตอบสนองที่หลาย ๆ จุดพร้อมกัน วิธีการนี้ทำให้เราใช้เวลาในการเก็บข้อมูลน้อยและการวัดจะเก็บค่าต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ที่เกี่ยวข้องกับการสั่นที่โหมดต่าง ๆ ได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากการกระทำที่จุดเดียววิธีการนี้อาจทำให้เราพลาดที่ให้เห็นการตอบสนองในบางโหมดไปได้ เพื่อแก้ไขปัญหานี้เราอาจต้องมีการกระตุ้นระบบหลายๆ จุด และการตอบสนองหลายๆ จุดพร้อมกัน ในกรณีที่เรามีมีแรงกระทำหลายๆ จุด ก็เพื่อให้เกิดการกระจายของภาระกรรมให้ดีขึ้นและลดการผิดพลาดเนื่องจากน้ำหนักของทรานสดิวเซอร์ลงไปได้ด้วย ดังนั้นจะมีการวัดฟังก์ชันการตอบสนองหนึ่งค่าสำหรับแต่ละคู่ของจุด (จุดที่มีแรงกระทำและจุดที่ทำการวัด) ซึ่งผลที่ได้จะเป็นเมทริกซ์ของ FRF (Frequency Response Function) โดยในแต่ละแถวอนจะแทนการตอบสนองที่แต่ละจุดส่วนแถวตั้งจะแทนตำแหน่งที่มีภาระกระทำ เราจะเห็นว่าหากเรามีตัวกระตุ้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

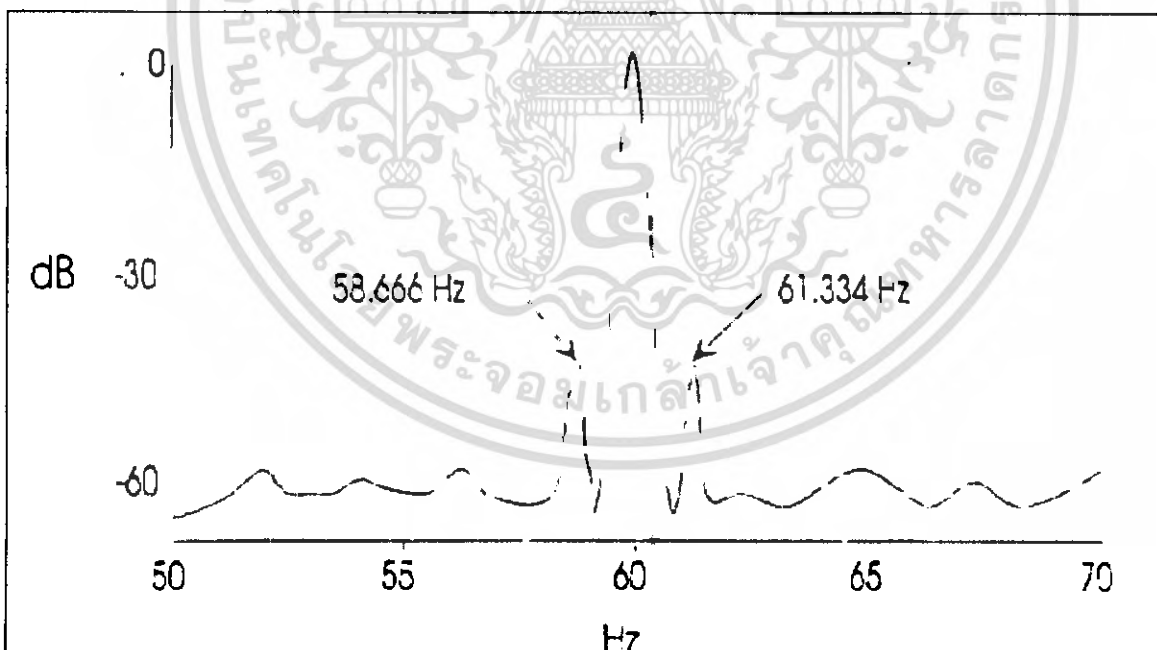
ตัวเดียวเราจะได้เมทริกซ์ 1 แถวตั้ง ในขณะที่การใช้ก้อนทูปจะทำให้เราได้เมทริกซ์ FRF แบบหนึ่งแถว
นอน

2.13 D.C. Motors

การสั่นที่รุนแรงใน D.C. motors สามารถเกิดขึ้นเพราะการผิดลักษณะหรือส่วนของ ปลั๊ก
commutator หรือการสัมผัสที่ไม่ถูกต้องของแปรงขัดลวดกับปลั๊ก commutator ความถี่นี้จะเป็นความถี่
ที่ส่งผ่านมาที่ปลั๊ก ซึ่งจำนวนตัวเลขของปลั๊ก commutator คือ RPM

Electronic speed control system สำหรับ D.C. motors ขนาดใหญ่จะใช้ silicon controlled
rectifier (SCRs) ในการเปลี่ยนเส้นกระแสไฟ A.C. 3 เฟสไปเป็นไฟกระแสตรงและมันสามารถสร้าง
การอินเตอร์เฟสกระแสไฟฟ้าที่มีคุณภาพสูงที่ฮาร์โมนิกส์ที่สูง ๆ ของความถี่ A.C. โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่
360 Hz ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งที่ 6 ของเส้นความถี่ ซึ่งองค์ประกอบนี้เกิดขึ้นจากการพันมอเตอร์ ซึ่งการสั่น
นั้นจะเกิดขึ้นที่ความถี่นี้

ถ้าสเปกตรัมการสั่นจะมีค่าสูงสุดที่ 360 Hz เป็นค่าที่มีความสำคัญมาก สาเหตุนี้เกิดขึ้นได้กับ
open circuited field winding, loose electrical connector, or malfunctioning SCRs.



รูปที่ 2.10 แสดงสเปกตรัมการสั่นของ DC. Motor

2.14 Drive Belts

สายพานขับเคลื่อนเป็นรูปแบบของการส่งถ่ายกำลังที่มีความสัมพันธ์ไม่ซับซ้อน แต่ว่าพวกมัน
ชอบมีปัญหาต่าง ๆ มากมาย สายพานขับเคลื่อนจะมีหลายรูปแบบ และทุกรูปแบบต่างก็มีปัญหาของการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สึกหรอและความเสียหาย สายพานควรจะหมั่นตรวจตราความเสียหายอยู่บ่อย ๆ และควรจะรักษาความสะอาดอยู่เสมอ

2.15 Mismatched, Worn, or Stretched Belts (การเข้าคู่ผิด สึกหรอ สายพานตึงเกินไป)

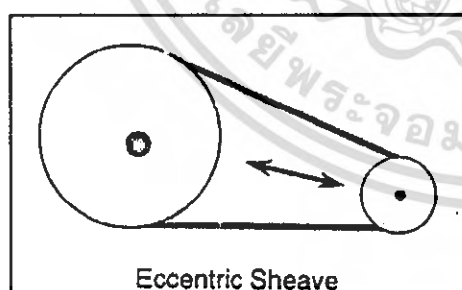
ปัญหาการเข้าคู่ผิด สึกหรอ สายพานตึงเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับสายพานแบบ V จะสร้างการสั่นที่ความถี่พื้นฐานที่ส่งมาผ่านยังสายพานและฮาร์มอนิกส์ของมัน ฮาร์มอนิกส์ที่สองคือส่วนสำคัญที่ถ้ามีลูกรอกอยู่สองลูกในระบบ ความถี่พื้นฐานของสายพาน (Fundamental belt frequency), FBT คือการใช้สมการ โดยมากแล้วจะเป็น sub-synchronous หมายถึงความถี่นั้นจะน้อยกว่า 1X

$$FBT = \pi \frac{D}{L} (RPM)$$

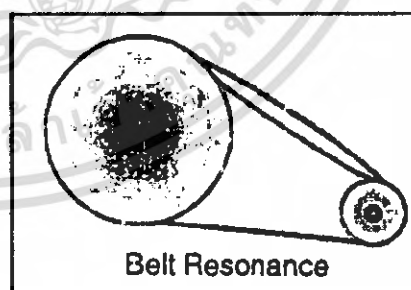
เมื่อ D = Sheave Diameter
L = Belt Diameter
RPM = Turn speed of sheave D

2.16 Eccentric Sheaves, sheave Run out (ลูกรอกเบี้ยว ลูกรอกวิ่งออก)

ลูกรอกเบี้ยวจะสร้างองค์ประกอบรัศมี 1X ที่รุนแรงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทิศทางขนานกับสายพาน สถานะนี้เป็นส่วนที่ธรรมดาคือพบเห็นบ่อยมากและจะคล้าย ๆ กับปัญหาความไม่สมดุล สามารถตรวจสอบได้โดยการเอาสายพานออกและทำการวัดใหม่อีกครั้งหนึ่ง การสั่นที่ 1X ของปัญหาลูกรอกเบี้ยวหรือลูกรอกเคลื่อนที่ออกมักจะแสดงออกมากับลูกรอกอื่น ๆ



รูปที่ 2.11 แสดงการเกิด Eccentric Sheave



รูปที่ 2.12 แสดงการเกิด Belt Resonance

2.17 Belt Resonance, Belt Slap (สายพานเรโซแนนซ์ สายพานอันรุนแรง)

การสั่นเป็นคลื่นที่รุนแรงของสายพานจะรวมถึงแรงที่ไม่เหมาะสม ความถี่นี้จะสามารถเกินช่วงกว้างได้ และสามารถวัดได้กับ small-portable stroboscope ที่ตรวจสอบตำแหน่งในสเปกตรัม springloaded belts ไม่ควรจะใช้สำหรับระบบเรโซแนนซ์ที่จะใช้ในระบบสายพานที่มีความซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และโดยทั่วไปปัญหาต่างๆ มักจะเกิดจากสาเหตุนี้เอง แรงของสายพานจะไม่เท่ากันในระบบที่ประกอบด้วยสายพานหลาย ๆ เส้นเป็นสาเหตุของแรงกระทำในแนวรัศมีสูงมากบนลูกปืน

2.18 ความเสียหาย ณ อุปกรณ์ต่างๆ

2.18.1 DC Motor

Normal spectrum

ปัญหาของ DC motor มากมายสามารถที่จะป้องกันได้โดยการใช้การวิเคราะห์การสั่น การปรับปรุงแก้ไข full wave มอเตอร์ (6 SCR's) สร้างสัญญาณที่เส้นความถี่ ($6F_L = 360\text{Hz} = 21,000$ CPM) การปรับปรุงแก้ไข half-wave มอเตอร์ (3 SCR's) สร้าง เส้นความถี่ $3X$ ($3F_L = 180\text{Hz} = 10,800$ CPM) ความถี่SCR ที่เป็นปรกติแสดงในสเปกตรัม DC motor อยู่ที่แอมพลิจูดต่ำ จะไม่ปรากฏยอดต่างๆ ที่ผลคูณของ F_L



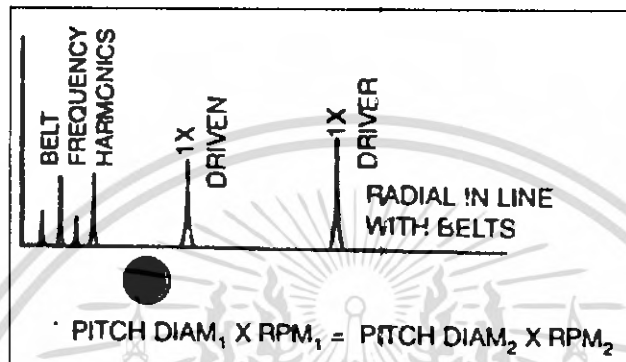
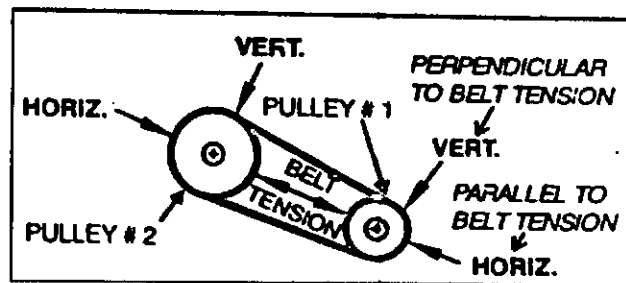
รูปที่ 2.13 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ DC Motor

2.18.2 Belt drive problems

Worn, loose or mismatched belts สึกหรือ, หลวมหรือการเข้าคู่ผิด

ความถี่ของสายพานจะขึ้นอยู่กับ RPM ของมอเตอร์หรือว่าเครื่องจักรขับเคลื่อนอื่น ๆ เมื่อพวกมันสึกหรือ, หลวมหรือการเข้าคู่ผิด โดยปรกติแล้วจะเป็นสาเหตุตัวคูณ 3 ใน 4 ของความถี่สายพาน บ่อยครั้งที่ความถี่สายพาน 2X คือยอดที่สำคัญที่สุด แอมพลิจูดโดยปรกติแล้วจะไม่เสถียร บางครั้งจังหวะก็ขึ้นอยู่กับตัวขับหรือความเร็วรอบ ในสายพานแบบไทม์มิ่ง ความสึกหรือหรือพลูเรย์เยื้องศูนย์ จะแสดงที่แอมพลิจูดสูงที่ความถี่สายพาน ไทม์มิ่ง โซ่ขับจะแสดงปัญหาที่ที่ความถี่ที่ส่งผ่านมายัง โซ่เมื่อเท่ากับ (Sprocket Teeth *RPM)

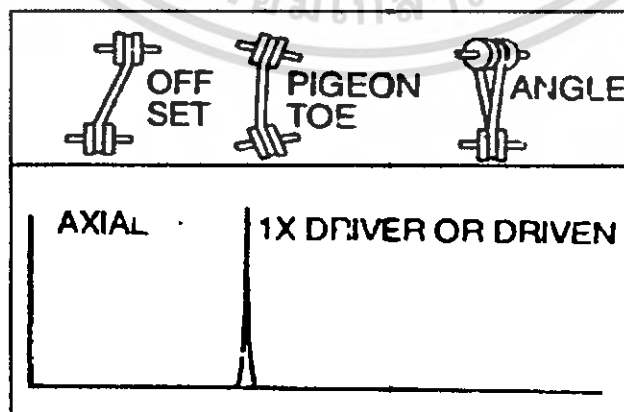
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Mismatched belts

Belt/pulley misalignment

การเอียงศูนย์กลางของพูลเลย์จะนำไปสู่การสั่นที่สูงที่ 1X RPM ที่มีอิทธิพลมากในทิศทางแนวแกน อัตราส่วนของแอมพลิจูดของตัวขับเคลื่อนต่อจำนวนรอบที่ใช้ในการขับเคลื่อนอยู่กับเมื่อข้อมูลถูกรับเข้ามาถ้าจะให้ดีควรเกี่ยวข้องกับมวลและความแข็งแรงของโครงสร้าง บ่อยครั้งที่เกิดการเอียงของพูลเลย์ จะมีการสั่นในแนวแกนที่สูงมากบนมอเตอร์ สามารถขยับได้โดยการวัดเฟสโดยการติดตั้ง phase filter ที่ความเร็วรอบของพูลเลย์กับแอมพลิจูดที่สูงในแนวแกน ทันใดนั้นเปรียบเทียบกับเฟสที่ความถี่เฉพาะบน โรเตอร์ในทิศทางแนวแกน

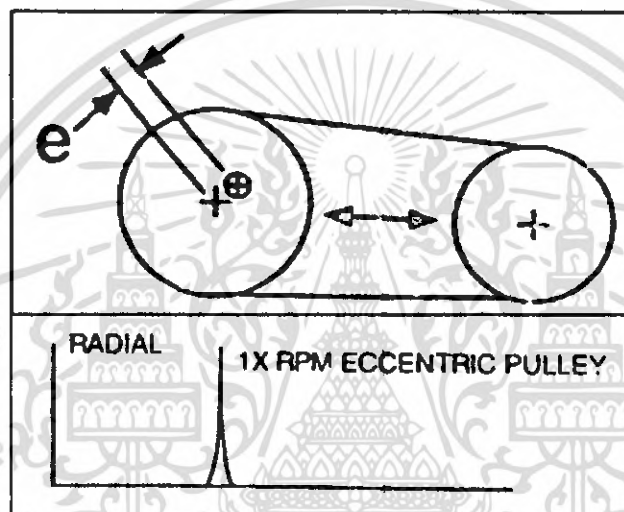


รูปที่ 2.15 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Belt/pulley misalignment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Eccentric pulleys

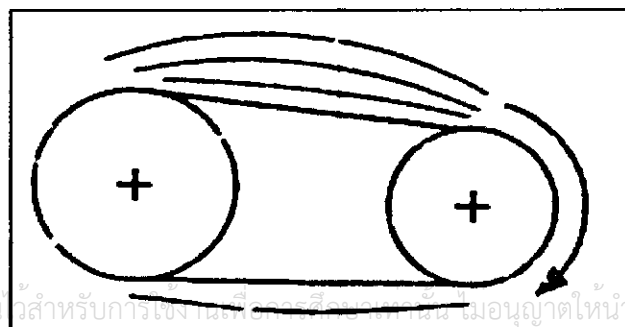
Eccentric pulleys เป็นสาเหตุของการสั่นสูงที่ 1X RPM ของ Eccentric pulleys โดยปกติแล้ว แอมพลิจูดจะสูงมากในเส้นสายพานและจะแสดงทั้งตัวขับและลูกปืนที่ถูกขับ บางครั้งเป็นไปได้ที่จะทำให้ Eccentric pulleys เกิดสมมูล โดยการติดตั้งวงแหวนใน taper-lock bolts อย่างไรก็ตามถ้าเกิดการสมมูล eccentric จะลดการสั่นลงและกลับเป็นการเกิดการสั่นในสายพาน Eccentric pulleys สามารถขยับได้โดยการวิเคราะห์เฟสที่แสดงความแตกต่างของเฟสใน แนวแกน&แนวตั้ง ใกล้เคียงกับ 0° หรือ 180°



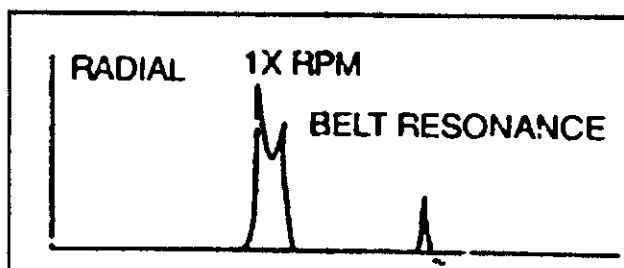
รูปที่ 2.16 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Eccentric pulleys

Belt resonance

เรโซแนนซ์ของสายพานจะเป็นสาเหตุของแอมพลิจูดสูงถ้าความถี่ธรรมชาติของสายพานเกิดขึ้นจนใกล้จะถึงหรือตรงกันกับมอเตอร์หรือความเร็วรอบของตัวขับ ความถี่ธรรมชาติของสายพานสามารถแก้ไขโดยการเปลี่ยนแรงที่ใส่ให้กับสายพาน, ความยาวของสายพานหรือพื้นที่หน้าตัด สามารถป้องกันโดยการใส่แรงและการปล่อยสายพานหรือไม้กวาดการตอบสนองบนพลูเรย์หรือลูกปืน อย่างไรก็ตาม เมื่อเกิดขึ้นความถี่ธรรมชาติของสายพานจะดูสูงเล็กน้อยบนด้านที่อัดแน่นและต่ำบนด้านที่หลวม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Belt resonance

Loose bearing fit

ช่องว่างมากเกินไปของลูกปืนที่รองรับเกียร์จะไม่ก่อให้เกิดความเร็วรอบฮาร์มอนิกส์ แต่บ่อยครั้งจะเป็นสาเหตุของแอมพลิจูดสูงคอบสนองที่ GMF, 2GMF 3GMF แอมพลิจูด GMF สูงคือการตอบสนองถึงหรือไม่ก็เป็นสาเหตุของการหลวมของลูกปืนที่รองรับของเกียร์ ช่องว่างที่หลวมเกินไป เป็นสาเหตุแต่ละชนิด โดยการสึกหรอของลูกปืนวงนอกหรือการติดตั้งลูกปืนที่ไม่เหมาะสมบน journal ระหว่างการติดตั้ง การติดตั้งที่ไม่ตรง สามารถเป็นสาเหตุเกียร์ที่ใส่มากเกินไปและเสียหายจากองค์ประกอบอื่น ๆ



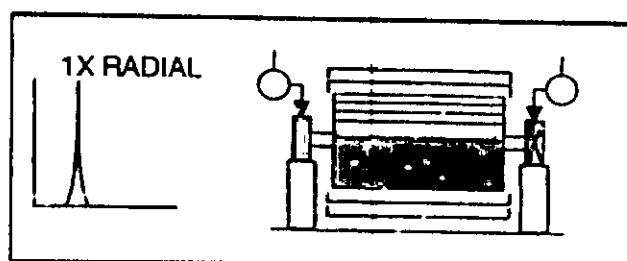
รูปที่ 2.18 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Loose bearing fit

2.18.3 Mass Unbalance

Force unbalance

แรงไม่สมดุลจะเป็น in-phase และสถานะคงตัว แอมพลิจูดที่เกิดขึ้นจากความไม่สมดุลจะเพิ่มขึ้นโดยความเร็วกำลังสองภายใต้จุดวิกฤตของโรเตอร์ (3X speed increase = 9X higher vibration) 1X RPM จะเกิดขึ้นและแสดงสเปกตรัมที่เด่นที่สุด เราสามารถทำให้ถูกต้องโดยการนำเอามวลสมดุลที่มีน้ำหนักตรงกันไปที่บนระนาบ ณ ตำแหน่ง center of gravity (CG) ของโรเตอร์ ประมาณผลต่างเฟส 0° จะอยู่ระหว่าง OB & IB horizontal เช่นเดียวกับที่ OB & IB verticals อย่างไรก็ตามผลต่างเฟส 90° ระหว่าง horizontal & vertical ที่อ่านค่าได้นั้นจะเกิดขึ้นบนลูกปืนแต่ละตัวของโรเตอร์ที่ไม่สมดุล ($\pm 30^\circ$)

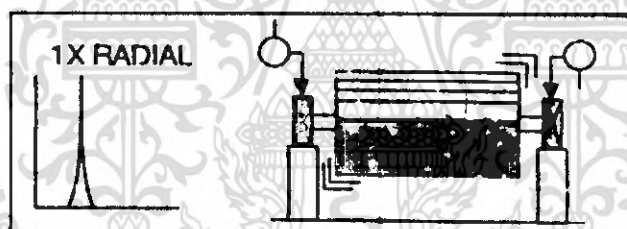
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Force unbalance

Couple unbalance

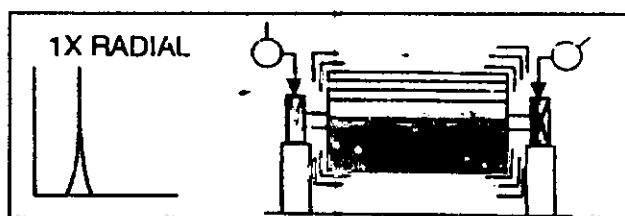
การไม่สมดุลคู่ควบจะให้ผลลัพธ์ใน 180° out-of-phase การเคลื่อนที่อยู่บนเพลลา $1X$ RPM จะเกิดขึ้นและแสดงสเปกตรัมที่เด่นที่สุด แอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไปตามกำลังของความเร็วที่เพิ่มขึ้น ภายใต้ความเร็ววิกฤตของโรเตอร์ เป็นผลให้เกิดการสั่นสูงตามแกนเช่นเดียวกับรัศมี การที่จะทำให้เกิดคือต้องแทนที่มวลถ่วงสมดุลอย่างน้อยที่สุดต้อง 2 ระนาบ ประมาณความต่างเฟสที่ 180° จะอยู่ระหว่าง OB & IB horizontal เช่นเดียวกับที่ OB & IB verticals อย่างไรก็ตามผลต่างเฟส 90° ระหว่าง horizontal & vertical ที่อ่านค่าได้นั้นจะเกิดขึ้นบนลูกปืนแต่ละตัวของโรเตอร์ที่ไม่สมดุล ($\pm 30^\circ$)



รูปที่ 2.20 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Couple unbalance

Dynamics unbalance

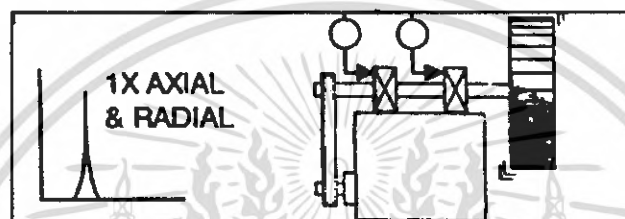
Dynamics unbalance เป็นรูปแบบที่เด่นที่สุดของการไม่สมดุลที่พบบ่อยและนี่คือการรวมกันของทั้ง force และ couple unbalance สเปกตรัมที่เด่นที่สุดคือ $1X$ RPM และต้องการ 2 ระนาบในการทำให้เกิดสมดุลผลต่างของ radial phase ระหว่าง outboard และ inboard ของลูกปืนสามารถกำหนดช่วงได้ตั้งแต่ 0° ถึง 180° อย่างไรก็ตามผลต่าง horizontal phase จะตรงกับผลต่าง vertical phase เมื่อเปรียบเทียบกันที่การวัด outboard และ inboard ของลูกปืน ($\pm 30^\circ$) ถ้าการไม่สมดุลเกิดขอดีที่สูงเด่นกว่าที่ผลต่างเฟสที่ 90° เป็นผลมาจากวาระหว่าง horizontal และ vertical อ่านค่าบนลูกปืนแต่ละตัว ($\pm 40^\circ$)



รูปที่ 2.21 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Dynamics unbalance

Overhung rotor unbalance

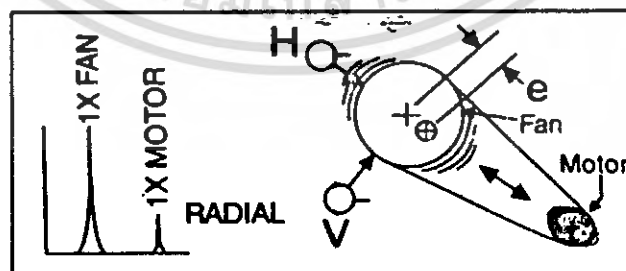
Overhung rotor unbalance ทำให้เกิด 1X RPM ที่สูงทั้งในทิศทางแนวแกนและแนวรัศมี แนวแกนจะทำการอ่านค่าที่ in-phase ส่วนแนวรัศมีจะอ่านค่าที่เกิดจาก unsteady อย่างไรก็ตาม ผลต่างของ horizontal phase จะตรงกับผลต่างของ vertical phase บนโรเตอร์ที่ไม่สมดุล ($\pm 30^\circ$) overhung rotor จะมีทั้ง force และ couple unbalance ดังนั้นในการแก้ไขให้อยู่ในสมดุลนั้น การถ่วงมวลสมดุลต้องวางใน 2 ระนาบที่แก้ไขทั้งแบบ force และ couple unbalance



รูปที่ 2.22 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Overhung rotor unbalance

Eccentric rotor

Eccentric เกิดขึ้นเมื่อศูนย์กลางของการหมุน ไม่ตรงกันกับ centerline ของฟลูว์ เกียร์ ลูกปืน อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ การสั่นที่รุนแรงมากจะเกิดที่ 1X RPM ขององค์ประกอบ Eccentric ในทิศทางของ centerline ของโรเตอร์ทั้งสอง เมื่อเปรียบเทียบ horizontal และ vertical phase ที่อ่านได้โดยแตกต่างกันกันอย่างใดอย่างหนึ่งคือ 0° หรือ 180° ความพยายามที่จะทำสมดุลของ Eccentric rotor จะเป็นผลทำให้การสั่นลดลงในทิศทางรัศมีเพียงเดียว แต่จะเพิ่มขึ้นในทิศทางอื่นนอกจากทิศทางรัศมี (ขึ้นอยู่กับจำนวนของ eccentricity)

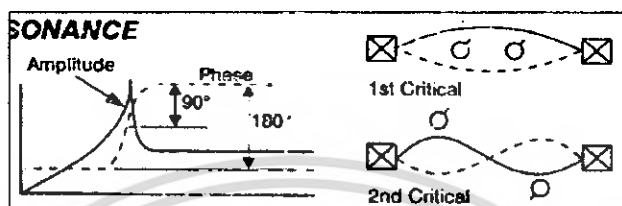


รูปที่ 2.23 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Eccentric rotor

Resonance

เรโซแนนซ์เกิดขึ้นเมื่อความถี่ที่กระทำนั้นตรงกับความถี่ธรรมชาติและเป็นสาเหตุที่แอมพลิจูดเกิดการสูงขึ้นอย่างกะทันหัน ทำให้เกิดการเสียหายอย่างใหญ่หลวงหรือเกิดการเสื่อมสภาพเร็วก่อนเอกลักษณะของสเปกตรัมที่ผิดปกติ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ทั้งในทิศทางแนวแกนและแนวรัศมี การแก้ไขปัญหานี้คือการปรับความถี่ให้ห่างจากความถี่ธรรมชาติ ซึ่งทำได้โดยการปรับความเร็วรอบการหมุน หรือการปรับความถี่ของแรงกระทำ อย่างไรก็ตาม การปรับความเร็วรอบการหมุนอาจไม่คุ้มค่าในบางกรณี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ความเร็วรอบการหมุนถูกกำหนดไว้แล้ว การแก้ไขปัญหานี้คือการปรับความถี่ของแรงกระทำ ซึ่งทำได้โดยการปรับความถี่ของแรงกระทำ หรือการปรับความถี่ของแรงกระทำ

กำหนด แม้ว่าจะเป็นความถี่ธรรมชาติของโรเตอร์แต่สามารถเกิดขึ้นจากโครงสร้างที่รองรับ ฐาน gearbox หรือ drive belts ถ้าโรเตอร์อยู่ใกล้กับเรโซแนนท์ มันจะไม่สามารถที่จะทำให้เกิดความสมดุลของ phase shift บ่อยครั้งที่ต้องการเปลี่ยนความถี่ธรรมชาติให้เป็น higher หรือ lower frequency ความถี่ธรรมชาติไม่สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนความเร็ว



รูปที่ 2.24 แสดงสเปกตรัมความเสียหายของ Resonance



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดทดลองเครื่องซักผ้าแบบตั้งในแกนซักพร้อมมอเตอร์รุ่น DWF8089001 DAEWOO ขนาด 5.5 กิโลกรัม ที่ความเร็วการซัก 250 รอบต่อนาที ที่รอบปั่น 800 รอบต่อนาที



รูปที่ 3.1 ชุดทดลองเครื่องซักผ้าแบบตั้งในแกนซักพร้อมมอเตอร์

2. ชุดใช้คซึ่งมีสปริงรวมอยู่ด้วย
3. ชุดรับภาระ คาชังสปริง สายพาน เครื่องชั่งสปริง ชนิด T6 รุ่น DP รับน้ำหนัก 0-15 กิโลกรัม
4. อุปกรณ์รับการกระเทือน ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ DEWE-3010 โปรแกรม DASYLab เวอร์ชัน 5.6.10 ใช้งานระบบปฏิบัติการ Window 98 และ Piezoelectric acceleration sensors



รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องวัดความเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องวัดความเร็วรอบ อุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วรอบของใบพัด โดยในที่นี้ใช้วัดความเร็วรอบแบบใช้แสงแสดงผลแบบดิจิทัล มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที (RPM) ซึ่งเครื่องนี้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นต้องได้รับการคาลิเบรตอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง

ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักคือ

- การหาค่าคงตัวของสปริง
- การหาค่าคงตัวของตัวหน่วง
- การทดลองและเก็บผลค่าของสัญญาณการสั่นสะเทือน

4.1 การหาค่าคงตัวของสปริง

- 4.1.1 นำสปริงที่ใช้ในการทดลองประกอบเข้ากับชุดทดลอง
- 4.1.2 นำตลับสปริงออกแรงในระดับที่ต่าง ๆ กันตามแนวแกน X และแกน Z
- 4.1.3 นำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดกับระยะทาง
- 4.1.4 เปลี่ยนชนิดของสปริงเป็นสปริงชุดที่สองและชุดที่สามตามลำดับ
- 4.1.5 หาค่าคงตัวของสปริง (k) โดยใช้ความสัมพันธ์จากกราฟที่ได้มาคำนวณ

4.2 การหาค่าคงตัวของตัวหน่วง

- 4.2.1 นำชุดสปริงมายึดกับชุดทดลอง
- 4.2.2 ทำการทดสอบ โดยใช้ค้อนเคาะส่งแรง
- 4.2.3 วัดค่าของสัญญาณที่ได้จากการสั่นสะเทือนออกมาในรูปของการกระจัดกับเวลา เพื่อหาค่าของแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนเพื่อมาคำนวณค่าคงที่ของตัวหน่วงต่อไป
- 4.2.4 ทำการเปลี่ยนชุดของสปริงที่ใช้ในการทดลองเป็นชุดที่สองและชุดที่สามตามลำดับ
- 4.2.5 หาค่าคงที่ของตัวหน่วง (c) โดยการคำนวณจากกราฟ

4.3 การทดลองเพื่อหาค่าการสั่นสะเทือน

- 4.3.1 ติดตั้งชุดทดลอง
- 4.3.2 จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์แล้ววัดค่าของการสั่นสะเทือน
- 4.3.3 หลังจากนั้นทำการเพิ่มมวลเป็น 500 กรัม 1000 กรัม 1500 กรัม
- 4.3.4 จากนั้นทำการเปลี่ยนระดับความเร็วเป็น 700 รอบต่อนาที แล้ววัดค่าของการสั่นสะเทือน

เอกสารนี้ 4.3.5 ทำเพิ่มมวลเป็น 500 กรัม 1000 กรัม 1500 กรัม นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 ทำการทดลองซ้ำจนครบทั้งสองระดับความเร็ว

4.3.7 นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ได้

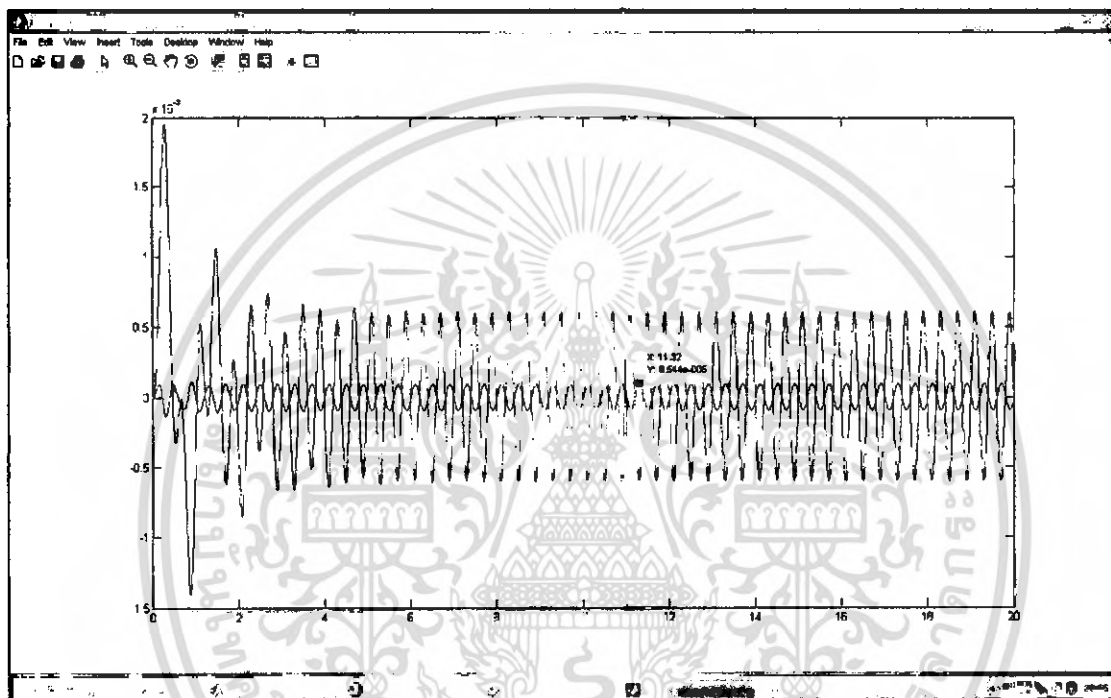


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

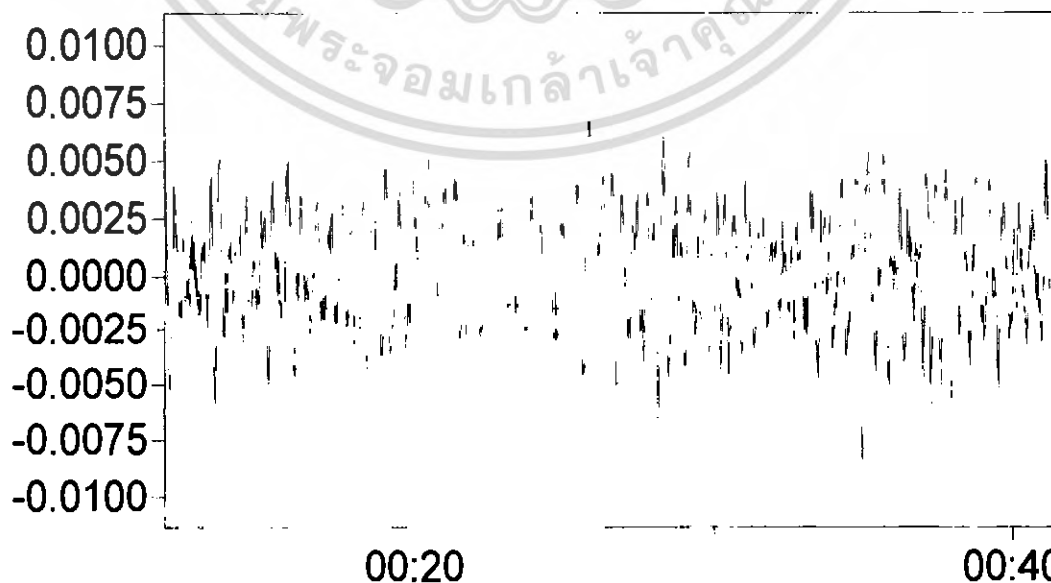
ผลการทดลอง

5.1 กราฟผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระตุ้นกับเวลา

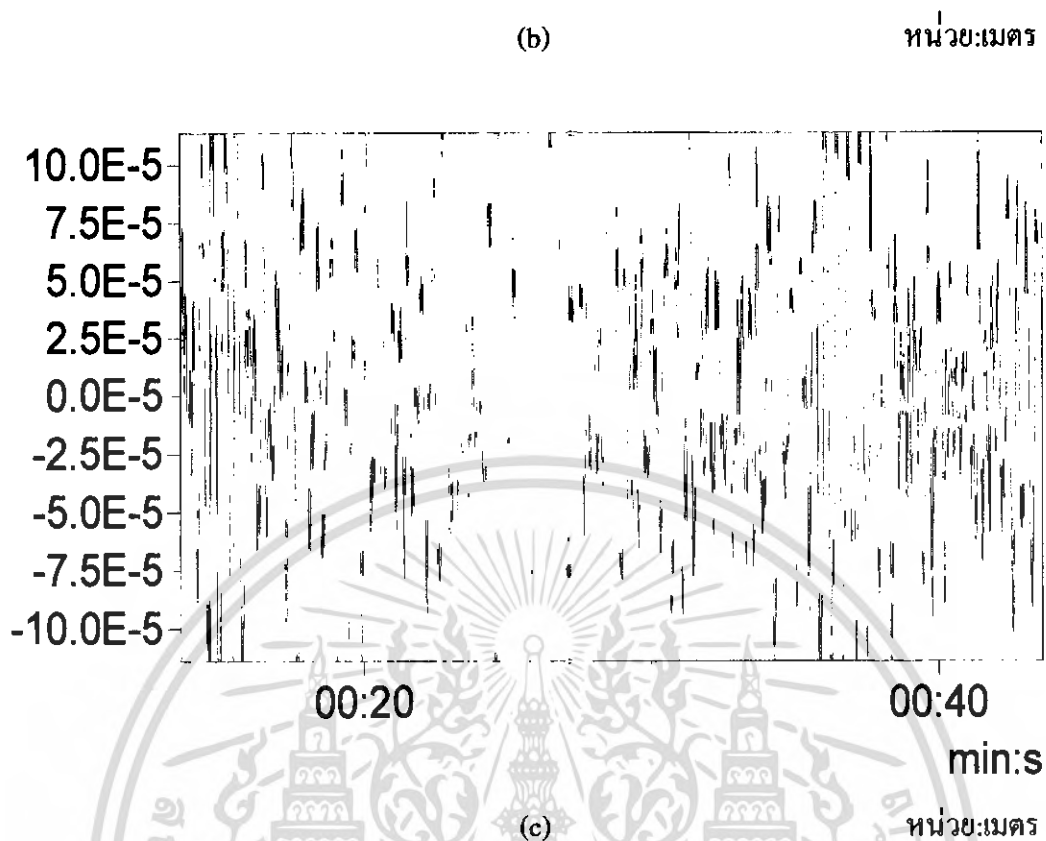


(a)

หน่วย:เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

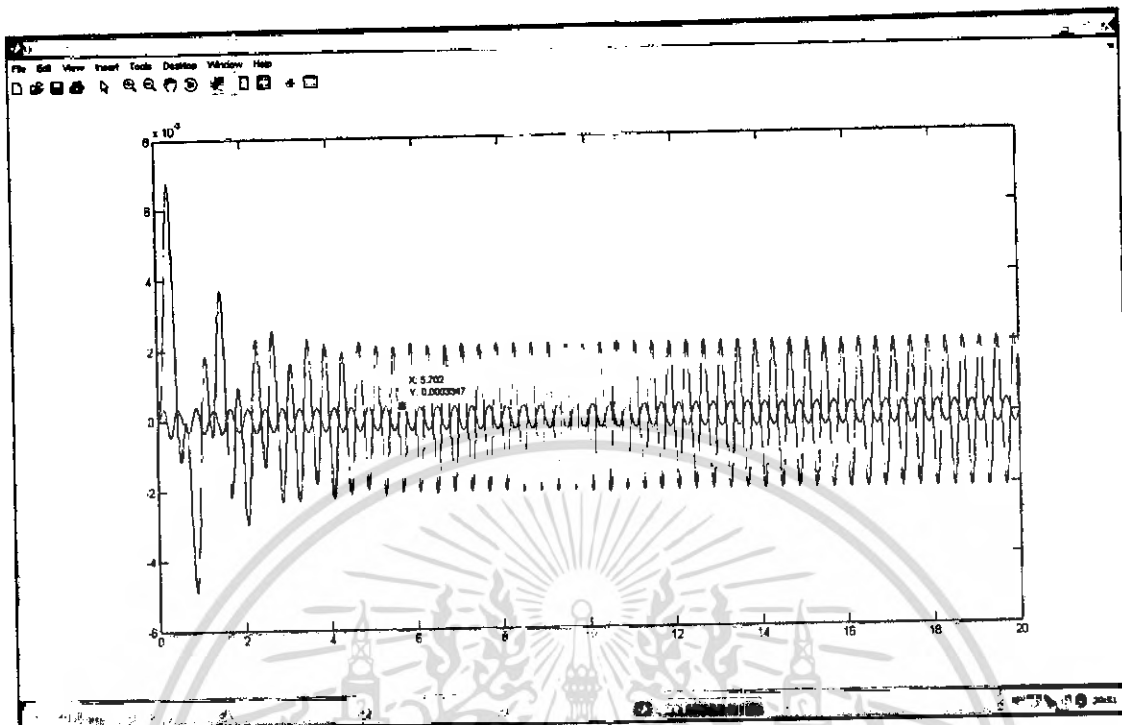


รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระตุ้นกับเวลาเมื่อไม่ได้เพิ่มมวลของสปริง- ตัวหน่วงชุดที่หนึ่งที่มีความเร็ว 150 รอบต่อนาที

(a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab

(b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง

(c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง



(a)

หน่วย:เมตร



00:20

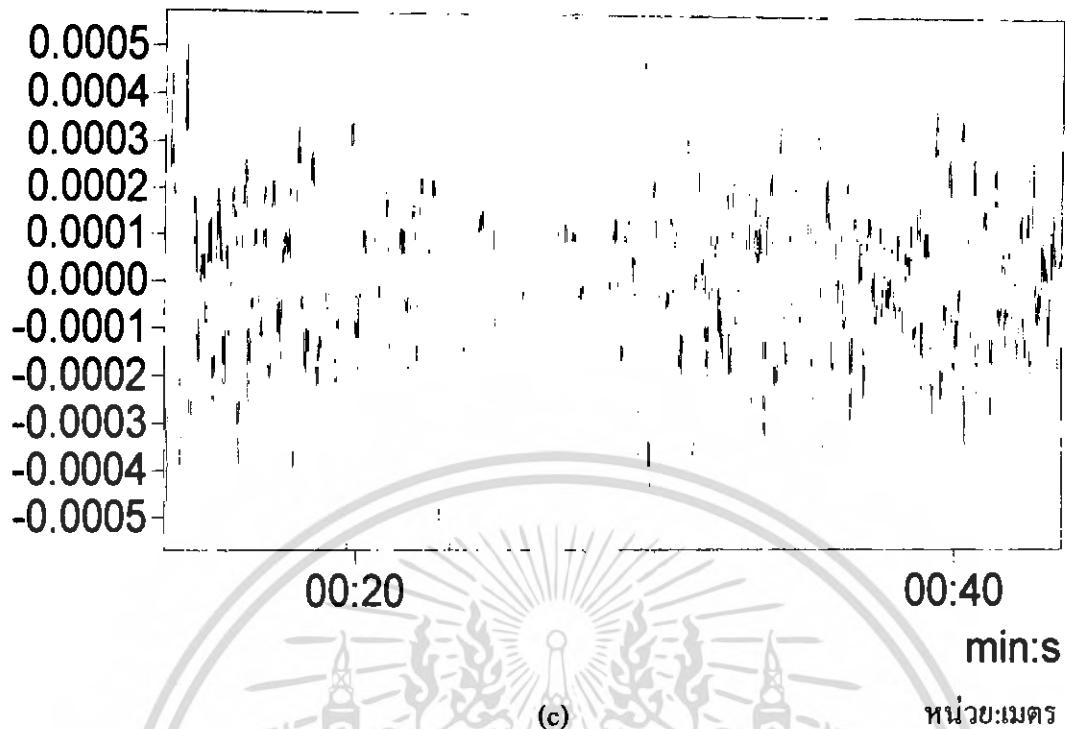
00:40

min:s

(b)

หน่วย:เมตร

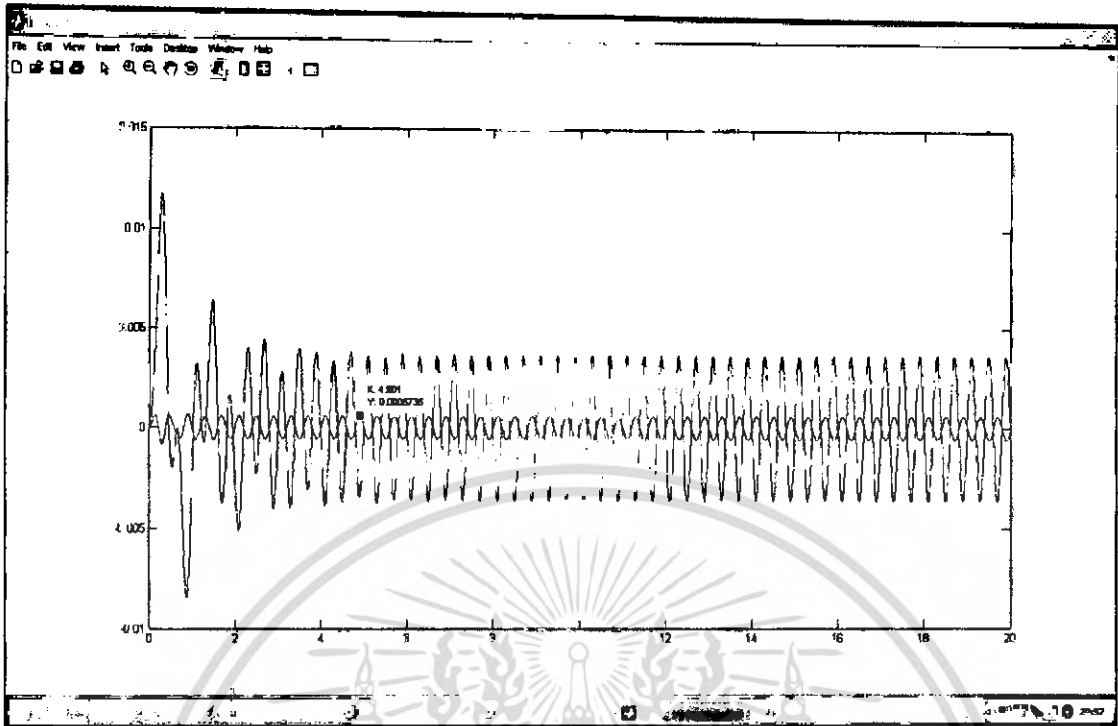
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 500 กรัม ของสปริง- ตัวห้อยชุดที่หนึ่งที่มีความเร็ว 150 รอบต่อนาที

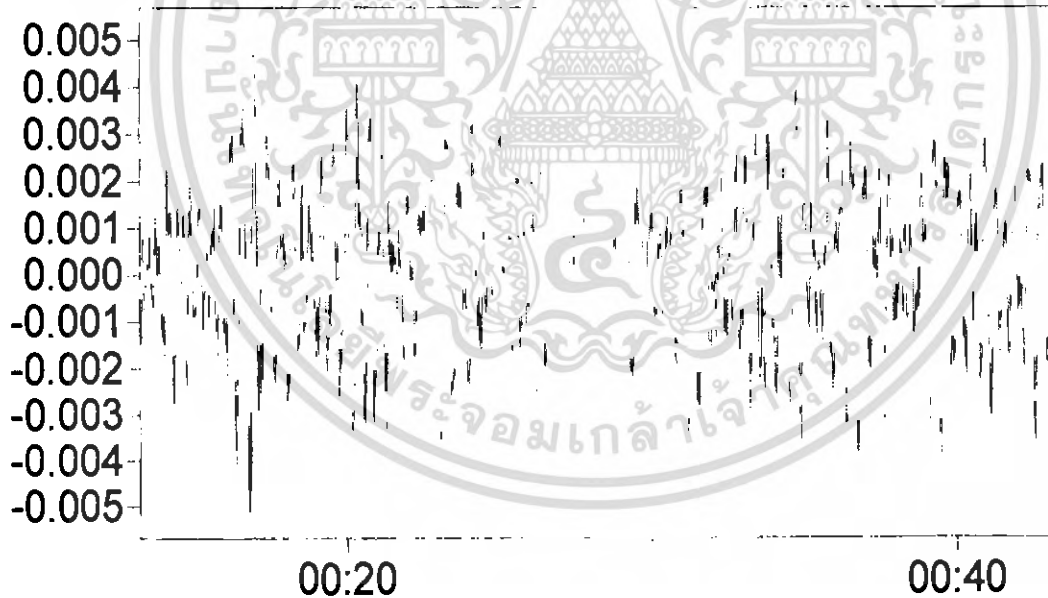
- (a) จากการจำลองด้วย โปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

หน่วย:เมตร

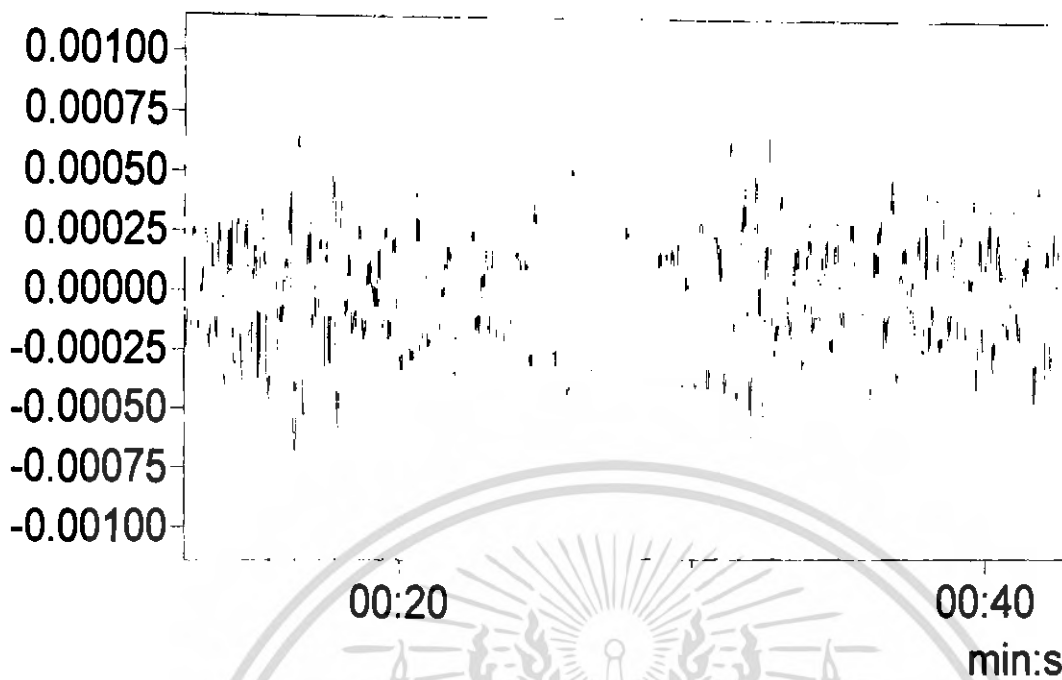


min:s

(b)

หน่วย:เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



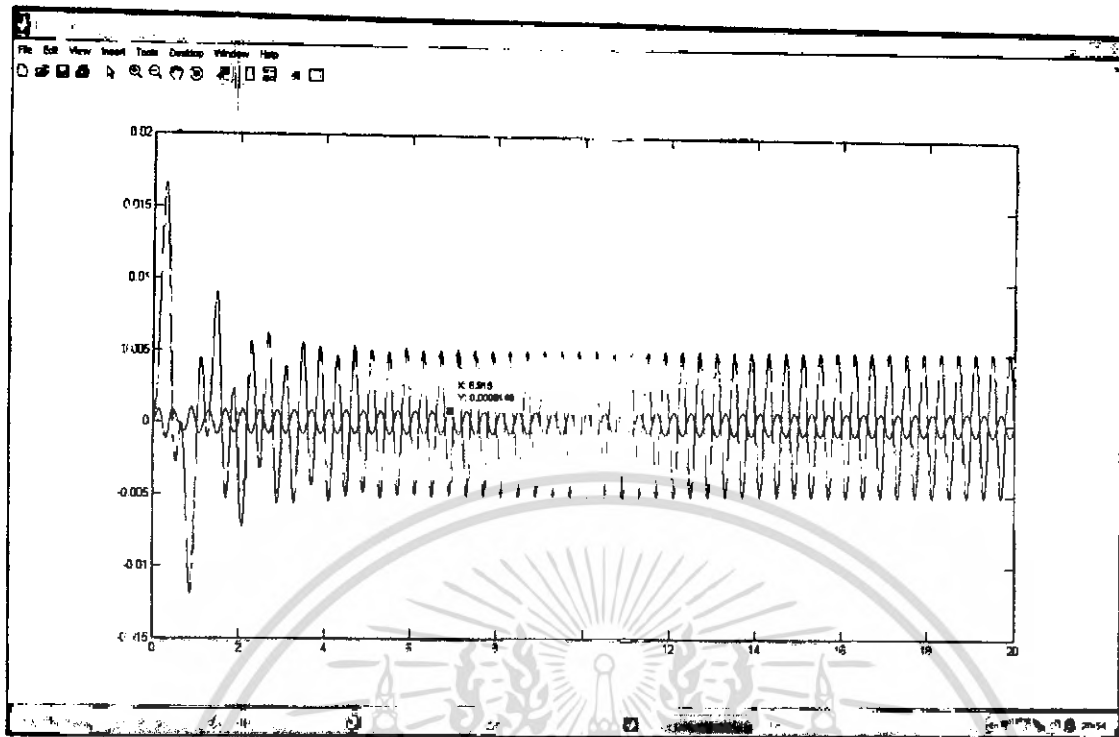
(c)

หน่วย:เมตร

รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัม ของสปริง- ตัว
 หนึ่งวงชุดที่หนึ่งที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

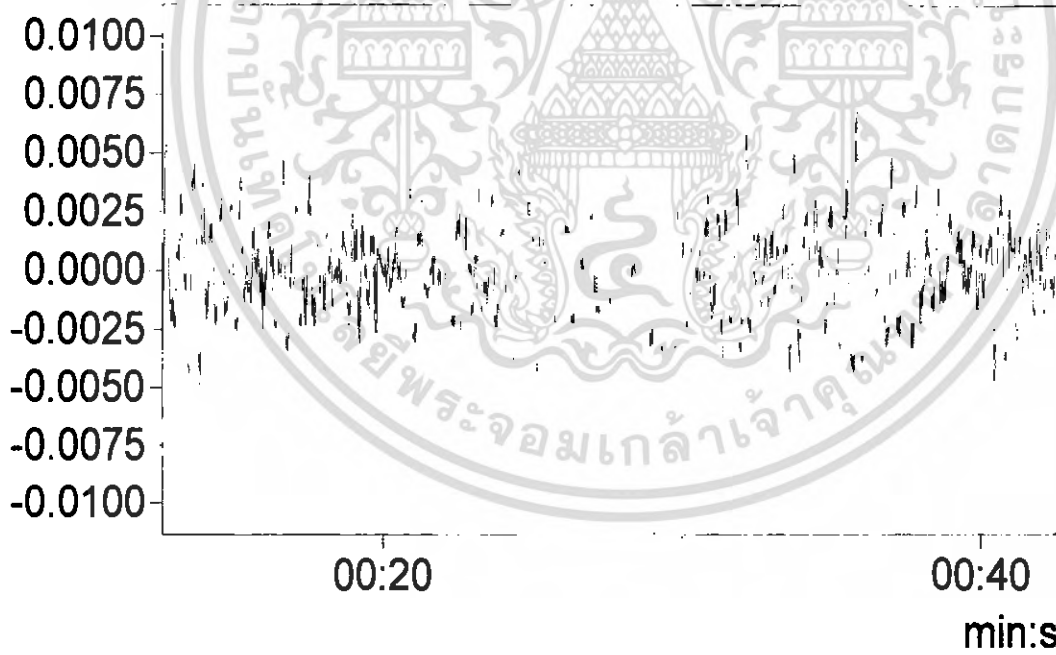
- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

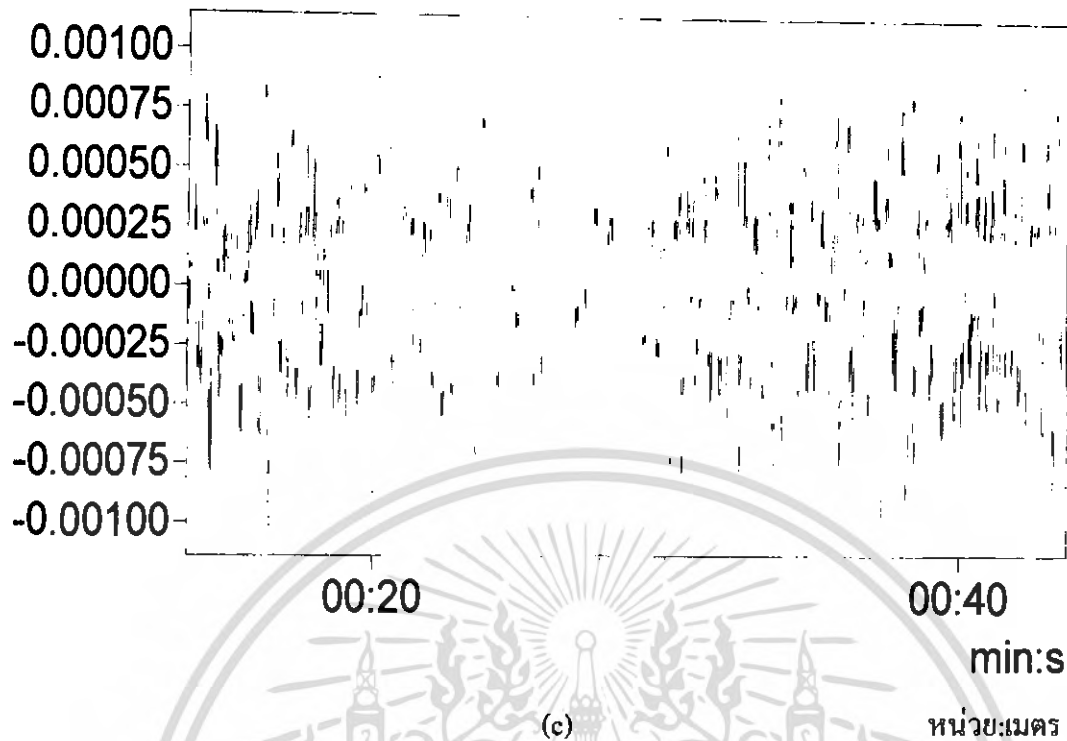
หน่วย:เมตร



(b)

หน่วย:เมตร

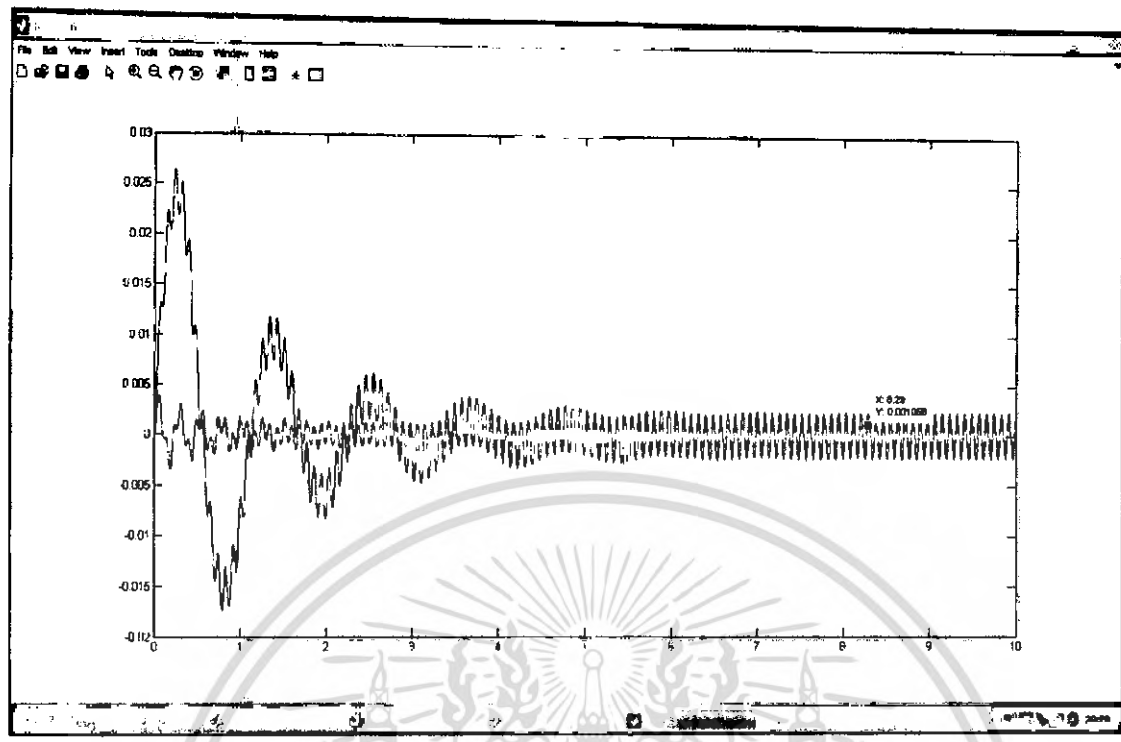
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



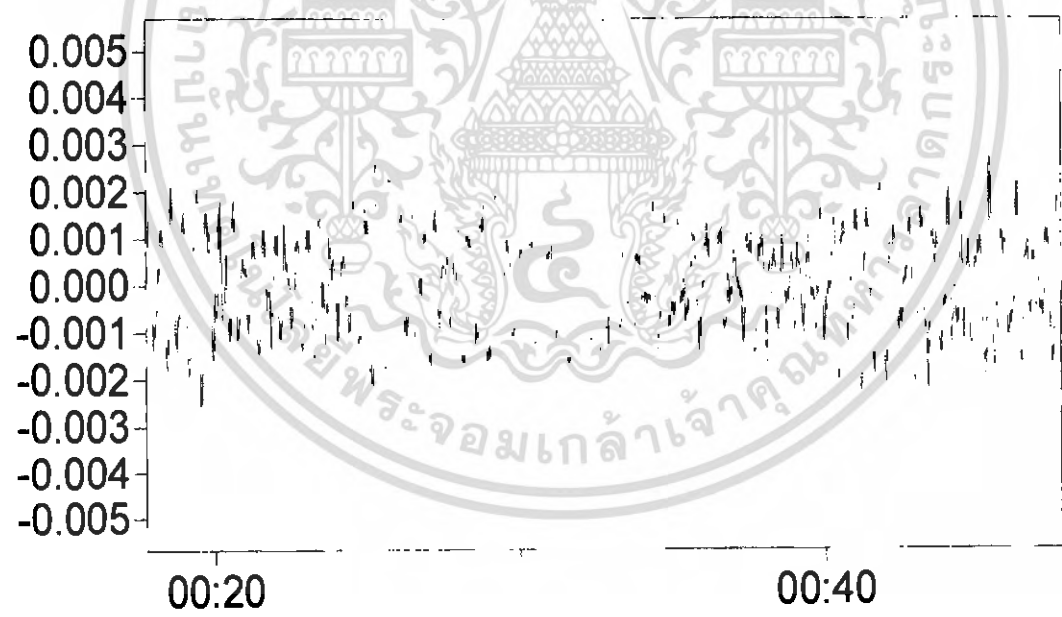
รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัม ของสปริง- ตัวน้ำหนักชุดที่หนึ่งที่มีความเร็ว 150 รอบต่อนาที

- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

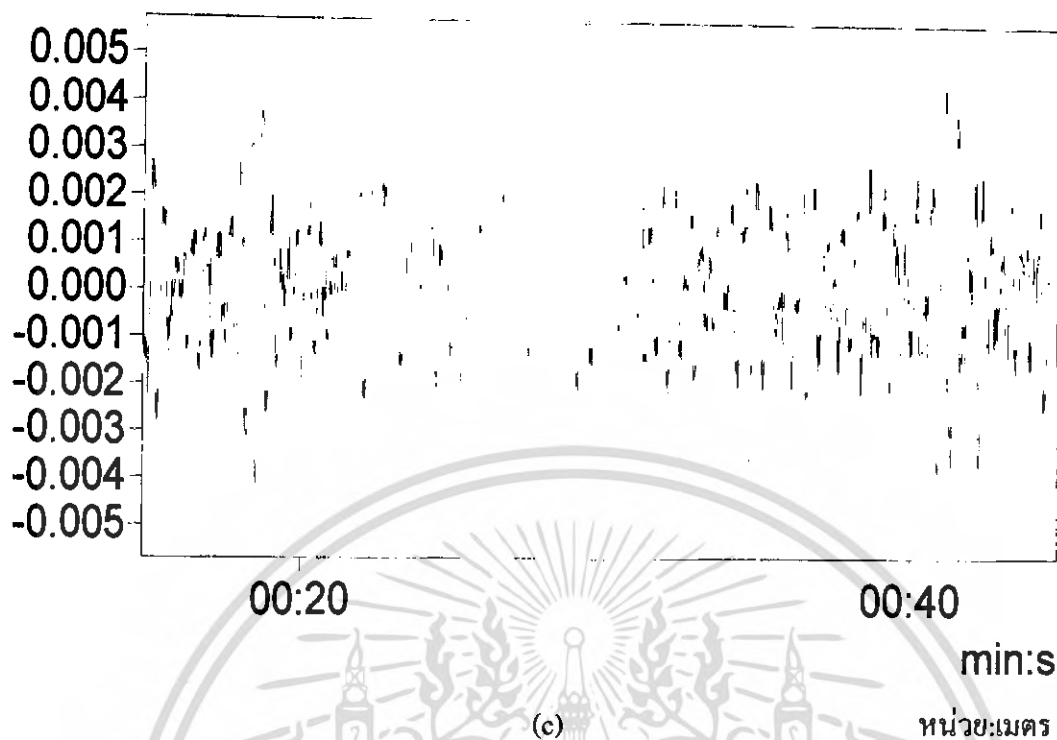


(a) หน่วย:เมตร



(b) หน่วย:เมตร

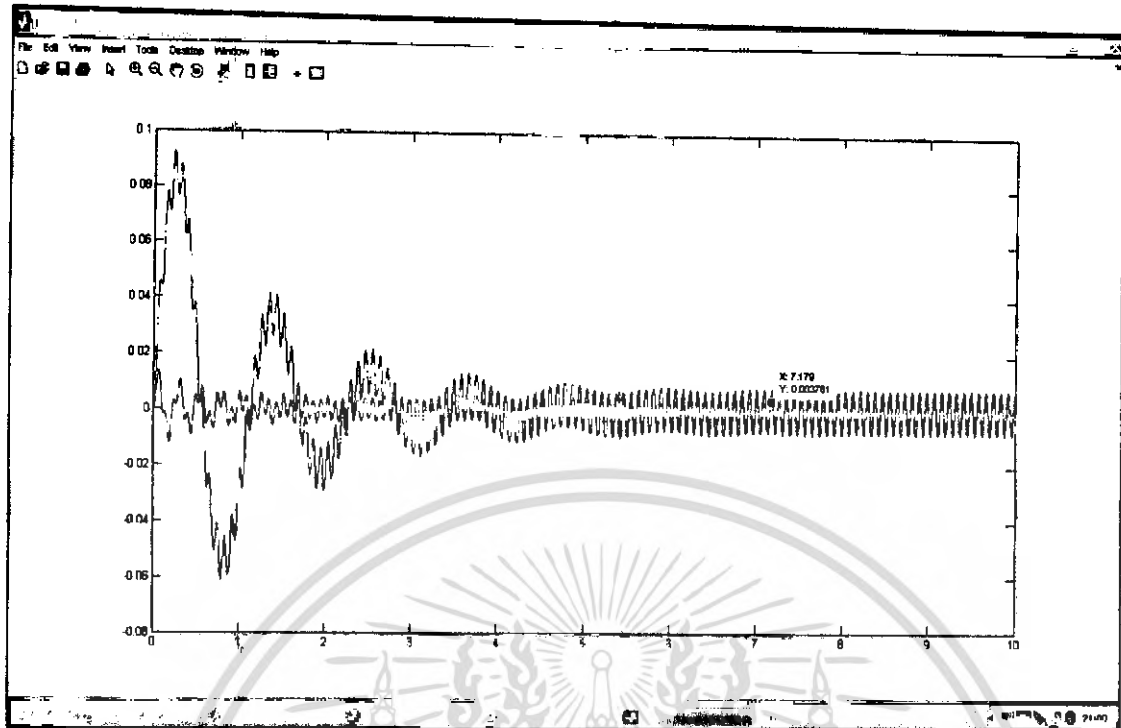
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มไม่ได้เพิ่มมวล ของสปริง- ตัวห้อยชุด
ที่หนึ่งที่มีความเร็ว 700 รอบต่อนาที

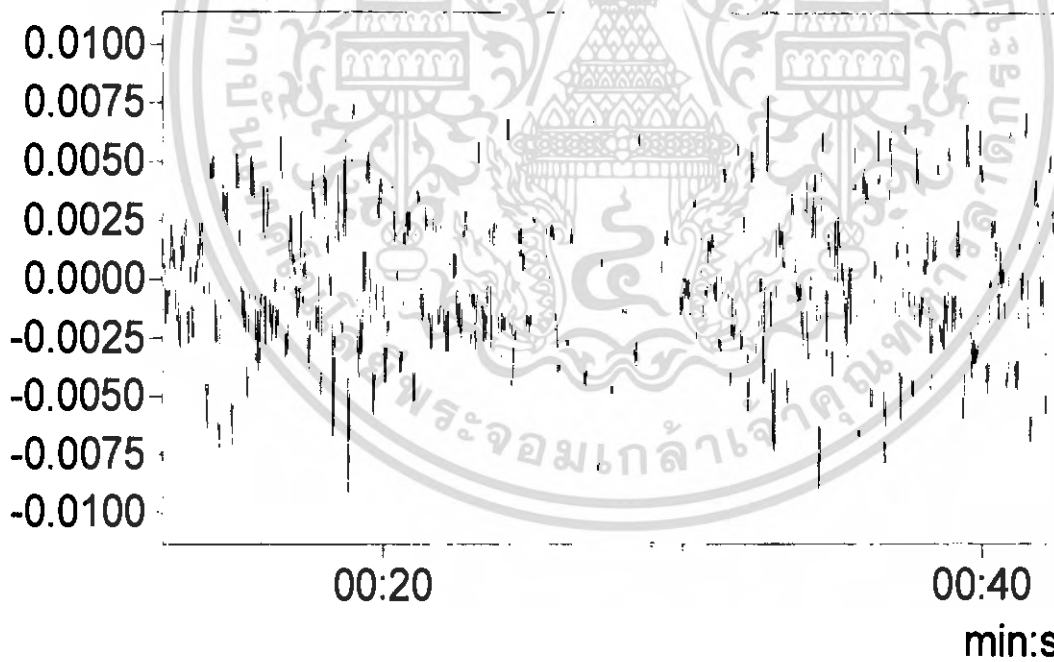
- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

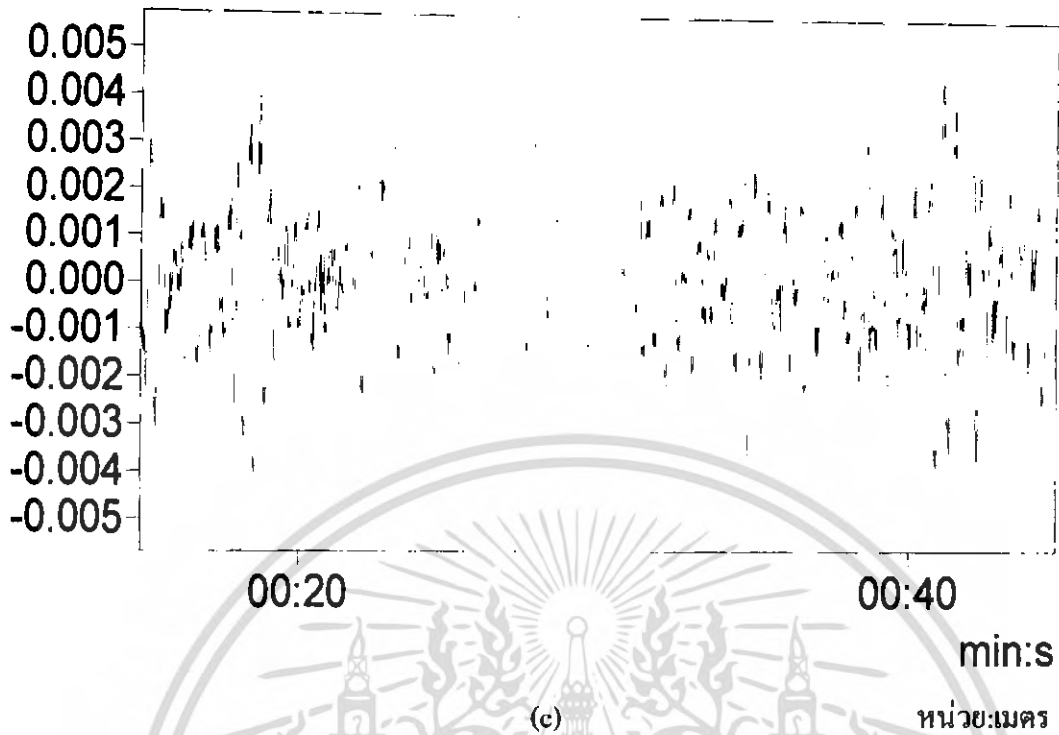
หน่วย:เมตร



(b)

หน่วย:เมตร

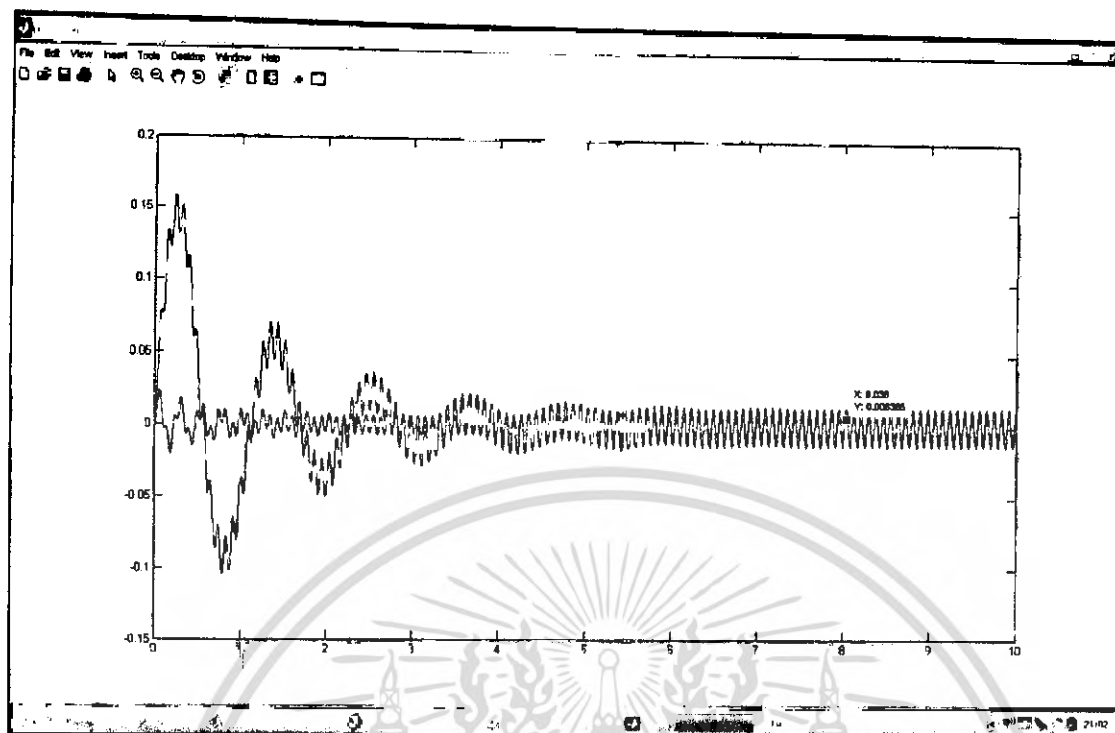
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระตุ้นกับเวลาเมื่อเพิ่มมวลเป็น 500 กรัม ของสปริง- ตัวห้อย ชุดที่หนึ่งที่มีความเร็ว 700 รอบต่อนาที

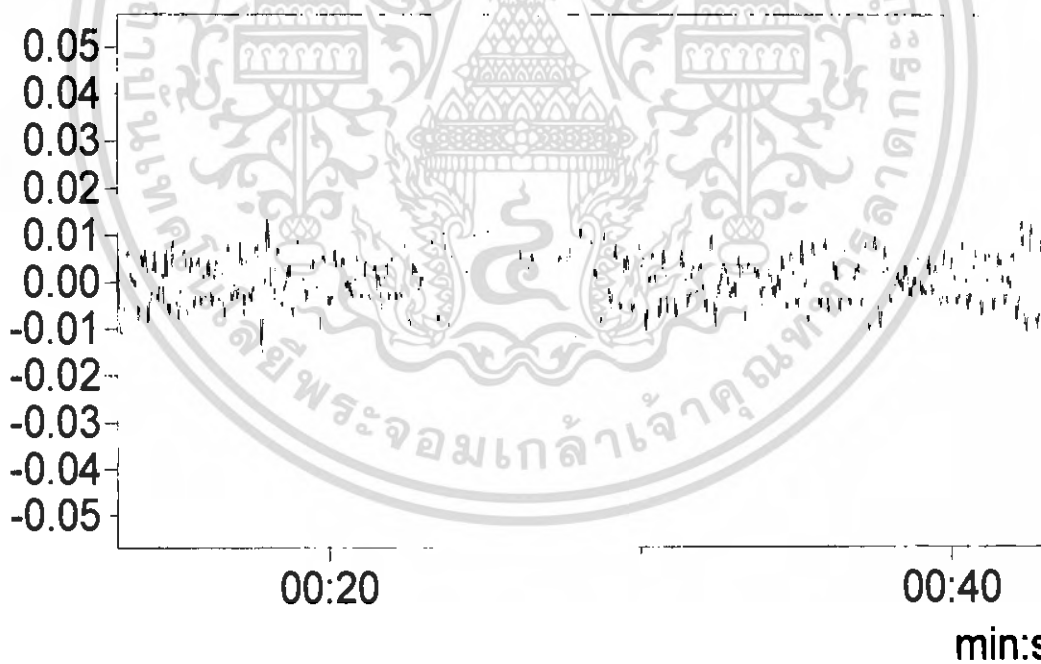
- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

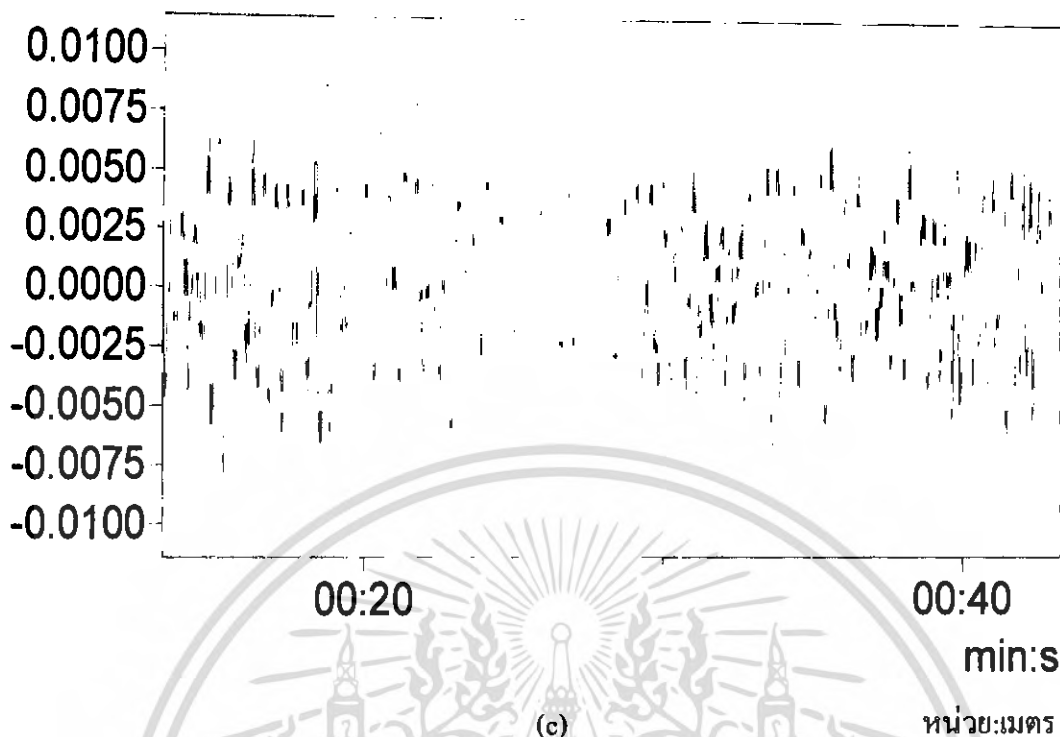
หน่วย:เมตร



(b)

หน่วย:เมตร

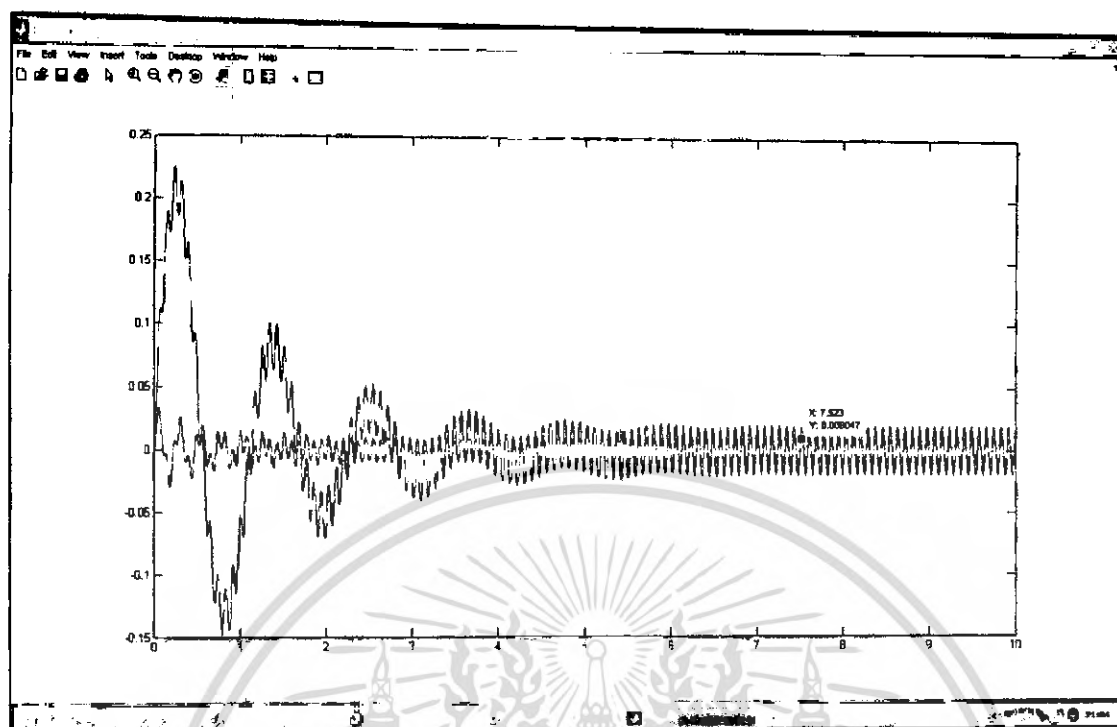
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัม ของสปริง- คิวหน่วงชุดที่หนึ่งด้วยความเร็ว 700 รอบต่อนาที

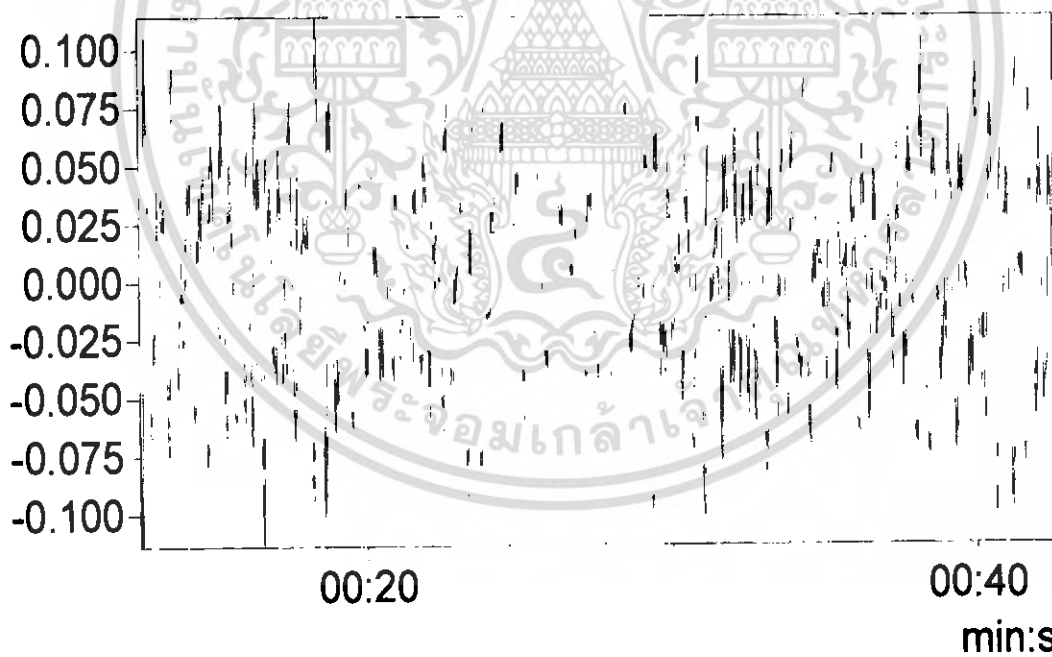
- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

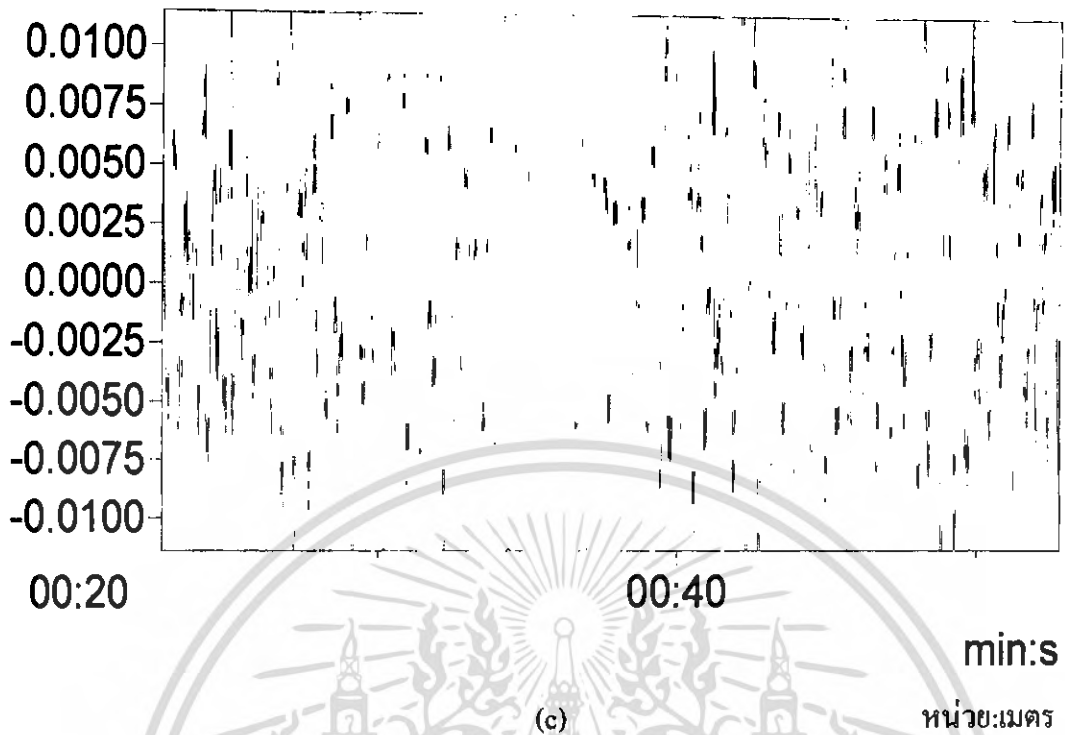
หน่วย:เมตร



(b)

หน่วย:เมตร

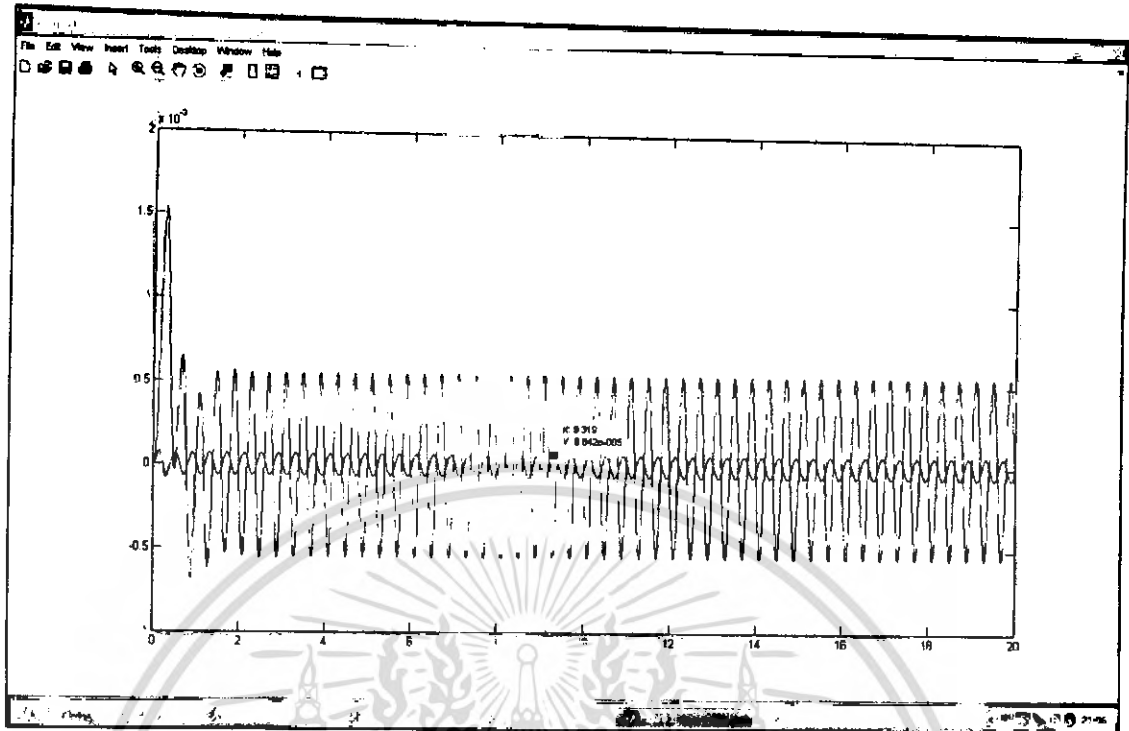
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัม ของสปริง- ตัวน้ำหนักชุดที่หนึ่งที่มีความเร็ว 700 รอบต่อนาที

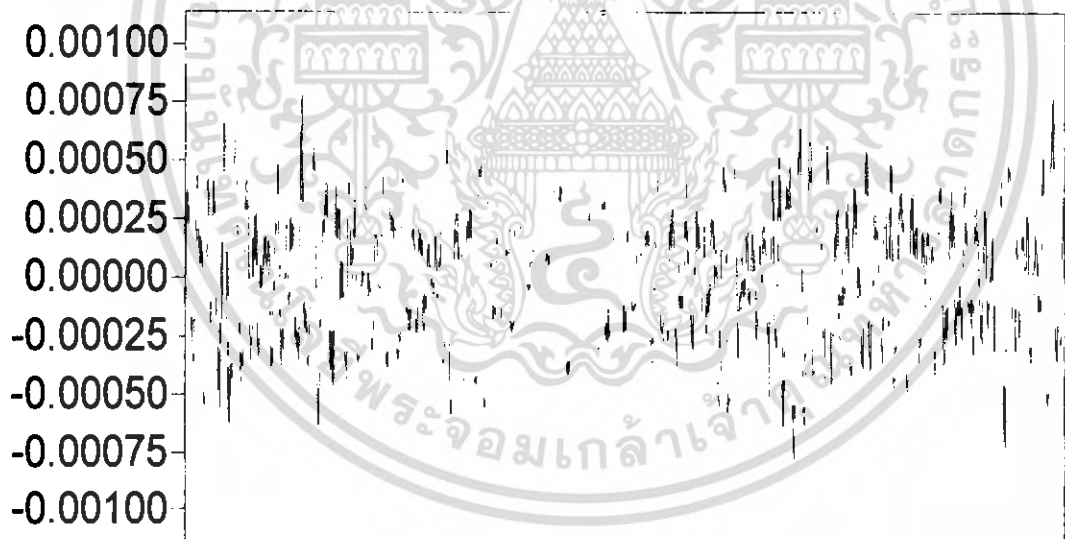
- (a) จากการจำลองด้วย โปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

หน่วย:เมตร



00:20

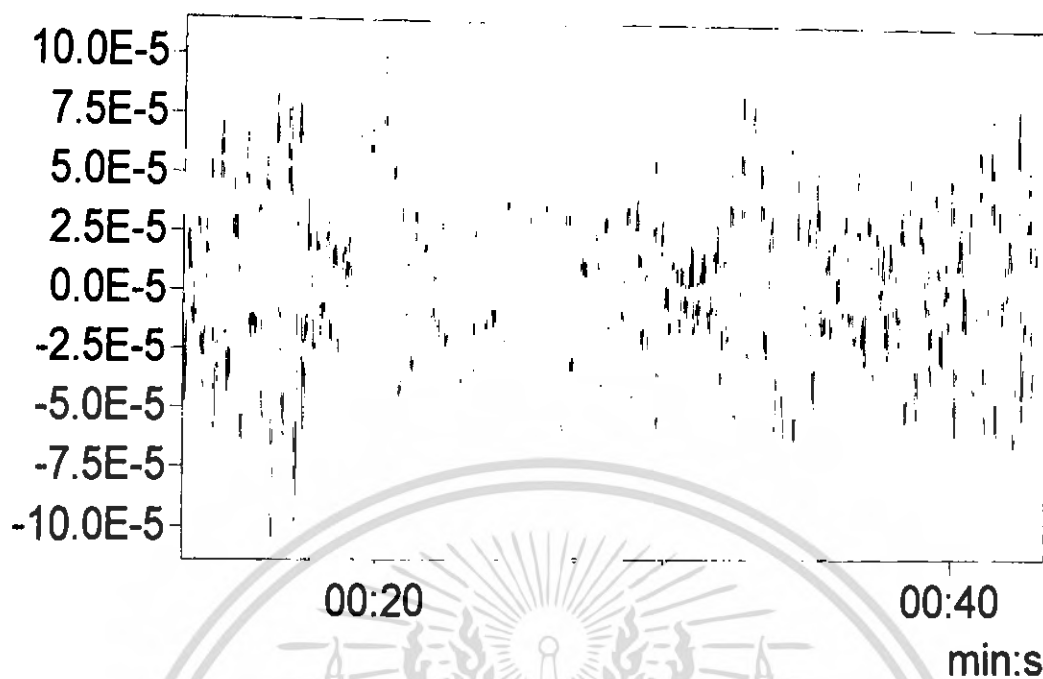
00:40

min:s

(b)

หน่วย:เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



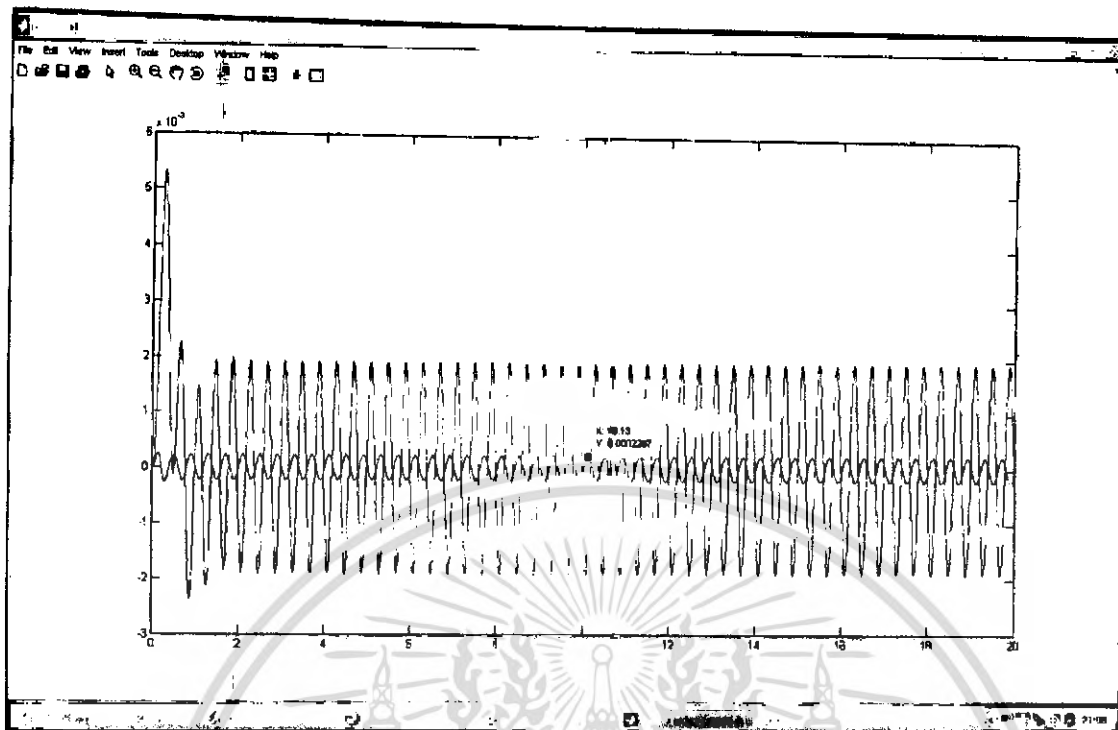
(c)

หน่วย:เมตร

รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อไม่ได้เพิ่มมวล ของสปริง- ตัวห้อยชุดที่สองที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

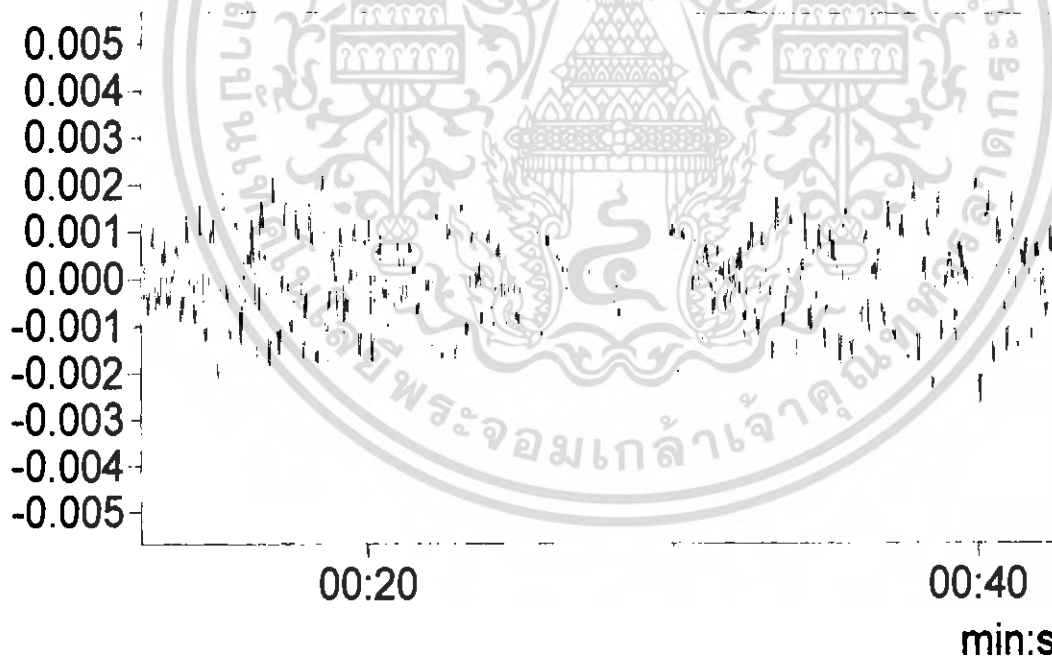
- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

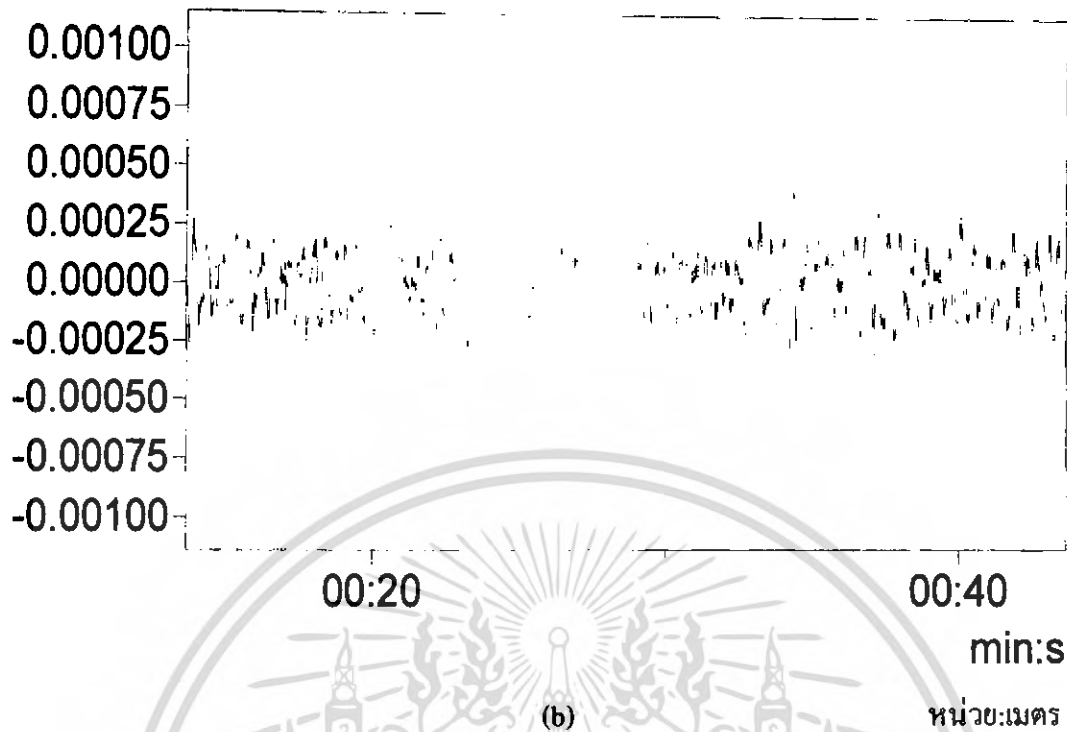
หน่วย:เมตร



(b)

หน่วย:เมตร

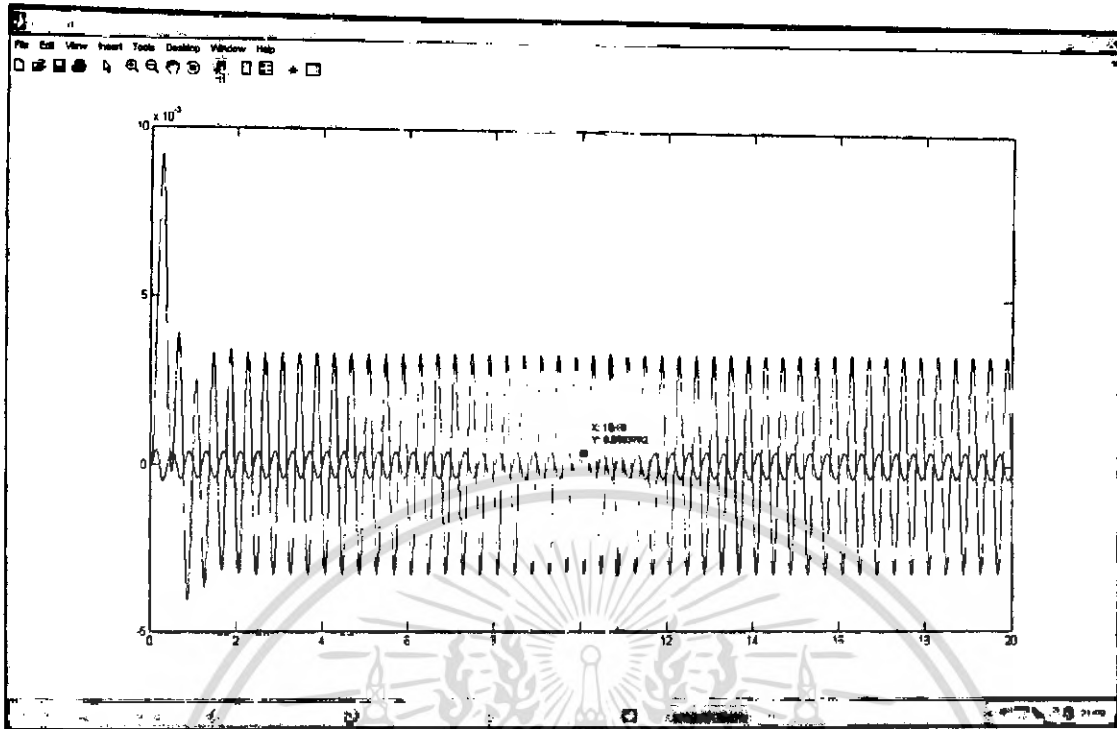
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 500 ของสปริง- ตัวนำวงชุดที่สองที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

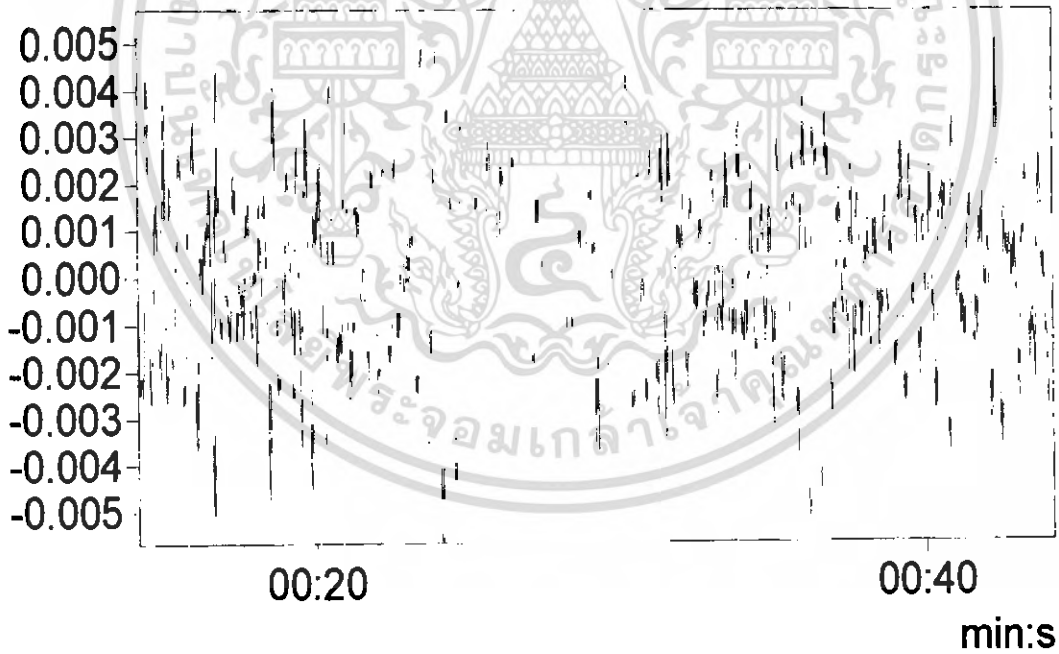
- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

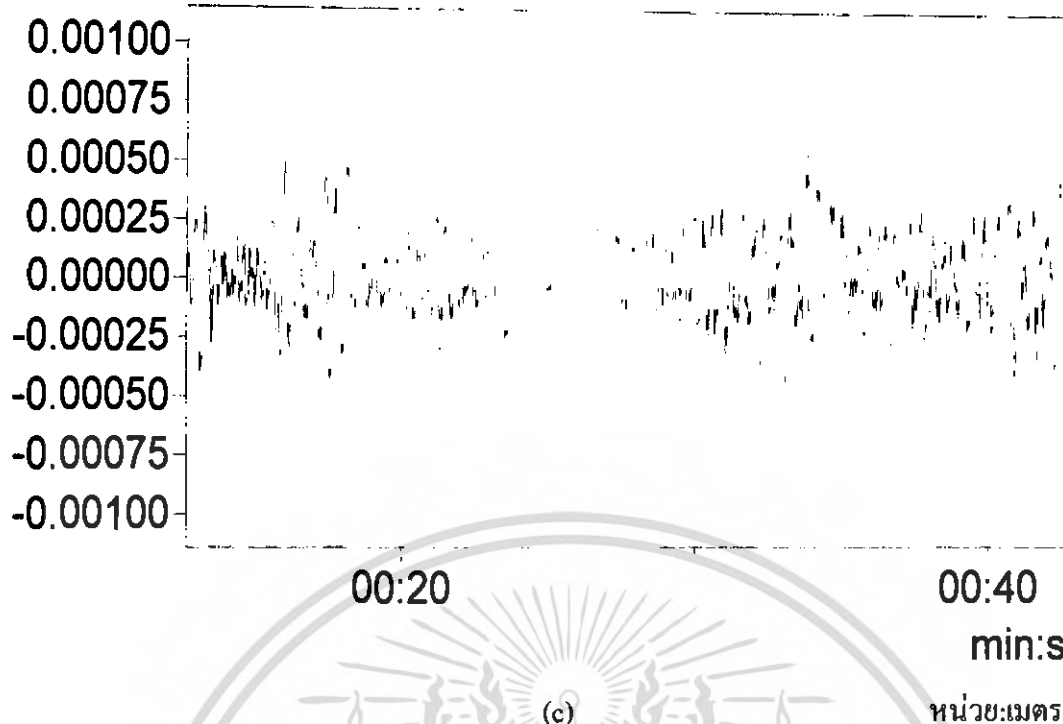
หน่วย:เมตร



(b)

หน่วย:เมตร

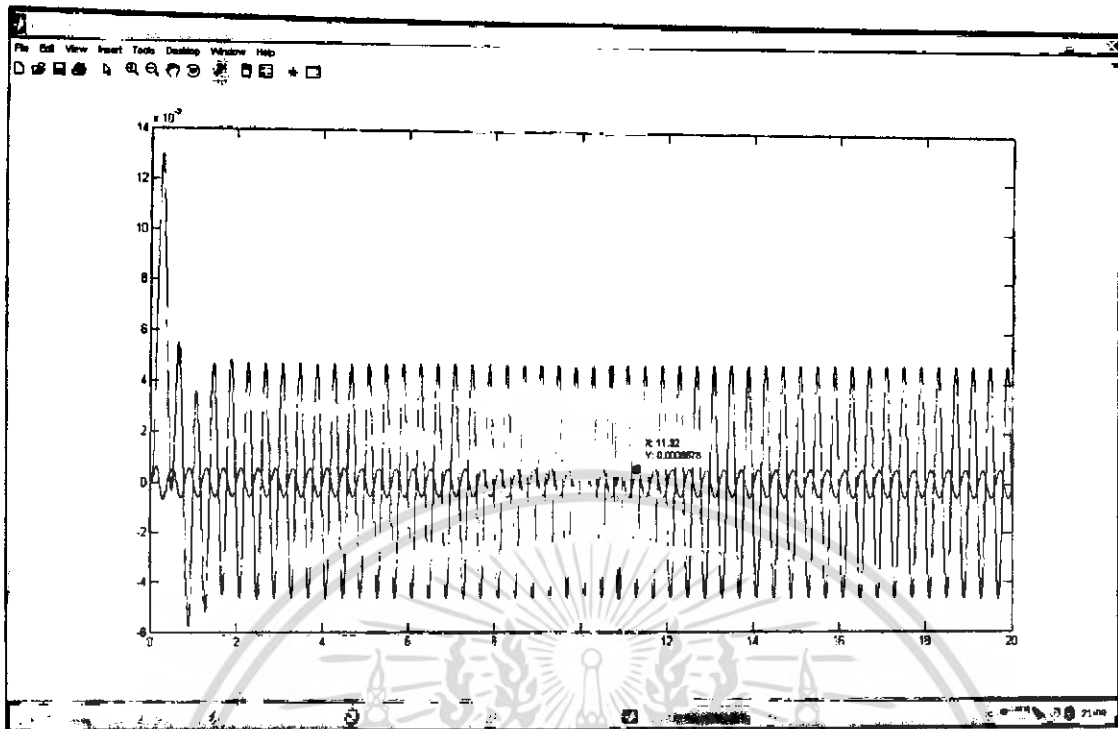
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัม ของสปริง-ตัวหน่วง
ชุดที่สองที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

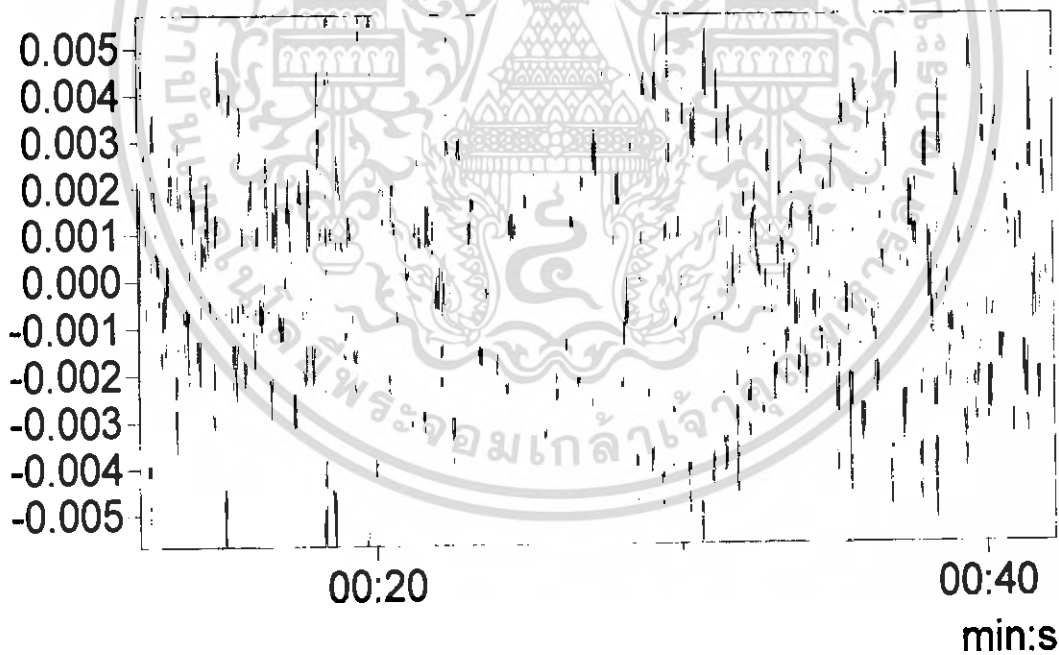
- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

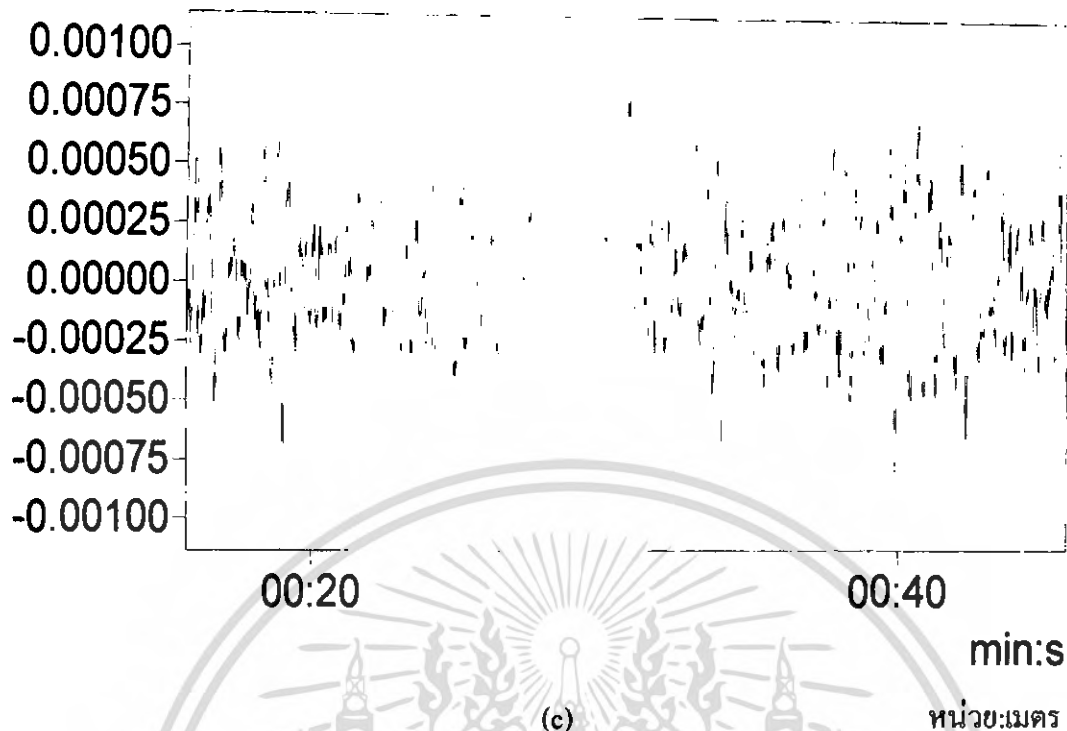
หน่วย:เมตร



(b)

หน่วย:เมตร

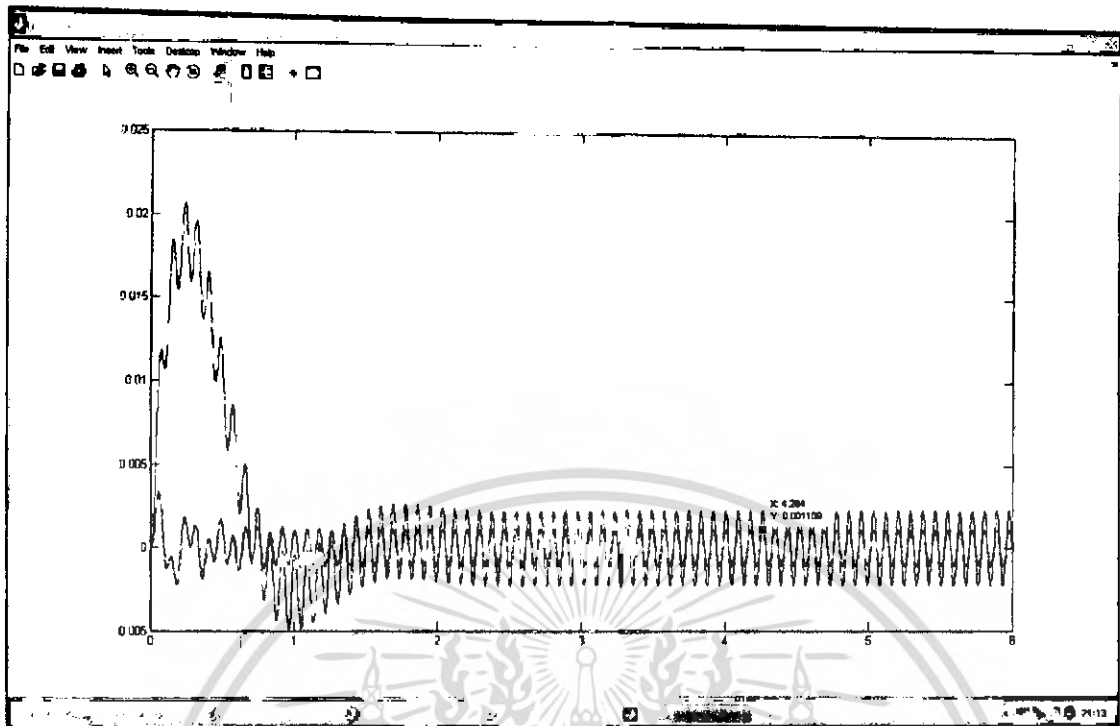
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัม ของสปริง- ตัวห้อย
ชุดที่สองที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

หน่วย:เมตร



00:20

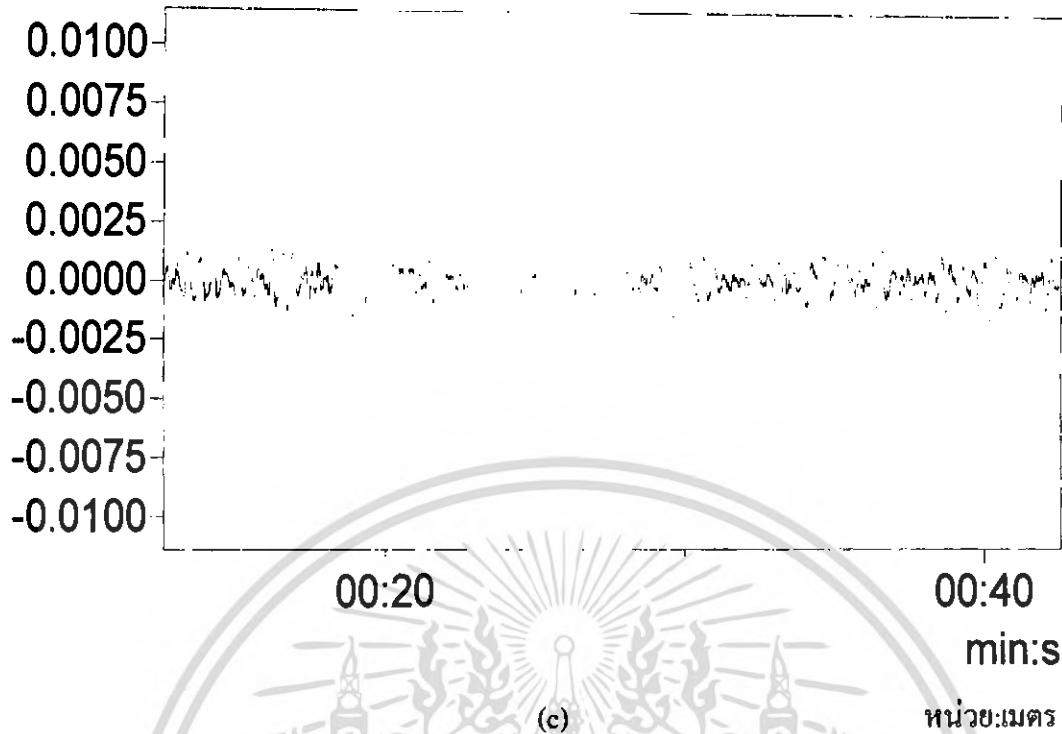
00:40

min:s

(b)

หน่วย:เมตร

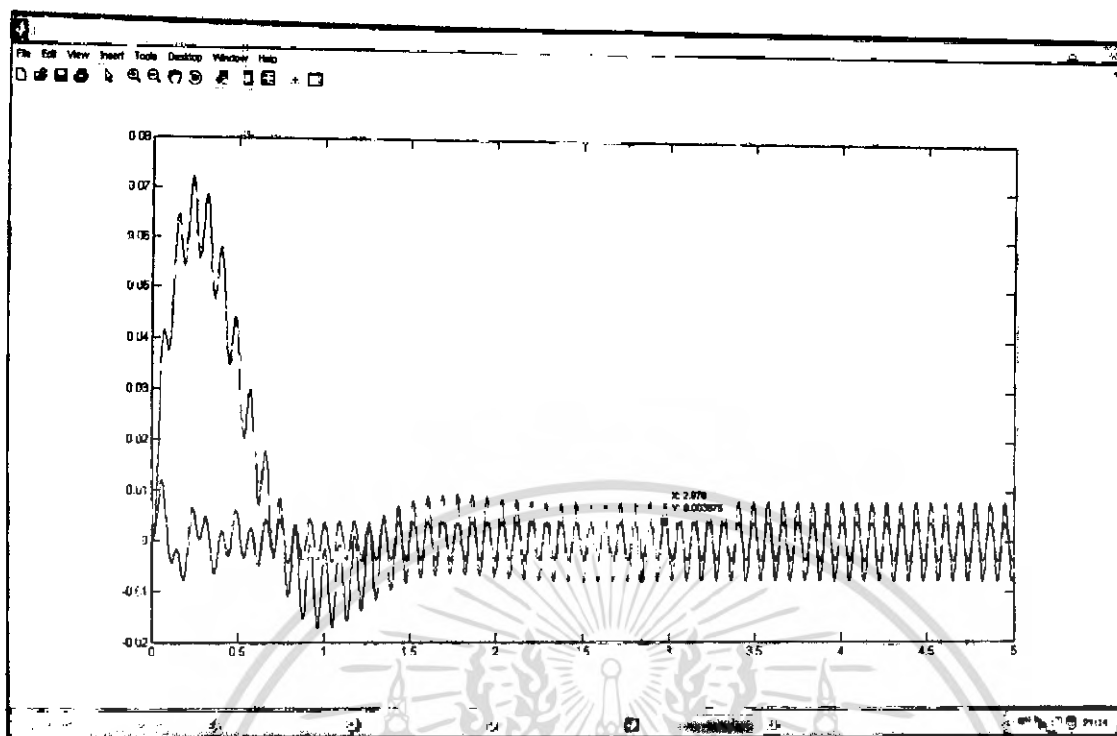
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อไม่ได้เพิ่มมวล ของสปริง- ตัวหน่วยชุดที่สองที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

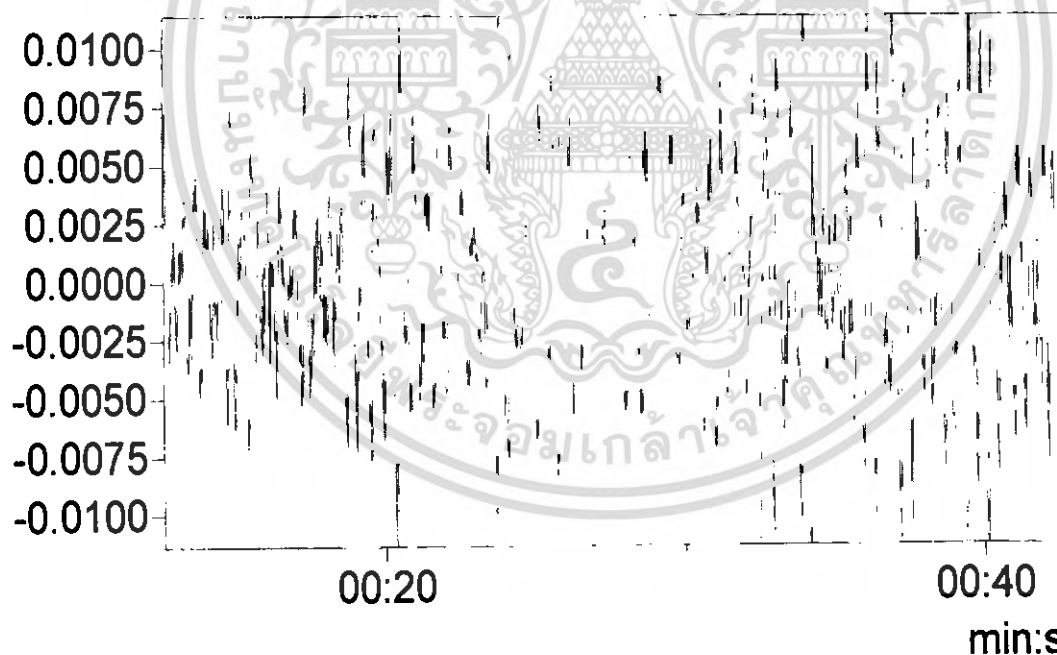
- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

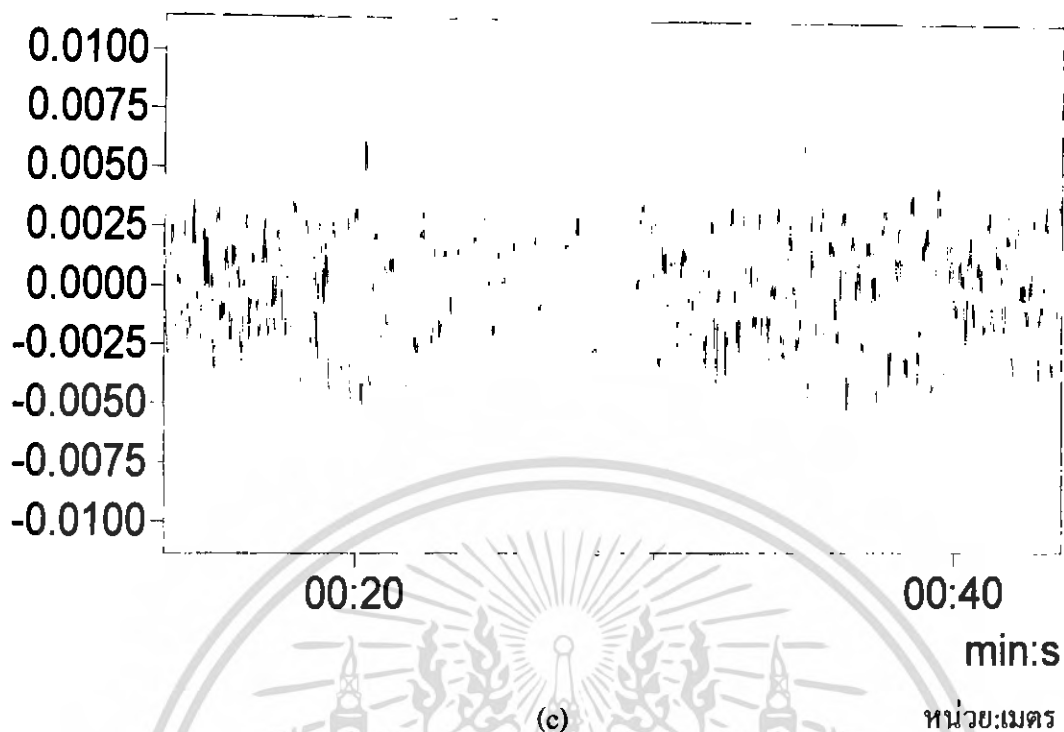
หน่วย:เมตร



(b)

หน่วย:เมตร

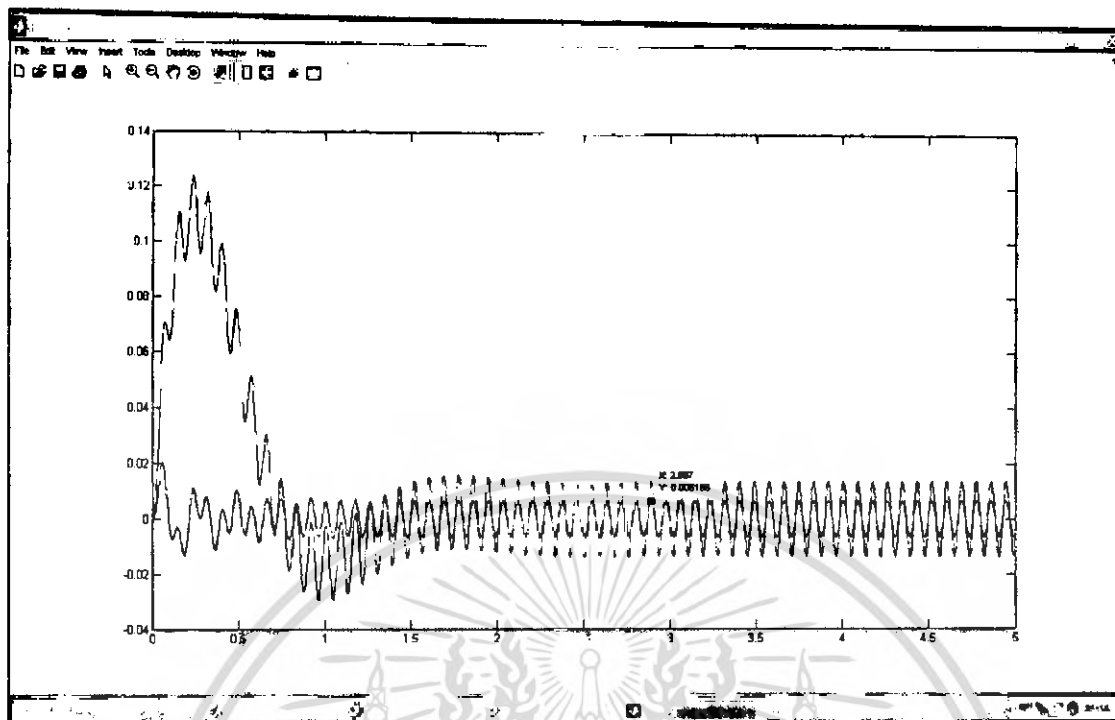
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 500 กรัม ของสปริง- ตัวหน่วง ชุดที่สองที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

หน่วย:เมตร



00:20

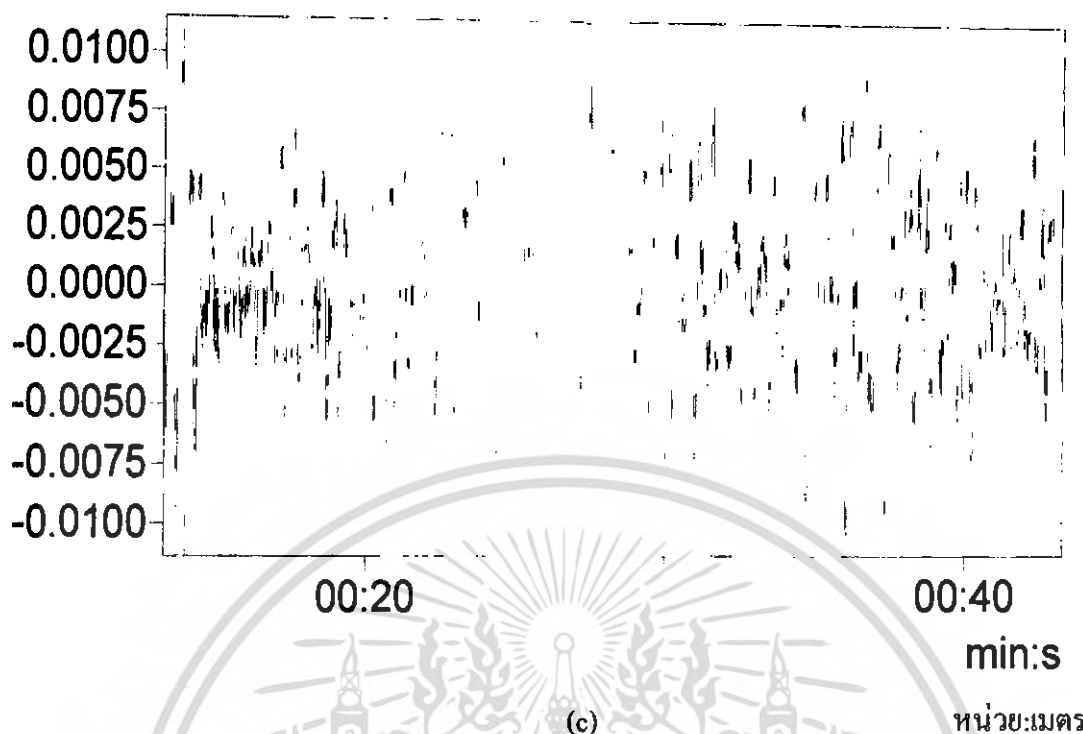
00:40

min:s

(b)

หน่วย:เมตร

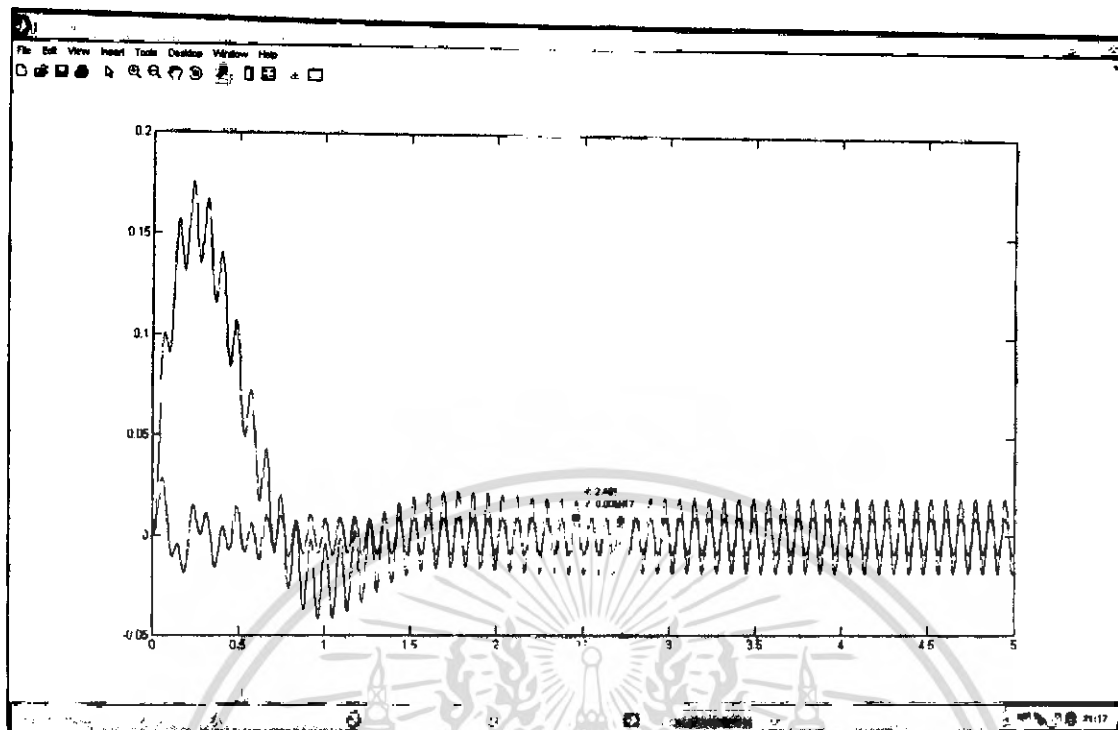
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัม ของสปริง- ตัวห้อย ชุดที่สองที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

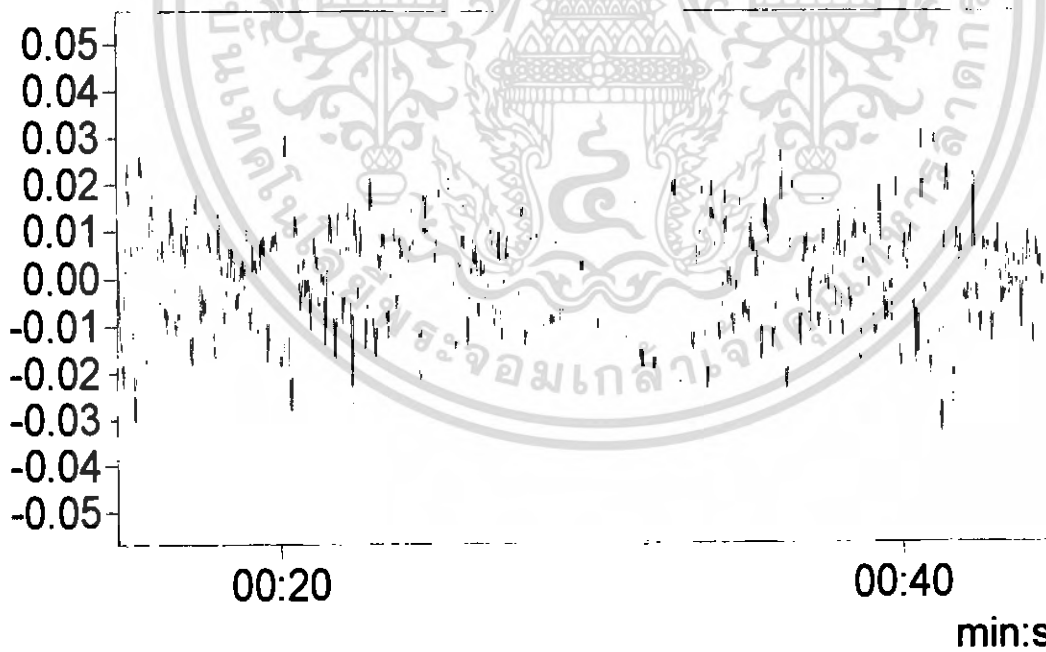
- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

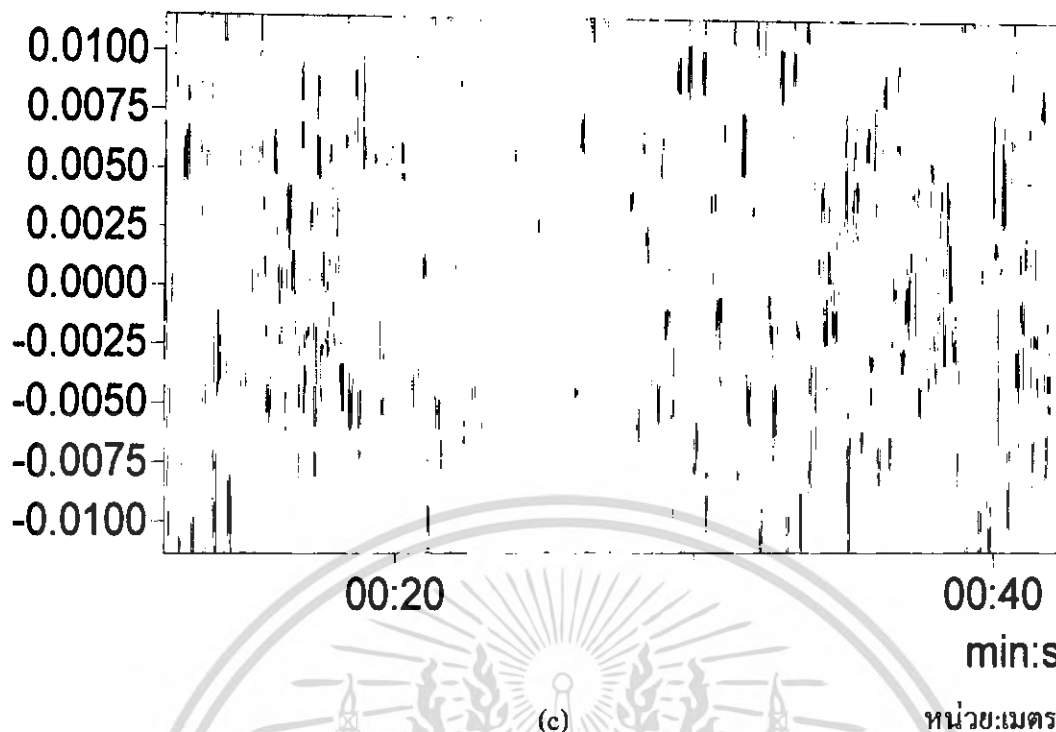
หน่วย:เมตร



(b)

หน่วย:เมตร

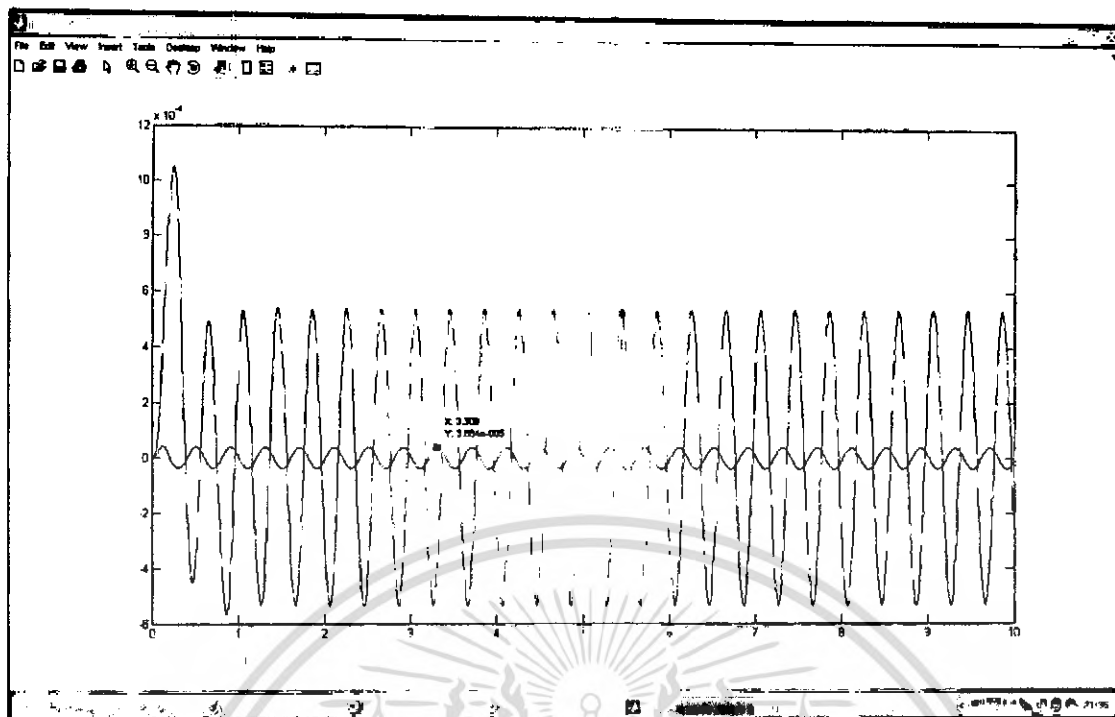
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัม ของสปริง-ตัวหน่วง ชุดที่สองที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

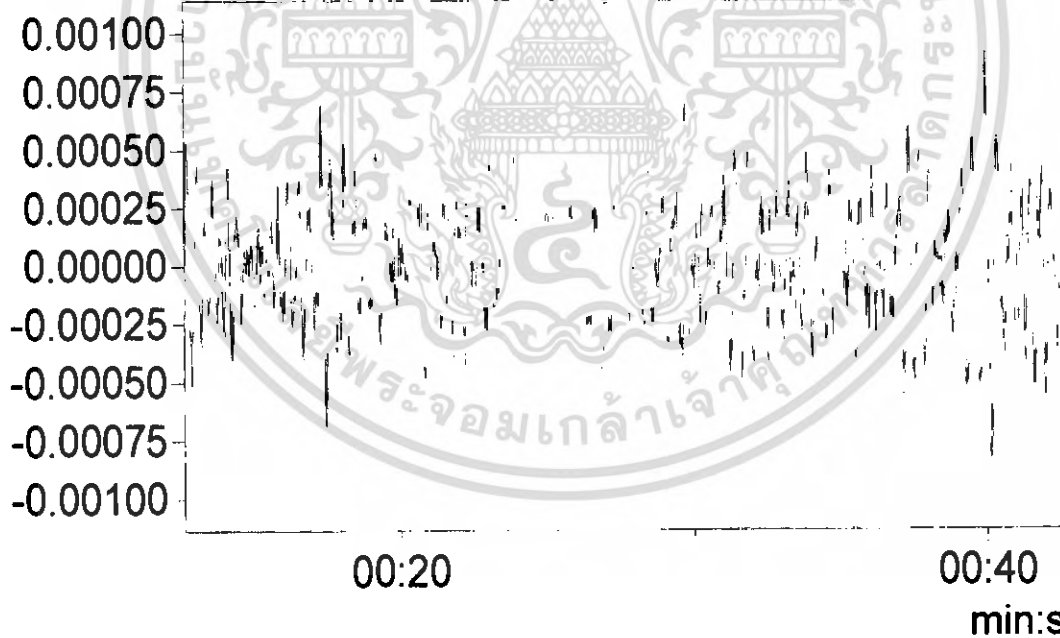
- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

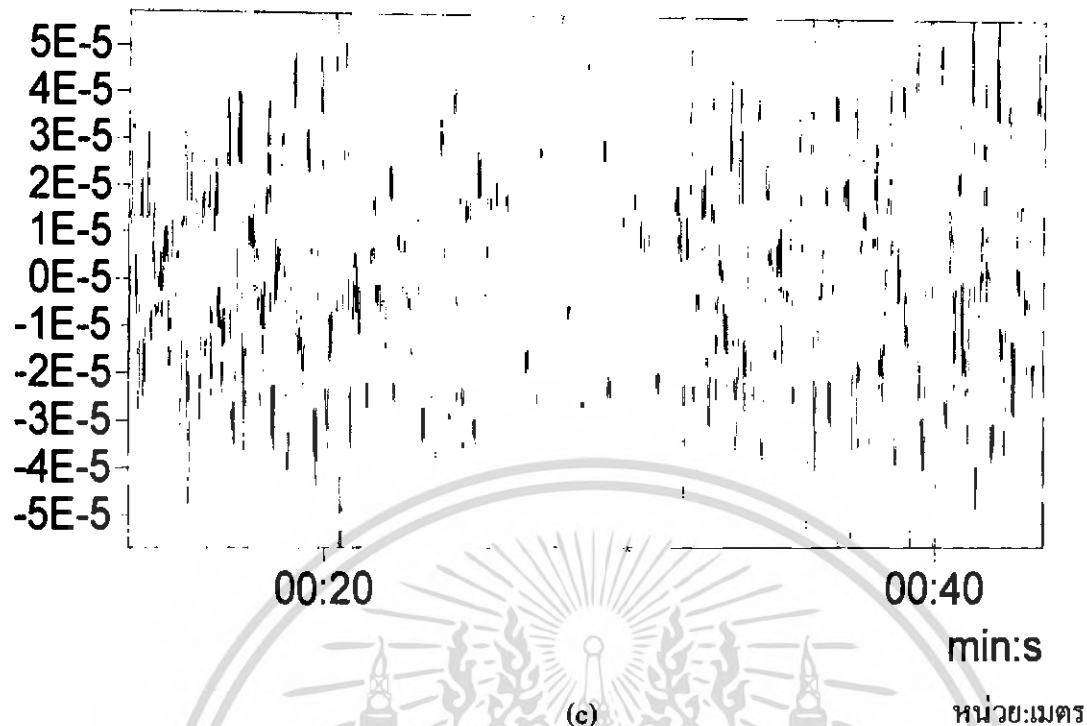
หน่วย:เมตร



(b)

หน่วย:เมตร

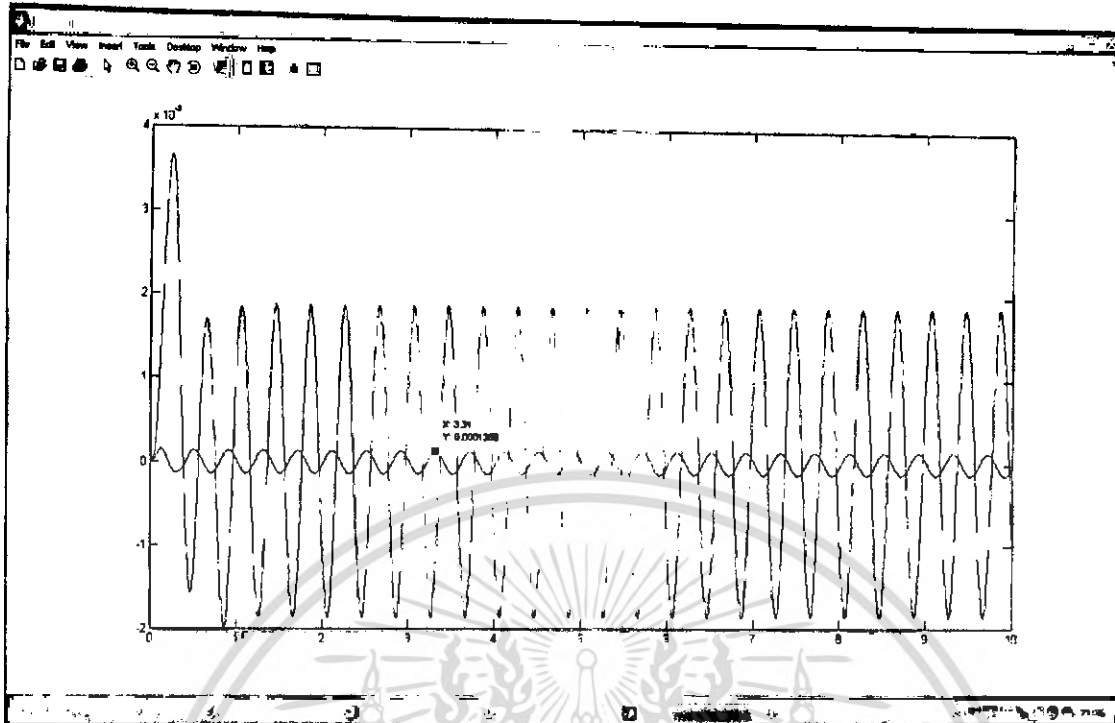
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อไม่ได้เพิ่มมวล ของสปริง-ตัวหน่วงชุดที่สามที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

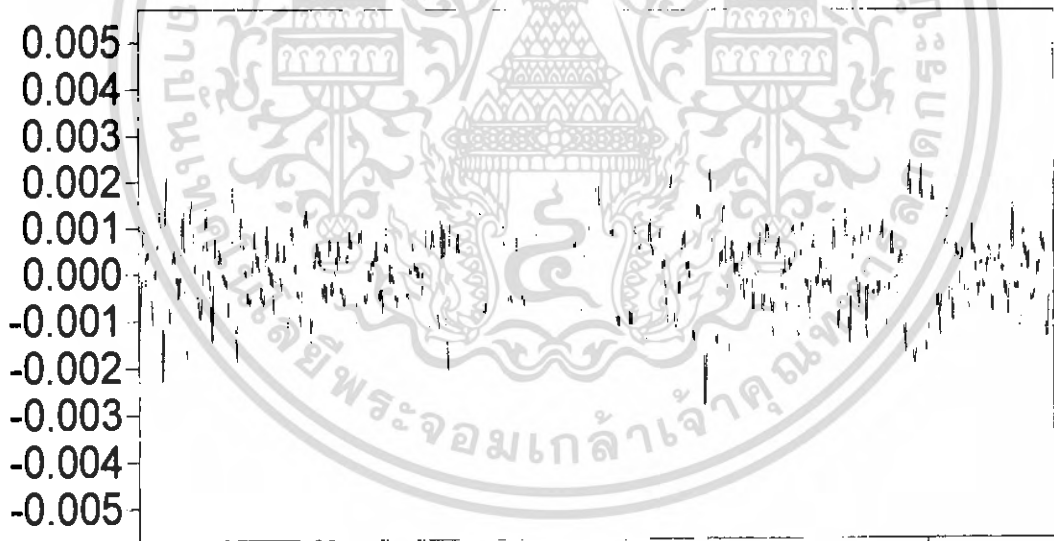
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

หน่วย:เมตร

(b)



00:20

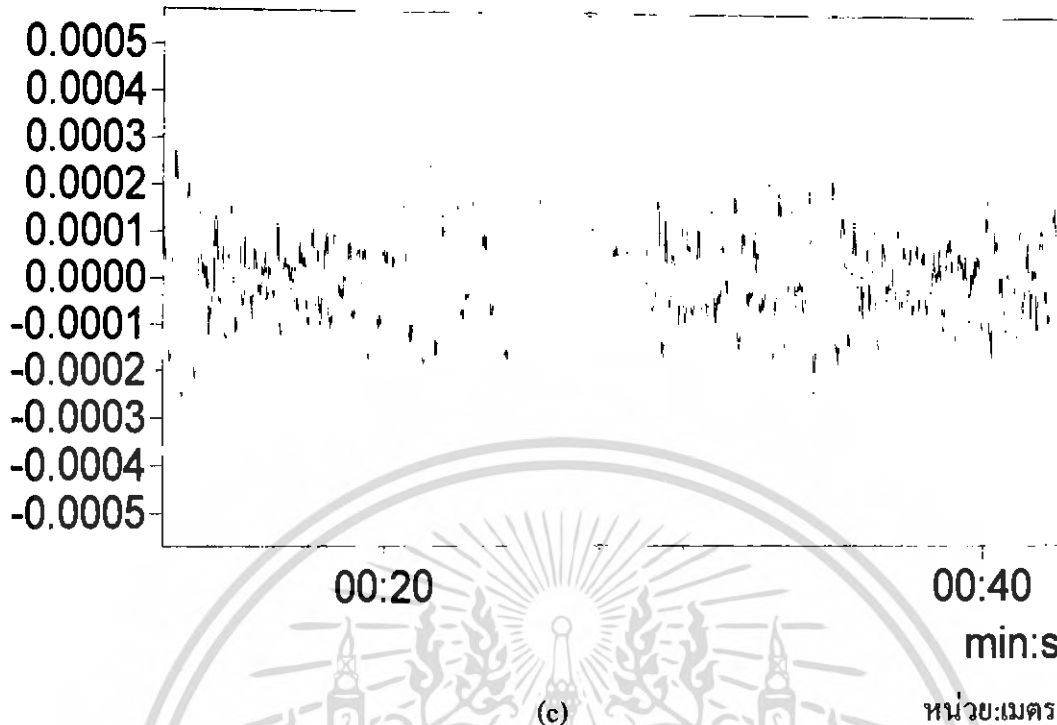
00:40

min:s

(b)

หน่วย:เมตร

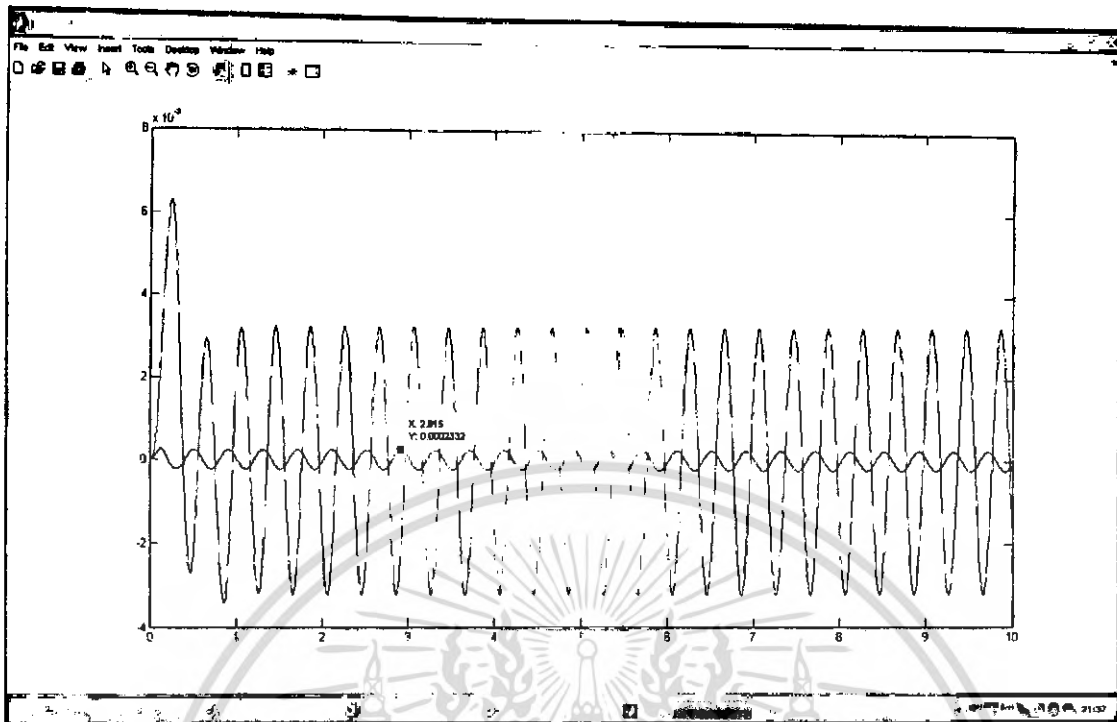
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระตุ้นกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 500 กรัม ของสปริง- ตัวห้อย
ชุดที่สามที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

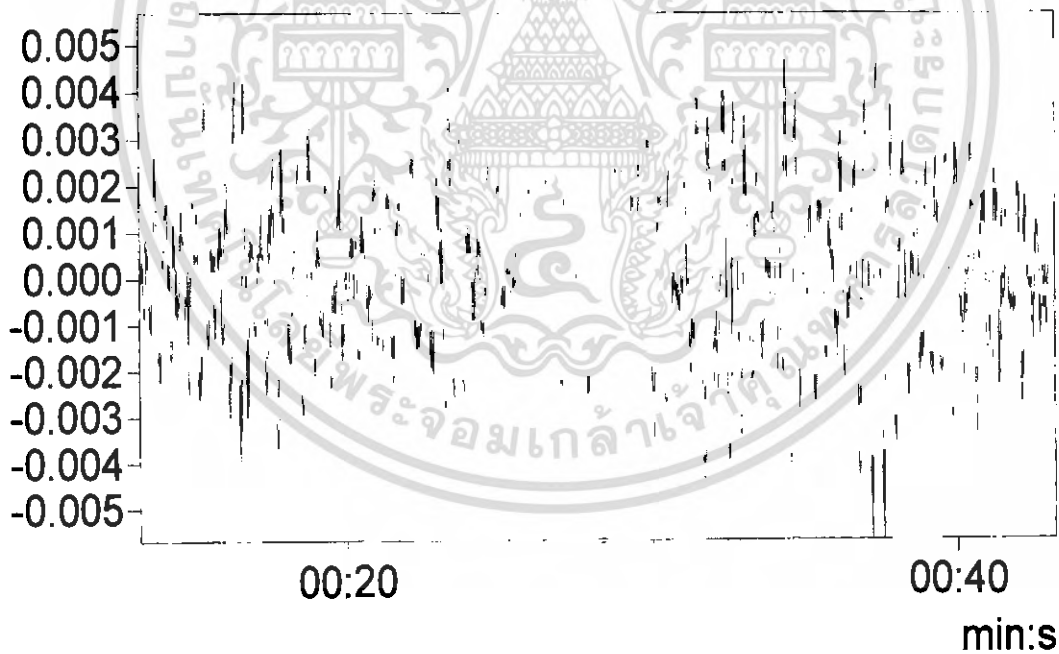
- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

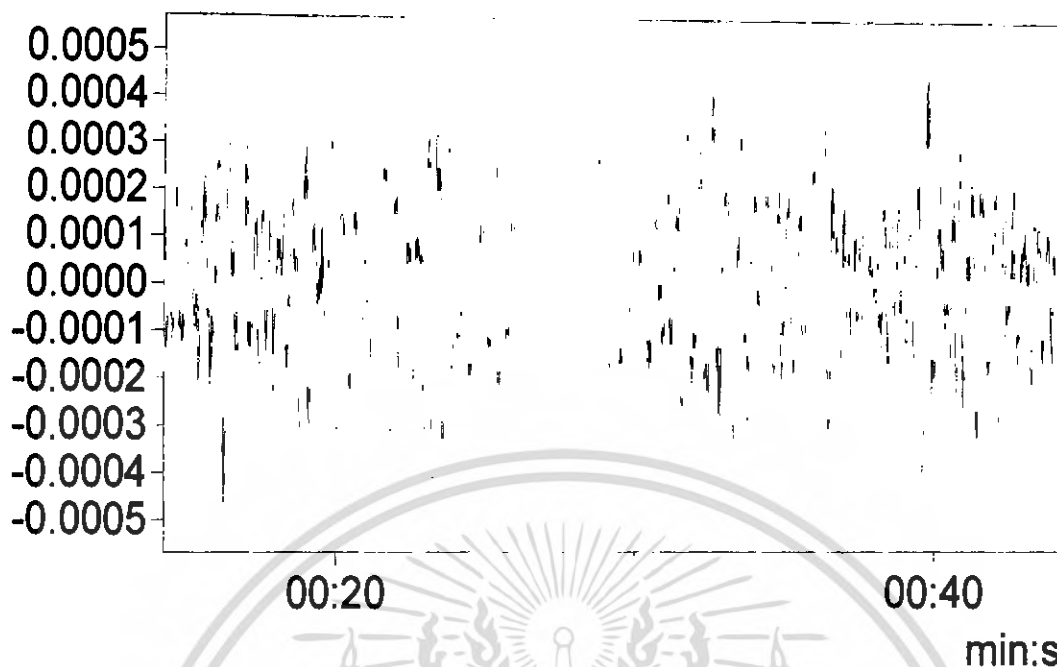
หน่วย:เมตร



(b)

หน่วย:เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

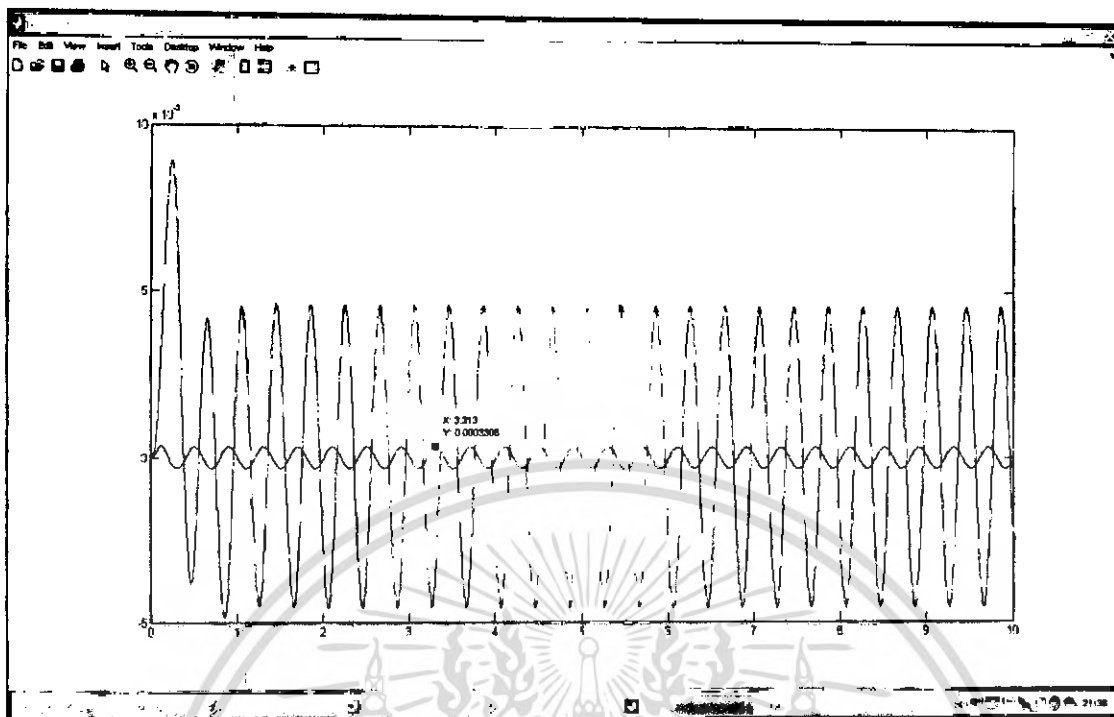


หน่วย:เมตร

รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระทำกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัม ของสปริง- ตัวหน่วย ชุดที่สามที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

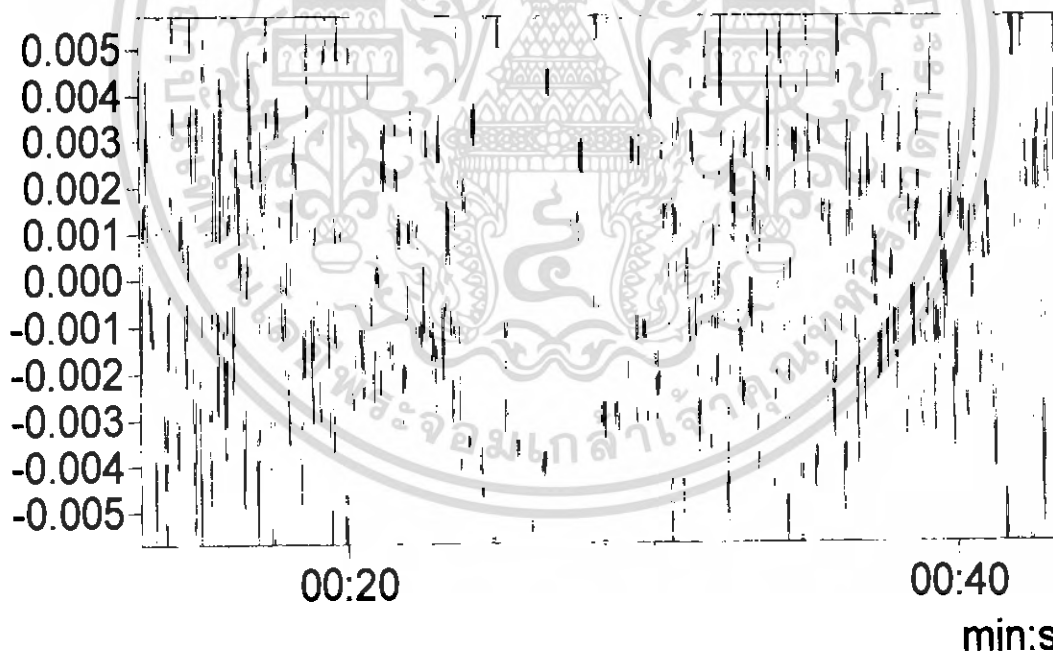
- (a) จากการจำลองด้วย โปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

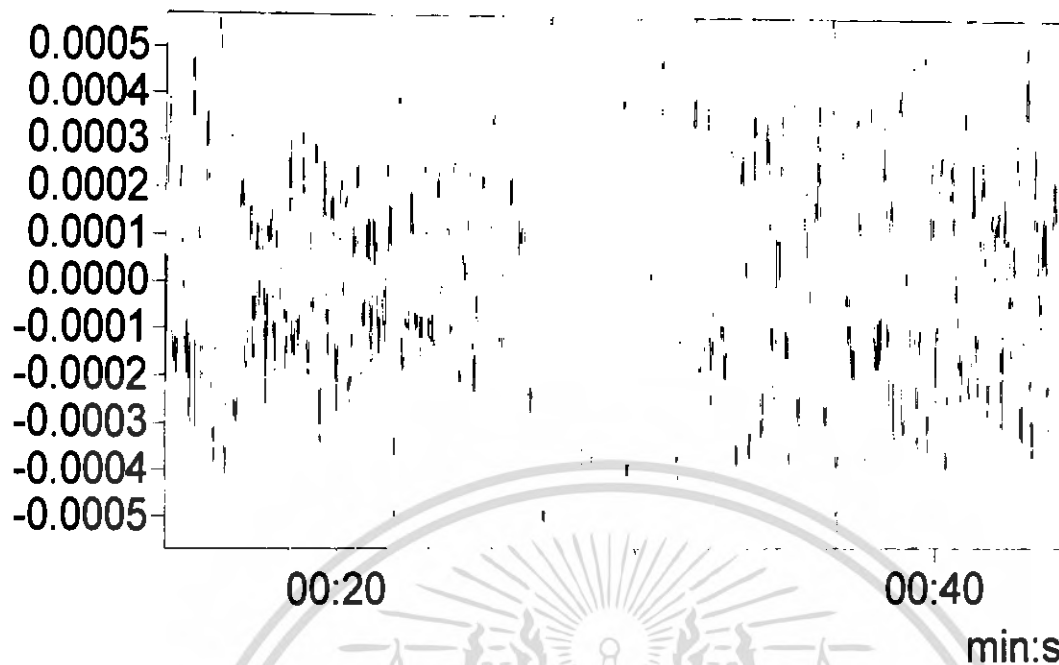
หน่วย:เมตร



(b)

หน่วย:เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

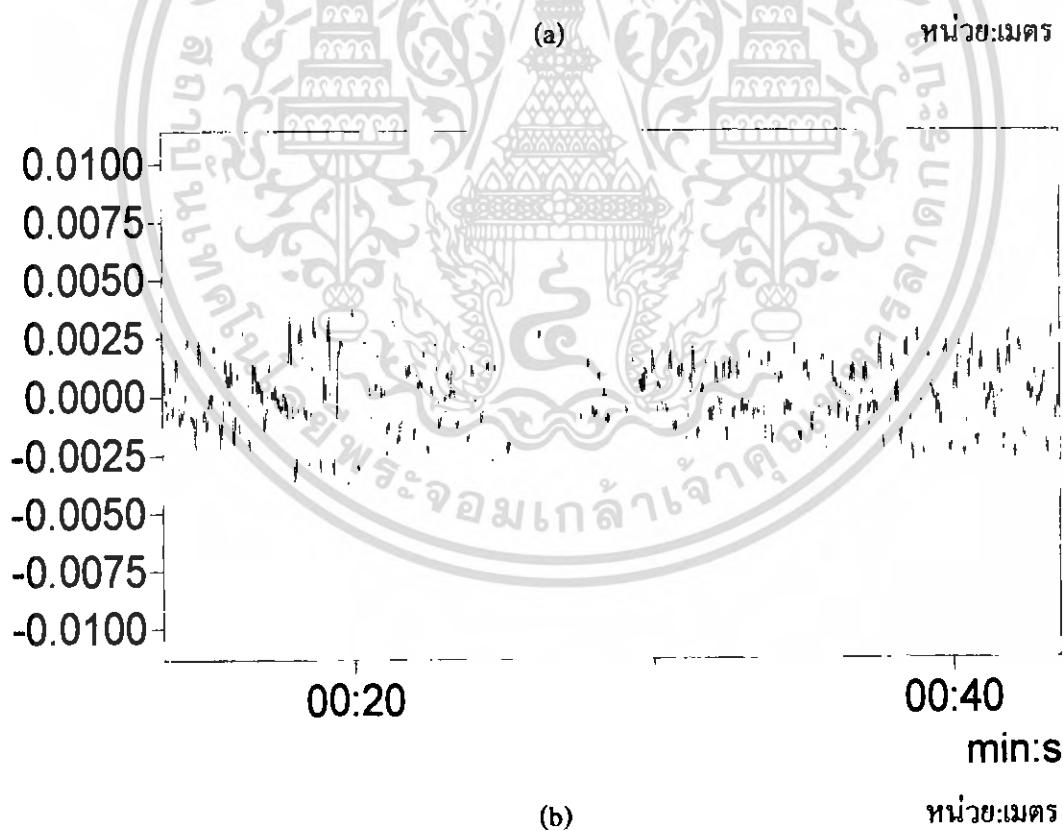
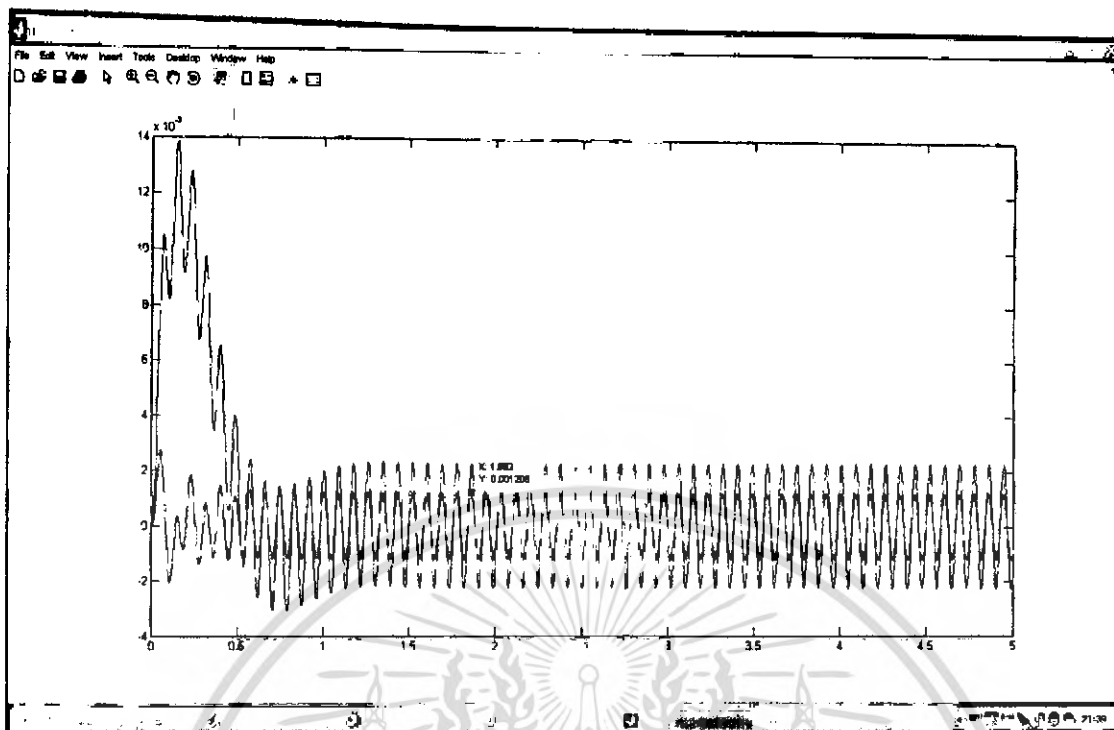


หน่วย:เมตร

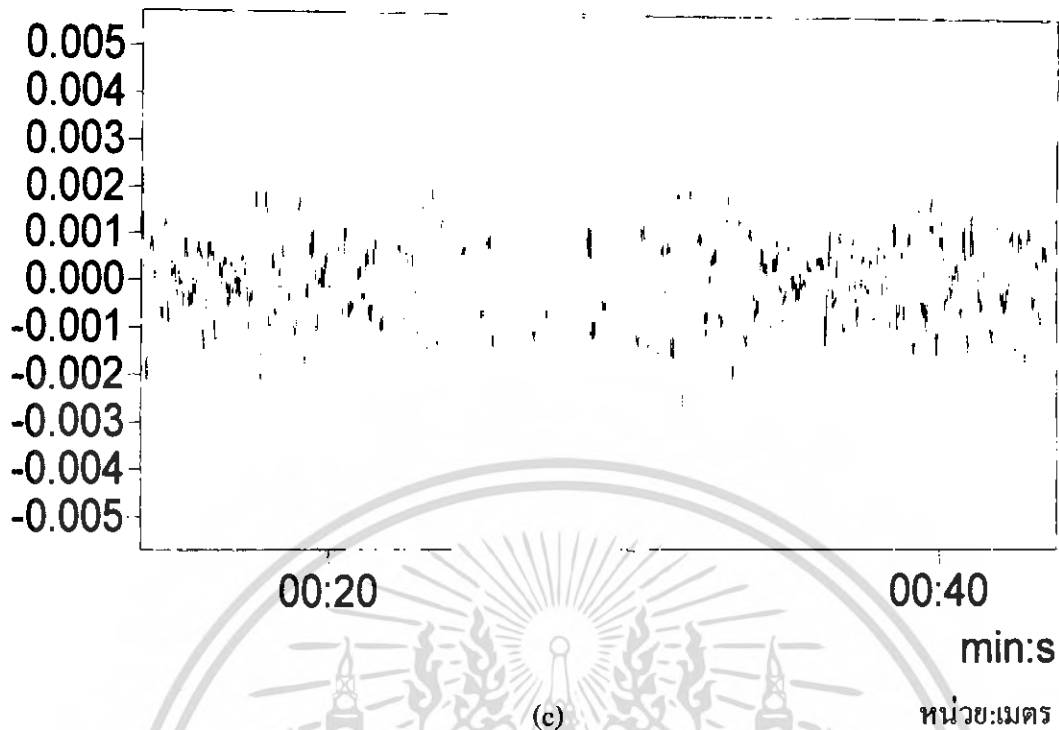
รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัม ของสปริง- ตัวหน่วง
จุดที่สามที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

- (a) จากการจำลองด้วย โปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



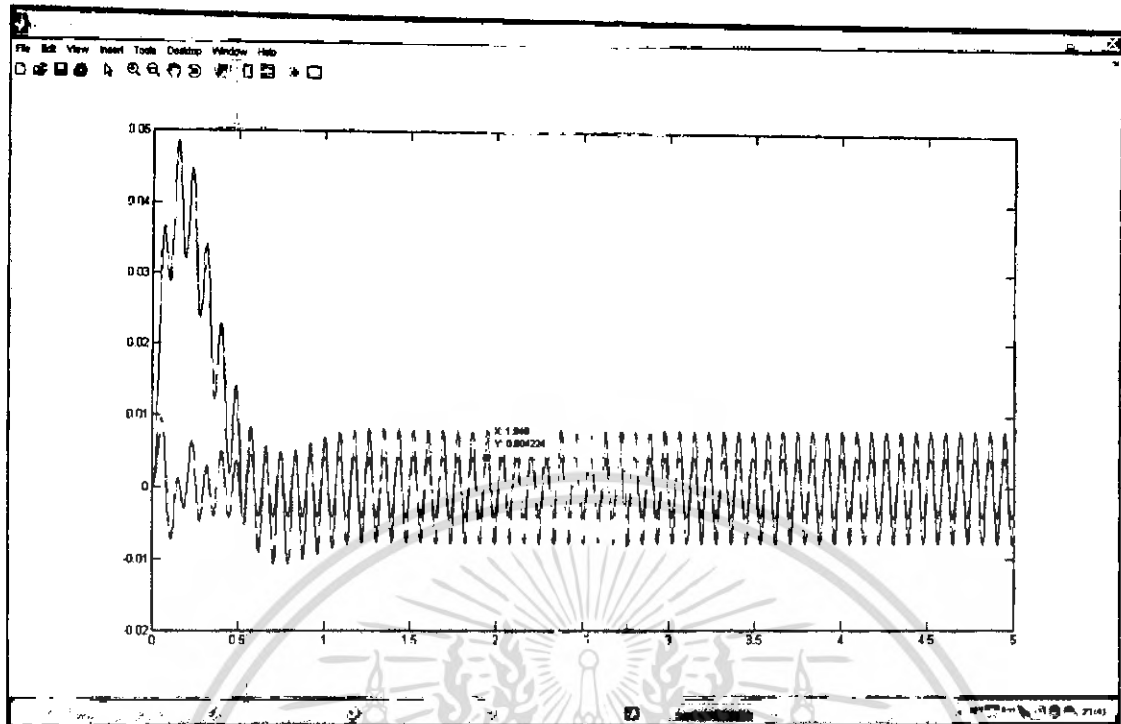
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อไม่ได้เพิ่มมวล ของสปริง- ตัวห่วงชุดที่สามที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

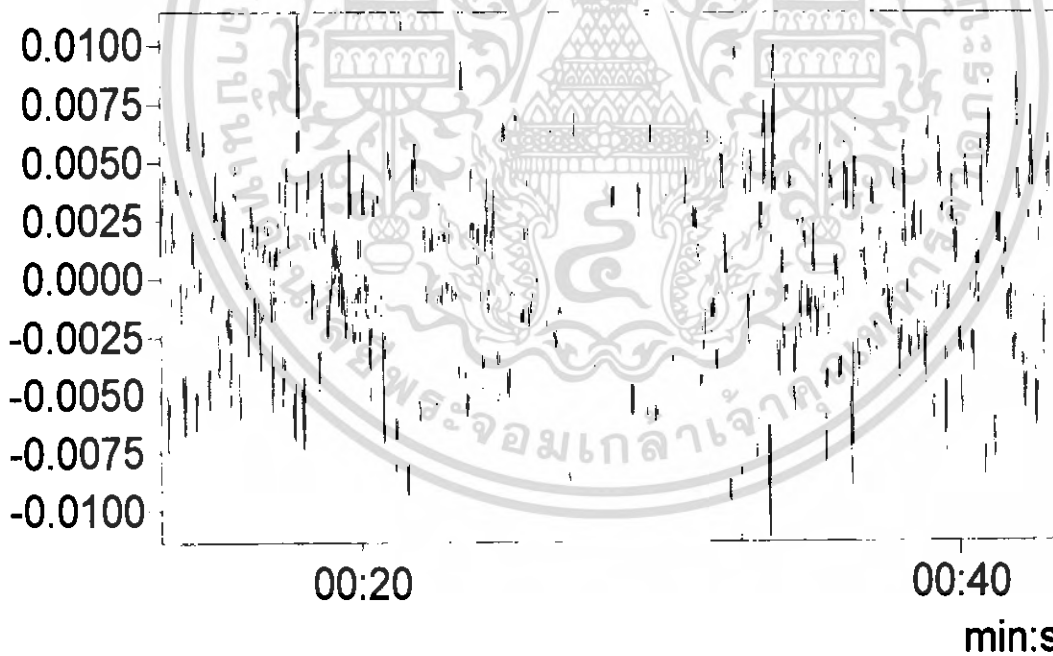
- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

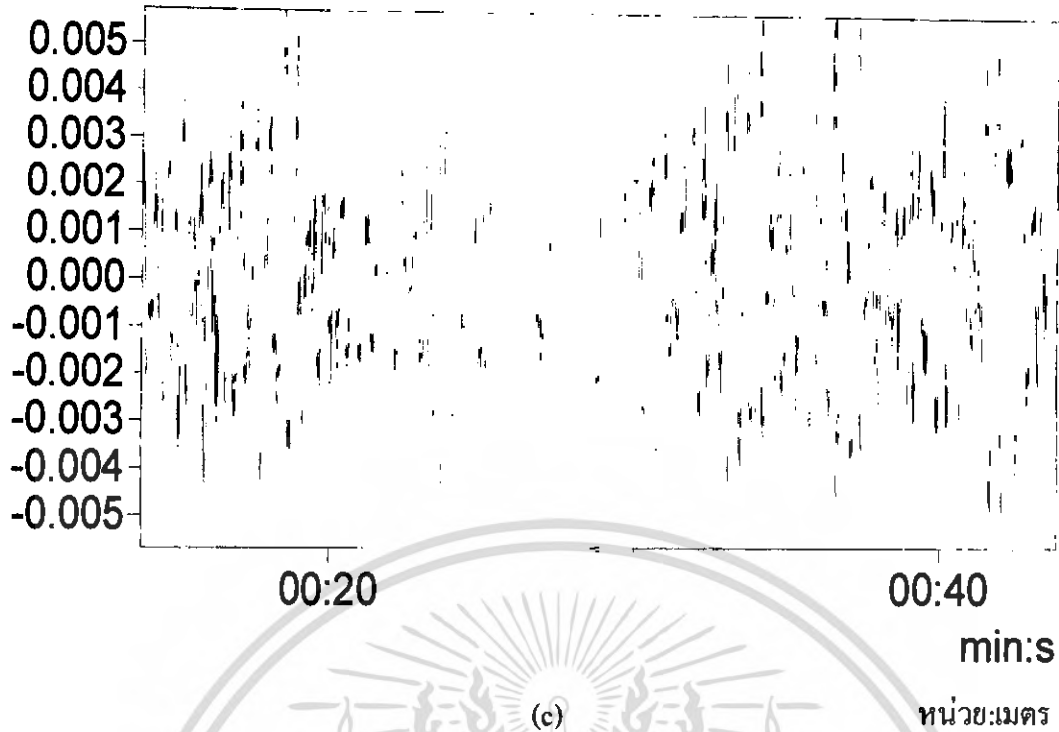
หน่วย:เมตร



(b)

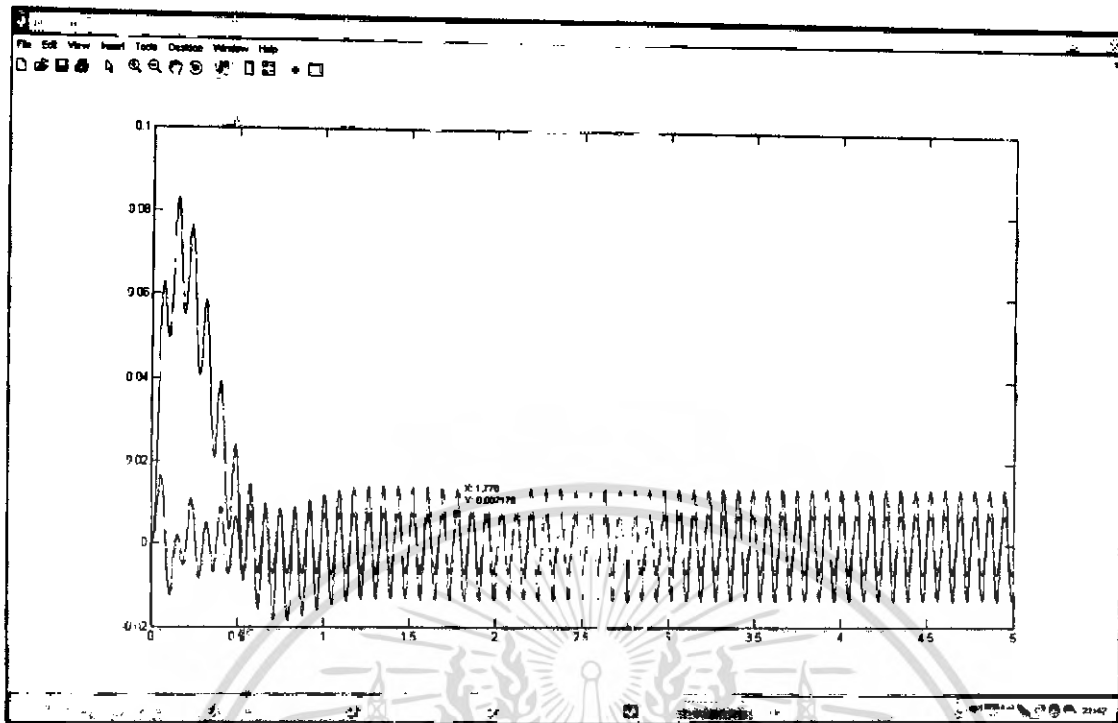
หน่วย:เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 500 กรัม ของสปริง- ตัวห้อย
ชุดที่สามที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง



(a)

หน่วย:เมตร



00:20

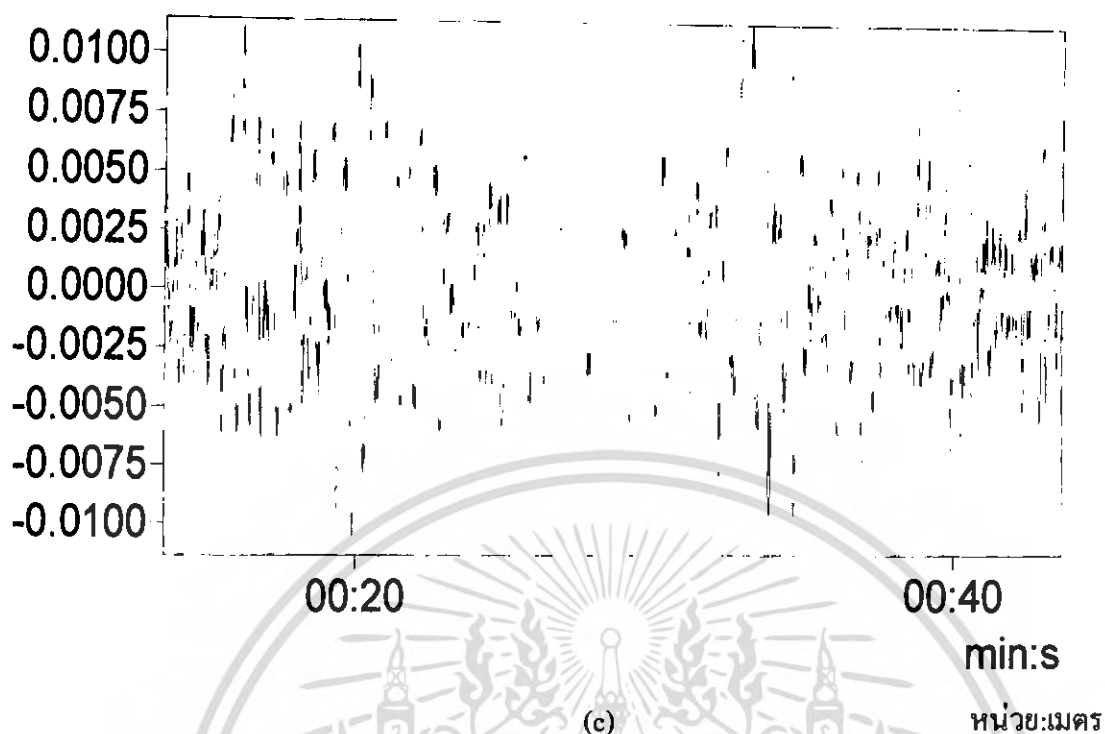
00:40

min:s

(b)

หน่วย:เมตร

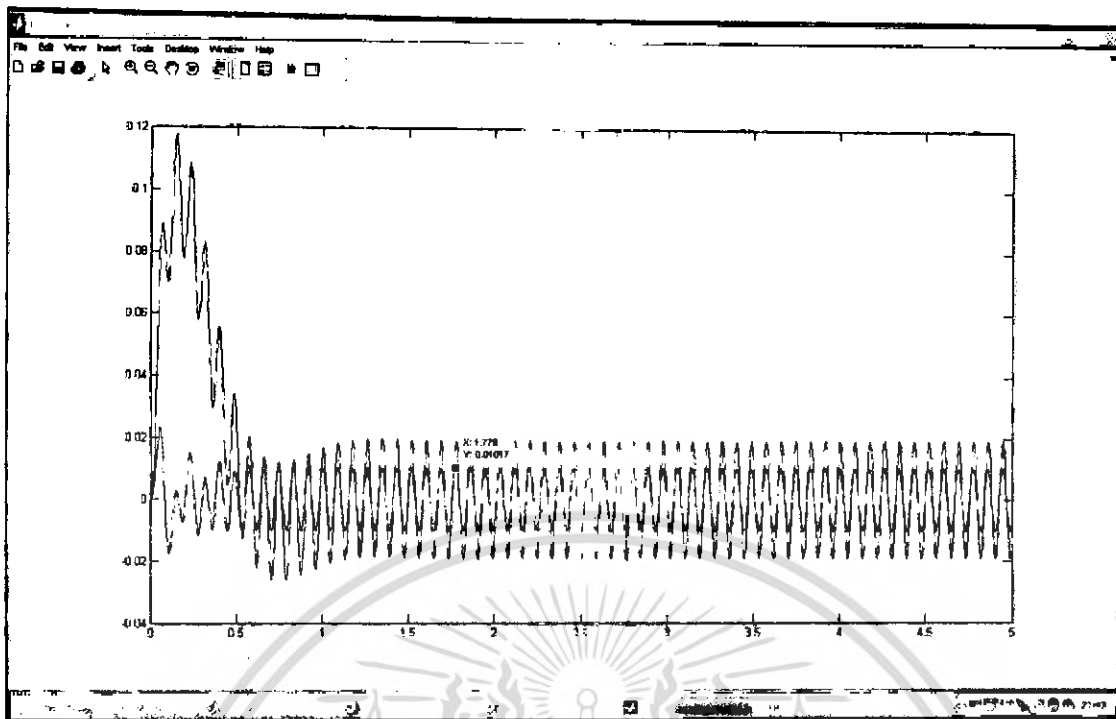
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระตุ้นกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัม ของสปริง- ตัวหน่วง
ชุดที่สามที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

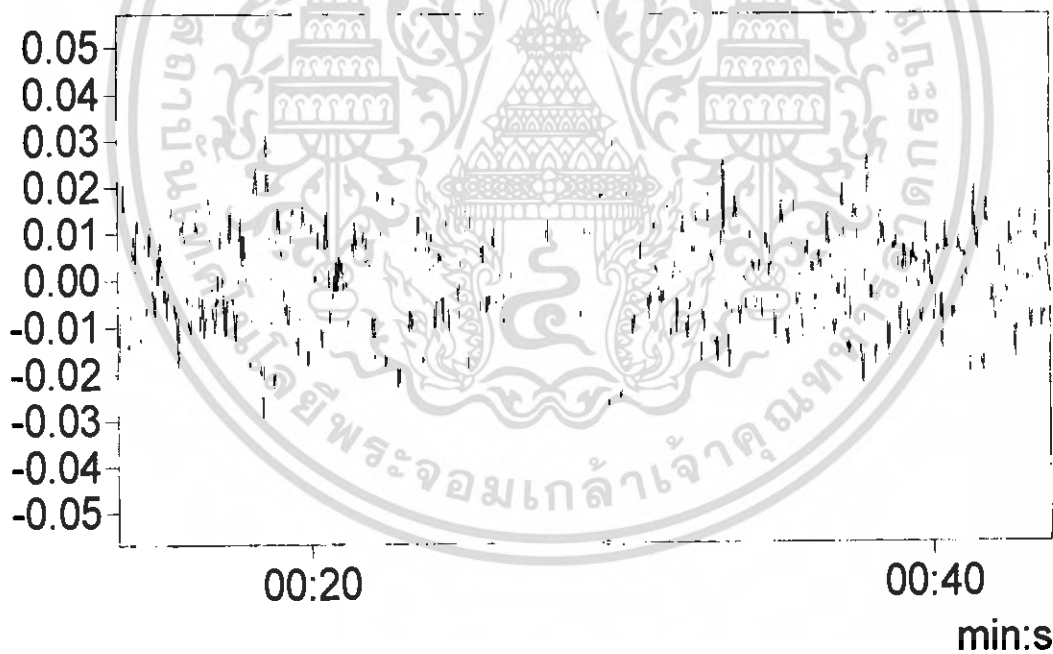
- (a) จากการจำลองด้วย โปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

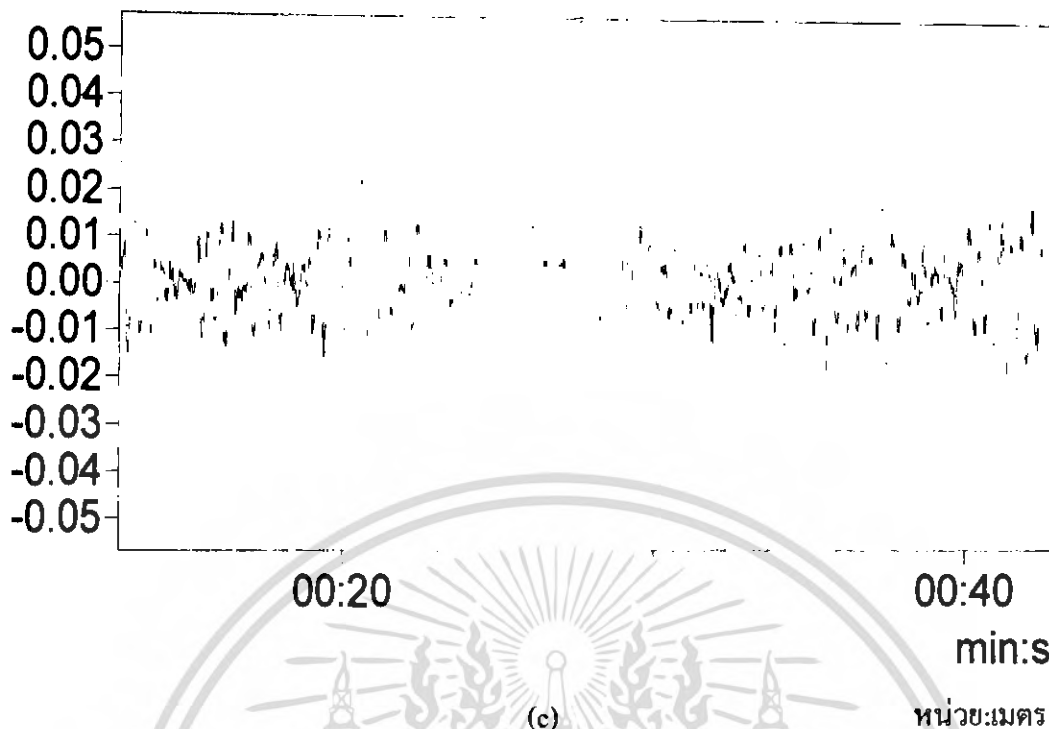
หน่วย:เมตร



(b)

หน่วย:เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

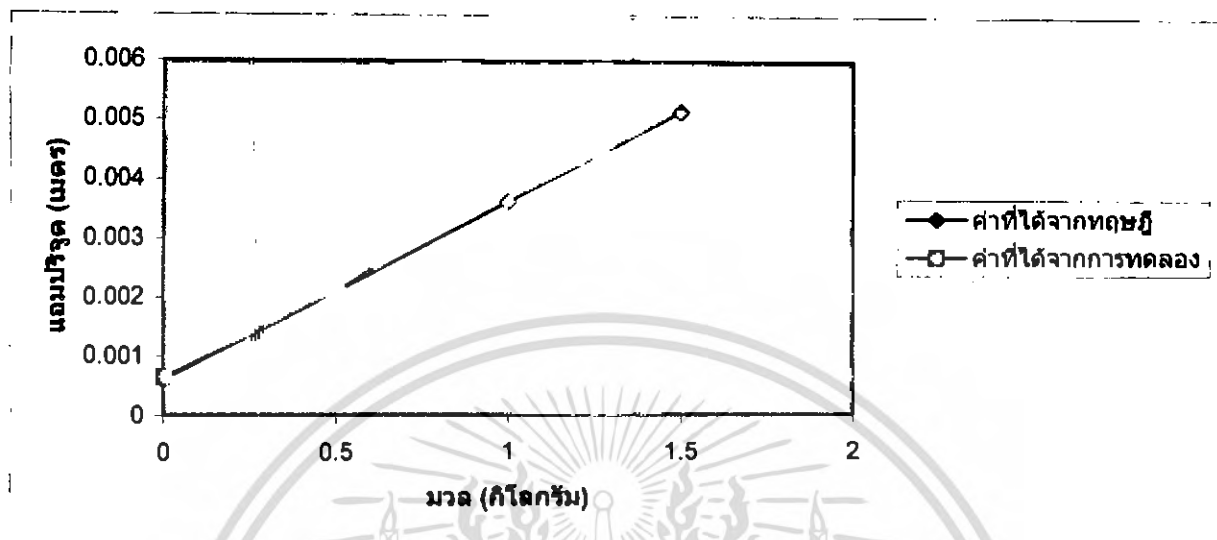


รูปที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระทำกับเวลาเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัม ของสปริง- ตัวห้อย
จุดที่สามที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

- (a) จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab
- (b) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X จากการทดลอง
- (c) คือการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จากการทดลอง

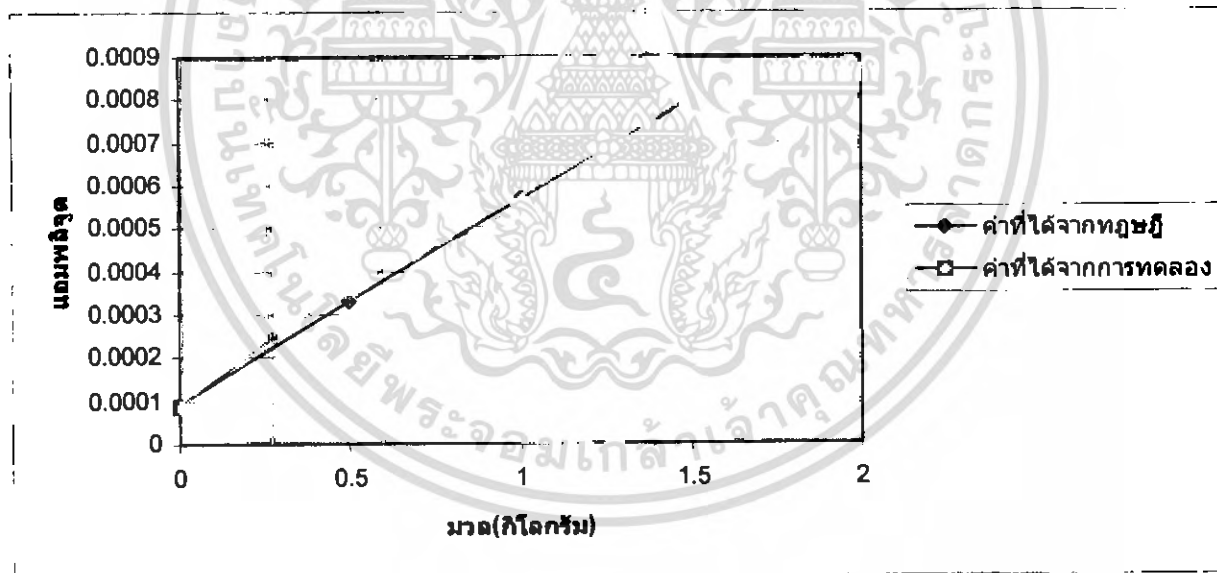
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ของมวลกับขนาดของแอมพลิจูดของการสั่น



(a)

หน่วย: เมตร



(b)

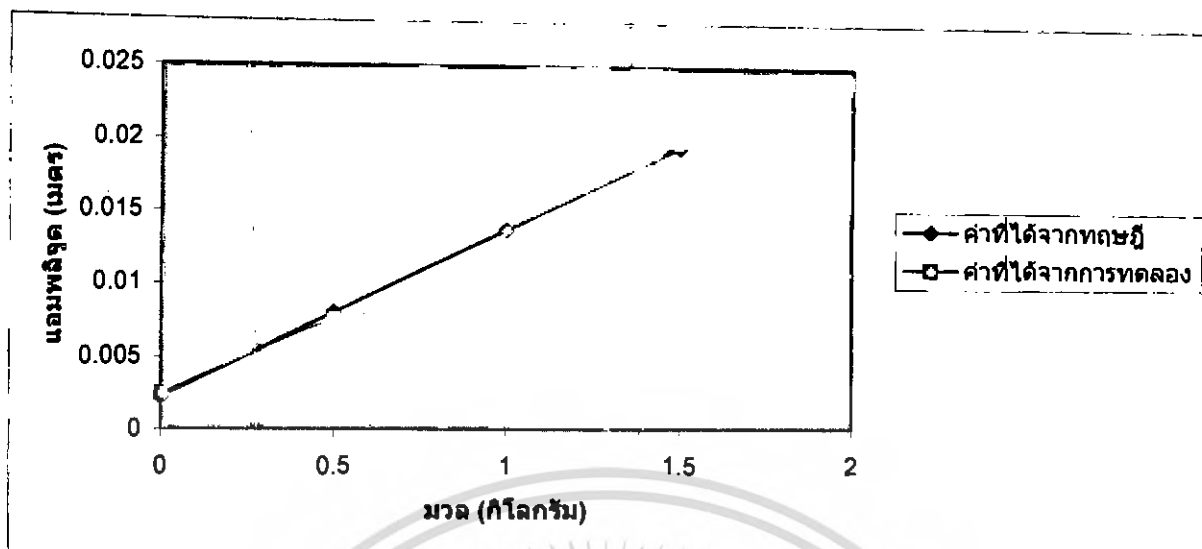
หน่วย: เมตร

กราฟที่ 5.25 แสดงค่าความสัมพันธ์ของมวลกับขนาดของแอมพลิจูดของการสั่นที่ความเร็ว 150 รอบต่อ นาทีของ สปริง-ตัวหน่วงชุดที่หนึ่ง

(a) แกน X

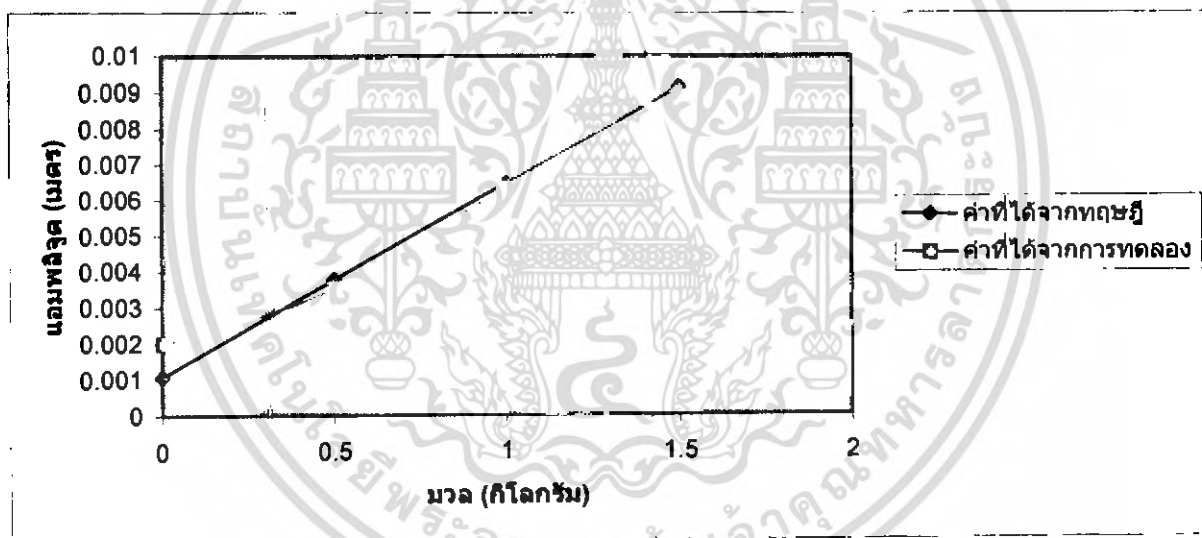
(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

หน่วย: เมตร



(b)

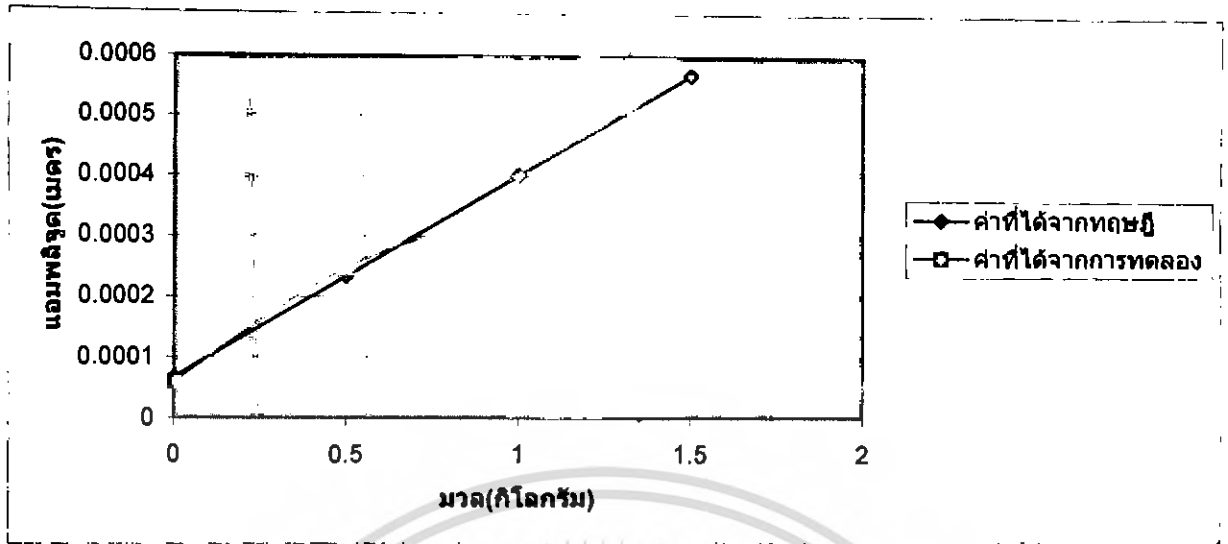
หน่วย: เมตร

กราฟที่ 5.26 แสดงค่าความสัมพันธ์ของมวลกับขนาดของแอมพลิจูดของการสั่นที่ความเร็ว 700 รอบต่อ นาทีของ สปริง-ตัวน้ำหนักชุดที่หนึ่ง

(a) แกน X

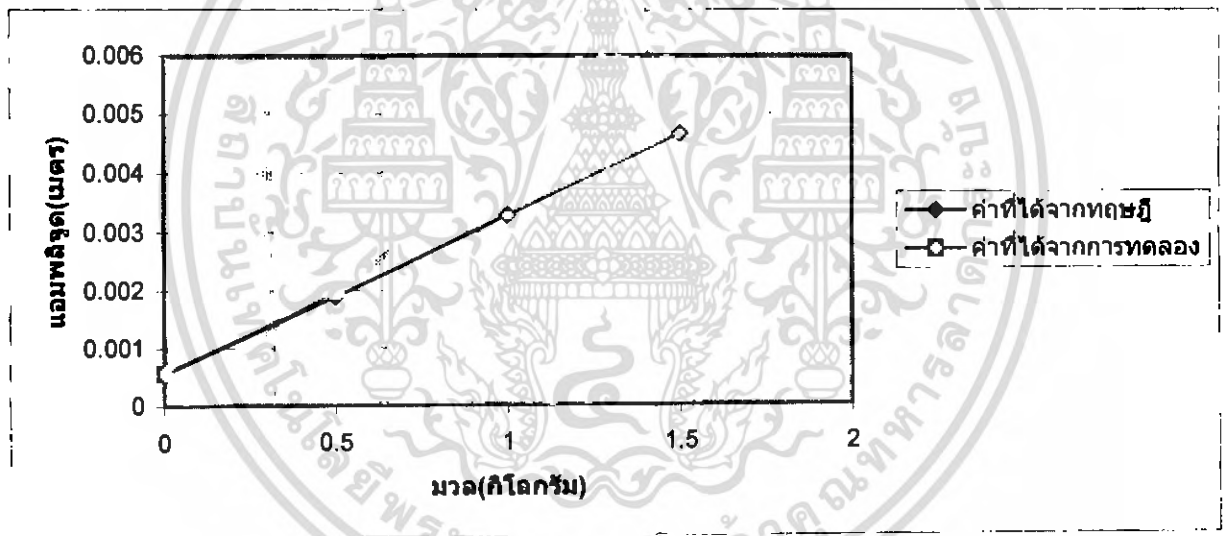
(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

หน่วย: เมตร



(b)

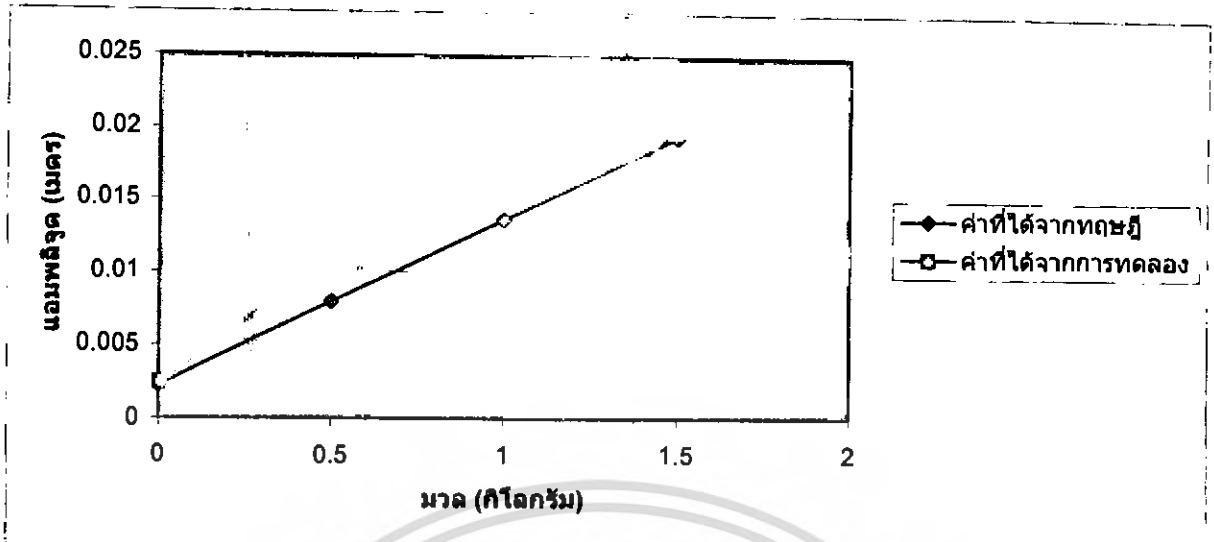
หน่วย: เมตร

กราฟที่ 5.27 แสดงค่าความสัมพันธ์ของมวลกับขนาดของแอมพลิจูดของการสั่นที่ความเร็ว 150 รอบต่อ นาทีของ สปริง-ตัวหน่วงชุดที่สอง

(a) แกน X

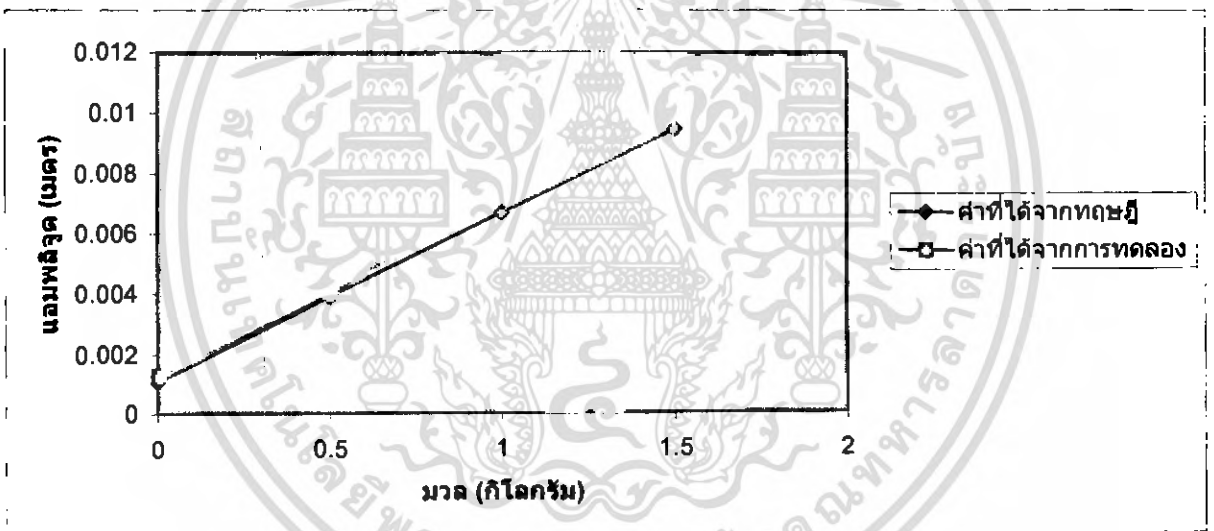
(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

หน่วย: เมตร



(b)

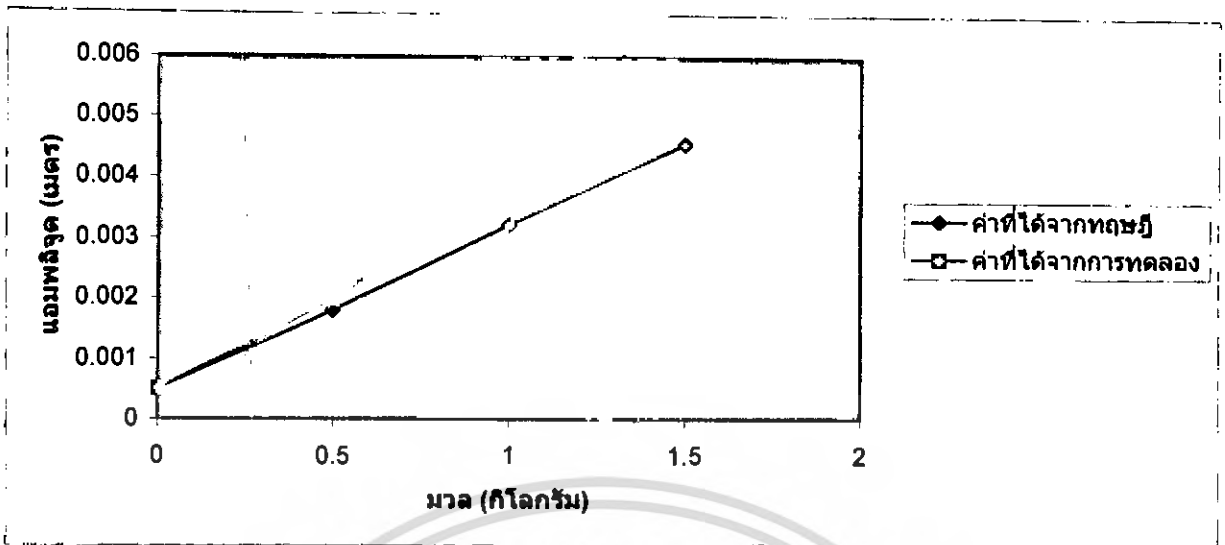
หน่วย: เมตร

กราฟที่ 5.28 แสดงค่าความสัมพันธ์ของมวลกับขนาดของแอมพลิจูดของการสั่นที่ความเร็ว 700 รอบต่อ นาทีของ สปริง-ตัวหน่วงชุดที่สอง

(a) แกน X

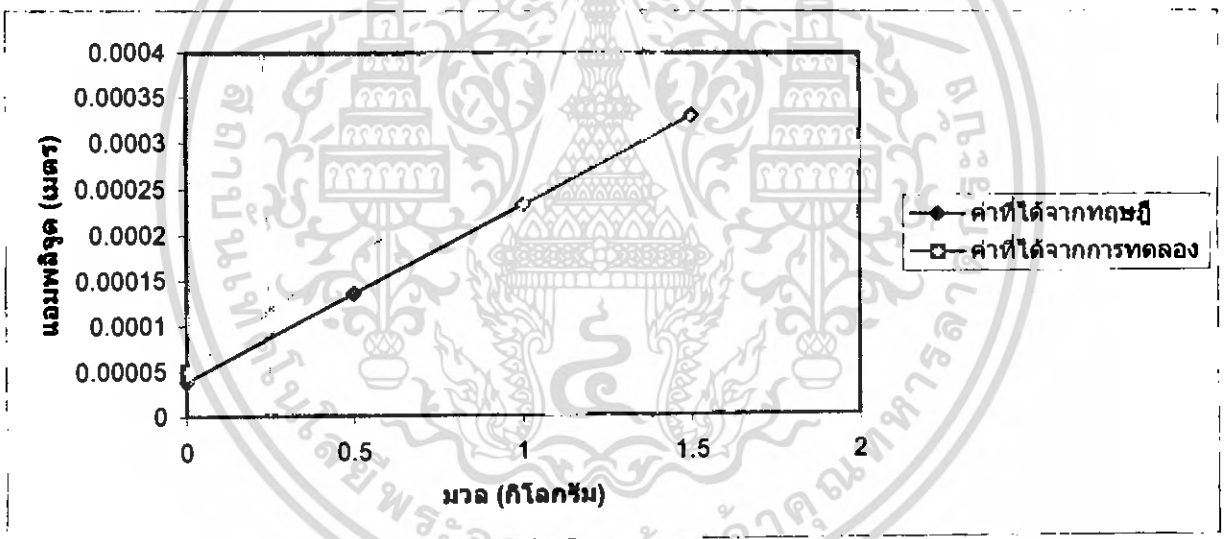
(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

หน่วย: เมตร



(b)

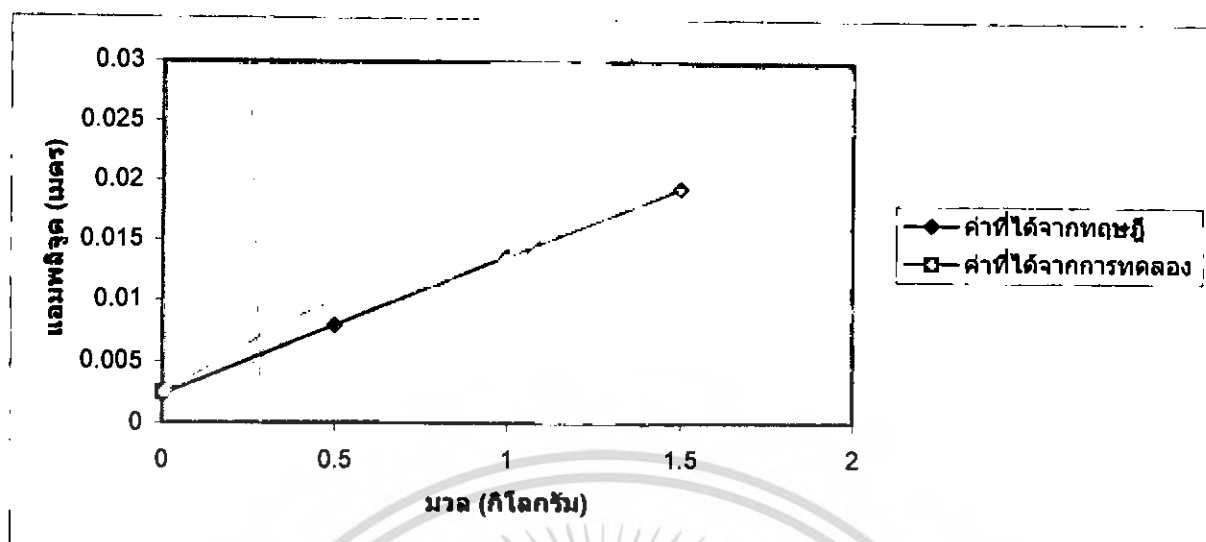
หน่วย: เมตร

กราฟที่ 5.29 แสดงค่าความสัมพันธ์ของมวลกับขนาดของแอมพลิจูดของการสั่นที่ความเร็ว 150 รอบต่อ นาทีของ สปริง-ตัวห่วงชุดที่สาม

(a) แกน X

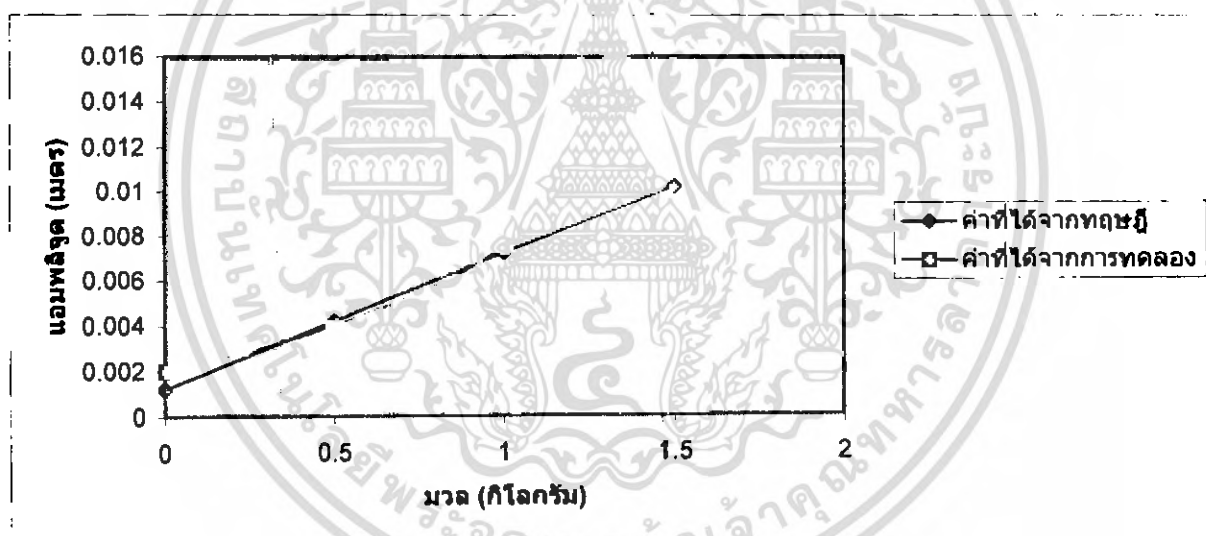
(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

หน่วย: เมตร



(b)

หน่วย: เมตร

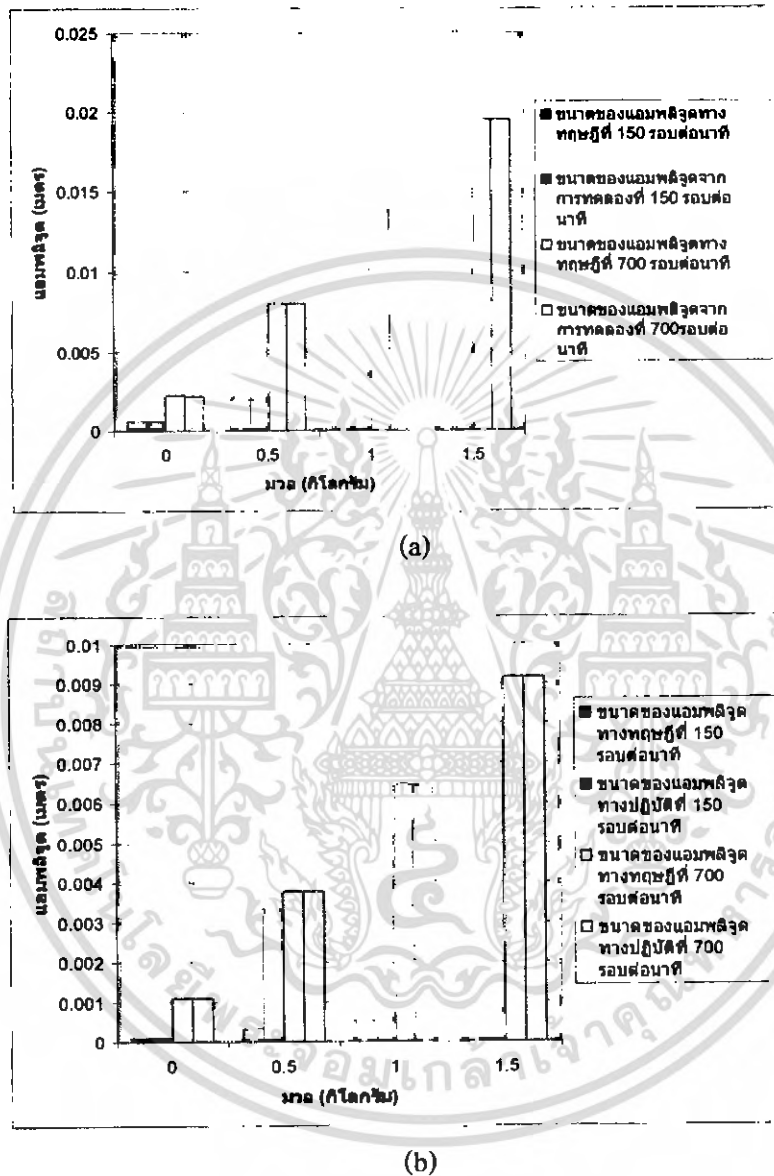
กราฟที่ 5.30 แสดงค่าความสัมพันธ์ของมวลกับขนาดของแอมพลิจูดของการสั่นที่ความเร็ว 700 รอบต่อ นาทีของ สปริง-ตัวห้อยวงซูดที่สาม

(a) แกน X

(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับขนาดของแอมพลิจูดของสปริง-ตัวหน่วงชุดที่หนึ่ง

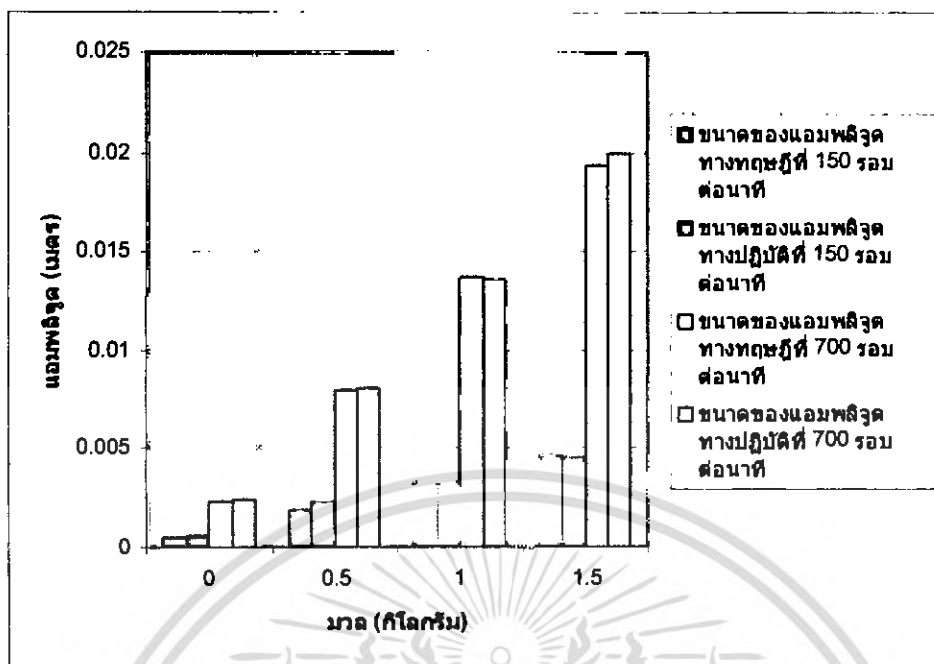


กราฟที่ 5.31 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับขนาดของแอมพลิจูดของสปริง-ตัวหน่วงชุดที่หนึ่ง

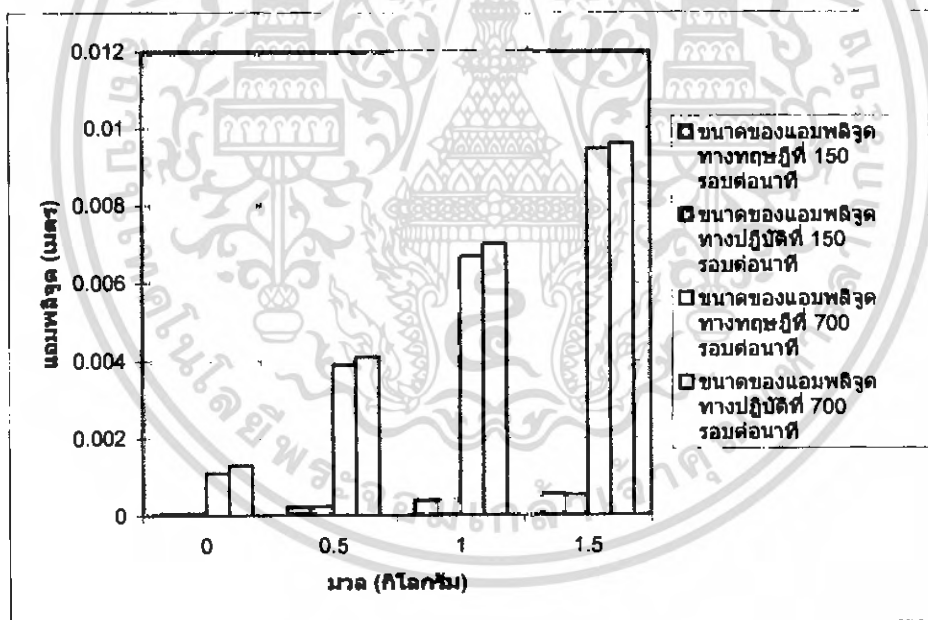
(a) แกน X

(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



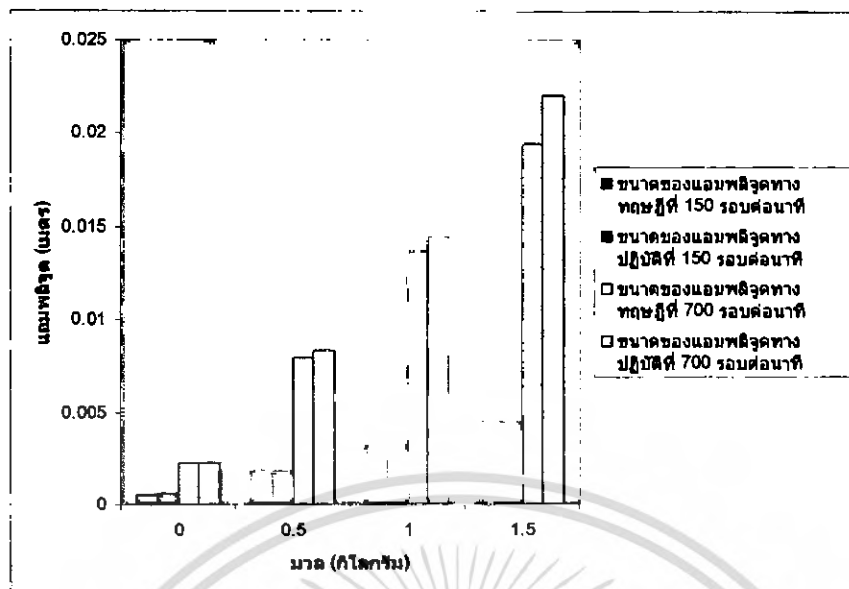
(b)

กราฟที่ 5.32 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับขนาดของแอมพลิจูดของสปริง-ค้ำน้ำหนักชุดที่สอง

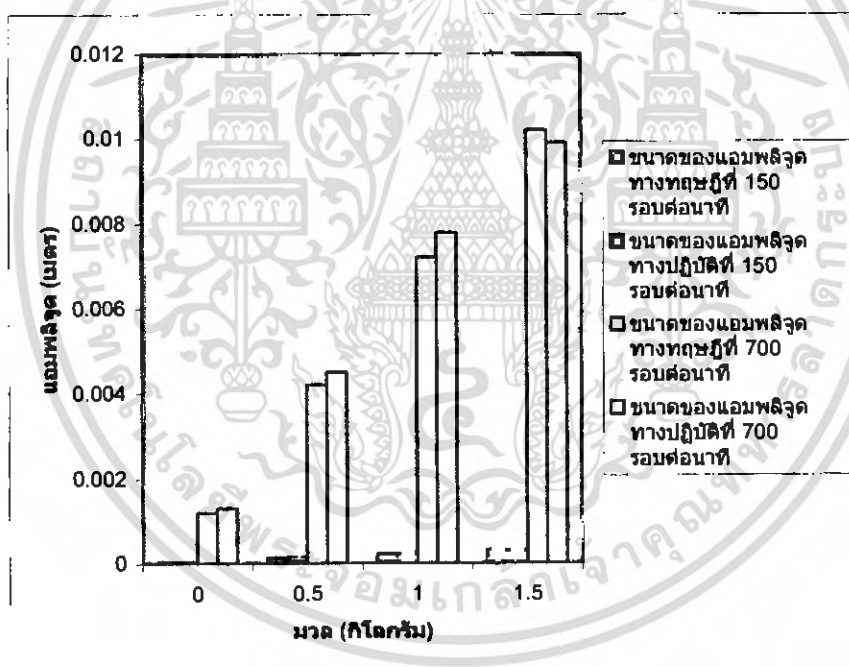
(a) แกน X

(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

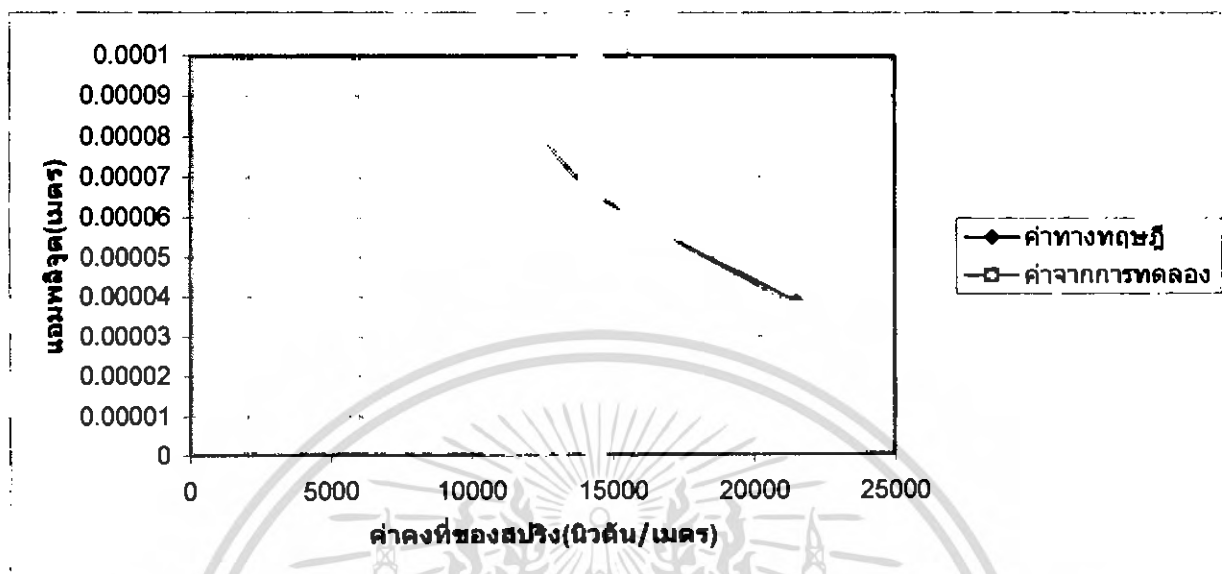
กราฟที่ 5.33 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับขนาดของแอมพลิจูดของสปริง-ตัวหน่วงชุดที่สาม

(a) แกน X

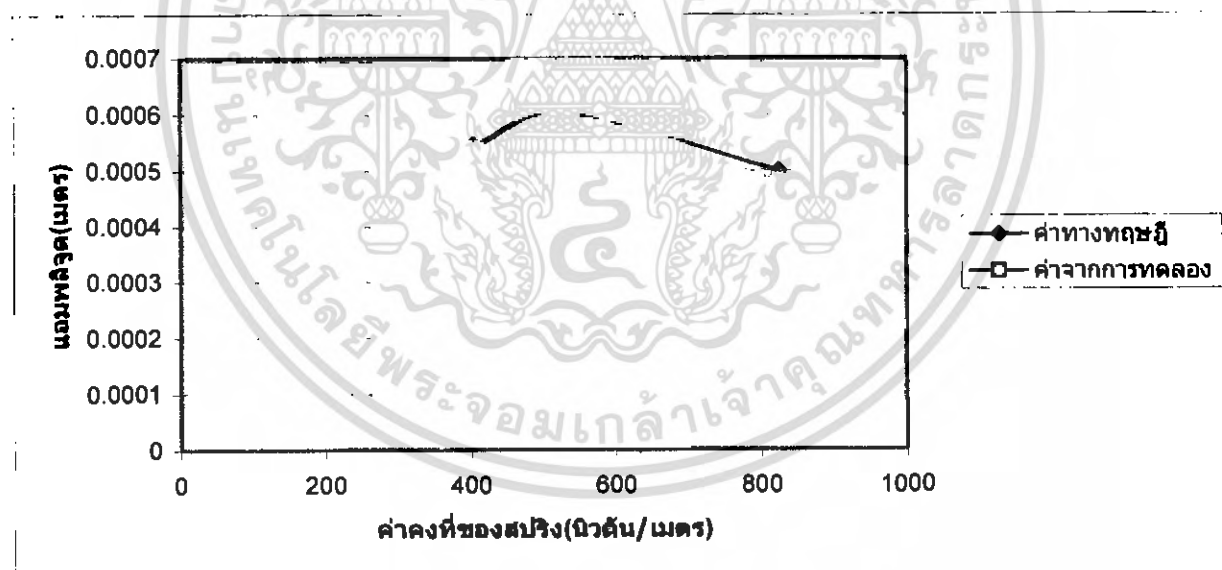
(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริง



(a)

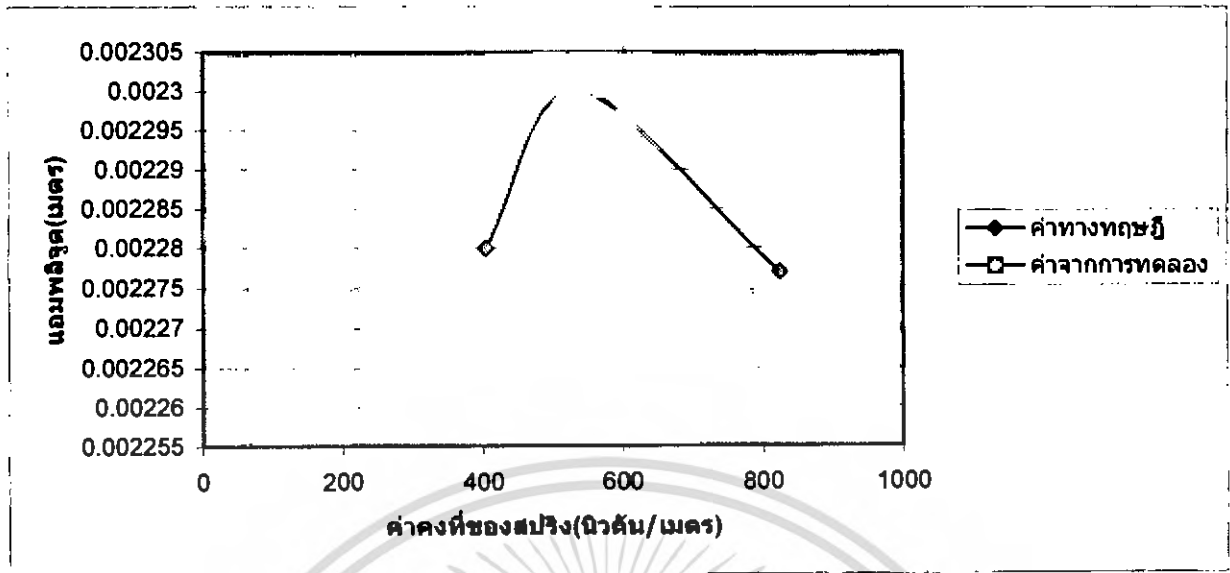


(b)

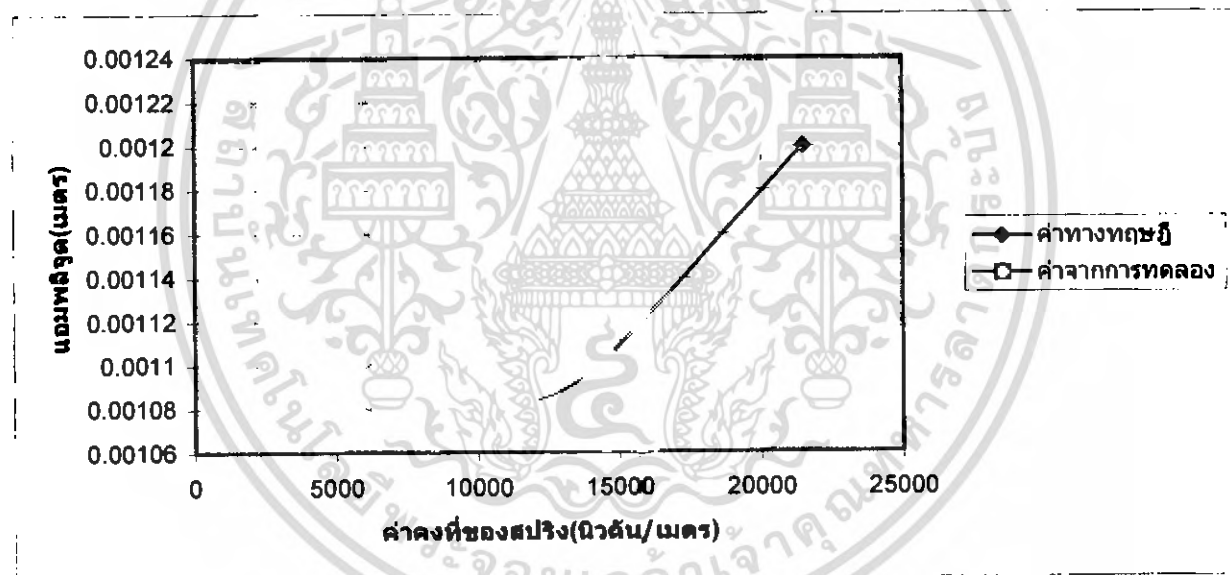
กราฟที่ 5.34 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริงเมื่อไม่ได้เพิ่มมวลที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

- a) แกน X
- b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



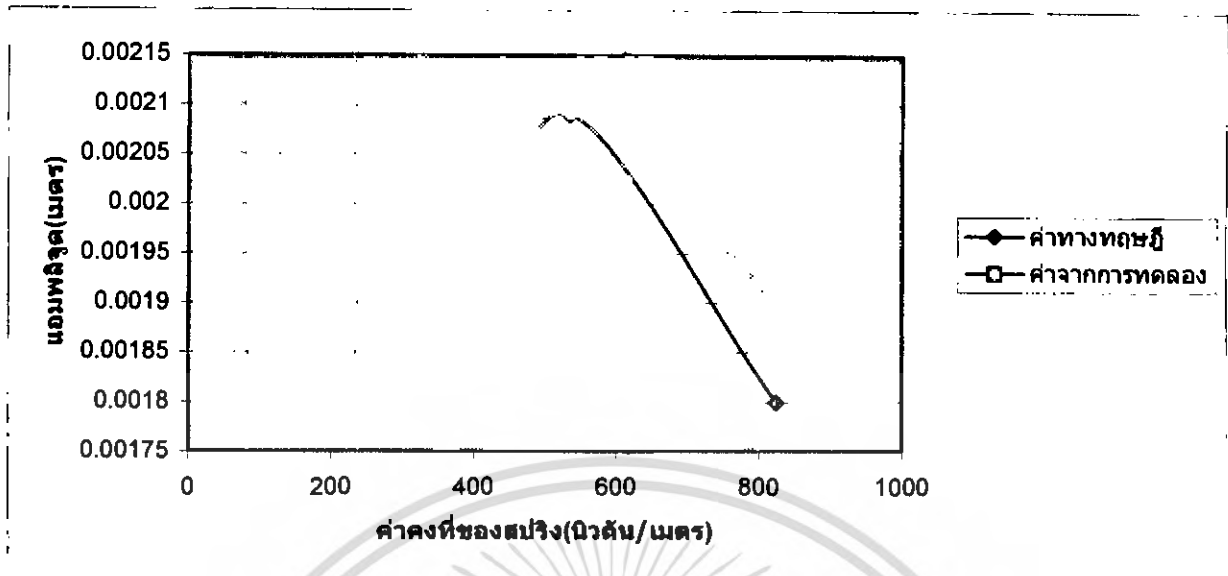
(b)

กราฟที่ 5.35 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริงเมื่อไม่ได้เพิ่มมวลที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

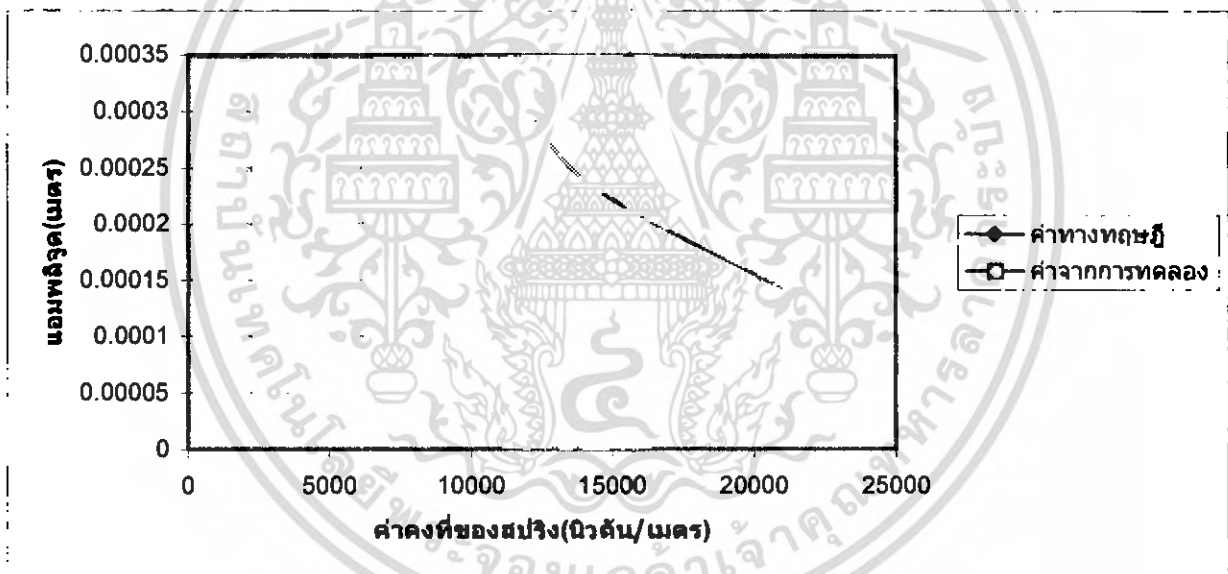
(a) แกน X

(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

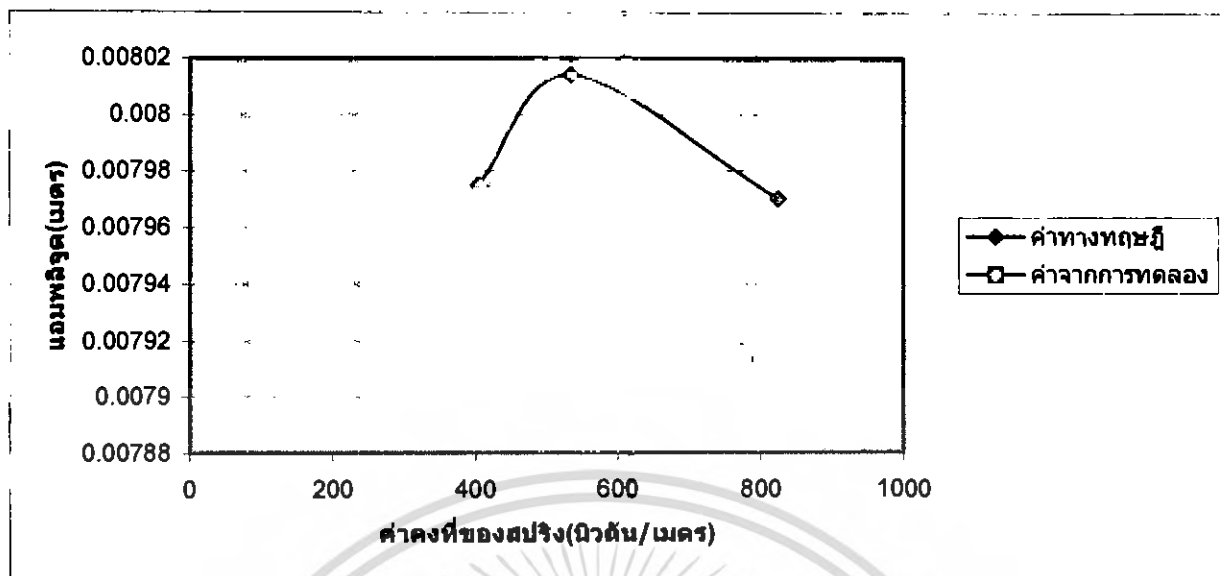


(b)

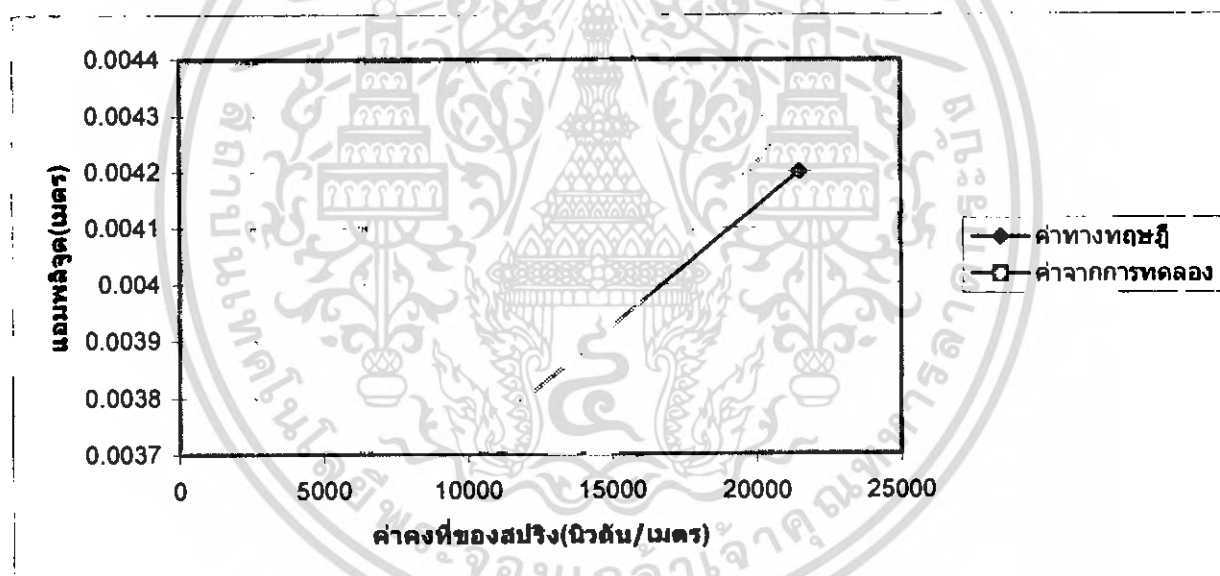
กราฟที่ 5.36 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริงเมื่อเพิ่มมวล 500 กรัม ที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

- (a) แกน X
- (b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



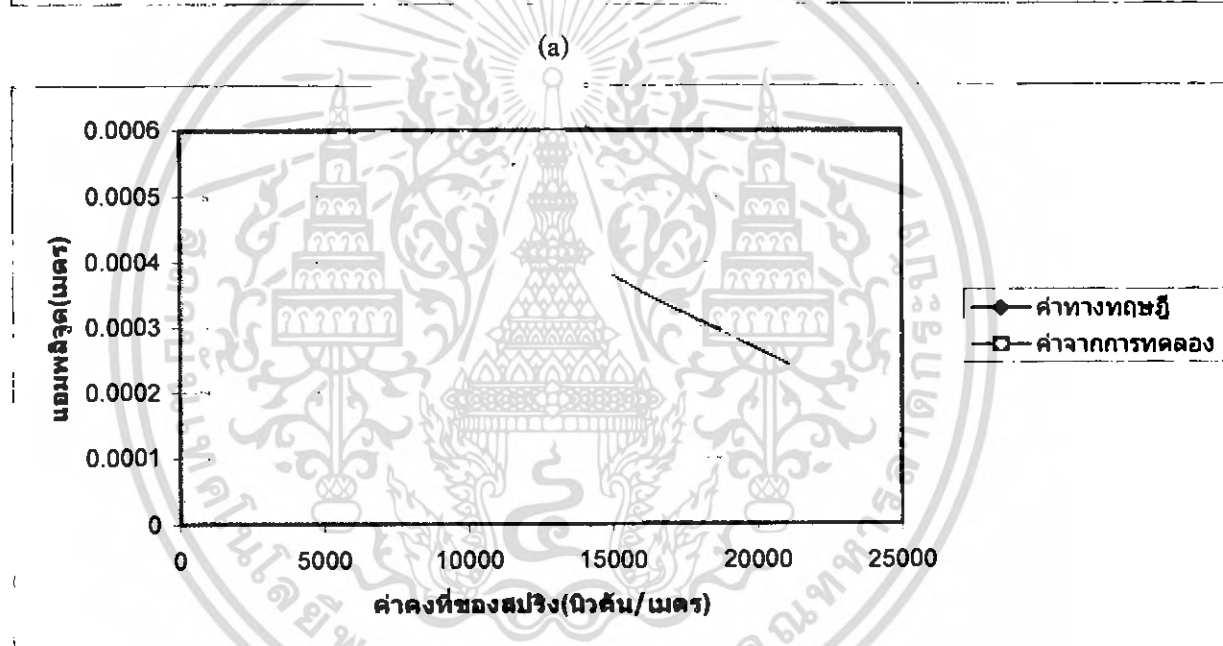
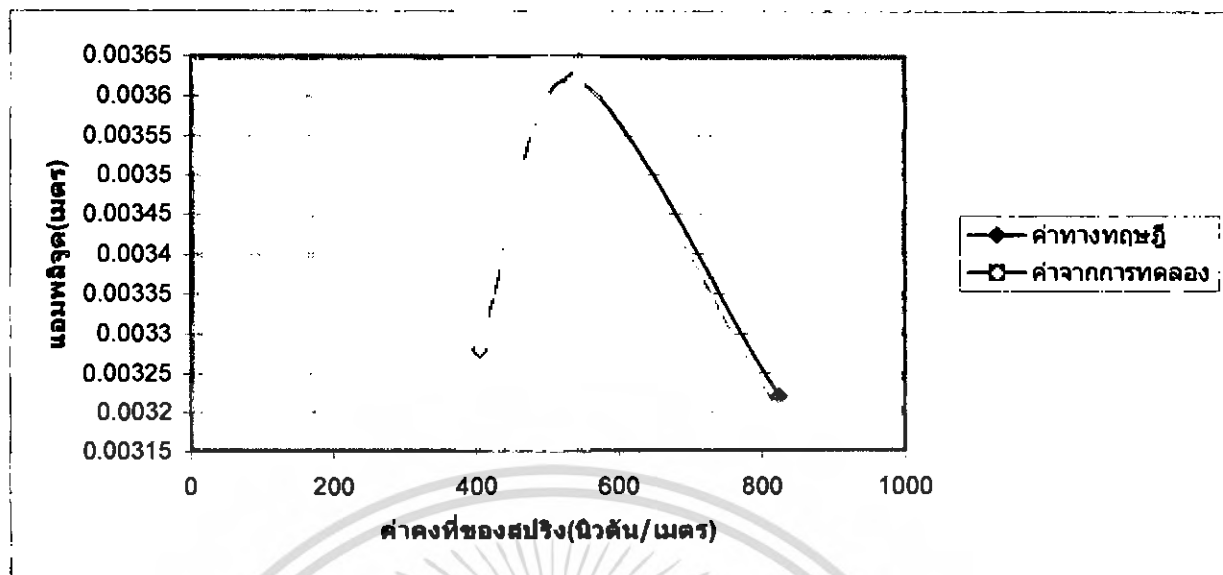
(b)

กราฟที่ 5.37 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริงเมื่อเพิ่มมวล 500 กรัม ที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

(a) แกน X

(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

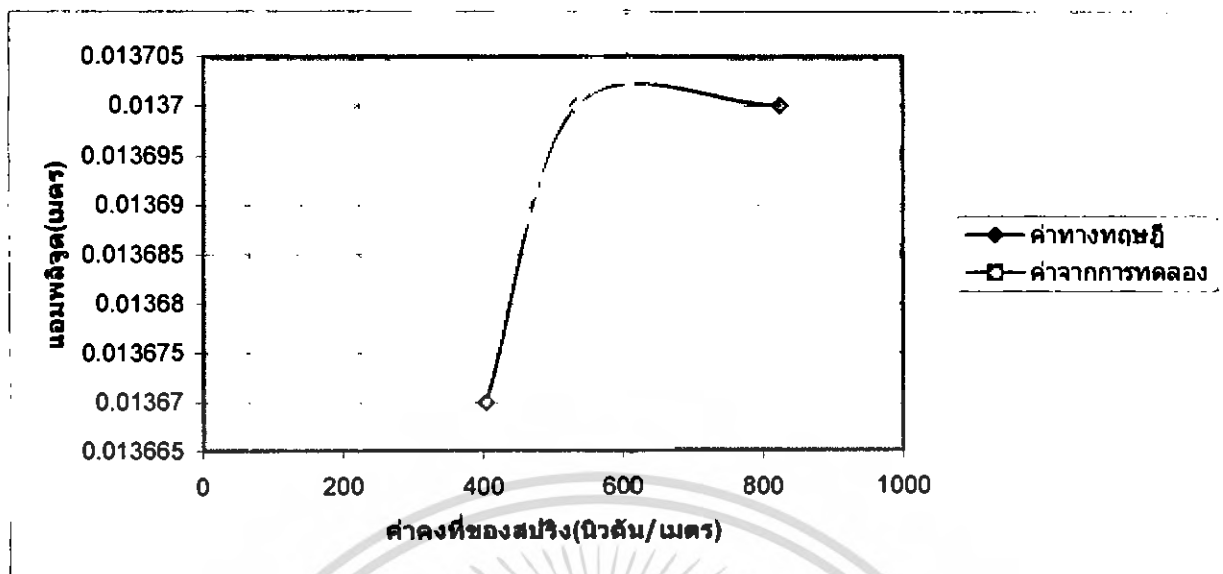


กราฟที่ 5.38 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริงเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัม ที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

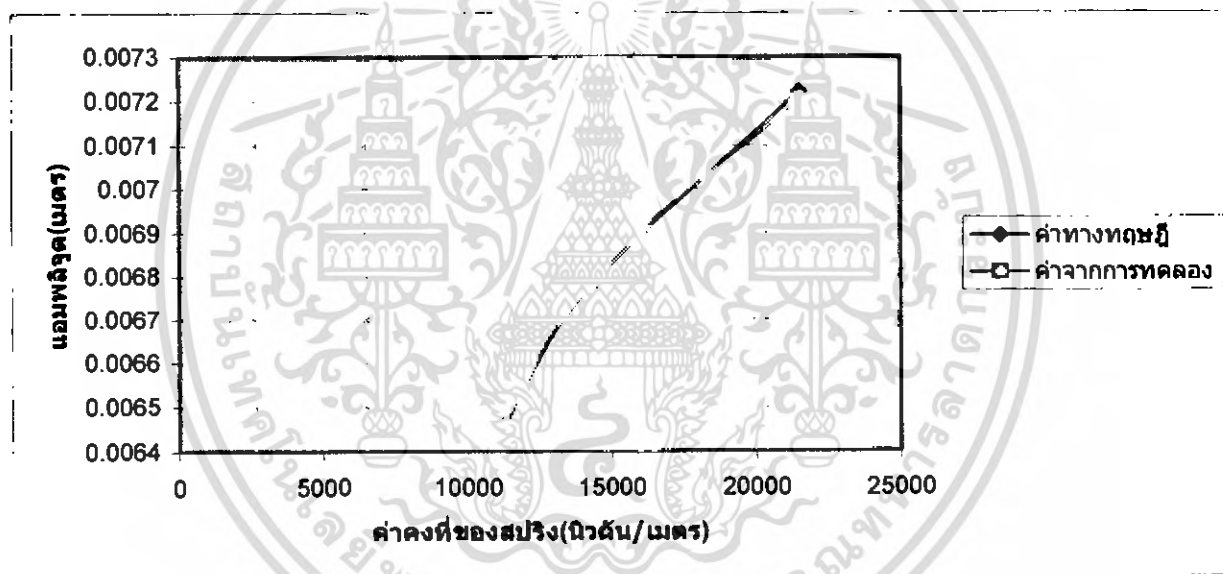
(a) แกน X

(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



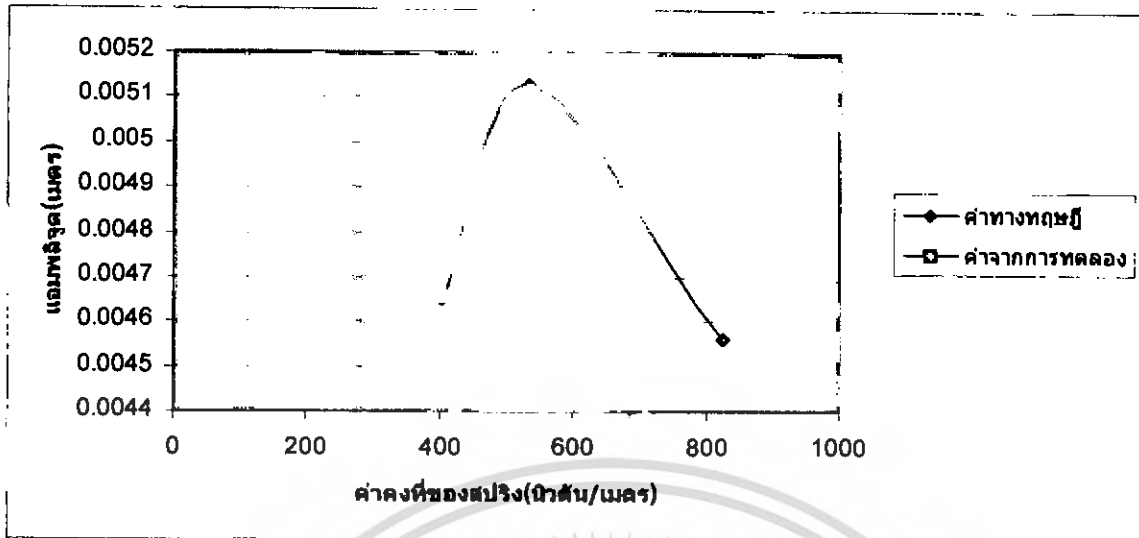
(b)

กราฟที่ 5.39 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริงเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัม ที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

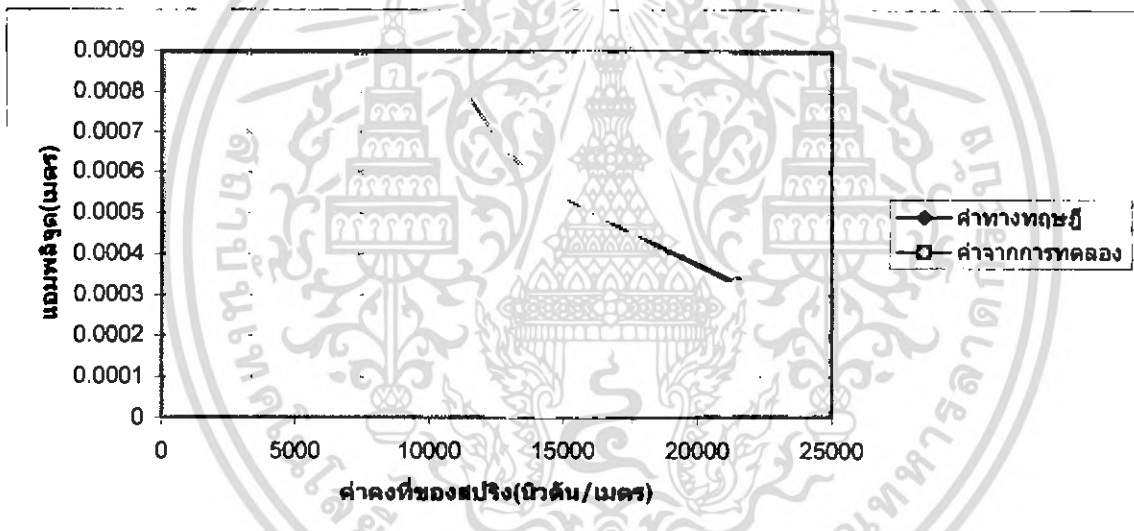
(a) แกน X

(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



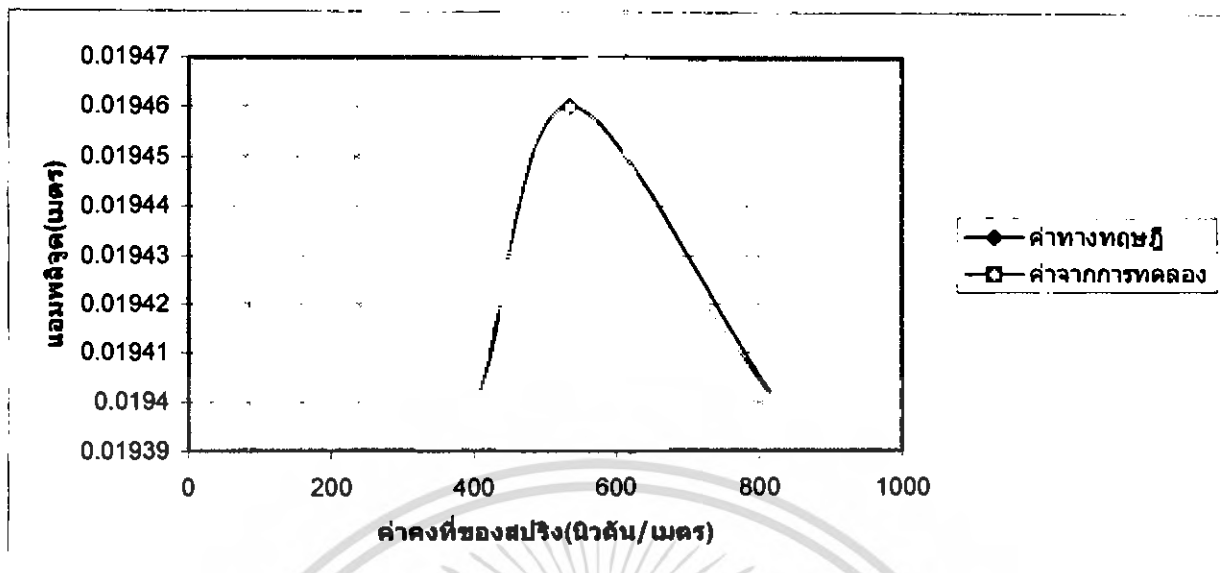
(b)

กราฟที่ 5.40 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริงเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัม ที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

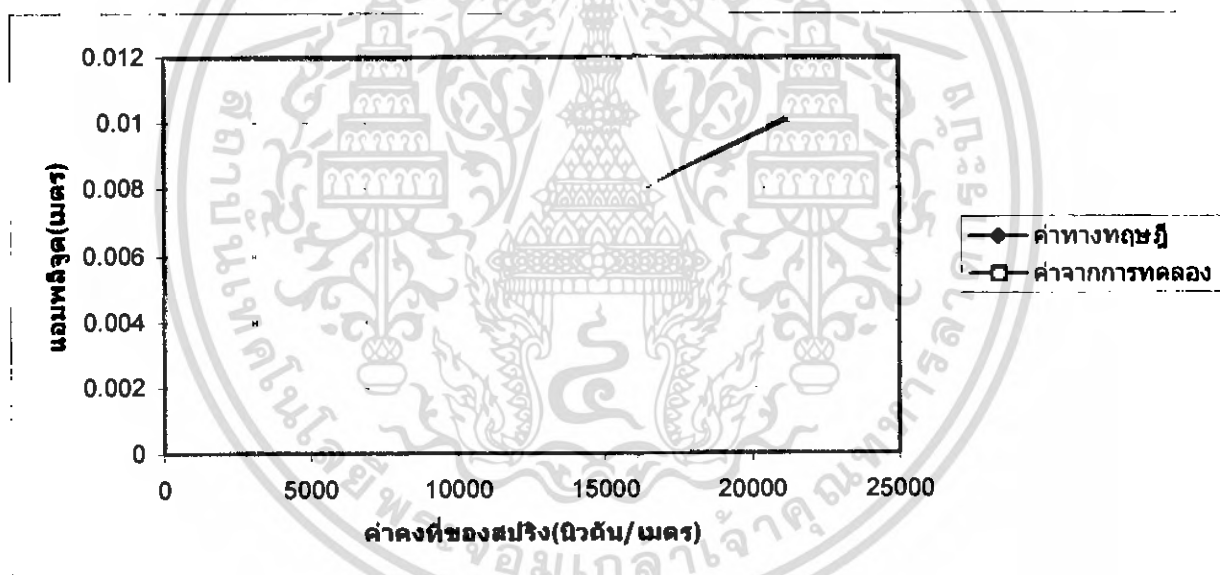
(a) แกน X

(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

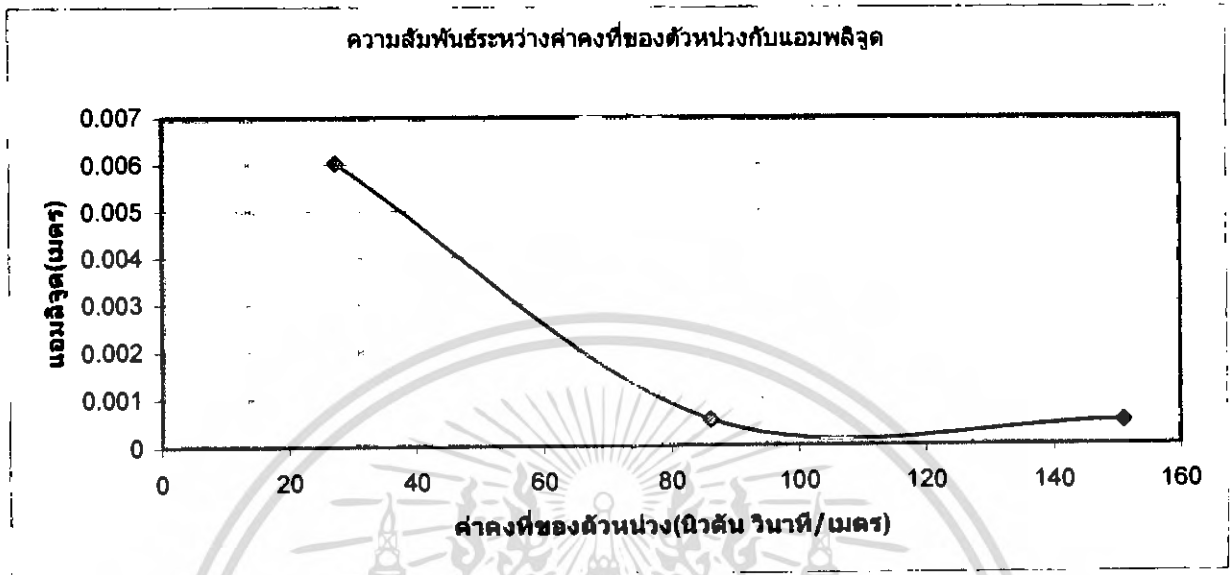
กราฟที่ 5.41 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของสปริงเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัม ที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

(a) แกน X

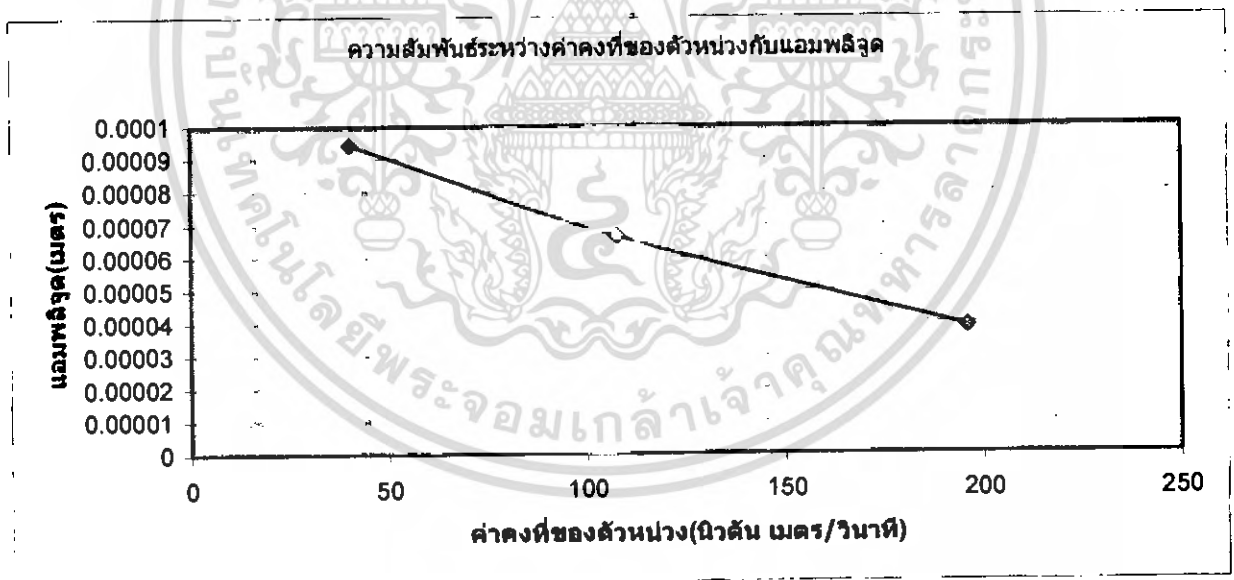
(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของตัวหน่วง



(a)



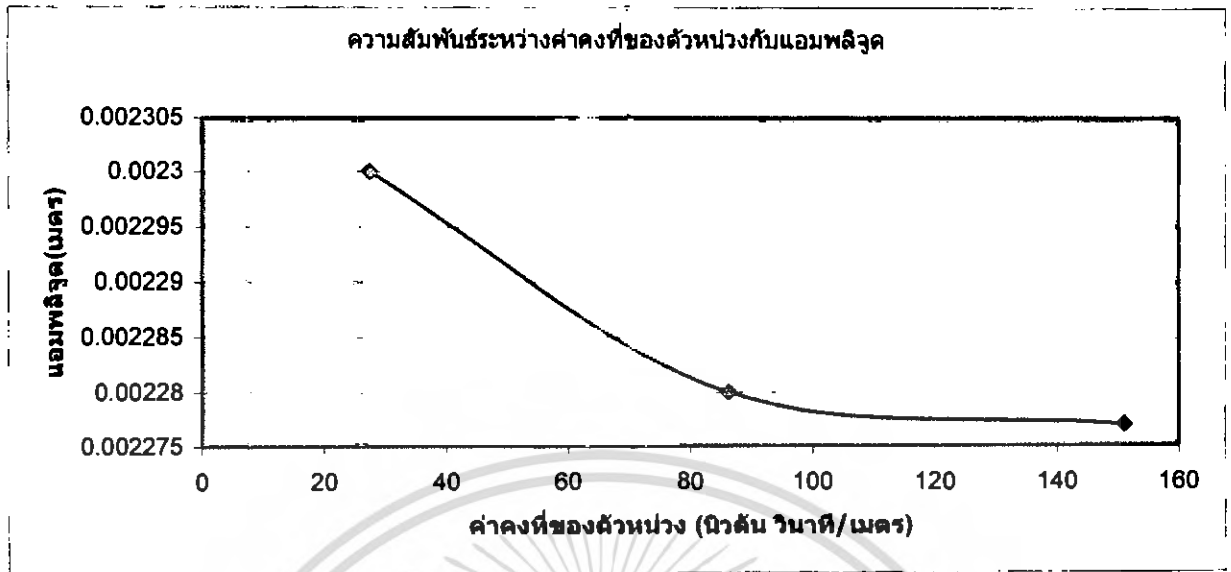
(b)

กราฟที่ 5.42 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของตัวหน่วงเมื่อไม่ได้เพิ่มมวลที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

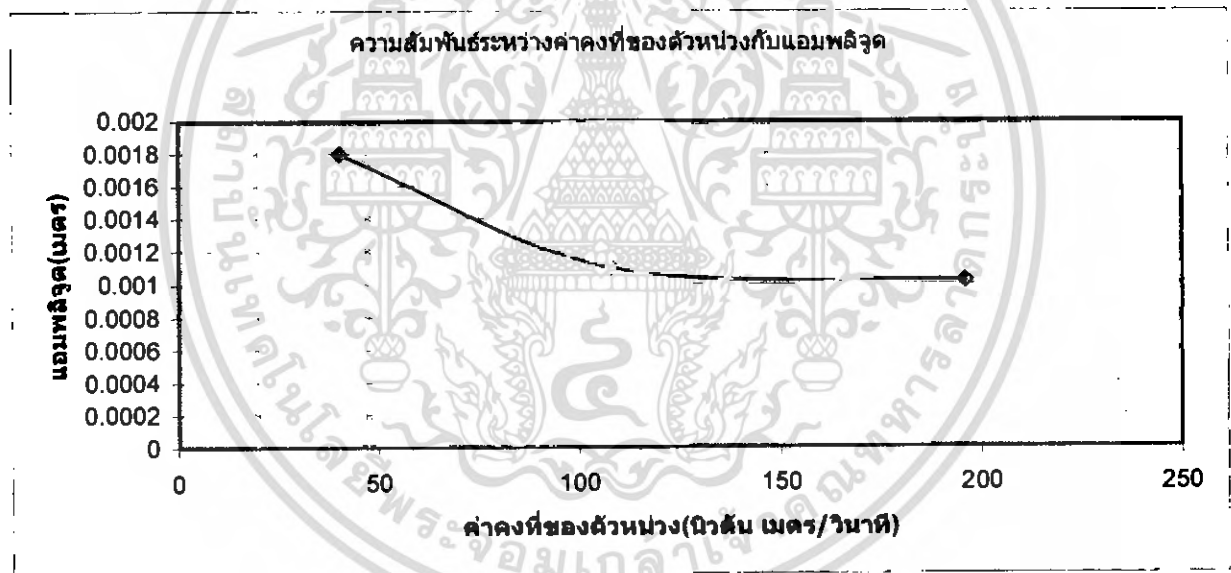
(a) แกน X

(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



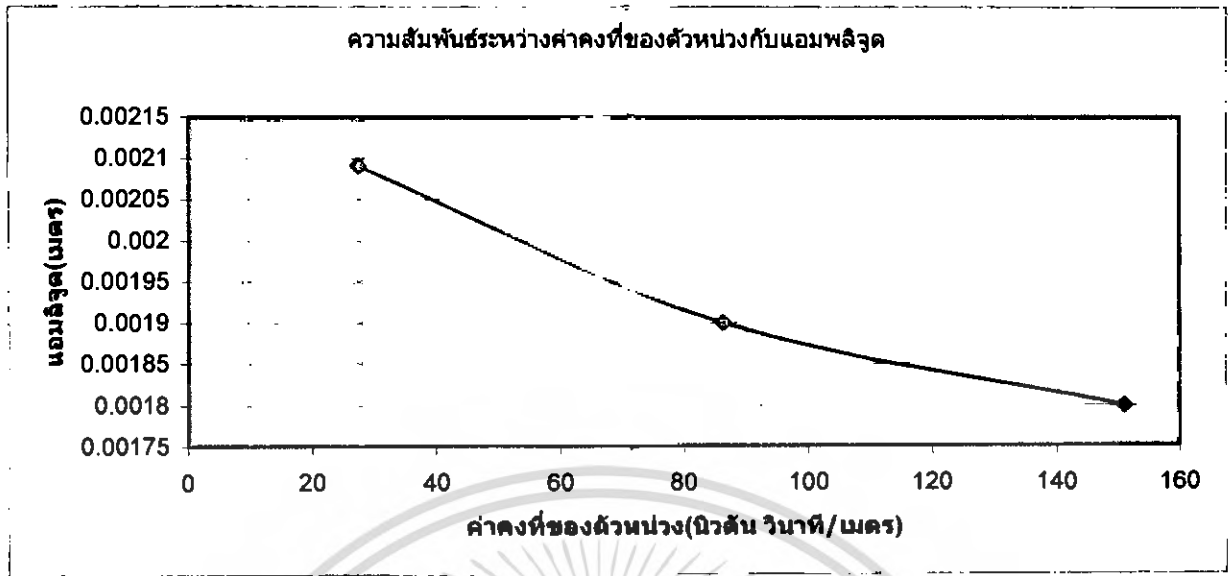
(b)

กราฟที่ 5.43 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของตัวหน่วงเมื่อไม่ได้เพิ่มมวลที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

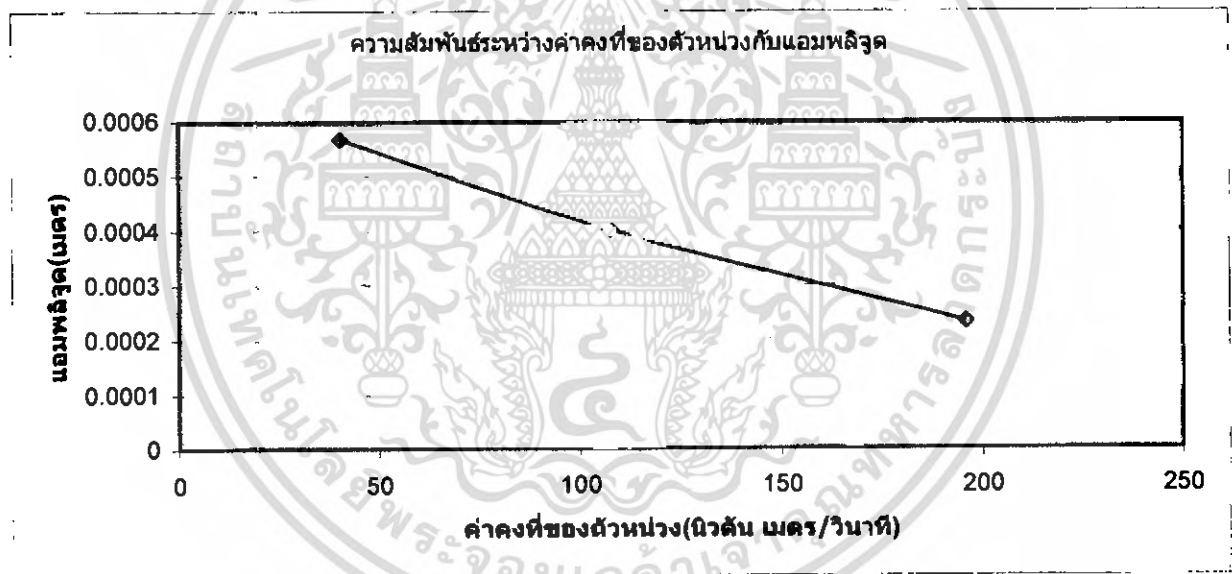
(a) แกน X

(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

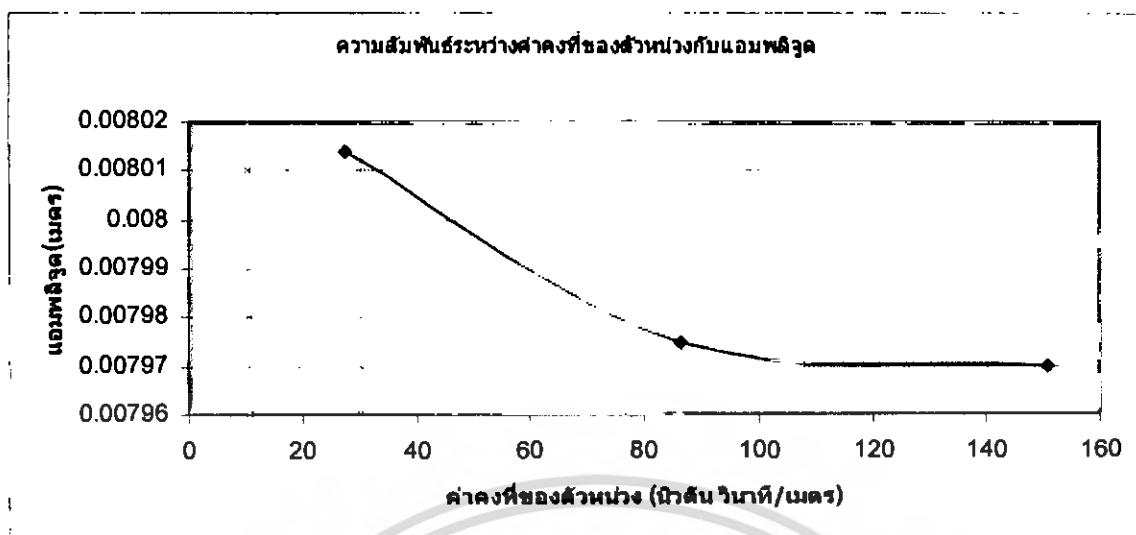


(b)

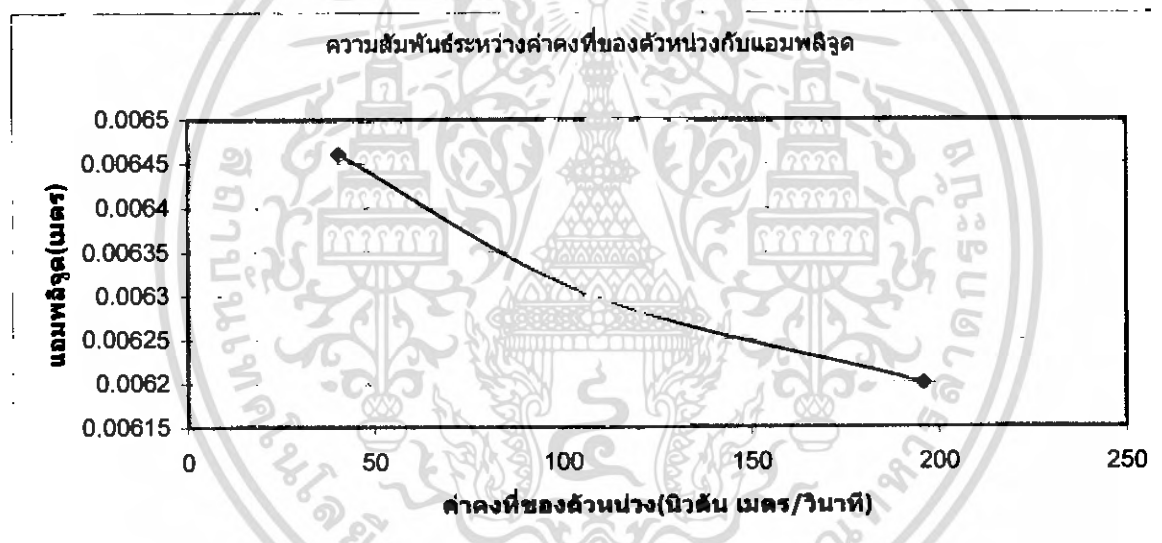
กราฟที่ 5.44 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงที่ของตัวหน่วงเมื่อเพิ่มมวล 500 กรัม ที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

- (a) แกน X
- (b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



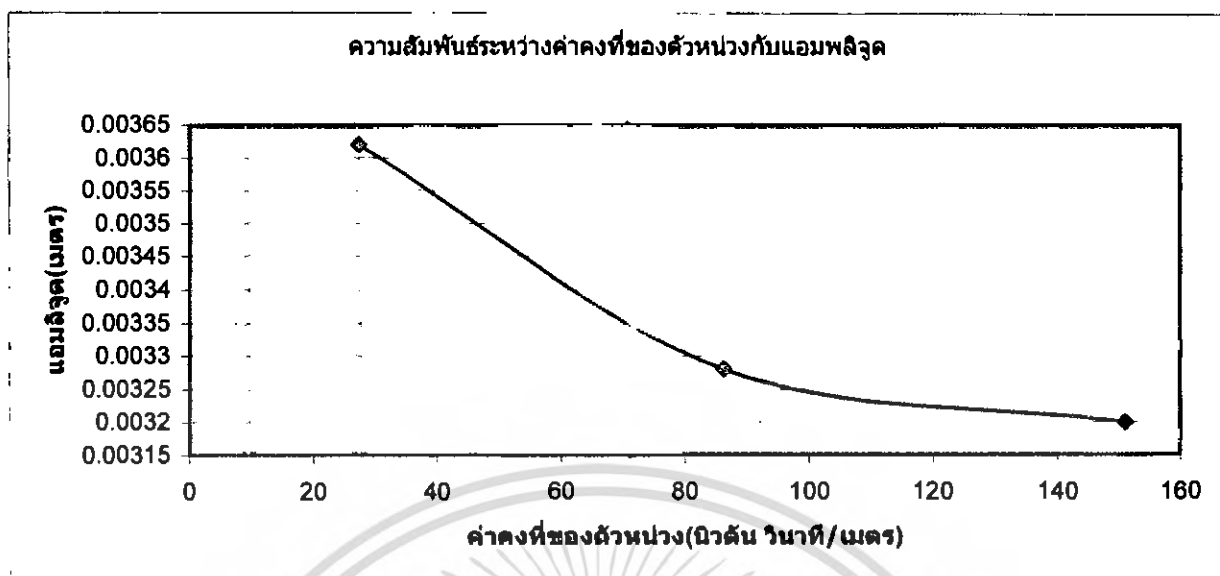
(b)

กราฟที่ 5.45 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของตัวหน่วงเมื่อเพิ่มมวล 500 กรัม ที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

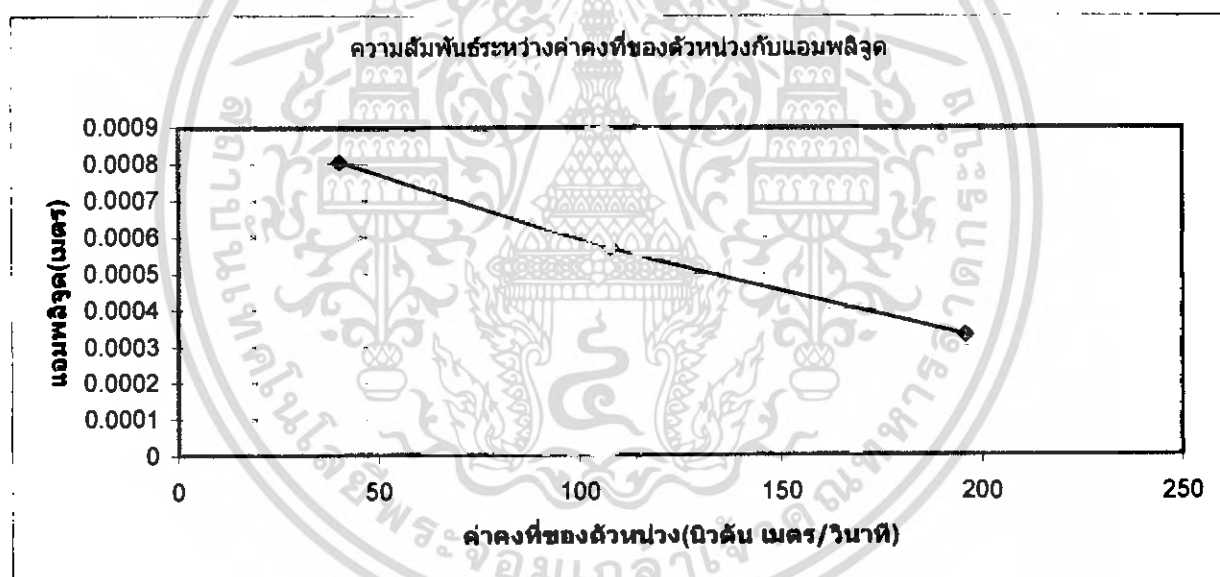
(a) แกน X

(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



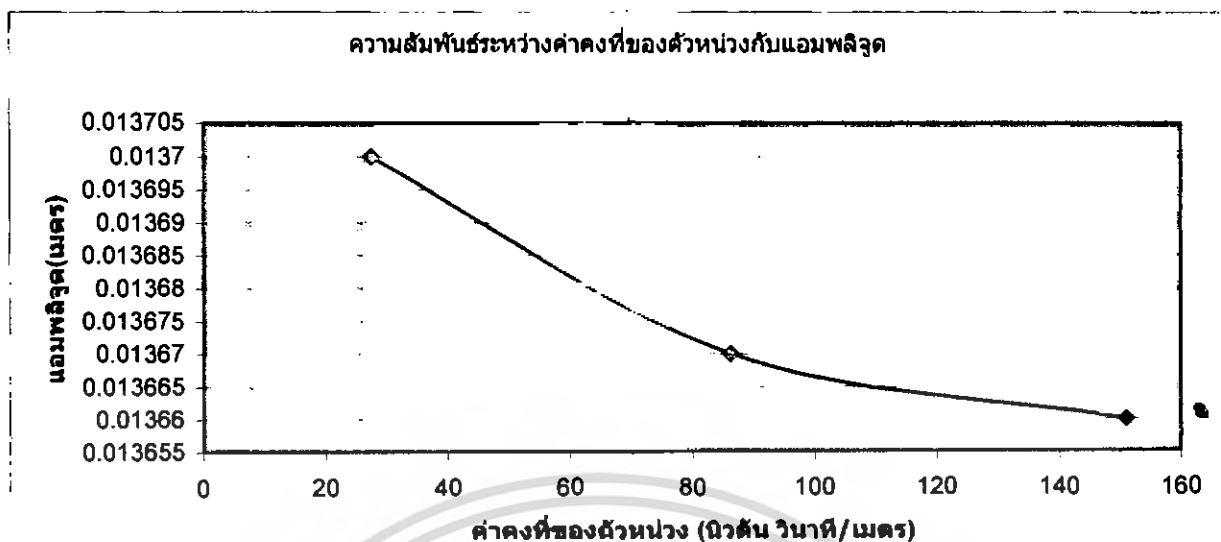
(b)

กราฟที่ 5.46 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของตัวหน่วงเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัม ที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

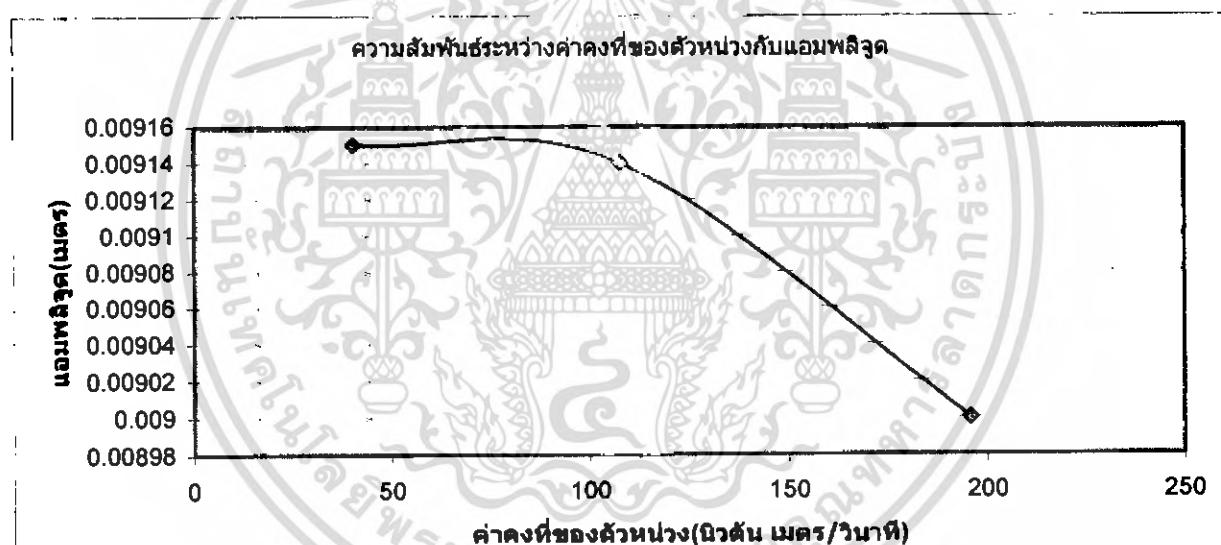
(a) แกน X

(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



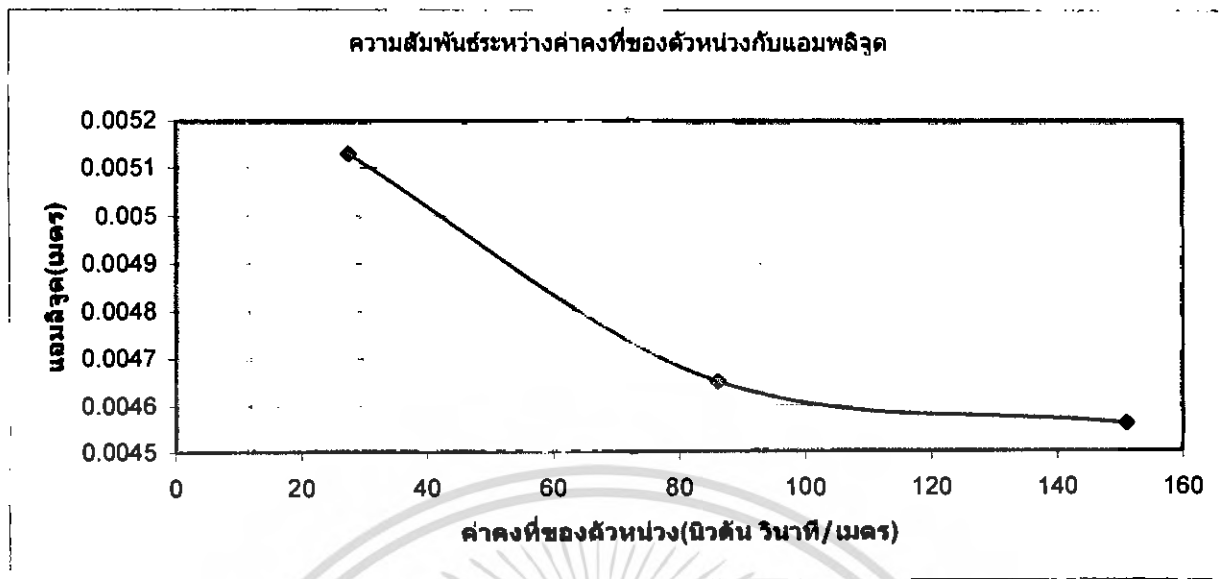
(b)

กราฟที่ 5.47 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของตัวหน่วงเมื่อเพิ่มมวล 1000 กรัม ที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

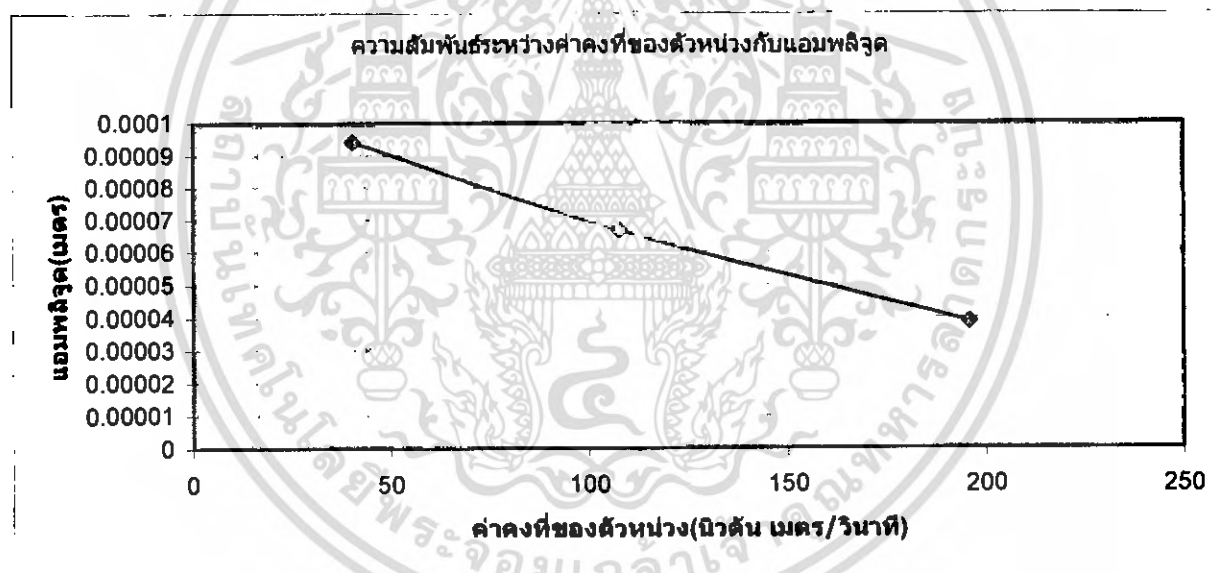
(a) แกน X

(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



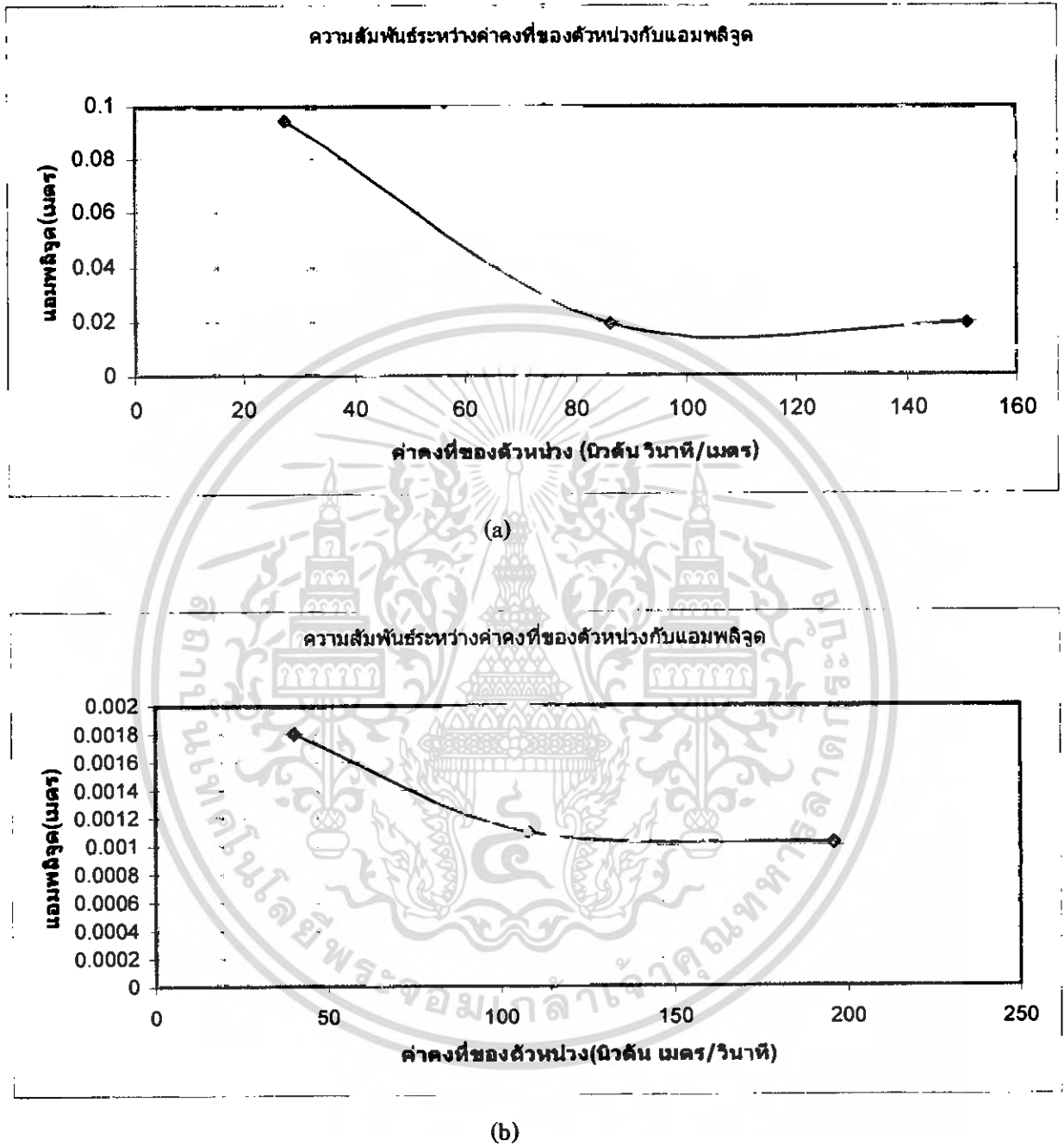
(b)

กราฟที่ 5.48 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงตัวของตัวหน่วงเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัม ที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

(a) แกน X

(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 5.49 แสดงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของการสั่นกับค่าคงที่ของตัวหน่วงเมื่อเพิ่มมวล 1500 กรัม ที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที

(a) แกน X

(b) แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามวลมีผลต่อการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้า กล่าวคือเมื่อเราเพิ่มมวลเข้าไปในระบบจะส่งผลให้มีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางการสั่นสะเทือนจึงมีมากขึ้นตามไปด้วย

ค่าคงที่ของสปริงมีผลต่อการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าคือเมื่อเราเพิ่มค่าคงที่ของสปริงจะเป็นการเพิ่มความถี่ธรรมชาติดังนั้นหากเครื่องจักรของเรามีการทำงานที่สอดคล้องกับความถี่ธรรมชาติเราสามารถลดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรได้ด้วยการเปลี่ยนค่าคงที่ของสปริง

ค่าคงที่ของของตัวหน่วงมีผลต่อการสั่นสะเทือนกล่าวคือเมื่อเราเพิ่มค่าคงที่ของความหน่วงเข้าไปในระบบจะทำให้ระบบมีการสั่นน้อยลง



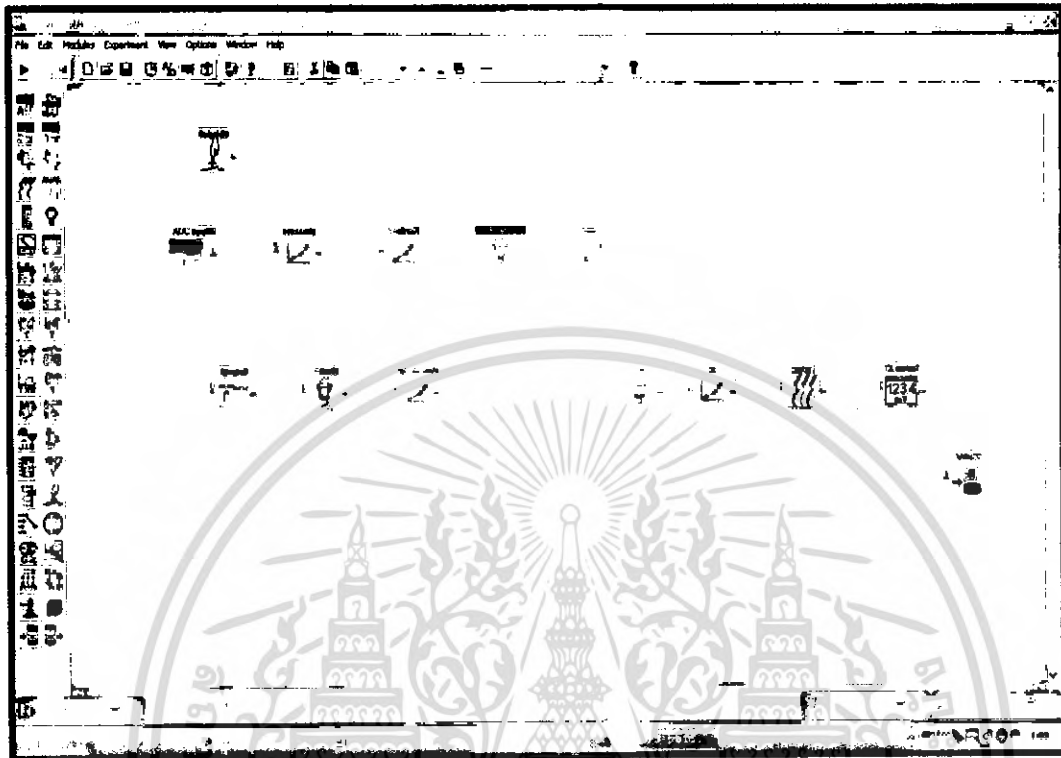
บรรณานุกรม

- [1] ก่อเกียรติ บุญชูสกุล, สมศักดิ์ ไชยภินันท์, ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ, “การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน: การเฝ้าตรวจและ การจัดการบำรุงรักษา” สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.
- [2] จำรูญ ตันติพิศาลกุล, “การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล”, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.
- [3] เศษ พุทธเจริญทอง, “การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 1996
- [5] Beer, F P., Johnson, “Vector Mechanical for Engineer, Dynamics”, McGraw-Hill, Singapore, 1990.
- [6] Meirovitch, L., “Element of Vibration Analysis”, McGraw-Hill Book Company, N.Y., 1990.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

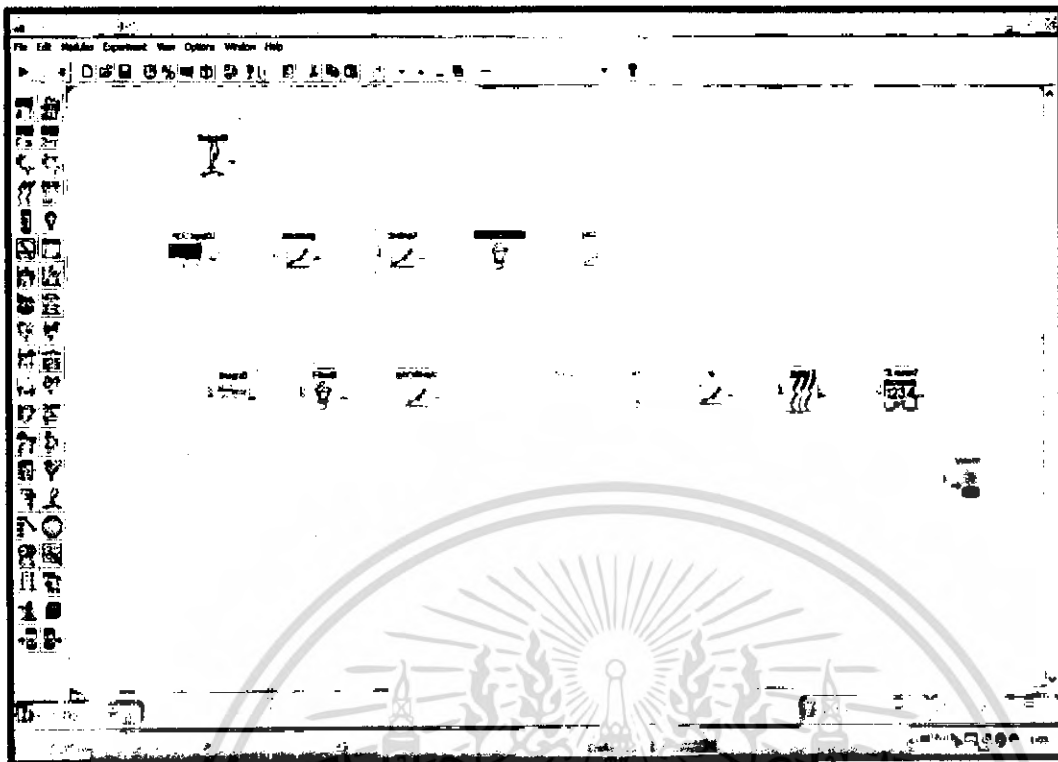
ภาคผนวก



แผนผังของโปรแกรม DASYS Lab สำหรับรับสัญญาณและวิเคราะห์ผลของโมดูลที่ใช้ในแผนผังโปรแกรม DASYS Lab

1. A/D module ทำหน้าที่รับสัญญาณมาจาก sensor โดยแปลงสัญญาณจาก Analog เป็น digital
2. Scaling module ทำหน้าที่ปรับค่าของสัญญาณให้แสดงอยู่ในรูปกราฟเส้นตรง
3. Sensitivity module ทำหน้าที่ปรับค่าสัญญาณและแปลงหน่วยของสัญญาณให้ถูกต้อง
4. Filter module ทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวนออก
5. Integration module ทำหน้าที่ integrate สัญญาณ
6. Y/T module ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ได้ออกมาเป็นกราฟ
7. Recorder module ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ได้ออกมาเป็นกราฟหน้าจอ oscilloscope
8. meter module ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ได้ออกมาเป็นตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การทำงานของโปรแกรม DASYLab

1. A/D รับสัญญาณมาจาก sensors ในหน่วย volt
2. แล้วนำสัญญาณมาปรับค่า sensitivity ของ sensor ที่ Sensitivity module
3. นำสัญญาณที่ได้มาผ่าน Scaling module เพื่อแปลงหน่วย volt เป็น g และทำกราฟเป็นเส้นตรง
4. นำค่าสัญญาณที่ได้มาผ่าน Filter module เพื่อกรองสัญญาณรบกวนออก โดยที่ดึงความถี่ที่สูงกว่า 10 Hz สามารถผ่านได้
5. หลังจากสัญญาณที่ผ่าน Filter module นำมาแปลงหน่วยจาก g เป็นหน่วย m/s^2 ใน Scaling module
6. นำสัญญาณที่ได้มาเข้า Integration module เพื่อ integrate สัญญาณจากความเร่งเป็นความเร็ว
7. แล้วนำค่าสัญญาณที่ได้มาผ่าน Filter module เพื่อกรองสัญญาณรบกวนออก โดยที่ดึงความถี่ที่สูงกว่า 10 Hz สามารถผ่านได้อีกครั้งหนึ่ง
11. นำสัญญาณที่ได้มาเข้า Integration module เพื่อ Integrate สัญญาณจากความเร็วเป็นระยะการขจัด
12. แล้วนำสัญญาณมาเข้า Filter module เพื่อกรองสัญญาณรบกวนออก โดยที่ดึงความถี่ที่สูงกว่า 10 Hz สามารถผ่านได้อีกครั้งหนึ่ง
13. สัญญาณที่ผ่าน Filter module นำมาปรับค่าให้อยู่ให้อยู่ในรูปกราฟเส้นตรงใน Scaling Module
14. นำสัญญาณมาเข้า Recorder module เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาแล้วนำสัญญาณมาเข้า Meter module เพื่อแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้