

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการต้านทานแรงอัดของวัสดุ
ด้วยระบบไฮดรอลิก
DESIGN AND CONSTRUCTION OF HYDRAULIC COMPRESSION
TESTING MACHINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการต้านทานแรงอัดของวัสดุ
ด้วยระบบไฮดรอลิก

DESIGN AND CONSTRUCTION OF HYDRAULIC COMPRESSION
TESTING MACHINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND CONSTRUCTION OF HYDRAULIC COMPRESSION
TESTING MACHINE



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

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2560

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

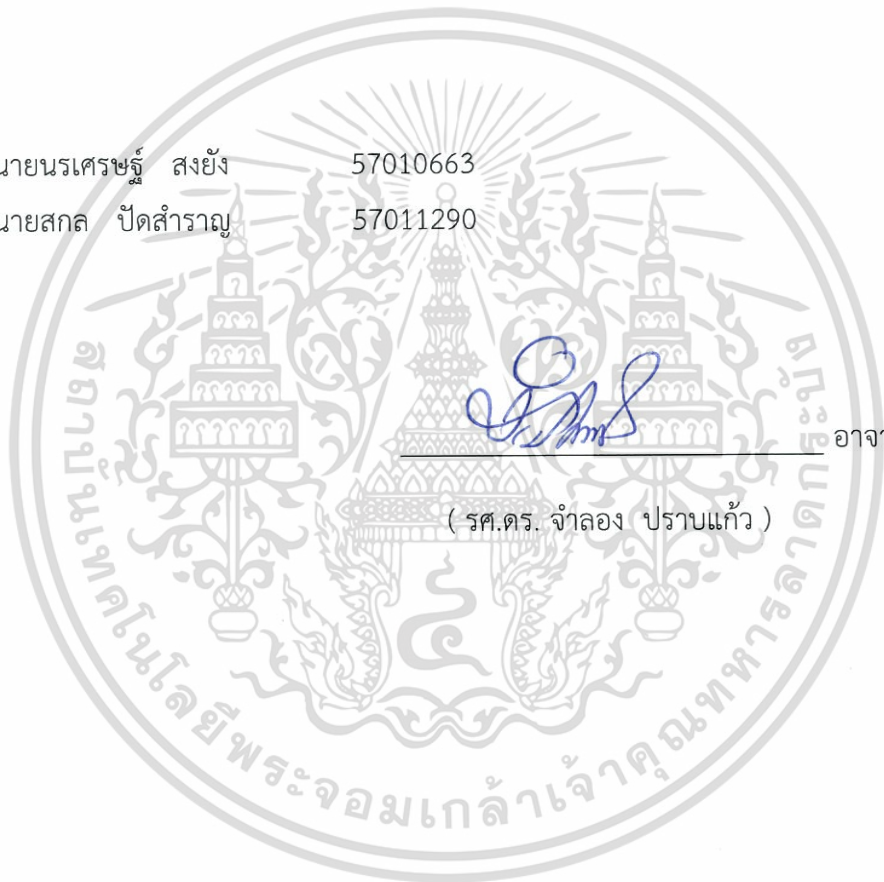
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการต้านทานแรงอัดของวัสดุด้วยระบบไฮดรอลิก

DESIGN AND CONSTRUCTION OF HYDRAULIC COMPRESSION TESTING MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นายนครเศรษฐ์ สงยัง 57010663
2. นายสกล ปัดสำราญ 57011290



[Handwritten Signature]

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. จำลอง ปราบแก้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการต้านทานแรงอัดของวัสดุด้วยระบบไฮดรอลิก

นายนครเศรษฐ์ สงยัง 57010663

นายสกล ปัดสำราญ 57011290

รศ.ดร. จำลอง ปราบแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

การทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของสินค้า เพื่อเป็นข้อมูลที่บ่งบอกถึงความแข็งแรง อย่างเช่น กล่องกระดาษ กล่องพลาสติก ขวดพลาสติก กล่องสวิชไฟฟ้าที่ทำด้วยพลาสติก ที่มีการใช้ อย่างหลากหลายในท้องตลาด ปัจจุบันเครื่องทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดนำเข้าจาก ต่างประเทศ และมีราคาสูง โครงการนี้จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการต้านทานแรงอัดของ วัสดุด้วยระบบไฮดรอลิก ซึ่งในการทดสอบเราจะเลือกใช้ภาชนะเทอร์โมพลาสติกพลาสติกมาทดสอบ โดยเครื่องทดสอบจะให้แรงอัดแก่ภาชนะพลาสติก เพื่อหาข้อมูลว่าภาชนะจะมีการต้านทานแรงอัดได้ มากที่สุดที่ขนาดเท่าใด และหาระยะยุบตัวหลังจากถูกแรงอัดกระทำ การสร้างชุดทดสอบนั้นเริ่มต้น จากการมีชุดต้นกำลังและกระบอกสูบไฮดรอลิกทำการออกแบบเครื่องทดสอบให้เหมาะสมกับการใช้ งาน โดยเริ่มออกแบบฐานวางวัสดุที่จะทดสอบให้มีขนาดเหมาะสมกับวัสดุ ออกแบบตัวกดเทียบกับ ระยะการเคลื่อนที่ขึ้นลงของกระบอกสูบ เลือกใช้โหลดเซลล์ชนิด Beam sensor ขนาด 0 - 100 กิโลกรัม เพื่อวัดขนาดของแรงอัด และเลือกใช้เซ็นเซอร์วัดระยะ เพื่อวัดระยะการยุบตัว ขณะถูก แรงอัดกระทำ โดยเซ็นเซอร์ทั้ง 2 ตัวนี้จะต่ออยู่กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งข้อมูลที่ไปสู่อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB และแสดงเป็นกราฟแรงอัดต่อระยะยุบตัวผ่านโปรแกรม LabVIEW จากการทดสอบด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D 2659 – 95 ทดสอบกับภาชนะขวดพลาสติก ขนาด 600 มิลลิลิตร ได้ค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 48.6 นิวตัน และค่าเฉลี่ยระยะยุบตัวที่ค่าแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 2.57 มิลลิเมตร สำหรับเครื่องทดสอบแรงอัดด้วยระบบไฮดรอลิกนั้นใช้ภาชนะพลาสติก มาเพื่อ ทดสอบเบื้องต้นเท่านั้น เครื่องทดสอบนี้ยังสามารถทดสอบกับวัสดุอื่นๆ ที่ต้องการหาความต้านทาน แรงอัดและระยะยุบตัวได้อีกหลายอย่าง เช่น โฟม อิฐ แก้ว กระจก เป็นต้น

DESIGN AND CONSTRUCTION OF HYDRAULIC COMPRESSION TESTING MACHINE

Noraset Songyang 57010663
Sakon Padsamran 57011290
Assoc.Prof. Dr.Chamlong Prabkeaw Advisor
Year 2017

ABSTRACT

Nowadays, physical properties testing of material is important because compressed resistance testing of material for efficient using material and protect material to corrupt. Testing equipment must import from foreign which is expensive. My project will create testing machine to test compressed resistance force and deflection of material by improve with hydraulic cylinder. Test equipment consists of hydraulic cylinder, load cell sensor which measure force and distance sensor which measure subside distance. After testing, data is sent to computer through LABVIEW program for notice behavior between compressed force and subside distance of material. This testing follows as ASTM D 2659-95 standard that is testing of compressed resistance of thermoplastic containers with constant compressed velocity. My project choose velocity at 30.3 mm/min because limitation of equipment. Material in this testing is thermoplastic container volume 600 ml. The result show relationship between compressed force and deflection to fine crushing yield load and subside deflection at crushing yield load. Crushing load is 48.6 N and deflection at crushing yield load is 2.57 mm, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. จำลอง ปราบแก้ว ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทาง และคอยสนับสนุนในเรื่องต่างๆ ทั้งเรื่องความรู้ และเงินสนับสนุนค่าใช้จ่าย ทำให้โปรเจกต์นี้สามารถออกมาอย่างสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

และขอขอบคุณบุคคล คณะอาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่มอบโอกาส และให้ความรู้ในการศึกษา และขอกราบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายนครเศรษฐ์ สงยัง

นายสกล ปัดสำราญ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการออกแบบ.....	4
2.1 ระบบไฮดรอลิก.....	4
2.2 มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 2659-95 Standard Test Method for Column Crush Properties of Blown Thermoplastic Container.....	5
2.3 โปรแกรม LabVIEW.....	5
2.3.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของโปรแกรม LabVIEW.....	6
2.3.2 หน้าทำการท างานของหน้าต่าง Front Panel และหน้าต่าง Block Diagram.....	7
2.4 การออกแบบ และค านวณเครื่องทดสอบแรงอัดวัสดุขนาด1,000N.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบแรงอัดระบบด้วยไฮดรอลิก.....	14
2.5.1 ชุดต้นก าลังไฮดรอลิกและวาล์วควบคุมทิศทาง.....	15
2.5.2 กระบอกลูกสูบไฮดรอลิก.....	16
2.5.3 โหลดเซลล์.....	16
2.5.4 เซ็นเซอร์วัดระยะ.....	17
2.5.5 โมดูลโหลดเซลล์แอมปริไฟเออร์ และบอร์ดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	18
2.6 การต่อวงจรของโหลดเซลล์และเซ็นเซอร์วัดระยะทาง.....	19
2.6.1 การต่อวงจรของโหลดเซลล์.....	19
2.6.2 การต่อวงจรเซ็นเซอร์วัดระยะ.....	20
2.7 การเชื่อมต่อและการใช้งานโปรแกรม.....	21
บทที่ 3 การทดสอบและวิธีการทดสอบแรงอัด.....	23
3.1 มาตรฐานในการทดสอบ.....	23
3.2 บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่นำมาทดสอบ.....	24
3.3 วิธีการทดสอบ.....	24
3.4 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของแรงและระยะยุดตัวของภาชนะพลาสติก.....	26
3.4.1 การทดสอบภาชนะขวดที่ 1	26
3.4.1 การทดสอบภาชนะขวดที่ 2	27
3.4.1 การทดสอบภาชนะขวดที่ 3	27
3.4.1 การทดสอบภาชนะขวดที่ 4	28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 ผลการทดสอบจากเครื่องที่ได้มาตรฐาน.....	30
บทที่ 4 สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ.....	31
4.1 คุณลักษณะของเครื่องทดสอบการต้านทานแรงอัดที่สร้าง.....	31
4.2 การทดสอบความสัมพันธ์ของแรงและระยะยวบตัวของบรรจุภัณฑ์.....	31
4.3 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	32
บรรณานุกรม.....	33
ภาคผนวก.....	34

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เครื่องมือต่างๆ ที่อยู่ภายใน Tool bar ของหน้าต่าง Front Panel.....	9
3.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบ.....	25
3.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบ.....	29
4.1 ผลการทดสอบแรงกดสูงสุด และระยะที่ภาชนะยุบตัว.....	31



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องทดสอบมาตรฐาน (Universal testing machine)	1
1.2 แสดงแผนผังวิธีการดำเนินงาน	3
2.1 ระบบไฮดรอลิกพื้นฐาน	4
2.2 Block diagram ของระบบไฮดรอลิก	5
2.3 แสดงตัวอย่างเครื่องมือวัดเสมือนที่สร้างจาก LabVIEW	6
2.4 การเปิดโปรแกรม LabVIEW 2017	6
2.5 หน้าต่าง Front Panel และ Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW	7
2.6 ตัวอย่างการออกแบบส่วนติดต่อระหว่างผู้ใช้ในหน้าต่าง Front Panel	7
2.7 ส่วนประกอบต่างๆ ของหน้าต่าง Front Panel.....	8
2.8 ไอคอนของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ได้มีการออกแบบในหน้าต่าง Front Panel.....	9
2.9 ส่วนประกอบต่างๆ ของหน้าต่าง Block Diagram.....	10
2.10 แสดงการทำงานของ Block Diagram เครื่องมือวัดที่สร้างจาก LabVIEW.....	10
2.11 วงจรไฮดรอลิกส์ที่ออกแบบ.....	11
2.12 แสดงเครื่องทดสอบแรงอัดวัสดุที่ออกแบบ.....	13
2.13 รูปแสดงส่วนประกอบเครื่องทดสอบแรงอัดด้วยระบบไฮดรอลิก.....	14
2.14 ชุดต้นกำลัง.....	15
2.15 วาล์วควบคุมทิศทาง.....	15
2.16 ชุดกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก.....	16
2.17 โหลดเซลล์.....	16

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.18 เซ็นเซอร์วัดระยะ.....	17
2.19 โมดูลโหลดเซลล์แอมป์ไฟเออร์.....	18
2.20 บอร์ดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	18
2.21 แสดงการต่อวงจรโหลดเซลล์.....	19
2.22 แสดงการต่อวงจรเซ็นเซอร์ระยะทาง.....	20
2.23 แสดง Block diagram ของโปรแกรม LabVIEW.....	21
2.24 แสดง Interface ของโปรแกรม LabVIEW.....	21
3.1 แสดงตัวอย่างการทดสอบจากมาตรฐาน ASTM D 2659-95.....	23
3.2 แสดงภาพขณะกดพลาสติกที่นำมาทดสอบ.....	24
3.3 แสดงภาพขณะพลาสติกขณะเริ่มการทดสอบ.....	25
3.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์แรงกดกับระยะยุบตัวของภาชนะขวดที่ 1.....	26
3.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์แรงกดกับระยะยุบตัวของภาชนะขวดที่ 2.....	27
3.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์แรงกดกับระยะยุบตัวของภาชนะขวดที่ 3.....	27
3.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์แรงกดกับระยะยุบตัวของภาชนะขวดที่ 4.....	28
3.8 ตัวอย่างการ Export ข้อมูลจาก XY Graph.....	29
3.9 ข้อมูลผลจากการทดสอบจาก บริษัทพีริซัน พลาสติก จำกัด.....	30

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องทดสอบแรงอัดของวัสดุหลายชนิดในท้องตลาด เพื่อทดสอบความแข็งแรงในการต้านทานแรงอัดของวัสดุ ซึ่งเครื่องมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบมีราคาสูง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงได้ทำการออกแบบเครื่องทดสอบแรงอัดด้วยระบบไฮดรอลิก โดยใช้ไหลด์เซลล์ ในการรับแรงที่เกิดจากการอัด และใช้เซนเซอร์วัดระยะวัดระยะที่ตกลงไปของกระบอกสูบ เพื่อนำค่าที่ได้มาศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดต่อระยะยวบตัว เนื่องจากระบบไฮดรอลิกสามารถส่งกำลังได้สูง โดยไหลด์เซลล์ มีการประมวลผลในหน่วยมิลลิวินาที และตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว และศึกษาการยวบตัวของภาชนะพลาสติกและวัสดุที่นำมาทดสอบจากเซนเซอร์วัดระยะ เพื่อเทียบการยวบตัวของวัสดุกับแรงอัดของวัสดุ

ส่วนวัสดุที่ใช้ในการทดสอบคือภาชนะพลาสติก เนื่องจากภาชนะพลาสติกนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์หลากหลายชนิด ซึ่งในการขนส่งจะมีการจัดเรียงภาชนะที่ซ้อนทับกันหลายชั้นส่งผลให้เกิดแรงกดอัดระหว่างชั้นต่อชั้น จึงสนใจที่จะศึกษาคุณสมบัติความแข็งแรงและความต้านทานแรงอัดในภาชนะแต่ละชนิดและขนาดต่างๆของภาชนะพลาสติก เมื่อนำไปใช้จริง ภาชนะพลาสติกนั้นมิตุณสมบัติความต้านทานแรงอัดได้ตามมาตรฐานหรือไม่ จะมีความเสียหายเมื่อซ้อนกันเกินกี่ชั้น และมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นบรรจุภัณฑ์มากน้อยเพียงใด



รูปที่ 1.1 เครื่องทดสอบมาตรฐาน (Universal testing machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการต้านทานแรงอัดของภาชนะพลาสติกด้วยระบบไฮดรอลิก ที่สามารถวัดค่าแรงอัด และระยะยุบตัวของวัสดุได้

1.3 ขอบเขต

1.3.1 จัดทำชุดทดลองไฮดรอลิกโดยใช้ กระจบอกสูบแบบ 2 ทิศทาง มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน กระจบอกสูบ 7 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 4 เซนติเมตร ระยะชัก 24.5 เซนติเมตร และสามารถควบคุมความเร็วในการกดของกระจบอกสูบให้อยู่ในช่วงความเร็วตามมาตรฐานในการทดสอบได้

1.3.2 ติดตั้งโหลดเซลล์ขนาด 0 - 100 กิโลกรัม เชื่อมต่อเข้ากับ โมดูลโหลดเซลล์แอมพลิไฟเออร์ เพื่อแปลงเป็น สัญญาณทางไฟฟ้า และเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำค่าที่ได้ไปแสดงผลในโปรแกรม LabVIEW

1.3.3 ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดระยะ ช่วง 4 – 30 เซนติเมตร ตรงปลายของกระจบอกสูบและฐานรองวัสดุ แล้วต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำค่าที่ได้ไปแสดงผลที่โปรแกรม LabVIEW

1.3.4 ทำการคาริเบรทโหลดเซลล์ และเซ็นเซอร์วัดระยะให้มีความแม่นยำ

1.3.5 ออกแบบการทดลอง โดยอ้างอิงจากมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 2659-95 โดยสุ่มตัวอย่างชิ้นงานทดสอบทั้งหมด 20 ชิ้น ให้อยู่ในสภาวะเดียวกัน และความเร็วในการทดสอบเท่ากัน

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและการทำงานของระบบไฮดรอลิก

1.4.2 ศึกษาคุณสมบัติและวิธีการทดสอบของภาชนะพลาสติก

1.4.3 ศึกษาการทำงานของ โหลดเซลล์ เซนเซอร์วัดระยะ

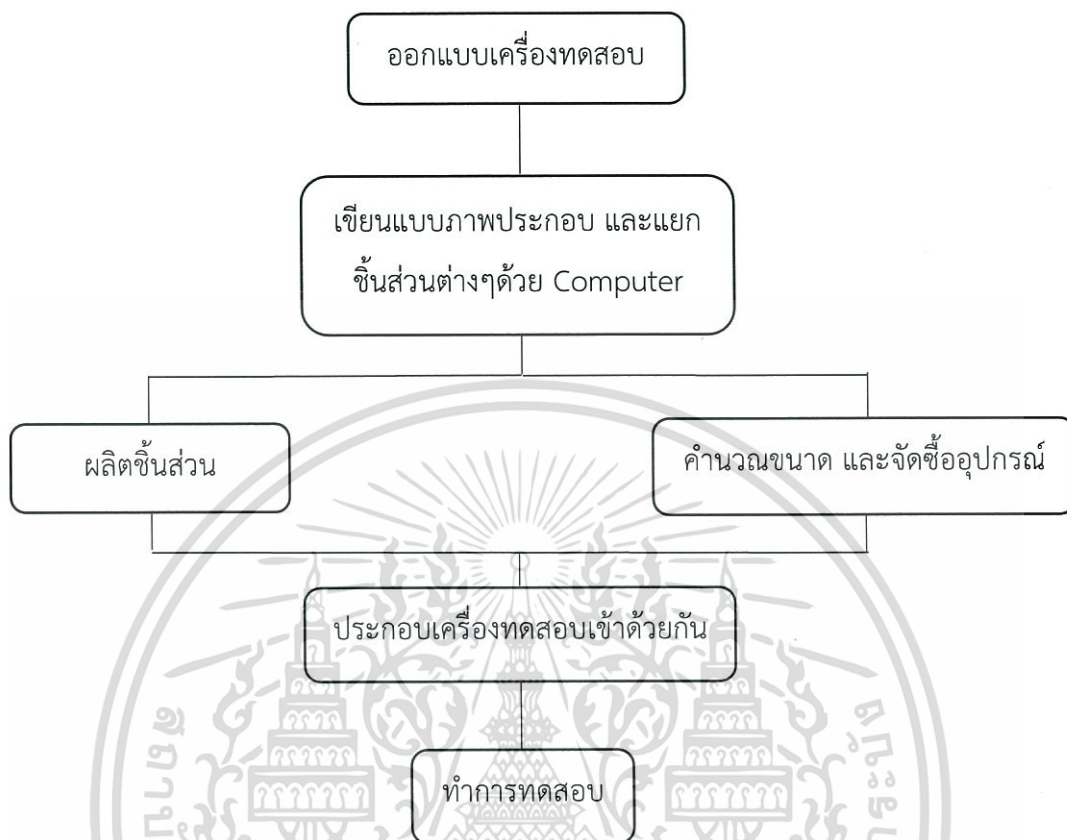
1.4.4 ศึกษาการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และการส่งค่าไปยังโปรแกรม LabVIEW

1.4.5 ออกแบบชุดทดลองและรูปแบบการทดลอง

1.4.6 ทำการทดลองพร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง

1.4.7 สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดงแผนผังวิธีการดำเนินงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1. มีความรู้ความเข้าใจในการทำงานของระบบไฮดรอลิก
- 1.5.2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการติดตั้งและการทำงานของโหลดเซลล์ เช่นเซอร์วัด
- 1.5.3. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโปรแกรม LabVIEW และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆได้ในอนาคต
- 1.5.4. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระยะยุบตัว คุณสมบัติ ความแข็งแรง การต้านทานแรงอัดของภาชนะพลาสติกและวัสดุต่างๆ
- 1.5.5. ชุดทดลองสามารถใช้กับวัสดุอื่นที่มีการต้านทานแรงอัด ที่อยู่ในช่วงที่โหลดเซลล์สามารถรับได้

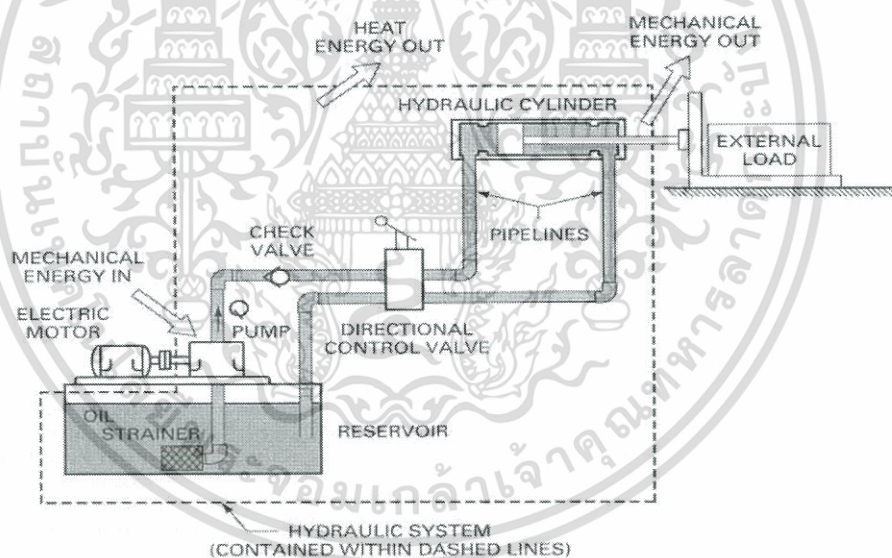
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการออกแบบ

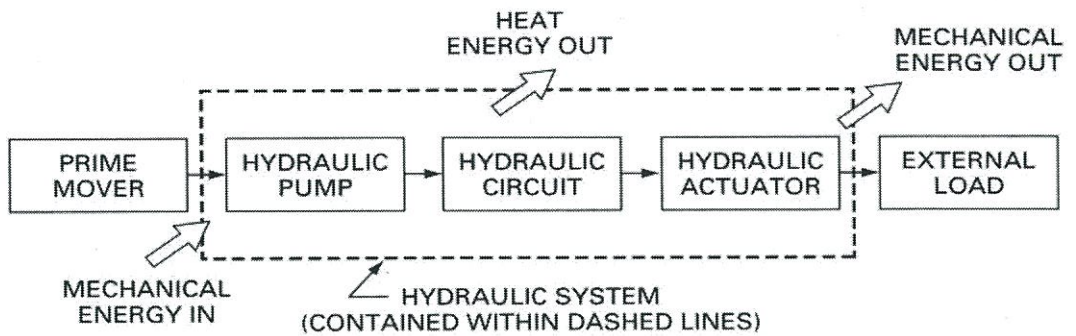
2.1 ระบบไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิก เป็นระบบที่มีการส่งถ่ายพลังงาน(Transmission) ของของไหลให้เป็นพลังงานกล โดยผ่านตัวกระทำ(Actuators) เช่น กระบอกสูบ(Cylinder) มอเตอร์ไฮดรอลิก (Hydraulic Motor) ในอุตสาหกรรมนิยมใช้น้ำมันไฮดรอลิก(Hydraulic Oil) เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน เพราะน้ำมันไฮดรอลิกมีคุณสมบัติสำคัญคือ ไม่สามารถยุบตัวได้(Incompressible) จึงทำให้การส่งถ่ายพลังงานมีประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 2.1 ระบบไฮดรอลิกพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 Block diagram ของระบบไฮดรอลิก

จากรูปที่ 2 แสดง Block diagram ของระบบไฮดรอลิก เมื่อต้นกำลัง (Prime mover) ได้ผลิตงานกล และส่งไปยังปั๊มไฮดรอลิก เพื่อสร้างอัตราไหลในวงจรไฮดรอลิก และส่งต่อพลังงานกลโดยผ่านชุดกระบอกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic actuator) เพื่อดันโหลด (External load) โดยในระหว่างนั้นจะมีพลังงานที่สูญเสียออกมาสู่บรรยากาศ ในรูปของพลังงานความร้อน (Heat energy)

2.2 มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 2659-95 Standard Test Method for Column Crush Properties of Blown Thermoplastic Containers

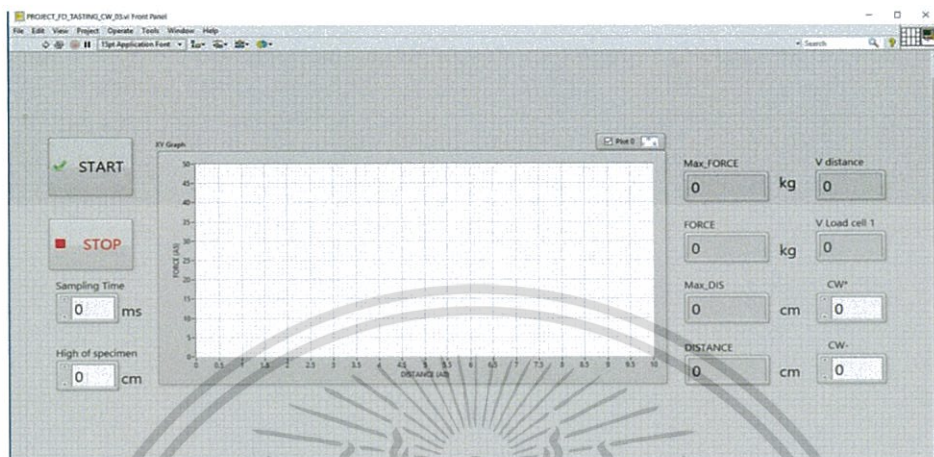
มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 2659-95 Standard Test Method for Column Crush Properties of Blown Thermoplastic Containers คือ มาตรฐานวิธีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของภาชนะเทอร์โมพลาสติก โดยจะศึกษาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวกับแรงกดอัดที่ทำให้ภาชนะพลาสติกเกิดการโก่งตัว และระยะโก่งตัวของภาชนะพลาสติก ที่ความเร็วในการทดสอบคงที่ โดยมีความเร็วในการทดสอบอยู่ในช่วง 12.5 mm/min – 50.00 mm/min

2.3 โปรแกรม LabVIEW

Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench หรือ LabVIEW เป็นโปรแกรมที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับเครื่องมือต่างๆ ที่อยู่ภายนอกผ่านบอร์ด Data Acquisition ใช้งานเป็น monitoring หรือในการควบคุมการวัดค่าต่างๆ เช่น strain อุณหภูมิ หรือสัญญาณอื่นๆ โดยมีตัวเซนเซอร์รับสัญญาณเข้ามา โดยเอาต์พุตที่ได้จากเซนเซอร์เหล่านี้จะมีค่าเป็นแรงดันหรือกระแส ซึ่ง LabVIEW สามารถอ่านค่าที่ผ่านเข้ามาทาง DAQ Card แล้วบันทึกค่าเป็นไฟล์ข้อมูลได้ ดังนั้นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

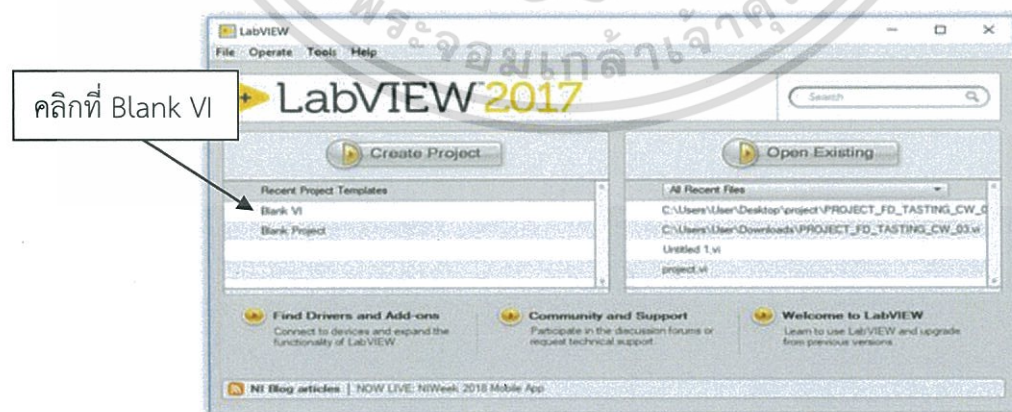
นำ LabVIEW ไปใช้จะต้องพิจารณาถึงวัตถุประสงค์และ application ที่จะใช้ก่อนว่ามี input เป็นอะไร และต้องการ output อะไร จากนั้นจึงทำการเลือก hardware ให้ตรงตามต้องการ



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างเครื่องมือวัดเสมือนที่สร้างจาก LabVIEW

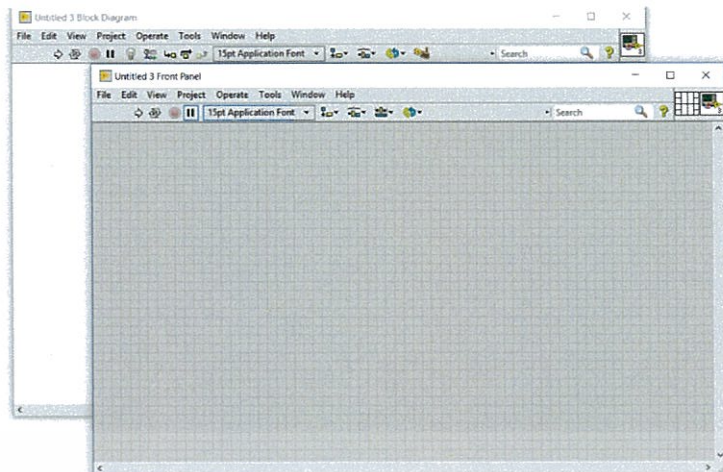
2.3.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของโปรแกรม LabVIEW

เมื่อเปิดโปรแกรม LabVIEW 2017 และคลิกที่ Blank VI รูปที่ 2.4 จะปรากฏหน้าต่าง 2 หน้าต่างขึ้นมาคือ หน้าต่างของ Front Panel และหน้าต่างของ Block Diagram รูปที่ 2.5 ซึ่งโปรแกรมที่เขียนขึ้นจากทั้ง 2 หน้าต่างนี้เรียกว่า VI หรือ Virtual Instrument ถ้าเปรียบเทียบกับโปรแกรมทั่วไปแล้วก็คือ ตัวโปรแกรมหลักนั่นเอง



รูปที่ 2.4 การเปิดโปรแกรม LabVIEW 2017

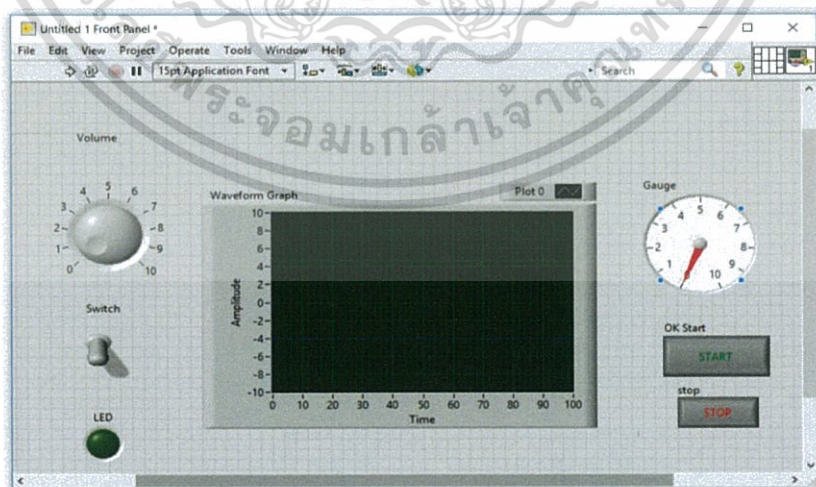
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 หน้าต่าง Front Panel และ Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW

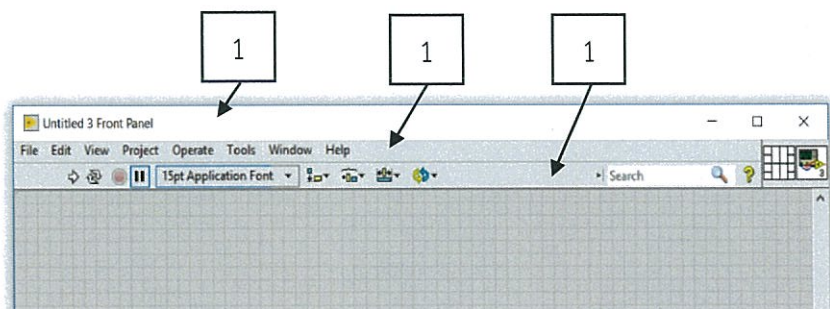
2.3.2 หน้าที่การทำงานของหน้าต่าง Front Panel และหน้าต่าง Block Diagram

2.3.2.1. Front Panel คือหน้าต่างที่ใช้สำหรับเป็นส่วนติดต่อระหว่างผู้ใช้ หรือที่เรียกว่า User Interface กับโปรแกรม ซึ่งหน้าต่างนี้ใช้สำหรับออกแบบหน้าปัดด้านหน้าของเครื่องมือวัดให้เหมือนกับหน้าปัดด้านหน้าของเครื่องมือวัดของจริง สามารถทำได้โดยนำเอาอุปกรณ์ที่ต้องการมาวางลงบนตำแหน่งใดๆ เช่น หลอดไฟแอลอีดี เกจแสดงค่า กราฟแสดงค่า โวลุ่มปรับค่าได้ สวิตช์เปิดปิด หรือ ปุ่ม เป็นต้น



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการออกแบบส่วนติดต่อระหว่างผู้ใช้ในหน้าต่าง Front Panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้








รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบต่างๆ ของหน้าต่าง Front Panel

จากรูปที่ 2.7 ในหน้าต่าง Front Panel จะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ (1) ส่วน Title Bar (2) ส่วน Menu bar (3) ส่วน Tool bar

Title bar จะบอกชื่อโปรแกรมที่กำลังพัฒนา เมื่อเปิดโปรแกรมครั้งแรก LabVIEW จะตั้งชื่ออัตโนมัติให้ก่อนโดยใช้ชื่อ Untitled 1 ดังนั้นถ้าเห็นชื่อ Untitled 1 แสดงอยู่ที่ Title Bar ซึ่งหมายถึงผู้ใช้นี้ยังไม่ได้มีการ save หรือตั้งชื่อโปรแกรม

Menu Bar คือเมนูการทำงานต่างๆ ซึ่งจะประกอบด้วย File Edit Operate Tools Browse Window และ Help เป็นต้น

Tools Bar คือเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการสั่งงานให้โปรแกรมทำงานหรือหยุดงานและการจัดระเบียบการวางอุปกรณ์ที่อยู่ในหน้าต่าง Front Panel ซึ่งจะประกอบด้วยปุ่มสั่งงานที่มีหน้าที่ต่างๆ

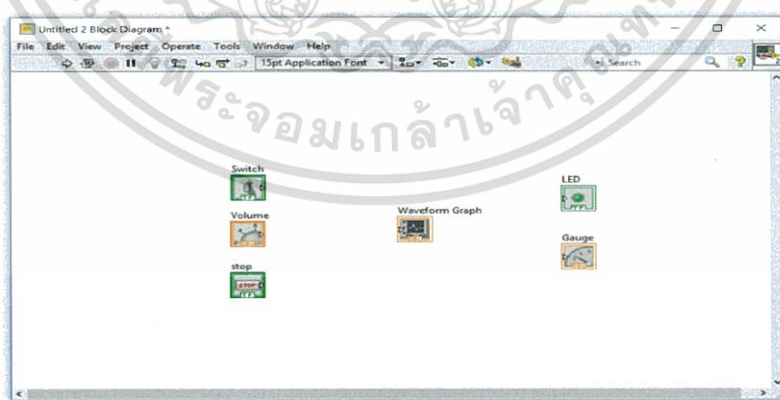
สัญลักษณ์	ชื่อ	หน้าที่
	Run	ปุ่มนี้ใช้สั่งให้โปรแกรมเริ่มทำงาน
	Running	แสดงว่าโปรแกรมกำลังทำงานอยู่
	List Errors	แสดงว่าโปรแกรมเกิดความผิดพลาดขึ้นมา เมื่อนำเมาส์ไปคลิกที่ปุ่มนี้จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์(Dialog box) แสดงรายละเอียดและคำอธิบายของความผิดพลาด
	Run Continuously	ปุ่มนี้ใช้สั่งงานให้โปรแกรมทำงานแบบต่อเนื่อง
	Running Continuously	แสดงว่าโปรแกรมกำลังทำงานแบบต่อเนื่องอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Abort Execution	ปุ่มนี้ใช้สั่งโปรแกรมให้หยุดทำงาน
	Pause	ปุ่มนี้ใช้สั่งให้โปรแกรมหยุดทำงานชั่วคราว
	Text Settings	ปุ่มกำหนดรูปแบบตัวอักษรหรือแก้ไขรูปแบบตัวอักษรตามที่ต้องการ
	Align Objects	ปุ่มจัดเรียงอุปกรณ์ให้อยู่ในแนวเดียวกัน
	Distribute Objects	ปุ่มจัดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ที่วางอยู่บน Front Panel
	Resize Objects	ปุ่มนี้ใช้ปรับขนาดอุปกรณ์ที่วางอยู่บน Front Panel
	Reorder	ปุ่มนี้ใช้จัดลำดับอุปกรณ์ที่วางซ้อนกัน
	Help	ปุ่มแสดงหน้าต่าง Context Help

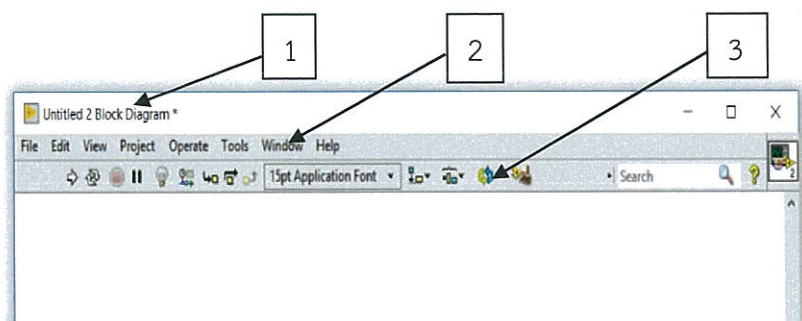
ตารางที่ 2.1 เครื่องมือต่างๆ ที่อยู่ภายใน Tool bar ของหน้าต่าง Front Panel

2.3.2.2. Block Diagram คือหน้าต่างที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมหรือซอร์สโค้ด การเขียนโปรแกรมของหน้าต่างนี้เป็นการนำอุปกรณ์ที่ได้จากการวางอุปกรณ์ในหน้าต่าง Front Panel ซึ่งอยู่ในรูป Block ที่เรียกว่า Icon รูปที่ 2.8 มาทำการต่อสายระหว่างไอคอนเข้าด้วยกันโดยให้เป็นไปตามการไหลของข้อมูล (Data Flow)



รูปที่ 2.8 ไอคอนของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ได้มีการออกแบบในหน้าต่าง Front Panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบต่างๆ ของหน้าต่าง Block Diagram

จากรูปที่ 2.9 ในหน้าต่างของ Block Diagram จะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ (1) ส่วนของ Title Bar (2) ส่วนของ Menu Bar (3) ส่วนของ Tool Bar ซึ่งเหมือนกับในหน้าต่างของ Front Panel

Title Bar มีความหมายเดียวกับ Title Bar ของหน้าต่าง Front Panel

Menu Bar มีความหมายเดียวกับ Menu Bar ของหน้าต่าง Front Panel

โดย LabVIEW อาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุมทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบตามที่ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ



รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานของ Block Diagram เครื่องมือวัดที่สร้างจาก LabVIEW

Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบในที่นี้คือ คอมพิวเตอร์โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนั้นอาจมาจากการ์ด DAQ (สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า)

Analysis หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้วอาจจะผ่านฟังก์ชัน ในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะ แสดงผล ในรูปที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้

Presentation คือ การแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงบนหน้า

จอคอมพิวเตอร์ เช่น DMM (Digital Multimeter) แสดงผลเฉพาะที่วัดได้โดยไม่จำเป็นต้องรู้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสำคัญกับเวลาหรือ Spectrum Analysis จะแสดงสัญญาณในรูปความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานหรือเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์

การประยุกต์ใช้งาน ปัจจุบัน LabVIEW เป็นที่นิยมกันมาก ซึ่งจะพบเห็นใช้งานระบบอุตสาหกรรมหลายแห่ง เนื่องจากพัฒนาโปรแกรมใช้งานได้ง่าย ไม่ซับซ้อน ใช้งานได้ดี มีประยุกต์ในงานนับไม่ถ้วน ทั้งใน NASA ,Boeing และอื่นๆ แม้แต่ในโรงงานอุตสาหกรรมชั้นนำเช่น Minibea ,Western digital , Seagate จนพูดได้ว่างานอะไรที่สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ หรือ PLC สั่งงาน,ติดต่อสื่อสาร, วัดค่า ด้วย Software LabVIEW สามารถเข้าไปช่วยงานได้ทั้งหมด

2.4 การออกแบบ และคำนวณเครื่องทดสอบแรงอัดวัสดุขนาด 1,000N



รูปที่ 2.11 วงจรไฮดรอลิกส์ที่ออกแบบ

จากรูปที่ 2.11 แสดงวงจรไฮดรอลิกส์เครื่องทดสอบวัสดุขนาด 1,000 N และมีความเร็วของการทดสอบสูงสุดที่ 0.000833m/s สามารถคำนวณ ขนาดของกระบอกสูบ ปัม และมอเตอร์ ได้ดังต่อไปนี้

เงื่อนไขเริ่มต้น : $F_{load} = 1,000 \text{ N}$, $V_{cyl} = 0.000833 \text{ m/s}$, ความดันในระบบ 260 kPa
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเชิงพาณิชย์ที่ออกจากรั้วมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{พื้นที่หน้าตัดกระบอกสูบ } A = \frac{F}{P} = \frac{1,000}{260,000} = 0.00384 \text{ m}^2$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = 0.00384 \text{ m}^2 \quad , D = 0.07 \text{ m}$$

เลือกใช้กระบอกสูบไฮดรอลิก Cylinder Bore = 7 cm, Rod = 4 cm, Stroke = 250 mm

อัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก $Q = AV = (0.00384)(0.00083)$

$$= 3.187 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

เลือกใช้ปั๊ม Volume displacement = 0.72 cm³/rev , อัตราไหล $Q_{\text{max}} = 1.667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ (1 lpm)

เลือกใช้ วาล์วควบคุม 4/3 center, lever, return และ Pressure relief valve โดยตั้งความดันที่ Pressure relief valve = 15,000 kPa

สมมติ ไม่คิด Loss ในกระบอกสูบ และวาล์วควบคุม ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไฮดรอลิก SG= 0.9

$$Q = C_v \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{SG}} \quad , C_v = Q \sqrt{\frac{SG}{P_1 - P_2}} = (3.187 \times 10^{-6}) \sqrt{\frac{0.9}{15,000,000 - 260,000}}$$

จะได้ค่า Capacity coefficient of Flow control valve $C_v = 7.875 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{Pa}^{1/2}$ ในการเลือก Flow control valve

คิดกำลังในส่วนต่าง ตั้ง Flow control valve = $3.187 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$,

Pressure relief valve = 15,000 kPa

- กำลังที่ใช้ในการดันโหลด $1,000 \text{ N} = P_{\text{cyl}} Q_{\text{cyl}} = (260,000 \text{ Pa})(3.187 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s})$
= 0.828 W

- กำลังที่เสียไปกับ PRV $P_{\text{pump}}(Q_{\text{pump}} - Q_{\text{cyl}}) = (15,000,000 \text{ Pa})(1.667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} - 3.187 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}) = 202.24 \text{ W}$

- กำลังที่เสียไปกับ Nozzle valve $(P_{\text{pump}} - P_{\text{load}})Q_{\text{cyl}} = (15,000,000 \text{ Pa} - 260,000 \text{ Pa})(3.187 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}) = 46.97 \text{ W}$

- กำลังทั้งหมดที่ปั๊มผลิตออกมา = $P_{\text{pump}}Q_{\text{pump}} = (15,000,000 \text{ Pa})(1.667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}) = 250.05 \text{ W}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าจาก กำลังที่ใช้ในการดันโหลด1,000N กำลังที่เสียไปกับ Pressure relief valve และ กำลังที่เสียไปกับ Nozzle valve มีผลรวมกันเท่ากับกำลังทั้งหมดที่ปั๊มผลิตออกมา

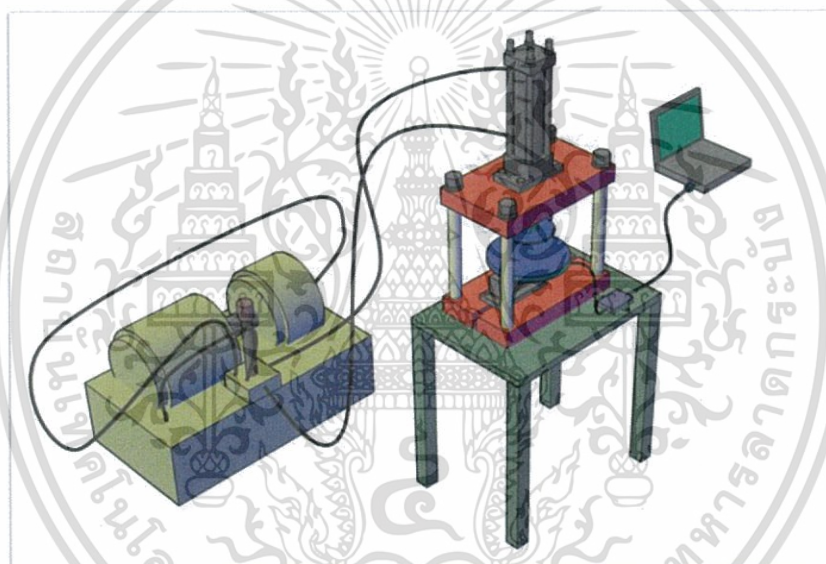
สมมติ ประสิทธิภาพของปั๊ม และมอเตอร์ $\eta = 100\%$ และมี safety factor 20%

$$\text{กำลังของมอเตอร์ไฟฟ้า} = PQ + \text{Safety Factor} = 233.33 + 0.2(233.33)$$

$$= 279.99 \text{ W} = 0.279\text{kW} = 0.375\text{HP}$$

โดยการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้จะมีค่า Power rating (industrial standard motor)

Min = 0.25 kW, Max = 0.55 kW

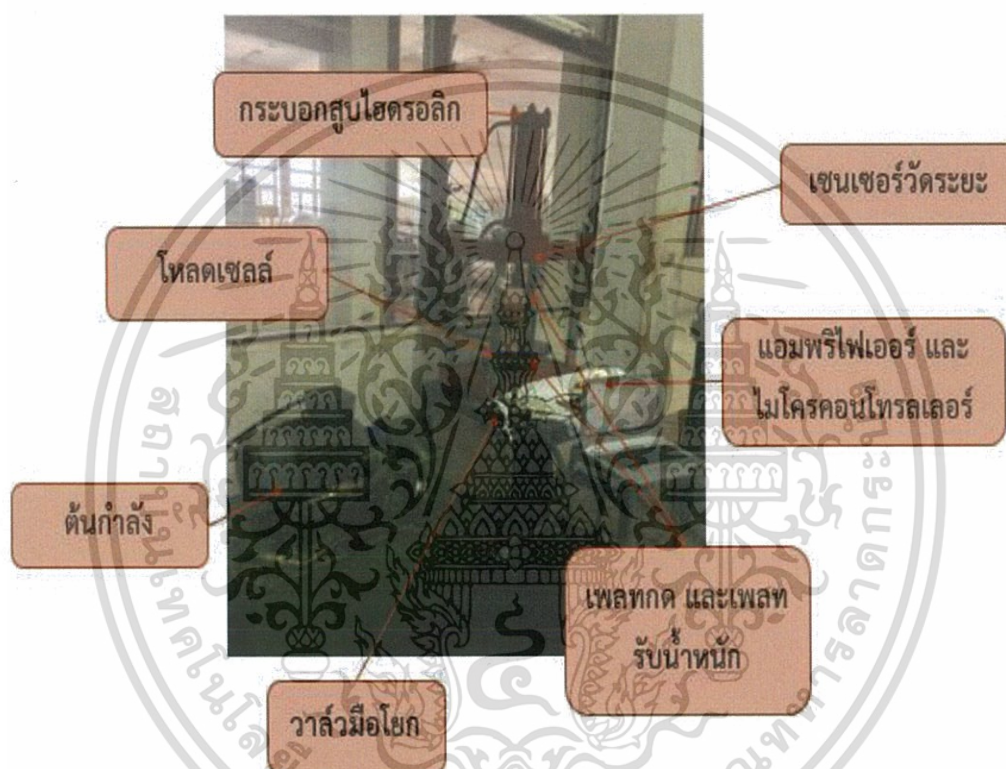


รูปที่ 2.12 แสดงเครื่องทดสอบแรงอัดวัสดุที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบแรงอัดระบบด้วยไฮดรอลิก

เครื่องทดสอบการต้านแรงอัดระบบไฮดรอลิก ประกอบด้วย (1) ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก (2) วาล์วปรับอัตราการไหลและเกจวัดความดัน (3) วาล์วควบคุมทิศทาง (4) กระบอกลูกสูบไฮดรอลิก (5) ชุดโหลดเซลล์ (6) โมดูลโหลดเซลล์แอมพลิไฟเออร์ (7) เซ็นเซอร์วัดระยะ และ (8) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 รูปแสดงส่วนประกอบเครื่องทดสอบแรงอัดด้วยระบบไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิกและวาล์วควบคุมทิศทาง



รูปที่ 2.14 ชุดต้นกำลัง

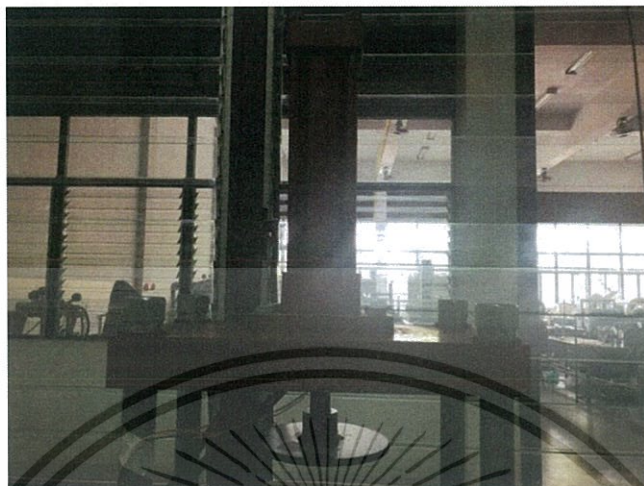


รูปที่ 2.15 วาล์วควบคุมทิศทาง

จากรูป 2.14 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก ประกอบด้วย (1) ถังเก็บน้ำมัน มีหน้าที่กักเก็บน้ำมันและส่งน้ำมันไฮดรอลิกเข้าสู่ระบบ (2) มอเตอร์ไฟฟ้าและเกียร์ทดกำลัง มีหน้าที่ขับและส่งกำลังไปให้ปั๊ม (3) ปั๊ม มีหน้าที่สร้างอัตราการไหล (4) วาล์วปรับอัตราการไหล มีหน้าที่ควบคุมปริมาณการไหลของน้ำมัน โดยความดันที่เกิดขึ้นจะไปแสดงใน (5) เกจวัดความดัน โดยค่าความดันจะขึ้นอยู่กับโหลดที่ได้รับ

จากรูป 2.15 (6) วาล์วควบคุมทิศทางแบบง่ายโดยใช้มือโยก ใช้ควบคุมทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่เข้า-ออก ของก้านสูบ

2.5.2 ครอบอกสูบไฮดรอลิก



รูปที่ 2.16 ชุดครอบอกสูบไฮดรอลิก

จากรูป 2.16 ครอบอกสูบไฮดรอลิก มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานการไหลเป็นพลังงานกล เป็น ครอบอกสูบทางแบบ 2 ทิศทาง มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในครอบอกสูบ 7 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 4 เซนติเมตร ระยะชัก 24.5 เซนติเมตร และติดตั้งตัวกดทรงครอบอกสูบตันเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร

2.5.3 โหลดเซลล์



รูปที่ 2.17 โหลดเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.17 เซ็นเซอร์วัดน้ำหนักโพลดเซลล์ชนิด Beam sensor ช่วง 0-100 กิโลกรัม ขนาดโพล 150*35*40mm ลักษณะการรองรับน้ำหนักแบบจุดเดียว เป็นเซ็นเซอร์วัดแรงผลิตจาก สเตรนเกจ เปลี่ยนเอาต์พุตเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดต่างๆดังนี้ แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 2.0 ± 0.1 mV/V, ค่า Non-linearity 0.02 %FS, ค่า Non-repeatability 0.01 %FS การต่อใช้งานกับวงจรในช่วงแรงดัน :9—12(DC) V ซึ่งมีค่าความต้านทานอินพุต 406 ± 10 Ω และค่าความต้านทานเอาต์พุต 350 ± 3.5 Ω ความสามารถในการทนน้ำหนักเกิน: 120 %FS ความสามารถในการทนน้ำหนักเกินสูงสุด 150 %FS ซึ่งจะประกอบรวมกับฐานรับแรงเสี้ยนผ่านศูนย์กลางยาว 28 เซนติเมตร หน้า 2 เซนติเมตร

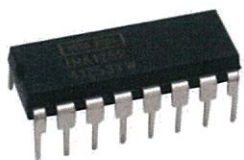
2.5.4 เซ็นเซอร์วัดระยะ



รูปที่ 2.18 เซ็นเซอร์วัดระยะ

จากรูป 2.18 เซ็นเซอร์วัดระยะ Infrared Sensor Sharp GP2Y0A41SK เป็นเซ็นเซอร์วัดระยะทางโดยใช้หลักการสะท้อนของรังสีอินฟราเรด มีระยะการวัดในช่วง 4-30 เซนติเมตร แรงดันไฟฟ้าในการใช้งานในช่วง 4.5 V ถึง 5.5 V ใช้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 12 mA แรงดันเอาต์พุตที่ออกมาจะเป็นอนาล็อกโวลเทต เวลาที่ใช้ในการตอบสนองเท่ากับ 16 ± 4 มิลลิวินาที และมีค่าความละเอียดเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร

2.5.5 โมดูลโหนดเซลล์แอมป์ไฟเออร์ และบอร์ดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.19 โมดูลโหนดเซลล์แอมป์ไฟเออร์

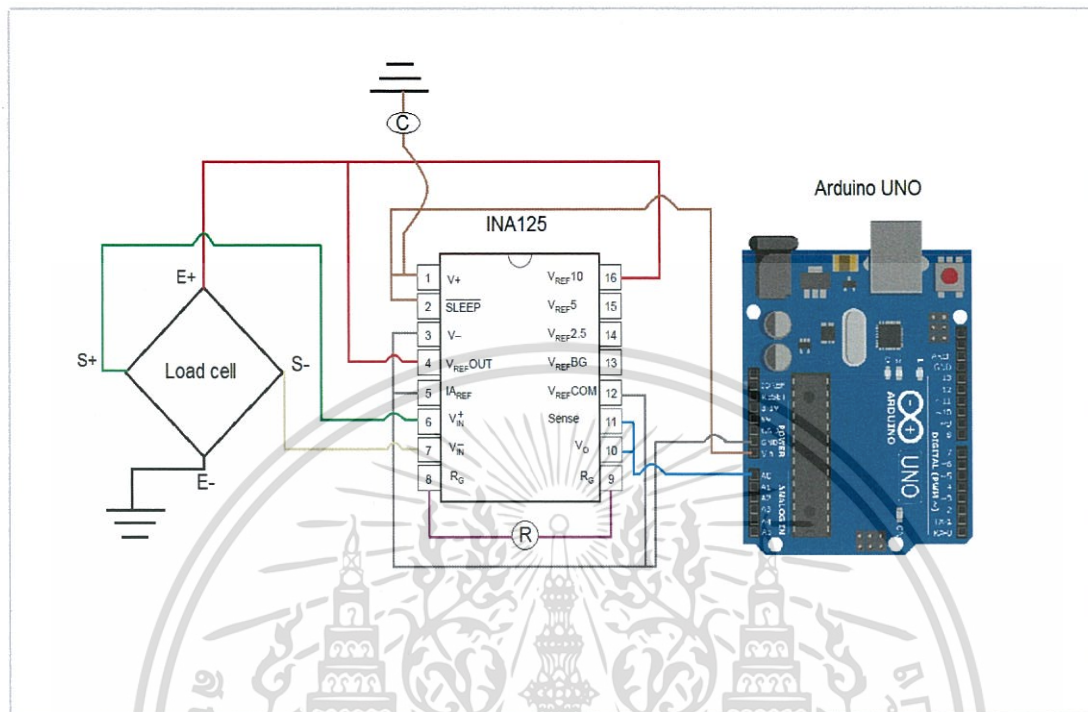


รูปที่ 2.20 บอร์ดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรูป 2.19 โมดูลโหนดเซลล์แอมป์ไฟเออร์ มีหน้าที่รับสัญญาณจากโหนดเซลล์และแปลงสัญญาณเข้าสู่ รูป 2.20 บอร์ดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno และส่งสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์ผ่านทางสาย USB โดยโมดูลโหนดเซลล์แอมป์ไฟเออร์ จะต่อรวมอยู่กับตัวเก็บประจุ $0.1 \mu\text{F}/25\text{V}$ เพื่อไว้ใช้กรองสัญญาณ และต่อกับ ตัวต้านทานปรับค่าได้ $1 \text{ k}\Omega$ เพื่อแบ่งแรงดัน และจะทำการต่อ Adapter 12V 2A ไปที่ช่องรูแจ็คของ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno เนื่องจาก พอร์ต USB จะจ่ายไฟได้เพียง 5V ซึ่งโหนดเซลล์ที่ใช้ มีความต้องการแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม $9 \text{ VDC} \sim 12 \text{ VDC}$

2.6 การต่อวงจรของโหลดเซลล์และเซ็นเซอร์วัดระยะทาง

2.6.1 การต่อวงจรของโหลดเซลล์



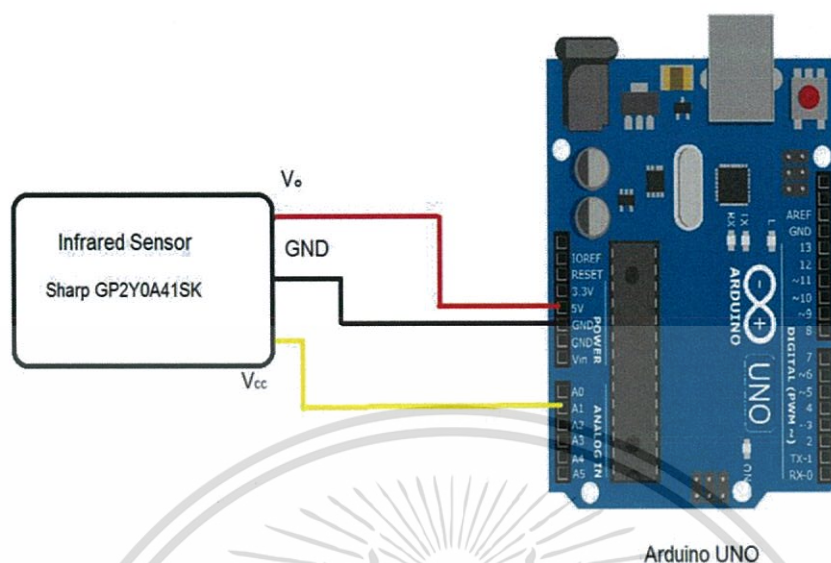
รูปที่ 2.21 แสดงการต่อวงจรโหลดเซลล์

จากรูป 2.21 แสดงการต่อวงจรของโหลดเซลล์กับ Module load cell amplifier INA125 และต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO

1. ต่อสายโหลดเซลล์ E+ เข้าไปที่ พอร์ต 4 และพอร์ต 10 ของ INA125 เนื่องจากโหลดเซลล์ที่ใช้มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม 9VDC~12VDC และต่อสาย E+ ลงกราว
2. ต่อสาย S+ ไปที่พอร์ต 6 และสาย S- ไปที่พอร์ต 7 ของ INA125 โดย 2 สายนี้เปรียบเสมือนตัวส่ง Vout put
3. ต่อพอร์ต 1 และ 2 ของ INA125 ไปที่พอร์ต Vin ของ Arduino UNO
4. ต่อพอร์ต 3 5 และ 12 ของ INA125 ไปที่พอร์ต GND ของ Arduino UNO
5. ต่อพอร์ต 10 และ 11 ของ INA125 ไปที่ Analog pin A0 ของ Arduino UNO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การต่อวงจรเซ็นเซอร์วัดระยะ



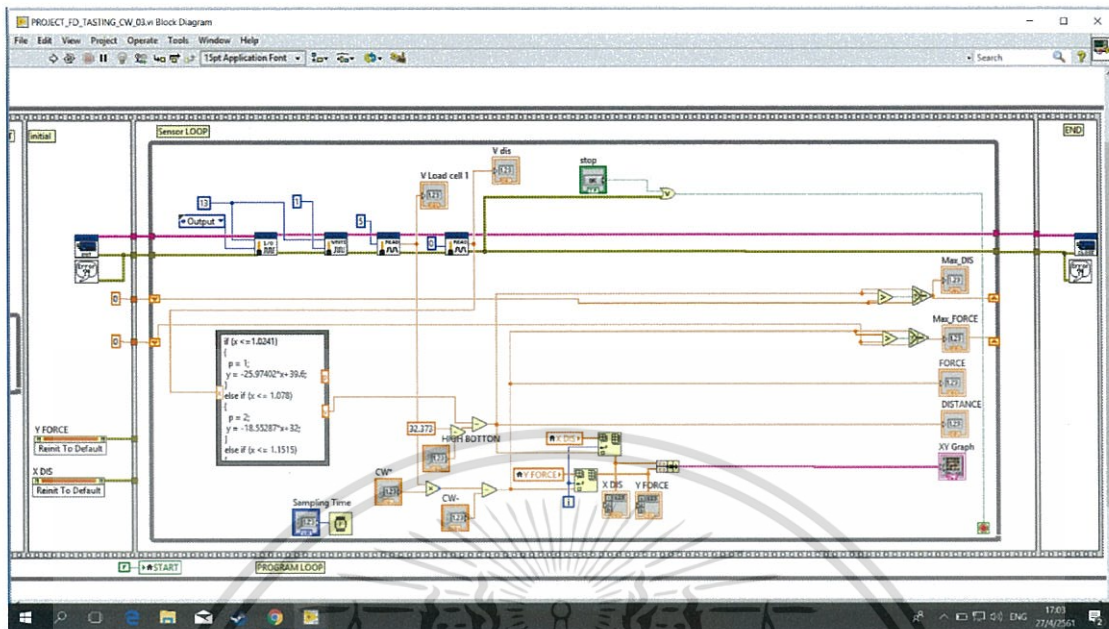
รูป 2.22 แสดงการต่อวงจรเซ็นเซอร์ระยะทาง

จากรูป 2.22 แสดงการต่อวงจรของเซ็นเซอร์วัดระยะ Infrared Sensor Sharp GP2Y0A41K กับ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO

1. ต่อสาย V_o ไปที่พอร์ท 5V ของ Arduino เนื่องจากเซ็นเซอร์วัดระยะมีค่า operating voltage: 4.5 V to 5.5 V
2. ต่อสาย V_{cc} ไปที่ Analog pin A1 ของ Arduino UNO เนื่องจากเซ็นเซอร์วัดระยะมี output type เป็น analog voltage
3. ต่อสาย GND ไปที่พอร์ท GND ของ Arduino UNO

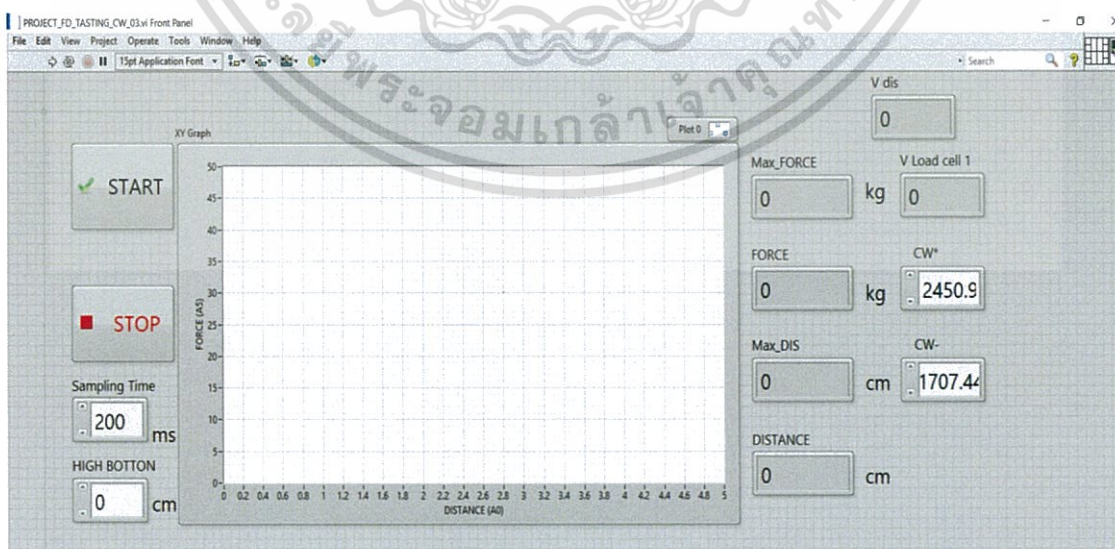
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การเชื่อมต่อและการใช้งานโปรแกรม



รูปที่ 2.23 แสดง Block diagram ของโปรแกรม LabVIEW

จากรูป 2.23 แสดง Block diagram ไมโครคอนโทรลเลอร์ รับแรงดันไฟฟ้าจาก โหลดเซลล์ และเซ็นเซอร์ระยะทาง ทำการเลือก Analog pin ที่อ่านค่า และส่งค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละ Analog pin นำไปคาลิเบรทเพื่อให้ได้ค่าที่มีความถูกต้อง และส่งค่าที่แล้ว นำไปพล็อตแสดงผลเป็น Interface XY Graph



รูปที่ 2.24 แสดง Interface ของโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.24 แสดง Interface ที่จำเป็นต่อการใช้งาน เช่น ค่าความดันไฟฟ้าของโพลดเซลล์ และเซ็นเซอร์วัดระยะทาง ค่าแรงปัจจุบันและแรงกดสูงสุดขณะเครื่องดำเนินงาน ค่าระยะยุดตัวของวัสดุทดสอบ และยังมีช่องให้ใส่ค่าตัวแปรเพื่อคาลิเบรทโพลดเซลล์ ใส่ค่า Sampling time เพื่อเลือกเวลาในการสุ่มค่าตัวอย่างในการวัด และใส่ค่าความสูงของบรรจุภัณฑ์ ที่จะนำมาทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดสอบและวิธีการทดสอบแรงอัด

3.1 มาตรฐานในการทดสอบ

การทดสอบความต้านทานแรงอัดของบรรจุภัณฑ์พลาสติก ได้ทำการทดสอบโดยอ้างอิงจาก มาตรฐานการทดสอบทดสอบ ASTM D 2659-95 Standard Test Method for Column Crush Properties of Blown Thermoplastic Containers มาตรฐานวิธีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของภาชนะเทอร์โมพลาสติก โดยจะศึกษาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวกับแรงกดอัดที่ทำให้ภาชนะพลาสติกเกิดการโก่งตัว และระยะโก่งตัวของภาชนะพลาสติก ที่ความเร็วในการทดสอบคงที่ โดยมีความเร็วในการทดสอบอยู่ในช่วง 12.5 mm/min – 50.00 mm/min โดยในการทดสอบนี้ได้เลือกความเร็วการทดสอบหรือความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกอยู่ที่ 30.3 mm/min ทดสอบกับบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติกขนาด 600 มิลลิลิตร ทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ที่สภาวะและความเร็วในการทดสอบเดียวกัน เพื่อนำมาศึกษาพฤติกรรมความสัมพันธ์ของแรงอัดที่กระทำต่อภาชนะพลาสติกต่อระยะยุบตัว และหาค่าแรงอัดสูงสุดที่สามารถภาชนะรับได้ก่อนเกิดการโก่งตัว และระยะที่ยุบลงไปในขณะที่เกิดแรงอัดสูงสุด การทดสอบนี้จะศึกษาเฉพาะคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ ซึ่งจะไม่เกี่ยวข้องกับแรงที่ทำให้วัสดุเกิดความเสียหาย

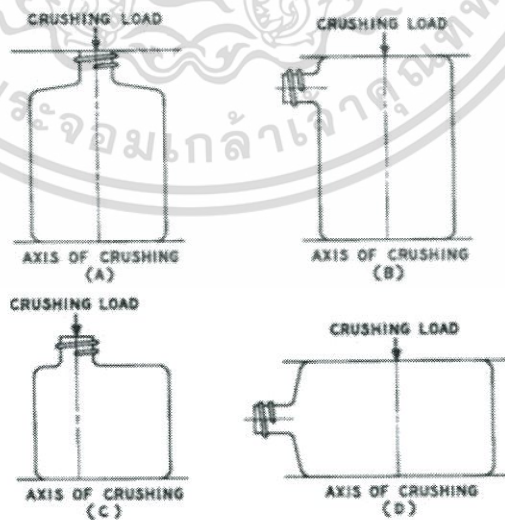


FIG. 1 Typical Crushing Axes

รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการทดสอบจากมาตรฐาน ASTM D 2659-95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่นำมาทดสอบ

บรรจุภัณฑ์ที่ได้มานำมาทดสอบนี้คือ บรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติกขนาด 600 มิลลิลิตร สูง 24 เซนติเมตร มีคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานดังนี้ ผลิตจากพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเทรฟธาเลท มีค่ายังโมดูลัส $E=3,300$ MPa, ความหนาแน่น $\rho = 1,370$ kg/m³ , $\nu = 0.43$ โดยได้นำมาทดสอบทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ตามที่มาตรฐานการทดสอบได้กำหนดไว้ข้างต้น



รูปที่ 3.2 แสดงภาชนะขวดพลาสติกที่นำมาทดสอบ

3.3 วิธีการทดสอบ

การทดสอบความสัมพันธ์ของแรงและระยะยุบตัวของบรรจุภัณฑ์ เพื่อหาแรงอัดสูงสุด และระยะยุบตัวของภาชนะพลาสติกที่แรงอัดสูงสุด

- 3.3.1. วัดขนาดความสูง และปริมาตร ของภาชนะที่นำมาทดสอบ
- 3.3.2. วัดค่าน้ำหนักจริงของภาชนะก่อนเริ่มทำการทดสอบ และเซตค่าที่โหลดเซลล์เป็น ศูนย์
- 3.3.3. เริ่มทำการทดสอบโดยมีความเร็วระบอบกสูบคงที่ในช่วง 12.5mm/min – 50mm/min จนวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง
- 3.3.4. สังเกตพฤติกรรมกราฟแรงอัดต่อระยะยุบตัว
- 3.3.5. หาค่า Crushing yield load และ Deflection at Crushing yield load ของภาชนะ

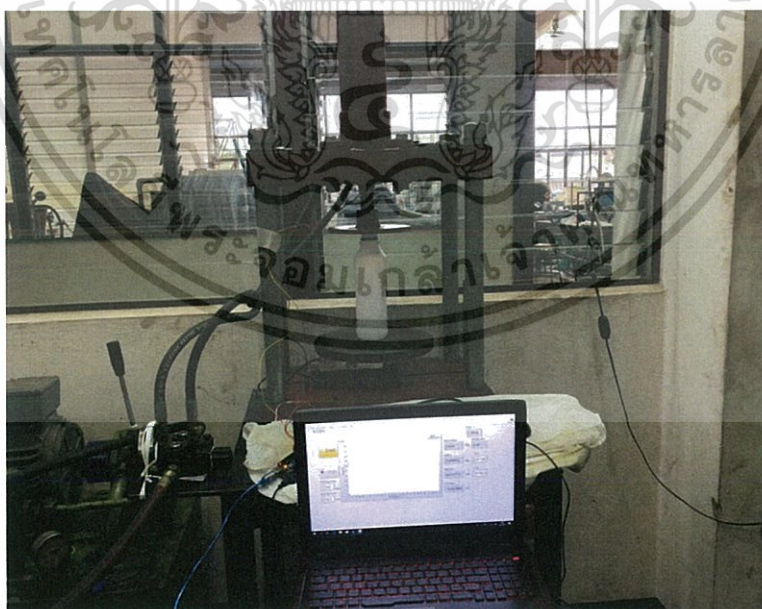
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6. ทำการทดสอบซ้ำทั้งหมด 4 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยค่า Crushing yield load และ Deflection at Crushing yield load ของภาชนะพลาสติก

3.3.7. นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องที่มาตราฐาน

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบ

บรรจุภัณฑ์	Crushing yield load (Kg)	Deflection at Crushing yield load (Cm)
1		
2		
3		
4		
ค่าเฉลี่ย		



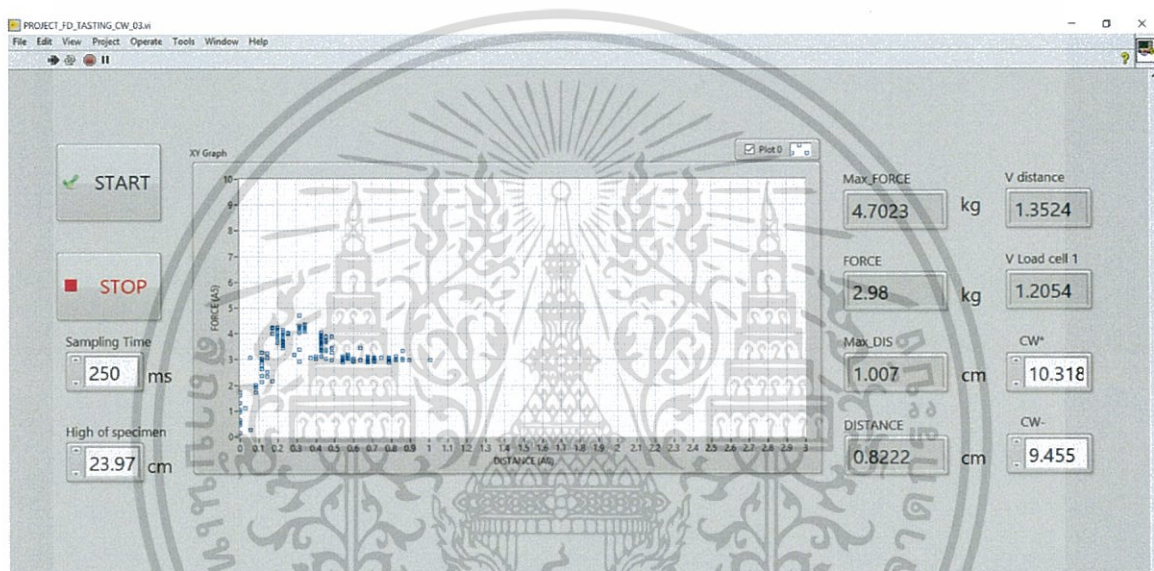
รูปที่ 3.3 แสดงภาชนะพลาสติกขณะเริ่มการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของแรงและระยะยุบตัวของภาชนะพลาสติก

ในส่วนนี้จะแสดงผลการทดลองเครื่องทดสอบ โดยจะใช้ความเร็วของลูกสูบคงที่ 30.3 มิลลิเมตร ต่อนาที และใช้ภาชนะที่นำมาทดสอบเป็นขวดน้ำพลาสติกปริมาตร 600 มิลลิลิตร สูง 24 เซนติเมตร โดยจะแสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่า Crushing load และ ค่า Deflection ทั้ง 4 ครั้ง และนำค่าเฉลี่ยไปเปรียบเทียบกับเครื่องที่ได้มาตรฐาน

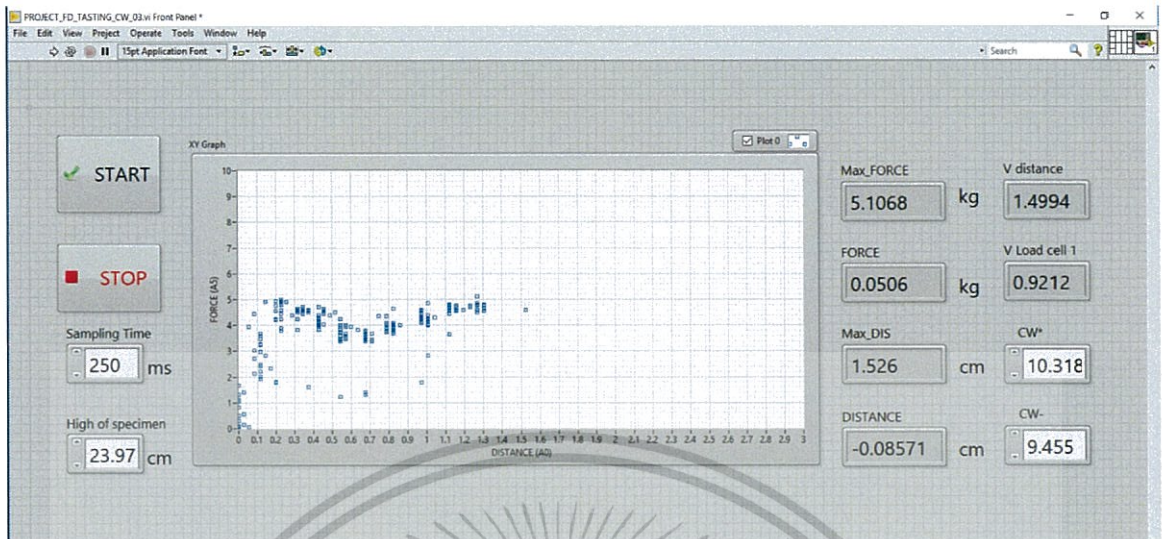
3.4.1 การทดสอบภาชนะขวดที่ 1



รูปที่ 3.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์แรงกดกับระยะยุบตัวของภาชนะขวดที่ 1

จากรูปที่ 3.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์แรงกดกับระยะยุบตัวของภาชนะขวดที่ 1 ได้ค่า Crushing yield load เท่ากับ 4.65 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 45.6 นิวตัน และค่า Deflection at crushing yield load เท่ากับ 0.34 เซนติเมตร

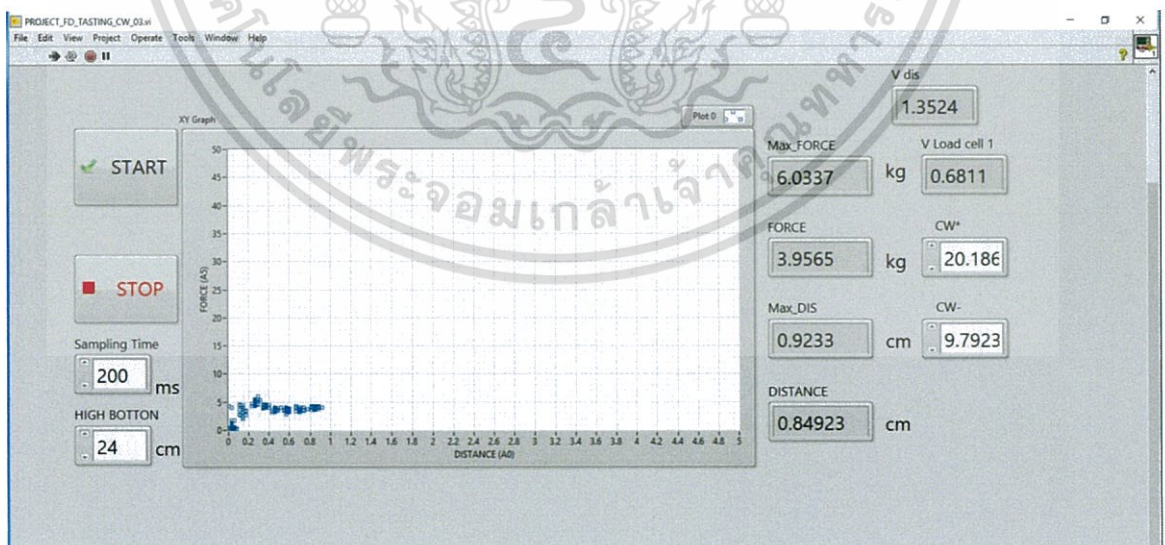
3.4.2 การทดสอบภาชนะชั้นที่ 2



รูปที่ 3.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์แรงกดกับระยะยุบตัวของภาชนะชนิดที่ 2

จากรูปที่ 3.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์แรงกดกับระยะยุบตัวของภาชนะชนิดที่ 2 ได้ค่า Crushing yield load เท่ากับ 4.14 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 40.6 นิวตันและค่า Deflection at crushing yield load เท่ากับ 0.22 เซนติเมตร

3.4.3 การทดสอบภาชนะชั้นที่ 3

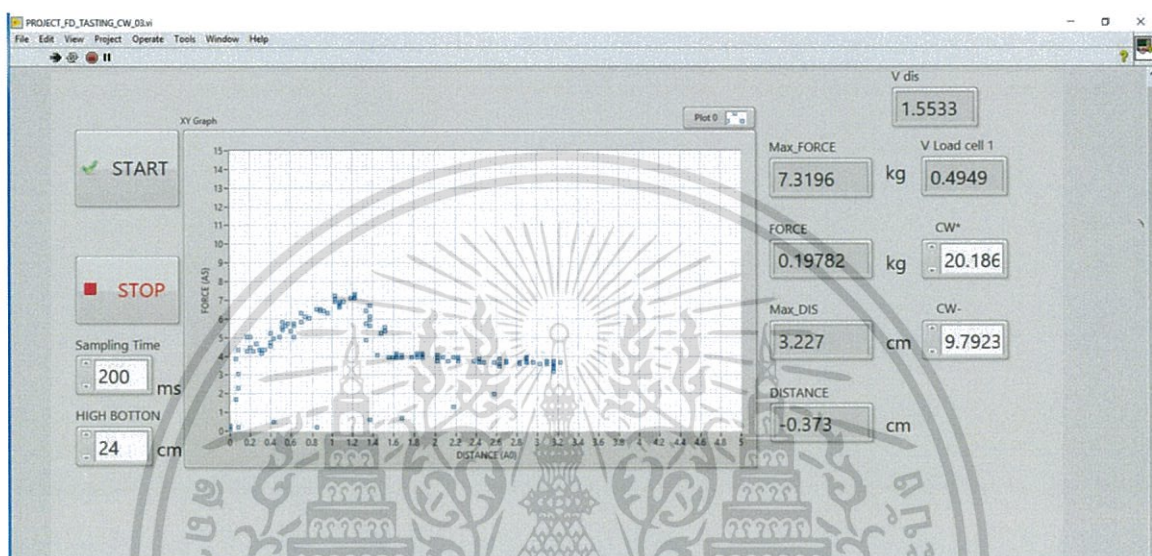


รูปที่ 3.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์แรงกดกับระยะยุบตัวของภาชนะชนิดที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์แรงกดกับระยะยุบตัวของภาชนะชนิดที่ 3 ได้ค่า Crushing yield load เท่ากับ 6.03 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 59.1 นิวตัน และค่า Deflection at crushing yield load เท่ากับ 0.28 เซนติเมตร

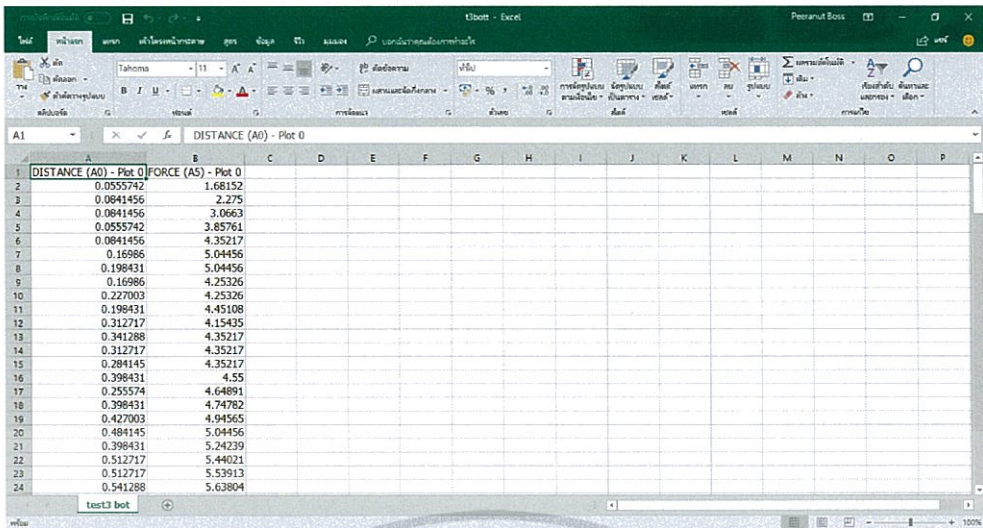
3.4.4 การทดสอบภาชนะชนิดที่ 4



รูปที่ 3.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์แรงกดกับระยะยุบตัวของภาชนะชนิดที่ 4

จากรูปที่ 3.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์แรงกดกับระยะยุบตัวของภาชนะชนิดที่ 4 ได้ค่า Crushing yield load เท่ากับ 5.04 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 49.4 นิวตัน และค่า Deflection at crushing yield load เท่ากับ 0.19 เซนติเมตร

กราฟความสัมพันธ์แรงกดกับระยะยุบตัวของภาชนะแต่ละชนิด จะเห็นว่าในการทดสอบค่าข้อมูลบางค่าจะมีความกว้าง ดังนั้นจึงต้อง Export ค่าข้อมูลเข้าไปในโปรแกรม Excel รูปที่ 3.8 เพื่อหาค่าจริงที่ไม่เกิดการแกว่ง ได้ค่าข้อมูลบันทึกลงในตารางที่ 3.1



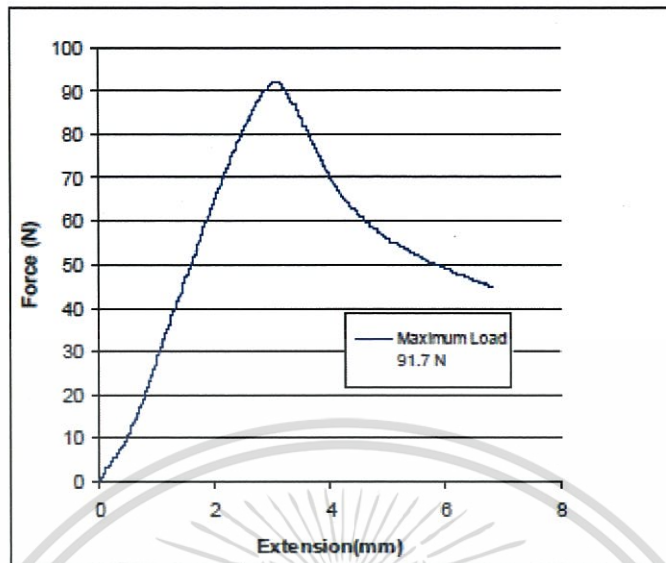
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการ Export ข้อมูลจาก XY Graph

ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบ

ภาชนะขวด	Crushing yield load (Kg)	Deflection at Crushing yield load (Cm)
1	4.65	0.34
2	4.14	0.22
3	6.03	0.28
4	5.04	0.19
ค่าเฉลี่ย	4.965	0.257

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ผลการทดสอบจากเครื่องที่ได้มาตรฐาน



รูปที่ 3.9 ข้อมูลผลจากการทดสอบจาก บริษัทพีริซัน พลาสติก จำกัด

จากรูปที่ 3.9 ข้อมูลผลจากการทดสอบจาก บริษัทพีริซัน พลาสติก ทดสอบขวดพลาสติกชนิดเดียวกัน ขนาด 600 มิลลิลิตร ได้ค่าแรงที่ทำในบรรจุภัณฑ์โค้งงอเท่ากับ 91.7 นิวตัน หรือเท่ากับ 9.43 กิโลกรัม และมีระยะโค้งงอเท่ากับ 3.08 มิลลิเมตร

บทที่ 4

สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

4.1 คุณสมบัติของเครื่องทดสอบการต้านทานแรงอัดที่สร้าง

เครื่องทดสอบการต้านทานแรงอัดที่สร้างขึ้นสามารถทดสอบวัสดุที่มีค่าการต้านทานแรงอัดไม่เกิน 1,000 นิวตัน และสามารถควบคุมความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกที่กดวัสดุให้อยู่ในช่วง 12.5 มิลลิเมตรต่อนาที ถึง 50.0 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งเท่ากับช่วงความเร็วของการทดสอบ และจากเซ็นเซอร์วัดระยะที่ใช้มีความละเอียด 0.1 มิลลิเมตร ทำให้สามารถตั้งเวลาในการสุ่มค่าจากการทดสอบอยู่ในช่วงประมาณ 125 มิลลิวินาที ถึง 500 มิลลิวินาที ตามความเร็วการทดสอบที่เลือกใช้

4.2 การทดสอบความสัมพันธ์ของแรงและระยะยุบตัวของบรรจุภัณฑ์

จากการทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D2595-95 โดยใช้ความเร็วของลูกสูบกดด้วยความเร็วคงที่เท่ากับ 30.3 มิลลิเมตรต่อนาที ทดสอบกับภาชนะขวดน้ำพลาสติกปริมาตร 600 มิลลิตร โดยทดสอบทั้งหมด 4 ครั้ง ได้ค่าแรงสูงสุด และระยะที่ภาชนะยุบตัวที่ค่าแรงสูงสุด ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแรงกดสูงสุด และระยะที่ภาชนะยุบตัว

ภาชนะขวด	Crushing yield load (Kg)	Deflection at Crushing yield load (Cm)
1	4.65	0.34
2	4.14	0.22
3	6.03	0.28
4	5.04	0.19
ค่าเฉลี่ย	4.965	0.257

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ยแรงกดสูงสุดที่กระทำต่อภาชนะเท่ากับ 4.96 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 48.6 นิวตัน และระยะที่ภาชนะยุบตัวเท่ากับ 0.257 เซนติเมตร หรือเท่ากับ 2.57 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ การทดสอบด้วยเครื่องที่ได้มาตรฐานจากบริษัทพีริซัน พลาสติก จำกัด ทดสอบขวดพลาสติกชนิดเดียวกัน ขนาด 600 มิลลิเมตร ได้ค่าแรงที่ทำให้ภาชนะโก่งงอเท่ากับ 91.7 นิวตัน หรือเท่ากับ 9.43 กิโลกรัม และมีระยะโก่งงอเท่ากับ 3.08 มิลลิเมตร

4.3 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าที่ได้จาก XY Graph จะมีความไม่ต่อเนื่องเนื่องจากเกิดการแกว่งของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าของทั้งโพลดเซลล์ และเซ็นเซอร์วัดระยะทาง และเกิดจากค่าความละเอียดของเซ็นเซอร์ที่ใช้มีความละเอียดต่ำจึงทำให้เกิดเหตุการณ์นี้ขึ้น ส่วนค่าแรงที่ทำให้ภาชนะโก่งงอ และค่าระยะโก่งงอของภาชนะ จะเห็นว่าค่าที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากภาชนะพลาสติกที่นำมาทดสอบนั้นได้ผ่านการบรรจุของเหลวลงไปแล้ว ซึ่งอาจจะทำให้คุณสมบัติความแข็งแรงของขวดมีค่าเปลี่ยนไปจากเดิม ส่งผลให้เกิดค่าความผิดพลาดที่สูง

บรรณานุกรม

- [1] วิภาส นิติวรภัทร, มนศักดิ์ พิมสาร. การวิเคราะห์แรงโก่งงอของขวดน้ำพลาสติก PET. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่23, 2552
- [2] สัจจาทิพย์ ทศนีย์พันธุ์, ชาคริต สุวรรณจำรัส, การยู่ตัวของกระป๋องพลาสติกบรรจุของเหลวภายใต้ภาระด้านบนโดยวิธี FEA. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18,มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น, 2547
- [3] คณิต อรรถรรณโหมทัย, สัจจาทิพย์ ทศนีย์พันธุ์. การจำลองการยู่ตัวของขวด PET ที่มีรูปทรงผนังไม่สม่ำเสมอภายใต้การทดสอบภาระด้านบนแบบสถิตย์และพลวัต
- [4] ทิพากร พรพันธุ์ไพบุลย์, อิทธิพลของรูปทรงต่อความแข็งแรงของขวดพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548
- [5] ASTM D2595-95, Standard Test Method for Column Crush Properties of Blown Thermoplastic Containers, 2001



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการต้านทานแรงอัดของวัสดุด้วยระบบไฮดรอลิก

DESIGN AND CONSTRUCTION OF HYDRAULIC COMPRESSION TESTING MACHINE

นรเศรษฐ์ สงยัง รหัส 57010663 และ นายสกล ปัดสำราญ รหัส 57011290

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท
(รศ.ดร. จำลอง ปราบแก้ว)

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้ภาชนะพลาสติกกันอย่างแพร่หลาย และจำเป็นต้องมีการซอันทับกันในการขนส่ง จึงต้องการจะศึกษาการต้านทานแรงอัด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุจากความเสียหาย เนื่องจากเครื่องทดสอบประเภทนี้มีราคาแพง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงทำการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการต้านทานแรงอัดของวัสดุด้วยระบบไฮดรอลิก มาทดสอบเพื่อหาแรงสูงสุดที่ภาชนะพลาสติกโก่งงอ และระยะโก่งงอของภาชนะพลาสติก โดยใช้ต้นกำลังและกระบอกสูบไฮดรอลิกในการควบคุมความเร็วในการกด โหลดเซลล์ในการวัดค่าแรง และเซ็นเซอร์วัดระยะในการวัดค่าระยะโก่งตัว และส่งค่าเข้าสู่คอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมLabVIEW เพื่อใช้สังเกตพฤติกรรมความสัมพันธ์ของแรงที่กด กับระยะโก่งงอ สำหรับเครื่องทดสอบแรงอัดด้วยระบบไฮดรอลิกนั้นใช้ภาชนะพลาสติก มาเพื่อทดสอบเบื้องต้นเท่านั้น เครื่องทดสอบนี้ยังสามารถทดสอบกับวัสดุอื่นๆ ที่ต้องการหาความต้านทานแรงอัดและระยะยุบตัวได้อีกหลายอย่าง เช่น โฟม อิฐ แก้ว กระจก เป็นต้น

Abstract

Nowadays, physical properties testing of material is important because compressed resistance testing of material for efficient using material and protect material to corrupt. Testing equipment must import from foreign which is expensive. My project will create testing machine to test compressed resistance force and deflection of material by improve with hydraulic cylinder. Test equipment consists of hydraulic cylinder, load cell sensor which measure force and distance sensor which measure subsidence distance. After testing, data is sent to computer through LABVIEW program for notice behavior between compressed force and subsidence distance of material. This testing follows as ASTM D 2659-95 standard that is testing of compressed resistance of thermoplastic containers with constant compressed velocity. My project choose velocity at 30.3 mm/min because limitation of equipment. Material in this testing is thermoplastic container volume 600 ml. The result show relationship between compressed force and deflection to fine crushing yield load and deflection at crushing yield load.

1. บทนำ

ปัจจุบันในประเทศไทยมีการใช้ภาชนะพลาสติกกันอย่างแพร่หลาย โดยแต่ประเภทและขนาดจะมีคุณสมบัติ ความแข็งแรง ความต้านทานแรงอัดต่างกันออกไป การศึกษาคุณสมบัติ ความแข็งแรง ความต้านทานแรงอัดจึงมีความสำคัญ

เพราะวัสดุเหล่านี้มีการนำไปใช้งานในการรับน้ำหนักหรือซอันทับกันขณะเวลาขนส่ง การทำเครื่องทดสอบการต้านทานแรงอัดของวัสดุด้วยระบบไฮดรอลิกขึ้นมานั้นก็เพื่อที่จะนำมาใช้ทดสอบการต้านทานแรงอัดและระยะยุบตัวของวัสดุ ซึ่งในการทดสอบเราจะเลือกใช้ขวดภาชนะพลาสติกพลาสติกมาทดสอบ โดย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทดสอบจะให้แรงอัดแก่ภาชนะพลาสติก เพื่อหาข้อมูลว่าภาชนะจะมีการต้านทานแรงอัดได้มากที่สุดที่แรงขนาดเท่าใด และหาระยะยุบตัวหลังจากถูกแรงอัดกระทำ การสร้างชุดทดสอบนั้นเริ่มต้นจากการมีชุดต้นกำลังและกระบอกสูบไฮดรอลิกทำการออกแบบเครื่องทดสอบให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยเริ่มออกแบบฐานวางวางวัสดุที่จะทดสอบให้มีขนาดเหมาะสมกับวัสดุ ออกแบบตัวกดเทียบกับระยะการเคลื่อนที่ขึ้นลงของกระบอกสูบ โดยเลือกใช้ไหลดเซลล์ชนิด Beam sensor ขนาด 0 - 100 กิโลกรัม เพื่อวัดขนาดของแรงอัด และเลือกใช้เซ็นเซอร์วัดระยะ เพื่อวัดระยะโก่งตัว ขณะถูกแรงอัดกระทำ โดยเซ็นเซอร์ทั้ง 2 ตัวนี้จะต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งข้อมูลที่ได้ไปสู่คอมพิวเตอร์ผ่านสายUSB และแสดงเป็นกราฟแรงอัดต่อระยะยุบตัวผ่านโปรแกรม LabVIEW

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิก เป็นระบบที่มีการส่งถ่ายพลังงาน (Transmission) ของของไหลให้เป็นพลังงานกล โดยผ่านตัวกระทำ (Actuators) เช่น กระบอกสูบ (Cylinder) มอเตอร์ไฮดรอลิก (Hydraulic Motor) ในอุตสาหกรรมนิยมใช้น้ำมันไฮดรอลิก(Hydraulic Oil) เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน เพราะน้ำมันไฮดรอลิกมีคุณสมบัติสำคัญคือ ไม่สามารถยุบตัวได้(Incompressible) จึงทำให้การส่งถ่ายพลังงานมีประสิทธิภาพสูง

2.2 ความดัน

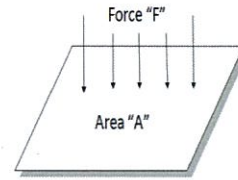
ความดัน(Pressure) คือ อัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำตั้งฉากซึ่งทำโดยของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ต่อพื้นที่ของสารใด ๆ ความดันเป็นปริมาณเป็นปริมาณที่มีแต่ขนาดไม่มีทิศทาง จากความหมายของความดันข้างต้นสามารถเขียนเป็นสูตรคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$P = \frac{F}{A}$$

โดยที่ P คือ ความดัน

F คือ แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวนั้น

เอกสาร A คือ พื้นที่สารที่ส่งผ่านไปสำหรับการใช้งานเพื่อการคำนวณหาความดันไฮดรอลิกที่ใช้กับโปรแกรม LabVIEW ซึ่งมีความสำคัญไม่ต่ำกว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 อัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำตั้งฉาก

2.3 อัตราการไหลในท่อทาง

จากสมการความต่อเนื่อง (The equation of continuity) ในกรณีที่เป็นการไหลที่ยุบตัวไม่ได้ กล่าวได้ว่าผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับอัตราเร็วของของไหลในอุดมคติ ไม่ว่าจะอยู่ที่ตำแหน่งใดในท่อ การไหลจะมีค่าคงที่เสมอ ตามสมการ

$$Q = AV$$

โดยที่ Q คือ อัตราการไหล

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อทาง

V คือ ความเร็วของของไหล (m/s)

จะเห็นได้ว่าอัตราเร็วของของไหลแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัดของท่อทาง การไหลนั้นคือถ้าพื้นที่หน้าตัดเล็กอัตราเร็วจะมาก และพื้นที่หน้าตัดใหญ่อัตราเร็วจะน้อย

2.4 ASTM D 2659-95 Standard Test Method for Column Crush Properties of Blown Thermoplastic Containers

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมถึงการกำหนดคุณสมบัติทางกล ของภาชนะเทอร์โมพลาสติกขึ้นรูปโดยการเป่า เมื่อไหลอยู่ภายใต้สภาวะแรงกดอัดที่อัตราการบีบอัดการโก่งที่ความเร็วคงที่ในช่วง 12.5 mm/min – 50 mm/min ภาชนะใดก็ตามที่ขึ้นรูปจากการเป่าในห้องแล็บหรือโรงงาน สามารถนำมาเป็นวัสดุทดสอบได้

2.5 โปรแกรม LabVIEW

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LABVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือจะเรียกย่อๆ ว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือน โดยหลักการคล้ายกับ visual Basic ต่างกันเพียงด้านที่เขียนโปรแกรม ใช้การเขียนโปรแกรมโดยรูปภาพ โดยฟังก์ชันที่ใช้งานมีลักษณะเป็นโมดูล ความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลใช้การเชื่อมสายต่อกันเหมือนเป็นการต่อวงจรไฟฟ้า ซึ่งทำให้เขียนโปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว โปรแกรมแลปวิวสามารถติดต่อกับเครื่องมือที่มีพอร์ตที่ติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น เครื่องมือวัดทางเคมี, เครื่องมือวัดทาง

ฟิสิกส์และเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมต่างๆ และสามารถติดต่อกับ Database มาตรฐาน รวมทั้งการควบคุมการทำงานกับโปรแกรม MS-OFFICE และอื่นๆ ใน windows ได้อีกด้วย

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 2 แสดงอุปกรณ์การทดลอง

ชุดทดสอบประกอบไปด้วยต้นกำเนิดไฮดรอลิก วาล์วควบคุมอัตราการไหล วาล์วมือควบคุมทิศทางกระบอกสูบ กระบอกสูบที่ติดตั้งหัวกดไว้กดชิ้นงาน และฐานรองรับแรงกดบนโหลดเซลล์



รูปที่ 3 โหลดเซลล์



รูปที่ 4 เซ็นเซอร์วัดระยะ

โหลดเซลล์ใช้อ่านค่าแรงที่กดลงไป เซ็นเซอร์วัดระยะใช้วัดระยะทางของวัสดุ โดยทั้ง 2 ชนิด เชื่อมต่อกับแอมป์ไฟเบอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อขยายและส่งค่าแรงดันไฟฟ้า ผ่านสายUSBไปคาสิเบรทในโปรแกรม LabVIEW โดยจะต้องเขียน code เพื่อรับข้อมูลสัญญาณแล้วนำไปแสดงผลออกมาเป็นค่าข้อมูล และกราฟความสัมพันธ์



รูปที่ 5 แสดงตัวอย่าง code block diagram



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่าง Interface ของโปรแกรม

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

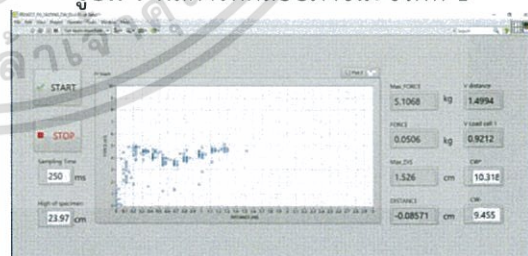
1. วัดขนาดความสูง และปริมาตร ของภาชนะที่นำมาทดสอบ โดยที่ใช้ทดลองจริงเป็นขวดพลาสติกขนาด 600 ml สูง 24 cm
2. วัดค่าน้ำหนักจริงของภาชนะก่อนเริ่มทำการทดสอบ และเซตค่าที่โหลดเซลล์เป็น ศูนย์
3. เริ่มทำการทดสอบโดยมีความเร็วกระบอกสูบคงที่ ในช่วง 12.5mm/min – 50mm/min จนวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยในการทดสอบได้เลือกใช้ที่ความเร็ว 30.3 mm/min
4. สังเกตพฤติกรรมกราฟแรงอัดต่อระยะโก่งตัว
5. หาค่า Crushing yield load และ Deflection at Crushing yield load ของภาชนะ
6. ทำการทดสอบซ้ำทั้งหมด 4 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยค่า Crushing yield load และ Deflection at Crushing yield load ของภาชนะพลาสติก
7. นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องที่มาตรฐาน

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบภาชนะขวดพลาสติกทั้ง 4 ขวด



รูปที่ 7 ผลการทดสอบภาชนะขวดที่ 1

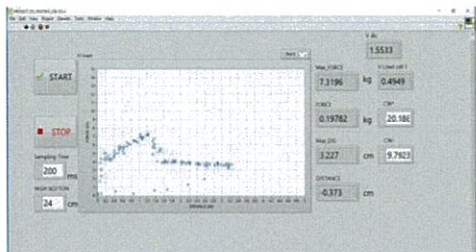


รูปที่ 8 ผลการทดสอบภาชนะขวดที่ 2



รูปที่ 9 ผลการทดสอบภาชนะขวดที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



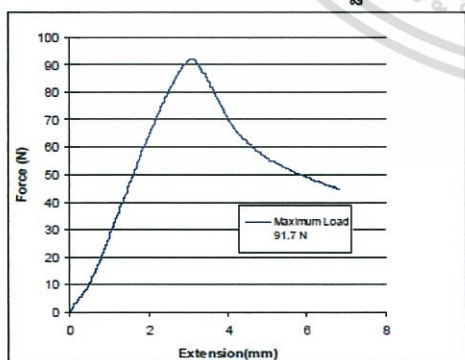
รูปที่ 10 ผลการทดสอบภาชนะขวดที่ 4

สังเกตและหาค่าทำการหาจุดที่เป็น Crushing yield load และ Deflection at Crushing yield load ของภาชนะพลาสติกโดยสามารถ Export ค่าของข้อมูลไปยังโปรแกรม Excel ได้เพื่อใช้ในการหา บันทึกผลแล้วหาค่าเฉลี่ย โดยจากการทดสอบสามารถหาค่าเฉลี่ยของ Crushing yield load ได้ 4.96 กิโลกรัม และ Deflection at Crushing yield load เท่ากับ 0.257 เซนติเมตร หรือเท่ากับ 2.57 มิลลิเมตร

ภาชนะขวด	Crushing yield load (Kg)	Deflection at Crushing yield load (Cm)
1	4.65	0.34
2	4.14	0.22
3	6.03	0.28
4	5.04	0.19
ค่าเฉลี่ย	4.965	0.257

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบแรงกดสูงสุด และระยะภาชนะโก่งงอ

4.2 ผลการทดสอบกับเครื่องที่ได้มาตรฐาน



รูปที่ 11 แสดงกราฟผลการทดสอบ

ข้อมูลผลจากการทดสอบจาก บริษัทพีริซัน พลาสติก ทดสอบขวดพลาสติกชนิดเดียวกัน ขนาด 600 มิลลิเมตร ได้ค่าแรงที่ทำในบรรจุภัณฑ์โก่งงอเท่ากับ 91.7 N หรือเท่ากับ 9.43 kg และมีระยะโก่งงอเท่ากับ 3.08 mm

5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D2595-95 โดยใช้ความเร็วของลูกสูบกดด้วยความเร็วคงที่เท่ากับ 30.3 มิลลิเมตรต่อนาที ทดสอบกับภาชนะขวดน้ำพลาสติก ปริมาตร 600 มิลลิตร โดยทดสอบทั้งหมด 4 ครั้ง ได้ค่าเฉลี่ยแรงสูงสุดที่ทำให้ภาชนะโก่งงอเท่ากับ 4.96 กิโลกรัม และระยะโก่งงอของภาชนะเท่ากับ 2.57 มิลลิเมตร และจากการทดสอบด้วยมาตรฐานเดียวกันผลที่ได้จากเครื่องที่ได้มาตรฐานคือ ได้ค่าแรงที่ทำในบรรจุภัณฑ์โก่งงอเท่ากับ 9.43 kg และมีระยะโก่งงอเท่ากับ 3.08 mm สามารถคิดค่าความผิดพลาดจาก

$$\text{ค่าความผิดพลาด} = \frac{\text{ค่าที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน} - \text{ค่าที่ได้จากการทดสอบ}}{\text{ค่าที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน}} \times 100\%$$

ได้ค่าความผิดพลาดของแรงที่ทำให้ภาชนะโก่งงอ

$$= \frac{9.43 - 4.96}{9.43} \times 100\% = 47.4\%$$

ได้ค่าความผิดพลาดของระยะโก่งงอของภาชนะ

$$= \frac{3.08 - 2.57}{3.08} \times 100\% = 16.5\%$$

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าที่ได้จาก XY Graph จะมีความไม่ต่อเนื่องเนื่องจากเกิดการแกว่งของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าของทั้งโหลดเซลล์ และเซ็นเซอร์วัดระยะทาง และเกิดจากความละเอียดของเซ็นเซอร์ที่ใช้มีความละเอียดต่ำจึงทำให้เกิดเหตุการณ์นี้ขึ้น ส่วนค่าความผิดพลาดของแรงที่ทำให้ภาชนะโก่งงอ และค่าความผิดพลาดของระยะโก่งงอของภาชนะ จะเห็นว่ามีค่าที่สูงเนื่องจากภาชนะพลาสติกที่นำมาทดสอบนั้นได้ผ่านการบรรจุของเหลวลงไปแล้ว ซึ่งอาจจะทำให้คุณสมบัติความแข็งแรงของขวดมีค่าเปลี่ยนไปจากเดิม ส่งผลให้เกิดค่าความผิดพลาดที่สูง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. จำลองปราบแก้ว ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทาง และคอยสนับสนุนในเรื่องต่างๆ ทั้งเรื่องความรู้ และเงินสนับสนุนค่าใช้จ่าย ทำให้โปรเจกต์นี้ได้ทำออกมาอย่างสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณบุคคล คณะอาจารย์ คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่มอบ
โอกาส และให้ความรู้ในการศึกษา และขอกราบพระคุณ
มา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิภาส นิตวิรภัทร, มนศักดิ์ พิมสาร. การวิเคราะห์แรง
โก่งงอของขวดน้ำพลาสติก PET. การประชุมวิชาการ
เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23,
2552
- [2] สัจจาทิพย์ ทศนีย์พันธุ์, ชาคริต สุวรรณจำรัส, การ
ยุบตัวของกระป๋องพลาสติกบรรจุของเหลวภายใต้ภาระ
ด้านบนโดยวิธี FEA. การประชุมวิชาการเครือข่าย
วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18,
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น, 2547
- [3] คณิต อรรถรรณโณทัย, สัจจาทิพย์ ทศนีย์พันธุ์. การ
จำลองการยุบตัวของขวด PET ที่มีรูปทรงผนังไม่
สม่ำเสมอภายใต้การทดสอบภาระด้านบนแบบสถิตย์และ
พลวัต
- [4] ทิพากร พรพันธุ์ไพบูลย์, อธิพลของรูปทรงต่อความ
แข็งแรงของขวดพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548
- [5] ASTM D2595-95, Standard Test Method for
Column Crush Properties of Blown
Thermoplastic Containers, 2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้