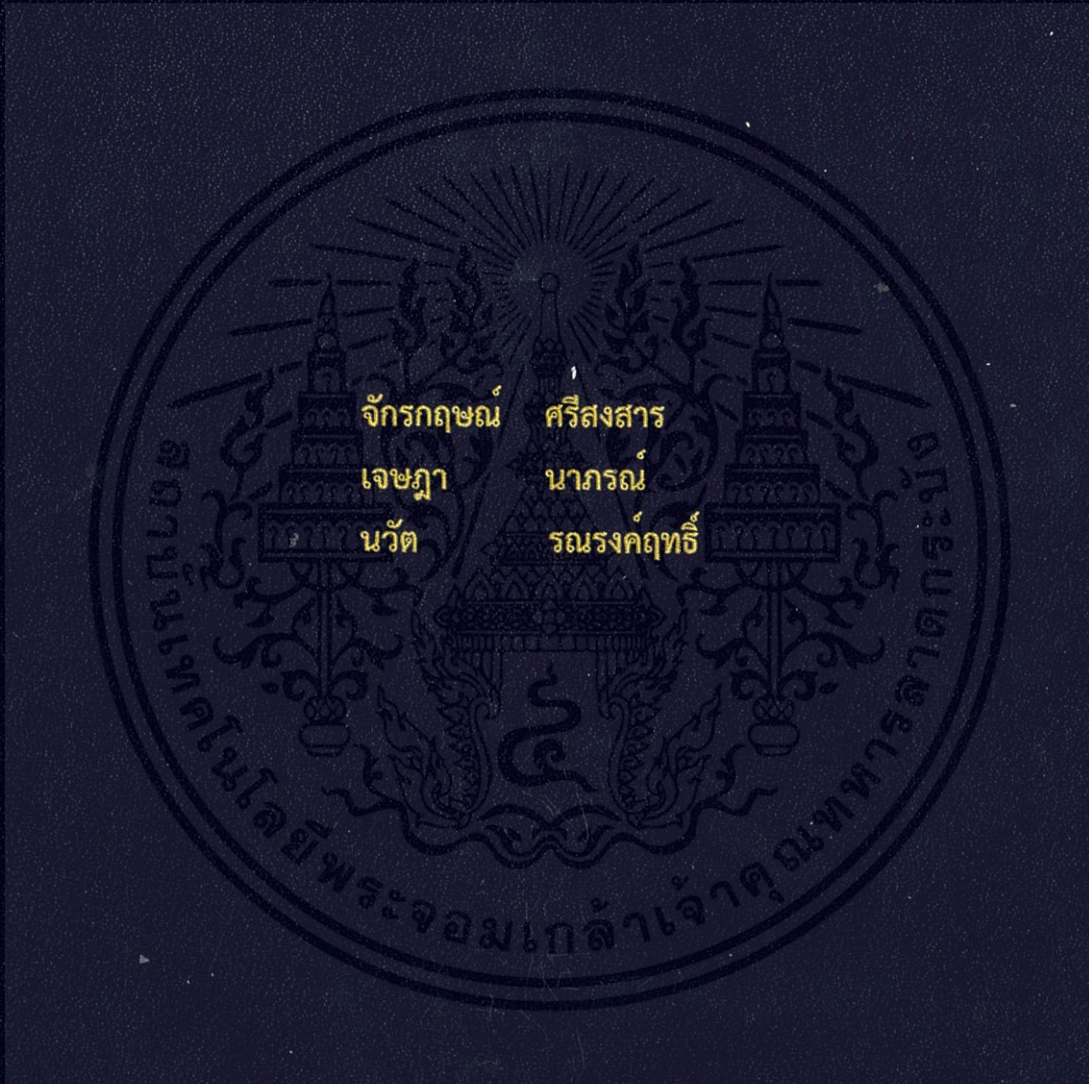


เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

3D PRINTER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

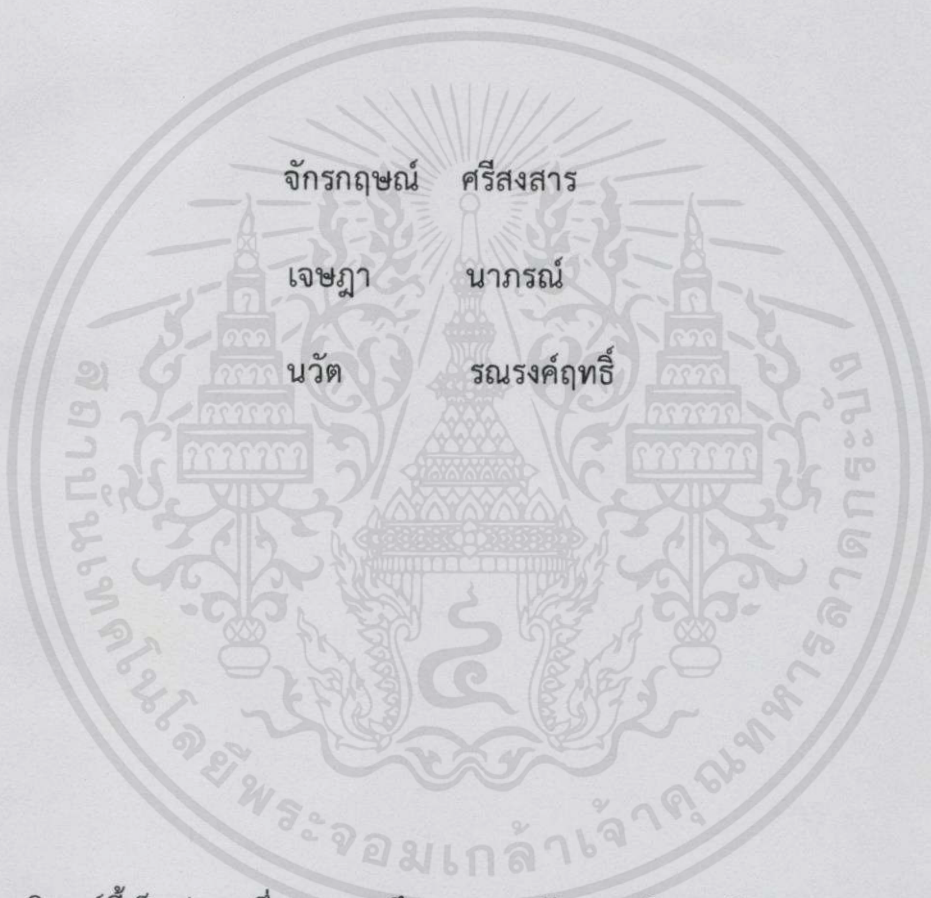
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

3D PRINTER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

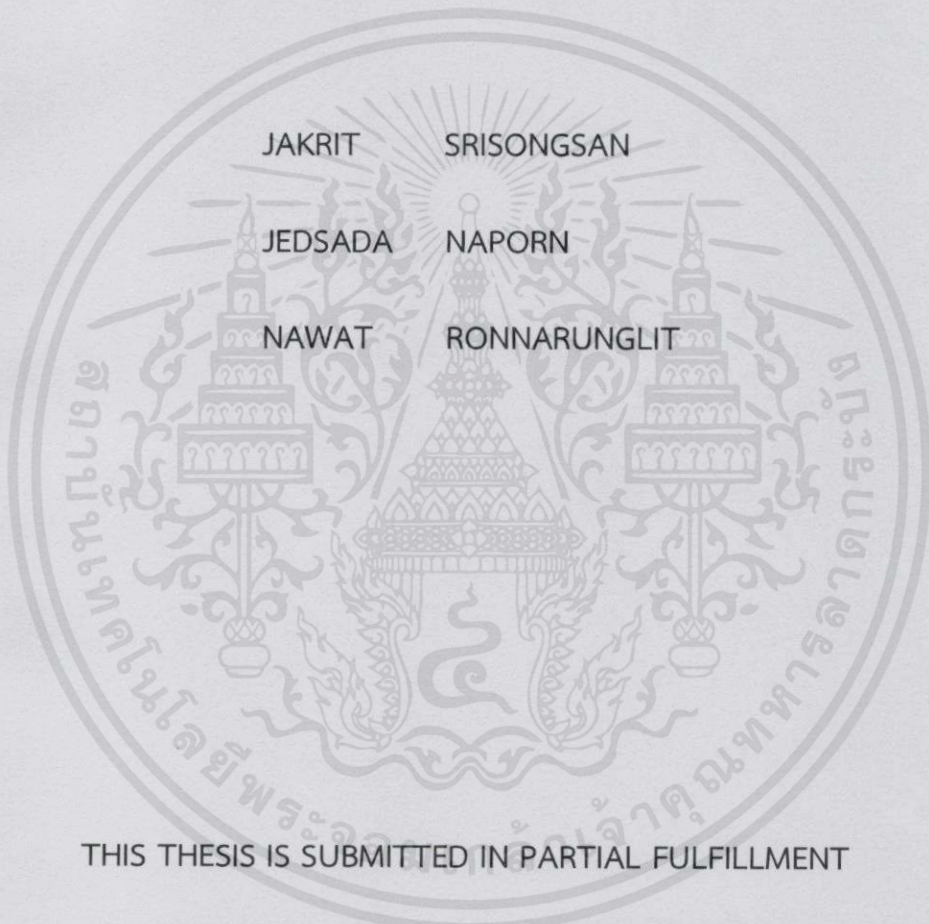
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2557  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 3D PRINTER



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ACADEMIC YEAR 2014**

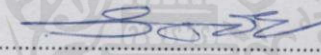
ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2557


ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

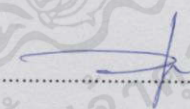
เรื่อง เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

3D PRINTER

ผู้จัดทำ	นายจักรกฤษณ์ ศรีสงสาร	54010181
	นายเจษฎา นามรณ์	54010239
	นายนิวต์ รณรงค์ฤทธิ์	54010689

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย รีรูกา)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพจิตร เขยโกคา)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรณิธิต้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

โดย

นายจักรกฤษณ์ ศรีสงสาร 54010181

นายเจษฎา นาภรณ์ 54010239

นายณวัต วรรณรงค์ฤทธิ์ 54010689

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย รีวรุจา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพจิตร เขยโกคา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรรมณีล้ำค่า

ปีการศึกษา 2557

## บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ จะนำเสนอทฤษฎี การออกแบบ และการทำงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ โดยโครงสร้างของเครื่องพิมพ์สามมิติประกอบด้วย ส่วนชุดโครงสร้าง ส่วนหัวฉีด ส่วนโปรแกรมและส่วนชุดขับเคลื่อน จุดมุ่งหมายของโครงการนี้คือ สามารถสร้างเครื่องพิมพ์แบบสามมิติที่สามารถพิมพ์ชิ้นงานสามมิติได้โดยสมบูรณ์ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ด้วยการหลอมเส้นพลาสติกและนำมาขึ้นรูป โดยในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอการสร้างเครื่องพิมพ์แบบสามมิติและระบบการทำงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

ขั้นตอนดำเนินการ เริ่มจากออกแบบโครงสร้างเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ จากนั้นศึกษาออกแบบ และประกอบชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็นทั้งหมด ประกอบด้วย บอร์ดควบคุม และบอร์ดขับเคลื่อน เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์ ซึ่งใช้ควบคุมการป้อนพลาสติกให้แก่หัวฉีดและขับเคลื่อน 3 แกน โดยใช้โปรแกรม Arduino ในการควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ตามที่ต้องการ ส่วนโปรแกรม Rapetier-Host ใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ ซึ่งสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์และอุณหภูมิของหัวฉีดผ่านโปรแกรม Rapetier-Host ได้ จากนั้นทำการทดลองการขับเคลื่อนทั้ง 3 แกน และทดลองการขับเคลื่อนเพื่อป้อนเส้นพลาสติกให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูป จากการทดลองพบว่าเครื่องพิมพ์สามารถขับเคลื่อน 3 แกน และสามารถพิมพ์ชิ้นงานออกมาตามแบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 3D PRINTER

By

Mr.Jakrit Srisongsan 54010181

Mr.Jadsada Naporn 54010239

Mr.Nawat Ronnarunglit 54010689

Advisors

Prof.Dr. Vanchai Riewruja

Asst.Prof. Thepjit Cheypoca

Asst.Prof.Dr. Wandee Petchmaneelumka

Academic Year 2014

## ABSTRACT

This thesis presents the theory, design and operation of three-dimensional printer. The structure of three-dimensional printer consists of framework, extruder, program and driver sections. The aim of this project is to construct a three-dimensional printer that can build completely the designed work piece by heating filament and forming. Moreover, method of construct three-dimensional printer and operating systems are presented.

Procedure of operation starts from design framework of three-dimensional printer. Then the electronic circuits used in this project including control and driving boards are studied and designed. Driving boards are used to drive stepping motors for filament feed control into extruder and movement of extruder in 3 axes. Arduino program is used to control the movement of motor. Rapetier-Host program is employed for interface between computer and three-dimensional printer. Control of motor movement and temperature of extruder can program via Rapetier-Host program. Then driver for movement of 3 axes and feed filament to obtain suitable temperature are tested. As a result, three-dimensional printer can build the prototype

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญาานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ธีรรุจา ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพจิตรี เขยโกคา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีมาโดยตลอดตั้งแต่ต้น คอยติดตามความคืบหน้าของผลงาน รวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็นเพื่อใช้ในการทำโครงการ และความช่วยเหลืออื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอบคุณสมาชิกในกลุ่มทุกคนที่ให้ความร่วมมือในการทำงาน ช่วยเหลือซึ่งกันและกัน สนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ รวมทั้งคอยถามไถ่ความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือในขณะที่ทำโครงการ ตลอดจนเงินแรงบันดาลใจที่ดีในการทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้จัดทำ

จักรกฤษณ์ ศรีสังสาร

เจษฎา นามภรณ์

นวัต ธรรมรงค์ฤทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	V
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หลักการสร้างชิ้นงานของเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ	4
2.2 ระบบเชิงกลของเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ	4
2.2.1 สเต็ปมอเตอร์	4
2.2.1.1 การควบคุมสเต็ปมอเตอร์	5
2.2.2 หัวฉีดร้อน	7
2.2.3 ฐานรองชิ้นงาน	7
2.2.4 วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน	8
2.3 โปรแกรมควบคุมและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง	9
2.3.1 โปรแกรมสร้างแบบสามมิติ	9
2.3.1.1 โปรแกรม SolidWorks	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยผู้จัดทำไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 โปรแกรมแปลงไฟล์แบบ 3 มิติเป็นไฟล์ G-code	11
2.3.3.1 MakerWare	11
2.3.3.2 Repetier-Host	12
2.3.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการควบคุม	13
2.3.4.1 บอร์ด Arduino Mega 2560	13
2.3.4.2 บอร์ด Reprap Arduino Mega Pololu Shield 1.4	13
2.3.4.3 บอร์ด A4988	14
2.3.4.4 ลิมิตสวิตช์	15
2.3.4.5 แหล่งจ่ายไฟ	15
<b>บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานและการออกแบบ</b>	16
3.1 สร้างส่วนโครงสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติ	16
3.1.1 การจัดทำโครงของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ	17
3.1.2 การจัดทำชิ้นส่วนประกอบเชิงกลของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ	18
3.2 การออกแบบในส่วนของโปรแกรม	20
3.3 การออกแบบในส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	24
3.3.1 ส่วนของบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ (Stepping Motor Driver Board A4988)	25
3.3.2 การต่อ RAMPS 1.4 กับ A4988	26
3.3.3 การตั้งค่าการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ	28
3.3.3.1 การคำนวณค่าของสเต็ปยูนิตของสเต็ปมอเตอร์ แกน X และแกน Y	28
3.3.3.2 การตั้งค่าค่าของสเต็ปยูนิตของสเต็ปมอเตอร์สำหรับแกน Z	30
3.3.3.3 การตั้งค่าค่าสเต็ปยูนิตที่เหมาะสมของหัวฉีด	31
3.4 การใช้งานโปรแกรม Repetier-Host	31
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	34
4.1 การทดลองอุณหภูมิที่เหมาะสมในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การทดลองความเร็ว Travel Feed Rate ของแกน X และแกน Y ที่เหมาะสม	35
4.3 การทดลองหาระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับฐานรองชิ้นงานที่เหมาะสม	36
4.4 การทดลองหาค่า Fill Density ที่เหมาะสมในการสร้างชิ้นงาน	38
4.5 การขึ้นรูปชิ้นงานที่สมบูรณ์	39
<b>บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ</b>	40
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	40
5.2 ปัญหาที่พบในโครงการ	40
5.2.1 ปัญหาเนื่องจากความร้อน	40
5.2.2 ปัญหาเนื่องจากความเอียงของฐานรองชิ้นงาน	41
5.2.3 ปัญหาเนื่องจากความห่างจากระยะหัวฉีดกับพื้นมากเกินไป	42
5.2.4 ปัญหาการอุดตันบริเวณหัวฉีดอันเนื่องมาจากผงของเส้นพลาสติก	42
5.3 แนวทางในการพัฒนาและการประยุกต์	43
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	44
<b>ภาคผนวก</b>	45
ภาคผนวก ก การใช้งานโปรแกรม Rapetier-Host	46
ภาคผนวก ข การใช้งานโปรแกรม Slic3R	61
ภาคผนวก ค โปสเตอร์	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์	5
2.2 หัวฉีดร้อน	7
2.3 ฐานรองชิ้นงานแบบธรรมดา	7
2.4 เส้นพลาสติกแบบ PLA	8
2.5 โปรแกรม SolidWorks	10
2.6 โปรแกรม Arduino IDE	11
2.7 โปรแกรม MakerWare	12
2.8 โปรแกรม Repetier Host	12
2.9 บอร์ด Arduino Mega 2560	13
2.10 บอร์ด Reprap Arduino Mega Pololu Shied 1.4	13
2.11 บอร์ด A4988	14
2.12 ลิมิตสวิตช์	15
2.13 แหล่งจ่ายไฟ	15
3.1 โครงสร้างเครื่องพิมพ์แบบสามมิติแบบ Gantry	16
3.2 โครงของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ	17
3.3 ลักษณะโปรแกรม MakerWare	18
3.4 การ Save ไฟล์งาน TopBase โดยเซฟเป็น .STL	19
3.5 ชิ้นส่วนประกอบระบบเชิงกลของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติที่พิมพ์จากเครื่อง MakerBot	19
3.6 การตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรม Arduino (1)	20
3.7 การตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรม Arduino (2)	21
3.8 การตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรม Arduino (3)	21
3.9 การตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรม Arduino (4)	22
3.10 การตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรม Arduino (5)	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การนำ  
ไปว่ากรณิดุจทุกสิ่งอื่น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 การตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรม Arduino (6)	23
3.12 การทำงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ	24
3.13 การต่อบอร์ด RAMPS 1.4 กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ	25
3.14 บอร์ด A4988	25
3.15 การใช้บอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ (A4988) ต่อร่วมกับ RAMPS1.4	26
3.16 วงจรของบอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ (A4988)	26
3.17 วงจรของ Reprap Arduino Mega Pololu Shied	27
3.18 บอร์ด Reprap Arduino Mega Pololu Shied หรือ RAMPS 1.4	27
3.19 การคำนวณค่าของสเต็ปยูนิตของสเต็ปมอเตอร์แกน X และแกน Y	29
3.20 การคำนวณค่าของสเต็ปยูนิตของสเต็ปมอเตอร์ของแกน Z	30
3.21 การคำนวณค่าสเต็ปยูนิตที่เหมาะสมของหัวฉีด	31
3.22 โปรแกรม Repetier-Host	32
4.1 การออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม SolidWorks	39
4.2 ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์จากการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ	39
5.1 พัฒลระบายความร้อนให้กับบอร์ด Ramps1.4	41
5.2 การวัดพื้นที่ตั้งค่าก่อนการพิมพ์	41
5.3 การปรับตำแหน่งของลิมิตสวิตช์	42
5.4 ผงของเส้นพลาสติกที่ติดอยู่บริเวณช่องสำหรับใส่เส้นพลาสติก	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 'ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การกระตุ้นเฟสแบบฟูสเต็ม 1 เฟส	5
2.2 การกระตุ้นเฟสแบบฟูสเต็ม 2 เฟส	6
2.3 การกระตุ้นเฟสแบบฮาล์ฟสเต็ม	6
4.1 การทดลองหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน	34
4.1 การทดลองหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน (ต่อ)	35
4.2 การทดลองหาค่า Travel Feed Rate ที่เหมาะสมในการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน	35
4.2 การทดลองหาค่า Travel Feed Rate ที่เหมาะสมในการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน (ต่อ)	36
4.3 การทดลองหาระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับฐานรองชิ้นงานที่เหมาะสม	37
4.4 การทดลองหาค่า Fill Density ที่เหมาะสมในการสร้างชิ้นงาน	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

เครื่องพิมพ์แบบสามมิติเป็นกระบวนการสร้างชิ้นงานให้มีรูปร่างเหมือนของจริงจากการออกแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในปัจจุบันเทคโนโลยีการพิมพ์แบบสามมิติเข้ามามีบทบาทเกี่ยวข้องกับสายงานด้านต่างๆ มากมาย เช่น งานด้านการออกแบบทางวิศวกรรม สถาปัตยกรรม การสร้างเครื่องมือทางการแพทย์ รวมไปถึงการสร้างอวัยวะเทียม แต่อย่างไรก็ตามราคาของเครื่องพิมพ์แบบสามมิตียังคงมีราคาค่อนข้างสูงอยู่

การสร้างชิ้นงานที่ออกแบบมาให้มีรูปร่างเหมือนของจริงและสามารถจับต้องได้นั้นในอดีตสามารถสร้างได้จากเครื่อง CNC ซึ่งมีลักษณะในการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการ แกะ ตัด เจาะ วัสดุดิบที่สร้างชิ้นงานจากหัวสว่านให้มีรูปร่างตามต้องการ ส่วนเครื่องพิมพ์แบบสามมิติใช้การขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้หลักการเคลื่อนที่เหมือนกับ CNC ที่ใช้ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ในแนวแกนทั้ง 3 แกน คือ แกน X แกน Y และแกน Z แต่จะแตกต่างกันที่ส่วนหัวโดยส่วนหัวที่ใช้สร้างชิ้นงานของ CNC จะเป็นหัวสว่าน ส่วนเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ จะเป็นหัวฉีดร้อนซึ่งจะฉีดเส้นพลาสติกออกมาในการขึ้นรูปชิ้นงาน เทคโนโลยีการพิมพ์แบบสามมิติเกิดขึ้นในตอนปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19 เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ เครื่องแรกออกแบบโดย Charless W.(Chuck) Hall โดยพัฒนามาจากเครื่อง CNC ออกแบบให้กับบริษัท 3D Systems Corporation โดยเครื่องพิมพ์แบบสามมิติถูกตั้งชื่อว่า Stereolithographic 3D Printer หลังจากนั้นมีการพัฒนาการของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติให้มีเทคนิคการพิมพ์งานจากวัสดุดิบที่หลากหลายขึ้น ปัจจุบันเทคโนโลยีการพิมพ์แบบสามมิติ เริ่มมีบทบาทเพิ่มขึ้นในหลากหลายสายงาน เช่น การออกแบบวิศวกรรม สถาปัตยกรรม งานด้านการแพทย์ รวมไปถึงงานวิชาการด้านการบินและอวกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. สามารถออกแบบและสร้างเครื่องพิมพ์แบบสามมิติเพื่อสำหรับการใช้งานได้
2. ทำการศึกษาและทดลองการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ
3. ศึกษาการทำงานของ Microcontroller รุ่น Arduino Mega 2560 และ Driver รุ่น A4988
4. ทำการศึกษา และสร้างระบบควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของสเต็ปมอเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยวงจรถับเคลื่อนและอุปกรณ์ Microcontroller อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รวมถึงการควบคุม และประมวลผล โดยโครงงานชิ้นนี้ใช้โปรแกรม Arduino เพื่อสามารถสั่งงานและทำการควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ให้เป็นไปตามตำแหน่งที่ต้องการ
5. ทำการพัฒนาและปรับปรุงทางด้านโครงสร้าง การใช้โปรแกรมการทำงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ จากโปรแกรม Pronterface เป็นการนำโปรแกรม Repetier-Host

## 1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ออกแบบและสร้างเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ
2. ศึกษาและสร้างระบบควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ทั้งสามแกนของหัวฉีด การป้อนเส้นพลาสติกและการสร้างชุดคำสั่งควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์และควบคุมอุณหภูมิที่หัวฉีด
3. จัดทำวงจรถับเคลื่อนในการทำงานของมอเตอร์
4. ทดสอบระบบการใช้งานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ แล้วนำมาปรับปรุง แก้ไข และพัฒนาต่อไป

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำความรู้ที่ได้รับจากการศึกษาทางทฤษฎีนำมาปฏิบัติใช้งานได้จริง
2. ทราบถึงหลักการทำงานของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ Microcontroller และการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมอุปกรณ์ดังกล่าว ให้เป็นไปตามที่ต้องการ
3. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาต่อยอด เช่น การเพิ่มชุดหัวฉีดอีก 1 ชุดสำหรับการสร้างลายบนชิ้นงานหรือการเปลี่ยนชนิดของพลาสติกที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน และการเพิ่มลายของชิ้นงานที่

มีความสลับซับซ้อนได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

## 1.5 รายละเอียดของปฏิญญานิพนธ์

ในปฏิญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บทดังนี้

บทที่ 1 บทนำกล่าวถึงวัตถุประสงค์ในการทำปฏิญญานิพนธ์ ขอบเขตของโครงการ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และส่วนของรายละเอียดของปฏิญญานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้องของการทำงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ ประกอบด้วย หลักการสร้างชิ้นงานเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ ระบบเชิงกลของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ และโปรแกรมควบคุมและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 หลักการทำงานและขั้นตอนการปฏิบัติงานของการสร้างเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ โดยเริ่มจากการออกแบบโครงสร้างของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ และการออกแบบในส่วนของโปรแกรมสำหรับการทำงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลองของการใช้เครื่องพิมพ์แบบสามมิติที่สร้างขึ้น

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปผลการทดลองของการใช้เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 หลักการสร้างชิ้นงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

เครื่องพิมพ์แบบสามมิติที่กล่าวถึงในปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นแบบ Stereolithographic 3D Printer ซึ่งสามารถขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้หลักการฉีดเส้นพลาสติกชั้นมาทีละชั้น จากชั้นแรกสุดจนถึงชั้นสุดท้ายของชิ้นงานโดยลักษณะการฉีดพลาสติกคือ มีการดึงเส้นพลาสติกเข้ามายังตัวหัวฉีดร้อนเพื่อทำการหลอมละลายเส้นพลาสติกให้มีลักษณะกึ่งสภาพให้เหลวและไหลลงมา การฉีดเส้นพลาสติกชั้นแรกจะถูกสร้างลงบนฐานรองชิ้นงาน และทำการฉีดเข้าไปทีละชั้นจนสร้างชิ้นงานเสร็จ แต่อย่างไรก็ตามการสร้างชิ้นงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติต้องมีแบบไฟล์ 3 มิติ ที่สามารถสร้างชิ้นได้จากหลายโปรแกรม เช่น SolidWorks, AutoCAD หรือโปรแกรมประเภท 3D Modeling อื่นๆ ในการออกแบบและเครื่องพิมพ์แบบสามมิติจะทำการอ่านไฟล์จากรูปแบบไฟล์ .STL ในกระบวนการสร้างต้นแบบขององค์ประกอบแบบสามมิติต่อไป

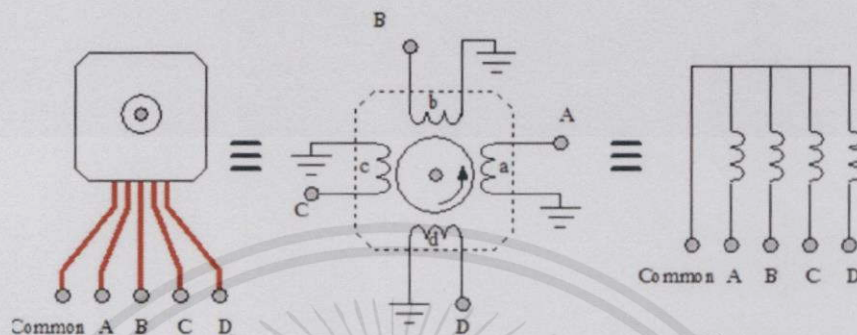
### 2.2 ระบบเชิงกลของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

ระบบเชิงกลมีความสำคัญในการเคลื่อนที่ให้มีความสัมพันธ์กันทั้ง 3 แกนคือ แกน X แกน Y และแกน Z ซึ่งการเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์กันจะมีผลต่อการสร้างชิ้นงาน 3 มิติ โดยเครื่องพิมพ์แบบสามมิติที่ได้ทำศึกษานั้นเลือกใช้เครื่องพิมพ์แบบ Gantry เป็นระบบที่ใช้การเคลื่อนที่ของหัวฉีดร้อนไปในแนวแกน X และแกน Y ในขณะที่ฐานรองชิ้นงานจะเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวแกน Z

#### 2.2.1 สเต็ปมอเตอร์

สเต็ปมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะการหมุนเป็นสเต็ปคือ การหมุนไปที่ละเล็กน้อย เช่น 1 หรือ 2 องศา ซึ่งสเต็ปมอเตอร์เหมาะสำหรับใช้ในการควบคุมการหมุนที่ต้องการตำแหน่งและทิศทางการหมุนที่แน่นอน มีความแตกต่างจากมอเตอร์ทั่วไปที่มีการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องจึงยากต่อการควบคุม สเต็ปมอเตอร์มีข้อดีในการกำหนดตำแหน่งของการหมุนด้วยตัวเลขได้อย่างละเอียด โดยสามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมกำหนด หลักการทำงานของสเต็ปมอเตอร์คือ การจ่ายกระแสไฟให้กับขดลวดสเต็ปมอเตอร์ที่เชื่อมพร้อมกัน เช่น เริ่มจ่ายกระแสให้กับขดลวด A D B C ตามลำดับ ไม่ว่าจะหมุนด้วยวิธีอื่น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดปลั๊กเบรก และต้องอ้างอิงถึงค่าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ จะทำให้เกิดการหมุนของสนามแม่เหล็กในทิศตามเข็มนาฬิกา เช่นเดียวกันหากจ่ายกระแสให้กับ

ขดลวด A B C D ตามลำดับ จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางเข็มนาฬิกา ความเร็วของสเต็ปมอเตอร์สามารถกำหนดได้จากการเปลี่ยนความเร็วของการจ่ายกระแสจากขดหนึ่งไปยังอีกขดหนึ่ง โครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์

### 2.2.1.1 การควบคุมสเต็ปมอเตอร์

การควบคุมสเต็ปมอเตอร์มีความสำคัญต่อการควบคุมความเร็ว และทิศทางในการหมุน โดยการควบคุมกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ในแต่ละขด ให้เป็นลำดับที่แน่นอนโดยการกระตุ้นเฟสของมอเตอร์มีอยู่ 2 วิธีคือ การกระตุ้นเฟสแบบฟูสเต็ม และการกระตุ้นเฟสแบบฮาล์ฟสเต็ป

#### การกระตุ้นเฟสแบบฟูสเต็ม

เป็นการกระตุ้นโดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดที่ละขดเรียงตามกันไปสามารถแบ่งการกระตุ้นเฟสแบบนี้ได้อีก 2 วิธีคือ

#### 1. การกระตุ้นเฟสแบบฟูสเต็ม 1 เฟส

เป็นการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดทีละขดในเวลาถัดกันไปทิศทางไหลของกระแสจะไปในทิศทางเดียวกันข้อเสียคือแรงขับมอเตอร์มีน้อย

#### ตารางที่ 2.1 การกระตุ้นเฟสแบบฟูสเต็ม 1 เฟส

Step	#1	#2	#3	#4
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การกระตุ้นเฟสแบบฟูสเต็ป 2 เฟส

เป็นการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด 2 ขดในเวลาพร้อมกัน ทิศทางการไหลของกระแสจะไปในทิศทางเดียวกันข้อดีคือ มีแรงขับเคลื่อนมอเตอร์มากกว่าการกระตุ้นแบบ 1 เฟส เพราะใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่า

ตารางที่ 2.2 การกระตุ้นเฟสแบบฟูสเต็ป 2 เฟส

Step	#1	#2	#3	#4
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

### การกระตุ้นเฟสแบบฮาล์ฟสเต็ป

เป็นการนำการกระตุ้นแบบฟูสเต็ป 1 เฟสและ 2 เฟส มาเรียงกันการกระตุ้นแบบฮาล์ฟสเต็ปมีข้อดีคือ ได้แรงขับเคลื่อนที่มากขึ้นและมีความละเอียดในการหมุนตำแหน่งองศาต่อสเต็ปมากขึ้น ความถูกต้องของตำแหน่งในการหมุนจึงมีมากขึ้นด้วย

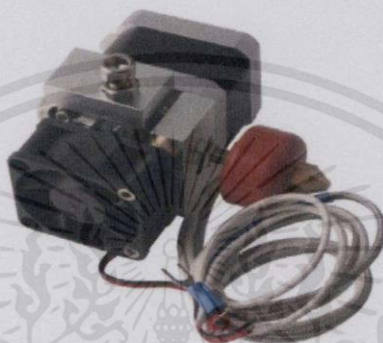
ตารางที่ 2.3 การกระตุ้นเฟสแบบฮาล์ฟสเต็ป

Step	#1	#2	#3	#4
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2 หัวฉีดร้อน

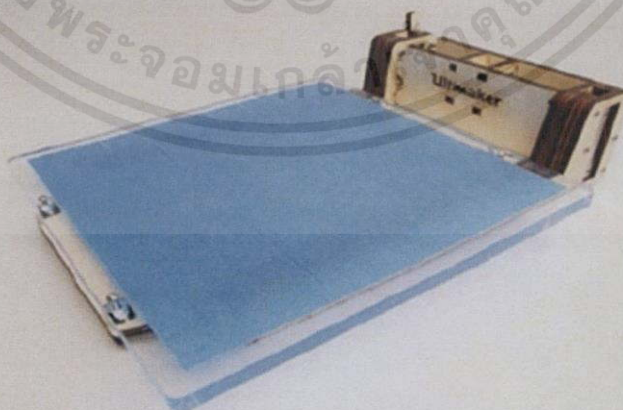
หัวฉีดร้อนมีความสำคัญในการทำความร้อนเพื่อหลอมละลายเส้นพลาสติก และฉีดเส้นพลาสติกออกมาเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน เส้นพลาสติกจะถูกดึงเข้ามายังหัวฉีดร้อนโดยสเต็มอเตอร์อุณหภูมิที่ทำให้เส้นพลาสติกเกิดการหลอมละลายอยู่ในช่วง 190-250 องศาเซลเซียส ขนาดของรูหัวฉีดอยู่ระหว่าง 0.2-0.8 mm และในส่วนของหัวฉีดร้อนจะมีตัวตรวจจับอุณหภูมิเพื่อส่งค่ากลับไปยังส่วนของการควบคุมอุณหภูมิ ลักษณะของหัวฉีดร้อนแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 หัวฉีดร้อน

### 2.2.3 ฐานรองรับชิ้นงาน

ฐานรองรับชิ้นงานเป็นส่วนสำคัญที่รองรับเส้นพลาสติก ที่ถูกฉีดออกมามีส่วนช่วยในการยึดเกาะกันของเส้นพลาสติกแต่ละชั้นแบ่งออกเป็น ฐานรองรับชิ้นงานแบบธรรมดา และฐานรองรับชิ้นงานแบบร้อน ฐานรองรับชิ้นงานแบบธรรมดาทำมาจากแผ่นอะคริลิก หรือกระจก และจะต้องมีเทปกาวสีฟ้า หรือ Blue Tape ติดกับฐานรองรับชิ้นงานเพื่อให้พลาสติกที่ฉีดออกมาติดกับฐานรองรับชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ฐานรองรับชิ้นงานแบบธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.4 วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

วัสดุที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานนั้นเป็นเส้นพลาสติกซึ่งมีหลายประเภท ดังนี้

### 1. เส้นพลาสติกแบบ PLA (Polylactic Acid หรือ Polylactide)

ข้อดีของเส้นพลาสติกชนิดนี้คือ เมื่อเกิดการหลอมละลายจะไม่เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากพลาสติกแบบ PLA ผลิตมาจากวัตถุดิบชีวภาพ อุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดพลาสติกชนิดนี้อยู่ระหว่าง 160-220 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.4 เส้นพลาสติกแบบ PLA

### 2. เส้นพลาสติกแบบ ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

เป็นเส้นพลาสติกที่ต้องการใช้ในการสร้างชิ้นงานที่มีความแข็งแรง ซึ่งอุณหภูมิที่จะหลอมให้เส้นพลาสติกละลายก็จะสูงตามไปด้วย อุณหภูมิที่ใช้ฉีดพลาสติกชนิดนี้อยู่ระหว่าง 215-250 องศาเซลเซียส ชิ้นงานที่สร้างจากวัสดุชนิดนี้จะมีความเงางามและแข็งแรงแต่ข้อเสียของพลาสติกชนิดนี้คือ เมื่อเกิดการหลอมละลายไอระเหยจะ เป็นพิษต่อคนและสัตว์

### 3. เส้นพลาสติกแบบ PVA (Polyvinyl Alcohol)

เป็นเส้นพลาสติกชนิดพิเศษที่สามารถละลายน้ำได้ ดังนั้นการสร้างชิ้นงานจากวัสดุชนิดนี้จึงต้องระวังเรื่องความชื้น อุณหภูมิที่ใช้ฉีดเส้นพลาสติกชนิดนี้ประมาณ 190 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคร่ำใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 โปรแกรมควบคุมและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง

โปรแกรมควบคุมและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องในการสร้างเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ มีตั้งแต่โปรแกรมออกแบบในการเริ่มสร้างส่วนโครงสร้าง โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตลอดไปจนถึงโปรแกรมที่แปลงไฟล์แบบสามมิติเป็นไฟล์ G - Code

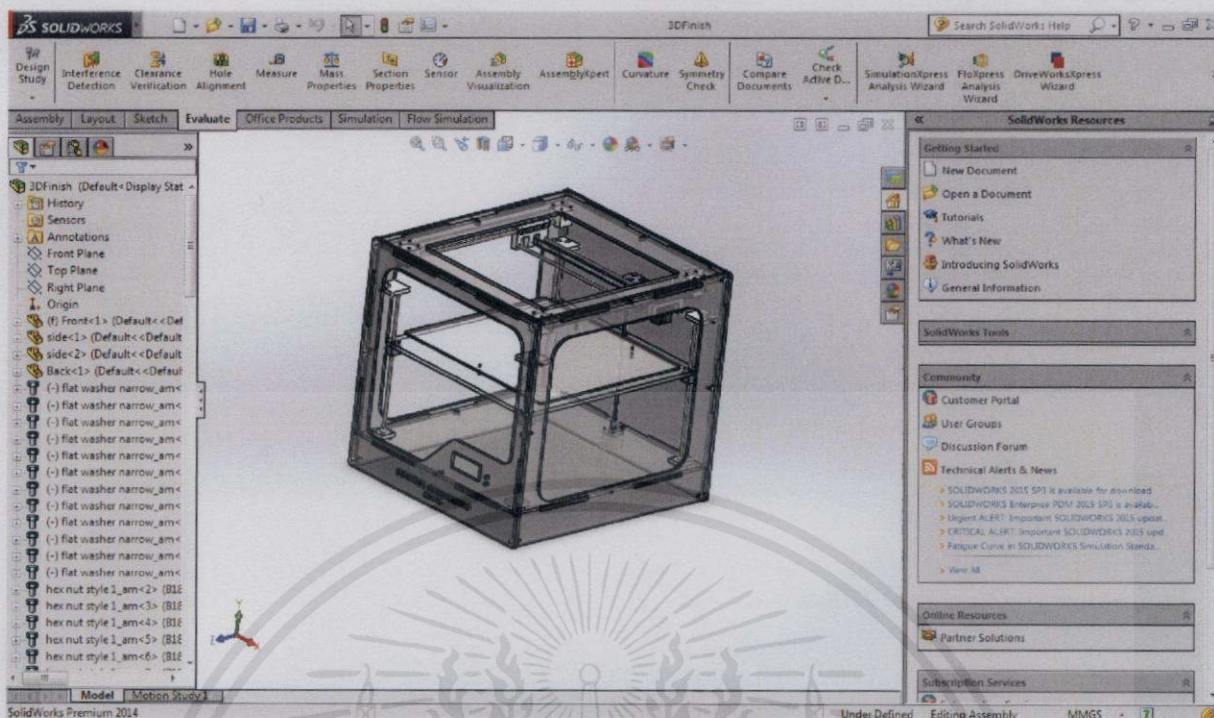
### 2.3.1 โปรแกรมสร้างแบบสามมิติ

โปรแกรมสร้างแบบ 3 มิติ ที่สร้างมารถออกแบบชิ้นงาน 3 มิติขึ้นมาได้นั้น มีให้เลือกใช้หลายโปรแกรมด้วยกันเช่น SolidWorks, AutoCAD และโปรแกรมประเภท 3D Modeling แบบอื่นๆ ซึ่งในปริศยานิพนธ์นี้จะใช้โปรแกรมออกแบบชิ้นงานจาก SolidWorks เป็นหลักซึ่งง่ายต่อการออกแบบชิ้นงาน 3 มิติ

#### 2.3.1.1 โปรแกรม SolidWorks

โปรแกรม SolidWorks เป็นโปรแกรมที่ใช้ออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งง่ายต่อการใช้งานสามารถออกแบบชิ้นงานได้ตั้งแตงาน 2 มิติ ไปจนถึงงานประเภท 3 มิติ สามารถจำลองชิ้นงานแบบ 3 มิติ ขึ้นมาได้สมจริง ลักษณะการทำงานของโปรแกรม SolidWorks จะแบ่งหมวดการทำงานหลักออกเป็น 3 หมวด คือ Part Assembly และ Drawing ในส่วนของ Part ใช้ในการสร้างชิ้นงานตั้งแตงาน 2 มิติ ไปจนถึง 3 มิติ ให้มีรูปร่างต่างๆ ตามที่ต้องการ ส่วน Assembly เป็นการนำเอางานที่ออกแบบจากส่วนของ Part มาประกอบกันให้เป็นรูปร่างส่วนนี้สามารถจำลองให้รู้ถึงความผิดพลาดในการออกแบบจากส่วน Part ได้เมื่อนำมาประกอบกัน ส่วน Drawing เป็นการสร้างมุมมองและกำหนดรายละเอียดและมาตรฐานต่างๆ ทางวิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า" ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## รูปที่ 2.5 โปรแกรม SolidWorks

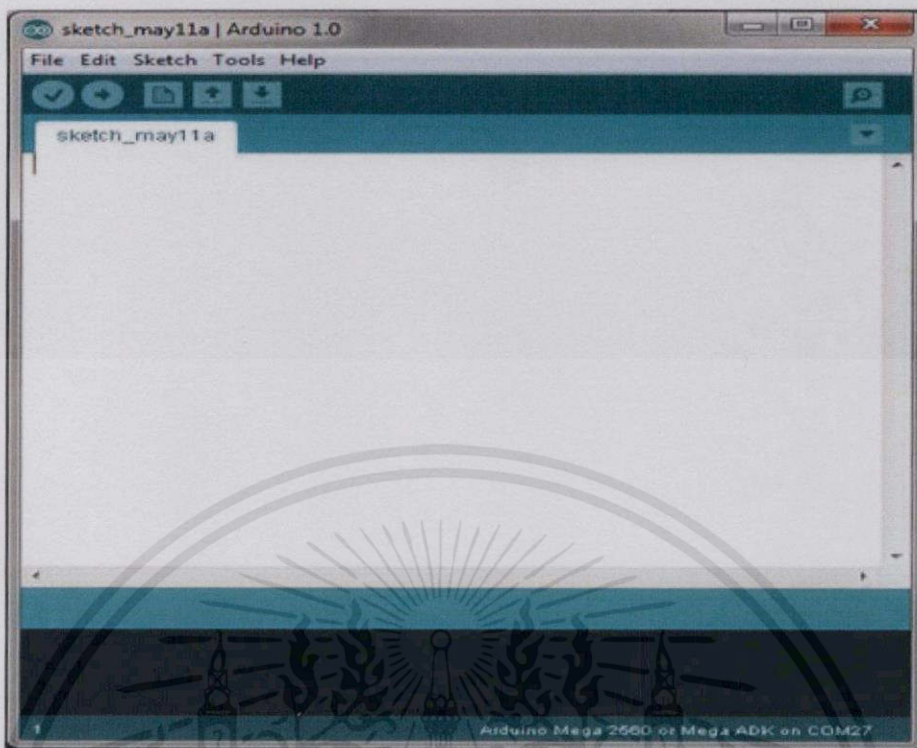
### 2.3.2 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีให้เลือกใช้หลายโปรแกรมด้วยกัน แต่ละโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เองด้วย เช่น PIC จะใช้โปรแกรม MPLab ในส่วนการควบคุม ส่วน Arduino จะใช้ Arduino IDE ในการควบคุม ซึ่งปริณญาณพท์นี้จะใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของ Arduino ดังนั้นโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนควบคุมคือโปรแกรม Arduino IDE

#### 2.3.2.1 Arduino IDE

เป็นโปรแกรมที่ใช้เขียนควบคุมคำสั่งการทำงานต่างๆ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวอำนวยความสะดวกให้ป้อนคำสั่งต่างให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในตัวโปรแกรมจะมี Library มากมายที่สามารถใช้ในการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ การทำงานของโปรแกรมคือ เมื่อทำการเขียนโปรแกรมเรียบร้อยแล้วจะต้องทำการ Compile ให้เป็นภาษาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์นำไปประมวลผลเพื่อให้ได้คำสั่งที่ต้องการ เมื่อ Compile เสร็จจะได้ไฟล์ที่เป็น .hex ซึ่งเป็นภาษาเครื่อง ต่อมาก็ทำการเอาภาษาเครื่องบรรจุลงในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการ

เอกสารนี้ประมวลผลคำสั่งใช้ในการสั่งการต่อไป เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โปรแกรม Arduino IDE

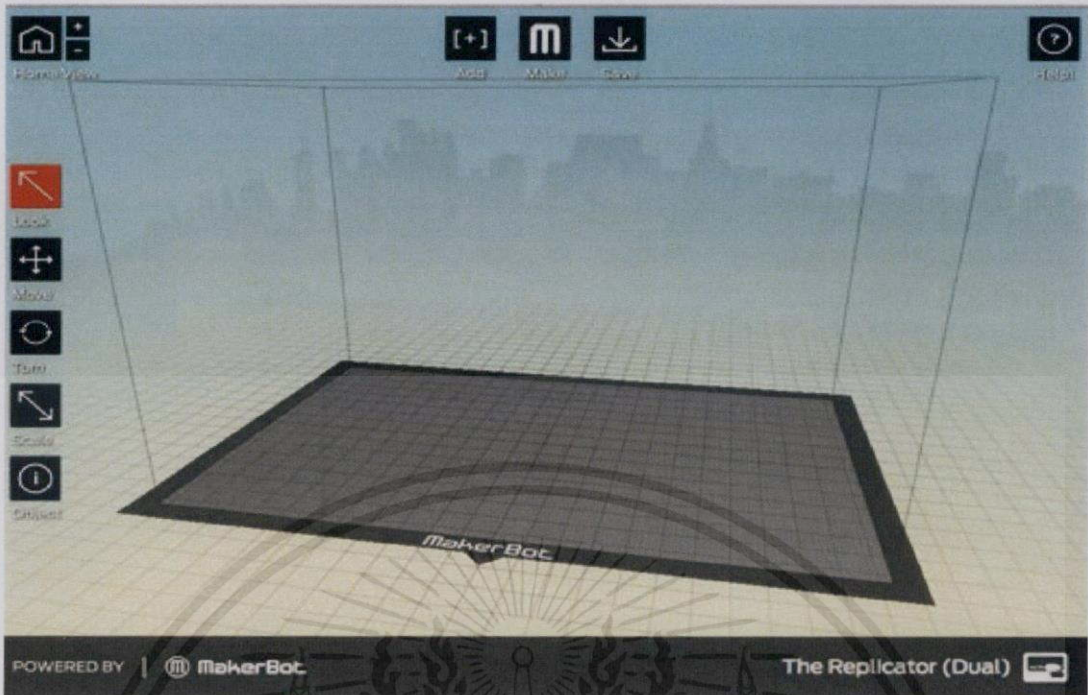
### 2.3.3 โปรแกรมแปลงไฟล์แบบ 3 มิติเป็นไฟล์ G-code

เมื่อทำการออกแบบชิ้นงาน 3 มิติขึ้นมาชิ้นหนึ่ง การที่เครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติจะสามารถสร้างชิ้นงานขึ้นมาได้นั้น จำเป็นต้องมีโปรแกรมที่สามารถแปลงไฟล์ 3 มิติให้เป็นไฟล์ G-code เพื่อนำไปควบคุมให้เครื่องพิมพ์แบบสามมิติสร้างชิ้นงานออกมาตามที่กำหนดได้

#### 2.3.3.1 MakerWare

เป็นโปรแกรมที่ใช้สั่งพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ เป็นโปรแกรมที่แปลงไฟล์ .STL เป็นไฟล์ .X3G เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของการพิมพ์แบบ 3 มิติ โดยตัวโปรแกรมสามารถกำหนดความเร็วต่างๆ ในการพิมพ์ชิ้นงานรวมถึงถึงอุณหภูมิของหัวฉีดและยังสามารถตั้งค่าการพิมพ์ต่างๆ ได้ เช่น ตำแหน่งของการวางชิ้นงาน จำนวนชิ้นงาน ความละเอียดของชิ้นงาน เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โปรแกรม MakerWare

### 2.3.3.2 Repetier-Host

เป็นโปรแกรมสำหรับควบคุมการพิมพ์ชิ้นงานแบบ 3 มิติ ซึ่งตัวโปรแกรมจะแบ่งเป็นส่วนของการควบคุมเครื่องพิมพ์ และส่วนการสร้าง G-code จากโมเดลชิ้นงาน ในส่วนของการสร้าง G-code มีชื่อเรียกว่า Slic3r เป็นส่วนที่สามารถลงรายละเอียดย่อยๆ ที่ใช้กำหนดในการพิมพ์ชิ้นงานได้ทั้งหมด สามารถปรับแต่งความละเอียด ควบคุมความเร็ว ควบคุมอุณหภูมิต่างๆ ในการพิมพ์ชิ้นงานได้จากส่วนนี้ แสดงดังรูปที่ 2.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในของหอการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเป็นเอกสารและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

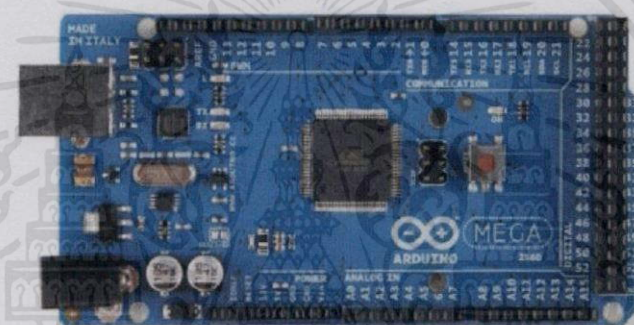
รูปที่ 2.8 โปรแกรม Repetier Host

### 2.3.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการควบคุม

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนสำคัญในการประมวลผลคำสั่งการทำงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมหลักเชื่อมกับส่วนควบคุมอื่นๆ ผ่านทางวงจรหลักที่สั่งการผ่านบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์สั่งให้สเต็ปมอเตอร์ทำงาน และในส่วนของ การฉีดพลาสติกจะมี สเต็ปมอเตอร์ดึงเส้นพลาสติกเข้ามาหลอมละลายในหัวฉีดร้อน และฉีดเส้นพลาสติกออกมาซึ่งการทำงานทั้งหมดจะต้องมีความสัมพันธ์กันในการพิมพ์ชิ้นงาน

#### 2.3.4.1 บอร์ด Arduino Mega 2560

บอร์ด Arduino Mega 2560 ทำหน้าที่เป็นบอร์ดควบคุมการทำงานหลักของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ โดยคำสั่งการประมวลผลการทำงานทั้งหมดของเครื่องพิมพ์ทำงานจากส่วนนี้

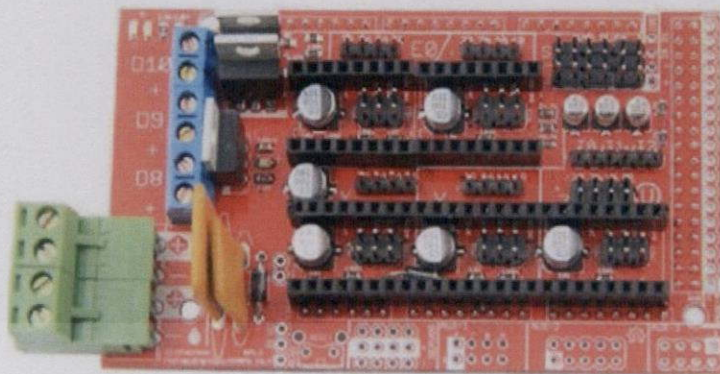


รูปที่ 2.9 บอร์ด Arduino Mega 2560

#### 2.3.4.2 บอร์ด Reprap Arduino Mega Pololu Shied 1.4

บอร์ด Reprap Arduino Mega Pololu Shied 1.4 หรือ RAMPS 1.4 จะทำงานร่วมกับบอร์ด Arduino Mega 2560 โดยจะทำหน้าที่เป็นบอร์ดหลักใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์และรับอินพุตต่างๆ ในการทำงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ เช่น ฐานรองชิ้นงาน หัวฉีดร้อน ลิมิต-สวิตช์ เป็นต้น ลักษณะของบอร์ดแสดงดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



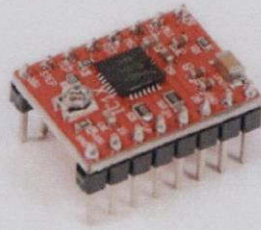
รูปที่ 2.10 บอร์ด RAMPS 1.4

### 2.3.4.3 บอร์ด A4988

เป็นตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ให้ทำงานตามคำสั่งของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีคุณสมบัติสำคัญดังนี้ และแสดงดังรูปที่ 2.11

1. RDS Output มีค่าน้อย
2. มีโหมดการทำงานของกระแสที่ลดลง
3. มี UVLO (Undervoltage Lockout)
4. ป้องกันการเกิด Crossover ของกระแส
5. สัญญาณที่เหมาะสม 3.3 V และ 5 V
6. รองรับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 35 V กระแสสูงสุด 2 A
7. มีวงจรป้องกันอุณหภูมิที่สูงเกินไป
8. ป้องกันกระแสไหลลง Ground
9. ป้องกันการ Shorted Load
10. สามารถรองรับการทำงานเป็นสเต็ปของมอเตอร์ 5 แบบ คือ Full-step, Half-step, Quarter-step, Eighth-step, and Sixteenth-step

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 บอร์ด A4988

#### 2.3.4.4 ลิมิตสวิตช์

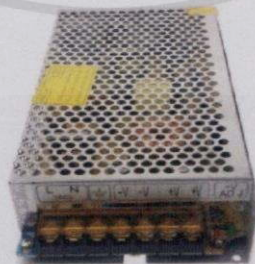
ทำหน้าที่เป็นสวิตช์จำกัดระยะทางการเคลื่อนที่ โดยอาศัยการกระทำจากแรงภายนอกของปลายแกนทั้งสามแกน คือ แกน X แกน Y และแกน Z เพื่อตรวจจับและวัดระยะการเคลื่อนที่ และส่งค่ากลับมาประมวลผลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ลักษณะของลิมิตสวิตช์ แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลิมิตสวิตช์

#### 2.3.4.5 แหล่งจ่ายไฟ

แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าหลักให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ทั้งหมดภายในเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ โดยจะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ให้เหลือแรงดันเพียง 3.3 V และ 5 V เพื่อจ่ายให้กับส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ และ 12 V สำหรับพัดลมระบายอากาศที่หัวฉีดร้อน ลักษณะของแหล่งจ่ายไฟ แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แหล่งจ่ายไฟ

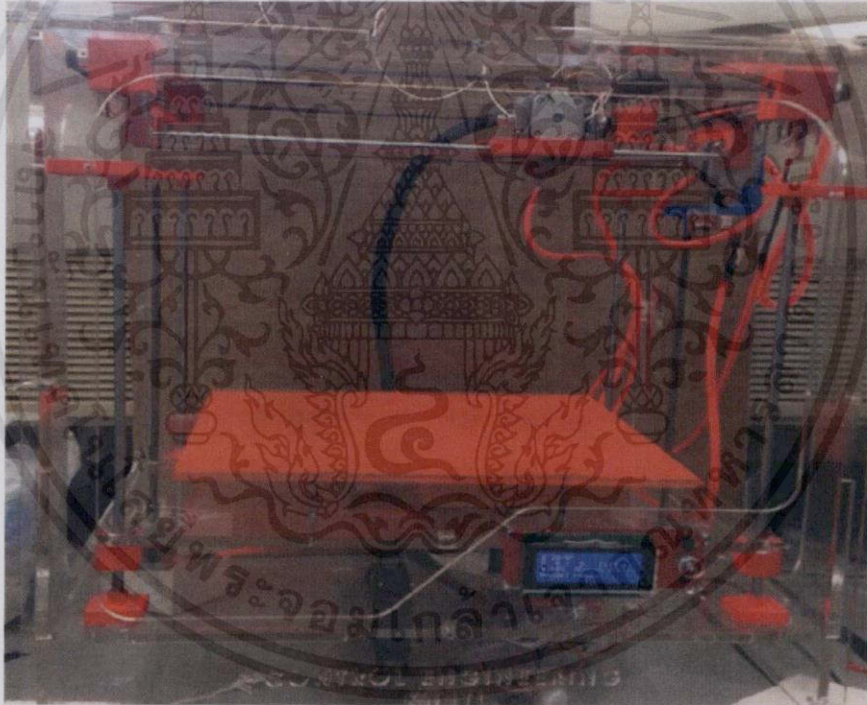
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการดำเนินงานและการออกแบบ

#### 3.1 สร้างส่วนโครงสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

ส่วนโครงสร้างมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยโครงสร้างที่มีความแข็งแรงมากเท่าไร จะทำให้การพิมพ์มีความคลาดเคลื่อนในการพิมพ์ชิ้นงานน้อย เช่น การสั่นสะเทือนระหว่างพิมพ์ชิ้นงาน ถ้าโครงสร้างมีน้ำหนักและมีความสมดุลจะทำให้การสั่นสะเทือนระหว่างการพิมพ์นั้นลดลง โดยโครงงานที่จัดทำได้มีโครงสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติ ขนาด 60X50 mm และใช้เทคนิคการเคลื่อนที่ในการพิมพ์ชิ้นงานแบบ Gantry คือ การกำหนดให้หัวฉีดเคลื่อนที่ไปในแนวแกน X และ Y ส่วนฐานวางชิ้นงานจะเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวแกน Z เท่านั้น ลักษณะโครงสร้างของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ แสดงดังรูปที่ 3.1

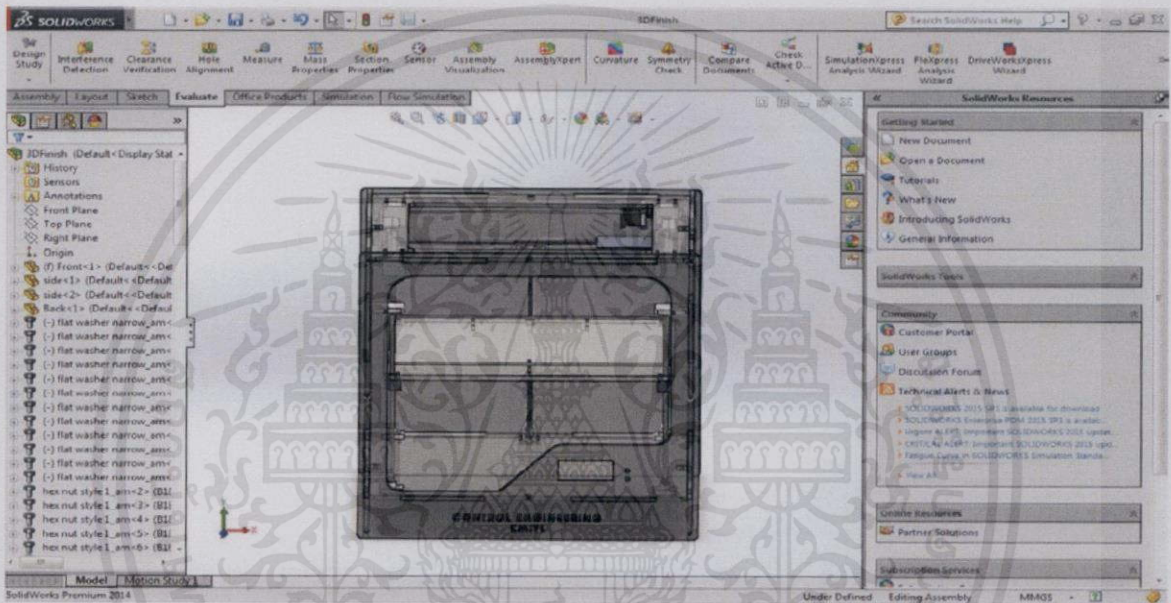


รูปที่ 3.1 โครงสร้างเครื่องพิมพ์แบบสามมิติแบบ Gantry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 การจัดทำโครงของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

ส่วนโครงของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ เลือกชนิดวัสดุเป็นอะคริลิกสีใส ความหนา 10 mm เพื่อความแข็งแรงและรองรับการสั่นสะเทือน การจัดทำส่วนของโครงของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ เมื่อได้ทำการออกแบบส่วนต่างๆ โดยโปรแกรม SolidWorks เรียบร้อยแล้ว สามารถสร้างชิ้นงานส่วนนี้ขึ้นมาได้โดยทำการบันทึกไฟล์งานให้อยู่ในนามสกุลไฟล์ .DXF ส่งให้ทางร้านที่รับตัดแผ่นอะคริลิกสร้างชิ้นงานขึ้นมา โดยเลือกการตัดแบบใช้เลเซอร์ในการตัดเพื่อความเรียบของชิ้นงานและง่ายต่อการประกอบ แสดงดังรูปที่ 3.2



(ก) จากโปรแกรม SolidWorks



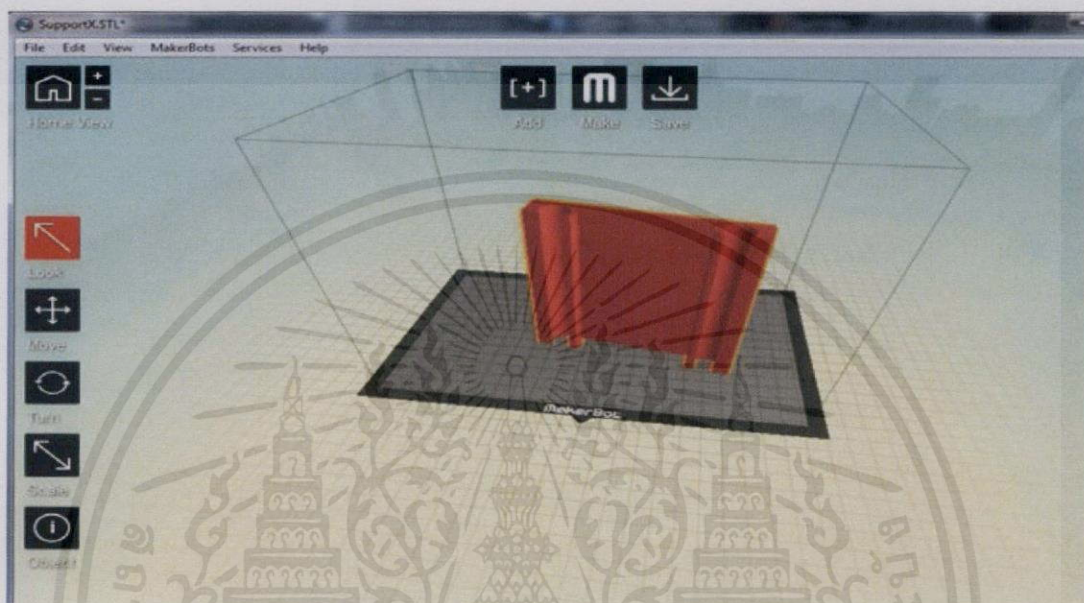
(ข) โครงของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและเผยแพร่ข้อมูลใดๆซึ่งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 โครงของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

### 3.1.2 การจัดทำชิ้นส่วนประกอบเชิงกลของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

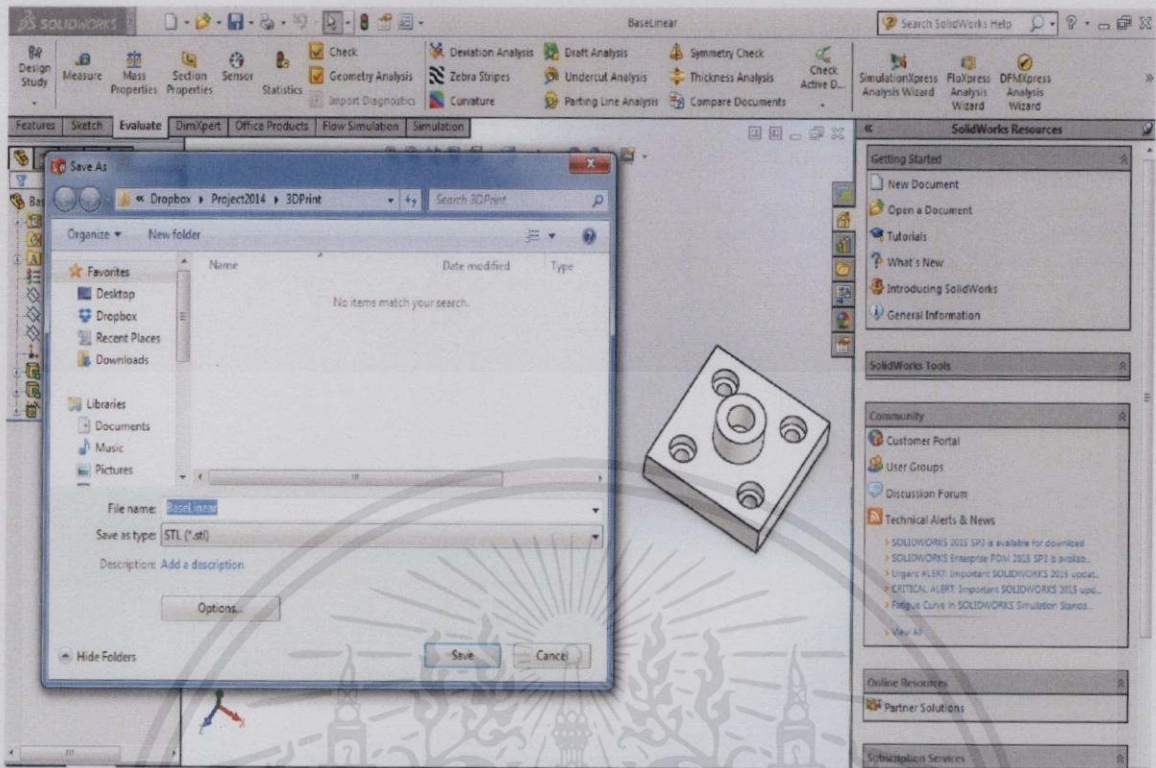
การสร้างชิ้นส่วนประกอบระบบเชิงกลของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ สามารถสร้างได้จากเครื่อง MakerBot โดยผ่านโปรแกรม MakerWare ซึ่งโปรแกรมจะเป็นขั้นตอนที่กำหนดรายละเอียดในการพิมพ์ทั้งหมด ลักษณะของโปรแกรม MakerWare แสดงดังรูปที่ 3.3



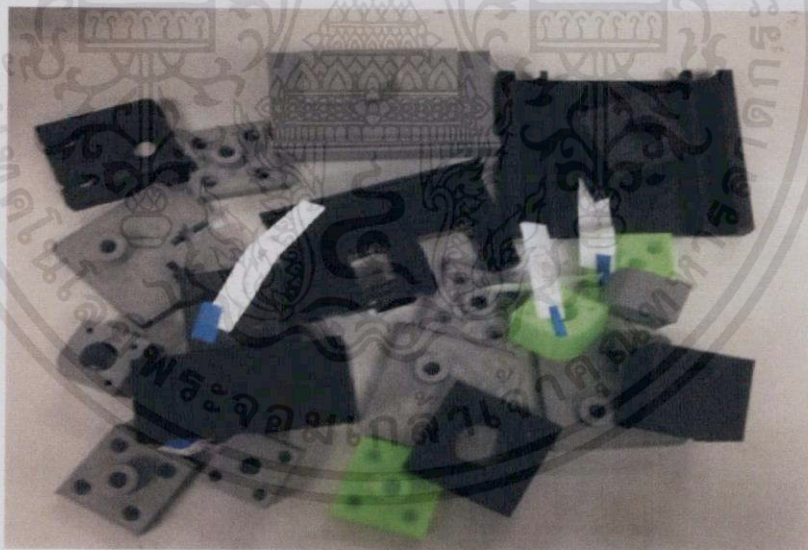
รูปที่ 3.3 ลักษณะโปรแกรม MakerWare

เริ่มต้นจากการทำชิ้นงานด้วยการนำชิ้นงานจากโปรแกรม SolidWorks โดยขนาดของชิ้นงานต้องมีขนาดที่เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ โดยเครื่อง MakerBot สามารถจัดทำชิ้นงาน โดยขอบเขตสูงสุดอยู่ที่ 300 x 300 mm โดยเครื่อง MakerBot ใช้โปรแกรม MakerWare เป็นตัวเชื่อมต่อการทำงานโดยผ่าน SD card และโปรแกรม MakerWare ใช้ไฟล์ที่มีนามสกุล .STL เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องทำการบันทึกงาน SolidWorks เป็น .STL ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การบันทึกไฟล์งาน TopBase โดยบันทึกเป็น .STL



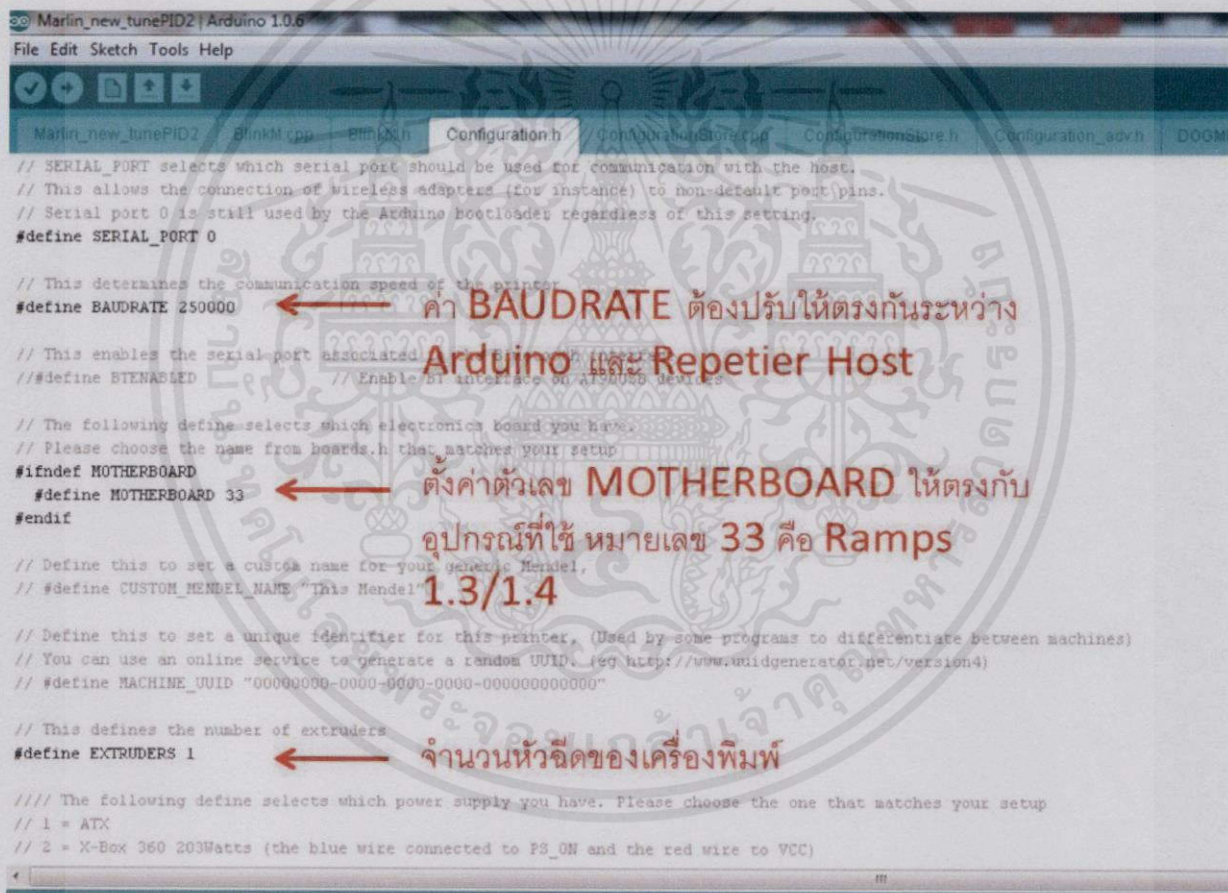
รูปที่ 3.5 ชิ้นส่วนประกอบระบบเชิงกลของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติที่พิมพ์จากเครื่อง MakerBot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การออกแบบในส่วนของโปรแกรม

จะใช้โปรแกรม Arduino เป็นหลักในการควบคุมการทำงานในส่วนของโปรแกรม ซึ่งบอร์ด Arduino ที่ใช้นั้นจะเป็นบอร์ด Arduino Mega 2560 ซึ่งจะใช้เป็นตัวที่ใช้ในการควบคุม โดยการทำงานของบอร์ด Arduino Mega 2560 จะมีการทำงานดังนี้

บอร์ด Arduino Mega 2560 เป็นตัวรับค่า input จากการป้อนโปรแกรมภายใต้คำสั่งของโปรแกรม Arduino ซึ่งเป็นการกำหนดค่าการเคลื่อนที่ของแกน X แกน Y และแกน Z การทำงานของสเต็ปมอเตอร์ และการทำงานของหัวฉีด การตั้งค่าของหน้า โดยมีการป้อนโค้ดของโปรแกรมการทำงานได้ดังนี้ โดยอธิบายเป็นรูปภาพ ดังในรูปที่ 3.6 – 3.11



รูปที่ 3.6 การตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรม Arduino (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Marlin_new_tunePID2 | Arduino 1.0.6
File Edit Sketch Tools Help
Marlin_new_tunePID2 | BsnM.cpp | BsnM.h | Configuration.h | ConfigurationStore.cpp | ConfigurationStore.h | Configuration_adv.h | DDDMMmaps.h | LiquidCrystalRus.cpp | Liquid
// 110 is Pt100 with 1k pullup (non standard)

#define TEMP_SENSOR_0 1
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_BED 0

// This makes temp sensor 1 a redundant sensor for sensor 0. If the temperatures difference between these sensors is to high the print will be aborted.
// #define TEMP_SENSOR_1_AS_REDUNDANT
#define MAX_REDUNDANT_TEMP_SENSOR_DIFF 10

// Actual temperature must be close to target for this long before M109 returns success
#define TEMP_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds)
#define TEMP_HYSTERESIS 3 // (degC) range of +/- temperatures considered "close" to the target one
#define TEMP_WINDOW 1 // (degC) Window around target to start the residency timer x degC early.

// The minimal temperature defines the temperature below which the heater will not be enabled if it is used
// to check that the wiring to the thermistor is not broken.
// Otherwise this would lead to the heater being powered on all the time.
#define HEATER_0_MINTEMP 0
#define HEATER_1_MINTEMP 5
#define HEATER_2_MINTEMP 5
#define BED_MINTEMP 5

// When temperature exceeds max temp, your heater will be switched off.
// This feature exists to protect your hotend from overheating accidentally, but "NOT" from thermistor short/circuit!
// You should use MINTEMP for thermistor shorts/failure protection.
#define HEATER_0_MAXTEMP 275
#define HEATER_1_MAXTEMP 275
#define HEATER_2_MAXTEMP 275

```

← ตั้งค่าชนิดของเซนเซอร์ที่ใช้อ่านค่าอุณหภูมิของหัวฉีด หมายเลข 1 คือ 100k Thermistor

← การกำหนดอุณหภูมิ ต่ำสุดเมื่อไม่มีการทำงานของหัวฉีด

← การกำหนดอุณหภูมิ สูงสุดที่หัวฉีดร้อนทำงานได้

รูปที่ 3.7 การตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรม Arduino (2)

```

Marlin_new_tunePID2 | Arduino 1.0.6
File Edit Sketch Tools Help
Marlin_new_tunePID2 | BsnM.cpp | BsnM.h | Configuration.h | ConfigurationStore.cpp | ConfigurationStore.h | Configuration_adv.h | DDDMMmaps.h | LiquidCrystalRus.cpp | LiquidCrystalRus.h
// For deltabots this means top and center of the Cartesian print volume.
#define MANUAL_X_HOME_POS 0
#define MANUAL_Y_HOME_POS 0
#define MANUAL_Z_HOME_POS 0
// #define MANUAL_Z_HOME_POS 402 // For delta: Distance between nozzle and print surface after homing.

// MOVEMENT SETTINGS
#define NUM_AXIS 4 // The number of axis in the setup
#define HOMING_FEEDRATE (50*60, 50*60, 4*60, 0) // get the homing speed for each axis

// default settings
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {80.06,80.8,1587.3,98} // default
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE {500, 500, 5, 25} // (mm/sec)
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION {180,180,10,200} // X, Y, Z, E maximum print speed for accelerated axes. E default values are good for Skreinforce 40+, for older vnt

#define DEFAULT_ACCELERATION 60 // X, Y, Z and E max acceleration in mm/s^2 for printing moves
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 60 // X, Y, Z and E max acceleration in mm/s^2 for retracts

// Offset of the extruders (uncomment if using more than one and relying on firmware to position when changing).
// The offset has to be X=0, Y=0 for the extruder 0 hotend (default extruder).
// For the other hotends it is their distance from the extruder 0 hotend.
// #define EXTRUDER_OFFSET_X (0.0, 30.00) // (in mm) for each extruder, offset of the hotend on the X axis
// #define EXTRUDER_OFFSET_Y (0.0, 5.00) // (in mm) for each extruder, offset of the hotend on the Y axis

// The speed change that does not require acceleration (i.e. the software might assume it can be done instantaneously)
#define DEFAULT_XYJERK 20.0 // (mm/sec)
#define DEFAULT_ZJERK 0.4 // (mm/sec)
#define DEFAULT_EJERK 5.0 // (mm/sec)

```

← ปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ไปยังจุดที่

← เครื่องพิมพ์พร้อมที่จะทำงานให้เหมาะสม

← ในทุกๆ แกน

← ปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของ Stepmotor

← ให้ตรงับระยะการเคลื่อนที่ของทุกๆ แกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.8 การตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรม Arduino (3)  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Marlin_new_tunePID2 | Arduino 1.0.6
File Edit Sketch Tools Help

Marlin_new_tunePID2 | BiniM.cpp | BiniM.h | Configuration.h | ConfigurationStore.cpp | ConfigurationStore.h | Configuration_gd.h | DDMMGImages.h | LiquidCrystal_Pus.cpp | LiquidCrystal_Pus.h | Mar

// Comment the following line to disable PID and enable bang-bang.
#define PIDTEMP
#define BANG_MAX 255 // limits current to nozzle while in bang-bang mode; 255=full current
#define PID_MAX BANG_MAX // limits current to nozzle while PID is active (see PID_FUNCTIONAL_RANGE below); 255=full current
#undef PIDTEMP

// #define PID_DEBUG // Sends debug data to the serial port.
// #define PID_OPENLOOP 1 // Puts PID in open loop. M104/M140 sets the output power from 0 to PID_MAX
// #define SLOW_PWM_HEATERS // PWM with very low frequency (roughly 0.125Hz=8s) and minimum state time of approximately 1s useful for heaters driven by a relay
// #define PID_FANS_PER_EXTRUDER // Uses separate PID parameters for each extruder (useful for mismatched extruders)
// // Set/get with codes: M301 E[extruder number, 0-2]
#define PID_FUNCTIONAL_RANGE 10 // If the temperature difference between the target temperature and the actual temperature
// // is more than PID_FUNCTIONAL_RANGE then the PID will be shut off and the heater will be set to min/max.
#define PID_INTEGRAL_DRIVE_MAX PID_MAX // limit for the integral term
#define K1 0.95 // smoothing factor within the PID
#define PID_ST ((OVERSAMPLING * 10.0)/(F_CPU / 64.0 / 256.0)) //sampling period of the temperature routine

// If you are using a pre-configured hotend then you can use one of the value sets by uncommenting it
// Ultimaker
// #define DEFAULT_Kp 30.20
// #define DEFAULT_Ki 3.23
// #define DEFAULT_Kd 70.51

// MakerGear
// #define DEFAULT_Kp 7.0
// #define DEFAULT_Ki 0.1
// #define DEFAULT_Kd 12

// Mendel Parts V9 on 12V
// #define DEFAULT_Kp 93.0

```

← การปรับค่าPIDที่เหมาะสมของหัวฉีด โดยสามารถหาค่าที่เหมาะสมได้โดยการป้อนคำสั่ง M303 ไปในโปรแกรมReppetier Host ซึ่งเป็นการหาค่าPIDที่เหมาะสมของหัวฉีด

รูปที่ 3.9 การตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรม Arduino (4)

```

Marlin_new_tunePID2 | Arduino 1.0.6
File Edit Sketch Tools Help

Marlin_new_tunePID2 | BiniM.cpp | BiniM.h | Configuration.h | ConfigurationStore.cpp | ConfigurationStore.h | Configuration_Torch.h | DDMMGImages.h | LiquidCrystal_Pus.cpp | LiquidCrystal_Pus.h | Mar

// Disables axis when it's not being used.
#define DISABLE_X false
#define DISABLE_Y false
#define DISABLE_Z false
#define DISABLE_E false // For all extruders
#define DISABLE_INACTIVE_EXTRUDER true // disable only inactive extruders and keep active extruder enabled

#define INVERT_X_DIR true // for Mendel set to false, for Orca set to true
#define INVERT_Y_DIR false // for Mendel set to true, for Orca set to false
#define INVERT_Z_DIR true // for Mendel set to false, for Orca set to true
#define INVERT_E0_DIR false // for direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false
#define INVERT_E1_DIR false // for direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false
#define INVERT_E2_DIR false // for direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false

// ENDSTOP SETTINGS:
// Sets direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN
#define X_HOME_DIR -1
#define Y_HOME_DIR -1
#define Z_HOME_DIR -1

#define min_software_endstops true // If true, axis won't move if coordinates less than HOME_POS.
#define max_software_endstops true // If true, axis won't move if coordinates greater than the defined lengths below.

// Travel limits after homing (units are in mm)
#define X_MAX_POS 360
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MAX_POS 310
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MAX_POS 300

```

← การกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของแนวแกนไปยัง limitswitch endstop เมื่อเครื่องพิมพ์พร้อมที่จะทำงาน

← การกำหนดระยะสูงสุดที่เครื่องพิมพ์สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้ง 3 แกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.10 การตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรม Arduino (5) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// Define your display language below. Replace (en) with your language code and uncomment.
// en, pl, fr, de, es, ru, it, pt, pt-br, fi, an, nl, ca, eu
// See also language.h
// #define LANGUAGE_INCLUDE GENERATE_LANGUAGE_INCLUDE(en)

// Character based displays can have different extended charsets.
#define DISPLAY_CHARSET_HD44780_JAPAN // "880000323"
// #define DISPLAY_CHARSET_HD44780_WESTERN // "Aa00Umb***" if you see a '-' instead of a 'arrow_right' at the right of submillites - this is the right one.

// #define ULTRA_LCD // general LCD support, also 16x2
// #define DOGLCD // Support for SPI LCD_128x64 Controller ST7565R graphic Display Family)
#define SDSUPPORT // Enable SD card support
// #define SDSLOW // Use slower SD transfer mode (not normally needed - uncomment if you're getting volume init error)
// #define SD_CHECK_AND_RETRY // Use CRC checks and retries on the SD communication
// #define ENCODER_PULSES_PER_STEP 1 // Increase if you have a high resolution encoder
// #define ENCODER_STEPS_PER_MENU_ITEM 5 // Set according to ENCODER_PULSES_PER_STEP or your liking
// #define ULTIMAKERCONTROLLER // as available from the Ultimaker online store.
// #define ULTIPANEL // the Ultipanel as on Thingiverse
// #define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_HZ 1000 // this is the tone frequency the buzzer plays when an UI feedback. ie Screen Click
// #define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_DURATION_MS 100 // the duration the buzzer plays the UI feedback sound. ie Screen Click

// The Makr3d Makr-Panel with graphic controller and SD support
// http://reprap.org/wiki/Makr3d\_MakrPanel
// #define MAKRPANEL

// The ReprapDiscount Smart Controller, white PCB
// http://reprap.org/wiki/ReprapDiscount\_Smart\_Controller
#define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER
// The GADGETS3D GSD LCD/SD-Controller (Blue PCB);

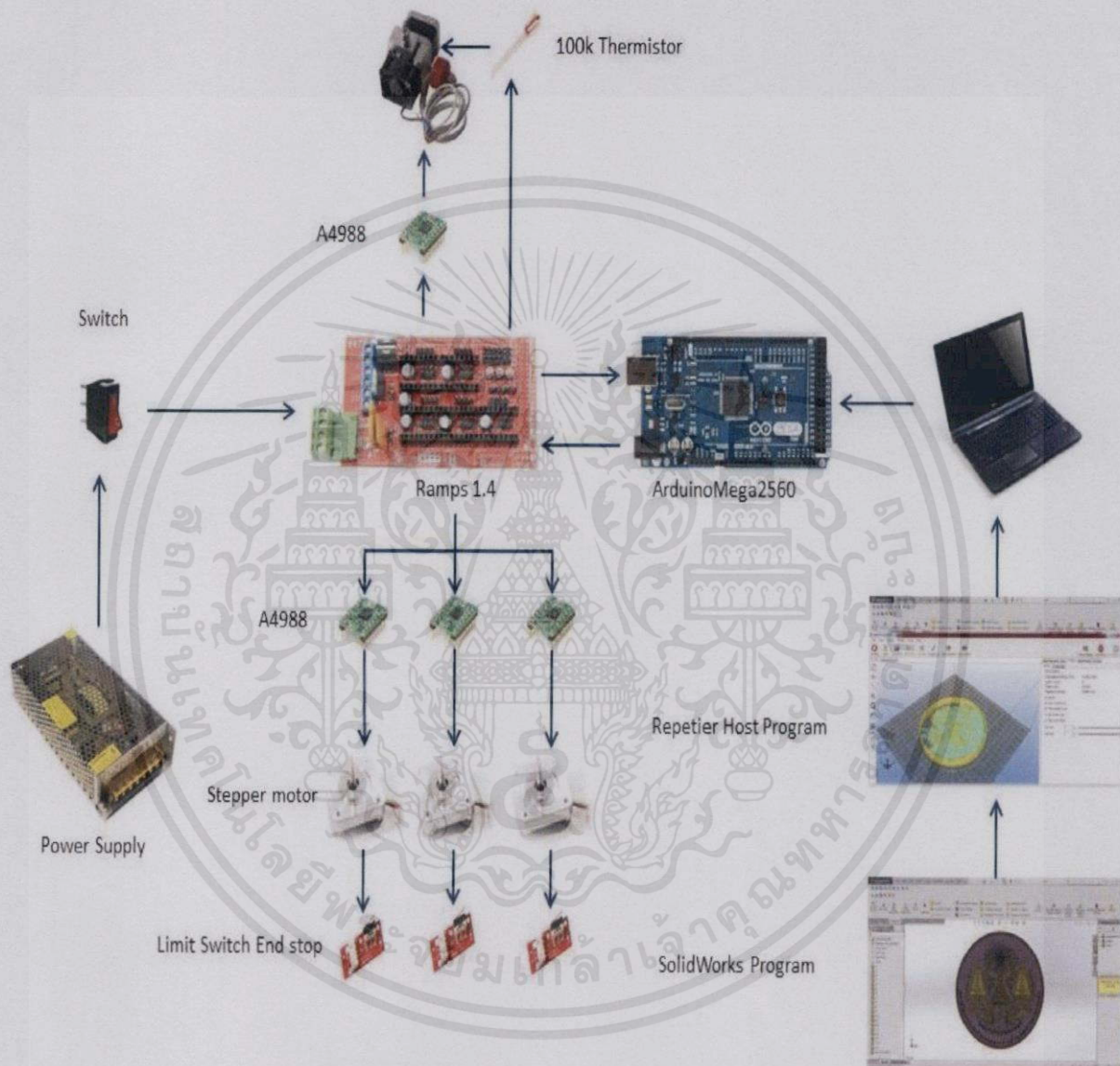
```

รูปที่ 3.11 การตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรม Arduino (6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การออกแบบในส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

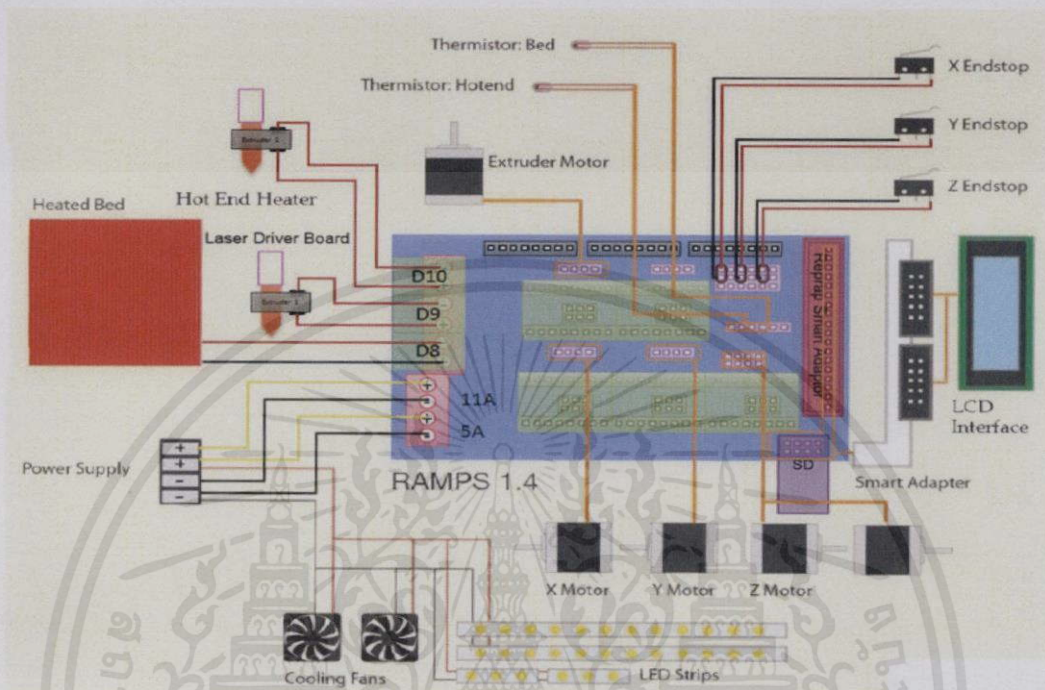
การทำงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ จะมีการต่อของอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยเป็นการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การทำงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติจะมีการประกอบของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะต่อกับบอร์ด Ramps 1.4 เป็นตัวขับเคลื่อนของการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งการทำงานของบอร์ด Ramps 1.4 มีการต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การต่อบอร์ด RAMPS1.4 กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ

### 3.3.1 ส่วนของบอร์ดขับมอเตอร์

A4988 ทำหน้าที่เป็นตัวขับ (Driver) สเต็ปมอเตอร์ทั้ง 4 คือ แกน X แกน Y แกน Z และ สเต็ปมอเตอร์ที่หัวฉีด ลักษณะของ A4988 แสดงดังรูปที่ 3.14

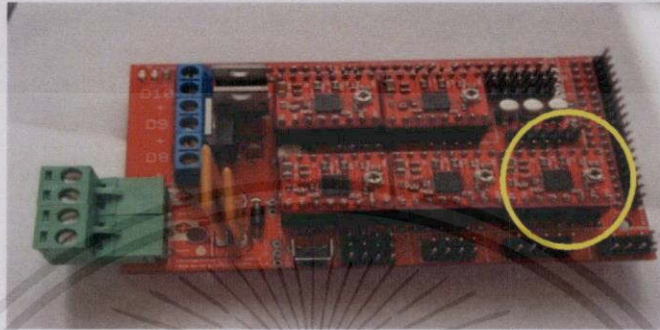


รูปที่ 3.14 บอร์ด A4988

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การต่อ RAMPS 1.4 กับ A4988

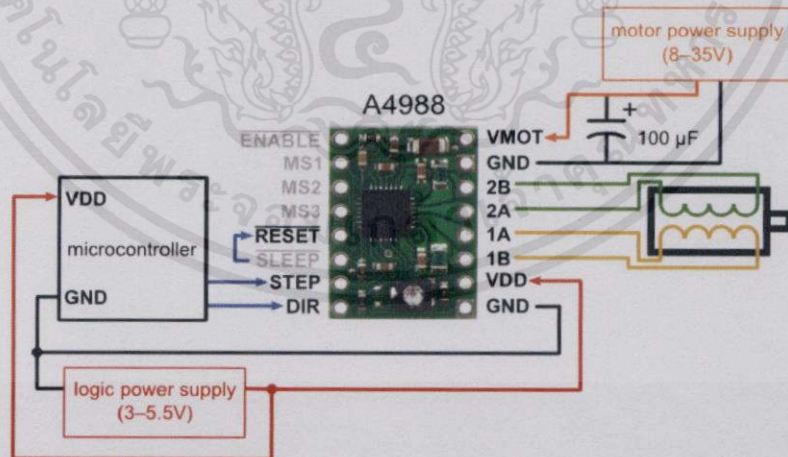
วงจรขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์ โดยรับคำสั่งมาจาก Microcontroller ซึ่งในโครงการนี้ใช้ Microcontroller เป็นบอร์ด Arduino Mega 2560 โดยผ่าน Shield Board Ramps 1.4 การต่อ A4988 กับ RAMPS 1.4 แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การใช้บอร์ดขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์ (A4988) ต่อร่วมกับ RAMPS1.4

#### วิธีการต่อวงจรของบอร์ดขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์ (A4988)

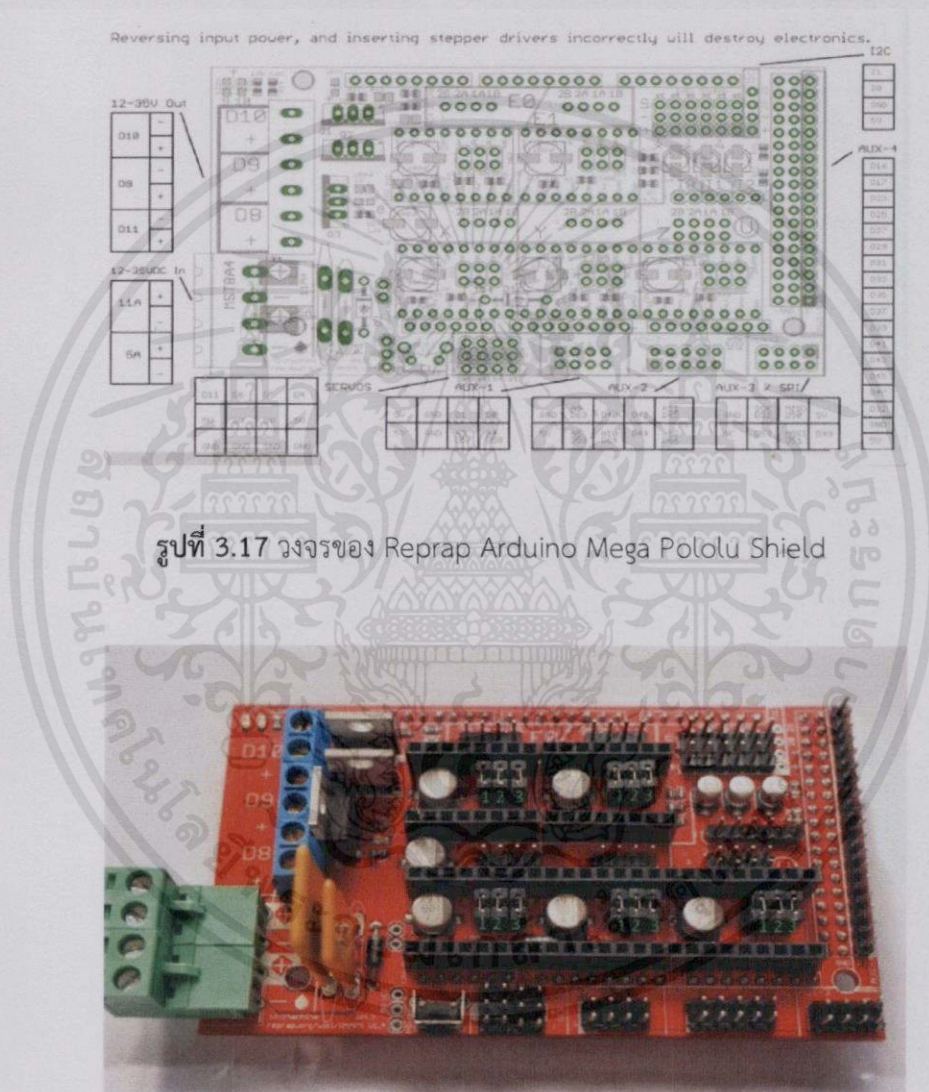
- การจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ดขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์ จะใช้ไฟที่จ่ายมาจากแหล่งจ่ายไฟ 12V 5A ให้กับบอร์ด Arduino Mega 2560 ซึ่งต่ออยู่กับบอร์ดขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์ (A4988) ในส่วนของตัวสเต็ปมอเตอร์จะได้รับไฟเลี้ยงจากบอร์ด Arduino Mega 2560 เช่นกัน
- การต่อสเต็ปมอเตอร์หลังจากหาเฟสได้แล้วนั้น จะทำการต่อดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 วงจรของบอร์ดขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์ (A4988)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reprap Arduino Mega Pololu หรือ RAMPS ถูกออกแบบมาเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของ Reprap รวมในแพคเกจขนาดเล็ก 1 ชุด RAMPS เชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino Mega2560 ด้วยแพลตฟอร์มที่มีประสิทธิภาพ และมีช่องมากมายสำหรับการพัฒนาการออกแบบโมดูลลาร์ได้รวมการเชื่อมต่อการขับเคลื่อนมอเตอร์ และส่วนควบคุมหัวฉีดพลาสติกไว้ในบอร์ด RAMPS เพื่อง่ายต่อการใช้งาน



รูปที่ 3.17 วงจรของ Reprap Arduino Mega Pololu Shield

รูปที่ 3.18 บอร์ด Reprap Arduino Mega Pololu Shield หรือ RAMPS 1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 การตั้งค่าการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ

การพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิตินั้นต้องอาศัยความแม่นยำในการเคลื่อนที่และความสัมพันธ์กันระหว่างการเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกน คือ แกน X แกน Y แกน Z รวมไปถึงการเคลื่อนที่ของสเต็ปมอเตอร์ ในส่วนของหัวฉีดร้อน เพื่อดึงเส้นพลาสติกในปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน

#### 3.3.3.1 การคำนวณค่าของสเต็ปยูนิตของสเต็ปมอเตอร์แกน X และ แกน Y

ในส่วนนี้เป็นการคำนวณค่าของสเต็ปยูนิตของสเต็ปมอเตอร์ โดยการคิดค่าของสเต็ปยูนิตของสเต็ปมอเตอร์ในแกน X และแกน Y ซึ่งมีการเคลื่อนที่ร่วมกันของสายพานกับลูกรอก (Pulley) สามารถหาค่าสเต็ปยูนิตที่เหมาะสมได้จากสมการที่ (1)

$$\text{สเต็ปมอเตอร์} = \frac{\text{Motor Step Angle}}{(\text{ระยะห่างระหว่าง pulley}) \times (\text{จำนวนฟันของ pulley}) \times (\text{ค่า Driver Micro Stepping})} \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) หาค่า Motor Step Angle ในสมการที่ (2) ได้ว่า

$$\text{Motor Step Angle} = \frac{360^\circ}{\text{ค่า Step per Angle ของสเต็ปมอเตอร์}} \quad (2)$$

แทนค่าสมการที่ (2) ลงในสมการที่ (1) และได้ค่าตัวแปรดังนี้

ค่า Step per Angle คือ 1.8

ดังนั้น Motor Step Angle =  $360/1.8^\circ = 200$

ระยะระหว่าง pulley = 2 mm

จำนวนฟันของ pulley = 20

ค่า Driver Micro Stepping ของสเต็ปมอเตอร์ = 1/16

จะได้ว่า ค่าของสเต็ปยูนิตที่เหมาะสม มีค่าเท่ากับ  $\frac{200}{2 \times 20 \times (1/16)} = 80$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่า Motor Step Angle ที่ได้ นั้น สามารถหาค่าของสเต็ปยูนิตของแกน X และ Y ได้ ประมาณ 80.00 หรือสามารถคำนวณค่าของสเต็ปยูนิตที่ต้องการได้จากเว็บไซต์ <http://prusaprinters.org/calculator/> โดยสามารถแทนค่าลงไปได้ เพื่อหาค่าของสเต็ปยูนิต ดังรูป ที่ 3.19

prusaprinters.org/calculator/

### Stepper Motors

#### Steps per millimeter - belt driven systems

The result is theoretically right, but you might still need to calibrate your machine to get finest detail. This is good start tho.

If you struggle how to use this calculator, try asking in [steps per mm](#) forum.

ค่า degree/step ของ step motor

ระยะห่างระหว่างฟันของสายพาน → Belt pitch (in mm)

จำนวนฟันของ pulley ← Pulley tooth count

ค่า step per unit ที่เหมาะสม → Result

Motor step angle	1.8° (200 per revolution)	Driver microstepping	1/16 - uStep (mostly Pololu)
Belt pitch (in mm)	2	Belt presets	2mm Pitch (GT2 mainly)
Pulley tooth count	20		
Result	80.00 (Click to Share)	Resolution	12.5micron
		Teeth	20
		Step angle	1.8°
		Stepping	1/16th
		Belt	2mm

Example

รูปที่ 3.19 การคำนวณค่าของสเต็ปยูนิตของสเต็ปมอเตอร์ของแกน X และแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3.2 การตั้งค่าของสเต็ปยูนิตของสเต็ปมอเตอร์สำหรับแกน Z

ในส่วนนี้เป็นการคำนวณค่าของสเต็ปยูนิตของสเต็ปมอเตอร์ ในการคิดค่าของสเต็ปยูนิตของสเต็ปมอเตอร์ในแนวแกน Z ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของ Lead Screw สำหรับการยกระดับของแผ่นรองชิ้นงานการสามารถตั้งค่าสเต็ปยูนิตได้ โดยการกำหนดค่าที่ Arduino ค่าที่เหมาะสมสามารถหาได้จากการทดลองป้อนค่าลงไปแล้วทำการสั่งให้แกน Z เคลื่อนที่ตามระยะที่กำหนดดังรูปที่ 3.20



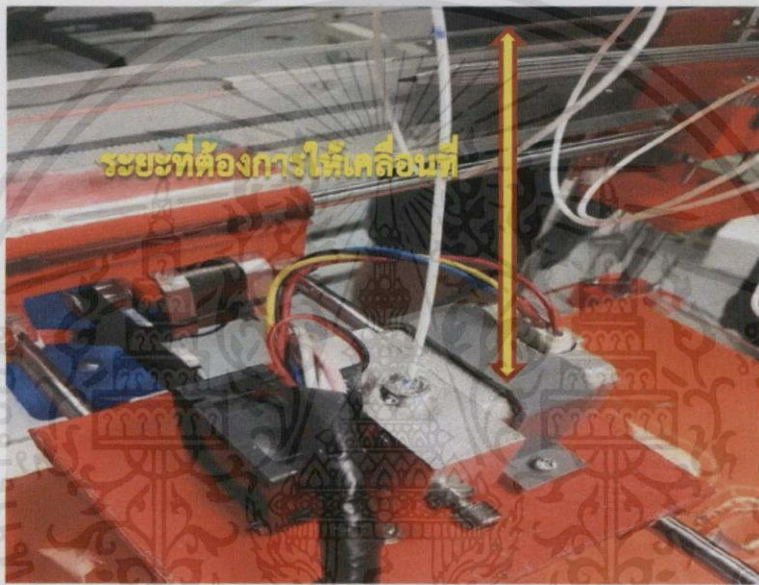
รูปที่ 3.20 การคำนวณค่าของสเต็ปยูนิตของสเต็ปมอเตอร์ของแกน Z

จากรูปที่ 3.20 เป็นการป้อนคำสั่งให้แกน Z เคลื่อนที่เป็นระยะ 100 mm แต่ปรากฏว่าแกน Z เคลื่อนที่ได้เพียง 63 mm สามารถหาค่าสเต็ปยูนิตที่เหมาะสมโดยการเทียบค่า ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะที่เคลื่อนที่ ค่าสเต็ปยูนิตของแกน Z ที่ตั้งไว้คือ 1000 ทำให้แกน Z เคลื่อนที่เป็นระยะ 63 mm ดังนั้นเมื่อต้องการให้แกน Z เคลื่อนที่เป็นระยะ 100 mm ค่าสเต็ปยูนิตที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 1587.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3.3 การตั้งค่าสแต็ปยูนิตที่เหมาะสมของหัวฉีด

ในส่วนนี้เป็นการคำนวณค่าของสแต็ปยูนิตของสแต็ปมอเตอร์ ที่ส่วนหัวฉีดเพื่อให้สามารถดึงเส้นพลาสติกที่เข้ามาฉีดขึ้นงานได้ตามคำสั่ง โดยสามารถหาค่าที่เหมาะสมได้โดยการกำหนดระยะที่ต้องการให้เคลื่อนที่ดังรูปที่ 3.21 จากนั้นป้อนคำสั่งให้หัวฉีดเคลื่อนที่เป็นระยะ 100 mm แต่ปรากฏว่าหัวฉีดเคลื่อนที่ไปเป็นระยะ 143 mm ซึ่งค่าสแต็ปยูนิตที่ทำให้หัวฉีดเคลื่อนที่ไปเป็นระยะ 143 mm นั่นคือ 140 ดังนั้นค่าสแต็ปยูนิตที่เหมาะสมในการเคลื่อนที่ในระยะ 100 mm มีค่าประมาณ 98

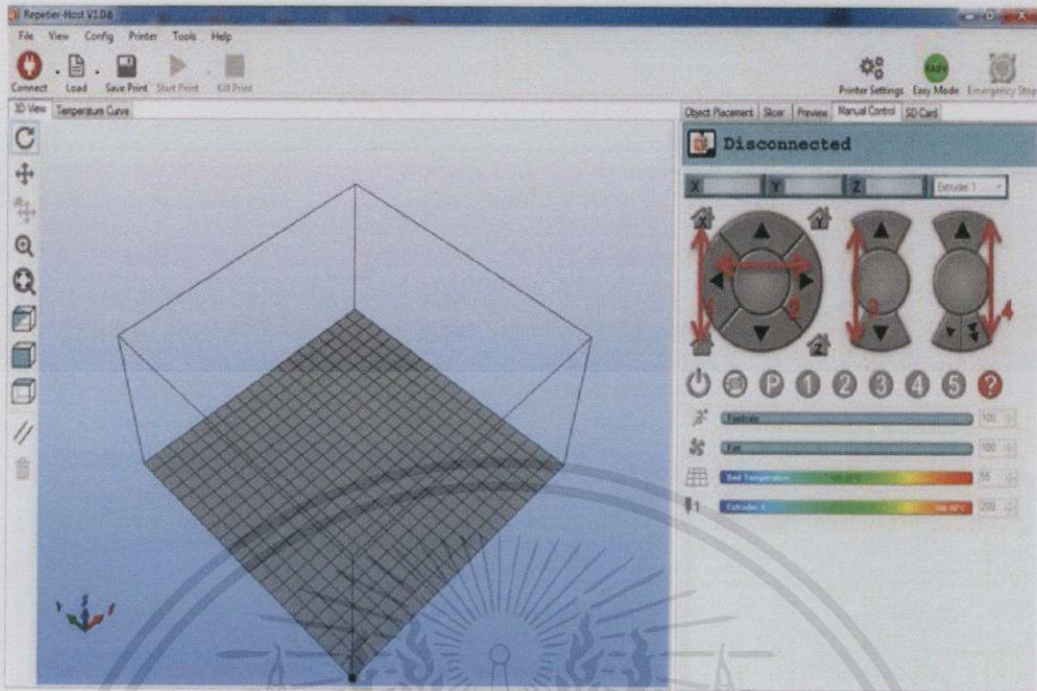


รูปที่ 3.21 การคำนวณค่าสแต็ปยูนิตที่เหมาะสมของหัวฉีด

## 3.4 การใช้งานโปรแกรม Repetier-Host

เป็นโปรแกรมมีความสามารถปรับตำแหน่งแนวการวางชิ้นงานและขนาดของชิ้นงาน เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมแกน 3 แกน ปรับแต่ง และตั้งค่าได้อย่างอิสระ จึงเหมาะกับการใช้งานกับเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ ทำงานโดยการแปลงไฟล์ .STL เป็น G-code ระบุตำแหน่งของระบบเคลื่อนที่ในระยะยาวต่างๆ ของเครื่องพิมพ์ ควบคุมการให้ความร้อน, อุณหภูมิของหัวฉีดร้อนผ่านโปรแกรม และมีการแสดงการทำงานขณะเครื่องพิมพ์แบบสามมิติทำงานอยู่ เชื่อมต่อโปรแกรมในคอมพิวเตอร์กับเครื่องพิมพ์ผ่านพอร์ต USB แล้วใช้โปรแกรมในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 โปรแกรม Repetier-Host

สามารถอธิบายการควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ โดยใช้แถบเมนูควบคุมแกนทั้งสามแกนแบบ Manual Control ได้ว่า

- หมายเลข 1 เป็นการควบคุมการเคลื่อนที่ของแกน X โดยกดที่หน้าจอบนแถบของแกน X ให้เคลื่อนที่ไปในระยะทางและทิศทางที่ต้องการ ในโปรแกรม Repetier-Host
- หมายเลข 2 เป็นการควบคุมการเคลื่อนที่ของแกน Y โดยมีการควบคุมการทำงานเหมือนกับแกน X แต่จะเคลื่อนที่ในทิศไปข้างหน้าและข้างหลัง (Y-, Y+)
- หมายเลข 3 เป็นการควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z โดยแกน Z จะเคลื่อนที่ในทิศทางขึ้น-ลง (Z-, Z+) ในระยะทางที่ต้องการ
- หมายเลข 4 เป็นการควบคุมการทำงานของความเร็วของสเต็ปมอเตอร์ที่ทำหน้าที่ป้อนเส้นพลาสติกให้กับหัวฉีด

นอกจากนี้สามารถใช้โปรแกรม Repetier-Host ในการกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ ได้ ในการทดลองของเครื่องพิมพ์สามมิติ และกำหนดค่าอุณหภูมิของหัวฉีดว่าควรจะมี

อุณหภูมิเหมาะสมอยู่ที่เท่าไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเครื่องพิมพ์ของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ นั้นจะใช้การหลอมละลายของเส้นพลาสติก (Filament) ซึ่งเส้นพลาสติกที่ใช้นั้นเป็นชนิด PLA ฉีดบนแผ่นรองชิ้นงาน จากนั้นเมื่อเส้นพลาสติกที่ฉีดลงไปก็จะเกิดการแข็งตัวเป็นชั้นๆ ตามลำดับ จนสร้างเป็นชิ้นงานออกมา ซึ่งรูปแบบของชิ้นงานจะได้มาจากการออกแบบจากโปรแกรมออกแบบชิ้นงาน 3 มิติ โดยการทำงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติจะเป็นทำงานร่วมกันของสเต็ปมอเตอร์ หัวฉีด บอร์ด RAMPS 1.4 และ บอร์ด Arduino Mega 2560 อุปกรณ์เหล่านี้ล้วนเป็นตัวขับเคลื่อนให้เครื่องพิมพ์แบบสามมิติสามารถทำงานได้

อีกอย่างที่สำคัญสำหรับการพิมพ์ชิ้นงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติคือ การตั้งค่าของโปรแกรม Repetier-Host ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ตั้งค่าการพิมพ์ของชิ้นงาน โดยการตั้งค่านั้นจะมีการปรับค่าเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมต่อการพิมพ์ชิ้นงานให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด การตั้งค่าโปรแกรมของ Repetier-Host นั้นจะมีการปรับอุณหภูมิของหัวฉีด ปรับค่าความเร็วของหัวฉีด ตั้งค่าระยะของแกน X แกน Y และแกน Z แม้กระทั่งการปรับอุณหภูมิของแผ่นทำความร้อนที่ใช้สำหรับรองชิ้นงานก็ล้วนมาจากการตั้งค่า ปรับค่าของโปรแกรม Repetier-Host

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงการทำงานที่เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ ว่ามีการทำงานอย่างไร เมื่อเครื่องพิมพ์มีการเริ่มทำงาน ขณะการทำงาน และสิ้นสุดการทำงานว่าเป็นอย่างไร และแสดงผลการทดลองในส่วนของการพิมพ์ชิ้นรูปชิ้นงานแบบ 3 มิติ

#### 4.1 การทดลองอุณหภูมิที่เหมาะสมในการฉีดชิ้นรูปชิ้นงาน

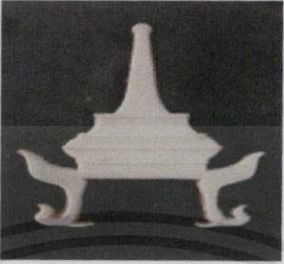
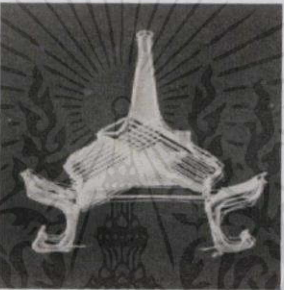
อุณหภูมิในการฉีดชิ้นรูปชิ้นงานที่เหมาะสมจะทำให้สามารถฉีดชิ้นรูปชิ้นงานมีโครงสร้างที่แข็งแรงไม่มีลักษณะเหลวเกินไป หรือกรอบเกินไปของชิ้นงาน แสดงดังตารางการทดลองที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การทดลองหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการพิมพ์ชิ้นรูปชิ้นงาน

อุณหภูมิ (°C)		ลักษณะของชิ้นงาน
First layer	Other layer	
220	200	 <p>เส้นพลาสติกที่ฉีดออกมา มีลักษณะเหลวเกินไปทำให้เกิดรอยไหม้ของเส้นพลาสติกบนชิ้นงาน</p>
210	200	 <p>เส้นพลาสติกที่ฉีดออกมา มีลักษณะยังคงเหลวแต่รอยไหม้ที่เกิดขึ้นบนตัวชิ้นงานลดน้อยลงไป</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

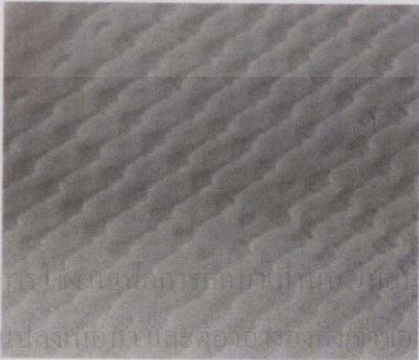
ตารางที่ 4.1 การทดลองหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)		ลักษณะของชิ้นงาน
First layer	Other layer	
200	195	 <p>เส้นพลาสติกที่ฉีดออกมามีลักษณะความเหลวในการขึ้นรูปพอดีไม่เหลวจนเกินไปหรือแห้งเกินไป</p>
195	190	 <p>เส้นพลาสติกที่ฉีดออกมามีลักษณะแห้งเกินไปทำให้ไม่ติดกันชิ้นงานที่ได้จึงมีลักษณะกรอบ</p>

#### 4.2 การทดลองความเร็ว Travel Feed Rate ของแกน X และแกน Y ที่เหมาะสม


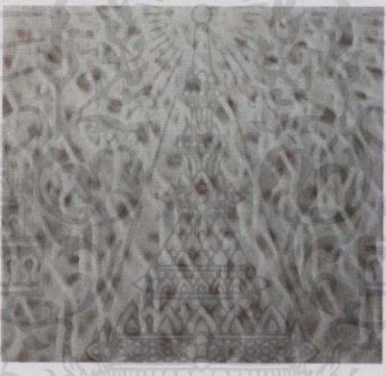

ความเร็วของ Travel Feed Rate ของแกน X และแกน Y ที่เหมาะสม มีผลในการขึ้นรูปโครงสร้างภายในของชิ้นงานเมื่อสามารถตั้งค่าความเร็วของ Travel Feed Rate ที่เหมาะสมได้จะทำให้การพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานใช้เวลาน้อยและได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ แสดงดังตารางการทดลองที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การทดลองหาค่า Travel Feed Rate ที่เหมาะสมในการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน

Travel Feed Rate (mm/min)	ลักษณะของชิ้นงาน
4800	 <p>ความเร็วในการฉีดเส้นพลาสติกแต่ละชั้นมีความเร็วพอดีกับอุณหภูมิที่ใช้ทำให้ลักษณะของชิ้นงานมีรูปร่างทิศทางกริดที่ชัดเจน</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูโรงเรียนเพื่อการกลับมาทำหนังสือญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแจกจ่ายและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



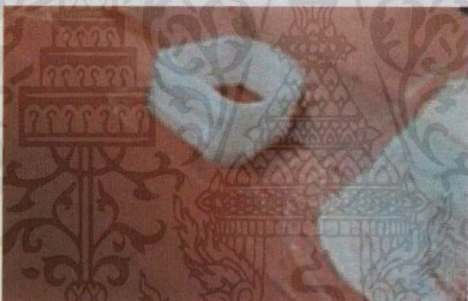


ตารางที่ 4.2 การทดลองหาค่า Travel Feed Rate ที่เหมาะสมในการพิมพ์ชิ้นงาน (ต่อ)

Travel Feed Rate (mm/min)	ลักษณะของชิ้นงาน	
5200		<p>ความเร็วในการฉีดเส้นพลาสติก มีการเพิ่มขึ้น แต่ลักษณะของเส้นพลาสติกในแต่ละชั้นเริ่มไม่ติดกัน</p>
5600		<p>ความเร็วในการฉีดเส้นพลาสติก เพิ่มขึ้นแต่ความแม่นยำในการฉีด น้อยลง เส้นพลาสติกไม่ติดกัน</p>
6000		<p>ความเร็วในการฉีดเพิ่มขึ้นทำให้ การสร้างชิ้นงานสามารถสร้างได้ เร็วแต่ลักษณะของเส้นพลาสติก ไม่ติดกันและไม่มี ความแม่นยำในการฉีด</p>

#### 4.3 การทดลองหาระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับฐานรองชิ้นงานที่เหมาะสม

ระยะห่างกันระหว่างหัวฉีดกับฐานรองชิ้นงานที่เหมาะสม จะทำให้ง่ายต่อการแกะชิ้นงานจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เครื่องพิมพ์ออกมาใช้งาน และติดกันแต่ละชั้นของชิ้นงานมีลักษณะสวยงาม แสดงดังตารางการทดลองตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การทดลองหาระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับฐานรองชิ้นงานที่เหมาะสม




ระยะห่าง(mm)	ลักษณะของชิ้นงาน
0.2	 <p>ระยะระหว่างหัวฉีดกับฐานรองชิ้นงานติดกันเกินไปทำให้หัวฉีดลากติดไปกับเทปกาว</p>
0.25	 <p>ระยะระหว่างหัวฉีดกับฐานรองชิ้นงานยังคงลากติดกับเทปกาวอยู่ แต่ก็สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้</p>
0.3	 <p>ระยะระหว่างหัวฉีดกับฐานรองชิ้นงานห่างกันพอดีแต่การฉีดชิ้นงานระหว่างชั้นยังไม่เรียบ</p>
0.35	 <p>ระยะระหว่างหัวฉีดกับฐานรองชิ้นงานห่างกันพอดี ชิ้นงานแต่ละชั้นในการฉีดเรียบแต่การแกะชิ้นงานออกมาทำได้ยาก</p>
0.37	 <p>ระยะระหว่างหัวฉีดกับฐานรองชิ้นงานห่างกันพอดี ชิ้นงานแต่ละชั้นในการฉีดเรียบและสามารถแกะชิ้นงานได้ง่าย</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรนำเอกสารไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งการนำเอกสารไปใช้โดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 จำของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

#### 4.4 การทดลองหาค่า Fill Density ที่เหมาะสมในการสร้างชิ้นงาน

ค่า Fill Density เป็นค่าที่บ่งบอกถึงลักษณะความถี่ในการพิมพ์ชิ้นรูปโครงสร้างของชิ้นงาน ถ้ามีการกำหนดค่าที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงาน จะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความคงทนแข็งแรง แสดงดังตารางการทดลองที่ 4.4

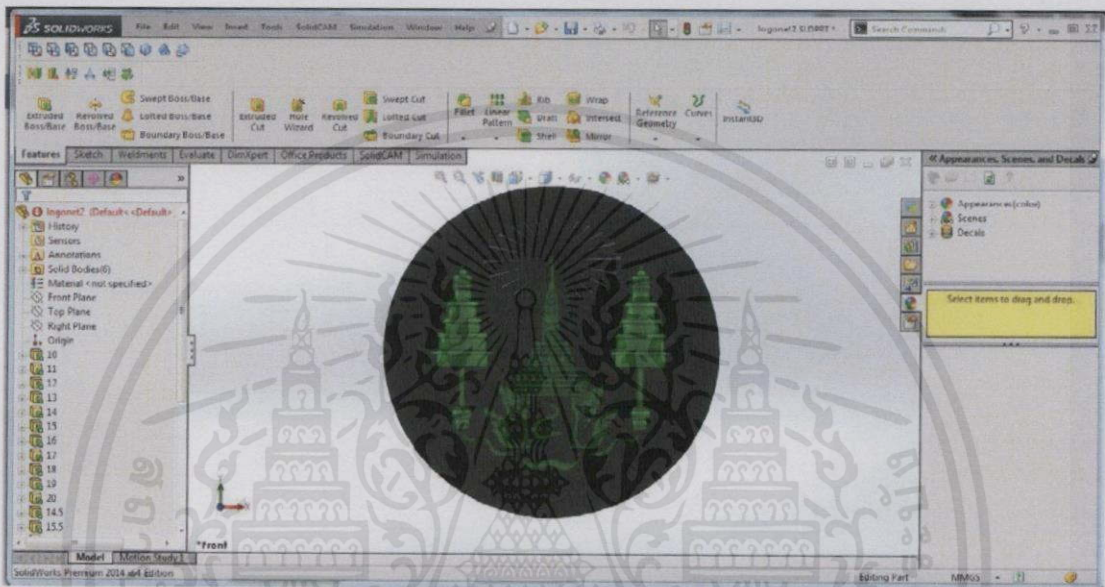
ตารางที่ 4.4 การทดลองหาค่า Fill Density ที่เหมาะสมในการสร้างชิ้นงาน

Fill density (%)	ลักษณะของชิ้นงาน
10%	 <p>ความละเอียดในการสร้างโครงสร้างแบบร่างผิวดังของชิ้นงานมีความละเอียดน้อยเวลาที่ใช้ในการพิมพ์น้อยเหมาะกับชิ้นงานที่ไม่ต้องการความแข็งแรงของชิ้นงาน</p>
20%	 <p>ความละเอียดในการสร้างโครงสร้างแบบร่างผิวดังของชิ้นงานมีความละเอียดอยู่ในระดับปกติเหมาะกับชิ้นงานที่ไม่ต้องการความแข็งแรงที่มากจนเกินไป</p>
30%	 <p>ความละเอียดในการสร้างโครงสร้างแบบร่างผิวดังของชิ้นงานอยู่ในระดับค่อนข้างละเอียดและใช้เวลาในการพิมพ์เพิ่มขึ้นเหมาะกับชิ้นงานที่ต้องการความแข็งแรง</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า" ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 การขึ้นรูปชิ้นงานที่สมบูรณ์

ในการสร้างชิ้นงานโดยการพิมพ์โดยเครื่องพิมพ์แบบสามมิตินั้น จะมีการออกแบบจากโปรแกรม SolidWorks จากนั้นก็จะบันทึกค่าที่ได้เป็นไฟล์ .STL เพื่อใช้ในการทำงานของโปรแกรม Rapetier-Host ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการควบคุมการทำงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม SolidWorks

ซึ่งชิ้นงานที่ได้จากการพิมพ์ที่เสร็จสมบูรณ์ด้วยเครื่องพิมพ์แบบสามมิตินั้น จะมีความแข็งแรง และมีรายละเอียดของชิ้นงานที่ยอมรับได้ แสดงดังรูปที่ 4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะถี่ใดๆทั้งสิ้น **รูปที่ 4.2** ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์จากการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์แบบสามมิติที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงสร้างของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติเครื่องนี้ จะประกอบไปด้วยส่วนของระบบเชิงกล อิเล็กทรอนิกส์ และในส่วนของโปรแกรม ส่วนของระบบเชิงกลนั้นจะประกอบไปด้วยส่วนของการเคลื่อนที่ในแนวแกน X แกน Y และแกน Z ซึ่งจากการทดลองในส่วนนี้จะมีการทดลองในส่วนของแกน Z เท่านั้น ซึ่งการทดลองจะเป็นการทดลองของความเร็วในการหมุนรอบของแกน Z และจากการทดลองแกน Z นั้นต้องยกน้ำหนักจำนวนมาก จึงต้องให้ความเร็วในการหมุน หมุนด้วยความเร็ว น้อยๆ ที่จะเหมาะสมกับน้ำหนัก

ในส่วนของการตั้งค่าโปรแกรมนั้นจากผลการทดลองจากบทที่ 4 จะพบได้ว่า ส่วนของการตั้งค่าอุณหภูมิจะมีผลกับชิ้นงาน โดยเส้นพลาสติกแต่ละชนิดก็จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมแตกต่างกันออกไป ถ้าอุณหภูมิมากเกินไปจะทำให้ชิ้นงานติดกันแน่น และเป็นชั้นเดียวและจะเกิดการไหม้ของเส้นพลาสติก ในแต่ละชั้น และในกรณีที่อุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้เส้นพลาสติกไม่เกาะติดกับพื้น และไม่เกาะกัน ในแต่ละชั้นทำให้ชิ้นงานแตกและกรอบ ดังนั้นจึงต้องหาอุณหภูมิที่เหมาะสมกับชิ้นงาน

การตั้งค่าความเร็วในการฉีดชิ้นงาน การฉีดชิ้นงาน ความเร็วต้องเหมาะสมกับความสูงของ ชิ้นงานและหัวฉีด ในกรณีที่หัวฉีด ฉีดเร็วเกินไปอาจทำให้เส้นพลาสติกแต่ละชั้นไม่เกาะติดกันและทำให้ Infill ขึ้นรูปทรงที่ผิดแปลกไป และกรณีที่ฉีดช้าจะทำให้เส้นพลาสติกแต่ละชั้นเป็นคลื่นที่ไม่สวยงาม ดังนั้นจึงต้องหาความเร็วที่เหมาะสม และในส่วนการตั้งค่าระดับของหัวฉีดกับพื้นนั้นต้องตั้งค่าให้ได้ อยู่ในระยะเวลาที่เหมาะสม ในกรณีที่สูงเกินไปอาจทำให้ฉีดไม่ออกและแต่ละชั้นไม่เกาะติดกัน

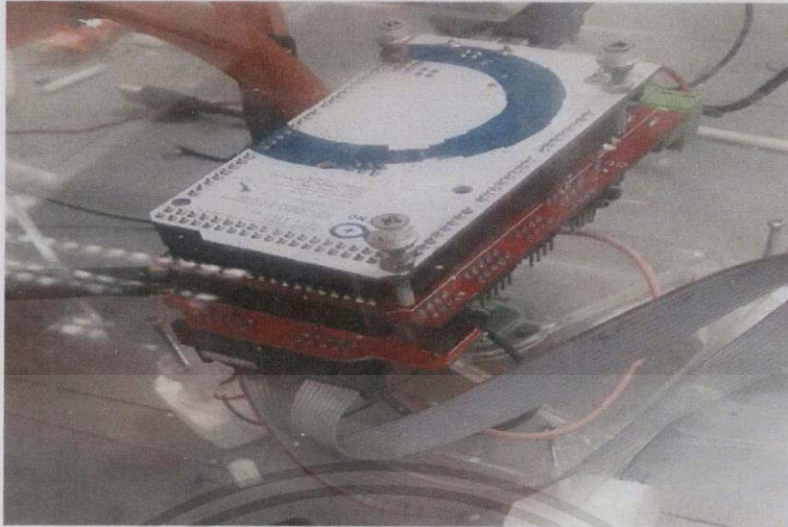
ในการพิมพ์แต่ละชิ้นงานนั้นจะต้องตั้งค่าที่เหมาะสมกับชิ้นงาน เช่น การตั้งค่าความละเอียด การตั้งค่าของ Infill ที่เหมาะสม การตั้งค่าของฐาน (Raft) และเสา (Support) ต้องตั้งค่าให้เหมาะสมกับชิ้นงานนั้นๆ

#### 5.2 ปัญหาที่พบในโครงการ

##### 5.2.1 ปัญหาเนื่องจากความร้อน

การทำงานของ Ramps 1.4 ร่วมกับ A4988 จะทำให้เกิดความร้อนเกิดขึ้นที่บริเวณของ A4988 และต้องทำการติดฮีตซิงค์เพื่อระบายความร้อน แต่ในโครงการนี้โครงเครื่องมีขนาดใหญ่และ

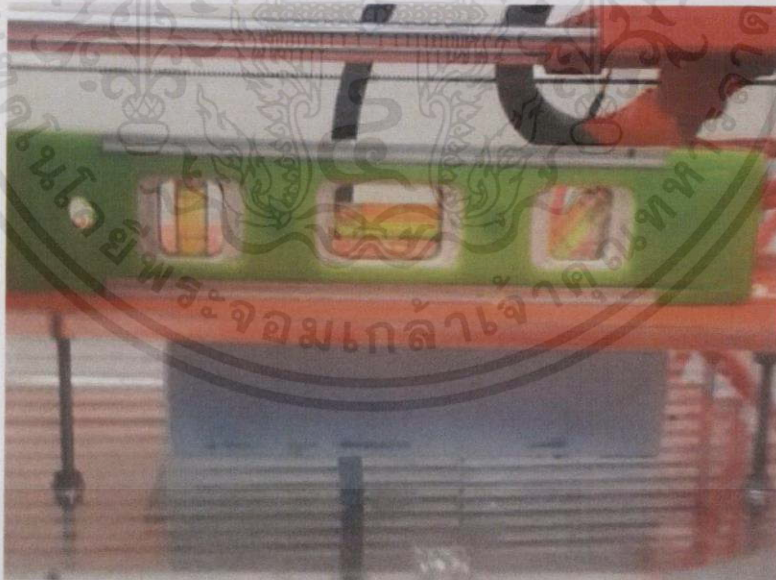
การระบายอากาศมีน้อย ส่งผลให้ระหว่างการทำงานนั้นทำให้ Ramps1.4 หยุดการทำงานเพราะ ความร้อนของ Ramps1.4 มากเกินไป ต้องแก้ปัญหาความร้อนด้วยการติด พัดลมขนาด 12 V จำนวน 2 ตัว แสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 พัฒนาระบายความร้อนให้กับบอร์ด Ramps1.4

### 5.2.2 ปัญหาเนื่องจากความเอียงของฐานรองชิ้นงาน

โครงสร้างของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ เครื่องนี้มีโครงสร้างขนาดใหญ่ มีพื้นที่การพิมพ์ที่ใหญ่เป็นพิเศษขนาด 300 x 300 mm แต่เนื่องจาก ลูกปืนที่ช่วยในการยกพื้นนั้นมีขนาดเล็ก ทำให้พื้นที่ในการพิมพ์เอียง และพื้นที่การพิมพ์ในแต่ละจุดมีความไม่เท่ากัน การแก้ไขปัญหานั้นต้องใช้เทปกระดาษติดเพื่อให้เกิดการสมดุลของพื้นแต่ละจุด แสดงดังรูปที่ 5.2

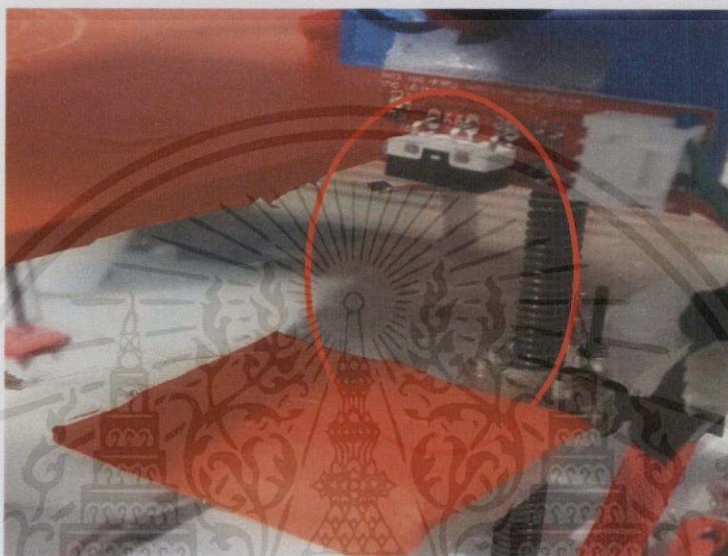


รูปที่ 5.2 การวัดพื้นที่ตั้งค่าง่อนการพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.3 ปัญหาเนื่องจากความห่างจากระยะหัวฉีดกับพื้นมากเกินไป

โครงสร้างของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติเครื่องนี้จะประกอบไปด้วย แผ่นพื้นสำหรับรองรับ 2 แผ่นด้วยกัน ต้องตั้งค่าและปรับความสูงให้แผ่นพื้นเหมาะสมกับระยะหัวฉีดพอดี แต่เครื่องพิมพ์แบบสามมิติในโครงการนี้ มีความสูงที่สูงที่สุดที่สามารถทำได้นั้นไม่เพียงพอที่จะเป็นระยะที่เหมาะสมกับระยะการฉีด และการแก้ไขปัญหานั้นกระทำโดยปรับเปลี่ยนตำแหน่งความสูงของลิimitsวิตช์ แสดงดังรูปที่ 5.3

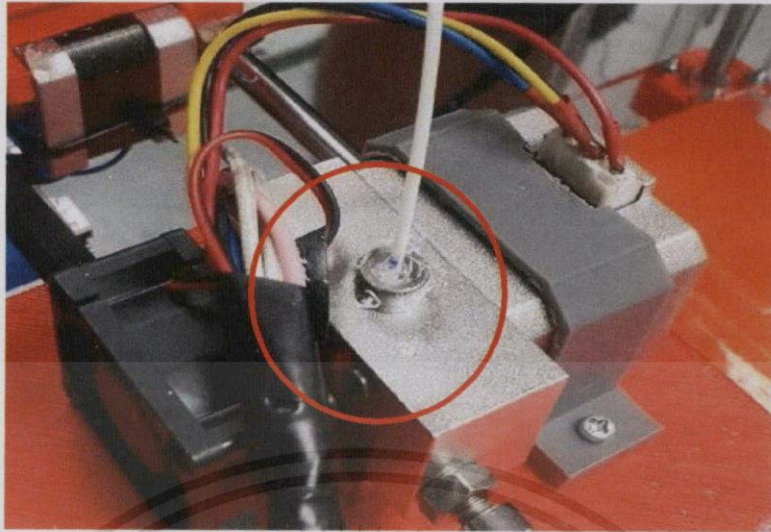


รูปที่ 5.3 การปรับตำแหน่งของลิimitsวิตช์

### 5.2.4 ปัญหาการอุดตันบริเวณหัวฉีดอันเนื่องมาจากผงของเส้นพลาสติก

บริเวณหัวฉีดจะประกอบไปด้วยช่องสำหรับใส่เส้นพลาสติก เมื่อมอเตอร์ทำการดึงเส้นพลาสติกที่มีลักษณะค่อนข้างแข็ง จึงทำให้เกิดการเสียดสีกับช่องผ่านเส้นพลาสติก ทำให้เกิดเป็นผงและลงไปอุดตันบริเวณหัวฉีด แสดงดังรูป 5.4 และในอีกกรณีหนึ่งคือ เพียงดึงเส้นพลาสติกที่มอเตอร์มีความแน่นเกินไปทำให้ดึงเส้นพลาสติก ในลักษณะบิดทำให้เกิดผงเช่นกัน วิธีแก้ไขปัญหาก็คือพยายามทำให้เส้นพลาสติกตั้งตรงก่อนเข้าไปในช่องสำหรับใส่เส้นพลาสติก และหมั่นตรวจสอบและกำจัดผงจากเส้นพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ผงของเส้นพลาสติกที่ติดอยู่บริเวณช่องสำหรับใส่เส้นพลาสติก

### 5.3 แนวทางในการพัฒนาและการประยุกต์

เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ ในปัจจุบันนั้นได้มีหลายบริษัทออกมาพัฒนาในหลายรูปแบบและหลากหลาย และเพิ่มศักยภาพในการทำงานได้มากขึ้น ทั้งชิ้นงานที่มีความละเอียดและรูปร่างลักษณะที่มีรายละเอียดสูงก็สามารถพิมพ์ได้ แต่ในอนาคตนั้นการพัฒนาเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ สามารถจัดพิมพ์ให้มีความใหญ่และรวดเร็วนั้นยังคงเป็นงานที่ต้องมีการพัฒนาต่อไป และในอนาคตการพัฒนาของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ จะสามารถทำงานภายในโรงงาน เช่น การพิมพ์โครงรถ โดยเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ โดยไม่ได้ต้องทำการหล่อรูปซึ่งใช้เวลาในการทำและใช้จำนวนคนเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามยังเป็นการช่วยลดต้นทุนและจำนวนคนอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] นัฐวัฒน์ โลหะนำเจริญ. “คู่มือการใช้งานโปรแกรม Repetier Host” [Online].  
Available: <http://www.siamreprap.com/newsite/wordpress/repetier-host-manual>
- [2] นัฐวัฒน์ โลหะนำเจริญ. “คู่มือการใช้งานโปรแกรม Slic3r” [Online].  
Available: <http://www.siamreprap.com/newsite/wordpress/slic3r-manual>
- [3] maximumdev. “เทคโนโลยี การพิมพ์ 3 มิติ : 3D printing” [Online].  
Available: <http://www.maximumdev.com/Knowledge/Technology/3d-printing.html>
- [4] protothai. “How 3D Printing..Work”[Online].  
Available: <http://www.protothai.com /3dprinting/how-3d-printing-works>
- [5] vcharkarn “เทคโนโลยีการพิมพ์แบบ 3 มิติ 3D Printing” [Online].  
Available: <http://www.vcharkarn.com/varticle/57825>
- [6] ddd-solution. “ทดสอบเครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น P3M โครงแบบจาก Makerbot Thing OMatic”[Online] Available: [https://sites.google.com/a/teleportshop.com/p3m-3d-printer/review\\_p3m](https://sites.google.com/a/teleportshop.com/p3m-3d-printer/review_p3m)
- [7] inventor-3d. “3D Printer Introduction” [Online].  
Available: <http://www.inventor3d.com/3d-printer-introduction>
- [8] prezi. “3D Printing” [Online]. Available: [https://prezi.com/4t0h\\_rdigq8e/3d-printer](https://prezi.com/4t0h_rdigq8e/3d-printer)
- [9] computerdodee “พาวเวอร์ซัพพลาย” (Power Supply) [Online].  
Available: <http://computerdodee.blogspot.com/2009/11/power-supply.html>
- [10] repetier. “Repetier-Firmware Documentation” [Online].  
Available: <http://www.repetier.com/documentation/repetier-firmware/ef-installation>
- [11] in2real3d. “วิธีการใช้งาน Repetier Host 1.0.6 สำหรับการเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer)” [Online].  
Available: <http://in2real3d.lnwshop.com/article/repetier-host-1-0-6>
- [12] sgeetech.a “RAMPS1.4”[Online].  
Available:<http://www.geeetech.com/wiki/index.php/Ramps1.4>
- [13] reprap. “RAMPS 1.4” [Online]. Available: [http://reprap.org/wiki/RAMPS\\_1.4](http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4)

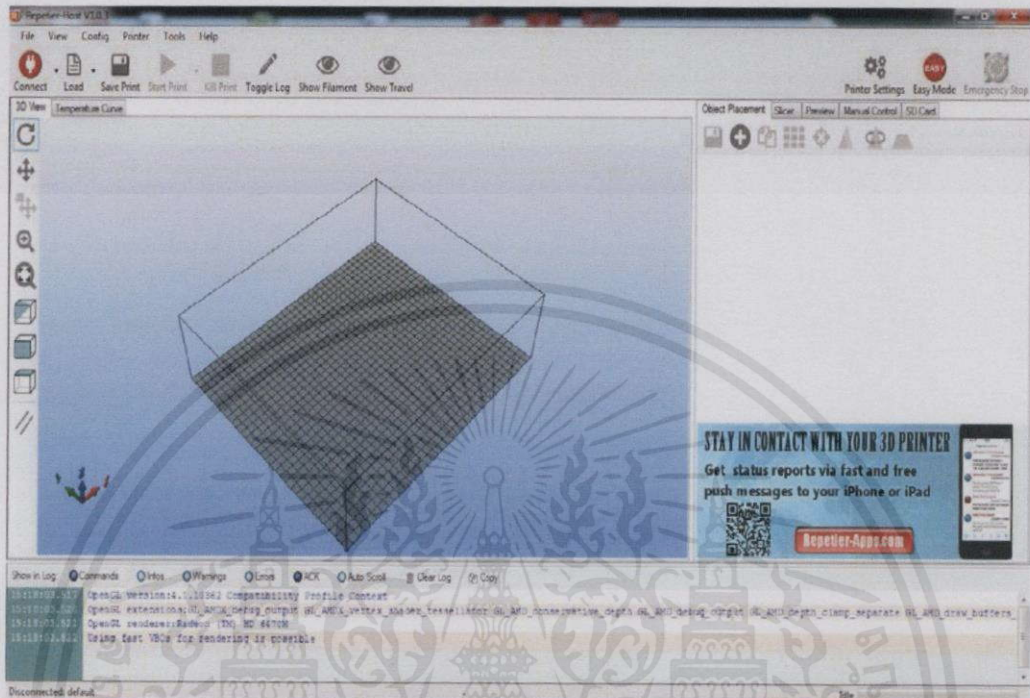
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### การใช้งานโปรแกรม Repetier Host

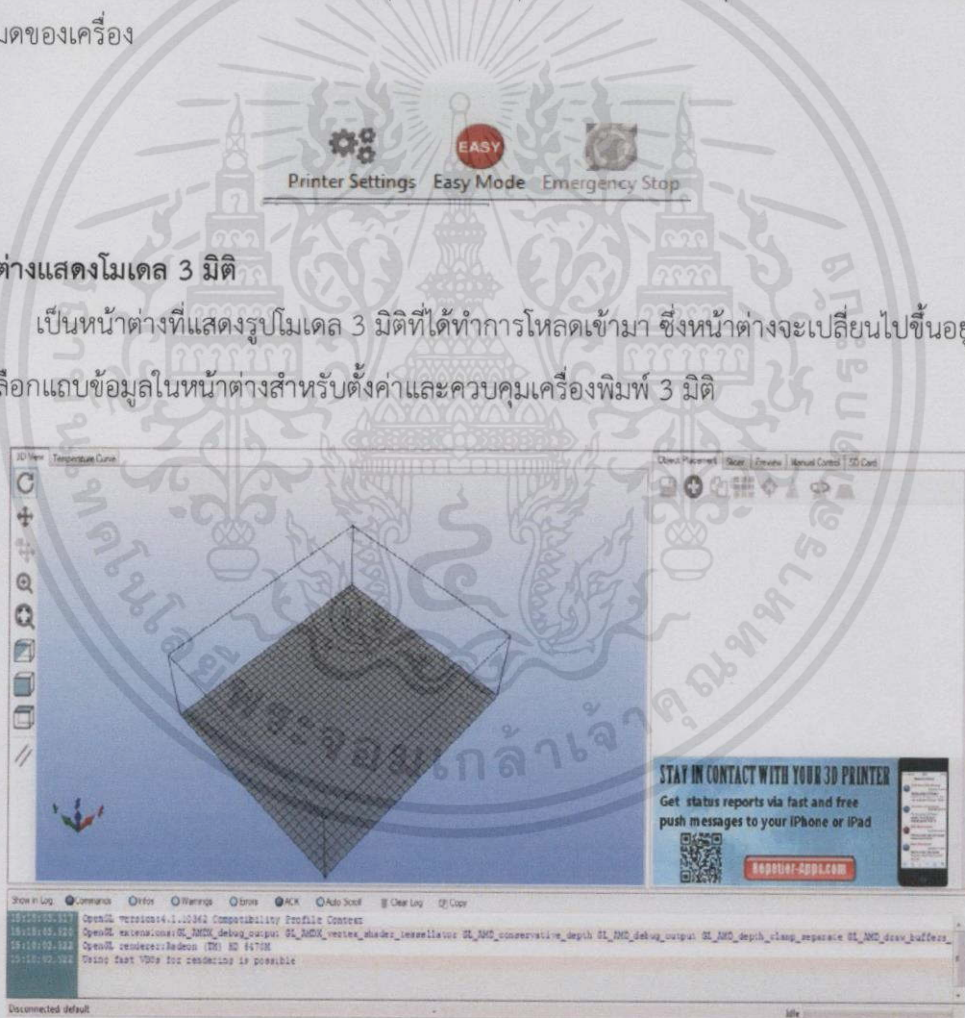


1. Connect เป็นปุ่มสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
2. Load เป็นปุ่มสำหรับโหลดไฟล์ G-code
3. Save Job เป็นปุ่มสำหรับบันทึกไฟล์ G-Code ซึ่งสามารถเลือกให้บันทึกหัว G-Code ที่ได้บันทึกไว้ใน G - Code Editor

3.1 Include “Start” and “End Code” และ Include Job Finished Command เลือกช่องนี้ถ้าต้องการที่จะให้โปรแกรมบันทึกหัวและท้ายของ G-code ที่กำหนด เช่น ก่อนการพิมพ์ ให้เครื่องพิมพ์ทำการฉีดเส้นพลาสติกออกมาประมาณ 50 มิลลิเมตร และเมื่อพิมพ์เสร็จ ให้ทำการปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และทำการหยุดจ่ายไฟให้ฮีทเตอร์ เป็นต้น ซึ่ง Start และ End Code นั้นสามารถทำการบันทึกและแก้ไขได้ซึ่งจะอยู่ในบทของ G-Code Editor

3.2 Save in Binary Format (for Repetier- Firmware) เป็นการบันทึกข้อมูล G-code ในการคำนวณค่า G-code ในแบบ Binary ซึ่งสามารถบันทึกลงใน SD Card เพื่อให้เครื่องพิมพ์ทำงานได้โดยไม่ต้องต่อคอมพิวเตอร์ ซึ่งหัวข้อนี้ให้เลือกว่าใช้ Firmware ของ Repetier

4. Run Job กดปุ่มเพื่อเริ่มพิมพ์งาน
5. Kill Job เป็นปุ่มสำหรับหยุดเครื่องพิมพ์จากงานที่พิมพ์อยู่
6. SD Card เป็นปุ่มสำหรับการจัดการไฟล์ใน SD Card
7. Toggle Log เป็นปุ่มสำหรับเปิด-ปิดแถบแสดงข้อความด้านล่าง ซึ่งสามารถแสดงสถานะการทำงานของเครื่องพิมพ์ รวมถึงข้อความผิดพลาดต่างๆ ของเครื่องพิมพ์ ซึ่งผู้ใช้สามารถเช็คดูว่าเครื่องพิมพ์กำลังทำอะไรอยู่
8. Show Filament ไว้สำหรับแสดงเส้นพลาสติกที่ฉีดออกมา
9. Show Travel ไว้สำหรับแสดงเส้นทางเดินของหัวพิมพ์
10. Printer Setting เป็นปุ่มสำหรับเข้าไปตั้งค่าเครื่องพิมพ์
11. Emergency Stop เป็นปุ่มสำหรับหยุดเครื่องพิมพ์แบบฉุกเฉิน ซึ่งจะตัดกระแสไฟทั้งหมดของเครื่อง



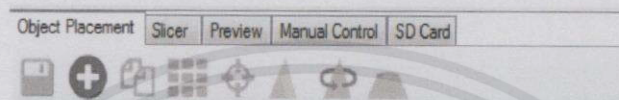
### หน้าต่างแสดงโมเดล 3 มิติ

เป็นหน้าต่างที่แสดงรูปโมเดล 3 มิติที่ได้ทำการโหลดเข้ามา ซึ่งหน้าต่างจะเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับ การเลือกแถบข้อมูลในหน้าต่างสำหรับตั้งค่าและควบคุมเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

### แถบเครื่องมือด้านซ้ายมือของหน้าต่างแสดงโมเดล 3 มิติ

1. Rotate ใช้สำหรับหมุนชิ้นงานโมเดล 3 มิติ
2. Move Viewpoint ใช้สำหรับเปลี่ยนมุมมองการดูโมเดล 3 มิติ

3. Move Object ใช้สำหรับเคลื่อนย้ายโมเดล 3 มิติ
4. Zoom ใช้สำหรับขยายมุมมองโมเดล 3 มิติ
5. Isometric View ดูโมเดล 3 มิติแบบมุมมอง Isometric
6. Front View ดูโมเดล 3 มิติในแบบมุมมองด้านหน้า
7. Top View ดูโมเดล 3 มิติในแบบมุมมองด้านบน
8. Use Parallel Projection ดูโมเดล 3 มิติแบบ Parallel
9. Clear ใช้สำหรับลบโมเดล 3 มิติ

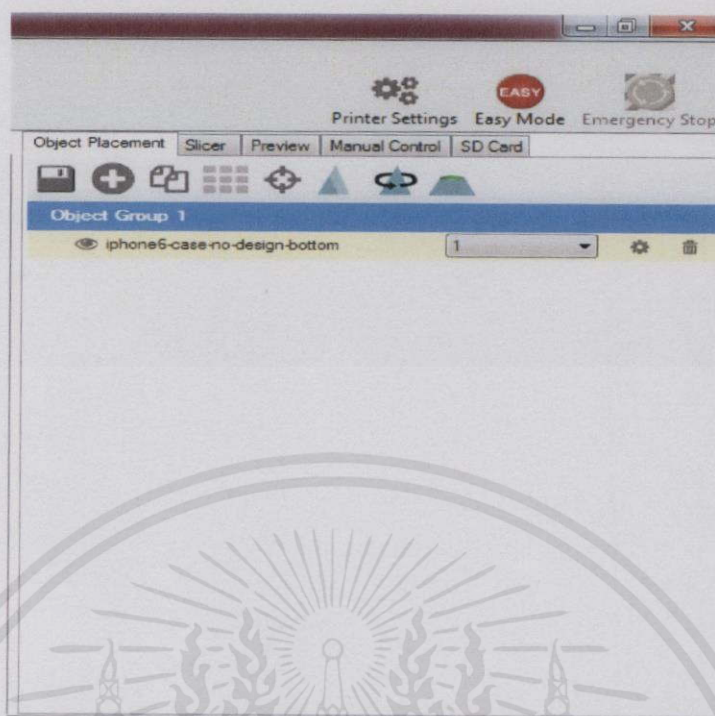


### หน้าต่างสำหรับตั้งค่าและควบคุมเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

หน้าต่างสำหรับตั้งค่าและควบคุมเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบ่งออกเป็น 4 หน้าต่างซึ่งได้แก่

1. Object Placement เป็นหน้าต่างสำหรับการวางโมเดล 3 มิติ ซึ่งหน้าต่างนี้มีคำสั่งสำหรับปรับแต่ง และแก้ไขโมเดล 3 มิติ
2. Slicer เป็นหน้าต่างสำหรับการสร้างโค้ดจากโมเดล 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม Slic3R เป็นตัวสร้างโค้ด
3. G-Code Editor เป็นหน้าต่างสำหรับแสดงโค้ดที่ใช้ควบคุมเครื่องพิมพ์ ซึ่งผู้ใช้สามารถแก้ไขโค้ด หรือจะทำการเพิ่ม-ลบ Script ได้ นอกจากนั้นยังสามารถเพิ่มโค้ดสำหรับหัวและท้ายของโค้ดได้
4. Manual Control เป็นหน้าต่างสำหรับควบคุมเครื่องพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### Object Placement

ในหน้าต่าง Object Placement สามารถที่จะโหลดโมเดล 3 มิติเข้ามาในพื้นที่การพิมพ์ที่ขึ้นงานก็ได้ ขึ้นอยู่กับพื้นที่การพิมพ์ที่ถูกกำหนดไว้ในหน้า Printer Setting ซึ่งโมเดลที่ถูกโหลดเข้ามานั้นสามารถที่จะกำหนดตำแหน่งที่จะวางบนพื้นที่การพิมพ์ตรงไหนก็ได้ รวมไปถึงสามารถย่อ ขยาย และหมุนโมเดล 3 มิติก็ได้ นอกจากนั้นยังสามารถที่จะตัดชิ้นงานออกเป็นส่วนๆ ก็ได้ เพื่อที่พิมพ์เสร็จแล้วสามารถนำมาประกอบติดกันด้วยกาว ในหน้าต่าง Object Placement นั้นจะประกอบไปด้วยเมนูย่อยดังนี้ (เรียงจากซ้ายไปขวา)

1. Export ใช้สำหรับบันทึกโมเดล 3 มิติซึ่งสามารถบันทึกได้ในรูปแบบไฟล์ STL และ OBJ
2. Add Object ใช้สำหรับโหลดไฟล์โมเดล 3 มิติเข้ามาในโปรแกรม ซึ่งสามารถโหลดชิ้นงานได้หลายชิ้นงานเพื่อที่จะพิมพ์ในครั้งเดียวกันทั้งหมดแต่ต้องขึ้นอยู่กับพื้นที่การพิมพ์
3. Remove Object ใช้สำหรับลบชิ้นงานโมเดล 3 มิติ
4. Copy Object ใช้สำหรับ Copy หรือทำสำเนาชิ้นงานเพื่อที่จะพิมพ์หลายๆ ชิ้นที่เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Auto Position ใช้สำหรับให้โปรแกรมวางชิ้นงานให้อัตโนมัติเมื่อมีชิ้นงานหลายๆ ชิ้นอยู่ในพื้นที่การพิมพ์ โปรแกรมจะหาตำแหน่งวางให้ได้ดีที่สุด

6. Drop Object ใช้สำหรับบังคับให้ด้านล่างชิ้นงานวางอยู่บนพื้นที่การพิมพ์ ซึ่งบางครั้งเวลาโหลดชิ้นงานเข้ามา ชิ้นงานบางชิ้นจะลอยอยู่ ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาเวลาพิมพ์ ดังนั้นควรกดปุ่มนี้ทุกครั้ง เวลานำชิ้นงานเข้ามาในโปรแกรม

7. Split Object ใช้สำหรับแบ่งชิ้นงานออกเป็นส่วนๆ

8. Fix Normal ใช้สำหรับซ่อมชิ้นงานโมเดลที่มาไม่ครบ (ฟังก์ชันนี้ยังใช้งานได้ไม่ค่อยดี บางครั้งก็ไม่สามารถซ่อมได้ ควรซ่อมงานโดยใช้โปรแกรม Netfabb ก่อนนำไฟล์เข้ามาที่โปรแกรม)

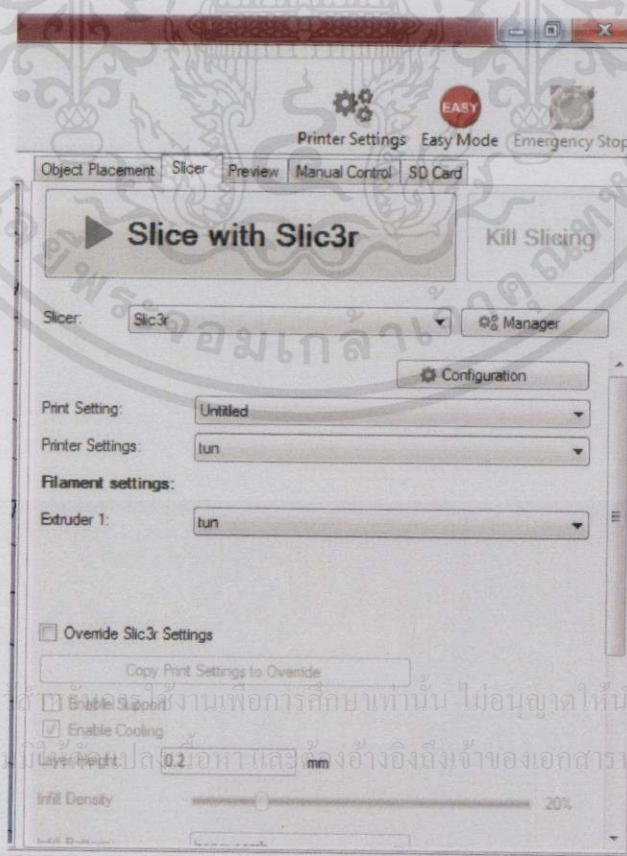
9. Object Information เป็นปุ่มสำหรับแสดงข้อมูลของชิ้นงาน 3 มิติ

Transition นั้นเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งการวางชิ้นงานโดยสามารถใส่ค่าลงในช่อง X Y และ Z

Scale เป็นการเปลี่ยนขนาดของชิ้นงาน 3 มิติ ซึ่งสามารถย่อและขยายได้ โดยใส่ค่าในช่อง X เช่น 1.1 หมายถึงเพิ่มขนาดจากชิ้นงานเดิมขึ้นเป็น 10 % 0.9 เป็นการย่อขนาดลง 10 %

Rotation เป็นการหมุนชิ้นงาน ซึ่งสามารถหมุนได้หลายทิศทาง โดยใส่ค่าในช่อง X Y และ Z

Cut Option เป็นการตัดชิ้นงานออกเป็นส่วนๆ เหมาะสำหรับงานขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถตัดชิ้นงานเป็นหลายๆ ส่วน เมื่อพิมพ์เสร็จก็สามารถนำมาต่อให้ติดกันได้ด้วยกาวย้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

## Slicer

ในส่วนนี้จะ เป็นหน้าต่างสำหรับเลือก โปรไฟล์ที่จะใช้สำหรับการ Slice ชิ้นงาน การ Slice ชิ้นงานนั้นหมายถึงการตัดชิ้นงานออกเป็นเลเยอร์เพื่อกำหนดเส้นทางการเดินของหัวพิมพ์ ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกโปรไฟล์ที่บันทึกไว้ในโปรแกรม Slic3R มาเป็นตัวสร้างโค้ดของการพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ ซึ่งในการบันทึกโปรไฟล์จะกล่าวในคู่มือการใช้โปรแกรม Slic3R ในหน้าต่าง Slicer แบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันได้แก่

1. Slice with Slic3r เป็นปุ่มสำหรับสั่งงานให้สร้างโค้ดสำหรับพิมพ์งาน ส่วนปุ่ม Kill Slicing เป็นปุ่มสั่งให้หยุด Slice งาน

2. หน้าต่าง Slic3r ประกอบด้วยปุ่ม

a. Active เป็นปุ่มให้ใช้โปรแกรม Slic3r เป็นโปรแกรมในการสร้าง G-Code

b. Configure เป็นปุ่มเรียกโปรแกรม Slic3r ขึ้นมาเพื่อปรับแต่งค่าต่างๆ ให้เหมาะสมกับงานพิมพ์ในแต่ละประเภทซึ่งผู้ใช้สามารถบันทึกค่าต่างๆ ที่เหมาะสมเป็น Profile ไว้สำหรับเรียกใช้งานได้

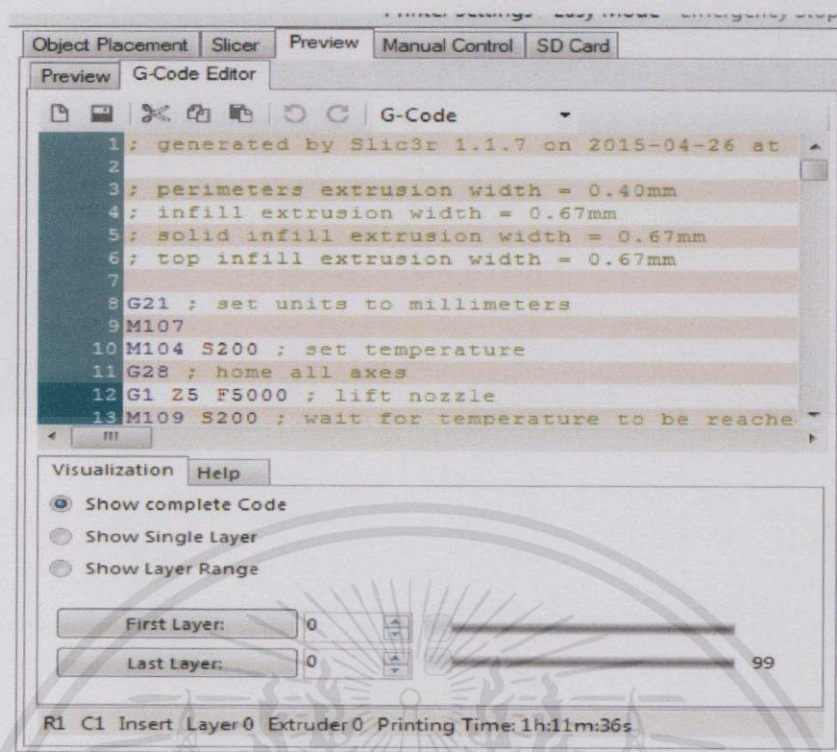
c. Print Settings เป็น Drop Down Menu สำหรับเลือก Profile ที่บันทึกไว้มาใช้งาน ซึ่งจะเกี่ยวกับค่าการพิมพ์ทั้งหมดเช่น ค่า Infill และ ค่า Perimeter

d. Printer Setting เป็น Drop Down Menu สำหรับเลือก Profile ที่บันทึกไว้เกี่ยวกับค่าเครื่องพิมพ์ เช่น ขนาดของรูหัวฉีด ความเร็วในการ Retract เป็นต้น

e. Filament Setting นั้นสามารถเลือกค่าที่แตกต่างกันได้ทั้งหมด 3 หัวฉีด ถ้าเครื่องพิมพ์มีหัวฉีดมากกว่า 1 หัว ซึ่งจะเป็นการเลือก Profile ที่บันทึกไว้ในโปรแกรม Slic3r ซึ่งในส่วนนี้จะเกี่ยวกับ ขนาดของเส้นพลาสติกที่ใช้ อุณหภูมิที่ใช้ฉีก รวมถึงค่าพัดลมที่ใช้เป่าให้เส้นพลาสติกเย็นตัว

3. หน้าต่าง Skeinforge เป็นหน้าต่างที่เรียกใช้โปรแกรม Skeinforge ในการสร้าง G-code แต่จะไม่กล่าวถึงเพราะเป็นโปรแกรม ที่ซับซ้อนและเข้าใจยากกว่าโปรแกรม Slic3r ซึ่งตรงนี้ของให้ปิดปุ่ม Active เอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### G-Code Editor

ในส่วนหน้าต่าง G-Code Editor นั้นเอาไว้สำหรับดูและแก้ไขโค้ดที่โหลดเข้ามาหรือโค้ดที่ได้จากการสร้างโดยโปรแกรม Slic3R นอกจากนั้นผู้ใช้อย่างสามารถบันทึก Script ที่ต้องการให้เครื่องพิมพ์ทำตามโค้ดที่เขียนไว้ ซึ่งจะอธิบายการเขียน G-code ในบทถัดไป หน้าต่าง G-Code Editor แบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน ได้แก่

1. เมนูย่อย
2. ส่วนแสดง G-Code
3. ส่วนแสดงผลเลเยอร์การพิมพ์

### เมนูย่อยประกอบด้วย

1. Open ใช้สำหรับเลือกไฟล์ G-Code
2. Save ใช้สำหรับบันทึกไฟล์ G-Code
3. Cut ตัดข้อความ
4. Copy คัดลอกข้อความ
5. Paste วางข้อความ
6. Undo

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 7. Redo ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 8. แล็บเลือกหน้าต่างที่ต้องการบันทึกหรือแก้ไข จึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### Manual Control

ในหน้าต่างนี้จะเป็นการควบคุมเครื่องพิมพ์ซึ่งผู้ใช้สามารถคุมตำแหน่งที่ต้องการให้หัวพิมพ์เคลื่อนที่ รวมไปถึงควบคุมอุณหภูมิของหัวฉีด หน้าต่าง Manual Control แบ่งออกเป็น 7 ส่วนด้วยกันได้แก่

1. แถบแสดงสถานะ
2. ช่องใส่คำสั่ง G-Code
3. ชุดควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์
4. ชุดควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่
5. ชุดควบคุมอุณหภูมิหัวฉีด
6. ชุดควบคุมอุณหภูมิแผ่นฐานทำความร้อน
7. ชุดควบคุมความเร็วพัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แถบแสดงสถานะ

เป็นแถบที่บอกสถานะว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ติดต่อเครื่องพิมพ์ได้หรือยัง ถ้าได้จะแสดงคำว่า Connect

## ช่องใส่ชุดคำสั่ง G-Code

ผู้ใช้สามารถพิมพ์ G-Code ลงในช่องนี้เพื่อให้เครื่องพิมพ์ทำตามโค้ดที่ส่งไป เมื่อพิมพ์เสร็จให้กดคำว่า Send

## ชุดควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์

ในหน้าต่างนี้ผู้ใช้สามารถควบคุมเครื่องพิมพ์ให้เคลื่อนที่ได้โดยการป้อนลูกศรซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ทีละ 0.1 มิลลิเมตรหรือครั้งละ 1 มิลลิเมตรหรือครั้งละ 10 มิลลิเมตรหรือครั้งละ 100 มิลลิเมตร สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และ Y ส่วนในแนวแกน Z นั้นจะได้สูงสุดแค่ 10 มิลลิเมตร นอกจากนั้นยังสามารถให้เครื่องพิมพ์เดินทางกลับไปยังจุดเริ่มต้นได้โดยการกดปุ่มรูปบ้าน ถ้าอยากกลับไปยังจุดเริ่มต้นทีละแกนก็ให้กดรูปบ้านที่กำกับด้วยชื่อแกนที่อยู่ด้านข้าง แต่ถ้าต้องการให้กลับไปยังจุดเริ่มต้นพร้อมกันก็ให้กดรูปบ้านที่อยู่ด้านล่างซ้ายมือ ส่วนปุ่ม Power นั้นจะใช้ในการเปิด-ปิดเครื่องพิมพ์(ปุ่มนี้จะใช้ได้ก็ขึ้นอยู่กับ Firmware ที่ใช้ด้วย) สำหรับปุ่ม Turn Motor Off นั้นเอาไว้สำหรับตัดการทำงานของมอเตอร์ทั้งหมด ส่วนปุ่ม Park นั้นจะเป็นการสั่งให้มอเตอร์เดินไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ที่อยู่ในหน้า Printer Setting หน้าต่าง Printer จะมีช่องให้ใส่ตำแหน่ง Park Position ที่ต้องการ

## ชุดควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่

ผู้ใช้สามารถเพิ่มหรือลดความเร็วในการพิมพ์ได้โดยใส่ค่าหรือเลื่อนแถบสไลด์ ซึ่งจะมี 2 แถบด้วยกัน แถบ Feed Rate จะเป็นการควบคุมความเร็วขณะที่หัวฉีดกำลังฉีดเส้นพลาสติกออกมา ซึ่งสามารถปรับได้ตั้งแต่ 25 ถึง 300% ส่วน Flowrate นั้นจะเป็นการควบคุมปริมาณความเร็วในการฉีดพลาสติกออกมาที่หัวฉีด ซึ่งสามารถปรับได้ตั้งแต่ 50 ถึง 150%

## ชุดควบคุมอุณหภูมิหัวฉีด

เป็นหน้าต่างสำหรับเปิด-ปิดความร้อนของฮีตเตอร์ที่หัวฉีด ซึ่งสามารถใส่ค่าอุณหภูมิที่ต้องการได้ เมื่อใส่ค่าเรียบร้อยแล้ว ให้กดปุ่ม Heat Extruder นอกจากนั้นถ้าเครื่องพิมพ์ของผู้ใช้มี 2 หัวพิมพ์ ก็สามารถเลือกหัวพิมพ์ที่ต้องการได้ โดยเลือกที่ Extruder 1 หรือ Extruder 2 ขึ้นอยู่กับหัวพิมพ์ที่ดีเท่ากับเครื่องพิมพ์ ในส่วนของ Speed(mm/Min) นั้น เป็นค่าความเร็วที่ต้องการให้หัวพิมพ์ฉีดเส้นพลาสติกออกมา ในส่วนของ Extrude นั้นหมายถึงให้ผู้ใช้สามารถใส่ค่าที่ต้องการให้

เส้นพลาสติกฉีดออก เช่น 50 mm หมายถึงให้ฉีดเส้นพลาสติกออกมา 50 mm เมื่อใส่ค่าเสร็จในกดปุ่มลูกศรลง ส่วน Retract นั้นหมายถึงการดึงเส้นพลาสติกกลับเข้าไปในหัวฉีด โดยสามารถใส่ค่าได้เหมือนกับ Extrude ยกตัวอย่างเช่น 100 mm หมายความว่า ดึงเส้นพลาสติกกลับเข้าไปในหัวฉีดเป็นระยะทาง 100 mm โดยหลังจากใส่ค่าให้กดปุ่มลูกศรขึ้น

### ชุดควบคุมอุณหภูมิหัวฉีด

เป็นหน้าต่างสำหรับเปิด-ปิดความร้อนของฮีทเตอร์ที่หัวฉีด ซึ่งสามารถใส่ค่าอุณหภูมิที่ต้องการได้ เมื่อใส่ค่าเรียบร้อยแล้ว ให้กดปุ่ม Heat Extruder นอกจากนั้นถ้าเครื่องพิมพ์ของผู้ใช้มี 2 หัวพิมพ์ ก็สามารถเลือกหัวพิมพ์ที่ต้องการได้ โดยเลือกที่ Extruder 1 หรือ Extruder 2 ขึ้นอยู่กับหัวพิมพ์ที่ติดมากับเครื่องพิมพ์ ในส่วนของ Speed(mm/Min) นั้น เป็นค่าความเร็วที่ต้องการให้หัวพิมพ์ฉีดเส้นพลาสติกออกมา ในส่วนของ Extrude นั้นหมายถึงให้ผู้ใช้สามารถใส่ค่าที่ต้องการให้เส้นพลาสติกฉีดออก เช่น 50 mm หมายถึงให้ฉีดเส้นพลาสติกออกมา 50 mm เมื่อใส่ค่าเสร็จในกดปุ่มลูกศรลง ส่วน Retract นั้นหมายถึงการดึงเส้นพลาสติกกลับเข้าไปในหัวฉีด โดยสามารถใส่ค่าได้เหมือนกับ Extrude ยกตัวอย่างเช่น 100 mm หมายความว่าดึงเส้นพลาสติกกลับเข้าไปในหัวฉีดเป็นระยะทาง 100 mm โดยหลังจากใส่ค่าให้กดปุ่มลูกศรขึ้น

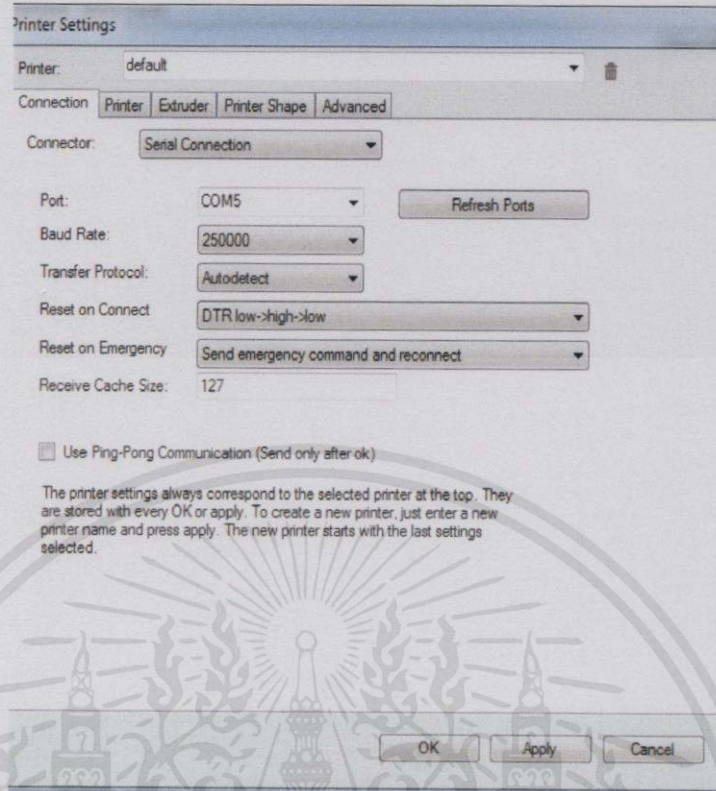
### ชุดควบคุมอุณหภูมิแผ่นฐานทำความร้อน

เป็นหน้าต่างสำหรับควบคุมอุณหภูมิแผ่นฐานทำความร้อนที่อยู่ด้านล่างของแผ่นกระจก ซึ่งการทำความร้อนนั้นก็สามารถปรับได้เหมือนกับชุดควบคุมอุณหภูมิหัวฉีด โดยสามารถใส่ค่าอุณหภูมิที่ต้องการ แล้วจึงกดปุ่ม Heat Printbed การทำความร้อนสำหรับแผ่นฐานนั้นจะเหมาะกับพลาสติกบางประเภทเช่น ABS หรือ Nylon ที่ต้องมีความร้อนด้านล่างเพื่อให้เนื้อพลาสติกยึดติดอยู่กับฐานอย่างมั่นคง ซึ่งถ้าไม่มีแผ่นทำความร้อน เส้นพลาสติกก็จะไม่ติดกับฐาน

### ชุดควบคุมความเร็วพัดลม

ปรับได้ตั้งแต่ 0 - 100% นอกจากนั้นยังสามารถเปิด-ปิดพัดลมได้โดยการกดปุ่ม Fan การใช้พัดลมนั้นจะช่วยทำให้เส้นพลาสติกที่ฉีดออกมาแข็งตัวเร็วขึ้นเพื่อมารองรับกับเส้นพลาสติกที่กำลังจะฉีดออกมาในเลเยอร์ถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



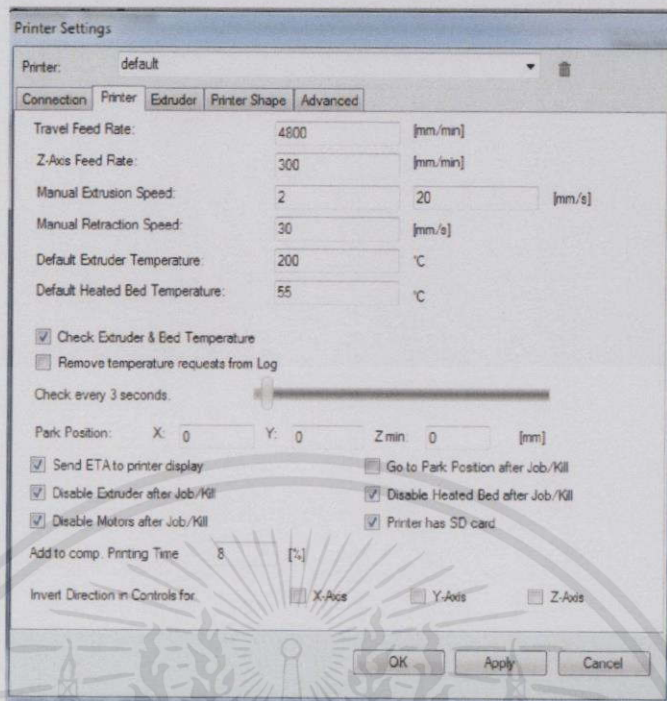
### การตั้งค่าเครื่องพิมพ์

ก่อนที่จะเริ่มใช้งานเครื่องพิมพ์นั้นผู้ใช้งานจำเป็นต้องสร้าง Profile ของเครื่องพิมพ์ซึ่งจะมีข้อมูลเกี่ยวกับ Port ที่ใช้ติดต่อระหว่างเครื่องพิมพ์กับ Computer ความเร็วในการส่งข้อมูล ชนิดของเครื่องพิมพ์ และพื้นที่ในการพิมพ์งาน ซึ่งสามารถเข้าไปตั้งค่าเหล่านี้ได้โดยการ เลือก Config ที่เมนูด้านบนแล้วเลือก Printer setting

ในหน้าต่างแรกคือหน้าต่าง Connection จะเป็นการตั้งค่าในส่วนของการติดต่อระหว่าง Computer กับเครื่องพิมพ์

1. Connection ให้เลือกเป็น Serial Connection ก็คือการต่อเครื่องพิมพ์ ผ่าน Port USB
2. Port ให้เลือก Port ที่ใช้ซึ่งสามารถกดปุ่ม Refresh Port เพื่อให้โปรแกรมหา Port ที่เครื่องพิมพ์ ต่ออยู่
3. Baud Rate เป็นความเร็วในการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องพิมพ์กับคอมพิวเตอร์ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น 250000 แต่บางอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับตัวบอร์ดและ Firmware ที่เครื่องพิมพ์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ในหน้า Printer นั้นจะเป็นการตั้งค่าเกี่ยวกับเครื่องพิมพ์ซึ่งมีหัวข้อดังนี้

1. Travel Feed Rate เป็นการกำหนดความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์ในแกน X และ Y
2. Z-Axis Feed rate เป็นการกำหนดความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์ในแกน Z
3. Default Extruder Temperature เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นอุณหภูมิของหัวฉีด
4. Default Heated Bed Temperature เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นอุณหภูมิของแผ่นฐานทำความร้อน
5. Number of Extruder จำนวนหัวฉีดที่อยู่ในเครื่องพิมพ์
6. Check Extruder & Bed Temperature เป็นการตรวจสอบอุณหภูมิหัวฉีดและแผ่นฐานทำความร้อน
7. Remove M105 Requests from Log ยกเลิกการใช้ M105 ที่จะแสดงผลใน Log Display ซึ่งสามารถตั้งให้แสดงได้ทุกๆ กี่วินาทีตามที่ผู้ใช้ต้องการโดยเลื่อนแถบสไลด์ด้านข้าง M105 เป็นการให้แสดงอุณหภูมิ ณ เวลา ปัจจุบันมาแสดงที่ Log Display ที่อยู่ด้านล่าง ซึ่งเหมาะในการทำ Calibrate เครื่องพิมพ์ เพื่อให้ผู้ใช้จะรู้ว่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรบ้าง
8. Park Position ผู้ใช้สามารถใส่ค่าตำแหน่ง X Y และ Z เพื่อที่ให้หัวพิมพ์ไปอยู่ที่ตำแหน่งที่ใส่ค่าเมื่อมีการกดปุ่ม Park ในหน้า Manual Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

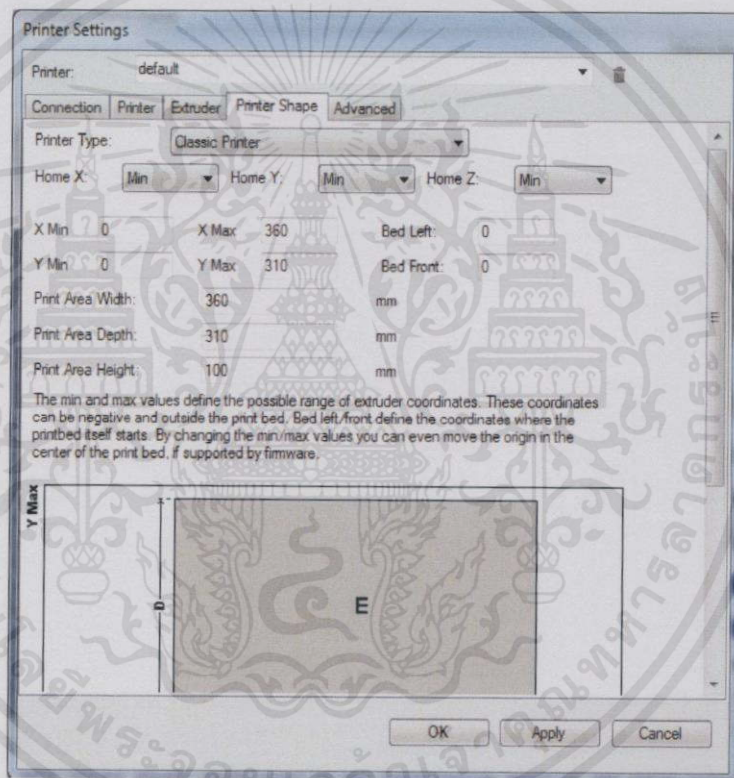
9. Go to Park Position after Job/kill เป็นการสั่งให้หัวพิมพ์เดินทางไปยังตำแหน่ง Park position เมื่อมีการกดปุ่ม Kill Job

10. Disable Extruder After Job/kill เป็นการสั่งให้ปิดฮีทเตอร์ที่หัวพิมพ์เมื่อมีการกดปุ่ม Kill Job

11. Disable Heated Bed after Job/kill เป็นการสั่งให้ปิดฮีทเตอร์ที่แผ่นฐานทำความร้อนเมื่อมีการกดปุ่ม Kill Job

12. Disable Motor After Job/Kill เป็นการสั่งให้ปิดมอเตอร์เมื่อมีการกดปุ่ม Kill Job

13. Add to comp. Printing Time เป็นการชดเชยค่าเวลาพิมพ์งานที่แสดงอยู่ให้มากหรือน้อยลง



ในหน้า Printer Shape นั้นจะเป็นในส่วนของการตั้งค่ารูปแบบของเครื่องพิมพ์ รวมถึงขนาดพื้นที่ในการพิมพ์ ซึ่งในส่วนนี้มีรูปแบบให้เลือก

1. Classic Printer เป็นรูปแบบเครื่องพิมพ์ทั่วไป

2. Classic Printer with Dump Area เป็นรูปแบบเครื่องพิมพ์ทั่วไปที่มีพื้นที่ด้านข้างของพื้นที่พิมพ์ยื่นออกมา

3. Rostock Printer เป็นเครื่องพิมพ์แบบ Delta ซึ่งจะมีพื้นที่การพิมพ์แบบวงกลม

4. CNC Router เป็นการใช้เครื่องพิมพ์ในแบบเครื่องกัดและเจาะงาน

จะกล่าวถึงการตั้งค่าแค่ 1 แบบคือ Classic Printer

ในส่วนของ Classic Printer จะมีการตั้งค่าต่างๆ ตามรายละเอียดดังนี้

1. Printer Type เลือกรูปแบบของเครื่องพิมพ์
2. HOME X HOME Y and HOME Z ต้องการให้เครื่องพิมพ์กำหนดค่าตำแหน่งกลับสู่จุดเริ่มต้นเป็นเท่าไร ซึ่งมีค่าให้เลือก ตามนี้
  - a. Min หมายถึงเมื่อให้กลับสู่ตำแหน่งจุดเริ่มต้น โดยเมื่อถึงแล้วให้ใช้ค่า MIN ที่กำหนดไว้ตามค่า Min ในแกนนั้น
  - b. Max หมายถึงเมื่อให้กลับสู่ตำแหน่งจุดเริ่มต้น โดยเมื่อถึงแล้วให้ใช้ค่า MAX ที่กำหนดไว้ตามค่า MAX ในแกนนั้น
  - c. 0 หมายถึงเมื่อกลับไปสู่จุดเริ่มต้นให้ใช้ค่า 0 เป็นจุดเริ่มต้น
3. X Min ให้ใส่ค่าน้อยที่สุดที่หัวพิมพ์จะวิ่งไปได้ในแนวแกน X
4. X Max ให้ใส่ค่ามากที่สุดที่หัวพิมพ์จะวิ่งไปได้ในแนวแกน X
5. Y Min ให้ใส่ค่าน้อยที่สุดที่หัวพิมพ์จะวิ่งไปได้ในแนวแกน Y
6. Y Max ให้ใส่ค่ามากที่สุดที่หัวพิมพ์จะวิ่งไปได้ในแนวแกน Y
7. Bed Left ให้ใส่ขนาดที่เหลือทางด้านซ้ายมือของแผ่นทำความร้อน
8. Bed Front ให้ใส่ขนาดที่เหลือทางด้านบนของแผ่นทำความร้อน
9. Print Area Width ขนาดความกว้างของพื้นที่การพิมพ์
10. Print Area Depth ขนาดความลึกของพื้นที่การพิมพ์
11. Print Area Height ขนาดความสูงของพื้นที่การพิมพ์

### ความสำคัญของการพิมพ์เลเยอร์ในชั้นแรก

เลเยอร์ชั้นแรกนั้นมีความสำคัญมากเหมือนกับการสร้างบ้าน บ้านที่แข็งแรงต้องมีฐานที่แน่นหนา ซึ่งการที่พิมพ์ให้เลเยอร์ชั้นแรกให้มีความแข็งแรงนั้นจำเป็นต้องตรวจสอบ และเปลี่ยนแปลงค่าในหลายๆ ด้านเพื่อให้พลาสติกในชั้นแรกติดกับฐานได้อย่างมั่นคง ซึ่งตัวแปรที่มีความสำคัญจะมีดังต่อไปนี้

1. ความลาดเอียงของแผ่นฐานรองชิ้นงาน ถ้าแผ่นฐานรองชิ้นงานนั้นมีความลาดเอียงมาก ก็จะทำให้พลาสติกที่พิมพ์จะติดแค่ส่วนใดส่วนหนึ่งของแผ่นฐานรองชิ้นงาน ซึ่งเมื่อเวลาที่พิมพ์ในเลเยอร์หรือชั้นต่อไป ก็จะมีพิมพ์ไม่ติดทำให้งานที่พิมพ์ออกมาเสียหาย หรือถ้าพิมพ์ได้งานที่ออกมาในส่วนพื้นที่ก็จะได้ระนาบ

2. อุณหภูมิที่ใช้ในการพิมพ์ชั้นแรกนั้นจะต้องมีอุณหภูมิที่สูงกว่าการพิมพ์ในชั้นอื่นๆ เพราะต้องการให้พลาสติกนั้นสามารถติดกับฐานได้อย่างแน่นหนา ซึ่งในส่วนนี้ตัวโปรแกรม Slic3r ก็สามารถตั้งค่าให้อุณหภูมิในการพิมพ์ชั้นแรกนั้นสูงกว่าการพิมพ์ในชั้นอื่นๆ การตั้งค่าอุณหภูมิในการพิมพ์ชั้นแรกนั้นจะสูงกว่าการพิมพ์ในชั้นอื่นๆ ประมาณ 5 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่เป็นการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลบางเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การพิมพ์ให้พลาสติกให้ติดกับฐานในชั้นแรกนั้นจำเป็นต้องให้หัวพิมพ์เคลื่อนที่อย่างช้าๆ เพื่อให้พลาสติกนั้นติดกับฐานได้อย่างแน่นหนา ซึ่งความเร็วในการเคลื่อนที่นั้นจะลดลงประมาณ 30 - 50% จากการเคลื่อนที่ปกติ

4. การ Calibrate อัตราการฉีดพลาสติกของหัวฉีดนั้นก็เป็นส่วนสำคัญ ซึ่งถ้าฉีดพลาสติกออกมามากเกินไปในชั้นแรก ก็จะเป็นปัญหาในการฉีดพลาสติกออกมาในชั้นต่อไป เพราะหัวฉีดจะลากและถูไปกับพลาสติกที่ถูกพิมพ์ออกมาในชั้นแรก ซึ่งจะทำให้พลาสติกถูกลากออกมาจากฐาน

5. ความสูงของพลาสติกที่พิมพ์ออกมาในชั้นแรกนั้นก็สำคัญเพราะจะทำให้พลาสติกนั้นติดกับฐานได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งมาตรฐานที่ใช้ในจะให้ความสูงชั้นแรกเท่ากับขนาดของหัวฉีด เช่นหัวฉีดขนาด 0.35 มิลลิเมตร ดังนั้นความสูงของเลเยอร์หรือชั้นแรกก็ต้องสูง 0.35 มิลลิเมตร ซึ่งในตอนนี้ผู้ใช้สามารถตั้งค่าในโปรแกรมได้ทำให้เลเยอร์แรกพิมพ์ที่ความสูงเท่าไร ตามที่ต้องการ

6. วัสดุที่ติดบนแผ่นฐานรองชิ้นงานนั้นก็จำเป็นจึงมีการใช้เทปติดลงบนแผ่นฐานทำความร้อน ซึ่งพลาสติกแต่ละชนิดอาจจะใช้เทปแตกต่างกัน เช่น พลาสติก PLA นั้นเทปที่ใช้เป็น Blue Marking Tape ของ 3M ซึ่งหาซื้อได้ตาม Home Pro หรืออาจจะใช้เทป Kapton ซึ่งเป็นเทปกั้นฉนวนไฟฟ้าหาซื้อได้ตามบ้านหม้อ ส่วนของพลาสติก ABS นั้นไม่สามารถใช้ Blue Marking Tape แต่ใช้กับ Kapton เทปได้

7. ปิดพัดลมทำความเย็นในการพิมพ์เลเยอร์แรก ซึ่งการพิมพ์ในเลเยอร์แรกนั้นไม่จำเป็นต้องเปิดพัดลม ซึ่งในส่วนนี้สามารถตั้งค่าในโปรแกรมได้

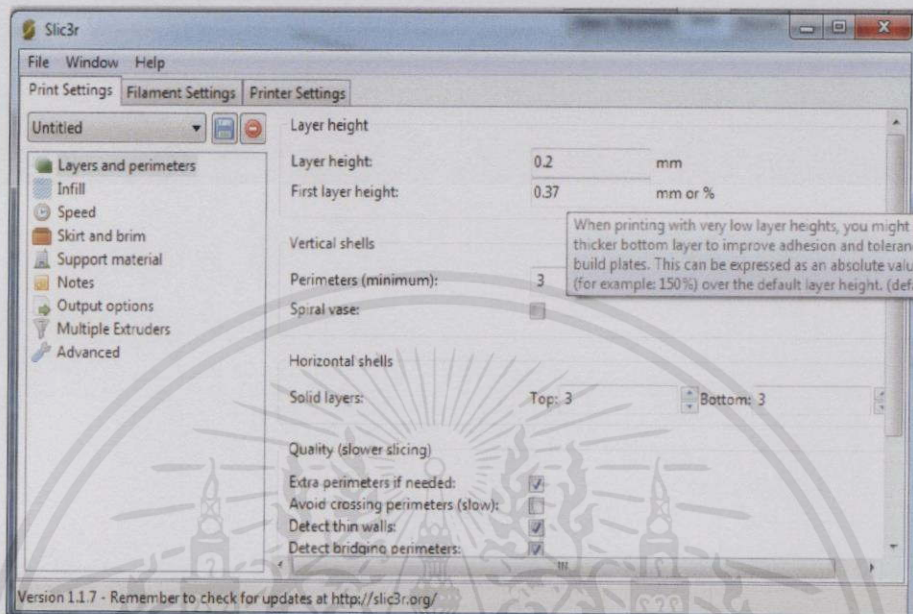
### ไฟล์ที่ใช้ในการพิมพ์งาน

ไฟล์ที่ใช้สำหรับพิมพ์งานนั้นจะต้องเป็นนามสกุล .STL หรือ OBJ ซึ่งไฟล์เหล่านี้ถือว่าเป็นมาตรฐานของไฟล์ 3 มิติ ซึ่งในตอนนี้นี้ก็มีหลาย Website ที่เปิดให้โหลดไฟล์ 3 มิติได้ฟรีโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย หรือสามารถแบ่งปันไฟล์ 3 มิติให้ผู้อื่นไปลองพิมพ์งาน เช่น <http://www.thingiverse.com/> เป็นต้น เมื่อได้ไฟล์มาแล้วในบางครั้งก็ยังไม่สามารถนำไปพิมพ์ได้ ผู้ใช้จำเป็นต้องตรวจสอบไฟล์ที่ได้มาโดยการใช้โปรแกรม Netfabb ซึ่งเป็นฟรีโปรแกรม สำหรับการซ่อมไฟล์นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### การใช้งานโปรแกรม Slic3r



#### การกำหนดค่าต่างๆในโปรแกรม Slic3r

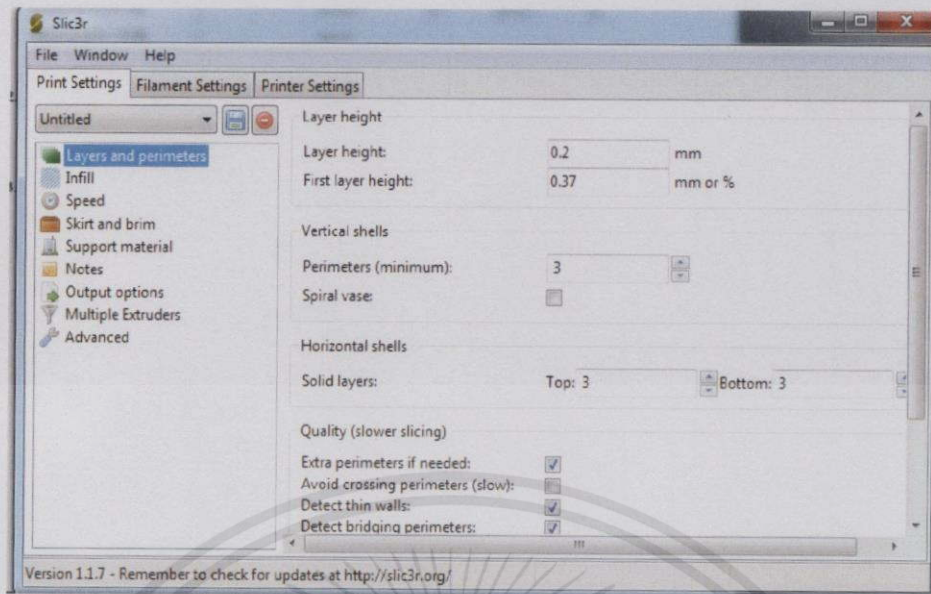
ในโปรแกรม Slic3r นั้นจะมีแถบหน้าต่างต่าง ในการตั้งค่าอยู่ 3 แถบ ได้แก่ Print Setting, Filament Setting และ Printer Setting ซึ่งในแต่ละแถบหน้าต่างนั้นก็มีการกำหนดโปรไฟล์ที่แตกต่างกัน

#### Print Setting

เริ่มด้วยหน้าต่างแรกเป็นในส่วนของ Print Setting ซึ่งในคู่มือนี้จะบอกเฉพาะหัวข้อที่จำเป็นต้องใช้ ได้แก่

1. Layer and Perimeter เป็นส่วนของการกำหนดความละเอียดและของของชิ้นงานที่พิมพ์
2. Infill เป็นส่วนของการกำหนดโครงสร้างความแข็งแรงของชิ้นงาน
3. Speed เป็นส่วนของการกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์
4. Skirt and Brim เป็นส่วนของการให้ฉีดพลาสติกออกมาก่อนการพิมพ์ และการสร้างตัวยึดชิ้นงานให้ติดอยู่กับแผ่นฐานทำความร้อน
5. Support Material เป็นส่วนของการสร้าง Support สำหรับชิ้นงานที่มี Overhang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Layer and perimeter

ในหัวข้อนี้เป็นตัวกำหนดความละเอียดของงานที่พิมพ์ ซึ่งความละเอียดนั้นจะขึ้นอยู่กับความสูงในแต่ละเลเยอร์ซึ่งความสูงการพิมพ์ยิ่งน้อย งานที่พิมพ์ก็ยิ่งมีความละเอียดมากขึ้นแต่ต้องแลกกับเวลาที่ใช้พิมพ์มากขึ้น ซึ่งในหัวข้อนี้มีตัวแปรให้ตั้งค่าได้ตามนี้

1. Layer Height ให้ใส่ค่าความสูงที่ต้องการพิมพ์ในแต่ละเลเยอร์ ซึ่งค่าที่เหมาะสมนั้นต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับขนาดรูของหัวฉีดเช่น ใช้หัวฉีดขนาด 0.35 มิลลิเมตร ความสูงของแต่ละเลเยอร์ก็ควรอยู่ประมาณ 0.1 – 0.35 มิลลิเมตร

2. First Layer Height ให้ใส่ค่าความสูงในการพิมพ์งานในเลเยอร์แรก ซึ่งค่ามาตรฐานต้องเท่ากับขนาดของหัวฉีดเช่น หัวฉีด 0.35 มิลลิเมตร ค่าในส่วนนี้ต้องเท่ากับ 0.35

3. Perimeters (minimum) ในส่วนนี้หมายถึงขอบของชิ้นงานซึ่งหมายถึงต้องการให้พิมพ์ขอบกี่รอบเช่น 3 หมายถึงให้เดินขอบของชิ้นงาน 3 รอบ

4. Randomize Starting Point เป็นการให้โปรแกรมสุ่มการเริ่มพิมพ์ขอบ โดยจุดที่เริ่มการพิมพ์ขอบอาจจะไม่ตรงตำแหน่งเดิมที่เริ่ม ซึ่งอาจทำให้งานพิมพ์เร็วขึ้น แต่งานที่ได้อาจจะออกมาไม่สวยงาม ค่าเริ่มต้นเป็นของโปรแกรม เป็น NO

5. Generate Extra Perimeters When Needs เป็นการให้โปรแกรมสร้างขอบของชิ้นงานเพิ่มในส่วนที่จำเป็น ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงให้กับชิ้นงาน 3 มิติที่มีรายละเอียดเล็กๆ ค่าเริ่มต้นเป็น YES

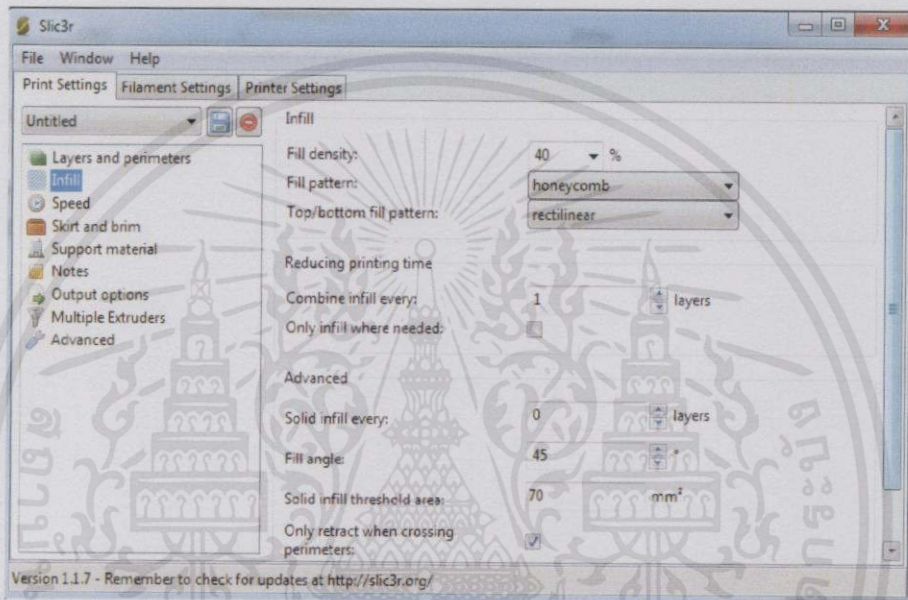
6. Solid Layers แบ่งเป็น Top และ Bottom ซึ่งในส่วนนี้หมายถึงจำนวนเลเยอร์ที่ต้องการให้พิมพ์แบบปิดทึบในส่วนของด้านบนและด้านล่างว่าต้องการให้พิมพ์กี่เลเยอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะฟรีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Avoid Crossing Perimeter เป็นในส่วนของการพิมพ์โดยหลีกเลี่ยงไม่ให้หัวพิมพ์เดินข้ามหรือทับบนเส้นขอบ Perimeter ซึ่งจะทำงานพิมพ์ออกมาสวยงาม แต่ต้องแลกมากับเวลาที่ใช้พิมพ์ที่มากขึ้น ค่าเริ่มต้นเป็น NO

8. External Perimeter First เป็นการบังคับให้หัวฉีดพิมพ์ขอบชั้นนอกก่อนที่จะพิมพ์ขอบชั้นใน ค่าเริ่มต้นเป็น NO

9. Spiral Vase เป็นการบังคับให้หัวพิมพ์เคลื่อนที่ขึ้นด้านบนแบบเกลียวซึ่งเหมาะกับงานพิมพ์ประเภทแจกัน ค่าเริ่มต้นเป็น NO



## Infill

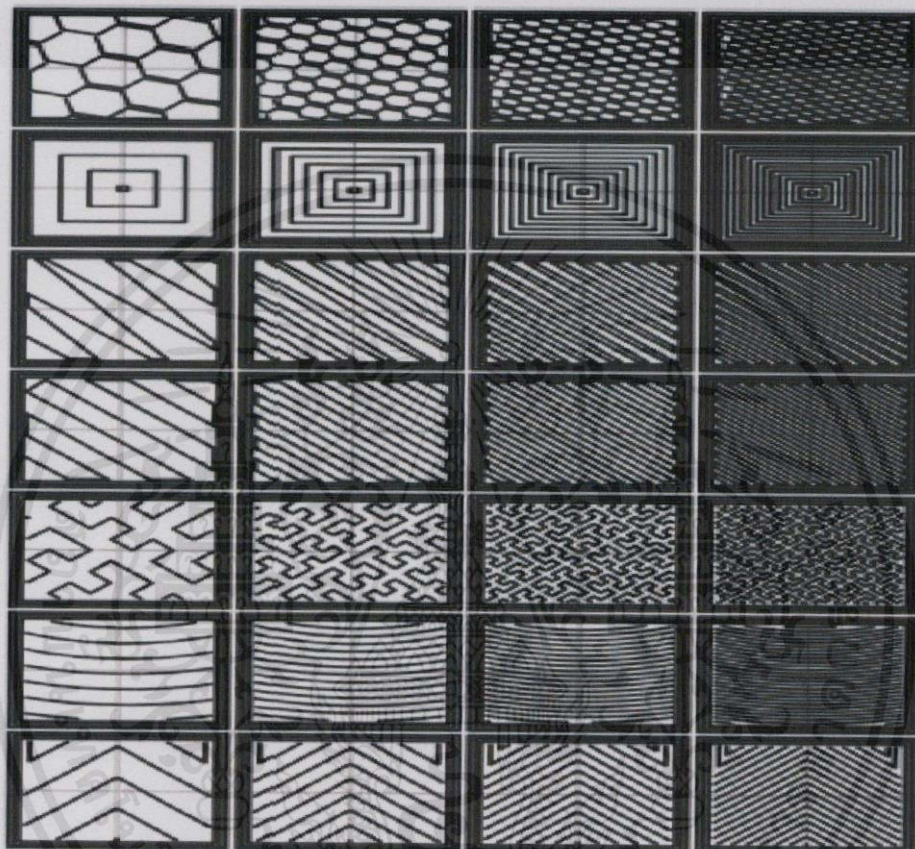
ในหัวข้อนี้เป็นการกำหนดโครงสร้างภายในของงานพิมพ์ ซึ่งสามารถพิมพ์ให้ตันในกลางก็ได้ หรือจะพิมพ์ให้ตันในที่ก็ได้ ซึ่งโครงสร้างภายในนั้นยังสามารถเลือกรูปแบบในการพิมพ์ก็ได้ เช่น โครงสร้างรังผึ้ง หรือโครงสร้างแบบกันหอย ซึ่งในส่วน of Infill นั้นจะมีค่าให้ตั้งดังต่อไปนี้

1. Fill Density หมายถึงเปอร์เซ็นต์ที่ต้องการให้พิมพ์โครงสร้างภายใน โดยใส่ค่าได้ตั้งแต่ 0 – 1 ค่า 0 หมายถึงไม่ต้องพิมพ์โครงสร้างภายใน 0.4 หมายถึงให้พิมพ์โครงสร้างภายใน 40% แต่ถ้าเป็น 1 นั้นหมายถึงให้พิมพ์โครงสร้างภายในทั้งหมด ซึ่งผู้ใช้ต้องดูว่าชิ้นงานที่พิมพ์จะเอาไว้ทำอะไร ถ้าเอาไปใช้งานก็ต้องพิมพ์ให้โครงสร้างภายในเยอะเพื่อความแข็งแรง แต่ถ้าพิมพ์เพื่อเอาไปใช้โชว์ก็ไม่จำเป็นต้องพิมพ์โครงสร้างภายในหรือถ้าจะพิมพ์ก็ไม่จำเป็นต้องเยอะ

2. Fill Pattern หมายถึงรูปแบบโครงสร้างภายในซึ่งสามารถเลือกได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับงานที่พิมพ์จะเอาไปใช้ทำอะไร ซึ่งสามารถดูตัวอย่างการพิมพ์โครงสร้างภายในได้จากด้านล่าง

3. Top/bottom Fill Pattern หมายถึงรูปแบบโครงสร้างที่ต้องการพิมพ์ในส่วนของ Solid Layer ด้านบนและด้านล่างที่ผู้ใช้กำหนดในหน้า Layer and Perimeter ซึ่งสามารถเลือกได้ว่าจะให้

พิมพ์เป็นลักษณะไหนเหมือนกับหัวข้อ Fill Pattern (ตัวอย่างรูปภาพด้านล่างเป็นรูปแบบการพิมพ์ของ Fill Pattern ในรูปแบบต่างๆ รวมถึงการ Fill Density ที่แตกต่างกัน โดยจากซ้ายไปขวา Fill Density เริ่มที่ 20%, 40%, 60% และ 80% จากบนถึงล่างเรียงตามลำดับเป็น Fill Pattern แบบ Honeycomb, Concentric, Line, Rectilinear, Hilbert Curve, Archimedean Chords และ Octagram Spiral)

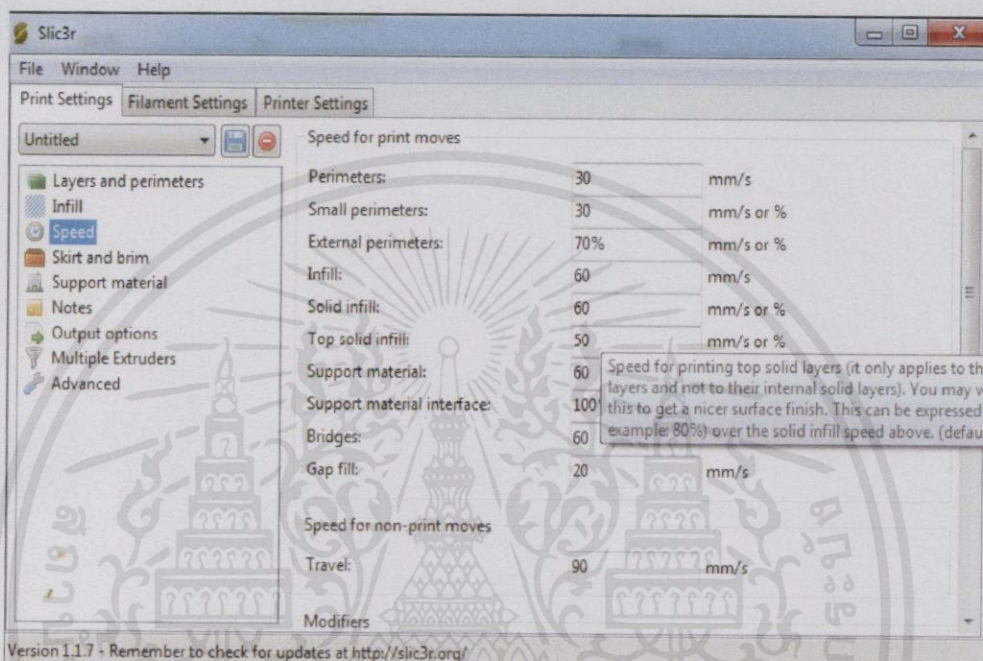


4. Infill Every หมายถึงต้องการให้พิมพ์โครงสร้างภายในทุกที่เลยอร์ ค่ามาตรฐานเป็น 1
5. Only Infill Where Needs หมายถึงจะให้พิมพ์โครงสร้างภายใน ในส่วนที่จำเป็นเท่านั้น ค่ามาตรฐานเป็น NO
6. Solid Infill Every หมายถึงจะให้พิมพ์แบบทึบหรือ 100% ในทุกที่เลยอร์ ค่ามาตรฐานเป็น 0
7. Fill Angle หมายถึงจะให้พิมพ์โครงสร้างภายในโดยใช้มุมเท่าไร ค่ามาตรฐานเป็น 45
8. Solid Infill Threshold Area หมายถึงต้องการให้พิมพ์โครงสร้างที่ทึบในขนาดที่กำหนด ค่ามาตรฐานเป็น 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Only Retract When Crossing Perimeter หมายถึงให้หัวฉีดทำการดึงเส้นพลาสติกขึ้นทุกครั้งก่อนการเดินข้ามขอบของชิ้นงาน ซึ่งจะช่วยป้องกันการไหลออกมาของพลาสติกที่หัวฉีด ซึ่งอาจทำให้เส้นพลาสติกที่ไหลออกมายึดติดกับตัวชิ้นงานที่พิมพ์อยู่ ค่ามาตรฐานเป็น YES

10. Infill Before Perimeter หมายถึงให้หัวฉีดพิมพ์โครงสร้างภายในก่อนการพิมพ์ขอบของชิ้นงาน



## Speed

เป็นหน้าต่างในการกำหนดค่าการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์ โดยสามารถตั้งความเร็วในการเคลื่อนที่ให้แตกต่างกันได้ในการพิมพ์แต่ละส่วน เช่น พิมพ์ขอบหรือ Perimeter ให้พิมพ์ช้าแต่เวลาพิมพ์โครงสร้างภายในให้พิมพ์เร็ว เป็นต้น ซึ่งมีหัวข้อในการตั้งค่าดังนี้

1. Perimeters ความเร็วในการพิมพ์ขอบชิ้นงาน
2. Small Perimeters ความเร็วในการพิมพ์ขอบชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก
3. External Perimeters ความเร็วในการพิมพ์ขอบชิ้นงานที่อยู่ด้านนอกสุด ในส่วนนี้ถ้าต้องการให้งานที่พิมพ์ออกมาสวยงามจำเป็นต้องให้หัวฉีดเดินช้ากว่าการพิมพ์ขอบชั้นใน
4. Infill ความเร็วในการพิมพ์โครงสร้างภายใน
5. Solid Infill ความเร็วในการพิมพ์ในส่วนของเลเยอร์ที่ต้องการพิมพ์แบบทึบ เช่น เลเยอร์ด้านบนและ เลเยอร์ด้านล่าง
6. Top Solid Infill หมายถึงความเร็วในการพิมพ์เลเยอร์ชั้นบนสุด ซึ่งถ้าต้องการให้งาน

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดเผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

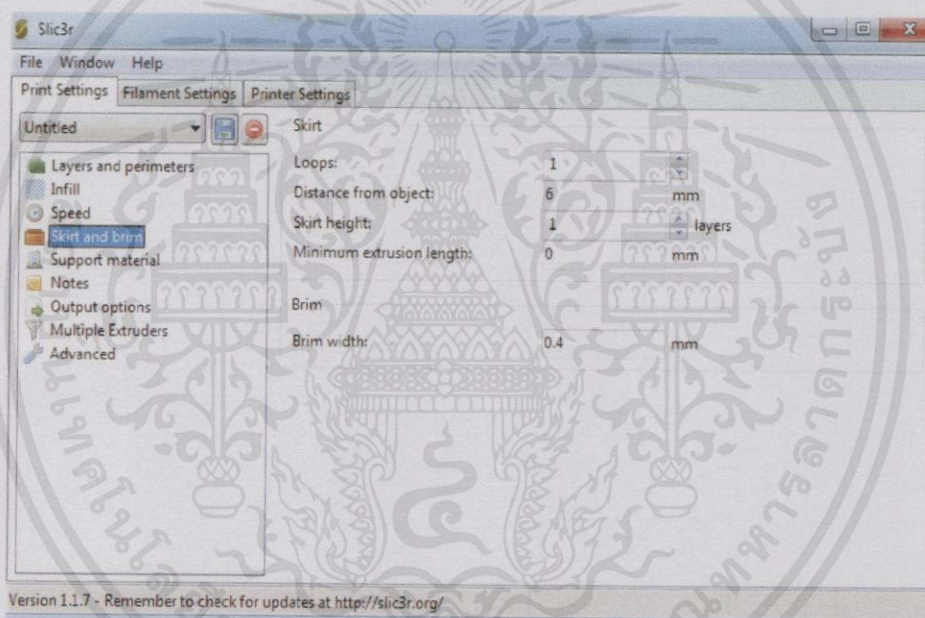
7. Support Material ความเร็วในการพิมพ์ในส่วนของ Support ซึ่งอาจจะพิมพ์เร็วได้ เพราะจะต้องมาหักออกทีหลัง

8. Bridge หมายถึงความเร็วสำหรับการพิมพ์งานที่มี Overhang หรืองานประเภทคานที่ไม่มีอะไรรองรับด้านล่าง ซึ่งต้องใช้ความเร็วในการพิมพ์ให้พอดี เพราะว่าถ้าเร็วไปเส้นพลาสติกที่ฉีดออกมา ก็จะขาด แต่ถ้าช้าไปเส้นพลาสติกก็จะย้อยลงมา

9. Gap Fill เป็นความเร็วในการพิมพ์ช่องว่างที่มีขนาดเล็ก ซึ่งถ้าตั้งให้เร็วก็อาจจะทำให้เครื่องพิมพ์เกิดการสั่นได้เพราะขนาดเล็กและเวลาในการเคลื่อนที่มีความเร็วมาก

10. Travel เป็นความเร็วที่กำหนดให้หัวพิมพ์เคลื่อนที่ในตอนหัวฉีดไม่ได้ฉีดเส้นพลาสติกออกมา ซึ่งสามารถตั้งให้เร็วได้

11. First Layer Speed เป็นความเร็วที่กำหนดให้เครื่องพิมพ์ พิมพ์งานในเลเยอร์แรก ซึ่งจำเป็นต้องช้าเพราะต้องการให้เส้นพลาสติกยึดติดกับฐานได้อย่างมั่นคง



### Skirt and Brim

ในหน้าต่างนี้จะเป็นการสร้าง Skirt และ Brim ให้กับชิ้นงาน 3 มิติ ในส่วนของ Skirt นั้นจะมีประโยชน์อย่างมาก เพราะหัวฉีดจะทำการฉีดพลาสติกทิ้งออกไปก่อน โดยจะฉีดทิ้งรอบๆ ของชิ้นงานสาเหตุที่ต้องฉีดพลาสติกทิ้ง เพราะบางครั้งถ้าพิมพ์งานเลยโดยที่ไม่มี Skirt เส้นพลาสติกอาจจะออกมาไม่เต็มเส้น ทำให้ฐานของงานพิมพ์เสียหาย ซึ่ง Skirt จะช่วยแก้ปัญหาในส่วนนี้ ส่วน Brim นั้นเป็นการสร้างชายขอบให้กับชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานติดกับแผ่นฐานรองชิ้นงานได้อย่างแน่นหนาขึ้น ซึ่งเหมาะสำหรับงานที่มีฐานขนาดกว้าง ซึ่งถ้าไม่มี Brim มาช่วยตัวงานก็อาจจะหลุดออกมาจากแผ่น

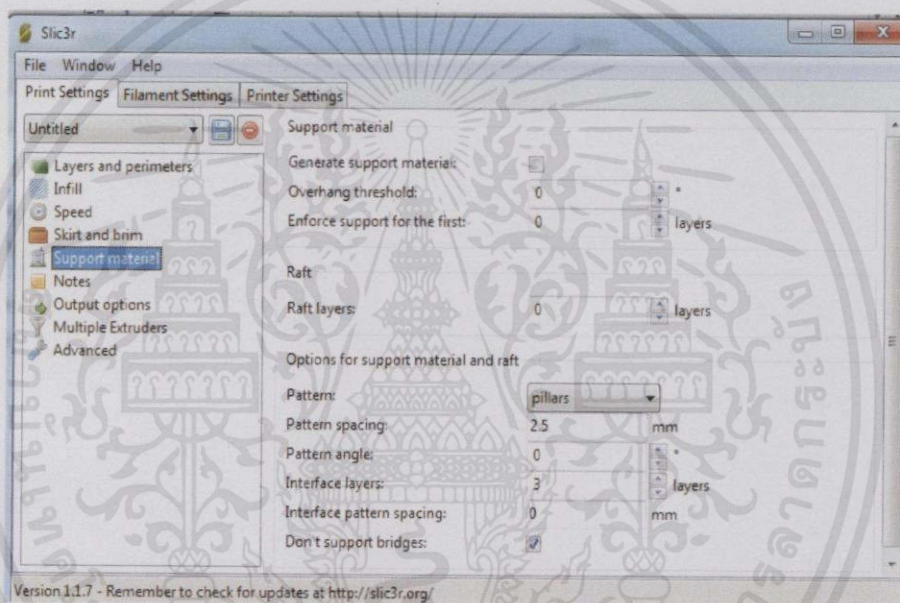
เอกสารนี้ถูกสร้างขึ้นงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ในส่วนของ Skirt

1. Loops หมายถึงให้ฉีดยึดเส้นพลาสติกที่รอบชิ้นงานที่รอบ ค่ามาตรฐานอยู่ที่ 2 รอบ
2. Distance From Object หมายถึงให้ฉีดยึดเส้นพลาสติกที่ออกมาจากชิ้นงานที่มีลิเมตร
3. Skirt Height หมายถึงจำนวนชั้นที่ต้องการให้ฉีดยึดเส้นพลาสติกที่ออกมาชั้น ค่ามาตรฐานอยู่ที่ 1 ชั้น
4. Minimum Extrusion Length หมายถึงกำหนดค่าที่จะให้ฉีดยึดพลาสติกออกมาเป็นระยะทางเท่าไร ซึ่งส่วนใหญ่ไม่ค่อยได้ใช้ ค่ามาตรฐานอยู่ที่ 0

### ในส่วนของ Brim

Brim width หมายถึงให้สร้างขอบชิ้นงานออกมาจากตัวงานที่มีลิเมตร



### Support Material

ในหน้าต่างนี้จะเป็นในหัวข้อที่เกี่ยวกับการสร้าง Support ให้กับชิ้นงาน ซึ่งผู้ใช้จำเป็นต้องดูลักษณะของชิ้นงานที่ต้องการพิมพ์ด้วยว่าจำเป็นต้องใช้ Support หรือไม่ Support นั้นจะเหมาะกับงานที่ Overhang เช่น รูปคนกางแขน ซึ่งถ้าไม่มี Support เวลาพิมพ์งานจนถึงช่วงแขนก็จะทำให้เส้นพลาสติกย่อตกลงมา ดังนั้นจำเป็นต้องสร้าง Support เพื่อเป็นที่ให้ส่วนแขนสามารถค้ำหรือวางลงมาได้ ซึ่งโดยปกติเส้นพลาสติกจะเริ่มย่อตกลงมาถ้างานที่พิมพ์นั้นมีส่วนยื่นออกมาเกิน 45 องศา

### ในส่วนของหน้าต่าง Support นั้นมีค่าต่างๆ ที่ต้องใส่ดังนี้

1. Generate Support Material หมายถึงให้เลือกถ้าต้องการให้โปรแกรมสร้าง Support เอกสารนี้ให้โดยใช้ค่าที่ตั้งด้านล่าง สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Overhang Threshold หมายถึง มุมที่เกินจากนี้ให้โปรแกรมสร้าง Support มารองรับ แต่ถ้าใส่ 0 หมายถึงให้โปรแกรมคิดให้ว่าจะต้องใส่ Support ตรงช่วงไหนบ้างของชิ้นงาน 3 มิติ

3. Enforce Support for The First หมายถึงให้สร้าง Support จนกว่าจะถึงเลเยอร์ที่กำหนด เหมาะสำหรับงานที่มีฐานด้านล่างที่มีขนาดเล็ก ที่สามารถหักได้ถ้าไม่มี Support

ในส่วนของ Raft เป็นการสร้างแพเพื่อรองรับชิ้นงานเหมาะสำหรับงานที่มีฐานเล็กหลายๆ ฐาน ซึ่งถ้าไม่มี Raft การพิมพ์ในชั้นแรกก็จะพิมพ์ติดยากเพราะไม่มีเนื้อที่ให้พลาสติกเกาะที่ฐาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างแพหรือ Raft ในการพิมพ์ชั้นแรกขึ้นมาก่อน ซึ่งเมื่อพิมพ์ Raft เสร็จ โปรแกรมจึงค่อยเริ่มพิมพ์ชิ้นงาน การสร้าง Raft นั้นจะอยู่คนละส่วนกับ Support ซึ่งผู้ใช้สามารถสร้าง Raft ได้โดยไม่ต้องเลือก Generate Support Material ก็สามารถสร้าง Raft ได้ ส่วนการตั้งค่า Raft มีดังนี้

1. Raft layer หมายถึงให้สร้าง Raft ขึ้นมาก็ขึ้น ซึ่งเมื่อพิมพ์ Raft ตามชั้นที่กำหนดเสร็จแล้ว จึงค่อยเริ่มพิมพ์ชิ้นงาน

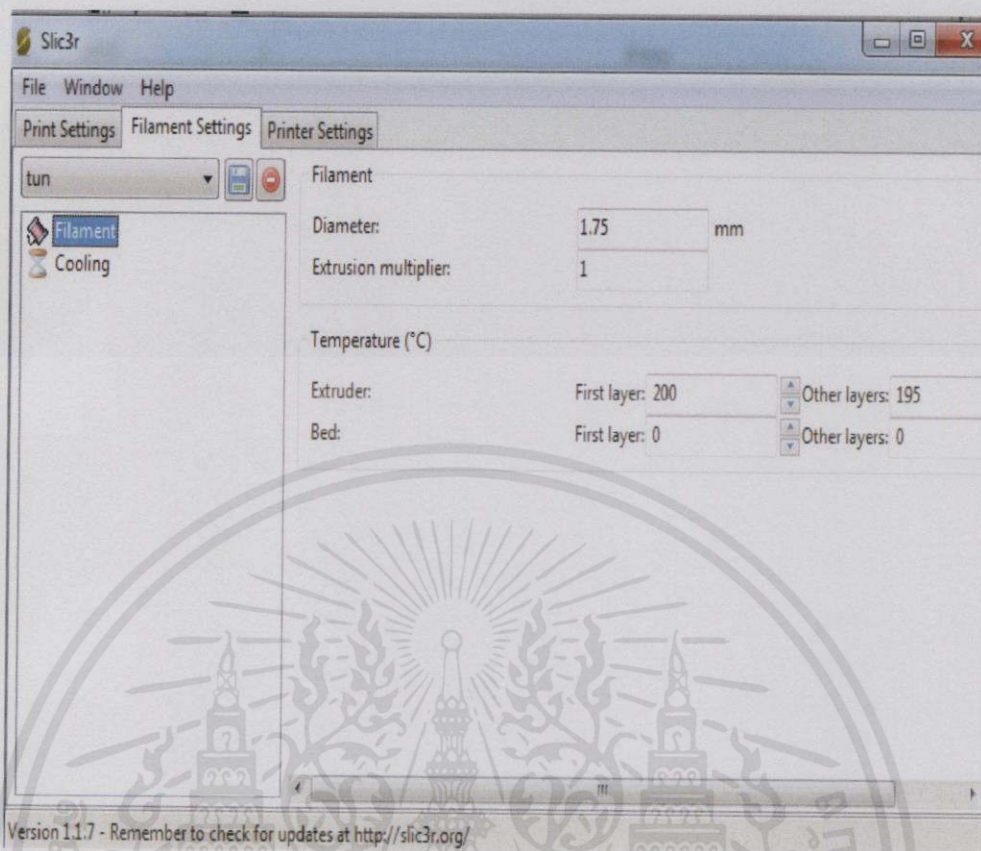
ในส่วนของ Option for Support Material and Raft นั้นจะเป็นการกำหนดรูปแบบที่จะใช้ในการพิมพ์ Support ซึ่งสามารถเลือกได้เช่นเดียวกันกับการพิมพ์ Infill ที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งมีหัวข้อดังต่อไปนี้

1. Pattern หมายถึงรูปแบบในการพิมพ์ Support และ Raft สามารถเลือกได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ Rectilinear, Rectilinear Grid และ Honeycomb ซึ่งสามารถดูรูปแบบได้จากรูปที่อยู่ในหัวข้อ Infill

2. Pattern Spacing หมายถึง ช่องว่างระหว่าง Pattern ที่ใช้กับขอบของชิ้นงาน ซึ่งถ้าชิดมากก็จะทำให้ Support แข็งแรง และตัวงานวางอยู่บน Support ได้ดีขึ้น แต่จะทำให้แกะ Support ออกยากเวลาที่พิมพ์เสร็จ แต่ถ้าห่างมากก็จะทำให้ชิ้นงานอยู่ห่างจาก Support และอาจทำให้เกิดการย้อยของเส้นพลาสติกเวลาพิมพ์งาน ดังนั้นผู้ใช้จึงต้องดูลักษณะงานให้เหมาะสมกับระยะห่างระหว่าง Support กับตัวชิ้นงาน

3. Pattern Angle หมายถึงมุมที่ต้องการวาง Support เช่น ต้องการให้พิมพ์ Support ทำมุมกับชิ้นงาน 45 องศา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### Filament Setting

ในหัวข้อ Filament มีค่าต่างๆ ที่ต้องกำหนดดังนี้

1. Diameter หมายถึงขนาดเส้นพลาสติกที่ใช้ โดยให้ใช้เวอร์เนียร์วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดพลาสติกในหลายจุดแล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย เมื่อได้ค่าเฉลี่ยแล้วให้นำตัวเลขมาใส่ที่ช่องนี้
2. Extrusion Multiplier หมายถึงการคำนวณปริมาณพลาสติกที่ฉีดออกมา โดยใส่ค่าได้ตั้งแต่ 0 – 1 ซึ่ง 1 หมายถึง 100% ซึ่งการเปลี่ยนค่านี้ให้บวกหรือลบครั้งละ 0.05 ในส่วนนี้สามารถทดสอบได้โดยการ Calibrate โดยการพิมพ์ขอบหรือ Perimeter แค่ 1 รอบแล้วให้วัดความหนาของขอบที่พิมพ์ออกมาว่าเป็นเท่าไร ซึ่งโดยปกติหัวฉีดขนาด 0.4 มิลลิเมตรจะสร้างของที่มีความหนาประมาณ 0.4 - 0.45 มิลลิเมตร ถ้าพิมพ์ออกมาแล้วขอบใหญ่หรือเล็กจากขนาดหัวฉีด ให้ทำการเปลี่ยนค่านี้ ซึ่งจะบอกวิธีอย่างละเอียดในคู่มือการ Calibrate หัวฉีด

ในหัวข้อ Temperature มีค่าที่ต้องใส่ดังนี้

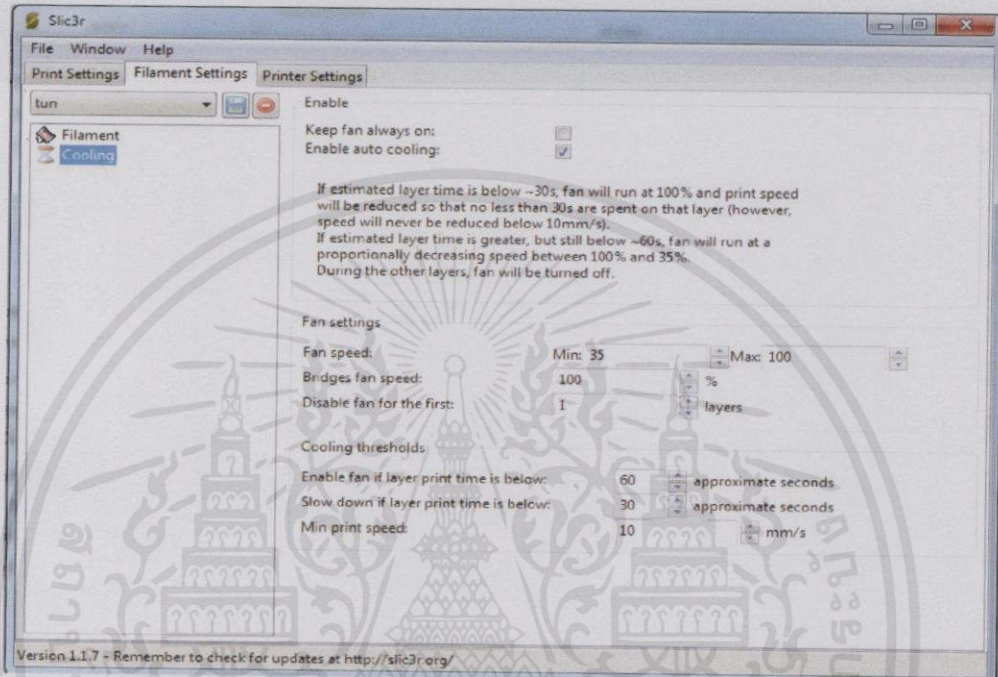
1. Extruder หมายถึงอุณหภูมิของหัวฉีดที่ต้องการ

- a. First Layer ให้ใส่ค่าอุณหภูมิที่ต้องการฉีดในเลเยอร์แรก ซึ่งโดยปกติแล้วจะต้องมากกว่า Other Layers ประมาณ 5 – 10 องศา

- b. Other Layer ให้ใส่ค่าอุณหภูมิที่ต้องการหลังจากทำการพิมพ์เลเยอร์แรกเสร็จไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้แล้ว

## 2. Bed หมายถึงอุณหภูมิของแผ่นทำความร้อนที่ต้องการ

- First layer ให้ใส่ค่าอุณหภูมิที่ต้องการให้แผ่นทำความร้อนทำงานในขณะที่พิมพ์เลเยอร์แรก ซึ่งโดยปกติแล้วจะต้องมากกว่า Other layers ประมาณ 5 – 10 องศา
- Other Layer ให้ใส่ค่าอุณหภูมิที่ต้องการหลังจากทำการพิมพ์เลเยอร์แรกเสร็จแล้ว



## Cooling

ในส่วนหัวข้อ Cooling นั้นจะมีค่าต่างๆ ดังนี้

- Keep Fan Always On หมายถึงให้เปิดพัดลมตลอดเวลาที่พิมพ์งาน
- Enable Auto Cooling เป็นการบังคับใช้พัดลมให้ทำงานสัมพันธ์กันกับความเร็วในการพิมพ์ เช่น ถ้าในเลเยอร์มีการพิมพ์ที่ใช้เวลาน้อยกว่า 30 วินาที ตัวพัดลมจะวิ่งเต็มความเร็ว 100% และจะลดเวลาในการพิมพ์ลงมาให้สัมพันธ์กัน แต่ถ้าในเลเยอร์นั้นใช้เวลาการพิมพ์มากกว่า 30 วินาทีแต่น้อยกว่า 60 วินาที ค่าความเร็วของพัดลมจะแปรผันตามเวลาที่ใช้พิมพ์และความเร็วในการพิมพ์จะอยู่ระหว่าง 35% ถึง 100% แต่ถ้าเลเยอร์ใช้เวลาในการพิมพ์มากกว่า 60 วินาที พัดลมก็จะไม่ทำงาน ในส่วนของเวลาสามารถกำหนดค่าที่ต้องการได้ในหัวข้อ Cooling Threshold ซึ่งข้อดีของ Function นี้ก็คือจะได้งานพิมพ์ที่มีคุณภาพแต่ต้องแลกมากับเวลาที่ใช้พิมพ์งานนานขึ้น
- Fan Speed หมายถึงค่าความเร็วของพัดลมที่ต้องการใช้ซึ่งมีค่าเป็น เปอร์เซ็นต์ ตรงจุด

นี้ค่า Min คือต้องการให้พัดลมเปิดเบาสุดที่กี่เปอร์เซ็นต์ของความเร็วรอบพัดลม ส่วน Max นั้นคือต้องการให้พัดลมเปิดแรงสุดที่กี่เปอร์เซ็นต์ของความเร็วรอบของพัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับนำไปใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

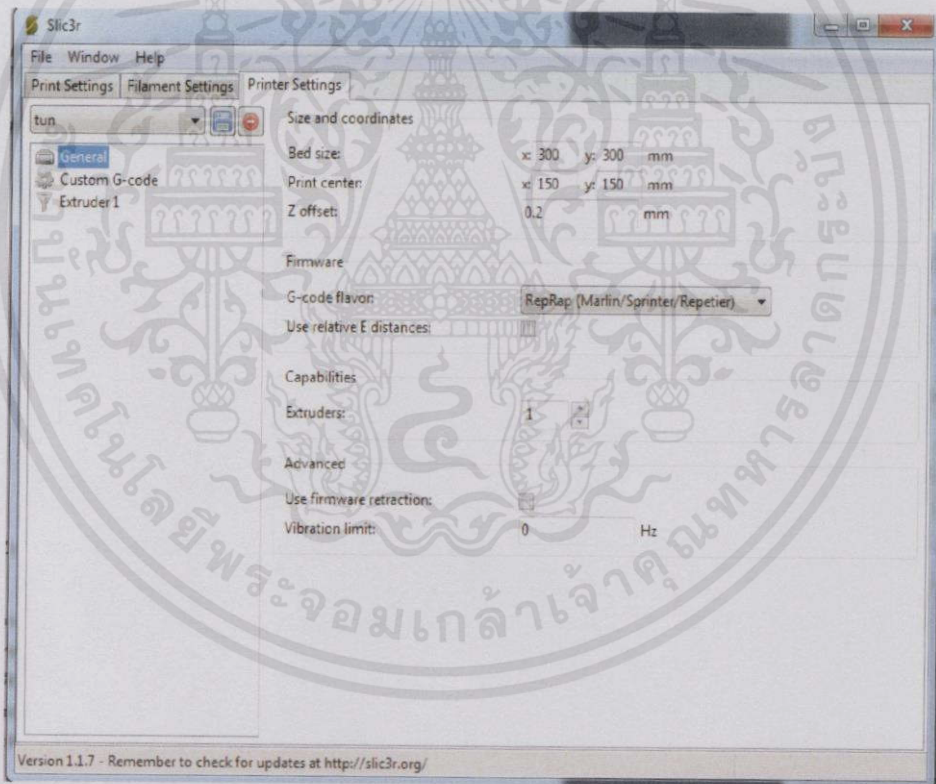
4. Bridges Fan Speed หมายถึงถ้าเลเยอร์นั้นมีการพิมพ์ที่มีลักษณะเหมือนสะพานคือไม่มีเสามาค้ำหรือไม่มี Support ซึ่งถ้าไม่เปิดพัดลม เส้นพลาสติกก็จะย้อยลงมา ดังนั้นผู้ใช้ต้องใส่ค่าความแรงของพัดลมที่ต้องการเวลาที่มีการพิมพ์ Bridge

5. Disable Fan for The First หมายถึงต้องการให้ปิดพัดลมจนกว่าจะพิมพ์ถึงเลเยอร์ที่กำหนดแล้วจึงค่อยเปิดพัดลม ซึ่งตรงจุดนี้นั้นเหมาะสำหรับงานพิมพ์ฐานใน เลเยอร์แรก ซึ่งจำเป็นต้องให้เส้นพลาสติกยึดติดกับฐาน ค่ามาตรฐานเป็น 1

6. Enable Fan if Layer Print Time is Below หมายถึงให้พัดลมทำงานถ้าระยะเวลาในการพิมพ์นั้นน้อยกว่าเวลาที่กำหนดในช่องนี้

7. Slow Down if Layer Print Time is Below หมายถึงให้เครื่องพิมพ์เคลื่อนที่หัวพิมพ์ให้ช้าลงถ้าระยะเวลาในการพิมพ์ในน้อยกว่าเวลาที่กำหนดในช่องนี้

8. Min Print Speed หมายถึง ความเร็วน้อยที่สุดที่ต้องการให้หัวพิมพ์เคลื่อนที่ถ้าระยะเวลาในการพิมพ์ของเลเยอร์นั้นน้อยกว่าเวลาที่กำหนดในหัวข้อด้านบน



## General

ในหัวข้อ General จะเป็นการจัดการเกี่ยวกับเครื่องพิมพ์ และกำรออก G-code ของโปรแกรมซึ่งประกอบไปด้วยค่าต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 1. Bed Size หมายถึงขนาดแผ่นฐานทำความร้อนหรือพื้นทำการพิมพ์ ให้ใสขนาดกว้าง x ยาว  
 ไม่ว่าจะฉีดยังไงทั้งเส้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 ลงไป

2. Print Center หมายถึงจุดตำแหน่งที่ X เป็น 0 และ Y เป็น ซึ่งถ้าต้องการให้จุดเริ่มต้นอยู่ตรงกลางของแผ่นฐานทำความร้อนหรือพื้นที่การพิมพ์ ให้นำค่าพื้นที่การพิมพ์มาหารด้วย 2 แต่ถ้าต้องการให้จุดเริ่มต้นอยู่มุมล่างซ้ายสุดก็ให้ใส่ค่าติดลบแล้วตามด้วยขนาดของพื้นที่การพิมพ์ เป็นต้น เช่น พื้นที่การพิมพ์ 200 x 200 มิลลิเมตร ก็ให้ใส่ค่า -200 ในช่องของค่า X และ -200 ในช่องของค่า Y

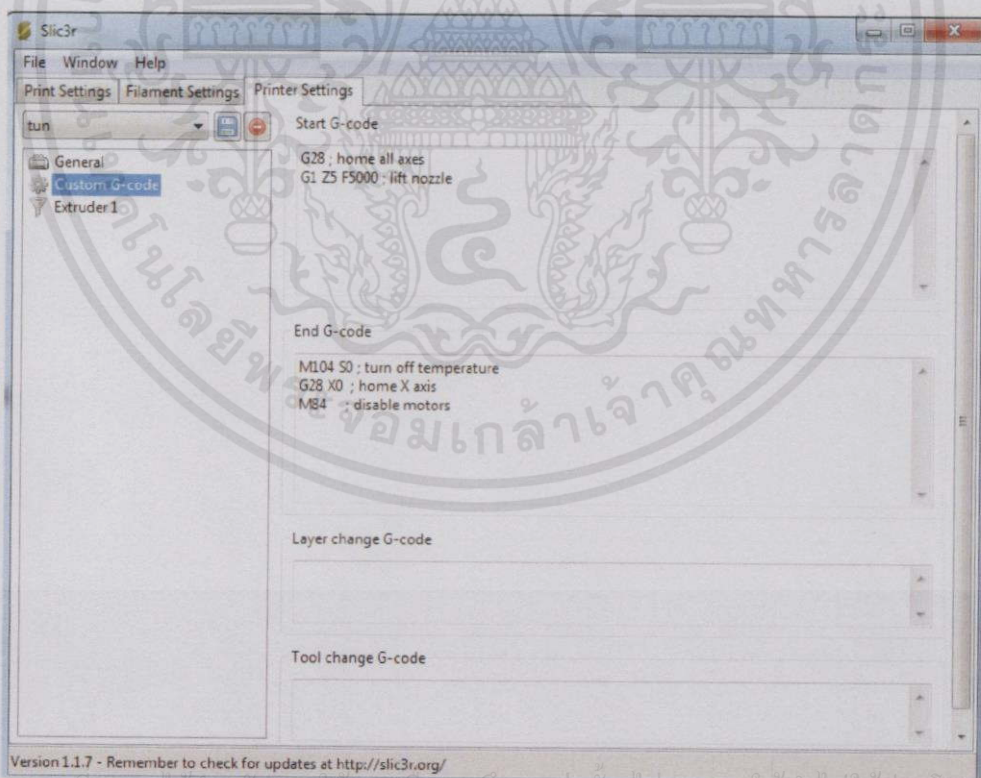
3. Z Offset หมายถึงให้เครื่องพิมพ์ยกหัวพิมพ์ขึ้นมาจากฐานพิมพ์ตามค่าที่เรากำหนด เช่น ถ้าหัวพิมพ์ฉีดพลาสติกไม่ออกเวลาพิมพ์เลเยอร์แรก ก็ให้ทำการใส่ค่าในช่องนี้ลงไป ซึ่งผู้ใช้จำเป็นต้องดูขนาดหัวฉีดของเครื่องพิมพ์ด้วยว่ามีขนาดเท่าไร ถ้ามีขนาดรู 0.4 มิลลิเมตร ก็อาจจะใส่ค่าเริ่มต้นในช่องนี้เป็น 0.25 มิลลิเมตร เป็นต้น

4. G-code Flavor ให้เลือก Firmware ที่มาพร้อมกับเครื่องพิมพ์

5. Use Relative E Distance หมายถึงให้ G-code ทำงานในระบบ G92 ซึ่งค่ามาตรฐานนั้นเป็น NO

6. Extruder หมายถึงจำนวนหัวฉีดที่มาพร้อมกับเครื่องพิมพ์ ซึ่งถ้าเลือกเป็น 2 ในหน้า Manual Control ในส่วนของ Extruder ก็จะมีให้ใช้งาน 2 หัวฉีดซึ่งแต่ละหัวฉีดสามารถตั้งอุณหภูมิให้แตกต่างกันได้

7. Vibration Limit ให้ใส่ค่าเป็น 0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Custom G-code

ในหัวข้อ Custom G-code นั้นจะเป็นในส่วนของหัวและท้ายโปรแกรมที่ผู้ใช้สามารถเขียนเพิ่มเติมได้เพื่อให้เครื่องพิมพ์ทำงานตามคำสั่งหรือโค้ดที่เขียนก่อนเริ่มพิมพ์ และหลังพิมพ์งานเสร็จ ซึ่งในส่วนนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วนได้แก่

1. Start G-code หมายถึงให้เครื่องพิมพ์ทำงานก่อนที่จะเริ่มพิมพ์งาน เช่น

G28 ; Home All Axes ให้เครื่องพิมพ์กลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้นที่จุด X เป็น 0 Y เป็น 0

G1 Z5 F5000 ; Lift Nozzle ให้เครื่องพิมพ์ยกหัวพิมพ์ขึ้นมา 5 มิลลิเมตร

2. End G-code หมายถึงให้เครื่องพิมพ์ทำตามโค้ดหลังจากพิมพ์งานเสร็จ เช่น

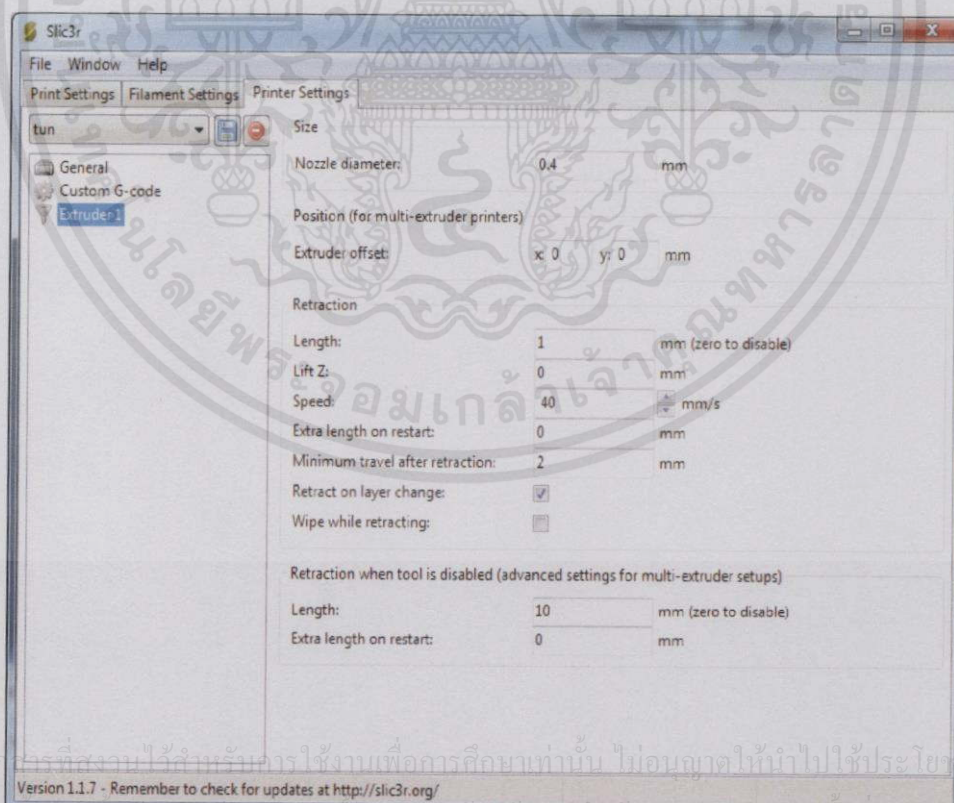
M104 S0 ; Turn Off Temperature ให้ปิดฮีทเตอร์ทั้งหมด

G28 X0 ; Home X Axis ให้เครื่องพิมพ์กลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้นที่จุด X เป็น 0

M84 ; Disable Motors ให้ปิดการทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องพิมพ์

3. Layer Change G-code หมายถึงให้เครื่องพิมพ์ทำงานโค้ดทุกครั้งเมื่อก่อนทำการพิมพ์ใน Layer ถัดไป

4. Tool Change G-code ในส่วนนี้เหมาะกับการเซ็ทเครื่องเป็นเครื่องกัด ซึ่งในเครื่องพิมพ์ 3 มิติจะไม่ได้ใช้ในส่วนนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Extruder 1

ในหัวข้อนี้เป็นการกำหนดขนาดของหัวฉีดรวมถึงการป้องกันการไหลของพลาสติกออกมาจากหัวฉีดในขณะพิมพ์

1. Nozzle Diameter หมายถึงขนาดของรูหัวฉีดซึ่งการกำหนดค่านี้ให้บวกเข้าไป 0.05 มิลลิเมตรจากค่าที่วัดได้หรือค่าที่ทางโรงงานผู้ผลิตระบุมา เพราะการเจาะรูนั้นจะมีในส่วนของค่าเบี่ยงเบนประมาณ 0.05 มิลลิเมตร เช่น หัวฉีดขนาด 0.4 มิลลิเมตร ก็ให้ใส่เป็น 0.45 มิลลิเมตร
2. Extruder Offset ในส่วนนี้เป็นการกำหนดตำแหน่งของหัวพิมพ์หรือหัวฉีดที่ 2 ซึ่งอยู่ห่างจากหัวฉีดแรกในระยะเท่าไร ซึ่งถ้ามีหัวฉีดเดียวก็ไม่จำเป็นต้องใส่
3. Length หมายถึงให้มอเตอร์ดึงเส้นพลาสติกกับเข้าไปกี่มิลลิเมตร ซึ่งโดยปกติถ้าหัวฉีดกับมอเตอร์ที่ดันเส้นพลาสติกอยู่ติดกันก็ให้ใส่ค่าระหว่าง 1 -3 มิลลิเมตร แต่ถ้าหัวฉีดกับมอเตอร์ที่ดันเส้นพลาสติกอยู่ห่างกัน ก็ให้ใส่ค่าประมาณ 5 - 15 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับระยะที่ห่างกันของหัวฉีดกับชุดมอเตอร์ที่ดันเส้นพลาสติกออกมา
4. Lift Z หมายถึงให้ทำการยกหัวฉีดออกจากตัวชิ้นงานตามค่าที่กำหนดไว้ในขณะที่หัวฉีดกำลังเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ค่ามาตรฐานอยู่ประมาณ 0.1 - 1 มิลลิเมตร
5. Speed หมายถึงความเร็วในการดึงเส้นพลาสติกกับเข้าไปในหัวฉีด
6. Extra Length on Restart หมายถึงเมื่อหัวพิมพ์เคลื่อนที่ไปยังจุดที่จะเริ่มพิมพ์ให้ทำการดึงพลาสติกออกมาให้ตามค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งเครื่องพิมพ์ส่วนใหญ่ไม่จำเป็นต้องใช้ตรงจุดนี้ ค่ามาตรฐานเป็น 0
7. Minimum Travel After Retraction หมายถึงถ้าการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์น้อยกว่าระยะที่กำหนดก็ต้องให้มอเตอร์ดึงเส้นพลาสติกกลับเข้าไปให้หัวฉีด ซึ่งจะช่วยเพิ่มความเร็วในการพิมพ์งาน ค่ามาตรฐานเป็น 2
8. Retraction on Layer Change หมายถึงให้ทำการดึงเส้นพลาสติกกลับทุกครั้งเมื่อจะเริ่มพิมพ์ใน เลเยอร์ต่อไป
9. Wipe Before Retract หมายถึงให้ทำการขยับหัวพิมพ์พร้อมกลับการดึงเส้นพลาสติกกลับเข้าไปในหัวฉีด ซึ่งเหมือนกับการเช็ดเส้นพลาสติกออกจากหัวพิมพ์

## การบันทึกและลบ Profile

ในโปรแกรม Slic3r นั้นผู้ใช้สามารถที่จะบันทึกค่าต่างๆ เก็บเป็น Profile เพื่อใช้งานได้ ซึ่งแต่ละ Profile อาจจะมีการตั้งค่าที่แตกต่างกันเพื่อให้เหมาะกับงานที่จะพิมพ์ในแต่ละประเภท ซึ่งการบันทึก Profile ของโปรแกรม slic3r นั้นจะแบ่ง Profile ออกเป็น 3 ส่วนได้แก่

1. Profile ในส่วนของ Print Setting
2. Profile ในส่วนของ Filament Setting
3. Profile ในส่วนของ Printer Setting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และนี่เป็นตัวอย่างฉบับแรกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปลี่ยนค่าต่างๆ เรียบร้อยแล้วจำเป็นต้องทำการบันทึกทุกครั้ง โดยการปุ่ม Save แต่ถ้าต้องการระบุชื่อให้กับ Profile ก็ให้ทำการพิมพ์ชื่อลงไป แล้วจึงกดปุ่ม Save การ Import และ Export ในส่วนของ Configuration เพื่อนำมาใช้งาน ในโปรแกรม Slic3r นั้นผู้ใช้สามารถที่จะ Import Configuration เข้ามาใช้งานได้ โดยไม่จำเป็นต้องไปตั้งค่าต่างๆ ซึ่งจะมีความสะดวก ถ้าผู้ใช้มีเครื่องพิมพ์ที่เหมือนกันมากกว่า 1 เครื่อง ซึ่งการ Import Configuration เข้ามาใช้งานนั้น โปรแกรมจะนำค่าทั้งหมดที่อยู่ใน Profile ในแถบหน้าต่าง Print Settings, Filament Settings และ Printer Settings เข้ามาใช้งาน ซึ่งผู้ใช้จะสามารถพิมพ์ชิ้นงานจาก Profile เหล่านั้นได้ในทันที โดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนค่าแต่อย่างใด ซึ่งจะสะดวกเป็นอย่างมาก หากผู้ใช้ได้ทำการบันทึก Profile ไว้เป็นจำนวนมาก เพราะจะได้ไม่ต้องมาใส่ค่าใหม่เมื่อมีการติดตั้งโปรแกรมลงใหม่ นอกจากนั้นการที่ผู้ใช้ยังสามารถนำ File Configuration เอาไว้ติดตั้งในกรณีที่ต้องนำไปติดตั้งกับเครื่อง Computer เครื่องอื่นๆ แต่ก่อนจะทำการนำเข้าไฟล์ Config นั้นจะต้องเรียนรู้

#### วิธีการ Export Configuration เสียก่อน ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

1. ไปที่ Menu File ที่อยู่ด้านบนของโปรแกรม Slic3r
2. เลือก Export Config
3. ตั้งชื่อ File ที่จะต้องการบันทึก
4. ทำการบันทึก File โดยกดปุ่ม Save เมื่อบันทึกเสร็จจะได้ File ที่มีนามสกุล .INI ซึ่งผู้ใช้สามารถ Copy เพื่อเก็บไว้ใน Thumb Drive เพื่อเอาไว้ใช้งาน

#### ซึ่งวิธีการนำเข้าสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

1. ไปที่ Menu File ที่อยู่ด้านบนของโปรแกรม Slic3r
2. เลือก Load Config
3. เลือกไฟล์ Config ที่ได้ทำการ Export ออกมา ซึ่งจะมียนามสกุลเป็น .INI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปสเตอร์ของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ



**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Control Engineering

---

### เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ ( 3D PRINTER )

เครื่องพิมพ์สามมิติ เป็นการพิมพ์ที่ด้วยกระบวนการพิมพ์สามแกน ให้มีรูปร่างเหมือนจริงจากรูปแบบดิจิทัลลง หลัการทั่วไป การสร้างงานสามมิติจะใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบ หรือซอฟต์แวร์ในการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนไหวของเครื่องดิจิทัลตามขวาง ความต่อเนื่องสำหรับการพิมพ์ขึ้นอยู่กับเครื่องที่ใช้ จะสร้างวัสดุเป็นชิ้นๆ รวมกันวางบนแพลตฟอร์มที่เป็นชั้นจนเสร็จสมบูรณ์สุดท้ายจะได้เป็นรูปแบบสามมิติที่ได้รับการพิมพ์เป็นกระบวนการแบบ WYSIWYGที่เป็นรูปแบบเสมือนและรูปแบบจำลองทางกายภาพเกือบจะเหมือนกัน การคิดคอร์ดระหว่างซอฟต์แวร์ CAD และเครื่องพิมพ์จะเป็นรูปแบบไฟล์ STL เป็นรูปแบบไฟล์ที่สร้างชิ้นเข้าเครื่องพิมพ์และไฟล์ VRML หรือVRL จะใช้สำหรับเทคโนโลยีการพิมพ์ 3D ที่สามารถพิมพ์ไฟล์ได้เต็มรูปแบบ



---

### วงจรควบคุมการทำงาน



### วัตถุประสงค์ของโครงการ

- ทำการศึกษาทฤษฎีการควบคุมแบบป้อนกลับ
- ทำการศึกษาและสร้างชุดขับ Stepping Motor
- ทำการศึกษาและสร้างหัวฉีดพลาสติก
- ออกแบบและสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติให้สามารถสร้างชิ้นงานได้จริงตามต้นแบบ

---

### ส่วนประกอบของเครื่องพิมพ์

- Stepping Motor 5 ตัว
- พลาสติกเส้น ชนิด PLA 1 หลอด
- ชุดขับมอเตอร์ 1 ชุด

ได้แก่ บอร์ด Arduino Mega 2560  
บอร์ด RAMPs 1.4  
บอร์ด Driver A4988

### อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร. วันชัย รวีรุจา  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เทพจิตรี เซอโกคา  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรรณดี เทพรณิลำคำ