

การศึกษาการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
A STUDY OF THE EARTHQUAKE VIBRATIONS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2560

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF THE EARTHQUAKE VIBRATIONS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าเอกสารฉบับนี้เป็นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ข้อมูลใดๆ จากเอกสารฉบับนี้ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว A Study of The Earthquake Vibrations		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกมลรัตน์ มีทิพย์	รหัสนักศึกษา	57050928
	นางสาวจุฑาทิ ศรีสมรูป	รหัสนักศึกษา	57050942
	นายอภิสิทธิ์ หน่อคำหล้า	รหัสนักศึกษา	57051056
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)		
ภาควิชา	ฟิสิกส์		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุรชาติ กมลติลก		

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ ประธานกรรมการ	
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข กรรมการ	
อาจารย์จรรยารัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
อาจารย์สุรชาติ กมลติลก กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ของคณะวิทยาศาสตร์ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกมลรัตน์ มีทิพย์	รหัสนักศึกษา	57050928
	นางสาวจุฑามาศ ศรีสมรูป	รหัสนักศึกษา	57050942
	นายอภิสิทธิ์ หน่อคำหล้า	รหัสนักศึกษา	57051056
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)		
ภาควิชา	ฟิสิกส์		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล)		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุรชาติ กมลดิกล		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยใช้เครื่องมือที่ใช้บันทึกคลื่นแผ่นดินไหว (Seismograph) เพื่อวัดค่าแอมพลิจูด (Amplitude) ที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสแนมแม่เหล็กจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว จากนั้นวิเคราะห์หาค่าระดับความรุนแรงที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยแสดงผลในรูปแบบต่อเนื่อง (Real Time) ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

คำสำคัญ : คลื่นวัดแผ่นดินไหว ต่อเนื่อง แอมพลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title A Study of The Earthquake Vibrations
Student Miss. Kamonrat Meetip Student ID 57050928
 Miss. Juthapak Srisomroop Student ID 57050942
 Mr. Apisit Norkhamlar Student ID 57051056
Degree Bachelor of Science (Applied Physics)
Faculty Science
University King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic 2017
Advisor Mr. Surachart Kamoldilok

Abstract

In this special project, we studied on the earthquake vibration the instruments used to record earthquakes (Seimograph). To measure the amplitude Caused by the vibrations of an earthquake. Caused by the induction of the magnetic field From the vibration of the earthquake. Then the severity level analysis Caused by the vibrations of an earthquake. On displayed in real time Through the meter.

Keywords : Amplitude, Real Time, Seimograph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก อาจารย์สุรชาติ กมลติก อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและ ตรวจแก้ไข ในการดำเนินการจัดโครงการพิเศษ และทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ ความเข้าใจและแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงการพิเศษนี้ ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งและถือเป็นพระคุณอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณพระคุณคณาจารย์ในภาคฟิสิกส์ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้ความรู้ ให้คำแนะนำ และ ให้ความคิดเห็นเป็นอย่างดีเสมอมา ทำให้ผู้วิจัยได้ข้อมูลโครงการพิเศษอย่างครบถ้วน

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ ภาควิชาฟิสิกส์ทุก ๆ คน ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในโครงการพิเศษนี้จนสำเร็จ

คุณงามความดีอันพึงมีจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง และคณาจารย์ผู้ประสพวิชาความรู้ ตลอดจนทุก ๆ ท่านที่ให้กำลังใจช่วยเหลือตลอดจนกระทั่งโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

กมลรัตน์ มีทิพย์
จุฑาทัก ศรีสุมรูป
อภิสิทธิ์ หน่อคำหล้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การเคลื่อนตัวของเปลือกโลก	4
2.2 การเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก	5
2.3 คลื่นความสั่นสะเทือน (Seismic Wave)	6
2.4 ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว (Magnitude)	10
2.5 การวัดค่าการสั่นสะเทือน	11
2.6 กฎของฟาราเดย์ (Faraday's law)	12
2.7 เซนเซอร์จีโอโฟน (Geophone Sensor)	13
2.8 สปริง (Springs)	14
2.9 การทดลองหาค่าคงที่สปริง (Spring Rate Calculation)	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	17
3.1 ขั้นตอนการศึกษาและดำเนินการ	17
3.2 วัสดุและอุปกรณ์	18
3.3 วิธีการออกแบบ / วิธีการทดลอง	18
3.3.1 การสร้างชุดเซนเซอร์จีโอโฟน (รูปแบบที่ 1)	18
3.3.2 วิธีการพันขดลวด (รูปแบบที่ 1)	21
3.3.3 การสร้างชุดเซนเซอร์จีโอโฟน (รูปแบบที่ 2)	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับบริการวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4	วิธีการพันขดลวด (รูปแบบที่ 2)	28
3.3.5	การประกอบชิ้นส่วนของเซนเซอร์	35
3.3.6	การสร้างขาล็อกเซนเซอร์	36
3.3.7	การประกอบชิ้นส่วนของขาล็อกเซนเซอร์	39
3.3.8	การประกอบชิ้นส่วนของอุปกรณ์ทั้งหมด	39
3.3.9	การออกแบบวงจรขยายสัญญาณและวงจรส่งสัญญาณ	40
3.3.10	สปริงที่ใช้ในการทดสอบมี 2 แบบ	40
3.3.11	แม่เหล็กที่ใช้ในทดสอบ โดยนำแม่เหล็กที่มีขนาดต่างกัน มา 2 ชิ้น	41
3.4	วิธีการวัดค่าฟลักซ์แม่เหล็ก	42
บทที่ 4	ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	43
4.1	ผลการทดลองหาค่าฟลักซ์แม่เหล็ก	43
4.2	วิธีคำนวณหาค่าคงที่สปริง (Spring Rate Calculation)	45
4.3	ผลการทดสอบเซนเซอร์ที่ใช้วัดการสั่นสะเทือน	46
4.4	ผลการทดลองจาก NETPIE	130
4.4.1	การแสดงผลข้อมูลเริ่มต้น ขณะที่ยังไม่มีการสั่นสะเทือน	130
4.4.2	การแสดงผลข้อมูล ขณะที่ใช้ขนาดแรงขับมอเตอร์ 100	130
4.4.3	การแสดงผลข้อมูล ขณะที่ใช้ขนาดแรงขับมอเตอร์ 90	131
4.4.4	การแสดงผลข้อมูล ขณะที่ใช้ขนาดแรงขับมอเตอร์ 80	131
4.4.5	การแสดงผลการบันทึกข้อมูล ขณะที่ใช้ขนาดแรงขับมอเตอร์ขนาดต่าง ๆ	132
4.4.6	การแสดงผลข้อมูล ขณะที่ใช้ขนาดแรงขับมอเตอร์ 110 และมีการสั่นแบบหมุน	132
4.4.7	แสดงผลการบันทึกข้อมูล ขณะที่ใช้ขนาดแรงขับมอเตอร์ 110 และมีการสั่นแบบหมุน	133
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	134
5.1	สรุปผลการทดลอง	134
5.2	ปัญหาที่พบในงานวิจัย	134
5.3	ข้อเสนอแนะ	134
5.4	แนวทางพัฒนา	135
เอกสารอ้างอิง		
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ก่อให้เกิดความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สินนั้น มีอยู่หลายประเภท อาทิเช่น ภัยจากแผ่นดินไหว ภัยจากน้ำท่วม ภัยจากไฟป่า เป็นต้น ภัยธรรมชาติเหล่านี้ไม่สามารถห้ามให้เกิดขึ้นได้ ภัยธรรมชาติต่าง ๆ นั้นสามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า ยกเว้น ภัยที่เกิดจากแผ่นดินไหว ที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า

ต่อมาจึงได้มีการคิดค้นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เรียกว่า ไซสโมกราฟ (Seismograph) ที่สามารถตรวจวัดแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยการบันทึกคลื่นแผ่นดินไหว และสามารถรู้ขนาดของความรุนแรงของแผ่นดินไหว

การวัดขนาด (Magnitude) ของแผ่นดินไหวเป็นการวัดพลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมา พลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมานั้นจะไม่เท่ากัน โดยขึ้นอยู่กับขนาดของความรุนแรงและสถานที่ของการเกิดแผ่นดินไหว โดยใช้มาตราแมกนิจูด (Richter Magnitude Scale) ในการคำนวณหาขนาดของแผ่นดินไหว

บริเวณที่เกิดแผ่นดินไหว จะมีความสัมพันธ์กับรอยเลื่อนหรือรอยต่อของแผ่นเปลือกโลก คลื่นความไหวสะเทือนเป็นผลมาจากกระบวนการ การเคลื่อนที่และการแยกตัวของแผ่นธรณีภาคและแผ่นเปลือกโลก คลื่นความไหวสะเทือนที่ทำให้โลกเกิดการสั่นสะเทือนที่มีแรงมากกระทำต่อพื้นผิวของเปลือกโลก สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ คลื่นหลัก (Body Wave) และ คลื่นพื้นผิว (Surface Wave) เป็นต้น โดยคลื่นหลัก เป็นคลื่นที่เดินทางทะลุผ่านโลก สามารถแบ่งออกได้อีก 2 ประเภท คือ คลื่นปฐมภูมิ (Primary Wave) และ คลื่นทุติยภูมิ (Secondary Wave) และคลื่นพื้นผิว เป็นคลื่นที่เดินทางไปตามผิวโลก สามารถแบ่งได้อีก 2 ประเภท คือ คลื่นเรลีย์ (Rayleigh Wave, L_R) และ คลื่นเลิฟ (Love Wave, L_Q) ซึ่งการเกิดแผ่นดินไหว เป็นภัยธรรมชาติที่ไม่สามารถพยากรณ์ได้อย่างแม่นยำ จึงมีการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบระดับการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

ในการศึกษาฟิสิกส์พื้นฐานและวิชาพื้นฐานของเครื่องมือวัด จึงมีการนำทฤษฎีพื้นฐานจากฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือน (Vibration) โดยใช้กฎของฟาราเดย์ (Faraday's law) ที่เกี่ยวข้องกับอำนาจของสนามแม่เหล็กสามารถทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า จากการทดลองของฟาราเดย์และเฮนรีจึงสรุปได้ว่า “เมื่อทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กบริเวณขดลวด จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ (Electromotive Force เขียนย่อว่า Emf.) ในขดลวด และนำกฎของฟาราเดย์มาประยุกต์ใช้ในการประดิษฐ์เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการวัดการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยใช้เครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว (Seismograph) เพื่อคำนวณหาระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือน โดยคาดว่าชุดทดลองนี้จะสามารถวัดการสั่นสะเทือนในแต่ละพื้นที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ประดิษฐ์เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
- 1.2.2 เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่ประดิษฐ์ขึ้นมา สามารถส่งข้อมูลแบบต่อเนื่อง(Real Time)
- 1.2.3 สามารถเก็บค่าอุณหภูมิ ความชื้น และบอกสถานะของอุปกรณ์ได้
- 1.2.4 สามารถตรวจสอบระดับการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวได้

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

ประดิษฐ์ชุดเครื่องศึกษาการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว เพื่อวัดค่าแอมพลิจูด (Amplitude) ที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว และคำนวณหาค่าระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือน

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

โครงการมีระยะเวลาในการจัดทำรวมทั้งสิ้น 7 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560 ถึง วันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2561 ซึ่งมีแผนดำเนินงานแบ่งเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังตารางที่ 1.4.1

ตารางที่ 1.4.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินการ	ระยะเวลา						
	ก.ย. 2560 - มี.ค. 2561						
	ก.ย. 2560	ต.ค. 2560	พ.ย. 2560	ธ.ค. 2560	ม.ค. 2561	ก.พ. 2561	มี.ค. 2561
1.ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องวัดการสั่นสะเทือน							
2.ออกแบบเครื่องวัดการสั่นสะเทือน							
3.ประดิษฐ์เครื่องวัดการสั่นสะเทือน							
4.ใช้ซอฟต์แวร์ในการแสดงผล							
5.ตรวจสอบการวัด							
6.สอบเทียบค่าจากเครื่องมือมาตรฐาน							
7.สรุปผลการวิจัยและนำเสนอ							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถสร้างชุดศึกษาเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวได้
- 1.5.2 ชุดเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวสามารถรับรู้ระดับความรุนแรง ที่เกิดจากการสั่นสะเทือนได้แบบต่อเนื่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (A Study of The Earthquake Vibrations) คลื่นแผ่นดินไหว (Seismic Waves) เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่เกิดจากการแตกหรือการเคลื่อนที่อย่างฉับพลันของหินบริเวณรอยเลื่อน (Faults) หรือเกิดจากการระเบิด (Explosions) คลื่นเหล่านี้เดินทางไปยังส่วนต่าง ๆ ของโลกโดยเราสามารถบันทึกไว้ได้ด้วยเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว (Seismograph) มีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.1 การเคลื่อนตัวของเปลือกโลก

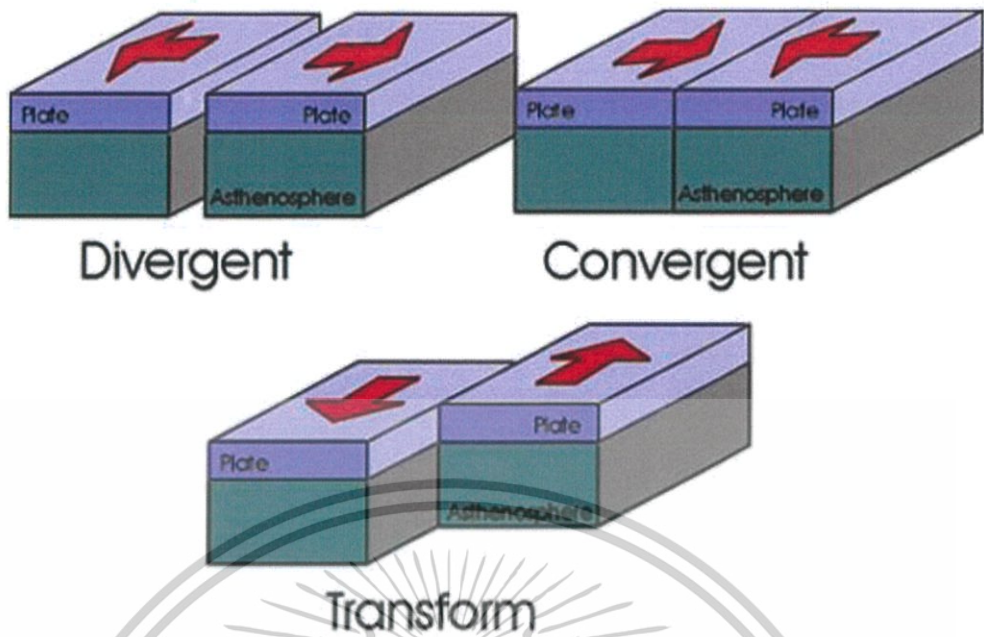
พลังงานที่เกิดขึ้นจากของเหลวใต้ชั้นเปลือกโลกลงไป หรือเรียกว่าชั้นแมนเทิล (Mantle หรือ Earth's mantle) นั้นสามารถผลักดันให้เปลือกโลกเกิดการขยับตัวหรือเคลื่อนที่ได้อยู่ตลอดเวลา จึงทำให้เปลือกโลกแผ่นต่าง ๆ เกิดการชนกันขึ้นหรือเกิดจากการมุดตัวเข้าเกยกันได้ แรงปะทะที่เกิดขึ้นนั้นจะทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนกลายเป็นแผ่นดินไหวได้ การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกแบบต่าง ๆ ส่งผลให้เกิดแรงสั่นสะเทือนและขนาดของความรุนแรงที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวมีขนาดที่แตกต่างกันออกไป ลักษณะการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกจำแนกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

2.1.1 แนวการเคลื่อนตัวแบบเลื่อนสวนกัน (Transform Boundary) เมื่อแผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่สวนกัน จะทำให้เกิดรอยเลื่อนขนาดใหญ่ ในลักษณะนี้เป็นการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไป ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณเทือกเขาหรือบริเวณชายฝั่ง

2.1.2 แนวการเคลื่อนตัวแบบแยกออกจากกัน (Divergent Boundary) เป็นการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกตั้งแต่ 2 แผ่น โดยเกิดจากการแยกตัวออกจากกัน ลักษณะนี้จะทำให้เกิดเป็นรอยแยก อาจก่อให้เกิดภูเขาไฟขึ้น เนื่องจากพลังงานความร้อนจากชั้นแมนเทิลจะได้รับการปลดปล่อยและดันตัวขึ้นมาตามแนวรอยแยกของหินหลอมละลายหรือแมกมา (Magma) ที่อยู่ข้างใต้ ก็จะถูกดันออกมาตามแนวรอยแยก เมื่อแมกมาเย็นตัวลงก็จะกลายเป็นแผ่นดิน หรือเป็นแนวเทือกเขา

2.1.3 การเคลื่อนตัวแบบเคลื่อนเข้าหากัน (Convergent Boundary) เป็นการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไป จะเคลื่อนที่เข้าหาและเกิดการชนกัน อาจก่อให้เกิดเทือกเขาขึ้นได้ การชนกันแบบนี้จะมีความรุนแรงมากกว่าการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกลักษณะอื่น การเคลื่อนตัวแบบเคลื่อนที่เข้าหากัน จะทำให้ขอบเปลือกโลกตรงแนวรอยเลื่อนเกิดการทรุดตัวลง ทำให้แผ่นเปลือกโลกแผ่นหนึ่งเกิดการมุดแทรกเข้าไปเกยกับแผ่นเปลือกโลกอีกแผ่นหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก

2.2 การเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก

การเคลื่อนที่ของเปลือกโลกจะมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา และสามารถจำแนกการเคลื่อนที่ของเปลือกโลกออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือแนวการเคลื่อนตัวแบบเลื่อนสวนกัน (Transform Boundary) แนวการเคลื่อนตัวแบบแยกออกจากกัน (Divergent Boundary) และแนวการเคลื่อนตัวแบบเคลื่อนเข้าหากัน (Convergent Boundary) ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการทางธรณีวิทยา ดังนี้

2.2.1 การคดโค้งโก่งงอ เกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกตั้งแต่ 2 แผ่น โดยจะเคลื่อนที่เข้าชนกันด้วยแรงดันที่มหาศาล ทำให้ชั้นหินตรงบริเวณแผ่นเปลือกโลกเกิดการเคลื่อนที่ชนกัน เกิดการคดโค้งโก่งงอ แต่การเกิดรอยคดโค้งโก่งงอนั้น จะใช้เวลานานมากหรืออาจเป็นปี ๆ หรือมากกว่านั้น และต้องได้รับพลังงานอย่างต่อเนื่อง รอยคดโค้งโก่งงอของชั้นหินจะเกิดเป็นบริเวณกว้างกินพื้นที่มาก และกลายเป็นเทือกเขา เช่น เทือกเขาหิมาลัยในทวีปเอเชีย เทือกเขาแอลป์ในทวีปยุโรป เทือกเขาภูพานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เป็นต้น

2.2.2 การยกตัวและการยุบตัว เกิดจากพลังงานที่สะสมอยู่ภายในแผ่นเปลือกโลก และเริ่มแยกออกจากกันในทิศทางที่เป็นเส้นตรงหรือแนวราบ ทำให้เกิดรอยเลื่อนในลักษณะต่าง ๆ เช่น การยกตัวของแผ่นเปลือกโลกที่เกิดจากรอยเลื่อนแบบปกติเป็นภูเขา เรียกว่า ภูเขาบล็อก (Block Mountain) โดยยอดเขาจะมีลักษณะเป็นแนวราบและไหล่เขา เช่น ภูกระดึง จังหวัดเลย และอีกแบบหนึ่งคือ การยุบตัวของแผ่นเปลือกโลกกลายเป็นแอ่งหรือหุบเขา เรียกว่า หุบเขาทรุด (Rift Valleys)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คลื่นความสั่นสะเทือน (Seismic Wave)

คลื่นความสั่นสะเทือน คือการตอบสนองของแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากแผ่นดินไหว ซึ่งเกิดจากการกระจายตัวจากจุดศูนย์กลางในลักษณะเป็นระลอกคลื่น คล้ายกับคลื่นบนผิวน้ำเมื่อทำการโยนก้อนหินลงไปในทุกครั้งที่เกิดการชนกัน กระแทกกันหรือเกิดการเสียดสีกันของแนวรอยเลื่อนต่างๆ จะทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนตามมา แรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นนี้ สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ แรงเสียดสี (Friction) และแรงดึงดูด (Gravity) โดยเกิดจากแผ่นเปลือกโลกมากกว่า 1 แผ่นขึ้นไป และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดคลื่นความสั่นสะเทือน

แรงเสียดสี คือเกิดจากการที่แผ่นเปลือกโลกตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไป มีการเบียดตัวหรือบีบอัดเข้าหากัน ทำให้เกิดแรงกระแทกของแผ่นเปลือกโลก ที่เกิดจากการเบียดหรือบีบอัดอย่างแรง และทำให้แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนตัวเข้าหากัน จึงทำให้เกิดการเสียดสีขึ้น โดยการเสียดสีกันแบบนี้ จะทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนและเกิดแผ่นดินไหวตามมา โดยการชนกันหรือเสียดสีกันนั้นต้องมีความรุนแรงจึงจะทำให้เกิดแผ่นดินไหวขึ้นได้ การเสียดสีกันแบบนี้มีหลายลักษณะ เช่น ลักษณะการเลื่อนไกลออกไปในทิศทางตรงกันข้าม คือทางซ้ายและทางขวา หรือลักษณะของการชนเข้าใส่ตรง ๆ หรือลักษณะการมุดเข้าเกยกัน เป็นต้น จะทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนแบบเสียดสีขึ้นได้

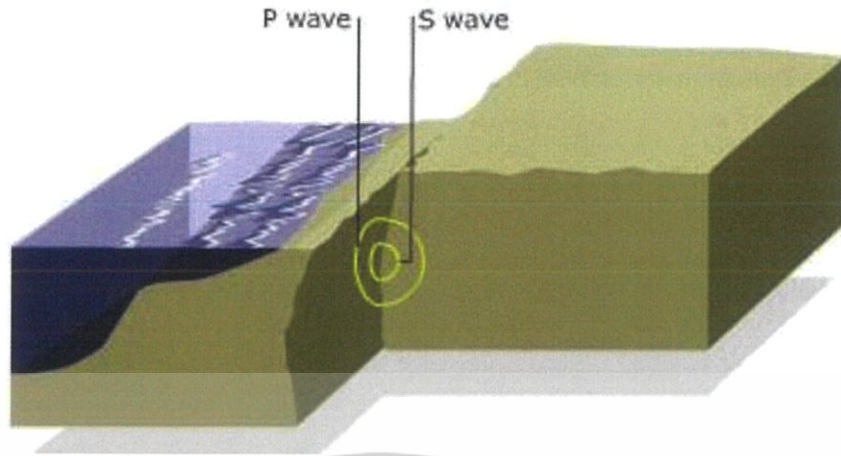
แรงดึงดูด คือเกิดจากการที่แผ่นเปลือกโลกถูกดันให้ยกตัวสูงขึ้นและเกิดการตกลงมาใส่กันหรือมุดเข้าหากันตามแรงดึงดูดของโลก หรือเกิดจากการแตกกระจายของชั้นดินและชั้นหิน และเกิดจากการถล่มลงมาทับใส่กัน การเกิดสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ อาจทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากแรงดึงดูดขึ้นได้

จากการที่แผ่นเปลือกโลกเกิดแรงสั่นสะเทือนขึ้น ไม่ว่าจะเป็แรงที่เกิดจากการเสียดสีกันหรือแรงดึงดูดของโลก แรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจะก่อให้เกิดคลื่นความสั่นสะเทือนขึ้นได้ ซึ่งคลื่นความสั่นสะเทือนนี้ จะส่งผลให้เกิดแผ่นดินไหว คลื่นความสั่นสะเทือนสามารถแบ่งได้ตามลักษณะของการเคลื่อนที่ของคลื่น ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทได้แก่ คลื่นหลัก (Body Wave) และคลื่นพื้นผิว (Surface Wave)

2.3.1 คลื่นหลัก (Body Wave) เป็นคลื่นที่เดินทางอยู่ภายในโลก สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือคลื่นแรกหรือคลื่นปฐมภูมิ (Primary Wave) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า คลื่นพี (P-Waves) อนุภาคของดินเคลื่อนที่ไปตามแนวแรง และคลื่นที่สองหรือคลื่นทุติยภูมิ (Secondary Wave) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า คลื่นเอส (S-Waves) อนุภาคดินเคลื่อนที่ไปตามแนวระนาบทิศเหนือ ทิศใต้และตะวันออก ตะวันตก ความยาวช่วงคลื่นหลักอยู่ระหว่าง 0.01-50 วินาที

ในทุกครั้งที่เกิดแรงสั่นสะเทือนขึ้น ไม่ว่าจะเกิดที่บริเวณใด จะมีการปลดปล่อยพลังงานในลักษณะคลื่นความสั่นสะเทือน โดยคลื่นความสั่นสะเทือนสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ คลื่นพีและคลื่นเอส คลื่นทั้ง 2 ชนิดนี้ จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งในรูปแบบของการเดินทางและลักษณะของรูปคลื่น รวมไปถึงผลกระทบที่จะได้รับจากคลื่นทั้ง 2 ชนิดนี้ เมื่อคลื่นทั้ง 2 ชนิดนี้เดินทางผ่านไปยังที่ใด จะมีความแตกต่างกันออกไป แต่ยังมีสิ่งหนึ่งที่เหมือนกัน คือคลื่นแรงสั่นสะเทือนทั้ง 2 ชนิดนี้ เมื่อเกิดคลื่นความสั่นสะเทือนขึ้น คลื่นจะถูกส่งออกมาอย่างต่อเนื่องคล้ายคลื่นน้ำจนกว่าความสั่นสะเทือนจะหยุดลง ความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจะมีมากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency) ที่ถูกแปลงออกมาของคลื่นทั้ง 2 ชนิด

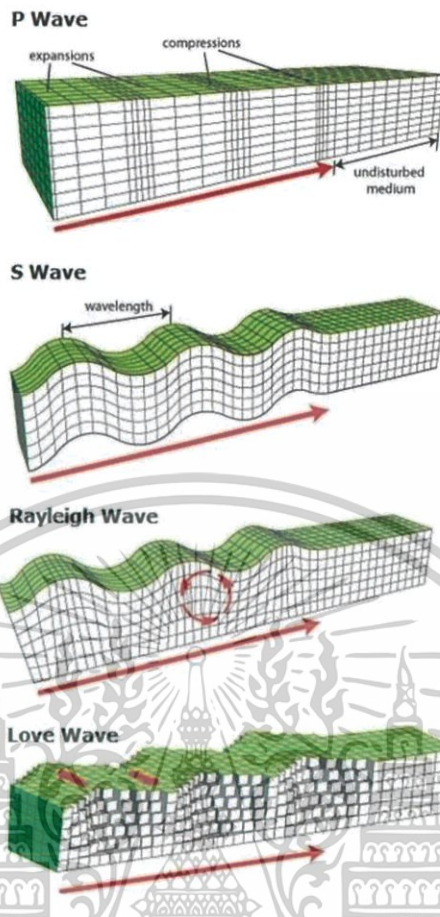
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ลักษณะกระบวนกาเนิดของคลื่นสั่นสะเทือน ตั้งแต่แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนตัวเข้าหากัน

การเกิดปรากฏการณ์แผ่นดินไหวทุก ๆ ครั้งเมื่อเกิดความสั่นสะเทือนขึ้น จะเกิดการปลดปล่อยพลังงานของคลื่นพีและคลื่นเอส ออกมาจากจุดศูนย์กลางของการเกิดแผ่นดินไหว หรือจุดที่เกิดการเสียดสี การชนกัน หรือการถล่มใส่กัน จุดเริ่มต้นของการสั่นสะเทือนเรียกว่า “จุดโฟกัส (Focus Point) หรือ จุดไฮโปเซ็นเตอร์ (Hypocenter)” แต่จุดที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของคลื่นความสั่นสะเทือนที่แท้จริงนั้น จะอยู่บนผิวดินเหนือจุดโฟกัสหรือไฮโปเซ็นเตอร์ขึ้นไปเรียกว่า “จุดเอพิเซ็นเตอร์ (Epicenter) หรือเรียกอีกอย่างว่า จุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหว” ซึ่งจุดเอพิเซ็นเตอร์จะเป็นจุดเริ่มต้นในการกระจายคลื่นความสั่นสะเทือนโดยจะเดินทางจากจุดศูนย์กลางให้กระจายออกไปเพื่อสร้างความเสียหายให้กับสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่บนพื้นผิวดิน

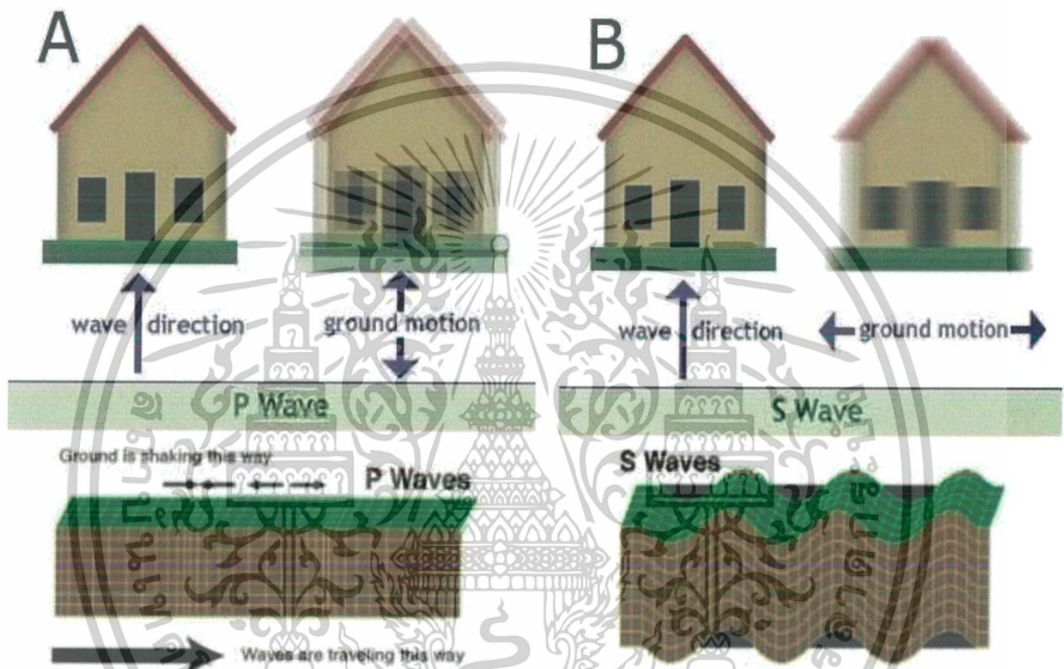
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ลักษณะที่แตกต่างของคลื่นความสั่นสะเทือนแต่ละชนิด

เมื่อเกิดแรงกระทบ แรงจากการชนกันหรือแรงที่เกิดจากการเสียดสีกัน คลื่นพีจะถูกแผ่ออกมาจากจุดโฟกัส หรือ ไฮโปเซ็นเตอร์ขึ้นมาก่อน แล้วจึงตามด้วยคลื่นเอส เป็นลำดับต่อมา คลื่นทั้ง 2 ชนิดนี้จะเดินทางผ่านชั้นดินและชั้นหินออกไปจากศูนย์กลางในลักษณะเป็นระลอกคลื่นแผ่ออกมาเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง ชั้นดินและชั้นหินที่คลื่นพีเดินทางผ่าน จะเกิดความสั่นสะเทือนขึ้นก่อน จนเมื่อคลื่นเอส เดินทางตามมาก็จะเกิดความสั่นสะเทือนตามขึ้นมาอีก แต่คลื่นทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีลักษณะการเดินทางและลักษณะการเกิดความสั่นสะเทือนของชั้นดินและชั้นหินที่ต่างกันไป คือคลื่นพีจะทำให้ชั้นดินและชั้นหิน เกิดความสั่นสะเทือนไปมาในแนวเดียวกัน ลักษณะที่ชั้นดินและชั้นหินที่คลื่นชนิดนี้เดินทางผ่านจะเกิดการบีบอัดแล้วขยายตัวออกไปตามแรงของคลื่นพี ส่วนคลื่นเอสจะทำให้ชั้นดินและชั้นหินเกิดความสั่นสะเทือนในแนวขึ้นลงแบบตั้งฉากกับทิศของคลื่นเอสที่เดินทางไป คล้ายกับคลื่นในทะเล โดยธรรมชาติแล้ว คลื่นพีจะมีความเร็วมากกว่าคลื่นเอส เนื่องจากลักษณะการเดินทางของคลื่นพีที่ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนมีความแตกต่างกัน เพราะนอกจากคลื่นเอสจะแผ่ออกมาตามหลังคลื่นพีอยู่เสมอแล้ว คลื่นเอส ยังเดินทางแหวกผ่านร่องรอยของคลื่นพี ที่ทำให้ชั้นดินและชั้นหินเกิดการเปลี่ยนแปลงไปแล้วอีกด้วย และด้วยลักษณะเช่นนี้ บางครั้งจึงเรียกลักษณะคลื่นเอสว่า คลื่นตดไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Shear Wave) คลื่นเอสยังมีคุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งที่แตกต่างไปจากคลื่นพี คือไม่สามารถเดินทางผ่านของเหลวได้ ในขณะที่คลื่นพีสามารถเดินทางผ่านได้ทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นของแข็งหรือของเหลว ด้วยลักษณะต่าง ๆ เช่นนี้ ทำให้คลื่นเอสคล้ายถูกแรงหน่วงให้เดินทางได้ช้ากว่าเสมอ ในขณะที่ยังมีการแปลงพลังงานคลื่นความสั่นสะเทือนออกมาจากศูนย์กลางอย่างต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ จนกว่าพลังงานจะค่อย ๆ อ่อนแรงลง ความถี่ของคลื่นจะค่อย ๆ ลดน้อยลงตามไปด้วยจนกว่าจะหยุดนิ่ง และการที่คลื่นทั้ง 2 ชนิดนี้มีความเร็วที่ต่างกัน ในการตรวจหาจุดศูนย์กลางของการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้ง จึงอาศัยช่วงเวลาความห่างของคลื่นทั้ง 2 ชนิด มาใช้เป็นตัวชี้บอกตำแหน่งของจุดศูนย์กลาง



รูปที่ 2.4 ลักษณะความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบนผิวดินที่แตกต่างกันระหว่างคลื่น 2 ชนิด

2.3.2 คลื่นพื้นผิว (Surface Wave) โดยมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาจากจุดเอพิเซนเตอร์ที่ผิวด้านบนของจุดโฟกัส คลื่นพื้นผิวจะทำให้เกิดผลกระทบโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง หรือสิ่งของต่าง ๆ ที่อยู่บนพื้นผิวดิน คลื่นพื้นผิวสามารถแบ่งได้อีก 2 ชนิด ได้แก่คลื่นเลฟ (Love Wave : L_Q) อนุภาคดินเคลื่อนที่ในแนวระนาบเหมือนกับคลื่นน้ำและเดินทางใต้ผิวน้ำ โดยปกติจะเกิดขึ้นเมื่อแหล่งที่มาของแผ่นดินไหวอยู่ใกล้กับพื้นผิวของโลก และคลื่นเรลีย์ (Rayleigh Wave : L_R) อนุภาคของดินจะเคลื่อนที่เหมือนคลื่นพี แต่จะมีการเคลื่อนที่แบบย้อนกลับ โดยความยาวช่วงคลื่นพื้นผิว จะอยู่ประมาณ 10-350 วินาที

ในการเกิดแผ่นดินไหวขึ้นในแต่ละครั้ง สามารถบอกถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้คนที่อาศัยอยู่บนพื้นผิวโลกได้มากน้อยเพียงใด นอกจากทราบถึงสาเหตุและจุดศูนย์กลางของการเกิดแผ่นดินไหวครั้งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นว่าห่างไกลจากตัวเมืองหรือแหล่งชุมชนเพียงไร ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้ว สิ่งที่สำคัญที่ต้องศึกษา คือขนาดของความรุนแรงในการเกิดแผ่นดินไหวที่จุดศูนย์กลาง เพราะจะทำให้สามารถประมาณการณ์ถึงความเสียหายที่แท้จริงได้

2.4 ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว (Magnitude)

การวัดขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว จะเป็นการบ่งบอกถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นในการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละครั้ง โดยมีการคิดวิธีคำนวณและกำหนดค่าของความรุนแรงขึ้นมาใช้ เพื่อเป็นตัวบ่งบอกถึงความรุนแรงที่เกิดขึ้นให้ทราบได้ง่ายขึ้นเป็นหน่วยมาตรา เช่นเดียวกับมาตราวัดขนาดต่าง ๆ ที่นิยมใช้กันทั่วไป หน่วยวัดขนาดความรุนแรงของการเกิดแผ่นดินไหวในปัจจุบันมักนิยมใช้มาตราวัดที่เรียกว่า “ริกเตอร์สเกล (Richter Scale)” มาใช้อ้างอิงกันอยู่เสมอ มาตราวัดชนิดนี้เริ่มต้นใช้กันมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2478 จากการคิดค้นขึ้นโดย ชาลส์ ฟรานซิส ริกเตอร์ (Charles Francis Richter) และ เบโน กูเทินเบิร์ก (Benno Gutenberg) นักธรณีวิทยาประจำสถาบันเทคโนโลยีแห่งแคลิฟอร์เนีย (California Institute of Technology) การวัดค่าขนาดความรุนแรงของการเกิดแผ่นดินไหวนั้น จะใช้หลักการวัดความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบริเวณจุดศูนย์กลางของการเกิดแผ่นดินไหว โดยอาศัยเครื่องมือตรวจวัดการเกิดแผ่นดินไหว เมื่อเกิดแรงสั่นสะเทือนขึ้น โดยเทคโนโลยีปัจจุบันสามารถคำนวณจุดศูนย์กลางของการเกิดและขนาดความรุนแรงได้อย่างแม่นยำมาก

ในมาตราวัดขนาดความรุนแรงแบบริกเตอร์สเกลนี้ ยังมีการคาดคะเนถึงผลกระทบที่ได้รับจากการติดตามมาจากผลของการเกิดแผ่นดินไหวและขนาดความรุนแรงต่าง ๆ กันอีกด้วย ตั้งแต่ระดับความรุนแรงน้อยไปหามาก จึงทำให้ทราบได้ทั้งขนาดความรุนแรงในระดับที่ต่างกันว่าจะสามารถทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้มากน้อยเพียงใด โดยตามมาตราวัดแบบริกเตอร์ (Richter magnitude scale) นี้กำหนดให้มีระดับความรุนแรงต่าง ๆ ไว้เป็นตัวเลข ตั้งแต่ระดับความรุนแรงน้อยซึ่งไม่สามารถสร้างความเสียหายอะไรได้เลย จะเริ่มต้นตั้งแต่น้อยกว่า 2 ริกเตอร์ ขึ้นไปจนถึงความรุนแรงมาก ซึ่งสามารถสร้างภัยพิบัติขึ้นอย่างใหญ่หลวงได้ คือตั้งแต่ 9 ริกเตอร์ขึ้นไป

ตารางที่ 2.4.1 แสดงมาตราวัดขนาดความสั่นสะเทือนแบบริกเตอร์

ขนาด	ค่าแมกนิจูด	ผลกระทบ
เล็กที่สุด	0 – 2.0	ไม่รู้สึก
เล็กมาก	2- 2.9	ไม่รู้สึกแต่เครื่องตรวจพบ
เล็กน้อย	3 - 3.9	รู้สึกได้ แต่ไม่ส่งผลเสียหายนัก
เบาบาง	4 – 4.9	มีการสั่นไหวของสิ่งของ
รุนแรงพอประมาณ	5 – 5.9	สร้างความเสียหายแก่อาคารและวัตถุขนาดใหญ่เคลื่อนที่ได้
รุนแรง	6 – 6.9	อาคารทรุดถล่มเป็นวงกว้าง
รุนแรงมาก	7 – 7.9	อาคารทรุดเป็นวงกว้างมากขึ้นแผ่นดินแยก
รุนแรงมากที่สุด	8 – 8.9	เมืองทั้งเมืองถล่ม ภูเขาถล่ม
มากกว่ารุนแรง	9 ขึ้นไป	ทุกสิ่งทุกอย่างกองราบกับพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การวัดค่าการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือนที่ต้องการศึกษาเป็นการสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Forced Vibrations) คือ การสั่นที่มีแรงกระทำจากภายนอกอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา โดยความถี่ของการสั่นจะเท่ากับ ความถี่ของแรงกระทำภายใน การวัดค่าการสั่นสะเทือนสามารถวัดได้ทั้งแบบความเร่ง ความเร็ว และ ระยะทาง โดยการสั่นสะเทือนแต่ละตำแหน่งบนคลื่นการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของมวล ในที่นี้ คือ ก้อนแม่เหล็ก ที่ได้รับแรงภายนอกหรือแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหว จะมีการวัดระยะทางที่มีการเคลื่อนที่ในแต่ละรอบจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง เพื่อนำมาเป็นข้อมูลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของการสั่นสะเทือน สำหรับการวัดการสั่นสะเทือนสามารถวัดได้หลายประเภท ดังนี้

2.5.1 ค่าสูงสุด (Peak) หรือแอมพลิจูด (Amplitude) คือค่าการสั่นสะเทือนจากจุดอ้างอิงที่กำหนดหรือจุดเริ่มต้นถึงจุดสูงสุดของคลื่น

2.5.2 ค่าสูงสุดบนถึงค่าต่ำสุดล่าง (Peak to Peak) หรือดับเบิลแอมพลิจูด (Double Amplitude) คือค่าการสั่นสะเทือนวัดจากค่าสูงสุดบน ถึงค่าต่ำสุดล่างของคลื่นในแต่ละรอบการสั่นสะเทือน ค่าที่ได้จากการวัดจะมีค่าเป็นสองเท่าของค่าสูงสุดหรือสองเท่าของค่าแอมพลิจูด

2.5.3 ค่าเฉลี่ย RMS (Root Mean Square หรือ Effective Value) คือค่าการสั่นสะเทือนของรากที่สองของผลรวมยกกำลังสองของการสั่นสะเทือนในช่วงเวลาหนึ่ง เป็นการเฉลี่ยตลอดคาบ (Period) โดยสามารถเขียน RMS ในรูปสมการจะได้

$$x_{RMS} = \sqrt{\int_0^T X^2(t) dt} \quad (2.5.1)$$

เมื่อ x_{RMS} คือ ขนาดการสั่นสะเทือนเฉลี่ย RMS

T คือ คาบเวลาใน 1 รอบ

X คือ ระยะการเคลื่อนที่ของมวล

t คือ เวลา

หรือ

$$x_{RMS} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times Peak$$

$$x_{RMS} = 0.70 \times Peak \quad (2.5.2)$$

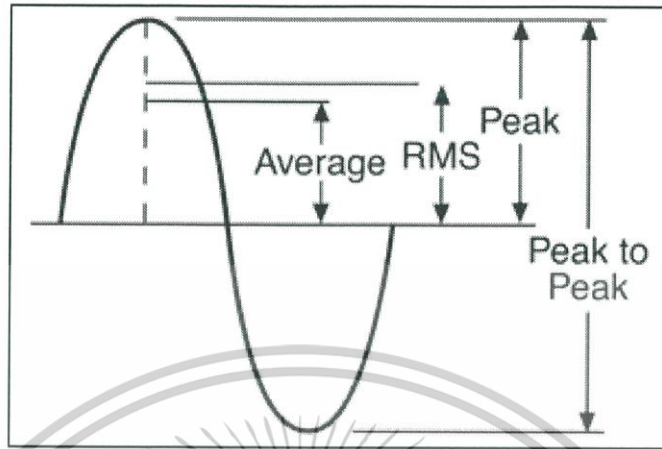
2.5.4 ค่าเฉลี่ย (Average) คือค่าเฉลี่ยของการสั่นสะเทือนโดยการรวมตลอดคาบ โดยการสั่นสะเทือนที่มีลักษณะเป็นรูปไซน์ (Sine Wave) สามารถหาค่าการสั่นสะเทือนได้ดังสมการ

$$x_{Ave} = \frac{1}{T} \int_0^T |X| dt \quad (2.5.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$x_{ave} = \frac{2}{\pi} \times Peak \quad (2.5.4)$$



รูปที่ 2.5 ลักษณะรูปคลื่นการสั่นและค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดความสั่นสะเทือน

2.6 กฎของฟาราเดย์ (Faraday's law)

กฎของฟาราเดย์ เกี่ยวข้องกับการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเป็นการทดลองของไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) และโดยโจเซฟ เฮนรี (Joseph Henry) เกี่ยวข้องกับอำนาจของ สนามแม่เหล็กสามารถทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า จากการทดลองของฟาราเดย์และเฮนรีจึงสรุปได้ว่า “เมื่อทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กบริเวณขดลวด จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ (Electromotive Force เขียนย่อว่า Emf.) ในขดลวด นอกจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าไหลในขดลวดได้ การเปลี่ยนแปลงหรือการเคลื่อนที่ของขดลวดก็ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำไหลในขดลวดได้เช่นกัน ซึ่งแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เคลื่อน ประจุ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร ซึ่งแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt) สมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าตามกฎของฟาราเดย์คือ

$$Emf. = \frac{-d\Phi}{dt} \quad \text{Volt} \quad (2.6.1)$$

หรือ

$$Emf. = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{Volt} \quad (2.6.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง $\frac{-d\Phi}{dt}$ ในสมการหมายถึง การเปลี่ยนแปลงของเส้นสนามแม่เหล็กตามเวลา และ Φ คือ

เส้นสนามแม่เหล็กที่ขดลวดหรือตัวนำ ซึ่งเครื่องหมายลบในสมการนั้นคือกฎของเลนซ์ (Lenz's Law) ที่กล่าวว่า “ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีทิศเพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลในทิศที่ทำให้มีผลต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก” หมายความว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้น จะสร้างสนามแม่เหล็กใหม่ที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของสนามแม่เหล็กเดิม ทำให้สนามแม่เหล็กในวงจรลดลง นั่นคือค่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าลดลง ถ้ากรณีที่ขดลวดที่เป็นตัวนำดังกล่าวมี N ล้อมรอบจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดทุก ๆ รอบถ้าขดลวดถูกพันไว้อย่างแน่นหนา เราสามารถเขียนสมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าของฟาราเดย์ได้ในรูปแบบอินทิเกรต (Integral) ดังนี้

$$\Phi = \int \vec{B} d\vec{l} \quad \text{Weber} \quad (2.6.3)$$

ถ้าสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด จะได้สมการดังนี้

$$\Phi = BA \quad \text{Weber} \quad (2.6.4)$$

2.7 เซนเซอร์จีโอโฟน (Geophone Sensor)

จีโอโฟน (Geophone) เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดการเคลื่อนตัวของพื้นผิวโลกแล้วแปลงค่าพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าหรือตัวแปลงความเร็วในการสั่นสะเทือนของพื้นดินออกมาเป็นค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า ซึ่งจะถูกบันทึกโดยตัวตรวจวัด ซึ่งลักษณะการเบี่ยงเบนไปจากเส้นปกติ เราเรียกว่า เป็นการตอบสนองต่อคลื่นไหวสะเทือนและเราสามารถนำค่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมาวิเคราะห์เพื่อหาโครงสร้างของโลกได้

โดยหลักการทำงานของจีโอโฟนนั้น คือก้อนแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ไปมาในขดลวดจากแรงพยุงของสปริง เมื่อเกิดความสั่นสะเทือน ก้อนแม่เหล็กจะขยับติดกับขดลวดทองแดงเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ผลการตอบสนองของขดลวดแม่เหล็กในจีโอโฟนเป็นผลมาจากความเร็วที่เปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวโลก ซึ่งเซนเซอร์ (Sensor) ชนิดนี้จะมีความไวสูงมาก

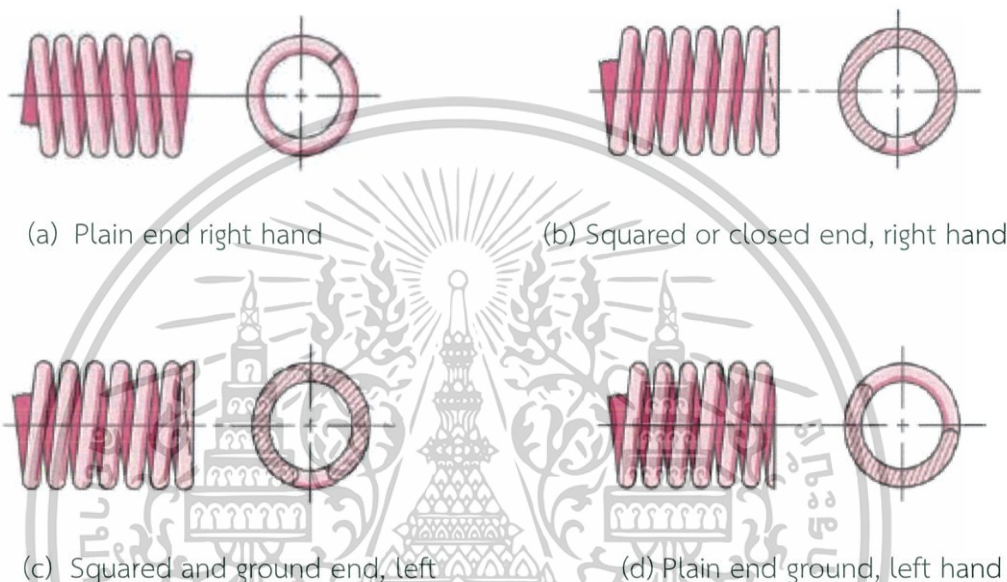
จีโอโฟนเป็นเครื่องมือที่สามารถตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนที่ระยะไกล ๆ ซึ่งมักใช้ได้ดีกับการตรวจวัดการสั่นสะเทือนขนาดเล็ก มีการประยุกต์ใช้จีโอโฟนในการตรวจวัดระดับพื้นที่ แต่ไม่เหมาะสมที่จะนำจีโอโฟนไปใช้แทนเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว เพราะการเคลื่อนที่ที่เกิดจากแผ่นดินไหวมีพลังงานสูงอาจทำให้เครื่องมือเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 สปริง (Springs)

สปริง มีคุณสมบัติยืดหยุ่น (Elasticity) เมื่อมีแรงมากกระทำ สปริงสามารถรับแรงกด แรงดึง และแรงคัตได้ โดยสปริงมีหลากหลายประเภท สามารถแบ่งตามรูปทรง และวัสดุที่ใช้ทำ เป็นต้น ชนิดของสปริง สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

2.8.1 สปริงรับแรงกด (Compression Spring) จะมีลักษณะเป็นเกลียว ทำหน้าที่รับแรงกด หรือลดแรงกระแทก ซึ่งขนาดและรูปร่างขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบตามลักษณะการใช้งาน เป็นหลัก ลักษณะปลายสปริงสามารถแบ่งได้ 4 แบบ ที่นิยมใช้กันทั่วไป ดังนี้



รูปที่ 2.6 ลักษณะปลายสปริงแบบต่าง ๆ

สปริงรับแรงกด (Compression Spring) สามารถหาค่าคงที่ของสปริงได้จาก สมการดังนี้

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N_a} \quad (2.8.1)$$

โดย k = ค่าคงที่สปริง (Spring Rate)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางขดลวด

D = เส้นผ่านศูนย์กลางสปริง

G = โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity or Yong's Modulus)

N_a = จำนวนขดลวด

โดยผลการคำนวณหาค่าคงที่สปริงจะแสดงในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 สปริงรับแรงดึง (Extension Spring) จะมีลักษณะขดติดกันปลายของสปริงจะมีลักษณะเป็นห่วงทั้งสองข้างไว้ สำหรับเกี่ยวเมื่อออกแรงดึงประกอบไปด้วย แบบห่วงครึ่งวงกลม แบบห่วงกลม แบบห่วงตัววีและแบบขอกเกี่ยวที่มีตัวยึดหมุน เข้าไปภายในสปริง

2.8.3. สปริงรับแรงบิด (Torsion Spring) จะมีลักษณะเรียงขดติดกันปลายสองข้างยื่นออกมาด้านทานแรงบิด การเขียนแบบ สปริงชนิดนี้ให้เขียนปลายทั้งสองข้างส่วนขดสปริงตรงกลางให้เขียนเส้นศูนย์กลางเล็กเท่านั้น

2.9 การทดลองหาค่าคงที่สปริง (Spring Rate Calculation)

โดยการคำนวณหาค่าคงที่ของสปริงสามารถทำได้จากการแขวนมวลขนาดต่าง ๆ เพื่อดูระยะยืดของสปริงที่มวลต่าง ๆ ซึ่งเราจะสามารถทราบขนาดของแรงได้จากกฎของนิวตัน (Newton's Laws) ที่กล่าวว่า ความเร่งของวัตถุจะแปรผันตามแรงที่กระทำต่อวัตถุ แต่จะแปรผกผันกับมวลของวัตถุ มีสมการดังนี้

$$\sum F = ma \quad (2.8.2)$$

กำหนดให้ F คือ แรงมีหน่วยเป็นนิวตัน

m คือ มวลมีหน่วยเป็นกิโลกรัม

a คือ ความเร่ง (เมตร/วินาที²)

โดยความเร่งในการคำนวณหาค่าคงที่ของสปริง จะเป็นความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง มีค่าเท่ากับ 9.8 m/s^2

โดยแรงกระทำของสปริงจะเป็นไปตามกฎของฮุค (Hooke's Law) เมื่อสมมติว่าสปริงมีการยืดหยุ่นอย่างสมบูรณ์ (Perfectly Elastic)

$$F = -kx \quad (2.8.3)$$

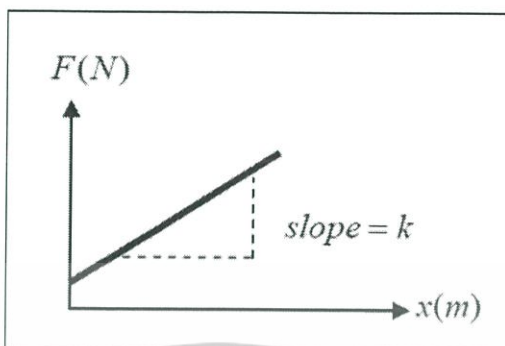
กำหนดให้ F คือ แรงที่กระทำกับสปริง (นิวตัน)

k คือ ค่าคงที่สปริง (นิวตัน/เมตร)

x คือ ระยะการขจัดหรือระยะที่สปริงยืด (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำสมการที่ 2.8.3 มาเทียบกับสมการเส้นตรง $y=mx+c$ จะพบว่าเราสามารถนำค่าระยะการยืดของสปริงและแรงมาพล็อตกราฟได้ จะได้ค่าคงที่สปริงเท่ากับค่าความชันของกราฟ



รูปที่ 2.7 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรง (N) กับระยะยืดของสปริง (m)



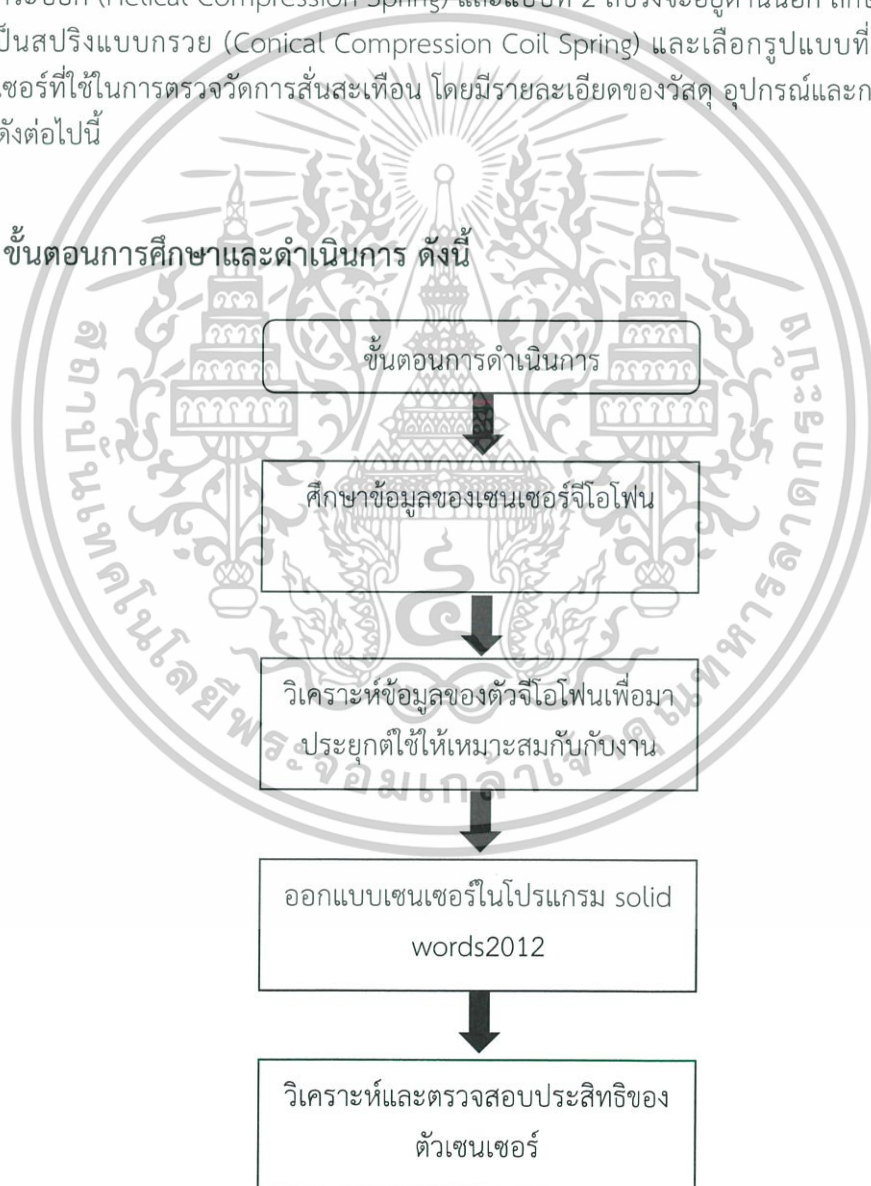
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการสร้างชุดศึกษาการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ที่มีเซนเซอร์จีโอโฟน (Geophone Sensor) เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดการเคลื่อนตัวของพื้นผิวโลกแล้วแปลงค่าพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าหรือตัวแปลงความเร็วในการสั่นสะเทือนของพื้นดิน ออกมาเป็นค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า ซึ่งจะถูกบันทึกโดยการตรวจวัด โดยทำการออกแบบเซนเซอร์เป็น 2 ลักษณะ เพื่อทำการเปรียบเทียบ โดยแบบที่ 1 สปริงจะอยู่ด้านในเซนเซอร์ ลักษณะของสปริงจะเป็นสปริงแบบทรงกระบอก (Helical Compression Spring) และแบบที่ 2 สปริงจะอยู่ด้านนอก ลักษณะของสปริงจะเป็นสปริงแบบกรวย (Conical Compression Coil Spring) และเลือกรูปแบบที่เหมาะสมกับเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดการสั่นสะเทือน โดยมีรายละเอียดของวัสดุ อุปกรณ์และการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการศึกษาและดำเนินการ ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนำไปใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.1 ลักษณะแผนผังแสดงการดำเนินงาน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วัสดุและอุปกรณ์

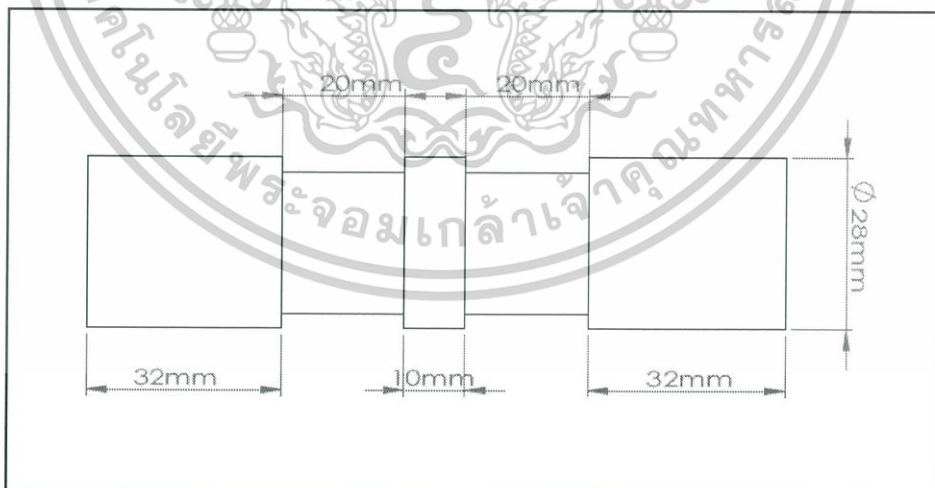
- 3.1.1 พีวีซี (Polyvinyl Chloride)
- 3.1.2 แท่งสแตนเลส (Stainless Steel)
- 3.1.3 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Calipers)
- 3.1.4 ขดลวด (Coil) เบอร์ 37
- 3.1.5 สปริง (Spring)
- 3.1.6 แม่เหล็ก (Magnet)
- 3.1.7 ESP8266
- 3.1.8 เครื่องวัดความแรงแม่เหล็ก (Gaussmeter)
- 3.1.9 ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
- 3.1.10 หัวแร้ง (Soldering Iron)
- 3.1.11 บอร์ด (Arduino)
- 3.1.12 บอร์ดพลาสติกสำหรับใช้ต่อวงจรต้นแบบ (Breadboard)
- 3.1.13 โน้ตบุ๊ก (Note Book)

3.3 วิธีการออกแบบ / วิธีการทดลอง

ออกแบบชุดเซนเซอร์จีไอโฟนและวิธีการสร้างเซนเซอร์ โดยใช้โปรแกรมโซลิดเวิร์ค (Solidworks) เพื่อตรวจวัดการสั่นสะเทือนออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

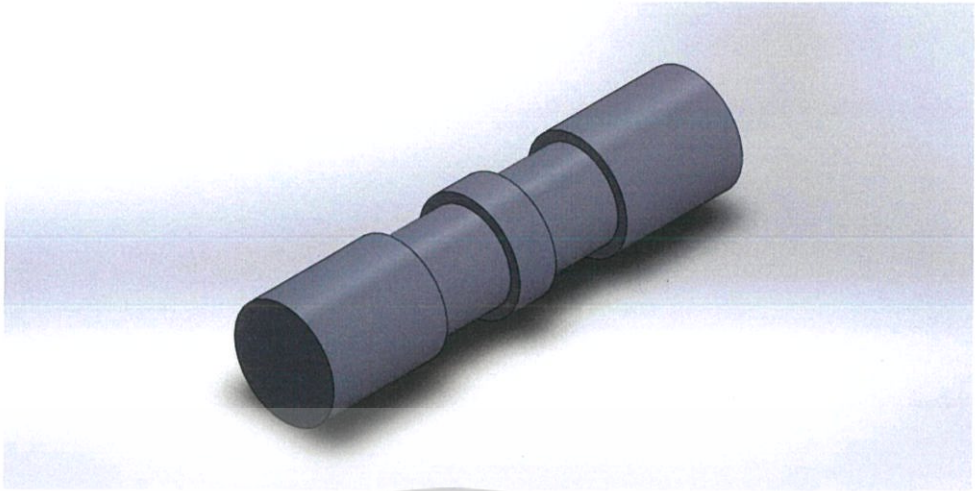
3.3.1 การสร้างชุดเซนเซอร์จีไอโฟน (รูปแบบที่ 1)

3.3.1.1 ออกแบบลักษณะและโครงสร้างของเซนเซอร์ จะได้ดังนี้



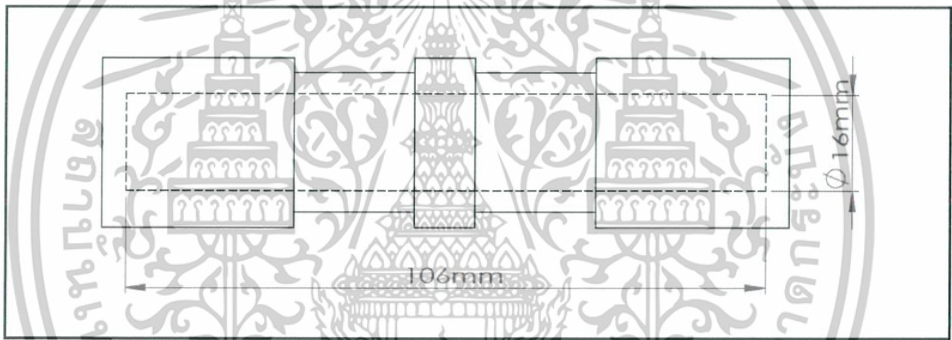
รูปที่ 3.2 ลักษณะภาพถ่ายของเซนเซอร์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ลักษณะของเซนเซอร์

3.3.1.2 ออกแบบลักษณะภายในเซนเซอร์ จะได้ดังนี้

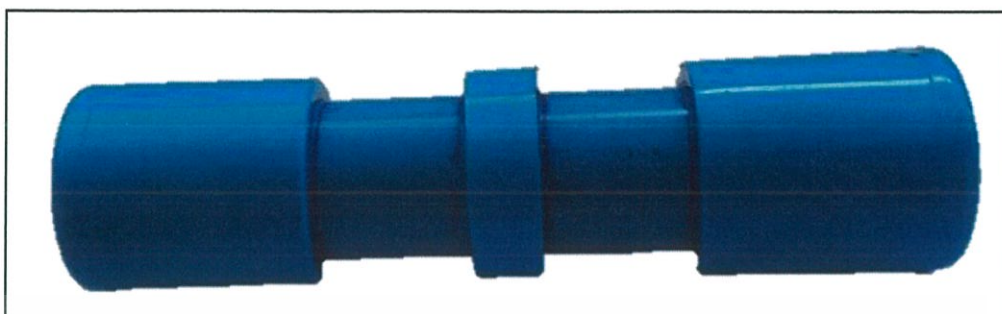


รูปที่ 3.4 ภาพฉายของเซนเซอร์ภายใน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.3 การสร้างเซนเซอร์ โดยใช้พีวีซีเป็นวัสดุในการทดสอบ โดยนำพีวีซีมาตัดตามทีออกแบบไว้ และเชื่อมติดกันด้วยกาว

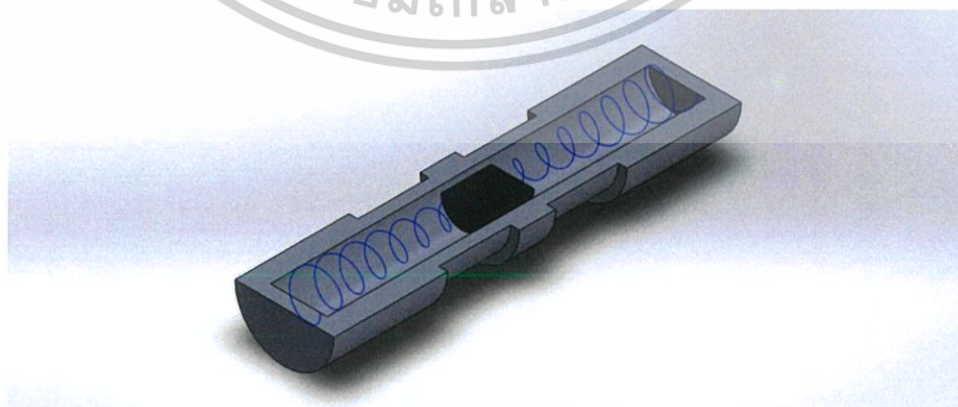


รูปที่ 3.6 ลักษณะของเซนเซอร์ (ชิ้นงานจริง)

3.3.1.4 ออกแบบลักษณะสปริงและแม่เหล็กภายในเซนเซอร์ จะได้ดังนี้



รูปที่ 3.7 ลักษณะสปริงและแม่เหล็กภายในของเซนเซอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 3.8 ลักษณะสปริงและแม่เหล็กภายในของเซนเซอร์แบบตัดตามยาว
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 วิธีการพันขดลวด (รูปแบบที่ 1)

3.3.2.1 วิธีการพันขดลวด โดยนำชิ้นงานแบบสำเร็จสมบูรณ์มาพันด้วยขดลวดขนาด 0.45 mm โดยพันข้างละ 1000 รอบ โดยทำการพันด้วยมือทั้งสองข้าง

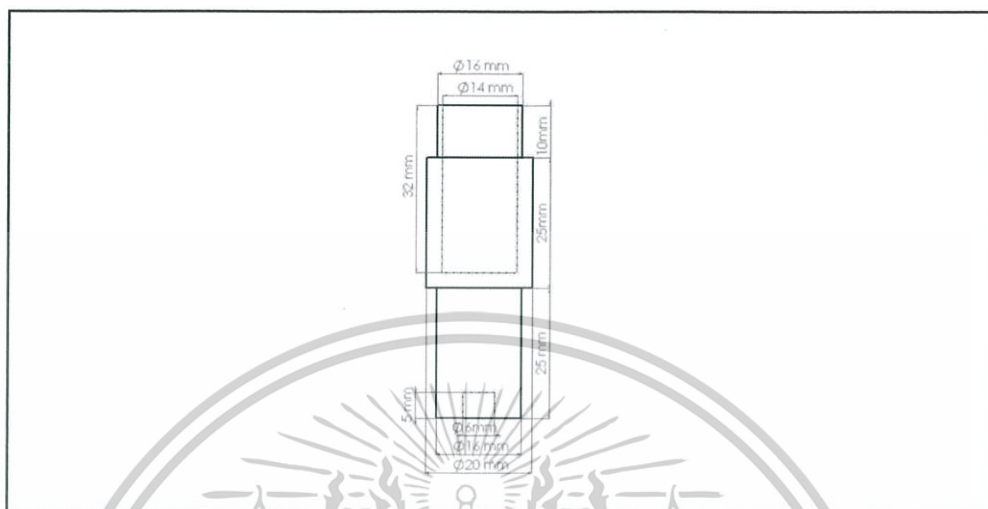


รูปที่ 3.10 ลักษณะการพันขดลวดทั้งสองข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การสร้างชุดเซนเซอร์จีโอโฟน (รูปแบบที่ 2)

3.3.3.1 ออกแบบลักษณะและโครงสร้างของเซนเซอร์ มีส่วนประกอบดังนี้

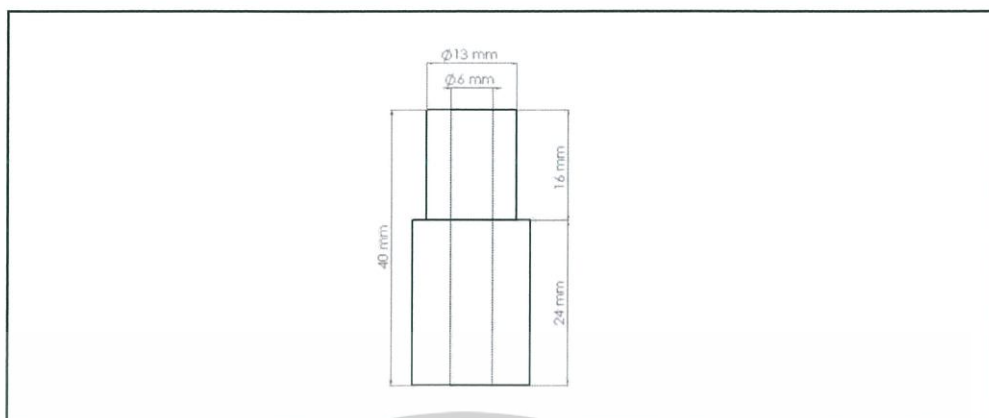


รูปที่ 3.11 ลักษณะภาพฉายของเซนเซอร์ภายนอก



รูปที่ 3.12 ลักษณะของเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



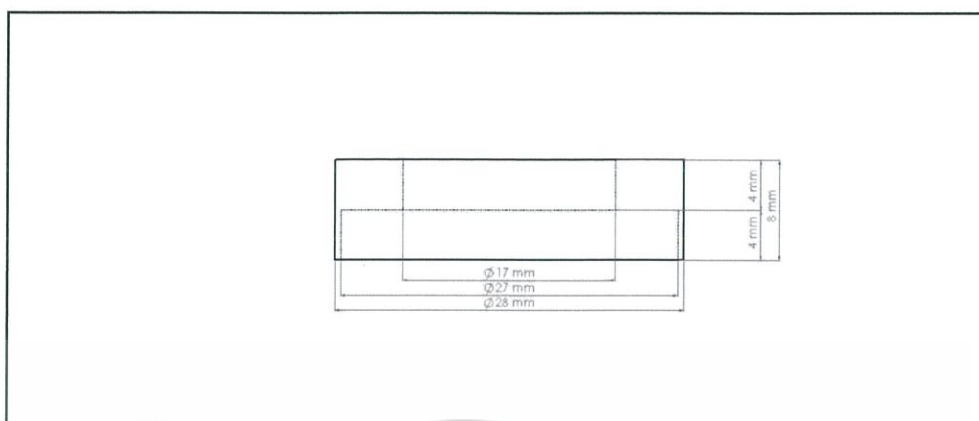
รูปที่ 3.13 ลักษณะภาพฉายของเซนเซอร์ภายนอก



รูปที่ 3.14 ลักษณะของเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.2 ออกแบบลักษณะและโครงสร้างของฝาล็อกเซนเซอร์ มีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 3.15 ลักษณะภาพฉายของฝาล็อกเซนเซอร์



รูปที่ 3.16 แสดงลักษณะของฝาล็อกเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

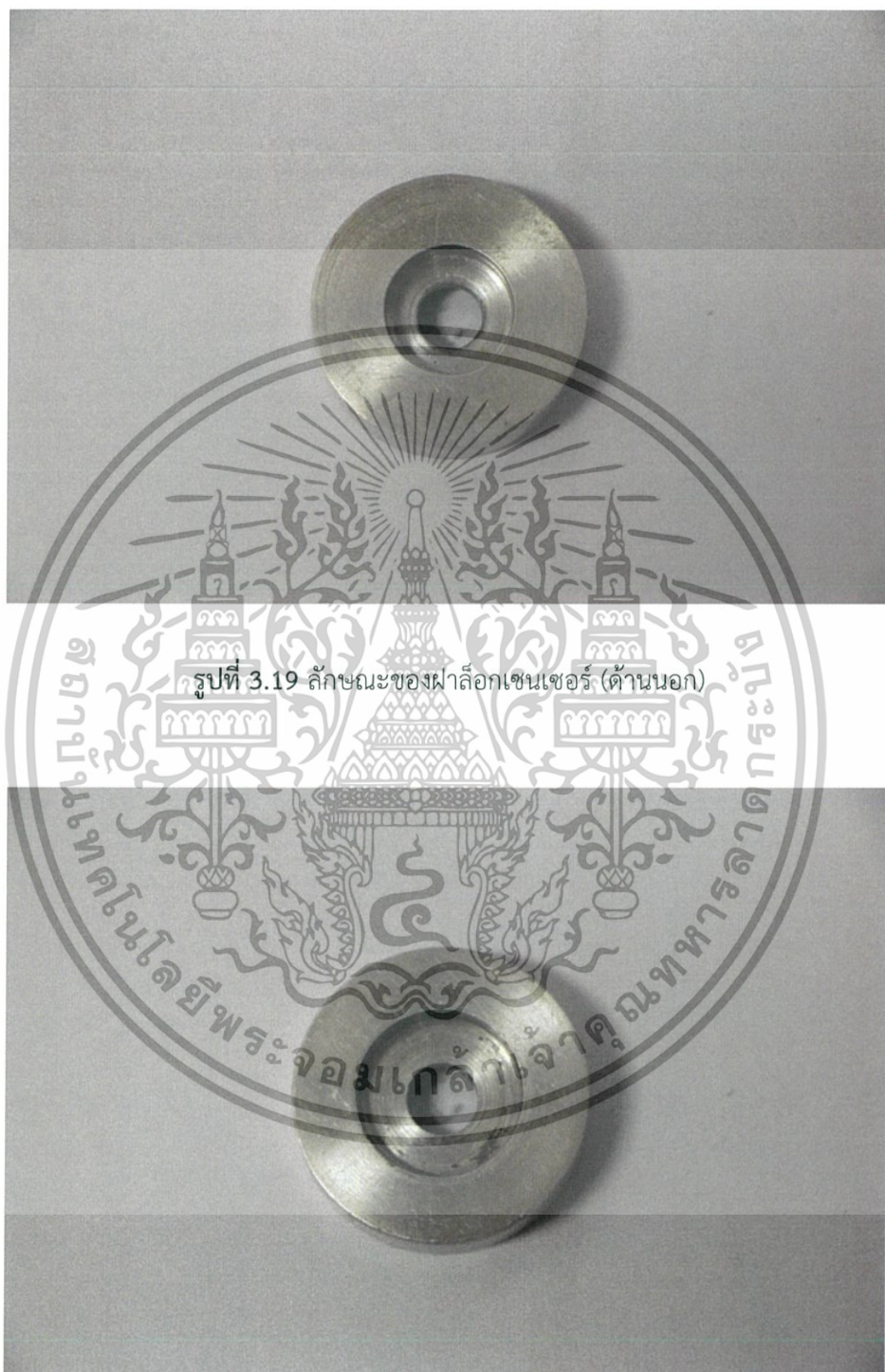
3.3.3.3 การสร้างเซนเซอร์ โดยใช้แท่งสแตนเลสเป็นวัสดุในการทดสอบ โดยนำแท่งสแตนเลสมาตัดตามที่ย่อแบบไว้



รูปที่ 3.17 ลักษณะของเซนเซอร์ (ชิ้นงานจริง)

รูปที่ 3.18 ลักษณะของเซนเซอร์ (ชิ้นงานจริง)

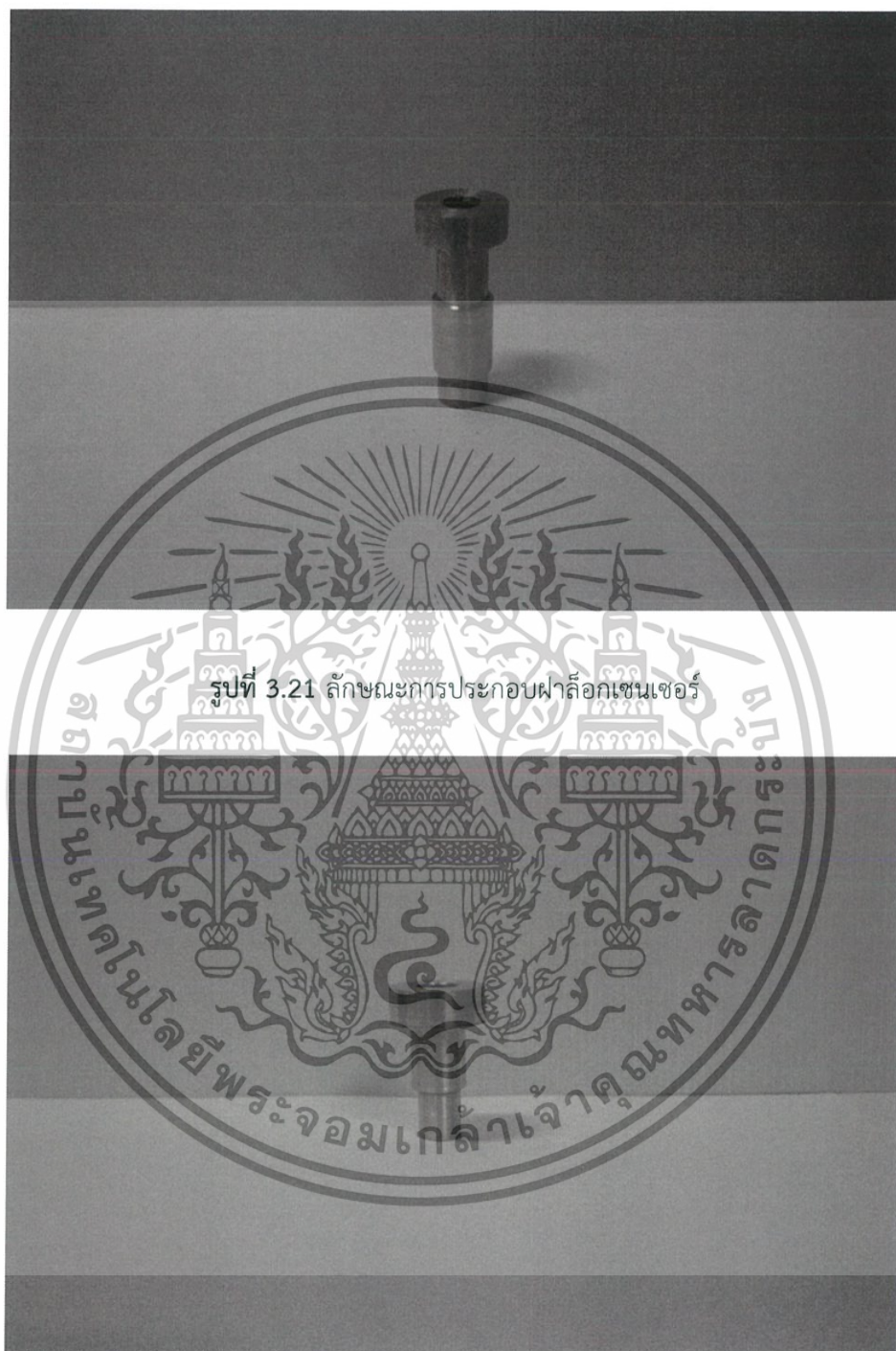
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 ลักษณะของฝาล็อกเซนเซอร์ (ด้านใน)

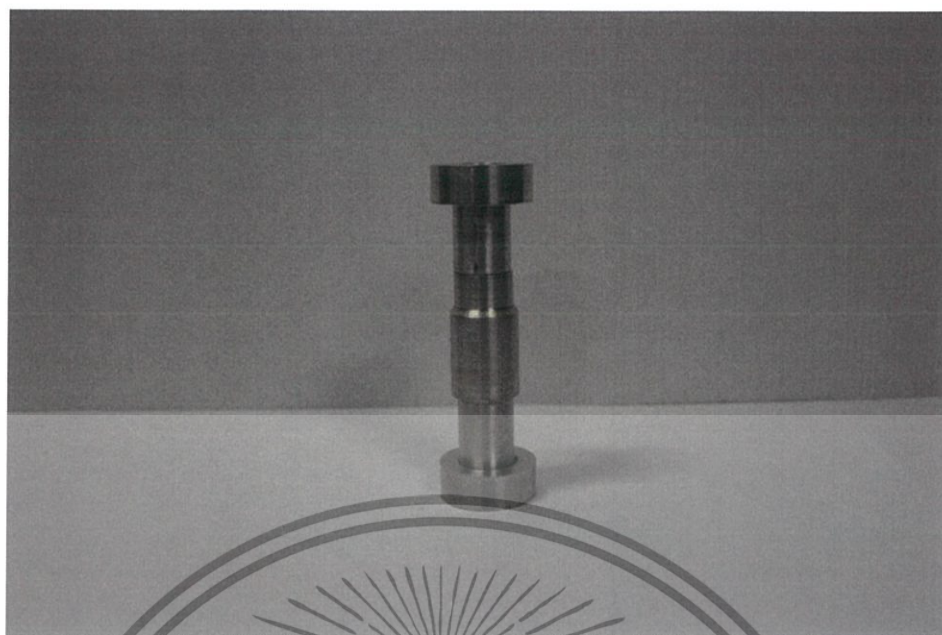
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.4 นำชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ได้ตัดตามรูปแบบไว้มาประกอบกัน จะได้ดังนี้



รูปที่ 3.22 ลักษณะการประกอบฝาล็อกเซนเซอร์

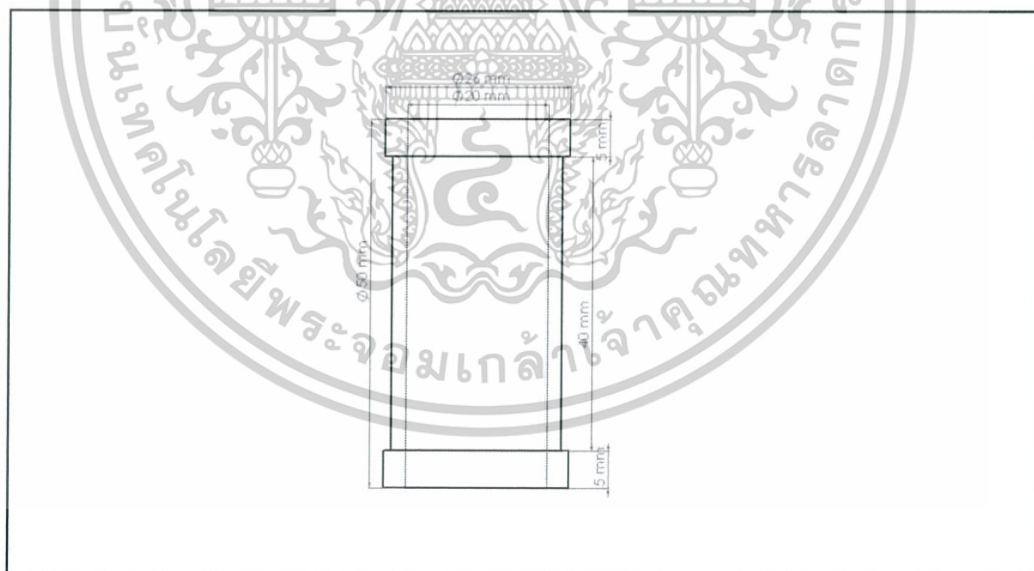
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 ลักษณะของเซนเซอร์ที่ประกอบสมบูรณ์ (ชิ้นงานจริง)

3.3.4 วิธีการพันขดลวด (รูปแบบที่ 2)

3.3.4.1 ออกแบบลักษณะและโครงสร้างของวิธีการพันขดลวด มีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 3.24 ลักษณะภาพฉายของเซนเซอร์ไว้สำหรับพันขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



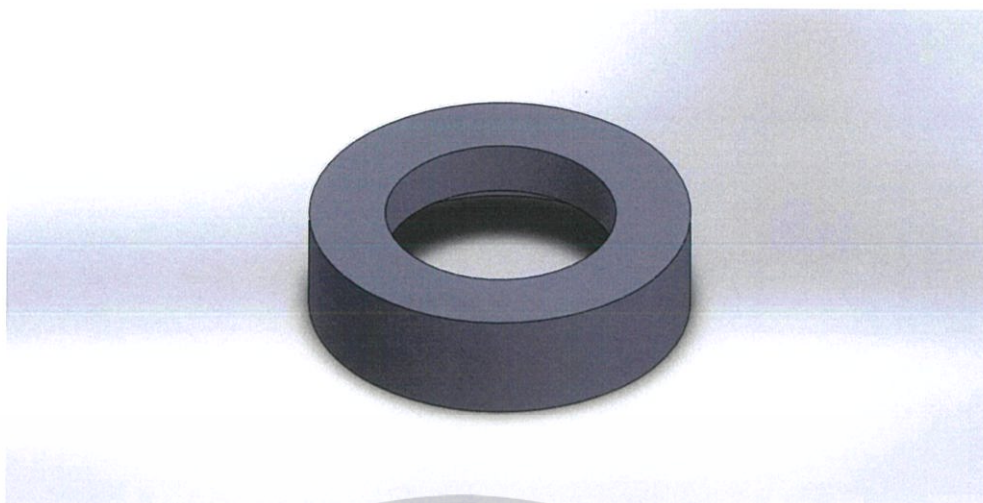
รูปที่ 3.25 ลักษณะของเซนเซอร์ไร้สำหรับพันขดลวด

3.3.4.1 ออกแบบลักษณะและโครงสร้างของฝาล็อกขดลวด มีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 3.26 ลักษณะภาพฉายของฝาล็อกขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 ลักษณะของฝาล็อกขดลวด



รูปที่ 3.28 ลักษณะภาพถ่ายของฝาล็อกขดลวด (ด้านที่ติดสปริง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 ลักษณะของฟาล็อกขดลวด (ด้านที่ติดสปริง)

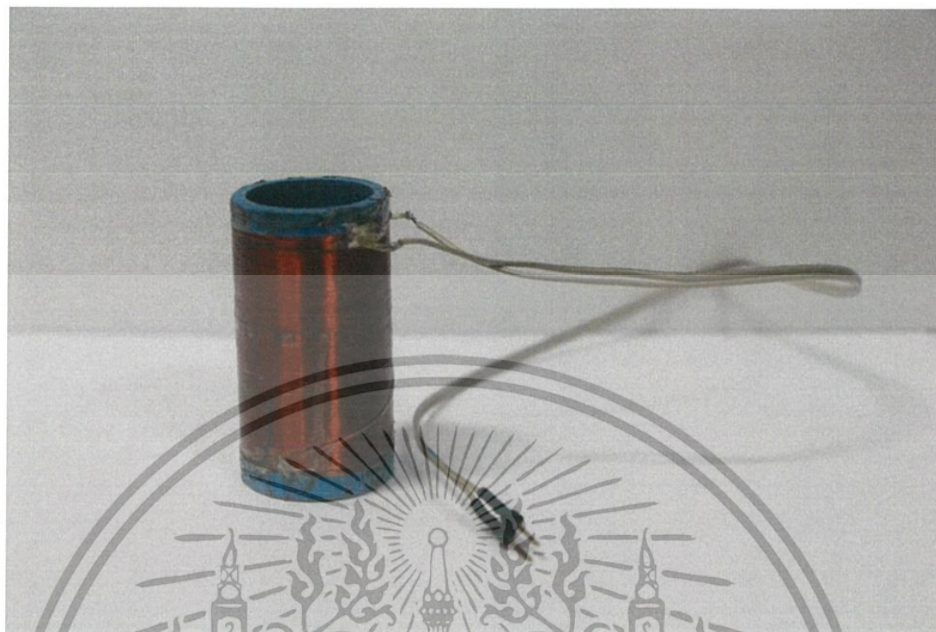
3.3.4.2 การสร้างแกนพื้นขดลวดของเซนเซอร์ โดยใช้ท่อพีวีซีเป็นวัสดุในการใช้งาน และทำการตัดตามทีออกแบไปไว้



รูปที่ 3.30 ลักษณะของแกนพื้นขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.3 นำแกนที่ใช้สำหรับพันขดลวดมาพันขดลวดให้ได้รอบที่เหมาะสมแก่ทดสอบ และนำสายไฟมาเชื่อมต่อ เพื่อใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.31 ลักษณะของแกนพันขดลวด แบบสมบูร์ณ



รูปที่ 3.32 ลักษณะของฟลักแกนขดลวดด้านใน (ด้านที่ติดสปริง)

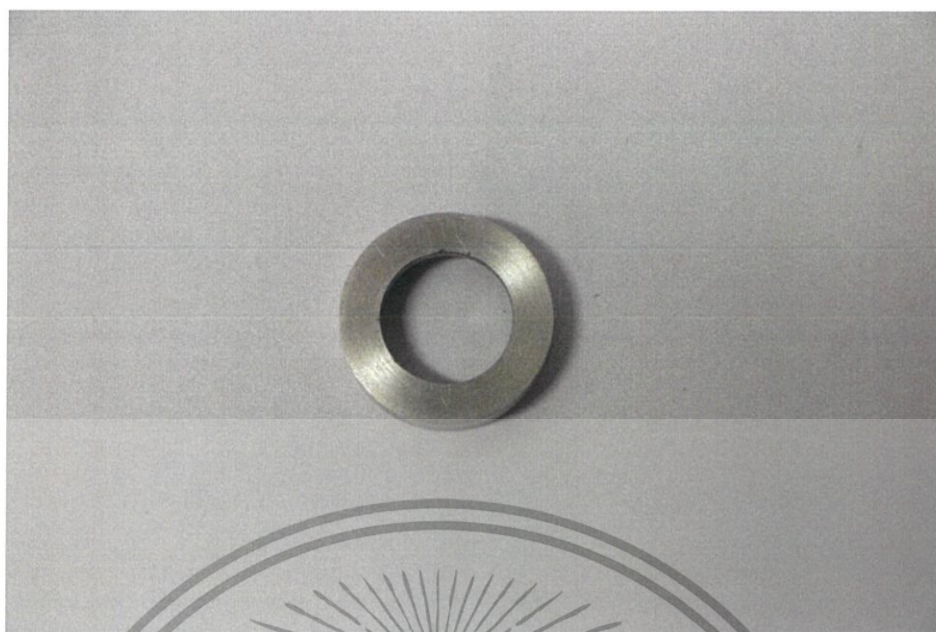
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่อยู่ให้เผยแพร่ไปประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 ลักษณะของฝาล็อกแกนขดลวดด้านนอก (ด้านที่ติดสปริง)

รูปที่ 3.34 ลักษณะของฝาล็อกแกนขดลวดด้านใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.35 ลักษณะของฟลั๊กแกนขดลวดด้านนอก



รูปที่ 3.36 ลักษณะของฟลั๊กแกนขดลวดทั้งสองฝั่ง แบบสมบรูณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การประกอบชิ้นส่วนของเซนเซอร์

3.3.5.1 โดยนำชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ทำการออกแบบทั้งมาประกอบเข้าด้วยกัน จะได้ชิ้นงานสมบูรณ์ ดังนี้

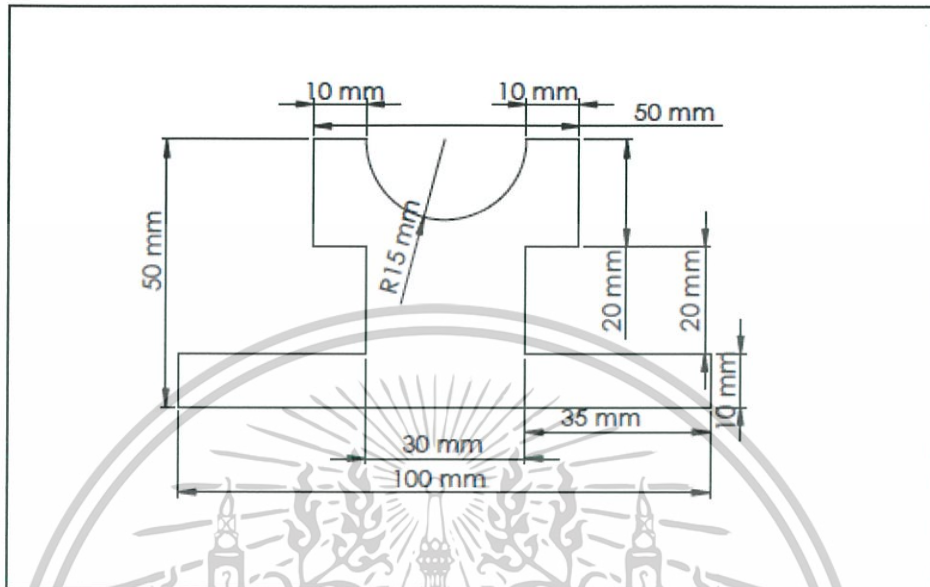


รูปที่ 3.37 ลักษณะของเซนเซอร์

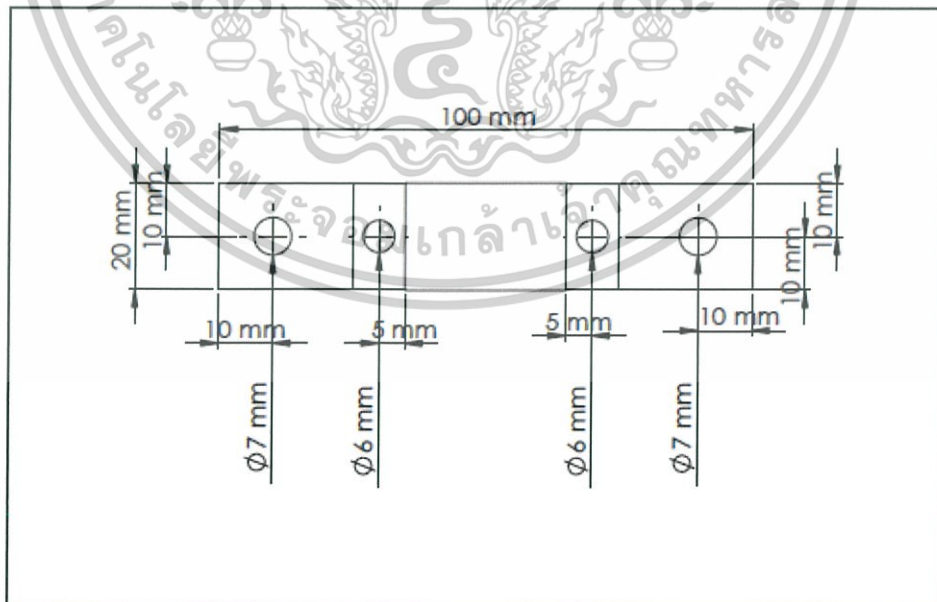
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคนไข้และผู้เกี่ยวข้องในการศึกษาเท่านั้น ไปจนกว่าจะเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.38 ลักษณะของเซนเซอร์ แบบสมบูรณ์
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 การสร้างขาล็อกเซนเซอร์

3.3.6.1 ออกแบบลักษณะและโครงสร้างของขาล็อกเซนเซอร์ มีส่วนประกอบดังนี้

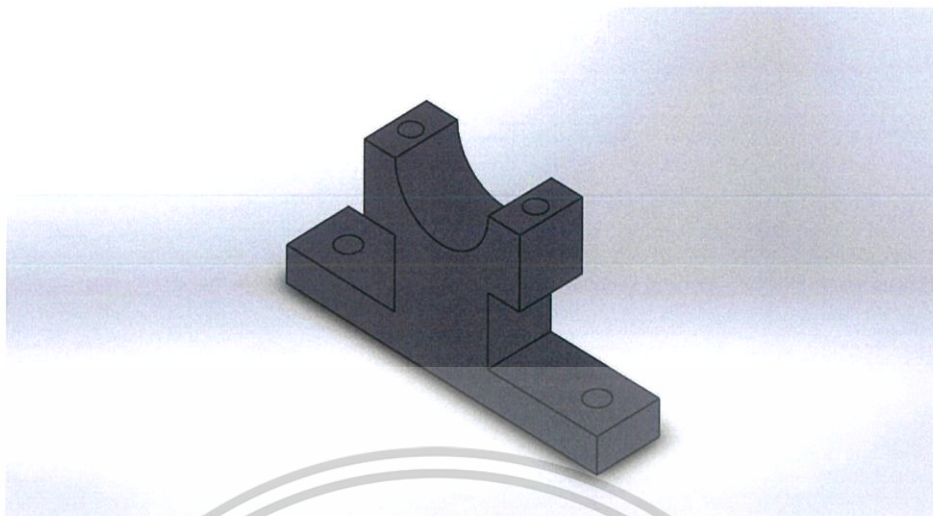


รูปที่ 3.39 ลักษณะภาพถ่ายของขาล็อกเซนเซอร์ (ส่วนล่าง)

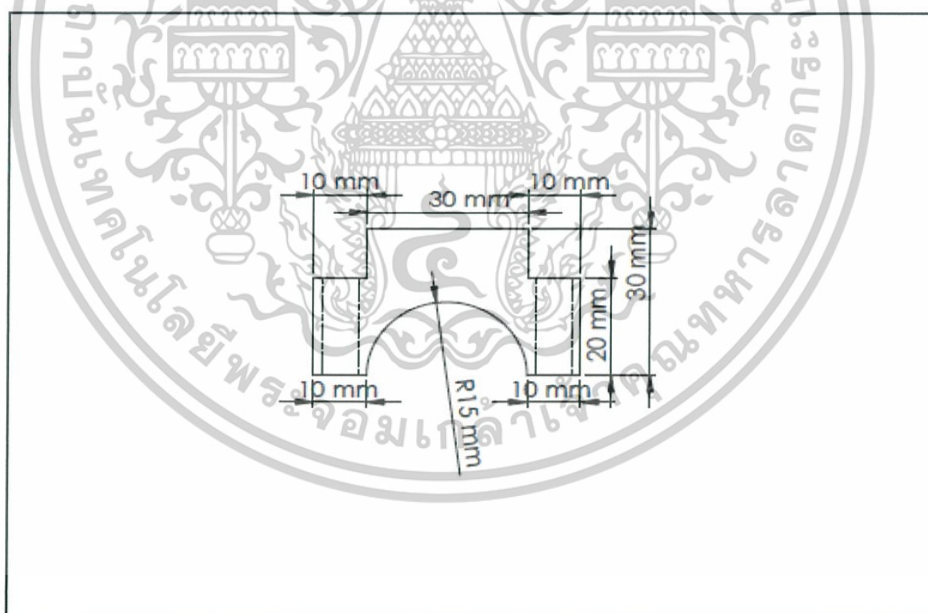


รูปที่ 3.40 ลักษณะภาพถ่ายของขาล็อกเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ซึ่งอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

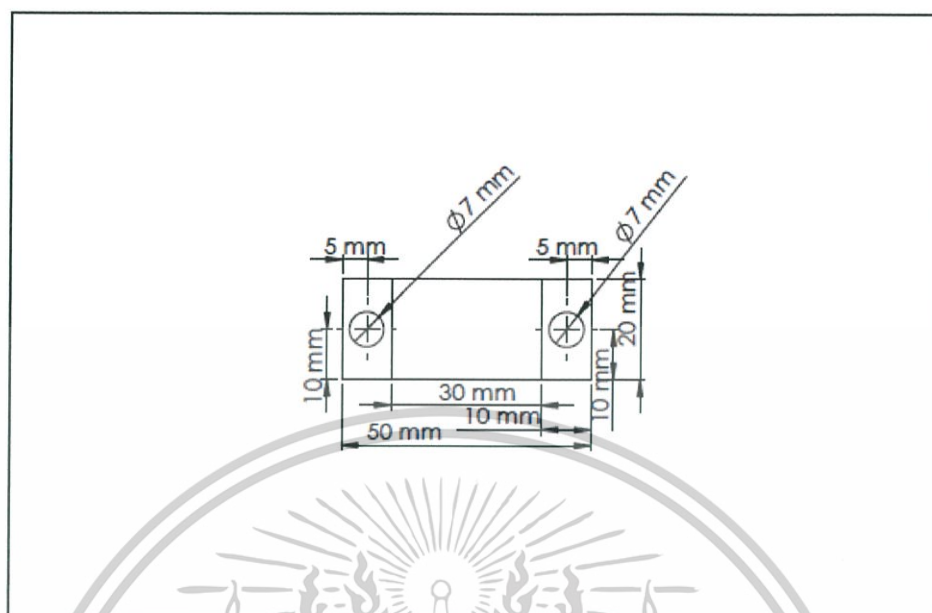


รูปที่ 3.41 ลักษณะขาล็อกเซนเซอร์ (ส่วนล่าง)



รูปที่ 3.42 แสดงลักษณะภาพฉายของขาล็อกเซนเซอร์ (ส่วนบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.43 แสดงลักษณะภาพฉายของขาล็อกเซนเซอร์

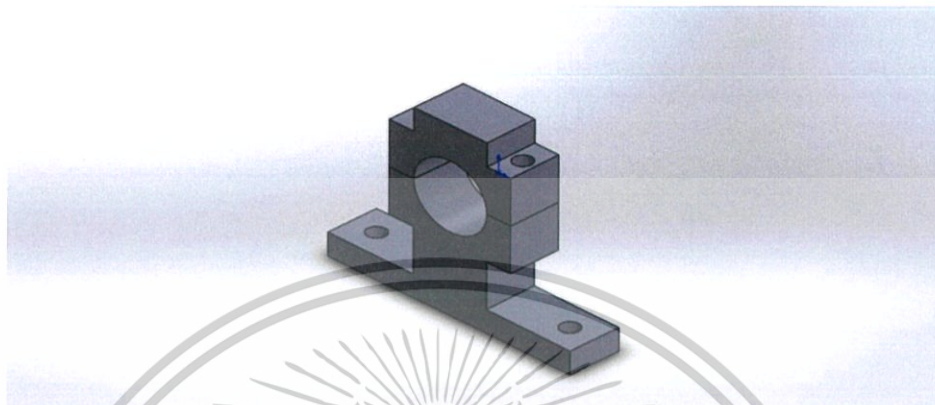


รูปที่ 3.44 แสดงลักษณะขาล็อกเซนเซอร์ (ส่วนบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 การประกอบชิ้นส่วนของขาล็อกเซนเซอร์

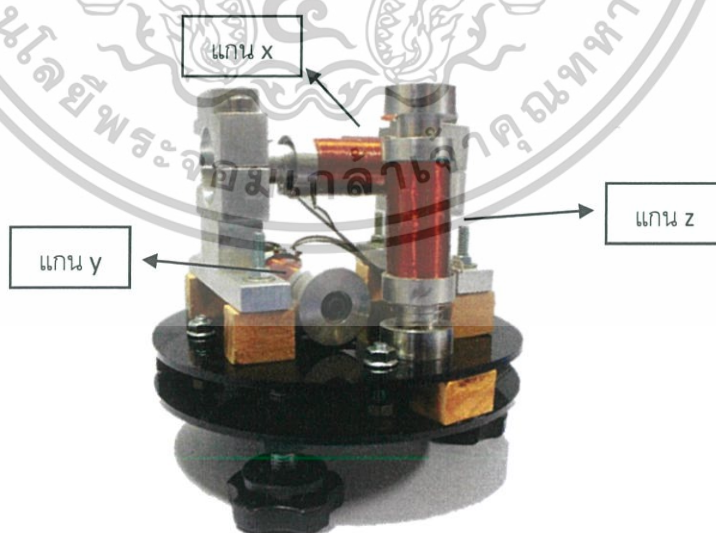
3.3.7.1 โดยนำชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ทำการออกแบบทั้งมาประกอบเข้าด้วยกัน จะได้ชิ้นงานสมบูรณ์ ดังนี้



รูปที่ 3.45 แสดงลักษณะขาล็อกเซนเซอร์ (แบบสมบูรณ์)

3.3.8 การประกอบชิ้นส่วนของอุปกรณ์ทั้งหมด

3.3.7.1 โดยนำชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ทำการออกแบบทั้งหมด มาประกอบเข้าด้วยกัน จะได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ โดยมีลักษณะการสั่งทั้งหมด 3 แกน คือ แกนเอ็กซ์ (x) แกนวาย (y) และแกนแซด (z) จะได้ดังนี้

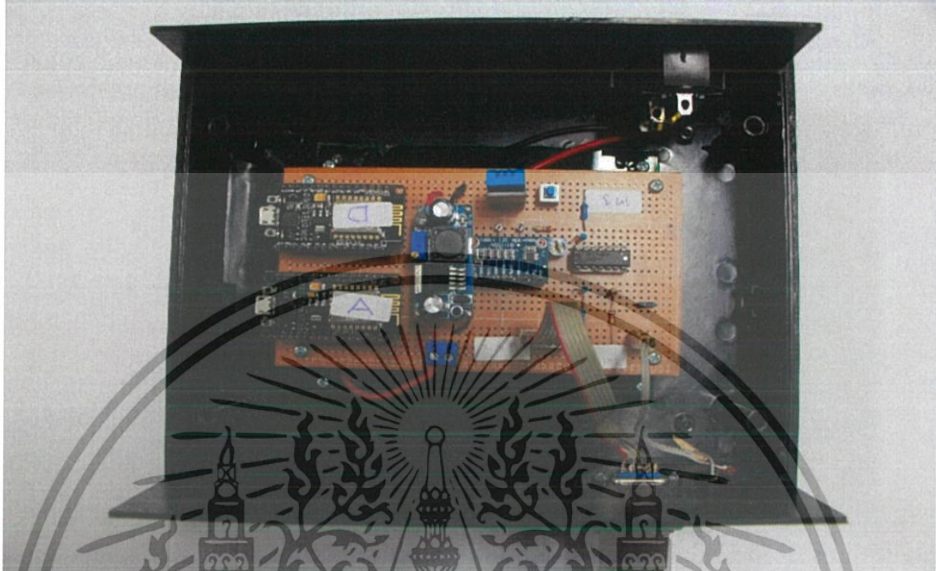


รูปที่ 3.46 ลักษณะเซนเซอร์ 3 แกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.9 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณและวงจรส่งสัญญาณ มีรายละเอียด ดังนี้

3.3.9.1 วงจรหลัก ๆ ที่ใช้ในการทำงาน คือ 1. วงดิจิตอล เพื่อเก็บค่าอุณหภูมิความชื้น และสถานะของอุปกรณ์ 2. อนุภาค (Analog) เพื่อเก็บผลจากการสั่นของเซนเซอร์ในทุกแกน 3. วงจร DC-to-DC Step-Up 4. วงจรขยายสัญญาณ 5. วงจร ADS 1115



รูปที่ 3.47 ลักษณะวงจรขยายสัญญาณและวงจรส่งสัญญาณ

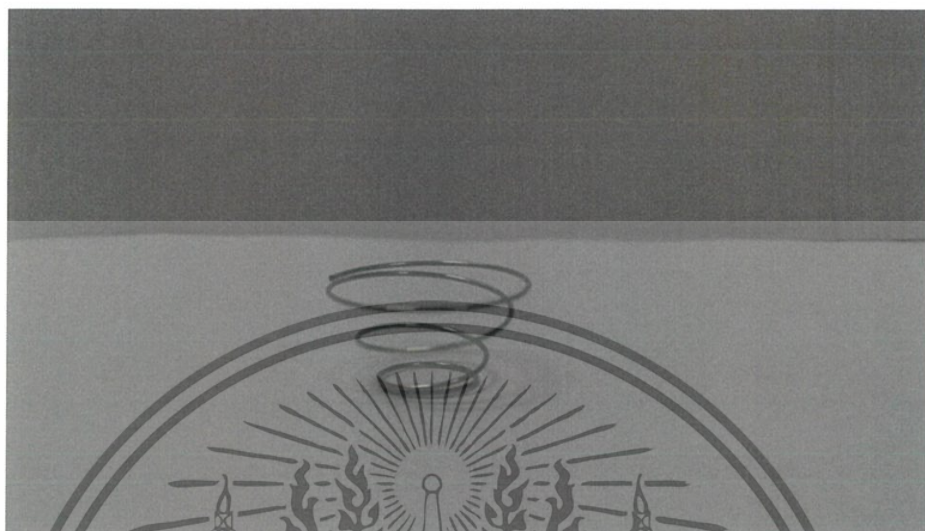
3.3.10 สปริงที่ใช้ในการทดสอบมี 2 แบบ ดังนี้

3.3.10.1 สปริงแบบทรงกระบอก (Helical Compression Spring) จะใช้กับเซนเซอร์แบบที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ **รูปที่ 3.48** ตัวอย่างสปริงแบบทรงกระบอกนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.10.2 สปริงแบบทรงกรวย (Conical Compression Coil Spring) จะใช้กับ เซนเซอร์แบบที่ 2



รูปที่ 3.49 ตัวอย่างสปริงแบบกรวย

3.3.11 แม่เหล็กที่ใช้ในทดสอบ โดยนำแม่เหล็กที่มีขนาดต่างกัน มา 2 ชั้น ดังนี้

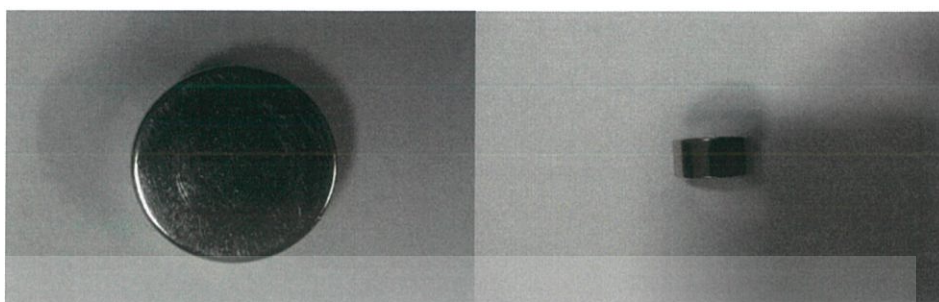
3.3.11.1 ชั้นที่ 1 แม่เหล็กขนาด สูง 1.5 เซนติเมตร (cm) และ กว้าง 1.4 เซนติเมตร จำนวน 2 ชั้น



รูปที่ 3.50 แสดงตัวอย่างแม่เหล็กชั้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.11.2 ชั้นที่ 2 แม่เหล็กขนาด สูง 1 เซนติเมตร (cm) และ กว้าง 1.8 เซนติเมตร
จำนวน 2 ชั้น



รูปที่ 3.51 ตัวอย่างแม่เหล็กชั้นที่ 2

3.4 วิธีการวัดค่าฟลักซ์แม่เหล็ก

3.4.1 ทำการวัดฟลักซ์แม่เหล็ก จะใช้เครื่องวัดความแรงแม่เหล็ก (Gaussmeter) รุ่น MG-3A ของบริษัท Walker Scientific โดยวัดแม่เหล็กทั้ง 4 ชั้น โดยวัดทั้งหมด 12 ครั้ง (ทำซ้ำ 3 ครั้ง) ผลการทดสอบจะแสดงในบทที่ 4



รูปที่ 3.52 วิธีการวัดฟลักซ์แม่เหล็ก โดยใช้เครื่องวัดความแรงแม่เหล็ก

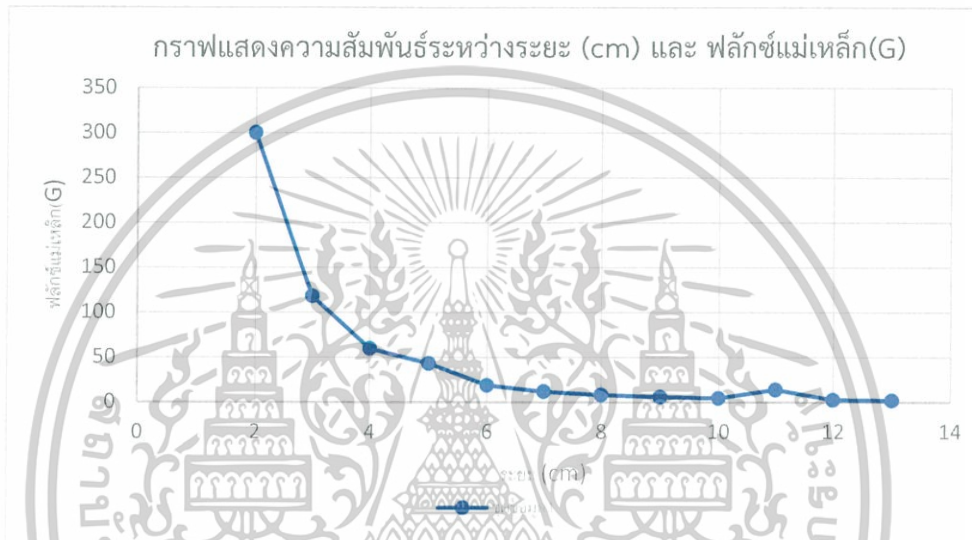
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

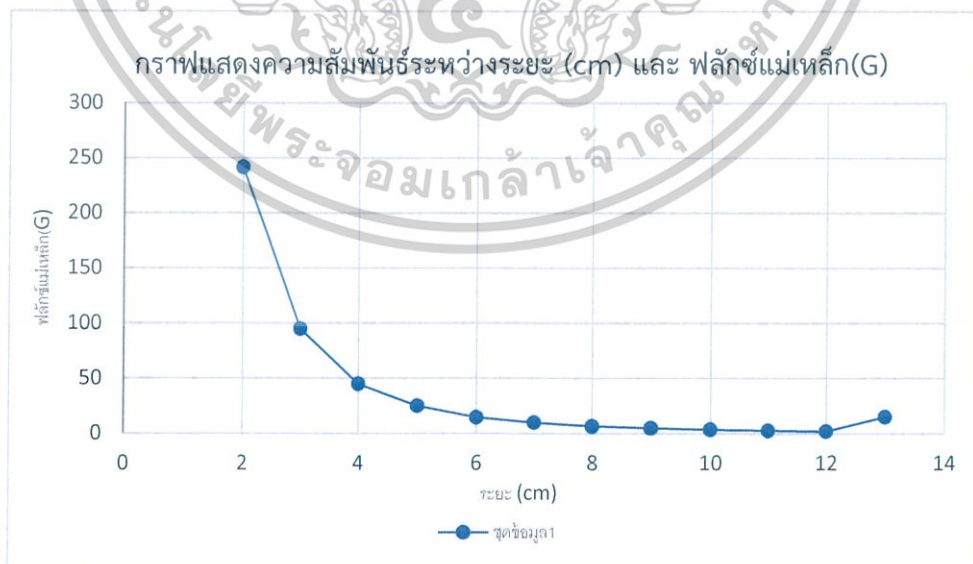
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลองหาค่าฟลักซ์แม่เหล็ก

4.1.1 จากการทดสอบแม่เหล็กทั้ง 4 ชั้น ที่วัดค่าฟลักซ์แม่เหล็ก มาพล็อตกราฟใน Excel เพื่อหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กกับระยะทาง โดยการเปรียบเทียบแม่เหล็กทั้ง 4 ชั้น จะได้ผลการทดสอบ ดังนี้



รูปที่ 4.1 ลักษณะผลการวัดค่าฟลักซ์แม่เหล็ก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เซนติเมตร)

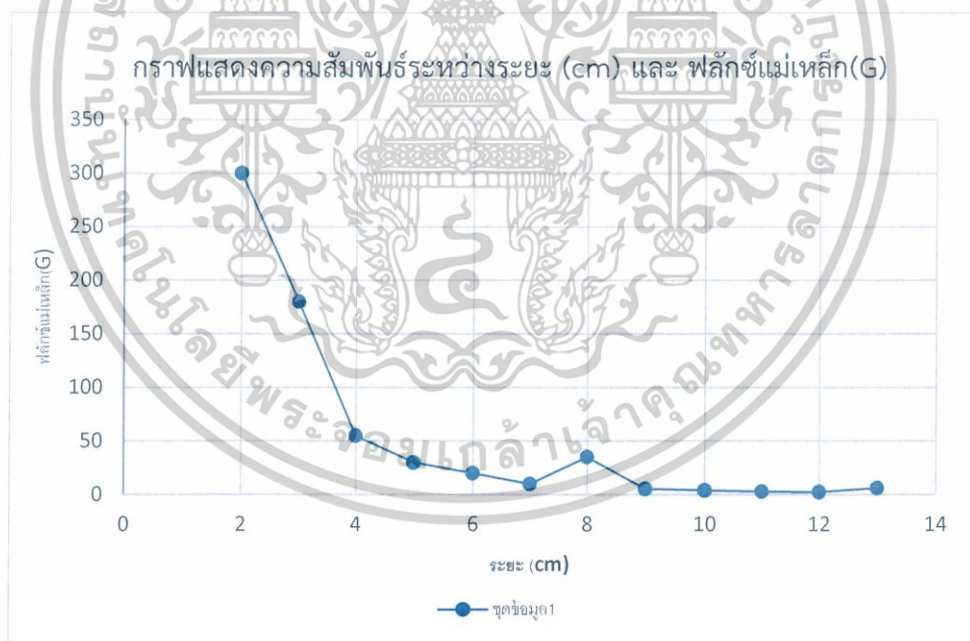


รูปที่ 4.2 ลักษณะผลการวัดค่าฟลักซ์แม่เหล็ก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 เซนติเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้เห็นภาพประกอบจะเห็นว่าการคำนวณค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ลักษณะผลการวัดค่าฟลักซ์แม่เหล็ก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เซนติเมตร)



รูปที่ 4.4 ลักษณะผลการวัดค่าฟลักซ์แม่เหล็ก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 เซนติเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีคำนวณหาค่าคงที่สปริง (Spring Rate Calculation)

4.2.1 จากบทที่ 2 สามารถคำนวณหาค่าคงที่สปริงได้จากสมการที่ 2.8.1 ดังนี้

Material	Elastic Limit, Percent of S_{Ur}		Diameter d ,		E		G				
	Tension	Torsion	in	mm	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa			
Music wire A228	65-75	45-60	<0.032	<8	29.5	203.4	12.0	82.7			
			0.033-0.063	0.8-1.6	29.0	200	11.85	81.7			
			0.064-0.125	1.61-3	28.5	196.5	11.75	81.0			
			>0.125	>3	28.0	193	11.6	80.0			
HD spring A227	60-70	45-55	<0.032	<8	28.8	198.6	11.7	80.7			
			0.033-0.063	0.8-1.6	28.7	197.9	11.6	80.0			
			0.064-0.125	1.61-3	28.6	197.2	11.5	79.3			
			>0.125	>3	28.5	196.5	11.4	78.6			
Oil tempered A239	85-90	45-50			28.5	196.5	11.2	77.2			
Valve spring A230	85-90	50-60			29.5	203.4	11.2	77.2			
Chrome-vanadium A231	88-93	65-75			29.5	203.4	11.2	77.2			
			A232	88-93		29.5	203.4	11.2	77.2		
Chrome-silicon A401	85-93	65-75			29.5	203.4	11.2	77.2			
Stainless steel	65-75	45-55			28	193	10	69.0			
			A313*			29.5	208.4	11	75.8		
			17-7PH	75-80	55-60			29	200	11.2	77.2
			414	65-70	42-55			29	200	11.2	77.2
			420	65-75	45-55			29	200	11.2	77.2
			431	72-76	50-55			30	206	11.5	79.3
			Phosphor-bronze B159	75-80	45-50			15	103.4	6	41.4
Beryllium-copper B197	70	50			17	117.2	6.5	44.8			

รูปที่ 4.5 ลักษณะตัวอย่างคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ทำสปริง

4.2.2 แสดงวิธีคำนวณหาค่าคงที่สปริง (Spring Rate Calculation) โดยเส้นผ่านศูนย์กลางขดลวด d มีขนาด 0.7 mm เส้นผ่านศูนย์กลางสปริง D เฉลี่ย มีขนาด 2.1 mm สปริงที่ใช้มีลักษณะปลายสปริงแบบ Plain End Right Hand (จากรูปที่ 2.6) จำนวนขดลวด N_a มีค่าเท่ากับ ค่าจำนวนขดลวดทั้งหมด คือ 4 รอบ วัสดุที่ใช้ทำสปริง คือ สแตนเลส (Stainless Steel) ประเภท A313* (จกตารางที่ 4.2.2) ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น G มีค่าเท่ากับ 69.0 GPa หรือ 69000 MPa

จากสมการที่ 2.8.1

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N_a}$$

$$k = \frac{(0.7^4)(69000)}{8(20.3^3)(4)}$$

$$k = 0.0619 \frac{N}{mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดสอบเซนเซอร์ที่ใช้วัดการสั่นสะเทือน

4.3.1 จากการทดสอบโดยขนาดแรงที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ 50 โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง โดยทำการวัดเซนเซอร์ทั้ง 3 แกน พร้อมกัน จะได้ดังนี้

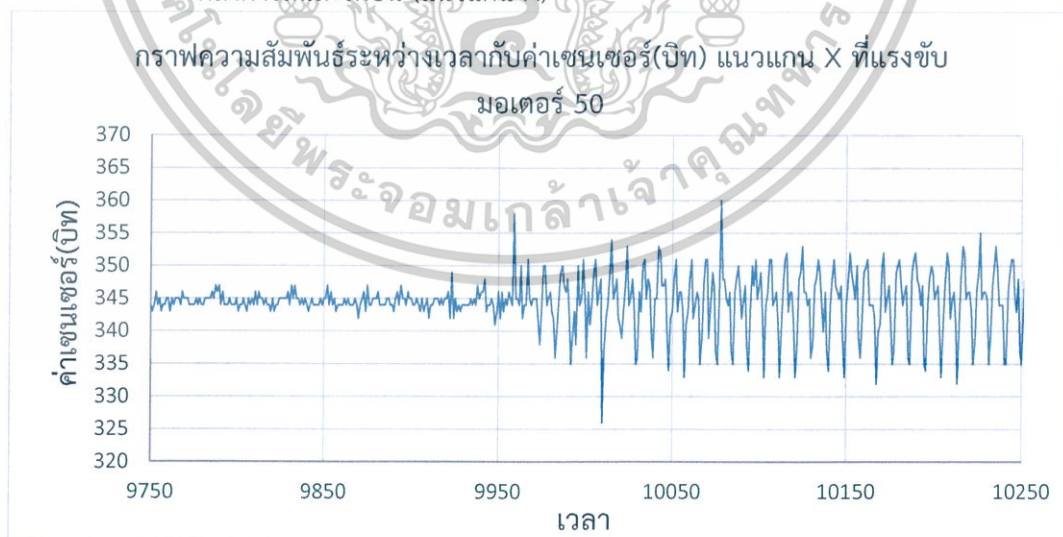
การทดสอบครั้งที่ 1

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.6 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนช่วงก่อนการสั่น (แนวแกน X)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.7 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนช่วงหลังการสั่น (แนวแกน X)

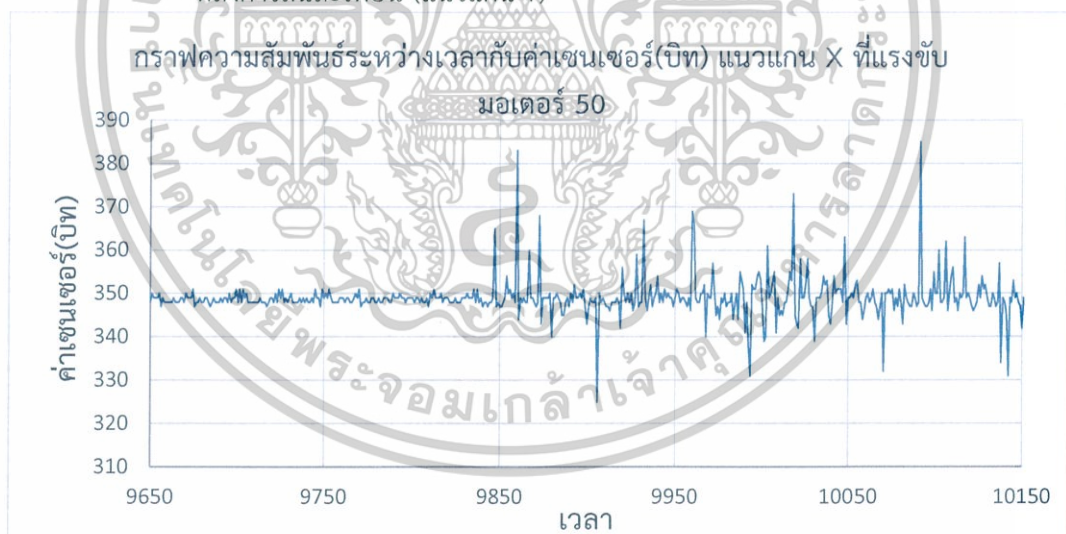
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.8 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนช่วงก่อนการสัน (แนวแกน Y)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.9 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนช่วงหลังการสัน (แนวแกน Y)

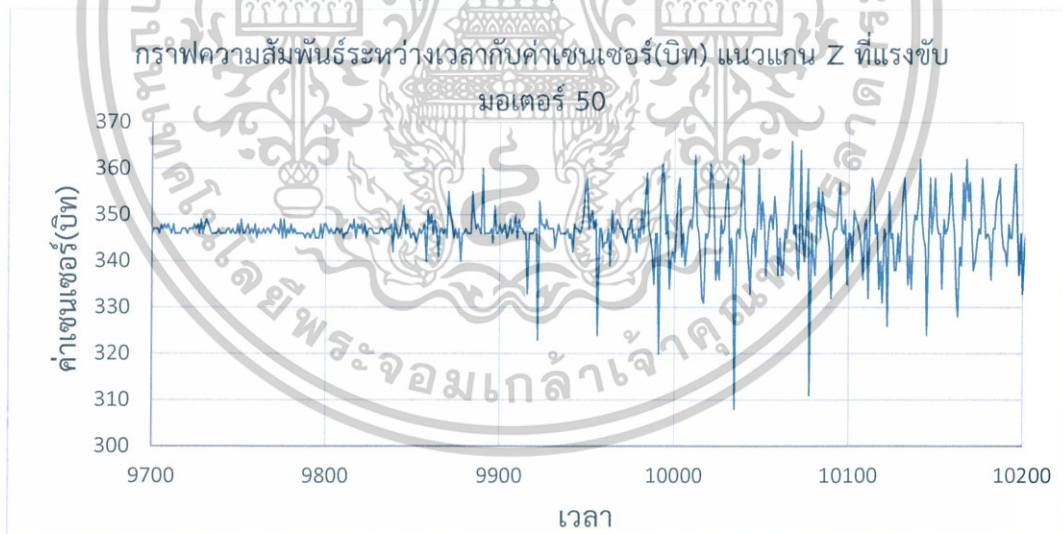
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.10 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Z)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.11 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Z)

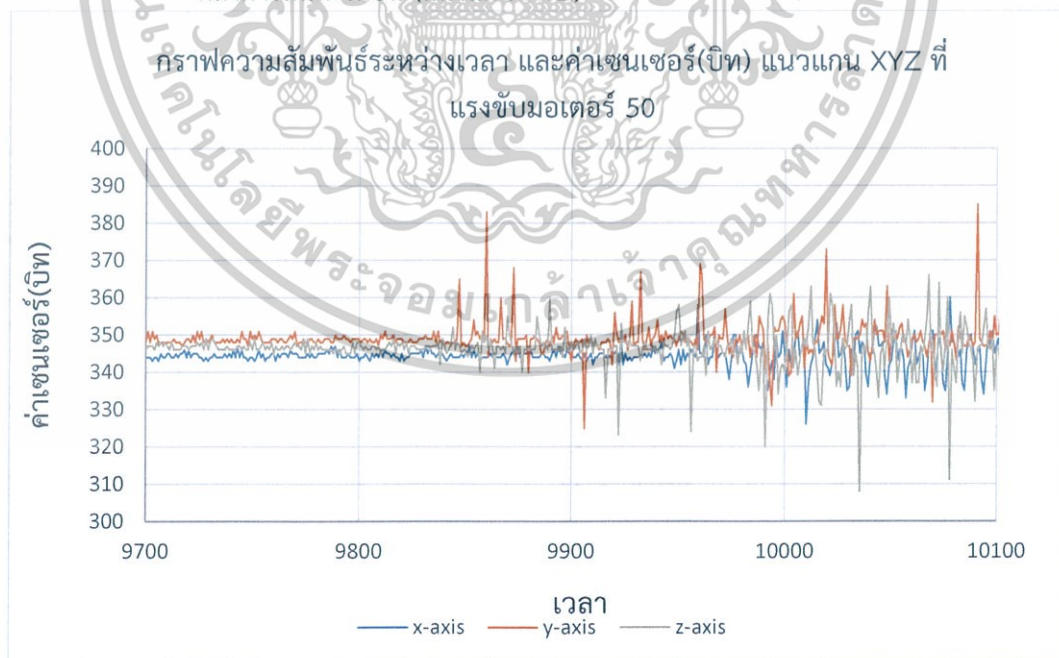
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.12 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้อัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน XYZ)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



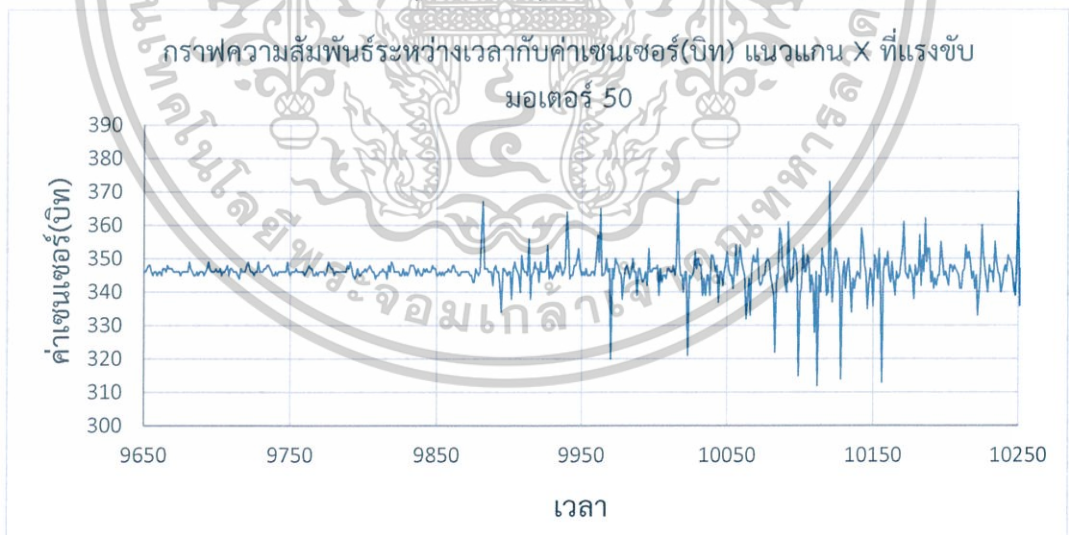
รูปที่ 4.13 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้อัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน XYZ) นี้ด้านการค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบครั้งที่ 2
ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.14 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน X)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.15 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน X)

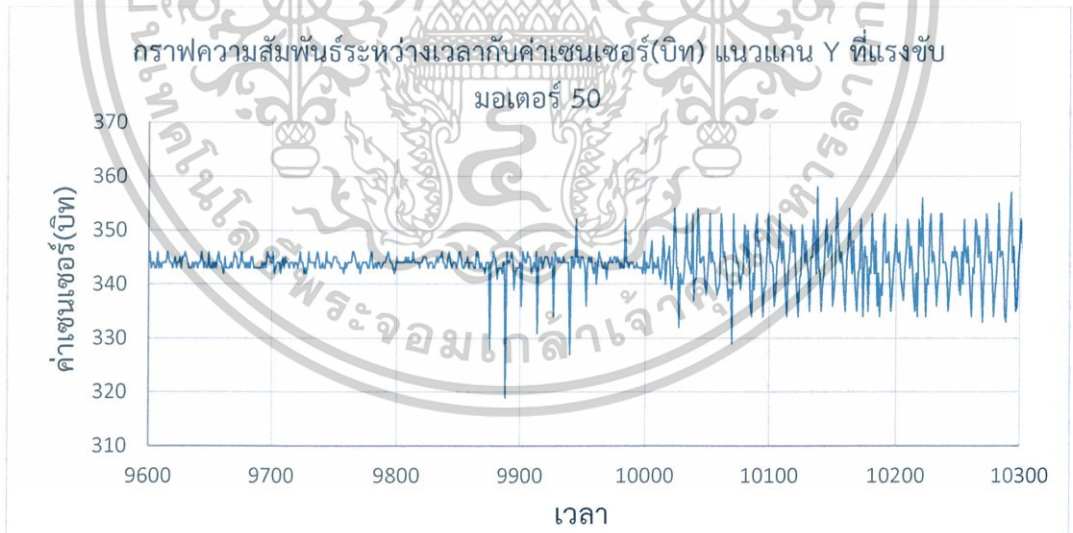
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.16 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Y)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.17 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Y)

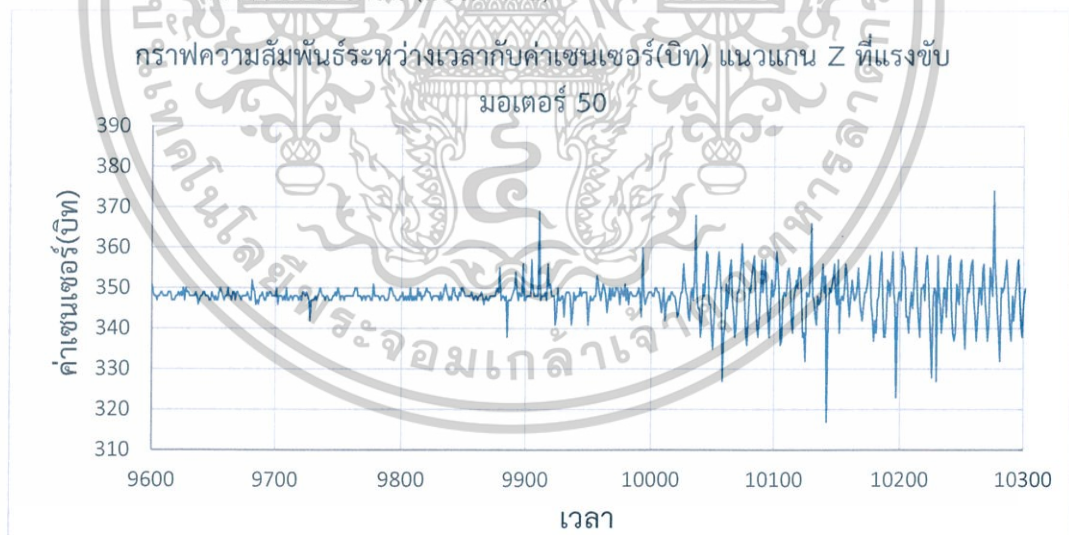
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.18 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Z)

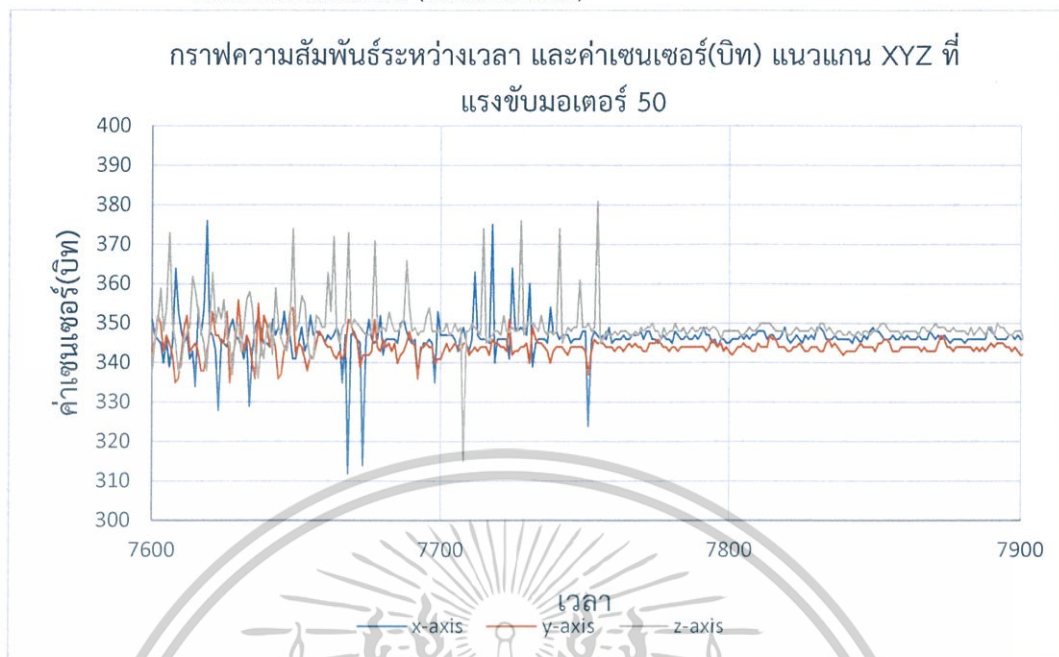
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.19 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Z)

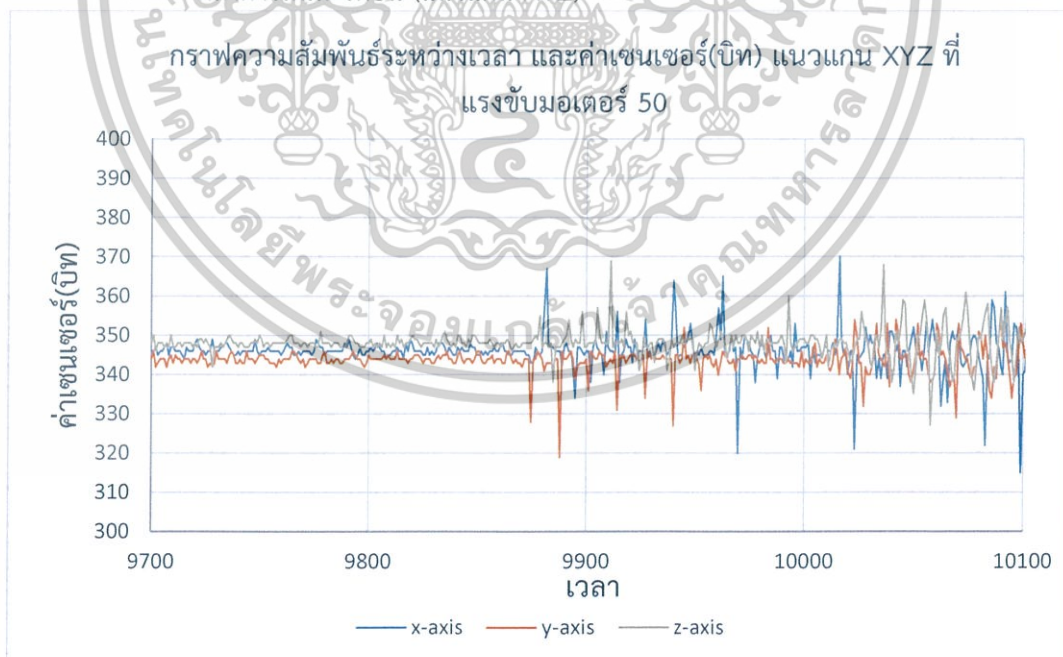
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.20 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน XYZ)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน XYZ)

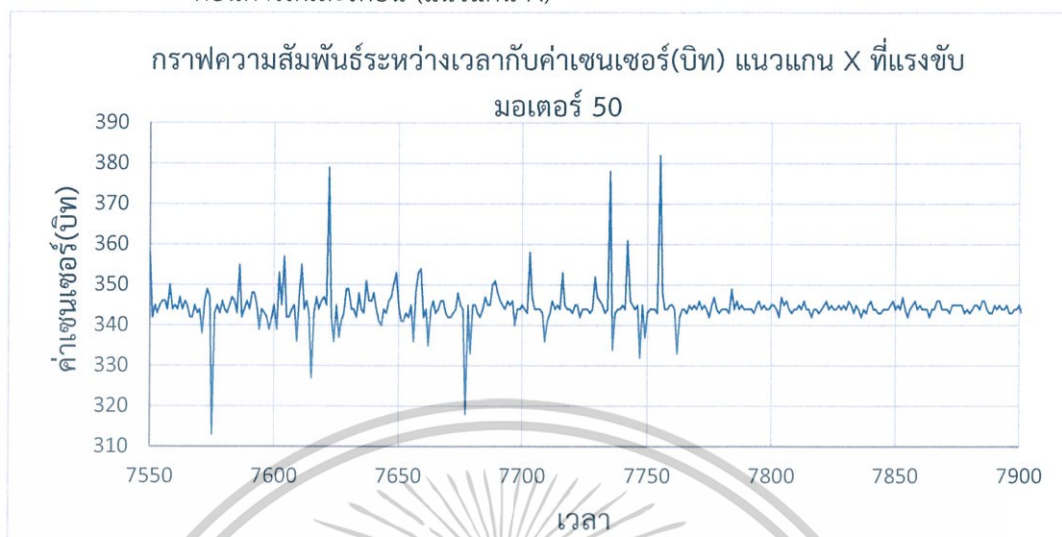


รูปที่ 4.21 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน XYZ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

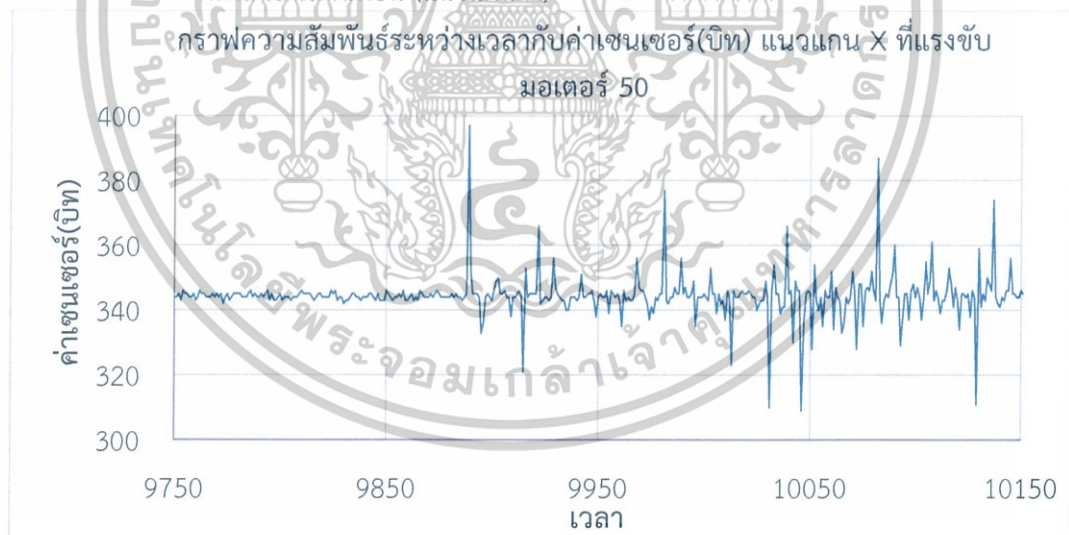
การทดสอบครั้งที่ 3

ก่อนการสิ้นสะท้อน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.22 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสิ้นสะท้อนก่อนการสิ้น (แนวแกน X)

หลังการสิ้นสะท้อน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.23 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสิ้นสะท้อนหลังการสิ้น (แนวแกน X)

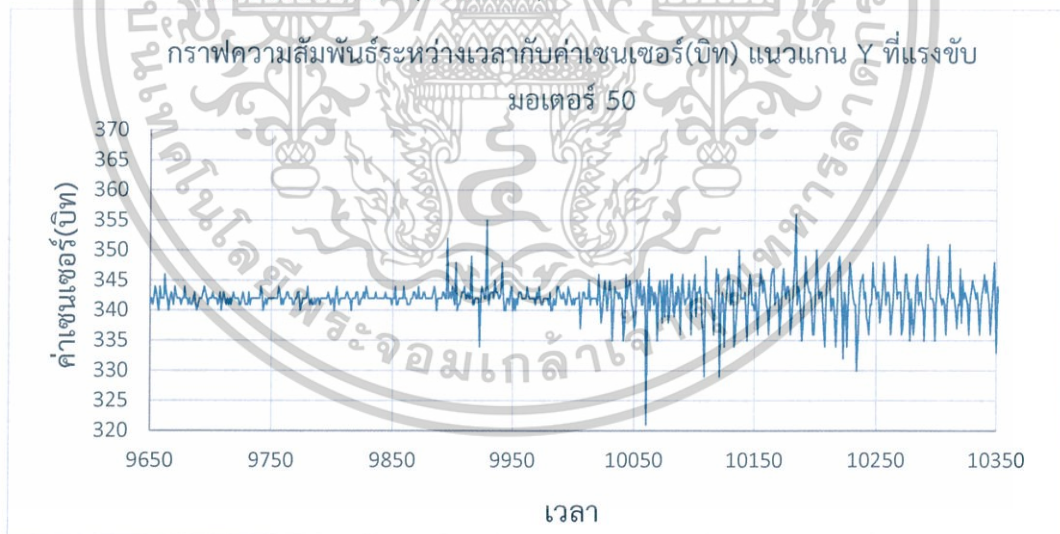
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.24 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Y)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.25 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Y)

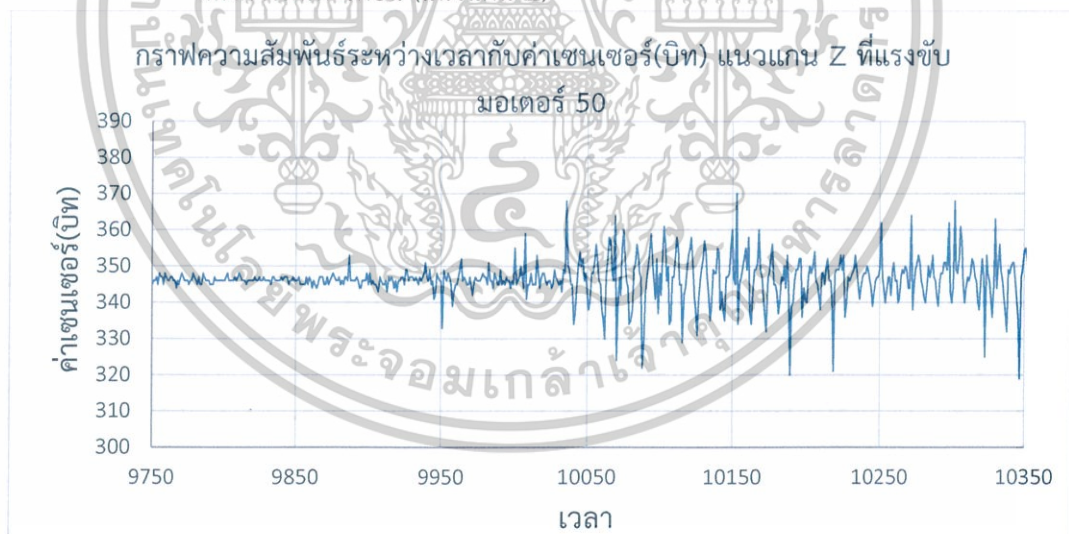
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสิ้นสะท้อน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.26 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสิ้นสะท้อนก่อนการสิ้น (แนวแกน Z)

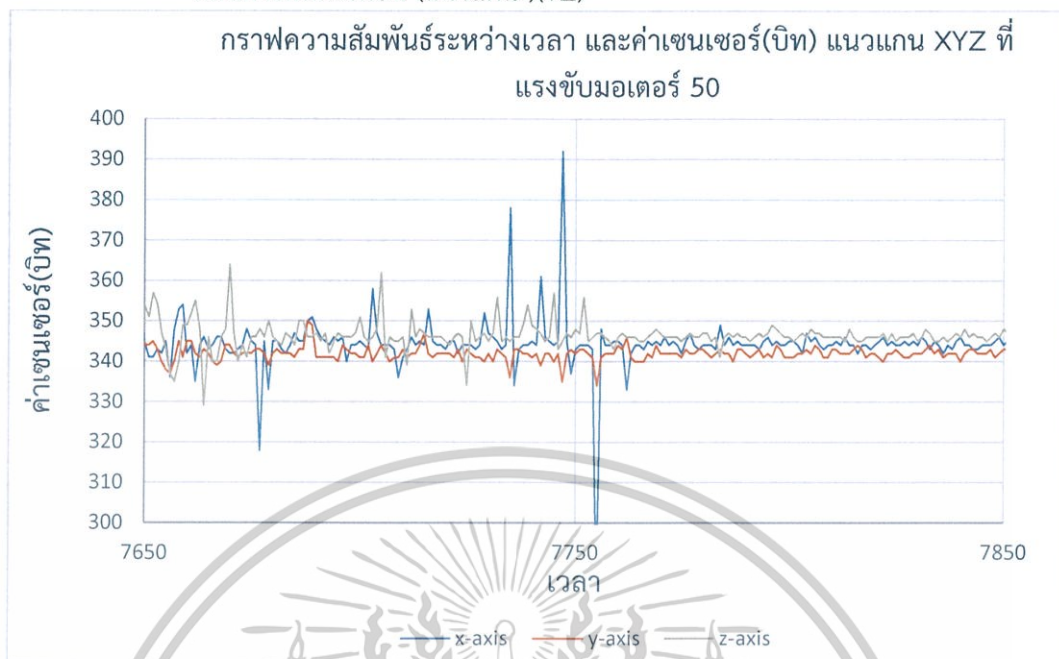
หลังการสิ้นสะท้อน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.27 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสิ้นสะท้อนหลังการสิ้น (แนวแกน Z)

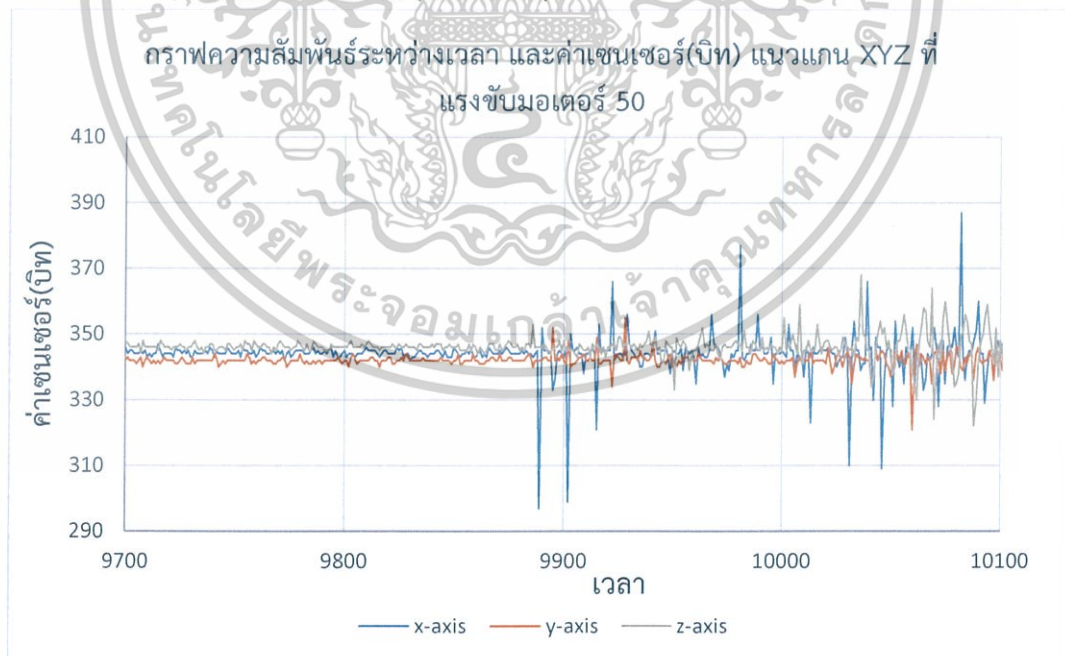
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน)YZ)



รูปที่ 4.28 ลักษณะเซนเซอร์ที่ไว้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน XYZ)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน X)



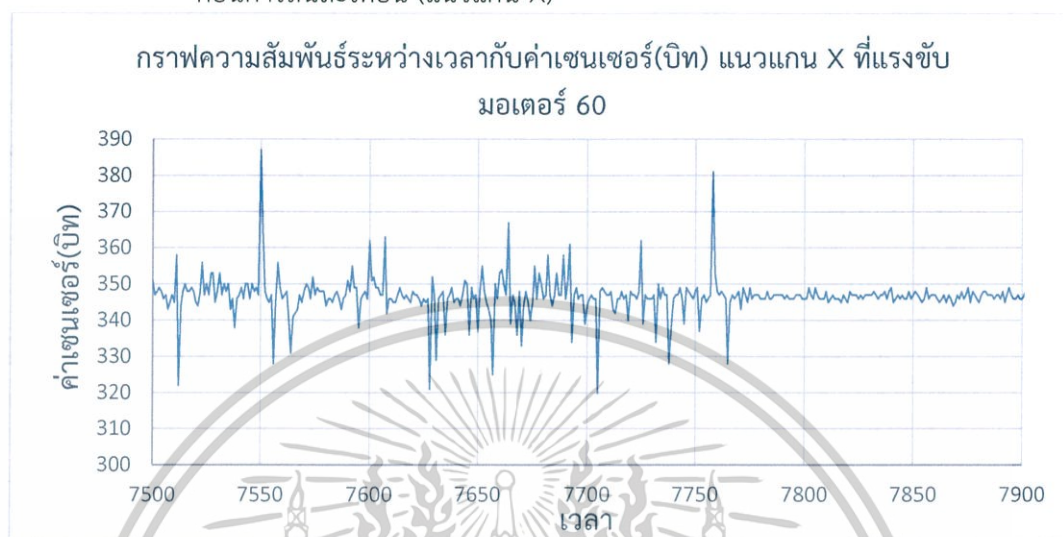
รูปที่ 4.29 ลักษณะเซนเซอร์ที่ไว้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน XYZ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 จากการทดสอบโดยขนาดแรงที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ 60 โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง โดยทำการวัดเซนเซอร์ทั้ง 3 แกน พร้อมกัน จะได้ดังนี้

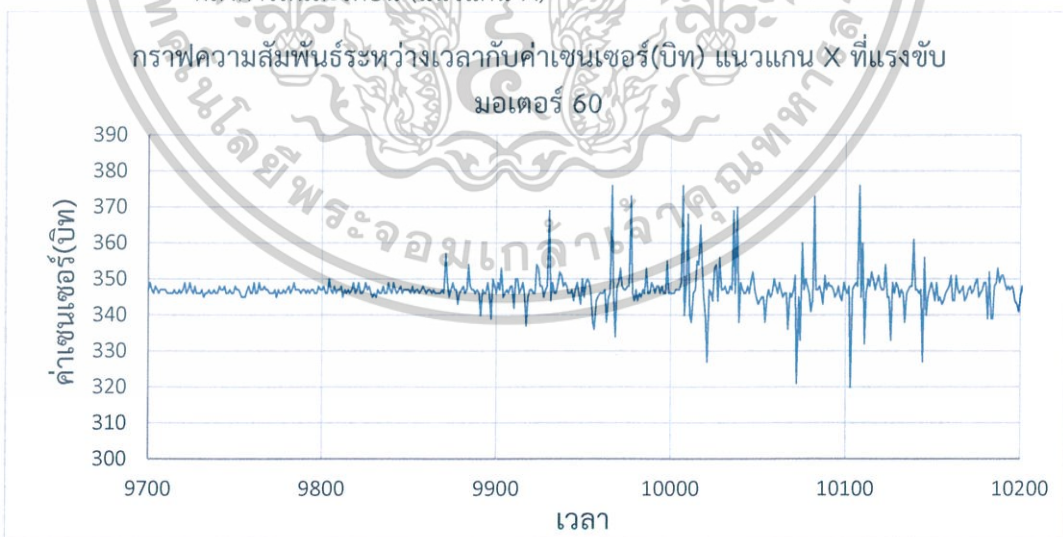
การทดสอบครั้งที่ 1

ก่อนการสิ้นสะท้อน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.30 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสิ้นสะท้อนก่อนการสิ้น (แนวแกน X)

หลังการสิ้นสะท้อน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.31 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสิ้นสะท้อนหลังการสิ้น (แนวแกน X)

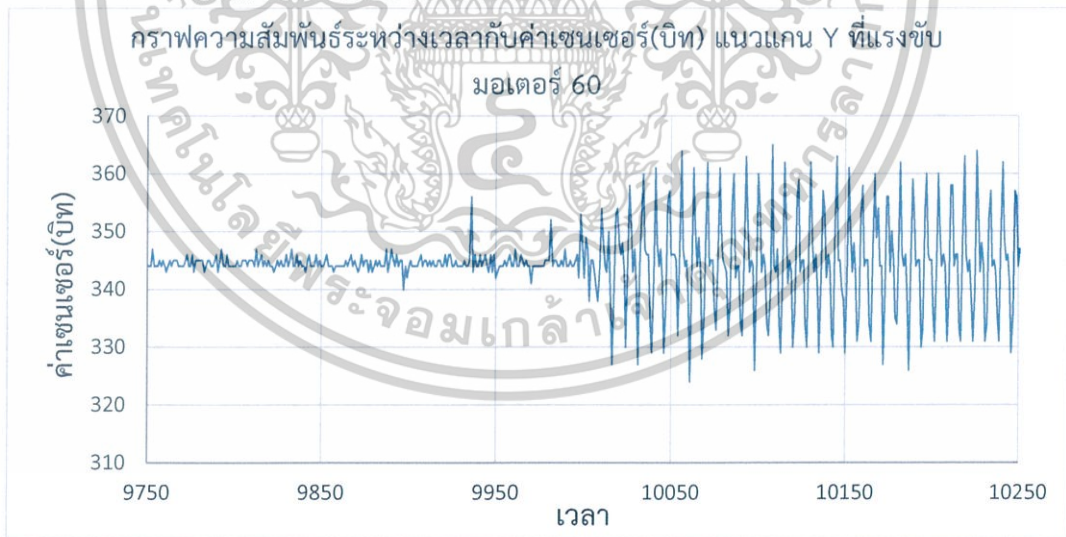
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.32 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Y)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.33 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Y)

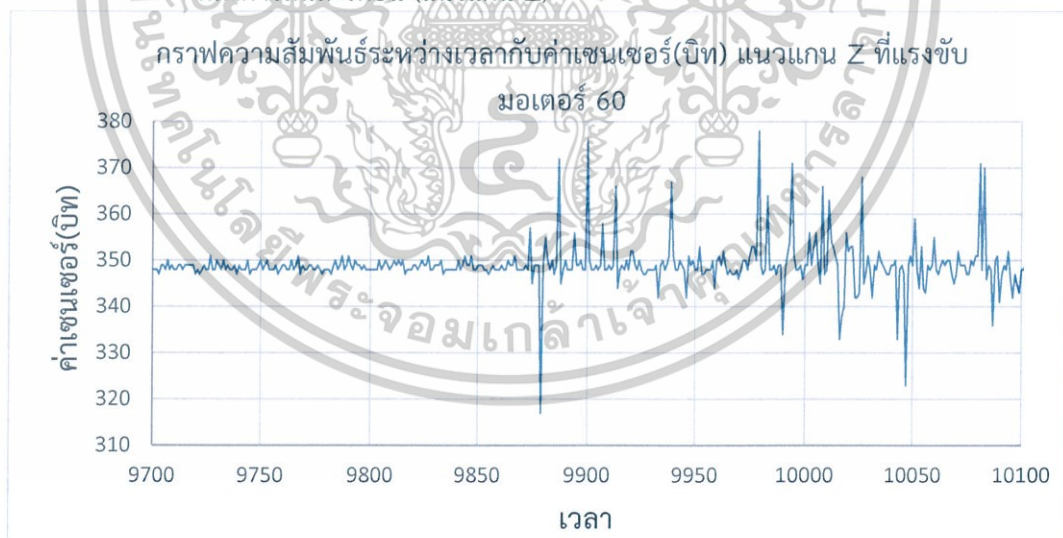
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั้นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.34 ลักษณะเซนเซอร์ที่ไววัดแรงการสั้นสะเทือนก่อนการสั้น (แนวแกน Z)

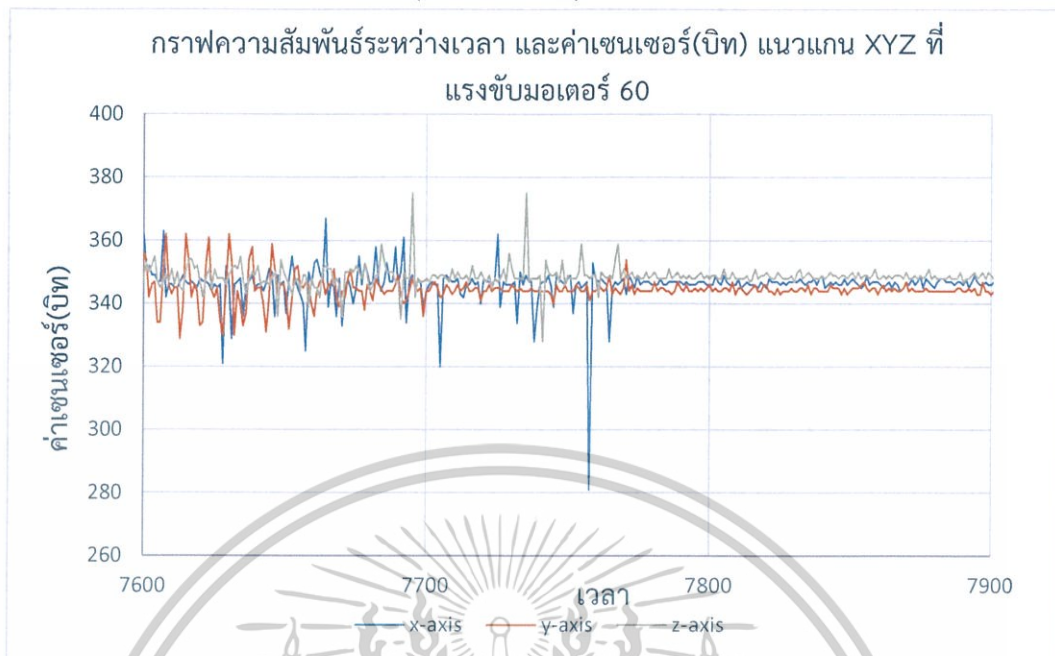
หลังการสั้นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.35 ลักษณะเซนเซอร์ที่ไววัดแรงการสั้นสะเทือนหลังการสั้น (แนวแกน Z)

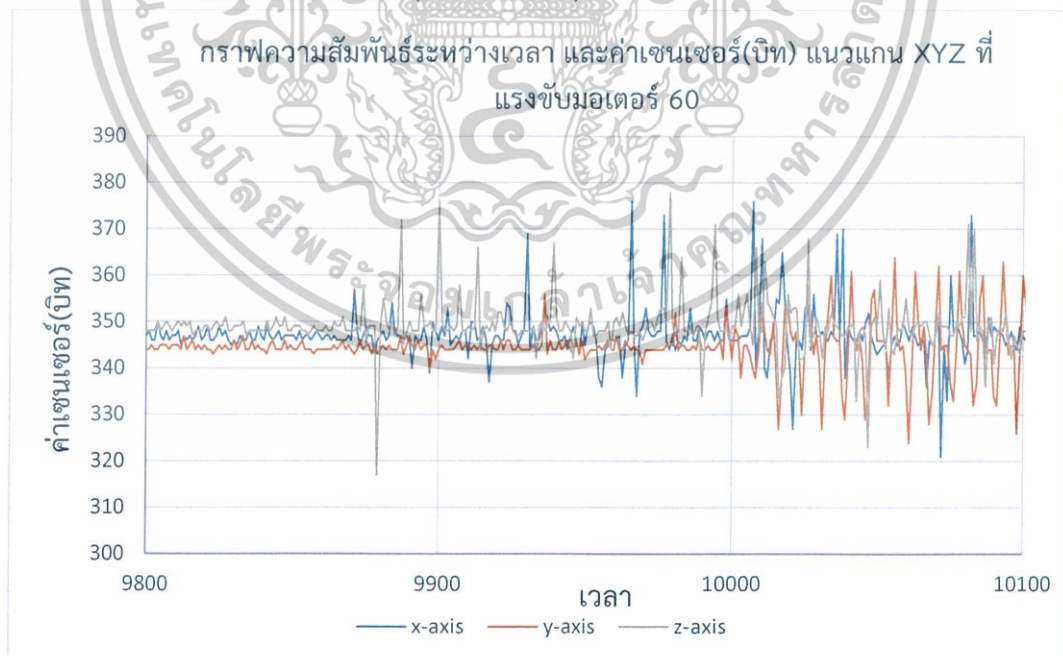
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.36 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน XYZ)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.37 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน XYZ) นี้ด้านการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบครั้งที่ 2

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.38 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน X)

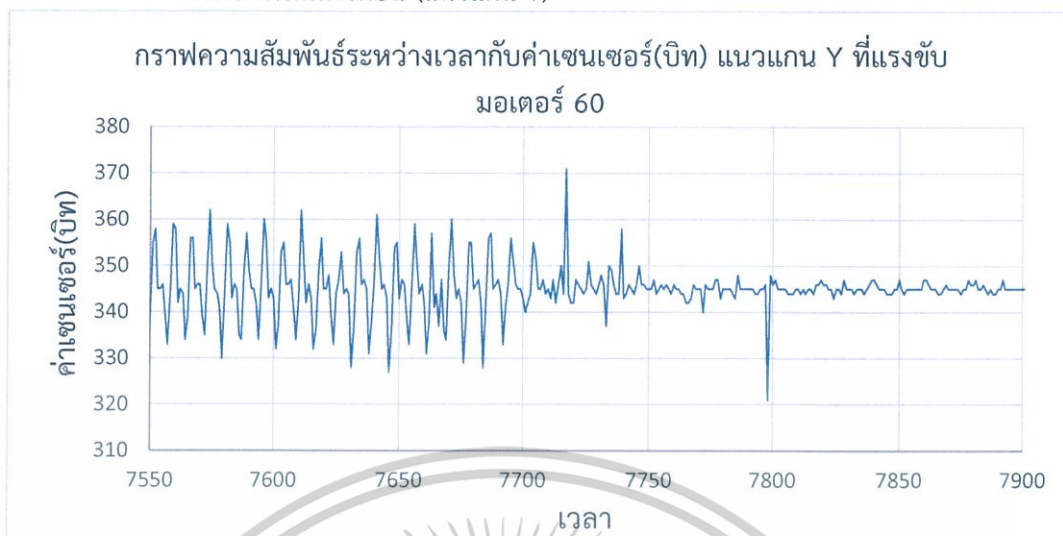
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.39 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน X)

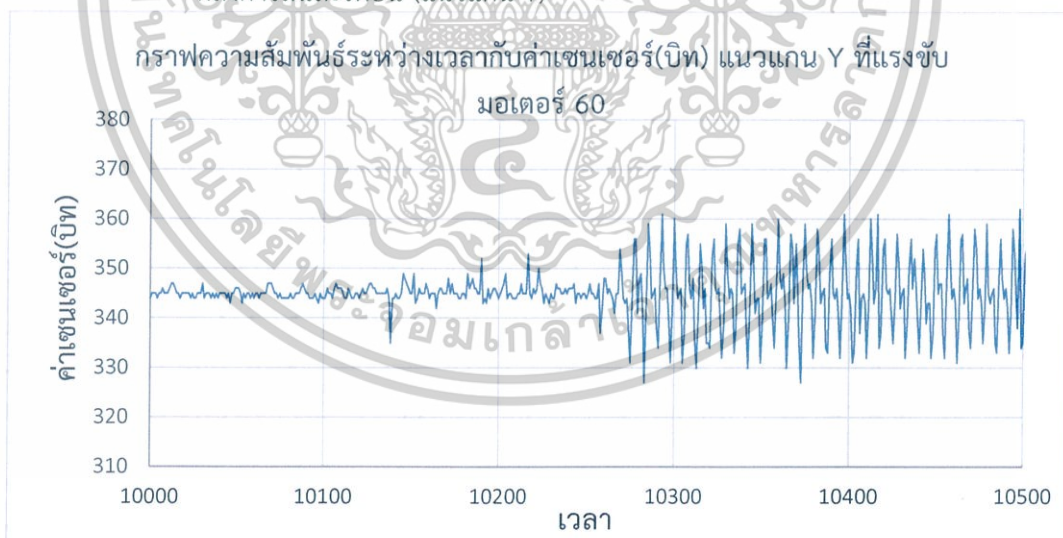
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั้นสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.40 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั้นสะเทือนก่อนการสั้น (แนวแกน Y)

หลังการสั้นสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.41 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั้นสะเทือนหลังการสั้น (แนวแกน Y)

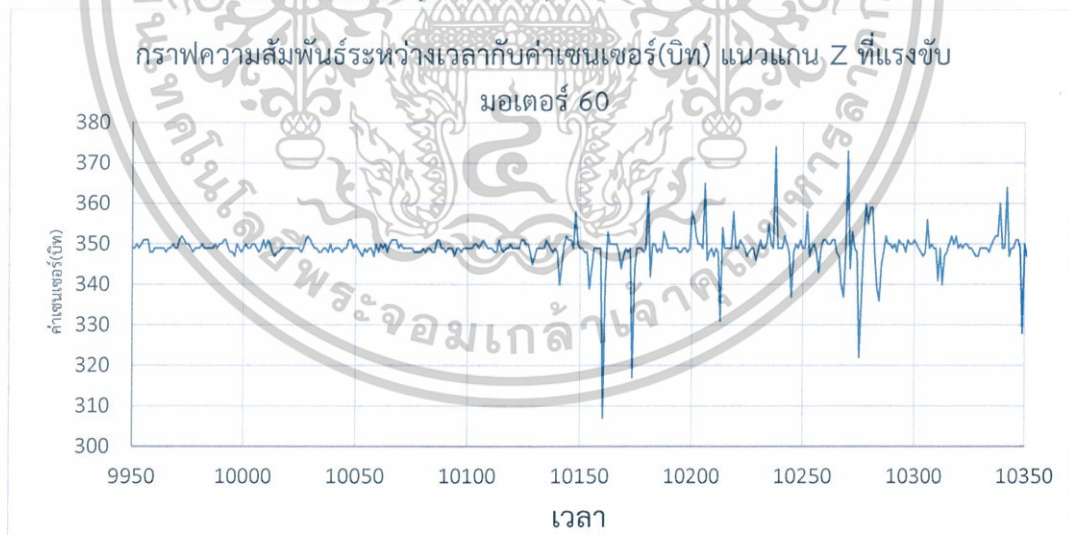
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.42 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Z)

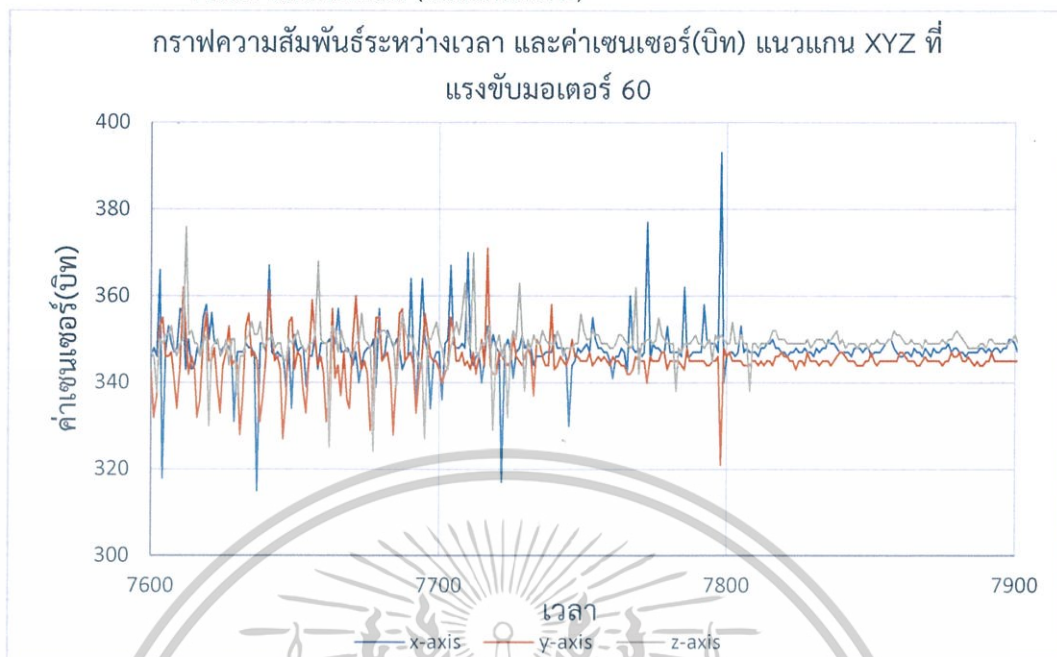
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.43 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Z)

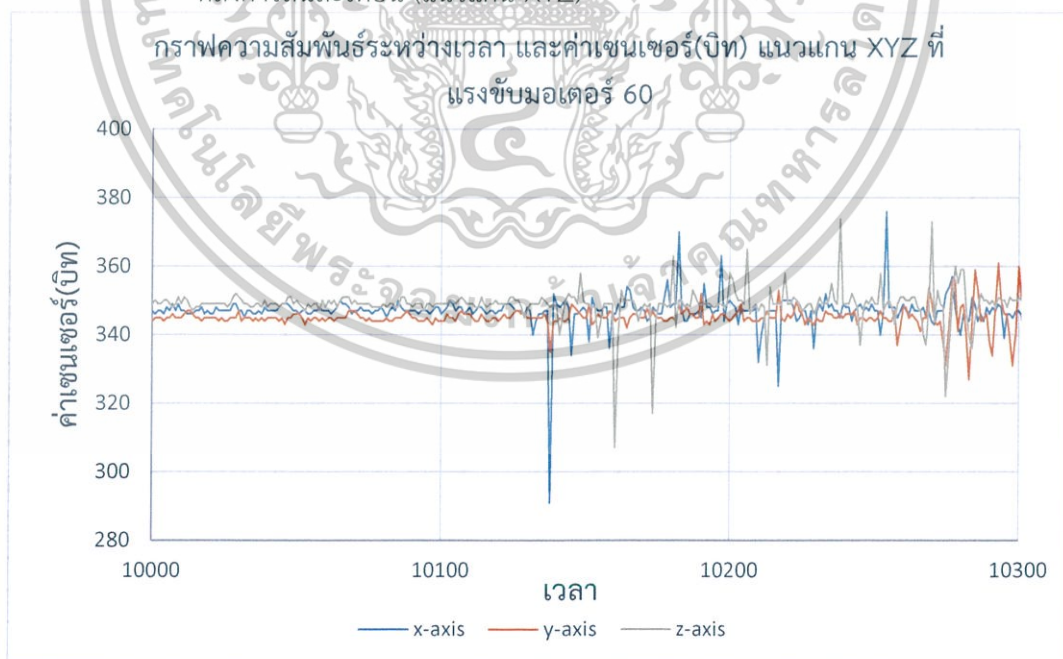
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.44 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน XYZ)

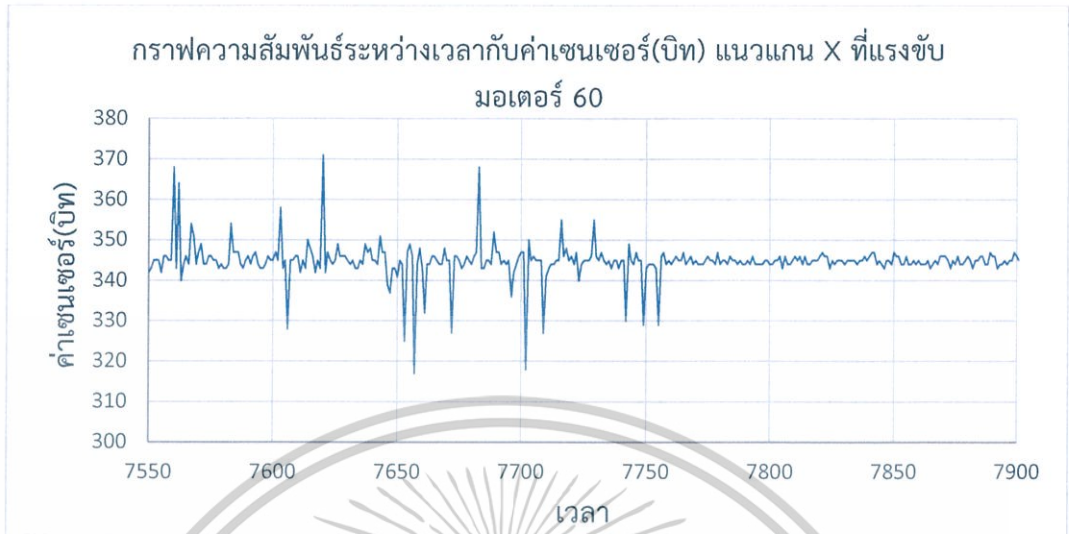
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน XYZ)



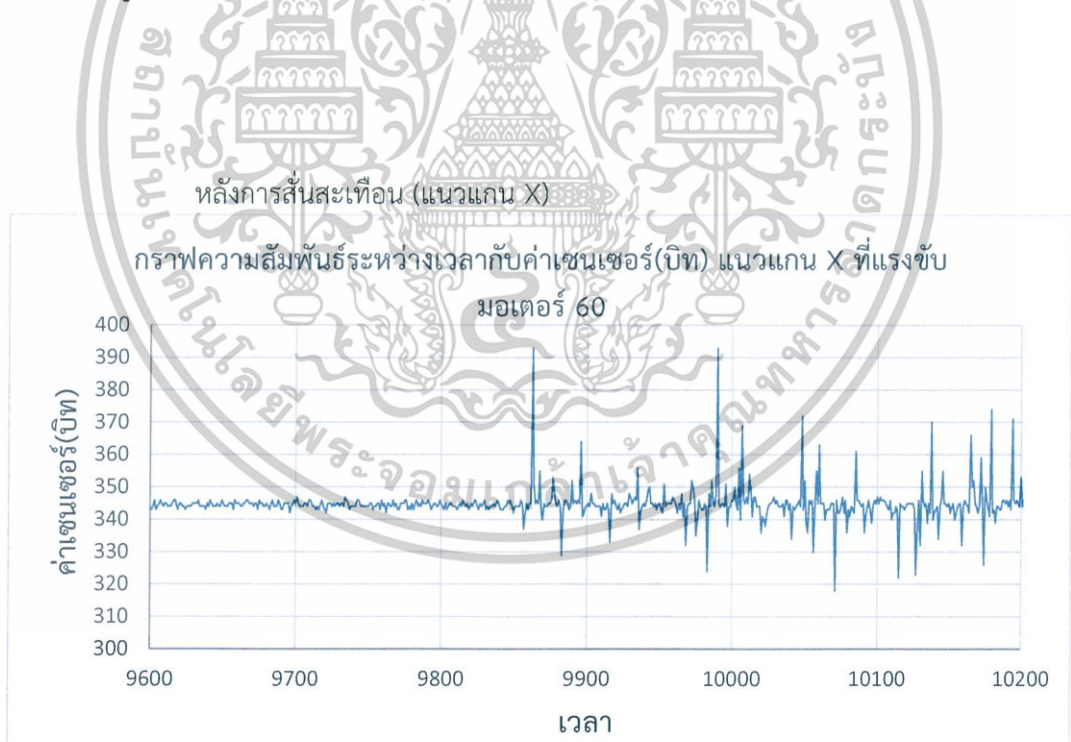
รูปที่ 4.45 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน XYZ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบครั้งที่ 3
ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน X)

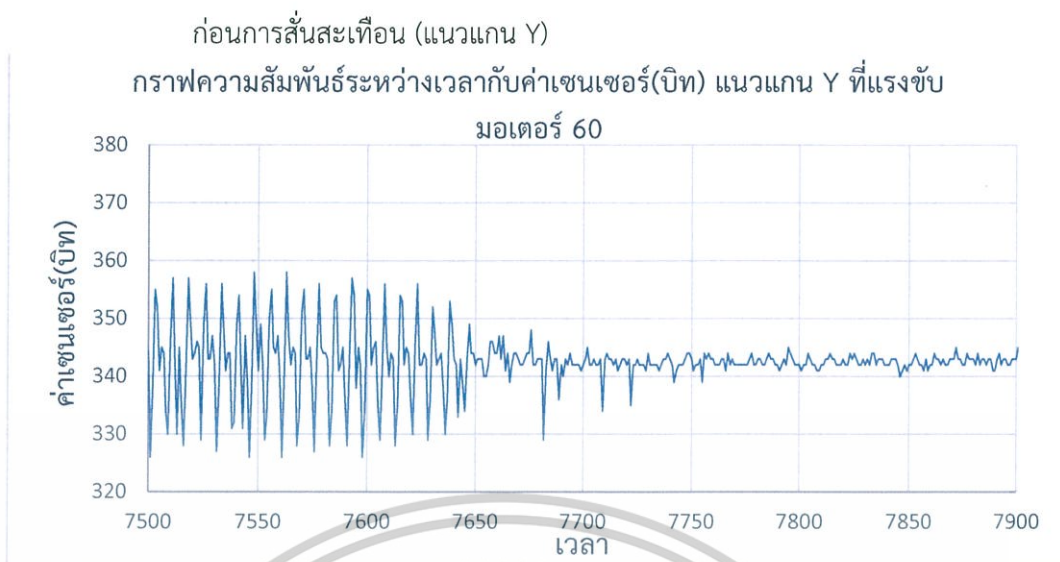


รูปที่ 4.46 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน X)

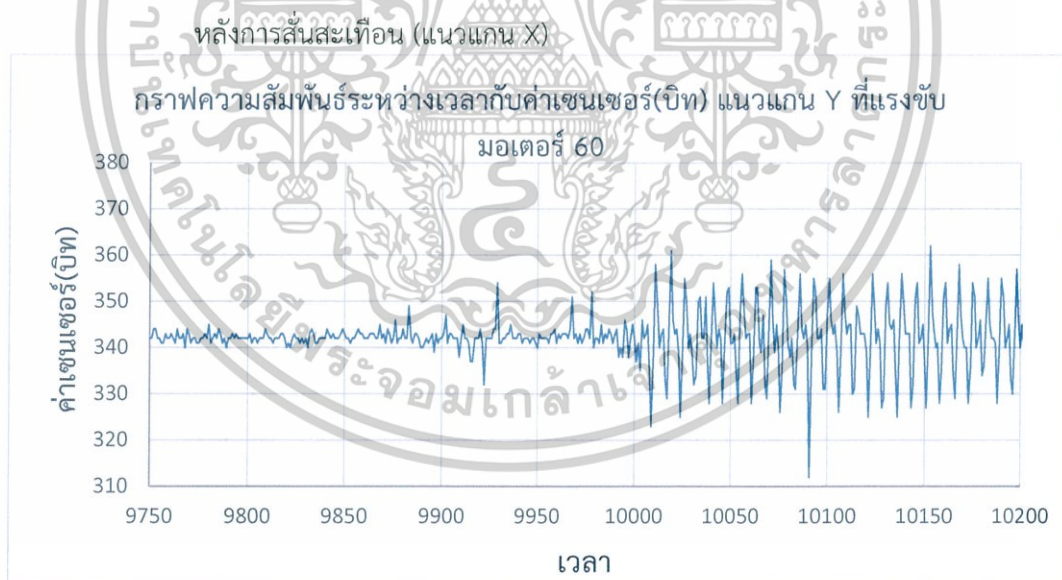


รูปที่ 4.47 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน X)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.48 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั้นสะเทือนก่อนการสั้น (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.49 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั้นสะเทือนหลังการสั้น (แนวแกน Y)

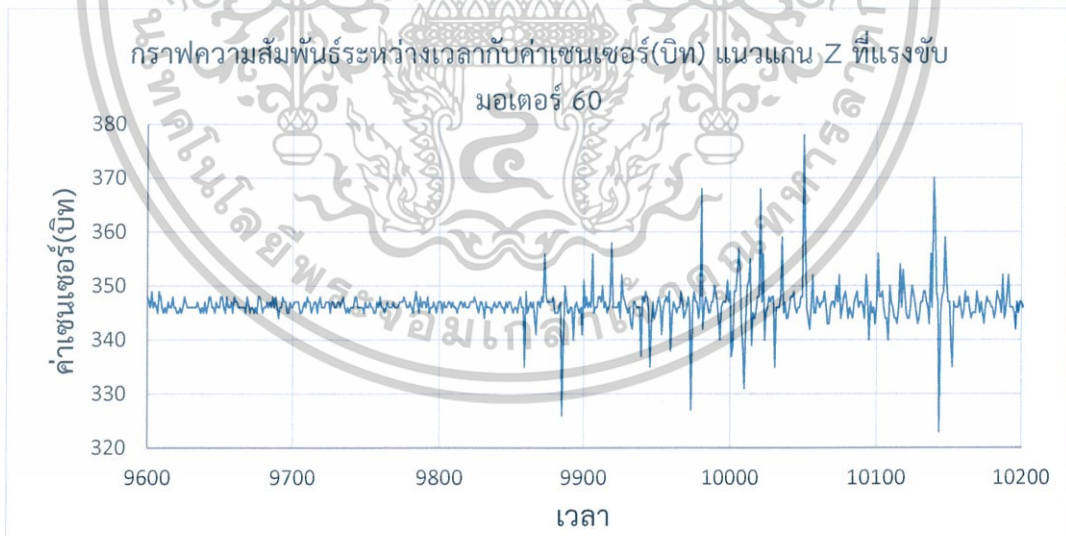
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.50 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Z)

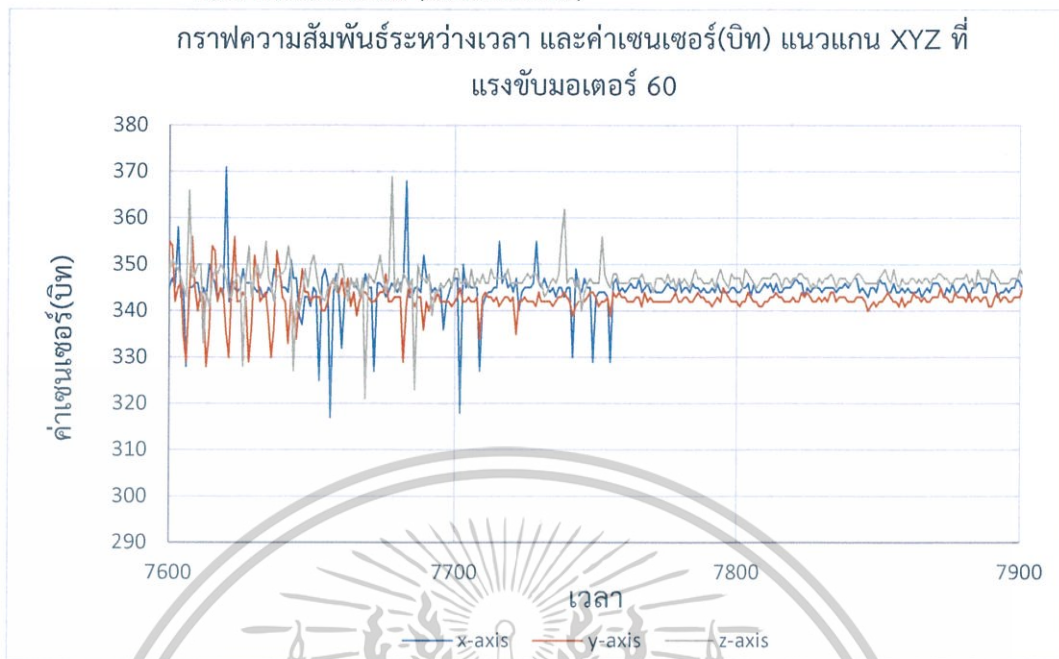
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.51 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Z)

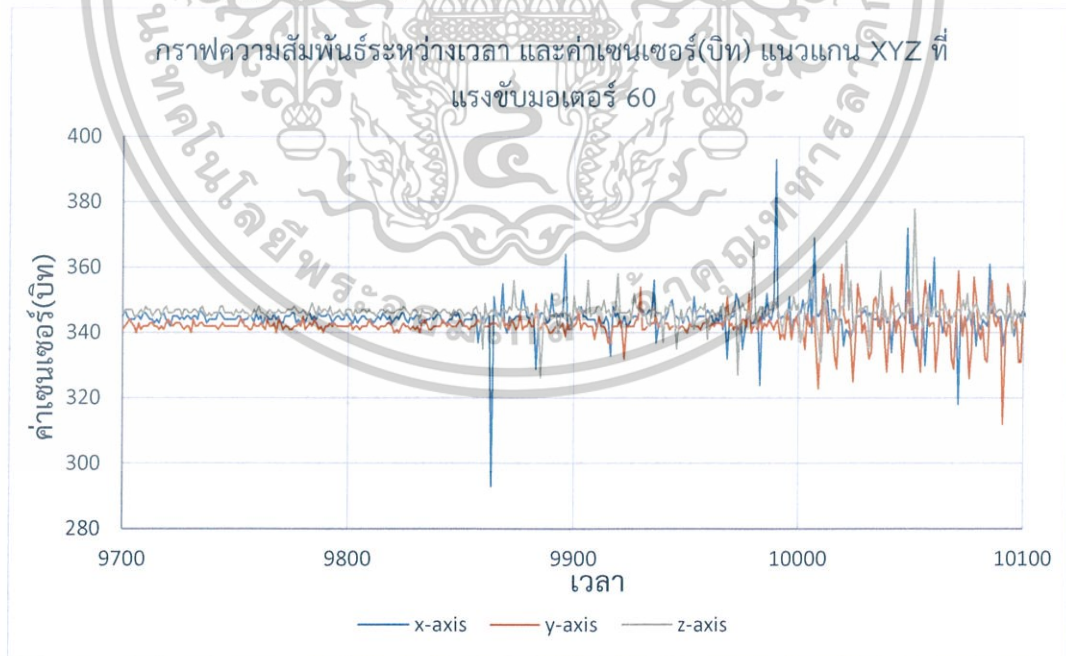
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.52 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน XYZ)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน XYZ)



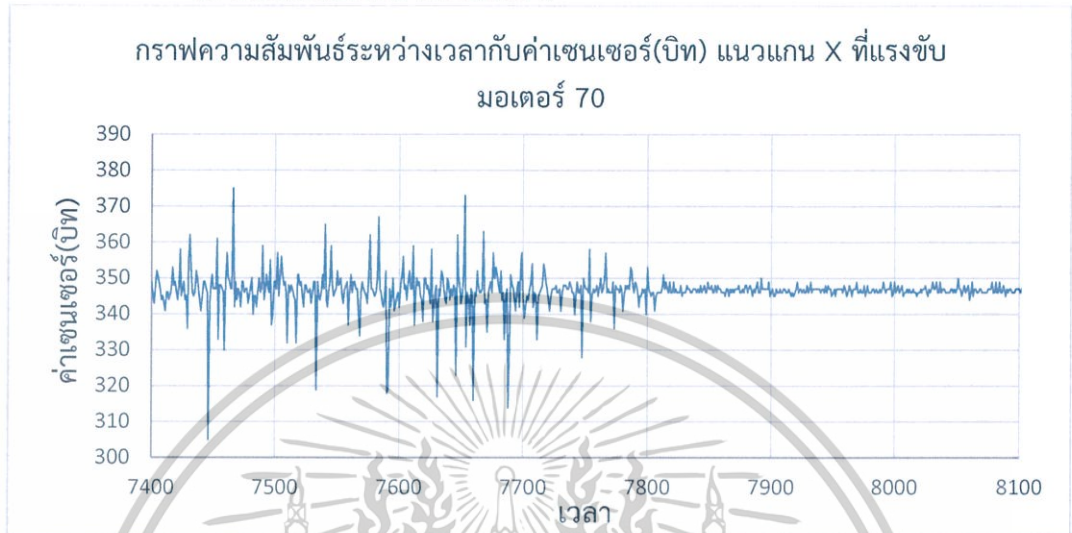
รูปที่ 4.53 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน XYZ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 จากการทดสอบโดยขนาดแรงที่ใช้ขับมอเตอร์ 70 โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง โดยทำการวัดเซนเซอร์ทั้ง 3 แกน พร้อมกัน จะได้ดังนี้

การทดสอบครั้งที่ 1

ก่อนการสิ้นสะท้อน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.54 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสิ้นสะท้อนก่อนการสิ้น (แนวแกน X)

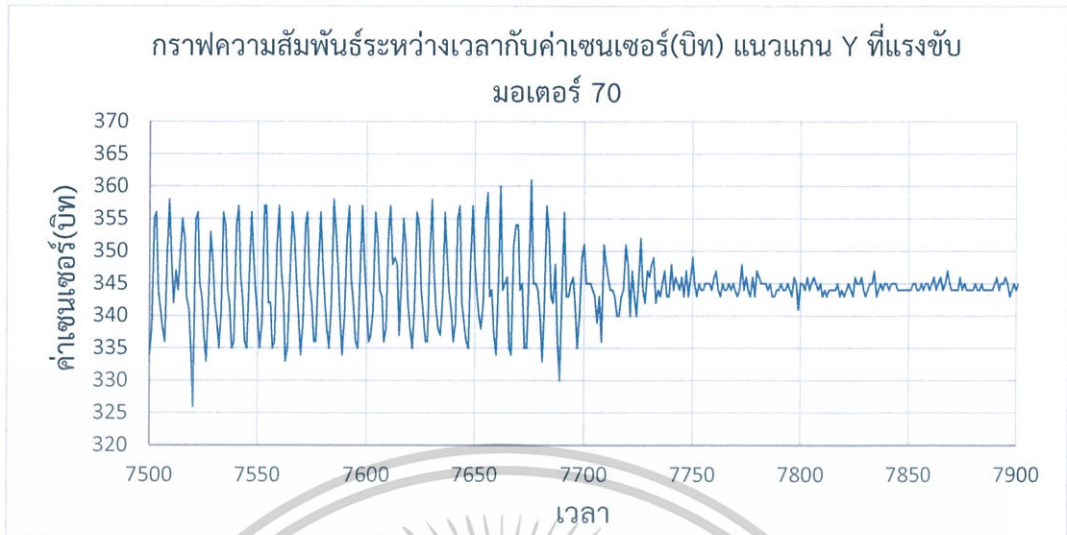
หลังการสิ้นสะท้อน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.55 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสิ้นสะท้อนหลังการสิ้น (แนวแกน X)

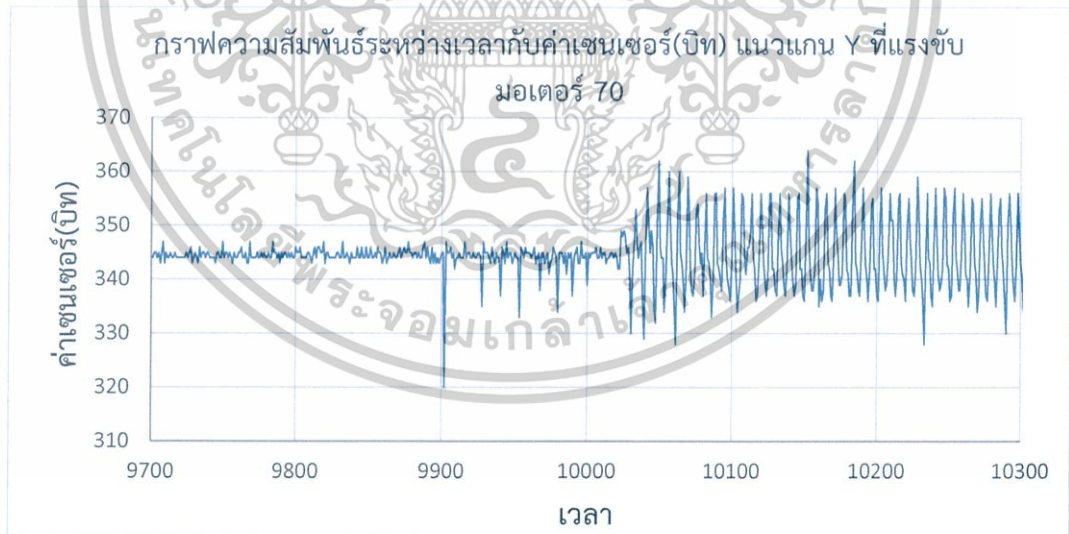
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.56 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Y)

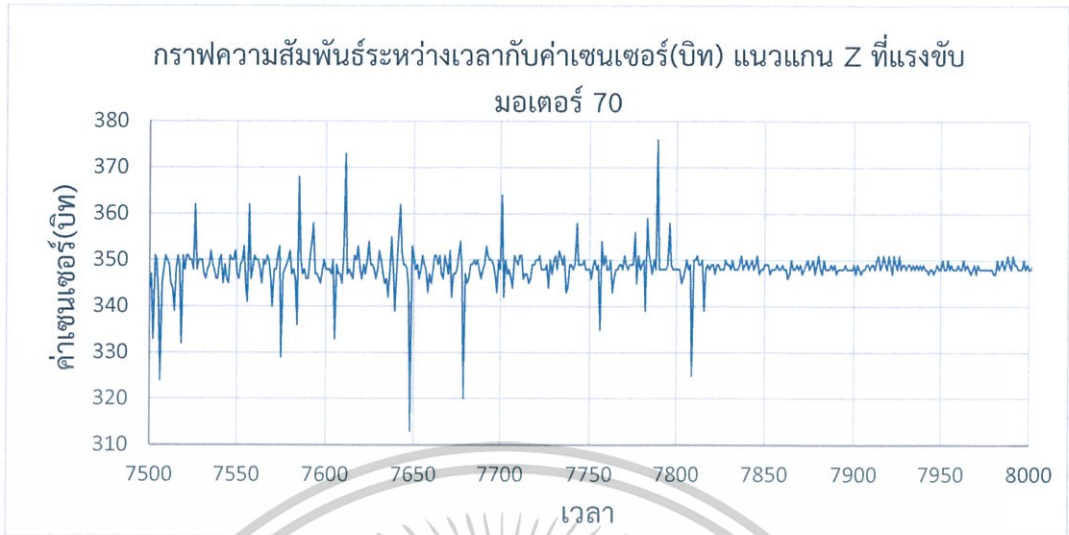
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.57 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Y)

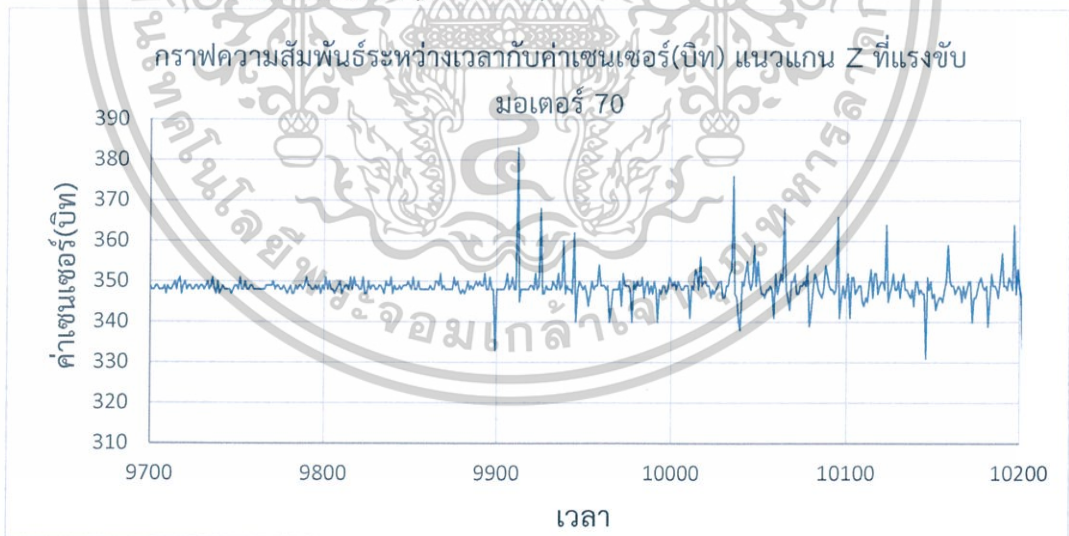
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.58 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Z)

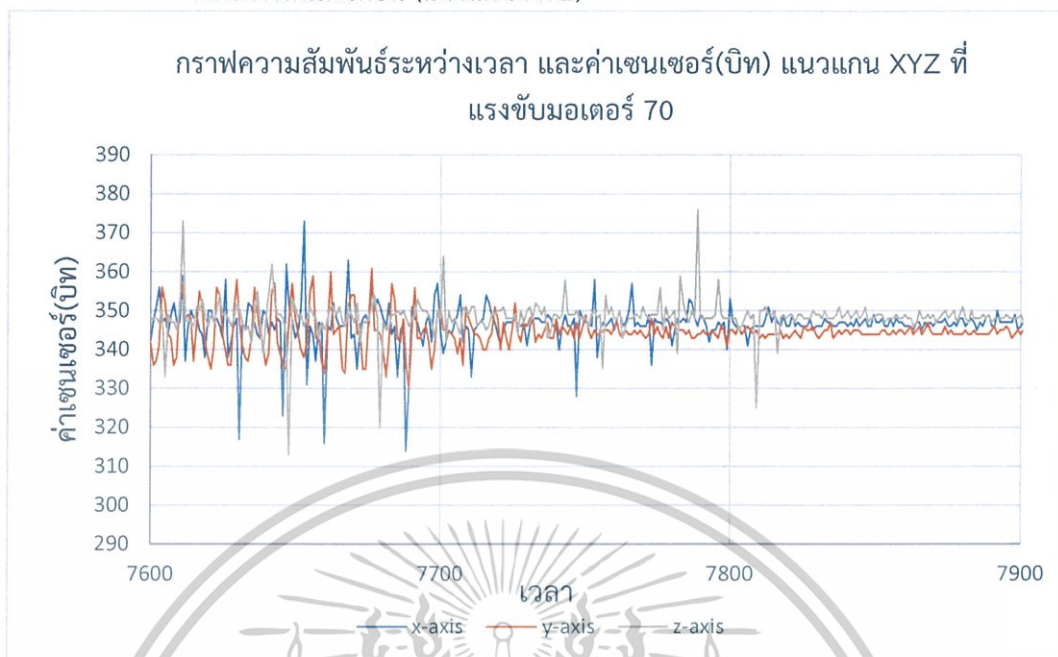
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.59 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Z)

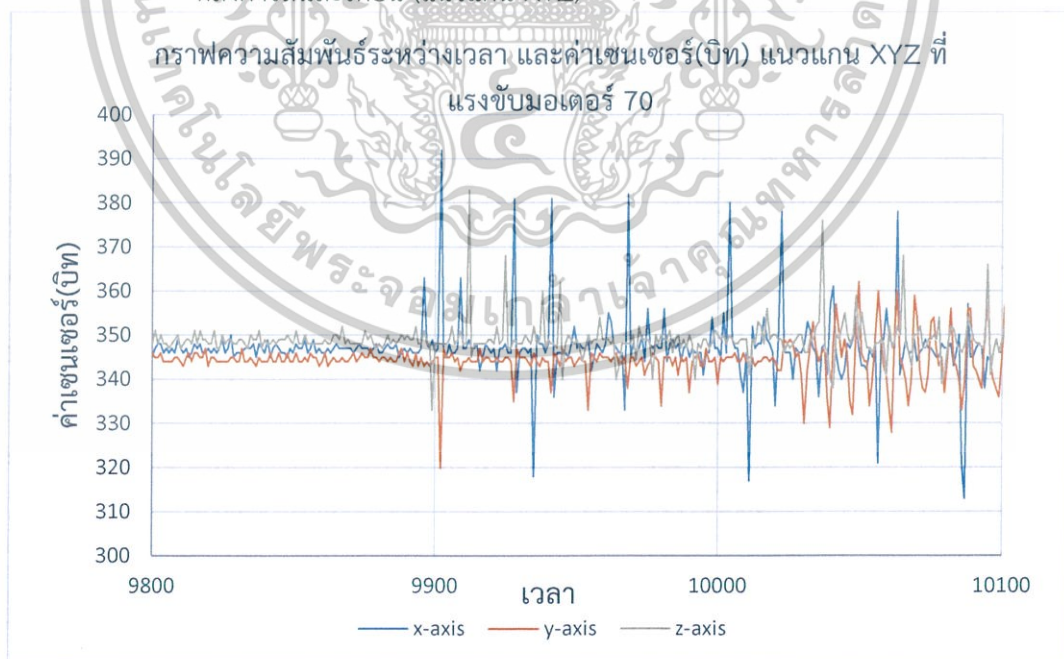
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.60 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน XYZ)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.61 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน XYZ) นี้ด้านการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบครั้งที่ 2

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.62 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน X)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.63 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน X)

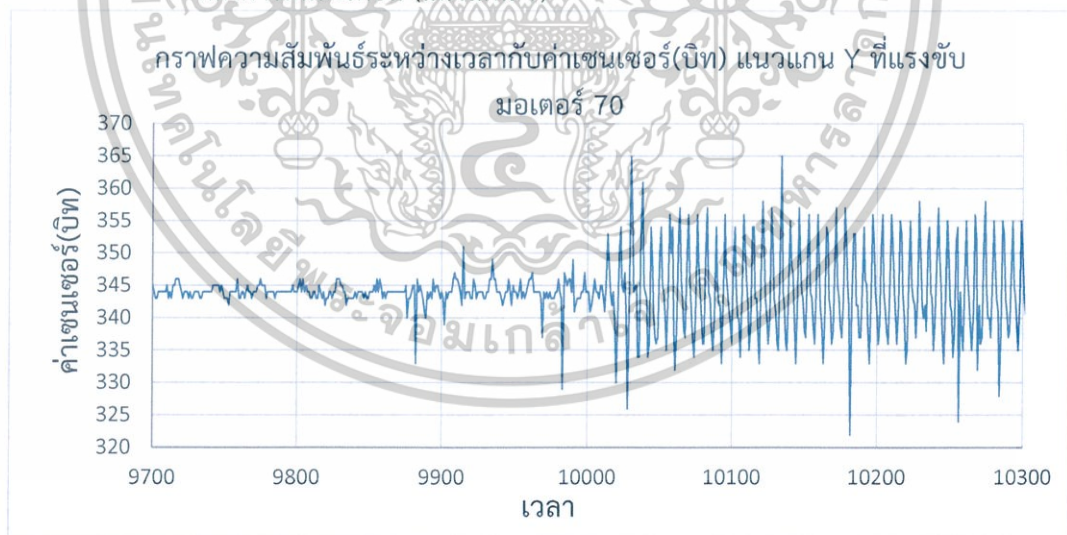
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.64 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Y)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.65 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Y)

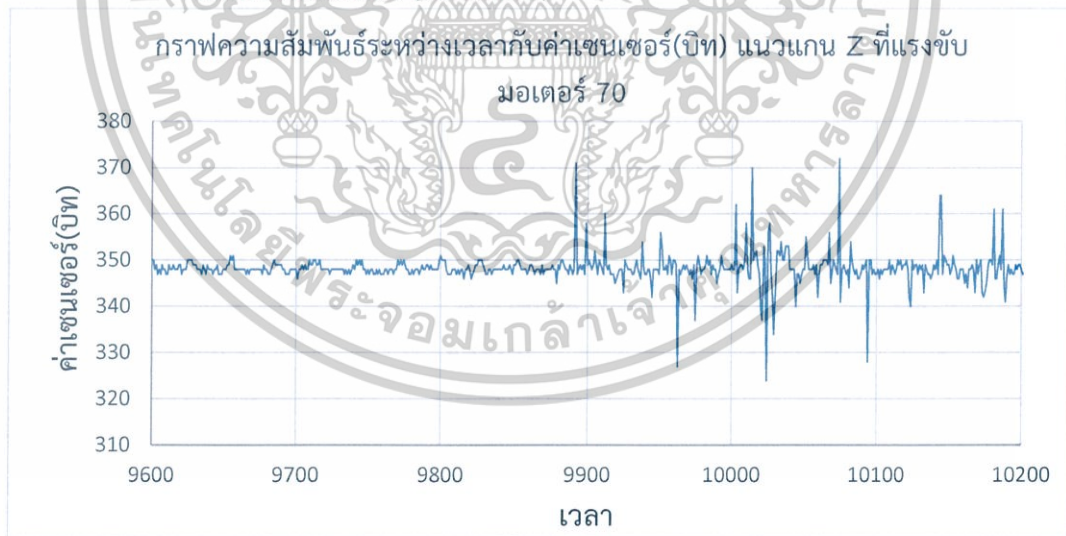
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.66 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Z)

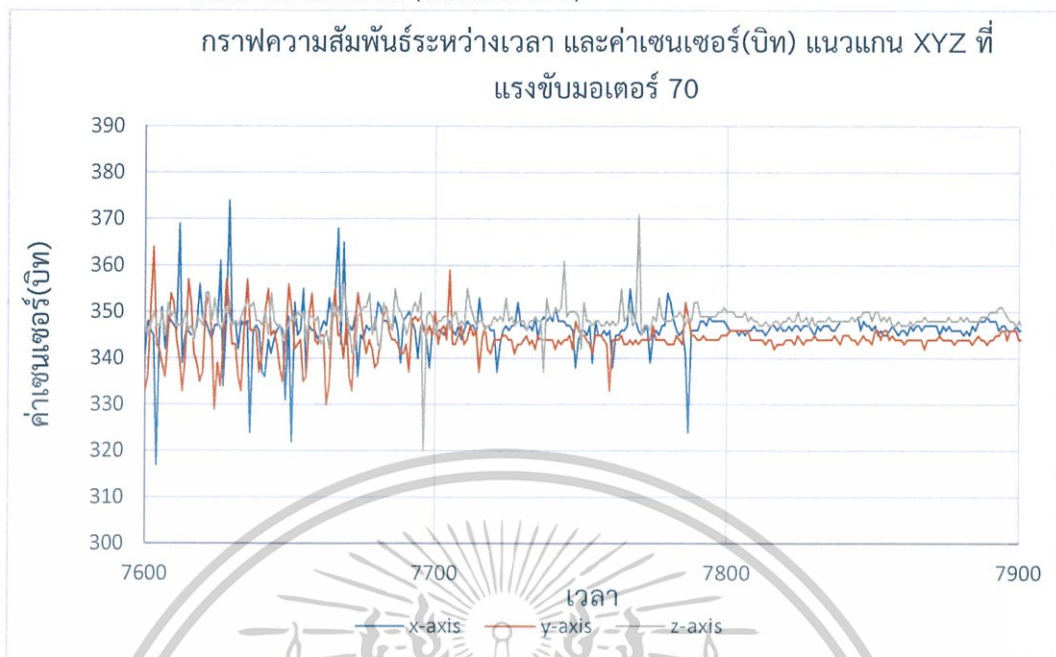
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.67 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Z)

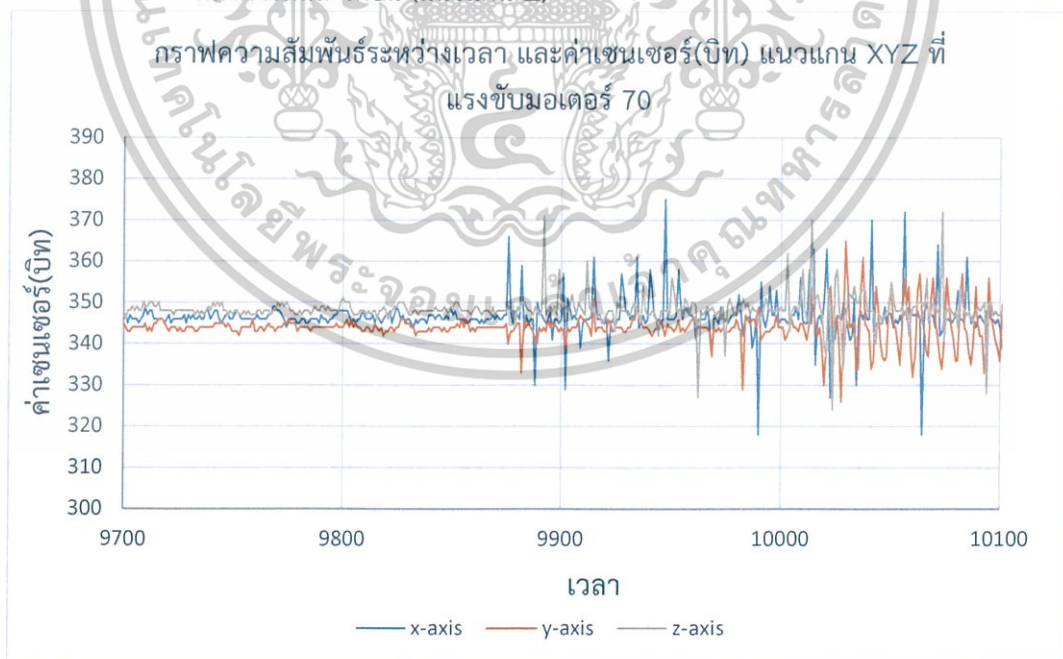
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.68 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน XYZ)

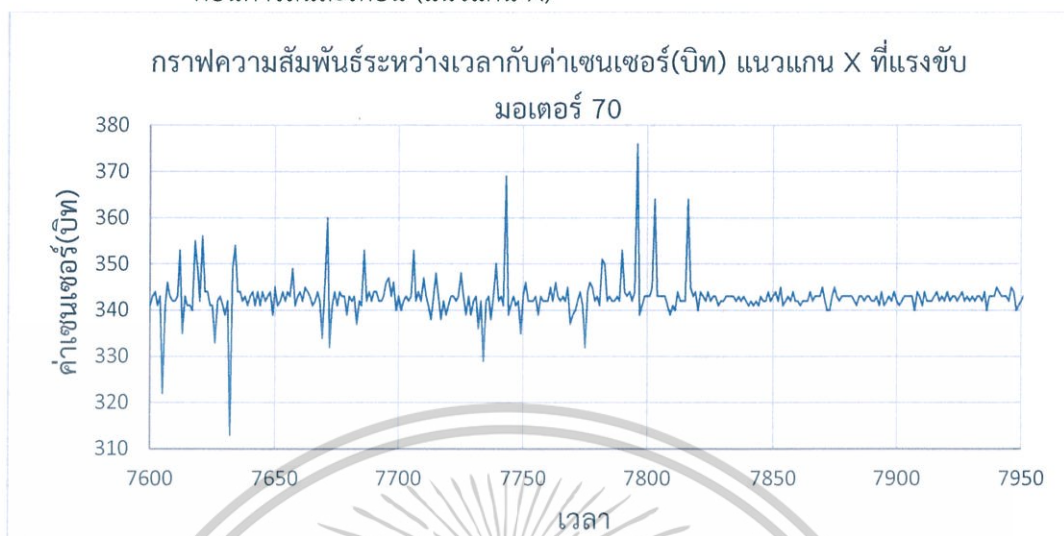
หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน Z)



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.69 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน XYZ) ในด้านการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบครั้งที่ 3

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.70 ลักษณะเซนเซอร์ที่ไว้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน X)

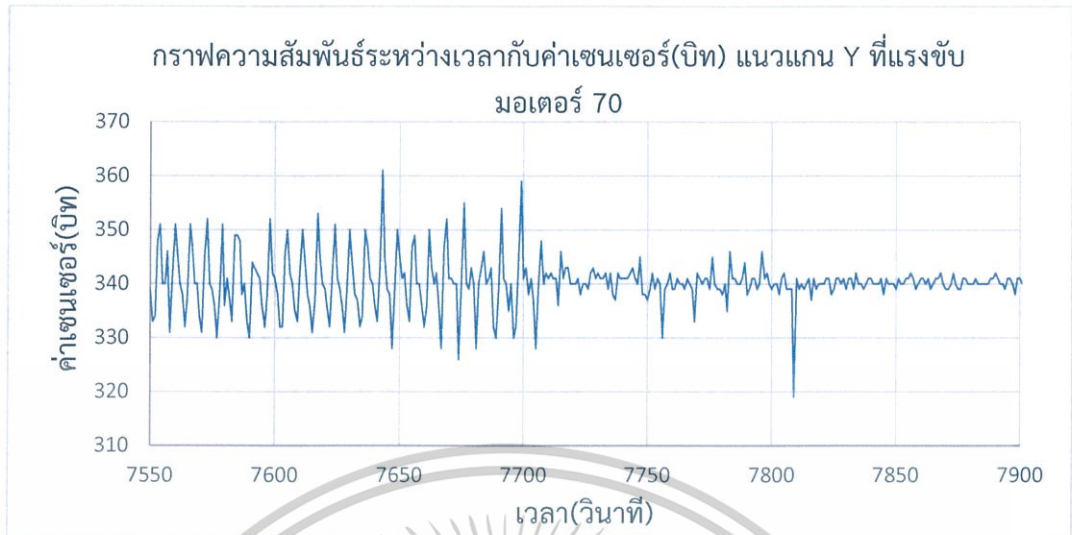
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.71 ลักษณะเซนเซอร์ที่ไว้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน X)

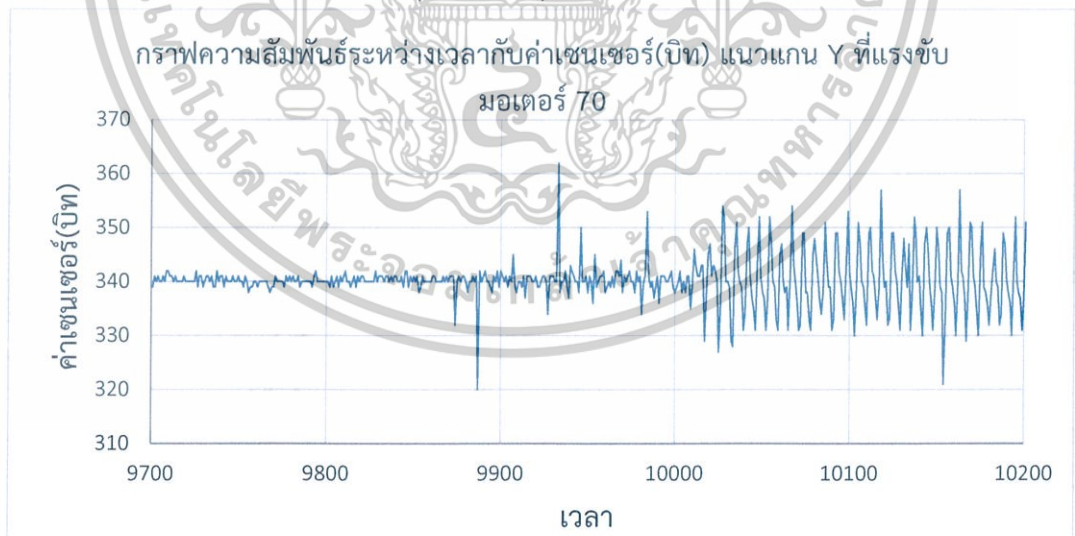
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.72 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Y)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.73 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.74 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Z)

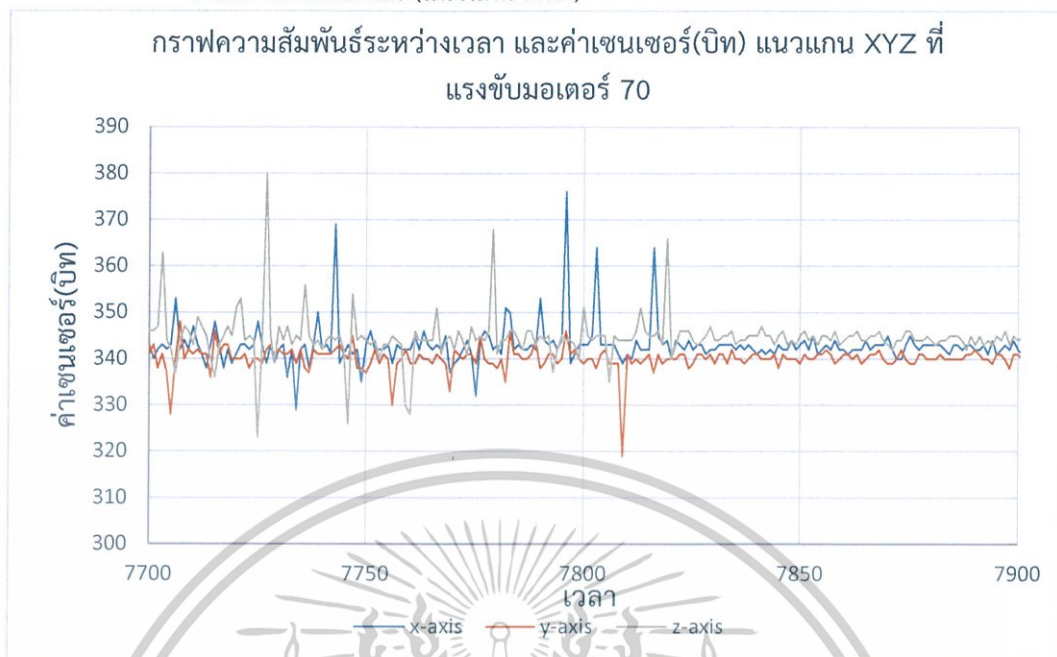
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.75 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Z)

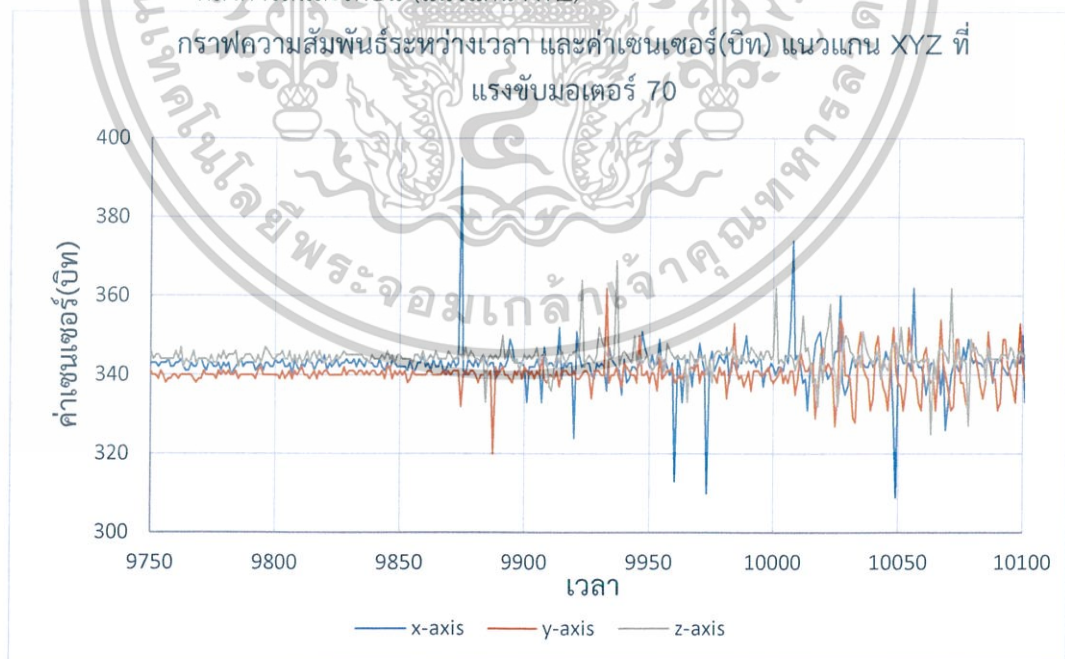
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.76 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน XYZ)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.77 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน XYZ) นี้ด้านการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 จากการทดสอบโดยขนาดแรงที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ 80 โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง โดยทำการวัดเซนเซอร์ทั้ง 3 แกน พร้อมกัน จะได้ดังนี้

การทดสอบครั้งที่ 1

ก่อนการสิ้นสะท้อน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.78 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสิ้นสะท้อนก่อนการสิ้น (แนวแกน X)

หลังการสิ้นสะท้อน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.79 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสิ้นสะท้อนหลังการสิ้น (แนวแกน X)

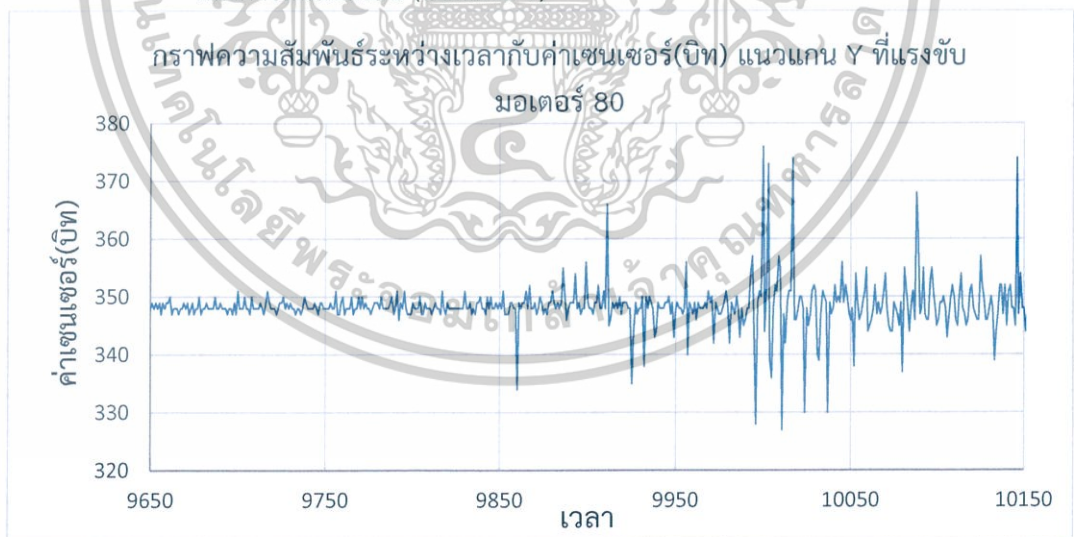
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.80 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Y)

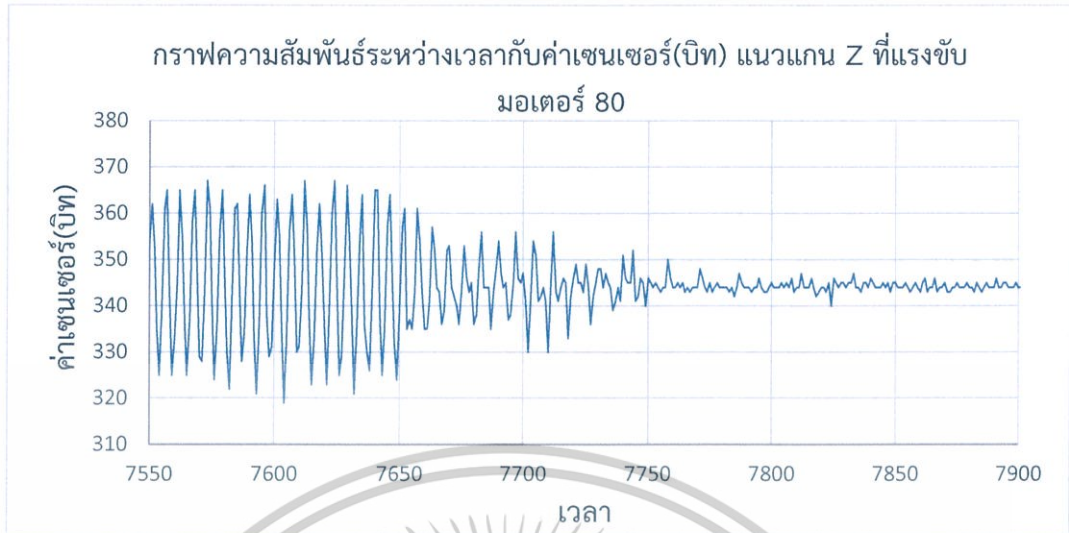
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.81 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Y)

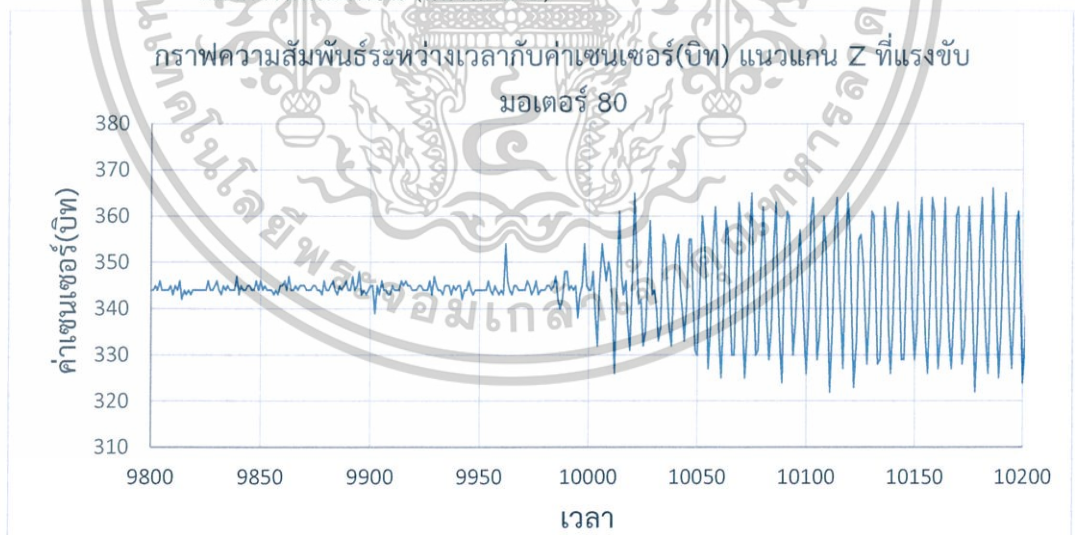
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.82 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน Z)

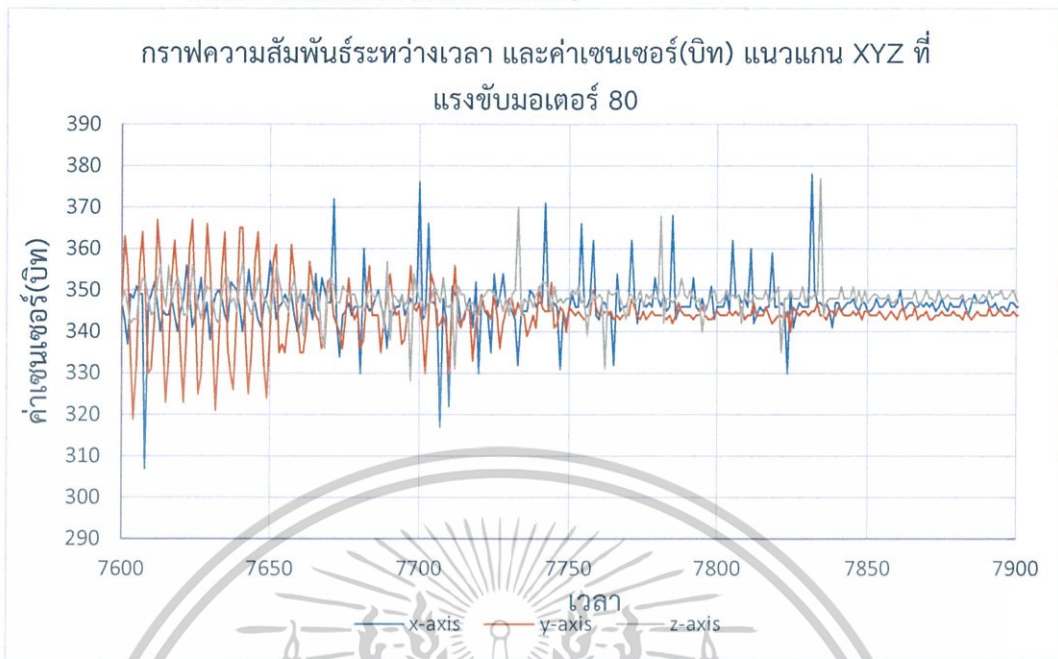
หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.83 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน Z)

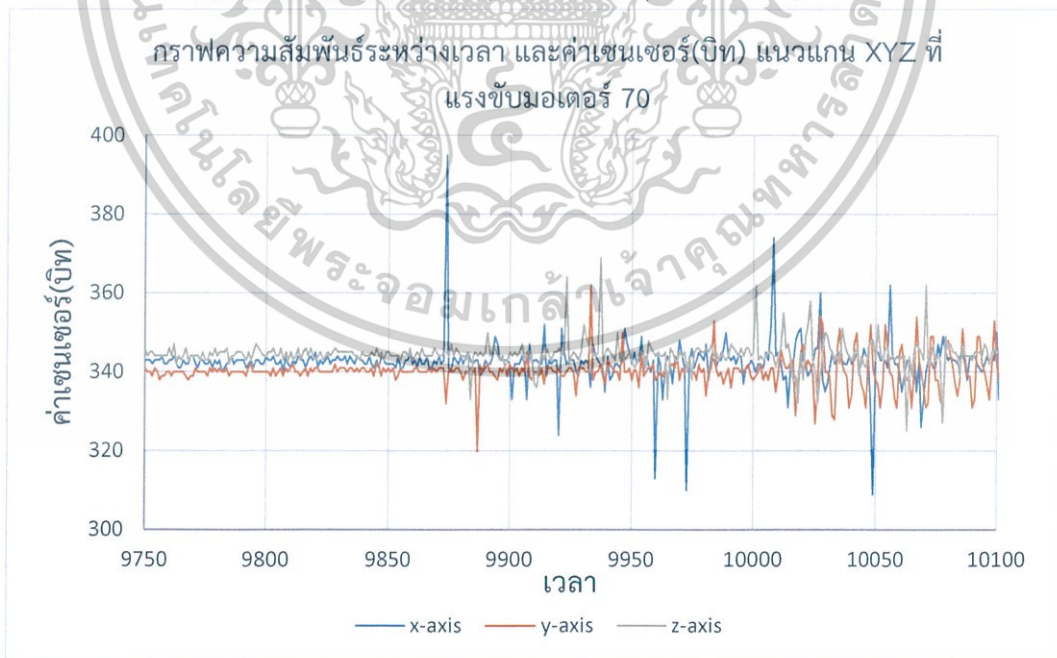
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.84 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้อัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน XYZ)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.85 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้อัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน XYZ) นี้ด้านการค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

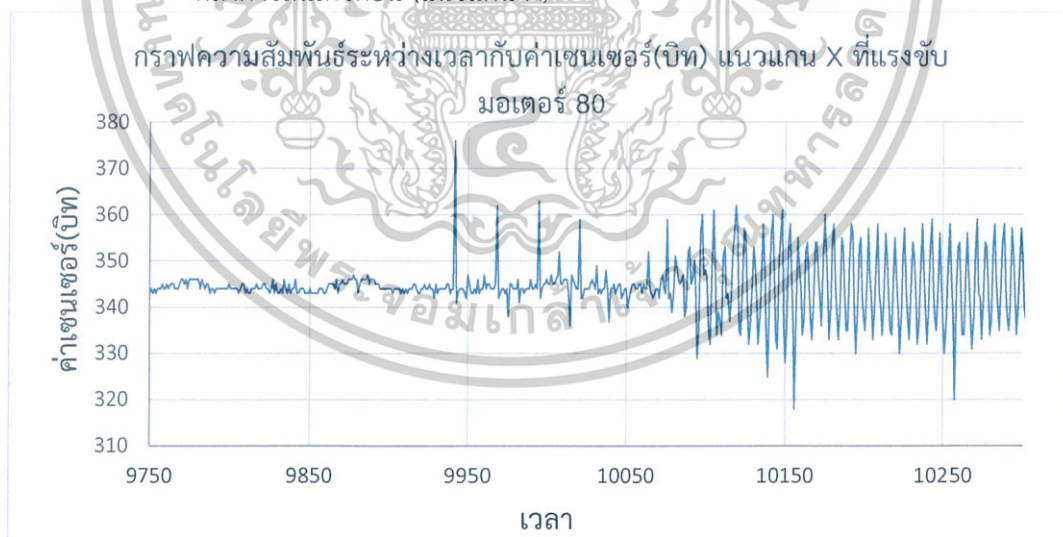
การทดสอบครั้งที่ 2

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.86 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน X)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.87 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน X)

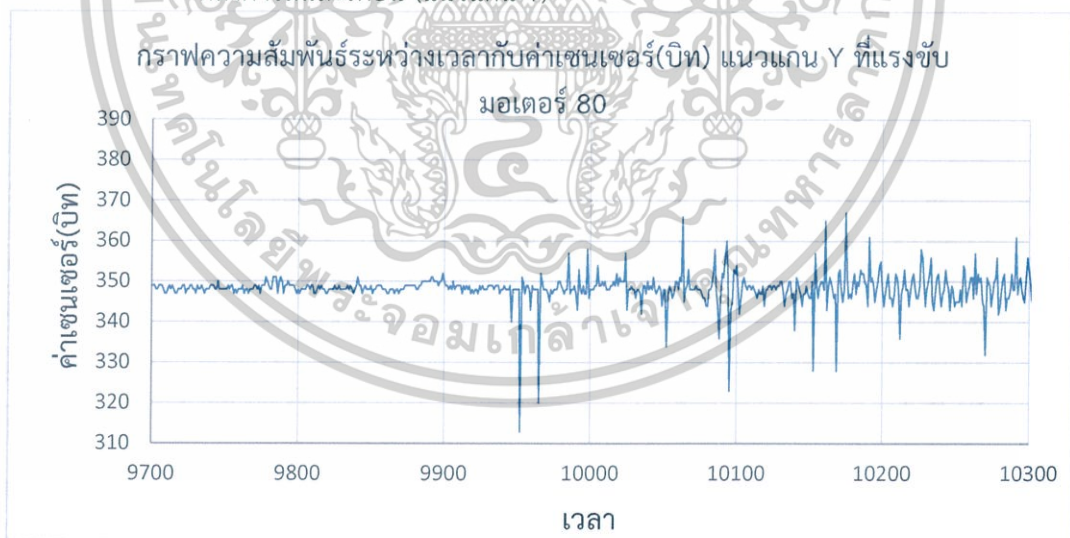
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.88 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Y)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.89 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.90 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Z)

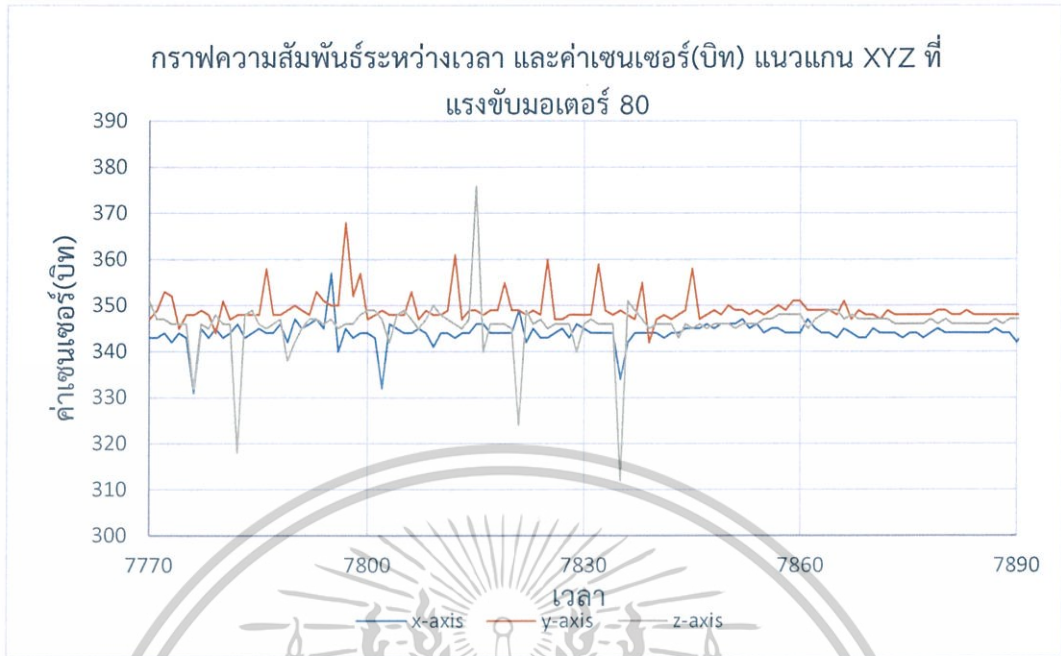
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.91 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Z)

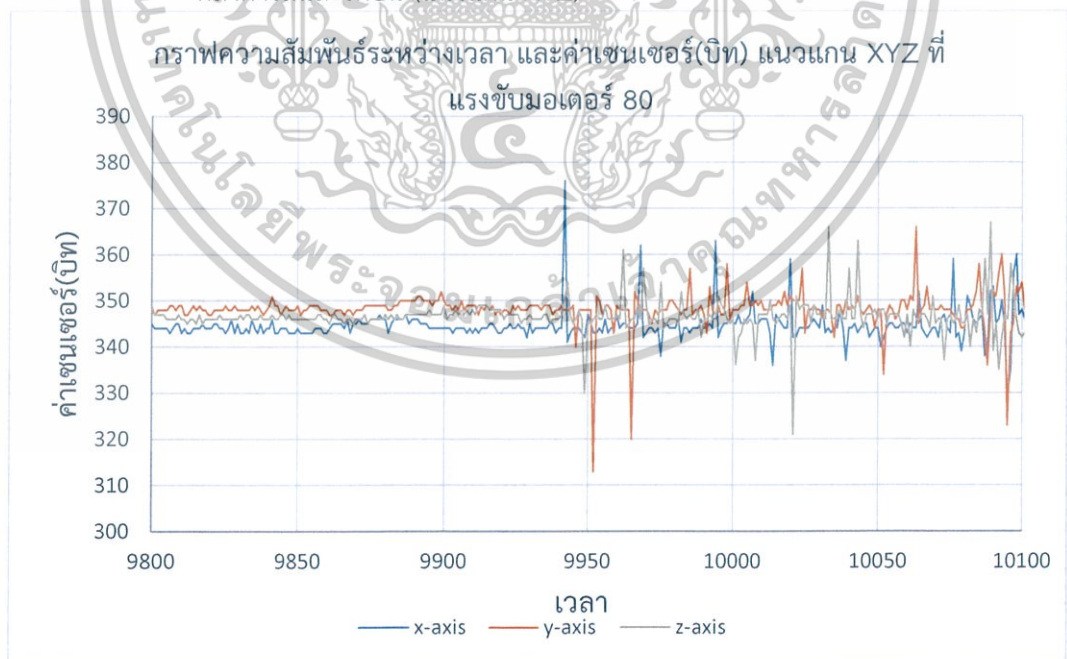
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



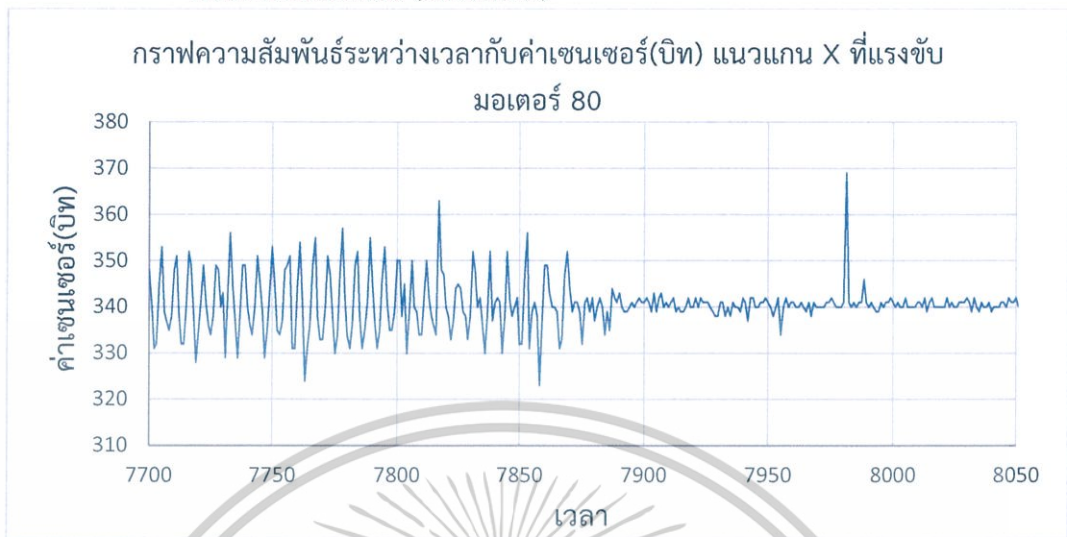
รูปที่ 4.92 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน XYZ)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



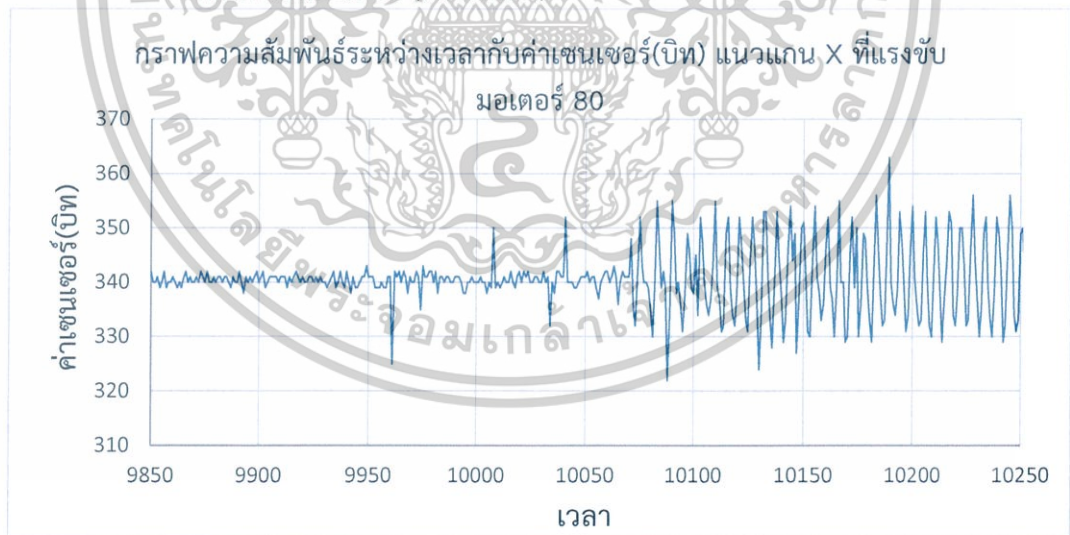
เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.93 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน XYZ) นี้ด้านการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบครั้งที่ 3
ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.94 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน X)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.95 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน X)

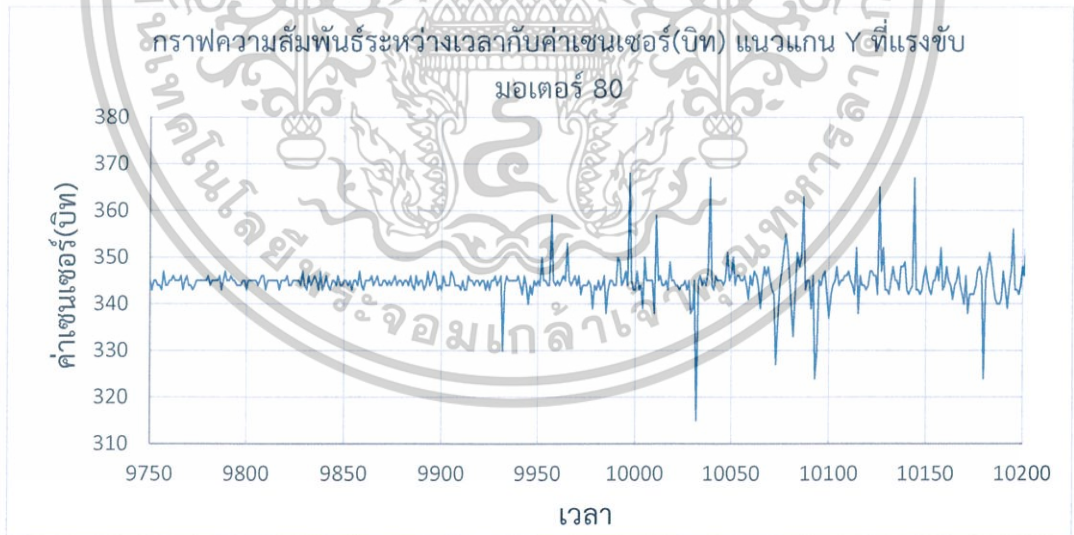
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.96 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Y)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.97 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Y)

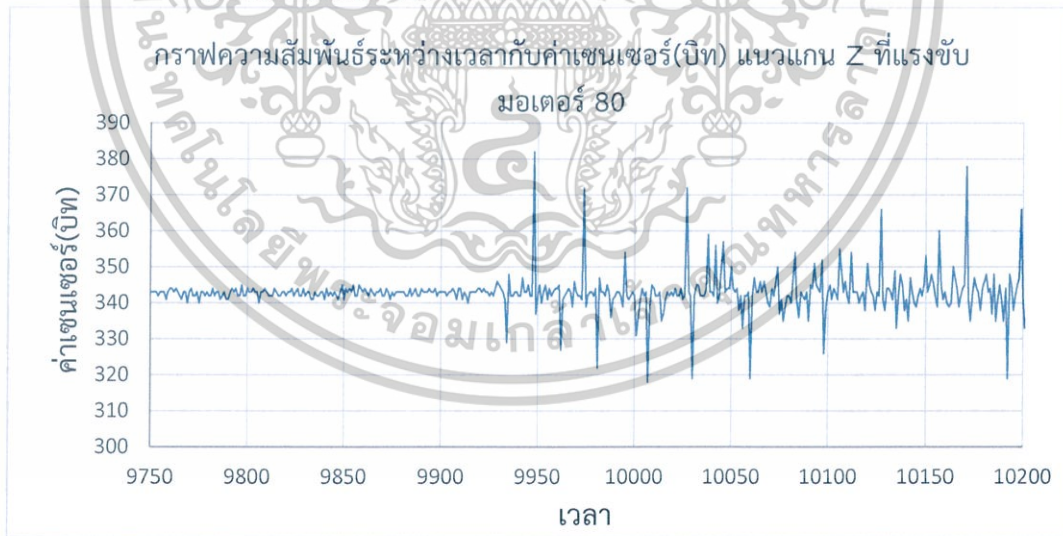
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.98 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Z)

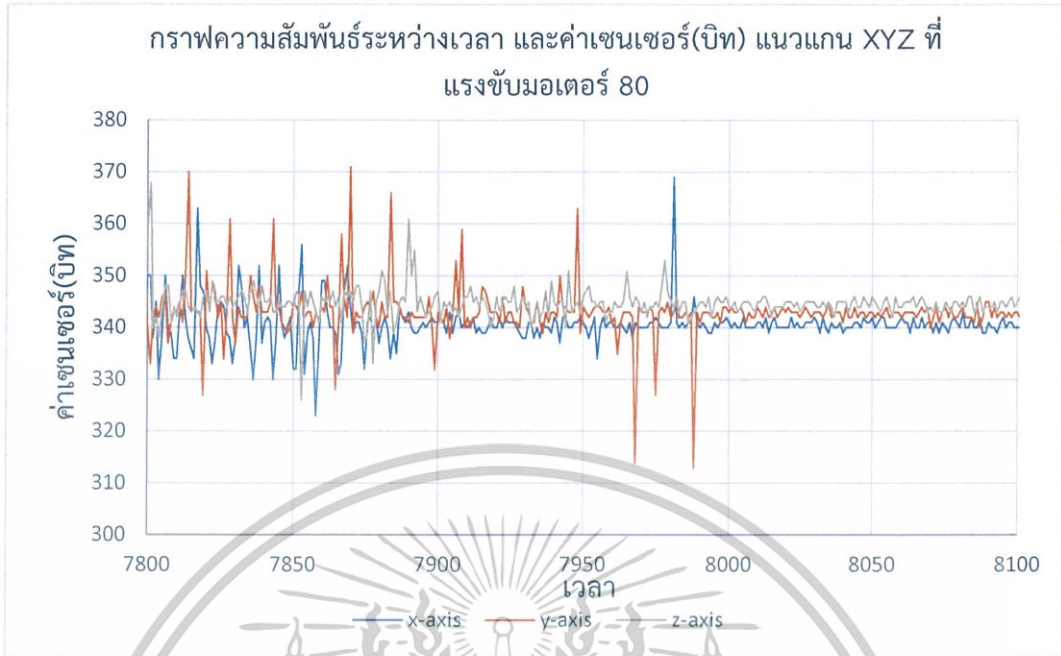
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.99 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Z)

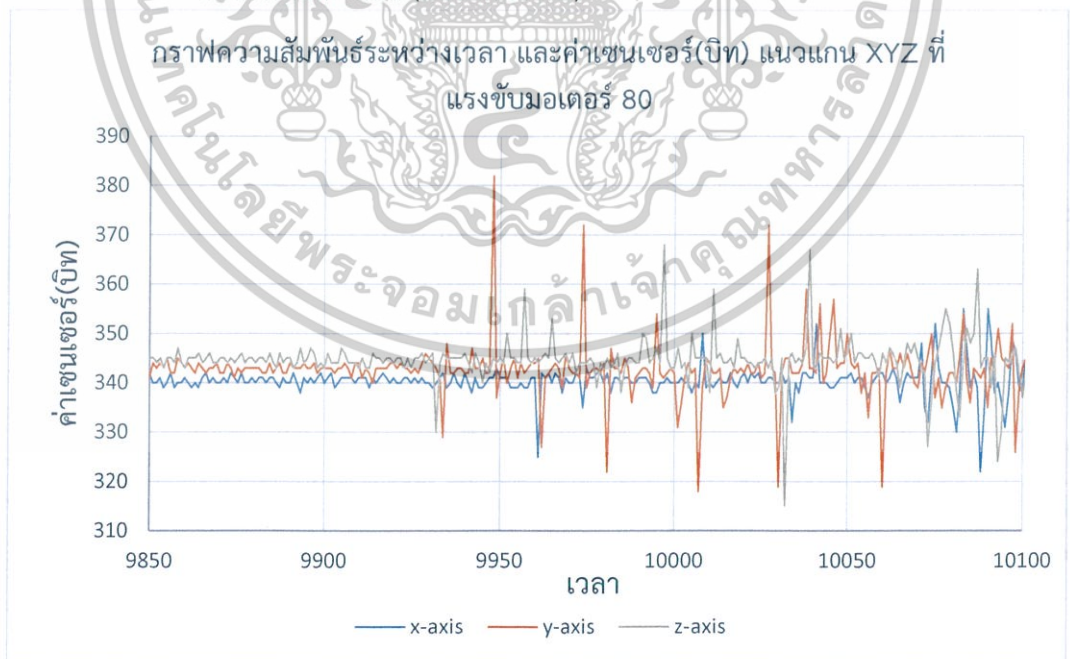
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.100 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน XYZ)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)

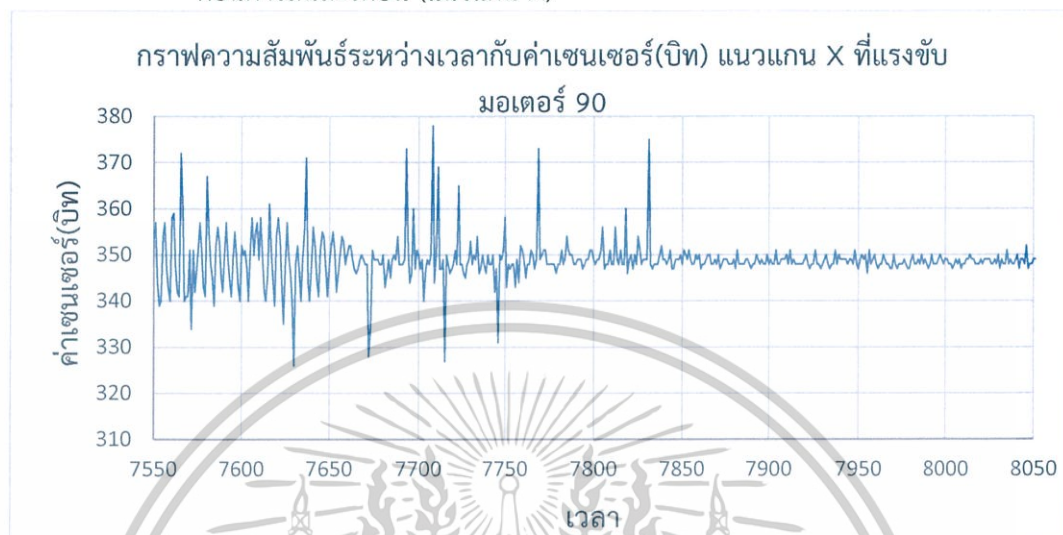


เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.101 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน XYZ) นี้ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 จากการทดสอบโดยขนาดแรงที่ใช้ขับมอเตอร์ 90 โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง โดยทำการวัดเซนเซอร์ทั้ง 3 แกน พร้อมกัน จะได้ดังนี้

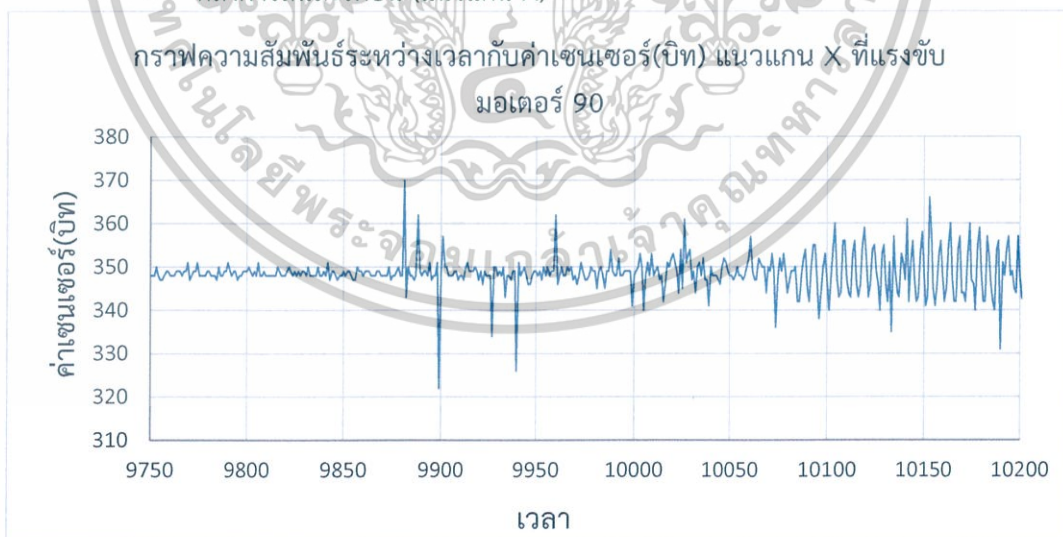
การทดสอบครั้งที่ 1

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.102 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน X)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.103 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน X)

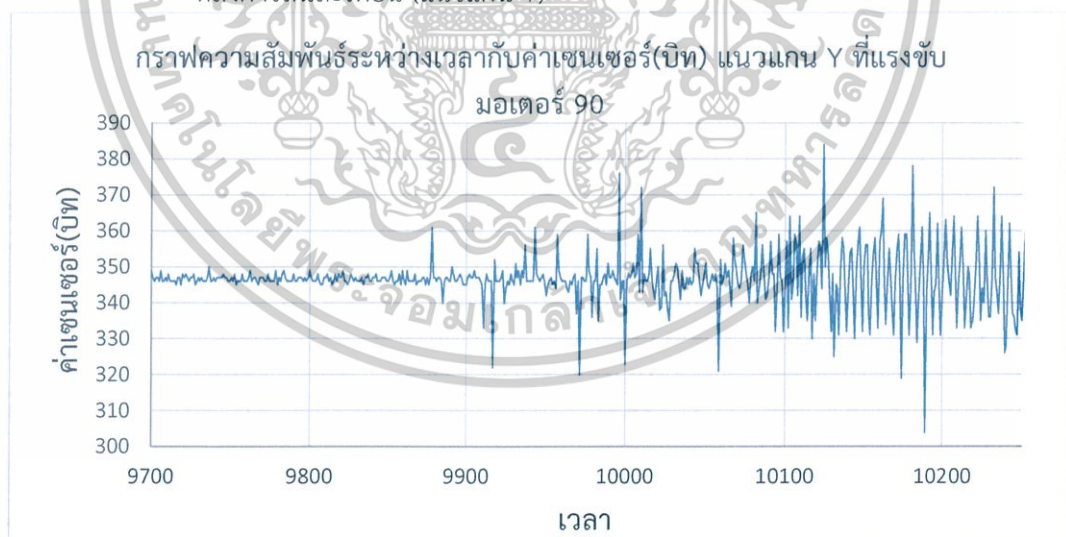
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั้นสะเทือน (แนวแกน Y)



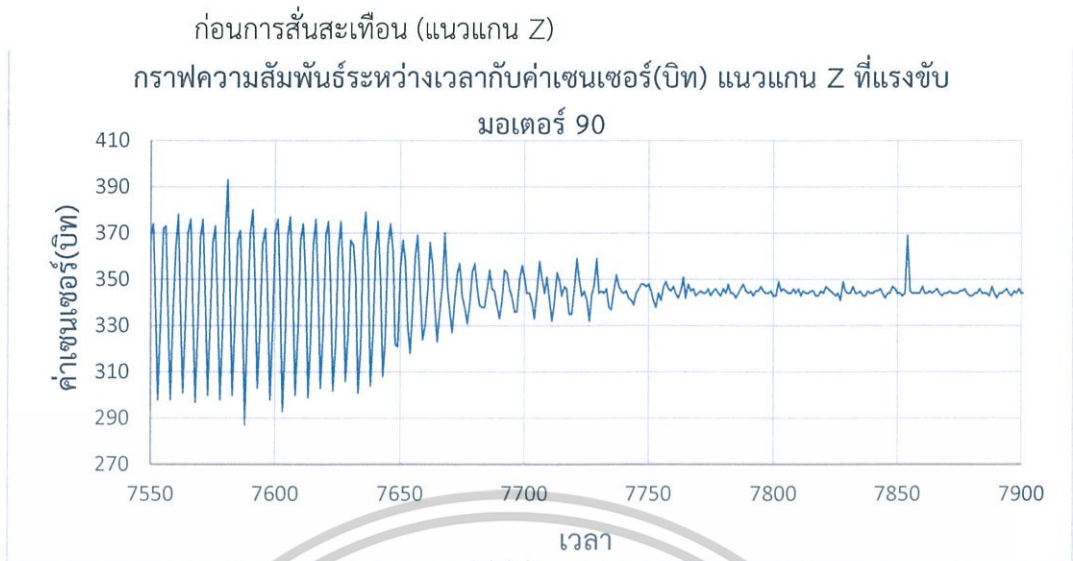
รูปที่ 4.104 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั้นสะเทือนก่อนการสั้น (แนวแกน Y)

หลังการสั้นสะเทือน (แนวแกน Y)

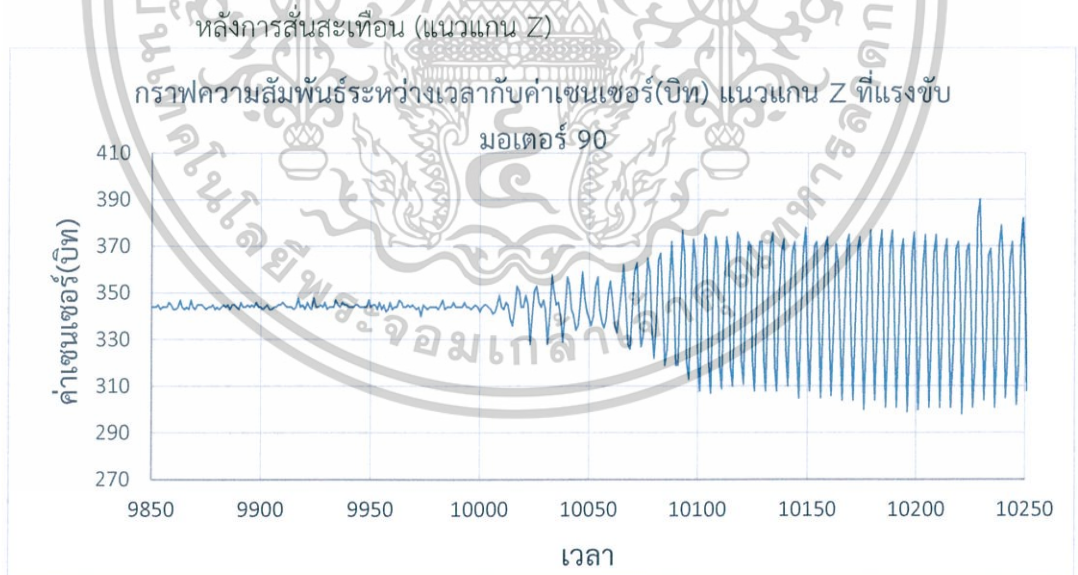


รูปที่ 4.105 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั้นสะเทือนหลังการสั้น (แนวแกน Y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

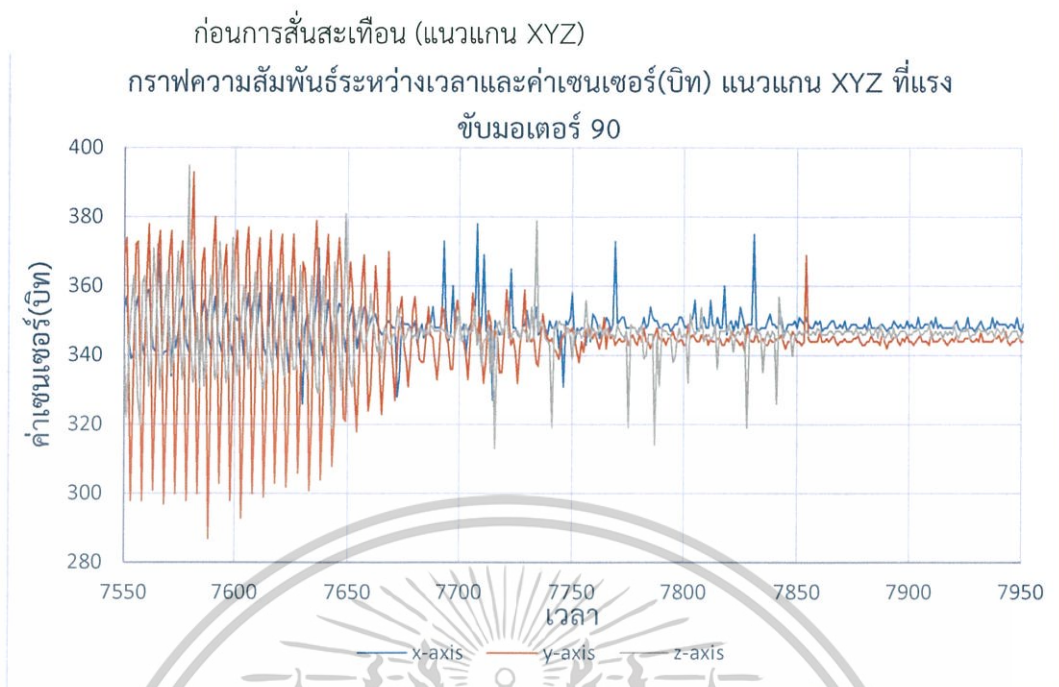


รูปที่ 4.106 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน Z)

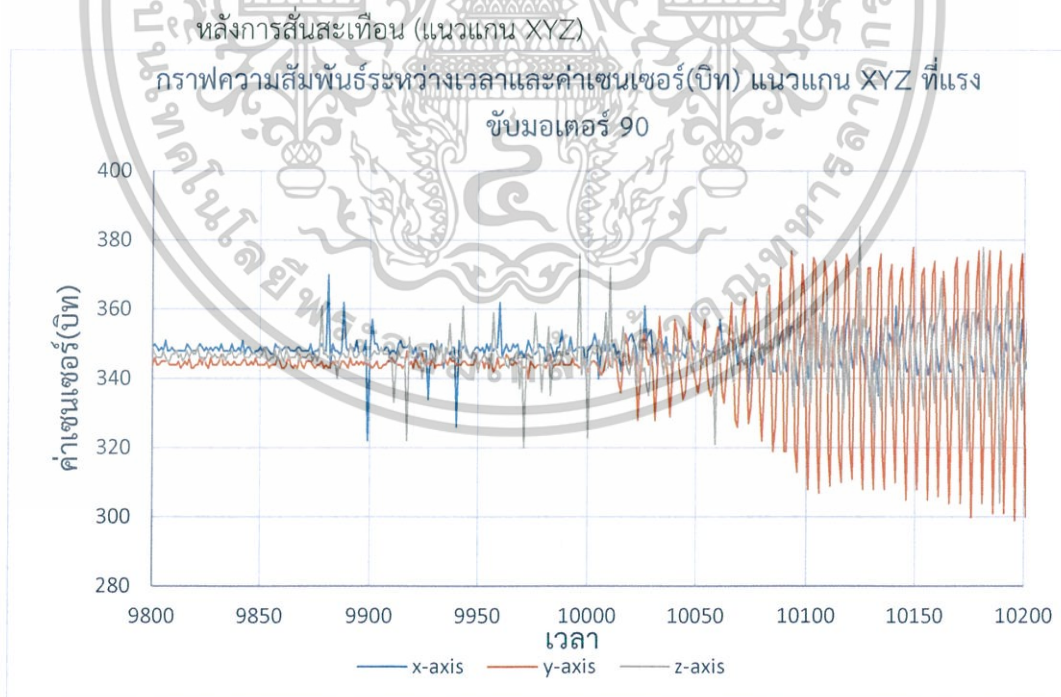


รูปที่ 4.107 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน Z)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



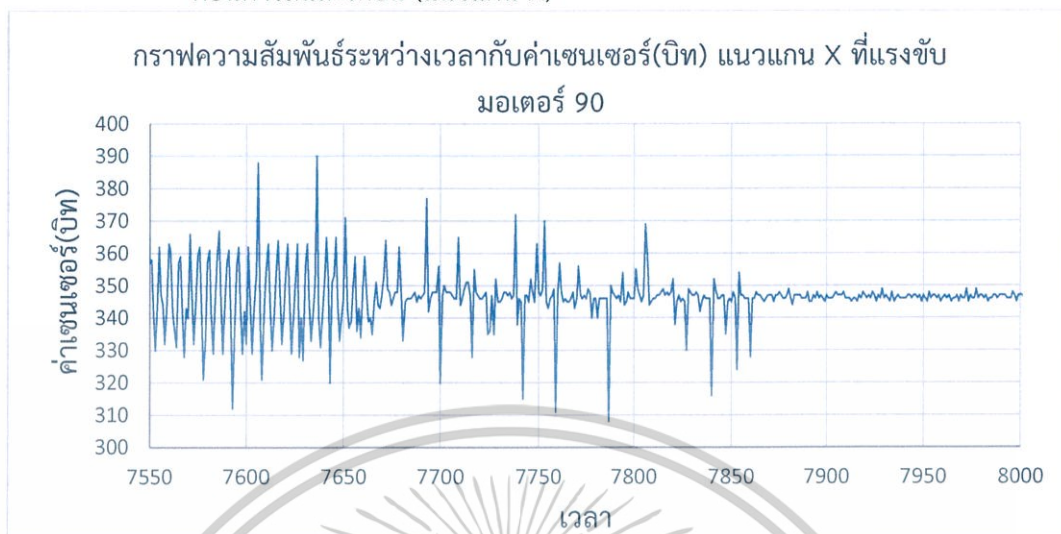
รูปที่ 4.108 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.109 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน XYZ)

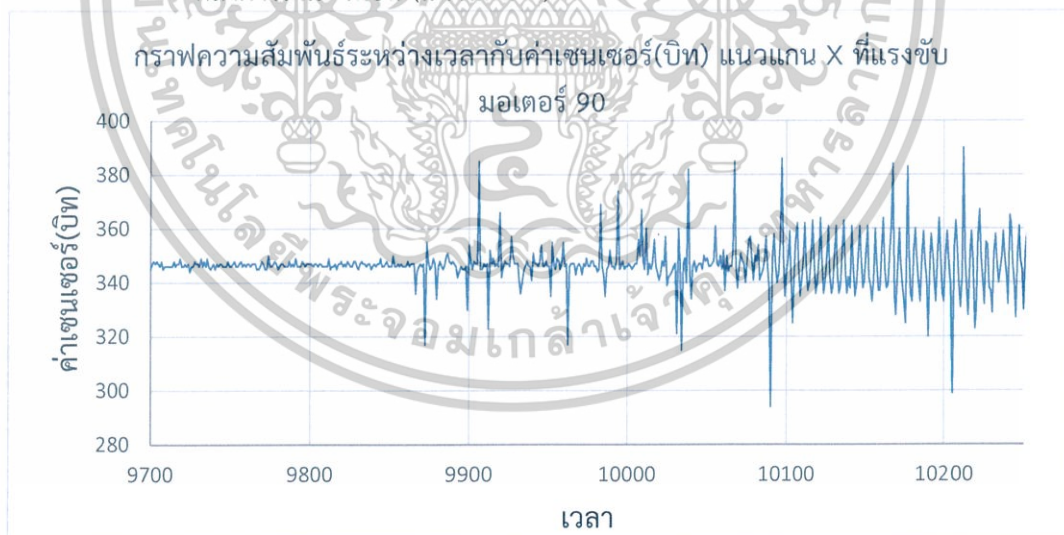
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบครั้งที่ 2
ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.110 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน X)

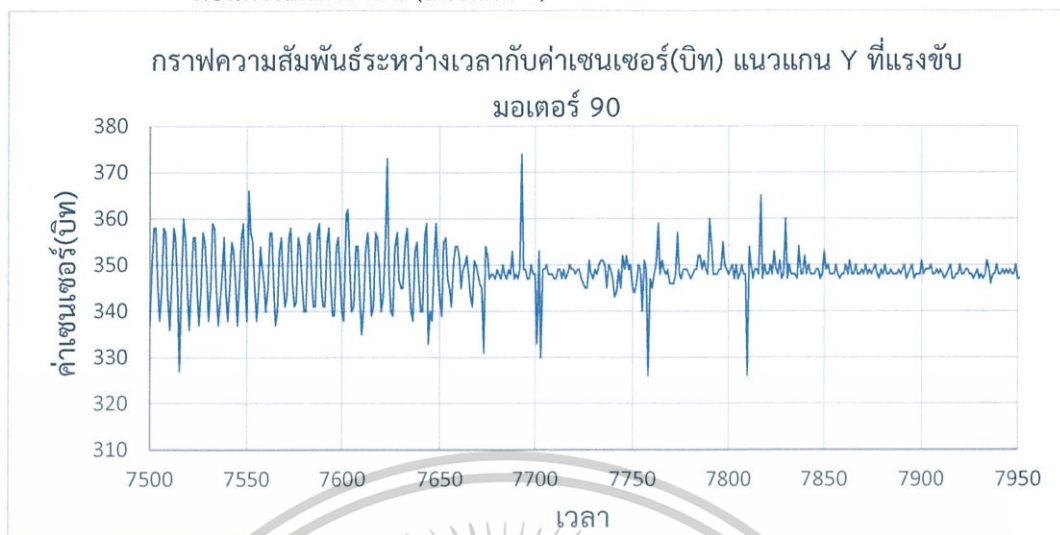
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.111 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน X)

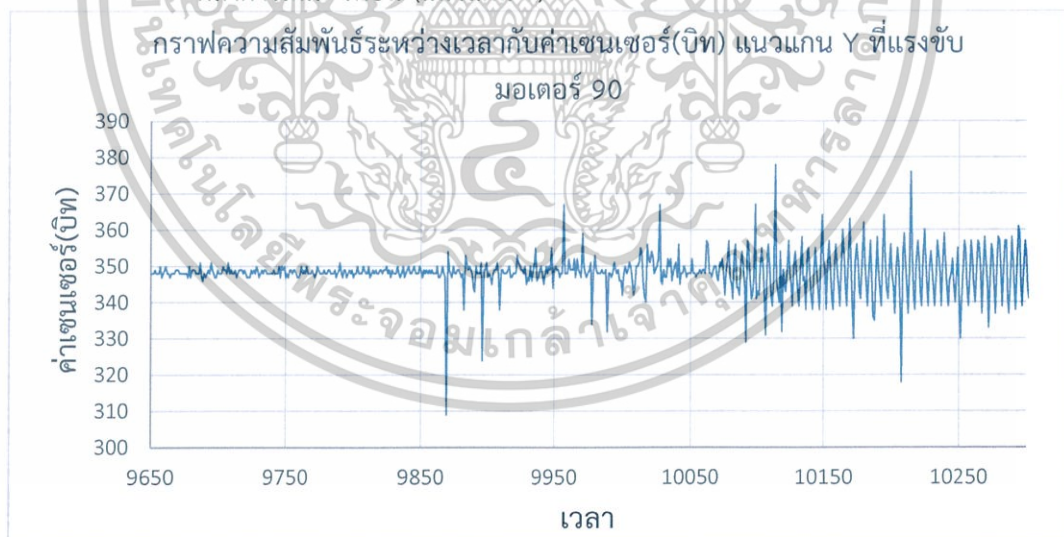
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.112 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Y)

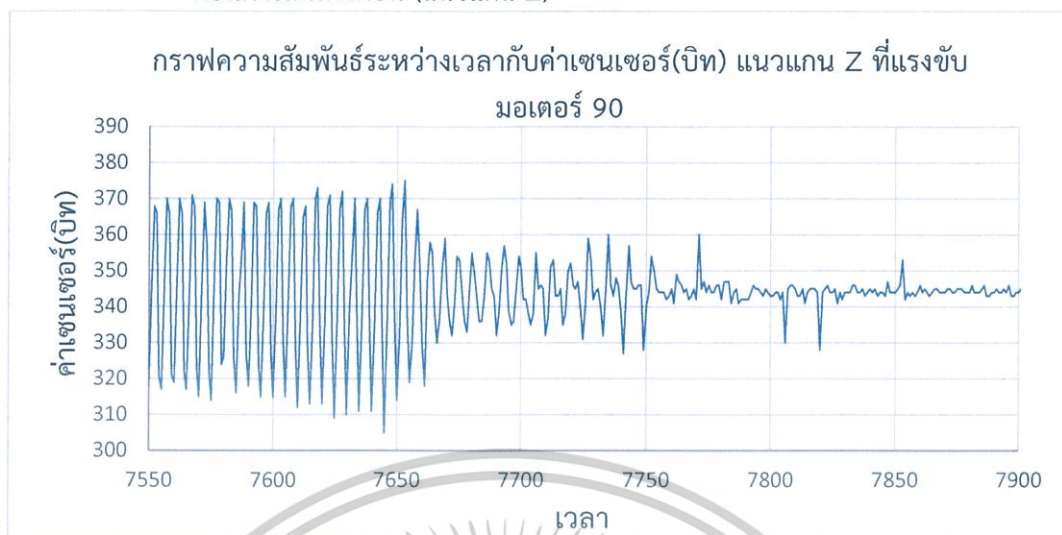
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.113 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Y)

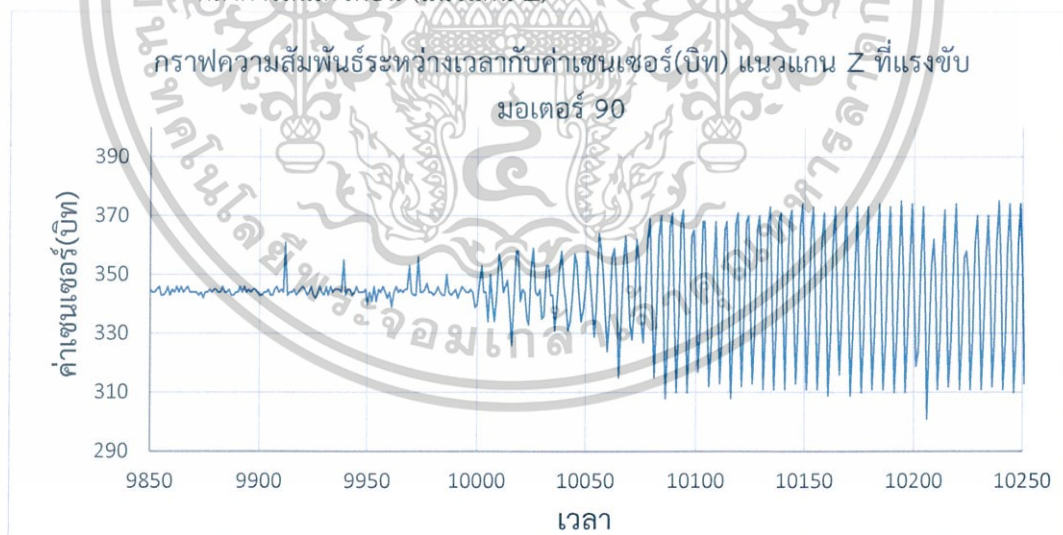
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.114 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน Z)

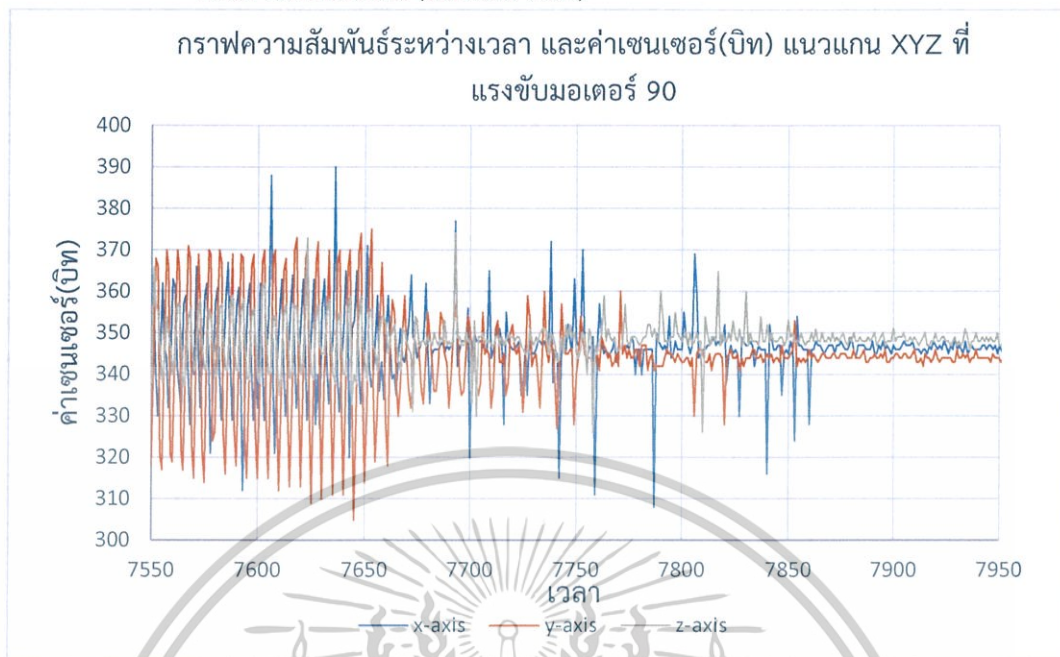
หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.115 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน Z)

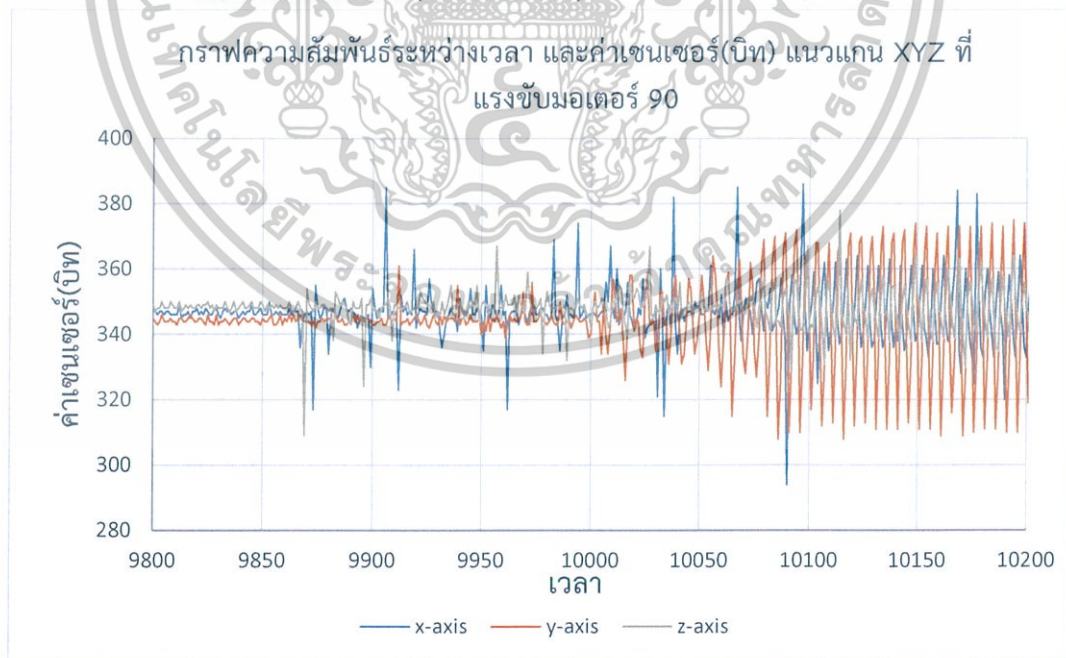
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.116 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน XYZ)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.117 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน XYZ)นี้ด้านการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

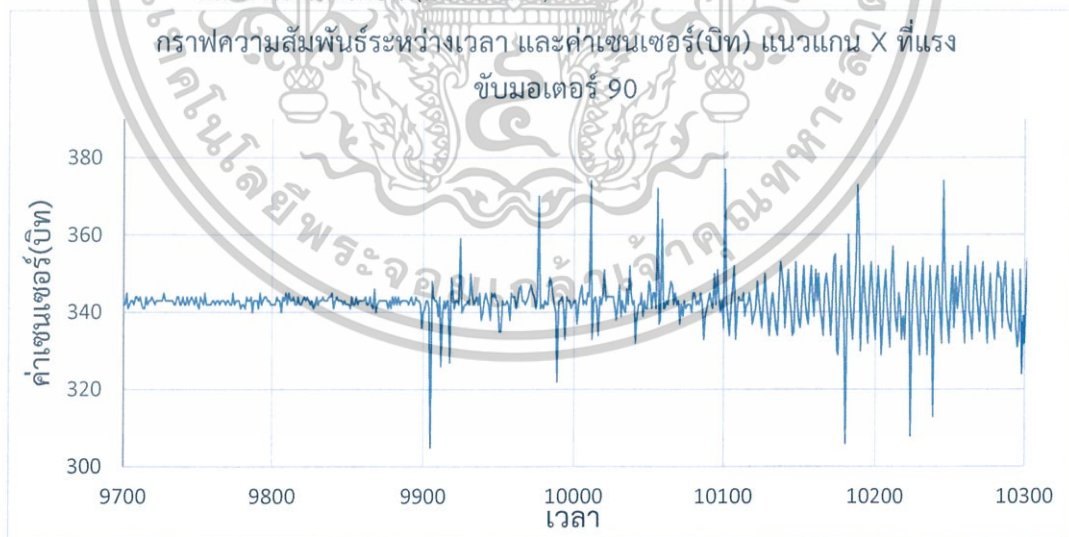
การทดสอบครั้งที่ 3

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.118 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน X)

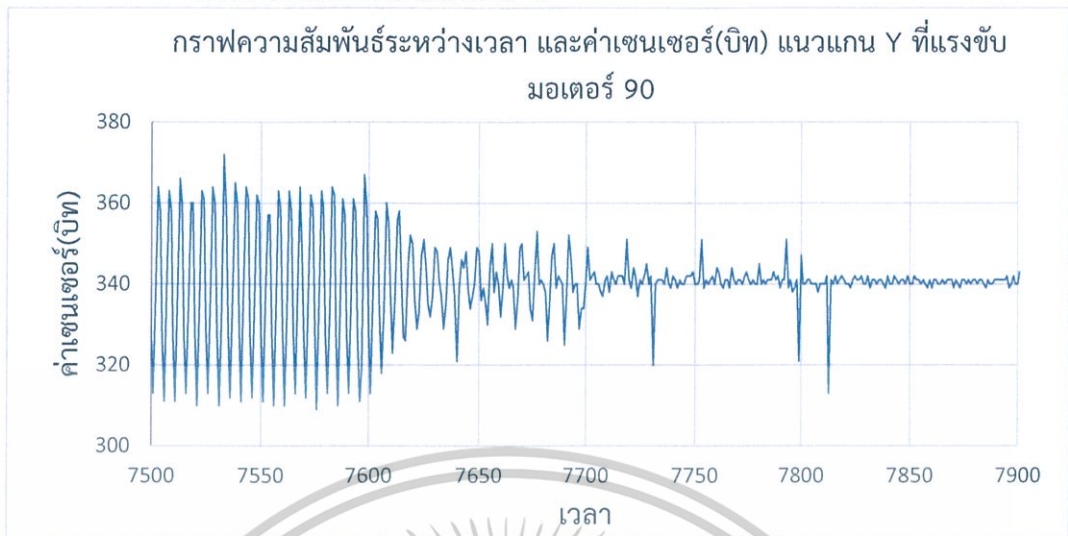
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.119 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน X)

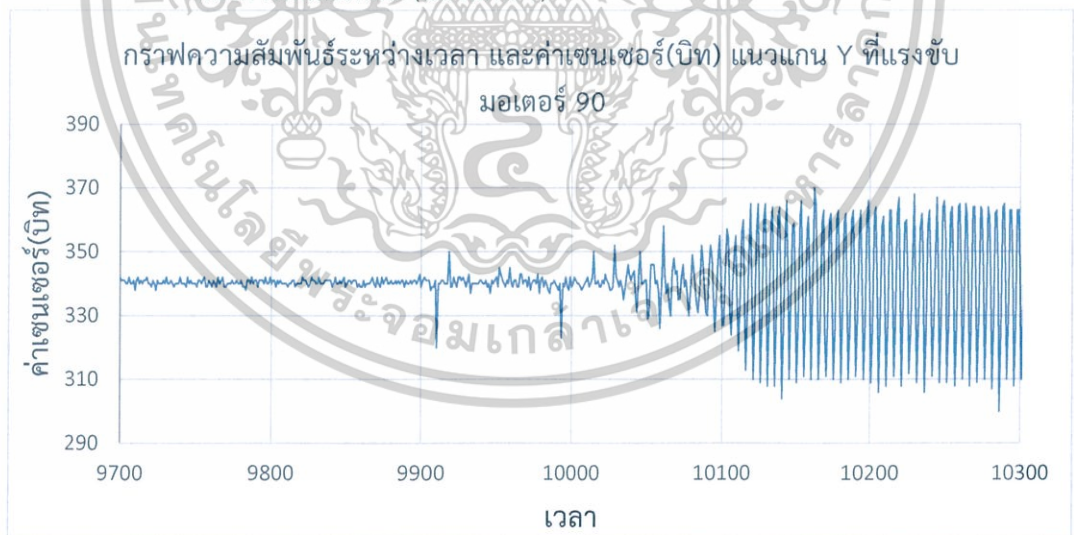
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั้นสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.120 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั้นสะเทือนก่อนการสั้น (แนวแกน Y)

หลังการสั้นสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.121 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั้นสะเทือนหลังการสั้น (แนวแกน Y)

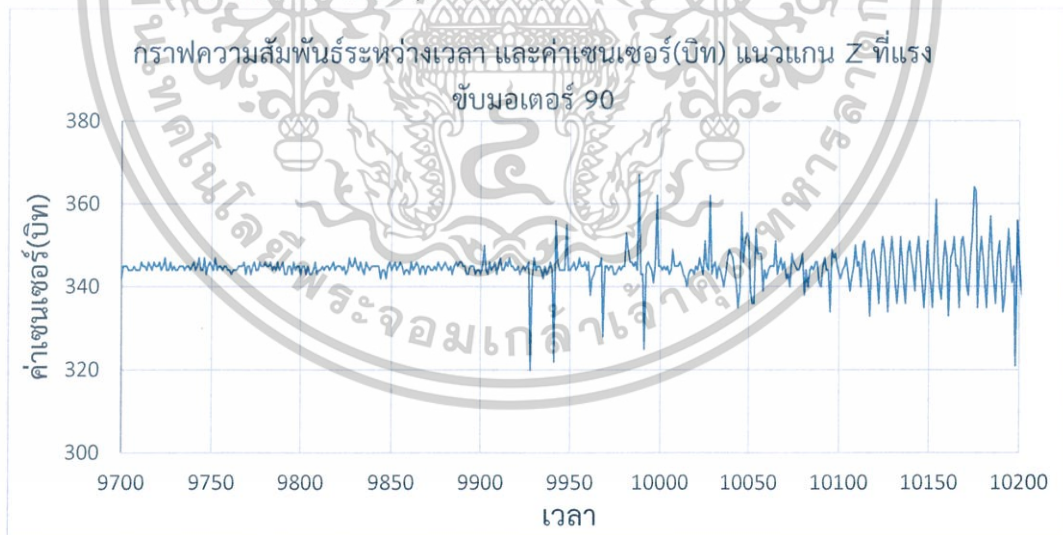
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.122 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน Z)

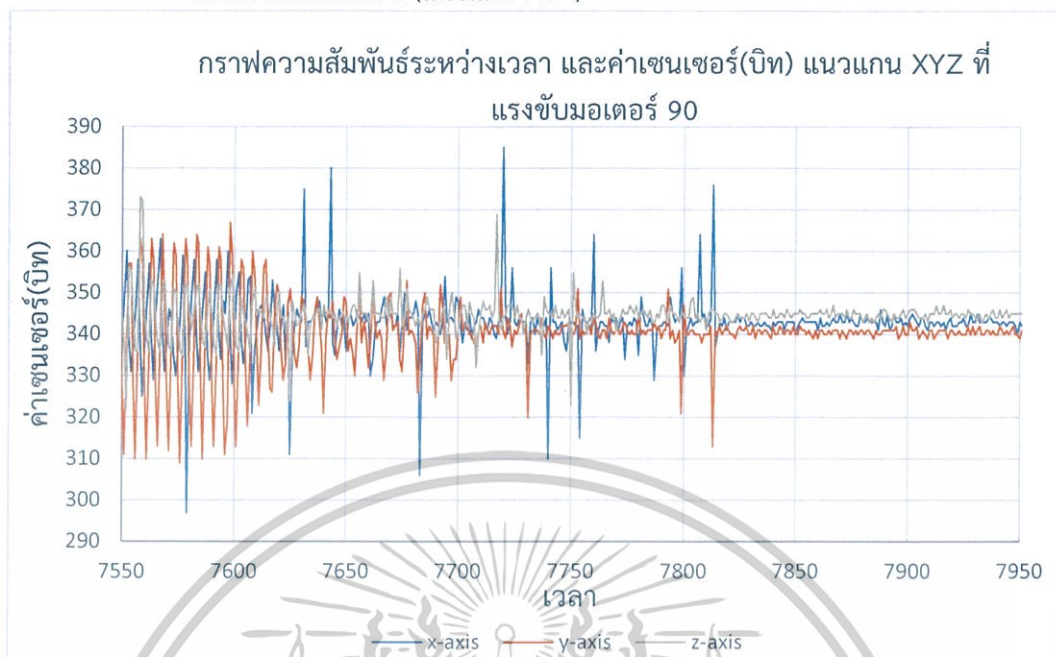
หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.123 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน Z)

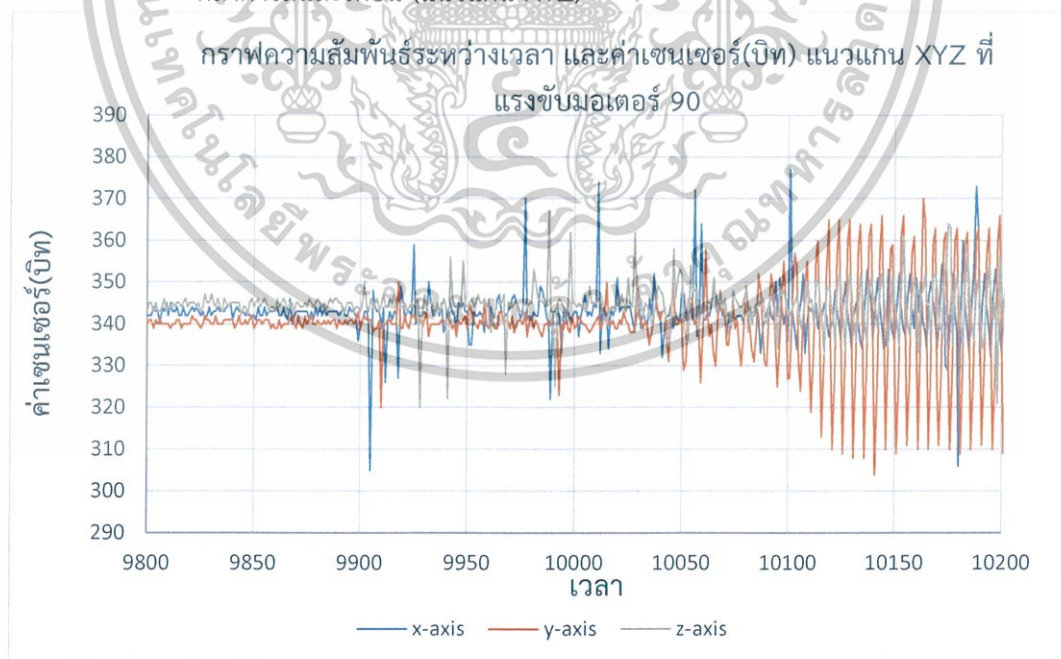
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.124 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน XYZ)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)

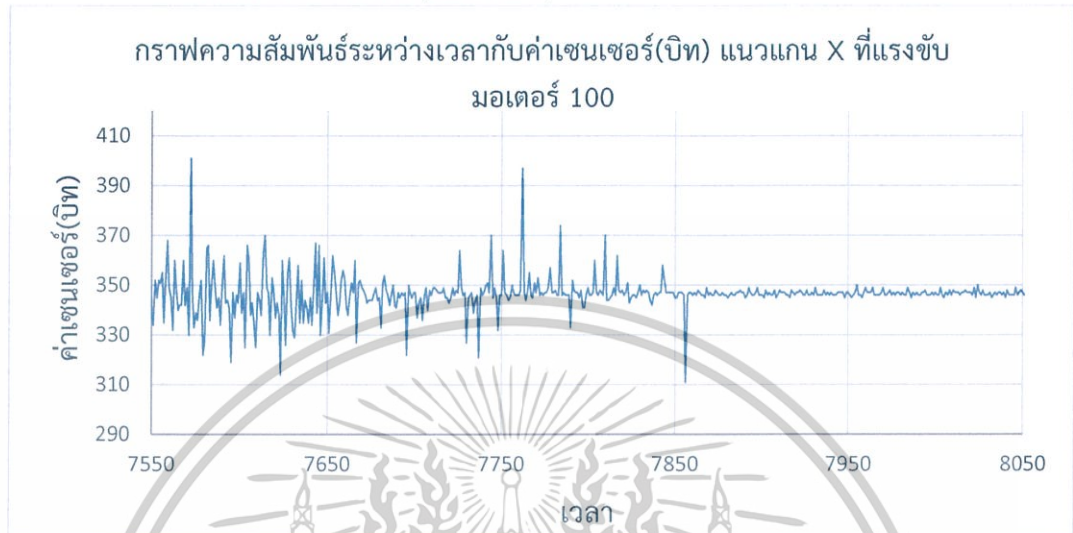


เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.125 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน XYZ) นี้ด้านการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 จากการทดสอบโดยขนาดแรงที่ใช้ขับมอเตอร์ 100 โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง โดยทำการวัดเซนเซอร์ทั้ง 3 แกน พร้อมกัน จะได้ดังนี้

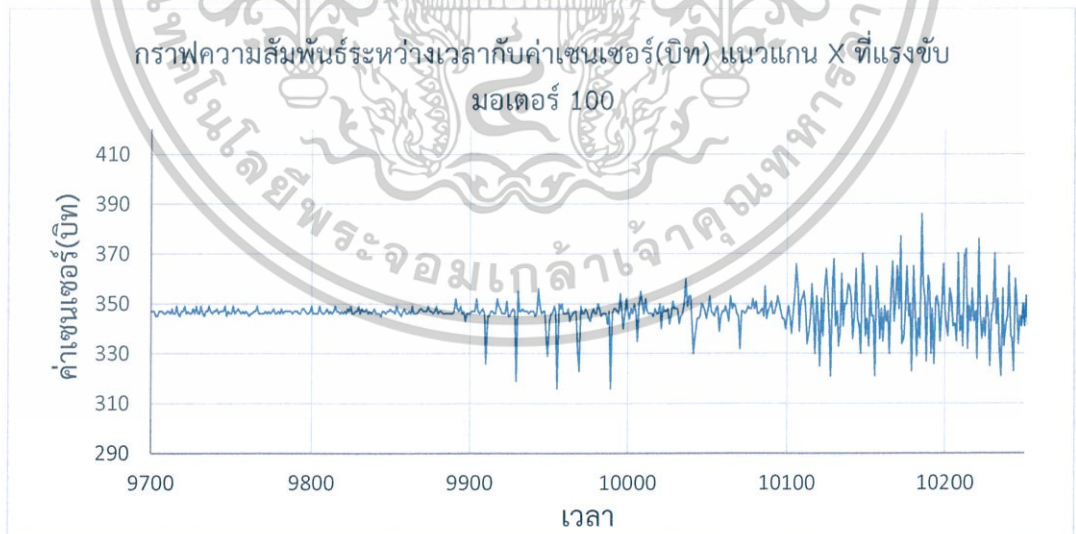
การทดสอบครั้งที่ 1

ก่อนการสิ้นสะท้อน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.126 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสิ้นสะท้อนก่อนการสิ้น (แนวแกน X)

หลังการสิ้นสะท้อน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.127 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสิ้นสะท้อนหลังการสิ้น (แนวแกน X)

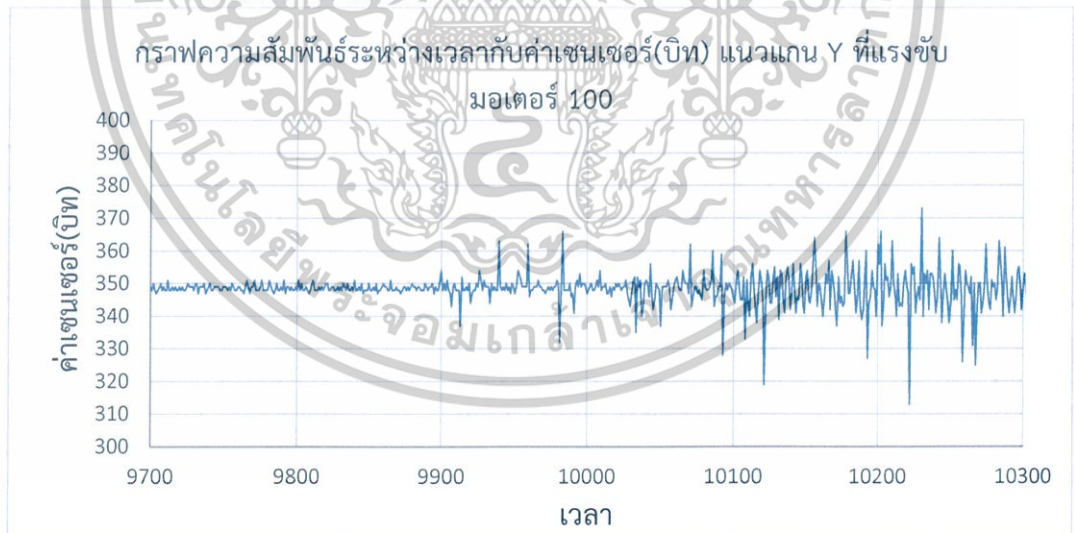
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.128 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Y)

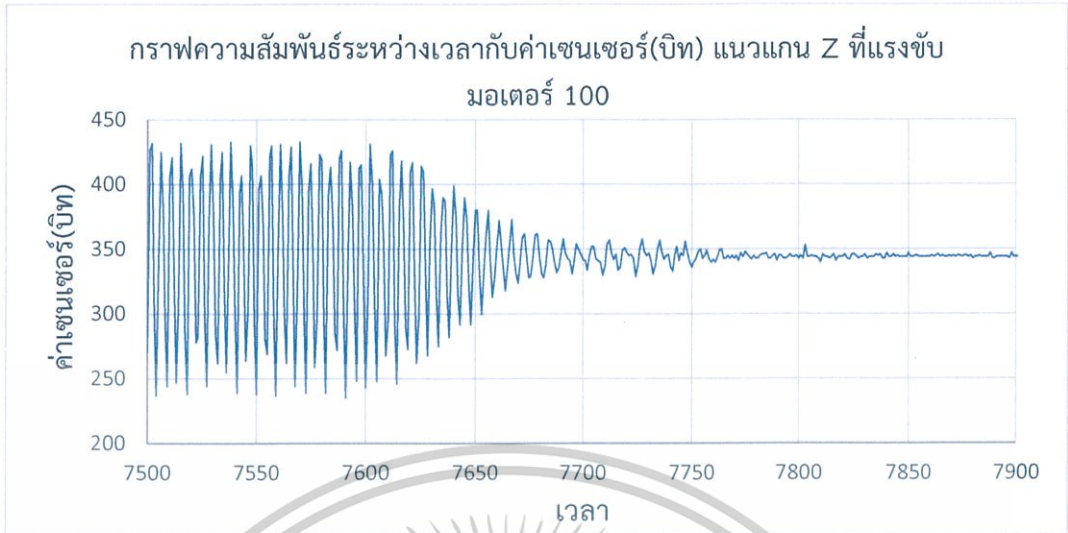
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.129 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.130 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน Z)

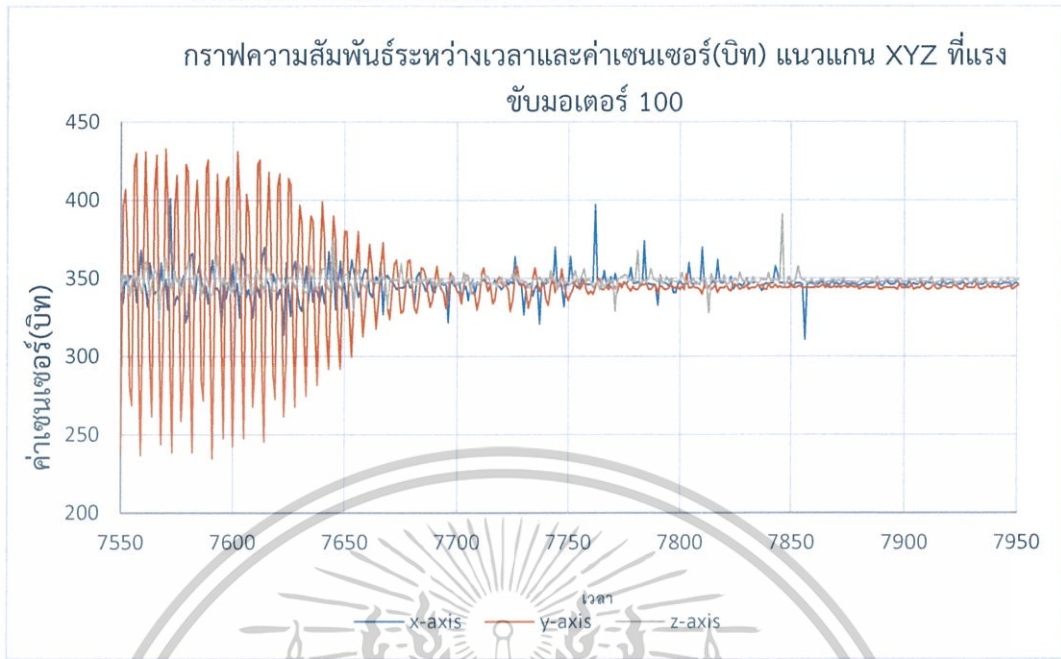
หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.131 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน Z)

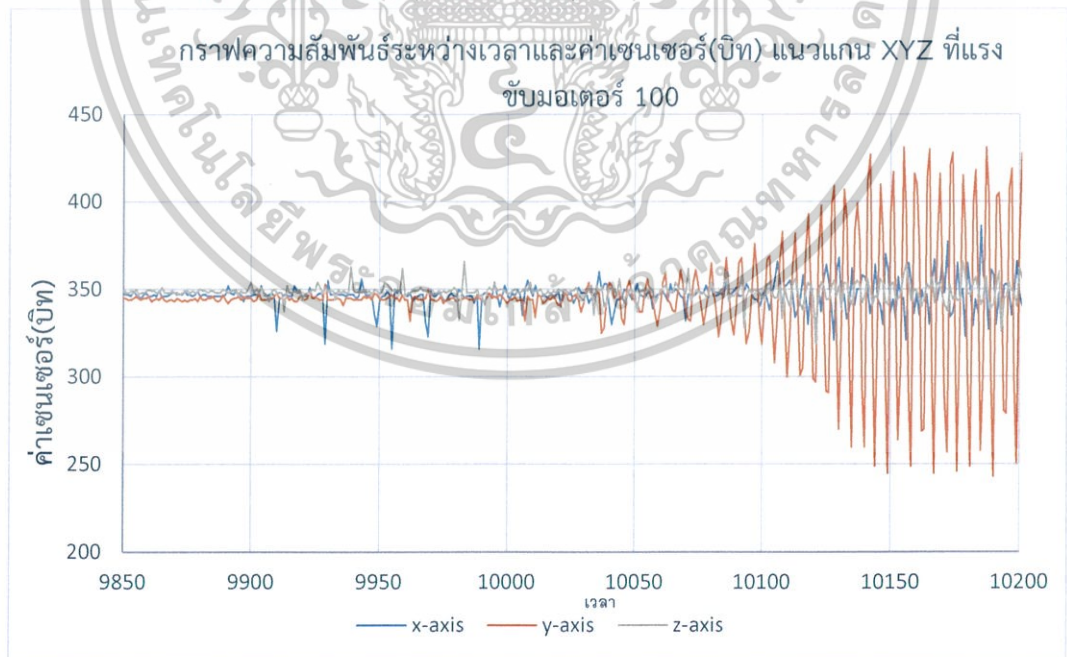
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.132 ลักษณะเซนเซอร์ที่ไว้วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน XYZ)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.133 ลักษณะเซนเซอร์ที่ไว้วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน XYZ) นี้ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

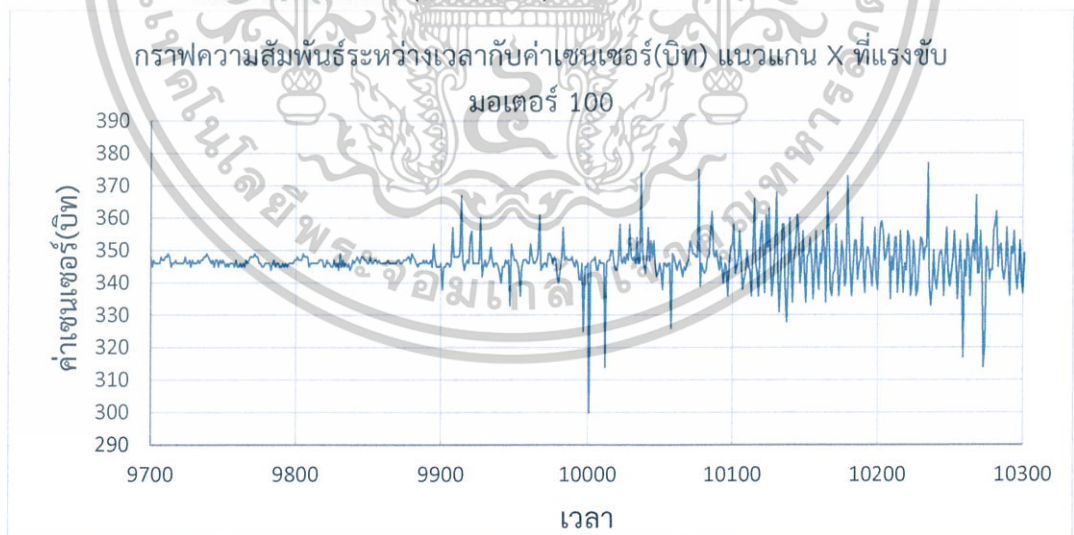
ทดสอบครั้งที่ 2

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.134 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน X)

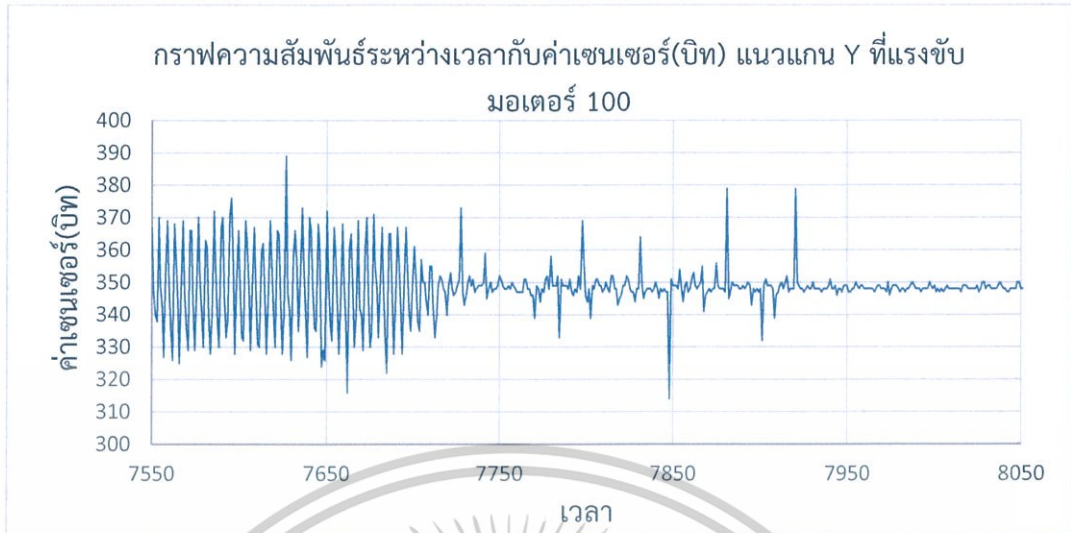
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.135 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน X)

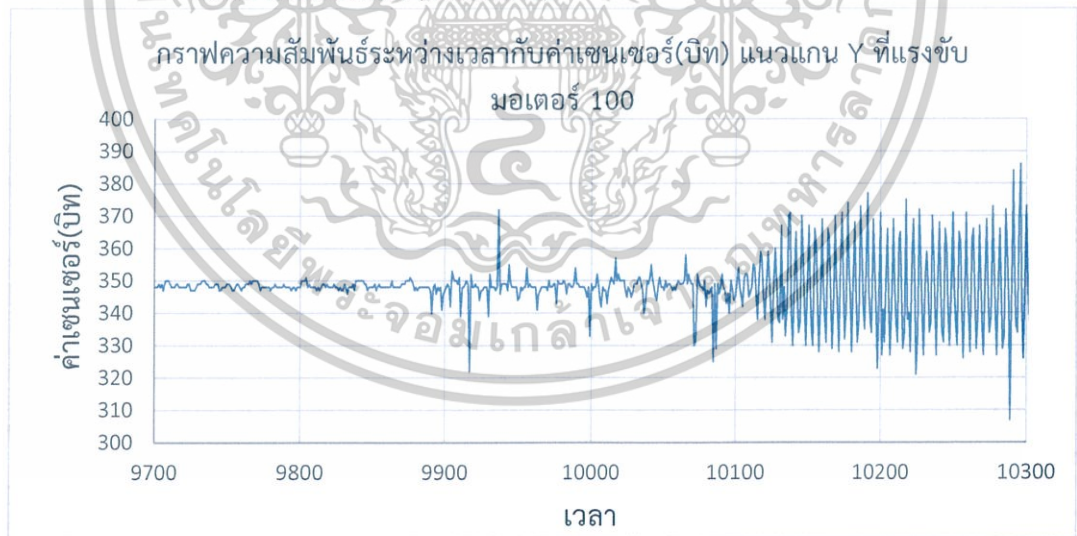
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.136 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Y)

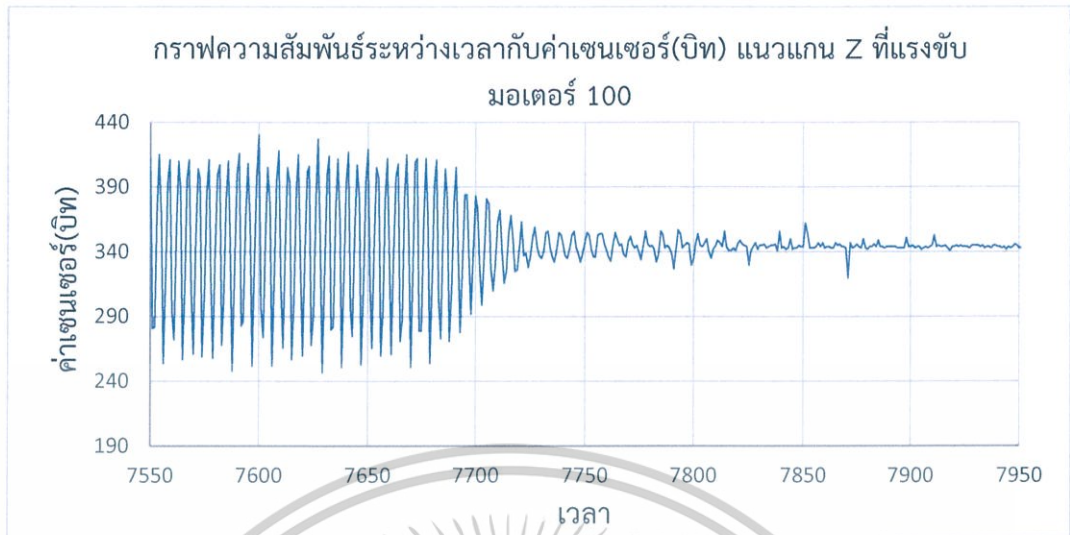
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.137 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Y)

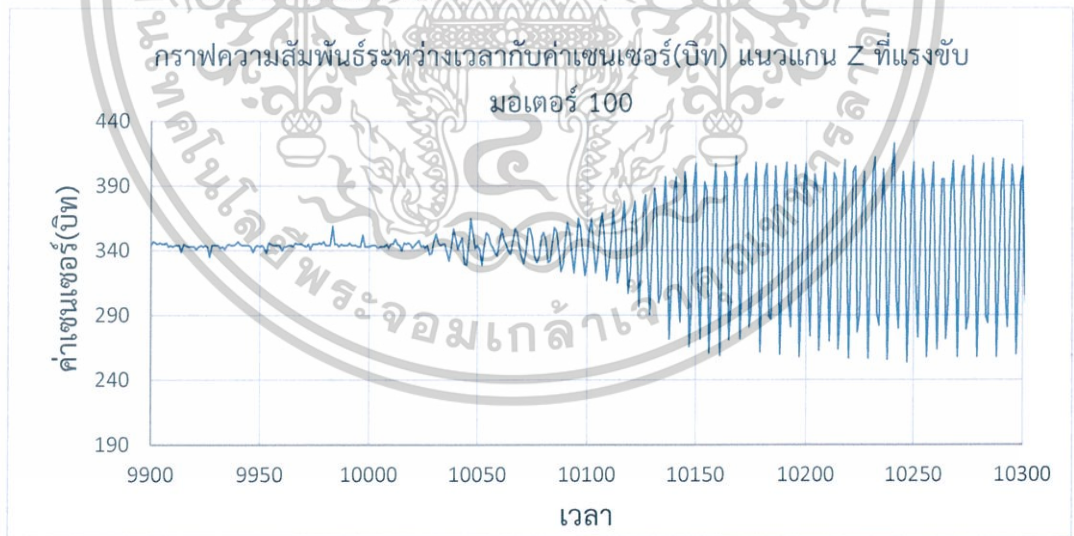
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.138 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน Z)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.139 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน Z)

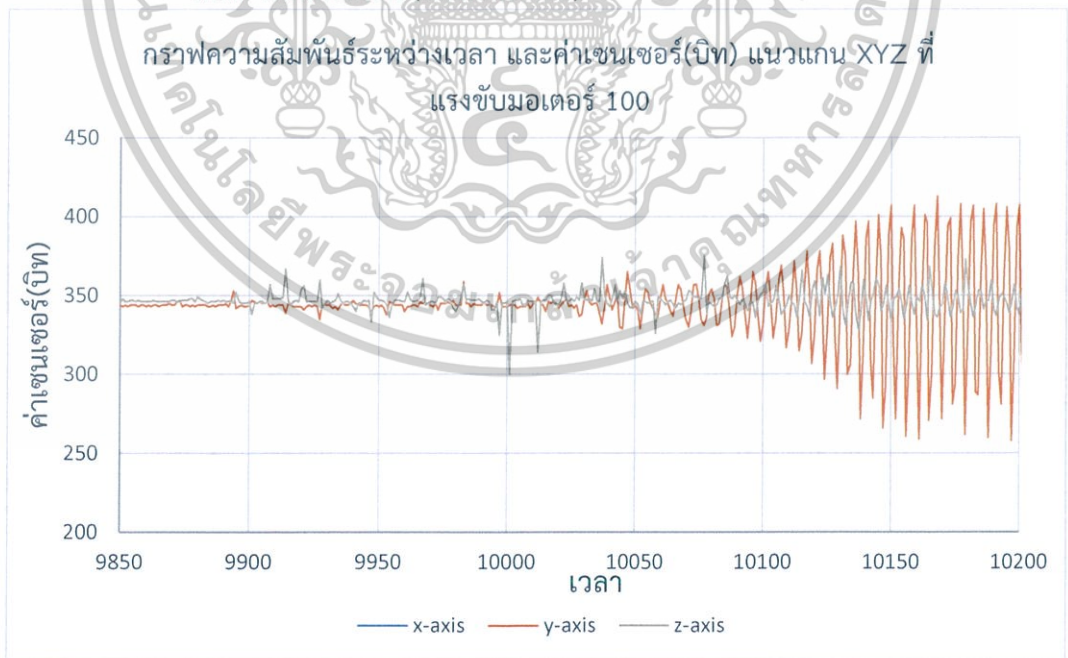
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



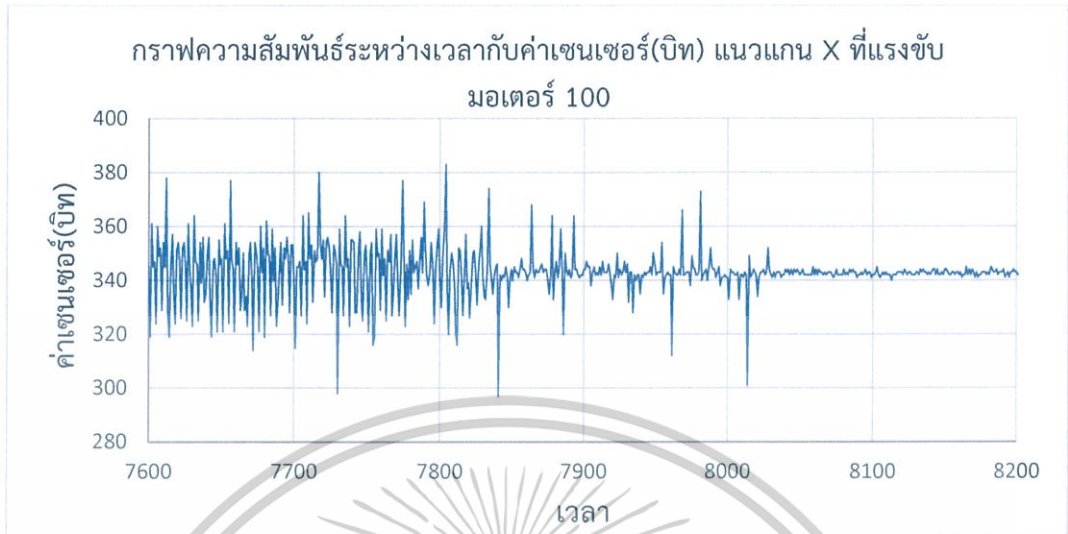
รูปที่ 4.140 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน XYZ)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)

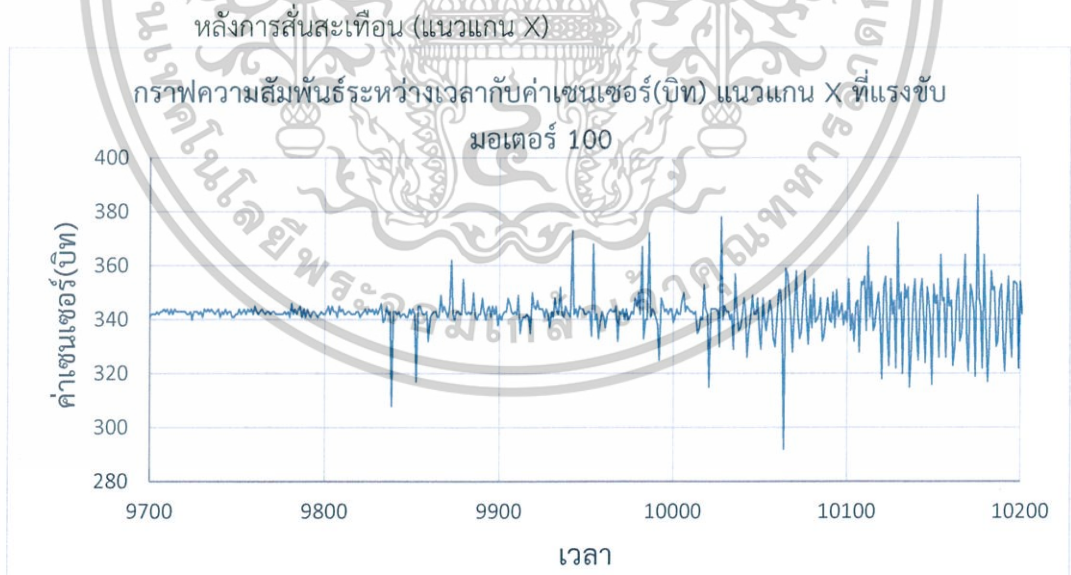


เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.141 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน XYZ) นี้ด้านการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบครั้งที่ 3
ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน X)



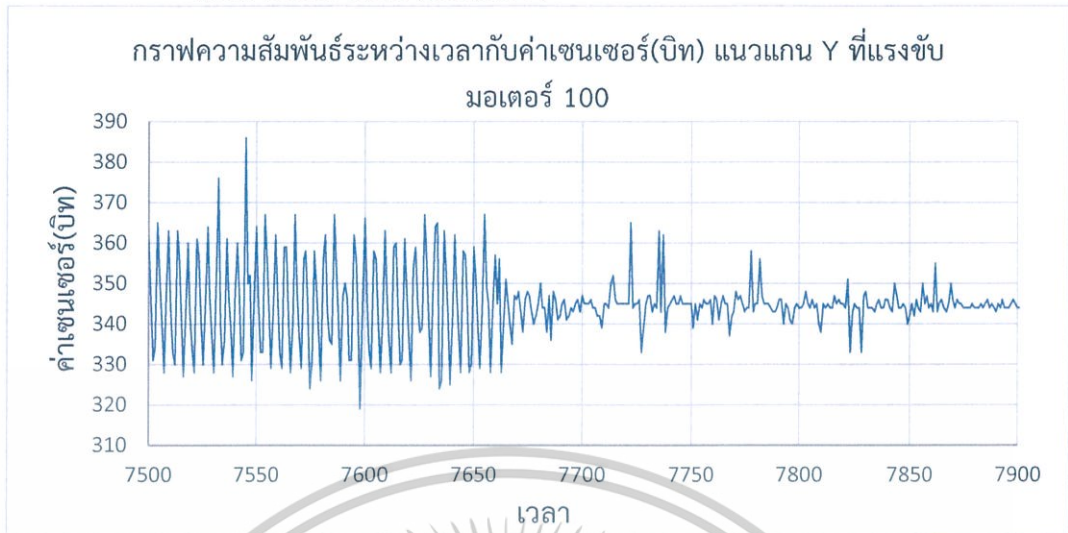
รูปที่ 4.142 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.143 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน X)

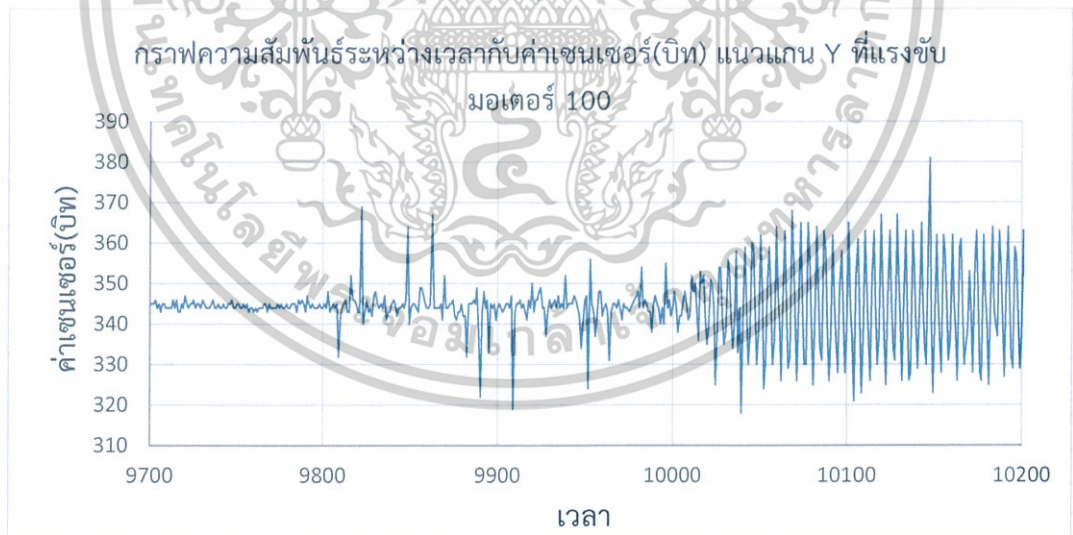
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.144 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Y)

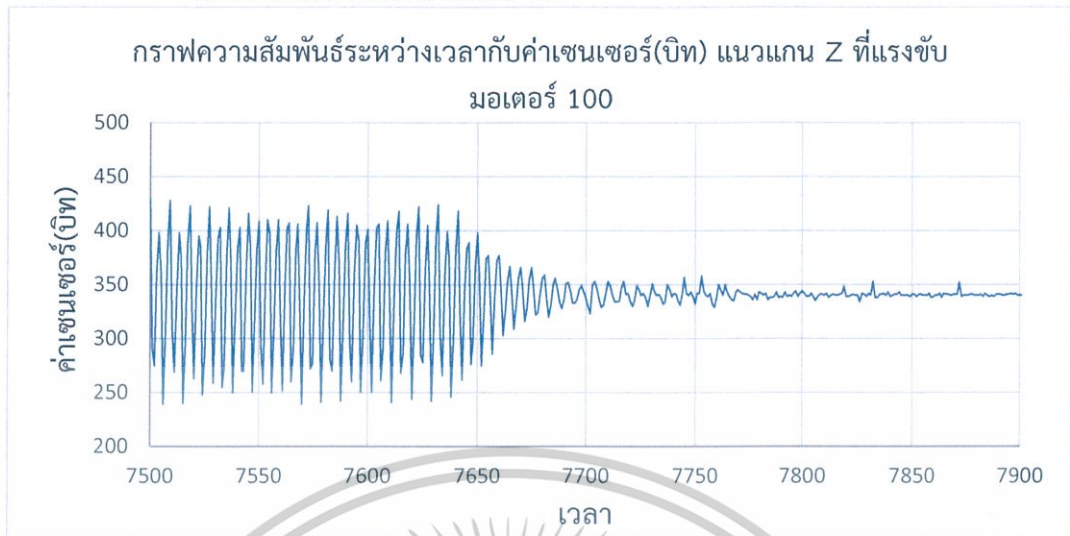
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.145 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Y)

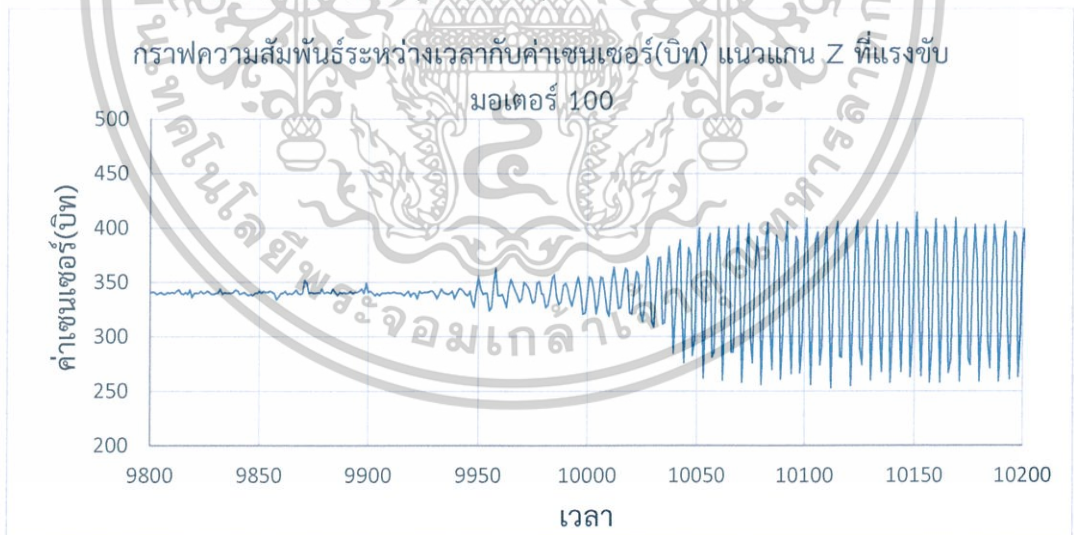
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.146 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน Z)

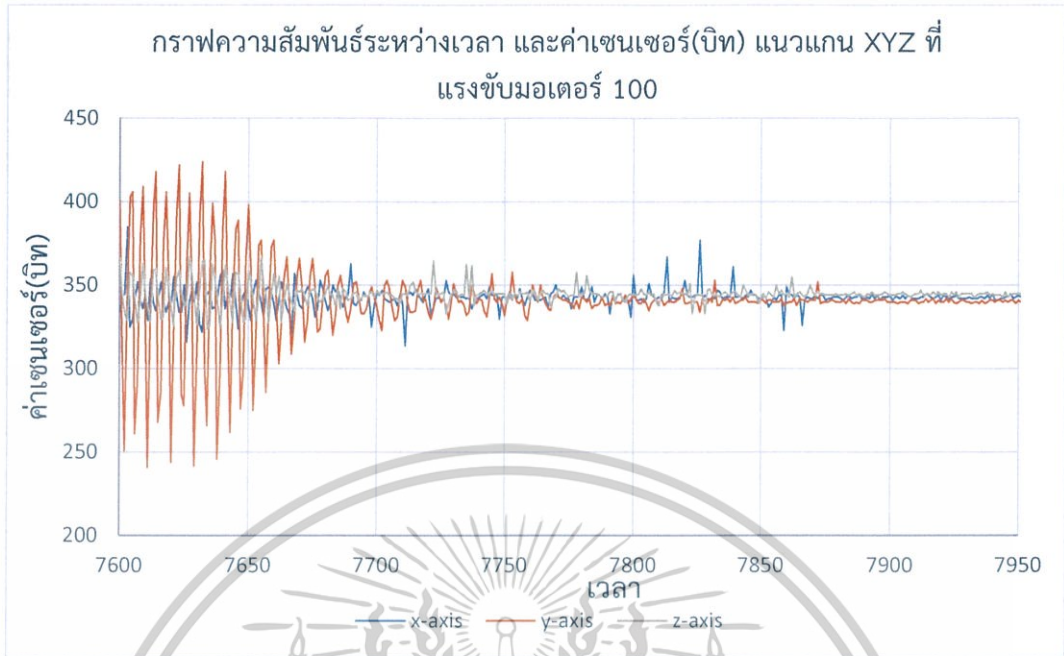
หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.147 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน Z)

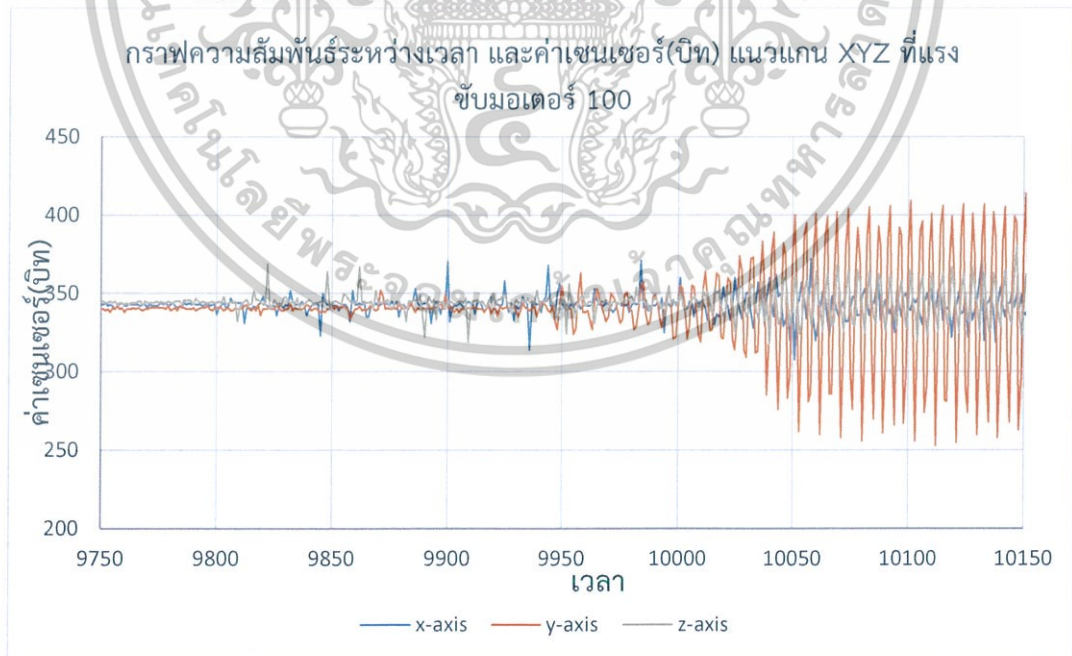
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.148 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน XYZ)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)

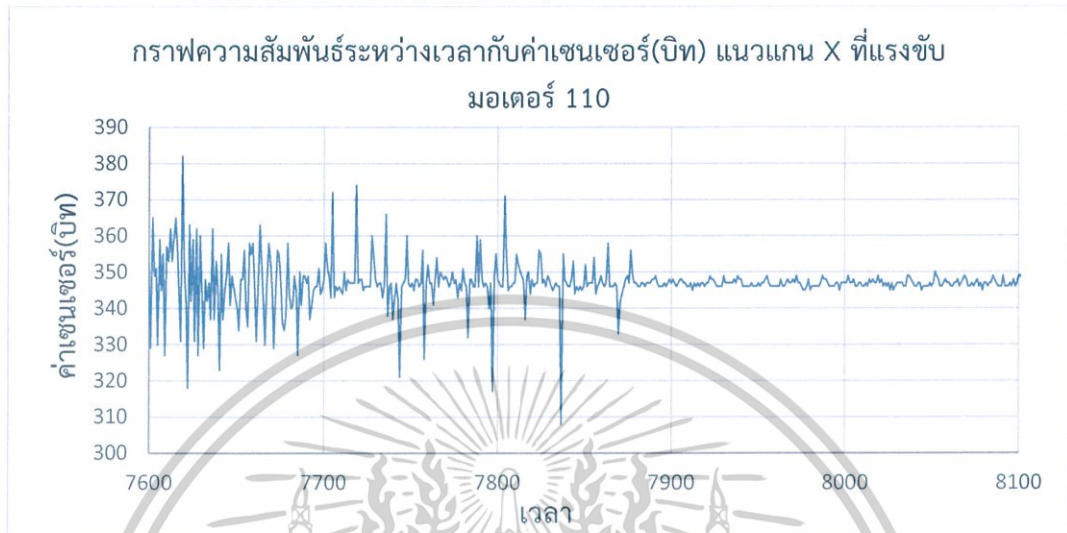


เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.149 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน XYZ) นี้ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.7 จากการทดสอบโดยขนาดแรงที่ใช้ขับมอเตอร์ 110 โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง โดยทำการวัดเซนเซอร์ทั้ง 3 แกน พร้อมกัน จะได้ดังนี้

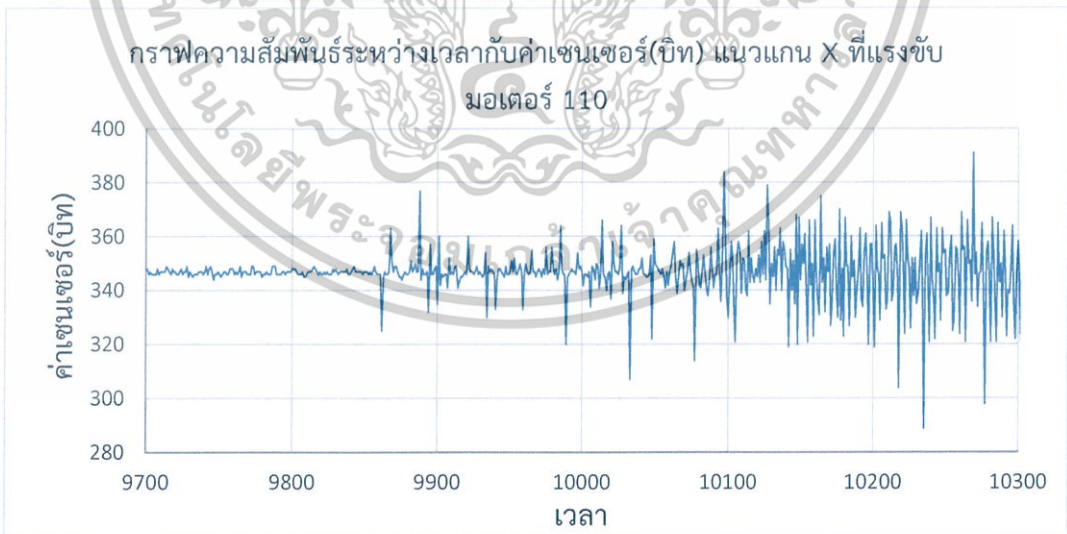
การทดสอบครั้งที่ 1

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.150 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน X)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.151 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน X)

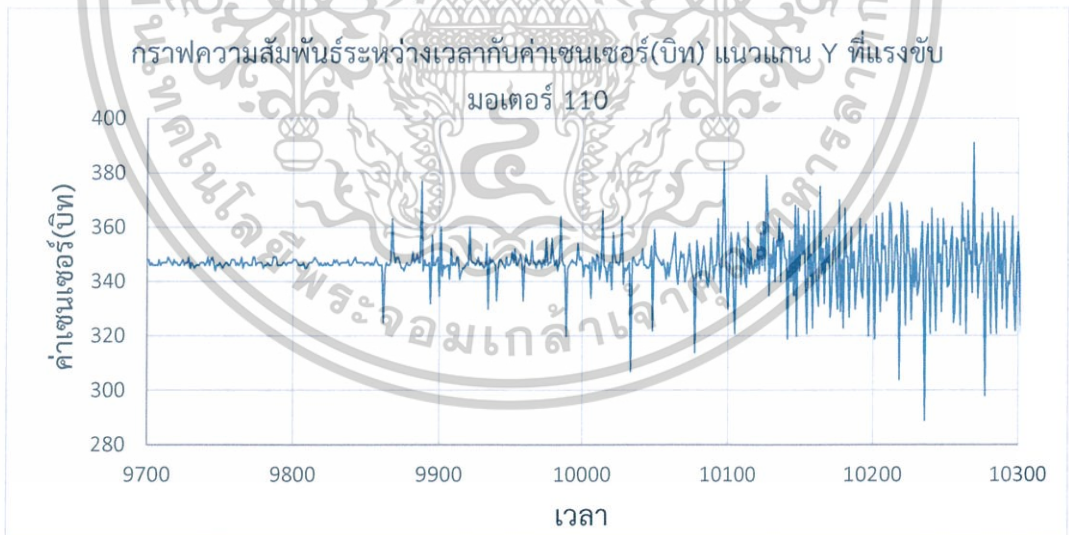
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.152 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Y)

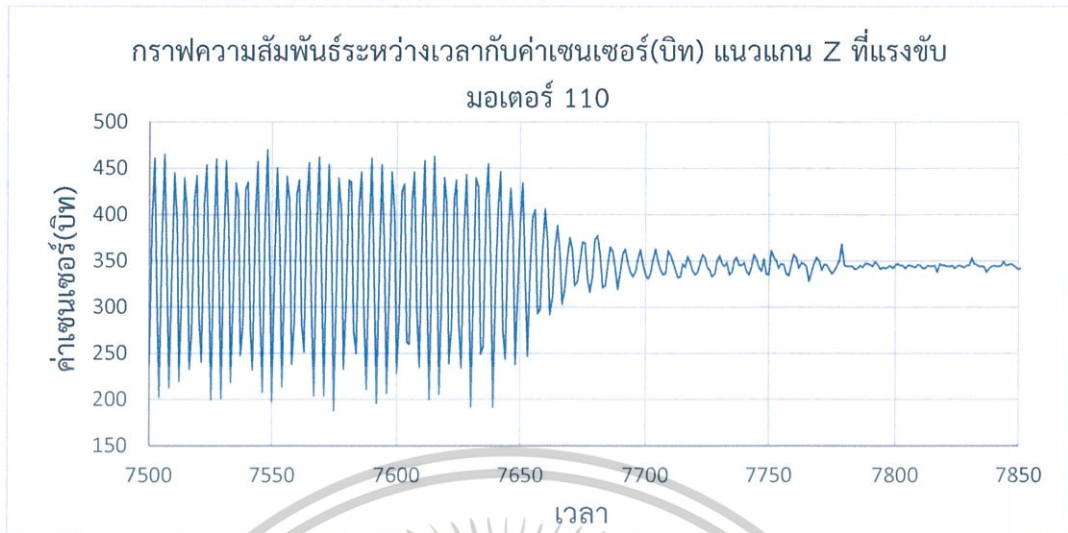
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.153 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Y)

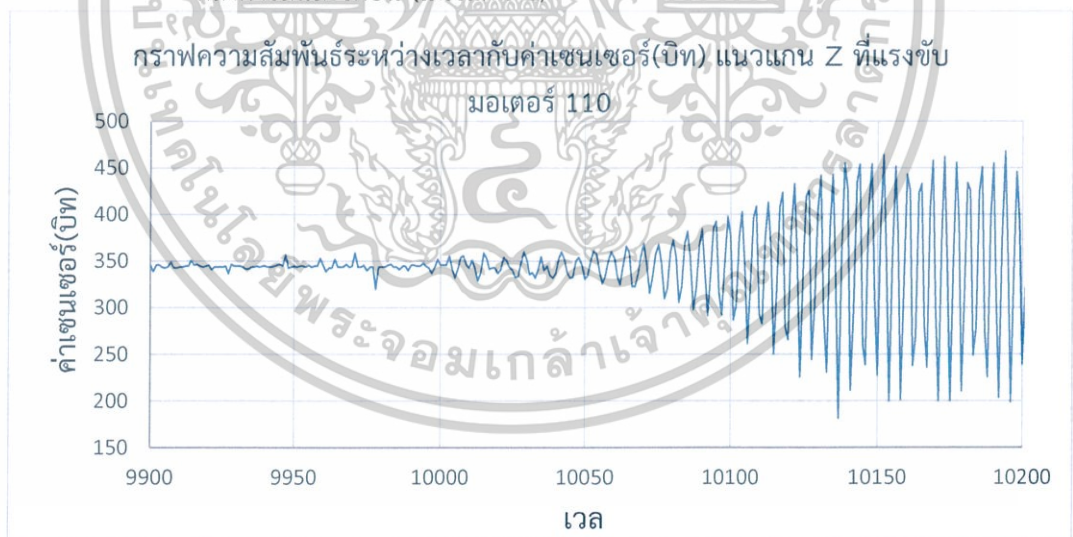
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.154 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Z)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Z)

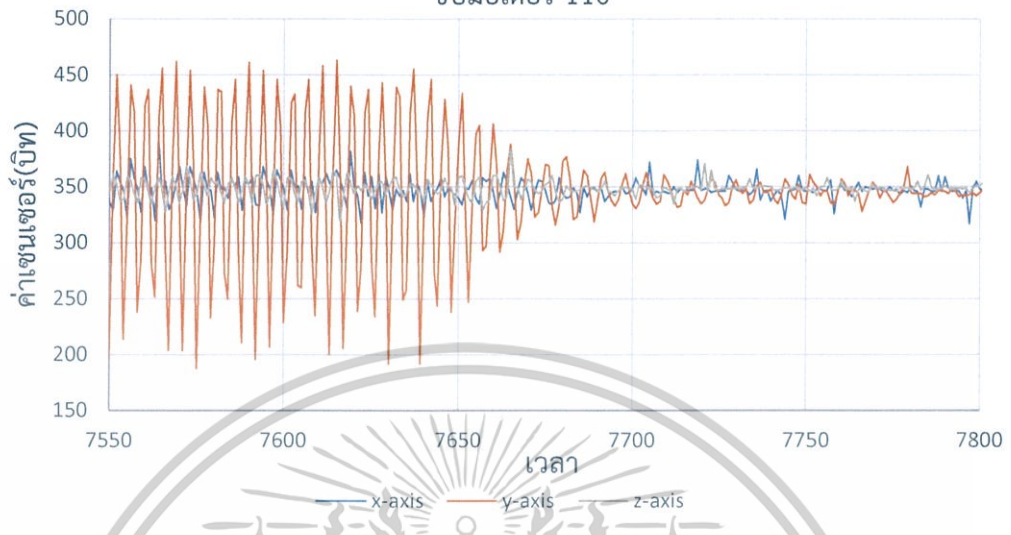


รูปที่ 4.155 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Z)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน XYZ)

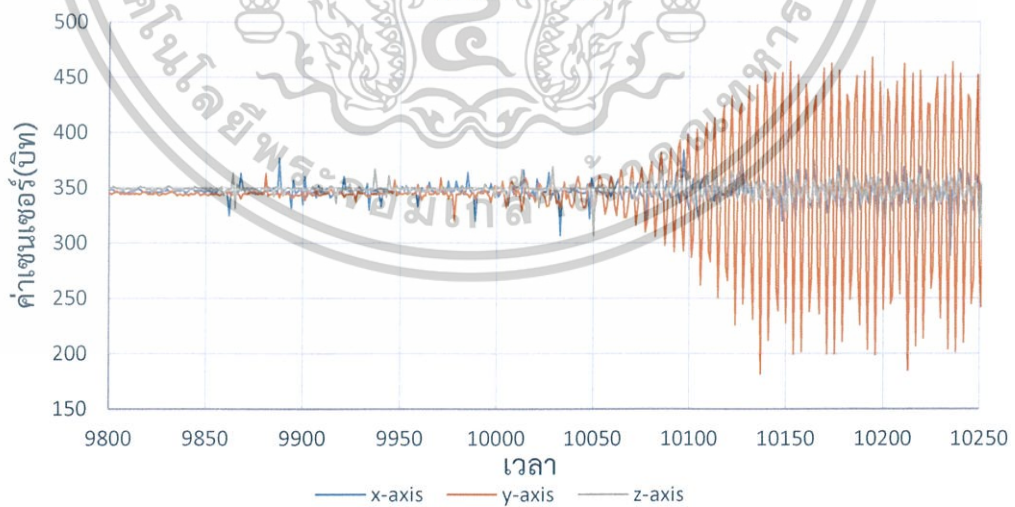
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าเซนเซอร์(บิท) แนวแกน XYZ ที่แรง
ขับเคลื่อน 110



รูปที่ 4.156 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน XYZ)

หลังการสันสะเทือน (แนวแกน XYZ)

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าเซนเซอร์(บิท) แนวแกน XYZ ที่แรง
ขับเคลื่อน 110



รูปที่ 4.157 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน XYZ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบครั้งที่ 2

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.158 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน X)

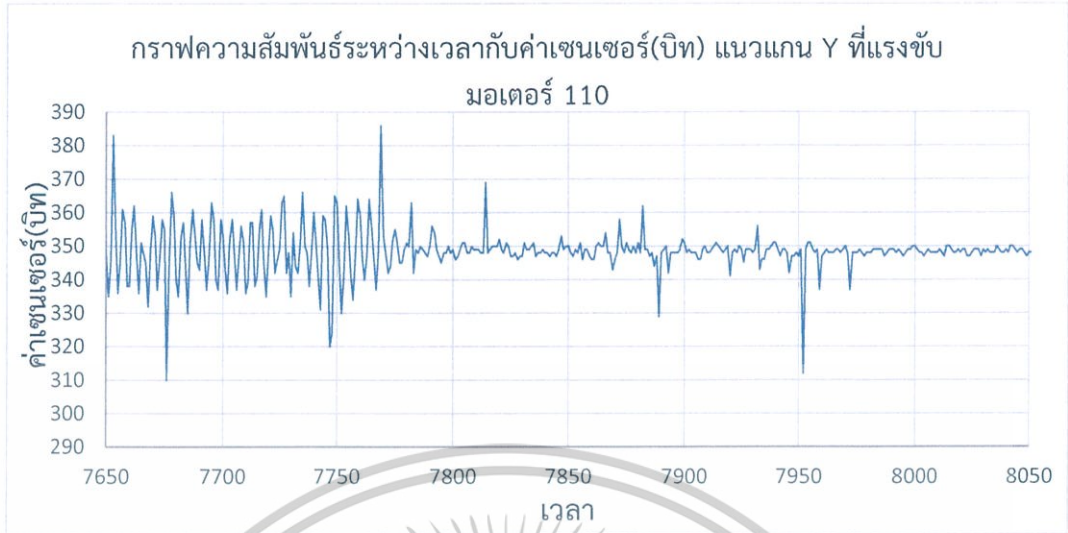
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.159 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน X)

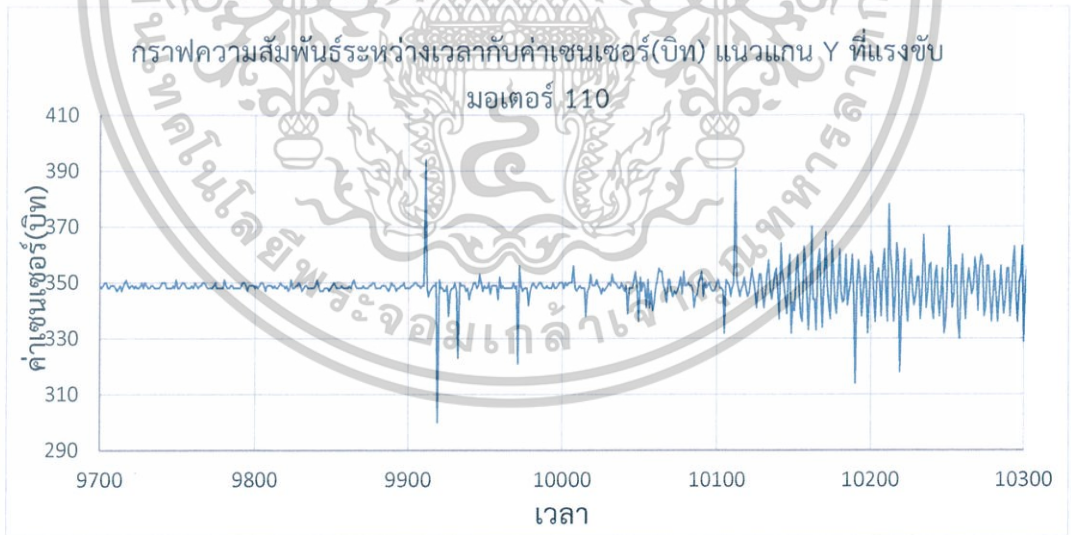
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.160 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Y)

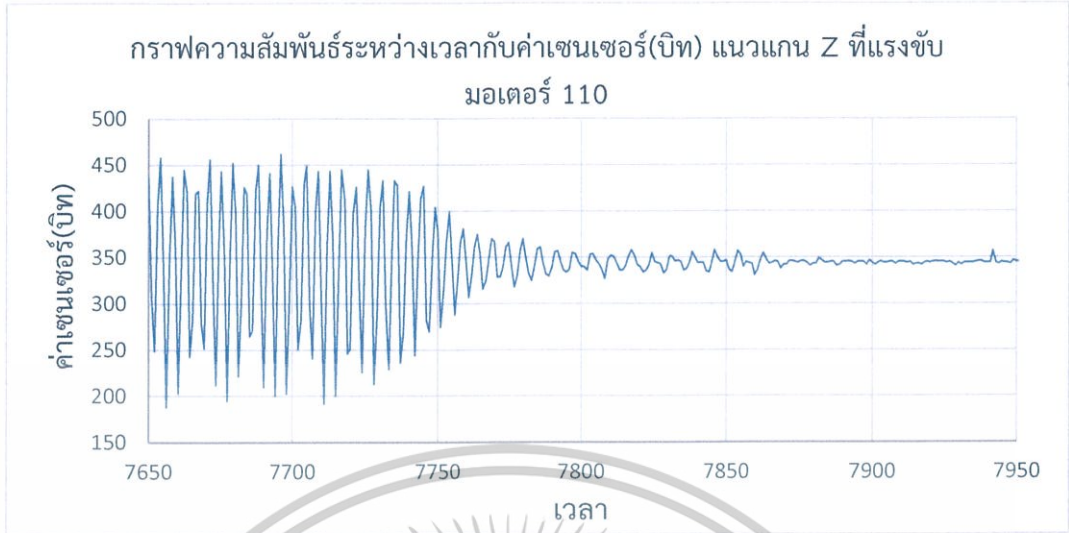
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.161 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.162 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน Z)

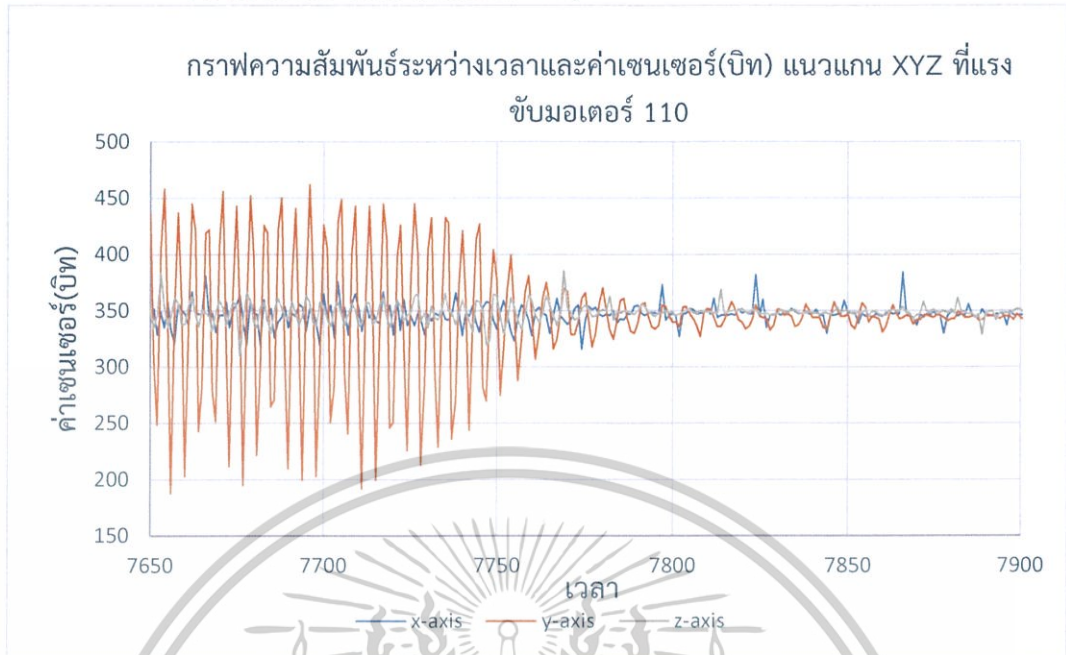
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.163 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน Z)

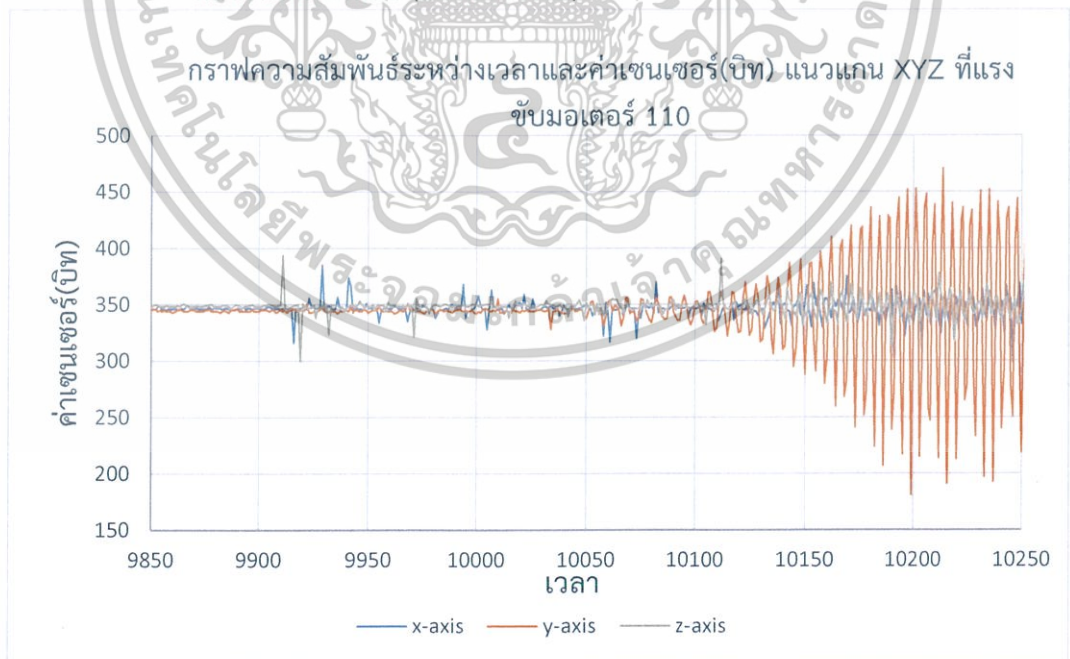
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.164 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน XYZ)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)

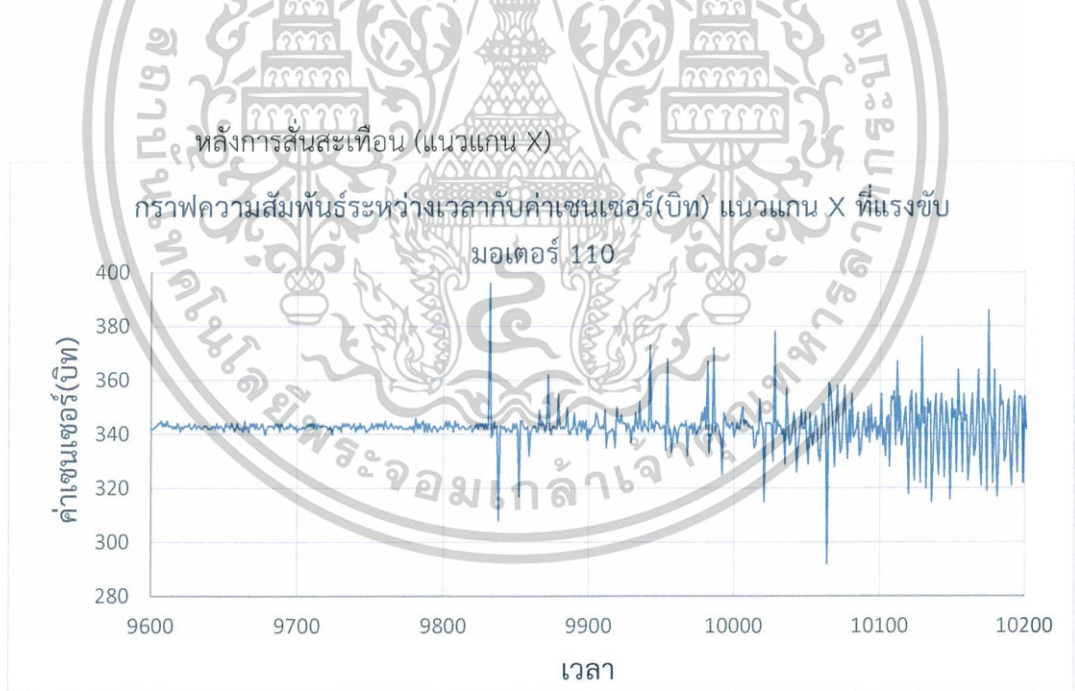


เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.165 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน XYZ) นี้ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบครั้งที่ 3
ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.166 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสัน (แนวแกน X)



รูปที่ 4.167 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสัน (แนวแกน X)

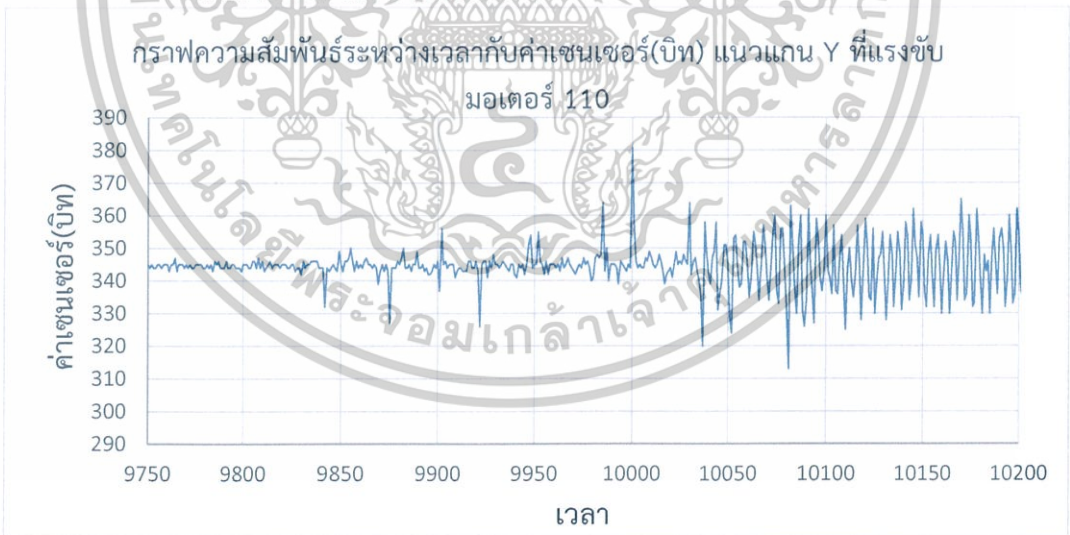
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.168 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน Y)

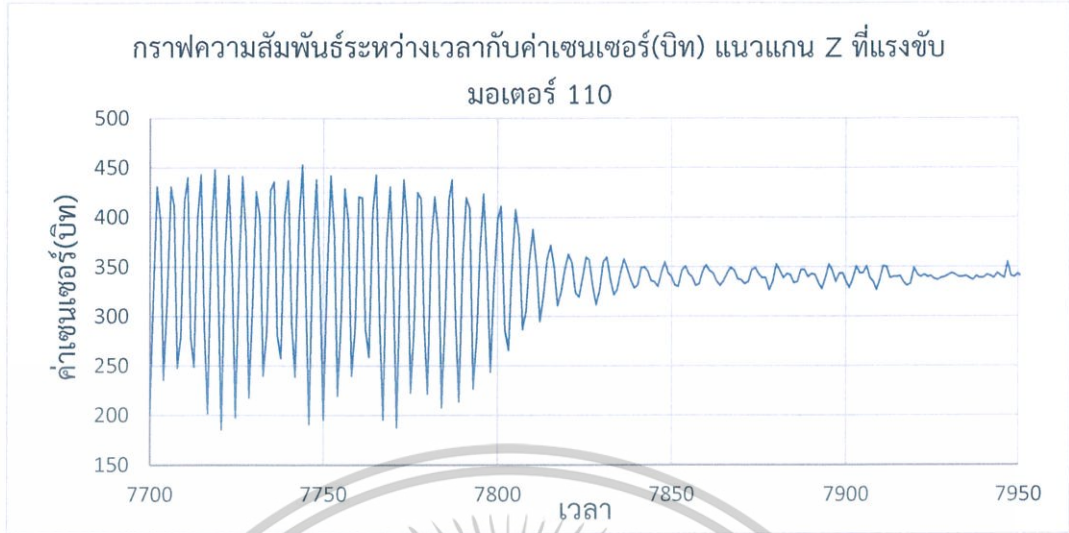
หลังการสันสะเทือน (แนวแกน Y)



รูปที่ 4.169 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสันสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน Y)

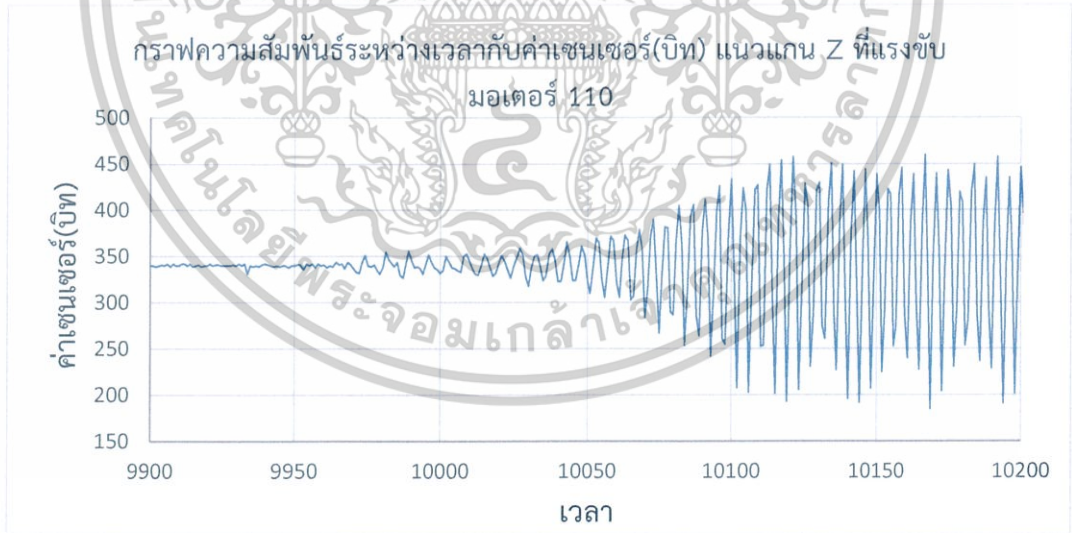
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.170 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน Z)

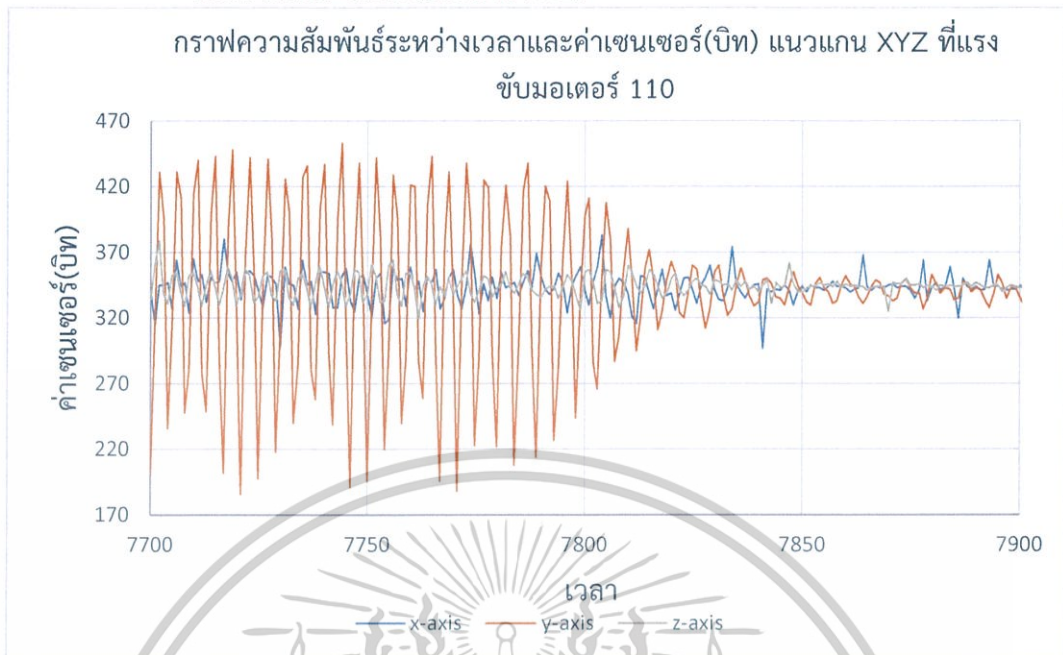
หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน Z)



รูปที่ 4.171 ลักษณะเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน Z)

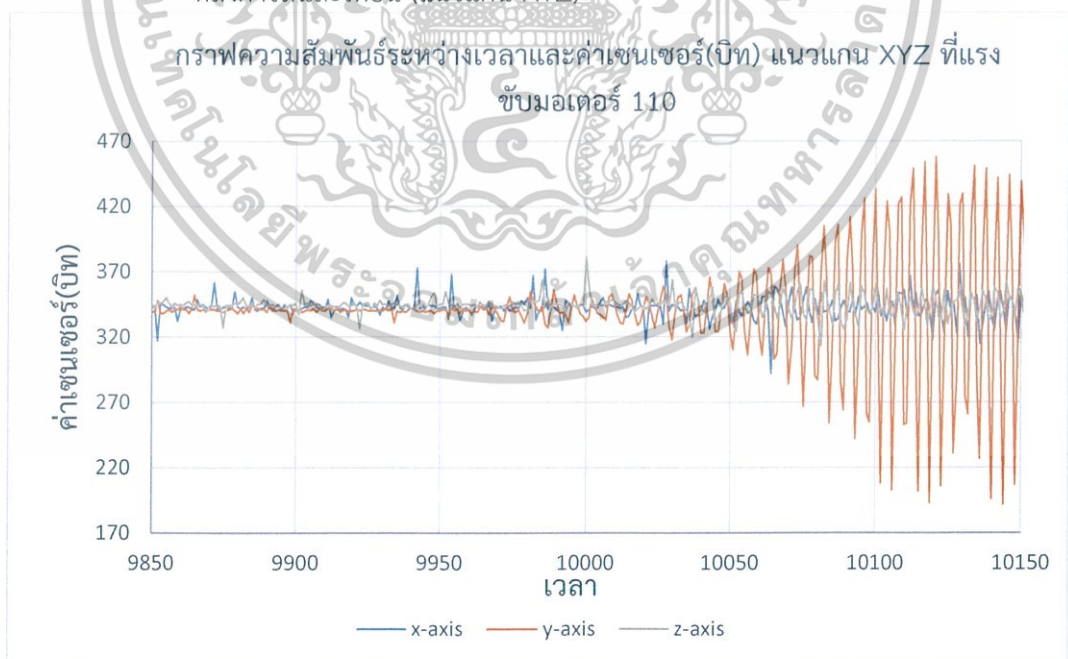
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)



รูปที่ 4.172 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสั่นสะเทือนก่อนการสั่น (แนวแกน XYZ)

หลังการสั่นสะเทือน (แนวแกน XYZ)

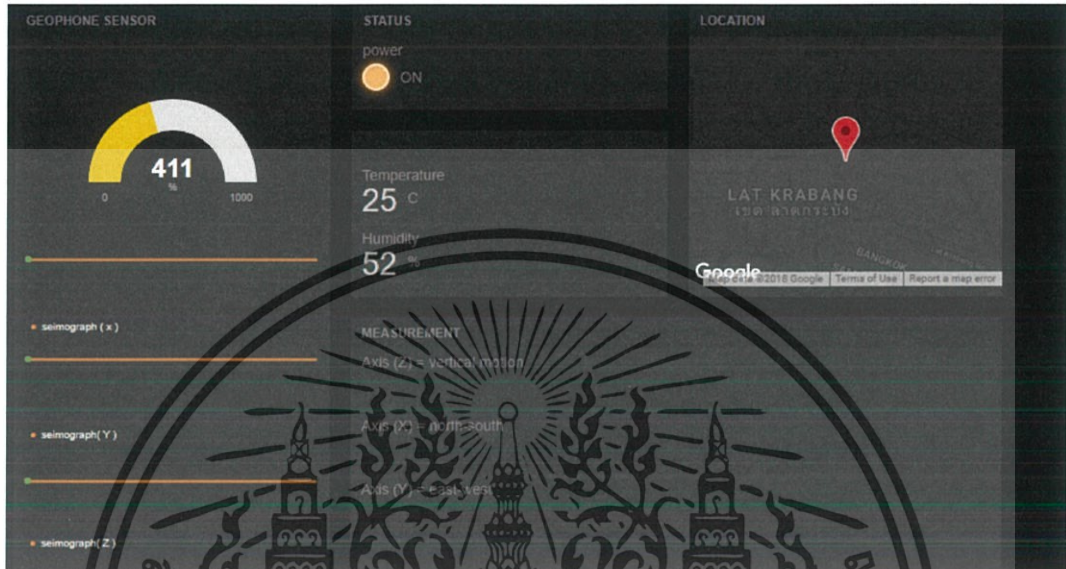


เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.173 ลักษณะเซนเซอร์ที่วัดแรงการสั่นสะเทือนหลังการสั่น (แนวแกน XYZ) นี้ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองจาก NETPIE

โดยได้ทำการใช้เซนเซอร์วัดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการขบมอเตอร์ที่แรงขนาดต่าง ๆ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่สามารถวัดได้ โดยสามารถแสดงผลผ่านทางเว็บไซต์ (Web Site) ได้ และสามารถบันทึกค่าที่วัดทั้งปัจจุบันและค่าย้อนหลังได้

4.4.1 การแสดงผลข้อมูลเริ่มต้น ขณะที่ยังไม่มีการสั่นสะเทือน



รูปที่ 4.174 ลักษณะการแสดงผลขณะยังไม่มีสั่นสะเทือน

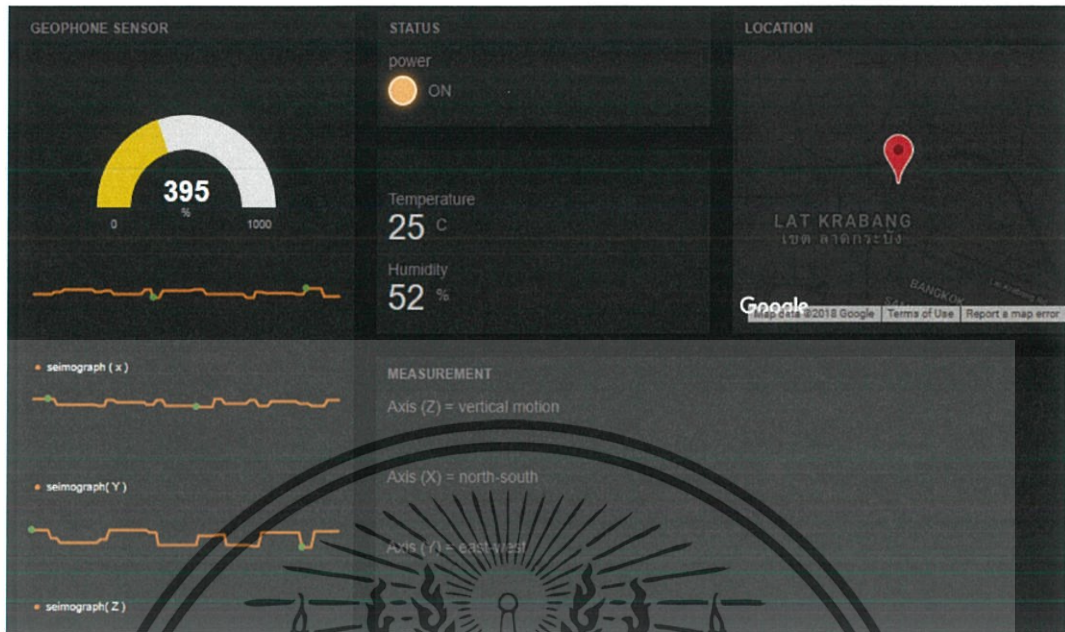
4.4.2 การแสดงผลข้อมูล ขณะที่ใช้ขนาดแรงขบมอเตอร์ 100



รูปที่ 4.175 ลักษณะแรงขบมอเตอร์ 100

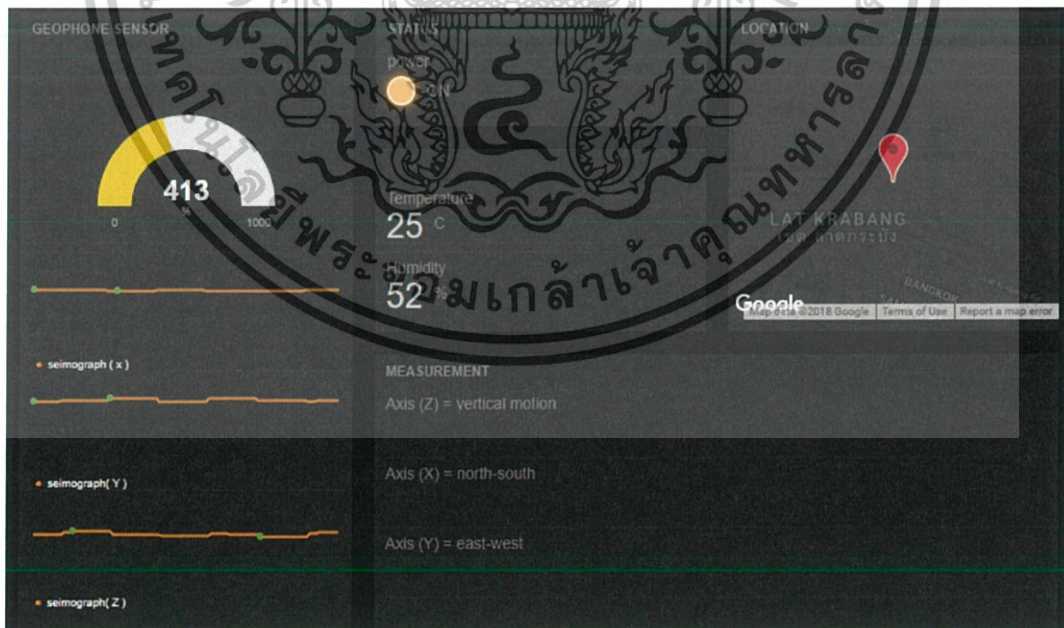
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การแสดงผลข้อมูล ขณะที่ใช้ขนาดแรงขับเคลื่อน 90



รูปที่ 4.176 ลักษณะแรงขับเคลื่อน 90

4.4.4 การแสดงผลข้อมูล ขณะที่ใช้ขนาดแรงขับเคลื่อน 80



รูปที่ 4.177 ลักษณะแรงขับเคลื่อน 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 การแสดงผลการบันทึกข้อมูล ขณะที่ใช้ขนาดแรงขับเคลื่อนขนาดต่าง ๆ



รูปที่ 4.178 ลักษณะการบันทึกแรงขับเคลื่อนขนาดต่าง ๆ

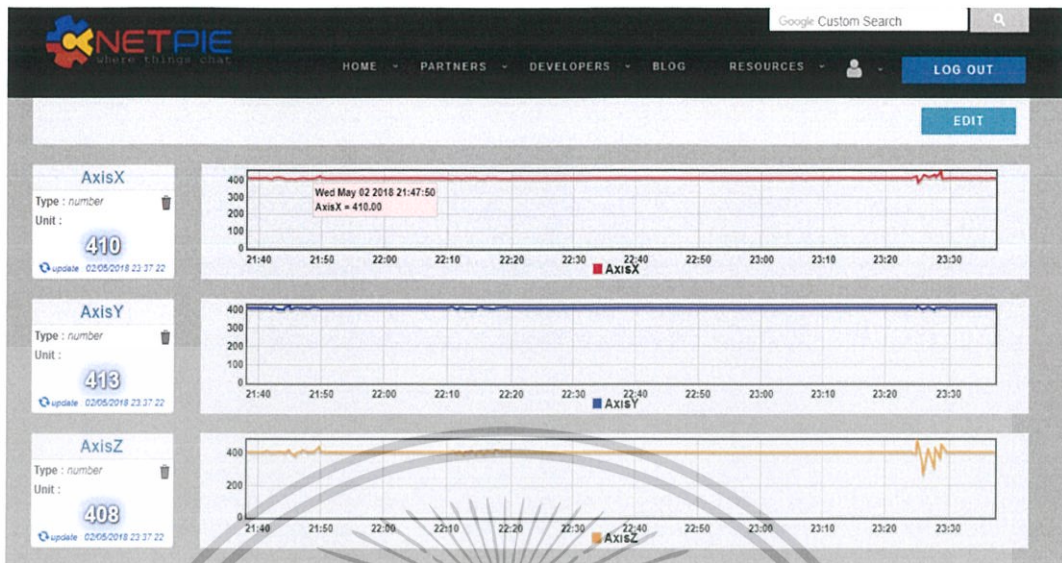
4.4.6 การแสดงผลข้อมูล ขณะที่ใช้ขนาดแรงขับเคลื่อน 110 และมีการสั่นแบบหมุน



รูปที่ 4.179 ลักษณะข้อมูลแรงขับเคลื่อน 110 ทำการสั่นแบบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.7 แสดงผลการบันทึกข้อมูล ขณะที่ใช้ขนาดแรงขับเคลื่อน 110 และมีการสั่นแบบหมุน



รูปที่ 4.180 ลักษณะการบันทึกแรงขับเคลื่อน 110 ทำการสั่นแบบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการสร้างชุดศึกษาการสิ้นสะท้อนของแผ่นดินไหว โดยใช้เซนเซอร์ในการตรวจวัดการสิ้นสะท้อน สามารถทำการวัดได้ทั้งหมด 3 แกน จึงสรุปได้ดังนี้ผลในการสร้างชุดการทดลองนี้ขึ้นมาพบว่าสามารถแสดงผลการสิ้นสะท้อนได้และทำการส่งข้อมูลได้ 2 แบบ

แบบที่ 1 คือเป็นการส่งข้อมูลผ่านสายเคเบิล (Cable) เพื่อทำการสอบเทียบเครื่องมือ

แบบที่ 2 คือเป็นการส่งข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Real Time) ไปยัง NETPIE เพื่อทำการแสดงผลและเก็บข้อมูลไปพร้อม ๆ กัน ณ เวลานั้น

5.2 ปัญหาที่พบในงานวิจัย

5.2.1 เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้า (Electronics) อาทิเช่น esp8266, ads1115 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อศึกษาเบื้องต้น การวัดค่าต่าง ๆ จากการทดลองอาจจะมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดบางส่วนและความไวในการอ่านค่าอาจจะช้ากว่าอุปกรณ์มาตรฐานแต่ในทางการศึกษาถือว่ายอมรับได้

5.2.2 แบตเตอรี่ (Battery) ที่นำมาใช้งาน 12 โวลต์ (Volt) 5.5 แอมแปร์ (Ampere) เนื่องจากมีการเปิดใช้งานตลอดเวลาในการเลี้ยงวงจรไฟฟ้าจึงทำให้พลังงานจากแบตเตอรี่มีค่าลดลงหรือหมดไปในที่สุด

5.2.3 บริการ NETPIE Feed เปิดให้ใช้ฟรีสำหรับผู้ทั่วไป ดังนั้นเพื่อแบ่งปันทรัพยากรกันอย่างเหมาะสม จึงจำกัดอัตราการรับส่งสัญญาณ (Feed) ต่อ API Key ไว้ที่ 4 ครั้ง ในเวลาประมาณ 60 วินาที หรือเฉลี่ยให้สามารถเขียนได้ 15 วินาที ต่อ 1 จุด และในเบื้องต้นจะให้ระยะเวลาการเก็บข้อมูลหนึ่งปี

5.2.4 เซนเซอร์ (Sensor) เนื่องจากเราได้ทำการประดิษฐ์ขึ้นมาเองทุกชิ้นเพื่อทำการศึกษากการสั้นโดยหลักการแม่เหล็กตัดผ่านขดลวดจึงมีปัญหาตามมาหลายส่วน อาทิเช่น สปริงที่ไม่สามารถติดกับอะลูมิเนียมได้ก่อให้เกิดการหน่วงในการสั้นขึ้นลงของเซนเซอร์

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 แหล่งพลังงานเสริมควรจะใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic) เพื่อมาทำการชาร์จ (Charge) ให้แบตเตอรี่จะทำให้มีพลังงานในการจ่ายให้กับอุปกรณ์ต่อพ่วงเพียงพอในแต่ละวัน

5.3.2 วัสดุที่ทำสปริงควรมีคุณสมบัติที่เป็นเหล็กให้น้อยที่สุด เนื่องจากถ้าวัสดุมีคุณสมบัติเป็นเหล็กมากจะทำให้สปริงถูกแม่เหล็กดูดจนทำให้เกิดการหน่วงมากขึ้น

5.3.4 อัปเดตข่าวสารทาง NETPIE ในด้านซอฟต์แวร์ (Software) ว่าการพัฒนาในด้านใดด้านส่งผลต่อการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 แนวทางพัฒนา

ในทางทางพัฒนาอุปกรณ์และโปรแกรมของเรา ซึ่งในตอนนี้อาจสามารถเก็บข้อมูลได้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว เราจะนำข้อมูลที่ได้มานั้นมาพัฒนาโปรแกรมให้สามารถเตือนภัยเป็นระดับความรุนแรง และสามารถแจ้งเตือนได้อย่างรวดเร็ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกพร เทิดไท. (2537). แผ่นดินไหวภัยทั่วโลก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ แพรวธรรม.
- [2] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. (2542). คลื่นแผ่นดินไหว (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.rmutphysics.com/charud/naturemystery/sci3/earthquake/sei2.html>.
- [3] วินัย เวชวิทยาลัง. (2552). เทคนิคการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่องานบำรุงรักษา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด.
- [4] รศ.เฉลิมพล น้ำค้าง. (2549). คลื่นและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ บริษัท พิมพ์ดี จำกัด.
- [5] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2557). เครื่องรับคลื่นไหวสะเทือน (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <https://th.wikipedia.org/wiki>.
- [6] tomboy. (2010). ประวัติทางธรณีวิทยา (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.learnz.org.nz/geohazards152/what-causes-geohazards>.
- [7] Science Learning Hub. (2007). Seismic Waves (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/340-seismic-waves>.
- [8] 4 4 - SlideShare. (2018). สปริง (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <https://www.slideshare.net/champakul/4-4-33157961>
- [9] Shigley's Mechanical Engineering Design, Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett, Mc Graw Hill 9th Edition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2902, LM324/LM324A, LM224/ LM224A

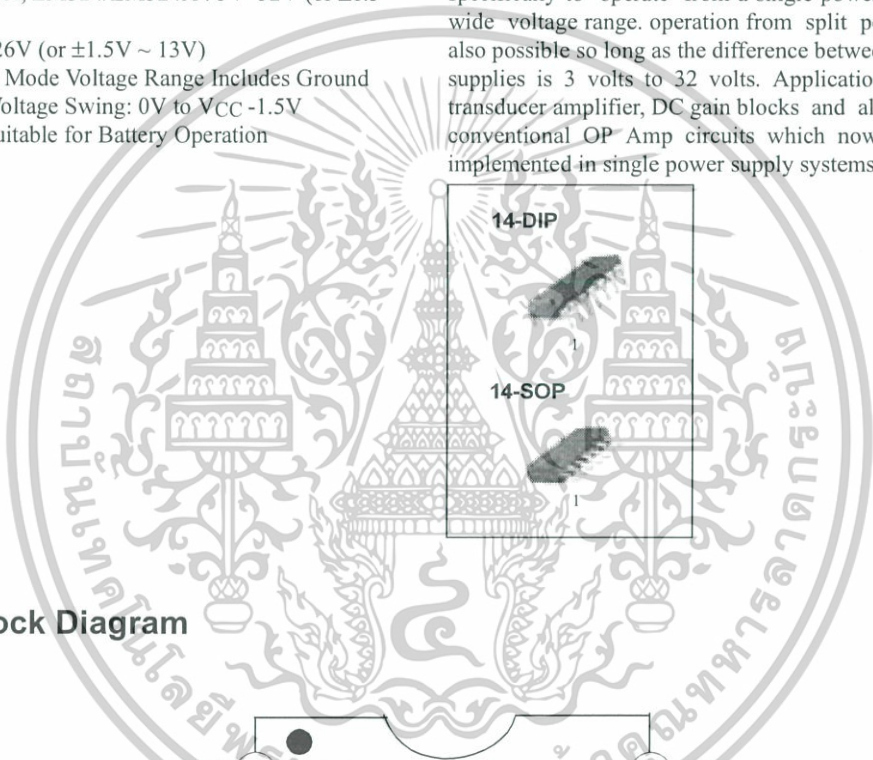
Quad Operational Amplifier

Features

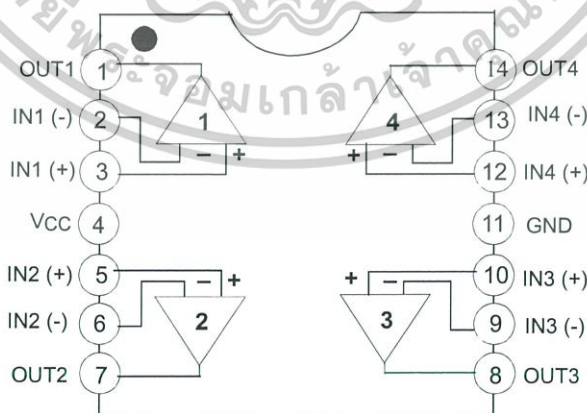
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100dB
- Wide Power Supply Range:
LM224/LM224A, LM324/LM324A : 3V~32V (or $\pm 1.5 \sim 16V$)
LM2902: 3V~26V (or $\pm 1.5V \sim 13V$)
- Input Common Mode Voltage Range Includes Ground
- Large Output Voltage Swing: 0V to $V_{CC} - 1.5V$
- Power Drain Suitable for Battery Operation

Description

The LM324/LM324A, LM2902, LM224/LM224A consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide voltage range. operation from split power supplies is also possible so long as the difference between the two supplies is 3 volts to 32 volts. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP Amp circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.

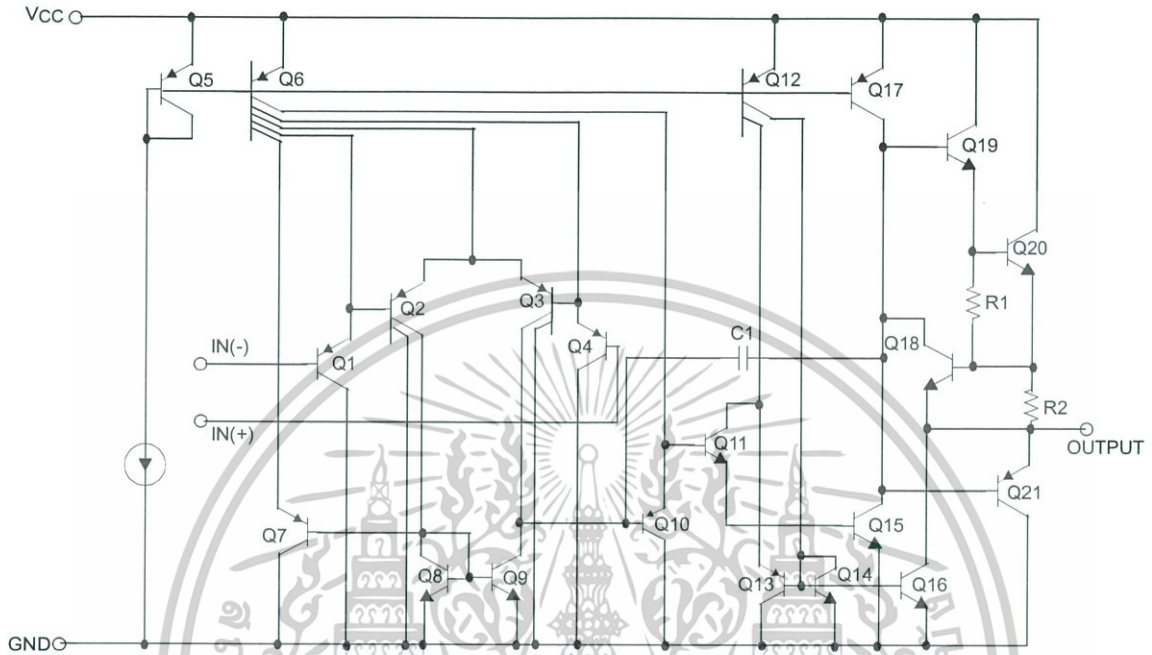


Internal Block Diagram



Schematic Diagram

(One Section Only)



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM224/LM224A	LM324/LM324A	LM2902	Unit
Power Supply Voltage	VCC	±16 or 32	±16 or 32	±13 or 26	V
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	32	32	26	V
Input Voltage	V _I	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND V _{CC} ≤15V, T _A =25°C(one Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Power Dissipation, T _A =25°C 14-DIP 14-SOP	P _D	1310 640	1310 640	1310 640	mW
Operating Temperature Range	T _{OPR}	-25 ~ +85	0 ~ +70	-40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	-65 ~ +150	-65 ~ +150	-65 ~ +150	°C

Thermal Data

Parameter	Symbol	Value	Unit
Thermal Resistance Junction-Ambient Max. 14-DIP 14-SOP	R _{θja}	95 195	°C/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 5.0V$, $V_{EE} = GND$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM224			LM324			LM2902			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{CM} = 0V$ to $V_{CC} - 1.5V$ $V_{O(P)} = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$ (Note1)	-	1.5	5.0	-	1.5	7.0	-	1.5	7.0	mV	
Input Offset Current	I_{IO}	$V_{CM} = 0V$	-	2.0	30	-	3.0	50	-	3.0	50	nA	
Input Bias Current	I_{BIAS}	$V_{CM} = 0V$	-	40	150	-	40	250	-	40	250	nA	
Input Common-Mode Voltage Range	$V_{I(R)}$	Note1	0	-	$V_{CC} - 1.5$	0	$V_{CC} - 1.5$	-	0	-	$V_{CC} - 1.5$	V	
Supply Current	I_{CC}	$R_L = \infty$, $V_{CC} = 30V$ (LM2902, $V_{CC} = 26V$)	-	1.0	3	-	1.0	3	-	1.0	3	mA	
		$R_L = \infty$, $V_{CC} = 5V$	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	mA	
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{CC} = 15V$, $R_L = 2k\Omega$ $V_{O(P)} = 1V$ to $11V$	50	100	-	25	100	-	25	100	-	V/ mV	
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	Note1	$R_L = 2k\Omega$	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
			$R_L = 10k\Omega$	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	$V_{O(L)}$	$V_{CC} = 5V$, $R_L = 10k\Omega$	-	5	20	-	5	20	-	5	100	mV	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR		70	85	-	65	75	-	50	75	-	dB	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB	
Channel Separation	CS	$f = 1kHz$ to $20kHz$ (Note2)	-	120	-	-	120	-	-	120	-	dB	
Short Circuit to GND	I_{SC}	$V_{CC} = 15V$	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA	
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)} = 1V$, $V_{I(-)} = 0V$ $V_{CC} = 15V$ $V_{O(P)} = 2V$	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA	
	I_{SINK}	$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$ $V_{CC} = 15V$ $V_{O(P)} = 2V$	10	13	-	10	13	-	10	13	-	mA	
		$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$ $V_{CC} = 5V$, $V_{O(R)} = 200mV$	12	45	-	12	45	-	-	-	-	μA	
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V	

Note :

- $V_{CC} = 30V$ for LM224 and LM324, $V_{CC} = 26V$ for LM2902
- This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, unless otherwise specified)The following specifications apply over the range of -25°C ≤ T_A ≤ +85°C for the LM224; and the 0°C ≤ T_A ≤ +70°C for the LM324; and the -40°C ≤ T_A ≤ +85°C for the LM2902

Parameter	Symbol	Conditions	LM224			LM324			LM2902			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{ICM} = 0V to V _{CC} -1.5V V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω (Note1)	-	-	7.0	-	-	9.0	-	-	10.0	mV	
Input Offset Voltage Drift	ΔV _{IO} /ΔT	R _S = 0Ω (Note2)	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	μV/°C	
Input Offset Current	I _{IO}	V _{CM} = 0V	-	-	100	-	-	150	-	-	200	nA	
Input Offset Current Drift	ΔI _{IO} /ΔT	R _S = 0Ω (Note2)	-	10	-	-	10	-	-	10	-	pA/°C	
Input Bias Current	I _{BIAS}	V _{CM} = 0V	-	-	300	-	-	500	-	-	500	nA	
Input Common-Mode Voltage Range	V _{I(R)}	Note1	0	-	V _{CC} -2.0	0	-	V _{CC} -2.0	0	-	V _{CC} -2.0	V	
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L = 2.0kΩ V _{O(P)} = 1V to 11V	25	-	-	15	-	-	15	-	-	V/mV	
Output Voltage Swing	V _{O(H)}	Note1	R _L = 2kΩ		26	-	-	26	-	-	22	-	V
		R _L = 10kΩ		27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
Output Voltage Swing	V _{O(L)}	V _{CC} = 5V, R _L = 10kΩ		-	5	20	-	5	20	-	5	100	mV
		V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V		10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA
Output Current	I _{SOURCE}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V		10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA
		V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V		10	13	-	5	8	-	5	8	-	mA
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	-	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V	

Note:

- V_{CC} = 30V for LM224 and LM324, V_{CC} = 26V for LM2902
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

4 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, T_A = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM224A			LM324A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{CM} = 0V to V _{CC} -1.5V V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω (Note1)	-	1.0	3.0	-	1.5	3.0	mV
Input Offset Current	I _{IO}	V _{CM} = 0V	-	2	15	-	3.0	30	nA
Input Bias Current	I _{BIAS}	V _{CM} = 0V	-	40	80	-	40	100	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V _{I(R)}	V _{CC} = 30V	0	-	V _{CC} -1.5	0	-	V _{CC} -1.5	V
Supply Current	I _{CC}	V _{CC} = 30V, R _L = ∞	-	1.5	3	-	1.5	3	mA
		V _{CC} = 5V, R _L = ∞	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L = 2kΩ V _{O(P)} = 1V to 11V	50	100	-	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	V _{O(H)}	Note1 R _L = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	V
	V _{O(L)}	R _L = 10kΩ	27	28	-	27	28	-	V
		V _{CC} = 5V, R _L = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	85	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	dB
Channel Separation	CS	f = 1kHz to 20kHz (Note2)	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	I _{SC}	V _{CC} = 15V	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	I _{SOURCE}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	20	40	-	20	40	-	mA
		V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	10	20	-	10	20	-	mA
	I _{SINK}	V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 5V V _{O(P)} = 200mV	12	50	-	12	50	-	μA
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V	

Note:

- V_{CC} = 30V for LM224A, LM324A
- This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (Continued)(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, unless otherwise specified)The following specification apply over the range of -25°C ≤ T_A ≤ +85°C for the LM224A; and the 0°C ≤ T_A ≤ +70°C for the LM324A

Parameter	Symbol	Conditions	LM224A			LM324A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{CM} = 0V to V _{CC} - 1.5V V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω (Note1)	-	-	4.0	-	-	5.0	mV
Input Offset Voltage Drift	ΔV _{IO} /ΔT	R _S = 0Ω (Note2)	-	7.0	20	-	7.0	30	μV/°C
Input Offset Current	I _{IO}	V _{CM} = 0V	-	-	30	-	-	75	nA
Input Offset Current Drift	ΔI _{IO} /ΔT	R _S = 0Ω (Note2)	-	10	200	-	10	300	pA/°C
Input Bias Current	I _{BIAS}	-	-	40	100	-	40	200	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V _{I(R)}	Note1	0	-	V _{CC} - 2.0	0	-	V _{CC} - 2.0	V
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L = 2.0kΩ	25	-	-	15	-	-	V/mV
Output Voltage Swing	V _{O(H)}	Note1	26	-	-	26	-	-	V
		R _L = 10kΩ	27	28	-	27	28	-	V
	V _{O(L)}	V _{CC} = 5V, R _L = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	mV
Output Current	I _{SOURCE}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	10	20	-	10	20	-	mA
	I _{SINK}	V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	5	8	-	5	8	-	mA
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	-	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V

Note:

1. V_{CC} = 30V for LM224A and LM324A.
2. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

6 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

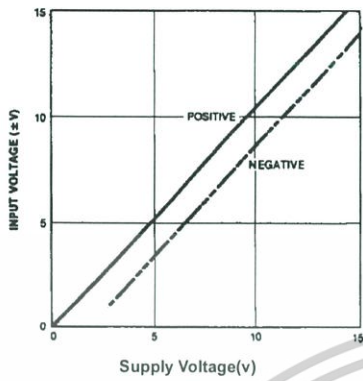


Figure 1. Input Voltage Range vs Supply Voltage

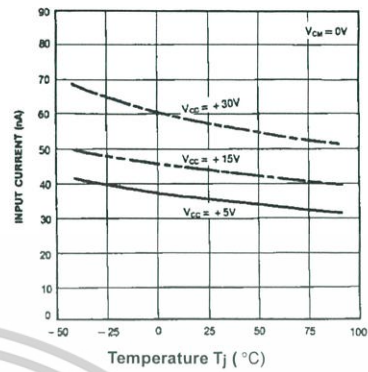


Figure 2. Input Current vs Temperature

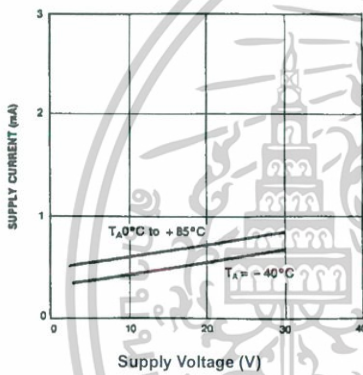


Figure 3. Supply Current vs Supply Voltage

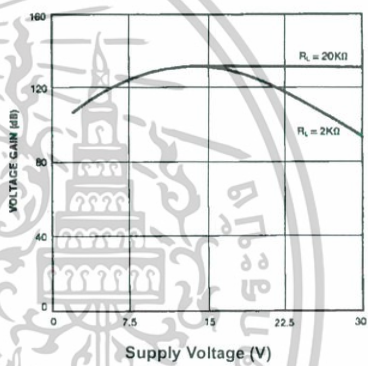


Figure 4. Voltage Gain vs Supply Voltage

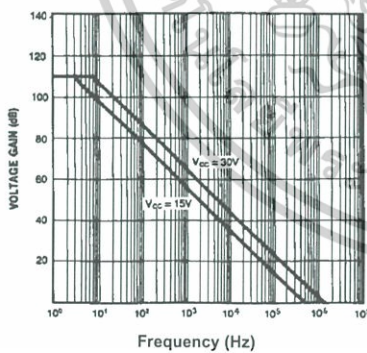


Figure 5. Open Loop Frequency Response

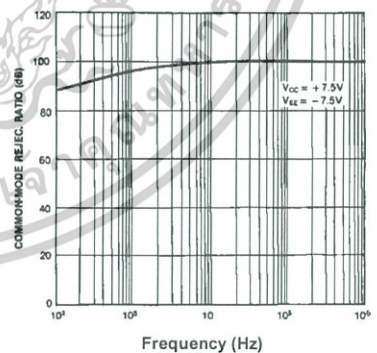


Figure 6. Common mode Rejection Ratio

Typical Performance Characteristics (Continued)

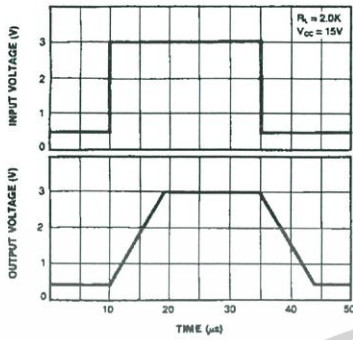


Figure 7. Voltage Follower Pulse Response

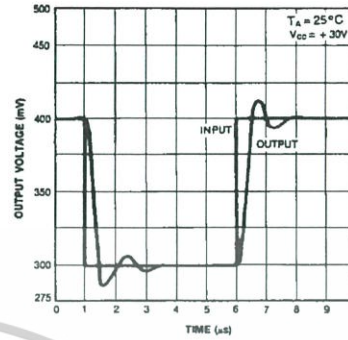


Figure 8. Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)

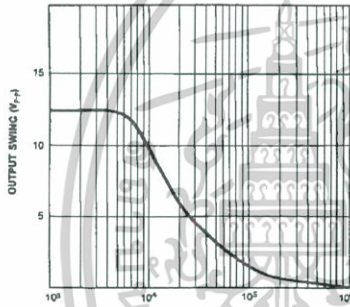


Figure 8. Large Signal Frequency Response

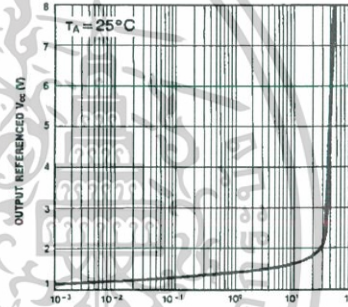


Figure 9. Output Characteristics vs Current Sourcing

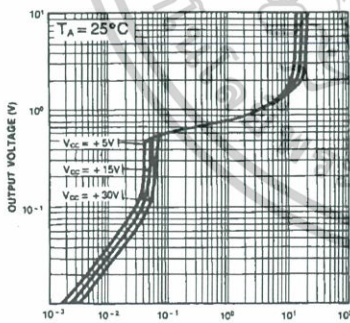


Figure 10. Output Characteristics vs Current Sinking

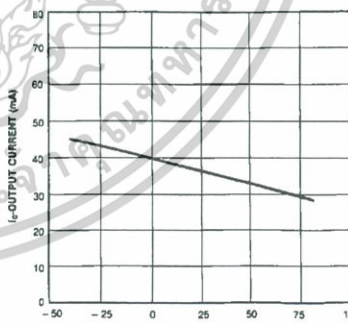


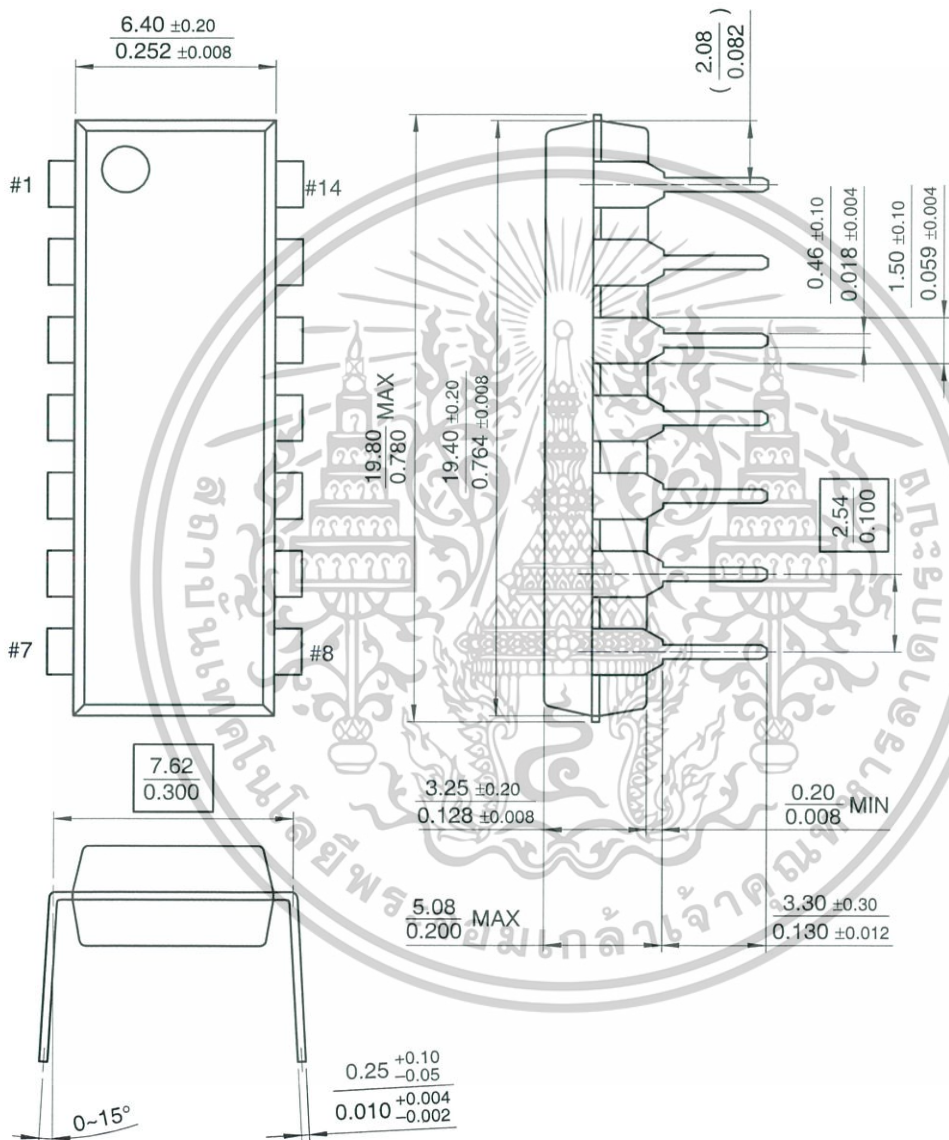
Figure 11. Current Limiting vs Temperature

Mechanical Dimensions

Package

Dimensions in millimeters

14-DIP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LM324N	14-DIP	0 ~ +70°C
LM324AN		
LM324M	14-SOP	
LM324AM		
LM2902N	14-DIP	-40 ~ +85°C
LM2902M	14-SOP	
LM224N	14-DIP	-25 ~ +85°C
LM224AN		
LM224M	14-SOP	
LM224AM		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.