

หุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนสำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันด้วยเลเซอร์วัดระยะ

ณัฐชา อินทร์ชัญญ์¹ มนุศักดิ์ จานทอง¹ มานพ แยมแพง¹ นพพร เปรมใจ¹ ศิริชัย เทพา² และ พิพัฒน์ 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	: 8-Sep-2021
Accepted	: 9-Sep-2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบระบบการควบคุมหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนเพื่อใช้วัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันด้วยเลเซอร์วัดระยะ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ ตัวควบคุมวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้โปรแกรมสั่งการทำงานให้ชุดเซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่กับแขนหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน ให้เคลื่อนที่ไปตามพิกัดตำแหน่งต่างๆ ตามที่ได้ทำการโปรแกรมการทำงานไว้ เพื่อใช้วัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถึงความดัน โดยออกแบบต้นกำลังระบบขับเคลื่อนแขนหุ่นยนต์ ใช้สเต็ปมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนเนื่องจากสามารถคำนวณรอบของมอเตอร์ได้รวดเร็ว เพื่อหาระยะพิกัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ได้อย่างแม่นยำมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยกระบวนการทดสอบคือ การวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดัน ทั้งก่อนและหลังที่ได้รับความดันที่ 8,9,10,11,12, และ 13 บาร์ เพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและศึกษาลักษณะการขยายตัวในตำแหน่งที่กำหนดของถึงความดันรูปทรงแคปซูล ที่เปลี่ยนแปลงไปในการเพิ่มความดันทุกครั้ง ผลการทดสอบการวัดระยะการเคลื่อนที่มี ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 0.06 ในการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงตามแนวนอนหรือ แกน X จากระยะ 20,50,100,150,200 มิลลิเมตร โดยเปรียบเทียบผลการวัดขนาดจริงกับการวัดด้วยหุ่นยนต์มีผลการคลาดเคลื่อนในการวัดระยะต่างกันเฉลี่ยไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ณ ตำแหน่งจุดวัดที่ 1 ถึง 10 ตามแนวแกน X ของถึงความดัน ได้ผลการทดสอบจริงของการวัดการขยายตัวของถึงความดันอยู่ไม่เกิน 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 Inchoorun¹, 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	: 8-Sep-2021
Accepted	: 9-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 เนื่องจากปัจจัยทางด้านรูปทรงของตัววัตถุที่ดุกกลมกลืน ยากต่อการวัดด้วยการสังเกตจากการมองเห็นเพียงอย่างเดียวได้ ดังนั้นในการศึกษาการวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถึงความดันซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในงานทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมเมืองไทยนี้ จึงเลือกใช้หน่วยการวัดในระบบ SI (The International System of Units : SI) เนื่องจากเป็นหน่วยวัดที่เป็นมาตรฐานสากล เข้าใจได้ง่าย ใช้งานง่ายและสามารถใช้เป็นหน่วยวัดเพื่อใช้ในการสื่อสารและเลือกใช้เครื่องมือวัดและอุปกรณ์แสดงผลได้ โดยที่สามารถแสดงผลในหน่วยวัดแบบเดียวกันอย่างเหมาะสม โดยได้ทำการศึกษานหน่วยวัดและมาตรฐานเช่นของ Adam zeberkiewicz [1] ใช้หลักการแนวคิดการวัดพื้นฐานรูปทรงเลขาคณิตโดยวิธีการวัดระยะทางจากพื้นผิว แล้วเก็บค่าที่วัดเป็นระยะทางตามเส้นรอบวงเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอบวง ที่กล่าวใน Bogna Szyk และคณะ [2] จากนั้นทำการศึกษาในการออกแบบหุ่นยนต์ แบบคาร์ทีเซียน (Cartesian robot) 3 แกน ได้แก่ X,Y,Z เพื่อศึกษาการตอบสนองการเคลื่อนที่ไปตามระยะทางที่กำหนดและศึกษาความแม่นยำในการเคลื่อนที่ไปด้วยในขณะที่เดียวกันโดยมีขนาดระยะทางบอกเป็นตัวเลขดิจิทัลบนจอโน้ตบุ๊ก เทียบกับขนาดสเกลวัดระยะทางตามแนวการเคลื่อนที่ ตามการออกแบบของ Bhargav P และคณะ [3] นอกเหนือไปจากงานวิจัยที่กล่าวมายังมีการออกแบบการควบคุมการทำงานด้วยการโปรแกรมสั่งการชุดควบคุมอุปกรณ์มอเตอร์ที่ติดตั้งเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ผ่านชุดอุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ของ Alok Mukherjee และคณะ [4] ส่วนในการเลือกใช้อุปกรณ์เลเซอร์วัดระยะทางเพื่อเก็บผลทดสอบวัดระยะทางจากจุดที่ 1 ไปจุดที่ 2 เพื่อตรวจสอบผล

ผลทดสอบความแม่นยำโดยศึกษาค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์เลเซอร์ที่เลือกใช้ตามแนวทางของ Meh-e-Munir และคณะ [5] จากการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์เลเซอร์เบื้องต้นพบว่าเกิดการผิดพลาดในการอ่านค่าตัวเลขที่มีความผิดพลาดเพี้ยนอยู่เนื่องมาจากเซ็นเซอร์อ่านค่าเร็วและถี่เกินไปจึงทำให้ได้ค่าตัวเลขที่ไม่นิ่งจึงต้องทำการศึกษาเทคนิคการลดและการขยายแรงดันอินพุต-เอาต์พุต เพื่อใช้ปรับแต่งวงจรสัญญาณให้อุปกรณ์อ่านค่าสัญญาณได้นิ่งขึ้น จากคู่มือการปรับแต่งออปแอมป์ Ron Mancini [6] และเพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือที่ใช้สามารถวัดค่าระยะได้ความแม่นยำมากยิ่งขึ้นจึงได้ศึกษาวิธีการสอบเทียบเลเซอร์เพื่อใช้หาเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในเพื่อมาปรับใช้กับงานวิจัยนี้ ของ Chang Liu และคณะ [7] จากนั้นจึงศึกษาวิธีการประเมินค่าด้วยเทคนิคต่างๆสำหรับการประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีความสูงจากพื้นจากวิธีการสแกนด้วยเลเซอร์เช่นของ Tongyu Yang และคณะ [8] เมื่อทำการทดสอบสแกนหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถึงความดันโดยเทียบกันระหว่างก่อนอัดแรงดันและหลังอัดแรงดันพบว่าเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของถึงความดันขนาด 20 ลิตร ที่ความดัน 9 บาร์ และได้ใช้โปรแกรมทดสอบทางทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและศึกษาจุดวิกฤต ที่จะทำให้ถึงความดันมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพโดยพบว่าความหนาและความบางของผนังถึงความดันจะมีผลโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพต่อตัวถึงความดัน

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลองวิจัย

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

มีขนาดความจุ 20 ลิตร ผนังหนา 3 มิลลิเมตร ลักษณะทรงแคปซูลเพื่อใช้ในการทดสอบ

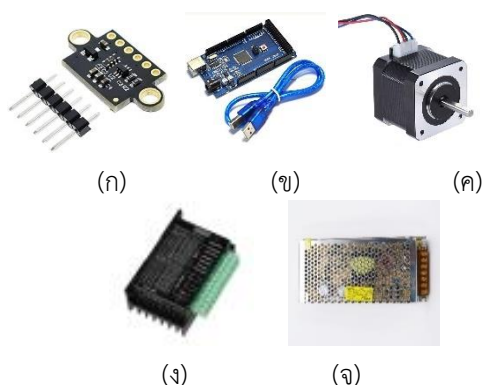
ชุดเลเซอร์ 2 ชุด และเลเซอร์วัดระยะเทียบแนวแกน X ใช้รุ่น VL53LOX V2 เป็นเลเซอร์ วัดระยะทาง ความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร ซึ่งมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า มีความปลอดภัยต่อสายตา ใช้ชิพ VL53LOX สื่อสารแบบ I2C วัดได้ระยะสูงสุด 1200 มม. ความคลาดเคลื่อน 5% ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และสีแสงเงาของวัตถุที่วัด ตามรูปที่ 1 (ก)

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. เพื่อง่ายต่อการคำนวณรอบมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปจุดที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ ตามรูปที่ 1 (ค)

กล่องขับเคลื่อนสเต็ปเปอร์มอเตอร์ รุ่น TB6600 จำนวน 4 กล่อง ทำหน้าที่ขับเคลื่อนมอเตอร์ให้สามารถหมุนเคลื่อนที่ไปตามทิศทางและพิกัดตำแหน่งที่ต้องการได้ ตามรูปที่ 1 (ง)

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



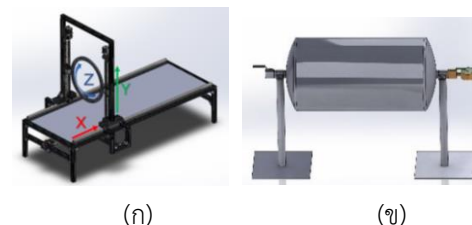
รูปที่ 1 ชุดเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ควบคุมการทำงานด้วยไฟฟ้า

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

2.1 วิธีการการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์คาร์ทีเซียนและชุดทดสอบ ประกอบด้วย

โครงสร้างหุ่นยนต์ คาร์ทีเซียน (Cartesian) เป็นอูมิเนียมโปรไฟล์ ขนาดเครื่อง กว้าง 519 มม. ยาว 1500 มม. สูง 890 มม. ประกอบด้วยรางคู่ทำจากฉากอลูมิเนียมติดตั้งเพลสแตนเลส ยึดกับโครงสร้าง และประกอบชุดแกนหุ่นยนต์ขึ้นรูปเป็นขั้วประตูดึง 600 มม. จากพื้นโครงสร้าง ด้านในติดตั้งวงแหวนแบบจานเบร็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมภายใน 337 มม. ขอบวงด้านนอก 390 มม. ลักษณะแกนของหุ่นยนต์คาร์ทีเซียนที่ออกแบบเป็นการทำงาน 3 แกน โดยแกนของหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้น 2 แกน คือ X และ Y แกนที่ 3 จะเคลื่อนที่ในลักษณะพิกัดเชิงขั้วคือเคลื่อนที่ทำมุม 0° ถึง 180° โดยรวมแล้วแกนหุ่นยนต์จะทำงานในลักษณะคล้ายเครนตามรูปที่ 2

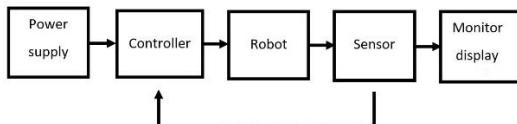
ถังความดันมีขนาดโดยประมาณ 20 ลิตร ผนังโลหะหนา 3 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึงเท่ากับ 240 มม. ความยาว 520 มม. ออกแบบให้วางบนแท่นของหุ่นยนต์ มีขาตั้งรองรับพร้อมหูรูดแบบขันเกลียวยึดหัวและท้ายถัง ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 (ก) การออกแบบหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน (ข) การออกแบบขาตั้งรับถังความดัน

2.2 การออกแบบระบบควบคุมการทำงาน

ออกแบบการเคลื่อนที่ในแนวแกน X ,Y และ Z ด้วยโปรแกรม LabVIEW ในการจำลอง และเขียนระบบควบคุมร่วมกับเครื่องมือการควบคุมพีไอดี (PID Control) เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่แสดงแผนภาพกรอบ ตามรูปที่ 3



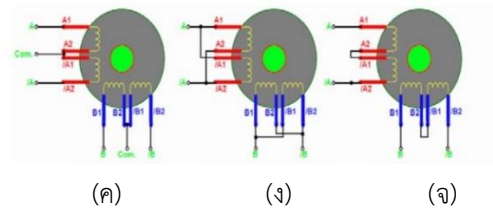
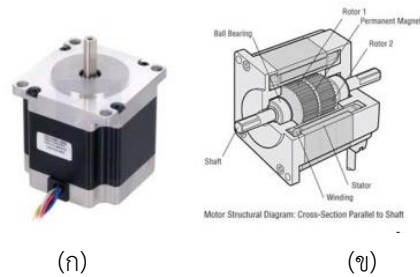
รูปที่ 3 แผนภาพกรอบการควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์

การหาประสิทธิภาพความแม่นยำการเคลื่อนที่ในแนวแกน X ด้วยการควบคุมการเคลื่อนที่โดยอาศัยหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียน เพื่อหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการทำงาน ซึ่งนำผลการทดลองจากการกำหนดจุดการเคลื่อนที่เข้าไปหา และใช้สมการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน ได้ดังสูตรต่อไปนี้

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

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

สเต็ปป์มอเตอร์ที่ใช้กันทั่วไปมีอยู่ด้วยกัน 3 ประเภทคือ 1.แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Stepping Motor หรือ PM) 2.แบบแปรผันค่ารีลักแตนซ์ (Variable Reluctance Stepping Motor หรือ VR) และ 3.แบบผสม (Hybrid Stepping Motor) ซึ่งลักษณะโครงสร้างของขดลวด สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดสองขั้ว (Bipolar) และ ชนิดหลายขั้ว (Unipolar) โดยมีผังการต่อสายดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ชนิดของมอเตอร์ที่เลือกใช้และแบบวงจรการต่อขั้วมอเตอร์

รูปที่ 4 แสดง (ก) ลักษณะภายนอก (ข) ลักษณะภายในของสเต็ปป์มอเตอร์ (ค)การต่อขั้วมอเตอร์แบบอนุกรม 3 ขั้ว (ง) การต่อขั้วแบบขนาน 2 ขั้ว (จ) การต่อขั้วแบบอนุกรม 2 ขั้ว

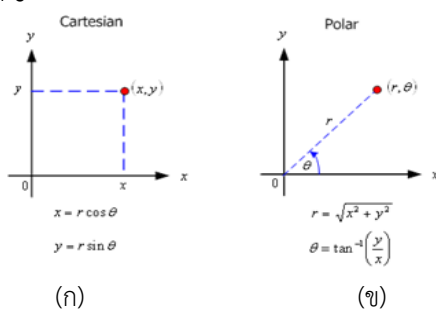
สเต็ปป์มอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่หมุนตามจำนวนองศา ความละเอียดการหมุนจะขึ้นอยู่กับจำนวนองศาต่อหนึ่งจังหวะการหมุน หลักการควบคุมสเต็ปป์มอเตอร์ให้สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางและองศาที่เราต้องการได้จะต้องทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดของมอเตอร์ เพื่อให้เกิดเป็นอำนาจของสนามแม่เหล็กขึ้นอย่าง เป็นลำดับที่ถูกต้องและสัมพันธ์กัน ซึ่งเทคนิควิธีการที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของ สเต็ปป์มอเตอร์จะมีขดลวดทั้งหมด 2 ขด โดยมีข้อสังเกตคือ จะมีสายออกมา 4 เส้น ขดลวดที่สเตเตอร์แต่ละขดจะไม่มีจุดร่วม การต่อเข้ากับวงจรขับจะใช้ปลายทั้งสองด้านของขดลวดแต่ละขด การทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์ทำได้โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากปลายด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่งของขดลวด และการเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์ชุดเดียวกันนี้ทำได้โดยสลับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้านั้นเอง

การออกแบบการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์โดยใช้แนวคิดในการโปรแกรมสั่งการทำงานไว้ดัง รูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการโปรแกรมสั่งการทำงานหุ่นยนต์หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

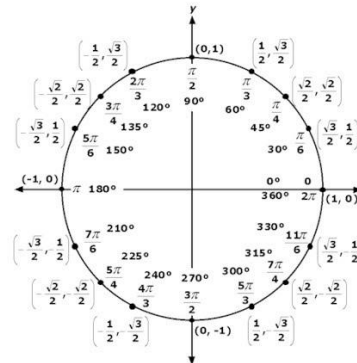
ระบบพิกัดที่นิยมใช้มีสองระบบใหญ่ๆ คือ ระบบพิกัดฉากหรือคาร์ทีเซียน (rectangular or Cartesian coordinate system) และระบบพิกัดเชิงขั้ว (polar coordinate system) ทั้งนี้เราสามารถทำการแปลงพิกัดจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่งได้ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 (ก) การแปลงพิกัดฉากเป็นพิกัดเชิงขั้ว (ข) การแปลงพิกัดเชิงขั้วเป็นพิกัดฉาก

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

โดยมีสมการวงกลมหนึ่งหน่วยคือ $x^2 + y^2 = 1$ 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

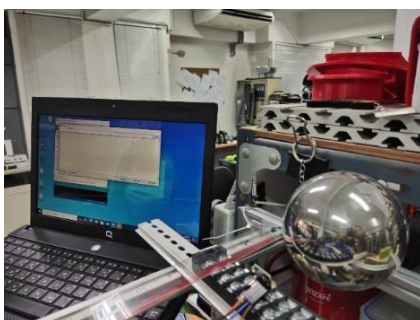


รูปที่ 8 การสร้างประกอบหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน และความดันขนาด 20 ลิตร

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

2.4 การทดสอบการตกกระทบแสงเลเซอร์ กับวัตถุทรงกลมผิวเรียบมันเงา

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



รูปที่ 9 แสดงการทดสอบวัดระยะทางด้วยเซนเซอร์

จากนั้นทำการป้อนโค้ดโปรแกรมแล้วอัปโหลดข้อมูลโค้ดลงบอร์ดอาดูโนเพื่อให้เซนเซอร์ทำการอ่านค่าระยะเพื่อเป็นการศึกษาและทดสอบผลกระทบเมื่อแสงตกกระทบกับวัตถุเงาสท้อนแสงก่อนขัดเงา และหลังขัดเงา ตามรูปที่ 10

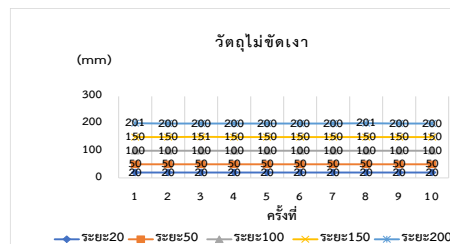
```
#include <Wire.h>
#include <VL53LOX.h>
int led = 3;
int buzzer = 4;

VL53LOX sensor;

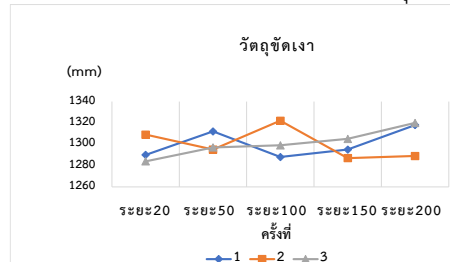
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  pinMode(led, OUTPUT);
  pinMode(buzzer, OUTPUT);
  sensor.init();
  sensor.setTimeout(500);
  sensor.startContinuous();
}

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 โค้ดในการทดสอบวัดระยะ
ด้วยเซนเซอร์เลเซอร์



รูปที่ 11 ผลการทดสอบการวัดระยะวัตถุไม่ขัดเงา



รูปที่ 12 ผลการทดสอบการวัดระยะวัตถุขัดเงา

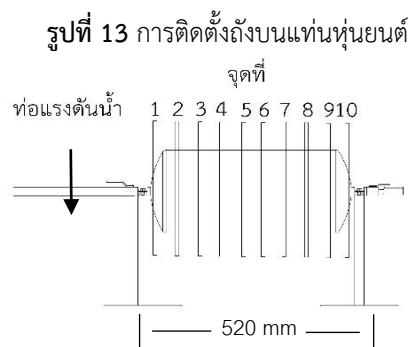
จากการศึกษาและทดสอบเซนเซอร์ที่ใช้

พบว่าเลเซอร์รุ่น VL53LOX V2 เมื่อทำการวัดระยะวัตถุเงาสท้อนแสงแบบยังไม่ขัดเงา สามารถอ่านค่าระยะได้อย่างถูกต้องตามรูปที่ 11 โดย วัดระยะที่ 20, 50, 100, 150, และ 200 มม. ตามลำดับ เป็นจำนวน 50 ครั้ง จากนั้นทำการทดสอบซ้ำโดยการเชื่อมต่อความสะอาดวัตถุเงาสท้อนแสง แล้วทำการวัดระยะใหม่ พบว่าไม่สามารถให้ค่าที่ชุดเซนเซอร์อ่านค่าได้เหมือนรอบแรก เนื่องจากวัตถุเงาส่งแสงจากโลหะเคลือบสแตนเลส 304 มีลักษณะรูปทรงลูกบอลภายในกลวง มีความใสและผิวเนียนเรียบมันเงา จึงเกิดการสะท้อนและการหักเหของแสงทำให้ไม่สามารถวัดค่าจากวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวของวัตถุที่เนียนเรียบมันเงาเช่นนี้ได้

2.5 วิธีการทดลอง

จัดวางถึงความดันไว้บนแท่นหุ่นยนต์ตามรูปที่ 11 กำหนดจุดพิกัดระยะในแนวแกน X เป็น 10 ระยะ ได้แก่ จุดที่ 1 ถึง 10 เพื่อให้แขนกลทำการเลื่อนจุดวัดหาเส้นผ่านศูนย์กลาง โดย เชื้อระยะเลื่อนจาก 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 แนวข้อต่อด้านหน้าของถังความดันไปจรดปลายถังจะได้ระยะที่กำหนดตามขั้นตอนเบื้องต้น โดยจะต้องใช้ระยะพิกัดตามแนวแกน X จุดเริ่มต้น

ระยะ 0 มม. ที่จุดข้อต่อหัวถังเสมอ จากนั้นเปิดการทำงานหุ่นยนต์ผ่านคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กที่โปรแกรมไว้เพื่อทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถัง โดยวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังเปล่าก่อน 1 รอบ แล้วบันทึกผลการทดลอง จากนั้นอัดแรงดันน้ำเข้าไปที่แรงดัน 8 บาร์ แล้วบันทึกค่าเป็นรอบที่ 2 ต่อไปค่อยๆเพิ่มการอัดแรงดันน้ำในรอบต่อไปที่ความดัน 9,10,11,12,และ13 บาร์ตามลำดับและบันทึกค่าผลการทดลองทุกๆรอบที่ทำการเพิ่มความดัน



รูปที่ 14 จุดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในการวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังความดัน



(ก)



(ข)



(ค)



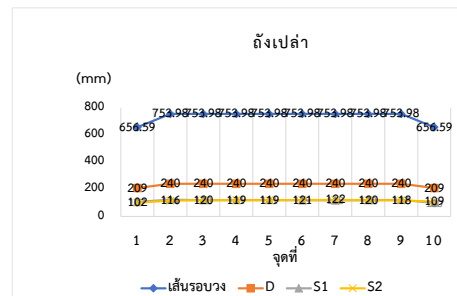
(ง)

รูปที่ 15 การประกอบหุ่นยนต์วัดขนาดถังเข้ากับชุดปั๊มแรงดันน้ำ

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

3.ผลการทดลอง

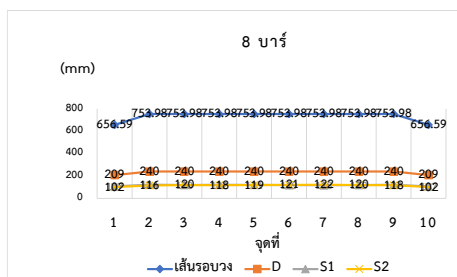
การทดลองในการทดสอบวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังความดัน โดยแบ่งรอบการวัดทั้งหมด 7 รอบคือ วัดถังเปล่าก่อน 1 รอบ,และวัดหลังจากทำการเพิ่มแรงดันน้ำ 8,9,10,11,12,13 บาร์ตามลำดับ โดยถังความดันนั้นได้ถูกออกแบบและสร้างตามหลักทางวิศวกรรมที่มีคุณสมบัติเป็นโลหะเหล็กเกรด ss400 ความหนา 3 มม. ซึ่งเป็นมาตรฐานโดยทั่วไปของถังความดันที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ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



รูปที่ 16 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังความดัน โดยยังไม่ทำการอัดแรงดันเข้าสู่ภายในถัง

ตารางที่ 1 แสดงรายการสรุปข้อมูลถังเปล่าจากรูปที่ 16

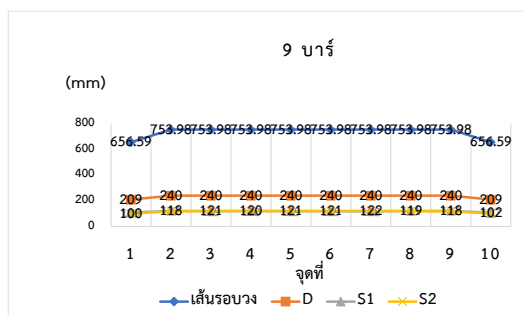
จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	107	102
2	753.98	240	124	116
3	753.98	240	120	120
4	753.98	240	121	119
5	753.98	240	121	119
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	118	122
8	753.98	240	120	120
9	753.98	240	122	118
10	656.59	209	100	109



รูปที่ 17 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนความดันที่ 8 บาร์

ตารางที่ 2 แสดงรายการสรุปข้อมูลความดันที่ 8 บาร์
จากรูปที่ 17

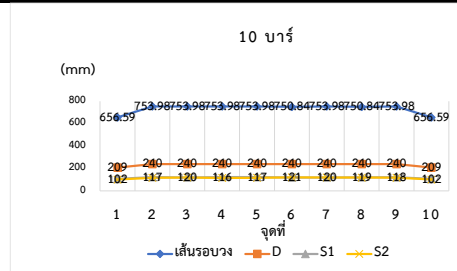
จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	107	102
2	753.98	240	124	116
3	753.98	240	120	120
4	753.98	240	122	118
5	753.98	240	121	119
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	118	122
8	753.98	240	120	120
9	753.98	240	122	118
10	656.59	209	107	102



รูปที่ 18 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนความดันที่ 9 บาร์

ตารางที่ 3 แสดงรายการสรุปข้อมูลความดันที่ 9 บาร์
จากรูปที่ 18

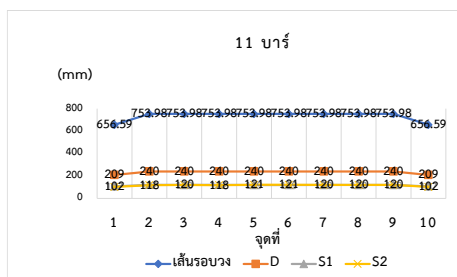
จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	109	100
2	753.98	240	122	118
3	753.98	240	119	121
4	753.98	240	120	120
5	753.98	240	119	121
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	118	122
8	753.98	240	121	119
9	753.98	240	122	118
10	656.59	209	107	102



รูปที่ 19 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนความดันที่ 10 บาร์

ตารางที่ 4 แสดงรายการสรุปข้อมูลความดันที่ 10 บาร์
จากรูปที่ 19

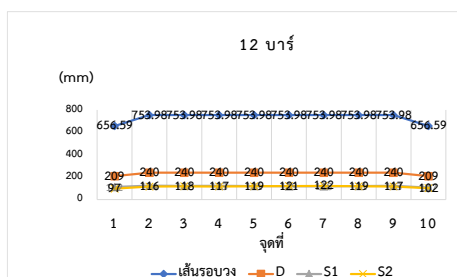
จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	107	102
2	753.98	240	123	117
3	753.98	240	120	120
4	753.98	240	124	116
5	753.98	240	123	117
6	750.84	240	119	121
7	753.98	240	120	120
8	750.84	240	121	119
9	753.98	240	122	118
10	656.59	209	107	102



รูปที่ 20 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนความดันที่ 11 บาร์

ตารางที่ 5 แสดงรายการสรุปข้อมูลความดันที่ 11 บาร์
จากรูปที่ 20

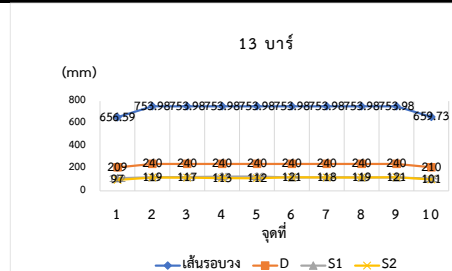
จุดที่	เส้นรอบวง	D	S1	S2
1	656.59	209	107	102
2	753.98	240	122	118
3	753.98	240	120	120
4	753.98	240	122	118
5	753.98	240	119	121
6	753.98	240	119	121
7	753.98	240	120	120
8	753.98	240	120	120
9	753.98	240	120	120
10	656.59	209	107	102



รูปที่ 21 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนความดันที่ 12 บาร์

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

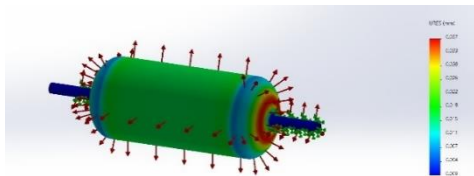


รูปที่ 22 ผลการทดสอบการวัดขนาดถังเมื่อป้อนความดันที่ 13 บาร์

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

ในการทำการทดลองวัดขนาดการเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันและเก็บบันทึกข้อมูล 7 รอบ เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงของขนาดถึงความดันเมื่อทำการป้อนแรงดันน้ำที่ 8,9,10,11,12,13 บาร์ตามลำดับ พบการเปลี่ยนแปลงของขนาดน้อยมากๆ คือเริ่มเห็นผลการเปลี่ยนแปลงที่ความดัน 13 บาร์ เมื่อเทียบกับถึงเปล่า และ ป้อนแรงดันน้ำที่ 8 บาร์ ได้ผลจากการพดงนี้ 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,และ13 บาร์ พบการเปลี่ยนแปลงขนาด 1 มิลลิเมตร จากนั้นจึงทำการศึกษาในทางทฤษฎีเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบถึงเหตุผลเกิดการขยายตัวของถึงความดันในแนวส่วนโค้งของขอบถังโดยได้ทำการจำลอง Simulation ผ่าน โปรแกรม Solidwork ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 การจำลอง Finite element analysis

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

เท่าๆ กันตลอดแนวรูปทรงกระบอก ส่งผลให้แรงที่กระทำโดยตรงกับผนังทรงกระบอกมีค่าความหนาแน่นของแรงดันน้อยกว่าเมื่อเทียบบริเวณรูปวงกลมสีแดงดังรูปที่ 23 แรงที่กระทำในผิวส่วนโค้งด้านหัวถังแล้วด้านท้ายถึงความดัน บริเวณรูปวงกลมสีแดงดังรูปที่ 23 ไม่เพียงพอที่จะสามารถทำให้ถึงความดันขยายตัวจนสามารถวัดค่าความเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางถึงความดันได้อย่างชัดเจน

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองมีความเป็นไปได้ว่ามีเมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดระหว่างข้อมูลกราฟรูปที่ 17 ที่ความดัน 8 บาร์ และ ข้อมูลกราฟรูปที่ 22 ที่ความดัน 13 บาร์ พบการเปลี่ยนแปลงขนาดของถึงความดันเล็กน้อยในช่วงจุดที่ 10 จาก ขนาดเดิม 209 มม. เพิ่มขึ้น 210 มม. ความเปลี่ยนแปลงของขนาดถึงความดันในส่วนนี้จะป็นบริเวณส่วนโค้ง ของปลายถังโดยมีเหตุผลปัจจัยรองรับในการทดสอบด้วยการออกแบบจำลอง Finite element analysis [10] ที่มีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดการขยายตัวของถึงความดันแล้วสามารถวัดค่าหาขนาดที่ยึดโก่งตัวจนเกิดการเสียรูปได้ทีจุดนี้ จึงได้ทำแบบจำลองการทดสอบตามทฤษฎีดังรูปที่ 23 โดยการทดสอบเทียบกับการวัดแบบนอนตามมาตรฐานการทดสอบอัดแรงดัน มอก. ที่ 13 บาร์ ค้างไว้เป็นเวลา 3 นาที [11] แล้วทำการจดบันทึกผลทดสอบ

4.สรุปผลการทดลอง

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

ความดันที่เพิ่มเข้าไปให้ใกล้เคียงกับการทดสอบครั้งนี้พบว่าผลที่ได้จากการทดสอบจริง เริ่มมีผลลัพธ์การเปลี่ยนแปลงในการขยายตัว ณ ตำแหน่งของจุดที่ 10 โดยมีการขยายตัวที่วัดได้น้อยมาก มีค่าไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นไปในแนวทางที่สอดคล้องกันกับผลที่ได้จากการจำลอง Finite element คือพบการเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของขอบถึง 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] Bogna 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)