

การพัฒนาวิธีวัดเชิงมิติต้นทุนต่ำด้วยระบบสมองกลฝังตัวอาดูโนและบันทึกผล แบบเรียลไทม์ผ่าน Microsoft Excel Data Streamer

Low-cost dimensional measurement using an Arduino embedded system with
real-time logging via Microsoft Excel Data Streamer

วรพงศ์ พงศ์ภักทรวุฒิ¹, สุรัชชัย นามพรหมมา^{1*} และ จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร์²

Worapong Phongphattarawut¹, Surachai Nampromma^{1*} and Jittiwat Nithikarnjanatharn²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีวัดเชิงมิติต้นทุนต่ำ ใช้งานง่าย ด้วยระบบสมองกลฝังตัวอาดูโน เชื่อมต่อ Microsoft Excel Data Streamer สำหรับบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ แก้ปัญหาการเข้าถึงเครื่องมือวัดความเที่ยงตรงสูงที่มีราคาสูง ระบบต้นแบบประกอบด้วยบอร์ด Arduino, rotary encoder จอ LCD-I²C และวงจรปรับสัญญาณพร้อมเชื่อมต่อข้อมูลเข้าสู่ Excel ในรูปแบบเรียลไทม์ จากนั้นทำการสอบเทียบกับ Dial Test Indicator และทดลองวัดชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 30 ชิ้น โดยเปรียบเทียบกับผลการวัดจากเครื่องมือมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (t-test, p>0.05) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระบบสมองกลฝังตัวกับเครื่องมือมาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำและเชื่อถือได้ สามารถลดข้อผิดพลาดจากการบันทึกด้วยมือ และเพิ่มความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลสำหรับผู้ใช้งานทั่วไป ทั้งยังรองรับการประยุกต์ใช้ในบริบทของอุตสาหกรรม 4.0

คำสำคัญ: ระบบสมองกลฝังตัว, มาตรวิทยา, อาดูโน, เดต้าสตรีมเมอร์, การสอบเทียบ

Abstract

This research aimed to develop a low-cost and user-friendly dimensional measurement method using an Arduino-based embedded system integrated with Microsoft Excel Data Streamer for real-time data logging. The system was designed to address the limited accessibility to high-precision measuring instruments due to their high cost. The prototype consisted of an Arduino board, a rotary encoder, an LCD-I²C display, and a signal conditioning circuit, with data transmitted to Excel in real time. Calibration was conducted using a Dial Test Indicator, and measurements were performed on 30 sample workpieces, with results compared against a standard measuring instrument. Statistical analysis (t-test, p>0.05) indicated no significant difference between the embedded measurement system and the standard instrument, demonstrating that the developed system achieved satisfactory accuracy and reliability. The system effectively minimized manual recording errors, enhanced data accessibility for general users, and supported applications aligned with the principles of Industry 4.0.

Keywords: embedded system, metrology, Arduino, data streamer, calibration

¹ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

¹ Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus, Mueang District, Khon Kaen 40000, Thailand

² คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลางนครราชสีมา อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

² Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Nakhon Ratchasima Center, Mueang District, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

* Corresponding author. E-mail: surachai.na@rmuti.ac.th

Received: July 26, 2025; Revised: September 5, 2025; Accepted: October 31, 2025

บทนำ

การวัดเชิงมิติ (dimensional measurement) เป็นรากฐานสำคัญของวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม เนื่องจากใช้เป็นภาษาสากลในการสื่อสารข้อมูลเชิงปริมาณ ขนาด ตำแหน่ง และสถานะของวัตถุ มาตรวิทยา (metrology) ในฐานะวิทยาศาสตร์การวัด จึงมุ่งทำให้ผลการวัดมีความถูกต้อง เทียบตรง และสามารถสอบกลับได้ ไม่ว่าจะดำเนินการโดยใคร ที่ไหน หรือเมื่อใด (Egho-Promise et al., 2024) อย่างไรก็ตาม เครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำสูง เช่น เครื่องวัดพิกัด (coordinate measuring machines: CMMs) และระบบสแกนเลเซอร์ แม้จะมีศักยภาพสูง แต่ก็มีความซับซ้อนสูง ต้องการการบำรุงรักษา และใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง ส่งผลให้ผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) สามารถเข้าถึงได้จำกัด และเกิดช่องว่างทางเทคโนโลยีในการควบคุมคุณภาพที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล

จากกระแสการเปลี่ยนผ่านสู่ยุคอุตสาหกรรม 4.0 นักวิจัยจึงได้มุ่งพัฒนาโซลูชันที่มีต้นทุนต่ำและใช้งานง่าย แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยในประเทศที่มุ่งเน้นการใช้ระบบอัตโนมัติและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบกระบวนการผลิต เช่น การปรับปรุงผังโรงงานสแตนเลสด้วยอัลกอริทึม ALDEP เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่และลดระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุ (Kittidecha et al., 2025) รวมถึงการพัฒนากระบวนการอัตโนมัติช่วยขงเครื่องเดิมโดยใช้หุ่นยนต์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งแสดงศักยภาพของเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวในการยกระดับงานบริการและอุตสาหกรรมขนาดย่อม (Koomngern & Chaiyabut, 2025) โดยแพลตฟอร์มไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น Arduino และ ESP32 ได้รับความนิยม เพราะมีความยืดหยุ่น ติดตั้งง่าย และรองรับการเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์หลากหลายประเภท (Murugesan & Chettiar, 2021; Saputra et al., 2023) งานวิจัยที่ผ่านมาได้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์เหล่านี้ในหลายด้าน เช่น การตรวจสอบสิ่งแวดล้อมและเกษตรกรรม โดยสามารถเก็บและส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่าน IoT (Internet of Things) และเชื่อมต่อกับคลาวด์เพื่อการติดตามจากระยะไกล (Rose et al., 2025; Gómez-Gijón et al., 2025) นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอโปรโตคอลการสื่อสาร เช่น MQTT และ REST API ที่ช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูลและความสามารถในการตรวจสอบย้อนกลับ (Al Mamun et al., 2025) รวมถึงการพัฒนาแบบทดสอบเทียบดิจิทัลที่รองรับการจัดเก็บและการตรวจสอบข้อมูลมาตรวิทยา (Xiong et al., 2025) ขณะเดียวกัน มีงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นว่าการออกแบบระบบ IoT ต้นทุนต่ำที่คำนึงถึงผู้ใช้สามารถให้ความแม่นยำในการวัดได้สูง (Geck et al., 2024) อย่างไรก็ตาม งานที่มีอยู่ยังคงมุ่งไปที่งานสิ่งแวดล้อมและเกษตรเป็นหลัก และยังขาดการศึกษาเฉพาะที่พัฒนาระบบสำหรับงานวัดเชิงมิติในภาคอุตสาหกรรม (Somogyi et al., 2024)

ในด้านการจัดเก็บและการนำเสนอข้อมูล เครื่องมืออย่าง Microsoft Excel ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการจัดการข้อมูลและสร้างกราฟหรือแผนภูมิ โดยเฉพาะฟังก์ชัน Data Streamer ที่สามารถเชื่อมต่อข้อมูลแบบเรียลไทม์จากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่ Excel โดยตรง (Demetillo et al., 2019; Akhtar & Iqbal, 2024) ช่วยลดข้อผิดพลาดจากการบันทึกด้วยมือและเอื้อให้ผู้ใช้ที่ไม่มีทักษะด้านการเขียนโปรแกรมสามารถเข้าถึงและวิเคราะห์ข้อมูลได้สะดวกขึ้น (Somogyi et al., 2024) แม้ว่าจะมีงานที่กล่าวถึงการใช้ Excel ในการจัดเก็บและแสดงผลข้อมูล แต่การผนวก Data Streamer เข้ากับระบบสมองกลฝังตัว เพื่อสร้างระบบวัดเชิงมิติที่ผ่านการสอบเทียบและรองรับการตรวจสอบย้อนกลับ ยังพบงานศึกษาเฉพาะด้านน้อยและยังคงไม่ได้รับการสำรวจอย่างเพียงพอในวรรณกรรมปัจจุบัน

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีช่องว่างทางวิจัยในการพัฒนาระบบต้นแบบสำหรับการวัดเชิงมิติในงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการผสาน Arduino เข้ากับ Microsoft Excel Data Streamer เพื่อให้ได้ระบบที่แม่นยำ เชื่อถือได้ และใช้งานง่าย ดัง (Table 1) งานที่ผ่านมาแม้ชี้ให้เห็นศักยภาพของไมโครคอนโทรลเลอร์และเครื่องมือแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ แต่ยังขาดแนวทางที่รวมการสอบเทียบเชิงมาตรวิทยา (metrology-based calibration) และการตรวจสอบย้อนกลับ (traceability) เข้ากับการบันทึกข้อมูลที่ลดข้อผิดพลาดจากการจดมือได้จริงในบริบทโรงงาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาวิธีวัดเชิงมิติด้วยระบบสมองกลฝังตัว Arduino เชื่อมต่อ Microsoft Excel Data Streamer พร้อมกระบวนการสอบเทียบที่สอดคล้องกับปริมาณทางมาตรวิทยา และการประเมินความถูกต้อง ความเที่ยง ด้วยตัวชี้วัดเชิงสถิติ เพื่อให้ได้วิธีวัดที่เข้าถึงง่าย ลดความผิดพลาดการบันทึกและรองรับการประยุกต์ใช้ในบริบทอุตสาหกรรม 4.0

Table 1 Summary of trends and research gaps in the study.

category	findings from literature	propositions in this study
hardware	Arduino/ESP32 have been widely validated for use in environmental monitoring applications (e.g., temperature, noise level, wood detection sensors, RFID).	this study utilizes Arduino hardware for dimensional metrology inspection in industrial applications.
calibration	sensor calibration focusing on accuracy and precision is a critical topic in numerous studies.	This study adopts calibration approaches aligned with metrological quantity standards.
communication	MQTT and REST API are commonly employed for connecting IoT devices to modern systems.	the Arduino board is integrated with real-time data systems through spreadsheet software (Excel).
data presentation	excel is frequently recommended as a tool for real-time data visualization.	this study implements excel data streamer to create an intuitive and user-friendly interface.
research gap	existing research lacks solutions for cost-constrained inspection of workpieces under limited resources.	this study develops a low-cost prototype system for dimensional inspection using Arduino, with adaptable workpiece selection, suitable for industrial applications.

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ดำเนินการพัฒนาระบบต้นแบบสำหรับการวัดเชิงมิติ โดยใช้แพลตฟอร์มสมองกลฝังตัว Arduino Uno R3 (ATmega328P) ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลหลัก ร่วมกับโปรแกรม Microsoft Excel Data Streamer (Microsoft Corp., USA) ซึ่งใช้สำหรับบันทึกและแสดงผลข้อมูลการวัดแบบเรียลไทม์ การเลือกใช้อุปกรณ์ดังกล่าวมีจุดประสงค์เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากการบันทึกข้อมูลด้วยมือ และสร้างระบบที่ต้นทุนต่ำ สามารถเข้าถึงได้ง่ายโดยผู้ปฏิบัติการทั่วไป ทั้งนี้ ขั้นตอนการวิจัยได้ถูกออกแบบให้มีความเป็นระบบและสามารถสอบกลับได้ตามหลักมาตรวิทยา โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การเตรียมอุปกรณ์ในงานวิจัย

1.1 ศึกษาข้อมูลไมโครคอนโทรลเลอร์แบบสมองกลฝังตัวที่เกี่ยวข้องกับอาณูโน้เพื่อเข้าใจความสามารถและข้อจำกัดของเทคโนโลยีและเรียนรู้วิธีการใช้งานอาณูโน้ โดยศึกษาจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เช่น เอกสาร คู่มือ หนังสือ ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบ เริ่มจากการเลือกใช้อุปกรณ์ rotary encoder รุ่น e6b2-cwz6c (Omron Inc., ความละเอียด 600pulse/rev) เป็นอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่เชิงเส้นของชิ้นงาน และส่งสัญญาณพัลส์

เข้าสู่บอร์ด Arduino เพื่อนำไปประมวลผล จากนั้นผลการคำนวณจะแสดงผ่าน จอ LCD I²C และส่งต่อไปยัง Microsoft Excel ผ่าน Data Streamer โดยข้อมูลทุกค่าจะถูกบันทึกลงในตารางข้อมูลพร้อมกับ timestamp เพื่อให้สามารถตรวจสอบย้อนหลัง และสร้างกราฟการเปลี่ยนแปลงได้แบบเรียลไทม์

1.2 การติดตั้งโครงสร้างและจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ซึ่งมีรายการอุปกรณ์ดังนี้

1.2.1 บอร์ด Arduino Uno R3 (ATmega328P)	1	ตัว
1.2.2 LCD I ² C 16×2	1	ตัว
1.2.3 โรตารีเอ็นโค้ดเดอร์ Omron รุ่น e6b2-cwz6c	1	ตัว
1.2.4 ตัวต้านทาน 1k Ω	2	ตัว
1.2.5 สวิตช์แบบเลือกตำแหน่ง	1	ตัว
1.2.6 สวิตช์แบบปุ่มกด	2	ตัว
1.2.7 อะแดปเตอร์แปลงไฟ 9VDC	1	ตัว
1.2.8 สาย USB	1	ตัว

1.3 ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดลองวิธีวัดงานจากระบบสมองกลฝังตัวอาดูโนและบันทึกผลการวัดด้วย Excel Data Streamer ตามที่ได้ออกแบบวงจรไว้ มีขั้นตอนดังนี้

1.3.1 บอร์ดอาดูโน (Arduino) จะใช้อะแดปเตอร์ (adapter) 9VDC สำหรับใช้ในการทำงานของบอร์ด โดยมีสวิตช์ควบคุมการปิด-เปิดไฟฟ้าผ่านขั้วต่อ (DC jack)

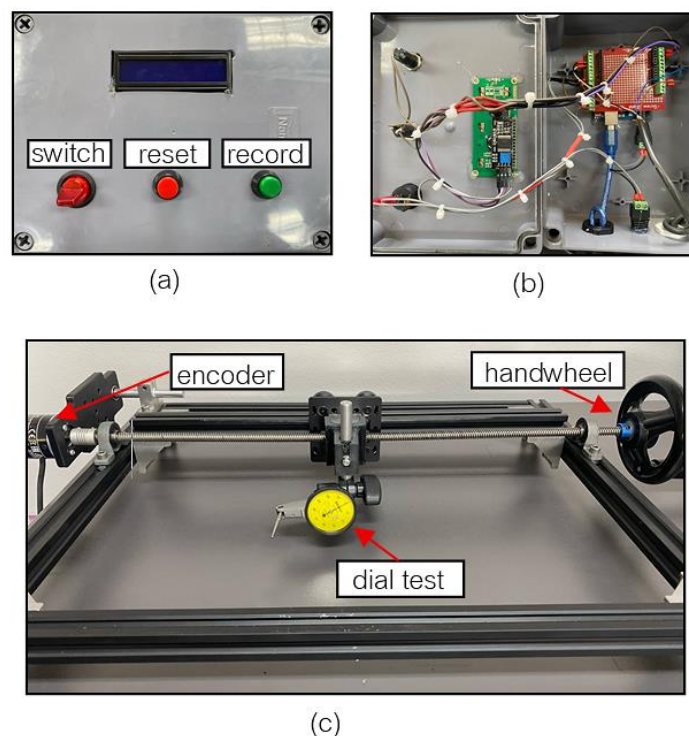


Figure 1 Installation of prototype components: (a) panel, (b) control circuit and (c) prototype structure.

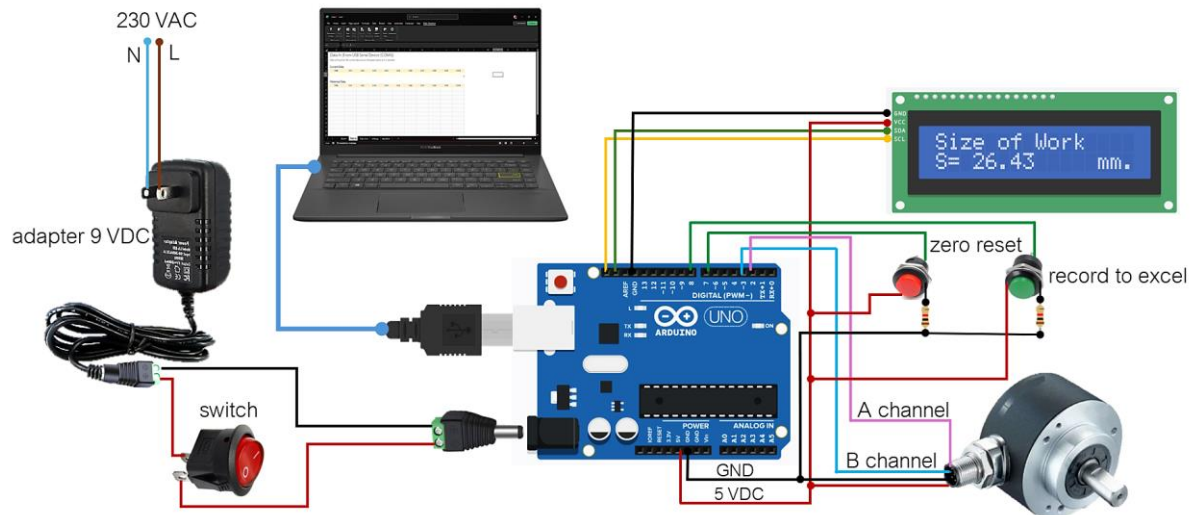


Figure 2 The control circuit of a workpiece measurement system based on an Arduino embedded platform, with measurement data logging using Excel Data Streamer.

1.3.2 การติดต่อระหว่างบอร์ดอาดูโนกับเอ็นโค้ดเดอร์ (encoder) โดยทั่วไปเอ็นโค้ดเดอร์จะมีสายไฟทั้งหมด 4 เส้น คือ สายกราวด์ (GND), สายจ่ายไฟ (VCC), สายแชนแนล (channel A;DT) และสายแชนแนล (channel B;CLK) โดยขาแชนแนล A และ B จะให้สัญญาณพัลส์ (pulse) สลับกัน ซึ่งสามารถระบุทิศทางการหมุนได้โดยการตรวจลำดับของสัญญาณจากการหมุนเพลลา (shaft) จากนั้นต่อขา (A) และขา (B) ของเอ็นโค้ดเดอร์เข้ากับ D2 และ D3 คือช่อง interrupt ของบอร์ดอาดูโนตามลำดับ ส่วนสายกราวด์ (GND) เอ็นโค้ดเดอร์ต่อกับกราวด์บอร์ดอาดูโนและสายจ่ายไฟ (VCC) เอ็นโค้ดเดอร์ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ 5VDC ของบอร์ดอาดูโน ทั้งนี้ได้กำหนดสวิตช์สำหรับรีเซ็ตค่าตัวเลขซึ่งต่อกับขา D7 และสวิตช์สำหรับบันทึกค่าในเอ็กเซลต่อกับขา D8 ของบอร์ดอาดูโน โดยต่อวงจรแบบ pull-down resistor เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน ดัง (Figures 1-2)

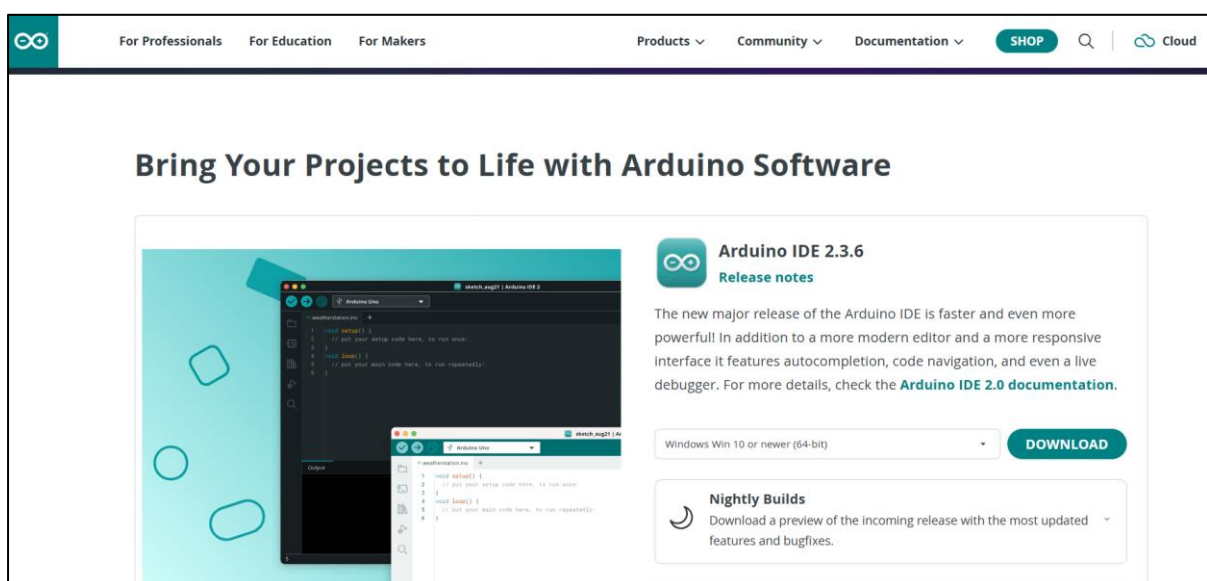


Figure 3 Installation of the Arduino IDE for programming encoder signal acquisition.

1.3.3 การต่อบอร์ดอาดูโน้กับจอ LCD I²C โดยจะมีการเชื่อมต่อทั้งหมด 4 จุด คือ สายกราวด์ (GND) ของ LCD I²C ต่อกับกราวด์บอร์ดอาดูโน้และสายจ่ายไฟ (VCC) LCD I²C ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ 5VDC ของบอร์ดอาดูโน้ ส่วนช่อง SDA และ SCL ของ LCD I²C ต่อกับ SDA และ SCL ของบอร์ดอาดูโน้

1.4 ติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE สำหรับเขียนโค้ด (Coding) ดัง (Figure 3) เพื่อควบคุมการอ่านค่าของเอ็นโค้ดเดอร์ (encoder) ให้แสดงผลการวัดออกทางจอแอลซีดี (LCD I²C) และติดตั้งเครื่องมือเดต้าสตรีมเมอร์ (Data Streamer) ในโปรแกรมเอ็กซ์เซลสำหรับดึงค่าวัดงานที่แสดงผลบนจอแอลซีดีมาเก็บไว้ในเอ็กซ์เซล ดัง (Figure 4)

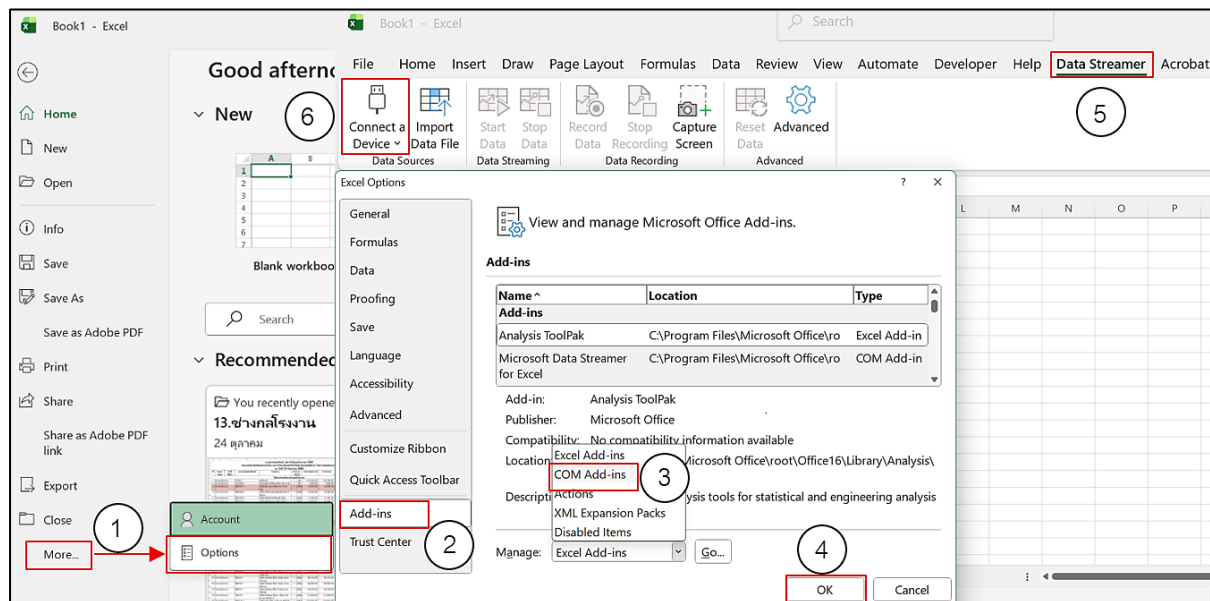


Figure 4 Procedure for installing the Data Streamer add-in in Microsoft Excel.

2. ขั้นตอนการทดลอง

การทดสอบอุปกรณ์วิธีการวัดงานจากระบบสมองกลฝังตัวอาดูโน้และบันทึกผลการวัดด้วย Excel Data Streamer มีรายละเอียดการดำเนินการ ดังนี้

2.1 ดำเนินการสอบเทียบค่าเอ็นโค้ดเดอร์ที่แสดงผลบนหน้าจอลซีดีกับนาฬิกาวัดแบบคาน (dial test indicator, Mitutoyo, Japan, รุ่น 513-415-10E graduation 0.01 มิลลิเมตร) ดัง (Figure 5a) ด้วยการสอบเทียบค่าตัวเลขจากการนำเอานาฬิกาวัดไปกดที่ตำแหน่งอ้างอิงโดยให้เข็มหน้าปัทมหมุนเคลื่อนที่ไปประมาณ 5-10 ซิต แล้วปรับศูนย์ของเรือนหน้าปัทมของนาฬิกาวัด จากนั้นกดปุ่มรีเซ็ตให้ค่าตัวเลขบนหน้าจอลซีดีเป็นศูนย์แล้วหมุนมือหมุน (hand wheel) ให้นาฬิกาวัดเคลื่อนที่กดเข็มนาฬิกาวัดอีกครั้งประมาณ 10-15 ซิต แล้วอ่านค่าจากนาฬิกาวัดเปรียบเทียบกับค่าตัวเลขบนหน้าจอลซีดี หากค่าเปรียบเทียบเท่ากันถือว่าใช้ได้ แต่ถ้าไม่เท่ากันให้ปรับแก้ค่าแฟคเตอร์ในโค้ดอาดูโน้และอัปโหลดลงบอร์ดอาดูโน้แล้วทดสอบแบบเดิมซ้ำอีกครั้ง

2.2 ทดสอบการวัดงานจากชิ้นงานตัวอย่างและบันทึกผลการวัดด้วยเดต้าสตรีมเมอร์สำหรับดึงค่าการวัดจากเอ็นโค้ดเดอร์มาแสดงในตารางของโปรแกรมเอ็กซ์เซล โดยที่ผู้ทำการวัดไม่ต้องบันทึกค่าวัดงานเอง ดัง (Figure 5b) ทั้งนี้หลักการทำงานของระบบถูกกำหนดเป็นขั้นตอนการทำงานของระบบการวัดตำแหน่งเชิงมิติ โดยเริ่มจากการตั้งค่าเริ่มต้น (initialization) ของอุปกรณ์ทั้งหมด ได้แก่ Arduino, Encoder, LCD I²C และ Data Streamer หลังจากนั้น

โปรแกรมจะเข้าสู่การวนลูการทำงาน โดยเริ่มจากการอ่านจำนวนพัลส์จากสัญญาณของ Encoder ที่ส่งเข้ามาทาง channel A และ B ซึ่งสัญญาณนี้สามารถบอกได้ทั้งปริมาณการเคลื่อนที่และทิศทางการหมุน ดัง (Figure 6) จากนั้นนำค่าพัลส์ไปคำนวณหาระยะทางเชิงเส้น ดังสมการ (1)

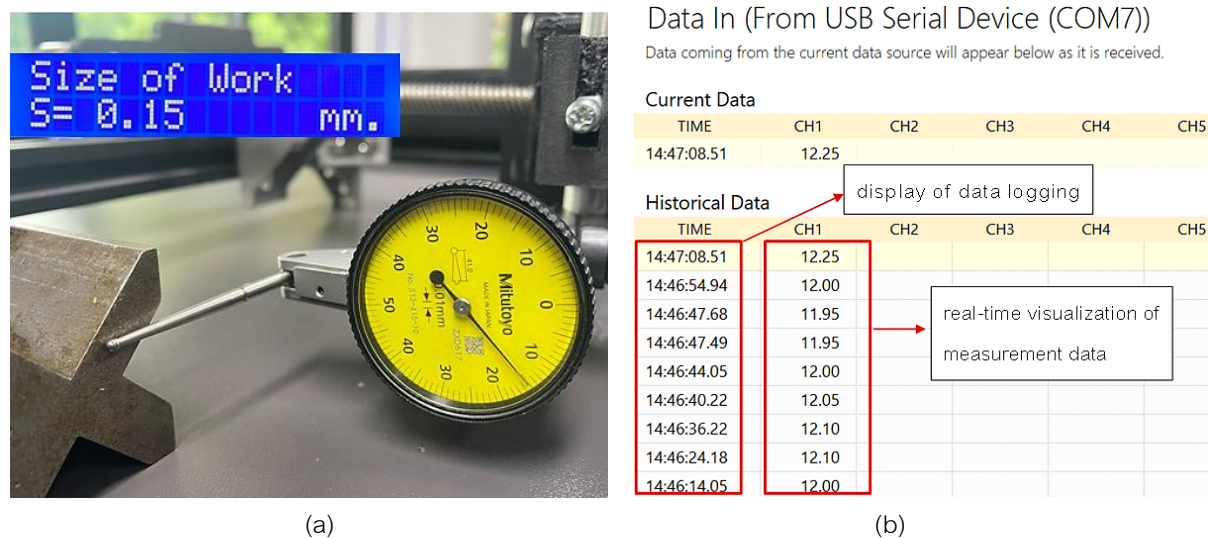


Figure 5 (a) Calibration of measurement values on the display screen using a dial gauge, and (b) measurement data logging using Data Streamer, capable of recording timestamps and displaying data in real-time.

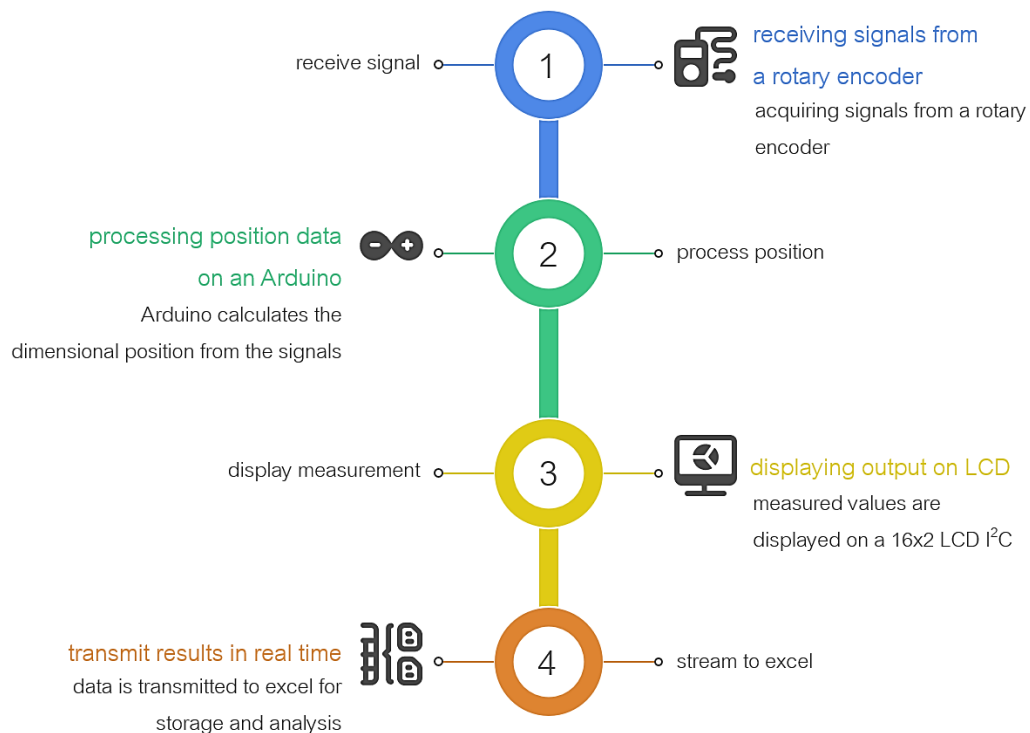


Figure 6 The operational procedure of a dimensional measurement system, which includes an Arduino, Encoder, LCD, and Data Streamer.

$$d = \frac{N_p}{N_{rev}} \times C \quad (1)$$

โดยที่ d คือ ระยะทางที่เคลื่อนที่จริง (มิลลิเมตร)

N_p คือ จำนวนพัลส์ที่อ่านได้ (พัลส์)

N_{rev} คือ จำนวนพัลส์ต่อการหมุนหนึ่งรอบของเอ็นโค้ดเดอร์ (พัลส์ต่อรอบ)

C คือ ระยะทางต่อหนึ่งรอบ (มิลลิเมตรต่อรอบ) ของกลไกที่ต่อร่วมกับเอ็นโค้ดเดอร์

ค่าที่คำนวณได้จะแสดงบนจอ LCD I²C และถูกส่งไปยัง Microsoft Excel Data Streamer เพื่อบันทึกพร้อมเวลา (timestamp) และสามารถสร้างกราฟการเปลี่ยนแปลงแบบเรียลไทม์ได้ทันที

2.3 นำผลการวัดชิ้นงานตัวอย่างระหว่างวิธีการวัดจากระบบสมองกลฝังตัวและการวัดจากเครื่องมือมาตรฐาน คือ ไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo, range 0-25 มิลลิเมตร, accuracy $\pm 2\mu\text{m}$) หรือไฮเกจ (Mitutoyo, range 0-300 มิลลิเมตร, accuracy $\pm 20\mu\text{m}$) เป็นต้น มาเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลองต้นแบบหรือการวัดจากระบบสมองกลฝังตัวนั่นเอง โดยการวิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีทางสถิติเพื่อประเมินความแตกต่างระหว่างระบบสมองกลฝังตัวและเครื่องมือมาตรฐาน โดยอาศัยสมการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบ t-test ดังสมการ (2)

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (2)$$

โดยที่ $\bar{x}_1$ และ $\bar{x}_2$ คือ ค่าเฉลี่ยจากการวัดด้วยระบบสมองกลฝังตัวและเครื่องมือมาตรฐานตามลำดับ ส่วน s_1^2, s_2^2 คือ ค่าความแปรปรวน และ n_1, n_2 คือ จำนวนตัวอย่างการวัด การทดสอบนี้ใช้ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อพิจารณาว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่

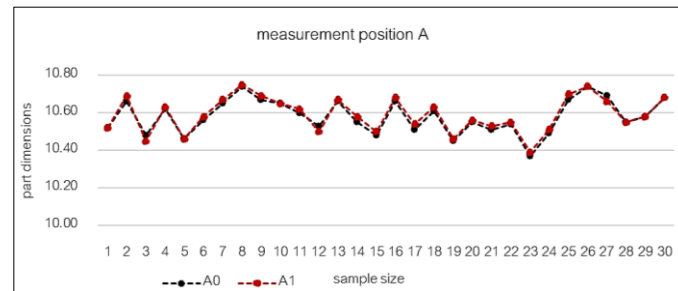
สมมติฐานของการทดลองถูกกำหนดไว้สองข้อ ได้แก่ H_0 : ค่าเฉลี่ยของการวัดจากระบบสมองกลฝังตัวไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือมาตรฐาน และ H_1 : ค่าเฉลี่ยของการวัดจากระบบสมองกลฝังตัวแตกต่างจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือมาตรฐาน การทดสอบนี้มีความสำคัญต่อการยืนยันความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของระบบที่พัฒนาขึ้น

ในส่วนของการขอขอบเขตการศึกษา งานวิจัยนี้เน้นไปที่การวัดเชิงเส้นหนึ่งมิติในชิ้นงานรูปทรงเรขาคณิตพื้นฐาน เพื่อประเมินความสามารถเบื้องต้นของชุดทดลองต้นแบบ อย่างไรก็ตาม ขอบเขตนี้สามารถต่อยอดไปสู่การวัดหลายมิติ (multi-axis) และการใช้งานกับชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อนมากขึ้น รวมถึงการปรับเปลี่ยนชนิดของเซ็นเซอร์ เช่น การใช้ laser displacement sensor หรือ ultrasonic sensor เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความยืดหยุ่นของระบบได้ในอนาคต

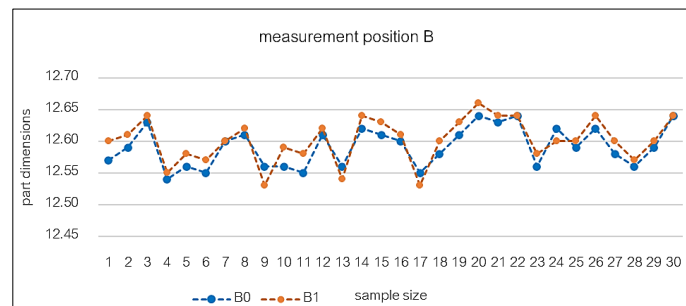
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การวิเคราะห์ผลการวัดงานจากระบบสมองกลฝังตัวอาดูโนและบันทึกผลการวัดด้วย Excel Data Streamer โดยการวัดขนาดชิ้นงานตัวอย่าง จำนวน 30 ตัวอย่าง มีผลการวิเคราะห์ดังนี้

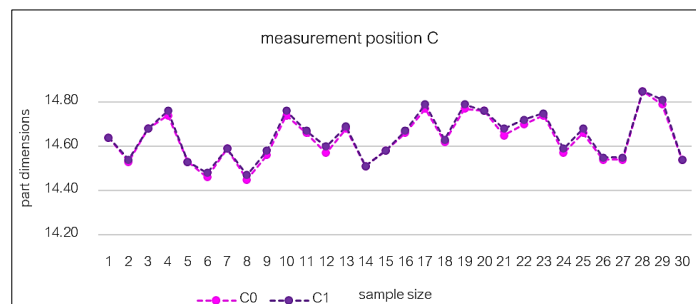
ทำการวัดชิ้นงานตัวอย่างที่ตำแหน่ง A-D จำนวน $n=30$ ตัวอย่าง และเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือมาตรฐาน กับระบบต้นแบบอาดูโน (Arduino) ผลพบว่า เครื่องมือมาตรฐาน A0, B0, C0 และ D0: 10.58 ± 0.092 , 24.70 ± 0.031 , 14.64 ± 0.104 และ 25.78 ± 0.035 มิลลิเมตร ระบบต้นแบบ A1, B1, C1 และ D1: ค่าเฉลี่ย 10.59 ± 0.093 , 24.71 ± 0.035 , 14.65 ± 0.105 และ 25.79 ± 0.036 มิลลิเมตร ดัง (Figures 7-8)



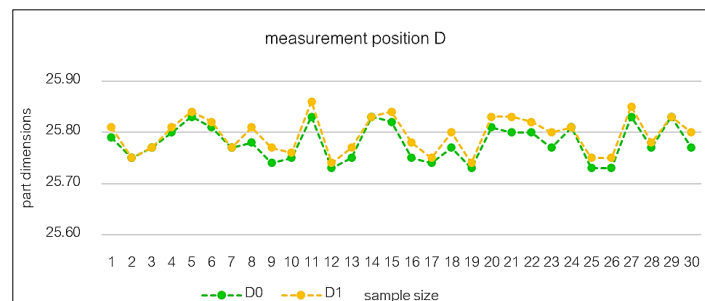
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 7 The results from an Arduino-based embedded system and standard instrumentation were compared to evaluate discrepancies in measurements at four positions: (a) Position A, (b) Position B, (c) Position C, and (d) Position D.

การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสองประชากรระหว่างเครื่องมือวัดมาตรฐานกับระบบสมองกลฝังตัว ด้วยการทดสอบแบบ t-test กำหนดให้ระดับนัยสำคัญ 0.05 สมมุติฐาน คือ

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j$$

เมื่อ $i = A0\ B0\ C0$ และ $D0$ คือ การวัดงานด้วยเครื่องมือวัดมาตรฐาน

เมื่อ $j = A1\ B1\ C1$ และ $D1$ คือ การวัดงานด้วยระบบสมองกลฝังตัวอาดูโน

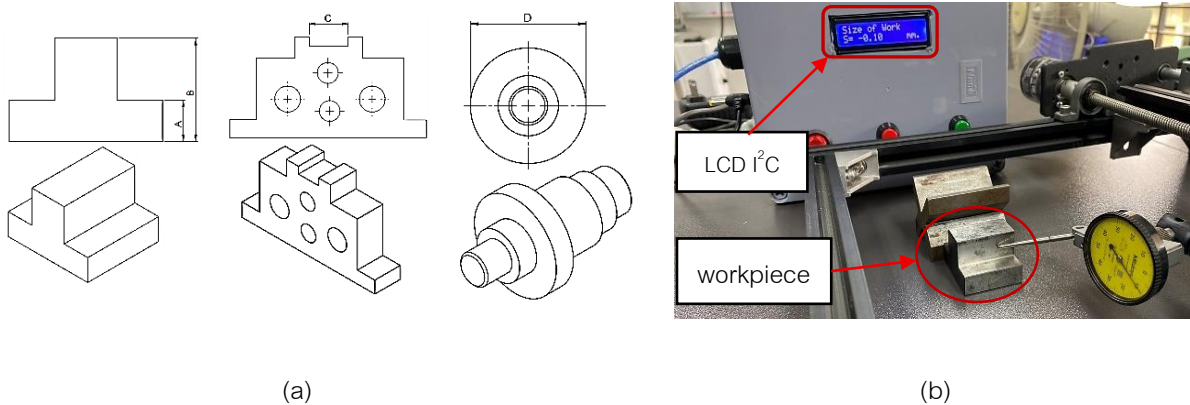


Figure 8 (a) Sample workpiece used for testing and (b) workpiece measurement and display of results via the LCD screen.

Table 2 Results of the hypothesis test comparing the mean measurement values between the standard measuring instrument and the prototype using the t-test.

position	mean	S.D.	df.	p-value
A0	10.58	0.092	58	0.6879
A1	10.59	0.093	58	
B0	24.70	0.031	58	0.2311
B1	24.71	0.035	58	
C0	14.64	0.104	58	0.6586
C1	14.65	0.105	58	
D0	25.78	0.035	58	0.0844
D1	25.79	0.036	58	

ผลการทดสอบสมมุติฐานเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการวัดชิ้นงานตัวอย่างระหว่างเครื่องมือวัดมาตรฐานกับวิธีวัดงานจากระบบฝังตัวอาดูโนและการทดสอบสมมุติฐานจากโปรแกรมเอ็กซ์เซล ดัง (Table 2) พบว่าค่า p-value มากกว่า 0.05

ทุกตำแหน่งการวัด (ไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0) นั่นคือ ค่าเฉลี่ยการวัดชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวัดมาตรฐานไม่แตกต่างกับวิธีวัดงานจากระบบฝังตัวอาณูโนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ทั้งนี้ชุดต้นแบบการวัดงานด้วยระบบสมองกลฝังตัวอาณูโนถูกสร้างมาให้ทำการวัดชิ้นงานได้เพียงหนึ่งมิติหรือการวัดความยาวเพียงแกนเดียวเท่านั้น จึงทำให้ไม่สามารถวัดขนาดงานที่มีรูปร่างหลากหลายได้ เนื่องจากข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ของแกนวัดและผลการทดลองจะแสดงการอธิบายด้วยเหตุผลดังนี้

1. ความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยการวัดชิ้นงานตัวอย่างด้วยระบบฝังตัวอาณูโน ที่ตำแหน่งการวัดต่าง ๆ จากการทดสอบ t-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเครื่องมือวัดมาตรฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่า p-value มากกว่า 0.05 ในทุกตำแหน่งการวัด ซึ่งหมายความว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างวิธีการวัดที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน (Egho-Promise et al., 2024) สิ่งนี้ยืนยันถึงความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของระบบที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวัดขนาดในงานมาตรฐานด้านมิติสอดคล้องกับหลักการของ digital metrology ที่เน้นการลดสัญญาณรบกวนและเพิ่มความเที่ยงตรงในการวัด (Xiong et al., 2025) และเป็นทางเลือกสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม

2. การบูรณาการระบบสำหรับการแสดงผลและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ง่ายต่อการเข้าถึง โดยระบบที่พัฒนาขึ้นใช้ Excel Data Streamer เพื่อรวบรวมและแสดงข้อมูลจากเซ็นเซอร์ในรูปแบบที่มีโครงสร้าง (Parkavi & Veluswamy, 2024) ทำให้เข้าถึงได้ง่ายสำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้ด้านการเขียนโปรแกรม คุณสมบัติการใช้งานในรูปแบบของฐานข้อมูลไมโครซอฟท์ เอ็กเซล (Microsoft Excel) เช่น การกรอง การเรียงลำดับข้อมูล การคำนวณยอดรวม และตารางไพลอต (pivot table) ยังช่วยให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลผลการวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับแนวคิดของอุตสาหกรรม 4.0 ที่เน้นการใช้ระบบสมองกลฝังตัว (embedded intelligence) เพื่อเพิ่มศักยภาพการตรวจสอบคุณภาพในสายการผลิตและสนับสนุนแนวทางของ Kittidecha et al., (2025) และ Rose et al., (2025) ที่ชี้ว่าการบูรณาการเทคโนโลยีอัตโนมัติระดับจุลภาคช่วยลดเวลาและเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมกระบวนการ

สรุป

งานวิจัยนี้พัฒนาต้นแบบ ระบบวัดเชิงมิติต้นทุนต่ำ โดยใช้ Arduino ผสานการบันทึกข้อมูล แบบเรียลไทม์ผ่าน Microsoft Excel Data Streamer เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการอ่าน การจดบันทึกด้วยมือ และเพิ่มความสะดวกในการจัดเก็บข้อมูลเชิงโครงสร้างพร้อม timestamp ผลการทดสอบกับชิ้นงานตัวอย่าง $n=30$ พบว่า ค่าเฉลี่ยการวัดของต้นแบบ ไม่แตกต่างจากเครื่องมือมาตรฐาน (ไมโครมิเตอร์/ไฮเกจ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (paired t-test $p>0.05$ และค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับที่ยอมรับได้เชิงปฏิบัติ) สะท้อน ความแม่นยำและความน่าเชื่อถือในการใช้งานจริง พร้อมทั้งช่วยลดความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติและเปิดโอกาสให้ผู้ใช้ที่ไม่ถนัดการเขียนโปรแกรมเข้าถึงข้อมูลและวิเคราะห์ผลได้สะดวก

ในเชิงการประยุกต์ใช้งาน ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะกลุ่มวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ที่มักประสบปัญหาขาดแคลนเครื่องมือวัดที่มีราคาแพง ระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำหน้าที่เป็นเครื่องมือช่วยตรวจสอบคุณภาพที่ต้นทุนต่ำและใช้งานง่าย อีกทั้งยังสามารถต่อยอดไปสู่การบูรณาการกับเทคโนโลยีอื่น เช่น การใช้เซ็นเซอร์ที่หลากหลายขึ้น การวัดหลายแกน (multi-axis) และการประมวลผลข้อมูลเชิงลึกด้วยปัญญาประดิษฐ์ เพื่อสนับสนุนการผลิตที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลภายใต้กรอบแนวคิดอุตสาหกรรม 4.0 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะเชิงพัฒนาเพื่อการวิจัยในอนาคต มีดังต่อไปนี้

1. การขยายขอบเขตการวัดและประเภทของชิ้นงาน (1) เพิ่มความหลากหลายของเซ็นเซอร์ การใช้เซ็นเซอร์ในการวัดด้านมิติ ควรมีการบูรณาการเซ็นเซอร์ประเภทอื่น ๆ เช่น เซ็นเซอร์วัดระยะด้วยเลเซอร์ เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก หรือกล้อง (computer vision) เพื่อให้ระบบสามารถวัดพารามิเตอร์อื่น ๆ ได้ เช่น การวัดรูปทรงที่ซับซ้อน การตรวจสอบตำหนิบนพื้นผิว หรือการวัดอุณหภูมิและความชื้นในสภาพแวดล้อมการผลิตที่แตกต่างกัน (2) การรองรับชิ้นงานหลากหลายขนาด โดยทดสอบระบบกับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือมีรูปร่างที่ซับซ้อนมากขึ้น รวมถึงวัสดุที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินขีดจำกัดและความสามารถในการปรับตัวของระบบ
2. การพัฒนาแดชบอร์ดที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น แม้ว่า Excel Data Streamer จะใช้งานง่ายแต่การพัฒนาแดชบอร์ดเฉพาะทาง (custom dashboard) ด้วยแพลตฟอร์มอื่น ๆ เช่น Power BI, Grafana หรือการพัฒนา web application จะช่วยให้การแสดงผลข้อมูลมีความยืดหยุ่น สวยงาม และสามารถวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกได้มากขึ้น เช่น การแสดงผลแนวโน้ม (trends), การแจ้งเตือนความผิดปกติ (anomaly detection) หรือการแสดงผลแบบ 3 มิติสำหรับชิ้นงาน
3. บูรณาการกับการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูง (AI/machine learning) นำข้อมูลที่รวบรวมได้มาใช้ในการสร้างแบบจำลอง AI สำหรับการคาดการณ์ (predictive maintenance) การควบคุมคุณภาพ (quality control) หรือการระบุสาเหตุของความผิดพลาดในการผลิต เพื่อให้ระบบมีความสามารถในการตัดสินใจและปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างชาญฉลาดยิ่งขึ้น
4. การวัดแบบหลายแกน (multi-axis measurement) พัฒนาระบบให้สามารถวัดตำแหน่งหรือขนาดพร้อมกันในหลายแกน (X, Y, Z) เพื่อประยุกต์ใช้กับงานที่มีรูปทรงซับซ้อนมากขึ้น เช่น งาน CNC หรือ 3D inspection เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- Akhtar, M. U., & Iqbal, M. T. (2024). Development and evaluation of an Arduino-based data logging system integrated with Microsoft Excel for monitoring on-grid photovoltaic systems. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 8(3), 29-37.
<https://doi.org/10.24018/ejece.2024.8.3.622>
- Al Mamun, M. R., Ahmed, A. K., Upoma, S. M., Haque, M. M., & Ashik-E-Rabbani, M. (2025). IoT-enabled solar-powered smart irrigation for precision agriculture. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100773.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100773>
- Demetillo, A. T., Japitana, M. V., & Taboada, E. B. (2019). A system for monitoring water quality in a large aquatic area using wireless sensor network technology. *Sustainable Environment Research*, 29(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0009-4>
- Egho-Promise, E., Sitti, M., Hutchful, N., & Agangiba, W. A. (2024). IoT-enhanced weather monitoring system: Affordable hardware solution for real-time data collection storage and predictive analysis. *European Journal of Computer Science and Information Technology*, 12(1), 43-56.
<https://doi.org/10.37745/ejcsit2013/vol12n14356>

- Geck, C. C., Alsaad, H., Voelker, C., & Smarsly, K. (2024). Personalized low-cost thermal comfort monitoring using IoT technologies. *Indoor Environments*, 1(4), 100048.
<https://doi.org/10.1016/j.indenv.2024.100048>
- Gómez-Gijón, S., Salmerón, J. F., Falco, A., Loghin, F. C., Lugli, P., Morales, D. P., Rodriguez, N., & Rivadeneyra, A. (2025). Printed RFID sensing system: The cost-effective way to IoT smart agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 232, 110116.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110116>
- Kittidecha, C., Saramath, S., & Narapinij, P. (2025). Plant layout improvement of the stainless-steel cookware manufacturing using ALDEP. *RMUTSB Academic Journal*, 13(1), 57-70.
<https://doi.org/10.64989/rmutsbj.2025.265274> (in Thai)
- Koomngern, A., & Chaiyabut, N. (2025). Development of an automated system for beverage preparation to assist bartenders. *RMUTSB Academic Journal*, 13(2), 237-252.
<https://doi.org/10.64989/rmutsbj.2025.268136> (in Thai)
- Murugesan, L. J., & Chettiar, S. R. S. (2021). Design and implementation of intelligent classroom framework through light-weight neural networks based on multimodal sensor data fusion approach. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 35(4), 291-300. <https://doi.org/10.18280/ria.350403>
- Parkavi, V., K. J., & Veluswamy, P. (2024). Enhancing photovoltaic systems with integrated thermoelectric generators: Real-time optimization through arduino implementation. *Materials Circular Economy*, 6(1), 61. <https://doi.org/10.1007/s42824-024-00141-w>
- Rose, T., Ali, N., & Dong, Y. (2025). Design and development of an IoT-based dendrometer system for real-time trunk diameter monitoring of Christmas trees. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100765.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100765>
- Saputra, A. D. S., Hindarto, D., & Haryono, H. (2023). Supervised learning from data mining on process data loggers on micro-controllers. *Sinkron: Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*, 7(1), 157-165.
<https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i1.11942>
- Somogyi, A., Kelemen, A., Mellár, J., & Mingesz, R. (2024). Event-driven kinematic measurements using BBC micro: Bits programmed in C++. *Central-European Journal of New Technologies in Research, Education and Practice*, 6(1), 35-58. <https://doi.org/10.36427/CEJNTREP.6.1.7135>
- Xiong, X., Liu, Z., Kan, K., Zhu, Y., Zhang, W., & Fang, X. (2025). Design and implementation of a digital calibration certificate web service system based on microservice architecture. *Measurement: Sensors*, 38(S), 101487. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101487>