การออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีสำหรับใช้งานบนโต๊ะทำงานพร้อมด้วยส่วนจัดการชิ้นงานหลังการพิมพ์

โดย
นายเชษฐชาติ ทาชาติ

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์ แผน ข ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีสำหรับใช้งานบนโต๊ะทำงาน พร้อมด้วยส่วนจัดการชิ้นงานหลังการพิมพ์

โดย
นายเชษฐชาติ ทาชาติ

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์ แผน ข ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

STEREOLITHOGRAPHY (SLA) 3D PRINTER DESIGN FOR DESKTOP WORK SPACE WITH POST PRINTED ORGANIZER MODULE

By

MR. Chetachat TACHAT

A Master's Report Submitted in partial Fulfillment of Requirements

for Master of Fine Arts (Product Design)

Department of Product Design

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2017

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีสำหรับใช้งานบนโต๊ะทำงานพร้อมด้วยส่วนจัดการชิ้นงานหลังการพิมพ์
โดย	เชษฐชาติ ทาชาติ
สาขาวิชา	การออกแบบผลิตภัณฑ์ แผน ข ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. รัฐไท พรเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ลุ้ย กานต์สมเกียรติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. รัฐไท พรเจริญ)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(อาจารย์ ดร. สาธิต เหล่าวัฒนพงษ์)

58155309 : การออกแบบผลิตภัณฑ์ แผน ข ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : เครื่องพิมพ์สามมิติ, สเตอริโอลิโธกราฟี, โฟโตพอลิเมอร์

นาย เชษฐชาติ ทาชาติ: การออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีสำหรับใช้งานบนโต๊ะทำงานพร้อมด้วยส่วนจัดการชิ้นงานหลังการพิมพ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รองศาสตราจารย์ ดร. รัฐไท พรเจริญ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อศึกษาเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี 2) เพื่อออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ 3) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยโดยการเก็บข้อมูลจากการทดลอง เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ด้วยการทดลองหลายปัจจัย เพื่อสรุปผล

ผลการวิจัยพบว่า เครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์สามารถพิมพ์ชิ้นงานที่มีความละเอียดได้ดี ภายใต้การตั้งค่าที่เหมาะสม คือ 14500 มิลลิวินาทีต่อการเคลื่อนที่แกน Z 50 ไมโครเมตร สามารถพิมพ์ชิ้นงานได้คราวละหลายชิ้นในครั้งเดียว เนื่องจากใช้ระบบการพิมพ์แบบ DLP ทำให้สามารถสร้างชิ้นงานได้เต็มพื้นที่ด้วยความเร็ว 8.2 มิลลิเมตรต่อวินาที ทั้งยังให้ความละเอียดในการพิมพ์ที่ 100 ไมครอน บนแกน XY ในส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์สามารถช่วยลดขั้นตอนในการจัดการโฟโตพอลิเมอร์ โดยผู้ใช้ได้ทั้งในขั้นตอนการเติมโฟโตพอลิเมอร์เองโดยอัตโนมัติระหว่างการพิมพ์ และสูบเก็บโฟโตพอลิเมอร์หลังพิมพ์เสร็จ

58155309 : Major (Product Design)
Keyword : 3D Printer, Stereolithography, Photopolymer

MR. CHETACHAT TACHAT : STEREOLITHOGRAPHY (SLA) 3D PRINTER DESIGN FOR DESKTOP WORK SPACE WITH POST PRINTED ORGANIZER MODULE THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR RATTHAI PORNCHAROEN, PH.D.

The purpose of this research were 1) To provide a research on the information of stereolithography 3D printer 2) To design a stereolithography 3D printer with photopolymer organizer module 3) To assessment the performance of a stereolithography 3D printer with photopolymer organizer module. This research used multi- factor experiment method as a tool for assessment the performance of a stereolithography 3D printer and used completely randomized design for test the performance of photopolymer organizer module and then conclude the result

The result showed that stereolithography 3D printer with photopolymer organizer module can printed good resolution printed parts underneath appropriate setting as 14500 milliseconds per 50 microns Z axis step be able o printed multiple part at once cure wherewith DLP system, can printed full area of build plate for 8.2 millimeters per hour with good resolution as 100 microns at XY axis. Photopolymer organizer module can assist user for reduce the photopolymer management step during and finishing printed method.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยความช่วยเหลือ แนะนำ ความเป็นกัลยาณมิตรของของผู้มีคุณูปการต่างๆ เพราะหากขาดบุคคลเหล่านี้การวิจัยครั้งนี้อาจขาดความสมบูรณ์ ในด้านเนื้อหาข้อศึกษาต่างๆ ผู้วิจัยจึงขอกล่าวขอบคุณทุกท่าน

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. รัฐไท พรเจริญ ที่ปรึกษาหลัก ที่ท่านได้ช่วยชี้แนะ ให้ข้อคิดตั้งแต่ก่อนเริ่มทำการวิจัย และยังคอยให้คำแนะนำ แก้ไขปรับปรุงเนื้อหาจนกระทั่งการวิจัยเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ลุ้ย กานต์สมเกียรติ ประธานกรรมการ ที่ท่านได้ช่วยแนะนำเพิ่มเติมในด้านการใช้เครื่องมือการวิจัยเพื่อให้การวิจัยมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร. สาธิต เหล่าวัฒนพงษ์ กรรมการภายนอก ที่ท่านได้ช่วยชี้แนะในการทดสอบประสิทธิภาพและการต่อยอดการวิจัยในด้านการออกแบบ

ขอขอบคุณนายคำไพ และนางสิริพร ทาชาติ บิดาและมารดาของผู้วิจัยที่ให้การช่วยเหลือต่างๆ ทั้งยังเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยโดยตลอดจนกระทั่งการวิจัยเสร็จสมบูรณ์

ทั้งนี้การวิจัยครั้งนี้คงไม่สามารถสำเร็จสมบูรณ์ได้ หากขาดองค์ความรู้ที่ได้จากคณาจารย์ในภาควิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์ ที่ได้ร่วมกันประสิทธิ์ประสาทวิชา ทำให้การวิจัยสามารถสร้างคุณค่าและเกิดประโยชน์ต่อผู้เกี่ยวข้องสนใจ หากการวิจัยครั้งนี้มีความผิดพลาด หรือขาดความสมบูรณ์ในประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับความผิดพลาดเหล่านั้น และขออภัย ไว้ ณ ที่นี้

เชษฐชาติ ทาชาติ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์การวิจัย 4

กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย 4

ขอบเขตของการวิจัย 5

นิยามศัพท์เฉพาะ 6

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี 7

ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการระดับน้ำ 20

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติ 23

ผลิตภัณฑ์นวัตกรรมแห่งคุณค่า 23

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 28

การศึกษาข้อมูลการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติ 28
การทดลองเพื่อสรุปข้อมูลสำหรับการออกแบบ 29
การทดลองเพื่อสรุปผลการออกแบบ 31
การเก็บรวบรวมข้อมูล 32
การวิเคราะห์ข้อมูล 33
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 34
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี 35
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ 37
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ 61
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 64
สรุปผลการวิจัย 64
อภิปรายผล 65
ข้อเสนอแนะ 67
รายการอ้างอิง 68
ภาคผนวก 70
ภาคผนวก ก ภาพขั้นตอนการศึกษาข้อมูล และขั้นตอนการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ สเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ 71
ภาคผนวก ข แบบทดสอบประสิทธิภาพเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ สเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ 91
ประวัติผู้เขียน 93

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

ภาพที่ 1 เครื่องพิมพ์สามมิติ 3 ระบบ 2
ภาพที่ 2 การจำแนกประเภทเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA ตามการเคลื่อนที่ของแกน Z 3
ภาพที่ 3 เครื่องพิมพ์แบบ SLA Form 2 8
ภาพที่ 4 เครื่องพิมพ์แบบ DLP B9 Creator 9
ภาพที่ 5เครื่องพิมพ์แบบ LCD Liquid Crystal 10” 9
ภาพที่ 6 Galvo scanner GVS112 10
ภาพที่ 7 DLP Projector acer P1287 11
ภาพที่ 8 (ซ้าย) ส่วนควบคุมการแสดงผล, (ขวา) LCD 11
ภาพที่ 9 การพันขดลวดสเต็ปมอเตอร์แบบไบโพลาร์ 14
ภาพที่ 10 การพันขดลวดสเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ 14
ภาพที่ 11 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno 16
ภาพที่ 12 Arduino CNC Shield 17
ภาพที่ 13 ตัวควบคุมเสตปมอเตอร์ DVR8825(ซ้าย), A4988(ขวา) 17
ภาพที่ 14 โปรแกรม Slicer Creation Workshop 19
ภาพที่ 15 Bisphenol A ethoxylate dimethacrylate 20
ภาพที่ 16 Epoxycyclohexylmethyl 3,4-epoxycyclohexanecarboxylate 20
ภาพที่ 17 First surface mirror ขั้นตอนการเช็ดด้วยอะซิโตน 38
ภาพที่ 18 ทดสอบการสะท้อนแสงจากโปรเจ็คเตอร์ DLP 38
ภาพที่ 19 การวัดขนาดพื้นที่พิมพ์ 39
ภาพที่ 20 ส่วนประกอบที่ใช้กับแบบ LCD 40
ภาพที่ 21 ซ้าย LCD panel ขวา Backlight 40

ภาพที่ 22 Backlight ที่ใช้ UV LED แบบเส้น 12 v..... 41
ภาพที่ 23 แบบส่วน LCD ที่เปลี่ยน UV Backlight 41
ภาพที่ 24 ชิ้นส่วนที่ตั้งค่าการพิมพ์ที่ถูกต้องจะสามารถนำมาใช้บรรจุของเหลวได้..... 43
ภาพที่ 25 ยึดแผ่น PCB เพื่อทำแท่นพิมพ์..... 43
ภาพที่ 26 ชิ้นงานไม่ติดฐานพิมพ์ 44
ภาพที่ 27 เจาะรูที่ฐานพิมพ์ เพื่อแก้ปัญหาการพิมพ์ไม่ติดฐาน..... 44
ภาพที่ 28 การรั่วซึมเนื่องจากการแนบกันไม่สนิทของชิ้นส่วน 46
ภาพที่ 29 ประกอบชิ้นส่วนใช้กาวติดร่วมกับการใช้สกรูและน็อต 46
ภาพที่ 30 แบบ Flex vat 47
ภาพที่ 31 Flex vat 47
ภาพที่ 32 ลอนคลื่นจากการขยับไปมาของโครงสร้างแกนเคลื่อนที่ 48
ภาพที่ 33 ต้องทำการต่อชิ้นงานถึงสองจุด 49
ภาพที่ 34 แกนเคลื่อนที่แนวตั้ง..... 50
ภาพที่ 35 ลูกลอย และการทดสอบ 51
ภาพที่ 36 1) ลูกลอย 2) ถังเก็บเรซิ่นส่วนล่าง..... 52
ภาพที่ 37 ชิ้นส่วนของส่วนสูบโฟโตพอลิเมอร์..... 53
ภาพที่ 38 ส่วนสูบโฟโตพอลิเมอร์ 1) ทางน้ำออก 2) ทางน้ำเข้า..... 53
ภาพที่ 39 ส่วนดูดโฟโตพอลิเมอร์กลับถัง..... 54
ภาพที่ 40 โครงสร้างของตัวเครื่อง 55
ภาพที่ 41 ความเสียหายจากการตกกระแทก..... 55
ภาพที่ 42 การออกแบบโครงสร้างครั้งที่ 1..... 56
ภาพที่ 43 การออกแบบโครงสร้างครั้งที่ 2..... 57
ภาพที่ 44 การใช้ตลับลูกปืนในจุดขยับ 58
ภาพที่ 45 สีแสดงการแยกชิ้นส่วนจากหน้าที่ 58

ภาพที่ 46 แบบที่ 1 59
ภาพที่ 47 แบบที่ 2 59
ภาพที่ 48 เครื่องพิมพ์สามมิติที่เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ 60
ภาพที่ 49 ส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ 61
ภาพที่ 50 แผนภาพ Estimated marginal means คะแนนการประเมินประสิทธิภาพ 62
ภาพที่ 51 ชิ้นงานที่พิมพ์จากการตั้งค่า 1 2 และ 3 ตามลำดับ 63

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดระดับ Prosumer 3 ระบบ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบแนวทางการเคลื่อนที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงขนาดสเต็ปมอเตอร์ 15

ตารางที่ 4 การตั้งค่า Pololu A4988 18

ตารางที่ 5 การตั้งค่า Pololu DVR8825 18

ตารางที่ 6 ระยะเวลาการแข็งตัวของโฟโตพอลิเมอร์ 50 ไมครอน หน่วยเป็นมิลลิวินาที 42

ตารางที่ 7 ชิ้นส่วนต่างๆของแกนเคลื่อนที่แนวตั้ง 49

ตารางที่ 8คุณสมบัติของเครื่องพิมพ์ 60

ตารางที่ 9 ผลการทดลองประสิทธิภาพ 61

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การพิมพ์สามมิติเป็นเทคโนโลยีที่เคยถูกเรียกว่าการสร้างต้นแบบด่วน(Rapid Prototyping)เป็นที่รู้จักครั้งแรกในปี 2523 แต่ถูกจดสิทธิบัตรในปี 2529 ในชื่อว่า stereolithography apparatus (SLA) และเปิดตัวต่อสาธารณะในปี 2530 ถึงแม้ว่าจะมีอายุถึง 30 ปี แต่เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติกลับเพิ่งอยู่ในความสนใจของสังคมได้ไม่นาน ตลอดเวลาหลังจากนั้นมาการพิมพ์สามมิติได้รับการพัฒนามาโดยลำดับ เกิดเป็นเทคโนโลยีการพิมพ์แบบต่างๆอีกมากมาย เทคโนโลยีนี้ถูกใช้ในระบบอุตสาหกรรมเรื่อยมาจนถึงปี 2550 เริ่มปรากฏเครื่องพิมพ์สามมิติที่มีราคาต่ำกว่า 10,000 เหรียญสหรัฐ ขึ้นมาในท้องตลาด โดย 3D Systems ผู้ที่เป็นเจ้าของสิทธิบัตร SLA แต่ด้วยราคาที่สูงนี้ มันไม่สามารถทำตลาดได้ตามที่ 3D Systems หวัง หลังจากนั้นเครื่องพิมพ์สามมิติที่มีราคาต่ำกว่า 5,000 เหรียญสหรัฐที่ถูกออกแบบโดยบริษัทต่างๆก็ปรากฏขึ้นมาในตลาด ส่งผลให้เทคโนโลยีนี้เป็นที่รู้จักและเป็นที่สนใจในวงกว้าง(Dana Goldberg, 2014)

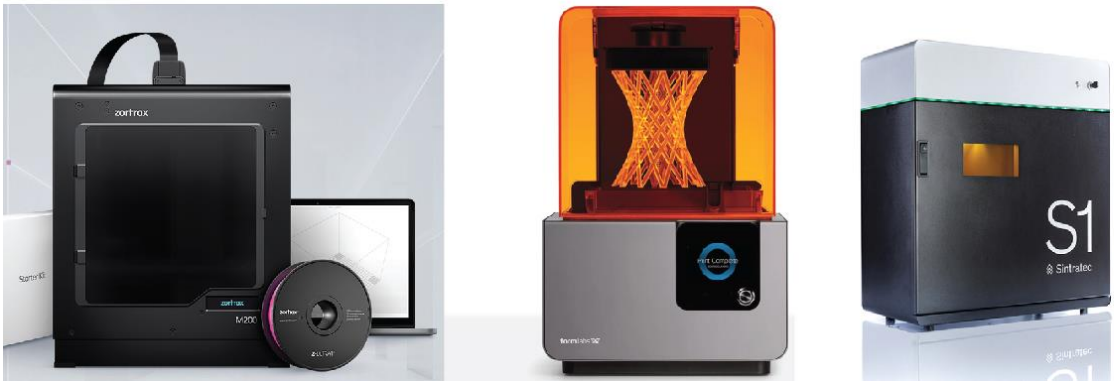
ในการออกแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือนั้น เครื่องพิม์สามมิติเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้งานออกแบบดำเนินไปได้อย่างลื่นไหล จากชิ้นงานที่เป็นข้อมูลดิจิตอล สามารถถ่ายทอดออกมาเป็นชิ้นงานจริงด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ทำให้ผู้ออกแบบสามารถตรวจสอบชิ้นงานที่ออกแบบได้อย่างรวดเร็ว หรือในกรณีของเครื่องพิมพ์ระบบ SLA ที่มีความละเอียดในการพิมพ์สูง นักออกแบบอาจสามารถพิมพ์ชิ้นงานที่มีรายละเอียดเทียบเคียงกับชิ้นงานจริงได้เลยทีเดียว เนื่องจากมาตรฐานการพิมพ์ของระบบนี้มักจะอยู่ที่ 50 ไมครอนในแกน z หรือมีความหนาราว ½ เท่าของกระดาษ 80 แกรมเท่านั้น ถึงแม้ว่าการพิมพ์สามมิติแบบ SLA จะมีอายุถึง 30 ปีแล้ว แต่พูดได้ว่า SLA ไม่ใช่สิ่งล้าสมัย ตรงกันข้าม SLA กลับเป็นที่ยอมรับในตลาดเป็นวงกว้าง เครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA รุ่น Form2 ของ Formlabs คือสิ่งพิสูจน์ด้วยการถูกนำไปใช้เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบในการที่จะแสดงถึงความละเอียดของชิ้นงานพิมพ์ ความเร็วในการพิมพ์ หรือแม้กระทั่งราคาขาย

ผู้วิจัยให้ความสำคัญในการศึกษาการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA เพราะเหตุผลที่สำคัญอยู่ 3 ประการ 1)รายละเอียดที่ได้จากการพิมพ์ทั้งแกน z และ xy 2)การทำงานของระบบที่ไม่ซับซ้อน 3)ราคาการผลิตที่ไม่สูงมาก โดยได้ทำการเปรียบเทียบกับเครื่องพิมพ์สามมิติในระดับ Prosumer ที่วางขายอยู่ในท้องตลาดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดระดับ Prosumer 3 ระบบ

	FDM (Fused deposition modeling)	SLA (stereolithography)	SLS (selective laser sintering)
	Zortax M200 Ultimaker 2+ Prusa i3 MK2 Makergear M2	Form 2 B9 Creater Ember Moonray	Sintratec kit
คุณภาพที่ความละเอียดเท่ากัน	3	1 •	2
ราคา	1 •	2	3
พื้นที่การพิมพ์ (น้อยที่สุดและมากที่สุด หน่วย ซม.)	20x20x18.5 25x21x20 •	6.4x4x13.4 14.5x14.5x17.5	11x11x11
ความเร็วในการพิมพ์	2	1 •	2
ความซับซ้อนในการทำงานของระบบน้อย	2	1 •	3

• คุณลักษณะที่เด่นที่สุดในหัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบ



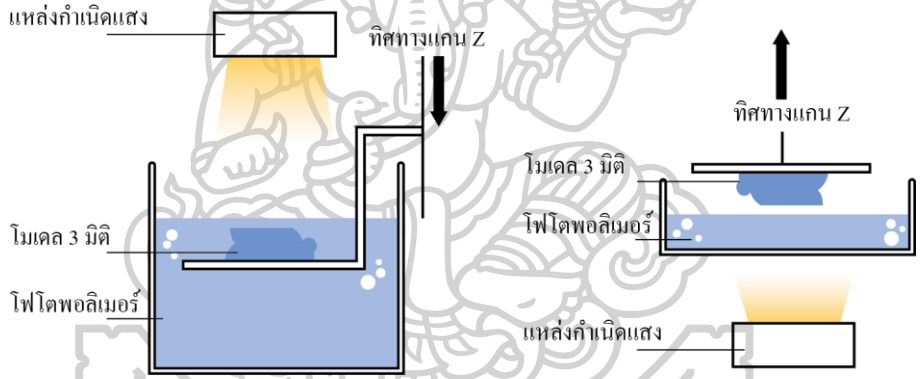
ภาพที่ 1 เครื่องพิมพ์สามมิติ 3 ระบบ

เรียงจากซ้ายไปขวาได้แก่ 1. Zortax M200, 2. Form 2, 3. Sintra kit

ที่มาของภาพ 1. https://zortrax.com/printers/zortrax-m200/, 2. https://formlabs.com/3d-printers/form-2/, 3. http://sintratec.com/products/s1

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA นั้นมีความโดดเด่นทางด้านประสิทธิภาพทั้งความเร็ว และ ความละเอียด ที่เหนือกว่าเครื่องพิมพ์ 3 มิติอีก 2ระบบ แต่ยังมีปัจจัยด้านขนาดพื้นที่พิมพ์ที่ยังเป็นรองเครื่องพิมพ์ระบบ FDM อยู่

ในการออกแบบเครื่องพิมพ์ระบบ SLA นั้นมีแนวทางการออกแบบระบบโดยจำแนกจากแนวการเคลื่อนที่ของแกน z อยู่ 2 วิธีคือ 1) แบบ Top-down 2)แบบ Bottom-up ซึ่งมีหลักการทำงานตามภาพที่ 1 และ การเปรียบเทียบจุดเด่นตามตารางที่ 2 โดยที่ผู้วิจัยใช้ตาราง 2 นี้ในการเลือกแนวทางการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติ เนื่องจาก SLA เป็นการพิมพ์โดยใช้แสงก่อปฏิกิริยากับเรซิ่นหรือโฟโตพอลิเมอร์(Photopolymer) ซึ่ง “เป็นวัสดุที่ไวต่อแสง สามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งหลังจากทำปฏิกิริยากับแสงยูวี โดยจะเปลี่ยนสถานะเฉพาะจุดที่ทำปฏิกิริยาเท่านั้น หากไม่มีการทำปฏิกิริยาจุดอื่นๆยังคงสถานะของเหลวดังเดิม...”(Ramji Panday, 2014) เพราะจำเป็นต้องทำงานควบคู่กัน การออกแบบจึงต้องคำนึงถึงการทำงานร่วมกันกับวัสดุพิมพ์ที่เป็นสารเคมีอย่างโฟโตพอลิเมอร์ด้วย



ภาพที่ 2 การจำแนกประเภทเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA ตามการเคลื่อนที่ของแกน Z
(ซ้าย) เครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA Top-Down
(ขวา) เครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA Bottom Up
ภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบแนวทางการเคลื่อนที่

	Top-down	Bottom-up
ปริมาณโฟโตพอลิเมอร์ที่ต้องใช้ต่อการพิมพ์น้อย		•
การยึดเกาะพื้นที่พิมพ์ได้ดี	•	
ขนาดตัวเครื่อง		•
การจัดการความเรียบ Top layer		•

• คุณลักษณะที่เด่นที่สุดในหัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบ

จากการเปรียบเทียบตามตารางที่ 2 แนวการเคลื่อนที่แบบ Bottom-up นั้นมีความได้เปรียบในหัวข้อที่สนใจ การออกแบบเครื่องพิมพ์ SLA แบบ Bottom-up สิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญคือปริมาณโฟโตพอลิเมอร์ที่อยู่ใน Vat หรือภาชนะรองรับโฟโตพอลิเมอร์ ในขณะที่พิมพ์ต้องมีโฟโตพอลิเมอร์อยู่ใน vat เสมอ ดังนั้นการออกแบบให้สามารถทำการเติมโฟโตพอลิเมอร์ให้ได้ระดับอยู่เสมอจะทำให้การพิมพ์เป็นไปอย่างราบรื่น และเมื่อพิมพ์เสร็จก็สามารถจัดการโฟโตพอลิเมอร์ไม่ให้โดนแสงจนก่อให้เกิดปฏิกิริยาโดยไม่ตั้งใจ

การใช้งานเครื่องพิมพ์สามมิติแบบ SLA ต้องทำงานร่วมกับโฟโตพอลิเมอร์ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีสถานะเป็นของเหลว ทำให้ยากต่อการหลีกเลี่ยงความเลอะเทอะ และอันตรายจากสารเคมี เนื่องจากโฟโตพอลิเมอร์เป็นสารเคมีที่ทำให้ระคายเคืองต่อผิวหนัง และหากสูดดมเป็นเวลานานก็อาจทำให้เกิดอาการวิงเวียนศีรษะ ดังนั้นการออกแบบที่ช่วยจัดการกับโฟโตพอลิเมอร์แทนผู้ใช้งานให้มากที่สุด จะเป็นตัวช่วยให้การใช้งานเครื่องพิมพ์สามมิติแบบ SLA เป็นไปได้อย่างราบลื่น สะดวกสบาย และปลอดภัยต่อผู้ใช้งานมากขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี
2. เพื่อออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์

กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยเรื่อง ออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสาร และทดลองเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดในการศึกษาดังนี้

1. เพื่อศึกษาเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี ได้ทำการศึกษาโดยการทดลองสร้างเพื่อศึกษากรอบแนวคิดในการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี ขนาดเล็ก Chimera ตามแบบของ mastermind(mastermind) ทำให้สามารถจำแนกกรอบแนวคิดในการออกแบบได้ดังนี้

1.1 แหล่งกำเนิดแสง UV

1.2 แกนเคลื่อนที่แนวตั้ง หรือแกน z

1.3 ภาชนะบรรจุโฟโตพอลิเมอร์สำหรับการพิมพ์

1.4 ระนาบสร้างชิ้นงาน

1..5 ส่วนควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

1.6 ซอฟต์แวร์

2. เพื่อออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ ใช้ข้อมูลจากการทดลอง กรอบแนวคิดที่ได้จากการสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติแบบ Chimera

3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์โดยใช้วิธีการประเมินหาประสิทธิภาพ ดังนี้

3.1 ทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติ

3.2 ทดลองในส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์

ขอบเขตของการวิจัย

1. จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ในการศึกษาเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี มีขอบเขตในการศึกษาดังต่อไปนี้

1.1 แหล่งข้อมูลที่ใช้

1.1.1 ข้อมูลการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติจากอินเตอร์เน็ต

1.1.2 เอกสารเกี่ยวกับเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี

1.2 เครื่องมือที่ใช้ ใช้แบบทดลอง โดยการสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีอย่างง่าย ตามแบบเครื่องพิมพ์สามมิติรุ่น Chimera เพื่อสรุปข้อมูลที่จำเป็นในการออกแบบ

2. จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ในการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ มีขอบเขตในการศึกษาดังต่อไปนี้

2.1 แหล่งข้อมูลที่ใช้ ได้จากผลสรุปข้อมูลเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี

2.2 เครื่องมือที่ใช้ ใช้การทดลองเพื่อสรุปผลการออกแบบ

3. จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ มีขอบเขตในการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 แหล่งข้อมูลที่ใช้ เครื่องพิมพ์สามมิติที่ออกแบบในการวิจัย

3.2 เครื่องมือที่ใช้ แบบประเมินประสิทธิภาพโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเครื่องพิมพ์สามมิติในท้องตลาด

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เครื่องพิมพ์สามมิติ หมายถึง เครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี หรือ เครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA ที่มีการขึ้นรูปสามมิติด้วยการทำปฏิกิริยาระหว่างแสงและโฟโตพอลิเมอร์ ซึ่งหมายรวมถึง แบบดั้งเดิม แบบที่ใช้โปรเจคเตอร์ DLP และแบบที่ใช้จอภาพ LCD
2. เครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีสำหรับใช้งานบนโต๊ะทำงานพร้อมด้วยส่วนจัดการชิ้นงานหลังการพิมพ์ หมายถึง เครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีที่มีส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์
3. ส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กำหนดระดับโฟโตพอลิเมอร์สำหรับใช้พิมพ์ในภาชนะ และดูดกลับโฟโตพอลิเมอร์หลังพิมพ์เสร็จ
4. เรซิ่น หมายถึง โฟโตพอลิเมอร์ ทั้งแบบที่ใช้แสง UV และอื่นๆ เช่น โฟโตพอลิเมอร์ที่ทำปฏิกิริยาที่ความยาวคลื่น 450-470 นาโนเมตร
5. ความละเอียด หมายถึง ความละเอียดที่เครื่องพิมพ์สามมิติสามารถทำได้ที่แกน XY โดยใช้หน่วยเป็น ppi หรือ ไมครอน และแกน Z ใช้หน่วยเป็นไมครอน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. งานวิจัยชิ้นนี้สามารถใช้เป็นแหล่งข้อมูลในการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี แก่ผู้ที่สนใจ และสามารถนำไปใช้อ้างอิงในการต่อยอดในอนาคต
2. สามารถแก้ปัญหาในการจัดเก็บน้ำยาเรซิ่นหรือโฟโตพอลิเมอร์ได้เร็วและหมดจด หลังจากใช้พิมพ์เพื่อเป็นการลดภาระในการจัดการแก่ผู้ใช้งาน
3. สามารถเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติ หรือเครื่องมือชนิดอื่นๆที่ใกล้เคียงกันได้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์ สังเคราะห์ เพื่อประโยชน์ในการวิจัยครั้งนี้ โดยผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี

1. การจำแนกประเภทเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี
2. ส่วนประกอบที่สำคัญ
3. ส่วนควบคุมอิเล็กทรอนิกส์
4. ซอฟต์แวร์

5 โฟโตพอลิเมอร์

ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการระดับน้ำ

ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติ

ผลิตภัณฑ์นวัตกรรมแห่งคุณค่า

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี

1. การจำแนกประเภทเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี

เครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีหรือ SLA ถูกแบ่งประเภทจากวิธีการสร้างหรือประเภทของแหล่งกำเนิดแสง ออกเป็นสามแบบ ดังต่อไปนี้

1.1 เครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA

SLA(Stereolithography) เป็นกระบวนการสร้างชิ้นงานแบบสามมิติ ถูกจดสิทธิบัตรในสหรัฐอเมริกาเมื่อปีพ.ศ.2530 โดย Charles W. Hull ด้วยวิธีการพิมพ์วัสดุประเภทโฟโตพอลิเมอร์โดยการทำให้แข็งตัวเป็นชั้นบางๆ ซ้อนทับกันจนเป็นรูปร่างสามมิติ ในสิทธิบัตรของ Charles จะใช้วิธีการฉายลำแสงอัลตร้าไวโอเล็ตไปที่ผิวของโฟโตพอลิเมอร์ ลำแสงจถูกควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยคอมพิวเตอร์ โฟโตพอลิเมอร์ที่ถูกแสงนั้นก็จะทำปฏิกิริยาและกลายเป็นของแข็ง โมเดลสามมิติที่ถูกออกแบบด้วยโปรแกรมประเภท CAD, CAM จะถูกหั่นเป็นชั้นๆสำหรับพิมพ์ด้วยกระบวนการ SLA

ด้วยซอฟต์แวร์ที่เรียกว่า Slicer(Savla Associates) เครื่องพิมพ์สามมิติที่ใช้วิธีการสร้างชิ้นงานด้วยลำแสง UV จะถูกเรียกเจาะจงว่าเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA

ภาพที่ 3 เครื่องพิมพ์แบบ SLA Form 2
ที่มาของภาพ https://www.3dhubs.com/3d-printers/form-2

1.2 เครื่องพิมพ์สามมิติระบบ DLP

นับจากที่ Charles W. Hull ได้สร้างเครื่องพิมพ์แบบสเตอริโอลิโธกราฟีตั้งแต่ปีพ.ศ. 2529 มีหลักการทำงานโดยใช้แสงอัลตร้าไวโอเล็ตทำปฏิกิริยากับโฟโตพอลิเมอร์ ทำให้โฟโตพอลิเมอร์แข็งตัว ตลอดระยะเวลาหลังจากนั้นเทคโนโลยีด้านการฉายแสงได้ถูกพัฒนามาโดยตลอด ทำให้มีวิธีการใหม่ๆ ให้ประสิทธิภาพที่ดีในราคาที่ถูกลง เครื่องพิมพ์สามมิติระบบ DLP นี้มีชื่อเรียกเดียวกับเครื่องฉายโปรเจคเตอร์ระบบ DLP (Digital light Projecter) เนื่องจากเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ DPL มีโปรเจคเตอร์ชนิดดังกล่าวเป็นแหล่งกำเนิดแสง UV(mastermind) มีจุดเด่นที่ความยืดหยุ่น เพราะใช้โปรเจคเตอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสง ทำให้สามารถโฟกัสความละเอียดและปรับขนาดพื้นที่พิมพ์ได้

ภาพที่ 4 เครื่องพิมพ์แบบ DLP B9 Creator
ที่มาของภาพ https://makezine.com/2013/11/20/b9-creator/

1.3 เครื่องพิมพ์สามมิติระบบ LCD

เป็นเครื่องพิมพ์สามมิติแบบถูกสร้างหลังสุดจากในทั้ง 3 ประเภท ซึ่งมีผู้ริเริ่มอันดับต้นๆ ที่เป็นที่รู้จักคือ Photocentric 3D ทำการออกแบบภายใต้แนวคิดแบบเครื่องพิมพ์สามมิติแบบ DPL เพียงแต่จะใช้หน้าจอ LCD เป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยทางบริษัทได้ทำการสร้างโฟโตพอลิเมอร์แบบทำปฏิกิริยากับแสงที่ทางบริษัทเรียกว่า Daylight polymer ที่ไวต่อแสงมากกว่าโฟโตพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ทำให้สามารถใช้แสงจากจอ LCD ทั่วไปได้โดยตรง(Photocentric 3D)

ภาพที่ 5เครื่องพิมพ์แบบ LCD Liquid Crystal 10”
ที่มาของภาพ https://www.3ders.org/articles/20160523-photocentric-brings-down-resin-3d-printing-costs-with-lcd-powered-liquid-crystal-3d-printer.html

ในปัจจุบันมาการออกแบบต่อยอดให้เครื่องพิมพ์สามมิติแบบ LCD สามารถใช้โฟโตพอลิเมอร์ที่ทำปฏิกิริยากับแสง UV ได้ โดยการเปลี่ยน Back light ของจอให้เป็นแสง UV ซึ่งเครื่องพิมพ์สามมิติแบบ UV LCD นี้จะพบมากจากผู้ผลิตทางประเทศจีน โดยมีจุดเด่นที่ด้านราคา มีการใช้เรซิ่นที่ใช้ความยาวคลื่นที่ไม่เปิดเผยจากผู้ผลิต แต่ทำปฏิกิริยาในคลื่นแสง UV A

2. ส่วนประกอบที่สำคัญ

เครื่องพิมพ์สามมิติแบบ SLA ทั้งสามแบบมีระบบการทำงานที่คล้ายคลึงกัน โดยอาศัยหลักการทำงานที่เหมือนกันคือการสร้างชิ้นงานสามมิติ โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างโฟโตพอลิเมอร์กับแสง UV หรือในช่วงความถี่อื่นๆ ส่วนประกอบหลักของเครื่องพิมพ์สามมิติแบบ SLA มีลักษณะคล้ายเครื่อง CNC แต่จะมีความพิเศษในด้านของส่วนสร้างภาพในแต่ละชั้นพิมพ์ และการจัดการกับวัสดุที่นำมาใช้ ซึ่งทั้งสามมีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

2.1 แหล่งกำเนิดแสง

จากการจำแนกประเภทในเบื้องต้น แหล่งกำเนิดแสงของเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA ได้มีการพัฒนาตามเทคโนโลยีที่เกิดขึ้น แต่ก็ยังไม่มีแบบไหนที่จะมาทดแทนแบบอื่นได้เสียทีเดียว เพราะทั้งสามต่างมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน

2.1.1 แหล่งกำเนิดแสงแบบ SLA

SLA ใช้มอเตอร์ 2 ตัว ที่เรียกว่า galvo scanner หรือ galvos (ใช้กับแกน x และ y อย่างละหนึ่งตัว) สำหรับฉายลำแสงไปยังพื้นที่พิมพ์ เพื่อให้เรซิ่นที่ถูกแสงทำปฏิกิริยาจนแข็งตัว กรรมวิธีนี้จะสร้างชิ้นงานเป็นชั้นๆ โดยใช้จุดลำแสงที่ถูกลากเป็นเส้นโดย galvos

ภาพที่ 6 Galvo scanner GVS112

ที่มาของภาพ http://tecnica.com/galvo-scanner-for-dmls-3d-printers/

2.1.2 แหล่งกำเนิดแสงแบบ DLP

DLP ใช้การฉายภาพทั้งภาพด้วยโปรเจคเตอร์ลงบนพื้นที่พิมพ์ภายในครั้งเดียว เนื่องจากใช้โปรเจคเตอร์ทำให้เกิดภาพเป็นลักษณะตารางเล็กๆ หรือที่เรียกว่า votexs(Form labs) ยิ่งโปรเจคเตอร์มีความละเอียดสูง ภาพขนาดเดียวกันก็จะมองเห็น votexs ได้ยาก ด้วยการฉายภาพทั้งภาพในครั้งเดียวทำให้เครื่องพิมพ์แบบ DLP มีการพิมพ์ที่รวดเร็ว

ภาพที่ 7 DLP Projector acer P1287

ที่มาของภาพ https://www.reichelt.com/de/en/Projectors/ACER-P1287/3/index.html?ACTION=3&GROUPID=3553&ARTICLE=154442

2.1.3 แหล่งกำเนิดแสงแบบ LCD

มีความคล้ายคลึงกับแบบ DLP แต่ด้านความเร็วในการทำปฏิกิริยากับเรซิ่นจะต่างกัน แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการดัดแปลงของผู้ออกแบบ เพราะหากเป็น UV LCD ก็จะมีความเร็วใกล้เคียงกันกับแบบ DLP LCD ได้เปรียบ DLP ในด้านขนาดและราคา ต้องใช้ควบคู่กับส่วนควบคุมจอแสดงผล

ภาพที่ 8 (ซ้าย) ส่วนควบคุมการแสดงผล, (ขวา) LCD

ที่มาของภาพ https://www.aliexpress.com/item/Removed-backlight-LCD-display-screen-panel-for-Wanhao-duplicator-7-DLP-SLA/

2.2 แกนเคลื่อนที่

เนื่องจากในภาพรวมมีการเคลื่อนที่สำคัญด้วยแกน z เพียงแกนเดียว เครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA

2.2.1 แนวคิดในการสร้าง จำแนกจากแนวการเคลื่อนที่ของแกน z คือ 1) แบบเคลื่อนที่จากบนลงล่าง หรือ Top-Down 2) แบบเคลื่อนที่จากล่างขึ้นบน หรือ Bottom-Up แนวการเคลื่อนที่ทั้งสองแบบมีความแตกต่างกันดังต่อไปนี้

2.2.1.1 การกักเก็บ โฟโตพอลิเมอร์ ซึ่งหลังจากนี้ผู้วิจัยจะขอเรียกว่า เรซิ่น ข้อแตกต่างทีสำคัญสำหรับการเคลื่อนที่ทั้งสองแบบนี้คืออุปกรณ์กักเก็บเรซิ่น ที่ถูกเรียกว่า 1) Resin Tank จะถูกใช้สำหรับแบบ Top-Down มีความต้องการพื้นที่ในแนวลึกมาก ใช้เรซิ่นในปริมาณมาก ต่อการพิมพ์ เพราะต้องสร้างวัตถุสามมิติลึก โดยฐานพิมพ์จะจมลงไปจากระดับผิวเรซิ่นทีละชั้น(layer) 2) Resin Vat จะถูกใช้สำหรับแบบ Bottom-Up มีความต้องการพื้นในแนวลึกน้อย ใช้เรซิ่นต่อการพิมพ์น้อยมากเมื่อเทียบกับแบบ Tank เนื่องจากการสร้างวัตถุสามมิติเป็นแบบยกขึ้น ฐานพิมพ์จะถูกยกห่างจากพื้นของ Vat ทีละชั้น

2.2.1.2 ความหนืดของเรซิ่น แบบ Top-Down มีความต้องการเรซิ่นแบบที่มีความหนืดต่ำ เนื่องจากเมื่อชิ้นงานจมไปลงจะมีแรงดึงที่ผิวด้านบนของเรซิ่นจะดึงให้เกิดรอยต่างระดับที่ผิว หากเรซิ่นมีความหนืดมาก ระยะเวลาในการคืนตัวจนเรียบนั้นก็จะมากขึ้น ทำให้มีโอกาสที่การพิมพ์ในชั้นนั้นๆเกิดความหนาที่ไม่ถูกต้อง ในขณะที่แบบ Bottom-Up จะไม่มีปัญหาในจุดนี้

2.2.1.3 การย่น สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งสองแบบ แต่มีลักษณะการย่นระหว่างชั้นพิมพ์ที่แตกต่างกัน ในแบบ Bottom-Up ส่วนที่ทำปฏิกิริยาจะถูกกดอยู่ระหว่างชั้นพิมพ์ล่าสุด และ vat หากใช้เรซิ่นที่มีความหนืดต่ำ จะทำให้เกิดการย่นเพียงเล็กน้อย สำหรับแบบ Top-Down นั้น ปฏิกิริยาจะอยู่ที่ผิวเรซิน ทำให้มีโอกาสสูงมากที่จะเกิดการย่น และเกิดลอนคลื่นระหว่างชั้นพิมพ์

2.2.1.4 ความเค้นของวัตถุ ชิ้นงานที่พิมพ์แบบ Bottom-up จะมีแรงกระทำตลอดกรรมวิธีพิมพ์ ทุกๆชั้นพิมพ์จถูกแรงดูดทำให้ชิ้นงานอาจหลุดจากฐานได้ จึงจำเป็นต้องมีการใช้วิธีการต่างๆเพื่อแก้ปัญหาในจุดนี้ เช่น การเลื่อน การยกฐานพิมพ์ เพื่อช่วยในการพิมพ์แต่ละชั้น และแรงดึงดูดก็มีผลในจุดนี้ด้วย การพิมพ์แบบ Top-down จะไม่มีปัญหาตรงจุดนี้ นอกเสียจากว่าจะมีการหดที่เป็นปัญหาที่ยังพบได้ในการพิมพ์แบบนี้

2.2.1.5 ความเรียบง่ายในการออกแบบ จากที่กล่าวข้างต้น ทำให้การพิมพ์แบบ Top-down ง่ายต่อการออกแบบ เพราะจะใช้ภาชนะใดใดบบรรจุเรซิ่นก็ได้(mastermind)

2.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแกนเคลื่อนที่ แกนเคลื่อนที่ประกอบด้วยส่วนต่างๆเพื่อทำให้การเคลื่อนที่เป็นไปอย่างเที่ยงตรง ดังนี้

2.2.2.1 อุปกรณ์ขับเคลื่อน ในที่นี้คือสเต็ปมอเตอร์ (Stepper motor)

สเต็ปมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยแรงพัลส์ หมุนรอบแกน 360° โดยมีลักษณะการหมุนแบบไม่ต่อเนื่อง แต่จะหมุนเป็นสเต็ป แต่ละสเต็ปมีขนาด 1, 1.5, 1.8 หรือ 2 องศา ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของตัวมอเตอร์ นำไปใช้กับที่ต้องการความแม่นยำ เช่บ ระบบขับเคลื่อนหัวพิมพ์ ระบบขับเคลื่อนแกนสำหรับ cnc ระบบขับเคลื่อนแกนของเครื่องพิมพ์สามมิติ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ 1) Rotor คือส่วนที่หมุนได้เป็นแม่เหล็กถาวรหรืออื่นๆ 2) Stator คือส่วนที่อยู่กับที่ประกอบด้วยขดลวดหลายๆขด สามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้("สเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor),")

แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet/PM) มี Stator พันด้วยขดลวดหลายๆโพล มี Rotor ที่ทำด้วยแม่เหล็กถาวร รูปทรงเป็นกระบอกฟันเลื่อย เมื่อป้อนไฟกระแสตรงไปยังขดสเตเตอร์จะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้าไปผลักโรเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุน และเกิดแรงฉุดให้มอเตอร์หยุดหมุน มุมของสเต็ปคือ 1.8, 7.5, 15, 30 และ 90 องศา

แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ (Variable Reluctance/VR) โรเตอร์ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติกกำลังอ่อน(หรือเรียกว่า เหล็กอ่อน) ในขณะที่ไม่ได้จ่ายไฟโรเตอร์จะสามารถหมุนได้อิสระ โรเตอร์มีลักษณะเป็นฟันเลื่อย รูปทรงกระบอกมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนโพลของสเตเตอร์ แรงบิดที่เกิดจไปหมุนโรเตอร์ให้ไปในทิศที่อำนาจแม่เหล็กมีค่ารีลักแตนซ์ต่ำสุด ตำแหน่งที่เกิดจะแน่นอนและมีความเสถียร แต่จะเกิดขึ้นหลายจุด เมื่อป้อนไฟเข้าไปยังขดลวดต่างๆ ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งต่างๆ มีความเฉื่อยน้อยจึงมีความเร็วรอบที่สูงกว่าแบบ PM

แบบผสม (Hybrid/H) เป็นลูกผสมของ PM และ VR มีสเตเตอร์คล้ายกับแบบ VR โรเตอร์จะมีหมวกหุ้มส่วนปลายซึ่งมีลักษณะของสารแม่เหล็กกำลังสูง ด้วยการควบคุมรูปร่างของหมวกแม่เหล็กทำให้ได้มุมการหมุนที่แม่นยำ มีแรงบิดสูง ในขณะที่มีขนาดกระทัดรัดและให้แรงฉุดโรเตอร์เมื่อไม่จ่ายไฟ

ศัพท์ที่ใช้เกี่ยวกับสเต็ปมอเตอร์

Phase เป็นส่วนของขดลวดระหว่างปลายสายกับ Center tap หรือทั้งขดถ้าไม่มี Cente tap

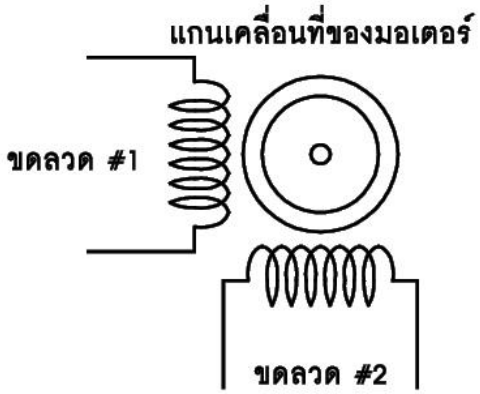
Phase Angle คือขนาดองศาในการหมุนแต่ละสเต็ป

Full Step คือการหมุนแต่ละครั้งที่ได้มุมเท่ากับ Step Angle

มีการจำแนกลักษณะจากกรพันขดลวด การต่อสายสำหรับใช้งาน และวงจรขับ ได้เป็น 2 ชนิดหลัก ดังต่อไปนี้("สเต็ปเปอร์มอเตอร์,")

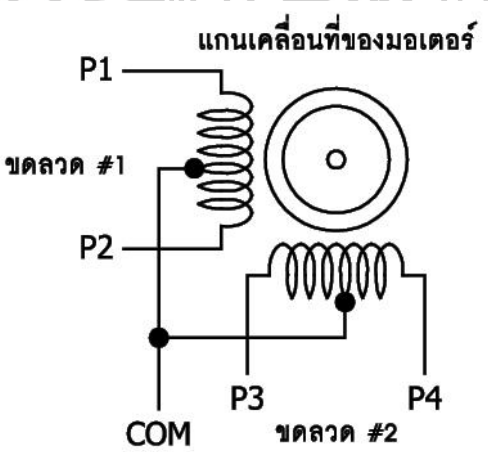
2.2.2.1.1 สเต็ปมอเตอร์แบบไบโพลาร์ มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์โดยแบ่งเป็น 2 ขดที่ไม่มี Center tap แสดงในภาพที่ 9 บางครั้งเรีกมอเตอร์แบบนี้ว่า สเต็ปมอเตอร์

แบบ 2 เฟส การขับให้มอเตอร์หมุนจะต้องป้อนแรงดันต่างขั้วให้แต่ละขดลวด ทำให้วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้มีความซับซ้อนค่อนข้างมาก



ภาพที่ 9 การพันขดลวดสเต็ปมอเตอร์แบบไบโพลาร์
ที่มาของภาพ http://www.inventor.in.th/home/สเต็ปเปอร์มอเตอร์

2.2.2.1.2 สเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ มีสองแบบคือแบบ 5 และ 6 สาย บางครั้งเรียกว่าสเต็ปมอเตอร์แบบ 4 เฟส การขับต้องป้อนสัญญาณเข้าเฟสโดยมีลำดับอย่างถูกต้อง มีการพันขดลวดสองขดบนแต่ละขั้วของสเตเตอร์ แต่ละขดมี 2 เฟส ดังภาพที่ 10 มีวงจรขับซับซ้อนน้อยกว่าแบบไบโพลาร์



ภาพที่ 10 การพันขดลวดสเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์
ที่มาของภาพ http://www.inventor.in.th/home/สเต็ปเปอร์มอเตอร์

เพื่อความเป็นสากลในการเลือกใช้งานสเต็ปมอเตอร์ จึงมีการกำหนดมาตรฐานขนาดของสเต็ปมอเตอร์ขึ้น ภายใต้ตกลงร่วมกันของสมาคมผู้ผลิตชิ้นส่วนทางไฟฟ้าแห่งชาติ หรือ NEMA (National Electrical Manufactuer’s Association) 1)ทรงลูกบาสก์ (Cube) มี 4 ขนาดคือ 14,

15, 16, และ 17 2)ทรงกระบอก (Cylinder) มี 1 ขนาดคือ 23 3)ทรงกระป๋องซ้อน (Stack Can) มีขนาดหลากหลายโดยมากจะมีขนาดเล็ก แสดงขนาด NEMA ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงขนาดสเต็ปมอเตอร์

รูปร่าง	NEMA	ขนาดหน้ากว้าง (นิ้ว)	เส้นผ่านศูนย์กลางแกนหมุน (นิ้ว)	จำนวนสเต็ปต่อรอบ
ลูกบาสก์	14	1.38	0.197	200 หรือ 400
	15	1.57		
	16	1.57		
	17	1.65		
ทรงกระบอก	23	2.2	0.25	200

2.2.3 แกนเพลา (Smooth Rod) เป็นแท่งโลหะที่ใช้สำหรับแกนเคลื่อนที่ มักใช้ที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มม. แต่สามารถพบขนาด 10 และ 12 มม.ได้ในบางการออกแบบเช่นกัน สร้างจากเหล็กปลอดสนิมที่มีความแข็งมาก หากมีการคดงอจะสามารถสร้างปัญหาในการทำงานได้

2.2.4 Lead Screw มีส่วนประกอบหลักสองส่วนคือ 1)เพลาเกลียว (Screw Shaft) 2) นัต (Nut) มีลักษณะเป็นเกลียวเมื่อเพลาเกลียวหมุน นัตจะเคลื่อนปตามความยาวของเพลาเกลียว การสั่นสเทือนในระหว่างการเคลื่อนท่ทำให้เกิด Backlash หรือระยะฟรีที่ไม่เกิดการเคลื่อนที่ ส่งผลให้ระยะเคลื่อนท่ไม่ตรงตามที่กำหนด สามารถใช้ระบบ Antibacklash ที่นัตเพื่อลดปัญหาที่จุดนี้ได้ ระยะห่างระหว่างยอดเกลียวเรียกระยะ pitch

3. ภาชนะบรรจุโฟโตพอลิเมอร์

ภาชนะบรรจุโฟโตพอลิเมอร์หรือเรซิ่น ต้องใช้วัสดุที่ไม่ถูกทำละลายด้วยสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบ หรือเป็นตัวทำละลายของเรซิ่นเองโดยเฉพาะการใช้วัสดุที่ถูกสร้างด้วยวิธีการพิมพ์สามมิติ ซึ่งพลาสติกที่ใช้ในการพิมพ์สามมิตินั้นมีหลายชนิด ที่นิยมมี 2 ชนิด 1)ABS 2)PLA ต้องให้ความสำคัญในการเลือกใช้พลาสติกทั้งสองชนิดนี้ เนื่องจาก พลาสติกแบบ ABS แม้จะมีความยืดหยุ่นและทนความร้อนได้ดี แต่สามารถทำละลายได้ในอะซิโตน และเรซิ่นส่วนใหญ่สามารถละลายพลาสติกชนิดนี้ได้ ดังนั้น จำเป็นต้องใช้พลาสติกชนิด PLA หรือพลาสติกที่ไม่สามารถทำละลายด้วยอะซิโตนหรือสารเคมีอื่นๆที่เป็นส่วนผสมในเรซิ่น

4. พื้นที่สร้างชิ้นงาน

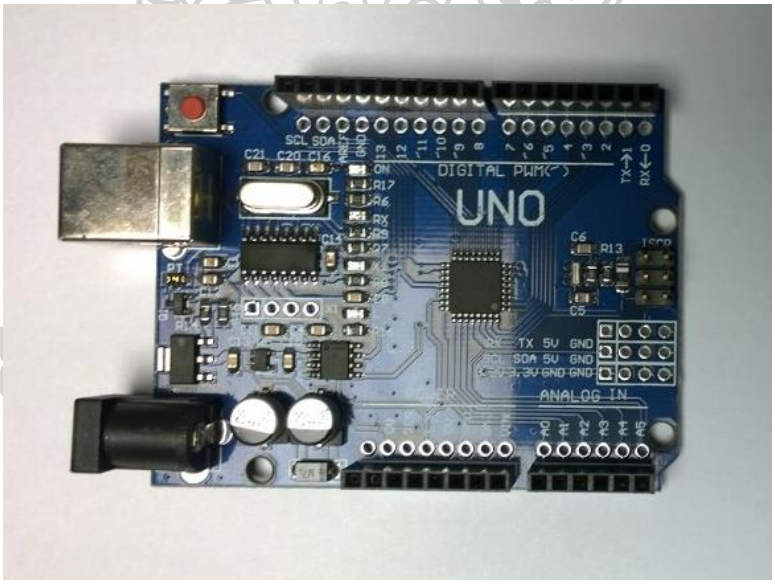
พื้นที่สร้างชิ้นงานเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ชิ้นงานที่พิมพ์ออกมาถูกต้องสมบูรณ์ พื้นที่สร้างชิ้นงานนี้ควรจะมีขนาดมากกว่าขนาด xy ที่เครื่องสามารถพิมพ์ได้ เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อน

ขณะพิมพ์ชิ้นงาน วัสดุที่ใช้สำหรับพื้นที่สร้างชิ้นงานนี้ต้องมีความเรียบ เนื่องจากการสร้างพื้นผิวชั้นแรกนั้นมีความสำคัญ หากพื้นผิวเป็นแอ่ง การแข็งตัวของชิ้นแรกจะไม่เกิดที่ผิวพื้นที่สร้างงานทั้งหมด และทำให้ชิ้นงานที่พิมพ์ไม่ติดที่พื้นที่สร้างงานส่งผลให้การพิมพ์ไม่สำเร็จ

5. ส่วนควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

5.1 Arduino Uno

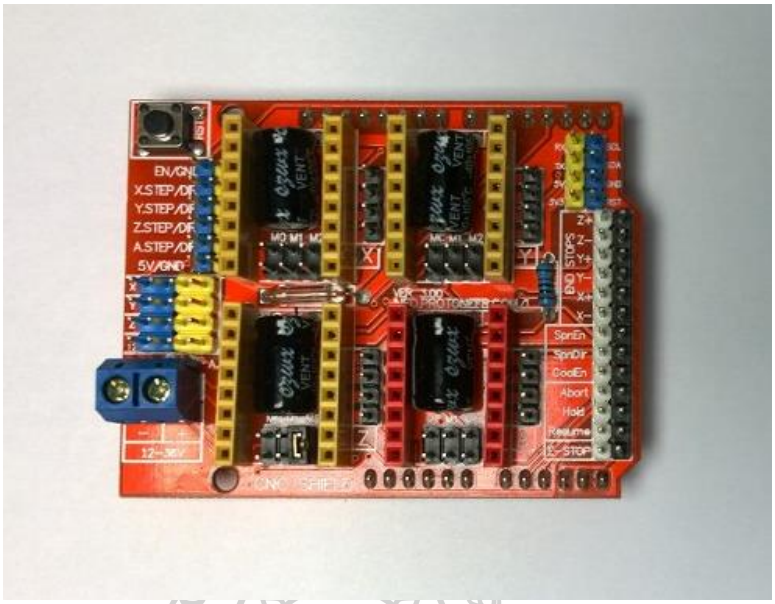
Arduino Uno คือไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีพื้นฐานมาจาก ATmega328 มีช่องรับส่งสัญญาณดิจิตอล 14 ช่อง และ 6 ช่องทางสำหรับสัญญาณอนาล็อก เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ด้วยสาย USB มีคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ครบถ้วน ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 ใช้cแรงดันไฟ DC ที่ 5V รับกำลังไฟได้ในช่วง 7-12V ขนาดขนาด PCB 53.4x68.6 mm Arduino Uno สามารถนำไปใช้ควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้หลากหลาย มีการใช้ร่วมกับอุปกรณ์เฉพาะที่เรียกว่า Arduino shield ซึ่งสามารถทำงานได้หลากหลายตามแต่ชนิดของ shield



ภาพที่ 11 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

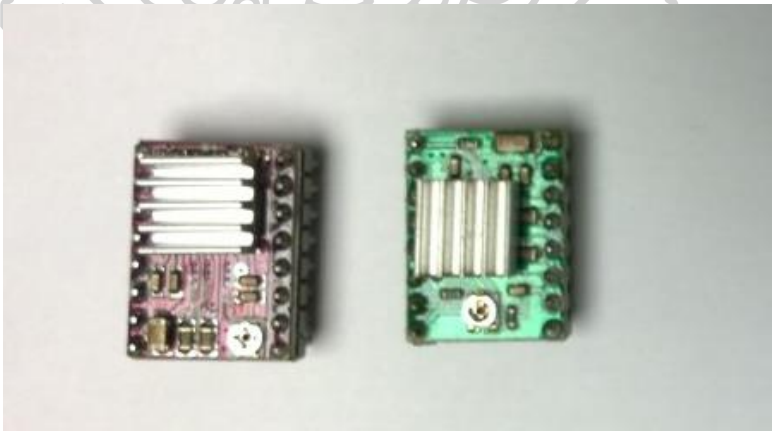
5.2 Arduino CNC shield

Arduino CNC Shield ช่วยให้การสร้างเครื่องมือประเภท CNC เป็นเรื่องง่าย สามารถรองรับ Firmware แบบเปิดของบอร์ด Arduino ได้ รองรับการสั่งการสเต็ปมอเตอร์ได้ถึง 4 ตัว โดยใช้ตัวควบคุมสเต็ปมอเตอร์ A4988 ทำให้สามารถสร้างเครื่องมือประเภท CNC ไม่ว่าจะเป็น เครื่อง CNC, เครื่องตัดเลเซอร์ หรือ เครื่องพิมพ์สามมิติได้



ภาพที่ 12 Arduino CNC Shield
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

สามารถรองรับ GRBL 8.0c ซึ่งเป็น firmware แบบเปิดที่ใช้สั่งการเสตปมอเตอร์ผ่านบอร์ด Arduino ได้ รองรับแกนเคลื่อนที่ได้ 4 แกน พร้อมทั้งสามารถจำลองคำสั่งไปยังแกน x y z ชุดที่สองได้ รองรับ End stop 2 ตัวต่อ 1 แกนเคลื่อนที่ ใช้งานร่วมกับตัวควบคุมเสตปมอเตอร์ A4988, DVR8825 หรืออื่นๆได้ สามารถใช้ jumper ตั้งค่าความละเอียดของเสตปมอเตอร์ได้ ดังตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4 ใช้ไฟกระแส DC 12-36V



ภาพที่ 13 ตัวควบคุมเสตปมอเตอร์ DVR8825(ซ้าย), A4988(ขวา)
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

ตารางการตั้งค่าความละเอียดของเสตปมอเตอร์ด้วย jumper เครื่องหมาย

ตารางที่ 4 การตั้งค่า Pololu A4988

MS0	MS1	MS2	ความละเอียด
			1
•			1/2
	•		1/4
•	•		1/8
•	•	•	1/16

• แทนการเสียบ jumper ยิ่งมีค่าน้อยยิ่งละเอียดมาก

ตารางที่ 5 การตั้งค่า Pololu DVR8825

MS0	MS1	MS2	ความละเอียด
			1
•			1/2
	•		1/4
•	•		1/8
		•	1/16
•		•	1/32
	•		1/32
•	•	•	1/32

(Bertus Kruger)

ในการใช้งานตัวขับต้องทำการปรับค่า Vref หรือแรงดันไฟต่อการขยับเฟสของสเต็ปมอเตอร์ 1 เฟส โดยมีสูตรการคำนวณต่างกันรหว่าง A4988 และ DRV8825 ดังต่อไปนี้(Reprap)

A4988 Vref = $I_{TripMax}$ x 8 x Rs

DRV8825 Vref = $I_{TripMax}$ /2

$I_{TripMax}$ คือ กำลังไฟต่อเฟส มีหน่วยเป็น แอมแปร์(A)

Rs คือ ตัวต้านทานของตัวขับ มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω) ค่า Rs ของ A4988 ที่ผลิตในประเทศจีนจะเป็น 0.1

6. ซอฟต์แวร์

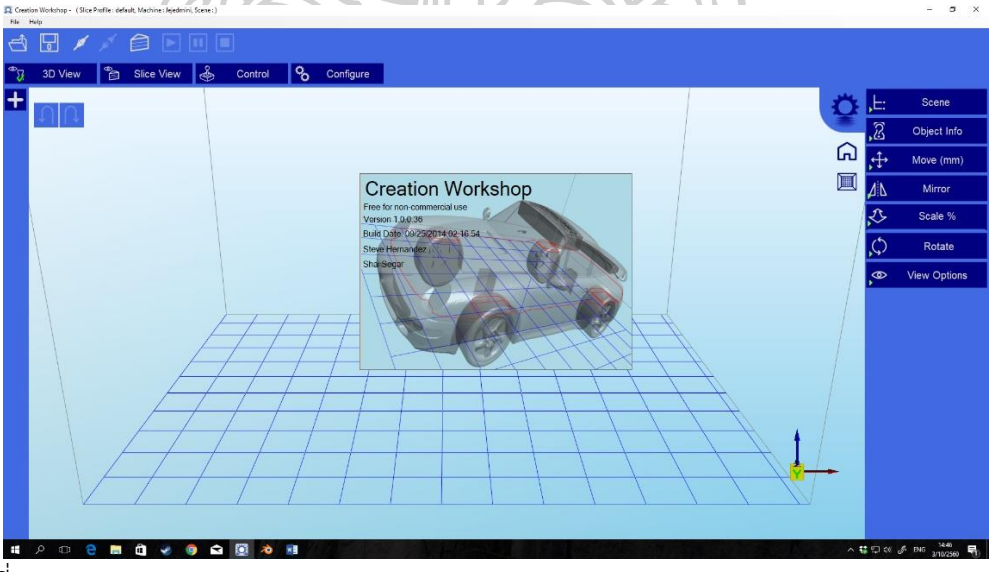
ในส่วนของซอฟต์แวร์ควบคุมเครื่องพิมพ์สามมิติ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่มีความสำคัญต่อการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ คือ

6.1 Firmware ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ เช่นขับเสตปมอเตอร์ ควบคุมอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ เป็นต้น Firmware มีทั้งที่เป็นแบบเปิด หรือ Open sorce ที่เปิดกว้างให้ผู้ที่สนใจสามารถนำไปใช้หรือร่วมกันปรับปรุงได้อย่างอิสระ และแบบปิด ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับเครื่องพิมพ์สามมิตินั้นๆสำหรับการพาณิชโดยเฉพาะ Firmware ที่นิยมใช้สำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติได้แก่

6.1.1 Grbl เครื่องพิมพ์สามมิติแบบ opensource หลายรุ่นนิยมใช้ Grbl เป็นเฟิร์มแวร์สั่งการ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ Grbl ได้ใน เครื่องตัดเลเซอร์ เครื่อง cnc หรือเครื่องจักรประเภทมีแกนขับเคลื่อนประเภทงานเบาต่างๆ แต่ Grbl ยังไม่รองรับการสั่งการแบบหมุนแกน สามารถสั่งการได้เพียงแกน XYZ สามแกนเท่านั้น

6.1.2 Mirlin ถูกสร้างขึ้นเมื่อปี 2554 สำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติ Reprap และ Ultimaker ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 8 บิท เช่น Arduino, Genuino ได้ดี รองรับคำสั่ง G-code ได้มากกว่า 150 คำสั่ง

6.2 Slicer ทำหน้าที่แปลงโมเดลสามมิติให้เป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ หรือทำการหั่นโมเดลให้เป็นชั้นๆนั่นเอง เหมือนกับ Firmware ตัว Slicer เองก็มีทั้งแบบระบบเปิดและระบบปิด ตามแต่วัตถุประสงค์ของผู้สร้างโปรแกรมซึ่งมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป เครื่องพิมพ์สามมิติแบบ SLA แบบประกอบเองนิยมใช้ slicer ในแบบ open source ชื่อ Creation Workshop



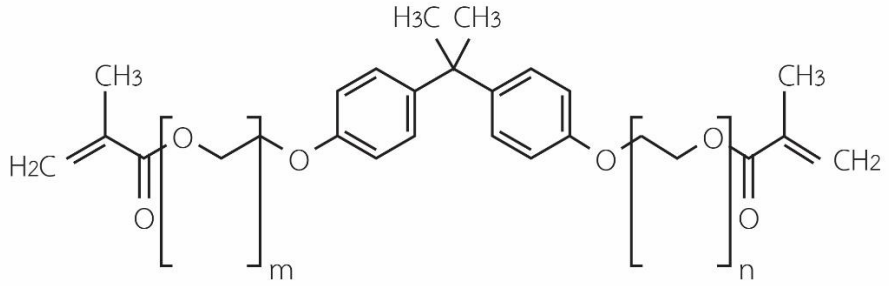
ภาพที่ 14 โปรแกรม Slicer Creation Workshop

7. โฟโตพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ที่ทำปฏิกิริยากับแสง(Evan S. Schwahn, 2015) ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง โดยทั่วไปจะเกิดปฏิกิริยากับแสง UV หรือแสงอื่นๆเช่น แสงไฟ แสงอาทิตย์

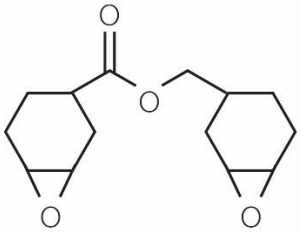
จะไม่แข็งตัวเพราะความร้อน และคลื่นไมโครเวฟ วัสดุประเภทนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เช่น การยึดเกาะ การเคลือบผิว ทำสี และการพิมพ์ สามารถจำแนกโฟโตพอลิเมอร์ออกเป็นสองระบบ

ระบบ Acrylate เป็นการผสมระหว่าง acrylate monomer ประกอบกันขึ้นเป็นระบบโฟโตพอลิเมอร์ระบบ acylale นี้ในอดีตมีการใช้ A ethoxylate dimethacrylate ในการทำ rapid prototype เนื่องจากความรวดเร็วในการสร้างต้นแบบ ราคาที่เหมาะสม และควบคุมผลได้ง่าย โครงสร้างทางเคมีของระบบ Acrylate แสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 Bisphenol A ethoxylate dimethacrylate

ระบบ Epoxy ในระบบนี้จะมีโครงสร้าง acrylate บางส่วนที่ทำปฏิกิริยา จากนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาต่อกันของ modulus ตลอดทั้งโครงสร้างของ IPNs ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของระบบ epoxy แสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 Epoxycyclohexylmethyl 3,4-epoxycyclohexanecarboxylate

ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการระดับน้ำ

1. อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอย เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับการวัดระดับ (level measurement) ของเหลว พื้นฐานคือหลักการลอยตัวของลูกลอยบนของเหลว โดยอาศัยน้ำหนักของลูกลอยที่กระทำกับแรงโน้มถ่วง มีค่าเท่ากับน้ำหนักของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของลูกลอยที่จมอยู่ในของเหลว ลูกลอยควรมีรูปร่างและขนาดที่ออกแบบให้รับแรงลอยตัวได้มาก โดยมีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อย

และควรมีขนาดที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความไวในการวัด โดยส่วนที่จมอยู่ในของเหลวควรมีปริมาตรเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาตรทั้งหมดของลูกลอย ปกติรูปร่างมาตรฐานของลูกลอยจะเป็นทรงกลมหรือทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะและสมบัติของเหลวที่ต้องการวัดระดับ เช่น ลูกลอยที่มีขนาดใหญ่เหมาะสำหรับการวัดระดับของเหลวที่มีความหนาแน่นต่ำ และในทางกลับกัน การวัดระดับของเหลวที่มีความหนาแน่นสูงควรใช้ลูกลอยที่มีขนาดเล็กแทน กล่าวคือ ขนาดของลูกลอยแปรผกผันกับความหนาแน่นของของเหลวที่ต้องการวัด โดยทั่วไปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกลอยอยู่ในช่วง 75 mm ถึง 175 mm

เนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่าย ใช้งานง่าย สามารถใช้งานภายใต้สภาวะอุณหภูมิ และความดันสูงได้ สะดวกต่อการปรับเทียบและมีความเที่ยงตรงสูง สามารถวัดระดับได้ทั้งแบบจุดและแบบต่อเนื่องโดยขึ้นอยู่กับลักษณะการออกแบบ และการเลือกใช้อุปกรณ์เพิ่มเติม ตัวอย่างการวัดระดับด้วยลูกลอยอย่างง่ายที่สุด เป็นการวัดระดับโดยตรง ผู้วัดจะสามารถอ่านค่าระดับของเหลวได้โดยตรงจากตำแหน่งของลูกลอยที่เปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงของของเหลว ซึ่งเป็นการวัดเพื่อติดตามกระบวนการและการปฏิบัติงาน สำหรับการวัดระดับโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการควบคุม ทำได้โดยการติดตั้งทรานสดิวเซอร์ หรืออุปกรณ์อื่นเพิ่ม เพื่อนำสัญญาณไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่ได้ต่อเข้ากับเครื่องควบคุม

การติดตั้งเครื่องมือวัดระดับสามารถติดตั้งได้ทั้งด้านบนหรือด้านข้างของภาชนะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ตัวอย่างเช่น การใช้ลูกลอยวัดระดับแบบจุดเพื่อควบคุมระดับน้ำภายในถัง ทำได้โดยการติดตั้งลูกลอยทางด้านบนของภาชนะ และทำงานร่วมกับสวิตช์ตัดต่อ โดยการยืดหรือหดตัวของสปริงแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงสถานะทางวงจรไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำหลักการดังกล่าวไปใช้ควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำได้ นอกจากนี้อุปกรณ์วัดระดับชนิดลูกลอยยังสามารถใช้วัดระดับของเหลวแบบต่อเนื่องได้เช่นกัน โดยการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามการเคลื่อนที่ของลูกลอยซึ่งอาจใช้หลักทางกล เช่น การติดตั้งเข็มชี้วัด หรือการติดตั้งลูกลอยร่วมกับทรานสดิวเซอร์ วัดระยะและการเคลื่อนที่ เช่น การใช้โพเทนทิโอมิเตอร์ โดยการต่อก้านของลูกลอยเข้ากับไวเปอร์ ของโพเทนทิโอมิเตอร์ หรือการอาศัยสมบัติแม่เหล็กเป็นแรงดึงดูด เมื่อลูกลอยแม่เหล็กเคลื่อนที่ขึ้น/ลง แรงดึงดูดของแม่เหล็กจะดึงให้แม่เหล็กที่ติดกับรอกเคลื่อนที่ตามลูกลอยด้วย โดยการเคลื่อนที่ของลูกลอยเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงของของเหลว อย่างไรก็ตาม ลูกลอยที่ใช้สมบัติสารแม่เหล็กไม่เหมาะสมสำหรับการทำงานภายใต้อุณหภูมิสูง เนื่องจากสารแม่เหล็กเสื่อมสภาพเร็วทำให้มีอายุการใช้งานสั้น (นวภัทรา หนูนาค)

2. เครื่องสูบน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวไหลผ่านท่อปิด จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งตามที่ต้องการ พลังงานเหล่านั้นมาจากเครื่องยนต์ มอเตอร์ แรงคน หรืออื่นๆ สามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆได้ ดังนี้

2.1 Centrifugal Pump เป็นปั๊มที่อาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ของใบพัด โดยความกดดันหรือแรงเหวี่ยงมีค่ามากเมื่ออยู่ห่างจากศูนย์กลางใบพัด โดยมีหลักการคือ เมื่อใบพัดหมุนในภาชนะปิดด้วยความเร็วที่มากพอที่จะทำให้ความดันที่จุดศูนย์กลางต่ำกว่าบรรยากาศ ของเหลวจะถูกดูดเข้ามาที่จุดศูนย์กลาง และเหวี่ยงออกไปทางท่อ มี 6 ชนิดดังนี้

2.1.1 ชนิดหอยโข่ง (Volute Type) เป็นพื้นฐานของปั๊มประเภทแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ มีทิศการไหลแนวเดียวกับแกนเพลา แล้วไหลออกทำมุม 90° กับแกนเพลา

2.1.2 ชนิดครีบผันน้ำ (Diffuser Type) เหมือนชนิดแรกเพียงแต่มีครีบผันน้ำติดเรือนปั๊มเป็นช่องๆ เพื่อให้น้ำไหลเป็นเส้นโค้งสู่ผนังปั๊มได้ดีขึ้น ทำให้การปั๊มน้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น และเสียพลังงานน้อย

2.1.3 ชนิดเทอร์ไบน์ (Turbine Type) มีใบพัดเป็นแผ่นแบนกลม ครีบใบพัดจะเป็นเส้นตรงสั้นๆทั้งสองด้าน เมื่อของเหลวไหลเข้าสู่ศูนย์กลางและถูกเหวี่ยงออก จะย้อนกลับซ้ำไปมาจนถึงท่าจ่าย แรงอัดและปริมาณน้ำจามากตามจำนวนครีบ และจำนวนครั้งของการเหวี่ยงซ้ำ

2.1.4 ชนิดสูบน้ำแนวตั้ง (Virtical Turbine Type) ออกแบบเพื่อสูบน้ำบาดาลโดยเฉพาะ มีใบพัดและเรือนปั๊มต่อกันหลายชุด ส่งน้ำออกทางท่อจ่ายด้านบน มีทั้งแบบส่วนกำลังอยู่ด้านบน แล้วต่อแกนลงไปหมุนปั๊ม และแบบมอเตอร์อยู่ในน้ำใต้ดิน

2.1.5 ชนิดผสม (Mixed Flow Type) เป็นแบบผสมระหว่างแบบหอยโข่ง และแบบครีบผันน้ำ แต่ท่อจ่ายน้ำไม่ได้ตั้งฉากกับแกนเพลา แต่ทำมุม 45-80°

2.1.6 ชนิดสูบน้ำไหลตามแกน (Axial Type) ของเหลวจะไหลขนานกับแกนเพลา ใบพัดทำหน้าที่ผลักน้ำทิศทางเดียวจนออกไปที่ท่อทางจ่าย มีราคาถูกและไม่ต้องล่อน้ำ

2.2 Rotary Pump ดันน้ำให้ไหลด้วยชิ้นส่วนหมุนในทิศทางตั้งฉากกับแกนเพลา มี 4 ชนิดดังนี้

2.2.1 แบบเฟือง (Gear Pump Type) ทำงานโดยใช้เฟืองสองตัวขบกันในห้องสูบเป็นตัวขับน้ำ

2.2.2 แบบครีบ หรือใบสลัด (Vane Pump Type) เมื่อแกนเพลาหมุนจะสลัดครีบกวาดน้ำไปตามผนังเสื้อปั๊ม

2.2.3 แบบลอน (Lobe Pump Type) ทำงานเหมือนแบบเฟือง แต่ตัวโรเตอร์จะมีลอนสองถึงสี่ลอน ทำให้มีอัตราการสูบสูงกว่าแบบเฟือง

2.2.4 แบบสว่าน (Screw Pump Type) มีลักษณะเป็นเกลียวคล้ายสว่านหมุนอัดน้ำไปกับผนังเสื้อสูบ

2.3 Recipocating Pump ทำงานโดยการขับเคลื่อนลูกสูบเพื่อขับของเหลวให้ออกไปที่ท่อจ่าย มี 3 ชนิดดังนี้

2.3.1 แบบขับดันโดยตรง (Direct-Acting Type) ใช้ลูกสูบขับน้ำโดยตรง ท่อดูดและท่อส่งมีวาล์วเปิดสลับกัน เมื่อลูกสูบเลื่อนออกวาล์วท่อดูดจะเปิดให้น้ำเข้าท่อส่งจะปิด เมื่อลูกสูบอัดเข้าวาล์วท่อดูดจะปิดดันน้ำออกไปยังท่อออกที่เปิดสลับกัน

2.3.2 แบบไดอะเฟรม (Diaphrame Pump Type) อาศัยการยืดหยุ่นของแผ่นโลหะหรือยางที่ต่อกับกลไกที่ทำการดัน และดึง

2.3.3 แบบลูกสูบหมุน (Rotary pistal Pump Type) ทำงานจากการกดหรืออัดลูกสูบจากการหมุนของแกนที่มีแผ่นเอียงติดอยู่ตอนปลายที่ทำให้เกิดการกดและคลาย("เครื่องจักรสูบน้ำ,")

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติ

ในการทดสอบว่าเครื่องพิมพ์สามมิติสามารถทำงานได้ตามคุณสมบัติที่ระบุไว้หรือไม่ ต้องทำการทดสอบพิมพ์ด้วยโมเดลสามมิติแบบต่างๆ (Drew Prindle) วิธีที่ง่ายที่สุดเริ่มจากการพิมพ์ลูกบาสก์ เพื่อเป็นการทดสอบว่าเครื่องพิมพ์สามารถพิมพ์ชิ้นงานได้ขนาดที่ถูกต้องหรือไม่ ด้วยการทดสอบที่ความเร็ว ความละเอียด เพื่อทดสอบความเร็วในการพิมพ์ เช่น สามารถพิมพ์ลูกบาสก์ขนาด 1 ซม.ได้ในกี่นาที

จากนั้นเริ่มพิมพ์โมเดลที่มีความมับซ้อน ทั้งที่มีส่วนโค้ง มีส่วนแขวนลอย รายละเอียดมาก เพื่อตรวจสอบความสามารถของเครื่องพิมพ์ที่ละเอียดมากขึ้น ในการพิมพ์ทดสอบที่ขั้นตอนนี้ มีโมเดลสำหรับทดสอบมากมายที่เป็นที่นิยมใช้ เช่น 3D Benchy สำหรับเครื่องพิมพ์ประเภท FDM โดย Benchy 3D ถูกออกแบบให้มีคุณลักษณะที่ปรากฏออกมามากที่สุด และสามารถพิมพ์ได้ด้วยเครื่องพิมพ์ FDM ในเวลาราว 1 ชั่วโมง("(#3DBenchy-A Small Giant in the World of 3D Printing,") Make ROOK ที่ออกแบบสำหรับเครื่องพิมพ์แบบ SLA โดยเฉพาะมีรายละเอียดที่เครื่องพิมพ์ FDM ไม่สามารถทำได้เทียบเท่า

ผลิตภัณฑ์นวัตกรรมแห่งคุณค่า

ผลิตภัณฑ์นวัตกรรมแห่งคุณค่า(Value Innovation Product Planning) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้(ไปรมา อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2553)

1. การวางแผนผลิตภัณฑ์

การวางแผนผลิตภัณฑ์เริ่มจากการสำรวจและพิจารณาโอกาสในการสร้างนวัตกรรม การพิจารณากลยุทธ์ เป้าหมาย ขีดความสามารถ ข้อจำกัดขององค์กร การประเมินแนวโน้มตลาด เทคโนโลยี และคู่แข่งในตลาด ไปจนถึงการพิจารณาเลือกทำโครงการใด เพื่อสนองเป้าหมายทางธุรกิจขององค์กร บางครั้งการวางแผนพัฒนาผลิตภัณฑ์จะเรียกว่า ระยะที่ศูนย์ (phase zero) ขั้นที่ศูนย์

(stage 0) หรือ กิจกรรมก่อนเริ่มโครงการ (preproject activities) เพราะเป็นระยะการทำงานก่อนที่โครงการจะได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการ

ผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ทีมงานสามารถใช้ข้อมูลในการสร้างสรรค์ แนวคิดและตัดสินใจเลือกแนวคิดผลิตภัณฑ์ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์ของการวางแผนผลิตภัณฑ์คือคำอธิบายพันธกิจ (project's mission statement) และแผนผลิตภัณฑ์ (product plan) ซึ่งระบุรายละเอียดของกลุ่มเป้าหมาย เทคโนโลยีที่ใช้ เป้าหมายในการผลิต บริการ และข้อจำกัดต่างๆ เป้าหมายทางธุรกิจหรือทางการเงิน ทุนและ ระยะเวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ อย่างชัดเจน เป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญยิ่งต่อความสำเร็จในระยะดำเนินการพัฒนาผลิตภัณฑ์

แผนผลิตภัณฑ์ที่ดีเอื้อให้ทีมสามารถช่วยให้การทำงานในช่วงท้ายดำเนินไปอย่างรวดเร็วราบรื่นและตรงเป้า แต่องค์กรที่ไม่มีระบบวางแผนผลิตภัณฑ์ที่ดีมักประสบปัญหา การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ไม่สอดคล้องกับการรับรู้คุณค่าของกลุ่มเป้าหมาย ทำให้ไม่มีตลาดเพียงพอสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ เมื่อเริ่มพัฒนาผลิตภัณฑ์โครงการไม่เหมาะสมอาจทำให้ต้องยกเลิกโครงการที่ไม่ได้รับการตอบรับที่ดี ทิศทางของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของโครงการไม่ชัดเจนแน่นอนมีการเปลี่ยนแปลงหลายครั้ง กระจายสินค้าสู่ตลาดในเวลาที่ไม่เหมาะสม จำนวนโครงการไม่สมดุลย์กับทรัพยากรขององค์กร และ ปัญหาจากการจัดสรรทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ นำไปสู่ความล้มเหลวของโครงการในที่สุด เนื่องจากต้องใช้ทรัพยากรมากในช่วงท้ายของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ข้อ ผิดพลาดที่พบจึงนำไปสู่ความสูญเสียที่ยากแก่การแก้ไข

2. การจำแนกโครงการตามเกณฑ์ระดับ นวัตกรรมเชิงคุณค่าและ VIPP

การจำแนกประเภทโครงการตามระดับนวัตกรรมทั้งหมด มีข้อดีและข้อจำกัดต่างกันในการอธิบายถึงข้อแตกต่างในการทำงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ งานวิจัยส่วนใหญ่ระบุข้อแตกต่างในการทำงานแต่เพียงกว้างๆ โดยไม่ได้อธิบายถึงข้อแตกต่างของเทคนิควิธีในทางปฏิบัติ วิธีการจัดจำแนกประเภทโครงการใหม่ ชื่อการวางแผนผลิตภัณฑ์นวัตกรรมแห่งคุณค่า หรือ 'Value Innovation Product Planning' (VIPP) ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยผสมผสานข้อดีของเกณฑ์การจำแนกและการวางกลยุทธ์การทำงานแบบต่างๆเข้าไว้ด้วยกัน สาเหตุสำคัญที่ทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ล้มเหลว คือ ข้อผิดพลาดในการศึกษาและนำข้อมูลเกี่ยวกับกลุ่มเป้าหมายมาใช้ VIPP มีเป้าหมายเพื่อให้องค์กรสามารถสร้างนวัตกรรมแห่งคุณค่า และมีประเด็นหลักอยู่ที่การเลือกวิธีการศึกษาและใช้ข้อมูลที่จำเป็นเกี่ยวกับกลุ่มเป้าหมายอย่างถูกต้องในเวลาที่เหมาะสม ขั้นตอนของกระบวนการ VIPP สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

2.1. รูปลักษณ์และสัมผัสใหม่ (New Look & Feel) โครงการประเภทนี้เน้นการพัฒนาลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่เดิมเพื่อให้เกิดผลโดยตรงต่อการรับรู้คุณค่า ผ่านประสาทสัมผัสทั้ง 5 ของกลุ่มเป้าหมาย การปรับปรุงรูปลักษณ์และสัมผัสของผลิตภัณฑ์ใหม่ ให้มีความทันสมัยและ

สอดคล้องกับการรับรู้คุณค่า (perception) ของกลุ่มเป้าหมาย เป็นประโยชน์ในการเจาะตลาด (market penetration) หรือ รักษาส่วนแบ่งในตลาดเดิม และการปรับวางตำแหน่ง ใหม่ (repositioning) เพื่อให้ผู้ใช้กลุ่มใหม่ที่มีความเกี่ยวข้อง เล็งเห็นคุณค่าและหันมาเลือกใช้ผลิตภัณฑ์นั้น โครงการประเภทนี้นับเป็นนวัตกรรมแบบต่อเนื่อง (incremental/ continuing innovation) โดยใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่เดิม (derivative product) จึงมีความเสี่ยงน้อย มีวงจรการพัฒนาสั้น สามารถสร้างรายรับเป็นเงินหมุนเวียนให้แก่องค์กร แต่มีข้อจำกัดในการสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันที่ยั่งยืน เนื่องจากเป็นการแข่งขันโดยตรงกับคู่แข่งที่มีอยู่ในตลาด(ในน่านน้ำสีแดงตามแนวคิด Blue Ocean Strategy) ตัวอย่างเช่น การพัฒนาแบบปรับปรุงผลิตภัณฑ์เล็กน้อย (minor change) และปรับปรุงผลิตภัณฑ์ขนานใหญ่ (major change) ของผลิตภัณฑ์หลายอุตสาหกรรม อาทิ อุตสาหกรรมรถยนต์

2.2 วิธีการแก้ปัญหาใหม่ หรือ ผลลัพธ์ใหม่ (New Solution) โครงการประเภทนี้มุ่งเน้นการพัฒนาวิธีแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการเดิมด้วยวิธีการใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น วิธีการที่นำมาใช้ อาจเป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ หรือเป็นการปรับปรุงเทคโนโลยีเดิม หรือการหาวิธีประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่ หรือเป็นการจับคู่ใหม่ระหว่างความต้องการและวิธีการแก้ปัญหา ที่มีอยู่แล้ว การพัฒนาวิธีแก้ปัญหาใหม่ทำได้ทั้งในระดับการ สร้างสายผลิตภัณฑ์ใหม่ (new product line) และการ ปรับปรุงสายผลิตภัณฑ์เดิม (revision or improvement of existing product line) โครงการประเภทนี้ช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันด้านประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ในบางกรณีนำไปสู่การทดแทนทางเทคโนโลยีและกินตลาดของตัวเอง (cannibalization) เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทใหม่ เช่น กล้องถ่ายรูปประเภทไร้กระจก (mirrorless camera) อาหารสำเร็จรูปแบบไม่ต้องแช่แข็ง

2.3 การใช้งานใหม่ (New Usage, New Function & New Process) โครงการประเภทนี้มุ่งเน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองการใช้งานในด้านใหม่ที่ผลิตภัณฑ์เดิมไม่เคยทำได้มาก่อน หรือการพัฒนากระบวนการใช้งานใหม่ของ ผลิตภัณฑ์ให้มีขั้นตอนน้อยลง หรือแตกต่างออกไปจากเดิม เพื่อทำให้เกิดความสะดวกสบายสามารถสนองตอบความ ต้องการที่ยังไม่ได้รับการตอบสนอง (unmet needs) ของผู้ ใช้ โครงการประเภทนี้ช่วยยกระดับขีดความสามารถในการ แข่งขันจากความแตกต่างในแง่ขอบเขตการใช้งาน และเอื้อให้องค์กรสามารถขยายตลาดไปยังกลุ่มเป้าหมายใหม่ที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มเดิม ซึ่งอาจไม่เคยเห็นคุณค่าหรือความคุ้มค่าของผลิตภัณฑ์เดิมด้วยมีการใช้งานที่จำกัดหรือยังไม่ตรงกับความต้องการเต็มที่ วิธีการแก้ปัญหาที่นำมาใช้ในโครงการประเภทนี้เป็นได้ทั้งการใช้เทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ ซึ่งอาจนำไปสู่การทดแทนและการกินตลาดตัวเอง (cannibalization) และการใช้เทคโนโลยีเดิมที่ได้รับการ ปรับปรุงใหม่หรือหาวิธีประยุกต์ใช้ในลักษณะใหม่ ซึ่งในกรณี หลังนี้มักทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เสริมและการใช้งานเสริมในสายผลิตภัณฑ์เดิม

(extension to existing product line) ตัวอย่างเช่น หูฟังแบบไร้สาย โทรทัศน์แบบที่มีระบบปฏิบัติการแบบอุปกรณ์สมาร์ทดีไวส์

2.4 คุณค่าใหม่ (New Value) หมายถึงคุณค่าใหม่ในสายตาของกลุ่มเป้าหมาย โครงการประเภทนี้มุ่งเน้นการตอบสนองคุณค่าที่อยู่เบื้องหลังความต้องการใช้งาน ส่งผลให้องค์กรสามารถยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันอย่างก้าวกระโดด สามารถสร้างตลาดใหม่ และหลีกเลี่ยงการแข่งขันโดยตรงกับ คู่แข่งอื่นๆในตลาด การพัฒนาคุณค่าใหม่มักทำให้เกิด ผลิตภัณฑ์ประเภทใหม่ (new product class, new product category) ที่เปลี่ยนกรอบแนวคิด (re-framing) ในเชิงคุณค่าไปจากสิ่งที่มีอยู่เดิมอย่างสิ้นเชิง นับเป็น diversification และ new-to-the-world product โครงการพัฒนาคุณค่าใหม่ (new value) เช่น โทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนของ Apple inc ที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในหมวดหมู่ Smart device ขึ้น เกมกด Game and watch ของ Nintendo ที่เกิดจากพฤติกรรมกดเครื่องคิดเลขเล่นฆ่าเวลาขณะเดินทางไปทำงานของพนักงานบริษัทบนรถไฟ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ramji Panday (2557) Photopolymers in 3D Applications Degree thesis Plastics Technology, Arcada

จากการศึกษาพบว่าการพิมพ์สามมิติปรากฏอยู่ในหลายภาคส่วน ทั้งยังมีความยืดหยุ่นในการใช้วัสดุ และเทคโนโลยีในการขึ้นรูป โฟโตพอลิเมอร์เป็นหนึ่งในวัสดุที่ใช้ในกรบวนการพิมพ์สามมิติ ในการวิจัยได้รวบรวมเอาโฟโตพอลิเมอร์ที่มีอยู่หลากหลายมาไว้เป็นข้อมูล เพื่อที่ผู้ต้องการศึกษาถึงระบบโฟโตพอลิเมอร์ รวมถึงบทวิเคราะเพื่อให้เป็นประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมการพิมพ์สามมิติ

Evan S. Schwahn (2558) Using Controlled Curing in a Custom Stereolithography-based 3D Printing Machine to Obtain Draded Property Vaiaions Master Degree Mechanical Engineering and Applied Mechanics, University of Nebraska

จากการศึกษาพบว่ากระบวนการการควบคุม IPN ด้วยการควบคุมขอบเขตของ crosslinker วิธีนี้ถูกใช้ในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาในเครื่องพิมพ์ที่ใช้แสงเลเซอร์ โดยทำการศึกษาโฟโตพอลิเมอร์ ที่ถูกใช้ในงานพิมพ์สามมิติ ด้วยการศึกษาคุณสมบัติของแสงเลเซอร์ ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา การเหลื่อมล้ำของการเกิดปฏิกิริยา ระดับพลังงานที่ใช้ และสภาพแวดล้อมในการทำปฏิกิริยา เช่น อุณหภูมิ และระดับของออกซิเจน เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาปรับใช้สำหรับการพิมพ์สามมิติ

Lin Y.S., Yang C.J. (2560) Design and Fabrication of A Self-Adjusted Mechanism in Combination with Passive Peeling fo effective Separation Used in Digital Light Processing(DLP) 3D Printer Medical Device Innovation Centre, National Cheng Kung University

จากการศึกษาพบว่ากระบวนการพิมพ์สามมิติสร้างความยืดหยุ่นให้แก่การออกแบบสามารถจัดการกับงานออกแบบที่ประกอบไปด้วยโครงสร้างที่ซับซ้อนได้ดี การพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ระบบ DLP ให้ชิ้นงานที่มีคุณภาพสูงที่สุด มีความเรียบเนียนจากการทดสอบใช้เครื่องมือหลายประเภทในการสร้างแบบจะลองทางทันตกรรม ในการศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นถึงกรณีศึกษาในการปรับแต่งเครื่องพิมพ์ให้สามารถพิมพ์แบบจำลองทางทันตกรรมได้อย่างสมบูรณ์

Tyler Finnes (2558) High Definition 3D Printing-Comparing SLA and FDM Printing Technologies The journal of undergraduate Research: Vol.13, Article 3

จากการศึกษาพบว่าเครื่องพิมพ์ระบบสเตอริโอลิโธกราฟี (SLA) ใช้แหล่งกำเนิดแสง UV ในการทำปฏิกิริยากับเรซิ่น ในขณะที่ เครื่องพิมพ์ระบบ FDM ทำการฉีดลาสติกกึ่งเหลวเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน ทั้งสองระบบมีทั้งข้อดีและด้อย ข้อดีของ SLA คือความละเอียดสูง สามารถทำความละเอียดที่ดีกว่า FDM กว่าเท่าตัว โดยใช้การเปรียบเทียบระหว่าง mUVe 3D SLA กับ Makerbot Replicator 2x โดย mUVe 3D SLA ใช้เลเซอร์เคลื่อนที่ไปมาบนแกน xy เพื่อก่อปฏิกิริยากับเรซิ่น ผลจากการศึกษาจากการส่องกล้องจุลทรรศน์พบว่า คุณภาพของชิ้นานที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ SLA ดีกว่า FDM แต่ SLA ยากต่อการใช้งานและปรับแต่งมากกว่า คุณภาพการพิมพ์ดังกล่าวส่งผลมาจากจุดลำแสงของเลเซอร์ของเครื่องพิมพ์ SLA มีเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กกว่าหัวฉีดของเครื่องพิมพ์ FDM

Reinout Holtrup (2558) XZEED DLP A multi-material 3D printer using DLP technology Final Bachelor Assignment Industrial design, University of Twente

จากการศึกษาพบว่าสิ่งสำคัญในการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติแบบ DLP คือการแก้ปัญหาของการติดที่ Vat เนื่องจากการทำปฏิกิริยาจะเกิดที่ฝั่ง Vat ก่อนเนื่องจากแสงที่ฉายจากด้านล่างทำปฏิกิริยากับเรซิ่นที่อยู่ติด Vat ก่อนส่วนที่อยู่ใกล้แท่นพิมพ์ทำให้เกิดแรงยึดเกาะที่ Vat ก่อน ในการวิจัยแก้ไขตรงจุดนี้ด้วยการใช้วัสดุที่ยอมให้ออกซิเจนผ่านได้เคลือบไว้ที่ผิว Vat และอีกวิธีคือใช้ฟิล์ม FEP ที่มีคุณสมบัติเดียวกันเป็นฐานของ Vat วิธีหลังนี้ให้ผลที่ดีกว่า หากไม่เกิดความร้อนที่สูงมากเกินไป แต่ความยืดหยุ่นของฟิล์มก็สามารถแก้ปัญหาเรื่องการติดที่ส่วนก้น Vat ได้ง่ายกว่า

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี เพื่อออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ โดยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

การศึกษาข้อมูลการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติ

การทดลองเพื่อสรุปข้อมูลสำหรับการออกแบบ

การทดลองเพื่อสรุปผลการออกแบบ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาข้อมูลการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติ

ในการศึกษาข้อมูลนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทดลองในเบื้องต้นดังนี้

1. ศึกษาหลักการและวิธีการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติ เช่น การออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติราคาถูกจากเศษอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เรื่อง Chimera: $60 DLP High-Res 3D Printer (mastermind) การออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติของบริษัท Autodesk เครื่องพิมพ์ Ember (Autodesk) วิดีโอการใช้งานและเทคนิคต่างๆจากช่อง Wiwat Nuansing บนเว็บไซต์ Youtube(Wiwat Nuansing)

2. ทดลองสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติตามแบบ Chimera เพื่อทำการศึกษาในเชิงปฏิบัติให้เกิดความเข้าใจในด้านการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติเพิ่มมากขึ้น

3. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องพิมพ์สามมิติในด้านชิ้นส่วนต่างๆ เช่น ส่วนขับเคลื่อนแกนเคลื่อนที่ ส่วนพื้นที่พิมพ์ โฟโตพอลิเมอร์ อิเล็กทรอนิกส์ และศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการควบคุมระดับน้ำ เช่นการใช้ลูกลอย การใช้เครื่องสูบน้ำ

การทดลองเพื่อสรุปข้อมูลสำหรับการออกแบบ

จากการศึกษาข้อมูลผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้มากำหนดข้อศึกษาต่างๆ โดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์ในข้อที่สองเป็นหลัก มีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการออกแบบมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษารายละเอียดของการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติแบบ SLA จากการศึกษาบว่า ชิ้นส่วนของเครื่องพิมพ์สามมิติจะทำหน้าที่เฉพาะอย่างตามแต่ประเภทของส่วนนั้นๆ เช่น ส่วนขับเคลื่อน ส่วนสร้างชิ้นงาน ส่วนควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ โฟโตพอลิเมอร์ ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ถึงส่วนสำคัญที่ต้องใช้ในการออกแบบ

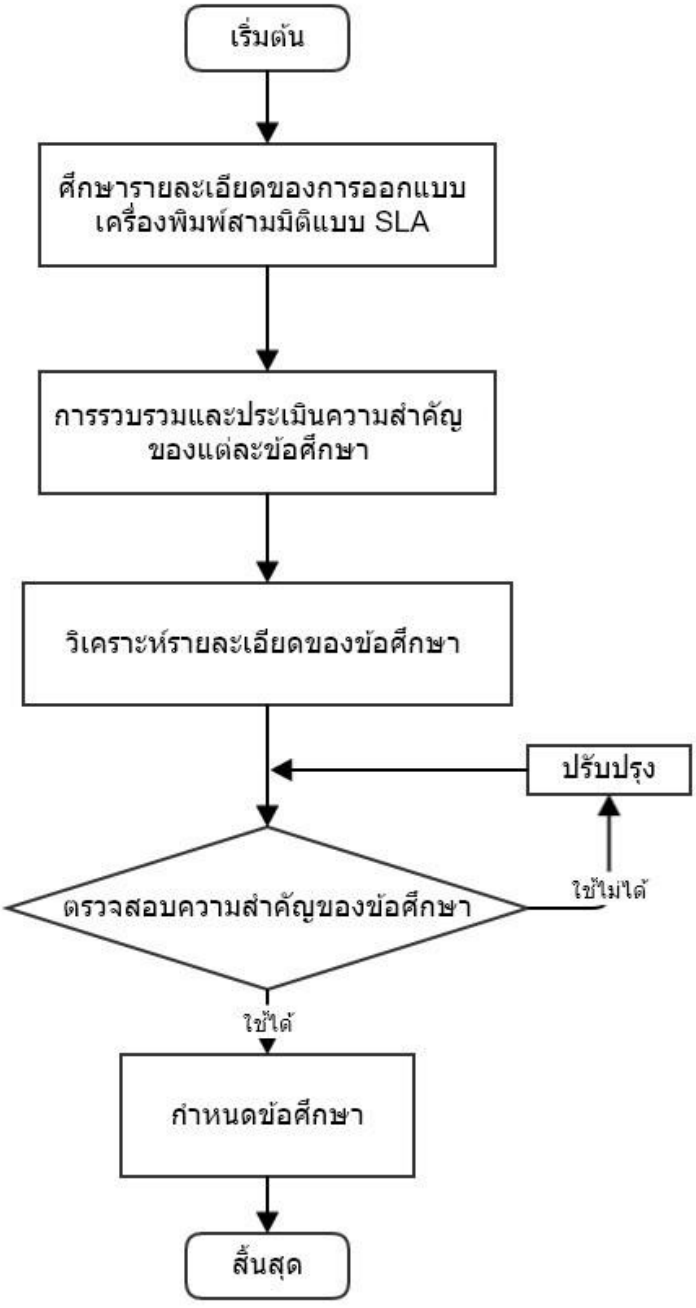
2. การรวบรวมและประเมินความสำคัญของแต่ละข้อศึกษา โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติตามแบบ Chimera เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สื่อออนไลน์ทั้งที่เป็นวิดีโอและบทความ ทำให้สามารถแยกหัวข้อที่จะทำการศึกษา เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบ และทราบถึงการจำแนกหน้าที่และความสำคัญของแต่ละส่วนของเครื่องพิมพ์สามมิติ

3. วิเคราะห์รายละเอียดของข้อศึกษา เมื่อลำดับความสำคัญได้แล้วผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ โดยใช้ กรอบแนวคิดด้านการวางแผนผลิตภัณฑ์นวัตกรรมแห่งคุณค่า ร่วมกับผลการทดลองการสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติตามแบบ Chimera

4. ตรวจสอบความสำคัญของข้อศึกษา ในการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติ ส่วนที่มีความจำเป็นสำหรับการทำงานของตัวเครื่องนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายส่วน การตรวจสอบเพื่อจัดลำดับความสำคัญก่อนหลังทำให้ขั้นตอนการออกแบบ เป็นไปได้อย่างสะดวก ราบรื่นมากยิ่งขึ้น หากข้อใดที่ส่งผลต่อการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติน้อยก็ทำการปรับปรุง

5. กำหนดข้อศึกษาโดยคำนึงถึงการตอบคำถามของสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งเอาไว้ได้ โดยการกำหนดหัวข้อเหล่านี้สามารถนำไปสู่การตอบคำถาม 1) เครื่องพิมพ์สามมิติที่ออกแบบภายใต้การวิจัยนี้มีประสิทธิภาพได้มาตรฐานของเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA 2)เครื่องพิมพ์สามมิติที่ออกแบบภายใต้การวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการจัดการโฟโตพอลิเมอร์สามารถช่วยจัดการโฟโตพอลิเมอร์ได้ดีกว่าวิธีเดิมที่ผู้ใช้งานต้องจัดการด้วยตนเอง

ขั้นตอนดำเนินการวิจัยในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการออกแบบนี้แสดงเป็นแผนภาพกิจกรรมได้ดังแผนภาพที่ 1



แผนภาพที่ 1 การทดลองเพื่อสรุปข้อมูลสำหรับการออกแบบ

การทดลองเพื่อสรุปผลการออกแบบ

การสร้างเครื่องมือวิจัยในครั้งนี้ เป็นแบบทดลองเพื่อการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ ทำการการออกแบบชิ้นส่วนแต่ละชิ้น โดยใช้ข้อสรุปจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาจากขั้นตอนที่ 2 ที่กำหนดได้จากหน้าที่การทำงานและมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัย โดยมีข้อศึกษาดังต่อไปนี้

ข้อศึกษาที่ 1 แหล่งกำเนิดแสง

ข้อศึกษาที่ 2 ส่วนพื้นที่การพิมพ์และภาชนะบรรจุเรซิ่น

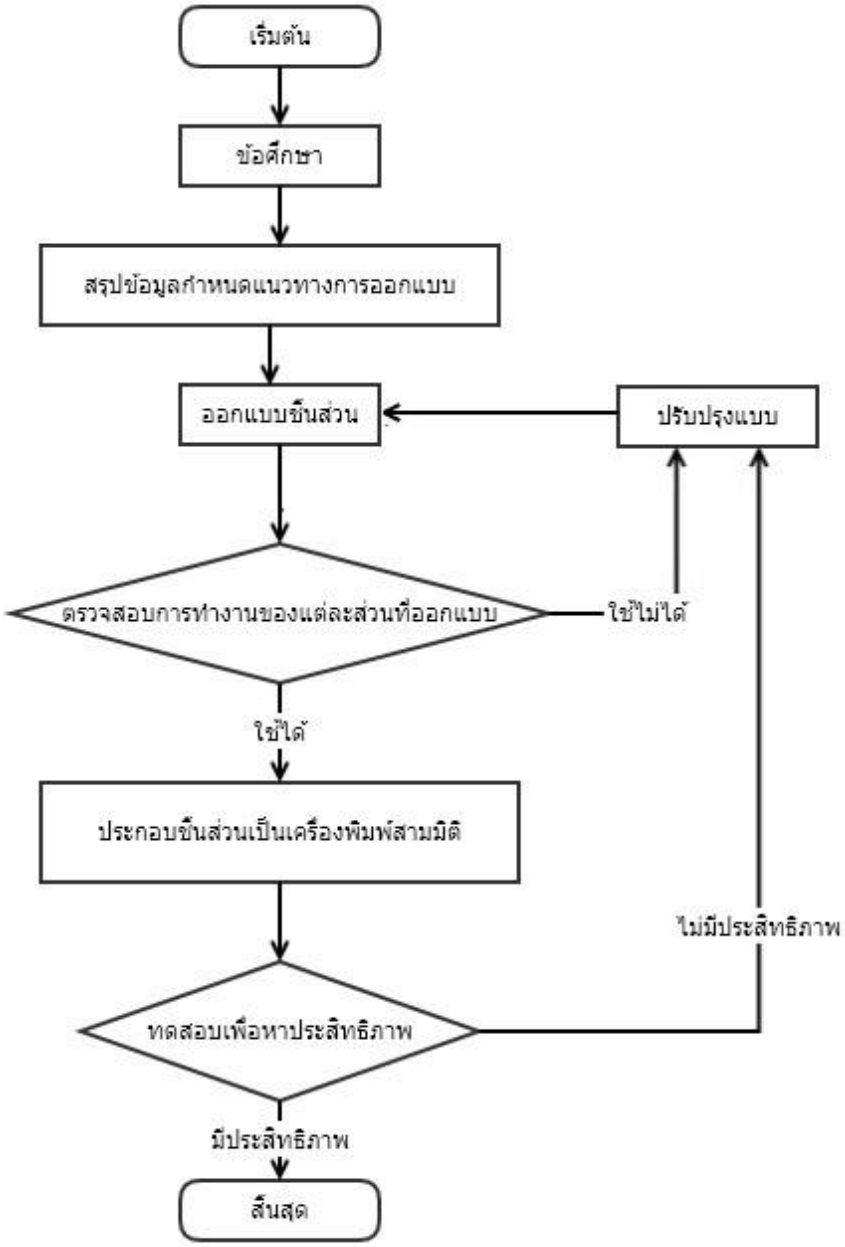
ข้อศึกษาที่ 3 แกนเคลื่อนที่แนวตั้ง

ข้อศึกษาที่ 4 ส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์

ข้อศึกษาที่ 5 การพัฒนารูปแบบของเครื่องพิมพ์สามมิติ

ชิ้นส่วนต่างๆถูกออกแบบตามข้อมูลที่ศึกษา แล้วออกแบบและสร้างเป็นโมเดลสามมิติผ่านซอฟต์แวร์ CAD หลังจากนั้นทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานต้นแบบโดยวิธีการพิมพ์จากเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ FDM แล้วทำการทดสอบส่วนประกอบที่ทำการออกแบบ นำมาชิ้นส่วนทั้งหมดประกอบกันเป็นเครื่องพิมพ์สามมิติเพื่อทำการทดลองประสิทธิภาพ โดยมีขั้นตอนการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยดังแผนภาพที่ 2

มหาวิทยาลัยศิลปากร



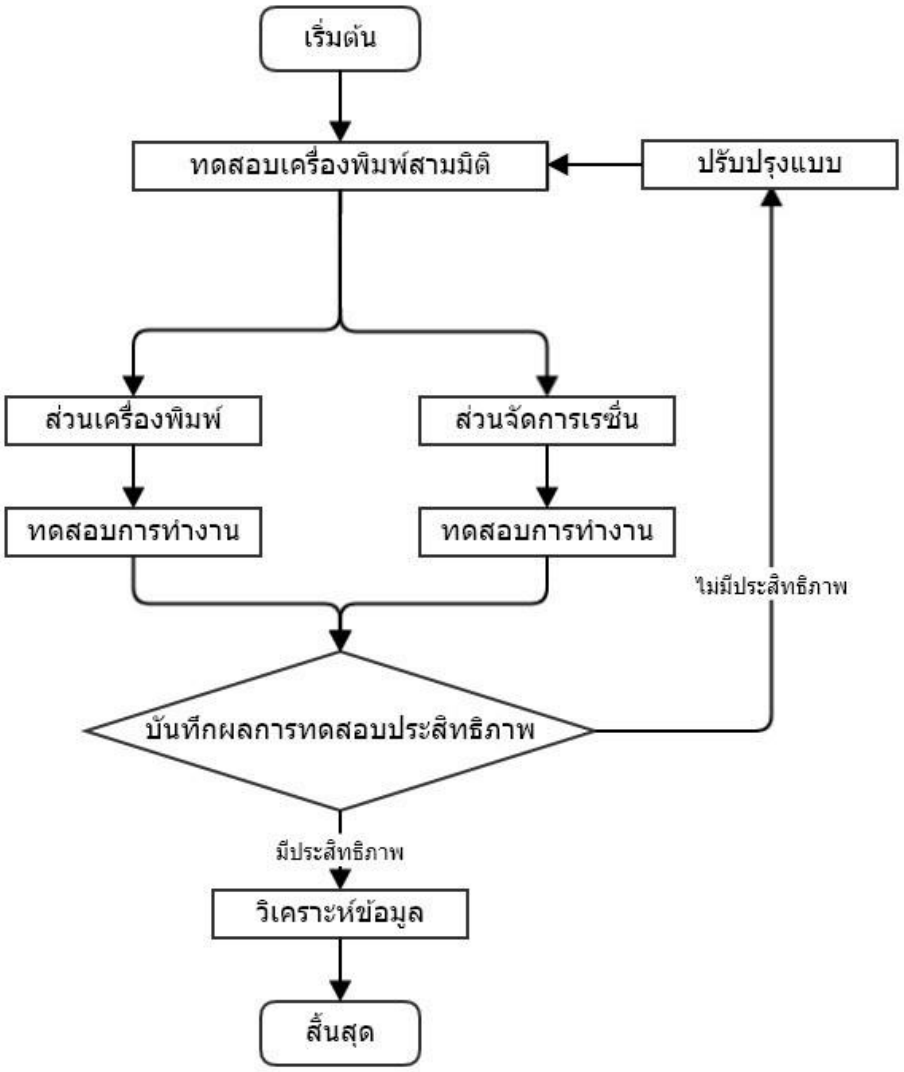
แผนภาพที่ 2 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลองทั้ง 2 ส่วน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การรวบรวมข้อมูลจากการหาประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยการกำหนดปัจจัยในการทดลอง 3 ปัจจัย ได้แก่ 1)การติดฐานพิมพ์ชั้นแรก 2)ความสมบูรณ์ของชิ้นงานที่พิมพ์ 3)การโยกคลอนของแกนแนวตั้ง ทำการทดลองภายใต้ตัวแปร 3 แบบที่แตกต่างกัน แล้วทำการบันทึกผลการทดลอง

2. การรวบรวมข้อมูลจากการทดลองในส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์
มีขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลตามแผนภาพที่ 3



แผนภาพที่ 3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง ประมวลแผนภาพผลการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูล 2 ส่วนคือ 1)ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติ 2)การทดลองในส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ โดยการทดลองและบรรยายผล

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยเรื่อง การออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีสำหรับใช้งานบนโต๊ะทำงาน พร้อมด้วยส่วนจัดการชิ้นงานหลังการพิมพ์ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทดลอง นำมาวิเคราะห์และนำเสนอตามขั้นตอนตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี

1. ผลการวิเคราะห์การศึกษาเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี
2. ผลการวิเคราะห์การศึกษาแหล่งกำเนิดแสงของเครื่องพิมพ์
3. ผลการวิเคราะห์การศึกษาส่วนพื้นที่การพิมพ์และภาชนะบรรจุเรซิ่น
4. ผลการวิเคราะห์การศึกษาแกนเคลื่อนที่แนวตั้ง
5. ผลการวิเคราะห์การศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์
6. ผลการวิเคราะห์การศึกษาการพัฒนารูปแบบของเครื่องพิมพ์สามมิติ
7. ผลการวิเคราะห์การศึกษาโฟโตพอลิเมอร์
8. ผลการวิเคราะห์การศึกษาซอฟต์แวร์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์

1. ผลการวิเคราะห์จากกรอบแนวคิดด้านการวางแผนผลิตภัณฑ์นวัตกรรมแห่งคุณค่า
2. ผลการวิเคราะห์การข้อมูลการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี

จากการศึกษาเอกสารและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง ภายใต้วัตถุประสงค์การวิจัย และกรอบแนวคิดการวิจัย พร้อมทั้งทำการทดลองสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีเพื่อการศึกษาวิจัยในเบื้องต้น สามารถวิเคราะห์และสรุปสาระสำคัญได้ ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์การศึกษาเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี

ผลการศึกษาเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี พบว่า เครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีประกอบด้วยส่วนสำคัญในการทำงานหลายส่วน ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง แกนเคลื่อนที่ ภาชนะบรรจุโฟโตพอลิเมอร์ ระนาบสร้างชิ้นงาน ส่วนควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ และโฟโตพอลิเมอร์ แต่ละส่วนต้องทำงานสอดคล้องกัน สามารถจำแนกชนิดของเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี ได้จากแหล่งกำเนิดแสง และลักษณะของการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง

2. ผลการวิเคราะห์การศึกษาแหล่งกำเนิดแสงของเครื่องพิมพ์ และโฟโตพอลิเมอร์

ผลการศึกษาแหล่งกำเนิดแสงของเครื่องพิมพ์ และโฟโตพอลิเมอร์ พบว่า เครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี มีการใช้แหล่งกำเนิดแสงที่หลากหลาย ในปัจจุบันมีการใช้แหล่งกำเนิดแสงสามแบบ คือ ลำแสงยูวี โปรเจคเตอร์ชนิด DLP และจอ LCD ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงทั้งสามแบบนี้มีความต้องการที่จะใช้ร่วมกับโฟโตพอลิเมอร์แบบต่างๆกันไป โดยต้องให้ความยาวคลื่นแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ก่อปฏิกิริยาทำปฏิกิริยากับโฟโตพอลิเมอร์มีช่วงที่สอดคล้องกัน

3. ผลการวิเคราะห์การศึกษาส่วนพื้นที่การพิมพ์ และภาชนะบรรจุเรซิ่น

ผลการศึกษาส่วนพื้นที่การพิมพ์และภาชนะบรรจุเรซิ่น ภาชนะบรรจุเรซิ่นมีหลากหลายรูแบบ ผู้วิจัยได้ศึกษาและทดลองภาชนะสองรูปแบบซึ่งเป็นตัวแทนจากความหลากหลายนั้น คือ แบบ Flexible Vat หรือ flex vat และแบบภาชนะธรรมดา หรือ resin tank พบว่า flex vat ต้องพื้นที่เรียบตึง เมื่อบรรจุเรซิ่นต้องไม่เกิดการหย่อนลงไปเป็นแอ่ง แม้เพียงเล็กน้อยก็ส่งผลให้การพิมพ์สามมิติมีความผิดพลาดได้ แบบ resin tank สำหรับการพิมพ์แบบ top-down มีปัจจัยสำคัญด้านขนาด รูปร่าง และชนิดของภาชนะที่ทนการกัดกร่อนของเรซิ่นได้เท่านั้น พื้นที่การพิมพ์มีส่วนสำคัญในการพิมพ์สามมิติ พื้นที่พิมพ์ต้องมีคุณสมบัติที่ให้เรซิ่นที่แข็งตัวยึดเกาะได้ดีผลคือการเลือกใช้พื้นที่พิมพ์ที่เป็นโลหะ และทำงานสอดคล้องกับแรงตึงผิวของโฟโตพอลิเมอร์ กล่าวคือ พื้นที่พิมพ์จำเป็นต้องแนบขนานไปกับพื้นของ flex vat หรือผิวเรซิ่นใน resin tank ไม่ทำให้เกิดแอ่งที่พื้น flex vat หรือผิวเรซิ่นใน resin tank

4. ผลการวิเคราะห์การศึกษาแกนเคลื่อนที่แนวตั้ง

ผลการศึกษาแกนเคลื่อนที่แนวตั้งพบว่า มีส่วนสำคัญในการเคลื่อนที่อยู่สามประการคือ 1) สเต็ปมอเตอร์และตัวขับเคลื่อน 2) ส่วนนำทางการเคลื่อนที่ หรือ Linear Guide 3) ส่วนยึดแกนเคลื่อนที่ สเต็ปมอเตอร์ต้องถูกตั้งค่าที่ถูกต้องใน firmware ส่วนยึดที่แข็งแรงทำให้ชิ้นงานที่พิมพ์ออกมามีความสมบูรณ์ เที่ยงตรง แกนเคลื่อนที่นี้จะต้องถูกติดตั้งด้วยพื้นที่การพิมพ์ และต้องรับน้ำหนักชิ้นงานที่พิมพ์ออกมาด้วย ทำให้ส่วนนี้ต้องมีความแข็งแรง และเที่ยงตรงที่สุด เพื่อให้การพิมพ์สามมิติมีความถูกต้องสมบูรณ์ดังที่กล่าวข้างต้น

5. ผลการวิเคราะห์การศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ผลการศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์พบว่า เครื่องพิมพ์สามมิติแบบสเตอริโอลิโธกราฟีมีส่วนควบคุมการเคลื่อนที่และการฉายแสงที่แยกออกจากกัน แต่ทั้งสองส่วนต้องทำงานร่วมกัน โดยการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุมแกนเคลื่อนที่จะมีอุปกรณ์ควบคุมแบ่งออกเป็นสามส่วน คือ 1) บอร์ด arduino uno เป็นตัวควบคุมหลักที่มี firmware ทำหน้าที่สั่งการอุปกรณ์อื่นๆ 2)arduino cnc shield เป็นตัวกลางให้กับ 3)ตัวขับสเต็ปมอเตอร์และบอร์ด arduino uno ส่วนการควบคุมการฉายแสงนั้นจะใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุม

6. ผลการวิเคราะห์การศึกษาการพัฒนารูปแบบของเครื่องพิมพ์สามมิติ

ผลการศึกษาการพัฒนารูปแบบของเครื่องพิมพ์สามมิติพบว่า เครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีมีรูปแบบที่จำแนกจากแหล่งกำเนิดแสงในปัจจุบัน 3 แบบ คือ 1)แบบ sla ดั้งเดิม 2)แบบdlp และ 3)แบบlcd ซึ่งทั้งสามแบบก็จะมีรูปแบบที่มีความเฉพาะตัว แต่จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันไปตามรูปแบบของแกนเคลื่อนที่ 2 แบบคือ 1)top-down 2)bottom-up ที่จะเป็นตัวกำหนดการพัฒนารูปแบบที่สำคัญของเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีนี้

7. ผลการวิเคราะห์การศึกษาโฟโตพอลิเมอร์

ผลการศึกษาโฟโตพอลิเมอร์พบว่า โฟโตพอลิเมอร์ที่ใช้สำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยสามารถจำแนกได้จากชนิดของแหล่งกำเนิดแสงที่โฟโตพอลิเมอร์นั้นรองรับ หรือความยาวคลื่นแสงที่ทำปฏิกิริยา บางยี่ห้อไม่ได้บอกความยาวคลื่นแสงเพียงแค่ระบุชนิดของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ด้วยเพียงเท่านั้น แต่โดยทั่วไปแล้วจะเป็น 1)ความยาวคลื่นแสงที่ช่วง 390-410 นาโนเมตร หรือแสง UV A 2)ความยาวคลื่นแสง 450-470 นาโนเมตร หรือที่ผู้ผลิตใช้คำว่า day light ซึ่งโฟโตพอลิเมอร์แบบนี้มีผู้ผลิตและจำหน่ายน้อย เป็นที่รู้จักคือ Photocentric3D

8. ผลการวิเคราะห์การศึกษาซอฟต์แวร์

ผลการศึกษาซอฟต์แวร์พบว่า เครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีมีซอฟต์แวร์ที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ 1)firmware เป็นซอฟต์แวร์สั่งการระบบ หากไม่มีจะไม่สามารถสั่งการใดๆกับ

เครื่องพิมพ์ได้ 2)slicer เป็นซอฟต์แวร์ที่แปลงไฟล์สามมิติให้อยู่ในรูปของ g-code ทำให้ firmware สามารถสั่งการเครื่องพิมพ์ให้เคลื่อนไหวตาม g-code เหล่านั้นและสร้างชิ้นงานสามมิติขึ้นมาได้

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์

1. ผลการวิเคราะห์จากกรอบแนวคิดด้านการวางแผนผลิตภัณฑ์นวัตกรรมแห่งคุณค่า

การวางแผนผลิตภัณฑ์นวัตกรรมแห่งคุณค่าจำแนกออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ 1) การพัฒนารูปลักษณ์และสัมผัสใหม่ 2) การพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาใหม่ 3)การพัฒนาการใช้งานใหม่ 4) การพัฒนาคุณค่าผลิตภัณฑ์ใหม่ ในการวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาใหม่ ซึ่งแต่เดิมเครื่องพิมพ์สามมิติที่ใช้งานในบ้านจะประสบปัญหาในการจัดการกับโฟโตพอลิเมอร์หลังพิมพ์เสร็จ เมื่อมีการจัดการในจุดนี้ก็จะทำให้การใช้งานเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA เป็นไปอย่างสะดวก ง่ายดาย และปลอดภัยจากการสัมผัสกับสารเคมีมากขึ้น

2. ผลการวิเคราะห์การข้อมูลการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์

2.1 ผลการออกแบบแหล่งกำเนิดแสงพบว่า ในการออกแบบแหล่งกำเนิดแสงมีส่วนสำคัญที่จะต้องคำนึงถึง โดยจำแนกจากวิธีการออกแบบด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

2.1.1 แหล่งกำเนิดแสงจากโปรเจคเตอร์ แบบ dlp

ในการใช้แสงจากโปรเจคเตอร์แบบ dlp นั้นนอกจากชนิดของโฟโตพอลิเมอร์ที่ใช้ มีตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพ และระยะเวลาการพิมพ์ ดังนี้

ความเข้มของแสง ความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของเรซิ่นแปรตามความเข้มของแสง ที่แหล่งกำเนิดเดียวกันคือ เครื่องโปรเจคเตอร์แบบ dlp ที่ผู้วิจัยใช้ คือ เครื่องโปรเจ็คเตอร์ acer x1121p ในการฉายแสงขนาดเล็กโดยการใช้ close-up lens จะทำปฏิกิริยากับเรซิ่นได้ดีกว่าการฉายขนาดใหญ่ โดยระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่อชั้นหนา 50 ไมครอน ที่พื้นที่พิมพ์ขนาด 3x4 cm และ 12x16 cm คือ 1.25 และ 14.5 วินาที ตามลำดับ ในน้ำยาเรซิ่นผสมยี่ห้อ Fun to do รุ่น Deep black และเรซิ่นไวแสงจากจีนที่ผู้วิจัยไม่ทราบยี่ห้อ ในอัตรา 1:1

วัตถุสะท้อนแสงมีผลต่อความชัดเจนของงานพิมพ์ การสะท้อนแสงด้วยกระจกเงาจะให้ภาพที่ขาดความชัดเจน ต้องใช้กระจกที่เรียกว่า First surface mirror หรือ FSM จึงจะสามารถสะท้อนแสงจากเครื่องโปรเจคเตอร์ได้อย่างชัดเจน ตัว FSM นั้นมีราคาแพง แต่สามารถทำได้เองโดยใช้กระจกเงาทั่วไป

อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย กระจกเงา มีดกรีดกระจก น้ำยาลอกสี และอะซิโตน 1) เตรียมกระจกเงาให้ได้ขนาดที่ต้องการ เช็ดด้านเคลือบด้วยน้ำยาลอกสี ทิ้งให้ทำปฏิกิริยาสีที่เคลือบไว้จะเริ่มลอกใน 2-3 นาที 2) เช็ดด้วยอะซิโตน จนสีเคลือบหลุดออกหมดจะได้กระจก FSM ตามภาพที่ 17 การทำ FSM ด้วยวิธีนี้จะทำให้ผิวกระจกมีรอยข่วนเล็กๆหรือรอยขนแมว แต่รอยดังกล่าวไม่ส่งผลต่อความคมชัดของการสะท้อนแสงจากโปรเจคเตอร์ dlp ตามภาพที่ 18

ภาพที่ 17 First surface mirror ขั้นตอนการเช็ดด้วยอะซิโตน
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

ภาพที่ 18 ทดสอบการสะท้อนแสงจากโปรเจ็คเตอร์ DLP
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

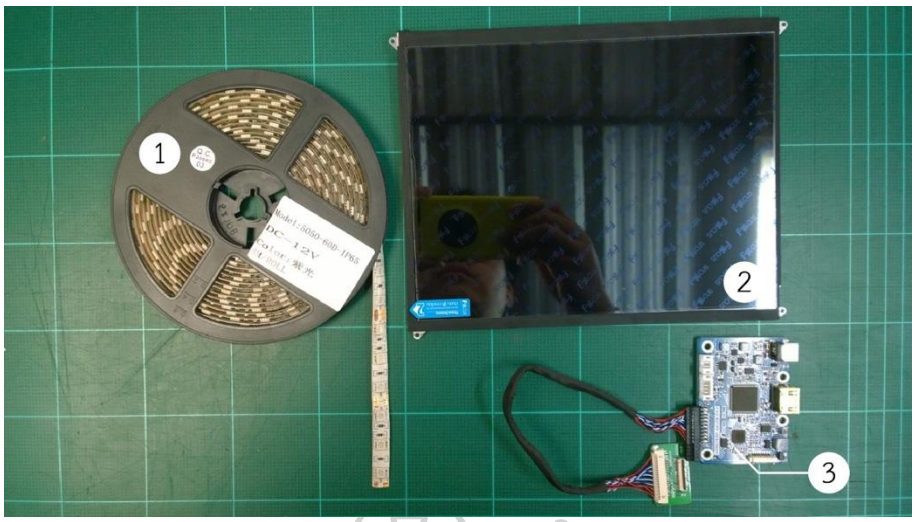
นอกจากนี้แล้วชนิดของวัสดุเคลือบกระจกยังมีผมต่อการสะท้อนแสงจากโปรเจคเตอร์แบบ DPL ด้วย คือ Aluminum จะมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสง UV ได้ดีกว่าเงิน ในการวิจัยนี้กระจกที่ใช้เป็นกระจกที่เคลือบด้วยเงินทำให้ความสามารถในการสะท้อนแสง UV ลดลงมาก

ในการปรับขนาดของพื้นที่พิมพ์ ต้องทำการวัดพื้นที่และแนวฉากของภาพที่ฉาย เพื่อให้ชิ้นงานมีความสมบูรณ์มากที่สุด สามารถใช้กระดาษที่มีเส้นตารางหรือพิมพ์เส้นตารางขึ้นเองเพื่อใช้สำหรับการวัด แสดงในภาพที่ 19

ภาพที่ 19 การวัดขนาดพื้นที่พิมพ์
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

2.1.2 แหล่งกำเนิดแสงจากจอ LCD ในการใช้แสงจากจอ LCD นั้นนอกจากชนิดของโฟโตพอลิเมอร์ที่ใช้ มีตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการทำงาน ดังนี้

2.1.2.1 ประเภทของแสงจาก LCD backlight การเลือกใช้ Backlight ให้ตรงกับชนิดของเรซิ่นที่ใช้เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในอันดับต้นๆ เรซิ่นที่ทำปฏิกิริยากับแสง UV Backlight ที่ใช้ต้องเป็นแสง UV คือแหล่งกำเนิดแสงต้องกำเนิดแสงในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 395-410 นาโนเมตร ใช้แสงปกติได้หากใช้เรซิ่นแบบ Day light ผู้วิจัยใช้จอภาพของ ipad 3 และใช้แผงควบคุมอิเล็กทรอนิกส์รุ่น HDMI2EDP-4Kx2K V4.0 ซึ่งจ่ายไฟให้ส่วน Backlight ต่างหากที่ 12 v ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ไฟ LED UV แบบเส้น 12 v เป็น Backlight แสดงในภาพที่ 20

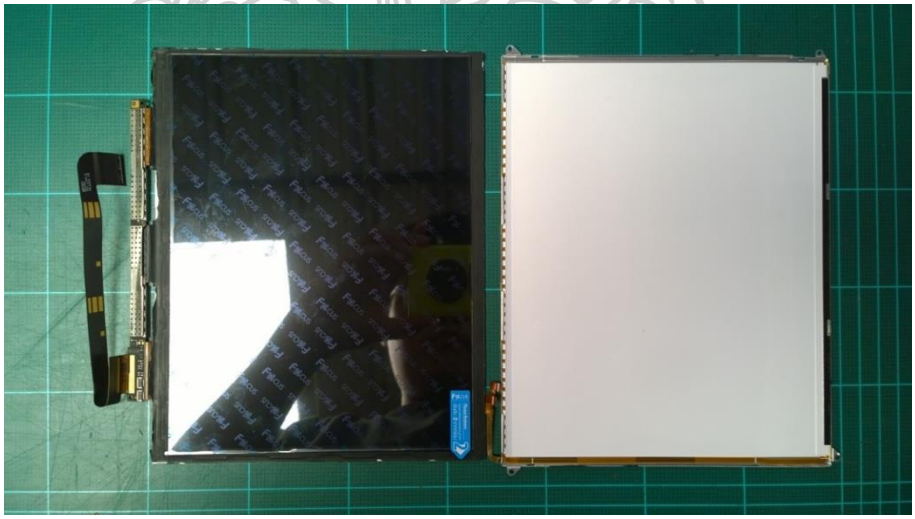


ภาพที่ 20 ส่วนประกอบที่ใช้กับแบบ LCD

1) ไฟ UV LCD แบบเส้น, 2) จอ LCD ของ ipad 3, 3) HDMI2EDP-4Kx2K V4.0

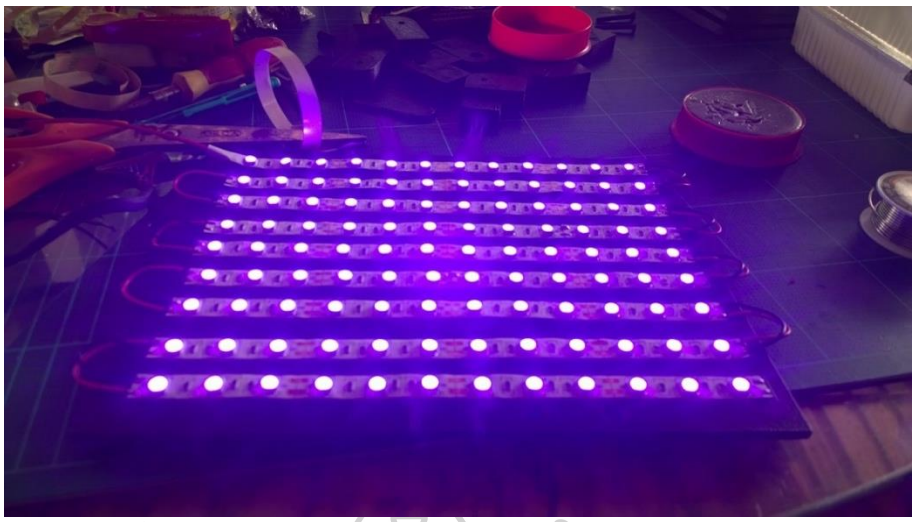
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

จอ LCD ทั่วไปนั้นจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นจอแสดงผล เรียก LCD panel และส่วนที่ให้แสงสว่าง หรือ Backlight ทั้งสองส่วนนี้จะเป็นชิ้นส่วนที่แยกกัน แต่จะถูกรวมด้วยส่วนควบคุมอีกทีหนึ่ง ตามภาพที่ 21 ทำให้สามารถเปลี่ยน Backlight ได้ตามความต้องการ ตามภาพที่ 22 และ 23

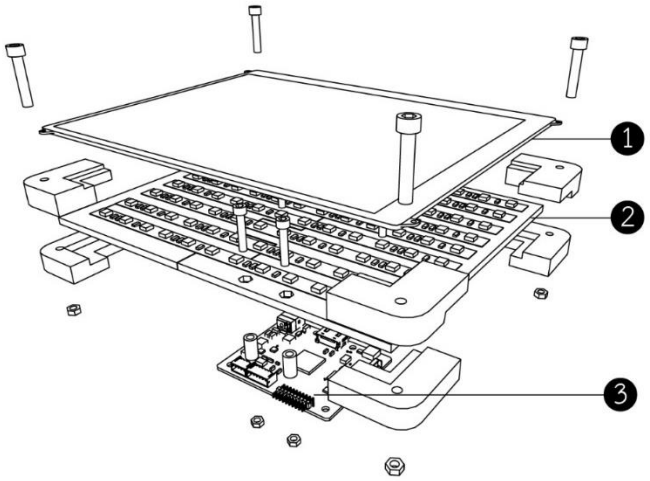


ภาพที่ 21 ซ้าย LCD panel ขวา Backlight

ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ



ภาพที่ 22 Backlight ที่ใช้ UV LED แบบเส้น 12 v
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ



ภาพที่ 23 แบบส่วน LCD ที่เปลี่ยน UV Backlight
1) LCD panel 2) UV Backlight 3) HDMI2EDP-4Kx2K V4.0
ออกแบบโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

2.1.2.2 LCD panel แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านต่างกัน ซึ่งจอ LCD ของ ipad 3 ที่ผู้วิจัยเลือกใช้ ไม่ยอมให้แสง UV ผ่าน หรือผ่านได้น้อยเกินไปจนไม่สามารถทำปฏิกิริยากับเรซิ่นได้ แม้จะใช้เวลาทำปฏิกิริยาถึง 120 วินาทีแล้วก็ตาม แต่แสงจาก Blacklight เดิมนั้น สามารถทำปฏิกิริยากับเรซิ่น daylight ของ Photocentric3D ได้ด้วยระยะเวลา 60 วินาทีต่อ 50 ไมครอน

ตารางที่ 6 ระยะเวลาการแข็งตัวของโฟโตพอลิเมอร์ 50 ไมครอน หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชนิดโฟโตอลิเมอร์	DLP โดยตรง	DLP ผ่าน FSM	LCD	LCD ใช้ UV
1.FTD Deep Black	4500	25000	-	-
2.เรซิ่นผลิตในจีน	1250	3500	-	-
3.แบบผสม 1 และ 2 ที่อัตราส่วน 1:1	1800	14500	-	-
4.Daylight resin	-	-	60000	-

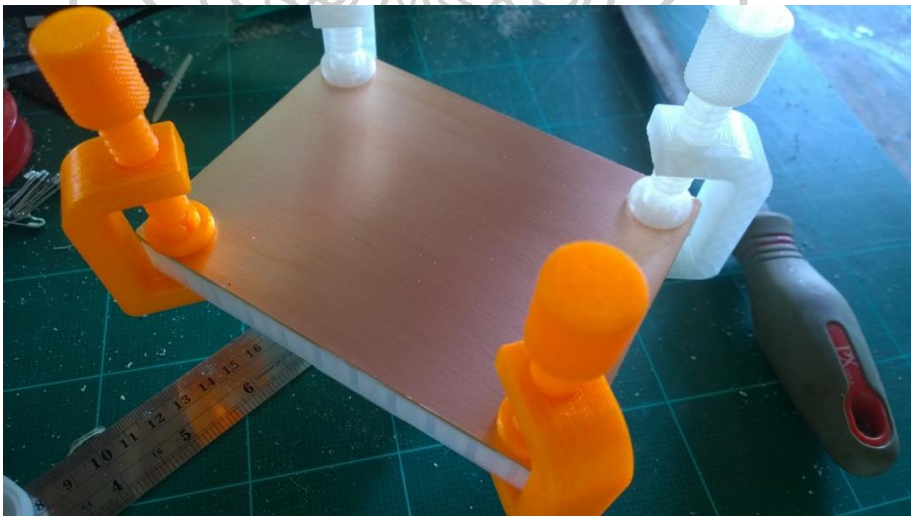
2.2 ผลการออกแบบส่วนพื้นที่การพิมพ์และภาชนะบรรจุเรซิ่นพบว่า ในการออกแบบส่วนพื้นที่การพิมพ์และภาชนะบรรจุเรซินมีข้อควรระวัง และข้อพึงปฏิบัติดังต่อไปนี้

2.2.1 การกัดกร่อนของสารเคมี โฟโตพอลิเมอร์ที่ใช้นั้นส่วนมากมีตัวทำละลายที่สามารถละลายพลาสติกบางประเภทได้ ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้ชิ้นส่วนพลาสติกที่พิมพ์ขึ้นมาจากเครื่องพิมพ์สามมิติแบบ FDM ปกติแล้วเครื่องพิมพ์แบบนี้จะใช้พลาสติกได้หลากหลายแบบ ที่นิยมคือ ABS และ PLA ซึ่งพลาสติกแบบ ABS นั้นไม่สามารถนำมาใช้งานในส่วนนี้ได้ เนื่องจากตัวทำละลายในโฟโตพอลิเมอร์สามารถทำละลายพลาสติก ABS ได้ด้วย ทำให้จำเป็นต้องใช้พลาสติก PLA โดยที่ในขั้นตอนหลังการพิมพ์นั้นพลาสติก ABS สามารถเชื่อมช่องว่างระหว่างชั้นได้ด้วยการอบอะซิโตน ซึ่งจะทำให้ชิ้นส่วนที่ผ่านขั้นตอนนี้แล้วสามารถที่จะบรรจุของเหลวได้ แต่สำหรับ PLA จะไม่สามารถใช้กรรมวิธีดังกล่าวได้ จึงต้องทำการพิมพ์ชิ้นส่วนสามมิติที่สามารถบรรจุของเหลวได้ตั้งแต่ต้น โดยผู้วิจัยทำการทดลองพิมพ์ชิ้นส่วนสามมิติด้วยการปรับตั้งค่าต่างๆ จนกระทั่งได้ค่าที่เหมาะสมในการพิมพ์ ที่การใช้หัวฉีดขนาด 0.4 มิลลิเมตร ความหนาของชั้นพิมพ์ 0.2 มิลลิเมตร ค่า Extrusion multiplier 105% (1.05) Outline parameter ได้ตั้งแต่ 1 ขึ้นไป และ Bottom solid layers 3 ทำให้ชิ้นงานที่พิมพ์ออกมาสามาถนำไปบรรจุของเหลวได้ดังภาพที่ 24

ภาพที่ 24 ชิ้นส่วนที่ตั้งค่าการพิมพ์ที่ถูกต้องจะสามารถนำมาใช้บรรจุของเหลวได้
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

2.2.2 การยึดเกาะของชิ้นงาน แบ่งเป็นสองส่วนคือ

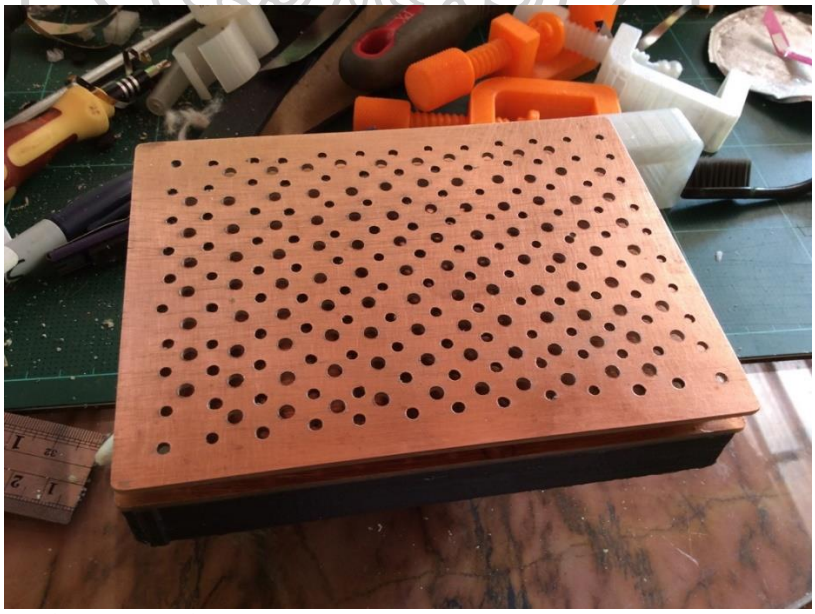
2.2.2.1 พื้นที่การพิมพ์ ตรงส่วนนี้ต้องทำให้เรซิ่นยึดเกาะได้ดี วัสดุที่เลือกใช้เป็นโลหะเรียบ เรซิ่นที่ทำปฏิกิริยาจนแข็งตัวจะสามารถยึดเกาะพื้นผิวโลหะได้ดี ในส่วนตรงนี้จะใช้เพียงพื้นผิวโลหะ หรือจะใช้แผ่นโลหะทั้งชิ้นก็ได้ แต่การใช้โลหะทั้งชิ้นก็จะต้องคิดถึงเรื่องน้ำหนักและการออกแบบแกนเคลื่อนที่ให้รองรับตรงจุดนั้นด้วย เมื่อคำนึงถึงปัจจัยดังกล่าวและการเปลี่ยนชิ้นส่วนในกรณีชำรุดเสียหาย การใช้ผิวโลหะบางๆดังภาพที่ 25 จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือก



ภาพที่ 25 ยึดแผ่น PCB เพื่อทำแท่นพิมพ์
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

แต่การใช้โลหะเรียบทั้งชิ้นด้วยพื้นที่พิมพ์ที่มีขนาดตามที่ผู้วิจัยเลือกใช้นั้นเกิดปัญหาชิ้นงานไม่ติดที่ฐาน เนื่องจากเรซิ่นที่ใช้มีความหนืดมากเมื่อฐานพิมพ์กดลงไปที่จุด 0 ก็จะเกิดเป็นแอ่งเล็กๆ ทำให้การแข็งตัวไม่สม่ำเสมองานพิมพ์จึงไม่ติดฐาน ดังภาพที่ 26 ชิ้นงานจะถูกพิมพ์ซ้ำๆที่ชั้นแรกหรือชั้นที่ติดแน่นกับฟิล์ม ทำให้ต้องเจาะรูที่ฐานเพื่อสร้างทางออกให้กับเรซิ่น และทำให้ฐานพิมพ์และฟิล์ม FEP แนบกันได้ระนาบไม่เป็นแอ่ง ดังภาพที่ 27 ในการพิมพ์สามมิติทุกระบบ ชั้นพิมพ์แรกนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะถ้าชั้นแรกเกิดปัญหา อาจส่งผลให้งานทั้งชิ้นเกิดปัญหาตามไปด้วย อย่างร้ายที่สุดคือชิ้นงานที่พิมพ์เสียหายในลักษณะต่างๆ

ภาพที่ 26 ชิ้นงานไม่ติดฐานพิมพ์
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ



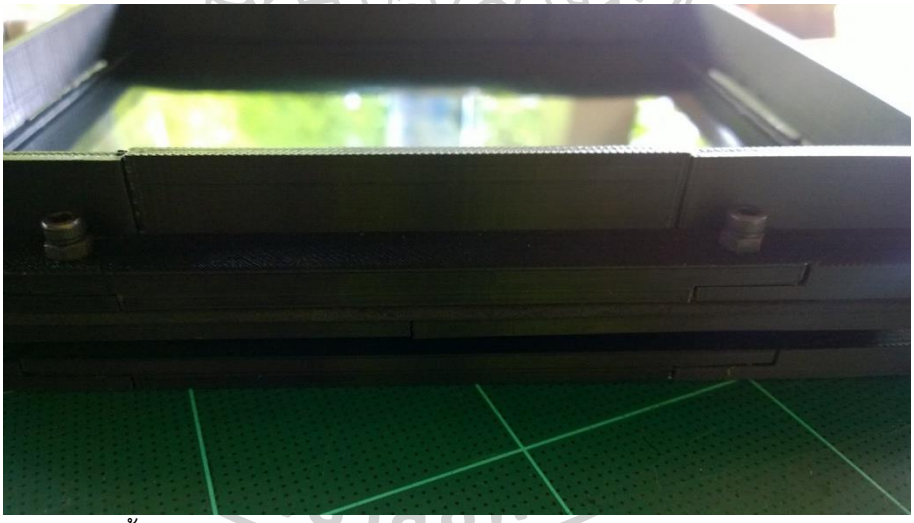
ภาพที่ 27 เจาะรูที่ฐานพิมพ์ เพื่อแก้ปัญหาการพิมพ์ไม่ติดฐาน
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

2.2.2.2 พื้นของภาชนะบรรจุเรซิ่น ตรงส่วนนี้ต้องทำให้เรซิ่นยึดเกาะได้ยาก วัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในกรณีที่ไม่ได้ทำเป็นส่วนที่มีกลไกเคลื่อนไหว หรือ Flex vat คือ ฟิล์มเทฟลอน FEP ซึ่งฟิล์มชนิดนี้จะมีอายุการใช้งาน เนื่องจากเมื่อเรซิ่นทำปฏิกิริยาจนแข็งตัวจะเกิดความร้อนขึ้น และความร้อนดังกล่าวจะค่อยๆทำให้ผิวเคลือบของฟิล์มและตัวฟิล์มเสื่อมสภาพ ตรงจุดนี้เป็นข้อควรระวังสำหรับพื้นของภาชนะบรรจุเรซิ่นทุกๆแบบไม่ใช่เพียงแต่แบบ Flex vat เพียงอย่างเดียว จึงมีวิธีการพิมพ์แบบย้ายตำแหน่งโดยการวางชิ้นงานไว้ในจุดที่แตกต่างกันในการพิมพ์แต่ละครั้งเพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งานของพื้นส่วนนี้ ในการออกแบบต้องคำนึงถึงความตึงของแผ่นฟิล์ม เมื่อบรรจุของเหลวลงไปต้องเรียบตึงไม่เป็นแอ่งที่ตรงกลาง เมื่อสัมผัสกับพื้นที่พิมพ์ขณะที่มีเรซิ่นอยู่ต้องเรียบเสมอกันทุกจุด ไม่เช่นนั้นจะทำให้เกิดปัญหาจนทำให้ชิ้นงานที่พิมพ์ล้มเหลวเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไม่ทั่วถึง ทั้งยังเกิดความร้อนสะสมเนื่องจากการทำปฏิกิริยาต่อเนื่อง ซ้ำๆในจุดๆเดิมเพราะชิ้นเรซิ่นจะติดที่ผิวฟิล์มอีกด้วย ทำให้ฟิล์มเกิดร่องรอยและเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

2.2.2.3 การประกอบและส่วนรั่วซึม ในการออกแบบภาชนะบรรจุเรซิ่นพบว่าในส่วนนี้จำเป็นต้องมีการประกอบกันด้วยส่วนประกอบหลายชิ้น ทำให้ต้องคำนึงถึงการรั่วซึมของเรซิ่นที่เป็นของเหลว ในการออกแบบ ผู้วิจัยได้เลือกเอารูปแบบภาชนะบรรจุแบบ Flex vat เนื่องจากต้องการลดความยุ่งยากในการออกแบบโดยรวม เพราะภาชนะบรรจุแบบดังกล่าวไม่ต้องการกลไกขยับเพิ่มเติม ซึ่งหากต้องใช้กลไกขยับเพิ่มเข้ามาในจุดนี้แล้วก็ต้องคำนึงถึงโปรแกรมคำสั่ง การใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และโครงสร้างต่างๆอีกด้วย ในการออกแบบ Flex vat นั้น จำเป็นต้องประกอบ FEP film ที่มีความลื่นกับชิ้นส่วนอื่นๆเข้าด้วยกัน ซึ่งตรงนี้อาจทำให้เกิดการรั่วซึม ตามภาพประกอบ 4.10 ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาจุดยึดที่พอเหมาะทำให้ไม่เกิดการรั่วซึมดังกล่าวซึ่งระยะการยึดมีส่วนสำคัญ ดังภาพที่ 28 ทำให้ทุกส่วนบีบเข้าหากันในระยะที่พอเหมาะของเหลวที่บรรจุเอาไว้ก็ไม่มีการรั่วซึมใดๆ ผู้วิจัยได้บรรจุน้ำเปล่าที่มีความหนืดน้อยกว่าโฟโตพอลิเมอร์มาก ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 โมง เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีการรั่วซึมของของเหลวเกิดขึ้น ตรงส่วนนี้ผู้วิจัยได้สรุปแบบที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการรั่วซึมตามภาพที่ 29

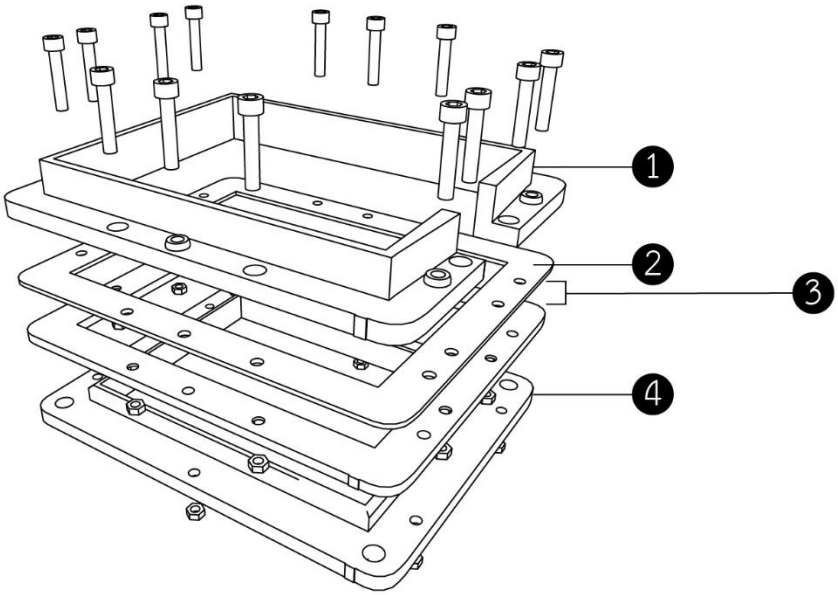
ภาพที่ 28 การรั่วซึมเนื่องจากการแนบกันไม่สนิทของชิ้นส่วน

ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ



ภาพที่ 29 ประกอบชิ้นส่วนใช้กาวติดร่วมกับการใช้สกรูและน็อต

ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ



ภาพที่ 30 แบบ Flex vat

1) ส่วนกักเรซิ่น 2) โฟมอีวีเอ 3)แผ่นฟิล์ม FEP 4) ชิ้นส่วนด้านล่างดันฟิล์มให้ตึง

ออกแบบโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

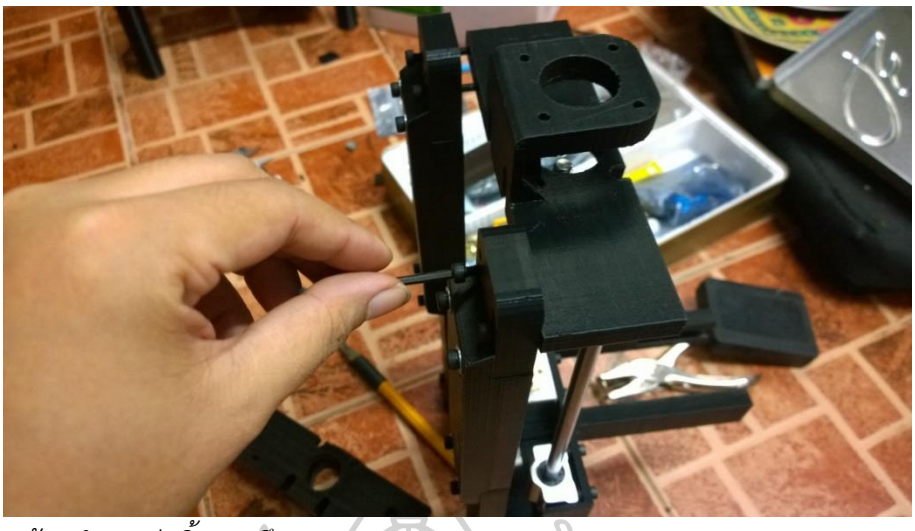
ภาพที่ 31 Flex vat

ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

2.3 ผลการออกแบบแกนเคลื่อนที่แนวตั้งพบว่าแกนเคลื่อนที่จะมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงตลอดเวลาในขณะที่พิมพ์ ในขณะที่เคลื่อนที่นั้นจะทำให้แกนสั่นไปด้วย ดังนั้นการออกแบบในส่วนนี้ต้องทำให้แกนถูกยึดเอาไว้ให้ดี เนื่องจากการสั่นในขณะที่พิมพ์จะทำให้ชิ้นงานพิมพ์มีความคลาดเคลื่อน ดังภาพที่ 32

ภาพที่ 32 ลอนคลื่นจากการขยับไปมาของโครงสร้างแกนเคลื่อนที่
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

ในการออกแบบครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้การพิมพ์ชิ้นส่วนด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติแบบ FDM ทำให้เกิดข้อจำกัดด้านขนาดสูงสุดที่สามารถพิมพ์ได้ ชิ้นงานที่พิมพ์นั้นจำเป็นต้องมีการนำมาต่อกันเพื่อให้ได้ขนาดตามแบบ ส่งผลให้ความแข็งแรงมั่นคงในจุดนี้ยังไม่เพียงพอหากยึดด้วยสกรูเพียงอย่างเดียว สามารถยึดด้วยกาวก่อนเพื่อทำให้ชิ้นส่วนนี้แข็งแรงขึ้นได้ ภาพที่ 33 แสดงจุดเชื่อมต่อที่ยึดแกนเคลื่อนที่แนวตั้ง โดยการออกแบบจะต้องคำนึงถึงขนาด และการทำงานของชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งชิ้นส่วนเหล่านี้จะมีขนาดมาตรฐาน และหน้าที่เฉพาะ ดังรายการตามตารางที่ 7



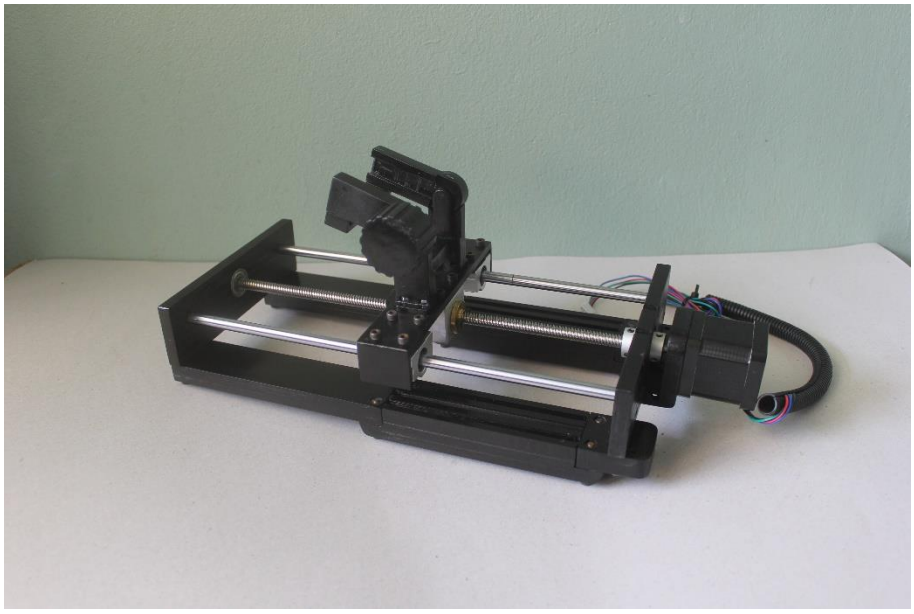
ภาพที่ 33 ต้องทำการต่อชิ้นงานถึงสองจุด

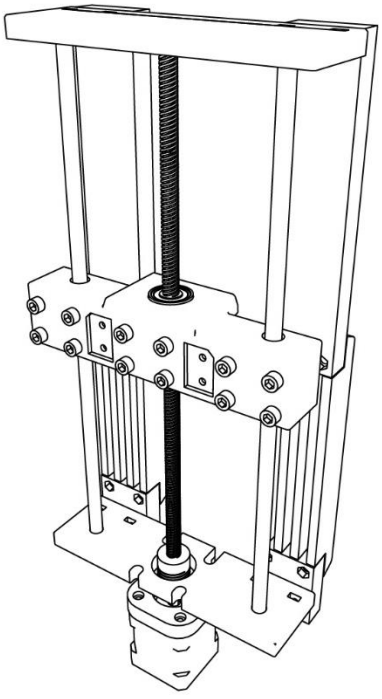
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

ตารางที่ 7 ชิ้นส่วนต่างๆของแกนเคลื่อนที่แนวตั้ง

ชิ้นส่วน	หน้าที่
Stepper motor nema 17	หมุนขยับแกน
Smooth rod 8 mm x 300 mm	ค้ำโครงสร้าง
Lead screw 8 mm x 300 mm	ส่วนขยับที่เชื่อมต่อกับมอเตอร์
Bearing LM8	ประกอบกับ smooth rod เพื่อนำร่องเคลื่อนที่
Bearing 608ZZ	ยึด lead screw
Coupling 5 to 8 mm	เชื่อมมอเตอร์เข้ากับ lead screw

แกนเคลื่อนที่นี้เป็นส่วนสำคัญในการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติส่วนหนึ่ง เราจะสามารถพบแกนเคลื่อนที่ในลักษณะแตกต่างกันไปในเครื่องพิมพ์สามมิติทุกชนิด แต่การทำงานและวิธีคิดหรือการออกแบบโดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะเดียวกัน เพียงแต่จะพบในแต่ละแกนที่แตกต่าง เช่น แกน x y หรือ z แต่ทั้งนี้ก็มีเครื่องพิมพ์สามมิติบางแบบที่มีแกนเคลื่อนที่แตกต่างจากนี้ เช่น Delta และ Scara ภาพที่ 34 แสดงภาพแกนเคลื่อนที่แนวตั้ง หรือ z axis ที่ถูกออกแบบในงานวิจัยชิ้นนี้



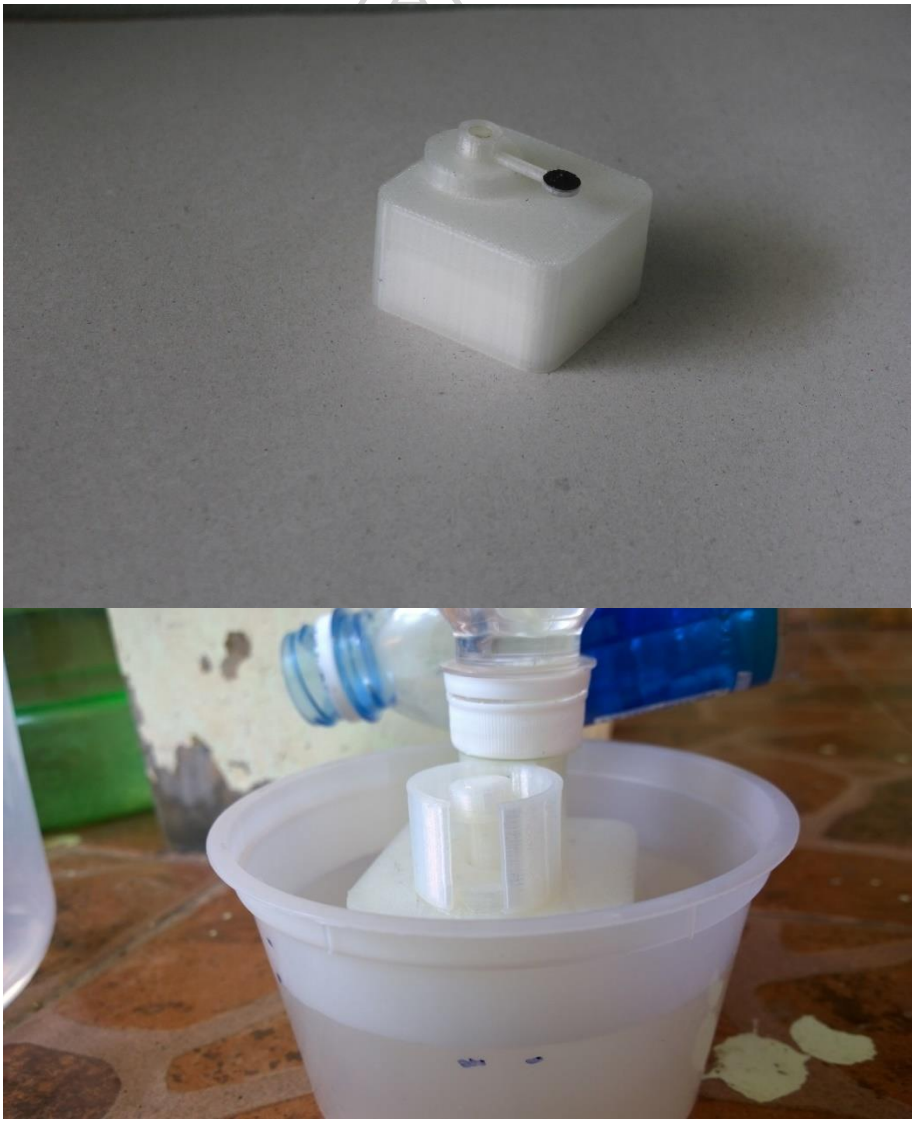


ภาพที่ 34 แกนเคลื่อนที่แนวตั้ง

ออกแบบโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

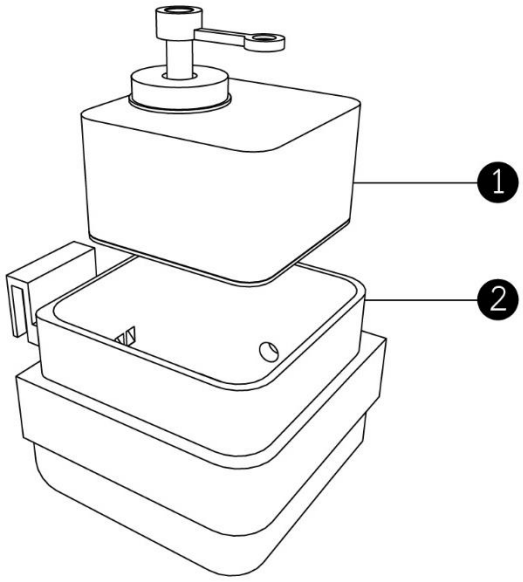
2.4 ผลการออกแบบส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ ในการออกแบบส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์มีส่วนประกอบที่สำคัญสองส่วนคือ

2.4.1 ส่วนควบคุมระดับโฟโตพอลิเมอร์ โดยการใช้ลูกลอย ทำให้ระดับของเหลวถูกเติมใน flexvat ในระดับที่กำหนดไว้ตลอด ด้วยวิธีการนี้ ผู้ใช้งานสามารถเติมเรซิ่นที่ถังได้เลยในขณะที่ยังพิมพ์ชิ้นงานอยู่ ในการออกแบบลูกลอยต้องแน่ใจว่าลูกลอยจะมีขนาดใหญ่พอที่จะดันปิดรูของเรซิ่นได้ หากลูกลอยมีขนาดเล็กเกินไปจะไม่สามารถหยุดของเหลวที่ไหลลงมาได้ และวิธีนี้ของเหลวจะไม่ถูกหยุดโดยสมบูรณ์ในทันทีแต่จะยังไหลเพิ่มมาอีกเล็กน้อยก่อนที่จะหยุดไหลโดยสมบูรณ์ดังภาพที่ 35 และทำการออกแบบให้มีขนาดที่พอดีกับถังเก็บเรซิ่นในส่วนล่างตามภาพที่ 36 ที่ส่วนปลายในจุดที่ต้องอุดรูน้ำไหล ใช้วัสดุที่เป็นยางจะสามารถหยุดการไหลของน้ำได้



ภาพที่ 35 ลูกลอย และการทดสอบ

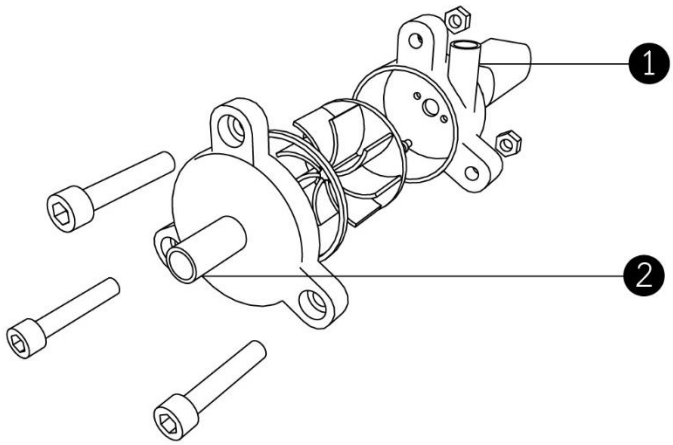
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ



ภาพที่ 36 1) ลูกลอย 2) ถังเก็บเรซิ่นส่วนล่าง
ออกแบบโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

2.4.2 ส่วนดูดโฟโตพอลิเมอร์กลับถังหลังใช้งาน ส่วนนี้จะใช้ที่สูบน้ำขนาดเล็กที่ออกแบบให้ใส่เอาไว้ในถังส่วนล่างได้ ผู้วิจัยเลือกใช้มอเตอร์ขนาดเล็กรุ่น FF-050SK-11170 ที่ใช้แรงดันไฟที่ 9V ซึ่งส่วนจ่ายไฟที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบจ่ายไฟ DC ที่ 5 และ 12V ทำให้ต้องใช้อุปกรณ์แปลงไฟในจุดนี้ด้วย ในครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ โมดูลเรกูเลเตอร์ LM2596S ที่สามารถแปลงแรงดันไฟฟ้าลงได้ตามความต้องการในช่วง 4-35V เพราะมีราคาถูกและง่ายสำหรับการใช้งาน ในการออกแบบที่สูบน้ำขนาดเล็กให้สามารถสูบน้ำได้นั้นต้องออกแบบให้มีทางน้ำเข้าโดยตรงและทางน้ำออกอีกทางหนึ่ง ดังภาพที่ 37 รายละเอียดการออกแบบแสดงในภาพที่ 37 จุดเชื่อมต่อต่างๆเป็นจุดที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบครั้งนี้ด้วย เพราะรอยเชื่อมที่ไม่สนิทจะทำให้เกิดการรั่วซึมของเรซิ่น ต้องใช้ยางรองเอาไว้ในแต่ละจุดที่เชื่อมต่อกันด้วย มอเตอร์ DC จะรับไฟสลับขั้วได้การต่อไปควรคำนึงถึงทิศทางการหมุนของมอเตอร์ด้วย ต้องให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา และมีลมเป่าออกมาที่ด้านทางน้ำออก มอเตอร์รุ่น FF-050SK-11170 จะมีจุดสีแดงอยู่ที่ขั้วด้านหนึ่ง หากต่อเข้ากับขั้วลบการหมุนของมอเตอร์ก็จะไปในทิศทางที่ถูกต้องตามการออกแบบ

ภาพที่ 37 ชิ้นส่วนของส่วนสูบโฟโตพอลิเมอร์
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ



ภาพที่ 38 ส่วนสูบโฟโตพอลิเมอร์ 1) ทางน้ำออก 2) ทางน้ำเข้า
ออกแบบโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

ภาพที่ 39 ส่วนดูดโฟโตพอลิเมอร์กลับถัง
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

2.5 ผลการออกแบบพัฒนารูปแบบของเครื่องพิมพ์สามมิติ เครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA มีส่วนประกอบที่สำคัญต่างๆดังที่กล่าวมาแล้ว แต่ส่วนประกอบสำคัญดังกล่าวยังไม่สามารถที่จะเป็นเครื่องพิมพ์สามมิติที่สมบูรณ์ได้หากขาดโครงสร้างของตัวเครื่องเองดังนั้นจึงต้องออกแบบชิ้นส่วนต่างๆที่สามารถประกอบรวมเป็นเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA ได้ ในการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA จะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้

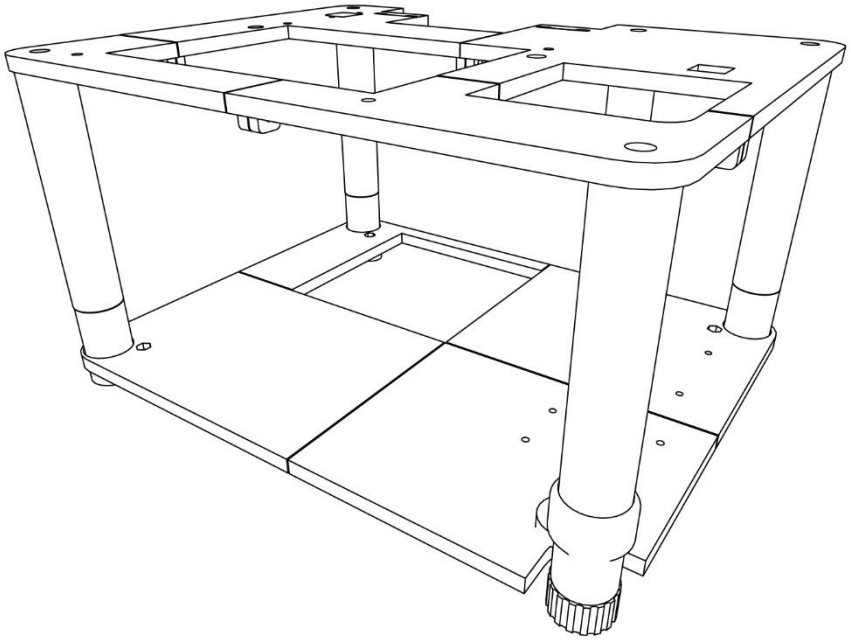
2.5.1 ความแข็งแรง ตัวเครื่องต้องสามารถรองรับการสั่นของแกนเคลื่อนที่ได้ต้องมีเสาหรือส่วนค้ำยันโครงสร้าง ในเบื้องต้นผู้วิจัยได้ออกแบบส่วนค้ำยันเป็นแบบเสากลม แสดงในภาพที่ 40 แต่ด้วยวัสดุที่ใช้มีน้ำหนักเบาทำให้ความแข็งแรงที่ได้ยังไม่ดีเท่าที่ควร มีการโยกคลอนของโครงสร้าง

ภาพที่ 40 โครงสร้างของตัวเครื่อง
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

ในขณะทำการทดลอง ได้เกิดอุบัติเหตุม้วนพลาสติกน้ำหนัก 1 กก. ตกลงใส่โครงเครื่องที่ประกอบเอาไว้ จากความสูง 70 ซ.ม. เกิดความเสียหายขึ้นดังภาพที่ 41 อุบัติเหตุครั้งนี้ทำให้ทราบว่าแม้โครงสร้างจะมีการโยกคลอน แต่ชิ้นส่วนที่พิมพ์ด้วยพลาสติก PLA ก็มีความแข็งแรงระดับหนึ่ง นอกจากนี้บริเวณที่แตกหักนั้นมีความเปราะเนื่องจากเส้นพลาสติกที่ใช้เริ่มเสื่อมสภาพ จึงทำให้เกิดความเสียหายดังที่ปรากฏ

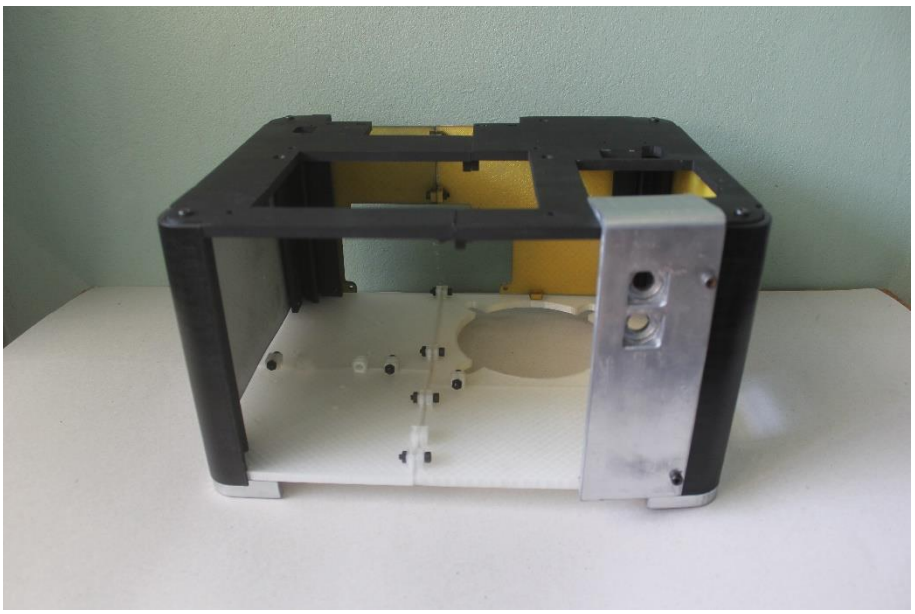
ภาพที่ 41 ความเสียหายจากการตกกระแทก
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

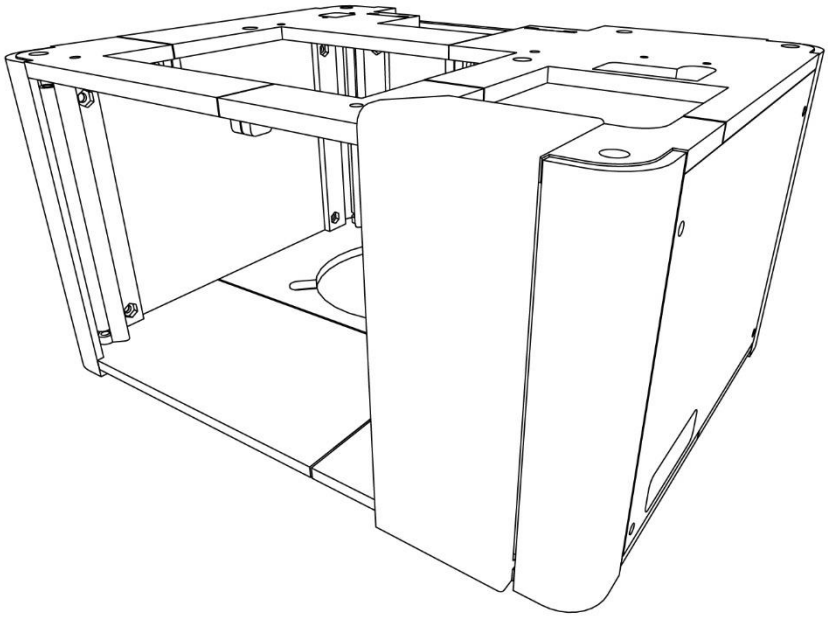
ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโครงสร้างครั้งที่ 1 ในลักษณะดังภาพที่ 42 จะเห็นว่ามีการแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นชิ้นๆแล้วทำการประกอบเข้าด้วยกันอีกทีเนื่องจากข้อจำกัดในการสร้างชิ้นส่วนด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติแบบ FDM ที่สามารถพิมพ์ได้ในพื้นที่ 20^3 ซ.ม.



ภาพที่ 42 การออกแบบโครงสร้างครั้งที่ 1
ออกแบบโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

ในการออกแบบครั้งที่ 2 โครงสร้างถูกปิดด้านข้างนอกจากเพื่อความเรียบร้อยแล้วยังทำหน้าที่เป็นส่วนค้ำยันด้วย เสาค้ำถูกเปลี่ยนใหม่ให้มีรูปร่างโค้งรับกันทั้งชิ้นดังภาพที่ 43



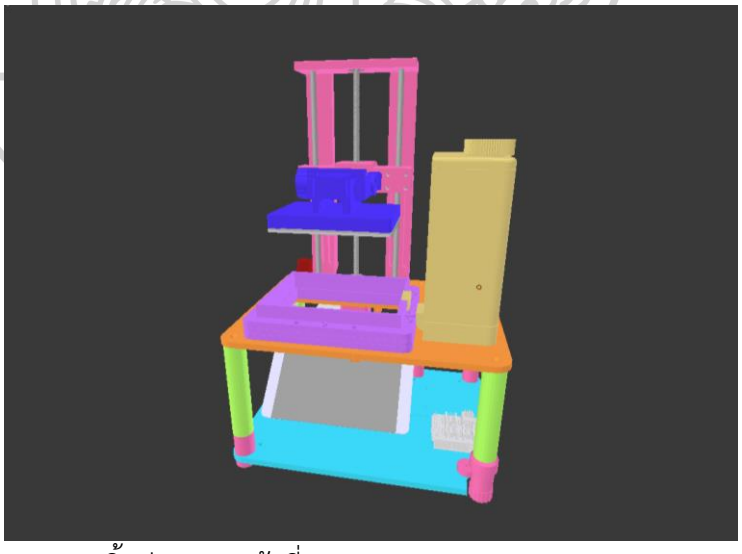


ภาพที่ 43 การออกแบบโครงสร้างครั้งที่ 2
ออกแบบโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

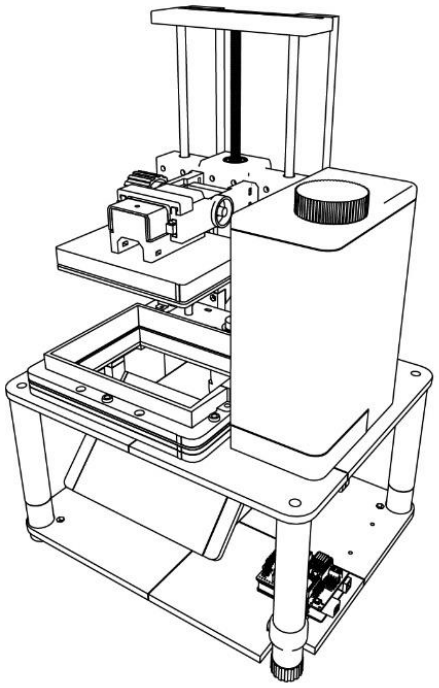
2.5.2 ส่วนที่มีการขยับ เครื่องพิมพ์สามมิติจะมีส่วนที่ต้องขยับไปมาหลายส่วน ในการออกแบบต้องคำนึงถึงจุดขยับเหล่านี้ด้วย การใช้ตลับลูกปืนจะช่วยให้การขยับหมุนในจุดต่างๆมีประสิทธิภาพมากขึ้น และยังช่วยให้งานประกอบแน่นหนาขึ้น มีน้ำหนักมากขึ้นเพราะชิ้นส่วนที่พิมพ์ด้วย PLA จะมีน้ำหนักเบา และมั่นคงขึ้น ภาพที่ 44

ภาพที่ 44 การใช้ตลับลูกปืนในจุดขยับ
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

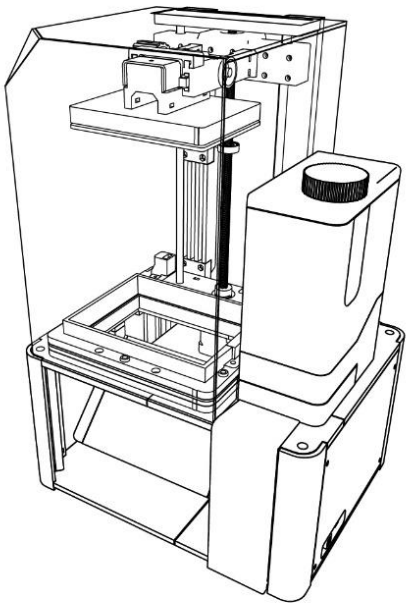
2.5.3 ความง่ายในการถอดประกอบส่วนต่างๆ เนื่องจากเครื่องพิมพ์สามมิติอาจมีส่วนติดขัดหรือชำรุด การที่แยกชิ้นส่วนต่างๆให้ง่ายต่อการถอดประกอบจึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบ ชิ้นส่วนที่แยกกันเป็นชุดตามหน้าที่การทำงานทำให้ง่ายต่อการถอดประกอบ ดังภาพที่ 45 และทำการออกแบบได้เป็นแบบที่ 1 แสดงในภาพที่ 46 และแบบที่ 2 แสดงในภาพที่ 47



ภาพที่ 45 สีแสดงการแยกชิ้นส่วนจากหน้าที่
ออกแบบโดย เชษฐชาติ ทาชาติ



ภาพที่ 46 แบบที่ 1
ออกแบบโดย เชษฐชาติ ทาชาติ



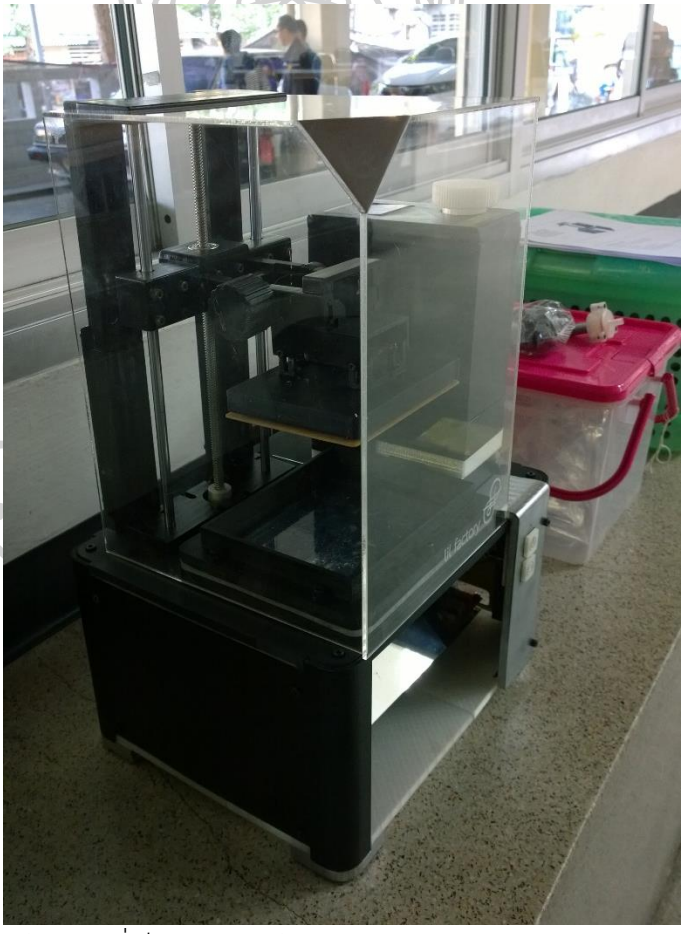
ภาพที่ 47 แบบที่ 2
ออกแบบโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

เมื่อนำแบบที่ 2 มาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ แล้วได้เครื่องพิมพ์สามมิติที่มีคุณสมบัติตามตารางที่ 8 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 8คุณสมบัติของเครื่องพิมพ์

ขนาดเครื่อง	324x273x488 มิลลิเมตร
ระบบการพิมพ์	สเตอริโอลิโธกราฟีแบบ DLP
ขนาดพื้นที่พิมพ์	135x100x210 มิลลิเมตร
ความละเอียดแกน XY	100 ไมครอน*
ความละเอียดแกน Z	25, 50, 100 ไมครอน
ความจุเรซิ่นในถัง	800 มิลลิลิตร

* สามารถปรับค่าได้จากการโฟกัสโปรเจคเตอร์ร่วมกับการใช้ Close-up lens



ภาพที่ 48 เครื่องพิมพ์สามมิติที่เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

ภาพที่ 49 ส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์
ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์

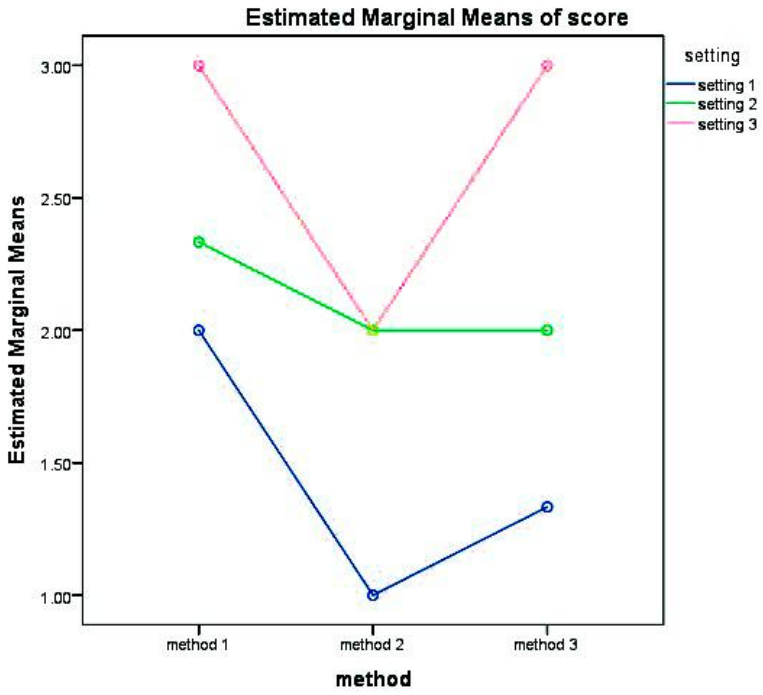
1. การวิเคราะห์ผลการประเมินประสิทธิภาพในส่วนเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้ปัจจัยด้าน ความสมบูรณ์ การติดฐาน และความมั่นคง ของชิ้นงาน มีตัวแปรเป็นการตั้งค่าการพิมพ์ที่ต่างกัน 3 ระดับ โดยใช้โมเดล 3 มิติ Make rook (เข้าถึงได้จาก https://www.thingiverse.com/thing:533652) ในกรทดสอบ แต่ละระดับจะพิมพ์ชิ้นงานออกมาระดับละ 3 ชิ้น มีผลการทดลองตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการทดลองประสิทธิภาพ

ความสมบูรณ์			การติดฐาน			ความมั่นคง		
ค่า 1	ค่า 2	ค่า 3	ค่า 1	ค่า 2	ค่า 3	ค่า 1	ค่า 2	ค่า 3
2	2	3	1	2	2	1	2	3
2	3	3	1	2	2	2	2	3
2	2	3	1	2	2	1	2	3

ค่าที่ 1 ใช้แท่นพิมพ์แบบปรับไม่ได้ แกนเคลื่อนที่ไม่ถูกยึด ระยะเวลาฉายแสง 9500 มิลลิวินาที
ค่าที่ 2 ใช้แท่นพิมพ์แบบปรับ 4 จุด ยึดแกนเคลื่อนที่ ระยะเวลาฉายแสง 12500 มิลลิวินาที
ค่าที่ 3 ใช้แท่นพิมพ์แบบปรับ 4 จุด ยึดแกนเคลื่อนที่ ยึดแกนเพลา ระยะเวลาฉายแสง 14500 มิลลิวินาที
เลข **1** มีค่าเท่ากับน้อยที่สุด, **2** มีค่าเท่ากับปานกลาง, **3** มีค่าเท่ากับมากที่สุด

จากตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่า ปัจจัยด้านชนิดของแท่นพิมพ์แท่นพิมพ์มีผลต่อการติดฐานพิมพ์ เมื่อใช้แท่นพิมพ์แบบปรับได้ 4 จุดจะได้ค่าการติดฐานดีที่สุด ปัจจัยในการยึดแกนเคลื่อนที่ส่งผลต่อความมั่นคงในการพิมพ์ งานพิมพ์ที่ได้จะถูกลดการสั่นในแนวตั้งลงตามลำดับ เมื่อทำการยึดแกนในการตั้งค่าที่ 2 และ 3 จะทำให้ชิ้นงานที่พิมพ์มีคุณภาพดีขึ้นตามลำดับ ปัจจัยด้านระยะเวลาการฉายแสงส่งผลต่อค่าความสมบูรณ์ เมื่อใช้ระยะเวลาการฉายแสงที่มากขึ้นจะทำให้มีความสมบูรณ์ของชิ้นงานที่พิมพ์มากขึ้น และเมื่อทำการพลอตด้วยโปรแกรม SPSS ทำให้ได้ข้อมูลเป็นแผนภาพ ดังภาพที่ 50



ภาพที่ 50 แผนภาพ Estimated marginal means คะแนนการประเมินประสิทธิภาพ

จากภาพที่ 50 เห็นได้ว่า การตั้งค่าแบบที่ 3 สามารถทำคะแนนได้ดีกว่าแบบอื่นๆ ผู้วิจัยพบว่าในการตั้งค่าซอฟต์แวร์ที่เหมาะสมกับเรซิ่นที่ใช้ในการวิจัยนี้นี้คือ 14500 มิลลิวินาที ต่อความหนา 50 ไมครอน โดยตั้งค่าที่ 3 ชั้นแรกที่ 17500 มิลลิวินาที การยกตัวระหว่างชั้น 5 มิลลิเมตร จะให้ผลการพิมพ์ที่ดีที่สุด ดังภาพที่ 51 และเห็นได้ว่าในส่วนของการทดสอบการติดฐาน ทั้งการตั้งค่าที่ 2 และ 3 มีค่าเดียวกัน คือ บริเวณตรงกลางของ Flex vat ยังคงมีแอ่งเล็กๆ ทำให้การติดฐานบริเวณนั้นยังไม่ดีเท่าที่ควร แม้จะปรับค่าซอฟต์แวร์แบบใดใดก็ตาม

ภาพที่ 51 ชิ้นงานที่พิมพ์จากการตั้งค่า 1 2 และ 3 ตามลำดับ

ถ่ายภาพโดย เชษฐชาติ ทาชาติ

2. การวิเคราะห์ผลการทดลองส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์

2.1 การทดลองส่วนควบคุมระดับโฟโตพอลิเมอร์ใน Flex vat พบว่า ระดับน้ำจะถูกหยุดด้วยลูกลอยและค่อยๆถูกเติมเมื่อระดับน้ำลดลงอย่างช้าๆ ทำให้ไม่เป็นการรบกวนขั้นตอนการพิมพ์แม้เรซิ่นจะเพิ่มระดับเองตอนไหนก็ตาม

2.2 การทดลองส่วนสูบโฟโตพอลิเมอร์กลับเข้าสู่ถังเรซิ่นพบว่า เครื่องสูบน้ำขนาดเล็กที่ออกแบบในการวิจัยนี้สามารถสูบน้ำ และปล่อยน้ำผ่านท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ที่ปลายท่อสูงจากเครื่อง 40 เซนติเมตรได้ ทำให้สามารถสูบน้ำไปปล่อยในถังตามแบบที่มีความสูงเพียง 14 เซ็นติเมตรได้อย่างไม่เป็นปัญหา

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยเรื่อง การออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีสำหรับใช้งานบนโต๊ะทำงานพร้อมด้วยส่วนจัดการชิ้นงานหลังการพิมพ์ ผู้วิจัยได้ทำการสรุปผลดังนี้

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและออกแบบออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีสำหรับใช้งานบนโต๊ะทำงานพร้อมด้วยส่วนจัดการชิ้นงานหลังการพิมพ์ เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผู้วิจัยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1. ผลการศึกษาเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพบว่า เครื่องพิมพ์สามมิติประเภท SLA สามารถสรุปโดยแบ่งจากหัวข้อศึกษาได้ดังต่อไปนี้

1.1 แหล่งกำเนิดแสง ในการวิจัยครั้งนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นโปรเจคเตอร์ชนิด DLP ที่มีความละเอียด 1024x768 สามารถฉายแสงทำปฏิกิริยาที่ 50 ไมครอนโดยฉายสะท้อนผ่านกระจกแบบ front surface ในเวลา 14500 มิลลิวินาที

1.2 ส่วนพื้นที่การพิมพ์และภาชนะบรรจุเรซิ่น ผลการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.2.1 ส่วนพื้นที่พิมพ์ ใช้จุดปรับระนาบสี่มุมเพื่อให้สามารถปรับส่วนแท่นพิมพ์ให้ได้ระนาบกับ Flexvat ส่วนผิวหน้าที่ให้ชิ้นงานยึดเกาะใช้หน้าทองแดงของแผ่น PCB โดยทำการเจาะรูเพื่อให้ไม่เกิดแอ่งเรซิ่นขึ้นในขณะที่พิมพ์ ส่วนของการยึดแท่นพิมพ์เข้ากับตัวเครื่องใช้วิธีการเสียบสไลด์เพื่อความสะดวกของผู้ใช้งาน

1.2.2 ส่วนภาชนะบรรจุเรซิ่น ในการพิมพ์ชิ้นส่วนจากเครื่องพิมพ์สามมิติแบบ FDM ต้องตั้งค่าการพิมพ์ให้เหมาะสมเพื่อให้ชิ้นงานไม่รั่วซึม ค่าที่เหมาะสมสำหรับโปรแกรม Simplify 3D คือ ความหนาของชั้นพิมพ์ 0.2 มิลลิเมตร ค่า Extrusion multiplier 105% (1.05) Outline parameter สามารถตั้งค่าได้ตั้งแต่ 1 ขึ้นไป และ Bottom solid layers 3 และใช้พลาสติกชนิด PLA ฟิล์ม FEP ต้องขึงให้ตึงเพื่อให้แผ่นฟิล์มได้ระนาบกับส่วนพื้นที่พิมพ์ ไม่เกิดแอ่งเรซิ่น ทำให้ไม่เกิดปัญหาในการพิมพ์

1.3 แกนเคลื่อนที่แนวตั้ง ในการวิจัยครั้งนี้ใช้แกนเคลื่อนที่แนวตั้งที่ออกแบบโดยใช้แกนเพลา (8mm smooth rod) สองเส้น และ lead screw มีความยาวที่ 30 ซม. แกนเคลื่อนที่มีระยะเคลื่อนที่ทำการ 21 ซม. ใช้ตัวขับเคลื่อนเป็นสเต็ปมอเตอร์ Nema 17 ขับ 1.5A ต่อเฟส หมุนเฟสละ

1.8° 200 เฟส ปรับตั้งค่าการเคลื่อนที่ให้มีความเที่ยงตรงโดยใช้ค่า $102=397.148 บนโปรแกรม Grbl Controller 3.6.1

1.4 ส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์ สามารถช่วยผู้ใช้งานในการจัดการกับโฟโตพอลิเมอร์ช่วยลดกระบวนการได้หลายขั้นตอน ทั้ง ขั้นตอนการตรวจระดับเรซิ่นใน flexvat ขั้นตอนการเก็บเรซิ่น ทำให้การใช้งานเครื่องพิมพ์สามมิติมีความสะดวกปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

2. ผลการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์พบว่า เครื่องพิมพ์สามมิติแบบที่ 2 สามารถแก้ปัญหาการโยกคลอนของชิ้นงาน การติดฐานพิมพ์ จากเครื่องพิมพ์แบบที่ 1 ด้วยการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างแลแกนเคลื่อนที่ โดยสามารถพิมพ์ชิ้นงานที่ความละเอียดแกน Z 50 ไมครอน ได้ 8.2 มม. ต่อ 1 ชม. ด้วยการป้อนค่า Slice Thickness 0.05mm, Exposure Time Per layer 14500ms, Bottom Layers Exposure Time 17500ms, Lift and Sequence Time 6600ms

3. ผลการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์พบว่า ในด้านการพิมพ์ โดยการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์แบบที่ 2 จากการทดสอบสรุปได้ว่า การเสริมความแข็งแรงของแกนเคลื่อนที่ แท่นพิมพ์ และการปรับค่าพิมพ์ที่เหมาะสม ดังการตั้งค่าที่ 3 ของการทดลอง ให้ผลการพิมพ์ที่มีประสิทธิภาพที่สุด โดยระยะเวลาในการฉายแสงมีผลต่อรายละเอียดขนาดเล็ก หากระยะเวลาในการฉายแสงน้อยเกินไปจะทำให้ไม่สามารถพิมพ์รายละเอียดขนาดเล็กได้ พบว่าการฉายแสงเป็นระยะเวลาต่ำกว่า 14500 มิลลิวินาที ไม่สามารถขึ้นรูปเกลียวคู่ในแบบโมเดลสามมิติที่ใช้ทดสอบได้ ความแข็งแรงของแกนเคลื่อนที่และแท่นพิมพ์ส่งผลต่อการสั่นและความสมบูรณ์ของชิ้นงานในแนวตั้ง ในการตั้งค่าที่ 3 ที่มีการเสริมความแข็งแรงของแกนเคลื่อนที่และแท่นพิมพ์พบว่าชิ้นงานที่พิมพ์มีความสมบูรณ์ในแนวตั้งมากที่สุด ส่วนเก็บเรซิ่นสามารถบรรจุเรซิ่นได้ 750 มล. เติมเรซิ่นใน flexvat ที่ระดับ 7 มม. เป็นปริมาตร 130 มล. โดยประมาณ ส่วนสูบกลับเรซิ่นสามาถสูบของเหลวขึ้นผ่านท่อสูงได้ 40 ซม.

อภิปรายผล

ผู้วิจัยสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. อภิปรายผลการศึกษาเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี

1.1 ด้านข้อมูลการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี เครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีแบบ DLP มีความเหมาะสมสำหรับการใช้สร้างชิ้นงานต้นแบบที่ต้องการความละเอียดสูง สามารถพิมพ์งานชิ้นเล็กที่ต้องการรายละเอียดได้ดี สอดคล้องกับ(Lin Y.S., 2017) และพิมพ์ได้ครั้งละหลายชิ้นพร้อมๆกัน

1.2 ด้านข้อมูลการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการศึกษามีราคาถูก ใช้งานง่าย มีความเที่ยงตรง และยังปรับประยุกต์ให้ใช้สำหรับงานประเภทอื่นได้

1.3 ด้านข้อมูลการใช้งานซอฟต์แวร์ Grbl เฟิร์มแวร์ที่ใช้เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี สามารถปรับตั้งค่าต่างๆได้ง่ายหากมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ เช่น สเต็ปมอเตอร์ หรือ ไดรเวอร์ ซอฟต์แวร์สไลเซอร์ที่ใช้ในการวิจัยอย่าง Creator Workshop ก็มีความเหมาะสมสำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติที่สร้างเอง เนื่องจากตัวซอฟต์แวร์สามารถปรับค่าต่างๆให้ตรงกับคุณสมบัติของเครื่องที่ออกแบบได้ เช่น ขนาดพื้นที่ในการพิมพ์ ความละเอียดของแหล่งกำเนิดแสง และช่องทางที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องพิมพ์กับคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถสั่งการเครื่องพิมพ์สามมิติได้เป็นอย่างดี

2. อภิปรายผลการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์

2.1 ด้านกรอบแนวคิดที่ใช้ในการออกแบบ การใช้แนวคิดการวางแผนผลิตภัณฑ์นวัตกรรมแห่งคุณค่าทำให้สามารถหาวิธีการแก้ปัญหาใหม่ คือการแก้ปัญหาในการจัดการโฟโตพอลิเมอร์ ทำให้การใช้งานเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีมีความสะดวกและปลอดภัยมากขึ้น

2.2 ด้านการออกแบบ เครื่องพิมพ์สามมิติสามารถใช้งานได้เหมาะสมกับการใช้เป็นเครื่องสร้างต้นแบบสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือแม้แต่การใช้ในงานอดิเรก สอดคล้องกับ(Ramji Panday, 2014) เนื่องจากพื้นที่พิมพ์มีขนาด 135x100x210 มม. ทำให้รองรับการพิมพ์ที่หลากหลาย

2.3 ด้านวัสดุที่ใช้ วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย และมีราคาถูก ทำให้เครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์นี้สามารถสร้างได้ง่ายและใช้งบประมาณในการสร้างไม่มาก

2.4 ด้านการผลิตจำนวนมาก เครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์นี้สามารถผลิตซ้ำได้ง่าย สามารถผลิตได้ด้วยเครื่องมือที่หาง่ายอย่างเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ FDM ทำให้การผลิตจำนวนมากสามารถทำได้โดยยังคงคุณภาพ และควบคุมงบประมาณในการผลิตได้

3. อภิปรายผลการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์

จากการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติต้นแบบพบว่า เครื่องพิมพ์สามารถพิมพ์ชิ้นงานได้ด้วยการตั้งค่าการพิมพ์ที่เหมาะสมคือการตั้งค่าที่ 3 ในการทดสอบประสิทธิภาพ มีรายละเอียดในการพิมพ์ดีสามารถพิมพ์ส่วนที่มีขนาดเล็กได้ดี สอดคล้องกับ(Tyler Finnes, 2015) จากการทดสอบสามารถพิมพ์ส่วนที่มีลักษณะเป็นเส้นที่มีขนาด 0.5 มม.ได้ และมีความสามารถพิมพ์ได้คราวละหลายชิ้น ทำให้สามารถนำไปใช้ได้ในงานที่หลากหลาย ส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์สามารถ

ลดขั้นตอนในการจัดการโฟโตพอลิเมอร์ลง ทำให้เกิดความสะดวกและปลอดภัยจากสารเคมีมากขึ้น เนื่องจากผู้ใช้จะมีขั้นตอนที่สัมผัสโฟโตพอลิเมอร์ลดลง

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำการวิจัยไปใช้

1.1 งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เพื่อส่งเสริมธุรกิจ ในส่วนของการออกแบบได้ โดยเหมาะอย่างยิ่งสำหรับธุรกิจขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ที่ต้องการเพิ่มศักยภาพในการผลิต และออกแบบ เพราะสามารถที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่มีประสิทธิภาพได้จากเครื่องพิมพ์สามมิติระบบ SLA ที่มีราคาไม่สูงนัก

1.2 โฟโตอลิเมอร์หลายยี่ห้อในท้องตลาด มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ทั้งคุณสมบัติทางเคมี ความหนืด ผู้ที่นำงานวิจัยชิ้นนี้ไปใช้ควรศึกษาเรื่องนี้เพิ่มเติม เช่นเดียวกับพลาสติกที่ใช้ในการพิมพ์ชิ้นส่วนของเครื่องพิมพ์ ไม่ใช่มีเพียงแต่ PLA เท่านั้นที่ใช้ได้ และในอนาคตอาจมีพลาสติกที่ใช้ได้ดีหาได้ง่าย และมีราคาถูกยิ่งกว่า PLA

1.3 ชิ้นส่วนที่ประกอบตัวเครื่อง ในเบื้องต้นผู้วิจัยต้องการที่จะให้เป็นแผ่นอะคริลิค หรือ MDF แต่ด้วยปัจจัยต่างๆไม่อำนวยจึงใช้เป็นชิ้นส่วนที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์สามมิติแทน แต่ถ้าสามารถใช้วัสดุเหล่านั้นหรือวัสดุที่เป็นชิ้นเดียวกันได้เลยผู้วิจัยเชื่อว่าจะทำให้โครงสร้างของเครื่องพิมพ์มีความแข็งแรงมากขึ้น

1.4 ในส่วนของการจัดการโฟโตพอลิเมอร์ เมื่อทำการดูดเรซิ่นกลับเข้าถัง จะเหลือเรซิ่นค้างอยู่ใน Flexvat ต้องใช้อุปกรณ์ปาดเรซิ่นเหล่านั้นให้เข้าไปที่ช่องระบายทางด้านขวา

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 สามารถนำไปต่อยอดในด้านวัสดุ หรือแม้กระทั่งการออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2.2 ควรศึกษาเครื่องพิมพ์ SLA แบบอื่นๆเพื่อหาระบบที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาต่อไป เพราะแม้แต่ในตอนนี้ ทั้งสามแบบก็ต่างมีข้อดีข้อด้อย หากทำการศึกษาให้ดีแล้วอาจพบสิ่งที่เหมาะสมน่าสนใจมากกว่า

2.3 การลดการใช้ชิ้นส่วนจากเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับการออกแบบระบบที่ต้องการความแข็งแรง และการมองถึงเป้าหมายในการผลิตจำนวนมาก

2.4 การศึกษาในส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในการวิจัยชิ้นนี้เป็นเพียงการศึกษาอย่างง่ายเท่านั้น หากมีการต่อยอดควรทำการศึกษาในด้านนี้เพิ่มเติม

รายการอ้างอิง

เครื่องจักรสูบน้ำ. Retrieved from http://kmcenter.rid.go.th/kcome/pumping.pdf

นวภัทรา หนูนาค. float / อุปกรณ์วัดระดับชนิดลูกลอย. Retrieved from http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7261/float-%E0%B8%AD%E0%B8%B8%E0%B8%9B%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%93%E0%B9%8C%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%94%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%8A%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B8%94%E0%B8%A5%E0%B8%B9%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%A2

ไปรมา อิศรเสนา ณ อยุธยา. (2553). กลยุทธการวางแผนผลิตภัณฑ์ 'นวัตกรรมแห่งคุณค่า'. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 1, 161-174.

สเต็ปเปอร์มอเตอร์. Retrieved from http://www.inventor.in.th/home/%E0%B8%AA%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B9%87%E0%B8%9B%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%A1%E0%B8%AD%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C/

สเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor). Retrieved from http://narong.ece.engr.tu.ac.th/ei444/document/15-stepper_motor.pdf

(#3DBenchy-A Small Giant in the World of 3D Printing. Retrieved from http://www.3dbenchy.com/3dbenchy-a-small-giant-in-the-world-of-3d-printing/

Autodesk. Ember is open. Retrieved from https://ember.autodesk.com/overview#open_source

Bertus Kruger. Arduino CNC Shield V3.XX – Assembly Guide. Retrieved from http://blog.protoneer.co.nz/arduino-cnc-shield-v3-00-assembly-guide/

Dana Goldberg. (2014). History of 3D Printing: It's Older Than You Are (That Is, If You're Under 30). Retrieved from https://www.autodesk.com/redshift/history-of-3d-printing/

Drew Prindle. How we test 3D printers. Retrieved from https://www.digitaltrends.com/cool-tech/how-we-test-3d-printers/

Evan S. Schwahn. (2015). *Using Controlled Curing in a Custom Stereolithography-based 3D Printing Machine to Obtain Draded Property Vaiaions.* (Master Degree), University of Nebraska.

Form labs. 3D printing technology Comparison: SLA vs. DLP. Retrieved from https://formlabs.com/blog/3d-printing-technology-comparison-sla-dlp

Lin Y.S., Y. C. J. (2017). *Design and Fabrication of A Self-Adjusted Mechanism in Combination with Passive Peeling fo effective Separation Used in Digital Light Processing(DLP) 3D Printer.* National Cheng Kung University.

mastermind. Chimera: $60 DLP High-Res 3D Printer. Retrieved from http://www.instructables.com/id/Chimera-60-DLP-resin-3d-printer/

Photocentric 3D. The concept. Retrieved from https://photocentric3d.com/?v=5b79c40fa7c2

Ramji Panday. (2014). *Photopolymers in 3D Applications.* (Degree thesis), Arcada.

Reprap. Pololu stepper driver board. Retrieved from http://reprap.org/wiki/Pololu_stepper_driver_board

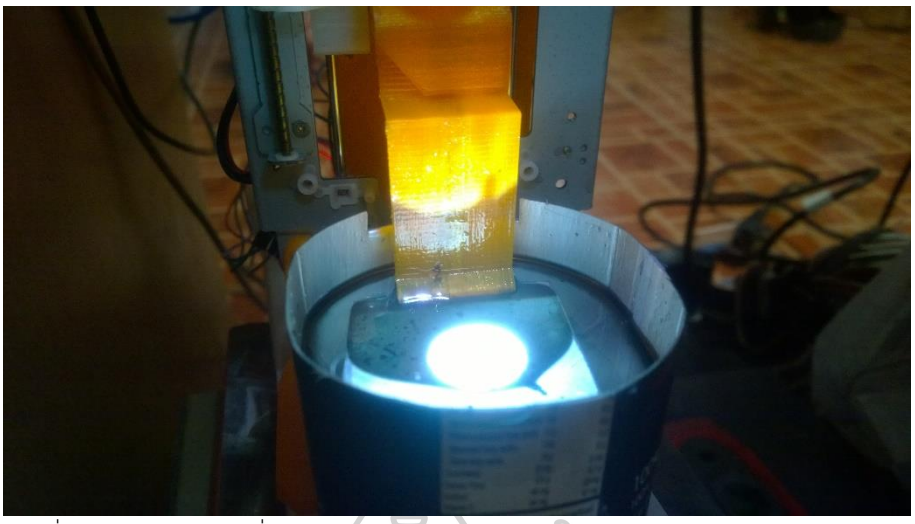
Savla Associates. Stereolithograpy/3D Printing/Additive fabrication. Retrieved from http://www.photopolymer.com/stereolithography.htm

Tyler Finnes. (2015). High Definition 3D Printing-Comparing SLA and FDM Printing Technologies. *The journal of undergraduate Research,* 13.

Wiwat Nuansing. Retrieved from https://www.youtube.com/user/aLittleSpider/videos

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ภาพขั้นตอนการศึกษาข้อมูล และขั้นตอนการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์

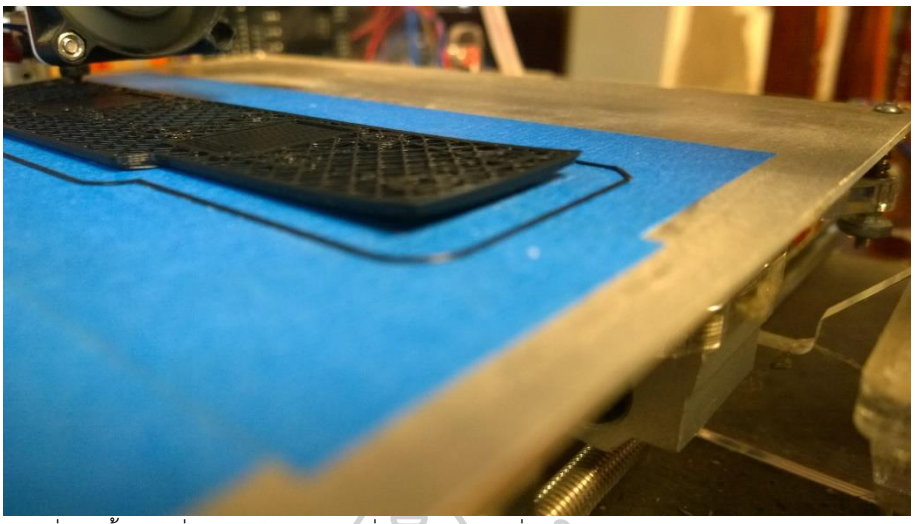


ภาพที่ 47 การพิมพ์ด้วยเครื่องแบบ Chimera

ภาพที่ 48 ชิ้นงานที่พิมพ์ด้วยเครื่องแบบ Chimera 1

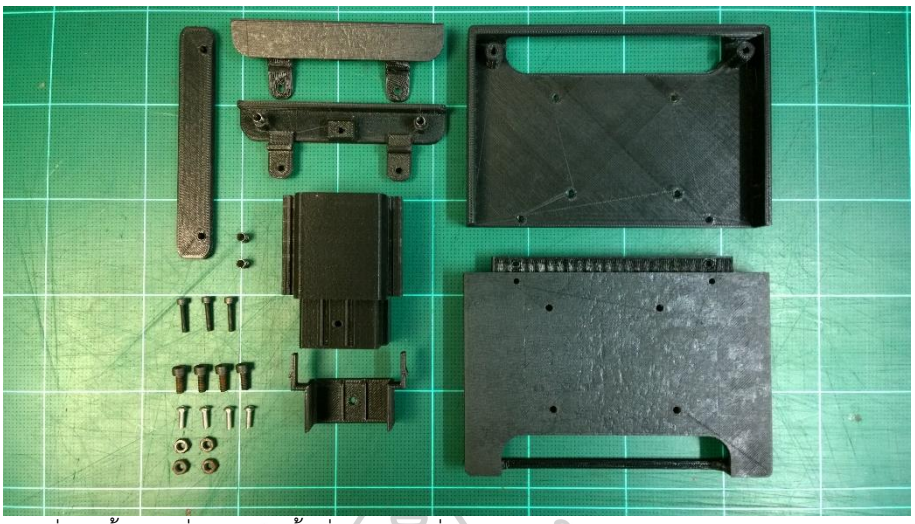
ภาพที่ 49 รายละเอียดของชิ้นงานที่พิมพ์จากเครื่องแบบ Chimera

ภาพที่ 50 ชิ้นงานที่พิมพ์จากเครื่องแบบ Chimera

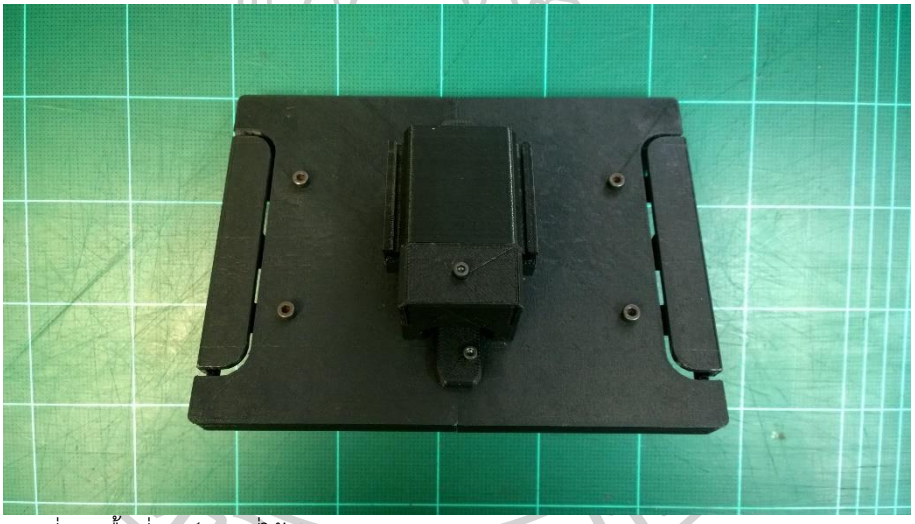


ภาพที่ 51 ชิ้นงานที่พิมพ์มีการหดตัว เนื่องจากอุณภูมิที่แตกต่างกันมาก

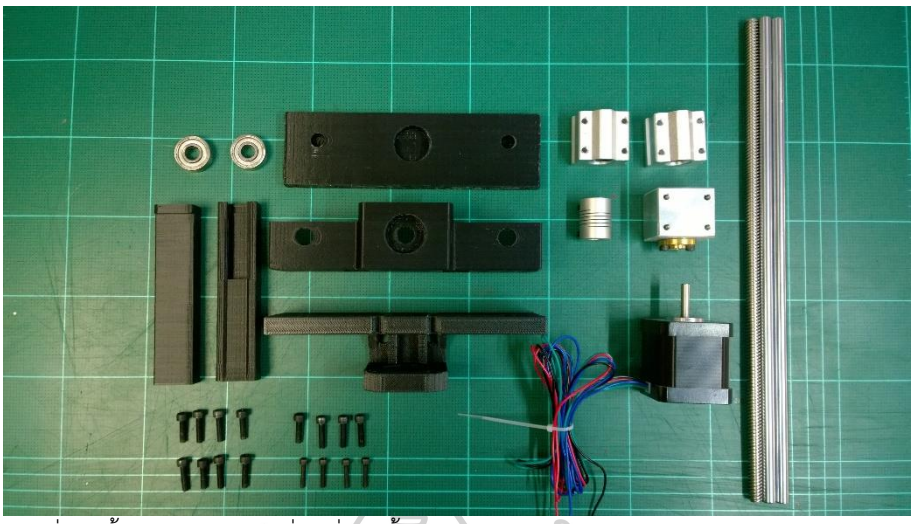
ภาพที่ 52 ตั้งค่าความร้อนที่ฐานพิมพ์เพื่อแก้ปัญหาการหดตัว



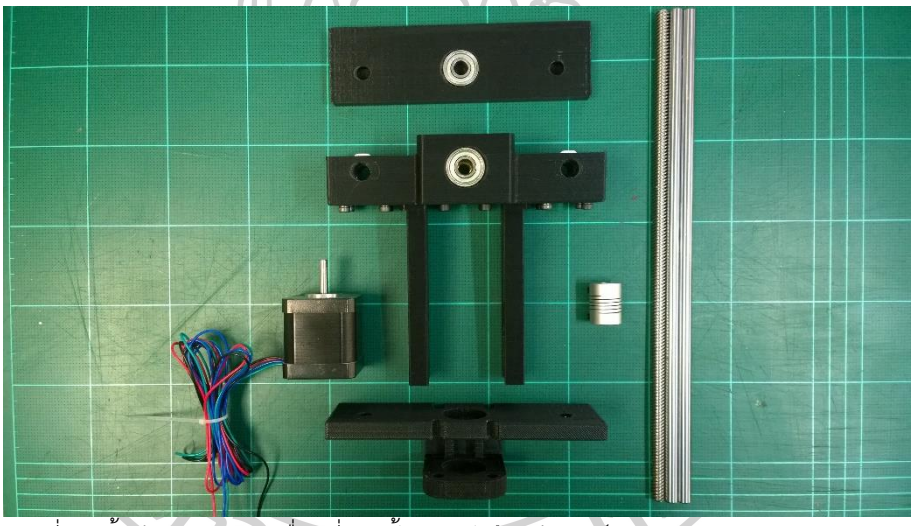
ภาพที่ 53 ชิ้นส่วนที่ใช้สำหรับพื้นที่พิมพ์แบบที่ใช้กับจอ LCD



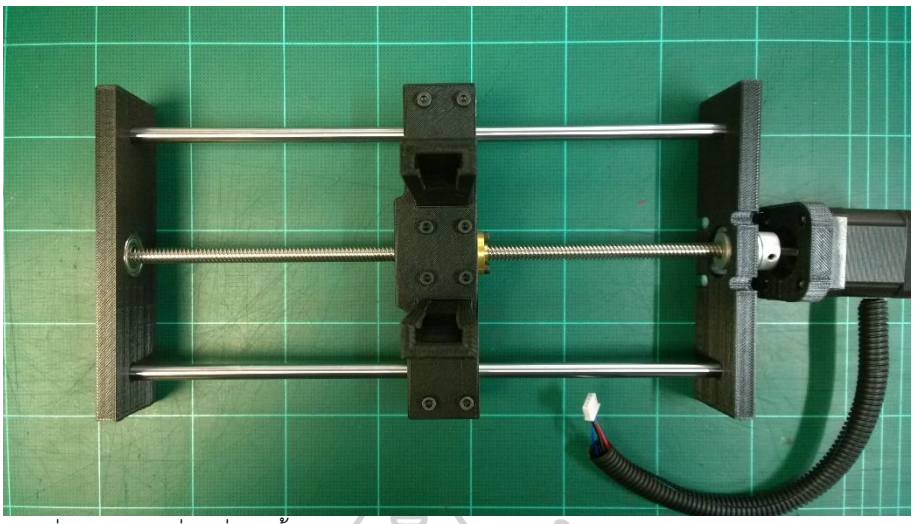
ภาพที่ 54 พื้นที่พิมพ์แบบที่ใช้กับจอ LCD



ภาพที่ 55 ชิ้นส่วนของแกนเคลื่อนที่แนวตั้ง

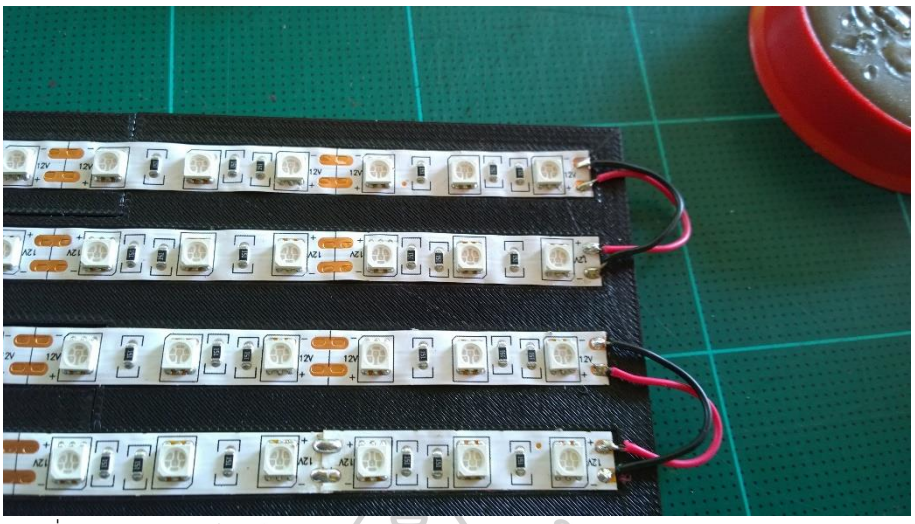


ภาพที่ 56 ชิ้นส่วนของแกนเคลื่อนที่แนวตั้ง และตัวยึดแท่นพิมพ์

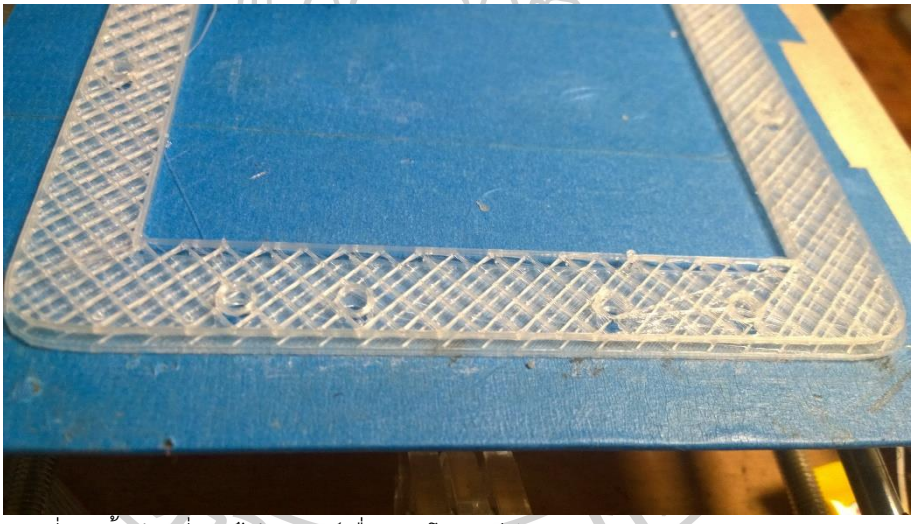


ภาพที่ 57 แกนเคลื่อนที่แนวตั้ง

ภาพที่ 58 ทดสอบการติดระหว่างเรซิ่นและซิลิโคน



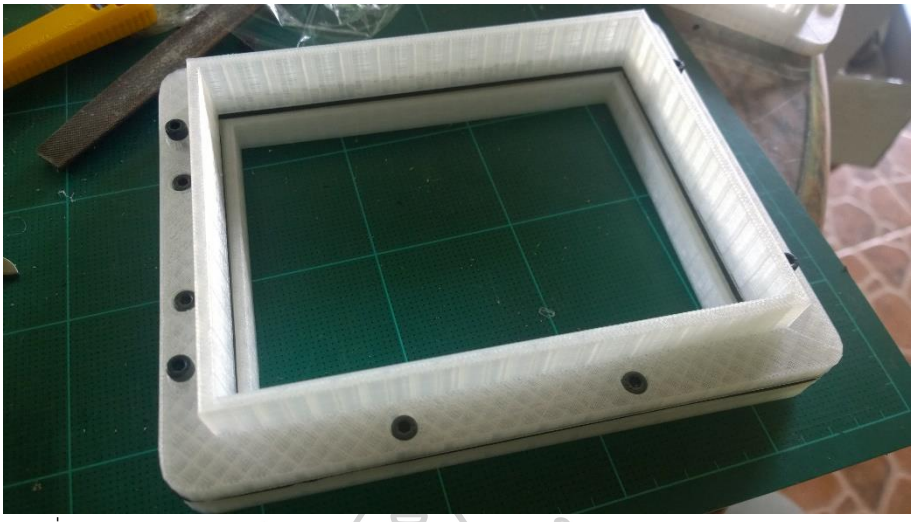
ภาพที่ 59 การต่อวงจรไฟ LED แบบเส้น



ภาพที่ 60 ชิ้นส่วนที่พิมพ์ไม่สมบูรณ์เนื่องจากโมเดลมีปัญหา

ภาพที่ 61 ทดสอบใช้ฟิล์มห่ออาหารแทน FEP Film

ภาพที่ 62 การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆให้พอดีกับอะไหล่ในท้องตลาด



ภาพที่ 63 Flexvat สำหรับการพิมพ์แบบ DLP

ภาพที่ 64 แบบที่มีการโก่งในการประกอบ

ภาพที่ 65 การทดลองลูกลอย

ภาพที่ 66 ล้มเหลวในการใช้ PLA ในการเชื่อมชิ้นงาน

ภาพที่ 67 รางเลื่อนของกระจก FSM

ภาพที่ 68 ส่วนกระจก FSM

ภาพที่ 70 ขาแบบปรับความสูงได้ของการออกแบบเครื่องครั้งที่ 1

ภาพที่ 71 การต่อแผ่นรองฐานตัวเครื่องที่มีขนาดใหญ่

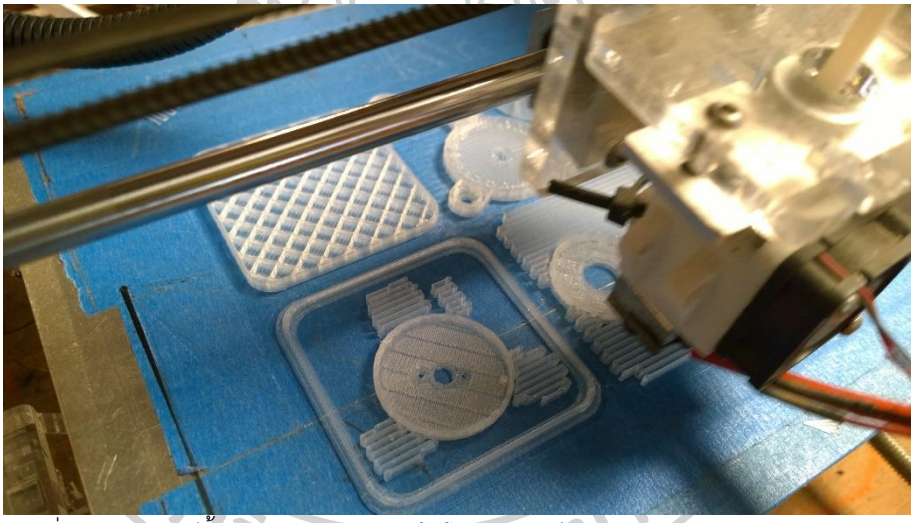
ภาพที่ 72 แท่นพิมพ์ที่ปรับองศาได้

ภาพที่ 73 ชิ้นส่วนที่เสียหายจากแรงบิด

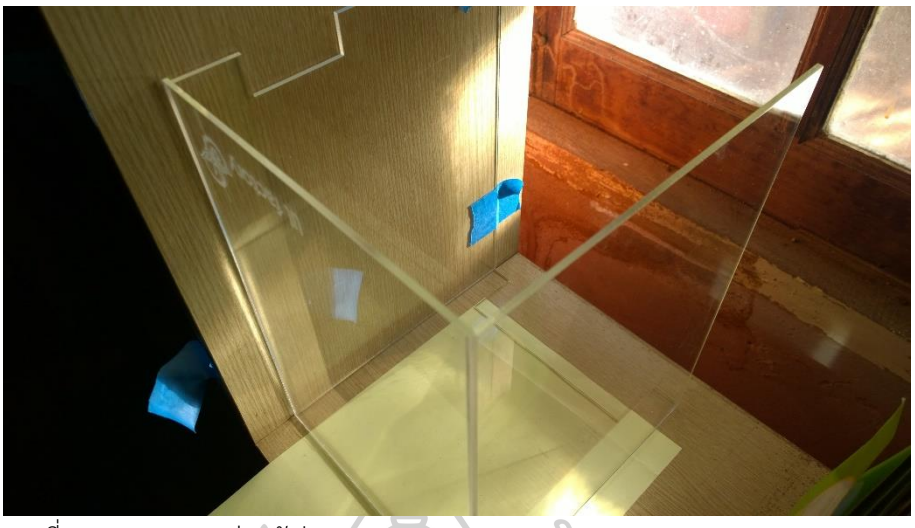
ภาพที่ 74 ชิ้นงานพิมพ์ทดสอบ(ล้มเหลว)

ภาพที่ 75 งานพิมพ์ติดกับ Flexvat

ภาพที่ 76 ชิ้นงานที่พิมพ์ทดสอบ พบปัญหาที่แกน Z

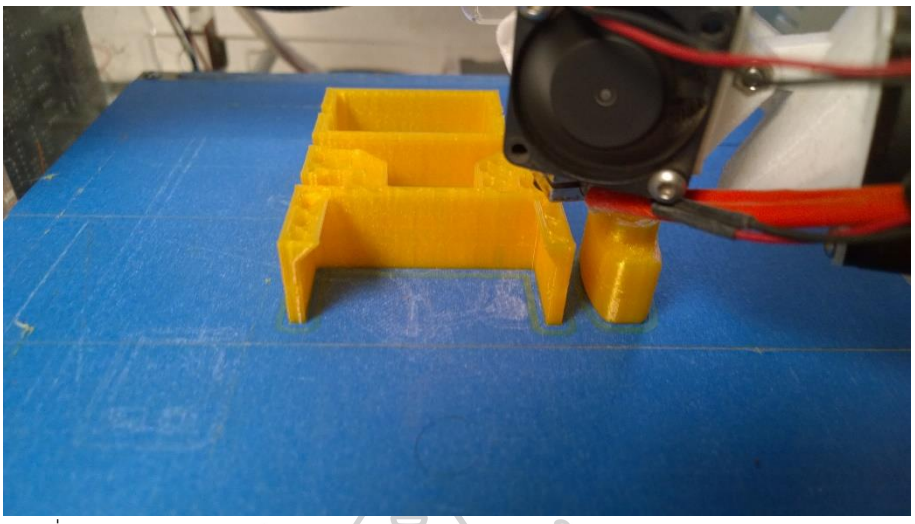


ภาพที่ 77 ขณะพิมพ์ชิ้นส่วนของส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์

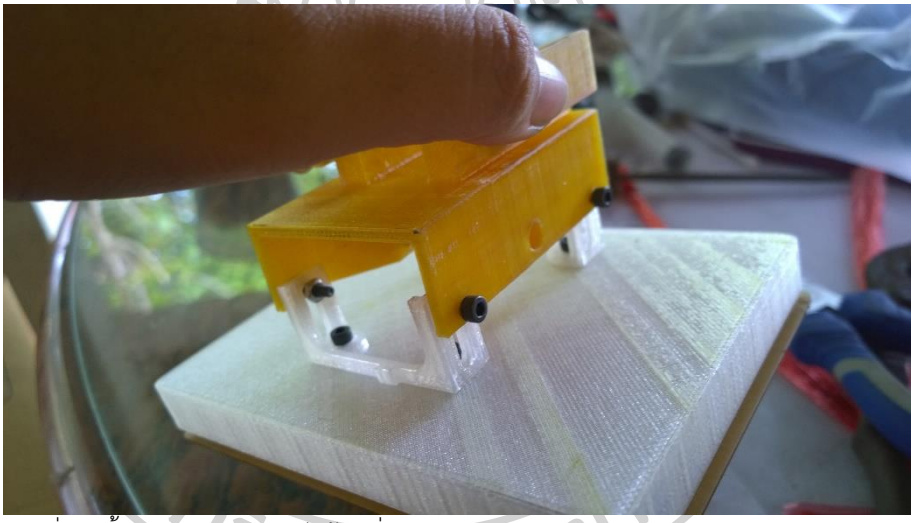


ภาพที่ 78 การประกอบส่วนบังฝุ่น

ภาพที่ 79 ชิ้นส่วนที่ไม่ติดแท่นพิมพ์ แต่แสดงถึงรายละเอียดที่พิมพ์ได้

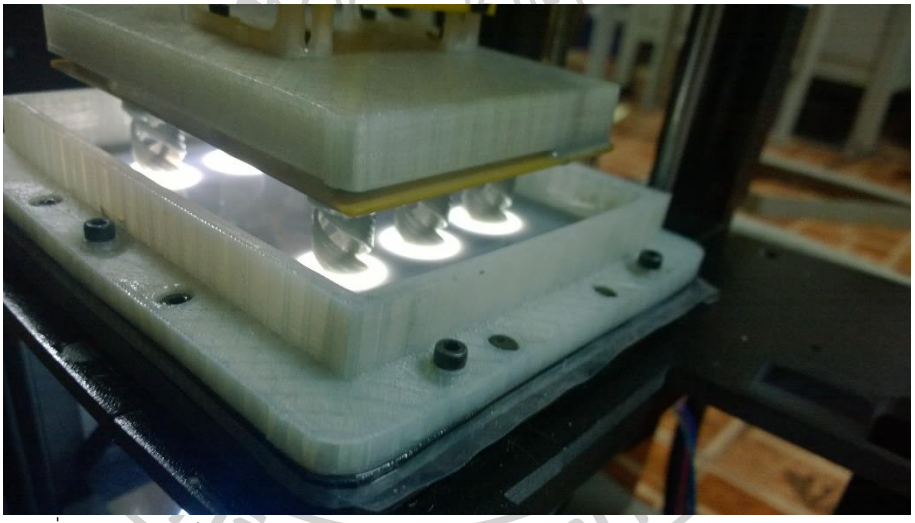


ภาพที่ 80 ขณะพิมพ์ส่วนปรับระดับแท่นพิมพ์ 4 มุม

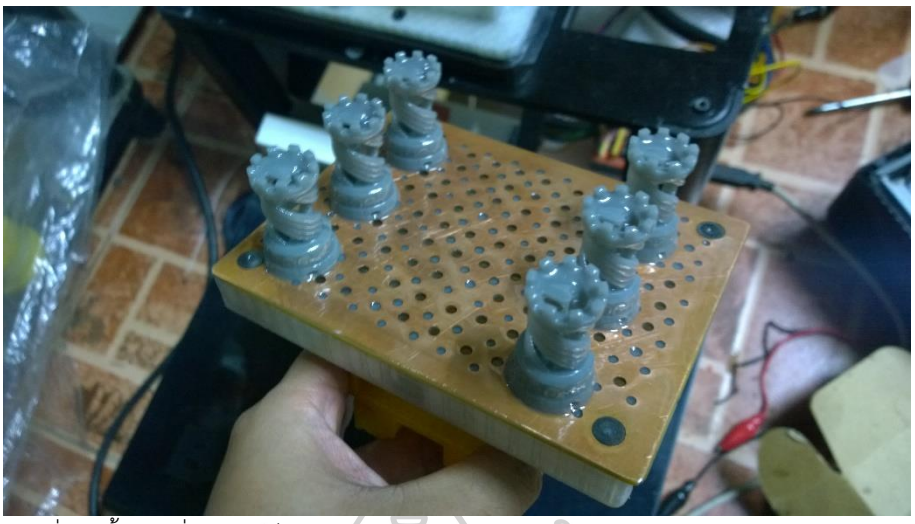


ภาพที่ 81 ชิ้นส่วนของแท่นพิมพ์พร้อมที่ปรับระดับ 4 มุม

ภาพที่ 82 ชิ้นส่วนที่พิมพ์ผิดพลาด



ภาพที่ 83 ขณะพิมพ์



ภาพที่ 84 ชิ้นงานที่พิมพ์สำเร็จ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบประสิทธิภาพเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟีพร้อมส่วนจัดการโฟโตพอลิเมอร์

ตารางการแบบทดสอบประสิทธิภาพเครื่องพิมพ์สามมิติระบบสเตอริโอลิโธกราฟี ด้วยการพิมพ์โมเดลทดสอบแบบ Make Rook

ตาราง การตั้งค่าที่ 1 ใช้แท่นพิมพ์แบบปรับไม่ได้ แกนเคลื่อนที่ไม่ถูกยึด ระยะเวลาฉายแสง 9500 มิลลิวินาที

ชิ้นทดสอบ	ความสมบูรณ์	การติดฐาน	ความสมบูรณ์
ชิ้นที่ 1	2	1	1
ชิ้นที่ 2	2	1	2
ชิ้นที่ 3	2	1	1

เลข **1** มีค่าเท่ากับน้อยที่สุด, **2** มีค่าเท่ากับปานกลาง, **3** มีค่าเท่ากับมากที่สุด

ตาราง การตั้งค่าที่ 2 ใช้แท่นพิมพ์แบบปรับ 4 จุด ยึดแกนเคลื่อนที่ ระยะเวลาฉายแสง 12500 มิลลิวินาที

ชิ้นทดสอบ	ความสมบูรณ์	การติดฐาน	ความสมบูรณ์
ชิ้นที่ 1	2	2	2
ชิ้นที่ 2	3	2	2
ชิ้นที่ 3	2	2	2

เลข **1** มีค่าเท่ากับน้อยที่สุด, **2** มีค่าเท่ากับปานกลาง, **3** มีค่าเท่ากับมากที่สุด

ตาราง การตั้งค่าที่ **3** ใช้แท่นพิมพ์แบบปรับ 4 จุด ยึดแกนเคลื่อนที่และแกนเพลา ระยะเวลาฉายแสง 1**4**500 มิลลิวินาที

ชิ้นทดสอบ	ความสมบูรณ์	การติดฐาน	ความสมบูรณ์
ชิ้นที่ 1	3	2	3
ชิ้นที่ 2	3	2	3
ชิ้นที่ 3	3	2	3

เลข **1** มีค่าเท่ากับน้อยที่สุด, **2** มีค่าเท่ากับปานกลาง, **3** มีค่าเท่ากับมากที่สุด

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายเชษฐชาติ ทาชาติ
วัน เดือน ปี เกิด	31 กรกฎาคม 2530
สถานที่เกิด	อุดรธานี
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล สำเร็จการศึกษาระดับบัณฑิต ศิลปกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาออกแบบนิเทศศิลป์ มหาวิทยาลัยบูรพา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาการออกแบบผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	61 หมู่ 8 ต.ห้วยสามพาด อ.ประจักษ์ศิลปาคม จ.อุดรธานี รหัสไปรษณีย์ 41110

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร