เครื่องมือวัดแรงหนีบของก้ามปูไฟฟ้ารุ่น GLBS 200502 R

Clamping Force Measurement of GLBS 200502 R MNS Power Contacts

พลภัทร จงพิพัฒน์มงคล

วรปรัชญ์ ธันธนทรัพย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดแรงหนีบของก้ามปูไฟฟ้ารุ่น GLBS 200502 R

พลภัทร จงพิพัฒน์มงคล

วรปรัชญ์ ธันธนทรัพย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Clamping Force Measurement of GLBS 200502 R MNS Power Contacts

Pholapat Jongpipatmongkol

Worapat Thantanatrap

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

2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดแรงหนีบของก้ามปูไฟฟ้ารุ่น GLBS 200502 R

นายพลภัทร จงพิพัฒน์มงคล รหัสประจำตัว 59010921
นายวรปรัชญ์ ธัญธนทรัพย์ รหัสประจำตัว 59011167
ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

ศูนย์ควบคุมมอเตอร์มีหน่วยควบคุมมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมกระแสไฟฟ้าและการทำงานของมอเตอร์แต่ละตัว มีก้ามปูไฟฟ้าเพื่อใช้ส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไปยังหน่วยควบคุมมอเตอร์ หน่วยควบคุมมอเตอร์สามารถถอดเข้าออกได้เพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษา การถอดเข้าออกบ่อยๆและการเยื้องศูนย์ ทำให้ความล้าของก้ามปูไฟฟ้าส่งผลให้เกิดอาร์คและความเสียหายต่อศูนย์ควบคุมมอเตอร์ ผู้วิจัยศึกษาแรงหนีบของก้ามปูไฟฟ้าโดยการจำลองการหนีบด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์คออกแบบและสร้างเครื่องมือต้นแบบเพื่อวัดแรงหนีบ หลังจากนั้นจึงสอบเทียบและทดสอบเครื่องมือต้นแบบด้วยการชั่งตุ้มน้ำหนักผ่านก้ามปูทดสอบ ผลจากการศึกษาพบว่าแรงหนีบของก้ามปูไฟฟ้ามีขนาด 61.1 นิวตัน หรือ 6.23 กิโลกรัม ผลจากการทดสอบเครื่องมือ ในช่วงใช้งาน 2 ถึง 8 กิโลกรัม มีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 % หรือประมาณ 44 ถึง 630 กรัม อยู่ในระดับที่ไม่สามารถยอมรับได้ ข้อผิดพลาดเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์และโมดูลที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อลดระดับความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Clamping Force Measurement of GLBS 200502 R MNS Power Contacts

Pholapat Jongpipatmongkol

Worapat Thantanasap

Asst. Prof. Dr. Akapot Tantrapiwat Advisor

Abstract

The Motor Control Center has a Motor Control Unit that controls the electric current and the operation of each motor. There is a Power Contacts to transfer electric power from the source to the Motor Control Unit. The Motor Control Unit can be removed for ease of maintenance. Frequent removal and misalignment assembly will cause the fatigue of the Power Contacts and result in the arc and damage to the motor control center. The researcher studied the clamping force of Power Contacts with the simulation from Solidworks Program, design and create prototype tools for clamping force measurement, and then run the calibration and test the prototype tools. Study results show that the clamping force is 61.1-newton or 6.23 kilograms. Testing results, in an operating range 2 to 8 kilograms, show that the errors are in range 1 to 10 percent or 44 to 630 grams and this tool has an unacceptable error level. These errors occur due to the efficiency of sensor and module was rather low. Therefore, further study and development are needed in order to minimize the error level.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ดีด้วยความกรุณาช่วยเหลือ แนะนำให้คำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไขบกพร่องและคำแนะนำเกี่ยวกับการดำเนินงานต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา คำเสนอแนะ แนวคิดตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอกราบขอบคุณคณะอาจารย์ผู้เป็นกรรมการคุมสอบโครงงานนี้ รวมไปถึงอาจารย์และบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ชมรมออโตโมทีบ (Automotive) ในการให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ให้คำติชม รวมไปถึงการขอใช้อุปกรณ์ต่างๆ เพื่อทำให้รายงานเล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ทำการสนุบสนุนให้ทุนวิจัยทางผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบคุณบิดามารดา และบุคคลในครอบครัวอันเป็นที่รักอย่างยิ่ง ที่อบรม สั่งสอน ให้ทุนทรัพย์การศึกษา และเป็นที่พึ่งและกำลังใจให้เสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบคุณผู้มีพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยชื่อมา ณ ที่นี้ด้วย ที่สนับสนุนให้กำลังใจ คอยช่วยเหลือ ถ้าปราศจากบุคคลเหล่านี้วิทยานิพนธ์เล่มนี้คงไม่อาจสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คุณค่าและผลประโยชน์ที่ได้จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้จัดทำขอมอบให้ทุกท่าน ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาของทุกท่านเป็นอย่างยิ่งจึงกราบขอบพระคุณและขอบคุณไว้ในโอกาสนี้

พลภัทร จงพิพัฒน์มงคล

วรปรัชญ์ ธัญธณทรัพย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....i

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ii

กิตติกรรมประกาศ.....iii

สารบัญ.....iv

สารบัญตาราง.....vi

สารบัญรูป.....vii

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มา.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....4

1.3 ขอบเขตการวิจัย.....4

1.4 วิธีการดำเนินงาน.....4

บทที่ 2 ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง.....6

2.1 ความสัมพันธ์ของแรงกับอุณหภูมิ.....6

2.2 ความเค้นและความเครียด.....7

2.3 ทฤษฎีความคืบ.....9

2.4 คุณสมบัติของวัสดุในคอนแทกเตอร์(Contactor).....11

2.5 สเตรนเกจ (Strain Gauge).....13

2.6 สเตรนเกจ โมดูล (Strain gauge module).....14

2.7 อาร์ดูโน (Arduino).....15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 จอแอลซีดี (LCD).....15
2.9 แหล่งจ่ายไฟ (Powerbank).....16
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์.....17
3.1 คำนวณค่าแรงหนีบของคอนแทคเตอร์ (Contactor).....17
3.2 การออกแบบ (Design).....23
3.3 การสร้างอุปกรณ์.....29
บทที่ 4 การสอบเทียบ ทดสอบ และวิเคราะห์ความผิดพลาดของอุปกรณ์.....35
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....35
4.2 การทดสอบอุปกรณ์.....40
4.3 การวิเคราะห์ความผิดพลาดของอุปกรณ์.....41
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผล.....49
5.1 สรุปผล.....49
5.2 ปัญหาในการดำเนินงาน.....50
5.3 การแก้ไข.....51
5.4 ข้อเสนอแนะ.....51
เอกสารอ้างอิง.....53
ภาคผนวก.....54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกลของทองแดง.....11

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกลของ SK5.....12

ตารางที่ 4.1 ลำดับของตุ้มถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในการสอบเทียบและทดสอบอุปกรณ์ 37

ตารางที่ 4.2 มวลจริงที่ได้จากการคำนวณ.....38

ตารางที่ 4.3 ค่าของอุปกรณ์ที่ได้จากการสอบเทียบ.....39

ตารางที่ 4.4 ค่าของอุปกรณ์ที่ได้จากการทดสอบและความผิดพลาดของอุปกรณ์.....40

ตารางที่ 4.5 แรงที่กระทำบนหัววัดอะลูมิเนียม และความเค้นที่สัมพันธ์กับมุมต่างๆ.....48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 ศูนย์ควบคุมมอเตอร์....2

รูปที่ 1.2 หน่วยควบคุมมอเตอร์....2

รูปที่ 1.3 ก้ามปูไฟฟ้ารุ่น GLBS 200502 R ของบริษัท ABB....2

รูปที่ 1.4 ก้ามปูไฟฟ้ารุ่นหนึ่งของบริษัท Cathy Zhu Wenzhou Deyuan Electric....3

รูปที่ 1.5 ก้ามปูไฟฟ้าที่เกิดอาร์ค....3

รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับอุณหภูมิ....6

รูปที่ 2.2 ภาพที่แสดงถึงแรงที่กระทำกับผิวทองแดง....7

รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด....8

รูปที่ 2.4 กราฟแสดงการเกิดความคืบ3ขั้น....9

รูปที่ 2.5 กราฟแสดงการเกิดความคืบของวัสดุในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน....10

รูปที่ 2.6 ลักษณะของstrain gauge....13

รูปที่ 2.7 รูปโครงสร้างของ strain gauge....13

รูปที่ 2.8 สเตรนเกจ โมดูล (Strain gauge module)....14

รูปที่ 2.9 อาร์ดูโน (Arduino) 15

รูปที่ 2.10 จอLCD....15

รูปที่ 2.11 แหล่งจ่ายไฟ (Powerbank)....16

รูปที่ 3.1 แบบคอนแทกเตอร์ (Contactor)....17

รูปที่ 3.2 แบบสปริง (Spring)....17

รูปที่ 3.3 แบบบัสบาร์ (Busbar)....17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 การกำหนดวัสดุพาร์ทจากฐานข้อมูลของโปรแกรม.....18

รูปที่ 3.5 การกำหนดวัสดุพาร์ทจากการกำหนดเอง.....18

รูปที่ 3.6 การกำหนดเงื่อนไขในการประกอบ.....19

รูปที่ 3.7 ชิ้นส่วนที่ประกอบกัน.....19

รูปที่ 3.8 การกำหนดการสัมผัสกันของแต่ละชิ้นส่วน.....20

รูปที่ 3.9 การกำหนดจุดยึด.....20

รูปที่ 3.10 ผลลัพธ์จากการเมช (Mesh).....21

รูปที่ 3.11 ผลลัพธ์จากการเมช (Mesh).....21

รูปที่ 3.12 Stress ที่เกิดขึ้นบนหน้าสัมผัสคอนแทกเตอร์.....22

รูปที่ 3.13 หัววัดแรงหนีบคอนแทกเตอร์.....23

รูปที่ 3.14 คอนแทกเตอร์ (Contactor) ที่ติดตั้งในซ็อกเก็ต (Socket)ในอุปกรณ์จริง.....24

รูปที่ 3.15 การจำลองคอนแทกเตอร์(Contactor)ในนซ็อกเก็ต(Socket)ในอุปกรณ์จริง.....24

รูปที่ 3.16 จำลองการวัดคอนแทกเตอร์ (Contactor) กับคอนแทกเตอร์ที่ติดตั้งในซ็อกเก็ต (Socket)....24

รูปที่ 3.17 แบบหัววัดทองเหลือง.....25

รูปที่ 3.18 หัววัดทองเหลืองจริง.....25

รูปที่ 3.19 แบบหัววัดปัจจุบัน.....26

รูปที่ 3.20 วงจรของจอแอลซีดี (LCD) ที่ต่อกับอาร์ดูโน (Arduino).....27

รูปที่ 3.21 วงจรของโมดูล (Module) ที่ต่อกับอาร์ดูโน (Arduino).....27

รูปที่ 3.22 วงจรทั้งหมดของอุปกรณ์.....28

รูปที่ 3.23 การออกแบบก้ามปูทดสอบ.....28

รูปที่ 3.24 การใช้กระดาษทรายขัดผิว.....29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.25 การเช็ดผิวอลูมิเนียมด้วยแอลกอฮอล์....29

รูปที่ 3.26 การทำสัญลักษณ์บนเซนเซอ (Sensor)....30

รูปที่ 3.27 การทำสัญลักษณ์บนหัววัด....30

รูปที่ 3.28 การติดเซนเซอ (Sensor)....31

รูปที่ 3.29 หัววัดที่ติดตั้งเซนเซอ (Sensor) แล้ว....31

รูปที่ 3.30 แผงวงจรด้านหลัง....32

รูปที่ 3.31 แผงวงจรด้านหน้า....31

รูปที่ 3.32 แผงวงจรที่ติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดแล้ว....33

รูปที่ 3.33 ก้ามปูทดสอบ....33

รูปที่ 4.1 ตุ้มน้ำหนักที่ถูกชั่งบนเครื่องชั่งดิจิตอล....35

รูปที่ 4.2 ตุ้มน้ำหนักที่ติดป้ายกำกับ....35

รูปที่ 4.3 ก้ามปูทดสอบที่ถูกชั่งบนเครื่องชั่งดิจิตอล....36

รูปที่ 4.4 แผนภาพอิสระของก้ามปูทดสอบ....36

รูปที่ 4.5 ระยะจากจุดหมุนถึงแรง ณ จุดต่างๆของก้ามปูทดสอบ....37

รูปที่ 4.6 ตำแหน่งของก้ามปูทดสอบในการสอบเทียบอุปกรณ์....38

รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าของอุปกรณ์จากการสอบเทียบและมวล....39

รูปที่ 4.8 ค่ามวลที่อุปกรณ์ชั่งได้แสดงบนหน้าจอ LCD....40

รูปที่ 4.9 แรงที่กระทำบนหัววัด....41

รูปที่ 4.10 ระยะของแรงที่กระทำบนหัววัด....41

รูปที่ 4.11 แรงที่กระทำบนหัววัดอลูมิเนียม....42

รูปที่ 4.12 ระยะต่างๆของหัววัดอลูมิเนียม....42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 ชิ้นส่วนหัววัดอะลูมิเนียมในช่วงระยะ 5-35 มิลลิเมตร.....43

รูปที่ 4.14 ชิ้นส่วนหัววัดอะลูมิเนียมในช่วงระยะ 35-45 มิลลิเมตร.....44

รูปที่ 4.15 Shear Diagram ของหัววัดอะลูมิเนียม.....44

รูปที่ 4.16 Moment Diagram ของหัววัดอะลูมิเนียม.....45

รูปที่ 4.17 แรงที่กระทำบนหัววัด.....46

รูปที่ 4.18 เงื่อนไขของสมการความเครียด.....47

รูปที่ 4.19 การพิจารณาหัววัดอะลูมิเนียมให้ตรงไปตามเงื่อนไข.....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

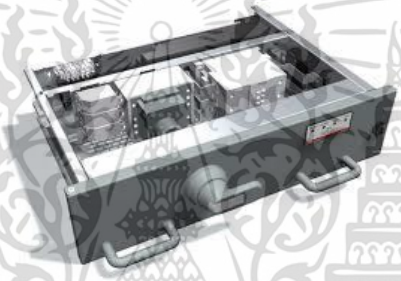
1.1 ความสำคัญและที่มา

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล พลังงานกลที่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายทั้งในระดับครัวเรือนและในอุตสาหกรรม เช่นขับเคลื่อนใบพัดของพัดลมไปจนถึงขับเคลื่อนสายพานในโรงงานต่างๆ เป็นต้น เนื่องด้วยเป็นอุปกรณ์ที่เป็นต้นกำลังให้กับอุปกรณ์อื่นได้หลากหลายและสะดวกในการใช้กระแสไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน จึงกล่าวได้ว่า ทุกโรงงานล้วนใช้มอเตอร์ในอุตสาหกรรมต่างๆทั้งสิ้น

เมื่อมีการใช้ไฟฟ้ากับอุปกรณ์ต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรมย่อมมีตู้ควบคุมเพื่อควบคุมให้อุปกรณ์นั้นๆทำงานได้ตามที่กำหนดไว้ และเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตราย เช่นเดียวกันกับมอเตอร์ ในโรงงานที่มีขนาดเล็กหรือมีมอเตอร์เพียงไม่กี่ตัว อาจมีการแยกชุดควบคุมมอเตอร์แต่ละตัว และอาจติดตั้งไว้ใกล้บริเวณมอเตอร์ตัวนั้นๆ แต่หากเป็นโรงงานขนาดใหญ่ มีพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น โรงไฟฟ้า โรงปิโตรเคมีซึ่งมีพื้นที่ขนาดใหญ่และมีหลายชั้น และมีการติดตั้งมอเตอร์มากมายจำนวนหลายจุด การจะติดตั้งชุดตู้ควบคุมมอเตอร์แบบแยกของใครของมันไว้ใกล้กับมอเตอร์เป็นไปได้ยาก เพราะหากมอเตอร์มีปัญหา การที่จะทำการตรวจเช็คซ่อมบำรุงจะทำได้ยาก หากมอเตอร์มีปัญหาหลายตัวพร้อมกัน จะทำให้การซ่อมบำรุงเป็นไปได้ยากมากยิ่งขึ้น ทั้งเรื่องการใช้จำนวนคนและเวลาที่มาก ทำให้สูญเสียเวลาการผลิต และทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐศาสตร์มากมาย จึงมีการออกแบบชุดตู้ควบคุมมอเตอร์มารวมไว้ที่เดียว เรียกว่า ศูนย์ควบคุมมอเตอร์ (Motor Control Center, MCC) เพื่อการบำรุงรักษาที่สะดวก ศูนย์ควบคุมมอเตอร์เป็นตู้ที่รวบรวมหน่วยควบคุมมอเตอร์ (Motor Control Unit) หลายๆหน่วยมาไว้รวมกัน ใช้แหล่งจ่ายร่วมกันที่บัสบาร์ (Busbar) จ่ายไปยังมอเตอร์แต่ละตัวด้วยหน่วยควบคุมมอเตอร์ นอกจากการควบคุมไฟฟ้าที่จ่ายไปยังมอเตอร์แล้ว ศูนย์ควบคุมมอเตอร์ยังสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อสั่งงานผ่าน Programmable logic Control (PLC) เพื่อควบคุมการทำงานต่างๆให้เป็นไปตามแบบแผนที่กำหนดไว้ ทั้งยังมีอุปกรณ์ตัดตอนไฟฟ้า (Switch Gear) เพื่อใช้ในการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้กระแสไฟฟ้าเกินพิกัดหรือไฟฟ้าลัดวงจรหรือการเกิดอาร์ค (Arc Fault) และแยกอุปกรณ์ไฟฟ้าออกจากระบบ

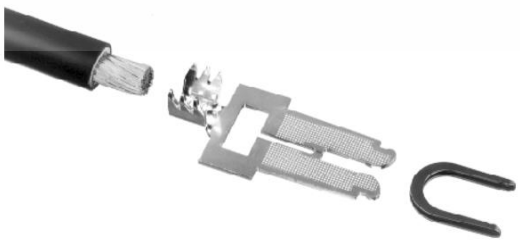
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.1 ศูนย์ควบคุมมอเตอร์



รูปที่ 1.2 หน่วยควบคุมมอเตอร์

หน่วยควบคุมมอเตอร์สามารถถอดออกจากศูนย์ควบคุมมอเตอร์ได้เพื่อนำมาบำรุงรักษา ตัวกลางที่ทำหน้าที่ส่งถ่ายกระแสไฟฟ้าระหว่างบัสบาร์กับหน่วยควบคุมมอเตอร์นั้นคือ ก้ามปูไฟฟ้า (Power Contactor) ลักษณะของก้ามปูไฟฟ้ามีขาสองขาถูกออกแบบมาให้มีแรงหนีบกับบัสบาร์เมื่อเสียบเข้าด้วยกัน มีสปริงที่ช่วยเสริมแรงหนีบให้กับก้ามปูมากยิ่งขึ้น วัสดุของก้ามปูไฟฟ้าแตกต่างกันไปตามแต่ละบริษัทที่ผลิต เช่น นิกเกิ้ล ดีบุก หรือ เงิน เป็นต้น กระบวนการต่างๆที่กระทำต่อก้ามปู เช่น การถอดเข้าออกบ่อยๆ หรือ การเสียบก้ามปูไฟฟ้าเข้ากับบัสบาร์ที่เยื้องศูนย์ (Misalignment) ทำให้ก้ามปูไฟฟ้าเกิดการล้า



รูปที่ 1.3 ก้ามปูไฟฟ้ารุ่น GLBS 200502 R ของบริษัท ABB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.4 ก้ามปูไฟฟ้ารุ่นหนึ่งของบริษัท Cathy Zhu Wenzhou Deyuan Electric

การล้าคือการที่วัสดุถูกแรงซึ่งต่ำกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength) กระทำเป็นวัฏจักรซ้ำไปซ้ำมาเป็นคาบ ส่งผลให้ความแข็งแรงลดลงจนกระทั่งเกิดร้อยร้าวและแตกหักลงในที่สุด นอกจากนั้นอุณหภูมิยังมีผลต่อการทนความล้าของวัสดุใดๆ เช่นหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะทำให้ความต้านทานการล้าของวัสดุลดลง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นบนก้ามปูไฟฟ้านั้น การถอดเข้าออกบ่อยๆ หรือการเสียบเยื้องศูนย์ เป็นพฤติกรรมที่เป็นแรงกระทำซ้ำไปซ้ำมาเป็นวัฏจักรและมีแรงกระทำไม่ถึงค่าความแข็งแรงสูงสุด ทำให้ก้ามปูไฟฟ้าเกิดการล้าแต่ไม่ถึงจุดที่เกิดการแตกหัก ความแข็งแรงที่ลดลงหมายถึงการที่มีแรงหนีบที่หน้าสัมผัสระหว่างก้ามปูไฟฟ้ากับบัสบาร์ลดลง ส่งผลให้ค่าความต้านท้านทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นพร้อมกับอุณหภูมิที่หน้าสัมผัสด้วยเช่นกัน อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ฉนวนของก้ามปูไฟฟ้าละลายและเกิดอาร์คขึ้นในที่สุด

รูปที่ 1.5 ก้ามปูไฟฟ้าที่เกิดอาร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัทผู้จำหน่ายก้ามปูไฟฟ้าต่างๆ มีการแก้ปัญหานี้ด้วยการให้บริการวัดแรงหนีบก้ามปูไฟฟ้าให้กับบริษัทคู่ค้า เป็นบริการหลังการขายที่เข้ามาตรวจสอบก้ามปูไฟฟ้าว่ามีอายุการใช้งานถึงจุดที่กำหนดหรือไม่ เพื่อป้องกันไม่ให้ก้ามปูไฟฟ้าถูกใช้งานจนเกิดอาร์ค แต่ในการตรวจสอบก้ามปูแต่ละตัวนั้นมีค่าใช้จ่ายสูง รวมถึงจำนวนของก้ามปูมีจำนวนมาก ทำให้การตรวจสอบแต่ละครั้งมีค่าใช้จ่ายที่สูง

จากความสำคัญและที่มาที่กล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงศึกษาแรงหนีบของก้ามปูไฟฟ้าว่าแรงหนีบมีค่าเท่าใด รวมถึงออกแบบวิธีการและอุปกรณ์ในการวัดก้ามปูไฟฟ้าด้วยเซนเซอและอุปกรณ์ทางอิเล็คทรอนิคส์ และสร้างเครื่องมือต้นแบบพร้อมทั้งสอบเทียบและทดสอบเครื่องมือต้นแบบ เพื่อนำไปใช้งานในการวัดก้ามปูไฟฟ้าและป้องกันไม่ให้เกิดอาร์คทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายให้กับบริษัทได้เป็นจำนวนมาก

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาค่าแรงหนีบของก้ามปูไฟฟ้า
2. เพื่อออกแบบเครื่องมือวัดแรงหนีบของก้ามปูไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. อุปกรณ์ต่างๆเป็นไปดังนี้
    1.1 บัสบาร์ (Busbar) ขนาด 3/16” x 3/4”
    1.2 คอนแทกเตอร์ (Contactor) ของบริษัท ABB รุ่น GLBS 200502 R
2. วัสดุของคอนแทกเตอร์(Contactor) กับบัสบาร์(Busbar) เป็นทองแดงโดยอ้างอิงคุณสมบัติทางกลจากโปรแกรมโซลิดเวิร์ค(SOLIDWORKS) และวัสดุของสปริงเป็นเอสเคไฟว์(SK5) โดยอ้างอิงคุณสมบัติจาก matweb.com
3. โมดูล(module) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นของร้าน อาร์ดรูโนไทย (Arduinothai)

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. วัดและเขียนแบบอุปกรณ์คอนแทกเตอร์ลงในโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SOLIDWORKS)
2. หาข้อมูลชนิดของวัสดุสปริงที่ผลิตในประเทศไทย
3. ประกอบและจำลองคอนแทกเตอร์ (Contactor) ในโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SOLIDWORKS) เพื่อหาแรงหนีบของคอนแทกเตอร์ (Contactor)
4. เลือกสเตรนเกจ (Stain gauge) ให้เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เลือก อาร์ดูโนบอร์ด (Arduino Board) และ จอแสดงผลแอลซีดี (LCD) ให้เหมาะสม
6. ออกแบบหัววัด, วงจร และโครงสร้างของอุปกรณ์ทั้งหมด
7. สร้างอุปกรณ์และเขียนโปรแกรมอาร์ดูโน (Arduino)
8. สอบเทียบอุปกรณ์
9. ทดสอบความผิดพลาดของอุปกรณ์

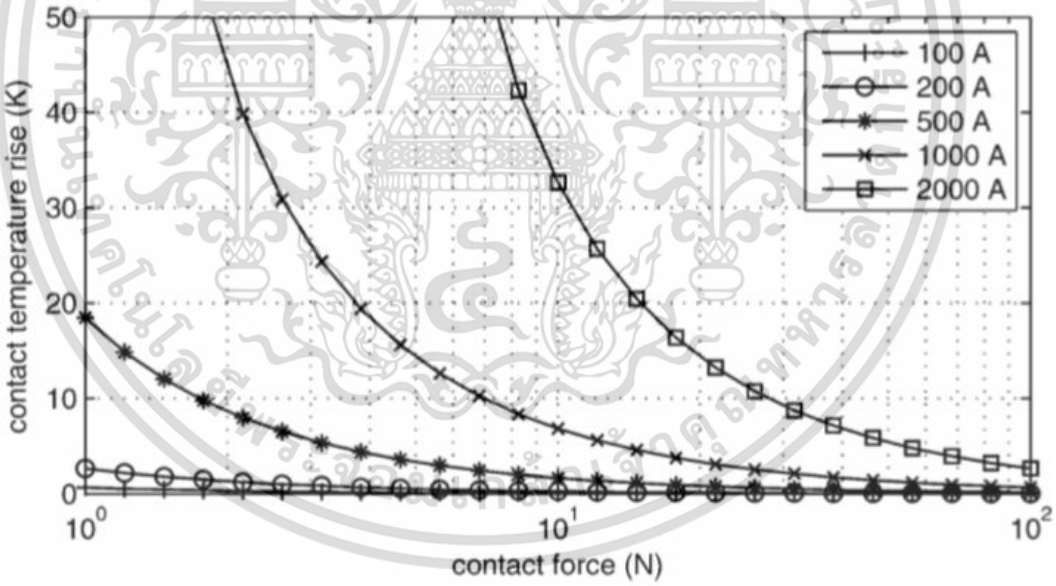
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสัมพันธ์ของแรงกับอุณหภูมิ

อ้างอิงจากงานวิจัย Danie U. Rogers, Member, IEEE, Tim C. Green, Senior Member, IEEE, and Richard W. Silversides **ALow – Wear on Load Tap Changer Diverter Switch for frequent Control on Distribution Networks :** IEEETRANSACTIONSONPOWERDELIVERY, VOL.29, NO.2, APRIL2014

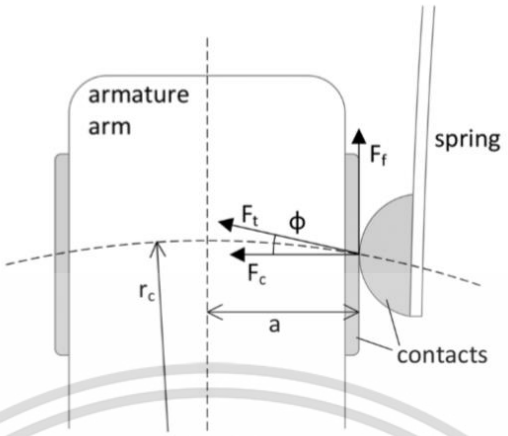
โดยงานวิจัยนี้มีการกล่าวถึงความสัมพันธ์ของแรงที่สัมผัสบนพื้นผิวทองแดงของอุปกรณ์ที่มีลักษณะคล้ายกับ ก้ามปูไฟฟ้า โดยความสัมพันธ์จะเป็นกราฟดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับอุณหภูมิ

โดยที่มีการสัมผัสกันของพื้นผิวทองแดงกับอุปกรณ์ดังกล่าวดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ภาพที่แสดงถึงแรงที่กระทำกับผวทองแดง

2.2 ความเค้นและความเครียด

คุณสมบัติของโลหะในการตอบสนองต่อแรงทางกล เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อโลหะ โลหะนั้นจะมีอาการเกร็ง คือเกิดแรงขึ้นภายในเพื่อตอบสนองแรงกระทำนั้น ซึ่งเป็นการป้องกันตัวตนเองเพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนเปลี่ยนแปลงรูปร่าง แรงต้านทานเหล่านี้เราเรียกว่า “แรงเค้นหรือความเค้น” (Stress) และเมื่อโลหะดังกล่าวยืดออกหรือหดตัวเข้าตามแนวแรงที่กระทำ คือ แรงดึง และแรงอัดตามลำดับ ในลักษณะดังกล่าวนี้ก็หมายความว่า โลหะนั้นเกิดความเครียดโดยมีลักษะดังต่อไปนี้

2.2.1 ความเค้น (Stress)

ความเค้นเกิดขึ้นจากแรงภายนอกที่กระทำต่อโลหะและกระจายอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัดของโลหะนั้น ขณะเดียวกันภายในเนื่อโลหะจะเกิดแรงต่อต้านแรงเหล่านั้นอย่างสม่ำเสมอ และขนาดของความเค้นจะมีค่าเท่ากับขนาดของแรงกระทำจากภายนอกหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของโลหะที่ได้รับแรงภายนอกโดยเขียนเป็นสูตรดังนี้

$$\sigma = {}^{P}/_{A} \qquad (2.1)$$

เมื่อ σ = ความเค้น

P = แรงกระทำ

A = พื้นที่ภาคตัดที่รับแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ความเครียด (Strain)

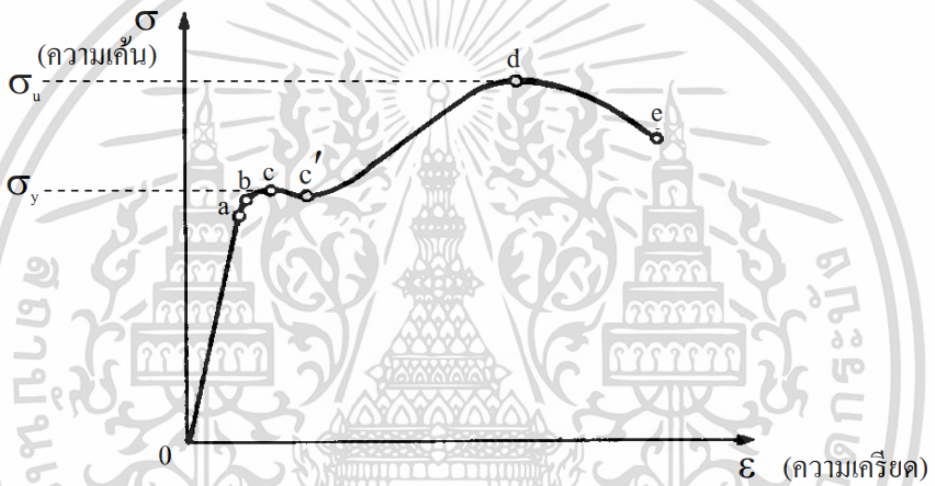
ความเครียดเกิดขึ้นจากความเปลี่ยนแปลงของโลหะไม่ว่าจะเป็นการหดตัวเข้า(Contraction) หรือการยืดตัวออก (Elongation) เมื่อโลหะอยู่ภายใต้แรงอัด (Compressive) และแรงดึง (Tensile) ตามลำดับ

$$\varepsilon = {}^{(L - L_0)}/_{L_0} \qquad (2.2)$$

เมื่อ ε = ความเครียด

L = ความยาวหลังจากที่โลหะถูกแรงกระทำ

L_0 = ความยาวเดิม



รูปที่ 2.3ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด คุณสมบัติต่างๆของวัสดุเป็นสิ่งสำคัญในการเลือกใช้โลหะที่จะมาทำโครงสร้างต่างๆ เช่น คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุโดยเฉพาะกำลังของวัสดุ การทดสอบวัสดุที่สำคัญวิธีหนึ่งคือ การทดสอบโดยใช้แรงดึงโดยเฉพาะวัสดุที่มีความเหนียว เช่น เหล็ก จะพบว่ามีความเค้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเครียดช่วงระยะหนึ่ง แต่เมื่อผ่านช่วงนี้ไปแล้วความสัมพันธ์ดังกล่าวจะไม่ปฏิภาคกันโดยตรงต่อไปอีก เราสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นดึงกับความเครียดตลอดระยะจนกระทั่งขาดจากกัน กราฟที่ได้จะมีลักษณะคล้ายคลึงดังรูป

จากกราฟมีจุดต่างๆที่สำคัญดังนี้

จาก o ถึง a กราฟจะเป็นเส้นตรงแสดงว่าแรงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับส่วนที่ยืดออก หรือ ความเค้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุด a ซึ่งเป็นจุดสูงสุดเรียกว่า ขีดจำกัดสัดส่วน (Proportional Limit) เป็นจุดสุดท้ายที่กราฟจะเป็นเส้นตรงหลังจุดนี้แล้ว ความเค้นจะไม่ปฏิภาคโดยตรงกับความเครียด คือกราฟจะมาเป็นเส้นตรงนั่นเอง

จุด b เรียกว่า ขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit) เป็นจุดสุดท้ายที่ความยาวของวัตถุจะหดกลับเท่าเดิมได้อีก

จุด c เรียกว่า จุดครากบน (Upper Yield Point) และจุด c’ เรียกว่าจุดครากกล่าง (Lower Yield Point)

จากจุด c ถึง e เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบพลาสติก (Plastic) นั่นคือวัตถุยืดออกอย่างถาวร ถ้าปล่อยแรงวัตถุจะไม่หดกลับมาอยู่ในสภาพเดิมอีก

จาก o ถึง d การยืดเกิดขึ้นทุกส่วนตลอดความยาวของแท่งทดสอบ (Gauge Length)

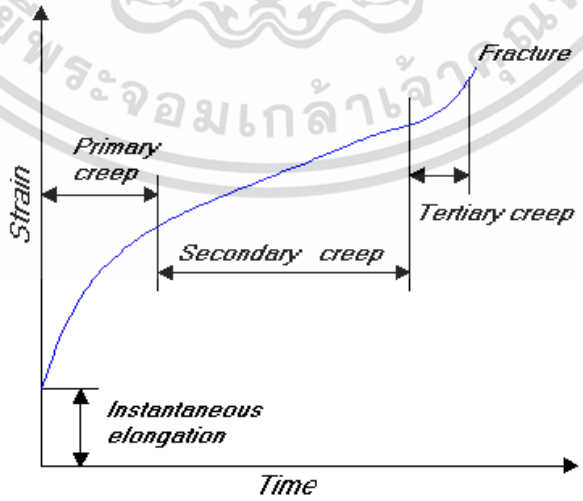
จาก d ถึง e การยืดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เฉพาะบริเวณที่จะเกิดการหักหรือขาดเท่านั้น

จุด d เรียกว่า จุดความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength)

จุด e เรียกว่าจุดแตกหัก (Rupture Point or Breaking Point) เป็นจุดที่วัตถุขาดออกจากกัน

2.3 ทฤษฎีความคืบ (Creep)

วัสดุส่วนใหญ่เมื่ออยู่ภายใต้แรงที่มากระทำ แม้ว่าจะต่ำกว่าพิกัดยืดหยุ่น หากทิ้งไว้นาน ๆ แล้ว ก็อาจเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรหรือแบบพลาสติกได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ ด้วยปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า ความคืบ ปริมาณของความคืบที่เกิดจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ปริมาณของความเค้น อุณหภูมิ และเวลา หากเราให้สภาวะที่เหมาะสมและมีเวลาเพียงพอ ความคืบจะเกิดขึ้นได้จนครบ 3 ขั้นตอน ดังที่แสดงในรูป

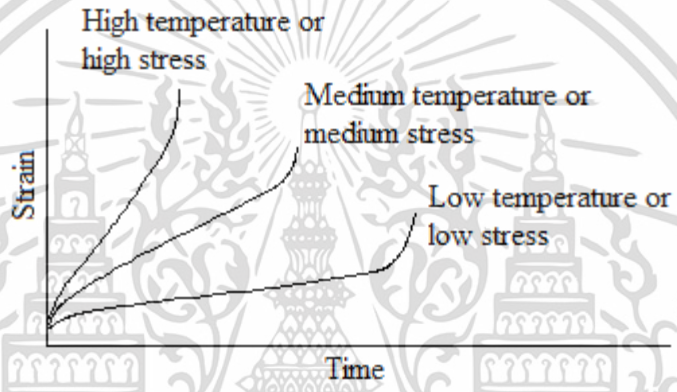


รูปที่ 2.4 กราฟแสดงการเกิดความคืบ3ขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราใช้แรงกระทำคงที่จะเกิดความเครียดขึ้นทันที ซึ่งค่าความเครียด OA นี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและสภาวะที่ให้ (ปริมาณของแรงกระทำ ความเค้นและอุณหภูมิ) และจะมีความสัมพันธ์กับค่า Modulus of elasticity (E) ของวัสดุนั้น หลังจากนั้นวัสดุก็จะเริ่มเกิดความคืบในชั้นที่ I ซึ่งอัตราการเกิดความเครียดจะค่อย ๆ ลดลง (AB) ในขั้นที่ II (BC) อัตราการเกิดความเครียดจะคงที่และเป็นอัตราการเกิดความเครียดต่ำสุดในขณะที่วัสดุเกิด Creep ขึ้น อัตราการเกิดความเครียดนี้เรียกว่า Minimum Creep Rate จากนั้นเมื่อถึงขั้นที่ III (CD) อัตราการเกิดความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนวัสดุขาดหรือแตกออกจากกัน ที่จุด D

การเกิดความคืบไม่จำเป็นจะต้องครบทั้ง 3 ขั้น ขึ้นอยู่กับสภาวะและเวลาที่ใช้ ดังรูป



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงการเกิดความคืบของวัสดุในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

เส้นบน ถ้าเราให้แรงกระทำที่ทำให้เกิดความเค้นหรืออุณหภูมิสูงพอจะเกิดความคืบจนครบ 3 ขั้น แต่เส้นล่างนั้นความเค้นหรืออุณหภูมิต่ำจะมีแค่ 2 ขั้น นั่นคือจะไม่เกิดการแตกหักขึ้น

ในกรณีของพวกโพลีเมอร์ อาจเกิดความคืบขึ้นได้ แม้ที่อุณหภูมิห้อง แต่โลหะส่วนใหญ่และพวกเซรามิคจะไม่เกิดความคืบที่อุณหภูมิต่ำ แต่ถ้าที่อุณหภูมิสูงก็อาจเกิดได้ ดังนั้น การใช้พวกโลหะหรือเซรามิคที่อุณหภูมิสูงจะต้องนำคุณสมบัติในการเกิดความคืบมาพิจารณาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 คุณสมบัติของวัสดุในคอนแทกเตอร์

2.4.1 โลหะทองแดง (Copper)

ทองแดง และโลหะผสมทองแดง เป็นวัสดุทางวิศวกรรมที่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างหลากหลาย คุณสมบัติที่ทำให้ทองแดงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานได้หลากหลายประเภท คือ ความแข็งแกร่ง, สภาพการเป็นตัวนำ, ความต้านทานการกัดกร่อน, การแปรรูป และความอ่อน

คุณสมบัติต่างๆของทองแดง

สภาพการนำไฟฟ้า: ทองแดงเป็นโลหะในทางวิศวกรรมที่ถูกใช้ทำเป็นตัวนำไฟฟ้ามากที่สุด โดยที่เงิน และธาตุอื่นๆ อาจจะถูกเพิ่มเข้ามาเพื่อเพิ่มความแข็งแกร่ง, ป้องกันการอ่อนตัว หรือเพื่อเพิ่มคุณสมบัติอื่นๆโดยที่ไม่ทำให้เสียสภาพการนำไฟฟ้า

สภาพการนำความร้อน: เป็นคุณสมบัติเดียวกันกับสภาพการนำไฟฟ้า โลหะผสมทองแดงอาจถูกใช้เพื่อให้มีความต้านทานการกัดกร่อน กล่าวคือความสามารถในการนำความร้อนจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณอัลลอยด์ ในขณะที่ความต้านทานการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้น

ความต้านทานการกัดกร่อน: โลหะผสมทองแดงจะป้องการการกัดกร่อนจากน้ำ และไอน้ำได้ โลหะผสมทองแดงสามารถป้องกันการกัดกร่อนในสภาพอากาศของชนบท, ในทะเล และโรงงานอุตสาหกรรมได้ ทองแดงสามารถป้องกันน้ำเกลือ, ดิน, แร่ธาตุที่ไม่เกิดการออกซิเดชั่น, กรดอินทรีย์ และการกัดกร่อน แต่แอมโมเนีย, ฮาโลเจน, ซัลไฟด์, สารละลายที่มีแอมโมเนียไอออน และกรดออกซิไดซ์ จะทำลายทองแดงได้ เช่นเดียวกับโลหะผสมทองแดงที่ป้องกันกรดอนินทีรย์ได้เพียงเล็กน้อย โดยความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะผสมทองแดงจะมาจากการสร้างแผ่นฟิล์มบนพื้นผิวของวัสดุ และฟิล์มนี้จะทำหน้าที่ป้องกันการกัดกร่อนโลหะ

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกลของทองแดง

Density	(kg/m^3)	8960
Elastic Modulus	(Gpa)	110.0
Shear Modolus	(Gpa)	46.0
Poissons Ratio		0.364
Tensile Strenght	(Mpa)	344.0
Yield Strenght	(Mpa)	333.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 โลหะ SK5

เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ชุบแข็งได้ง่าย ทนทานการเสียดสีได้ดี มีความแข็งแรงสูง มีคุณสมบัติเป็นสปริงสูง นิยมใช้งานในอุตสาหกรรมยานยนต์ แผ่นคลัทช์ ใบมีดและเลื่อย ตลับสายไฟ รวมไปถึงชิ้นงานขึ้นรูปต่างๆ

มาตรฐานและชั้นคุณภาพ : JIS G4401 ชั้นคุณภาพ SK5

มาตรฐานและชั้นคุณภาพอื่นที่มีสมบัติใกล้เคียง : AISI W1-8; DIN 1.625; SAE1086

ส่วนประกอบทางเคมี (%)

C 0.80-0.90

Si ≤ 0.35

Mn ≤ 0.50

P ≤ 0.030

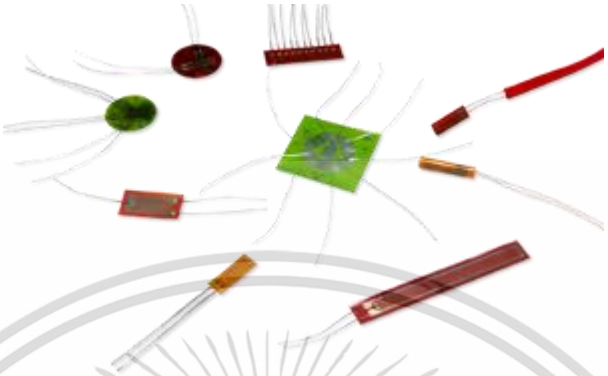
S ≤ 0.030

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกลของ SK5

Density	(kg/m^3)	7830
Elastic Modulus	(Gpa)	205.0
Bulk Modulus	(Gpa)	140.0
Poissons Ratio		0.28
Tensile Strenght	(Mpa)	880.0
Yield Strenght	(Mpa)	550.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

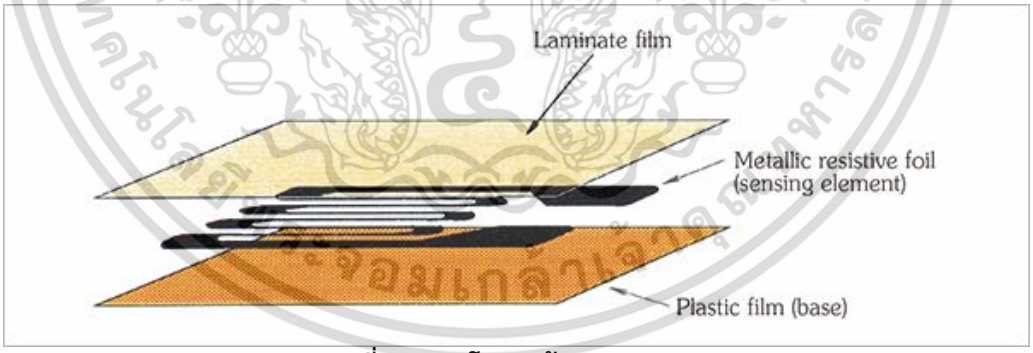
2.5 สเตรนเกจ (Strain Gauge)



รูปที่ 2.6 ลักษณะของstrain gauge

สเตรนเกจเป็นเซ็นเซอร์ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดมิติ หรือความเครียดในเนื้อวัสดุซึ่งเป็นผลมาจากแรงภายนอกที่มากระทำด้วยการให้กำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้า โดยสเตรนเกจถูกนำมาใช้ในงานทางวิศวกรรมหลากหลายสาขาเช่น เครื่องจักรกล, ยานยนต์, ไฟฟ้า, โยธา/ก่อสร้าง, เคมี และการแพทย์

2.5.1 โครงสร้าง Strain Gauge



รูปที่ 2.7 รูปโครงสร้างของ strain gauge

สเตรนเกจมีอยู่หลายประเภท แต่แบบที่ใช้งานอย่างแพร่หลายมีโครงสร้างเป็นแถบของขดลวดตัวต้านทานทางไฟฟ้าที่ทำจากโลหะแผ่นบาง (มีความหนาประมาณ 3 ถึง 6 μm) ซึ่งยึดติดอยู่บนฐานที่เป็นแผ่นฟิล์มพลาสติก (มีความหนาประมาณ 15 ถึง 16 μm) แล้วถูกเคลือบด้วยแผ่นฟิล์มบางๆ ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 หลักการทำงานของ สเตรนเกจ (Strain gauge)

สเตรนเกจ (Strain gauge) ถูกยึดเข้ากับวัตถุที่ต้องการวัดความเครียดอย่างแน่นหนาจึงทำให้ตัวรับสัญญาณ (ตัวต้านทานทางไฟฟ้าที่ทำจากโลหะแผ่นบาง) จะยืดหรือหดตัวตามความเครียดของวัตถุที่ต้องการวัดค่า ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของโลหะส่วนใหญ่จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อตัวโลหะมีการยืดหรือหดตัวทางกล สเตรนเกจใช้หลักการนี้ในการวัดค่าความเครียดผ่านการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า โดยทั่วไปตัวรับสัญญาณของสเตรนเกจทำจากโลหะผสมแผ่นบางที่เป็นส่วนผสมระหว่างทองแดงกับนิเกิ้ล โลหะผสมแผ่นบางนี้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานทางไฟฟ้าต่อความเครียดเป็นแบบเชิงเส้นที่มีค่าคงที่แน่นอนค่าหนึ่ง

กำหนดความสัมพันธ์หลักดังนี้:

$$\Delta R/R = Ks * \varepsilon$$

เมื่อ, ΔR คือ ความต้านทานทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อสเตรนเกจมีการยืดหรือหดตัว

R คือ ความต้านทานไฟฟ้าเดิมของสเตรนเกจ

Ks คือ ค่าคงที่ของความสัมพันธ์ หรือ เกจแฟคเตอร์

ε คือ ค่าความเครียด

2.6 สเตรนเกจ โมดูล (Strain gauge module)

รูปที่ 2.8 สเตรนเกจ โมดูล (Strain gauge module)

เป็นอุปกรณ์ของสเตรนเกจ (strain gauge) ที่ไว้ใช้วัดค่าความเครียดของวัสดุ โดยใช้กับสเตรนเกจ (strain gauge) รุ่น BF350-3AA เพื่อตรวจจับความเครียดกับค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปของตัวสเตรนเกจ (strain gauge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

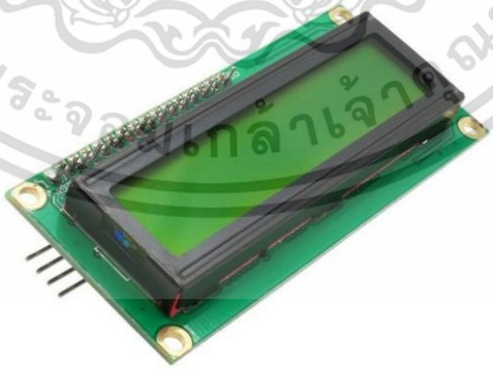
2.7 อาร์ดูโน (Arduino)

เลือกใช้ อาร์ดูโน (Arduino) รุ่น นาโน (nano) เนื่องจากรุ่นนี้เป็นรุ่นที่มีขนาดเล็กซึ่งเครื่องวัดแรงนั้นจะออกแบบให้มีขนาดเล็กเพื่อสะดวกต่อการพกพาและง่ายต่อการเรียนรู้เพราะใช้ภาษาซีในการเขียนและมีโมดูลไลบรารี่อ้างอิงมากมาย

รูปที่ 2.9 อาร์ดูโน (Arduino)

2.8 จอแอลซีดี (LCD)

เป็นจอที่แสดงผลของค่าความต้านทานของเสตรนเกจ (Strain gauge) และค่าของแรงจากก้ามปูไฟฟ้า



รูปที่ 2.10 จอLCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 แหล่งจ่ายไฟ (Powerbank)

ใช้แหล่งจ่ายไฟ Power bank ที่มีความจุอยู่ที่ 13000 mWh และสามารถจ่ายไฟได้ที่ 5V-2.5A

รูปที่ 2.11 Powerbank

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

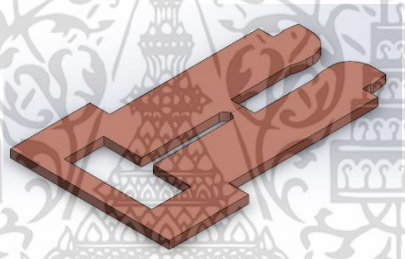
บทที่ 3
การออกแบบและสร้างอุปกรณ์

3.1 คำนวณค่าแรงหนีบของคอนแทกเตอร์ (Contactor)

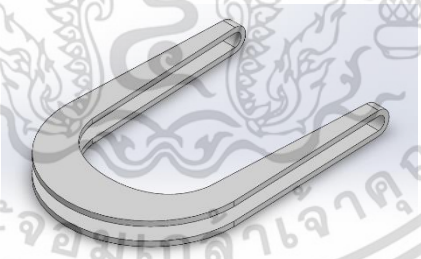
3.1.1 วัดและเขียนแบบคอนแทกเตอร์ในโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SOLIDWORKS)

ชิ้นส่วนที่จำเป็นในการจำลองมี 3 ชิ้นส่วน ได้แก่ คอนแทกเตอร์ (Contactor), สปริง (Spring) และ บัสบาร์ (Busbar) จำเป็นต้องแยกชิ้นส่วนแต่ละชิ้นออกจากกันเพื่อให้ได้ค่าแรงหนีบที่ถูกต้องจากการจำลอง

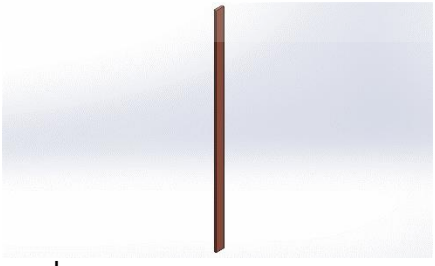
วัดแบบจากชิ้นงานจริงและเขียนแบบแต่ละชิ้นในโปรแกรม



รูปที่ 3.1 แบบคอนแทกเตอร์ (Contactor)



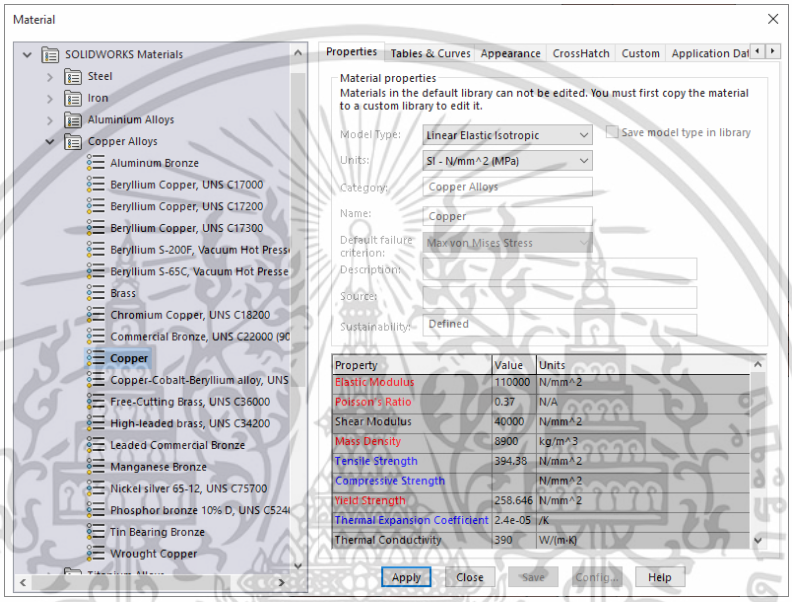
รูปที่ 3.2 แบบสปริง (Spring)



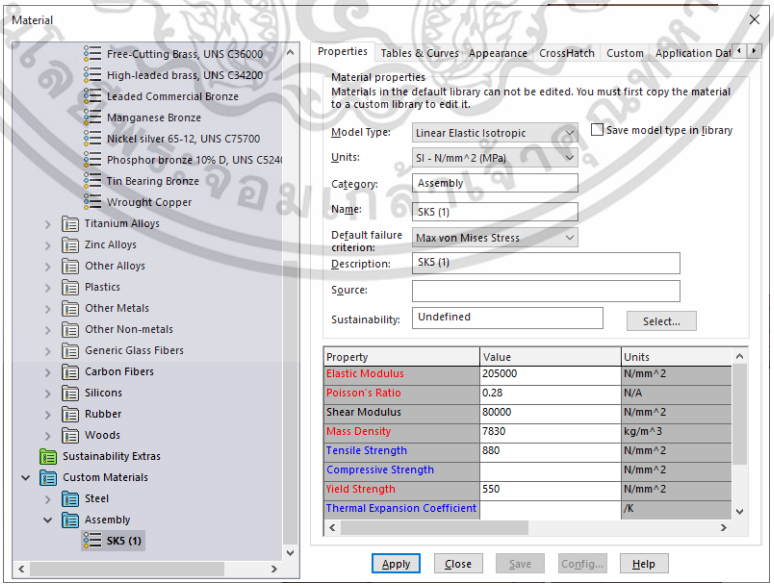
รูปที่ 3.3 แบบบัสบาร์ (Busbar)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดชนิดของวัสดุของแต่ละชิ้นส่วน คอนแทกเตอร์ (Contactor) และบัสบาร์ (Busbar) กำหนดให้วัสดุเป็นทองแดง (Copper) ส่วนของสปริงเนื่องจากไม่ทราบชนิดของวัสดุจึงสืบค้นข้อมูล พบว่าในประเทศไทยมีการใช้โลหะในการขึ้นรูปสปริงหลายชนิด หนึ่งในนั้นคือวัสดุเอสเคไฟว์ (SK5) เนื่องจากนิยมนำไปผลิตเป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น เช่น แผ่นคลัทช์ (Clutch) ใบมีดและเลื่อย จากข้อมูลวัสดุเอสเคไฟว์ (SK5) จากเว็บ matweb.com จึงสรุปได้เป็นตารางที่ 2.2



รูปที่ 3.4 การกำหนดวัสดุพาร์ทจากฐานข้อมูลของโปรแกรม

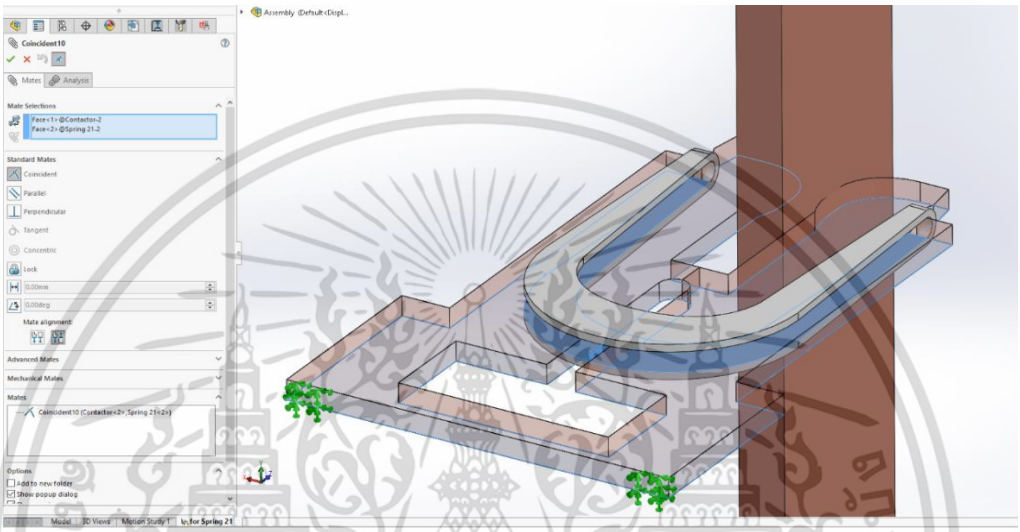


รูปที่ 3.5 การกำหนดวัสดุพาร์ทจากการกำหนดเอง

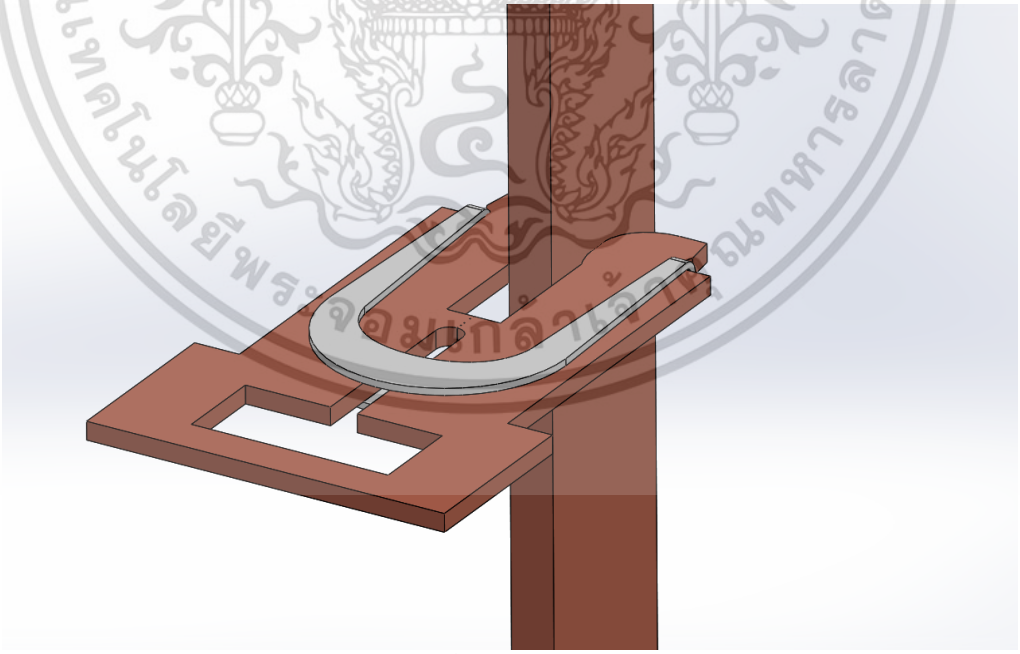
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การประกอบชิ้นส่วนแต่ละพาร์ท

นำแต่ละชิ้นส่วนมาประกอบกันด้วยคำสั่งเมท (mate) การประกอบจำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขว่าแต่ละชิ้นส่วนประกอบกันแบบใด เช่น ผิวของสปริง (Spring) ด้านในต้องสัมผัสด้านในต้องสัมผัสกับผิวของคอนแทกเตอร์ (Contactor) ตามตัวอย่างในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 การกำหนดเงื่อนไขในการประกอบ

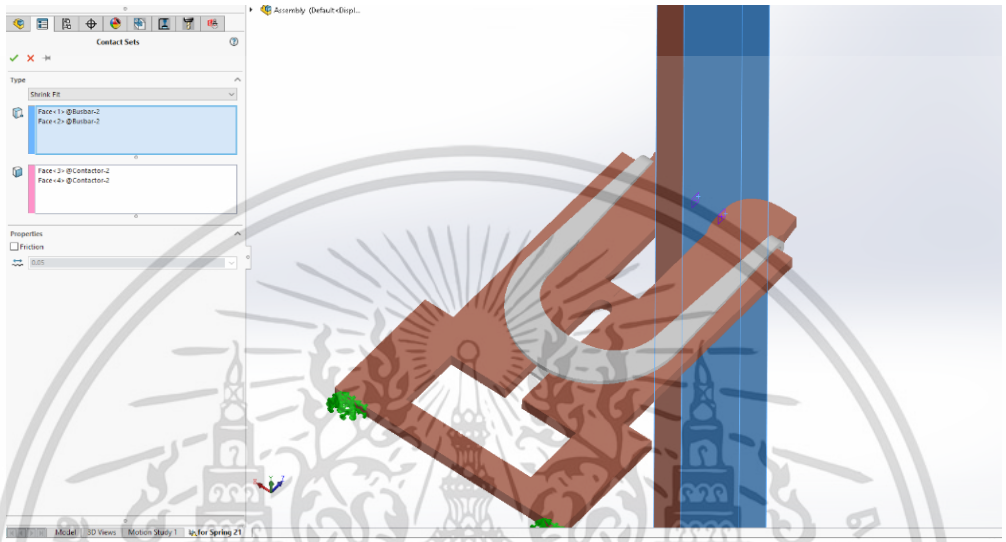


รูปที่ 3.7 ชิ้นส่วนที่ประกอบกัน

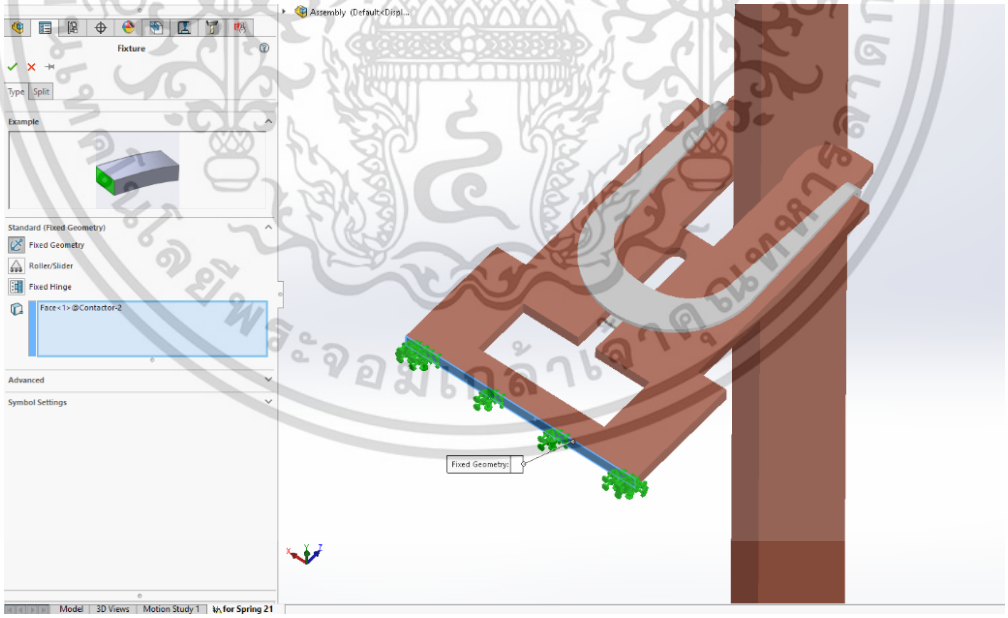
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การ Simulation

ทำได้จากคำสั่งสตัดดี (Study) ในแถบเครื่องมือซิมูเลชัน (Simulation) เลือกชนิดของสตัดดี (Study) เป็นสแตติค (Static) พร้อมทั้งกำหนดชนิดของการสัมผัสและจุดยึด



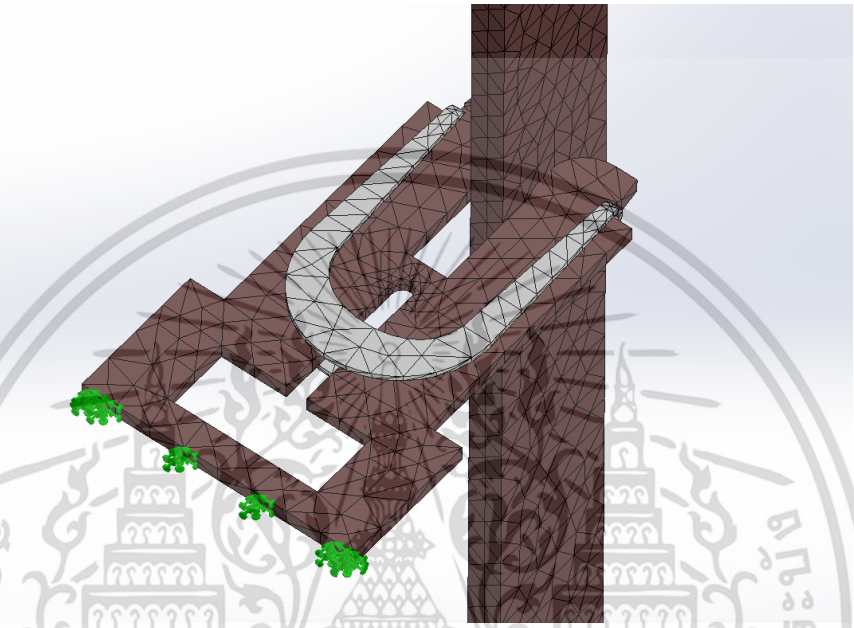
รูปที่ 3.8 การกำหนดการสัมผัสกันของแต่ละชิ้นส่วน



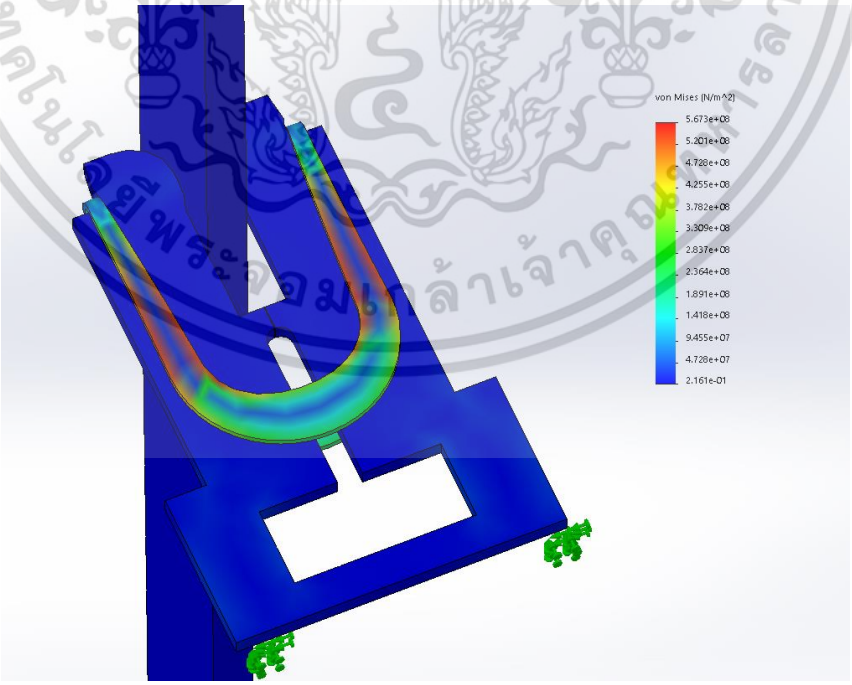
รูปที่ 3.9 การกำหนดจุดยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้คำสั่งเมช (Mesh) ในการแบ่งชิ้นงานเป็นส่วนๆเพื่อนำส่วนนั้นๆไปคำนวณ จะได้ค่าที่ออกมาแม่นยำตามความละเอียดของการเมช (Mesh) หลังจากเมช (Mesh) แล้วใช้คำสั่งสตัดดี (Study) เพื่อคำนวณแรงที่เกิดขึ้นจากการหนีบ

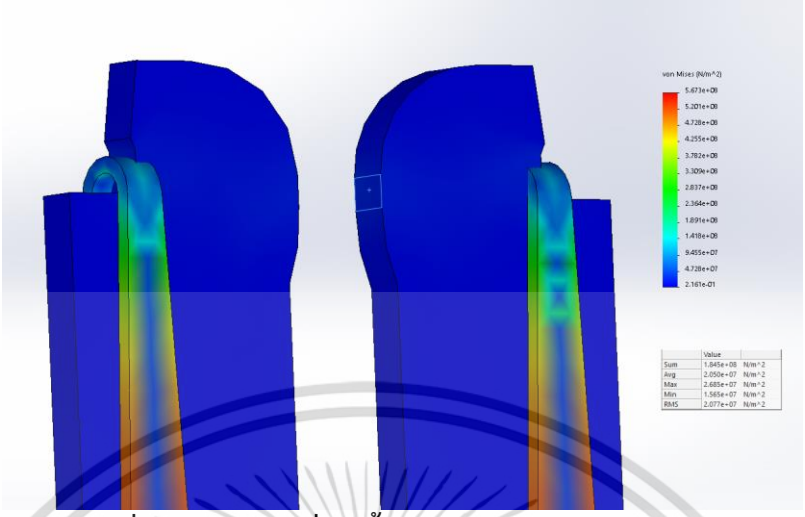


รูปที่ 3.10 ผลลัพธ์จากการเมช (Mesh)



รูปที่ 3.11 ผลลัพธ์จากการเมช (Mesh)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 Stress ที่เกิดขึ้นบนหน้าสัมผัสคอนแทกเตอร์

หลังจากการ Simulation พบว่า Stress ที่เกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2050 x 10^7 Pa หรือ 20.50 MPa

คำนวณแรงหนีบที่เกิดขึ้นได้จากสมการที่ 2-1

$$\sigma = {}^{P}/_{A}$$
$$P = \sigma \, x \, A$$
$$P = (0.2050 \, x \, 10^{7}) \, x \, (1.49 \, x \, 2.00 \, x \, 10^{-6})$$
$$P = 61.1 \; N$$

แรงที่คำนวณได้เป็นแรงหนีบที่เกิดขึ้นเพียงข้างเดียว ดังนั้นแรงหนีบที่เกิดขึ้นจริงมีค่าเท่ากับ

$$P = 122.2 \; N$$

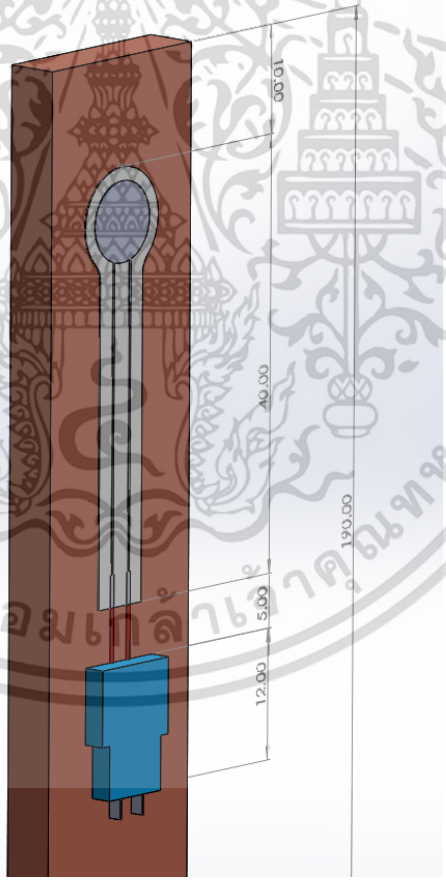
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบ (Design)

3.2.1 การออกแบบ film pressure sensor

เพื่อให้ค่าแรงหนีบที่วัดได้จากเซนเซอร์มีค่าใกล้เคียงความจริงที่สุด จึงออกแบบโดยติดตั้งเซนเซอร์ (Sensor) ลงบนบัสบาร์ (Busbar) ผลจากการใช้บัสบาร์ (Busbar) เป็นหัววัดจะทำให้ ความเค้น (Stress) หรือ แรงหนีบที่เกิดขึ้นบนหน้าสัมผัสมีค่าใกล้เคียงความจริง

เลือกใช้บัสบาร์ (Busbar) ขนาดเดิม (3/16” x 3/4”) ยาว 190 mm ความยาวด้านบน 70 mm มีไว้เพื่อติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ Sensor, สายไฟที่ใช้เชื่อมต่อ และ clincher connector เป็นอุปกรณ์ตัวกลางที่เชื่อมต่อระหว่าง เซนเซอร์ (Sensor) กับ อาร์ดูโนบอร์ด (Arduino Board) ส่วนความยาวที่เหลือ 120 mm มีไว้เพื่อให้มือจับได้ง่าย

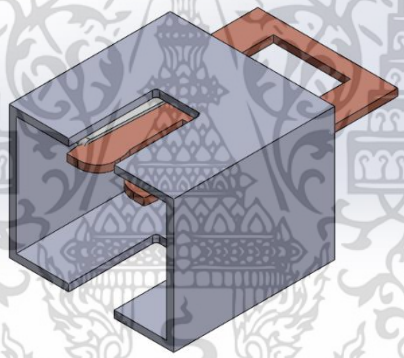


รูปที่ 3.13 หัววัดแรงหนีบคอนแทกเตอร์

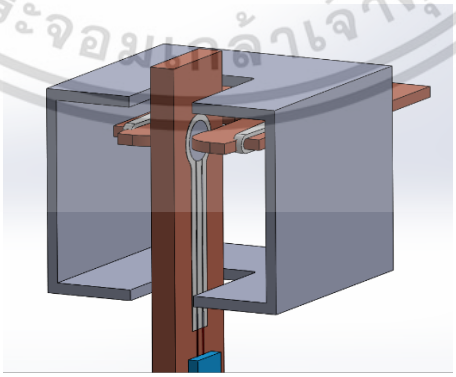
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำลองการวัดกับคอนแทกเตอร์ที่ติดตั้งในซ็อกเก็ต (Socket) เพื่อตรวจสอบว่าสามารถวัดได้สะดวกในพื้นที่ที่มีจำกัด

รูปที่ 3.14 คอนแทกเตอร์ (Contactor) ที่ติดตั้งในซ็อกเก็ต (Socket)ในอุปกรณ์จริง



รูปที่ 3.15 การจำลองคอนแทกเตอร์ (Contactor) ในซ็อกเก็ต (Socket) ในอุปกรณ์จริง

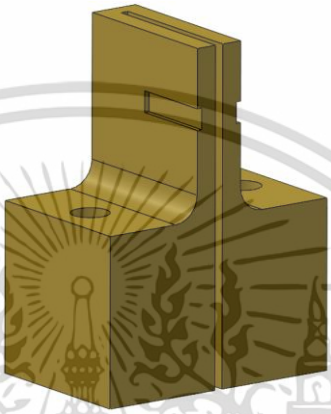


รูปที่ 3.16 จำลองการวัดคอนแทกเตอร์ (Contactor) กับคอนแทกเตอร์ที่ติดตั้งในซ็อกเก็ต (Socket)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การออกแบบหัววัดทองเหลือง (Brass)

เนื่องจากหัววัดแบบ film pressure sensor มีข้อเสียที่เมื่อนำไปใช้งานแผ่นฟิล์มบนเซนเซอร์ (sensor) นั้นจะเสียหายได้ง่ายเนื่องจากการเสียดสีจึงมีการพัฒนาเป็นหัววัดแบบทองเหลืองโดยออกแบบให้มีลักษณะดังรูป



รูปที่ 3.17 แบบหัววัดทองเหลือง

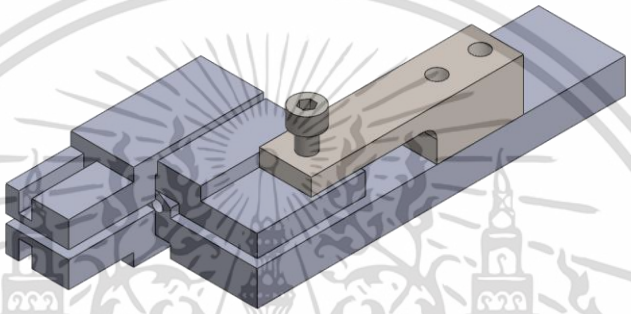
และได้เลือกใช้ Strain gauge แทนเพราะว่า สเตรนเกจ (Strain gauge) นั้นสามารถใช้งานในระยะยาวได้ดีกว่าและวัสดุทองเหลืองนั้นเป็นวัสดุที่อ่อนเมื่อรับแรงหนีบจะเกิดการโก่งตัวได้ง่ายจึงทำให้ค่าความต้านทานของ สเตรนเกจ (Strain gauge) นั้นเปลี่ยนแปลงได้ง่าย

รูปที่ 3.18 หัววัดทองเหลืองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การออกแบบหัววัดปัจจุบัน

เนื่องจากหัววัดทองเหลืองนั้นไม่สามารถเกิดการโก่งตัวในพื้นที่ที่ติดตั้งเซนเซอร์ได้ ทำให้ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอมีค่าน้อยเกินไป ไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน จึงได้ออกแบบใหม่เป็นแบบปัจจุบัน ส่วนที่รับแรงหนีบจากก้ามปูนั้นทำจากเหล็กชุบแข็งเพื่อให้วัสดุนั้นไม่เกิดการเสียรูปแต่ส่วนที่โก่งนั้นทำจากวัสดุที่อ่อนกว่าอย่างอลูมิเนียมและออกแบบให้มีอัตราส่วนโมเมนต์ที่ 1:1.5 เพื่อให้ สเตรนเกจ(Strain gauge) สามารถวัดค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปได้ง่ายขึ้น



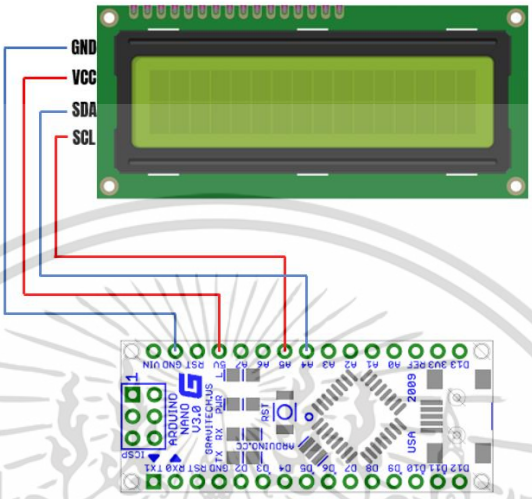
รูปที่ 3.19 แบบหัววัดปัจจุบัน

โดยการที่ออกแบบให้แรงที่กระทำกับอลูมิเนียมที่โก่งตัวนั้นอยู่คนละแนวแกนกับแรงจากก้ามปูจะส่งผลให้ระยะการเสียบก้ามปูไม่ว่าจะเสียบเข้าไปลึกหรือเสียบตื้น แรงที่ทำให้อลูมิเนียมโก่งจะยังคงเท่าเดิม และการออกแบบนี้ส่งผลให้สามารถถอดเปลี่ยนส่วนที่โก่งตัวเปลี่ยนได้ในกรณีที่วัสดุเกิดความล้าแล้วค่าที่วัดได้เกิดผิดพลาด

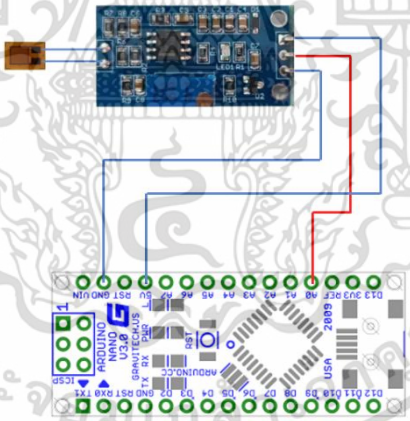
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การออกแบบวงจร

การออกแบบวงจรจำเป็นต้องรู้ว่าอุปกรณ์ต่างๆมีการต่อวงจรในลักษณะใด



รูปที่ 3.20 วงจรของจอแอลซีดี (LCD) ที่ต่อกับอาร์ดูโน (Arduino)

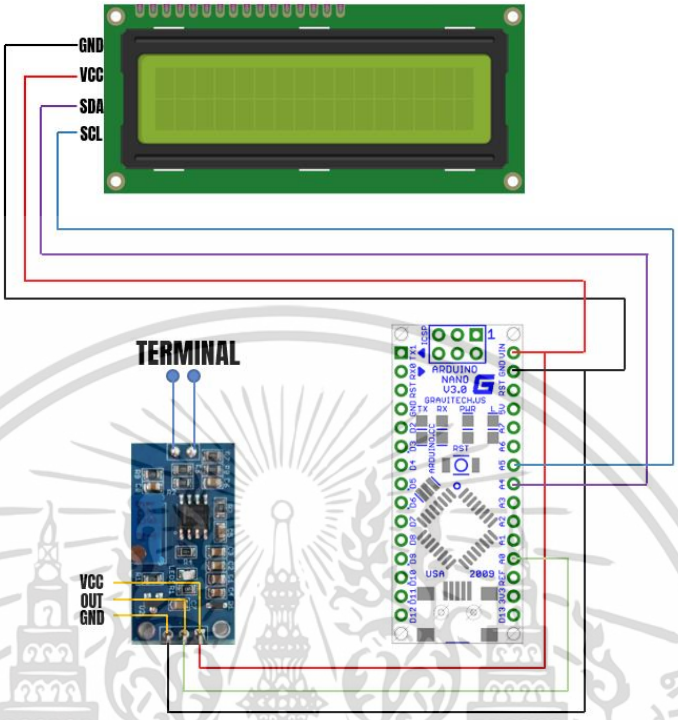


รูปที่ 3.21 วงจรของโมดูล (Module) ที่ต่อกับอาร์ดูโน (Arduino)

ออกแบบวงจรทั้งหมดให้เชื่อมต่อกันด้วยความเป็นระเบียบและเข้าใจง่ายและสัมพันธ์กับบอร์ดไข่ปลาที่ใช้งาน ในที่นี้ใช้บอร์ดไข่ปลาขนาด 115 x 116 ตารางมิลลิเมตร (ไม่ใช่ขนาดบอร์ดมาตรฐาน)

ที่ขาของโมดูลด้านที่ต่อกับเซนเซอร์ (Sensor) ออกแบบให้ต่อกับเทอมินอล (Terminal) เพื่อให้สามารถถอดเปลี่ยนเซนเซอร์ (Sensor) ได้โดยง่าย และความสะดวกในการใช้งาน

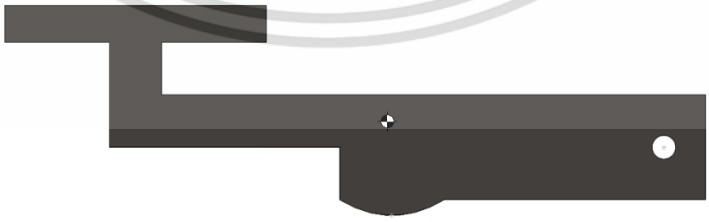
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 วงจรทั้งหมดของอุปกรณ์

3.2.5 การออกแบบก้ามปูทดสอบ

ก้ามปูทดสอบใช้เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายมวลจากตุ้มน้ำหนักไปยังหัววัด ทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงมวลเพื่อใช้สอบเทียบอุปกรณ์ได้ เนื่องจากต้องการให้ค่ามวลในการทดสอบมีช่วงกว้าง แต่ตุ้มน้ำหนักมีไม่เพียงพอ จึงออกแบบให้มวลที่เกิดขึ้นบนหัววัดมีขนาดประมาณสองเท่าของตุ้มน้ำหนัก และออกแบบจุดสัมผัสให้มีลักษณะเหมือนก้ามปูจริง



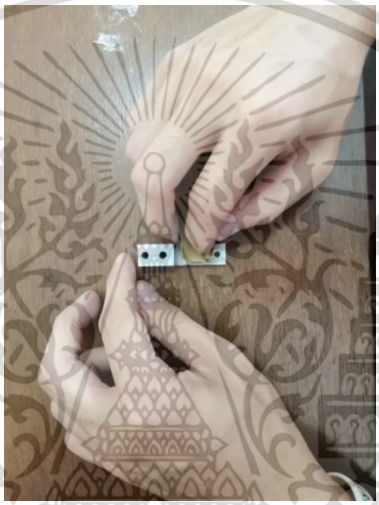
รูปที่ 3.23 การออกแบบก้ามปูทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างอุปกรณ์

3.3.1 การสร้างหัววัด

หัววัดนั้นจะแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นเหล็กชุบแข็งและส่วนที่เป็นอลูมิเนียมโดยออกแบบแล้วนำไปขึ้นรูป โดยจะติดสเตรนเกจ (Strain gauge) ที่ชิ้นส่วนที่เป็นอลูมิเนียมโดยขั้นตอนการติดสเตรนเกจ (Strain gauge) เริ่มจากนำกระดาษทรายเบอร์ละเอียดขัดบริเวณที่จะติดตั้งเซนเซอ (Sensor) โดยให้ขัดวนรอบพื้นที่ที่ติดตั้ง



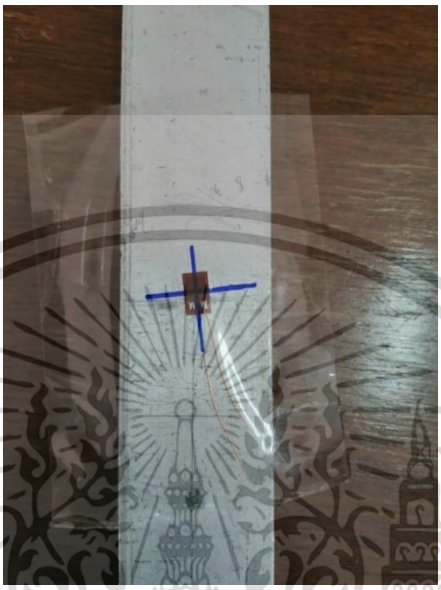
รูปที่ 3.24 การใช้กระดาษทรายขัดผิว

ใช้สำลีชุบแอลกอฮอ (Alcohol) เช็ดทำความสะอาดชิ้นงานโดยให้เช็ดไปทางเดียวเท่านั้น

รูปที่ 3.25 การเช็ดผิวอลูมิเนียมด้วยแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำสัญลักษณ์กากบาทกึ่งกลางเซนเซอร์ (Sensor) ที่แปะเทปใส และกลางพื้นที่ที่ต้องการติดเซนเซอ (Sensor) บนหัววัด เพื่อให้การติดตั้งเป็นไปอย่างถูกต้องแม่นยำ



รูปที่ 3.26 การทำสัญลักษณ์บนเซนเซอ (Sensor)

รูปที่ 3.27 การทำสัญลักษณ์บนหัววัด

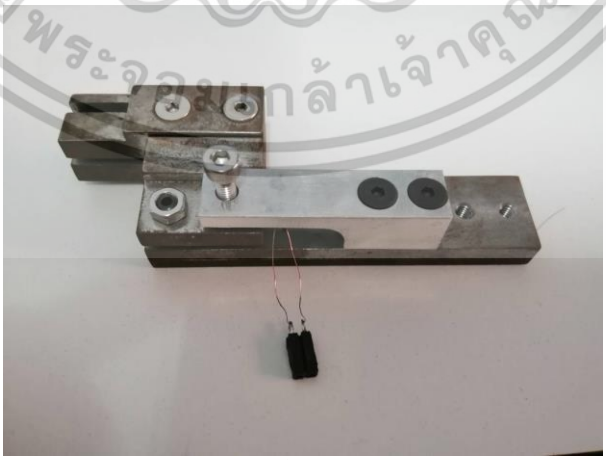
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำแผ่นเซนเซอร์ไปติดบนพื้นที่บนหัววัดให้สัญลักษณ์ตรงกัน

รูปที่ 3.28 การติดเซนเซอร์ (Sensor)

ลอกแผ่นเซนเซอร์ (Sensor) แล้วทากาวอีพ็อกซี่ อัตราส่วนของเรซิน (Resin) และฮาดเดนเนอ (Hardener) ที่ 1:1 ในปริมาณที่พอเหมาะ ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง

เมื่อติดตั้งสเตรนเกจ (Strain gauge) เสร็จแล้วให้นำชิ้นส่วนอลูมิเนียมมาประกอบกับส่วนที่เป็นเหล็กชุบแข็ง

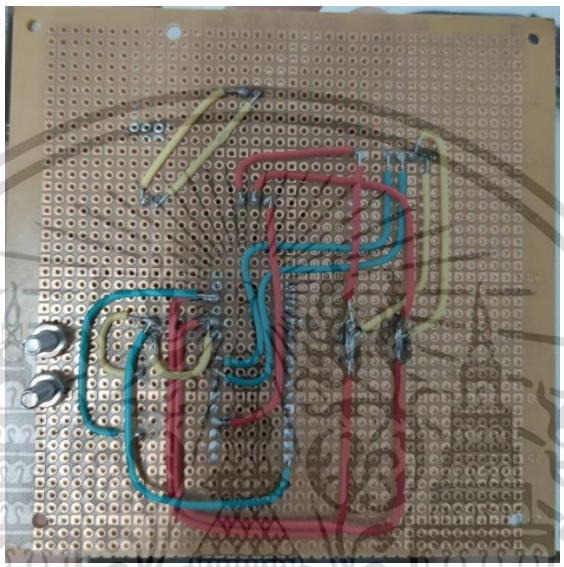


รูปที่ 3.29 หัววัดที่ติดตั้งเซนเซอ (Sensor) แล้ว

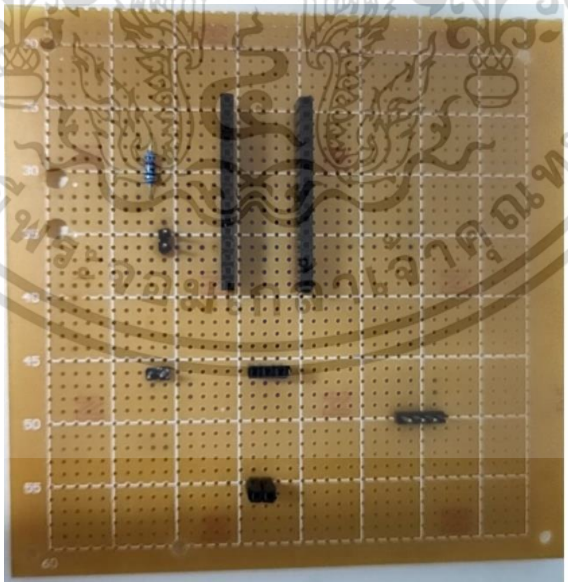
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การสร้างแผงวงจรและติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

บัดกรีแผงวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้ ใช้สายไฟเพื่อเชื่อมต่อแต่ละจุดบนวงจร ให้สายไฟอยู่ด้านหลังแผงวงจรพร้อมจัดระเบียบสายไฟเพื่อความเรียบร้อยและการแก้ไขที่สะดวก ด้านหน้าใช้ซ็อกเก็ต (Socket) เพื่อให้สามารถถอดเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ง่าย



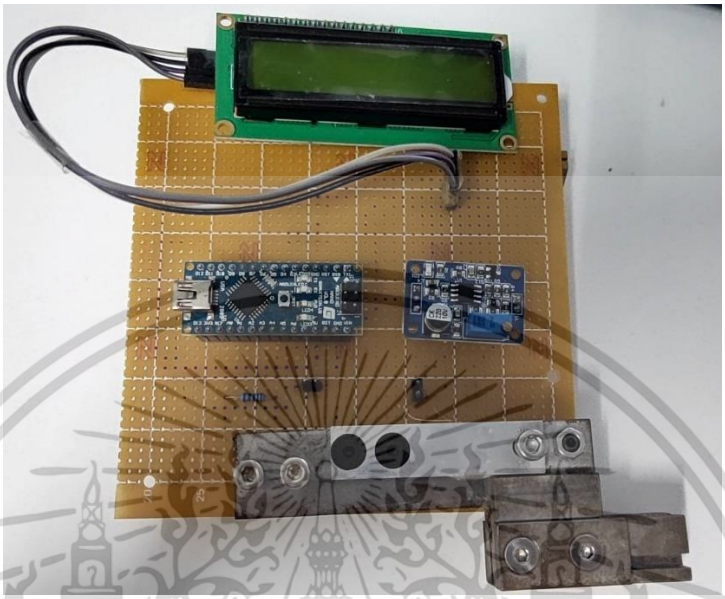
รูปที่ 3.30 แผงวงจรด้านหลัง



รูปที่ 3.31 แผงวงจรด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดลงบนแผงวงจร



รูปที่ 3.32 แผงวงจรที่ติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดแล้ว

3.3.3 สร้างก้ามปูทดสอบ

ตัวก้ามปูทดสอบนั้นจะออกแบบให้คล้ายกับตัวก้ามปูที่จะนำมาวัดจริงโดยสร้างจากเหล็กแผ่นแต่จะติดแผ่นอลูมิเนียมด้านบนเพื่อให้สามารถรองรับการถ่วงน้ำหนักเพื่อที่จะได้ใช้สอบเทียบได้

รูปที่ 3.33 ก้ามปูทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การเขียนโปรแกรมอาร์ดูโน (Arduino)

อาร์ดูโน (Arduino) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ชนิดหนึ่ง เขียนด้วยภาษา C มีฟังชัน (Function) เพื่อใช้ในการทำงานและประมวลผลต่างๆ ฟังชัน (Function) ที่ใช้ในอุปกรณ์มีดังนี้

1. ฟังชัน (Function) พื้นฐานที่ทำให้อาดูโน (Arduino) สามารถเชื่อมต่อและสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ (Computer) ได้ ได้แก่ Serial.begin(speed); โดยความเร็วที่คอมพิวเตอร์ (Computer) สื่อสารกับอาดูโน (Arduino) คือ 9600 bps
2. ฟังชัน (Function) รับค่าอนาล็อก (Analog) หรือดิจิตอล (Digital) จากอาดูโน (Arduino) ใช้ analogRead(analogport); ในการรับข้อมูล ใช้ Pinmode(digitalport,input); เพื่อตั้งค่าให้พอร์ท (Port) ใดๆรับค่าและใช้ digitalRead(digitalport); เพื่อรับค่า
3. การแสดงผลบนจอแอลซีดี (LCD) จำเป็นต้องลงไลบรารี (Library) เพื่อให้สามารถใช้ฟังชัน (Function) แสดงผลของจอได้ ไลบรารี (Library) ที่ใช้คือ LiquidCrystalI2C และต้องเรียกใช้ไลบรารี (Library) Wire.h และ LiquidCrystal_I2C.h

   ใช้ฟังชัน (Function) LiquidCrystal_I2C lcd(Value,Column,Row); เพื่อกำหนดชนิดของจอที่แสดงผล ในที่นี้คือจอแบบ 16x2 ใช้ค่า 0x27

   ใช้ฟังชัน (Function) lcd.init(); เพื่อเริ่มต้นการทำงานของจอ และใช้ฟังชัน (Function) lcd.backlight(); เพื่อเปิดไฟ

   ใช้ฟังชัน (Function) lcd.setCursor(Row,Column); เพื่อกำหนดตำแหน่งของเคอเซอ (Cursor) และใช้ฟังชัน (Function) lcd.print("Message"); เพื่อแสดงข้อความ หรือ lcd.print(Value); เพื่อแสดงค่า
4. ใช้ชุดฟังชัน (Function) สมูทติง (Smoothing) เพื่อทำค่าเฉลี่ยให้กับค่าอนาล็อก (Analog) ที่อ่านได้ ให้ค่ามีความนิ่งมากขึ้น
5. ใช้ฟังชัน (Function) map(Variable, a, b, c, d); เพื่อเปลี่ยนช่วงค่าในตัวแปรใดๆจาก ช่วง a ถึง b ให้กลายเป็นช่วง c ถึง d

   เนื่องจากค่าอนาล็อก (Analog) ที่อ่านได้มีความไม่เสถียร ใช้ประโยชน์จากฟังชันนี้ทำให้ค่าเริ่มต้นอยู่ที่ 0 ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การสอบเทียบ ทดสอบ และวิเคราะห์ความผิดพลาดของอุปกรณ์

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 ตุ้มน้ำหนัก

ชั่งมวลของตุ้มน้ำหนักแต่ละก้อนบนเครื่องชั่งดิจิตอลและติดป้ายกำกับ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

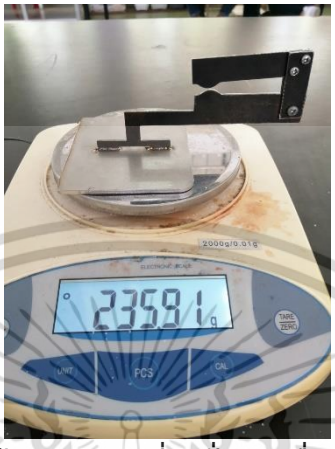
รูปที่ 4.1 ตุ้มน้ำหนักที่ถูกชั่งบนเครื่องชั่งดิจิตอล

รูปที่ 4.2 ตุ้มน้ำหนักที่ติดป้ายกำกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ก้ามปูทดสอบ

ชั่งมวลของก้ามปูทดสอบเพื่อใช้ในการคำนวณในหัวข้อที่ 4.2

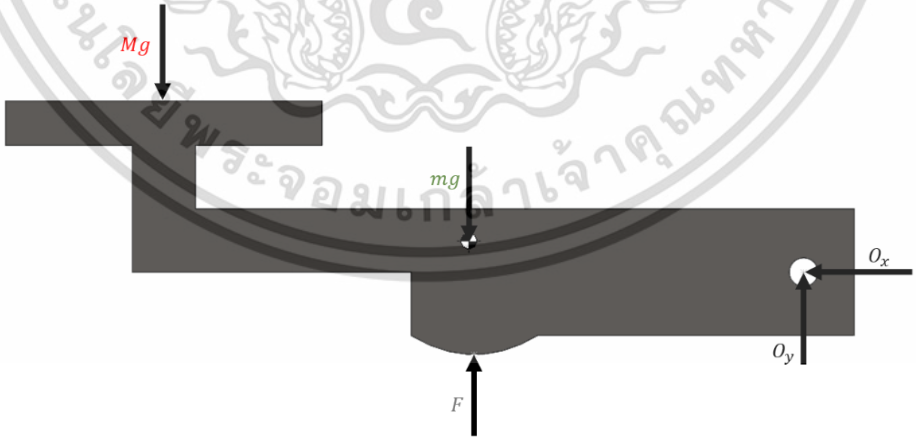


รูปที่ 4.3 ก้ามปูทดสอบที่ถูกชั่งบนเครื่องชั่งดิจิตอล

4.1.3 การคำนวณมวลที่เกิดขึ้นจริงจากก้ามปูทดสอบ

ก้ามปูทดสอบถูกออกแบบให้เกิดแรงที่หัววัดประมาณสองเท่าของตุ้มน้ำหนัก จำเป็นต้องคำนวณมวลที่เกิดขึ้นจริงบนหัววัดก่อนการสอบเทียบ

แผนภาพอิสระของก้ามปูทดสอบ



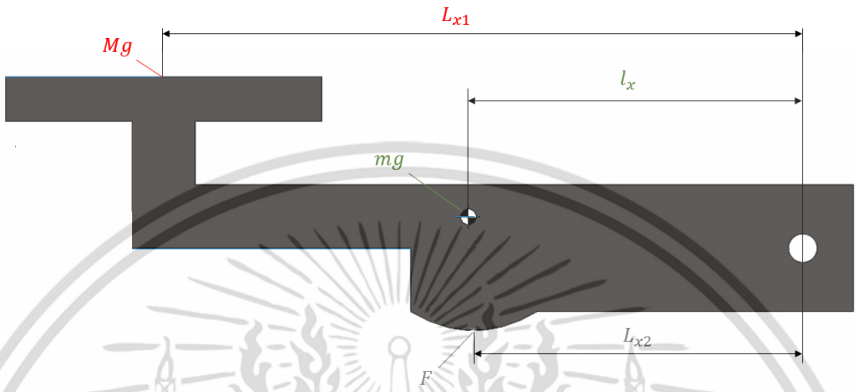
รูปที่ 4.4 แผนภาพอิสระของก้ามปูทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ Mg คือ มวลของตุ้มน้ำหนัก

mg คือ มวลของก้ามปูทดสอบ

F คือ มวลที่เกิดขึ้นบนหัววัด



รูปที่ 4.5 ระยะจากจุดหมุนถึงแรง ณ จุดต่างๆของก้ามปูทดสอบ

ในขณะสอบเทียบ ก้ามปูทดสอบหยุดนิ่ง ให้โมเมนต์ทวนเท่ากับโมเมนต์ตาม หาสมการของมวลที่เกิดขึ้นบนหัววัดได้

$$Mg(L_{x1}) + mg(l_x) = F(L_{x2})$$

$$F = \frac{Mg(L_{x1}) + mg(l_x)}{L_{x2}}$$

โดย L_{x1} มีค่า 101 mm

L_{x2} มีค่า 52 mm

l_x มีค่า 52.14 mm

mg มีค่า 31.53 g หรือ 0.032 kg

นำสมการข้างต้นมาคำนวณได้ดังตาราง

ตารางที่ 4.1 ลำดับของตุ้มถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในการสอบเทียบและทดสอบอุปกรณ์

ตุ้มที่	มวล(kg)
1	0.500
2	0.995
3	0.997
4	1.009
5	0.998

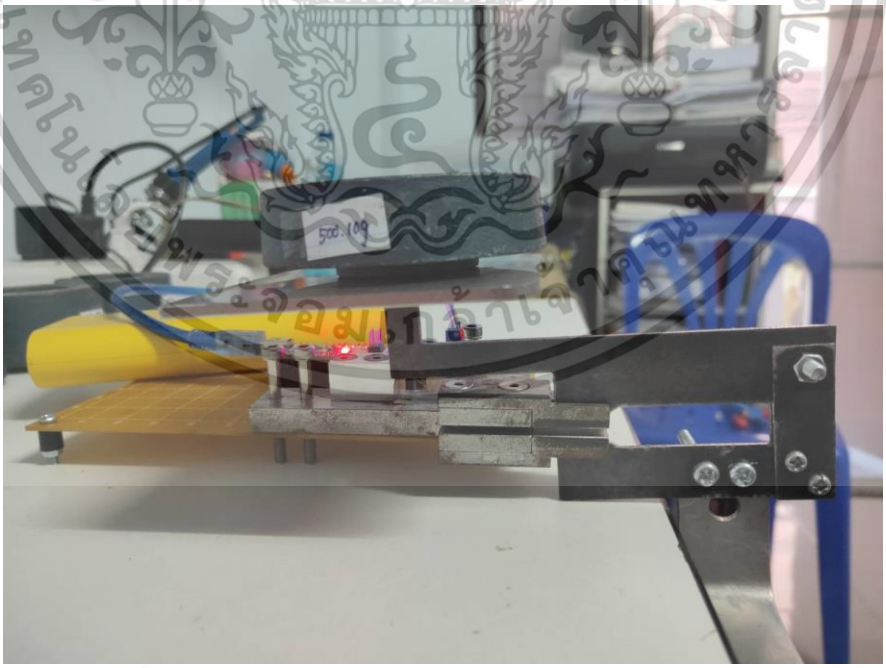
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 มวลจริงที่ได้จากการคำนวณ

ครั้งที่	ตุ้มน้ำหนักที่ใช้	มวลรวม(kg)	มวลจริงจากการคำนวณ(kg)
1	2	1.16	2.29
2	1+2	1.66	3.26
3	2+3	2.16	4.23
4	1+2+3	2.66	5.20
5	2+3+4	3.17	6.19
6	1+2+3+4	3.67	7.16
7	2+3+4+5	4.17	8.13

4.1.4 การสอบเทียบอุปกรณ์

ขั้นตอนในการสอบเทียบ ปฏิบัติโดยการถ่วงตุ้มน้ำหนักบนก้ามปูทดสอบให้แรงที่เกิดขึ้นกระทำกับหัววัดดังรูป และถ่วงตุ้มน้ำหนักเป็นลำดับตามตาราง 4.2



รูปที่ 4.6 ตำแหน่งของก้ามปูทดสอบในการสอบเทียบอุปกรณ์

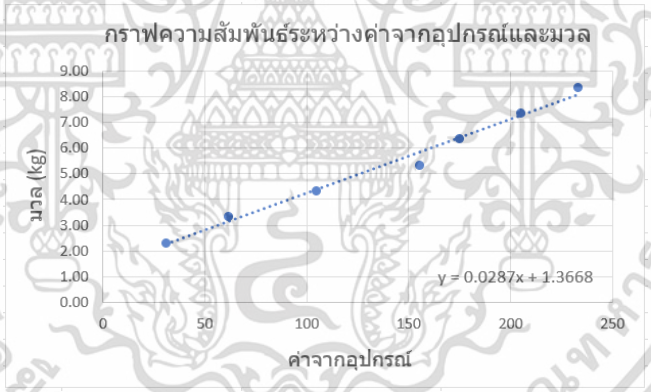
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการสอบเทียบอุปกรณ์ได้ดังตาราง

ตารางที่ 4.3 ค่าของอุปกรณ์ที่ได้จากการสอบเทียบ

ครั้งที่	ตุ้มน้ำหนักที่ใช้	มวลรวม(kg)	มวลจริงจากการคำนวณ (kg)	ค่าจากอุปกรณ์					
				ค่าครั้งที่1	ค่าครั้งที่2	ค่าครั้งที่3	ค่าครั้งที่4	ค่าครั้งที่5	เฉลี่ย
1	2	1.16	2.29	33	31	30	32	30	31.2
2	1+2	1.66	3.26	62	60	63	61	61	61.4
3	2+3	2.16	4.23	107	104	103	103	106	104.6
4	1+2+3	2.66	5.20	153	155	156	157	155	155.2
5	2+3+4	3.17	6.19	175	176	176	172	176	175.0
6	1+2+3+4	3.67	7.16	206	205	206	206	202	205.0
7	2+3+4+5	4.17	8.13	232	231	235	231	237	233.2

นำข้อมูลระหว่าง ค่าจากการสอบเทียบ และ มวลที่เกิดขึ้นจริงจากก้ามปูทดสอบ ไปเขียนกราฟและหาความสัมพันธ์



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าของอุปกรณ์จากการสอบเทียบและมวล

ความสัมพันธ์ได้ออกมาเป็นสมการ

$$y = 0.0287x + 1.3668$$

นำความสัมพันธ์ที่ได้ไปเขียนโปรแกรมลงบน อาร์ดูโน(Arduino) เพื่อใช้ในการทดสอบอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบอุปกรณ์

การทดสอบอุปกรณ์ ปฏิบัติโดยการชั่งตุ้มน้ำหนักบนก้ามปูทดสอบด้วยลักษณะเดียวกันกับการสอบเทียบ อุปกรณ์จะให้ค่าของมวลที่ชั่งได้ผ่านหน้าจอแสดงผล

รูปที่ 4.8 ค่ามวลที่อุปกรณ์ชั่งได้แสดงบนหน้าจอ LCD

ค่าที่ได้จากการทดสอบและความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ดังตาราง

ตารางที่ 4.4 ค่าของอุปกรณ์ที่ได้จากการทดสอบและความผิดพลาดของอุปกรณ์

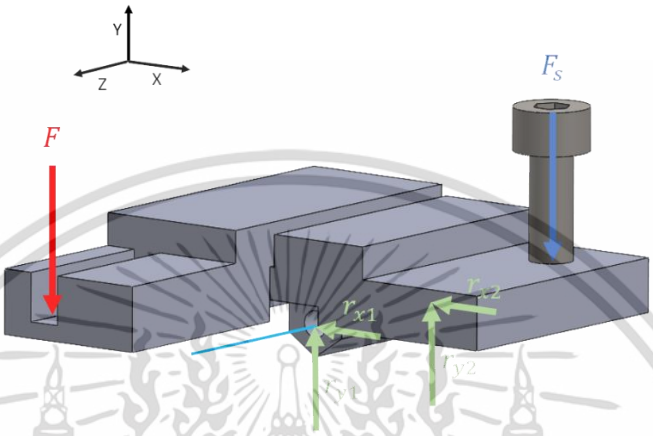
ครั้งที่	ตุ้มน้ำหนักที่ใช้	มวลจากการคำนวณ (kg)	มวลจากการทดสอบอุปกรณ์(kg)						ความผิดพลาด (%)	ความผิดพลาด (g)
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	เฉลี่ย		
1	2	2.29	2.40	2.26	2.26	2.37	2.40	2.34	1.91	43.84
2	1+2	3.26	3.66	3.32	3.43	3.46	3.29	3.43	5.15	168.10
3	2+3	4.23	4.44	4.44	4.49	4.47	4.64	4.49	6.25	264.32
4	1+2+3	5.20	5.24	5.73	5.41	5.90	6.07	5.67	9.02	469.37
5	2+3+4	6.19	6.93	7.02	6.85	6.73	6.56	6.82	10.15	628.54
6	1+2+3+4	7.16	7.57	7.34	7.48	7.51	7.54	7.48	4.51	323.19
7	2+3+4+5	8.13	8.11	8.02	8.14	8.14	7.88	8.06	0.86	69.83

ความผิดพลาดมีแนวโน้มไม่คงที่ มีค่าอยู่ระหว่างประมาณ 1 ถึง 10 % หรือ 44 ถึง 630 กรัม มีค่าที่มากที่สุดอยู่ที่ 10.15 % หรือ 628.54 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวิเคราะห์ความผิดพลาดของอุปกรณ์

4.3.1 ความผิดพลาดที่เกิดจากความเค้นเกินค่า Yield Strength

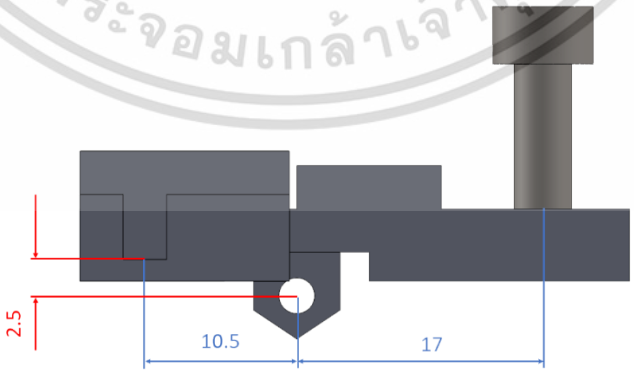


รูปที่ 4.9 แรงที่กระทำบนหัววัด

พิจารณาชิ้นส่วนหัววัด

F	คือ	แรงที่ก้ามปูทดสอบกระทำกับหัววัด
F_s	คือ	แรงที่หัววัดอะลูมิเนียมกระทำกับหัววัด
แกนสีฟ้า	คือ	แกนหมุนของหัววัด
$r_{x1}\ r_{y1}\ r_{x2}\ r_{y2}$	คือ	แรงที่สตัดกระทำกับหัววัดที่แกนหมุน

ระยะของแรงที่กระทำกับหัววัดแสดงดังรูปที่ 4.10



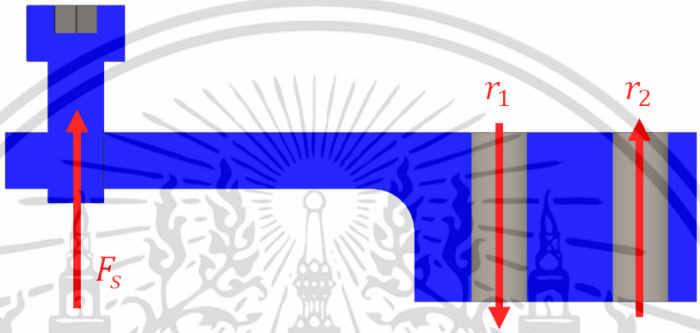
รูปที่ 4.10 ระยะของแรงที่กระทำกับหัววัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะสอบเทียบหรือทดสอบอุปกรณ์ หัววัดหยุดนิ่ง ดังนั้น โมเมนต์รอบแกน Z ที่แกนหมุนมีค่าเป็นศูนย์

$$10.5 \times F = 17 \times F_s$$

$$\text{ดังนั้น} \quad F_s = {}^{10.5}/_{17} \times F$$



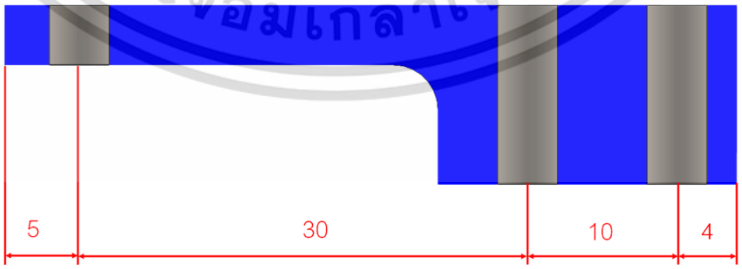
รูปที่ 4.11 แรงที่กระทำบนหัววัดอะลูมิเนียม

พิจารณาชิ้นส่วนหัววัดอะลูมิเนียม

F_s คือ แรงที่หัววัดกระทำกับหัววัดอะลูมิเนียม

r_1 r_2 คือ แรงที่น็อตกระทำกับหัววัดอะลูมิเนียม

ระยะของแรงที่กระทำกับหัววัดอะลูมิเนียมแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ระยะต่างๆของหัววัดอะลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะสอบเทียบหรือทดสอบอุปกรณ์ หัววัดอะลูมิเนียมหยุดนิ่ง ดังนั้น โมเมนต์มีค่าเป็นศูนย์

โมเมนต์รอบจุด r_1

$$30 \times F_s = 10 \times r_2$$

ดังนั้น $$r_2 = 3 \times F_s$$

โมเมนต์รอบจุด F_s

$$30 \times r_1 = 40 \times r_2$$

ดังนั้น $$r_1 = {}^{4}/_{3}\ x\ r_2$$

หาค่าของตัวแปรทั้งหมดที่สูงที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้

แรง F สูงสุดที่เกิดขึ้นได้คือการชั่งมวลครั้งที่ 7 ในตารางที่ 4.3 มีค่า 8.13 กิโลกรัม

แรง F สูงสุด	=	8.13 x 9.81	=	79.76	นิวตัน
แรง F_s สูงสุด	=	${}^{10.5}/_{17}$ x 79.76	=	49.26	นิวตัน
แรง r_2 สูงสุด	=	3 x 49.26	=	147.78	นิวตัน
แรง r_1 สูงสุด	=	${}^{4}/_{3}$ x 147.78	=	197.04	นิวตัน

หา Shear Diagram และ Moment Diagram ของแต่ละช่วงของหัววัดอะลูมิเนียม

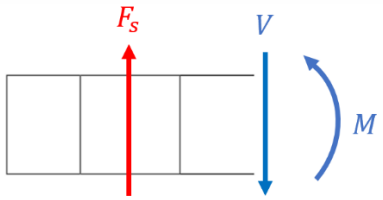
ช่วงระยะ 0-5 มิลลิเมตร

ช่วงนี้ไม่มีแรงบนชิ้นส่วน แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดมีค่าเป็นศูนย์

ช่วงระยะ 5-35 มิลลิเมตร

$$-F_s + V = 0 \quad ; V = F_s$$

$$-F_s(x-5) + M = 0 \quad ; M = F_s(x-5)$$



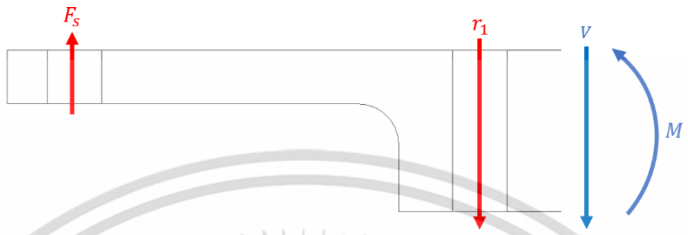
รูปที่ 4.13 ชิ้นส่วนหัววัดอะลูมิเนียมในช่วงระยะ 5-35 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงระยะ 35-45 มิลลิเมตร

$$-F_s + r_1 + V = 0 \qquad ; V = F_s - r_1$$

$$-F_s(x-5) + r_1(x-35) + M = 0 \qquad ; M = F_s(x-5) - r_1(x-35)$$

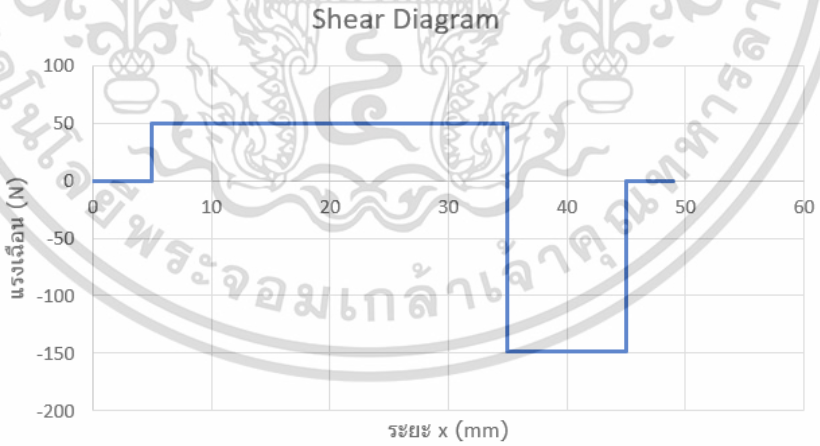


รูปที่ 4.14 ชิ้นส่วนหัววัดอะลูมิเนียมในช่วงระยะ 35-45 มิลลิเมตร

ช่วงระยะ 45-49 มิลลิเมตร

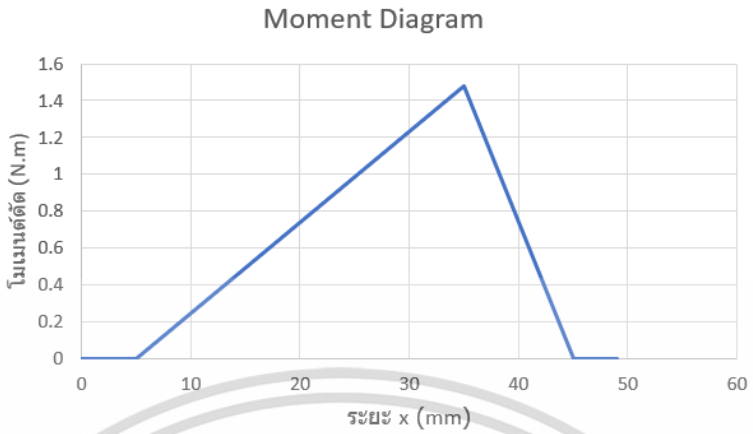
ช่วงนี้ไม่มีแรงบนชิ้นส่วน แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดมีค่าเป็นศูนย์

เมื่อนำสมค่า F_s r_1 และ r_2 ไปแทนในสมการแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในช่วงต่างๆ สามารถเขียน Shear Diagram และ Moment Diagram ได้ดังนี้



รูปที่ 4.15 Shear Diagram ของหัววัดอะลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 Moment Diagram ของหัววัดอะลูมิเนียม

หาความเค้นที่สูงที่สุดบนหัววัดอะลูมิเนียมได้โดยสมการนี้

$$\sigma = \frac{M\ x\ c}{I}$$

เมื่อ σ คือ ความเค้นที่สูงที่สุด

M คือ โมเมนต์ดัด

c คือ ระยะจากแกนสะเทินไปจนถึงขอบของหน้าตัดนั้นที่มีค่ามากที่สุด

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด

บนหน้าตัดสี่เหลี่ยมโมเมนต์ความเฉื่อยมีสมการเป็น $^{1}/_{12}\ x\ bh^{3}$

โดย b คือความกว้าง และ h คือความสูง

ความเค้นสูงสุดอาจเกิดขึ้นที่หน้าตัดที่มีโมเมนต์ดัดมากที่สุดหรือ หน้าตัดที่มีความหนาน้อยที่สุด

พิจาณาหน้าตัดที่มีโมเมนต์ดัดมากที่สุด อยู่ที่ระยะ 35 มิลลิเมตร

M = 1.478 นิวตัน.เมตร

c = 0.006 เมตร

I = $^{1}/_{12}\ x\ 12\ x\ 12^{3}\ x\ 10^{-12}$ = 1.728 x 10^{-6} เมตรกำลังสี่

σ = 5.132 กิโลปาสคาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาหน้าตัดที่มีความหนาน้อยที่สุดและมีโมเมนต์ดัดมากที่สุด อยู่ที่ระยะ 26 มิลลิเมตร

M = 1.034 นิวตัน.เมตร

c = 0.002 เมตร

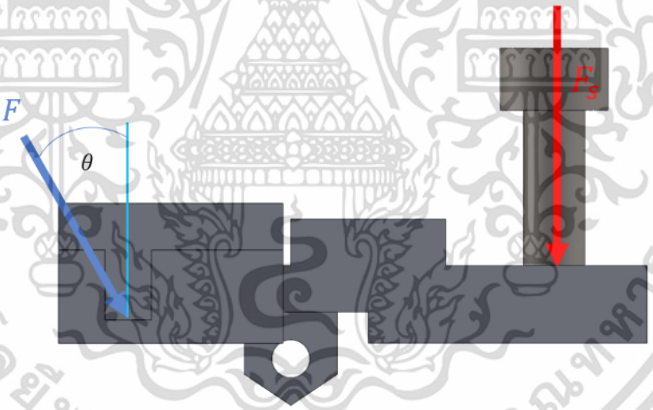
I = $^{1}/_{12}\, x\ 12\ x\ 4^{3}\ x\ 10^{-12}$ = $0.064\ x\ 10^{-6}$ เมตรกำลังสี่

σ = 32.312 กิโลปาสคาล

ค่า Yield Strength ของอะลูมิเนียมมีค่าอยู่ในช่วง 200-500 เมกะปาสคาล ดังนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดทั้งสองที่พิจารณาไม่เกินค่า Yield Strength

4.3.2 ความผิดพลาดที่เกิดจากมุมของก้ามปูทดสอบที่กระทำกับหัววัดในขณะสอบเทียบ

ในขณะสอบเทียบหรือทดสอบอุปกรณ์ ตำแหน่งของก้ามปูทดสอบที่ไม่เหมาะสมส่งผลให้เกิดมุมระหว่างก้ามปูทดสอบและหัววัด ทำให้แรง F_s ไม่เป็นไปตามที่ควร



รูปที่ 4.17 แรงที่กระทำบนหัววัด

พิจารณาแรงที่กระทำบนชิ้นส่วนหัววัด ขณะสอบเทียบหรือทดสอบหัววัดหยุดนิ่ง ดังนั้นโมเมนต์รอบแกนหมุนมีค่าเป็นศูนย์

$(F cos\theta\ x\ 10.5) - (F sin\theta\ x\ 2.5) - (F_s\ x\ 17)$ = 0

F_s = $\frac{(F cos\theta\ x\ 10.5) - (F sin\theta\ x\ 2.5)}{17}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเครียดที่เกิดขึ้นบนหัววัดเป็นไปตามสมการและมีเงื่อนไขตามรูปที่ 4.18

$$\varepsilon = \frac{6WL}{Ebh^2}$$

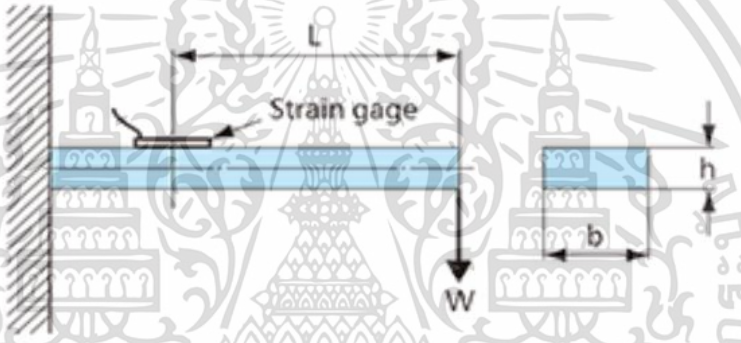
เมื่อ W คือ แรงที่กระทำกับคาน

L คือ ความยาวจากแรงถึงกลางเซนเซอร์

E คือ ค่า Young Modulus

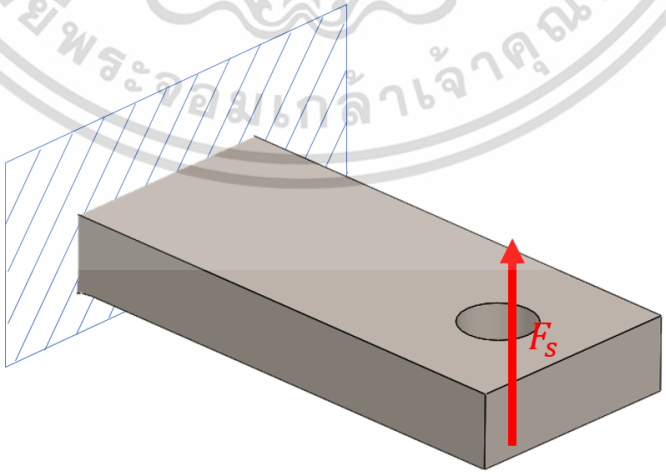
b คือ ความกว้างของคาน

h คือ ความหนาของคาน



รูปที่ 4.18 เงื่อนไขของสมการความเครียด

สามารถพิจารณาหัววัดอะลูมิเนียมให้เป็นไปตามเงื่อนไขได้ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 การพิจารณาหัววัดอะลูมิเนียมให้ตรงไปตามเงื่อนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรต่างๆของสมการความเครียดของหัววัดอะลูมิเนียมเป็นดังนี้

W = F_s

L = 0.013 เมตร

E = 69000 เมกะปาสคาล

b = 0.012 เมตร

h = 0.004 เมตร

ดังนั้น $\varepsilon = 5.887\ x\ 10^{-6} F_s$

กำหนดค่า F = 79.76 นิวตัน คำนวณค่า F_s และ ε ที่เปลี่ยนไปตามมุม θ ได้ตังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แรงที่กระทำบนหัววัดอะลูมิเนียม และความเครียดที่สัมพันธ์กับมุมต่างๆ

θ	F_s (N)	ε (x10^-6)	Error (%)
0	49.26	290.01	0.00
1	49.05	288.77	0.43
2	48.82	287.43	0.90
3	48.58	286.00	1.40
4	48.33	284.49	1.94

มุมที่เกิดขึ้นจากแรงของก้ามปูทดสอบกระทำกับหัววัดในช่วง 0-4 องศา พบว่าทำให้ค่าความเครียดเปลี่ยนไปคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ ไม่สูงกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่ามุมไม่มีนัยสำคัญกับวามผิดพลาดที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์ผล

5.1 สรุปผล

จากการเขียนแบบก้ามปูไฟฟ้ารุ่น GLBS 200502 R และบัสบาร์ขนาด 3/16” x 3/4” พร้อมทั้งจำลองการหนีบของก้ามปูไฟฟ้าบนบัสบาร์ด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์คด้วยเงื่อนไขต่างๆที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด พบว่าแรงหนีบของก้ามปูไฟฟ้ารุ่นดังกล่าวที่หนีบกับบัสบาร์ขนาดดังกล่าวมีค่า 61.1 นิวตัน หรือ 6.23 กิโลกรัม

การออกแบบหัววัดแบบที่ 1 เป็นการออกแบบด้วยการติดเซนเซอชนิด film pressure sensor ลงบนบัสบาร์ และต่อเซนเซอเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller Unit, MCU) โดยมีตัวกลางเป็นเทอร์มินอล ทั้งนี้หัววัดแบบที่ 2 และ 3 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อรับข้อมูลและประมวลผลเช่นเดียวกันหัววัดแบบที่ 1 นี้ เมื่อเสียบกับก้ามปูไฟฟ้าแล้ว ขาของก้ามปูจะหนีบเข้ากับผิวเซนเซอทำให้ความต้านทานภายในเซนเซอเปลี่ยนไปรวมถึงค่าแรงกันด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถประมวลค่าแรงดันออกมาเป็นแรงหนีบได้ แต่แรงหนีบที่สูงจะทำให้ผิวของเซนเซอถลอกและฉีกขาดเมื่อใช้งานจริง ดังนั้นจึงออกแบบหัววัดแบบที่ 2

การออกแบบหัววัดแบบที่ 2 เป็นการใช้วัสดุทองเหลืองที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับบัสบาร์คือทองแดง ขึ้นรูปให้มีร่องบางสามารถโก่งตัวได้ และติดเซนเซอสเตรนเกจบนพื้นที่ด้านที่เกิดการโก่งตัว เมื่อเสียบหัววัดเข้ากับก้ามปูไฟฟ้า เซนเซอจะเกิดการโก่งไปกับพื้นที่ ค่าความต้านทานภายในเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกันกับค่าแรงดัน ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถประมวลค่าแรงหนีบออกมาได้ แต่เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ขึ้นรูปทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปหัววัดที่มีความบางในระดับที่ต้องการได้ จากการทดลองวัดค่าแรงหนีบ หัววัดไม่เกิดการโก่งตัวบนพื้นที่ที่ติดเซนเซอ และค่าที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่เปลี่ยนแปลง เป็นข้อยืนยันว่าเซนเซอไม่เกิดการโก่งตัว ดังนั้นจึงออกแบบหัววัดแบบที่ 3

การออกแบบหัววัดแบบที่ 3 เป็นการออกแบบชิ้นส่วน 2 ชิ้น ชิ้นที่ 1 มีลักษณะเป็นคานที่ทำให้เกิดโมเมนต์ทำจากเหล็กชุบแข็ง ทำหน้าที่เปลี่ยนทิศของแรงและส่งถ่ายแรงจากชิ้นที่ 1 ไปยังชิ้นที่ 2 ชิ้นที่ 2 มีลักษณะเป็นคานยื่นที่ทำจากอะลูมิเนียม รับแรงมาจากชิ้นที่ 1 และโก่งตัวได้ ติดเซนเซอสเตรนเกจบนชิ้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 เมื่อเสียบหัววัดเข้ากับก้ามปูไฟฟ้า ค่าความต้านทานและแรงดันของเซนเซอจะเปลี่ยนไป และจากการวัดค่าแรงหนีบจริง หัววัดแบบที่ 3 สามารถใช้งานได้จริง

เมื่อการออกแบบหัววัดแบบที่ 3 สามารถใช้งานได้จริง จึงสร้างหัววัดโดยมีการเชื่อมต่อดังนี้ เซนเซอสเตรนเกจต่อเข้ากับสเตรนเกจโมดูล ค่าที่ออกจากโมดูลต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลค่าแรงหนีบและแสดงผลไปยังจอแอลซีดี หลังจากสร้างหัววัดและโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว จึงสอบเทียบอุปกรณ์โดยการชั่งตุ้มน้ำหนักโดยมีก้ามปูทดสอบเป็นตัวกลาง ความสัมพันธ์ที่ได้คือ y=0.0287x+1.3668 โดยที่ค่า y คือค่าแรงหนีบ และค่า x คือค่าที่ได้จากสเตรนเกจโมดูล

การทดสอบอุปกรณ์ทำเช่นเดียวกันกับการสอบเทียบ คือชั่งตุ้มน้ำหนักโดยมีก้ามปูทดสอบเป็นตัวกลาง ค่ามวลที่ได้ควรมีค่าที่ใกล้เคียงกันกับตุ้มน้ำหนักนั้นๆที่ชั่งเมื่อใช้ความสัมพันธ์ที่ได้มาจากการสอบเทียบ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงออกมาว่า ในช่วงใช้งาน 2 ถึง 8 กิโลกรัม มีค่าความคลาดเคลื่อน 1 ถึง 10 % หรือประมาณ 44 ถึง 630 กรัม เป็นค่าที่ไม่สามารถยอมรับได้

จากการวิเคราะห์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ได้วิเคราะห์ 2 หัวข้อได้แก่ 1 ความผิดพลาดที่เกิดจากความเครียดของหัววัดชิ้นที่ 2 เกินค่า Yield Strength และ 2 ความผิดพลาดที่เกิดจากมุมของก้ามปูทดสอบที่กระทำกับหัววัดในขณะสอบเทียบ พบว่าทั้ง 2 หัวข้อไม่มีผลต่อความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดสอบอุปกรณ์ โดยหัวข้อที่ 1 หัววัดอะลูมิเนียมไม่มีค่าความเค้นที่เกินค่า Yield Strength หัววัดอะลูมิเนียมไม่เกิดการเสียรูปถาวร และหัวข้อที่ 2 ความผิดพลาดที่มีผลจากมุมของแรงของก้ามปูทดสอบที่กระทำกับหัววัดมีค่าไม่สูงกว่า 2 % เป็นค่าที่สามารถยอมรับได้

ดังนั้น จึงสรุปผลของความผิดพลาดจากอุปกรณ์ คือ ประสิทธิภาพของสเตรนเกจโมดูลและสเตรนเกจเซนเซอที่ต่ำเกินไปทำให้ค่าที่ได้จากสเตรนเกจโมดูลมีค่าที่ไม่เสถียร แกว่งไปมา จนทำให้เกิดความผิดพลาด

5.2 ปัญหาในการดำเนินงาน

หัววัดแบบที่ 2 มีการออกแบบที่ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้จริงตามที่ออกแบบไว้ เมื่อสร้างชิ้นงานขึ้นแต่ไม่สามารถใช้งานได้จริง จึงทำให้การทำงานล่าช้าลงเพราะต้องออกแบบหัววัดและดำเนินการใหม่

โมดูลและสเตรนเกจที่คุณภาพสูงนั้นมีราคาที่สูงและจำหน่ายในปริมาณมาก เช่น 10 ชิ้นขึ้นไปในการซื้อต่อครั้ง ทำให้งบประมาณไม่เพียงพอที่จะใช้สเตรนเกจและโมดูลที่มีประสิทธิภาพสูงได้ จึงต้องใช้โมดูลและสเตรนเกจที่คุณภาพต่ำผลการสอบเทียบจึงคลาดเคลื่อนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูลที่เลือกใช้มีคุณภาพต่ำ เสียหายง่าย ต้องสั่งซื้อเพื่อเปลี่ยนใหม่เป็นจำนวนหลายครั้ง ทำให้เพิ่มระยะเวลาในการทำงานและมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

การถ่วงตุ้มน้ำหนักที่เกิดขึ้นในการสอบเทียบหรือการทดสอบอุปกรณ์แต่ละครั้ง มีการวางตำแหน่งของตุ้มน้ำหนักบนก้ามปูทดสอบที่แตกต่างกันไป ค่าแรงที่กระทำบนหัววัดจึงไม่ตรงค่าจริง อาจทำให้ค่าที่ได้จากอุปกรณ์มีการคลาดเคลื่อน

การสร้างแผงวงจรและอุปกรณ์ต่างๆจำเป็นต้องใช้การบัดกรีเพื่อเชื่อมต่อจุดต่างๆของอุปกรณ์ ซึ่งการบัดกรีที่ไม่ดีทำให้เกิดความร้อนบนอุปกรณ์ต่างๆ ส่งผลให้อุปกรณ์นั้นมีการทำงานที่ผิดเพี้ยนไปจากเดิม ค่าที่ได้ไม่ตรงไปตามค่าจริง และเกิดความผิดพลาดขึ้นในที่สุด

5.3 การแก้ไข

การแก้ไขความผิดพลาด ไม่สามารถแก้ไขที่อุปกรณ์ได้ เนื่องจากต้องเพิ่มต้นทุนที่สูง ลักษณะของค่าที่ได้จากสเตรนเกจโมดูลมีค่าที่ไม่เสถียร แกว่งขึ้นลงไปมา จึงแก้ไขด้วยการเขียนโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อปรับแต่งค่าที่ได้จากสเตรนเกจโมดูลให้มีค่าที่เถียรมากยิ่งขึ้น มี 2 ส่วนดังนี้

แก้ไขค่าจากสเตรนเกจโมดูลที่ไม่คงที่ด้วยการใช้ฟังชันสมูทติ้งหาค่าเฉลี่ย โดยหลักการของฟังชันนี่คือการนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยตลอดเวลา ทำให้ค่าที่ได้มีลักษณะที่แกล่วงขึ้นลงไปมาน้อยลงกว่าก่อนการทำฟังชันสมูทติ้ง

ด้วยลักษณะของค่ามีความแกว่งขึ้นลงไม่คงที่ ค่าเริ่มต้นจึงไม่เป็นศูนย์ เมื่อค่าเริ่มต้นไม่เป็นศูนย์จะทำให้ความสัมพันธ์ที่หาได้จากการสอบเทียบไม่เป็นจริง ดังนั้นจึงแก้ไขค่าจากสเตรนเกจโมดูลด้วยการใช้ฟังชันแม็พปรับให้ค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์ตลอดเวลา โดยหลักการของฟังชันนี้คือการเปลี่ยนค่าช่วงหนึ่งให้กลายเป็นค่าช่วงหนึ่งที่เรากำหนด เช่นเปลี่ยนค่าช่วง 1 – 50 ให้กลายเป็น 50 – 100 เป็นต้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

ควรตรวจสอบการออกแบบให้ถูกต้องเรียบร้อยและรอบครอบ ว่าเป็นไปตามจุดประสงค์ที่วางไว้และสามารถใช้งานได้จริงหรือไม่ เพื่อลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน เช่นการต้องแก้แบบ 2 – 3 ครั้งเพื่อให้ใช้งานได้ ทำให้เสียเวลาดำเนินงานและเสียเวลารอชิ้นงานที่ขึ้นรูป ทั้งยังเสียค่าใช้จ่ายอีกด้วย

อุปกรณ์ที่ใช้ควรตรวจสอบหาข้อมูลว่ามีประสิทธิภาพในการใช้งานที่เพียงพอต่องานของตนหรือไม่ เพื่อให้ได้ราคาที่เหมาะสมที่สุดต่อประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุด แต่ควรเลือกดูจากประสิทธิภาพก่อนเพื่อให้สามารถทำงานออกมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก้ามปูทดสอบควรออกแบบใหม่ให้มีฐานที่มั่นคงและมีตำแหน่งที่ใส่ของตุ้มน้ำหนักที่คงที่ทุกครั้งที่ชั่ง เพื่อขจัดปัจจัยของตำแหน่งตุ้มน้ำหนักที่อาจมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์

ควรบัดกรีอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากความร้อนจะทำให้อุปกรณ์เสียหายได้ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนแก่อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] DanieU. Rogers,Member,IEEE, TimC. Green,SeniorMember,IEEE,and RichardW. Silversides **ALow-WearOnloadTapChangerDiverterSwitchfor FrequentVoltageControlonDistributionNetworks :** IEEETRANSACTIONSONPOWERDELIVERY,VOL.29,NO.2,APRIL2014

[2] Thermophysics ความคืบ ค้นหาเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2562 จาก https://sites.google.com/site/thermophysic/khxngkhaeng/khwam-khub-creep,

[3] [UNICON] Force sensor with UNICON ค้นหาเมื่อวันที่ 7 กันยายน 2562 จาก http://doc.inex.co.th/force-sensor-with-unicon/

[4] รายงานฉบับสมบูรณ์ การสำรวจสถานภาพอุตสาหกรรมโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non-ferrous metals): ทองแดง : ภายใต้โครงการพัฒนาศูนย์ข้อมูลเชิงลึกอุตสาหกรรมเหล็กและโลหการประจำปีงบประมาณ 2557 ค้นหาเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2562

[5] คุณสมบัติของโลหะ SK5 ค้นหาเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2562 จาก http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=8d5beaa7c21a4b6e8d1b6a2d44f3f657&ckck=1

[6] สเตรนเกจ คืออะไร ค้นหาวันที่ 10 ตุลาคม 2562 จาก https://www.kyowa-ei.co.th/tha/technical/strain_gages/strain_gage.html

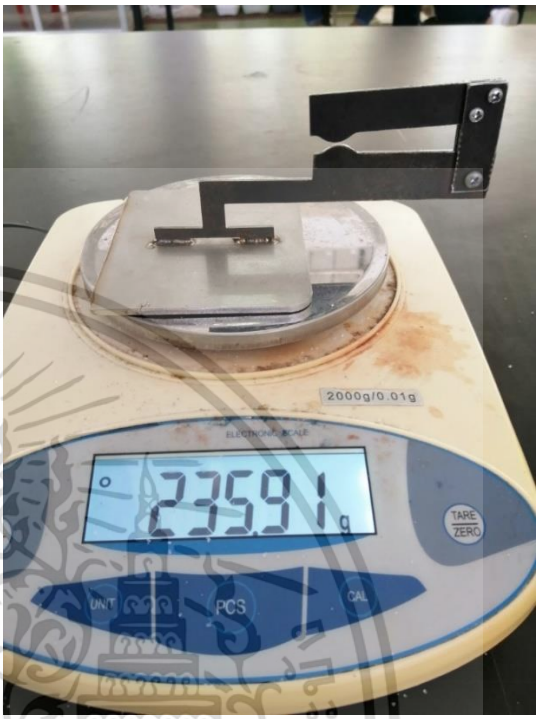
[7] ข้อมูลและสินค้า Arduino จาก Arduinothai ค้นหาวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2563 จาก https://www.arduinothai.com/?gclid=Cj0KCQjwhtT1BRCiARIsAGlY51ITsPCX1afq7Vl2YgDEingKBJg6Pc7NqVjxDSfvIpsUvyy4g6-6Gt8aAgsDEALw_wcB

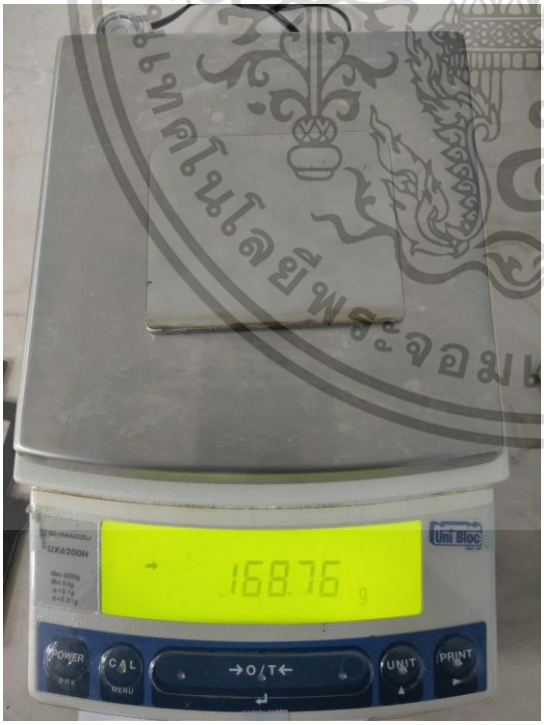
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. รูปภาพน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักและก้ามปูทดสอบ



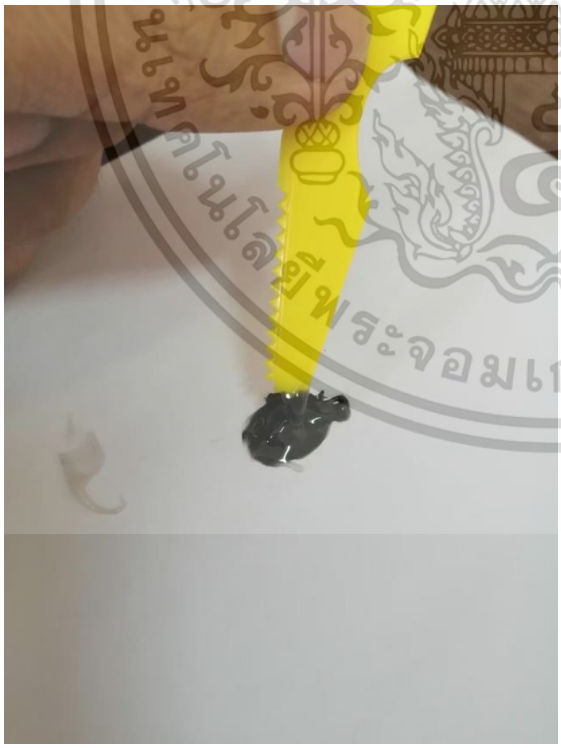


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

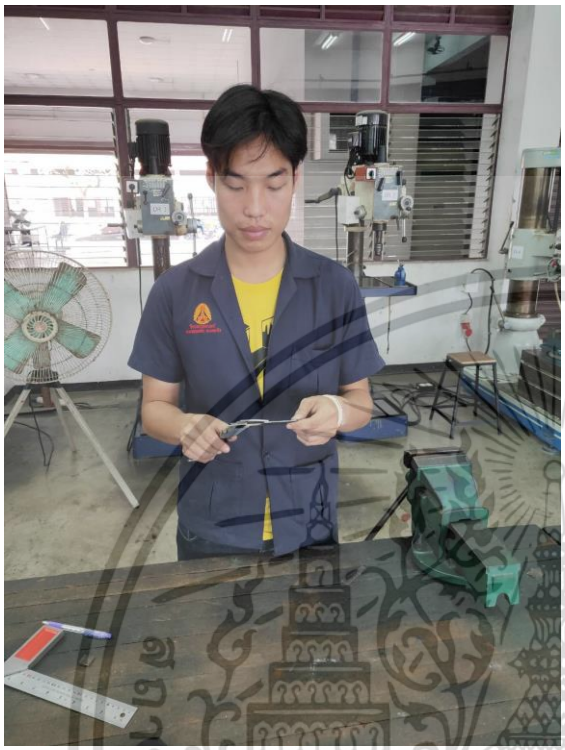
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

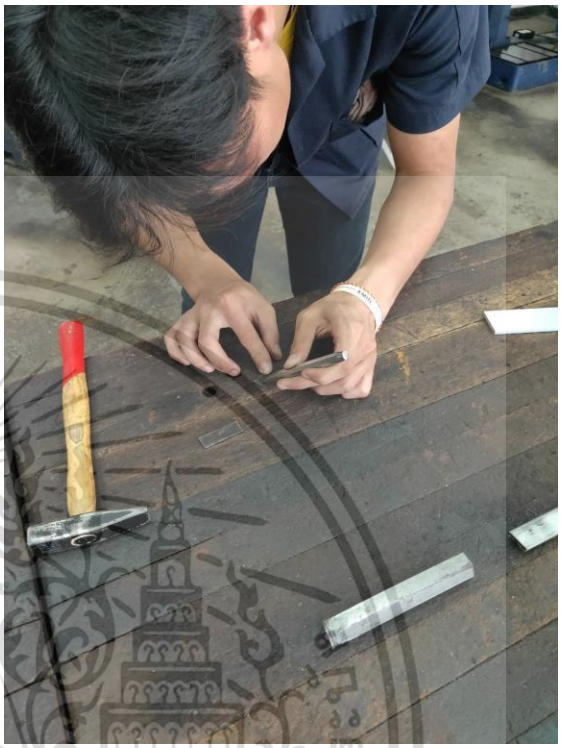
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รูปการดำเนินการ

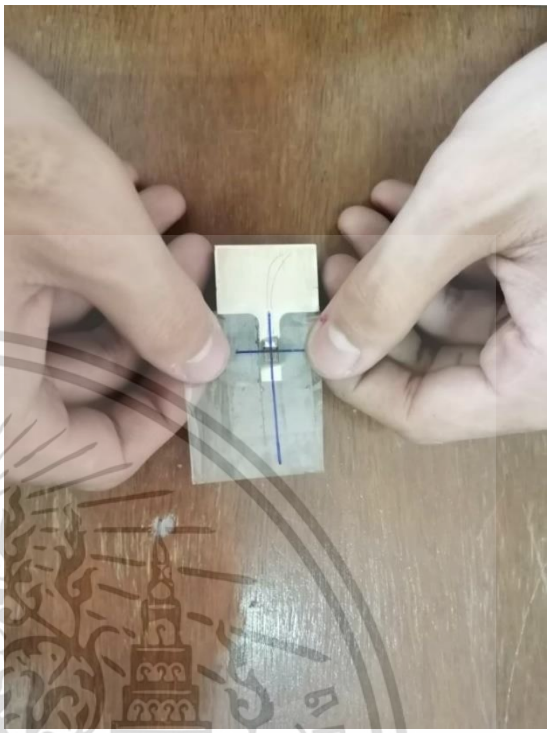


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รูปแต่ละฟังชันที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์

```
void setup()
{
  // initialize serial communication at 9600 bits per second:
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{

}
```

```
// digital pin 2 has a pushbutton attached to it. Give it a name:
int pushButton = 2;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // make the pushbutton's pin an input:
  pinMode(pushButton, INPUT);
}

void loop()
{
  // read the input pin:
  int buttonState = digitalRead(pushButton);
}
```

```
void setup()
{
  // initialize serial communication at 9600 bits per second:
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  // read the input on analog pin 0:
  int sensorValue = analogRead(A0);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```ino
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);  // set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display

void setup()
{
  lcd.init();
  lcd.backlight();
}

void loop()
{
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Hello, world!");
}
```

```ino
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  int val = analogRead(0);
  val = map(val, 0, 1023, 0, 255);
}
```

```ino
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  int val = analogRead(0);
  val = map(val, 0, 1023, -val, (1023-val));
}
```

```ino
const int numReadings = 10;

int readings[numReadings];      // the readings from the analog input
int readIndex = 0;              // the index of the current reading
int total = 0;                  // the running total
int average = 0;                // the average

int inputPin = A0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  // initialize all the readings to 0:
  for (int thisReading = 0; thisReading < numReadings; thisReading++)
  {
    readings[thisReading] = 0;
  }
}

void loop()
{
  total = total - readings[readIndex];          // subtract the last reading:
  readings[readIndex] = analogRead(inputPin);   // read from the sensor:
  total = total + readings[readIndex];          // add the reading to the total:
  readIndex = readIndex + 1;                    // advance to the next position in the array:

  // if we're at the end of the array...
  if (readIndex >= numReadings)
  {
    readIndex = 0;                              // ...wrap around to the beginning:
  }

  average = total / numReadings;                // calculate the average:
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);  // set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display

void setup()
{
  lcd.init();
  lcd.backlight();
}

void loop()
{
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Hello, world!");
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้