การเคลือบผิวงานต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ในระบบหัวฉีดเส้นพลาสติก PLA ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากเงินงบประมาณ
ทุนอุดหนุนการผลิตผลงานวิจัยและผลงานสร้างสรรค์
คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ปีงบประมาณ พ.ศ. 2564

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการเคลือบผิวงานต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ในระบบหัวฉีดเส้นพลาสติก PLA ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้บริหาร คณาจารย์ บุคลากรสายสนับสนุนหน่วยงานคณะศิลปกรรมศาสตร์

ขอขอบพระคุณคณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้จัดสรรงบประมาณทุนอุดหนุนงานวิจัยประจำปีงบประมาณ 2564 ทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสทำงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง

ขอขอบพระคุณ บุคลากรสำนักงานคณบดี คณะศิลปกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้การช่วยเหลือสนับสนุนประสานงานด้านเอกสารตั้งแต่เริ่มสมัครทุนจนสิ้นสุดโครงการวิจัย

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่สนับสนุนด้านสถานที่ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่เสียสละเวลาพิจารณาและให้ข้อเสนอแนะเพื่อให้เล่มวิจัยมีความสมบูรณ์

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ที่ได้ให้กำลังใจแนวคิดต่าง ๆ ด้วยดีเสมอมา

เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง
ผู้วิจัย

ชื่อโครงการวิจัย การเคลือบผิวงานต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ในระบบหัวฉีดเส้นพลาสติก PLA ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
ผู้ดำเนินการวิจัย เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง
หน่วยงาน คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ปีงบประมาณ 2564

บทคัดย่อ

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนสารเคลือบผิวและตัวทำละลายที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีความเหมาะสมกับพลาสติก PLA 2. เพื่อทดลองสร้างองค์ความรู้ด้านเทคนิคการเคลือบผิวต้นแบบจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ 3. เพื่อออกแบบและทดลองผลิตแม่พิมพ์จากต้นแบบที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการดำเนินการศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ศึกษาและทดลองหาอัตราส่วนผสม และการเคลือบผลงานต้นแบบและการทดลองผลิตแม่พิมพ์ ผลการวิจัยพบว่า วัตถุดิบที่เหมาะสมและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม คือ คาร์นูบาร์ แว็กซ์ และยางสน อัตราส่วนผสมที่เคลือบผิวได้ดี คือ สูตรที่มีอัตราส่วนผสมของ คาร์นูบาร์ แว็กซ์ มากว่า ร้อยละ 70 ขึ้นไป เช่น สูตร CR09 มีอัตราส่วนของคาร์นูบาร์ แว็กซ์ ร้อยละ 90 และยางสนร้อยละ 10 หลอมด้วยอุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส ใช้เตาไฟฟ้าระยะเวลา 30 นาที เคลือบด้วยวิธีการชุบ ระยะเวลาในการชุบ 1 วินาที หลังชุบทำให้เย็นโดยใช้ลมเป่าให้เย็น จะได้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่มีพื้นผิวเรียบเนียนพร้อมสำหรับนำไปผลิตแม่พิมพ์

คำสำคัญ: การเคลือบผิวงานต้นแบบ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

Research Title: Coating of 3D printed product prototypes in an environmentally friendly PLA filament extrusion system
Researcher: Kriangsak Khiaomang
Faculty: Fine and Applied Arts, Burapha University.
Year: 2021

Abstract

This research has the following objectives: 1.To study the ratio of coatings and solvents that are environmentally friendly. Is suitable for PLA plastic. 2.To try to create knowledge on the prototype coating technique from a 3D printer. 3.To design and trial the mold from a prototype coated with a suitable coating formula. by using the method of conducting a literature review study and related research. Study and experiment to find the mixing ratio. and the coating of the prototype and trial production of molds The results showed that Suitable and environmentally friendly raw materials are carnauba wax and Rosin. Mixing ratio for a good coating is a formula with a mixture ratio of carnauba wax more than 70%, such as formula No. CR09, with a ratio of 90% carnauba wax and 10% Rosin, melted at a temperature of 90-95 degrees Celsius, using an electric furnace for 30 minutes, coated with a plating method. The plating time is 1 second after quenching by cooling by blowing air. The prototype with a smooth surface is ready for mold production.

Keywords: Prototype coating, Environmentally friendly

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	**ก**
บทคัดย่อภาษาไทย	**ข**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ง**
สารบัญ	**จ**
สารบัญตาราง	**ช**
สารบัญภาพ	**ซ**
บทที่	
1 บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 กรอบแนวคิดในการสร้างสรรค์/หรือการออกแบบ	3
1.4 ขอบเขตของการสร้างสรรค์ / หรือออกแบบ	4
1.5 สถานที่จัดแสดงนิทรรศการ / นำเสนอผลงาน	5
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ	5
1.7 ขั้นตอน / แผนการดำเนินงาน	5
1.8 แผนการดำเนินงาน	5
1.9 นิยามศัพท์เฉพาะ	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**8**
2.1 วัตถุดิบจากธรรมชาติสำหรับงานเคลือบผิว	8
2.2 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ	12
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	**21**
ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของวัตถุดิบที่จะเลือกนำมาใช้ในงานวิจัย	21
ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาทดลองอัตราส่วนผสม	22
ขั้นตอนที่ 3 การเคลือบผลงานต้นแบบและการทดลองผลิตแม่พิมพ์	26

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการดำเนินงานวิจัย	**35**
ขั้นตอนที่ 1 ผลการศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของวัตถุดิบที่จะเลือกนำมาใช้ในงานวิจัย	35
ขั้นตอนที่ 2 ผลการศึกษาทดลองอัตราส่วนผสม	35
ขั้นตอนที่ 3 ผลการเคลือบผลงานต้นแบบการทดลองผลิตแม่พิมพ์	36
5 สรุป อภิปรายผล ปัญหาและข้อเสนอแนะ	**38**
สรุป	38
อภิปรายผล	39
ปัญหาและข้อเสนอแนะ	39
บรรณานุกรม	**41**
ภาคผนวก	**42**
- บันทึกข้อความ การขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์	
- บทความวิจัยการเผยแพร่นำเสนอผลงานวิจัยในระดับนานาชาติ	
- รางวัลที่ได้รับ The Best Academic Award	
ประวัติผู้วิจัย	**57**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	กิจกรรมการดำเนินการวิจัย	5
3-1	อัตราส่วนผสมวัตถุดิบ 2 ชนิด	22
3-2	ลักษะพื้นผิวเคลือบหลังทดลองชุบบนพื้นผิววัสดุพลาสติก PLA	25

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	กรอบแนวคิดการวิจัย	3
2-1	ลักษณะทางกายภาพของยางสนก้อน	9
2-2	อำพัน (Amber) ที่พบตามธรรมชาติ	10
2-3	แผ่น Beeswax	10
2-4	ลักษณะทางกายภาพ Candelilla Wax	11
2-5	ลักษณะทางกายภาพ Carnauba Wax	11
2-6	เครื่องพิมพ์ 3D เรซิ่น เทคนิค Stereo lithography Apparatus (SLA)	13
2-7	เครื่องพิมพ์ 3D เรซิ่น เทคนิค Stereo lithography Apparatus (SLA)	14
2-8	เครื่องพิมพ์ เทคนิค Fused Deposition Modeling (FDM)	15
2-9	เส้นพลาสติกประเภท ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	16
2-10	เส้นพลาสติก PLA (Polylactic Acid หรือ Polylactide)	16
2-11	เส้นพลาสติกประเภท PVA (Polyvinyl Alcohol)	17
3-1	ยางสนก้อน	21
3-2	คาร์นูบาร์ชนิดเกร็ด	22
3-3	เตรียมวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดโดยการชั่งน้ำหนัก ใช้หน่วยเป็นกรัม	23
3-4	ชั่งน้ำหนักส่วนผสมทั้ง 2 ชนิด ปริมาณ 25 กรัม/สูตร	23
3-5	เตาไฟฟ้าสำหรับใช้การหลอมละลายส่วนผสมวัตถุดิบ	24
3-6	ตรวจสอบอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอม (ซ้าย) ส่วนผสมหลอมและเข้ากันดีแล้ว (ขวา)	24
3-7	ผลิตภัณฑ์รูปทรงกลม (ซ้าย) และผลิตภัณฑ์รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ขวา)	26
3-8	ผลิตภัณฑ์รูปทรงกระบอก (ซ้าย) และผลิตภัณฑ์รูปทรงกรวยหกเหลี่ยม (ขวา)	26
3-9	ผลิตภัณฑ์สำหรับนำไปทดลองชุบเคลือบผิว	27
3-10	ต้นแบบโบราณสถานจำลอง	27
3-11	ทดลองเคลือบผิว รูปทรงกลม	28
3-12	ทดลองเคลือบผิว รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส	28
3-13	ทดลองเคลือบผิว รูปทรงกระบอก	29
3-14	ทดลองเคลือบผิว รูปทรงกรวยหกเหลี่ยม	29
3-15	ทดลองเคลือบผิวทั้งหมด ผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นผิวโค้ง	30
3-16	ทดลองเคลือบผิวทั้งหมด ผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นผิวเป็นเหลี่ยม	30
3-17	เตรียมอุ่นเคลือบ (ซ้าย) เคลือบที่หลอมละลายและส่วนผสมเข้ากันดีแล้ว (ขวา)	31
3-18	ชุบเคลือบ ใช้เวลาประมาณ 1 วินาที	31
3-19	ผลิตภัณฑ์ต้นแบบโบราณสถานจำลองที่ผ่านการเคลือบผิว	32

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
3-20	ผลิตภัณฑ์ต้นแบบอุปกรณ์มือจับ	33
3-21	แม่พิมพ์ซิลิโคน	33
3-22	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเทเรซิ่น	34
4-1	ภาพขยาย 600X เพื่อสังเกตพื้นผิวผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	36
4-2	พื้นผิวหลังเคลือบ (ซ้าย) ภาพขยายพื้นผิวที่เรียบเนียน (ขวา)	37

บทที่ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

เครื่องพิมพ์แบบสามมิติถูกสร้างขึ้นตั้งแต่ในคริสตวรรษที่ 19 ช่วงปลาย (ประมาณปี ค.ศ. 1984) โดย Charles W. (Chuck) Hull เป็นผู้ออกแบบเครื่องพิมพ์แบบสามมิติให้กับบริษัท 3D Systems Corporation โดยเครื่องพิมพ์สามมิตินี้ Charles Hull เป็นนักประดิษฐ์เครื่องพิมพ์ 3D ที่ทันสมัยและเป็นผู้ริเริ่มเทคโนโลยีมาตรฐาน de facto ถูกตั้งชื่อว่า “Stereolithography 3-D printer” หลังจากนั้นเทคโนโลยีการพิมพ์แบบสามมิติก็พัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ มีเทคนิควิธีการที่ซับซ้อนขึ้น พร้อมกับมีบทบาทมากขึ้นในหลาย ๆ สายงาน เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ วิศวกรรม การแพทย์ ไปจนถึงวิทยาการอวกาศและการบิน อีกทั้งยังมีเทคนิคและวิธีการพิมพ์แบบสามมิติเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้เหมาะกับชิ้นงานและชนิดของวัสดุที่ต้องการขึ้นรูป ซึ่งเครื่องพิมพ์ 3 มิติ มีตั้งแต่ขนาดเล็ก จนถึงขนาดใหญ่ มีทั้งรุ่นพิมพ์ได้สีเดียวและหลายสี การสร้างหุ่นจำลองด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิตินี้ ทำให้การออกแบบมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น แม่นยำ รวดเร็ว ต้นทุนต่ำกว่าเดิม และทำให้ผู้พบเห็นเกิดความประทับใจในผลงานออกแบบมากยิ่งขึ้น ในปัจจุบัน “เครื่องพิมพ์ 3 มิติ” เริ่มเข้ามามีบทบาทในภาคสถาบันการศึกษา ภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น เนื่องจากความสามารถในการทำงานที่มีความยืดหยุ่นและลดภาระค่าใช้จ่ายลงได้มากกว่าการผลิตแบบดั้งเดิม ทำให้เครื่องพิมพ์นี้ช่วยเปิดประตูสู่โอกาสใหม่ของการผลิตได้มากขึ้น ด้วยการให้ผลงานพิมพ์ที่สามารถนำมาใช้งานได้จริง มีความแข็งแรงและทนทาน

การประยุกต์ใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ในอุตสาหกรรมการแพทย์นั้นถือว่าเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญต่อการนำเทคโนโลยีเครื่องพิมพ์ 3 มิติไปใช้ เพราะสามารถที่จะพิมพ์อวัยวะทดแทนให้กับร่างกายมนุษย์ หรือจะเป็นการพิมพ์จำพวกข้อต่อหรือข้อเข่าเทียม เพื่อนำไปใช้ในร่างกาย ซึ่งในปัจจุบันนั้น เครื่องพิมพ์เริ่มที่จะสามารถพิมพ์อวัยวะทดแทนเช่นเส้นเลือดใหญ่ เป็นต้น นอกจากอุตสาหกรรมการแพทย์แล้ว อุตสาหกรรมอื่นเช่น การผลิตเครื่องประดับ การออกแบบผลิตภัณฑ์ก่อสร้างและการตกแต่งภายใน รวมไปถึง อุตสาหกรรมยานยนต์ ก็ได้รับผลประโยชน์จากเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติอีกด้วย แม้กระทั่งการสร้าง "เนื้อเยื่อสังเคราะห์" โดยใช้ระบบพิมพ์แบบสามมิติ นักชีววิทยาจากมหาวิทยาลัยออกซ์ฟอร์ดได้ทดลองสร้างเนื้อเยื่อสังเคราะห์ ซึ่งประกอบขึ้นด้วยสารเคมีชีวภาพที่พิมพ์ออกมาเป็นทรงกลมเล็ก ๆ ขนาด 500 ไมครอน เชื่อมต่อกันจนมีรูปร่างแบนคล้ายเนื้อเยื่อที่เพาะในจานอาหารสังเคราะห์ โดยภายในมีหยดทรงกลมกลุ่มหนึ่งทีทำหน้าที่เป็นระบบจำลองเส้นประสาทเทียม จากนั้นจึงกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าแทนกระแสประสาท และพบว่าเนื้อเยื่อสังเคราะห์นี้สามารถเคลื่อนไหวตอบแรงกระตุ้นได้ (กิติรดา หร่ำรัศมี และชมพร แววโนรี, ม.ป.ป.)

หลักการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ การพิมพ์งาน 3 มิติเป็นการสร้างชิ้นงานต้นแบบโดยชิ้นงานจะถูกสร้างขึ้นทีละชั้นโดยไม่ต้องอาศัยแม่พิมพ์ โดยมีเทคโนโลยีหลายประเภทที่ใช้หลักการนี้แต่อาจจะต่างกันเล็กน้อย และแต่ละเทคโนโลยีมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นพื้นผิวที่เรียบชิ้นงานที่แข็งแรงสำหรับทดสอบงาน หรือชิ้นงานที่มีสีสันสวยงานสำหรับออกแสดง 3 มิติทุกเครื่องทำงานจากส่วนล่างสุดของชิ้นงานก่อนเสมอ ชั้นแรกจะถูกสร้างลงบนถาดสร้างชิ้นงาน เหมือนกับเครื่องพิมพ์ระบบ อิงค์เจ็ท เมื่อเสร็จหนึ่งชั้น ถาดสร้างชิ้นงานจะเลื่อนลงไปตามความละเอียดที่เลือกเอาไว้ จากนั้นจะทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนชิ้นงานจะเสร็จ สำหรับชิ้นงานที่มีช่องว่างระหว่างกลไก หรือมี

ส่วนที่ยื่นออกมา จะต้องมี support material รองรับ เพื่อให้ต้นแบบไม่ล้มเสียหายขณะพิมพ์ จากนั้น support material จะถูกล้างออกเมื่อชิ้นงานเสร็จเพื่อเผยให้เห็นชิ้นงานที่แท้จริง ซึ่งกระบวนการล้างจะแล้วแต่เครื่องที่ใช้ซึ่งอาจจะใช้น้ำธรรมดาไปจนถึงสารเคมี การพิมพ์เครื่องจะอ่านการออกแบบจากไฟล์ .STL แต่ละชั้นจะมีของเหลว แป้ง กระดาษหรือแผ่นวัสดุเพื่อสร้างแบบจำลองจากไฟล์ข้อมูล แต่ละชั้นจะสอดคล้องกับตัวอย่างเสมือนจริงที่ได้จากรูปแบบ CAD และจะรวมกันโดยอัตโนมัติเพื่อสร้างรูปแบบสุดท้าย ประโยชน์ของเทคนิคนี้คือความสามารถในการสร้างรูปแบบหรือคุณลักษณะทางเรขาคณิต ความละเอียดของเครื่องพิมพ์ดูจากความหนาของแต่ละชั้นและความละเอียด เส้นพลาสติก PLA (Polylactic Acid) นับว่าเป็นวัสดุยอดนิยมของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เนื่องจากสมบัติที่พิมพ์ขึ้นรูปได้ง่าย ใช้ความร้อนต่ำ เป็นพลาสติกที่มีส่วนผสมจากธรรมชาติ สามารถย่อยสลายและรีไซเคิลได้ง่าย รวมถึงมีสารเคมี ฝุ่นผง และกลิ่นขณะพิมพ์น้อยกว่าพลาสติกชนิดอื่นๆ จึงกลายเป็นวัสดุพื้นฐานสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ ตั้งแต่คนที่เริ่มต้นใช้งาน การศึกษา จนไปถึงบริการพิมพ์มืออาชีพ และอุตสาหกรรมดังนั้นจึงเห็น PLA ตามท้องตลาด หลากหลายสี ยี่ห้อ และราคา ก่อนหน้าที่จะใช้งานในเครื่อง FDM 3D Printer นั้น PLA ถูกใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ จึงจัดอยู่ในกลุ่มวัสดุ Food grade สามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สัมผัสกับคนได้ แต่ควรดูเรื่องความสะอาดของตัวเครื่องประกอบด้วย เครื่องพิมพ์ 3 มิติส่วนใหญ่ใช้หลักการทำงานเหมือนกันคือ พิมพ์แต่ละชั้นในแนวระนาบกับพื้นโลกแบบแกน X,Y หรือแนวตัดขวาง (Cross Section) ก่อน หลังจากนั้นเครื่องพิมพ์จะเลื่อนฐานไปพิมพ์ในชั้นถัดไป ทับไปเรื่อย ๆ จนออกมาเป็นรูปร่าง 3 มิติ โดยปกติแล้วความละเอียดของการพิมพ์ 3 มิติจะใช้หน่วยวัดเป็นไมครอน เช่น 100 Micron (0.1mm) ต่อชั้น หมายความว่าแต่ละชั้นจะพิมพ์ด้วยความสูงประมาณ 0.1 มม. ถ้าต้นแบบสูง 10 มม. เครื่องพิมพ์จะต้องพิมพ์ทั้งหมด 100 ชั้น

ซึ่งถ้าพิมพ์ต่อชั้นที่ 50 Micron (0.05mm) ก็จะต้องใช้เวลาในการพิมพ์เพิ่มขึ้น แต่ตัวเลขความบางของชั้นที่พิมพ์ไม่ใช่ตัวบอกความละเอียดที่ทำให้ได้ชิ้นงานสวยงาม

จากข้อมูลตามหลักการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ในข้างต้นและจากประสบการณ์การใช้งานเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ผู้วิจัยพบปัญหาว่าต้นแบบที่ได้จากกระบวนการพิมพ์ด้วยเส้นพลาสติก ยังไม่เหมาะสมจะนำไปใช้เป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเมื่อพิมพ์เสร็จจะพบว่ามีผิวที่เป็นชั้น ๆ บาง ๆ ซ้อนทับชั้นกันอยู่ ส่งผลให้ในบางงานที่ต้องการผลลัพธ์ความเรียบของพื้นผิวผลิตภัณฑ์ ยังไม่สมบูรณ์ที่จะผลิตเป็นต้นแบบสำหรับนำไปทำแม่พิมพ์เพื่อใช้งานเชิงพาณิชย์ได้ ควรต้องทำการทดลองหาสารเคลือบผิวที่มีความเหมาะสม ปลอดภัยต่อผู้ใช้และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสามารถเคลือบผิวต้นแบบให้มีความเรียบร้อยสามารถนำไปผลิตเป็นต้นแบบสำหรับทำแม่พิมพ์ได้ รวมถึงทดลองกระบวนการเคลือบที่เหมาะสมกับวัสดุและสารเคลือบผิว โดยการชุบ เมื่อได้สูตรสารเคลือบและเทคนิคกระบวนการเคลือบผิวแล้ว จึงทดลองระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบผลิตภัณฑ์ให้มีความแข็งแรงพร้อมนำไปใช้งานในการผลิตแม่พิมพ์ในลำดับต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

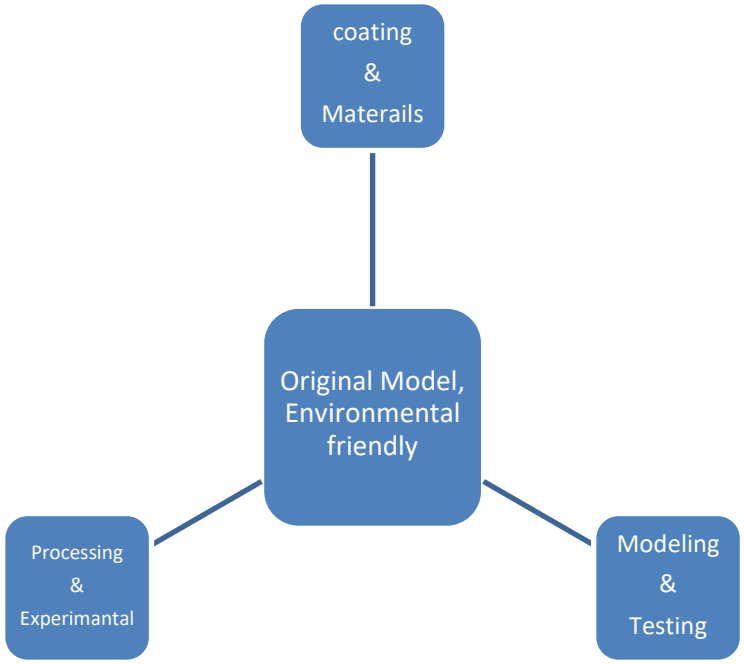
1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนสารเคลือบผิวและตัวทำละลายที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีความเหมาะสมกับพลาสติก PLA

1.2.2 เพื่อทดลองสร้างองค์ความรู้ด้านเทคนิคการเคลือผิวต้นแบบจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

1.2.3 เพื่อออกแบบและทดลองผลิตแม่พิมพ์จากต้นแบบที่เคลือบผิวด้วยวัตถุดิบเคลือบผิวสูตรที่เหมาะสม

1.3 กรอบแนวคิดในการสร้างสรรค์/หรือการออกแบบ

ต้นแบบที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเส้นพลาสติกมีผิวภายนอกมีลักษณะเป็นชั้นบาง ๆ สามารถทำการเคลือบผิวต้นแบบให้มีความเรียบร้อยด้วยสารเคลือบ ตัวทำละลาย ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และการอบผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม จะสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเรียบร้อยเหมาะแก่การนำไปผลิตแม่พิมพ์เชิงพาณิชย์



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย

1.4 ขอบเขตของการสร้างสรรค์ / หรือออกแบบ

- ขอบเขตทางด้านเนื้อหา / เรื่องราว

ขอบเขตด้านเนื้อหา

1) วัตถุดิบเคลือบผิวจากธรรมชาติ
2) การเคลือบผิว
3) การอบแห้งผลิตภัณฑ์
4) การทำแม่พิมพ์

- ลักษณะ ต้นแบบ 3 มิติ พิมพ์ด้วยวัสดุเส้นพลาสติก PLA เคลือบด้วยวัตถุดิบเคลือบผิว ด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสม
- เทคนิค..... Deeping
- ขนาด.....50x50 มม.
- ขนาด.....100x100 มม.

1.5 สถานที่จัดแสดงนิทรรศการ / นำเสนอผลงาน

- 70th Anniversary Hall, National Mokpo University, Mokpo, Korea

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.6.1 ได้ชุดฐานข้อมูลสูตร อัตราส่วน ประเภทวัตถุดิบเคลือบผิว ที่ปลอดภัยต่อผู้ใช้และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.6.2 ได้เทคนิคการเคลือบผิวต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเส้นพลาสติก ประเภท PLA ให้มีพื้นผิวที่เรียบเนียน

1.6.3 ผู้ที่ใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลาย

1.7 ขั้นตอน / แผนการดำเนินงาน

1.7.1 วางแผนการดำเนินงาน
1.7.2 ออกแบบต้นแบบสำหรับทำการทดลอง
1.7.3 พิมพ์ต้นแบบจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
1.7.4 ศึกษา วิเคราะห์ วัตถุดิบเคลือบผิว
1.7.5 ทดลอง พัฒนาวัตถุดิบเคลือบผิว

1.7.6 วิเคราะห์ผลทางกายภาพ สรุปผลการทดลอง
1.7.7 ออกแบบผลิตต้นแบบและเคลือบผิวต้นแบบผลิตภัณฑ์
1.7.8 สรุปผลการวิจัย
1.7.9 จัดแสดงเผยแพร่ผลงาน
1.7.10 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

1.8 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1-1 กิจกรรมการดำเนินการวิจัย

ระยะเวลา	วิธีดำเนินการวิจัย	เป้าหมาย
เดือนที่ 1	**กิจกรรม** -วางแผนการดำเนินงาน **วัสดุอุปกรณ์** – คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค **บุคลากร** -นักวิจัย	- ได้แผนการดำเนินงาน รายการวัสดุอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการดำเนินการวิจัย
เดือนที่ 2	**กิจกรรม** - ออกแบบต้นแบบสำหรับทำทดลอง **วัสดุอุปกรณ์** – คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค **บุคลากร** - นักวิจัย	-ต้นแบบ 3D สำหรับใช้ในการทดลอง
เดือนที่ 3	**กิจกรรม -** พิมพ์ต้นแบบจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ **วัสดุอุปกรณ์** – เครื่องพิมพ์ 3 มิติ, คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค, เส้นพลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มม. **บุคลากร** - นักวิจัย	- ต้นแบบสำหรับใช้ในกระบวนการทดลอง ขนาด 50x50 มม. จำนวน 20 ชิ้น ขนาด 100x100 มม. จำนวน 10 ชิ้น
เดือนที่ 4	**กิจกรรม**- ศึกษา วิเคราะห์ สารเคลือบผิว **วัสดุอุปกรณ์ –** วัตถุดิบเคลือบผิว เตาไฟฟ้า **บุคลากร** - นักวิจัย	- ฐานข้อมูลวัตถุดิบเคลือบผิว ในอัตราส่วนที่เหมาะสม
เดือนที่ 5-7	**กิจกรรม** - ทดลอง พัฒนาสารเคลือบผิว **วัสดุอุปกรณ์ –** ต้นแบบ 3 มิติ วัตถุดิบเคลือบผิว เตาไฟฟ้า สำหรับการหลอมละลาย **บุคลากร** - นักวิจัย	- สูตร อัตราส่วนผสม - ชิ้นงานทดลอง
เดือนที่ 8	**กิจกรรม** - วิเคราะห์ผลทางกายภาพ สรุปผลการทดลอง **วัสดุอุปกรณ์ –** กล้องถ่ายภาพ กล้องขยายกำลัง 1600x **บุคลากร** - นักวิจัย	ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ สรุปผลการทดลอง -อนุสิทธิบัตร 1 คำขอ

เดือนที่ 9	**กิจกรรม** - ออกแบบผลิตภัณฑ์ ผลิตต้นแบบและเคลือบผิวต้นแบบผลิตภัณฑ์ **วัสดุอุปกรณ์ –** เครื่องพิมพ์ 3 มิติ, คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค, เส้นพลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มม. **บุคลากร** - นักวิจัย	ต้นแบบผลิตภัณฑ์ 3 มิติ เคลือบผิวด้วยวัตถุดิบเคลือบผิวที่ผ่านกระบวนการทดลองพัฒนา
ดือนที่ 10	**กิจกรรม** - สรุปผลการวิจัย **วัสดุอุปกรณ์ –** คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค **บุคลากร** - นักวิจัย	ผลกการวิจัย บทความวิจัย จำนวน 1 บทความ
เดือนที่ 11-12	**กิจกรรม -** เผยแพร่ผลงานวิจัย - สรุปผลการวิจัย **วัสดุอุปกรณ์** ไม่มี **บุคลากร** - นักวิจัย	- เผยแพร่ผลงานวิจัย - รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

1.9 นิยามศัพท์เฉพาะ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติ หมายถึง กระบวนการสร้างวัตถุสามมิติ ซึ่งมีขั้นตอนในลักษณะเดียวกันกับการพิมพ์โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้ในการสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็ว (rapid prototype) และการผลิตแบบเพิ่มสารเติมแต่ง (additive manufacturing) วัสดุจะถูกขึ้นรูปหรือวางเชื่อมต่อกันภายใต้การควบคุมของคอมพิวเตอร์ วัตถุสามมิตินี้สร้างขึ้นจากข้อมูลดิจิทัลของแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ทั้งในรูปแบบข้อมูล 3 มิติ (3D model) หรือ ในรูปแบบชุดข้อมูล 2 มิติที่เรียงซ้อนเป็นชั้น ๆ (sequential layers) ซึ่งทำให้สามารถขึ้นรูปได้เกือบทุกรูปทรง

ต้นแบบผลิตภัณฑ์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการพิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเส้นพลาสติกประเภท PLA ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตร

เส้นพลาสติก PLA (Polylactic Acid) หมายถึง พลาสติกที่ทำจากวัตถุดิบธรรมชาติเช่นอ้อยหรือแป้งข้าวโพด ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีจุดเด่นคือมีสีให้เลือกเยอะ สีสดใสสะท้อนแสงเล็กน้อย พิมพ์ง่ายมาก (ใช้อุณหภูมิต่ำ ไม่ต้องใช้ฐานความร้อน) เป็นวัสดุแข็ง ไม่ยืดหยุ่น ทนอุณหภูมิได้ต่ำเพียง 60 องศาเซลเซียส เป็นวัสดุที่เหมาะกับชิ้นงาน

สารเคลือบผิว หมายถึง สารที่อยู่ในรูปของเหลวใช้เคลือบเป็นชั้นบาง ๆ เคลือบอยู่ภายนอกของผิวผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ เพิ่มเนื้อผิวให้เรียบ แข็งแรง พร้อมนำไปผลิตเป็นต้นแบบสำหรับทำแม่พิมพ์

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานวิจัยเรื่องการเคลือบผิวงานต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ในระบบหัวฉีดเส้นพลาสติก PLA ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อกระบวนการวิจัยมีความสัมพันธ์และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ก่อนดำเนินการวิจัยผู้วิจัยจึงทบทวนวรรณกรรมจากข้อมูลที่เกี่ยวข้อง รวมถึงงานวิจัยที่เกี่วข้อง เพื่อนำมาสรุปและให้ผลการวิจัยสมบูรณ์ โดยมีหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 วัตถุดิบจากธรรมชาติสำหรับงานเคลือบผิว

2.2 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัตถุดิบจากธรรมชาติสำหรับงานเคลือบผิว

2.1.1 ยางสน

ยางสนคือน้ำหล่อเลี้ยงของต้นสนตระกูล pine คุณสมบัติเหนียวข้น และมีความใส เมื่อใช้มีดกรีดลำต้นสนที่ยังมีชีวิตอยู่ (หรือเมื่อเปลือกต้นสนแตกปริจากความร้อน จนลำต้นขยายตัว) จะมีน้ำไหลซึมออกมา เมื่อทิ้งไว้หรือสัมผัสอากาศในระยะเวลาหนึ่ง น้ำยางนั้นจะแห้งแข็งตัวคนไทยเราสมมติเรียกน้ำที่ได้นี้ว่า ยางสน เลียนแบบน้ำยาง ที่ได้จากต้นยาง ซึ่งมีอาการเดียวกัน เมื่อถูกแยกออกมาจากลำต้น

โดยทั่วไป น้ำสนนี้จะไม่ไหลเยอะ ๆ เหมือนน้ำยาง ต้องกรีดแล้วกรีดอีกหลาย ๆ แผล และนำน้ำยางสนแห้ง ๆ นั้น มาหลอมรวมกันอีกที ให้เกิดมวลที่ใหญ่ขึ้น เก็บไว้เป็นก้อนยางสน หรือโรซิ่น (rosin) น้ำสนที่โดนความร้อนทุกรูปแบบ ตั้งแต่แดดไปจนไฟเผา จะเปลี่ยนไปเป็นสีเหลือง สีน้ำตาล สีแดง จนถึงสีดำ แล้วแต่ปริมาณความร้อนที่สร้างปฏิกิริยาให้แก่น้ำยางสนนั้น และเมื่อทิ้งไว้ให้เย็น ก็จะแข็งตัวพอประมาณ แต่ก็ถือว่าเป็นสารที่มีความเปราะ ถ้าถูกทุบหรือเสียดสีด้วยวัตถุอื่นก็จะแตกเป็นก้อนเล็กหรือจนเป็นผงขาวละเอียดเหมือนแป้ง

แต่เดิม ยางสนถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านเป็นเชื้อเพลิง เป็นเครื่องช่วยสร้างความฝืดของอุปกรณ์ทางช่างบางอย่าง ช่วยในการสร้างความฝืดของเครื่องลากล้อเลื่อนในการก่อสร้างสมัยก่อนเก่า เป็นส่วนผสมของน้ำยาเคลือบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ที่เรียกว่าตระกูล varnish ให้ไม้นั้นมีเงางามและกันมอดแมลง เป็นส่วนผสมของยาแผนโบราณบางประเภท และใช้งานจิปาถะในครัวเรือน นอกจากนี้ ยังมีหลักฐานเรื่องการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องประดับตกแต่งในบางชนเผ่า

การเก็บยางสนจะได้จากต้นไม้ที่ยังมีชีวิตอยู่ ด้วยวิธีการที่คล้ายคลึงกับวิธีการเก็บน้ำหวาน (Syrup) จากต้นเมเปิ้ล ซึ่งวิธีการนี้จะไม่เป็นอันตรายต่อต้นไม้ ในขั้นตอนแรกจะบาก

เปลือกไม้ออกก่อน หลังจากนั้นจะฝังท่อโลหะและภาชนะสำหรับใส่ยางสน ในขั้นตอนสุดท้ายจะบากต้นไม้เป็นรูปตัว V เหนือท่อโลหะ มีความกว้างประมาณ 1 ซ.ม. ร่องบากนี้จะช่วยให้ยางสนไหลลงสู่ภาชนะที่เตรียมไว้ การบากร่องควรซ้ำทุก ๆ 5 วันเพื่อให้ยางสนไหลได้สะดวก

หลังจากที่ได้ยางสนเรียบร้อยแล้ว ในบางครั้งก็จะผสมของเหลวจากต้นไม้บางชนิด โดยปกติจะได้จากต้นสน ต้นสปรู๊ซ ต้นเฟอร์ ช่างทำยางสนแต่ละคนจะมีสูตรลับเฉพาะตัว เช่นเดียวกับที่ช่างทำไวโอลินมีสูตรน้ำมันวานิชของตนเพื่อให้ได้ยางสนสูตรพิเศษ หลังจากนั้นจะนำส่วนผสมที่ได้ไปกรองและเคี่ยวในหม้อขนาดใหญ่จนกระทั่งยางสนเหลวได้ที่ จากนั้นจึงรีบเทส่วนผสมที่ได้ลงแม่พิมพ์ ทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 30 นาที ยางสนจะเริ่มจับตัวเป็นก้อนและมีความมันวาว หลังจากนั้นจึงห่อยางสนลงในผ้าหรือใส่ลงในภาชนะบรรจุที่เตรียมไว้

สีสันของยางสนขึ้นอยู่กับช่วงระยะเวลาในการเก็บ ถ้าเก็บในช่วงปลายฤดูหนาวหรือในช่วงต้นฤดูใบไม้ผลิ จะได้ยางสนสีทองหรือสีอำพันซึ่งมีความแข็งเมื่อเย็นตัวลง แต่ถ้าเก็บในฤดูร้อนหรือฤดูใบไม้ร่วงจะได้ยางสนสีเข้มและมีความอ่อนนุ่มกว่า

ภาพที่ 2-1 ลักษณะทางกายภาพของยางสนก้อน
ที่มา: https://www.chemipan.com/

ยางสนที่ผ่านกระบวนการตกผลึก ภายใต้เงื่อนไขของเวลาและสิ่งแวดล้อมทางชีวเคมีที่เหมาะสม ก็จะกลายสภาพเป็นรัตนชาติที่เรียกว่าอำพัน (amber) ขึ้นมาได้

ภาพที่ 2-2 อำพัน (Amber) ที่พบตามธรรมชาติ
ที่มา: https://www.pembagems.com/

2.1.2 WAX จากธรรมชาติ

Beeswax คือไขที่ได้มาจากผึ้ง มีจุดเด่นคือให้ความนุ่ม มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า Wax ชนิดอื่น ๆ เหมาะสำหรับใช้เป็น Emollient ให้ผิวนุ่มลื่น มีจุดหลอมเหลวต่ำ หากสูตรต้องการความแข็ง ไม่ควรเลือกใช้ Beeswax เพียงอย่างเดียว ควรใช้ Beeswax ร่วมกับ Wax ชนิดอื่น ๆ ที่มีความแข็ง มีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้เนื้อผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 2-3 แผ่น Beeswax
ที่มา: https://www.chemipan.com/

Candelilla Wax คือไขที่ได้มาจากพืช (Euphorbia Cerifera) เนื้ออ่อนกว่า Carnauba wax และมีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่า มีลักษณะพิเศษคือช่วยเพิ่มความเงางามให้กับผิวเนื้อผลิตภัณฑ์ได้

ภาพที่ 2-4 ลักษณะทางกายภาพ Candelilla Wax

ที่มา: https://www.chemipan.com/

Carnauba Wax คือไขที่ได้มาจากพืช (Copernicia Cerifera) มีจุดเด่นที่ผู้วิจัยเลือกใช้ คือ มีจุดหลอมเหลวสูงกว่างไขจากธรรมชาติชนิดอื่น ๆ (80-85 องศาเซลเซียส) เหมาะสำหรับผสมเพื่อช่วยความเสถียรให้กับเนื้อผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงขึ้น ช่วยป้องกันการหลอมเหลวหรืออ่อนตัว แม้ทิ้งไว้ในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิโดยรอบสูง

ภาพที่ 2-5 ลักษณะทางกายภาพ Carnauba Wax

ที่มา: http://carnaubawaxthai.com/

ต้น Carnauba เป็นพืชตระกูลปาล์มพัด พบมากในพื้นที่ Savanna ประเทศบราซิล ตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเรียกว่า “ต้นไม้แห่งชีวิต” สามารถใช้แปรรูปทำผลิตภัณฑ์สร้างประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย ต้น Carnauba มีอายุยาวนาน ถ้าอายุมากว่า 50 ปี จะมีลำต้นสูงมากว่า 14 เมตร เมื่อนำไขจากต้น Carnauba มาแปรรูปผ่านกรรมวิธีบดให้เป็นเกล็ดเล็ก ๆ แล้วเนื้อ

Carnauba Wax ที่ได้จะมีความบริสุทธิ์สูง เหมาะแก่การนำไปผสมหรือใช้เป็นผลิตภัณฑ์เคลือบผิวได้เป็นอย่างดี

2.2 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติ หรือ 3D printer เป็นเครื่องมือที่ได้รับการกล่าวถึงในแวดวงนักประดิษฐ์ทั่วโลก เพราะมันคือ เครื่องมือในฝันของใครหลายคน มันช่วยให้นักประดิษฐ์สามารถสร้างชิ้นงานหรือชิ้นส่วนที่ไม่สามารถทำได้ด้วยขั้นตอนการสร้างแบบปกติ ภายใต้งบประมาณที่รับได้โดยไม่ต้องพึ่งการใช้เครื่องมือหรือวิธีการที่ใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ทำชิ้นงานได้เร็วพอสมควร แถมตัวชิ้นงานหรือชิ้นส่วนยังมีความแข็งแรงในระดับหนึ่ง เครื่องพิมพ์ 3 มิติจึงเหมาะอย่างยิ่งกับการทำชิ้นงานต้นแบบหรือชิ้นส่วนเฉพาะในจำนวนที่ไม่มาก

2.2.1 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ

การทำชิ้นงานพลาสติกหรือโลหะต้นแบบหรืองานเฉพาะที่มีจำนวนไม่มาก วิธีการและเครื่องมือที่นิยมใช้กันคือใช้เครื่อง CNC (Computer Numerical Control) กัดวัสดุทำเป็นแม่แบบขึ้นมา ซึ่งต้องใช้บุคลากรที่มีความชำนาญ รวมถึงใช้งบประมาณค่อนข้างสูงกว่าที่จะได้ต้นแบบมาใช้งาน เมื่อมีการพัฒนาเครื่องพิมพ์ 3 มิติขึ้นมา กระบวนการแบบเดิม ๆ ก็เริ่มเปลี่ยน หากจะมองในเชิงเปรียบเทียบเครื่องพิมพ์3มิติ ก็คือเครื่อง CNC แต่มีการเพิ่มเติมและปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ โดยมีการเปลี่ยนจากหัวกัดเป็นหัวฉีดพลาสติก (ในกรณีที่เป็นเครื่องพิมพ์ 3มิติสำหรับงานพลาสติก) ด้านการทำงานจะต่างกัน โดยเครื่อง CNC ใช้จะหัวสว่านติดกับดอกสว่านแบบต่าง ๆ ในการกัดสลัก ตัด เจาะ วัตถุดิบให้เป็นรูปร่างต่างๆ ตามต้องการ มีระบบมอเตอร์เคลื่อนที่ไปในทิศทาง 3 มิติ (แกน X, Y และ Z) ในขณะที่เครื่องพิมพ์ 3มิติ ก็ใช้การเคลื่อนที่ของมอเตอร์เหมือนกับเครื่อง CNC แต่ที่ต่างกันคือ มีหัวฉีดที่จะฉีดหรือโรยพลาสติกเป็นชั้น ๆ เรียงตัวขึ้นไป สร้างเป็นรูปทรงต่าง ๆ ในแต่ละชั้นมีความละเอียดในระดับมิลลิเมตร นอกจากนั้นยังมีการพัฒนาเทคนิคอื่น ๆ ทำให้เครื่องพิมพ์ 3มิติสร้างสรรค์งานได้จากหลากหลายวัสดุ และมีความละเอียดเพิ่มขึ้นซึ่งก็ต้องแลกด้วยราคาที่แพงขึ้นด้วย ในการสร้างชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เริ่มจากสร้างแบบ 3 มิติ แล้วส่งข้อมูลให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติฉีดหรือโรยพลาสติกออกมาเป็นรูปร่างตามที่เขียนแบบไว้ได้เลย จึงถือได้ว่า เครื่องพิมพ์ 3 มิติ เป็นเครื่องมือที่เปลี่ยนแปลงการประดิษฐ์ชิ้นส่วนของนักประดิษฐ์ไปตลอดกาล

ในปี ค.ศ. 2011 เริ่มมีการเปิดตัวจำหน่ายเครื่องพิมพ์ 3มิติที่ใช้เทคนิคการสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็ว (Rapid Prototype) ออกมานับเป็นการสร้างปรากฏการณ์ใหม่แก่วงการสร้างโมเดลต้นแบบจากนั้นมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีเครื่องพิมพ์ 3 มิติออกมาจำหน่ายหลายรุ่น ส่วนเทคนิคการสร้างชิ้นงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติสรุปได้ 3 วิธีดังนี้

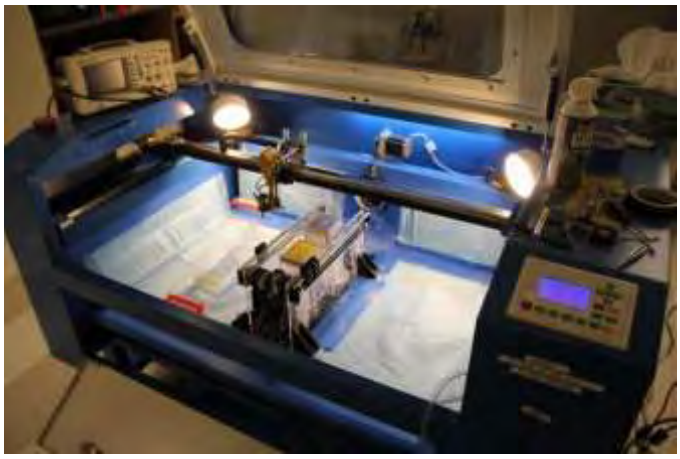
1) การใช้โพลีเมอร์ชนิดไวแสงในการขึ้นรูปชิ้นงาน หรือ Photo polymerization

เป็นเทคนิคที่ใช้แสงเพื่อขึ้นรูปจากวัสดุของเหลวให้กลายเป็นของแข็ง โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปชิ้นงานแบบ Stereo lithography Apparatus (SLA) ที่คิดค้นโดย Chuck Hull จาก 3D Systems หลักการคือ ใช้วัสดุประเภทโพลีเมอร์เหลวที่สามารถแข็งตัวได้ เมื่อถูกกระตุ้นจากการฉายแสงอัลตร้าไวโอเล็ตหรือ UV (Ultra Violet) จาก UV เลเซอร์ โดยมีกระบะใส่เรซิ่นเหลวและมีระบบควบคุมให้ยกขึ้นและเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง เพื่อสร้างชิ้นงานทีละชั้นจากล่างขึ้นบน แล้วสแกนยิงแสง UV เลเซอร์ในแนวราบ เพื่อเปลี่ยนให้โพลีเมอร์เหลวชนิดไวต่อแสงเป็นของแข็งตามตำแหน่งที่ต้องการ โดยชิ้นงานที่มีส่วนโค้งเว้า หรือมีรูปทรงที่แปลก ๆ หรือมีความละเอียดซับซ้อนมาก อาจจะต้องสร้างส่วนที่ใช้ค้ำยันและรองรับเรียกว่า ซัพพอร์ต (support) ขึ้นมาพร้อม ๆ กับชิ้นงาน เมื่อขึ้นรูปชิ้นงานเสร็จ ก็ตัดส่วนซัพพอร์ตนี้ออกไป ความแข็งแรงของวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้จะมีในระดับหนึ่งพอ ๆ กับพลาสติกทั่วไป ตัวชิ้นงานที่ได้มีความละเอียดเรียบในระดับหนึ่ง ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ในโปรแกรมวาดแบบ 3 มิติ และยังสามารถสร้างชิ้นส่วนกลไกต่าง ๆ เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบได้ หรือใช้เป็นวัสดุชิ้นส่วนจริงในเครื่องมือต่าง ๆ ได้เลย

ภาพที่ 2-6 เครื่องพิมพ์ 3D เรซิ่น เทคนิค Stereo lithography Apparatus (SLA)
ที่มา: https://www.icst3dprinter-group.com/

2) การใช้เลเซอร์หรือกาวในการเชื่อมผงวัสดุให้เป็นชิ้นงาน หรือ granular materials bindingเป็นเทคนิคที่ใช้วัสดุที่เป็นผงเล็ก ๆ เมื่อได้รับความร้อนแล้วแข็งตัว จะเรียกเทคนิคนี้ว่า Selective Laser Sintering (SLS) โดยส่วนมากใช้วัสดุที่เป็นผงพลาสติก เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวต่ำ ขึ้นรูปได้ง่าย ใช้ความร้อนจากเลเซอร์ที่ฉายไปยังตำแหน่งที่เป็นส่วนหน้าตัดขวางของชิ้นงาน ทำให้ผงพลาสติกเล็ก ๆ รอบบริเวณที่ถูกฉายแสงเลเซอร์นี้หลอมละลายและยึดเกาะกัน โดยยึดเกาะกับชั้นที่อยู่ก่อนหน้านี้ด้วย เพื่อให้เกิดเป็นโครงร่างรูปทรง 3มิติขึ้นมาจากการเลื่อนแท่นใส่ผงพลาสติกลงเล็กน้อยในแนวดิ่ง จากนั้นจะกวาดผงพลาสติกมาคลุม

ทับส่วนที่ให้ความร้อนไปแล้วทำการฉายแสงเลเซอร์ใหม่ จะวนทำกระบวนการนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบทั้งรูปทรงที่ได้เขียนแบบไว้ จากนั้น ผงพลาสติกส่วนอื่นที่ไม่โดนความร้อนจากเลเซอร์จะถูกลมเป่าออกไป เหลือเพียงชิ้นงานที่หลอมละลายแล้วแข็งตัว เป็นรูปทรงที่สมบูรณ์ เทคนิคนี้ใช้เวลามากในการขึ้นรูปชิ้นงานผิววัสดุจะหยาบและความแข็งแรงจะน้อยกว่าวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยวิธี Stereo lithography



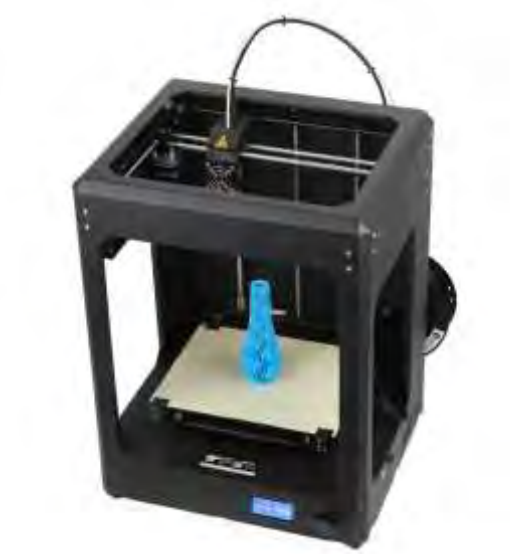
ภาพที่ 2-7 เครื่องพิมพ์ 3D เรซิ่น เทคนิค Stereo lithography Apparatus (SLA)
ที่มา: https://www.icst3dprinter-group.com/

นอกจากการใช้ความร้อนจากเลเซอร์หลอมละลายให้ผงพลาสติกให้เชื่อมติดกันแล้ว อาจใช้ผงโลหะแทนผงพลาสติก แล้วใช้แหล่งกำเนิดความร้อนที่ให้อุณหภูมิสูงขึ้นตามจุดหลอมเหลวของผงโลหะนั้น ๆ วิธีการนี้จะทำให้ได้ชิ้นงานที่เป็นโลหะ ซึ่งมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นยังมีอีกเทคนิคหนึ่งคือ การพ่นกาวลงไปยังผงพลาสติกให้ติดกันเป็นโครงสร้างตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการแบบนี้เรียกว่า Three Dimensional Printing หรือ 3DP โดยหลักการทำงานของเทคนิคนี้คือ พ่นกาวด้วยหัวฉีดลงไปบนกระบะที่มีผงพลาสติกที่เกลี่ยหน้าให้เรียบไว้แล้ว ผงพลาสติกบริเวณที่โดนกาวก็จะติดแข็งตัว วิธีนี้สามารถเลือกให้ชิ้นงานมีสีต่าง ๆ แตกต่างกันได้โดยผสมสีลงไปในกาวที่ใช้ ซึ่งก็เหมือนกับการพิมพ์หมึกลงไปบนกระดาษของเครื่องพิมพ์แบบอิงค์เจ็ทนั่นเอง ทำให้รูปทรง 3 มิติที่สร้างขึ้นมีความแข็งตัวและมีสีสันที่แตกต่างกันไปด้วย แต่วัสดุที่ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ จะมีความเปราะบางมากกว่าวิธีการขึ้นรูปแบบชิ้นงานอื่น จึงเหมาะกับการทำชิ้นงานต้นแบบมากกว่านำไปใช้งานจริง

3) การใช้พลาสติกร้อนเรียงตัวขึ้นเป็นชิ้นงาน หรือ Extrusion Processes

เป็นวิธีที่นิยมและมีการพัฒนากันมากที่สุด เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปมีหลากหลาย ราคาไม่แพง มีการพัฒนาชุดควบคุมและซอฟต์แวร์ในแบบโอเพ่นซอร์ส เทคนิคนี้ใช้เส้นพลาสติกมาผ่านหัวที่ให้ความร้อน จนพลาสติกละลายเป็นของเหลวแล้วฉีดหรือโรยเรียงเป็น

ชั้นๆ เรียกเทคนิคการขึ้นรูปแบบนี้ว่า Fused Deposition Modeling หรือ FDM โดยมีการฉีดส่วนรองรับสำหรับรูปทรงที่โค้งงอ หรือมีความซับซ้อนเพื่อเพิ่มความแข็งแรงไม่ให้ล้มระหว่างการขึ้นรูปชิ้นงาน เมื่อขึ้นรูปเสร็จแล้วก็จะตัดออกได้ในภายหลัง ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้จะมีผิวชิ้นงานที่ไม่เรียบ มีลักษณะเป็นชั้น ๆ เนื่องจากขึ้นรูปด้วยการเรียงตัวเชื่อมติดกันของเส้นพลาสติกขนาดเล็กมาก ๆ ความแข็งแรงของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุของเส้นพลาสติกที่นำมาใช้ ซึ่งก็คือ ABS และ PLA โดย ABS มีความแข็งแรงมากกว่า PLA แต่ PLA ปลอดภัย ไม่ไวไฟ และไม่มี กลิ่นฉุนในขณะขึ้นรูปชิ้นงาน เนื่องจาก PLA ทำมาจากวัสดุธรรมชาติ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 2-8 เครื่องพิมพ์ เทคนิค Fused Deposition Modeling (FDM)
ที่มา: https://www.icst3dprinter-group.com/

2.2.2 เส้นพลาสติก (Filament)

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอกล่าวถึงเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบ FDM เพียงประเภทเดียว เนื่องจากมีความสัมพันธ์กันที่จะทำให้ผู้ที่สนใจได้ศึกษาเทียบเคียง คุณลักษณะเฉพาะเพื่อการเลือกนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่สุด

สำหรับเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบ FDM วัตถุดิบที่สำคัญคือ เส้นพลาสติกหรือ Filament มีด้วยกันหลายวัสดุและหลายสี เช่นเส้นพลาสติกแบบ ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) เป็นเส้นพลาสติกที่ได้รับความนิยมชนิดหนึ่งในงานพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ โดยใช้อุณหภูมิที่หัวฉีดร้อนอยู่ที่ 215 - 250 องศาเซลเซียส แต่มีข้อเสียคือ เมื่อหลอมแล้ว จะเกิดไอระเหยออกมาที่เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์เลี้ยง

เส้นพลาสติก ABS นี้มีส่วนผสมของอะซิโทน (Acetone) ทำให้พื้นผิวของชิ้นงานที่ขึ้นรูปเสร็จแล้ว มีความเรียบเนียน เงางาม

ภาพที่ 2-9 เส้นพลาสติกประเภท ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)
ที่มา: https://www.icst3dprinter-group.com/

เส้นพลาสติกแบบ PLA (Polylactic Acid หรือ Polylactide) เป็นเส้นพลาสติกที่มีส่วนผสมจากวัตถุดิบชีวภาพ เช่น ข้าวโพดหรือมันฝรั่ง ใช้อุณหภูมิที่หัวฉีดพลาสติกอยู่ที่ 160 - 220 องศาเซลเซียส เมื่อเส้นพลาสติก PLA หลอมจะมีกลิ่นคล้าย ๆ กับข้าวโพดคั่วซึ่งไม่เป็นอันตราย และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนั้น เมื่อใช้ PLA ในการพิมพ์ชิ้นงานก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ฐานวางชิ้นงานแบบร้อน แต่ถ้าใช้ความร้อนก็จะส่งผลให้ฐานของชิ้นงานมีผิวที่เรียบเนียน

ภาพที่ 2-10 เส้นพลาสติก PLA (Polylactic Acid หรือ Polylactide)
ที่มา: https://www.icst3dprinter-group.com/

เส้นพลาสติกแบบ PVA (Polyvinyl Alcohol) เป็นเส้นพลาสติกชนิดพิเศษที่มีการผสมผสานกันหลายสี ใช้อุณหภูมิที่หัวฉีดพลาสติกอยู่ที่ 190 องศาเซลเซียส วัสดุแบบนี้ละลาย

น้ำได้ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเส้นพลาสติกชนิดนี้อาจจะต้องระวังเรื่องความชื้น เพราะอาจส่งผลใช้ชิ้นงานสลายไปได้

ภาพที่ 2-11 เส้นพลาสติกประเภท PVA (Polyvinyl Alcohol)
ที่มา: https://www.icst3dprinter-group.com/

สรุปผลจากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเส้นพลาสติก พบว่าเส้นพลาสติกมีหลากหลายประเภทให้ผู้ใช้ได้เลือกใช้ตามความเหมาะสม กับคุณสมบัติต่าง ๆ ของพลาสติกแต่ละประเภท เพื่อให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้เส้นพลาสติกประเภทนั้น ๆ ที่พิมพ์จากเครื่อง 3 มิติ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้เส้นพลาสติกประเภท PLA ในกระบวนการทดลอง

2.2.3 โปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ควบคุมเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

หลักจากได้กล่าวถึงฮาร์ดแวร์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติไปแล้ว ลำดับต่อไปเป็นเรื่องของโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมเครื่องพิมพ์ 3มิติ ซึ่งมีทั้งในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ระบบ PID ของการควบคุมความร้อนของหัวฉีดร้อนหรือฐานวางชิ้นงานแบบร้อน เครื่องพิมพ์ 3 มิติแต่ละยี่ห้อจะมีการควบคุมเป็นของตนเอง ในส่วนของซอฟต์แวร์ในคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ มีด้วยกัน 2 ตัวหลักๆ คือ ซอฟต์แวร์สร้างแบบ 3 มิติ และซอฟต์แวร์แปลงแบบ 3 มิติเป็นไฟล์ G-code

ซอฟต์แวร์สร้างแบบ 3 มิติแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1) แบบเชิงพาณิชย์

มีให้เลือกหลายตัว เช่น Solid work, AutoCAD, Autodesk, Rhinoceros หรือ Sketch up ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องจัดซื้อเพื่อให้ได้ซอฟต์แวร์เหล่านี้

มาใช้งานอย่างถูกต้อง บางตัวอาจมีให้ทดลองใช้งานฟรีในระยะเวลาจำกัด

2) แบบฟรีแวร์

ในกรณีไม่ใช้โปรแกรมแบบพาณิชย์ที่จำหน่ายโดยตัวแทนบริษัทจำหน่ายทั่วไปผู้ ใช้งานก็ยังคงสามารถออกแบบสร้างชิ้นงาน 3 มิติ โดยไม่ใช้ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ได้ โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ซอฟต์แวร์ในกลุ่มฟรีแวร์ หรือแบบโอเพ่นซอร์ส หากแต่ฟังก์ชั่นการใช้งานอาจมีไม่ครบถ้วนเท่า แต่ก็ใช้สร้างชิ้นงาน 3 มิติได้ในระดับหนึ่ง มีผู้พัฒนาหลากหลาย ตัวที่สะดวกมากที่สุดตอนนี้คือ ซอฟต์แวร์วาดชิ้นงาน 3 มิติ ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เก็บข้อมูลไว้ในระบบ Cloud ทำให้เข้าถึงการใช้งานได้ทุกที่ที่มีคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต หรือสมาร์ทโฟน และเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ในที่นี้ขอยกตัวอย่าง 2 โปรแกรมคือ

1) AUTODESK 123D DESIGN

ทางแบนร์ด Autodesk ได้พัฒนาขึ้นมาให้ใช้งานสะดวก อีกทั้งยังใช้งานได้ทุกแพลตฟอร์ม ด้วย จะต้องทำการสมัครลงทะเบียนก่อน จึงใช้งานได้ มี User เอาไว้จัดการไฟล์ของตัวเอง เผยแพร่ไฟล์เป็นสาธารณะได้ มีฟังก์ชั่นให้ใช้สร้างชิ้นงาน 3 มิติได้ในระดับหนึ่ง โดยความละเอียดของชิ้นงานจะอยู่ในระดับ 0.1 เซนติเมตร

2) TINKERCAD

เป็นซอฟต์แวร์ที่พัฒนามาจาก Autodesk มีฟังก์ชั่นการใช้งานที่หลากหลาย เช่น สร้างแบบชิ้นงาน 3มิติจากรูปแบบที่ได้กำหนดมาแล้ว หรือจะเป็นสคริปต์ไฟล์ รองรับการนำไฟล์ชิ้นงาน 3 มิติที่สร้างจากซอฟต์แวร์อื่นมาปรับปรุงแก้ไข ต้องสมัครลงทะเบียนก่อนจึงใช้งานได้ มี User เอาไว้จัดการไฟล์ของตัวเองเผยแพร่ไฟล์งานผ่านเว็บไซต์ของ Thingiverse (http://www.thingiverse.com) ได้ ซึ่งว่ากันว่า เป็นแหล่งรวมไฟล์ ชิ้นงาน 3 มิติที่ใหญ่มาก และมีการแบ่งปันไฟล์กันมากที่สุดในโลก

สำหรับการสั่งงานพิมพ์เครื่อง 3 มิติ ไม่ว่าผู้ใช้งานจะใช้โปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ใดในการออกแบบชิ้นงาน 3 มิติ เมื่อเสร็จแล้วจะต้องทำให้ได้ไฟล์ .STL ออกมา เพื่อนำเข้าไปสู่กระบวนการแปลงเป็นไฟล์ G-code เพื่อสั่งพิมพ์งานในลำดับต่อไป

ซอฟต์แวร์แปลงแบบ 3 มิติเป็นไฟล์ G-code ผู้พัฒนาเครื่องพิมพ์ 3 มิติหลายแห่งได้พัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับแปลงไฟล์ชิ้นงาน 3 มิติให้กลายเป็นไฟล์ G-code เพื่อนำไปควบคุมเครื่องพิมพ์ 3มิติ ให้สร้างชิ้นงานออกมาตามที่ออกแบบไว้ บางตัวสามารถแปลงไฟล์ .STL เป็น G-code อย่างเดียว บางตัวอาจรวมไปถึงการควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องพิมพ์ผ่านพอร์ต USB หรือนำไฟล์ G-code ใส่ลงใน SD การ์ด แล้วนำไปเสียบที่เครื่องพิมพ์ 3 มิติ แล้วให้เครื่องอ่านไฟล์ G-code เพื่อทำงานเองก็ได้ ตัวอย่างซอฟต์แวร์ที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย มีดังนี้

Repetier Host

เป็นซอฟต์แวร์ที่แปลงไฟล์ .STL เป็นไฟล์ .gco (ไฟล์ G-code ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องพิมพ์ของตัวเอง) สามารถปรับเปลี่ยนตำแหน่ง แนวการวางชิ้นงาน และขนาดได้ แล้วทำการส่งไฟล์เอาต์พุตหรือ export ออกไป ข้อมูลของไฟล์ใช้ควบคุมความละเอียดความหนาแน่นของพื้นผิวตัน (Infill) ปรับอุณหภูมิของหัวฉีดให้เหมาะกับวัสดุที่ใช้ สร้างส่วนรองรับชิ้นงาน ตลอดจนกำหนดความเร็วในการฉีดไฟล์เอาต์พุตจะถูกคัดลอกลงใน SD การ์ด แล้วนำไปเสียบยังเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เพื่ออ่านไฟล์ แล้วพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติต่อไป

Pronterface

เป็นอีกหนึ่งซอฟต์แวร์ที่พัฒนาให้มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง ปรับแต่ง ตั้งค่าได้อย่างอิสระจึงเหมาะกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบโอเพ่นซอร์ส เช่น RepRap หรือรุ่นอื่น ๆ เพียงตั้งค่าให้เหมาะสมกับเครื่องพิมพ์ที่ทำการพัฒนาขึ้นเท่านั้น ตัวซอฟต์แวร์มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนตำแหน่ง แนวการวางชิ้นงาน ขนาดของชิ้นงาน แปลงไฟล์ .STL เป็น G-code ควบคุมตำแหน่งของระบบเคลื่อนที่ในระนาบต่าง ๆ ของเครื่องพิมพ์ ควบคุมการให้ความร้อนและอุณหภูมิของหัวฉีดร้อนและฐานวางชิ้นงานแบบร้อนผ่าน GUI ของซอฟต์แวร์ได้ และมีกราฟแสดงค่าอุณหภูมิตลอดการทำงาน เชื่อมต่อกับเครื่องพิมพ์ผ่านพอร์ต USB หรือนำไฟล์เอาต์พุตคัดลอกลงใน SD การ์ด เพื่อนำไปเสียบที่เครื่องพิมพ์ 3 มิติแล้วพิมพ์ชิ้นงานต่อไป

Cura

เป็นซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมาให้ใช้งานกับเครื่องพิมพ์ของ Ultimaker และใช้งานกับเครื่องพิมพ์แบบโอเพ่นซอร์สได้ด้วย มีการตั้งค่าที่เหมาะสมกับแต่ละเครื่องพิมพ์ มีความสามารถเหมือนกับ Pronterface

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นโครงการวิจัยนำร่อง ในที่นี้หมายถึงยังไม่ปรากฏนักวิจัยที่พัฒนาวิจัยเฉพาะทางที่ศึกษา วิจัยด้านการนำวัตถุดิบจากธรรมชาติ มาพัฒนาหาอัตราส่วนผสมเทคนิคการเคลือบผิว ที่ใช้ในวงการการพิมพ์ด้วยเครื่อง 3 มิติ และการผลิตแม่พิมพ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทบทวนวรรณกรรมจากผลการวิจัยที่มีความเชื่อมโยง เกี่ยวข้องในเพียงบางส่วน ดังข้อมูลผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

สุทธิลักษณ์ พุ่งมณีสกุล, อนุวัตร แจ้งชัด และกมลวรรณ แจ้งชัด. (2552). ได้ทำวิจัยเรื่องการพัฒนาสารเคลือบผิวไบเลเยอร์และสารเคลือบผิวหลายองค์ประกอบเพื่อลดการสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติและพัฒนาสาร

เคลือบผิวที่มีความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและลดการสูญเสียน้ำหนักของส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง โดยในขั้นตอนการเลือกสารเคลือบผิว พบว่าสารเคลือบผิวหลายองค์ประกอบสามารถลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้งได้ดีว่าสารเคลือตัวเดียว ประกอบไปด้วยคาร์นูบาร์ แว็กซ์ น้ำกลั่น กรดโอเลอิก และมอร์ฟอลีน ส่งผลให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานดีขึ้น 12 % สามารถเก็บไว้ได้ในอุณหภูมิห้อง และเก็บไว้ได้นาน 15 วัน

อนันต์ พิริยะภัทรกิจ, จิตตา สาตร์เพ็ชร์, มยุรา ล้านไชย, อนวัช สุวรรณกุล และคะนึงนิจ บุศราคำ. (2560) ได้ทำวิจัยเรื่องประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวจากบุกเพื่อรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและยืดอายุการเก็บรักษาผลส้มเขียวหวาน วัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อลดการนำเข้าสารเคลือบผิวจากต่างประเทศ และยืดอายุส้มเขียวหวาน ผลการวิจัยพบว่าสารเคลือบผิวหลักคือผงบุกร้อยละ 0.5 และผลิตภัณฑ์สารเคลือบผิว ผลการวิจัยพบว่าส่วนผสมสารเคลือบผิวสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลส้มเขียวหวานได้นาน 42 วัน

สรุปการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าวัตถุประสงค์ของการเคลือบผิวในผลิตทางการเกษตรคือการค้นหา วัตถุดิบจากธรรมชาติที่มีสมบัติในการเคลือบปิดกัน ป้องกันความชื้นจากภายในผลไม้ออก มีการใช้ไขจากคาร์นูบาร์ แว็กซ์ร่วมกับตัวทำละลายมาพัฒนาเป็นสารเคลือบ โดยใช้ในปริมาณไม่มาก ซึ่งอาจมีความแตกต่างจากวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้ แต่สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อการเชื่อมโยงด้วยแนวคิด หลักการที่สอดคล้องกันได้ในเบื้องต้น

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องการเคลือบผิวงานต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ในระบบหัวฉีดเส้นพลาสติก PLA ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้ ข้อ 1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนสารเคลือบผิวและตัวทำละลายที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีความเหมาะสมกับพลาสติก PLA ข้อ 2. เพื่อทดลองสร้างองค์ความรู้ด้านเทคนิคการเคลือบผิวต้นแบบจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ข้อ 3. เพื่อออกแบบและทดลองผลิตแม่พิมพ์จากต้นแบบที่เคลือบผิวด้วยสูตรที่เหมาะสม

ดังนั้นเพื่อให้การการศึกษาวิจัยให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขั้นตอน ในการดำเนินการออกเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของวัตถุดิบที่จะเลือกนำมาใช้ในงานวิจัย

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาทดลองอัตราส่วนผสม

ขั้นตอนที่ 3 การเคลือบผลงานต้นแบบและการทดลองผลิตแม่พิมพ์

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของวัตถุดิบที่จะเลือกนำมาใช้ในงานวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมในบทที่ 2 พบว่าวัตถุดิบจากธรรมชาติที่เหมาะสมในการนำมาเป็นวัตถุดิบผสมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับเนื้อเคลือบ มีวัตถุดิบ 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

ยางสน (Rosin) มีจุดหลอมละลายที่ประมาณ 85-90 องศาเซลเซียส หลอมโดยใช้ความร้อนจากเตาไฟฟ้า เพื่อสะดวกต่อการปรับตั้งอุณหภูมิตามที่ต้องการ ยางสนรู้จักกันดีในชื่อ Colophony การเก็บยางสนจะได้จากต้นสนที่ยังมีชีวิตอยู่ ด้วยวิธีคล้ายคลึงกับวิธีการเก็บน้ำหวาน (Syrup) จากต้นเมเปิ้ล ซึ่งวิธีนี้จะไม่เป็นอันตรายต่อต้นไม้ ในขั้นตอนแรกจะบากเปลือกไม้ออกก่อน หลังจากนั้นจะฝังท่อโลหะและภาชนะสำหรับใส่ยางสน ในขั้นตอนสุดท้ายจะบากต้นไม้เป็นรูปตัว V เหนือท่อโลหะ มีความกว้างประมาณ 1 เซนติเมตร ร่องบากนี้จะช่วยให้น้ำยางสนไหลลงสู่ภาชนะที่เตรียมไว้ ซึ่งในกรณีการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ยางสนจากบริษัทตัวแทนจำหน่ายที่มีคุณภาพสูง

ภาพที่ 3-1 ยางสนก้อน
ที่มา: https://thai.alibaba.com/product-detail/colophony-gum-rosin

คาร์นูบาร์ แว็กซ์ (Carnauba wax) มีจุดหลอมละลายที่ประมาณ 82-86 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงไม่หลอมละลายหรืออ่อนตัวในอุณหภูมิห้อง เป็นไขที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งผลิตจากต้นปาล์มของบราซิล ที่มีชื่อว่า Copernicia cerifera ด้วยสมบัติการหลอมและให้พื้นผิวสัมผัสที่เรียบเนียนมีความเงา จึงสามารถนำไปประยุกต์ผสมกับสารหรือวัตถุดิบตัวอื่น ๆ แล้วใช้เป็นเคลือบผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 3-2 คาร์นูบาร์ชนิดเกร็ด
ที่มา: https://www.patcharapa.com/ingredient/carnauba-wax

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาทดลองอัตราส่วนผสม

เมื่อได้วัตถุดิบธรรมชาติ 2 ชนิดตามขั้นตอนที่ 1 แล้ว ผู้วิจัยได้ใช้ทฤษฎีเส้นตรง (Line blend) เพื่อกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างวัตถุดิบ 2 ชนิด คือ คาร์นูบาร์ แว็กซ์ และ ยางสน โดยมีอัตราส่วนผสม ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3-1 อัตราส่วนผสมวัตถุดิบ 2 ชนิด

Low Materials	CR01	CR02	CR03	CR04	CR05	CR06	CR07	CR08	CR09
Carnauba	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Rosin	90	80	70	60	50	40	30	20	10

ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

เมื่อกำหนดอัตราส่วนผสมเป็นร้อยละแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการเตรียมส่วนผสมวัตถุดิบ โดยการชั่งน้ำหนักส่วนผสมทั้ง 2 ชนิด ในปริมาณ 25 กรัม จำนวน 9 สูตร และผสมให้วัตถุดิบเข้ากันด้วยการหลอมละลาย ใช้เตาไฟฟ้าอุณหภูมิ ไม่เกิน 90 องศาเซลเซียส ดังภาพต่อไปนี้

ภาพที่ 3-3 เตรียมวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดโดยการชั่งน้ำหนัก ใช้หน่วยเป็นกรัม
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

ภาพที่ 3-4 ชั่งน้ำหนักส่วนผสมทั้ง 2 ชนิด ปริมาณ 25 กรัม/สูตร
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

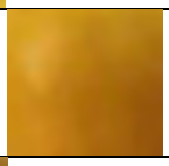
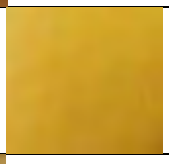
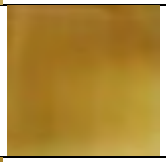
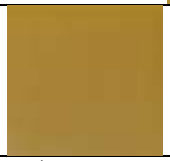
ชั่งน้ำหนักเตรียมส่วนผสมทั้ง 9 สูตร โดยใช้สูตรละ 25 กรัม เพื่อเตรียมนำไปผสมให้ส่วนผสมทั้ง 2 ชนิดละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเตาไฟฟ้า ควบคุมอุณหภูมิให้ความร้อนอยู่ระหว่าง 90 – 95 องศาเซลเซียส ระยะเวลาหลอม ประมาณ 30 นาที (ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหนักและขนาดของวัตถุดิบ)

ภาพที่ 3-5 เตาไฟฟ้าสำหรับใช้การหลอมละลายส่วนผสมวัตถุดิบ
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

ภาพที่ 3-6 ตรวจสอบอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอม (ซ้าย) ส่วนผสมหลอมละลายและเข้ากันดีแล้ว (ขวา)
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

จากภาพที่ 3-6 ควบคุมความร้อนให้อยู่ในอุณหภูมิตามกำหนด ก่อนนำไปใช้สำหรับการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ ก่อนนำไปใช้เคลือบควรทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที เพื่อให้เคลือบแว็กซ์มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ

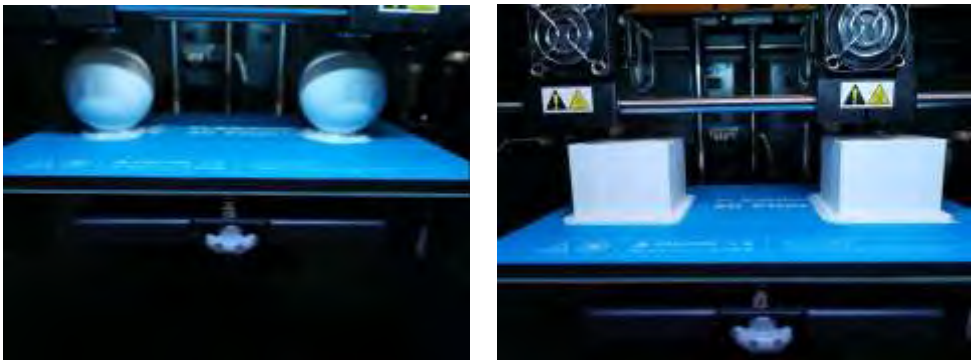
ตารางที่ 3-2 ลักษะพื้นผิวเคลือบหลังทดลองชุบบนพื้นผิววัสดุพลาสติก PLA

No.	รูปภาพ	ลักษณะทางกายภาพ	หมายเหตุ
CR01		ผิวเรียบ เงา เนื้อผิวแข็ง เคลือบผิวบาง สีน้ำตาลโปร่งใส	ใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาชุบ 1 วินาที
CR02		ผิวเรียบ เงา เนื้อผิวแข็ง เคลือบผิวบาง สีน้ำตาลโปร่งใส	ใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาชุบ 1 วินาที
CR03		ผิวเรียบ เงา เนื้อผิวแข็ง เคลือบผิวบาง สีน้ำตาลโปร่งใส	ใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาชุบ 1 วินาที
CR04		ผิวเรียบ เงา เนื้อผิวแข็ง เคลือบผิวบาง สีน้ำตาลกึ่งโปร่งใส	ใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาชุบ 1 วินาที
CR05		ผิวเรียบ เงา เนื้อผิวแข็ง เคลือบผิวบาง พื้นผิวมีฟองอากาศเล็กน้อย สีน้ำตาลกึ่งโปร่งใส	ใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาชุบ 1 วินาที
CR06		ผิวเรียบ กึ่งเงา เนื้อผิวแข็ง เคลือบผิวหนา สีน้ำตาลกึ่งโปร่งใส	ใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาชุบ 1 วินาที
CR07		ผิวเรียบ กึ่งเงา เนื้อผิวแข็ง เคลือบผิวหนา สีน้ำตาลกึ่งโปร่งใส	ใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาชุบ 1 วินาที
CR08		ผิวเรียบ กึ่งเงา เนื้อผิวแข็ง เคลือบผิวหนา สีน้ำตาลทึบ	ใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาชุบ 1 วินาที
CR09		ผิวเรียบ กึ่งเงา เนื้อผิวแข็ง เคลือบผิวหนา สีน้ำตาลทึบ	ใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาชุบ 1 วินาที

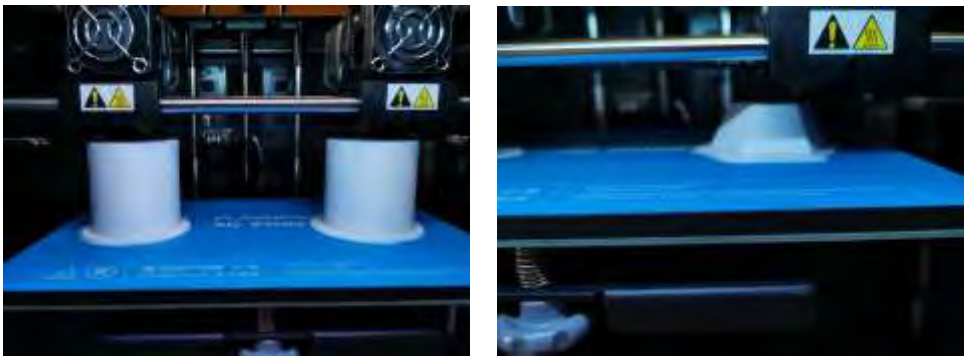
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

ขั้นตอนที่ 3 การทดลองเคลือบผลงานต้นแบบ

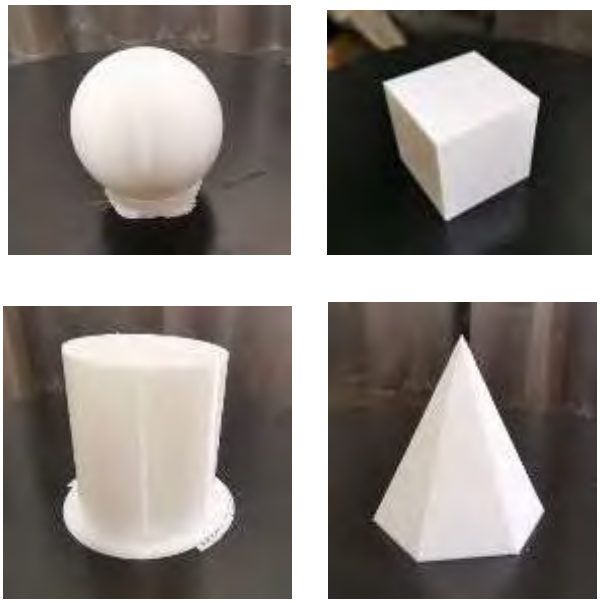
ในการดำเนินงานในขั้นตอนที่ 3 การทดลองเคลือบผลงานต้นแบบ ผู้วิจัยได้ขึ้นรูปต้นแบบ 3 มิติ แล้วสั่งพิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเส้นพลาสติก PLA ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตร จำนวน 4 รูปทรง คือ รูปทรงกลม รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส รูปทรงกระบอก และรูปทรงกรวยหกเหลี่ยม จากนั้นนำไปทดลองชุบเคลือบผิวตามขั้นตอนดังภาพต่อไปนี้



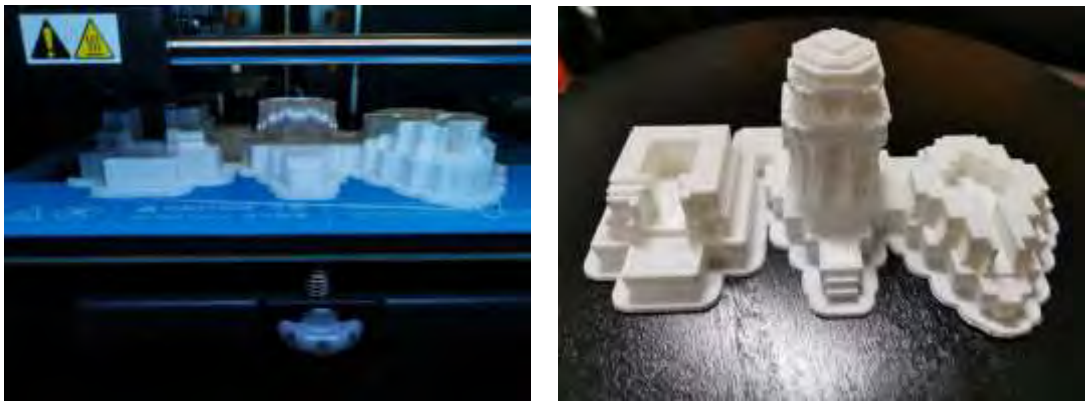
ภาพที่ 3-7 ผลิตภัณฑ์รูปทรงกลม (ซ้าย) และผลิตภัณฑ์รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ขวา)
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง



ภาพที่ 3-8 ผลิตภัณฑ์รูปทรงกระบอก (ซ้าย) และผลิตภัณฑ์รูปทรงกรวยหกเหลี่ยม (ขวา)
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง



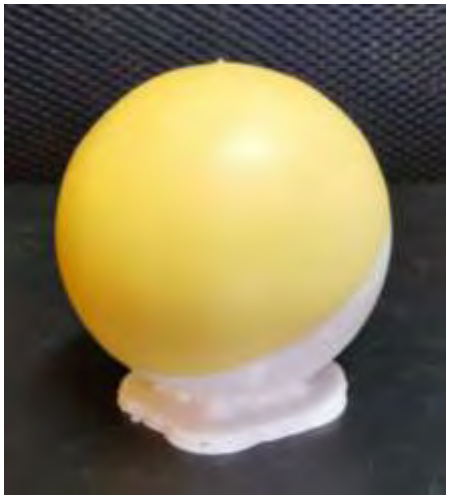
ภาพที่ 3-9 ผลิตภัณฑ์สำหรับนำไปทดลองชุบเคลือบผิว
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง



ภาพที่ 3-10 ต้นแบบโบราณสถานจำลอง
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

ผลิตภัณฑ์ที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ผู้วิจัยได้ทดสอบการยึดติดพื้นผิวของเคลือบ ด้วยรูปทรงกลม รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังภาพที่ 3-6 และรูปทรงกระบอก รูปทรงกรวยหกเหลี่ยม ดังภาพที่ 3-7 เพื่อทดสอบการติดผิวและการไหลของแว็กซ์เคลือบ ขนาดประมาณ 5x5x5 เซนติเมตร และในภาพที่ 3-10 เป็นการขึ้นรูปต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปทดลองเคลือบผิวเพื่อผลิตแม่พิมพ์

จากตารางที่ 3-2 ลักษะพื้นผิวเคลือบหลังทดลองชุบบนพื้นผิววัสดุพลาสติก PLA เมื่อวิเคราะห์ผลทางกายภาพแล้วพบว่าสูตรที่มีความเหมาะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเคลือบได้หลายสูตร เช่น สูตร CR07, CR08 และ CR09 เนื่องจากในอัตราส่วนผสมมีอัตราส่วนของวัตถุดิบ คาร์นูบาร์แว็กซ์ ร้อยละ 70 ขึ้นไปจะมีความเข้มข้นของปริมาณเนื้อไขที่เหมาะสม และอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมส่วนผสมสามารถใช้ได้ตั้งแต่ 80 องศาเซลเซียสขึ้นไป แต่ควรควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 95 องศาเซลเซียส สำหรับในการคัดเลือกมาเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ต้นแบบครั้งนี้ได้ใช้ CR09* ในระยะทดลองครั้งแรกและสูตร CR09 ในระยะทดลองครั้งที่สองเนื่องผลหลังการเคลือบผิวมีความเรียบและมีความหนาของเนื้อไข สามารถเคลือบรายละเอียดพื้นผิวเล็ก ๆ ได้ดี มีความแข็งแรง ทนทานต่อการขูดขีด ปรากฏดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 3-11 ทดลองเคลือบผิว รูปทรงกลม
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

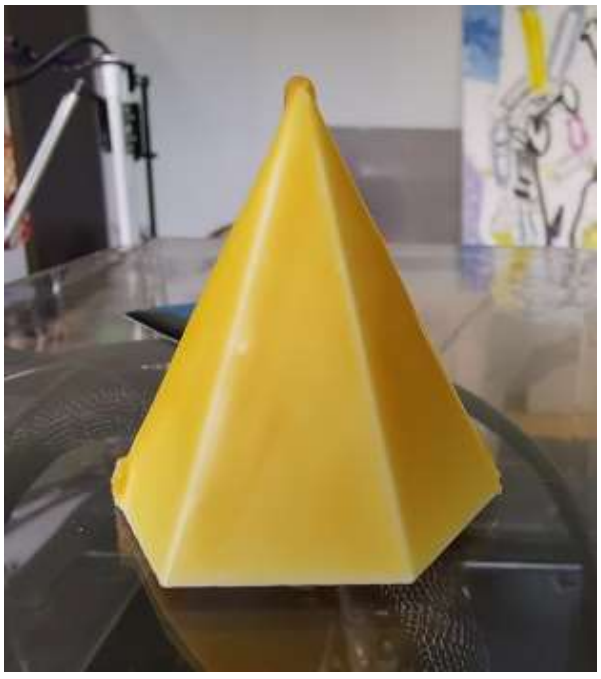
ภาพที่ 3-12 ทดลองเคลือบผิว รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

ภาพที่ 3-13 ทดลองเคลือบผิว รูปทรงกระบอก
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

ภาพที่ 3-14 ทดลองเคลือบผิว รูปทรงกรวยหกเหลี่ยม
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

จากการทดลองชุบเคลือบด้วยสูตร CR09 กับรูปทรงเรขาคณิต จำนวน 4 แบบ โดยการชุบจะชุบเคลือบ 3 ใน 4 ส่วน เพื่อให้เปรียบเทียบความแตกต่างและสามารถสังเกตความหนาของเนื้อเคลือบได้ ในส่วนที่มีผิวไม่เรียบเป็นรอยนูนเนื่องจากการแข็งตัวของเนื้อไขระหว่างการไหลจึงทำให้เกิดเป็นรอยนูน แต่รอยนูนที่เกิดขึ้นนี้ สามารถแก้ไขได้โดยการใช้มีดตัดหรือเฉือนรอยนูนออก แล้วให้ความร้อนบริเวณนั้นจะทำให้พื้นที่บริเวณรอยนูนหลอมละลายมีพื้นผิวที่เรียบเสมอกัน

ภาพที่ 3-15 ทดลองเคลือบผิวทั้งหมด ผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นผิวโค้ง
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง



ภาพที่ 3-16 ทดลองเคลือบผิวทั้งหมด ผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นผิวเป็นเหลี่ยม
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

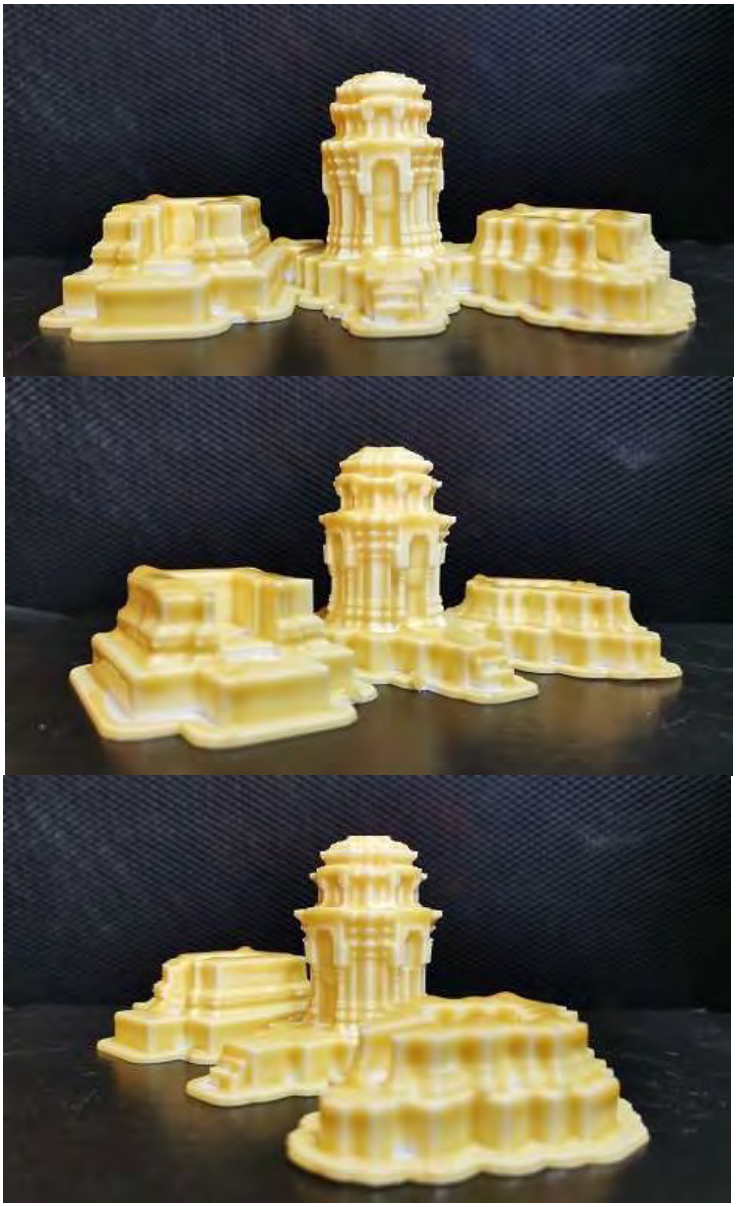
เมื่อทดลองเคลือบด้วยรูปทรงเรขาคณิตแล้ว พบว่าอัตราส่วนผสมและกระบวนการเคลือบมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ต้นแบบขนาดเล็ก และจะได้ผลดีกับพื้นผิวโค้ง สำหรับพื้นผิวที่เป็นเหลี่ยมจะเห็นรอยความหนา บางของเคลือบไม่เท่ากัน แต่เมื่อใช้มือสัมผัส พบว่าพื้นผิวยังคงมีความเรียบเนียนเสมอกันอยู่ จากนั้นผู้วิจัยจึงดำเนินการเคลือบผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่มีพื้นผิวซับซ้อนที่ได้พิมพ์จากเครื่อง 3 มิติ ดังภาพที่ 3-10 ผลการดำเนินงานปรากฏดังภาพต่อไปนี้

ภาพที่ 3-17 เตรียมอุ่นเคลือบ (ซ้าย) เคลือบที่หลอมละลายและส่วนผสมเข้ากันดีแล้ว (ขวา)
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

ภาพที่ 3-18 ชุบเคลือบ ใช้เวลาประมาณ 1 วินาที
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

ข้อควรระวังในการชุบคือต้องเตรียมภาชนะที่มีความกว้างและความลึกเพียงพอที่ผลิตภัณฑ์ต้นแบบจะสามารถจุ่มลงไปได้โดยทั่วถึง และควบคุมความร้อนให้อยู่ในระดับอ่อนถึงปานกลาง เพื่อ

ป้องกันเคลือบร้อนเกิน ทำให้ไหม้ติดภาชนะ เมื่อเคลือบหลอมละลายแล้วสามารถปิดเตาไฟฟ้าได้ โดยจะมีระยะเวลาให้ดำเนินการชุบเคลือบประมาณ 30-40 นาที เพราะฉนั้นต้องเตรียมความพร้อมของผลิตภัณฑ์ต้นแบบให้เรียบร้อย เพราะเมื่อเคลือบเริ่มเย็นตัวจะค่อย ๆ เกิดความข้นขึ้นตามลำดับส่งผลให้เคลือบมีความหนาเพิ่มขึ้น และจะมีร่องรอยนูนของการไหลตัวชัดขึ้น ทำให้ต้องใช้เวลาในการตัดเฉือนและตกแต่งผิวให้เรียบร้อยนานขึ้น



ภาพที่ 3-19 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบโบราณสถานจำลองที่ผ่านการเคลือบผิว
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

ภาพที่ 3-20 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบอุปกรณ์มือจับ
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

เมื่อได้ทำการเคลือบผิวเสร็จแล้ว ตรวจสอบผิวผลิตภัณฑ์ให้ทั่วถึงทุกส่วนของพื้นผิว ว่ามีเคลือบปิดผิวต้นแบบทั่วถึงและเรียบสม่ำเสมอหรือยัง ในกรณีที่มีบางตำแหน่งของผิวผลิตภัณฑ์เคลือบไม่ทั่วถึง ให้ใช้พู่กันจุ่มเคลือบแล้วนำมาป้ายที่พื้นผิวบริเวณที่ยังไม่มีเคลือบ

การทดลองผลิตแม่พิมพ์ ผู้วิจัยได้เลือกต้นแบบที่มีความซับซ้อนมาทดลองผลิตแม่พิมพ์ด้วยซิลิโคน เพื่อใช้เป็นแม่พิมพ์ในการเทเรซิ่น ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

ภาพที่ 3-21 แม่พิมพ์ซิลิโคน
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

ภาพที่ 3-22 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเทเรซิ่น
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

สรุปการดำเนินงานวิจัย จากการดำเนินการวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน พบว่า วัตถุดิบที่ 2 ชนิดที่เลือกใช้คือ คาร์นูบาร์ แว็กซ์ กับ ยางสน ใช้อัตราส่วนผสมคาร์นูบาร์ แว็กซ์ ร้อยละ 90 และยางสนร้อยละ 10 ใช้ความร้อนในการอุ่นให้หลอมละลายที่ 90-95 องศาเซลเซียส ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มอุ่นจนวัตถุดิบละลายเข้ากัน อยู่ที่ประมาณ 30 นาที ใช้ระยะเวลาในชุบ 1 วินาที

การผลิตแม่พิมพ์ใช้ซิลิโคน โดยการกั้นพิมพ์เป็นพิมพ์ชิ้นเดียว ดังภาพที่ 3-21 เมื่อซิลิโคนแข็งตัวแล้ว ทดลองเทเพื่อการผลิตโดยใช้เรซิ่นผสมสี ผสมผงทัลคัม เทลงแม่พิมพ์ทิ้งไว้ให้แข็งตัวประมาณ 2 ชั่วโมงจากนั้นแกะแม่พิมพ์ซิลิโคนออกจะได้ผลิตภัณฑ์ดังภาพที่ 3-22 จากนั้นนำมาขัดแต่งให้เรียบร้อยก็สามารถนำไปขยายผลต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยเรื่องการเคลือบผิวงานต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ในระบบหัวฉีดเส้นพลาสติก PLA ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าผลการดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ผลการศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของวัตถุดิบที่จะเลือกนำมาใช้ในงานวิจัย

วัตถุดิบธรรมชาติที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาเป็นวัตถุดิบหลักเพื่อการเคลือบผิว ได้แก่ คาร์นูบาร์ แว็กซ์ เป็นไขที่ผลิตจากปาล์มของประเทศบราซิล ที่มีชื่อว่า Copernicia cerifera มีจำหน่ายตามร้านเคมีภัณฑ์ทั่วไป หาซื้อได้ง่าย มีลักษณะทางกายภาพส่วนใหญ่เป็นแผ่นเกร็ดมีหลายขนาด จุดเด่นที่เหมาะสมในการเลือกทำเป็นวัตถุดิบหลักในครั้งนี้ คือมีเนื้อไขที่แข็งกว่าไขจากขี้ผึ้งทั่วไป ไม่หลอมตัวในอุณหภูมิห้อง เมื่อถูกหลอมให้เหลวด้วยความร้อนประมาณ 90-95 องศาเซลเซียส ระยะเวลาประมาณ 30 นาที แผ่นเกร็ดแข็ง ๆ จะหลอมตัวเปลี่ยนเป็นสถานะของเหลว และมีสมบัติในการเกิดฟิล์มเคลือบเนื้อเนียน เรียบ เงา โดยทั่ว ไป คาร์นูบาร์ แว็กซ์แบ่งเป็น 3 ชนิด ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์และสี ชนิดที่หนึ่ง T1 จะมีความบริสุทธิ์มากที่สุด เนื่องจากผ่านกระบวนการกรองหลายครั้งและมีกระบวนการดึงสีและกลิ่นจากธรรมชาติออก จนเนื้อไขเป็นสีขาวใส ดังนั้นจึงมีต้นทุนการผลิตที่สูง ราคาจำหน่ายจึงสูงกว่าชนิดอื่น ๆ ชนิดที่สอง T2 ผ่านขั้นตอนกระบวนการกรองและการดึงสี กลิ่นที่น้อยครั้งกว่า แต่ยังคงจัดอยู่ในเกรดทีมีคุณภาพระดับสูงอยู่ และ ชนิดที่สาม T3 ผ่านกระบวนการกองด้วยระบบธรรมชาติสีที่ได้มีค่อนข้างเข้ม แต่ด้านความทดทาน ความเงา ความเนียนเรียบของผิวสัมผัสที่ได้ยังคงเหมือนกันทุกประการ

ยางสน (Rosin) เสริมความแข็งแรงให้เนื้อเคลือบได้เป็นอย่างดี สามารถละลายได้ด้วยความร้อน มีจุดหลอมละลายประมาณ 85-90 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับคาร์นูบาร์ แว็กซ์ เป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติที่หาซื้อได้ง่าย มีจำหน่ายในตลาดออนไลน์ มีทั้งชนิดผง และแบบเป็นก้อน ยางสนหรือชันสนเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันสนออกจากยางสนด้วยระบบไอน้ำ แบ่งออกตามลักษณะของสีได้ 4 ชนิด คือ สีอ่อนมาก สีอ่อน สีปานกลาง และสีเข้ม เทียบกับมาตรฐานสีการ์ดเนอร์

ขั้นตอนที่ 2 ผลการศึกษาทดลองอัตราส่วนผสม

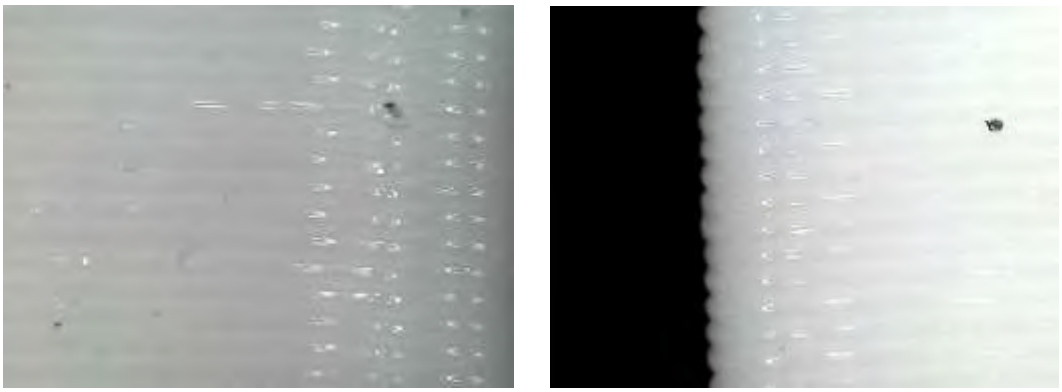
จากตารางที่ 3-1 อัตราส่วนผสมวัตถุดิบ 2 ชนิด คือ คาร์นูบาร์ แว็กซ์ และ ยางสน ผลการดำเนินงานพบว่า การใช้ประโยชน์ด้านการเคลือบผิว สามารถนำไปใช้ได้หลายสูตร เช่น สูตรที่ CR07, CR08 และ CR09 และสูตรที่เหมาะสมที่สุดที่ผู้วิจัยได้เลือกมาใช้คือสูตรที่ CR09 โดยมีอัตราส่วนผสม คือ คาร์นูบาร์ แว็กซ์ ร้อยละ 90 และ ยางสน ร้อยละ 10 เนื่องจากผิวของต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ จะมีชั้น (layer) ของเส้นพลาสติก PLA ที่หลอมละลายติดกันเป็นชั้น ๆ ดังนั้น

จึงต้องการเนื้อเคลือบที่มีเนื้อครีมที่ได้จากคาร์นูบาร์ แว็กซ์ผสมอยู่ในเนื้อเคลือบในปริมาณสัดส่วนที่มาก ในขณะเดียวกันต้องมีผสมผสมของยางสนเพื่อเสริมให้เนื้อเคลือบมีความแข็งแรงของเนื้อและผิวหน้าเคลือบทนต่อการนำต้นแบบไปผลิตแม่พิมพ์

ใช้ความร้อนจากเตาไฟฟ้าในการหลอมละลายวัตถุดิบทั้งสองชนิดให้ผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวด้วยอุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลา 30 นาทีในการหลอมละลาย ใช้ระยะเวลาในการชุบ 1 วินาที

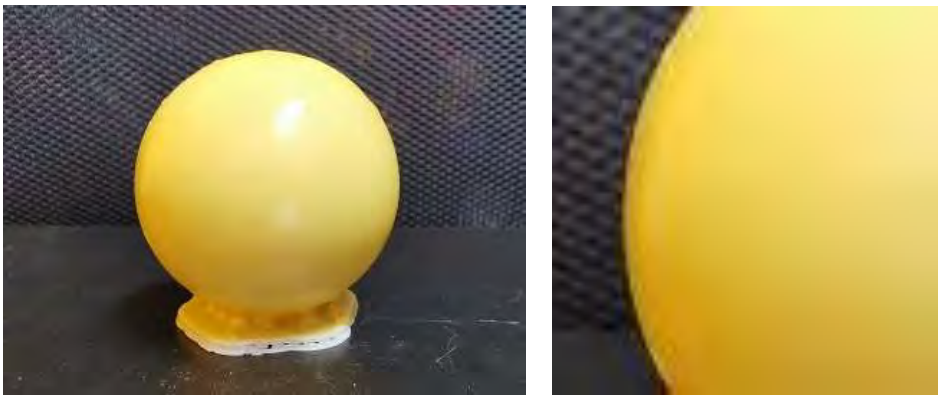
ขั้นตอนที่ 3 ผลการเคลือบผลงานต้นแบบการทดลองผลิตแม่พิมพ์

ผลการเคลือบผลิตภัณฑ์ต้นแบบพบว่า เนื้อเคลือบเมื่อเย็นตัวสามารถเป็นแผ่นฟิล์มหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ผิวเรียบเนียนสามารถเคลือบปิดบังชั้นเส้นพลาสติกได้เป็นอย่างดี ในกรณีผิวเคลือบมีรอยนูนจากการไหลตัวของเคลือบ สามารถแก้ไขได้โดยการใช้มีดตัดเฉือนรอยนูนนั้นออกแล้วใช้ความร้อนให้เคลือบบริเวณนั้นหลอมละลายก็จะทำให้พื้นผิวมีความสมบูรณ์ การยึดติดระหว่างเคลือบกับผิวพลาสติก มีความแข็งแรงติดแน่น สามารถนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่เคลือบแล้วไปผลิตแม่พิมพ์โดยสะดวก ดังภาพ 3-21 ในบทที่ 3 และเมื่อทดลองถอดแม่พิมพ์ซิลิโคนจากต้นแบบแล้วพบว่าพื้นผิวของแม่พิมพ์ซิลิโคนมีความเรียบเนียนเหมือนกับพื้นผิวต้นแบบ จึงสามารถนำไปใช้งานเทผลิตภัณฑ์ด้วยเรซิ่น แล้วนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในหลายมิติ เช่นผลิตภัณฑ์ที่ระลึก เพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์



ภาพที่ 4-1 ภาพขยาย 600X เพื่อสังเกตพื้นผิวผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

จากภาพที่ 4-1 จะเห็นได้ว่าเมื่อดูภาพขยายที่ได้จากการส่งกล้องขยาย 600x จะพบว่าต้นแบบที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ด้วยระบบหัวฉีด ผิวผลิตภัณฑ์ต้นแบบจะเป็นชั้น ๆ เชื่อมต่อกันไปเรื่อย ๆ ทุกชั้นจนเต็มรูปทรง ซึ่งรอยร่องลึกนั้นสามารถเป็นพื้นที่ในการยึดติดของเคลือบได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้เคลือบยึดเกาะผิวได้อย่างแน่น แข็งแรงทนต่อการนำไปใช้งานในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์



ภาพที่ 4-2 พื้นผิวหลังเคลือบ (ซ้าย) ภาพขยายพื้นผิวที่เรียบเนียน (ขวา)
ที่มา: เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

ผลจากการเคลือบผิวด้วยวัตถุดิบจากธรรมชาติ สูตร CR09 เมื่อเปรียเทียบภาพที่ 4-1 และภาพที่ 4-2 จะเห็นลักษณะทางกายภาพได้อย่างชัดเจนว่าพื้นผิวผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติด้วยระบบหัวฉีด มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเตรียมต้นแบบเพื่อผลิตในเชิงอุตสาหกรรม เคลือบมีความแข็งแรงทนต่อแรงขีดข่วน ไม่หลอมละลายในอุณหภูมิห้อง ที่สำคัญคือการเตรียมวัตถดิบไม่มีขั้นตอนที่ซับซ้อน ใช้เวลาไม่นาน สามารถซ่อมหรือแก้ไขตำหนิรอยนูนได้ด้วยความร้อน สามารถเคลือบได้กับรูปทรงที่ไม่ซับซ้อนมากไปจนถึงรูปทรงที่มีรายละเอียดพื้นผิวมากได้เป็นอย่างดี

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล ปัญหาและข้อเสนอแนะ

สรุป

การวิจัยในครั้งนี้ จากผลการดำเนินการวิจัยผู้วิจัยพบว่า วัตถุดิบธรรมชาติที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการทดลองคือวัตถุดิบที่มีสมบัติในการเกิดไข ได้แก่ คารนูบาร์ แว็กซ์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ได้จากต้นปาล์ม Copernicia cerifera ประเทศบราซิล ที่มีจำหน่ายตามร้านเคมีภัณฑ์ทั่วไป และวัตถุดิบที่มีสมบัติช่วยเสริมความแข็งแรงและการยึดติดพื้นผิว ได้แก่ ยางสน หรือชันสน ที่ได้หลังจากการกลั่นน้ำมันสนออกจากยางสนด้วยระบบไอน้ำ ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดอัตราส่วนผสมวัตถุดิบทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน โดยใช้ ทฤษฎีเส้นตรง (Line blend) ได้อัตราส่วนผสมเป็นร้อยละจำนวน 9 สูตร จากนั้นนำมาทดลองหลอมละลายและชุบเคลือบกับผลิตภัณฑ์ชิ้นทดลองเพื่อหาอัตราส่วนผสม และสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม ในการนำไปใช้เคลือบผิวต้นแบบผลิตภัณฑ์ พบว่าสูตรที่ CR09 ที่มีอัตราส่วนผสมของคาร์นูบาร์ แว็กซ์ร้อยละ 90 และ ยางสน ร้อยละ 10 ใช้อุณหภูมิในการหลอมละลายที่ 90-95 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการหลอมประมาณ 30-40 นาที เพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันและเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเส้นพลาสติก PLA นำมาเคลือบด้วยวิธีการชุบเคลือบ ใช้ระยะเวลาในการชุบ 1 วินาที เมื่อชุบแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วยพัดลมขนาดเล็ก เมื่อเย็นแล้วนำมาตรวจสอบพื้นผิวให้ทั่วผลิตภัณฑ์ ในกรณีการชุบจะขณะเย็นตัวจะมีรอยนูนของการไหลตัวของไขคาร์นูบาร์ แว็กซ์บนผิวผลิตภัณฑ์ทุกชิ้น ดังนั้นต้องทำการใช้มีดตัดเฉือนรอยนูนบนผิวผลิตภัณฑ์ออกแล้วให้ความร้อนด้วยหัวพ่นไฟเป่าบริเวณนั้นประมาณ 1-2 วินาที ระยะห่างประมาณ 15-20 เซนติเมตร จนไขหลอมละลายอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นผิวบริเวณนั้น

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวแล้ว ผู้วิจัยได้นำไปทดลองทำแม่พิมพ์ด้วยซิลิโคน เมื่อซิลิโคนแข็งตัวสามารถแกะต้นแบบออกจากแม่พิมพ์ซิลิโคนได้อย่างง่าย และผิวเคลือบบนผลิตภัณฑ์ต้นแบบไม่มีการสึกหรือเป็นรอยจากกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ เมื่อได้แม่พิมพ์ซิลิโคนแล้วได้ทดลองผลิตโดยใช้เรซิ่นผสมผงทัลคัมและสี ชิ้นงานที่ได้หลังจากการแกะแบบพิมพ์แล้วมีความเหมือนต้นแบบผลิตภัณฑ์ทั้งรายละเอียด รูปทรง สามารถนำไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

ดังนั้นความเป็นไปได้ในการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาประยุกต์ใช้ในงานผลิตต้นแบบที่ได้จากการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเส้นพลาสติก PLA จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ประกอบการ ชุมชน สถานศึกษาได้นำไปปรับใช้ต่อยอดกระบวนการได้อย่างมีประโยชน์ที่หลากหลายมิติต่อไป

อภิปรายผล

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากเป็นโครงการนำร่องด้านการใช้เคลือบจากวัตถุดิบธรรมชาติมาทดลองพัฒนาใช้เคลือบผิวผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่พิมพ์ออกมาจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ด้วยระบบหัวฉีด โดยใช้เส้นพลาสติชนิด PLA ขนาด 1.75 มิลลิเมตร จากการทบทวนวรรณกรรม การวิจัยที่มีการวิจัยในลักษณะนี้ ผู้วิจัยพบเพียงแต่การใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติในการเคลือบผิวผลไม้ หรือผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเป็นส่วนใหญ่ ยังไม่ปรากฏงานวิจัยที่เป็นไปในทิศทางที่ผู้วิจัยดำเนินการอยู่ ดังนั้นจึงดำเนินการอภิปรายผลโดยใช้ความสอดคล้องจากงานวิจัยที่พบและมีความเชื่อมโยงในส่วนของการเคลือบผิวดังต่อไปนี้

การเลือกใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติเพื่อมาใช้ในการเคลือบผิวมีความสอดคล้องด้านการเพิ่มคุณค่าให้กับวัตถุดิบจากธรรมชาติ ความปลอดภัยต่อผู้อุปโภค และความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับงานวิจัยของ อนันต์ พิริยะภัทรกิจ และคณะฯ(2560) เรื่องประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวจากบุกเพื่อรักษาคุณภาพหลักเก็บเกี่ยวและยืดอายุการเก็บรักษาผลส้มเขียวหวาน

จากการทดลองพัฒนาโดยใช้ไขจากคาร์นูบาร์ แว็กซ์ มาเคลือบบนพื้นผิว จากผลการดำเนินงานวิจัยได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ สุทธิลักษณ์ พุ่งมณีสกุล และคณะฯ (2552) เรื่องการพัฒนาสารเคลือบผิวไบเลเยอร์และสารเคลือบผิวหลายองค์ประกอบเพื่อลดการสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวพันธุ์สายน้ำผึ้ง

จากข้อมูลข้างต้นถึงแม้ว่าการดำเนินการวิจัยในลักษณะโครงการนำร่องหาความเชื่อมโยงและความสอดคล้องกับผลงานวิจัยโดยทั่วไปได้ค่อนข้างยากและอาจไม่ตรงประเด็นในสาระเนื้อหาหลัก แต่ด้านแนวคิดการใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติเพื่อสิ่งแวดล้อมและผลกระทบต่อสังคมในระยะยาว ทั้งผู้วิจัยและนักวิจัยหรือบุคคลโดยทั่วไป มีความคิดเห็นภาพรวมไปในทิศทางเดียวกัน ที่ต้องการนำศึกษา พัฒนาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ของวัตถุดิบจากธรรมชาติเพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือก และผลงานวิจัยในครั้งนี้เหมาะสำหรับนักวิจัย หรือผู้ประกอบการสามารถนำไปพัฒนาปรับปรุงต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้เป็นอย่างดี

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยสามารถสรุปประเด็นปัญหาและข้อเสนอแนะรายละเอียดดังต่อไปนี้

ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้งาน

- ควรทำการทดลองตามข้อมูลที่ปรากฏในกระบวนการวิจัย จะได้ผลลัพธ์ที่ตรงตามผลการทดลองที่ได้นำเสนอ
- ในกรณีที่ชุบเคลือบแล้วมีบางพื้นผิวเคลือบไม่ติด สามารถแก้ไขโดยการใช้พู่กันขนาดที่เหมาะสมกับพื้นผิวนั้น ๆ จุ่มป้ายซ่อมบริเวณพื้นผิวนั้นได้

- รอยนูนที่พบหลังชุบเคลือบเป็นปกติ สามารถใช้มีดตัดเฉือนออกแล้วใช้หัวพ่นไฟเป่าบริเวณรอยนูน ประมาณ 1-2 วินาที ระยะห่างประมาณ 15-20 เซนติเมตร จำทำให้รอยเรียบเนียนขึ้น
- ควรควบคุมความร้อนให้อยู่ระหว่าง 90-95 องศาเซลเซียส ถ้าความร้อนเกินอาจปรับลดระดับความร้อนหรือปิดเตาไฟฟ้า เพื่อรักษาะระดับความร้อนที่ส่งผลกับความหนา บางของเคลือบ
- หลังชุบควรนำผลิตภัณฑ์เป่าด้วยลมเย็นให้เคลือบเย็นตัวอย่างรวดเร็วจะช่วยรักษารูปทรงของผลิตภัณฑ์ต้นแบบให้คงรูป
- สูตรที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ได้นอกเหนือจากสูตร CR09 แล้ว ยังสามารถเลือกใช้สูตรที่มีอัตราส่วนผสมของคาร์นูบาร์ แว็กซ์ ที่มากกว่าร้อยละ 70 ขึ้นไป

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- การเลือกใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ ปัจจัยที่สำคัญคือเลือกวัตถุดิบที่มีจุดหลอมละลายที่สูงกว่า 80 องศาเซลเซียส
- ควรหาเทคนิคการทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วหลังการชุบเพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ สัมผัสความร้อนนานเกินจนเสียรูปทรง
- ถ้ามีสารทำละลายที่สามารถทำให้วัตถุดิบหลอมละลายได้โดยไม่ใช้ความร้อน อาจจะทำให้กระบวนการเคลือบเป็นไปได้ง่ายและสะดวกขึ้น

บรรณานุกรม

กิติรดา หร่ำรัศมี และชมพร แววโนรี. (ม.ป.ป.). *มิติใหม่ของการพิมพ์ด้วยการพิมพ์ 3 มิติ.* https://sites.google.com/a/bumail.net/3dprintingdimension/bthkhadyx

ไตรรันต์ เนียมสุวรรณ, กอบศักดิ์ วันธงไชย, ณัฐวัฒน์ คลังทรัพย์, สมพร แม่ลิ่ม, พิชิต ลำไย, กิตติศักดิ์ จินดาวงศ์, สมชาย นองเนือง และอำไพ พรลีแสงสุวรรณ์. (ม.ป.ป.). *โครงการศึกษาชนิดพันธุ์ไม้สนเพื่อปลูกเป็นสวนป่าและการอนุรักษ์ในพื้นที่โครงการหลวงวัดจันทร์.* คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุทธิลักษณ์ พุ่งมณีสกุล, อนุวัตร แจ้งชัด และกมลวรรณ แจ้งชัด. (2552). *การพัฒนาสารเคลือบผิวไบเลเยอร์และสารเคลือบผิวหลายองค์ประกอบเพื่อลดการสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้ง.* ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิริยะภัทรกิจ อ., สาตร์เพ็ชร์ จ., ล้านไชย ม., สุวรรณกุล อ., บุศราคำ ค., จันจุฬา ณ., & เตชะศีลพิทักษ์ ธ. (2017). ประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวจากบุกเพื่อรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและยืดอายุการเก็บรักษาผลส้มเขียวหวาน. *Thai Journal of Science and Technology, 6*(4), 301–308. https://doi.org/10.14456/tjst.2017.30

(ม.ป.ป.). *เครื่องพิมพ์ 3 มิติ คืออะไร* สืบค้นเมื่อ 28 เมษายน 2564. จาก https://www.icst3dprinter

Andrew F.HarronMichael J.PowellAlbertoNunezRobert A.Moreau. (2017). Analysis of sorghum wax and carnauba wax by reversed phase liquid chromatography mass spectrometry. Industrial Crops and Products, Vol. 98, 116-129

Francisco Klebson Gomes dos Santos.(2017). Effect of the Addition of Carnauba Wax on Physicochemical Properties of Chitosan Films. Materials Research, vol.20(2), 479-484.

Ghadeer F. Mehyar Khalid Al-Ismail Jung H. Han Grace W. Chee (2012). Characterization of Edible Coatings Consisting of Pea Starch, Whey Protein Isolate, and Carnauba Wax and their Effects on Oil Rancidity and Sensory Properties of Walnuts and Pine Nuts. Journal of Food Science, N.P.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก เอกสารรับรองการตรวจสอบคุณธรรมและจริยธรรมการวิจัย
ภาคผนวก ข บทความวิจัยการเผยแพร่นำเสนอผลงานวิจัยในระดับนานาชาติ
ภาคผนวก ค การเผยแพร่ผลงานนิทรรศการ แบบโปสเตอร์
ภาคผนวก ง รางวัลที่ได้รับระดับนานาชาติ

ภาคผนวก ก เอกสารรับรองการตรวจสอบคุณธรรมและจริยธรรมการวิจัย

บันทึกข้อความ

ส่วนงาน กองบริหารการวิจัยและนวัตกรรม งานมาตรฐานและจริยธรรมในการวิจัย โทร. ๒๖๒๐

ที่ อว ๘๘๑๐/ **วันที่** ๖ เดือน สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๖๔

เรื่อง ขอแจ้งรับรองโครงการวิจัยที่ส่งมาขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา

เรียน รองศาสตราจารย์เกรียงศักดิ์ เพียวมั่ง

ตามที่ท่าน ได้ส่งเอกสารโครงการวิจัยเพื่อขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ในหัวข้อโครงการวิจัย เรื่อง การเคลือบผิวงานต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ในระบบหัวฉีด เส้นพลาสติก PLA ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นั้น

บัดนี้ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชุดที่ ๒ (กลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์) ได้พิจารณาตามวิธีดำเนินการมาตรฐาน (Standard Operating Procedures, SOP) ฉบับที่ ๓.๒ พ.ศ. ๒๕๖๔ ที่ได้ประกาศใช้เมื่อวันที่ ๑ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๖๔ แล้วว่า โครงการวิจัยดังกล่าวไม่ได้ทำการศึกษาวิจัยในมนุษย์ จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

อาจารย์เจนวิทย์ นวลแสง

(อาจารย์เจนวิทย์ นวลแสง)

ประธานคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ชุดที่ 2 (กลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์)

ภาคผนวก ข บทความวิจัยการเผยแพร่นำเสนอผลงานวิจัยในระดับนานาชาติ

Entry form for 2021 KSBDA Spring International Conference

(Please type in English)

Name: **Kriangsak Khiaomang**

Affiliation: **Associate Professor, Burapha University**

E-mail Address: **Kriangsak_k@yahoo.com**

Postal Address (including zip code): **Faculty of Fine & Applied Arts, Burapha University, 169, Longhad Bangsaen Rd., Saensuk, Meang, Chon Buri, Thailand 20131**

Journal Title : **Carnauba wax with Rosin Coating for Rapid Prototype Printed from the Injection Systems Plastic PLA Filament of 3D Printers with Environmentally Friendly**

(Please check it if you want to order)

Journal Proceeding: US 40$ (√)

Secretary Office
6, Nonhyeon-ro 155-gil, Gangnam-gu
Seoul, 06032 Korea
+82-2-745-7739, 7709, 7740

2021-611
July 21, 2021

2021 KSBDA Spring International Conference Certificate

Name: Kriangsak Khiaomang
Affiliation: Burapha University
Title: Carnauba wax with Rosin Coating for Rapid Prototype Printed from the Injection Systems Plastic PLA Filament of 3D Printers with Environmentally Friendly

This is to certify that he/she has submitted the Research and presented to 2021 KSBDA Spring International Conference. The Research is presented at the 70th Anniversary Hall, National Mokpo University, Mokpo, Korea on May 29th, 2021.

* Judge : Park, Tae Wook (Duksung Women's University)
Seo, Seung Youn (Sangmyung University)
Han, Geun Seok (Seoul National University)

President, KSBDA
Jeehyun Kim

Carnauba wax with Rosin Coating for Rapid Prototype Printed from the Injection Systems Plastic PLA Filament of 3D Printers with Environmentally Friendly

Kriangsak Khiaomang

Burapha University, Thailand

Key words : Carnauba wax with Rosin, Coating for Rapid prototype, Environmentally friendly

ABSTRACT

This research Objective: 1. To study the ratio of carnauba wax with rosin to environmentally friendly coating suitable for PLA plastics and 2. To experiment with the ratio obtained from Objective 1 to coat a prototype from a 3D printer.

Methods of research were carried out by experiments for determination of mixture ratio of carnauba wax and rosin using Line blend theory as a guideline for determining the ratio. Furthermore, test the coating on the sample workpiece when getting results from the best formulas. It is used to test the coating on the product prototype.

The results showed that the formula at CR 09 was the most suitable, with a ratio of 80% carnauba wax and 20% of rosin to coat the prototype by plating. By heating to about 80-85 degrees Celsius, dipping for 1 second, the film thickness is approximately 0.5 mm. In terms of the suitable solid for coating prototypes, products with a size of about 150x200x150 mm, well suitable for the next step of mold production.

1. INTRODUCTION

Applying 3D printers in the medical industry is an important industry to adopt 3D printer technology because it can print replacement organs for the human body. Alternatively, it will be the type of joint or knee joint type To be used in the body, which recently, Printers began to be able to print resistant organs such as large blood vessels, etc. In addition to the medical industry. Other industries such as Jewelry design, construction, interior decoration, and the automotive industry Received the benefits of 3D printing technology and even created "Synthetic tissue" using a 3D printing system. Oxford University biologists have tried to create synthetic tissues. This is made up of biochemicals printed in small spheres measuring 500 microns in size than connected until the shape of a tissue grown in a synthetic dish Inside, a group of spherical droplets act as a simulated nerve system. It is then stimulated by electrical current instead of nerve current. And found that this synthetic tissue can move in response to a stimulus.

This research was supported by the academic production scholarship of the Faculty of Fine and Applied Arts, Burapha University Research Grant in 2021

PLA (Polylactic Acid) filament is a popular material of 3D printers due to its easy formability, low heat, and plastic with natural ingredients. It is easy to degrade and recycle. It also contains fewer chemicals, dust, and odor when printing than other plastics. Thus becoming the basic material for 3D printing.

Therefore, from people starting with education to professional printing services, PLA is seen on the market in a wide variety of colors, brands, and prices. Before being used in the FDM 3D Printer, PLA was used in the packaging industry. It is classified as a food-grade material that can be used as a product that can contact people But should look at the cleanliness of the device.

Most 3D printers use the same working principle: Print each layer in a plane with the earth in an X-Y axis or cross-section first, after which the printer will move the base to print the next layer over and over until it becomes a 3D shape. Typically, 3D printing resolutions are measured in microns, for example, 100 microns (0.1mm) per layer, meaning that each layer is printed with a height of approximately 0.1 mm. If the prototype is 10 mm high, the printer will need to print Total 100 layer

If printing per layer at 50 Micron (0.05mm), it will require more printing time. However, the number of printed layers does not indicate the resolution that results in beautiful work.

Based on information on the above 3D printer working principles and from the experience of using 3D printers, the researcher found that the prototypes were obtained from the filament printing process. When printing is complete, a thin layered surface is found overlapping layers.

This resulted in some applications requiring a smooth finish of the product surface. It is not yet able to be produced as a prototype for commercial use. Therefore, experiments should be performed to find suitable coatings. It is safe for users and friendly to the environment. The prototype surface can be coated successfully and can be used as a prototype for mold making.

This includes testing the coating processes suitable for the material and the coating, such as spraying, dipping, and painting after the coating formulation and coating process techniques have been obtained. Therefore, the suitable time was tested for heating the product to have the strength and be used in the next mold manufacturing. This research Objective: 1. To study the ratio of carnauba wax with rosin to environmentally friendly coating suitable for PLA plastics and 2. To experiment with the ratio obtained from Objective 1 to coat a prototype from a 3D printer.

Methods of research were carried out by experiments for determination of mixture ratio of carnauba wax and rosin using Line blend theory as a guideline for determining the ratio. Furthermore, test the coating on the sample workpiece when getting results from the best formulas. It is used to test the coating on the product prototype.

The results showed that the formula at CR 09 was the most suitable, with a ratio of 80% carnauba wax and 20% of rosin to coat the prototype by plating. By heating to about 80-85 degrees Celsius, dipping for 1 second, the film thickness is approximately 0.5 mm. In terms of the suitable solid for coating prototypes, products with a size of about 150x200x150 mm, well suitable for the next step of mold production.

1.1. OBJECTIVES OF THE RESERACH

1) To study the ratio of carnauba wax with rosin for environmentally friendly coating. That is suitable for PLA plastics.

2) To experiment with the ratio obtained from Objective 1 to coat a prototype from a 3D printer.

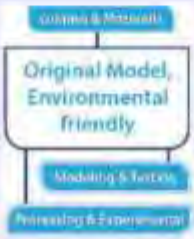


Fig. 1
Conceptual framework

1.2 CONCEPTUAL FRAMEWORK

Prototypes printed on a 3D printer with a plastic filament have a thin outer surface, and the prototype can be finished with an environmentally friendly solvent coating. And drying products that are suitable Will be able to make the product neat and suitable for commercial mold production.

2. RESEARCH METHODS

The researcher was divided into 2 phases completely. In phase 1, they experimented with the appropriate ratio of carnauba wax to rosin by using Line Blend theory to guide the ratio of each of the 11 formulas. After then it tries to coat all 11 formulas using the plating method. They are used to keep the ingredients warm to melt using a temperature of about 80-85 degrees Celsius; the time of dipping is divided into 1-5 seconds, let cool for about 1 hour, and then be selected for the formula that has been coated to form a thin film to coat the details of the prototype surface regularly. A smooth surface is firm for mold making.

In phase 2, When the appropriate ratio of formulas is obtained, the coating was applied on a small prototype product by the process obtained from Phase 1.

3. RESULTS

The results of the research showed that the formula at NO. CR 09 had the ratio of carnauba wax and Rosin 80: 20, heated by about 80-85°C. It takes 1 second for dipping to form a thin film coating the product surface-approximately 0.5 mm thick. The adhesion of PLA plastic is effective, smooth and strong. It is enough to make prototype molds for industrial production.

(Table 1) Ratio of low materials (Carnauba wax & Rosin)

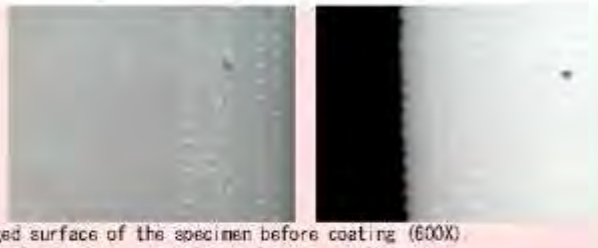
Low materials	CR01	CR02	CR03	CR04	CR05	CR06	CR07	CR08	CR09*	CR010	CR011
Carnauba wax	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Rosin	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0

Remarked *: No. CR 09 The best of result

From Table 1 Ratio of low materials of 11 formulas, the researcher performed the experiments according to the percentage ratio shown in the table (100 g), melting temperature of 100°C, and a 1second for dipping time. The results were as follows: No. CR 01 physical characteristics are viscosity, the melting point of 100°C, amber color. Transparent film texture Good coating on PLA plastic, film thickness 2.5 mm., Hard surface, not suitable for use on prototypes with small details. No. CR 02 physical characteristics are viscosity, melting point 100°C, amber color. Transparent film texture Coated with PLA plastic well, the film has a thickness of 2 mm, hard surface, poorly coating details of small prototypes. No. CR 03 physical characteristics are vicious, and the melting point is 100°C, light yellow, transparent texture, good coating adhesion to PLA plastic, film thickness 2 mm, hard surface, can coating details of small prototype Not good. No. CR 04 physical characteristics are viscosity, a melting point of 100°C, light yellow color. For the transparent film texture Coated with PLA plastic well, the film has a thickness of 2 mm, hard surface, poorly coating details of small prototypes. No. CR 05 has physical characteristics, and it has a thick viscosity, melting point is 100 °C, light yellow Transparent film texture Coated with PLA plastic well, the film has a thickness of 2 mm, hard surface, poorly coating details of small prototypes. No. CR 06 is physically characterized, but not very thick, light yellow. Semi-transparent texture Laminating to the surface of PLA plastic well, the film has a thickness of 1.5, hard surface, can coat the details of small prototypes. However, the details are not clear. CR 07 physical characteristics are viscosity, melting point 100°C, light yellow color. Semi-transparent texture Laminated to the surface of PLA plastic well. The film has a thickness of 1.5 mm, but the details are not clear. CR 08 has the physical characteristics of slightly viscous The melting point is 95°C, it has a light yellow color. Semi-translucent texture Coated with PLA plastic well, the film has a thickness of 0.5 mm., Medium hard.

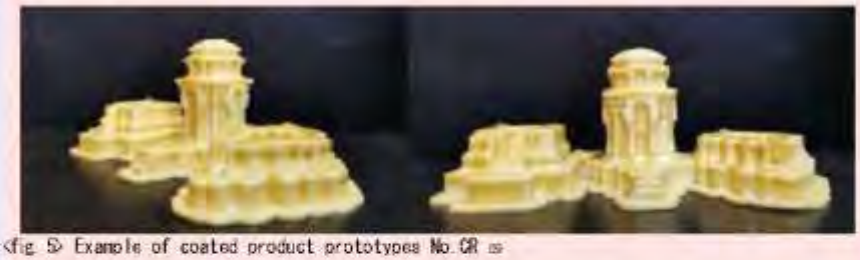
Coating details of small prototypes. The details of the prototype are smooth. CR 09 has the following physical characteristics: slightly viscous, the melting point is 85°C, and it has a light yellow color. Semi-translucent texture Coated with PLA plastic well, the film has a thickness of 0.5 mm. Medium hard. Coating details of small prototypes well. CR 10 has the following physical characteristics: Medium viscosity the melting point is 85°C, it has a light yellow color. Semi-translucent texture Coated with PLA plastic well, the film has a thickness of 0.5 mm. Moreover, CR 11 has physical characteristics, the Less viscous Melting point at 70°C, light yellow, solid texture, coated with PLA plastic surface well, the film thickness of 0.5mm, soft surface, and good coating details small prototype.

<fig 2> Carnauba wax and Rosin



<fig 3> Enlarged surface of the specimen before coating (600X)

<fig 4> Enlarged surface of the specimen after coating (600X)



<fig 5> Example of coated product prototypes No.CR 05

4. DISCUSSION

This research can serve as a guideline for developing knowledge in the coating of 3D printed products with PLA filaments, resulting in the prototype product surface that is smooth and strong. It is suitable for making a prototype of a mold for mold production as well. The coating material that has been experimentally developed mixture of Carnauba wax with Rosin, when mixed in the appropriate ratio, can form a thin film for good coating. Corresponds with Andrew F.Harron and others. There are many benefits. It can be applied in the industry and research on the Analysis of sorghum wax and carnauba wax by reversed-phase liquid chromatography-mass spectrometry.

Reference

Andrew F.HarronMichael J.PowellAlbertoNunezRobert A.Moreau. (2017). Analysis of sorghum wax and carnauba wax by reversed phase liquid chromatography mass spectrometry. Industrial Crops and Products, Vol. 98, 116-129

Francisco Kleibson Gomes dos Santos. (2017). Effect of the Addition of Carnauba Wax on Physicochemical Properties of Chitosan Films. Materials Research, vol.20(2), 479-484.

Ghadeer F. Mehyar Khalid Al-Ismail Jung H. Han Grace W. Chee (2012). Characterization of Edible Coatings Consisting of Pea Starch, Whey Protein Isolate, and Carnauba Wax and their Effects on Oil Rancidity and Sensory Properties of Walnuts and Pine Nuts. Journal of Food Science, N.P.

ภาคผนวก ค การเผยแพร่ผลงานนิทรรศการ แบบโปสเตอร์

2021 KSBDA INTERNATIONAL SPRING CONFERENCE

Carnauba wax with Rosin Coating for Rapid Prototype Printed from the Injection Systems Plastic PLA Filament of 3D Printers with Environmentally Friendly

Kriangsak Khiaomang, Burapha University, Thailand

ABSTRACT

This research Objective: 1. To study the ratio of carnauba wax with rosin to environmentally friendly coating suitable for PLA plastics and 2. To experiment with the ratio obtained from Objective 1 to coat a prototype from a 3D printer.
Methods of research were carried out by experiments for determination of mixture ratio of carnauba wax and rosin using Line blend theory as a guideline for determining the ratio. Furthermore, test the coating on the sample workpiece when getting results from the best formulas. It is used to test the coating on the product prototype.
The results showed that the formula at CR 09 was the most suitable, with a ratio of 80% carnauba wax and 20% of rosin to coat the prototype by plating. By heating to about 80-85 degrees Celsius, dipping for 1 second, the film thickness is approximately 0.5 mm. In terms of the suitable solid for coating prototypes, products with a size of about 150x200x150 mm, well suitable for the next step of mold production.

Key words: Carnauba wax with Rosin, Coating for Rapid prototype, Environmentally friendly

This research was supported by the academic production scholarship of the Faculty of Fine and Applied Arts, Burapha University Research Grant in 2021.

1. INTRODUCTION

Applying 3D printers in the medical industry is an important industry to adopt 3D printer technology because it can print replacement organs for the human body. Alternatively, it will be the type of joint or knee joint type to be used in the body, which recently. Printers began to be able to print resistant organs such as large blood vessels, etc. In addition to the medical industry. Other industries such as Jewelry design, construction, interior decoration, and the automotive industry Received the benefits of 3D printing technology and even created "Synthetic tissue" using a 3D printing system. Oxford University biologists have tried to create synthetic tissues. This is made up of bio-chemicals printed in small spheres measuring 500 microns in size then connected until the shape of a tissue grown, it is a synthetic skin inside, a group of spherical droplets act as a simulated nerve system. It is then stimulated by electrical current instead of nerve current. And found that this synthetic tissue can move in response to a stimulus.
PLA (Polylactic Acid) filament is a popular material of 3D printers due to its easy formability, low heat, and plastic with natural ingredients. It is easy to degrade and recycle. It also contains fewer chemicals, dust, and odor when printing than other plastics. Thus becoming the basic material for 3D printing.
Therefore, from people starting with education to professional printing services. PLA is seen on the market in a wide variety of colors, brands, and prices. Before being used in the FDM 3D Printer, PLA was used in the packaging industry. It is classified as a food grade material that can be used as a product that can contact people But should look at the cleanliness of the device.
Most 3D printers use the same working principle: Print each layer in a plane with the earth is an X-Y axis or cross-section first, after which the printer will move the base to print the next layer over and over until it becomes a 3D shape. Typically, 3D printing resolutions are measured in microns, for example, 100 microns (0.1mm) per layer, meaning that each layer is printed with a height of approximately 0.1 mm. If the prototype is 10 mm high, the printer will need to print. Total 100 layer. If printing per layer at 50 Micron (0.05mm), it will require more printing time. However, the number of printed layers does not indicate the resolution that results in beautiful work. Based on information on the above 3D printer working principles and from the experience of using 3D printers, the researcher found that the prototypes were obtained from the filament printing process. When printing is complete, a thin layered surface is found overlapping layers.
This resulted in some applications requiring a smooth finish of the product surface. It is not yet able to be produced as a prototype for commercial use. Therefore, experiments should be performed to find suitable coatings. It is safe for users and friendly to the environment. The prototype surface can be coated successfully and can be used as a prototype for mold making. This includes testing the coating processes suitable for the material and the coating, such as spraying, dipping, and painting after the coating formulation and coating process techniques have been obtained. Therefore, the suitable time was tested for heating the product to have the strength and be used in the next mold manufacturing. This research Objective: 1. To study the ratio of carnauba wax with rosin to environmentally friendly coating suitable for PLA plastics and 2. To experiment with the ratio obtained from Objective 1 to coat a prototype from a 3D printer. Methods of research were carried out by experiments for determination of mixture ratio of carnauba wax and rosin using Line blend theory as a guideline for determining the ratio. Furthermore, test the coating on the sample workpiece when getting results from the best formulas. It is used to test the coating on the product prototype. The results showed that the formula at CR 09 was the most suitable, with a ratio of 80% carnauba wax and 20% of rosin to coat the prototype by plating. By heating to about 80-85 degrees Celsius, dipping for 1 second, the film thickness is approximately 0.5 mm. In terms of the suitable solid for coating prototypes, products with a size of about 150x200x150 mm, well suitable for the next step of mold production.

1.1. OBJECTIVES OF THE RESEARCH

1) To study the ratio of carnauba wax with rosin for environmentally friendly coating. That is suitable for PLA plastics.
2) To experiment with the ratio obtained from Objective 1 to coat a prototype from a 3D printer.

1.2. CONCEPTUAL FRAMEWORK

Prototypes printed on a 3D printer with a plastic filament have a thin outer surface, and the prototype can be finished with an environmentally friendly solvent coating. And drying products that are suitable Will be able to make the product neat and suitable for commercial mold production.

2. RESEARCH METHODS

The researcher was divided into 2 phases completely. In phase 1, they experimented with the appropriate ratio of carnauba wax to rosin by using Line Blend theory to guide the ratio of each of the 11 formulas. After then it tries to coat all 11 formulas using the plating method. They are used to keep the ingredients warm to melt using a temperature of about 80-85 degrees Celsius; the time of dipping is divided into 1-5 seconds, let cool for about 1 hour, and then be selected for the formula that has been coated to form a thin film to coat the details of the prototype surface regularly. A smooth surface is fine for mold making.
In phase 2, When the appropriate ratio of formulas is obtained, the coating was applied on a small prototype product by the process obtained from Phase 1.

3. RESULTS

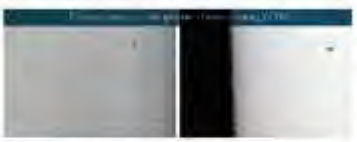
The results of the research showed that the formula at NO: CR 09 had the ratio of carnauba wax and Rosin 80: 20, heated by about 80-85°C. It takes 1 second for dipping to form a thin film coating the product surface—approximately 0.5 mm thick. The adhesion of PLA plastic is effective, smooth, and strong. It is enough to make prototype molds for industrial production.

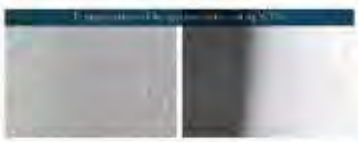
Raw materials	CR01	CR02	CR03	CR04	CR05	CR06	CR07	CR08	CR09*	CR010	CR011
Carnauba wax	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Rosin	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0

(Table 1)
Ratio of raw materials (Carnauba wax & Rosin)

Remarked *: No. CR 09 The best of result

Ratio of raw materials of 11 formulas, the researcher performed the experiments according to the percentage ratio shown in the table (100 g), melting temperature at 100°C, and a 1second for dipping time. The results were as follows: No. CR 01 physical characteristics are viscosity, the melting point of 100°C, amber color. Transparent film texture Good coating on PLA plastic, film thickness 2.5 mm., Hard surface, not suitable for use on prototypes with small details. No. CR 02 physical characteristics are viscosity, melting point 100°C., amber color. Transparent film texture Coated with PLA plastic well, the film has a thickness of 2 mm, hard surface, poorly coating details of small prototypes. No. CR 03 physical characteristics are vicious, and the melting point is 100°C, light yellow, transparent texture, good coating adhesion to PLA plastic, film thickness 2 mm, hard surface, can coating details of small prototype Not good. No. CR 04 physical characteristics are viscosity, a melting point of 100°C, light yellow color. For the transparent film texture Coated with PLA plastic well, the film has a thickness of 2 mm, hard surface, poorly coating details of small prototypes. No. CR 05 has physical characteristics, and it has a thick viscosity, melting point is 100°C, light yellow Transparent film texture Coated with PLA plastic well, the film has a thickness of 2 mm, hard surface, poorly coating details of small prototypes. No. CR 06 is physically characterized but not very thick, light yellow. Semi-transparent texture Laminating to the surface of PLA plastic well, the film has a thickness of 1.5, hard surface, can coat the details of small prototypes. However, the details are not clear. CR 07 physical characteristics are viscosity, melting point 100°C, light yellow color. Semi-transparent texture Laminated to the surface of PLA plastic well. The film has a thickness of 1.5 mm, but the details are not clear. CR 08 has the physical characteristics of slightly viscous The melting point is 95°C, it has a light yellow color. Semi-translucent texture Coated with PLA plastic well, the film has a thickness of 0.5 mm., Medium hard.
Coating details of small prototypes. The details of the prototype are smooth. CR 09 has the following physical characteristics: slightly viscous, the melting point is 85°C, and it has a light yellow color. Semi-translucent texture Coated with PLA plastic well, the film has a thickness of 0.5 mm., Medium hard. Coating details of small prototypes well. CR 10 has the following physical characteristics: Medium viscosity the melting point is 85°C, It has a light yellow color. Semi-translucent texture Coated with PLA plastic well, the film has a thickness of 0.5 mm. Moreover, CR 11 has physical characteristics, the Less viscous Melting point at 70°C, light yellow, solid texture, coated with PLA plastic surface well, the film thickness of 0.5mm, soft surface, and good coating details small prototype.





4. DISCUSSION

This research can serve as a guideline for developing knowledge in the coating of 3D printed products with PLA filaments, resulting in the prototype product surface that is smooth and strong. It is suitable for making a prototype of a mold for mold production as well. The coating material that has been experimentally developed mixture of Carnauba wax with Rosin, when mixed in the appropriate ratio, can form a thin film for good coating. Corresponds with Andrew F.Harmon and others. There are many benefits. It can be applied in the industry and research on the Analysis of sorghum wax and carnauba wax by reversed phase liquid chromatography mass spectrometry.

REFERENCE

Andrew F.Harmon,Michael J.Dowd,Marlin J.Kemp,Robert A.Moreau. (2017). Analysis of sorghum wax and carnauba wax by reversed phase liquid chromatography mass spectrometry. Industrial Crops and Products. Vol 98, 116-119.
Francisco Klassen, Gomes dos Santos.(2017). Effect of the Additions of Carnauba Wax on Physicochemical Properties of Chitosan Films. Materials Research, vol 20(3), 679-684.
Qianbao F. Hashjar, Khalid Al-Ismail, Jung H. Han, Steven W. Cheri (2012). Characterization of Edible Coatings Consisting of Pea Starch, Whey Protein Isolate, and Carnauba Wax and their Effects on Cilt Barrier and Sensory Properties of Whole and Pre-Peel. Journal of Food Science, 169.

Assistant Professor Dr. Kriangsak Khiaomang

ภาคผนวก ง รางวัลที่ได้รับระดับนานาชาติ
The Best Academic Study Award

한국기초조형학회

제 2021-545호

최우수발표논문상

Academic Study Award KSBDA

성명 Kriangsak Khiaomang
소속 Burapha University

Kriangsak Khiaomang
Burapha University

논문제목 환경친화적 carnauba wax 와 rosin 소재를 활용한 PLA 플라스틱 필라멘트로 만든 3D 프린터의 사출시스템로 제작된 시제품 코팅

Carnauba wax with Rosin Coating for Rapid Prototype Printed from the Injection Systems Plastic PLA Filament of 3D Printers with Environmentally Friendly

귀하는 평소 끊임없는 학술활동으로 '기초조형학'의 학문 발전에 기여하여 왔으며, 2021 한국기초조형학회 춘계 국제학술대회에서 발표한 논문이 투고한 논문 중에서 가장 우수한 논문으로 선정되었기에 이 상을 드립니다.

This awarded is presented in recognition of the contribution this person has made in promoting academic progress of 'basic design and art' through substantial academic activities and the submission of the most outstanding study to '2021 KSBDA International Spring Conference'.

2021년 05월 29일

May 29, 2020

사단법인 한국기초조형학회 회장 김 지 현

President of Korea Society of Basic Design & Art
Kim, Jee Hyun

Secretary Office
6, Nonhyeon-ro 155-gil, Gangnam-gu
Seoul, 06032 Korea
+82-2-745-7739, 7709, 7790

2021-546
May 29, 2021

2021 KSBDA Spring International Conference
Academic Study Award

Name: Kriangsak Khiaomang
Affiliation: Burapha University
Title: Carnauba wax with Rosin Coating for Rapid Prototype Printed from the Injection Systems Plastic PLA Filament of 3D Printers with Environmentally Friendly

This awarded is presented in recognition of the contribution this person has made in promoting academic progress of 'Basic design and art' through substantial academic activities, and the submission of the most outstanding study to '2021 KSBDA International Spring Conference'

President, KSBDA
Jeehyun Kim