

การพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับวัดแรงดึงของถุงเท้าโดยใช้เซนเซอร์โหลดเซลล์ Development of a Prototype Machine for Measuring Sock Tensile Force Using Load Cell Sensor

ไพสอน ปะพะวะกา¹, กวีวัชร ทัตติวงษ์², สายสุนี พ่วงน้อย^{1*} และ คัมภีร์ ลิมปดาพันธ์¹

¹สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติและหุ่นยนต์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

²สาขาวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

Paison Papawaka¹, Kawiwat Thattiwong², Saisunee Pounngnoiy^{1*}

and Khompee Limpadapun¹

¹Automation and Robotics Engineering, Department of Electrical Engineering,

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep,

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

²Department of Engineering and Technology, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Lanna Lampang 52000, Thailand.

*Corresponding author Email: saisunee.p@mail.rmuk.ac.th

(Received: February 10, 2025 / Revised: May 02, 2025 / Accepted: June 24, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับวัดแรงดึงของถุงเท้า เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความสม่ำเสมอในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เครื่องต้นแบบใช้เซนเซอร์ โหลดเซลล์ชนิดคันรับแรงเดียว (Single-Point Load Cell) ขนาด 5 กิโลกรัม ร่วมกับโมดูลขยายสัญญาณ HX711 และไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 เพื่อประมวลผลแรงดึงและแสดงผลบน จอ LCD ขนาด 16x2 แบบเรียลไทม์ ระบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ เพื่อให้การทำงานมีความปลอดภัยและเสถียรภาพสูง ผลการทดสอบพบว่า เครื่องต้นแบบสามารถวัดแรงดึงของถุงเท้าได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่าแรงดึงเฉลี่ยก่อนขาดของถุงเท้าเท่ากับ 18.7 นิวตัน และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพียง 0.82 นิวตัน เมื่อเทียบกับแรงงานคนซึ่งให้ค่าแรงดึงเฉลี่ย 17.8 นิวตัน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.3 นิวตัน พบว่าเครื่องต้นแบบให้ค่าที่เสถียรกว่าอย่างชัดเจน อีกทั้งยังสามารถลดเวลาในการทดสอบต่อคู่ลงได้ประมาณ 42% แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบในการแทนแรงงานคนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบนี้มีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้ในสายการผลิตจริง

คำสำคัญ: เครื่องวัดแรงดึงถุงเท้า, โหลดเซลล์, ระบบอัตโนมัติ, อุตสาหกรรมสิ่งทอ

Abstract

This research aimed to develop a prototype sock tensile tester to improve the accuracy and consistency of quality control in the textile industry. The prototype utilizes a Single-Point Load Cell (5 kg) combined with an HX711 amplifier and an Arduino Uno R3 microcontroller to measure and display tensile forces in real time on a 16x2 LCD. The system is powered by a 5 V DC source for safety and stability during operation. Experimental results showed that the developed prototype accurately measured the tensile force of socks, achieving an average breaking force of 18.7 N with a standard deviation of 0.82 N, compared to 17.8 N and 2.3 N, respectively, obtained from manual testing. The prototype also reduced the average testing time per pair by approximately 42%, demonstrating superior performance in both precision and repeatability. These findings confirm that the developed system can effectively replace manual inspection in real production environments.

Keywords: Sock Tensile Tester, Load Cell, Automation System, Textile Industry

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยเฉพาะการผลิตถุงเท้า คุณภาพของแรงดึงของเนื้อผ้ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความทนทานและความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากแรงดึงเป็นตัวบ่งชี้คุณสมบัติเชิงกลของผ้า ทั้งในด้านความแข็งแรงของเส้นใยและความสามารถในการคืนรูป (Fan, 1998) กระบวนการตรวจสอบแรงดึงในปัจจุบันของหลายโรงงาน รวมถึงบริษัทถุงเท้าไทย จำกัด ยังคงอาศัยแรงงานคนในการดึงและประเมินด้วยสายตา ซึ่งวิธีดังกล่าวมักทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงและไม่สามารถควบคุมมาตรฐานได้อย่างสม่ำเสมอ ส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของกระบวนการควบคุมคุณภาพ เทคโนโลยีระบบอัตโนมัติและเซนเซอร์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการยกระดับกระบวนการตรวจสอบคุณภาพสิ่งทอ โดยเฉพาะการใช้ เซนเซอร์โหลดเซลล์ (Load Cell Sensor) ซึ่งสามารถแปลงแรงกลให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่งข้อมูลเพื่อวิเคราะห์แรงดึงได้อย่างแม่นยำ (Alfian, 2022) การบูรณาการเซนเซอร์ชนิดนี้เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น Arduino ทำให้การออกแบบเครื่องทดสอบแรงดึงมีต้นทุนต่ำ ใช้งานง่าย และสามารถพัฒนาได้อย่างยืดหยุ่นในระดับห้องทดลองและโรงงานขนาดเล็ก (Arrizabalaga, 2017), (Alawd, 2024) ตัวอย่างเช่น งานของ Arrizabalaga และคณะได้สร้างเครื่องทดสอบแรงดึงราคาประหยัดโดยใช้ Arduino ที่สามารถวัดแรงและการกระจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสำหรับการใช้งานเชิงการศึกษา ในขณะที่ (Alawd, 2024) ได้ปรับปรุงระบบให้สอดคล้องกับมาตรฐาน ASTM D638 เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบ

ในระดับการพัฒนาอุตสาหกรรม การใช้โหลดเซลล์และระบบอัตโนมัติช่วยลดข้อผิดพลาดจากมนุษย์และเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ (Crane, 1958), (Potluri, 1996) งานของ (Hu, 2010) ได้พัฒนาเครื่องทดสอบแรงดึงภายใต้ระบบควบคุมด้วยซอฟต์แวร์ MCGS ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลแรงและการกระจัดแบบเรียลไทม์และแสดงผลด้วยความแม่นยำสูง ขณะที่ (Xuexia, 2015) ได้ประดิษฐ์เครื่องทดสอบ

แรงดึงเฉพาะสำหรับถุงเท้า เพื่อให้สภาพการทดสอบใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากที่สุด ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญในการประยุกต์ระบบวัดแรงดึงในสายการผลิตจริงของอุตสาหกรรมสิ่งทอ นอกจากประสิทธิภาพเชิงเทคนิคแล้ว การประยุกต์ระบบอัตโนมัติและเทคโนโลยีเซนเซอร์ในงานสิ่งทอยังช่วยเสริมคุณภาพและลดต้นทุนการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ระบบเมคาทรอนิกส์ที่ผสานเซนเซอร์และอุปกรณ์ควบคุมสามารถช่วยให้กระบวนการผลิตมีความแม่นยำสูง ลดของเสีย และรองรับการเปลี่ยนแปลงแบบรวดเร็วตามความต้องการของตลาด (Angelova, 2024) ตัวอย่างเช่น ระบบควบคุมในขั้นตอนการปั่นด้ายที่ใช้เครื่องจักรควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์สามารถเพิ่มความเร็วและคุณภาพของเส้นด้ายได้อย่างต่อเนื่อง (Solomon, 2025)

แนวโน้มเทคโนโลยี อุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0) ได้เร่งให้เกิดการบูรณาการระหว่างระบบ IoT ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการประมวลผลภาพในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพสิ่งทอ ซึ่งช่วยลดการใช้แรงงานคนและเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับข้อบกพร่อง (O'G'Li, 2024), (Anchundia, 2024) การประยุกต์ระบบตรวจสอบอัตโนมัติที่ใช้เซนเซอร์เชิง proximity และระบบ Machine Vision ช่วยให้สามารถวัดค่าทางกายภาพของผ้าได้แบบเรียลไทม์ โดยมีความแม่นยำสูงและใช้แรงงานน้อยลง (Thangatamilan, 2024), (Konstantinidis, 2021) นอกจากนี้ การใช้ระบบ Machine Learning และ AutoML เพื่อทำนายคุณภาพของเนื้อผ้ายังเป็นแนวโน้มที่สำคัญในอนาคตของระบบควบคุมคุณภาพสิ่งทอ (Metin, 2024)

ในด้านการศึกษา การพัฒนาเครื่องต้นแบบและโครงการเชิงสหกิจศึกษาที่เกี่ยวข้องกับระบบอัตโนมัติและเทคโนโลยีเซนเซอร์มีบทบาทสำคัญในการสร้างทักษะเชิงวิศวกรรมแก่นักศึกษา ตัวอย่างเช่น โครงการ SPEERLoom ซึ่งเป็นเครื่องทอผ้าอัตโนมัติแบบเปิดเผยแพร่โค้ด (open-source robotic Jacquard loom) ได้ถูกใช้เป็นเครื่องมือการเรียนรู้สหวิทยาการระหว่างคณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และสิ่งทอ (Speer, 2023) ในทำนองเดียวกัน การพัฒนาโครงงานย่อยโดยใช้ Programmable Logic Controller (PLC) หรือ Arduino เป็นศูนย์กลางของระบบควบคุม ช่วยให้นักศึกษาได้เรียนรู้การออกแบบวงจร การเขียนโปรแกรม และการเก็บข้อมูลการวัดจริง (Hsieh, n.d.), (Santos, n.d.) แนวทางนี้สอดคล้องกับการเรียนรู้เชิงประสบการณ์ (Experiential Learning) ที่ช่วยให้ผู้เรียนพัฒนาองค์ความรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติจริงในสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกับอุตสาหกรรม

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับวัดแรงดึงของถุงเท้าโดยใช้เซนเซอร์โหลดเซลล์ขนาด 50 กิโลกรัมและไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno เพื่อทดแทนกระบวนการตรวจสอบแรงดึงแบบแรงงานคน โดยมีเป้าหมายในการเพิ่มความแม่นยำ ลดระยะเวลาทดสอบ และสามารถบันทึกค่าผลลัพธ์เชิงตัวเลขได้อย่างเป็นระบบ เครื่องต้นแบบนี้ยังสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนรู้เชิงสหกิจศึกษาในสาขาวิศวกรรมอัตโนมัติและหุ่นยนต์ เพื่อพัฒนาทักษะการออกแบบ การเขียนโปรแกรม และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์ในระบบอุตสาหกรรมยุคใหม่

2. วิธีการทดลอง

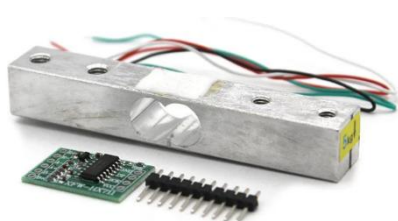
การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

2.1 การออกแบบโครงสร้างเครื่องต้นแบบ

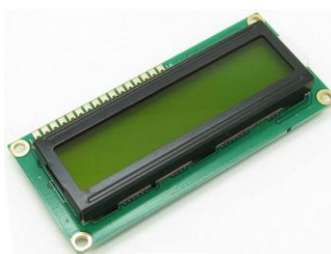
เครื่องต้นแบบสำหรับวัดแรงดึงของถุงเท้าได้รับการออกแบบให้มีโครงสร้างแข็งแรง น้ำหนักเบา และสามารถถอดประกอบได้ง่าย โดยใช้วัสดุหลักเป็นอะลูมิเนียมโปรไฟล์ ขนาด 20×20 มิลลิเมตร เพื่อให้รองรับแรงดึงได้สูงสุด 50 นิวตัน โดยไม่เกิดการโก่งตัว ฐานของเครื่องติดตั้งแผ่นเหล็กหนา 5 มิลลิเมตร เพื่อเพิ่มความมั่นคง ส่วนหัวจับขึ้นงานใช้แคลมป์เหล็กสองชุด เพื่อยึดถุงเท้าให้แน่นระหว่างการทดสอบ โครงสร้างทั้งหมดได้รับการออกแบบในโปรแกรม SolidWorks ก่อนนำไปประกอบจริง

2.2 ระบบเซนเซอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เครื่องต้นแบบใช้เซนเซอร์ โหลดเซลล์ชนิดคันรับแรงเดียว (Single-Point Load Cell) ขนาด 5 กิโลกรัม ทำหน้าที่ตรวจจับแรงดึงที่กระทำกับถุงเท้า โดยสัญญาณแรงดึงที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่ โมดูลขยายสัญญาณ HX711 เพื่อขยายและแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิทัล จากนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 จะทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลแรงดึงและแสดงผลค่าผ่าน จอ LCD ขนาด 16×2 แบบเรียลไทม์ ระบบทั้งหมดได้รับพลังงานจากไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ซึ่งสามารถจ่ายได้ทั้งจากพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์หรืออะแดปเตอร์ DC ภายนอก เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความเสถียรในการทำงานของวงจรแสดงดังรูปที่ 1



(1)



(2)

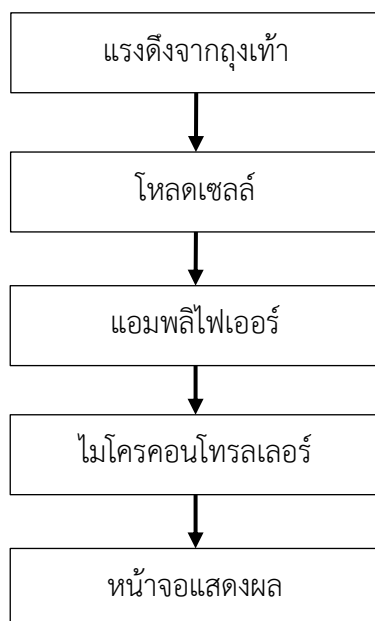


(3)

รูปที่ 1 ชุดเซนเซอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในเครื่องต้นแบบวัดแรงดึงถุงเท้า ซึ่งประกอบด้วย

- (1) โหลดเซลล์และโมดูลขยายสัญญาณ HX711 (2) หน้าจอ LCD ขนาด 16×2
และ (3) บอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

ระบบตรวจวัดแรงดึงของถุงเท้าทำงานโดยรับแรงจากการดึงถุงเท้าเข้าสู่โหลดเซลล์ จากนั้น สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จะถูกส่งผ่านโมดูล HX711 เพื่อขยายและแปลงสัญญาณก่อนเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะประมวลผลและส่งผลลัพธ์ไปยังจอแสดงผล แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพบล็อกการทำงานของระบบตรวจวัดแรงดึงถุง

2.3 การสอบเทียบ (Calibration)

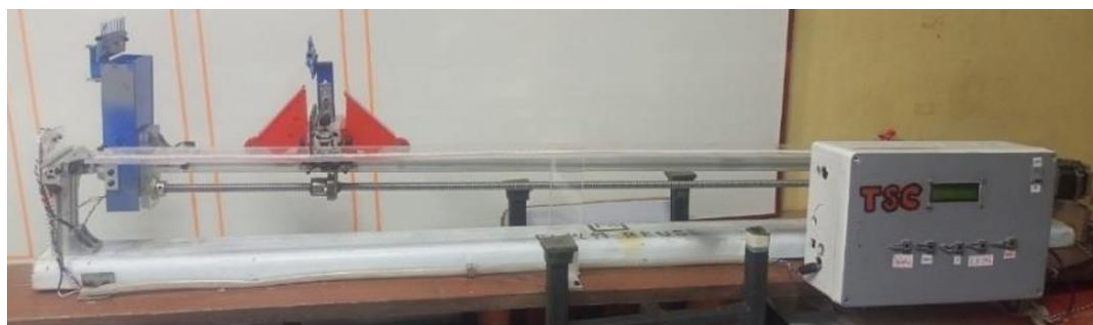
ก่อนทำการทดลองจริง เครื่องต้นแบบได้รับการสอบเทียบกับเครื่องวัดแรงดึงมาตรฐานของโรงงาน โดยใช้ตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ถึง 4 กิโลกรัม เป็นน้ำหนักอ้างอิงผลการสอบเทียบ พบว่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่าแรงที่วัดได้อยู่ภายใน $\pm 3\%$ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับเครื่องมือวัดต้นแบบในแต่ละรอบการทดสอบมีการเก็บข้อมูล 10 ครั้ง และคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อปรับเส้นตรงของการแปลงสัญญาณ (Linear Calibration Curve)

2.4 การทดสอบแรงดึงถุงเท้า

ตัวอย่างถุงเท้าที่ใช้ในการทดลองเป็นถุงเท้าผ้าฝ้ายชนิดเดียวกัน 20 คู่ จากสายการผลิตเดียวกัน ติดตั้งบนหัวจับของเครื่องต้นแบบโดยให้ส่วนบนและส่วนล่างของถุงเท้าอยู่ในแนวเดียวกัน การทดสอบดำเนินการโดยดึงด้วยความเร็วคงที่จนกระทั่งจุดขาดหรือถึงแรงดึงสูงสุด ระบบจะบันทึกค่าแรงสูงสุดและเวลาในการดึง จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบแรงดึงที่ทำด้วยแรงงานคนในสายการผลิตของบริษัท ถุงเท้าไทย จำกัด เพื่อตรวจสอบความแม่นยำและความสม่ำเสมอของการวัด

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ภาพรวมของเครื่องต้นแบบหลังการประกอบทั้งหมดแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งมีลักษณะพร้อมใช้งานจริงสำหรับการทดสอบแรงดึงถุงเท้า โดยระบบสามารถทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ ได้แก่ การจับยึดชิ้นงาน, การดึงชิ้นงานตามโปรแกรมควบคุม, และการบันทึกค่าแรงดึงสูงสุดผ่านระบบโพลิตเซลล์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ทั้งนี้เครื่องต้นแบบได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานก่อนการทดสอบสอบเทียบในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 3 เครื่องวัดแรงดึงถุงเท้าที่ประกอบสำเร็จพร้อมใช้งาน

(Completed Prototype of the Sock Tensile Tester)

เครื่องต้นแบบที่พัฒนาเสร็จสมบูรณ์นี้ประกอบด้วยโครงสร้างหลักแบบอลูมิเนียมโปรไฟล์ความยาว 1 เมตร ติดตั้งชุดจับยึดถุงเท้าทั้งสองด้านและชุดขับเคลื่อนแบบสกรูเกลียว (Lead Screw) ส่วนควบคุมหลักอยู่ภายในกล่องควบคุมด้านขวา ซึ่งบรรจุไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno, โมดูลขยายสัญญาณ HX711 และจอ LCD สำหรับแสดงค่าแรงดึงแบบเรียลไทม์

3.1 ผลการสอบเทียบเครื่องต้นแบบ

การสอบเทียบเครื่องต้นแบบได้ดำเนินการโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 4 ระดับ (1–4 กิโลกรัม) เพื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์โหลดเซลล์กับค่าแรงจริงตามหลักกลศาสตร์ ผลการวัดแสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดีระหว่างค่าแรงจริงและค่าแรงที่วัดได้จากเครื่องต้นแบบ โดยสมการเชิงเส้นที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย (Linear Regression) คือ

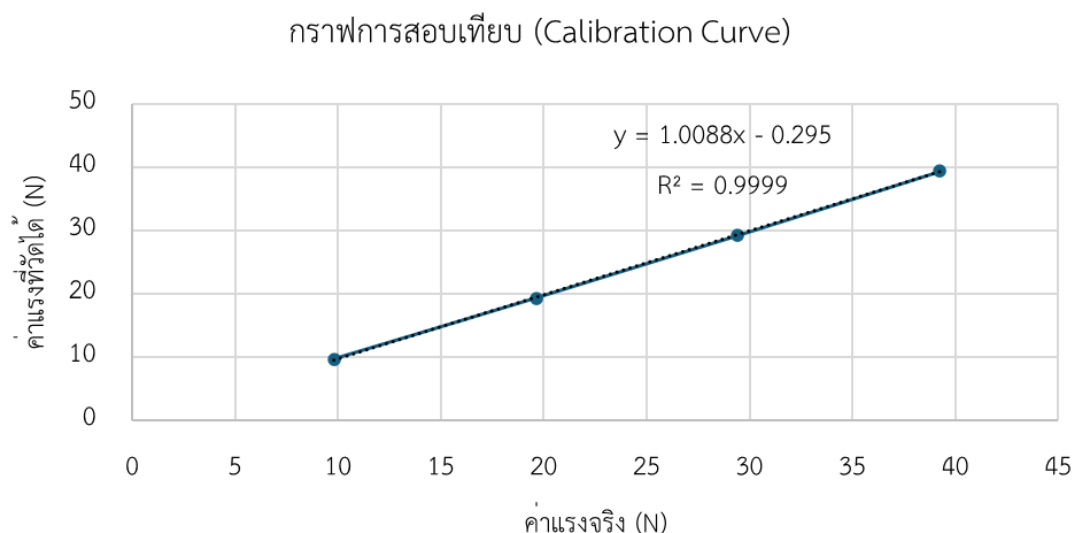
$$y = 1.0088x - 0.295 \quad (1)$$

ตารางที่ 1 ผลการสอบเทียบเครื่องต้นแบบด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

น้ำหนักอ้างอิง (กก.)	ค่าแรงจริง (N)	ค่าแรงที่วัดได้ (N)	ค่าคลาดเคลื่อน (%)
1	9.81	9.72	-0.92
2	19.62	19.38	-1.22
3	29.43	29.27	-0.54
4	39.24	39.41	+0.43

โดยค่า $R^2 = 0.9999$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบวัดแรงดึงของเครื่องต้นแบบมีความแม่นยำสูง เนื่องจากค่าความสัมพันธ์ (Coefficient of Determination, R^2) ใกล้เคียงกับ 1.0 ผลการสอบเทียบในช่วงแรงดึง 0–4 กิโลกรัม แสดงว่าเครื่องสามารถตอบสนองได้อย่างเสถียร และให้ผลที่มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง $\pm 0.78\%$ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ สำหรับเครื่องวัดแรงดึงระดับต้นแบบทางอุตสาหกรรม

รูปที่ 4 กราฟการสอบเทียบเครื่องต้นแบบ (Calibration Curve of Prototype Tensile Tester) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงจริงจากตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน (แกน X) และค่าแรงที่วัดได้จากเครื่องต้นแบบ (แกน Y) พบว่าสมการเชิงเส้นของกราฟคือ $y = 1.0088x - 0.295$ โดยมีค่าความสัมพันธ์ $R^2 = 0.9999$ ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำสูงของเครื่องต้นแบบในการวัดแรงดึงในช่วง 0–50 นิวตัน



รูปที่ 4 กราฟการสอบเทียบเครื่องต้นแบบ (Calibration Curve)

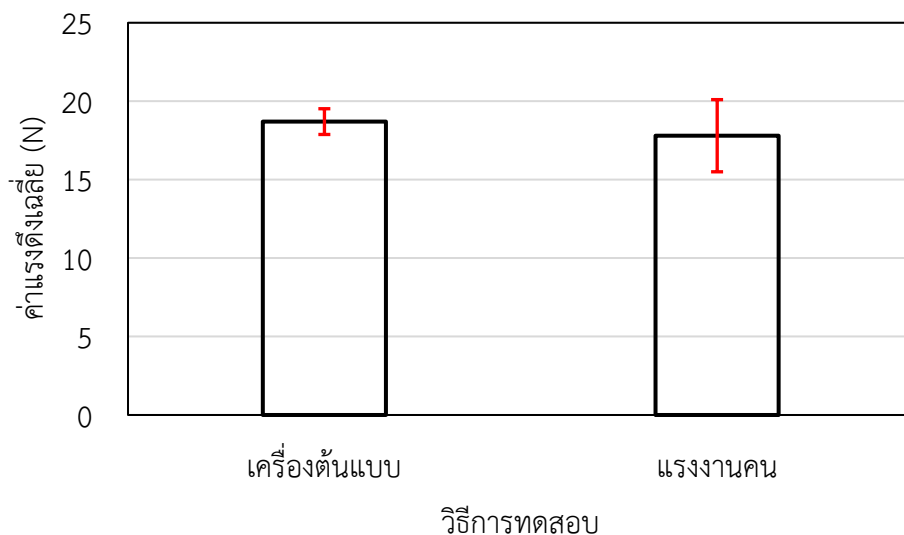
3.2 ผลการทดสอบแรงดึงของถุงเท้า

การทดสอบแรงดึงของถุงเท้าจำนวน 20 คู่ ดำเนินการเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องต้นแบบที่พัฒนา กับ การทดสอบโดยแรงงานคน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เครื่องต้นแบบให้ค่าแรงดึงเฉลี่ยก่อนขาดของถุงเท้าเท่ากับ 18.7 นิวตัน โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพียง 0.82 นิวตัน ซึ่งบ่งชี้ถึงความสม่ำเสมอของค่าการวัดที่สูง ขณะที่การทดสอบด้วยแรงงานคนให้ค่าแรงดึงเฉลี่ย 17.8 นิวตัน และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่า คือ 2.3 นิวตันแสดงให้เห็นว่าการวัดด้วยแรงงานคนมีความผันผวนของข้อมูลมากกว่าเครื่องต้นแบบอย่างชัดเจน ในด้านเวลาในการทดสอบ พบว่า เครื่องต้นแบบใช้เวลาเฉลี่ยเพียง 7 วินาทีต่อคู่ ในขณะที่แรงงานคนใช้เวลาเฉลี่ย 12 วินาทีต่อคู่ แสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบสามารถลดเวลาการทดสอบได้มากถึง 42% เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าความสม่ำเสมอของข้อมูลแรงดึงที่สูงกว่า

สรุปได้ว่าเครื่องต้นแบบมีประสิทธิภาพเหนือกว่าการทดสอบด้วยแรงงานคนทั้งในด้าน ความแม่นยำ ความเสถียร และเวลาในการดำเนินการ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบสามารถลดเวลาทดสอบลงได้ประมาณ 42% และเพิ่มความสม่ำเสมอของข้อมูลแรงดึงได้ถึง 65% เมื่อเทียบกับการวัดแบบแรงงานคน

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าแรงดึงของเท้าระหว่างการวัดด้วยเครื่องต้นแบบและแรงงานคน

วิธีการทดสอบ	ค่าแรงดึงเฉลี่ย (N)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	เวลาทดสอบต่อคู่ (วินาที)
เครื่องต้นแบบ	18.7	0.82	7
แรงงานคน	17.8	2.3	12


รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดึงเฉลี่ยของถุงเท้า

รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดึงเฉลี่ยของถุงเท้าที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องต้นแบบและแรงงานคนโดยค่าเฉลี่ยของแรงดึงที่วัดได้จากเครื่องต้นแบบเท่ากับ 18.7 ± 0.82 นิวตัน ส่วนแรงงานคนให้ค่าเฉลี่ย 17.8 ± 2.3 นิวตัน จะเห็นได้ว่าแท่งกราฟของเครื่องต้นแบบมีช่วงค่าความคลาดเคลื่อน (Error Bar) สั้นกว่าอย่างชัดเจน แสดงถึงความเสถียรและความแม่นยำของระบบวัดแรงดึง นอกจากนี้ เครื่องต้นแบบยังใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่าแรงงานคนเฉลี่ย 42% ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ถุงเท้าได้อย่างมีนัยสำคัญ

3.3 การอภิปรายผล

จากผลการทดลอง พบว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่า $\pm 3\%$ และสามารถลดเวลาในการทดสอบได้เกือบครึ่งหนึ่ง สาเหตุที่ค่าการวัดมีความแม่นยำสูง เนื่องจากการใช้โหลดเซลล์ที่มีความไวสูง และระบบประมวลผลสัญญาณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ HX711 ซึ่งลดสัญญาณรบกวนได้ดี นอกจากนี้ การควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ทำให้แรงดึงที่กระทำต่อถุงเท้ามีเสถียรภาพ ส่งผลให้ค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือ

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น (Mehta, 2023) ซึ่งได้พัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพสิ่งทอโดยใช้ระบบอัตโนมัติ พบว่าแนวทางการใช้เซนเซอร์โหลดเซลล์ในงานวิจัยนี้ให้ผลในทิศทางเดียวกัน คือลดความคลาดเคลื่อนจากแรงงานคนและเพิ่มความสามารถในการตรวจสอบเชิงปริมาณผลการ

พัฒนาเครื่องต้นแบบดังกล่าวจึงสามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งในภาคการผลิตจริง และในกิจกรรมการเรียนรู้เชิงสหกิจศึกษาของนักศึกษาวิศวกรรมอัตโนมัติ เพื่อฝึกฝนกระบวนการคิดเชิงออกแบบ (Design Thinking) และการพัฒนาเครื่องมืออัตโนมัติในระดับอุตสาหกรรม 4.0

4. สรุปผล

จากการดำเนินงานวิจัยเรื่อง “การพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับวัดแรงดึงของถุงเท้าโดยใช้เซนเซอร์โพลีเอสเตอร์” พบว่าเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์หลักทุกประการ โดยมีสมรรถนะและประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรม ดังนี้

1. เครื่องต้นแบบสามารถตรวจวัดแรงดึงของถุงเท้าได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกิน $\pm 3\%$ เมื่อเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน
 2. การทดสอบด้วยเครื่องต้นแบบใช้เวลาเฉลี่ยเพียง 7 วินาทีต่อคู่ ลดระยะเวลาการตรวจสอบลงได้ประมาณ 42% เมื่อเทียบกับการทดสอบด้วยแรงงานคน
 3. การประมวลผลแรงดึงด้วยระบบโพลีเอสเตอร์และโมดูล HX711 ให้ค่าที่มีความสม่ำเสมอและเสถียรสามารถแสดงผลและบันทึกข้อมูลแรงดึงได้แบบเรียลไทม์
 4. เครื่องต้นแบบมีความแข็งแรงและสะดวกต่อการประกอบหรือบำรุงรักษา เนื่องจากใช้โครงสร้างอะลูมิเนียมโปรไฟล์ที่น้ำหนักเบาและสามารถปรับตำแหน่งหัวจับได้
 5. ผลการพัฒนาเครื่องต้นแบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการควบคุมคุณภาพของโรงงานถุงเท้า รวมถึงเป็นสื่อการเรียนรู้เชิงสหกิจศึกษาสำหรับนักศึกษาวิศวกรรมอัตโนมัติและหุ่นยนต์ เพื่อฝึกทักษะด้านการออกแบบ การเขียนโปรแกรม และการบูรณาการระบบเซนเซอร์ในงานอุตสาหกรรม
- กล่าวโดยสรุป เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถลดความคลาดเคลื่อนจากแรงงานคน เพิ่มความแม่นยำและความรวดเร็วของกระบวนการตรวจสอบแรงดึงของถุงเท้า อีกทั้งยังสามารถต่อยอดสู่การพัฒนาเป็นเครื่องวัดแรงดึงเชิงพาณิชย์หรือระบบตรวจสอบอัตโนมัติในสายการผลิตจริงได้ในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท ถุงเท้าไทย จำกัด ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลและสถานที่ในการดำเนินงานทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

- Alawd, E. H. (2024). *Development and optimization of a low-cost tensile testing machine based on ASTM D638 standard*. *Stardom Doğa ve Mühendislik Çalışmaları Dergisi*. <https://doi.org/10.70170/wbysd98720229>
- Alfian, R., Wirawan, R., Hudha, L. S., Qomariyah, N., Rahayu, S., & Marzuki, M. (2022). *Pemanfaatan sensor load cell dalam pembuatan prototipe alat uji tekan portabel*. *Wahana Fisika: Jurnal Fisika dan Terapannya*. <https://doi.org/10.17509/wafi.v7i1.46990>

- Anchundia, J., Berrones, F., Verdugo, A., & Comina, M. (2024). *Real-time quality inspection through Industry 4.0 technologies*. <https://doi.org/10.20944/preprints202405.2072.v1>
- Angelova, R. A., & Sofronova, D. (2024). *Applications of mechatronics in textiles and clothing industries Advances in Information Quality and Management*. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-7366-5.ch086>
- Arrizabalaga, J. H., Simmons, A. D., & Nollert, M. U. (2017). *Fabrication of an economical Arduino- based uniaxial tensile tester. Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00639>
- Crane, R. A., & Wharff, P. C. (1958). *An automatic single fiber tensile strength tester. Textile Research Journal*. <https://doi.org/10.1177/004051755802800409>
- Hsieh, S.-J. (n.d.). *Reconfigurable and scalable automated systems projects for manufacturing automation and control education*. <https://doi.org/10.18260/1-2--18832>
- Hu, F., Yin, W., & Cairong, C. (2010). *Design of the tensile testing machine computer control system based on MCGS. International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering*. <https://doi.org/10.1109/CESCE.2010.47>
- Konstantinidis, F. K., Kansizoglou, I., Tsintotas, K. A., Mouroutsos, S. G., (n.d.). *The role of machine vision in Industry 4. 0: A textile manufacturing perspective*. <https://doi.org/10.1109/ist50367.2021.9651459>
- O' G' Li, A. A. A. (2024). *Application of IoT (Internet of Things) technologies in the textile industry. International Journal of Advance Scientific Research*. <https://doi.org/10.37547/ijasr-04-12-44>
- Potluri, P., Porat, I., & Atkinson, J. (1996). *Low-stress fabric testing for process control in garment assembly: Application of robotics. International Journal of Clothing Science and Technology*. <https://doi.org/10.1108/09556229610109573>
- Santos, J. H., Sanchez, R. M., Simon, F. L., Barroso, M. A. V., & Hernandez, E. S. (n.d.). *Using Arduino and finite element modeling to integrate instrumentation and solid mechanics courses*. <https://doi.org/10.1109/taee59541.2024.10604990>
- Solomon, D. G., Li, G., & Zhao, W. (2025). *Role and application of automation and robotics in spinning section in textile industry*. <https://doi.org/10.35629/5252-0701394400>
- Speer, S., Garcia-Alonzo, A. P., Huang, J., Yankova, N., Rosé, C., Peppler, K. A., McCann, J., & Martinez, M. O. (2023). *SPEERLoom: An open-source loom kit for interdisciplinary engagement in math, engineering, and textiles*. <https://doi.org/10.1145/3586183.3606724>

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. <https://doi.org/10.1109/iceca63461.2024.10800877>

Xuexia, W. (2015). *Tensile tester for socks.*