

# การหาค่าความเหมาะสมที่สุดในการควบคุมเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก

## Optimization of the control small automatic milling machine

ชัยนิกร กุลวงษ์<sup>1</sup>, จุฑาทิพย์ ทองเดชาสามารถ<sup>2</sup> และ สรภฤช ศรีเกษม<sup>3</sup>  
สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล<sup>1,2</sup>

84 ม.4 ต.บ้านเกาะ อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า โรงเรียนนายเรืออากาศ<sup>3</sup>

171/1 ถ.พหลโยธิน ต.คลองถนน เขตสายไหม กทม. 10220

E-mail: kchainikorn@hotmail.com<sup>1</sup> และ sorakis\_s@rtaf.mi.th<sup>3\*</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างชุดจำลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของสเต็ปมอเตอร์ชนิดผสมที่ใช้เป็นชุดต้นกำลังในเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าความเร็ว และความเร่งที่เหมาะสม ที่ต้องนำไปใช้กำหนดในโปรแกรม Mach3 เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็กให้มีสมรรถนะในการทำงานที่เหมาะสมกับขีดความสามารถและมีสมรรถนะในการทำงานที่สูง ผลการทดสอบพบว่า ค่าความเร็วและความเร่งที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้เครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็กทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และมีการตอบสนองอย่างรวดเร็วคือที่ค่าความเร็วและความเร่งสำหรับการเคลื่อนที่ในแนวระนาบและแนวตั้ง 93.6 mm/s 787.48 mm/s<sup>2</sup> และ 984.35 mm/s<sup>2</sup> ตามลำดับ รวมทั้งชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบโดยเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก พบว่ามีค่าความถูกต้อง 100 %

### Abstract

This research is to design and implement a model to test the performance of hybrid step motor. The motor is used as the power supply set to the small automatic milling machine. The objective is to obtain the proper speed and acceleration that must be set in the program Mach3 to control the small automatic milling machine for the performance to reach full capacity and high performance. The test results showed that the optimal speed and acceleration of the small automatic milling machine run at full capacity and flat response curve is at the speed and acceleration that for horizontal and vertical movement of 93.6 mm/s, 787.48 mm/s<sup>2</sup> and 984.3 mm/s<sup>2</sup>, respectively. The specimen from the test with this small automatic milling machine is 100% accuracy.

## 1. บทนำ

ปัจจุบันกระบวนการผลิตชิ้นงานต่างๆ ในภาคอุตสาหกรรม พบว่ามีการแข่งขันทั้งในด้านของกำลังการผลิต และคุณภาพของชิ้นงานที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นการนำเครื่องจักรที่มีเทคโนโลยีสมัยใหม่ มาใช้งานในภาคอุตสาหกรรมจึงถือว่าเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะเครื่องจักรที่มีการควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ ที่มีขีดความสามารถในการทำงานที่สูง เช่น เครื่องกลึง หรือเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก แต่อย่างไรก็ตามสำหรับเครื่องจักรที่มีการควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ ส่วนมากแล้วจะเป็นเครื่องจักรที่มีการนำเข้าจากต่างประเทศที่มีราคาค่อนข้างสูง รวมทั้งการใช้งาน และการบำรุงรักษาที่จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ซึ่งอาจจะเกิดความยากลำบาก ที่ภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง หรือขนาดเล็กจะนำเครื่องจักรดังกล่าวเข้ามาใช้งานในกระบวนการผลิต

ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ การออกแบบและสร้างเครื่องจักรอัตโนมัติขนาดเล็ก ที่มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ และมีประสิทธิภาพในการใช้งานที่สูง ขึ้นมาใช้งานด้วยตัวเองจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ ดังแสดงตัวอย่างเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก ที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นมาก่อนหน้านี้ ดังแสดงในรูปที่ 1 ที่เป็นเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก ที่ควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเชิงตัวเลข โดยอาศัยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลควบคุมผ่านโปรแกรม Mach3 และเลือกใช้สเต็ปมอเตอร์ชนิดผสมเป็นต้นกำลัง ซึ่งในการควบคุมการทำงานของเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็กดังกล่าวพบว่าจำเป็นต้องตั้งค่าพารามิเตอร์

ต่างๆ ในส่วนของโปรแกรม Mach3 ให้สอดคล้องกับคุณสมบัติของสเต็ปมอเตอร์ เครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็กถึงจะทำงานได้ แต่อย่างไรก็ตามในการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อควบคุมให้เครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็กมีสมรรถนะในการทำงานที่เหมาะสมและสูง จำเป็นต้องวิเคราะห์ผลการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ เทียบกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เปลี่ยนไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดเพื่อทำการวิเคราะห์ผลการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ โดยอาศัยชุดจำลองการทดสอบสเต็ปมอเตอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2 ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ ซึ่งได้แก่ ค่าความเร็วและค่าความเร่งที่ต้องกำหนดลงไปโปรแกรม Mach3 เพื่อควบคุมให้เครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก ทำงานได้อย่างเหมาะสมกับขีดความสามารถ และมีสมรรถนะในการทำงานที่สูง รวมทั้งการนำองค์ความรู้ดังกล่าว เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการออกแบบ และสร้างเครื่องจักรอัตโนมัติ ที่ควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเชิงตัวเลขที่มีสมรรถนะ และขีดความสามารถในการใช้งานที่สูงขึ้น รวมทั้งเพื่อลดต้นทุนในการผลิต เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดเล็ก

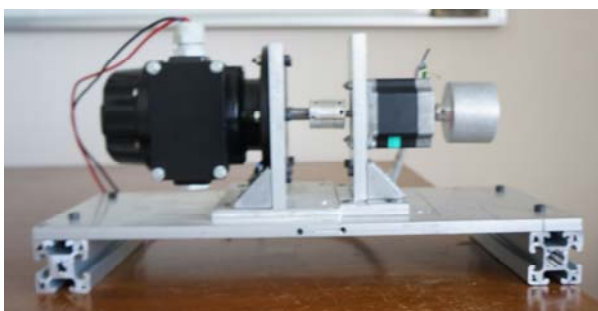
## 2. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการควบคุมสเต็ปมอเตอร์ทั้ง 3 ชนิด คือ ชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet, PM) ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ (Variable Reluctance, VR) และชนิดผสม (Hybrid, HB) [3] สามารถทำได้ทั้งการควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control) และการ

ควบคุมแบบปิด (Close Loop Control) [4] ส่วนการวิเคราะห์ เพื่อหาสมรรถนะของผลการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ สามารถทำได้ทั้งทางทฤษฎี และการทดลอง ดังแสดงในผลงานวิจัยของ Alexandra Morar (2003) [1] ที่ได้ทำการศึกษาและนำเสนอเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลอง รวมทั้งการหาผลเฉลย หรือการตอบสนองของแบบจำลองของสเต็ปมอเตอร์ทั้ง 3 ชนิด ทั้งนี้เพื่อเป็นการทำนายถึงพฤติกรรมแบบพลวัตของสเต็ปมอเตอร์ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าอินพุท



รูปที่ 1 เครื่องกีดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก



รูปที่ 2 ชุดจำลองการทดสอบสเต็ปมอเตอร์

สำหรับการวิเคราะห์ผลการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ของงานวิจัยนี้ จะทำการวิเคราะห์โดย

การทดลอง เพื่อหาสมรรถนะของผลการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ โดยการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ซึ่งได้แก่ ค่าความเร็ว และความเร่ง ที่ต้องนำไปใช้กำหนดในโปรแกรม Mach3 ทั้งนี้ก็เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ที่จะส่งผลให้เครื่องกีดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็กมีสมรรถนะในการทำงานที่สูง เหมาะสมกับขีดความสามารถ รวมทั้งมีลักษณะการทำงานที่ราบเรียบ และสม่ำเสมอ [2]

### 3. ทฤษฎี และการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของสเต็ปมอเตอร์ชนิดผสมในครั้งนี โดยอาศัยชุดจำลองที่ประกอบด้วยสเต็ปมอเตอร์ชนิดผสม เทคโคเจนเนอเรเตอร์ (Tachogenerator) และตัวจับยึด (Coupling) ซึ่งในการทดสอบจำเป็นต้องสร้างภาระงานหรือโหลดที่สเต็ปมอเตอร์ต้องได้รับ ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะการทำงานของเครื่องกีดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก ในขณะที่มีการกีดชิ้นงานจริง กล่าวคือสเต็ปมอเตอร์จะมีภาระงานหรือโหลดที่เพิ่มขึ้นในขณะที่เครื่องกีดมีการกีดชิ้นงานจริง ดังนั้นจึงมีการออกแบบและสร้างชิ้นงานที่ทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มโหลดให้กับสเต็ปมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะชิ้นงานที่ทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มโหลด

### 3.1 แรงบิดที่สเต็ปมอเตอร์ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก

สำหรับแรงบิดที่สเต็ปมอเตอร์ต้องใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก ในแต่ละแนวแกน สามารถแสดงได้ดังในสมการในด้านล่าง

$$T_1 = T_{\text{friction}} + (J_{\text{coupling}} + J_{\text{screw}} + J_{\text{reflect}}) \times \alpha \quad (1)$$

เนื่องจาก

$$T_{\text{friction}} = \frac{F_i \times P}{2 \pi \eta}$$

เมื่อ

$$F_x, F_y = \mu Mg + Ma$$

$$F_z = Mg + Ma$$

และ

$$J_{\text{coupling}} = \frac{M_c}{2} (r_{\text{in}}^2 + r_{\text{out}}^2) \quad (2)$$

$$J_{\text{screw}} = \frac{M_B D^2}{8} \quad (3)$$

$$J_{\text{reflect}} = M \left( \frac{P}{2\pi} \right)^2 \quad (4)$$

เมื่อ

$T_1$  คือแรงบิดรวมที่สเต็ปมอเตอร์ต้องใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติ

$T_{\text{friction}}$  คือแรงบิดที่ต้องเอาชนะแรงเสียดทาน

$J_{\text{coupling}}$  คือแรงเฉื่อยของตัวจับยึด

$J_{\text{screw}}$  คือแรงเฉื่อยของบอลสกรู

$J_{\text{reflect}}$  คือแรงเฉื่อยเนื่องจากมวล

$J_{\text{rotor}}$  คือแรงเฉื่อยของมอเตอร์

$M_B$  คือมวลของบอลสกรู

$M_c$  คือมวลของตัวจับยึด

$r_i$  คือขนาดรัศมีวงในของตัวจับยึด

$r_o$  คือขนาดรัศมีวงนอกของตัวจับยึด

$M$  คือมวลที่สเต็ปมอเตอร์ต้องขับเคลื่อน

$\alpha$  คือค่าความเร่งเชิงมุม ( $\text{rad/s}^2$ )

$a$  คือค่าความเร่งเชิงเส้น ( $\text{m/s}^2$ )

$\mu$  คือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของบอลสกรู

$\eta$  คือค่าประสิทธิภาพของบอลสกรู

$P$  คือระยะพิตช์ของบอลสกรู

$D$  คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบอลสกรู

จากคุณสมบัติของสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้ในเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็กคือ สเต็ปมอเตอร์ของบริษัท SANYO DENKI รุ่น 103H7124-1043 พบว่ามีค่าความเร็วและความเร่งสูงสุดเท่ากับ 156 mm/s และ 3,281.15 mm/s<sup>2</sup> ตามลำดับ อย่างไรก็ตามสำหรับค่าความเร่งที่นำมาใช้ประกอบการคำนวณเพื่อหาแรงบิด  $T_1$  และ  $T_2$  จะใช้ค่าความเร่งเริ่มต้นที่เครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก สามารถทำงานได้จริง คือประมาณ 20 % ของความเร่งสูงสุด หรือมีค่าเท่ากับ 656.25 mm/s<sup>2</sup> (412.13 rad/s<sup>2</sup>) สำหรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ประกอบการคำนวณมีดังนี้

- มวลที่สเต็ปมอเตอร์ต้องขับเคลื่อนในแนวแกน x เท่ากับ 16 kg

- มวลที่สเต็ปมอเตอร์ต้องขับเคลื่อนในแนวแกน y เท่ากับ 9.95 kg

- มวลที่สแตมป์มอเตอร์ต้องขับเคลื่อนในแนวแกน z เท่ากับ 2.61 kg
- มวลของตัวจับยึด คือ 0.032 kg
- เส้นผ่านศูนย์กลางวงนอกของตัวจับยึดคือ  $2.5 \times 10^{-2}$  m
- เส้นผ่านศูนย์กลางวงในของตัวจับยึดคือ  $9.5 \times 10^{-3}$  m
- เส้นผ่านศูนย์กลางของบอลสกรู คือ  $14 \times 10^{-3}$  m
- ความหนาแน่นของบอลสกรู คือ  $7.83 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>
- ความยาวของบอลสกรูในแต่ละแนวแกนคือ  $40.65 \times 10^{-2}$  m
- ค่าประสิทธิภาพของบอลสกรู คือ 0.96
- ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของบอลสกรูคือ 0.003
- รัศมีพิทช์ของบอลสกรูคือ  $10 \times 10^{-3}$  m
- น้ำหนักของตัวจับยึด คือ 0.032 kg

จากสมการที่ 1 จะได้ค่าแรงบิดรวม  $T_1$  ในแต่ละแนวแกนคือ

$$T_{1,x} = 4.10 \times 10^{-2} \text{ N.m}$$

$$T_{1,y} = 3.41 \times 10^{-2} \text{ N.m}$$

$$T_{1,z} = 5.42 \times 10^{-2} \text{ N.m}$$

### 3.2 แรงบิดที่สแตมป์มอเตอร์ใช้ในการขับเคลื่อนเทคโคเจนเนอเรเตอร์ในชุดจำลอง

สำหรับแรงบิดที่สแตมป์มอเตอร์ต้องใช้ในการขับเคลื่อนเทคโคเจนเนอเรเตอร์ในชุดจำลอง สามารถแสดงได้ดังในสมการที่ตามมา

$$T_2 = (J_{\text{coupling}} + J_{\text{tacho}}) \times \alpha \quad (5)$$

เมื่อ

$T_2$  คือแรงบิดรวมที่สแตมป์มอเตอร์ต้องใช้ในการขับเคลื่อนเทคโคเจนเนอเรเตอร์

$J_{\text{tacho}}$  คือแรงเฉื่อยของเทคโคเจนเนอเรเตอร์

จากคุณสมบัติของเทคโคเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้ในชุดจำลองเป็นรุ่น REO44N ที่มีค่าแรงเฉื่อยเท่ากับ  $9.5 \times 10^{-5}$  kg.m<sup>2</sup> ดังนั้นจากสมการที่ 5 จะได้ว่า

$$T_2 = 4.03 \times 10^{-2} \text{ N.m}$$

### 3.3 ขนาดชิ้นงานที่ทำหน้าที่สร้างโหลดให้กับชุดจำลอง

สำหรับค่าแรงบิด  $T_1$  ที่คำนวณได้ทั้งสามแนวแกน เป็นค่าแรงบิดในขับเคลื่อนเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก แบบไม่มีอัตราการป้อน หรือในขณะไม่มีการกัดชิ้นงาน ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานจริงของเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก ในขณะที่มีการกัดชิ้นงาน กล่าวคือแรงบิดที่สแตมป์มอเตอร์ต้องใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก จะมีค่าที่เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ สำหรับการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของสแตมป์มอเตอร์ในครั้งนี้ จะทำการออกแบบชิ้นงานที่ทำหน้าที่สร้างโหลดให้กับสแตมป์ มอเตอร์ โดยการพิจารณาจากแรงบิดที่มีค่าเป็น 130%, 140%, 150%, 160% และ 170% ของค่าแรงบิด  $T_1$  ในแต่ละแนวแกน

### 3.3.1 การเคลื่อนที่ในแนวระนาบ (x,y)

สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวแกน x และแกน y เป็นการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ ที่จำเป็นต้องมีจังหวะการเคลื่อนที่ รวมทั้งความเร็วและความเร่งในการเคลื่อนที่ที่เท่ากัน ทั้งนี้เพื่อให้ได้การเคลื่อนที่ในแนวระนาบที่ราบเรียบและสม่ำเสมอ ดังนั้นสำหรับค่าแรงบิด  $T_1$  ที่จะนำมาพิจารณาเพื่อหาขนาดของชิ้นงานที่ทำหน้าที่สร้างโหลดให้กับสเต็ปมอเตอร์ในชุดจำลองควรมีค่าเดียวกัน และในที่นี้จะเลือกใช้ค่า  $T_{1,x}$  ทั้งนี้เพราะแรงบิดในแนวแกน x มีค่ามากกว่าแรงบิดในแนวแกน y ดังนั้นจะได้ว่าชิ้นงานที่จะนำมาเป็นตัวสร้างโหลดให้กับสเต็ปมอเตอร์สำหรับการจำลองการเคลื่อนที่ในแนวระนาบมีทั้งหมด 5 ชิ้น คือ  $M_{1,x}=0.124$  kg,  $M_{2,x}=0.163$  kg,  $M_{3,x}=0.203$  kg,  $M_{4,x}=0.242$  kg และ  $M_{5,x}=0.282$  kg สำหรับการพิจารณาจากแรงบิดที่มีค่าเป็น 130%, 140%, 150%, 160% และ 170% ของค่าแรงบิด  $T_{1,x}$  ตามลำดับ

### 3.3.2 การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (z)

สำหรับชิ้นงานที่จะนำมาเป็นตัวสร้างโหลดให้กับสเต็ปมอเตอร์สำหรับการจำลองการเคลื่อนที่ในแนวตั้งมีทั้งหมด 5 ชิ้น คือ  $M_{1,z}=0.112$  kg,  $M_{2,z}=0.134$  kg,  $M_{3,z}=0.156$  kg,  $M_{4,z}=0.178$  kg และ  $M_{5,z}=0.2$  kg สำหรับการพิจารณาจากแรงบิดที่มีค่าเป็น 130%, 140%, 150%, 160% และ 170% ของค่าแรงบิด  $T_{1,z}$  ตามลำดับ

## 4 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

สำหรับวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของสเต็ปมอเตอร์ในครั้งนี้ประกอบด้วย

1. ชุดจำลองเพื่อทดสอบหาสมรรถนะของสเต็ปมอเตอร์
2. เครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก
3. ชิ้นงานที่ทำหน้าที่สร้างโหลดให้กับสเต็ปมอเตอร์
4. ออสซิลโลสโคปรุ่น BK Precision 2160A
5. เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ลงโปรแกรม Mach3

## 5 การทดสอบ

สำหรับการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ เพื่อให้ได้ค่าความเร็วและค่าความเร่งที่เหมาะสมที่สุดที่ต้องกำหนดลงในโปรแกรม Mach3 เพื่อควบคุมให้เครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก ทำงานได้อย่างเหมาะสมกับขีดความสามารถ มีสมรรถนะในการทำงานที่สูง ราบเรียบและสม่ำเสมอ ในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

### 5.1 การทดสอบเพื่อหาการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์

สำหรับการทดสอบในส่วนนี้จะทำการทดสอบการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ โดยอาศัยชุดจำลองการทดสอบสเต็ปมอเตอร์ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ประกอบชิ้นงานที่ทำหน้าที่สร้างโหลด  $M_{1,x}$  เข้ากับแกนของสเต็ปมอเตอร์
2. เขียน NC Code ผ่านโปรแกรม Mach3 เพื่อขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์ โดยกำหนดค่าความเร็วและความเร่งเริ่มต้นคือ 20% ของค่าความเร็วและความเร่งสูงสุดของสเต็ปมอเตอร์

3. ตรวจจับสนัยญาณการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์โดยอาศัยออสซิลโลสโคป และบันทึกผล

4. ทดสอบซ้ำในข้อที่ 2-3 โดยการปรับเปลี่ยนค่าความเร็ว โดยการเพิ่มค่าขึ้นครั้งละ 1% จนกระทั่งถึงค่า 60% ของค่าความเร็วสูงสุด

5. ทดสอบซ้ำในข้อที่ 2-4 โดยการปรับเปลี่ยนค่าความเร่ง โดยการเพิ่มค่าขึ้นครั้งละ 1% จนกระทั่งถึงค่า 60% ของค่าความเร่งสูงสุด

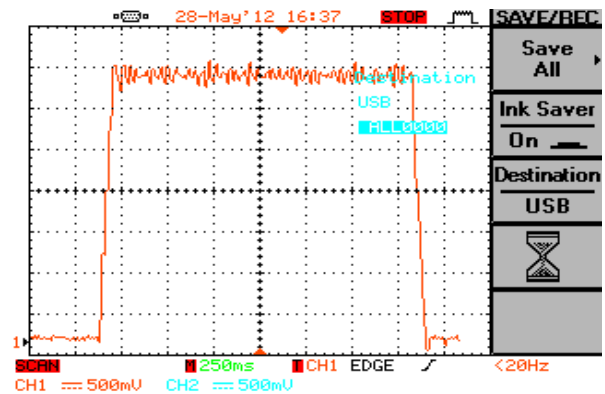
6. เปลี่ยนชิ้นงานที่ทำหน้าที่สร้างโหลดให้กับสเต็ปมอเตอร์ให้ครบทั้ง 10 ชิ้น แล้วทดสอบซ้ำข้อที่ 2-5

จากการทดสอบสามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2

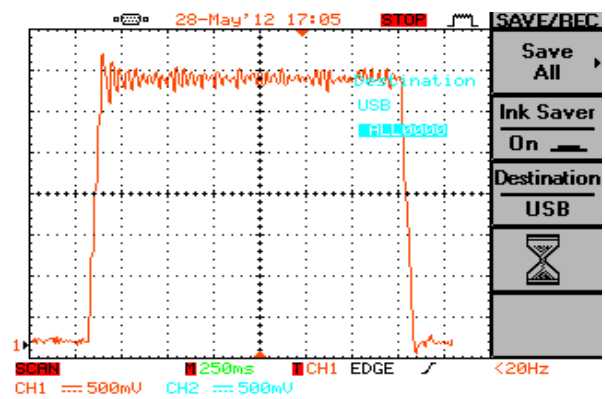
ตารางที่ 1 ค่าความเร็ว และความเร่งสูงสุด ที่ทำให้การตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ไม่เกิดการโอเวอร์ชูทขึ้น สำหรับการจำลองการเคลื่อนที่ของสเต็ปมอเตอร์ในแนวระนาบ

มวล	ค่าความเร็ว (mm/s)	ค่าความเร่ง (mm/s <sup>2</sup> )
M <sub>1,x</sub>	93.6	1,214.03
M <sub>2,x</sub>	93.6	1,115.60
M <sub>3,x</sub>	93.6	951.53
M <sub>4,x</sub>	93.6	853.10
M <sub>5,x</sub>	93.6	787.48

สำหรับการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ ในการจำลองการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ ที่ค่าความเร็วคงที่ 93.6 mm/s และที่ค่าความเร่งสูงสุดที่การตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ไม่เกิดการโอเวอร์ชูทรวมทั้งค่าความเร่งเริ่มต้นที่การตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ เริ่มเกิดโอเวอร์ชูท สามารถแสดงได้ในรูปด้านล่าง

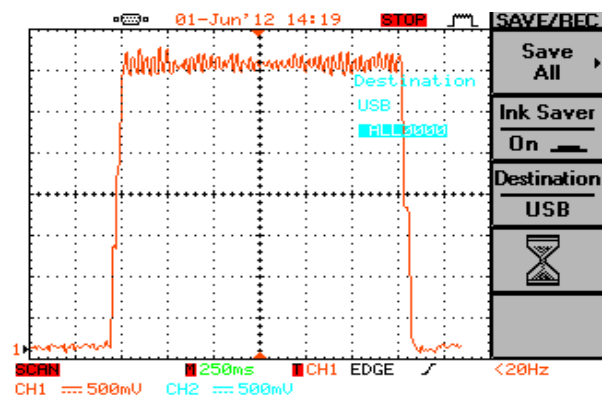


(ก)

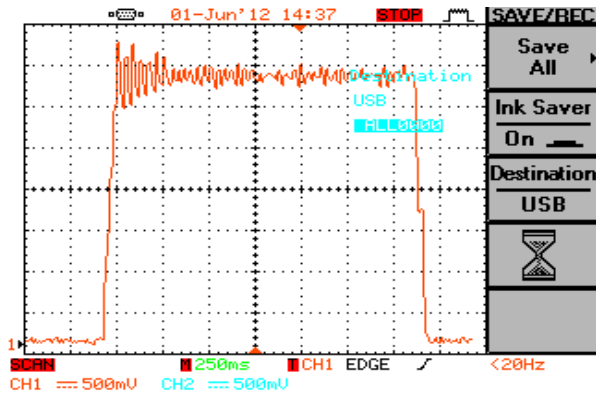


(ข)

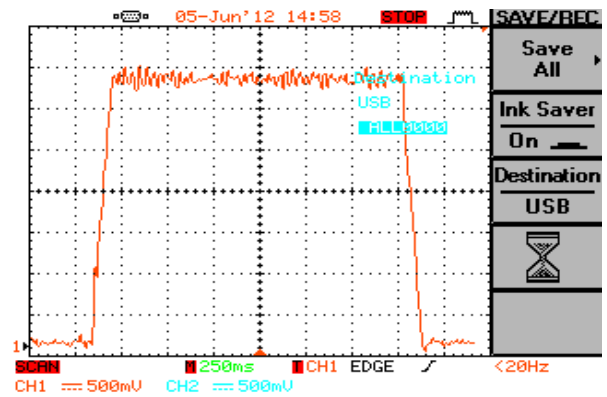
รูปที่ 4 ผลการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ที่ค่าความเร็ว 93.6 mm/s และความเร่ง (ก) 1,214.03 mm/s<sup>2</sup> (ข) 1,246.84 mm/s<sup>2</sup>



(ง)



(ก)

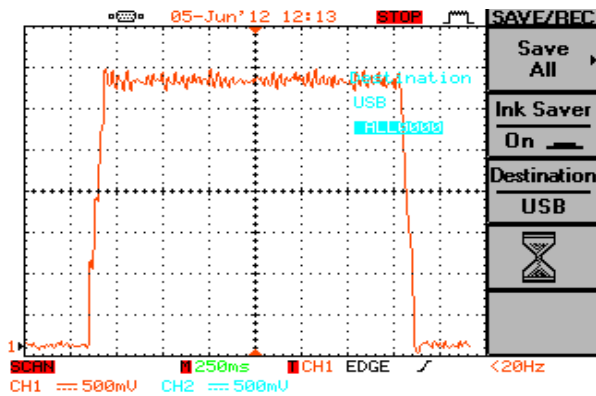


(ข)

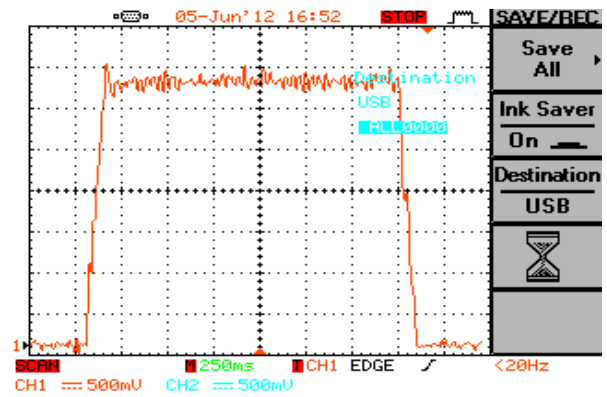
รูปที่ 5 ผลการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ที่ค่า

ความเร็ว 93.6 mm/s และความเร่ง

(ก) 1,115.60 mm/s<sup>2</sup> (ข) 1,148.40 mm/s<sup>2</sup>



(ค)

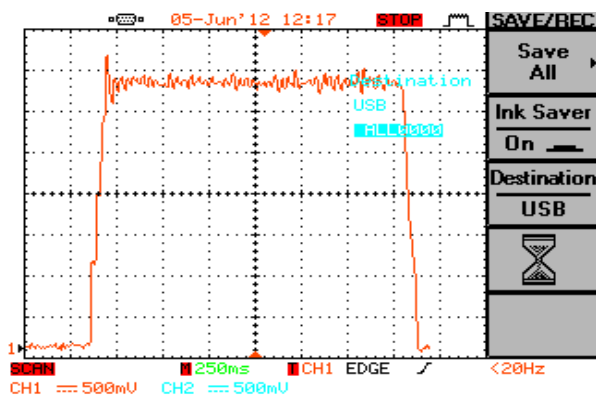


(ง)

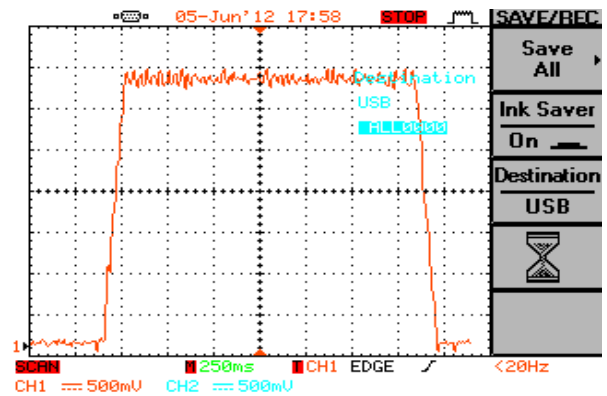
รูปที่ 7 ผลการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ที่ค่า

ความเร็ว 93.6 mm/s และความเร่ง

(ก) 853.10 mm/s<sup>2</sup> (ข) 885.91 mm/s<sup>2</sup>



(ฉ)



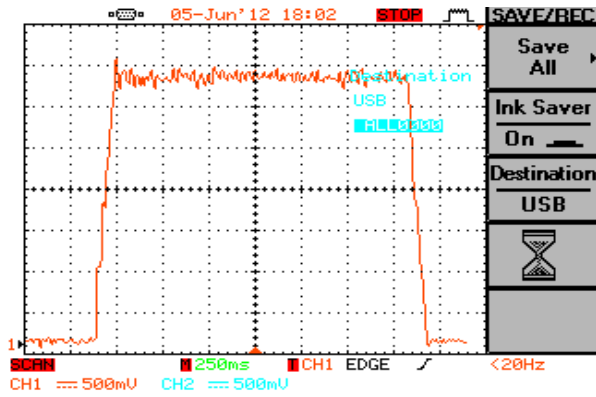
(ช)

รูปที่ 6 ผลการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ที่ค่า

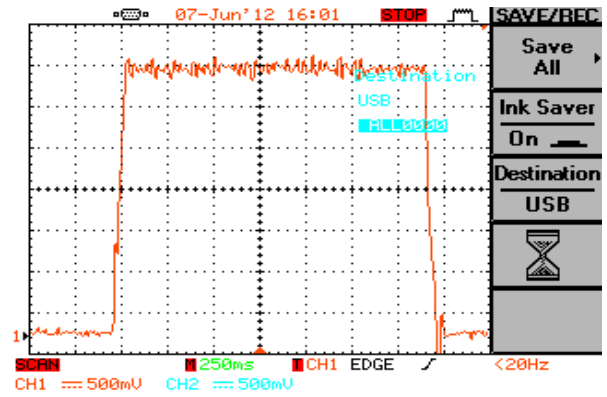
ความเร็ว 93.6 mm/s และความเร่ง

(ก) 951.53 mm/s<sup>2</sup> (ข) 984.35 mm/s<sup>2</sup>





(ข)



(ง)

รูปที่ 8 ผลการตอบสนองของสแตมป์มอเตอร์ที่ค่า

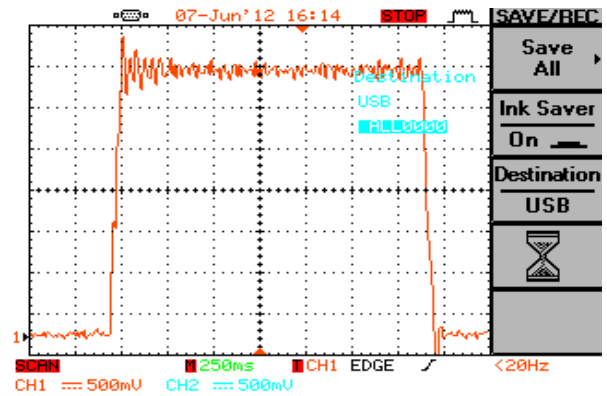
ความเร็ว 93.6 mm/s และความเร่ง

(ง) 787.48 mm/s<sup>2</sup> (ข) 820.29 mm/s<sup>2</sup>

ตารางที่ 2 ค่าความเร็ว และความเร่งสูงสุด ที่ทำให้การตอบสนองของสแตมป์มอเตอร์ไม่เกิดการโอเวอร์ชูทขึ้น สำหรับการจำลองการเคลื่อนที่ของสแตมป์มอเตอร์ในแนวตั้ง

มวล	ค่าความเร็ว (mm/s)	ค่าความเร่ง (mm/s <sup>2</sup> )
M <sub>1,Z</sub>	93.6	1,312.46
M <sub>2,Z</sub>	93.6	1,181.21
M <sub>3,Z</sub>	93.6	1,148.40
M <sub>4,Z</sub>	93.6	1,049.97
M <sub>5,Z</sub>	93.6	984.35

สำหรับการตอบสนองของสแตมป์มอเตอร์ ในการจำลองการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ที่ค่าความเร็วคงที่ 93.6 mm/s และที่ค่าความเร่งสูงสุดที่การตอบสนองของสแตมป์มอเตอร์ไม่เกิดการโอเวอร์ชูท รวมทั้งค่าความเร่งเริ่มต้นที่การตอบสนองของสแตมป์มอเตอร์ เริ่มเกิดโอเวอร์ชูท สามารถแสดงได้ในรูปด้านล่าง

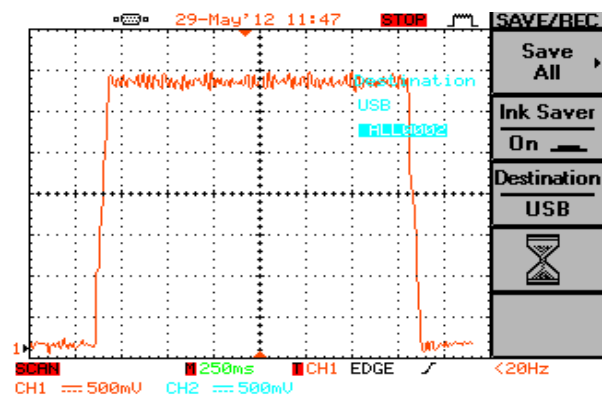


(ข)

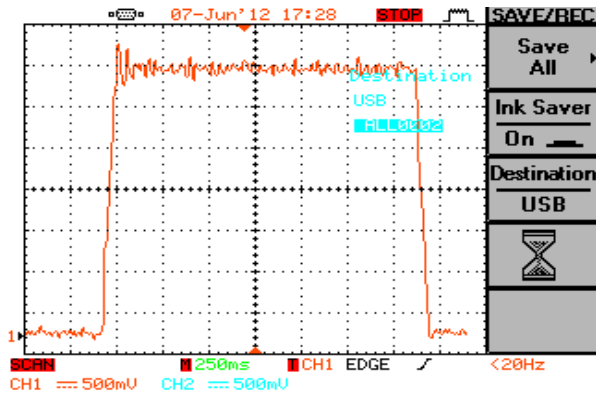
รูปที่ 9 ผลการตอบสนองของสแตมป์มอเตอร์ที่ค่า

ความเร็ว 93.6 mm/s และความเร่ง

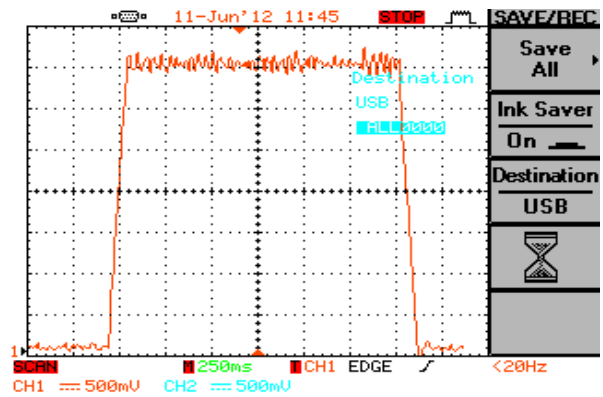
(ง) 1,312.46 mm/s<sup>2</sup> (ข) 1,345.27 mm/s<sup>2</sup>



(ง)

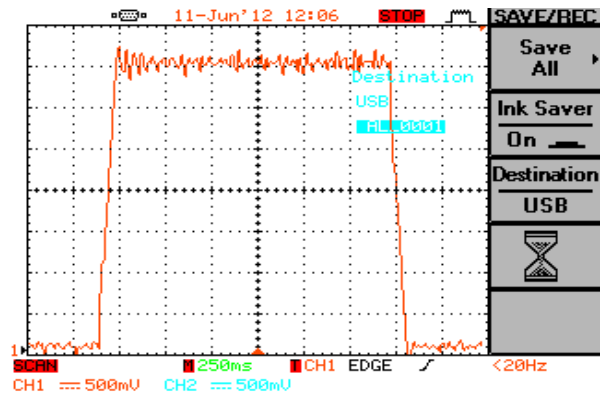


(ข)



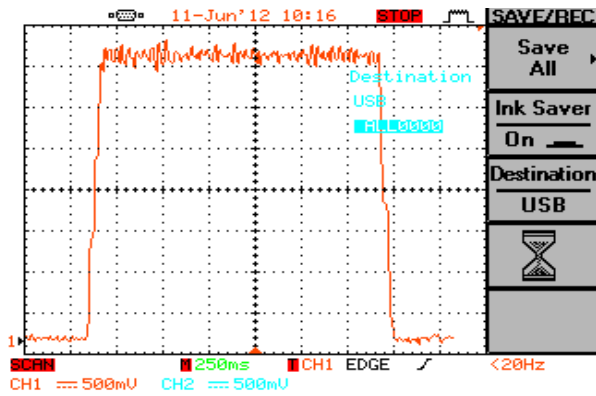
(ง)

รูปที่ 10 ผลการตอบสนองของสแต็ปมอเตอร์ที่ค่า  
ความเร็ว 93.6 mm/s และความเร่ง  
(ก) 1,181.21 mm/s<sup>2</sup> (ข) 1,214.03 mm/s<sup>2</sup>

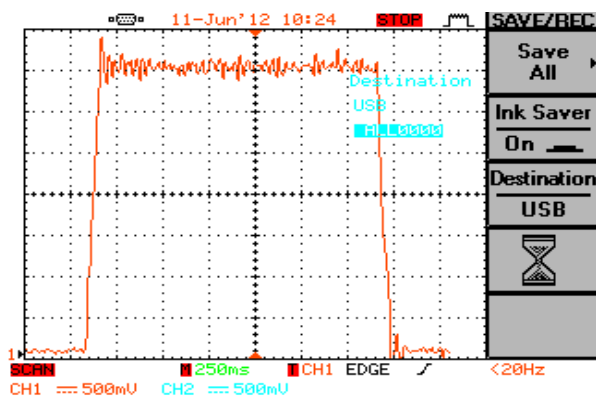


(ข)

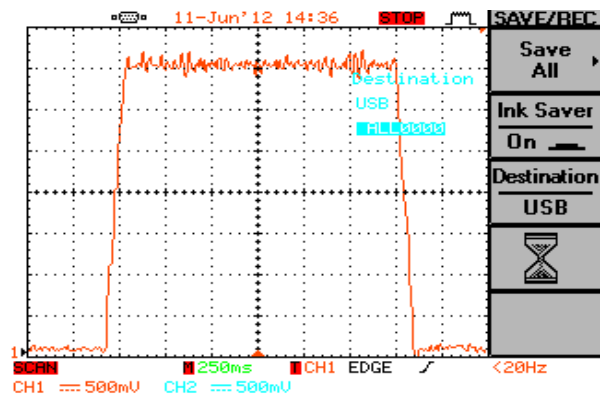
รูปที่ 12 ผลการตอบสนองของสแต็ปมอเตอร์ที่ค่า  
ความเร็ว 93.6 mm/s และความเร่ง  
(ก) 1,049.97 mm/s<sup>2</sup> (ข) 1,082.78 mm/s<sup>2</sup>



(ก)

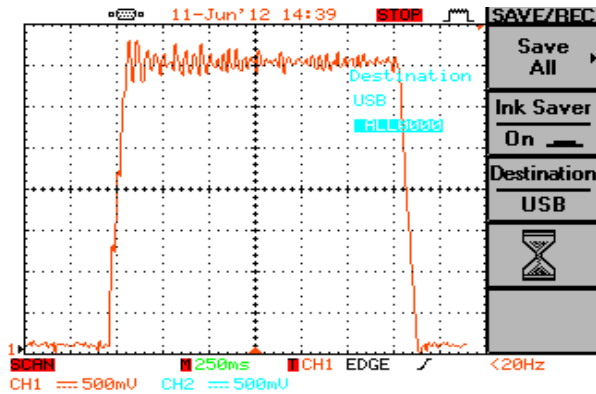


(ข)



(ก)

รูปที่ 11 ผลการตอบสนองของสแต็ปมอเตอร์ที่ค่า  
ความเร็ว 93.6 mm/s และความเร่ง  
(ก) 1,148.40 mm/s<sup>2</sup> (ข) 1,181.21 mm/s<sup>2</sup>



(ข)

รูปที่ 13 ผลการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ที่ค่า  
ความเร็ว 93.6 mm/s และความเร่ง  
(ก) 984.35 mm/s<sup>2</sup> (ข) 1,017.16 mm/s<sup>2</sup>

จากผลการทดสอบการตอบสนองของ สเต็ปมอเตอร์ที่ค่าความเร็วคงที่ 93.6 mm/s และที่ สภาวะโหลด 130%, 140%, 150%, 160% และ 170% ดังแสดงในข้อมูลด้านบน พบว่าค่าความเร่ง สูงสุดสำหรับการเคลื่อนที่ในแนวระนาบและแนวตั้ง ที่ ทำให้การตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ไม่เกิดการโอเวอร์ชูทขึ้น ที่สภาวะโหลดต่างๆ สามารถแสดงได้ใน ตารางที่ 3

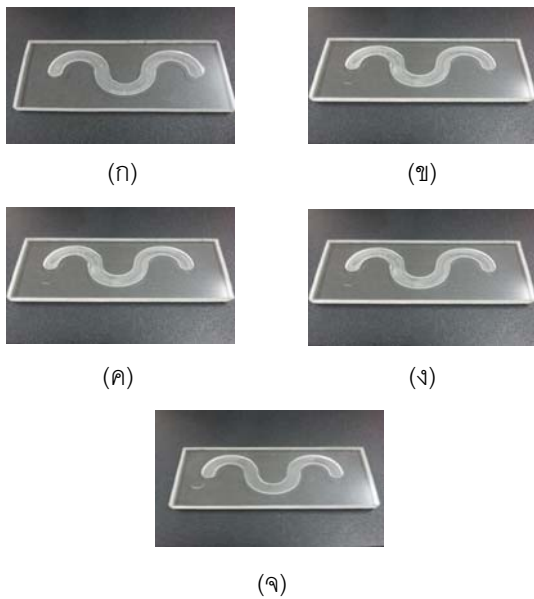
ตารางที่ 3 ค่าความเร่งสูงสุดของสเต็ปมอเตอร์สำหรับการ เคลื่อนที่ในแนวระนาบและแนวตั้ง ที่ทำให้การตอบสนองของ สเต็ปมอเตอร์ไม่เกิดการโอเวอร์ชูทขึ้น ที่สภาวะโหลดต่างๆ (ความเร็วคงที่ 93.6 mm/s)

โหลด	ค่าความเร่งสูงสุด (mm/s <sup>2</sup> )	
	แนวระนาบ	แนวตั้ง
130 %	1,214.03	1,312.46
140 %	1,115.60	1,181.21
150 %	951.53	1,148.40
160 %	853.10	1,049.97
170 %	787.48	984.35

## 5.2 การทดสอบการทำงานจริงของเครื่องกัด ชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก

สำหรับการทดสอบการทำงานจริงของ เครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก สามารถทำได้โดย การนำค่าความเร่งสูงสุดของสเต็ปมอเตอร์สำหรับการ เคลื่อนที่ในแนวระนาบและแนวตั้ง ที่ทำให้การ ตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ไม่เกิดการโอเวอร์ชูทขึ้น ที่สภาวะโหลดต่างๆ ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 3 มา กำหนดในโปรแกรม Mach3 แล้วทำการเขียน NC Code เพื่อควบคุมเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก ให้ทำการกัดชิ้นงานจริง แล้วทำการวิเคราะห์เพื่อหา ค่าความเร็วและความเร่งสูงสุด ที่เครื่องกัดชิ้นงาน อัตโนมัติขนาดเล็กสามารถทำงานได้อย่างมี ประสิทธิภาพสูงสุด โดยการพิจารณาจากลักษณะการ ทำงานของเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็กกว่ามี ความราบเรียบสม่ำเสมอหรือไม่ รวมทั้งการพิจารณา จากคุณภาพของชิ้นงานที่ได้จากการกัด

จากรูปที่ 14 แสดงผลการทดสอบกัดชิ้นงาน จริงด้วยเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก พบว่า รูป (ก)-(ง) ชิ้นงานที่ได้มีความถูกต้องทั้งขนาดและ รูปร่าง แต่อย่างไรก็ตามยังคงพบว่าพื้นผิวที่เกิดจาก การกัด โดยเฉพาะพื้นผิวบริเวณแนวขอบด้านข้าง ยังคงมีบางตำแหน่งที่ยังคงไม่สม่ำเสมอ และขรุขระ รวมทั้งพื้นผิวรอยกัดในบริเวณด้านล่างยังคงไม่ ราบเรียบ ส่วนรูป (จ) พบว่าชิ้นงานที่ได้มีความถูกต้อง ทั้งขนาด รูปร่าง รวมทั้งพื้นผิวบริเวณแนวขอบ ด้านข้างและด้านล่างของชิ้นงานที่เกิดจากการกัดที่ ราบเรียบ และสม่ำเสมอ



รูปที่ 14 การทดสอบกัดชิ้นงานจริงที่ความเร็ว 93.6 mm/s และที่ความเร่งคือ

- (ก)  $a_x$  และ  $a_y$  เท่ากับ 1,214.03mm/s<sup>2</sup>  
 $a_z$  เท่ากับ 1,312.46 mm/s<sup>2</sup>
- (ข)  $a_x$  และ  $a_y$  เท่ากับ 1,115.60mm/s<sup>2</sup>  
 $a_z$  เท่ากับ 1,181.21mm/s<sup>2</sup>
- (ค)  $a_x$  และ  $a_y$  เท่ากับ 951.53 mm/s<sup>2</sup>  
 $a_z$  เท่ากับ 1,148.40 mm/s<sup>2</sup>
- (ง)  $a_x$  และ  $a_y$  เท่ากับ 853.10 mm/s<sup>2</sup>  
 $a_z$  เท่ากับ 1,049.97 mm/s<sup>2</sup>
- (จ)  $a_x$  และ  $a_y$  เท่ากับ 787.48 mm/s<sup>2</sup>  
 $a_z$  เท่ากับ 984.35 mm/s<sup>2</sup>

## 6. สรุป

จากผลการทดสอบทั้ง 2 ส่วน คือการทดสอบเพื่อหาการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ และการทดสอบการทำงานจริงของเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก พบว่าเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็กสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ และมีการตอบสนองอย่างรวดเร็วสม่ำเสมอ รวมทั้งชิ้นงานที่

ได้จากการกัดมีค่าความถูกต้อง 100 % ที่ค่าความเร็ว 93.6 mm/s และที่ค่าความเร่งสำหรับการเคลื่อนที่ในแนวระนาบและการเคลื่อนที่ในแนวตั้งคือ 787.48 mm/s<sup>2</sup> และ 984.35 mm/s<sup>2</sup> ตามลำดับ

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณนายพีระพล แก้วขอนแก่น และนายฉัตรชัย ใหญ่พรมราช นักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ในการทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Alexandru MORAR, "Stepper Motor Model for Dynamic Simulation" Acta Electrotehnica., vol. 44, No.2, 2003, pp. 117-122
- [2] Mohamed S. ZAKY, Ehab M. ISMAEIL and Mahmoud M. KHATER, "DSP-Based Real-Time Control of a Two Phase Hybrid Stepping Motor" Acta Electrotehnica., vol. 51, No.2, 2010, pp. 109-113
- [3] S.F.Rezeka, N.M.Elsodany, N.A.Maharem, "Fuzzy Gain Scheduling Control of a Stepper Motor Driving a Flexible Rotor" European Journal of Scientific Research., vol.39, No.1, 2010, pp. 50-63
- [4] Art soft, "Using Mach3 Milling", 2005.

[5] Benjamin C. Kuo, Step Motor and Control Systems, SRL, 1998.

[6] Takashi Kenjo, Stepping Motors and their Microprocessor Controls, Oxford Science Publications, 1984.

[7] W. Bolton, Control Engineering, Longman, 2000.