การพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์

ชัยวัฒน์ นึกชนะ[1*] อัษฎา วรรณกายนต์[2] สุชาติ ดุมนิล[3] วิรัช อนุชานุรักษ์[4]
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ [1* 2 3 4]
อีเมล์ : chaiwat.nukchana2022@gmail.com[1*]

วันที่รับบทความ 13 กุมภาพันธ์ 2569
วันแก้ไขบทความ 25 พฤษภาคม 2569
วันตอบรับบทความ 15 มิถุนายน 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ และเพื่อหาประสิทธิภาพและประเมินคุณภาพของเครื่องกัดซีเอ็นซีที่พัฒนาขึ้น โดยใช้กระบวนการทางเทคโนโลยี 7 ขั้นตอน ผลการวิจัยพบว่า เครื่องกัดซีเอ็นซีที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติเด่นคือสามารถทำงานแบบออฟไลน์โดยไม่ต้องเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ มีขนาดพื้นที่งานกัด 350x350x120 มิลลิเมตร โครงสร้างทำจากแผ่นอลูมิเนียม ใช้สปินเดิลมอเตอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำขนาด 800 วัตต์ 24,000 รอบต่อนาที พร้อมปั๊มน้ำระบายความร้อน ขับเคลื่อนด้วยสเต็ปปิ้งมอเตอร์และบอลสกรูทั้ง 3 แกน ใช้ระบบจับยึดชิ้นงาน สายไฟ และดอกกัดอย่างมั่นคง มีระบบควบคุมผ่านบอร์ด Mach3 และหน้าจอทัชสกรีน 7 นิ้ว โดยใช้ซอฟต์แวร์ CAD/CAM ในการออกแบบและสร้างชิ้นงาน ผลการทดสอบประสิทธิภาพการเคลื่อนที่กัดชิ้นงานตามแนวแกน X Y Z และการทดสอบกัดชิ้นงานจริงในรูปทรงต่าง ๆ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ในระดับดีมาก ผลการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน พบว่าในภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.71 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.44 เครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ ใช้งานง่าย และมีความแม่นยำ สามารถนำไปใช้งานได้จริงในการผลิตชิ้นงานแกะสลักไม้ ช่วยลดขั้นตอนและเวลาในการเตรียมระบบคอมพิวเตอร์ ลดต้นทุน เพิ่มกำลังการผลิต และยกระดับคุณภาพมาตรฐานของผลิตภัณฑ์แกะสลักไม้ให้มีขีดความสามารถในการแข่งขัน อีกทั้งยังเป็นการสร้างองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีการผลิตและควบคุมอัตโนมัติให้กับวงการวิชาการอุตสาหกรรมของไทยอีกด้วย

คำสำคัญ : ซีเอ็นซี เครื่องกัดซีเอ็นซี เครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก มินิซีเอ็นซี การแกะสลักไม้ ระบบออฟไลน์

Development of Offline Mini CNC Milling Machine for Wood Carving

Chaiwat Nuekchana[1*], Asada Wannakayont[2], Suchat Dumnil[3], Wirach Anuchanuruk[4]

Faculty of Industrial Technology Surindra Rajabhat University[1*,2,3,4]

E – mail : chaiwat.nukchana2022@gmail.com[1*]

Received 13 February 2026
Revised 25 May 2026
Accepted 15 June 2026

Abstract

This research aims to design and develop a small CNC milling machine for wood carving with an offline system, and to determine the efficiency and evaluate the quality of the developed CNC milling machine. The development process followed a 7-step technological approach. The results showed that the developed CNC milling machine has a unique feature of being able to work offline without requiring a connection to a computer. It has a machining area of 350x350x120 millimeters and a structure made of aluminum sheets. The machine uses an 800-watt, 24,000 rpm water-cooled spindle motor with a cooling pump. It is driven by stepping motors and ball screws on all three axes. The machine employs a robust system for securing the workpiece, wires, and cutting tools. The control system is managed through a Mach3 board and a 7-inch touchscreen, utilizing the ArtCAM software for design and workpiece creation. The efficiency tests of the machining movement along the X, Y, and Z axes, as well as the actual machining tests on various shapes, revealed that the average deviation was at an excellent level. The quality assessment by 5 experts found that the overall quality was at an excellent level, with an average of 4.71 and a standard deviation of 0.44. The developed small CNC milling machine for offline wood carving demonstrates high efficiency, ease of use, and precision. It can be practically applied in the wood carving production industry, reducing the steps and time required for computer system preparation, lowering costs, increasing production capacity, and enhancing the quality and competitiveness of wood carving products. Furthermore, it contributes to the development of knowledge in production technology and automatic control for the Thai industrial academic sector.

Keywords : CNC, CNC milling machine, Mini CNC milling machine, Wood carving, Offline system

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการควบคุมเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ หรือ ซีเอ็นซี (CNC) มีบทบาทสำคัญยิ่งในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) ที่ต้องการเครื่องจักรขนาดเล็กเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุน (สมมาตร และ นพรุจ, 2565; Wasis et al., 2021; Runwal, 2017) แต่เครื่องจักรซีเอ็นซีส่วนใหญ่มักมีขนาดใหญ่ ราคาแพง และมีความซับซ้อนในการติดตั้งและใช้งาน (วิทยา และคณะ, 2542; สมมาตร และ นพรุจ, 2565) นอกจากนี้ระบบควบคุมส่วนใหญ่ยังต้องเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ตลอดเวลา ทำให้ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้ายและใช้งานในพื้นที่จำกัด ดังนั้น การพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กจึงไม่ได้เน้นเพียงการลดขนาดเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการพัฒนาระบบควบคุมให้ทำงานได้แบบออฟไลน์โดยไม่ต้องเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ตลอดเวลา เพื่อเพิ่มความอิสระในการใช้งานและให้ผู้ประกอบการรายย่อยเข้าถึงเทคโนโลยีการผลิตสมัยใหม่ได้ในราคาประหยัด (Wasis et al., 2021; Rastvorova & Klyucherev, 2021) อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมการออกแบบและควบคุมอัตโนมัติ (สมมาตร และ นพรุจ, 2565)

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่ามีการศึกษาพัฒนาเครื่องซีเอ็นซีขนาดเล็กทั้งด้านการออกแบบโครงสร้างและระบบควบคุมอย่างกว้างขวาง เช่น งานวิจัยของ Nugroho et al. (2021), Ertekin & Chiou (2013), สมมาตร และ นพรุจ (2565), รัชชานนท์ และ วุฒิพงษ์ (2562) และ Rangel et al. (2011) อย่างไรก็ตาม ยังมีช่องว่างในการวิจัยที่สำคัญคือความยุ่งยากในการใช้ซอฟต์แวร์ควบคุมที่ซับซ้อนและการต้องเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ตลอดเวลา งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการพัฒนา "ระบบออฟไลน์" ที่รองรับการอ่านรหัส G-code จากหน่วยความจำภายนอกโดยตรง ซึ่งเป็นการต่อยอดจากงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น การควบคุมผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (สมมาตร และ นพรุจ, 2565) และการใช้คอมพิวเตอร์แผงวงจรเดี่ยว (จักรดาว และ ตะวัน, 2547)

ปัญหาที่ศึกษานี้ส่งผลต่อเศรษฐกิจและสังคมโดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมหัตถกรรมแกะสลักไม้ที่ยังคงพึ่งพาช่างฝีมือดั้งเดิม ซึ่งใช้เวลานานในการผลิตและตอบสนองต่อตลาดได้ช้า การขาดแคลนเครื่องจักรซีเอ็นซีราคาถูกที่ผลิตในประเทศทำให้ไทยสูญเสียเงินตราต่างประเทศจากการนำเข้า การพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กพร้อมระบบออฟไลน์จะช่วยให้ผู้ประกอบการ SME และชุมชนสามารถเพิ่มกำลังการผลิตและรักษาคุณภาพชิ้นงานได้เทียบเท่ากับโรงงานใหญ่ ซึ่งประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือได้ต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซีที่ใช้งานง่าย มีความยืดหยุ่นสูง ลดขั้นตอนและเวลาในการเตรียมระบบคอมพิวเตอร์ ช่วยลดต้นทุน เพิ่มรายได้ และยกระดับความสามารถในการแข่งขันของผลิตภัณฑ์แกะสลักไม้ไทย รวมทั้งเสริมสร้างความเข้มแข็งทางวิชาการด้านเทคโนโลยีการผลิตและควบคุมอัตโนมัติ ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ ซึ่งรองรับการทำงานโดยไม่ต้องเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยสืบสานภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ทรงคุณค่าของชาติต่อไป

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์

2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพ และประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์

3. วิธีการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ มีเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ เครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ และแบบประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์

3.2 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 การออกแบบและพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์

ผู้วิจัยใช้กระบวนการเทคโนโลยี ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ดังนี้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554 : 3)

1) ขั้นที่ 1 การกำหนดปัญหาหรือความต้องการ โดยวิเคราะห์สถานการณ์ที่ต้องการพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการผลิต ลดระยะเวลา และต้นทุนการผลิต

การแกะสลักวัตถุมงคลจากไม้ถือเป็นงานศิลปหัตถกรรมที่สะท้อนภูมิปัญญาและคุณค่าทางวัฒนธรรมของไทย ซึ่งได้รับความนิยมสืบต่อกันมาอย่างยาวนาน อย่างไรก็ตาม ในบริบทปัจจุบันการผลิตแบบดั้งเดิมกำลังเผชิญกับปัญหาหลายประการที่ส่งผลต่อการพัฒนาและความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมนี้ (1) ปัญหาด้านความแม่นยำและความสม่ำเสมอของชิ้นงาน เนื่องจากการแกะสลักด้วยมือขึ้นอยู่กับทักษะของช่างเป็นหลัก ทำให้รายละเอียด ลวดลาย และความลึกของงานมีความแตกต่างกันในแต่ละชิ้น (2) ระยะเวลาการผลิตที่ยาวนาน โดยเฉพาะเมื่อต้องผลิตจำนวนมาก และหากเกิดความผิดพลาดมักไม่สามารถแก้ไขได้ง่าย ส่งผลให้สูญเสียทั้งเวลาและทรัพยากร นอกจากนี้ ต้นทุนการผลิตยังอยู่ในระดับสูง ทั้งค่าจ้างช่างฝีมือ วัตถุดิบ เครื่องมือ และค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมแรงงานใหม่ อีกทั้งยังประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงาน เนื่องจากคนรุ่นใหม่ไม่นิยมสืบทอดอาชีพ และการทำงานที่ใช้เวลานานส่งผลต่อสุขภาพของช่าง สุดท้ายคือความยากในการควบคุมคุณภาพและมาตรฐานการผลิตให้เท่าเทียมกันทุกชิ้น ซึ่งส่งผลต่อการกำหนดราคาและการวางแผนการผลิตโดยรวมของอุตสาหกรรมนี้ จากปัญหาที่กล่าวมาทั้งหมดส่งผลให้การผลิตวัตถุมงคลจากไม้แบบดั้งเดิมมีข้อจำกัดในการพัฒนาเป็นอุตสาหกรรม และไม่สามารถตอบสนองความต้องการของตลาดที่เพิ่มขึ้นได้ การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น เครื่องกัดซีเอ็นซี มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต จึงเป็นแนวทางสำคัญในการแก้ไขปัญหาเหล่านี้ เพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตวัตถุมงคลจากไม้ให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืนต่อไป

2) ขั้นที่ 2 การรวบรวมข้อมูล จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เช่น หลักการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซี ระบบควบคุมมอเตอร์ การเขียนโปรแกรม G-Code คุณสมบัติของไม้ชนิดต่าง ๆ ตลอดจนมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้งาน

3) ขั้นที่ 3 การเลือกวิธีการ พิจารณาเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างเครื่อง โดยคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น ขนาดของเครื่อง กำลังมอเตอร์ ความละเอียดในการแกะสลัก ต้นทุนในการสร้าง และความสะดวกในการใช้งาน

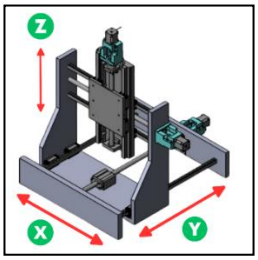
4) ขั้นที่ 4 การออกแบบและปฏิบัติการ เริ่มจากการออกแบบโครงสร้างเครื่อง การวางตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น มอเตอร์ ชุดควบคุม หัวกัด ระบบเคลื่อนที่แกน X Y Z จากนั้นลงมือสร้างตามแบบที่วางไว้ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กที่ใช้หัวสปินเดิลแบบระบายความร้อนด้วยน้ำใช้ระบบควบคุมด้วยบอร์ดคอนโทรล Mach 3 แบบออฟไลน์ โครงสร้างตัวเครื่องผู้วิจัยได้ออกแบบและเลือกใช้เป็นแผ่นอลูมิเนียมที่มีความหนา 12 มิลลิเมตร 10 มิลลิเมตรและ 8 มิลลิเมตร ที่มีคุณสมบัติไม่เป็นแม่เหล็ก ทนต่อการกัดกร่อน คงทนแข็งแรงเสริมสร้างความแม่นยำของตัวเครื่อง ไม่เกิดสนิม มีน้ำหนักที่เบา เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงและการเคลื่อนย้ายได้ง่ายเพราะมีน้ำหนักเบา เป็นวัสดุ และอุปกรณ์ที่หาซื้อง่าย ราคาไม่สูงมาก สามารถซ่อมบำรุงรักษาได้ง่าย

ในที่นี้ ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนา เพื่อประกอบเป็นตัวอย่างในการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กให้ง่ายแก่ความเข้าใจเพื่อหาขนาดของมอเตอร์ของแกนเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กที่ต้องการใช้เทียบเคียงกับค่าสมรรถนะเพื่อหาประสิทธิภาพที่ต้องการ โดยผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรในการหาค่าตัวแปรเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กเพื่อนำข้อมูลต่าง ๆ ของขั้นตอนการออกแบบระบบเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กมีทั้งหมด 2

ค่าตัวแปร ประกอบไปด้วย การหาประสิทธิภาพของการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X Y Z และการหาประสิทธิภาพการเคลื่อนที่กัดชิ้นงานตามแนวแกน X Y Z

(1) ขั้นตอนการออกแบบระบบ (System Design)

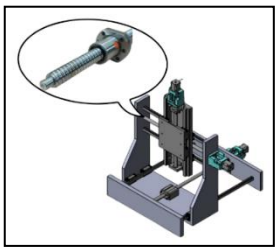
- การออกแบบของโครงสร้างแต่ล่ะแกนของเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก แกน X Y Z โดยใช้โปรแกรม Solid Work 2022 ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก 3 แกน X Y Z

รูปที่ 1 แสดงภาพแบบโครงสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก ลักษะโครงสร้างเป็นแบบโครงรอกยกสิ่งของ (Gantry CNC) แบบ 3 แกน X,Y,Z โครงสร้างเครื่องซีเอ็นซีมีขนาดพื้นที่งานกัด แกน X 350 มิลลิเมตร แกน Y 350 มิลลิเมตร แกน Z 120 มิลลิเมตร ทำจากแผ่นอลูมิเนียมหนา 12 มิลลิเมตร 10 มิลลิเมตรและ 8 มิลลิเมตร

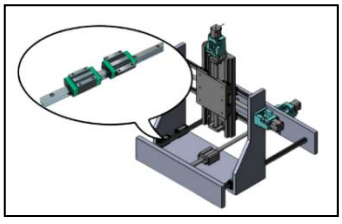
- การใช้โปรแกรม Solid Work 2022 เขียนแบบชิ้นส่วนมาตรฐานของตัวเพลาบอลสกรูทั้ง 3 แกน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก ที่วาง เพลาบอลสกรู

รูปที่ 2 แสดงภาพแบบโครงสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กใช้บอลสกรู SFU1605 (Ball Screw SFU1605) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู 16 มิลลิเมตร สกรู (ระยะต่อ 1 รอบการหมุน) 5 มิลลิเมตร ระยะเกลียว Pitch 5 มิลลิเมตร ขนาดร่อง Ball Diameter 3.175 มิลลิเมตร ในการเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกน

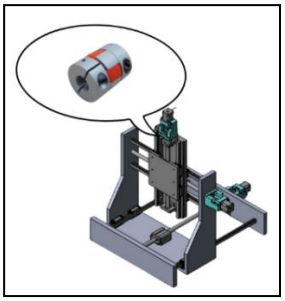
- การใช้โปรแกรม Solid Work 2022 เขียนแบบชิ้นส่วนมาตรฐานของลิเนียร์ไกด์ หรือ ลิเนียร์สไลด์ ทั้ง 3 แกน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก ที่วางลิเนียร์ไกด์ หรือ ลิเนียร์สไลด์

รูปที่3 แสดงภาพแบบโครงสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กมีลิเนียร์ไกด์ หรือ ลิเนียร์สไลด์ HGR15 15 mm. Precision Linear Guide Rail ใช้ร่วมกับ HGH15CA Square Slide Block ขนาด 15 มิลลิเมตร เป็นตัวประคองกับเคลื่อนที่ตามแกนให้เกิดความแม่นยำสูงทั้ง 3 แกน

- การใช้โปรแกรม Solid Work 2022 เขียนแบบชิ้นส่วนมาตรฐานของจอว์คัปปลิ้ง (Jaw Couplings) ทั้ง 3 แกน ดังรูปที่ 4

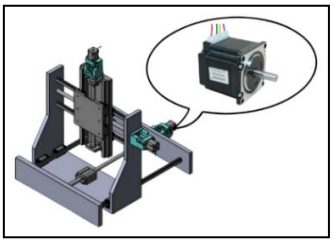


รูปที่ 4 โครงสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กใช้จอว์คัปปลิ้ง (Jaw Couplings)

รูปที่ 4 แสดงภาพแบบโครงสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กที่ใช้ จอว์คัปปลิ้ง (Jaw Couplings) ชนิดแคลมป์สำหรับจับยึดระหว่าง สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor) กับบอลสกรู (Ball Screw) เส้นผ่านศูนย์กลางรูเพลาเล็กสุด 6 มิลลิเมตร/ใหญ่สุด 10 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 20 มิลลิเมตร ความยาวรวม 25 มิลลิเมตร

(2) การจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ บนตัวโครงสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก

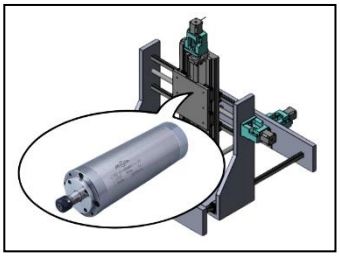
- การวางสเต็ปปิ้งมอเตอร์ในแต่ละแกนของเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การวางสเต็ปปิ้งมอเตอร์ในแต่ละแกนของเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก

รูปที่ 5 แสดงภาพแบบโครงสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กที่ใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor) Nema 23 แรงบิด 1.2 นิวตันเมตร ทั้ง 3 แกน

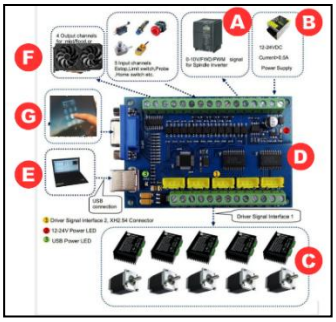
- การวางสปินเดิลมอเตอร์ของเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก ดังภาพที่ 6



รูปที่ 6 สปินเดิลมอเตอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-Cooled Spindle Motor)

รูปที่ 6 แสดงภาพแบบโครงสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กที่สปินเดิลมอเตอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-Cooled Spindle Motor) 800 วัตต์ 220 โวลต์ 24,000 รอบ/นาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65X195 มิลลิเมตร

- การวางระบบไฟฟ้าระบบควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก ดังภาพที่ 7



รูปที่ 7 ระบบควบคุม (Controller)

รูปที่ 7 แสดงภาพระบบควบคุม (Controller) ของเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก

A คือ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) สำหรับสปินเดิลมอเตอร์

B คือ สวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) สำหรับชุด Controller

C คือ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor Driver DM542) สำหรับควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์

D คือ ไมโครคอนโทลเลอร์ MACH3 USB 5Axis 100KHz Controller Board

E คือ พอร์ต USB (Universal Serial Bus) ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ หรือเพื่อถ่ายโอนข้อมูลไฟล์โปรแกรม

F คือ พัดลมระบายความร้อน DC 24 โวลต์ ขนาด 80X80X15 มิลลิเมตร

G คือ จอแสดงผลแบบทัชสกรีน ขนาด 7 นิ้ว

5) ขั้นที่ 5 การทดสอบ ทำการทดสอบการทำงานของระบบต่าง ๆ เช่น ความแม่นยำในการเคลื่อนที่ ความละเอียดในการแกะสลัก คุณภาพของชิ้นงาน ระยะเวลาในการผลิต และความปลอดภัยโดยรวม

6) ขั้นที่ 6 การปรับปรุงแก้ไข นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์และปรับปรุงส่วนที่มีปัญหา เช่น การปรับแต่งความเร็วในการตัดเฉือน การปรับปรุงโปรแกรมควบคุม หรือการแก้ไขโครงสร้างเครื่อง

7) ขั้นที่ 7 การประเมินผล ประเมินผลการพัฒนาโดยรวมว่าสามารถตอบสนองวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่ ในด้านประสิทธิภาพการผลิต คุณภาพชิ้นงาน และความคุ้มค่าในการลงทุน หากพบว่ายังมีจุดที่ต้องพัฒนาก็สามารถย้อนกลับไปปรับปรุงในขั้นตอนที่เกี่ยวข้องต่อไป

8) ให้ที่ปรึกษาตรวจสอบเนื้อหา ความถูกต้องและความเหมาะสม ตรงตามกรอบแนวคิดกระบวนการเทคโนโลยี แล้วนำมา ปรับปรุง แก้ไขตามข้อเสนอแนะของที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

3.2.2 แบบประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์

การสร้างแบบประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้าง โดยมีขั้นตอนในการสร้างเครื่องมือ ตามลำดับต่อไปนี้

1) ศึกษาเอกสาร ตำรา งานวิจัยที่มีการประเมินคุณภาพ ประเมินเครื่องมือ เครื่องมือ เครื่องจักร เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างประเมินคุณภาพ

2) กำหนดประเด็น เนื้อหา และขอบเขตที่จะทำสร้างแบบประเมินคุณภาพ

3) สร้างแบบประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ ฉบับร่าง ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดรายการแบบประเมินคุณภาพในด้านต่างๆ ไว้ แบ่งออกเป็น 4 ด้านคือ (1) ด้านการออกแบบ, (2) ด้านการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ม (3) ด้านการทำงาน และ (4) ด้านความปลอดภัย

4) แบบประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ เป็นแบบประเมินชนิดมาตราส่วนประเมินค่า (Rating Scale) แบ่งระดับออกเป็น 5 ระดับการพิจารณา มีดังนี้ ดีมาก ดี ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด

5) นำแบบประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ ฉบับร่างเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์พิจารณาความเหมาะสมของเนื้อหา สาระสำคัญ ประเด็นข้อคำถามในเรื่องที่ต้องการศึกษา ภาษาที่ใช้ชัดเจนหรือไม่ พิมพ์ผิดหรือสะกดผิดหรือไม่ และให้ข้อเสนอแนะเพื่อนำกลับมาปรับปรุงแก้ไข

6) ตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Index of Consistency : IOC) โดยการจัดส่งแบบประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ ฉบับร่างให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการตรวจสอบตรวจสอบเครื่องมือวิจัย จำนวน 5 คน จากคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ พิจารณาความเที่ยงตรงของเนื้อหา ในแต่ละข้อคำถาม

7) นำแบบประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ มาดำเนินการปรับปรุงแก้ไขแล้ว จัดพิมพ์เป็นฉบับสมบูรณ์เพื่อนำไปใช้ในการประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กต่อไป

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพการเคลื่อนที่กัดชิ้นงานตามแนวแกน X Y Z

1) เตรียมเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กให้พร้อมใช้งานและเช็คความเรียบร้อยให้มีความปลอดภัยในการทดสอบ โดยการตรวจสอบระบบไฟฟ้าและการต่อสายดินของเครื่อง เพื่อความปลอดภัยในการทำงาน ปรับตั้งค่าศูนย์ (Homing) ของเครื่องให้ถูกต้องทั้งสามแกน

2) ติดตั้งเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์สำหรับวัดระยะและเตรียมแบบบันทึกผลการทดสอบให้พร้อม

3) ทำการทดสอบทีละแกน โดยเริ่มจากแกน X และ Y ที่ระยะ 100, 150 และ 250 มิลลิเมตร ส่วนแกน Z จะทดสอบที่ระยะ 25, 50 และ 100 มิลลิเมตร แต่ละระยะจะทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้งเพื่อความแม่นยำ โดยในแต่ละครั้งจะวัดระยะการเคลื่อนที่จริงด้วยเวอร์เนียร์และบันทึกค่าที่วัดได้ เพื่อนำไปคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนต่อไป

4) ทดสอบประสิทธิภาพการกัดชิ้นงาน จะเริ่มจากการเตรียมวัสดุทดสอบและติดตั้งดอกกัดที่เหมาะสม พร้อมทั้งตั้งค่าพารามิเตอร์การกัดและเตรียมโปรแกรม G-Code สำหรับการกัดรูปทรงต่างๆ

5) ทำการกัดชิ้นงาน 3 รูปแบบ ได้แก่ วงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 80X100X10 มิลลิเมตร และสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 100X100X10 มิลลิเมตร โดยแต่ละรูปแบบจะทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง วัดขนาดชิ้นงานจริงและบันทึกผลการวัด

6) ทำการวิเคราะห์ผลโดยคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของการทดสอบทั้งหมด และเปรียบเทียบกับเกณฑ์ประสิทธิภาพที่กำหนดไว้ โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ ดีมาก (ค่าความคลาดเคลื่อน 0.00-0.20 มิลลิเมตร) ดี (0.21-0.40 มิลลิเมตร) ปานกลาง (0.41-0.60 มิลลิเมตร) น้อย (0.61-0.80 มิลลิเมตร) และควรปรับปรุง (ตั้งแต่ 0.81 มิลลิเมตรขึ้นไป) ตามแนวคิดของมาตรฐานสากล ISO 230-2 โดยกำหนดการแปรผันระยะทางในแนวแกน X, Y (100, 150, 250 มม.) และแกน Z (25, 50, 100 มม.) ควบคู่กับการทดสอบกัดชิ้นงานรูปทรงเรขาคณิตมาตรฐาน (วงกลม สี่เหลี่ยมผืนผ้า และสี่เหลี่ยมจัตุรัส)

7) สรุปผลระดับประสิทธิภาพของเครื่อง

3.3.2 การประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์

1) ติดต่อประสานงานผู้เชี่ยวชาญและจัดเตรียมสถานที่ในประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์

2) ผู้วิจัยทำเรื่องขอออกหนังสือแต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญจากสำนักงานคณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ในการประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักวัตถุมงคลจากไม้

3) ผู้วิจัยนำหนังสือแต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญ เสนอผู้เชี่ยวชาญ นัดวัน เวลา และสถานที่ในการประเมิน

4) ผู้วิจัยได้นำเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ โดยได้ทำการสาธิต แนะนำและอธิบายวิธีการออกแบบ การพัฒนา พร้อมทั้งวิธีการใช้งานเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ให้ผู้เชี่ยวชาญ และตอบคำถามตามที่ผู้เชี่ยวชาญได้ซักถามกับผู้วิจัย

5) ผู้เชี่ยวชาญทำการทดลองใช้เครื่อง และประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์

6) ผู้วิจัยนำผลที่ได้จากการประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์จากผู้เชี่ยวชาญ มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.4 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการ ดังนี้

3.4.1 ค่าร้อยละ การหาร้อยละของระดับคะแนนมีสูตรทางสถิติ (บุญชม ศรีสะอาด, 2556 : 122-123) ดังนี้

$$\text{ค่าร้อยละ (\%)} = \frac{X}{N} \times 100$$

3.4.2 ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean : $\bar{X}$) การหาค่าเฉลี่ยของระดับคะแนนมีสูตรทางสถิติ (บุญชม ศรีสะอาด, 2556 : 124) ดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

3.4.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีสูตรทางสถิติ (ธานินทร์ ศิลป์จารุ, 2549 : 167-168) ดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{(N-1)}}$$

4. ผลการวิจัย

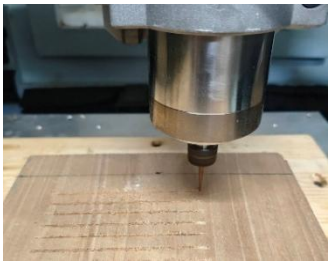
4.1 ผลการออกแบบและพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์

เครื่องกัดซีเอ็นซีที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติเด่นคือสามารถทำงานแบบออฟไลน์โดยไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ มีขนาดพื้นที่งานกัด 350x350x120 มิลลิเมตร โครงสร้างทำจากแผ่นอลูมิเนียมความหนา 8, 10 และ 12 มิลลิเมตร ใช้สปินเดิลมอเตอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำขนาด 800 วัตต์ 24,000 รอบต่อนาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65x195 มิลลิเมตร พร้อมด้วยปั๊มน้ำระบายความร้อนขนาด 50 วัตต์ 3,500 ลิตรต่อชั่วโมง ระบบขับเคลื่อนใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ Nema 23 แรงบิด 1.2 นิวตันเมตร และบอลสกรู SFU1605 ทั้ง 3 แกน ร่วมกับ

ลิเนียร์ไกด์ HGR15 ขนาด 15 มิลลิเมตร มีระบบจับยึดสปินเดิลมอเตอร์ด้วย Spindle Motor Clamp Mount Bracket พร้อมคอเลท ER11 สำหรับจับยึดดอกกัดขนาด 1-8 มิลลิเมตร และมีรางกระดูกงูขนาด 25 มิลลิเมตร สำหรับเก็บสายไฟและสายควบคุมต่าง ๆ ระบบไฟฟ้าประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์สำหรับแปลงไฟ DC เป็น AC ให้สปินเดิลมอเตอร์ สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายสำหรับแปลงไฟ AC เป็น DC ให้ชุดคอนโทรลเลอร์ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ไดรเวอร์ DM542 สำหรับควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MACH3 USB 5 แกน 100KHz และพัดลมระบายความร้อน DC 24 โวลต์ และระบบควบคุมใช้บอร์ด Mach3 ระบบออฟไลน์ 5 แกน ผ่านจอทัชสกรีนขนาด 7 นิ้ว โดยใช้ซอฟต์แวร์ CAD/CAM ในการออกแบบและผลิตชิ้นงานด้วย CAD/CAM ทั้งนี้เครื่องกัดซีเอ็นซีดังกล่าวได้พัฒนาขึ้นโดยใช้กระบวนการทางเทคโนโลยี 7 ขั้นตอน เพื่อให้ได้เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสำหรับงานในการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์โดยเฉพาะ ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 เครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์



รูปที่ 9 การทดสอบเคลื่อนที่ในแนวแกน x ความยาว 100 มิลลิเมตรจำนวน 10 ครั้ง



รูปที่ 10 หน้าจอแสดงผลการเคลื่อนที่ในแนวแกน x (แถบสีเขียว) ความยาว 100 มิลลิเมตร

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์จากการเคลื่อนที่กัดชิ้นงานตามแนวแกน X Y Z

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบระยะของแกน X

คำสั่งที่กำหนดการเคลื่อนที่	ระยะทางที่เวอร์เนียร์วัดได้ (มิลลิเมตร) ครั้งที่										เฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน (มม.)	ระดับประสิทธิภาพ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
X1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.00	ดีมาก
X2	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	0.00	ดีมาก
X3	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	0.00	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย												**0.00**	**ดีมาก**

หมายเหตุ : X1 กำหนดการเคลื่อนที่ (มม.) เท่ากับ 100.00, X2 กำหนดการเคลื่อนที่ (มม.) เท่ากับ 150.00 และ X3 กำหนดการเคลื่อนที่ (มม.) เท่ากับ 250.00

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลการทดสอบระยะการเคลื่อนที่ของแกน X (เฉลี่ย 10 ครั้ง) ที่ระยะ 100, 150 และ 250 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับระยะที่กำหนด ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนเป็น 0.00 มิลลิเมตร และมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมากทุกระยะ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบระยะของแกน Y

คำสั่งที่กำหนดการเคลื่อนที่	ระยะทางที่เวอร์เนียร์วัดได้ (มิลลิเมตร) ครั้งที่										เฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน (มม.)	ระดับประสิทธิภาพ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Y1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.00	ดีมาก
Y2	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	0.00	ดีมาก
Y3	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	0.00	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย												**0.00**	**ดีมาก**

หมายเหตุ : Y1 กำหนดการเคลื่อนที่ (มม.) เท่ากับ 100.00, Y2 กำหนดการเคลื่อนที่ (มม.) เท่ากับ 150.00 และ Y3 กำหนดการเคลื่อนที่ (มม.) เท่ากับ 250.00

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลการทดสอบระยะการเคลื่อนที่ของแกน Y (เฉลี่ย 10 ครั้ง) ที่ระยะ 100, 150 และ 250 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับระยะที่กำหนด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเป็น 0.00 มิลลิเมตร และมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมากทุกระยะ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบระยะของแกน Z

คำสั่งที่กำหนดการเคลื่อนที่	ระยะทางที่เวอร์เนียร์วัดได้ (มิลลิเมตร) ครั้งที่										เฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน (มม.)	ระดับประสิทธิภาพ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Z1	25	50	50	50	50	50	50	50	50	50	25	0.00	ดีมาก
Z2	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	0.00	ดีมาก
Z3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.00	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย												**0.00**	**ดีมาก**

หมายเหตุ : Z1 กำหนดการเคลื่อนที่ (มม.) เท่ากับ 25.00, Z2 กำหนดการเคลื่อนที่ (มม.) เท่ากับ 50.00 และ Z3 กำหนดการเคลื่อนที่ (มม.) เท่ากับ 100.00

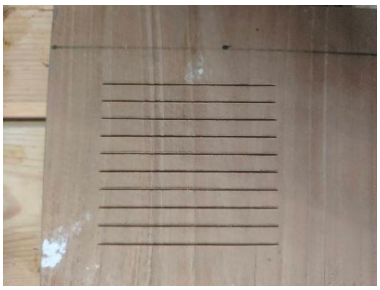
จากตารางที่ 3 พบว่า ผลการทดสอบระยะการเคลื่อนที่ของแกน Z (เฉลี่ย 10 ครั้ง) ที่ระยะ 25, 50 และ 100 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับระยะที่กำหนด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเป็น 0.00 มิลลิเมตร และมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมากทุกระยะ

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบกัดชิ้นงานจริง

รูปทรงเรขาคณิต	ขนาดของรูปทรง (มม.)	ระยะทางที่เวอร์เนียร์วัดได้ (มิลลิเมตร) ครั้งที่					ค่าเฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน (มม.)	ระดับประสิทธิภาพ
		1	2	3	4	5			
1	100	✓	✓	✓	✓	✓	100	0.00	ดีมาก
2	80X100X10	✓	✓	✓	✓	✓	80X100X10	0.00	ดีมาก
3	100X100X10	✓	✓	✓	✓	✓	100X100X10	0.00	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย								0.00	ดีมาก

หมายเหตุ : 1 วงกลม ขนาดของรูปทรง (มม.) เท่ากับ 100, 2 สี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดของรูปทรง (มม.) เท่ากับ 80X100X10 และ 3 สี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดของรูปทรง (มม.) เท่ากับ 100X100X10

จากตารางที่ 4 พบว่า ผลการทดสอบกัดชิ้นงานจริงเฉลี่ย 5 ครั้ง ในรูปทรงวงกลม (ขนาด 100 มม.), รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ขนาด 80x100x10 มม.) และรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ขนาด 100x100x10 มม.) มีขนาดผลลัพธ์เท่ากับขนาดที่กำหนด ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนเป็น 0.00 มิลลิเมตร ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมากทุกรูปทรง



รูปที่ 11 ชิ้นงานจากการทดสอบการเคลื่อนที่ในแนวแกน x ความยาว 100 มิลลิเมตรจำนวน 10 ครั้ง



รูปที่12 การตรวจสอบความแม่นยำด้วยการใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ตรวจสอบความยาวในแนวแกน x ความยาว 100 มิลลิเมตร ผลการตรวจสอบค่าที่ได้ 100.00 มิลลิเมตร

4.3 ผลการประเมินคุณภาพการพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์

ตารางที่ 5 ผลการประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ ในภาพรวมทุกด้าน

รายการ		$\overline{X}$	S.D.	แปลผล
1.	ด้านการออกแบบและความเหมาะสมของเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์	4.68	0.51	ดีมาก
2.	ด้านวัสดุ อุปกรณ์	4.76	0.40	ดีมาก
3.	ด้านความสะดวกในการใช้งานและความปลอดภัย	4.68	0.42	ดีมาก
เฉลี่ยรวม		**4.71**	**0.44**	**ดีมาก**

จากตารางที่ 5 ผลการประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ในภาพรวมทุกด้านพบว่า อยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.71 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.44 (เมื่อพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าต่ำกว่า 1.00 แสดงว่าข้อมูลมีความกระจายตัวน้อย ผู้ประเมินมีความคิดเห็นที่สอดคล้องกัน ส่งผลให้ระดับผลการประเมินที่ได้มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือเชิงสถิติ)

เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า อยู่ในระดับที่มีคุณภาพในระดับดีมาก จำนวน 3 ด้าน เรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ ด้านวัสดุ อุปกรณ์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.76 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.40, ด้านการออกแบบและความเหมาะสมเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.68 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.51 , ด้านความสะดวกในการใช้งานและความปลอดภัย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.68 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.42 แสดงข้อมูลตามลำดับ

5. อภิปรายผลและสรุปผล

จากการออกแบบและพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ ผู้วิจัยขออภิปรายผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์และประเด็นสำคัญที่ค้นพบ ดังนี้

ผลการพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กที่มีความแม่นยำ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนในการเคลื่อนที่แกน X, Y และ Z เป็น 0.00 มิลลิเมตร และมีความผิดพลาดในการกัดชิ้นงานจริงรูปทรงเรขาคณิตเป็น 0.00 มิลลิเมตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nugroho และคณะ (2021) ที่พบว่าการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมเครื่องกัด 3 แกน สามารถให้ความแม่นยำในการกัดและแกะสลักวัสดุไม้อยู่ในระดับสูงถึง 98.5% และสอดคล้องกับการศึกษาของ รัชชานนท์ โชติมา และ วุฒิพงษ์ แก้วคำ (2562) ที่ระบุว่าการใช้เครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสามารถผลิตชิ้นงานที่มีลวดลายชัดเจนและสวยงามได้ตรงตามที่ออกแบบไว้ นอกจากนี้ ผลการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญที่อยู่ในระดับดีมาก (ค่าเฉลี่ย 4.71) ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ สมมาตร พรหมพุฒ และ นพรุจ เขียวนาค (2565) ที่พบว่าการพัฒนาระบบควบคุมที่ใช้งานง่ายผ่านหน้าจอที่รองรับทุกแพลตฟอร์มช่วยลดปัญหาความยุ่งยากในการติดตั้งโปรแกรมและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้จริง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ ความสำเร็จในการสร้างเครื่องจักรที่มีความแม่นยำนี้ เกิดจากการเลือกใช้วัสดุโครงสร้างที่เป็นแผ่นอลูมิเนียมที่มีความหนา 8, 10 และ 12 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแข็งแรงแต่ให้น้ำหนักเบา และไม่เกิดสนิม ผสานกับการเลือกใช้ชุดขับเคลื่อนคุณภาพสูง ได้แก่ เพลาบอลสกรู (Ball Screw) รุ่น SFU1605 และ ลิเนียร์ไกด์ (Linear Guide) รุ่น HGR15 ซึ่งช่วยลดแรงเสียดทานและประคองการเคลื่อนที่ให้มีความแม่นยำสูงในทั้ง 3 แกน อีกทั้งการเลือกใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor) Nema 23 ที่มีแรงบิดสูงทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างสม่ำเสมอ ประเด็นสำคัญคือการพัฒนาระบบออฟไลน์ผ่านบอร์ดควบคุม Mach 3 และหน้าจอทัชสกรีน 7 นิ้ว ซึ่งช่วยตัดปัจจัยรบกวนจากการเชื่อมต่อ

คอมพิวเตอร์ที่มักสร้างความล่าช้าหรือความไม่เสถียรของสัญญาณ การทำงานในระบบออฟไลน์ยังช่วยลดเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักร (Setup time) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักของการสูญเสียประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์เชิงวิชาการและสาธารณะ

6.1.1 สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้จากการพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ไปใช้ในการเรียนการสอนในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง เช่น วิศวกรรมการผลิต วิศวกรรมอุตสาหการ และวิศวกรรมเครื่องกล เป็นต้น เพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และฝึกปฏิบัติกับเครื่องมือที่มีความทันสมัย

6.1.2 เผยแพร่ผลการวิจัยในรูปแบบของบทความวิชาการ หรือบทความวิจัยในวารสารวิชาการระดับชาติ หรือนานาชาติ เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำไปต่อยอดการพัฒนาหรือประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

6.1.3 นำเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ไปใช้งานจริงในอุตสาหกรรมแกะสลักไม้ เพื่อลดต้นทุนการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์

6.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

6.2.1 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กระทรวงอุตสาหกรรม หรือสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) ควรมีนโยบายสนับสนุนการนำเทคโนโลยีซีเอ็นซีมาใช้ในอุตสาหกรรมแกะสลักไม้ เพื่อยกระดับศักยภาพการแข่งขันของผู้ประกอบการ

6.2.2 สถาบันการศึกษาที่มีการเรียนการสอนในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องควรมีนโยบายในการจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ทันสมัย รวมถึงเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก เพื่อใช้ในการเรียนการสอนและการฝึกปฏิบัติของนักศึกษา

6.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

6.3.1 ควรมีการพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กให้มีขนาดเล็กลงและมีน้ำหนักเบาลง เพื่อให้สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและใช้งานในพื้นที่จำกัด

6.3.2 ควรมีการพัฒนาระบบควบคุมที่มีความสามารถในการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต (IoT) เพื่อให้สามารถควบคุมและตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรได้จากระยะไกล

6.3.3 ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในการประยุกต์ใช้เครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กกับวัสดุอื่น ๆ นอกเหนือจากไม้ เช่น โลหะ พลาสติก หรือวัสดุคอมโพสิต เป็นต้น เพื่อขยายขอบเขตการใช้งานให้กว้างขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าของบทความ เอกสาร ตำราและหนังสือ ที่ผู้วิจัยใช้ในการสืบค้น ขอขอบคุณหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ และสาขาวิชาเทคนิคการผลิต วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ ที่ให้การอนุเคราะห์สถานที่ในการออกแบบ พัฒนา ทดสอบประสิทธิภาพ และประเมินคุณภาพเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ด้วยระบบออฟไลน์ รวมถึงที่ปรึกษางานวิจัย ผู้เชี่ยวชาญ และผู้ทรงคุณวุฒิต่าง ๆ ที่ช่วยประเมินคุณภาพเครื่องมือวิจัย ให้คำแนะนำและเสนอแนะแนวทางในการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เป็นอย่างดี ขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

8. เอกสารอ้างอิง

จักรดาว ประทุมชาติ และ ตะวัน สุจริตกุล. (2547, 18-20 ตุลาคม). การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีด้วยคอมพิวเตอร์แบบแผงวงจรเดี่ยว. *ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18*. จังหวัดขอนแก่น.

ธานินทร์ ศิลป์จารุ. (2549). *การวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติด้วย SPSS*. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : วี.อินเตอร์ พริ้นท์.

บุญชม ศรีสะอาด. (2556). *การวิจัยเบื้องต้น.* พิมพ์ครั้งที่ 9กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.

วิทยา พันธุ์เจริญศิลป์, อดุลย์ พัฒนภักดี และ สถาพร คล้ายคลึง. (2542). *การออกแบบและควบคุมเครื่องกัด ชนิด 3 แกน [รายงานการวิจัย]*. มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

รัชชานนท์ โชติมา และ วุฒิพงษ์ แก้วคำ. (2562). *การผลิตต้นแบบแม่พิมพ์ห่วงรัดซิ่นด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซี ขนาดเล็ก* ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

สมมาตร พรหมพุฒ และ นพรุจ เขียวนาค. (2565). การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็ก โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, 4*(1), 1-14.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). *กระบวนการเทคโนโลยี.* https://designtechnology.ipst.ac.th/?page_id=165

Ertekin, Y., & Chiou, R. (2013). Interdisciplinary senior design project to develop a teaching tool: Mini CNC mill. *In 120th ASEE Annual Conference & Exposition*. Atlanta, GA.

Nugroho, W., Rifai, D., Embong, A. H., Aziz, K. A. A., Embong, A. S., Awang, H., & Ibrahim, M. F. (2021). Development of CNC milling machine for small scale industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1068(012017). https://doi.org/10.1088/1757-899X/1068/1/012017

Rastvorova, I. I., & Klyucherev, N. A. (2021). Design and modelling of a universal CNC machine. *Journal of Physics: Conference Series, 1753*(012040). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1753/1/012040

Runwal, P., Shelke, A., Udavant, P., Rokade, S., & Baitule, D. A. (2017). Design and manufacturing of mini CNC plotter machine. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)***,** 5(IV). https://doi.org/10.22214/ijraset.2017.4149

Rangel, D. A., Rojas, F. A., & Arteaga, N. A. (2011). Development of a CNC micro-lathe for bone microimplants. *Revista EIA*, (15), 113-127.

Wasis, N., Rifai, D., Embong, A. H., Abd Aziz, K. A., Embong, A. S., Awang, H., & Ibrahim, M. F. (2021). Development of CNC milling machine for small scale industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,* 1068(1), 012017. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1068/1/012017

9. คุณค่าทางวิชาการ

งานวิจัยนี้มีคุณค่าทางวิชาการโดยเป็นการบูรณาการองค์ความรู้จากสาขาวิศวกรรมศาสตร์หลายแขนง ทั้งวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ เพื่อพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีขนาดเล็กสำหรับการแกะสลักไม้ที่มีประสิทธิภาพสูงและตอบโจทย์ความต้องการของภาคอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ในการพัฒนาเครื่องจักรซีเอ็นซีให้สามารถทำงานแบบออฟไลน์ได้ โดยไม่จำเป็นต้องต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์ตลอดเวลา ซึ่งถือเป็นการแก้ไขข้อจำกัดที่สำคัญของเครื่องจักรซีเอ็นซีในปัจจุบัน ผลงานวิจัยชิ้นนี้จึงมีคุณค่าในการขยายขอบเขตความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการผลิตด้วยเครื่องจักรซีเอ็นซี และเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาเครื่องมือที่มีความอิสระและยืดหยุ่นในการใช้งานมากยิ่งขึ้นในอนาคต