

การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบรรจุถุงเท้าซิลิโคนอัตโนมัติ Improving Efficiency of Automatic Silicone Sock Packing Machine

ณัฐวิภา ชินบุตร, เมธาสิทธิ์ ดัชฎยาวัตร และ สายสุนี พ่วงน้อย*

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติและหุ่นยนต์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

Natthawipha Chinnabut, Methasit Datthuyawat and Saisunee Pungnoiy*

Automation and Robotics Engineering, Department of Electrical Engineering,

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep,

2 Nanglinchee Road, Thungmahamek, Sathorn, Bangkok 10120, Thailand.

* Corresponding author: e-mail Saisunee.p@mail.rmuk.ac.th

(Received: May 03, 2024 / Revised: June 20, 2024 / Accepted: June 26, 2024)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบรรจุถุงเท้าซิลิโคนอัตโนมัติ โดยการปรับปรุงโครงสร้างทางกล ระบบนิวเมติกส์ และระบบควบคุมให้ทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ร่วมกับเซนเซอร์อินฟราเรด เพื่อประมวลผลสัญญาณและควบคุมการทำงานของกระบอกลมให้สัมพันธ์กันในแต่ละรอบของกระบวนการบรรจุ การทดลองดำเนินการภายใต้สภาพการผลิตจริง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแรงงานคน เครื่องจักรรุ่นก่อนการปรับปรุง และเครื่องจักรรุ่นที่ได้รับการปรับปรุง ผลการทดสอบพบว่าเครื่อง สามารถลดเวลาเฉลี่ยต่อรอบจาก 18.5 วินาที เหลือเพียง 8.7 วินาที และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้ร้อยละ 53.11 เมื่อเทียบกับการบรรจุด้วยแรงงานคน การปรับปรุงดังกล่าวช่วยเพิ่มความแม่นยำ ลดข้อผิดพลาดจากการทำงานซ้ำซ้อน และเพิ่มความต้องการของกระบวนการผลิต แนวทางการพัฒนานี้สามารถประยุกต์ใช้กับระบบบรรจุอัตโนมัติในอุตสาหกรรมสิ่งทออื่น ๆ เพื่อยกระดับประสิทธิภาพและคุณภาพของการผลิตได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: เครื่องบรรจุถุงเท้าซิลิโคนอัตโนมัติ, ระบบควบคุมอัตโนมัติ, นิวเมติกส์, ประสิทธิภาพการทำงาน

Abstract

This study aims to enhance the operational efficiency of an automatic silicone sock packing machine by improving its mechanical structure, pneumatic system, and control integration. The developed control system employs microcontroller in conjunction with infrared (IR) sensors to process signals and synchronize the operation of pneumatic cylinders in each packing cycle. Experimental testing was conducted under actual production conditions, comparing the performance of manual operation, the original machine, and the improved machine. The results reveal that the improved machine model reduced the average

packing time per cycle from 18.5 seconds to 8.7 seconds and increased overall efficiency by 53.11% compared with manual operation. The enhancement not only improved accuracy and reduced human-related errors but also ensured continuous and reliable production. The proposed development approach can be further applied to other automatic packing systems in the textile industry to sustainably improve productivity and product quality.

Keywords: Automatic silicone sock packing machine, Automatic control system, Pneumatics, Working efficiency

1. บทนำ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา อุตสาหกรรมสิ่งทอได้เผชิญกับการแข่งขันอย่างเข้มข้นทั้งในด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ ความเร็วในการผลิต และต้นทุนแรงงาน (Tewari, 2006), (Wang, 2011) ความต้องการของตลาดโลกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทำให้ผู้ประกอบการจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Grobis, 2023), (Slack, 2005) ระบบอัตโนมัติและเทคโนโลยีการควบคุมจึงกลายเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันของอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยเฉพาะในยุคของ อุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0) ซึ่งเน้นการบูรณาการระบบดิจิทัลเข้ากับการผลิตจริง (Jindal, 2021), (Nayak, 2017), (Patnaik, 2018)

ในบริบทของสายการผลิตสิ่งทอ งานวิจัยจำนวนมากชี้ให้เห็นว่าการใช้ระบบอัตโนมัติช่วยลดระยะเวลาการทำงาน เพิ่มความสม่ำเสมอของคุณภาพ และลดความผิดพลาดจากมนุษย์ได้อย่างมีนัยสำคัญ (Adeyemo, 2024) อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนการบรรจุผลิตภัณฑ์ยังคงเป็นส่วนที่พึ่งพาแรงงานคนเป็นหลัก โดยเฉพาะในกระบวนการบรรจุถุงเท้าซิลิโคน ซึ่งต้องอาศัยความละเอียดและความสม่ำเสมอสูง หากขาดการควบคุมที่เป็นระบบ มักเกิดปัญหาความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งถุง การสูญเสียเวลาในการจัดเรียง และความเหนื่อยล้าของแรงงาน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพและประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตโดยรวม (Li, 2011)

เพื่อตอบสนองต่อข้อจำกัดดังกล่าว นักวิจัยได้ให้ความสนใจในการพัฒนาเครื่องจักรอัตโนมัติที่สามารถทำงานซ้ำได้อย่างแม่นยำและมีความเร็วคงที่ โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น Arduino ซึ่งมีข้อดีด้านความยืดหยุ่น ราคาไม่สูง และสามารถโปรแกรมให้ควบคุมอุปกรณ์นิวเมติกส์ (Pneumatic Devices) และเซนเซอร์ได้อย่างแม่นยำ (Gupta, 2020), การใช้เซนเซอร์อินฟราเรด (Infrared Sensor) และระบบนิวเมติกส์ร่วมกันช่วยให้สามารถตรวจจับตำแหน่งและควบคุมการเคลื่อนไหวของกลไกได้อย่างต่อเนื่อง ช่วยลดการหน่วงเวลาในแต่ละรอบของการทำงาน (Gupta, 2020), (K, 2023)

ในด้านการออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ การใช้วงจรนิวเมติกส์ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้นำมาใช้ในกระบวนการผลิตสิ่งทอหลากหลายประเภท เช่น ระบบป้อนผ้า (Fabric Feeding System) ระบบตัดเย็บอัตโนมัติ (Automated Sewing System) และระบบบรรจุภัณฑ์ (Packaging System) (Zhang, 2023) การประยุกต์แนวคิดนี้กับกระบวนการบรรจุถุงเท้าจึงเป็นการต่อยอดเชิงเทคนิคที่มีศักยภาพสูง เพราะ

ช่วยเพิ่มความต่อเนื่องของกระบวนการผลิต ลดข้อผิดพลาดจากแรงงาน และยกระดับมาตรฐานคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้คงที่มากขึ้น (Hafiz, 2024)

แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการนำเครื่องจักรอัตโนมัติหลากหลายประเภทมาใช้ในการสายการผลิตสิ่งทอ แต่เครื่องบรรจุถุงเท้าส่วนใหญ่ยังคงใช้ระบบควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งมีข้อจำกัดทั้งในด้านความเร็ว การตอบสนองของระบบ และความแม่นยำของตำแหน่งชิ้นงาน การออกแบบระบบให้เป็นแบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบจึงเป็นแนวทางที่มีความสำคัญ เพราะสามารถเพิ่มอัตราการผลิต ลดต้นทุนแรงงาน และลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Li, 2019), (Luan, 2024), (Thangatamilan, 2024)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องบรรจุถุงเท้าซิลิโคนอัตโนมัติให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยออกแบบระบบควบคุมให้ประสานการทำงานระหว่างอุปกรณ์นิวเมติกส์ เช่น เซอร์วો อินฟราเรด และไมโครคอนโทรลเลอร์ให้สอดคล้องกับลำดับกระบวนการผลิตจริง พร้อมทั้งทำการประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่ปรับปรุงแล้วกับเครื่องจักรรุ่นเดิมและแรงงานคน เพื่อแสดงให้เห็นถึงแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบรรจุอัตโนมัติในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการผลิตอื่นที่ต้องการความแม่นยำและความสม่ำเสมอสูงได้ต่อไป

2. ระเบียบวิธีวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบ พัฒนา และประเมินประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุถุงเท้าซิลิโคนอัตโนมัติ โดยแบ่งขั้นตอนหลักออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ (1) การวิเคราะห์กระบวนการผลิตและปัญหาในสายการผลิตจริง (2) การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ (3) การพัฒนาระบบควบคุมและโปรแกรมการทำงาน และ (4) การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ ทั้งนี้ รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

2.1 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ (System Analysis and Design)

การดำเนินงานวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการบรรจุถุงเท้าซิลิโคนในสายการผลิตจริงของบริษัท ถุงเท้าไทย จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ เพื่อระบุปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเดิมซึ่งใช้แรงงานคนเป็นหลัก พบว่าการหยิบ จัดเรียง และบรรจุถุงเท้าใช้เวลานาน และมีความไม่สม่ำเสมอของตำแหน่งการจัดเรียง ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตโดยรวมลดลง

ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการกำหนด แนวคิดการออกแบบเครื่องบรรจุถุงเท้าซิลิโคนอัตโนมัติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เครื่องสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง มีความแม่นยำสูง และลดข้อผิดพลาดจากการทำงานของมนุษย์ ระบบที่ออกแบบประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่

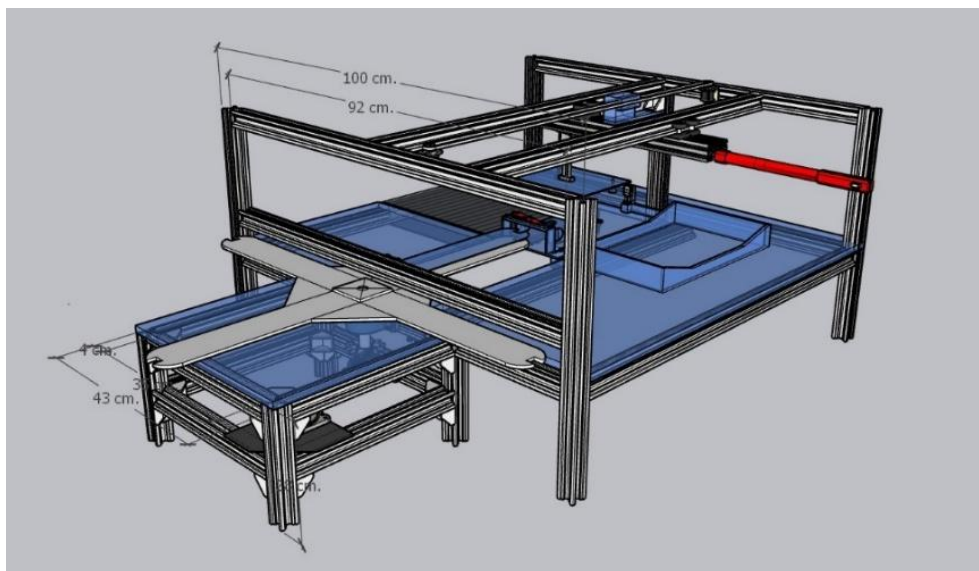
2.1.1 ระบบขับเคลื่อนเชิงกล (Mechanical Drive System) ใช้โครงสร้างแบบจานหมุน (Rotary Table) สำหรับวางถุงเท้า และกระบอกลมแบบ Double Acting Cylinder เพื่อควบคุมการหยิบ-วางถุงเท้าในแต่ละรอบการบรรจุ โดยเลือกใช้กระบอกลมขนาด 10 ซม. เพื่อให้ได้แรงผลักเพียงพอต่อการขับเคลื่อนชิ้นงานและตอบสนองรวดเร็วในรอบการทำงาน

2.1.2 ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Control System) ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นหน่วยควบคุมกลาง โดยรับสัญญาณจากเซนเซอร์อินฟราเรด (Infrared Sensor) สำหรับตรวจจับตำแหน่งของจานหมุนและส่ง

คำสั่งควบคุมการเปิด-ปิดโซลินอยด์วาล์วของระบบนิวเมติกส์ (Pneumatics System) เพื่อให้กระบอกลมและตัวหนีบ (Gripper) ทำงานตามลำดับขั้นตอนที่กำหนด

2.1.3 ระบบตรวจจับและความปลอดภัย (Sensing and Safety System) ใช้เซนเซอร์อินฟราเรดชนิด Digital Output ตรวจจับการวางถุงเท้าและตำแหน่งของจานหมุนเพื่อป้องกันการทำงานซ้ำหรือทับซ้อนในระหว่างการบรรจุ พร้อมติดตั้งปุ่มหยุดฉุกเฉิน (Emergency Stop) เพื่อความปลอดภัยในการทดสอบและใช้งานจริง

กระบวนการออกแบบใช้การจำลองแบบสามมิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดขนาดและตำแหน่งของชิ้นส่วนต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งานจริงภายในโรงงาน โดยใช้เครื่องบรรจุแบบเดิมเป็นต้นแบบในการปรับปรุงโครงสร้างและเพิ่มระบบควบคุมอัตโนมัติ



รูปที่ 1 แบบจำลองสามมิติของเครื่องบรรจุถุงเท้าซิลิโคนอัตโนมัติ

2.2 การพัฒนาระบบเครื่องบรรจุ (System Development)

การพัฒนาเครื่องบรรจุถุงเท้าซิลิโคนอัตโนมัติเริ่มต้นจากการสร้างต้นแบบตามแนวคิดการออกแบบในหัวข้อ 2.1 โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้จริงภายใต้สภาพการผลิตในโรงงาน และมีความเสถียรต่อการทำงานซ้ำหลายรอบ การออกแบบเชิงกลและระบบควบคุมถูกดำเนินการควบคู่กัน เพื่อให้โครงสร้างทางกลและวงจรควบคุมสามารถทำงานประสานกันอย่างต่อเนื่องในแต่ละรอบการบรรจุ

เครื่องต้นแบบถูกสร้างจากวัสดุโครงสร้างเหล็กกล้าและอะคริลิก เพื่อให้มีความแข็งแรงและน้ำหนักเบาเหมาะกับการติดตั้งอุปกรณ์นิวเมติกส์และเซนเซอร์ในตำแหน่งที่ต้องการ ความสูงและพื้นที่ฐานของเครื่องถูกกำหนดให้สอดคล้องกับระดับสายพานลำเลียงของกระบวนการผลิตจริงในสถานประกอบการที่ทำการศึกษา

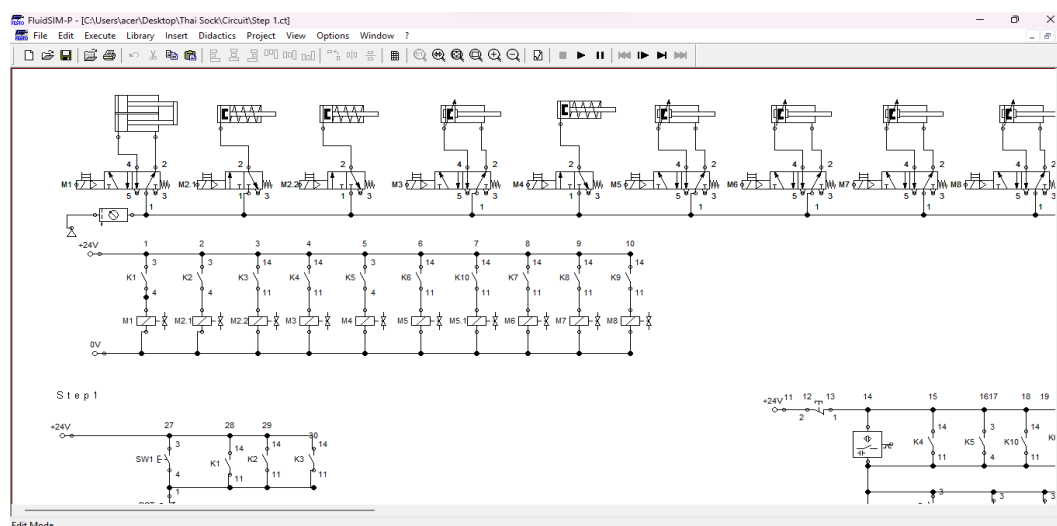
การสร้างและประกอบเครื่องประกอบด้วยสามส่วนหลัก ดังนี้

2.2.1 โครงสร้างทางกล (Mechanical Structure) ส่วนประกอบหลักของเครื่องคือจานหมุน (Rotary Table) สำหรับวางถุงเท้า ซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เกียร์และมีช่องจัดเรียงถุงเท้าตามตำแหน่งกำหนด เพื่อรองรับ

การทำงานของระบบหีบและวางโดยใช้กระบอกลมแบบ Double Acting Cylinder ขนาด 10 เซนติเมตร กระบอกลมชนิดนี้ถูกเลือกใช้เนื่องจากสามารถให้แรงผลักดันที่คงที่และตอบสนองรวดเร็ว เหมาะสำหรับการทำงานซ้ำแบบรอบต่อรอบในงานบรรจุ

2.2.2 ระบบนิวเมติกส์และอุปกรณ์ตรวจจับ (Pneumatics and Sensing System) ระบบนิวเมติกส์ใช้โซลินอยด์วาล์วชนิด 5/2 ทาง ร่วมกับแหล่งจ่ายลมแรงดัน 0.5 เมกะปาสคาล เพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวของกระบอกลมแต่ละตัว ได้แก่ กระบอกลมสำหรับหีบและถ่างปากถุง รวมถึงชุดกระบอกลมสำหรับดันถุงเท้าเข้าในถุงพลาสติก เซนเซอร์อินฟราเรด (Infrared Sensor) ชนิด Digital Output ถูกติดตั้งไว้ในตำแหน่งตรวจจับจานหมุนและบริเวณหนีบถุง เพื่อส่งสัญญาณสถานะการทำงานไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

2.2.3 ระบบควบคุม (Control System) ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการรับ-ส่งสัญญาณจากเซนเซอร์และควบคุมโซลินอยด์วาล์วให้สอดคล้องกับลำดับขั้นตอนของการบรรจุ โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมดำเนินการบนแพลตฟอร์ม Arduino IDE ซึ่งสามารถปรับปรุงคำสั่งและจังหวะเวลาการทำงานของอุปกรณ์ได้อย่างยืดหยุ่น



รูปที่ 2 แผนผังของระบบบรรจุอัตโนมัติที่แสดงเซ็นเซอร์ IR กระบอกลม

ตัวควบคุม Arduino และวาล์วโซลินอยด์

การรวมระบบเชิงกลเข้ากับระบบควบคุมถูกออกแบบให้ทำงานสอดคล้องกันในแต่ละรอบของการบรรจุ โดยแผนผังการทำงานของระบบแสดงใน รูปที่ 2 ซึ่งอธิบายลำดับการไหลของสัญญาณควบคุมจากเซนเซอร์อินฟราเรดไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino และต่อไปยังโซลินอยด์วาล์ว เพื่อควบคุมการทำงานของกระบอกลมและกลไกหนีบถุงเท้าให้เป็นไปตามลำดับขั้นตอนที่กำหนด

จากรูปที่ 2 สามารถอธิบายการเชื่อมโยงของระบบได้เป็นสามชั้นหลัก คือ 1)ชั้นตรวจจับ (Sensing Layer): เซนเซอร์อินฟราเรดตรวจจับตำแหน่งของจานหมุนและสถานะการวางถุงเท้า 2) ชั้นควบคุม (Control Layer): Arduino ประมวลผลสัญญาณจากเซนเซอร์และส่งคำสั่งไปยังโซลินอยด์วาล์ว 3) ชั้นขับเคลื่อน

(Actuation Layer): โซลินอยด์วาล์วควบคุมการเปิด-ปิดลมเข้าสู่กระบอกลมเพื่อสั่งให้ตัวหนีบและอุปกรณ์ต่าง ๆ ทำงานตามลำดับ เพื่อลดข้อผิดพลาดในการเชื่อมต่อและเพิ่มความสะดวกในการซ่อมบำรุง การเดินสายไฟและท่อลมถูกจัดเก็บในรางสายไฟอย่างเป็นระเบียบ พร้อมติดตั้งแผงควบคุมที่ด้านหน้าเครื่อง ซึ่งประกอบด้วยปุ่มเริ่มทำงาน (Start), ปุ่มหยุด (Stop) และปุ่มหยุดฉุกเฉิน (Emergency Stop) เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน

ตารางที่ 1 รายการอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องต้นแบบ

ลำดับ	อุปกรณ์	รายละเอียด	หน้าที่หลัก
1	Arduino Uno R3	ไมโครคอนโทรลเลอร์	หน่วยควบคุมกลางของระบบ
2	IR Sensor (Digital Type)	เซนเซอร์อินฟราเรด ตรวจจับตำแหน่ง	ตรวจจับตำแหน่งของจานหมุน และสถานะถุงเท้า
3	Solenoid Valve 5/2 Way	วาล์วควบคุมลมแรงดัน	เปิด-ปิดการจ่ายลมเข้าสู่ กระบอกลม
4	Double Acting Cylinder (10 cm)	กระบอกลมคู่	ขับเคลื่อนกลไกต่าง ๆ และ หนีบถุงเท้า
5	Gear Motor	มอเตอร์เกียร์	หมุนจานวางถุงเท้าในแต่ละ รอบการบรรจุ
6	Air Compressor 0.5 MPa	เครื่องอัดลม	จ่ายแรงดันอากาศให้กับระบบ นิวเมติกส์
7	Emergency Stop Switch	ปุ่มหยุดฉุกเฉิน	ตัดการทำงานของระบบเพื่อ ความปลอดภัย

การติดตั้งระบบทั้งหมดดำเนินการตามแผนผังในภาพที่ 2 เพื่อให้เครื่องบรรจุสามารถทำงานแบบอัตโนมัติครบวงจร ตั้งแต่การตรวจจับถุงเท้า การควบคุมลำดับการบรรจุ ไปจนถึงการหยุดการทำงานเมื่อกระบวนการเสร็จสิ้น รายละเอียดของการพัฒนาโปรแกรมควบคุมจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

2.3 การพัฒนาโปรแกรมควบคุม (Control System Programming)

ระบบควบคุมของเครื่องบรรจุถุงเท้าซิลิโคนอัตโนมัติถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถสั่งการอุปกรณ์ทุกส่วนให้ทำงานสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่องในแต่ละรอบการบรรจุ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 เป็นหน่วยควบคุมหลัก (Central Controller) ในการรับ-ส่งสัญญาณระหว่างเซนเซอร์อินฟราเรด (Infrared Sensor) โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) และกระบอกลม (Pneumatic Cylinder) เพื่อให้การเคลื่อนไหวของระบบเป็นไปตามลำดับขั้นตอนที่กำหนด การพัฒนาโปรแกรมควบคุมดำเนินการบนแพลตฟอร์ม Arduino IDE โดยใช้ภาษา C ซึ่งแบ่งโครงสร้างการทำงานออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่

2.3.1 ส่วนกำหนดค่าเริ่มต้นของระบบ (System Initialization) ใช้สำหรับกำหนดพอร์ตอินพุต-เอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยพอร์ตอินพุตรับสัญญาณจากเซนเซอร์อินฟราเรด ส่วนพอร์ตเอาต์พุตควบคุมรีเลย์และโซลินอยด์วาล์ว รวมถึงมอเตอร์เกียร์ที่ใช้หมุนจานวางถุงเท้า เมื่อตรวจสอบว่าระบบอยู่ในสถานะพร้อมทำงาน โปรแกรมจะเข้าสู่รูปแบบการทำงานอัตโนมัติ

2.3.2 ส่วนลำดับการทำงานหลัก (Main Control Loop) เป็นการประมวลผลลูปคำสั่งเพื่อให้ระบบทำงานซ้ำในแต่ละรอบของการบรรจุ โดยอาศัยสัญญาณจากเซนเซอร์อินฟราเรดเป็นเงื่อนไขในการเริ่มลำดับการทำงาน เมื่อเซนเซอร์ยืนยันตำแหน่งพร้อม โปรแกรมจะสั่งการให้โซลินอยด์วาล์วตัวแรกเปิดเพื่อขับเคลื่อนลูกกลิ้งจากปากถุง จากนั้นส่งโซลินอยด์วาล์วตัวที่สองเพื่อดันถุงเท้าเข้าในถุง และหมุนจานวางถุงไปยังตำแหน่งถัดไปโดยอัตโนมัติ กระบวนการนี้จะวนซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้รับสัญญาณหยุด (Stop) หรือหยุดฉุกเฉิน (Emergency Stop)

2.3.3 ส่วนตรวจสอบความปลอดภัย (Safety and Error Detection) โปรแกรมควบคุมมีการเพิ่มฟังก์ชันตรวจสอบสถานะของระบบในแต่ละรอบการทำงาน เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการทำงานซ้ำซ้อนหรือแรงดันลมไม่เพียงพอ หากพบว่าค่าที่อ่านจากเซนเซอร์ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข หรือแรงดันลมต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ระบบจะหยุดทำงานโดยอัตโนมัติ พร้อมแสดงไฟเตือนบนแผงควบคุม ผู้ปฏิบัติงานสามารถกดปุ่ม Emergency Stop เพื่อหยุดระบบได้ทันที

ลำดับการทำงานของโปรแกรมควบคุมโดยรวมแสดงใน รูปที่ 3 ซึ่งแสดงโครงสร้างตรรกะของการสั่งงานจากการตรวจจับสัญญาณจนถึงการบรรจุเสร็จสมบูรณ์ในแต่ละรอบ การทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถอธิบายตามลำดับขั้นตอนจากแผนผังการทำงาน (Flowchart) ได้ดังนี้

1) การเริ่มต้นและตรวจสอบระบบ (System Initialization & Pre-check) เมื่อเริ่มต้นการทำงาน ระบบจะกำหนดค่าเริ่มต้นของอุปกรณ์ Input/Output และตรวจสอบสถานะปุ่มหยุดฉุกเฉิน จากนั้นจะตรวจสอบความพร้อมของแรงดันลม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานของกระบอกสูบ หากแรงดันลมไม่ปกติ ระบบจะส่งสัญญาณเตือนและหยุดการทำงานทันทีเพื่อความปลอดภัย

2) การตรวจสอบสถานะพร้อมทำงาน (Condition Sensing) หลังจากระบบพร้อมทำงาน จะเข้าสู่สถานะรอ (Standby) โดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรด 2 ตัวในการตรวจสอบเงื่อนไขสำคัญ 2 ประการ คือ:

- ตำแหน่งของโต๊ะหมุน: ตรวจสอบว่าโต๊ะหมุนอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องพร้อมสำหรับการบรรจุหรือไม่
- การมีอยู่ของชิ้นงาน: ตรวจสอบว่ามีถุงเท้าวางอยู่ ณ ตำแหน่งบรรจุหรือไม่

ระบบจะหยุดรอจนกว่าเงื่อนไขทั้งสองข้อนี้จะเป็นจริง จึงจะเริ่มกระบวนการถัดไป

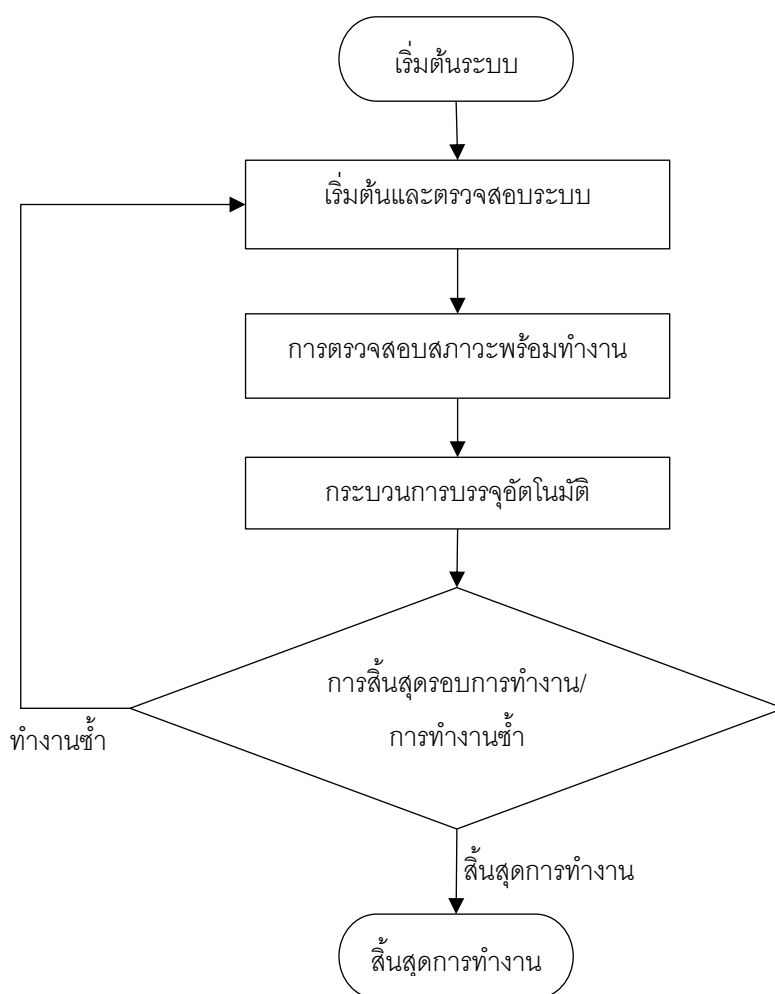
3) กระบวนการบรรจุอัตโนมัติ (Actuation Process) เมื่อเงื่อนไขต่างๆ ครบถ้วน ระบบจะเริ่มกระบวนการบรรจุชิ้นงานลงในบรรจุภัณฑ์ตามลำดับดังนี้:

3.1) สั่งงาน โซลินอยด์วาล์ว A เพื่อให้กระบอกสูบที่หนึ่งทำงาน (ขยายถุงบรรจุภัณฑ์) และหน่วงเวลา 0.8 วินาที

3.2) สั่งงาน โซลีนอยด์วาล์ว B เพื่อให้กระบอกสูบทั้งสองทำงาน (ดันถุงเท้าเข้าไปในถุง) และ
 หน่วงเวลา 1.0 วินาที

3.3) คืนค่าโซลีนอยด์วาล์ว A และ B ทำให้กระบอกสูบทั้งสองกลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้น สั่งงาน
 มอเตอร์เพื่อ หมุนโต๊ะ ไปยังช่องบรรจุถัดไป และ เพิ่มค่าตัวนับจำนวน (Counter) ขึ้น 1

4) การสิ้นสุดรอบและการทำงานซ้ำ (Cycle Completion & Loop) หลังจากจบกระบวนการบรรจุ 1
 รอบ ระบบจะตรวจสอบสถานะ ปุ่มหยุด (Stop) และ ปุ่มหยุดฉุกเฉิน (Emergency Stop) หากไม่มีการกดปุ่มใดๆ
 ระบบจะวนกลับไปขั้นตอนที่ 1 (การตรวจสอบแรงดันลม) เพื่อเริ่มรอบการทำงานถัดไปโดยอัตโนมัติ แต่หากมี
 การกดปุ่ม ระบบจะหยุดการทำงานทั้งหมดทันที



รูปที่ 3 แผนภูมิลำดับการทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัติ

(Flowchart of Automatic Control Sequence)

หลักการออกแบบโปรแกรมควบคุม การเขียนโปรแกรมถูกออกแบบให้มีความยืดหยุ่นต่อการปรับค่าการ
 หน่วงเวลา (Delay Time) เพื่อให้เหมาะสมกับความเร็วของระบบนิวเมติกส์และชนิดของถุงเท้าที่ใช้บรรจุ
 นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มเติมฟังก์ชันเสริมได้ เช่น การนับจำนวนรอบบรรจุอัตโนมัติ หรือการแสดงสถานะการ

ทำงานผ่านจอแสดงผล (HMI) เพื่อรองรับการขยายระบบในอนาคต ระบบควบคุมที่พัฒนาแล้วได้รับการทดสอบในสภาพการผลิตจริง พบว่าสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีความเสถียรสูง ไม่มีการทำงานซ้ำซ้อนของกระบอกลมหรือการหน่วงเวลาที่ผิดปกติ ทั้งนี้ รายละเอียดของการทดสอบและการประเมินผลการดำเนินงานจะนำเสนอในหัวข้อถัดไป

2.4 การทดสอบและประเมินผล (Testing and Evaluation)

การทดสอบเครื่องต้นแบบดำเนินการภายใต้สภาพการผลิตจริงในโรงงาน โดยใช้ถุงเท้าซิลิโคนชนิดเดียวกับที่ใช้ในสายการผลิตเพื่อให้ผลการทดสอบมีความใกล้เคียงกับการใช้งานจริง การเก็บข้อมูลทำโดยบันทึกเวลาเฉลี่ยต่อรอบของการบรรจุถุงเท้าแต่ละคู่ และเปรียบเทียบกับระยะเวลาเฉลี่ยของแรงงานคนและเครื่องบรรจุแบบเดิม จากนั้นคำนวณร้อยละของประสิทธิภาพการทำงานด้วยสมการที่ 1

$$\text{Efficiency (\%)} = \frac{T_{\text{manual}}}{T_{\text{machine}}} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ T_{manual} คือเวลาเฉลี่ยต่อคู่ของแรงงานคน และ T_{machine} คือเวลาเฉลี่ยต่อคู่ของเครื่องอัตโนมัติ การทดลองแต่ละแบบทำซ้ำหลายรอบเพื่อให้ผลลัพธ์มีความน่าเชื่อถือ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์และนำเสนอในรูปแบบตารางและกราฟ เพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มของประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละวิธี

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การเปรียบเทียบเวลาการทำงานของกระบวนการบรรจุ

การทดสอบดำเนินการภายใต้สภาพการผลิตจริงของบริษัท ถุงเท้าไทย จำกัด โดยเปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยต่อรอบของกระบวนการบรรจุถุงเท้าในสามรูปแบบ ได้แก่

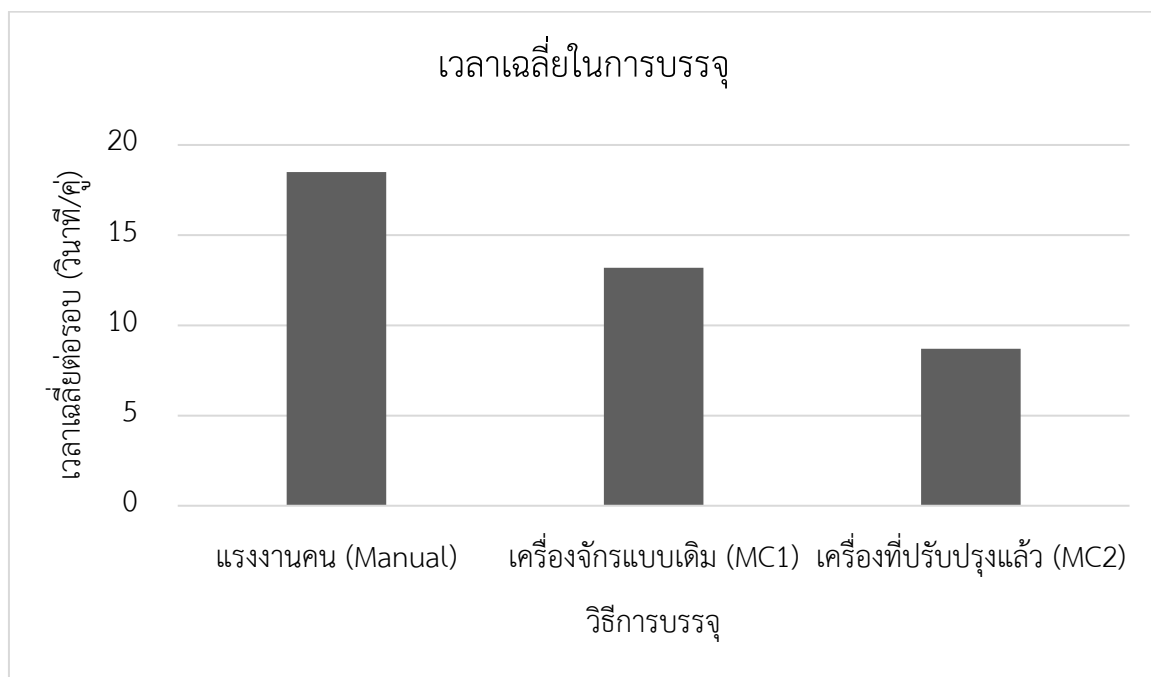
- 1) แรงงานคน (Manual Operation),
- 2) เครื่องบรรจุถุงเท้าซิลิโคนรุ่นเก่า (MC1), และ
- 3) เครื่องบรรจุถุงเท้าซิลิโคนที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว (MC2)

จากการเก็บข้อมูลพบว่า เครื่อง MC2 สามารถลดเวลาการทำงานต่อรอบได้อย่างชัดเจน เนื่องจากระบบควบคุมอัตโนมัติที่พัฒนาใหม่ทำให้การทำงานของเซนเซอร์อินฟราเรด (IR Sensor) และกระบอกลม (Cylinder) ทำงานสัมพันธ์กันมากขึ้น ส่งผลให้การเคลื่อนไหวของกลไกเป็นไปอย่างต่อเนื่องและมีเสถียรภาพ

ตารางที่ 1 เวลาเฉลี่ยต่อรอบการบรรจุถุงเท้าแต่ละวิธี

วิธีการบรรจุ	เวลาเฉลี่ยต่อรอบ (วินาที/คู่)
แรงงานคน (Manual)	18.5
เครื่องจักรแบบเดิม (MC1)	13.2
เครื่องที่ปรับปรุงแล้ว (MC2)	8.7

จากข้อมูลในตารางที่ 1 พบว่าเครื่อง MC2 สามารถลดเวลาการบรรจุได้มากกว่า 50% เมื่อเทียบกับแรงงานคน และลดได้ประมาณ 34% เมื่อเทียบกับเครื่องรุ่นเก่า (MC1) แสดงให้เห็นว่าการออกแบบระบบควบคุมใหม่และการปรับปรุงโครงสร้างกลไกช่วยลดระยะเวลาระหว่างขั้นตอนการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**รูปที่ 4** กราฟเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยต่อรอบการบรรจุถุงเท้าแต่ละวิธี

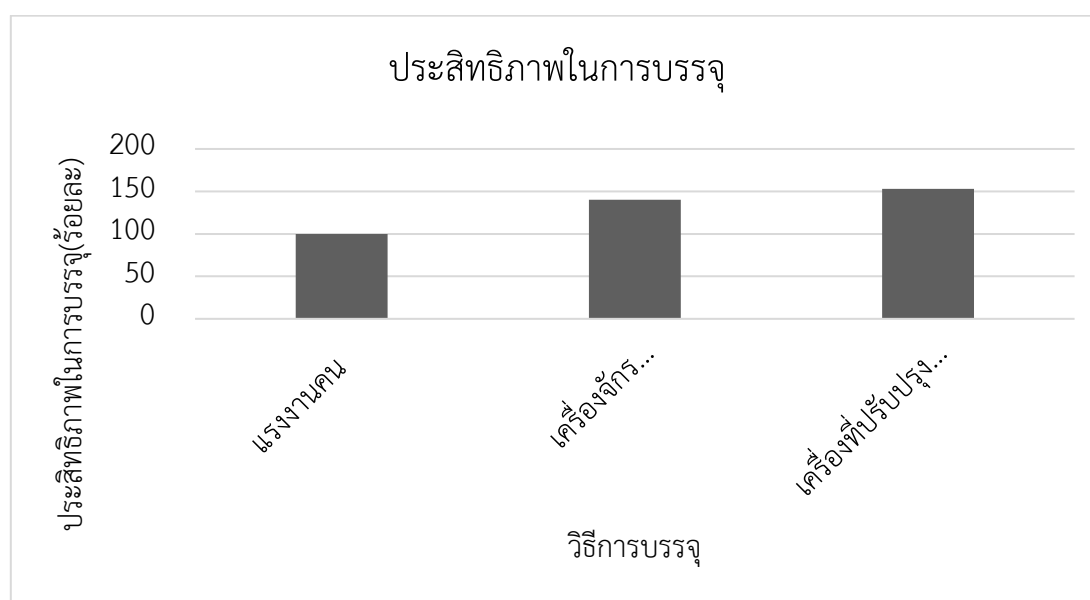
3.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน (%Efficiency)

เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องจักรในเชิงปริมาณ ได้คำนวณร้อยละของประสิทธิภาพการทำงานโดยอ้างอิงจากสูตรในหัวข้อ 2.4 ผลการคำนวณสรุปในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ร้อยละของประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละวิธี

วิธีการบรรจุ	ประสิทธิภาพการทำงาน (%)
แรงงานคน (Manual)	100.00
เครื่องจักรแบบเดิม (MC1)	140.15
เครื่องที่ปรับปรุงแล้ว (MC2)	153.11

จากตารางที่ 2 พบว่าเครื่อง MC2 มีประสิทธิภาพสูงกว่าแรงงานคน ร้อยละ 53.11 และสูงกว่าเครื่องเดิม ร้อยละ 13 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการพัฒนาในส่วนของระบบควบคุมอัตโนมัติ การเพิ่มความแม่นยำของเซนเซอร์ และการลดเวลาการหมุนของกระบอกกลม มีผลโดยตรงต่อการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบร้อยละประสิทธิภาพการทำงานของแรงงานคน เครื่องจักรเดิม และเครื่องจักรที่ปรับปรุงแล้ว

3.3 การอภิปรายผล

ผลการทดลองยืนยันว่าเครื่องบรรจุถุงเท้าซิลิโคนที่ได้รับการปรับปรุง (MC2) สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีเสถียรภาพมากกว่าเครื่องรุ่นเก่า (MC1) และการบรรจุด้วยแรงงานคน ระบบควบคุมที่พัฒนาใหม่ช่วยลดระยะเวลาระหว่างการตรวจจับและสั่งการอุปกรณ์นิวเมติกส์ ส่งผลให้กระบวนการบรรจุเป็นไปตามลำดับขั้นตอนที่แม่นยำโดยไม่เกิดการรบกวนระหว่างรอบการทำงาน

การลดเวลาการบรรจุในแต่ละรอบไม่เพียงช่วยเพิ่มกำลังการผลิต แต่ยังช่วยลดความเหนื่อยล้าของแรงงานและลดข้อผิดพลาดจากความไม่สม่ำเสมอของมนุษย์ เช่น การจัดวางไม่ตรงตำแหน่งหรือการหน่วงเวลา

เกินจำเป็น นอกจากนี้ระบบควบคุมที่มีการตรวจจับสถานะด้วยเซนเซอร์ยังเพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน โดยระบบจะหยุดอัตโนมัติเมื่อเกิดความผิดปกติ เช่น แรงดันลมต่ำหรือไม่มีถุงเท้าในตำแหน่งบรรจุ

ผลลัพธ์โดยรวมชี้ให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติร่วมกับเทคโนโลยีเซนเซอร์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกระบวนการที่ต้องทำงานซ้ำและต้องการความแม่นยำสูง การพัฒนาเครื่องบรรจุถุงเท้าซิลิโคนอัตโนมัติในโครงการนี้จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการยกระดับกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอให้มีมาตรฐานสูงขึ้น ทั้งในด้านประสิทธิภาพ คุณภาพ และความปลอดภัยของการทำงาน

4. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องบรรจุถุงเท้าซิลิโคนอัตโนมัติให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ผ่านการปรับปรุงโครงสร้างทางกลและระบบควบคุมให้ทำงานประสานกันอย่างต่อเนื่อง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องบรรจุถุงเท้าที่ได้รับการปรับปรุง (MC2) สามารถลดเวลาเฉลี่ยต่อรอบการทำงานจาก 18.5 วินาที เหลือเพียง 8.7 วินาที และเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมได้ร้อยละ 53.11 เมื่อเทียบกับการทำงานของแรงงานคน

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรเพิ่มขึ้น ได้แก่ การใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความแม่นยำสูง การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์นิวเมติกส์และเซนเซอร์อินฟราเรดอย่างมีประสิทธิภาพ และการลดเวลาหน่วงระหว่างการสั่งงานของกระบอกลม การออกแบบระบบให้ตรวจสอบเงื่อนไขการทำงานแบบเรียลไทม์ยังช่วยลดข้อผิดพลาดจากการทำงานซ้ำซ้อนและเพิ่มความปลอดภัยในกระบวนการผลิต

ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า การปรับปรุงระบบควบคุมและกลไกทางกลสามารถยกระดับประสิทธิภาพของเครื่องจักรอัตโนมัติได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในด้านความเร็ว ความแม่นยำ และความสม่ำเสมอของการทำงาน แนวทางการพัฒนานี้สามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรอัตโนมัติประเภทอื่นที่มีลักษณะการทำงานซ้ำ เช่น เครื่องบรรจุภัณฑ์หรือระบบจัดเรียงผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุนแรงงาน และยกระดับคุณภาพกระบวนการผลิตโดยรวมให้มีความเสถียรและทันสมัยมากยิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท ถุงเท้าไทย จำกัด ที่ให้โอกาสและการสนับสนุนด้านข้อมูล เครื่องมือ และพื้นที่ในการดำเนินโครงการ รวมถึงขอขอบคุณคุณคุณสมศักดิ์ สุริโยทัย และทีมงานที่ให้คำแนะนำและความร่วมมืออย่างดียิ่ง ตลอดจนทุกภาคส่วนที่มีส่วนสนับสนุนให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จและสามารถประยุกต์ใช้ได้จริงในกระบวนการผลิต

6. เอกสารอ้างอิง

Adeyemo, A. (2024). *The role of technology and automation in streamlining business processes and productivity for SMEs*. *International Journal of Entrepreneurship*, 7(3), 25–42. <https://doi.org/10.47672/ije.2510>

- Grobis, M., Münnich, M., Reinhardt, H., & Ihlenfeldt, S. (2023). *Simulation-based improvement of production in the textile industry—A case study* (pp. 782–789). Springer Nature.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-34821-1_85
- Gupta, M., Tandel, S., Sharma, N., Kushwaha, P., Maharana, R., & Gholap, Y. (2020). *Real-time object tracking, semi-autonomous, catch/pick and place robot with pneumatic subsystems*. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 9(7).
<https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS070267>
- Hafiz, M. Y., Harmanto, S., & Sugiono, F. A. F. (2024). *Semi-automatic torque machine dan rubber pad silicone guna mengurangi cacat produk dan cycle time pada kemasan kosmetik twist refill jar*. *Jurnal Rekayasa Energi*, 3(1), 11–16.
<https://doi.org/10.31884/jre.v3i1.48>
- Jindal, H., & Kaur, S. (2021). *Robotics and automation in textile industry*. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 8(3), 40–45.
<https://doi.org/10.32628/IJSRSET21839>
- Li, P. X., Sun, Z. J., Zhu, H. L., & Sun, Y. Z. (2011). *The design of control system for auto-packing pantyhose machine*. *Advanced Materials Research*, 328–330, 2288–2291.
<https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.328-330.2288>
- Li, S., Xiaohong, L., Xuejun, C., Bo, X., Quanzhang, H., & Hao, Z. (2019). *Automatic packaging assembly line for garments*.
- Luan, G., Wei, X., Wang, H., Gao, Y., & Jun-lin, L. (2024). *Research on key technologies for automated control of packaging production lines*. *Modern Management Science & Engineering*, 6(3), 1–10. <https://doi.org/10.22158/mmse.v6n3p1>
- Nayak, R., & Padhye, R. (Eds.). (2017). *Automation in garment manufacturing*. Woodhead Publishing.
- Patnaik, S., & Patnaik, A. (2018). *Advancements in production planning and control* (pp. 291–309). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101211-6.00012-4>
- Slack, N. (2005). *The flexibility of manufacturing systems*. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(12), 1190–1200.
- Tewari, M. (2006). *Is price and cost competitiveness enough for apparel firms to gain market share in the world after quotas? A review*. *Global Economy Journal*, 6(4), 1850096.

- Thangatamilan, M., Prasad, S. J. S., Jaisri, S., Harshini, B., Jayyent, K. S., & Manimuthu, V. (2024). *Automated fabric width & length measurement using proximity sensor grid in textile finishing using IIoT* (pp. 440–445).
<https://doi.org/10.1109/iceca63461.2024.10800877>
- Wang, J. (2011). *Rising labor cost and the comparative advantage of Chinese textile industry analysis*. *Advanced Materials Research*, 331, 694–698.
<https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.331.694>
- Zhang, B., Ma, S., & Jiang, X. (2023). *Design of automatic bobbin packaging production line and control system* (pp. 6861–6865). <https://doi.org/10.1109/cac59555.2023.10451912>