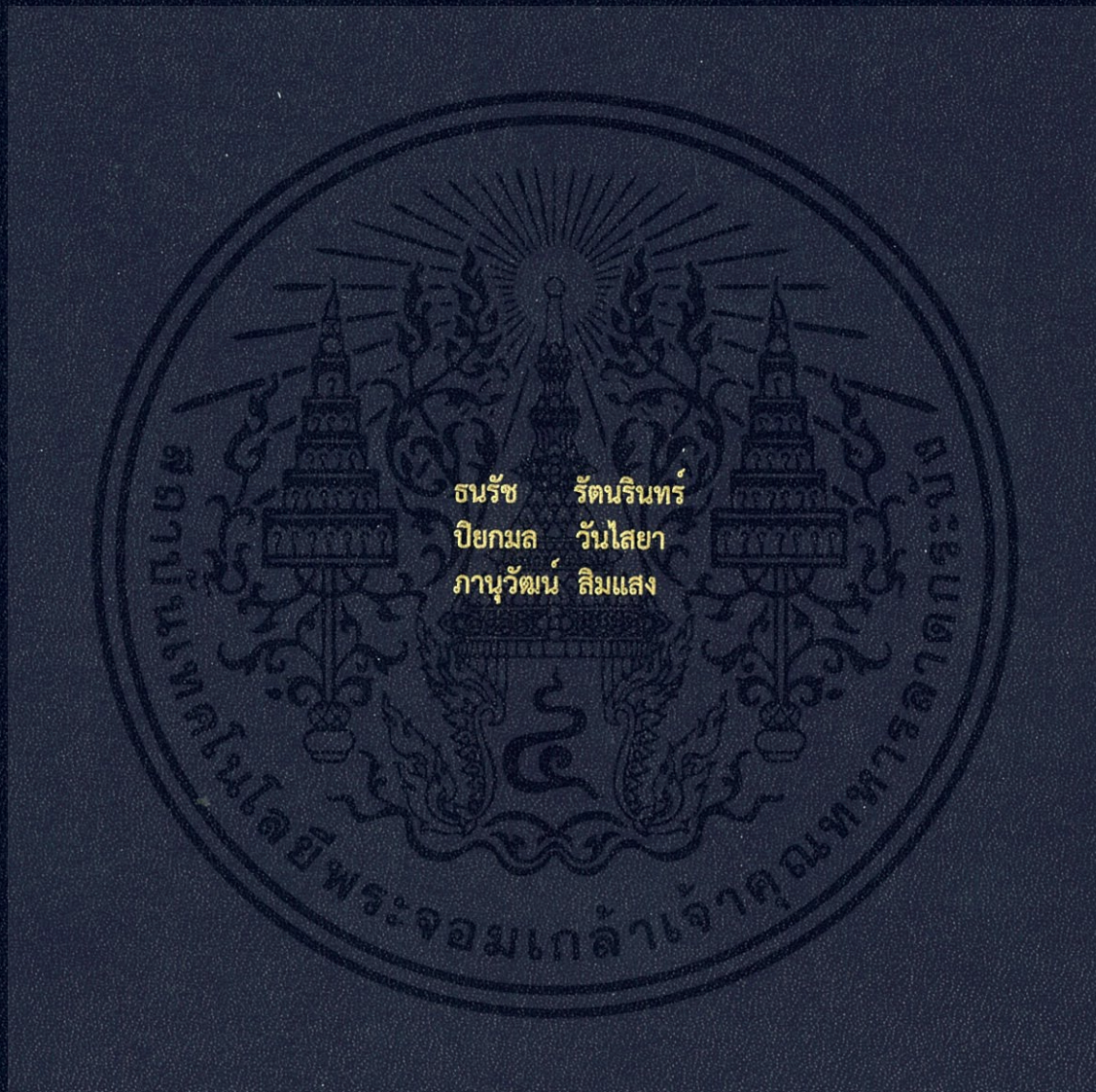


การศึกษาการทดลองการต้านทานการคลายตัวของเกลียว
จากการสั่นสะเทือนตามขวาง

EXPERIMENTAL STUDY OF LOOSENING-RESISTANCE OF BOLTED FASTENERS
UNDER TRANSVERSE VIBRATION



ธนรัช รัตนรินทร์
ปิยกมล วันไศยา
ภาณุวัฒน์ ลิ้มแสง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

EXPERIMENTAL STUDY OF LOOSENING-RESISTANCE OF BOLTED FASTENERS
UNDER TRANSVERSE VIBRATION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2559
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการทดลองการต้านทานการคลายตัวของเกลียวจากการสั่นสะเทือนตามขวาง
EXPERIMENTAL STUDY OF LOOSENING-RESISTANCE OF BOLTED FASTENERS
UNDER TRANSVERSE VIBRATION

ผู้จัดทำ

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. นาย ธนรัช รัตนรินทร์ | รหัสประจำตัว 56010547 |
| 2. นาย ปิยกมล วันไสยา | รหัสประจำตัว 56010757 |
| 3. นาย ภาณุวัฒน์ สิมแสง | รหัสประจำตัว 56010938 |




(ผศ.ดร.อนันต์ พิณโสภณ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการทดลองการต้านทานการคลายตัวของเกลียวจากการสั่นสะเทือนตามขวาง

นายธนรัช	รัตนรินทร์	56010547
นายปิยมล	วันไสยา	56010757
นายภาณุวัฒน์	สิมแสง	56010938
ผศ.ดร อุन्नัต พิณโสภณ	อาจารย์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา 2559		

บทคัดย่อ

การคลายตัวด้วยตัวเองของเกลียวที่ใช้ในการยึดชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานอยู่ภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือนโดยเฉพาะการสั่นสะเทือนตามขวาง ยังคงเป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งกับอุปกรณ์เครื่องจักรทางกลต่างๆ ได้แก่ กังหันแก๊สและไอน้ำ มอเตอร์ไฟฟ้า และเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด เป็นต้น ผลกระทบที่เกิดขึ้นหลักๆของชิ้นงานที่อยู่ภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือนมี 2 อย่าง คือ สลักเกลียวเกิดการคลายตัว และเกิดความเสียหายของสลักเกลียวเนื่องจากความล้า การใช้ตัวล็อกเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมทำกันเพื่อดำเนินการคลายตัวของเกลียว การศึกษาในโครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างเครื่องทดสอบโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 16130 โดยใช้โปรแกรม Solidworks 2015 ในการออกแบบกลไกของเครื่องทดสอบเป็นแบบ Slider-Crank และเลือกใช้วัสดุ AA6061 ทำเครื่องทดสอบ มีมอเตอร์กระแสสลับเป็นตัวขับเคลื่อนให้เกิดการเคลื่อนที่เพื่อจำลองการสั่นสะเทือนตามขวางกับชิ้นทดสอบ และใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบ และมีโรตารีเอ็นโค้ดเดอร์ในการวัดความเร็วและจำนวนรอบของมอเตอร์ รวมไปถึงการออกแบบและสร้างโพลีเอสเตอร์ชนิดสเตรนเกจซึ่งสร้างด้วยวัสดุ AISI304 เพื่อวัดค่าแรงยึดสลักเกลียวระหว่างการทดลอง และทดลองภายใต้การสั่นสะเทือนตามขวางด้วยขนาดการสั่นสะเทือนประมาณ 2.00 มิลลิเมตร ความถี่ 1040 รอบต่อนาที จำนวน 4000 รอบ และแรงที่ใช้ในการยึดชิ้นงานเริ่มต้น 3000 นิวตัน กับชิ้นทดสอบขนาด M8 เปรียบเทียบกับการใส่ตัวล็อกต่างๆ ได้แก่ conventional nut, nylock nut, lock nut, flat washer, และspring washer เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านทานการคลายตัวของตัวล็อก พบว่า nylock nut จะต้านทานการคลายตัวของเกลียวได้ดีที่สุดที่อัตราการคลายตัว 0.31-1.68 เปอร์เซ็นต์ ตามด้วย lock nut ที่อัตราการคลายตัว 26.26-39.91 เปอร์เซ็นต์, spring washer ที่อัตราการคลายตัว 34.45-54.94 เปอร์เซ็นต์, flat washer ที่อัตราการคลายตัว 80.88-94.54 เปอร์เซ็นต์ และการใช้ conventional nut เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีแหวนร่วมด้วยจะสูญเสียแรงยึดสลักเกลียวทั้งหมดไป

EXPERIMENTAL STUDY OF LOOSENING-RESISTANCE OF BOLTED FASTENERS
UNDER TRANSVERSE VIBRATION

Thanarat Rattanarin 56010547
Piyakamon Wansaiya 56010757
Phanuwat Simsaeng 56010938
Assist.Prof. Dr.Unnat Pinsopon Advisor
Year 2016

ABSTRACT

Self-loosening of threaded fasteners under transverse vibration have been an important problem of many machines such as gas/steam turbines, electric motors, IC engines, etc. The main effects of vibration are total loss of fastener and fatigue failure. Locking devices are widely used for anti-loosening of threaded fasteners. This study aimed to set the experimental setup following ISO 16130 standard. The experimental setup was designed by using Solidworks 2015 based on slider-crank mechanism and AA6061 material was applied. AC-Motor generated transverse displacement in test fixture and was controlled by inverter. The speed and revolutions of motor were measured by rotary encoder. The clamp force was measured by in-house designed and built AISI304 strain gauge load cell. Moreover, the anti-loosening ability of various locking devices such as conventional nut, flat washer, spring washer, lock nut, and nylock nut were tested with M8-bolt under transverse vibration with 2.00 mm amplitude at 1040 RPM for 4000 load cycles and 3000 N initial clamp force to compare the ability of anti-loosening of each locking device. The experimental results showed that the nylock nut was the best anti-loosening with clamp force loss by 0.31-1.68 percent. Lock nut, spring washer, and flat washer yielded clamp force losses by 26.26-39.91 percent, 34.45-54.94 percent, and 80.88-94.54 percent, respectively. Conventional nut alone without washer totally lost clamp force.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้อย่างสมบูรณ์ ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ผศ.ดร.อุษณัฐ พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เอื้อเฟื้อสถานที่และให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่าน พี่เต๋ย พี่พันธ์ และพี่บี แห่งภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ และนายกำธร สุขพิมาย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดก็คือ บิดา มารดา ที่ได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆด้าน ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณแต่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น ณ ที่นี้

นายธนรัช	รัตน์รินทร์
นายปิยกมล	วันไสยา
นายภาณุวัฒน์	สิมแสง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
คำย่อและสัญลักษณ์.....	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและการออกแบบเครื่องทดสอบ.....	3
2.1 การขันแน่นและการคลายตัวของเกลียว.....	3
2.2 กลไก Slider-Crank.....	6
2.3 มาตรฐานอ้างอิงที่ใช้ในการออกแบบ.....	7
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	8
3.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	8
3.1.1 เครื่องทดสอบ.....	8
3.1.2 มอเตอร์กระแสสลับ (AC-Motor).....	13
3.1.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter).....	14

สารบัญ (ต่อ)

3.1.4	โรตารีเอ็นโค้ดเดอร์ (Rotary encoder).....	15
3.1.5	โหลดเซลล์ (Load cell).....	16
3.1.6	สเตรนเกจ (Strain Gauge).....	17
3.1.7	NI USB-6009	19
3.1.8	แอมพลิฟายเออร์ (Amplifier).....	20
3.1.9	LabVIEW	20
3.2	วิธีการทดลอง	21
บทที่ 4	ผลการทดลอง	25
4.1	บทนำ.....	25
4.2	ผลการทดลอง.....	26
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	32
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	32
5.2	ปัญหาที่พบ.....	32
5.3	แนวทางการพัฒนา.....	33
เอกสารอ้างอิง.....		34
ภาคผนวก ก.....		35
ภาคผนวก ข.....		52
ภาคผนวก ค		62

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางบันทึกผลการทดลองขันทศอบขนาด M8 กับ ตัวล๊อคต่างๆ.....	24
4.1 ผลการทดลองการคลายตัวของเกลียวภายใต้การสั่นสะเทือนของขันทศอบขนาด M8 กับ Conventional Nut.....	26
4.2 ผลการทดลองการคลายตัวของเกลียวภายใต้การสั่นสะเทือนของขันทศอบขนาด M8 กับ Lock Nut.....	27
4.3 ผลการทดลองการคลายตัวของเกลียวภายใต้การสั่นสะเทือนของขันทศอบขนาด M8 กับ Nylock Nut.....	28
4.4 ผลการทดลองการคลายตัวของเกลียวภายใต้การสั่นสะเทือนของขันทศอบขนาด M8 กับ Flat Washer.....	29
4.5 ผลการทดลองการคลายตัวของเกลียวภายใต้การสั่นสะเทือนของขันทศอบขนาด M8 กับ Spring Washer	30

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุ.....	3
รูปที่ 2.2 แสดงสลักเกลียวและแป้นเกลียวที่ใช้ในการขันแน่นด้วยแรง F เพื่อยึดชิ้นงานสอง ชนิดเข้าด้วยกัน.....	4
รูปที่ 2.3 แสดงโมเดลอย่างง่ายเมื่อสลักเกลียวไม่ได้รับการกระแสนึงสะเทือน.....	5
รูปที่ 2.4 แสดงโมเดลอย่างง่ายเมื่อสลักเกลียวได้รับการกระแสนึงสะเทือน.....	5
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างเครื่องทดสอบแบบ Junker.....	6
รูปที่ 2.6 แสดงชิ้นส่วนของกลไก Slider-Crank.....	6
รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่องทดสอบ.....	7
รูปที่ 2.8 รูปตัวอย่างเครื่องทดสอบ.....	7
รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบที่ออกแบบ.....	8
รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบหลักๆของเครื่องทดสอบ.....	8
รูปที่ 3.3 แสดงขนาดของการสั่นสะเทือนของเครื่องทดสอบ.....	9
รูปที่ 3.4 ประกอบการคำนวณแรงต้านจากความเสียดทาน.....	10
รูปที่ 3.5 แสดงการรับแรงตามขวางของสลักเกลียว.....	11
รูปที่ 3.6 แสดงการเกิดการโค้งงอของสลักเกลียว.....	11
รูปที่ 3.7 กระบวนการเคลื่อนที่ใน 1 รอบ ของแผ่นยึดชิ้นทดสอบ.....	12
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของกระบวนการ.....	12
รูปที่ 3.9 การต่อมอเตอร์ใช้งานแบบสตาร์ทและเดลตา.....	14
รูปที่ 3.10 อินเวอร์เตอร์ สำหรับการควบคุมมอเตอร์.....	14
รูปที่ 3.11 ส่วนประกอบเบื้องต้นของเอ็นโค้ดเดอร์.....	15
รูปที่ 3.12 แสดงสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมของแอสเฟส A และ B.....	15
รูปที่ 3.13 สเตรนเกจโพลดเซลล์ที่ได้ทำการออกแบบ.....	16
รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งติดตั้งโพลดเซลล์บนเครื่องทดสอบ.....	16
รูปที่ 3.15 การจำลองเพื่อดูค่าความเค้นของโพลดเซลล์ ที่แรงกดเท่ากับ 3000 นิวตัน.....	17
รูปที่ 3.16 วงจร Wheatstone Bridge.....	17
รูปที่ 3.17 การจำลองเพื่อดูค่าความเครียดของโพลดเซลล์ ที่แรงกดเท่ากับ 3000 นิวตัน.....	18
รูปที่ 3.18 ตำแหน่งติดตั้งสเตรนเกจ.....	18
รูปที่ 3.19 แสดงกราฟผลการสอบเทียบ.....	19

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 3.20 NI USB-6009	19
รูปที่ 3.21 Amplifier	20
รูปที่ 3.22 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรม LabVIEW วัดจำนวนรอบและความเร็วรอบของมอเตอร์.....	20
รูปที่ 3.23 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับ NI	21
รูปที่ 3.24 ตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น	21
รูปที่ 3.25 การติดตั้งชิ้นงานที่จะทดสอบ	21
รูปที่ 3.26 การกดปุ่ม RUN ที่อินเวอร์เตอร์	22
รูปที่ 3.27 ตัวอย่างหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่ 4000 รอบ	23
รูปที่ 3.28 ตัวอย่างค่าแรงดันไฟฟ้าสุดท้าย	23
รูปที่ 3.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและแรงยึดสลักเกลียวของชิ้นทดสอบขนาด M8 กับ ตัวล๊อคต่างๆ.....	24
รูปที่ 4.1 แสดงชิ้นทดสอบกับตัวล๊อคชนิดต่างๆ.....	25
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและแรงยึดสลักเกลียวของชิ้นทดสอบขนาด M8 กับ Conventional Nut	26
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและแรงยึดสลักเกลียวของชิ้นทดสอบขนาด M8 กับ Lock Nut.....	27
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและแรงยึดสลักเกลียวของชิ้นทดสอบขนาด M8 กับ Nylock Nut	28
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและแรงยึดสลักเกลียวของชิ้นทดสอบขนาด M8 กับ Flat Washer.....	29
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและแรงยึดสลักเกลียวของชิ้นทดสอบขนาด M8 กับ Spring Washer.....	30
รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบความสามารถต้านทานการคลายตัวชิ้นทดสอบขนาด M8 กับ Locking devices ชนิดต่างๆ.....	31

คำย่อและสัญลักษณ์

A	พื้นที่ที่รับแรงตึงฉาก
E	สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น
I	โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัด
F	แรงที่ใช้ในการยึดชิ้นงาน
F_t	ผลรวมของแรงในแนวตามขวาง
L	ความยาวเริ่มต้นของสลักเกลียว
S	ระยะการกระจัดของการสั่น
l	ระยะยึดของสลักเกลียวจากแรงดึง
β	มุมลาดชันของระนาบเอียง
μ	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
σ	ความเค้นของวัสดุ
ε	ความเครียดของวัสดุ
L_c	ความยาวของconnecting rod
x	ระยะการเคลื่อนที่ของslider
θ	มุมระหว่างcrankกับconnecting rod
\emptyset	มุมระหว่างsliderกับconnecting rod
d_2	เส้นผ่านศูนย์กลางพิทเกลียว
d_3	เส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียว

คำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

F_i	แรงยึดสลักเกลียวเริ่มต้น
F_f	แรงยึดสลักเกลียวสุดท้าย
F_y	แรงที่ค่า yield ของวัสดุ
Y	ปริมาณการคลายตัวของแรงที่ใช้ยึด
ω	ความเร็วเชิงมุม
t	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่
P_f	แรงต้านจากความเสียดทาน
P_p	แรงต้านจากกระบวนการ
P_a	แรงต้านจากการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง
P_T	แรงต้านทั้งหมด
M	มวลของแผ่นยึดขึ้นทดสอบ
a	ความเร่งของการเคลื่อนที่
v	ความเร็วของการเคลื่อนที่
v_0	แรงดันไฟขาออก
v_s	แรงดันไฟขาเข้า
S_g	เกจแฟคเตอร์
μ_n	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของนิตเดิลแบร์ริง

S_y

Yield strength

S_p

Proof strength



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การยึดชิ้นงานสามารถทำได้หลายวิธี การยึดด้วยเกลียวก็เป็นวิธีหนึ่งที่น่าิยมใช้ในเครื่องจักรทางกลต่างๆ เพราะง่ายต่อการถอดประกอบ และง่ายต่อการบำรุงรักษา รวมไปถึงมีต้นทุนที่ต่ำ อย่างไรก็ตามเครื่องจักรทางกลส่วนใหญ่มีความไม่สมดุลในการหมุน (rotating unbalance) ของมอเตอร์ เฟลา หรือข้อต่อต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการสั่นสะเทือนกับชิ้นงาน โดยเฉพาะการสั่นสะเทือนในแนวขวาง (transverse vibration) ที่มีอิทธิพลมากกว่าการสั่นสะเทือนตามแนวแกน (axial vibration) ซึ่งได้อธิบายไว้ในเอกสาร [1] ผลกระทบจากการสั่นสะเทือนนั้นส่งผลให้เกลียวที่ใช้ยึดเกิดการคลายตัวโดยกลไกการคลายตัวของเกลียวเนื่องจากการสั่นสะเทือนได้อธิบายไว้ในเอกสาร [1] และ [2] การคลายตัวของเกลียวนั้นอาจส่งผลร้ายแรงถึงขั้นเครื่องจักรเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นในโครงการนี้จะศึกษาผลของการสั่นสะเทือนต่อการคลายตัวของเกลียว รวมทั้งศึกษาเพิ่มเติมถึงวิธีการยึดเกลียวกับรูปแบบตัวล๊อคต่างๆที่จะสามารถต้านทานการคลายเกลียวเนื่องจากการสั่นสะเทือนได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้จะเปรียบเทียบและวิเคราะห์ความแตกต่างในการต้านทานการคลายเกลียวเนื่องจากการสั่นสะเทือนตามขวางของรูปแบบการยึดชิ้นงานด้วยตัวล๊อคแบบต่างๆ โดยทดลองที่ขนาดของการสั่นสะเทือน (amplitude) แรงที่ใช้ในการยึดชิ้นงานเริ่มต้น (initial clamp force) และลักษณะเฉพาะทางขนาดและวัสดุของเกลียวนั้นๆที่เหมือนกัน โดยวิเคราะห์ผลการทดลองจากความสัมพันธ์ของแรงที่ใช้ในการยึดชิ้นงานที่เปลี่ยนไป แล้วนำผลการทดลองทั้งหมดมาเปรียบเทียบหารูปแบบการยึดด้วยตัวล๊อคที่สามารถต้านทานการคลายตัวได้ดีที่สุด ซึ่งประโยชน์ในการทำโครงการนี้เพื่อให้ได้มาซึ่งชุดทดลองวัดการคลายตัวของเกลียวเนื่องจากการสั่นสะเทือน และเป็นประโยชน์ในการศึกษาทดลองให้กับนักศึกษาในภาควิชาได้อีกด้วย

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในการยึดชิ้นงานด้วยสลักเกลียวร่วมกับตัวล๊อคต่างๆ จะมีความสามารถในการต้านทานการคลายตัวเมื่อรับภาระการสั่นสะเทือนตามขวางที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น การยึดชิ้นงานโดยใช้สลักเกลียว (bolt) และแป้นเกลียว (nut) อย่างเดียวจะมีการต้านทานการคลายตัวเนื่องจากการสั่นสะเทือนที่น้อยกว่าการที่มีแหวน (washer) ร่วมด้วย เนื่องจากการที่เพิ่มแหวนเข้าไปร่วมในการยึด

จะเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสและเพิ่มสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานระหว่างผิวของหัวสลักเกลียวกับผิวชิ้นงานที่ยึด ส่งผลให้มีการต้านทานการคลายเกลียวมากขึ้นด้วย

1.4 ขอบเขตการวิจัย

โครงการนี้จะศึกษาความแตกต่างในการต้านทานการคลายเกลียวเนื่องจากการสั่นสะเทือนตามขวางของรูปแบบการยึดชิ้นงานด้วยสลักเกลียวและตัวล็อคแบบต่างๆ โดยมีรายละเอียดการศึกษาดังนี้

สร้างเครื่องทดสอบโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO16130 [3] แล้วใช้ชิ้นทดสอบขนาด M8 เปรียบเทียบกับการใส่ตัวล็อคต่างๆ ได้แก่ conventional nut, nylock nut, lock nut, flat washer และspring washer โดยตั้งค่าเครื่องทดสอบให้มีขนาดการสั่นสะเทือนประมาณ 2.00 mm ที่ความถี่ 1040 RPM จำนวน 4000 รอบ และแรงที่ใช้ในการยึดสลักเกลียวเริ่มต้นประมาณ 3000 นิวตัน โดยใช้โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจในการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงที่ใช้ยึด เก็บค่าแรงยึดเริ่มต้น แรงยึดสุดท้าย และจำนวนรอบของการสั่นสะเทือน สุดท้ายนำผลการทดลองมาวิเคราะห์เปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานการคลายตัวที่เกิดขึ้น เพื่อให้ได้รูปแบบการยึดด้วยตัวล็อคที่สามารถต้านทานการคลายตัวเนื่องจากภาระจากการสั่นสะเทือนตามขวางได้ดีที่สุด

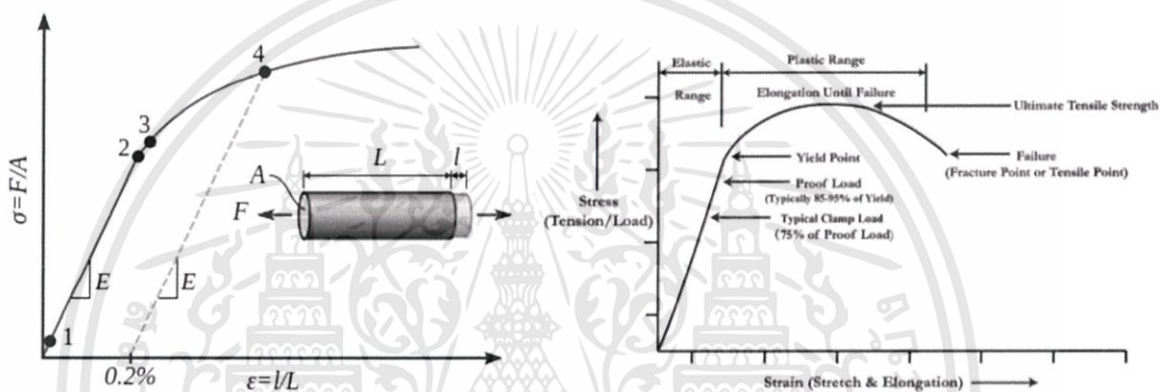
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

โครงการนี้เริ่มต้นโดยทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคลายตัวของเกลียวเมื่อรับภาระการสั่นสะเทือนแบบต่างๆ และศึกษารูปแบบการยึดด้วยตัวล็อคแบบต่างๆ เพื่อป้องกันการคลายตัวเนื่องจากการสั่นสะเทือน จากนั้นทำการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบที่สามารถกำเนิดการสั่นสะเทือนตามขวางกับชิ้นทดสอบได้ และทำการทดลองตามที่วางแผนไว้ จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบวิเคราะห์ว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งขึ้นหรือไม่ รวมถึงสรุปผลการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานการคลายของตัวล็อคต่างๆ

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและการออกแบบเครื่องทดสอบ

2.1 การขึ้นแน่นและการคลายตัวของเกลียว

ในการประกอบชิ้นงานโดยใช้สลักเกลียวขันยัดให้แน่นจะทำให้ชิ้นงานเสียรูปเนื่องจากแรงกด และ สลักเกลียวจะเสียรูปเนื่องจากแรงดึง เพื่อไม่ให้สลักเกลียวเสียรูปอย่างถาวรจึงต้องมีการคำนวณแรงที่ใช้ในการขันสลักเกลียวแต่ละตัว วิธีการวัดแรงที่ใช้ในการขันสลักเกลียวสามารถพิจารณาจากกราฟความเค้นและความเครียด ดังนี้ [4]



รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุ

จากรูปที่ 2.1 อธิบายได้ว่า จุดที่ 1 True elastic limit จุดที่ความเค้นต่ำสุดที่วัดได้ คือจุดที่วัสดุเริ่มเสียรูปแบบelastic จุดที่ 2 Proportionality limit ตั้งแต่จุดที่ 1 ถึงจุดที่ 2 ความเค้นแปรผันตรงกับความเร็วตามกฎของ Hooke กราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรง ที่มีความชันเท่ากับสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น E (elastic modulus) ของวัสดุ จุดที่ 3 Elastic limit จุดสุดท้ายที่สามารถรับแรงสูงสุด และเริ่มมีการเสียรูปอย่างถาวรเกิดขึ้น หรือการเสียรูปแบบพลาสติก โดยทั่วไปแล้วจุดที่ 2 และ 3 อยู่ใกล้กันมาก สามารถพิจารณาให้เป็นจุดเดียวกันได้ จุดที่ 4 Yield point เนื่องจากการวัดเพื่อหาจุดที่ 3 ทำได้ยาก จึงประมาณค่าได้จาก 0.2% ของความเครียด แล้วลากเป็นเส้นตรงด้วยความชันเท่ากับสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของวัสดุตัดกับเส้นโค้ง จะได้ค่า Yield strength, S_y ของวัสดุ

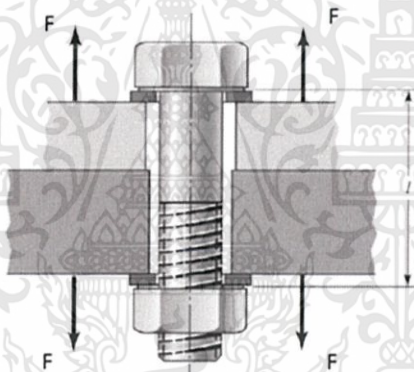
ในการเลือกแรงที่ใช้ในการยัดสลักเกลียว ต้องคำนึงถึงค่า Proof strength, S_p ซึ่งหาได้ในมาตรฐาน SAE, ASTM, หรือ ISO โดย Proof strength, S_p คือ ความเครียดที่ทำให้สลักเกลียวเริ่มมีการเสียรูปแบบพลาสติกเกิดขึ้น ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงค่า Yield strength, S_y ของวัสดุ แต่ต่ำกว่า

การคำนวณแรง yield ของสลักเกลียวที่ใช้ในการขันแน่นสามารถคำนวณได้จากสมการ ซึ่งอ้างอิงจาก ISO 16130:2015 ดังนี้

$$F_y = \frac{\pi}{4} d_3^2 \left\{ 2 - \left(\frac{d_3}{d_2} \right)^2 \right\} \times \text{Yield strength} \quad (2.1)$$

ซึ่ง Proof load จะมีค่าเท่ากับ 85%-95% ของ Yield load โดยทั่วไปสำหรับการขันแน่นในงานที่ไม่มีการสั่นสะเทือนมาเกี่ยวข้องจะขันยึดที่ค่าเริ่มต้นประมาณ 90% ของค่า Proof load ส่วนในงานที่มีผลกระทบจากการสั่นสะเทือนจะสามารถขันแน่นได้ที่ค่าเริ่มต้นประมาณ 75% ของค่า Proof load ขึ้นไป ในการวัดระยะยึดของสลักเกลียวจะใช้ Micrometer หรือ Electronic length gage บางครั้งอาจใช้ Ultrasonic transducers ในการวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวของสลักเกลียวที่ถูกขันแน่น การวัดแรงที่ใช้ยึดจากระยะยึดของสลักเกลียวตามวิธีข้างต้นจะทำได้ยากแต่จะให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ มีอีกวิธีหนึ่งที่ยากกว่า แต่ผลลัพธ์ที่ได้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ถึง $\pm 30\%$ คือ การวัดแรงจากทอร์คที่ใช้ขันสลักเกลียวนั่นเอง [5]

เมื่อมีการยึดชิ้นงานด้วยสลักเกลียวกับแป้นเกลียว ทำให้มีความเค้นเกิดขึ้นในตัวสลักเกลียว โดยสลักเกลียวรับภาระ F จากแรงดึง และชิ้นงานได้รับภาระ F จากแรงกด แสดงดังรูปที่ 2.2

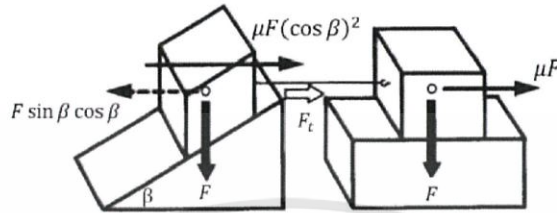


รูปที่ 2.2 แสดงสลักเกลียวและแป้นเกลียวที่ใช้ในการขันแน่นด้วยแรง F เพื่อยึดชิ้นงานสองชนิดเข้าด้วยกัน [6]

เมื่อชิ้นงานที่ขันแน่นด้วยแรงที่คำนวณมาแล้วได้รับภาระการสั่นสะเทือนตามขวางจนอาจส่งผลให้สลักเกลียวที่ยึดชิ้นงานเกิดการคลาย เอกสาร [1] ได้อธิบายเกี่ยวกับกลไกการคลายตัวของสลักเกลียวเนื่องจากการสั่นสะเทือนว่า กลไกการคลายตัวของสลักเกลียวคล้ายกับกลไกในการลำเลียงอนุภาคลงระนาบเอียงด้วยการสั่นสะเทือน ถ้าการสั่นสะเทือนทำให้เกิดแรงเฉื่อยที่มากกว่าผลรวมของแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงเสียดทานระหว่างผิวอนุภาคกับผิวของระนาบเอียงก็จะทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ลงระนาบเอียงได้ ทำนองเดียวกับการคลายตัวของเกลียวถ้าขนาดการสั่นทำให้เกิดแรงเฉื่อยที่มากพอก็จะทำให้เกลียวเกิดการหมุนและคลายได้ในที่สุด เอกสาร [2] อธิบายจากกฎพื้นฐานตามหลักฟิสิกส์ ที่ว่าด้วยวัตถุ 2 ชนิดที่สัมผัสกันจะเกิดแรงเสียดทานซึ่งกันและกัน โดยทั่วไปถ้าไม่มีผลกระทบจากการสั่นสะเทือนแรงเสียดทานระหว่างวัตถุสองวัตถุนั้นจะมีขนาดมากกว่าแรงกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภายนอก ทำให้เกลียวสามารถยึดชิ้นงานให้อยู่ติดกันได้ จากรูปที่ 2.3 เป็นการแสดงผิวสัมผัสระหว่างสลักเกลียวและชิ้นงานโดยพิจารณาตามรูปแบบอย่างง่าย ระบายเอียงเปรียบเสมือนผิวสัมผัสของเกลียว และระนาบเรียบเปรียบเสมือนผิวสัมผัสของหัวสลักเกลียว หรือหัวแป้นเกลียวที่สัมผัสกับผิวชิ้นงาน ค่า F คือ แรงที่ใช้ในการยึดชิ้นงาน

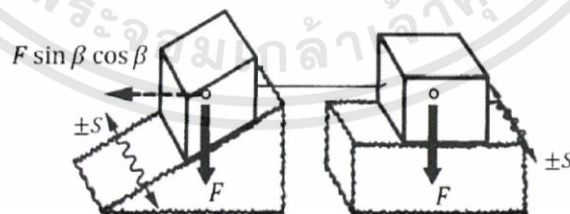


รูปที่ 2.3 แสดงโมเดลอย่างง่ายเมื่อสลักเกลียวไม่ได้รับการกระแสนั่นสะเทือน

ถ้ามุมของระนาบเอียงมีค่าน้อยกว่ามุมของแรงเสียดทาน วัตถุที่มีน้ำหนัก F วางไว้บนระนาบเอียง วัตถุนั้นจะไม่มีเคลื่อนที่ จะได้สมการผลรวมของแรงในแนวตามขวางเมื่อไม่ได้รับโหลดจากการสั่นสะเทือน คือ

$$F_t = \mu F + \mu F (\cos \beta)^2 - F \sin \beta \cos \beta \quad (2.2)$$

ถ้าค่า F_t มีค่าเท่ากับศูนย์ระบบจะไม่มีเปลี่ยนแปลง (วัตถุไม่เคลื่อนที่) ระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อ ระนาบเอียงที่อยู่ใต้วัตถุเกิดการสั่นซึ่งจะเป็นการเพิ่มแรงเฉื่อย (inertial force) จนอาจมีค่ามากกว่าแรงเสียดทาน ส่งผลให้ระนาบเอียงที่สัมผัสกับวัตถุไม่มีแรงเสียดทาน หรือแรงเสียดทานเป็นศูนย์นั่นเอง



รูปที่ 2.4 แสดงโมเดลอย่างง่ายเมื่อสลักเกลียวได้รับการกระแสนั่นสะเทือน

จากรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นเมื่อระบบเกิดการสั่นสะเทือน ระบบจะมีการเคลื่อนที่ จะได้สมการผลรวมของแรงในแนวตามขวางเมื่อได้รับโหลดจากการสั่นสะเทือน คือ

$$F_t = -F \sin \beta \cos \beta \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ลงของวัตถุ เปรียบเสมือนเกลียวเริ่มคลายตัวจากการรับโหลดจากการสั่นสะเทือนนั่นเอง

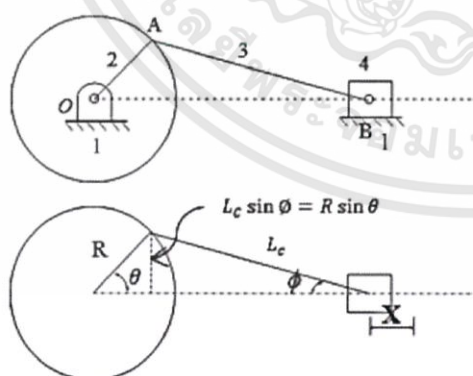
2.2 กลไก Slider-Crank

จากการศึกษาเครื่องทดสอบทั่วไป มีกลไกที่อาศัยหลักการการเคลื่อนที่แบบไม่สมดุลเป็นแหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือน ดังตัวอย่างเครื่องทดสอบ ดังรูปที่ 2.5 มีการหมุนเยื้องศูนย์กลางของเพลาลูกเบี้ยวต่อเข้ากับมอเตอร์ถ่ายทอดการเคลื่อนที่ตามขวางให้กับชิ้นทดสอบ



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างเครื่องทดสอบแบบ Junker ที่มา : www.jinn.kr

ในการออกแบบเครื่องที่ใช้ในการทดสอบจึงอาศัยหลักการของกลไกการเคลื่อนที่ของ Slider-Crank [7] ซึ่งเป็นกลไกที่ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยอาศัยการส่งแรงจาก crank สู่ connecting rod เพื่อให้ slider เกิดการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงกลับไปกลับมาเมื่อ crank หมุนครบรอบเป็น วัฏจักร โดยองค์ประกอบต่างๆของกลไกแสดง ดังรูปที่ 2.6



- 1 ส่วนที่พิจารณาให้อยู่กับที่ (considered fixed)
- 2 ส่วนที่หมุนรอบเป็นวัฏจักร (crank)
- 3 ส่วนที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นเชิงเส้น (connecting rod)
- 4 ส่วนที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงกลับไปกลับมา (slider)

รูปที่ 2.6 แสดงชิ้นส่วนของกลไก Slider-Crank

ในการพิจารณาการเคลื่อนที่ของ Slider-Crank จะมีสูตรการคำนวณการกระจัดของ slider ดังนี้

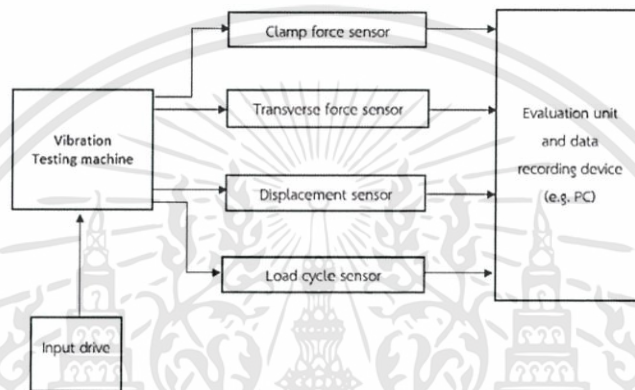
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X = R(1 - \cos \theta) + \frac{R^2}{2L_c} \sin^2 \theta ; \theta = \omega t \quad (2.4)$$

จากสมการข้างต้นสามารถนำไปใช้ร่วมกับการออกแบบหาขนาดที่เหมาะสมของเครื่องทดสอบได้

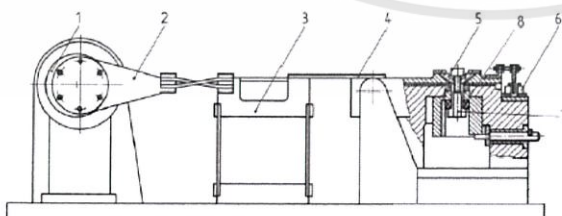
2.3 มาตรฐานอ้างอิงที่ใช้ในการออกแบบ [3]

การออกแบบเครื่องที่ใช้ในการทดสอบจะอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO16130 โดยจะมีรายละเอียดหลักๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่องทดสอบ

เครื่องทดสอบจะใช้มอเตอร์เป็น input drive ในการขับเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวขวาง โดยเครื่องทดสอบจะประกอบด้วยฐานที่อยู่นิ่ง (stationary base) ซึ่งมีเซนเซอร์วัดแรงยึด (clamp force sensor) หรืออาจมีเซนเซอร์วัดแรงตามขวาง (transverse force sensor) หรือไม่มีก็ได้ และแผ่นที่เคลื่อนที่กลับไปกลับมา (floating glider plate) โดยอาจมีเซนเซอร์วัดระยะการกระจัด (Displacement sensor) หรือไม่มีก็ได้ เพื่อจำลองการยึดชิ้นงานด้วยสลักเกลียวภายใต้ภาระการสั่นสะเทือนตามขวาง โดยมีส่วนประกอบหลักๆ ดังรูปที่ 2.8



- 1 infinitely adjustable eccentric
- 2 connecting rod
- 3 transverse force sensor (optional)
- 4 connecting plate
- 5/7 fastener test assembly
- 6 displacement sensor
- 8 clamp force sensor (axial)

รูปที่ 2.8 รูปตัวอย่างเครื่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

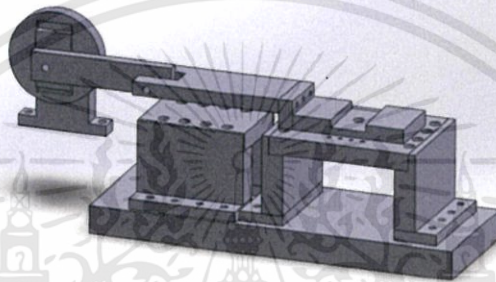
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

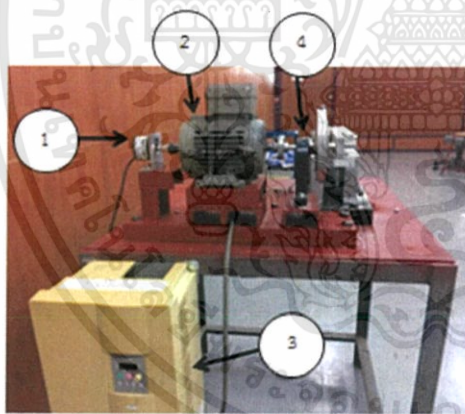
3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 เครื่องทดสอบ

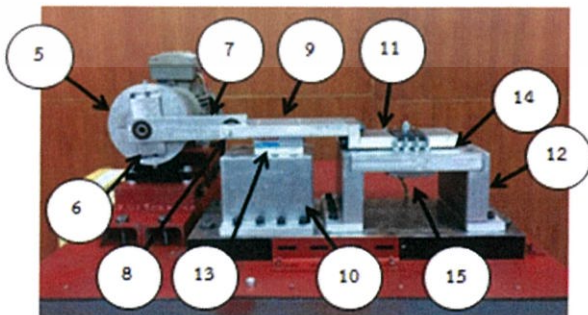
การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solidworks 2015 และเลือกใช้วัสดุเป็น AA6061 โดยมีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้



รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบที่ออกแบบ



- 1 โรตารีเอ็นโค้ดเดอร์
- 2 มอเตอร์กระแสสลับ
- 3 อินเวอร์เตอร์
- 4 ฐานยึดเฟลาส่งกำลัง
- 5 วงล้อ
- 6 แผ่นปรับแอมพลิจูด
- 7 แผ่นลิงค์



- 8 หมุดยึด
- 9 แผ่นส่งแรง
- 10 ฐานลิเนียร์ไกด์
- 11 แผ่นยึดชิ้นทดสอบ
- 12 ฐานแผ่นยึดชิ้นทดสอบ
- 13 ลิเนียร์ไกด์
- 14 นีดเดิลแบร์ริง
- 15 โพลดเซลล์

รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบหลักๆของเครื่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสสลับ โดยควบคุมความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์ และวัดความเร็วรอบและจำนวนรอบด้วยโรตารีเอ็นโค้ดเดอร์ เครื่องทดสอบสามารถปรับขนาดของการสั่นสะเทือนได้ โดยการปรับที่แผ่นปรับแอมพลิจูดที่ติดอยู่กับวงล้อซึ่งต่อตรงอยู่กับมอเตอร์ ส่งผ่านการเคลื่อนที่ตามขวางผ่านแผ่นส่งแรงโดยมีลิเนียร์ไกด์บังคับการเคลื่อนที่ของแผ่นยึดขึ้นทดสอบให้อยู่ในระนาบตามขวางกับขึ้นทดสอบ ระหว่างแผ่นยึดขึ้นทดสอบกับฐานแผ่นยึดขึ้นทดสอบจะมีนิตเดิลเบริงลดแรงเสียดทานในการเคลื่อนที่ การวัดแรงยึดจะใช้โหลดเซลล์ชนิดสเตรนเกจที่ได้ทำการออกแบบและทำขึ้นเอง โดยมีลักษณะดังรูปที่ 3.13

ออกแบบเครื่องทดสอบตามหลักการกลไก Slider-Crank ดังรูปที่ 2.6 และใช้สมการ 2.4 ในการคำนวณหาระยะของการปรับแผ่นแอมพลิจูด, R ที่ขนาดของการสั่นสะเทือน, X ใดๆ

ตัวอย่างการคำนวณ เช่น ต้องการขนาดของการสั่นสะเทือน, X เท่ากับ 2 มิลลิเมตร โดยออกแบบให้ความยาวของแผ่นลิงค์ L_c เท่ากับ 160 มิลลิเมตร

$$X = R(1 - \cos \theta) + \frac{R^2}{2L_c} \sin^2 \theta ; \theta = \omega t \quad (2.4)$$

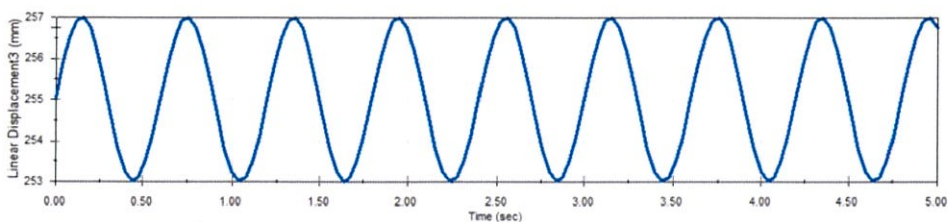
ระยะ X จะเป็นค่าขนาดของการสั่นสะเทือนของเครื่องทดสอบ เมื่อ $\theta = 90^\circ$ จากสมการ 2.4 สามารถหา R จากการแทนค่าลงในสมการ จะได้

$$2 = R(1 - \cos 90^\circ) + \frac{R^2}{2(160)} \sin^2 90^\circ$$

$$R = 1.9876 \approx 2 \text{ มิลลิเมตร}$$

นั่นแสดงว่า ถ้า L_c มีค่ามากกว่า R มากๆ ดังการออกแบบข้างต้นแล้วสามารถประมาณค่า X มีค่าใกล้เคียงกับ R ได้ หมายความว่าถ้าต้องการขนาดของการสั่นสะเทือน 2 มิลลิเมตร สามารถปรับระยะแผ่นแอมพลิจูด 2 มิลลิเมตรได้เลย โดยจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ประมาณ 0.0124 มิลลิเมตร หรือ 0.62 เปอร์เซ็นต์

เมื่อลองจำลองการเคลื่อนที่ในโปรแกรม SolidWorks จะได้ว่าเมื่อปรับระยะแผ่นแอมพลิจูดเท่ากับ 2 มิลลิเมตร จะได้ขนาดของการสั่นสะเทือนของเครื่องทดสอบ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงขนาดของการสั่นสะเทือนของเครื่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทดสอบที่ออกแบบสามารถปรับขนาดความยาวของแผ่นแอมพลิฟิเคชันได้สูงสุดถึง 10 มิลลิเมตร โดยปรับที่แผ่นปรับแอมพลิฟิเคชัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2

การคำนวณหาค่ากำลังของมอเตอร์โดยพิจารณาจากแรงต้านทั้งหมดดังนี้

แรงต้านจากความเสียดทาน P_f ระหว่างพื้นผิวสัมผัสของแผ่นยึดชิ้นทดสอบกับฐานแผ่นยึดชิ้นทดสอบ เมื่อกำหนดให้แรงยึดเริ่มต้น, F_i เท่ากับ 3000 นิวตัน และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างผิว, μ_n เท่ากับ 0.002 ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของนิตเดิลแบร์ริง อ้างอิงตามรายการสินค้าของSKF รวมไปถึงแรงเสียดทานระหว่างเกลียวดังสมการ 2.2 โดยสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในเกลียวสูงสุดของตัวล๊อค, μ มีค่าเท่ากับ 0.35 และมุมเกลียวของสลักเกลียว, β ตามมาตรฐาน metric มีค่าเท่ากับ 30 องศา

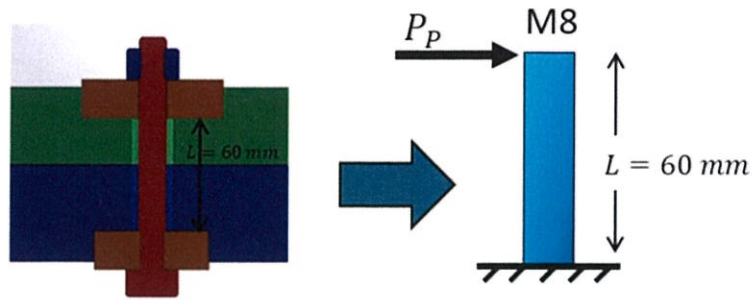


รูปที่ 3.4 ประกอบการคำนวณแรงต้านจากความเสียดทาน

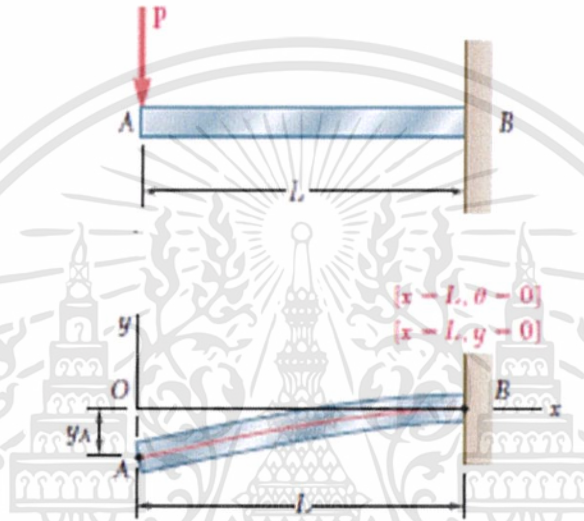
จะคำนวณแรงต้านจากความเสียดทานได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P_f &= F_i \mu_n + \mu F + \mu F (\cos \beta)^2 - F \sin \beta \cos \beta \\ &= (3000)(0.002) + (0.35)(3000) + (0.35)(3000)(\cos 30)^2 - (3000)(\sin 30 \cos 30) \\ &= 544.46 \text{ N} \end{aligned}$$

แรงต้านจากกระบวนการ ในการทดสอบสลักเกลียวได้รับแรงตามขวางจากการสั่นสะเทือน ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งจะทำให้สลักเกลียวเกิดการโค้งงอด้วยระยะเท่ากับขนาดของการสั่นสะเทือน, Y_s ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 แสดงการรับแรงตามขวางของสลักเกลียว



รูปที่ 3.6 แสดงการเกิดการโค้งงอของสลักเกลียว

จากสมการ Elastic Curve

$$y_A = -\frac{PL^3}{3EI} \quad (3.1)$$

เมื่อสลักเกลียวที่ใช้มีขนาด M8 Grade 8.8 มีค่า Elastic Modulus, E เท่ากับ 640 MPa

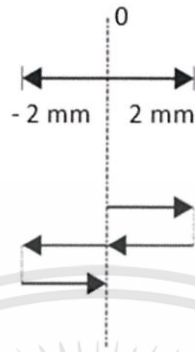
กำหนดให้ $y_A = 2 \text{ mm}$, $L = 60 \text{ mm}$ และ $I = \frac{\pi d^4}{64}$ แทนค่าในสมการจะได้

$$(2 \times 10^{-3}) = \frac{-P_p (60 \times 10^{-3})^3}{3(640 \times 10^6) \left(\frac{\pi (8 \times 10^{-3})^4}{64} \right)}$$

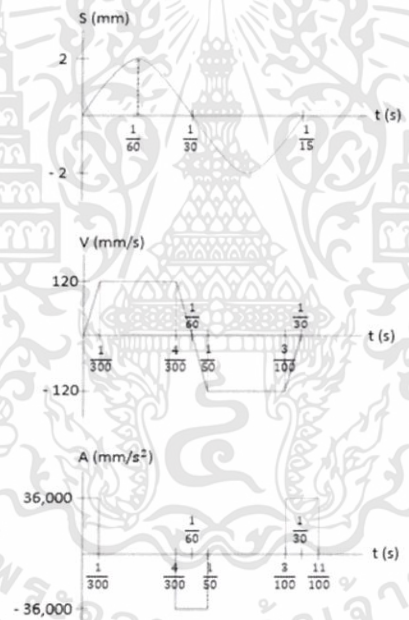
$$|P_p| = 3.57 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบการเคลื่อนที่ของกระบวนการ ดังรูปที่ 3.7 โดย 1 รอบของการสั่นสะเทือนแผ่นยึดขึ้นทดสอบจะเคลื่อนที่ไป 8 มิลลิเมตร และออกแบบกราฟแสดงการเคลื่อนที่ของกระบวนการ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 กระบวนการเคลื่อนที่ใน 1 รอบ ของแผ่นยึดขึ้นทดสอบ



รูปที่ 3.8 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของกระบวนการ

จากรูป B จะได้ว่าความเร็วสูงสุด, V_{\max} และความเร่งสูงสุด, a_{\max} ในการเคลื่อนที่มีค่า 120 mm/s และ 36000 mm/s² จะสามารถคำนวณแรงที่ใช้ในการเคลื่อนแผ่นยึดขึ้นทดสอบ, P_a เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุดได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} P_a &= Ma \\ &= 3.05(36000 \times 10^{-3}) \\ &= 109.8 \text{ N} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้แรงต้านทั้งหมด, P_T ดังนี้

$$\begin{aligned} P_T &= P_f + |P_p| + P_a \\ &= 544.46 + 3.57 + 109.8 \\ &= 657.83 \text{ N} \end{aligned}$$

สามารถคำนวณกำลังของมอเตอร์ ได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{Power of Motor} &= P_T \times v_{\max} \\ &= 657.83(120 \times 10^{-3}) \\ &= 78.94 \text{ W} \end{aligned}$$

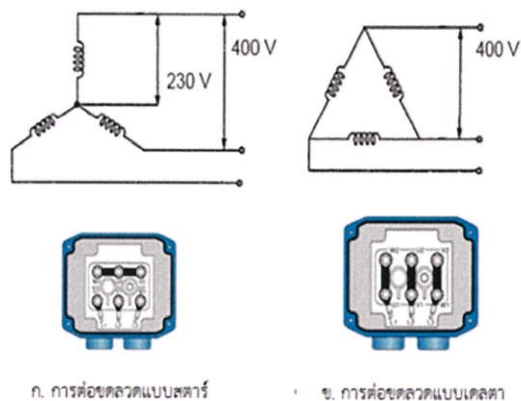
สมมติให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์เท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์ และให้มี Safety factor เท่ากับ 2 จะได้ขนาดของมอเตอร์ที่ควรเลือกมาใช้ คือ

$$\begin{aligned} \text{Power of Motor} &= \frac{78.94 \times 2}{0.7} \\ &= 225.54 \text{ W} \end{aligned}$$

ดังนั้นในการเลือกมอเตอร์ต้องเลือกใช้ให้มากกว่า 225.54 วัตต์

3.1.2 มอเตอร์กระแสสลับ (AC-Motor)

ใช้มอเตอร์กระแสสลับเป็นตัวขับเคลื่อน เลือกใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยมีเวอ์เตอร์เป็นตัวปรับรอบของมอเตอร์ และที่สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสมีขดลวดพันอยู่ 3 ชุด คือ เฟส A, B และ C สามารถนำมาต่อใช้งานได้ 2 แบบ คือ การต่อใช้งานแบบสตาร์และแบบเดลตา การจะต่อมอเตอร์ใช้งานแบบใดจะต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับแรงดันไฟฟ้าที่แผ่นป้ายของมอเตอร์ และระบบไฟฟ้าของประเทศนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.9

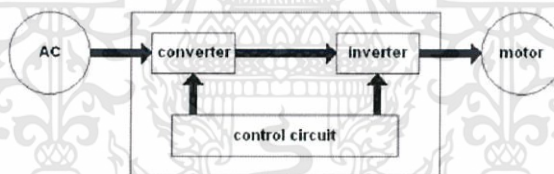


รูปที่ 3.9 การต่อมอเตอร์ใช้งานแบบสตาร์และเดลตา

มอเตอร์ที่เลือกใช้งานเป็นมอเตอร์กระแสสลับของ HASCON โมเดล MS 712-4 ซึ่งมีกำลังสูงสุด 0.37 กิโลวัตต์ และมีความเร็วรอบสูงสุด 1370 รอบต่อนาที

3.1.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์ (inverter) หรือ เอซีไดรฟ์ (AC drives) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ หรือเอซีมอเตอร์



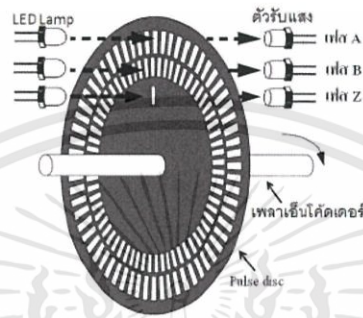
รูปที่ 3.10 อินเวอร์เตอร์ สำหรับการควบคุมมอเตอร์

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล โดยนำพลังงานที่ได้นี้ไปทำการขับเคลื่อนเครื่องจักรอื่นๆต่อไป โดยความเร็วของมอเตอร์สามารถกำหนดได้โดยแรงบิดของโหลด จำนวนขั้วของมอเตอร์ ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟที่ใช้กับมอเตอร์ และแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

จากรูปที่ 3.10 แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับไปยังคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง แล้วนำไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ ต่อเป็นอินพุตเข้าไปในวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงนี้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถเลือกความถี่ได้ เพื่อไปควบคุมมอเตอร์ให้มีความเร็วตามต้องการได้

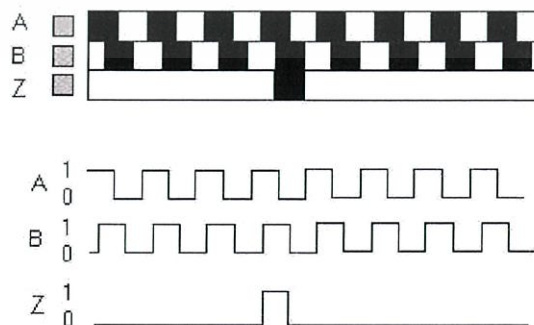
3.1.4 โรตารีเอ็นโค้ดเดอร์ (Rotary encoder)

โรตารีเอ็นโค้ดเดอร์ จะทำหน้าที่แปลงการหมุนทางกลให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าที่อยู่ในรูปของพัลส์ (pulse) เพื่อนำไปใช้แสดงผลหรือการควบคุมโดยต่อผ่านเคาท์เตอร์และPLC เป็นต้น เอ็นโค้ดเดอร์สามารถแบ่งตามรูปแบบการการให้ข้อมูลเอาต์พุตได้ 2 ชนิด คือ incremental กับ absolute แต่ทั้ง 2 ชนิดจะประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐานเหมือนกัน และทำงานภายใต้หลักการเดียวกัน ในรูปที่ 3.11 แสดงส่วนประกอบเบื้องต้นของเอ็นโค้ดเดอร์



รูปที่ 3.11 ส่วนประกอบเบื้องต้นของเอ็นโค้ดเดอร์

โดยจะเลือกใช้แบบ Incremental จะมีหลักการทำงานเบื้องต้น คือ เมื่อมีแสงที่กำเนิดจาก LED ส่องผ่านเลนส์ (convex lens) ซึ่งจะปรับโฟกัสให้เป็นลำแสงขนานกัน ลำแสงนี้จะส่องผ่าน Pulsedisc ซึ่งจะแยกแสงเป็น 2 ส่วนที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา และจะได้เป็นแสงที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา คือ ลำแสง A และลำแสง B ซึ่งแสงนี้จะส่องผ่านไปที่ Photodiode หรือโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์แบบตัวรับแสงแยกกัน (through-beam) แผ่นดิสก์ (disc) ที่ยึดกับเพลลาเพื่อตรวจสอบการหมุนของเพลลาจะมีแตรีกที่โปร่งแสงกับทึบแสงเพื่อสร้างรูปแบบการส่องแสงมืด และสว่างเมื่อเพลลาหมุน เนื่องจากลำแสง A และ B มีเฟสต่างกัน 90 องศา Photodiode 2 ตัว จะแปลงแสงที่รับได้นี้ไปเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Square wave) ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ซึ่งสัญญาณที่ได้นี้สามารถต่อเข้ากับ PLC และเคาท์เตอร์ได้จำนวนพัลส์ (pulse) นี้จะถูกนับโดย PLC หรือเคาท์เตอร์เพื่อแสดงตำแหน่งหรือความเร็ว



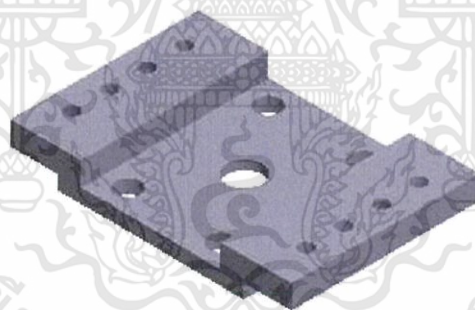
รูปที่ 3.12 แสดงสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมของแสงเฟส A และ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

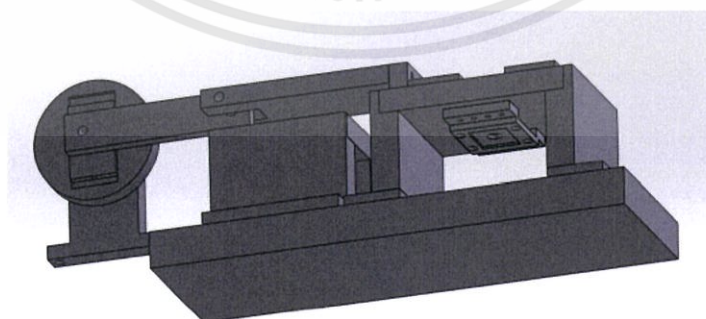
โดยมาตรฐานแล้วเอ็นโค้ดเดอร์จะนับที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณสี่เหลี่ยม (square wave) ซึ่งมีความละเอียดเท่ากับจำนวนร่องบนแผ่นดิสก์ ส่วนทิศทางการหมุนของเอ็นโค้ดเดอร์สามารถตรวจสอบได้จากสัญญาณพัลส์ของเฟส A และเฟส B ว่าเฟสใดเกิดขึ้นก่อน สมมติว่า เฟส A เกิดขึ้นก่อนเฟส B เป็นการหมุนตามเข็มนาฬิกาในทางตรงกันข้าม ถ้าเฟส B เกิดขึ้นก่อนเฟส A จะเป็นการหมุนทวนเข็มนาฬิกา นอกจากนั้นเอ็นโค้ดเดอร์จะมีร่องอีกอันหนึ่งซึ่งจะมีพัลส์เดียวในการหมุน 1 รอบเรียกว่า เฟส Z (Zero) ซึ่งเอ็นโค้ดเดอร์ใช้พัลส์นี้เพื่อเป็นการบอกตำแหน่ง Home ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรอาจต้องการรีเซ็ตระบบใหม่ ในกรณีนี้เอ็นโค้ดเดอร์จะหมุนจนกระทั่งพัลส์เฟส Z ถูกตรวจจับได้เครื่องจักรจะทราบทันทีว่านี่ คือ ตำแหน่ง Home

3.1.5 โหลดเซลล์ (Load cell)

ในการวัดแรงที่สลักเกลียวยึด จะใช้โหลดเซลล์ชนิด สเตรนเกจโหลดเซลล์ (strain gauge load cell) ในการวัดแรง ซึ่งได้ทำการออกแบบลักษณะของโหลดเซลล์ดังรูปที่ 3.13 และติดตั้งบนเครื่องทดสอบบริเวณใต้ฐานแผ่นยึดขึ้นทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.14 หลักการของโหลดเซลล์ชนิดนี้คือ เมื่อมีแรงมากระทำกับตัวโหลดเซลล์ จะทำให้โหลดเซลล์เสียรูป และทำให้สเตรนเกจที่ติดอยู่บนผิวโหลดเซลล์เสียรูปไปด้วย จากการจำลองโดยโปรแกรม Solidworks 2015 เมื่อใช้แรงที่ 3000 นิวตัน กดลงบนแบบจำลอง โดยเลือกวัสดุเป็น AISI304 ที่มีค่า Yield Strength เท่ากับ 207 MPa

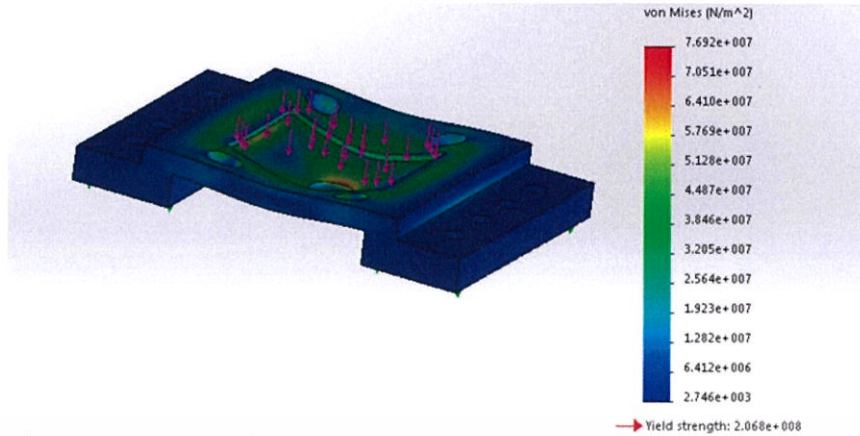


รูปที่ 3.13 โหลดเซลล์ที่ได้ทำการออกแบบ



รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งติดตั้งโหลดเซลล์บนเครื่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 การจำลองเพื่อดูค่าความเค้นของโพลดเซลล์ ที่แรงกดเท่ากับ 3000 นิวตัน

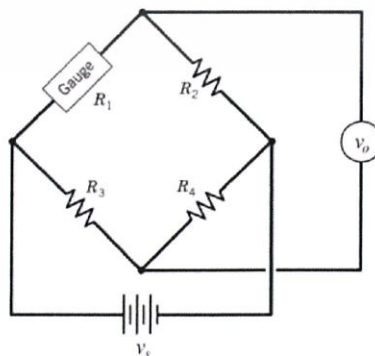
จากการจำลองในโปรแกรมพบว่าค่าความเค้นสูงสุดในตัววัสดุเมื่อถูกกดด้วยแรง 3000 นิวตัน มีค่าเท่ากับ 78 MPa ซึ่งไม่เกินค่าความเค้นของวัสดุที่ใช้ทำโพลดเซลล์ดังรูปที่ 3.15

3.1.6 สเตรนเกจ (Strain Gauge)

สเตรนเกจ คือ เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดความเครียด (strain) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แบบอุปกรณ์กึ่งตัวนำ และแบบเส้นลวดโลหะ แต่สเตรนเกจกึ่งตัวนำจะมีขนาดเล็กกว่า และมีความไวสูงกว่าแบบลวดโลหะ หลักการของสเตรนเกจ คือ เมื่อสเตรนเกจถูกแรงกระทำ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปทำให้ความต้านทานของวัตถุนั้นเปลี่ยนไปตามแรงที่กระทำ เมื่อขดลวดถูกแรงกระทำจะทำให้ความยาวเพิ่มขึ้นและพื้นที่หน้าตัดลดลงส่งผลให้ความต้านทานทางไฟฟ้าลดลง ดังสมการ 3.2

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (3.2)$$

โดยค่าความต้านทานทางไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากระทำ โดยปกติแล้วมักจะใช้สเตรนเกจจำนวน 4 ตัว ต่อกันแบบวงจร Wheatstone Bridge ดังรูปที่ 3.16



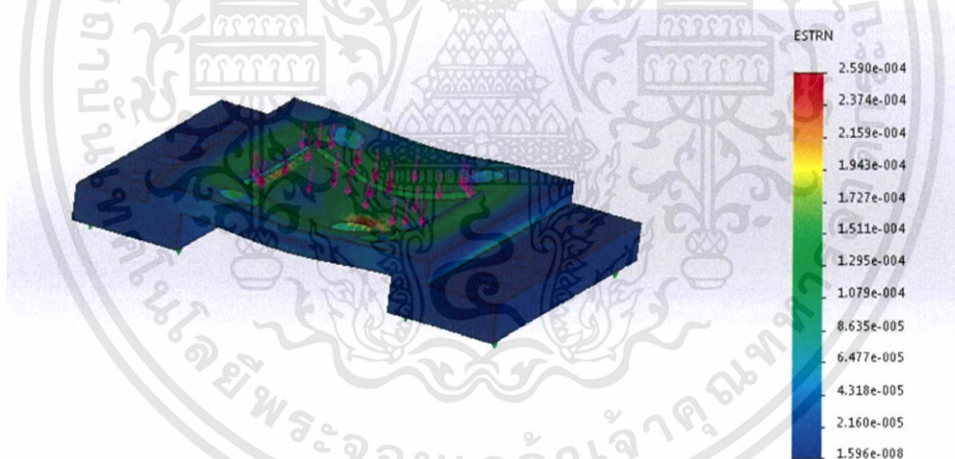
รูปที่ 3.16 วงจร Wheatstone Bridge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

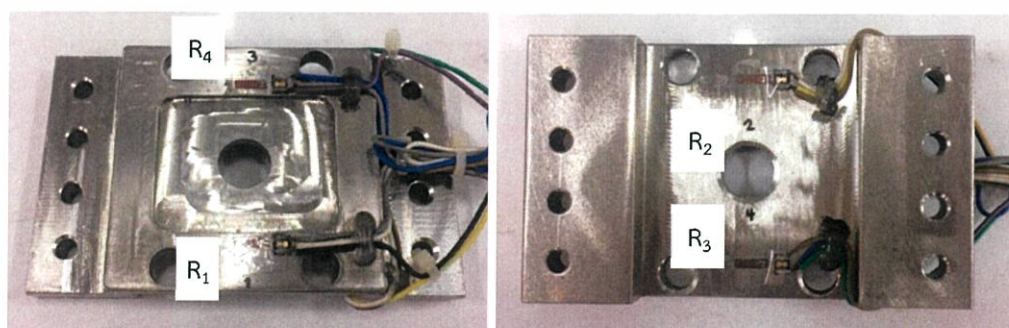
และสเตรนเกจทั้ง 4 จะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อใช้แปลงแรงที่กระทำกับตัวของมันไม่ว่าจะเป็นแรงกด หรือแรงดึง สัญญาณจะออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้าดังสมการ 3.3 โดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีหน่วยเป็น mV

$$\frac{\delta v_0}{v_s} = \frac{S_g \varepsilon}{4 + 2S_g \varepsilon} \approx \frac{S_g \varepsilon}{4} \quad (3.3)$$

ใช้โปรแกรม Solidworks ในการจำลองความเครียดบนโพลีเอสเตอร์ดังรูปที่ 3.17 เมื่อใช้แรงที่ 3000 นิวตัน กดลงบนแบบจำลอง พบว่าค่าความเครียดสูงสุดของแบบจำลองจะอยู่ที่ตำแหน่งดังรูปที่ 3.17 เพื่อวิเคราะห์ขนาดที่เหมาะสมของโพลีเอสเตอร์ตามค่าความเครียดที่ต้องการ จนได้ขนาดตามภาคผนวก ก และได้ตำแหน่งในการติดตั้งสเตรนเกจดังรูปที่ 3.18 ในการติดสเตรนเกจเพื่อวัด bending strain ของวัสดุ จะติดจำนวน 4 ตัว โดยติด 2 ตัวบนผิวส่วนของด้านที่มีการยึดตัวและติดตั้งไว้ตรงตำแหน่ง R2 และ R3 ส่วนอีก 2 ตัว จะติดบนผิวของด้านที่มีการหดตัวและติดตั้งไว้ตรงตำแหน่ง R1 และ R4 ดังรูปที่ 3.18 เพื่อกำจัด Temperature compensation ที่อาจส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนในการวัดแรง



รูปที่ 3.17 การจำลองเพื่อดูค่าความเครียดของโพลีเอสเตอร์ ที่แรงกดเท่ากับ 3000 นิวตัน

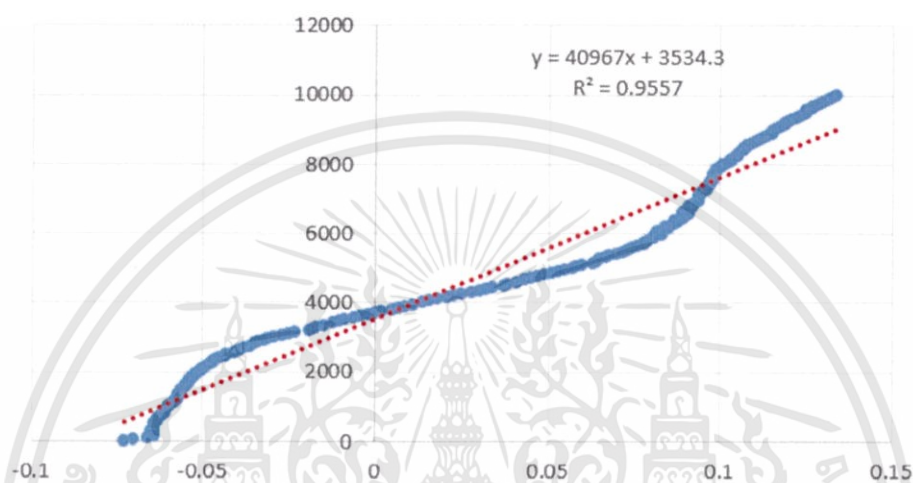


รูปที่ 3.18 ตำแหน่งติดตั้งสเตรนเกจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสอบเทียบทำโดยใช้เครื่อง UTM ในการสอบเทียบจะเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าทุกๆ 50 นิวตัน ไปจนถึง 10000 นิวตัน ได้ผลการสอบเทียบแสดง ดังรูปที่ 3.19 นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ไปวาดกราฟ หาสมการเส้นตรง ทำให้ได้เป็นสมการสอบเทียบดังสมการ 3.4 และนำไปใช้ในการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นแรง

$$F = 40967.39V + 3534.346 \quad (3.4)$$



รูปที่ 3.19 แสดงกราฟผลการสอบเทียบ

3.1.7 NI USB-6009

NI USB-6009 เป็น DAQ Card ที่ผลิตโดย National Instrument โดยมีจำนวนช่อง Analog Input สำหรับวัดแรงดันที่อยู่ในช่วง $\pm 10V$ จำนวน 8ช่อง 14bit ที่ความเร็ว Sampling Rate 48kS/s, Analog Output 2ช่อง 12bit ความเร็ว Sampling Rate 150S/s Digital I/O 12 ช่อง, 32bit counter 1 ช่อง โดยนำ NI USB-6009 มาต่อกับเอ็นโค้ดเดอร์ และคอมพิวเตอร์ เพื่อวัดค่าจำนวนรอบ และความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยใช้ LabVIEW เป็นตัวเก็บรวบรวมข้อมูล และแสดงผล



รูปที่ 3.20 NI USB-6009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 แอมพลิฟายเออร์ (Amplifier)

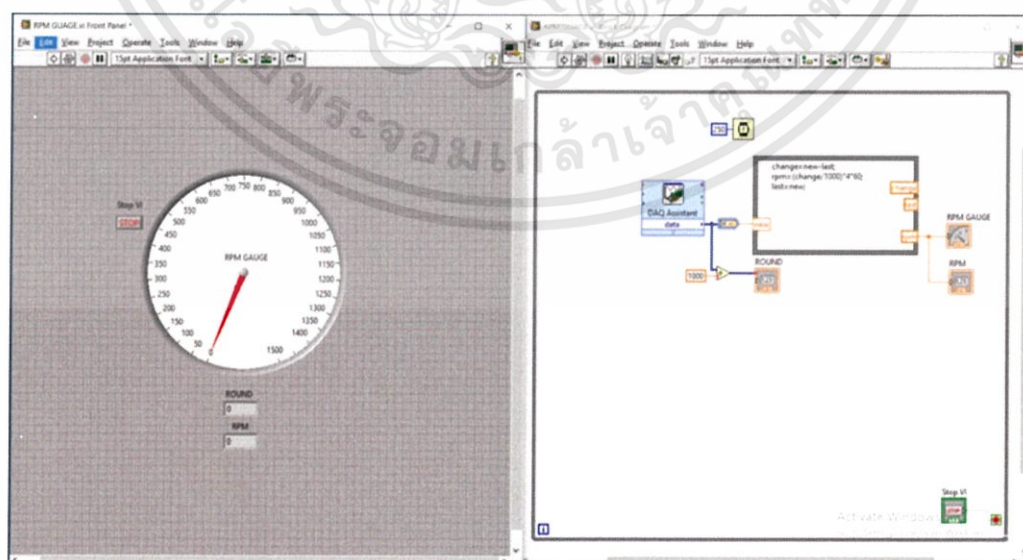
สัญญาณไฟฟ้า Output ที่ได้จากโพลเซลล์ต้องมีการขยายสัญญาณไฟฟ้าให้มีค่ามากขึ้นเพียงพอสำหรับนำไปวิเคราะห์ต่อไปได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ amplifier ดังรูปที่ 3.21 มาช่วยในการขยายสัญญาณ โดย amplifier จะใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟ และทำการควบคุมสัญญาณ Output ให้มีรูปร่างเหมือนสัญญาณ Input แต่มีขนาดสัญญาณที่ใหญ่กว่า



รูปที่ 3.21 Amplifier

3.1.9 LabVIEW

โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม โดย LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench เป็นโปรแกรมที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับเครื่องมือต่างๆที่อยู่ภายนอกผ่านบอร์ด Data Acquisition ใช้งานในการควบคุมการวัดค่าต่างๆ เช่น น้ำหนัก ความเร็วมอเตอร์ หรือสัญญาณอื่นๆ โดยมีตัวเซนเซอร์รับสัญญาณเข้ามา โดย Output ที่ได้จากเซนเซอร์เหล่านี้จะมีค่าเป็นแรงดัน หรือกระแส ซึ่งโปรแกรม LabVIEW สามารถอ่านค่าที่ผ่านเข้ามาทาง DAQ Card แล้วแสดงผลเป็นกราฟหรือบันทึกค่าเป็นไฟล์ข้อมูลได้



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรม LabVIEW วัดจำนวนรอบและความเร็วรอบของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

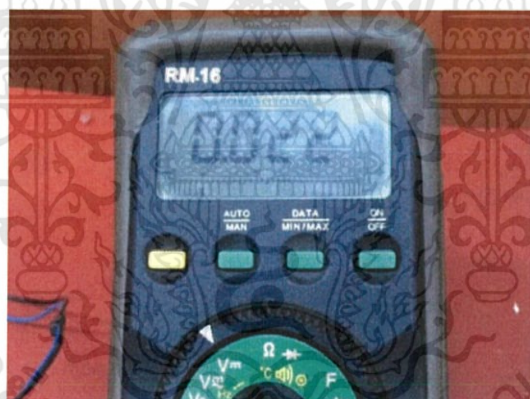
3.2 วิธีการทดลอง

1. เชื่อมต่อ NI กับเอ็นโค้ดเดอร์และคอมพิวเตอร์ เพื่อวัดจำนวนรอบและความเร็วรอบของมอเตอร์ จากโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 3.23 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับ NI

2. อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นจากมัลติมิเตอร์ และกำหนดให้ค่าที่อ่านได้เท่ากับ 0 นิวตัน



รูปที่ 3.24 ตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น

3. นำค่าที่อ่านได้จากมัลติมิเตอร์ ไปคำนวณหาค่าแรงที่ 3000 นิวตัน จากสมการสอบเทียบ ดังสมการ 3.4 ว่าแรงที่ตกลงบนโพลตเซลล์ขนาด 3000 นิวตัน นั้นมีค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นเท่าไร
4. ทำการติดตั้งชิ้นงานที่จะทดสอบ และขันให้แรงบีบอัดของชิ้นงานเท่ากับค่าแรงดันไฟฟ้าที่คำนวณได้ (มีค่าเท่ากับแรงขนาด 3000 นิวตัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 การติดตั้งชิ้นงานที่จะทดสอบ

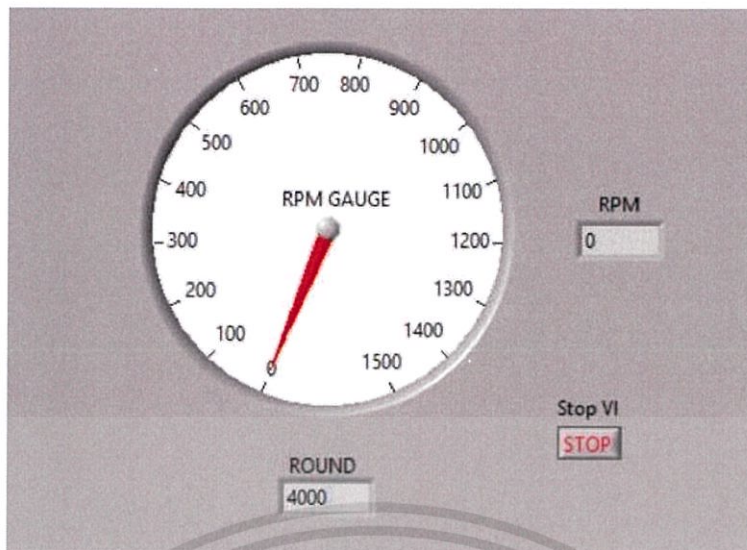
5. กดปุ่ม RUN ที่อินเวอร์เตอร์เพื่อให้มอเตอร์ทำงาน



รูปที่ 3.26 การกดปุ่ม RUN ที่อินเวอร์เตอร์

6. เช็คที่หน้าจอบอร์ดคอมพิวเตอร์ เมื่อถึงรอบที่ 4000 รอบ ให้กดปุ่ม Stop เพื่อหยุดการทำงานของมอเตอร์

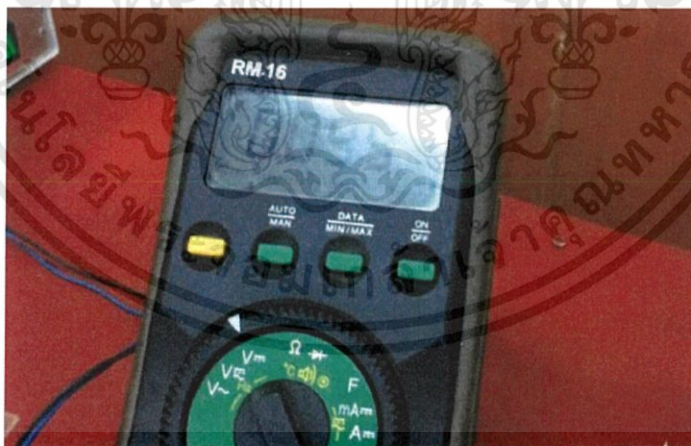
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 ตัวอย่างหน้าจอกอมพิวเตอรืที่ 4000 รอบ

7. อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจากมัลติมิเตอร์ แล้วนำค่าที่อ่านได้ไปคำนวณว่าเป็นแรงเท่าไรจากสมการสอบเทียบของโหลดเซลล์ดังสมการ 3.4 แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 3.1 โดยคำนวณแรงที่สูญเสียไปจากสมการ 3.5 และวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและแรงยึดสลักเกลียว

$$\text{Clamp force loss} = \frac{F_i - F_f}{F_i} \times 100 \quad (3.5)$$



รูปที่ 3.28 ตัวอย่างค่าแรงดันไฟฟ้าสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกผลการทดลองขึ้นทดสอบขนาด M8 กับ ตัวล๊อคต่างๆ

จำนวนรอบ / ครั้ง	1	2	3	4	5
0	3000	3000	3000	3000	3000
1000					
2000					
3000					
4000					
Clamp force loss					



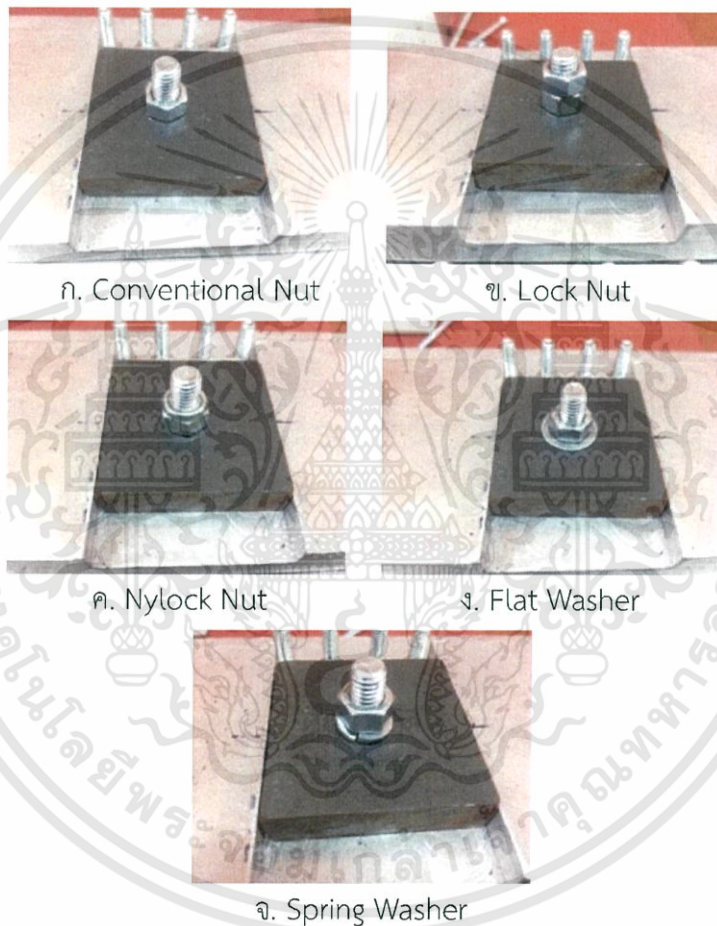
รูปที่ 3.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและแรงยึดสลักเกลียวของขึ้นทดสอบขนาด M8 กับตัวล๊อคต่างๆ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

จากการทดลองการคลายตัวการคลายตัวของเกลียวภายใต้การสั่นสะเทือนด้วยขนาดของการสั่นสะเทือนประมาณ 2.00 มิลลิเมตร ที่ความถี่ของการสั่น 1040 RPM จำนวน 4000 รอบ ของชิ้นทดสอบขนาด M8 กับตัวล็อคชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงชิ้นทดสอบกับตัวล็อคชนิดต่างๆ

ในบทที่ 4 ได้บันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งการวิเคราะห์ผลการทดลองจะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการยึดชิ้นงานกับจำนวนรอบของการสั่นสะเทือน โดยมีผลการทดลองและวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

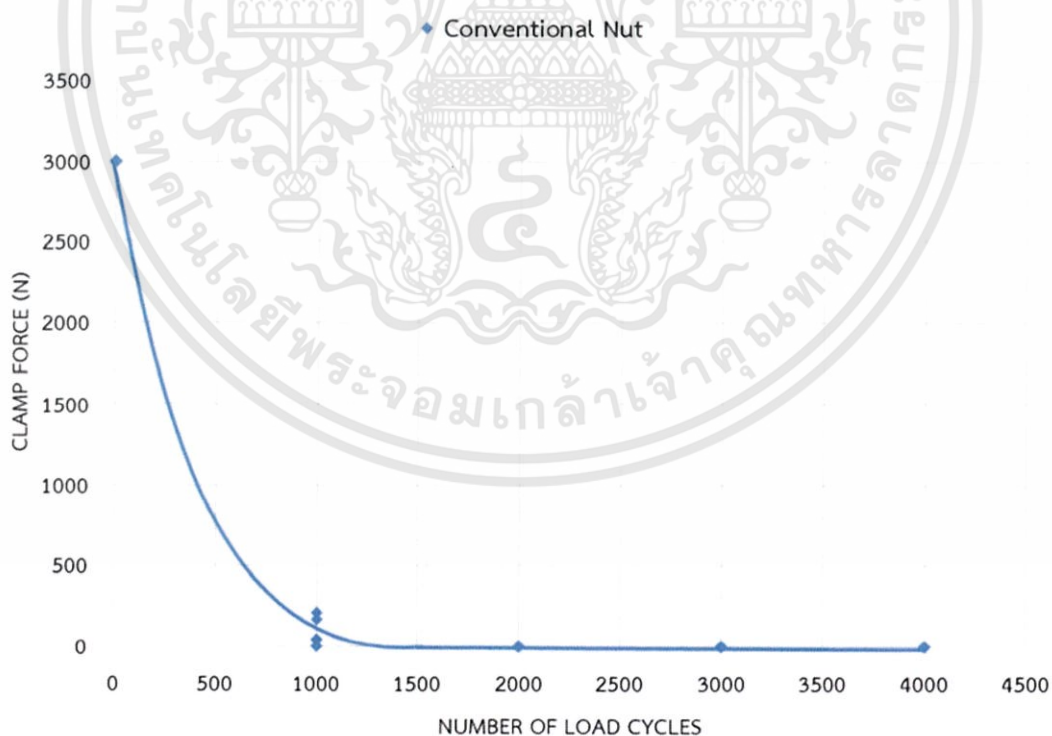
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองของการทดลองการคลายตัวการคลายตัวของเกลียวภายใต้การสั่นสะเทือนของชิ้นทดสอบขนาด M8 กับตัวล๊อคชนิดต่างๆ ในบทที่ 4 เมื่อบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 3.1เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการคลายตัวของเกลียวภายใต้การสั่นสะเทือนของชิ้นทดสอบขนาด M8 กับ Conventional Nut

จำนวนรอบ \n ครั้งที่	1	2	3	4	5
0	3000	3000	3000	3000	3000
1000	0	204.837	40.96739	40.96739	163.8696
2000	0	0	0	0	0
3000	0	0	0	0	0
4000	0	0	0	0	0
Clamp force loss	100	100	100	100	100

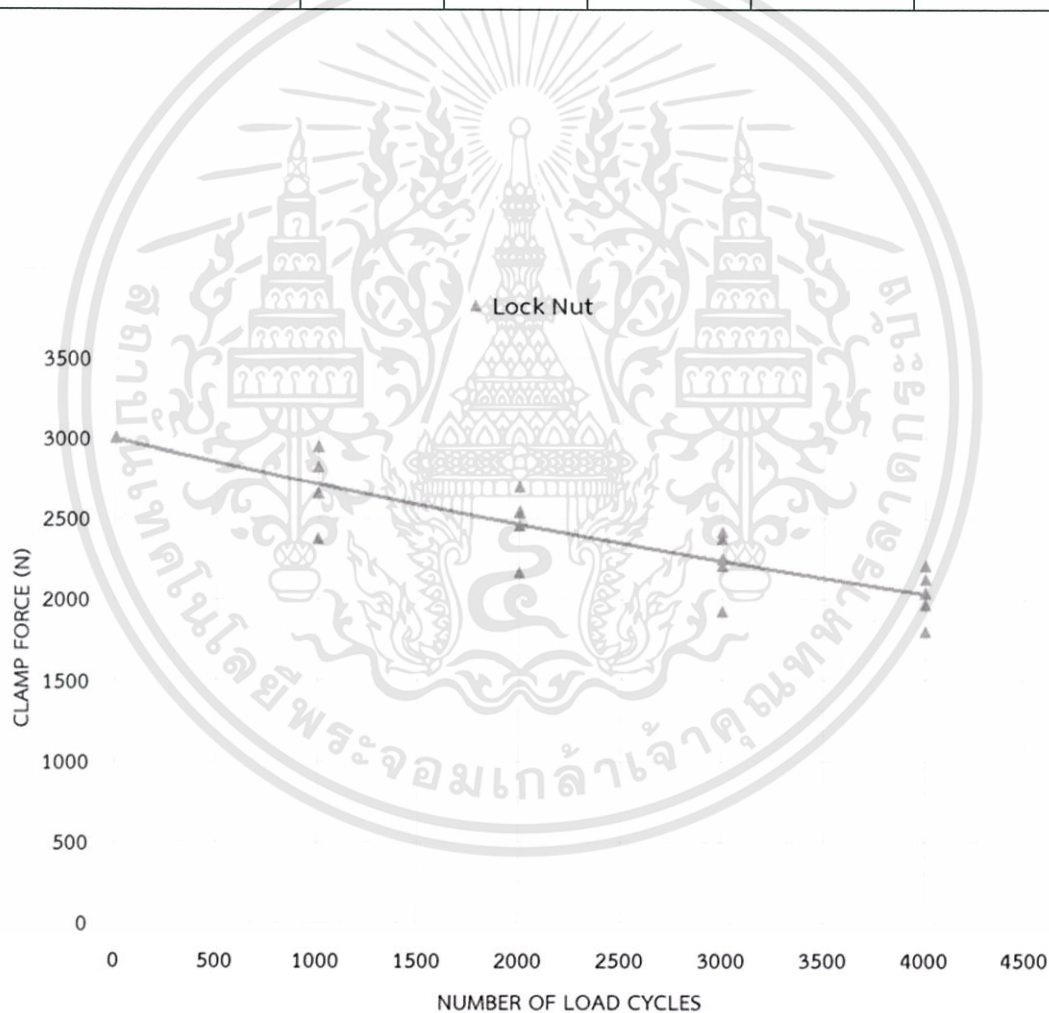


รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและแรงยึดสลักเกลียวของชิ้นทดสอบขนาด M8 กับ Conventional Nut

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการคลายตัวของเกลียวภายใต้การสั่นสะเทือนของชิ้นทดสอบขนาด M8
กับ Lock Nut

จำนวนรอบ / ครั้งที่	1	2	3	4	5
0	3000	3000	3000	3000	3000
1000	2376.109	2826.75	2662.88	2662.88	2949.652
2000	2171.272	2703.848	2458.043	2539.978	2539.978
3000	1925.467	2376.109	2212.239	2253.206	2417.076
4000	1802.565	2212.239	1966.435	2048.37	2130.304
Clamp force loss	39.91449	26.2587	34.45218	31.72102	28.98986

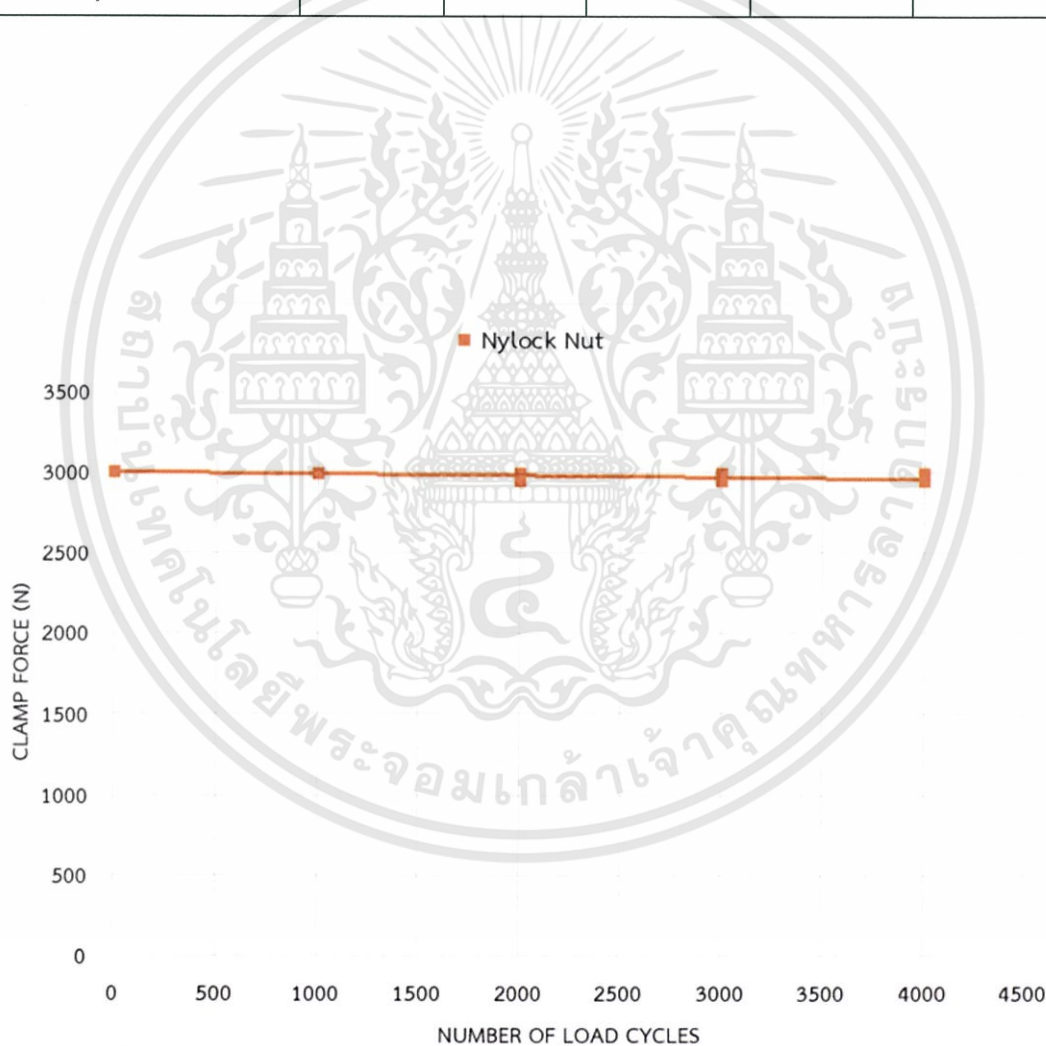


รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและแรงยึดสลักเกลียวของชิ้นทดสอบขนาด M8 กับ Lock Nut

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการคลายตัวของเกลียวภายใต้การสั่นสะเทือนของชิ้นทดสอบขนาด M8 กับ Nylock Nut

จำนวนรอบ / ครั้ง	1	2	3	4	5
0	3000	3000	3000	3000	3000
1000	2990.619	2990.619	2990.619	2990.619	2990.619
2000	2990.619	2990.619	2990.619	2990.619	2949.652
3000	2990.619	2949.652	2990.619	2949.652	2949.652
4000	2949.652	2949.652	2990.619	2949.652	2949.652
Clamp force loss	1.678264	1.678264	0.312684	1.678264	1.678264

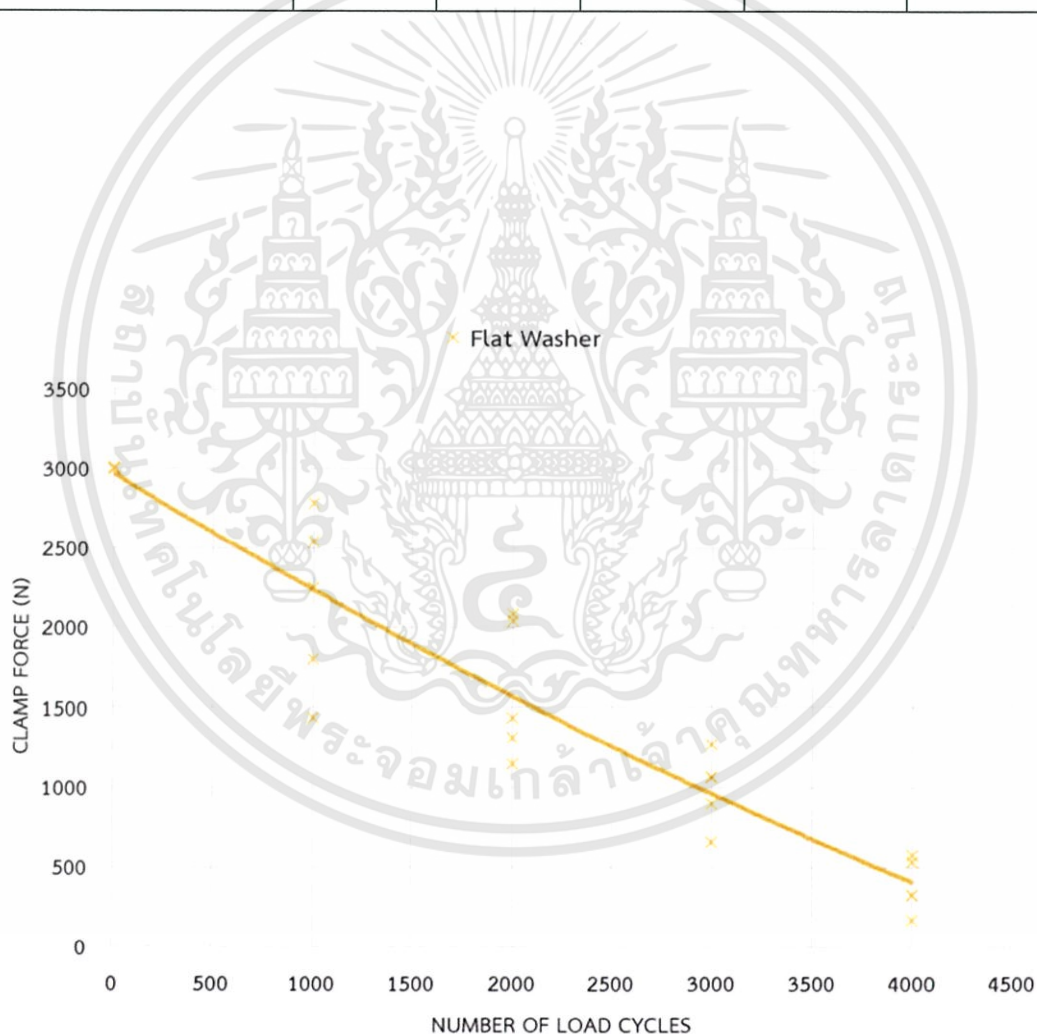


รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและแรงยึดสลักเกลียวของชิ้นทดสอบขนาด M8 กับ Nylock Nut

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการคลายตัวของเกลียวภายใต้การสั่นสะเทือนของชิ้นทดสอบขนาด M8
กับ Flat Washer

จำนวนรอบ / ครั้ง	1	2	3	4	5
0	3000	3000	3000	3000	3000
1000	1802.565	2539.978	1433.859	2785.783	2253.206
2000	1433.859	2089.337	1147.087	2048.37	1310.956
3000	655.4782	901.2826	1065.152	1269.989	1065.152
4000	163.8696	327.7391	532.5761	573.5435	327.7391
Clamp force loss	94.53768	89.07536	82.24746	80.88188	89.07536

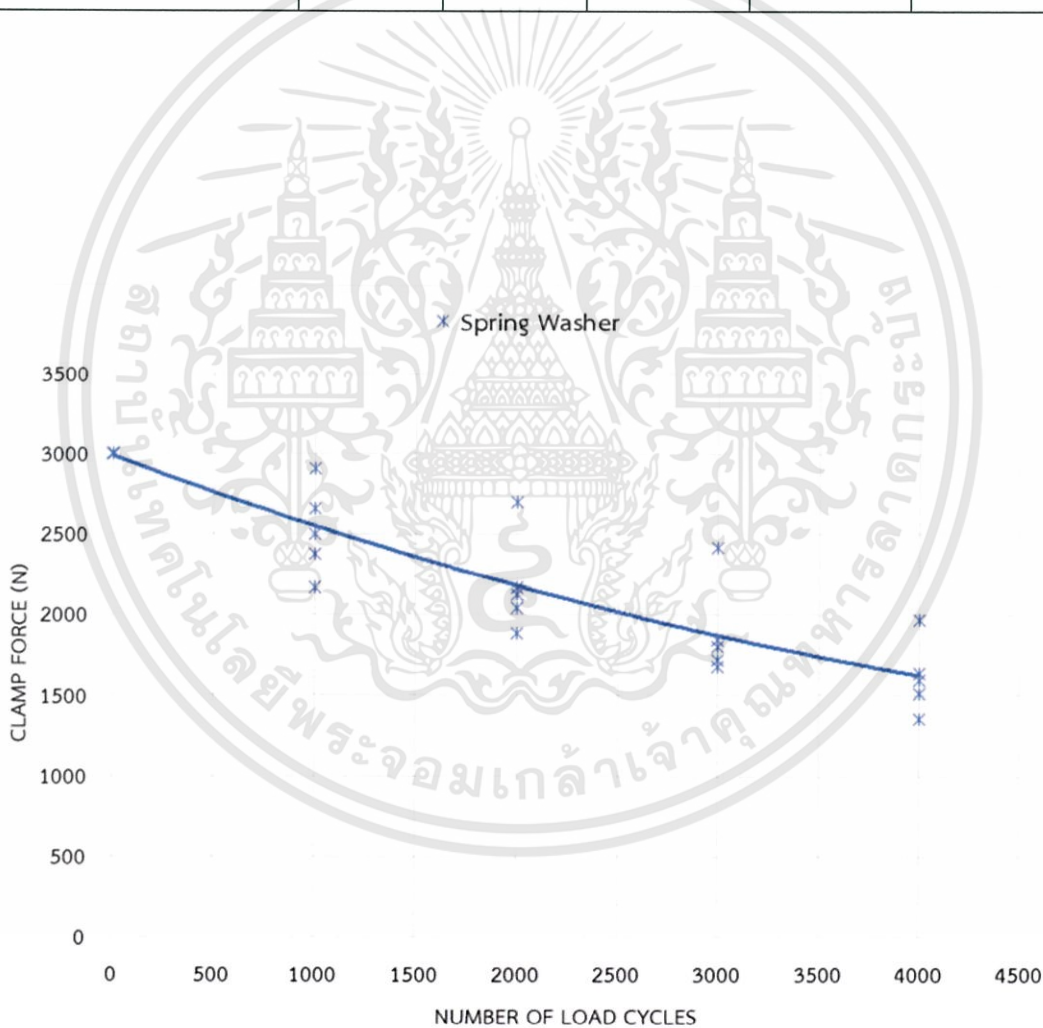


รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและแรงยึดสลักเกลียวของชิ้นทดสอบขนาด M8 กับ Flat Washer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

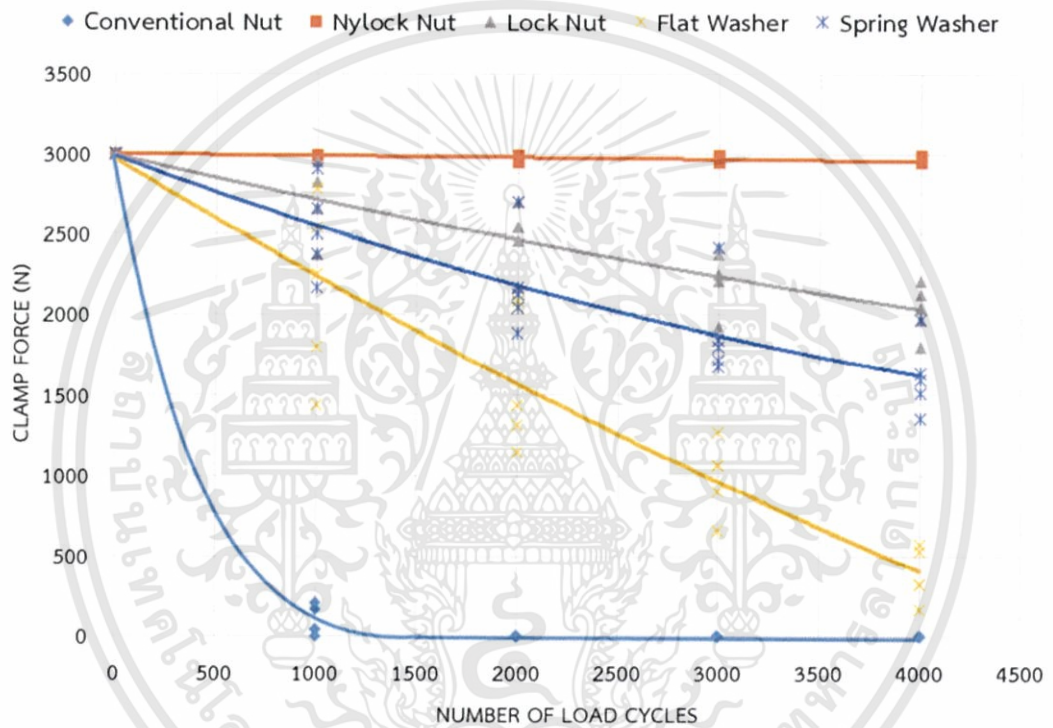
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการคลายตัวของเกลียวภายใต้การสั่นสะเทือนของชิ้นทดสอบขนาด M8
กับ Spring Washer

จำนวนรอบ / ครั้งที่	1	2	3	4	5
0	3000	3000	3000	3000	3000
1000	2499.011	2376.109	2171.272	2908.685	2662.88
2000	2171.272	1884.5	2048.37	2703.848	2130.304
3000	1720.63	1679.663	1843.533	2417.076	1802.565
4000	1351.924	1515.793	1597.728	1966.435	1638.696
Clamp force loss	54.93587	49.47355	46.74239	34.45218	45.37681



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและแรงยึดสลักเกลียวของชิ้นทดสอบขนาด M8 กับ
Spring Washer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบความสามารถต้านทานการคลายตัวชิ้นทดสอบขนาด M8 กับตัวล็อคชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้เป็น การออกแบบชุดทดลองวัดการคลายตัวของเกลียวจากการ สั่นสะเทือน โดยศึกษาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ความแตกต่างในการต้านทานการคลายเกลียว เนื่องจากการสั่นสะเทือนแนวขวางของรูปแบบการยึดชิ้นงานด้วยตัวล็อคแบบต่างๆ โดยทดลองกับชิ้น ทดสอบขนาด M8 และรูปแบบการยึดด้วยตัวล็อคที่แตกต่างกัน โดยวิเคราะห์ผลการทดลองจากแรง ที่ใช้ในการยึดชิ้นงานกับจำนวนรอบของการสั่นสะเทือนว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร แล้วนำผลการ ทดลองทั้งหมดมาเปรียบเทียบหารูปแบบการยึดด้วยตัวล็อคที่สามารถต้านทานการคลายตัวได้ดีที่สุด

จากผลการทดลองการคลายตัวของเกลียวภายใต้การสั่นสะเทือนตามขวางด้วยขนาดการ สั่นสะเทือนประมาณ 2.00 มิลลิเมตร ความถี่ 1040 รอบต่อวินาที จำนวน 4000 รอบ และแรงที่ใช้ยึด ชิ้นงานเริ่มต้นประมาณ 3000 นิวตัน กับชิ้นทดสอบขนาด M8 และรูปแบบการยึดด้วยตัวล็อคที่ แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่ามีการต้านทานการคลายตัวที่ต่างกัน โดย nylock nut จะสามารถ ต้านทานการคลายตัวได้ดีที่สุด จากผลการทดลองได้ว่า nylock nut จะต้านทานการคลายตัวของ เกลียวได้ดีที่สุดที่อัตราการคลายตัว 0.31-1.68 เปอร์เซ็นต์ ตามด้วย lock nut ที่อัตราการคลายตัว 26.26-39.91 เปอร์เซ็นต์, spring washer ที่อัตราการคลายตัว 34.45-54.94 เปอร์เซ็นต์, flat washer ที่อัตราการคลายตัว 80.88-94.54 เปอร์เซ็นต์ และ การใช้ conventional nut เพียงอย่าง เดียวโดยไม่มีแหวนร่วมด้วยจะสูญเสียแรงยึดสลักเกลียวทั้งหมดไป

5.2 ปัญหาที่พบ

จากผลการวิจัย สามารถสรุปปัญหาได้ ดังนี้

1. การเก็บข้อมูลของคอมพิวเตอร์จากโพลด์เซลล์เพื่อเก็บค่าแรงสามารถเก็บค่าได้เพียงแรง เริ่มต้นและแรงสุดท้ายเท่านั้น
2. เครื่องทดสอบ ในข้อต่อต่างๆยังมีระยะคลอนอยู่เล็กน้อย
3. โพลด์เซลล์มีความคลาดเคลื่อนอยู่เล็กน้อย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความ เรียบของพื้นผิวที่ติดสเตรนเกจไม่เรียบเท่าที่ควร

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. พัฒนาปรับปรุงให้เก็บค่าได้อย่างต่อเนื่อง จะทำให้สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมของการคล้ายตัวได้ดียิ่งขึ้น
2. พัฒนาในส่วนเครื่องทดสอบ เนื่องจากเครื่องทดสอบมีข้อต่อจำนวนมาก ซึ่งหมายถึงการที่ระยะคลอนในข้อต่อต่างๆก็จะมากขึ้นไปด้วย ถ้าสามารถปรับปรุงให้ระยะคลอนน้อยที่สุด จะทำให้การวัดค่าขนาดของการสั้นสะเทือนแม่นยำมากยิ่งขึ้น
3. พัฒนาในส่วนของโพลดเซลล์ ให้มีความแม่นยำและมีความเสถียรภาพมากขึ้น

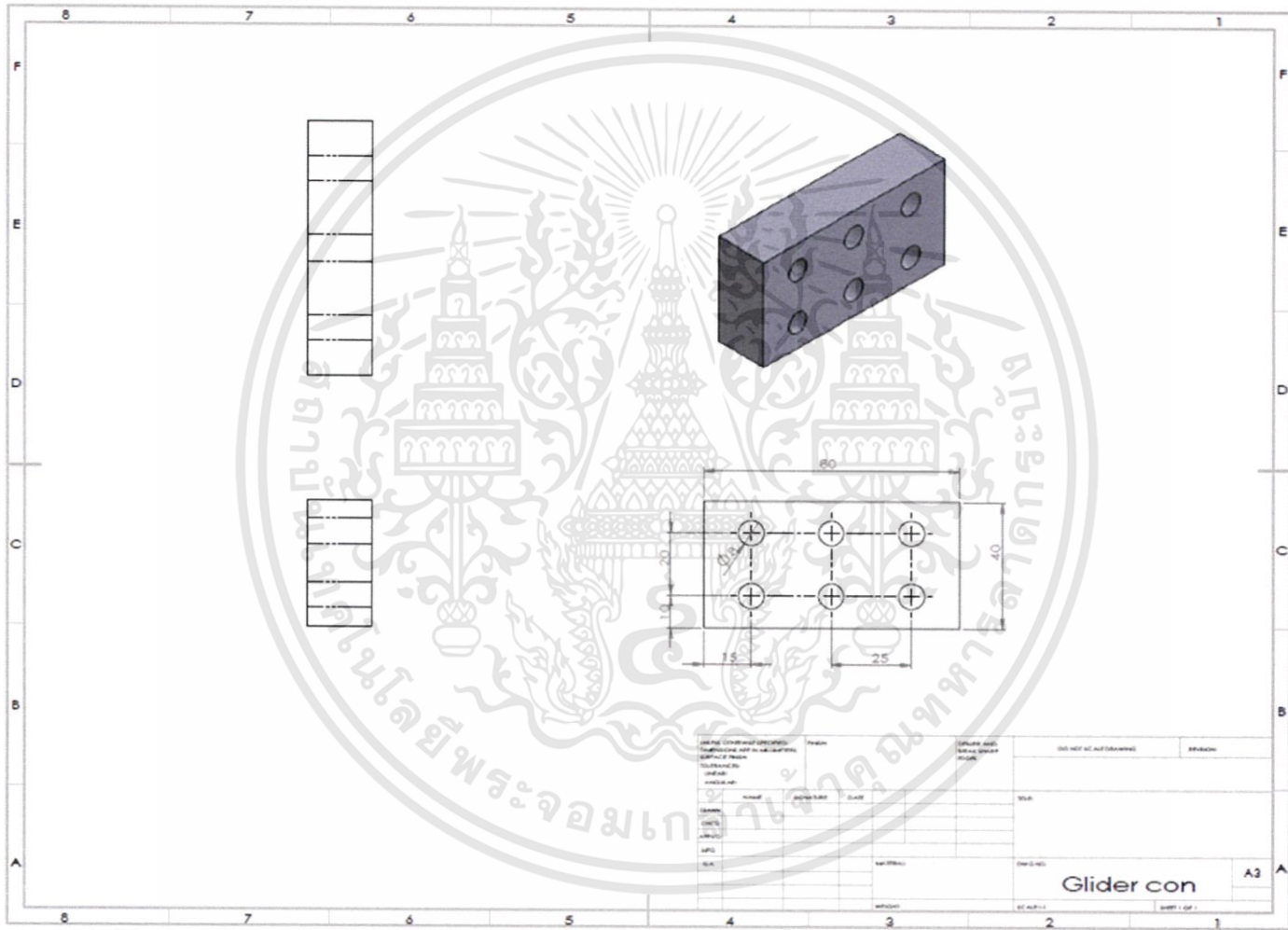


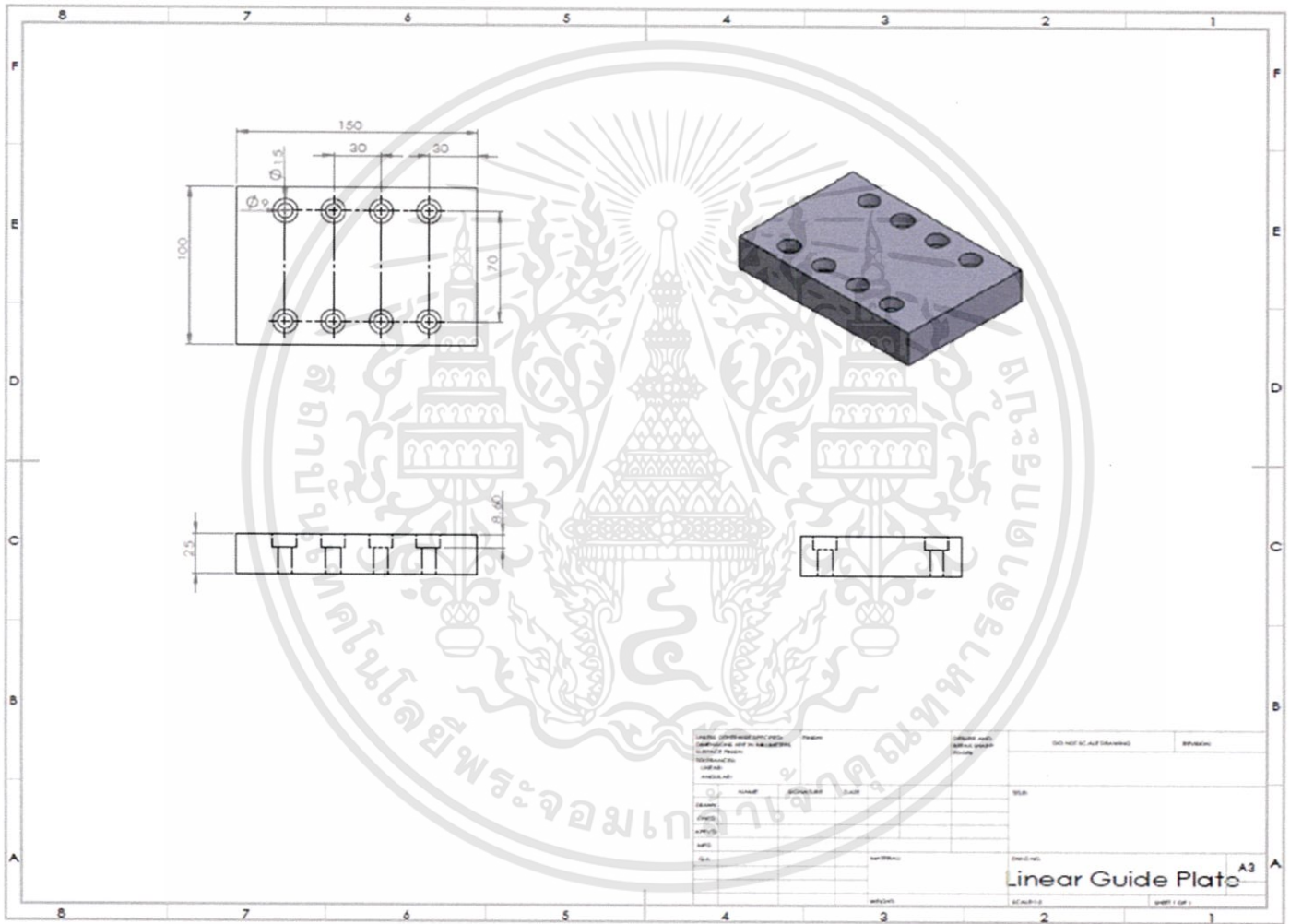
เอกสารอ้างอิง

- [1] Saman Fernando. **Mechanisms and prevention of vibration loosening in bolted joints**. Australia Journal of Mechanical Engineering. Vol.2. No. 2. 2005.
- [2] Gerhard H. Junker. **New criteria for self-loosening of fastener under vibration**. SAE International Automotive Engineering Congress. Paper No. 69005. 1969.
- [3] ISO16130. **Dynamic testing of the locking behavior of bolted connections under transverse loading conditions (vibration test)**. 2015.
- [4] Definition of **stress-strain curve** (Online). Available : [https://en.wikipedia.org/wiki/Yield_\(engineering\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Yield_(engineering)).
- [5] Robert L. Norton. **Machine design an integrated approach: Screws and fasteners**. 3rd edition. ISBN 0-13-148190-8. New Jersey. Pearson.
- [6] Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett. **Shigley's Mechanical engineering design: Screws and fasteners**. 10th edition. ISBN 978-0-07-352928-8. New York. McGraw-hill.
- [7] Hamilton H. Mabie, Charles F. Reinholtz. **Mechanisms and dynamics of machinery**. 4th edition. Virginia Polytechnic Institute and State University.

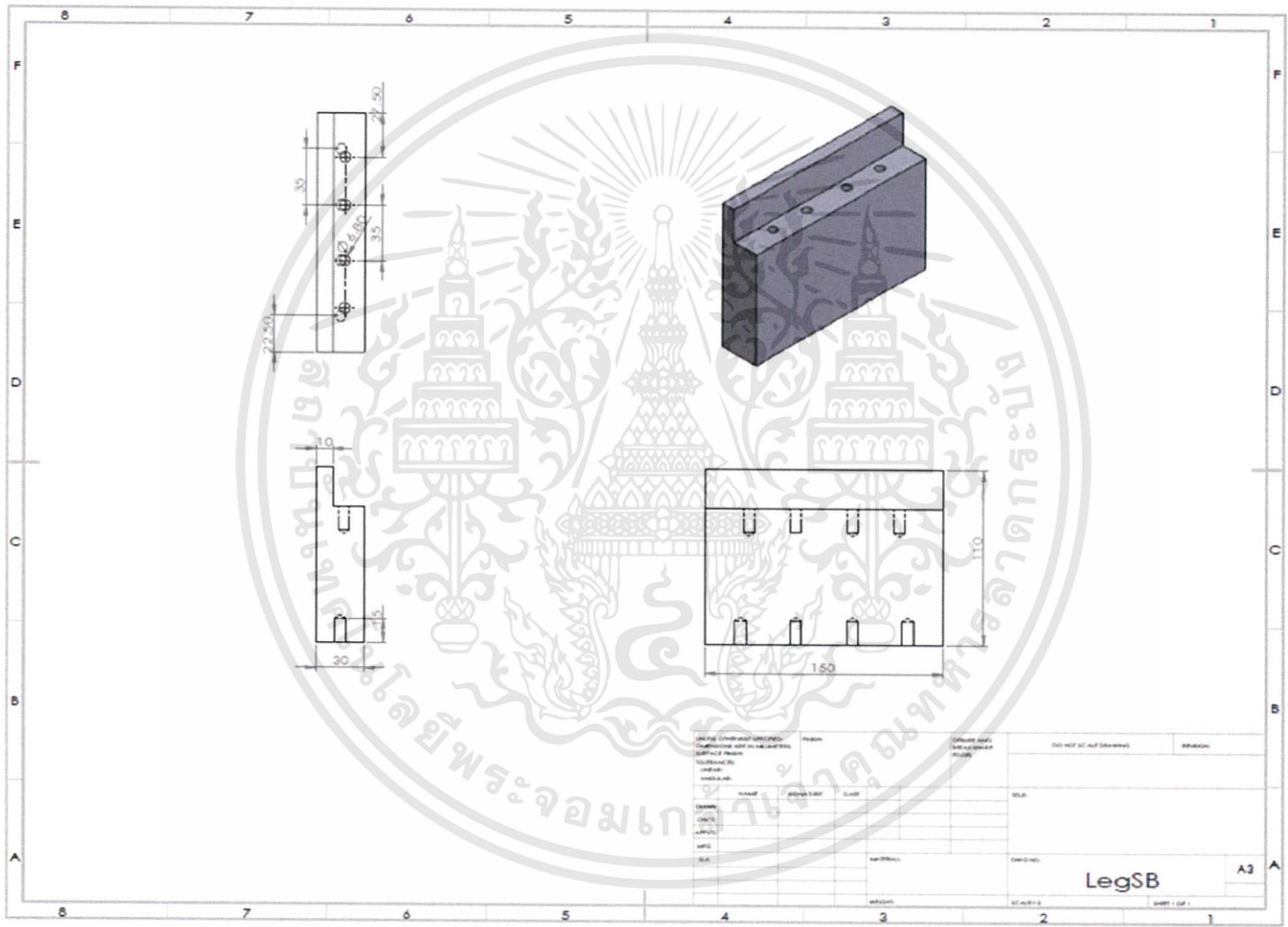


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี Faculty of Technology 10130 Phra Pradaeng Rd., Bangkok 10600, Thailand TEL: 02-426-1000 FAX: 02-426-1001 E-MAIL: info@phayathai.ac.th		Project: _____ Date: _____ Scale: _____ Sheet: _____ of _____	DO NOT SCALE DRAWING REVISION: _____ NO. _____ DATE: _____ DRAWN BY: _____ CHECKED BY: _____ APPROVED BY: _____ TITLE: _____
Linear Guide Plate		A3	SHEET 1 OF 1



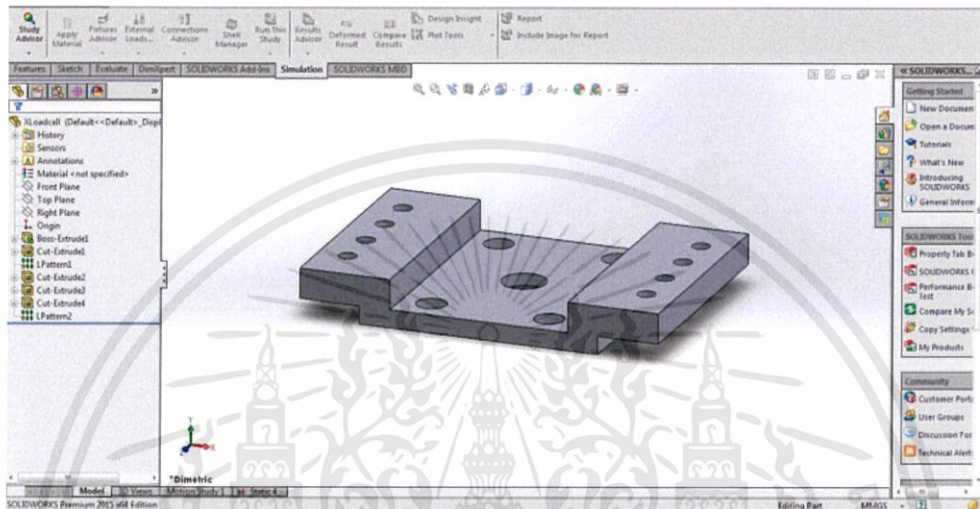


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองแรงโดยใช้โปรแกรม Solidworks 2015 มีขั้นตอนดังนี้

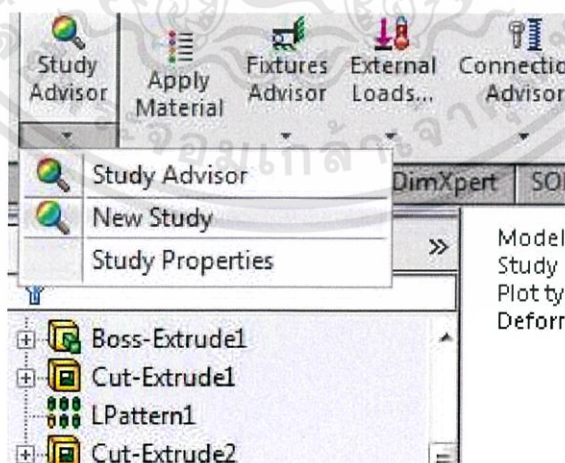
1 การจำลองแรงเพื่อวิเคราะห์ไหลตเซสล์

1.1 นำชิ้นงานที่ได้ทำการออกแบบเสร็จสมบูรณ์มาทำการจำลองแรง โดยการคลิกไปที่แถบเมนู Simulation



รูป ตัวอย่างเมื่อคลิกไปที่แถบเมนู Simulation

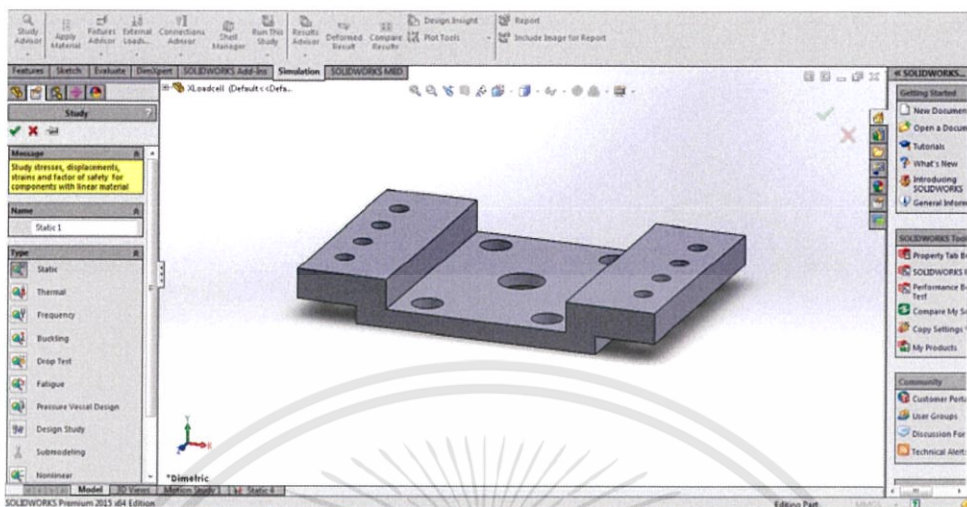
1.2 คลิกไปที่ New Study



รูป ตัวอย่างเมื่อคลิกไปที่แถบเมนู Study Advisor

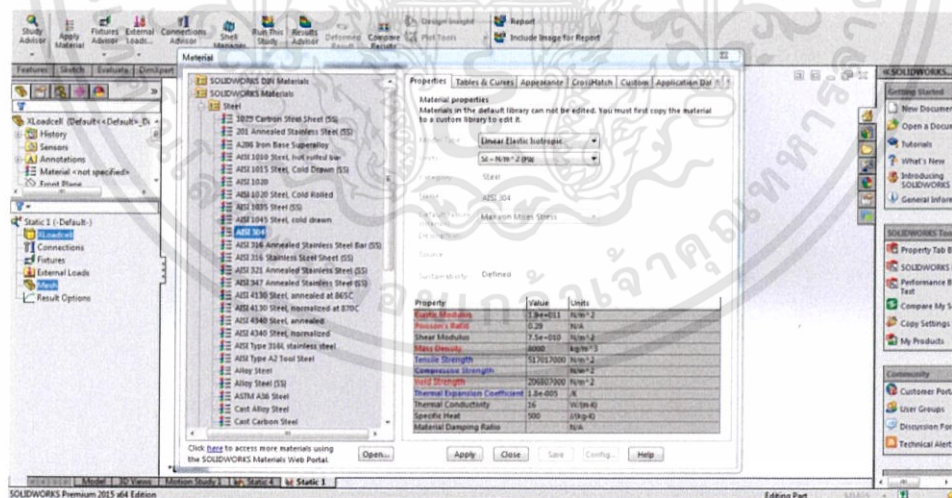
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 เลือก Study แบบ Static



รูป ตัวอย่างในการเลือกลักษณะของการจำลอง

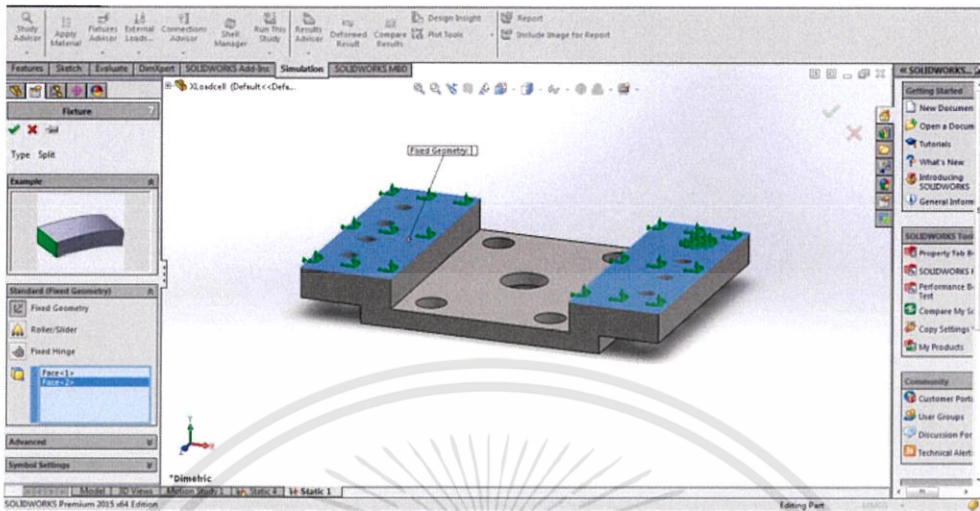
1.4 กำหนดชนิดวัสดุที่ต้องการจำลอง โดยคลิกไปที่คำสั่ง Apply Material แล้วเลือก วัสดุที่ต้องการจำลอง



รูป ตัวอย่างชนิดวัสดุ

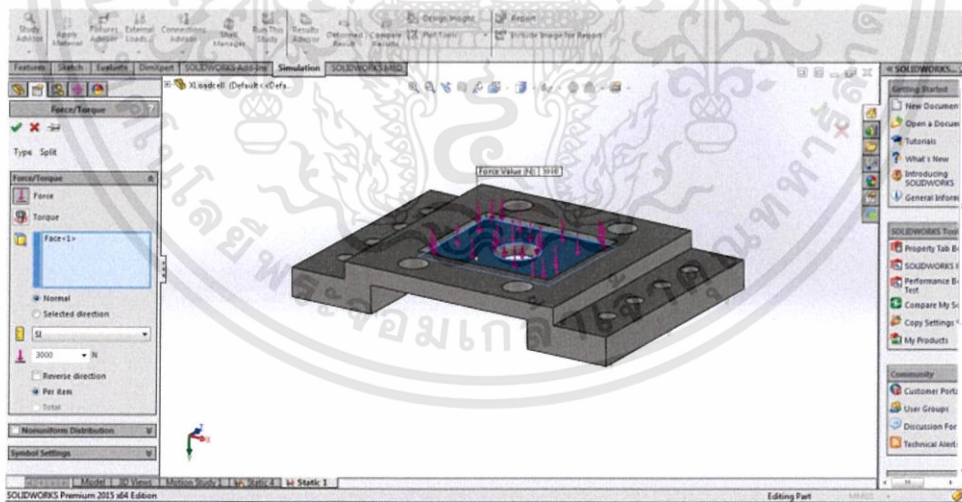
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 กำหนดพื้นผิวที่มีการอยู่กับที่ แขนง หรือไกล ตามเมนูคำสั่งดังรูปที่แสดงข้างล่าง



รูป ตัวอย่างการกำหนดพื้นผิวที่มีการอยู่กับที่ แขนง หรือไกล

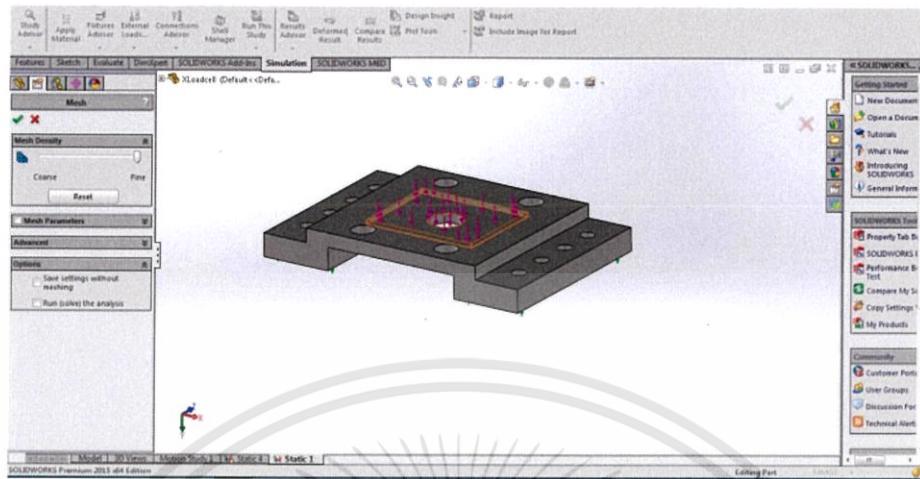
1.6 กำหนดพื้นผิวที่มีการรับแรง



รูป ตัวอย่างการกำหนดพื้นผิวที่มีการรับแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 สร้าง Mesh

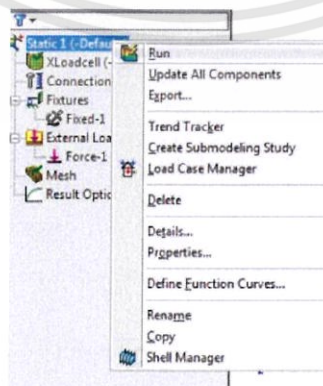


รูป ตัวอย่างการกำหนดความละเอียดของ Mesh



รูป ตัวอย่างชิ้นงานที่มีการสร้าง Mesh เรียบร้อย

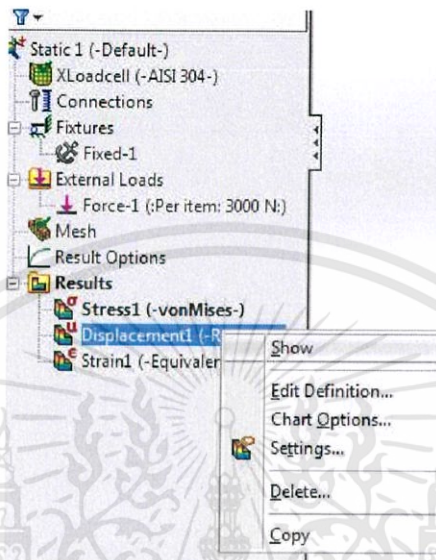
1.8 กด RUN เพื่อทำการจำลองและวิเคราะห์ผลของแรงที่กระทำต่อชิ้นงานที่ออกแบบ



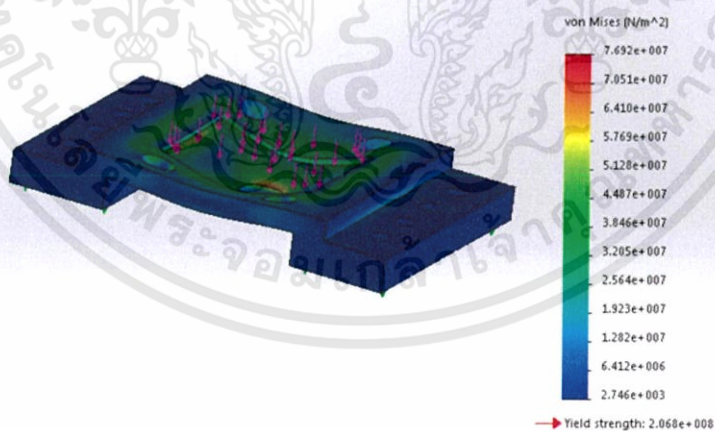
รูป ตัวอย่างคำสั่ง RUN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.9 เมื่อโปรแกรมได้ทำการจำลองเสร็จสิ้น ให้คลิกไปที่เมนูคำสั่ง Result Option เพื่อเลือกดูผลของการจำลองที่ต้องการ ทั้งนี้โปรแกรมจะสามารถแสดงผลได้ 3 ค่า คือ ความเค้น ความเครียด และระยะการยุบตัว หรือระยะกระจัด

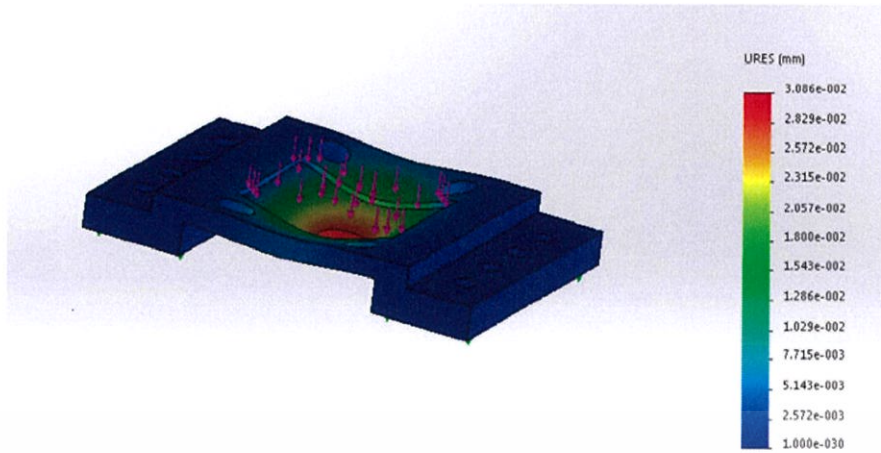


รูป ตัวอย่างคำสั่ง Show ที่ใช้สำหรับเลือกดูผลของการจำลองที่ต้องการ

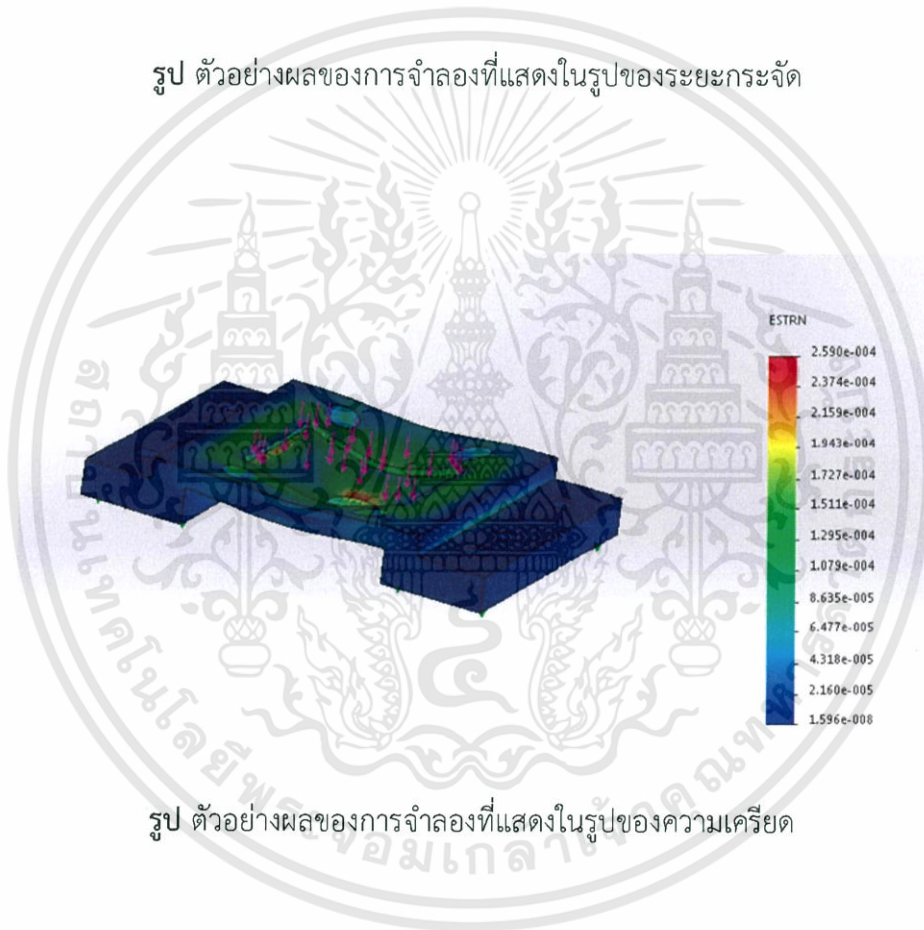


รูป ตัวอย่างผลของการจำลองที่แสดงในรูปของความเค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ตัวอย่างผลของการจำลองที่แสดงในรูปของระยะกระจัด

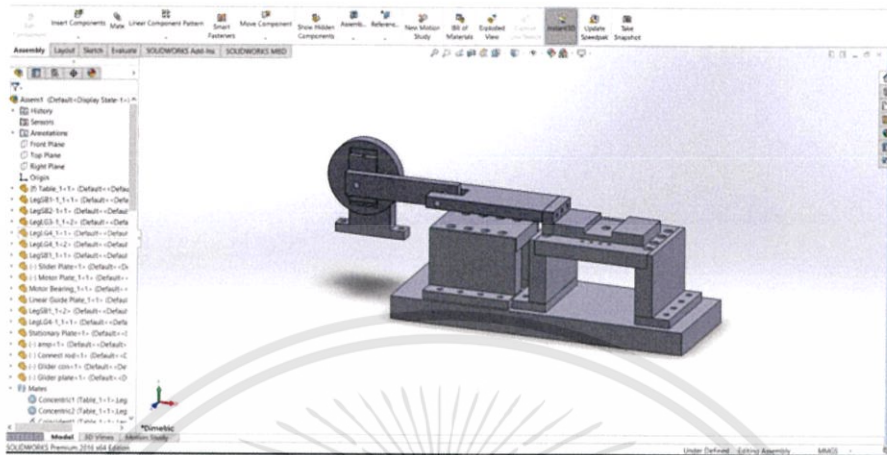


รูป ตัวอย่างผลของการจำลองที่แสดงในรูปของความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

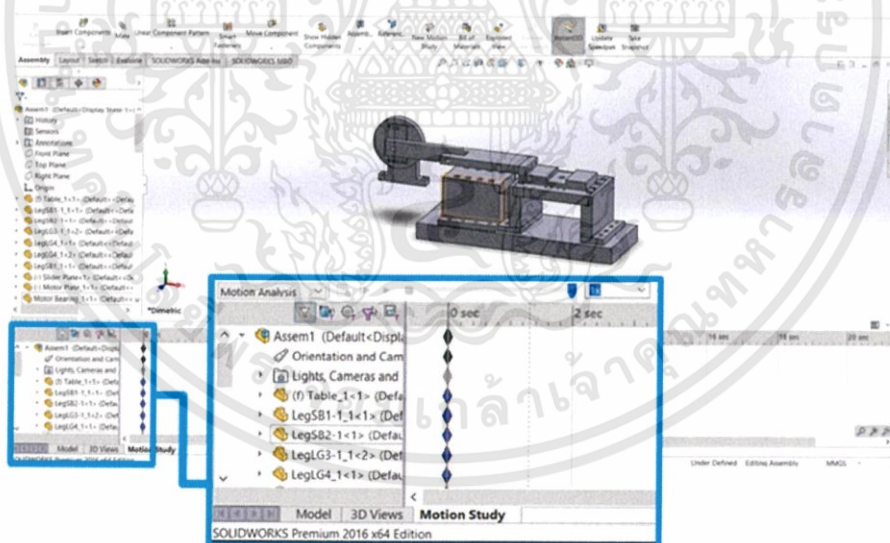
2 การจำลองการเคลื่อนที่ของกลไกเครื่องทดสอบ

2.1 นำเครื่องทดสอบที่ได้ทำการออกแบบเสร็จสมบูรณ์มาทำการจำลองการเคลื่อนที่



รูป ตัวอย่างเครื่องทดสอบที่ได้ทำการออกแบบ

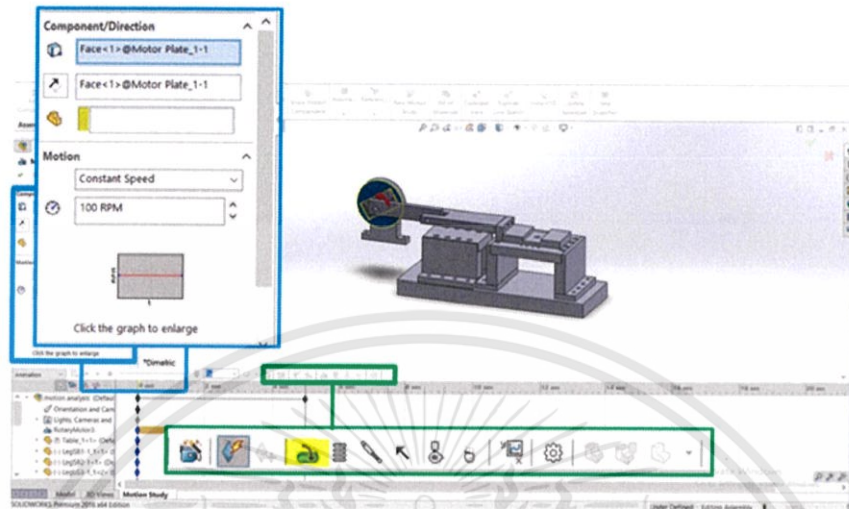
2.2 เข้ามาที่หน้าต่าง Motion Study ในโหมด Motion Simulation



รูป โหมด Motion Simulation

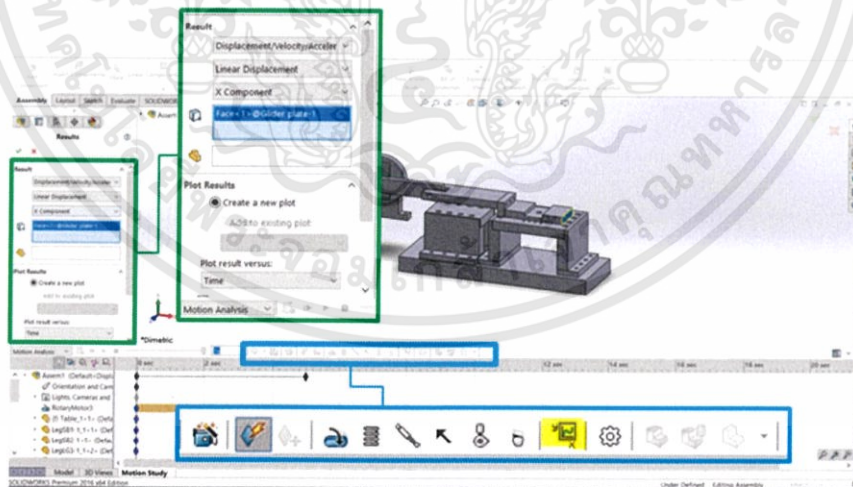
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 จำลองการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ลงไปในแผ่นวงล้อ เลือกชนิดมอเตอร์เป็นแบบ Rotary Motor พร้อมทั้งระบุความเร็วรอบของมอเตอร์



รูป ตัวอย่างการเลือกชนิดมอเตอร์

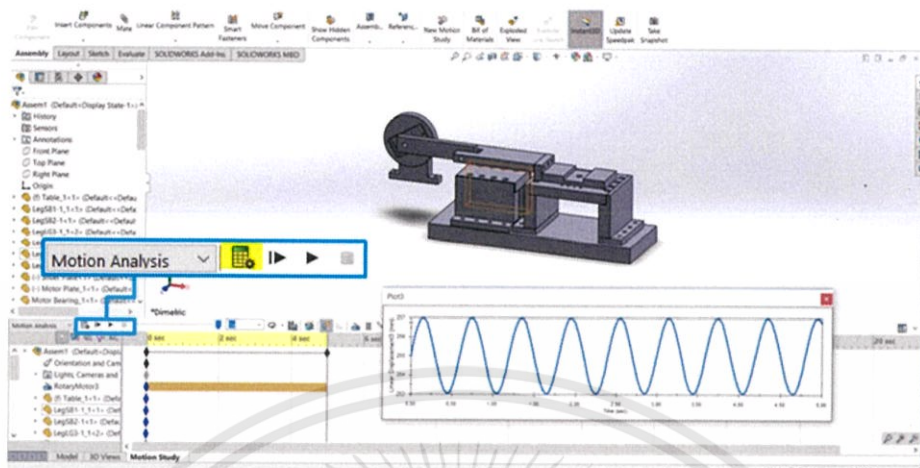
2.4 ในการแสดงผลการเคลื่อนที่ ให้โปรแกรมแสดงผลในรูปของกราฟการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงเทียบกับเวลาของแผ่นยึดชิ้นทดสอบ



รูป ตัวอย่างการกำหนดการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กต Calculate โปรแกรม และรอนจนกระทั่งโปรแกรมทำงานเสร็จพร้อมแสดงผล



รูป ตัวอย่างผลของการจำลองการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IM-A-510

INSTRUMENTATION
PREAMPLIFIER
WGA-100B
INSTRUCTION MANUAL

2001

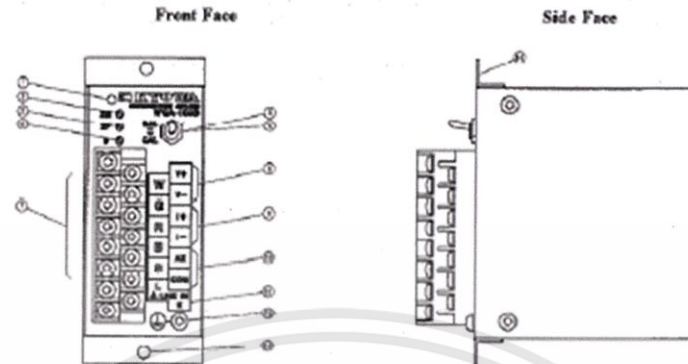
 **KYOWA**
ELECTRONIC INSTRUMENTS CO., LTD.

CONTENTS

SAFETY PRECAUTIONS	1
HANDLING PRECAUTIONS	5
CHAPTER 1. PARTS NAMES	7
CHAPTER 2. INITIAL SETTING	10
CHAPTER 3. CONNECTION	16
3-1 CONNECTING ONE TRANSDUCER	16
3-2 CONNECTING MULTIPLE TRANSDUCERS USING JUNCTION BOX	17
CHAPTER 4. OPERATING PROCEDURE	19
4-1 POWER SUPPLY	20
4-2 INITIAL BALANCE ADJUSTMENT	20
4-3 SENSITIVITY (SPAN) ADJUSTMENT	21
4-4 AUTO-BALANCE OPERATION	24
CHAPTER 5. SPECIFICATIONS	27
5-1 SPECIFICATIONS	26
5-2 BLOCK DIAGRAM	29
5-3 DIMENSIONS	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHAPTER 1. PARTS NAMES

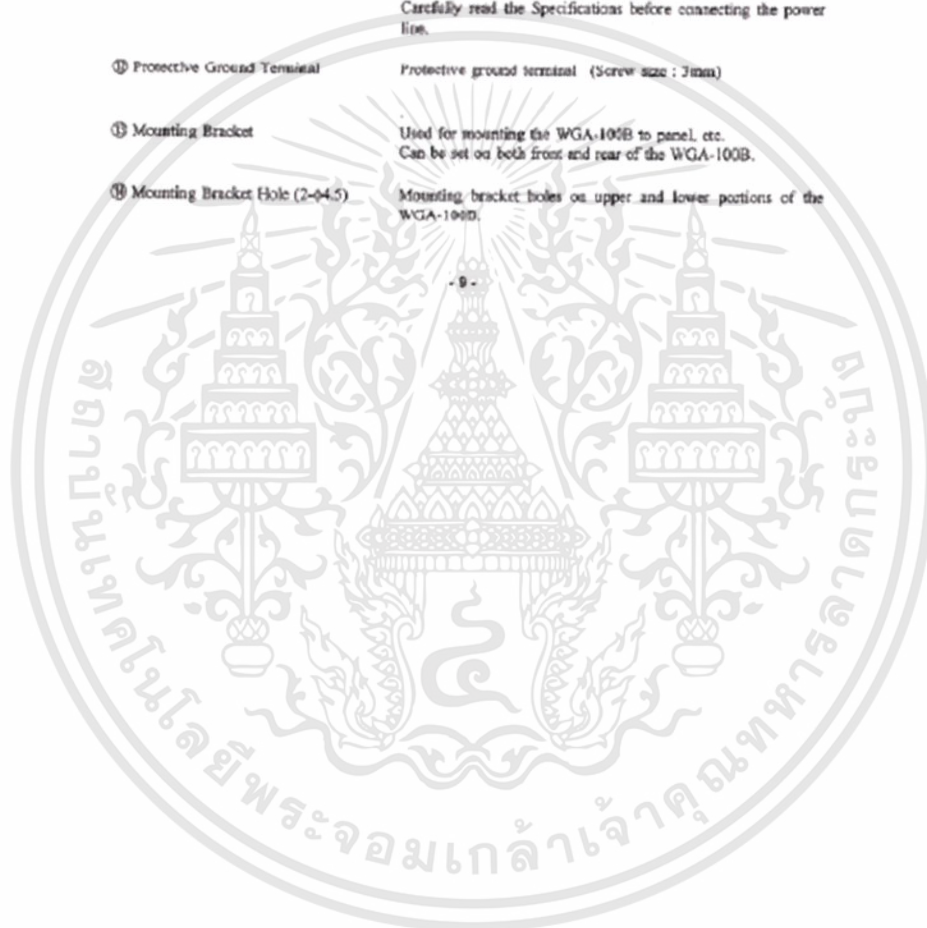


- 7 -
- | | |
|--------------------------------|--|
| ① Pilot Lamp | Lights up with the power switch turned ON. |
| ② [ZM]
ZERO Coarse Adjuster | Conducts coarse control to voltage and current output ZERO points. (Not provided for types with auto-balance function.) |
| ③ [ZF]
ZERO Fine Adjuster | Conducts fine control to voltage and current output ZERO points. |
| ④ [S]
Sensitivity Adjuster | Controls sensitivity of voltage and current output. |
| ⑤ [BAL]
Auto-balance Switch | Conducts auto-balance. Note that this switch is invalid for types with manual balance function. |
| ⑥ [CAL]
Calibration Switch | Inputs calibration value to voltage output and current output. |
| ⑦ Transducer Input Terminal | Connects a strain gauge type transducer. (Screw size : 3mm)
Connects the following:
W : Transducer white lead wire (-output)
G : Transducer green lead wire (+output)
R : Transducer red lead wire (+Excitation Voltage)
B : Transducer black lead wire (-Excitation voltage)
S : Transducer shielded wire |

- 8 -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- | | |
|---------------------------------|---|
| ⑫ Voltage Output Terminal | Outputs voltage proportional to input voltage issued from the strain gage type transducer. (Screw size : 3mm) |
| ⑬ Current Output Terminal | Outputs current proportional to input current issued from the strain gage type transducer. (Screw size : 3mm) |
| ⑭ Auto-balance Input Terminal | Terminal between AZ and COM is shunt to conduct auto-balance. (Screw size : 3mm) |
| ⑮ Power Supply Input Terminal | Power supply terminal. (Screw size : 3mm)
Power supply varies with WGA-100B type actually used.
Carefully read the Specifications before connecting the power line. |
| ⑯ Protective Ground Terminal | Protective ground terminal (Screw size : 3mm) |
| ⑰ Mounting Bracket | Used for mounting the WGA-100B to panel, etc.
Can be set on both front and rear of the WGA-100B. |
| ⑱ Mounting Bracket Hole (2-4-5) | Mounting bracket holes on upper and lower portions of the WGA-100B. |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

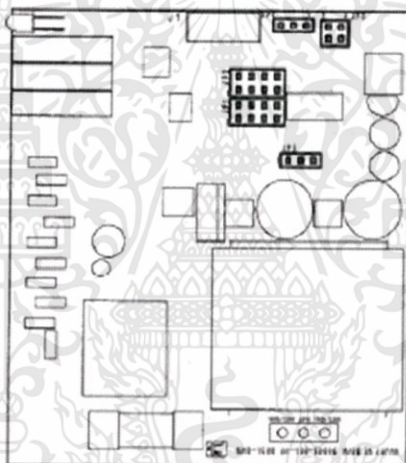
CHAPTER 2. INITIAL SETTING

The WGA-100B is so designed that various settings, for example, excitation voltage, amplifier sensitivity, calibration value, frequency characteristics can be selected on customer's side by changing jumpers on the printed circuit board inside the instrument. Do not forget to confirm the above settings before use.

Settings prior to shipment	Excitation voltage	: 10V	} 10V output with 1.0mV/V input
	Amplifier sensitivity	: 1000 times	
	Calibration value	: 1.0mV/V	
	Frequency characteristics	: 10Hz	

Note

- Do not conduct the above settings in dusty and humid environment.
- Do not operate any setting procedures other than stated on the following page. Or it may cause damage to the WGA-100B.
- Avoid touching other parts or removing screws unless otherwise specified.
- Remove jumper pins with tweezers or pliers. Do not touch the jumper pins or other electronic parts directly with hands. Or, they may be damaged by static electricity.

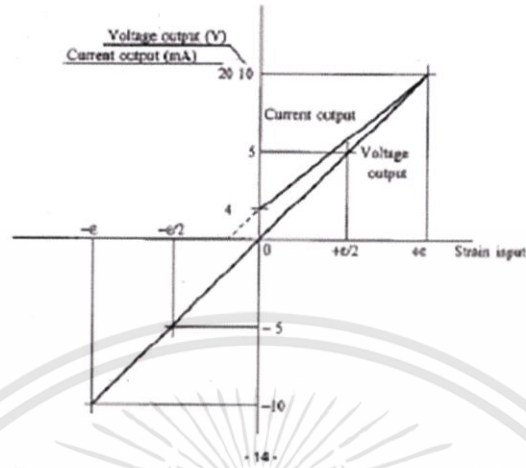


Main Board Inside the WGA-100B

- 11 -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relation Between Strain Input and Voltage & Current Outputs



Setting Jumper		Strain Input ϵ	
Sensitivity	Excitation Voltage	Minimum Span	Maximum Span
1000 times	5V	8mV/V	2mV/V
1000 times	10V	4mV/V	1mV/V
4000 times	5V	2mV/V	0.5mV/V
4000 times	10V	1mV/V	0.25mV/V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

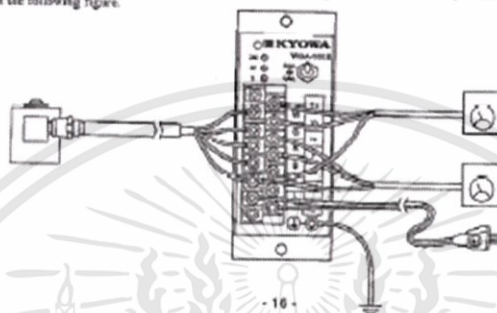
CHAPTER 3. CONNECTION

Since the WGA-101B is used as an amplifier for assembling the system, no cables are attached. To install the WGA-101B, use mounting bracket holes (2-φ4.5) provided on upper and lower portions of the WGA-100B.

The mounting brackets can be mounted on upper and lower portions of either front or rear side of the WGA-100B. Take special care for operating environment, for example, vibration, dust, temperature, humidity, etc. when installing the WGA-100B.

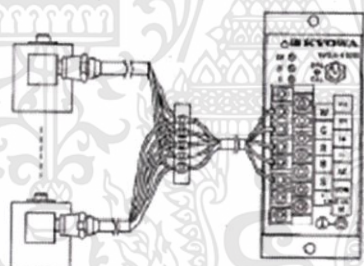
3-1 CONNECTING ONE TRANSDUCER

Connect one transducer to the WGA-100B together with a power cable, voltmeter, or ammeter as shown in the following figure.

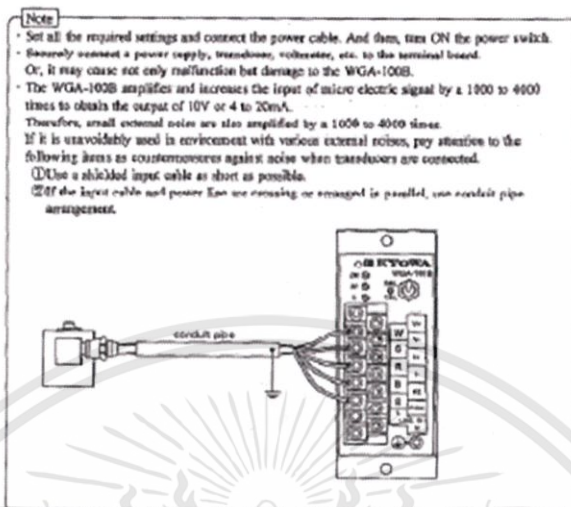


3-2 CONNECTING MULTIPLE TRANSDUCERS USING JUNCTION BOX

Maximum 4 transducers having 350Ω bridge resistance can be connected in parallel using a junction box. (Excitation voltage - 5V)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CHAPTER 4. OPERATING PROCEDURE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4-1 POWER SUPPLY

- Confirm cables are correctly connected to each of the terminals and then, turn ON the power switch.
- Although the WGA-100B becomes ready for operation right after the power ON, preheat approximately 30 minutes to stabilize the WGA-100B.

4-2 INITIAL BALANCE ADJUSTMENT

- Connect a digital voltmeter to the voltage output terminal (V+ & V-).
- Confirm the transducer is in no-load state (with no weight loaded).
- Turn clockwise the [S] (sensitivity) adjuster to the stop.
- For the types with auto-balance function
 - Turn up the [BAL] switch lever two times within 0.5 second.
 - Adjust the [ZF] (ZERO fine) adjuster to have the digital voltmeter indicate 0.000V.
- For the types with manual balance function
 - Adjust the [ZM] (ZERO coarse) adjuster and [ZF] (ZERO fine) adjuster to have the digital voltmeter indicate 0.000V.

- 20 -

Note

- The above describes procedures for measuring and adjusting the voltage output terminal (V+ & V-). In addition, it can be adjusted using the current output terminal (I+ & I-). Current (4 to 20mA) issued from the current output terminal (I+ & I-) interlocks with the output voltage (0 to +10V) issued from the voltage output terminal (V+ & V-).

4-3 SENSITIVITY (SPAN) ADJUSTMENT

- Actual Load Adjustment
 - Apply a known load (weight) to the transducer. Connect a digital voltmeter to the voltage output terminal (V+ and V-) and adjust the [S] (sensitivity) adjuster to have the digital voltmeter indicate the desired value.

(Example 1)

Assume that a weight is measured using one load cell having 1kN (102kgf) rated capacity. When 1kN (102kgf) weight is loaded and the output is adjusted to 1.00V or 10.00V, the loaded weight can be directly read on the digital indicator.

When 1kN (102kgf) weight is loaded and output is adjusted to 1.00V, if 0.80V output is obtained, the loaded weight shall be 0.8kN (81.6kgf).

- 21 -

(Example 2)

Assume that 5V output is required when 1kN (102kgf) actual weight is loaded using one load cell. But the weight has only 0.8kN (81.6kgf). How to adjust the output voltage?

Since 3V output is required with 1kN (102kgf) actual weight, the output x (V) obtained with 0.8kN (81.6kgf) weight shall be expressed as follows.

$$\frac{0.8}{1} = \frac{x}{5} \quad \text{Then, } x = \frac{0.8 \times 5}{1} = 4$$

Therefore, when 0.8kN (81.6kgf) weight is loaded, adjust the output to have 4.00V. However, always adopt the weight close to maximum loading weight, or accuracy in measurement may decrease.

● **Built-in Calibration Value Adjustment**

- Confirm no weight is loaded to the transducer.
- Connect a digital voltmeter to the voltage output terminal (V+ & V-). While pressing the [CAL] switch on the front panel, adjust the [S] (sensitivity) adjuster to have the digital voltmeter indicate the desired value.

(Example)

Assume that a load cell having 1.0mV/V calibration voltage and 1kN (102kgf) rated capacity is used to obtain 5.00V of output when 0.5kN (51kgf) actual weight is loaded. However, the (calibration coefficient *1) of the load cell at this time is 0.5005kN/1mV/V.

- 22 -

Firstly, obtain strain output by loading 0.5kN (51kgf) actual weight by the following expression.

$$0.5\text{kN} \div 0.5005\text{kN/1mV/V} = 0.999 \text{ (mV/V)}$$

Since it is required to adjust 0.999mV/V of the obtained strain output to 5.00V, the output voltage x (V) with calibration voltage set to 1.0mV/V can be obtained by the following expression.

$$0.999 : 5.00 = 1.0 : x$$

$$x = \frac{5.00}{0.999} = 5.005$$

Therefore, adjust the voltage output terminal (V+ & V-) to 5.005V by pressing the [CAL] (calibration) switch.

*1) Calibration coefficient : A specified value of transducers stated in Transducer Inspection Sheet.

[Note]

- The above describes procedures for monitoring and adjusting the voltage output terminal (V+ & V-). In addition, it can be adjusted using current output terminal (I+ & I-). The current (4 to 20mA) issued from the current output terminal (I+ & I-) interlocks with the output voltage (0 to +10V) issued from the voltage output terminal (V+ & V-).

- 23 -

CHAPTER 5. SPECIFICATIONS

5-1 SPECIFICATIONS

CONDITIONER

Number of Measuring Points	1
Applicable Transducer	Strain gage type transducer (350 Ω) When excitation voltage is 5V : Connects maximum 4 transducers in parallel When excitation voltage is 10V : Connects maximum 2 transducers in parallel
Bridge Exciter (Excitation Voltage)	10V DC & 5V DC (Changeover)
Input Cable	0.5mm ² × 4 conductor shielded cable Length : Within 20m
Input Form	Input balance difference
Input Resistance	1M Ω or more
Initial Adjustment	ZERO : Auto-balance Coarse and fine adjusters 41.5mV/V 41.5mV/V (Manual balance only)
	Fine adjuster Sensitivity : 1000 times & 4000 times (Changeover) 1/1 to 1/4 (Adjusted with ISI sensitivity adjuster.) 0.25mV/V
Auto-balance Residual Voltage	Within ± 35 mV (Voltage output terminal)
Rated Output	Voltage : ± 10 V (Unbalance load : 2k Ω or more) Current : 4 to 20mA (Load resistance : 500 Ω or less) (When voltage output is set to 0 to +10V)
Non-Linearity	$\pm 0.02\%$ FS
Calibration Value	+9.25, +8.5, & +1.0mV/V (Changeover)
Noise	SN ratio : 60dB or more (When 10V output sensitivity is obtained with 10V and 1.0mV/V excitation voltage)
ZERO Stability	Within 40 μ V/C
Sensitivity Stability	Within $\pm 0.01\%$ /C
Frequency Characteristics	10, 30, 100, & 500Hz (Changeover) Roll-off characteristics : -12dB/oct
Influence from Conducted Interference & Radiation Field	ZERO variation : Within ± 0.03 mV/V (With 10V/m)

- 27 -

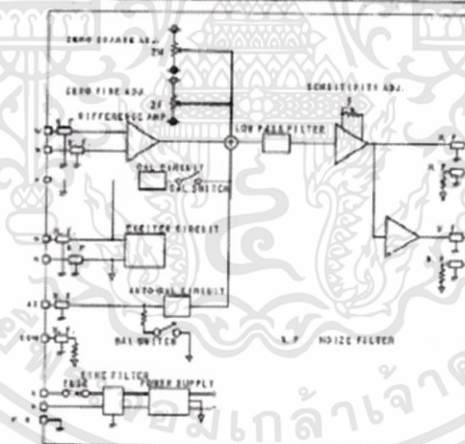
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIFICATIONS IN COMMON

Operating Temperature Range	-10 to +50 °C
Operating Humidity Range	20 to 85% RH (Non-condensing)
Case Structure	Case is insulated from signal COM in direct current state.
Input/output Terminal	11-Pin resin terminal (MS) (Arranged in front)
Supply Voltage & Consumption Current	10 to 30V DC 200mA or less 100V & 110V AC ±10% 30mA or less 200V & 220V AC ±10% 40mA or less (Conforming to customers' needs)
Dimensions	44(W) × 50(H) × 101(D)mm
Weight	450g or less
Applicable Specifications	EMC standard : EN50081-2-94 Group 1 Class A EN50082-2-93 Safety standard : IEC61010-1-95 Degree of pollution 2, Installation category II

- 26 -

5-2 BLOCK DIAGRAM



Note : It should be noted that AUTO-BAL CIRCUIT may not be mounted on some types.

26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

USER GUIDE

USB-6008/6009

This user guide describes how to use the National Instruments USB-6008/6009 data acquisition (DAQ) devices.

Contents

Introduction	2
Safety Guidelines	3
Software	5
Logging Application	5
Self Test	5
Hardware	6
Setting Up Hardware	7
I/O Connector	8
Signal Descriptions	10
Analog Input	11
Analog Input Circuitry	11
MUX	11
PGA	11
A/D Converter	11
AI FIFO	12
Analog Input Modes	12
Connecting Differential Voltage Signals	12
Connecting Reference Single-Ended Voltage Signals	13
Digital Trigger	14
Analog Output	14
Analog Output Circuitry	14
DACs	14
Connecting Analog Output Loads	15
Minimizing Glitches on the Output Signal	15
Digital I/O	15
Digital I/O Circuitry	15
Source/Sink Information	16
I/O Protection	17
Power-On States	18
Static DIO	18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Setting Up Hardware

Complete the following steps to set up the hardware:

1. Install combicon screw terminal blocks by inserting them into the combicon jacks.



Note The USB-6008/6009 kit ships with signal labels. You can apply the signal labels to the screw terminal blocks for easy signal identification.

2. Refer to Table 1 and Figure 5 for label orientation and affix the provided signal labels to the screw terminal blocks. Until the signal labels are applied, you can insert the screw terminal blocks into either of the combicon jacks. Refer to Figure 5 for more information about signal label orientation.

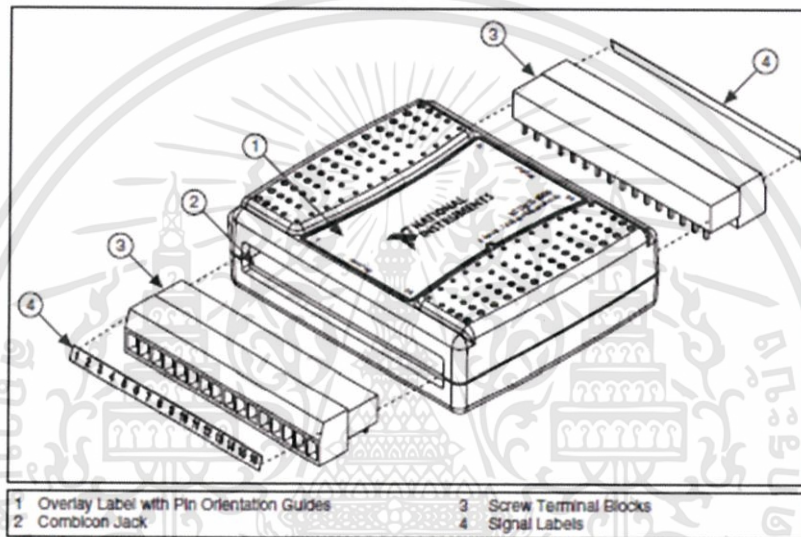


Figure 5. Signal Label Application Diagram



Note Once you label the screw terminal blocks, you must only insert them into the matching combicon jack, as indicated by the overlay label on the USB-6008/6009 device.

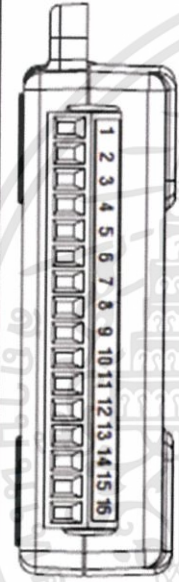
3. Connect the wiring to the appropriate screw terminals.

I/O Connector

The USB-6008/6009 ships with one detachable screw terminal block for analog signals and one detachable screw terminal block for digital signals. These terminal blocks provide 16 connections that use 16 AWG to 28 AWG wire.


Table 1 lists the analog terminal assignments, and Table 2 lists the digital terminal assignments.

Table 1. Analog Terminal Assignments



Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

Table 2. Digital Terminal Assignments

Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PF1.0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Signal Descriptions

Table 3 describes the signals available on the I/O connectors.

Table 3. Signal Descriptions

Signal Name	Reference	Direction	Description
GND			Ground —The reference point for the single-ended AI measurements, bias current return point for differential mode measurements, AO voltages, digital signals at the I/O connector, +5 VDC supply, and the +2.5 VDC reference.
AI <0..7>	Varies	Input	Analog Input Channels 0 to 7 —For single-ended measurements, each signal is an analog input voltage channel. For differential measurements, AI 0 and AI 4 are the positive and negative inputs of differential analog input channel 0. The following signal pairs also form differential input channels: <AI 1, AI 5>, <AI 2, AI 6>, and <AI 3, AI 7>.
AO 0	GND	Output	Analog Channel 0 Output —Supplies the voltage output of AO channel 0.
AO 1	GND	Output	Analog Channel 1 Output —Supplies the voltage output of AO channel 1.
PI <0..3> PO <0..7>	GND	Input or Output	Digital I/O Signals —You can individually configure each signal as an input or output.
+2.5 V	GND	Output	+2.5 V External Reference —Provides a reference for wrap-back testing.
+5 V	GND	Output	+5 V Power Source —Provides +5 V power up to 200 mA.
PFI 0	GND	Input	PFI 0 —This pin is configurable as either a digital trigger or an event counter input.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA

INDUSTRIAL INVERTER

E6580691④

TOSVERT VF-S7 SERIES**INSTRUCTION MANUAL**

SAFETY PRECAUTIONS	1
GENERAL PRECAUTIONS	2
ACCEPTANCE INSPECTION AND PRECAUTION	3
EXTERNAL VIEW AND COMPONENT NAMES	4
INSTALLATION	5
CONNECTION OF MAIN CIRCUITS (POWER SUPPLY AND MOTOR)	6
CONNECTION OF CONTROL SIGNALS	9
CONTROL CIRCUIT TERMINAL FUNCTION LIST	11
OPERATION PANEL	13
PARAMETER SETTING	14
Setting the Acceleration and Deceleration Time	17
Increasing the Torque	17
Setting the Environmental Functions	18
Setting the Starting and Stopping Methods	20
Setting the Frequency Command Method	20
Connecting and Calibrating Meters	21
Resetting to the Default Values	22
Setting the Motor Protection Characteristics	22
Setting Extended Parameters	23
Searching for Parameters Different from Default Values	23
OPERATIONS	24
• Operation with Built-in Potentiometer and RUN and STOP Keys	25
• Operation with Built-in Potentiometer and External Start Signal	25
• Setting the Frequency using External (Voltage/Current) Signal and Operating using an External Start Signal	26
• Setting the Frequency using Two External (Voltage/Current) Signals and Operating using an External Start Signal	27
• Selecting Preset Frequencies, and Operating using an External Start Signal	28
MONITORING OPERATING CONDITIONS	29
PROTECTIVE FUNCTIONS	30
SPECIFICATIONS	34
EXTERNAL DIMENSIONS	36
PARAMETER LIST	42
MAINTENANCE AND INSPECTION	49
STORAGE AND WARRANTY	50
CE COMPLIANCE	51

NOTICE

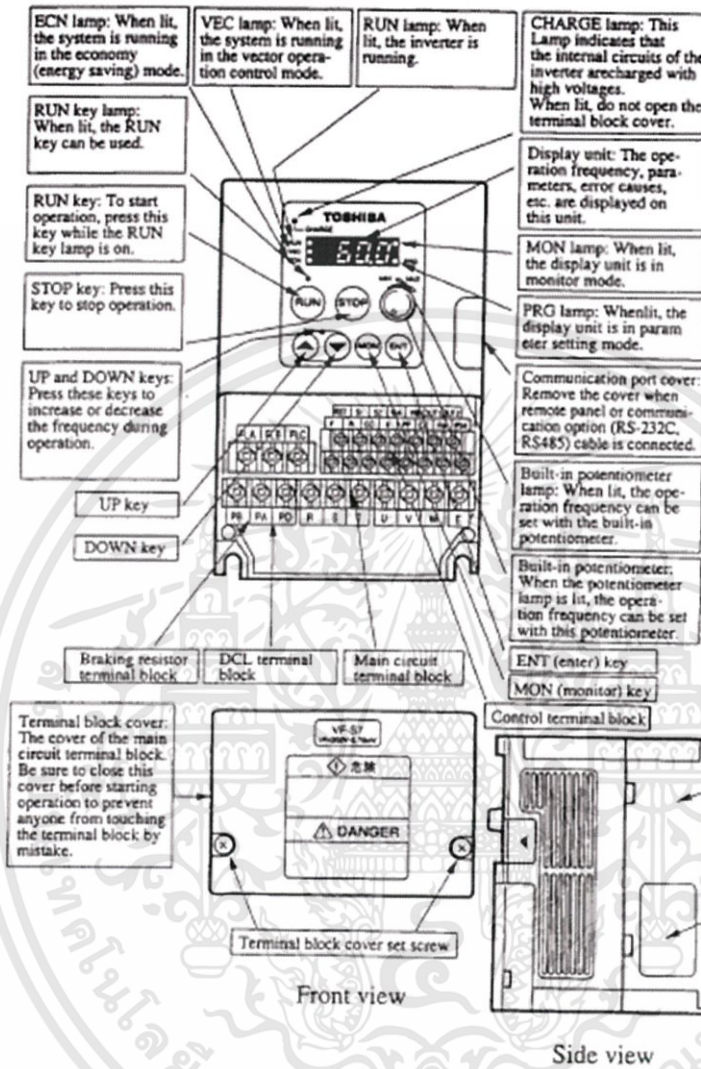
1. Make sure that this instruction Manual is delivered to the end user of the inverter unit.
2. Read this manual before installing or operating the inverter unit and store it in a safe place for reference.

© TOSHIBA Corporation 1997
All right reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E6580691

EXTERNAL VIEW AND COMPONENT NAMES



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E6580691

SETTING THE ACCELERATION AND DECELERATION TIME

Applicable parameters: Automatic acceleration and deceleration time AVT , acceleration time ACC , and deceleration time DEC

There are two methods of setting the acceleration and deceleration time: Automatic setting of the acceleration and deceleration time by the inverter, and manual setting.

- Automatic acceleration and deceleration time setting

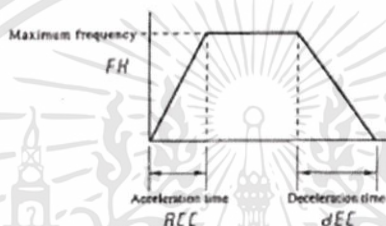
To select automatic acceleration and deceleration time setting, set the AVT value to "1".

HINT

When automatic acceleration and deceleration time setting is selected, the acceleration and deceleration time is always varied according to the load conditions. If the machine requires a predetermined acceleration and deceleration time, use the manual acceleration and deceleration time setting function.

- Manual acceleration and deceleration time setting

Set the AVT value to "0". Then, set the ACC and DEC values to the desired acceleration time and deceleration time, respectively.



INCREASING TORQUE

Applicable parameters: Automatic torque boost ATB and torque boost ub

The motor torque can be increased by raising the inverter output voltage.

There are two methods of raising the output voltage, automatic voltage raising by the inverter and manual voltage raising.

NOTICE

If the output voltage of the inverter is increased excessively, the inverter may stop due to overcurrent or, in the worst case, the inverter and/or motor may be damaged.

- Automatic torque boost and improving the speed accuracy

Set the ATB value to "1". The torque is automatically increased. To increase the torque and improve the speed accuracy, set the ub value to "3". If operation is not stable when ATB is set to "0" or "2", set ATB to "1", and the operation will become stable.

- Increasing inverter output voltage manually

Set the ATB value to "0" and increase the ub value. Use a value between 3 and 8 for a normal motor.

E6580691

Parameter	Description	When $PU3$ is set to "1"	When $PU3$ is set to "2"
Maximum frequency: FH	Maximum output frequency of the inverter	50 Hz	60 Hz
Upper limit frequency: UL	Upper limit frequency of the inverter	50 Hz	60 Hz
Base frequency: ω	Rated frequency of the motor	50 Hz	60 Hz
Frequency at VIA/I1 input point 2: $F204$	Output frequency when a 10 V voltage command is input	50 Hz	60 Hz
Frequency at VIB input point 2: $F203$	Output frequency when a 10 V voltage command is input	50 Hz	60 Hz
Auto restart: $F301$	Operation restarts according to the motor speed automatically if F-CC is ON when the power is recovered from instantaneous power failure.	1: Instantaneous power failure restart control is effective.	Same as left
Regeneration power ride through control: $F302$	In case of an instantaneous power failure, the motor speed is reduced automatically to continue operation.	1: Instantaneous power failure non-stop control is effective.	Same as left
Source voltage compensation: $F303$	Control is performed so that the output voltage does not lower when the source voltage drops.	1: Source voltage compensation is effective.	Same as left
Pattern of acceleration and deceleration: $F502$	An S pattern is used to accelerate and decelerate the motor speed.	1: S pattern	Same as left

● Manual inverter environment setting

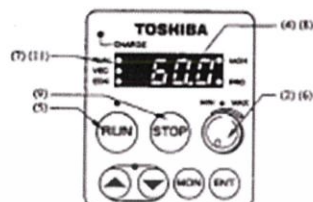
HINT
Set the maximum frequency to 80 Hz if the motor is a general-purpose motor not designed for inverter-driven high-speed operation.

Set $PU3$ to "0", then set the parameters individually.

E6580691

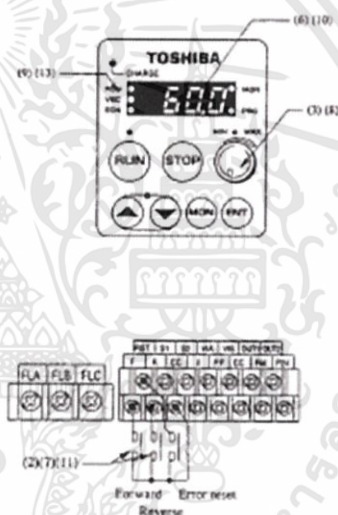
Operation with Built-in Potentiometer and RUN and STOP Keys

- (1) Connect the cables to the motor and power source.
- (2) Turn the built-in potentiometer fully counterclockwise.
- (3) Turn on the power.
- (4) "0.0" is displayed on the display unit.
- (5) Press the **RUN** key.
- (6) Turn the built-in potentiometer clockwise gradually.
- (7) The RUN lamp goes on. The motor starts and its rotation speed increases gradually.
- (8) The operation frequency is displayed on the display unit.
- (9) To stop the motor, press the **STOP** key.
- (10) The motor speed decreases according to the deceleration pattern.
- (11) The RUN lamp goes out.



Operation with Built-in Potentiometer and External Start Signal

- (1) Connect the cables to the motor and power source. (See "CONNECTING OF THE MAIN CIRCUITS.")
- (2) Connect a start/stop switch between the control terminal F and CC (for forward rotation) or between R and CC (for reverse rotation). (See "CONNECTING THE CONTROL WIRES.")
- (3) Turn the built-in potentiometer fully counterclockwise.
- (4) Turn on the power.
- (5) Set the parameters *f_{Hz}* to "0" and *f_{Rev}* to "2". (See "Setting the Starting and Stopping Methods" and "Setting the Frequency Command Method".)
- (6) "0.0" is displayed on the display unit.
- (7) Turn on the forward or reverse switch.
- (8) Turn the built-in potentiometer clockwise gradually.
- (9) The RUN lamp goes on. The motor starts and its rotation speed increases gradually.
- (10) The operation frequency is displayed on the display unit.
- (11) To stop operation, turn off the forward or reverse switch.
- (12) The motor speed decreases according to the deceleration pattern.
- (13) The RUN lamp goes out.



E6580691

PROTECTIVE FUNCTIONS (TRIPS INFORMATION)

Trips and Countermeasures

Display	Description	Countermeasures
DC1	Overcurrent during acceleration	1. Increase the acceleration time (ACC). 2. Increase or decrease the torque boost level (μ).
DC2	Overcurrent during deceleration	1. Increase the deceleration time (dEC).
DC3	Overcurrent during constant-speed run	1. Reduce the variance of the load conditions.
DCA	Phase short circuit	1. The main circuit is abnormal. Ask your agent to repair the inverter.
DCL	Load-end short circuit (output terminal check) trip during start-up	1. The insulation of the main output circuit or motor is abnormal. 2. Check the wiring and insulation. 3. If 1 and 2 are normal, the elements of the main circuit may be defective. Ask your agent to repair the inverter.
DP1	Overvoltage during acceleration	1. Check the power voltage. 2. Check if the power is turned on and off frequently. 3. Check whether or not excessive current flows instantaneously through a load.
DP2	Overvoltage during deceleration	1. Increase the deceleration time (dEC).
DP3	Overvoltage	1. Check the power voltage. 2. Check if the power is turned on and off frequently. 3. Check whether or not excessive current flows instantaneously through a load.
UDFF	Undervoltage	1. The input voltage is too low. 2. Check the power supply condition and input wiring.
DL1	Inverter overload trip	1. The load is excessive. Reduce it. 2. The V/f characteristics or torque boost level are not proper. Check whether or not a 50 Hz rated motor runs on the 60 Hz base frequency. 3. Increase or decrease the torque boost level.
DL2	Motor overload trip	3. Increase the inverter rating.
DLr	Braking resistor over load trip	1. Increase the deceleration time (dEC).
DH	Overheat trip	1. Check whether or not the ambient temperature is too high. If the ambient temperature is too high, remove the seal from the top cover.
E	Emergency stop	1. Operation stops on the panel during automatic or remote operation.
EOFF	Checking emergency stop acceptance display	1. Operation stops on the panel during automatic or remote operation. Stop operation in an emergency by pressing the STOP key twice. To cancel an emergency stop, press any other key.
EEP1	EEPROM fault	1. Turn off the power, then turn it on again. 2. If the EEPROM does not recover from the error, ask your agent to repair the inverter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E6580691

Display	Description	Countermeasures
<i>Et_n</i>	Automatic tuning error	1. Check the Torque up parameters.
<i>EPHO</i>	Output phase loss	1. Output phase loss occur. Check the wiring between the inverter and motor.
<i>Err.1</i>	Frequency setting signal error	1. The point 1 and point 2 frequency setting signals parameter are too close to each other. Reset these signals so that points 1 and 2 are apart from each other.
<i>Err.2</i>	RAM fault	1. Ask your agent to repair the inverter.
<i>Err.3</i>	ROM fault	1. Ask your agent to repair the inverter.
<i>Err.4</i>	CPU fault	1. Ask your agent to repair the inverter.
<i>Err.5</i>	Communication interruption error	1. Check the communication device, wiring, etc.
<i>EtYP</i>	Inverter typeform error	1. If the PCB replaced, set standard setting mode selection (<i>EtYP</i>) to 6 to clear the error.
<i>Σ</i>	Stall prevention alarm	1. Increase the acceleration time (ACC). 2. Increase or decrease the torque boost level.
<i>P</i>	Overvoltage alarm	1. Increase the deceleration time (dEC).
<i>L</i>	Overload alarm	1. The load is excessive. Reduce it. 2. Increase the inverter rating.
<i>H1</i> <i>LO</i>	Set value alarm (Error message and data are displayed twice each alternately.)	1. An incorrect set value is found when reading or writing data. Check the set values, then reset the incorrect value.

NOFF, *LDFF*, *Err.1* and alarms are displayed only. Inverter does not trip.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E6580691

SPECIFICATIONS

Items	Descriptions										
Input voltage class	Single phase 200V/Three phase 200V/Three phase 400V										
Applicable motor (kW)	0.2	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	5.5	7.5	11	15	
Type	VFST5 (1 ϕ -200V input) /VFST7 (3 ϕ -200V input) /VFST7 (3 ϕ -400V input)										
Form	1 ϕ 200V input	2002P	2004P	2007P	2015P	2022P	2037P	2055P	2075P	2110P	2150P
	3 ϕ 200V input	-	2004P	2007P	2015P	2022P	2037P	2055P	2075P	2110P	2150P
	3 ϕ 400V input	-	-	4007PL	4015PL	4022PL	4037PL	4055PL	4075PL	4110PL	4150PL
Rated capacity (kVA)	0.6	1.2	1.6	3.0	4.0	6.5	9.5	13	19	25*	
Rated current (A)	1 ϕ 200V input	1.5	3.0	4.0	7.5	(10)	-	-	-	-	-
	3 ϕ 200V input	-	3.0	4.0	7.5	10	16.5	25	33	49	66*
	3 ϕ 400V input	-	-	2.1	3.7	5.0	8.5	13	17	25	32.6*
Power source	1 ϕ 200V input	Single 200 to 230Vac \pm 10% -50/60Hz \pm 5%									
	3 ϕ 200V input	Three phase 200 to 230Vac \pm 10% -50/60Hz \pm 5%									
	3 ϕ 400V input	Three phase 380 to 460Vac \pm 10% -50/60Hz \pm 5%**									
EMI noise filter	EMI noise filter is installed in 3 ϕ -400V input unit										
Control method	Sine/soidal wave PWM control										
Rated output voltage	Output voltage is controllable between 0% and 120% with the output voltage adjustment function, provided the rated voltage is 100%. (Output over the input voltage is disabled.)										
Output frequency range	0.5 to 320 Hz; Set to 0.5 to 80 Hz by default. Maximum frequency is adjustable between 30 and 320 Hz.										
Frequency setting resolution	0.1 Hz; Input from the operation panel, 0.2 Hz; Analog input (at maximum frequency of 100 Hz)										
Frequency accuracy	Digital setting: \pm 0.01% of the maximum output frequency or less (at -10 to +50°C) Analog setting: \pm 0.5% of the maximum output frequency or less (at 25 \pm 10°C)										
Voltage/frequency characteristics	Constant V/f mode, variable torque mode, sensorless vector control mode, automatic torque boost mode, base frequency adjustment (25 to 320 Hz), and torque boost adjustment (0 to 30%)										
Overload current rating	150%, 60 seconds										
Frequency setting signal	Built-in potentiometer on the front panel; external potentiometer (1k to 10 k Ω variable resistor connectable), 0 to 10 VDC (input impedance: V1A = 30.55 k Ω , V1B = 30 k Ω), 4 to 20 mA (input impedance: 400 Ω), and optional characteristics (gain, bias) can be preset by 2-point setting										
PI control	Proportional gain, integral gain adjustments										
Start-up frequency	Adjustable between 0.5 and 10 Hz										
Frequency jump	Three points (by setting jump frequencies and jump widths)										
PWM carrier frequency	Adjustable between 2.2 and 12 kHz (Default: 12 kHz)										
Acceleration & deceleration time	0.1 to 3500 seconds; acceleration time 1 and 2 selectable, S1 and S2 acceleration/deceleration patterns selectable										
Jog run	JOG run from panel with JOG mode selection. Terminal block operation possible with parameter settings										
Preset speed operation	Set frequency + 35 preset speeds possible with open/closed combinations of SS1, SS2, SS3, SS4 and CC										
Retry operation	Retries are enabled ten times maximum (set with the parameter) after checking the main circuit elements if the protective function is activated										
Braking	Externally connected braking resistor (Optional)										
DC injection braking	Braking start frequency (0 to max. frequency), braking level (0 to 100%), braking time (0 to 20 seconds)										
Input terminal functions (injections)	Forward & reverse input signals, preset speed select input signals, reset input signals, etc.										
Output terminal functions (selection)	Low-speed detection output signal, speed-reached output signal, etc.										
Fault signal	1 ϕ control output (250 Vac, 30 Vdc= 2 A resistive load, 250 Vac, 30 Vdc=1.5 A inductive load except 0.4)										
Output for frequency counter or ammeter	Analog output (1 mA dc full scale ammeter or 7.5 Vdc, 1 mA full scale DC ammeter or rectifying AC voltmeter, 225% current max., 1 mA DC, 7.5 Vdc full scale)										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E6580691


Items		Descriptions									
Input voltage class		Single phase 200V/Three phase 200V/Three phase 400V									
Applicable motor (kW)		0.2	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	5.5	7.5	11	15
Type		VFS7S (1φ-200V input)/VFS7 (3φ-200V input)/VFS7 (3φ-400V input)									
Form	1 φ 200V input	2002P	2004P	2007P	2015P	2022P	2037P	2055P	2075P	2110P	2150P
	3 φ 200V input	–	2004P	2007P	2015P	2022P	2037P	2055P	2075P	2110P	2150P
	3 φ 400V input	–	–	4007PL	4015PL	4022PL	4037PL	4055PL	4075PL	4110PL	4150PL
Protective function	Protective functions	Stall prevention, current limit, overcurrent, output short-circuit, overvoltage, overvoltage limit, undervoltage, overload by electronic thermal relay, arm overcurrent during starting, overcurrent on load side when starting, and emergency stop (selection)									
	Measures against instantaneous power failure	Auto-restart and regeneration power ride-through control									
	Electronic thermal characteristics	Standard motor and constant torque VF motor selectable; overload trip and overload stall selectable.									
Permissible environment	Service environment	Indoors. Altitude of less than 1000 meters. Must not be exposed to direct sunlight, corrosive or explosive gas or vapor. Vibration: 5.9 m/s ² (0.6 G) or less (at 10 to 55 Hz)									
	Ambient temperature & relative humidity	-10 to 40°C (50°F without upper seal), 93% (No condensation)									
Protective method		IP20 (JEM 1030)									
Cooling		Self cooling					Forced air cooling				

Note*) These values are when PWM carrier frequency is 4kHz. When PWM carrier frequency is 12kHz, rated current of VFS7-2150P and VFS7-4150PL are 58A (23k VA) and 29.3A(23kVA).

**Power source of VFS7-2110P, 2150P is three phase 200 to 220Vac ± 10% 50Hz ± 5%, 200 to 230Vac ± 10% 60Hz ± 5%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 สเตรนเกจ



MADE IN JAPAN

STRAIN GAGES

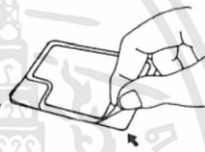
TYPE	KFG-5-120-C1-11	GAGE FACTOR (24°C,50%RH)	2.11 ± 1.0 %
TEMPERATURE COMPENSATION FOR	STEEL	ADOPTABLE THERMAL EXPANSION	11.7 PPM/°C
GAGE LENGTH	5 mm	TRANSVERSE SENSITIVITY (24°C,50%RH)	0.40 %
GAGE RESISTANCE (24°C,50%RH)	120.2 ± 0.2 Ω	TEMPERATURE COEFFICIENT OF GAGE FACTOR	- %/°C
LOT No.	Y3185S	BATCH	607A K11
		APPLICABLE GAGE CEMENT	CC-33A,PC-6
		QUANTITY	10

TEMPERATURE COEFFICIENT OF GAGE FACTOR
 [0.8 ± 0.5%/100deg]

THERMAL OUTPUT (ε_{app} : Apparent Strain)

$$\epsilon_{app} = -0.29 \times 10^{-2} + 0.24 \times 10^{-1} \times T - 0.48 \times 10^{-1} \times T^2 + 0.44 \times 10^{-4} \times T^3 + 0.95 \times 10^{-6} \times T^4$$

tolerance : ± 0.85 [(μm/m)/°C]



袋の開封は図のおこなって下さい。
Open the package as illustrated.

共和電業
 〒182-0021 東京都調布市調布ヶ丘3-5-1
 TEL:0424-88-1111(大代) FAX:0424-81-3258

KYOWA
 KYOWA ELECTRONIC INSTRUMENTS CO., LTD.
 3-5-1, Chofugaoka, Chofu, Tokyo, 182-0021, Japan
 Phone: 0424-88-1111 Fax: 0424-81-3258

共和ゲージのお取扱いは裏面をご覧ください。
See the back of package for installation of Kyowa gages.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 นีดเตลแบริ่ง

table 1 - Constant coefficient of friction μ for open bearings

Bearing type	Coefficient of friction μ
Deep groove ball bearings	0,0015
Angular contact ball bearings	
– single row	0,0020
– double row	0,0024
– four-point contact	0,0024
Self-aligning ball bearings	0,0010
Cylindrical roller bearings	
– with a cage, when $F_a \approx 0$	0,0011
– full complement, when $F_a \approx 0$	0,0020
Needle roller bearings with a cage	0,0020
Tapered roller bearings	0,0018
Spherical roller bearings	0,0018
CARB toroidal roller bearings with a cage	0,0016
Thrust ball bearings	0,0013
Cylindrical roller thrust bearings	0,0050
Needle roller thrust bearings	0,0050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้