

หุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนสำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันด้วย
เลเซอร์วัดระยะ

CARTESIAN ROBOT FOR MEASURING THE DUAMETER OF A
PRESSURE TANK USING A LASER DISTANCE SENSOR



ณัฐชา อินทร์ชूरูญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนสำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันด้วย
เลขเซอร์วัดระยะ

ณัฐศขา อินทร์ชูรัญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

หุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนสำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันด้วยเลเซอร์
วัดระยะ

Cartesian Robot for Measuring the Diameter of a Pressure Tank
Using a Laser Distance Sensor

ชื่อ - นามสกุล

นายณัฐชา อินทร์ชูรัญ

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

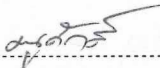
อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ ปราโมทย์, Ph.D.

ปีการศึกษา

2564

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


 ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนุศักดิ์ จานทอง, Dr.-Ing.)

 กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ศิริชัย เทพา, วท.ด.)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มานพ แยมแพง, ปร.ด.)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ ปราโมทย์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

 คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)
วันที่ 15 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2564

หัวข้อวิทยานิพนธ์	หุนยนต์แบบคาร์ทีเซียนสำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันด้วยเลเซอร์ วัดระยะ
ชื่อ - นามสกุล	นาย ณัฐชา อินทร์ชูรัญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิพัฒน์ ปราโมทย์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบระบบการควบคุมหุนยนต์แบบคาร์ทีเซียนเพื่อใช้วัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันด้วยเซนเซอร์แบบเลเซอร์วัดระยะ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ ตัวควบคุมวงจรมicrocontroller เพื่อใช้โปรแกรมสั่งการทำงานให้ชุดเซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่กับแขนหุนยนต์คาร์ทีเซียน ให้เคลื่อนที่ไปตามพิกัดตำแหน่งต่างๆ ตามที่ได้ทำการโปรแกรมการทำงานไว้

ในการออกแบบระบบขับเคลื่อนแขนของหุนยนต์ สามารถเคลื่อนที่ได้ 3 ทิศทางได้แก่ แกน X,Y และแกน Z ขับเคลื่อนโดยเตปป์มอเตอร์มีเซนเซอร์ทำหน้าที่วัดระยะและบอกขนาด โดยสั่งงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์ การทดสอบคือ วัดหาขนาดถึงความดันรูปทรงแคบซูลโดยการวัดครั้งแรก จะวัดถึงปล่าวที่ไม่มีแรงดันเพื่อเก็บข้อมูลเปรียบเทียบ และวัดครั้งต่อไป้อนความดันเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 บาร์ ในการวัดหาขนาด โดยเริ่มต้นที่ 8,9,10,11,12, และ 13 บาร์ ตามลำดับ วัดขนาดตามแนวแกน X 10 ระยะเพื่อเก็บข้อมูล

ผลการทดสอบวัดระยะการเคลื่อนที่แขนของหุนยนต์ที่เคลื่อนที่เทียบจาก แนวแกน X 10 ระยะ โดย วัดจากระยะ 35,85,135,185,235,285,335,385,435,485 มิลลิเมตร มีค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 0.06 ในการวัด โดยผลทดสอบวัดเส้นผ่านศูนย์กลางเห็นผลชัดเจนที่ความดัน 13 บาร์ พบการขยายตัวขนาดไม่เกิน 1.0 มิลลิเมตร ณ ตำแหน่งจุดวัดที่ 1 และ 10 ตามแนววัดระยะแกน X ของถึงความดัน และจากผลการจำลองด้วยโปรแกรม Finite Element ได้พบการขยายตัวของถึงเป็น 0.037 มิลลิเมตร

คำสำคัญ : หุนยนต์คาร์ทีเซียน เลเซอร์วัดระยะ วัดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดัน

Thesis Title Cartesian Robot for Measuring the Diameter of a Pressure Tank
Using a Laser Distance Sensor

Name – Surname Mr. Natsacha Inchoorun

Program Mechanical Engineering

Thesis Advisor Assistant Professor Pipat Pramot, Ph.D.

Academic Year 2021

ABSTRACT

This research is the study and design of a Cartesian robot control system to measure a pressure tank diameter using a laser distance sensor. The main component is a microcontroller cabinet that communicates to the sensor kits on the Cartesian robot arm. Then, a controller controls the robot arms to move in order to measure at each programmed position.

In the design of the robotic arm propulsion system, it can move in 3 directions, including X, Y and Z axes, powered by a stepping motor with a sensor that measures the distance and tells the size. By ordering from the microcontroller, the test is to measure the size of the capsule-shaped pressure tank by first measurement. First, an empty, unpressurized tank was measured. Then, for comparison, pressure was added by 1 bar at a time starting at 8 bars up to a total of 13 bars. In collecting data, the dimensions of the tank were measured at 10 distances along the X axis.

The results of the test showed that the propulsion system of the robot's arm at the points of 35,85,135,185,235,285,335,385,435,485 mm, had an average tolerance of 0.06 %. The result of the diameter measurement was clearly observed at a pressure of 13 bars. Expansion of not more than 1.0 mm was found at the measurement points 1 and 10 along the X axis of the pressure vessel. The results were simulated by Finite Element program. It was found that the expansion of the tank was 0.037 mm.

Keywords: Cartesian robot, laser distance meter, pressure tank diameter measurement

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ของท่าน และให้คำแนะนำช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาในทุกๆขั้นตอนการทดลอง และช่วยตรวจดูติดตามงานเพื่อบอกจุดบกพร่องให้แก่ผู้ทำวิจัย ได้กลับไปแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ลุล่วงไปได้ด้วยดี ซึ่งผู้ทำวิจัย ขอกราบขอบพระคุณ อย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนูศักดิ์ จานทอง ประธานกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย เทพา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานพ แยมแพงกรรมการ สอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำการแก้ไขปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ทุกๆภาคส่วนที่อำนวยความสะดวกต่อการศึกษาและเก็บข้อมูล ในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและญาติพี่น้อง ของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้า มีความพยายาม มุมนานะในการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ด้วยดีตลอดมา ประโยชน์อันพึงมีจาก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ณัฐชา อินทร์ชूरูญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญรูป.....	(10)
บทที่ 1 บทนำ.....	13
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	13
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	14
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	14
1.4 ขั้นตอนงานวิจัย.....	15
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	15
บทที่ 2 งานวิจัยหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 หน่วยวัดและมาตรฐาน.....	16
2.2 การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นรอบวง	18
2.3 การตอบสนองเชิงเวลา(Time Response)	21
2.4 ทฤษฎีและการออกแบบการควบคุมการทำงาน PID ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	30
2.5 การรับ-ส่งสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสง	36
2.6 ตัวประมวลผลสัญญาณ (Signal Processors)	37
2.7 การรับ - ส่งสัญญาณของเส้นใยนำแสงที่ความยาวคลื่น	38
2.8 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	40
2.9 เลเซอร์และทฤษฎีหลักการทำงานของเลเซอร์	47
2.10 วิธีการสอบเทียบเลเซอร์	49
2.11 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์	49
2.12 การเลือกขนาดถังแรงดันและการออกแบบถังแรงดัน	52
2.13 การเลือกคุณสมบัติโลหะเหล็กแผ่นเพื่อขึ้นรูปจำลองถังทดสอบ.....	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.14 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์ Finite element analysis.....	54
2.15 การสอบเทียบการอัดแรงต้นแบบแนวนอนตามมาตรฐาน มอก.ที่ 13 บาร์.....	56
2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	57
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	61
3.1 ขั้นตอนการวิจัย	62
3.2 สถานที่ในการทดลองและเก็บข้อมูล	63
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	63
3.4 สมการควบคุมการเคลื่อนที่ชุดเลเซอร์วัดระยะ	67
3.5 การออกแบบระบบควบคุมการวัดระยะและเก็บข้อมูล.....	69
3.6 การออกแบบหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน (Cartesian) วัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึง ความดัน.....	71
3.7 ขั้นตอนการเปิดเครื่องเพื่อใช้งานหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนในการวัดหาเส้นผ่าน ศูนย์กลางถึงความดันด้วยเลเซอร์วัดระยะ.....	75
3.8 การทำการทดลอง.....	77
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	79
4.1 ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงปล่าว.....	81
4.2 ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนความดันที่ 8 บาร์.....	82
4.3 ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนความดันที่ 9 บาร์.....	84
4.4 ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนความดันที่ 10 บาร์.....	86
4.5 ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนความดันที่ 11 บาร์.....	87
4.6 ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนความดันที่ 12 บาร์.....	89
4.7 ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนความดันที่ 13 บาร์.....	90
4.8 ผลการจำลอง Finite element analysis	91
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	93
5.1 สรุปผลการทดลอง	93
5.2 การประยุกต์ใช้	94

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 การประยุกต์ใช้	94
5.3 ข้อเสนอแนะ	94
บรรณานุกรม	95
ภาคผนวก	97
ภาคผนวก ก	98
ภาคผนวก ข	105
ภาคผนวก ค	107
ภาคผนวก ง.....	123
ประวัติผู้เขียน	125



สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ตารางหน่วยฐานเอสไอ (SI base units).....	17
ตารางที่ 2.2	ตารางแสดงตัวอย่างหน่วยอนุพัทธ์เอสไอที่เกี่ยวข้องกับหน่วยฐาน.....	17
ตารางที่ 2.3	หน่วยที่ใช้วัดความดัน.....	50
ตารางที่ 2.4	ขนาดมาตรฐานของเหล็กแผ่นดำ.....	54
ตารางที่ 3.1	ตารางแสดงตัวอย่างสมการวงกลมและสมการเชิงในระบบพิกัดฉากที่สามารถ แปลงเป็นสมการในระบบพิกัดเชิงขั้ว.....	62
ตารางที่ 4.1	ตารางแสดงรายการผลสรุปข้อมูลถึงเปล่า.....	80
ตารางที่ 4.2	ตารางแสดงรายการผลสรุปข้อมูลแรงดันที่ 8 บาร์.....	82
ตารางที่ 4.3	ตารางแสดงรายการผลสรุปข้อมูลแรงดันที่ 9 บาร์.....	83
ตารางที่ 4.4	ตารางแสดงรายการผลสรุปข้อมูลแรงดันที่ 10 บาร์.....	85
ตารางที่ 4.5	ตารางแสดงรายการผลสรุปข้อมูลแรงดันที่ 11 บาร์.....	86
ตารางที่ 4.6	ตารางแสดงรายการผลสรุปข้อมูลแรงดันที่ 12 บาร์.....	88
ตารางที่ 4.7	ตารางแสดงรายการผลสรุปข้อมูลแรงดันที่ 13 บาร์.....	89



สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	ความสัมพันธ์ของตัวแปรในวงกลม.....	18
รูปที่ 2.2	แสดงพิกัดคาร์ทีเซียน 2 มิติ	19
รูปที่ 2.3	แสดงพิกัดคาร์ทีเซียน 3 มิติ	19
รูปที่ 2.4	การแปลงพิกัดเชิงขั้วเป็นพิกัดฉากและการแปลงพิกัดฉากเป็นพิกัดเชิงขั้ว	20
รูปที่ 2.5	แสดงพิกัดเชิงขั้ว	20
รูปที่ 2.6	การตอบสนองของระบบต่อสัญญาณ pulse และ impulse	23
รูปที่ 2.7	ระบบอันดับ 1 (First-order system).....	23
รูปที่ 2.8	แสดงการตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งต่ออินพุตแบบสัญญาณระดับ.....	25
รูปที่ 2.9	การตอบสนองระบบอันดับ 2 เมื่ออินพุตเป็น unit step ทั้ง 4 กรณี.....	27
รูปที่ 2.10	ลักษณะการตอบสนองชั่วขณะของระบบอันดับสอง.....	29
รูปที่ 2.11	การตอบสนองของระบบควบคุมอันดับสองต่อสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได (stepfunction) ในแบบ Underdamped ตามลักษณะของโพลที่เป็นแบบต่าง ๆ	30
รูปที่ 2.12	แสดงบล็อกของการควบคุมพีไอดี.....	31
รูปที่ 2.13	กราฟ PV ต่อเวลา, K_p กำหนดเป็น 3 ค่า (K_i และ K_d คงที่).....	32
รูปที่ 2.14	กราฟ PV ต่อเวลา, K_p กำหนดเป็น 3 ค่า (K_i และ K_d คงที่).....	33
รูปที่ 2.15	โครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสาร.....	36
รูปที่ 2.16	โครงสร้างระบบสื่อสารข้อมูลด้วยเส้นใยนำแสง.....	36
รูปที่ 2.17	วงจรตัวส่งสัญญาณเส้นใยนำแสงที่ความยาวคลื่น 1310 nm.....	38
รูปที่ 2.18	วงจรตัวรับสัญญาณเส้นใยนำแสงที่ความยาวคลื่น 1310 nm.....	39
รูปที่ 2.19	แผนภาพวงจรพื้นฐานของ Dual slope ADC.....	40
รูปที่ 2.20	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ตาจุดออกของวงจรอินทิเกรต V_{int} กับเวลา.....	42
รูปที่ 2.21	การประยุกต์ใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C4051.....	43
รูปที่ 2.22	วงจรโหลดเซลล์ (Load Cell) สำหรับตรวจวัดน้ำหนัก.....	44
รูปที่ 2.23	ผังงานโปรแกรมแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลของเครื่องชั่งน้ำหนักบุคคล.....	45
รูปที่ 2.24	สัญญาณที่วัดจากวงจรอินทิเกรตและไมโครคอนโทรลเลอร์.....	46
รูปที่ 2.25	แสดงความแตกต่างระหว่างแสงธรรมดาและลำแสงเลเซอร์.....	47

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.26	48
รูปที่ 2.27	55
รูปที่ 2.28	57
รูปที่ 3.1	61
รูปที่ 3.2	62
รูปที่ 3.3	64
รูปที่ 3.4	65
รูปที่ 3.5	65
รูปที่ 3.6	66
รูปที่ 3.7	66
รูปที่ 3.8	67
รูปที่ 3.9	67
รูปที่ 3.10	68
รูปที่ 3.11	70
รูปที่ 3.12	71
รูปที่ 3.13	72
รูปที่ 3.14	73
รูปที่ 3.15	74
รูปที่ 3.16	75
รูปที่ 3.17	75
รูปที่ 3.18	76
รูปที่ 3.19	77
รูปที่ 3.20	78

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.21	แสดงจุดตำแหน่งการเคลื่อนที่แขนหุ่นยนต์ในการวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดัน.....	78
รูปที่ 4.1	หน้าจอแสดงผลการวัดหาขนาดในโหมดฟังก์ชันต่างๆขณะทำการทดลอง.....	79
รูปที่ 4.2	ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงความดันโดยยังไม่ทำการอัดแรงดันเข้าสู่ภายในถึง.....	80
รูปที่ 4.3	ผลการวัดขนาดรัศมีด้วยเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ณ จุดที่ 10 ถึงปล่าว.....	81
รูปที่ 4.4	ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนแรงดันที่ 8 บาร์.....	81
รูปที่ 4.5	ผลการวัดขนาดรัศมีด้วยเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ณ จุดที่ 10 ที่แรงดัน 8 บาร์.....	82
รูปที่ 4.6	ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนแรงดันที่ 9 บาร์.....	83
รูปที่ 4.7	ผลการวัดขนาดรัศมีด้วยเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ณ จุดที่ 10 ที่แรงดัน 9 บาร์.....	84
รูปที่ 4.8	ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนแรงดันที่ 10 บาร์.....	84
รูปที่ 4.9	ผลการวัดขนาดรัศมีด้วยเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ณ จุดที่ 10 ที่แรงดัน 10 บาร์.....	85
รูปที่ 4.10	ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนแรงดันที่ 11 บาร์.....	86
รูปที่ 4.11	ผลการวัดขนาดรัศมีด้วยเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ณ จุดที่ 10 ที่แรงดัน 11 บาร์.....	87
รูปที่ 4.12	ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนแรงดันที่ 12 บาร์.....	87
รูปที่ 4.13	ผลการวัดขนาดรัศมีด้วยเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ณ จุดที่ 10 ที่แรงดัน 12 บาร์.....	88
รูปที่ 4.14	ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนแรงดันที่ 13 บาร์.....	89
รูปที่ 4.15	ผลการวัดขนาดรัศมีด้วยเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ณ จุดที่ 10 ที่แรงดัน 13 บาร์.....	90
รูปที่ 4.16	การจำลอง Finite element analysis.....	91

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในอดีตอุปกรณ์ตรวจวัดระยะด้วยระบบเลเซอร์มีราคาสูงต้องนำเข้าจากประเทศทางฝั่งยุโรป และ ญี่ปุ่น โดยเป็นอุปกรณ์มีความสำคัญและนิยมใช้ในการวัดระยะเนื่องจากมีความแม่นยำสูงสามารถเชื่อมต่อใช้งานได้ง่ายและสามารถสั่งการทำงานได้ตามการป้อนโปรแกรมของการทำงานของผู้ใช้ ดังนั้น เลเซอร์วัดระยะจึงมีความสำคัญและยังคงมีการใช้งานมากยิ่งขึ้นขึ้นทุกๆวันทั้งในทางด้านโรงงาน อุตสาหกรรมและทางด้านการศึกษาในระดับอุดมศึกษา แสดงให้เห็นว่าในอุปกรณ์เหล่านี้มีความต้องการอย่างต่อเนื่องอย่างไม่ขาดสาย อีกทั้งในส่วนของผู้ผลิตเองเมื่อทราบว่าคุณสมบัติเลเซอร์วัดระยะยังมีความต้องการสูงอย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดผู้ผลิตรายใหม่เพิ่มขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการในท้องตลาด จากนั้นจึงเกิดการแข่งขันในการขาย เกิดการหั่นราคา ส่งผลให้ผู้บริโภคเข้าถึงเทคโนโลยีได้ง่ายมากขึ้น สิ่งเหล่านี้เองจึงเป็นมาที่น่าสนใจและผู้ที่ทำงานวิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาการนำเทคโนโลยีเลเซอร์วัดระยะมาประยุกต์ใช้ในการวัดขนาดหาปริมาตรถึงความดันที่เปลี่ยนแปลงไปของถึงความดันเปรียบเทียบกันในส่วนของถังปกติที่ยังไม่มีการเพิ่มแรงดันเข้าในถังกับถึงความดันที่ถูกเพิ่มแรงดันด้วยในปริมาณต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปตามการทดสอบ เพื่อศึกษาการทดสอบและใช้โปรแกรมที่นำมาสร้างชุดควบคุมการวัดขนาดที่เปลี่ยนแปลงเมื่อป้อนแรงดันในขนาดต่าง ๆ โดยแสดงผลลัพธ์แบบตัวเลขดิจิทัลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วยการ Simulation ผ่านโปรแกรม LabVIEW และไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

การวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุโลหะทรงกระบอกยาวปลายโค้งมนเช่น ถังความดัน นั้น ไม่สามารถวัดและประมาณด้วยสายตาแล้วบอกเป็นจำนวนตัวเลขตามขนาดมาตรฐานหน่วยวัดสากลที่แม่นยำได้ เนื่องจากปัจจัยทางด้านรูปทรงของตัววัตถุที่ดูกลมกลืน ยากต่อการวัดด้วยการสังเกตจากการมองเห็นเพียงอย่างเดียว ดังนั้นในการศึกษาการวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังความดันซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้งานทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมเมืองไทยนี้ จึงเลือกใช้หน่วยการวัดในระบบ SI (The International System of Units : SI) [1] เนื่องจากเป็นหน่วยวัดที่เป็นมาตรฐานสากลเข้าใจได้ง่าย ใช้งานง่ายมีความละเอียด สะดวกสามารถใช้เป็นหน่วยวัดเพื่อใช้ในการสื่อสารและเลือกใช้ อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์แสดงผลได้ โดยที่สามารถแสดงผลในหน่วยวัดแบบเดียวกันอย่างเหมาะสม

โดยการศึกษาหน่วยวัดและมาตรฐาน ใช้หลักการแนวคิดการวัดพื้นฐานรูปทรงเลขคณิตโดยวิธีการวัดระยะทางจากพื้นผิว แล้วเก็บวัดค่าเป็นระยะทางตามเส้นรอบวงเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอบวงจากนั้นทำการศึกษาในการออกแบบหุ่นยนต์โครงสร้าง (Cartesian robot) 3

แกน ได้แก่ X,Y,Z เพื่อศึกษาการตอบสนองการเคลื่อนที่ไปตามระยะทางที่กำหนดและศึกษาความแม่นยำในการเคลื่อนที่ไปด้วยในขณะเดียวกันโดยมีขนาดระยะทางบอกเป็นตัวเลขดิจิทัลบนจอโน้ตบุ๊ก เทียบกับขนาดสเกลวัดระยะทางตามแนวการเคลื่อนที่ จากนั้นศึกษาการออกแบบการควบคุมการทำงานด้วยการโปรแกรมสั่งการชุดควบคุมอุปกรณ์มอเตอร์ที่ติดตั้งเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนแขนหุ่นยนต์ ให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ผ่านชุดอุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นเลือกใช้อุปกรณ์เลเซอร์วัดระยะทางเพื่อเก็บผลทดสอบวัดระยะทางจากจุดที่ 1 ไปจุดที่ 2 เพื่อดูผลทดสอบความแม่นยำโดยศึกษาค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์เลเซอร์ที่เลือกใช้

จากการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์เลเซอร์เบื้องต้นพบว่าเกิดการผิดพลาดในการอ่านค่าตัวเลขที่มีความผิดพลาดอยู่นิ่งเนื่องมาจากเซ็นเซอร์อ่านค่าเร็วและถี่เกินไปจึงทำให้ได้ค่าตัวเลขที่ไม่นิ่ง จึงต้องทำการศึกษาเทคนิคการลดและการขยายแรงดันอินพุต-เอาต์พุต เพื่อใช้ปรับแต่งวงจรสัญญาณให้อุปกรณ์อ่านค่าสัญญาณได้นิ่งขึ้น จากคู่มือการปรับแต่ง ฮ็อบแอมป์ และเพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือที่ใช้สามารถวัดค่าระยะได้ความแม่นยำมากยิ่งขึ้นจึงได้ศึกษาวิธีการสอบเทียบเลเซอร์เพื่อใช้หาเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในเพื่อมาปรับใช้กับงานวิจัยนี้ จากนั้นจึงศึกษาหาวิธีการประเมินการต่างๆสำหรับการประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีความสูงจากพื้นจากวิธีการสแกนด้วยเลเซอร์ เมื่อทำการทดสอบสแกนหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังความดันโดยเทียบกันระหว่างก่อนเพิ่มแรงดันและภายหลังการเพิ่มแรงดันพบว่าเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของถังความดันที่ 8 บาร์ และได้ใช้โปรแกรมทดสอบทางทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและศึกษาจุดวิกฤต ดัง ที่จะทำให้ถังความดันมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพโดยพบว่าความหนาและความบางของผนังถังความดันจะมีผลโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพต่อตัวถังความดัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เลเซอร์วัดระยะเพื่อนำมาวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
- 1.2.2 เพื่อออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องมือวัดการขยายตัวของถังความดันราคาไม่แพง
- 1.2.3 เพื่อวิจัยและพัฒนาชุดทดสอบวัดขนาดขยายตัวของถังความดัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ถังเก็บความดัน ขนาด 20 ลิตร
- 1.3.2 ใช้โปรแกรม Arduino และ Lab VIEW ในเขียนระบบควบคุมและ การแสดงขนาด

- 1.3.3 ใช้อุปกรณ์ในการควบคุม Arduino Uno R3
- 1.3.4 เซ็นเซอร์วัดระยะทางแสงเลเซอร์ VL53L0X V2 laser ranging
- 1.3.5 จอแสดงผลวัดระยะ LCD Keypad shield 1602 for Arduino
- 1.3.6 ศึกษาวิธีวัดระยะขนาดถึงความดันที่เปลี่ยนแปลงไปของการวัด
- 1.3.7 ศึกษาและออกแบบเครื่องมือวัดระยะขนาดถึงความดัน
- 1.3.8 ศึกษาและออกแบบโปรแกรมภาคส่งและภาครับสัญญาณด้วยแสงจากอุปกรณ์เลเซอร์วัดระยะ
- 1.3.9 ทำการทดลองวัดขนาดเพื่อเปรียบเทียบกับความดันก่อนและหลังภายในถึงความดันออกมาบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

ลำดับขั้นตอนของการศึกษางานวิจัยนี้มีดังนี้

- 1.4.1 ศึกษาวิธีวัดระยะขนาดถึงความดันที่เปลี่ยนแปลงในการทดสอบ
- 1.4.2 ออกแบบเครื่องมือวัดระยะขนาดถึงความดันที่เปลี่ยนแปลง
- 1.4.3 ออกแบบโปรแกรมภาคส่งและภาครับสัญญาณด้วยแสงจากอุปกรณ์เลเซอร์วัดระยะ
- 1.4.4 ออกแบบการควบคุมโดยโปรแกรม Arduino และแสดงผลผ่านโปรแกรม Lab VIEW
- 1.4.5 ทดสอบการทำงานของระบบควบคุมการเคลื่อนที่แบบ Scan ตามความยาวรอบถัง
- 1.4.6 ทดลองวัดขนาดก่อนและหลังเพิ่มความดันในถังและแสดงผลที่หน้าจอแบบตัวเลข
- 1.4.7 เก็บผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการดำเนินการทดลองพร้อมนำเสนอผลงานทดลอง
- 1.4.8 สรุปผลการทดลองและผลการวิเคราะห์จากงานวิจัยนี้ทั้งหมด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ศึกษาและใช้ความรู้ที่เรียนมาปรับใช้ในการออกแบบชุดควบคุมการวัดระยะขนาดถึงความดัน
- 1.5.2 สามารถผสมผสานการทำงานกลไกเชิงกลกับระบบควบคุมไฟฟ้าให้ใช้งานร่วมกันได้
- 1.5.3 มีความรู้ความเข้าใจในการออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ควบคุมวงจรการทำงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหางานวิจัยในบทนี้เกิดจากการรวบรวมข้อมูลทางทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ หลอมรวมองค์ความรู้ทั้งทางด้านมาตรฐานการวัดระยะในระบบ SI ในการเคลื่อนที่ทางเชิงกลของระบบที่ใช้ขับเคลื่อนแขนกล เพื่อใช้เป็นข้อมูลหาความแม่นยำในการสร้างชุดควบคุมในการขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้า โดยการเขียนโปรแกรมและป้อนโปรแกรมเข้าไปในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งการทำงานให้แขนกลทำงานตามที่ต้องการ

2.1 หน่วยวัดและมาตรฐาน [1]

ระบบการวัดทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์โดยสำนักงานวัดมาตรกลาง (The Central Office of Measures) GUM ที่ได้รับการยอมรับและให้ตกลงใช้ร่วมกันทั่วโลกคือระบบหน่วยเอสไอ (International System of Units หรือ SI units) หน่วย SI (เอสไอ) เป็นหน่วยวัดรูปแบบใหม่ของระบบเมตริก (metric system) ที่จัดทำขึ้นในที่ประชุม CGPM (General Conference on Weights and Measures) เมื่อปี ค.ศ.1960 (ตัวย่อ SI มาจากภาษาฝรั่งเศส *Système International d'Unités*) และในปี ค.ศ.1966 ได้ถูกยอมรับอย่างถูกกฎหมายในประเทศ โปแลนด์ และต่อมาระบบหน่วย SI นิยมใช้อย่างกว้างขวางทั่วโลกทั้งในวงการค้าและวงการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ ดังนั้นสถาบัน National Institute of Standards and Technology (NIST) ของสหรัฐอเมริกาจึงได้จัดทำคู่มือแนะนำการใช้ระบบหน่วย SI อย่างถูกต้องและเป็นสากล “Guide for the use of the International System Units (SI)” ฉบับปรับปรุงปี ค.ศ.2008 ในปัจจุบันหน่วย SI ประกอบด้วย 2 กลุ่ม (class) คือ หน่วยฐานเอสไอ (SI base units) และหน่วยอนุพัทธ์เอสไอ (SI derived units) ส่วนหน่วยเสริม (supplementary units) 2 ประเภทคือ เรเดียน (radian) เป็นหน่วยของมุมระนาบ และสเตอเรเดียน (steradian) เป็นหน่วยของมุมตัน จัดอยู่ในกลุ่มหน่วยอนุพัทธ์เอสไอ การใช้ระบบหน่วย SI ได้อย่างถูกต้องจำเป็นต้องเรียนรู้กฎ กติกาและรูปแบบของการใช้ หน่วยอนุพัทธ์เอสไอและคำนำหน้าหน่วยในระบบเอสไอ (SI prefixes) ที่จะใช้ร่วมกับหน่วยฐานในระบบเอสไอ

2.1.1 หน่วยฐานเอสไอ (SI base units) เป็นหน่วยการวัดพื้นฐานของหน่วยวัดอื่นๆ ทั้งหมดซึ่งสามารถสอบกลับได้ (traceability) หน่วยฐานทั้ง 7 หน่วย ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 หน่วยฐานเอสไอ (SI base units)

ปริมาณ	ชื่อหน่วย	ตัวย่อ
ความยาว	เมตร (meter)	m
มวล	กิโลกรัม (kilogram)	kg
เวลา	วินาที (second)	s
กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์ (ampere)	A
อุณหภูมิ	เคลวิน (kelvin)	K
ความเข้มของการส่องสว่าง	แคนเดลา (candela)	cd
ปริมาณของสาร	โมล (mole)	mol

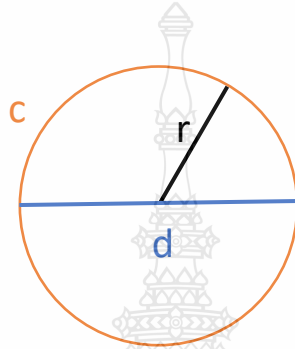
2.1.2 หน่วยอนุพัทธ์เอสไอ (SI derived units) หน่วยอนุพัทธ์เกิดจากการพิสูจน์ทางพีชคณิตระหว่างหน่วยฐานเอสไอหรือระหว่างหน่วยอนุพัทธ์เอสไอ ตัวย่อของหน่วยอนุพัทธ์เอสไอได้มาจากการกระทำทางคณิตศาสตร์โดยการคูณและการหาร

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างหน่วยอนุพัทธ์เอสไอที่เกี่ยวข้องกับหน่วยฐาน

ปริมาณ	หน่วยอนุพัทธ์	ตัวย่อ
พื้นที่	ตารางเมตร	m ²
ปริมาตร	ลูกบาศก์เมตร	m ³
อัตราเร็ว, ความเร็ว	เมตรต่อวินาที	m·s ⁻¹
ความเร่ง	เมตรต่อวินาทีกำลังสอง	m·s ⁻²
เลขคลื่น	reciprocal meter	m ⁻¹
ความหนาแน่น	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	kg·m ⁻³
ความหนาแน่นกระแส	แอมแปร์ต่อลูกบาศก์เมตร	A·m ⁻³
ความแรงสนามไฟฟ้า	โวลต์ต่อเมตร	V·m ⁻¹
ความเข้มแสง	แคนเดลาต่อตารางเมตร	cd·m ⁻²
ความเข้มข้นเชิงปริมาณสาร	โมลต่อลูกบาศก์เมตร	mol·m ⁻³

2.2 การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นรอบวง [2]

2.2.1 เส้นรอบวงของวงกลมคือเส้นรอบของวงในระนาบโดยรอบของกลม แสดงโดยมีสูตรตัวแปรที่เป็นมาตรฐานสากลได้แก่ C ในสูตรคณิตศาสตร์และมีหน่วยของระยะทางเช่น มิลลิเมตร (mm) เซนติเมตร (ซม.) เมตร (ม.) หรือนิ้ว (นิ้ว) และ π มีความเกี่ยวข้องกับรัศมีของเส้นผ่านศูนย์กลางแล้วแต่ความละเอียดของหน่วยที่เลือกใช้งานโดยมีสมการที่ใช้กันดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรในวงกลม [2]

$$C = \pi d \text{ หรือ } C = 2\pi r \quad (2.1)$$

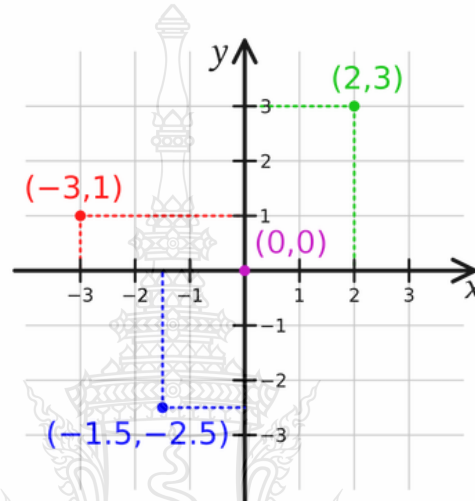
โดย d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลม และเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมคือระยะทางที่ยาวที่สุดซึ่งสามารถวัดได้จากจุดใดก็ได้บนวงกลมผ่านจุดศูนย์กลางหรือจุดเริ่มต้นไปยังจุดเชื่อมต่อทางด้านไกล

r คือรัศมีครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางหรือสามารถวัดได้จากจุดเริ่มต้นของวงกลมจนถึงขอบ

π คือค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับเส้นรอบวงของวงกลมกับเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็นจำนวนอตรรกยะดังนั้นจึงไม่มีการแทนทศนิยม ในการคำนวณคนส่วนใหญ่ใช้ 3.14 หรือ 3.14159 บางครั้งมันประมาณด้วยเศษส่วน $22/7$

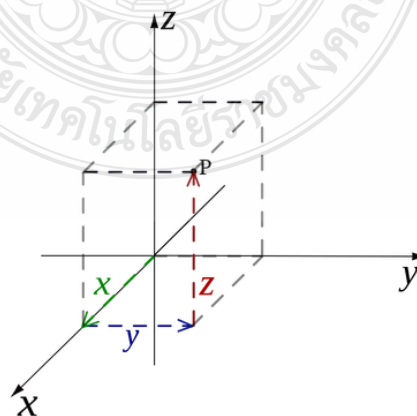
C คือเส้นรอบวงกลม

2.2.2 ระบบพิกัดคาร์ทีเซียนและระบบพิกัดเชิงขั้ว [3] พิกัดคาร์ทีเซียนเป็นระบบที่ใช้กำหนดตำแหน่งของจุดแต่ละจุดบนระนาบโดยอ้างอิงถึงตัวเลข 2 จำนวน ซึ่งแต่ละจำนวนเรียกว่า พิกัด X และ พิกัด Y ของจุดนั้น และเพื่อที่จะกำหนดพิกัดของจุด จะต้องมีส่วนแกนสองเส้นตัดกันเป็นมุมฉากที่จุดกำเนิด สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของคู่อันดับ (x, y) จุดกำเนิด คือ จุดตัดของพิกัดตำแหน่งที่ศูนย์ หรือ จุดตัดที่แบ่งพิกัดออกเป็นด้านลบและบวก

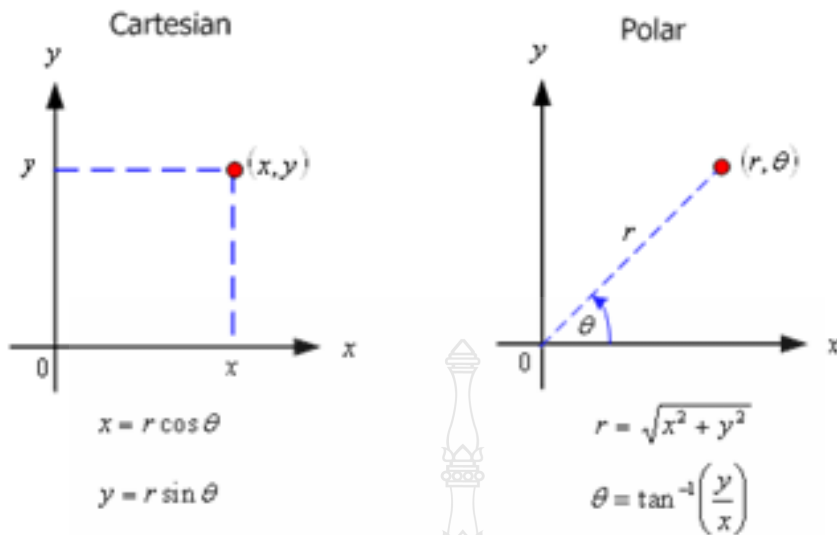


รูปที่ 2.2 แสดงพิกัดคาร์ทีเซียน 2 มิติ [3]

ระบบพิกัดคาร์ทีเซียนสามมิติ คือการเพิ่มมิติสูง หรือ พิกัด Z สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของคู่อันดับ (x, y, z)

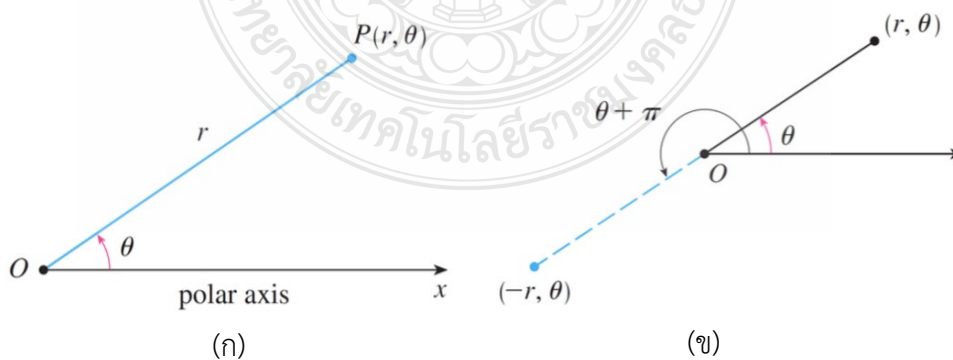


รูปที่ 2.3 แสดงพิกัดคาร์ทีเซียน 3 มิติ [3]



รูปที่ 2.4 การแปลงพิกัดเชิงขั้วเป็นพิกัดฉากและการแปลงพิกัดฉากเป็นพิกัดเชิงขั้ว [3]

2.2.3 ระบบพิกัดเชิงขั้ว (polar coordinate system) คือ ระบบพิกัดสองมิติหรือพิกัดวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 นั้นเราจะบอกตำแหน่งของจุด P ด้วยคู่อันดับ (r, θ) เมื่อ r คือระยะห่างของจุดกำเนิด 0 (ซึ่งเรียกว่า pole) กับจุด $P(x, y)$ ใดๆ และ θ คือมุมของที่ทำกับแกนในทิศทวนเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 2.22 (ก) พิจารณากรณีนี้ r เป็นจำนวนจริงลบ โดยที่จุด $(-r, \theta)$ และจุด (r, θ) อยู่ในบนเส้นตรงที่ผ่านจุดกำเนิด 0 และขนาดของระยะ r เท่ากันแต่มีทิศทางตรงข้ามกับจุด 0 ดังภาพที่ 2.22 (ข) แล้วถ้า $r > 0$ แล้วจุด (r, θ) จะอยู่ในควอดรันต์ (จุดภาค) เดียวกับ θ แต่ถ้า $r < 0$ แล้วจุด $(-r, \theta)$ อยู่ในควอดรันต์ตรงข้ามกับจุด 0 ดังรูปที่ 2.22 นั่นคือ $(-r, \theta) = (r, \theta + \pi)$



รูปที่ 2.5 แสดงพิกัดเชิงขั้ว [3]

2.3 การตอบสนองเชิงเวลา(Time Response) [4]

โพลและซีโร (Pole and Zeros) การตอบสนองด้านเอาต์พุต (output response) ของระบบ เป็นผลรวมของ การตอบสนอง 2 ชนิดคือ force response และ natural response force response อาจจะเรียกอีกอย่างได้ว่า steady-state response เป็นการตอบสนองเนื่องจากสัญญาณอินพุต ส่วน natural response เป็นการตอบสนองตามธรรมชาติเนื่องจากโพลของระบบ

โพล คือ ค่าของตัวแปร s ในทรานสเฟอร์ฟังก์ชันที่ทำให้ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันมีค่าเป็น infinite หรือ ค่ารากของส่วนของทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน

ซีโร คือ ค่าของตัวแปร s ในทรานสเฟอร์ฟังก์ชันที่ทำให้ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันมีค่าเป็นศูนย์ หรือค่ารากของเศษของทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน

2.3.1 การตอบสนองของระบบต่อ Impulse function

ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบ จะต้องมีความรู้พื้นฐานในการเปรียบเทียบผลการทำงาน ของระบบควบคุม พื้นฐานจะได้มาจากการทดสอบโดยการให้สัญญาณอินพุต และดูผลการตอบสนอง ของระบบต่าง ๆ บรรทัดฐานการออกแบบระบบจะใช้สัญญาณหรือผลตอบสนองของระบบ การใช้ สัญญาณทดสอบระบบสามารถนำมาเป็นตัวบอกได้ เพราะจะทำให้เห็นความสัมพันธ์ที่เป็นอยู่ของ สัญญาณอินพุตและความสามารถในการจัดการระบบด้วยสัญญาณอินพุต

สัญญาณทดสอบที่ใช้กันโดยทั่วไป คือสัญญาณอินพุตที่เป็น step function, ramp function, acceleration function, impulse functions, sinusoidal function เป็นต้น โดยวิธีการใช้ ความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์และการทดลองเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ระบบ ทำให้ได้รูปแบบของ สัญญาณที่ง่ายในฟังก์ชันของเวลา

สำหรับระบบเชิงเส้น (linear) ทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน (transfer function) $G(s)$ กำหนดได้ดังต่อไปนี้

$$G(s) = Y(s) / X(s) \quad (2.2)$$

เมื่อ $X(s)$ เป็นการแปลงลาปลาซทางด้านอินพุตและ $Y(s)$ เป็นการแปลงลาปลาซ ทางด้านเอาต์พุตซึ่งมาจาก

$$Y(s) = G(s)X(s) \quad (2.3)$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$Y(s) = \int_0^t g(\tau)g(t-\tau)d\tau \quad (2.4)$$

$$Y(s) = \int_0^t g(\tau)(t-\tau)d\tau \quad (2.5)$$

โดยที่

$$g(t) = X(t) = 0 \text{ เมื่อ } t < 0$$

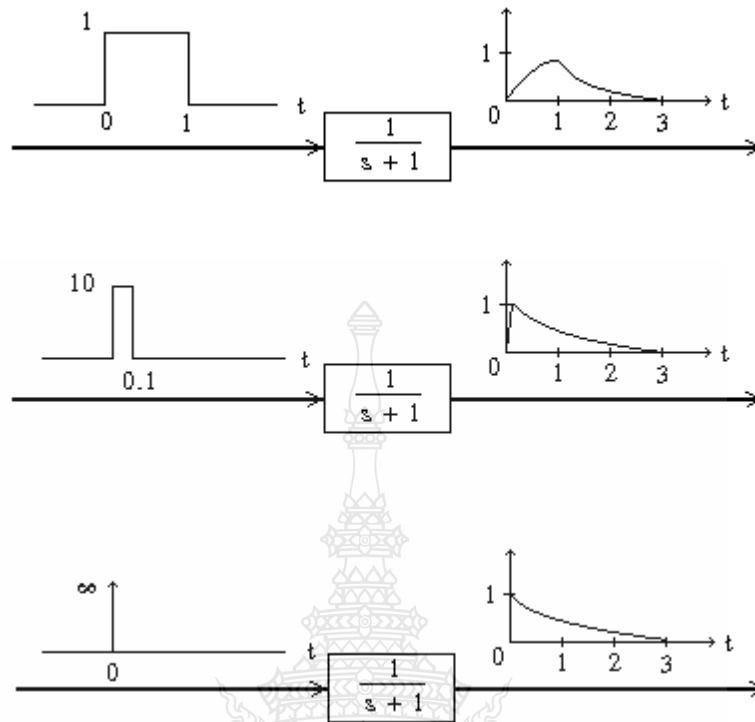
ผลตอบสนองของระบบที่มีอินพุตเป็น unit-impulse เมื่อค่าเริ่มต้น (initial conditions) เป็น 0 เมื่อ ค่าของการแปลงลาปลาซของ unit-impulse function มีค่าเป็น 1 หน่วย และจะได้การแปลงลาปลาซทางด้านเอาต์พุตคือ

$$Y(s) = G(s) \quad (2.6)$$

เมื่อทำการแปลงลาปลาซผกผันจะได้

$$Y(s) = g(t) = \text{impulse-response function}$$

ดังนั้น $g(t)$ (impulse-response function) เป็นผลการตอบสนองของระบบเชิงเส้น เมื่อมีอินพุตเป็น unit-impulse และค่าเริ่มต้นเป็น 0 การแปลงลาปลาซของฟังก์ชัน $g(t)$ นี้จะประกอบด้วยลักษณะข้อมูลของระบบด้าน dynamic ฟังก์ชันที่ได้จากการแปลงลาปลาซนี้จะมีข้อมูลนี้ของระบบอยู่อย่างครบถ้วนเช่นกัน ดังนั้นเราสามารถหาการตอบสนองของระบบจากการป้อนอินพุตระบบด้วยอินพุตที่เป็น impulse และวัดผลตอบสนองออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.6 การตอบสนองของระบบต่อสัญญาณ pulse และ impulse [4]

2.3.2 ระบบอันดับ 1 (First order systems)

ระบบอันดับหนึ่งจะเป็นระบบที่ปราศจาก Zero สามารถที่จะแสดงด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ได้ตั้งในสมการที่ 1 ถ้าสัญญาณเป็นสัญญาณระดับ เมื่อ $R(s) = 1/s$ ฟังก์ชันการถ่ายโอนคือ



รูปที่ 2.7 ระบบอันดับ 1 (First-order system) [4]

เมื่อ
$$G(s) = \frac{a}{s+a} \quad (2.7)$$

$$R(s) = \frac{1}{s} \quad (2.8)$$

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันคือ $G(s)$ และ $R(s)$ เป็นอินพุตแบบสัญญาณระดับ (unit step) จะสามารถหา

สมการทางเอาต์พุตดังสมการที่ 2.9

$$C(s) = G(s)R(s) = \frac{a}{s(s+a)} \quad (2.9)$$

ยกเศษส่วนย่อยก็จะได้

$$C(s) = \frac{1}{s} - \frac{1}{s+a} \quad (2.10)$$

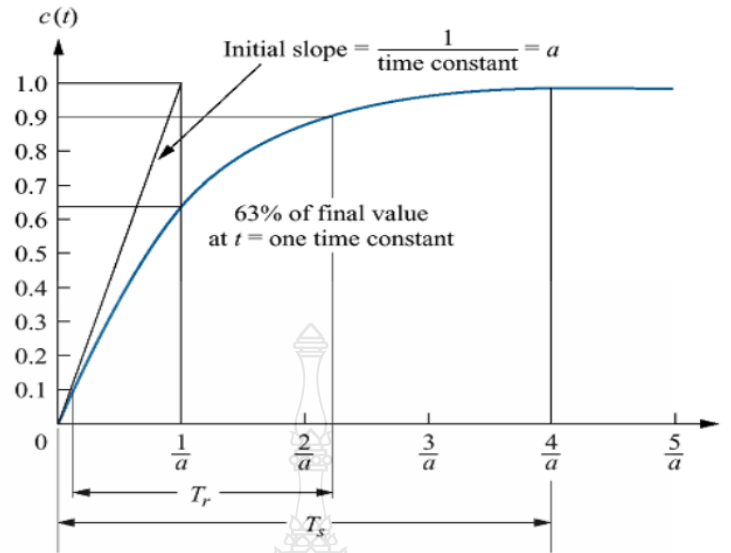
แปลงลาปลาซผกผันจะได้

$$C(t) = (1 - e^{-at}) \quad (2.11)$$

การตอบสนองของระบบแสดงไว้ในรูปที่ 2.8 การตอบสนองของระบบสิ่งที่เราสนใจที่จะศึกษา คือ risetime และ settling time

ข้อสังเกต

ถ้ายิ่งค่าคงที่ของเวลา (Time constant) $T = 1/a$ น้อยลงเท่าไรระบบจะเข้าสู่ภาวะเสถียรโดยใช้เวลาน้อยลง ระบบอันดับหนึ่ง ค่อนข้างจะใช้น้อยมากแต่จะเสถียรมาก ที่จุด $t=T$ จะได้ค่าของ $C(t)$ เท่ากับ 0.632 หรือ 63.2% ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ลักษณะความชันของระบบจะมีค่าเท่ากับ $1/T$ ในที่นี้คือ



รูปที่ 2.8 แสดงการตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งต่ออินพุตแบบสัญญาณระดับ [4]

สัญญาณความคลาดเคลื่อน $e(t)$ หาได้จาก

$$e(t) = r(t) - c(t) \tag{2.12}$$

$$e(t) = e^{-at} \tag{2.13}$$

เมื่อ t เข้าสู่อนันต์แล้วค่า e^{-at} จะเข้าสู่ศูนย์นั่นคือทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

2.3.3 ระบบอันดับสอง (Second order systems) [1]ระบบอันดับสองสามารถเขียนอยู่ในรูปทั่วไปได้ดังนี้

$$G(s) = \frac{R(s)}{C(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \tag{2.14}$$

โดยที่ ω_n คือความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ (Natural Frequency)

ζ คืออัตราการหน่วงของระบบ (damping ratio)

โพลของระบบอันดับ 2 คือ

$$P_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm j\omega_d \quad \text{เมื่อ} \quad \omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$

เราสามารถแบ่งการศึกษาเป็น 4 กรณีคือ

1. Overdamped responses

มีโพลเป็นจำนวนจริงสองค่าที่ $-\sigma_1, -\sigma_2$ การตอบสนองทางธรรมชาติเป็นสัญญาณเอ็กโพเนนเชียลสองตัว ที่มีค่าคงที่ของเวลาเท่ากับส่วนกลับของค่าโพลทั้งสอง

$$C(t) = K_1 e^{-\sigma_1 t} + K_2 e^{-\sigma_2 t} \quad (2.15)$$

2 Underdamped responses $0 < \zeta < 1$

จะมีโพลเป็นจำนวนเชิงซ้อนเป็นจำนวนเชิงซ้อนสองตัว ที่ $-\sigma_d \pm j\omega_d$ การตอบสนองทางธรรมชาติเป็นการแกว่งแบบลูกคลื่นขยายน ซึ่งมีขนาดเป็นเอ็กโพเนนเชียลที่ค่าคงที่ของเวลามีค่าเท่ากับส่วนจริงของโพลซึ่งมีค่าลดลงตามเวลา ความถี่ของขายน, ความถี่ของการแกว่ง มีค่าเท่ากับส่วนของจินตภาพของโพล

$$C(t) = A e^{-\sigma_d t} \cos(\omega_d t - \phi) \quad (2.16)$$

3 Critically damped responses $\zeta = 1$

จะมีโพลเป็นจำนวนจริงซึ่งมีค่าซ้อนกัน 2 ค่า ที่ $-\sigma_1$ การตอบสนองทางธรรมชาติมีหนึ่งเทอมที่เป็นเอ็กโพเนนเชียลซึ่งมีค่าคงที่ของเวลาเท่ากับส่วนกลับของค่าโพล อีกเทอมก็จะเป็นผลคูณของเวลา, t , กับเอ็กโพเนนเชียลซึ่งมีค่าคงที่ของเวลาเท่ากับส่วนกลับของค่าโพล

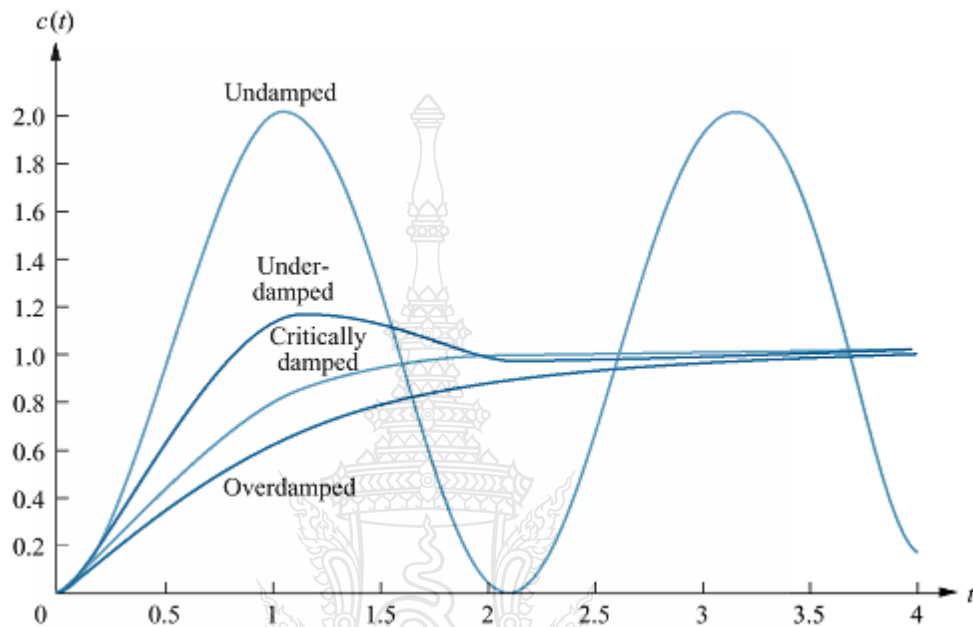
$$C(t) = K_1 e^{-\sigma_1 t} + K_2 t e^{-\sigma_1 t} \quad (2.17)$$

4 Undamped responses $\zeta = 0$

จะมีโพลมีค่าเป็นจำนวนจินตภาพสองจำนวนอยู่ที่ $\pm j\omega_1$ โดยผลการตอบสนองทางธรรมชาติ เป็นคลื่นขายนซึ่งมีความถี่เท่ากับส่วนจินตภาพของโพลและมีขนาดคงที่

$$C(t) = A \cos(\omega_1 t - \phi) \quad (2.18)$$

การตอบสนองของระบบและค่าต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของระบบแสดงไว้ใน รูปที่ 3.4 การตอบสนองในกรณี underdamped กรณี ζ ถือว่าเป็นการตอบสนองที่ดีที่สุดของระบบอันดับ 2 เนื่องจากให้ rise time และ settling time ที่ดีที่สุด



รูปที่ 2.9 การตอบสนองระบบอันดับ 2 เมื่ออินพุตเป็น unit step ทั้ง 4 กรณี [4]

2.3.4 คุณสมบัติของผลตอบสนองชั่วขณะของระบบควบคุมอันดับสอง

ลักษณะการตอบสนองทั่วไปของระบบอันดับสอง เมื่อได้รับสัญญาณอินพุตมาตรฐานที่เป็นสัญญาณแบบอันดับหนึ่งสามารถตรวจสอบคุณสมบัติบางประการของระบบควบคุม โดยการวิเคราะห์จากค่าต่างๆ ดังนี้

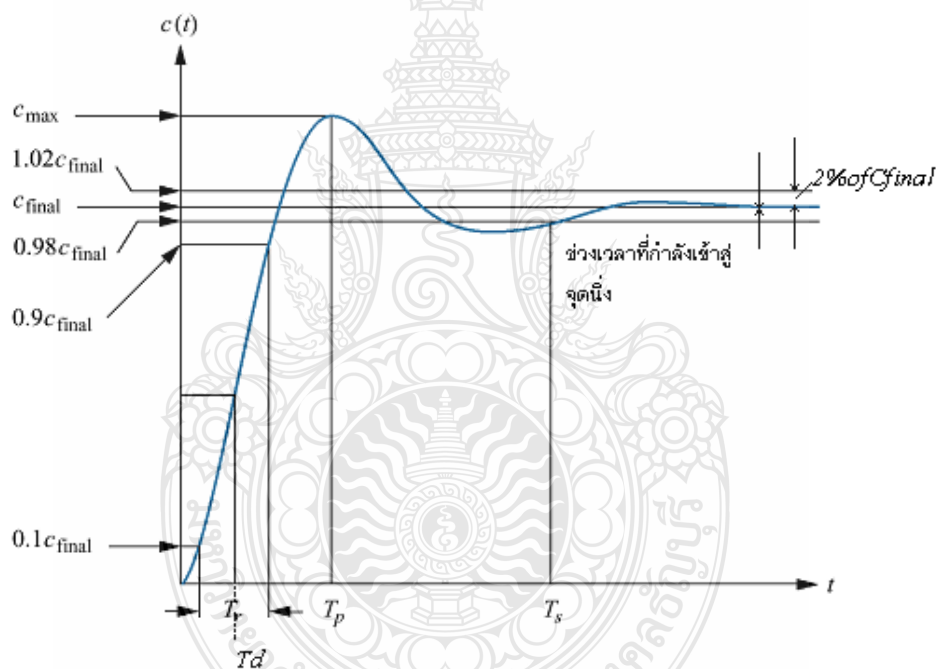
2.3.4.1 เวลาหน่วง (Delay time, t_d) ปกติกำหนดจากเวลาที่ผลตอบสนองมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งหรือ 50% ของค่าสุดท้าย

2.3.4.2 เวลาไต่ขึ้น (Rise Time, t_r) เป็นเวลาที่วัดจากผลตอบสนองมีขนาดเพิ่มขึ้นจาก 10% ถึง 90% หรือ 5% ถึง 95% หรือ 0% ถึง 100% ของค่าสุดท้าย สำหรับระบบควบคุมอันดับสอง ที่อยู่ในสภาวะความหน่วงน้อย (Underdamped) ปกติจะใช้ 0% ถึง 100% สำหรับระบบในสภาวะความหน่วงมาก (Overdamped) ปกติจะใช้ 10% ถึง 90%

2.3.4.3 เวลาสูงสุด (Peak Time , t_p) คือเวลาที่ระบบควบคุมมีการตอบสนองสูงสุด
หาได้จากสมการ

$$T_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} \quad (2.19)$$

2.3.4.4 ผลตอบสนองสูงสุด (Maximum Overshoot , M_p) เป็นตัวบ่งบอกถึงความ
คลาดเคลื่อนสูงสุดระหว่างสัญญาณอินพุตและ สัญญาณเอาต์พุตที่สภาวะของทรานเซียนต์และยังเป็น
ตัวช่วยวัดถึงเสถียรภาพของระบบด้วย ซึ่งจะวัดอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ที่เทียบจากค่าสุดท้าย



รูปที่ 2.10 ลักษณะการตอบสนองชั่วขณะของระบบอันดับสอง [4]

2.3.4.5 เวลาสู่จุดสมดุล (Settling Time, t_s) เป็นเวลาที่ผลตอบสนองมีขนาดลดลงอยู่ภายใน
ค่าที่กำหนดไว้โดยปรกติจะกำหนดเป็นค่าที่ลดลงจากค่าสุดท้าย 2% หรือ 5%

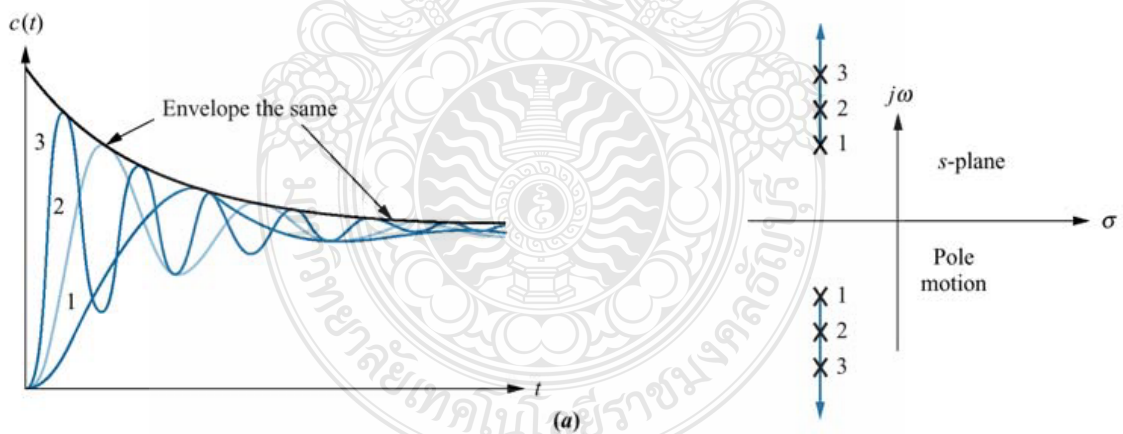
$$T_s = \frac{-\ln(0.02\sqrt{1-\zeta^2})}{\zeta\omega_n} \quad (2.20)$$

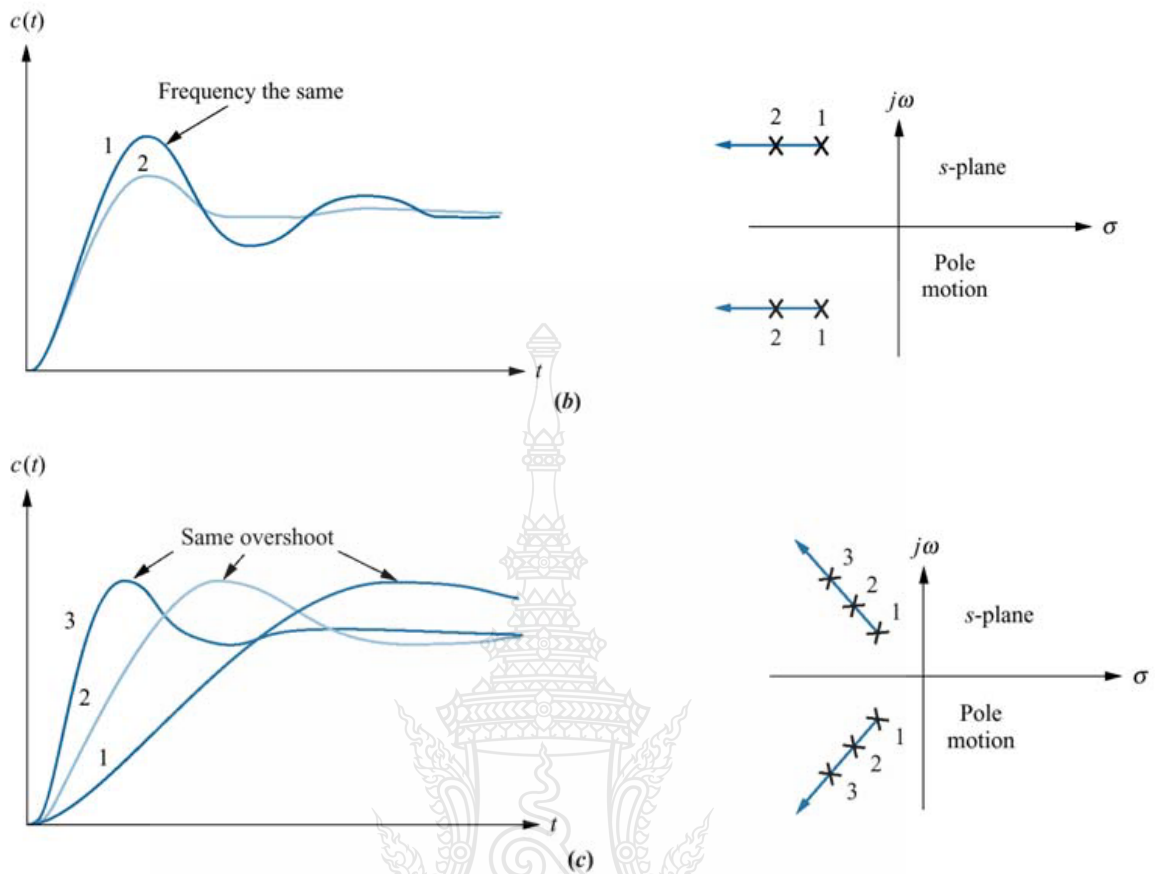
ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของโพลและการตอบสนองของระบบอันดับ 2 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.11

1 เมื่อโพลมีค่าส่วนจริงคงที่ (Constant real part) รูปที่ 2.11 (a) ผลการตอบสนองของระบบต่ออินพุต step function จะมีอัตราการลดลงของการตอบสนองที่เหมือนกัน แต่การตอบสนองจะมีความถี่ของสัญญาณชายนี่ต่างกัน

2 เมื่อโพลมีค่าส่วนจินตภาพคงที่ (Constant imaginary part) รูปที่ 2.11 (b) ผลการตอบสนองของระบบต่ออินพุต step function จะมีการตอบสนองที่มีความถี่ของสัญญาณชายนี่เหมือนกัน แต่อัตราการลดลงของการตอบสนองที่ต่างกัน

3 เมื่อโพลมีอัตราการแกว่งที่คงที่ (Constant damping ratio) รูปที่ 2.11 (c) ผลการตอบสนองของระบบต่ออินพุต step function จะมีการตอบสนองที่มี overshoot คงที่ แต่จะมีความถี่ของสัญญาณชายนี่และอัตราการลดลงของการตอบสนองที่ต่างกัน





รูปที่ 2.11 การตอบสนองของระบบควบคุมอันดับสองต่อสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได (stepfunction)

ในแบบ Underdamped ตามลักษณะของโพลที่เป็นแบบต่าง ๆ [4]

- (a) โพลมีส่วนจริงคงที่
- (b) โพลมีส่วนจินตภาพคงที่
- (c) อัตราส่วนการแกว่งมีขนาดคงที่

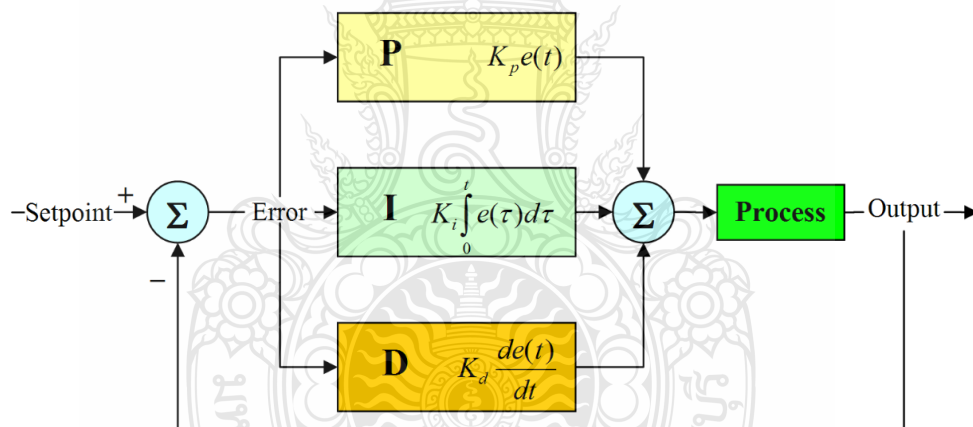
2.4 ทฤษฎีและการออกแบบการควบคุมการทำงาน PID ไมโครคอนโทรลเลอร์ [5]

ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (อังกฤษ: PID controller) เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ

วิธีคำนวณของ PID ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน, ปริพันธ์ และ อนุพันธ์ ค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน, ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งเพิ่งผ่านพ้นไป, และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการ

โดยการปรับค่าคงที่ใน PID ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุมให้เหมาะสมกับที่กระบวนการต้องการได้ การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุมจนถึงค่าความผิดพลาด ค่าโอเวอร์ชูต (overshoots) และ ค่าแกว่งของระบบ (oscillation) วิธี PID ไม่รับประกันได้ว่าจะจะเป็นระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุดหรือสามารถทำให้กระบวนการมีความเสถียรแน่นอน

การประยุกต์ใช้งานบางครั้งอาจใช้เพียงหนึ่งถึงสองรูปแบบ ขึ้นอยู่กับกระบวนการเป็นสำคัญ พีไอดีบางครั้งจะถูกเรียกว่าการควบคุมแบบ PI, PD, P หรือ I ขึ้นอยู่กับว่าใช้รูปแบบใดบ้าง



รูปที่ 2.12 แสดงบล็อกของการควบคุมพีไอดี [5]

ทฤษฎี

การควบคุมแบบ PID ได้ชื่อตามการรวมกันของเทอมของตัวแปรทั้งสามตามสมการ:

$$MV(t) = P_{out} + I_{out} + D_{out} \quad (2.21)$$

เมื่อ

$P_{out}, I_{out}, D_{out}$ เป็นผลของสัญญาณขาออกจากระบบควบคุม PID จากแต่ละเทอมซึ่งนิยามตามรายละเอียดด้านล่าง

สัดส่วน

เทอมของสัดส่วน (บางครั้งเรียก อัตราขยาย) จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่ K_p , หรือที่เรียกว่า อัตราขยายสัดส่วน

ทอมของสัดส่วนจะเป็นไปตามสมการ:

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (2.22)$$

เมื่อ

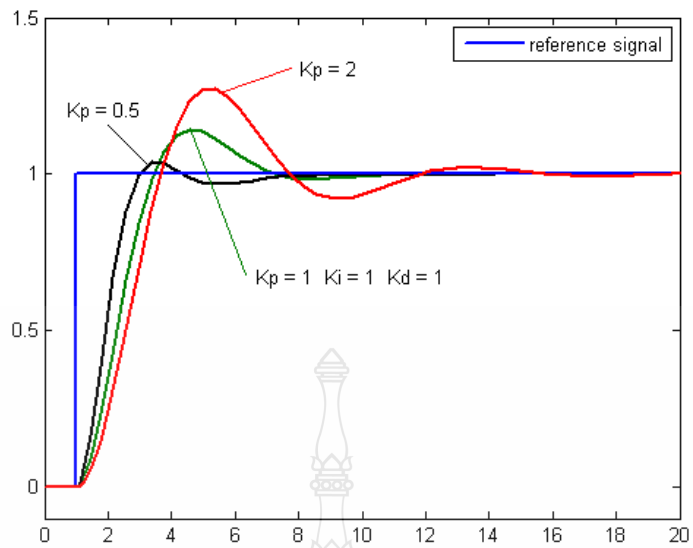
P_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

K_p : อัตราขยายสัดส่วน, ตัวแปรปรับค่าได้

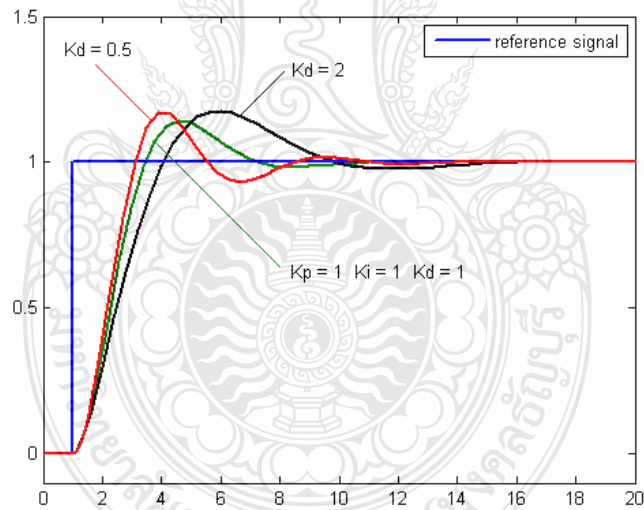
e : ค่าคงที่ผิดพลาด = $SP - PV$

t : เวลา

ผลอัตราขยายสัดส่วนที่สูงค่าความผิดพลาดก็จะเปลี่ยนแปลงมากเช่นกัน แต่ถ้าสูงเกินไประบบจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงกันข้าม ผลอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำ ระบบควบคุมจะมีผลตอบสนองต่อกระบวนการน้อยตามไปด้วย



รูปที่ 2.13 กราฟ PV ต่อเวลา, K_p กำหนดเป็น 3 ค่า (K_i และ K_d คงที่) [5]



รูปที่ 2.14 กราฟ PV ต่อเวลา, K_p กำหนดเป็น 3 ค่า (K_i และ K_d คงที่) [5]

ปริพันธ์

ผลจากเทอมปริพันธ์ (บางครั้งเรียก reset) เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้ออฟเซต

สะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลของ
เทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์, K_i

เทอมปริพันธ์จะเป็นไปตามสมการ:

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (2.23)$$

เมื่อ

I_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

K_i : อัตราขยายปริพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

e : ค่าคงที่ผิดพลาด = $SP - PV$

t : เวลา

เทอมปริพันธ์ (เมื่อรวมกับเทอมสัดส่วน) จะเร่งกระบวนการให้เข้าสู่จุดที่ต้องการและขจัดความ
ผิดพลาดที่เหลืออยู่ที่เกิดจากการใช้เพียงเทอมสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตาม เทอมปริพันธ์เป็นการตอบสนอง
ต่อความผิดพลาดสะสมในอดีต จึงสามารถทำให้เกิดโอเวอร์ชุตได้ (ข้ามจุดที่ต้องการและเกิดการหันเห
ไปทางทิศทางอื่น)

อนุพันธ์

อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดจากกระบวนการนั้นคำนวณหาจากความชันของ
ความผิดพลาดทุกๆเวลา (นั่นคือ เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา) และคูณด้วยอัตราขยาย
อนุพันธ์ K_d ขนาดของผลของเทอมอนุพันธ์ (บางครั้งเรียก อัตรา) ขึ้นกับ อัตราขยายอนุพันธ์ K_d

เทอมปริพันธ์จะเป็นไปตามสมการ:

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.24)$$

เมื่อ

D_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมอนุพันธ์

K_d : อัตราขยายอนุพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

e : ค่าคงที่ผิดพลาด = $SP - PV$

t : เวลา

เทอมอนุพันธ์จะชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของระบบควบคุมและด้วยผลนี้จะช่วยให้ระบบควบคุมเข้าสู่จุดที่ต้องการ ดังนั้นเทอมอนุพันธ์จะใช้ในการลดขนาดของโอเวอร์ชูตที่เกิดจาเทอมปริพันธ์และทำให้เสถียรภาพของการรวมกันของระบบควบคุมดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของสัญญาณรบกวนที่ถูกขยายในระบบควบคุมจะไวมากต่อการรบกวนในเทอมของความผิดพลาดและสามารถทำให้กระบวนการไม่เสถียรได้ถ้าสัญญาณรบกวนและอัตราขยายอนุพันธ์มีขนาดใหญ่เพียงพอ

ผลรวม

เทอมสัดส่วน, ปริพันธ์, และอนุพันธ์ จะนำมารวมกันเป็นสัญญาณขาออกของการควบคุมแบบ PID กำหนดให้ $u(t)$ เป็นสัญญาณขาออก สมการสุดท้ายของวิธี PID คือ:

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.25)$$

การหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด

1.1 Repeatability (U_a): ค่าความไม่แน่นอนจากค่า Repeatability ของเครื่องมือ UUC

จากสูตรคำนวณ

$$U_a = \delta_{n-1} / \sqrt{n} \quad (2.26)$$

เมื่อ δ_{n-1} คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการวัด

N คือ จำนวนครั้งของการวัด

- หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการวัด (Standard Deviation), δ_{n-1}

$$\delta_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.27)$$

เมื่อ \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของผลการวัด

X_i คือ ผลการวัดในแต่ละครั้ง

N คือ จำนวนครั้งของการวัด

- หาค่าเฉลี่ยของผลการวัด(Average), \bar{X}

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.28)$$

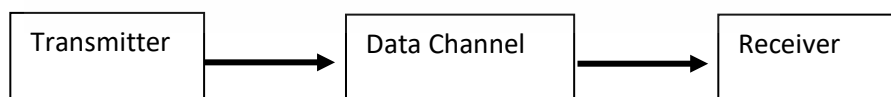
$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N} \quad (2.29)$$

เมื่อ X_i คือ ผลการวัดในแต่ละครั้ง หือค่าที่วัดได้แต่ละครั้งซึ่งอ่านจาก UUC (I_{ix})

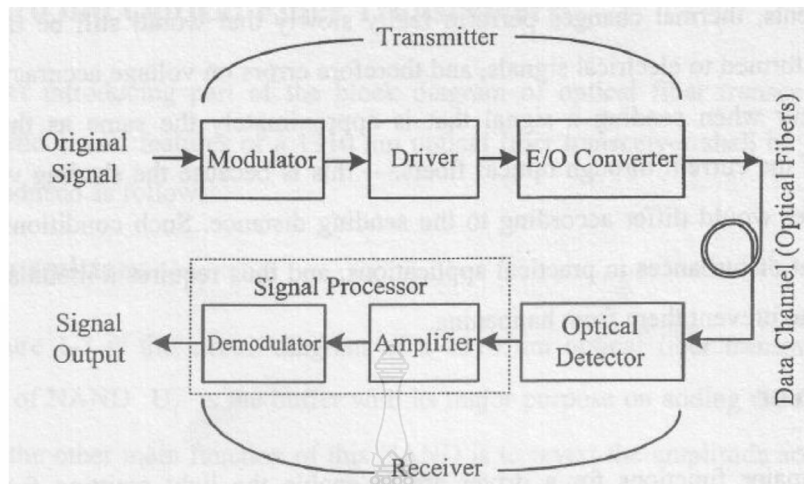
N คือ จำนวนครั้งของการวัด

2.5 การรับ-ส่งสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสง [6]

ระบบส่งสัญญาณเส้นใยแก้วนำแสงโดยการสื่อสารมีองค์ประกอบหลัก คือ ผู้ส่ง (Sender) ตัวกลาง (media) และผู้รับ (Receiver) โดยรูปแบบของตัวกลางแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือแบบไร้สายและแบบมีสาย ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง เป็นการส่งสัญญาณแสงผ่านสายเคเบิลหรือเส้นใยนำแสง โดยที่ตัวส่งจะสร้างข้อความ (Message) หรือสัญญาณ ซึ่งอาจเป็นข้อมูล สัญญาณความถี่ หรือขนาดแรงดัน เพื่อส่งผ่านตัวกลาง ไปยังตัวรับ โครงสร้างระบบส่งสัญญาณเส้นใยนำแสง ดังรูปที่ 1 และ 2 โดยส่วนการส่งสัญญาณเส้นใยนำแสง ประกอบด้วย ตัวมอดูเลเตอร์ (modulator) ไดรเวอร์ (driver) และตัวแปลง E/O (E/O converter) และส่วนการรับสัญญาณประกอบด้วย ตัวดีมอดูเลเตอร์ (demodulator) ตัวตรวจจับสัญญาณแสง (optical detector) และวงจขยายสัญญาณ (Amplifier) ซึ่งช่องทางข้อมูลหรือสายสัญญาณ คือ เส้นใยนำแสง



รูปที่ 2.15 โครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสาร [6]



รูปที่ 2.16 โครงสร้างระบบสื่อสารข้อมูลด้วยเส้นใยนำแสง [6]

สัญญาณเริ่มต้นโดยทั่วไปนั้นอาจจะเป็นคลื่นเสียง สัญญาณภาพ ซึ่งสัญญาณข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้ไม่สามารถส่งผ่านเส้นใยนำแสงได้โดยตรง ต้องทำการแปลงสัญญาณเป็นระดับความเข้มของแสง เพื่อใช้ในการส่งผ่านเส้นใยนำแสง การควบคุมระดับความเข้มของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (Light emitter) มีวิธีอย่างง่ายโดยการควบคุมกระแสที่ไหลผ่าน ที่เป็นไปตามกฎของโอห์ม (Ohm's law) คือ $I = \frac{V}{R}$ หรืออาจกล่าวได้ว่า หน้าที่หลักทรานสดิวเซอร์ ก็คือ แปลงสัญญาณที่ไม่ใช่สัญญาณไฟฟ้าเป็นให้สัญญาณไฟฟ้า เช่น ไมโครโฟน ที่แปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า หรือ กล้องถ่ายวิดีโอ ที่แปลงสัญญาณภาพและเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้าเช่นกัน

2.5.1. มอดูเลเตอร์/คอนเวอร์เตอร์ (Modulator / Converter)

หน้าที่หลักของมอดูเลเตอร์/คอนเวอร์เตอร์ คือ แปลงสัญญาณไฟฟ้ารูปแบบต่าง ๆ ส่งเข้าสู่เส้นใยนำแสง เพื่อส่งข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ แลขนาดที่เปลี่ยนมีค่าน้อย ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งส่งผลต่อการแปลงสัญญาณทำให้เกิดควมผิดพลาดในการส่งผ่านข้อมูล อีกทั้งระยะทางในการส่งและรับข้อมูลยังส่งผลต่อสัญญาณที่ตัวรับด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ นี้ ต่างก็มีผลรบกวนในทางปฏิบัติ ดังนั้นมอดูเลเตอร์/คอนเวอร์เตอร์ จึงต้องมีส่วนป้องกันปรากฏการณ์นี้ด้วย

2.5.2. ไดรเวอร์ (Driver)

หน้าที่หลักของไดรเวอร์ คือ ทำให้แหล่งกำเนิดแสงสามารถส่งแสงออกมาสอดคล้องกับแรงดันสัญญาณไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง ระดับความสว่างของแสงที่ส่งออกมาจะขึ้นกับกระแสถ้ากระแส

มีประมานน้อยหรือไม่พอต่อการทำให้แหล่งกำเนิดแสงทำงาน ไดรเวอร์จะทำหน้าที่เพิ่มกระแสขึ้นการ
ใช้ไดรเวอร์ที่มีสมบัติดีจะทำให้แสงที่ได้มีความถูกต้องและควบคุมได้

2.6 ตัวประมวลผลสัญญาณ (Signal Processors)

ตัวประมวลผลสัญญาณ ทำหน้าที่ในการกล้ำสัญญาณหรือแปลงสัญญาณที่ได้รับเพื่อให้
ได้ข้อความเริ่มต้น โดยตัวประมวลผลสัญญาณแบ่งออกเป็นส่วนย่อย 4 วงจร ได้แก่ 1. วงจรสัญญาณ
ออสซิลเลเตอร์ (Signal amplitude oscillator) 2. วงจรแปลงขั้วแรงดัน (Voltage polarity trans
formers) 3. วงจรกรองสัญญาณรบกวน (Noise filtering circuits) 4. วงจรภาครับสัญญาณ/แปลง
สัญญาณกลับ (Signal demodulators/reverting circuits) โดยวงจรที่มีการใช้มาก คือ วงจรภาครับ
สัญญาณ/แปลงสัญญาณกลับ และวงจรสัญญาณออสซิลเลเตอร์ ส่วนวงจรอื่น ๆ จะมีการใช้งานขึ้นกับ
สถานการณ์และความต้องการของระบบ วงจรสัญญาณกำเนิดสัญญาณ ทำหน้าที่สร้าง (Oscillating)
สัญญาณ ส่วนวงจรแปลงขั้วแรงดันทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณที่มีสองขั้ว (Bipolarity) ให้เป็น
สัญญาณที่มีขั้วเดียว (Single-polarity) หรือแปลงระดับแรงดันระหว่างสัญญาณ เช่น แรงดันขาเข้า 12
V เป็น 5 V ในส่วนของวงจรกรองสัญญาณรบกวน ทำหน้าที่ในการกำจัดสัญญาณรบกวน และวงจร
ภาครับสัญญาณ/แปลงสัญญาณกลับ ทำหน้าที่ในการแปลงอินพุตและแปลงกลับสัญญาณขาออกเป็น
สัญญาณข้อมูล

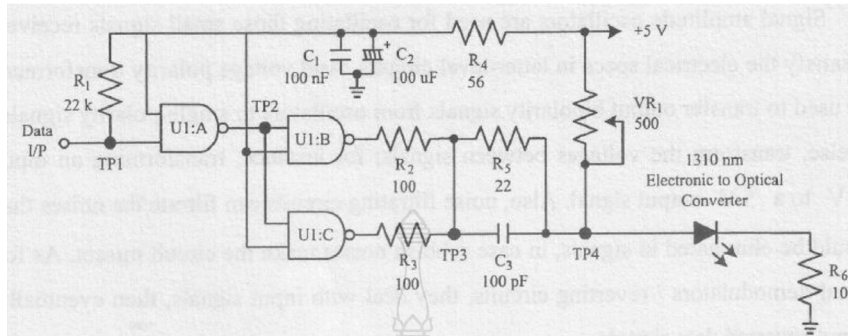
2.7 การรับ – ส่งสัญญาณของเส้นใยนำแสงที่ความยาวคลื่น 1310 nm [6]

โครงสร้างระบบรับ – ส่งสัญญาณของเส้นใยนำแสงที่ความยาวคลื่น 1310 nm มี
สมบัติขององค์ประกอบต่าง ๆ เป็นดังนี้

2.7.1 ตัวส่งสัญญาณโครงสร้างวงจรส่งสัญญาณเส้นใยนำแสงที่ความยาวคลื่น 1310 nm แสดง
ดังรูปที่ 2.12 โดยมี NAND U1 เป็นบัฟเฟอร์ และเพิ่มความสามารถในที่กระจายตามความยาว
สัญญาณ(fan out)นอกจากนั้นยังทำหน้าที่ในการแปลงขนาดสัญญาณที่มีขนาดเล็ก ตัวต้านทาน R1
เป็นตัวต้านทานเพิ่มค่า ที่ช่วยลดผลกระทบเนื่องจากโหลด ส่วนตัวต้านทาน R2 และ R3 เป็นตัว
ต้านทานควบคุมกระแส

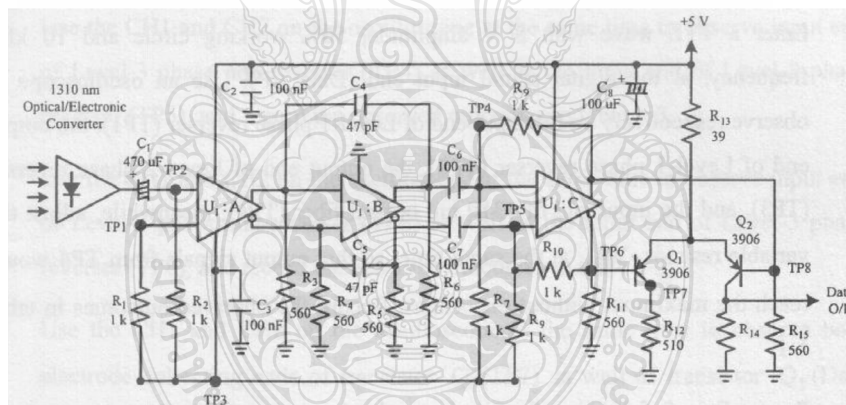
เพื่อป้องกันไม่ให้ไอซีไหม้ เมื่อแรงดันขาออกที่ U1:B และ U1:C มีค่าน้อย (0V) ซึ่งท าให้เกิดกระแส
ประมานมากไหลผ่านไอซี ส่วนวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านใช้ตัวต้านทาน R4 และตัวเก็บ
ประจุ C1 เพื่อก ำจัดสัญญาณรบกวน ส่วนตัวต้านทาน C3 เป็นตัวเก็บประจุ Speed-up ที่ช่วยลด
ช่วงเวลา Interacting ระหว่างทั้งสองด้านของตัวต้านทาน R5 ส่วนตัวต้านทาน R6 และตัวต้านทาน

ปรับค่าได้ VR1 ทำหน้าที่ควบคุมการไบแอส LED ซึ่งความสว่างของ LED ด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ VR1



รูปที่ 2.17 วงจรตัวส่งสัญญาณเส้นใยนำแสงที่มีความยาวคลื่น 1310 nm [6]

2.7.2 ตัวรับสัญญาณ โครงสร้างวงจรรับและประมวลผลสัญญาณเส้นใยนำแสงที่มีความยาวคลื่น 1310 nm แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 วงจรตัวรับสัญญาณเส้นใยนำแสงที่มีความยาวคลื่น 1310 nm [6]

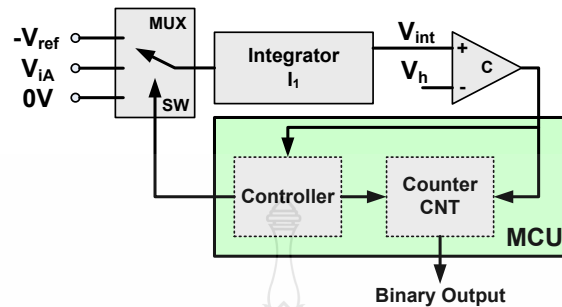
สัญญาณดิจิทัลที่ได้รับมักจะมีขนาดเล็กและมีสัญญาณรบกวนมาก จึงต้องนำไอซีขยายขนาดสัญญาณ (amplifier magnitude) ที่ผลิตโดยบริษัทโมโตโรลา เบอร์ MC10116 มาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งการขยายขนาดสัญญาณจะมีขนาด CMRR (Common Mode Reject Ration) มาก และเหมาะกับการสื่อสารที่ระยะทางไกลๆ วงจรดังรูปที่ 4 ประกอบด้วยวงจรขยายสัญญาณ 3 วงจร ทำให้ได้สัญญาณขนาดใหญ่ และกำจัดสัญญาณรบกวนออก โดยทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ทำหน้าที่ขยายขนาด

สัญญาณ ทำให้ได้ขนาดสัญญาณขาออกจาก MC10116 มีขนาดที่เหมาะสม ในระดับสัญญาณ TTL โดยใช้สมบัติของการ conducting (on) และ cutting (off) ของทรานซิสเตอร์ เสมือนกับใช้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 เป็นสวิตช์ นั่นเอง เมื่อสัญญาณขาออกฝั่งตรงข้ามของ U1:C มีสถานะ High (5V) ทรานซิสเตอร์ Q2 จะทำงานในแบบ cutting (off) ทำให้สัญญาณขาออกที่ Data O/P มีสถานะ Low (0V) ในทำนองกลับกันถ้าสัญญาณขาออกฝั่งตรงข้ามของ U1:C มีสถานะ Low (0V) ทรานซิสเตอร์ Q2 จะทำงานในแบบ conducting (on) ทำให้สัญญาณขาออกที่ Data O/P มีสถานะ High (5V) ทั้งนี้การปรับขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณขาออกทำได้โดยปรับตัวต้านทาน R14 เมื่อตัวต้านทานมีค่ามากขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณก็จะมาก ถ้าตัวต้านทาน R14 มีขนาดมากเกินไปก็จะส่งผลต่อขนาดแอมพลิจูดสัญญาณขาออกเช่นกัน เพราะทรานซิสเตอร์ Q2 อยู่ในสถานะ Cut แรงดันที่ Data O/P มีผลทำให้เกิดกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R14 ลงกราวด์ โดยที่ถ้าตัวต้านทาน R14 มีขนาดมาก ช่วงเวลา releasing time จะเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ตกลง เป็นผลให้สัญญาณผิดรูปไป

2.8 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล [7]

ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีความละเอียดสูงๆ (HADC: High resolution Analog to Digital Converter) จำเป็นที่ต้องใช้ไอซีแปลงสัญญาณ ADC ที่มีจำนวนบิตทางเอาต์พุตสูง ซึ่งเป็นไอซีที่มีราคาแพงกว่าไอซีพื้นฐานทั่วไป ในระบบการวัดทางกายภาพที่ไม่ต้องการความเร็วในการแปลงสัญญาณมากนัก เช่น ระบบการชั่งน้ำหนัก ระบบการวัดความดัน และการวัดอุณหภูมิ มักจะใช้ไอซีแปลงสัญญาณแบบ Dual slope ADC โดย Dual slope ADC เป็นวิธีการแปลงสัญญาณอีกแบบหนึ่งที่มีความเที่ยงตรงสูง หลักการทำงานพื้นฐานของวงจรก็คือการสร้างพัลส์ขึ้นมาหนึ่งลูกในหนึ่งรอบของการแปลงสัญญาณ ความกว้างของพัลส์ที่สร้างขึ้นถูกคำนวณจากเวลาที่ใช้ในการอินทิเกรตสัญญาณที่แตกต่างกัน 2 ค่า คือ สัญญาณต่อเนื่องขาเข้า (V_{iA}) และสัญญาณอ้างอิง โดยการอินทิเกรตครั้งแรกเป็นการอินทิเกรตสัญญาณต่อเนื่องขาเข้าภายในระยะเวลาที่กำหนดแน่นอนค่าหนึ่งให้เป็น t_1 ซึ่งจะได้สัญญาณขาออกของวงจรอินทิเกรต ณ เวลานั้นแตกต่างกันตามขนาดสัญญาณต่อเนื่องขาเข้า หลังจากนั้นวงจรจะสร้างพัลส์เพื่อคำนวณหาค่าสัญญาณดิจิทัลโดยการทำการอินทิเกรตสัญญาณอ้างอิงในทิศทางลบจนกระทั่งสัญญาณขาออกของวงจรอินทิเกรตมีค่าเท่ากับระดับสัญญาณที่ถูกกำหนดแน่นอนค่าหนึ่งให้มีค่าเท่ากับ V_{th} และระยะเวลาที่ใช้ในการอินทิเกรตครั้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ t_2 กรณีที่สัญญาณต่อเนื่องขาเข้าต่างกัน ค่าเวลา t_2 ของการทำงานก็จะแตกต่างกันด้วย จำนวนของ

สัญญาณนาฬิกาที่เกิดขึ้นภายในช่วงเวลาพัลส์ t_2 วงจรควบคุมการทำงานจะแปลงค่าสัญญาณดิจิทัลที่เทียบเท่ากับสัญญาณต่อเนื่องขาเข้า



รูปที่ 2.19 แผนภาพวงจรพื้นฐานของ Dual slope ADC [7]

จากวงจรรูปที่ 1 วงจรประกอบด้วยวงจรอินทิเกรต (I_1) วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (C) สวิตช์ มัลติเพล็กซ์ วงจรควบคุมการทำงาน และวงจรนับไบนารี (CNT) การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ ดังนี้ เริ่มแรกวงจรควบคุมการทำงานจะส่งสัญญาณรีเซ็ต โดยส่งสัญญาณควบคุมไปสั่งให้มัลติเพล็กซ์ สวิตช์ต่อเข้ากับแรงดัน 0 V เพื่อรีเซ็ตค่าศักย์ดาที่ขาออกของวงจรอินทิเกรต หลังจากนั้นจะควบคุมให้ มัลติเพล็กซ์สวิตช์ต่อเข้ากับสัญญาณต่อเนื่อง (V_{IA}) เพื่อส่งไปยังวงจรอินทิเกรตเพื่อทำการอินทิเกรต สัญญาณเป็นระยะเวลาเท่ากับ $N_{ref}T(t)$ ซึ่งเป็นระยะเวลาอ้างอิงที่กำหนด ได้สัญญาณขาออกจากวงจร อินทิเกรตเป็น V_{int} โดยความสัมพันธ์ของ V_{IA} กับ V_{int} แสดงได้ดังสมการที่ 2.30

$$\begin{aligned}
 V_{int}(t) &= K \int_0^{N_{ref}T} V_{IA} dt + V_{int}(0) \\
 &= KN_{ref}TV_{IA} + V_{int}(0)
 \end{aligned}
 \tag{2.30}$$

เมื่อ K เป็นค่าคงที่

หลังจากนั้นวงจรควบคุมจะสั่งให้มัลติเพล็กซ์สวิตช์ต่อกับสัญญาณ $-V_{ref}$ เพื่อส่งผ่านค่าศักย์ดา อ้างอิง เข้าสู่ วงจรอินทิเกรตซึ่งวงจรอินทิเกรตมีความชันการทำงานของวงจรเป็นลบ (-) ใน ขณะเดียวกันนั้นวงจรมันจะเริ่มทำการนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาไปจนกระทั่ง V_{int} มีค่าเท่ากับ V_{th} ซึ่งเป็นค่าระดับศักย์ดาที่กำหนด วงจรมันก็จะหยุดทำการนับ ให้ระยะเวลาที่วงจรมันทำงานเท่ากับ $N_{OUT} T(t_2)$ วงจรควบคุมการทำงานจะทำการแปลงจำนวนสัญญาณนาฬิกา N_{OUT} ที่นับได้เป็นสัญญาณดิจิทัล

ที่เทียบเท่ากับสัญญาณต่อเนื่องขาเข้า (V_{IA}) สมการความสัมพันธ์ในช่อง ความชัน (slope) ขาลงระหว่าง $-V_{ref}$ กับ V_{int} แสดงได้ดังสมการที่ 2.31

$$V_{int}(t) = V_{int}(0) + K \int_0^t (-V_{ref}) dt \quad (2.31)$$

เมื่อ $t = N_{OUT}T$ จะได้ว่า

$$V_{int}(t) = V_{int}(0) + K \int_0^{N_{OUT}T} (-V_{ref}) dt \quad (2.32)$$

จาก $V_{int}(0) = KN_{ref}TV_{IA} + V_{th}$ ดังนั้น

$$V_{int}(N_{OUT}T) = [KN_{ref}TV_{IA} + V_{th}] - KN_{OUT}TV_{ref} \quad (2.33)$$

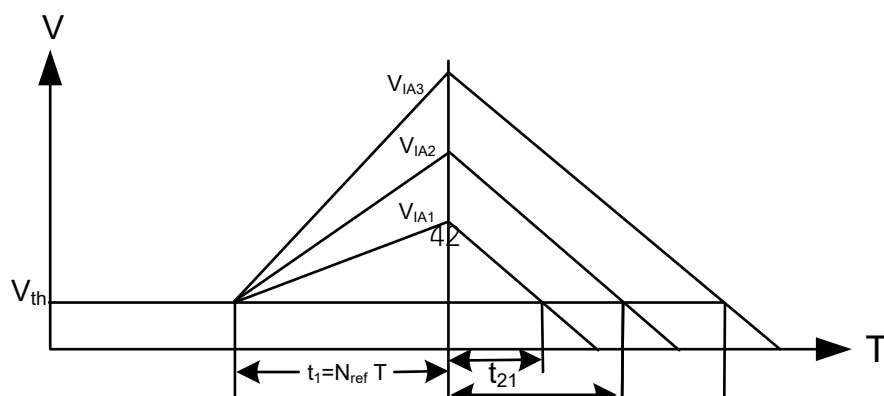
เนื่องจาก $V_{int}(N_{OUT}T) = V_{th}$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$V_{ref}(N_{OUT}T) = V_{IA}N_{ref} \quad (2.34)$$

หรือ

$$N_{OUT} = N_{ref} \left[\frac{V_{IA}}{V_{ref}} \right] \quad (2.35)$$

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ดาที่ขาออกของวงจรมติเกรต (V_{int}) และเวลา t แสดงดังรูปที่ 2.19 จากสมการที่ 2.34 จะเห็นได้ว่าการทำงานของวงจรมติเกรตไม่ขึ้นกับค่าศักย์ดา threshold ของวงจรถ่ายเทียบสัญญาณ ความชันของวงจรมติเกรตหรือสัญญาณนาฬิกา แต่การทำงานของวงจรมติเกรตจะขึ้นอยู่กับระดับของศักย์ดาที่ขาเข้าวงจรมติเกรตเท่านั้น ทำให้การทำงานของวงจรมติเกรตมีความเที่ยงตรงแม่นยำสำหรับในกรณีที่มีสัญญาณต่อเนื่องขาเข้ามีค่าสูงสุดเวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณจะมีค่ามากที่สุดคือ $2^N + 1T$ วินาที โดยที่ N เป็นจำนวนบิตที่ต้องการ

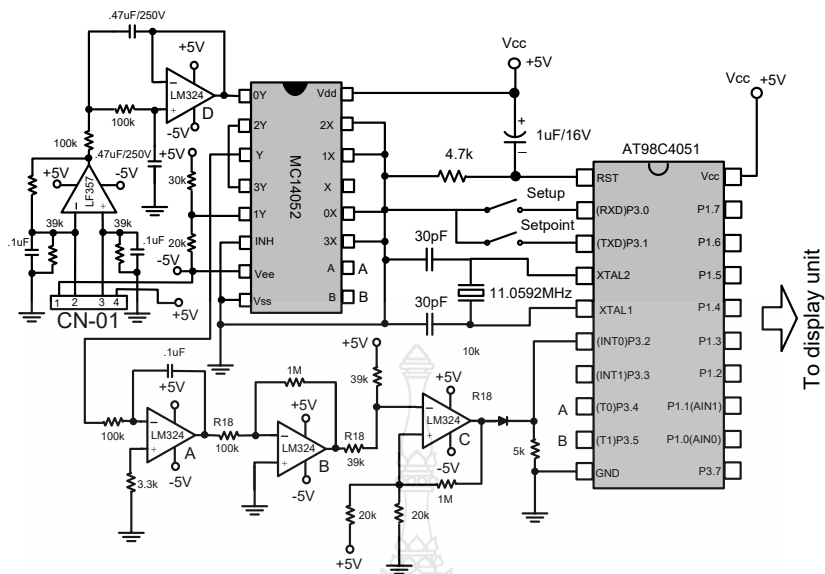


รูปที่ 2.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ดาจุดออกของวงจรอินทิเกรต V_{int} กับเวลา [7]

2.8.1 การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างวงจร Dual slope ADC

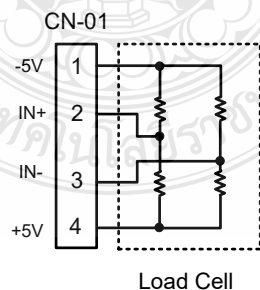
จากหลักการแปลงสัญญาณที่กล่าวมาเราสามารถสร้างวงจรในส่วนของแปลงสัญญาณได้โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C4051ทำงานร่วมกับไอซีสวิตช์มัลติเพล็กซ์เบอร์ MC14052 และอปแอมป์เบอร์ LM324 แสดงดังรูปที่ 2.21

จากวงจรรูปที่ 2.21 ไอซี LF357 ทำหน้าที่เป็น Low noise amplifier รับสัญญาณจากโหนดเซลล์ เป็นแรงดันแล้วส่งต่อไปกับไอซี LM324/D ซึ่งทำหน้าที่เป็น Low pass filter unity gain ส่งต่อไปให้ไอซีมัลติเพล็กซ์ ที่ขา 0Y เป็นสัญญาณอนาล็อกอินพุต ส่วนไอซี LM324/A จะทำหน้าที่เป็นวงจรอินทิเกรตโดยรับสัญญาณจากไอซีมัลติเพล็กซ์ทำการอินทิเกรตสัญญาณแล้วส่งต่อไปกับวงจรขยายแบบกลับเฟส (LM324/B) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณส่งให้วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (LM324/C) อีกทอดหนึ่งวงจรขยายเปรียบเทียบสัญญาณจะนำสัญญาณที่ได้ไปเปรียบเทียบกับแรงดันเทรโดล (V_{th}) ที่สร้างขึ้นแล้วนำสถานะเอาต์พุตที่ได้ไปทำการอินเทอร์รัพท์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไอซีมัลติเพล็กซ์จะทำหน้าที่เลือกสัญญาณต่อกับอนาล็อกอินพุต (V_{IA}), 0V และสัญญาณอ้างอิง (V_{ref}) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมผ่านทางพอร์ต P3.4(A) และ P3.5(B) โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ประมวลผลการแปลงค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลตามโปรแกรมดังแสดงในผังงานรูปที่ 2.21

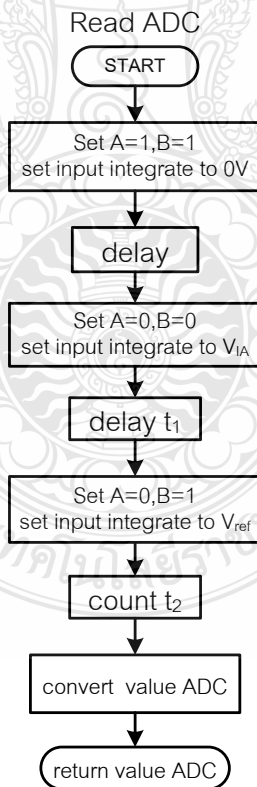
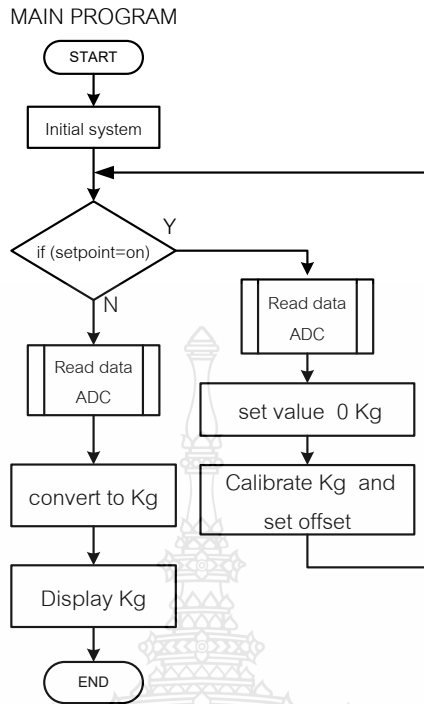


รูปที่ 2.21 การประยุกต์ใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C4051 [7]

2.8.2 การประยุกต์ใช้งานเทคนิคการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลความละเอียดสูงนี้ได้ทดลองประยุกต์ใช้งานในเครื่องชั่งน้ำหนักบุคคล ที่สามารถชั่งน้ำหนักได้ตั้งแต่ 0-300 กิโลกรัม โดยกำหนดให้ความละเอียดของน้ำหนักที่เครื่องแสดงผลได้ใน 1 ชั้นเท่ากับ 40 กรัม ดังนั้นวงจรจึงต้องแปลงสัญญาณอนาล็อกที่รับมาจากเซนเซอร์วัดน้ำหนักเป็น จำนวนทั้งสิ้น 7500 ชั้น ซึ่งฟังก์ชันการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลที่มีในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ราคาถูกนั้นไม่สามารถทำได้ แต่เมื่อนำเทคนิคการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลความละเอียดสูงด้วยซอฟต์แวร์มาใช้นั้นสามารถแก้ปัญหานี้ได้ ในเครื่องชั่งน้ำหนักบุคคลที่สร้างขึ้นนี้ใช้โหลดเซลล์เป็นเซนเซอร์วัดน้ำหนักซึ่งการต่อวงจรภายในแสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 วงจรโหลดเซลล์ (Load Cell) สำหรับตรวจวัดน้ำหนัก [7]



รูปที่ 2.23 ผังงานโปรแกรมแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลของเครื่องชั่งน้ำหนักบุคคล [7]

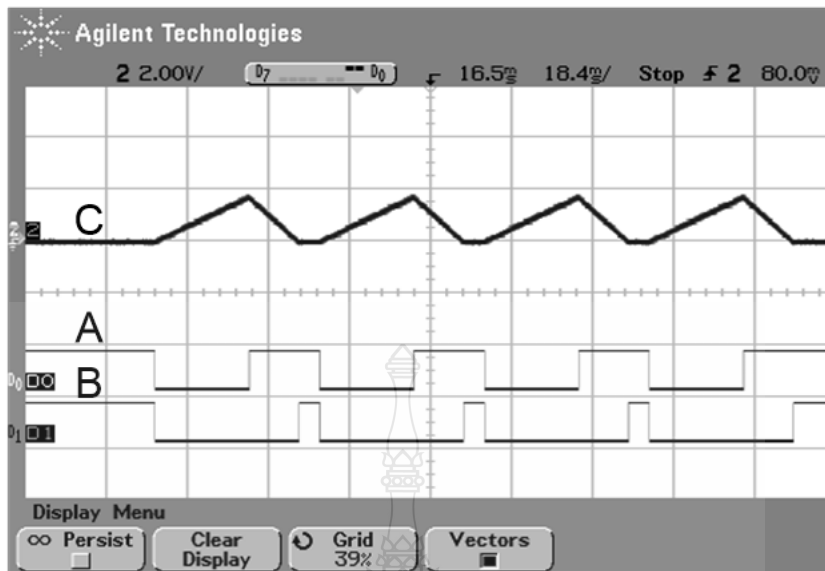
ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลตามผังงานในรูปที่ 2.23 สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

โปรแกรมหลัก (Main Program)

การทำงานของโปรแกรมหลักเริ่มจากการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับระบบแล้วทำการตรวจสอบสวิตช์ Set point ว่ามีการกดหรือไม่ ถ้ามีการกดก็จะเข้าสู่โหมดของการปรับเทียบค่าของน้ำหนักครั้งแรกที่อ่านได้ไหลดเซลล์ในขณะที่ยังไม่มีภาระให้เริ่มต้นที่ 0 กิโลกรัมก่อน แล้วจากนั้นจึงนำน้ำหนักมาตรฐานที่ทราบค่ามาวางบนเครื่องชั่งแล้วกดปุ่ม Setup เพื่อให้โปรแกรมคำนวณหาค่าออฟเซต (offset) สำหรับปรับแก้ค่าน้ำหนักให้ถูกต้องในการชั่งจริงในครั้งต่อไป หลังจากนั้นหากไม่มีการกดปุ่ม Set point โปรแกรมจะทำการอ่านค่าน้ำหนักที่เป็นสัญญาณอนาล็อก ณ เวลานั้นเข้ามาทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วปรับคูณกับค่าออฟเซตให้เป็นค่าน้ำหนักที่ถูกต้องจากนั้นจึงส่งไปแสดงผล

โปรแกรมน้อย Read ADC

การทำงานของโปรแกรมน้อย Read ADC เริ่มจากโปรแกรมน้อยจะทำการกำหนดค่า A และ B ที่พอร์ต P3.4 และ P3.5 ให้เป็นลอจิก '1' เพื่อสั่งให้ไอซีมัลติเพล็กซ์ไปต่อกับแรงดัน 0V (ดูรูปที่ 1) ส่งสัญญาณเข้าวงจรอินทิเกรตแล้วทำการหน่วงเวลา จากนั้นทำการเซตค่า A และ B เป็นลอจิก '0' เพื่อสั่งให้ไอซีมัลติเพล็กซ์รับสัญญาณอนาล็อกอินพุตเข้าวงจรอินทิเกรตทำการอินทิเกรตสัญญาณขาขึ้น (ดูรูปที่ 2) แล้วทำการหน่วงเวลาที่เท่ากับระยะเวลา t_1 จากนั้น เซตค่า A เป็นลอจิก '0' และ B เป็นลอจิก '1' เพื่อสั่งให้ไอซีมัลติเพล็กซ์ไปต่อกับแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ผ่านวงจรอินทิเกรตเป็นสัญญาณขาลงตามรูปที่ 2 เมื่อสัญญาณขาลงลดลงถึงระดับแรงดันเทรตโฮล (V_{th}) วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (LM324/C) จะส่งสัญญาณไปทำการอินเทอร์รัพท์ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นการอินทิเกรตสัญญาณขาลงจนไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณอินเทอร์รัพท์ คือ เวลา t_2 แล้วนำเวลา t_2 ที่ได้ไปคำนวณหา ค่า ADC ตามสมการที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 2 หลังจากนั้นจึงส่งค่าที่ได้กลับไปโปรแกรมหลัก






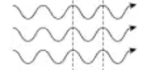
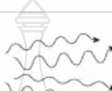

รูปที่ 2.24 สัญญาณที่วัดจากวงจรอินทิเกรตและไมโครคอนโทรลเลอร์ [7]

จากรูปที่ 2.24 เป็นรูปสัญญาณที่วัดด้วยออสซิลโลสโคปสัญญาณ A คือ สัญญาณที่วัดจากพอร์ต P3.4 และสัญญาณ B คือสัญญาณที่วัดจากพอร์ต P3.5 ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ สัญญาณ C เป็นสัญญาณที่วัดจากขาออกของวงจรอินทิเกรต (LM324/A) เครื่องซิงก์น้ำหนักรุ่นที่สร้างขึ้นด้วยเทคนิคการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

2.9 เลเซอร์และทฤษฎีหลักการทำงานของเลเซอร์ [8]

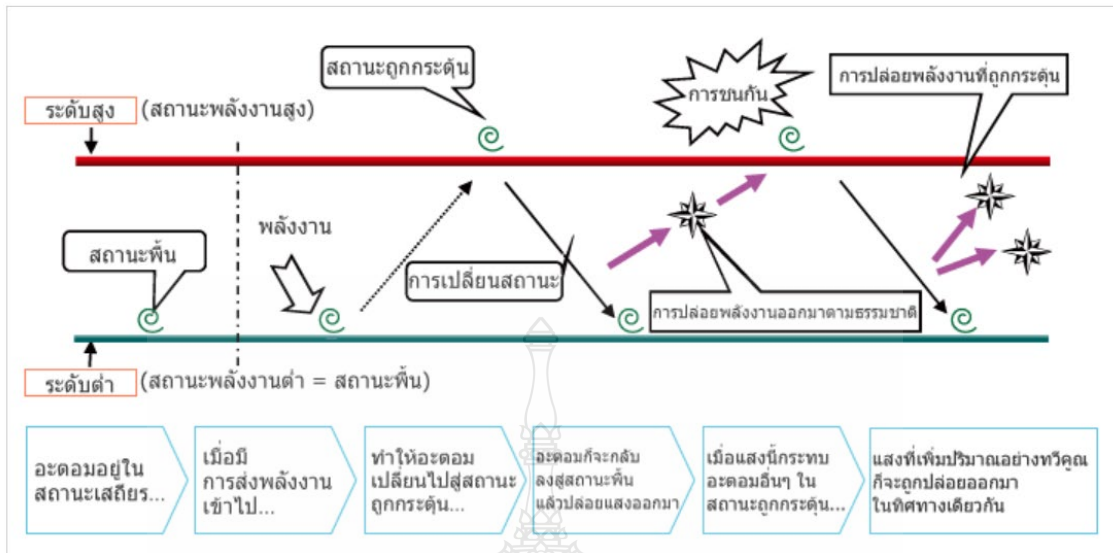
2.9.1 ความแตกต่างระหว่างแสงธรรมดาและลำแสงเลเซอร์

เป็นความแตกต่างระหว่างแสงทั่วไป (โคมไฟ และอื่นๆ) และแสงเลเซอร์ เลเซอร์จะปล่อยลำแสงที่มีความแน่นอนของทิศทางสูง หมายความว่าองค์ประกอบของคลื่นแสงจะเดินทางด้วยกันเป็นเส้นตรง โดยแทบไม่มีองค์ประกอบใดออกนอกทิศทาง แหล่งกำเนิดแสงทั่วไปจะปล่อยคลื่นแสงที่กระจายออกทุกทิศทาง คลื่นแสงในลำแสงเลเซอร์เป็นสีเดียวกันทั้งหมด (คุณสมบัติที่เรียกว่า แสงสีเดียว) แสงทั่วไป (เช่น แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์) มักเป็นส่วนผสมระหว่างสีต่างๆ ที่รวมกันจนปรากฏเป็นสีขาวเมื่อคลื่นแสงในลำแสงเลเซอร์เดินทาง จุดสูงสุดและร่องคลื่นจะสั้นไปพร้อมกัน ลักษณะนี้เรียกว่า ความพร้อมเพรียง (Coherence) เมื่อนำลำแสงเลเซอร์สองลำมาซ้อนทับกัน จุดสูงสุดและร่องคลื่นแสงในแต่ละลำแสงจะเสริมกันและกันเพื่อสร้างรูปแบบการรบกวน

	แสงธรรมดา	แสงเลเซอร์
มีทิศทางแน่นอน (เดินทางเป็นเส้นตรง)	 หลอดไฟ	 เลเซอร์
แสงสีเดียว (มีสีเดียว)	 ความยาวคลื่นไม่สม่ำเสมอ	 ความยาวคลื่นสม่ำเสมอ
ความเป็นความพร้อมเพรียง	 แสงธรรมชาติ	 ยอดคลื่นและท้องคลื่นอยู่ในแนวตรงกัน

รูปที่ 2.25 แสดงความแตกต่างระหว่างแสงธรรมดาและลำแสงเลเซอร์ [8]

2.9.2 หลักการทำงานของเลเซอร์ อะตอม (โมเลกุล) ดูดซับพลังงานจากภายนอก จะเลื่อนจากระดับต่ำ (สถานะพลังงานต่ำ) ไปสู่ระดับสูง (สถานะพลังงานสูง) สถานะนี้อธิบายได้ว่าเป็นสถานะถูกกระตุ้นสถานะถูกกระตุ้นนี้เป็นสถานะที่ไม่เสถียร เพราะอะตอมอาจกลับไปสู่สถานะพลังงานต่ำได้ทันที ซึ่งเรียกว่า การเปลี่ยนสถานะเมื่อเกิดขึ้น แสงที่มีค่าเท่ากับความต่างของพลังงานจะถูกปล่อยออกมา ปฏิกิริยานี้เรียกว่า การปล่อยพลังงานออกมาตามธรรมชาติ แสงที่ปล่อยออกมาเมื่อชนเข้ากับอะตอมอื่นๆ ที่อยู่สถานะถูกกระตุ้นเหมือนกัน จะทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะในแบบเดียวกัน แสงที่ปล่อยออกมานี้เรียกว่าแสงที่เกิดจากการกระตุ้นให้ปล่อยแสง



รูปที่ 2.26 แสดงพลังงานและการเปลี่ยนสถานะของพลังงานแสงที่ตกกระทบ [8]

2.9.3 ชนิดเลเซอร์เลเซอร์แบ่งออกได้เป็นชนิดกว้างๆ 3 ชนิด คือ Solid-state ก๊าซ และของเหลวประเภทของเลเซอร์ที่เหมาะสมจะต่างกันไปขึ้นกับการประยุกต์ใช้งานที่ต้องการ

2.9.3.1 เลเซอร์ YAG (Nd: YAG) มักจะใช้ในการมาร์กทั่วไปและการตัด เช่น การมาร์กและการตัดขอบทั้งในวัสดุพลาสติกและวัสดุประเภทอื่น เลเซอร์ชนิดนี้มีความยาวคลื่นใกล้เคียงอินฟราเรดที่ 1064 nm และไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า YAG เป็นโครงสร้างผลึกของอีทเทรียม (Y) อะลูมิเนียม (A) และโกเมน (G) ด้วยการเจือธาตุที่เปล่งแสงได้ ซึ่งในกรณีนี้คือไอออนนีโอโดเมียม (Nd) ผลึก YAG จะเข้าสู่สถานะการกระตุ้นผ่านการดูดซับแสงจากเลเซอร์ไดโอด

2.9.3.2 เลเซอร์ YVO₄ (Nd: YVO₄) มักใช้เลเซอร์ YVO₄ สำหรับการประยุกต์ใช้งานการมาร์กที่ละเอียด เช่น การมาร์กตัวอักษรขนาดเล็กและการตัดชนิดอื่นๆ เลเซอร์ YVO₄ มีความยาวคลื่นคล้ายกับเลเซอร์ YAG (1064 nm) จึงมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เลเซอร์ YVO₄ เป็นเลเซอร์ชนิดของแข็งที่มีโครงสร้างผลึกของอีทเทรียม (Y) วานาเดียม (V) และออกไซด์ (O₄) เมื่อเจือโครงสร้างนี้ด้วยไอออนนีโอโดเมียม (Nd) ซึ่งเป็นธาตุเปล่งแสง จะเกิดสถานะถูกกระตุ้นเมื่อปลายโครงสร้างได้รับแสงจาก LD

2.9.3.3 เลเซอร์ ก๊าซ CO₂ (10.6 μm) มักถูกใช้สำหรับเครื่องจักรสำหรับตัด และการ

ประยุกต์ใช้งานการมาร์กเลเซอร์ชนิดนี้มีความยาวคลื่นอินฟราเรด $10.6 \mu\text{m}$ จึงไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เลเซอร์ CO_2 ไม่เพียงแต่มีก๊าซ CO_2 ในท่อออสซิลเลชันที่ปิดผนึกอย่างสมบูรณ์เท่านั้น แต่ยังมีก๊าซ N_2 (ไนโตรเจน) และ He (ฮีเลียม) ในปริมาณที่กำหนดอีกด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้เลเซอร์ CO_2 มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเลเซอร์ “ชนิดปิดผนึก” ไนโตรเจน (N_2) จะเพิ่มพลังงานให้กับ CO_2 ส่วนฮีเลียม (He) จะลดระดับพลังงานให้มีความเสถียรมากขึ้นอย่างช้าๆ ระบบการวัด เลเซอร์ชนิดนี้เป็นที่นิยมมากที่สุดมีการใช้งานอย่างแพร่หลายสำหรับการวัดโปรไฟล์ ฯลฯ เนื่องจากมีเอาต์พุตต่ำ

2.10 วิธีการสอบเทียบเลเซอร์ [9]

การสอบเทียบสามารถทำได้โดยติดตั้งชุดเลเซอร์ที่แทนขาตั้งกล้องให้มีระยะห่างจากผนังทดสอบประมาณ 100 ฟุต หมุนเลเซอร์เพื่อให้ด้านหน้าชี้ไปที่ผนังและเปิดเครื่องตรวจวัดระยะรวมถึงระดับของเลเซอร์ที่ต้องการเทียบ เมื่อเครื่องตรวจจับให้สัญญาณบอกตัวเลขในระดับความลึกหรือระยะทางที่วัดได้ให้ทำเครื่องหมายบนผนัง จากนั้นหมุนเลเซอร์ ไป 180 องศา และทำเครื่องหมายระดับอีกครั้งโดยใช้เครื่องตรวจวัดความแตกต่างระหว่างเครื่องหมายทั้งสอง หากระยะที่วัดได้อยู่ภายในช่วงที่เครื่องตรวจจับระบุ และตัวเลขตรงกันแสดงว่าความแม่นยำถูกต้องจากนั้น หมุนเลเซอร์ไปอีก ทำมุม 90 องศา และทำเครื่องหมายโดยใช้เครื่องตรวจวัดความแตกต่างของเครื่องหมายนี้และเครื่องหมายก่อนหน้า หากเลเซอร์ระบุความแม่นยำได้แสดงตัวเลขตรงกันกับเครื่องตรวจวัดก็แสดงว่าเลเซอร์ชุดนี้บอกระยะถูกต้อง หากอยู่นอกช่วงนี้เลเซอร์ เลเซอร์ชุดนี้จะต้องได้รับการส่งคาริเบทใหม่ โดยมีข้อผิดพลาดในการวัดของอุปกรณ์ที่ยอมรับได้คือ $\pm 25 \mu\text{m}$ ถึง $\pm 15 \mu\text{m}$ และมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้อยู่ที่ 0.011%

2.11 ทฤษฎีความดันและหน่วยที่ใช้วัดความดัน [10]

ความดัน (อังกฤษ: pressure; สัญลักษณ์ p หรือ P) เป็นปริมาณชนิดหนึ่งในทางฟิสิกส์ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำตั้งฉากซึ่งทำโดยของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ต่อพื้นที่ของสารใด ๆ (ของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส) ความดันเป็นปริมาณสเกลาร์ ซึ่งเป็นปริมาณที่มีแต่ขนาดไม่มีทิศทาง จากความหมายของความดันข้างต้นสามารถเขียนเป็นสูตรคณิตศาสตร์ (โดยทั่วไป) ได้ดังนี้

$$p = \frac{F}{A} \text{ หรือ } p = \frac{dF_n}{dA} \quad (2.36)$$

กำหนดให้

P คือ ความดัน (Pressure)

F คือ แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวนั้น ๆ (Normal Force)

A คือ พื้นที่ (Area) — หรืออาจใช้ S (Surface; พื้นผิว)

เนื่องจาก F มีหน่วยเป็น "นิวตัน" (N) และ A มีหน่วยเป็น "ตารางเมตร" (m^2) ความดันจึงมีหน่วยเป็น "นิวตันต่อตารางเมตร" (N/m^2 ; เขียนในรูปหน่วยฐานว่า $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$) ในปี ค.ศ. 1971 (พ.ศ. 2514) มีการคิดค้นหน่วยของความดันขึ้นใหม่ เรียกว่า ปาสกาล (pascal, Pa) และกำหนดให้หน่วยชนิดนี้เป็นหน่วยเอสไอสำหรับความดัน โดยให้ 1 ปาสกาลมีค่าเท่ากับ 1 นิวตันต่อตารางเมตร (หรือ แรง 1 นิวตัน กระทำตั้งฉากกับพื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตร) เพื่อให้เห็นภาพ ความดัน 1 ปาสกาลจะมีค่าประมาณ แรงกดของธนบัตรหนึ่งดอลลาร์ที่วางอยู่เฉย ๆ บนโต๊ะราบ ซึ่งนับว่าเป็นขนาดที่เล็กมาก ดังนั้นในชีวิตประจำวัน ความดันทั้งหลายมักมีค่าตั้งแต่ "กิโลปาสกาล" (kPa) ขึ้นไป โดยที่ $1 \text{ kPa} = 1000 \text{ Pa}$ หน่วยของความดันนอกจากปาสกาลแล้ว ยังมีหน่วยชนิดอื่น เช่น บาร์, บรรยากาศ (atm), เอที, ทอร์, ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) เป็นต้น โดยมีค่าเปรียบเทียบของหน่วยแต่ละชนิดแสดงดังในตาราง

ตารางที่ 2.3 หน่วยที่ใช้วัดความดัน [9]

ความดัน	ปาสกาล (Pa)	บาร์ (bar)	บรรยากาศเทคนิค (at)	บรรยากาศมาตรฐาน (atm)	ทอร์ (Torr)	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)
	$\equiv 1 \text{ N} / \text{m}^2$	$\equiv 10^6 \text{ dyn} / \text{cm}^2$	$\equiv 1 \text{ kp} / \text{cm}^2$	$\equiv p_0$	$\equiv 1 \text{ mm}_{\text{Hg}}$	$\equiv 1 \text{ lbf} / \text{in}^2$
1 pa	= 1	$\equiv 10^5$	$\approx 1.02 \times 10^5$	$\approx 0.98 \times 10^{-6}$	$\approx 7.5 \times 10^{-3}$	$\approx 1.45 \times 10^{-4}$
1 bar	$= 10^5$	= 1	≈ 1.0197	≈ 0.98692	≈ 750.06	≈ 14.50377
1 at	$\approx 0.98 \times 10^5$	≈ 0.980665	= 1	≈ 0.96784	≈ 735.559	≈ 14.22334
1 atm	$= 1.0132 \times 10^5$	= 1.01325	≈ 1.0332	= 1	$\equiv 760$	≈ 14.69595
1 Torr	≈ 133.3224	$\approx 1.3332 \times 10^{-3}$	$\approx 1.36 \times 10^{-3}$	$\approx 1.31 \times 10^{-3}$	= 1	$\approx 1.934 \times 10^{-2}$
1 psi	$\approx 6.895 \times 10^3$	$\approx 6.895 \times 10^{-2}$	$\approx 7.03 \times 10^{-2}$	$\approx 6.80 \times 10^{-2}$	≈ 51.715	= 1

2.12.1 คุณสมบัติของความดันในของเหลว

2.12.1.1. ของเหลวที่บรรจุอยู่ในภาชนะจะออกแรงดันต่อผนังภาชนะที่สัมผัสกับของเหลวในทุกทิศทาง โดยจะตั้งฉากกับผนังภาชนะเสมอ

2.12.1.2. ทุก ๆ จุดในของเหลว จะมีแรงดันกระทำต่อจุดนั้นทุกทิศทาง

2.12.1.3. สำหรับของเหลวชนิดเดียวกันความดันของของเหลวจะเพิ่มขึ้นตามความลึก

และที่ระดับความลึกเท่ากันความดันของเหลวจะเท่ากัน

2.12.1.4. ในของเหลวต่างชนิดกัน ณ ความลึกเท่ากัน ความดันของของเหลวขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของเหลวนั้น

2.12.2 ประโยชน์ของความดันอากาศ

2.12.2.1. การดูดน้ำออกจากขวดโดยใช้หลอดดูด

2.12.2.2. การดูดของเหลวเข้าหลอดหยดหรือเข็มฉีดยา

2.12.2.3. การเจาะกระป๋องนมต้องเจาะ 2 รู เพื่อให้อากาศในกระป๋องนมมีความดันอากาศเท่ากับความดัน ภายนอกกระป๋องนมทำให้สามารถเทนมออกจากกระป๋องนมได้

2.12.2.4. การถ่ายของเหลวโดยสายยางจากภาชนะหนึ่งไปยังอีกภาชนะหนึ่งที่อยู่ต่างระดับกัน เรียกว่า กาลักน้ำ

2.12.2.5. การใช้แป้นยางดูดติดกับกระจกเพื่อยึดสิ่งของให้ติดกับกระจก เนื่องจากความดันอากาศภายนอกความดันอากาศภายในแป้นยาง จึงกดหัวแป้นยางให้ดูดติดกับกระจก

2.12.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความดันของของเหลว

2.12.3.1 ความลึกของของเหลว โดย ของเหลวไม่ว่าจะอยู่ในภาชนะรูปร่างใดก็ตาม ถ้าที่ระดับความลึกเดียวกัน ความดันของของเหลวจะเท่ากัน แต่ถ้าระดับความลึกต่างกัน ของเหลวที่อยู่ระดับลึกกว่า จะมีความดันมากกว่า

2.12.3.2 ความหนาแน่นของของเหลว ถ้าเป็นของเหลวต่างชนิดกันจะมีความดันต่างกัน โดยของเหลวที่มีความหนาแน่นมาก จะมีความดันสูงกว่าของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อย

2.12.4 แรงที่ของเหลวกระทำต่อผนังภาชนะ ในภาชนะที่บรรจุของเหลวจะมีแรงจากของเหลวมากระทำให้ทิศตั้งฉากกับพื้นที่ผิวภาชนะที่ของเหลวสัมผัส ขนาดของแรงที่ของเหลวกระทำ หาได้จากผลคูณระหว่างความดันในของเหลวกับพื้นที่ที่ของเหลวสัมผัส แต่เนื่องจากบางกรณีความดันไม่คงที่ อาจเนื่องมาจากความลึกไม่สม่ำเสมอ

2.12 การเลือกขนาดถังแรงดันและการออกแบบถังแรงดัน

การเลือกขนาดถังแรงดันที่เหมาะสมกับการใช้งานนั้นมีส่วนสำคัญต่อการทำวิจัยและผลการทดลองที่จะได้รับเป็นอย่างมาก อันดับแรกให้ดูพื้นที่และขนาดในการใช้งานรวมถึงความจุที่ใช้ในการทำ การวิจัย โดยการวิจัยครั้งนี้มีหลักในการออกแบบคือจำลองคุณสมบัติของถังความดันจริงที่ใช้งาน

โดยทั่วไป เช่น ถังเก็บแรงดันลม โดยการจำลองและการออกแบบสร้างอ้างอิงจากตารางคุณสมบัติเหล็ก
ดําแผ่นรีดร้อนมาตรฐานดังตารางที่ 2.4

2.12.1 การแยกประเภทเหล็กเกรดต่างๆ [10] โดยในการแยกประเภทเหล็กนั้นสามารถ
จำแนกเหล็กด้วยการดูคุณสมบัติของตัวโลหะเหล็กได้ดังนี้

เหล็ก SS400 คุณสมบัติ เหล็กแผ่นรีดร้อน สำหรับงานโครงสร้างต่างๆ ไปเช่น งานขึ้นรูป,
งานพับ, งานเชื่อมประกอบ ฯลฯ อื่นๆ

เหล็ก SKD11 คุณสมบัติ ทำลูกรีดเกลียว ลูกรีดแป๊ป ใบมีดตัดเหล็กแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป แม่พิมพ์
กรรไกร แม่พิมพ์กระดาศ ทนแรงดึงสูง

เหล็ก SKS3 คุณสมบัติ เหล็กทำแม่พิมพ์งานเย็น พิมพ์ตัด โลหะแผ่นบางและกระดาศ มี
ความสามารถในการชุบแข็งสูง ทนแรงเสียดสีได้ดี

เหล็ก SKD61 คุณสมบัติ เหล็กสำหรับทำแม่พิมพ์งานร้อน มีความแข็งแรงที่อุณหภูมิปกติและ
อุณหภูมิสูงๆ ทนการสึกหรอดีมาก ทนแรงกระแทกสูง รักษาความแข็งแรงที่สูงได้ดี ใช้ทำแม่พิมพ์อัดขึ้น
รูปโลหะได้ดี

เหล็ก P20 คุณสมบัติเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกคุณภาพสูง ชัดผิวขึ้นเงาได้ดีมาก ทำงานง่าย ทน
แรงดัน

เหล็ก S45C คุณสมบัติ เหล็กคาร์บอนปานกลางเหมาะสำหรับงานพื้นฐานทั่วไป โครงสร้าง
แม่พิมพ์ และแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ชุบแข็งได้ง่าย ทนการเสียดสีได้ดี มีความแข็งแรงสูง เหมาะสำหรับ
ทำชิ้นส่วนพื้นฐาน หรือโครงสร้างของแม่พิมพ์และงานต่างๆ ไป

เหล็ก S50C คุณสมบัติ เหล็กคาร์บอนปานกลางเหมาะสำหรับงานพื้นฐานทั่วไป โครงสร้าง
แม่พิมพ์ และแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ชุบแข็งได้ง่าย ทนการเสียดสีได้ดี มีความแข็งแรงสูง เหมาะสำหรับ
ทำชิ้นส่วนพื้นฐาน หรือโครงสร้างของแม่พิมพ์และงานต่างๆ ไป

เหล็ก SCM440 คุณสมบัติ เหล็กเครื่องมือมีคาร์บอนปานกลาง มีความเหนียว ทนแรงดึงสูง
เหมาะสำหรับทำเครื่องมือ น็อต สกรู เพลา ก้านสูบและชิ้นส่วนรถยนต์

เหล็ก SCM415 คุณสมบัติ ทนแรงดึงสูง มีความเหนียว เหล็กเครื่องมือ เหมาะที่จะเฟืองรอบ
จัด และงานที่ต้องการผิวที่แข็งเฉพาะผิว

เหล็ก SCM439, SNCM439 คุณสมบัติ เหล็กเครื่องมือทนแรงดึงสูง เหมาะสำหรับทำเพลาค้อ
เหวี่ยง เฟืองแกนพวงมาลัย เพลากลางรถยนต์ และชิ้นส่วนเครื่องจักรที่มีความเครียดสูง

เหล็ก SK5 คุณสมบัติ เหล็กคาร์บอนสูง ชุบแข็งได้ง่าย ทนทานการเสียดสีได้ดี มีความแข็งแรงสูง มีคุณสมบัติเป็นสปริงสูง

เหล็ก SUP9 คุณสมบัติ ใช้สำหรับสปริงขึ้นรูปงานร้อน (Hot Format Spring) เช่นเหล็กแผ่นสปริง (Laminated Springs) เหล็กคอยล์สปริง และเหล็กแหวนสปริงที่ใช้ในรถยนต์

เหล็กรูปพรรณ คือเหล็กที่มีรูปร่างแบบต่างๆ มีหลายชนิด เพื่อตอบสนองต่อการใช้งาน โดยมีจุดประสงค์หลักคือการเพิ่มคุณสมบัติของหน้าตัด เพื่อรับแรงหรือต้านทานการเสียดรูปขณะใช้งานได้ดีขึ้น ใช้เป็นเหล็กในโครงสร้างหลักหรือโครงสร้างอื่นๆ เช่นโครงหลังคาเหล็ก คานเหล็ก เสาเหล็ก สามารถแบ่งตามการผลิต

2.13 การเลือกคุณสมบัติโลหะเหล็กแผ่นเพื่อขึ้นรูปจำลองถึงทดสอบ

ในการเลือกคุณสมบัติโลหะคำนึงจากลักษณะงานที่ใช้ในการทดสอบโดยอ้างอิงมาตรฐานของเหล็กรูปพรรณร้อนภายในประเทศ โดยถูกกำหนดการควบคุมคุณภาพของโลหะ 3 ประเด็นหลักๆ ได้แก่

2.13.1. ชั้นคุณภาพ (Grade) :เช่น A36 ของมาตรฐานประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเทียบเท่ากับ ชั้นคุณภาพ SS400 ของ มอก. และ ชั้นคุณภาพ SM520 ซึ่งเป็นชั้นคุณภาพของเหล็กกำลังสูง ของ มอก. เป็นต้น โดยแต่ละชั้นคุณภาพจะมี 2 หลักเกณฑ์ในการแบ่งชั้นคุณภาพดังนี้

2.13.1.1 คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties) เช่นคุณสมบัติในการต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield Point) ฯลฯ

2.13.1.2 ส่วนประกอบทางเคมี (Chemical Compositions) เป็นการควบคุมสารเจือปนต่างๆในน้ำเหล็ก

2.13.2 ขนาดของหน้าตัด (Dimension) :เหล็กรูปพรรณร้อนของแต่ละประเทศจะมีขนาดหน้าตัดมาตรฐานที่ถูกควบคุม เช่นความหนา, ความกว้างปีก, ความลึก, พื้นที่หน้าตัด ฯลฯ โดยโลหะเหล็กที่ใช้มีขนาด ความหนา 3.0 มม. กว้าง X ยาว เท่ากับ 1500 มม. X 3000 มม.โดยได้รับ มอก. 1479-2541 ในการวัดสอบระยะความหนาเพื่อหาความคลาดเคลื่อน

2.13.3 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนความหนาของเหล็กแผ่นที่ยอมรับได้ (Tolerance) โดยอ้างอิงจากมาตรฐานของการผลิตเหล็กแผ่นดำรีดร้อนขนาดความหนา 3.0 มม. กว้าง X ยาว เท่ากับ 1500 มม. X 3000 มม. โดยเกณฑ์ที่ มอก. กำหนดไว้ นั่นคือให้มีค่าความคลาดเคลื่อนของเหล็กขนาดไม่เกิน ± 0.22 มม. โดยเหล็กดำหนา 3.0 มม. ที่ได้ มอก. ควรจะมีความหนาจริงอยู่ที่ระหว่าง 2.78-3.22 มม. เป็นต้น โดยการใช้งานเหล็กแผ่นดำนั้น จะเน้นด้านงานพื้น และงาน footing หรืองานโครงสร้างทั่วไป

การปูพื้น การเชื่อมต่อโครงสร้างยานยนต์ งานต่อเรือ สะพานเหล็ก หรือนำไปตัดเพื่อทำเหล็ก รูป
โครงสร้างต่างๆ เช่นเหล็กฉาก เหล็กตัวซี เหล็กแป๊บ เหล็กรางน้ำและท่อดำ

ตารางที่ 2.4 ขนาดมาตรฐานของเหล็กแผ่นดำ [12]

ความหนา (mm.)	น้ำหนัก(kg.)				
	(1219x2438)	(1524x3048)	(1524x6096)	(1829x6096)	(2438x6096)
1.2	28.03	43.8	87.6	105.12	140.16
1.4	32.7	51.1	102.2	122.64	163.52
1.5	35.04	54.75	109.5	131.4	175.2
1.6	37.38	58.4	116.8	140.16	186.88
1.8	42.05	65.7	131.4	157.68	210.24
2	46.72	73	146	175.2	233.6
2.3	53.73	83.95	167	201.48	268.64
2.5	58.4	91.25	182.5	219	292
2.8	65.41	102.2	204.4	245.28	327.04
3	70.08	109.5	219	262.8	350.04

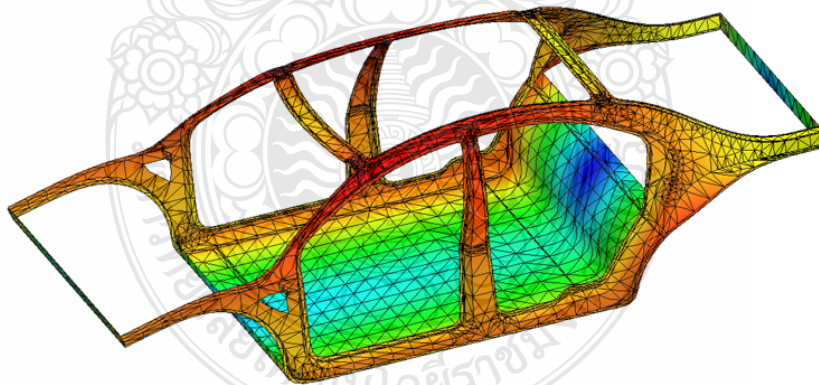
2.14 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์ Finite element analysis [13]

ประวัติของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แนวคิดเบื้องต้นของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เริ่มมาจากการหาวิธีการ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง ของเครื่องบิน Hrenikoff ได้เสนอการใช้ วิธี frame work เพื่อแก้ปัญหาทาง elasticity เป็นรายแรก ต่อมาในปี ค.ศ. 1943 Courant ก็ได้ตีพิมพ์บทความวิชาการ เกี่ยวกับการนำวิธีการ polynomial interpolation บนขอบเขตสามเหลี่ยม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประมาณผลคำตอบ และนอกจากนี้ Courant ก็ยังแนะนำการใช้วิธีการของ Rayleigh-Ritz มาใช้ในการหาผลคำตอบ ของปัญหาทางวิศวกรรมอีกด้วย ซึ่งน่าจะเป็นที่มาของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั่นเอง จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1953 วิศวกรจึงได้นำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์ มาแก้สมการของ stiffness matrix เป็นครั้งแรก หลังจากนั้นอีกเจ็ดปี Clough จึงได้ตั้งชื่อวิธีการนี้ว่า วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ในปี ค.ศ. 1960.

ไฟไนต์เอลิเมนต์ คือวิธีการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ เขียนเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อใช้คำนวณ แก้ปัญหาทางวิศวกรรม เช่น คำนวณหาความแข็งแรง ของวัสดุหรือชิ้นส่วนเครื่องกล ศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหล การถ่ายเทความร้อน ในชิ้นส่วนเครื่องกล รูปแบบการกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า, คลื่นเสียง ฯลฯ

หลักการของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กล่าวคือ เราทำการเติมรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ด้วยชิ้นส่วนเล็กๆ ที่มีรูปร่างเรขาคณิต เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยมลูกบาศก์ เป็นต้น เนื่องจากเราสามารถคำนวณหาคำตอบที่แน่นอน ของชิ้นส่วนที่มีรูปร่างเรขาคณิตได้ ดังนั้นเมื่อ เราเติมชิ้นส่วนเล็กๆ เหล่านี้ลงไป ในชิ้นส่วนใหญ่ เราก็สามารถศึกษาพฤติกรรมโดยรวมของระบบได้

ไฟไนต์เอลิเมนต์ในปัจจุบันนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในกลุ่มอุตสาหกรรมทั่วไป โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ ได้ผ่านการออกแบบด้วย วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์แทบทั้งนั้น ดังจะที่ได้ยกตัวอย่างที่เห็นชัดเจนได้แก่ การออกแบบรถยนต์ซึ่งไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้มีส่วนร่วมแทบทุกชิ้นส่วนในการผลิตผลิตภัณฑ์และ ผลิตภัณฑ์พลาสติกก็เช่นกันได้ มีการนำเอาไฟไนต์เอลิเมนต์มาศึกษาการไหลของน้ำพลาสติก เพื่อใช้ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่สามารถผลิตชิ้นงานที่มีขนาด, รูปร่างที่มีความเที่ยงตรงสูง และมีผิวเรียบสวยงาม



รูปที่ 2.27 แสดงการวิเคราะห์ปัญหาด้านโครงสร้างของแข็งและความร้อน ด้วย Finite element [13]

การวิเคราะห์หากการกระจัด ความเค้น ความเค้นในชิ้นส่วน เครื่องจักรกลหรือโครงประกอบของเครื่องกลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนหรือโครงประกอบที่มีความซับซ้อนที่ไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีธรรมดา ปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์

ได้รับการพัฒนาให้มีขีดความสามารถในการคำนวณมากขึ้น จึงทำให้การวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ทำได้ละเอียด ถูกต้อง รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้เข้ามามีอิทธิพลต่อการออกแบบงานทางวิศวกรรมเป็นอย่างมาก ในปัจจุบันวิศวกรในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาทิเช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อาคารและโครงสร้าง เป็นต้น ล้วนนำการใช้งานไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์เพื่อป้องกันปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการออกแบบได้โดยตรงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยไม่ต้องลองผิดลองถูกดังเช่นเคย ทำกันมาในอดีต ดังนั้นผู้ทำการทดสอบจึงมีความจำเป็นต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความเป็นมาของการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

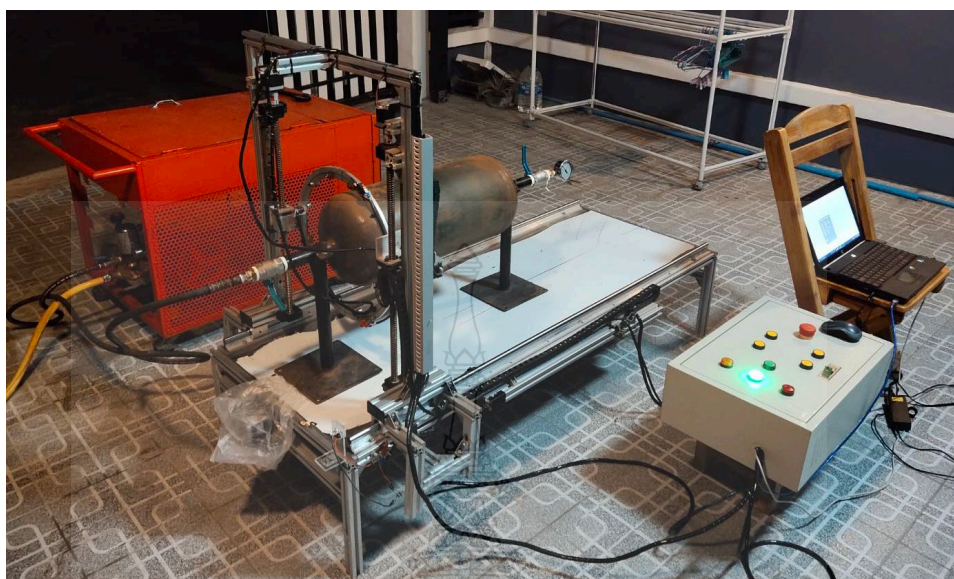
กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยทั่วไปประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ
2. การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์
3. การประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์
4. การรวมสมการไฟไนต์เอลิเมนต์เข้าด้วยกันแล้วแก้สมการระบบใหญ่
5. การคำนวณหาค่าอื่น ๆ ที่เหลือ

อย่างไรก็ตามการที่จะได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องเที่ยงตรงนั้น ผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องมีองค์ความรู้ในหลาย ๆ ด้าน นับตั้งแต่คณิตศาสตร์ขั้นสูง ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ความเข้าใจในส่วนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และประสบการณ์การใช้กราฟิกส์ซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์

2.15 การสอบเทียบการอัดแรงต้นแบบแนวนอนตามมาตรฐาน มอก.ที่ 13 บาร์ [14]

การทำการทดสอบวัดขนาดจริงภายใต้มาตรฐานการเพิ่มความดันที่ 13 บาร์ ตามมาตรฐานการทดสอบอัดแรงต้น มอก.1252-2537 โดยกระบวนการทดสอบจะใช้ถังเก็บความดันแบบแคปซูลที่มีความหนาเท่ากับ 3.0 มิลลิเมตร ความจุของถังความดันที่ใช้ทำการทดสอบมีขนาด 20 ลิตร ทำจากโลหะเหล็ก เกรท ss400 ในสภาวะความดันที่เพิ่มเข้าไปในถัง เริ่มต้นที่ 8 บาร์ และเพิ่มสูงสุดที่ 13 บาร์ โดยค้างไว้เป็นเวลา 3 นาที แล้วทำการวัดระหาคขนาดด้วยเครื่องวัดหาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางนักศึกษาทำการออกแบบสร้างขึ้น



รูปที่ 2.28 การต่อชุดการทดสอบด้วยความดันน้ำที่ 13 บาร์

2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบระบบการควบคุมหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนเพื่อใช้วัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันด้วยเลเซอร์วัดระยะ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ ตู้ควบคุมวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้โปรแกรมสั่งการทำงานให้ชุดเซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่กับแขนหุ่นยนต์คาร์ทีเซียนให้เคลื่อนที่ไปตามพิกัดตำแหน่งต่างๆ ตามที่ได้ทำการโปรแกรมการทำงานไว้ เพื่อใช้วัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของความดันโดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่สำคัญคือ

Bhargav P และคณะ [6] ได้นำเสนอการออกแบบและการใช้งานหุ่นยนต์คาร์ทีเซียนสำหรับตั้งสิ่งของซึ่งมีกลไกการทำงานเพื่อใช้ในการหว่านเมล็ดพืชสำหรับเพาะชำ โดยศึกษาการหว่านเมล็ดของหุ่นยนต์แล้วพบข้อบกพร่องที่ไม่มีประสิทธิภาพ จึงทำให้ได้ผลน้อยลง และกลไกทำงานล่าช้าไม่ยืดหยุ่นเหมือนกลไกแบบแมนนวล เพื่อแก้ปัญหานี้ จึงได้นำเสนอหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน แบบสามแกน ซึ่ง

สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบเดิมที่มีสองแกน ประกอบด้วยหุ่นยนต์คาร์ทีเซียนสำหรับตั้งสิ่งของพร้อมระบบสายพานลำเลียงและควบคุมด้วยตัวควบคุม Logcal ที่ตั้งโปรแกรมได้ พร้อมสายพานลำเลียงและพื้นที่วางภาควานเมล็ดที่เพิ่มความสะดวกสบายในการใช้งานมากขึ้นโดยหุ่นยนต์จะมีทิศทางในการเคลื่อนที่สามแกนได้แก่ทิศทาง X,Y,Z

เสรี ชื่นอารมณ และ ณัฐ จันท์ครบ [7] ได้ศึกษาและนำเสนอเทคนิคการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลความละเอียดสูงที่ใช้ซอฟต์แวร์แทนการใช้ไอซีแปลงสัญญาณแบบธรรมดา เทคนิคนี้พัฒนาให้ใช้บนไมโคร คอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 ใช้งานร่วมกับวงจรรีจิสเตอร์ และวงจรวัดพัลส์เพื่อกซ์ โดยซอฟต์แวร์จะทำหน้าที่เป็นวงจรถ่ายแปลงสัญญาณแบบ Dual slope โดยไม่ต้องใช้ไอซีแปลงสัญญาณในวงจรร และสามารถปรับออปเซตของสัญญาณได้ในตัวซอฟต์แวร์เองจึงไม่ต้องทำการแก้ไขออปเซตจากภายนอกทำให้ลดความยุ่งยากของวงจรถ่ายได้ และยังสามารถทำความละเอียดได้สูงกว่าวงจรถ่ายแปลงสัญญาณที่มีอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

Tongyu Yang และคณะ [9] ได้ศึกษาวิธีการสอบเทียบเลเซอร์ ด้วยวิธีการวัดแบบสามเหลี่ยมด้วยเลเซอร์ด้วยเทคนิคที่ทันสมัยที่สุดสำหรับการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาดใหญ่ของถังทรงกลมด้วยอุปกรณ์วัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประกอบด้วยเลเซอร์ดิฟเฟรียนเชียลเซนเซอร์สามเหลี่ยมซึ่งเหมาะในการวัดระนาบเดียวกันและจำเป็นต้องปรับทิศทางของลำแสงเลเซอร์ที่ปล่อยออกมาจากเลเซอร์ดิฟเฟรียนเชียลเซนเซอร์โดยมีจุดประสงค์การวัดเพื่อปรับเทียบทิศทางของลำแสงเลเซอร์ โดยมีการแสดงวิธีการสอบเทียบและจำรองทางคณิตศาสตร์ มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในด้วยแกนม้วนของเครื่องมือกล โดยลำแสงเลเซอร์จะหมุนและเปลี่ยนแปลงในระนาบและรวมตัวกันเป็นลำแสงเคลื่อนที่แบบสแกนพื้นผิวด้านในถังทรงกลม การปรับทิศทางของลำแสงเลเซอร์สามารถทำได้โดยเซนเซอร์จะเก็บข้อมูลและประมวลผลให้สอดคล้องกับการเคลื่อนที่วัดโดยมีข้อผิดพลาดในการวัดของอุปกรณ์ที่ยอมรับได้คือ $\pm 25 \mu m$ ถึง $\pm 15 \mu m$ และมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้อยู่ที่ 0.011%

Chang Liu และคณะ [15] ได้ศึกษาการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของต้นไม้ที่ต้องอาศัยความแม่นยำซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในป่าเพื่อใช้เก็บข้อมูลไว้ประเมินอายุและทำประวัติของต้นไม้แต่ละต้นในป่า โดยทำการสร้างแบบจำลองการสแกนด้วยเลเซอร์ภาคพื้นดินซึ่งเป็นเทคนิคการวัดที่ช่วยให้สามารถประมาณค่าอายุปีของต้นไม้ได้อย่างรวดเร็ว แบบอัตโนมัติ และแสดงข้อมูลโดยการประมาณค่า อายุปีของต้นไม้ที่มีอายุมากๆ โดยการศึกษานี้ได้ทำตามขั้นตอนเป็นระบบจัดเรียงข้อมูลด้วยอัลกอริทึมต่างๆ

และประเมินอายุโดยเป็นข้อมูลจำเพาะ โดยการศึกษานี้ได้ประเมินอายุต้นมีตามปี โดยใช้อัลกอริทึม 3 ค่า มีการปรับรูปทรงต้นไม้ให้อยู่ในรูปวงกลม สีเหลี่ยม ให้น้อยที่สุด เพื่อให้เหมาะสมและไม่ให้เป็นการวัดแบบเชิงเส้นมากเกินไป การประเมินประสิทธิภาพจะใช้ข้อมูล TLS ของฟอเรสต์สองประเภทภายใต้เงื่อนไขก่อนการประมวลผลที่มากมาย โดยป่าทั่วไปจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท คือป่าดิบธรรมชาติ และป่าที่มีการเพาะปลูกโดยต้นไม้ที่วัดได้จะมีขนาดระหว่าง 0.24 เมตร ถึง 1.34 เมตร.

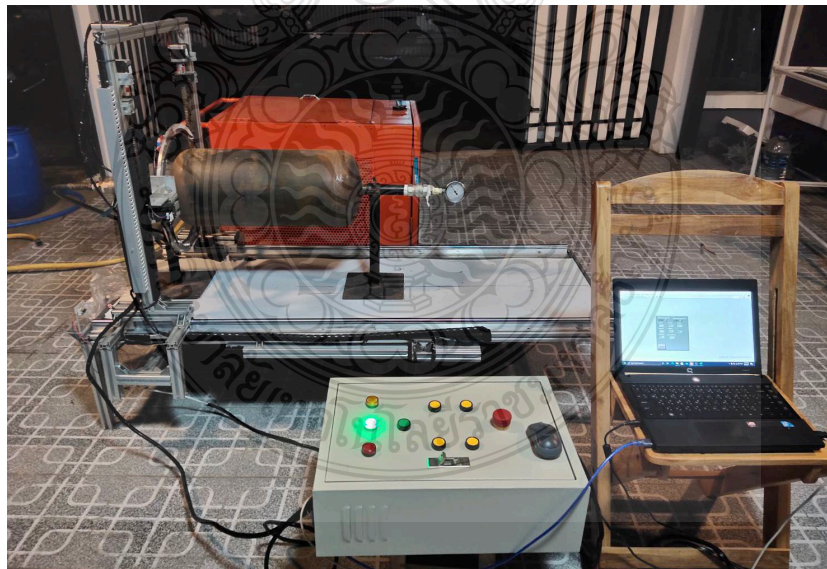
Meh-e-Munir และคณะ [16] ได้ศึกษาการปรับปรุงการวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ ซึ่งเป็น การวัดระยะทางแบบไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุ และการวัดทางไกลเป็นสิ่งที่ท้าทายเสมอ การวัดระยะทาง โดยใช้ลำแสงเลเซอร์ได้ผลดีตามที่คาดหวัง แต่มันทำให้เกิดความผิดพลาดมากขึ้นเนื่องจากการ ย้อนกลับของสัญญาณจากปลายทางถึงตัวรับสัญญาณพบความบิดเบี้ยวของเซลล์ที่ตัวรับเนื่องเป็นส่วน โค้งหรือมีสิ่งกีดขวางตัวรับสัญญาณ โดยดูจากจอภาพแสดง การไม่นิ่งของค่าแรงดันสัญญาณทางไฟฟ้า โดยใช้คู่มือวัดความเข้มของลำแสงเลเซอร์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นที่การออกแบบวงจรที่ใช้เซลล์ แสงอาทิตย์ และ มัลติมิเตอร์ ซึ่งผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงการวัดระยะทางไกลนั้นจะต้อง ใช้เทคนิคการวัดโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์

สกนธ์ เส็งสุวรรณ [17] ได้ศึกษาและปรับปรุงความแข็งแรงของถังเก็บอากาศที่ส่งผลต่ออัตรา การขยายตัวที่เกิดขึ้นภายในถัง ขณะทดสอบในการวิจัยจะใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์และ สร้างแบบจำลองเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลการทดสอบทางกายภาพระหว่างถังแบบเดิมและถังที่ปรับปรุง ความแข็งแรงแล้ว โดยกระบวนการทดลองจะอ้างอิงกับมาตรฐาน มอก.1252-2537 ในกระบวนการ ทดลองจะใช้ถังแบบเดิมที่มีความหนาเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร และถังที่ปรับปรุงแล้วมีความหนาเท่ากับ 2.6 มิลลิเมตร ขนาดของถังที่ใช้ทดสอบเป็นขนาด 64 ลิตรโดยวัสดุที่ใช้คือเหล็ก SS400 ในสภาวะความ ดันในถังเป็นความดันบรรยากาศ ถังเก็บอากาศทั้งสองแบบมีขนาดเส้นรอบวงเท่ากับ 950 มิลลิเมตร และมาตรฐานการทดสอบความดันที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.1252-2537 โดยใช้ วิธีวัดความเครียดแบบ manual และเซ็นเซอร์วัดความเครียดชนิด FLA-6-11-1L ที่ต่อร่วมกับอุปกรณ์ อ่านค่าความเครียด โดยอุปกรณ์อ่านค่าความเครียดมีสองแบบคือไมโครคอนโทรลเลอร์แบบอาดูโนที่ต่อ ร่วมกับวงจรวิทสโตนบริดจ์และเครื่องวัดความเครียดแบบพกพารุ่น TC-32K

บทที่ 3

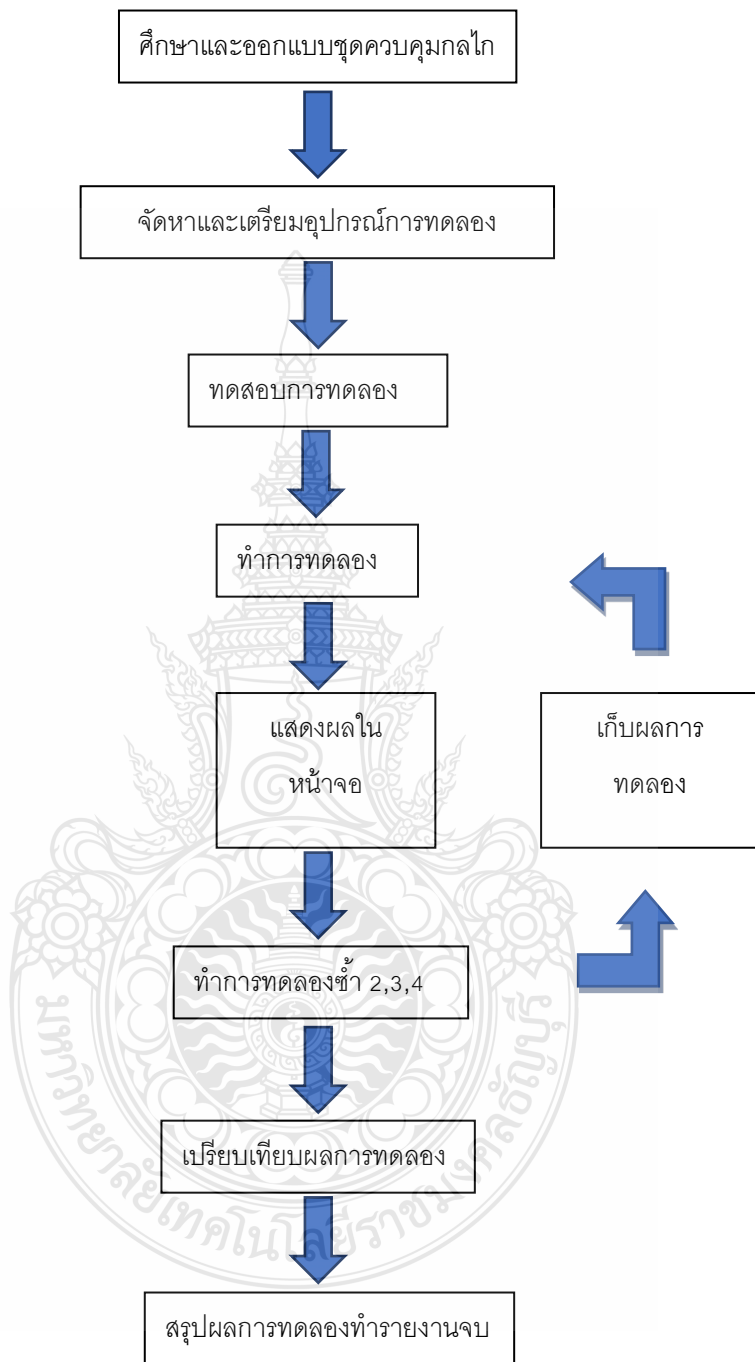
วิธีการดำเนินการวิจัย

ศึกษาและออกแบบเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมชุดกลไกในการตรวจวัดหาระยะพื้นผิวถึงความดันที่เปลี่ยนแปลงไปตามการป้อนความดันในปริมาณต่างๆกัน เพื่อเปรียบเทียบความต่างและหาระยะการขยายตัวมาก-น้อยอย่างไร เมื่อป้อนแรงดันที่เพิ่มหรือลดลงเข้าไปภายในถึงความดัน โดยโปรแกรมจะทำการควบคุมชุดกลไกให้ทำหน้าที่สแกนปริมาตรของถึงความดัน โดยทำการทดสอบเพื่อสแกนวัดหาระยะพื้นผิวแล้วคำนวณปริมาตรถึงความดันถึงปล่าวแสดงผลในหน้าจอคอมพิวเตอร์แล้วเก็บข้อมูลไว้ครั้งที่ 1 จากนั้น เพิ่มความดันเข้าไปในถึงความดันทำการทดสอบซ้ำสแกนวัดหาระยะพื้นผิวถึงความดันครั้งที่ 2 แสดงผลในหน้าจอคอมพิวเตอร์แล้วเก็บข้อมูลไว้ครั้งที่ 2 ทำการทดสอบซ้ำอีก 5 รอบ โดยเพิ่มความดันในทุกๆครั้ง เพื่อวัดระยะขนาดการขยายตัวของถึงความดันโดย อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงชุดอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดสอบวัดระยะหาการขยายตัวของถึงความดัน

3.1 ขั้นตอนการวิจัย



รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทำการวิจัย

จากรูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนทำการศึกษาคณิตศาสตร์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบและดำเนินการชุดระบบควบคุมกลไกสแกนวัดระยะถึงความดัน โดยมีขั้นตอนต่างๆที่เกี่ยวข้องกับ กระบวนการทำงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการออกแบบตัวควบคุมต่างๆดังนี้

- การออกแบบตัวควบคุมด้วยซอฟต์แวร์

- การออกแบบตัวควบคุมชุดกลไกสแกนวัดระยะถึงความดัน

ขั้นตอนที่ 3 จัดเตรียมสถานที่และการติดตั้งอุปกรณ์ในส่วนต่างๆเพื่อทำการทดลอง

ขั้นตอนที่ 4 ทำการทดลองสแกนวัดระยะถึงความดันโดยเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม

MATLAB และแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนที่ 5 ทำการทดลองซ้ำรวมทั้งหมด 4 ครั้งโดยเพิ่มความดันหลายๆครั้งในการ

ทดลอง

ขั้นตอนที่ 6 ทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 7 สรุปผลการทดลอง

3.2 สถานที่ในการทดลองและเก็บข้อมูล

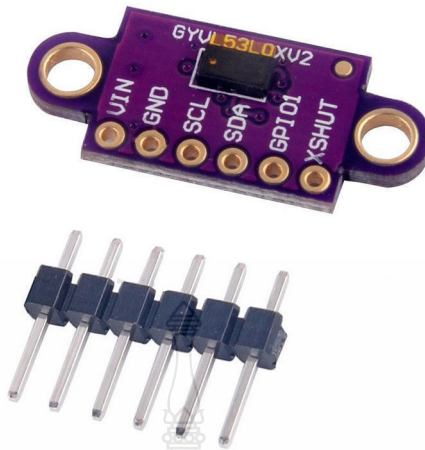
ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการทดลองและทดสอบ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองครั้งประกอบไปด้วยอุปกรณ์และเครื่องมือดังนี้

3.3.1 โมดูลวัดระยะทางและตรวจจับท่าทางด้วยแสงเลเซอร์

ความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร ซึ่งมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า มีความปลอดภัยต่อสายตา ใช้ชิพ VL53L0X สื่อสารแบบ I2C ระยะวัด 8 mm ถึง 1200 mm ทศนิยม 1 ตำแหน่ง ความคลาดเคลื่อน 5%



รูปที่ 3.3 โมดูลวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์ ความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร

3.3.2 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ อาดูโน่ (Arduino)

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษาโดยบอร์ดนี้ออกแบบมาเพื่อใช้งานอเนกประสงค์ โดยมีรายละเอียดของบอร์ดดังนี้

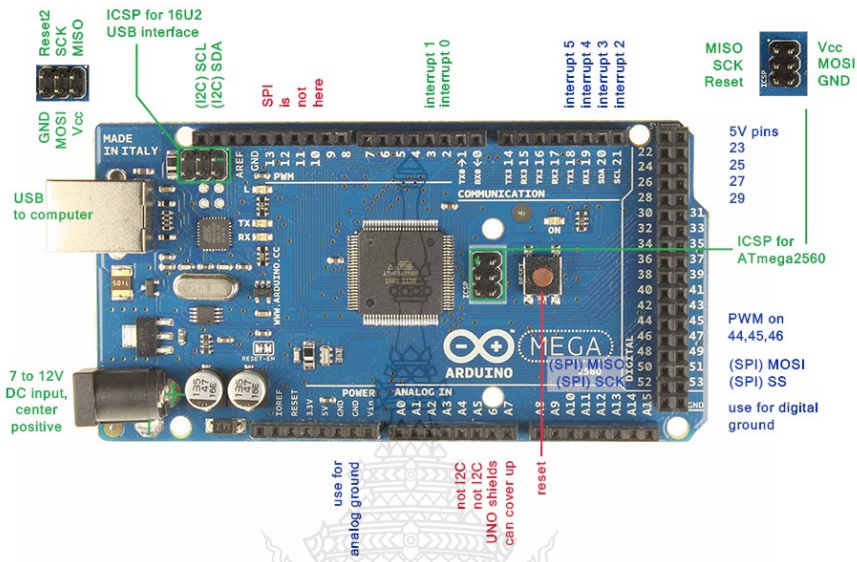
Microcontroller	ATmega 2560
Operating Voltage	5 V
Input Voltage (recommended)	7-12 V
Input Voltage (limits)	6-20 V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input	6 Pins
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega2560) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM (ATmega2560)	2 KB

EEPROM (ATmega2560)

1 KB

Clock Speed

16 MHz



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ Arduino รุ่น : Uno R3

3.3.3 บอลสกรูพร้อมขนาด 16 mm ยาว 1.5 m



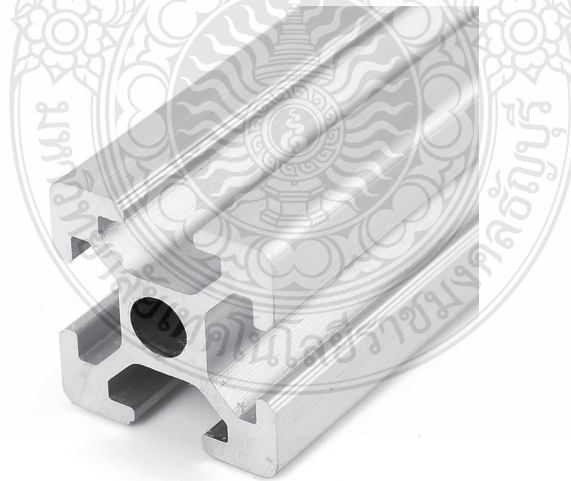
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์บอลสกรูพร้อมขนาดในการเคลื่อนย้ายจุดวัดระยะของเลเซอร์ในแนวแกน Y

3.3.4 อุปกรณ์ลิเนียไกด์หรือรางสไลด์ขนาด 16 mm ยาว 1.5 m พร้อมมอเตอร์สไลด์



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ลิเนียไกด์รางสไลด์เพื่อเคลื่อนย้ายจุดวัดระยะของเลเซอร์ในแนวแกน X

3.3.5 อุปกรณ์อลูมิเนียมโปรไฟล์ 3 x 6 cm ยาว 6 m เพื่อใช้ประกอบโครงสร้างแล้วใช้
จับยึดอุปกรณ์ต่างๆ



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์อลูมิเนียมโปรไฟล์จัดยึดอุปกรณ์ต่างๆ

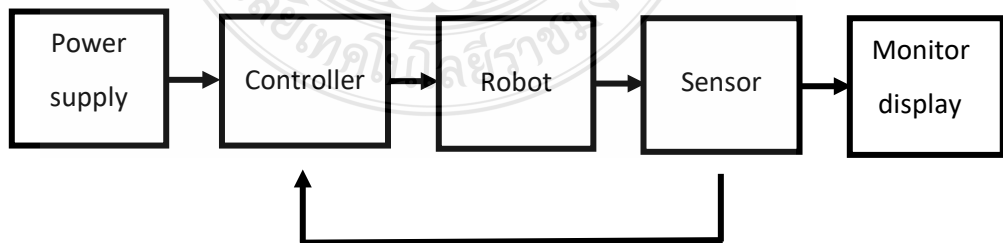
3.3.7 อุปกรณ์วัดแรงดัน (Pressure) เกจวัดแรงดัน เครื่องมือวัดความดันสำหรับอากาศ



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์เกจวัดแรงดันให้วัดแรงที่เพิ่มเข้าไปในการทดลอง

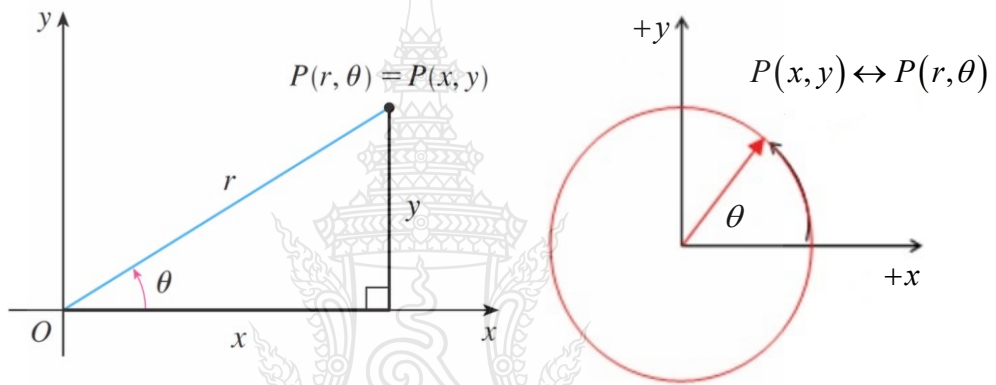
3.4 สมการควบคุมการเคลื่อนที่ชุดเลเซอร์วัดระยะทางของพื้นผิวในแนวแกน X และ แนวแกน Y

3.4.1 การออกแบบตัวควบคุมด้วยซอฟต์แวร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการจำลองและเขียนระบบควบคุมร่วมกับเครื่องมือการควบคุมพีไอดี (PID Control) เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมกระบวนการทดลอง



รูปที่ 3.9 สมการควบคุมระบบ

3.4.2 การแปลงระบบพิกัดเป็นการบอกตำแหน่งของจุดในระบบพิกัดต่างๆ ส่วนในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการแปลงระบบพิกัดระหว่างระบบพิกัดฉาก ระบบพิกัดเชิงขั้ว พิกัดทรงกระบอกและพิกัดทรงกลม ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดฉากเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว เนื่องจากการบอกตำแหน่งในระบบพิกัดฉากสองมิติจะเขียนแทนด้วยคู่อันดับ (x, y) แต่ในระบบพิกัดเชิงขั้วจะเขียนแทนด้วยคู่อันดับ (r, θ) ดังแสดงในภาพที่ 1.6 ทั้งนี้เราสามารถทำการแปลงพิกัดฉากเป็นพิกัดเชิงขั้วทำได้โดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการ (3.1) และ (3.2)



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดฉากกับพิกัดเชิงขั้ว [3]

จะได้

$$\begin{aligned} x &= r \cos \theta \\ y &= r \sin \theta \end{aligned} \quad (3.1)$$

และ $r^2 = x^2 + y^2, \tan \theta = \frac{y}{x}$

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ \theta &= \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \end{aligned} \quad (3.2)$$

เมื่อ r คือ รัศมีของวงกลมหรือระยะจากจุดกำเนิดถึงจุด P ใดๆ

คือ มุมของรัศมีหรือระยะจากจุดกำเนิดถึงจุด P ทำกับแกน $+x$

3.4.3 ความสัมพันธ์ของสมการในระบบพิกัดฉากและระบบพิกัดเชิงขั้วเราสามารถแปลงสมการต่างๆ ในระบบพิกัดฉากให้อยู่ในรูปของสมการในพิกัดเชิงขั้วได้อาทิเช่น สมการวงกลมในพิกัดฉาก $x^2 + y^2 = a^2$ จะแปลงเป็นสมการวงกลมในพิกัดเชิงขั้ว ได้ดังนี้

$$\text{จาก } x = r \cos \theta \text{ และ } y = r \sin \theta \text{ และ } x^2 + y^2 = a^2 \text{ จะได้ } (r \cos \theta)^2 + (r \sin \theta)^2 = a^2$$

$$r^2 (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) = a^2$$

เนื่องจาก $\cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1$ ดังนั้นจะได้สมการวงกลมในพิกัดเชิงขั้วเป็น $r^2 = a^2$ หรือ $r = a$

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างสมการวงกลมและสมการเชิงในระบบพิกัดฉากที่สามารถแปลงเป็นสมการในระบบพิกัดเชิงขั้ว [3]

พิกัดฉาก	พิกัดเชิงขั้ว	พิกัดฉาก	พิกัดเชิงขั้ว
$x^2 + y^2 = a^2$	$r = a$	$y = mx$	$\theta = \tan^{-1} m$
$x^2 + (y - a)^2 = a^2$	$r = 2a \sin \theta$	$x = a$	$r = a \sec \theta$
$(x - a)^2 + y^2 = a^2$	$r = 2a \cos \theta$	$y = a$	$r = a \csc \theta$

3.5 การออกแบบระบบควบคุมการวัดระยะและเก็บข้อมูล

3.5.1 การออกแบบระบบควบคุมการวัดระยะและเก็บข้อมูลเพื่อแสดงผลในจอมอนิเตอร์ ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับสั่งการและบันทึกข้อมูลการทำงานของระบบเซนเซอร์เลเซอร์วัดระยะทาง 1 ชุด 2 ตัว บอลสกรูพร้อมนัตขนาด 16 mm ยาว 1.5 m ลิเนียไกด์หรือรางสไลด์ ขนาด 16 mm ยาว 1.5 m พร้อมบอร์ดสไลด์,อลูมิเนียมโปรไฟล์ 3 x 6 cm ยาว 6 m คอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลการวัดระยะทาง และ อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ Arduino รุ่น : Uno R3 โดยอาดูโน้ (Arduino) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source มีการเปิดเผย ข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้น จึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติมพัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรม ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จาก

ภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวก สามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาต่อเข้ากับบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้โดยแสดงตัวอย่างการเขียนโค้ด เพื่อแสดงตัวเลขบอกระยะที่ หน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 3.11

```
.
#include <Wire.h>
#include <VL53L0X.h>
int led = 3;
int buzzer = 4;

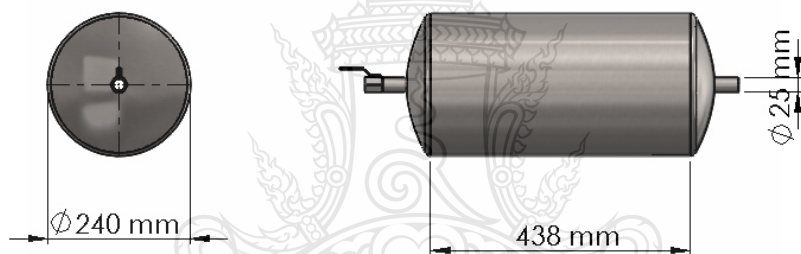
VL53L0X sensor;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  pinMode (led, OUTPUT);
  pinMode (buzzer, OUTPUT);
  sensor.init();
  sensor.setTimeout(500);
  sensor.startContinuous();
}

void loop() {
  Serial.print(sensor.readRangeContinuousMillimeters());
  if (sensor.timeoutOccurred()) {
    Serial.print(" TIMEOUT");
  }
  if (sensor.readRangeContinuousMillimeters() < 50) {
    digitalWrite(led, HIGH);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
  }
  if (sensor.readRangeContinuousMillimeters() > 50) {
    digitalWrite(led, LOW);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
  }
  Serial.println();
}
```

รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างการเขียนโค้ดเพื่อบอกระยะ

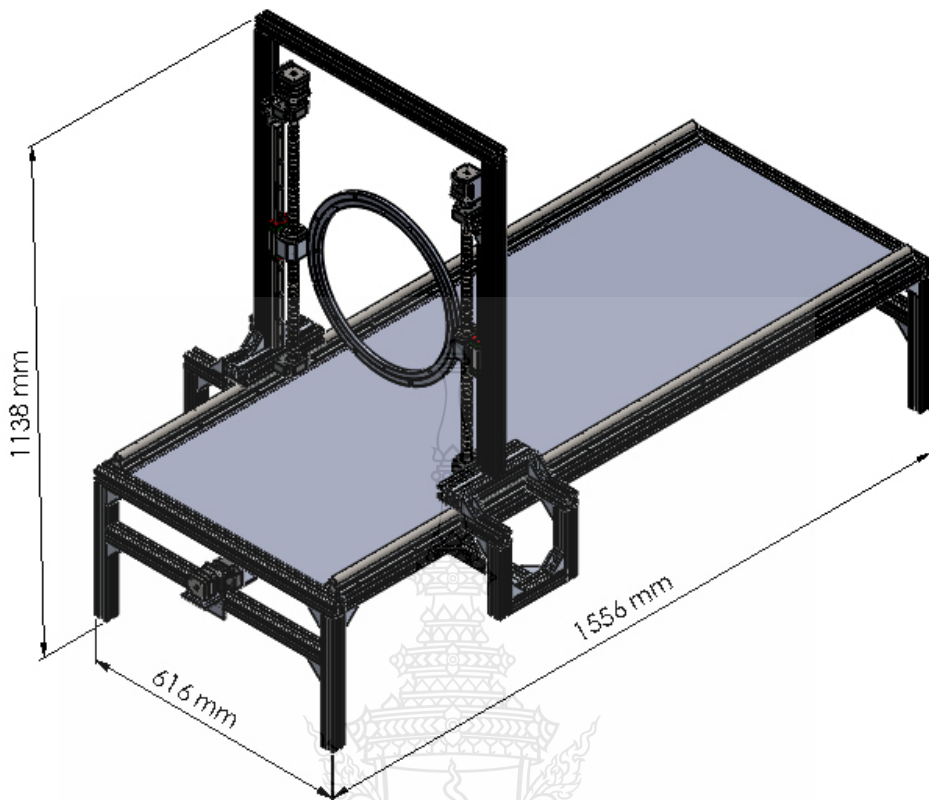
3.5.2 การออกแบบถังทดสอบโดยการจำลองคุณสมบัติของถังเก็บความดันที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป โดยเป็นเหล็กแผ่นรีดร้อนขนาด ความหนา 3 มม. กว้างxยาว 1219x2438 มม. น้ำหนัก 70.08 kg. ซึ่งตรงตามมาตรฐาน มอก.1479-2541 โดยถังทดสอบได้ออกแบบตามการใช้งานคือ สามารถวางบนแท่น เพื่อเข้าการทดสอบวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังภายใต้การเพิ่มความดันเข้าไปในถัง เริ่มต้นที่ 8 บาร์.และสิ้นสุดที่ 13 บาร์. ซึ่งถังความดันที่ออกแบบมีขนาดโดยประมาณ 20 ลิตร ผนังโลหะหนา 3 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังเท่ากับ 240 มม. ความยาวช่วงท้องถัง 438 มม.และความยาวขอบส่วนโค้งของถังขาเข้าและขาออกของถังความดันเท่ากับ 520 มม.ท่อทางเข้าของความดันมีขนาด 25 มม. ออกแบบให้วางบนแท่นของหุ่นยนต์



รูปที่ 3.12 แสดงขนาดการออกแบบถังเก็บความดัน

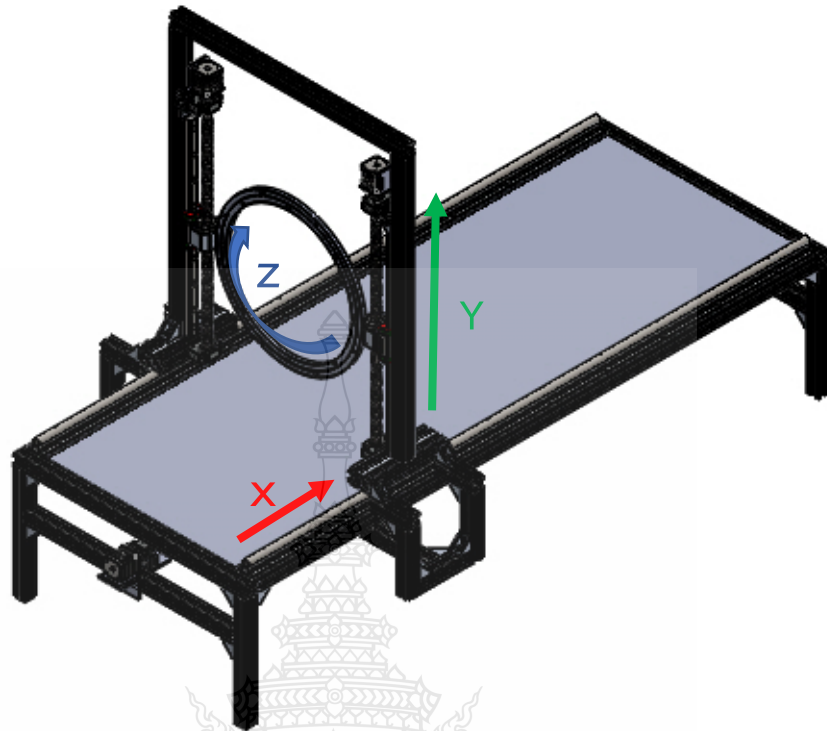
3.6 การออกแบบหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน (Cartesian) วัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังความดัน

3.6.1 โครงสร้างหุ่นยนต์ คาร์ทีเซียน (Cartesian) เป็นอลูมิเนียมโปรไฟล์ ขนาดเครื่อง กว้าง 519 มม. ยาว 1500 มม. สูง 890 มม. ประกอบด้วยรางคู่ทำจากฉากอลูมิเนียมติดตั้งเพลสแตนเลส ยึดกับโครงสร้างและประกอบชุดแขนหุ่นยนต์ขึ้นรูปเป็นขั้วประตูดึง 600 มม.จากพื้นโครงสร้าง ด้านในติดตั้งวงแหวนแบบจานแบร์ริง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมภายใน 337 มม. ขอบวงด้านนอก 390 มม.



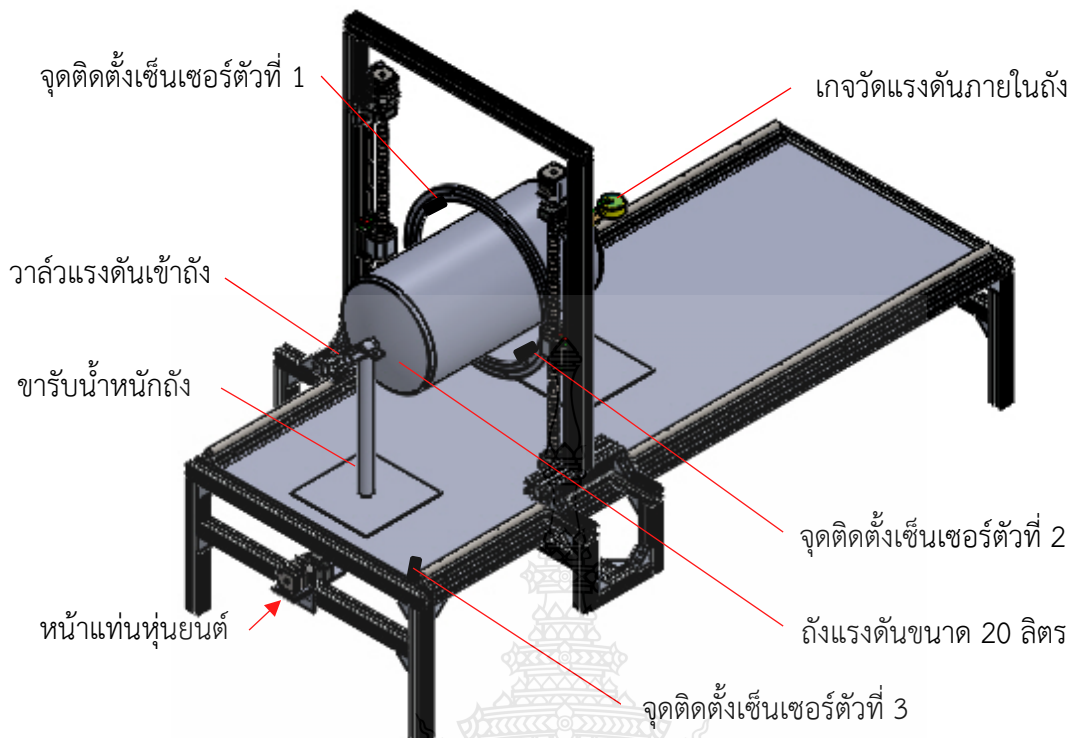
รูปที่ 3.13 แสดงการออกแบบหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน (Cartesian)

3.6.2 ลักษณะแกนของหุ่นยนต์คาร์ทีเซียนที่แสดงในการออกแบบเป็นการทำงานแบบ 3 แกน โดยแกนของหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้น 2 แกน คือ X และ Y แกนที่ 3 จะเคลื่อนที่ในลักษณะพิกัดเชิงขั้วคือเคลื่อนที่ท่ามุม 0° ถึง 180° ที่แกน Z โดยรวมแล้วแกนหุ่นยนต์จะทำงานในลักษณะคล้ายเครน โดยการเคลื่อนที่จะมีต้นกำลังเป็นมอเตอร์แบบสเต็ปปีงมอเตอร์ที่หมุนและถูกควบคุมการเคลื่อนที่จากโปรแกรมที่ได้อัปโหลดไว้ที่เมนบอร์ดตัวหลัก ดังรูปที่ 3.18 ซึ่งการเลือกใช้อุปกรณ์มอเตอร์แบบนี้เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติตรงตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานเนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่มีระยะความคลาดเคลื่อนน้อยมีความแม่นยำสูง สามารถเคลื่อนที่และหยุดตามการสั่งการทำงานได้อย่างถูกต้องและตรงตำแหน่งตามการใช้งาน



รูปที่ 3.14 แสดงการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ทั้ง 3 แกน

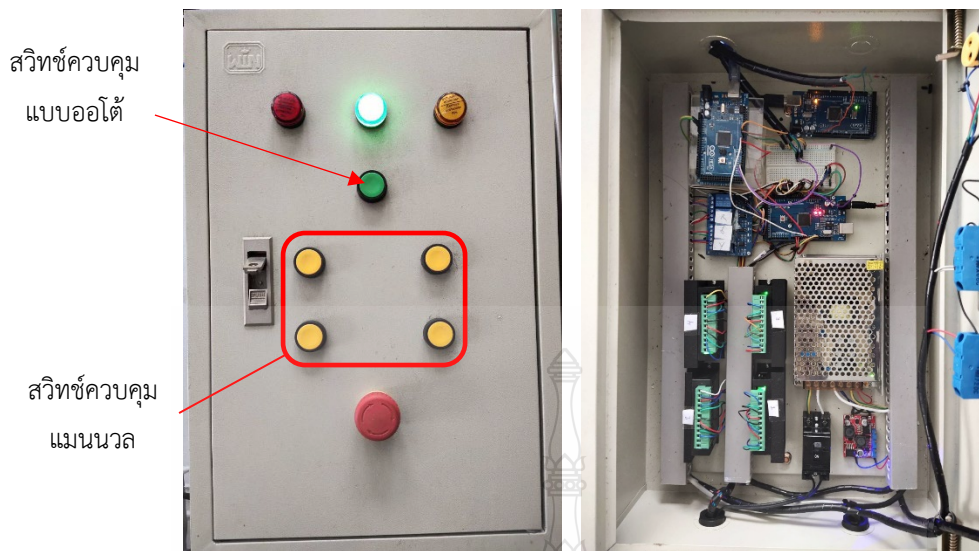
3.6.3 การประกอบและการติดตั้งถึงความดันบนแท่นวางของหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน (Cartesian) โดยการประกอบชุดทดสอบให้จัดวางตำแหน่ง ถึงความดันให้อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางบนแท่นรับน้ำหนักของหุ่นยนต์และควรมาร์คตำแหน่งวางไว้เพื่อความสะดวกในการทดสอบและควรมีดิสเพลย์ของค่าตั้งถึงความดันในส่วนด้านหน้าแท่นของหุ่นยนต์เพื่ออำนวยความสะดวกในการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ขณะทำการทดสอบวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดัน



รูปที่ 3.15 แสดงการติดตั้งถังความดันเพื่อทำการทดสอบการวัดหาขนาด

3.6.4 การออกแบบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าประกอบ เบรกเกอร์ ขนาด 10 A, หม้อแปลงไฟ ขนาด 12 V, โมดูลลดแรงดันไฟ 5 V, ไดรเวอร์สเต็ปปีงมอเตอร์ 4 ชุด, รีเลย์ 5 V. 3 ช่อง, อาดูโนเมก้าบอร์ด 2560 16 bit 3 บอร์ด,

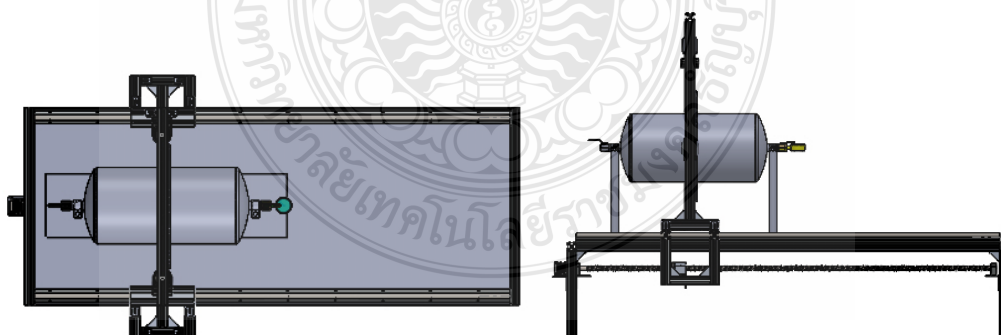
หลักการทำงานของตู้ควบคุมวงจรไฟฟ้า หม้อแปลงรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายมา 220 V. แล้วแปลง แรงดันไฟให้ลดลงมาเหลือ 12 V. จากนั้นต่อไฟผ่านโมดูลลดแรงดันไฟให้เหลือ 5 V. เพื่อจ่ายไฟเข้าเมก้าบอร์ด 2560 บอร์ดตัวหลักเพื่อควบคุม การทำงานและการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ทั้ง 4 ตัว ผ่านตัวควบคุมความเร็วรอบสเต็ปปีงมอเตอร์ โดยจะมีอาดูโนเมก้าบอร์ด 2560 อีก 2 บอร์ด ที่จะทำงานสั่งการให้ชุดเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ชุด อ่านและเก็บข้อมูลตามที่ได้โค้ดโปรแกรมไว้ (ภาคผนวก.ก)



รูปที่ 3.16 แสดงการต่อวงจรควบคุมระบบไฟฟ้าของผู้ควบคุม

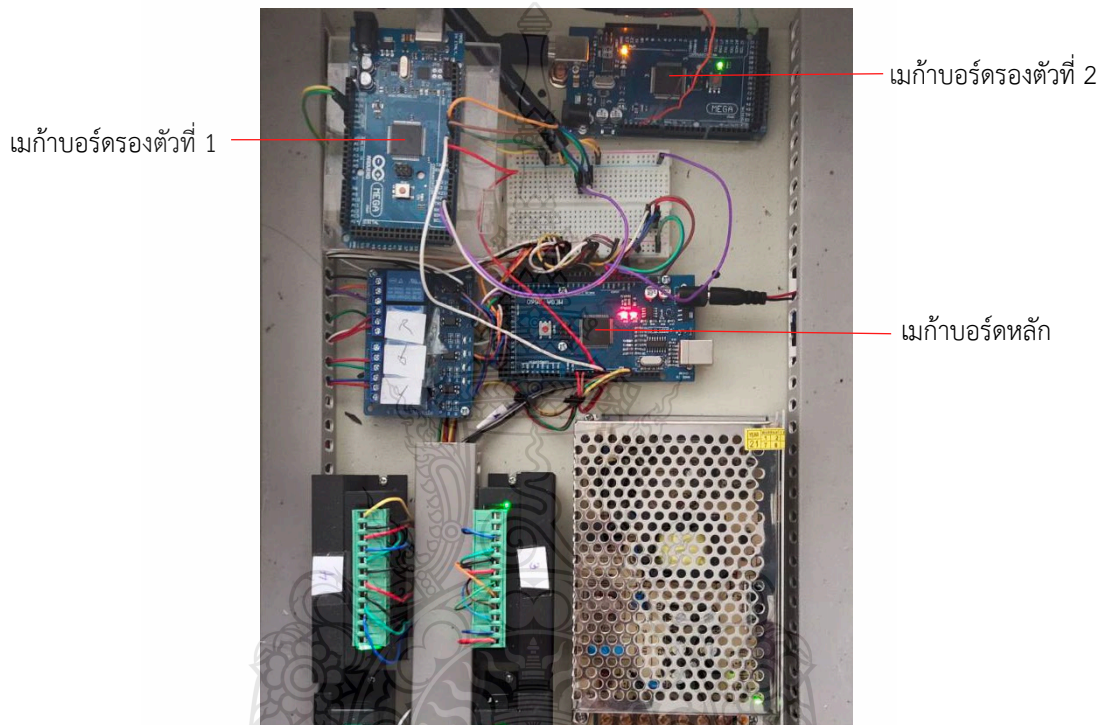
3.7 ขั้นตอนการเปิดเครื่องเพื่อใช้งานหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนในการวัดหาเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันด้วยเลเซอร์วัดระยะ

3.7.1. จัดวางตำแหน่งขารับน้ำหนักและจัดวางถึงความดันให้อยู่กึ่งกลางพื้นที่แทนเครื่องของหุ่นยนต์ตาม รูปที่ 3.18



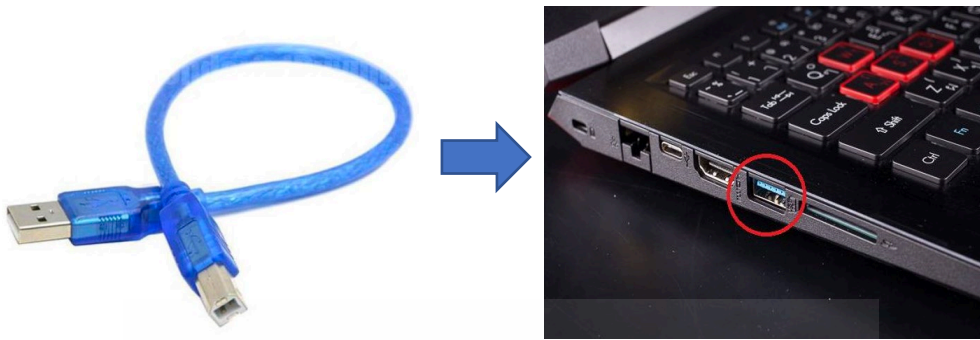
รูปที่ 3.17 แสดงการจัดวางตำแหน่งเพื่อทดสอบวัดระยะหาขนาดถึงความดัน

3.7.2. ทำการอัปโหลดโค้ดสั่งการทำงานมอเตอร์ (ภาคผนวก.ก) เข้าอาตูดุโนเมก้าบอร์ด 2560 บอร์ดหลัก ที่จ่าย ไฟ 5 V.เพื่อควบคุมการทำงานของสแต็ปมิ่งมอเตอร์ จากนั้นให้อัปโหลดโค้ด (ภาคผนวก.ข) สั่งการควบคุมการอ่านและบันทึกข้อมูลชุดเซ็นเซอร์ เข้า เมก้าบอร์ดรองทั้งตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ตามรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงตำแหน่งที่ตั้งแผงควบคุมเมก้าบอร์ดทั้ง 3 ตำแหน่ง

3.7.3. ต่อสาย USB จากตู้ควบคุมไฟฟ้าที่ออกมา 2 สายได้แก่เมก้าบอร์ดรองตัวที่ 1 และ ตัวที่ 2 ทั้ง 2 บอร์ดเข้ากับคอมพิวเตอร์ที่ลงโปรแกรมปฏิบัติการ Arduino และ LabView 2020 ตามรูปที่ 3.20 และเปิดโปรแกรม LabView 2020 เพื่อแสดงผลการอ่านค่าการวัดขนาด โดยให้ปิดโปรแกรม Arduino เนื่องจากเราได้ลงโปรแกรมสั่งการทำงานทั้งหมดของระบบขับเคลื่อนไว้ที่บอร์ด Arduino เรียบร้อย จากนั้นให้เรากดปุ่มสีเขียวเพื่อ เริ่มต้นการวัดขนาด ตามรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.19 แสดงตำแหน่งจุดเชื่อมต่อสาย USB

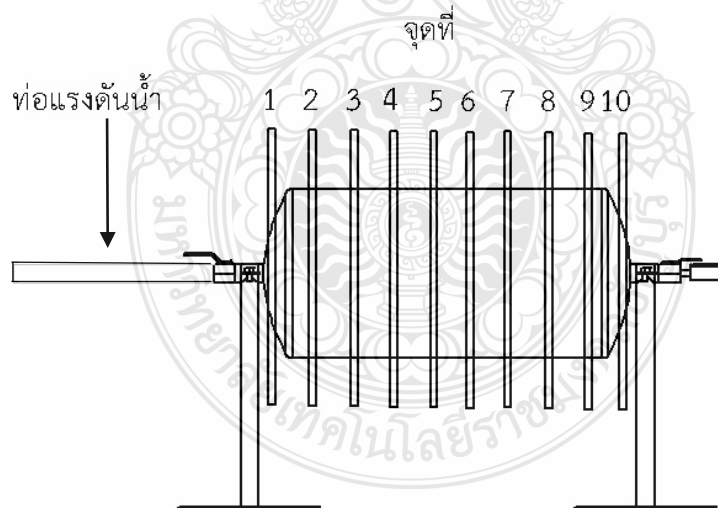
3.8 การทำการทดลอง

ต่อชุดทดสอบเพิ่มแรงดันน้ำเข้าถึงความดันโดย ต่อท่อเข้าเครื่องเพิ่มแรงดันน้ำและต่อระบบไฟฟ้าเข้าชุดทดสอบหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนเพื่อวัดหาเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันตามรูปที่ 3.21 จากนั้นเปิดเครื่องเพิ่มแรงดันน้ำเข้าถึงความดันที่ 8 บาร์แล้วอัดแรงดันค้างไว้ 3 นาทีตามมาตรฐาน มอก. 1252-2537 แล้วเปิดเครื่องให้หุ่นยนต์ทำการวัดค่าหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามที่ได้โปรแกรมไว้ โดยกดปุ่มสีเขียวให้หุ่นยนต์ทำงานแบบอัตโนมัติ ตามรูปที่ 3.16

หลักการการทำงานของหุ่นยนต์คือ กำหนดจุดพิกัดระยะในแนวแกน X เป็น 10ระยะ ได้แก่ จุดที่ 1 ถึง 10 เพื่อให้แขนกลทำการเลื่อนจุดวัดหาเส้นผ่านศูนย์กลาง โดย เซ้ระยะเลื่อนจาก 1ไปจุดที่ 2 ให้มีระยะห่างเท่ากับ 33 มม.และจากจุดที่ 2 ไปจุดที่1,2,3,4,5,6,7,8,9และ 10 ให้มีระยะห่างเท่ากับ 50 ดังรูปที่ 3.22 โดยการทำการทดลองวัดหาขนาดการเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันและเก็บบันทึกข้อมูล 7 รอบ เพื่อทำการเปรียบเทียบหาค่าการเปลี่ยนแปลงของขนาดถึงความดันเมื่อทำการป้อนแรงดันน้ำที่ 8,9,10,11,12,13 บาร์ตามลำดับ.



รูปที่ 3.20 แสดงการต่อชุดอุปกรณ์ในการทดสอบ



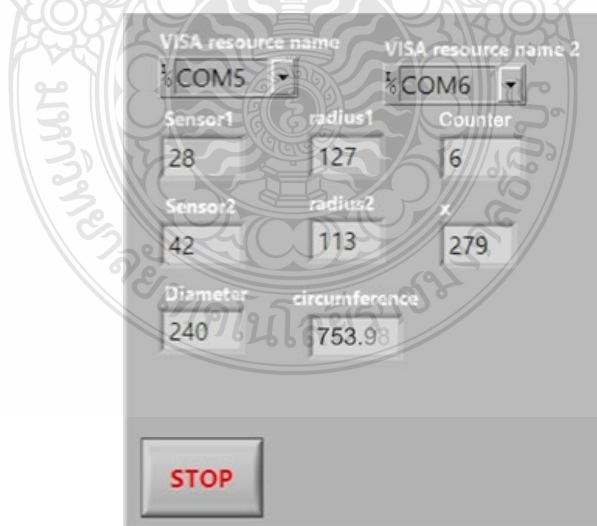
รูปที่ 3.21 แสดงจุดตำแหน่งการเคลื่อนที่แขนหุ่นยนต์ในการวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดัน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

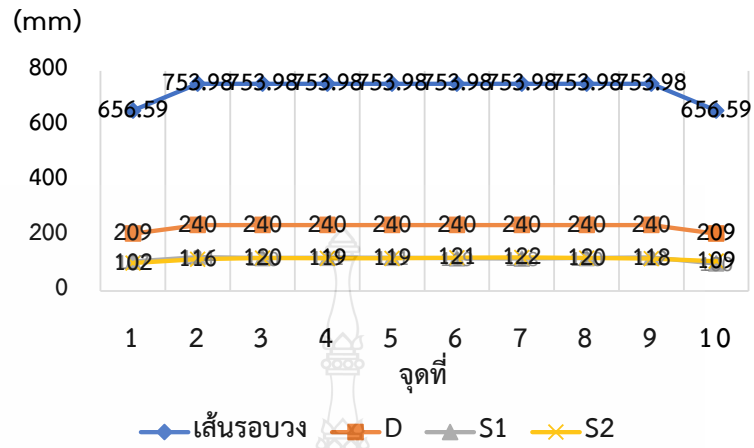
4. ผลการทดลอง

ในการทดสอบวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดัน โดยแบ่งรอบการวัดทั้งหมด 7 รอบคือ วัดถึงเปล่าก่อน 1 รอบ, และวัดหลังจากทำการเพิ่มแรงดันน้ำ 8,9,10,11,12,13 บาร์ตามลำดับ ซึ่งถึงความดันนั้นได้ถูกออกแบบและสร้างตามหลักทางวิศวกรรมที่มีคุณสมบัติเป็นโลหะเหล็กเกรด ss400 ความหนา 3 มม. และเป็นมาตรฐานโดยทั่วไปของถึงความดันที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมภายในประเทศ โดยหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนที่ออกแบบสร้างในการวิจัยครั้งนี้ สามารถวัดขนาดการขยายตัวของถึงความดันได้ โดยมีฟังก์ชันความสามารถบอกขนาดต่างๆได้แก่ บอกขนาดระยะห่างระหว่างหัวเซ็นเซอร์และวัดทดสอบถึงความดัน พร้อมกับบอกขนาดรัศมีจากเซ็นเซอร์ตัวที่ 1 และ 2 ใช้สัญลักษณ์ในการแสดงผลคือ S1 และ S2 ในการแสดงผลแบบกราฟตามลำดับ, บอกระยะการเคลื่อนที่ในแนวพื้นระนาบจากซ้ายไปขวา ใช้สัญลักษณ์ในการแสดงผลคือ X ที่หน้าจอแสดงผลจากจอคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 4.1 โดยได้โปรแกรมช่วงรอบการวัดและ เก็บค่าผลการทดลองที่ระยะ 35,85,135,185,235,285,335,385, 435,485 มิลลิเมตร บอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยใช้สัญลักษณ์แสดงผลที่หน้าจอและกราฟแสดงผลคือ D และสามารถประมวลผลบอกขนาดเส้นรอบวงของถึงความดันเมื่อจบรอบการทำงาน



รูปที่ 4.1 หน้าจอแสดงผลการวัดหาขนาดในโหมดฟังก์ชันต่างๆขณะทำการทดลอง

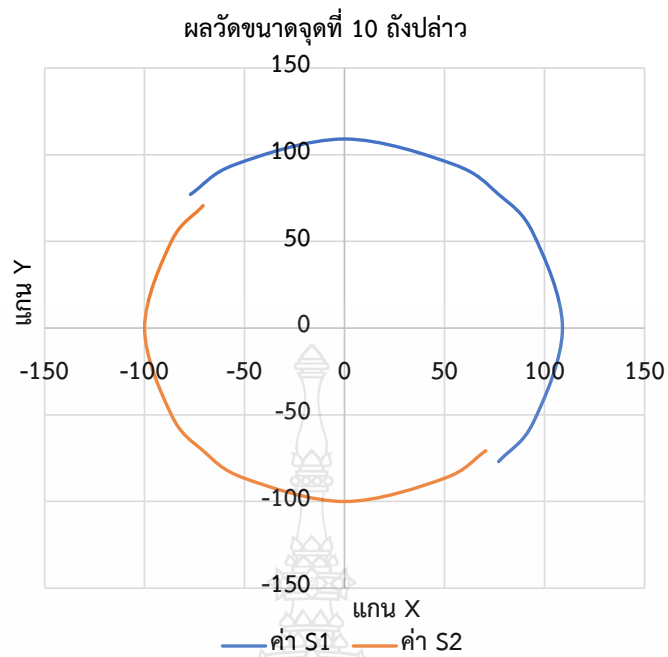
ถังเปล่า



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบการการวัดขนาดถังความดันโดยยังไม่ทำการอัดแรงดันเข้าสู่ภายในถัง

ตารางที่ 4.1 แสดงรายการผลสรุปข้อมูลถังเปล่าจากรูปที่ 4.1

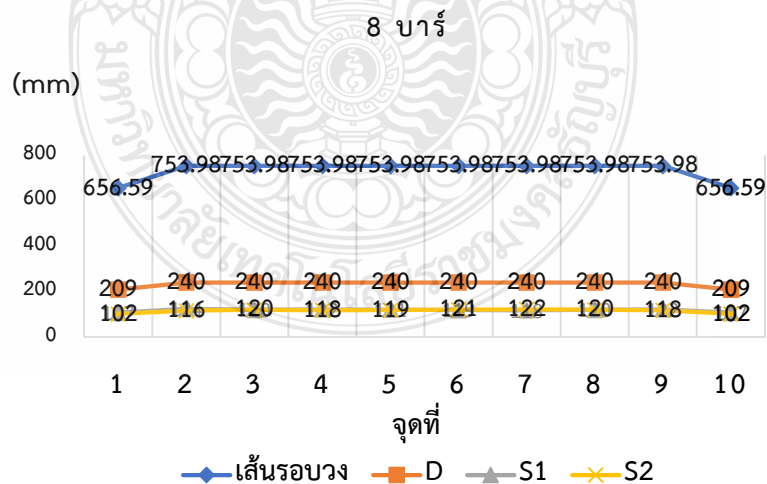
จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	107	102
2	753.98	240	124	116
3	753.98	240	120	120
4	753.98	240	121	119
5	753.98	240	121	119
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	118	122
8	753.98	240	120	120
9	753.98	240	122	118
10	656.59	209	109	100



รูปที่ 4.3 ผลการวัดขนาดรัศมีด้วยเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ณ จุดที่ 10 ถึงปล่าว

4.1 ผลการทดสอบวัดขนาดถึงปล่าว

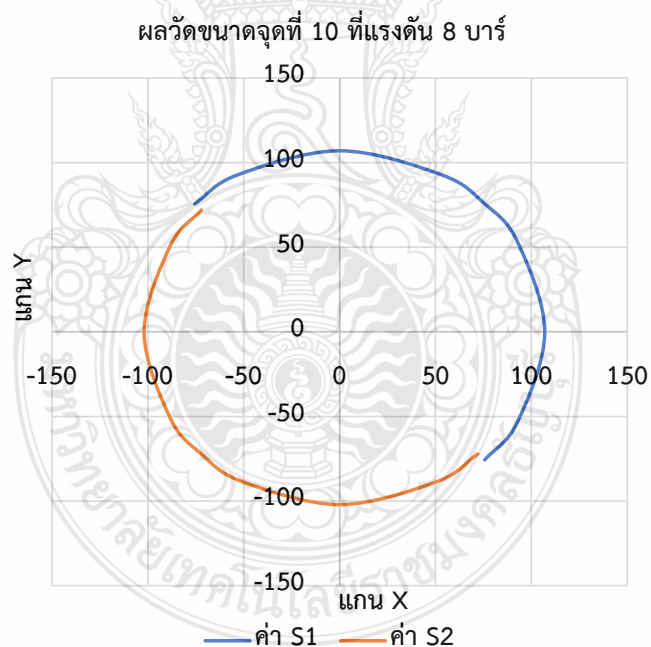
ในการทดสอบครั้งแรกจะวัดขนาดถึงความดันในสถานะไม่เพิ่มแรงดันเข้าไปในถึงความดันเพื่อจัดเก็บข้อมูลเชิงปริมาณไว้เปรียบเทียบภายหลังการเพิ่มแรงดันเข้าไปในถึงเพื่อสังเกตและศึกษาแนวโน้มหรือผลกระทบในการขยายตัวของถึงความดัน โดยหลังจากการทดลองครั้งนี้จะเพิ่มแรงดันไปที่ 8 บาร์



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนแรงดันที่ 8 บาร์

ตารางที่ 4.2 แสดงรายการผลสรุปข้อมูลแรงดันที่ 8 บาร์จากรูปที่ 4.2

จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	107	102
2	753.98	240	124	116
3	753.98	240	120	120
4	753.98	240	122	118
5	753.98	240	121	119
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	118	122
8	753.98	240	120	120
9	753.98	240	122	118
10	656.59	209	107	102



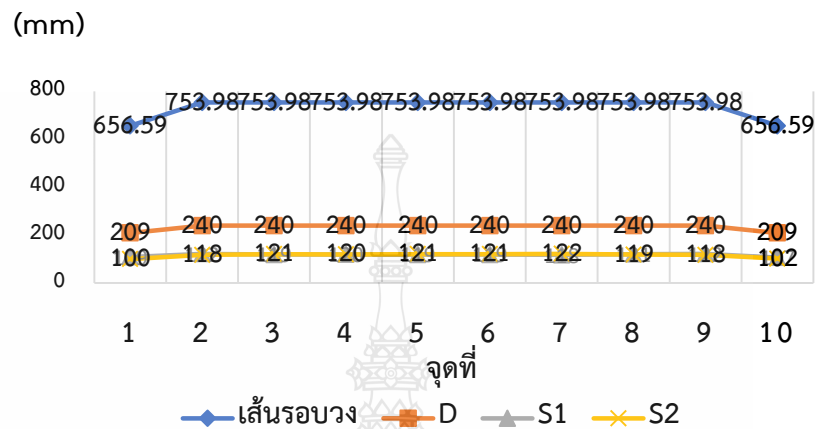
รูปที่ 4.5 ผลการวัดขนาดรัศมีด้วยเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ณ จุดที่ 10 ที่แรงดัน 8 บาร์

4.2 ผลการทดสอบวัดขนาดถังแรงดันที่ 8 บาร์

จากการทดลองเพิ่มแรงดันในครั้งที่ 2 โดยเพิ่มแรงดันเข้าไปในถังที่ 8 บาร์ พบการเปลี่ยนแปลงของผนังโลหะโดยมีข้อสังเกตในจุดที่ 10 ที่มีผลการวัดก่อนหน้านี้ในจุดเดียวกัน S1 และ S2 มีค่า 109

และ 100 ตามลำดับและเมื่อเพิ่มแรงดันไปที่ 8 บาร์พบการเปลี่ยนแปลงขนาดของผิวโลหะ S1 และ S2 เป็น 107 และ 102 ตามลำดับ โดยพบการยืดและหดตัวของผนังโลหะขนาด ± 2 มม. ในจุดที่ 10

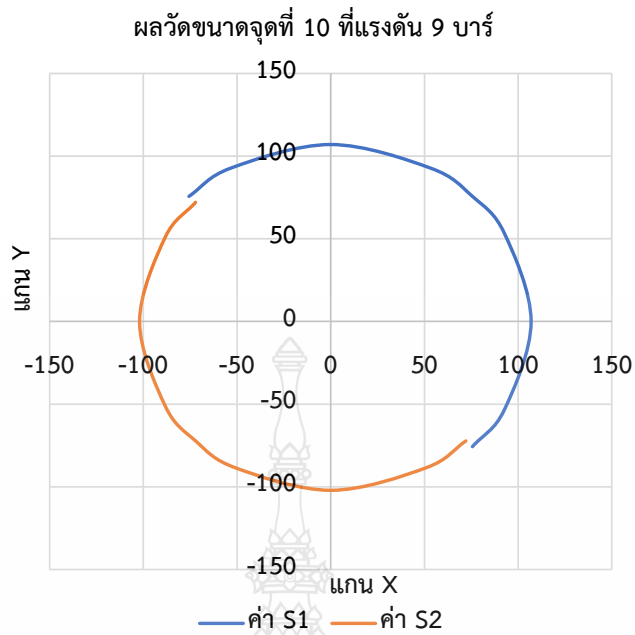
9 บาร์



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนแรงดันที่ 9 บาร์

ตารางที่ 4.3 แสดงรายการผลสรุปข้อมูลแรงดันที่ 9 บาร์จากรูปที่ 4.3

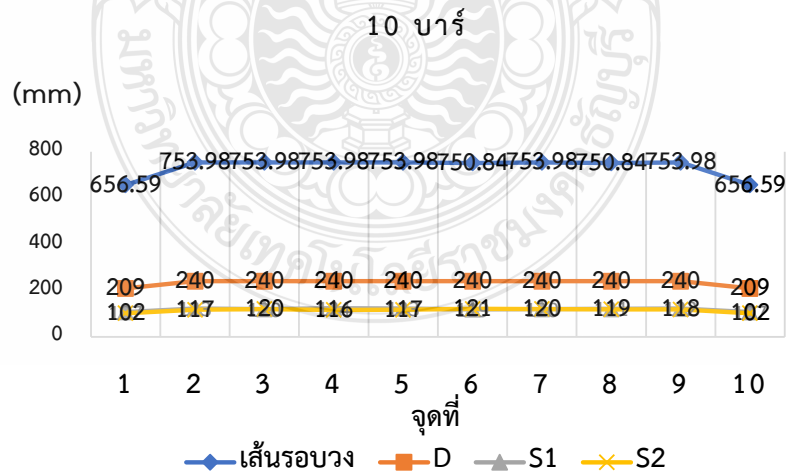
จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	240	109	100
2	753.98	240	122	118
3	753.98	240	119	121
4	753.98	240	120	120
5	753.98	240	119	121
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	118	122
8	753.98	240	121	119
9	753.98	240	122	118
10	656.59	240	107	102



รูปที่ 4.7 ผลการวัดขนาดรัศมีด้วยเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ณ จุดที่ 10 ที่แรงดัน 9 บาร์

4.3 ผลการทดสอบวัดขนาดถึงความดันที่ 9 บาร์

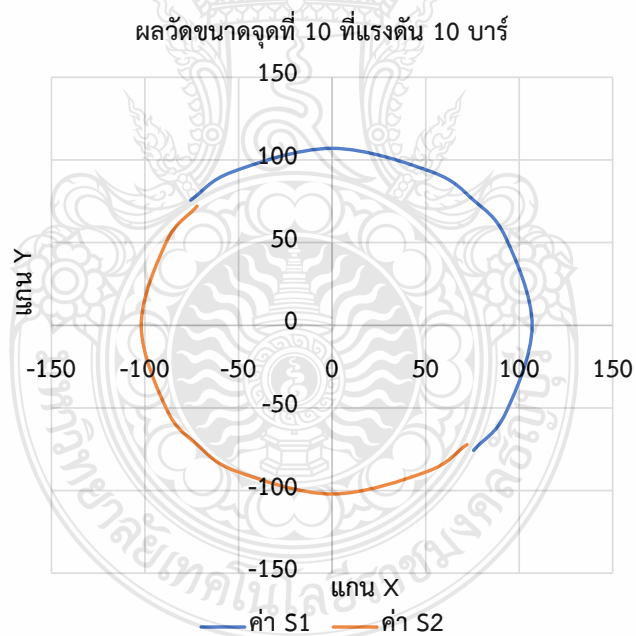
ในการทดลองเพิ่มแรงดันในครั้งที่ 3 ที่แรงดัน 9 บาร์ พบการยืดและหดตัวของโลหะตั้งแต่จุดที่ 1,2,3,4,5 และ 8 ตามลำดับ ผลอันเนื่องมาจากผนังโลหะได้รับแรงดันจึงเริ่มเกิดการขยายตัวในรูปแบบทุกทิศทุกทางทำให้ผนังเกิดการขยับเพื่อจะพองตัวในลักษณะจัดรูปผิวโลหะเกือบตลอดแนวแกน



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนแรงดันที่ 10 บาร์

ตารางที่ 4.4 แสดงรายการผลสรุปข้อมูลแรงดันที่ 10 บาร์จากรูปที่ 4.4

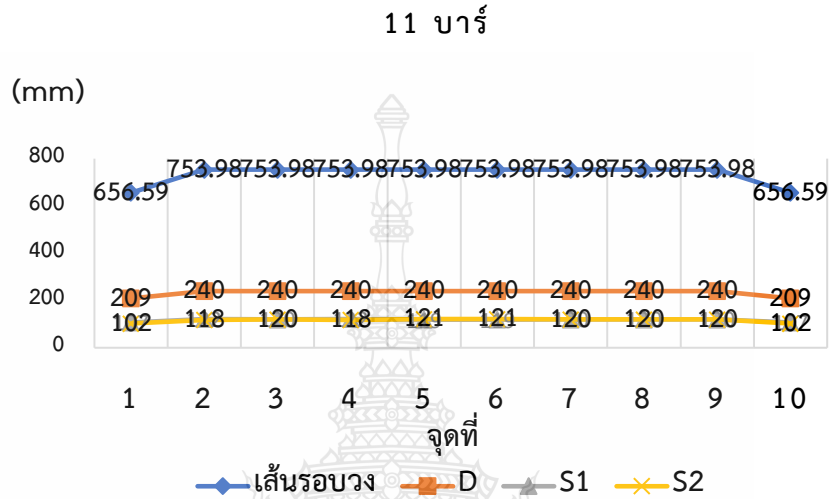
จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	107	102
2	753.98	240	123	117
3	753.98	240	120	120
4	753.98	240	124	116
5	753.98	240	123	117
6	750.84	240	119	121
7	753.98	240	120	120
8	750.84	240	121	119
9	753.98	240	122	118
10	656.59	209	107	102



รูปที่ 4.9 ผลการวัดขนาดรัศมีด้วยเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ณ จุดที่ 10 ที่แรงดัน 10 บาร์

4.4 ผลการทดสอบวัดขนาดถึงความดันที่ 10 บาร์

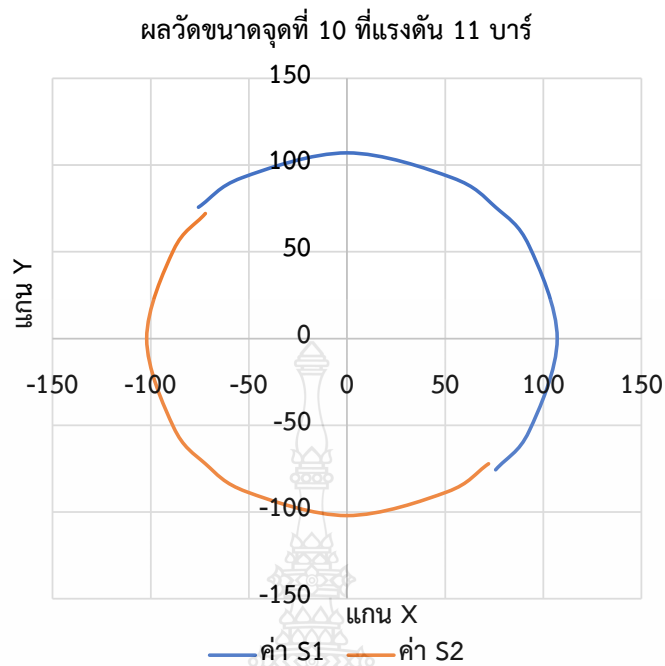
ในการทดลองเพิ่มแรงดันในครั้งที่ 4 ที่แรงดัน 10 บาร์ พบการยืดและหดตัวของโลหะตั้งแต่จุดที่ 1,2,4,5 และ 7 ตามลำดับ โดยเป็นการยืดและหดตัวของโลหะตามแนวแกนเช่นเดิม



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนแรงดันที่ 11 บาร์

ตารางที่ 4.5 แสดงรายการผลสรุปข้อมูลแรงดันที่ 11 บาร์จากรูปที่ 4.5

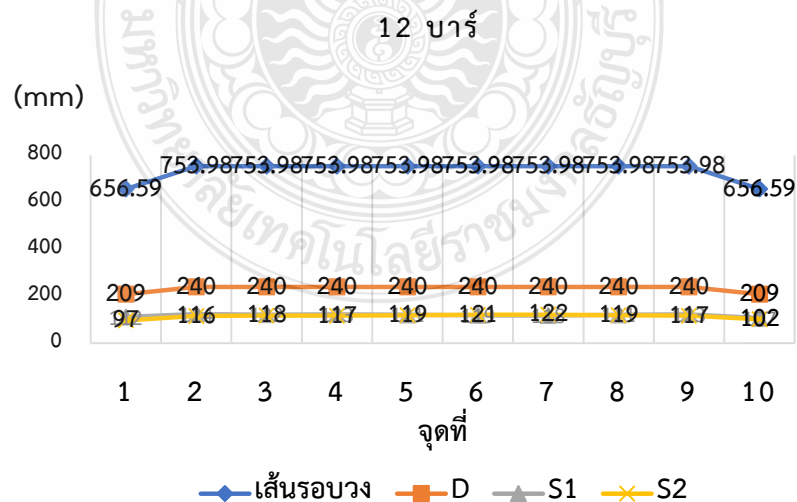
จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	240	107	102
2	753.98	240	122	118
3	753.98	240	120	120
4	753.98	240	122	118
5	753.98	240	119	121
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	120	120
8	753.98	240	120	120
9	753.98	240	120	120
10	656.59	240	107	102



รูปที่ 4.11 ผลการวัดขนาดรัศมีด้วยเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ณ จุดที่ 10 ที่แรงดัน 11 บาร์

4.5 ผลการทดสอบวัดขนาดถึงความดันที่ 11 บาร์

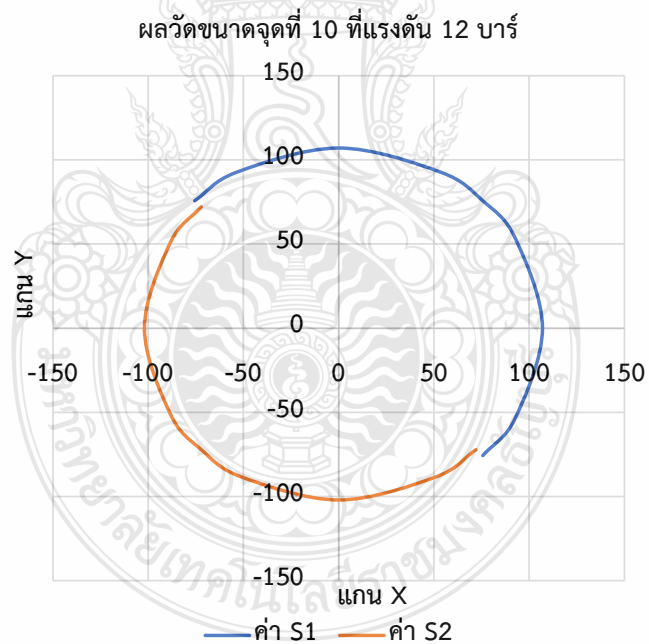
ในการทดลองเพิ่มแรงดันในครั้งที่ 5 ที่แรงดัน 11 บาร์ พบการยืดและหดตัวของโลหะตั้งแต่จุดที่ 2,4,5,8 และ 9 ตามลำดับ โดยยังเป็นการยืดและหดตัวของโลหะตามแนวแกน X ปกติ



รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนแรงดันที่ 12 บาร์

ตารางที่ 4.6 แสดงรายการผลสรุปข้อมูลแรงดันที่ 12 บาร์จากรูปที่ 4.6

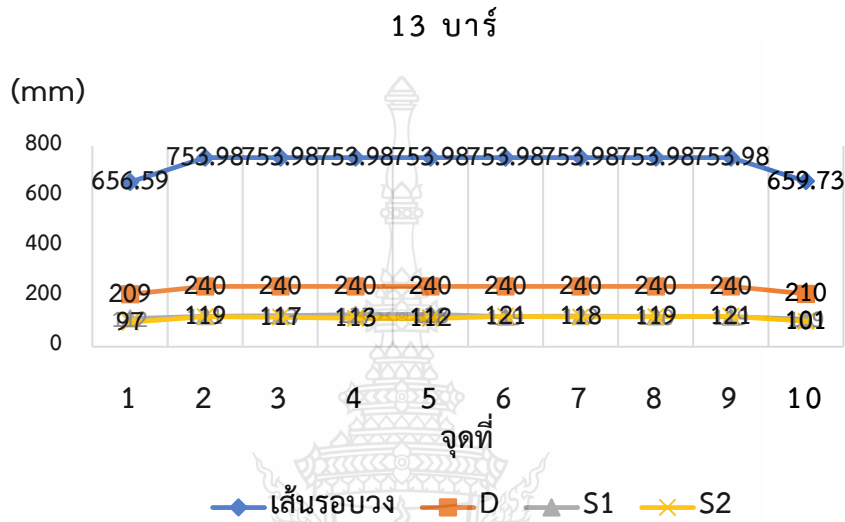
จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	112	97
2	753.98	240	124	116
3	753.98	240	122	118
4	753.98	240	123	117
5	753.98	240	121	119
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	118	122
8	753.98	240	121	119
9	753.98	240	123	117
10	656.59	209	107	102



รูปที่ 4.13 ผลการวัดขนาดรัศมีด้วยเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ณ จุดที่ 10 ที่แรงดัน 12 บาร์

4.6 ผลการทดสอบวัดขนาดถึงความดันที่ 12 บาร์

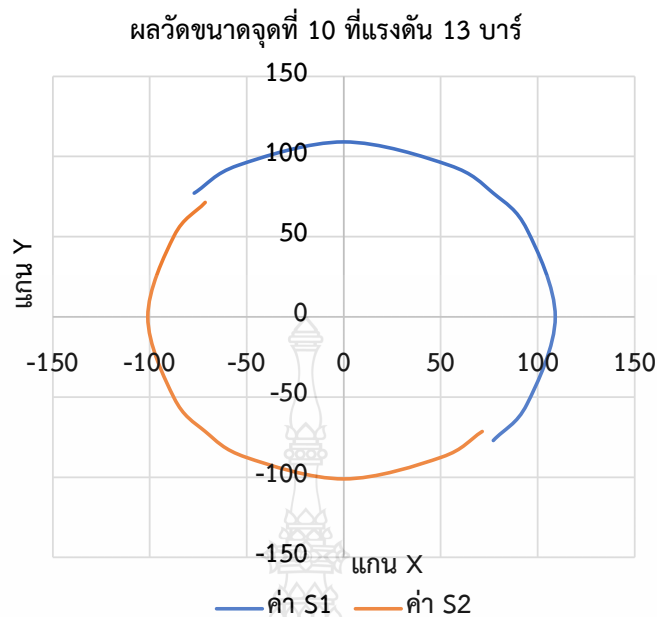
ในการทดลองเพิ่มแรงดันในครั้งที่ 6 ที่แรงดัน 12 บาร์ พบการยืดและหดตัวของโลหะตั้งแต่จุดที่ 1,2,4,5,8 และ 9 ตามลำดับ มีข้อสังเกตในจุดที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากพบการยืดและหดที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2 ที่มีค่าตัวเลขที่วัดได้แตกต่างกันมาก



รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบการวัดขนาดถึงเมื่อป้อนแรงดันที่ 13 บาร์

ตารางที่ 4.7 แสดงรายการผลสรุปข้อมูลแรงดันที่ 13 บาร์จากรูปที่ 22

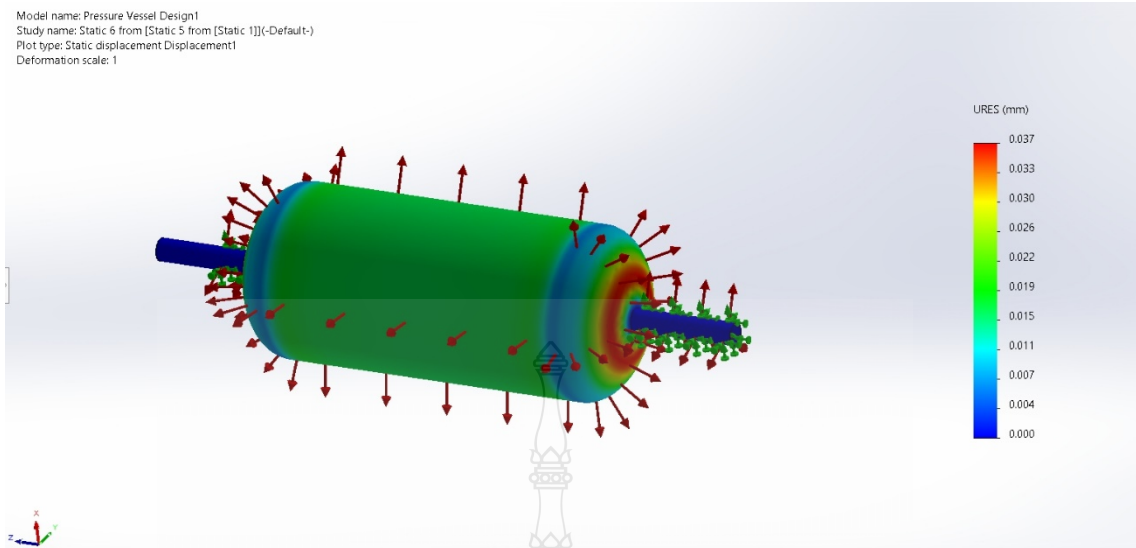
จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	112	97
2	753.98	240	121	119
3	753.98	240	123	117
4	753.98	240	127	113
5	753.98	240	128	112
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	122	118
8	753.98	240	120	119
9	753.98	240	119	121
10	659.73	210	109	101



รูปที่ 4.15 ผลการวัดขนาดรัศมีด้วยเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ณ จุดที่ 10 ที่แรงดัน 13 บาร์

4.7 ผลการทดสอบวัดขนาดถึงความดันที่ 13 บาร์

ในการทดลองเพิ่มแรงดันในครั้งที่ 7 ที่แรงดัน 13 บาร์ พบการยืดและหดตัวของโลหะตั้งแต่จุดที่ 2,4,5,7, 9 และ 10 ตามลำดับ โดยผลการทดลองวัดหาขนาดการเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันและเก็บบันทึกข้อมูล 7 รอบ เพื่อทำการเปรียบเทียบหาค่าการเปลี่ยนแปลงของขนาดถึงความดันเมื่อทำการป้อนแรงดันน้ำที่ 8,9,10,11,12,13 บาร์ตามลำดับ พบการขยายตัวและหดตัวในลักษณะ ฝั่งหนึ่งขนาดลดอีกฝั่งหนึ่งขนาดเพิ่มสลับกันไป-มา มีการกระจายตัวของแรงดันแบบทุกทิศทุกทางในการเบ่งและดึงผิวโลหะอันเป็นผลเนื่องจากการป้อนแรงดันเข้าไปถึงความดัน แต่ในภาพรวมแล้วถึงความดันที่ได้ทดสอบ พบการเปลี่ยนแปลงในการยืดตัวของขนาดน้อยมากๆ คือเริ่มเห็นผลการเปลี่ยนแปลงที่แรงดัน 13 บาร์ เมื่อเทียบกับถึงเปล่าและ ป้อนแรงดันน้ำที่ 8 บาร์ ได้ผลตามกราฟ ที่จุดที่ 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 วัดขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 209, 240, 240, 240, 240, 240,240,240,210 บาร์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบ จุดเดียวกันในตำแหน่งที่ 10 ของทั้ง 2 กราฟระหว่าง 8 บาร์,และ13 บาร์ พบการเปลี่ยนแปลงในการยืดตัวมีขนาด 1 มิลลิเมตร จากนั้นเพื่อสนับสนุนข้อมูลในการทดลองทางนักศึกษาจึงทำการศึกษาในทางทฤษฎีเพื่อเปรียบเทียบกับทดสอบถึงเหตุผลการเกิดการขยายตัวของถึงความดันในแนวส่วนโค้งของขอบถังโดยได้ทำการจำลอง Simulation ผ่าน โปรแกรม Solidwork ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การจำลอง Finite element analysis

4.8 ผลการจำลอง Finite element analysis เพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริง

จากการทดลองวัดขนาดถึงความดันด้วยหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนและทำการเปรียบเทียบผลทดสอบด้วยการทำการจำลอง Finite element analysis โดยตั้งค่าคุณสมบัติของโลหะและแรงดันที่ป้อนเข้าไปให้ใกล้เคียงกับการทดลองให้มากที่สุด จึงได้พบว่าถึงความดันที่ได้ทำการวัดโดยค่อยๆเพิ่มแรงดันในทุกๆรอบการวัดรอบละ 1 บาร์นั้น เมื่อเพิ่มแรงดันไป 13 บาร์แล้วมีค่าความเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของขนาดถึงความดันในแนวแกนรูปทรงกระบอกเล็กน้อย จากรูปที่ 4.16 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีแรงดันกระจายตัวทุกทิศทุกทางจริงตรงตามทฤษฎีที่ทำการทดลอง ทำให้พบการเปลี่ยนแปลงของค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันตลอดแนว ทุกๆครั้งที่เพิ่มแรงดันเข้าไปซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากแรงที่กระทำต่อผนังทรงกระบอกเป็นพื้นที่ผิวผนังส่วนใหญ่ของของถึงความดัน ดังนั้นแรงที่กระทำต่อผนังจึงเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเท่าๆ กันตลอดแนวรูปทรงกระบอก ส่งผลให้แรงที่กระทำโดยตรงกับผนังทรงกระบอกมีน้อยกว่าเมื่อเทียบบริเวณรูปร่างกลมสีแดงดังรูปที่ 4.16 แรงที่กระทำในผิวส่วนโค้งด้านหน้าและด้านหลังของถึงความดัน บริเวณดังกล่าว มีแนวโน้มจะสามารถทำให้ถึงความดันเกิดการขยายตัวมากกว่าพื้นผิวผนังทรงกระบอก จึงทำให้สามารถวัดค่าความเปลี่ยนแปลงในการยืดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันได้อย่างชัดเจนมากกว่า

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองมีความเป็นไปได้ว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดระหว่างข้อมูลกราฟรูปที่ 4.5 ที่ความดัน 8 บาร์ และ ข้อมูลกราฟรูปที่ 4.14 ที่ความดัน 13 บาร์ พบการเปลี่ยนแปลงขนาดของถึงความดันในจุดที่ 10 จาก ขนาดเดิม 209 มม. เพิ่มเป็น 210 มม. ความเปลี่ยนแปลงของขนาด

ถึงความดันในส่วนนี้จะเป็นบริเวณส่วนโค้ง ของส่วนโค้งขอบถังโดยมีเหตุผลปัจจัยรองรับในการทดสอบ ด้วยการออกแบบจำลอง Finite element analysis ที่มีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดการขยายตัวของถัง ความดันแล้วสามารถวัดค่าหาขนาดที่ยืดโก่งตัวจนเกิดการเสียรูปได้ที่จุดนี้ จึงได้ทำแบบจำลองการ ทดสอบตามทฤษฎีดังรูปที่ 4.16 โดยการทดสอบเทียบกับการวัดแบบแนวนอนตามมาตรฐานการ ทดสอบอัดแรงดัน มอก. ที่ 13 บาร์ ค้างไว้เป็นเวลา 3 นาที [14] แล้วทำการจดบันทึกผลทดสอบ



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบสร้างหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนเพื่อใช้ในการทดสอบวัดระยะขนาดเพื่อหาเส้นผ่านศูนย์กลางของถังความดันและศึกษาการขยายตัวของถังความดัน โดยมีหลักการทดสอบการขยายตัวของถังความดันที่เป็นถังเก็บอากาศภายใต้สภาวะการเพิ่มแรงดัน โดยเลือกใช้น้ำเป็นตัวเพิ่มแรงดันเพื่อความปลอดภัยในการทดลอง เข้าถังเก็บอากาศโดยรอบแรกเริ่มต้นที่ 8 บาร์ แล้วทำการวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง จากจุดที่ 1 ถึง จุดที่ 10 แล้วเก็บค่าผลการทดสอบที่วัดได้ในรอบแรก จากนั้นทำการทดสอบซ้ำในขั้นตอนเดิมรอบถัดๆไป โดยเพิ่มความดันมากขึ้นรอบละ 1 บาร์ จนถึงรอบสุดท้าย ที่ 13 บาร์ แล้วเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดของผลการทดสอบที่ได้ พบว่าถังความดันเมื่อได้รับแรงดันเข้าไปในถังโดยแรงดันที่ป้อนเข้าไปมีแรงดัน 8 บาร์ ถึง 12 บาร์ จะเกิดการตึงผิวของโลหะในแนวแกนทรงกระบอกที่เกิดแรงกระทำกับผนังโลหะและเกิดการเบ่งพองตัวในแนวพื้นที่ทรงกระบอกจากการทดลองวัดขนาดพบว่า ค่าตัวเลขขนาดของรัศมีจากเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ตรวจพบค่าตัวเลขตำแหน่งการวัดทั้ง 10 จุด มีการเปลี่ยนแปลงตัวเลขของขนาดที่วัดได้สลับไป-สลับมา แบบถ่ายโอนขนาดซึ่งเป็นลักษณะจัดเรียงแรงลัพธ์ของพื้นผิวรับแรงภายในผนังถังความดันแบบปกติเมื่อมีการป้อนแรงดันเข้าถัง แต่ยังไม่ใช่การขยายตัวของผนังโลหะ ต่อเมื่อเพิ่มแรงดันเข้าไปในถัง ที่ 13 บาร์ จึงพบการเปลี่ยนแปลงค่าตัวเลขอย่างมีนัยสำคัญ ณ จุดการวัดในตำแหน่งที่ 1 และ 10 ที่พบการยืดตัวของผนังโลหะมากที่สุด โดยมีระยะยืดที่วัดได้ทั้ง 2 ตำแหน่งรวมกันมีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร

โดยจากข้อมูลสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้ ในกรณีป้อนแรงดันที่ไม่มากพอที่จะทำให้ผิวของถังความดันเกิดการตึงผิวของผนังโลหะ ถังความดันนั้นก็ยังคงสภาพขนาดเท่าเดิม โดยมีปัจจัยด้านความแข็งแรงและการคงสภาพทางกายภาพของวัสดุโลหะนั้นๆได้ และจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของผิวโลหะและเกิดแรงดันกระทำต่อผนังโลหะและทำให้เกิดการยืดตัวได้ก็ต่อเมื่อป้อนแรงดันเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆจนสามารถเอาชนะจุดวิกฤตของโลหะชนิดนั้นได้ จึงจะสามารถทำให้เนื้อผิวโลหะเกิดการขยายตัวและสามารถวัดขนาดการขยายตัวของถังความดันได้

และผลการจำลอง Finite element โดยป้อนข้อมูลคุณสมบัติของโลหะ และแรงดันที่เพิ่มเข้าไปให้ใกล้เคียงกับการทดสอบครั้งนี้ พบว่าผลที่ได้จากการทดสอบจริง เริ่มมีผลลัพธ์การเปลี่ยนแปลงในการขยายตัว ณ ตำแหน่งของจุดที่ 1 และ 10 โดยมีการขยายตัวที่วัดได้คือ มีค่าไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ซึ่ง

เป็นไปในแนวทางที่สอดคล้องกันกับผลที่ได้จากการจำลอง Finite element คือพบการเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของขอบถึง ที่จุดเดียวกันอยู่ที่ 0.037 มิลลิเมตร

5.2 การประยุกต์ใช้

5.2.1 จากการออกแบบสร้างหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนเพื่อใช้ในการทดสอบวัดระยะขนาดเพื่อหาเส้นผ่านศูนย์กลางของถังความดันสามารถนำไปประยุกต์เพื่อการใช้งานในลักษณะงานประเภทเดียวกันได้เช่นหุ่นยนต์จับชิ้นงาน เพื่อย้ายที่ชิ้นงานหรือหุ่นยนต์หยิบตัวอย่าง ซึ่งนิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม หากผลิตได้เองภายในประเทศจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าเครื่องมือจากต่างประเทศได้

5.2.2 จากการศึกษาการออกแบบเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนซึ่งสามารถนำความรู้ที่ได้รับ นำไปใช้ในการออกแบบโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ และมอเตอร์ ให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างสอดคล้องกัน โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนควบคุม ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในยุคปัจจุบัน

5.2.3 ในการศึกษาาระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ กับระบบ IoT (internet of Things) ที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้เพิ่มความสามารถการควบคุมเครื่องจักรหรือหุ่นยนต์อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยสามารถสั่งเปิด-ปิดหรือดูสถานะการทำงานจากระยะไกลได้อย่างอิสระมากขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรเพิ่มความละเอียดของเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดขนาดเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความละเอียดในการวัดที่มากขึ้น

5.3.2 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติของถังแรงดันที่นำมาทดสอบในแต่ละแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงและทราบถึงคุณสมบัติการยืดและหดตัวของถังภายใต้การเพิ่มแรงดัน

บรรณานุกรม

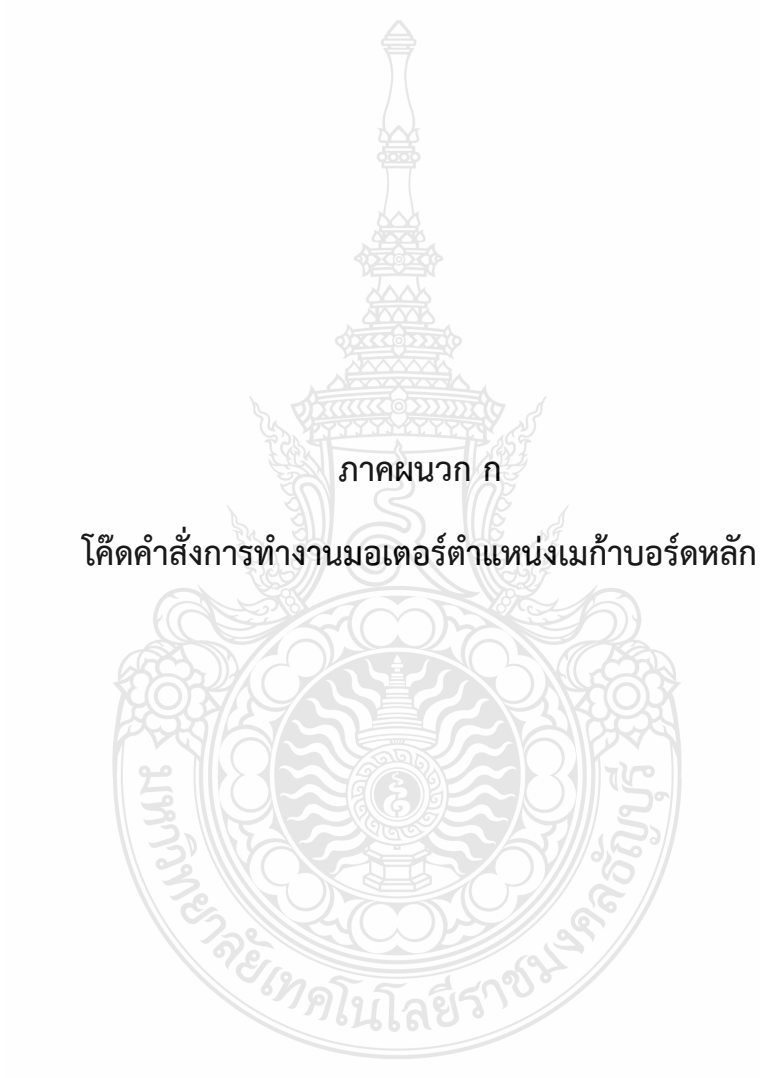
- [1] Adam zeberkiewicz (6 พฤษภาคม 2564). **Measurement unit and standards Cental office of Measures** [Online], Available:
<https://www.gum.gov.pl/en/services/measurement-units-and-s/20>
- [2] Bogna Szyk and Mateusz Mucha (6 พฤษภาคม 2564). **Formula for circumference** [Online], Available:<https://www.omnicalculator.com/math/Circumference>
- [3] ชีวะ ทศนา (สิงหาคม 2559) **วิทยาศาสตร์เชิงคณิตศาสตร์ 2**, หน้า 1 - 5 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
- [4] Kthanate **Introduction to control systems**(ธันวาคม 2547) [Online], Available:
<http://fivedots.coe.psu.ac.th/Software.coe/240-209/vcrcontrol.pdf>
- [5] สารานุกรมเสรี. **ระบบควบคุมพีไอดี**.(29 มกราคม 2562), [Online], Available:
<https://en.wikipedia.org/wiki/ระบบควบคุมพีไอดี>.
- [6] **การทดลองที่ 27 การรับส่งสัญญาณของใยแก้วนำแสงความยาวคลื่น 1310 nm** [Online], Available:[http://pgm.npru.ac.th/telecom/data/files/การทดลองที่ 27 การรับส่งสัญญาณของใยแก้วนำแสงความยาวคลื่น 1310 nm.pdf](http://pgm.npru.ac.th/telecom/data/files/การทดลองที่%20การรับส่งสัญญาณของใยแก้วนำแสงความยาวคลื่น%201310%20nm.pdf)[15 มีนาคม 2562].
- [6] Bhargav P, Chethan Babu **Design and Development of Gantry Robot for Nursery Seed Sowing Applicaton** international Journal of Scientific & Engineering Research Volume11, Issue ISSN 2229-5518.[6 มิถุนายน 2563].
- [7] เสรี ชื่นอารมณ **เทคนิคการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลความละเอียดสูงด้วยซอฟต์แวร์และการประยุกต์ใช้งาน** [Online], Available: [16 มิถุนายน 2563].
<http://www3.eng.psu.ac.th/pec/5/pec5/paper/PEC5022.doc>
- [8] ศูนย์รวบรวมการมาร์กด้วยเลเซอร์ **หลักการทํางานของเลเซอร์**.(30 มีนาคม 2562)[Online], Available:
<https://www.keyence.co.th/ss/products/markings/lasermarker/knowledge/principle.jsp>
- [9] Tongyu Yang, Zhong Wang, Zhengang Wu, Xingqiang Li, Lei Wang and Changjie Liu **Calibration of Laser Beam Direction for InnerDiameter Measuring Device** State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments, Tianjin University. China; (2561).
- [10] สารานุกรมเสรี (5กุมภาพันธ์ 2562). **ความดัน** [Online], Available:
<https://th.wikipedia.org/wiki/ความดัน>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] บริษัท เอเชียนพลัส ซัพพลาย จำกัด.(15 ตุลาคม 2552). **คุณสมบัติของเหล็กเกรดต่างๆ** [Online],Availale:<https://sites.google.com/site/specialmetalsthailand/hot-news-1>
- [12] VCSASIA.CO.LTD. (18 ตุลาคม 2562).**คุณสมบัติและการใช้งานเหล็กแผ่นดำ** [Online],Availale: <https://www.vcsasia.co.th/product/เหล็กแผ่นดำ-steel-plate/>
- [13] **ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis, FEA)** (11 กันยายน 2562). [Online],Availale: <http://note005.blogspot.com/2011/09/finite-element-analysis-fea.html>
- [14] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2537). **เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กแบบลูกสูบ**. มอก. 1252-2537.
- [15] Chang Liu, Yanqiu Xing, Jialong Duanmu and Xin Tian (2560) **Evaluating Different Methodsfor Estimating Diameter at Breast Height from Terrestrial Laser Scanning** College of Engineeringand Technology,Northeast Forestry University, China [Online],Availale: <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/4/513> [25 มีนาคม 2561]
- [16] Meh-e-Munir,ShahidLatif (2561).**Improved Distance Measuring Using Laser Light** Department of Electrical Engineering, Iqra National University, Pakistan [Online],Available:<https://www.researchgate.net/publication/327282802> (2561).
- [17] สกนธ์ เส็งสุวรรณ (2562) **การปรับปรุงความแข็งแรงของถังอัดอากาศขนาด 64 ลิตรด้วยวิธีไฟไนต์ เอลิเมนต์**[Online],Availale: <http://www.research.rmutt.ac.th/?p=20437>

ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

โค้ดคำสั่งการทำงานมอเตอร์ตำแหน่งเมก้าบอร์ดหลัก

```
staping_motor2 | Arduino 1.8.9
File Edit Sketch Tools Help

staping_motor2

#define dirPin 3 //move up
#define stepPin 2
#define dirPin1 9 //move cycal
#define stepPin1 8
#define dirPin2 11
#define stepPin2 10
#define stepsPerRevolution 1600
#define tx1 6
#define tx2 7

#define sw1 39 //start
#define sw2 41 //limit cycal 1
#define sw3 43 //limit cycal 2
#define sw4 45 //up
#define sw5 47 //down
#define sw6 49 //back
#define sw7 51 //limit back
#define sw8 53 //for

#define red 36 // led red
#define yellow 34 // led yellow
#define green 32 // led green

int maxthai1 = 0 ;
int maxthai2 = 0 ;
int maxthai3 = 0 ;
int maxthai4 = 0 ;
int maxthai5 = 0 ;
int man0 = 0 ;
int man1 = 0 ;
int man3 = 0 ;
int start1 = 0 ;
int back = 0 ;
int u = 0;

void setup() {
  pinMode(stepPin, OUTPUT);
  pinMode(dirPin, OUTPUT);
  pinMode(stepPin1, OUTPUT);
  pinMode(dirPin1, OUTPUT);
  pinMode(stepPin2, OUTPUT);
  pinMode(dirPin2, OUTPUT);
  pinMode(tx1, OUTPUT);
  pinMode(tx2, OUTPUT);

  pinMode(sw1, INPUT);
  pinMode(sw2, INPUT);
  pinMode(sw3, INPUT);
  pinMode(sw4, INPUT);
  pinMode(sw5, INPUT);
  pinMode(sw6, INPUT);
  pinMode(sw7, INPUT);
}
```

```
staping_motor2 | Arduino 1.8.9
File Edit Sketch Tools Help

staping_motor2

pinMode(sw8, INPUT);

pinMode(red, OUTPUT);
pinMode(yellow, OUTPUT);
pinMode(green, OUTPUT);

Serial.begin(115200);
}

void loop()
{
  int y1 = digitalRead (sw1);
  int y2 = digitalRead (sw2);
  int y3 = digitalRead (sw3);
  int y4 = digitalRead (sw4);
  int y5 = digitalRead (sw5);
  int y6 = digitalRead (sw6);
  int y7 = digitalRead (sw7);
  int y8 = digitalRead (sw8);

  digitalWrite(green, HIGH);
  digitalWrite(yellow, HIGH);
  digitalWrite(red, HIGH);
  digitalWrite(tx2, LOW);
  if (y7 == 1)
  {
    digitalWrite(tx2, HIGH);
  }

  if (y5 == 1)
  {
    digitalWrite(yellow, LOW);
    digitalWrite(dirPin, HIGH);
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(250);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(250);
  }
  if (y4 == 1)
  {
    digitalWrite(yellow, LOW);
    digitalWrite(dirPin, LOW);
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(250);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(250);
  }
  if (y6 == 1 && y7==0 && y8== 0 )
  {
    digitalWrite(yellow, LOW);
    digitalWrite(dirPin2, LOW);
    digitalWrite(stepPin2, HIGH);
    delayMicroseconds(250);
  }
}
```

```
staping_motor2 | Arduino 1.8.9
File Edit Sketch Tools Help

staping_motor2

digitalWrite(stepPin2, LOW);
delayMicroseconds(250);

}
if (y8 == 1 && y6==0 )
{
digitalWrite(yellow, LOW);
digitalWrite(dirPin2, HIGH);
digitalWrite(stepPin2, HIGH);
delayMicroseconds(250);
digitalWrite(stepPin2, LOW);
delayMicroseconds(250);
}

if (y8 == 1 && y6==1 )
{
back = 1;
}

if (back == 1)
{
digitalWrite(red, LOW);
digitalWrite(dirPin2, LOW);
digitalWrite(stepPin2, HIGH);
delayMicroseconds(250);
digitalWrite(stepPin2, LOW);
delayMicroseconds(250);
int y7 = digitalRead (sw7);
if (y7 == 1)
{
back = 0;
delay(10);
}
}
if (y1== 1)
{
start1 = 1;
}
if (start1 == 1)
{ digitalWrite(tx1, LOW);
digitalWrite(red, LOW);
if (man0 == 0 && maxthai4 == 0)
{
maxthail = maxthail +1;
if(maxthail ==1)
{

for (int i = 0 ; i < 7*stepsPerRevolution; i++)
{
digitalWrite(dirPin2, HIGH);
digitalWrite(stepPin2, HIGH);
delayMicroseconds(250);
digitalWrite(stepPin2, LOW);
```

```
staping_motor2 | Arduino 1.8.9
File Edit Sketch Tools Help

staping_motor2

    delayMicroseconds(250);
    man0 = 1;
    man1 = 1;

}
}
if(maxthai1 >1&&maxthai1 <=10)
{

for (int i = 0 ; i < 10*stepsPerRevolution; i++)
{
    digitalWrite(dirPin2, HIGH);
    digitalWrite(stepPin2, HIGH);
    delayMicroseconds(250);
    digitalWrite(stepPin2, LOW);
    delayMicroseconds(250);
    man0 = 1;
    man1 = 1;
}
}
if(maxthai1 == 11)
{

for (int i = 0 ; i < 7*stepsPerRevolution; i++)
{
    digitalWrite(dirPin2, HIGH);
    digitalWrite(stepPin2, HIGH);
    delayMicroseconds(250);
    digitalWrite(stepPin2, LOW);
    delayMicroseconds(250);
    man0 = 1;
    man3 = 1;
    maxthai4 = 1;
}
}

}

if (man1 == 1)
{
    digitalWrite(tx1, HIGH);
    maxthai2++;
    int man2 = maxthai2 % 2;
    if (man2==1){
    for (int j = 0 ; j < 5*stepsPerRevolution; j++)
    {
        digitalWrite(dirPin1, HIGH);
        digitalWrite(stepPin1, HIGH);
        delayMicroseconds(500);
        digitalWrite(stepPin1, LOW);
        delayMicroseconds(500);
        int y3 = digitalRead (sw3);
        if (y3==1)
```

```
staping_motor2 | Arduino 1.8.9
File Edit Sketch Tools Help

staping_motor2

{
  man1 = 0;
  man0 = 0;
  j = 6*stepsPerRevolution;
  delay(10);
}
}

if (man2 == 0)
{
for (int k = 0 ; k < 5*stepsPerRevolution; k++)
{
  digitalWrite(dirPin1, LOW);
  digitalWrite(stepPin1, HIGH);
  delayMicroseconds(500);
  digitalWrite(stepPin1, LOW);
  delayMicroseconds(500);
  int y2 = digitalRead (sw2);
  if (y2==1)
  {
    man1 = 0;
    man0 = 0;
    k = 6*stepsPerRevolution;
    delay(10);
  }
}
}

if (man3 == 1)
{
for (int k = 0 ; k < 5*stepsPerRevolution; k++)
{digitalWrite(tx1, HIGH);
digitalWrite(dirPin1, HIGH);
digitalWrite(stepPin1, HIGH);
delayMicroseconds(500);
digitalWrite(stepPin1, LOW);
delayMicroseconds(500);
int y3 = digitalRead (sw3);
if (y3==1)
{
  man1 = 0;
  man3 = 0;
  maxthai3 = 1;
  k = 6*stepsPerRevolution;
  delay(10);
}
}
}

if (maxthai3 == 1)
```




```
staping_motor2 | Arduino 1.8.9
File Edit Sketch Tools Help


staping_motor2

if (maxthai3 == 1)
{
  for (int k = 0 ; k < 5*stepsPerRevolution; k++)
  {digitalWrite(tx1, LOW);
   digitalWrite(dirPin1, LOW);
   digitalWrite(stepPin1, HIGH);
   delayMicroseconds(500);
   digitalWrite(stepPin1, LOW);
   delayMicroseconds(500);
   int y2 = digitalRead (sw2);
   if (y2==1)
   {
     maxthai3 = 0;
     maxthai5 = 1;
     man1 = 0;
     man0 = 0;
     k = 6*stepsPerRevolution;
     delay(10);
   }
  }
}

if (maxthai5 == 1)
{
  digitalWrite(dirPin2, LOW);
  digitalWrite(stepPin2, HIGH);
  delayMicroseconds(250);
  digitalWrite(stepPin2, LOW);
  delayMicroseconds(250);
  delay(0.5);
  int y7 = digitalRead(sw7);
  if (y7 == 1)
  {
    man0 = 0;
    man3 = 0;
    maxthai1 = 0;
    maxthai2 = 0;
    maxthai4 = 0;
    maxthai5 = 0;
    start1 = 0;
    delay(10);
  }
}
}
```



Arduino/Genuino Uno



ภาคผนวก ข

โศดคำสั่งการทำงานชุดเซ็นเซอร์เมก้าบอร์ดรองตัวที่ 1 และตัวที่ 2

```
Arduino 1.8.9
File Edit Sketch Tools Help

v5310x

#include "Adafruit_VL53L0X.h"
const int numReadings = 10;
int readings[numReadings];
int readIndex = 0;
int total = 0;
int average = 0;

Adafruit_VL53L0X lox = Adafruit_VL53L0X();

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  // wait until serial port opens for native USB devices
  while (! Serial) {
    delay(1);
  }

  Serial.println("Adafruit VL53L0X test");
  if (!lox.begin()) {
    Serial.println(F("Failed to boot VL53L0X"));
    while (1);
  }

  for (int thisReading = 0; thisReading < numReadings; thisReading++) {
    readings[thisReading] = 0;
  }
}

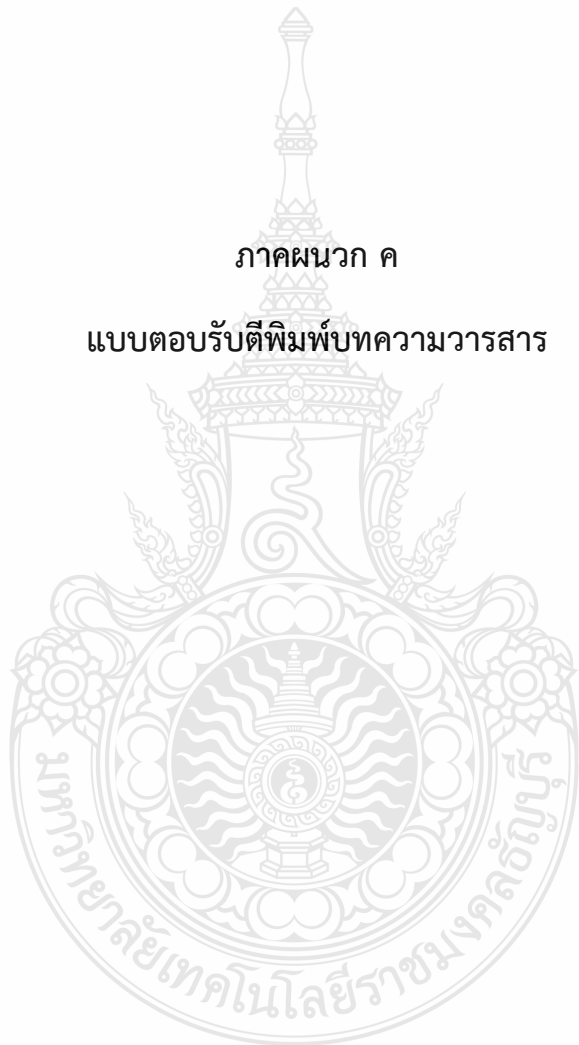
void loop() {
  VL53L0X_RangingMeasurementData_t measure;

  //Serial.print("Reading a measurement... ");
  lox.rangingTest(&measure, false); // pass in 'true' to get debug data printout!

  total = total - readings[readIndex];
  readings[readIndex] = measure.RangeMilliMeter;
  total = total + readings[readIndex];
  readIndex = readIndex + 1;
  if (readIndex >= numReadings) {
    readIndex = 0;
  }
  average = total / numReadings;
  int sum = average-108;
  Serial.println(sum);
  delay(1);
}
```

ภาคผนวก ค

แบบตอบรับตีพิมพ์บทความวารสาร





วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏชัยภูมิ >>>>>

ที่ วร 064 / 2564

๑ กันยายน 2564

เรื่อง ตอบรับตีพิมพ์บทความลงในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏชัยภูมิ

เรียน นายณัฐชา อินทร์ชัญญ์

ตามที่ท่านได้ส่งบทความ เรื่อง “หุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนสำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันด้วยเลเซอร์วัดระยะ” เพื่อขอตีพิมพ์ลงในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏชัยภูมิ ทางกองบรรณาธิการได้พิจารณาแล้ว เห็นควรให้ตีพิมพ์ลงในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏชัยภูมิ ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม - ธันวาคม 2564

ผู้เขียนร่วม : มนุศักดิ์ जानทอง มานพ แยมแพง ศิริชัย เทพา และพิพัฒน์ ปราโมทย์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ปรกช สิริสุวัฒน์)

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏชัยภูมิ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชภัฏชัยภูมิ ถนนรังสิต-นครนายก (กม.13) อำเภอชัยภูมิ จังหวัดปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: 0 2549 3493 โทรสาร: 0 2549 3493 e-mail: enjournal@en.rmutt.ac.th

www.engineer.rmutt.ac.th/journal

[244989]



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏนครราชสีมา

Journal of Engineering, RMUTT

ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม - ธันวาคม 2564 www.engineer.rmutt.ac.th/journal Print : ISSN 2730-2148
Online : ISSN 2697-4339

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏนครราชสีมา

ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม - ธันวาคม 2564

www.engineer.rmutt.ac.th/journal

Print : ISSN 2730-2148
Online : ISSN 2697-4339

การจำลองความเร็วและความดันในกระถางต้นไม้พอลิคาทาค	1
Velocity and Pressure Simulation of Plant Air Purifier	
• นำพล ปัญญาใหญ่ จิระพล กลิ่นบุญ ธนศิษฎ์ วงศ์ศิริอำนวย และทิพาพร คำแดง	
การศึกษาสมบัติการยึดเกาะของพอลิโพรพิลีนที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปแบบโอเวอร์โมลด์ดิ้ง	13
An Investigation into Bond Strength of Injection Overmolded Polypropylene	
• จตุพงศ์ ครอบธานี และสมเจตน์ พิธีพันธ์	
การสร้างโปรแกรมเกม 180 IQ	23
Programming For The Game 180 IQ	
• สุภาพร พงษ์จันทร์ตา และวิเชษฐ์ สิงห์รอด	
กำลังดัดและความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตเสริมเหล็กผสมเส้นใยเหล็ก	33
Flexural Strength and Chloride Penetration Resistance of Reinforced Concrete Beam with Steel	
Fiber after Exposure to Chloride Environment with Cyclic Wetting and Drying	
• ทวีชัย สาทรภูวนิช และสินัน ปรัช	
ระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเติมเงินผ่านระบบเติมเงินออนไลน์และแจ้งเตือนผ่าน แอปพลิเคชันไลน์	43
Prepaid Electric Energy Consumption System via Online Top-Up System and a Notification Through	
LINE Application	
• สุรินทร์ แสงมงาม นันทูฐิ ดั้งปรัชญาพนิชย์ สิริพล เทนิอนทาว สุทธิ กัทองดี	
กัทันทอนก กุญแก้ว และประวี ภู่อินทร์	
ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการทดสอบถังความดันในถังเก็บอากาศตามมาตรฐานตอก. 1252-2537	53
Automatic Control System for Pressure Tank Testing According to Tis 1252-2537	
• สุภคิษฐ์ ไชยวิเศษกุล มนุศักดิ์ จานทอง มานพ แยมแพง ศิริชัย เทพา และพิพัฒน์ ปราโมทย์	
หุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนสำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางถังความดันด้วยเลเซอร์วัดระยะ	63
Cartesian Robot for Measuring the Diameter of a Pressure Tank Using a Laser Distance Meter	
• นัฐชยา อินทร์บุญฤกษ์ มนุศักดิ์ จานทอง มานพ แยมแพง ศิริชัย เทพา และพิพัฒน์ ปราโมทย์	
วิธีควบคุมกำลังไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำด้วยมุมกระตุ้นที่เหมาะสมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	75
Method to Control the Output Power of SRG at Low Speed with Appropriate Excitation Angles using	
Artificial Neural Network	
• ไพโรจน์ ทองประศรี และพิธีระ สราทอง	

หุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนสำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันด้วยเลเซอร์วัดระยะ

ณัฐชา อินทร์ชัญญ์¹ มนุศักดิ์ จานทอง¹ มานพ แยมแพง¹ นพพร เปรมใจ¹ ศิริชัย เทพา² และ ทิพัฒน์ ปราโมทย์^{1*}
natsacha_i@mail.rmUTT.ac.th¹, manusak.j@en.rmUTT.ac.th¹, manop.y@en.rmUTT.ac.th¹,
nopporn.p@en.rmUTT.ac.th¹, sirichai.the@kmUTT.ac.th², ppat.p@en.rmUTT.ac.th^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

²สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Received : 20/Aug/2021
Revised : 06/Sep/2021
Accepted : 06/Sep/2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบระบบการควบคุมหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนเพื่อใช้วัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันด้วยเลเซอร์วัดระยะ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ ตัวควบคุมวงจรมอเตอร์คอนโทรลเลอร์เพื่อใช้โปรแกรมสั่งการทำงานให้ชุดเซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่กับแขนหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน ให้เคลื่อนที่ไปตามพิกัดตำแหน่งต่างๆ ตามที่ได้ทำการโปรแกรมการทำงานไว้ เพื่อใช้วัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถึงความดัน โดยออกแบบต้นกำลังระบบขับเคลื่อนแขนหุ่นยนต์ ใช้สเต็ปมิ่งมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนเนื่องจากสามารถคำนวณรอบของมอเตอร์ได้รวดเร็วเพื่อหาระยะพิกัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ได้แม่นยำมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยกระบวนการทดสอบคือ การวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดัน ทั้งก่อนและหลังที่ได้รับความดันที่ 8,9,10,11,12, และ 13 บาร์ เพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและศึกษาลักษณะการขยายตัวในตำแหน่งที่กำหนดของถึงความดันรูปทรงแคปซูล ที่เปลี่ยนแปลงไปในการเพิ่มความดันทุกครั้ง ผลการทดสอบการวัดระยะการเคลื่อนที่มี ค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 0.06 ในการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงตามแนวขนหรือ แกน X จากระยะ 20,50,100,150,200 มิลลิเมตร โดยเปรียบเทียบผลการวัดขนาดจริงกับการวัดด้วยหุ่นยนต์มีผลการคาดเคลื่อนในการวัดระยะต่างกันเฉลี่ยไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ณ ตำแหน่งจุดวัดที่ 1 ถึง 10 ตามแนวแกน X ของถึงความดัน ได้ผลการทดสอบจริงของการวัดการขยายตัวของถึงความดันอยู่ที่ไม่เกิน 1 มิลลิเมตร และ ผลจากการทดสอบการจำลองด้วย Finite Element ได้ค่าการขยายตัวของถึงความดันคือ 0.037 มิลลิเมตร

คำสำคัญ : หุ่นยนต์คาร์ทีเซียน, เลเซอร์วัดระยะ, วัดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดัน

Cartesian Robot for Measuring the Diameter of a Pressure Tank Using a Laser Distance Meter

Natsacha Inchoorn¹, Manusak Janthong¹, Manop Yamfang¹, nopporn preamjai¹,
Sirichai Thepha², and Pipat Pramot^{1*}
natsacha_i@mail.rmUTT.ac.th¹, manusak.j@en.rmUTT.ac.th¹, manop.y@en.rmUTT.ac.th¹
nopporn.p@en.rmUTT.ac.th¹, sirichai.the@kmutt.ac.th², pipat.p@en.rmUTT.ac.th^{1*}

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

²Energy Technology Faculty of Energy, Environment and Materials King Mongkut's University of Technology Thonburi

Received : 20-Aug-2021
Revised : 05-Sep-2021
Accepted : 06-Sep-2021

Abstract

This research is the study and design of a cartesian robot control system for measuring the diameter of the pressure tank using a laser distance meter. The central part is a microcontroller control cabinet that communicates to the sensors kits on the cartesian robot arm. Then, the controller controls the robot arms to move through programmed positions to measure the pressure tank's diameter. Stepping motors are used for the mechanical power system to drive the robot arm because it quickly calculates the motors' rpm. These calculations give the coordinates of the moving position accurately with the most effective. The testing process measures the diameter of the pressure tank both before and after receiving the pressure at 8, 9, 10, 11, 12, and 13 bar to find the diameter and study the expansion characteristics of the capsule-shaped pressure tank. The size changes are measured with every increase in pressure and every designated position. The robots' movement has an average tolerance of about 0.06 percent for a straight line motion in the X direction at a distance of 20, 50, 100, 150, and 200 millimeters, respectively. The difference between the tank's actual size and the robot's measurement is averagely less than 1 millimeter. at the measurement point position 1 to 10 along the X axis of the pressure vessel. The actual test result of the pressure vessel expansion measurement is not more than 1 millimeter. And the results from the simulation test with Finite Element, the expansion of the pressure vessel is 0.037 millimeter.

Keywords: Cartesian robot, laser distance meter, pressure tank diameter measurement

1. บทนำ

การวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุโลหะทรงกระบอกยาวปลายมนเช่น ถึงความดันนั้น ไม่สามารถวัดและประมาณด้วยสายตาแล้วบอกเป็นจำนวนตัวเลขตามขนาดมาตรฐานหน่วยวัดสากลที่แม่นยำได้ เนื่องจากปัจจัยทางด้านรูปทรงของตัววัตถุที่ดูกลมกลืน ยากต่อการวัดด้วยการสังเกตจากการมองเห็นเพียงอย่างเดียว ดังนั้นในการศึกษาการวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถึงความดันซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในโรงงานทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมเมืองไทยนี้ จึงเลือกใช้หน่วยการวัดในระบบ SI (The International System of Units : SI) เนื่องจากเป็นหน่วยวัดที่เป็นมาตรฐานสากล เข้าใจได้ง่าย ใช้งานง่ายและสามารถใช้เป็นหน่วยวัดเพื่อใช้ในการสื่อสารและเลือกใช้เครื่องมือวัดและอุปกรณ์แสดงผลได้ โดยที่สามารถแสดงผลในหน่วยวัดแบบเดียวกันอย่างเหมาะสม โดยได้ทำการศึกษานำยวัดและมาตรฐาน เช่นของ Adam zeberkiewicz [1] ใช้หลักการแนวคิดการวัดพื้นฐานรูปทรงเลขาคณิตโดยวิธีการวัดระยะทางจากพื้นผิว แล้วเก็บค่าที่วัดเป็นระยะทางตามเส้นรอบวงเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอบวง ที่กล่าวใน Bogna Szyk และคณะ [2] จากนั้นทำการศึกษาในการออกแบบหุ่นยนต์ แบบคาร์ทีเซียน (Cartesian robot) 3 แกน ได้แก่ X,Y,Z เพื่อศึกษาการตอบสนองการเคลื่อนที่ไปตามระยะทางที่กำหนด และศึกษาความแม่นยำในการเคลื่อนที่ไปด้วยในขณะเดียวกันโดยมีขนาดระยะทางบอกเป็นตัวเลขดิจิทัลบนจอโมโนโครม เทียบกับขนาดสเกลวัดระยะทางตามแนวการเคลื่อนที่ ตามการออกแบบของ Bharadvaj P และคณะ [3] นอกเหนือไปจากงานวิจัยที่กล่าวมา ยังมีการออกแบบการควบคุมการทำงานด้วยการโปรแกรมสั่งการชุดควบคุมอุปกรณ์มอเตอร์ที่ติดตั้งเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ผ่านชุดอุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ของ Alok Mukherjee และคณะ [4] ส่วนในการเลือกใช้อุปกรณ์เลเซอร์วัดระยะทางเพื่อเก็บผลทดสอบวัดระยะทางจากจุดที่ 1 ไปจุดที่ 2 เพื่อตรวจสอบผล

ผลทดสอบความแม่นยำโดยศึกษาค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์เลเซอร์ที่เลือกใช้ตามแนวทางของ Meh-c-Munir และคณะ [5] จากการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์เลเซอร์เบื้องต้นพบว่าเกิดการผิดพลาดในการอ่านค่าตัวเลขที่มีความผิดพลาดน้อยเนื่องมาจากเซ็นเซอร์อ่านค่าเร็วและถี่เกินไปจึงทำให้ได้ค่าตัวเลขที่ไม่จึงต้องทำการศึกษาเทคนิคการลดและการขยายแรงดันอินพุต-เอาต์พุต เพื่อใช้ปรับแต่งวงจรสัญญาณ ให้อุปกรณ์อ่านค่าสัญญาณได้แม่นยำ จากคู่มือการปรับแต่งอ็อปแอมป์ Ron Mancini [6] และเพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือที่ใช้สามารถวัดค่าระยะได้ความแม่นยำมากยิ่งขึ้นจึงได้ศึกษาวิธีการสอบเทียบเลเซอร์เพื่อใช้หาเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในเพื่อมาปรับใช้กับงานวิจัยนี้ ของ Chang Liu และคณะ [7] จากนั้นจึงศึกษาวิธีการประเมินค่าด้วยเทคนิคต่างๆสำหรับการประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีความสูงจากพื้นจากวิธีการสแกนด้วยเลเซอร์เช่นของ Tongyu Yang และคณะ [8] เมื่อทำการทดสอบสแกนหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถึงความดันโดยเทียบกันระหว่างก่อนอัดแรงดันและหลังอัดแรงดันพบว่าเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของถึงความดันขนาด 20 ลิตร ที่ความดัน 9 บาร์ และได้ใช้โปรแกรมทดสอบทางทฤษฎีในคเอนลินเมนต์ช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและศึกษาจุดวิกฤต ที่จะทำให้ถึงความดันมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพโดยพบว่าความหนาและความบางของผนังถึงความดันจะมีผลโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพต่อถึงความดัน

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลองวิจัย

การศึกษการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันโดยใช้หลักการออกแบบการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เช่นเดียวกันเครื่องสแกนซึ่งมีการเคลื่อนที่ทั้งหมด 3 แกนหรือแกน X,Y และ Z ตามลำดับ ดังรูปที่ 2 (ก) โดย แกน X จะเคลื่อนที่ไปตามแนวราบ แกน Y จะเคลื่อนที่ไปตามทิศทางขึ้นและลง แกน Z จะติดตั้งชุดเลเซอร์ 2 ชุด ในฝั่งตรงข้ามกันของวงรีศมีโดยเคลื่อนที่ลักษณะครึ่งวงกลมจากระยะมุม 0° ถึง 180° และยิงลำแสงตั้งฉากกับผนังถึงความดันตลอดการวัดระยะความยาวของถึง และทำการจำลองถึงความดันที่

มีขนาดความจุ 20 ลิตร ผนังหนา 3 มิลลิเมตร ลักษณะทรงแคบซูลเพื่อใช้ในการทดสอบ

ชุดเลเซอร์ 2 ชุด และเลเซอร์วัดระยะเทียบแนวแกน X ใช้รุ่น VL53LOX V2 เป็นเลเซอร์ วัดระยะทาง ความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร ซึ่งมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า มีความปลอดภัยต่อสายตา ใช้ชิพ VL53LOX สื่อสารแบบ I2C วัดได้ระยะสูงสุด 1200 มม. ความคลาดเคลื่อน 5% ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และสีแสงเงาของวัตถุที่วัด ตามรูปที่ 1 (ก)

บอร์ด Arduino รุ่น Arduino Mega 2560 ขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 5.5 x 11.0 ซม. พร้อมขาจับสัญญาณ 50 ขา ทำให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อหากมีการเพิ่มอุปกรณ์ภายหลัง ตามรูปที่ 1 (ข)

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ รุ่น 17HS6001 1 ตัว ทำหน้าที่ขับเคลื่อนแกนกลไปตามแนวแกน X ที่ระยะ 0 ถึง 1200 มม. เพื่อจ่ายต่อการคำนวณรอบมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปจุดที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ ตามรูปที่ 1 (ค)

กล่องขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ รุ่น TB6600 จำนวน 4 กล่อง ทำหน้าที่ขับสเต็ปมอเตอร์ให้สามารถหมุนเคลื่อนที่ไปตามทิศทางและพิกัดตำแหน่งที่ต้องการได้ ตามรูปที่ 1 (ง)

สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย 12 V 10 A 120 W เพื่อจ่ายไฟให้ชุดทดสอบสามารถทำงานได้ตามรูปที่ 1 (จ)



รูปที่ 1 ชุดเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ควบคุมการทำงานด้วยไฟฟ้า

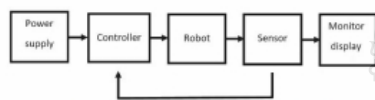
รูปที่ 1 แสดง (ก) ชุดเซ็นเซอร์เลเซอร์ VL53LOX V2 (ข) บอร์ด Arduino รุ่น Mega 2560 (ค) สเต็ปเปอร์มอเตอร์ รุ่น 17HS6001 (ง) กล่องขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ รุ่น TB6600 (จ) สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย

2.1 วิธีการการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์คาร์ทีเซียนและชุดทดสอบ ประกอบด้วย

โครงสร้างหุ่นยนต์ คาร์ทีเซียน (Cartesian) เป็นอลูมิเนียมโปรไฟล์ ขนาดเครื่อง กว้าง 519 มม. ยาว 1500 มม. สูง 890 มม. ประกอบด้วยรางคู่ทำจากฉากอลูมิเนียมติดตั้งเพลสแตนเลส ยึดกับโครงสร้างและประกอบชุดแขนหุ่นยนต์ขึ้นรูปเป็นซุ้มประตูสูง 600 มม. จากพื้นโครงสร้าง ด้านในติดตั้งวงแหวนแบบจานเบริง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมภายใน 337 มม. ขอบวงด้านนอก 390 มม. ลักษณะแขนของหุ่นยนต์คาร์ทีเซียนที่ออกแบบเป็นการทำงาน 3 แกน โดยแขนของหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้น 2 แกน คือ X และ Y แกนที่ 3 จะเคลื่อนที่ในลักษณะพิกัดเชิงขั้วคือเคลื่อนที่ทำมุม 0° ถึง 180° โดยรวมแล้วแขนหุ่นยนต์จะทำงานในลักษณะคล้ายเครนตามรูปที่ 2 ถึงความดันมีขนาดโดยประมาณ 20 ลิตร ผนังโลหะหนา 3 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงเท่ากับ 240 มม. ความยาว 520 มม. ออกแบบให้วางบนแท่นของหุ่นยนต์ มีขาตั้งรองรับพร้อมชุดปรับขึ้นเกลียวยึดหัวและท้ายดัง ตามรูปที่ 2

รูปที่ 2 (ก) การออกแบบหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน (ข) การออกแบบขารองรับถึงความดัน

2.2 การออกแบบระบบควบคุมการทำงาน
 ออกแบบการเคลื่อนที่ในแนวแกน X, Y และ
 Z ด้วยโปรแกรม LabVIEW ในการจำลอง และเขียน
 ระบบควบคุมร่วมกับเครื่องมือการควบคุมพีโอดี (PID
 Control) เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของ
 หุ่นยนต์ที่แสดงแผนภาพกรอบ ตามรูปที่ 3



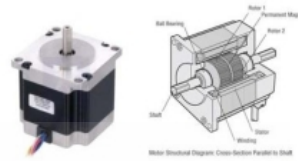
รูปที่ 3 แผนภาพกรอบการควบคุมการเคลื่อนที่ของ
 แขนหุ่นยนต์

การหาประสิทธิภาพความแม่นยำการ
 เคลื่อนที่ในแนวแกน X ด้วยการควบคุมการเคลื่อนที่
 โดยอาศัยหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียน เพื่อหาค่า
 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการทำงาน ซึ่งนำผล
 การทดลองจากการกำหนดจุดการเคลื่อนที่เข้าไปขวา
 และใช้สมการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
 และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน ได้ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{ค่า\%คลาดเคลื่อน} = \frac{\text{ค่าจริงที่กำหนด} - \text{ค่าเฉลี่ย}}{\text{ค่าจริงที่กำหนด}} \times 100 \quad (1)$$

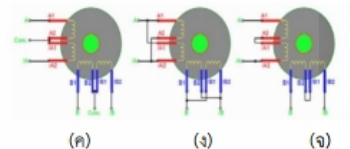
$$\text{ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน} = \frac{\text{ผลรวมความคลาดเคลื่อน}}{\text{จำนวนการทดลอง}} \times 100 \quad (2)$$

สเต็ปปีงมอเตอร์ที่ใช้กันทั่วไปมีอยู่ด้วยกัน 3
 ประเภทคือ 1. แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent
 Magnet Stepping Motor หรือ PM) 2. แบบแปรผัน
 ค่ารีลัคแตนซ์ (Variable Reluctance Stepping
 Motor หรือ VR) และ 3. แบบผสม (Hybrid Stepping
 Motor) ซึ่งลักษณะโครงสร้างของขดลวด สามารถแบ่ง
 ได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดสองขั้ว (Bipolar) และ ชนิด
 หลายขั้ว (Unipolar) โดยมีฟังก์ชันการต่อสายดังรูปที่ 4



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ 4 ชนิดของมอเตอร์ที่เลือกใช้และแบบวงจรการ
 ต่อขั้วมอเตอร์

รูปที่ 4 แสดง (ก) ลักษณะภายนอก (ข)
 ลักษณะภายในของสเต็ปปีงมอเตอร์ (ค) การต่อขั้ว
 มอเตอร์แบบอนุกรม 3 ขั้ว (ง) การต่อขั้วแบบขนาน 2
 ขั้ว (จ) การต่อขั้วแบบอนุกรม 2 ขั้ว

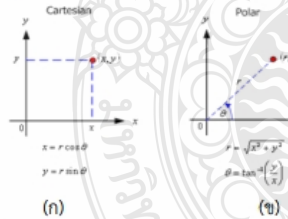
สเต็ปปีงมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่หมุนตาม
 จำนวนองศา ความละเอียดการหมุนจะขึ้นอยู่กับ
 จำนวนองศาต่อหนึ่งจังหวะการหมุน หลักการควบคุมส
 เต็ปปีงมอเตอร์ให้สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางและ
 องศาที่เราต้องการได้จะต้องทำการจ่ายกระแสไฟฟ้า
 ให้กับขดลวดของมอเตอร์ เพื่อให้เกิดเป็นอำนาจของ
 สนามแม่เหล็กขึ้นอย่าง เป็นลำดับที่ถูกต้องและสัมพันธ์
 กัน ซึ่งเทคนิควิธีการที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่
 ของ สเต็ปปีงมอเตอร์จะมีขดลวดทั้งหมด 2 ชุด โดยมี
 ข้อสังเกตคือ จะมีสายออกมา 4 เส้น ขดลวดที่สเตเตอร์
 แต่ละชุดจะไม่มีจุดร่วม การต่อเข้ากับวงจรจะใช้
 ปลายทั้งสองด้านของขดลวดแต่ละชุด การทำให้เกิด
 ขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์ทำได้โดยการจ่ายกระแสไฟจาก
 ปลายด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่งของขดลวด และ
 การเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์ชุดเดียวกันนี้ก็ทำได้
 โดยสลับทิศทางกระแสไฟของกระแสไฟฟ้านั้นเอง

การออกแบบการควบคุมการทำงานของ
 หุ่นยนต์โดยใช้แนวคิดในการโปรแกรมสั่งการทำงานไว้
 ดัง รูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการโปรแกรมสั่งการทำงานหุ่นยนต์หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

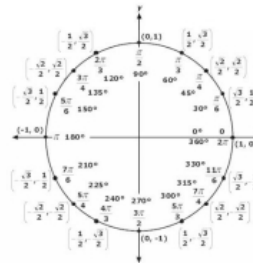
ระบบที่กักตุนนิยมใช้มีสองระบบใหญ่ๆ คือ ระบบที่กักตุนฉากหรือคาร์ทีเซียน (rectangular or Cartesian coordinate system) และระบบที่กักตุนเชิงขั้ว (polar coordinate system) ทั้งนี้เราสามารถทำการแปลงพิกัดจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่งได้ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 (ก) การแปลงพิกัดฉากเป็นพิกัดเชิงขั้ว (ข) การแปลงพิกัดเชิงขั้วเป็นพิกัดฉาก

การเคลื่อนที่แบบหมุนองศาสามารถระบุเป็นพิกัดได้เช่นกันเมื่อใช้ฟังก์ชันตรีโกณมิติทั้ง 6 ฟังก์ชัน โดยเทียบจากวงกลมหนึ่งหน่วย ที่มีรัศมียาว 1 หน่วย และมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดกำเนิด วงกลมหนึ่งหน่วยในการคำนวณและหาค่าฟังก์ชันตรีโกณมิติสำหรับค่าคงที่ในแต่ละตำแหน่งเป็นบวกและลบได้ตั้งแต่ 0 ถึง 2π

โดยมีสมการวงกลม หนึ่งหน่วยคือ $x^2 + y^2 = 1$ หรือเทียบจากวงกลมหนึ่งหน่วย ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 พิกัดมุมในจุดต่างๆของวงกลมหนึ่งหน่วย[9]

2.3 การเตรียมการทดลอง

โดยการขึ้นรูปโครงสร้างชุดทดลองประกอบหุ่นยนต์คาร์ทีเซียนหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดัน และถึงความดันขนาด 20 ลิตร ซึ่งสร้างขึ้นจากวัสดุที่หาได้ทั่วไปในท้องตลาด เช่น ท่อเหล็ก, อลูมิเนียมโปรไฟล์, ชุดน็อตยึด (Bracket) และ (T-Nut) ตัดขึ้นรูปขึ้นน็อตเชื่อมประกอบตามที่ได้ออกแบบไว้เบื้องต้นตามรูปที่ 8



รูปที่ 8 การสร้างประกอบหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน และถึงความดันขนาด 20 ลิตร

รูปที่ 8 แสดง (ก) การประกอบโครงสร้างหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน (ข) การติดตั้งอุปกรณ์มอเตอร์, เซ็นเซอร์และการเดินสายไฟ (ค) ถึงความดัน (ง) การติดตั้งถึงความดันพร้อมขาจับน้ำหนัก

2.4 การทดสอบการตกกระทบแสงเลเซอร์ กับวัตถุทรงกลมผิวเรียบมันเงา

โดยการจัดชุดอุปกรณ์ทดสอบได้แก่ บอร์ด Arduino UNO R3 ต่อสายไฟ 4 เส้นต่อเข้ากับขารับสัญญาณระหว่างตัวบอร์ดและเซนเซอร์รุ่น VL53LOX V2 โดยใช้แหล่งจ่ายพลังงานจากคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กผ่านสาย USB และใช้ไม้บรรทัดเป็นอุปกรณ์เทียบขนาดวัดระยะทาง ตามรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงการทดสอบวัดระยะทางด้วยเซนเซอร์

จากนั้นทำการป้อนโค้ดโปรแกรมแล้วอัพโหลดข้อมูลโค้ดลงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้เซนเซอร์ทำการอ่านค่าระยะเพื่อเป็นการศึกษาและทดสอบผลกระทบเมื่อแสงตกกระทบกับวัตถุเงาสท้อนแสงก่อนขีดเงาและหลังขีดเงา ตามรูปที่ 10

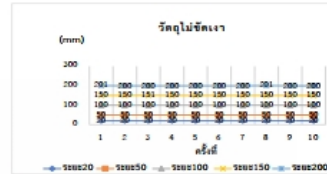
```
#include <Wire.h>
#include <VL53LOX.h>
int led = 30;
int buzzer = 4;

VL53LOX sensor;

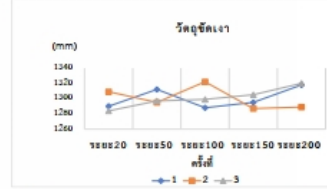
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  pinMode(led, OUTPUT);
  pinMode(buzzer, OUTPUT);
  sensor.init();
  sensor.setTimeout(500);
  sensor.startContinuous(1);
}

void loop() {
  Serial.print(sensor.readRangeContinuousMillimeters());
  if (sensor.timeoutOccurred()) {
    Serial.print(" TIMEOUT");
  }
  if (sensor.readRangeContinuousMillimeters() < 50) {
    digitalWrite(led, HIGH);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
  }
  if (sensor.readRangeContinuousMillimeters() > 50) {
    digitalWrite(led, LOW);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
  }
  Serial.println();
}
```

รูปที่ 10 โปรแกรม Arduino โค้ดในการทดสอบวัดระยะด้วยเซนเซอร์เลเซอร์



รูปที่ 11 ผลการทดสอบการวัดระยะวัตถุไม่ขีดเงา



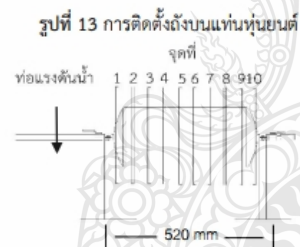
รูปที่ 12 ผลการทดสอบการวัดระยะวัตถุขีดเงา

จากการศึกษาและทดสอบเซนเซอร์ที่ใช้พบว่าเซนเซอร์รุ่น VL53LOX V2 เมื่อทำการวัดระยะวัตถุเงาสท้อนแสงแบบยังไม่ขีดเงา สามารถอ่านค่าระยะได้อย่างถูกต้องตามรูปที่ 11 โดย วัดระยะที่ 20,50,100,150, และ 200 มม. ตามลำดับ เป็นจำนวน 50 ครั้ง จากนั้นทำการทดสอบซ้ำโดยการขีดทำความสะอาดวัตถุเงาสท้อนแสง แล้วทำการวัดระยะใหม่ พบว่าไม่สามารถให้ค่าที่ชุดเซนเซอร์อ่านค่าได้เหมือนรอบแรก เนื่องจากวัตถุเงาถูกสร้างจากโลหะเคลือบสแตนเลส 304 มีลักษณะรูปทรงลูกบอลภายในกลวง มีความใสและผิวเนียนเรียบมันเงา จึงเกิดการสะท้อนและการหักเหของแสงทำให้ไม่สามารถวัดค่าจากวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวของวัตถุที่เนียนเรียบมันเงาเช่นนี้ได้

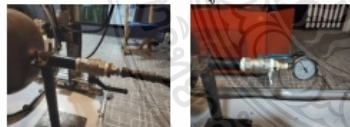
2.5 วิธีการทดลอง

จัดวางถึงความดันไว้บนแท่นหมุนยนต์ตามรูปที่ 11 กำหนดจุดที่วัดระยะในแนวแกน X เป็น 10 ระยะ ได้แก่ จุดที่ 1 ถึง 10 เพื่อให้แผนกลทำการเลื่อนจุดวัดหาเส้นผ่านศูนย์กลาง โดย เช็กระยะเลื่อนจาก 1 ไปจุดที่ 2 ให้มีระยะห่างเท่ากับ 33 มม. และจากจุดที่ 2 ไปจุดที่ 1,2,3,4,5,6,7,8,9 และ 10 ให้มีระยะห่างเท่ากับ 50 มม. เท่าๆกัน ตามรูปที่ 12 โดยระยะดังกล่าวคำนวณแบ่งจากระยะ แนวข้อต่อด้านหน้าของความดันไปจรดปลายถังจะได้ระยะที่กำหนดตามขั้นตอนเบื้องต้น โดยจะต้องเช็กระยะที่กักตามแนวแกน X จุดเริ่มต้น

ระยะ 0 มม. ที่จุดข้อต่อหัวถังเสมอ จากนั้นเปิดการทำงานหุ่นยนต์ผ่านคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กที่โปรแกรมไว้เพื่อทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถัง โดยวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังเปล่าก่อน 1 รอบ แล้วบันทึกผลการทดลอง จากนั้นอัดแรงดันน้ำเข้าไปที่แรงดัน 8 บาร์ แล้วบันทึกค่าเป็นรอบที่ 2 ต่อไปค่อยๆเพิ่มการอัดแรงดันน้ำในรอบต่อไปที่ความดัน 9,10,11,12, และ 13 บาร์ตามลำดับและบันทึกค่าผลการทดลองทุกๆรอบที่ทำการเพิ่มความดัน



รูปที่ 14 จุดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในการวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังความดัน



(ก)



(ข)



(ค)



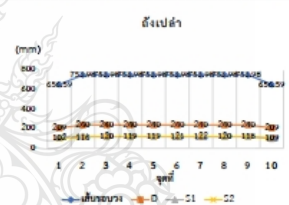
(ง)

รูปที่ 15 การประกอบหุ่นยนต์วัดขนาดถังเข้ากับชุดปั๊มแรงดันน้ำ

รูปที่ 15 แสดง (ก) การต่อท่อเข้าถัง (ข) ติดตั้งเกจวัดความดัน (ค) ทดสอบปั๊มแรงดันน้ำ (ง) ชุดอุปกรณ์การทดลอง

3.ผลการทดลอง

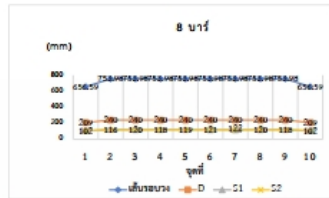
การทดลองในการทดสอบวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังความดัน โดยแบ่งรอบการวัดทั้งหมด 7 รอบคือ วัดถังเปล่าก่อน 1 รอบ,และวัดหลังจากทำการเพิ่มแรงดันน้ำ 8,9,10,11,12,13 บาร์ตามลำดับ โดยถังความดันนั้นได้ถูกออกแบบและสร้างตามหลักทางวิศวกรรมที่มีคุณสมบัติเป็นโลหะเหล็กเกรด ss400 ความหนา 3 มม. ซึ่งเป็นมาตรฐานโดยทั่วไปของถังความดันที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ โดยหุ่นยนต์คาร์ที่เขียนสามารถวัดขนาดการขยายตัวของถังความดันได้ ดังกราฟต่อไปนี้ เมื่อ D คือ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง, S1 คือ ค่ารัศมีของถังที่วัดได้จากเซ็นเซอร์เลเซอร์ตัวที่ 1, และ S2 คือ ค่ารัศมีของถังที่วัดได้จากเซ็นเซอร์เลเซอร์ตัวที่ 2



รูปที่ 16 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังความดัน โดยยังไม่ทำการอัดแรงดันเข้าสู่ภายในถัง

ตารางที่ 1 แสดงรายการสรุปข้อมูลถังเปล่าจากรูปที่ 16

จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	107	102
2	753.98	240	124	116
3	753.98	240	120	120
4	753.98	240	121	119
5	753.98	240	121	119
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	118	122
8	753.98	240	120	120
9	753.98	240	122	118
10	656.59	209	100	109



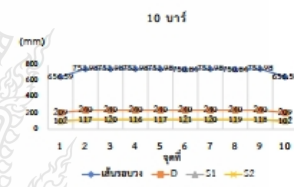
รูปที่ 17 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนความดันที่ 8 บาร์

ตารางที่ 2 แสดงรายการสรุปข้อมูลความดันที่ 8 บาร์ จากรูปที่ 17

จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	107	102
2	753.98	240	124	116
3	753.98	240	120	120
4	753.98	240	122	118
5	753.98	240	121	119
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	118	122
8	753.98	240	120	120
9	753.98	240	122	118
10	656.59	209	107	102

ตารางที่ 3 แสดงรายการสรุปข้อมูลความดันที่ 9 บาร์ จากรูปที่ 18

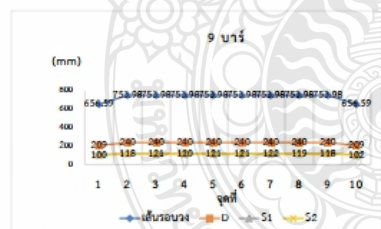
จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	109	100
2	753.98	240	122	118
3	753.98	240	119	121
4	753.98	240	120	120
5	753.98	240	119	121
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	118	122
8	753.98	240	121	119
9	753.98	240	122	118
10	656.59	209	107	102



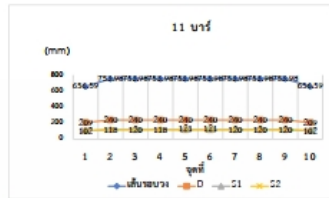
รูปที่ 19 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนความดันที่ 10 บาร์

ตารางที่ 4 แสดงรายการสรุปข้อมูลความดันที่ 10 บาร์ จากรูปที่ 19

จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	107	102
2	753.98	240	123	117
3	753.98	240	120	120
4	753.98	240	124	116
5	753.98	240	123	117
6	750.84	240	119	121
7	753.98	240	120	120
8	750.84	240	121	119
9	753.98	240	122	118
10	656.59	209	107	102



รูปที่ 18 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนความดันที่ 9 บาร์



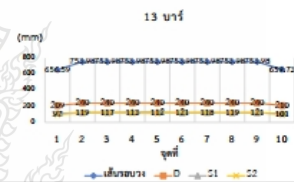
รูปที่ 20 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนความดันที่ 11 บาร์

ตารางที่ 5 แสดงรายการสรุปข้อมูลความดันที่ 11 บาร์ จากรูปที่ 20

จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	107	102
2	753.98	240	122	118
3	753.98	240	120	120
4	753.98	240	122	118
5	753.98	240	119	121
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	120	120
8	753.98	240	120	120
9	753.98	240	120	120
10	656.59	209	107	102

ตารางที่ 6 แสดงรายการสรุปข้อมูลความดันที่ 12 บาร์ จากรูปที่ 21

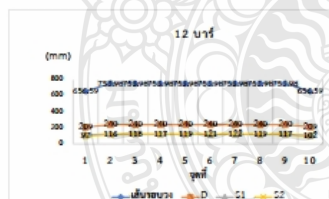
จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	112	97
2	753.98	240	124	116
3	753.98	240	122	118
4	753.98	240	123	117
5	753.98	240	121	119
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	118	122
8	753.98	240	121	119
9	753.98	240	123	117
10	656.59	209	107	102



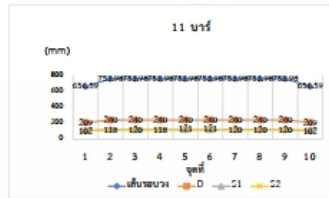
รูปที่ 22 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนความดันที่ 13 บาร์

ตารางที่ 7 แสดงรายการสรุปข้อมูลความดันที่ 13 บาร์ จากรูปที่ 22

จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	112	97
2	753.98	240	121	119
3	753.98	240	123	117
4	753.98	240	127	113
5	753.98	240	128	112
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	122	118
8	753.98	240	120	119
9	753.98	240	119	121
10	659.73	210	109	101



รูปที่ 21 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนความดันที่ 12 บาร์



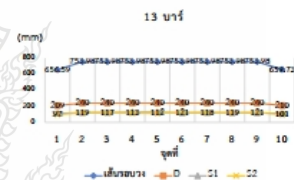
รูปที่ 20 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนความดันที่ 11 บาร์

ตารางที่ 5 แสดงรายการสรุปข้อมูลความดันที่ 11 บาร์ จากรูปที่ 20

จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	107	102
2	753.98	240	122	118
3	753.98	240	120	120
4	753.98	240	122	118
5	753.98	240	119	121
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	120	120
8	753.98	240	120	120
9	753.98	240	120	120
10	656.59	209	107	102

ตารางที่ 6 แสดงรายการสรุปข้อมูลความดันที่ 12 บาร์ จากรูปที่ 21

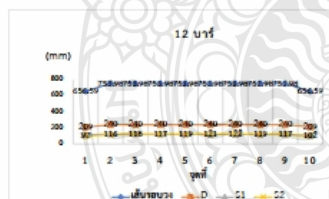
จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	112	97
2	753.98	240	124	116
3	753.98	240	122	118
4	753.98	240	123	117
5	753.98	240	121	119
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	118	122
8	753.98	240	121	119
9	753.98	240	123	117
10	656.59	209	107	102



รูปที่ 22 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนความดันที่ 13 บาร์

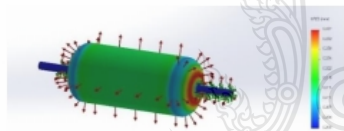
ตารางที่ 7 แสดงรายการสรุปข้อมูลความดันที่ 13 บาร์ จากรูปที่ 22

จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	112	97
2	753.98	240	121	119
3	753.98	240	123	117
4	753.98	240	127	113
5	753.98	240	128	112
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	122	118
8	753.98	240	120	119
9	753.98	240	119	121
10	659.73	210	109	101



รูปที่ 21 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนความดันที่ 12 บาร์

ในการทำการทดลองวัดขนาดการเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันและเก็บบันทึกข้อมูล 7 รอบ เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงของขนาดถึงความดันเมื่อทำการป้อนแรงดันน้ำที่ 8,9,10,11,12,13 บาร์ตามลำดับ พบการเปลี่ยนแปลงของขนาดน้อยมาก ๆ คือเริ่มเห็นผลการเปลี่ยนแปลงที่ความดัน 13 บาร์ เมื่อเทียบกับถึงเปล่าและ ป้อนแรงน้ำดันที่ 8 บาร์ ได้ผลจากการวัดนี้ จุดที่ 1,2,3,4,5, 6,7,8,9,10 วัดขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 209,240,240, 240,240,240,240,240,210 บาร์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบ จุดเดียวกันในตำแหน่งที่ 9 ของทั้ง 2 กราฟระหว่าง 8 บาร์, และ 13 บาร์ พบการเปลี่ยนแปลงขนาด 1 มิลลิเมตร จากนั้นจึงทำการศึกษาในทางทฤษฎีเพื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบถึงเหตุผล การเกิดการขยายตัวของความดันในแนวส่วนโค้งของขอบด้งโดยได้ทำการจำลอง Simulation ผ่าน โปรแกรม Solidwork ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 การจำลอง Finite element analysis

จากการทดลองวัดขนาดถึงความดันด้วยหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนและทำการเปรียบเทียบผลทดสอบด้วยการทำการจำลอง Finite element analysis โดยตั้งค่าคุณสมบัติของโลหะและความดันที่ป้อนเข้าไปให้ใกล้เคียงกับการทดลองให้มากที่สุด จึงได้พบว่าถึงความดันที่ได้ทำการวัดโดยค่อยๆเพิ่มแรงดันในทุกๆรอบการวัดรอบละ 1 บาร์นั้น เมื่อเพิ่มความดันไป 13 บาร์แล้วมีค่าความเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของขนาดถึงความดันในแนวหน้าตัดรูปทรงกระบอกเล็กน้อยมากหรือเรียกได้ว่าแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันเลย ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมา จากแรงที่กระทำต่อผนังทรงกระบอกเป็นพื้นที่ผิวผนังส่วนใหญ่ของของถึงความดัน ดังนั้นแรงที่กระทำต่อผนังจึงเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

เท่าๆ กันตลอดแนวรูปทรงกระบอก ส่งผลให้แรงที่กระทำโดยตรงกับผนังทรงกระบอกมีค่าความหนาแน่นของแรงดันน้อยกว่าเมื่อเทียบบริเวณรูปวงกลมสีแดงดังรูปที่ 23 แรงที่กระทำในผิวส่วนโค้งด้านหัวด้งแล้วด้านท้ายถึงความดัน บริเวณรูปวงกลมสีแดงดังรูปที่ 23 ไม่เพียงพอที่จะสามารถทำให้ถึงความดันขยายตัวจนสามารถวัดค่าความเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันได้อย่างชัดเจน

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองมีความเป็นไปได้ว่ามีเมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดระหว่างข้อมูลกราฟรูปที่ 17 ที่ความดัน 8 บาร์ และ ข้อมูลกราฟรูปที่ 22 ที่ความดัน 13 บาร์ พบการเปลี่ยนแปลงขนาดของถึงความดันเล็กน้อยในช่วงจุดที่ 10 จาก ขนาดเดิม 209 มม. เพิ่มเป็น 210 มม. ความเปลี่ยนแปลงของขนาดถึงความดันในส่วนนี้จะเป็นบริเวณส่วนโค้ง ของปลายด้งโดยมีเหตุผลปัจจัยรองรับในการทดสอบด้วยการออกแบบจำลอง Finite element analysis [10] ที่มีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดการขยายตัวของถึงความดันแล้วสามารถวัดค่าหาขนาดที่ยืดโค้งตัวจนเกิดการเสียรูปได้ที่จุดนี้ จึงได้ทำแบบจำลองการทดสอบตามทฤษฎีดังรูปที่ 23 โดยการทดสอบเทียบกับการวัดแบบแนวอนตามมาตรฐาน การทดสอบอัดแรงดัน มอก. ที่ 13 บาร์ ค้างไว้เป็นเวลา 3 นาที [11] แล้วทำการจับบันทึกผลทดสอบ

4.สรุปผลการทดลอง

จากการสร้างหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนเพื่อใช้ในการทดสอบวัดระยะขนาดเพื่อหาเส้นผ่านศูนย์กลางของถึงความดัน โดยมีหลักการทดสอบการขยายตัวของถึงเก็บอากาศภายใต้สภาวะการเพิ่มความดันเข้าไปในถึงเก็บอากาศโดยรอบแรกเริ่มดันที่ 8 บาร์ แล้วทำการวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของด้ง จากจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 10 แล้วเก็บค่าผลการทดสอบที่วัดได้ในรอบแรก จากนั้นทำการทดสอบซ้ำในขั้นตอนเดิมรอบถัดไป โดยเพิ่มความดันมากขึ้นรอบละ 1 บาร์ จนถึงรอบสุดท้ายที่ 13 บาร์ แล้วจึงเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดของผลการทดสอบจริงที่ได้ เทียบกับผลการจำลอง Finite element โดยป้อนข้อมูลคุณสมบัติของโลหะ และ

ความดันที่เพิ่มเข้าไปให้ใกล้เคียงกับการทดสอบครั้งนี้ พบว่าผลที่ได้จากการทดสอบจริง เริ่มมีผลลัพธ์การเปลี่ยนแปลงในการขยายตัว ณ ตำแหน่งของจุดที่ 10 โดยมีการขยายตัวที่วัดได้น้อยมาก มีค่าไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นไปในแนวทางที่สอดคล้องกันกับผลที่ได้จากการจำลอง Finite element คือพบการเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของขอบถัง ที่จุดเดียวกันอยู่ที่ 0.037 มิลลิเมตร

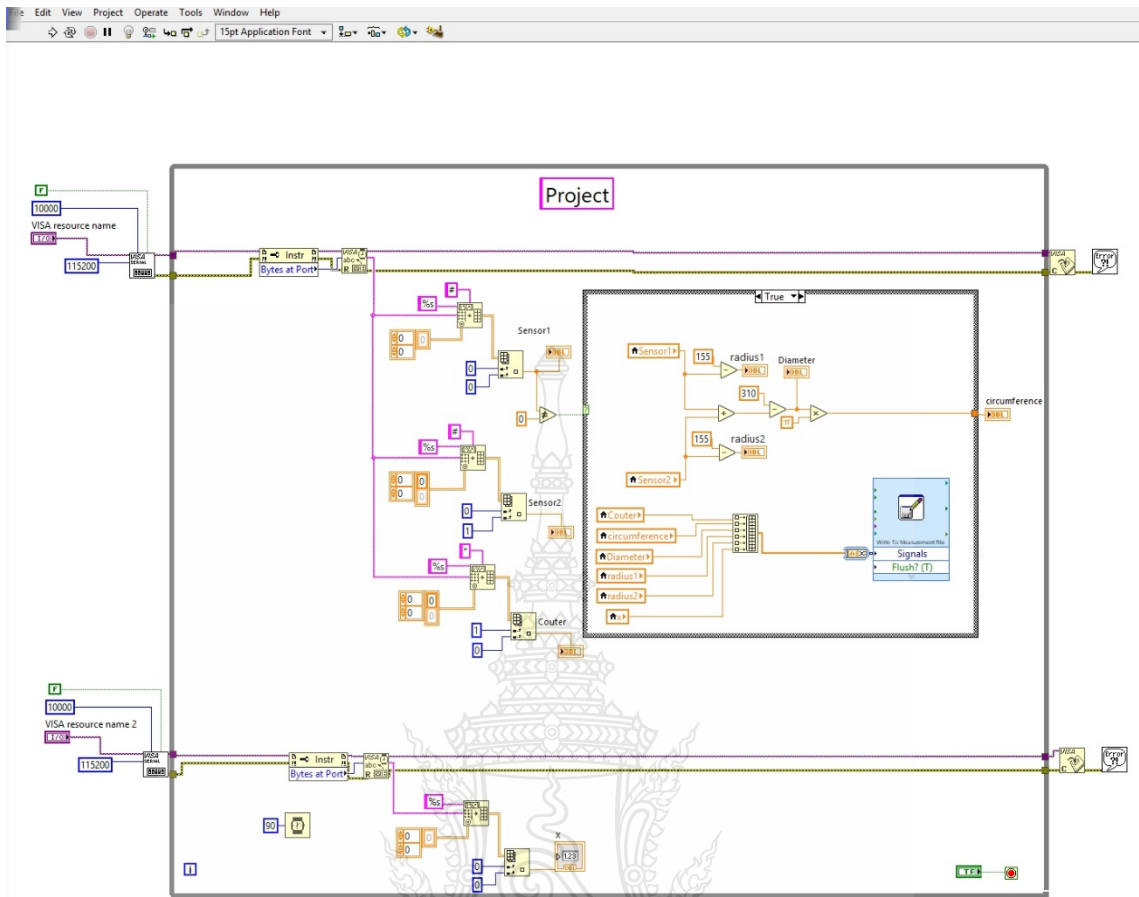
5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Adam zeberkiewicz Measurement unit and standards Cental office of Measures [Internet]. 2021[cited 2021 May 06 10:15]. Available from: <https://www.gum.gov.pl/en/services/measurement-units-and-s/20>
- [2] Boyna Szyk and Mateusz Mucha [Internet]. Formula for circumference [updated 2021 May 06]. Available from: <https://www.omnicalculator.com/math/Circumference>
- [3] Bhargav P, Chethan Babu international Journal of Scientific & Engineering Research Volume11, Issue 6, June-2020 ISSN 2229-5518.
- [4] Alok Mukherjee, Susanta Ray, and Arabinda Das International Journal of Electronics and Electrical Engineering Vol. 2, No. 1, March, 2014.
- [5] Meh-e-Munir, ShahidLatif [Internet]. Improved Distance Measuring Using Laser Light Department of Electrical Engineering, Iqra National University, Pakistan 2018. Available from:<https://www.researchgate.net/publication/327282802>
- [6] Ron Mancini Op Amps For Everyone Design Reference Texas instruments August 2002. 18-1-18-22.
- [7] Chang Liu, Yanqiu Xing, Jialong Duanmu and Xin Tian Evaluating Different Methods for Estimating Diameter at Breast Height from Terrestrial Laser Scanning College of Engineering and Technology, Northeast Forestry University,China; 2017.
- [8] Tongyu Yang, Zhong Wang, Zhengang Wu, Xingqiang Li, Lei Wang and Changjie Liu Calibration of Laser Beam Direction for Inner Diameter Measuring Device State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments, Tianjin University, China; 2018.
- [9] Waraphon Sinthuyanon, Pannipa Hitasak Satri Sukhothai School, [Internet]. Online. [updated 2009 Aug 30 22:15] Available from: <http://www.thaigoodview.com/node/48584>
- [10] Michael A. Porter, Pedro Marcal, and Dennis H. Martens. On Using Finite Element Analysis for Pressure Vessel Design Journal of American Society of Mechanical Engineers [Internet]. 1999 [cited 1999 jan]; Available from:https://www.researchgate.net/publication/255579325_On_Using_Finite_Element_Analysis_for_Pressure_Vessel_Design
- [11] THAI INDUSTRIAL STANDARD, TIS. 1252 2537, Small - Sized Reciprocating Air Compressors Thai, Industrial Standards Institute (TISI), September; 1994 (in Thai)

ภาคผนวก ง

Block diagram แสดงผลโปรแกรม LabVIEW





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายณัฐศชา อินทร์ชูรัญ
วัน เดือน ปีเกิด	21 ธันวาคม 2522
ที่อยู่	121/68 หมู่ 2 ตำบลบางหลวง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี
การศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(2550)
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2550 – ปัจจุบัน	นักทดลองวิทยาศาสตร์วิจัย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)
เบอร์โทรศัพท์	095 554 1637
E-mail	natsacha@tistr.or.th

