การวิเคราะห์การออกแบบโครงสร้างเครื่องกัดรอบสูงควบคุมด้วยระบบ CNC

An Analysis of the Designed Structure of a CNC High-Speed Milling Machine

สมศักดิ์ แก่นทอง[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษา และออกแบบโครงสร้างเครื่องกัดรอบสูงควบคุมด้วยระบบ CNC ในการออกแบบผู้ออกแบบได้พิจารณาความต้องการใช้งาน หรือข้อกำหนดต่างๆ ก่อนทำการออกแบบโครงสร้างหลักของเครื่องจักร เช่น Base, Column, Saddle, Spindle Head, และ Table ให้มีรูปแบบและขนาดที่เหมาะสมกับ ระบบขับเคลื่อน (Drive System) และระบบควบคุมการทำงาน (Controller) ของเครื่องจักรไปพร้อมๆ กัน ทั้งนี้เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนที่มีขนาดถูกต้อง โดยอาศัยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ CAD (Computer Aided Design) มาใช้ในการเขียนชิ้นส่วนต่างๆ ให้มีขนาดเท่ากับของจริงขึ้นมาก่อน แล้วจึงประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดเข้าด้วยกัน ส่วนความแข็งแรงของชิ้นส่วนผู้ออกแบบ ได้นำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Finite Element Analysis (FEA) มาใช้เพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นส่วนที่ออกแบบมานั้นมีความแข็งแรงและสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ก่อนที่จะเริ่มทำการผลิตเครื่องต้นแบบในขั้นตอนต่อไป เมื่อได้เครื่องจักรต้นแบบแล้ว จึงดำเนินการวัดประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรตามมาตรฐาน ISO 1984 DIN 8615

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเครื่องจักรต้นแบบสามารถใช้งานในการผลิตได้เป็นอย่างดี ผลผลิตที่ได้มีความเที่ยงตรงแม่นยำ และได้มาตรฐานเดียวกันกับเครื่องที่ผลิตในต่างประเทศ และผลการวัดประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรตามมาตรฐาน พบว่าค่าความผิดพลาดของเครื่องในทุกๆ ตำแหน่งมีค่าอยู่ในพิกัดที่มาตรฐาน ISO 1984 ได้กำหนดไว้

Abstract

This research aims to study and design the structure of a CNC high-speed milling machine The requirements and general specifications of the machine are considered in order to design main parts of the machine such as base, column, saddle, spindle head and table. The individual part is designed to accommodate the driven system and controller of the machine by using Computer Aided Design (CAD). All designed parts are analyzed by using Finite Element Analysis (FEA), in order to check the part deformation and strength. After that, the prototype machine is built and tested. The test results show that the prototype machine can operate as well as a commercial CNC high-speed machine. The quality of machined part is satisfied with high accuracy. Moreover, the result of efficiency test according to ISO 1984 standard shows that the deviation at all check points are within the acceptable range.

[1] อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1. บทนำ

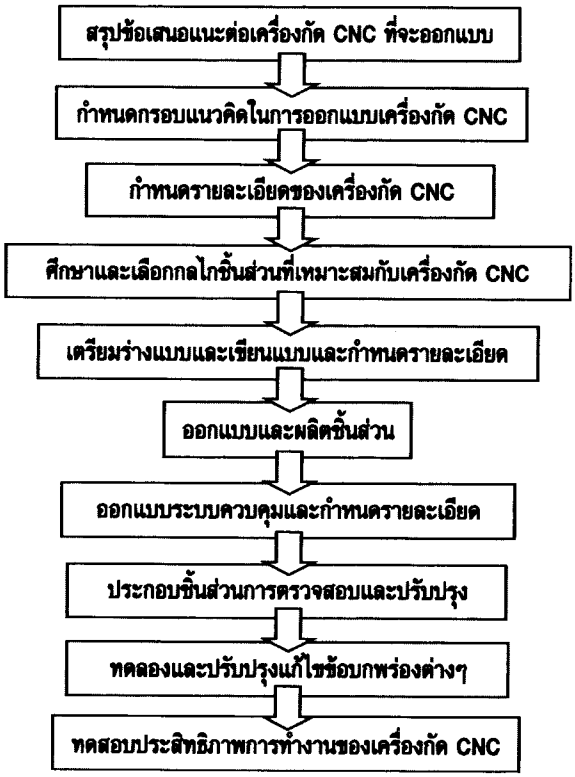
เครื่องจักร CNC ในปัจจุบันนับได้ว่าเป็นหัวใจหลักของอุตสาหกรรมการผลิต เพราะเครื่องจักร CNC สามารถทำงานได้ดี มีความเที่ยงตรง แม่นยำ และมีความเร็วในการทำงานมากกว่าเครื่องจักรแบบเดิมที่ต้องอาศัยช่างฝีมือเป็นผู้ควบคุมการทำงานของเครื่อง ในตลาดการผลิตที่มีการแข่งขันสูงอย่างในยุคปัจจุบัน บริษัทผู้ผลิตของไทยเป็นจำนวนมากมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนากระบวนการผลิตของตนเองเพื่อให้สามารถแข่งขันได้ ทั้งทางด้าน คุณภาพ ราคา และการบริการที่รวดเร็ว เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า

ในการพัฒนากระบวนการผลิตของบริษัทผู้ผลิตในประเทศไทยการจัดหาเครื่องจักรกลที่มีศักย์ภาพและประสิทธิภาพ ในการทำงานสูงอย่างเครื่องจักร CNC ถือได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เห็นได้ว่าสถิติการนำเข้าเครื่องจักร CNC ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมานั้น มีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี การนำเข้าเครื่องจักร CNC ทำให้ประเทศไทยเสียดุลการค้าให้กับประเทศผู้ผลิตเครื่องจักร เช่น อเมริกา ญี่ปุ่น หรือประเทศในกลุ่มยุโรป เป็นจำนวนมากในทุกๆ ปี นอกจากปัญหาการเสียดุลทางการค้าแล้ว การนำเข้าเครื่องจักรยังก่อให้เกิดปัญหาตามมาอีกหลายอย่าง เช่น ต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญจากต่างประเทศเข้ามาฝึกอบรมเท่านั้น ปัญหาในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร การขาดชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์เพื่อการซ่อมบำรุง หรือราคาชิ้นส่วนที่หมดอายุการใช้งานมีราคาสูง อีกทั้งยังต้องใช้เวลารอชิ้นส่วนที่สั่งซื้อจากต่างประเทศ

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าประเทศไทยมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้ความสำคัญกับงานวิจัยเพื่อการผลิต และพัฒนาเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ที่ควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC Machines) ขึ้นมาใช้เองภายในประเทศ งานวิจัยนี้เป็นการริเริ่มการศึกษาแนวทางและวิธีการออกแบบเครื่องจักร CNC โดยจะทำการออกแบบเครื่องกัดรอบสูงควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (CNC High-Speed Milling Machine) และทำการสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องที่ทำการออกแบบ

2. การออกแบบเครื่องจักร

การออกแบบเครื่องกัด CNC จะเริ่มต้นจากการนำเอาผลสรุปของความต้องการใช้เครื่องมากำหนดกรอบความคิดในการออกแบบเครื่องจักรและกำหนดลักษณะเฉพาะของเครื่อง
ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องจักร CNC

ต่อจากนั้นจะทำการศึกษาและเลือกกลไกและชิ้นส่วนที่เหมาะสมกับเครื่องจักร เมื่อเลือกได้แล้วจึงทำการร่างแบบและเขียนแบบพร้อมทั้งกำหนดรายละเอียดโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ทำการตรวจสอบการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ และทดสอบความแข็งแรงของชิ้นส่วนโครงสร้างที่สำคัญๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ความแข็งแรง (FEA) โดยใช้การจำลองการทำงานของเครื่องจักร เพื่อทดสอบการทำงานว่าชิ้นส่วนที่ออกแบบมาสามารถรับภาระโหลดต่างๆ ได้เป็นอย่างดีก่อนจะทำการผลิต ในขั้นตอนต่อไปเป็นการออกแบบและกำหนด

รายละเอียดของระบบควบคุม (Controller) จากนั้นจึงทำการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกันแล้วทำการทดสอบระบบการทำงานของเครื่องจักรขั้นต้นปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนระบบสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี ต่อจากนั้นจึงจะทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร ในสภาพการทำงานจริง

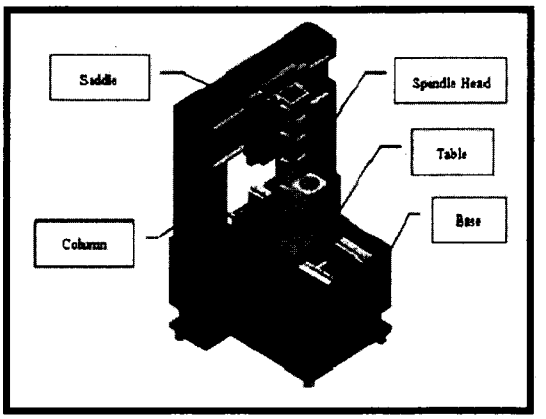
2.1 ข้อกำหนดทั่วไปของเครื่องจักร

จากการศึกษาและสรุปผลความต้องการในการใช้เครื่องกัด CNC สามารถนำมากำหนดกรอบความคิดในการออกแบบเครื่องจักร ในที่นี้ได้ทำเป็นข้อกำหนดลักษณะเฉพาะของเครื่องกัด CNC เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องจักร โดยเครื่องจักรจะมีลักษณะเฉพาะ (Specification) ดังต่อไปนี้

Capacity X-Axis Travel	440	mm.
Y-Axis Travel	400	mm.
Z-Axis Travel	390	mm.
Table size	550x600	mm.
Max-load	66.2	kN
Spindle speed	10,000	Rpm.
Spindle Motor Power	5.6	kW.
Spindle Taper	ISO-40	
Cutting Feed (X, Y)	6,000	mm/min
Rapid Feed	10,000	mm/min
Feed Motor (AC Servo Motor)	15	Nm.
Resolution	0.001	mm.
Controller	PC-Base	

2.2 โครงสร้างเครื่องจักร

ในการออกแบบโครงสร้างเครื่องจักร จะต้องเลือกใช้โครงสร้างเครื่องกัดแบบสะพาน (Bridge Structure) เพราะโครงสร้างเครื่องกัดแบบนี้จะมีความแข็งแรงสูง อีกทั้งยังเหมาะสำหรับเครื่องกัดรอบสูงควบคุมด้วยระบบ CNC ที่มีความเร็วในการทำงานสูง รวมถึงการทำงานที่มีความเที่ยงตรงแม่นยำ โดยโครงสร้างของเครื่องจักรประกอบไปด้วยชิ้นส่วนสำคัญๆ ดังนี้



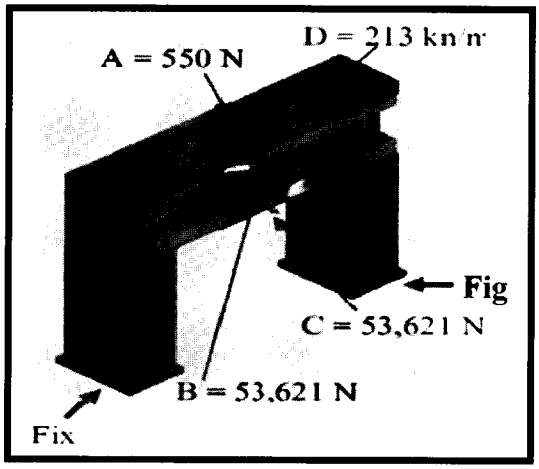
รูปที่ 2 โครงสร้างของเครื่องจักรที่ออกแบบ

ชิ้นส่วนต่างๆ มีหน้าที่การทำงาน ดังนี้

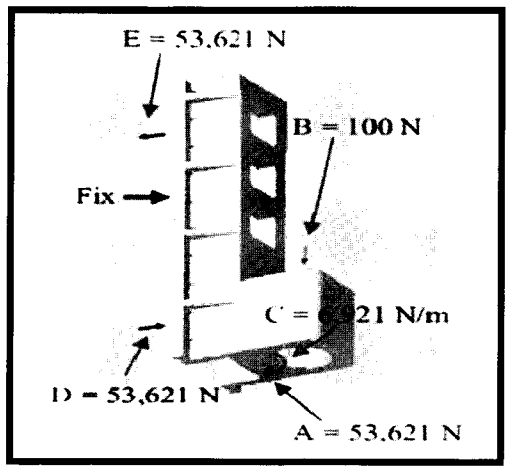
- Base ทำหน้าที่รองรับการเคลื่อนที่ของ Table ในแนวแกน X
- Column ทำหน้าที่รองรับการเคลื่อนที่ของ Saddle และ Spindle Head ในแนวแกน Y
- Saddle เป็นชิ้นส่วนเคลื่อนที่บน Column ในแกน Y รองรับการทำงานของ Spindle Head
- Spindle head ชิ้นส่วนรองรับเพลากัด เคลื่อนที่ในแนวแกน Z
- Table เป็นชิ้นส่วนรองรับชิ้นงาน เคลื่อนที่ในแนวแกน X บนชิ้นส่วน Base

2.3 การวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างชิ้นส่วนเครื่องกัด

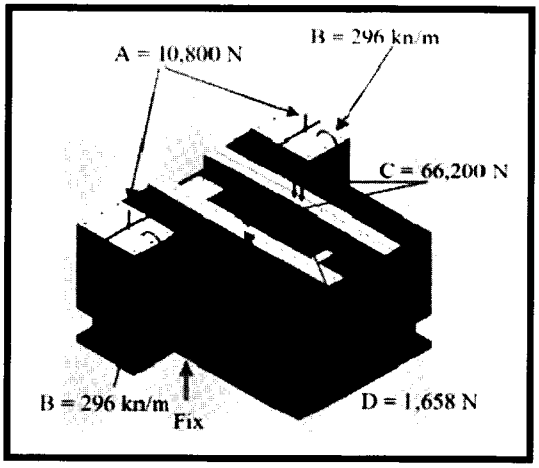
การวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างของเครื่องจักร โดยใช้โปรแกรม FEA จำลองสถานการณ์ขณะที่ชิ้นส่วนรับภาระโหลดสูงสุด ในการจำลองสถานการณ์นี้กำหนดให้แรงกระทำสูงสุดที่กระทำต่อชิ้นส่วนมีค่าเท่ากับขนาดของแรงสูงสุดที่ไกด์เวย์ (Guide way) สามารถรับได้ เพื่อลดความซับซ้อนและยุ่งยากในการกำหนดแรงกระทบต่อชิ้นส่วน โดยสามารถหาค่าของแรงกระทำตามแนวแกนต่าง ๆ จากตารางกำหนดลักษณะเฉพาะของไกด์เวย์ จากนั้นนำเอาค่าแรงกระทำใส่ลงไปในบริเวณพื้นที่ๆ ใช้ในการติดตั้งไกด์เวย์ (ดูรูปที่ 3 - รูปที่ 7)



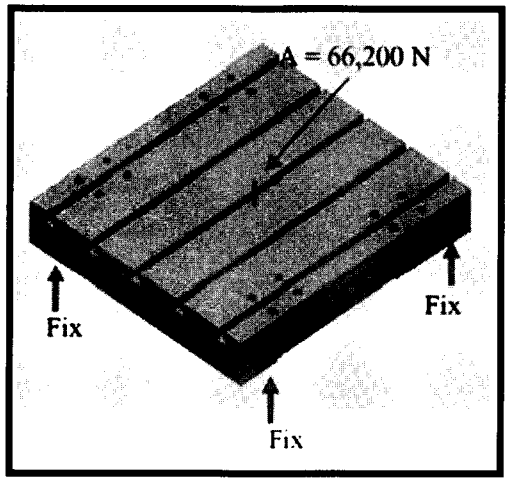
รูปที่ 3 ตำแหน่งของแรงกระทำที่ Double Column



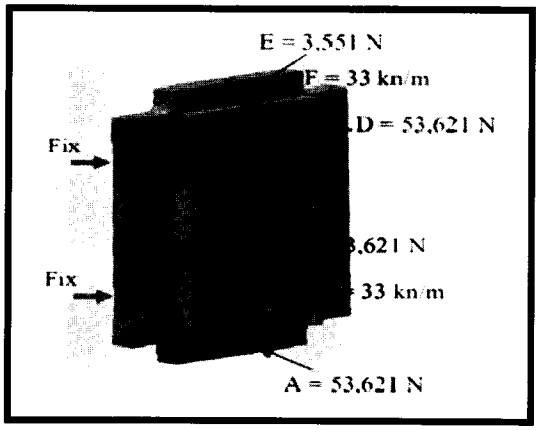
รูปที่ 6 ตำแหน่งของแรงกระทำที่ Spindle Head



รูปที่ 4 ตำแหน่งของแรงกระทำที่ Base



รูปที่ 7 ตำแหน่งของแรงกระทำที่ Table



รูปที่ 5 ตำแหน่งของแรงกระทำที่ Saddle

รูปที่ 8 ขั้นตอนประกอบเครื่อง

วิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนต่างๆ ด้วยโปรแกรม FEA จะระบุได้ว่าในชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะมีความเค้นสูงสุดเท่าใด และจะเกิดขึ้นที่บริเวณใดบ้าง นอกจากนั้นแล้วผลการวิเคราะห์ จะแสดงให้เห็นลักษณะและขนาดของการเปลี่ยนรูปของชิ้นส่วนเมื่อรับภาระโหลดสูงสุด จะทำให้ผู้ออกแบบสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบและขนาดของชิ้นส่วนให้ได้ตามความเหมาะสม

2.4 วิธีการตรวจวัดความแม่นยำของเครื่องกัด CNC

การตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องจักร จะทำการตรวจสอบตามมาตรฐาน ISO 1984 DIN 8615 ซึ่งเป็นมาตรฐานตรวจสอบค่าความแม่นยำของระนาบแกนต่างๆ โดยขั้นตอนการทดสอบและอุปกรณ์การทดสอบดังนี้

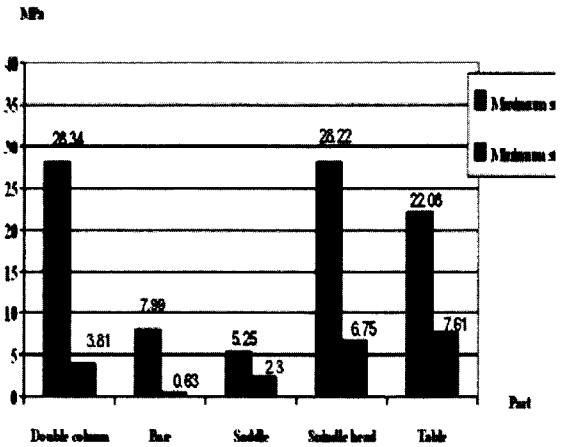
- Dial indicator gauge ความละเอียด 0.001 mm.
- Granite L-Block (แท่นระดับหินแกรนิต)
- Test bar ISO 30 ความยาว 250 mm.
- ฉากมาตรฐานความยาว 300 mm.

3. ผลการทดสอบ

จากการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ เครื่องกัดรอบสูงที่ควบคุมการทำงานด้วย CNC ทำให้ได้เครื่องจักรที่มีลักษณะภายนอกดังรูปที่ 8

รูปที่ 9 ลักษณะภายนอกของเครื่องต้นแบบ

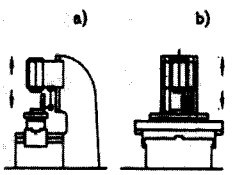
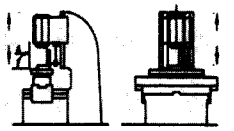
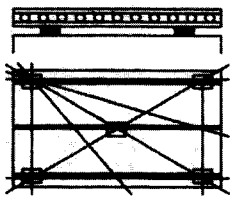
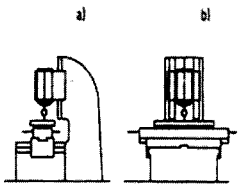
โครงสร้างหลักของเครื่องทำจากวัสดุเหล็กหล่อ (Cast Iron) ซึ่งมีความแข็งแรงสูงมาก โดยมีความเค้นที่จุดคราก (Yield Strength) สูงถึง 1.025 X 105 MPa ทำให้เครื่องจักรมีความแข็งสามารถทนต่อแรงที่เกิดขึ้นจากการกัดชิ้นงานได้ดี สั่นสะเทือนน้อยมากในขณะทำการกัดชิ้นงานผลจากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยโปรแกรม FEA พบว่าขนาดของความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนทุกชิ้น มีค่าความเค้นสูงสุดต่ำกว่าค่าความเค้นที่จุดครากของวัสดุเหล็กหล่อที่ใช้เป็นโครงสร้างหลักของเครื่องจักร (ดูรูปที่ 9) ชิ้นส่วนโครงสร้างเกิดการเสียรูปน้อยมาก (ต่ำกว่า 0.001 มม.)



รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความเค้นสูงสุดและต่ำสุด ที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนโครงสร้างเครื่องจักร เมื่อรับภาระโหลด

ผลการตรวจวัดความแม่นยำของเครื่องตามมาตรฐาน ISO 1984 DIN 8615 พบว่าผลการตรวจสอบการเคลื่อนที่ตามแนวแกนต่างๆ มีค่าตามมาตรฐานการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ อยู่ในพิกัดที่มาตรฐานกำหนดไว้

ตารางที่ 1 การตรวจสอบความแม่นยำตามมาตรฐาน ISO 1984

Diagram	Object
 G1	Verification of straightness of the vertical movement of the spindle head slide **a)** in the vertical plane of symmetry of the machine **b)** in the plane perpendicular to the vertical plane of symmetry of the machine
 G2	Verification of straightness of the vertical movement of the spindle head slide **a)** in the vertical plane of symmetry of the machine **b)** in the plane perpendicular to the vertical plane of symmetry of the machine
 G3	Verification of flatness of the table surface
 G4	**a)** Verification of parallelism of the table surface to the transverse movement of the table (or spindle) **b)** verification of parallelism of the table surface to the longitudinal movement of the table

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบขวามแม่นยำ ตามมาตรฐาน ISO 1984

จุดตรวจ	ค่ากำหนด (ISO 1984) (mm)	ค่าความแม่นยำที่วัดได้ (mm)
G1	a) 0.025 b) 0.025	a) +0.010 b) -0.018
G2	a) 0.025 b) 0.025	a) -0.020 b) +0.022
G3	a, b, c, d, e) 0.050	a) 0.000 b) -0.021 c) -0.025 b) -0.020 a) -0.015
G4	a) 0.025 b) 0.025	a) -0.024 b) -0.019

ในการทดสอบการกัดชิ้นงานที่เป็นชิ้นส่วนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ทำจากวัสดุเหล็กกล้า P20 ผลการทดสอบปรากฏว่าเครื่องต้นแบบสามารถกัดแม่พิมพ์ได้โดยไม่เกิดปัญหา ขณะทำการกัดชิ้นงานด้วยโปรแกรมควบคุมการทำงานแบบต่อเนื่องที่ผ่านกระบวนการกัดด้วยเครื่องต้นแบบนี้มีขนาดอยู่ในพิกัดและสามารถนำไปใช้เป็นแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกได้

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกัดรอบสูงที่ควบคุมการทำงานด้วยระบบ CNC พบขั้นตอนและวิธีการออกแบบที่นำเสนอนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องจักรได้ การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนก่อนการผลิต จะมีผลทำให้ลดปัญหาในการผลิตและประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ลงไปได้อย่างมาก ทั้งนี้เพราะโปรแกรมช่วยในการออกแบบ จะสามารถแสดงให้เห็นการประกอบชิ้นส่วนทุกๆ ชิ้นเข้าด้วยกัน ในกรณีที่เกิดปัญหาในการประกอบชิ้นส่วนใดๆ ก็จะสามารถแก้ไขแบบได้สะดวก รวดเร็ว และไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ นอกจากนั้นแล้วโปรแกรมวิเคราะห์ความแข็งแรงยังช่วยให้ผู้ออกแบบมีความมั่นใจได้ว่าชิ้นส่วนที่ออกแบบขึ้นมานั้นมีความแข็งแรงและจะสามารถใช้งาน ได้โดยจะไม่เกิดการแตกหักหรือเสียรูปเมื่อนำไปใช้งานจริง จากการทดลองต่างๆ พบว่าเครื่องจักรต้นแบบสามารถทำงานได้ในระดับเดียวกับเครื่องจักรที่นำเข้าจากต่างประเทศ ทั้งนี้จากผลการตรวจวัดความแม่นยำของเครื่องตามมาตรฐาน ISO 1984 DIN 8615 แสดงให้เห็นแล้วว่าเครื่องจักรมีความผิดพลาดและความคลาดเคลื่อนต่างๆ ของเครื่องต้นแบบมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ และสามารถกัดชิ้นงานจริงได้โดยไม่เกิดปัญหาใดๆ ความเที่ยงตรงและแม่นยำของเครื่องต้นแบบอยู่ในพิกัดที่ยอมรับได้ ในการผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามเครื่องต้นแบบเครื่องนี้ยังไม่มี

ระบบ เปลี่ยนเครื่องมือตัดอัตโนมัติ (Automatic tool change) ดังนั้นในการเปลี่ยนเครื่องมือตัดจำเป็นต้องหยุดการทำงานของเครื่อง ซึ่งทำให้เสียเวลาและการทำงานไม่สามารถทำได้อย่างต่อเนื่องดังนั้นผู้วิจัยมีความการต้องที่จะพัฒนาเครื่องต้นแบบนี้ต่อไปอีก

5. บรรณานุกรม

[1] บรรเลง ศรนิล, สมนึก วัฒนศรียกุล. 2550. ตารางคู่มืองานโลหะ. ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร.

[2] บริษัท ไอ เอ็น บี เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด. 2550. คู่มือการเลือกใช้ Ball screws. กรุงเทพมหานคร.

[3] มนูกิจ พานิชกุล และอรรณพ เรืองวิเศษ, 2548. แนวคิดและวิธีการออกแบบเครื่องจักรกล. สำนักพิมพ์ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร.

[4] วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ฉนัดงาน. 2544. การออกแบบเครื่องจักรกล. สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพมหานคร.

[5] วีระพันธ์ สิทธิพงศ์. 2534. ความแข็งแรงของวัสดุ. สำนักพิมพ์นิยมวิทยา, กรุงเทพมหานคร.

[6] อนันต์ วงศ์กระจ่าง. 2533. ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร.

[7] Ken Wallace. 1988. Engineering Design a systematic approach. Springer-Verlag, London.

[8] Marge Bruce, Carol Michele and Judith Block. 1989. Fundamentals of Dimensional Metrology. Thomson Corporation, New York.

[9] NIPPON THOMPSON CO., LTD. Linear Motion Rolling guide series.