

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติต้นทุนต่ำแบบ หัวจ่ายเดียวที่ควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

ธีระพงษ์ บุญรักษา¹ ธนทัต เกตุแก้ว¹ ยศนันท์ หนูคง¹ กันต์ธีร์ คงเจริญ¹ สมมาตร ทองคำ² มณีนรัตน์ ชนะสกุลนิยม²
วรกฤตย์ พ่วงทรัพย์² อธิพงษ์ ย่องหยี³ วิภาดา วงศ์สุริยา³ พรหมพักตร์ บุญรักษา^{3*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, นครปฐม, ประเทศไทย

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

^{3*}สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ,
นนทบุรี, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล : promphak.b@rmutsb.ac.th

รับต้นฉบับ : 2 กรกฎาคม 2566; รับบทความฉบับแก้ไข : 24 กุมภาพันธ์ 2567; ตอบรับบทความ : 11 มีนาคม 2567

เผยแพร่ออนไลน์ : 28 มิถุนายน 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติต้นทุนต่ำแบบหัวจ่ายเดียวที่ควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ซึ่งโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ถูกใช้ควบคุมการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและควบคุมสเต็มมอเตอร์ของตัวเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ โดยมีหลักการทำงานเป็นขั้นตอนดังนี้ 1) เมื่อน้ำขวดน้ำวางที่สายพานลำเลียง สายพานลำเลียงจะส่งขวดไปยังจุดบรรจุน้ำ 2) เมื่อบรรจุน้ำจนถึงปริมาตรที่เหมาะสมจะย้ายขวดน้ำจากจุดบรรจุน้ำไปยังจุดปิดชั้นฝาโดยใช้การหมุนจากสเต็มมอเตอร์ 3) ขั้นตอนการปิดฝาขวดน้ำดื่ม ทำการขันฝาขวดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและกระบอกลม โดยมีเซนเซอร์สั่งการให้กระบอกลมดันลงมาปิดฝาและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหมุนเพื่อทำการปิดฝาให้เข้าเกลียว และ 4) เมื่อปิดฝาเสร็จสเต็มมอเตอร์หมุนเพื่อนำตัวขวดน้ำที่ปิดแล้วไปที่สายพานลำเลียงขาออก ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ มาตรฐานการวิเคราะห์ทางสถิติ (analytical statistics) ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดสอบของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ โดยทำการทดสอบทั้งหมด 30 ครั้ง ประกอบด้วย 3 ค่า คือ การหาค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำดื่มที่บรรจุได้อยู่ที่ 597.27 มิลลิลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) อยู่ที่ 2.87 และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) มีค่า 1.95 แปลผลว่าเครื่องบรรจุน้ำดื่มคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ± 1.95 มีผลการทดสอบหารอบเวลาการผลิตที่เหมาะสมอยู่ที่ 12 นาที และอัตราการบรรจุน้ำพบว่าสามารถบรรจุน้ำได้เฉลี่ย 8 ขวดต่อนาที ผลด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าพบว่าใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 32.1 วัตต์ โดยใช้พลังงานต่อการทำงาน 1 ขวดเท่ากับ 0.6 วัตต์ชั่วโมง เครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติที่ได้สร้างขึ้นมีอัตราการเดินเครื่องร้อยละ 99 ค่าประสิทธิภาพการเดินเครื่องร้อยละ 100 อัตราคุณภาพร้อยละ 88.89 และค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness) อยู่ที่ร้อยละ 88.00 เมื่อเทียบกับเครื่องจักรในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปถือว่าเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติมีประสิทธิภาพโดยรวมในระดับดี และในส่วนของต้นทุนในการสร้างเครื่องพบว่ามีความต่ำกว่าราคาขายบนท้องตลาด

คำสำคัญ : เครื่องบรรจุน้ำดื่ม, การวัดประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร, ต้นทุนการผลิต, โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์, อัตราการบรรจุน้ำ



Performance Analysis of a Low-cost Automatic Single-Dispenser Drinking Water Filling Machine Controlled by a Programmable Logic Controller

Terapong Boonraksa¹ Thanatat Ketkaew¹ Yotsanon Nukong¹ Kanthi Kongcharoen¹ Sommart Thongkom²
Maneerat Chanasakunniyom² Worakrit Phuangsub² Ittipong Yongyee³ Wipada Wongsuriya³
Promphak Boonraksa^{3*}

¹School of Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom, Thailand

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Bangkokthonburi University, Bangkok, Thailand

^{3*}Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvamabhum, Nonthaburi, Thailand

*Corresponding Author. E-mail address: promphak.b@rmutsb.ac.th

Received: 2 July 2023; Revised: 24 February 2024; Accepted: 11 March 2024

Published online: 28 June 2024

Abstract

This research presents the application of a Programmable logic controller to control the operation of an automatic drinking water filling machine. The PLC is used to control the operation of the DC motor and control the stepper motor of the automatic drinking water filling machine. The working principle is as follows: 1) When a water bottle is placed on the conveyor belt, a conveyor belt delivers the bottles to the water-filling point. 2) When the water is filled to the right volume, the water bottle will be moved from the water-filling point to the capping point using the stepper motor rotation. 3) The process of capping the bottle cap tightening by direct current electric motor and air cylinder with a sensor to order the air cylinder to push down to close the lid, and the DC electric motor rotates to close the lid to the screw, and 4) When the lid is closed, the stepping motor rotates to bring the closed water bottle to the leg conveyor. The operation of the automatic drinking water filling machine was tested using statistical analysis standards with a total of 30 tests consisting of 3 values: finding the average value of the bottled drinking water volume at 597.27 milliliters and the standard deviation is 2.87 and the root mean square error (RMSE) is 1.95, meaning the water filling machine has an error of ± 1.95 . The test results to find the optimum production cycle time of 12 minutes and the water filling rate found that it could fill an average of 8 bottles of water per minute. The energy consumption was found to use a maximum power of 32.1 W with an energy of 0.6 Wh per bottle. The automatic drinking water filling machine that has been created has an Availability% is at 99%, a Performance% is at 100%, a quality rate is at 88.89% and an overall equipment effectiveness is at 88.00%. Compared to industrial machines, automatic drinking water filling machines are generally considered to have good overall performance at a lower cost than the market price.

Keywords: Drinking water filling machine, Overall equipment effectiveness, Production costs, Programmable logic controller, Water filling rate

1) บทนำ

ปัจจุบันในกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งเล็กและใหญ่ มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทั้งด้านกระบวนการผลิต การลำเลียงสินค้า การจัดเก็บสินค้า และมีความต้องการที่จะลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลผลิต ดังนั้น จึงได้มีการนำเอาโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์เข้ามาประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อลดการใช้จ่ายในการจ้างบุคลากรในการทำหน้าที่ในแต่ละส่วนในการทำงาน เช่น การจำแนกสินค้า การเช็คจำนวน การจัดเก็บสินค้า การจัดส่งสินค้า และอีกมากมาย [1], [2]

โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable Logic Control: PLC) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงานต่าง ๆ โดยภายในมี Microprocessor เป็นมันสมองสั่งการที่สำคัญ โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์มีส่วนที่เป็นอินพุตและเอาต์พุตที่สามารถต่อออกไปใช้งานได้ทันที ตัวตรวจวัดหรือสวิตช์ต่าง ๆ จะต่อเข้ากับอินพุต ส่วนเอาต์พุตจะใช้ต่อออกไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เป็นเป้าหมาย ซึ่งสามารถสร้างวงจรหรือแบบของการควบคุมได้โดยการป้อนเป็นโปรแกรมคำสั่งเข้าไปในโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น เช่น เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Barcode Reader) เครื่องพิมพ์ (Printer) ในปัจจุบันนอกจากโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์จะใช้งานแบบเดี่ยว (Stand-alone) แล้วยังสามารถต่อโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์หลาย ๆ ตัวเข้าด้วยกัน (Network) เพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วยจะเห็นได้ว่าการใช้งานโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์มีความยืดหยุ่นมากดังนั้นในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จึงเปลี่ยนมาใช้ โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์มากขึ้น [3], [4]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจทำการออกแบบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติเพื่อให้ต้นทุนต่ำที่สุด โดยใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบสายพาน และทำการเปรียบเทียบต้นทุนการสร้างเครื่องกับราคาขายบนท้องตลาด

2) ทบทวนวรรณกรรม

การใช้งานโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์เริ่มมีความนิยมสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้นำโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์มาใช้สำหรับควบคุมเครื่องจักร เช่น แขนกลจับชิ้นงานจากเครื่องคัดแยกวัตถุดิบตามสายพาน [5], [6] และการออกแบบและสร้างเครื่องปิดฝาจับอัตโนมัติ [7] โดยนักวิจัยกลุ่มหนึ่งได้ออกแบบและพัฒนาาระบบคัดแยกขนาดปลาอัตโนมัติโดยการวิเคราะห์ข้อมูลภาพจากกล้องวิดีโอภาพปลาที่ไหลมาตามสายพานจะผ่านระบบประมวลผลเพื่อวิเคราะห์หาความยาวของตัวปลาแล้วไปเปรียบเทียบกับความยาวกับข้อมูลในฐานข้อมูล ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นของระบบทางกลศาสตร์ที่สามารถแยกขนาดปลาออกจากกันได้จริง ระบบนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับอุตสาหกรรมประมงจากการใช้แรงงานมนุษย์ในกระบวนการคัดแยกขนาดปลา โดยใช้สายตาวัดหรือไม้บรรทัดวัดซึ่งมีโอกาสผิดพลาดได้ง่าย [8] และอีกงานวิจัยหนึ่งนักวิจัยได้มีการสร้างเครื่องคัดแยกพริกหวานอัตโนมัติโดยอาศัยหลักการตรวจจับสีของพริกด้วยการประมวลผลภาพในระบบภาพ HSV ผ่านระบบสายพานลำเลียง จากนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะควบคุมส่วนคัดแยกให้พริกหวานไหลลงสู่ช่องตามที่กำหนด [9] โดยสามารถนำระบบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับค่าแรงงานได้ ระบบนี้สามารถเป็นต้นแบบเพื่อนำไปพัฒนาต่อยอดกับอุตสาหกรรมต่อไป

ในส่วนสายพานลำเลียงอัตโนมัติแยกขยะรีไซเคิลด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ มอเตอร์กระแสตรงใช้สำหรับดันวัตถุสร้างสายพานลำเลียงลงในถังรีไซเคิล ระบบประกอบด้วยสายพานลำเลียงสองเส้นสำหรับถ่ายวัตถุและกล่องและกลไกการซ้อนประกอบด้วยลิฟต์และขาตั้งสำหรับวางกล่อง สายพานลำเลียงนำวัตถุที่อยู่ใกล้เซนเซอร์และด้วยเหตุนี้จึงมีการตัดสินใจลอจิกสำหรับ โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ได้รับการตั้งโปรแกรมสำหรับการเรียงลำดับการนับและการซ้อนของวัตถุ ระบบประกอบด้วยเซนเซอร์สำหรับส่งสัญญาณการนับวัตถุ และการตรวจจับกล่องของโลหะด้วยเซนเซอร์ [10], [11]

ในมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดโดยใช้หลักการ ECRS และหลักการ 5W1H เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมในการผลิต และมุ่งเน้นขจัดความสูญเปล่าด้านเวลา ทำการบันทึกข้อมูล

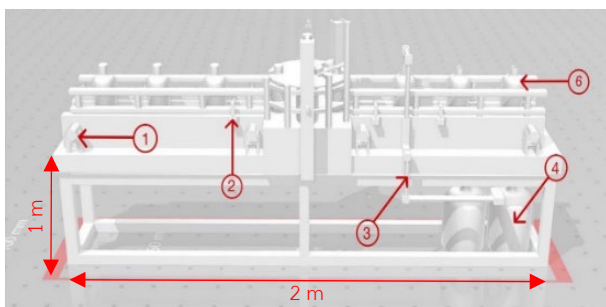
ขั้นตอนการผลิต ระยะเวลาในการผลิตของแต่ละขั้นตอนและหาเวลามาตรฐาน จากนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อหากิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า (NVA) และทำให้เกิดความสูญเปล่าด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H และออกแบบแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามหลัก ECRS จากผลการศึกษา เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการปรับปรุงขั้นตอนการผลิตพบว่า สามารถลดขั้นตอนการผลิตลงจากเดิม 14 ขั้นตอน เหลือ 11 ขั้นตอน ซึ่งลดลงร้อยละ 21.43 และสามารถลดระยะเวลาการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดจากเดิม 247.77 วินาทีต่อการผลิตน้ำดื่ม 12 ขวด ลดลงมาเหลือ 207.79 วินาทีต่อการผลิตน้ำดื่ม 12 ขวด ลดลงร้อยละ 16.14 [12]

3) วิธีดำเนินการวิจัย

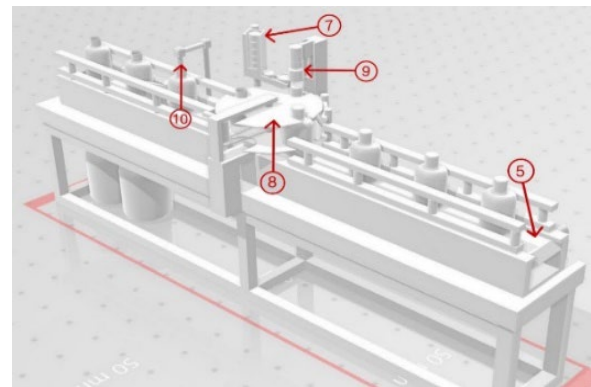
การออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแบ่งได้ 2 หัวข้อ ประกอบด้วย การออกแบบกระบวนการการทำงานเบื้องต้นของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ และการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1) การออกแบบโครงสร้างของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ

ทำการออกแบบโครงสร้างเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยระบบโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ โดยใช้โปรแกรม Shapr3D แบบจำลองของชิ้นงานเบื้องต้นมุมที่ 1 แสดงดังรูปที่ 1 และแบบของชิ้นงานเบื้องต้นมุมที่ 2 แสดงดังรูปที่ 2 และรายการอุปกรณ์ที่ใช้และเหตุผลในการเลือกใช้แสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 : แบบของชิ้นงานเบื้องต้นมุมที่ 1



รูปที่ 2 : แบบของชิ้นงานเบื้องต้นมุมที่ 2

จากรูปที่ 1 และ 2 แบบของชิ้นงานเบื้องต้นมุมที่ 1 และแบบของชิ้นงานเบื้องต้นมุมที่ 2 อธิบายได้ดังนี้

หมายเลขที่ 1 มอเตอร์ (motor) ทำหน้าที่ขับเคลื่อนสายพานตามระบบงานและขับเคลื่อนสล็อตขวดน้ำให้ทำงานตามระบบสุดท้ายทำหน้าที่ปิดฝาขวดให้สมบูรณ์ตามการทำงาน

หมายเลขที่ 2 เซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ (capacitive sensor) ทำหน้าที่ตรวจจับวัตถุขนาดระบบกำลังทำงานเพื่อให้การทำงานสมบูรณ์ เป็นไปตามขั้นตอนการทำงานของระบบ

หมายเลขที่ 3 ท่อลำเลียงน้ำทำหน้าที่ลำเลียงน้ำดื่มไปยังขวดน้ำตามการทำงานของระบบ

หมายเลขที่ 4 ถังกักเก็บน้ำเพื่อส่งต่อท่อลำเลียงน้ำ

หมายเลขที่ 5 สายพานลำเลียงขวดน้ำของเครื่องบรรจุน้ำดื่มทั้งระบบ

หมายเลขที่ 6 ขวดน้ำที่รอการบรรจุน้ำดื่ม

หมายเลขที่ 7 สล็อตบรรจุฝาขวดน้ำที่รอการลำเลียงไปยังจุดปิดฝาขวดเพื่อให้ตัวปิดฝาขวดทำงาน

หมายเลขที่ 8 สล็อตหมุนการทำงานจากสายพานลำเลียงขวดน้ำที่บรรจุน้ำเสร็จสมบูรณ์ หมุนมาตามตำแหน่งของตัวปิดฝาขวดและทำงานตามลำดับ

หมายเลขที่ 9 ตัวปิดล๊อคฝาขวดให้สมบูรณ์

หมายเลขที่ 10 วาล์วเปิด-ปิดน้ำเพื่อทำการบรรจุน้ำที่ละขวดตามการทำงาน

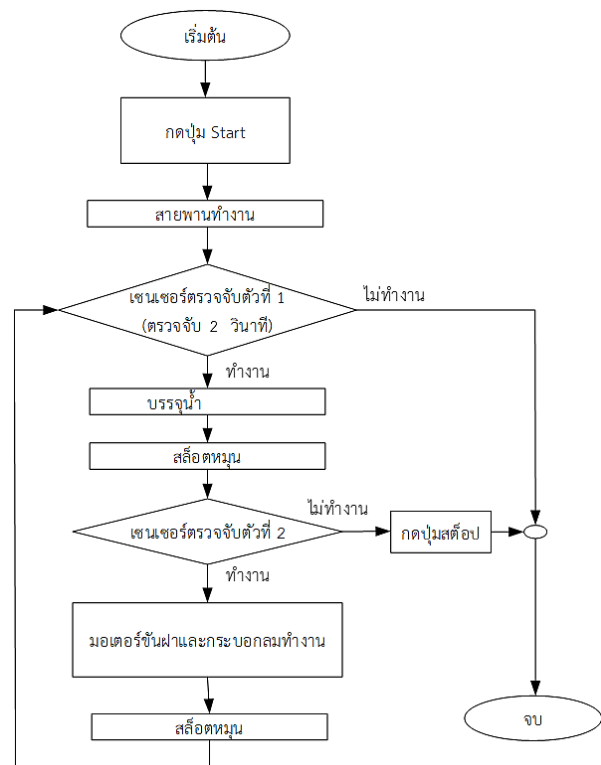
ตารางที่ 1 : รายการอุปกรณ์ที่ใช้และเหตุผลในการเลือกใช้งาน

รายการอุปกรณ์ที่ใช้	เหตุผลในการเลือกใช้งาน	ราคา (บาท)
1. อุปกรณ์จ่ายไฟ กระแสตรง 24 V _{DC}	เนื่องจากอุปกรณ์ทุกตัวในการทำงานใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 24 โวลต์และค่าไฟฟ้ากระแสตรงไม่เกิน 10 A แหล่งจ่ายไฟนี้จึงเหมาะสมต่อการใช้งาน	950
2. มอเตอร์กระแสตรง 24 V _{DC} ความเร็วรอบ 20 rpm	เนื่องจากมีความเร็วรอบต่ำทำให้สายพานลำเลียงขวน้ำเคลื่อนที่ไม่เร็วมากจึงทำให้ขวดเปล่าที่ยังไม่ได้บรรจุน้ำนั้นไม่ล้มขณะลำเลียงจึงเหมาะสมกับการใช้งานลำเลียงขวน้ำที่มีน้ำหนักเบา	1700
3. ปั๊มน้ำมีความเร็วการบรรจุน้ำต่ำลงขวด 4500 มิลลิเมตร/นาที่	เนื่องจากปั๊มน้ำตัวนี้สามารถดูดน้ำได้ขนาด 4500 มิลลิเมตร/นาที่ แรงมากพอที่จะบรรจุน้ำต่ำลงขวดน้ำที่ขนาด 600 มิลลิเมตร	1800
4. สเต็ปมอเตอร์ และวงจรขับสเต็ปมอเตอร์ TB6560	เนื่องจากสเต็ปมอเตอร์ไม่สามารถทำงานจากบอร์ดคอนโทรลเลอร์โดยตรงได้ จึงใช้วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ TB6560 เพื่อเป็นการสั่งการขับเคลื่อนให้กับสเต็ปมอเตอร์ และการปรับค่าความละเอียดขององศาที่ใช้ในงานจริง จะคำนวณได้ดังนี้ จาก Step 1 Step = 1.8 องศา $1.8 / 32 = 0.05625$ องศาต่อ 1 Step	1174
5. พีแอลซีรุ่น FX3U-24MT	มีรูปแบบการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Ladder ด้วยโปรแกรม Gx-developer หรือ Gx-work2 ซึ่งมีความใกล้เคียงกับแบบวงจรควบคุมไฟฟ้า ทำให้ผู้ใช้งานทำความเข้าใจได้ไม่ยาก จึงเหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานควบคุมไฟฟ้า สามารถเพิ่มหรือขยาย I/O, Analog I/O ได้ เพื่อรองรับระบบควบคุมที่ต้องใช้จำนวน input หรือ output จำนวนมาก	1200
6. อื่น ๆ	อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เช่นโครงสร้าง	1000
ราคารวม		7,824

3.2) การควบคุมการทำงานของเครื่องบรรจุน้ำอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยระบบโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

หลักการทำงานของเครื่องบรรจุน้ำอัตโนมัติเริ่มจากการกดปุ่มสตาร์ทสายพานชุดที่หนึ่งและชุดที่สองเริ่มทำงานสายพานจะลำเลียงขวดเปล่าไปยังเซนเซอร์ตรวจจับขวน้ำตัวที่ 1 เมื่อเซนเซอร์ทำงานพีแอลซีสั่งให้ปั๊มน้ำทำงานเป็นกระบวนการบรรจุ

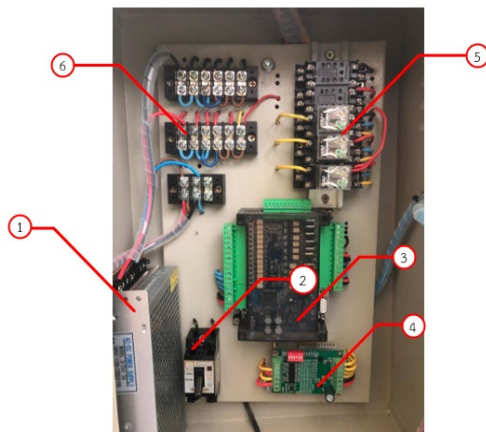
น้ำเป็นเวลา 8 วินาที หากเซนเซอร์ไม่ทำงานเป็นเวลา 2 วินาทีตัวเครื่องจะหยุดการทำงานทันทีต่อจากกระบวนการบรรจุน้ำพีแอลซีสั่งให้สเต็ปมอเตอร์ทำงานเพื่อหมุนสล็อตไปยังจุดขึ้นฝาเมื่อเซนเซอร์ตรวจจับขวน้ำตัวที่ 2 ทำงานพีแอลซีสั่งให้มอเตอร์ขึ้นฝาและกระบอกลมทำงานเพื่อเป็นการขึ้นฝาให้แน่นสเต็ปมอเตอร์ทำงานอีกครั้งเป็นการส่งออกขวดไปยังสายพานชุดที่ 2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องบรรจุน้ำอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 : การทำงานเครื่องบรรจุน้ำอัตโนมัติ

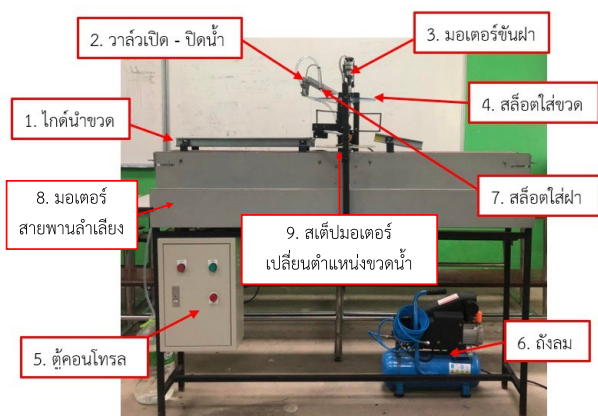
รูปที่ 4 แสดงอุปกรณ์ภายในตู้คอนโทรลของเครื่องบรรจุน้ำอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยระบบ PLC มีส่วนประกอบหลักดังนี้

- หมายเลข 1 Power Supply 24 V_{DC}
- หมายเลข 2 Breaker 2 Pole 15 A
- หมายเลข 3 PLC FX-3U-24 MT
- หมายเลข 4 Drive Stepper Motor TB6560
- หมายเลข 5 Relay MY2N 24 V_{DC}
- หมายเลข 6 Connector



รูปที่ 4 : อุปกรณ์ภายในตู้คอนโทรลของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ

เครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้น มีโครงสร้างขึ้นเสร็จสมบูรณ์และส่วนประกอบแสดงดังรูปที่ 5

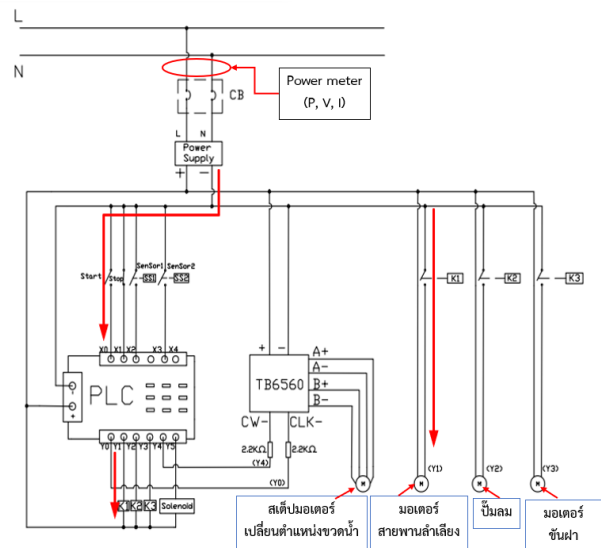


รูปที่ 5 : โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ

3.3) การทดสอบวัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ

จากการทำงานของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติมีการใช้กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการใช้เครื่องวัดไฟฟ้า (power meter) และ (clamp meter) ในการวัดค่าทางไฟฟ้าผู้วิจัยทำการวัดค่าจากจุดที่ต่อจากไฟบ้าน (ไฟฟ้ากระแสสลับ) แสดงดังรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 เครื่องพีแอลซีทำการควบคุมมอเตอร์ทั้งหมด 4 ตัว ตัวแรกมอเตอร์สายพานลำเลียงขวดเปล่าเข้าและออกบรรจุน้ำ, ปั้มน้ำ, มอเตอร์หมุนขวดเข้าและออกตามลำดับ และมอเตอร์สำหรับชั้นฝาขวด โดยทำการวัดค่าทางไฟฟ้าประกอบด้วย ค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และค่ากำลังไฟฟ้า



รูปที่ 6 : ไดอะแกรมการทำงานและการวัดค่าทางไฟฟ้าของการทำงานของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ

3.4) การวัดประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ

การทดสอบการทำงานของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติใช้มาตรฐานการวิเคราะห์ทางสถิติ (analytical statistics) ประกอบด้วย 3 ค่า คือ การหาค่าเฉลี่ย (Mean: $\bar{X}$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Squared Error: RMSE) [13]–[15]

ค่าเฉลี่ยของการบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติสามารถคำนวณจากสมการที่ (4)

$$\bar{X} = \frac{\sum xi}{N} \quad (4)$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของการบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติสามารถคำนวณจากสมการที่ (5)

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{(N-1)}} \quad (5)$$

และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Squared Error: RMSE) ของการบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติสามารถคำนวณจากสมการที่ (6)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_t - \hat{Y}_t)^2} \quad (6)$$

ในการวัดค่าความแม่นยำของการเติมปริมาณน้ำดื่มจากวิธีการนี้ การแปลผลคือยิ่งค่า RMSE ที่ได้มีค่าน้อยแสดงว่าโมเดลมีความแม่นยำมาก [15]

3.5) การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness) เป็นวิธีการที่ทำให้รู้ประสิทธิภาพและรู้ถึงสาเหตุของการสูญเสีย (loss) ที่เกิดขึ้นในระบบของเครื่องจักร สามารถแยกการสูญเสียและรายละเอียดของสาเหตุนั้น ทำให้สามารถที่จะปรับปรุงแก้ไข ลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นได้ถูกต้อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การพิจารณาค่าประสิทธิผลการทำงานของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติเพื่อให้ทราบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง [16]-[18] โดยมีรายละเอียดดังนี้

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality \quad (5)$$

อัตราการใช้เครื่อง (Availability) คือประสิทธิภาพที่พิจารณาความพร้อมผลิต ยกตัวอย่างการหยุดที่ทำให้ Availability ลดลง เช่น การหยุดเครื่องจักรโดยไม่ได้วางแผน การเสียของเครื่องจักร การเสียจากการติดตั้งเครื่องจักร ความผิดพลาดจากการเดินเครื่อง เป็นต้น สมการคำนวณแสดงดัง (6)

$$Availability = \frac{Operating Time}{Load Time} \times 100 \quad (6)$$

ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (Performance Efficiency) คือค่าประสิทธิภาพที่พิจารณาจากจำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้เทียบกับขีดความสามารถในการผลิตของเครื่อง ค่า Performance Efficiency จะบอกได้ว่าศักยภาพในการผลิตของเครื่องจักรนั้น ๆ สามารถผลิตได้เต็มกำลังหรือไม่ คำนวณได้ดังสมการที่ (7)

$$Performance Eff = \frac{Good Piece + Bad Piece}{Specification's Capacity Piece} \quad (7)$$

อัตราคุณภาพ (Quality Rate) คือ ค่าประสิทธิภาพที่พิจารณาจากจำนวนชิ้นงานที่ได้จากการผลิต โดยพิจารณาจากชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบว่าเป็นชิ้นงานที่ใช้ได้ เทียบกับจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ผลิตได้ (Actual output) ค่าอัตราคุณภาพจะบอกถึงประสิทธิภาพในด้านคุณภาพของการผลิตชิ้นงานว่าสามารถผลิตชิ้นงานได้โดยไม่มีชิ้นงานชำรุดเสียหาย (Defect) สมการคำนวณแสดงดังสมการที่ (8)

$$Quality Rate = \frac{(Actual output - Defects)}{Actual output} \quad (8)$$

โดยที่ Actual output คือ จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ผลิตได้

Defects คือ จำนวนชิ้นงานที่เสีย

เครื่องจักรที่ดีต้องเป็นเครื่องจักรที่เปิดขึ้นมาแล้วทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เดินเครื่องได้เต็มกำลังความสามารถ

4) ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1) ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ

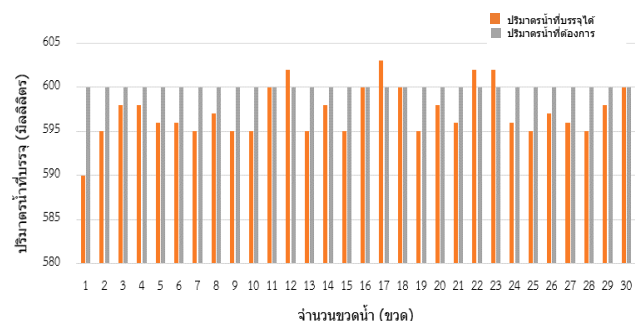
การทดสอบเริ่มจากการหาเวลา (cycle time) ที่เหมาะสมของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติที่สร้างขึ้น การหาเวลานั้นมีความสำคัญต่อระบบการผลิตอัตโนมัติเป็นอย่างมาก หากเราตั้งค่ารอบเวลาเร็วเกินไป ก็อาจจะทำให้ผลผลิตมีค่าความคลาดเคลื่อนสูง หากตั้งรอบเวลาช้าไปก็อาจจะส่งผลให้ได้ผลผลิตไม่ได้ตามจำนวนที่ต้องการ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการหาเวลาที่เหมาะสมของเครื่องโดยรอบเวลาที่เหมาะสมของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติที่สร้างขึ้นแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 : รอบเวลา (Cycle Time) ที่เหมาะสม

สถานะ	เวลาที่ใช้ในการทำงาน (วินาที)
เวลาในการลำเลียงขวดน้ำเข้า	2
เวลาในการบรรจุน้ำ	8
เวลาในการลำเลียงขวดน้ำออก	2
รวมรอบเวลาการทำงาน	12

จากผลการทดสอบในตารางที่ 2 จึงสรุปได้ว่าเครื่องที่สร้างขึ้นมีเวลามาตรฐาน (cycle time) อยู่ที่ 12 วินาที ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับระยะทางการลำเลียงขวดเข้าและออกห่างระยะห่างมากก็จะทำให้เวลานั้นมากขึ้นตามไปด้วย ส่วนเวลาในการบรรจุน้ำนั้นขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของปั้มน้ำที่นำมาใช้หากปั้มน้ำมีขนาดอัตราเร็วสูงก็จะทำให้มีอัตราการบรรจุน้ำได้เร็วขึ้นแต่ปั้มน้ำก็จะมีราคาสูงขึ้นด้วย

รูปที่ 7 แสดงผลปริมาตรการบรรจุน้ำโดยทำการทดสอบจำนวน 30 ขวด พบว่าเครื่องสามารถบรรจุน้ำดื่มและขึ้นฝาขวดได้ครบร้อยละ 100 และค่าปริมาตรเฉลี่ยอยู่ที่ 597.27 มิลลิลิตร



รูปที่ 7 : ทดสอบการบรรจุน้ำของเครื่องจำนวน 30 ขวด

การทดสอบการทำงานของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติใช้มาตรฐานการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยทำการทดสอบทั้งหมด 30

ครั้ง ประกอบด้วย 3 ค่า คือ การหาค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำดื่มที่บรรจุได้ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 : ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ

รายการ	$\bar{X}$	SD	RMSE
ประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ	597.27	2.87	1.95

จากตารางที่ 3 การทดสอบการทำงานของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติใช้มาตรฐานการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำดื่มที่บรรจุได้อยู่ที่ 597.27 มิลลิลิตร และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน อยู่ที่ 2.87 และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง มีค่า 1.95 ถือว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนน้อย

4.2) ผลการทดสอบวัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ

จากการทำงานของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติมีการใช้ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าโดยการใช้เครื่องวัดไฟฟ้า (power meter) และ (clamp meter) วัดค่าทางไฟฟ้าดังไดอะแกรมรูปที่ 6 คือ วัด ณ จุดที่ต่อจากไฟบ้าน ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 : ทดสอบกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะที่เครื่องทำงาน

ขั้นตอนการทำงาน	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
สายพานลำเลียงขวดเปล่า	220	0.142	15.3
กระบวนการบรรจุน้ำ	220	0.265	32.1
สแตมป์มอเตอร์หมุนครั้งที่ 1	220	0.205	23.9
กระบวนการขึ้นฝา	220	0.244	29.3
สแตมป์มอเตอร์หมุนครั้งที่ 2	220	0.189	21.4
สายพานลำเลียงขวดที่มีน้ำ	220	0.159	17.3

จากการทดลองดังกล่าวสรุปได้เมื่อทดลองวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะที่เครื่องทำงานมีขนาดกระแสไหลสูงสุด 0.265 A แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 V_{AC} ดังนั้นจึงทำให้

กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องนี้อยู่ที่ 32.1 วัตต์ จากกระบวนการบรรจุน้ำ

4.3) ผลการวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ

งานวิจัยนี้ได้ทำการคำนวณค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ โดยทำการเดินเครื่องเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเดินเครื่องว่าสามารถเดินเครื่องได้เต็มกำลังความสามารถหรือไม่แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 : การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ

รายการ	ข้อมูล	หน่วย
Shift Time (ระยะเวลาในการผลิต)	360	นาที
Break (เวลาพัก)	60	นาที
Planned Production Time (เวลาการผลิตที่ได้วางแผนไว้)	300	นาที
Downtime	3	นาที
Run Time (เวลาที่เดินการผลิต)	297	นาที
Ideal Run Rate	5	ชิ้น/นาที
Ideal Cycle Time (ความเร็วรอบการทำงานสูงสุด)	0.2	นาที
Total Count จำนวนผลิตทั้งหมด	1,485	ชิ้น
Net Run Time	297	นาที
Reject Count จำนวน Reject (NG)	165	ชิ้น
Good Parts	1,320	ชิ้น
Availability	99.00	%
Performance	100.00	%
Quality	88.89	%
OEE	88.00	%

จากตารางที่เห็นได้ว่าเป็นเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติที่ได้สร้างขึ้นมีค่าอัตราการเดินเครื่อง (Availability %) อยู่ที่ 99% ค่าประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (Performance %) อยู่ที่ 100% อัตราคุณภาพ (Quality Rate) 88.89% และค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness) มีค่า 88.00% เมื่อเทียบกับเครื่องจักรในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปถือว่าเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติมีประสิทธิภาพโดยรวมในระดับดี

4.4) เปรียบเทียบราคาเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติแบบหนึ่งหัวจ่าย

เมื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องเรียบร้อยแล้วผู้วิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบราคาคำนวณทุนการผลิต

กับเครื่องที่วางขายในท้องตลาดผลที่ได้จากการศึกษาแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 : เปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติแบบหนึ่งหัวจ่าย

ชื่อรุ่นผลิตภัณฑ์	อัตราการบรรจุน้ำ (ขวด/นาที)	ราคา (บาท)
G1WTD 100-1000 ML (เครื่องบรรจุน้ำของเหลว 1 หัว แบบมีกรวยบรรจุ) [19]	15-25	27,000
เครื่องบรรจุน้ำของเหลวแบบ 1 หัวจ่าย รุ่น G1WY LIQUID FILLING MACHINE [20]	20	19,990
G1WTD 500-5000 ML (เครื่องบรรจุน้ำของเหลว 1 หัว แบบมีกรวยบรรจุ) [21]	15-25	42,000
เครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติ แบบหนึ่งหัวจ่ายที่คณะผู้วิจัย สร้างขึ้น	8	7,824

จากการเปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติแบบหนึ่งหัวจ่ายพบว่า ต้นทุนการผลิตของเครื่องที่ผู้วิจัยได้ทำการสร้างนั้นมีราคาต่ำที่สุด และมีอัตราการบรรจุน้ำอยู่ที่ 8 ขวดต่อนาที ที่ปริมาตรบรรจุน้ำ 600 มิลลิลิตร และเมื่อเปรียบเทียบอัตราเร็วการบรรจุน้ำจะพบว่าแต่ละรุ่นมีอัตราการบรรจุน้ำที่แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่ต้องการบรรจุหากปริมาณมากก็จะทำให้ใช้เวลาเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

5) สรุปผล

การออกแบบเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์มีวัตถุประสงค์เพื่อนำความรู้ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มาออกแบบวัสดุที่นำมาใช้ในการทำชิ้นงานค่อนข้างแข็งแรง รูปทรงและการออกแบบง่ายต่อการใช้งาน เหมาะสำหรับใช้ศึกษาโครงสร้างการทำงานของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

เมื่อทำการทดสอบการออกแบบเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติควบคุมการทำงานของเครื่องด้วยการนำโปรแกรมโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและสเต็ปมอเตอร์ โดยมีการทำงานเมื่อนำขวดน้ำวางที่สายพานลำเลียงจะส่งขวดไปยังจุดเติมน้ำ เมื่อเติมน้ำ

จนถึงปริมาณที่เหมาะสมจะย้ายขวดน้ำโดยใช้การหมุนจากสเต็ปมอเตอร์ไปทำกระบวนการปิดฝาขวดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและกระบอกลม โดยทำงานเมื่อขวดมาถึงจะทำการสั่งให้กระบอกลมลงมาปิดฝาพร้อมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อทำการปิดฝาให้เข้าเกลียวเมื่อปิดฝาเสร็จ สเต็ปมอเตอร์หมุนเพื่อนำขวดน้ำที่ปิดแล้วไปที่สายพานลำเลียงขาออก ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการทำงานในทุกขั้นตอนมีประสิทธิภาพที่ดี โดยขวดที่จะใช้งานกับตัวเครื่องนี้จะมีขนาดเท่ากับ 600 มิลลิลิตร และมีฝาเกลียวขนาดประมาณ 20-30 มิลลิเมตรจากการทดลองโดยเฉลี่ยมีอัตราการกรอกน้ำ 5 ขวดต่อนาที จากการทดสอบการทำงานของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติโดยใช้เวลา 10 นาที เครื่องสามารถบรรจุน้ำดื่มได้ทั้งหมด 27 ขวด และมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ร้อยละ 14.81 และเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติมีกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 32.1 W ดังนั้น สามารถวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อขวดเท่ากับ 0.6 กิโลวัตต์ชั่วโมง และการทดสอบการทำงานของเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติใช้มาตรฐานการวิเคราะห์ทางสถิติ (analytical statistics) โดยทำการทดสอบทั้งหมด 30 ครั้ง ประกอบด้วย 3 ค่า คือ การหาค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำดื่มที่บรรจุได้อยู่ที่ 597.27 มิลลิลิตร และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD) อยู่ที่ 2.87 และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) มีค่า 1.95 แปลผลว่าเครื่องบรรจุน้ำคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ± 1.95 และเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติที่ได้สร้างขึ้นมีค่าอัตราการเดินเครื่อง (Availability %) อยู่ที่ 99% ค่าประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (Performance %) อยู่ที่ 100% อัตราคุณภาพ (Quality Rate) 88.89% และค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness) มีค่า 88.00% เมื่อเทียบกับเครื่องจักรในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปถือว่าเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติมีประสิทธิภาพโดยรวมในระดับดี และเมื่อเปรียบเทียบราคาต้นทุนเครื่องที่ขายตามท้องตลาดพบว่าราคาต้นทุนต่ำกว่าท้องตลาด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

REFERENCES

- [1] A. Tarantino, "Introduction to Industry 4.0 and Smart Manufacturing," in *Smart Manufacturing: The Lean Six Sigma Way*, New Jersey, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2022, ch. 1, pp. 1–19.
- [2] L. Zhou and Y. Cui, "The application of PLC control technology in electric automation," *Int. J. Frontiers Eng. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 25–30, 2022.
- [3] X. Niu, "Application analysis of PLC technology in electrical engineering automation control," *Foreign Sci. Technol. Periodical Database (Abstract Edition) Eng. Technol.*, pp. 058–059, Aug. 2021, doi: 10.47939/et.v2i8.19.
- [4] N. Tanchiwawong, *PLC System (Programmable Logic Controller System)*. Bangkok, Thailand: Technology Promotion Association (Thailand-Japan) (in Thai), 1998.
- [5] K. Prewthaisong, "Automatic color sorting machine on conveyor systems controlled by arduino," (in Thai), *APHEIT J. (Sci. Technol.)*, vol. 5, no. 1, pp. 15–21, 2016.
- [6] D. Tailor, V. Kamani, A. Ghetiya, and N. Bhatiya, "Object sorting and stacking automation with PLC," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 3S, pp. 197–201, Jul. 2017.
- [7] N. Pipatpaiboon, C. Chaiyakhote, M. Raksamerwong, T. Chiangkhwang, and A. Donmuang, "Design and construction of lid automatic machine for SMEs," (in Thai), *Sakon Nakhon Rajabhat Univ. J.*, vol. 5, no. 9, pp. 109–118, 2013.
- [8] S. Arsaipanich and T. Srinak, "Automatic fish size measurement by image analysis," (in Thai), in *Proc. 1st Conf. Appl. Res. and Develop.*, Bangkok, Thailand, May 2009, pp. 7–12.
- [9] S. Kongsintu, A. Singjan, S. Dumnui, and N. Suksong, "The design of automatic color sorting machine on conveyor systems by arduino color recognition sensor module," (in Thai), *J. Res. Innov. Inst. Vocational Educ. Bangkok*, vol. 1, no. 2, pp. 56–68, 2018.
- [10] K. Chahine and B. Ghazal, "Automatic sorting of solid wastes using sensor fusion," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 6, pp. 4408–4414, Dec. 2017.
- [11] K. Sasidhar, S. F. Hussain, S. A. Safdar, and M. A. Uddin, "Design and development of a plc based automatic object sorting," *Int. J. Res. Scientific Innov.*, vol. 4, no. 12, pp. 2321–2705, Dec. 2017.
- [12] C. Nopphonkrang and P. Tamapan, "Reducing time and increasing the efficiency of bottled water production: Case study of Yang Chum Noi Agricultural Cooperative Plant Limited, Yang Chum Noi District Sisaket Province," (in Thai), *Sci. Technol. J. Sisaket Rajabhat Univ.*, vol. 2, no. 2, pp. 32–42, 2022.
- [13] C. Ruangraksa and P. Sanposh, "Design of automatic soup filling machine," (in Thai), *Srinakharinwirot Univ. Eng. J.*, vol. 18, no. 2, pp. 17–30, 2023.
- [14] J. Phasadutharn, P. Dumrongchai, and C. Satirapod, "Performance test of geodetic GNSS receiver with mems and IMU sensors using network-based GNSS RTK method," (in Thai), in *Proc. 27th Nat. Conv. Civil Eng.*, Chiang Rai, Thailand, Aug. 2022, pp. 161–169.
- [15] P. Dawan *et al.*, "Comparison of power output forecasting on the photovoltaic system using adaptive neuro-fuzzy inference systems and particle swarm optimization-artificial neural network model," *Energies*, vol. 13, no. 2, p. 351, 2020, doi: 10.3390/en13020351.
- [16] T. Ouypornkochagorn, "Spy OEE: A novel method for getting OEE by operating time characteristic," (in Thai), *Romphruek J.*, vol. 30, no. 1, pp. 1–24, 2012.
- [18] L. C. Ng Corrales, M. P. Lambán, M. E. Hernandez Korner, and J. Royo, "Overall equipment effectiveness: systematic literature review and overview of different approaches," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 18, p. 6469, 2020, doi: 10.3390/app10186469.