

การพัฒนาเครื่องกัดตั้งควบคุม ด้วยระบบคอมพิวเตอร์แบบ 4 แกน DEVELOPMENT OF MINI CNC MILLING 4 AXIS



บทความวิจัย

ศุวัชญ์ วัชรธาวรศักดิ์¹ อินทภ คุ้มสุข² บรรจบ จันสงคราม³
Suwaschai Watcharatorasak¹ Sinthob Tumsuk²
Bunjob Jansongkram³

วันที่รับบทความ 18 พฤศจิกายน 2565 วันที่แก้ไขบทความ 14 มิถุนายน 2565 วันที่ตอบรับบทความ 30 มิถุนายน 2565

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนาเครื่องกัดตั้งควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์แบบ 4 แกน 2) ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกัดตั้งควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ 4 แกน กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ และผู้ทรงคุณวุฒิด้านเครื่องจักร CNC จำนวน 2 ท่าน ทำการทดสอบ 2 แบบ ได้แก่ 1) ความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X Y Z และ A (ตำแหน่งศูนย์เครื่อง) 2) ความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ที่ก่ตั้งขึ้นงานตามแนวแกน X Y (ตำแหน่งขึ้นงาน) สถิติที่ใช้ในการวิจัย คือ ค่าเฉลี่ย

ผลการการวิจัย พบว่า 1) ค่าความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน X อยู่ในระดับดีมาก แกน Y อยู่ในระดับดี แกน Z อยู่ในระดับดีมาก แกน A อยู่ในระดับดีมาก 2) การเคลื่อนที่ที่ก่ตั้งขึ้นงานของแกน X อยู่ในระดับดีมาก แกน Y อยู่ในระดับปานกลาง แกน XY อยู่ในระดับดี

คำสำคัญ : เครื่องกัดตั้ง เครื่องกัดแบบ4แกน มินิซีเอ็นซี

^{1 2 3} อาจารย์ประจำ สาขาเทคโนโลยีแม่พิมพ์ วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก สถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 3

^{1 2 3} Lecturer in Mold and Die Technology , Phitsanulok Technical College , Institute of Vocational Education Northern Region 3

Abstract

The objectives of this study were : 1) design and build screw feeding support, 2) to study the efficiency of screw feeding support. The scope of screw feeding support was study of screw working diameter limit 65 mm and suitable for BRIDGEPORT GX 1600 vertical milling machine.

The samples for evaluating and testing screw feeding support were chosen by 3 experts. The research tool was an evaluation form of efficiency. Data were statistically analyzed by mean

Research findings were as follows: 1) The moving discrepancy in X Z and A axis are very good, Y axis is good. 2) The machining discrepancy in X and XY axis is good, Y axis is medium, it operation effective.

Keywords : vertical milling machine, CNC milling 4 axis

บทนำ

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างมาก มีการประดิษฐ์นวัตกรรมที่ทันสมัย ช่วยให้มนุษย์ได้รับความสะดวกสบายในการดำเนินชีวิตมากยิ่งขึ้น การทำงานด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ (CNC : Computer Numerical Controller) แต่เนื่องจากเครื่องมีขนาดใหญ่ ราคาแพง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาเครื่องจักรอัตโนมัติ (CNC) ที่มีประสิทธิภาพสามารถตอบสนองต่อความต้องการของ กลุ่มอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

เครื่องจักร CNC ที่ใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมมีอยู่ 2 ประเภท คือ เครื่อง CNC MILLING 3 AXIS และเครื่อง CNC LATHE ซึ่งปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้นำเครื่อง CNC MILLING 4 AXIS มาใช้ในการทำงาน ทั้งนี้วิทยาลัยฯยังขาดเครื่อง CNC MILLING 4 AXIS ที่จะมาใช้ในการเรียนการสอน เพื่อยกระดับการเรียนการสอนมีให้ประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นจึงออกแบบและสร้างเครื่องกัดตั้งควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์แบบ 4 แกนที่ประกอบไปด้วยแกนทำงานคือแกน X Y Z A สามารถกัดชิ้นงานขนาดเล็ก ระยะแกน X เท่ากับ 400 มิลลิเมตร ระยะแกน Y เท่ากับ 600 มิลลิเมตร ระยะแกน Z เท่ากับ 200 มิลลิเมตร ระยะแกน A หมุน 360 องศา เพื่อนำมาใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนสามารถทำให้

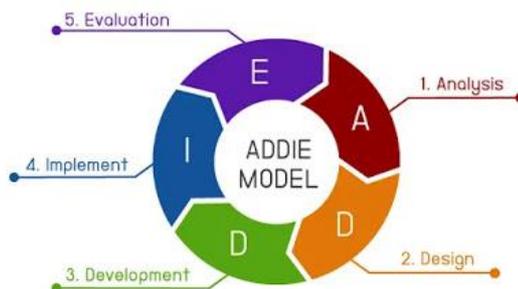
นักศึกษาที่ใช้งานเครื่องกัดตั้งควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์แบบ 4 แกน มีความรู้และทักษะในการทำงานของโปรแกรมที่ซับซ้อนมากขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องกัดตั้งควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์แบบ 4 แกน
- 2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกัดตั้งควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์แบบ 4 แกน

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบปฏิบัติการเสมือนที่ดีขึ้น ต้องมีการกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานที่ชัดเจนและเป็นระบบ ซึ่งปฏิบัติการเสมือนสามารถใช้หลักการออกแบบบทเรียนของ (ADDIE Model) ในการออกแบบปฏิบัติการเสมือนได้ อีกทั้งหลักการออกแบบบทเรียนของ (ADDIE Model) เป็นที่ยอมรับระดับสากลว่าสามารถนำมาพัฒนาบทเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งกระบวนการขอหลักกาออกแบบบทเรียนของ (ADDIE Model) ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัย (นินิตา สร้อยดอกสน, 2552) [1] โดยมีกระบวนการทำงานทั้งหมด 5 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์ (A : Analysis) การออกแบบ (D : Design) การพัฒนา (D : Development) การทดลองใช้ (I : Implementation) การประเมินผล (E : Evaluation) โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้ (ฉลอง ทับศรี, 2549: 12) [2]



ภาพที่ 1 หลักการออกแบบ Addie Model

เครื่องกัด CNC ขนาดเล็ก ที่เหมาะสำหรับงานกัดชิ้นงานที่ไม่ต้องการกำลังในการตัดวัสดุสูงและความแม่นยำสูงมากนัก สำหรับประกอบเครื่องกัด CNC ขนาดเล็ก เริ่มจากประกอบชิ้นส่วนของเครื่องจักร การต่อระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุม การเคลื่อนที่ของมอเตอร์ขับเคลื่อนกับคอมพิวเตอร์ด้วยซอฟต์แวร์ Mach 3 การจำลองการกัดผ่านซอฟต์แวร์ VERICUT การทดสอบความคลาดเคลื่อนเพื่อสู่มหาสภาวะที่เหมาะสมในการ

กัด โดยการเดินกัดชิ้นงานแบบสลับฟันปลาจากการเคลื่อนที่ซ้ำกัน 5 รอบ เพื่อหาค่าตัวแปร สภาวะการกัดคือ ความเร็วป้อน ความเร่งมอเตอร์และรูปแบบการเดินกัดในแต่ละรอบที่ ให้ผลความคลาดเคลื่อนจากการกัดต่ำสุด พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดในการเดินซ้ำ ตำแหน่งเดิมเฉลี่ยในแกน X และแกน Y เท่ากับ 0 และ 0.5 มิลลิเมตรตามลำดับ ที่ความเร็วป้อน 1,000 มิลลิเมตร/นาที ความเร่งมอเตอร์ 200 มิลลิเมตร/วินาที² ที่ความเร็วมอเตอร์ เริ่มต้น 1,000 มิลลิเมตร/นาที ในลักษณะการเดินกัดแบบสลับฟันปลาและย้อนกลับมาที่ จุดเริ่มต้นใหม่ของทุกรอบ

การควบคุมเครื่องจักรด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC : Computer Numerical Control) เป็นระบบควบคุมคำสั่งเชิงตัวเลขและตัวอักษรด้วยคอมพิวเตอร์ โดยที่คอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่ ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร เก็บข้อมูลหรือช่วยในการป้อนข้อมูล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหรือ แก้ไขโปรแกรม ซึ่งในปัจจุบัน เครื่องจักรที่ควบคุมด้วยซีเอ็นซีนี้ สามารถทำการป้อนข้อมูลทางมือถือ (Manual Data Input : MDI) ได้ทำให้เราสามารถเปลี่ยนแปลง หรือแก้ไขโปรแกรมได้สะดวก หรือถ้าต้องการแทรกข้อมูล การให้ขนาดใหม่ การเปลี่ยน ความเร็วรอบ การเปลี่ยนความเร็วตัดและอัตราป้อน ก็สามารถทำได้โดยง่ายเครื่องจักร อัตโนมัติ (CNC) เป็นเครื่องจักรที่ทำงานโดยอัตโนมัติ สามารถผลิตชิ้นงานที่มี การเปลี่ยนแปลงขนาดหรือรูปร่างบ่อย ๆ ได้ดี เพราะสามารถแก้ไขข้อมูลต่าง ๆ ได้โดยตรงที่ โปรแกรม ดังนั้นจึงเหมาะกับการผลิตชิ้นงานต้นแบบ (Prototype) หรือผลิตชิ้นงานในสาย งานผลิต ซึ่งเหมาะกับอุตสาหกรรมขนาดกลาง การรับส่งข้อมูลสำหรับการทำงานโดยตรง ด้วยแป้นพิมพ์ของแผงควบคุม (Key Board) ก็ได้ แต่ก่อนที่จะ ส่งข้อมูลเพื่อให้เครื่องจักร ทำงานจำเป็นต้องมีการสร้างโปรแกรมการทำงานตามลำดับมาก่อน แล้วทำการตรวจสอบ ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นพร้อมกับแก้ไขให้ถูกต้อง ทำให้ลดการเกิดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นกับ เครื่องจักร Mini CNC

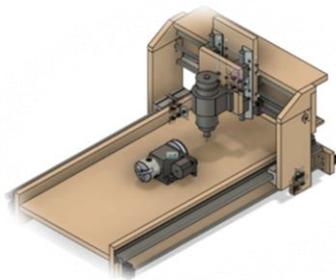
วิธีดำเนินการวิจัย

ออกแบบโครงการโดยใช้หลักการของ (Addie Model) โดยมีกระบวนการทำงาน ทั้งหมด 5 ขั้นตอน ได้แก่

- 1) การวิเคราะห์ (A : Analysis)การวิเคราะห์ปัญหา เครื่องจักร CNC ที่ใช้ในการเรียน การสอนมีอยู่ 2 ประเภท คือ เครื่อง CNC MILLING 3 AXIS และเครื่อง CNC LATHE ซึ่ง ปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ทำงานที่ซับซ้อนมากขึ้น ทำให้ต้องมีออกแบบการ

พัฒนาเครื่อง CNC MILLING 4 AXIS มาใช้ในการทำงานที่ซับซ้อนได้มากกว่าเครื่อง CNC MILLING 3 AXIS ผู้วิจัยจึงออกแบบและสร้างเครื่อง CNC MILLING 4 AXIS MINI ที่จะมาใช้ในเป็นสื่อการสอน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้วิทยาลัยฯมีเครื่องมือการเรียนการสอนที่ครบมากยิ่งขึ้น การวิเคราะห์ปัญหาในการสร้างเครื่องจักรอัตโนมัติ (CNC) นั้นเป็นเรื่องที่ซับซ้อน ทั้งในเรื่องของ โครงสร้างการเคลื่อนที่ของแต่ละแกน วัสดุที่ต้องใช้ ระบบไฟฟ้า การออกแบบ

2) (D : Design) กระบวนการออกแบบนั้นใช้โปรแกรม Autodesk Inventor Professional 2019 ออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของเครื่องกัดตั้งควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์แบบ 4 แกน

3) การพัฒนา (D : Development) ขั้นตอนการสร้างออกแบบโดยใช้ โปรแกรม Autodesk Inventor Professional 2019 ออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง หาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้า เพื่อนำมาจัดท้าวสดุ จัดซื้อวัสดุตามแบบที่วางแผนไว้ เริ่มทำโครงสร้างโดยใช้วัสดุที่เป็นสแตนเลส แล้วนำมาขึ้นรูป เจาะรูตามแบบ จากนั้นนำชิ้นส่วนต่างๆ มาประกอบ โดยเริ่มประกอบจากฐานแกน Y ใช้สล็อกสไลด์ ขบเคลื่อนด้วยการประกอบสตีปเปอร์มอเตอร์กับหีสติสกรู แล้วมาประกอบแกน Z แนวแกนตั้ง และแกน X ด้านบน

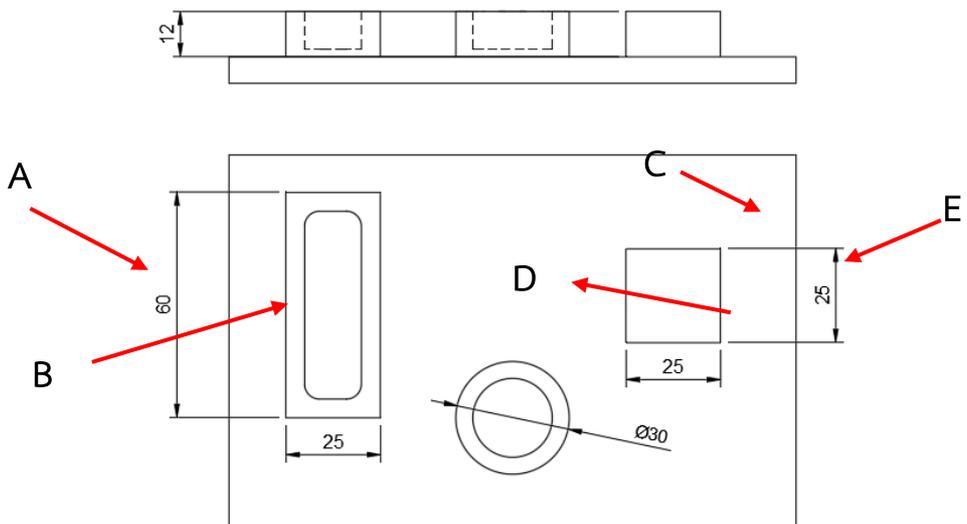
4) การทดลองใช้ (I : Implementation) กระบวนการทดลองการใช้งาน ได้แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน การทดลองแนวแกน X Y Z และ A , การทดลองก่ดงานจริงให้ได้ขนาดที่ถูกต้อง การเคลื่อนที่ตามระยะนั้น เป็นการตรวจสอบความถูกต้องก่อนที่นำไปสั่งใช้งานกับชิ้นงาน เพื่อให้ได้ระยะที่ถูกต้อง กระบวนการทดสอบนั้นสามารถทำได้โดยการใช้คำสั่งในส่วนของ การพิมพ์ค่าในช่อง Input ของแถบหน้าต่าง Manual Control ด้วยการป้อนคำสั่งให้มอเตอร์ทำงานทีละแกน เพื่อวัดระยะทางโดยใช้ เวอร์เนียร์ ไดอัลเกจและไมโครมิเตอร์ ใน

การวัดเพื่อเทียบกับคำสั่งที่ป้อนตามแนวแกน X Y Z และ A โดยมีการเก็บข้อมูลลงในตาราง เพื่อทำการวิเคราะห์

5) การประเมินผล (E : Evaluation) การวัดประเมินผลการเคลื่อนที่ตามระยะนั้นเป็นการตรวจสอบความถูกต้องก่อนที่นำไปสั่งใช้งานกับชิ้นงานจริงเพื่อให้ได้ระยะที่ถูกต้องและแม่นยำที่สุด กระบวนการทดสอบนั้นทำได้ไม่ยาก สามารถทำได้โดยการใช้คำสั่งในส่วนของการพิมพ์ค่าในช่อง Input ของแถบหน้าต่าง Manual Control ด้วยการป้อนคำสั่งให้มอเตอร์ทำงานที่ละแกน เพื่อวัดระยะทางโดยใช้ เวอร์เนียร์ ไดอัลเกจ และไมโครมิเตอร์ ในการวัดเพื่อเทียบกับคำสั่งที่ป้อนตามแนวแกน X Y Z และ A โดยมีการเก็บข้อมูลลงในตาราง เพื่อทำการวิเคราะห์ แบ่งเป็น 2 หัวข้อดังนี้

5.1. การหาประสิทธิภาพของการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X Y Z และ A โดยการหาประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของแกน X,Y สั่งการเคลื่อนที่ระยะ 100, 150, 250 มม. แกน Z ที่ระยะ 25, 50, 120 มม. แกน A 90°, 180°, 270° แต่ละแกนจำนวน 3 ครั้งแล้ววัดค่าระยะการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นจริงของแต่ละแกน เปรียบเทียบเกณฑ์ประสิทธิภาพ

5.2. การหาประสิทธิภาพการเคลื่อนที่กีดชิ้นงานตามแนวแกน X Y Z ทดสอบการกีดชิ้นงานตามรูปแบบที่กำหนด 3 รูปแบบ ได้แก่ วงกลม สี่เหลี่ยมผืนผ้า และสี่เหลี่ยมจัตุรัส จากนั้นวัดขนาดชิ้นงานจริงแล้ว และเก็บบันทึกข้อมูลเปรียบเทียบเกณฑ์ประสิทธิภาพ ดังภาพ 3



ภาพที่ 3 แบบทดสอบการกีด

เกณฑ์ในการวิเคราะห์ข้อมูล เครื่องกัดตั้งอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์แบบ 4 แกน โดยแปลผล วิเคราะห์ผล ตามความคลาดเคลื่อนของผลการวัดระยะหรือขนาดของงานเทียบกับการป้อนค่าในโปรแกรม ตามเกณฑ์ดังนี้

การทดสอบระยะของแกน X Y Z

- ค่าความคลาดเคลื่อน 0.00 – 0.20 มม. หมายถึง ประสิทธิภาพดีมาก
- ค่าความคลาดเคลื่อน 0.21 – 0.40 มม. หมายถึง ประสิทธิภาพดี
- ค่าความคลาดเคลื่อน 0.41 – 0.60 มม. หมายถึง ประสิทธิภาพปานกลาง
- ค่าความคลาดเคลื่อน 0.61 – 0.80 มม. หมายถึง ประสิทธิภาพน้อย
- ค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.81 มม. หมายถึง ประสิทธิภาพควรปรับปรุง

การทดสอบระยะของแกน A

- ค่าความคลาดเคลื่อน 0.00 – 0.20 องศา หมายถึง ประสิทธิภาพดีมาก
- ค่าความคลาดเคลื่อน 0.21 – 0.40 องศา หมายถึง ประสิทธิภาพดี
- ค่าความคลาดเคลื่อน 0.41 – 0.60 องศา หมายถึง ประสิทธิภาพปานกลาง
- ค่าความคลาดเคลื่อน 0.61 – 0.80 องศา หมายถึง ประสิทธิภาพน้อย
- ค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.81 องศา หมายถึง ประสิทธิภาพควรปรับปรุง

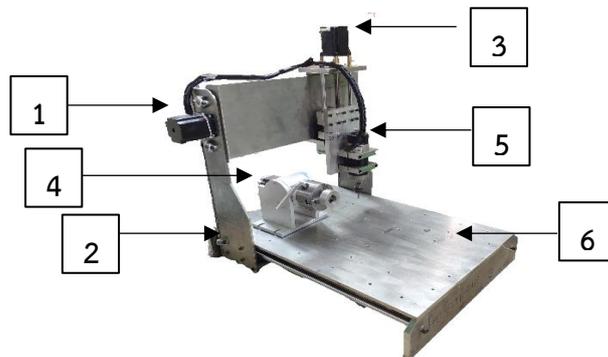
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

.1 สถิติพื้นฐานค่าเฉลี่ย คำนวณจากสูตร

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

- แทนค่า \bar{X} = ค่าเฉลี่ย
- $\sum x$ = ผลรวมทั้งหมด
- N = จำนวนครั้ง

ผลการวิจัย



ภาพที่ 4 เครื่องกัดตั้งควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์แบบ 4 แกน

- 1) ชุดขับเคลื่อนแกน X มีหน้าที่ เคลื่อนที่ไปทางด้าน ซ้าย – ขวา
- 2) ชุดขับเคลื่อนแกน Y มีหน้าที่ เคลื่อนที่ไปทางด้าน หน้า - หลัง
- 3) ชุดขับเคลื่อนแกน Z มีหน้าที่ เคลื่อนที่ไปทางด้าน ขึ้น – ลง
- 4) ชุดขับเคลื่อนแกน A มีหน้าที่ หมุนเคลื่อนที่ไปทางด้าน ซ้าย – ขวา
- 5) มอเตอร์สปินเดิล
- 6) โต้ะจับยึดชิ้นงาน

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบระยะของแกน X Y

คำสั่งที่กำหนดการเคลื่อนที่ (มม.)	ระยะทางที่ เวอร์เนียร์ วัดได้ (มม.)				ค่าความคลาดเคลื่อน (mm)	ระดับประสิทธิภาพ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
X 100.00	99.95	100.10	100.18	100.07	0.07	ดีมาก
X 150.00	150.00	149.96	150.12	150.03	0.03	ดีมาก
X 250.00	250.05	249.98	250.08	250.04	0.04	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย					0.05	มากที่สุด
คำสั่งที่กำหนดการเคลื่อนที่ (มม.)	ระยะทางที่ เวอร์เนียร์ วัดได้ (มม.)				ค่าความคลาดเคลื่อน (mm)	ระดับประสิทธิภาพ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
Y 100.00	100.30	100.15	100.21	100.22	0.22	ดี
Y 150.00	150.14	150.26	150.15	150.18	0.18	ดีมาก
Y 250.00	250.22	250.31	250.18	250.24	0.24	ดี
ค่าเฉลี่ย					0.21	ดี

จากตารางที่ 1 ผลการทดสอบระยะของแกน X อยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.05 มม. ผลการทดสอบระยะของแกน Y อยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.21 มม.

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบระยะของแกน Z

คำสั่งที่กำหนดการเคลื่อนที่ (มม.)	ระยะทางที่ เวอร์เนียร์ วัดได้ (มม.)				ค่าความคลาดเคลื่อน (mm)	ระดับประสิทธิภาพ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
Z 25.00	24.59	25.02	25.05	24.89	0.11	ดีมาก

Z 50.00	50.05	49.98	49.95	50	0	ดีมาก
Z 120.00	120.05	119.95	119.98	120	0	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย					0.11	ดีมาก

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบระยะของแกน Z อยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.11 มม.

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบระยะของแกน A

คำสั่งที่กำหนดการเคลื่อนที่ (องศา)	ระยะทางที่ วัดได้ (องศา)				ค่าความคลาดเคลื่อน (องศา)	ระดับประสิทธิภาพ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
A 90.00	91.00	89.59	90.00	90.17	0.17	ดีมาก
A 180.00	179.00	179.51	180.50	179.69	0.31	ดี
A 270.00	269.50	269.90	270.15	269.85	0.15	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย					0.21	ดี

จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบระยะของแกน A อยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.21 องศา

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการทดสอบกัดชิ้นงานจริง

ตำแหน่งที่วัด	ขนาดที่วัดได้จริง (มม.)				ค่าความคลาดเคลื่อน (มม.)	ระดับประสิทธิภาพ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
A(แกนY)	60.65	60.50	60.66	60.60	0.60	ปานกลาง
B(แกนX)	25.06	25.07	25.11	25.08	0.08	ดีมาก
C(แกนXY)	30.13	30.30	30.27	30.23	0.23	ดี
D(แกนX)	25.03	25.11	25.08	25.07	0.07	ดีมาก
E(แกนY)	25.20	25.18	25.31	25.23	0.23	ดี

จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบการกัดชิ้นงาน แกน X มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน อยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.08 มม. แกน Y มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน อยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.42 มม. แกน XY มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน อยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.23 มม.

การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดสอบระยะของแกน X อยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.05 มม. ผลการทดสอบระยะของแกน Y อยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.21 มม. อาจเนื่องจากโครงสร้างของแกน Y มีระยะที่ยาวทำให้การประกอบและการปรับความขนานของ Guide ไม่สมบูรณ์เป็นผลให้การเคลื่อนที่ไม่เรียบ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของแกน Y มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี ผลการทดสอบระยะของแกน Z มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.11 มม. อยู่ในระดับดีมาก อาจเนื่องจากโครงสร้างของแกน Z มีระยะการเคลื่อนที่สั้น เนื่องจากต้องหลบแกน A จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อย ผลการทดสอบระยะของแกน A มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.21 องศา อยู่ในระดับดีมาก ซึ่งสอดคล้องกับ ทศพิธ วิสมิตนันท์ (2555 : บทคัดย่อ) [3] เครื่องกัด CNC ขนาดเล็ก ที่เหมาะสำหรับงานกัดชิ้นงานโพลีที่ไม่ต้องการกำลังในการตัดวัสดุสูงและความแม่นยำสูงมากนัก สำหรับประกอบกันเป็นแม่แบบในแบบหล่อโพลีหาย โดยเริ่มจากประกอบชิ้นส่วนของเครื่องจักร การต่อระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ขับเคลื่อนกับคอมพิวเตอร์ด้วยซอฟต์แวร์ Mach 3 การจำลองการกัดผ่านซอฟต์แวร์ VERICUT การทดสอบความคลาดเคลื่อนเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมในการกัด โดยการเดินกัดชิ้นงานโพลีแบบสลับฟันปลาจากการเคลื่อนที่ซ้ำกัน 5 รอบ เพื่อหาค่าตัวแปรสภาวะการกัดคือ ความเร็วป้อน ความเร่งมอเตอร์และรูปแบบการเดินกัดในแต่ละรอบที่ให้ผลความคลาดเคลื่อนจากการกัดต่ำสุด พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดในการเดินซ้ำตำแหน่งเดิมเฉลี่ยในแกน X และแกน Y เท่ากับ 0 และ 0.5 มิลลิเมตรตามลำดับ ที่ความเร็วป้อน 1,000 มิลลิเมตร/นาที ความเร่งมอเตอร์ 200 มิลลิเมตร/วินาที² ที่ความเร็วมอเตอร์เริ่มต้น 1,000 มิลลิเมตร/นาที ในลักษณะการเดินกัดแบบสลับฟันปลาและย้อนกลับมาที่จุดเริ่มต้นใหม่ของทุกรอบ

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ข้อเสนอแนะจากการวิจัยครั้งนี้

ผู้ที่มาใช้งานเครื่องกัดตั้งควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์แบบ 4 แกน ควรมีความรู้ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับ เครื่องจักรอัตโนมัติ (CNC) ตรวจสอบอุปกรณ์ตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือก่อนหรือหลังใช้งานเครื่องกัดตั้งควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์แบบ 4 แกนทุกครั้ง

ข้อเสนอแนะจากการวิจัยครั้งนี้

1. ระบบขับเคลื่อนแกนต่างๆ ของเครื่องกัดควรใช้ Ball screw แทน Lead screw เพื่อเพิ่มความเที่ยงตรงให้ดีขึ้น
2. ควรเพิ่มระบบการเข้าตำแหน่งศูนย์ของเครื่องจักร เพื่อให้การทำงานครั้งต่อไปของเครื่องจักร หลังจากปิดการทำงานไปแล้ว สามารถเริ่มทำงานใหม่ได้ที่ตำแหน่งเดิม

เอกสารอ้างอิง

- [1] นนิตา สร้อยดอกสน. (2553). การพัฒนาโปรแกรมสอนภาษาอังกฤษสำหรับเยาวชนผู้พิการทางสายตา. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ . กรุงเทพมหานคร
- [2] ฉลอง ทับศรี. (2536). การเรียนรู้และการสื่อความหมาย . ภาควิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา . ชลบุรี
- [3] ทศพิศ วิสมิตนันท์. (2554). การสร้างเครื่องกัด CNC ขนาดเล็กสำหรับการผลิตแบบหล่อโฟมหาย