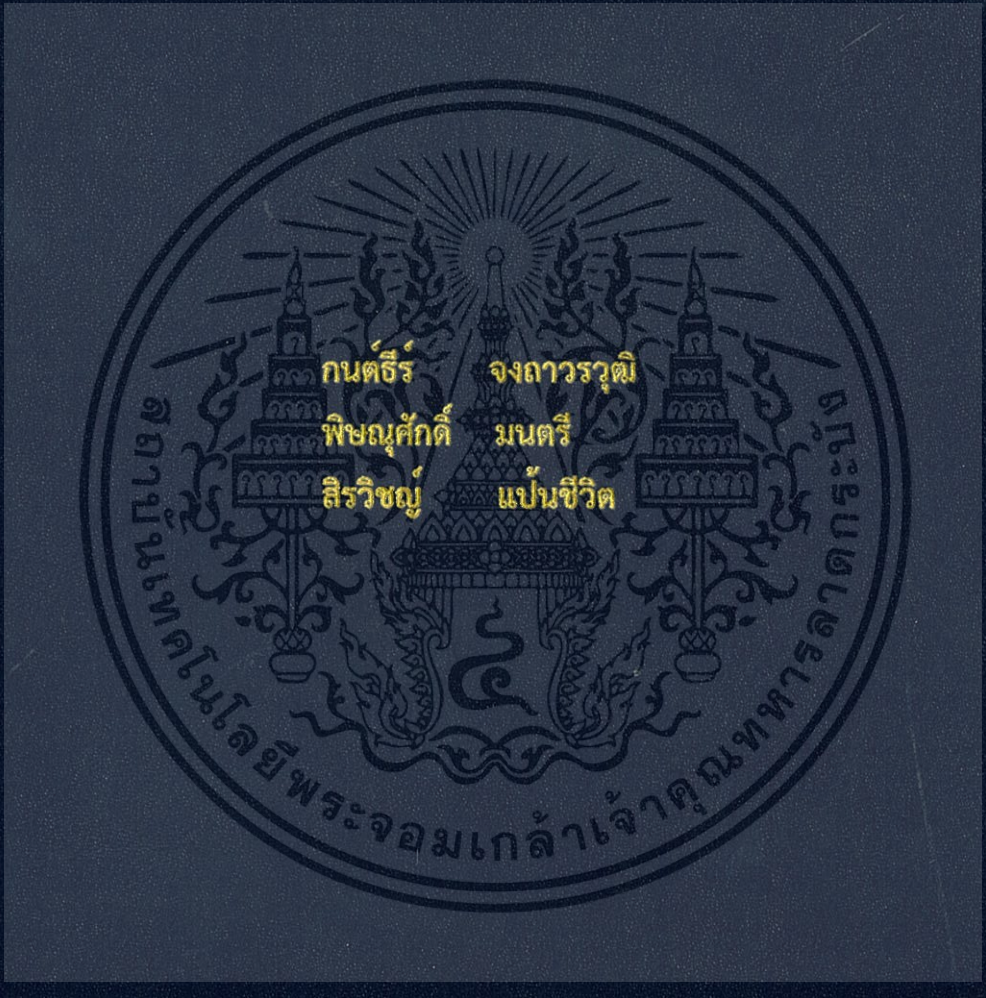
เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ
3D PRINTER



กนต์ธีร์ จงถาวรวุฒิ
พิษณุศักดิ์ มนตรี
สิรวิชญ์ แป้นชีวิต

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

3D PRINTER

กนต์ธีร์ จงถาวรวุฒิ
พิษณุศักดิ์ มนตรี
สิรวิชญ์ แป้นชีวิต

19 พ.
ก.ค.
2557
เลขหมู่.....141096
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี..24 ก.พ. 2559
b.12744888
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3D PRINTER

GONTEE JONGTHAWORNWUT
PISANUSAKI MONTRI
SIRAWIT PAENCHEEWIT

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
ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ
3D PRINTER

ผู้จัดทำ นายกนต์ธีร์ จงถาวรวุฒิ 54010006
นายพิษณุศักดิ์ มนตรี 54010935
นายสิรวิชญ์ แป้นชีวิต 54011373

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริ้วรุจา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพจิตร์ เชยโภคา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

โดย

นายกนต์ธีร์	จงถาวรวุฒิ	54010006
นายพิษณุศักดิ์	มนตรี	54010935
นายสิรวิชญ์	แป้นชีวิต	54011373

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริ้วรุจา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพจิตร์ เชยโภคา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพรชมณีล้ำค่า

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอทฤษฎีและกระบวนการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติโดย โครงสร้างของเครื่องพิมพ์สามมิติประกอบด้วย ส่วนโครงสร้าง ส่วนโปรแกรม ส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และส่วนหัวฉีด จุดมุ่งหมายของโครงงานนี้คือสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติ ที่สามารถพิมพ์พลาสติกชนิด PLA ออกมาเป็นตัวชิ้นงานได้ตามแบบที่ป้อนเข้าไป

ขั้นตอนการดำเนินการเริ่มจาก ออกแบบโครงของเครื่องพิมพ์สามมิติโดยโปรแกรม SolidWorks ซึ่งวัสดุที่ใช้คือแผ่นอะคริลิคใส จากนั้นทำการประกอบโครงของเครื่องพิมพ์สามมิติให้เป็นรูปร่าง จากนั้นทำการศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติว่ามีความสัมพันธ์และทำงานร่วมกันอย่างไร แล้วทำการประกอบส่วนที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และมอเตอร์ที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ใน 3 แกน รวมถึงมอเตอร์ที่ต้องใช้ป้อนเส้นพลาสติกไปยังตัวหัวฉีดด้วย ต่อมาก็ประกอบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และมอเตอร์ทั้งหมดสำหรับเตรียมทำการทดลอง หลังจากนั้นศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมเครื่องพิมพ์สามมิติว่ามีลักษณะอย่างไรและใช้งานอย่างไร เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนดังกล่าวทั้งหมดก็ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิตินี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3D PRINTER

By

Mr. Gontee Jongthawornwut 54010006

Mr. Pisanusak Montri 54010935

Mr. Sirawit Paencheewit 54011373

Advisors

Prof.Dr. Vanchai Riewruja

Asst.Prof. Thepjit Cheypoca

Asst.Prof.Dr. Wandee Petchmaneelumka

Academic Year 2014

ABSTRACT

This thesis presents theory and process of three-dimensional printer. The three-dimensional printer composes of structure, software, electronic, and extruder. The goal of this project is to build the three-dimensional printer that can print plastic models from the designed digital model.

The operating procedure begins from design of three dimensional printer frame by SolidWorks program. Material used for frame is acrylic. Then, the parts of frame are fixed. Next, the related electronic circuits for three-dimensional printer are studied. After that, the electronic parts and motor for movement of 3 axes are installed. Moreover, motor for feed filament into extruder is also fixed. Onward, microcontroller is installed for control the electronic circuits and all motor to prepare the experimentation. Next, programs for control three-dimensional printer are studied. Finally, the completed three-dimensional printer is tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริ้วรุจา ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพจิตร์ เชยโภคา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีมาโดยตลอดตั้งแต่ต้น คอยติดตามความคืบหน้าของผลงาน รวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็นและความช่วยเหลืออื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงาน ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอบคุณพี่น้องในกลุ่มงานทุกคนที่ให้ความร่วมมือในการทำงาน ช่วยเหลือสนับสนุนอุปกรณ์หรือทุนทรัพย์ที่ขาดเหลือ กระตุ้นเตือน จึงทำให้โครงงานสำเร็จมาได้

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงงานนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้จัดทำ
กนต์ธีร์ จงถาวรวุฒิ
พิษณุศักดิ์ มนตรี
สิรวิชญ์ แป้นชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญรูป VI

สารบัญตาราง VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 กล่าวนำ 1

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์ 2

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 เทคนิคการสร้างชิ้นงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ 3

2.1.1 การใช้โพลีเมอร์ชนิดไวแสงในการขึ้นรูปชิ้นงาน 3

2.1.2 การใช้เลเซอร์หรือกาวในการเชื่อมผงวัสดุให้เป็นชิ้นงาน 4

2.1.3 การใช้พลาสติกร้อนเรียงตัวขึ้นเป็นชิ้นงาน 7

2.2 ชุดควบคุม 8

2.2.1 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ 8

2.2.2 ระบบควบคุมความร้อนและหัวฉีด 9

2.3 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 10

2.3.1 สเต็ปมอเตอร์ 10

2.3.2 ชุดขับมอเตอร์ 12

2.3.2.1 บอร์ด Mega 2560 12

2.3.2.2 บอร์ดขับมอเตอร์ 13

2.3.2.3 Reprap Arduino Mega Pololu Shied หรือ RAMPS 1.4 14

2.3.3 ส่วนหัวฉีด 15

2.4 โปรแกรมออกแบบชิ้นงานและควบคุมชิ้นงาน 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.1 โปรแกรม SolidWorks 16
2.4.2 โปรแกรม AutoCAD 17
2.4.3 โปรแกรม Repetier Host 18
2.4.4 โปรแกรม Pronterface 18
2.4.5 โปรแกรม Arduino 19
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างชิ้นงาน 21
3.1 โครงสร้างและการออกแบบ 21
3.1.1 ชิ้นส่วนโครงสร้าง 21
3.1.2 วัสดุที่นำมาทำโครงสร้าง 22
3.2 โครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ 23
3.2.1 สเต็ปมอเตอร์ 23
3.2.1.1 โครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์ 23
3.2.1.2 การนำสเต็ปมอเตอร์ไปใช้ในแกนหมุน X, Y, Z 24
3.2.2 บอร์ดควบคุม Mega 2560 24
3.2.3 ชุดขับมอเตอร์ 25
3.1.3.1 บอร์ดขับมอเตอร์ (Stepping Motor Driver Board A4988) 25
3.1.3.2 Reprap Arduino Mega Pololu Shiled หรือ RAMPS 1.4 26
3.2.4 ส่วนหัวฉีด 26
3.3 โปรแกรมที่ใช้งาน 27
3.3.1 โปรแกรม SolidWork 27
3.3.2 โปรแกรม Repetier Host 27
3.3.3 โปรแกรม Adruino 28
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 30
4.1 การทดสอบอุณหภูมิกับการพิมพ์ชิ้นงาน 30
4.2 การทดสอบความละเอียด 31
4.3 การทดสอบการพิมพ์ชิ้นงานจริง 32
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน 35
5.1 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข 35
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้า 35
เอกสารอ้างอิง 37
ภาคผนวก 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องพิมพ์สามมิติ	1
2.1 เครื่องพิมพ์สามมิติที่ใช้หลักการ Stereo Lithography Apparatus (SLA)	4
2.2 กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทคนิค SLS	5
2.3 ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากเทคนิค SLS โดยใช้ผงโลหะเป็นวัตถุดิบ	5
2.4 กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทคนิค 3DP	6
2.5 ตัวอย่างชิ้นงานจากการใช้เทคนิค 3DP	6
2.6 การขึ้นรูปชิ้นงานที่ใช้เทคนิค FDM	8
2.7 แผนภาพชุดควบคุมและอุปกรณ์ในการทำงาน	9
2.8 สเต็ปมอเตอร์	10
2.9 ตำแหน่งสายของสเต็ปมอเตอร์ 42BYG020	10
2.10 บอร์ด Mega 2560	12
2.11 บอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ (A4988)	13
2.12 วงจรของการต่อบอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ (A4988)	14
2.13 Reprap Arduino Mega Pololu Shied หรือ RAMPS 1.4	15
2.14 ส่วนหัวฉีด	15
2.15 ตัวอย่างโปรแกรม SolidWorks	16
2.16 ตัวอย่างโปรแกรม AutoCAD	17
2.17 ตัวอย่างโปรแกรม Repeiter Host	18
2.18 ตัวอย่างโปรแกรม Pronterface	19
2.19 ตัวอย่างโปรแกรม Arduino	20
3.1 โครงสร้างของเครื่องพิมพ์สามมิติจากโปรแกรม SolidWorks	21
3.2 โครงสร้างของเครื่องพิมพ์สามมิติที่สั่งตัดโดยใช้วัสดุอะคริลิค	22
3.3 สายคอมมอนของสเต็ปมอเตอร์แบบหลายขั้ว	23
3.4 สายเฟสและสายคอมมอนของสเต็ปมอเตอร์	23
3.5 บอร์ด Mega 2560	24
3.6 ตัวอย่างบอร์ดขับมอเตอร์ที่ใช้ไอซีเบอร์ A4988	25
3.7 วงจรของ Reprap Arduino Mega Pololu Shied	26
3.8 หัวฉีดที่ใช้ในเครื่องพิมพ์สามมิติ	26
3.9 ตัวอย่างแบบที่เกิดจากโปรแกรม SolidWorks	27
3.10 โปรแกรม Repetier	28
3.11 โปรแกรม Arduino	29
4.1 ชิ้นงานจากโปรแกรม Repetier Host	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.2 ชิ้นงานจริงของรูปที่ 4.1 (1) 33
4.3 ชิ้นงานจริงของรูปที่ 4.1 (2) 33
4.4 ชิ้นงานจากโปรแกรม Repetier Host 34
4.5 ชิ้นงานจริงของรูปที่ 4.4 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส	11
2.2 การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส	11
2.3 การกระตุ้นเฟสแบบฮาล์ฟสเต็ป	12
3.1 ข้อดีและข้อเสียของวัสดุอะคริลิค	22
4.1 การทดสอบอุณหภูมิกับการพิมพ์ชิ้นงาน	30
4.2 การทดสอบความละเอียด	31

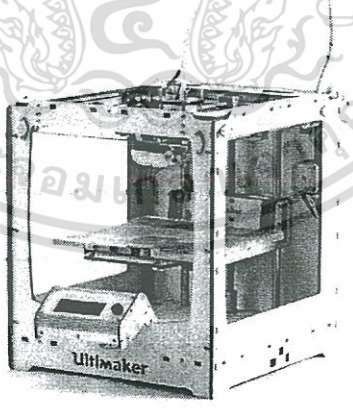
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

เครื่องพิมพ์สามมิติเป็นการพิมพ์ด้วยกระบวนการพิมพ์สามแกนที่สัมพันธ์กันให้มีรูปร่างเหมือนจริงจากรูปแบบที่สั่งการจากโปรแกรม ในปัจจุบันเครื่องพิมพ์สามมิติเข้ามามีบทบาททั้งในด้านวิศวกรรมด้านการผลิต และการออกแบบทางสถาปัตยกรรม รวมถึงในด้านการแพทย์ โดยองค์ประกอบของเครื่องพิมพ์สามมิติประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนโครงสร้างที่ประกอบเป็นตัวเครื่อง ส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น หัวฉีด บอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ มอเตอร์ ลิมิตสวิตช์ และส่วนโปรแกรม การพิมพ์ชิ้นงานสามมิติคือ ความสำเร็จในกระบวนการเติมแต่งวัสดุที่วางในแต่ละชั้นที่มีรูปร่างที่แตกต่างกัน เครื่องพิมพ์สามมิติชิ้นแรกถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ.1984 โดย 3D Systems Corp โดย Chuck Hull เป็นนักประดิษฐ์เครื่องพิมพ์สามมิติรุ่นบุกเบิก โดยคณะผู้จัดทำสนใจเครื่องพิมพ์สามมิติ และมีแนวคิดที่จะลองออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติรูปแบบใหม่ๆ ขึ้นมาลองใช้ดูด้วยเช่นกัน

หลักการทั่วไปของการสร้างชิ้นงานจะใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบ หรือซอฟต์แวร์ในการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนไหวของเครื่องดิจิตอลตามขวาง ความต่อเนื่องสำหรับการพิมพ์ขึ้นอยู่กับเครื่องที่ใช้จะสร้างวัสดุเป็นชั้นๆ รวมกันวางบนแพลตฟอร์มที่เป็นชั้นจนเสร็จสมบูรณ์สุดท้ายจะได้ชิ้นงานที่ต้องการ การติดต่อระหว่างแบบที่ต้องการจะสั่งพิมพ์จะอยู่ในรูปของไฟล์ STL



รูปที่ 1.1 เครื่องพิมพ์สามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ

2. ศึกษาการทำงานของโปรแกรมว่ามีความสัมพันธ์อย่างไร ในการสั่งการให้เครื่องพิมพ์สามมิติทำงานได้ตามต้องการ

3. เพื่อศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติว่าการที่จะสามารถขึ้นรูปชิ้นงานแต่ละชิ้นได้นั้นต้องอาศัยปัจจัยสำคัญใดบ้าง เช่น แบบที่ต้องการจะขึ้นรูป คำสั่งที่ใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ เป็นต้น พร้อมทั้งวิเคราะห์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในการทำโครงงานนี้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษาโครงสร้างของเครื่องพิมพ์สามมิติ

2. ศึกษาการสั่งงานผ่านทางโค้ด Arduino เพื่อให้ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ทำงาน

3. สร้างและประกอบโครงสร้างต่างๆ ของเครื่องพิมพ์สามมิติ

4. ทดสอบการทำงานของส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ผ่านทางจอ LCD และโปรแกรม Repetier

5. ทดลองสั่งการขึ้นรูปชิ้นงานจากแบบที่ออกแบบขึ้นผ่านทางโปรแกรม Repetier

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจกระบวนการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ

2. ทราบถึงกระบวนการในการขึ้นรูปชิ้นงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ และสามารถเขียนโปรแกรมในการควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

3. สามารถนำความรู้ที่ได้รับจากการทำโครงงานชิ้นนี้ไปประยุกต์ทำเครื่องพิมพ์สามมิติใช้เองแบบส่วนบุคคลได้

1.5 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บทดังนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึงที่มาในการทำปริญญานิพนธ์ ขอบเขตของโครงงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการทำปริญญานิพนธ์นี้ รวมถึงรายละเอียดของปริญญานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎี หลักการ และความรู้ที่เกี่ยวข้องในการสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติ

บทที่ 3 การออกแบบและสร้างชิ้นงาน โครงสร้างและการออกแบบในส่วนของกลไกและอิเล็กทรอนิกส์ และโปรแกรมการทำงาน

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปการดำเนินการ ปัญหา และแนวทางการปรับปรุงพัฒนาโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

การทำชิ้นงานพลาสติกหรือโลหะต้นแบบหรืองานเฉพาะที่มีจำนวนไม่มาก วิธีการและเครื่องมือที่นิยมใช้กันคือใช้เครื่อง CNC (Computer Numerical Control) ตัดวัสดุทำเป็นแม่แบบขึ้นมา ซึ่งต้องใช้บุคลากรที่มีความชำนาญรวมถึงใช้งบประมาณค่อนข้างสูง กว่าที่จะได้ต้นแบบมาใช้งาน เมื่อมีการพัฒนาเครื่องพิมพ์สามมิติขึ้นมา กระบวนการแบบเดิมๆ ก็เริ่มเปลี่ยน

หากจะมองในเชิงเปรียบเทียบเครื่องพิมพ์สามมิติก็คือ เครื่อง CNC แต่มีการเพิ่มเติมและปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ โดยมีการเปลี่ยนจากหัวตัดเป็นหัวฉีดพลาสติก โดยเครื่อง CNC ใช้หัวสว่านติดกับดอกสว่านแบบต่างๆ ในการแกะสลัก ตัด เจาะ วัตถุดิบให้เป็นรูปร่างต่างๆ ตามต้องการ มีระบบมอเตอร์เคลื่อนที่ไปในทิศทาง 3 มิติ แกน X, Y และ Z ในขณะที่เครื่องพิมพ์สามมิติก็ใช้การเคลื่อนที่ของมอเตอร์เหมือนกับเครื่อง CNC แต่ที่ต่างกันคือ มีหัวฉีดที่จะฉีดหรือโรยพลาสติกเป็นชั้นๆ เรียงตัวขึ้นไป สร้างเป็นรูปทรงต่างๆ ในแต่ละชั้นมีความละเอียดในระดับมิลลิเมตร นอกจากนั้นยังมีการพัฒนาเทคนิคอื่นๆ ทำให้เครื่องพิมพ์สามมิติสร้างสรรค์งานได้จากหลากหลายวัสดุ และมีความละเอียดเพิ่มขึ้น ซึ่งก็ต้องแลกด้วยราคาที่แพงขึ้นด้วย

ในการสร้างชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ เริ่มจากสร้างแบบสามมิติ แล้วส่งข้อมูลให้เครื่องพิมพ์สามมิติฉีดหรือโรยพลาสติกออกมาเป็นรูปร่างตามที่เขียนแบบไว้ได้

2.1 เทคนิคการสร้างชิ้นงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ

2.1.1 การใช้โพลีเมอร์ชนิดไวแสงในการขึ้นรูปชิ้นงาน

เป็นเทคนิคที่ใช้แสงเพื่อขึ้นรูปจากวัสดุที่เป็นของเหลวให้กลายเป็นของแข็งดังรูปที่ 2.1 โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปชิ้นงานแบบ Stereo Lithography Apparatus (SLA) ที่คิดค้นโดย Chuck Hull จาก 3D Systems หลักการคือ ใช้วัสดุประเภทโพลีเมอร์เหลวที่สามารถแข็งตัวได้ เมื่อถูกกระตุ้นจากการฉายแสงอัลตร้าไวโอเล็ตหรือ UV (Ultra Violet) จาก UV เลเซอร์ โดยมีกะบะใส่เรซินเหลวและมีระบบควบคุมให้ยกขึ้น และเคลื่อนที่ในแนวดิ่งเพื่อสร้างชิ้นงานทีละชั้นจากล่างขึ้นบนแล้วสแกนยิงแสง UV เลเซอร์ในแนวราบ เพื่อเปลี่ยนให้โพลีเมอร์เหลวชนิดไวต่อแสงเป็นของแข็งตามตำแหน่งที่ต้องการ โดยชิ้นงานที่มีส่วนโค้งเว้า หรือมีรูปทรงที่แปลกๆ หรือมีความละเอียดซับซ้อนมาก อาจจะต้องสร้างส่วนที่ใช้ค้ำยันและรองรับเรียกว่า ซัพพอร์ต (Support) ขึ้นมาพร้อมๆ กับชิ้นงาน เมื่อขึ้นรูปชิ้นงานเสร็จก็ตัดส่วนซัพพอร์ตนี้ออกไป ความแข็งแรงของวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้จะมีในระดับหนึ่งพอๆ กับพลาสติกทั่วไป ตัวชิ้นงานที่ได้มีความละเอียดเรียบในระดับหนึ่ง ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ในโปรแกรมวาดแบบ 3 มิติเพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบได้ หรือใช้เป็นวัสดุชิ้นส่วนจริงในเครื่องมือต่างๆ ได้เลย

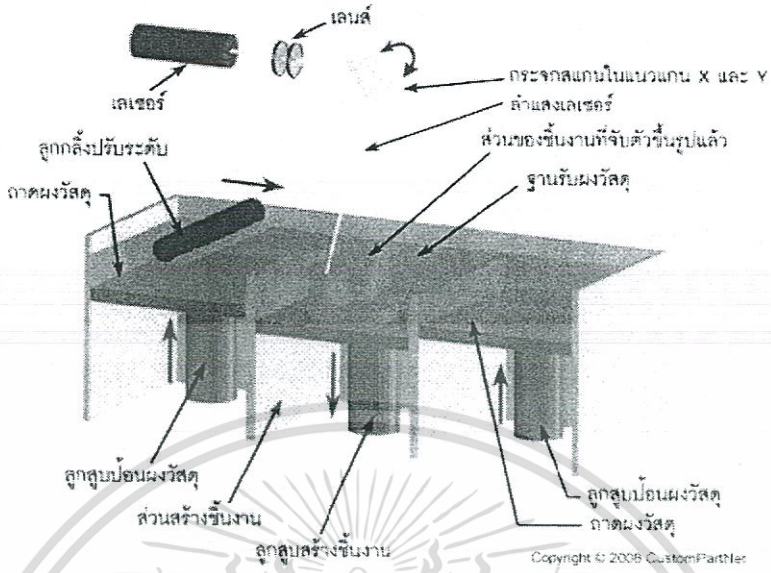
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 เครื่องพิมพ์สามมิติที่ใช้หลักการ Stereo Lithography Apparatus (SLA)

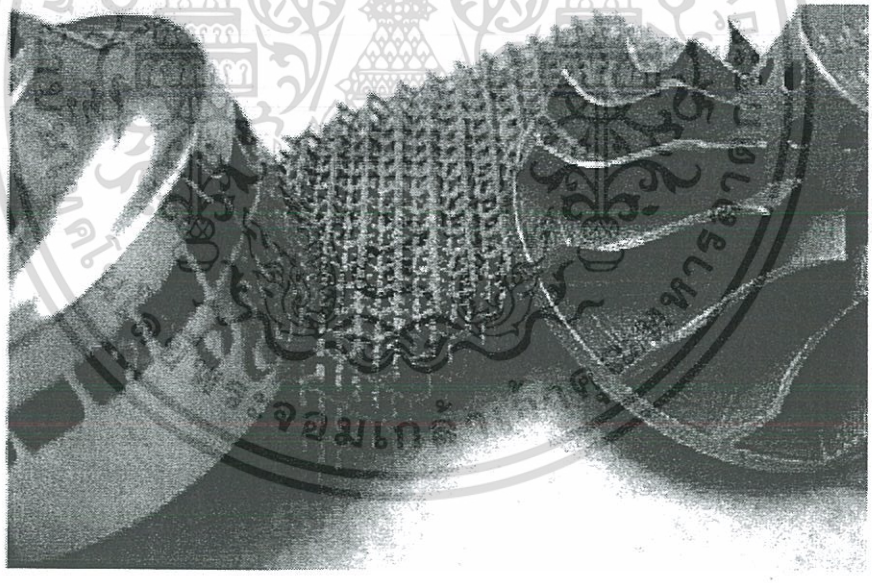
2.1.2 การใช้เลเซอร์หรือกาวในการเชื่อมผงวัสดุให้เป็นชิ้นงาน

เป็นเทคนิคที่ใช้วัสดุที่เป็นผงเล็กๆ เมื่อได้รับความร้อนแล้วแข็งตัว จะเรียกเทคนิคนี้ว่า Selective Laser Sintering (SLS) โดยส่วนมากใช้วัสดุที่เป็นผงพลาสติก เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวต่ำขึ้นรูปได้ง่าย ใช้ความร้อนจากเลเซอร์ที่ฉายไปยังตำแหน่งที่เป็นส่วนหน้าตัดขวางของชิ้นงานทำให้ผงพลาสติกเล็กๆ รอบบริเวณที่ถูกฉายแสงเลเซอร์นี้หลอมละลายและยึดเกาะกัน โดยยึดเกาะกับชั้นที่อยู่ก่อนหน้านี้ด้วย เพื่อให้เกิดเป็นโครงร่างรูปทรง 3 มิติขึ้นมาจากการเลื่อนแท่นใส่ผงพลาสติกลงเล็กน้อยในแนวดิ่ง จากนั้นจะกวาดผงพลาสติกมาคลุมทับส่วนที่ให้ความร้อนไปแล้ว ทำการฉายแสงเลเซอร์ใหม่จะวนทำกระบวนการนี้ไปเรื่อยๆ จนครบทั้งรูปทรงที่ได้เขียนแบบไว้แสดงดังรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3 จากนั้นผงพลาสติกส่วนอื่นที่ไม่โดนความร้อนจากเลเซอร์จะถูกลมเป่าออกไป เหลือเพียงชิ้นงานที่หลอมละลายแล้วแข็งตัวเป็นรูปทรงที่สมบูรณ์ เทคนิคนี้ใช้เวลามากในการขึ้นรูปชิ้นงาน ผิววัสดุจะหยาบและความแข็งแรงจะน้อยกว่าวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยวิธี Stereo Lithography

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



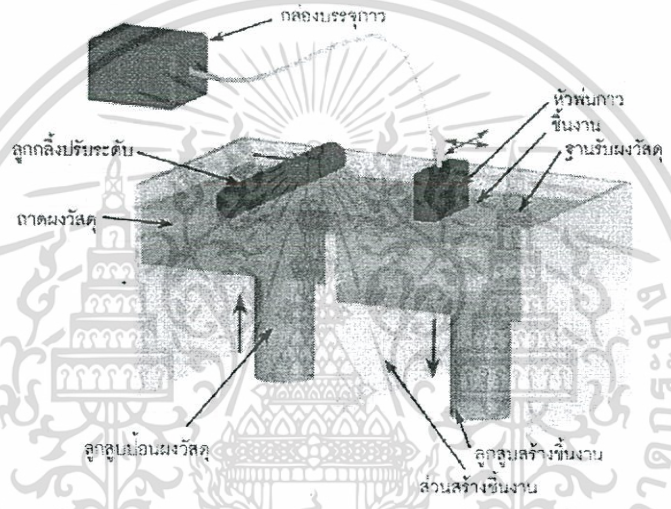
รูปที่ 2.2 กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทคนิค SLS



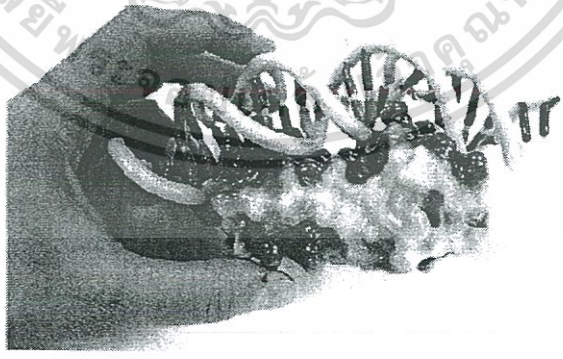
รูปที่ 2.3 ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากเทคนิค SLS โดยใช้ผงโลหะเป็นวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังมีอีกเทคนิคหนึ่งคือ การพ่นกาวลงไปยังผงพลาสติกให้ติดกันเป็นโครงสร้างตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการนี้เรียกว่า Three Dimensional Printing หรือ 3DP โดยหลักการทำงานของเทคนิคนี้คือ พ่นกาวด้วยหัวฉีดลงไปบนกะบะที่มีผงแป้งที่เกลี่ยหน้าให้เรียบไว้แล้ว ผงพลาสติกบริเวณที่โดนกาวก็จะติดแข็งตัว วิธีนี้สามารถเลือกให้ชิ้นงานมีสีต่างๆ แตกต่างกันได้ โดยผสมสีลงไปในกาวที่ใช้ตามรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5 ซึ่งก็เหมือนกับการพิมพ์หมึกลงไปบนกระดาษของเครื่องพิมพ์แบบอิงก์เจ็ตนั่นเอง ทำให้รูปทรง 3 มิติที่สร้างขึ้นมีความแข็งตัวและมีสีสันที่แตกต่างกันไปด้วย แต่วัสดุที่ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้จะมีความเปราะบางมากกว่าวิธีการขึ้นรูปแบบชิ้นงานอื่น จึงเหมาะกับการทำชิ้นงานต้นแบบมากกว่านำไปใช้งานจริง



รูปที่ 2.4 กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทคนิค 3DP



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างชิ้นงานจากการใช้เทคนิค 3DP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การใช้พลาสติกร้อนเรียงตัวขึ้นเป็นชิ้นงาน

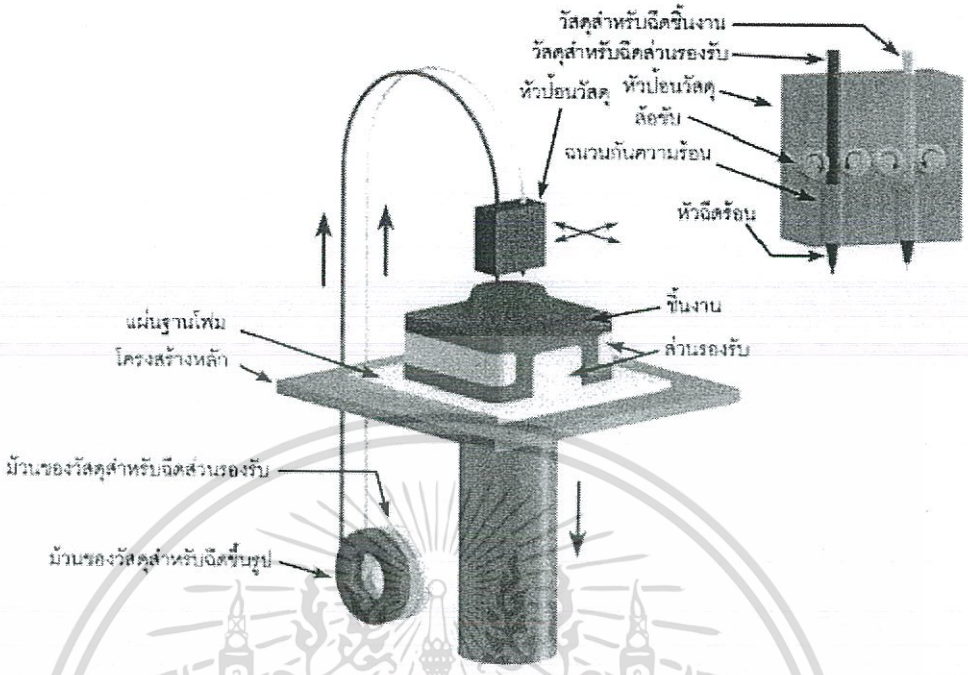
เป็นวิธีที่นิยมและมีการพัฒนากันมากที่สุด เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปมีหลากหลาย ราคาไม่แพง มีการพัฒนาชุดควบคุมและซอฟต์แวร์ในแบบโอเพ่นซอร์ส เทคนิคนี้ใช้เส้นพลาสติกมาผ่านหัวที่ให้ความร้อน จนพลาสติกละลายเป็นของเหลวแล้วฉีดพ่นขึ้นเป็นชั้นๆ เรียกเทคนิคการขึ้นรูปแบบนี้ว่า Fused Deposition Modeling หรือ FDM โดยมีการฉีดส่วนรองรับสำหรับรูปทรงที่โค้งงอ หรือมีความซับซ้อน เพื่อเพิ่มความแข็งแรงไม่ให้ล้มระหว่างการขึ้นรูปชิ้นงาน เมื่อขึ้นรูปเสร็จแล้วก็จะตัดออกได้ในภายหลังดังรูปที่ 2.6 ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้จะมีผิวชิ้นงานที่ไม่เรียบ มีลักษณะเป็นชั้นๆ เนื่องจากขึ้นรูปด้วยการเรียงตัวเชื่อมติดกันของเส้นพลาสติกขนาดเล็กมากๆ ความแข็งแรงของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุของเส้นพลาสติกที่นำมาใช้ ซึ่งก็คือ ABS และ PLA โดย ABS มีความแข็งแรงมากกว่า PLA แต่ PLA ปลอดภัย ไม่ไวไฟ และไม่มีกลิ่นฉุนในขณะขึ้นรูปชิ้นงาน เนื่องจาก PLA ทำมาจากวัสดุธรรมชาติ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ใช้วิธีการนี้ในการขึ้นรูปชิ้นงานในเครื่องพิมพ์สามมิติที่ออกแบบขึ้น โดยพลาสติกที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงานที่นิยมใช้กันมีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่

เส้นพลาสติกแบบ ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) เป็นเส้นพลาสติกที่ได้รับความนิยมชนิดหนึ่งงานพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ โดยใช้อุณหภูมิที่หัวฉีดร้อนอยู่ที่ 215 ถึง 250 องศาเซลเซียส แต่มีข้อเสียคือเมื่อหลอมแล้วจะเกิดไอระเหยออกมาที่เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์เลี้ยง เส้นพลาสติก ABS นี้มีส่วนผสมของอะซีโทน (Acetone) ทำให้พื้นผิวของชิ้นงานที่ขึ้นรูปเสร็จแล้ว มีความเรียบเนียนเงางาม

เส้นพลาสติกแบบ PLA (Polylactic Acid หรือ Polylactide) เป็นเส้นพลาสติกที่มีส่วนผสมจากวัตถุดิบชีวภาพ เช่น ข้าวโพดหรือมันฝรั่ง ใช้อุณหภูมิที่หัวฉีดพลาสติกอยู่ที่ 160 ถึง 220 องศาเซลเซียส เมื่อเส้นพลาสติก PLA หลอมจะมีกลิ่นคล้ายๆ กับข้าวโพดคั่ว ซึ่งไม่เป็นอันตราย และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนั้นเมื่อใช้ PLA ในการพิมพ์ชิ้นงานก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ฐานวางชิ้นงานแบบร้อน แต่ถ้าใช้ก็จะทำให้ฐานของชิ้นงานเรียบเนียนขึ้น โดยใช้วัสดุชนิดนี้ในการสร้างชิ้นงานจากเครื่องพิมพ์สามมิติ

เส้นพลาสติกแบบ PVA (Polyvinyl Alcohol) เป็นเส้นพลาสติกชนิดพิเศษที่มีการผสมผสานกันหลายสีใช้อุณหภูมิที่หัวฉีดพลาสติกอยู่ที่ 190 องศาเซลเซียส วัสดุแบบนี้ละลายน้ำได้ ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเส้นพลาสติกชนิดนี้อาจจะต้องระวังเรื่องความชื้นเพราะอาจส่งผลให้ชิ้นงานสลายหายไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



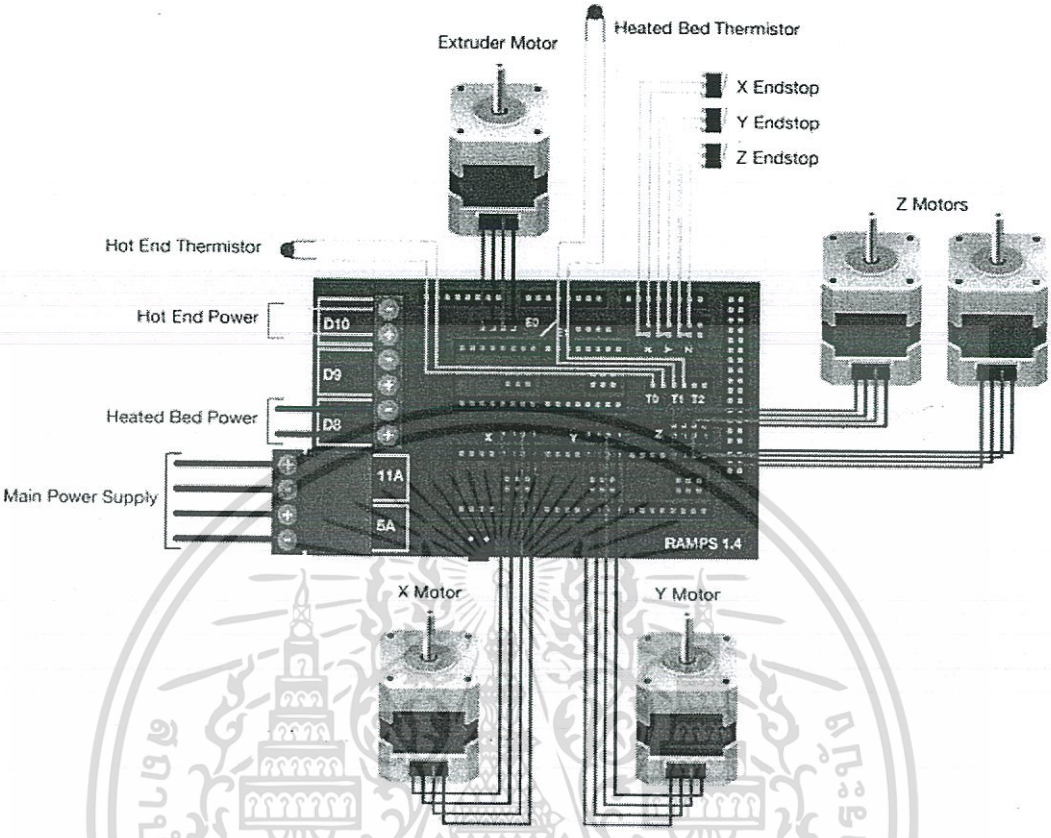
รูปที่ 2.6 การขึ้นรูปชิ้นงานที่ใช้เทคนิค FDM

2.2 ชุดควบคุม

2.2.1 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการเคลื่อนที่

จากรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงระบบและวงจรควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลและควบคุมหลัก โดยเชื่อมต่อกับส่วนอื่นผ่านวงจรขับหลัก โดยใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง เพื่อจ่ายให้กับสเต็ปมอเตอร์ (Step Motor) ผ่านบอร์ดขับมอเตอร์ เพื่อควบคุมสเต็ปมอเตอร์เพื่อให้สเต็ปมอเตอร์หมุนตามต้องการ ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของฐานวางชิ้นงาน และมีสเต็ปมอเตอร์อีกตัวหนึ่งที่ทำหน้าที่รีดให้เส้นพลาสติกผ่านเข้าไปยังหัวฉีด (Hot End) ภายใต้การควบคุมให้มีความร้อนที่เหมาะสมกับชนิดของเส้นพลาสติกโดยมีการตรวจสอบอุณหภูมิที่หัวฉีดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แผนภาพชุดควบคุมและอุปกรณ์ในการทำงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ

2.2.2 ระบบควบคุมความร้อนและหัวฉีด

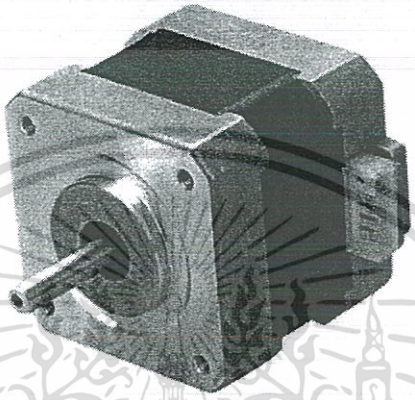
ระบบควบคุมความร้อนและหัวฉีด เป็นระบบเชิงกลที่เป็นส่วนช่วยในการบรรจุเส้นพลาสติกไปยังหัวฉีด ซึ่งมีความร้อนสูงพอที่จะทำให้เส้นพลาสติกหลอมละลาย และถูกฉีดลงสู่ฐานรองชิ้นงาน ซึ่งประกอบด้วยส่วนควบคุมการป้อนเส้นพลาสติกสู่หัวฉีด ในส่วนนี้ใช้สเต็ปมอเตอร์ควบคุมกลไกเพื่อป้อนเส้นพลาสติกเข้าสู่หัวฉีดร้อน ความเร็วของสเต็ปมอเตอร์ที่หมุนไปมีผลต่อปริมาณการฉีดพลาสติกออกมาจากหัวฉีดที่ติดตั้งอยู่บนแท่นเลื่อน หรือจะอยู่ด้านข้างของเครื่องขึ้นอยู่กับเทคนิคของเครื่องพิมพ์แต่ละรุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์

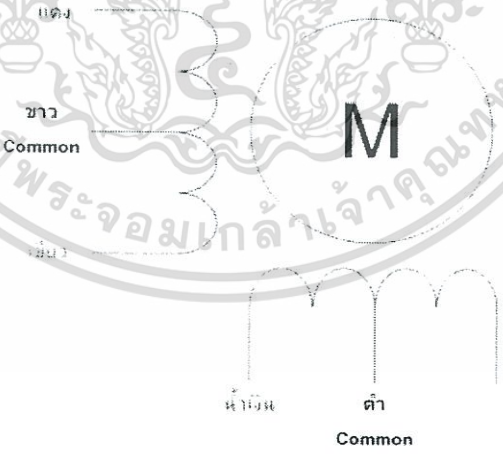
2.3.1 สเต็ปมอเตอร์

รูปที่ 2.8 แสดงสเต็ปมอเตอร์ซึ่งในโครงานนี้ใช้ 42BYG020 Step Motor ซึ่งเป็นมอเตอร์กระแสตรงแบบที่มีการหมุนไม่ต่อเนื่อง โดยจะหมุนไปทีละสเต็ปๆ ละ 1.8 องศา เหมาะสำหรับใช้ในงานที่ต้องการความละเอียดและแม่นยำ เช่น การเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์ในเครื่องพิมพ์



รูปที่ 2.8 สเต็ปมอเตอร์

โดยการควบคุมสเต็ปมอเตอร์ 42BYG020 นี้จะเป็นสเต็ปมอเตอร์แบบ 4 เฟส 6 สาย โดยจะมีสายเฟส (Phase) 4 สาย และสายคอมมอน (Common) 2 สาย ตามรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ตำแหน่งสายของสเต็ปมอเตอร์ 42BYG020

ในการควบคุมมอเตอร์เพื่อที่จะให้มอเตอร์หมุน มีวิธีการควบคุมกระแสไฟที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ (Stator) ในแต่ละเฟสของมอเตอร์ อย่างเป็นลำดับที่แน่นอน โดยถ้าหากต้องการให้กระแสไหลในเฟสใดๆ ก็จะทำให้สถานะของเฟสนั้นๆ เป็นสถานะลอจิก "1" และในการกระตุ้นเฟสของมอเตอร์มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป

สามารถแบ่งการกระตุ้นเฟสออกได้ เป็นอีก 2 วิธีด้วยกันคือ

1. การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส (Single-phase driver) หรือแบบเวฟ จะเป็นการป้อนกระแสไฟให้กับขดลวดของมอเตอร์ทีละขด โดยจะป้อนกระแสเรียงตามลำดับกันไป ดังนั้นกระแสที่ไหลในขดลวด จะทำการไหลในทิศทางเดียวกันทุกขด ลักษณะเช่นนี้จึงทำให้แรงขับของมอเตอร์มีน้อยตามตารางที่ 2.1 โดยที่ 1 ในตารางคือ มีกระแสไฟเข้าไปในมอเตอร์ และ 0 คือ ไม่มีกระแสไฟ

ตารางที่ 2.1 การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 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

2. การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส (Two-phase Driver) เป็นการป้อนกระแสให้กับขดลวด 2 ขดของมอเตอร์พร้อมๆ กันไป และจะกระตุ้นเรียงถัดกับไปเช่นเดียวกับแบบหนึ่งเฟส ดังนั้นการกระตุ้นแบบนี้จึงต้องใช้กำลังไฟมากขึ้น และจะทำให้มีแรงบิดของมอเตอร์มากกว่าการกระตุ้นแบบ 1 เฟสตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระตุ้นเฟสแบบฮาล์ฟสเต็ป

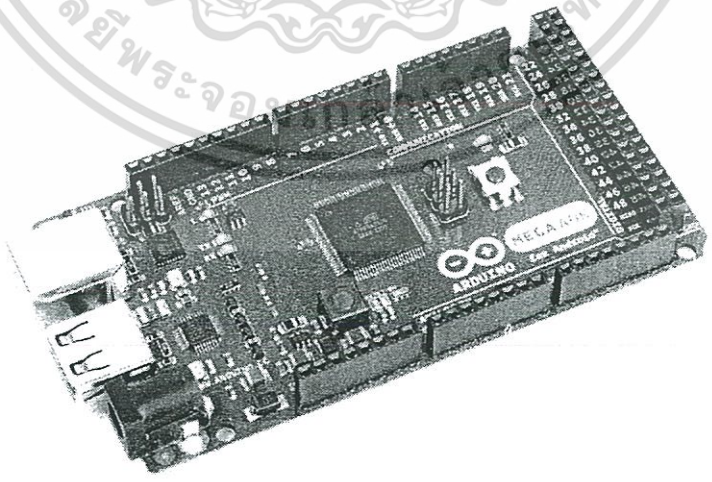
การกระตุ้นแบบฮาล์ฟสเต็ปหรือ One-two Phase Driver คือ การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส และ 2 เฟส เรียงลำดับกันไป แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นเฟสแบบนี้จะมีเพิ่มมากขึ้น เพราะช่วงของสเต็ปมีระยะสั้นลง ในการกระตุ้นแบบนี้จะต้องมีการกระตุ้นที่เฟสถึง 2 ครั้ง จึงจะได้ระยะของสเต็ปเท่ากับการกระตุ้นเพียงครั้งเดียวของแบบฟูลสเต็ป 2 แบบแรก ความละเอียดของการหมุนตำแหน่งองศาต่อสเต็ปก็เป็นสองเท่าของแบบแรก ความถูกต้องของตำแหน่งที่กำหนดจึงมีมากขึ้นตามตารางที่ 2.3

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

2.3.2 ชุดขับมอเตอร์

2.3.2.1 บอร์ด Mega 2560



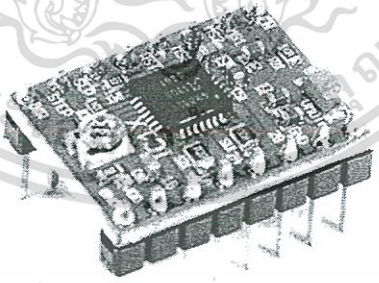
รูปที่ 2.10 บอร์ด Mega 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอร์ด Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือ มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ ทำให้การใช้งานสามารถทำได้ง่าย โดยที่จะกล่าวถึงนี้คือ บอร์ด Mega 2560 โดยบอร์ดตัวนี้เป็นบอร์ดที่ออกแบบมาเพื่อรองรับการทำงานของอินพุตและเอาต์พุต หรือควบคุมมอเตอร์หลายๆ ตัว การทำงานที่รับสัญญาณจากเซนเซอร์ ซึ่งบอร์ดตัวนี้สามารถรองรับการทำงานทั้งหมดนี้ได้ การเชื่อมต่อระหว่างตัวบอร์ดกับคอมพิวเตอร์นั้นสามารถเชื่อมต่อผ่าน USB นอกจากนี้บอร์ด Arduino สามารถใช้ได้ทั้งในระบบปฏิบัติการของ Windows, Mac OS X และ Linux อีกด้วย จึงเลือกใช้บอร์ดตัวนี้ในการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ

- 54 Digital Input/Output Pins (15 Pins สามารถใช้เป็น PWM Output) ได้
- 16 Analog Inputs
- 4 UARTs
- 16 MHz Crystal Oscillator (ใช้สำหรับกรองความถี่ให้กับบอร์ดไมโครคอน-โทรลเลอร์)
- USB Connection
- ช่องเสียบแหล่งจ่าย
- ICSP header: In-circuit Serial Programming (ส่วนที่เป็น AVR ขนาดเล็กสำหรับการโปรแกรม Arduino ซึ่งประกอบด้วย MOSI, MISO, SCK, RESET, VCC, GND)
- ปุ่มกด Reset
- มีหน่วยความจำ 256 KB
- ทำงานที่แรงดัน 5 V

2.3.2.2 บอร์ดขับมอเตอร์

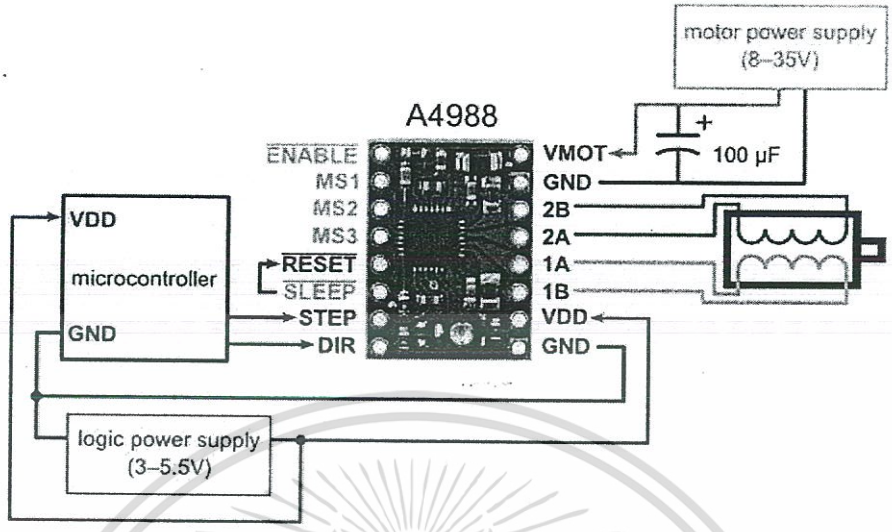


รูปที่ 2.11 บอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ (A4988)

วงจรขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์รับคำสั่งการทำงานมาจาก Microcontroller Board ซึ่งในโครงงานนี้ใช้ Microcontroller Board เป็น Mega 2560 โดยผ่าน Shield Board สำหรับการจ่ายไฟเลี้ยงให้บอร์ดขับจะใช้ไฟที่จ่ายจาก Power Supply 12V 5A จ่ายให้กับ Mega 2560 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอร์ด Mega 2560 ก็จะจ่ายไฟเลี้ยงให้สเต็ปมอเตอร์ การต่อสเต็ปมอเตอร์หลังจากหาเฟสได้แล้ว สามารถต่อได้ตามรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรการต่อบอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ (A4988)

2.3.2.3 Reprap Arduino Mega Pololu Shied หรือ RAMPS 1.4

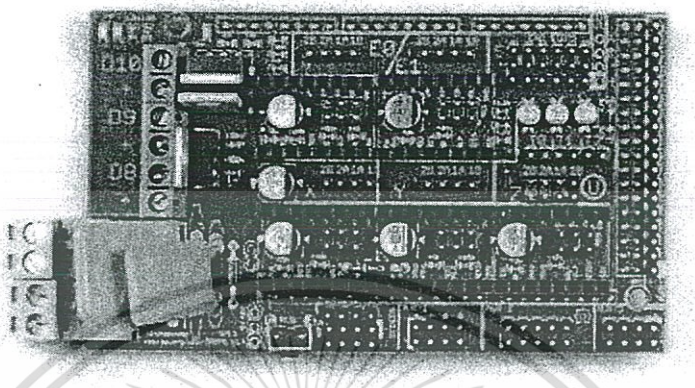
Reprap Arduino Mega Pololu Shied หรือ RAMPS ถูกออกแบบมาเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของ Reprap รวมในแพคเกจขนาดเล็ก 1 ชุด ในราคาต่ำ RAMPS เชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino Mega ด้วยแพลตฟอร์มที่มีประสิทธิภาพ และมีช่องมากมายสำหรับเชื่อมต่อการพัฒนาการต่อไป การออกแบบโมดุลลาร์ได้รวมการเชื่อมต่อการขับเคลื่อนมอเตอร์และส่วนควบคุมหัวฉีดพลาสติก ไว้ในบอร์ด RAMPS เพื่อง่ายต่อการใช้งาน

คุณสมบัติ

- ใช้สำหรับเครื่องควบคุมพิกัด 3 แกน และส่วนหัวฉีด
- สามารถพัฒนาเพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์อื่นได้
- มีทรานซิสเตอร์ MOSFET 3 ตัว สำหรับเครื่องควบคุมความร้อน พัดลมและวงจรเทอร์มิสเตอร์ 3 วงจร
- ฟิวส์ขนาด 5 A เพื่อความปลอดภัยและการป้องกันองค์ประกอบเพิ่มเติม
- การควบคุมการให้ความร้อนใช้ฟิวส์ขนาด 11A
- สามารถต่อตัวขับสเต็ปมอเตอร์ ได้ 5 บอร์ด
- มีขาอยู่ทางด้านบน ทำให้การใส่อุปกรณ์ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลง หรือนำออกเพื่อการออกแบบในอนาคต
- มีขา I2C และ SPI ไว้สำหรับการพัฒนาในอนาคตต่อไป
- ทรานซิสเตอร์ MOSFET ทั้งหมด เชื่อมต่อกับขา PMW เพื่อความเอนกประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ลักษณะการเชื่อมต่อกลไกควบคุมใช้ในการต่อกับ End Stops, Motor, LED ขาต่อจะถูกชุบด้วยทอง ไฟ 3A มีขนาดเล็กและเป็นสากล
- เพิ่ม SD Card ได้
- เพิ่มช่องสำหรับมอเตอร์ในแกน Z อีก 1 ตัว

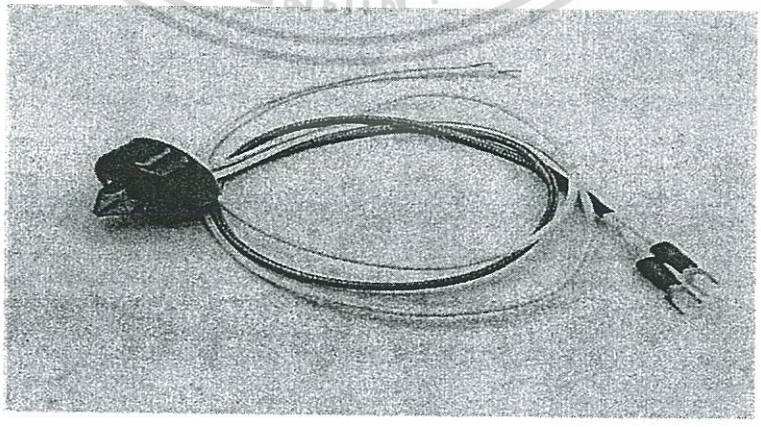


รูปที่ 2.13 Reprap Arduino Mega Pololu Shied หรือ RAMPS 1.4

2.3.3 ส่วนหัวฉีด (Extruder)

ส่วนหัวฉีดเป็นส่วนที่มีการป้อนเส้น Filament ลงมาเพื่อหลอมเหลวและฉีดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานดังรูปที่ 2.14 โดยที่ส่วนของหัวฉีดจะมีความร้อนสูงในระดับที่พอเหมาะ เพื่อที่จะทำให้เส้น Filament ที่ไหลลงมาละลาย และขึ้นรูปเป็นชิ้นงานได้พอดี ไม่เหลวและไม่หนืดจนเกินไป ส่วนหัวฉีดจะยึดติดอยู่กับมอเตอร์ที่ทำหน้าที่ดึงเส้น Filament ลงมา โดยมอเตอร์ที่ทำหน้าที่ดังกล่าวต้องมีความเร็วการดึงที่เหมาะสมด้วยเช่นกัน ส่วนหัวฉีดที่ใช้ในโครงงานนี้จะมีคุณสมบัติคือ

- ขนาดหัวฉีด : 0.4 mm
- แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ทำความร้อน : 12 V
- ความยาวสาย Thermocouple : 500 mm



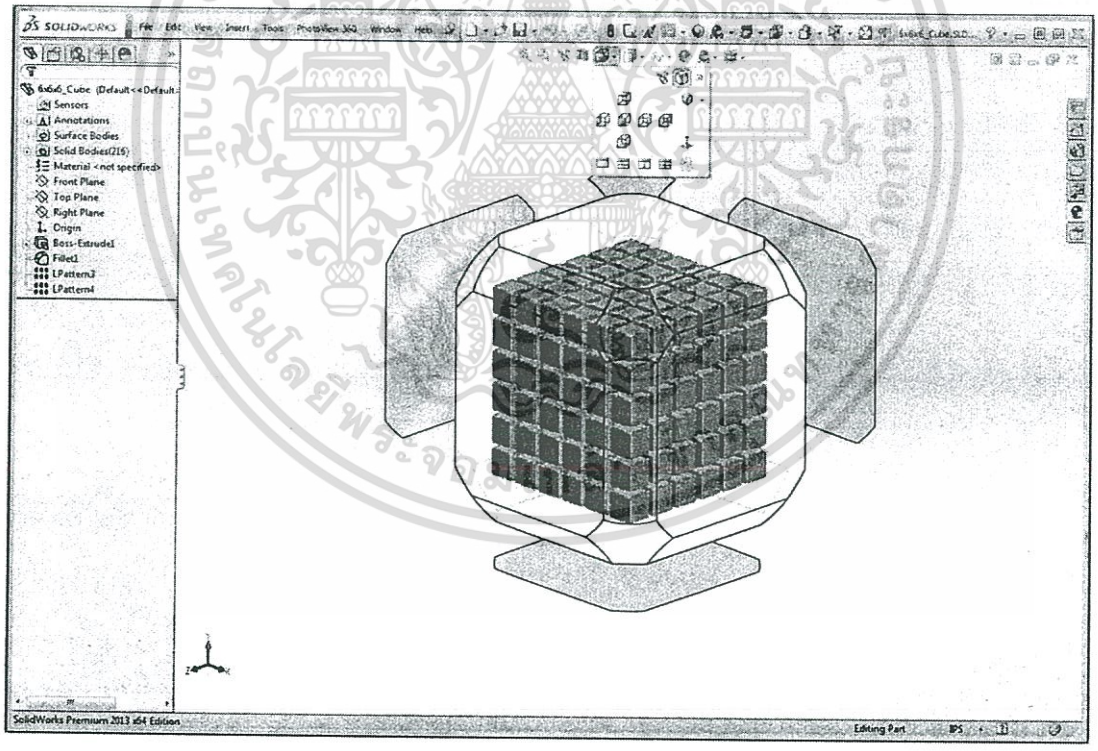
รูปที่ 2.14 ส่วนหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โปรแกรมออกแบบชิ้นงานและควบคุมชิ้นงาน

2.4.1 โปรแกรม SolidWorks

โปรแกรม SolidWorks ดังรูปที่ 2.15 เป็นซอฟต์แวร์เพื่อให้นักออกแบบใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อสร้างตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำลองในคอมพิวเตอร์ ก่อนที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง โดยตัวซอฟต์แวร์จะจัดอยู่ในตระกูล CAD (Computer Aided Design) ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงานจำลองในรูปแบบ 3D Solid Models เป็นแบบงานแยกชิ้น (Part) และแบบงานประกอบ (Assembly) เพื่อนำไปสร้างเป็น Standard Engineering (CADD หรือ Computer Aided Design and Drafting) โปรแกรม SolidWorks เป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงมาก คือ สามารถที่จะทำงานมากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานที่ต้องขึ้นเป็น Solid หรือ Surface ก็มีเครื่องมือที่รองรับเป็นอย่างดี เมื่อสร้างชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยก็สามารถที่จะประกอบชิ้นงานได้ใน Mode ของชุดคำสั่ง Assembly รวมทั้งผู้ต้องการ Drawing ของชิ้นงาน ก็เพียงลากชิ้นงานมาวางในใบงาน ทำให้ประหยัดเวลาในการทำงานอีกด้วย โดยใช้โปรแกรมนี้ในการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติ และออกแบบชิ้นงานที่ใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ



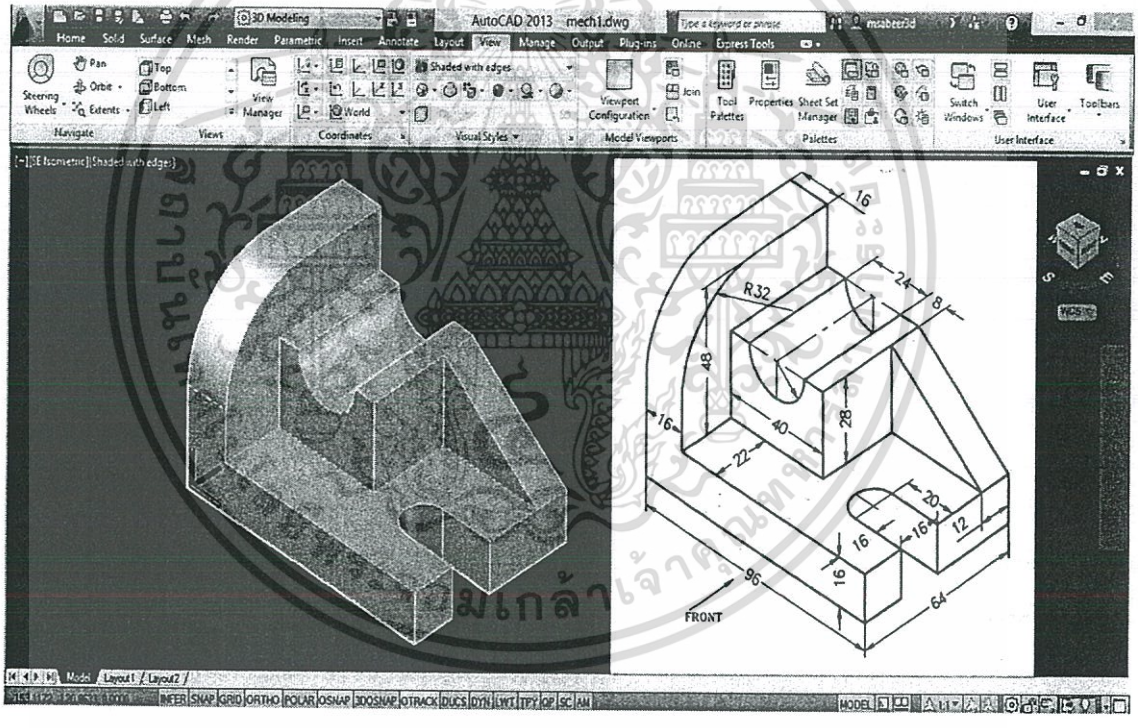
รูปที่ 2.15 ตัวอย่างโปรแกรม SolidWorks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.4.2 โปรแกรม AutoCAD

AutoCAD คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบเขียนแบบ และผลิตงานออกแบบที่เกี่ยวข้องได้ในเกือบทุกประเภท เช่น ตั้งแต่งานแผนผังแบบชิ้นเล็กๆ จนกระทั่งงานใหญ่ๆ จนถึงแผนที่โลก ด้วยความไม่มีขีดจำกัดใดๆ ดังรูปที่ 2.16 AutoCAD เป็นโปรแกรมที่ใช้กันอย่างกว้างขวางและจะเห็นได้ชัดในการนำไปใช้งานออกแบบทางสถาปัตยกรรม วิศวกรรม งานสำรวจ ตกแต่งภายใน แผนที่ ตลอดจนงานออกแบบผลิตภัณฑ์และเครื่องกล ฯลฯ และต่อไปโปรแกรม AutoCAD นี้จะเป็นตัวหลักในการผลิตผลงานการออกแบบทั้งหมดในอนาคต และเป็นที่ยอมรับสำหรับคนทั่วโลก ในเรื่องของมาตรฐานการออกแบบโดยทั่วไป ซึ่งความสามารถของโปรแกรม AutoCAD นั้น จะทำได้ตั้งแต่งานในระบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ตลอดจนเป็นพื้นฐานของการนำไปสู่การสร้างงานภาพเคลื่อนไหว (Animation) และการนำเสนองาน (Presentation) ในรูปแบบต่างๆ ในขั้นตอนต่อๆ ไปที่สูงขึ้น และใช้ร่วมกับโปรแกรมอื่นๆ ได้อีกในหลายๆ รูปแบบ



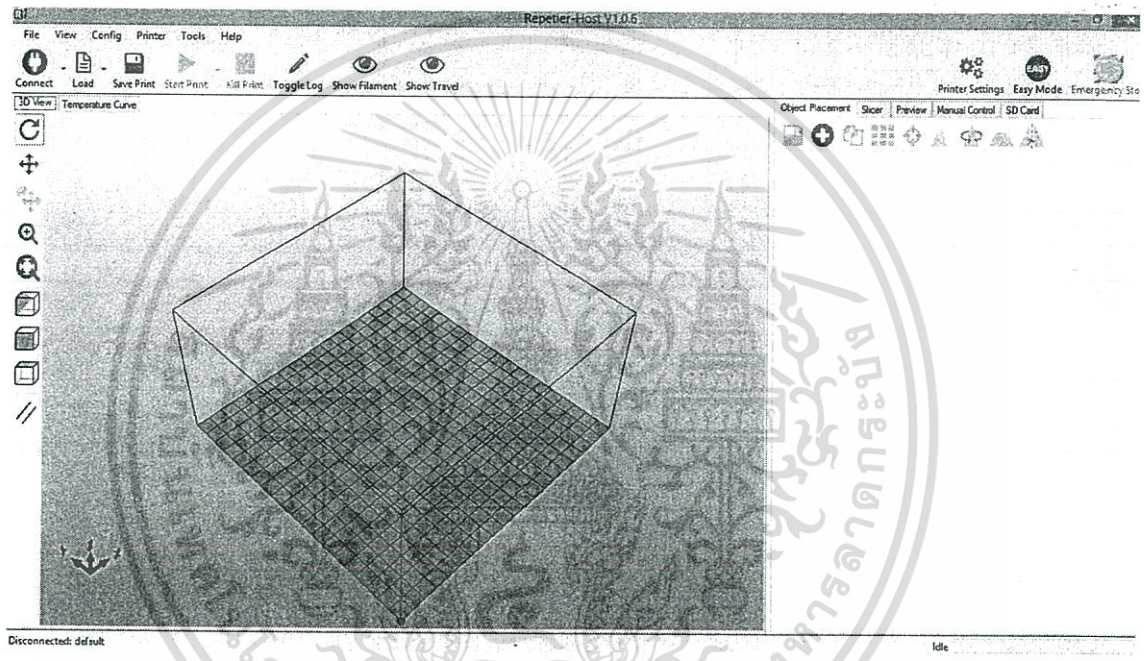
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างโปรแกรม AutoCAD

141096

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 โปรแกรม Repetier Host

โปรแกรม Repetier Host เป็นโปรแกรมที่ใช้ติดต่อกับเครื่องพิมสามมิติตามรูปที่ 2.17 โดย Repetier Host เป็นซอฟต์แวร์ที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง สามารถปรับค่าได้อย่างอิสระ โดย Repetier Host จะทำหน้าที่หลัก 2 อย่างคือ ติดต่อสื่อสารกับเครื่องพิมพ์ และเรียกโปรแกรมที่คำนวณความละเอียดของชิ้นงานว่า Slicer ซึ่งโปรแกรม Slicer นี้จะเป็นตัวแบ่งชิ้นงานสามมิติออกเป็นชิ้นๆ มีการใช้งานที่ง่ายและไม่ยุ่งยาก โดยตัวโปรแกรมของเครื่องพิมพ์สามมิติ สามารถคำนวณหาเส้นทางเดินของหัวฉีดได้ การเชื่อมต่อกับเครื่องพิมพ์สามมิติ ทำได้โดยต่อผ่านพอร์ต USB หรือ SD การ์ด

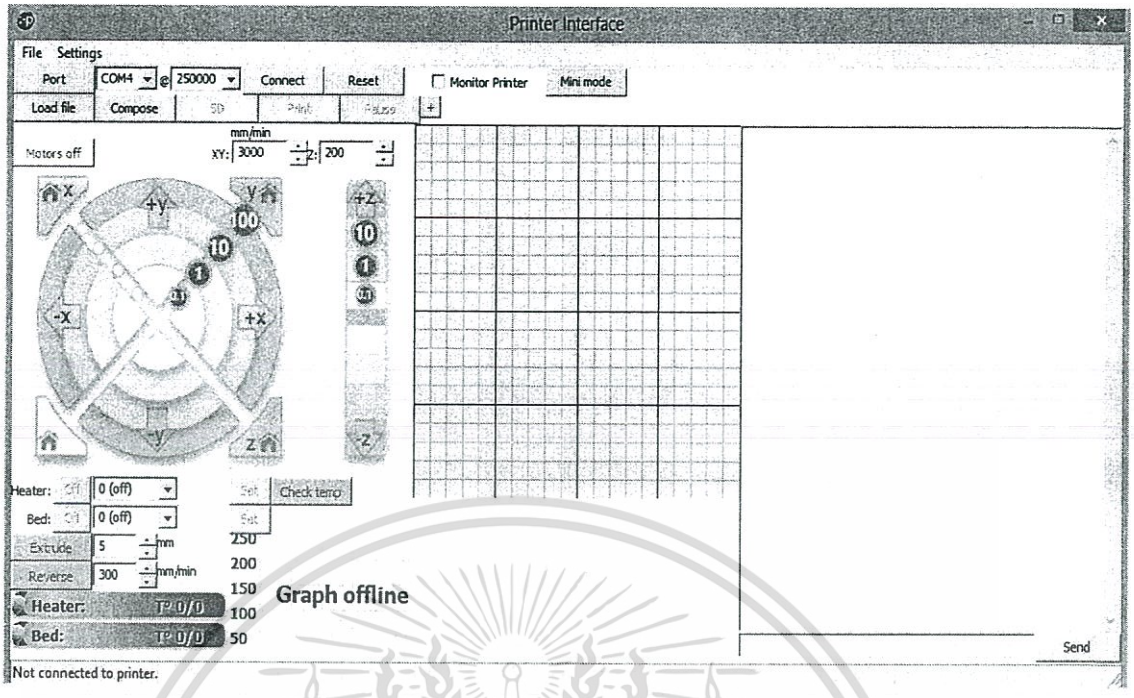


รูปที่ 2.17 ตัวอย่างโปรแกรม Repeiter Host

2.4.4 โปรแกรม Pronterface

โปรแกรม Pronterface เป็นโปรแกรมที่ใช้ติดต่อกับเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นอีกหนึ่งซอฟต์แวร์ที่พัฒนาให้มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง ปรับแต่ง ตั้งค่าได้อย่างอิสระ จึงเหมาะกับเครื่องพิมพ์สามมิติแบบโอเพ่นซอร์สดังรูปที่ 2.18 เช่น RepRap หรือรุ่นอื่นๆ เพียงตั้งค่าให้เหมาะสมกับเครื่องพิมพ์ที่ทำการพัฒนาขึ้นเท่านั้น ตัวซอฟต์แวร์มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนตำแหน่ง แนวการวางชิ้นงาน ขนาดของชิ้นงาน แปลงไฟล์ .STL เป็น G-code ควบคุมตำแหน่งของระบบเคลื่อนที่ในระนาบต่างๆ ของเครื่องพิมพ์ ควบคุมการให้ความร้อนและอุณหภูมิของหัวฉีดร้อนและฐานวางชิ้นงานแบบร้อนผ่าน GUI ของซอฟต์แวร์ได้ และมีกราฟแสดงค่าอุณหภูมิตลอดการทำงาน เชื่อมต่อกับเครื่องพิมพ์ผ่านพอร์ต USB หรือนำไฟล์เอาต์พุตคัดลอกลงใน SD การ์ด เพื่อนำไปเสียบที่เครื่องพิมพ์สามมิติ แล้วพิมพ์ชิ้นงานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

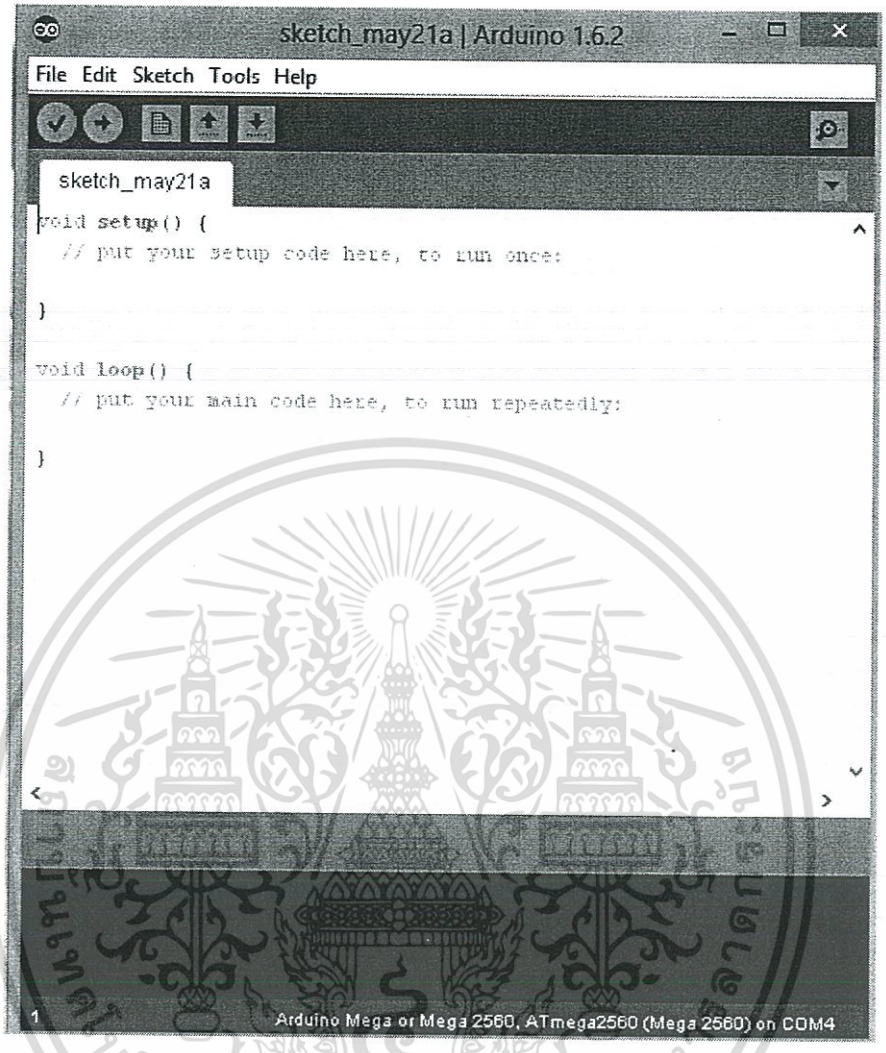


รูปที่ 2.18 ตัวอย่างโปรแกรม Pronterface

2.4.5 โปรแกรม Arduino

โปรแกรม Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบโอเพ่นซอส คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ และผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีก ส่วนการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield และ Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย โดยใช้ซอฟต์แวร์ตัวนี้ในการเขียนโปรแกรมทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างโปรแกรม Arduino

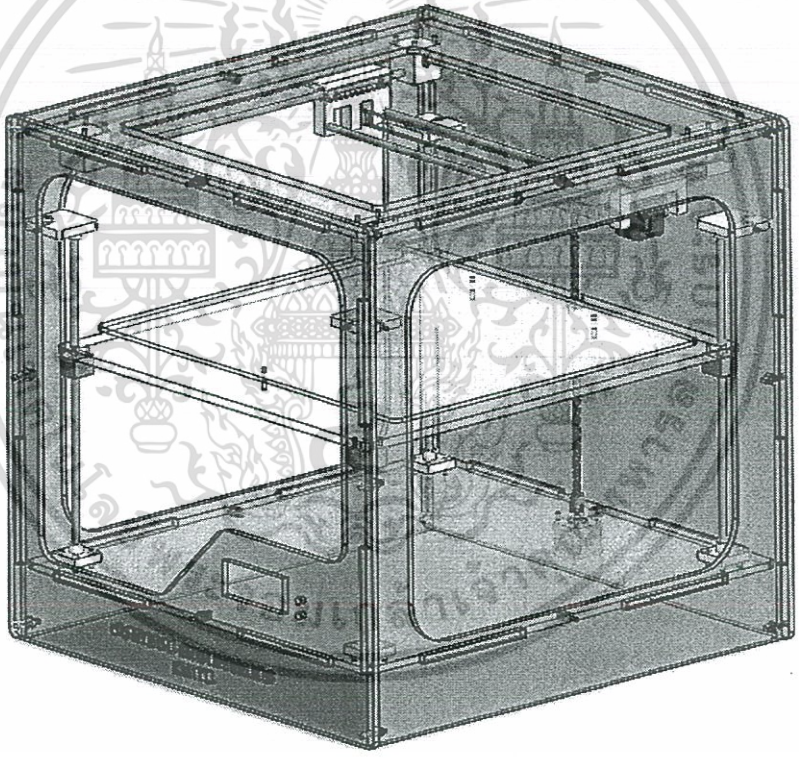
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและสร้างชิ้นงาน

3.1 โครงสร้างและการออกแบบ

3.1.1 โครงสร้างของชิ้นงาน

ในส่วนของโครงสร้างจะใช้โปรแกรม SolidWorks ในการออกแบบ เพราะโปรแกรม SolidWorks จะขึ้นแบบทีเดียวเป็นรูปทรง 3D ดังนั้นจะต้องมีรูปแบบ 3D อยู่ในจินตนาการ โดยในส่วนโครงสร้างจะได้ส่วนประกอบเป็นทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ซึ่งจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้าโดยใช้วัสดุมาประกอบทั้งหมด 6 ชิ้น และมีส่วนที่เป็นฐานรองที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นและลงได้อีก 2 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องพิมพ์สามมิติจากโปรแกรม SolidWorks

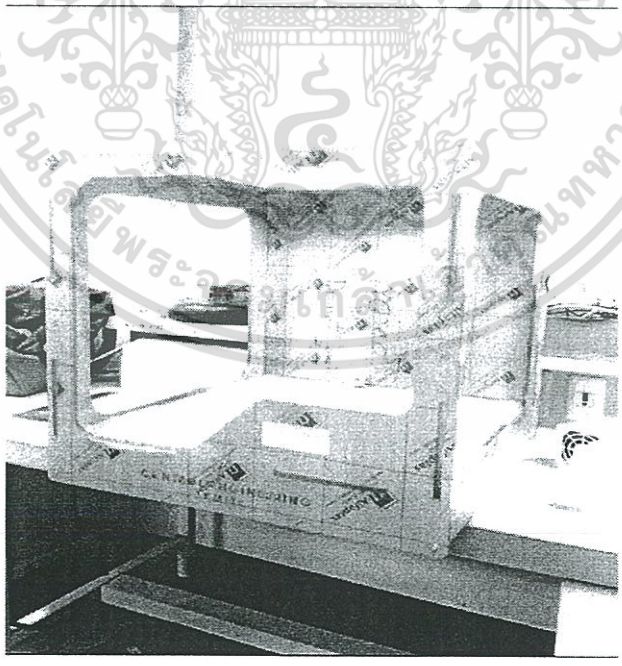
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วัสดุที่นำมาทำโครงสร้าง

ในการเลือกวัสดุที่จะนำมาทำโครงสร้างนั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งในที่นี้จะคำนึงถึงความแข็งแรงและความสะดวกในการตัด เจาะ แก้ไขชิ้นงาน ซึ่งจะใช้เป็นแผ่นอะคริลิค ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือ เมื่อได้รับความร้อนสูงจะอ่อนตัวลง สามารถดัดหรือขึ้นรูปเป็นแบบต่างๆ ได้ และเมื่อเย็นตัวลงจะแข็งตัวและคงสภาพไว้ มีน้ำหนักเบาและสามารถแกะสลัก พ่นสี หรือระบาย เป็นรูปหรือลวดลายต่างๆ ได้ และคุณสมบัติพิเศษอีกอย่างหนึ่งของแผ่นอะคริลิคคือ สามารถทนแรงกระแทกได้ดีกว่ากระจก โดยความหนาของแผ่นจะเป็นปัจจัยที่แปรผันโดยตรงกับการทนแรงกระแทก ขนาดความหนาของแผ่นอะคริลิคมีตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร แต่ที่ใช้ทำเครื่องพิมพ์สามมิติขนาด 10 มิลลิเมตร โดยจะแสดงข้อดีและข้อเสียของอะคริลิคให้เห็นตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ข้อดีและข้อเสียของวัสดุอะคริลิค

ข้อดีของอะคริลิค	ข้อเสียของอะคริลิค
- มีความโปร่งใสคล้ายกระจก ทำให้สามารถเห็นโครงสร้างภายในได้ - ทำการตัดหรือเจาะได้ง่ายเพราะโปร่งใส - ทนทานต่อสภาพอากาศ - น้ำหนักเบา (ง่ายต่อการขนย้าย)	- ไม่ทนความร้อนมากนักหากได้รับความร้อนในระดับหนึ่ง จะทำให้อ่อนยวบยาบได้ - เกิดรอยขีดข่วนได้ง่าย



รูปที่ 3.2 โครงสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติที่สั่งตัดโดยใช้วัสดุอะคริลิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

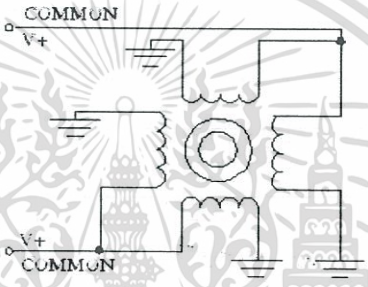
3.2 โครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์

3.2.1 สเต็ปมอเตอร์

ในนี้ใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์รุ่น 42BYG020 Step Motor ซึ่งเป็นมอเตอร์กระแสตรงแบบที่มีการหมุนไม่ต่อเนื่อง โดยจะหมุนไปทีละสเต็ปๆ ละ 1.8 องศา เหมาะสำหรับใช้ในงานที่ต้องการความละเอียดและแม่นยำ เช่น หัวพิมพ์ในเครื่องพิมพ์ หัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ ฯลฯ

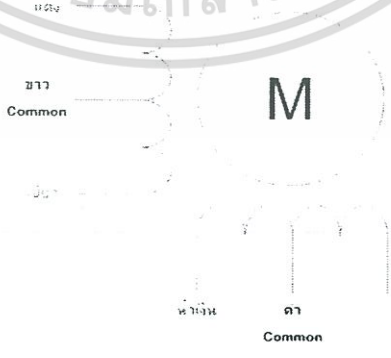
3.2.1.1 โครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์

42BYG020 นี้จะเป็นสเต็ปมอเตอร์แบบ 4 เฟส 6 สาย โดยจะมีสายเฟส 4 สายและสายคอมมอน 2 สายดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สายคอมมอนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบหลายขั้ว

โดยวิธีการหาสายเฟสและสายคอมมอนสามารถทำได้ โดยทำการวัดค่าความต้านทานจับคู่แต่ละสาย ถ้าหากว่าเข้าคู่เฟสกับคอมมอน จะได้ค่าความต้านทานค่าน้อย หากวัดคู่ขาเฟสกับเฟส ค่าความต้านทานจะสูงมาก ดำเนินการวัดโดยจับคู่ทีละคู่ไปเรื่อยๆ และเนื่องจากรุ่นนี้เป็นมอเตอร์แบบ 6 สาย มีสายคอมมอน 2 เส้น เพราะมีขดลวด 2 ชุด ถ้าหากจับคู่ไม่ถูกชุดขดลวด ค่าความต้านทานที่ได้ก็จะมีค่าสูงมากเช่นกัน



รูปที่ 3.4 สายเฟสและสายคอมมอนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อหาสายเฟสกับสายคอมมอนได้แล้ว จะนำสายเฟสมาหาลำดับเฟส โดยต่อสายคอมมอนทั้ง 2 เส้นเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ 5V และต่อสายเฟสเข้ากับ Ground โดยคั่นกลางด้วยสวิตซ์ แล้วทดลองกดสวิตซ์ไล่ไปทีละเฟส ถ้าหากลำดับถูกต้องมอเตอร์จะขยับเป็นสเต็ปไปในทิศทางเดียวกัน ถ้าหากพบมอเตอร์ขยับคนละทิศก็สลับลำดับการกดสวิตซ์ไปเรื่อยๆ จนพบลำดับที่ถูกต้อง

3.2.1.2 การนำสเต็ปมอเตอร์ไปใช้หมุนแกน X, Y, Z

แกน X

ส่วนแกนของมอเตอร์ยึดติดกับตัวดึงสาย โดยที่ตัวดึงสายพานจะยึดกับสายพานเชื่อมต่อไปยังฐานรองหัวฉีดตัว (Extruder) เมื่อทำการสั่งงานให้มอเตอร์หมุนจะทำการขับเคลื่อนสายพานที่เชื่อมกับฐานรองดังกล่าวให้เคลื่อนที่ภายในแนวแกน X

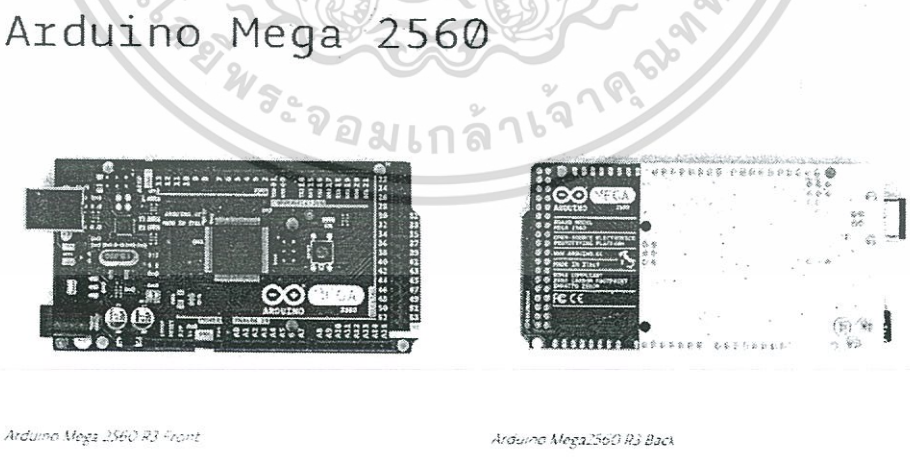
แกน Y

ส่วนแกนของมอเตอร์จะยึดติดกับตัวดึงสายพาน โดยที่ตัวดึงสายพานยึดอยู่กับสาย-พานที่เชื่อมไปยังตัวยึดเหล็ก 2 เส้นที่รองรับมอเตอร์ของแกน X ไว้ เมื่อทำการสั่งให้มอเตอร์หมุนจะทำการเคลื่อนสายพานให้เคลื่อนที่ตามแนวแกน Y

แกน Z

ในส่วนของแกน Z จะมีมอเตอร์จำนวน 2 ตัวที่ทำการยกฐานขึ้นในแกน Z โดยแกนของมอเตอร์แต่ละตัวจะยึดติดกับอุปกรณ์ที่เรียกว่า คลัปปลิ้ง หรือตัวล็อค และตัวล็อคที่ยึดกับแกนมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว ก็จะมีเหล็ก 1 เส้น ยึดติดแน่นแบบพอดีกับตัวล็อค และทำหน้าที่เป็นแกนในการยกฐานรองชิ้นงานขึ้นหรือลง

3.2.2 บอร์ดควบคุม Mega 2560



รูปที่ 3.5 บอร์ด Mega 2560

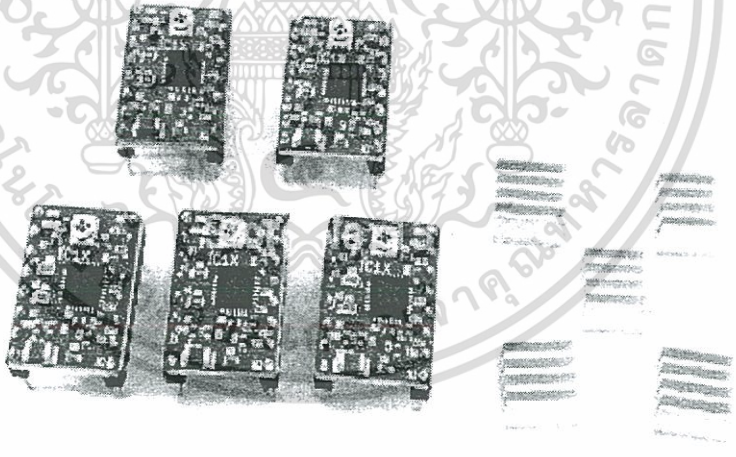
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้บอร์ด Mega 2560 ในการควบคุมการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยอัพโหลดโปรแกรมผ่านสาย USB และทำการต่อบอร์ด Mega 2560 กับบอร์ดเสริมคือ บอร์ด RAMPS 1.4 เพื่อต่อกับบอร์ดขับมอเตอร์ เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ จากนั้นจึงทำการจ่ายไฟให้กับบอร์ดโดยจ่ายไฟผ่านบอร์ดเสริม (RAMPS 1.4) ทั้งนี้ควรระวังในเรื่องของการจ่ายไฟผิดขั้ว และการต่อสายระหว่างบอร์ดกับอุปกรณ์ เพราะการต่อสายที่หลวมและการจ่ายไฟผิดขั้วอาจทำให้บอร์ดพังได้

3.2.3 ชุดขับมอเตอร์

3.2.3.1 บอร์ดขับมอเตอร์

ใช้บอร์ดขับมอเตอร์เบอร์ A4988 ในการขับสเต็ปมอเตอร์โดยไอซี 1 ตัวขับมอเตอร์ได้ 1 ตัว และในเครื่องพิมพ์สามมิติใช้ทั้งสิ้น 5 ตัว ในการขับสเต็ปมอเตอร์ 5 ตัว ดังนี้ บอร์ดขับมอเตอร์ตัวที่ 1 ใช้ขับสเต็ปมอเตอร์ในแนวแกน X บอร์ดขับมอเตอร์ตัวที่ 2 ใช้ขับสเต็ปมอเตอร์ในแนวแกน Y บอร์ดขับมอเตอร์ตัวที่ 3 และตัวที่ 4 ใช้ขับสเต็ปมอเตอร์ในแนวแกน Z โดยสาเหตุที่ใช้สเต็ปมอเตอร์ 2 ตัว ในแนวแกน Z เพราะว่าขนาดของฐานที่ใหญ่และน้ำหนักของฐานรองที่หนักและสุดท้าย บอร์ดขับมอเตอร์ตัวที่ 5 ใช้ขับสเต็ปมอเตอร์ในหัว Extruder

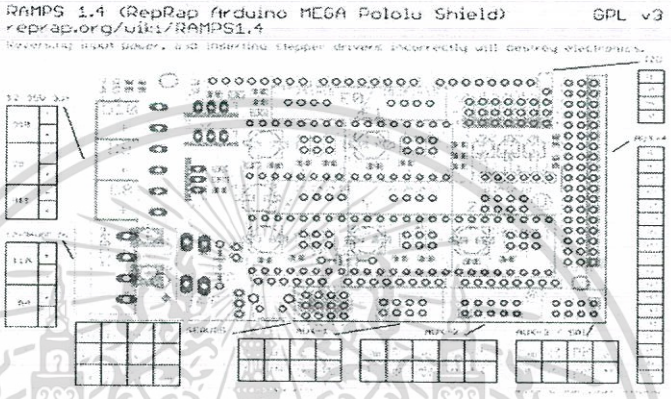


รูปที่ 3.6 ตัวอย่างบอร์ดขับมอเตอร์ที่ใช้ไอซีเบอร์ A4988

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.2 Reprap Arduino Mega Pololu Shied หรือ RAMPS 1.4

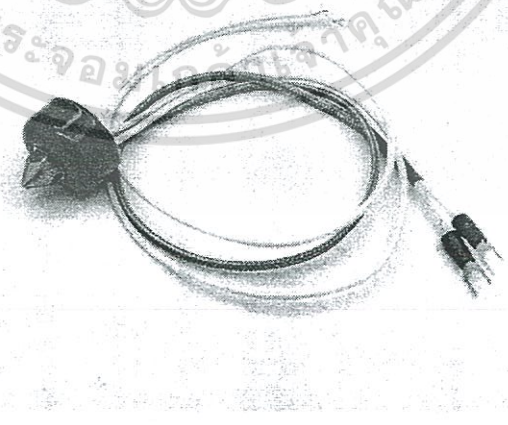
Reprap Arduino Mega Pololu Shield ตามรูปที่ 3.7 หรือ RAMPS ถูกออกแบบมาเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของ Reprap โดยเชื่อมต่อกับบอร์ด Mega 2560 ด้วยแพลตฟอร์มที่มีประสิทธิภาพ และมีช่องมากมายสำหรับเชื่อมต่อการพัฒนาการต่อไป การออกแบบโมดุลลาร์ได้รวมการเชื่อมต่อการขับเคลื่อนมอเตอร์และส่วนควบคุมหัวฉีดพลาสติก ไว้ในบอร์ด RAMPS เพื่อง่ายต่อการใช้งาน



รูปที่ 3.7 วงจรของ Reprap Arduino Mega Pololu Shield

3.2.4 ส่วนหัวฉีด

ใช้ส่วนของหัวฉีด ขนาด 0.4 mm แรงดันไฟฟ้าทำความร้อน 12 V และใช้ Thermistor ในการวัดอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิในการควบคุมหัวฉีดในการทำงานปกติอยู่ระหว่าง190°C ถึง 230°C และสามารถตั้งค่าอุณหภูมิสูงสุดได้ไม่เกิน 280°C



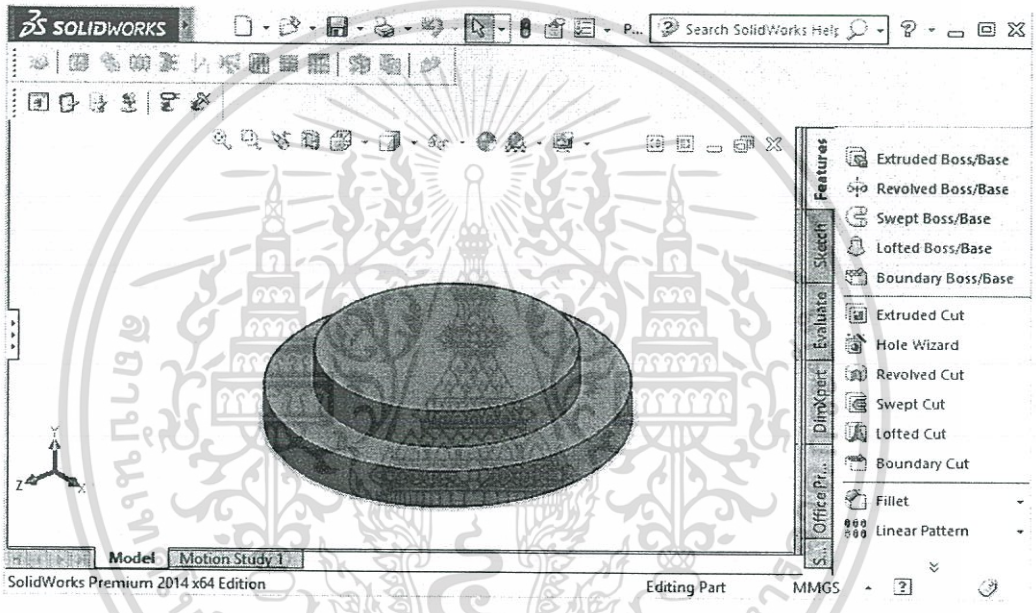
รูปที่ 3.8 หัวฉีดที่ใช้ในเครื่องพิมพ์สามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โปรแกรมที่ใช้งาน

3.3.1 โปรแกรม SolidWorks

จะใช้โปรแกรม SolidWorks เพราะมีความสะดวกในเรื่องของการเขียนแบบ ที่ไม่ซับซ้อนมาก ง่ายต่อการทำความเข้าใจเกี่ยวกับตัวโปรแกรม วิธีการใช้งานก็ไม่ซับซ้อนมากเกินไป ซึ่งโปรแกรม SolidWorks นั้นเหมาะสำหรับงานที่เป็นรูปทรงเดี่ยวๆ งานแนวชิ้นงาน ประกอบงาน เขียนแบบหรืองานเครื่องกล โดยใช้โปรแกรม SolidWorks ออกแบบทั้งตัวเครื่อง 3D รวมถึงนำมาออกแบบชิ้นงานที่จะพิมพ์ด้วย

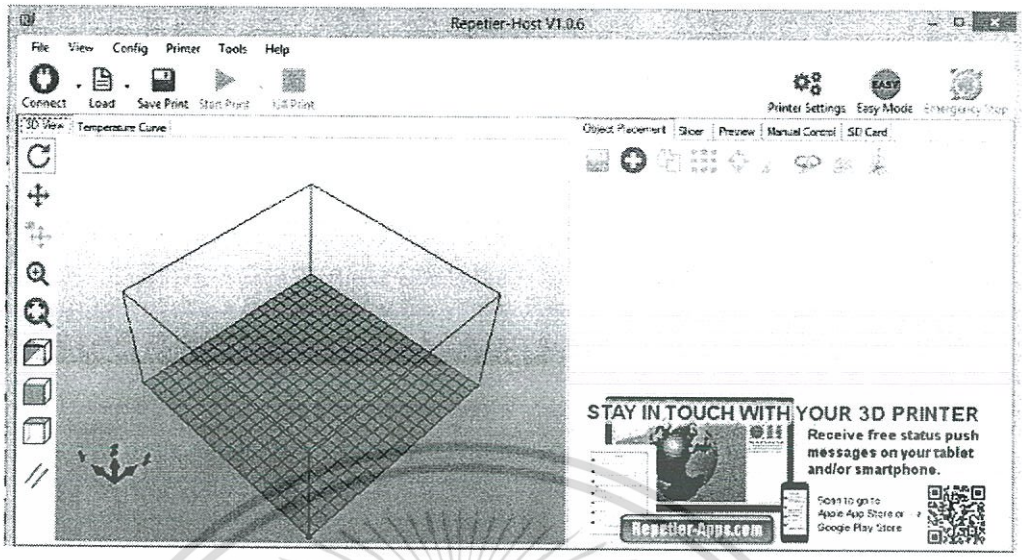


รูปที่ 3.9 ตัวอย่างแบบที่สร้างจากโปรแกรม SolidWorks

3.3.2 โปรแกรม Repetier Host

ใช้สำหรับแปลงไฟล์ชิ้นงาน 3 มิติให้กลายเป็นไฟล์ G-Code เพื่อนำไปควบคุมเครื่องพิมพ์สามมิติให้สร้างชิ้นงานออกมาตามที่ออกแบบไว้บางตัวสามารถแปลงไฟล์ .STL เป็น G-Code อย่างเดียว บางตัวอาจรวมไปถึงการควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องพิมพ์ผ่านพอร์ต USB หรือนำไฟล์ G-Code ใส่ลงในการ์ด SD แล้วนำไปเสียบที่เครื่องพิมพ์สามมิติ แล้วให้เครื่องอ่านไฟล์ G-Code เพื่อทำงานเองก็ได้ โดยโปรแกรมนี้มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงสามารถปรับแต่งได้อย่างอิสระ จึงเหมาะกับเครื่องพิมพ์แบบสามมิติแบบโอเพนซอร์ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 โปรแกรม Repetier

3.3.3 โปรแกรม Arduino

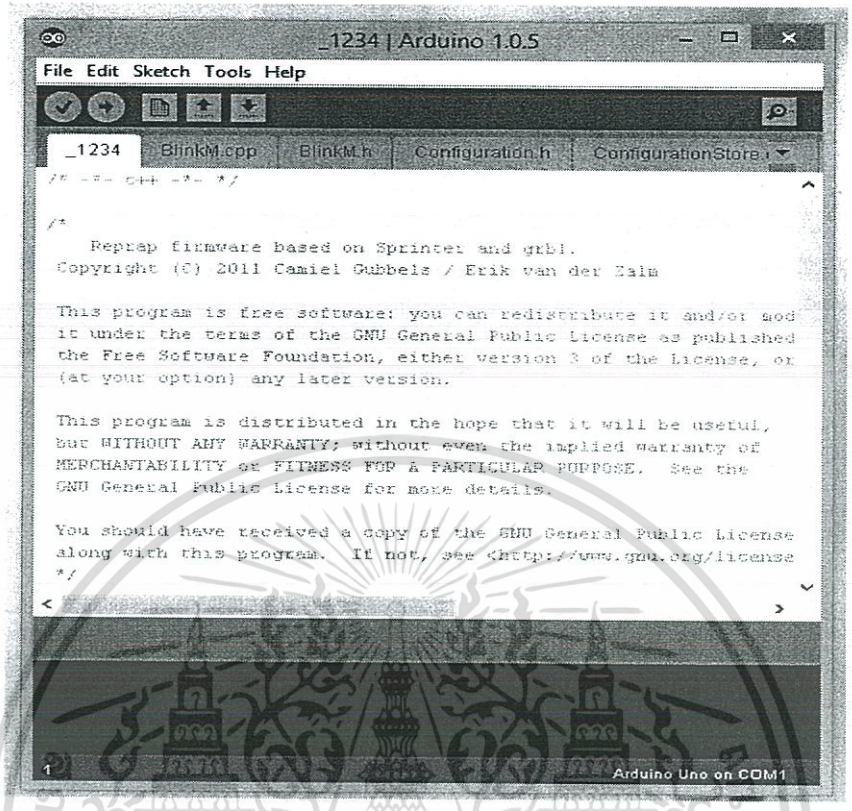
ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมต่างๆ สาเหตุที่เลือก Arduino เพราะ Arduino มีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายในการเรียนรู้และการใช้งาน เนื่องจากมีการออกคำสั่งต่างๆ ขึ้นมาสนับสนุนการใช้งานด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อนและมีจุดเด่น คือ

- ราคาไม่แพง เนื่องจากมี Source Code และวงจรแจกให้ฟรี สามารถต่อวงจรขึ้นมาใช้เองได้ รวมถึงมีการเปิดเผยวงจร Source Code ทั้งหมดทำให้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้ดี ทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

- โปรแกรมที่ใช้พัฒนาของ Arduino สามารถรองรับการทำงานทั้ง Window, Linux และ OSx

- รูปแบบคำสั่งง่ายต่อการใช้งาน แต่สามารถนำไปใช้งานจริงๆ กับส่วนที่มีความซับซ้อนมากๆ ได้ และยังสามารถสร้างคำสั่งรวมถึง Library ใหม่ๆ ขึ้นมาใช้งานเองได้ เมื่อมีความชำนาญมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 โปรแกรม Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองพิมพ์ชิ้นงานจากเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยทดลองพิมพ์ชิ้นงานอย่างง่ายเพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องพิมพ์

4.1 การทดสอบอุณหภูมิกับการพิมพ์ชิ้นงาน

ในส่วนนี้จะพูดถึงการปรับอุณหภูมิว่ามีผลต่อชิ้นงานอย่างไร การปรับอุณหภูมิมีผลต่อชิ้นงานอย่างมาก เนื่องจากการที่หัวฉีดมีอุณหภูมิมากเกินไป จะทำให้ชิ้นงานที่ได้ออกมามีการหลอมละลาย ทำให้ได้ชิ้นงานออกมาไม่เป็นรูปร่าง โดยจะแสดงให้เห็นถึงการทดสอบผ่านตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 การทดสอบอุณหภูมิกับการพิมพ์ชิ้นงาน

ครั้งที่	อุณหภูมิ	ผลการทดลอง	สาเหตุ
1	185°C	- เส้นของ Filament ละลายแต่ยังไม่หยดลงมา และค้างอยู่รอบๆ หัว Extruder	- ความร้อนยังไม่มากพอที่จะทำให้ Filament ที่ละลายหยดลงมา
2	190°C	- Filament ละลายและหยดลงมาแล้วแต่ยังไม่มีความต่อเนื่อง (คล้ายๆ หยดน้ำ)	- ความร้อนยังไม่พอและมอเตอร์ที่ทำหน้าที่ดึงเส้น Filament ดึงไม่สม่ำเสมอ เพราะเส้น Filament ยังต่อหลวมๆ กับแกนที่ดึงสู่ Extruder
3	198°C -200°C	- Filament ไหลลงมาอย่างต่อเนื่องและสามารถทำการขึ้นรูปชิ้นงานได้	
4	220°C	- ชิ้นงานมีลักษณะยุ่ยและไม่เป็นรูป เพราะ หลอมละลายเกินไป	- อุณหภูมิสูงเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบความละเอียด

การทดสอบความละเอียดจะรวมการตั้งค่าระยะหัวพิมพ์เข้าไว้ด้วยกัน โดยจะแสดงการทดลองให้เห็นในรูปของตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.2 การทดสอบความละเอียด

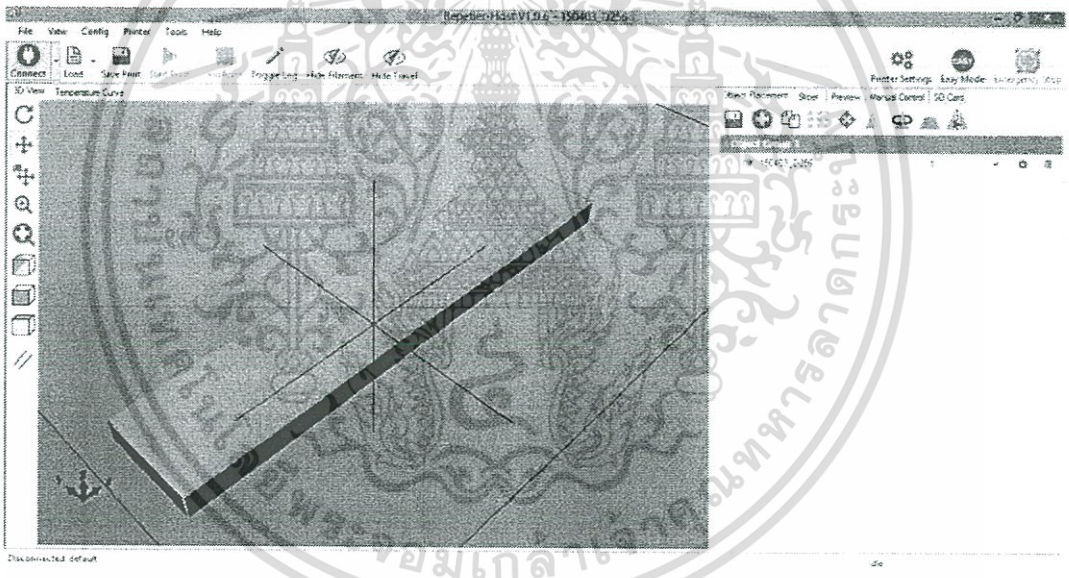
ครั้งที่	Layer Height (mm)	First Layer Height (mm)	ผลการทดลอง	สาเหตุ
1	0.4	0.35	- ชิ้นงานยังมีความยุ่ยและพิมพ์ออกมาไม่เป็นรูป	-ระยะระหว่างชั้นการฉีดหรือ Layer Heightสูงเกินไป
2	0.4	0.3	- ชิ้นงานยุ่ยยิ่งกว่าเดิมและไม่เป็นรูปร่างเลย	-ระยะระหว่างชั้นการฉีดยังกว้างอยู่ และการตั้งค่าความละเอียดไม่พอดี
3	0.35	0.3	- ชิ้นงานเริ่มฉีดส่วนฐานได้ดีขึ้นแต่จะมายุ่ยเมื่อชิ้นงานมีระดับสูงขึ้น	-ระยะระหว่างชั้นการฉีดยังมีความกว้างอยู่แต่เริ่มเข้าใกล้ความจริง
4	0.3	0.3	- สามารถพิมพ์ชิ้นงานออกมาเป็นรูปร่าง แต่ชิ้นงานจะต้องไม่ซับซ้อนเกินไป	-ระยะระหว่างชั้นในการฉีดมีความเหมาะสมพอดี

หมายเหตุ : Layer Height และ First Layer Height ต้องปรับค่าจากโปรแกรม Slic3R โดยที่
First Layer Height คือ ระยะห่างของหัวฉีดกับฐานรอง
Layer Height คือ ระยะห่างระหว่างชั้นการฉีดของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

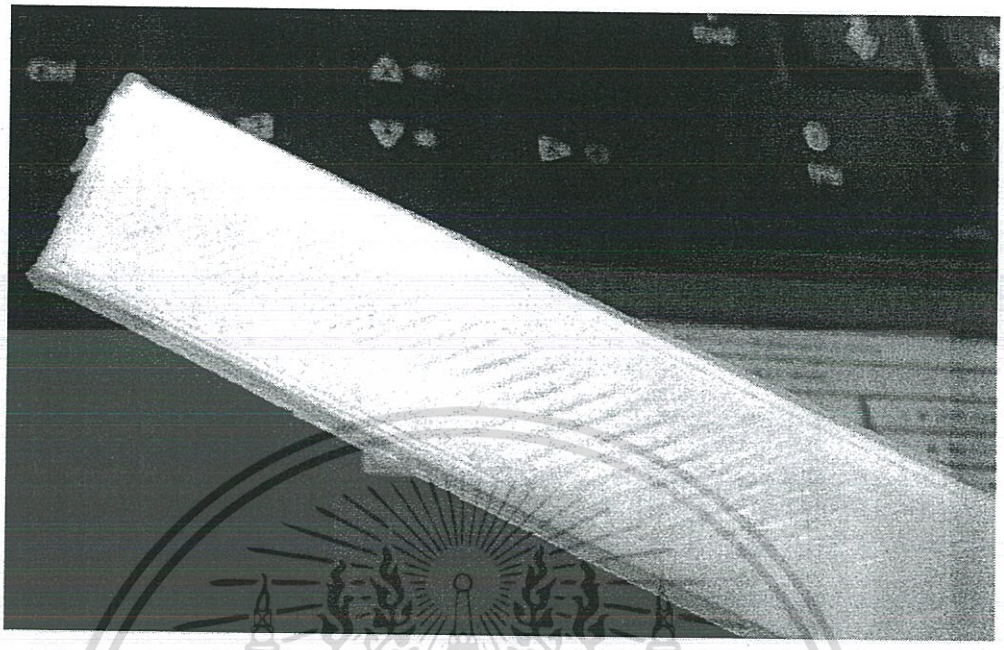
4.3 การทดสอบพิมพ์ชิ้นงานจริง

เมื่อพิจารณาค่าที่แสดงดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 แล้ว ต่อมาจะเป็นการทดลองพิมพ์ชิ้นงานจริงตามค่าที่ใส่ไว้ในตารางดังกล่าว เมื่อพิจารณาความละเอียด First Layer Height และ Layer Height จะเห็นว่าค่าที่ดีสำหรับการพิมพ์ชิ้นงานคือ 0.3 และ 0.3 ตามลำดับ ถ้าเปลี่ยนทั้งสองค่านี้เป็นตัวเลขอื่นจะทำให้ชิ้นงานที่ทดลองขึ้นรูปจะไม่เป็นรูปเป็นร่างหรือจะเป็นรูปเป็นร่างแค่ Layer แรกๆ เป็นต้น ต่อมาจะพิจารณาที่อุณหภูมิกัน จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่จะพิมพ์ชิ้นงานคือ 200°C (±2°C) เพราะเส้น Filament สามารถร่วงลงมาจากหัวฉีดเป็นเส้นพอดีไม่เหลวเกินไป และไม่แข็งเกินไป จากตารางที่ 4.1 หากใช้อุณหภมิที่ต่ำกว่า 200°C จะทำให้เส้น Filament เกาะอยู่ที่บริเวณหัวฉีดหรือหยดลงมาไม่ต่อเนื่อง เพราะอุณหภูมิต่ำไม่เหมาะสม แต่ถ้าเป็น 220°C จะทำให้ Filament ละลายเหลวเกินไปทำให้พิมพ์ชิ้นงานไม่เป็นรูปเป็นร่างนั่นเอง ตัวอย่างการพิมพ์ชิ้นงานจะแสดงไว้ในรูปที่ 4.1-รูปที่ 4.5



รูปที่ 4.1 ชิ้นงานจากโปรแกรม Repetier Host

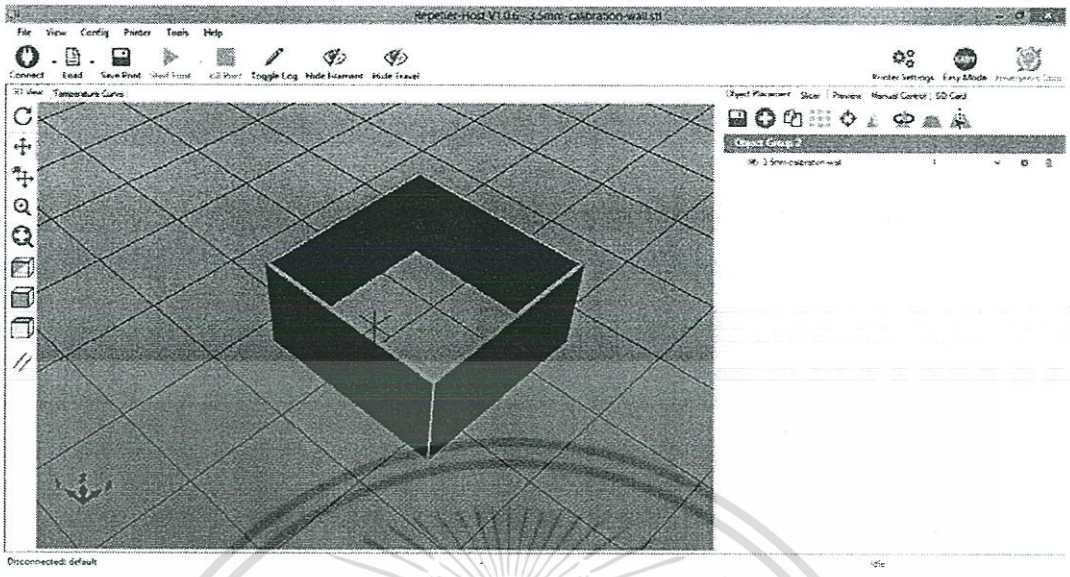
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ชิ้นงานจริงของรูปที่ 4.1 (1)

รูปที่ 4.3 ชิ้นงานจริงของรูปที่ 4.1 (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ชิ้นงานจากโปรแกรม Repetier Host

รูปที่ 4.5 ชิ้นงานจริงของรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงาน

เมื่อดำเนินการออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติเสร็จแล้ว ได้สั่งตัดอุปกรณ์ที่ใช้เป็นโครงสร้างของเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยใช้แผ่นอะคริลิคเป็นวัสดุและทำการประกอบโครงของเครื่องพิมพ์สามมิติขึ้น จากนั้นทำการประกอบส่วนควบคุม คือบอร์ด Arduino Mega 2560, บอร์ด Ramp 1.4 และบอร์ดขับมอเตอร์ แล้วทำการอัพโหลดโปรแกรมลงไปที่บอร์ด Arduino Mega 2560 เพื่อทำการประมวลผลและทดลองการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ในแกน X, Y และ Z ซึ่งจากการทดลองปรากฏว่าสามารถเคลื่อนที่ไปตามระยะที่กำหนดได้ หลังจากนั้นทำการทดลองให้ความร้อนกับหัวฉีด และทำการทดลองพิมพ์ชิ้นงานขึ้น จะเห็นว่าสามารถพิมพ์ชิ้นงานขึ้นมาได้ดีในระดับหนึ่ง

5.1 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

ปัญหา

- ฐานยกพิมพ์มีขนาดใหญ่และหนักเกินไป ทำให้การยกมอเตอร์ด้วยแกนเดียว (แกน Z) เพียงข้างเดียวเป็นไปได้ยาก
- โครงสร้างเครื่องพิมพ์ออกแบบมาไม่ตรงตามแบบ ทำให้การยกฐานเครื่องพิมพ์มีปัญหา เนื่องจากเสาที่ยกไม่ทำมุมฉากกับฐานยก ทำให้การยกฐานเป็นไปได้ยาก
- หัวฉีดความร้อนกับเซนเซอร์ตัวจับความร้อนให้อุณหภูมิที่มีความคลาดเคลื่อนกัน การพิมพ์ชิ้นงานมีปัญหา เนื่องจากคุณสมบัติของแต่ละเครื่องที่ไม่เหมือนกัน

แนวทางการแก้ไข

- เพิ่มแกนยกขึ้นมาอีก 1 แกนเพื่อช่วยยกฐานขึ้น
- ทำการปรับปรุงในด้านกลไกของเครื่องพิมพ์ให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น
- ทำการคำนวณหาช่องว่างระหว่างอุณหภูมิที่หัวฉีดและเซนเซอร์ ว่ามีความต่างกันเท่าไหร่
- ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในโปรแกรมและโค้ดเพื่อทำให้การพิมพ์ชิ้นงานมีความเรียบขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้า

ควรให้ความสำคัญในการออกแบบส่วนโครงสร้างของเครื่องพิมพ์สามมิติหรือที่เรียกว่าส่วนกลไกให้มากที่สุด จะเห็นได้จากกรณีของแกน Z ที่มีปัญหาในการยกฐานไม่ขึ้นในตอนแรก เพราะส่วนโครงสร้างนั้นยังไม่มีความเหมาะสม และการพิมพ์ชิ้นงานต้องการความแม่นยำในการพิมพ์ชิ้นงานสูง ถ้าส่วนโครงสร้างมีความคลาดเคลื่อน ชิ้นงานที่ออกมาก็อาจไม่เป็นไปตามแบบที่ต้องการ และควรศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ และโปรแกรมที่จะใช้งานว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร จึงจะสามารถเลือกใช้อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่เหมาะสมในการทำงานได้ โดยเฉพาะในสมัยนี้การพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และฮาร์ดแวร์เป็นไปอย่างรวดเร็ว ผู้ศึกษาควรค้นคว้าหาความรู้อยู่เสมอ ซึ่งจะทำให้การพัฒนาเครื่องพิมพ์สามมิตินั้นเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว และทำให้การพิมพ์ชิ้นงานนั้นมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] **"Stepping motor"** [online] Available: http;//synes.co.th/nicupload/2013022011-500-5. pdf

[2] **"Arduino Mega 2560"** [online] Available: http://mbeddedweekly.blogspot.com/-2014/08/arduino-mega2560.html

[3] **"Stepping Motor Driver Board A4988"** [online] Available: http://www.robotshop.Com/media/files/pdf/datasheet-1182.pdf

[4] **"Pronterface"** [online] Available: http://www.pronterface.com/

[5] **"Repetier Host"** [online] Available: http://www.repetier.com

[6] **"AutoCAD"** [online] Available: http://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD

[7] เอกชัย มะการ. (2552). **เรียนรู้เข้าใจใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino.** กรุงเทพมหานคร: EIT.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

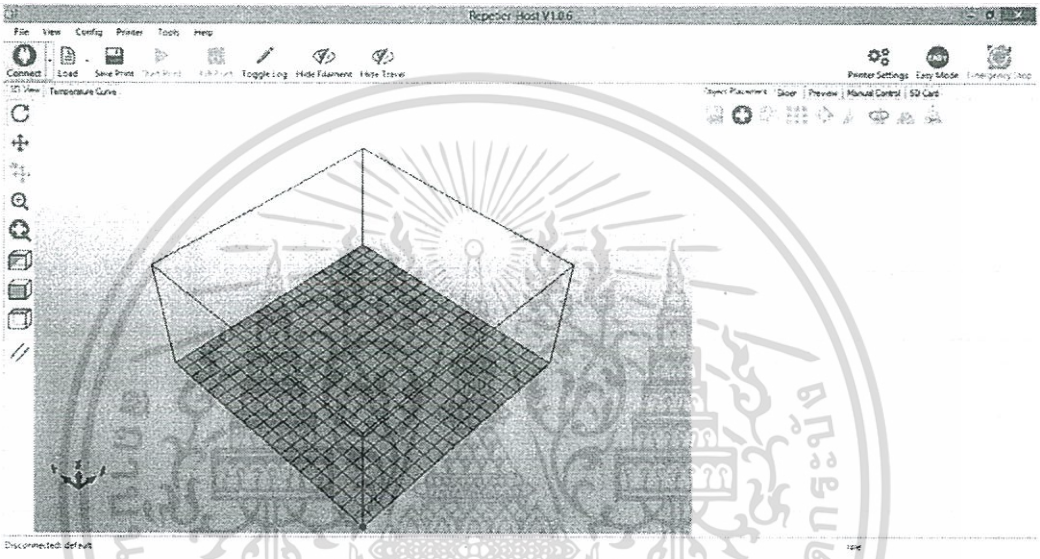
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

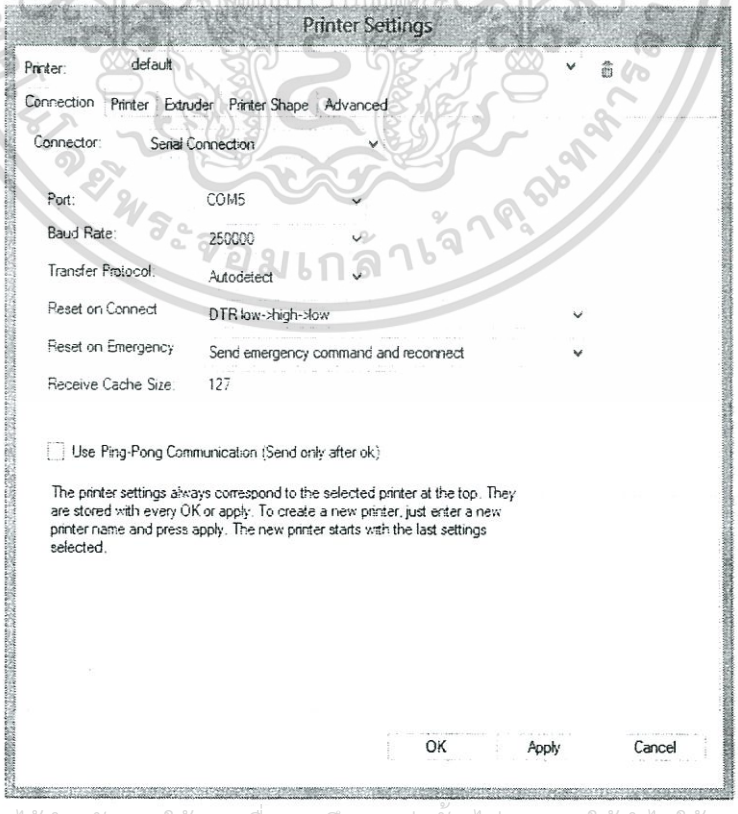
ภาคผนวก ก

โปรแกรมที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

ก.1 โปรแกรมขึ้นรูปชิ้นงาน Repetier Host

ในส่วนนี้จะเป็นการอธิบายในส่วนของการตั้งค่าโปรแกรมในการใช้งานก่อนทำการพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ



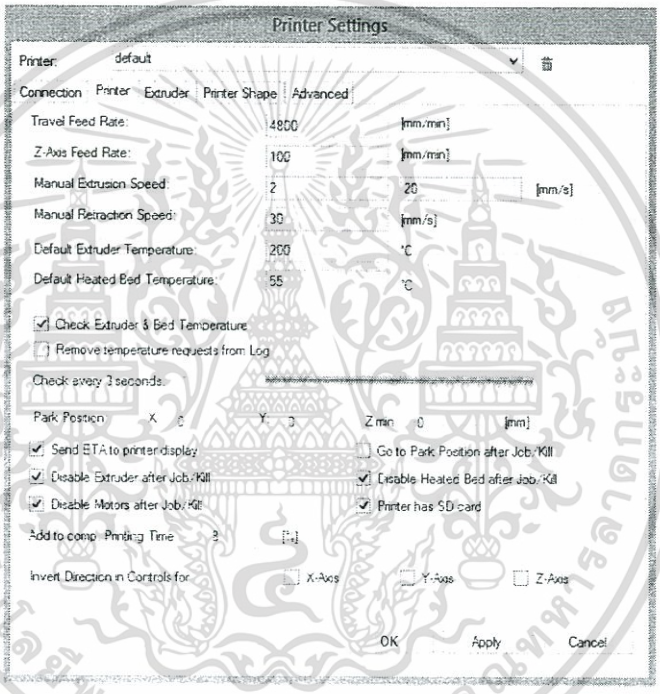


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นแรก เข้ามาตั้งค่าเครื่องพิมพ์ก่อนโดยเลือก Printer Settings จากหน้าจอแสดงผล

- Connection ให้เลือกเป็น Serial Connection ก็คือการต่อเครื่องพิมพ์ ผ่าน Port-USB
- Port ให้เลือก Port ที่ใช้ซึ่งสามารถกดปุ่ม Refresh Port เพื่อให้โปรแกรมหา Port
- Baud Rate เป็นความเร็วในการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องพิมพ์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น 250000 แต่อาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับตัวบอร์ดและ Firmware ที่เครื่องพิมพ์ใช้

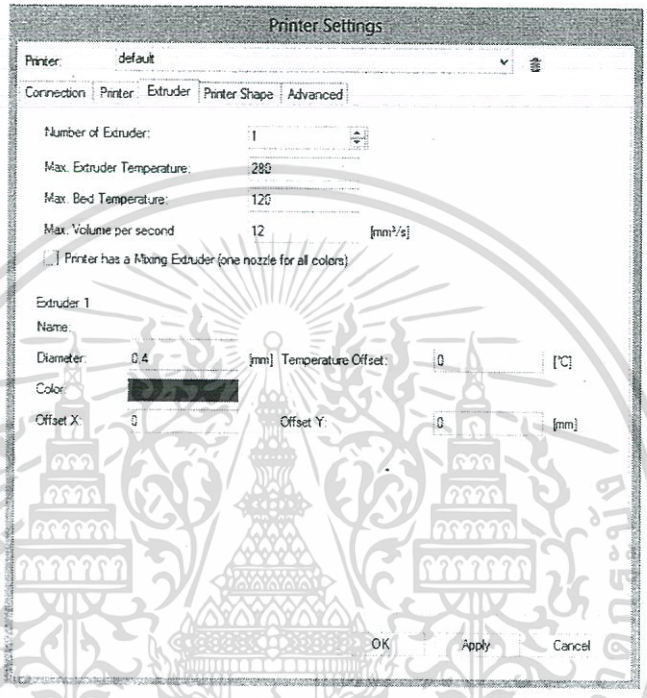
ในส่วนของหัวข้ออื่นๆ ไม่จำเป็นต้องไปปรับ ให้ใช้ค่าที่ให้ได้เลย



- Travel Feed Rate เป็นการกำหนดความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์ในแกน X และ Y
- Z-Axis Feed Rate เป็นการกำหนดความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์ในแกน Z
- Default Extruder Temperature เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นอุณหภูมิของหัวฉีด
- Check Extruder & Bed Temperature เป็นการตรวจสอบอุณหภูมิหัวฉีดและแผ่นฐานทำความร้อน
- Park Position ผู้ใช้สามารถใส่ค่าตำแหน่ง X, Y และ Z เพื่อให้หัวพิมพ์ไปอยู่ที่ตำแหน่งที่ใส่ค่าเมื่อมีการกดปุ่ม Park ในหน้า Manual Control
- Go to Park Position After Job/Kill เป็นการสั่งให้หัวพิมพ์เดินทางไปยังตำแหน่ง Park Position เมื่อมีการกดปุ่ม Kill Job

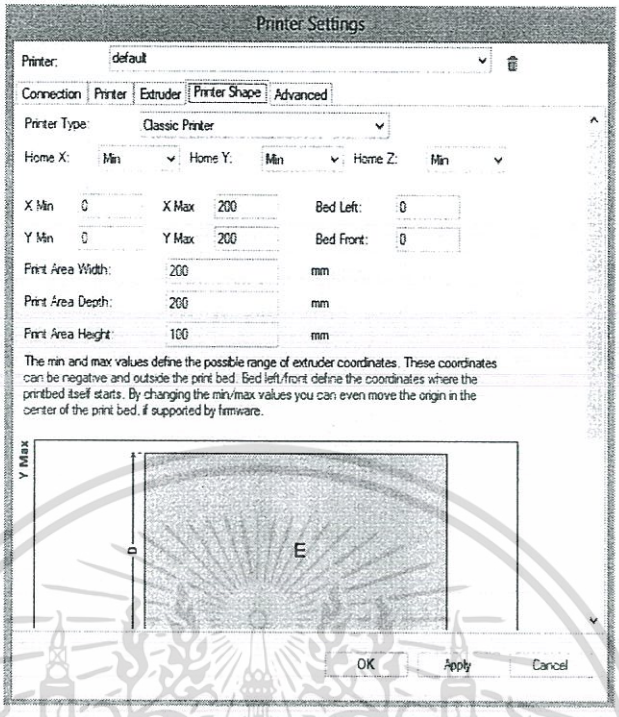
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Disable Extruder After Job/Kill เป็นการสั่งให้ปิดฮีทเตอร์ที่หัวพิมพ์เมื่อมีการกดปุ่ม Kill Job
- Disable Motor After Job/Kill เป็นการสั่งให้ปิดมอเตอร์เมื่อมีการกดปุ่ม Kill Job
- Add to comp. Printing Time เป็นการชดเชยค่าเวลาพิมพ์งานที่แสดงอยู่ให้มากหรือน้อยลง



- Number of Extruder จำนวนหัวฉีดที่อยู่ในเครื่องพิมพ์
- Max. Extreder Tempereture อุณหภูมิสูงสุดของหัวทำความร้อน
- Diameter เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- Printer Type เลือกรูปแบบของเครื่องพิมพ์
- HOME X HOME Y and HOME Z ต้องการให้เครื่องพิมพ์กำหนดค่าตำแหน่งกลับสู่จุดเริ่มต้นเป็นเท่าไร ซึ่งมีค่าให้เลือก ตามนี้

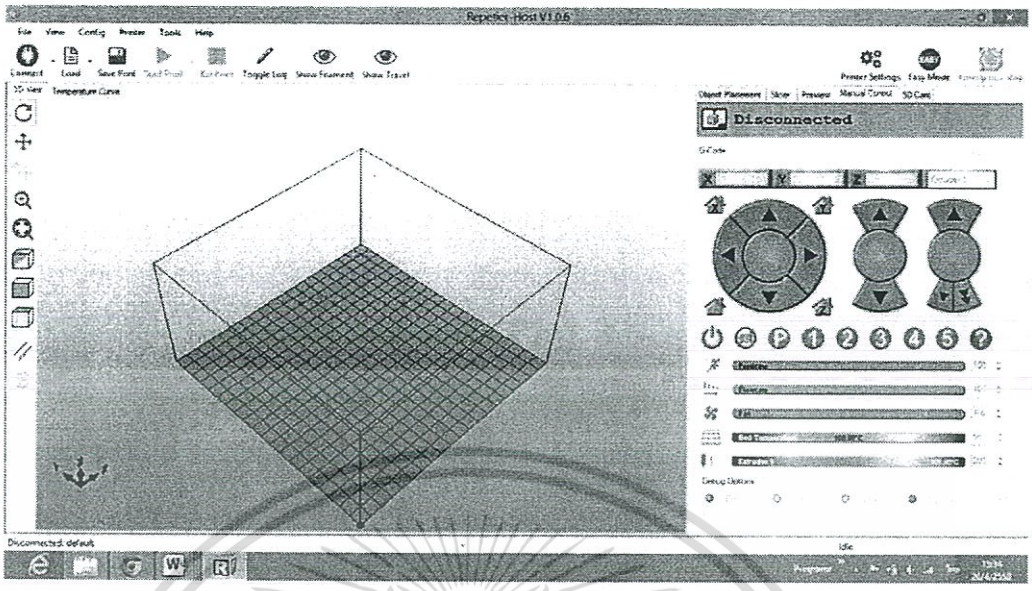
- Min หมายถึงเมื่อให้กลับสู่ตำแหน่งจุดเริ่มต้น โดยเมื่อถึงแล้วให้ใช้ค่า MIN ที่กำหนดไว้ตามค่า Min ในแกนนั้น

- Max หมายถึงเมื่อให้กลับสู่ตำแหน่งจุดเริ่มต้น โดยเมื่อถึงแล้วให้ใช้ค่า MAX ที่กำหนดไว้ตามค่า MAX ในแกนนั้น

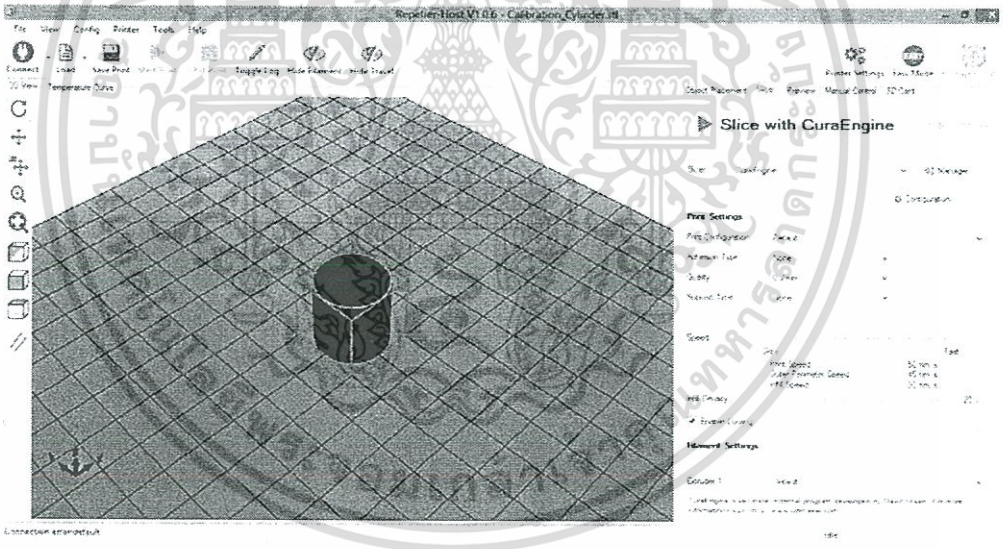
- 0 หมายถึงเมื่อกลับไปสู่จุดเริ่มต้นให้ใช้ค่า 0 เป็นจุดเริ่มต้น

- X Min ให้ใส่ค่าน้อยที่สุดที่หัวพิมพ์จะวิ่งไปในแนวแกน X
- X Max ให้ใส่ค่ามากที่สุดที่หัวพิมพ์จะวิ่งไปในแนวแกน X
- Y Min ให้ใส่ค่าน้อยที่สุดที่หัวพิมพ์จะวิ่งไปในแนวแกน Y
- Y Max ให้ใส่ค่ามากที่สุดที่หัวพิมพ์จะวิ่งไปในแนวแกน Y
- Bed Left ให้ใส่ขนาดที่เหลือทางด้านซ้ายมือของแผ่นทำความร้อน
- Bed Front ให้ใส่ขนาดที่เหลือทางด้านบนของแผ่นทำความร้อน
- Print Area Width ขนาดความกว้างของพื้นที่การพิมพ์
- Print Area Depth ขนาดความลึกของพื้นที่การพิมพ์
- Print Area Height ขนาดความสูงของพื้นที่การพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

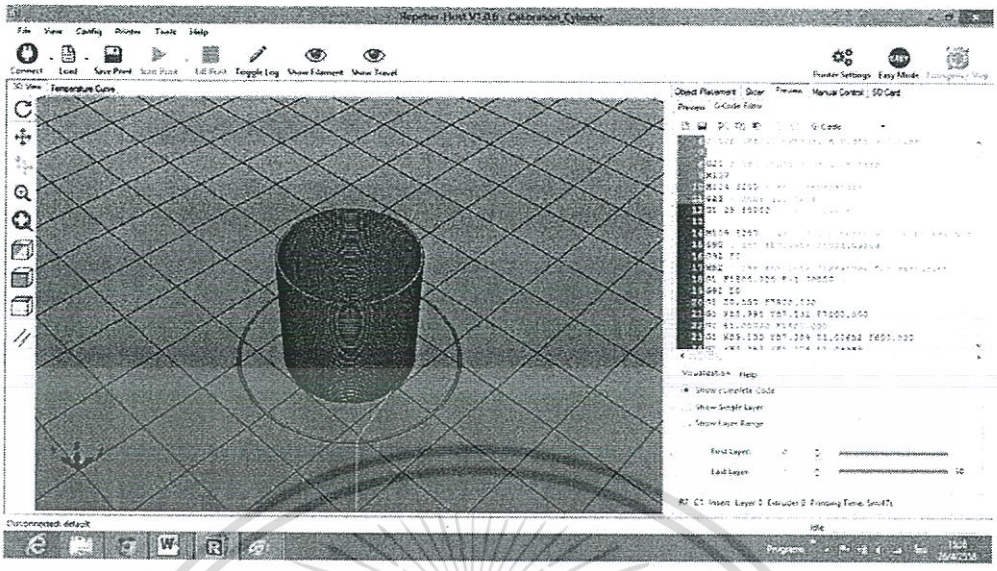


- กดปุ่ม Connect เพื่อเชื่อมต่อกับเครื่องพิมพ์
- เลือก Load File ที่ต้องการจะพิมพ์



- เลือก Tab : Slicer เพื่อทำการสร้างเส้นทางการทำงานของหัวพิมพ์ให้ไปที่แถบ Slicer
- เลือก Cornfiguration หากต้องการปรับค่าอื่นๆ ของการพิมพ์ เช่น ค่าของ filament ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของแต่ละเครื่อง
- เลือก Slice with CuraEngine หากต้องการจะพิมพ์ชิ้นงาน เพื่อแปลงชิ้นงานให้เป็น G-Code
- เลือก Start Print เพื่อทำการพิมพ์ชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 โค้ดโปรแกรม Arduino ที่ใช้สั่งการไมโครคอนโทรลเลอร์

โค้ดคำสั่งสำหรับควบคุมอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อสั่งการให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานตามที่ต้องการ

```
#ifndef CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H
#define STRING_VERSION_CONFIG_H __DATE__ " " __TIME__
#define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "(none, default config)"
#define SERIAL_PORT 0
#define BAUDRATE 250000
#ifndef MOTHERBOARD
#define MOTHERBOARD 33
#endif

#define EXTRUDERS 1
#define POWER_SUPPLY 1
#define TEMP_SENSOR_0 1
#define TEMP_SENSOR_1 -1
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_BED 0
#define MAX_REDUNDANT_TEMP_SENSOR_DIFF 10
#define TEMP_RESIDENCY_TIME 10
#define TEMP_HYSTERESIS 3
#define TEMP_WINDOW     1
#define HEATER_0_MINTEMP 5
#define HEATER_1_MINTEMP 5
#define HEATER_2_MINTEMP 5
#define BED_MINTEMP 5
#define HEATER_0_MAXTEMP 275
#define HEATER_1_MAXTEMP 275
#define HEATER_2_MAXTEMP 275
#define BED_MAXTEMP 150

#define PIDTEMP
#define BANG_MAX 255
#define PID_MAX 255
#ifdef PIDTEMP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define PID_FUNCTIONAL_RANGE 10
#define PID_INTEGRAL_DRIVE_MAX 255
#define K1 0.95
#define PID_dT ((OVERSAMPLENR * 8.0)/(F_CPU / 64.0 / 256.0))

#define  DEFAULT_Kp 22.2
#define  DEFAULT_Ki 1.08
#define  DEFAULT_Kd 114
#endif

#define MAX_BED_POWER 255
#ifdef PIDTEMPBED
define  DEFAULT_bedKp 10.00
#define  DEFAULT_bedKi .023
#define  DEFAULT_bedKd 305.4
#endif

#define PREVENT_DANGEROUS_EXTRUDE
#define PREVENT_LENGTHY_EXTRUDE
#define EXTRUDE_MINTEMP 170
#define EXTRUDE_MAXLENGTH (X_MAX_LENGTH+Y_MAX_LENGTH)
#define ENDSTOPPULLUPS
#ifndef ENDSTOPPULLUPS
#endif

#ifdef ENDSTOPPULLUPS
#define ENDSTOPPULLUP_XMAX
#define ENDSTOPPULLUP_YMAX
#define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
#define ENDSTOPPULLUP_XMIN
#define ENDSTOPPULLUP_YMIN
#define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
#endif

const bool X_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true;
const bool Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true;
const bool Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true;
const bool X_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true;
const bool Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true;
const bool Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true;

#if defined(COREXY) && !defined(DISABLE_MAX_ENDSTOPS)
#define DISABLE_MAX_ENDSTOPS
#endif
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define X_ENABLE_ON 0
#define Y_ENABLE_ON 0
#define Z_ENABLE_ON 0

#define E_ENABLE_ON 0

#define DISABLE_X false
#define DISABLE_Y false
#define DISABLE_Z false
#define DISABLE_E false
#define DISABLE_INACTIVE_EXTRUDER true

#define INVERT_X_DIR true
#define INVERT_Y_DIR false
#define INVERT_Z_DIR true
#define INVERT_E0_DIR false
#define INVERT_E1_DIR false
#define INVERT_E2_DIR false

#define X_HOME_DIR -1
#define Y_HOME_DIR -1
#define Z_HOME_DIR -1

#define min_software_endstops true
#define max_software_endstops true

#define X_MAX_POS 205
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MAX_POS 205
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MAX_POS 200
#define Z_MIN_POS 0

#define X_MAX_LENGTH (X_MAX_POS - X_MIN_POS)
#define Y_MAX_LENGTH (Y_MAX_POS - Y_MIN_POS)
#define Z_MAX_LENGTH (Z_MAX_POS - Z_MIN_POS)

#ifdef ENABLE_AUTO_BED_LEVELING

#define AUTO_BED_LEVELING_GRID

#ifdef AUTO_BED_LEVELING_GRID

#define LEFT_PROBE_BED_POSITION 15
#define RIGHT_PROBE_BED_POSITION 170
#define BACK_PROBE_BED_POSITION 180
#define FRONT_PROBE_BED_POSITION 20
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define AUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTS 2

#else

#define ABL_PROBE_PT_1_X 15
#define ABL_PROBE_PT_1_Y 180
#define ABL_PROBE_PT_2_X 15
#define ABL_PROBE_PT_2_Y 20
#define ABL_PROBE_PT_3_X 170
#define ABL_PROBE_PT_3_Y 20

#endif

#define X_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER -25
#define Y_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER -29
#define Z_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER -12.35
#define Z_RAISE_BEFORE_HOMING 4
#define XY_TRAVEL_SPEED 8000
#define Z_RAISE_BEFORE_PROBING 15
#define Z_RAISE_BETWEEN_PROBINGS 5
#define Z_SAFE_HOMING

#ifdef Z_SAFE_HOMING
#define Z_SAFE_HOMING_X_POINT (X_MAX_LENGTH/2)
#define Z_SAFE_HOMING_Y_POINT (Y_MAX_LENGTH/2)
#endif

#define MANUAL_X_HOME_POS 0
#define MANUAL_Y_HOME_POS 0
#define MANUAL_Z_HOME_POS 0
#define NUM_AXIS 4
#define HOMING_FEEDRATE {50*60, 50*60, 4*60, 0}
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT   {78.7402, 78.7402, 200.0*8/3,760*1.1}
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE          {500, 500, 5, 25}
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION      {9000, 9000, 100, 10000}
#define DEFAULT_ACCELERATION          3000
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION  3000

#define DEFAULT_XYJERK                20.0
#define DEFAULT_ZJERK                 0.4
#define DEFAULT_EJERK                 5.0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define CUSTOM_M_CODES
#ifdef CUSTOM_M_CODES
#define CUSTOM_M_CODE_SET_Z_PROBE_OFFSET 851
#define Z_PROBE_OFFSET_RANGE_MIN -15
#define Z_PROBE_OFFSET_RANGE_MAX -5
#endif

#define PLA_PREHEAT_HOTEND_TEMP 180
#define PLA_PREHEAT_HPB_TEMP 70
#define PLA_PREHEAT_FAN_SPEED 255
#define ABS_PREHEAT_HOTEND_TEMP 240
#define ABS_PREHEAT_HPB_TEMP 100
#define ABS_PREHEAT_FAN_SPEED 255
#define SDSUPPORT

#define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER

#if defined (MAKRPANEL)
#define DOGLCD
#define SDSUPPORT
#define ULTIPANEL
#define NEWPANEL
#define DEFAULT_LCD_CONTRAST 17
#endif


#if defined (REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER)
#define DOGLCD
#define U8GLIB_ST7920
#define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER
#endif

#if defined(ULTIMAKERCONTROLLER) || defined(REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER) ||
defined(G3D_PANEL)
#define ULTIPANEL
#define NEWPANEL
#endif

#if defined(REPRAPWORLD_KEYPAD)
#define NEWPANEL
#define ULTIPANEL
#endif
#if defined(RA_CONTROL_PANEL)
#define ULTIPANEL
#define NEWPANEL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define LCD_I2C_TYPE_PCA8574
#define LCD_I2C_ADDRESS 0x27
#endif

#ifdef LCD_I2C_SAINSMART_YWROBOT
#define LCD_I2C_TYPE_PCF8575
#define LCD_I2C_ADDRESS 0x27
#define NEWPANEL
#define ULTIPANEL
#endif

#ifdef LCD_I2C_PANELOLU2
#define LCD_I2C_TYPE_MCP23017
#define LCD_I2C_ADDRESS 0x20
#define LCD_USE_I2C_BUZZER
#define NEWPANEL
#define ULTIPANEL
#ifndef ENCODER_PULSES_PER_STEP
#define ENCODER_PULSES_PER_STEP 4
#endif

#ifndef ENCODER_STEPS_PER_MENU_ITEM
#define ENCODER_STEPS_PER_MENU_ITEM 1
#endif

#ifdef LCD_USE_I2C_BUZZER
#define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_HZ 1000
#define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_DURATION_MS 100
#endif
#endif
#ifdef LCD_I2C_VIKI
#define LCD_I2C_TYPE_MCP23017
#define LCD_I2C_ADDRESS 0x20
#define LCD_USE_I2C_BUZZER
#define NEWPANEL
  #define ULTIPANEL
#endif

#ifdef SR_LCD
#define SR_LCD_2W_NL
#endif
#ifdef ULTIPANEL
#define SDSUPPORT
#define ULTRA_LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#ifdef DOGLCD
#define LCD_WIDTH 20
#define LCD_HEIGHT 5
#else
#define LCD_WIDTH 20
#define LCD_HEIGHT 4
#endif
#else
#ifdef ULTRA_LCD
#ifdef DOGLCD
#define LCD_WIDTH 20
#define LCD_HEIGHT 5
#else
#define LCD_WIDTH 20
#define LCD_HEIGHT 4
#endif
#ifdef ULTRA_LCD
#ifdef DOGLCD
#define LCD_WIDTH 20
#define LCD_HEIGHT 5
#else
#define LCD_WIDTH 16
#define LCD_HEIGHT 2
#endif
#endif
#endif
#ifdef DOGLCD
#Ifdef DEFAULT_LCD_CONTRAST
#define DEFAULT_LCD_CONTRAST 32
# endif
#endif


#define SOFT_PWM_SCALE 0
#include "Configuration_adv.h"
#include "thermistortables.h"

#endif
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารคู่มืออิเล็กทรอนิกส์

ข.1 เอกสารคู่มือการใช้งาน 8-35V 2A Single Bipolar Stepper Motor Driver Board A4988

Allegro MicroSystems, LLC

A4988

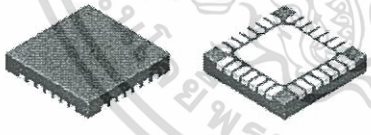
DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection

Features and Benefits

- Low $R_{DS(ON)}$ outputs
- Automatic current decay mode detection/selection
- Mixed and Slow current decay modes
- Synchronous rectification for low power dissipation
- Internal UVLO
- Crossover-current protection
- 3.3 and 5 V compatible logic supply
- Thermal shutdown circuitry
- Short-to-ground protection
- Shorted load protection
- Five selectable step modes: full, $1/2$, $1/4$, $1/8$, and $1/16$

Package:

28-contact QFN
with exposed thermal pad
5 mm × 5 mm × 0.90 mm
(ET package)



Description

The A4988 is a complete microstepping motor driver with built-in translator for easy operation. It is designed to operate bipolar stepper motors in full-, half-, quarter-, eighth-, and sixteenth-step modes, with an output drive capacity of up to 35 V and ±2 A. The A4988 includes a fixed off-time current regulator which has the ability to operate in Slow or Mixed decay modes.

The translator is the key to the easy implementation of the A4988. Simply inputting one pulse on the STEP input drives the motor one microstep. There are no phase sequence tables, high frequency control lines, or complex interfaces to program. The A4988 interface is an ideal fit for applications where a complex microprocessor is unavailable or is overburdened.

During stepping operation, the chopping control in the A4988 automatically selects the current decay mode, Slow or Mixed. In Mixed decay mode, the device is set initially to a fast decay for a proportion of the fixed off-time, then to a slow decay for the remainder of the off-time. Mixed decay current control results in reduced audible motor noise, increased step accuracy, and reduced power dissipation.

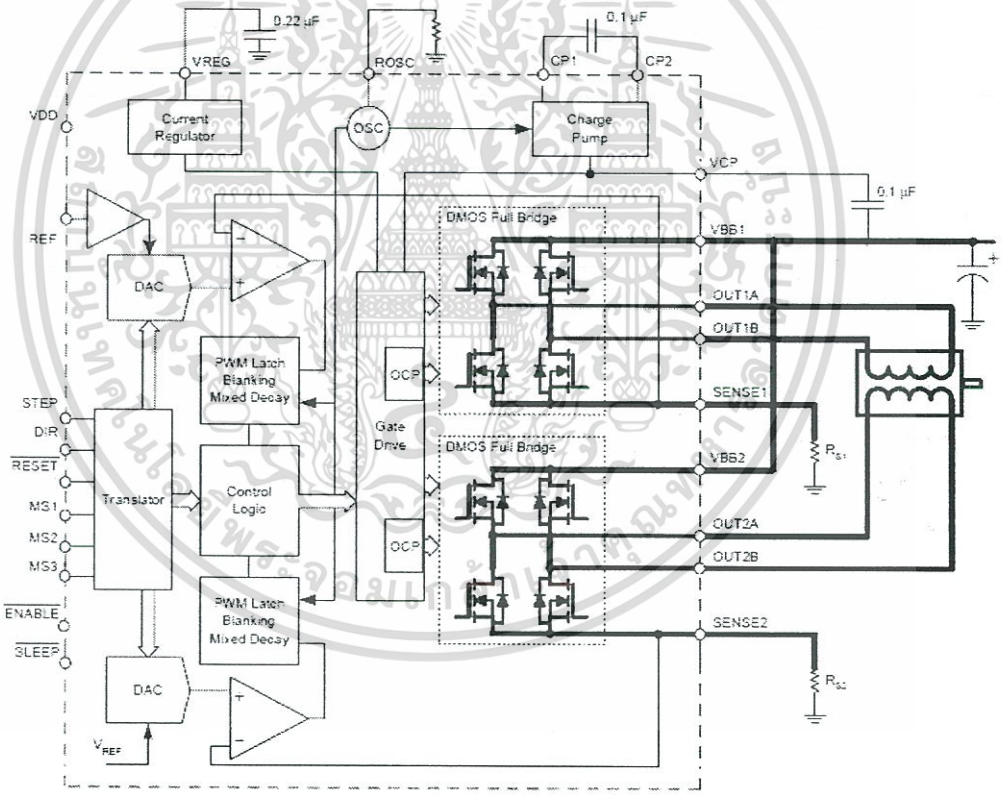
Selection Guide

Part Number	Package	Packing
A4988SETTR-T	28-contact QFN with exposed thermal pad	1500 pieces per 7-in. reel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Load Supply Voltage	V_{BB}		35	V
Output Current	I_{OUT}		±2	A
Logic Input Voltage	V_{IN}		–0.3 to 5.5	V
Logic Supply Voltage	V_{DD}		–0.3 to 5.5	V
Motor Outputs Voltage			–2.0 to 37	V
Sense Voltage	V_{SENSE}		–0.5 to 0.5	V
Reference Voltage	V_{REF}		5.5	V
Operating Ambient Temperature	T_A	Range S	–20 to 85	°C
Maximum Junction	T_J(max)		150	°C
Storage Temperature	T_{stg}		–55 to 150	°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.[2]	Max.	Units
Output Drivers						
Load Supply Voltage Range	V_{BB}	Operating	8	–	35	V
Logic Supply Voltage Range	V_{DD}	Operating	3.0	–	5.5	V
Output On Resistance	R_{DSON}	Source Driver, I_{OUT} = –1.5 A	–	320	430	mΩ
		Sink Driver, I_{OUT} = 1.5 A	–	320	430	mΩ
Body Diode Forward Voltage	V_F	Source Diode, I_F = –1.5 A	–	–	1.2	V
		Sink Diode, I_F = 1.5 A	–	–	1.2	V
Motor Supply Current	I_{BB}	f_{PWM} < 50 kHz	–	–	4	mA
		Operating, outputs disabled	–	–	2	mA
Logic Supply Current	I_{DD}	f_{PWM} < 50 kHz	–	–	8	mA
		Outputs off	–	–	5	mA
Control Logic						
Logic Input Voltage	$V_{IN(1)}$		V_{DD}×0.7	–	–	V
	$V_{IN(0)}$		–	–	V_{DD}×0.3	V
Logic Input Current	$I_{IN(1)}$	V_{IN} = V_{DD}×0.7	–20	<1.0	20	µA
	$I_{IN(0)}$	V_{IN} = V_{DD}×0.3	–20	<1.0	20	µA
Microstep Select	R_{MS1}	MS1 pin	–	100	–	kΩ
	R_{MS2}	MS2 pin	–	50	–	kΩ
	R_{MS3}	MS3 pin	–	100	–	kΩ
Logic Input Hysteresis	V_{HYSIN}	As a % of V_{DD}	5	11	19	%
Blank Time	t_{BLANK}		0.7	1	1.3	µs
Fixed Off-Time	t_{OFF}	OSC = VDD or GND	20	30	40	µs
		R_{OSC} = 25 kΩ	23	30	37	µs
Reference Input Voltage Range	V_{REF}		0	–	4	V
Reference Input Current	I_{REF}		–3	0	3	µA
Current Trip-Level Error[3]	err_I	V_{REF} = 2 V, %$I_{TRIPMAX}$ = 38.27%	–	–	±15	%
		V_{REF} = 2 V, %$I_{TRIPMAX}$ = 70.71%	–	–	±5	%
		V_{REF} = 2 V, %$I_{TRIPMAX}$ = 100.00%	–	–	±5	%
Crossover Dead Time	t_{DT}		100	475	800	ns
Protection						
Overcurrent Protection Threshold[4]	I_{OCPST}		2.1	–	–	A
Thermal Shutdown Temperature	T_{TSD}		–	165	–	°C
Thermal Shutdown Hysteresis	T_{TSDHYS}		–	15	–	°C
VDD Undervoltage Lockout	V_{DDUVLO}	V_{DD} rising	2.7	2.8	2.9	V
VDD Undervoltage Hysteresis	$V_{DDUVLOHYS}$		–	90	–	mV

[1]For input and output current specifications, negative current is defined as coming out of (sourcing) the specified device pin.

[2]Typical data are for initial design estimations only, and assume optimum manufacturing and application conditions. Performance may vary for individual units, within the specified maximum and minimum limits.

[3]V_{ERR} = [(V_{REF}/8) – V_{SENSE}] / (V_{REF}/8)

[4]Overcurrent protection (OCP) is tested at T_A = 25°C in a restricted range and guaranteed by characterization.

THERMAL CHARACTERISTICS

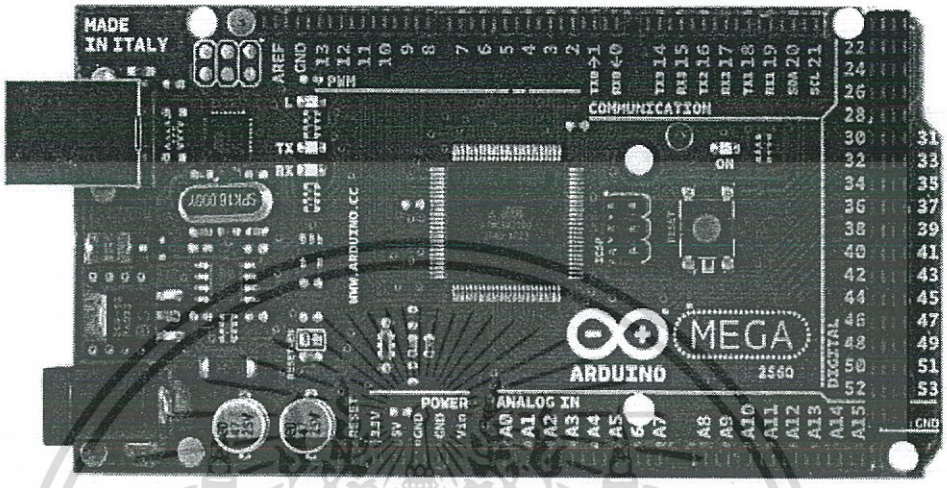
Characteristic	Symbol	Test Conditions*	Value	Units
Package Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Four-layer PCB, based on JEDEC standard	32	°C/W

*Additional thermal information available on Allegro Web site.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 เอกสารคู่มือการใช้งาน Arduino Mega 2560

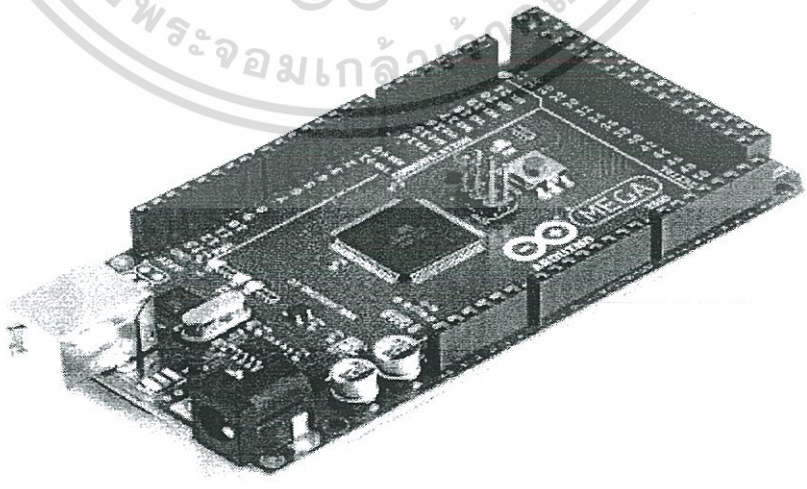
Arduino MEGA 2560



CE

Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 (datasheet). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

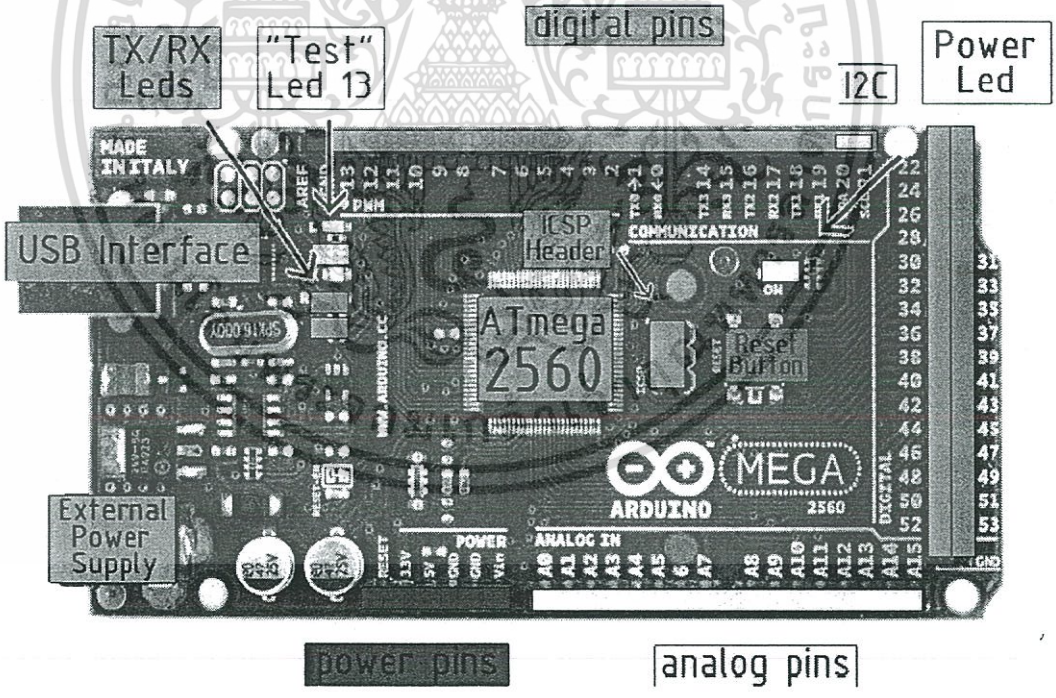
Technical Specification

EAGLE files: arduino-mega2560-reference-design.zip Schematic: arduino-mega2560-schematic.pdf

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

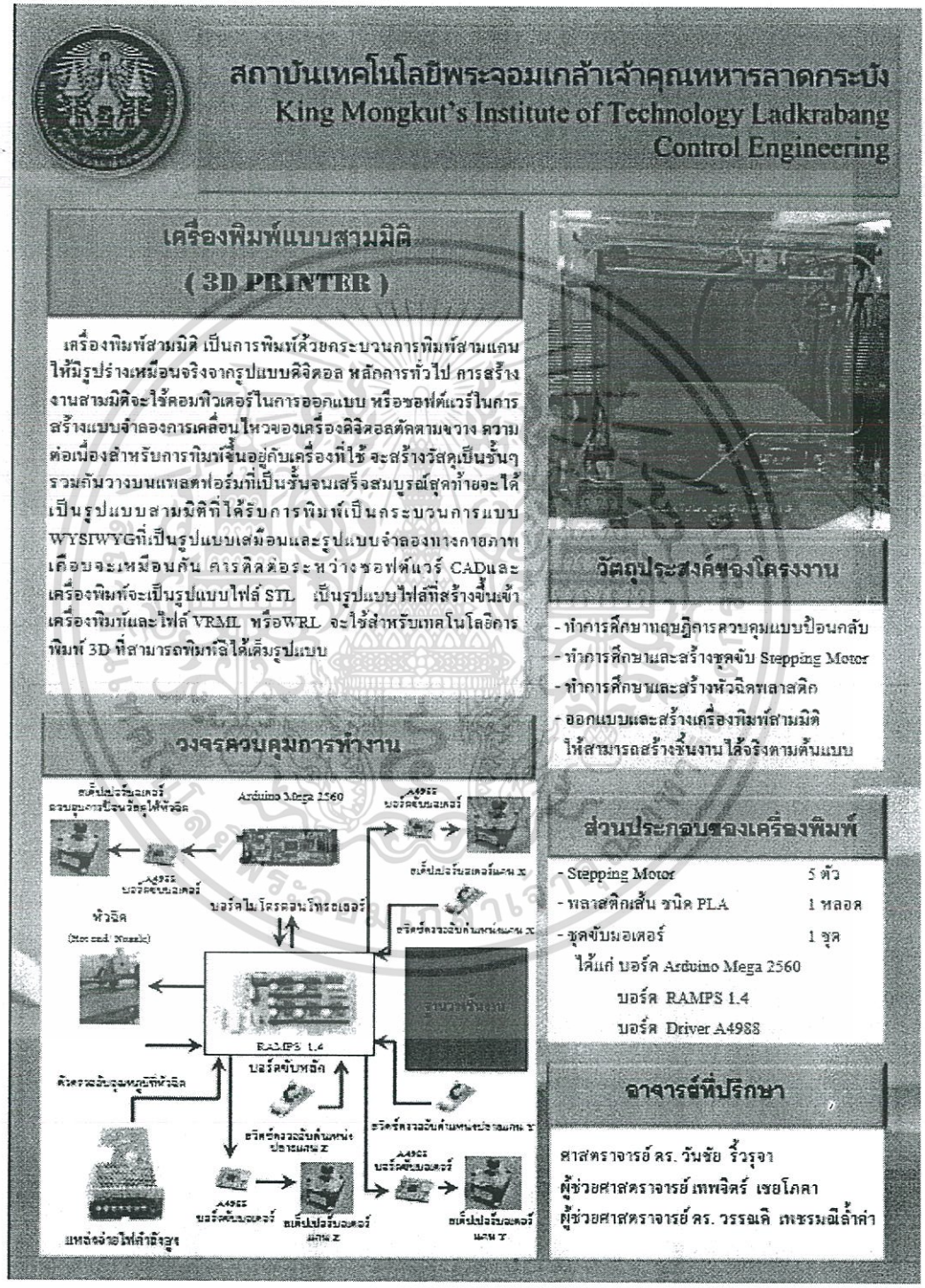
the board



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

โปสเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้