

การพัฒนาและสร้างต้นแบบรวดเร็ว สำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยใช้วิธีการขึ้นรูปทีละชั้น

นพพร บิ๊กแวน¹ ศศิธร คนทน² สุชุมาล เจริญทอง^{3*}

^{1,3*}สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

²สาขาเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล : bukwanporn@gmail.com

รับต้นฉบับ : 2 ธันวาคม 2564; รับบทความฉบับแก้ไข : 16 กุมภาพันธ์ 2565; ตอบรับบทความ : 1 มีนาคม 2565

เผยแพร่ออนไลน์ : 27 มิถุนายน 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วและหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการขึ้นรูป รวมถึงทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของการสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยใช้วิธีการขึ้นรูปทีละชั้น การดำเนินวิจัยนี้เริ่มจากออกแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกแบบสามมิติโดยใช้โปรแกรมยูนิกราฟิกส์เอ็นเอ็กซ์ เวอร์ชัน 6.0 จากนั้นนำไฟล์สามมิติสร้างเส้นภาพตัดขวางตามความสูงของชิ้นงานทีละชั้น ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบรวดเร็ว โดยเครื่องมีขนาด 300×450×400 มิลลิเมตร ซึ่งมีชุดอุปกรณ์ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) ชุดโครงสร้าง 2) ชุดควบคุมอัตราป้อนของหัวฉีด 3) ชุดระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมและซอฟต์แวร์ การต่อระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ใช้บอร์ดอาร์duinoโมโนบอร์ดแบบยูเอสบี เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารกับชุดฮาร์ดแวร์และใช้ซอฟต์แวร์มาคสามซีเอ็นซีคอนโทรลเลอร์ ควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่แบบ 4 แกนคือ แกน X Y Z และแกน A จากนั้นทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลในการขึ้นรูป ตัวแปรควบคุมได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด 2 มิลลิเมตร ใช้ดินสำเร็จรูปชนิดคอมพาวด์พีบี ความชื้นของดินในช่วง 40-45 เปอร์เซ็นต์ ตัวแปรตามคือ อัตราป้อนของชุดหัวฉีด ความเร็วในการเคลื่อนที่และระยะห่างระหว่างชั้นในการขึ้นรูป การทดสอบพบว่าอัตราป้อนของชุดหัวฉีดที่เหมาะสมคือ 5 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่แกน X Y Z คือ 60 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าระยะห่างระหว่างชั้นในการขึ้นรูปที่เหมาะสมคือ 0.80 มิลลิเมตร และผลการทดสอบขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ แบบรูปทรงกลม แบบรูปทรงสี่เหลี่ยมและแบบรูปทรงอิสระพบว่าสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ตามแบบและจากการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการเผามีความสมบูรณ์ไม่มีรอยแตกร้าวและเสียรูปทรง ในด้านการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว จากการวัดขนาดของชิ้นงานหลังจากขึ้นรูปพบว่ามีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าบวกและค่าลบเฉลี่ยเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: การสร้างต้นแบบรวดเร็ว การขึ้นรูปทีละชั้น ผลิตภัณฑ์เซรามิก

Development of Rapid Prototyping for Ceramic Products Using Layer Manufacturing Technique

Nopporn Bukwan¹ Sasitron Khonthon² Sukhuman Rianthong^{3*}

^{1,3*}*Program in Manufacturing Technology, Faculty of Industrial Technology, Phranakorn Rajabhat University, Bangkok, Thailand*

²*Program in Ceramic Technology, Faculty of Industrial Technology, Phranakorn Rajabhat University, Bangkok, Thailand*

*Corresponding Author. E-mail address: bukwanporn@gmail.com

Received: 2 December 2021; Revised: 16 February 2022; Accepted: 1 March 2022

Published online: 27 June 2022

Abstract

This research aims to design and develop a rapid prototyping machine and explore the forming parameters, included the performance evaluation of rapid prototyping machine technology for ceramic products which deploy layer manufacturing technique. Procedural of this research started from 3D ceramic product design in Unigraphics NX version 6.0 program, next created a cross section line in the 3D file base on a height of product at each layer in development a rapid prototyping machine. The machine size is 300x400x500 millimeter which is composed of 3 components, 1) Base structure 2) Injection rate control unit 3) Electronic control system and software. In wiring electronic circuit, RNR Motion board is applied. USB port used as communication port between hardware and Mach3 CNC controller software is used to control the motor moving in 4 axes as X, Y, Z and A. Testing has explored to find the effective parameters to create prototype. The control parameters are diameter size of injector which is fixed at 2 millimeters, and PBB compound clay which contained the moisture range as 40-50%. The dependent parameters are injector rate, velocity and interval of forming level. The testing results shown that the appropriate injection rate is 5 mm/min, the velocity of axes moving in x, y, z is 60 mm/min, the appropriate interval of forming level is 0.80 millimeter and results of circle forming style, rectangle forming style and free style forming production are good performed, after put the forming product into flaming with 1200 Celsius, the forming product is perfect, no rupture and no twisted. The performance of rapid prototyping machine is measured by product size after forming, found that the mean of +/- deviation is 0.2 millimeter.

Keywords: Rapid prototyping, Layer manufacturing, Ceramic products

1) บทนำ

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่สำคัญของประเทศ ซึ่งเป็นพื้นฐานของอุตสาหกรรมต่อเนื่องอีกมากมาย ได้แก่ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ผลิตในประเทศแบ่งออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ของที่ระลึก เครื่องประดับ เครื่องปั้นดินเผา ส่วนผลิตภัณฑ์เซรามิกสมัยใหม่ที่ต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เช่น ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมือวิทยาศาสตร์ อุปกรณ์การแพทย์ อุตสาหกรรมเซรามิกยังคงต้องอาศัยการนำเข้าเทคโนโลยีมาจากต่างประเทศ ในด้านเศรษฐกิจและสังคม อุตสาหกรรมเซรามิกจัดเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทและความสำคัญต่อการจ้างงาน การกระจายรายได้ การสร้างมูลค่าเพิ่มไปสู่ภาคอุตสาหกรรม วิสาหกิจชุมชน รวมถึงผู้ประกอบการด้านเซรามิกซึ่งมีโรงงานผลิตกระจายอยู่ตามภูมิภาคต่าง ๆ ประมาณ 630 โรงงาน ด้วยเงินลงทุนรวม 17,400 ล้านบาท โดยก่อให้เกิดการจ้างงานประมาณ 63,000 คน เพื่อสร้างรายได้และเป็นสินค้าส่งออกสู่ต่างประเทศสำหรับของชำร่วยและเครื่องประดับมีผู้ผลิตจำนวน 400-500 โรงงาน มีกำลังการผลิต 150,000-200,000 ชิ้นต่อปีและประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์เซรามิก 13,653 ล้านบาท [1] ปัจจุบันกระบวนการผลิตเซรามิกเปลี่ยนไปจากแบบดั้งเดิม เช่น เครื่องปั้นดินเผา เป็นการผลิตแบบสมัยใหม่โดยใช้เทคโนโลยีการผลิตขั้นสูงเข้ามาช่วย เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าต้องการมีความซับซ้อน หากใช้การผลิตแบบเดิมต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์จำนวนมาก ทำให้บริษัทหรือผู้ประกอบการรายย่อยต้องปฏิเสธการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์จากลูกค้า ทำให้เสียโอกาสทางการตลาด เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วเป็นการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แบบรวดเร็วโดยการเติมเนื้อวัสดุต่อ ๆ กันทีละชั้น [2], [3] ตามแบบจำลองสามมิติที่ได้จากการออกแบบโดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design: CAD) คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer Aided Manufacturing: CAM) [4] หรือการสแกนรูปร่างของวัตถุให้อยู่ในรูปแบบไฟล์สามมิติ (Reverse Engineering) [5] โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการสร้างไฟล์แบบจำลองสามมิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจัดเก็บข้อมูลรูปร่างของวัตถุโดยใช้หลักการนำสามเหลี่ยมมาต่อกันของวัตถุ จากนั้นซอฟต์แวร์สำหรับแบ่งชิ้นวัตถุจะแบ่งรูปร่างของวัตถุเป็นชั้น ๆ ในแนวระดับเพื่อส่ง

ไฟล์ข้อมูลให้เครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วขึ้นรูปวัตถุออกมาตามแบบจำลองสามมิติ ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วจึงมีความสำคัญและจำเป็นต่อผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม รวมถึงกลุ่มหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา เพื่อพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อน ตลอดจนการปรับปรุงคุณภาพและลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตให้สั้นลง ลดต้นทุนการนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศ อีกทั้งทำให้ผู้ประกอบการสามารถเพิ่มทางเลือกในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยใช้วิธีการขึ้นรูปทีละชั้น เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ประกอบการเซรามิก กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่สู่ตลาดผู้บริโภค และยังสามารถเป็นเครื่องมือสำหรับการเรียนรู้ในสถานศึกษาที่มีการเรียนการสอนทางด้านเทคโนโลยีเซรามิกส์ อีกทั้งทำให้ผู้ประกอบการ สามารถลดต้นทุนการนำเข้าเครื่องจักรและเทคโนโลยีจากต่างประเทศ รวมถึงสร้างการแข่งขันด้านตลาดของอุตสาหกรรมเซรามิกภายในประเทศ

2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในบทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วและหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการขึ้นรูป รวมถึงทดสอบขึ้นรูปชิ้นงานและหาค่าความคลาดเคลื่อนของการสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยใช้วิธีการขึ้นรูปทีละชั้น

3) ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ได้มีการพัฒนาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวได้รับความนิยมจากภาคอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์รวมถึงการผลิตของสินค้าเป็นจำนวนมาก ลดระยะเวลาในกระบวนการออกแบบและผลิตให้สั้นลง คือการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping) [6], [7] โดยการสร้างชิ้นงานรูปทรง 3 มิติโดยตรงจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต หรือ การสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยการสแกนชิ้นงานจากเครื่องเลเซอร์สแกนแบบสามมิติ ซึ่งมีความจำเป็นด้านการออกแบบ การตรวจสอบ

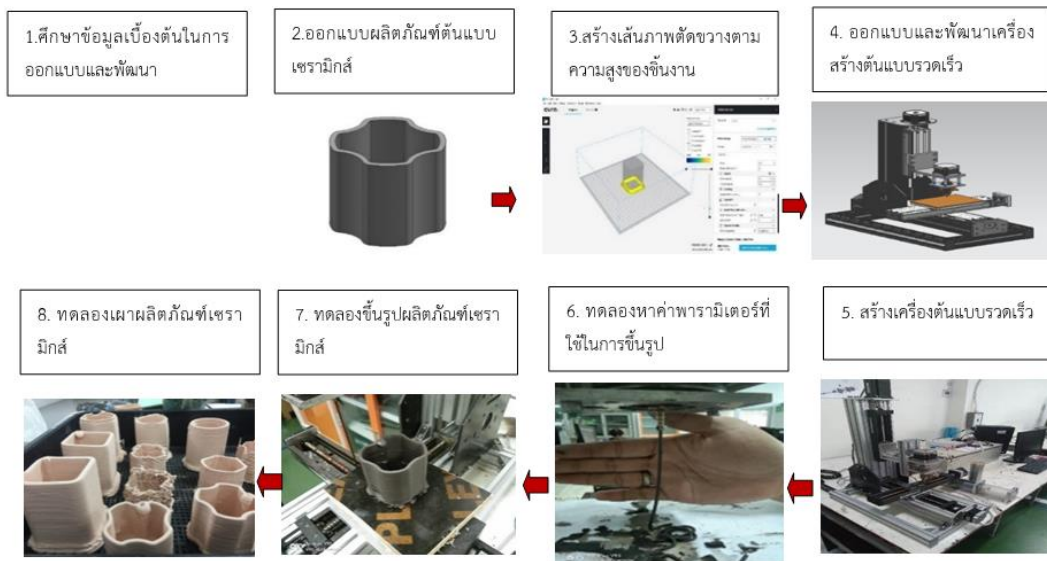
คุณภาพของผู้ผลิตสินค้า จนถึงการพัฒนาแบบรูปผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อน การพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว นั้นจึงเป็นสิ่งที่สำคัญของผู้คิดค้น ออกแบบ พัฒนาและทดลอง การพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

H. Shao et al. [8] ได้ทำการศึกษาการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สามมิติด้วยใช้วัตถุดิบคือ เซรามิก Zirconia ได้ทำการทดสอบขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แบบสามมิติ โดยใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูดขึ้นรูป (Extrude) โดยใช้ระบบขับเคลื่อนหัวฉีดแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw) โดยเริ่มจากการสร้างแบบจำลองสามมิติ จากนั้นทำการแบ่งระดับชั้นความสูง โดยค่าตัวแปรที่สนใจคือ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูฉีด ความสูงของแต่ละชั้นและความเร็วในการเคลื่อนที่การพิมพ์ของชิ้นงาน โดยกำหนดค่าตัวแปรให้มีค่าเท่ากับ 0.5, 0.4 และ 20 มม.ต่อวินาที ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า การขึ้นรูปโดยใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูดขึ้นรูปแบบสกรูเดี่ยวจะทำให้ค่าความหนาของผิวโดยที่ชิ้นงานก่อนเผามีค่าความหนาที่ผิวงานคือ 8.25 และ 8.90 ไมโครเมตรและวัดค่าความหนาของผิวหลังเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1520 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดขนาด 0.05 มม. จะมีความแม่นยำและถูกต้องในการขึ้นรูปชิ้นงานมากกว่าหัวฉีดขนาดใหญ่คือ 5 มม. อีกทั้ง P. Pitayachaval and A. Thongrak [9] ได้ศึกษาความลาดเอียงของชิ้นงานที่สามารถขึ้นรูปจากดินเหนียวด้วยเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยกำหนดค่าตัวแปรคือความลาดเอียงที่ขึ้นรูป 30, 45, 60 องศา โดยกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด 6 และ 8 มม. และอัตราการป้อนวัสดุ 300 และ 500 เปอร์เซ็นต์ ตัวแปรตามคือความสามารถในการขึ้นรูปได้และไม่ได้และค่าความเอียงขึ้นรูป ตัวแปรควบคุมคือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแต่ละแกน X, Y, Z ซึ่งมีค่าเท่ากันทุกแกนคือ 8 มม.ต่อวินาทีและชนิดของดินเหนียว ผลการทดลองพบว่าค่าความเอียงที่ 45 องศาและ 60 องศา ด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดหัวฉีด 6 และ 8 มม. สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ด้วยความสะดวกที่ความสูงไม่เกิน 100 มม.

นอกจากนี้ F. Yang, et al. [10] ได้ศึกษากรรมวิธีการขึ้นรูปแบบเอกซ์ทรูดขึ้นรูปด้วยการขึ้นรูปชิ้นงานแบบเอกซ์ทรูดขึ้นรูปด้วยการขึ้นรูปชิ้นงานกับวัสดุที่มีสถานะกึ่งแข็งกึ่งเหลว วัตถุดิบที่ใช้คือ เจลมะนาว โดยใช้วิธีการขึ้นรูปแบบเอกซ์ทรูดขึ้นรูปที่เคลื่อนที่ได้ แรงดันฉีดจากสกรู ซึ่งหัวฉีดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มม.และควบคุมอุณหภูมิห้องในการทดลอง 25 องศาเซลเซียสมีค่าบวกและลบได้ไม่เกิน 1 องศาเซลเซียสจากการทดสอบพบว่าความสูงของหัวฉีดไม่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน แต่ขนาดของหัวฉีดมีความสัมพันธ์กับอัตราป้อนวัสดุและยังส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน

4) วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยใช้วิธีการขึ้นรูปที่ละชั้น เริ่มจากการออกแบบชิ้นงานที่ใช้ในการขึ้นรูปจำนวน 3 รูปแบบ จากนั้นทำการออกแบบและสร้างเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว ขั้นตอนต่อไปการออกแบบการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการขึ้นรูปของชิ้นงาน ซึ่งปัจจัยที่กำหนดให้เป็นตัวแปรควบคุมคือ 1) ชนิดของดินคือ ดินสำเร็จรูปชนิด Compound PBB 2) ความชื้นของดินในช่วง 40-45 เปอร์เซ็นต์ 3) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูฉีดเท่ากับ 2 มม.และปัจจัยที่กำหนดให้เป็นตัวแปรในการขึ้นรูปคือ อัตราการป้อนของชุดหัวฉีด ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกน X Y Z ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับพื้นผิวรองรับ เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการขึ้นรูปจากนั้นทำการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 3 รูปแบบ โดยทดสอบซ้ำในการขึ้นรูปจำนวน 10 ครั้ง นำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปไปตรวจสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการขึ้นรูปชิ้นงานละ 3 จุด เปรียบเทียบกับแบบชิ้นงานและหาค่าเฉลี่ยของชิ้นงานที่มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าบวกและค่าลบ ขั้นตอนสุดท้ายคือนำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปไปทดสอบเผาโดยใช้วิธีการเผาตามกระบวนการทางเซรามิก ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้



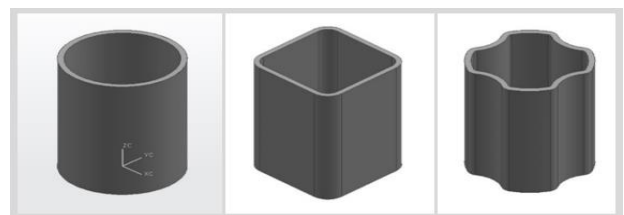
รูปที่ 1 : ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

4.1) ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยใช้วิธีการขึ้นรูปที่ละชั้น

เริ่มจากคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการประชุมและทำความเข้าใจถึงขอบข่าย วัตถุประสงค์และเป้าหมายร่วมกันในการพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วและทำการศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูล จากเอกสาร งานวิจัยต่าง ๆ นักคิดค้นพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าว จากนั้นคณะผู้วิจัยได้กำหนดรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการพัฒนาครั้งนี้ โดยกำหนดรูปแบบของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบขึ้นรูปจำนวน 3 รูปแบบ คือ 1) รูปแบบทรงกลม ซึ่งรูปแบบดังกล่าวในกระบวนการขึ้นรูปทางเซรามิกสามารถทำได้ง่ายและสะดวก 2) รูปแบบทรงสี่เหลี่ยม เป็นรูปแบบที่ใช้ในการทดสอบโดยกระบวนการขึ้นรูปสามารถทำได้ยากกว่ารูปทรงกลม 3) รูปแบบอิสระ เป็นรูปแบบที่กระบวนการทางเซรามิกทำได้ยากจำเป็นต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์หลายชนิดในการขึ้นรูป รวมถึงศึกษาข้อมูลของดินที่ใช้ขึ้นรูป ซึ่งการวิจัยนี้ใช้ดินสำเร็จรูปของบริษัทคอมพาวด์เคลย์ ชนิด Compound PBB และความชื้นของดินในช่วง 40-45 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากดินชนิดดังกล่าวทางโรงงานหรือผู้ประกอบการ นำดินชนิดดังกล่าวมาใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิก ซึ่งดินสำเร็จรูปมีคุณสมบัติด้านความเหนียว แต่ไม่โปร่งแสง สามารถคงรูปได้ดี อีกทั้งเนื้อดินมีความละเอียดและยังสามารถลดการแตกร้าวของเนื้อดินเมื่อทำการอบแห้งรวมถึงการเผาเคลือบ

4.2) ออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบเซรามิกโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ

หลังจากได้ข้อสรุปแนวคิดในการพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยใช้การพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ขั้นตอนต่อไปคณะผู้วิจัยจึงนำแนวคิดดังกล่าวมาทำการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้โปรแกรมยูนิกราฟิกส์ เวอร์ชัน 6.0 เพื่อให้เห็นรูปทรงสามมิติในคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยแบบชิ้นงาน 3 รูปแบบ คือ 1) แบบรูปทรงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม. ความสูง 100 มม. 2) แบบรูปทรงสี่เหลี่ยม มีขนาดความกว้าง 80 มม. ความยาว 80 มม.และความสูง 100 มม. 3) แบบรูปทรงอิสระ มีขนาดความกว้าง 80 มม. ความยาว 80 มม.และความสูง 100 มม. ดังรูปที่ 2 จากนั้นนำไฟล์แบบชิ้นงานสามมิติ มาแปลงข้อมูลเป็นไฟล์นามสกุล .stl เพื่อแปลงเป็นรูปแบบไฟล์สามเหลี่ยมต่อกัน (Polygon) เพื่อนำไฟล์ที่ได้จากการออกแบบไปกำหนดรูปแบบการขึ้นรูปต่อไป

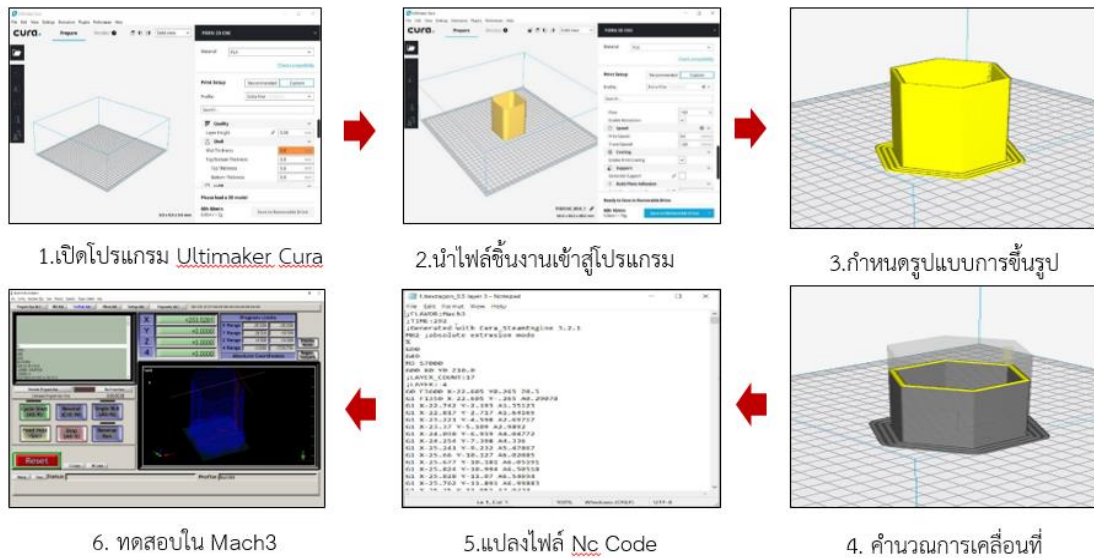


รูปที่ 2 : ออกแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้ในการขึ้นรูป

4.3) การสร้างเส้นภาพตัดขวางตามความสูงของชิ้นงาน

ขั้นตอนต่อไปคณะวิจัยได้นำไฟล์ชิ้นงานสามมิติเข้าสู่โปรแกรม Ultimaker Cura จากนั้นโปรแกรมทำการกำหนดรูปแบบการขึ้นรูปและทำการสร้างเส้นภาพตัดขวางตามความสูงของชิ้นงาน กำหนดค่าตัวแปรที่ส่งผลในการขึ้นรูปได้แก่ ความเร็ว

ในการเคลื่อนที่ อัตราป้อนในการขึ้นรูป ความสูงของระยะห่างระหว่างชั้น ลำดับถัดไปโปรแกรมจะทำการแปลงไฟล์เส้นภาพตัดขวางเป็นโปรแกรมควบคุมเชิงตัวเลขเพื่อใช้ควบคุมให้เครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วเคลื่อนที่ตามพิกัดในแนวแกน X Y Z และแกน A และดำเนินการทดสอบโปรแกรม ดังแสดงรูปที่ 3



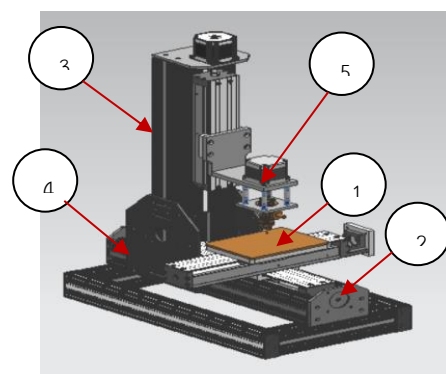
รูปที่ 3 : การสร้างเส้นภาพตัดขวางตามความสูงของชิ้นงาน

4.4) การออกแบบและพัฒนาเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว

การออกแบบและพัฒนาเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วแบบอัตโนมัติ ซึ่งคณะวิจัยได้นำข้อมูลที่สำรวจและข้อมูลจากการสืบค้น จากแหล่งข้อมูล งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนาเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว จากนั้นคณะวิจัยได้ดำเนินการวางแผน ออกแบบและปรับปรุงให้เหมาะสมและที่สำคัญเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วที่พัฒนา วัตถุประสงค์และอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบต้องสามารถหาซื้อได้ภายในประเทศ มีราคาถูก มีอายุการใช้งานยาวนาน การออกแบบและพัฒนาเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

4.4.1) การออกแบบชุดโครงสร้างของเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว การออกแบบชุดโครงสร้างของเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว คณะวิจัยได้ทำการออกแบบชุดโครงสร้าง โดยเครื่องดังกล่าวมีขนาดพื้นที่เท่ากับ 300x450x400 มม.และมีระยะการเคลื่อนที่ในแนวแกน X เท่ากับ 150 มม.แกน Y เท่ากับ 150 มม. และแกน Z เท่ากับ 200 มม.ใช้โครงสร้างเป็นอะลูมิเนียมโปรไฟล์ และใช้อะลูมิเนียมแผ่นหนา 10 มม.สำหรับเป็นชิ้นส่วนประกอบ

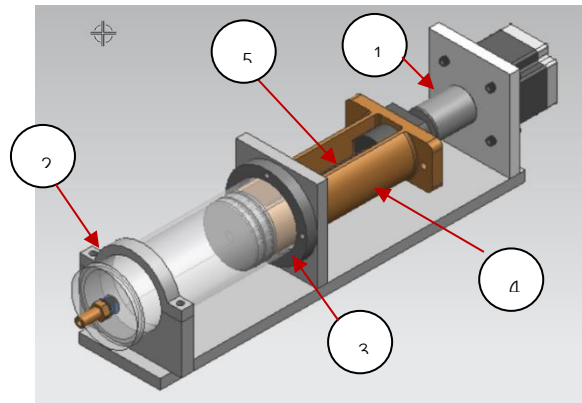
การออกแบบชุดขับเคลื่อนใช้บอลสกรูทั้ง 3 แกน เพื่อลดความผิดพลาดจากการเคลื่อนที่ โดยบอลสกรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. มีระยะพิทเท่ากับ 5 มม. การควบคุมการเคลื่อนที่ของแนวแกน X Y และแกน Z ใช้มอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรทั้ง 3 แกน ประกอบด้วยดังนี้ 1) ชุดเคลื่อนที่แกน X 2) ชุดเคลื่อนที่แกน Y 3) ชุดเคลื่อนที่แกน Z 4) ชุดโครงสร้างเครื่อง 5) ชุดหัวฉีดแกน A ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 : การออกแบบชุดโครงสร้างของเครื่อง

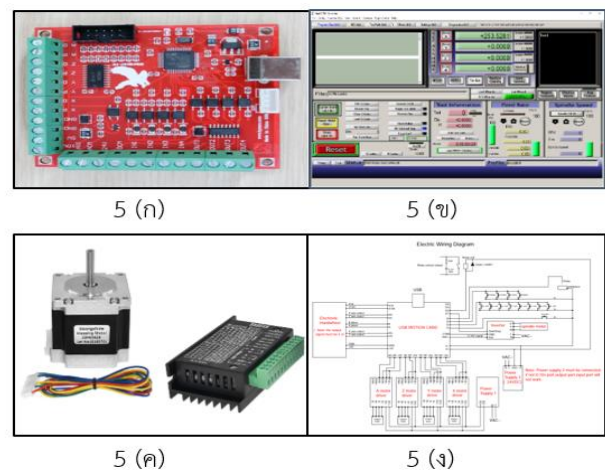
4.4.2) การออกแบบชุดควบคุมอัตราป้อนของหัวฉีด
คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบชุดควบคุมอัตราป้อนของหัวฉีด
โดยใช้ชุดบอลสกรูยึดติดกับกระบอกดันฉีดทำหน้าที่ดันเนื้อ
วัตถุดิบคือดินให้ไหลออกมาทางรูหัวฉีด และออกแบบชุด
กระบอกพลาสติกใสสามารถบรรจุหรือเติมวัตถุดิบตามปริมาตร
ของกระบอก บริเวณปลายของกระบอกพลาสติกใสทำเป็นเกลียว
เพื่อสามารถเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีดและใช้

มอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่จากโปรแกรม Mach3 CNC
Controller ผ่านชุดคอมพิวเตอร์สั่งงานให้ชุดไดรฟ์ขับมอเตอร์
เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของชุดบอลสกรู โดยชุดอุปกรณ์
ประกอบด้วย 1) ชุดโครงสร้างใช้วัสดุเป็นอลูมิเนียมแผ่น 2)
กระบอกพลาสติกใสสำหรับเติมวัตถุดิบ 3) ฐานยึดกับเครื่องจักร
4) กระบอกดันฉีด 5) ชุดบอลสกรูสำหรับเคลื่อนที่ดันฉีด โดยมี
ระยะเคลื่อนที่เท่ากับ 150 มม.ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 : การออกแบบชุดควบคุมอัตราป้อนของหัวฉีด

4.4.3) การออกแบบระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมและ
ซอฟต์แวร์ ขั้นตอนต่อไปคณะผู้วิจัยได้ออกแบบระบบอิเล็กทรอนิกส์
ควบคุมและซอฟต์แวร์ ซึ่งมีรายละเอียดประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้
1) ชุดบอร์ดควบคุม RNR Motion Control แบบ USB ดังรูปที่
5(ก) โดยใช้ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เพื่อแปลงคำสั่ง
จากโปรแกรม Mach3 CNC Controller ดังรูปที่ 5(ข) เพื่อสั่ง
การให้ชุดไดรฟ์ไปขับมอเตอร์ของแต่ละแกน ดังรูปที่ 5(ค) และ
การเชื่อมต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับอุปกรณ์ควบคุมในตู้ควบคุม
ดังรูปที่ 5(ง) โดยการเชื่อมต่อชุดบอร์ดควบคุม RNR Motion
Control ผ่านสัญญาณ USB กับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เพื่อแปลง
คำสั่งจากโปรแกรม Mach3 CNC Controller มาสั่งการให้ชุด
ไดรฟ์ขับมอเตอร์แบบสเต็ปมอเตอร์ ชนิด Nema23 ให้เคลื่อนที่
แบบ 4 แกนคือ แกน X Y Z และแกน A โดยที่แกน A ควบคุม
อัตราป้อนของชุดหัวฉีด ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 : การออกแบบระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมและซอฟต์แวร์

4.5) การสร้างเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว

ขั้นตอนต่อไปคณะผู้วิจัยได้ทำการผลิตชิ้นส่วนและอุปกรณ์
ตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยการผลิตชุดอุปกรณ์ต่าง ๆ ใช้เครื่องจักร
ซีเอ็นซีในการผลิตชิ้นส่วนตามแบบ เมื่อได้ชุดอุปกรณ์ที่ผลิต จึง
ทำการประกอบโครงสร้างและประกอบชุดระบบอิเล็กทรอนิกส์
ควบคุมและทำการปรับค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่
ดังแสดงรูปที่ 7



7(น)



7(ข)

7(ค)

รูปที่ 7 : การสร้างเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว;

7(ก): เครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วและชุดควบคุมอัตราป้อนของหัวฉีด, 7(ข): ชุดควบคุม Mach3 CNC Controller, 7(ค): ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุม

4.6) การหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการขึ้นรูป

การออกแบบการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการขึ้นรูปของชิ้นงาน ซึ่งปัจจัยที่กำหนดให้เป็นตัวแปรควบคุมคือ 1) ชนิดของดินคือ ดินสำเร็จรูปชนิด Compound PBB 2) ความชื้นของดินในช่วง 40-45 เปอร์เซ็นต์ 3) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูฉีดเท่ากับ 2 มม.และปัจจัยที่กำหนดให้เป็นตัวแปรในการขึ้นรูปคือ อัตราการป้อนของชุดหัวฉีด ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกน X Y Z ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับพื้นผิวรองรับขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์เริ่มจากการปรับค่าอัตราป้อนของชุดหัวฉีดตั้งแต่ 3-10 มิลลิเมตร/นาที่ เพื่อให้ดินไหลออกจากรูฉีด โดยพิจารณาจากเส้นดินที่ไหลออกมาจากหัวฉีด ซึ่งเส้นดินที่ไหลค่าอัตราป้อนที่เหมาะสมจึงทำการปรับค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกน X Y และแกน Z โดยพิจารณาจากเส้นดินที่ ออกมาต้องมีความยาวต่อเนื่องและไม่เกิดฟองอากาศ เมื่อได้ จำนวน 5 จุดของแนวเส้นดินแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยพิจารณาเส้นดินที่มีความสมบูรณ์และไม่ขาดออกจากกัน ลำดับถัดไปนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของอัตราป้อนของชุดหัวฉีดและความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกน X Y Z และทำการปรับค่าระยะห่างระหว่างชิ้นในการขึ้นรูปชิ้นงาน โดย

ทดลองปรับค่าระหว่าง 0.6 – 1.5 มิลลิเมตร จากนั้นทำการเลือกค่าระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับพื้นผิวรองรับ โดยพิจารณาจากผิวรอยต่อระหว่างชิ้นที่เรียบและมีผิวที่สม่ำเสมอและสามารถขึ้นรูปได้ต่อเนื่อง จากนั้นนำค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดนำไปทดสอบขึ้นรูปชิ้นงานในลำดับต่อไป

4.7) ทดสอบขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก

ขั้นตอนต่อไปคณะผู้วิจัยทำการทดสอบขึ้นรูปชิ้นงานจำนวน 3 รูปแบบคือ แบบรูปทรงกลม แบบสี่เหลี่ยมและแบบรูปทรงอิสระ โดยมีขั้นตอนคือการเตรียมดินโดยนำดินสำเร็จรูปของบริษัทคอมพาวด์เคลย์ ชนิด Compound PBB ผสมกับน้ำจนเป็นเนื้อเดียวกัน ผ่านตะแกรงกรองขนาด 50 เมช และควบคุมให้ความชื้นของดินในช่วง 40-45 เปอร์เซ็นต์ตามกระบวนการทางเซรามิก นำมาบรรจุลงในกระบอกของชุดหัวฉีด นำไปติดตั้งบนเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วและทำการไล่อากาศออกจากกระบอกฉีด ลำดับถัดไปทดสอบโปรแกรมขึ้นรูปและทดสอบขึ้นรูปชิ้นงานจำนวน 3 แบบ ดังรูปที่ 8 เพื่อทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงานได้หรือขึ้นรูปชิ้นงานไม่ได้และทำการทดลองทำซ้ำ 10 ครั้ง จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปมาตรวจสอบวัดขนาด

ของชิ้นงานโดยใช้เครื่องมือวัดคือเวอร์เนียคาลิเปอร์ที่มีค่าความละเอียด 0.02 มิลลิเมตร โดยวัดขนาดของชิ้นงานจำนวน 3 แบบ แบบละ 10 ชิ้นและมีจุดวัดจำนวน 3 จุด นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว



รูปที่ 8 : ทดสอบขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก

4.8) ทดสอบเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปจากเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว ขั้นตอนต่อไปคณะวิจัยได้นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปทดสอบเผาโดยกระบวนการทางเซรามิกที่ได้จากการทดสอบ เริ่มจากนำชิ้นงานมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้ง มาเผาด้วยเตา

ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบ มาชุบเคลือบและเผาเคลือบด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ดังรูปที่ 9 เพื่อทดสอบความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปคือการแตกร้าวและไม่มีความเสียหายของผลิตภัณฑ์หลังจากการเผาขึ้นรูป



รูปที่ 9 : ทดสอบเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก

5) ผลการทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกได้ทำการแบ่งส่วนการทดลองออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

5.1) ผลการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

5.1.1) ผลการทดสอบอัตราการป้อนของชุดหัวฉีด พบว่าเมื่อปรับค่าอัตราป้อนของชุดแรงดันฉีดโดยปรับค่าที่ 3-4 มิลลิเมตร

ต่อมาที่ ผลลัพธ์ที่ได้คือเส้นดินไม่สามารถไหลออกจากหัวฉีดและเมื่อทดสอบปรับค่าความเร็วอัตราป้อนของชุดหัวฉีดเป็น 5 มิลลิเมตรต่อนาที ผลลัพธ์ที่ได้คือเส้นดินสามารถไหลออกจากหัวฉีด ไม่ขาด มีความยาวต่อเนื่องและเมื่อปรับค่าอัตราป้อนของชุดหัวฉีดเป็น 6-10 มิลลิเมตรต่อนาที ตามลำดับ พบว่าเส้นของดินขาดไม่ต่อเนื่อง จากการทดสอบหาค่าอัตราป้อนของชุดหัวฉีดที่เหมาะสม คือ 5 มิลลิเมตรต่อนาที ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 : การทดสอบหาค่าอัตราการป้อนของชุดหัวฉีด

5.1.2) ผลการทดสอบหาค่าความเร็วในการขึ้นรูป โดยปรับค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกน X Y และ Z อยู่ระหว่าง 10-80 มม./นาที จากนั้นทำการทดสอบฉีดขึ้นรูปเส้นดินเป็นแนวเส้นตรงยาว 100 มม. ผลการทดสอบฉีดขึ้นรูปเส้นดินเป็นแนวเส้นตรงยาว 100 มม. จากนั้นทำการวัดระยะของเส้นดิน จำนวน 5 จุดของแนวเส้นดินแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย มีดังนี้

ตารางที่ 1 : ผลหาค่าความเร็วที่ใช้ในการขึ้นรูป

ความเร็วในการเคลื่อนที่ (มม./นาที)	ความกว้างเฉลี่ยของเส้นดิน (มม.)	ความสูงเฉลี่ยของเส้นดิน (มม.)
10	3.0	1.5
20	2.8	1.4
30	2.6	1.3
40	2.4	1.2
50	2.2	1.1
60	2.0	1
70	1.8	0.9
80	1.6	0.8

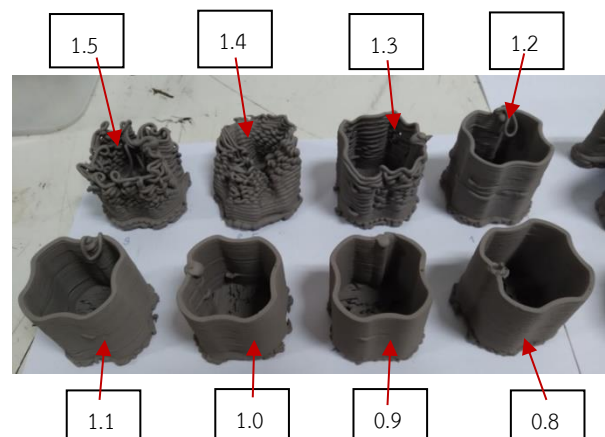
จากตารางที่ 1 พบว่าเมื่อทดลองปรับค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกน X Y Z เข้า ส่งผลทำให้เส้นของดินมีขนาดความกว้างมากและความสูงของเส้นดินมาก เมื่อปรับค่าความเร็วในการเคลื่อนที่มากขึ้นเส้นดินจะมีขนาดความกว้างและความสูงจะน้อยลง จากการทดลองค่าความเร็วที่ใช้ในการ

ขึ้นรูปที่เหมาะสมคือ 60 มิลลิเมตรต่อนาที เนื่องจากเส้นดินที่ได้มีความสมบูรณ์และไม่ขาดออกจากกันและสามารถขึ้นรูปได้ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 : ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกน X Y และแกน Z

5.1.3) ผลการทดสอบหาค่าระยะห่างระหว่างชั้นในการขึ้นรูปชิ้นงาน การทดสอบโดยตัวแปรควบคุมคงที่คืออัตราป้อนของชุดหัวฉีดเท่ากับ 5 มิลลิเมตร/นาที และค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกน X Y และแกน Z เท่ากับ 60 มิลลิเมตรต่อนาที และทดลองปรับค่าความสูงในการขึ้นรูปทีละชั้น ตั้งแต่ 0.6 -1.5 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าค่าความสูงที่ 0.6-0.7 ไม่สามารถขึ้นรูปทรงชิ้นงานได้และค่าความสูงตั้งแต่ 0.9-1.5 สามารถขึ้นรูปทรงชิ้นงานได้แต่ชิ้นงานเสียรูป โดยค่า ใช้ในการขึ้นรูปที่เหมาะสม คือ 0.80 มิลลิเมตร เนื่องจากรอยต่อระหว่างชั้นที่เรียบและมีผิวที่สม่ำเสมอและสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้แบบต่อเนื่อง ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 : การทดสอบระยะห่างระหว่างชั้นในการขึ้นรูปชิ้นงาน

5.2) ผลทดสอบขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก

หลังจากได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วที่ใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกและหาค่าตัวแปรที่ส่งผลในการขึ้นรูป จากนั้นคณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจำนวน 3 รูปแบบคือ แบบวงกลม แบบสี่เหลี่ยมและแบบรูปทรงอิสระโดยใช้ดินสำเร็จรูปของบริษัทคอมพาวด์เคลย์ ชนิด Compound PBB มีความชื้นในช่วง 40-45 เปอร์เซ็นต์และมีขนาดเส้นผ่าน-

ศูนย์กลางของรูตัดเท่ากับ 2 มม. ใช้อัตราป้อนของชุดหัวฉีดเท่ากับ 5 มม./นาที่ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกน X Y Z เท่ากับ 60 มม./นาที่ และค่าความสูงที่ใช้ในการขึ้นรูป 0.80 มม. ซึ่งผลการทดสอบขึ้นรูปชิ้นงาน 3 รูปแบบและทำซ้ำจำนวน 10 ครั้ง พบว่าสามารถขึ้นรูปได้ ซึ่งการทดสอบขึ้นรูปชิ้นงาน จำนวน 3 รูปแบบ ดังรูปที่ 13



แบบที่ 1 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานแบบรูปทรงกลม



แบบที่ 2 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานแบบรูปทรงสี่เหลี่ยม



แบบที่ 3 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานแบบรูปทรงอิสระ

รูปที่ 13 : ผลทดสอบขึ้นรูปต้นแบบผลิตภัณฑ์เซรามิก

ผลการนำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปชิ้นงานทั้ง 3 แบบ ได้แก่ 1) แบบรูปทรงกลม 2) แบบรูปทรงสี่เหลี่ยม 3) แบบรูปทรงอิสระ นำไปวัดค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ ได้ผลการวัดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 : การวัดขนาดของชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป

ชิ้นงาน	การวัดขนาดชิ้นงาน (มม.)						เฉลี่ยความกว้าง
	ความกว้าง		ความยาว				
1	80	79.8	1	80	79.8	1	80
2	80	80.2	2	80	80.2	2	80
3	80	79.8	3	80	79.8	3	80

จากตารางที่ 2 นำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป ได้แก่ ชิ้นงานที่ 1 รูปทรงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม. ความสูง 100 มม. ชิ้นงานที่ 2 รูปทรงสี่เหลี่ยม มีขนาดความกว้าง 80 มม. ความยาว 80 มม.และความสูง 100 มม. ชิ้นงานที่ 3 รูปทรงอิสระ มีขนาดความกว้าง 80 มม. ความยาว 80 มม.และความสูง 100 มม. ไปวัดค่าความคลาดเคลื่อน จำนวนชิ้นงาน 10 ชิ้น วัดค่าขึ้นละ 3 จุด จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย พบว่าผลการวัดขนาดของชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปทั้ง 3 แบบเปรียบเทียบกับแบบ

ชิ้นงาน มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าบวกและค่าลบเฉลี่ยเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร

5.3) ผลการทดสอบเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก

หลังจากนำผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปมาทดสอบเผาด้วยเตาเผาไฟฟ้าเพื่อทดสอบความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ได้จากการขึ้นรูป ผลการทดสอบพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปโดยใช้เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว หลังจากการเผามีความสมบูรณ์ไม่มีรอยแตกร้าวและไม่มีความเสียหายของชิ้นงาน ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 : ผลการทดสอบเผาชิ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก

6) สรุปและอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก ทั้ง 3 รูปคือ แบบวงกลม แบบสี่เหลี่ยม แบบรูปทรงอิสระ วัตถุดิบที่ใช้คือดิน สำเร็จรูปของบริษัทคอมพาวด์เคลย์ ชนิด Compound PBB ที่มีความชื้นในช่วง 40-45 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูฉีดยาเท่ากับ 2 มิลลิเมตร โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ อัตราป้อนของชุดหัวฉีดเท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วการเคลื่อนที่ เท่ากับ 60 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะห่างระหว่างชั้นในการขึ้นรูปขึ้นงาน เท่ากับ 0.80 มิลลิเมตร ผลการทดสอบขึ้นรูปขึ้นงาน 3 รูปแบบ โดยทำซ้ำเป็นจำนวน 10 ครั้ง พบว่า สามารถขึ้นรูปขึ้นงานได้สะดวกและรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปมีความสมบูรณ์ นำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปมาวัดค่าชิ้นงานละ 3 จุดเปรียบเทียบกับแบบขึ้นงานและหาค่าเฉลี่ย พบว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยค่าบวกและค่าลบไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการเผาไม่เกิดความเสียหาย สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วที่พัฒนา สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผู้ประกอบการ ด้านเซรามิก ทำให้ลดต้นทุนทางด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ลดเวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และเครื่องจักรจากต่างประเทศ ตลอดจนนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือเพื่อพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน เครื่องปั้นดินเผา และสถานศึกษาที่มีการเรียนการสอนในสาขาเทคโนโลยีเซรามิก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ P. Pitayachaval and A. Thongrak [9] เรื่องการศึกษาความคลาดเอียงของชิ้นงานที่สามารถขึ้นรูปจากดินเหนียวด้วยเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วแบบฉีดขึ้นรูป และบทความของ S. Otarawanna [11] เรื่องการนำเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต ที่กล่าวว่าการนำเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติเข้ามาช่วยในงานอุตสาหกรรมทำให้สามารถสร้างวัตถุที่มีรูปร่างซับซ้อน รวมถึงช่วยลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบและผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ผู้ให้ทุนวิจัย สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการผลิตและสาขาเทคโนโลยีเซรามิก คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่ให้สถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการค้นคว้า วิจัย ทดลอง อีกทั้งสถาบันวิจัยพัฒนามหาวิทยาลัย

ราชภัฏพระนคร รวมถึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

REFERENCES

- [1] S. Inthaput, *Competitiveness of Thai ceramics industry*. Bangkok, Thailand: Department of Export Promotion, (in Thai), 2003. Accessed: Feb. 16, 2022. [Online]. Available: https://www.ditp.go.th/contents_attach/78351/78351.pdf
- [2] N. Travitzky *et al.*, "Additive manufacturing of ceramic-base materials," *Adv. Eng. Mater.*, vol. 16, no. 6, pp. 729–745, 2014.
- [3] J. Garden, "Additive manufacturing technologies: state of the art and trends," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 54, no. 10, pp. 3118–3132, 2016.
- [4] S. B. M. Patzelt, B. C. Spies, and R. J. Kohal, "CAD/CAM-fabricated implant-supported restorations: a systematic review," *Clin. Oral Implants Res.*, vol. 26, no. S11, pp. 77–85, 2015.
- [5] A. Christ, R. Heister, and R. Anderl, "Reverse engineering for the utilization of product model data for CAX workflows in dental technology," in *Proc. 20th Eur. Concurrent Eng. Conf. - 10th Future Bus. Technol. Conf.*, Bruges, Belgium, Apr. 2014, pp. 47–54.
- [6] J.-Y. Lee, J. An, and C. K. Chua, "Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials," *Appl. Mater. Today*, vol. 7, pp. 120–133, Jun. 2017.
- [7] Q. Liu, M. C. Leu, and S. M. Schmitt, "Rapid prototyping in dentistry: technology and application," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 29, pp. 317–335, Jun. 2006.
- [8] H. Shao, D. Zhao, T. Lin, J. He, and J. Wu, "3D gel-printing of zirconia ceramic parts," *Ceram. Int.*, vol. 43, no. 16, pp. 13938–13942, Nov. 2017.
- [9] P. Pitayachaval and A. Thongrak, "A study of slope edge of technology," in *Proc. 38th Industrial Engineering Network*, Chon Buri, Thailand, 2020, pp. 255–259.
- [10] F. Yang, M. Zhang, B. Bhandari, and Y. Liu, "Investigation on lemon juice gel as food material for 3D printing and optimization of printing parameters," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 87, pp. 67–76, Jan. 2018.
- [11] S. Otarawanna, "The use of 3D printing technology in manufacturing industry," (in Thai), *J. Mater. Technol.*, vol. 85, pp. 24–28, 2017. [Online]. Available: https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/303_24.pdf