การผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ

Manufacturing of Wax Flower Molds using 3D Printer

ปริญญานิพนธ์

ของ

ณัฐนิชา	อิ่มน้ำขาว	58010310333
สุชญา	พุทธพงศ์วิไล	58010310950

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ

Manufacturing of Wax Flower Molds using 3D Printer

ปริญญานิพนธ์

ของ

ณัฐนิชา	อิ่มน้ำขาว	58010310333
สุชญา	พุทธพงศ์วิไล	58010310950

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

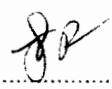
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

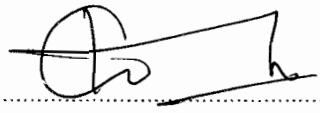
คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์



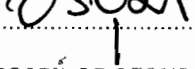
.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป) ประธานกรรมการ



.....

(อาจารย์กฤต จันทรสมัย) กรรมการ



.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอุมา ลาสุนนท์) อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้อนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพัฒน์ ชมภูคำ)

หัวหน้าสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้มีประคุณหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือให้คำปรึกษา แนะนำ และข้อเสนอแนะแก่ผู้วิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอุมา ลาสุนนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้แนวคิดทางวิชาการ แนวทางในการจัดทำปริญญานิพนธ์ รวมทั้งให้คำปรึกษาตลอดจนชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหาและข้อบกพร่องในระหว่างดำเนินการศึกษาเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป และอาจารย์กฤต จันทรสมัย กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะแนวทางการศึกษาต่างๆ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ และวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับดำเนินการทดลองและจัดทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณบุคลากร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม รุ่นพี่และเพื่อนๆ ตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่เอื้อเฟื้อให้ความช่วยเหลืออีกมากมาย ที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของผู้วิจัย ที่กรุณาให้โอกาสในการศึกษา คอยสนับสนุน ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ณัฐนิชา อิ่มน้ำขาว
สุชญา พุทธพงศ์วิไล

ชื่อเรื่อง การผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ
ผู้วิจัย นางสาวณัฐนิชา อิ่มน้ำขาว
นางสาวสุชญา พุทธพงศ์วิไล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอุมา ลาสุนนท์
ปริญญา วศ.บ **สาขาวิชา** วิศวกรรมการผลิต
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2562

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) ซึ่งมีลวดลายที่นำมาผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ทั้งหมด 3 ลาย ได้แก่ ลายผีเสื้อ ลายประจำยามก้ามปู และลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ ขั้นตอนการศึกษาเริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ (3D Model) จากลวดลายเทียนติดพิมพ์ 3 มิติ ด้วยโปรแกรม SolidWorks 2011 จากนั้นทำการบันทึก 3D Model ที่ออกแบบไว้เป็นนามสกุล .STL สำหรับนำมาใช้ในโปรแกรม NewCreatorK และสร้าง NC code เพื่อใช้ร่วมกับเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยในการใช้โปรแกรม NewCreatorK จะทำการปรับชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม และปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สุดท้ายบันทึกไฟล์ .x3g เพื่อนำไฟล์เข้า 3D Printer และทดลองผลิตชิ้นงานแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์โดยใช้พลาสติก PLA ผลการศึกษาสรุปได้ว่า แม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ ลายผีเสื้อ ลายประจำยามก้ามปู และลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ ใช้เวลาในการผลิตต่อชิ้นทั้งสิ้น 660 750 และ 660 นาที ตามลำดับ ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการนำชิ้นงานแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ที่ได้ไปทดสอบการใช้งาน โดยการใช้ขี้ผึ้งมารีดขึ้นรูปบนแม่พิมพ์ พบว่า ลวดลายของดอกผึ้งที่ได้มีความสวยงามชัดเจนตรงตามที่ออกแบบไว้ แต่ยังต้องใช้มีดปลายแหลมตกแต่งเพิ่มอีก โดยใช้เวลาในการรีดและตกแต่งดอกผึ้ง ลายผีเสื้อ ลายประจำยามก้ามปู และลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำทั้งหมด 4 10 และ 5 นาที ตามลำดับ

TITLE Manufacturing of Wax Flower Molds using 3D Printer
AUTHUR Ms. Nutnicha Imnamkhao
Ms. Suchaya Puttapongwilai
ADVISOR Asst.Prof. On-Uma Lasunon, Ph.D
DEGREE **B.Eng.** (Manufacturing Engineering)
University Mahasarakham University **YEAR** 2019

ABSTRACT

The purpose of this project was to study and manufacture wax flower molds using 3D printer. Three patterns of wax flowers; namely Butterfly, Pra-Jam-Yaam-Kaampoo, and combination of Krajang-Ta-Oiy and Look-Pra-Kam, were studied. Three dimensional model of each mold was designed by SolidWorks 2011 program, and saved as the .STL file. The NC code for 3D printer was generated using NewCreatorK program. The optimal position of the part and the printing parameters were also set in this program. Then the NC code was saved as the .x3g file, and imported to the 3D printer for building the wax flower mold. The printed material was PLA. The result showed that the mold production times for Butterfly, Pra-Jam-Yaam-Kaampoo, and combination of Krajang-Ta-Oiy and Look-Pra-Kam were 660, 750 and 660 min, respectively. In the last step, the wax flowers were produced on the printed molds. The results showed that the real wax flowers had the clear and beautiful patterns as designed, however, cutting and trimming were still required. The total production times of the above wax flowers were 4, 10 and 5 min, respectively.

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

1 บทนำ 1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
ขอบเขตการศึกษา 2
แผนการดำเนินการศึกษา 2

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
การออกแบบแม่พิมพ์โดยใช้ SolidWorks 4
เครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) 4
วัสดุในการผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ 8
วัสดุที่นำมาทดลองผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ 10
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11

3 วิธีดำเนินการศึกษา 15
ขั้นตอนในการศึกษา 15
เครื่องมือและอุปกรณ์ในการศึกษา 16
ลวดลายที่ใช้ในการศึกษา 21

4 ผลการศึกษา 23
การผลิตแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ 23
การผลิตแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปู 35
การผลิตแม่พิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ 40
การหล่อเทียนพรรษาและการติดดอกผึ้งลายเทียนติดพิมพ์ 45

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 50
สรุปผลการศึกษา 50
ปัญหาและอุปสรรค 53
ข้อเสนอแนะ 54

บรรณานุกรม 55

ภาคผนวก 58
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้งานโปรแกรม NewCreatorK (Version 1.47) 59
ภาคผนวก ข คู่มือการใช้งานเครื่องพิมพ์สามมิติ รุ่น 3DISON PRO 69

ประวัติย่อผู้วิจัย 75

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

1 ระบบฉีดเส้นพลาสติก 5
2 3D Printer ระบบถาดเรซิ่น 6
3 3D Printer ระบบผงยิปซั่ม 7
4 3D Printer ระบบหลอมผงพลาสติก, ผงโลหะ และเซรามิก 7
5 วัสดุที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ 9
6 วัสดุที่นำมาทดลองผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ 10
7 ขั้นตอนการดำเนินงาน 16
8 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ 16
9 เครื่องพิมพ์สามมิติ รุ่น 3DISON PRO 17
10 โปรแกรม SolidWorks 2011 17
11 โปรแกรม New CreatorK 18
12 Filament spool วัสดุ PLA 18
13 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมขี้ผึ้ง 19
14 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพิมพ์ดอกผึ้ง 20
15 อุปกรณ์สำหรับหล่อต้นเทียนพรรษา 21
16 ลายผีเสื้อ 21
17 ลายประจำยามก้ามปู 22
18 ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ 22
19 ต้นแบบชิ้นงาน 3 มิติลายผีเสื้อ 24
20 การสร้างบล็อกแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ 25
21 การประกอบบล็อกแม่พิมพ์และชิ้นงานลายผีเสื้อ 26
22 แม่พิมพ์ชิ้นงานลายผีเสื้อ ที่เขียนด้วยโปรแกรม SolidWorks 28
23 การบันทึกไฟล์แม่พิมพ์ลายผีเสื้อ เป็นนามสกุล STL 29
24 การตั้งค่าในโปรแกรม NewCreatorK ของลายผีเสื้อ 30
25 การบันทึก NC Code ลายผีเสื้อเพื่อนำไปใช้กับ 3D Printer 31

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

26 การทดลองพิมพ์ชิ้นงานแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ ครั้งที่ 1 32
27 การทดลองพิมพ์ชิ้นงานแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ ครั้งที่ 2 33
28 การทดลองรีดเทียนติดพิมพ์ลายผีเสื้อ 34
29 การทดลองพิมพ์ชิ้นงานแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ ครั้งที่ 3 35
30 ต้นแบบชิ้นงาน 3 มิติลายประจำยามก้ามปู 36
31 แม่พิมพ์ชิ้นงานลายประจำยามก้ามปู ที่เขียนด้วยโปรแกรม SolidWorks 36
32 การตั้งค่าในโปรแกรม NewCreatorK ของลายประจำยามก้ามปู 37
33 การทดลองพิมพ์ชิ้นงานแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปู 39
34 การทดลองรีดเทียนติดพิมพ์ลายประจำยามก้ามปู 40
35 ต้นแบบชิ้นงาน 3 มิติลายลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ 41
36 แม่พิมพ์ชิ้นงานลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ ที่เขียนด้วยโปรแกรม SolidWorks 41
37 การตั้งค่าในโปรแกรม NewCreatorK ของลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ 42
38 การทดลองพิมพ์ชิ้นงานแม่พิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ 44
39 การทดลองรีดเทียนติดพิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ 45
40 การหล่อต้นเทียนพรรษา 48
41 ต้นเทียนพรรษาประเภทติดพิมพ์ที่ได้ 49
42 โปรแกรม NewCreatorK Version 1.47 60
43 หน้าจอแสดงผลเมื่อเข้าโปรแกรม NewCreatorK 61
44 ส่วนแสดงเมนู File 61
45 ส่วนแสดงเมนู Edit 62
46 ส่วนแสดงเมนู Setting 63
47 ส่วนแสดงเมนู Tool 63
48 ส่วนแสดงเมนู Help 64
49 ส่วนของการแสดงชิ้นงาน 64
50 ส่วนของการแสดงหน้าจอชิ้นงาน 65

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

51 ตารางแสดงรายการชิ้นงานสามมิติ 65
52 ส่วนแถบแสดงเมนูการปรับชิ้นงาน 66
53 ส่วนของคำสั่ง Move 66
54 ส่วนของคำสั่ง Mirror 67
55 ส่วนของคำสั่ง Rotate 67
56 ส่วนของคำสั่ง Zoom 67
57 ส่วนของคำสั่งง Supports 68
58 ส่วนของลำดับขั้นตอน 68
59 เครื่องพิมพ์สามมิติ รุ่น 3DISON PRO 70
60 ส่วนประกอบต่างๆ ของ 3D Printer 71
61 สวิตซ์เปิดปิด 72
62 จอแสดงผลเมนู 72
63 คำสั่ง Filament Loading 73
64 การสอดเส้นพลาสติก 74

บัญชีตาราง

ตาราง **หน้า**

1 แผนการดำเนินการศึกษา..... 3
2 ค่าพารามิเตอร์ในการฉีด และผลการทดลองการผลิตแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ 50
3 ค่าพารามิเตอร์ในการฉีด และผลการทดลองการผลิตแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปู..... 51
4 ค่าพารามิเตอร์ในการฉีด และผลการทดลองการผลิตแม่พิมพ์ลายกระจังตาอ้อย
ผสมลายลูกประคำ..... 53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

งานประเพณีแห่เทียนพรรษาเป็นประเพณีที่มีเอกลักษณ์ จัดขึ้นเป็นประจำทุกปีเพื่อสืบสานอนุรักษ์วัฒนธรรมอันดีงามของท้องถิ่น แสดงให้เห็นถึงคุณค่าในด้านต่างๆ เช่น ด้านทัศนศิลป์ ด้านวรรณศิลป์ ด้านภูมิปัญญาชาวบ้าน เป็นต้น และเป็นประเพณีที่มีชื่อเสียงเป็นที่รู้จักทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยต้นเทียนพรรษามี 2 ประเภท คือ ประเภทแกะสลักและประเภทติดพิมพ์ สำหรับการหล่อต้นเทียนประเภทแกะสลักจะใช้ขี้ผึ้งคุณภาพดี ซึ่งมีราคาสูง เนื่องจากหากขี้ผึ้งมีคุณภาพไม่ดีพออาจส่งผลให้เทียนเกิดการแตกหักขณะที่แกะสลักได้ สำหรับการหล่อต้นเทียนประเภทติดพิมพ์มักจะใช้ขี้ผึ้งคุณภาพพอใช้ ซึ่งมีราคาไม่สูงมากนัก ส่วนที่นำมาประดับตกแต่งต้นเทียนให้สวยงามคือ ดอกผึ้ง (Wax Flower) หรือลายเทียน ทำได้โดยการนำขี้ผึ้งมากดลงบนแม่พิมพ์ที่ถูกแกะสลักเป็นลวดลายต่างๆ จากนั้นนำลายเทียนที่พิมพ์แล้วไปตัดส่วนเกินที่ไม่ต้องการออก โดยการทำลายเทียนเป็นส่วนที่ละเอียดอ่อนทำได้ยากกว่างานส่วนอื่นๆ ต้องอาศัยช่างที่ชำนาญ และต้องมีผู้ช่วยประมาณ 10-20 คน ทำให้ต้นทุนการดำเนินงานสูงและใช้เวลานาน ซึ่งในปัจจุบันประเพณีแห่เทียนพรรษาถูกจัดขึ้นพร้อมกันในหลายจังหวัดทั่วประเทศ ส่งผลให้มีจำนวนช่างฝีมือไม่เพียงพอ รวมถึงประสบปัญหาความล่าช้าของกระบวนการผลิตต้นเทียนพรรษา เนื่องจากกระบวนการผลิตมีหลายขั้นตอน และต้องใช้ความประณีตในการผลิตลวดลายเทียนที่มีความซับซ้อน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์หรือดอกผึ้ง โดยอาศัยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ หรือ 3D Printing ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว มาใช้ในการผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ เนื่องจากการพิมพ์สามมิติจะช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่าย รวมทั้งอำนวยความสะดวกในกระบวนการออกแบบและผลิต ซึ่งแต่เดิมต้องอาศัยช่างฝีมือในการแกะสลัก เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต และลดระยะเวลาในการผลิตลายเทียนหรือดอกผึ้ง สำหรับต้นเทียนพรรษาประเภทติดพิมพ์ อีกทั้งยังสามารถนำไปต่อยอดให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ชุมชน เป็นการช่วยสืบสานอนุรักษ์วัฒนธรรมอันดีงามของท้องถิ่นอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาและผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ศึกษาการใช้งานเครื่องพิมพ์สามมิติ
2. ได้อนุรักษ์ประเพณีและวัฒนธรรมแห่เทียนพรรษา
3. สามารถนำแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ไปพัฒนากระบวนการผลิตต้นเทียนพรรษาได้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ลายที่จะนำมาผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ทั้งหมด 3 ลาย ได้แก่ ลายผีเสื้อ ลายประจำยามก้ามปู และลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ

2. เครื่องพิมพ์สามมิติที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานแม่พิมพ์เป็นระบบฉีดเส้นพลาสติก (FDM) รุ่น 3DISON PRO

3. วัสดุที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์คือ พลาสติกประเภท PLA ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตร

4. โปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบแม่พิมพ์คือ โปรแกรม SolidWorks

1.5 แผนการดำเนินการศึกษา

1. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำเทียนติดพิมพ์
3. เขียนแบบแม่พิมพ์โดยใช้โปรแกรม SolidWorks
4. ผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ
5. ทดสอบการใช้งานและปรับปรุงแก้ไข
6. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล
7. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

ระยะเวลาดำเนินการศึกษา 10 เดือน ตั้งแต่ สิงหาคม 2561 ถึง พฤษภาคม 2562 โดยมีแผนงานดังนี้

ตาราง 1 แผนการดำเนินการศึกษา

รายการ	ระยะเวลา									
	ภาคเรียนที่ 1/2561					ภาคเรียนที่ 2/2561				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	←	—	→							
2. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำเทียนติดพิมพ์		←	—	→						
3. เขียนแบบแม่พิมพ์โดยใช้โปรแกรม SolidWorks				←	—	→				
4. ผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ						←	—	—	→	
5. ทดสอบการใช้งานและปรับปรุงแก้ไข							←	—	—	→
6. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล									←	→
7. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์									←	→

1.6 สถานที่ดำเนินการศึกษา

ห้องปฏิบัติการ CAD/CAM/CNC ห้อง EN 315/316 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบแม่พิมพ์โดยใช้ SolidWorks

โปรแกรม SolidWorks เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อสร้างตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำลองในคอมพิวเตอร์ ก่อนที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง โดยตัวซอฟต์แวร์จะจัดอยู่ในตระกูล Computer Aided Design (CAD) ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงานจำลองให้อยู่ในรูปแบบ 3D Solid Models เป็นแบบงานแยกชิ้น (Part) และแบบงานประกอบ (Assembly) ซึ่งโปรแกรม SolidWorks สามารถทำงานได้หลายรูปแบบ ส่งผลให้ผู้ใช้งานซอฟแวร์สามารถลดระยะเวลาทำงานในการออกแบบ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในบริษัทและองค์กรได้ ที่มา : (กฤติไกร,2552.)

การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ด้วยคำสั่ง Cavity ในโปรแกรม SolidWorks เป็นอีกรูปแบบคำสั่งหนึ่งของซอฟแวร์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับการทำงานของนักออกแบบ โดยเริ่มจากการเขียนแบบชิ้นงานที่ต้องการสร้างแม่พิมพ์และบล็อกแม่พิมพ์ขึ้นมา นำชิ้นส่วนทั้ง 2 ชิ้นไปใส่ในงานแบบประกอบ (Assembly) จากนั้นจัดตำแหน่งและระยะต่างๆ ให้เหมาะสมหรือตามที่ต้องการแล้วใช้คำสั่ง Cavity ในการขุดชิ้นส่วนบล็อกให้มีรูปร่างตามชิ้นงานที่ต้องการสร้างเป็นแม่พิมพ์

2.2 เครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer)

2.2.1 หลักการทำงาน

เครื่องพิมพ์สามมิติ หรือ 3D Printer แทบทุกเครื่องนั้นใช้หลักการเดียวกันคือ การพิมพ์ 2 มิติแต่ละชั้นในแนวระนาบกับพื้นโลก XY ก่อน ส่วนที่พิมพ์คือภาพตัดขวาง (Cross Section) ของวัตถุนั้นๆ เมื่อพิมพ์ 2 มิติเสร็จแล้วเครื่องจะเลื่อนฐานพิมพ์ไปพิมพ์ชั้นถัดไปเรื่อยๆ หลายร้อยถึงหลายพันชั้นจนได้ออกมาเป็นรูปร่าง 3 มิติ การเลื่อนขึ้นหรือลงตามแนวแกน Z ของฐานพิมพ์ ทำให้เกิดมิติที่ 3 ของชิ้นงาน

หมึกที่ใช้ของ 3D Printer แตกต่างกันออกไป บางชนิดพิมพ์โดยการฉีดเส้นพลาสติกออกมา บางชนิดพิมพ์โดยการพ่นน้ำเรซิ่น หรือบางชนิดพิมพ์โดยการฉีดซีเมนต์ ความสามารถของ 3D Printer นั้นนอกจากจะใช้ในการผลิตต้นแบบชิ้นส่วนต่างๆ แล้ว ยังสามารถใช้ในการสร้างบ้าน ทำขนม หรือสร้างสเต็มเซลล์รวมถึงการพิมพ์อวัยวะต่างๆ ได้ด้วย

โดยปกติความละเอียดในการพิมพ์ของเครื่อง 3D Printer จะวัดในหน่วยไมครอน เช่น 100 ไมครอน (0.1 มิลลิเมตร) ต่อชั้น หมายความว่าในแต่ละชั้นเครื่องจะพิมพ์ให้มีความสูง 0.1 มิลลิเมตร ดังนั้นหากโมเดลมีความสูง 10 มิลลิเมตร เครื่องพิมพ์จะพิมพ์ทั้งหมด 100 ชั้น หากพิมพ์ที่ความละเอียด 50 ไมครอน (0.05 มิลลิเมตร) เครื่องจะพิมพ์ทั้งหมด 200 ชั้น ดังนั้นที่ความละเอียด 50 ไมครอน จะได้งานที่ละเอียดและสวยกว่า แต่ใช้เวลาเพิ่มขึ้นประมาณเท่าตัว

ไฟล์ที่ใช้กับ 3D Printer นั้นไม่ได้เป็นรูปภาพเหมือนในเครื่องพิมพ์บนกระดาษทั่วไป แต่จะเป็นไฟล์ 3 มิติ (3D File) ซึ่งสามารถสร้างขึ้นได้จากโปรแกรมต่างๆ เช่น AutoCAD, SolidWorks, 3Ds Max, Zbrush, Maya, SketchUp หรือ Photoshop เป็นต้น ที่มา : (Print3DD, 2556.)

2.2.2 ประเภทของ 3D Printer สามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภท

1. ระบบฉีดเส้นพลาสติก (FDM หรือ FFF)

Fused Deposition Modeling (FDM) หรือระบบ FFF เป็นเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน มีหลักการทำงานคือ การหลอมเส้นพลาสติกให้กลายเป็นของเหลวแล้วฉีดออกมาเป็นเส้นผ่านหัวฉีด (Nozzle) เครื่อง FDM 3D Printer จะวาดเส้นพลาสติกที่ถูกฉีดออกมา เป็นรูปร่างในแนวแกนระนาบ เมื่อเสร็จชั้นหนึ่งก็จะพิมพ์ในชั้นต่อไป เมื่อครบหลายร้อย หรือหลายพันชั้นจะได้ออกมาเป็นรูปร่างตามที่สั่งพิมพ์

FDM 3D Printer เป็นระบบที่นิยมที่สุด และถูกที่สุด ใช้ได้กับงานทุกประเภท ชิ้นงานที่พิมพ์สามารถขัด แต่ง และเจาะ หรือใช้เป็นชิ้นส่วนในเครื่องจักรได้ อีกทั้งยังสามารถใช้วัสดุได้หลากหลายและหาวัสดุได้ง่ายตามท้องตลาด เช่น เส้น PLA, ABS, PET, Nylon, Wood (พลาสติกผสมไม้), Bronze (พลาสติกผสมทองเหลือง) เป็นต้น แต่ข้อเสียคือ ผิวงานที่พิมพ์ออกมาคุณภาพจะด้อยกว่าระบบอื่นๆ ที่มา : (Print3DD, 2556.)

ภาพประกอบ 1 ระบบฉีดเส้นพลาสติก
ที่มา : (http://www.print3dd.com : เว็บไซต์)

2. ระบบถาดเรซิ่น (SLA หรือ DLP)

Stereo lithography (SLA) หรือระบบ Digital Light Processing (DLP) มีหลักการทำงานเหมือนกัน เครื่องระบบนี้จะฉายแสงไปตัวถาดที่ใส่เรซิ่นความไวแสงไว้ (Photo Resin/Photopolymer) เมื่อเรซิ่นถูกแสงจะแข็งตัว จึงใช้หลักการแข็งตัวของเรซิ่นนี้ในการทำชิ้นงานให้เกิดรูปร่างขึ้น เมื่อเกิดรูปร่างขึ้นในชั้นหนึ่งแล้ว เครื่องก็จะเริ่มทำให้แข็งเป็นรูปร่างในชั้นต่อๆ ไป จนเกินเป็นชิ้นงานที่จับต้องได้

ระบบ SLA และ DLP ต่างกันที่ต้นกำเนิดของแสง ระบบ SLA มีแหล่งกำเนิดเส้นเป็นเลเซอร์ ดังนั้นจะยิงแสงเลเซอร์ไปที่เรซิ่นโดยวาดเส้นเลเซอร์ไปเรื่อยๆ ถ้าต้องการพิมพ์ชิ้นงานใหญ่จะใช้เวลาวาดนานกว่าชิ้นงานเล็ก ส่วน DLP นั้นใช้โปรเจคเตอร์ DLP Project ฉายภาพ ภาพที่ฉายนั้นจะครอบคลุมทั้งเลเยอร์ ทำให้การทำงานแตกต่างกัน ซึ่ง DLP ใช้เวลาในการพิมพ์น้อยกว่า และไม่ขึ้นกับจำนวนชิ้นงานบนฐานพิมพ์ เนื่องจากไม่ต้องลากทีละเส้น

การพิมพ์ระบบถาดเรซิ่นนี้ เหมาะกับงานชิ้นเล็กๆ ที่ต้องการความละเอียดสูง โดยทั่วไปจะพิมพ์ชิ้นงานได้ไม่ใหญ่มาก จึงเหมาะกับธุรกิจเครื่องประดับ, งานหล่อ, ชิ้นส่วนเล็กในงานอุตสาหกรรม, งานออกแบบผลิตภัณฑ์, งานโมเดลฟิกเกอร์ และงานพระเครื่อง เป็นต้น ที่มา : (Print3DD, 2556.)

ภาพประกอบ 2 3D Printer ระบบถาดเรซิ่น
ที่มา : (http://www.print3dd.com : เว็บไซต์)

3. ระบบผงยิปซั่มและสี Ink Jet (Powder 3D Printer หรือ ColorJet Printing)

Powder 3D Printer หรือเครื่องพิมพ์ระบบแป้ง เป็นระบบใช้ผงยิปซั่มหรือผงพลาสติกเป็นตัวกลางในการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยเครื่องจะทำงานคล้ายระบบ Inkjet แทนที่จะพิมพ์ไปบนกระดาษ แต่เครื่องจะพิมพ์ลงไปบนผงยิปซั่มแทน โดยจะพิมพ์สีลงไปเหมือนกัน ต่างกันที่ระบบจะฉีด Blinder หรือกาวลงไป ในการผสานผงเข้าด้วยกันเป็นรูปร่าง เมื่อสร้างเสร็จในชั้นหนึ่ง เครื่องจะเกลี่ยผงยิปซั่มมาทับเป็นชั้นบางๆ ในชั้นต่อไป เพื่อเตรียมพร้อมให้เครื่องพิมพ์สีและ Blinder อีกครั้ง

ระบบมีจุดเด่นคือ สามารถพิมพ์สีได้สมจริง เครื่องพิมพ์ Inkjet โดยทั่วไปจึงเหมาะกับงานศิลปะ โมเดลคนเหมือนจริง หุ่นจำลอง หรือชิ้นงานที่ต้องการเห็นสีสมจริง ข้อเสียคือ งานที่ได้มีความเปราะ หล่นแล้วแตก และยากในการทำความสะอาด ที่มา : (Print3DD, 2556.)

ภาพประกอบ 3 3D Printer ระบบผงยิปซั่ม
ที่มา : (http://www.print3dd.com : เว็บไซต์)

4. ระบบหลอมผงพลาสติก ผงโลหะ และเซรามิก (SLS)

Selective laser sintering (SLS) เป็นระบบที่มีหลักการทำงานคล้ายระบบ SLA ต่างกันตรงที่ไม่ทำให้เรซิ่นแข็งตัวโดยการฉายเลเซอร์ SLS จะยิงเลเซอร์ไปโดยตรงบนผงวัสดุ ความร้อนจากเลเซอร์ทำให้ผงวัสดุหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน กระบวนการเริ่มจากถาดที่ใส่ผงวัสดุ เช่น ผงทองเหลือง เครื่องจะเริ่มยิงเลเซอร์ความเข้มข้นสูงไปยังผงทองเหลืองในถาด เมื่อยิงไปยังตำแหน่งใด ผงทองเหลืองจะหลอมรวมเป็นรูปร่างที่ตำแหน่งนั้นๆ พอพิมพ์เสร็จในชั้นหนึ่ง เครื่องจะเกลี่ยผงทองเหลืองบางๆ มาทับในชั้นต่อไป เพื่อเริ่มกระบวนการยิงเลเซอร์เพื่อหลอมละลายใหม่ ทำซ้ำไปเรื่อยๆหลายร้อย หลายพันชั้นจนเกิดมาเป็นชิ้นงานที่ต้องการ

ระบบนี้มีข้อดีคือ ได้งานออกมาเป็นโลหะ หรือพลาสติกพิเศษ โดยใช้ผงของวัสดุนั้น แต่ข้อเสียสำคัญคือ เครื่องมีราคาสูง หากเทียบกับระบบอื่น ที่มา : (Print3DD, 2556.)

ภาพประกอบ 4 3D Printer ระบบหลอมผงพลาสติก, ผงโลหะ และเซรามิก
ที่มา : (http://www.print3dd.com : เว็บไซต์)

5. ระบบอื่นๆ

ระบบ Poly Jet ใช้หลักการเดียวกันกับเครื่องพิมพ์แบบ Inkjet โดยจะมีหัวฉีด Jet พ่นเรซิ่นออกมาแล้วฉายให้แข็งด้วยแสง UV อีกรอบ ทำไปทีละชั้นเรื่อยๆ จนออกมาเป็นรูปร่างชิ้นงาน 3 มิติ ซึ่งระบบนี้จะมีความแม่นยำสูง แต่มีราคาค่อนข้างแพง

ระบบกระดาษ จะเป็นการพิมพ์สีลงบนกระดาษ และมีไดคัทตัดกระดาษไปในตัว ระบบนี้นี้คล้ายระบบ Powder 3D Printer ต่างกันตรงที่วัสดุจะเป็นกระดาษแทนผงยิบซั่ม
ที่มา : (Print3DD, 2556.)

2.3 วัสดุในการผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์

ปัจจุบันการผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ นิยมใช้วัสดุในการทำแม่พิมพ์ ได้แก่ ซิลิโคน ไม้เนื้ออ่อน หินอ่อน และปูนปาสเตอร์ ที่มา : (มะลิวัลย์, 2555.) ซึ่งแต่ละวัสดุมีคุณสมบัติ และข้อดีข้อเสียดังนี้

2.3.1 ซิลิโคน

ยางซิลิโคนมีความหนืดสูง มีข้อดีคือทำให้ความหนาของชั้นแม่พิมพ์หนาขึ้น ยิ่งความแข็ง (Hardness) ความทดทานของผิวแม่พิมพ์มาก ผิวแม่พิมพ์ยิ่งแข็งแรงทำให้ใช้งานได้บ่อย แต่ข้อเสียคือใช้งานยากขึ้นในการทำ แตกหักได้ง่ายกว่าในกรณีมีการยืดและหดแม่พิมพ์บ่อยๆ และทนความร้อนได้ประมาณ 200 องศาเซลเซียส ที่มา : (ซุปเปอร์ซิลิโคน, 2556.)

2.3.2 ไม้เนื้ออ่อน

เป็นไม้ที่มีความแข็งแรงเฉลี่ยต่ำกว่า 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความทนทานต่ำเมื่อเทียบกับไม้ประเภทอื่น ไม้ประเภทนี้ก็ได้แก่ ไม้ยางแดง ไม้กระท้อน ไม้ต้นมะพร้าว

ไม้ยาง ลักษณะเนื้อไม้มีสีแดงเรื่อ หรือสีน้ำตาลหม่น เสี้ยนมักตรง เนื้อหยาบ แข็งปานกลาง ใช้ในร่ม ทนทานดี เลื่อยไสตกแต่งได้ดี น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 650-720 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป เช่น ใช้เป็นไม้ฝา ไม้คร่าว ฝ้าเพดาน คร่าวฝา

ไม้กระท้อน ลักษณะเนื้อไม้มีสีแดงเรื่อๆปนเทา เสี้ยนไม้ตรง เนื้อค่อนข้างหยาบ แข็งแรงปานกลาง ใช้ในร่มทนทานพอควร เลื่อยไสตกแต่งได้ง่าย ขัดและชักเงาได้ ผึ่งให้แห้งได้ง่าย แต่หดตัวมาก ใช้ทำพื้น เพดาน และเครื่องเรือน

ไม้ต้นมะพร้าว เนื้อมีความหนาแน่น ใช้เป็นโครงสร้างรองได้ ความหนาแน่นตรงริมมีมากกว่าตรงกลางต้น ตอนกลางมีน้ำหนักเฉลี่ย 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ตอนริมมีน้ำหนักเฉลี่ยถึง 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่มา : (สายสองค้าไม้, 2561.)

2.3.3 หินอ่อน

หินอ่อน (Marble) มีมากมายหลายชนิดตามลักษณะของเนื้อหิน ไม่ดูดซับน้ำและไม่เก็บความร้อน เป็นหินที่ดูดซับความเย็น สามารถทำความสะอาดได้ง่าย สีของหินที่พบในประเทศมีหลายสีและลวดลายต่างๆกัน ซึ่งใช้กำหนดราคาตามความนิยมของตลาด เช่น สีขาว เทาขาว เทาเข้ม เทาดำ ชมพู เทาเขียว ทั้งที่มีลวดลายและเป็นสีล้วน

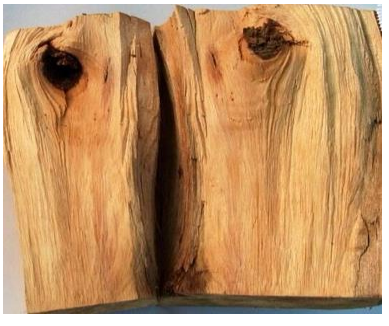
หินอ่อนมีลักษณะคล้ายกับหินแกรนิตแต่หินอ่อนจะเกิดรอยขูดขีดได้ง่ายกว่า และมีราคาสูงกว่าหินแกรนิต มีลักษณะดูใสและละเอียด แต่เมื่อโดนกรดจะมีรอยด่างและมีน้ำหนักมาก
ที่มา : (อาภร, 2561.)

2.3.4 ปูนปลาสเตอร์

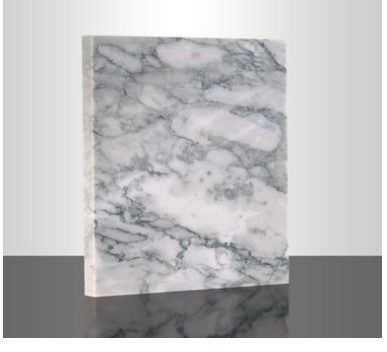
เนื้อปูนเป็นผงละเอียด ไม่จับตัวเป็นก้อน เมื่อผสมน้ำจะต้องมีการถ่ายความร้อนออกมา ใช้น้ำในการผสมน้อย แต่เนื้อปูนเหลว และไหลลื่นดี เมื่อเนื้อปูนแห้งหรือแข็งตัว เนื้อปูนควรมีการขยายตัวน้อยหรือคงที่ให้มากที่สุด เนื้อปูนปลาสเตอร์ไม่ทำปฏิกิริยากับแม่พิมพ์ที่รุนแรงหรือทำให้แม่พิมพ์เสื่อมตัวเร็วเกิน ที่มา : (สันติ, 2555.)

ตัวอย่างวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ แสดงดังภาพประกอบ 5

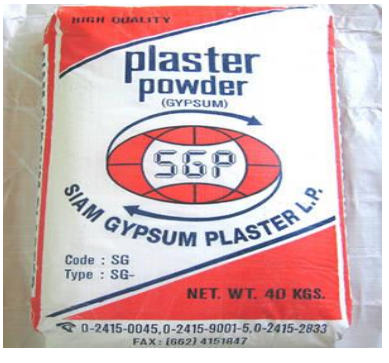
ก. ซิลิโคน



ข. ไม้กระท้อน



ค. หินอ่อน



ง. ปูนปลาสเตอร์

ภาพประกอบ 5 วัสดุที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์

2.4 วัสดุที่นำมาทดลองผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์

ในการศึกษานี้จะทำการทดลองผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ซึ่งวัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นพลาสติก ในที่นี้จะกล่าวถึงพลาสติก 2 ชนิด คือ PLA และ ABS ซึ่งมีคุณสมบัติ และข้อดีข้อเสียดังนี้

2.4.1 PLA หรือ Polylactic-acid

ข้อดี คือ มีลักษณะใสและเงา ชิ้นงานที่ออกมามีลักษณะกึ่งใสคล้ายแก้ว มีความแข็งแต่เปราะ กลิ่นเป็นมิตร ย่อยสลายได้ง่าย เนื่องจากเป็นวัสดุหลักจากธรรมชาติ ชิ้นงานสวยมีความคม เก็บลายละเอียดดี ใช้งานง่าย ขึ้นรูปง่าย เนื่องจากจุดหลอมเหลวต่ำ (180-220 องศา) ไม่ต้องใช้แผ่นรองความร้อนขึ้นรูป และเย็นตัวเร็ว

ข้อเสีย คือ เปราะ ไม่ทนต่อแรงบิดและแรงดึงนัก หากบิดหรือดึง PLA จะหักก่อนที่จะงอ ทนความร้อนได้น้อย เนื่องจากมี Glass Transition (สถานะที่มีคุณสมบัติกึ่งของแข็ง-ของเหลว) ที่ 60-65 องศาเท่านั้น จึงเปลี่ยนรูปร่างได้ง่าย ไม่เหมาะอย่างยิ่งที่จะเอาไปใช้งานตากแดด ที่มา : (ชม, 2556.)

2.4.2 ABS หรือ Acrylonitrile-Butadiene-Styrene

ข้อดี คือ แข็งแรงยืดหยุ่น ทนต่อแรงบีบและแรงดึงได้ดี จึงเหมาะในการขึ้นงานทางกลไก มีจุดหลอมเหลวสูง คือ 200-250 องศา (สูงกว่าเมื่อเทียบกับ PLA) ทำให้สามารถใช้งานในสภาพที่ร้อนกว่าได้ มีลักษณะขุ่นทึบ เหมาะกับชิ้นงานที่ต้องการคุณสมบัติทึบ

ข้อเสีย คือ กลิ่นแรง เนื่องจากมีส่วนประกอบหลักเป็นพลาสติก เมื่อถูกฉีดออกจากหัวฉีดจะมีกลิ่นพลาสติกไหม้ แต่เมื่อปล่อยให้เย็นชิ้นงานอาจมีกลิ่นอ่อนเหมือนพลาสติกทั่วๆไป ขอบชิ้นงานไม่คม เนื่องจากมีลักษณะหนืด เวลาถูกฉีดออกจากหัวฉีดจะมีความโค้งมนอยู่ เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวสูงและเย็นตัวช้า ทำให้ชิ้นงานมีโอกาสหดตัวหรือเสียรูปได้ง่ายขณะพิมพ์ ไม่ควรปล่อยทิ้งให้เย็นเร็วเกินไป เพราะอาจจะทำให้เสียรูปหรือบิดเบี้ยวได้ ที่มา : (ชม, 2556.)

ตัวอย่างวัสดุที่นำมาทดลองผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ แสดงดังภาพประกอบ 6

ก. เส้นพลาสติก PLA ข. เส้นพลาสติก ABS

ภาพประกอบ 6 วัสดุที่นำมาทดลองผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อรอนงค์ ไพรโสภา และ คมสัน กุลค้อ (2561) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิตเทียนพรรษาแกะสลัก มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบลวดลาย และผลิตชิ้นงานเทียนติดพิมพ์ โดยมีวิธีการดำเนินงานเริ่มจากการเลือกลวดลายเทียนพรรษาประเภทติดพิมพ์มา 3 ลวดลาย ได้แก่ ลายลูกประคำ ลายกระจังตาอ้อย และลายประจำยามก้ามปู จากนั้นนำแบบจำลองสามมิติของทั้ง 3 ลาย ซึ่งได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks มาสร้าง NC Code ด้วยโปรแกรม ArtCAM แล้วทำการกัดขึ้นรูปต้นแบบชิ้นงานด้วยเครื่องกัด Mini CNC โดยใช้ดอกกัด Endmill ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร และดอกกัด Engraving ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร ทำมุม 10 องศา สำหรับกัดขึ้นรูปชิ้นงาน โดยลายลูกประคำและลายกระจังตาอ้อยใช้สบู่เป็นวัสดุในการกัดขึ้นรูปต้นแบบชิ้นงาน และลายประจำยามก้ามปูใช้เทียนเขียว (Wax) ในการกัดขึ้นรูปต้นแบบชิ้นงาน พบว่าลายกระจังตาอ้อยและลายประจำยามก้ามปูมีขนาด รูปร่างที่เหมาะสมและสวยงามแล้ว แต่ในส่วนของลายลูกประคำนั้นพบปัญหาลายมีขนาดเล็ก ไม่สวยงาม ผู้วิจัยจึงได้แก้ไขแบบในโปรแกรม SolidWorks ให้ลายมีขนาดใหญ่ขึ้น และเพิ่มความหนาของต้นแบบชิ้นงานจาก 2 มิลลิเมตรเป็น 4 มิลลิเมตร ทำให้ลายลูกประคำมีขนาด รูปร่างเหมาะสม และสวยงามมากขึ้น ขั้นตอนถัดไปผู้วิจัยทำการหล่อขี้ผึ้งในแม่พิมพ์ขนาด 300 x 400 มิลลิเมตร หนา 5-7 มิลลิเมตร เพื่อนำไปตัดให้ได้ขนาดที่ต้องการ และนำไปกัดขึ้นรูปชิ้นงานตามต้นแบบด้วยเครื่องกัด Mini CNC โดยใช้ดอกกัดแบบเดียวกับการกัดต้นแบบชิ้นงาน ในขั้นตอนนี้พบปัญหาเศษเทียนจากการกัดเข้าไปอุดตันลายของชิ้นงาน ทำให้มองเห็นลวดลายไม่ชัดเจน ต้องทำการแกะเศษเทียนออกหลังจากกัดชิ้นงานเสร็จแล้ว ส่งผลให้ใช้เวลาในการผลิตนานขึ้น และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการนำชิ้นงานเทียนแต่ละลวดลายมาประกอบลงบนต้นเทียนพรรษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร โดยการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานจนเกิดการอ่อนตัว แล้วจึงนำมาติดลงบนต้นเทียน สำหรับการทำงานในอนาคตผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะว่า ในการกัดชิ้นงานที่มีความเว้า โค้ง นูน ควรใช้ดอกกัด Ball nose แทน Endmill และ Engraving เพื่อให้ผิวงานเรียบเนียนมากขึ้น และควรใช้วิธีการแกะเป็นบล็อกแม่พิมพ์แทนการกัดด้วยเทียน เพื่อความง่ายและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน ลดปัญหาการอุดตันของลายเทียน และลดเวลาในการผลิต

ปานจิต ศรีสวัสดิ์ และคณะ (2560) ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพและพัฒนากระบวนการแกะสลักต้นเทียนประเภทติดพิมพ์ โดยมีวิธีดำเนินงานเริ่มจากสำรวจและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของกระบวนการแกะสลักต้นเทียนประเภทติดพิมพ์ด้วยแผนภาพก้างปลา (Fishbone diagram) พบว่าขั้นตอนการพิมพ์ลายและแกะลายมีระยะเวลานาน วิธีการทำค่อนข้างยุ่งยากเนื่องจากต้องใช้ความประณีตในการแกะสลัก ผู้วิจัยจึงได้เลือกลายเทียนที่ใช้ทำต้นเทียนมาปรับปรุงการพิมพ์ลายและแกะลายทั้งหมด 2 ลาย ได้แก่ ลายฟันปลา และลายประจำยาม จากนั้นได้ทำการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิคการตั้งคำถามด้วยเครื่องมือ 5W1H พบว่าวิธีที่จะสามารถทำให้การพิมพ์ลาย

และแกะลายรวดเร็วขึ้นคือ การทำอุปกรณ์ช่วยในการพิมพ์ลายและแกะลาย ต่อมาผู้วิจัยได้ใช้การประยุกต์กระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยแม่พิมพ์และเครื่องกดแม่พิมพ์มาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ดังกล่าว ซึ่งได้เลือกใช้ไม้และอะคริลิคเป็นวัสดุในการทำอุปกรณ์ โดยการนำไม้มาแกะสลักเพื่อทำแม่พิมพ์สำหรับพิมพ์ลายเทียน และนำอะคริลิคมาทำอุปกรณ์ตัดขอบ หลังจากนั้นได้ทดสอบการแกะสลักต้นเทียนประเภทติดพิมพ์ที่ออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการพิมพ์ลายและแกะลายใหม่ พบว่าการพิมพ์ลายและแกะลายฟันปลา เวลาการผลิตลดลง 3.95 เปอร์เซนต์, เวลาการรอคอยลดลง 74.42 เปอร์เซนต์, ผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และต้นทุนด้านแรงงานลดลง 64.28 เปอร์เซนต์ ในส่วนของการพิมพ์ลายและแกะลายประจำยาม เวลาในการผลิตลดลง 3.95 เปอร์เซนต์, เวลาการรอคอยลดลง 76.09 เปอร์เซนต์ และผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า สำหรับการทำงานในอนาคตผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะว่า วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์สำหรับพิมพ์ลายเทียนควรพัฒนาให้มีคุณภาพมากขึ้น เช่น การใช้แสตนเลสแทนไม้ เนื่องจากแสตนเลสมีความมันที่ผิวมากกว่าไม้ มีผลให้การแกะเทียนใช้เวลาน้อยลง แกะง่าย เทียนไม่ขาดติดกับแม่พิมพ์

ธนากร สีทะนารัตน์ และ ธีรวุฒิ กิตติวงศ์โสภา (2560) ทำการศึกษาและผลิตต้นแบบเครื่องประดับห่วงรัดซิ่นด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D printer) โดยมีวิธีการดำเนินงานเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นนำแบบชิ้นงานห่วงรัดซิ่นขนาด 80 x 101 มิลลิเมตร โค้งงอจากพื้น 20 มิลลิเมตร มีรูตรงกลางชิ้นงาน ขนาด 28 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู ซึ่งได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks แปลงเป็นไฟล์นามสกุล STL เพื่อสร้างไฟล์ .x3g ในโปรแกรม NewCreatorK และนำเข้าเครื่อง 3D printer เพื่อทำการผลิตต้นแบบโดยใช้วัสดุ PLA หรือ Polylactic-acid ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตร เป็นวัสดุในการขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งผลการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานแรกเฉพาะส่วนที่เป็นโครงของชิ้นงาน พบว่าชิ้นงานมีขนาดเล็กกว่าแบบ 3 มิติเล็กน้อย จากนั้นได้ขึ้นรูปชิ้นงานพร้อมลวดลายโดยเลือกใช้โปรไฟล์การพิมพ์แบบปกติ (Normal) และใช้ความหนาของชิ้นงานจริง 0.65 มิลลิเมตร พบว่าชิ้นงานมีรอยตำหนิ รอยขาด ลวดลายไม่ชัดเจน ชิ้นงานบางไม่แข็งแรงคงรูป ซึ่งผู้วิจัยตั้งสมมติฐานว่าอาจเกิดจากโปรไฟล์ที่ใช้ในการพิมพ์ยังไม่ละเอียดพอ จึงได้เปลี่ยนมาใช้โปรไฟล์การพิมพ์เป็นแบบคุณภาพ (Quality) ที่ความหนา 0.65 มิลลิเมตรเท่าเดิม พบว่าชิ้นงานมีความละเอียดขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย แต่ยังมีรอยขาดและไม่แข็งแรงคงรูป คาดว่าอาจเกิดจากความหนาของชิ้นงาน จึงได้แก้ไขแบบ 3 มิติ ในโปรแกรม SolidWorks ให้ชิ้นงานมีความหนา 2 มิลลิเมตร และนำกลับไปใช้โปรไฟล์ในการพิมพ์เป็นแบบปกติ (Normal) พบชิ้นงานมีความแข็งแรงคงรูปขึ้น แต่ในส่วนของลวดลายยังมีรอยถลอกอยู่ และเมื่อเปลี่ยนโปรไฟล์การพิมพ์เป็นแบบคุณภาพ (Quality) พบว่าชิ้นงานมีความแข็งแรงคงรูป และลวดลายชัดเจนได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 3.55 สำหรับการทำงานในอนาคตผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะว่า ควรนำชิ้นงานต้นแบบที่ได้ไปทำแม่พิมพ์ห่วงรัดซิ่นสำหรับการผลิตชิ้นงานต่อไป และควรจะมีการทดลองใช้วัสดุอื่นเช่น ABS PET Nylon ที่มีความแข็งแรง ทนความร้อนและคงรูปกว่าวัสดุ PLA

ณปภัทร จันทร์เมือง (2560) ทำการสร้างต้นแบบของที่ระลึกพวงกุญแจโดยใช้เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ มีวิธีการดำเนินงานเริ่มจากการออกแบบพวงกุญแจโดยใช้ตัวอักษรเป็นองค์ประกอบหลัก ประกอบด้วยตัวอาลักษณ์ ตัวพิมพ์เขียน ตัวพิมพ์แบบมีหัว ตัวปาด และตัวพิมพ์แบบตกแต่ง โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้ตัวพิมพ์แบบมีหัวมาใช้เป็นภาพร่างสำหรับการพิมพ์สามมิติ เนื่องจากสามารถอ่านได้ง่ายและเป็นรูปทรงที่เอื้อประโยชน์ต่อการพิมพ์ในเครื่องพิมพ์สามมิติ จากนั้นนำภาพร่างมาสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม 3D max แล้วบันทึกไฟล์งานเป็น .STL เพื่อส่งไปยังเครื่องพิมพ์ชิ้นงานต้นแบบ ทำการสั่งพิมพ์ในเครื่องพิมพ์สามมิติโดยอาศัยโปรแกรม XYZware ในการแปลงแบบจำลองให้เกิดเป็นภาพตัด มีความหนาแต่ละชั้นไม่เกิน 1 มิลลิเมตร เมื่อเครื่องพิมพ์ได้รับข้อมูลจะทำการพิมพ์แผ่นบางๆ ขึ้นทีละชั้นซ้อนทับกันไปเรื่อยๆ จนกลายเป็นชิ้นงานสามมิติตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยวัสดุที่ใช้ในการพิมพ์คือเทอร์โมพลาสติกประเภทเอบีเอส (ABS) พบว่าชิ้นงานที่ได้มีพื้นผิวไม่เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน มีลักษณะเป็นขั้นบันได ต้องนำมาขัดตกแต่งพื้นผิวอีกครั้ง ดังนั้นขั้นตอนสุดท้ายจึงเป็นการนำชิ้นงานต้นแบบที่ได้ไปตัดพลาสติกส่วนเกิน และขัดตกแต่งเพื่อสร้างความเรียบร้อยและสวยงาม ตามที่ออกแบบไว้ สำหรับการทำงานในอนาคตผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะว่า ในการสั่งพิมพ์ชิ้นงาน ผู้ปฏิบัติควรพิจารณารูปทรงและทิศทางในการวางชิ้นงานบนแท่นพิมพ์แต่ละครั้ง เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในขั้นตอนของการฉีดวัสดุผ่านหัวพิมพ์ และต้องระมัดระวังเรื่องการโค้งงอของชิ้นงานที่อาจเกิดขึ้นได้

ภัทรบดี พิมพ์กิ (2558) ทำการสร้างสรรค์เครื่องประดับจากวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ต้นแบบสามมิติโดยอาศัยปรัชญา วะบิ-ซะบิ (Wabi-Sabi) เป็นปรัชญาที่ว่าด้วยความไม่สมบูรณ์แบบ (Imperfect) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติอย่างรวดเร็ว รวมถึงการศึกษาสภาพของเนื้อวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากกระบวนการผลิต โดยมีการสร้างสรรค์เครื่องประดับทั้งหมด 11 ชิ้น ได้แก่ จี้ 4 ชิ้น เข็มกลัด 3 ชิ้น และแหวน 4 ชิ้น ในการศึกษาผู้วิจัยเริ่มต้นจากการออกแบบชิ้นงานจำลอง 3 มิติด้วยโปรแกรม 3DesignCAD จากนั้นป้อนไฟล์งานที่ออกแบบเข้าสู่เครื่อง Projet CPX3000 ซึ่งเป็นเครื่องพิมพ์ชิ้นงานต้นแบบสามมิติมีหลักการทำงานแบบ Multi-Jet Modeling หรือการพ่นขี้ผึ้งที่หลอมเหลวด้วยหัวพิมพ์จำนวนมาก ขณะที่หัวพิมพ์พ่นเนื้อขี้ผึ้งลงบนถาดรองชิ้นงานแต่ละครั้ง จะมีลูกกลิ้งทำหน้าที่เป็นตัวปาดเนื้อขี้ผึ้งส่วนเกินทิ้งไป พบว่ากระบวนการในการปาดเนื้อวัสดุส่วนเกินทิ้งในขณะที่เครื่องกำลังขึ้นรูปชิ้นงานอยู่ก่อให้เกิดการสูญเสียเนื้อวัสดุอย่างมาก โดยเนื้อวัสดุเหลือทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นขี้ผึ้งหลอมเหลวหยดลงในช่องเก็บเศษวัสดุที่อยู่ด้านล่างของตัวเครื่อง ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบนำวัสดุ 5 ประเภท ได้แก่ โลหะ เชือก ไม้ พลาสติก และขี้ผึ้งที่ใช้ในการขึ้นรูปมารองรับหยดขี้ผึ้งหลอมเหลวจากเครื่อง พบว่าโลหะมีความแข็งแรงสามารถรองรับน้ำหนักได้ดี และขี้ผึ้งที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นอีกวัสดุที่ผู้วิจัยสนใจ เนื่องจากมีสมบัติการหลอมละลายชิ้นงานเข้าด้วยกันกับชิ้นงานตั้งต้น จากนั้นจึงสร้างเครื่องประดับด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ประกอบกับสร้างตัวรองรับขี้ผึ้งหลอมเหลวให้มีรูปทรงต่างๆ เมื่อเศษขี้ผึ้งหลอมเหลวหยดลงไปเกาะที่ตัวรองรับจะก่อให้เกิดผลงานเครื่องประดับแบบใหม่ตามวิถีวะบิ-ซะบิ สุดท้ายทำการขัดตกแต่ง

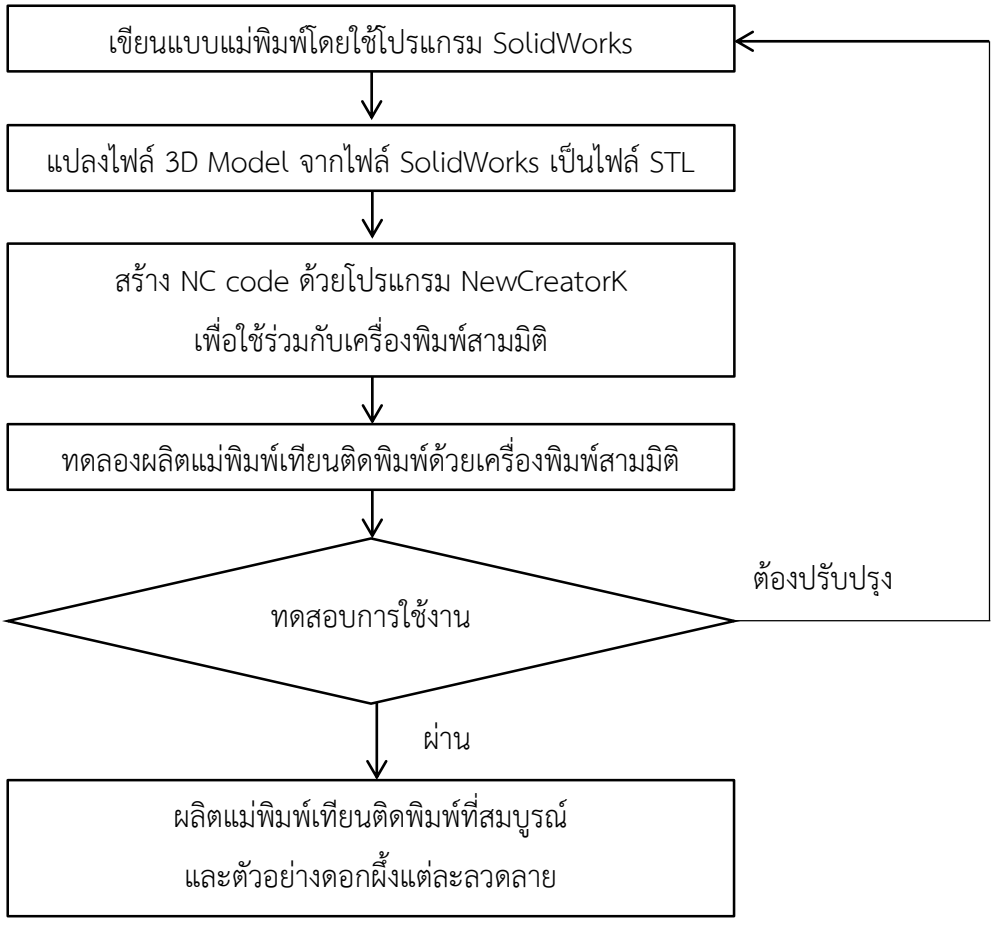
ด้วยตะไบให้เรียบร้อยและสวยงาม จากกระบวนการสร้างสรรค์เครื่องประดับพบว่า วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปหรือขี้ผึ้ง มีความเปราะ ง่ายต่อการแตกหัก จึงต้องใช้ความระมัดระวังในการหยิบจับหรือประกอบชิ้นงาน นอกจากนี้ปริมาณของเศษวัสดุที่ถูกปาดทิ้งโดยเครื่องจักรอาจมีรูปแบบ และความงามที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา สามารถนำไปต่อยอดและพัฒนาเป็นเครื่องประดับรูปแบบอื่นๆ ได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 ขั้นตอนในการศึกษา

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยเริ่มต้นจากการนำแบบลวดลายเทียนติดพิมพ์ 3 มิติ ที่เขียนแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks จากงานปริญญานิพนธ์ของ อรอนงค์ ไพรโสภา และ คมสัน กุลค้อ (2561) คือ ลายประจำยามก้ามปู รวมถึงจะนำลวดลายเทียนติดพิมพ์อีก 2 ลวดลาย คือลายผีเสื้อ และลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ จากงานปริญญานิพนธ์ของ อรรศราวุฒิ วงษ์มูล และ ธัญญา คงสุขา (2562) ที่กำลังศึกษาควบคู่กันไป มาเป็นแบบงานเริ่มต้น จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ (3D Model) ด้วยโปรแกรม SolidWorks ขั้นตอนถัดมาทำการบันทึกแบบจำลองแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ที่ออกแบบไว้เป็นนามสกุล STL สำหรับนำมาใช้ในโปรแกรม NewCreatorK และสร้าง NC code เพื่อใช้ร่วมกับเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) โดยในการใช้โปรแกรม NewCreatorK จะทำการปรับชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม และปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในโปรแกรมตามที่ต้องการ สุดท้ายบันทึกไฟล์ .x3g เพื่อนำไฟล์เข้าเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) และทดลองผลิตชิ้นงานแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์โดยใช้พลาสติก PLA ต่อมานำชิ้นงานแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ที่ได้ไปทดสอบการใช้งาน โดยการใช้ขี้ผึ้งมารีดขึ้นรูปบนแม่พิมพ์ จากนั้นทำการแกะลายเทียนที่ได้ออกมาพิจารณา หากลวดลายเทียนที่ได้ไม่เป็นไปตามแบบ หรือได้ผลที่ไม่น่าพอใจ ต้องทำการแก้ไขใหม่จนได้ลวดลายเทียนที่สวยงามและสมบูรณ์ที่สุด ขั้นตอนสุดท้ายจึงทำการผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ ขั้นตอนการศึกษาสรุปเป็น Flowchart ดังแสดงในภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการศึกษา

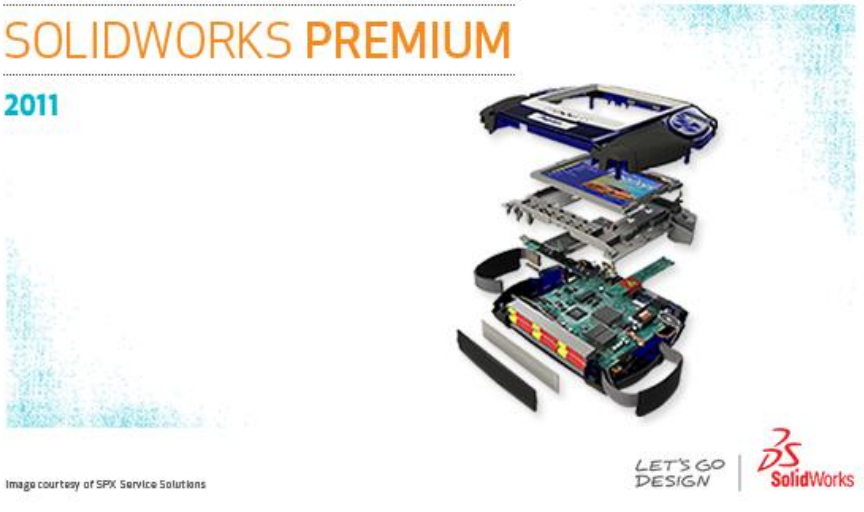
3.2.1 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ดังแสดงในภาพประกอบ 8 ใช้วัดขนาดชิ้นงานเพื่อนำไปเขียนแบบในโปรแกรม SolidWorks

ภาพประกอบ 8 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

3.2.2 เครื่องพิมพ์สามมิติ รุ่น 3DISON PRO ดังแสดงในภาพประกอบ 9 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานแม่พิมพ์

ภาพประกอบ 9 เครื่องพิมพ์สามมิติ รุ่น 3DISON PRO

3.2.3 โปรแกรม SolidWorks 2011 ดังแสดงในภาพประกอบ 10 ใช้ในการออกแบบโครงสร้างแม่พิมพ์



ภาพประกอบ 10 โปรแกรม SolidWorks 2011

3.2.4 โปรแกรม New CreatorK ดังแสดงในภาพประกอบ 11 ใช้สร้าง NC code เพื่อผลิตชิ้นงานในเครื่องพิมพ์สามมิติ

ภาพประกอบ 11 โปรแกรม New CreatorK

3.2.5 Filament spool วัสดุ PLA หรือ Polylactic-acid ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตร เป็นวัสดุในการขึ้นรูปชิ้นงานแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพประกอบ 12

ภาพประกอบ 12 Filament spool วัสดุ PLA

3.2.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมขี้ผึ้ง ดังแสดงในภาพประกอบ 13 ได้แก่ ก. ขี้ผึ้ง ข. เตาอั้งโล่ ค. ถ่านไม้ ง. ชามอ่าง จ. ถาดสังกะสีเคลือบ ฉ. กระบวย ช. ผ้ากรอง

ก. ข. ค.

ง. จ. ฉ. ช.

ภาพประกอบ 13 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมขี้ผึ้ง

3.2.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพิมพ์ดอกผึ้ง ดังแสดงในภาพประกอบ 14 ได้แก่ ก. ช้อนโลหะ ข. น้ำยาล้างจาน ค. น้ำมันพืช ง. ผ้าเช็ดมือ จ. ไม้นวดแป้ง ฉ. ฟองน้ำ ช. มีดแกะสลัก ซ. คัตเตอร์ ฌ. แปรงปัด

ก. ข. ค. ง.

จ. ฉ. ช.

ซ. ฌ.

ภาพประกอบ 14 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพิมพ์ดอกผึ้ง

3.2.8 อุปกรณ์สำหรับหล่อเทียนพรรษาและติดดอกผึ้งลายเทียนติดพิมพ์ ดังแสดงในภาพประกอบ 15 ได้แก่ ก. แผ่นสังกะสีเรียบ ข. ท่อพีวีซี ค. ไดร์เป่าผม

ก. ข.

ค.

ภาพประกอบ 15 อุปกรณ์สำหรับหล่อต้นเทียนพรรษา

3.3 ลวดลายที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษานี้จะทำการผลิตและทดสอบแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์จำนวน 3 ลวดลาย ได้แก่ ลายผีเสื้อ ลายประจำยามก้ามปู และลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ

3.3.1 ลายผีเสื้อ ดังแสดงในภาพประกอบ 16

ภาพประกอบ 16 ลายผีเสื้อ

3.3.2 ลายประจำยามก้ามปู ดังแสดงในภาพประกอบ 17

ภาพประกอบ 17 ลายประจำยามก้ามปู

3.3.3 ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ ดังแสดงในภาพประกอบ 18

ภาพประกอบ 18 ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ

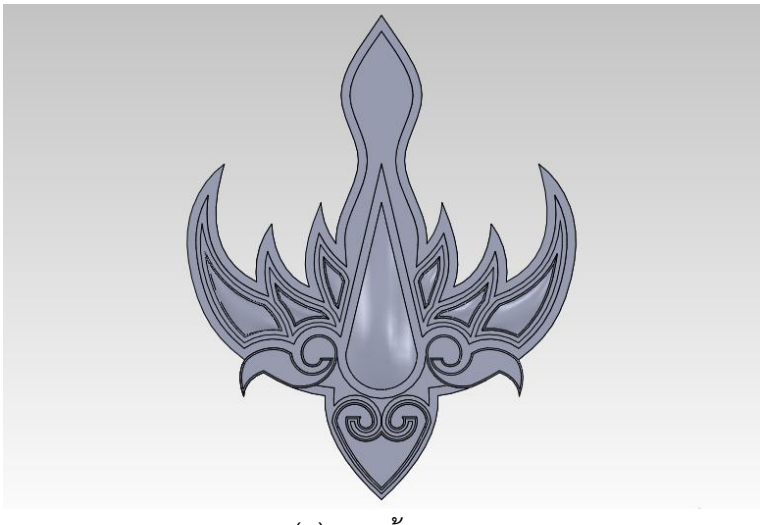
บทที่ 4

ผลการศึกษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงการผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ทั้งหมด 3 ลวดลาย ได้แก่ ลายผีเสื้อ ลายประจำยามก้ามปู และลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ ที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks จากงานปริญญานิพนธ์ของ อรรศราวุฒิ วงษ์มูล และ ธัญญา คงสุขา (2562) และจากงานปริญญานิพนธ์ของ อรอนงค์ ไพรโสภา และคมสัน กุลค้อ (2561) ผลการทดลองการผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ และผลการทดลองการรีดลายเทียนติดพิมพ์ สรุปได้ดังนี้

4.1 การผลิตแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ

ต้นแบบชิ้นงาน 3 มิติ (3D model) ลายผีเสื้อ ซึ่งได้จากงานปริญญานิพนธ์ของ อรรศราวุฒิ วงษ์มูล และธัญญา คงสุขา (2562) มีขนาด กว้างxยาวxหนา เท่ากับ 45x55x4.5 มิลลิเมตร^3 ดังแสดงในภาพประกอบ 19



(ก) ภาพด้านบน

(ข) ภาพไอโซเมตริก

ภาพประกอบ 19 ต้นแบบชิ้นงาน 3 มิติลายผีเสื้อ

ขั้นตอนแรกผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ด้วยโปรแกรม SolidWorks จากนั้นบันทึกเป็นนามสกุล STL สำหรับนำมาสร้างไฟล์ .x3g ในโปรแกรม NewCreatorK และสร้าง NC code เพื่อใช้ร่วมกับเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) ซึ่งอธิบายขั้นตอนได้ดังนี้

4.1.1 การสร้างแบบจำลองแม่พิมพ์ 3 มิติ

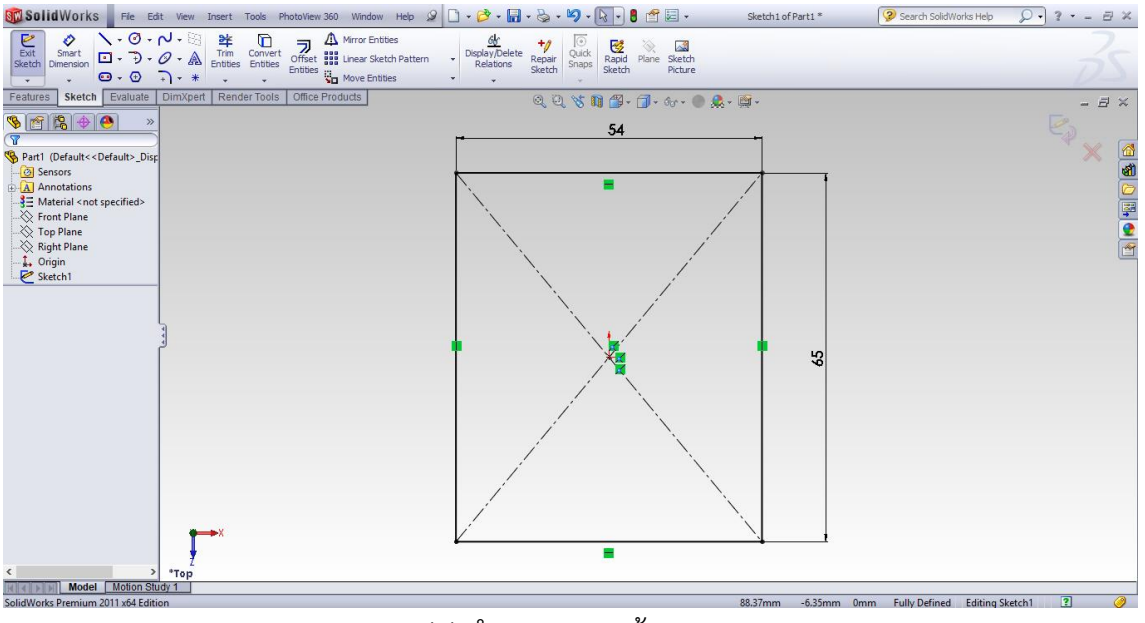
ในการสร้างแบบจำลองแม่พิมพ์ 3 มิติลายผีเสื้อ ได้ใช้โปรแกรม SolidWorks ช่วยในการออกแบบและสร้างแบบจำลองแม่พิมพ์ โดยมีขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองแม่พิมพ์ 3 มิติลายผีเสื้อ แสดงดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างบล็อกแม่พิมพ์ (ตัวฐาน)

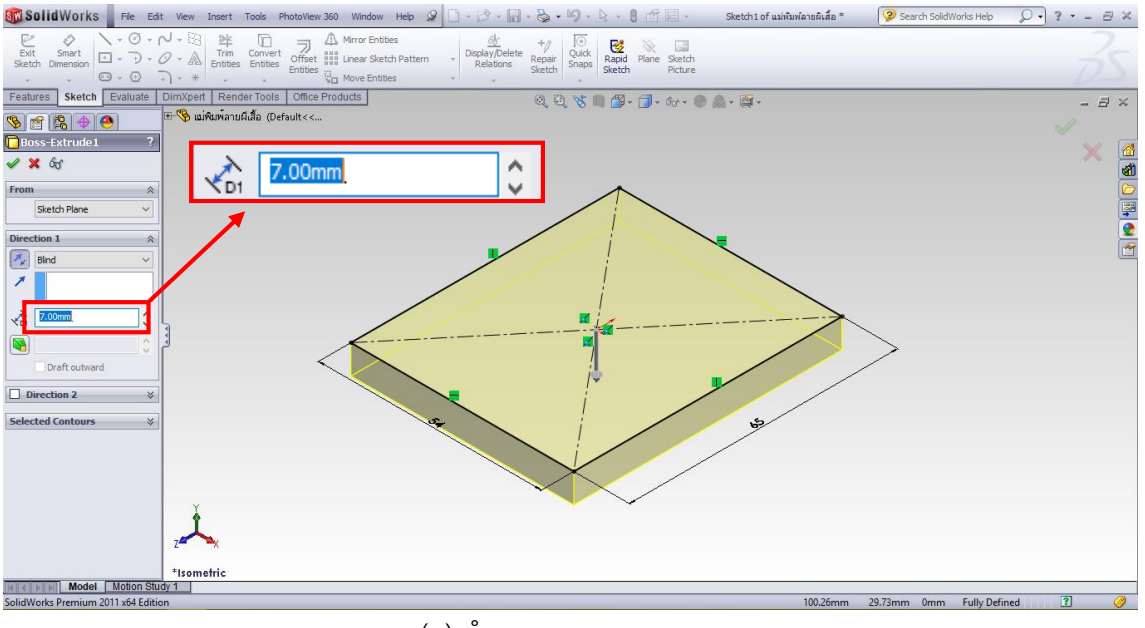
1. เปิดโปรแกรม SolidWorks ไปที่ File > New > Part เพื่อทำการสร้างบล็อกแม่พิมพ์

2. จากนั้นทำการ Sketch บน Top Plane แล้วกำหนดขนาดของบล็อกแม่พิมพ์ เป็นกว้าง 54 มิลลิเมตร และยาว 65 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าแบบเพื่อให้ง่ายต่อการทดลองรีดและแกะลายเทียนติดพิมพ์ โดยทำการเผื่อระยะห่างจากแบบถึงขอบบล็อกแม่พิมพ์ข้างละ 4-5 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 20 (ก)

3. เลือก Extruded เพื่อกำหนดความหนาของบล็อกแม่พิมพ์ เท่ากับ 7 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 20 (ข)



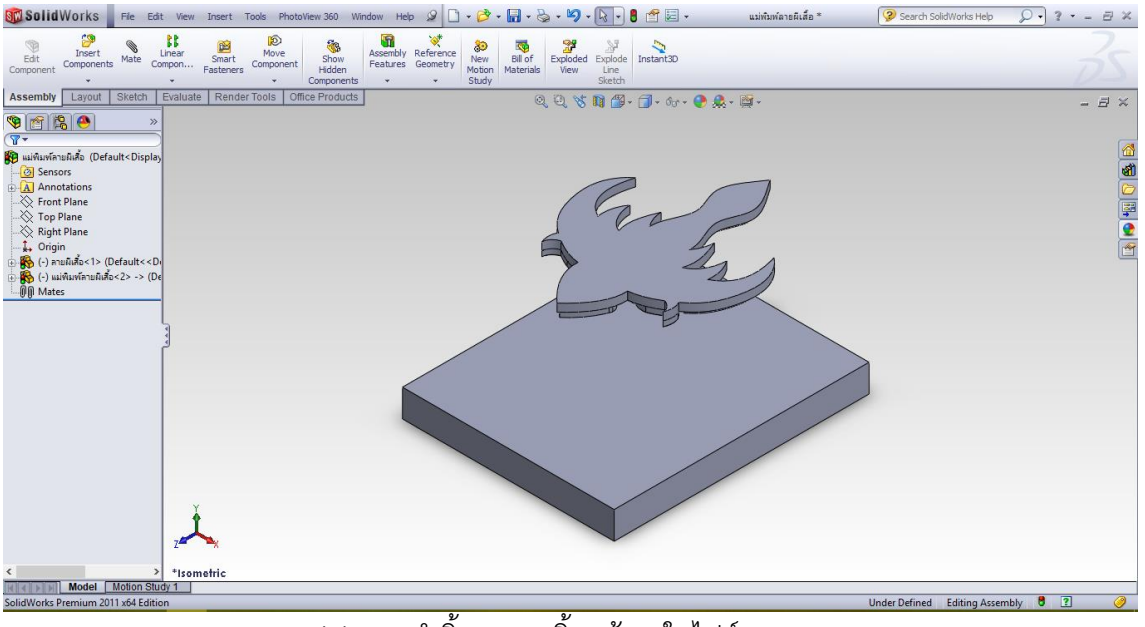
(ก) กำหนดขนาดกว้างยาว



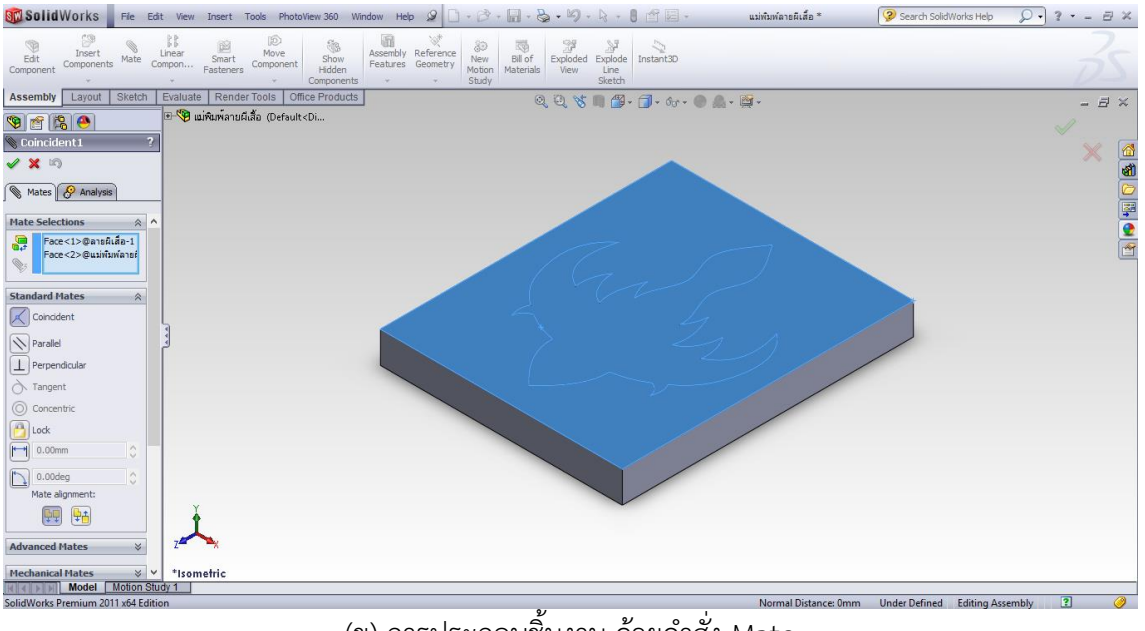
(ข) กำหนดขนาดความหนา

ภาพประกอบ 20 การสร้างบล็อกแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ

ขั้นตอนที่ 2 การประกอบบล็อกและชิ้นงาน ไปที่ File > New > Assembly แล้วนำเข้าชิ้นงานลายผีเสื้อและชิ้นงานบล็อกแม่พิมพ์ จากนั้นคว่ำชิ้นงานลายผีเสื้อลง เพื่อกลับด้านลายสำหรับสร้างโพรงแบบ (Cavity) ของแม่พิมพ์ และทำการประกอบให้ผิวบนของชิ้นงานทั้งสองอยู่ในระนาบเดียวกัน ดังแสดงในภาพประกอบ 21



(ก) การนำชิ้นงาน 2 ชิ้น เข้ามาในไฟล์ Assembly

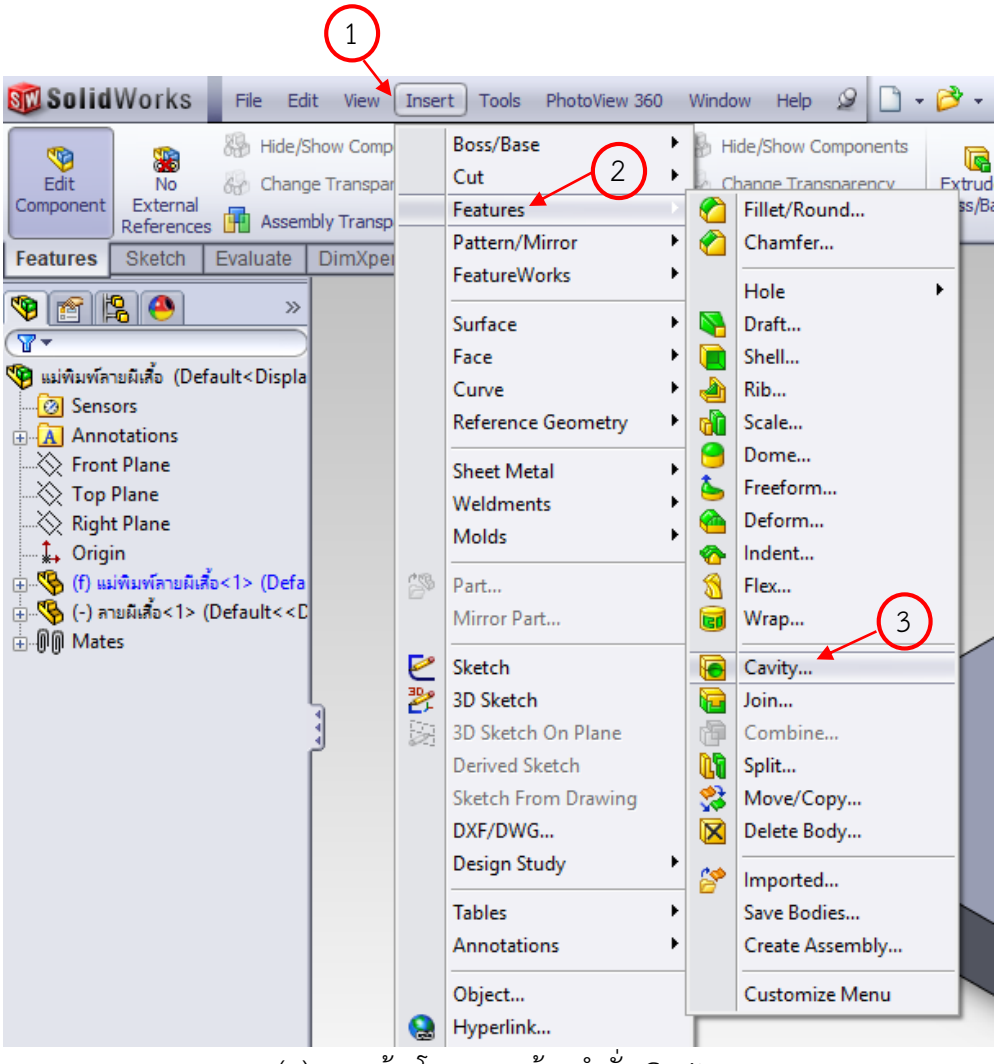


(ข) การประกอบชิ้นงาน ด้วยคำสั่ง Mate

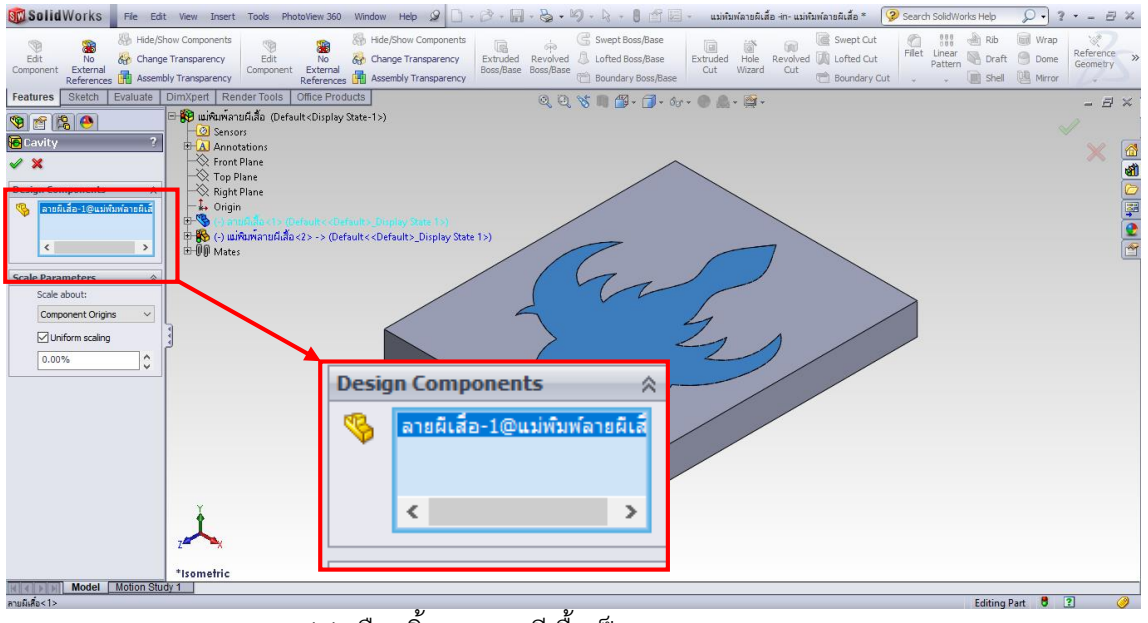
ภาพประกอบ 21 การประกอบบล็อกแม่พิมพ์และชิ้นงานลายผีเสื้อ

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างโพรงแบบ (Cavity) ของแม่พิมพ์

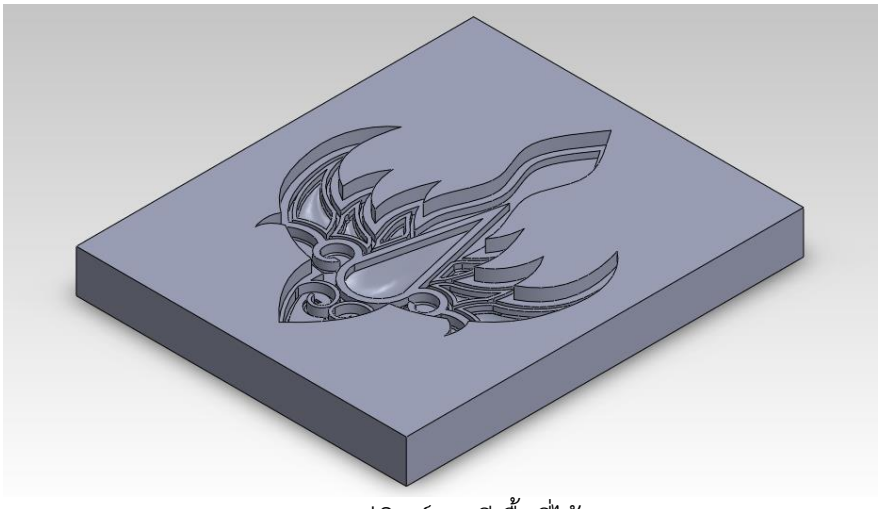
1. ทำการสร้าง Cavity ของแม่พิมพ์ โดยเริ่มจาก Edit Component ชิ้นงานบล็อกแม่พิมพ์ จากนั้นไปที่ Insert > Features > Cavity ดังแสดงในหมายเลข 1, 2, 3 ในภาพประกอบ 22 (ก) ตามลำดับ และเลือกชิ้นงานลายผีเสื้อเป็น Design Component ดังแสดงในภาพประกอบ 22 (ข) จะได้แม่พิมพ์ลายผีเสื้อ ดังแสดงในภาพประกอบ 22 (ค)



(ก) การสร้างโพรงแบบด้วยคำสั่ง Cavity



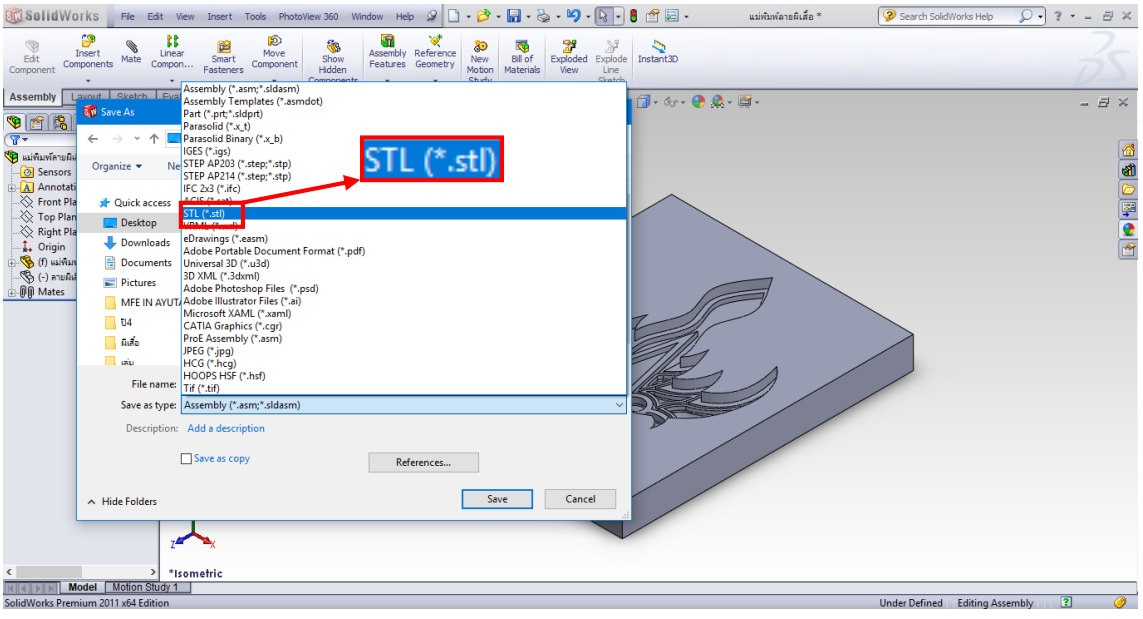
(ข) เลือกชิ้นงานลายผีเสื้อเป็น Design Component



(ค) แม่พิมพ์ลายผีเสื้อที่ได้

ภาพประกอบ 22 แม่พิมพ์ชิ้นงานลายผีเสื้อ ที่เขียนด้วยโปรแกรม SolidWorks

2. ทำการบันทึกไฟล์ด้วยคำสั่ง Save as โดยเลือกบันทึกเป็นนามสกุล STL (*.stl) ดังแสดงในภาพประกอบ 23 สำหรับใช้สร้าง G-Code ด้วยโปรแกรม NewCreatorK ในลำดับต่อไป



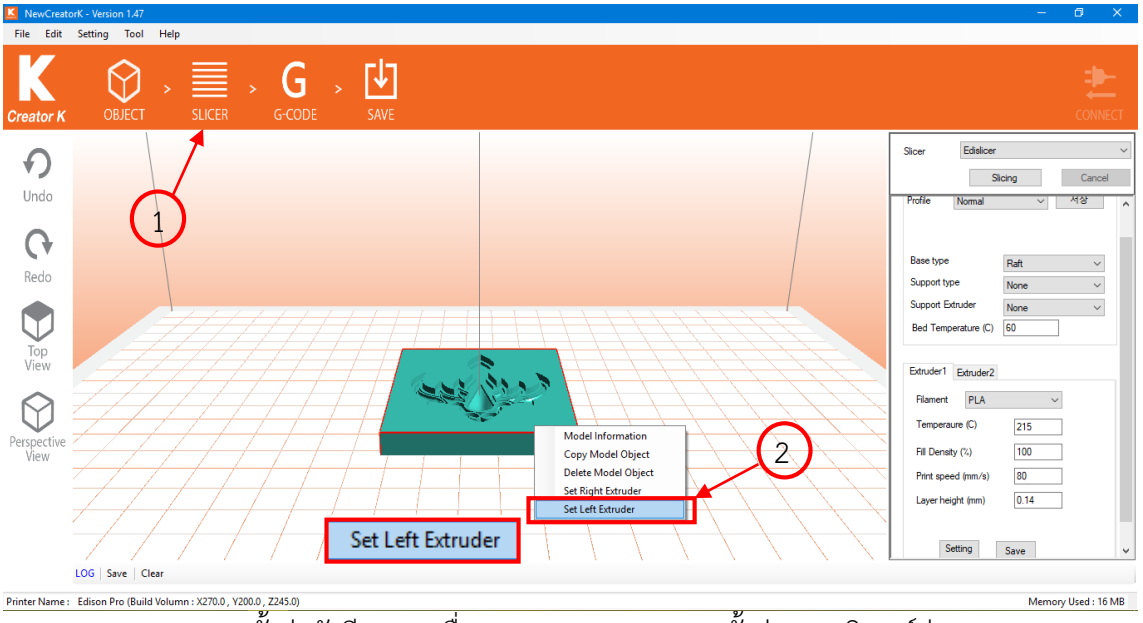
ภาพประกอบ 23 การบันทึกไฟล์แม่พิมพ์ลายผีเสื้อ เป็นนามสกุล STL

4.1.2 การสร้าง NC Code

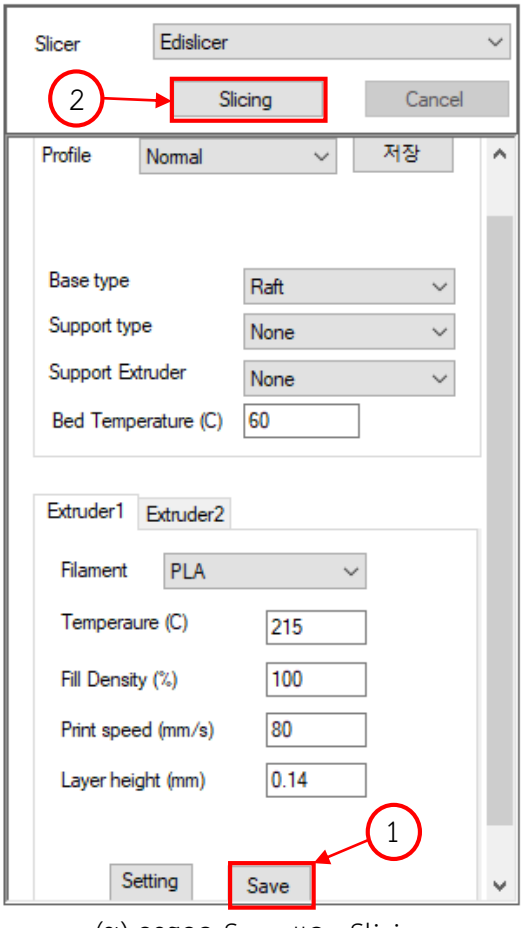
การสร้าง NC Code ในการศึกษานี้ใช้โปรแกรม NewCreatorK ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้งานร่วมกับเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) ในห้องปฏิบัติการ CAD/CAM/CNC ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยขั้นตอนในการสร้าง NC Code ลายผีเสื้อ แสดงดังต่อไปนี้

1. เปิดโปรแกรม NewCreatorK ไปที่ File > Open เพื่อเปิดไฟล์แม่พิมพ์ลายผีเสื้อที่บันทึกเป็นนามสกุล STL จากนั้นทำการปรับตำแหน่งในการวางชิ้นงานด้วยเครื่องมือ Move และ Rotate

2. ไปที่ Slicer เพื่อตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการพิมพ์ชิ้นงานแม่พิมพ์ด้วยเครื่อง 3D Printer และทำการตั้งค่าหัวฉีดของเครื่องโดยคลิ้กขวาที่ชิ้นงาน เลือก Set Left Extruder เพื่อให้ 3D Printer ใช้หัวฉีดด้านซ้ายในการพิมพ์ชิ้นงาน ดังแสดงในหมายเลข 1, 2 ในภาพประกอบ 24 (ก) จากนั้นกด Save และ Slicing ดังแสดงในหมายเลข 1,2 ในภาพประกอบ 24 (ข) ตามลำดับ



(ก) การตั้งค่าหัวฉีดของเครื่อง 3D Printer และการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

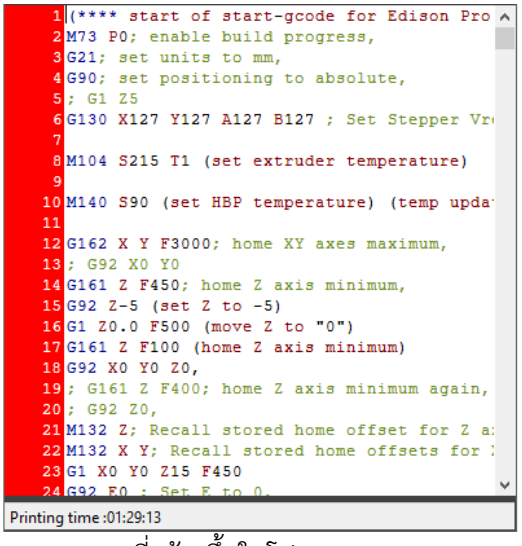


(ข) การกด Save และ Slicing

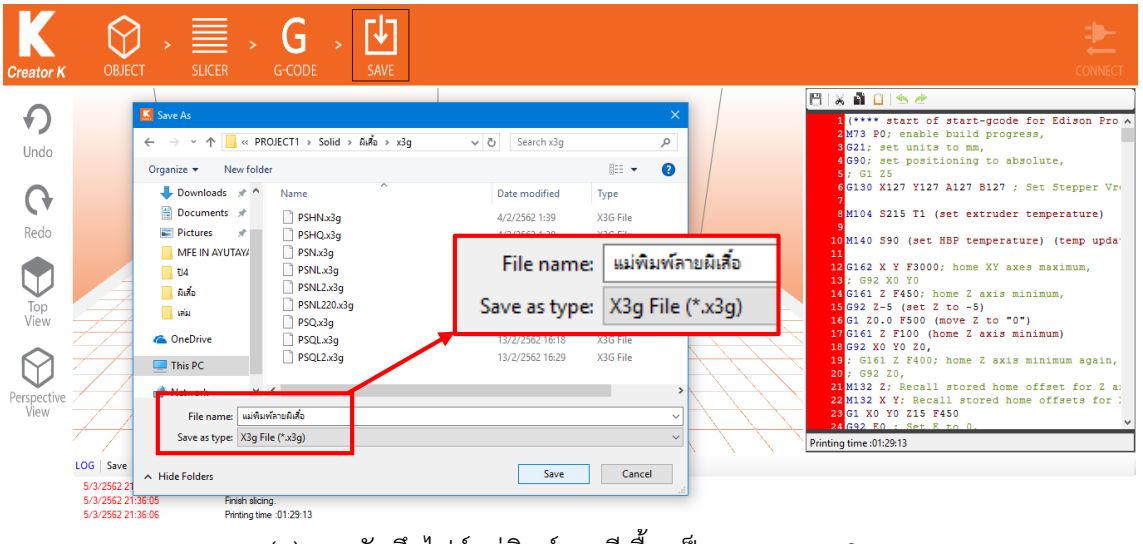
ภาพประกอบ 24 การตั้งค่าในโปรแกรม NewCreatorK ของลายผีเสื้อ

จากภาพประกอบ 24 (ข) จะเห็นได้ว่าผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรไฟล์การพิมพ์แบบปกติ (Normal) อุณหภูมิของหัวฉีด (Extruder Temperature) 215 องศาเซลเซียส การเติมเนื้องาน (Fill Density) 100 เปอร์เซนต์ ความเร็วในการพิมพ์ (Print speed) 80 มิลลิเมตรต่อวินาที และความหนาต่อชั้น (Layer height) 0.14 มิลลิเมตร เพื่อสังเกตผิวของชิ้นงานที่ได้จากการพิมพ์แบบ Normal

3. โปรแกรมจะทำการสร้าง G-Code ออกมา ดังแสดงในภาพประกอบ 25 (ก) จากนั้นไปที่ Save ทำการบันทึกไฟล์ชิ้นงานเป็นนามสกุล X3g File (*.x3g) ดังแสดงในภาพประกอบ 25 (ข) เพื่อบันทึกลงในการ์ดความจำ (SD Card) และนำไปใช้กับ 3D Printer ในลำดับต่อไป



(ก) ตัวอย่าง G-Code ที่สร้างขึ้นในโปรแกรม NewCreatorK



(ข) การบันทึกไฟล์แม่พิมพ์ลายผีเสื้อ เป็นนามสกุล .x3g

ภาพประกอบ 25 การบันทึก NC Code ลายผีเสื้อเพื่อนำไปใช้กับ 3D Printer

4.1.3 การผลิตแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ

ในการศึกษานี้ได้ทำการผลิตแม่พิมพ์ลายผีเสื้อด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) รุ่น 3DISON PRO และใช้พลาสติกประเภท Polylactic-Acid (PLA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตร ในการขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งขั้นตอนในการผลิตแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ แสดงดังต่อไปนี้

1. เปิดเครื่อง 3D Printer และทำการเสียบ SD Card ที่ช่องเสียบการ์ดบริเวณด้านข้างของตัวเครื่อง

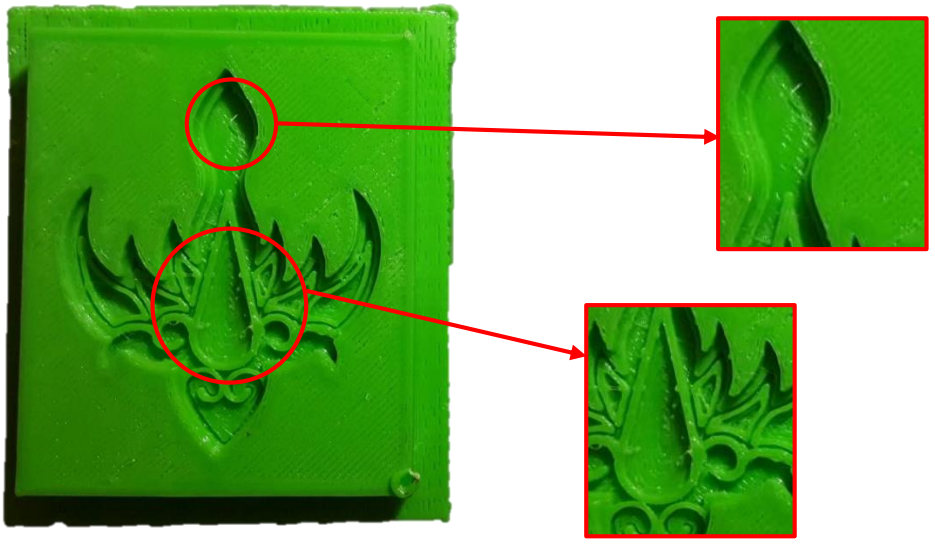
2. ป้อนเส้นพลาสติก PLA เข้าไปในหัวฉีด รอจนกว่าหัวฉีดมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม NewCreatorK

3. ทำการสั่งพิมพ์ชิ้นงานแม่พิมพ์ลายผีเสื้อด้วยไฟล์นามสกุล .x3g จาก SD Card

4. 3D Printer จะทำการพิมพ์ชิ้นงานขึ้นทีละชั้นด้วยความเร็ว และความหนาต่อชั้นตามที่ตั้งค่าไว้ จนได้ชิ้นงานแม่พิมพ์ตามที่ออกแบบไว้

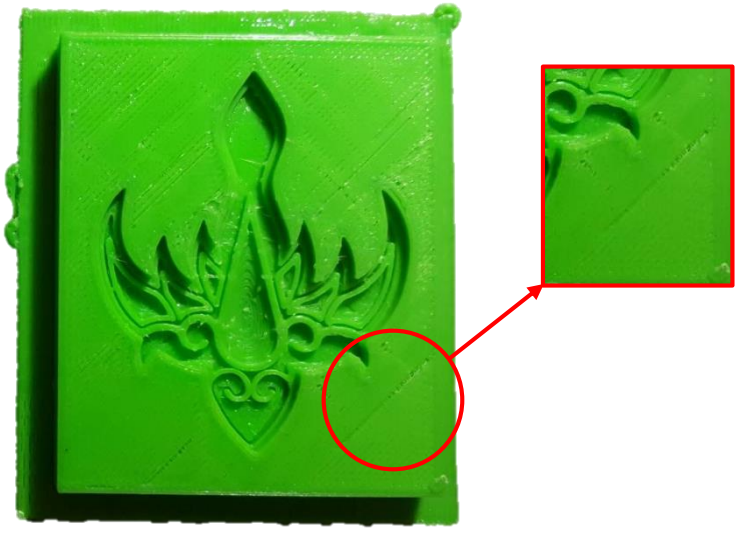
ผลการทดลอง สรุปได้ดังนี้

ในการทดลองพิมพ์ชิ้นงานครั้งที่ 1 ได้เลือกใช้โปรไฟล์การพิมพ์แบบปกติ (Normal) อุณหภูมิของหัวฉีด 215 องศาเซลเซียส ความเร็วในการพิมพ์ 80 มิลลิเมตรต่อวินาที และความหนาต่อชั้น 0.14 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการผลิตประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที พบว่าชิ้นงานมีขนาดตรงตามที่ออกแบบไว้ แต่บริเวณชิ้นงานมีตำหนิจากการเคลื่อนที่ของหัวฉีด ผิวของบล็อกแม่พิมพ์มีร่องเกิดขึ้น ไม่สม่ำเสมอ และลวดลายไม่ละเอียด ดังแสดงในภาพประกอบ 26 ปัญหาดังกล่าวคาดว่าเกิดจากการเดินงานของหัวฉีดเร็วเกินไป ทำให้ชิ้นงานมีความละเอียดไม่พอ



ภาพประกอบ 26 การทดลองพิมพ์ชิ้นงานแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ ครั้งที่ 1

จากปัญหาที่พบ ในการทดลองพิมพ์ชิ้นงานครั้งที่ 2 จึงได้มีการเปลี่ยนมาเลือกใช้โปรไฟล์การพิมพ์แบบคุณภาพ (Quality) เปลี่ยนอุณหภูมิของหัวฉีดเป็น 210 องศาเซลเซียส และความเร็วในการพิมพ์เป็น 60 มิลลิเมตรต่อวินาที แต่ยังคงกำหนดความหนาต่อชั้น 0.14 มิลลิเมตรเท่าเดิม ซึ่งการทดลองครั้งนี้ใช้เวลาในการผลิตประมาณ 2 ชั่วโมง 35 นาที พบว่าชิ้นงานมีความละเอียดมากขึ้น ส่วนของแม่พิมพ์เกิดร่องที่ผิวน้อยลง ผิวชิ้นงานเรียบมากขึ้น ลวดลายมีความสวยงามตรงตามที่ออกแบบไว้ แต่ยังต้องใช้วัสดุปลายแหลมช่วยในการตกแต่งและเก็บรายละเอียด ดังแสดงในภาพประกอบ 27



ภาพประกอบ 27 การทดลองพิมพ์ชิ้นงานแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ ครั้งที่ 2

4.1.4 การทดลองรีดลายเทียนติดพิมพ์

ในการทดลองรีดลายเทียนติดพิมพ์นี้ จะเป็นการใช้ขี้ผึ้งที่อ่อนตัวมารีดลงบนชิ้นงานแม่พิมพ์ที่ได้ เพื่อทำดอกผึ้ง หรือลายเทียนติดพิมพ์ โดยขั้นตอนในการการทดลองรีดลายเทียนติดพิมพ์ลายผีเสื้อมีดังนี้

1. ทำการละลายขี้ผึ้ง โดยใส่ในหม้อแล้วนำไปค้างไว้บนเตาไฟจนขี้ผึ้งทั้งหมดละลาย

2. นำขี้ผึ้งที่ละลายแล้วมากรองใส่ถาดโดยใช้ผ้ากรอง แล้วพักไว้ให้ขี้ผึ้งอุ่นและนิ่มเพื่อที่จะนำมารีด

3. เมื่อขี้ผึ้งอ่อนได้ที่แล้ว ใช้น้ำมันพืชหรือน้ำผสมน้ำยาล้างจาน เป็นสารหล่อลื่นทาลงบนแม่พิมพ์ จากนั้นนำขี้ผึ้งพอประมาณมารีดทับกับชิ้นงานแม่พิมพ์ โดยใช้ไม้นวดแป้งหรือขวดแก้วรีดเพื่อให้เกิดลวดลายดอกผึ้งขึ้นตามที่ออกแบบไว้ จากนั้นนำดอกผึ้งที่ได้มาตัดแต่งและเก็บรายละเอียดด้วยมีดปลายแหลม

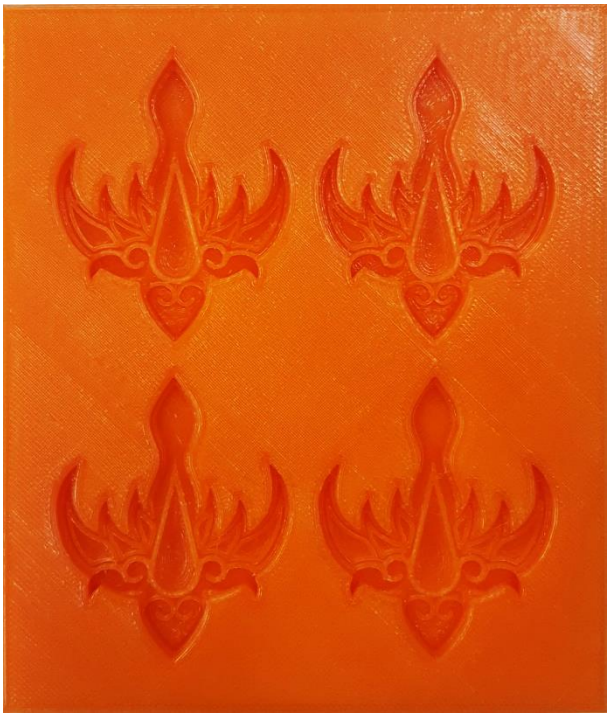
ผลการทดลอง สรุปได้ดังนี้

ในการทดลองรีดลายเทียนติดพิมพ์ลายผีเสื้อครั้งที่ 1 ได้เลือกใช้น้ำผสมน้ำยาล้างจานเป็นสารหล่อลื่นระหว่างชิ้นงานแม่พิมพ์และขี้ผึ้ง พบว่ามีขี้ผึ้งที่รีดบางส่วนไม่สามารถแกะออกจากชิ้นงานแม่พิมพ์ได้ ทำให้ดอกผึ้งที่พิมพ์ออกมามีลวดลายไม่สมบูรณ์ ผู้วิจัยตั้งสมมติฐานว่าปัญหาดังกล่าวอาจเกิดจากน้ำยาล้างจานเป็นสารหล่อลื่นที่ไม่เหมาะกับชิ้นงานแม่พิมพ์ประเภทพลาสติก

จากปัญหาที่พบ ในการทดลองรีดลายเทียนติดพิมพ์ลายผีเสื้อครั้งที่ 2 จึงได้มีการเปลี่ยนสารหล่อลื่นเป็นน้ำมันพืช ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้เวลาในการรีดและแกะขี้ผึ้งทั้งหมด 3 นาที พบว่าขี้ผึ้งที่รีดบนชิ้นงานแม่พิมพ์สามารถแกะออกได้ทั้งหมด ผิวของดอกผึ้งค่อนข้างเรียบแต่ยังมีบางส่วนที่ยังตกร่องอยู่และลวดลายของดอกผึ้งที่ได้ตรงตามที่ออกแบบไว้ แต่ยังไม่ละเอียดมากนัก ต้องใช้มีดปลายแหลมตกแต่งและตัดขอบเก็บรายละเอียดอีกครั้ง ใช้เวลาในการตัดแต่ง 3 นาทีต่อดอก รวมเป็น 6 นาทีต่อดอก ชิ้นงานรูปสำเร็จที่ได้ดังแสดงในภาพประกอบ 28

ภาพประกอบ 28 การทดลองรีดเทียนติดพิมพ์ลายผีเสื้อ

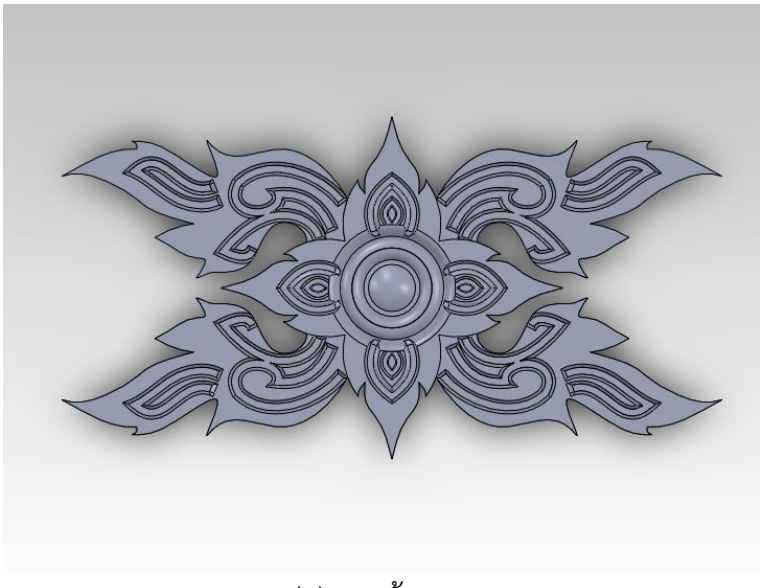
หลังจากได้ผลการทดลองรีดลายเทียนติดพิมพ์แล้ว ผู้วิจัยได้มีการปรับปรุงแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ลายผีเสื้อ เป็นการทดลองพิมพ์ชิ้นงานครั้งที่ 3 โดยเพิ่มจำนวนดอกผึ้งจาก 1 ตัวต่อบล็อกแม่พิมพ์เป็น 4 ตัวต่อบล็อกแม่พิมพ์ มีขนาด กว้างxยาวxหนา เท่ากับ 113x135x7 มิลลิเมตร^3 ดังแสดงในภาพประกอบ 29 เมื่อนำชิ้นงานแม่พิมพ์ที่ได้มาทดลองรีดลายเทียน พบว่าในการรีดและแกะดอกผึ้งทั้ง 4 ดอกใช้เวลา 4 นาที (เฉลี่ยดอกละ 1 นาที) และใช้เวลาในการตัดแต่ง 12 นาที (เฉลี่ยดอกละ 3 นาที) รวมเป็น 4 นาทีต่อดอก สามารถลดระยะเวลาในขั้นตอนรีดลายเทียนติดพิมพ์ได้ 2 นาทีต่อดอก



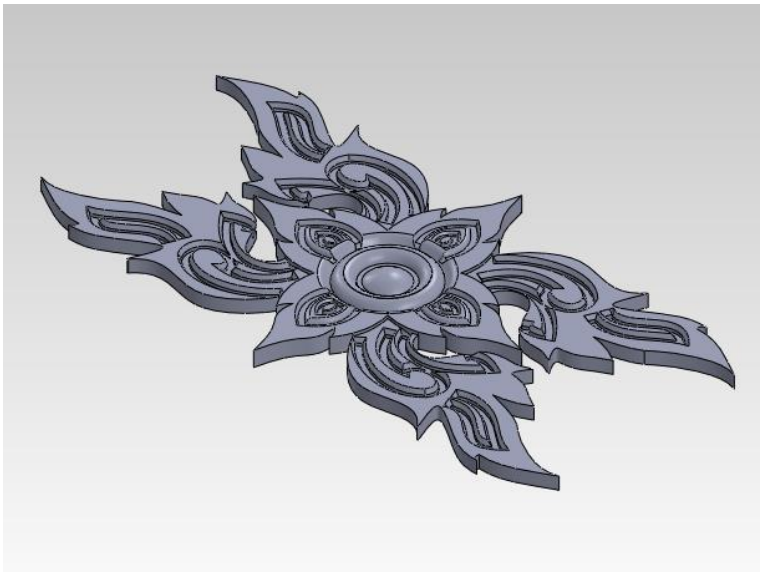
ภาพประกอบ 29 การทดลองพิมพ์ชิ้นงานแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ ครั้งที่ 3

4.2 การผลิตแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปู

ต้นแบบชิ้นงานลายประจำยามก้ามปู ซึ่งได้จากงานปริญญานิพนธ์ของอรอนงค์ ไพรโสภา และคมสัน กุลค้อ (2561) มีขนาด 72.5x140x4 มิลลิเมตร^3 ดังแสดงในภาพประกอบ 30



(ก) ภาพด้านบน

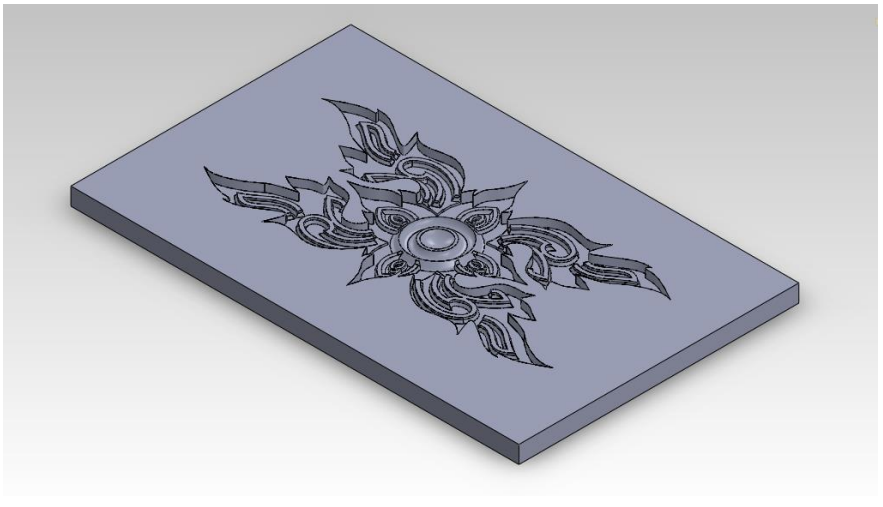


(ข) ภาพไอโซเมตริก

ภาพประกอบ 30 ต้นแบบชิ้นงาน 3 มิติลายประจำยามก้ามปู

4.2.1 การสร้างแบบจำลองแม่พิมพ์ 3 มิติ

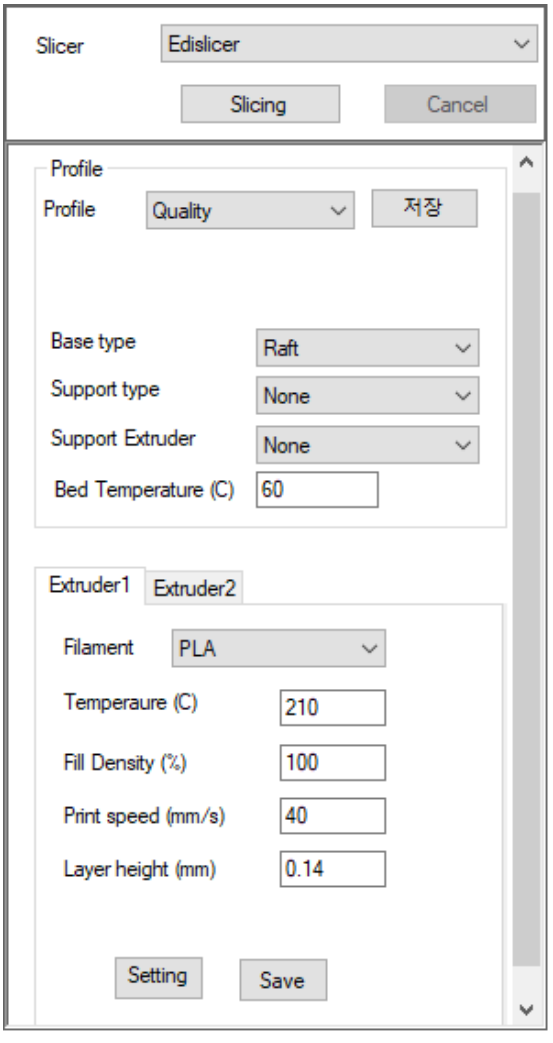
ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ด้วยโปรแกรม SolidWorks โดยใช้วิธีและคำสั่งเดียวกันกับการสร้างบล็อกแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ ดังแสดงในภาพประกอบ 4.4 ถึง 4.5 แต่กำหนดขนาดของบล็อกแม่พิมพ์เป็นกว้าง 112.5 มิลลิเมตร ยาว 180 มิลลิเมตร และหนา 7 มิลลิเมตร จะได้บล็อกแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปู ดังแสดงในภาพประกอบ 31 และทำการบันทึกเป็นไฟล์ STL



ภาพประกอบ 31 แม่พิมพ์ชิ้นงานลายประจำยามก้ามปู ที่เขียนด้วยโปรแกรม SolidWorks

4.2.2 การสร้าง NC Code

หลังจากทำการบันทึกแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปูเป็นไฟล์ STL แล้วนำเข้าโปรแกรม NewCreatorK เพื่อสร้าง NC Code โดยมีขั้นตอนเช่นเดียวกับแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในภาพประกอบ 32



ภาพประกอบ 32 การตั้งค่าในโปรแกรม NewCreatorK ของลายประจำยามก้ามปู

จากภาพประกอบ 32 จะเห็นได้ว่ามีการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกับแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ ยกเว้นความเร็วในการพิมพ์ (Print speed) เปลี่ยนจาก 80 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็น 40 มิลลิเมตรต่อวินาที เพื่อเพิ่มความละเอียดของผิวชิ้นงาน มีการเกิดร่องน้อยลง และโปรแกรมจะทำการสร้าง G-Code ออกมา และคำนวณเวลาในการทดลองพิมพ์ชิ้นงาน

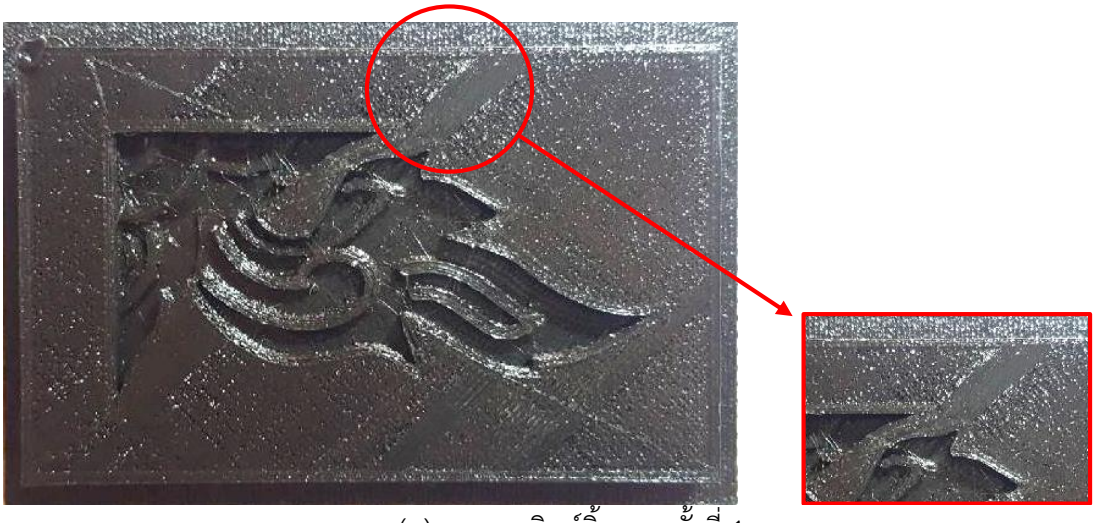
4.2.3 การผลิตแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปู

ในการผลิตแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปูมีขั้นตอนเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.1.3

ผลการทดลอง สรุปได้ดังนี้

ในการทดลองพิมพ์ชิ้นงานครั้งที่ 1 ผู้วิจัยทำการทดลองพิมพ์ 1 ใน 4 ของชิ้นงานเพื่อลดระยะเวลาในการผลิตและเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและสวยงามของลวดลายเบื้องต้น โดยได้เลือกใช้โปรไฟล์การพิมพ์แบบคุณภาพ (Quality) อุณหภูมิของหัวฉีด 210 องศาเซลเซียส ความเร็วในการพิมพ์ 40 มิลลิเมตรต่อวินาที และความหนา 0.14 มิลลิเมตรต่อชั้น ใช้เวลาในการพิมพ์ 3 ชั่วโมง 37 นาที พบว่าชิ้นงานแม่พิมพ์มีขนาดและลวดลายสวยงามตรงตามที่ออกแบบไว้ แต่ยังต้องใช้วัสดุปลายแหลมช่วยในการเก็บรายละเอียด และผิวของชิ้นงานแม่พิมพ์บางส่วนมีความไม่สม่ำเสมอ ดังแสดงในภาพประกอบ 33 (ก)

ในการทดลองพิมพ์ชิ้นงานครั้งที่ 2 ผู้วิจัยได้ทดลองพิมพ์ชิ้นงานลายประจำยามก้ามปูแบบเต็มลาย โดยตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆเช่นเดียวกับการทดลองพิมพ์ชิ้นงานครั้งที่ 1 และมีการเปลี่ยนเส้นพลาสติก เนื่องจากเส้นเดิมมีความเปราะทำให้หักระหว่างทำการพิมพ์ ใช้เวลาในการพิมพ์ 12 ชั่วโมง 30 นาที พบว่าชิ้นงานมีขนาดและลวดลายสวยงามตรงตามที่ออกแบบไว้ แต่รูปร่างชิ้นงานบิดเบี้ยวเล็กน้อย เนื่องจากระหว่างทำการพิมพ์ชิ้นงานไม่ติดกับฐานพิมพ์ ดังแสดงในภาพประกอบ 33 (ข)



(ก) ทดลองพิมพ์ชิ้นงานครั้งที่ 1

(ข) ทดลองพิมพ์ชิ้นงานครั้งที่ 2

ภาพประกอบ 33 การทดลองพิมพ์ชิ้นงานแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปู

4.2.4 การทดลองรีดลายเทียนติดพิมพ์

ในการทดลองรีดลายเทียนติดพิมพ์ลายประจำยามก้ามปูครั้งที่ 1 ดังแสดงในภาพประกอบ 34 (ก) และการทดลองรีดลายเทียนติดพิมพ์ลายประจำยามก้ามปูครั้งที่ 2 ดังแสดงในภาพประกอบ 34 (ข) ได้เลือกใช้น้ำมันพืชเป็นสารหล่อลื่นระหว่างชิ้นงานแม่พิมพ์และขี้ผึ้ง พบว่าขี้ผึ้งที่รีดบนชิ้นงานแม่พิมพ์สามารถแกะออกได้ทั้งหมด ลวดลายของดอกผึ้งที่ได้ตรงตามที่ออกแบบไว้ แต่ยังไม่ละเอียดเท่าที่ควร ต้องใช้มีดปลายแหลมตกแต่งและเก็บรายละเอียดอีกครั้ง

ในการติดดอกผึ้งลายเทียนติดพิมพ์ ผู้วิจัยเลือกใช้ชิ้นงานลายประจำยามก้ามปูแบบเต็มลาย ซึ่งใช้เวลาในการรีดและแกะขี้ผึ้งทั้งหมด 3 นาที และใช้เวลาในการตัดแต่ง 7 นาที

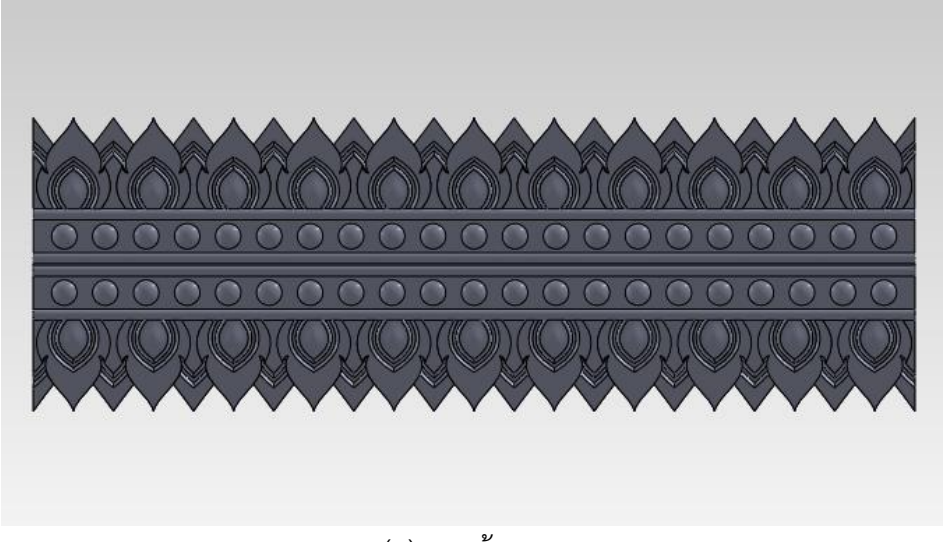
(ก) การทดลองรีดเทียน ครั้งที่ 1

(ข) การทดลองรีดเทียน ครั้งที่ 2

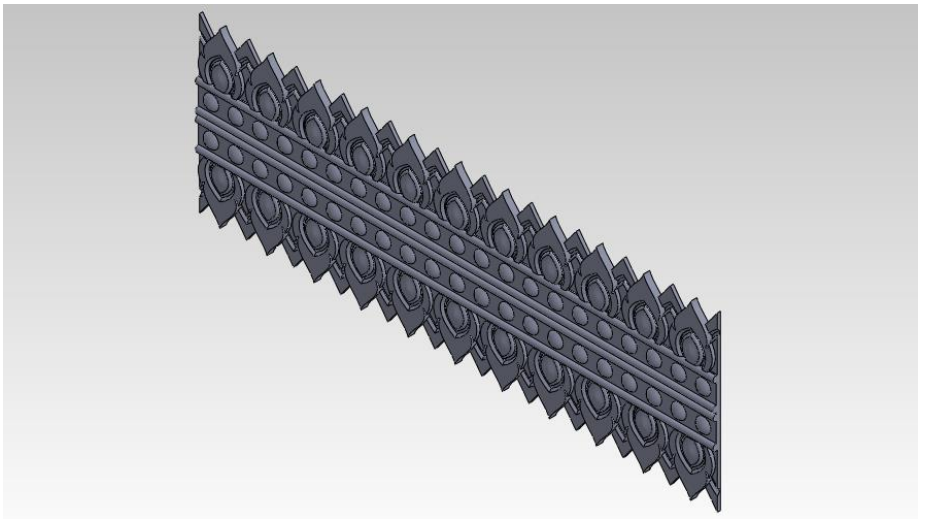
ภาพประกอบ 34 การทดลองรีดเทียนติดพิมพ์ลายประจำยามก้ามปู

4.3 การผลิตแม่พิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ

ต้นแบบชิ้นงาน 3 มิติลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ ซึ่งได้จากงานปริญญานิพนธ์ของ อรรศราวุฒิ วงษ์มูล และธัญญา คงสุขา (2562) มีขนาด 80.5x242x4 มิลลิเมตร^3 ดังแสดงใน ภาพประกอบ 35



(ก) ภาพด้านบน

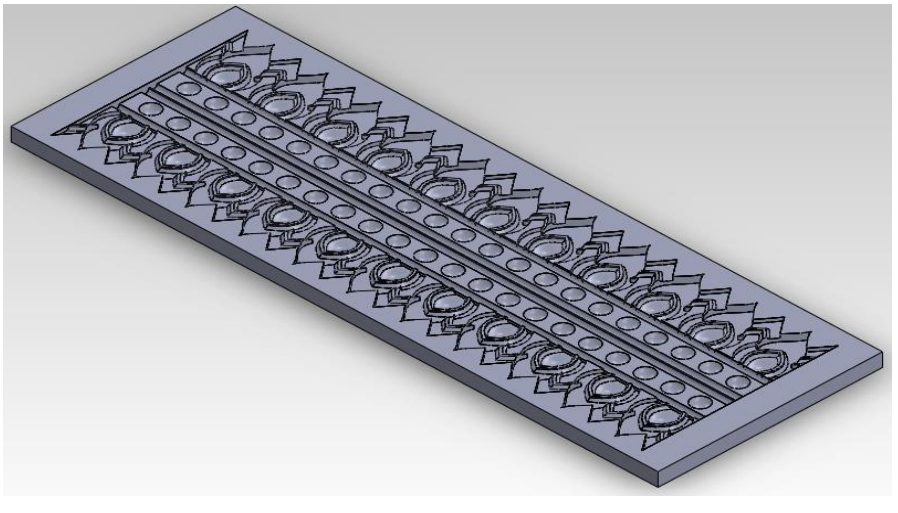


(ข) ภาพไอโซเมตริก

ภาพประกอบ 35 ต้นแบบชิ้นงาน 3 มิติลายลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ

4.3.1 การสร้างแบบจำลองแม่พิมพ์ 3 มิติ

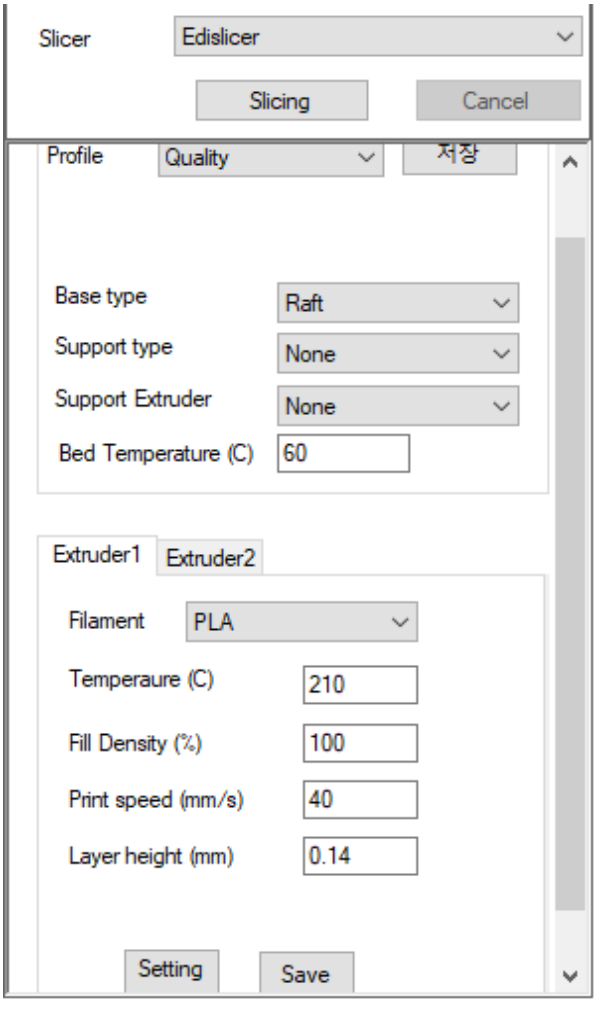
ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ด้วยโปรแกรม SolidWorks กำหนดขนาดของบล็อกแม่พิมพ์เป็นกว้าง 92 มิลลิเมตร ยาว 265 มิลลิเมตร และหนา 6 มิลลิเมตร โดยมีขั้นตอนและใช้คำสั่งเช่นเดียวกับการสร้างแบบจำลองแม่พิมพ์ลายผีเสื้อและลายประจำยามก้ามปู จะได้แม่พิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำดังแสดงในภาพประกอบ 36 จากนั้นทำการบันทึกเป็นไฟล์ STL เพื่อนำไปใช้กับโปรแกรม NewCreatorK ในลำดับถัดไป



ภาพประกอบ 36 แม่พิมพ์ชิ้นงานลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ
ที่เขียนด้วยโปรแกรม SolidWorks

4.3.2 การสร้าง NC Code

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้นำไฟล์ STL ของแม่พิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำเข้าโปรแกรม NewCreatorK ซึ่งมีขั้นตอนในการสร้าง NC Code เช่นเดียวกับลายผีเสื้อและลายประจำยามก้ามปู โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการพิมพ์ ดังแสดงในภาพประกอบ 37 จากนั้นโปรแกรมจะแสดง G-code และเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการพิมพ์ สุดท้ายทำการบันทึกเป็นไฟล์ .x3g เพื่อนำไปใช้กับ 3D Printer ต่อไป



ภาพประกอบ 37 การตั้งค่าในโปรแกรม NewCreatorK
ของลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ

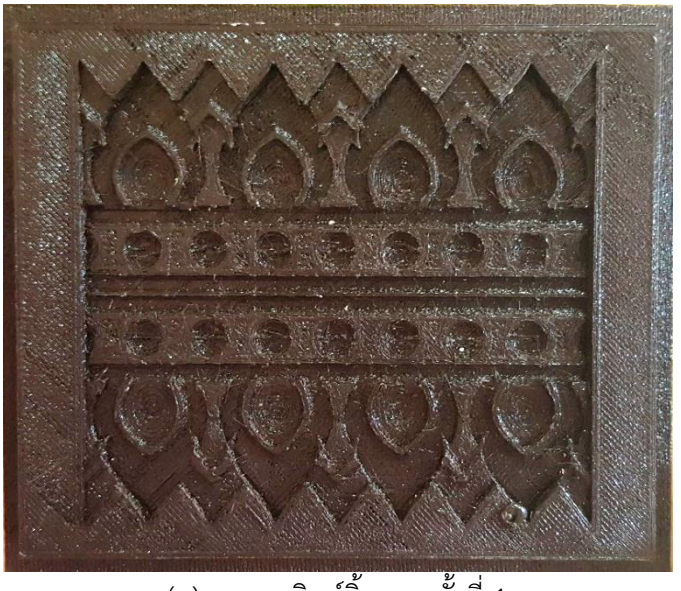
4.3.3 การผลิตแม่พิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ

ในการผลิตแม่พิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำมีขั้นตอนเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.1.3

ผลการทดลอง สรุปได้ดังนี้

ในการทดลองพิมพ์ชิ้นงานครั้งที่ 1 ผู้วิจัยทำการทดลองพิมพ์ 4 ดอก ใน 11 ดอกของชิ้นงานที่ออกแบบไว้ เพื่อลดระยะเวลาในการผลิต โดยได้เลือกใช้โปรไฟล์การพิมพ์แบบคุณภาพ (Quality) อุณหภูมิของหัวฉีด 210 องศาเซลเซียส ความเร็วในการพิมพ์ 40 มิลลิเมตรต่อวินาที และความหนา 0.14 มิลลิเมตรต่อชั้น ใช้เวลาในการผลิตประมาณ 5 ชั่วโมง 36 นาที พบว่าชิ้นงานแม่พิมพ์มีขนาดและลวดลายสวยงามตรงตามที่ออกแบบไว้ แต่ยังต้องใช้วัสดุปลายแหลมช่วยในการเก็บรายละเอียดและมีตำหนิจากการเดินงานของหัวฉีดเล็กน้อย ดังแสดงในภาพประกอบ 38 (ก)

ในการทดลองพิมพ์ชิ้นงานครั้งที่ 2 ผู้วิจัยทำการทดลองพิมพ์ 7 ดอก ใน 11 ดอกของชิ้นงาน โดยตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกับการทดลองพิมพ์ชิ้นงานครั้งที่ 1 และมีการเปลี่ยนเส้นพลาสติกเนื่องจากเส้นเดิมมีความเปราะทำให้หักระหว่างทำการพิมพ์ ใช้เวลาในการพิมพ์ 11 ชั่วโมง พบว่าชิ้นงานแม่พิมพ์มีขนาดและลวดลายสวยงามตรงตามที่ออกแบบไว้ ดังแสดงในภาพประกอบ 38 (ข)



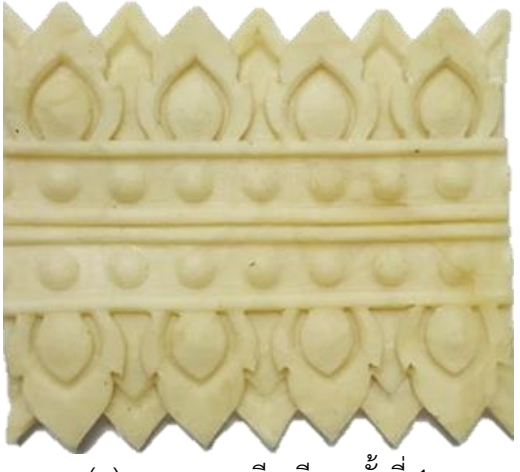
(ก) ทดลองพิมพ์ชิ้นงานครั้งที่ 1

(ข) ทดลองพิมพ์ชิ้นงานครั้งที่ 2

ภาพประกอบ 38 การทดลองพิมพ์ชิ้นงานแม่พิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ

4.3.4 การทดลองรีดลายเทียนติดพิมพ์

ในการทดลองรีดลายเทียนติดพิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำทั้งสองครั้ง ผู้วิจัยได้ใช้น้ำมันพืชเป็นสารหล่อลื่นระหว่างขี้ผึ้งและชิ้นงานแม่พิมพ์ ซึ่งสามารถแกะดอกผึ้งออกจากแม่พิมพ์ได้ทั้งหมด โดยการทดลองรีดลายเทียนครั้งที่ 1 พบว่า ลวดลายมีความละเอียดและสวยงามตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 39 (ก) และการทดลองรีดลายเทียนครั้งที่ 2 ใช้เวลาในการรีดและแกะขี้ผึ้ง 3 นาที และใช้เวลาในการตัดแต่ง 2 นาที ลวดลายที่ได้มีความละเอียดสวยงาม แต่เนื่องจากอุณหภูมิขี้ผึ้งที่นำมารีดไม่เหมาะสม ขี้ผึ้งจึงมีความอ่อนตัว ส่งผลให้ดอกผึ้งที่ได้นั้นบิดเบี้ยวเล็กน้อย ดังแสดงในภาพประกอบ 39 (ข)



(ก) การทดลองรีดเทียนครั้งที่ 1

(ข) การทดลองรีดเทียนครั้งที่ 2

ภาพประกอบ 39 การทดลองรีดเทียนติดพิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ

4.4 การหล่อเทียนพรรษาและการติดดอกผึ้งลายเทียนติดพิมพ์

ต้นเทียนพรรษาที่ทำการหล่อ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ในส่วนของขั้นตอนการทำ และการออกแบบการติดดอกผึ้งบนต้นเทียนพรรษา มีดังนี้

4.4.1 ขั้นตอนการหล่อเทียน

ในลำดับแรกผู้วิจัยจะทำการเตรียมบล็อกเทียนพรรษาก่อน โดยนำท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 70 เซนติเมตร มาผ่าตามแนวยาว จากนั้นตัดแผ่นสังกะสีให้มีความสูงเท่ากับต้นเทียน และความกว้างเท่ากับเส้นรอบวงของต้นเทียน ทำการทาน้ำมันพืชใส่แผ่นสังกะสีเล็กน้อย เพื่อให้ขั้นตอนการแกะต้นเทียนทำได้โดยง่ายขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 40 (ก) แล้วม้วนและสวมลงไปในท่อพีวีซี ดังแสดงในภาพประกอบ 40 (ข) ถัดมานำขี้ผึ้งหรือเทียนเหลือง 6 กิโลกรัม ไปต้มจนหลอมละลาย ดังแสดงในภาพประกอบ 40 (ค) พักขี้ผึ้งไว้ให้อุณหภูมิเทียนอยู่ที่ประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส แล้วนำไส้เทียนวางใส่เข้าไปตรงกลางท่อ (การทำไส้เทียนจะนำเอาฝ้ายมาม้วนเป็นเกลียว ยาวประมาณ 75 เซนติเมตร แล้วนำไปจุ่มขี้ผึ้งที่ละลายแล้ว จากนั้นนำไปตากไว้สักพักเพื่อให้ไส้เทียนแข็งตัว) ส่วนภาชนะที่ใช้เป็นฐานรองต้นเทียนจะใช้ชามพลาสติก แล้วใส่ดินทรายโอบล้อมข้างท่อพีวีซี เพื่อกันไม่ให้ขี้ผึ้งไหลออกด้านล่าง ดังแสดงในภาพประกอบ 40 (ง)

เมื่อได้บล็อกเทียนพรรษาที่ได้เตรียมไว้ข้างต้นแล้ว ใช้กระบวยตักขี้ผึ้งแล้วเทใส่บล็อกจนเต็ม ดังแสดงในภาพประกอบ 40 (จ) ทิ้งไว้เป็นเวลา 5 ชั่วโมงให้ขี้ผึ้งแข็งตัว แล้วใช้เครื่องเจียรผ่าตามแนวยาวอีกฝั่งหนึ่งของบล็อกเพื่อแกะเอาต้นเทียนออก

ในการหล่อต้นเทียนครั้งแรก ผู้วิจัยได้พบปัญหาท่อพีวีซีอ่อนและยุบตัวขณะเทขี้ผึ้งลงไปในบล็อกที่เตรียมไว้ ดังแสดงในภาพประกอบ 40 (ฉ) เนื่องจากไม่ได้สวมแผ่นสังกะสีรองด้านในท่อพีวีซี และไม่ได้ทำการพักขี้ผึ้งให้อุณหภูมิเหมาะสม ผู้วิจัยได้แก้ไขปัญหาโดยการสวมแผ่นสังกะสีและพักเทียนไว้ให้ได้อุณหภูมิตามที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าต้นเทียนพรรษาที่ได้มีรูปร่างสวยงาม และมีขนาดตามที่ต้องการ ดังแสดงในภาพประกอบ 40 (ช)

(ก) ทาน้ำมันพืชใส่แผ่นสังกะสี

(ข) ม้วนแผ่นสังกะสี และสวมลงไปในท่อพีวีซี

(ค) ต้มขี้ผึ้งจนหลอมละลาย

(ง) ใส่ดินทรายโอบล้อมข้างท่อพีวีซี

(จ) เทใส่บล็อกที่เตรียมไว้จนเต็ม

(ฉ) ท่อพีวีซีอ่อนและยุบตัว

(ช) ต้นเทียนพรรษาที่ได้จากการหล่อ

ภาพประกอบ 40 การหล่อต้นเทียนพรรษา

4.4.2 การออกแบบและการติดดอกผึ้งบนต้นเทียนพรรษา

เมื่อได้ต้นเทียนพรรษาออกมาแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการนำดอกผึ้งที่ได้จากการรีดขี้ผึ้งกับแม่พิมพ์ในแต่ละลวดลายมาประดับบนต้นเทียนพรรษา มีขั้นตอนการติดเริ่มจากนำดอกผึ้งที่ตัดแต่งเสร็จแล้วมาให้ความร้อนด้วยไดร์เป่าผม เมื่อดอกผึ้งอ่อนตัว จึงนำมาตกแต่งบนต้นเทียนพรรษาตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งการตกแต่งลวดลายขึ้นอยู่กับการออกแบบเฉพาะของช่างแต่ละคน โดยในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้ออกแบบการวางลวดลายดอกผึ้งเอง ได้ชิ้นงานดังแสดงในภาพประกอบ 41

ภาพประกอบ 41 ต้นเทียนพรรษาประเภทติดพิมพ์ที่ได้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการทดลองผลิตแม่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) โดยผู้วิจัยทำการทดลองทั้งหมด 3 ลวดลาย ได้แก่ ลายผีเสื้อ ลายประจำยามก้ามปู และลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ ที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks จากงานปริญญานิพนธ์ของ อรรศราวุฒิ วงษ์มูล และ ธัญญา คงสุขา (2562) และจากงานปริญญานิพนธ์ของ อรอนงค์ ไพรโสภา และคมสัน กุลค้อ (2561) จากนั้นสร้าง NC Code ด้วยโปรแกรม NewCreatorK และทำการผลิตแม่พิมพ์ด้วย 3D Printer โดยใช้พลาสติกประเภท PLA เป็นวัสดุในการผลิต และทดลองรีดดอกผึ้งจากแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ที่ได้ เพื่อนำมาตกแต่งบนต้นเทียนพรรษา ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 การผลิตและการรีดแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ

1. การผลิตแม่พิมพ์ลายผีเสื้อด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ มีการตั้งค่าค่าพารามิเตอร์ในการฉีด และผลการทดลองการผลิตแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ค่าพารามิเตอร์ในการฉีด และผลการทดลองการผลิตแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ

รายการ	การผลิตแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ขนาด (มิลลิเมตร^3)	54x65x7	54x65x7	113x135x7
โปรไฟล์การพิมพ์	Normal	Quality	Quality
อุณหภูมิหัวฉีด (องศาเซลเซียส)	215	210	210
ความเร็วในการพิมพ์ (มิลลิเมตรต่อวินาที)	80	60	60
ความหนาต่อชั้น (มิลลิเมตร)	0.14	0.14	0.14
เวลาในการผลิต	1 ชั่วโมง 30 นาที	2 ชั่วโมง 35 นาที	11 ชั่วโมง

ตาราง 2 ค่าพารามิเตอร์ในการฉีด และผลการทดลองการผลิตแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ (ต่อ)

รายการ	การผลิตแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
จำนวนดอกผึ้งที่ได้ (ดอก)	1	1	4
ลักษณะของชิ้นงานแม่พิมพ์ที่ได้	- เกิดร่องบนผิวชิ้นงาน - ผิวไม่สม่ำเสมอ - ลวดลายไม่ละเอียด	- เกิดร่องที่ผิวน้อยลง - ผิวชิ้นงานเรียบขึ้น - ลวดลายสวยงามตามที่ออกแบบไว้	- มีจำนวนดอกผึ้งมากขึ้น - ลวดลายสวยงามตามที่ออกแบบไว้

2. การรีดแม่พิมพ์ลายผีเสื้อ

ผู้วิจัยได้นำบล็อกแม่พิมพ์จากการพิมพ์ครั้งที่ 3 มาใช้ในการทดลองรีดขี้ผึ้ง ซึ่งมีจำนวนดอกผึ้ง 4 ดอกต่อบล็อกแม่พิมพ์ ในการรีดได้ใช้น้ำมันพืชเป็นสารหล่อลื่น พบว่าขี้ผึ้งที่รีดบนชิ้นงานแม่พิมพ์สามารถแกะออกได้ทั้งหมด และลวดลายของดอกผึ้งที่ได้ตรงตามที่ออกแบบไว้ แต่ยังต้องใช้มีดปลายแหลมมาตกแต่งและตัดขอบเก็บรายละเอียดอีกครั้ง ในการรีดและแกะดอกผึ้งทั้ง 4 ดอกใช้เวลา 4 นาที (เฉลี่ยดอกละ 1 นาที) และใช้เวลาในการตัดแต่ง 12 นาที (เฉลี่ยดอกละ 3 นาที) รวมเป็น 4 นาทีต่อดอก

5.1.2 การผลิตและการรีดแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปู

1. การผลิตแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปูด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ มีการตั้งค่าค่าพารามิเตอร์ในการฉีด และผลการทดลองการผลิตแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปู ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 ค่าพารามิเตอร์ในการฉีด และผลการทดลองการผลิตแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปู

รายการ	การผลิตแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปู	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ขนาด (มิลลิเมตร^3)	56x90x7	112.5x180x7
โปรไฟล์การพิมพ์	Quality	Quality
อุณหภูมิหัวฉีด (องศาเซลเซียส)	210	210

ตาราง 3 ค่าพารามิเตอร์ในการฉีด และผลการทดลองการผลิตแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปู (ต่อ)

รายการ	การผลิตแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปู	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ความเร็วในการพิมพ์ (มิลลิเมตรต่อวินาที)	40	40
ความหนาต่อชั้น (มิลลิเมตร)	0.14	0.14
เวลาในการผลิต	3 ชั่วโมง 37 นาที	12 ชั่วโมง 30 นาที
จำนวนดอกผึ้งที่ได้ (ดอก)	1/4	1
ลักษณะของชิ้นงานแม่พิมพ์ที่ได้	- ขนาดตรงตามที่ออกแบบไว้ - ลวดลายตรงตามที่ออกแบบไว้ - ผิวบางส่วนไม่สม่ำเสมอ	- ชิ้นงานบิดเบี้ยวเล็กน้อย - ขนาดตรงตามที่ออกแบบไว้ - ลวดลายตรงตามที่ออกแบบไว้ - ผิวชิ้นงานสม่ำเสมอ

2. การรีดแม่พิมพ์ลายประจำยามก้ามปู

ผู้วิจัยได้ทดลองรีดลายประจำยามก้ามปูแบบเต็มลาย และได้เลือกใช้น้ำมันพืชเป็นสารหล่อลื่นระหว่างบล็อกแม่พิมพ์และขี้ผึ้ง พบว่าขี้ผึ้งที่รีดบนบล็อกแม่พิมพ์สามารถแกะออกได้ทั้งหมด ลวดลายของดอกผึ้งที่ได้ตรงตามที่ออกแบบไว้ แต่ยังไม่ละเอียดมากนักต้องให้มีดปลายแหลมมาตกแต่งและเก็บรายละเอียดอีกครั้ง ใช้เวลาในการรีดและแกะดอกผึ้ง 3 นาที และใช้เวลาในการตัดแต่ง 7 นาที รวมเป็น 10 นาทีต่อดอก

5.1.3 การผลิตและการรีดแม่พิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ

1. การผลิตแม่พิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ มีการตั้งค่าค่าพารามิเตอร์ในการฉีด และผลการทดลองการผลิตแม่พิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ค่าพารามิเตอร์ในการฉีด และผลการทดลองการผลิตแม่พิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ

รายการ	การผลิตแม่พิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ขนาด (มิลลิเมตร^3)	90x110x6	100x200x6
โปรไฟล์การพิมพ์	Quality	Quality
อุณหภูมิหัวฉีด (องศาเซลเซียส)	210	210
ความเร็วในการพิมพ์ (มิลลิเมตรต่อวินาที)	40	40
ความหนาต่อชั้น (มิลลิเมตร)	0.14	0.14
เวลาในการผลิต	5 ชั่วโมง 40 นาที	11 ชั่วโมง
จำนวนดอกผึ้งที่ได้ (ดอก)	4	7
ลักษณะของชิ้นงานแม่พิมพ์ที่ได้	- ขนาดตรงตามที่ออกแบบไว้ - มีตำหนิจากการเดินงานของหัวฉีดเล็กน้อย	- ขนาดตรงตามที่ออกแบบไว้ - ลวดลายตรงตามที่ออกแบบไว้

2. การรีดแม่พิมพ์ลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำ

ผู้วิจัยได้ทดลองรีดลายกระจังตาอ้อยผสมลายลูกประคำจากบล็อกแม่พิมพ์ 7 ดอก และได้เลือกใช้น้ำมันพืชเป็นสารหล่อลื่น ซึ่งสามารถแกะดอกผึ้งออกจากบล็อกแม่พิมพ์ได้ทั้งหมด ลวดลายมีความละเอียดและสวยงามตามที่ได้ออกแบบไว้ แต่เนื่องจากอุณหภูมิขี้ผึ้งที่นำมารีดไม่เหมาะสม ขี้ผึ้งจึงมีความอ่อนตัว ส่งผลให้ดอกผึ้งที่ได้นั้นบิดเบี้ยวเล็กน้อย และต้องเก็บรายละเอียดอีกครั้ง โดยใช้เวลาในการรีดและแกะดอกผึ้ง 3 นาที และใช้เวลาในการตัดแต่ง 2 นาที รวมเป็น 5 นาทีต่อดอก

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

จากการศึกษาพบปัญหาและอุปสรรค สรุปได้ดังนี้

5.2.1 จากการออกแบบแม่พิมพ์ด้วยโปรแกรม SolidWorks พบว่าไฟล์ Assembly ไม่สามารถสร้างโพรงแบบ (Cavity) ได้ และไม่สามารถบันทึกเป็นนามสกุล .STL ได้

5.2.2 ในการผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ด้วย 3D Printer พบปัญหาหลายประการ เช่น หัวฉีดอุดตันเนื่องจากมีพลาสติกแข็งตัวอยู่ภายใน, สายสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor) ของหัวฉีดด้านขวาชำรุดทำให้ไม่สามารถใช้งานได้, ชิ้นงานไม่ติดกับฐานของเครื่อง และฐานของเครื่องไม่เลื่อนกลับศูนย์เมื่อผลิตชิ้นงานเสร็จ เป็นต้น

5.2.3 เส้นพลาสติก PLA มีความเก่าและเปราะ ทำให้หักระหว่างการผลิตชิ้นงาน ส่งผลให้งานหยุดชะงัก และต้องเริ่มผลิตชิ้นงานใหม่

5.2.4 ในการทดลองรีดขี้ผึ้งกับบล็อกแม่พิมพ์ พบว่าอุณหภูมิของขี้ผึ้งที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ดอกผึ้งบิดเบี้ยวเมื่อแกะออกจากบล็อกแม่พิมพ์ โดยขี้ผึ้งที่นำมารีดควรมีอุณหภูมิ 40°c จึงจะเหมาะสม นอกจากนี้ยังพบว่า หากปริมาณขี้ผึ้งไม่เพียงพอในการรีดจะทำให้ดอกผึ้งบางเกินไป ส่งผลให้ไม่สามารถแกะดอกผึ้งออกจากบล็อกแม่พิมพ์ได้

5.2.5 ในขั้นตอนการหล่อต้นเทียนพรรษา ขี้ผึ้งที่ใช้ในการหล่อมีการหดตัว ทำให้ต้นเทียนพรรษาเกิดโพรงขึ้นและมีรอยแตกเล็กน้อย ต้องทำการเทขี้ผึ้งซ้ำเพื่อเติมเต็มโพรงและรอยแตก โดยขี้ผึ้งที่นำมาหล่อต้นเทียนพรรษา ควรมีอัตราส่วนขี้ผึ้งเทียมต่อขี้ผึ้งแท้เท่ากับ 3:1 และควรใช้ไฟอ่อนในการต้ม

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 หลังผลิตชิ้นงานด้วย 3D Printer เสร็จ ควรกดคำสั่ง Unloading Filament หัวฉีดที่ใช้งานก่อนนำเส้นพลาสติกออก เพื่อป้องกันไม่ให้เส้นพลาสติกหักและแข็งตัวในหัวฉีด

5.3.2 เส้นพลาสติกค่อนข้างไวต่ออุณหภูมิ ควรเก็บในถุงพลาสติกอย่างมิดชิดที่อุณหภูมิห้อง

5.3.3 ควรติดเทปป้องกันรอยขีดข่วน (Blue painter’s tape) เพื่อป้องกันปัญหาชิ้นงานไม่ติดกับฐานของเครื่อง

5.3.4 ควรออกแบบลวดลายหรือบล็อกแม่พิมพ์ใหม่ ให้ง่ายต่อการแกะดอกผึ้งที่มีความบางจากการรีด

5.3.5 ศึกษาการใช้วัสดุใหม่ในการสร้างแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ด้วย 3D Printer เพื่อให้ได้ผิวชิ้นงานที่มีความละเอียดกว่าวัสดุ PLA

5.3.6 ในขั้นตอนการหล่อต้นเทียนพรรษา ควรศึกษาวิธีการทำให้ต้นเทียนพรรษาเย็นตัวลงอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันการหดตัวของขี้ผึ้ง เช่น การโอบทรายรอบต้นเทียนพรรษาทั้งต้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กฤติไกร ไชยลึก. *SolidWorks*. SolidWorksweb สิงหาคม 2552; สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน 2561; ได้จาก http://solidworkweb.blogspot.com

คุณใหญ่. *คุณสมบัติทางเทคนิคของยางซิลิโคน*. ซูเปอร์ซิลิโคน แอนด์ เรซิ่นอาร์ท 2556; สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2561; ได้จาก https://www.supersiliconeandresinart.com/13625052

ชม. *คุณสมบัติพลาสติก ABS*. Print3DD 3D Printer Store ธันวาคม 2556; สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2561; ได้จาก http://www.print3dd.com/คุณสมบัติพลาสติก-abs/

ชม. *คุณสมบัติพลาสติก PLA*. Print3DD 3D Printer Store ธันวาคม 2556; สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2561; ได้จาก http://www.print3dd.com/คุณสมบัติพลาสติก-pla/

ณปภัทร จันทร์เมือง. *การใช้เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติในการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์*. วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม. 2560; 16(2): 190-198.

ธนากร สีทะนารัตน์ และ ธีรวุฒิ กิตติวงศ์โสภา. *การผลิตต้นแบบเครื่องประดับด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ*. ปริญญานิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2560.

ปริ๊นท์สามดีดี. *ประเภทของเครื่อง 3D Printer*. Print3DD 3D Printer Store ธันวาคม 2556; สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2561; ได้จาก: http://www.print3dd.com/

ปานจิต ศรีสวัสดิ์, จรัญญู ทิพย์โพธิ์, กิตติคุณ นิมิตแสงเทียน, คลอเคลีย วจนะวิชากร. *การปรับปรุงประสิทธิภาพและพัฒนากระบวนการแกะสลักเทียนประเภทติดพิมพ์*. วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี. 2560.

ภัทรบดี พิมพ์กิ. *การสร้างสรรค์เครื่องประดับจากวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ต้นแบบสามมิติอย่างรวดเร็ว*. วิทยานิพนธ์ ศศ.ม. นครปฐม : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2558.

มะลิวัลย์ สินน้อย. *การทำต้นเทียนพรรษาประเภทติดพิมพ์*. ฐานข้อมูลช่างเทียนเมืองอุบล กันยายน 2555; สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2561; ได้จาก http://www.lib.ubu.ac.th/candle handicraft/printing-making.php

สันติ พงษ์พรต. *ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปูนปลาสเตอร์*. การทำพิมพ์และการหล่อ 2555; สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2561; ได้จาก http://elearning.nsru.ac.th/web_elearning/ceramic/lesson1.php

สายสอง. *คุณสมบัติของไม้แต่ละชนิด ที่ใช้ในงานก่อสร้าง*. สายสองค้าไม้ ธันวาคม 2559; สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2561; ได้จาก http://saisongwood.net/?p=893

บรรณานุกรม (ต่อ)

อรรศราวุฒิ วงษ์มูล และ ธัญญา คงสุขา. *การออกแบบลวดลายเทียนติดพิมพ์ด้วยโปรแกรม SolidWorks*. ปริญญานิพนธ์ วศ.บ. มหาสาคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2562

อรอนงค์ ไพรโสภา และ คมสัน กุลค้อ. *คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิตเทียนพรรษาแกะสลัก*. ปริญญานิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2561.

อากร. *หินอ่อน*. เรขาคณิต ดีไซน์ 2558; สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2561; ได้จาก http://www.rekhakanitdesign.co.th/15966194/หินอ่อน-marble

เฮงเฮง. *หินอ่อนขาวเทาลายเมฆ*. เฮงเฮงหินธรรมชาติ สิงหาคม 2559; สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2561; ได้จาก http://www.henghengstone.com/product/274/หินอ่อนขาวเทาลายเมฆ-hwg

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
คู่มือการใช้งานโปรแกรม NewCreatorK (Version 1.47)

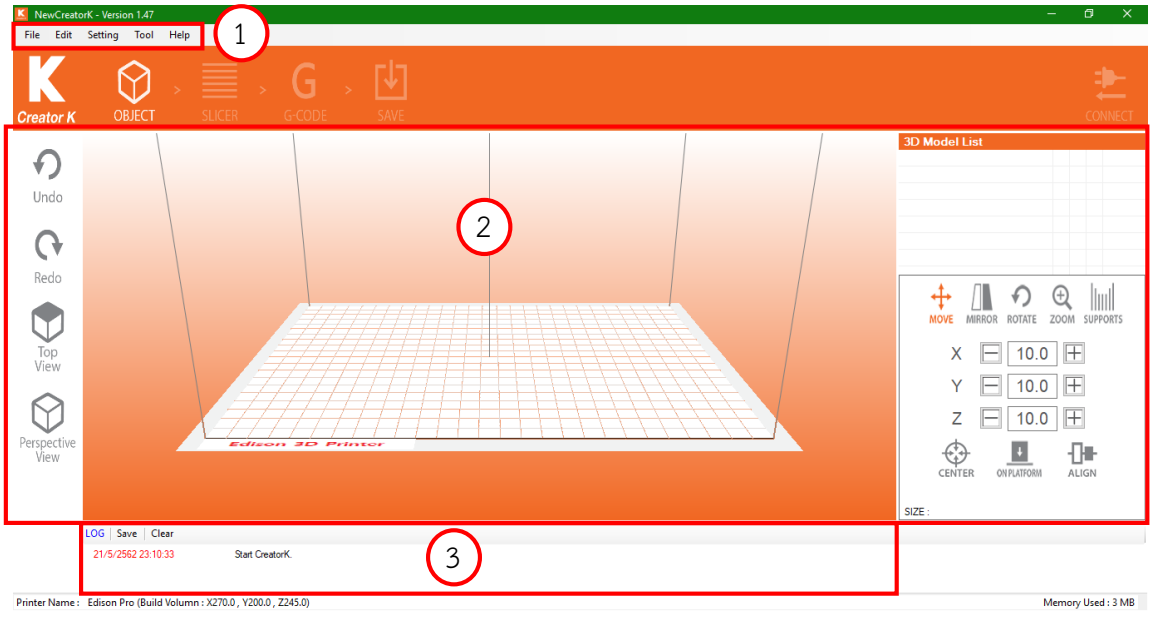
ภาพประกอบ 42 โปรแกรม NewCreatorK Version 1.47

แนะนำโปรแกรม

โปรแกรม NewCreatorK เป็นโปรแกรมช่วยในการผลิต และเป็นโปรแกรมที่ใช้งานร่วมกับเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) รุ่น 3DISON PRO ในการสร้าง NC Code สำหรับใช้ในการผลิตชิ้นงาน ประเภท Slicer ซึ่งเป็นการสร้างชิ้นงานโดยการเฉือนหรือตัดโมเดลเป็นชั้นบางๆ ทีละชั้นตามค่าพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน ทั้งยังสามารถคำนวณเวลาในการผลิตชิ้นงานได้อีกด้วย

เมนูและเครื่องมือต่างๆ

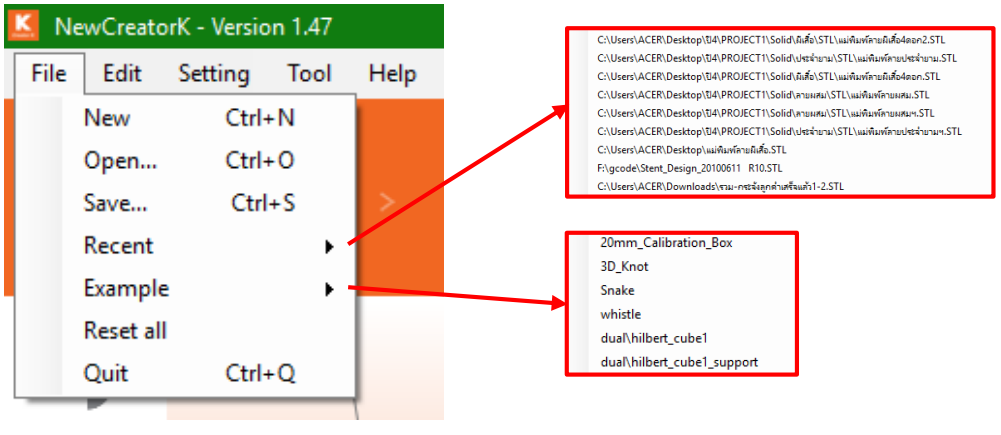
ในส่วนของหน้าแรกเมื่อเข้าโปรแกรม มีการแสดงผลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1.ส่วนแสดงเมนูและเครื่องมือต่างๆ 2.ส่วนของการแสดงชิ้นงาน และ 3.ส่วนแสดงขั้นตอนการทำงานที่เกิดขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 43



ภาพประกอบ 43 หน้าจอแสดงผลเมื่อเข้าโปรแกรม NewCreatorK

1. ส่วนแสดงเมนูและเครื่องมือต่างๆ (หมายเลข 1) ในการใช้งานโปรแกรมมี 5 เมนู ได้แก่ File, Edit, Setting, Tool และ Help

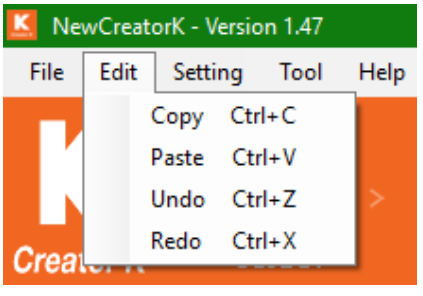
- File หรือแฟ้มข้อมูลแสดงในส่วนของรายการต่างๆ ในการเปิดชิ้นงานที่จะทำการขึ้นรูป ได้แก่ New, Open, Save, Recent, Example, Reset all และ Quit ดังแสดงในภาพประกอบ 44



ภาพประกอบ 44 ส่วนแสดงเมนู File

New	ใช้สำหรับ สร้างไฟล์
Open	ใช้สำหรับ เปิดไฟล์
Save	ใช้สำหรับ บันทึกไฟล์
Recent	ใช้สำหรับ เปิดไฟล์ก่อนหน้า
Example	ใช้สำหรับ เปิดไฟล์ตัวอย่าง
Reset all	ใช้สำหรับ รีเซตใหม่ทั้งหมด
Quit	ใช้สำหรับ ออกจากโปรแกรม

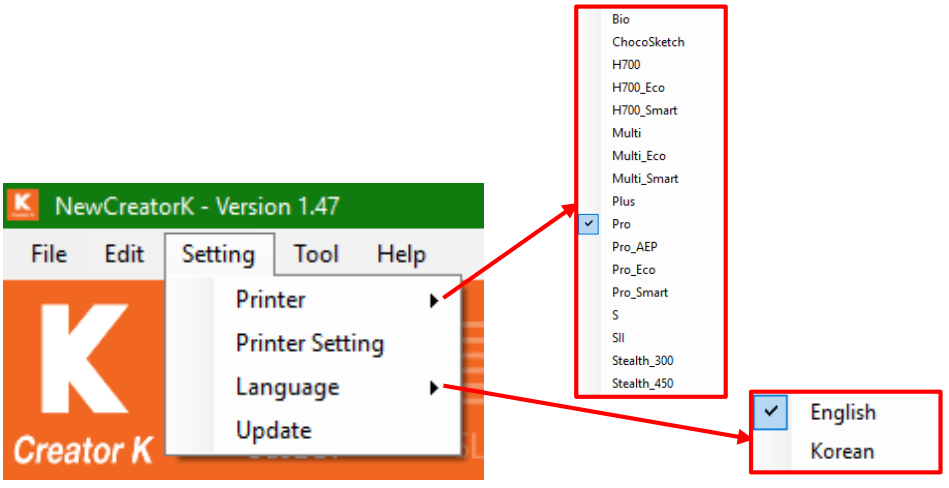
- Edit แสดงในส่วนของการแก้ไขและปรับเปลี่ยนข้อมูล ได้แก่ Copy, Paste, Undo และ Redo ดังแสดงในภาพประกอบ 45



ภาพประกอบ 45 ส่วนแสดงเมนู Edit

Copy	ใช้สำหรับ คัดลอกชิ้นงาน
Paste	ใช้สำหรับ วางชิ้นงาน
Undo	ใช้สำหรับ ยกเลิกคำสั่งก่อนหน้า
Redo	ใช้สำหรับ กลับไปที่คำสั่งเดิม

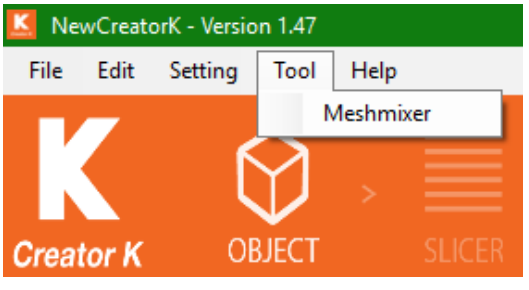
- Setting แสดงในส่วนของการตั้งค่าต่างๆ ได้แก่ Printer, Setting, Language และ Update ดังแสดงในภาพประกอบ 46



ภาพประกอบ 46 ส่วนแสดงเมนู Setting

Printer	ใช้สำหรับ เลือกใช้เครื่องพิมพ์รุ่นต่างๆ
Setting	ใช้สำหรับ การตั้งค่าเครื่องพิมพ์
Language	ใช้สำหรับ เลือกใช้ภาษาในโปรแกรม
Update	ใช้สำหรับ อัพเดทโปรแกรม

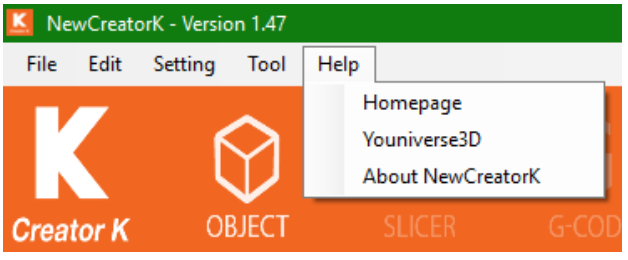
- Tool แสดงในส่วนของเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน ดังแสดงในภาพประกอบ 47



ภาพประกอบ 47 ส่วนแสดงเมนู Tool

Meshmixer	เป็นฟังก์ชันเสริมในโปรแกรม

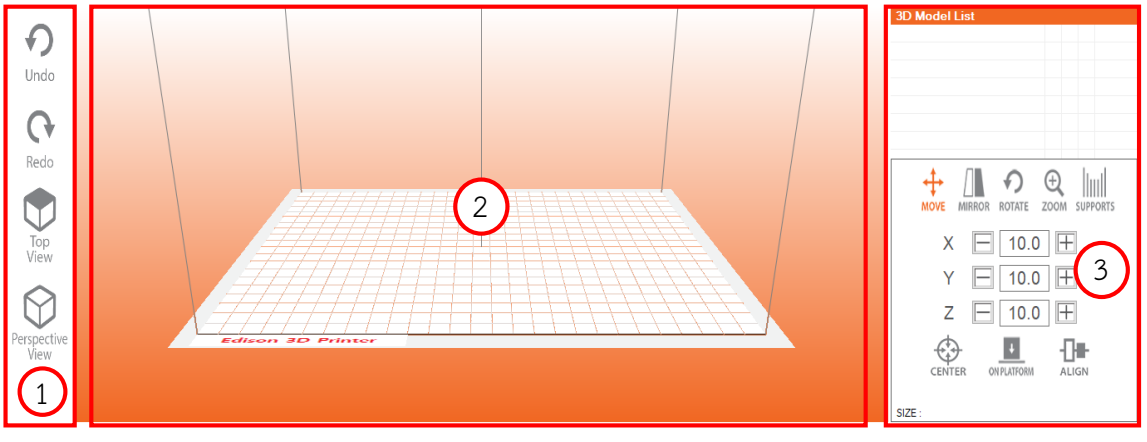
- Help แสดงในส่วนความช่วยเหลือในการใช้งานโปรแกรม ได้แก่ Homepage, Youniverse3D และ About NewCreatorK ดังแสดงในภาพประกอบ 48



ภาพประกอบ 48 ส่วนแสดงเมนู Help

Homepage	เว็บไซต์แนะนำเอกสารเกี่ยวกับโปรแกรม
Youniverse3D	เว็บไซต์แนะนำเอกสารเกี่ยวกับโปรแกรม
About NewCreatorK	แสดงข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม

2. ส่วนของการแสดงชิ้นงาน (หมายเลข 2) จากภาพประกอบ 43 ในส่วนของการแสดงชิ้นงายจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1. ส่วนของการแสดงมุมมอง 2. ส่วนของการแสดงหน้าจอชิ้นงาน และ 3. ฟังก์ชันการตั้งค่าพารามิเตอร์ ดังแสดงในภาพประกอบ 49

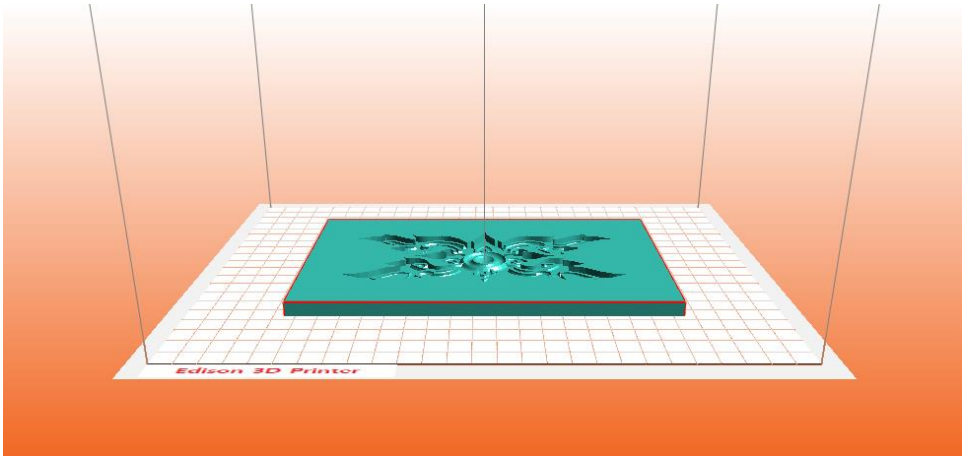


ภาพประกอบ 49 ส่วนของการแสดงชิ้นงาน

ส่วนที่ 1 ส่วนของการแสดงมุมมอง เป็นการปรับปรุงมุมมองในการแสดงชิ้นงานในแต่ละด้าน ได้แก่

Undo	ใช้สำหรับ ยกเลิกคำสั่งก่อนหน้า
Redo	ใช้สำหรับ กลับไปที่คำสั่งเดิม
Top View	ใช้สำหรับ มุมมองด้านบน
Perspective View	ใช้สำหรับ มุมมองด้านหน้าของโปรแกรม

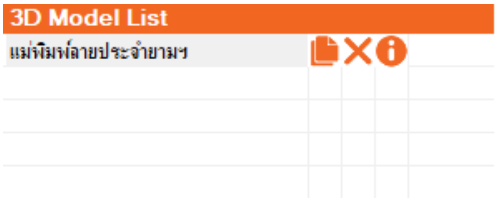
ส่วนที่ 2 ส่วนของการแสดงหน้าจอชิ้นงาน เป็นหน้าจอแสดงให้เห็นตำแหน่งของชิ้นงาน ซึ่งสามารถปรับเลื่อนได้ตามที่ต้องการหรือตามค่าพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้ ดังแสดงในภาพประกอบ 50



ภาพประกอบ 50 ส่วนของการแสดงหน้าจอชิ้นงาน

ส่วนที่ 3 ส่วนของการแสดงฟังก์ชันการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ตารางแสดงรายการชิ้นงานสามมิติ และแถบแสดงเมนูการปรับชิ้นงาน

ตารางแสดงรายการชิ้นงานสามมิติ : เมื่อนำชิ้นงานเข้ามาในโปรแกรมจะปรากฏรายการชิ้นงานต่างๆ โดยสามารถดูข้อมูลชิ้นงาน คัดลอกชิ้นงาน และลบชิ้นงานได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 51

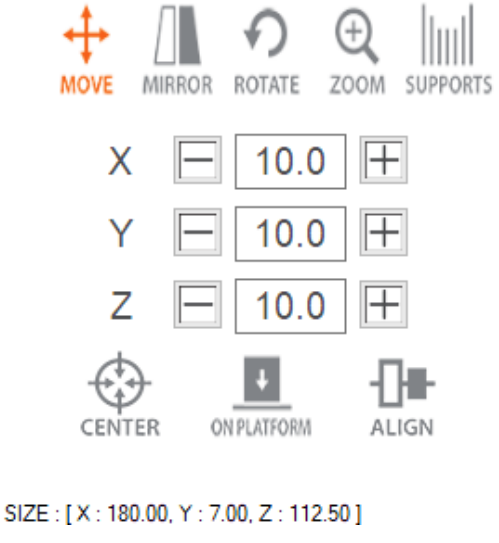


ภาพประกอบ 51 ตารางแสดงรายการชิ้นงานสามมิติ

แถบแสดงเมนูการปรับชิ้นงาน : เป็นแถบการปรับชิ้นงานที่อยู่ใน Platform และปรับค่าพารามิเตอร์ชิ้นงานในส่วนต่างๆ แบ่งออกเป็น 5 คำสั่ง ได้แก่ 1.คำสั่ง Move 2.คำสั่ง Mirror 3.คำสั่ง Rotate 4.คำสั่ง Zoom และ 5.คำสั่ง Supports ใช้สำหรับปรับชิ้นงาน ดังแสดงในภาพประกอบ 52

ภาพประกอบ 52 ส่วนแถบแสดงเมนูการปรับชิ้นงาน

- คำสั่ง Move ใช้ปรับตำแหน่งให้เหมาะสมในการสร้างชิ้นงาน ดังแสดงในภาพประกอบ 53



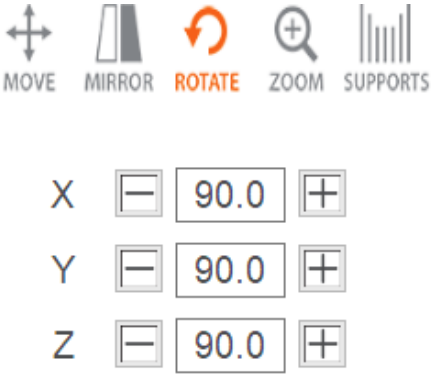
ภาพประกอบ 53 ส่วนของคำสั่ง Move

X, Y, Z	คือ การปรับตำแหน่งไปในทิศทางตามแกน
CENTER	คือ การปรับตำแหน่งชิ้นงานให้อยู่กลางแพลตฟอร์ม
ON PLATFORM	คือ การปรับตำแหน่งชิ้นงานให้อยู่บนแพลตฟอร์ม
ALIGN	คือ การปรับชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน

- คำสั่ง Mirror ใช้สำหรับปรับชิ้นงานให้สะท้อนกลับด้านไปอีกด้านหนึ่ง ตามแนวแกน X, Y และ Z ดังแสดงในภาพประกอบ 54

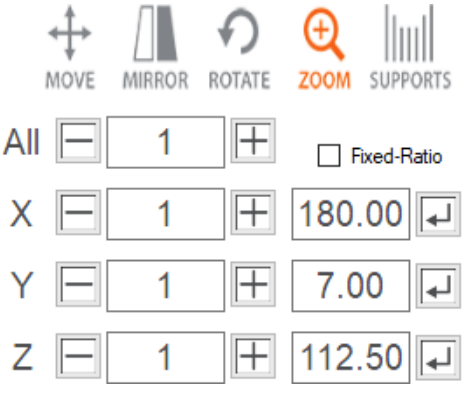
ภาพประกอบ 54 ส่วนของคำสั่ง Mirror

- คำสั่ง Rotate ใช้สำหรับหมุนปรับชิ้นงานตามแนวแกน X, Y และ Z เพื่อให้ชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ดังแสดงในภาพประกอบ 55



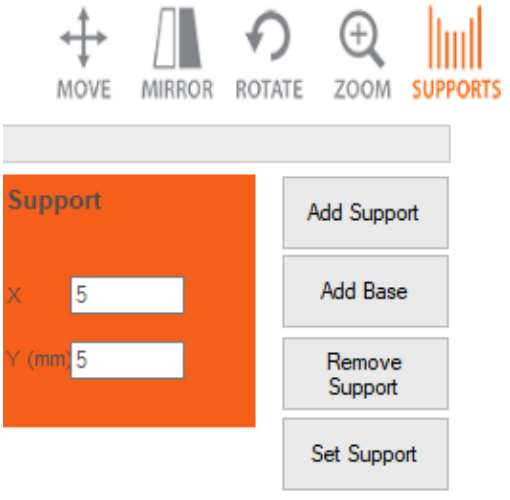
ภาพประกอบ 55 ส่วนของคำสั่ง Rotate

- คำสั่ง Zoom ใช้สำหรับขยายชิ้นงานให้ใหญ่ขึ้น ตามแนวแกน X, Y, Z และ All ดังแสดงในภาพประกอบ 56



ภาพประกอบ 56 ส่วนของคำสั่ง Zoom

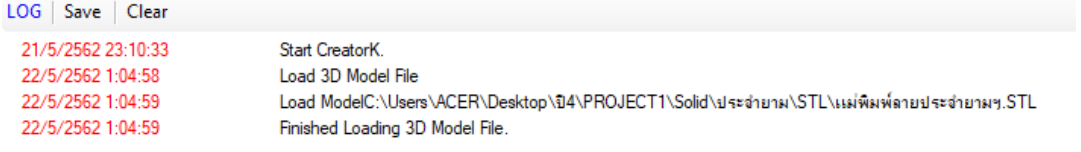
- คำสั่ง Supports ใช้สำหรับสร้างซัพพอร์ทเพื่อให้ง่ายต่อการขึ้นรูป และป้องกันชิ้นงานเสียหายระหว่างขึ้นรูป ดังแสดงในภาพประกอบ 57



ภาพประกอบ 57 ส่วนของคำสั่ง Supports

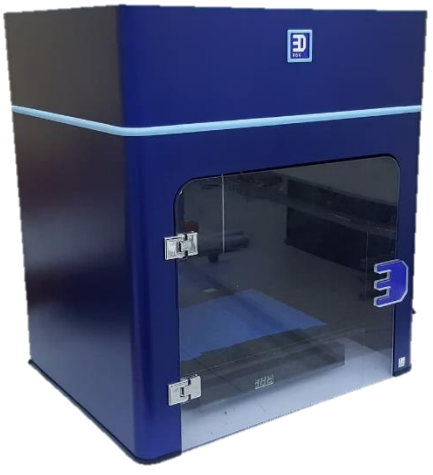
Add Support	ใช้สำหรับ สร้างซัพพอร์ทบนชิ้นงาน
Add Base	ใช้สำหรับ สร้างฐานรองชิ้นงาน
Remove Support	ใช้สำหรับ นำซัพพอร์ทออกจากชิ้นงาน
Set Support	ใช้สำหรับ ปรับขนาดของซัพพอร์ท

3. ส่วนแสดงขั้นตอนการทำงาน (หมายเลข 3) จากภาพประกอบ 43 ส่วนแสดงขั้นตอนการทำงานจะเป็นการบันทึกตั้งแต่นำไฟล์ชิ้นงานเข้ามาในโปรแกรม ปรับตำแหน่ง ตั้งค่าพารามิเตอร์ สร้าง G-code จนกระทั่งบันทึกไฟล์เพื่อนำไปผลิตชิ้นงาน ดังแสดงในภาพประกอบ 58



ภาพประกอบ 58 ส่วนของลำดับขั้นตอน

ภาคผนวก ข
คู่มือการใช้งานเครื่องพิมพ์สามมิติ รุ่น 3DISON PRO

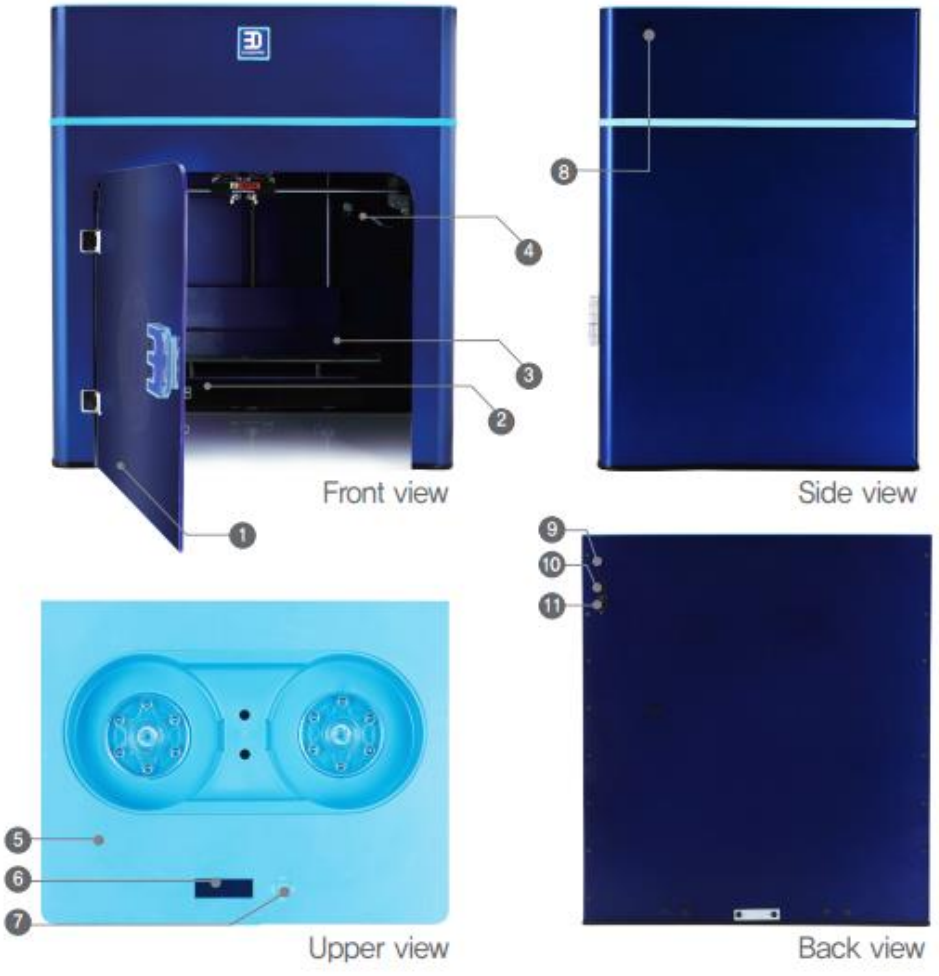


ภาพประกอบ 59 เครื่องพิมพ์สามมิติ รุ่น 3DISON PRO

ประสิทธิภาพ

วิธีการพิมพ์	: Fused Filament Fabrication (FFF)
สร้างขนาดได้สูงสุด	: 270 mm x 200 mm x 245 mm
ความเร็วในการพิมพ์	: 40 mm/sec – 1000 mm/sec
วัสดุที่ใช้	: PLA ขนาด 1.75 mm
ความละเอียดของชั้น	: 25 – 600 Micron

ส่วนประกอบ



ภาพประกอบ 60 ส่วนประกอบต่างๆ ของ 3D Printer

จากภาพประกอบ 60 สามารถอธิบายส่วนประกอบของเครื่อง 3D Printer ได้ดังนี้

1. ฝาปิด
2. จอแสดงผลอุณหภูมิบนฐาน
3. แท่นวาง
4. หัวฉีด
5. ฝาครอบ
6. จอแสดงผลเมนู
7. ปุ่มลูกศรและปุ่มตกลง
8. ที่เสียบ SD Card
9. สวิตซ์เปิด-ปิด

การติดตั้งอุปกรณ์และเปิดเครื่อง

1. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าสวิตซ์นั้นเปิดอยู่ จากนั้นนำสายไฟเสียบเข้ากับพอร์ตรับพลังงานด้านหลังของเครื่องพิมพ์สามมิติ และเสียบสายไฟเข้าเต้าเสียบ

2. ปุ่มเปิด-ปิด ของ 3DISON PRO อยู่ส่วนบนที่ด้านหลังของตัวเครื่อง ‘o’ หมายถึงปิด และ ‘-’ หมายถึง เปิด เมื่อสวิตซ์เปิดสามารถเริ่มทำงานได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 61

ภาพประกอบ 61 สวิตซ์เปิดปิด

3. เมื่อกดสวิตซ์เปิดเพื่อให้เครื่องทำงาน จะแสดงเมนูที่หน้าจอแสดงผล ดังแสดงในภาพประกอบ 62

ภาพประกอบ 62 จอแสดงผลเมนู

เมนูแนะนำเบื้องต้น

1. Print from SD โหลดไฟล์จาก SD Card
2. Preheat การทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น
   - Extruder : หัวฉีด
   - Platform : แท่นวางหรือฐาน
3. Utilities
   - Filament loading : ใส่เส้นพลาสติกเข้าไปในหัวฉีดและดึงเส้นพลาสติกออกจากหัวฉีด
   - Monitor mode : แสดงอุณหภูมิและสถานะปัจจุบันของเครื่องพิมพ์สามมิต
   - Preheat setting : ตั้งอุณหภูมิหัวฉีดและฐานให้มีความร้อน
   - General Setting : ตั้งค่าทั่วไป
   - Home Axes : ตั้งหัวฉีดและฐานให้อยู่จุดเริ่มต้นของแกน x, y และ z
   - Jog Mode : ควบคุมตำแหน่งหัวฉีดและฐานด้วยตนเอง
   - Restore Setting : ตั้งค่าโรงงาน
   - Version Information: แสดงเวอร์ชั่นของเครื่องพิมพ์สามมิติ

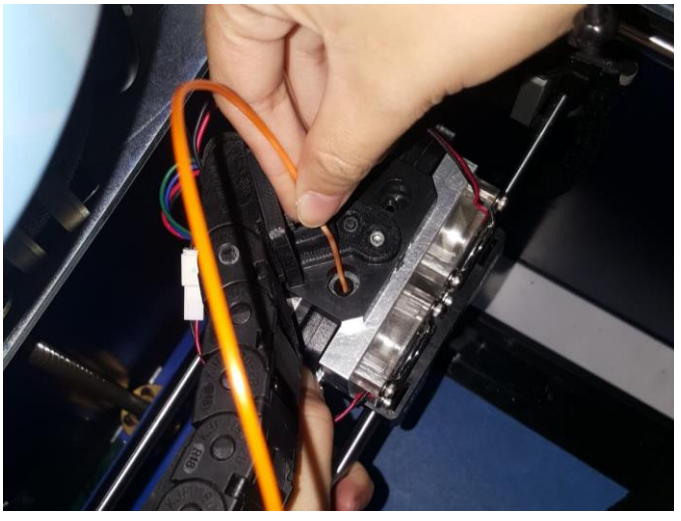
Filament Loading and Unloading

1. ขั้นตอนการนำเข้า (Loading) คือ การนำเส้นพลาสติกเข้าหัวฉีดก่อนการทำงานเพื่อเตรียมการฉีดขึ้นรูปเป็นโมเดล

1.1 ไปยังจอแสดงผลเมนู แล้วเลือก Utilities > Filament loading จากนั้นเลือก Load Right หรือ Load Left ขึ้นอยู่กับหัวฉีดที่ต้องการใช้ และรอให้หัวฉีดร้อนจนได้อุณหภูมิที่ต้องการดังแสดงในภาพประกอบ 63

ภาพประกอบ 63 คำสั่ง Filament Loading

1.2 เมื่อหัวฉีดร้อนจนได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้วจะมีสัญญาเตือน ให้ใส่เส้นพลาสติกเข้ารูหัวฉีด พร้อมกดปุ่มสปริงที่อยู่ด้านข้างหัวฉีด และรอเส้นพลาสติกไหลออกจากหัวฉีด แล้วกดปุ่ม OK เพื่อหยุดการ Load ดังแสดงในภาพประกอบ 64



ภาพประกอบ 64 การสอดเส้นพลาสติก

2. ขั้นตอนการนำออก (Unloading) คือ การนำเส้นพลาสติกออกหลังจากเครื่องทำงานเสร็จ

2.1 ไปยังจอแสดงผลเมนู แล้วเลือก Utilities > Filament loading จากนั้นเลือก Unload Right หรือ Unload Left ขึ้นอยู่กับหัวฉีดที่ต้องการนำพลาสติกออก แล้วรอให้หัวฉีดร้อนเส้นพลาสติกจะค่อยๆ หลุดออกจากหัวฉีดเอง และกด OK เพื่อ Unload

ขั้นตอนการพิมพ์ชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ

1. ไปยังจอแสดงผลเมนู แล้วเลือก Print from SD > เลือกไฟล์ที่ต้องการพิมพ์ชิ้นงาน
2. รอให้หัวฉีดร้อนจนได้อุณหภูมิที่ตั้งไว้ในขั้นตอนการสร้างโค้ด แสดงในภาคผนวก ก
3. เครื่องพิมพ์สามมิติเริ่มพิมพ์ชิ้นงาน

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล นางสาวณัฐนิชา อิ่มน้ำขาว

วันเกิด วันที่ 6 กันยายน 2539

สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 141/18 ถนนถีนานนท์ ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม (ฝ่ายมัธยม) จังหวัดมหาสารคาม

พ.ศ. 2558 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม (ฝ่ายมัธยม) จังหวัดมหาสารคาม

พ.ศ. 2562 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล นางสาวสุชญา พุทธพงศ์วิไล
วันเกิด วันที่ 24 มกราคม 2540
สถานที่เกิด อำเภออุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น
สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 555/64 หมู่ที่ 8 ตำบลเมืองเก่า อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 40000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
พ.ศ. 2558	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
พ.ศ. 2562	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม