

การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก โดยใช้เทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

A DEVELOPMENT OF MINI CNC MILLING MACHINE CONTROL SYSTEM USING INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY

สมมาตร พรหมพุด*, นพรุจ เขียวนาค

Sommart Prompt*, Nopparut Khaewnak

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ

อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20110

School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, BangPhra Campus,

Sriracha, Chon Buri, Thailand, 20110

*Corresponding author e-mail: sommart_pr@rmutto.ac.th

วันที่เข้ารับ 8 มีนาคม 2565

วันที่แก้ไขบทความ 8 เมษายน 2565

วันที่ตอบรับบทความ 8 เมษายน 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเข้ามามีส่วนช่วยในการพัฒนาเครื่องจักรกลอัตโนมัติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก ความแม่นยำสูง เหมาะสำหรับชิ้นงานไม้ แผ่นอะคริลิก และง่ายต่อการใช้งาน เมื่อเทียบกับเครื่องขนาดใหญ่ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานโดยใช้แบบจำลอง ADDIE คือ การวิเคราะห์ การออกแบบ การพัฒนา การนำไปใช้ และการประเมินผลลัพธ์ของเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก ที่สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซีผ่านเว็บเบราว์เซอร์ที่พัฒนาด้วยซอฟต์แวร์ Node-RED ส่งผ่านด้วยโปรโตคอล MQTT ซึ่งเป็นโปรโตคอลมาตรฐานหลักของ ISO/IEC 20922:2016 โดยผลการทดสอบพบว่าสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กได้ถูกต้อง มีค่าความผันแปรในแนวแกน X แกน มีค่าเท่ากับ 1.00 แนวแกน Y แกน มีค่าเท่ากับ 1.00 แนวแกน Z แกน มีค่าเท่ากับ 0.99 และช่วยลดปัญหาในการติดตั้งชุดโปรแกรมควบคุมบนระบบปฏิบัติการได้

คำสำคัญ: ซีเอ็นซี, ระบบควบคุม, เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, เอ็มคิวทีที

Abstract

This research has brought the Internet of Things technology to support automatic machine development. It aims to design and develop a mini CNC milling machine-controlling system with high-precision suitable for wood, acrylic sheet and small workpieces, and easy to move when compared with a large machine. This research was carried out by using ADDIE Model, including analysis, design, development, implementation, and outcome evaluation of small CNC milling machines. The CNC milling machine operation can be controlled via a web browser developed by Node-RED software and the instruction dataset is transmitted by MQTT Protocol, a core standard protocol of ISO/IEC 20922:2016. The results showed that the movement of the mini CNC milling machine can be controlled precisely. The variation in the X-axis is 1.00, the Y-axis is 1.00, and the Z-axis is 0.99, and it also reduces the problem of installing the driver package on the operating system.

Keywords: CNC, Control system, Internet of things technology, MQTT

1. บทนำ

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of things) หรือ ไอโอที (IoT) ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของผู้คนมากขึ้น การเชื่อมโยงสิ่งต่างๆ เข้าสู่อินเทอร์เน็ตทำให้การควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในครัวเรือนหรือที่ทำงานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และนำไปประยุกต์ใช้งานกันงานด้านอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น Kodali & Anjum (2018) ได้ทำการพัฒนาระบบอัตโนมัติภายในบ้านบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยใช้ Node-RED ได้สรุปผลการวิจัยว่า Node-RED เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่างๆ ทำให้เกิดการตั้งค่าการเชื่อมต่อที่รวดเร็วและง่ายดาย แกดเจ็ตถูกเชื่อมโยงเข้าด้วยกันกับ ESP8266 และ MQTT ที่ใช้ Mosquitto โดยใช้ Node-RED มีการตั้งค่าการเชื่อมต่อสำหรับการตรวจสอบและควบคุมจากระยะไกลได้ Baig *et al.* (2021) ได้ศึกษาวิจัยการออกแบบการใช้งาน IoT และแพลตฟอร์มการซื้อขายพลังงานแบบเพียร์ทูเพียร์บนบล็อกเชนโดยใช้โปรโตคอล ESP32-S2 Node-Red และ MQTT

เทคโนโลยีซีเอ็นซี (Computerized numerical control: CNC) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นงานกัด (Milling) งานกลึง (Turning) ขึ้นส่วนรถยนต์ อะไหล่ อุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ รวมถึงงานกัดขึ้นงานไม้ แผ่นอะคริลิก ล้วนแล้วแต่อาศัยเครื่องจักรซีเอ็นซีในการสร้างซีเอ็นซี (G-code) นั้นอาศัยหลักการพื้นฐานทางคณิตศาสตร์-วิทยาศาสตร์ ได้แก่

เรื่องเรขาคณิตวิเคราะห์ ระบบพิกัด เส้นตรง วงกลม เส้นโค้ง แรง ความเร็ว การเคลื่อนที่ เป็นต้น เนื่องจากเครื่องซีเอ็นซีส่วนมากจะมีขนาดใหญ่ และราคาแพง จึงไม่เหมาะกับงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ซึ่ง เครื่องซีเอ็นซีขนาดเล็กสามารถนำไปประยุกต์การใช้งานได้หลากหลายอาทิ เช่น งานประเภทกัด แกะสลัก เจาะ เซาะร่อง โดยชิ้นงานที่ได้จะเป็นงานในลักษณะสองมิติและสามมิติ โดยทั่วไประบบควบคุมเครื่องซีเอ็นซีขนาดเล็กจะใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุม ออกแบบมาใช้เฉพาะงาน และยังมีราคาสูง ซึ่ง Prianto (2019) ได้ศึกษาและออกแบบ CNC ขนาดเล็กเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการเขียนโปรแกรมและควบคุม CNC ของนักเรียน ที่เป็นเครื่องมือที่ใช้ได้จริงในการเรียนรู้และปรับให้เข้ากับความต้องการของยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม 4.0 ด้วยลักษณะการทำงานอัตโนมัติ Qureshi (2019) ได้ออกแบบมินิซีเอ็นซีขนาดเล็กโดยใช้ Arduino Uno เพื่อแกะสลักบนวัสดุอะคริลิกและอยู่ในต้นทุนที่ต่ำ Shashidhar *et al.* (2020) ได้ศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่อง CNC ขนาดเล็กสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม โดยการผสมผสานคุณสมบัติของอินเทอร์เน็ตเพช PC มาตรฐานเข้ากับระบบ CNC ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในระบบฝังตัวที่ใช้ Arduino

จากการศึกษาข้างต้นการควบคุมเครื่องกัดชิ้นงานขนาดเล็กแบบเดิมนั้น เป็นการควบคุมด้วยชุดคำสั่งโปรแกรมที่ทำงานบนระบบคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โปรแกรมควบคุมเดิมไม่รองรับการติดตั้งบนระบบปฏิบัติการที่มีหลากหลาย อาทิเช่น Linux, MacOS, Android เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งาน เพื่อให้การใช้งานและควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาระบบควบคุมที่สามารถรองรับการทำงานได้จากทุกระบบปฏิบัติการบนเว็บเบราว์เซอร์ เพื่อลดปัญหาในการติดตั้งชุดโปรแกรมคำสั่งบนระบบปฏิบัติการ การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

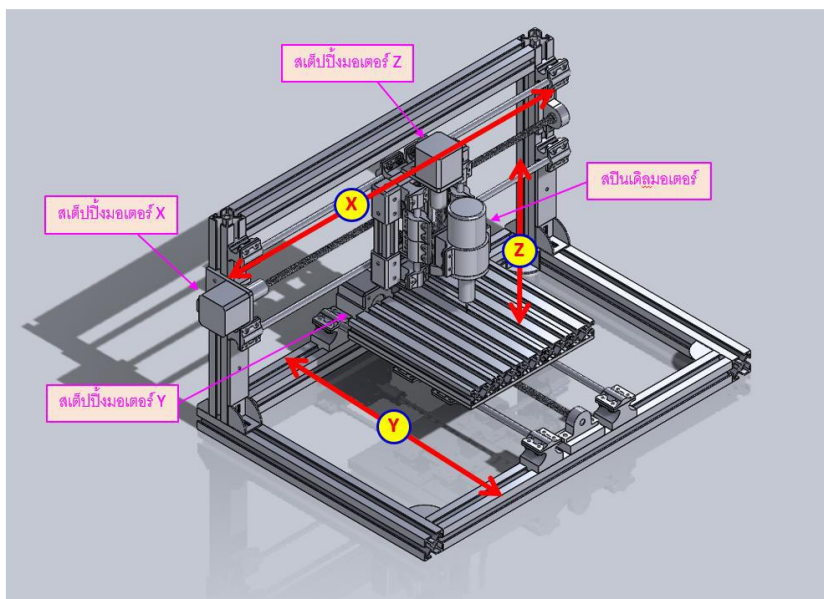
2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

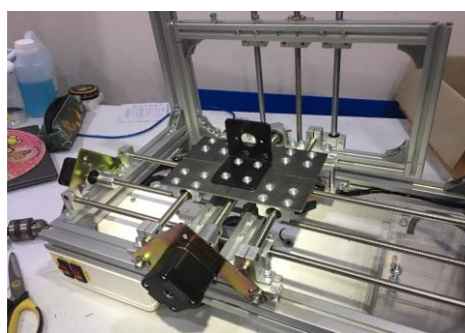
3.1 การออกแบบและสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก

ขั้นตอนนี้จะเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซี โดยได้ทำการออกแบบโครงสร้างของเครื่องกัดซีเอ็นซีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดขนาดและส่วนประกอบต่าง ๆ จากนั้นทำ

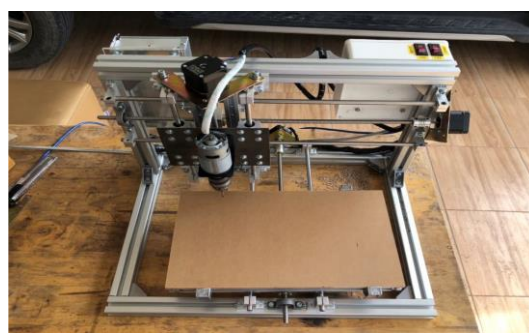
การเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการรับคำสั่งตามโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ส่วนหน่วยประมวลผลจะประกอบด้วยอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่รับข้อมูลจากแอปพลิเคชันในการสั่งงานสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ให้หมุนตามระยะที่กำหนดในตำแหน่งแนวแกน X แนวแกน Y และแนวแกน Z ดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 การออกแบบเครื่องกัดซีเอ็นซี



(ก)



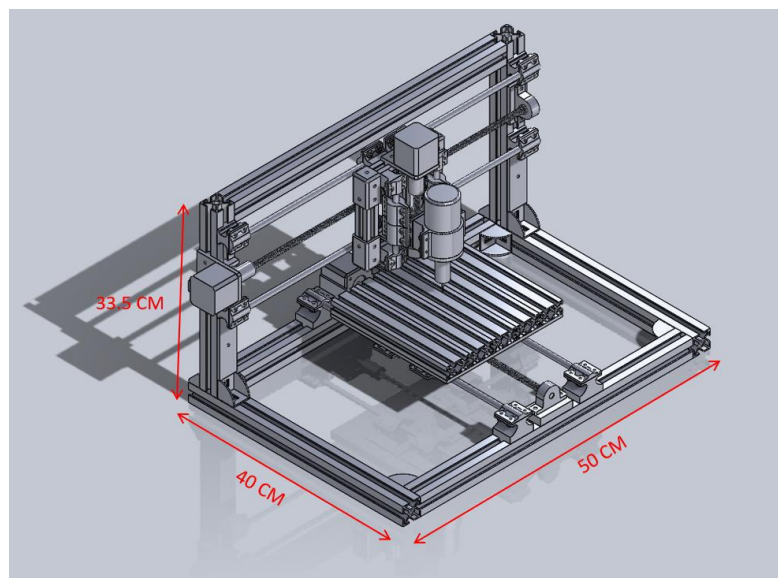
(ข)

ภาพที่ 2 เครื่องกัดซีเอ็นซี

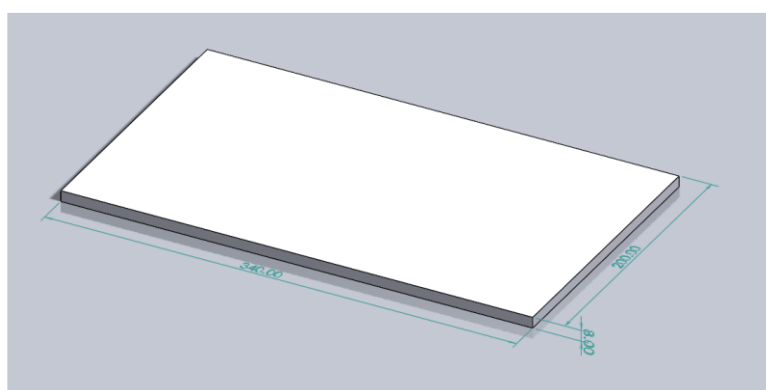
(ก) ก่อนใช้งาน (ข) ขณะใช้งาน

เครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กที่ได้รับการพัฒนาสามารถให้บริการการออกแบบของขนาดสูงสุด 500 มม. x 400 มม. x 350 มม. ดังแสดงในภาพที่ 3 และรองรับการกัดชิ้นงานขนาด 340 มม. X 200 มม. x 8 มม. ดังแสดงในภาพที่ 4 วัสดุที่ใช้ในการดำเนินการทดลองการใช้เครื่องมือตัดที่ผลิตจากไม้และแผ่นอะคริลิก โดยส่วนประกอบหลักของเครื่องกัดซีเอ็นซีประกอบไปด้วย 1) สปินเดิลมอเตอร์

1200 รอบต่อวินาที 2) สเต็ปเปอร์มอเตอร์สำหรับควบคุมแกน X แกน Y และแกน Z 3) Screw rod linear 500 mm ทำให้ตัว Spindle motor เคลื่อนที่ในแนวแกน X แนว Y และ แกน Z ในแนวเส้นตรง



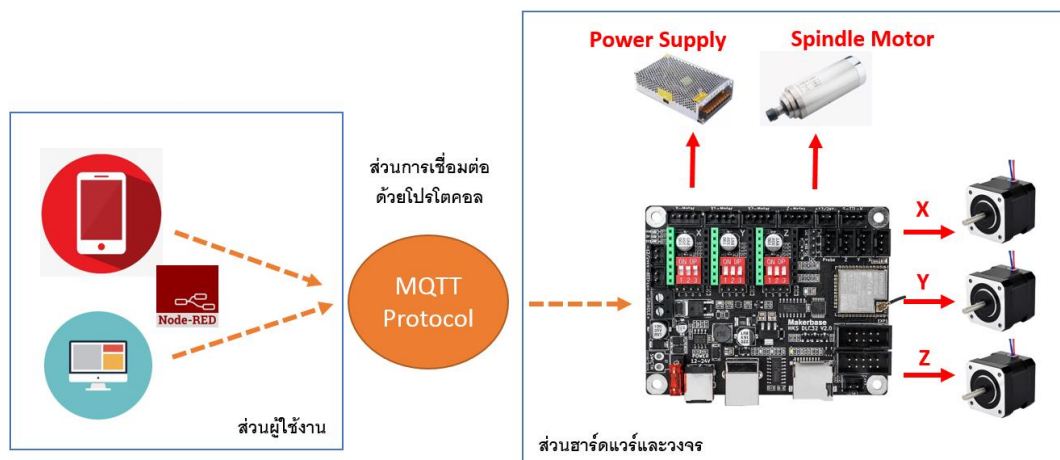
ภาพที่ 3 ขนาดของเครื่องกัดซีเอ็นซี



ภาพที่ 4 พื้นที่การทำงานของชิ้นงาน

3.2 การออกแบบระบบฮาร์ดแวร์

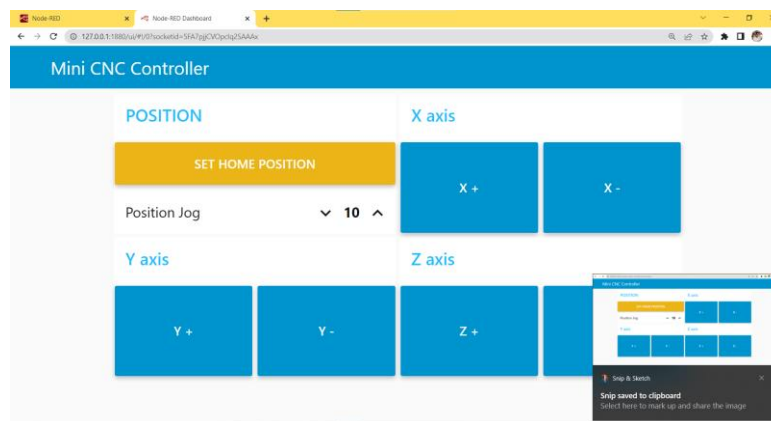
ในการออกแบบระบบฮาร์ดแวร์และสร้างวงจรการเชื่อมต่อของเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก ประกอบด้วยบอร์ด MKS DLC32 เป็นชุดตัวควบคุมหลักที่รองรับการเชื่อมต่อกับสัญญาณไร้สาย โดยจะสั่งให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ของเครื่องกัดซีเอ็นซีทั้ง 3 แกน ทำงานตามระยะที่กำหนดของชุดคำสั่งโปรแกรมจากส่วนผู้ใช้งานด้วยเว็บเบราว์เซอร์ และส่งค่าข้อมูลไปยังเครื่องกัดซีเอ็นซีด้วยโปรโตคอล MQTT ดังแสดงในภาพที่ 5



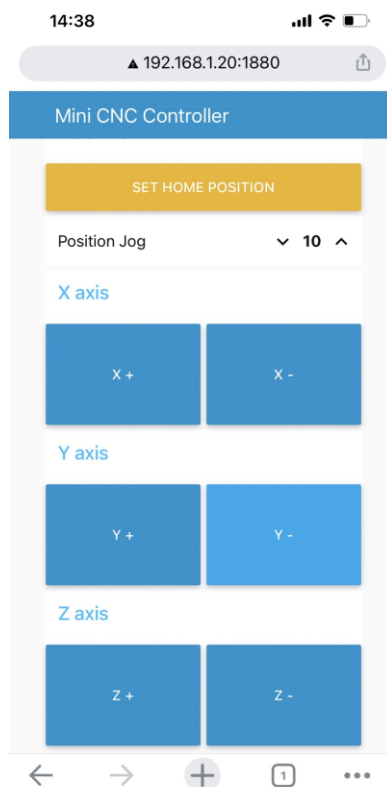
ภาพที่ 5 ระบบฮาร์ดแวร์และวงจรการเชื่อมต่อ

3.3 การออกแบบและพัฒนาโปรแกรม

ในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมแกนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ทั้ง 3 แกน พัฒนาด้วยซอฟต์แวร์ Node-RED และแสดงผลหน้าจอส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User interface) ที่รองรับการทำงานด้วยเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งสามารถใช้ได้ทุกแพลตฟอร์ม ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



ภาพที่ 6 หน้าจอควบคุมการทำงานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล



ภาพที่ 7 หน้าจอควบคุมการทำงานบนมือถือ

3.4 วิธีการทดลอง

การทดลองประสิทธิภาพของระบบควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก โดยใช้เทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ได้ทำการกำหนดระยะเพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ของแกนบนเครื่องกัดซีเอ็นซี 3 แกน ประกอบด้วย แกน X แกน Y และแกน Z โดยทำการป้อนคำสั่งให้มอเตอร์ทำงานตามระยะที่กำหนดด้วยแอปพลิเคชันที่พัฒนาด้วยซอฟต์แวร์ Node-RED เชื่อมสัญญาณข้อมูลด้วยโปรโตคอล MQTT ทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้งต่อระยะแกน เพื่อทำทดสอบระยะเวลาการเคลื่อนที่ของแนวแต่ละ แกนด้วยวิธีการ Jog และวัดระยะที่เกิดขึ้นจริงด้วยไมโครมิเตอร์ เพื่อทดสอบระยะที่เกิดขึ้นจริงของแต่ละแกน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คำสั่งที่กำหนดระยะการเคลื่อนที่

คำสั่ง	ระยะ (มม.)	คำอธิบาย
X10	10	ระยะบวก 10 แนวแกน X
X20	20	ระยะบวก 20 แนวแกน X
X30	30	ระยะบวก 30 แนวแกน X
X-10	-10	ระยะลบ 10 แนวแกน X
X-20	-20	ระยะลบ 20 แนวแกน X
X-30	-30	ระยะลบ 30 แนวแกน X
Y10	10	ระยะบวก 10 แนวแกน Y
Y20	20	ระยะบวก 20 แนวแกน Y
Y30	30	ระยะบวก 30 แนวแกน Y
Y-10	-10	ระยะลบ 10 แนวแกน Y
Y-20	-20	ระยะลบ 20 แนวแกน Y
Y-30	-30	ระยะลบ 30 แนวแกน Y
Z10	10	ระยะบวก 10 แนวแกน Z
Z20	20	ระยะบวก 20 แนวแกน Z
Z30	30	ระยะบวก 30 แนวแกน Z
Z-10	-10	ระยะลบ 10 แนวแกน Z
Z-20	-20	ระยะลบ 20 แนวแกน Z
Z-30	-30	ระยะลบ 30 แนวแกน Z

4. ผลการวิจัย

ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ในแนวแกน X แนวแกน Y และแนวแกน Z การวัดประเมินผลการเคลื่อนที่ตามระยะนั้น เป็นการตรวจสอบความถูกต้องก่อนที่นำไปสั่งใช้งานกับชิ้นงานจริง เพื่อให้ได้ระยะที่ถูกต้องและแม่นยำที่สุด กระบวนการทดสอบนั้นทำได้โดยการใช้กดปุ่มคำสั่งบนแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น ด้วยการส่งคำสั่งให้มอเตอร์ทำงานที่ละแกน และใช้เวอร์เนียในการวัดระยะที่เกิดขึ้นจริง ทำการเทียบกับระยะคำสั่งที่ป้อน ดังแสดงในตารางที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ

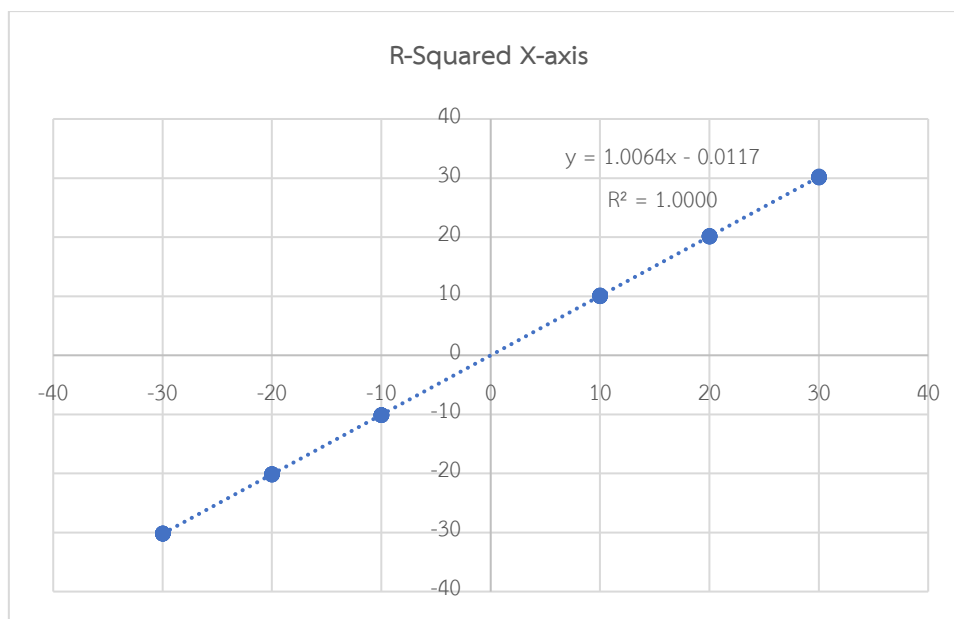
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบระยะเคลื่อนที่ของแกน X

ครั้งที่/ระยะ	X10	X20	X30	X-10	X-20	X-30
1	10	20.2	30.15	10.1	20.2	30.15
2	10.1	20.1	30.2	10.15	20.15	30.1
3	10	20.15	30.15	10.1	20.1	30.15
4	10.1	20.1	30.1	10.1	20.15	30.25
5	10.1	20.15	30.15	10.15	20.2	30.2
6	10	20.05	30.1	10.1	20.1	30.15
7	10.1	20.1	30.15	10.1	20.2	30.25
8	10.15	20.15	30.2	10.15	20.1	30.15
9	10.1	20.1	30.3	10.1	20.15	30.15
10	10.15	20.2	30.15	10.15	20.15	30.2
Mean	10.08	20.13	30.165	10.12	20.15	30.175
SD	0.06	0.05	0.06	0.03	0.04	0.05
SSE	0.09	0.19	0.30	0.15	0.24	0.33

จากตารางที่ 2 จากผลการทดสอบระยะการเคลื่อนที่แนวแกน X ผลการวิเคราะห์ผลลัพธ์ผลรวมของข้อผิดพลาดกำลังสอง (Error sum of squares, SSE) สูงสุดในระยะบวกคือ X30 มีค่า 0.30 และระยะลบคือ X-30 มีค่า 0.33 จะเห็นได้ว่าในระยะที่เพิ่มขึ้นในแนวแกน X จะมีค่า SSE ที่เพิ่มขึ้นด้วย และมีค่าความผันแปร (R-squared) มีค่าเท่ากับ 1.00 และลักษณะของกราฟเป็นในแนวเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 8

จากตารางที่ 3 จากผลการทดสอบระยะการเคลื่อนที่แนวแกน Y ผลการวิเคราะห์ผลลัพธ์ผลรวมของข้อผิดพลาดกำลังสอง (Error sum of squares, SSE) สูงสุดในระยะบวกคือ Y30 มีค่า 0.42 และระยะลบคือ Y-30 มีค่า 0.40 จะเห็นได้ว่าในระยะที่เพิ่มขึ้นในแนวแกน Y จะมีค่า SSE ที่เพิ่มขึ้นด้วย และมีค่าความผันแปร (R-Squared) มีค่าเท่ากับ 1.00 และลักษณะของกราฟเป็นในแนวเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 9

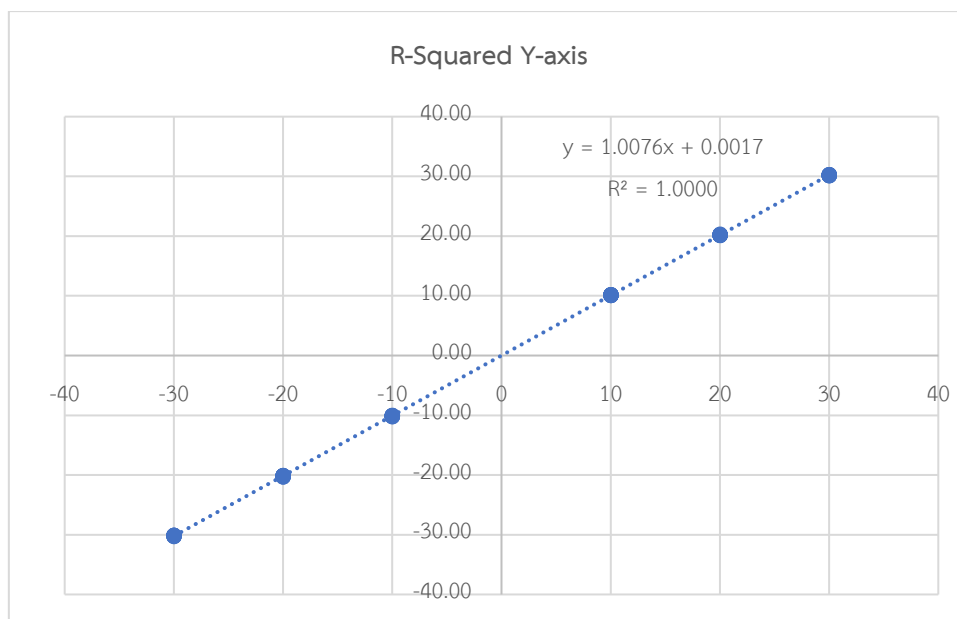
จากตารางที่ 4 จากผลการทดสอบระยะการเคลื่อนที่แนวแกน Z ผลการวิเคราะห์ผลลัพธ์ผลรวมของข้อผิดพลาดกำลังสอง (error sum of squares หรือ SSE) สูงสุดในระยะบวกคือ Z30 มีค่า 3.64 และระยะลบคือ Z-30 มีค่า 2.90 จะเห็นได้ว่าในระยะที่เพิ่มขึ้นในแนวแกน X จะมีค่า SSE ที่เพิ่มขึ้นด้วย และมีค่าความผันแปร (R-Squared) มีค่าเท่ากับ 0.99 และลักษณะของกราฟเป็นในแนวเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 8 กราฟแสดงข้อมูลค่าความผันแปร (R-squared) ในแนวแกน X

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบระยะเคลื่อนที่ของแกน Y

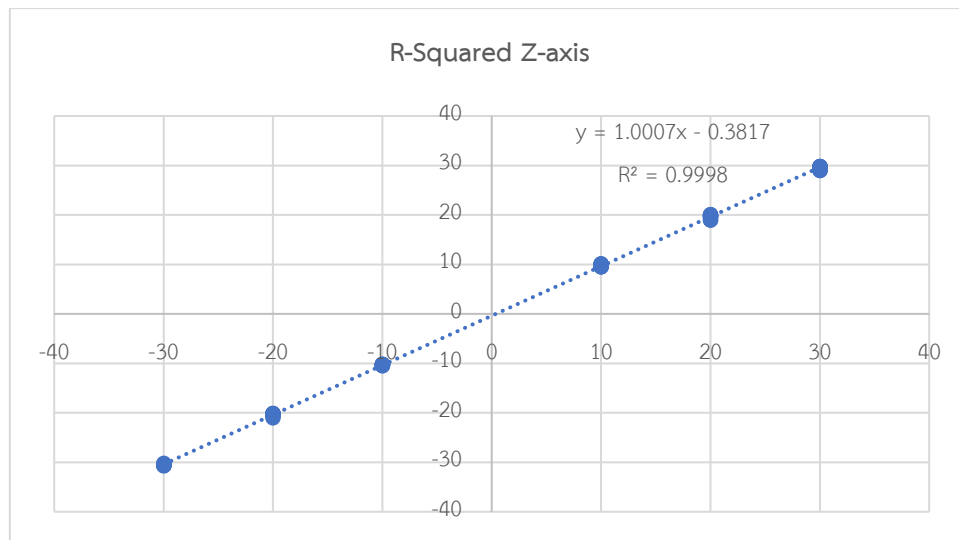
ครั้งที่/ระยะ	Y10	Y20	Y30	Y-10	Y-20	Y-30
1	10.15	20.2	30.15	10.1	20.2	30.15
2	10.1	20.2	30.3	10.1	20.1	30.3
3	10.2	20.1	30.3	10.2	20.15	30.1
4	10.1	20.15	30.15	10.15	20.15	30.15
5	10.15	20.2	30.15	10.05	20.3	30.15
6	10.1	20.2	30.3	10.1	20.1	30.3
7	10.2	20.15	30.1	10.1	20.3	30.2
8	10.1	20.15	30.15	10.15	20.15	30.15
9	10.1	20.3	30.1	10.25	20.1	30.2
10	10.2	20.15	30.2	10.2	20.15	30.2
Mean	10.14	20.18	30.19	10.14	20.17	30.19
SD	0.05	0.05	0.08	0.06	0.08	0.07
SSE	0.215	0.35	0.42	0.23	0.34	0.4



ภาพที่ 9 กราฟแสดงข้อมูลค่าความผันแปร (R-squared) ในแนวแกน Y

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบระยะเคลื่อนที่ของแกน Z

ครั้งที่/ระยะ	Z10	Z20	Z30	Z-10	Z-20	Z-30
1	9.8	19.5	29	10.2	21	30.6
2	9.5	19	29.6	10.5	20.5	30.7
3	10	19	29.8	10.3	20.3	30.6
4	9.5	19.8	29.8	10.2	20.2	30.2
5	10.1	19.7	29.6	10.3	20.5	30.6
6	9.8	20	29	10.5	20.5	30.6
7	9.5	20.1	29	10.3	20.3	30.4
8	9.8	19.6	29.8	10.2	20.2	30.6
9	9.6	19.8	29.6	10.3	20.1	30.5
10	10.1	20	29.8	10.3	20.2	30.4
Mean	9.77	19.65	29.5	10.31	20.38	30.52
SD	0.24	0.39	0.36	0.11	0.26	0.15
SSE	1.05	2.59	3.64	1.07	2.06	2.9



ภาพที่ 10 กราฟแสดงข้อมูลค่าความผันแปร (R-squared) ในแนวแกน Z

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการพัฒนาระบบควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้ 3 รูปแบบคือ เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงตามแนวแกน X แนวแกน Y และแนวแกน Z ผลการทดสอบทดสอบพบว่าสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องกัดซีเอ็นซี โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ได้ถูกต้อง แนวแกน X ค่าความผันแปร (R-squared) มีค่าเท่ากับ 1 แนวแกน Y ค่าความผันแปร (R-squared) มีค่าเท่ากับ 1 และแนวแกน Z ค่าความผันแปร (R-squared) มีค่าเท่ากับ 0.99 โดยลักษณะกราฟทั้ง 3 แกน มีลักษณะเป็นในแนวเส้นตรง ในแนวแกน X และแกน Y เมื่อเปรียบเทียบในแนวแกน Z ค่า มีค่าแปรผันน้อยกว่า เนื่องจากชุดสปินเดิลมอเตอร์ในแนวแกน Z มีการรับน้ำหนักในแนวตั้งที่มากกว่า การใช้งานระบบควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีบนเว็บเบราว์เซอร์ ช่วยลดปัญหาในการติดตั้งชุดโปรแกรมควบคุมบนระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้

จากการศึกษา ออกแบบ และทดลอง ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรเพิ่มส่วนของการแจ้งเตือนในกรณีที่เครื่องกัดซีเอ็นซีมีการทำงานที่ผิดพลาด และทำการบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล
2. สามารถนำองค์ความรู้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเข้าไปใช้งานควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดใหญ่ในอุตสาหกรรม เพื่อรองรับอุตสาหกรรม 4.0 และ 5.0 ในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ

7. เอกสารอ้างอิง

- รวี อุตตมธินันท์. (2541). การสร้างต้นแบบส่วนควบคุมเครื่องกัดแนวตั้งซีเอ็นซี. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- Aghenta, L.O., & Iqbal, T. (2019). Design and implementation of a low-cost, open source IoT-based SCADA system using ESP32 with OLED, ThingsBoard and MQTT protocol. **AIMS Electronics and Electrical Engineering**, 4(1), 57-86. Doi: [10.3934/ElectrEng.2020.1.57](https://doi.org/10.3934/ElectrEng.2020.1.57)
- Baig, M.J.A., Iqbal, M.T., Jamil, M., & Khan, J. (2021). Design and implementation of an open-Source IoT and blockchain-based peer-to-peer energy trading platform using ESP32-S2, Node-Red and, MQTT protocol. **Energy reports**, 7, 5733-5746.
- Kodali, R.K., & Anjum, A. (2018). **IoT based home automation using node-red**. In 2018 Second International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT), Bangalore, India. Doi: [10.1109/ICGCIoT.2018.8753085](https://doi.org/10.1109/ICGCIoT.2018.8753085)
- Kodali, R. K., & Soratkal, S. (2016). **MQTT based home automation system using ESP8266**. In 2016 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), pp.1-5. Doi: [10.1109/R10-HTC.2016.7906845](https://doi.org/10.1109/R10-HTC.2016.7906845)
- Patel, P.N.P., Pavagadhi, S.D., & Acharya, S.G. (2019). **Design and development of portable 3-Axis CNC router machine**. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 6(3), 1452-1455.
- Prianto, E., Maryadi, T.H.T., Sunomo, Malik, C. A. J., Purnomo, M. W., & Caecaria, O. M. (2019). Mini CNC Design to Increase Students' Programming and Control CNC Competencies. **Journal of Physics: Conference Series**, 1413. Doi: [10.1088/1742-6596/1413/1/012006](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1413/1/012006)
- Qureshi, M., Tungekar, M., & Hirani, A. (2019). **Design of Mini CNC using Arduino uno**. Retrieved from <http://ir.aiktclibrary.org:8080/xmlui/handle/123456789/3067>



- Rajalakshmi, A., & Shahnasser, H. (2017). **Internet of Things using Node-Red and alexa**. In 2017 17th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), QLD, Australia. Doi: [10.1109/ISCIT.2017.8261194](https://doi.org/10.1109/ISCIT.2017.8261194)
- Shashidhar, P.N., Yogesh, B.K., Kumar, H., & Somesh G.H. (2020). Design and Development of Mini CNC Machine for Small and Medium Scale Industries. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, 11(6), 505-510.
- Swamy, S.N., & Kota, S.R. (2020). An empirical study on system level aspects of Internet of Things (IoT). **IEEE Access**, 8, 188082-188134.
- Yousif, A.A., Ibrahim, M.A.T.B.I., Omer, M.O.S. & Mohamed, M.M.A. (2021). Design and Implementation of CNC Writing Machine Based on Arduino Micro-controller. **Journal of Karary University for Engineering and Science**. Doi: <https://doi.org/10.54388/jkues.v1i2.53>