การสร้างเครื่องต้นแบบ เครื่องกัดซีเอ็นซี แบบพาราแรล คิเนเมติก
The Build Prototype of Parallel Kinematic CNC – Milling Machine

สุนทร วีระเดชลิกุล*
Soontorn Weeradeachlikul*
*สาขาวิชาเทคนิคการผลิต วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี ปทุมธานี 12000
*Production Program Department, Pathumthani Technical College , Pathumthani 12000

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซี แบบพาราแรล คิเนเมติก 2) เปรียบเทียบผลการเคลื่อนที่ระหว่างการจำลองการเคลื่อนที่โดยการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการเคลื่อนที่จริงของเครื่องต้นแบบฯ ที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัดโดยใช้สมการการเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นและ 3) ทดลองหาค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยในการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรงของหัวกัดในระนาบ XY จากการวิจัยพบว่า 1) เครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบพาราแรลคิเนเมติกมีการออกแบบให้ฐานเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 มม. มี 3 คอลัมน์ ซึ่งมีความสูงโดยรวม 500 มม. ขับเคลื่อนโดยบอลสกรู ขนาด 16 มม. ระยะลีดของบอลสกรู 5 มม. ใช้มอเตอร์แบบสเต็ปมอเตอร์ที่มีความละเอียดในการหมุน 0.9 องศา/สเต็ป ใช้สเต็ปไดรฟ์แบบไมโครสเต็ป มีความละเอียดในการเคลื่อนที่ที่ละเอียดที่สุด 0.05 มม. เมื่อควบคุมให้หัวกัดเคลื่อนที่ไปยังโคออดิเนตที่กำหนด 2) มีค่าความผิดพลาดของระยะความสูงของจุดวัดในแต่ละคอลัมน์ที่ดีที่สุดคือผิดพลาดเพียง 0.047 มม. และ 3) มีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยในการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงอยู่ที่ 0.184 มม. หรือ 1.77% สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ย 0.163 มม. หรือ 1.63% สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y

คำสำคัญ : เครื่องต้นแบบ, เครื่องกัดซีเอ็นซี, พาราเรล คิเนเมติก

**สุนทร วีระเดชลิกุล*
E-mail : soontorn@pttc.ac.th

Abstract

The objectives of this research were to : 1) create a prototype of a Parallel Kinematic CNC-Milling machine 2) compare the effects of movement between the simulate movement by the computer design and the prototype machine which were controlled by using the equation created 3) find the average error in the linear motion of the holder on the XY plane. The results of this research were as follows: 1) the prototype was designed with 450 millimeters circular plate, three column with a total height of 500 millimeters, driven by 16 millimeters ball screw, 5 millimeters lead distance, used the motor step 0.9 degree and the best resolution was 0.05 millimeters 2) the error of the height of each column is 0.047 millimeters and 3) the average error in linear motion was 0.184 millimeters or 0.177 percentage in X line and the average error in linear motion was 0.163 millimeters or 1.63 percentage in Y line.

Keywords : Phototype, CNC. Milling, Parallel Kinematic Milling Machine

1. บทนำ

ในปัจจุบันระบบ ซีเอ็นซี (Computer Numerical Control : CNC) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในกระบวนการ

ผลิตของกลุ่มธุรกิจอุตสาหกรรมการขึ้นรูปวัสดุเกือบทุกประเภทบทบาทที่สำคัญหลัก ๆ ของเครื่องซีเอ็นซีคือการเพิ่มมาตรฐานของชิ้นงานและเป็นการลดต้นทุนการผลิตรวมทั้งปัญหาทางด้านแรงงาน (ธนาธิป ภู่ระหงษ์, 2555) อย่างไรก็ตามเครื่องจักรกลประเภทซีเอ็นซีก็ต้องได้มีการพัฒนาให้มีการตัดเฉือนวัสดุด้วยความเร็วสูงขึ้นมีรูปแบบการทำงานที่รวดเร็วและแข็งแรงขึ้นอีกทั้งในปัจจุบันได้มีผู้พยายามนำเสนอถึงข้อบกพร่องที่สัมพันธ์ทางโครงสร้างคือความแข็งแรงความสามารถในการรับภาระ (Load capacity) และความถูกต้องของการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องซีเอ็นซีแบบเดิมที่ยังมีข้อบกพร่องอยู่โดยเฉพาะการเพิ่มแกนอิสระในการขึ้นรูปชิ้นงาน (Milutinovic,d.et al., 2008) เช่น การขึ้นรูปจาก 3 แกนเป็น 5 แกนทำได้ยาก

พาราเรล คิเนเมติก แมชชีน (Parallel Kinematic machine) ได้ถูกนำเสนอว่าเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงสูงมีน้ำหนักเบา มีความเฉื่อยต่ำ สามารถเพิ่มความเป็นอิสระของแกนได้ง่ายเมื่อเทียบกับเครื่องจักรกลแบบเดิม (Jinbo Wu and Zhouping Yin., 2013; Viera Poppeova et al., 2013) เมื่อกลไกชนิดนี้ถูกนำมาทำเป็นเครื่องมือกล (Machine tool) ทำให้มีความสามารถในการผลิตชิ้นงานที่มีพื้นผิวและรูปร่างที่ซับซ้อนได้ง่ายกว่าที่จะผลิตชิ้นงานด้วยเครื่องมือกลรูปแบบเดิม (Milutinovic, D.et al.,2008)

จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซี แบบพาราเรล คิเนเมติก เพื่อเป็นการพัฒนารูปแบบของเครื่องกัดซีเอ็นซี และใช้เป็นแนวทางในการศึกษาพัฒนาเครื่องกัดซีเอ็นซีด้วยกลไกแบบพาราเรล คิเนเมติกอีกต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซี แบบพาราแรล คิเนเมติก

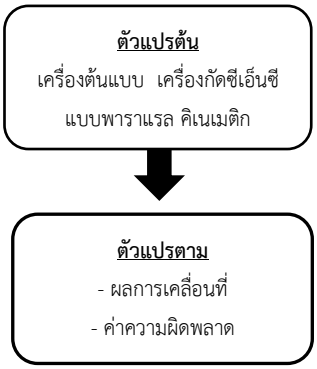
2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลการเคลื่อนที่ระหว่างการจำลองการเคลื่อนที่ของหัวกัดโดยการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับ การเคลื่อนที่จริงของเครื่องต้นแบบฯ ที่ควบคุมการเคลื่อนที่หัวกัดโดยใช้สมการการเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้น

2.3 เพื่อทดลองหาค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยในการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรงของหัวกัดในระนาบ X, Y

3. สมมติฐานของการวิจัย

ค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยในการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรงของหัวกัดในระนาบ X, Y ของเครื่องต้นแบบซีเอ็นซีแบบพาราแรล คิเนเมติกที่ควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยสมการการเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นจะมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 0.05 มม.

4. กรอบแนวคิดการวิจัย



5. วิธีการดำเนินการวิจัย

5.1 ขอบเขตของการวิจัย

5.1.1 เครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบพาราแรล คิเนเมติก มีการออกแบบให้ฐานเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 มม. มี 3 คอลัมน์ ซึ่งมีความสูงโดยรวม 500 มม. ขับเคลื่อนโดยบอลสกรูขนาด 16 มม. ระยะลีดของบอลสกรู 5 มม. ใช้มอเตอร์แบบสเต็ปมอเตอร์ที่มีความละเอียดในการหมุน 0.9 องศา/สเต็ป ใช้สเต็ปไดรฟ์แบบไมโครสเต็ป และมีความละเอียดในการเคลื่อนที่ที่ละเอียดที่สุด 0.05 มม.

5.1.2 การเปรียบเทียบผลการเคลื่อนที่ระหว่างการจำลองการเคลื่อนที่โดยการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการเคลื่อนที่จริงโดยใช้สมการการเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นมีตัวแปรต้นคือ ตำแหน่งโคออดิเนตที่กำหนดและมีตัวแปรตามคือ ความสูงของจุดวัดบนคอลัมน์ทั้งสามคอลัมน์

5.1.3 การจำลองการเคลื่อนที่ของเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบพาราแรล คิเนเมติก สำหรับการวิจัยในครั้งนี้จะจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านการออกแบบและเขียนแบบ

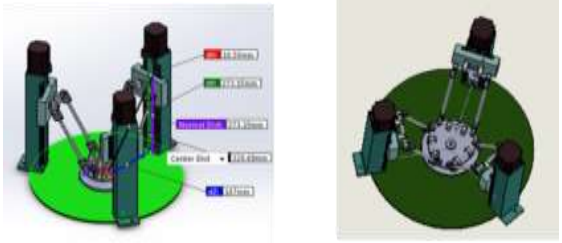
เครื่องจักรกลประเภท 3 มิติ ชื่อโปรแกรม SolidWork Version 2012

5.2 วิธีการวิจัย

5.2.1 การสร้างเครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้คือ เครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซี แบบพาราแรล คิเนเมติก โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

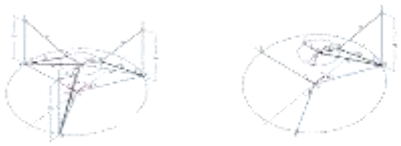
5.2.1.1 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซี แบบพาราแรล คิเนเมติก การออกแบบและสร้างเครื่องมือวิจัยในครั้งนี้คือออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซี แบบพาราเรล คิเนเมติก โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านการออกแบบและเขียนแบบเครื่องจักรกลด้วยคอมพิวเตอร์ชื่อโปรแกรม Solidwork 2012 ซึ่งเป็นโปรแกรมการออกแบบและเขียนแบบประเภท 3 มิติ ได้ใช้ทำการออกแบบและเขียนแบบชิ้นส่วนทุกชิ้นส่วนในรูปแบบ Solid Model และนำมาประกอบกันจนเป็นเครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบพาราเรล คิเนเมติก พร้อมทั้งได้ทำการจำลองการเคลื่อนที่ของหัวกัดให้เคลื่อนที่ไปตามโคออดิเนตในตำแหน่งตามที่กำหนดเพื่อจำลองลักษณะการเคลื่อนที่ การขยับตัวและการทำงานของกลไก และได้บันทึกค่าความสูงของจุดวัดเพื่อศึกษาหาขนาดและระยะการเคลื่อนที่ในชิ้นส่วนต่าง ๆ ในตำแหน่งโคออดิเนตใด ๆ โดยใช้โปรแกรม Solidwork เพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับเครื่องมือวิจัยที่ได้สร้างขึ้นจริงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพเครื่องต้นแบบ เครื่องกัดซีเอ็นซี

5.2.1.2 หลักการสร้างสมการเคลื่อนที่ของหัวกัดในแนบระนาบ X, Y

การสร้างเครื่องมือวิจัยในครั้งนี้ได้สร้างสมการในการคำนวณหาระยะในการเคลื่อนที่จากการสร้าง 3D Model ของเครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบพาราแรล คิเนเมติกดังภาพที่ 1 และจาก 3D Model นี้นำมาเขียนเป็น Free body diagram สำหรับการคำนวณหาระยะของความสูง H ได้ดังภาพที่ 2



(a) (b)

(a) แสดง..Free body diagram โดยรวม
(b) แสดง..Free body diagram เฉพาะคอลัมน์

ภาพที่ 2 แสดง Free body diagram สำหรับการคำนวณหาระยะ H

จากภาพที่ 2 (b) กำหนดให้

L = ความยาวระหว่างจุด bD

M = เวคเตอร์ความยาวของ Bb

H = ความสูงระหว่างจุด BD

N = เวคเตอร์ความยาวของ BP

Pb = เวคเตอร์ความยาว Pb

PX = ตำแหน่งโคออดิเนตในแนวแกน x ของจุด P

PY = ตำแหน่งโคออดิเนตในแนวแกน y ของจุด P

Bx = ตำแหน่งโคออดิเนตในแนวแกน x ของจุด B

By = ตำแหน่งโคออดิเนตในแนวแกน y ของจุด B

กำหนดให้ A, B, และ C คือ ตำแหน่งของคอลัมป์ A, B และ C และกำหนดให้ Subscript 1, 2 และ 3 คือ ระยะความยาวในแต่ละส่วนของคอลัมน์ A, B และ C ตามลำดับเราจะได้ว่า

$$L_2^2 = M_2^2 + H_2^2$$

ดังนั้น $H_2^2 = L_2^2 - M_2^2$

โดยที่ $\overrightarrow{M_2} = \overrightarrow{N}_2 - \overrightarrow{P_2}$

$$\overrightarrow{N}_2 = \left(P_x - B_x\right)_i + \left(P_y - B_y\right)_j$$

$$\overrightarrow{P_b} = \left(P_{b_x}\right)_i + \left(P_{b_y}\right)_j \qquad (5)$$

$$\overrightarrow{M}_2^2 = \left(P_x - B_x + P_{b_x}\right)_i + \left(P_y - B_y + P_{b_y}\right)_j$$

นำค่า $\overrightarrow{M}_2$ จากสมการที่ (6) ไปแทนค่าในสมการที่ (1) (1) จะได้ว่า

$$H_2^2 = L_2^2 - \left(P_x - B_x + P_{b_x}\right) + \left(P_y - B_y + P_{b_y}\right)$$

ดังนั้นสมการความสูงของ H_2 จะเป็น

$$H_2 = \sqrt{L_2 - \left(P_x - B_x + P_{b_x}\right)^2 + \left(P_y - B_y + P_{b_y}\right)^2} \quad (7)$$

จากการพิสูจน์ตามสมการที่ (1) ถึง (7) จึงสรุปได้ว่า สมการความสูงของ H_1, H_2 และ H_3

$$H_1 = \sqrt{L_1 - \left(P_x - A_x + P_{a_x}\right)^2 + \left(P_y - A_y + P_{a_y}\right)^2}$$

$$H_2 = \sqrt{L_2 - \left(P_x - B_x + P_{b_x}\right)^2 + \left(P_y - B_y + P_{b_y}\right)^2}$$

$$H_3 = \sqrt{L_3 - \left(P_x - C_x + P_{c_x}\right)^2 + \left(P_y - C_y + P_{c_y}\right)^2}$$

5.2.1.3 การสร้างโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัด

การควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัดได้สร้างโปรแกรมการควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัดด้วยโปรแกรม Lab VIEW โดยการนำสมการที่ 7 ในหัวข้อ 6.1.2 มาใช้เป็นสมการการคำนวณหาระยะความสูงของ H ใด ๆ และในการสร้างหน้าจออินเตอร์

(a) แสดงหน้าจออินเตอร์เฟส (b) แสดงหน้าบล็อกไดอะแกรม

ภาพที่ 3 แสดงหน้าจออินเตอร์เฟส (GUI) และบล็อกไดอะแกรมที่สร้างขึ้นโดยโปรแกรม LABVIEW

ทำการทดสอบการควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ให้หมุนขับสกรูดังภาพที่ 4 เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่และมีผลการทดลองตามระยะยาวดังตารางที่ 1 ดังนี้

ภาพที่ 4 แสดงการทดสอบควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

ตารางที่ 1 แสดงค่าเคลื่อนที่ตามระยะความยาว

ระยะสั่งให้เคลื่อนที่ (มม.)			
1	0.5	0.05	0.005
1.03	0.46	0.06	-
1.05	0.54	0.07	-
1.08	0.53	0.06	-
1.06	0.55	0.04	-
1.07	0.48	0.07	-

5.2.2 แผนการทดลองวิจัย

5.2.2.1 แผนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลการเคลื่อนที่ระหว่างการจำลองการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการเคลื่อนที่จริงของเครื่องต้นแบบฯ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบกึ่งการทดลองโดยมีตัวแปรต้นคือตำแหน่งโคออดิเนตที่หัวกัดเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งตามกำหนดและมีตัวแปรตามคือระดับความสูงของจุดวัดในแต่ละคอลัมน์ ณ ตำแหน่งโคออดิเนตเปลี่ยนไประยะความสูงของจุดวัดในแต่ละคอลัมน์ก็เปลี่ยนไปในการวิจัยในครั้งนี้จึงทำการเปรียบเทียบระยะความสูงของจุดวัดของทั้ง 3 คอลัมน์ระหว่างการจำลองการเคลื่อนที่โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการเคลื่อนที่จริงของเครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบพาราแรล คิเนเมติก ซึ่งเป็นผลการเคลื่อนที่ไปยังโคออดิเน็ตที่กำหนดโดยมีการกำหนดตำแหน่งโคออดิเนตเพื่อใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ตามตารางที่ 2

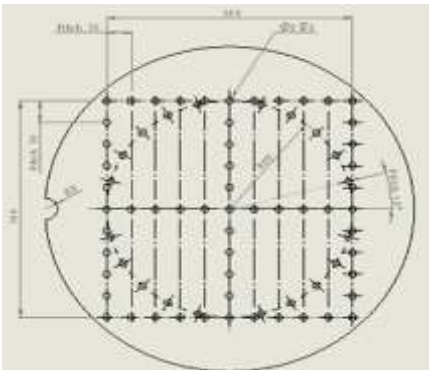
ตารางที่ 2 แสดงจุดโคออดิเน็ตที่ใช้ในการทดลอง

จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
X	0	10	20	30	40	50	-10	-20	-30	-40	-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	20	30	40	50	0	-10	-20	-30	-40	-50

X หมายถึง ตำแหน่งโคออดิเน็ตตามแนวแกน XY หมายถึง ตำแหน่งโคออดิเน็ตตามแนวแทน Y

5.2.2.2 ชิ้นงานสำหรับการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรงของหัวกัดในแนวระนาบ X,Y

สำหรับการทดลองการกัดเพื่อศึกษาความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของหัวกัดของเครื่องต้นแบบฯ ใช้วิธีการทดลองโดยการทำโปรแกรมสั่งให้หัวกัดเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งโคออดิเน็ตต่าง ๆ แล้วกัดชิ้นงานทดลองให้ชิ้นงานดังภาพที่ 5

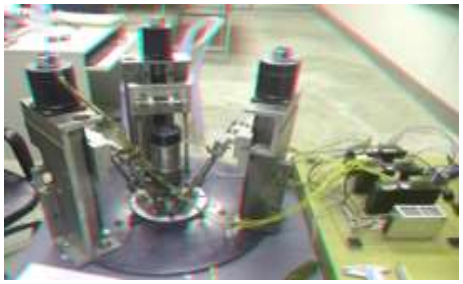


ภาพที่ 5 แสดงชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองหาค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรง ของหัวกัดในระนาบ X,Y

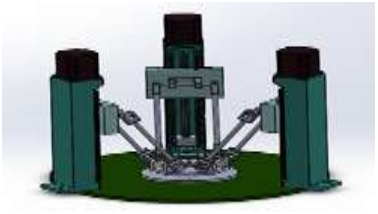
6. ผลการวิจัย

6.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซี แบบพาราเรล คิเนเมติก

จากการออกแบบเครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซี แบบพาราเรล คิเนเมติกในครั้งนี้ดังภาพที่ 6 และมีผลการสร้างเครื่องต้นแบบฯ ดังภาพที่ 7 มีฐานเป็นวงกลมและมีขนาดโดยเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 มม. และมีความสูงโดยรวมขนาด 500 มม. ขับเคลื่อนโดยบอลสกรูใช้มอเตอร์แบบสเต็ปมอเตอร์ที่มีความละเอียดในการหมุน 0.9 องศา/สเต็ปและมีความละเอียดในการเคลื่อนที่ที่ละเอียดที่สุด 0.05 มม.

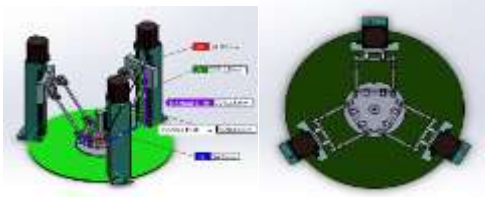


ภาพที่ 6 แสดง 3D Model ที่ออกแบบ



ภาพที่ 7 แสดงเครื่องต้นแบบฯ ที่สร้างได้ด้วยโปรแกรม Solid Work 2012

6.2 ผลการเปรียบเทียบผลการเคลื่อนที่ระหว่างการจำลองการเคลื่อนที่โดยการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการเคลื่อนที่จริงของเครื่องต้นแบบฯ ที่ควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้สมการการเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้น



ภาพที่ 8 แสดงการจำลองและหาความสูงของจุดวัดในแต่ละคอลัมน์เมื่อเคลื่อนที่หัวจับไปยังโคออดิเนตต่าง ๆ ตามที่กำหนด

จากภาพที่ 8 เมื่อสร้างเครื่องต้นแบบกลไกพาราแรลคิเนเมติกเบื้องต้นเสร็จแล้วได้ทำการเปรียบเทียบระยะความสูงของจุดวัดที่ได้จากการจำลองการเคลื่อนที่ของหัวจับด้วยโปรแกรม Solid work และวัดความสูงของจุดวัดของเครื่องต้นแบบฯ โดยให้หัวจับเคลื่อนที่ไปยังโคออดิเนตตามที่กำหนดเพื่อเปรียบเทียบความสูงของจุดวัดว่าเป็นไปในทางเดียวกันหรือไม่และบันทึกค่าดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าเปรียบเทียบความสูงของจุดวัดในแต่ละคอลัมน์ระหว่างการจำลองการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการเคลื่อนที่จริงด้วยสมการที่สร้างขึ้นเมื่อเคลื่อนที่หัวกัดไปยังโคออดิเนตตามกำหนด

ตำแหน่งโคออดิเนตที่กำหนด		**ระยะความสูงของจุดวัดจากการจำลอง**			**ระยะความสูงของจุดวัดที่ได้จริง**			**ค่าความคลาดเคลื่อน**		
Xd	Yd	Ct1	Ct2	Ct3	Ct1	Ct2	Ct3	Errer Ct1	Errer Ct2	Errer Ct3
0	0	273.15	273.15	273.15	273.28	273.28	273.28	0.13	0.13	0.13
10	0	272.88	277.34	268.52	273	277.37	268.53	0.12	0.03	0.01
20	0	272.04	280.84	263.02	272.17	280.84	263.07	0.13	0	0.05
30	0	270.7	283.7	256.8		283.73	256.82	0.08	0.03	0.02
40	0	268.8	286.01	249.74	268.82	286.07	249.7	0.02	0.06	0.04
50	0	266.26	287.82	241.65	266.27	287.87	241.58	0.01	0.05	0.07
-10	0	272.95	268.47	277.31	273	268.53	277.37	0.05	0.06	0.06
-20	0	272.03	262.97	280.87	272.17	263.07	280.84	0.14	0.1	0.03
-30	0	270.72	256.81	283.71	270.79	256.82	283.73	0.07	0.01	0.02
-40	0	268.82	249.75	286.02	268.82	249.7	286.07	0	0.05	0.05
-50	0	266.15	241.58	287.87	266.27	241.58	287.87	0.12	0	0
0	10	278	270.36	270.37	278.03	270.43	270.43	0.03	0.07	0.06
0	20	282.05	266.95	266.95	282.15	266.97	266.97	0.1	0.02	0.02
0	30	285.62	262.85	262.85	285.66	262.86	262.86	0.04	0.01	0.01
0	40	288.55	258.04	258.04	288.6	258.05	258.05	0.05	0.01	0.01
0	50	290.99	252.35	252.32	291	252.45	252.45	0.01	0.1	0.13
0	0	273.15	273.15	273.15	273.28	273.28	273.28	0.13	0.13	0.13
0	-10	267.83	275.45	275.47	267.83	275.54	275.54	0	0.09	0.07
0	-20	261.53	277.2	277.18	261.62	277.23	277.23	0.09	0.03	0.05
0	-30	254.44	278.35	278.37	254.56	278.37	278.37	0.12	0.02	0
0	-40	246.42	278.95	278.93	246.54	278.97	278.97	0.12	0.02	0.04
0	-50	237.36	279.02	278.99	237.39	279.04	279.04	0.03	0.02	0.05
	ค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ย							**0.072**	**0.047**	**0.048**

โดยที่ Xd, Yd หมายถึงตำแหน่งโคออดิเน็ต X,Y ที่กำหนดไว้ตามแบบ Ct1, Ct2 และ Ct3 หมายถึงความสูงของจุดวัดที่วัดได้จริงในคอลัมน์ที่ 1,2 และ 3 ตามลำดับ

จากผลการเปรียบเทียบจะเห็นความสูงของจุดวัดในแต่ละคอลัมน์ระหว่างการจำลองการเคลื่อนที่โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับเครื่องต้นแบบฯ ที่สร้างขึ้นมีค่าความสูงของจุดวัดที่ใกล้เคียงกันซึ่งอาจจะบอกได้ว่าสมการที่สร้างขึ้นมีความเป็นจริง

6.3 ผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรงของหัวกัดในแนวระนาบ X,Y การทดลองได้ทำการกัดชิ้นงานโดยการเคลื่อนที่หัวกัดด้วยโปรแกรมควบคุมที่สร้างขึ้นโดยสั่งให้เคลื่อนที่ครั้งละ 10 มม. มีค่า Interval ที่ 0.5, 1, และ 2 มีผลการทดลองดังตารางที่ 4 ตารางที่ 5 และตารางที่ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 แสดงผลการพล็อตโคออดิเน็ตโดยสั่งให้เคลื่อนที่ Inc = 10 มม. Interval 0.5 มม.

โคออดิเนต ที่กำหนดในแบบ		ตำแหน่งเคลื่อนที่ได้จริง		ระยะคลาดเคลื่อน		เปอร์เซ็นต์ คลาดเคลื่อน	
Xd	Yd	Xc	Yc	Error X(mm.)	Error Y(mm.)	Error X (%)	Error Y (%)
0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	9.82	0.4	0.18	0.4	1.8	4
20	0	19.86	0.4	0.14	0.4	1.4	4
30	0	29.68	0.2	0.32	0.2	3.2	2
30	10	29.68	10.1	0.32	0.1	3.2	1
30	20	29.68	20.18	0.32	0.18	3.2	1.8
30	30	29.88	30.04	0.12	0.04	1.2	0.4
20	30	19.66	30.08	0.34	0.08	3.4	0.8
10	30	9.74	30.08	0.26	0.08	2.6	0.8
0	30	0.22	30.08	0.22	0.08	2.2	0.8
-10	30	-9.84	30.16	0.16	0.16	1.6	1.6
-20	30	-19.64	30.16	0.36	0.16	3.6	1.6
-30	30	-30.04	30.02	0.04	0.02	0.4	0.2
-30	20	-30.14	19.44	0.14	0.56	1.4	5.6
-30	10	-30.24	10.04	0.24	0.04	2.4	0.4
-30	0	-30.28	0.48	0.28	0.48	2.8	4.8
-30	-10	-30.22	-9.88	0.22	0.12	2.2	1.2
-30	-20	-30.02	-19.98	0.02	0.02	0.2	0.2
-30	-30	-29.88	-29.98	0.12	0.02	1.2	0.2
-20	-30	-20.08	-29.86	0.08	0.14	0.8	1.4
-10	-30	-10.02	-30.24	0.02	0.24	0.2	2.4
0	-30	-0.24	-30.24	0.24	0.24	2.4	2.4

ตารางที่ 4 แสดงผลการพล็อตโคออดิเน็ตโดยสั่งให้เคลื่อนที่ Inc = 10 มม. Interval 0.5 มม. (ต่อ)

โคออดิเนต ที่กำหนดในแบบ		ตำแหน่งเคลื่อนที่ได้จริง		ระยะคลาดเคลื่อน		เปอร์เซ็นต์ คลาดเคลื่อน	
Xd	Yd	Xc	Yc	Error X(mm.)	Error Y(mm.)	Error X (%)	Error Y (%)
10	-30	9.88	-30.24	0.12	0.24	1.2	2.4
20	-30	19.68	-30.24	0.32	0.24	3.2	2.4
30	-30	29.96	-29.98	0.04	0.02	0.4	0.2
30	-20	29.9	-19.98	0.1	0.02	1	0.2
30	-10	29.94	-10.12	0.06	0.12	0.6	1.2
ค่าเฉลี่ย				**0.184**	**0.163**	**1.770**	**1.630**

จากตารางที่ 4 พบว่าการเคลื่อนที่ของหัวกัดด้วยโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นโดยสั่งให้เคลื่อนที่ครั้งละ 10 มม. มีค่า Interval ที่ 0.5 มม. มีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยตามแนวแกน x เท่ากับ 0.184 มม. หรือคิดเป็น 1.77% และมีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยตามแนวแกน y เท่ากับ 0.163 มม. หรือคิดเป็น 1.63%

ตารางที่ 5 แสดงผลการพล็อตโคออดิเน็ต โดยสั่งให้เคลื่อนที่ Inc. 10 มม. Interval 1 มม.

โคออดิเนต ที่กำหนดในแบบ		ตำแหน่งเคลื่อนที่ ได้จริง		ระยะคลาดเคลื่อน		เปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน	
Xd	Yd	Xc	Yc	Error X(mm.)	Error Y(mm.)	Error X(%)	Error Y(%)
0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	10.1	0.64	0.1	0.64	1	6.4
20	0	20.14	0.64	0.14	0.64	1.4	6.4
30	0	29.96	0.44	0.04	0.44	0.4	4.4
30	10	29.96	10.34	0.04	0.34	0.4	3.4
30	20	29.96	20.42	0.04	0.42	0.4	4.2
30	30	30.16	30.28	0.16	0.28	1.6	2.8
20	30	19.94	30.32	0.06	0.32	0.6	3.2
10	30	10.02	30.32	0.02	0.32	0.2	3.2
0	30	0.5	30.32	0.5	0.32	5	3.2
-10	30	-9.56	30.4	0.44	0.4	4.4	4
-20	30	-19.36	30.4	0.64	0.4	6.4	4

ตารางที่ 5 แสดงผลการพล็อตโคออดิเน็ต โดยสั่งให้เคลื่อนที่ Inc. 10 มม. Interval 1 มม. (ต่อ)

โคออดิเนต ที่กำหนดในแบบ		ตำแหน่งเคลื่อนที่ ได้จริง		ระยะคลาดเคลื่อน		เปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน	
Xd	Yd	Xc	Yc	Error X(mm.)	Error Y(mm.)	Error X(%)	Error Y(%)
-30	30	-29.76	30.26	0.24	0.26	2.4	2.6
-30	20	-29.86	19.68	0.14	0.32	1.4	3.2
-30	10	-29.96	10.28	0.04	0.28	0.4	2.8
-30	0	-30	0.72	0	0.72	0	7.2
-30	-10	-29.94	-9.64	0.06	0.36	0.6	3.6
-30	-20	-29.74	-19.74	0.26	0.26	2.6	2.6
-30	-30	-29.6	-29.74	0.4	0.26	4	2.6
-20	-30	-19.8	-29.62	0.2	0.38	2	3.8
-10	-30	-9.74	-30	0.26	0	2.6	0
0	-30	0.04	-30	0.04	0	0.4	0
10	-30	10.16	-30	0.16	0	1.6	0
20	-30	19.96	-30	0.04	0	0.4	0
30	-30	30.24	-29.74	0.24	0.26	2.4	2.6
30	-20	30.18	-19.74	0.18	0.26	1.8	2.6
30	-10	30.22	-9.88	0.22	0.12	2.2	1.2
ค่าเฉลี่ย				**0.179**	**0.296**	**1.726**	**2.963**

จากตารางที่ 5 พบว่าการเคลื่อนที่ของหัวกัดด้วยโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นโดยสั่งให้เคลื่อนที่ครั้งละ 10 มม. มีค่า Interval ที่ 1 มม. มีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยตามแนวแกน x เท่ากับ 0.179 มม. หรือคิดเป็น 1.72% และมีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยตามแนวแกน y เท่ากับ 0.296 มม. หรือคิดเป็น 2.93%

ตารางที่ 6 แสดงผลการพล็อตโคออดิเน็ตโดยสั่งให้เคลื่อนที่ Inc.= 10 มม. Interval 2 มม.

โคออดิเนต ที่กำหนดในแบบ		ตำแหน่งเคลื่อนที่ ได้จริง		ระยะคลาดเคลื่อน		เปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน	
Xd	Yd	Xc	Yc	Error X(mm.)	Error Y(mm.)	Error X(%)	Error Y(%)
0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	10.18	0.78	0.18	0.78	1.8	7.8
20	0	20.22	0.78	0.22	0.78	2.2	7.8

ตารางที่ 6 แสดงผลการพล็อตโคออดิเน็ตโดยสั่งให้เคลื่อนที่ Inc.= 10 มม. Interval 2 มม. (ต่อ)

โคออดิเนต ที่กำหนดในแบบ		ตำแหน่งเคลื่อนที่ ได้จริง		ระยะคลาดเคลื่อน		เปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน	
Xd	Yd	Xc	Yc	Error X(mm.)	Error Y(mm.)	Error X(%)	Error Y(%)
30	0	30.04	0.58	0.04	0.58	0.4	5.8
30	10	30.04	10.48	0.04	0.48	0.4	4.8
30	20	30.04	20.56	0.04	0.56	0.4	5.6
30	30	30.24	30.42	0.24	0.42	2.4	4.2
20	30	20.02	30.46	0.02	0.46	0.2	4.6
10	30	10.1	30.46	0.1	0.46	1	4.6
0	30	0.58	30.46	0.58	0.46	5.8	4.6
-10	30	-9.48	30.54	0.52	0.54	5.2	5.4
-20	30	-19.28	30.54	0.72	0.54	7.2	5.4
-30	30	-29.68	30.4	0.32	0.4	3.2	4
-30	20	-29.78	19.82	0.22	0.18	2.2	1.8
-30	10	-29.88	10.42	0.12	0.42	1.2	4.2
-30	0	-29.92	0.86	0.08	0.86	0.8	8.6
-30	-10	-29.86	-9.5	0.14	0.5	1.4	5
-30	-20	-29.66	-19.6	0.34	0.4	3.4	4
-30	-30	-29.52	-29.6	0.48	0.4	4.8	4
-20	-30	-19.72	-29.48	0.28	0.52	2.8	5.2
-10	-30	-9.66	-29.86	0.34	0.14	3.4	1.4
0	-30	0.12	-29.86	0.12	0.14	1.2	1.4
10	-30	10.24	-29.86	0.24	0.14	2.4	1.4
20	-30	20.04	-29.86	0.04	0.14	0.4	1.4
30	-30	30.32	-29.6	0.32	0.4	3.2	4
30	-20	30.26	-19.6	0.26	0.4	2.6	4
30	-10	30.3	-9.74	0.3	0.26	3	2.6
ค่าเฉลี่ย				0.242	0.421	2.333	4.207

จากตารางที่ 6 พบว่าการเคลื่อนที่ของหัวกัดด้วยโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นโดยสั่งให้เคลื่อนที่ครั้งละ 10 มม. มีค่า Interval ที่ 2 มม. มีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยตามแนวแกน x เท่ากับ 0.242 มม. หรือคิดเป็น 2.33% และมีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยตามแนวแกน y เท่ากับ 0.421 มม. หรือคิดเป็น 4.20%

จากผลการทดลองในตารางที่ 4, 5 และ 6 จะเห็นได้ว่าการสั่งให้หัวกัดเคลื่อนที่ไปยังโคออดิเนตต่าง ๆ ตามที่กำหนดด้วยโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นในครั้งนี้มีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยที่ดีที่สุดดังตารางที่ 4 มีค่า Interval เท่ากับ 0.5 มม.

7. สรุปผลการวิจัย

7.1 ผลการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบพาราแรล คิเนเมติกสรุปได้ว่ามีการออกแบบฐานเป็นวงกลมและมีขนาดโดยเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 มม และมีความสูงโดยรวมขนาด 500 มม. ขับเคลื่อนโดยบอลสกรูขนาด 16 มม. ระยะลีดของบอลสกรู 5 มม. ใช้มอเตอร์แบบสเต็ป มอเตอร์ที่มีความละเอียดในการหมุน 0.9 องศา/สเต็ป ใช้ค่าสเต็ปไดรฟ์แบบไมโคร สเต็ป และมีความละเอียดในการเคลื่อนที่ที่ละเอียดที่สุด 0.05 มม.

7.2 ผลการเปรียบเทียบผลการเคลื่อนที่ระหว่างการจำลองการเคลื่อนที่โดยการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการเคลื่อนที่จริงของเครื่องต้นแบบฯ ที่ควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้สมการการเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นสรุปผลก็คือเมื่อควบคุมให้หัวกัดเคลื่อนที่ไปยังโคออดิเนตที่กำหนดมีค่าความผิดพลาดของระยะความสูงของจุดวัดในแต่ละคอลัมน์ที่ดีที่สุดคือผิดพลาดเพียง 0.047 มม. ซึ่งถือว่าสมการที่สร้างขึ้นนั้นถูกต้องและมีความเป็นจริงสำหรับใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัดของเครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบพาราแรลคิเนเมติกได้

7.3 ผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยในการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรงของหัวกัดในระนาบ X,Y สรุปได้ว่าผลการทดลองที่ดีที่สุด คือการควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม LabVIEW ที่มีค่า Interval ที่ 0.5 มม. และมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.184 มม. หรือ1.77% สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ย 0.163 มม. หรือ 1.63% สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y

8. อภิปรายผลการวิจัย

8.1 เครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบพาราแรลคิเนเมติกมีการออกแบบให้ฐานเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 มม. มี 3 คอลัมน์ ซึ่งมีความสูงโดยรวม 500 มม. ขับเคลื่อนโดยบอลสกรูขนาด 16 มม. ระยะลีดของบอลสกรู 5 มม. ใช้มอเตอร์แบบสเต็ปมอเตอร์ที่มีความละเอียดในการหมุน 0.9 องศา/สเต็ป ใช้สเต็ปไดรฟ์แบบไมโครสเต็ปมีความละเอียดในการเคลื่อนที่ที่ละเอียดที่สุด 0.05 มม. ที่เป็นเช่นนี้เพราะในการขับสเต็ปมอเตอร์ให้มีค่าความละเอียดที่ดีที่สุด คือ 0.05 มม. ผู้วิจัยได้ออกแบบให้ใช้การขับสเต็ปมอเตอร์แบบไมโครสเต็ป

8.2 การเปรียบเทียบผลการเคลื่อนที่ระหว่างการจำลองการเคลื่อนที่โดยการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการเคลื่อนที่จริงของเครื่องต้นแบบฯ ที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัด โดยใช้สมการการเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นมีค่าความผิดพลาดของระยะความสูงของจุดวัดในแต่ละคอลัมน์โดยเฉลี่ยคือคอลัมน์ที่ 1 ผิดพลาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.072 มม. คอลัมน์ที่ 2 ผิดพลาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.047 มม. และคอลัมน์ที่ 3 เท่ากับ 0.048 มม. และมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยที่ดีที่สุดคือผิดพลาดเพียง 0.047 มม. ในคอลัมน์ที่ 3 ที่เป็นเช่นนี้เพราะการสร้างเครื่องต้นแบบมีค่าความผิดพลาดทางการผลิตและการประกอบน้อยเป็นไปตามที่ออกแบบไว้จึงทำให้ค่าความผิดพลาดสะสมน้อยส่งผลดีต่อการเคลื่อนที่ของเครื่องจริง

8.3 ทดลองหาค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยในการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรงของหัวกัดในระนาบ XY จากผลการทดลองในตารางที่ 4, 5 และ 6 ในหัวข้อที่ 7.3 มีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยแตกต่างกันและผลการทดลองตามตารางที่ 4 มีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยดีที่สุด คือ 0.184 มม. หรือคิดเป็น 1.77% สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ย 0.163 มม. หรือคิดเป็น 1.63% สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y ที่เป็นเช่นนี้เพราะมีค่าความละเอียดของค่า Interval ที่แตกต่างกัน และจะเห็นได้ว่าค่า Interval ที่มีความละเอียดจะให้ค่าความถูกต้องดีกว่าค่า Interval ที่ละเอียดและจากผลการทดลองที่ค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

9. ข้อเสนอแนะ

9.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการใช้งานของเครื่องต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซี แบบพาราแรล คิเนเมติกที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกัดด้วยโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่สร้างขึ้นสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ในการกัดชิ้นงานผู้นำไปใช้ควรกำหนดค่า Interval ให้มีค่าความละเอียดไม่เกิน 0.5 มม. เพื่อให้ได้ความถูกต้องดีที่สุด

9.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในครั้งต่อไปสำหรับผู้ที่มีความสนใจที่จะทำวิจัยในเรื่องนี้ควรทำการวิจัยให้เกิดการเคลื่อนที่ของหัวกัดให้เคลื่อนที่ได้แบบ 3 แกนในระบบ 3 มิติและในการสร้างเครื่องจักรกลประเภทนี้ควรมีความพิถีพิถันในเรื่องของพิกัดงานสวมและค่าพิกัดความเผื่อในการสร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ

10. เอกสารอ้างอิง

ธราธิป ภู่ระหงษ์. (2555). **เครื่องมินิซีเอ็นซีควบคุมโดยโปรแกรม MACH3.** ค้นเมื่อ มิถุนายน 26, 2556, จาก http://www.Scribd.com1 /doc/176456089/minicnc-mach3.html

Jinbo Wu and Zhouping Yin. (2012). **A Novel 4-DOF Parallel Manipulator.** Retrieved June 26, 2013, Form http://www.intechopen.com/

Milutinovic D. et al. (2008). **Mini educational 3 axisparallel kinematic milling machine.** International Confernce on Manufacturing Engineering. ICMEN, Chalkidiki, Greece, October 1-3, 2008. pp. 463-474.

Viera Poppeova et al. (2002). **The Concept of HSC Milling Machine with Hybrid Kinematic Structuce Application.** Retrieved June 26, 2013, Form www.Yumpu.com/en/document /view/51211391/The-concept-of-hsc-milling