

การศึกษาพฤติกรรมการสั่นของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนเพื่อลดการสั่นสะเทือน

VIBRATION BEHAVIOR ANALYSIS OF TOP LOAD WASHING MACHINE
FOR VIBRATION REDUCTION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VIBRATION BEHAVIOR ANALYSIS OF TOP LOAD WASHING MACHINE
FOR VIBRATION REDUCTION



Thanadol Mongkhonkamjornkul
Nuttapon Juisup
Muangnon Rotchanaphongsathaphon

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมการสั่นของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนเพื่อลดการสั่นสะเทือน
VIBRATION BEHAVIOR ANALYSIS OF TOP LOAD WASHING MACHINE FOR
VIBRATION REDUCTION

ผู้จัดทำ

1. นาย ชนดล มงคลกำจรกุล รหัสประจำตัว 53010619
2. นาย นัฐพล จัยทรัพย์ รหัสประจำตัว 53010829
3. นาย เมืองนนท์ โรจนพงศ์สถาพร รหัสประจำตัว 53011314



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เตไปวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาพฤติกรรมการสั่นของเครื่องชักผ้าชนิดผ้าบนผ้าบนเพื่อลดการสั่นสะเทือน

นาย ชนดล มงคลกำจรกุล 53010619
นาย นัฐพล จุ้ยทรัพย์ 53010829
นาย เมืองนนท์ โรจนพงศ์สถาพร 53011314
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เดไปวา อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของเครื่องชักผ้าชนิดผ้าบนที่สภาวะปั่นแหว่งซึ่งมีการสั่นสะเทือนสูงสุดในเงื่อนไขที่ไม่มีมวล และ ในเงื่อนไขที่มีมวล 1.2 กิโลกรัม ขนาดสั่นสะเทือน และ ความถี่ธรรมชาติ จะถูกคำนวณด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลข ผลที่ได้จากการจำลองทางคณิตศาสตร์จะถูกนำมาเปรียบเทียบ กับ ผลการวัดที่ใช้เครื่องมือวัดความเร่งกับชักผ้าผ้าบนควบคุม พบว่าความเร่ง RMS ในระนาบ X และ Z มีค่ามากกว่าแกน Y ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพิจารณาความค่าความเร่งในระนาบ XZ เท่านั้น จากการเปรียบเทียบความเร่ง RMS ในระนาบ XZ จากการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข กับ ความเร่ง RMS ในระนาบ XZ จากการวัด ได้ผลจากการเปรียบเทียบในเงื่อนไขที่ไม่มีมวลมีความแตกต่างกัน $\pm 1.12\%$ และ ในเงื่อนไขที่มีมวล 1.2 กิโลกรัม มีความแตกต่างกัน $\pm 6.38\%$ และจากการศึกษาแบบจำลองเชิงตัวเลขนั้นพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการสั่นสะเทือนของเครื่องชักผ้าคือ มวลตัวทำสมดุล มวลตะกร้าใส่ผ้า มวลของถัง สัมประสิทธิ์ตัวหน่วงในแขนรับแรง มวลสำหรับใส่ตัวทำสมดุลของเหลว และ สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของสปริงในแขนรับแรง จึงได้ทำการออกแบบค่าปัจจัยต่างๆที่สามารถลดการสั่นสะเทือนของเครื่องชักผ้าด้วยวิธีการแบบ exhaustive search ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบได้แก่ มวลถ่วง ค่านิจของสปริง ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวหน่วง มวลของตะกร้า มวลของถัง และมวลสำหรับใส่ตัวทำสมดุลของเหลว จากการศึกษาพบว่าค่านิจของสปริงในช่วงที่กำหนดมีผลต่อความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ น้อยมาก โดยมวลถ่วงขนาด 2 กิโลกรัม ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวหน่วงเท่ากับ 1.2 N-s/mm มวลของตะกร้าใส่ผ้าขนาด 1.95 กิโลกรัม มวลของถังขนาด 2.5 กิโลกรัม และมวลสำหรับใส่ตัวทำสมดุลของเหลวขนาด 2.65 กิโลกรัม นั้นจะสามารถลดความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ ของเครื่องชักผ้าในสภาวะปั่นแหว่งได้ 45.19%

VIBRATION BEHAVIOR ANALYSIS OF TOP LOAD WASHING MACHINE FOR VIBRATION
REDUCTION

Thanadol Mongkhonkamjornkul	53010619
Nuttapon Juisup	53010829
Muangnon Rotchanaphongsathaphon	53011314
Asst.Prof.Dr. Nattawoot depaiwa	advisor
Year 2556	

Abstract

This thesis presents a numerical simulation to study the motion of the top loading machine on the spinning mode, which has the highest vibration in the condition without mass and in terms of mass 1.2 kilogram. The vibration and natural frequency are calculated by numerical simulation. The results of the mathematic model will be compared with the results of the accelerometer to control the top loading washing machine. Find the RMS accelerated in X axis and Z axis are greater than Y axis. Therefore this thesis is determined only XZ-plane acceleration. Compare the RMS acceleration in XZ-plane by the mathematic model and the RMS acceleration in XZ-plane by the measurement. The result of this comparison in terms of the mass difference is $\pm 1.12\%$ and in terms of mass 1.2 kg with a difference of $\pm 6.38\%$, and the study of the numerical simulation, the factors affect to the magnitude of the vibration to the washing machine are the balancing mass, mass of the basket, mass of the tub, mass of the basket, coefficient of the spring arm strength, coefficient of the damper arm strength and Mass of balancer case (Exclude salt water). So we study the effect of these parameter on acceleration in the XZ-plane of the washing machine in the spinning mode and found that the effect of coefficient of spring on acceleration in the XZ-plane of the washing machine in the spinning mode is a little value. Lastly, the balancing mass, mass of the basket, mass of the tub, mass of the basket, coefficient of the damper arm strength and mass of balancer case (Exclude salt water) were optimized by exhaustive search principle in order to reduce vibration. The results of the parameter values from optimization are as follow: 2 kg of balancing mass, 1.95 kg of mass of the basket, 2.5

kg of mass of the tub, 1.2 N-s/mm of damper coefficient and 2.65 kg of mass of balancer case (Exclude salt water).

The average acceleration in the XZ plane was reduce by 45.19% after the optimization



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี โดยมี ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เตไปวา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาได้ให้คำแนะนำ สั่งสอน และเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาลดเวลาในการทำวิจัย ผู้เขียนขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ และขอขอบคุณ พี่ๆ และน้องๆ รวมถึงเจ้าหน้าที่ของสาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ทุกคนที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำดีๆ ในการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท ชัมซุง อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความสนับสนุนในด้านข้อมูลที่ใช้ในการทำวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

คุณค่าและประโยชน์ใดๆ อันเกิดจากงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชاندล มงคลกำจรกุล
นิธิพล จุ้ยทรัพย์
เมื่อนนท์ โรจนพงศ์สถาพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เนื้อหา	
บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสันสะเทือนของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนในแกน X, Y และ Z ที่ตำแหน่งต่างๆในขั้นตอนการปั่นแห้ง.....	3
1.2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการสันสะเทือนของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนที่สามารถ ลดสันสะเทือนและลดความถี่ธรรมชาติของไม่ให้เกิดการกำทอนซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งาน ของเครื่องซักผ้า.....	3
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.5.1 การคำนวณการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนด้วยโปรแกรม MSC ADAMS เพื่อ ช่วยในการวิเคราะห์ในรูปแบบ 3 มิติ.....	4
1.5.2 ในการศึกษาลักษณะการสันสะเทือนของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนได้ทำการใช้มวล ทดลอง 1.2 กิโลกรัม แทนมวลของผ้าที่ใช้ในการซัก.....	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.3	ศึกษาลักษณะการสันสะเทือนในช่วงความเร็วรอบคงที่ของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนในสภาวะปั่นแห้ง โดยเครื่องซักผ้ารุ่น WA85G5 ควบคุมในแกน X Y Z.....	4
1.5.4	ศึกษาอิทธิพลของค่าปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการสันสะเทือนที่เกิดขึ้นกับเครื่องซักผ้าในสภาวะปั่นแห้งด้วยโปรแกรม Minitab	4
1.6	ขั้นตอนของการศึกษา	5
1.6.1	รวบรวมและศึกษาบทความหรือวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
1.6.2	ศึกษาทฤษฎีการสันสะเทือนและรูปแบบเครื่องซักผ้า.....	5
1.6.3	เพื่อใช้ออกแบบและวิเคราะห์การสันสะเทือนของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบน	5
1.6.4	รวบรวมข้อมูลการสันสะเทือนของเครื่องซักผ้าในแกน X, Y และ Z ที่สภาวะ ความเร็วรอบคงที่ด้วยชุดเครื่องมือวัดการสันสะเทือน	5
1.6.5	จำลองการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าเพื่อศึกษาค่าการสันสะเทือนในตำแหน่งต่างๆ ด้วยโปรแกรม MSC ADAMS.....	5
1.6.6	ศึกษาปัจจัยที่มีผลกับการสันสะเทือนของเครื่องซักผ้าและออกแบบค่าปัจจัยต่างๆของเครื่องซักผ้าที่สามารถลดการสันสะเทือนลงได้ด้วยโปรแกรม minitab	5
1.6.7	วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบค่าปัจจัยต่างๆ	5
บทที่ 2	6
วรรณกรรมปริทัศน์.....		6
2.1	บทนำ.....	6
2.2	วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	6
บทที่ 3	10
หลักการและทฤษฎี		10
3.1	บทนำ.....	10
3.1.1	การสันสะเทือนแบบบังคับ	13
3.1.2	ความไม่สมดุลของการหมุน.....	15
3.2	การประยุกต์ทฤษฎีการสันสะเทือนใช้กับเครื่องซักผ้าฝาบน	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวทำสมดุลชนิดของเหลว (Liquid balancer)	17
3.2.2	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เครื่องซักผ้าชนิดฝาบ้น (Vertical washing machine)	20
บทที่ 4	26
	ค่าความสั่นสะเทือนในแนวแกนต่างๆเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าแบบฝาบ้น	26
4.1	บทนำ.....	26
4.2	ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบ้นและค่าเริ่มต้นของปัจจัยต่างๆ	26
4.2.1	ชิ้นส่วนประกอบฝาบ้น (Top cover assy).....	26
4.2.2	ชิ้นส่วนด้านโครงสร้าง (Cabinet and base assy)	26
4.2.3	ชิ้นส่วนด้านถังภายนอก (Outer tub assy).....	27
4.2.4	ชิ้นส่วนด้านถังภายใน (Inner tub assy).....	27
4.3	การวัดค่าความเร่งของเครื่องซักผ้าแบบฝาบ้นในสภาวะปั่นแห้ง	29
4.3.1	อุปกรณ์ต่างๆและโปรแกรมประมวลผลที่ใช้ในการวัดค่าความสั่นสะเทือน	29
4.3.2	วิธีการวัดค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้า	30
4.3.3	ค่าความเร่งของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบ้นในสภาวะปั่นแห้ง.....	31
4.3.4	สรุปผลการวัดความเร่งตามแนวแกนจากเครื่องซักผ้าในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีไม่มีมวลและกรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัม	32
บทที่ 5	37
	การสร้างแบบจำลองและการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าแบบฝาบ้น ...	37
5.1	บทนำ.....	37
5.2	การสร้างแบบจำลองและการจำลองเชิงตัวเลข	37
5.2.1	การสร้างแบบจำลอง.....	37
5.2.2	การสร้างรูปแบบลักษณะการหมุนของเครื่องซักผ้าในสภาวะปั่นแห้ง.....	39
5.2.3	ตำแหน่งที่ทำการวัดการสั่นสะเทือนจากแบบจำลอง	41
5.3	การจำลองเชิงตัวเลขของเครื่องซักผ้า	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1 ผลการจำลองเชิงตัวเลขของเครื่องซักผ้ากรณีไม่มีมวลไม่สมดุล	42
5.3.2 ผลการจำลองเชิงตัวเลขเปรียบเทียบกับการวัดค่าความเร่งในขณะหมุนที่ความเร็วรอบ คงที่ทั้งสามแกนกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล	45
5.3.3 ผลการจำลองเชิงตัวเลขของเครื่องซักผ้ากรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม	51
5.3.4 ผลการจำลองเชิงตัวเลขเปรียบเทียบกับการวัดค่าความเร่งในขณะหมุนที่ความเร็วรอบ คงที่ทั้งสามแกนกรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม	55
5.4.1 ผลการจำลองเชิงตัวเลขกรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม	57
บทที่ 6	62
อิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการสั่นสะเทือนและการออกแบบปัจจัยที่สามารถลดการสั่นสะเทือน ให้แก่เครื่องซักผ้า	62
6.1 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้า	62
บทที่ 7	72
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	72
7.1 สรุปผลการศึกษา	72
7.2 ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	77

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าเริ่มต้นของปัจจัยต่างๆของเครื่องชั่งผ้าขนาดความจุ 6.5 กิโลกรัม รุ่น WA85G5	28
5.1 ตารางแสดงความเร่งเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน X กรณีไม่มีมวลไม่สมดุล	49
5.2 ตารางแสดงความเร่งเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน Y กรณีไม่มีมวลไม่สมดุล	49
5.3 ตารางแสดงความเร่งเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน Z กรณีไม่มีมวลไม่สมดุล	50
5.4 ความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ จากการวัดและจากการจำลองเชิงตัวเลขกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล	50
5.5 ตารางแสดงความเร่งเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน X กรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม	59
5.6 ตารางแสดงความเร่งเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน Y กรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม	59
5.7 ตารางแสดงความเร่งเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน Z กรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม	60
5.8 ความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ จากการวัดและจากการจำลองเชิงตัวเลขกรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม	61
5.9 ตารางค่าความถี่ธรรมชาติในแนวแกน X Y และ Z และ ความเร็วรอบที่จะทำให้เกิดการ สั่นพ้อง	61

6.1 ปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าเพื่อศึกษาผลการสั้นสะเทือน	63
6.2 ปัจจัยต่างๆและขนาดของระดับที่จะใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติศาสตร์	65
6.3 ปัจจัยต่างๆและขนาดของระดับที่จะใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติศาสตร์ในกรณีที่ 1	67
6.4 ความเร่งเฉลี่ยในระนาบXZของเครื่องชั่งผ้าก่อนและหลังการออกแบบค่าปัจจัยกรณีที่1	68
6.5 ตารางค่าความถี่ธรรมชาติในแนวแกน XY และ Z และ ความเร็วรอบที่จะทำให้เกิดการ สั้นห้องของแบบจำลองที่มีการเพิ่มมวลถ่วง	68
6.6 ปัจจัยต่างๆและขนาดของระดับที่จะใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติศาสตร์ในกรณีที่ 2	69
6.7 ความเร่งเฉลี่ยในระนาบXZของเครื่องชั่งผ้าก่อนและหลังการออกแบบค่าปัจจัยกรณีที่ 2	70
6.8 ตารางค่าความถี่ธรรมชาติในแนวแกน X Y และ Z และ ความเร็วรอบที่จะทำให้เกิดการ สั้นห้องของแบบจำลองภายหลังได้รับการออกแบบค่าปัจจัยในกรณีที่ 2	71

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องซักผ้าอัตโนมัติแบบถ้งนอน	2
1.2 เครื่องซักผ้าอัตโนมัติแบบใบกวน	2
1.3 เครื่องซักผ้าแบบใบพัด	2
3.1 ระบบมวลติดสปริงและแผนภาพอิสระไดอะแกรม	11
3.2 ระบบของการหน่วงและการกระตุ้นแบบฮาร์โมนิก	14
3.3 แสดงพล็อตของสมการที่ 9	15
3.4 การกระตุ้นทางฮาร์โมนิกโดยความไม่สมดุลของการหมุน	16
3.5 จุดศูนย์กลางของน้ำเกลือที่การหมุน ณ ตำแหน่งต่างๆ	18
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจุดศูนย์กลางของน้ำเกลือเทียบกับตำแหน่ง S กับระยะห่างการเยื้องศูนย์เมื่อเทียบกับตำแหน่ง S	19
3.7 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าแบบฝาบน	21
4.1 ส่วนประกอบหลักต่างๆของเครื่องซักผ้าแบบใบพัด	27
4.2 การ์ดรวบรวมข้อมูลรุ่น DEWE-43	29
4.3 รายละเอียดความสามารถของเซนเซอร์วัดค่าความเร่งรุ่น kistler 8692C50M1	29
4.4 แสดงตำแหน่งการกำหนดอักษรตัวแรกและอักษรตัวที่สอง	30
4.5 กราฟแสดงความเร่งเทียบเวลา	31
4.6 ความถี่ขณะทำการหมุนในช่วงความเร็วรอบคงที่	32

4.7 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแกน X จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้า	33
ในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีไม่มีมวล	
4.8 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแกน Y จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้า	
ในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีไม่มีมวล	33
4.9 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแกน Z จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้า	
ในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีไม่มีมวล	34
4.10 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่งเฉลี่ย RMS ในแกนต่างๆ และ ความเร่ง RMS ในระนาบ XZ	
จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้าในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีไม่มีมวล	34
4.11 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแกน X จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้า	
ในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัม	35
4.12 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแกน Y จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้า	
ในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัม	35
4.13 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแกน X Y และ Z จากการวัดค่าความเร่งจาก	
เครื่องชั่งผ้าในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัม	36
4.14 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่งเฉลี่ย RMS ในแกนต่างๆ และ ความเร่ง RMS ในระนาบ XZ	
จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้าในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัม	36
5.1 แบบจำลองของเครื่องชั่งผ้าชนิดฝาบนด้านหน้า	38
5.2 แบบจำลองของเครื่องชั่งผ้าชนิดฝาบนด้านบน	38
5.3 แบบจำลองของเครื่องชั่งผ้าชนิดฝาบนด้านข้าง	38
5.4 ตัวทำสมดุลแบบลูกบอล	39

5.5 รูปแบบลักษณะการหมุนของเครื่องชักผ้าในสภาวะปั่นแห้งของเครื่องชักผ้าจริง	40
5.6 รูปแบบลักษณะการหมุนของเครื่องชักผ้าในสภาวะปั่นแห้งในแบบจำลอง	40
5.7 ตำแหน่งที่ทำการวัดการสั่นสะเทือน	41
5.8 กราฟความเร่งที่ตำแหน่งต่างๆในแกน X จากแบบจำลองเชิงตัวเลขกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล	42
5.9 กราฟความเร่งที่ตำแหน่งต่างๆในแกน Y จากแบบจำลองเชิงตัวเลขกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล	43
5.10 กราฟความเร่งที่ตำแหน่งต่างๆในแกน Z จากแบบจำลองเชิงตัวเลขกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล	44
5.11 กราฟเปรียบเทียบการสั่นของเครื่องชักผ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล	
1.2 กิโลกรัม ตำแหน่ง LL ในแนวแกน X	45
5.12 กราฟเปรียบเทียบการสั่นของเครื่องชักผ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล	
1.2 กิโลกรัม ตำแหน่ง LL ในแนวแกน Y	46
5.13 กราฟเปรียบเทียบการสั่นของเครื่องชักผ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล	
1.2 กิโลกรัม ตำแหน่ง LL ในแนวแกน Z	46
5.14 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแนวแกน X Y และ Z ที่ตำแหน่งต่างๆ	
สภาวะปั่นแห้ง ของเครื่องชักผ้าจากการวัดและจากการจำลองกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล	47
5.15 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแนวแกน X Y และ Z ที่ตำแหน่งต่างๆ	
สภาวะปั่นแห้งของเครื่องชักผ้าจากการวัดและจากการจำลองกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล	47
5.16 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแนวแกน X Y และ Z ที่ตำแหน่งต่างๆ	
สภาวะปั่นแห้งของเครื่องชักผ้าจากการวัดและจากการจำลองกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล	48
5.17 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่งเฉลี่ย RMS ในแกนต่างๆ และ ความเร่ง RMS ในระนาบ	
XZ ที่สภาวะปั่นแห้งของเครื่องชักผ้าจากการวัดและจากการจำลองกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล	48

5.18 กราฟความเร่งที่ตำแหน่ง LL ในแกน X จากแบบจำลองเชิงตัวเลขกรณีมีมวลไม่สมดุล	
1.2 กิโลกรัม	52
5.19 กราฟความเร่งที่ตำแหน่ง LL ในแกน Y จากแบบจำลองเชิงตัวเลขกรณีมีมวลไม่สมดุล	
1.2 กิโลกรัม	53
5.20 กราฟความเร่งที่ตำแหน่ง LL ในแกน Z จากแบบจำลองเชิงตัวเลขกรณีมีมวลไม่สมดุล	
1.2 กิโลกรัม	55
5.21 กราฟเปรียบเทียบการสั่นของเครื่องชั่งผ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล	
1.2 กิโลกรัม ตำแหน่งต่างๆ ในแนวแกน X	55
5.22 กราฟเปรียบเทียบการสั่นของเครื่องชั่งผ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล	
1.2 กิโลกรัม ตำแหน่ง LL ในแนวแกน Y	56
5.23 กราฟเปรียบเทียบการสั่นของเครื่องชั่งผ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล	
1.2 กิโลกรัม ตำแหน่ง LL ในแนวแกน Z	56
5.24 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่งเฉลี่ย RMS ในแนวแกน X ที่ตำแหน่งต่างๆสภาวะปั่นแหว่ง ของเครื่องชั่งผ้าจากการวัดและการจำลองกรณีมีมวล	1.2 กิโลกรัม
	57
5.25 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่งเฉลี่ย RMS ในแนวแกน Y ที่ตำแหน่งต่างๆสภาวะปั่นแหว่ง ของเครื่องชั่งผ้าจากการวัดและการจำลองกรณีมีมวล	1.2 กิโลกรัม
	58
5.26 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่งเฉลี่ย RMS ในแนวแกน Z ที่ตำแหน่งต่างๆสภาวะปั่นแหว่ง ของเครื่องชั่งผ้าจากการวัดและการจำลองกรณีมีมวล	1.2 กิโลกรัม
	58
5.27 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่งเฉลี่ย RMS ในแกนต่างๆ และ ความเร่ง RMS ในระนาบ	58
6.1 ค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน X และ Z เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ตัวหวั่ง	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการXIVเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 หน้าต่างและคำสั่งต่างๆภายในตัวโปรแกรม Minitab	64
6.3 การวิเคราะห์ผลกระทบหลัก (Main effect)	65
6.4 ผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีร่วมกัน (Interaction) ต่อความเร่ง	66
6.5 ปัจจัยต่างๆที่ถูกออกแบบเพื่อลดความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ กรณีที่ 1	67
6.6 ปัจจัยต่างๆที่ถูกออกแบบเพื่อลดความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ กรณีที่ 2	70



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวิเคราะห์วิจัยพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์หลากหลายประเภทรวมทั้งสิ่งก่อสร้างต่างๆ จะมีระบบทางกลมาเกี่ยวข้องด้วยเสมอ ซึ่งระบบทางกลนี้จะมีพลังงานศักย์และพลังงานจลน์มาเกี่ยวข้องทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเชิงกล ทำให้ระบบไม่สมดุลอาจเกิดความเสียหายอย่างมากต่อชีวิตและทรัพย์สินได้

จากที่กล่าวมาข้างต้น ระบบต่างๆ ที่อยู่รอบตัวเราล้วนมีความเกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนเชิงกลทั้งสิ้น หากไม่มีการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเชิงกลในการออกแบบสิ่งต่างๆ อาจเกิดความเสียหายอย่างมาก อาทิ เช่น ระบบรองรับแผ่นดินไหวของตึกอาคาร ดังนั้นการศึกษาหาความรู้ในด้านการสั่นสะเทือนเชิงกลจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาค่าความสั่นสะเทือนในแนวแกนต่างๆ ของเครื่องซักผ้าที่สภาวะปั่นแห้งจากการวัดค่าความสั่นสะเทือนจากชุดเครื่องมือวัดและการประยุกต์ใช้กับทฤษฎีพื้นฐานทางการสั่นสะเทือนเชิงกล เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าแบบใบพัดในสภาวะปั่นแห้งที่เงื่อนไขต่างๆ อาทิ เช่น การปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของตัวหมุนเพื่อศึกษาขนาดความเร่งในแนวแกน X, Y, และ Z โดยการจำลองเชิงตัวเลขนี้เป็นการจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าแบบใบพัด

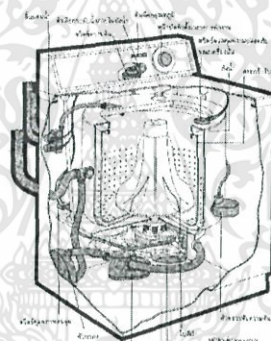
เครื่องซักผ้าแบบอัตโนมัติในปัจจุบันสามารถแบ่งออกตามมาตรฐาน มอก. ได้เป็น 3 ประเภท คือ เครื่องซักผ้าแบบถังนอน (horizontal drum type washing machine) ผ้าแบบใบกวน (agitator type washing machine) และเครื่องซักผ้าแบบใบพัด (pulsator type washing machine) โดยเครื่องซักผ้าแบบถังนอนจะมีการหมุนในแนวนอน ส่วนแบบเครื่องซักผ้าแบบใบกวนและเครื่องซักผ้าแบบใบพัดจะมีการหมุนในแนวตั้ง ซึ่งทั้งสองแบบนี้แตกต่างกันตรงที่ลักษณะการกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

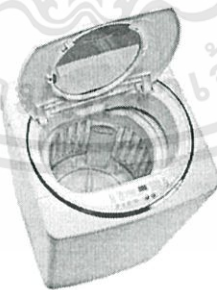
ผ้า โดยเครื่องซักผ้าแบบใบกวนจะมีแกนกลางทำหน้าที่ในการกวนผ้า ส่วนเครื่องซักผ้าแบบใบพัดจะมีใบพัดอยู่ด้านล่างของตะกร้าเพื่อทำหน้าที่กวนผ้าเช่นกัน



รูปที่ 1.1 เครื่องซักผ้าอัตโนมัติแบบถ้งนอน



รูปที่ 1.2 เครื่องซักผ้าอัตโนมัติแบบใบกวน



รูปที่ 1.3 เครื่องซักผ้าแบบใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการทำงานเครื่องชักผ้าแบบอัตโนมัติจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นตอนการชัก ขั้นตอนการล้าง ขั้นตอนการปั่นแห้ง ตามลำดับซึ่งขั้นตอนการชักและขั้นตอนการล้างนั้นจะทำให้เกิดความไม่สมดุลจากผ้าที่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน และเมื่อปั่นแห้งที่ความเร็วสูงๆ จะเกิดการสั่นของเครื่องชักผ้าซึ่งส่งผลกระทบต่อตัวลูกปืนอายุการใช้งานของเครื่องชักผ้า และ เกิดเสียงรบกวนต่อผู้ใช้งาน เราจึงอยากปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของเครื่องชักผ้าเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งปัญหาหลักๆ คือ การสั่นสะเทือน จึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของเครื่องชักผ้าและปัจจัยที่มีผลต่อการสั่นสะเทือนของเครื่องชักผ้า จึงเป็นที่มาของการวิจัยในครั้งนี้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการสั่นสะเทือนของเครื่องชักผ้าชนิดฝาบนในแกน X, Y และ Z ที่ตำแหน่งต่างๆ ในขั้นตอนการปั่นแห้ง

1.2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการสั่นสะเทือนของเครื่องชักผ้าชนิดฝาบนที่สามารถลดสั่นสะเทือนและลดความถี่ธรรมชาติของไม่ให้เกิดการกำทอนซึ่งจะส่งผลต่ออายุการใช้งานของเครื่องชักผ้า

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การสั่นสะเทือนในเครื่องชักผ้าชนิดฝาบน ขณะที่มีความเร็วคงที่ ในสภาวะปั่นแห้ง จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดซึ่งจะส่งผลต่ออายุการใช้งานของเครื่องชักผ้า

การสั่นสะเทือนของเครื่องชักผ้า นั้นจะเกิดสูงสุดที่สภาวะปั่นแห้ง และวิธีการลดการสั่นสะเทือนของเครื่องชักผ้าในสภาวะปั่นแห้ง ซึ่งมี 2 แนวทาง คือ การเพิ่มสัมประสิทธิ์การหน่วงของระบบแขนรับแรงให้แก่เครื่องชักผ้า และการเพิ่มขนาดของมวลตะกร้าใส่ผ้า ถัง และตัวทำสมดุลชนิดของเหลว ที่สามารถลดการสั่นสะเทือนให้แก่เครื่องชักผ้าได้ การมีความเข้าใจพฤติกรรมของตัวทำสมดุลชนิดของเหลวที่จะสร้างแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อลดแรงที่เกิดจากความไม่สมดุลขณะปั่นแห้ง และยังเป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของตัวทำสมดุลชนิดของเหลวกับแบบจำลองเชิงตัวเลขของเครื่องชักผ้าอีกด้วย

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับการสันเสเทือนทางวิศวกรรมซึ่งเป็นการสันของระบบที่ตกอยู่ภายใต้แรงกระทำหรือ การสันโดยอิสระก็ตามจะต้องมีการรบกวนระบบซึ่งเป็นค่าอินพุทที่ให้กับระบบและระบบจะมีการ ตอบสนองเป็นผลลัพธ์ ในการศึกษาเรื่องการสันเสเทือนทางวิศวกรรมมักจะเกี่ยวข้องกับการสร้าง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematic Model) เพื่อแทนสิ่งที่มีอยู่จริงทางกายภาพ โดยพยายาม สร้างแบบจำลองที่มีพฤติกรรมคล้ายกับระบบจริงให้มากที่สุด เพื่อให้สมการคณิตศาสตร์ที่ได้สามารถ แทนการสันเสเทือนของระบบได้อย่างถูกต้อง หลังจากที่ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการหาสมการการเคลื่อนที่ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมา แล้วก็หาผลเฉลยของสมการ การเคลื่อนที่ จากนั้นนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาพฤติกรรมการสันเสเทือนของแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์ สุดท้ายถือว่ามีค่าสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ในการการอธิบายและสรุปผลลัพธ์ที่ได้ และ นอกจากนี้ยังสามารถนำแบบจำลองของระบบไปพัฒนาสำหรับแก้ไขปัญหาในรูปแบบที่คล้ายกันได้ใ นอนาคต

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 การคำนวณการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนด้วยโปรแกรม MSC ADAMS เพื่อ ช่วยในการวิเคราะห์ในรูปแบบ 3 มิติ

1.5.2 ในการศึกษาลักษณะการสันเสเทือนของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนได้ทำการใช้มวล ทดลอง 1.2 กิโลกรัม แทนมวลของผ้าที่ใช้ในการซัก

1.5.3 ศึกษาลักษณะการสันเสเทือนในช่วงความเร็วรอบคงที่ของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนใน สภาวะปั่นแห้ง โดยเครื่องซักผ้ารุ่น WA85G5 ควบคุมในแกน X Y Z

1.5.4 ศึกษาอิทธิพลของค่าปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการสันเสเทือนที่เกิดขึ้นกับเครื่องซักผ้าใน สภาวะปั่นแห้งด้วยโปรแกรม Minitab

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

การวิจัยเริ่มต้นจากการรวบรวมองค์ความรู้ที่เกี่ยวกับการสันสะเทือนทางกลจากนั้นทำการทดลองแบบจำลองเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม MSC ADAMS และ เปรียบเทียบค่ากับการสันสะเทือนที่วัดได้จากชุดเครื่องมือในการวัดจากเครื่องชักผ้าชนิดฝาบอน และใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ เพื่อออกแบบค่าปัจจัยต่างๆ ที่สามารถลดการสันสะเทือนของเครื่องชักผ้าได้ โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

- 1.6.1 รวบรวมและศึกษาบทความหรือวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.6.2 ศึกษาทฤษฎีการสันสะเทือนและรูปแบบเครื่องชักผ้า
- 1.6.3 เพื่อใช้ออกแบบและวิเคราะห์การสันสะเทือนของเครื่องชักผ้าชนิดฝาบอน
- 1.6.4 รวบรวมข้อมูลการสันสะเทือนของเครื่องชักผ้าในแกน X, Y และ Z ที่สภาวะความเร็ว รอบคงที่ด้วยชุดเครื่องมือวัดการสันสะเทือน
- 1.6.5 จำลองการเคลื่อนที่ของเครื่องชักผ้าเพื่อศึกษาค่าการสันสะเทือนในตำแหน่งต่างๆ ด้วยโปรแกรม MSC ADAMS
- 1.6.6 ศึกษาปัจจัยที่มีผลกับการสันสะเทือนของเครื่องชักผ้าและออกแบบค่าปัจจัยต่างๆ ของเครื่องชักผ้าที่สามารถลดการสันสะเทือนลงได้ด้วยโปรแกรม minitab
- 1.6.7 วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบค่าปัจจัยต่างๆ

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 บทนำ

ในการออกแบบและการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าแบบใบพัดนั้นจำเป็นต้องศึกษาหลักการวิเคราะห์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ รวมทั้งการศึกษารายงานการวิจัยของผู้ที่ได้ศึกษามาในอดีต เพื่อให้ทราบถึงการประยุกต์ใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และหลักการคิดวิเคราะห์ ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้า ซึ่งการศึกษาและวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องซักผ้าได้ถูกริเริ่มมาตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องซักผ้าให้เพิ่มขึ้นยิ่งขึ้นเรื่อยๆ เรื่อยไป และมีรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนเนื่องจากการปั่นแห้งของเครื่องซักผ้าดังต่อไปนี้

2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Hai-Wei Chen และ Qiu-Ju Zhung [1] ได้วิจัยเรื่อง “Stability analyses of a vertical axis automatic washing machine without balancer” โดยใช้การจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าที่สภาวะการปั่นแห้ง ซึ่งมุ่งเน้นศึกษาที่ค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงของระบบรองรับการสั่นสะเทือนในแนวแกนสัมผัส โดยใช้หลักการ Hopf bifurcation โดยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการหน่วงระบบรองรับการสั่นสะเทือนมีความเกี่ยวข้องกับความเร็วรอบของเครื่องซักผ้า มวลของผ้าที่จะนำมาซัก รัศมีโวลุ่มของมวลที่ทำให้เกิดความไม่สมดุล ค่าสัมประสิทธิ์ของระบบรองรับการสั่นสะเทือนในแนวแกน และค่านิจของสปริง

S.Bae และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าอัตโนมัติที่มีการติดตั้งตัวทำสมดุลชนิดของเหลวในเรื่อง “Dynamic analysis of automatic washing machine with a hydraulic balancer” พบว่าแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากตัวทำสมดุลชนิดของเหลวนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์ของน้ำเกลือในตัวทำสมดุลชนิดของเหลวและตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์ยังเป็นฟังก์ชันของการเยื้องศูนย์กลางของจุดกึ่งกลางรูปร่างของตัวทำสมดุลชนิดของเหลว นอกจากนั้นคณะผู้วิจัยยังได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าของปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการสั่นสะเทือน

ของเครื่องซักผ้า นั้นพบว่าการเพิ่มมวลในอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องซักผ้า การลดอัตราส่วนปริมาตรของน้ำเกลือกับตัวทำสมดุลชนิดของเหลว และการเพิ่มรัศมีภายในของตัวทำสมดุลชนิดของเหลว สามารถช่วยลดการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าในสภาวะปั่นแห้งได้

D.C. Conrad และ W. Soedel [3] ได้สรุปเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าที่สภาวะการปั่นแห้งในงานวิจัย “On the problem walk of automatic washing machines” ไว้ว่าการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนนั้นจะมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาอยู่ในขอบเขตที่สามารถระบุได้ที่สภาวะการปั่นแห้ง ส่วนเครื่องซักผ้าแบบถังนอนนั้นจะมีการเคลื่อนที่ที่ไม่สามารถระบุขอบเขตได้ และนอกจากนี้มวลที่ทำให้เกิดความไม่สมดุล จะมีผลต่อการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในสภาวะการปั่นแห้งอีกด้วย โดยค่าการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้า นั้นจะแปรผันตรงกับค่าของมวลไม่สมดุล

ในปี ค.ศ. 2001 บริษัท ซัมซุง อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ได้เข้าร่วมการประชุมทางวิชาการ 2001 Korea ADAMS User Conference ในหัวข้อ “A Study on the dynamic behavior of an automatic washing machine” [5] ซึ่งทางบริษัท ซัมซุง อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของเครื่องซักผ้าโดยผ่านโปรแกรม MSC ADAMS และนำค่าความเร่งมาเปรียบเทียบกับค่าความเร่งจริงของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนที่ตำแหน่งเดียวกัน โดยพบว่าค่าความเร่งของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของเครื่องซักผ้า นั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเร่งของเครื่องซักผ้าจริง ดังนั้นแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อคาดคะเนลักษณะการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าจริงได้

F.F. Yap , N. Vahdati และ H. Harmoko [4] ได้ทำการวิจัยในเรื่อง “Design and analysis of vibration isolation systems for hard disk drives” ที่มุ่งเน้นไปในการพัฒนาระบบแยกความสั่นสะเทือนใน HDD ที่ใช้ในอุปกรณ์ทางทหาร การพัฒนาระบบแยกความสั่นสะเทือนนี้เป็นไปตามข้อกำหนดทางทหาร MIL-STD-810E ซึ่งพบว่าระบบแยกความสั่นสะเทือนนั้นทำให้ความถี่ธรรมชาติของระบบ HDD อยู่ในช่วง 10-20 Hz และสัมประสิทธิ์ความหน่วงแบบสัมพัทธ์มากกว่า 10%

C. Cristalli , N. Paone และ R.M. Rodriguez [6] ได้ทำการศึกษาเรื่องคุณภาพสัญญาณแบบ real time ของหัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร่งและเครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบเลเซอร์ในงานวิจัยเรื่อง “Mechanical fault detection of electric motors by laser vibrometer and accelerometer measurements” โดยเครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบเลเซอร์วัดค่าการกระจัดและ

ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า ส่วนหัววัดความสั่นสะเทือนแบบความเร่งวัดความเร่งของมอเตอร์ไฟฟ้า โดยนำค่าการกระจัด ความเร็ว และความเร่งไปคำนวณค่า RMS ซึ่งได้ผลลัพธ์ว่าคุณภาพสัญญาณของค่าความเร็วมีความแม่นยำใกล้เคียงกับผลการทดสอบ ส่วนคุณภาพสัญญาณของค่าการกระจัดและความเร่งมีความแม่นยำน้อยเพราะมีการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมของสัญญาณการกระจัดคือ ค่าความละเอียดของสัญญาณไม่เพียงพอ และค่าแอมพลิจูดมีค่าต่ำมาก ส่วนการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมของสัญญาณของความเร่งนั้นเกิดจากลักษณะการติดตั้งหัววัดความเร่งที่มอเตอร์ไฟฟ้า

Takayuki Koizumi, Nobutaka Tsujiuchi และ Yutaka Nishimura ได้ทำการศึกษาเรื่อง “Modeling and Vibration Analysis of a Drum type Washing Machine” [7] โดยได้สร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าเปรียบเทียบกับเคลื่อนที่จริงของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบน พบว่าการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงของชุดรองรับการสั่นสะเทือนนั้นสามารถลดการสั่นสะเทือนในแนวหน้าตัดได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์และในแนวตั้งลดลงได้ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ของถึงและการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงของยางรองแท่นเครื่องซักผ้าสามารถลดการสั่นสะเทือนในแนวหน้าตัดได้ถึง 40 เปอร์เซ็นต์และในแนวนอนได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของโครงเครื่องซักผ้า

Chung-Hyo Jung, Chang-Sub Kim และ Yun-Ho Choi ได้ทำการศึกษาและวิจัยในเรื่อง “A Dynamic model and numerical study on the liquid balancer in an automatic washing machine” [8] โดยมุ่งเน้นการศึกษาพฤติกรรมของตัวทำสมดุลชนิดของเหลวในเครื่องซักผ้า นั้นพบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำเกลือนั้นสามารถลดการสั่นสะเทือนในช่วงความเร็วรอบไม่คงที่ได้ แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณน้ำเกลือจะต้องใช้เวลาในการเข้าสู่ภาวะสมดุล นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการศึกษาคิดตั้งแผ่นโลหะไว้ที่กึ่งกลางของตัวทำสมดุลชนิดของเหลวนั้นจะทำให้เกิดความสมดุลสถิตมากขึ้นซึ่งส่งผลให้เกิดแรงต้านการสั่นสะเทือนได้ในช่วงความเร็วรอบคงที่

B.Kiray, A.K. Tugcu และ I.T. Sumer ได้ศึกษาในเรื่อง “Foundation and implementation of parametric optimization of a washing machine suspension system” [9] โดยทำการออกแบบปัจจัยต่างๆ ของชุดรองรับการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบน นอกจากนี้ยังได้สรุปว่า ระบบเชิงกลของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนนั้นเป็นระบบเชิงกลแบบ underdamped อีกด้วย เนื่องจากเหตุผลที่ว่า การกระจัดในช่วงความเร็วรอบคงที่ไม่มีความสัมพันธ์กับความหนืดของระบบรองรับและแรงเสียดทานต่างๆ

รัชพล รัศมีโรจน์ ได้ศึกษาในเรื่อง “Vibration analysis of pulsator type washing machine in the spinning mode” โดยได้สร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้า เปรียบเทียบกับการเคลื่อนที่จริงของเครื่องซักผ้าชนิดใบพัด โดยทำการออกแบบปัจจัยของเครื่องซักผ้าชนิดใบพัด ได้สรุปว่า ปัจจัยที่สามารถลดการสั่นของเครื่องซักผ้าได้แก่ มวลของถัง มวลของตัวทำสมดุลชนิดของเหลวไม่รวมมวลน้ำเกลือ และ มวลตะกร้าใส่ผ้า

จากการศึกษาวรรณกรรมที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นนั้นจะพบว่าการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้า นั้นจะเกิดขึ้นสูงสุดที่สภาวะปั่นแห้ง และ วิธีการลดการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าในสภาวะปั่นแห้งซึ่งมีสองแนวทาง คือ การเพิ่มสัมประสิทธิ์การหน่วงของระบบรองรับให้แก่เครื่องซักผ้า และการเพิ่มขนาดของมวลตะกร้าใส่ผ้า ถึง และตัวทำสมดุลชนิดของเหลว ที่สามารถลดการสั่นสะเทือนให้แก่เครื่องซักผ้าได้ นอกจากนั้นยังทำให้เข้าใจพฤติกรรมของตัวทำสมดุลชนิดของเหลวที่จะสร้างแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อลดแรงที่เกิดจากความไม่สมดุลขณะปั่นแห้งและยังเป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของตัวทำสมดุลชนิดของเหลวกับแบบจำลองเชิงตัวเลขของเครื่องซักผ้าอีกด้วย แต่จากการศึกษาวรรณกรรมที่กล่าวมาข้างต้นยังพบว่าส่วนมากนั้นการวัดค่าความสั่นสะเทือนจะเป็นเพียงแกนเดียวเท่านั้น และยังมีปัจจัยบางปัจจัยที่ไม่ได้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยนั้นที่สามารถลดการสั่นสะเทือนลงได้ อาทิเช่น ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวหน่วง มวลของตัวทำสมดุลชนิดของเหลว เป็นต้น จึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าในช่วงสภาวะปั่นแห้งในแกน X, Y และ Z และทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าเพิ่มเติมอีกเช่นกัน ซึ่งจากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จึงเป็นที่มาของหัวข้อในการทำวิจัยครั้งนี้

หลักการและทฤษฎี

3.1 บทนำ

ในการวิจัยพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์หลากหลายประเภทและสิ่งก่อสร้างต่างๆ อาทิ เช่น เครื่องยนต์สำหรับยานพาหนะ เครื่องยนต์เจ็ท กระสวยอวกาศ สะพาน มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องปั่นไฟฟ้า เป็นต้น จะมีระบบทางกลมาเกี่ยวข้องเสมอ โดยระบบทางกลนี้จะมีพลังงานศักย์และพลังงานจลน์เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของการสั่นสะเทือนเชิงกล

การสั่นสะเทือนมีด้วยกัน 2 ประเภท คือ การสั่นสะเทือนแบบอิสระ และการสั่นสะเทือนแบบบังคับ การสั่นสะเทือนแบบอิสระเกิดขึ้นเมื่อระบบสั่นภายใต้การกระทำของตัวเอง และระบบจะสั่นภายใต้ความถี่ธรรมชาติของตัวเองอย่างน้อยหนึ่งค่า ซึ่งเป็นคุณสมบัติของระบบพลวัตที่ถูกสร้างขึ้นจากมวลติดสปริง

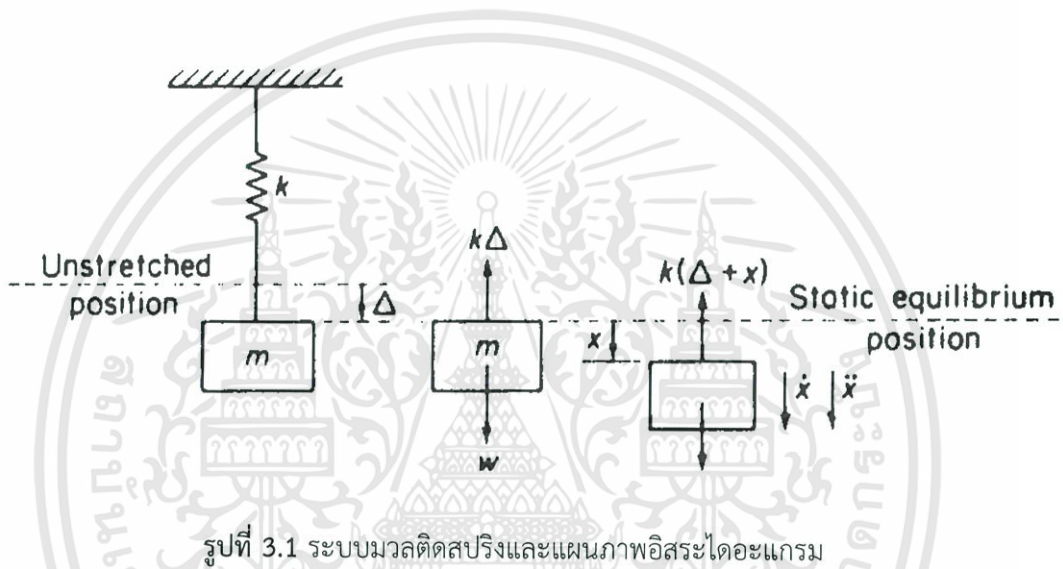
การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นภายใต้การกระตุ้นจากแรงภายนอกเรียกว่า การสั่นสะเทือนแบบบังคับ เมื่อมีการกระตุ้น ระบบจะสั่นภายใต้ความถี่จากแรงภายนอก ถ้าความถี่ของแรงกระตุ้นเท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบ จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “การสั่นพ้อง” ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง เพราะจะเกิดการสั่นมากที่สุด ทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างสำคัญ เช่น สะพาน อาคาร หรือปีกของเครื่องบิน ซึ่งเกิดมากจากการสั่นพ้อง ดังนั้นการคำนวณหาความถี่ธรรมชาติของระบบต่างๆ เป็นสิ่งสำคัญในการศึกษาการสั่นสะเทือนเชิงกล

ระบบสั่นจะเกิดการหน่วงในบางกรณีเพราะพลังงานในการสั่นจะถูกดูดกลืนโดยความเสียดทาน ถ้าการหน่วงมีขนาดเล็ก จะส่งผลต่อความถี่ธรรมชาติของระบบน้อยมาก ด้วยเหตุนี้การคำนวณหาความถี่ธรรมชาติเราจึงไม่สนใจการหน่วง ในทางกลับกันการหน่วงก็มีความสำคัญมากในการจำกัดขนาดการสั่นในช่วงที่มีการสั่นพ้อง

โมเดลการสั่น

โมเดลการสั่นพื้นฐานประกอบด้วย มวล, สปริง และตัวหน่วง สปริงที่ต่อกับมวลให้สมมติว่าไม่มีมวล ความสัมพันธ์ของแรงและระยะยืดให้สมมติว่าเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตามกฎของฮุก (Hook's Law) $F = kx$ โดยที่ k คือ ค่าคงสปริง มีหน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร (N/m)

การหน่วง ถูกอธิบายโดยแรงที่เป็นสัดส่วนกับความเร็วหรือ $F = cV$ สัมประสิทธิ์การหน่วง C อยู่ในหน่วย นิวตัน.วินาที/เมตร (N.s/m)



รูปที่ 3.1 แสดงระบบมวลติดสปริงที่ไม่มีการหน่วง ซึ่งสมมติให้เคลื่อนที่ได้เฉพาะในแนวตั้ง x มีระดับความอิสระเป็นหนึ่ง

สมการการเคลื่อนที่และความถี่ธรรมชาติ

กฎข้อที่สองของนิวตันเป็นขั้นตอนแรกในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของระบบ อย่างที่ ยกตัวอย่างในรูปที่ 3.1 การยืดของสปริงในสมดุลที่ตำแหน่ง D และแรงสปริง $k\Delta$ จะเท่ากับแรง โน้มถ่วง w ที่กระทำต่อมวล m

$$k\Delta = w = mg$$

(3.1)

จากการวัดระยะการกระจัด X จากตำแหน่งสมดุล แรงที่กระทำต่อมวล m คือ $k(\Delta + X)$ และ w ซึ่ง X ถูกกำหนดทิศทางลงเป็นบวก แรง, ความเร็ว และความเร่งจึงถูกกำหนดทิศทางลงเป็นบวกเช่นกัน

เราจึงสามารถประยุกต์กฎข้อที่สองของนิวตันได้

$$m\ddot{x} = \sum F = w - k(\Delta + x)$$

เนื่องจาก $k\Delta = w$; จึงได้ว่า

$$m\ddot{x} = -kx \tag{3.2}$$

ถ้าเราจะตัดแรงจากแรงโน้มถ่วงและแรงสปริงสถิต $k\Delta$ จากสมการการเคลื่อนที่ จะเหลือแค่ผลลัพธ์จากแรงที่กระทำต่อมวล m ให้เคลื่อนที่ตามแกน X เท่านั้น

เรากำหนดความถี่ธรรมชาติได้ดังนี้

$$\omega_n^2 = \frac{k}{m} \tag{3.3}$$

สมการที่ 3.3 สามารถเขียนได้ในรูป

$$\ddot{x} + \omega_n^2 x = 0 \tag{3.4}$$

และเราสรุปได้ว่าสมการที่ 3.4 เป็นสมการฮาร์มอนิก สมการอนุพันธ์ลำดับที่สอง มีคำตอบทั่วไปดังนี้

$$x = A\sin\omega_n t + B\cos\omega_n t \tag{3.5}$$

ให้ A, B เป็นค่าคงที่ หาได้จากค่าเริ่มต้น $x(0)$, $v(0)$ สมการที่ 3.5 จึงแทน รูปได้เป็น

$$x = \frac{\dot{x}(0)}{\omega_n} \sin \omega_n t + x(0) \cos \omega_n t \quad (3.6)$$

และความถี่ธรรมชาติหาได้จาก

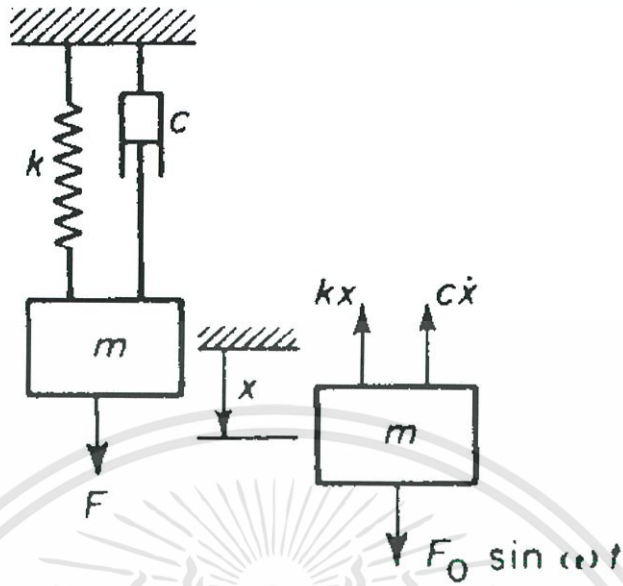
$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.7)$$

3.1.1 การสั่นสะเทือนแบบบังคับ

การสั่นสะเทือนแบบบังคับพบได้ในวงการวิศวกรรม ส่วนมากเกิดขึ้นจากความไม่สมดุลของเครื่องจักรหมุน ถึงแม้ว่าการสั่นแบบฮาร์โมนิคจะเกิดขึ้นน้อยกว่าการสั่นประเภทอื่น แต่การทำความเข้าใจการสั่นแบบฮาร์โมนิคนั้นสำคัญในการที่จะเข้าใจในการตอบสนองต่อการสั่นประเภทอื่นๆ

เราจะพิจารณาในระดับความอิสระเดียวและมีการหน่วง ถูกกระตุ้นโดยแรงฮาร์โมนิค $F_0 \sin \omega t$ แบบที่เห็นในรูปที่ 3.2 สมการอนุพันธ์ของการเคลื่อนที่หาได้จากการหาแผนผังวัตถุอิสระ

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t \quad (3.8)$$



รูปที่ 3.2 ระบบของการหน่วงและการกระตุ้นแบบฮาร์โมนิก

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

$$c_c = 2m\omega_n = \text{ค่าการหน่วงวิกฤต}$$

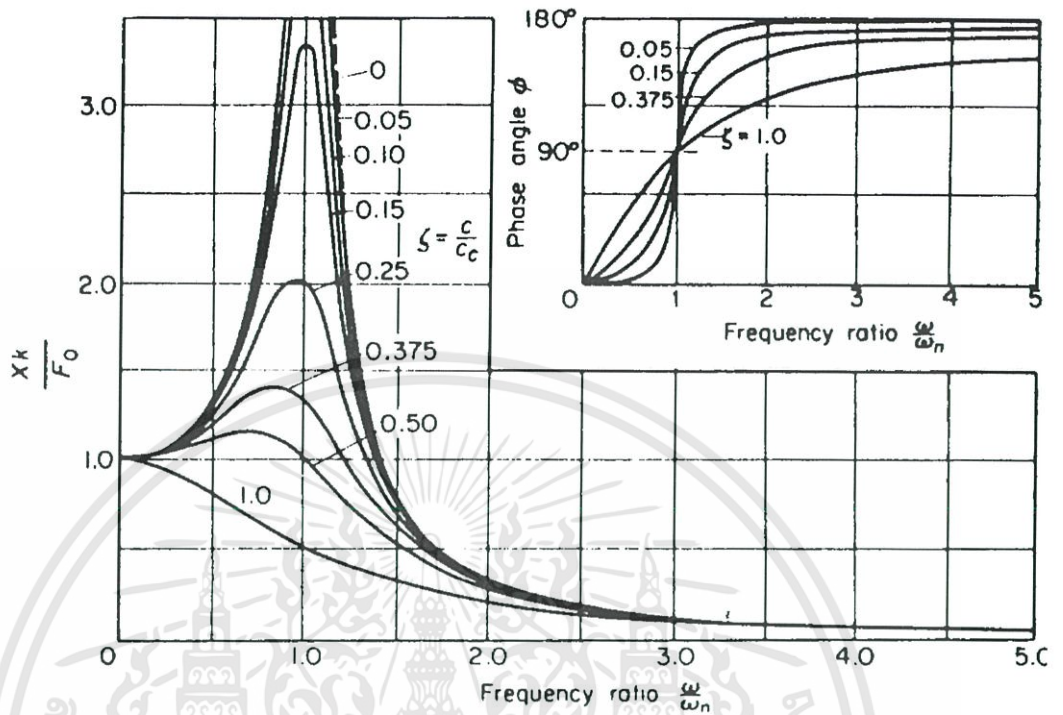
$$\zeta = \frac{c}{c_c} = \text{สัมประสิทธิ์การหน่วง}$$

$$\frac{c\omega}{k} = \frac{c}{c_c} \frac{c_c \omega}{k} = 2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}$$

ความสัมพันธ์ของ แอมพลิจูด, แรง, ค่านิจสปริง และความถี่ธรรมชาติ

$$\frac{Xk}{F_0} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}\right]^2}}$$

(3.9)

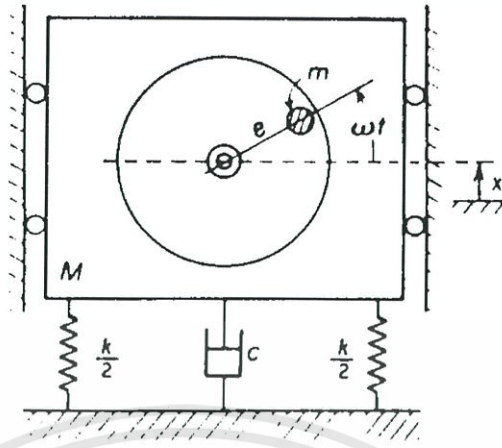


รูปที่ 3.3 แสดงพล็อตของสมการที่ 9

3.1.2 ความไม่สมดุลของการหมุน

ความไม่สมดุลในเครื่องจักรหมุนเป็นเหตุผลปกติของการสั่นสะเทือน เราพิจารณาระบบมวลติดสปริงในแนวตั้งและถูกกระตุ้นโดยเครื่องจักรหมุนนั่นคือ ความไม่สมดุล ที่แสดงในรูปที่ 3.4 ความไม่สมดุลถูกแทนด้วยมวล m ระยะเยื้องศูนย์กลาง e ที่หมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่ ω ให้ x เป็นระยะการกระจัดของมวลที่ไม่หมุน (M.m) จากตำแหน่งสมดุลสถิต, ระยะการกระจัดของมวล m คือ

$$x + e \sin \omega t$$



รูปที่ 3.4 การกระตุ้นทางฮาร์โมนิกโดยความไม่สมดุลของการหมุน

สมการการเคลื่อนที่ คือ

$$(M - m)\ddot{x} + m \frac{d^2}{dt^2} (x + e \sin \omega t) = -kx - c\dot{x}$$

ซึ่งจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = (me\omega^2) \sin \omega t$$

(3.10)

แอมพลิจูดของการสั่นในแนวตั้งหาได้จาก

$$X = \frac{me\omega^2}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}}$$

(3.11)

และ

$$\tan \phi = \frac{c\omega}{k - M\omega^2}$$

(3.12)

3.2 การประยุกต์ทฤษฎีการสั่นสะเทือนใช้กับเครื่องชั่งผ้าฝ้าย

3.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวทำสมดุลชนิดของเหลว (Liquid balancer)

ตัวทำสมดุลชนิดเหลวซึ่งทำจากพลาสติกภายในบรรจุด้วยน้ำเกลือ ซึ่งในการบั่นหนักน้ำเกลือ จะทำหน้าที่สำคัญในการลดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดจาก Unbalance mass โดยน้ำเกลือจะ เคลื่อนที่ในทิศตรงข้ามกับ Unbalance mass ดังรูปที่ 2 เมื่อ R_o และ R_i คือ รัศมีภายนอกและ ภายในของตัวสมดุลชนิดของเหลวตามลำดับ, v คือ ปริมาตรของน้ำเกลือ, ρ คือ ความหนาแน่นของ น้ำเกลือ, ω คือ ความเร็วในการหมุน, S คือ จุดศูนย์กลางของรูปทรง, c คือ ระยะห่างระหว่างจุด ศูนย์กลางของน้ำเกลือเทียบกับตำแหน่ง S , O คือ จุดศูนย์กลางของการหมุน, e คือ ระยะห่างเยื้อง ศูนย์เมื่อเทียบกับตำแหน่ง S และ R_s คือ รัศมีภายในของผิวน้ำเกลือเมื่อ O เป็นจุดศูนย์กลางโดย ขนาดของแรงหนีศูนย์กลางสามารถหาได้จากสมการ

$$F = \int dF \cos \theta = \rho \omega^2 e \int dV + \rho \omega^2 \int x dV \quad (3.13)$$

ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของน้ำเกลือเทียบกับตำแหน่ง S มีค่าเท่ากับ

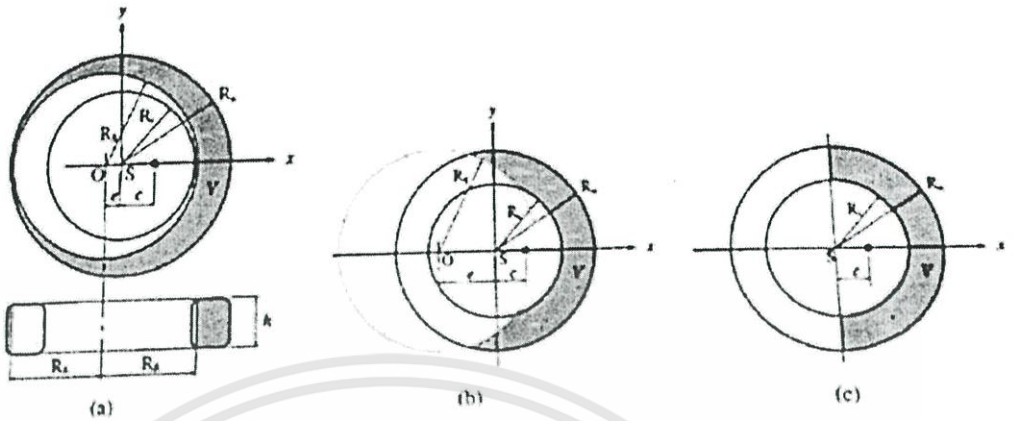
$$c = \frac{\int x dV}{\int dV} \quad (3.14)$$

และปริมาตรของน้ำเกลือหาได้จากสมการที่ 2.15

$$V = \pi h (R_o^2 - R_s^2) \quad (3.15)$$

เมื่อ

$$R_s = \sqrt{(1 - q)R_o^2 - qR_i^2} \quad (3.16)$$



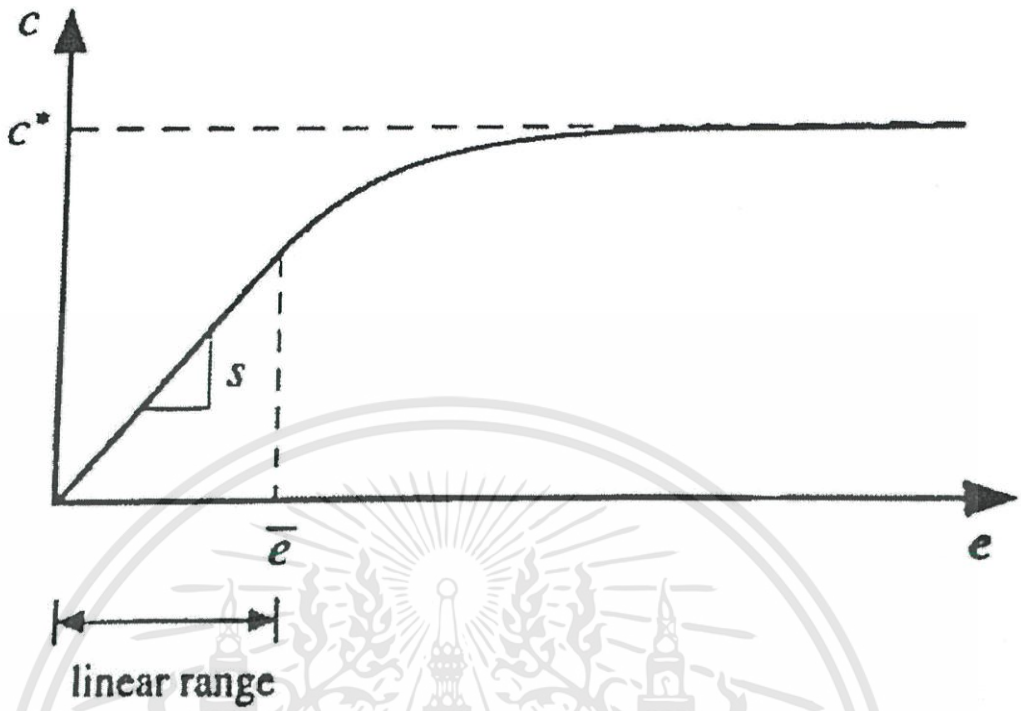
รูปที่ 3.5 จุดศูนย์กลางของน้ำเกลือที่การหมุน ณ ตำแหน่งต่างๆ

จากรูปที่ 3.5 (a) คือ รูปที่แสดงการเคลื่อนไหวของตัวทำสมดุขนิดของเหลวที่มีค่า $e < \bar{e}$ และนำสมการที่ 3.15 และ 3.16 ไปแทนค่าในสมการที่ 3.14 จะได้สมการใหม่ ดังนี้

$$\int x dV = \left(\int_{-R_0}^{R_0} x \sqrt{R_0^2 - x^2} dx - \int_{-R_x - e}^{R_x - e} x \sqrt{R_s^2 - (x + e)^2} dx \right) = \pi R_s^2 e h$$

(3.17)

จากสมการที่ 3.17 สามารถเขียนกราฟระหว่างจุดศูนย์กลางของน้ำเกลือเทียบกับตำแหน่ง $S(c)$ กับระยะห่างการเยื้องศูนย์กลางเมื่อเทียบกับตำแหน่ง $S(e)$ จะได้ผลดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจุดศูนย์กลางของน้ำเกลือเทียบกับตำแหน่ง S กับระยะห่างการเยื้องศูนย์เมื่อเทียบกับตำแหน่ง S

จากรูปที่ 3.6 ค่าความชันของกราฟจะพบว่าในช่วงหนึ่งที่ค่า c และ e มีค่าแปรผันตรงกันซึ่งเรียกว่า ช่วงที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear range) โดยค่า \bar{e} เป็นค่าการเยื้องศูนย์สูงสุดที่ยังมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ส่วน c^* จะเป็นค่าระยะห่างมากที่สุดระหว่างจุดศูนย์กลางของน้ำเกลือเทียบกับตำแหน่ง S และค่าความชันของรูปที่ 3.6 ในช่วง linear range จะบ่งบอกถึงค่าระหว่างจุดศูนย์กลางของน้ำเกลือเทียบกับตำแหน่ง S ได้ดังสมการที่ 18

$$c = \frac{R_s^2 e}{R_0^2 - R_s^2} \equiv se$$

(3.18)

ข้อจำกัดของสมการที่ 3.18 จะมีข้อจำกัดคือค่า $e < \bar{e}$ เท่านั้น ส่วนรูปที่ 3.2(b) และ 3.5(c) คือรูปที่แสดงการเคลื่อนที่ของตัวทำสมดุลชนิดของเหลวที่มีค่า $e > \bar{e}$ และค่า $e \gg \bar{e}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 19 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ จะพบว่าเมื่อค่า $e > \bar{e}$ จะทำให้น้ำเกลือเคลื่อนที่ไปรวมอยู่บริเวณหนึ่งจึงทำให้มีคุณสมบัติเหมือนมวลแข็งเกร็ง จึงพบว่าค่าระยะห่างมากที่สุดระหว่างจุดศูนย์กลางของน้ำเกลือเทียบกับตำแหน่ง S จะสามารถหาได้จากสมการที่ 3.19

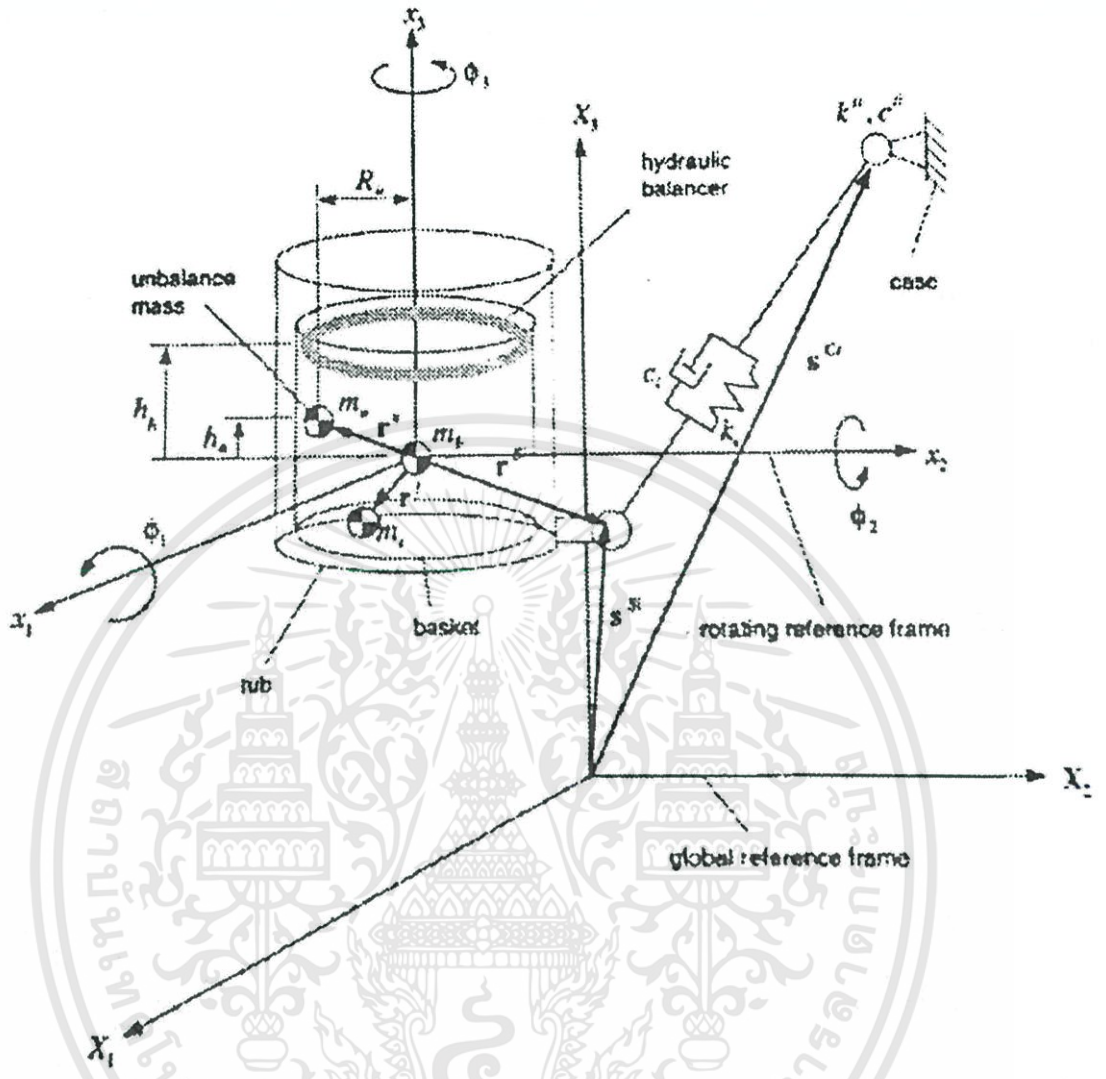
$$c^* = \frac{2h \int_0^{qh} \int_{R_i}^{R_o} \cos\theta \cdot dr \cdot d\theta}{2h \int_0^{qh} \int_{R_i}^{R_o} r dr \cdot d\theta} = \frac{2(R_o^2 + R_o R_i + R_i^2)(\sin(q\pi))}{3(R_o + R_i)(q\pi)} \quad (3.19)$$

จากสมการที่ 3.18 และ 3.19 จะสามารถเขียนสมการที่บ่งบอกค่าระยะห่างจุดศูนย์กลางของน้ำเกลือเทียบกับตำแหน่ง $S(c)$ แบบมีเงื่อนไขได้ดังสมการที่ 2.20

$$c = \begin{cases} se, & e < \bar{e} \\ c^*, & e \rightarrow \infty \end{cases} \quad (3.20)$$

3.2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เครื่องซักผ้าชนิดฝาบาน (Vertical washing machine)

แบบจำลองการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าฝาบาน จะถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 3.7 โดย \mathbf{X}_1 , \mathbf{X}_2 และ \mathbf{X}_3 คือพิกัดอ้างอิงโดยรวม (global reference) \mathbf{X}_1 , \mathbf{X}_2 และ \mathbf{X}_3 คือ พิกัดอ้างอิงของการหมุน (rotating reference) โดยอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลของตะกร้า เวกเตอร์ \mathbf{S} คือ เวกเตอร์ตำแหน่งที่อ้างอิงกับพิกัดอ้างอิงโดยรวม เวกเตอร์ \mathbf{r} คือ เวกเตอร์ตำแหน่งที่อ้างอิงกับพิกัดอ้างอิงของการหมุน เวกเตอร์ \mathbf{x} คือ เวกเตอร์ของการกระจัดในแนวแกนเทียบกับพิกัดอ้างอิงโดยรวม เวกเตอร์ \emptyset คือ เวกเตอร์ของการกระจัดของการหมุนเทียบกับพิกัดอ้างอิงโดยรวม และตัวอักษรยกกำลัง $(\cdot)^b$, $(\cdot)^t$, $(\cdot)^u$ และ $(\cdot)^h$ หมายถึง ตะกร้าใส่ผ้า, ถัง, มวลที่ทำให้เกิดความไม่สมดุล, ตัวทำสมดุลชนิดของเหลว ส่วน $(\cdot)^{Si}$ คือ ตำแหน่งของก้านโลหะ (rod) ที่ติดกับถัง และ $(\cdot)^{Ci}$ ตำแหน่งของก้านโลหะ (rod) ที่ติดกับโครงสร้าง (case)



รูปที่ 3.7 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของเครื่องชักผ้าแบบฝaban

ถ้าเครื่องชักผ้าเกิดการหมุนขึ้นจะสามารถหาเวกเตอร์ของการกระจัดในแนวแกนของถังและมวลที่ทำให้เกิดความไม่สมดุลได้ดังนี้

$$x^t = x^b + Qr^t \tag{3.21}$$

$$x^u = x^b + Qr^u$$

(3.22)

เมื่อ

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & \phi_3 & -\phi_2 \\ -\phi_3 & 1 & \phi_1 \\ \phi_2 & -\phi_1 & 1 \end{bmatrix}$$

(3.23)

$$r^t = [r_1^t, r_2^t, r_3^t]^T$$

(3.24)

และ

$$r^u = [R_u \cos \theta, R_u h_u \cos \theta]^T$$

(3.25)

เวกเตอร์ความเร็วในการหมุนของตะกร้าใส่ผ้าและถังสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\dot{\psi}^b = Q\dot{\theta} + \omega$$

(3.26)

$$\dot{\psi}^t = Q\dot{\theta}$$

(3.27)

เมื่อ $\omega = [0, 0, \dot{\theta}]^T$ คือ เวกเตอร์ในการหมุนเชิงมุมของตะกร้าใส่ผ้าเมื่อเทียบกับถัง และ θ คือ มุมการหมุน

จากสมการที่ 3.21 ถึง 3.27 จะสามารถหาพลังงานจลน์และพลังงานศักย์เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของระบบได้ดังนี้

$$T = \frac{1}{2} m_b \|\dot{x}^b\|^2 + \frac{1}{2} m_t \|\dot{x}^t\|^2 + \frac{1}{2} m_u \|\dot{x}^u\|^2$$

$$+ \frac{1}{2} (\dot{\Psi}^b)^T I_b \dot{\Psi}^b + \frac{1}{2} (\dot{\Psi}^t)^T I_t \dot{\Psi}^t$$

(3.28)

$$V_g = (m_b x_3^b + m_t x_3^t + m_u x_3^u) g$$

(3.29)

เมื่อ I คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุนั้น

แรงที่เกิดจากสปริงและตัวหน่วงในตัวดูดซับแรงทั้งสี่ชั้นสามารถหาได้จาก

$$F_{SDx_j} = - \sum_{i=1}^4 (k_i \delta_i + c_i v_i) \frac{\partial L_i}{\partial x_j^b}$$

(3.30)

$$F_{SD\phi_j} = - \sum_{i=1}^4 (k_i \delta_i + c_i v_i) \frac{\partial L_i}{\partial \phi_j}$$

(3.31)

$$L_i = \|x^{Si} - x^{Ci}\|$$

(3.32)

$$\delta_i = L_i - L_{oi}$$

(3.33)

$$v_i = \dot{x}^{Si} \cdot e^i$$

(3.34)

เมื่อ $j = (1,2,3)$, k_i คือ ค่านิจของสปริง, c_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วง, L_{oi} คือ ความยาวเริ่มต้นของก้านโลหะ, L_i คือ ความยาวสุดท้ายที่พิจารณาของก้านโลหะ และ e^i คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศของก้านโลหะ

นอกจากนั้นจะพบว่าตัวทำสมดุลชนิดของเหลวที่หมุนด้วยความเร็วคงที่ (steady state) จะมีจุดศูนย์กลางมวลห่างจากพิกัดอ้างอิงโดยรวมในแกน X_3 เป็นระยะคงที่โดยมีค่าเท่ากับ $e + c$ ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งจากความสัมพันธ์ข้างต้นจะทำให้สามารถเขียนสมการของเวกเตอร์ s^h ซึ่งเป็นเวกเตอร์การกระจัดของจุดศูนย์กลางของตัวทำสมดุลชนิดของเหลวที่หมุนด้วยความเร็วคงที่ได้ดังสมการที่ 3.35

$$s^h = \begin{Bmatrix} s_1^h \\ s_2^h \\ s_3^h \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} (1 + c/e)(s_{o1}^b + x_1^b + h_h \phi_2) \\ (1 + c/e)(s_{o2}^b + x_2^b + h_h \phi_1) \\ (s_{o3}^b + x_3^b + h_h) \end{Bmatrix} \quad (3.35)$$

เมื่อ s_o^b คือ เวกเตอร์เริ่มต้นของตะกร้าใส่ผ้า

จากสมการที่ 2.35 จึงทำให้หาค่าความเร่งของตัวทำสมดุลชนิดของเหลวได้ด้วยเช่นกัน

$$\ddot{x}^h = \frac{\partial^2}{\partial t^2} s^h = \begin{Bmatrix} (1 + c/e)(\ddot{x}_1^b + h_h \ddot{\phi}_2) \\ (1 + c/e)(\ddot{x}_2^b + h_h \ddot{\phi}_1) \\ \ddot{x}_3^b \end{Bmatrix} \quad (3.36)$$

จากสมการที่ 3.36 จะทำให้หาแรงเหวี่ยงสู่ศูนย์กลางและแรงน้ำหนักของตะกร้าใส่ผ้าได้ดังสมการ

$$F_{HB} = m_h \begin{Bmatrix} -\ddot{x}_1^h \\ -\ddot{x}_2^h \\ -\ddot{x}_3^h + g \end{Bmatrix} \equiv \begin{Bmatrix} F_{HBx_1} \\ F_{HBx_2} \\ F_{HBx_3} \end{Bmatrix} \quad (3.37)$$

จากสมการที่ 3.37 จะนำไปหาโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางของตะกร้าใส่ผ้าได้ดังนี้

$$M_{HB} = (s^h - s_o^b - x^b) \cdot F_{HB} \equiv \begin{Bmatrix} F_{HB\phi_1} \\ F_{HB\phi_2} \\ F_{HB\phi_3} \end{Bmatrix}$$

(3.38)

จากสมการทั้งหมดที่กล่าวมานำมาเขียนเป็นสมการการเคลื่อนที่ของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบน ได้โดยเขียนเป็นสมการลากรางจ์ได้ดังนี้

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_j^b} \right) - \frac{\partial T}{\partial x_j^b} + \frac{\partial V}{\partial x_j^b} = F_{SDx_j} + F_{HBx_j}$$

(3.39)

เมื่อ $j = (1, 2, 3)$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial \phi_j} + \frac{\partial V}{\partial \phi_j} = F_{SD\phi_j} + F_{HB\phi_j}$$

(3.40)

เมื่อ $j = (1, 2, 3)$

จากการแก้สมการที่ 3.39 และ 3.40 จะสามารถหาความเร่งของตะกร้าใส่ผ้าที่ตำแหน่งใดๆ ได้ทั้งสามแกน

บทที่ 4

ค่าความสั่นสะเทือนในแนวแกนต่างๆเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของ เครื่องชักผ้าแบบฝาบอน

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอการศึกษาค่าความสั่นสะเทือนในแนวแกนต่างๆของเครื่องชักผ้าที่สภาวะปั่น晃จากการวัดค่าความสั่นสะเทือนจากชุดเครื่องมือวัด เพื่อ เพื่อศึกษาขนาดความเร่งทั้งในแกน X, Y และ Z โดยการจำลองเชิงตัวเลขนี้เป็นการจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของเครื่องชักผ้าชนิดฝาบอนขนาดความจุ 6.5 กิโลกรัม ซึ่งมีรายละเอียดในการจำลองเชิงตัวเลขดังนี้

4.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องชักผ้าชนิดฝาบอนและค่าเริ่มต้นของปัจจัยต่างๆ

เครื่องชักผ้าชนิดฝาบอนจะประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญหลักๆ ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งชิ้นส่วนหลักทั้งสี่จะมีหน้าที่แตกต่างกันไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ชิ้นส่วนประกอบฝาบอน (Top cover assy)

ชิ้นส่วนประกอบฝาบอนซึ่งจะถูกแสดงในชิ้นส่วน A ของ รูปที่ 4.1 โดยภายในชิ้นส่วนฝาบอนนี้จะประกอบไปด้วยแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีโปรแกรมการทำงานต่างๆของเครื่องชักผ้า

4.2.2 ชิ้นส่วนด้านโครงสร้าง (Cabinet and base assy)

ชิ้นส่วนด้านโครงสร้าง ซึ่งจะถูกแสดงในชิ้นส่วน B ของ รูปที่ 4.1 ซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกันและเป็นหลักฐานสำหรับการวางที่พื้น

4.2.3 ชั้นส่วนด้านถังภายนอก (Outer tub assy)

ชั้นส่วนด้านถังภายนอก ซึ่งจะถูกแสดงในชั้นส่วน C ของ รูปที่ 4.1 จะประกอบไปด้วย ชั้นส่วนต่างๆมากมายทั้งที่ทำหน้าที่เป็นชุดขับเคลื่อน เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า คลัตช์ พูลเลย์ และ สายพาน นอกจากนี้ยังประกอบด้วยชุดท่ออ่อนสำหรับระบายน้ำทิ้งจากการซักผ้าอีกด้วย

4.2.4 ชั้นส่วนด้านถังภายใน (Inner tub assy)

ชั้นส่วนด้านถังภายใน ซึ่งจะถูกแสดงในชั้นส่วน D ของ รูปที่ 4.1 จะประกอบด้วยชุดตัวทำ สมดุลชนิดของเหลวทำหน้าที่ในการสร้างแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางให้กับเครื่องซักผ้าเพื่อเป็นแรงต้าน การเกิดความไม่สมดุลขณะทำการหมุน นอกจากนี้ยังประกอบด้วยถังใส่น้ำเพื่อไว้บรรจุผ้าที่ ต้องการทำการซักด้วย



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบหลักต่างๆของเครื่องซักผ้าแบบใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 27 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าเริ่มต้นของปัจจัยต่างๆของเครื่องซักผ้าขนาดความจุ 6.5 กิโลกรัมรุ่น WA85G5

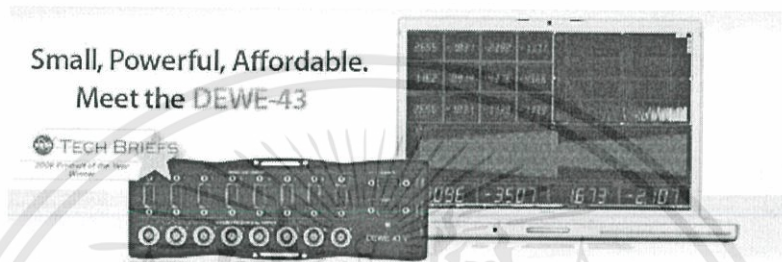
ค่าเริ่มต้นของปัจจัยต่างๆของเครื่องซักผ้า	
มวลของตะกร้าใส่ผ้าส่วนบน	0.75 กิโลกรัม
มวลของตะกร้าใส่ผ้าส่วนล่าง	1.95 กิโลกรัม
มวลของตัวทำสมดุลชนิดของเหลว (ไม่รวมมวลของน้ำเกลือ)	1.4 กิโลกรัม
มวลของถัง	3.3 กิโลกรัม
มวลฐานรองมอเตอร์	0.95 กิโลกรัม
มวลของน้ำเกลือ	1.4 กิโลกรัม
มวลของมอเตอร์	3.2 กิโลกรัม
มวลของระบบส่งกำลัง	2.4 กิโลกรัม
มวลแขนรับแรง	0.1 กิโลกรัม
มวลตัวเก็บประจุ	0.15 กิโลกรัม
มวลตัวเชื่อมตะกร้าใส่ผ้าส่วนล่างเข้ากับระบบส่งกำลัง	0.5 กิโลกรัม
มวลทดลอง	1.2 กิโลกรัม
มอเตอร์ควบคุมระบบน้ำทิ้ง	0.3 กิโลกรัม
มวลใบพัด	0.6 กิโลกรัม
ค่า নিজของสปริง	2.5 N/mm
ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวหน่วง	0.1 N-s/mm

จากตารางที่ 4.1 จะเป็นตารางค่าเริ่มต้นของปัจจัยต่างๆของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนขนาดความจุ 6.5กิโลกรัม รุ่น WA85G5 โดยค่าเริ่มต้นของปัจจัยต่างๆนั้นมาจากการวัดและศึกษาเครื่องซักผ้าซึ่งมวลของผ้าที่ซักรันทางผู้ผลิตจะกำหนดปัจจัยนี้มีพฤติกรรมเสมือนผ้าที่ต้องการซักที่ไปรวมตัวอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของเครื่องซักผ้าขณะปั่นแห้ง ที่จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมากที่สุด สำหรับในการออกแบบและทดสอบ ทางผู้ผลิตจะกำหนดให้ใช้มวลที่มีขนาดเท่ากับ 1.2 กิโลกรัม

4.3 การวัดค่าความเร่งของเครื่องซักผ้าแบบฝาบนในสภาวะปั่นแห้ง

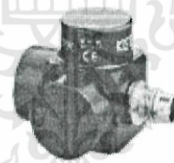
4.3.1 อุปกรณ์ต่างๆ และโปรแกรมประมวลผลที่ใช้ในการวัดค่าความสั่นสะเทือน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความเร่งนั้นประกอบไปด้วยเซนเซอร์วัดค่าความเร่งรุ่น kistler 8692C50M1 การ์ดรวบรวมข้อมูลรุ่น DEWE-43 และคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล



รูปที่ 4.2 การ์ดรวบรวมข้อมูลรุ่น DEWE-43

- Low impedance, voltage mode
- Unique integral mounting magnet
- Low cost, lightweight triaxial design
- High accuracy and stability
- Choice of ranges and sensitivities
- Excellent thermal stability
- Conforming to CE



Technical Data	Units	8692C50 8692C50M1
Acceleration Range	g	±50
Acceleration Limit	g _{pk}	±30
Threshold nom.	g _{rms}	1000
Sensitivity ±5% @ 0 g _{rms} & 100 Hz	mV/g	100
Resonant Frequency mounted, nom.	kHz	22
Frequency Response ±5%	Hz	1 ... 6000
Phase Shift, < 5°	Hz	4 ... 4000
Amplitude Non-linearity	%FSO	±1
Time Constant nom.	s	1
Transverse Sensitivity	%	<1
Long Term Stability	%	±1
Environmental:		
Base Strain Sensitivity @ 250 µε	g/µε	<0.001
Shock Limit (0.2ms pulse width)	g _{pk}	10000
Temperature Coefficient of Sensitivity	%/°F	+0.04
	%/°C	+0.08
Temperature Range Operating (4mA supply current)	°F	32 ... 149
	°C	0 ... 65
Storage	°F	-10 ... 200
	°C	-23 ... 94

รูปที่ 4.3 รายละเอียดความสามารถของเซนเซอร์วัดค่าความเร่งรุ่น kistler 8692C50M1

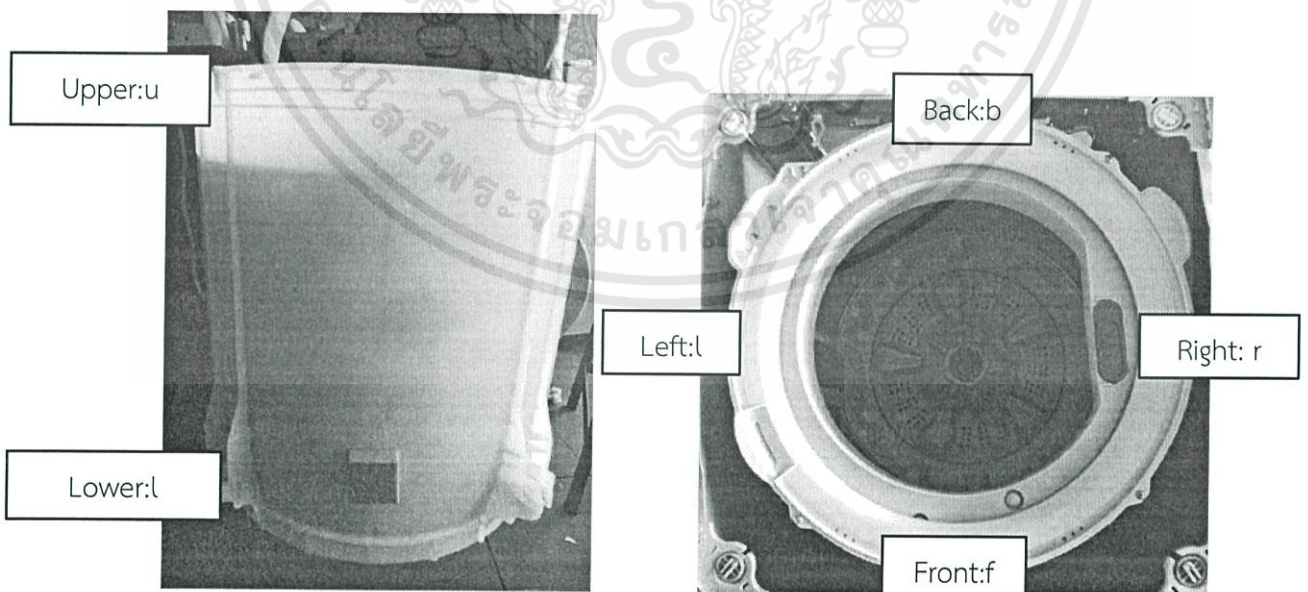
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 29 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 วิธีการวัดค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้า

การวัดค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าที่สภาวะปั่นแห้งนั้นจะต้องทำการวัดค่าความเร่งที่ตำแหน่งเดียวกับแบบจำลองเชิงตัวเลข โดยในการวัดและเก็บค่าข้อมูลจะทำการวัดค่าความเร่ง RMS ทั้งหมด 4 ด้านสองตำแหน่งในกรณีไม่มีมวล และมีมวล 1.2 กิโลกรัมโดยใช้อักษรย่อสามตัวแทนชื่อแกนในการวัดความเร่ง โดย

- อักษรตัวแรก จะมีจุดบน (upper) แทนด้วย u และ จุดล่าง (lower) แทนด้วย l
- อักษรตัวที่สอง จะมีด้านทั้งสี่คือ ด้านหน้า (front) แทนด้วย f, ด้านขวา (right) แทนด้วย r, ด้านหลัง (back) แทนด้วย b และ ด้านซ้าย (left) แทนด้วย l
- อักษรตัวที่สาม แทนแกนทั้งสาม แกน X แทนด้วย x, แกน Y แทนด้วย y และ แกน Z แทนด้วย z

เช่น urX อักษร U นั้นหมายถึงตำแหน่งด้านบนของเครื่องซักผ้า ซึ่งอักษร U นั้นย่อมาจากคำว่า Upper ส่วนตัวอักษรตัวที่สองแทนตำแหน่งอักษร R นั้นหมายถึงด้านขวาของเครื่องซักผ้า ซึ่งตัวอักษร R นั้นย่อมาจากคำว่า Right ของการวัด และ ตัวอักษรตัวที่สามแทนตำแหน่งอักษร X นั้นหมายถึงวัดค่าความเร่งที่แกน X เช่น ดังนั้นการวัดการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง urX จึงหมายถึง การวัดการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งบนทางด้านขวาของเครื่องซักผ้าที่แกน X

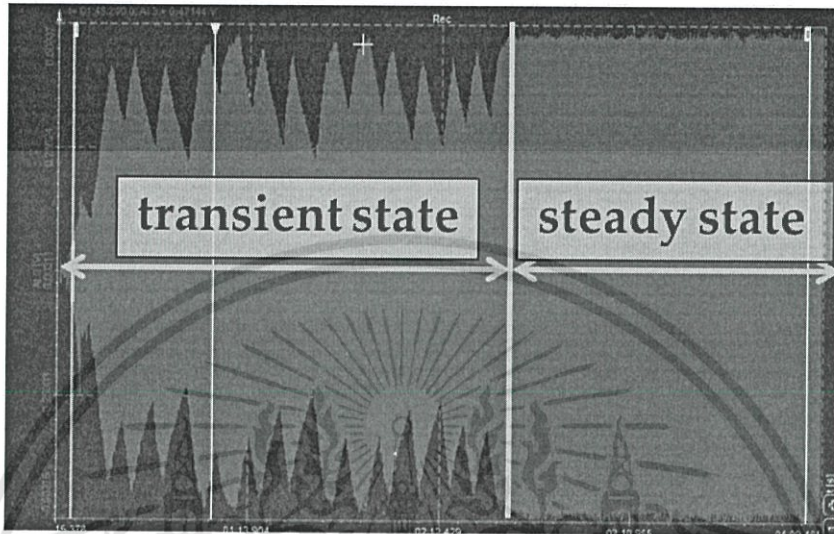


รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งการกำหนดอักษรตัวแรกและอักษรตัวที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 30 ษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ค่าความเร่งของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนในสภาวะปั่นแห้ง

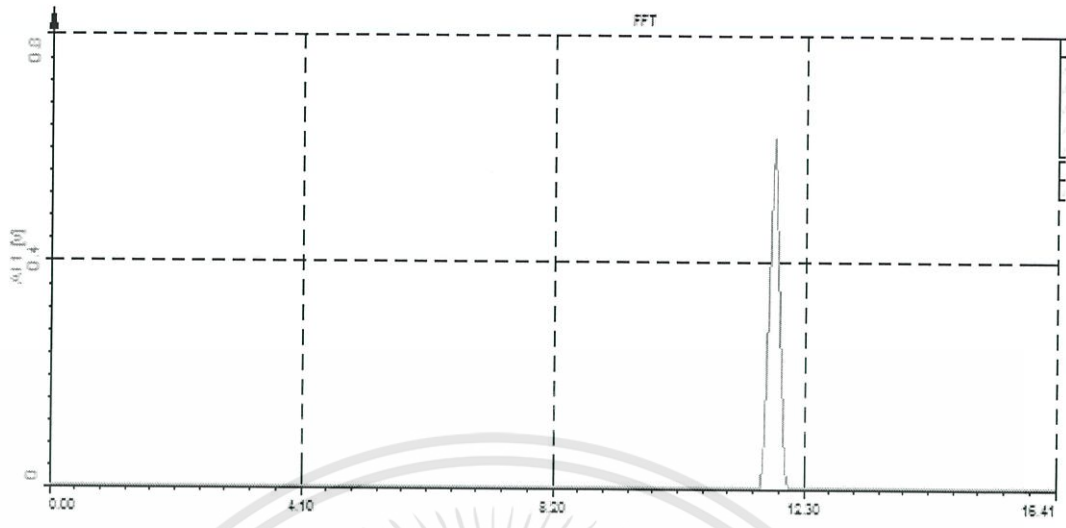
จากการวัดค่าความเร่งของเครื่องซักผ้าแบบฝาบนในสภาวะปั่นแห้งในลักษณะแอมพลิจูดเทียบกับเวลาดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความเร่งเทียบเวลา

จากรูปที่ 4.5 กราฟแอมพลิจูดของความเร่งเทียบกับเวลานั้นสามารถแบ่งการหมุนของเครื่องซักผ้าชนิดปั่นแห้งออกได้สองช่วง ซึ่งช่วงแรกจะมีลักษณะการหมุนที่ความเร็วรอบไม่คงที่และจะค่อยๆเพิ่มความเร็วยิ่งขึ้นไปเรื่อย โดยจะเรียกช่วงนี้ว่าช่วงความเร็วรอบไม่คงที่ (Transient state) หลังจากเมื่อเพิ่มความเร็วจนถึงระดับหนึ่ง ตะกร้าใส่ผ้า นั้นจะหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ เรียกช่วงที่มีการหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่นี้ว่า ช่วงความเร็วรอบคงที่ (Steady state) ซึ่งในช่วงจะมีค่าความเร่งสูงที่สุดโดยความเร็วรอบของตะกร้า นั้นจะมีความเร็วรอบประมาณ 700 รอบต่อนาที

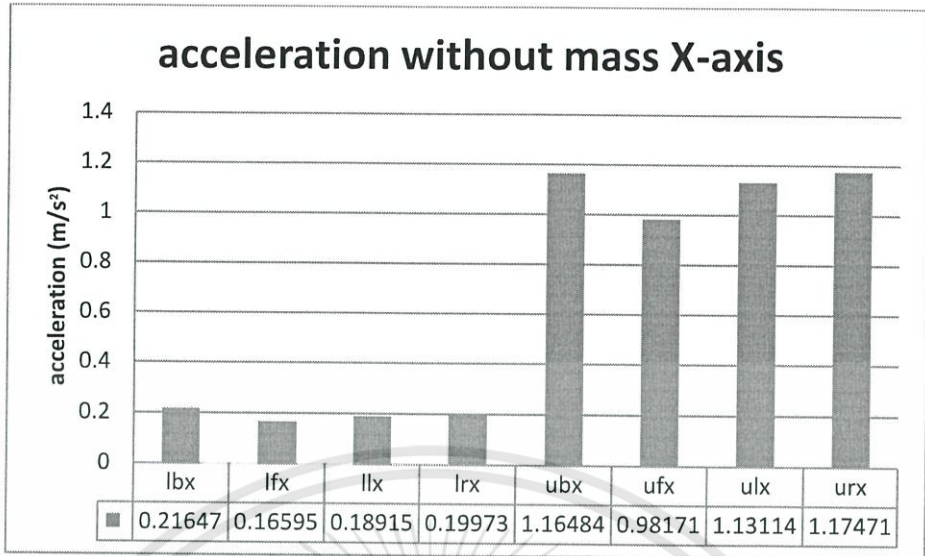
จากข้อมูลในช่วงความเร็วรอบคงที่ มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการ FFT analysis จะได้ความถี่ขณะทำการหมุนเท่ากับ 11.8 Hertz ดังรูปที่ 4.6



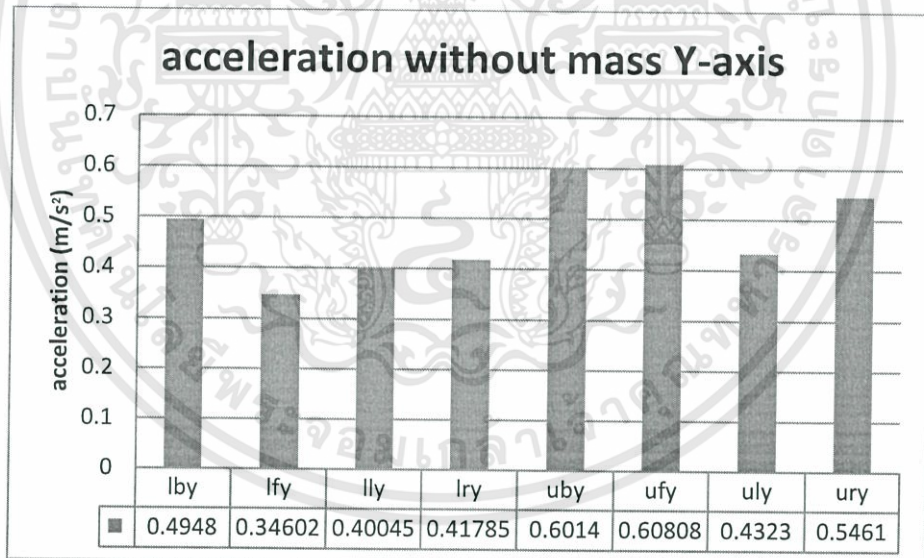
รูปที่ 4.6 ความถี่ขณะทำการหมุนในช่วงความเร็วรอบคงที่

4.3.4 สรุปผลการวัดความเร่งตามแนวแกนจากเครื่องชั่งผ้าในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีไม่มีมวลและกรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัม

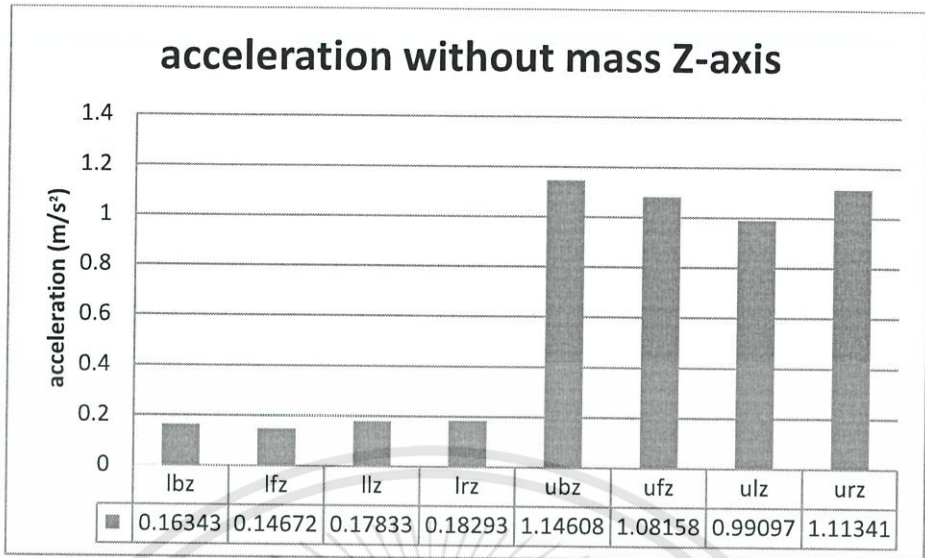
จากรูปที่ 4.5 จะพบว่าค่าความเร่งในช่วงความเร็วรอบคงที่นั้นมีความมากที่สุดและมีความต่อเนื่อง ดังนั้นจึงทำการนำค่าความเร่งในทุกๆตำแหน่งที่ช่วงความเร็วรอบคงที่นี้มาหาค่าเฉลี่ย RMS และแสดงผลออกมาในรูปของกราฟแท่ง



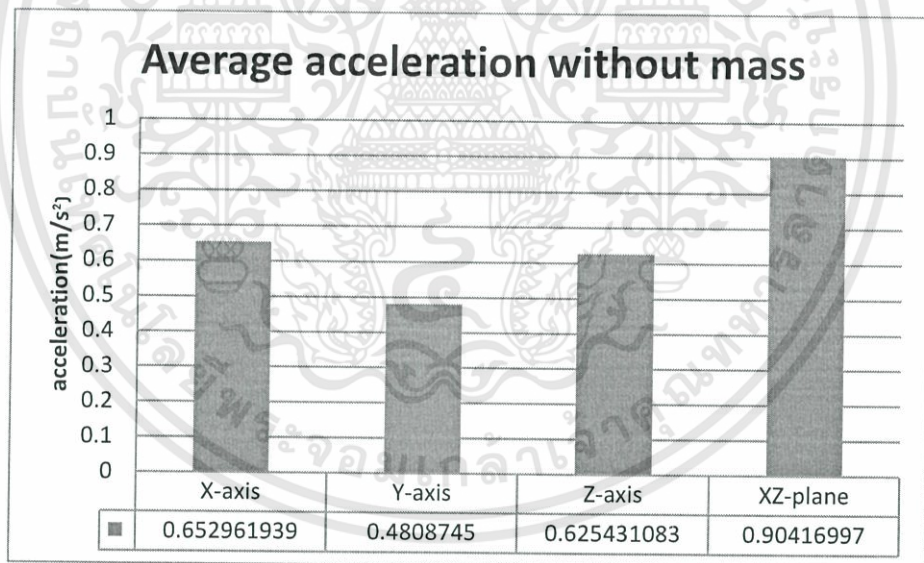
รูปที่ 4.7 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแกน X จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้า ในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีไม่มีมวล



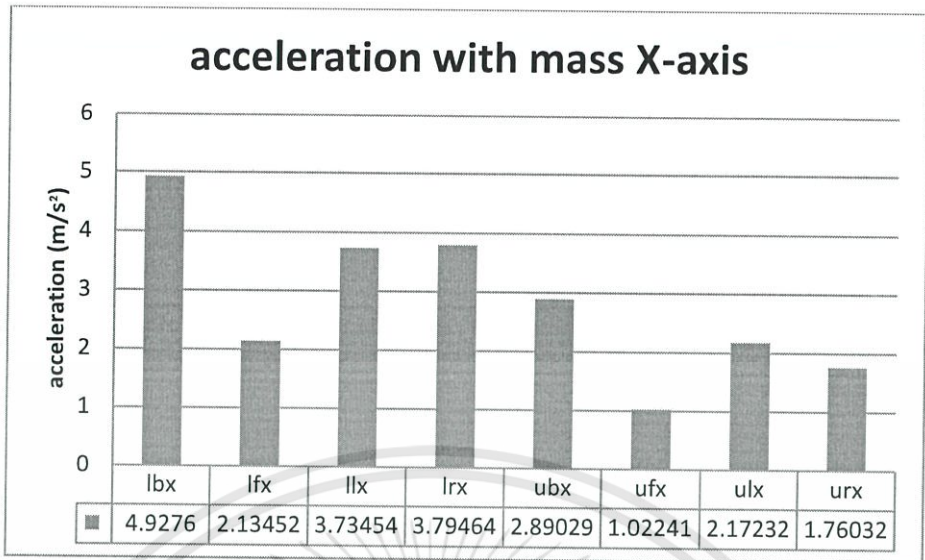
รูปที่ 4.8 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแกน Y จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้า ในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีไม่มีมวล



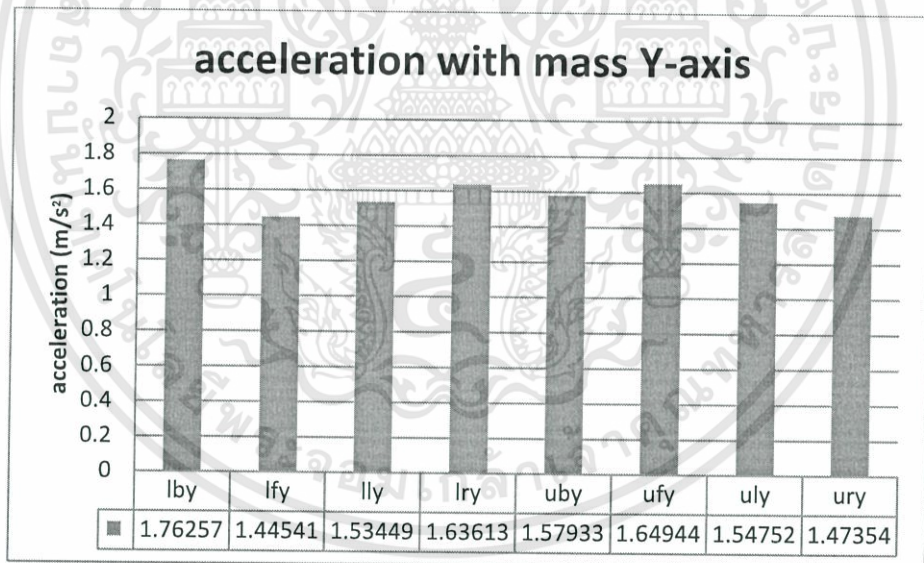
รูปที่ 4.9 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแกน Z จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้า ในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีไม่มีมวล



รูปที่ 4.10 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่งเฉลี่ย RMS ในแกนต่างๆ และความเร่ง RMS ในระนาบ XZ จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้าในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีไม่มีมวล

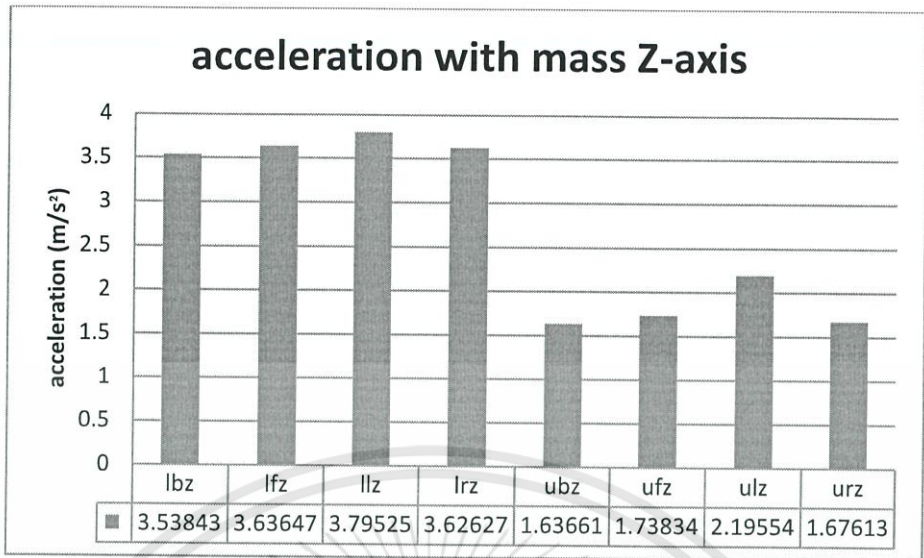


รูปที่ 4.11 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแกน X จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้า ในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัม

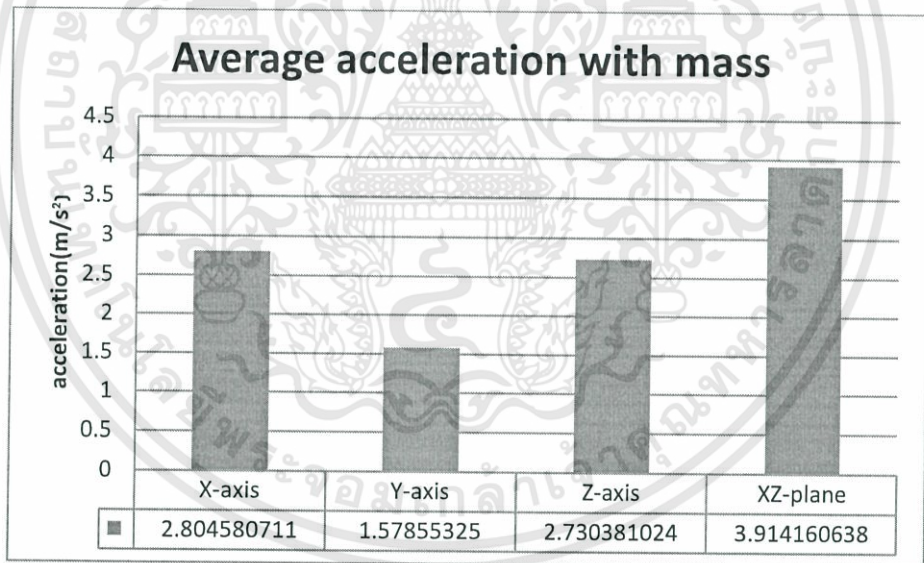


รูปที่ 4.12 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแกน Y จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้า ในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 35 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแกน X Y และ Z จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้าในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัม



รูปที่ 4.14 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่งเฉลี่ย RMS ในแกนต่างๆ และความเร่ง RMS ในระนาบ XZ จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้าในช่วงความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 36 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การสร้างแบบจำลองและการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของเครื่องชักผ้าแบบฝาบन

5.1 บทนำ

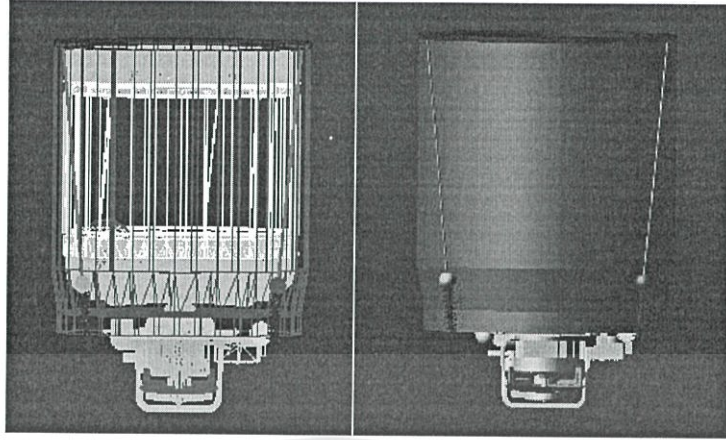
ในบทนี้จะนำเสนอการศึกษาค่าความสั่นสะเทือนในแนวแกนต่างๆ ของเครื่องชักผ้าขนาด 6.5 กิโลกรัม ที่สภาวะปั่นแห้ง เพื่อการประยุกต์ใช้กับทฤษฎีพื้นฐานทางการสั่นสะเทือนเชิงกล และ จำลองการเคลื่อนที่ของเครื่องชักผ้าชนิดฝาบนในสภาวะปั่นแห้งที่เงื่อนไขที่ไม่มีมวลไม่สมดุล และมีมวลที่ไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม

5.2 การสร้างแบบจำลองและการจำลองเชิงตัวเลข

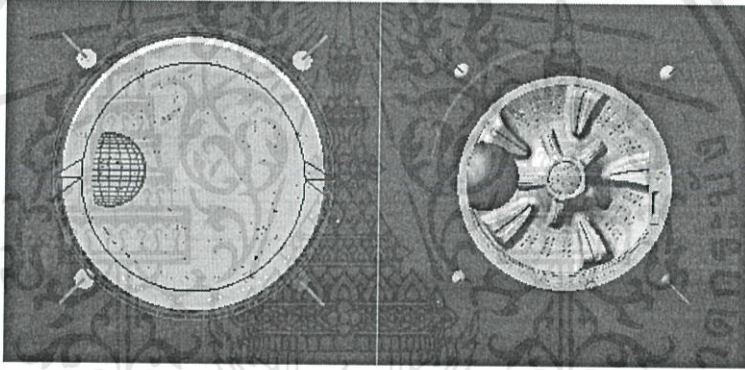
การสร้างแบบจำลองของระบบเครื่องชักผ้ามีขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นตอนแรกทำการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ซึ่งใช้โปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของระบบเชิงกลในการสร้างแบบจำลองโดยอ้างอิงจากแบบทางวิศวกรรมที่ผู้ผลิตเป็นผู้ให้ข้อมูลและใส่ค่าเริ่มต้นให้แก่ชิ้นส่วนต่างๆ ขั้นตอนที่สองกำหนดรูปแบบลักษณะการหมุนของแบบจำลองให้เหมือนกับการหมุนที่สภาวะปั่นแห้งของเครื่องชักผ้าจริง

5.2.1 การสร้างแบบจำลอง

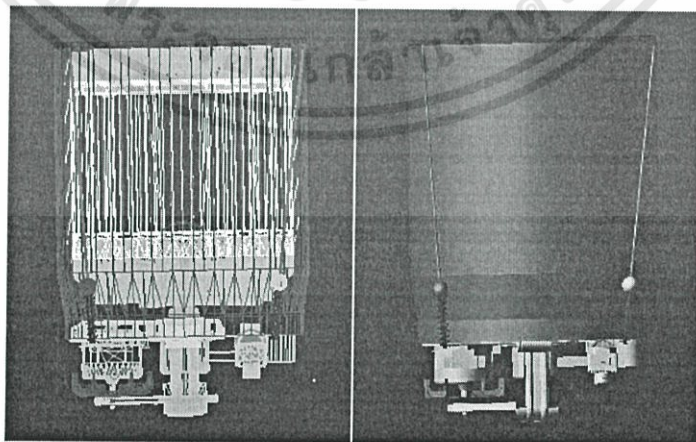
จากแบบทางวิศวกรรมของชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องชักผ้าสามารถนำมาเขียนรูปแบบ 3 มิติในโปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของระบบเชิงกลได้ดังรูปที่ 5.1 - 5.3



รูปที่ 5.1 แบบจำลองของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนด้านหน้า



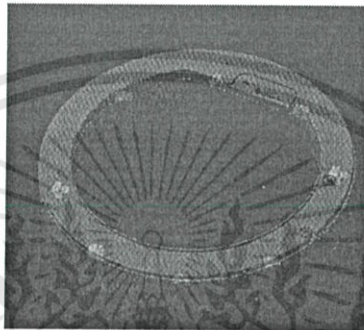
รูปที่ 5.2 แบบจำลองของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนด้านบน



รูปที่ 5.3 แบบจำลองของเครื่องซักผ้าชนิดฝาบนด้านบนข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 38 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

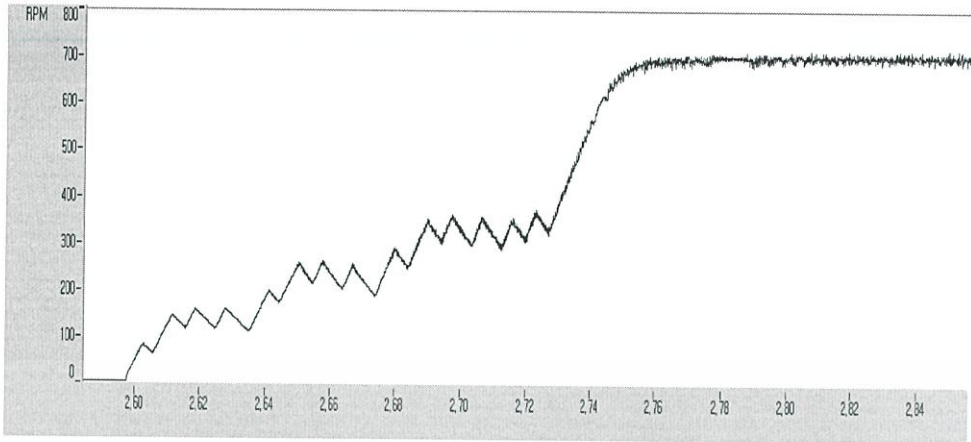
แบบจำลองนี้มีจุดสำคัญอยู่หนึ่งจุด คือ เนื่องจากโปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของระบบเชิงกลที่จำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุแข็งเกร็งจึงไม่สามารถจำลองพฤติกรรมการสร้างแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากน้ำเกลือในตัวทำสมดุลชนิดของเหลวได้จึงได้ทำการสร้างแบบจำลองของลูกบอลจำนวนแปดลูกที่มีลักษณะการทำงานเหมือนตัวทำสมดุลแบบลูกบอล (ball balance) ขึ้นมาเพื่อให้เกิดการสร้างแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเช่นเดียวกับตัวทำสมดุลชนิดของเหลว โดยน้ำหนักของลูกบอลทั้งแปดลูกรวมกันจะเท่ากับน้ำหนักของน้ำเกลือในตัวทำสมดุลชนิดของเหลว



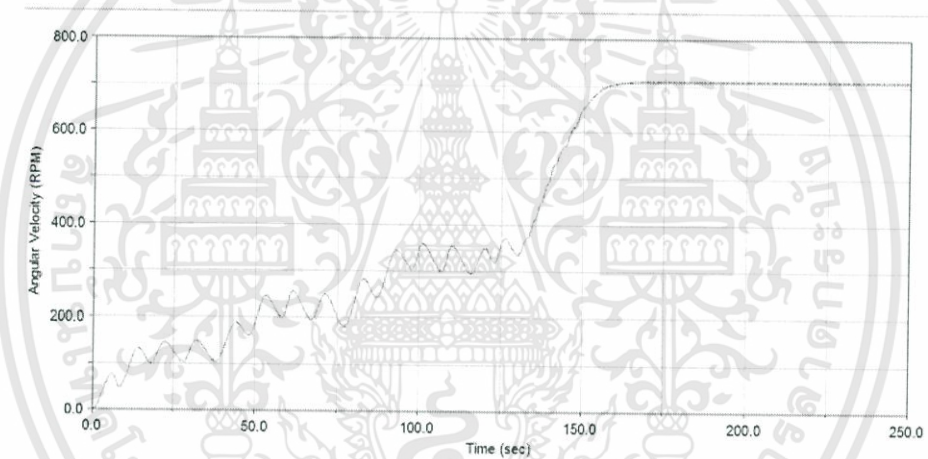
รูปที่ 5.4 ตัวทำสมดุลแบบลูกบอล

5.2.2 การสร้างรูปแบบลักษณะการหมุนของเครื่องซักผ้าในสภาวะปั่นแห้ง

รูปแบบลักษณะการหมุนของเครื่องซักผ้าในสภาวะปั่นแห้งจะถูกแสดงดังรูปที่ 5.5 และ 5.6 การหมุนของเครื่องซักผ้าในสภาวะปั่นแห้งในการจำลองสามารถแบ่งออกเป็นสองช่วง คือ ช่วงความเร็วรอบไม่คงที่ ซึ่งความเร็วรอบของเครื่องซักผ้าในช่วงนี้จะแปรผันตามเวลาและจะค่อยๆ เพิ่มความเร็วรอบไปเรื่อยๆ จนเข้าสู่ความเร็วรอบคงที่โดยความเร็วรอบที่สภาวะความเร็วรอบคงที่นั้นมีค่าอยู่ประมาณ 700 รอบต่อนาที ซึ่งเวลาที่ใช้ในการจำลองเท่ากับ 250 วินาที และความละเอียดในการจำลองทั้งหมดเท่ากับ 500 ครั้งต่อวินาที



รูปที่ 5.5 รูปแบบลักษณะการหมุนของเครื่องชกผ้าในสภาวะปั่นแห้งของเครื่องชกผ้าจริง

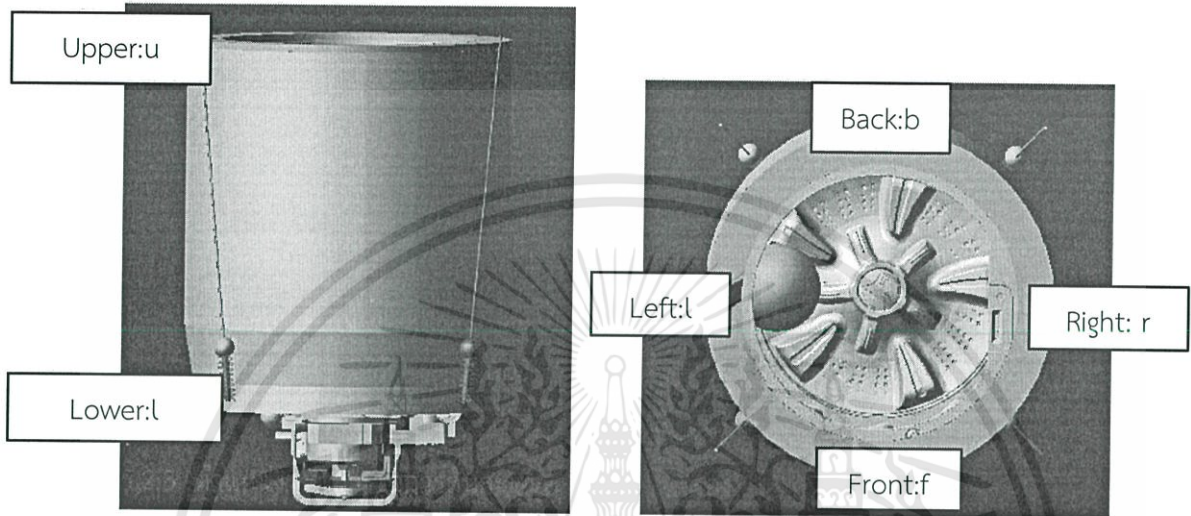


รูปที่ 5.6 รูปแบบลักษณะการหมุนของเครื่องชกผ้าในสภาวะปั่นแห้งในแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 40 ษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 ตำแหน่งที่ทำการวัดการสั่นสะเทือนจากแบบจำลอง

การวัดสั่นสะเทือนของแบบจำลองของเครื่องซักผ้านั้นจะถูกวัดออกมาในรูปของค่าความเร่ง ซึ่งตำแหน่งที่ทำการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าในแบบจำลองนั้นจะทำการวัดค่าความเร่งที่ตำแหน่งเดียวกับการวัดค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าควบคุมทั้งหมด 8 จุดดังรูป

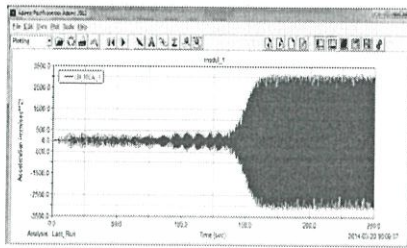


รูปที่ 5.7 ตำแหน่งที่ทำการวัดการสั่นสะเทือน

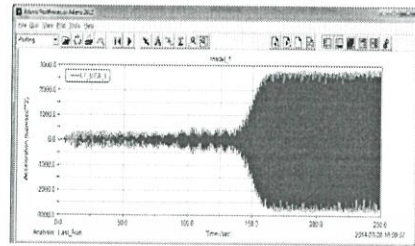
5.3 การจำลองเชิงตัวเลขของเครื่องซักผ้า

เมื่อทำการสร้างแบบจำลองและใส่ค่าเริ่มต้นของปัจจัยต่างๆให้แก่แบบจำลอง พร้อมทั้งใส่ค่ารูปแบบลักษณะการหมุนของเครื่องซักผ้าในสภาวะปั่นแห้ง หลังจากนั้นให้ทำการจำลองเชิงตัวเลขหาค่าอัตราเร่งของแกน X, Y และ Z ในทุกๆตำแหน่งจะได้ค่าความเร่งของเครื่องซักผ้าแบบฝาบในสภาวะปั่นแห้งในลักษณะแอมพลิจูดเทียบกับเวลาดังตัวอย่าง

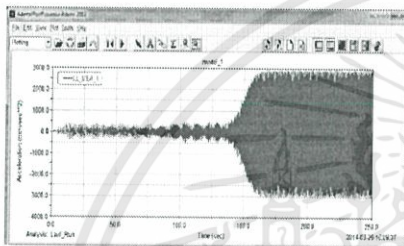
5.3.1 ผลการจำลองเชิงตัวเลขของเครื่องชั่งผ้ากรณีไม่มีมวลไม่สมดุล



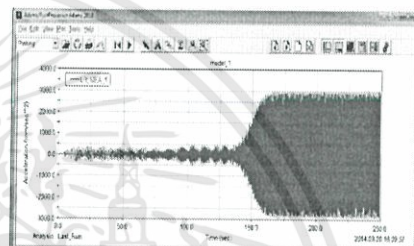
POSITION LB



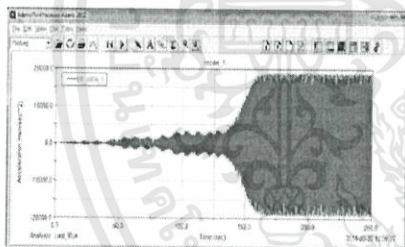
POSITION LF



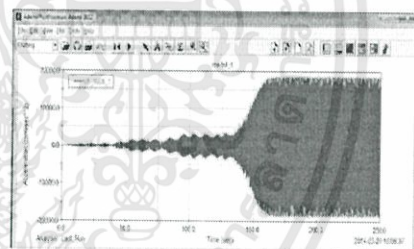
POSITION LL



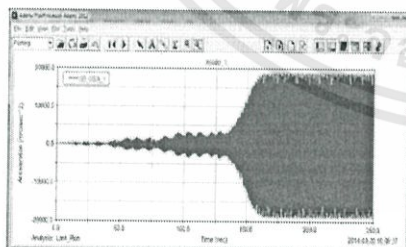
POSITION LR



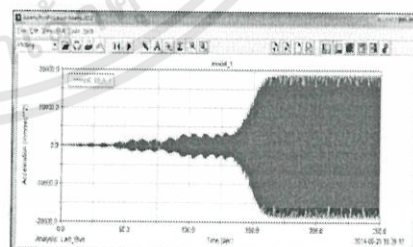
POSITION UB



POSITION UF



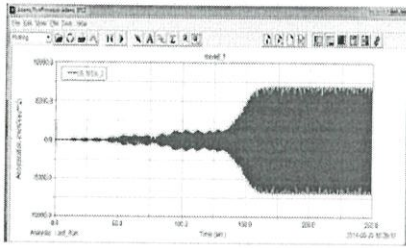
POSITION UL



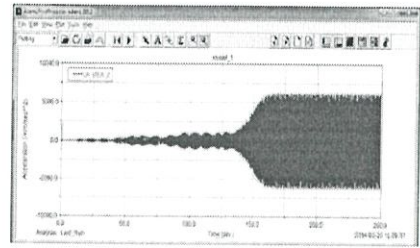
POSITION UR

รูปที่ 5.8 กราฟความเร่งที่ตำแหน่งต่างๆในแกน X จากแบบจำลองเชิงตัวเลขกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล

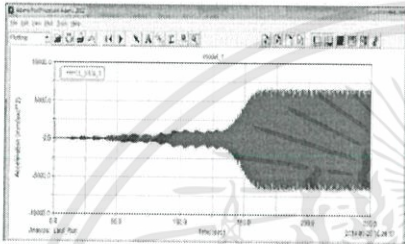
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 42 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



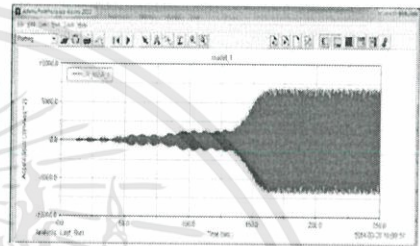
POSITION LB



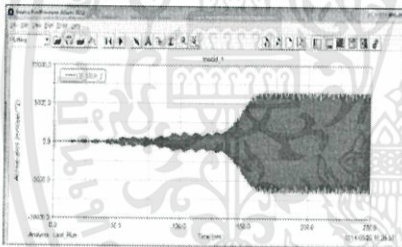
POSITION LF



POSITION LL



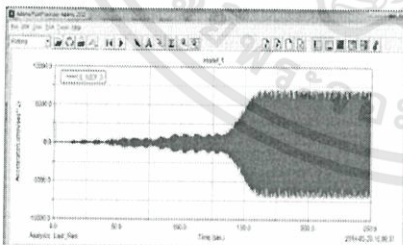
POSITION LR



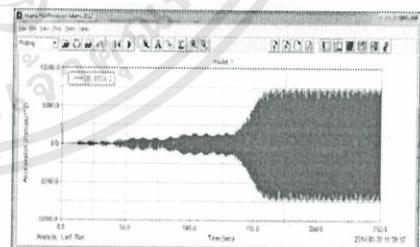
POSITION UB



POSITION UF



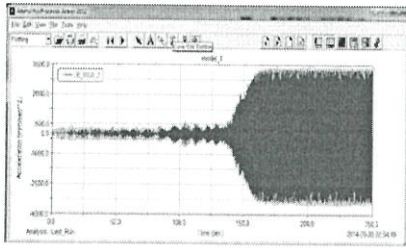
POSITION UL



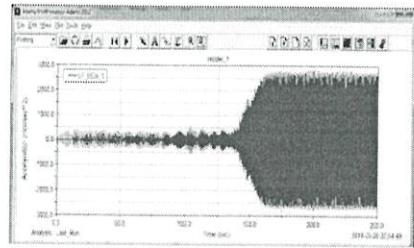
POSITION UR

รูปที่ 5.9 กราฟความแรงที่ตำแหน่งต่างๆในแกน Y จากแบบจำลองเชิงตัวเลขกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล

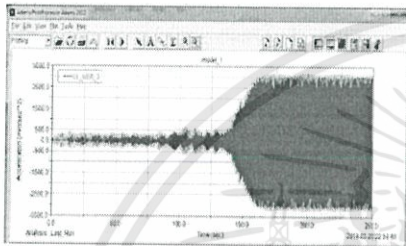
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 43 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



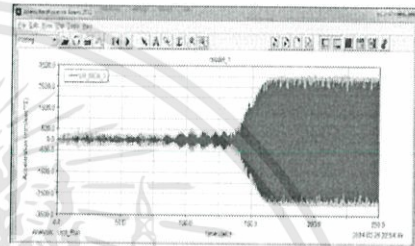
POSITION LB



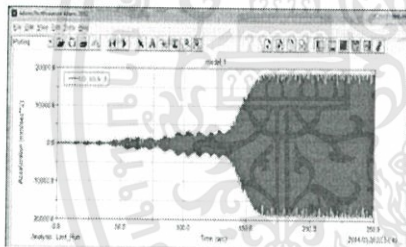
POSITION LF



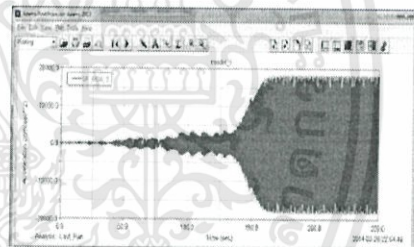
POSITION LL



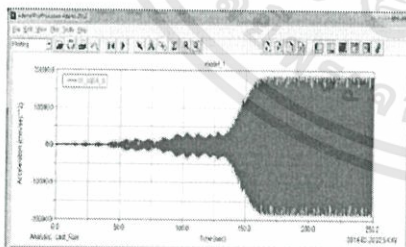
POSITION LR



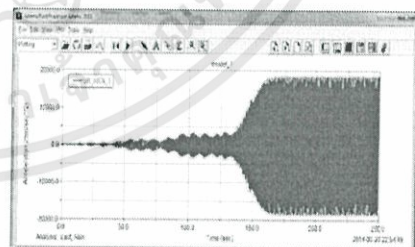
POSITION UB



POSITION UF



POSITION UL



POSITION UR

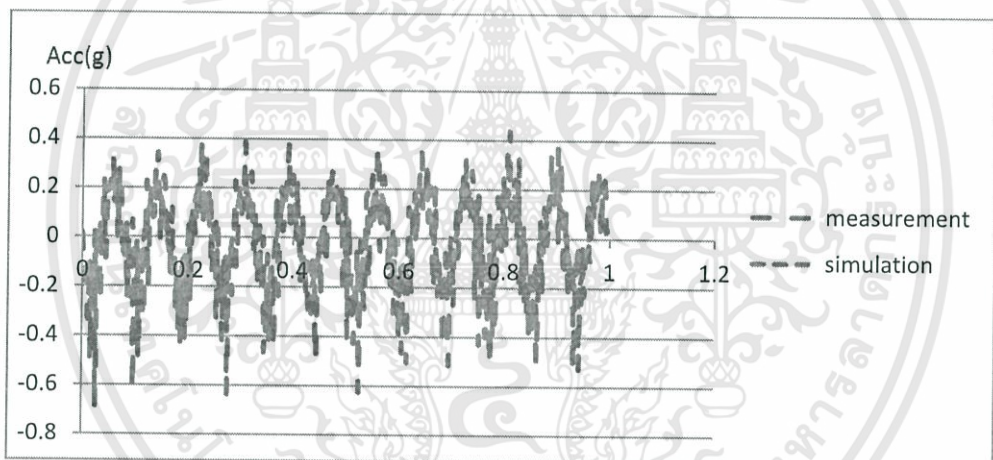
รูปที่ 5.10 กราฟความเร่งที่ตำแหน่งต่างๆในแกน Z จากแบบจำลองเชิงตัวเลขกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 44 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

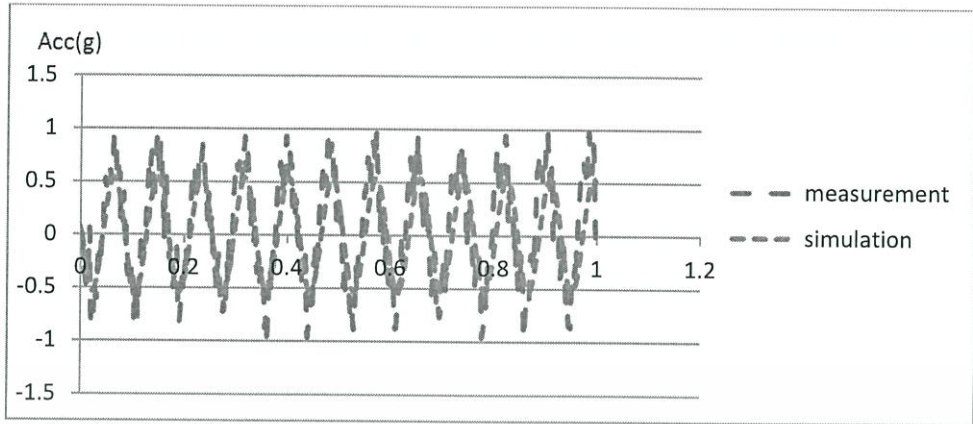
จากรูปที่ 5.8 – 5.10 นั้นจะพบว่าผลการจำลองเชิงตัวเลข ความเร่งในช่วงความเร็วรอบไม่คงที่ นั้นจะมีค่าแปรผันอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของรูปแบบการหมุนที่สภาวะการปั่นแห้งที่ถูกตั้งไว้ด้วยโปรแกรม และเมื่อพิจารณาความเร่งในช่วงความเร็วรอบคงที่นั้นจะมีความเร่งสูงสุดและมีค่าคงที่ ดังนั้นค่าความเร่งในช่วงความเร็วคงที่จึงถูกนำมาศึกษา

5.3.2 ผลการจำลองเชิงตัวเลขเปรียบเทียบกับการวัดค่าความเร่งในขณะหมุนที่ความเร็วรอบคงที่ทั้งสามแกนกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล

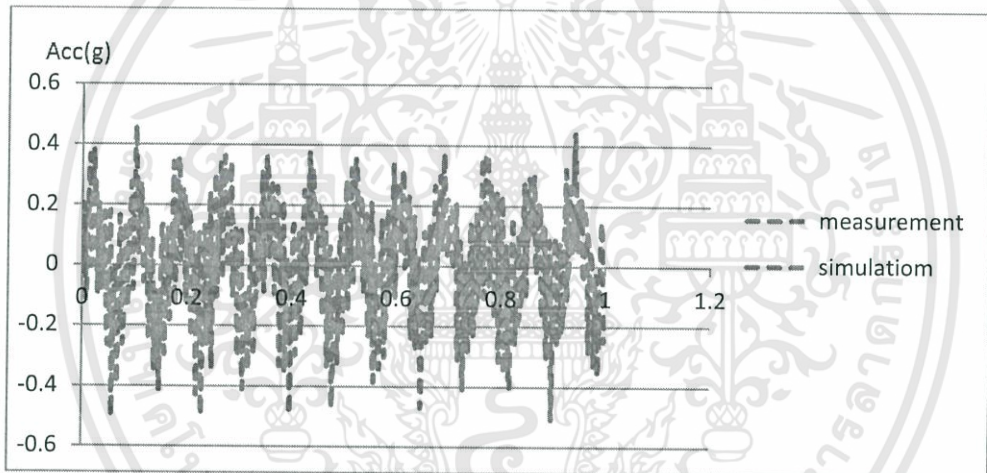
จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้าที่สภาวะปั่นแห้งเปรียบเทียบกับผลการจำลองเชิงตัวเลข เพื่อหาความเร่งของเครื่องชั่งผ้า นั้น โดยนำความเร่งจากการวัดเปรียบเทียบกับความเร่งจากการจำลองในช่วงความเร็วรอบคงที่ภายในเวลา 1 วินาที ทั้งในแกน X, Y และ Z ตามลำดับ



รูปที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบการสั่นของเครื่องชั่งผ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัมตำแหน่ง LL ในแนวแกน X

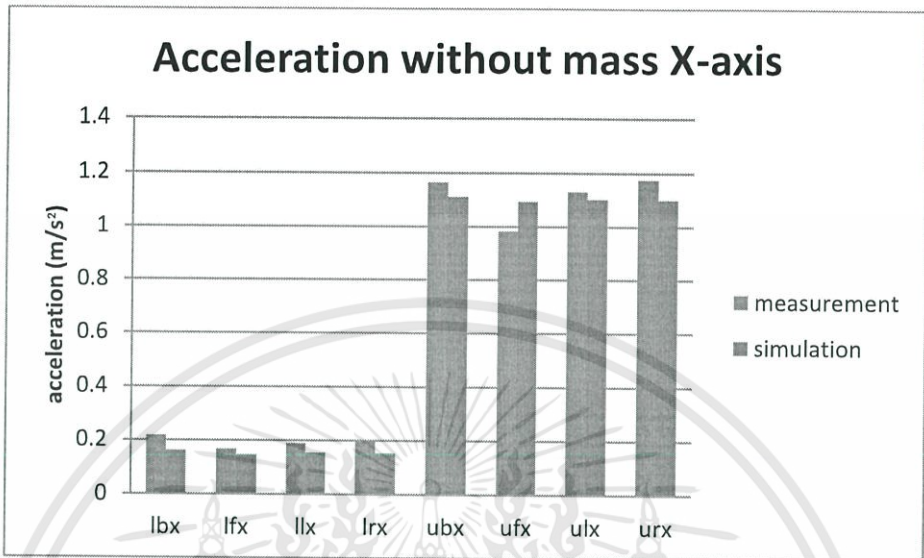


รูปที่ 5.12 กราฟเปรียบเทียบการสั่นของเครื่องชกผ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัมตำแหน่ง LL ในแนวแกน Y

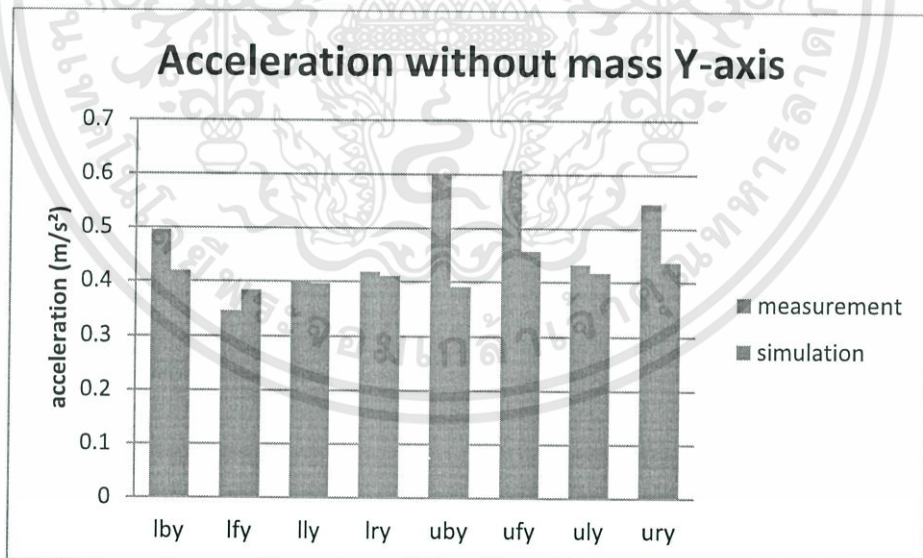


รูปที่ 5.13 กราฟเปรียบเทียบการสั่นของเครื่องชกผ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัมตำแหน่ง LL ในแนวแกน Z

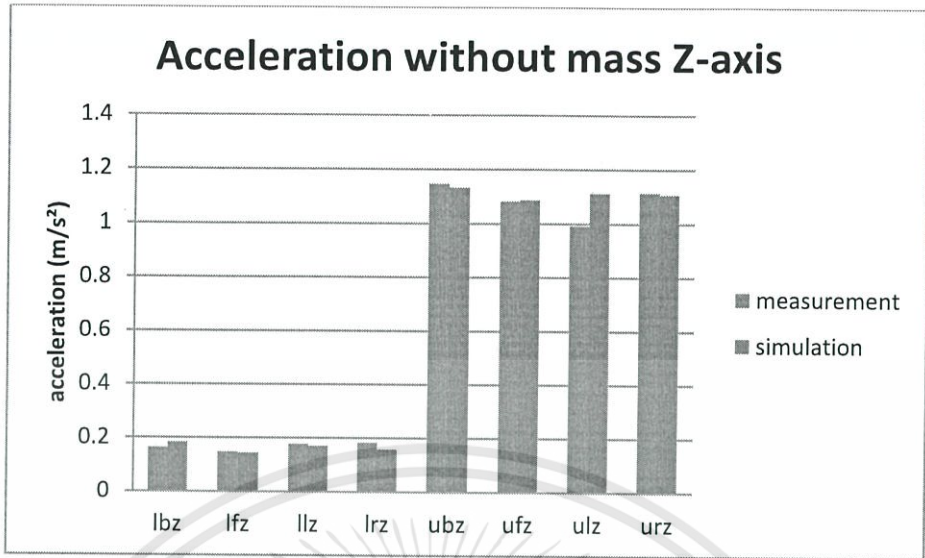
จากค่าความเร่ง RMS ที่ได้จากการจำลองการเคลื่อนที่ และ ค่าความเร่ง RMS ที่ได้จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้าที่สภาวะปั่นแห้ง นำมาสรุปในรูปแบบแผนภูมิ



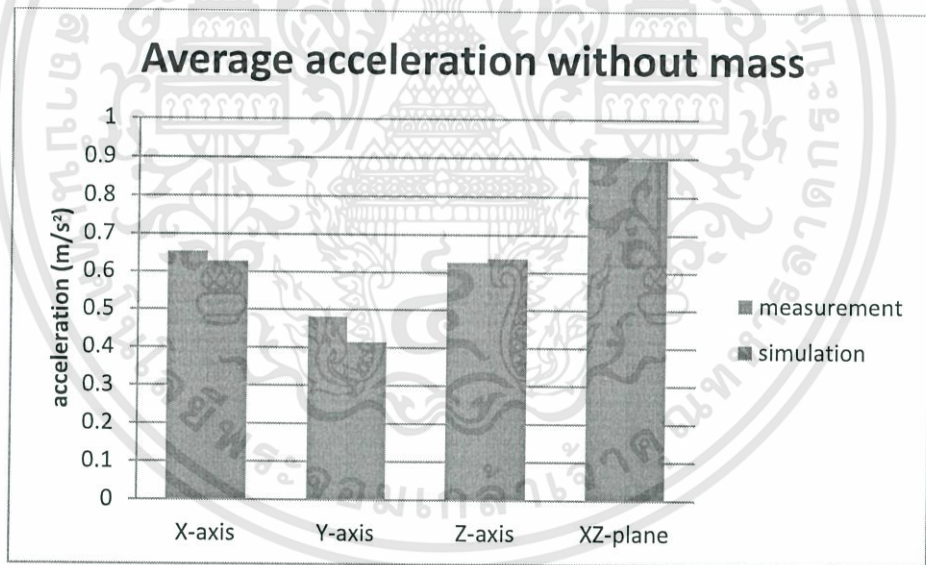
รูปที่ 5.14 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแนวแกน X Y และ Z ที่ตำแหน่งต่างๆสภาวะปั่นแห้งของเครื่องซักผ้าจากการวัดและจากการจำลองกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล



รูปที่ 5.15 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแนวแกน X Y และ Z ที่ตำแหน่งต่างๆสภาวะปั่นแห้งของเครื่องซักผ้าจากการวัดและจากการจำลองกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล



รูปที่ 5.16 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่ง RMS ในแนวแกน X Y และ Z ที่ตำแหน่งต่างๆสถานะปั่น
 แห่งของเครื่องซักผ้าจากการวัดและจากการจำลองกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล



รูปที่ 5.17 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่งเฉลี่ย RMS ในแกนต่างๆ และความเร่ง RMS ในระนาบ
 XZ ที่สถานะปั่นแห่งของเครื่องซักผ้าจากการวัดและจากการจำลองกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน X กรณีไม่มีมวลไม่สมดุล

x axis	measurement	simulation
lb	0.21647 g	0.16137 g
lf	0.16595 g	0.14625 g
ll	0.18915 g	0.15465 g
lr	0.19973 g	0.15287 g
ub	1.16484 g	1.11024 g
uf	0.98171 g	1.09314 g
ul	1.13114 g	1.10270 g
ur	1.17471 g	1.10067 g
average	0.65296 g	0.62774 g

จากตารางที่ 5.1 เป็นตารางแสดงค่าเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน X โดยจะพบว่าค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน X จากการวัดและการจำลองเชิงตัวเลขเท่ากับ 0.65296 g และ 0.62774 g ตามลำดับ

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน Y กรณีไม่มีมวลไม่สมดุล

y axis	measurement	simulation
lb	0.49480 g	0.41890 g
lf	0.34602 g	0.38403 g
ll	0.40045 g	0.39658 g
lr	0.41785 g	0.40984 g
ub	0.60140 g	0.39036 g
uf	0.60808 g	0.45727 g
ul	0.43230 g	0.41681 g
ur	0.54610 g	0.43623 g
average	0.48088 g	0.41375 g

จากตารางที่ 5.2 เป็นตารางแสดงค่าเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน Y โดยจะพบว่าค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน Y จากการวัดและการจำลองเชิงตัวเลขเท่ากับ 0.48088 g และ 0.41375 g ตามลำดับ

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงค่าเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน Z กรณีไม่มีมวลไม่สมดุล

z axis	measurement	simulation
lb	0.16343 g	0.18384 g
lf	0.14672 g	0.14382 g
ll	0.17833 g	0.17046 g
lr	0.18293 g	0.15775 g
ub	1.14608 g	1.13164 g
uf	1.08158 g	1.08655 g
ul	0.99097 g	1.11177 g
ur	1.11341 g	1.10661 g
average	0.62543 g	0.63656 g

จากตารางที่ 5.3 เป็นตารางแสดงค่าเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน Z โดยจะพบว่าค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน Z จากการวัดและการจำลองเชิงตัวเลขเท่ากับ 0.62543 g และ 0.63656 g ตามลำดับ

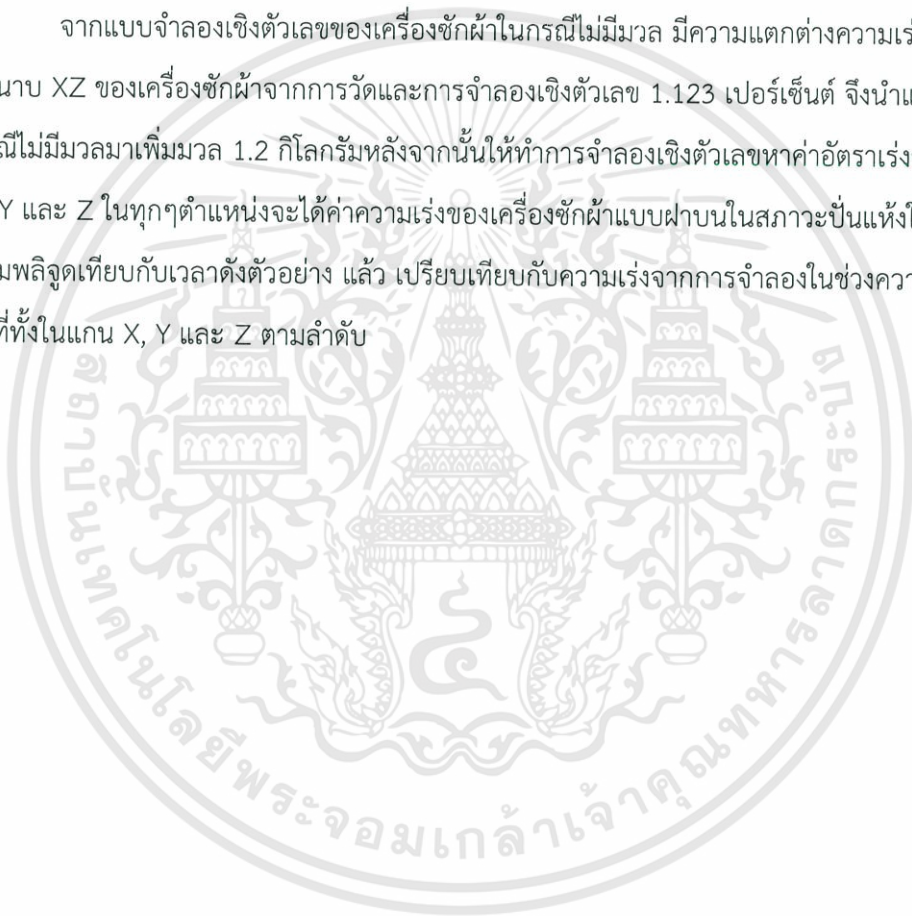
ระนาบ XZ เป็นระนาบที่เกิดการสั่นสะเทือนในช่วงความเร็วรอบคงที่สูงมากกว่าระนาบอื่น ทั้งจากการวัดและการจำลองเชิงตัวเลขค่าความเฉลี่ยในระนาบ XZ ของเครื่องชั่งผ้าจากการวัดและการจำลองเชิงตัวเลขเท่ากับ 0.90417 g และ 0.89401 g ตามลำดับ ซึ่งค่าความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ ของเครื่องชั่งผ้าจากการวัดและการจำลองเชิงตัวเลขนั้นมีความแตกต่างกัน 1.123 เปอร์เซ็นต์

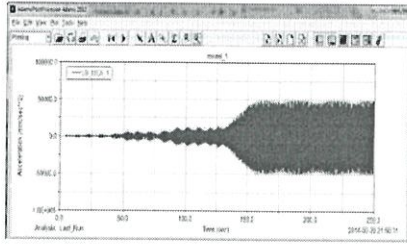
ตารางที่ 5.4 ความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ จากการวัดและการจำลองเชิงตัวเลขกรณีไม่มีมวลไม่สมดุล

XZ plane	measurement	Simulation
average	0.90417 g	0.89401 g

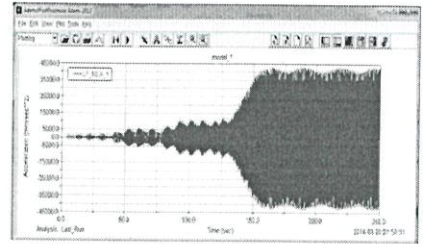
5.3.3 ผลการจำลองเชิงตัวเลขของเครื่องชั่งผ้ากรณีไม่มีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม

จากแบบจำลองเชิงตัวเลขของเครื่องชั่งผ้าในกรณีไม่มีมวล มีความแตกต่างความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ ของเครื่องชั่งผ้าจากการวัดและการจำลองเชิงตัวเลข 1.123 เปอร์เซ็นต์ จึงนำแบบจำลองกรณีไม่มีมวลมาเพิ่มมวล 1.2 กิโลกรัมหลังจากนั้นให้ทำการจำลองเชิงตัวเลขหาค่าอัตราเร่งของแกน X, Y และ Z ในทุกๆตำแหน่งจะได้ค่าความเร่งของเครื่องชั่งผ้าแบบฝาบนในสภาวะปั่นแ่งในลักษณะแอมพลิจูดเทียบกับเวลาดังตัวอย่าง แล้ว เปรียบเทียบกับความเร่งจากการจำลองในช่วงความเร็วรอบคงที่ทั้งในแกน X, Y และ Z ตามลำดับ

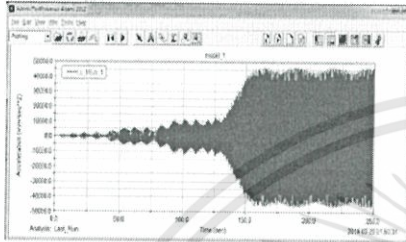




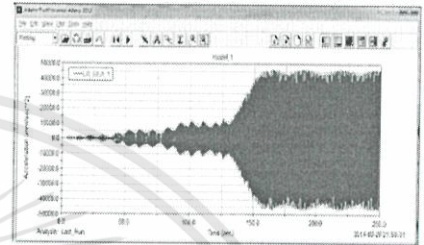
POSITION LB



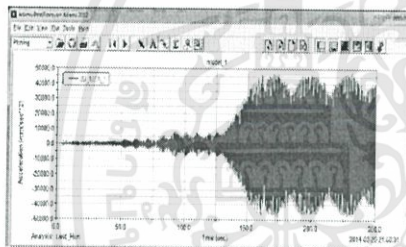
POSITION LF



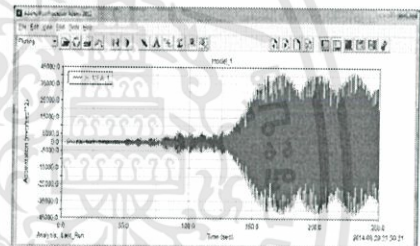
POSITION LL



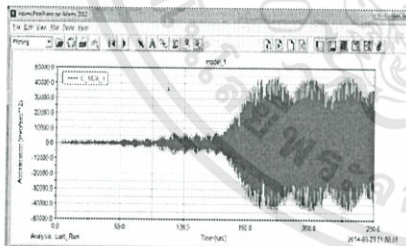
POSITION LR



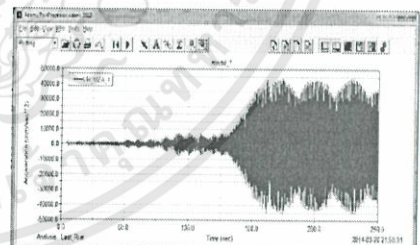
POSITION UB



POSITION UF



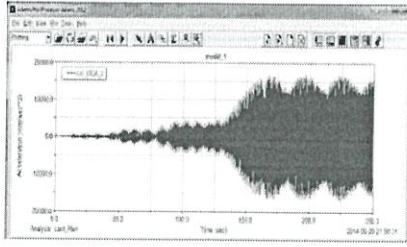
POSITION UL



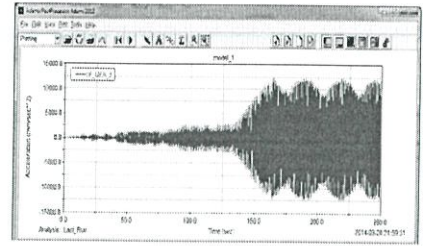
POSITION UR

รูปที่ 5.18 กราฟความเร่งที่ตำแหน่งLLในแกน X จากแบบจำลองเชิงตัวเลขกรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม

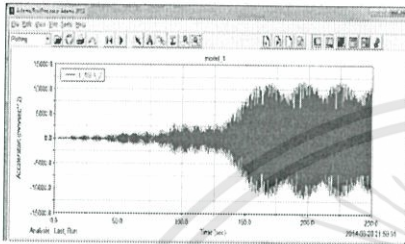
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 52 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



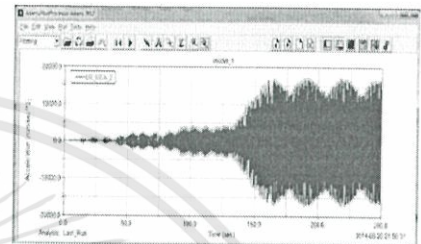
POSITION LB



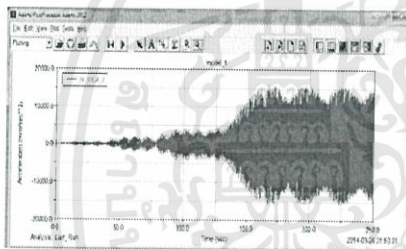
POSITION LF



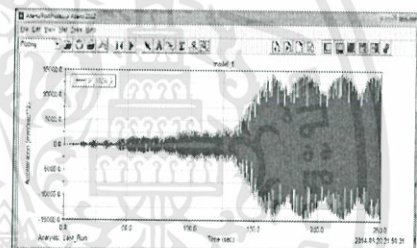
POSITION LL



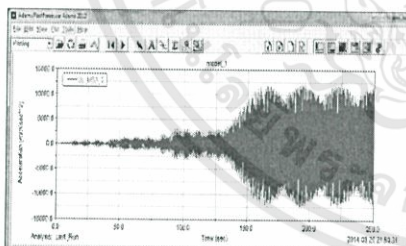
POSITION LR



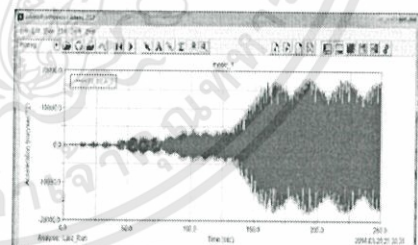
POSITION UB



POSITION UF

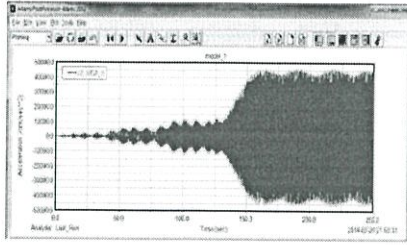


POSITION UL

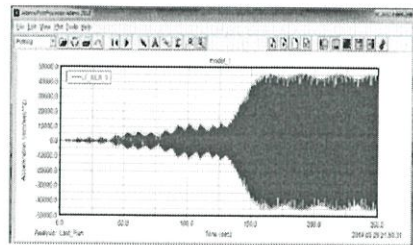


POSITION UR

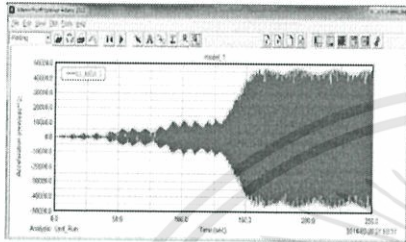
รูปที่ 5.19 กราฟความเร่งที่ตำแหน่งLLในแกน Y จากแบบจำลองเชิงตัวเลขกรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม



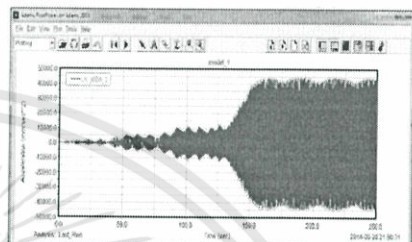
POSITION LB



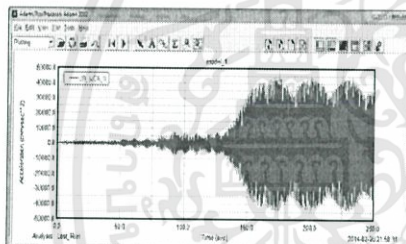
POSITION LF



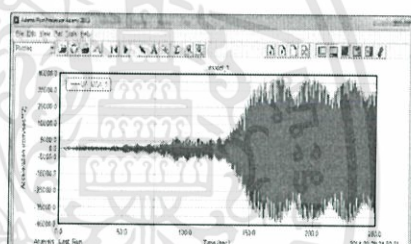
POSITION LL



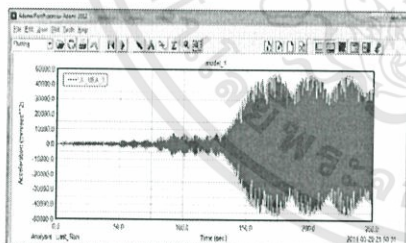
POSITION LR



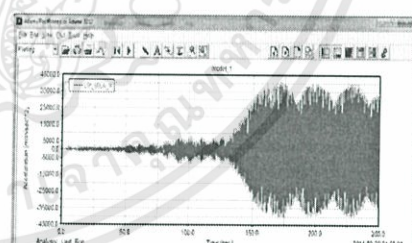
POSITION UB



POSITION UF



POSITION UL



POSITION UR

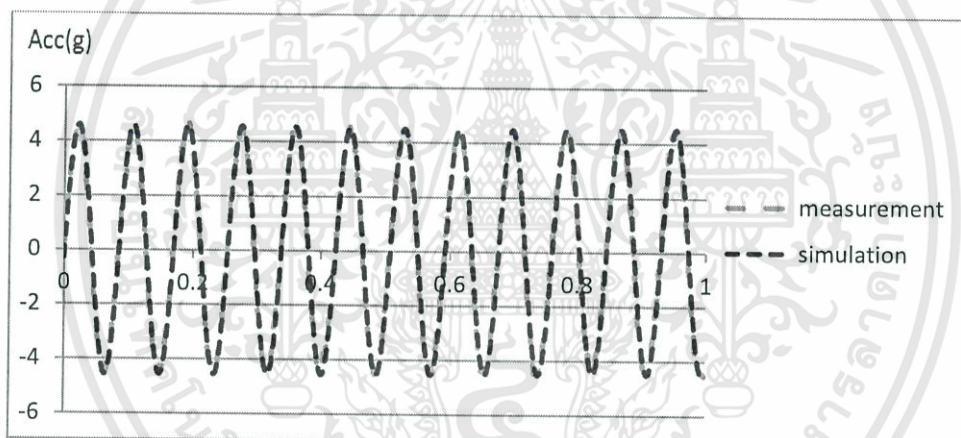
รูปที่ 5.20 กราฟความเร่งที่ตำแหน่ง LL ในแกน Z จากแบบจำลองเชิงตัวเลขกรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 54 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

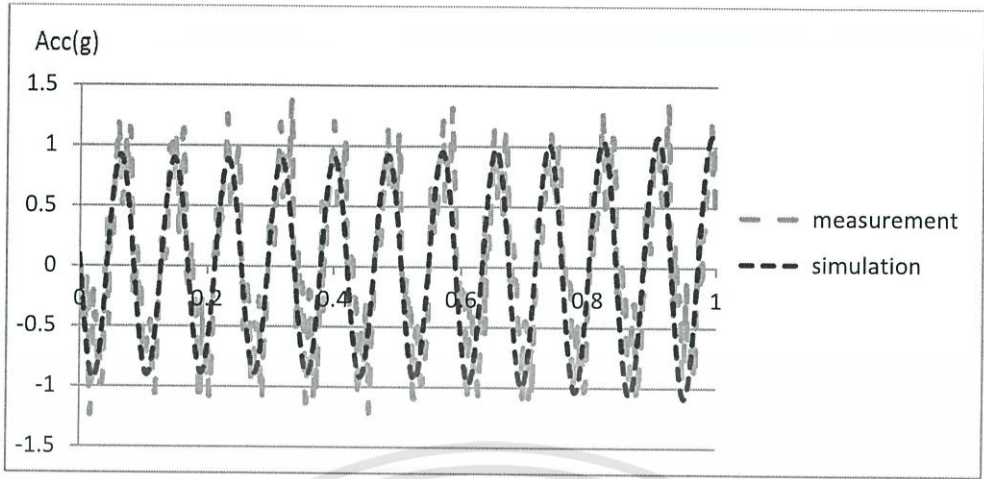
จากรูปที่ 5.19 – 5.20 นั้นจะพบว่าผลการจำลองเชิงตัวเลข ความเร่งในช่วงความเร็วรอบไม่คงที่ นั้นจะมีค่าแปรผันอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับกรเพิ่มความเร็วรอบของรูปแบบการหมุนที่สภาวะการปั่นแห้งที่ถูกตั้งไว้ด้วยโปรแกรม และเมื่อพิจารณาความเร่งในช่วงความเร็วรอบคงที่นั้นจะมีความเร่งสูงสุดและมีค่าคงที่ ดังนั้นค่าความเร่งในช่วงความเร็วคงที่จึงถูกนำมาศึกษา

5.3.4 ผลการจำลองเชิงตัวเลขเปรียบเทียบกับการวัดค่าความเร่งในขณะหมุนที่ความเร็วรอบคงที่ทั้งสามแกนกรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม

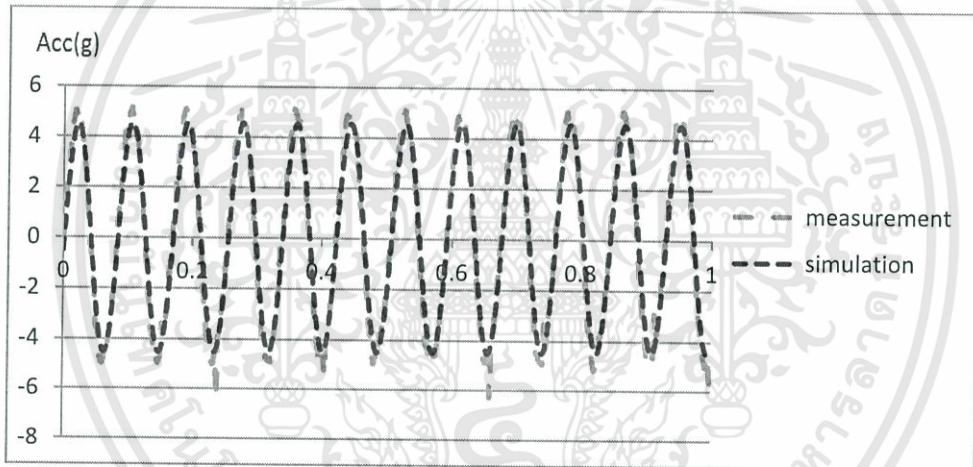
จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้าที่สภาวะปั่นแห้งเปรียบเทียบกับผลการจำลองเชิงตัวเลข เพื่อหาความเร่งของเครื่องชั่งผ้า นั้น โดยนำความเร่งจากการวัดเปรียบเทียบกับความเร่งจากการจำลองในช่วงความเร็วรอบคงที่ภายในเวลา 1 วินาที ทั้งในแกน X, Y และ Z ตามลำดับ



รูปที่ 5.21 กราฟเปรียบเทียบการสั่นของเครื่องชั่งผ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัมตำแหน่ง LL ในแนวแกน X



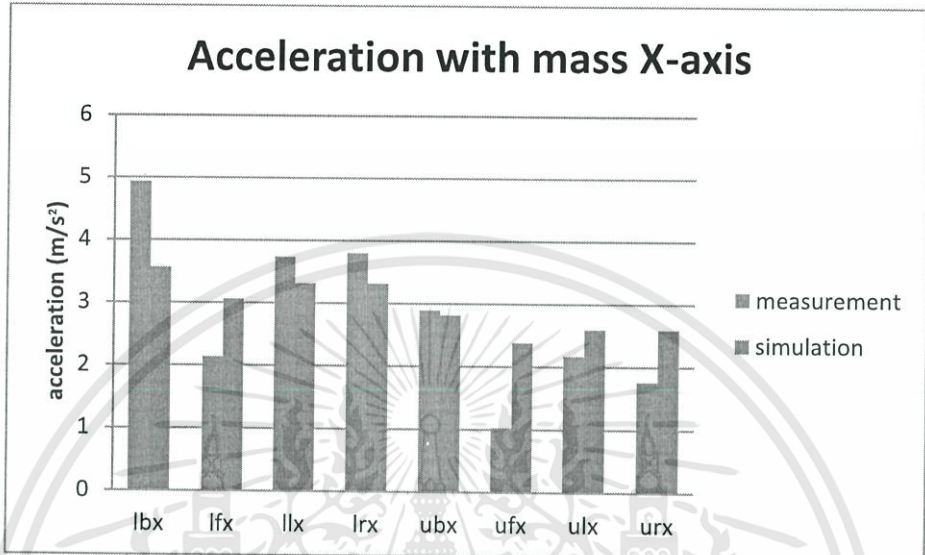
รูปที่ 5.22 กราฟเปรียบเทียบการสั่นของเครื่องจักรเย็บผ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัมตำแหน่ง LL ในแนวแกน Y



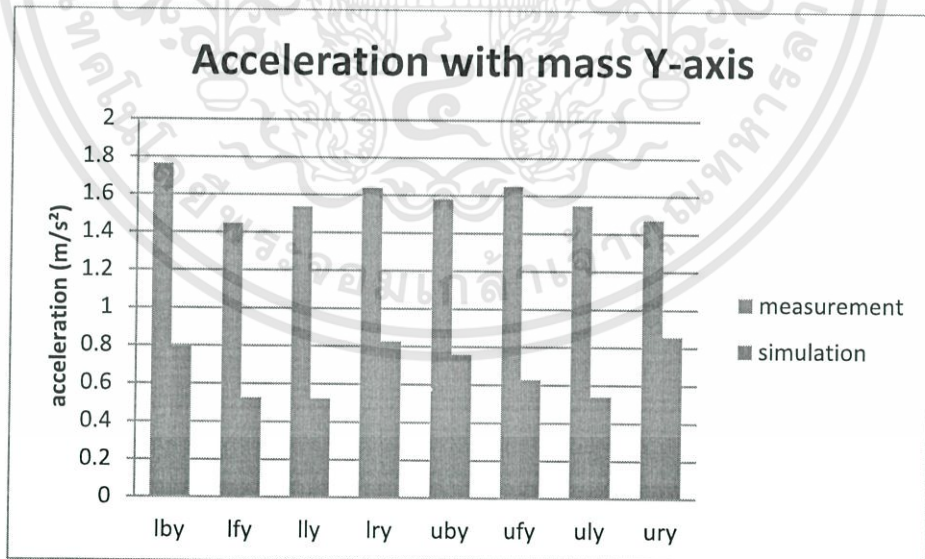
รูปที่ 5.23 กราฟเปรียบเทียบการสั่นของเครื่องจักรเย็บผ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่กรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัมตำแหน่ง LL ในแนวแกน Z

จากค่าความเร่ง RMS ที่ได้จากการจำลองการเคลื่อนที่ และ ค่าความเร่ง RMS ที่ได้จากการวัดค่าความเร่งจากเครื่องชั่งผ้าที่สภาวะปั่นแหว่ง นำมาสรุปในรูปแผนภูมิ

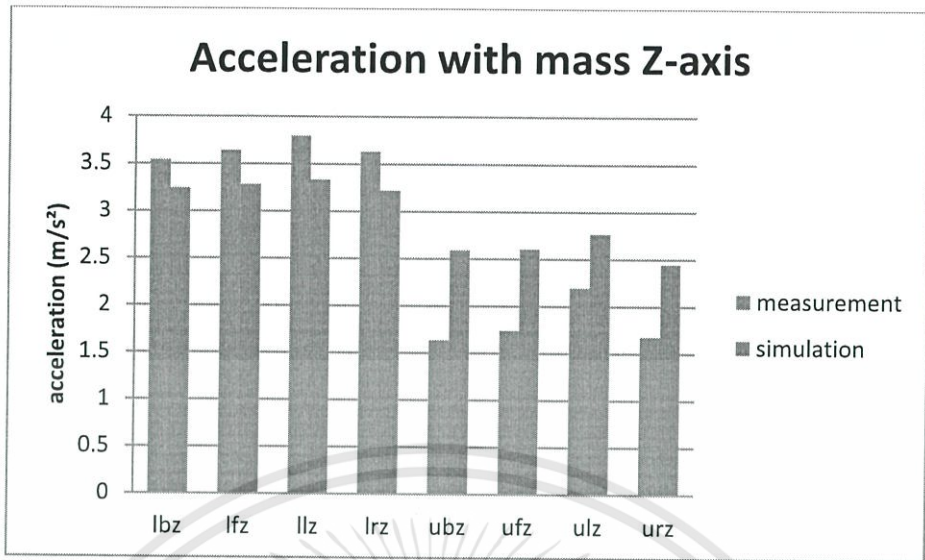
5.4.1 ผลการจำลองเชิงตัวเลขกรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม



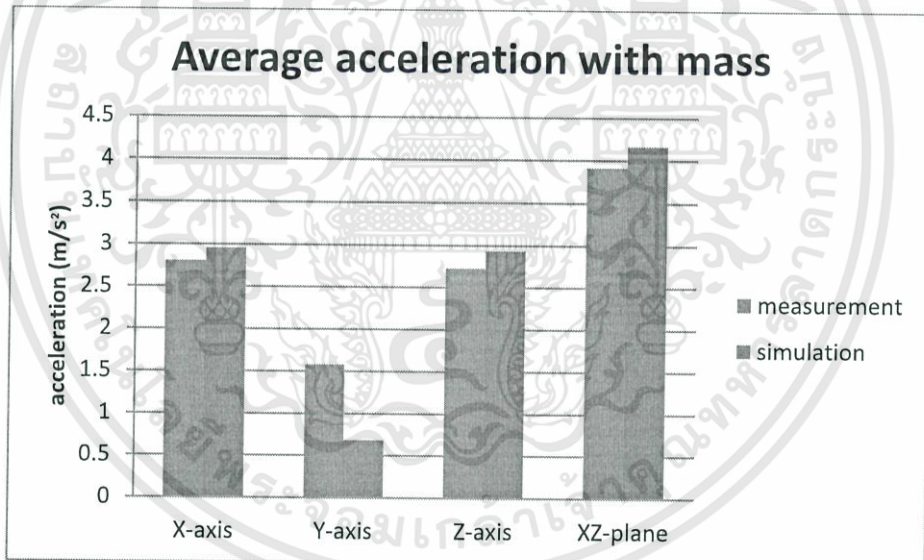
รูปที่ 5.24 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่งเฉลี่ย RMS ในแนวแกน X ที่ตำแหน่งต่างๆสภาวะปั่นแหว่งของเครื่องชั่งผ้าจากการวัดและการจำลองกรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัม



รูปที่ 5.25 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่งเฉลี่ย RMS ในแนวแกน Y ที่ตำแหน่งต่างๆสภาวะปั่นแหว่งของเครื่องชั่งผ้าจากการวัดและการจำลองกรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัม



รูปที่ 5.26 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่งเฉลี่ย RMS ในแนวแกน Z ที่ตำแหน่งต่างๆสถานะปั่นแหว่งของเครื่องซักผ้าจากการวัดและจากการจำลองกรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัม



รูปที่ 5.27 แสดงแผนภูมิแท่งของความเร่งเฉลี่ย RMS ในแกนต่างๆ และความเร่ง RMS ในระนาบ XZ ที่สถานะปั่นแหว่งของเครื่องซักผ้าจากการวัดและจากการจำลองกรณีมีมวล 1.2 กิโลกรัม

ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงค่าเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน X กรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม

x axis	measurement	simulation
lb	4.92755 g	3.56060 g
lf	2.13451 g	3.05906 g
ll	3.73453 g	3.30853 g
lr	3.79464 g	3.31075 g
ub	2.89029 g	2.81636 g
uf	1.02241 g	2.37824 g
ul	2.17232 g	2.59246 g
ur	1.76031 g	2.59308 g
average	2.80458 g	2.95239 g

จากตารางที่ 5.5 เป็นตารางแสดงค่าเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน X โดยจะพบว่าค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน X จากการวัดและการจำลองเชิงตัวเลขเท่ากับ 2.80458 g และ 2.95239 g ตามลำดับ

ตารางที่ 5.6 ตารางแสดงค่าเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน Y กรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม

y-axis	measurement	simulation
lb	1.76256 g	0.79257 g
lf	1.44541 g	0.52546 g
ll	1.53449 g	0.52195 g
lr	1.63613 g	0.82560 g
ub	1.57933 g	0.75821 g
uf	1.64944 g	0.62842 g
ul	1.54751 g	0.53925 g
ur	1.47353 g	0.85702 g
average	1.57855 g	0.68106 g

จากตารางที่ 5.6 เป็นตารางแสดงค่าเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน Y โดยจะพบว่าค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน Y จากการวัดและการจำลองเชิงตัวเลขเท่ากับ 0.93691g และ 0.820318g ตามลำดับ

ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงค่าเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน Z กรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม

z-axis	measurement	simulation
lb	3.53843 g	3.24556 g
lf	3.63647 g	3.28320 g
ll	3.79525 g	3.33066 g
lr	3.62627 g	3.22059 g
ub	1.63661 g	2.59074 g
uf	1.73834 g	2.60373 g
ul	2.19554 g	2.76986 g
ur	1.67613 g	2.44726 g
average	2.73038 g	2.93645 g

จากตารางที่ 5.7 เป็นตารางแสดงค่าเฉลี่ย RMS ในตำแหน่งต่างๆและค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน X โดยจะพบว่าค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกน Z จากการวัดและการจำลองเชิงตัวเลขเท่ากับ 2.461856 g และ 2.599896 g ตามลำดับ

ค่าความเฉลี่ยในระนาบ XZ ของเครื่องชั่งผ้าจากการวัดและการจำลองเชิงตัวเลขเท่ากับ 3.5697 g และ 3.6937 g ตามลำดับ ซึ่งค่าความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ ของเครื่องชั่งผ้าจากการวัดและการจำลองเชิงตัวเลขนั้นมีความแตกต่างกัน 3.47 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5.8 ความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ จากการวัดและจากการจำลองเชิงตัวเลขกรณีมีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัม

XZ plane	measurement	simulation
Average	3.91416 g	4.16405 g

เนื่องจากแบบจำลองนั้นมีความใกล้เคียงกับการเคลื่อนที่ของเครื่องชั่งผ้า จึงได้นำแบบจำลองเชิงตัวเลขมาทำการวิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติในแนวแกน X, Y และ Z ซึ่งถูกแสดงไว้ดังตารางที่ 2 โดยความเร็วรอบที่จะทำให้เกิดการสั่นพ้องในเครื่องชั่งผ้าชนิดฝาบนฝาแกน X Y และ Z เท่ากับ 123.66, 228.94 และ 123.70 รอบต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งในช่วงการทำงานที่สภาวะปั่นแหว่งจะมีการเร่งความเร็วรอบผ่านค่าความถี่ธรรมชาตินี้อย่างรวดเร็วจึงไม่ทำให้เกิดการสั่นพ้องเกิดขึ้น

ตารางที่ 5.9 ตารางค่าความถี่ธรรมชาติในแนวแกน X Y และ Z และ ความเร็วรอบที่จะทำให้เกิดการสั่นพ้อง

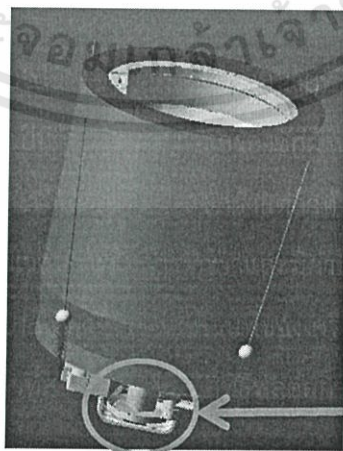
Axis	Natural Frequency (HZ)	Rotation Speed (RPM)
X	2.061122	123.66 RPM
Y	3.815790	228.94 RPM
Z	2.061760	123.70 RPM

บทที่ 6

อิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการสิ้นสະเทือนและการ ออกแบบปัจจัยที่สามารถลดการสิ้นสະเทือนให้แก่เครื่องชักผ้า

6.1 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการสิ้นสະเทือนของเครื่องชักผ้า

ในเครื่องชักผ้านั้นประกอบไปด้วยชิ้นส่วนต่างๆมากมายที่ใช้ประกอบเช่น ตัวทำสมดุลชนิดของเหลว มอเตอร์ไฟฟ้า ท่อน้ำทิ้ง เป็นต้น จึงจะทำให้เครื่องชักผ้านั้นทำงานได้อย่างราบรื่น ดังนั้นจึงมีปัจจัยมากมายที่มีผลต่อการสิ้นสະเทือนของเครื่องชักผ้า แต่ถ้าทำการทดลองโดยปรับเปลี่ยนวัสดุต่างๆให้แก่เครื่องชักผ้าก็จะทำให้ใช้เวลานานในการศึกษาและมีค่าใช้จ่ายสูงในการวิจัย จึงได้ทำการสร้างแบบจำลองที่ให้ความแม่นยำใกล้เคียงกับการเคลื่อนที่ของเครื่องชักผ้าจริงเพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการวิจัย โดยปัจจัยต่างๆที่สนใจศึกษาว่ามีอิทธิพลต่อการสิ้นสະเทือนของเครื่องชักผ้าในสภาวะปั่นแห้งได้แก่ปัจจัยตามตารางที่ 3 ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของเครื่องชักผ้าคือ มวลถ่วง ค่านิจสปริง สัมประสิทธิ์ของตัวหน่วง มวลของตะกร้า มวลของถัง และมวลของตัวทำสมดุลชนิดของเหลว (ไม่รวมมวลของน้ำเกลือ) โดยมวลถ่วงจะเป็นมวลที่ทำการติดตั้งเพิ่มขึ้นในแบบจำลอง ตำแหน่งที่ทำการติดตั้ง 0 องศาหรือตรงข้ามมอเตอร์ของเครื่องชักผ้าดังรูปที่ 6.1



มวลถ่วง

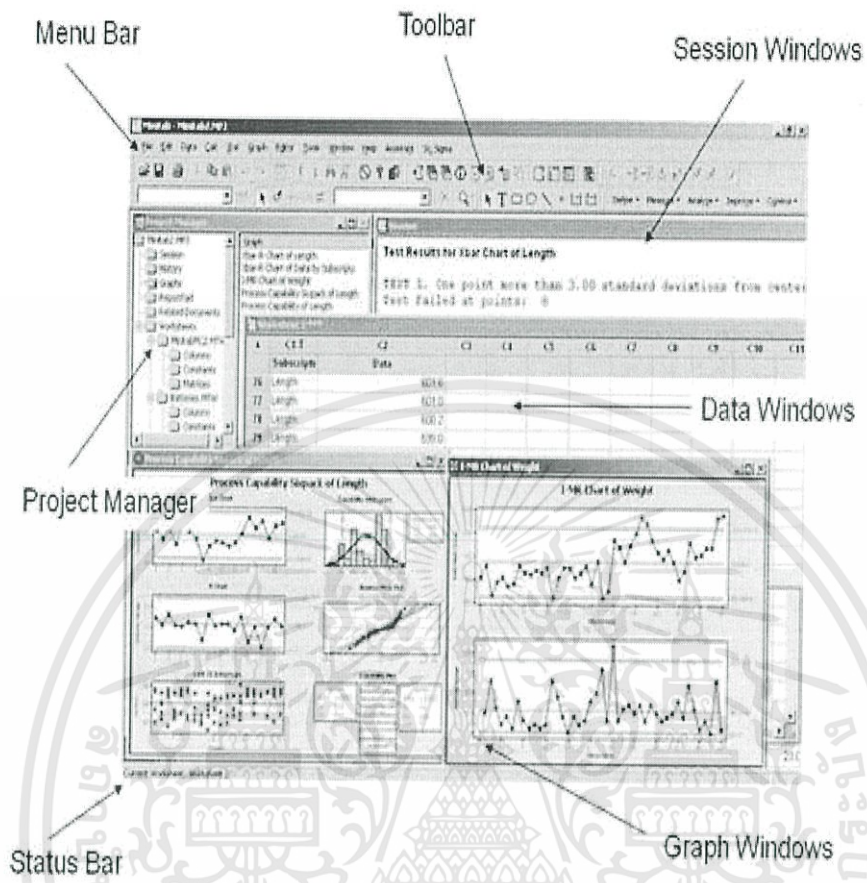
รูปที่ 6.1 ตำแหน่งในการติดตั้งมวลถ่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 ปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าเพื่อศึกษาผลการสั่นสะเทือน

ปัจจัย	หน่วย	ข้อมูลจากผู้ผลิต	ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน
มวลถ่วง	Kg	-	1	3
ค่านิจของสปริง	N/mm	2.5	1	3
สัมประสิทธิ์ตัวหน่วง	N-s/mm	0.1	0.1	1.2
มวลตะกร้า	Kg	1.95	1.95	6
มวลตัวทำสมดุล (ไม่รวมมวลน้ำเกลือ)	Kg	1.4	1.4	3
มวลถัง	Kg	3.3	2.5	8

ในการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้า นั้นจะศึกษาโดยใช้โปรแกรม MSC ADAMS และโปรแกรมทางสถิติศาสตร์หรือ Minitab ร่วมกันโดยจะใช้การวิเคราะห์โดยหลักการ Exhaustive Search หรือศึกษาผลตอบสนองในทุกๆกรณีที่เป็นไปได้ของปัจจัยต่างๆในแบบจำลองเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม MSC ADAMS โดยหาความเร่งเฉลี่ย RMS ในแต่ละตำแหน่งในแกน X และ Z และนำค่าความเร่งเฉลี่ย RMS ทุกตำแหน่งในแกน X และ Z มาทำการหาค่าเฉลี่ยในแกน X และ Z ตามลำดับด้วยการเฉลี่ยทางเรขาคณิต หลังจากนั้นนำความเร่งเฉลี่ยในแกน X และ Z มาหาค่าความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ ด้วยวิธีการรวมเวกเตอร์สองเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกัน และนำค่าความเร่งที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อความเร่งของเครื่องซักผ้าในสภาวะปั่นแห้งด้วยโปรแกรม Minitab โดยรายละเอียดของหน้าต่างและคำสั่งในโปรแกรมเป็นไปตามรูปที่ 6.1 และปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าเพื่อศึกษาผลการสั่นสะเทือนเป็นไปตามตารางที่ 6.2 โดยจำนวนครั้งในการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาผลตอบสนองในทุกๆกรณีที่เป็นไปได้ของปัจจัยต่างๆของ 6 ตัวแปร แต่ละตัวแปรแบ่งเป็น 2 ระดับคือ $2^6=64$ ครั้งตามหลักความน่าจะเป็น



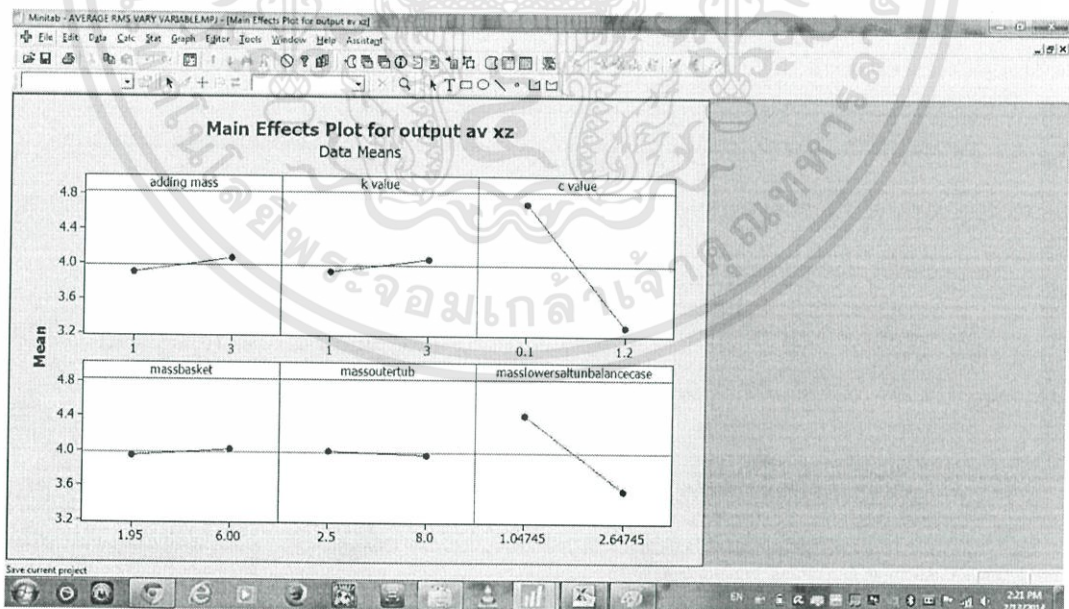
รูปที่ 6.2 หน้าต่างและคำสั่งต่างๆภายในตัวโปรแกรม Minitab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 64 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 ปัจจัยต่างๆและขนาดของระดับที่จะใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติศาสตร์

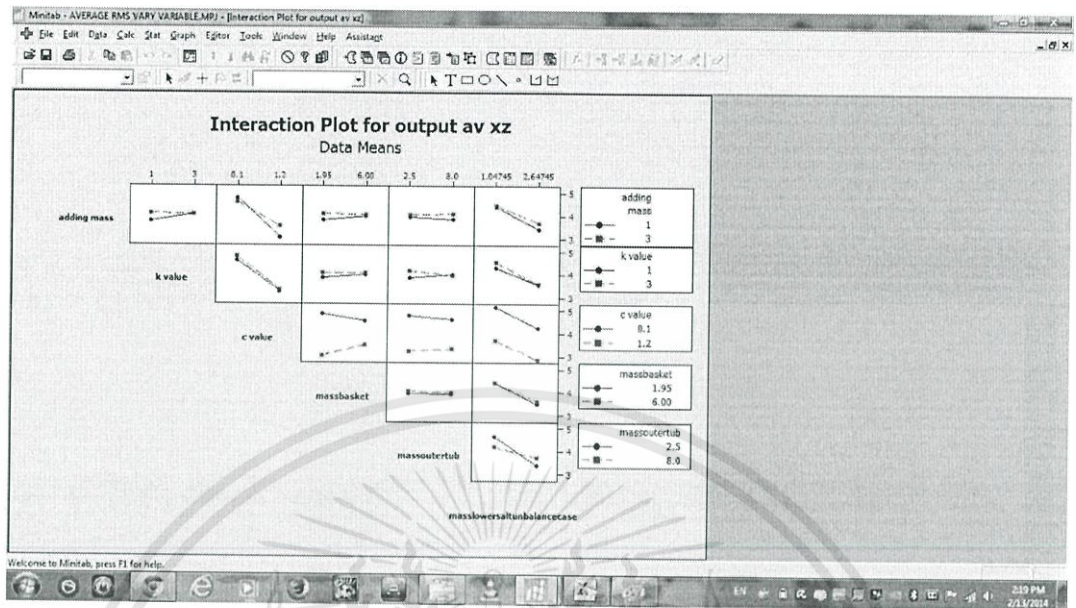
ปัจจัย	ระดับปัจจัย	ระดับ1	ระดับ2
มวลถ่วง	2	1 kg	3 kg
ค่านิจของสปริง	2	1N/mm	3 N/mm
สัมประสิทธิ์ตัวหน่วง	2	0.1 N-s/mm	1.2 _s/mm
มวลตะกร้า	2	1.95 kg	6 kg
มวลตัวทำสมดุล (ไม่รวมมวลน้ำเกลือ)	2	1.4 kg	3 kg
มวลถ้ง	2	2.5 kg	8 kg

การวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆต่อความเร่งของเครื่องชั่งผ้าในสภาวะปั่นแห้งโดยโปรแกรม Minitab ทำได้โดยใส่ข้อมูลจำนวนการจำลองเชิงตัวเลขทั้งหมดที่เป็นไปได้รวมทั้งผลลัพธ์ค่าความเร่ง XZ ใน Data Windows หลังจากนั้นไปที่คำสั่ง stat>ANOVA>Main effect plot, Interaction plot โปรแกรม Minitab จะทำการวิเคราะห์และแสดงผลดังรูปที่ 6.3 และ 6.4



รูปที่ 6.3 การวิเคราะห์ผลกระทบหลัก (Main effect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 65 ษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 ผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีร่วมกัน (Interaction) ต่อความเร่ง

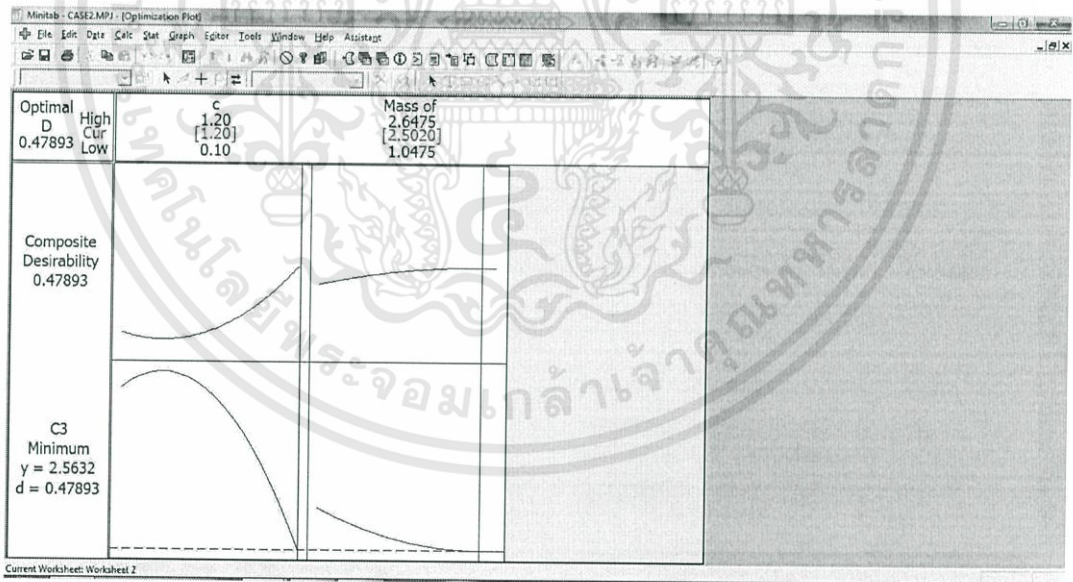
จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab จะพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อความเร่งของเครื่องซักผ้า ในสภาวะปั่นแห้งน้อยที่สุด คือ ค่านิจของสปริง และการเพิ่มหรือลดค่านิจของสปริง ในช่วงที่กำหนด ไม่มีผลต่อความเร่งของเครื่องซักผ้าในสภาวะปั่นแห้งที่ระดับของตัวแปรอื่นๆเลย (no Interaction term) นอกจากนี้ตามรูปที่ 6.3 จะเห็นได้ว่าการเพิ่ม ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวหน่วง และ มวลของตัวทำสมดุล(ไม่รวมมวลของน้ำเกลือ) นั้นทำให้ค่าความเร่งของเครื่องซักผ้าในสภาวะปั่นแห้งนั้นมีค่าลดลงอย่างมาก จึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อออกแบบค่าปัจจัยต่างๆที่สามารถลดการสั่นสะเทือนให้แก่เครื่องซักผ้าในสภาวะปั่นแห้งต่อไป โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 ออกแบบค่าปัจจัยต่างๆที่สามารถลดการสั่นสะเทือนให้แก่เครื่องซักผ้าในสภาวะปั่นแห้ง โดยคำนึงถึงผลกระทบจาก ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวหน่วงและ มวลของตัวทำสมดุล (ไม่รวมมวลของน้ำเกลือ) เท่านั้น ส่วนตัวแปรอื่นๆให้เป็นไปตามข้อมูลจากทางผู้ผลิตดังตารางที่ 6.1 โดยแต่ละตัวแปรจะทำการแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ระดับ ดังตารางที่ 6.3 โดยจำนวนครั้งในการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาผลตอบสนองในทุกๆกรณีที่เป็นไปได้ของปัจจัยต่างๆของ 2 ตัวแปร แต่ละตัวแปรแบ่งเป็น 4 ระดับคือ $4^2=16$ ครั้งตามหลักความน่าจะเป็น

ตารางที่ 6.3 ปัจจัยต่างๆและขนาดของระดับที่จะใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติศาสตร์ในกรณีที่ 1

ปัจจัย	ระดับ1	ระดับ2	ระดับ3	ระดับ4
สัมประสิทธิ์ตัวหน่วง	0.1	0.466667	0.833333	1.2
มวลตัวทำสมดุล (ไม่รวมน้ำเกลือ)	1.04745	1.580783	2.114117	2.64745

จากการออกแบบปัจจัยที่เหมาะสมโดยหลักการ Exhaustive Search และนำความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ มาเขียนกราฟผลตอบแทนที่พื้นผิว (Response surface optimizer) ทำได้โดยใส่ข้อมูลจำนวนการจำลองเชิงตัวเลขทั้งหมดที่เป็นไปได้รวมทั้งผลลัพธ์ค่าความเร่ง XZ ใน Data Windows หลังจากนั้นไปที่คำสั่ง stat>DOE>Response surface>Response optimizer>select response variable ตัวโปรแกรมจะทำการออกแบบค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ความเร่งของเครื่องซักผ้าในสภาวะปั่นแห้งนั้นมีค่าต่ำที่สุดได้ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 ปัจจัยต่างๆที่ถูกออกแบบเพื่อลดความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ กรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 67 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งปัจจัยต่างๆในรูปที่ 6.5 นั้นพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวหนึ่งต้องมีค่า 1.2 N-s/mm มวลของตัวทำสมดุล (ไม่รวมมวลของน้ำเกลือ)ต้องมีขนาด 2.85 kg จึงจะทำให้ขนาดความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ ของเครื่องชั่งฝ้านั้นลดลงจาก 4.16 g ให้เหลือเพียง 2.56 g หรือค่าความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ นั้นลดลงไปถึง 38.46 % ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ความเร่งเฉลี่ยในระนาบXZของเครื่องชั่งฝ้าก่อนและหลังการออกแบบค่าปัจจัยกรณีที่1

ความเร็วเฉลี่ยในระนาบ XZ ของเครื่องชั่งฝ้า	
ก่อนได้รับการออกแบบค่าปัจจัย	หลังได้รับการออกแบบค่าปัจจัย
4.16 g	2.56 g

ตารางที่ 6.5 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องชั่งฝ้าภายหลังได้รับการออกแบบค่าปัจจัยในกรณีที่ 1 จะพบว่าความถี่ธรรมชาติในแกน X, Y และ Z เท่ากับ ตามลำดับ

ตารางที่ 6.5 ตารางค่าความถี่ธรรมชาติในแนวแกน X Y และ Z และ ความเร็วรอบที่จะทำให้เกิดการสั่นพ้องของแบบจำลองภายหลังได้รับการออกแบบค่าปัจจัยในกรณีที่ 1

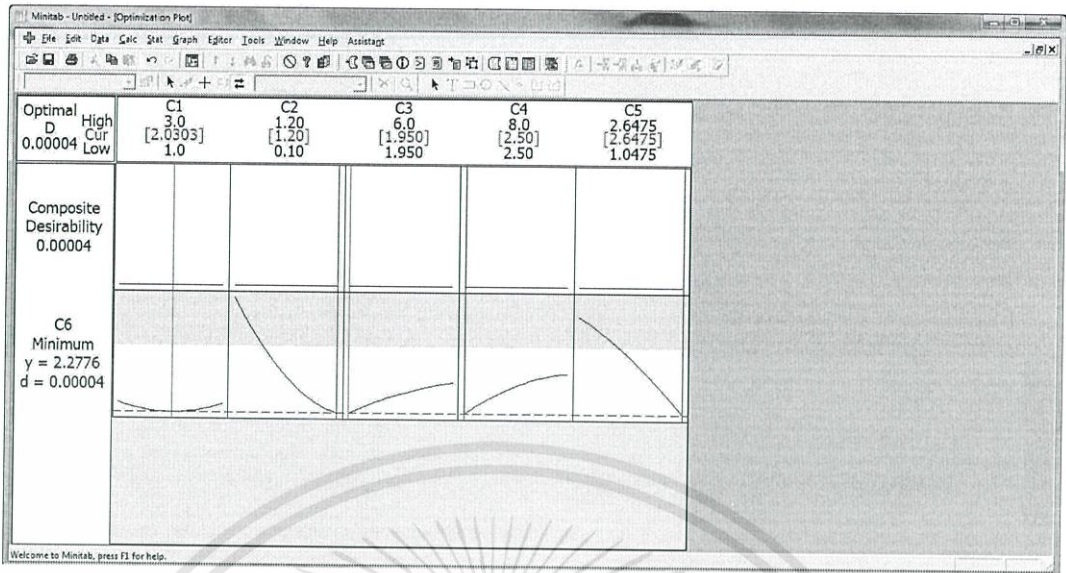
Axis	Natural Frequency (HZ)	Rotation Speed (RPM)
X	2.050 HZ	123.01 RPM
Y	3.581 HZ	214.86 RPM
Z	2.042 HZ	122.55 RPM

กรณีที่ 2 ออกแบบค่าปัจจัยต่างๆที่สามารถลดการสั่นสะเทือนให้แก่เครื่องชักผ้าในสภาวะปั่นแห้ง โดยคำนึงถึงผลกระทบจาก มวลถ่วง, ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวหมุน, มวลของตะกร้า, มวลของถัง และ มวลของตัวทำสมดุล (ไม่รวมมวลของน้ำเกลือ) เท่านั้น ส่วนค่านิจของสปริงให้เป็นไปตามข้อมูลจาก ทางผู้ผลิตดังตารางที่ 6.1 โดยแต่ละตัวแปรจะทำการแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ระดับ ดังตารางที่ 6.6 โดยจำนวนครั้งในการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาผลตอบสนองในทุกๆกรณีที่เป็นไปได้ของปัจจัยต่างๆ ของ 5 ตัวแปร แต่ละตัวแปรแบ่งเป็น 3 ระดับคือ $3^5=243$ ครั้งตามหลักความน่าจะเป็น

ตารางที่ 6.6 ปัจจัยต่างๆและขนาดของระดับที่จะใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติศาสตร์ในกรณีที่ 2

ปัจจัย	ระดับ1	ระดับ2	ระดับ3
มวลถ่วง	1 kg	2 kg	3 kg
สัมประสิทธิ์ตัวหมุน	0.1 N-s/mm	0.65 N-s/mm	1.2 N-s/mm
มวลตะกร้า	1.95 kg	3.975 kg	6 kg
มวลตัวทำสมดุล ไม่รวมมวลน้ำเกลือ	1.04745 kg	1.84745 kg	2.64745 kg
มวลถัง	2.5 kg	5.25 kg	8 kg

จากการออกแบบปัจจัยที่เหมาะสมโดยหลักการ Exhaustive Search และนำความเร่งเฉลี่ย ในระนาบ XZ มาเขียนกราฟผลตอบสนองที่พื้นผิว (Response surface optimizer)ทำได้โดยใช้ ข้อมูลจำนวนการจำลองเชิงตัวเลขทั้งหมดที่เป็นไปได้รวมทั้งผลลัพธ์ค่าความเร่ง XZ ใน Data Windows หลังจากนั้นไปที่คำสั่ง stat>DOE>Response surface>Response optimizer>select response variable ตัวโปรแกรมจะทำการออกแบบค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ความเร่งของเครื่อง ชักผ้าในสภาวะปั่นแห้งนั้นมีค่าต่ำที่สุดได้ดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 ปัจจัยต่างๆที่ถูกออกแบบเพื่อลดความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ กรณีที่ 2

ซึ่งปัจจัยต่างๆในรูปที่ 6.6 นั้นพบว่ามวลถ่วงต้องมีขนาด 2 kg ค่าสัมประสิทธิ์ตัวหน่วงต้องมีค่า 1.2 N-s/mm มวลของตะกร้าต้องมีขนาด 1.95 kg มวลของถังต้องมีขนาด 2.5 kg มวลของตัวทำสมดุล (ไม่รวมมวลของน้ำเกลือ)ต้องมีขนาด 3 kg จึงจะทำให้ขนาดความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ ของเครื่องชกผ้า นั้นลดลงจาก 4.16 g ให้เหลือเพียง 2.28 g หรือค่าความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ นั้นลดลงไปถึง 45.19 % ดังตารางที่ 6.7

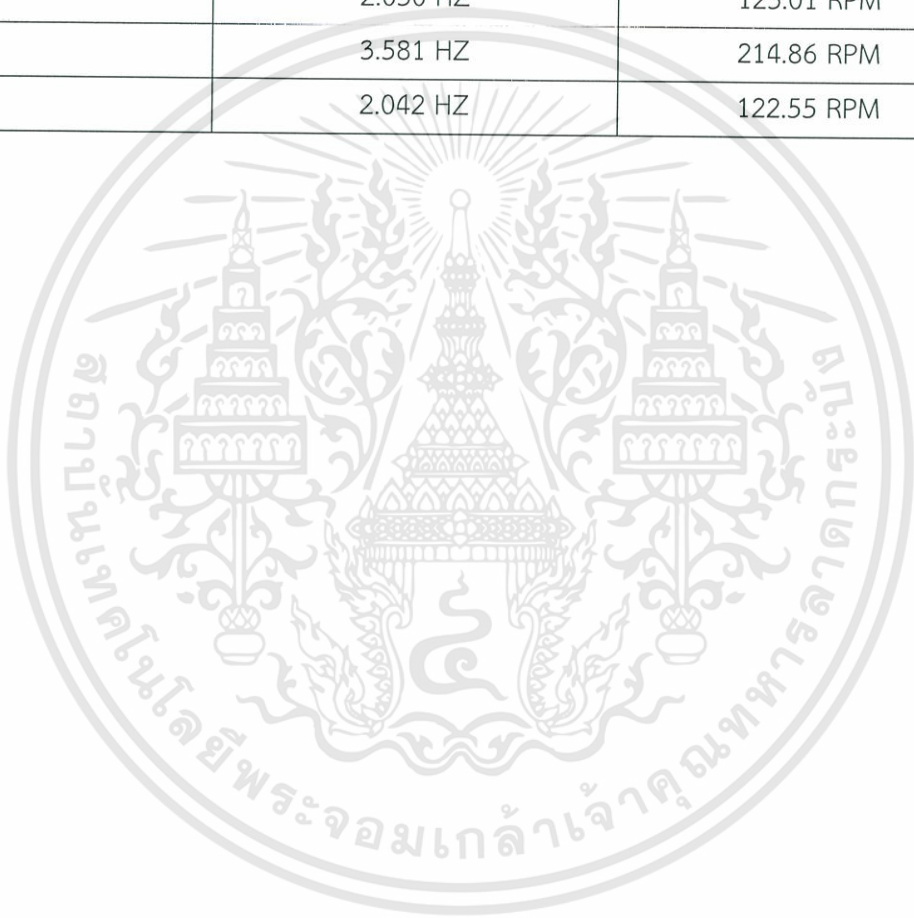
ตารางที่ 6.7 ความเร่งเฉลี่ยในระนาบXZของเครื่องชกผ้าก่อนและหลังการออกแบบค่าปัจจัยกรณีที่ 2

ความเร็วเฉลี่ยในระนาบ XZ ของเครื่องชกผ้า	
ก่อนได้รับการออกแบบค่าปัจจัย	หลังได้รับการออกแบบค่าปัจจัย
4.16 g	2.28 g

ตารางที่ 6.8 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องชักผ้าภายหลังได้รับการออกแบบค่าปัจจัย
ในกรณีที่ 1 จะพบว่าความถี่ธรรมชาติในแกน X, Y และ Z เท่ากับ ตามลำดับ

ตารางที่ 6.8 ตารางค่าความถี่ธรรมชาติในแนวแกน X Y และ Z และ ความเร็วรอบที่จะทำให้เกิดการ
สั่นพ้องของแบบจำลองภายหลังได้รับการออกแบบค่าปัจจัยในกรณีที่ 2

Axis	Natural Frequency (HZ)	Rotation Speed (RPM)
X	2.050 HZ	123.01 RPM
Y	3.581 HZ	214.86 RPM
Z	2.042 HZ	122.55 RPM



สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของเครื่องชั่งผ้าชนิดฝาบนในสภาวะการปั่นแห้งโดยใช้การจำลองเชิงตัวเลขเปรียบเทียบกับความเร่งที่วัดได้จากเครื่องชั่งผ้าชนิดฝาบนขนาดความจุ 6.5 กิโลกรัม ซึ่งความเร่งเฉลี่ยจากการวัดและการจำลองเชิงตัวเลขในระนาบ XZ เป็นระนาบที่มีการสั่นสะเทือนมากที่สุดเมื่อเทียบกับระนาบ XY และ YZ ดังนั้นจึงมุ่งพิจารณาระนาบ XZ เป็นหลัก และได้้นำค่าความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ จากแบบจำลองเชิงตัวเลขและการวัดมาเปรียบเทียบกัน โดยไม่มีมวล ซึ่งจะพบว่ามี ความคลาดเคลื่อนกันอยู่ที่ $\pm 1.12\%$ และ มีมวล 1.2 กิโลกรัม ซึ่งจะพบว่ามี ความคลาดเคลื่อนกันอยู่ที่ $\pm 6.38\%$ จึงได้นำแบบจำลองนี้มาศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการสั่นสะเทือนของเครื่องชั่งผ้าในสภาวะปั่นแห้ง เช่น มวลถ่วง ค่านิจของสปริง ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวหน่วง มวลของตัวทำสมดุลชนิดของเหลว เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้ใช้แบบจำลองเป็นเครื่องมือช่วยการออกแบบค่าปัจจัยที่สามารถลดการสั่นสะเทือนหลายๆปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอีกด้วย

โดยในการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการสั่นสะเทือนและการออกแบบค่าของปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไปเพื่อลดการสั่นสะเทือนของเครื่องชั่งผ้าในสภาวะปั่นแห้งจะใช้โปรแกรมทางสถิติศาสตร์มาช่วย โดยใช้แบบจำลองในกรณีที่มีมวลไม่สมดุล 1.2 กิโลกรัมมาทำการศึกษา ซึ่งปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ในการออกแบบได้แก่ มวลถ่วง ค่านิจสปริง สัมประสิทธิ์ของตัวหน่วง มวลของตะกร้า มวลของถัง และมวลของตัวทำสมดุลชนิดของเหลว (ไม่รวมมวลของน้ำเกลือ) โดยขั้นแรกศึกษา อิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลกับความเร่งของเครื่องชั่งผ้าในสภาวะปั่นแห้งในทุกๆกรณีที่เป็นไปได้ทั้งหมด หรือวิธีการ Exhaustive Search โดยทำการศึกษาทั้งหมด 6 ตัวแปร ตัวแปรละ 2 ระดับ หรือ 64 ครั้งของการจำลองเชิงตัวเลข โดยพบว่าค่านิจของสปริงมีผลกับความเร่งของเครื่องชั่งผ้าในสภาวะปั่นแห้งน้อยมาก และการเพิ่มหรือลดค่านิจของสปริง ในช่วงที่กำหนดไม่มีผลต่อความเร่งของเครื่องชั่งผ้าในสภาวะปั่นแห้งที่ระดับของตัวแปรอื่นๆเลย (no Interaction term)นอกจากนี้

การเพิ่ม ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวหน่วง และ มวลของตัวทำสมดุล(ไม่รวมมวลของน้ำเกลือ) นั้นทำให้ค่าความเร่งของเครื่องชั่งผ้าในสภาวะปั่นแห้งนั้นมีค่าลดลงอย่างมาก จึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อออกแบบค่าปัจจัยต่างๆที่สามารถลดการสั่นสะเทือนให้แก่เครื่องชั่งผ้าในสภาวะปั่นแห้งต่อไป โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณี

ในกรณีที่ 1 ออกแบบค่าปัจจัยต่างๆที่สามารถลดการสั่นสะเทือนให้แก่เครื่องชั่งผ้าในสภาวะปั่นแห้ง โดยคำนึงถึงผลกระทบจาก ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวหน่วงและ มวลของตัวทำสมดุล (ไม่รวมมวลของน้ำเกลือ) เท่านั้น ส่วนตัวแปรอื่นๆให้เป็นไปตามข้อมูลจากทางผู้ผลิตตั้ง โดยแต่ละตัวแปรจะทำการแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ระดับ โดยจำนวนครั้งในการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาผลตอบสนองในทุกๆกรณีที่เป็นไปได้ของปัจจัยต่างๆของ 2 ตัวแปร แต่ละตัวแปรแบ่งเป็น 4 ระดับคือ $4^2=16$ ครั้ง ตามหลักความน่าจะเป็น จากการออกแบบค่าของปัจจัยที่สามารถลดการสั่นสะเทือนของเครื่องชั่งผ้าในสภาวะปั่นแห้งด้วยโปรแกรมสถิติศาสตร์ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ตัวหน่วงต้องมีค่า 1.2 N-s/mm มวลของตัวทำสมดุล (ไม่รวมมวลของน้ำเกลือ)ต้องมีขนาด 2.85 kg จึงจะทำให้ขนาดความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ ของเครื่องชั่งผ้า นั้นลดลงจาก 4.16 g ให้เหลือเพียง 2.56 g หรือค่าความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ นั้นลดลงไปถึง 38.46 %

ในกรณีที่ 2 ออกแบบค่าปัจจัยต่างๆที่สามารถลดการสั่นสะเทือนให้แก่เครื่องชั่งผ้าในสภาวะปั่นแห้ง โดยคำนึงถึงผลกระทบจาก มวลถ่วง, ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวหน่วง, มวลของตะกร้า, มวลของถัง และ มวลของตัวทำสมดุล (ไม่รวมมวลของน้ำเกลือ) เท่านั้น ส่วนค่าปัจจัยของสปริงให้เป็นไปตามข้อมูลจากทางผู้ผลิต โดยแต่ละตัวแปรจะทำการแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ระดับ โดยจำนวนครั้งในการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาผลตอบสนองในทุกๆกรณีที่เป็นไปได้ของปัจจัยต่างๆของ 5 ตัวแปร แต่ละตัวแปรแบ่งเป็น 3 ระดับคือ $3^5=243$ ครั้งตามหลักความน่าจะเป็น จากการออกแบบค่าของปัจจัยที่สามารถลดการสั่นสะเทือนของเครื่องชั่งผ้าในสภาวะปั่นแห้งด้วยโปรแกรมสถิติศาสตร์ พบว่า มวลถ่วงต้องมีขนาด 2 kg ค่าสัมประสิทธิ์ตัวหน่วงต้องมีค่า 1.2 N-s/mm มวลของตะกร้าต้องมีขนาด 1.95 kg มวลของถังต้องมีขนาด 2.5 kg มวลของตัวทำสมดุล (ไม่รวมมวลของน้ำเกลือ)ต้องมีขนาด 3 kg จึงจะทำให้ขนาดความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ ของเครื่องชั่งผ้า นั้นลดลงจาก 4.16 g ให้เหลือเพียง 2.28 g หรือค่าความเร่งเฉลี่ยในระนาบ XZ นั้นลดลงไปถึง 45.19 %

จากการศึกษาทั้ง 2 กรณีพบว่า ค่าความเร่งในกรณีที่ 2 นั้นมีค่าต่ำกว่ากรณีที่ 1 เนื่องจากผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรร่วมกันที่มีต่อความเร่ง หรือ Interaction term และการออกแบบ

ค่าของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความเร่งของเครื่องชักผ้าในสภาวะปั่นแห้งพร้อมกันหลายตัวแปร และการเพิ่มจำนวนระดับของตัวแปรในการออกแบบนั้น ทำให้การออกแบบค่าของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความเร่งของเครื่องชักผ้าในสภาวะปั่นแห้งทำได้ละเอียดมากยิ่งขึ้นรวมถึงทำให้ค่าความเร่งเฉลี่ย XZ ของเครื่องชักผ้าในสภาวะปั่นแห้งมีค่าลดลงมากยิ่งขึ้น

7.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขทางด้านพลศาสตร์ของวัตถุแข็งเกร็งจำลองการเคลื่อนที่ของเครื่องชักผ้าชนิดฝาบนในสภาวะปั่นแห้งเพื่อวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องชักผ้าและศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความสั่นสะเทือนของเครื่องชักผ้า เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นก่อนเข้าสู่กระบวนการพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องชักผ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องจากมีความสะดวกและมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าการสร้างชุดทดลองเพื่อใช้ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของเครื่องชักผ้า สำหรับผลจากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและออกแบบเครื่องชักผ้าชนิดฝาบนให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

จากผลการจำลองเชิงตัวเลขนั้น พบว่าค่าความเร่งเฉลี่ยในบางตำแหน่งมีความแตกต่างกับการวัดค่าความเร่งเฉลี่ยจากการวัดจากเครื่องชักผ้า เนื่องจากในการจำลองเชิงตัวเลขนั้น ได้จำลองให้เครื่องชักผ้าเป็นวัตถุแข็งเกร็ง จึงทำให้ผลที่ออกมาคลาดเคลื่อนในบางตำแหน่ง ดังนั้นจึงควรใช้การจำลองทาง Finite element มาช่วยวิเคราะห์ควบคุมกันไปด้วยเพื่อให้ผลการจำลองนั้นมีความแม่นยำยิ่งขึ้นทั้งในแนวแกน X, Y และ Z ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hai-Wei Chen, Qiu-Ju Zhang. "Stability analyses of vertical axis automatic washing machine without balancer." *Journal of Sound and Vibration*. Issue. 11, 24 May 2010. Page 2177-2192.
- [2] S.Bae, J.M. Lee. Y.J.Kang, J.S.Kang and J.R.Yun. "DYNAMIC ANALYSIS OF AN AUTOMATIC WASHING MACHINE WITH A HYDRAULIC BALANCER." *Journal of Sound and Vibration*. Vol.257, No.1, 2002. Page 3-18
- [3] Conrad, D.C. and Soedel, W. "On the Problem of Oscillatory Walk of Automatic Washing Machine." *Journal of Sound and Vibration*. Vol.188, No.3, 1995. page 301-314.
- [4] F.F. Yap, N. Vahdati and H.Harmoko. "Design and analysis of vibration isolation systems for hard disk drives." *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 303.2006. Page.52-56
- [5] SAMSUNG ELECTRONICS CO., L. (2001). "A Study on the Dynamic Behavior of an Automatic Washing Machine" Korea ADAMS User Conference, 2001 11(8-9): 1-6.
- [6] C.Cristalli, N.Paone and R.M. Rodriguez. "Mechanical fault detection of electric motors by laser vibrometer and accelerometer measurements." *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2006, 20. 2006. Page.1350-1361
- [7] Takayuki KOIZUMI, Nobutaka TSUJIUCHI and Yutaka NISHIMURA. "Modeling and Vibration Analysis of a Drum type Washing Machine." Department of Engineering, Doshisha University.
- [8] Chung-Hyo Jung, Chang-Sub Kim and Yun-Ho Choi. "A dynamic model and Numerical study on the liquid balancer used in an automatic washing machine." *Journal of Mechanical Science and Technology*. 22. 2008. Page 1843-1852
- [9] O.S. Turkyay , B.Kiray , A.K. Tugcu and I.T. Sumer. "FORMULATION AND IMPLEMENTATION OF PARAMETRIC OPTIMISATION OF A WASHING MACHINE

SUSPENSION SYSTEM.” *Mechanical Systems and Signal Processing*.9.1995.Page 359-377

[10] W. TURKAY, O. S. (1994). “Formulation and implementation of parametric optimization of a washing machine suspension system.”

[11] Cristiano Spelta, S. S. and N. G. Giuseppe Fraternali (2008).”Vibration Reduction in a Washing Machine via Damping Control.” 17th World Congress The International Federation of Automatic Control.

[12] MorioMitsubishi, Y.N. (2001). “Washing machine dehydration dynamics analysis.”

[13] Jurg Nievergelt. “Exhaustive Search, Combinatorial Optimization : Exploring the Potential of Raw Computing Power.” *Wiedermann Eds SOFSEM.2000*.Page 18-35

[14] Alok Sinha. 2012. *Vibration of mechanical systems*. New York : Cambridge University Press.

[15] McDonald, K. T. (1997). “Physics in the Laundromat.Joseph Henry Laboratories,Princeton University,Princeton,NJ

ภาคผนวก

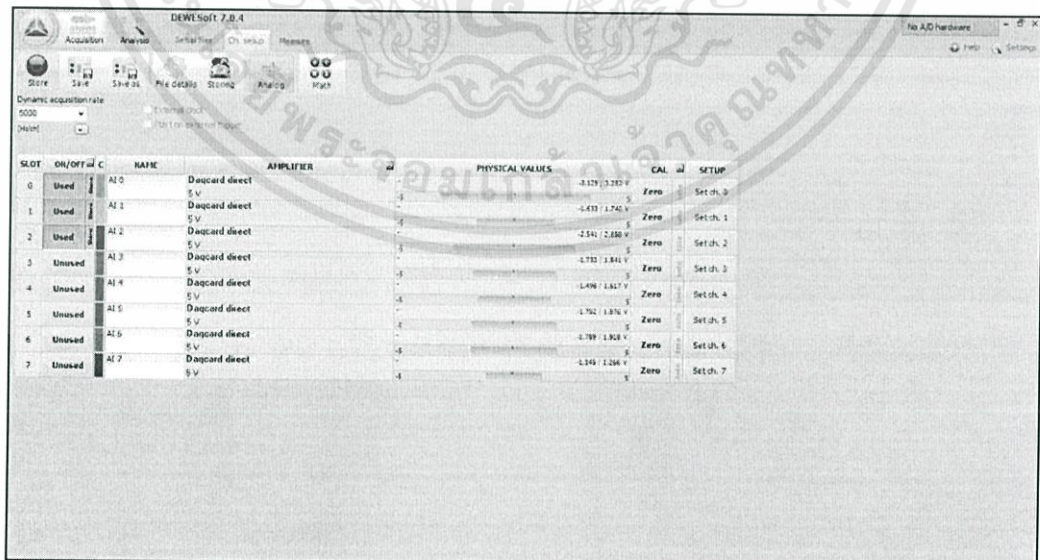
ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม DEWESoft 7.0

1. เปิดโปรแกรม DEWESoft 7.0 โหลด Data setup ที่กำหนดค่าไว้

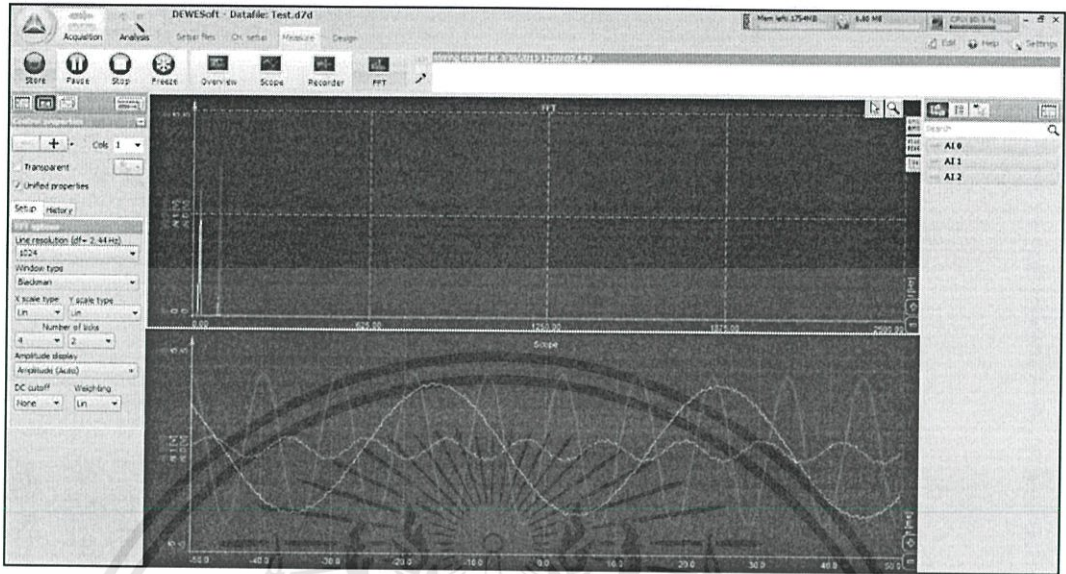


2. ตั้งชื่อ File ที่จำทำการวัด แล้วกดช่อง Used ในช่องการวัด ในแถบที่ต้องการแล้วกด Store

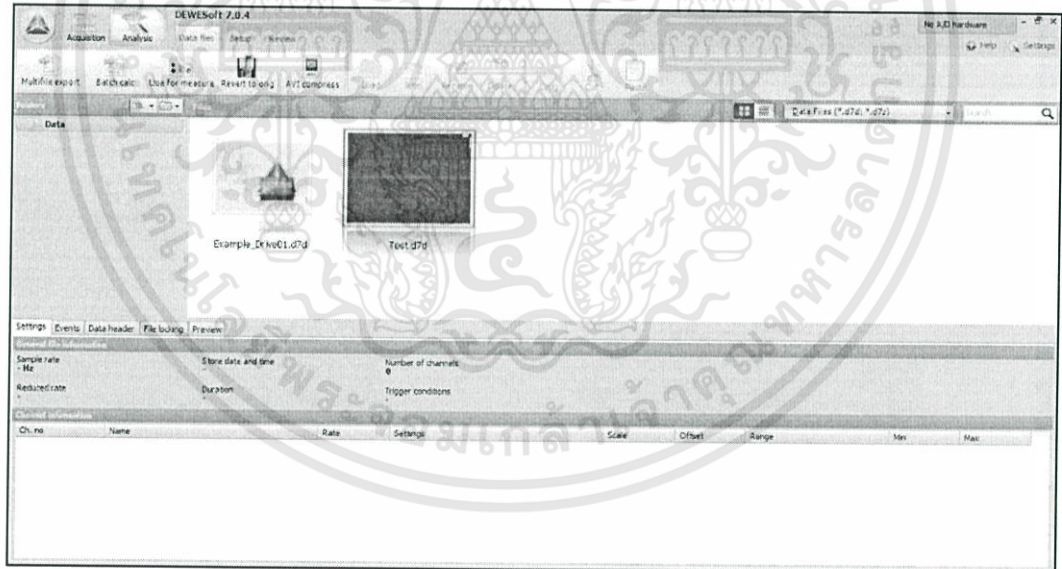


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 77 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สังเกตเห็นกราฟวิ่งไปทางซ้าย เมื่อต้องการหยุดให้กด Stop

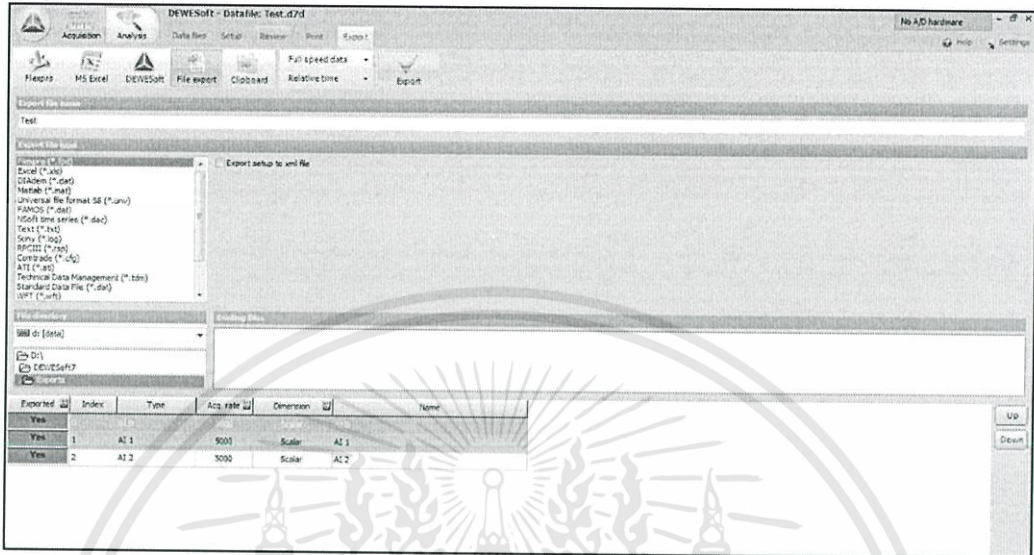


4. เมื่อได้ File มาแล้ว สามารถเปิดข้อมูลได้ที่ Data ไปที่ Load Datafile ดังตัวอย่าง Test.d7d

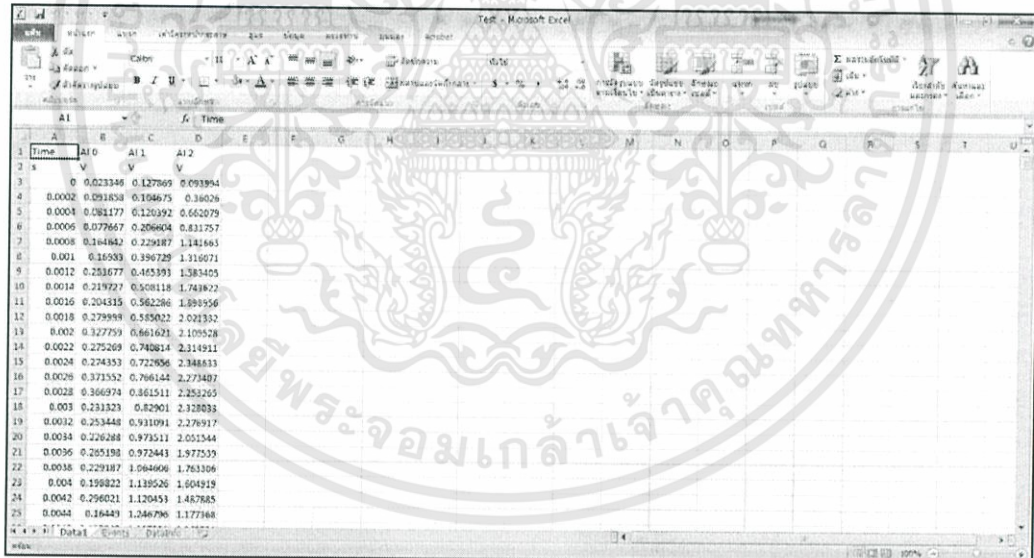


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 78 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โปรแกรม DEWESoft สามารถ Save เป็น File ข้อมูลได้ โดยไปที่ Edit เลือก Save data to File



6. File ที่ Save จะเป็น Excel



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 79 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

1. การคำนวณหาค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกนต่างๆจากการวัด

ค่าความเร่งเฉลี่ย RMS ในแนวแกน X Y และ Z ที่ตำแหน่งต่างๆในช่วงความเร็วรอบคงที่ที่สถานะปั่นแหว่ง

x axis	measurement	measurement	measurement
lb	4.452667	1.174067	3.181333
lf	2.1812	0.54084	3.4762
ll	3.1526	0.72664	3.4264
lr	3.561	0.767517	3.199833
ub	2.6385	1.126733	1.373333
uf	1.066533	1.2215	1.179433
ul	2.094833	0.810733	2.201833
ur	1.5331	1.12725	1.656483
average	2.585054	0.93691	2.461856

ตาราง 1 ความเร่งเฉลี่ยเฉลี่ย RMS ในแนวแกน X Y และ Z ที่ตำแหน่งต่างๆในช่วงความเร็วรอบคงที่ที่สถานะปั่นแหว่งจากการวัด

ค่าความเร่งเฉลี่ยเฉลี่ย RMS ในแนวแกน X

$$\begin{aligned}acc_{\bar{x}} &= \frac{lb_x + lf_x + ll_x + lr_x + ub_x + uf_x + ul_x + ur_x}{8} \\ &= \frac{4.45 + 2.18 + 3.15 + 3.56 + 2.63 + 1.06 + 2.09 + 1.53}{8} \\ &= 2.585054\end{aligned}$$

ค่าความเร่งเฉลี่ยเฉลี่ย RMS ในแนวแกน y

$$\begin{aligned} acc_{\bar{y}} &= \frac{lb_y + lf_y + ll_y + lr_y + ub_y + uf_y + ul_y + ur_y}{8} \\ &= \frac{1.17 + 0.54 + 0.72 + 0.76 + 1.12 + 1.22 + 0.81 + 1.12}{8} \\ &= 0.93691 \end{aligned}$$

ค่าความเร่งเฉลี่ยเฉลี่ย RMS ในแนวแกน X

$$\begin{aligned} acc_{\bar{z}} &= \frac{lb_z + lf_z + ll_z + lr_z + ub_z + uf_z + ul_z + ur_z}{8} \\ &= \frac{3.81 + 3.41 + 3.42 + 3.19 + 1.37 + 1.17 + 2.20 + 1.65}{8} \\ &= 2.461856 \end{aligned}$$

2. การคำนวณหาค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวแกนต่างๆจากการจำลองเชิงตัวเลข

ค่าความเร่งเฉลี่ย RMS ในแนวแกน X Y และ Z ที่ตำแหน่งต่างๆในช่วงความเร็วรอบคงที่ที่สถานะปั่นแหว่ง

x axis	simulation	simulation	simulation
lb	3.453851	0.960341	3.134163
lf	2.965381	0.60998	3.191939
ll	3.209348	0.677143	3.230757
lr	3.209503	0.961889	3.119075
ub	2.232927	0.919503	2.011291
uf	1.851158	0.73545	2.03942
ul	2.034794	0.700799	2.241769
ur	2.03389	0.99744	1.830754
average	2.623857	0.820318	2.599896

ตาราง 2 ความเร่งเฉลี่ยเฉลี่ย RMS ในแนวแกน X Y และ Z ที่ตำแหน่งต่างๆในช่วงความเร็วรอบคงที่

ที่สภาวะปั่น晃จากการจำลองเชิงตัวเลข

ค่าความเร่งเฉลี่ยเฉลี่ย RMS ในแนวแกน X

$$\begin{aligned}acc_{\bar{x}} &= \frac{lb_x + lf_x + ll_x + lr_x + ub_x + uf_x + ul_x + ur_x}{8} \\ &= \frac{3.45 + 2.96 + 3.20 + 3.20 + 2.23 + 1.86 + 2.03 + 2.03}{8} \\ &= 2.623857\end{aligned}$$

ค่าความเร่งเฉลี่ยเฉลี่ย RMS ในแนวแกน y

$$\begin{aligned}acc_{\bar{y}} &= \frac{lb_y + lf_y + ll_y + lr_y + ub_y + uf_y + ul_y + ur_y}{8} \\ &= \frac{0.96 + 0.60 + 0.67 + 0.96 + 0.91 + 0.73 + 0.70 + 0.99}{8} \\ &= 0.820318\end{aligned}$$

ค่าความเร่งเฉลี่ยเฉลี่ย RMS ในแนวแกน X

$$\begin{aligned}acc_{\bar{z}} &= \frac{lb_z + lf_z + ll_z + lr_z + ub_z + uf_z + ul_z + ur_z}{8} \\ &= \frac{3.13 + 3491 + 3.23 + 3.11 + 2.01 + 2.03 + 2.24 + 1.83}{8} \\ &= 2.599896\end{aligned}$$

ประวัติผู้เขียน

[1] ชื่อ-นามสกุล ธนดล มงคลกำจรกุล

วัน เดือน ปีเกิด 30 ธันวาคม 2534

คณะและสถานศึกษา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถานที่เกิด จังหวัด กรุงเทพมหานคร

ที่อยู่ 199/9 ซอยฟูศักดิ์ ถนนจรัสเมือง แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน

กรุงเทพมหานคร 10900

[2] ชื่อ-นามสกุล นัฐพล จุ้ยทรัพย์

วัน เดือน ปีเกิด 27 มิถุนายน 2534

คณะและสถานศึกษา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถานที่เกิด จังหวัด กรุงเทพมหานคร

ที่อยู่ 98/282 ซอยหทัยราษฎร์8 ถนนหทัยราษฎร์ แขวงบางชั้น เขตคลองสามวา

กรุงเทพมหานคร 10510

[3] ชื่อ-นามสกุล เมืองนนท์ โรจนพงศ์สถาพร

วัน เดือน ปีเกิด 8 เมษายน 2535

คณะและสถานศึกษา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถานที่เกิด จังหวัด กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อยู่

529/11 ถ. สาธุประดิษฐ์ แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา

กรุงเทพมหานคร 10510



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศีกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้