การพัฒนาเครื่องพิมพ์สามมิติ ชนิด SLA ที่มีการควบคุมแบบปิด

The development of closed loop SLA 3D printer

ชนิกา พิมลามา[1] ปรัชญาพร ดวงคำ[2] และ กริช เจียมจิโรจน์[1]

Chaniga Pilama[1] Patchayapron Doungkhum[1] and Krit Jiamjiroch[*1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

เครื่องพิมพ์สามมิติเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่ หากแต่ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องพิมพ์สามมิติโดยทั่วไปยังคงเป็นระบบเปิด การศึกษานี้จึงมีจุดประสงค์ในการพัฒนาระบบการควบคุมแบบปิดร่วมกับเครื่องพิมพ์สามมิติ ชนิด SLA โดยเหตุผลที่เลือกพัฒนาระบบการควบคุมแบบปิดร่วมกับเครื่องพิมพ์สามมิติ ชนิด เพราะ เป็นเครื่องพิมพ์ที่เคลื่อนที่ในแนวแกนเดียว ง่ายต่อการพัฒนา จากผลการทดสอบระบบการเคลื่อนที่ของเครื่องพิมพ์สามมิติด้วยระบบเปิด พบว่าชิ้นงานที่พิมพ์จากระบบเปิดเกิดค่าความผิดพลาดในแนวแกน z เท่ากับ 25% เนื่องจากระหว่างการทดลองพิมพ์ชิ้นงานเกิดปัญหาด้านเทคนิคซึ่งส่งผลให้แพลตฟอร์มเคลื่อนที่ขึ้นจนทำให้ไม่สามารถพิมพ์ชิ้นงานต่อได้ จึงเปลี่ยนมาใช้การควบคุมด้วยระบบปิด ซึ่งเกิดค่าความผิดพลาดในแนวแกน z เท่ากับ 3% และการควบคุมแบบ PID เพื่อช่วยปรับปรุงค่าความผิดพลาดให้ลดน้อยลง ชิ้นงานจากระบบ PID ค่าความผิดพลาดในแนวแกน z เท่ากับ -1.667 %

คำสำคัญ: เครื่องพิมพ์ SLA ของเหลว การควบคุมระบบปิด

Abstract

3D Printer is becoming one of the most famous technology but this technology is mostly based on an open-loop control system. The aim of this study is to improve the printing system based on a Closed Loop control. As an SLA has only one linear motion in Z-axis; it make this 3D printer is not difficult to improve. The results from SLA 3D Printer with open loop system test showed that the printed 3D object have got the error that happen in z- axis is 25%; however, after introduced closed-loop control system, it showed that this error is significantly drop to 3%. In order to improve the Z-Axis control by a PID Controller, it can offer less-error that is approximately 1.7%.

Keywords: SLA 3D Printer, Liquid based, closed loop 3D printer

1. บทนำ

เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติหรือการพิมพ์สามมิติแบบรวดเร็ว Rapid Prototyping (RP) ได้รับความนิยมในกลุ่มของนักออกแบบและด้านอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลาย การพิมพ์สามมิตินั้นมีอยู่ 3 ประเภท คือ 1) การพิมพ์แบบพอก (Fused Deposition Model; FDM) 2) การพิมพ์จากของเหลวไวแสง (Stereolithography; SLA) 3) การพิมพ์โดยอาศัยเลเซอร์เพื่อใช้ในการหลอมเหลวผงวัสดุ (Selective Laser Sintering; SLS) [1-2] ซึ่งแต่ละเทคนิคมีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป โดยการเลือกใช้เครื่องพิมพ์แต่ละประเภทนั้น ต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งงานวิจัยนี้จะมุ้งเน้นไปในส่วนของการพัฒนาเทคนิคการพิมพ์สามมิติจากของเหลวไวแสง SLA หรือจากพิมพ์สามมิติด้วยของเหลว [3] โดยเทคนิคนี้มีข้อดีคือผิวของชิ้นงานจะมีความเรียบ และชิ้นงานมีความละเอียดสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเทคนิคอื่น ๆ หลักการทำงานของเทคนิคการพิมพ์นี้จะอาศัยคุณสมบัติพิเศษของโฟโต้พอลิเมอร์ (Photopolymer) หรือเรซิน (Resin) กล่าวคือเมื่อเรซินถูกฉายด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ หรือคลื่นอัลต้าไวโอเลต (UV) จะทำให้เรซินแข็งตัว (Cure) ติดกับแท่นลองรับชิ้นงาน จากนั้นทำการเคลื่อนที่แท่นลองรับชิ้นงานไปใน

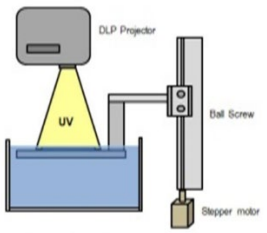
แนวดิ่ง แล้วทำการพิมพ์ชิ้นงานตามแนวตัดขวาง (Cross section) ในชั้นต่อไปทีละชั้นจนได้เป็นชิ้นงานไปตามโมเดลที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้น [4-5]

เครื่องพิมพ์สามมิติจากของเหลวไวแสง ที่มีจำหน่ายทั่วไปนั้นมีการควบคุมการเคลื่อนที่ในการพิมพ์ชิ้นงานด้วยระบบแบบเปิด (Open loop control) ซึ่งทำให้การควบคุมอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ เพราะไม่มีระบบที่ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของการพิมพ์ชิ้นงานในแต่ละชั้น (layer) ว่าการเคลื่อนที่เที่ยงตรงเพียงใด [6] ซึ่งจะส่งผลให้ชิ้นงานที่พิมพ์ได้มีคุณภาพที่ต่ำกว่าที่ต้องการ ดังนั้นในโครงงานนี้จึงได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของเครื่องพิมพ์สามมิติโดย 1) เลือกออกแบบและสร้างเครื่องพิมพ์ชนิด SLA เพื่อลดการเคลื่อนที่ (DOF) จาก 3 แกนเหลือ 1 แกน เพื่อลดโอกาสในการเกิดความผิดพลาดจากการพิมพ์ชิ้นงานต้นแบบ 2) ใช้ทฤษฎีการควบคุมระบบปิด (Closed loop system) [6] ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของการพิมพ์ชิ้นงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและช่วยเพิ่มความแม่นยำของเครื่องพิมพ์ให้ สูงขึ้น Benjamin McKittrick Weiss [7] ได้ทำการพัฒนาการควบคุมระบบปิดสำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติแบบพอก (Model: MBot CUBE printer) แบบต้นทุนต่ำในส่วนของการเคลื่อนที่ในแนวแกนระนาบ (x, y) การเคลื่อนที่ใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ผ่านสายพาน ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้ง Encoder Scale ในแนวแกน x, y และทำการติดตั้ง Encoder Sensor บนสานพาน จากนั้นทำการทดลองการเคลื่อนที่สเต็ปเปอร์มอเตอร์ทั้งสองตัว แล้วทำการปรับปรุงความแม่นยำของระยะการเคลื่อนที่ ผลการทดลองสรุปได้ว่าการเคลื่อนที่มีความแม่นยำสูงขึ้น 40%

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 เครื่องพิมพ์สามมิติโดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ลงของแพลตฟอร์ม (Top-Down 3D Printer)

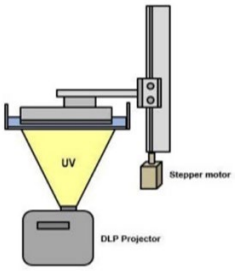
เครื่องพิมพ์ 3 มิติโดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ลงของแพลตฟอร์มเป็นเครื่องพิมพ์ที่มีแหล่งกำเนิดแสงที่ฉายภาพตัดขวางของชิ้นงานอยู่ด้านบนของถาดรองเรซิน เพื่อฉายแสงเลเซอร์ลงมาบนผิวเรซินโดยมีจุดประสงค์ทำให้เรซินซึ่งเป็นของเหลวเกิดการแข็งตัวติดกับแพลตฟอร์ม และทำการขยับแพลตฟอร์มลงทีละชั้นเพื่อพิมพ์ชิ้นงานต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องพิมพ์สามมิติโดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ลงของแพลตฟอร์ม

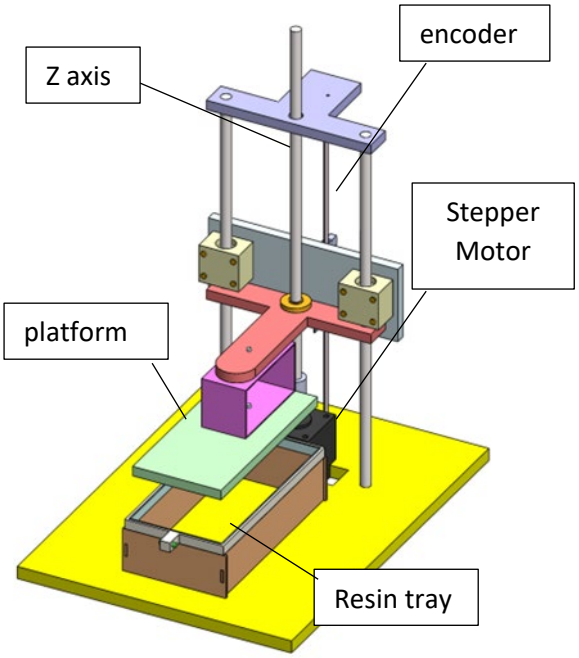
2.2 เครื่องพิมพ์สามมิติโดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ขึ้นของแพลตฟอร์ม (Bottom-Up 3D Printer)

เครื่องพิมพ์ 3 มิติโดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ขึ้นของแพลตฟอร์มเป็นเครื่องพิมพ์ที่ติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงที่ฉายภาพตัดขวางของชิ้นงานไว้ยังด้านล่างของถาดรองเรซิน และทำการฉายแสงเลเซอร์ขึ้นมายังเรซินที่อยู่ในถาดรองโดยมีจุดประสงค์ทำให้เรซินซึ่งเป็นของเหลวเกิดการแข็งตัวติดกับแพลตฟอร์ม และทำการขยับแพลตฟอร์มขึ้นทีละชั้นเพื่อพิมพ์ชิ้นงานต่อจนเสร็จ ดังแสดงในรูปที่ 2



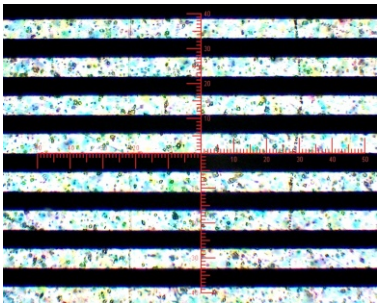
รูปที่ 2 เครื่องพิมพ์สามมิติโดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ลงของแพลตฟอร์ม

จากการศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นอุปกรณ์อย่างง่ายพัฒนาขึ้นเองดังแสดงในรูปที่ 3 โดยมีอุปกรณ์ feedback ทางด้านหลังของเครื่อง ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้น



รูปที่ 3 เครื่องพิมพ์สามมิติแบบ SLA ที่พัฒนาขึ้น

รูปที่ 4 แสดงภาพขยายของ Linear encoder strip จากกล้อง Microscope ซึ่งพบว่ามีระยะห่างระหว่างเส้น 50 ไมโครเมตร ที่นำมาใช้เป็นอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งของการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z ของเครื่องพิมพ์สามมิติ



รูปที่ 4 ภาพขยายของ Linear encoder strip

3.2 เรซินไวแสงยูวี

เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี และมีสถานะเป็นของเหลว ซึ่งเรซินชนิดที่นำมาใช้ในการศึกษานี้เป็นเรซินความไวต่อแสงยูวี สีใส ซึ่งได้รับจาก บริษัท XYZ Printer

2.2 **วิธีการทดลอง**

2.2.1 การทดสอบปรับค่า PID ร่วมกับเครื่องพิมพ์สามมิติที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ (PID Tuning)

การปรับค่า PID (PID tuning) คือขั้นตอนในการหาค่า PID ที่เหมาะสมกับระบบเพื่อทำให้ระบบสมดุล และสามารถทำงานได้ตามที่สั่งเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการมากที่สุด เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของระบบ (Plant value, PV) และทดลองเปลี่ยนค่า K_p , K_i และ K_d จน พบค่าที่ทำให้ระบบเข้าสู่สมดุล ซึ่งการสร้างโมเดลนี้นั้นมีความยุ่งยาก อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ อาศัยการปรับตั้งที่ เรียกว่า Bump-test ซึ่งมีพื้นฐานการปรับตั้งจากวิธีการของ Ziegler–Nichols โดยการตั้งค่าเป้าหมายของระบบ (Set point, SP) 2 ตำแหน่ง ต่อจากนั้นจึงทำการติดตามผลของ การเปลี่ยนแปลง ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของระบบนั้น หากระบบเกิด พฤติกรรมที่ไม่เสถียรจึงทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้วยการ Trial and error อย่างเป็นระบบ

ขั้นตอนการปรับค่า PID ทำได้โดยกำหนดค่า K_i , K_d ให้เป็นศูนย์ ต่อจากนั้นจึง เริ่มต้นปรับตั้งค่า K_p โดยเริ่มต้นที่ 1 แล้วจึงทดลองสั่งให้ระบบทำงานและวัดระยะการเคลื่อนที่จริงของสเต็ปเปอร์ มอเตอร์เทียบกับค่าระยะที่สั่งให้เคลื่อนที่ ถ้าหากระยะการเคลื่อนที่จริงไม่ใกล้เคียงกับค่าระยะที่กำหนดไว้ ให้ค่อยๆลดค่า K_p ลงและคอยสังเกตการเคลื่อนที่ของระบบ แต่ถ้าระยะการเคลื่อนที่จริงใกล้เคียงกับค่าระยะที่กำหนดไว้แล้ว ถือว่า K_p ค่านี้สามารถใช้ได้ ให้ทำการปรับค่าเริ่มปรับ K_i ต่อไป แต่ถ้าระยะการเคลื่อนที่จริงใกล้เคียงกับค่าระยะที่กำหนดไว้แล้ว ถือว่า K_p ค่านี้สามารถใช้ได้ ให้ทำการปรับค่าเริ่มปรับ K_i โดยการใช้ค่า $K_p/4$ ถ้าหากระยะการเคลื่อนที่จริงไม่ใกล้เคียงกับค่าระยะที่กำหนดไว้ ให้ค่อย ๆ ลดค่า K_i ลงและคอยสังเกตการเคลื่อนที่ของระบบ แต่ถ้าระยะการเคลื่อนที่จริงใกล้เคียงกับค่าระยะที่กำหนดไว้แล้ว ถือว่า K_i ค่านี้สามารถใช้ได้ ให้ทำการปรับค่าเริ่มปรับ K_d ต่อไป

เริ่มต้นเซ็ตค่า K_d โดยการใช้ค่า $K_i/2$ ถ้าหากระยะการเคลื่อนที่จริงไม่ใกล้เคียงกับค่าระยะที่กำหนดไว้ ให้ค่อย ๆ ลดค่า K_d ลงและคอยสังเกตการเคลื่อนที่ของระบบ แต่ถ้าระยะการเคลื่อนที่จริงใกล้เคียงกับค่าระยะที่กำหนดไว้แล้ว ให้ทดลองปรับค่า K_d จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ของระบบตามที่ต้องการ

2.2.2 การทดลองพิมพ์ชิ้นงาน

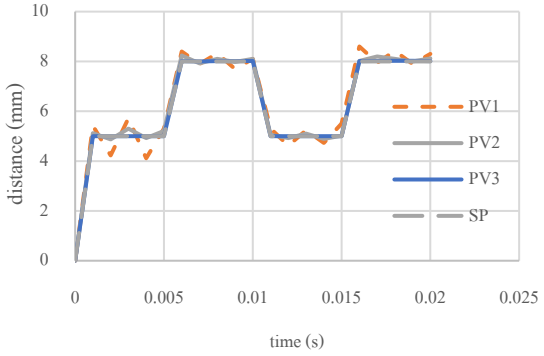
สำหรับการทดสอบพิมพ์ชิ้นงานจริง ต้องทำการกำหนดระยะปรับตั้งเพื่อให้ได้ผลต่าง แกน x-y ที่ดีที่สุด โดยพารามิเตอร์นี้ขึ้นกับ การปรับตั้งที่เครื่องฉายภาพ DLP หากแต่แกน Z นั้นขึ้นอยู่กับ การปรับตั้งแกน Z ซึ่งขึ้นกับเทคนิคและอุปกรณ์ควบคุม โดยทำการออกแบบชิ้นงาน สี่เหลี่ยม -ขนาด 8.0 x 3.0 x 0.3mm ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 ภาพชิ้นงานทดสอบ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 การทดลองปรับตั้ง PID

จากการทดสอบปรับค่า PID ร่วมกับเครื่องพิมพ์สามมิติชนิด SLA ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว จากการทดสอบแบบ Bump-test ซึ่งมีพื้นฐานจาก Ziegler–Nichols ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5 โดยเริ่มต้นโดยการกำหนดให้ตำแหน่งของแกน Z ที่ระยะ Set point, SP เท่ากับ 5 และ 8 mm สลับกันทุก ๆ 5 mS แล้วจึงทำการบันทึกค่า Plant value, PV ทุก ๆ 1mS จากการทดสอบทำให้ทราบว่าค่า K_p , K_i, K_d ซึ่งเหมาะสมกับระบบคือ $K_p = 0.5$, $K_i = 0.0469$, $K_d = 0.25$ เพราะเป็นค่าที่ทำให้ระบบเข้าสู่จุดสมดุลได้ไวที่สุด และเกิด Over shoot ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้แพลตฟอร์มเกิดการสั่นน้อยกว่าค่าอื่นที่ได้ทำการทดลอง (PV3) ดังแสดงในเส้นทึบเข้ม) ซึ่งพบว่า ทับกับเส้นประใหญ่ (SP) ดังนั้นจึงนำค่านี้ไปใช้ในการเขียนชุดคำสั่งที่ใช้ควบคุมเครื่องพิมพ์สามมิติ

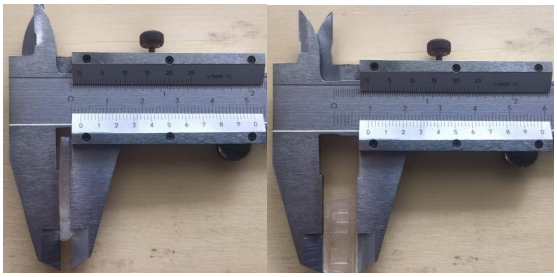


รูปที่ 6 ตัวอย่างผลการทดสอบเพื่อหาค่าปรับตั้งพารามิเตอร์

พารามิเตอร์โดยการ Bump-test

3.2 ผลการทดลองพิมพ์ชิ้นงาน

จากการทดลองพิมพ์ชิ้นงานจริง ดังแสดงรูปการทดลองในรูปที่ 7 และผลตามตารางที่ 1 ซึ่งจากการทดลองพบว่า การนำ PID มาใช้ร่วมกับการพิมพ์ชิ้นงานในแกน x-y นั้นมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงหากแต่ผลการทดลองในแนวแกน Z นั้น มีค่าที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยผลจากการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบพิมพ์ 5 ครั้ง ในการทดลองโดยใช้การปรับตั้งค่าทางปฏิบัติ ซึ่งมีพื้นฐานจาก Ziegler–Nichols พบว่า สามารถลดค่าความผิดพลาดเหลือ -1.7 %



รูปที่ 7 การตรวจวัดชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของชิ้นงาน

	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)		
	x	Y	Z
Open-loop	2.8	-2.8	25.1
ON-OFF	2.5	-2.6	3.0
PID	2.6	-2.6	-1.7

ผลจากการทดสอบนั้นแสดงให้เห็นการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบปิด ชนิด PID เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของแกน Z ของชิ้นงานนั้น มีความเป็นไปได้สูงอย่างไรก็ตามยังพบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ -1.7% ซึ่งอาจพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนพบ ในชิ้นงานนั้นมีความเป็นไปได้สองส่วน คือ มาจาก การควบคุมแกนเองหรือ จะเกิดขึ้นจากการหดตัวของเรซินหลังจากกระบวนการแข็งตัว ซึ่งเป็นแนวทางที่ต้องทำการศึกษาต่อไปผ

4. สรุป

การศึกษานี้จึงมีจุดประสงค์ในการพัฒนาระบบการควบคุมแบบปิดร่วมกับเครื่องพิมพ์สามมิติ ชนิด SLA โดยเหตุผลที่เลือกพัฒนาระบบการควบคุมแบบปิดร่วมกับเครื่องพิมพ์สามมิติ ชนิด เพราะ เป็นเครื่องพิมพ์ที่เคลื่อนที่ในแนวแกนเดียว ง่ายต่อการพัฒนา จากผลการทดสอบระบบการเคลื่อนที่ของเครื่องพิมพ์สามมิติด้วยระบบเปิด พบว่าชิ้นงานที่พิมพ์จากระบบเปิดเกิดค่าความผิดพลาดในแนวแกน z เท่ากับ 25.1% เนื่องจากระหว่างการทดลองพิมพ์ชิ้นงานเกิดปัญหาด้านเทคนิคซึ่งส่งผลให้แพลตฟอร์มเคลื่อนที่ขึ้นจนทำให้ไม่สามารถพิมพ์ชิ้นงานต่อได้ จึงเปลี่ยนมาใช้การควบคุมด้วยระบบปิด ซึ่งเกิดค่าความผิดพลาดของชิ้นงานในแนวแกน z เท่ากับ 3.0% และการควบคุมแบบ PID เพื่อช่วยปรับปรุงค่าความผิดพลาดให้ลดน้อยลง ชิ้นงานจากระบบ PID ค่าความผิดพลาดในแนวแกน z เท่ากับ -1.7 % พบว่า ค่า error ที่พบในชิ้นงานนั้นมีความเป็นไปได้สองส่วน คือ มาจาก การควบคุมแกนเองหรือ จะเกิดขึ้นจากการหดตัวของเรซินหลังจากกระบวนการแข็งตัว ซึ่งเป็นแนวทางที่ต้องทำการศึกษาต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยจากกองทุนวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2561 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

6. เอกสารอ้างอิง

[1] P. Doungkhum and C. Chansil:2557, the development of SLA 3D Printer , B.Eng Thesis, 125 p. (in Thai)

[2] Marcus Morrissette. Comparing 3D Printing Processes [online].Available from https://www.xometry.com/blog/3d-printing-processes [2015,October 19]

[3] Jeng-Ywan. METHOD OF STEREOLITHOGRAPHY FABRICATION AND PHOTO-CURING PHOTOSENSITIVE RESIN [online]. Available from : http://patents.com/us-20160200042.html [2016,July 14]

[4] Michael Molitch-Hou. The OLO Smartphone 3D Printer Preps to Smash KickstarterNext Week

[5]. Pham, D.. and Gault, R.S.. A comparison of Rapid Prototyping Technologies. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 38, 1257-1287.

[6] Alec, a closed loop control in 3D printer [online]. Available http://www.3ders.org/articles/20150122-add-a-closed-loop'control-to-your-3d-printer-and-never-worry-about-missed-steps-again.html [2015,January 22]

[7] Benjamin McKittrick Weiss, 2014, Closed-Loop Control of a 3D Printer Gantry, Master of Science Thesis, University of Washington, 71 p.