อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

การศึกษาและพัฒนาเครื่องขึ้นรูป 3 มิติ ด้วยการเติมเนื้อวัสดุ

THE STUDY AND DEVELOPMENT OF
FUSED FILAMENT FABRICATION 3D PRINTER

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน..........
เลขทะเบียน....1919651X
เลขเรียกหนังสือ..........

นายเชษฐพงศ์ รอดพ่าย รหัส 55360680
นายพิพัฒน์พล จิระรุ่งเสถียร รหัส 55360765
นางสาวมณีรัตน์ ดิษพัฒน์ รหัส 55360789

ปร
ธ711ก
2558

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2558

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อโครงงาน	: การศึกษาและพัฒนาเครื่องขึ้นรูป 3 มิติ ด้วยการเติมเนื้อวัสดุ THE STUDY AND DEVELOPMENT OF FUSED FILAMENT FABRICATION 3D PRINTER
ผู้ดำเนินโครงการ	: นายเชษฐพงศ์ รอดพ่าย รหัส 55360680 นายพิพัฒน์พล จิระรุ่งเสถียร รหัส 55360765 นางสาวมณีรัตน์ ดิษพัฒน์ รหัส 55360789
ที่ปรึกษาโครงงาน	: ดร. ศลิษา วีรพันธุ์
ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน	: ดร.สุเมธ เหมะวัฒนะชัย
ภาควิชา	: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	: 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการโครงงาน

....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร. ศลิษา วีรพันธุ์)

....ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน
(ดร. สุเมธ เหมะวัฒนะชัย)

....กรรมการ
(ผศ.ดร. ขวัญชัย ไกรทอง)

....กรรมการ
(อาจารย์ ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาและพัฒนาเครื่องขึ้นรูป 3 มิติ ด้วยการเติมเนื้อวัสดุ		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายเชษฐพงศ์	รอดพ่าย	รหัส 55360680
	นายพิพัฒน์พล	จิระรุ่งเสถียร	รหัส 55360765
	นางสาวมณีรัตน์	ดิษพัฒน์	รหัส 55360789
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. ศลิษา วีรพันธุ์		
ที่ปรึกษาร่วม	ดร. สุเมธ เหมะวัฒนะชัย		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2558		

บทคัดย่อ

โครงงานฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาและปรับปรุงเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดเส้นพลาสติกและเคลื่อนที่ตามแนวแกน X Y Z โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนแรกศึกษาหลักการทำงานชิ้นงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติต้นแบบ (Prusa i3) และปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปและคุณภาพชิ้นงาน โดยพิจารณา 5 ตัวแปร คือ อุณหภูมิหัวฉีด อุณหภูมิฐานความร้อน ความหนาแน่นการพิมพ์ ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงานและการทำงานพัดลมระบายความร้อน ส่วนที่สองจะเป็นการออกแบบและพัฒนาเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ให้มีขั้นตอนการประกอบที่ง่ายขึ้น เลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีราคาย่อมเยา และปรับปรุงชุดขับเส้นพลาสติกให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ส่วนที่สามเป็นการทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงานและคุณภาพชิ้นงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติรุ่น (Summer) เปรียบเทียบกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติต้นแบบ

จากการพัฒนาและทดสอบพบว่าเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Summer มีขั้นตอนการประกอบที่ง่ายกว่าเครื่องพิมพ์ Prusa i3 โดยพิจารณาจากผลการสอบถามผู้ทดลอง ด้านราคาเครื่องพิมพ์ เครื่องพิมพ์ Summer มีราคาที่ถูกกว่าเครื่องพิมพ์ Prusa i3 19 % แต่ด้านคุณภาพชิ้นงานเครื่องพิมพ์ Summer มีความละเอียดน้อยกว่า เครื่องพิมพ์ Prusa i3

Project title	THE STUDY AND DEVELOPMENT OF FUSED FILAMENT FABRICATION 3D PRINTER

Name	Mr. Chatthapong	Rodpai	Code 55360680
	Mr. Pipatthpon	Jirarrungsatian	Code 55360765
	Miss. Maneates	Dispat	Code 55360789
Project advisor	Dr. Salisa	Veerapun	
Co-advisor	Dr. Sumet	Heamawatanachai	
Major	Mechanical Engineering		
Department	Mechanical Engineering		
Academic year	2015		

Abstract

This Project is an experiment-driven development of a new FFF (Fused Filament Fabrication) 3D printer benchmarking with one of a well-known model, the Prusa i3, developed by RepRap organization. The project involves 3 stages. First, the parameters effected the operation of Prusa-i3 and printing quality are investigated Those parameters include nozzle and hot-bed temperature, printing density, printing speed and heat removal set-up Second, a new 3D-Printer called Summer. is developed based on thorough investigation of the result obtained beforehand. Finally Summer is tested and, work pieces are compared with those printed by Prusa-i3

The result shows that Summer has simpler process comparing to Prusa-i3 while costs down by 19 % However, by visual inspection, the specimens obtained from Summer than those printed by Prusa-i3 have lower quality

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้ดำเนินงาน ต้องขอขอบพระคุณ ดร.ศลิษา วีรพันธุ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างดำเนินโครงงาน ตลอดจนติดตามประเมินผลการดำเนินโครงงานมาโดยตลอด ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ดร.สุเมธ เหมะวัฒนะชัย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน ที่ช่วยชี้แนะข้อผิดพลาดต่างๆที่เกิดขึ้นและดูแลให้คำปรึกษาขณะดำเนินโครงงานนี้เสมอ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอน และให้ความรู้แก่ผู้ดำเนินงาน

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ช่วยสนับสนุนอุปกรณ์ เพื่อใช้ในการทดสอบโครงงาน

ขอขอบพระคุณฝ่ายเลขานุการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงงาน

สุดท้ายนี้ ผู้ดำเนินงานขอมอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากโครงงานนี้ แด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และถ้าเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงงานนี้ ผู้ดำเนินงานต้องกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้ดำเนินโครงงาน

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญานิพนธ์	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 สถานที่ดำเนินโครงการ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ความรู้เกี่ยวกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	7
2.2 กระบวนการเติมเนื้อวัสดุ (Additive Manufacturing : AM)	7
2.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	10
2.4 การเคลื่อนที่ตามแนวแกน 3 มิติ	13
2.5 เครื่องพิมพ์ 3 มิติต้นแบบ (Prusa i3)	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน	
3.1 แผนการดำเนินงาน	21
3.2 ขั้นตอนการใช้งานเครื่องพิมพ์	23
3.3 ขั้นตอนการตั้งค่าต่างๆจาก Software ควบคุม	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การทดสอบเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Prusa i3)

4.1 ส่วนประกอบเครื่องพิมพ์ 3 มิติต้นแบบ (Prusa i3) 27

4.2 การออกแบบการทดสอบ 28

4.3 ขั้นตอนการทดสอบ 28

4.4 ผลการทดสอบเครื่องพิมพ์ 33

4.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ 35

บทที่ 5 การพัฒนาเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Summer)

5.1 ปัญหาที่พบในจากเครื่องพิมพ์ต้นแบบ 42

5.2 แนวคิดการพัฒนา 44

5.3 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Summer) 46

5.4 รายการวัสดุและจัดซื้อ 55

5.5 ขั้นตอนการประกอบเครื่อง Summer 63

5.6 ระบบอิเล็กทรอนิกส์ 67

5.7 โปรแกรมควบคุม 69

บทที่ 6 การทดสอบเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Summer)

6.1 การทดสอบเครื่องพิมพ์ 74

6.2 ผลการทดสอบเครื่องพิมพ์ 75

6.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ 79

บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผล 81

7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาและปรับปรุง 84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	85
ภาคผนวก ก	86
ภาคผนวก ข	94
ภาคผนวก ค	152
ภาคผนวก ง	171
ภาคผนวก จ	184
ภาคผนวก ฉ	187

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน	3
2.1 หลักการทำงานของกระบวนการเติมเนื้อวัสดุ	8
4.1 กำหนดตัวแปรการทดสอบ	29
4.2 ตารางเกณฑ์การประเมินและขนาด	32
4.3 ตารางสรุปผลการทดสอบและกราฟเรดาร์	33
4.3.1 ทดสอบแปรผันค่าอุณหภูมิหัวฉีด	33
4.3.2 ทดสอบแปรผันค่าอุณหภูมิฐานความร้อน	34
4.3.3 ทดสอบแปรผันค่าความหนาแน่นชิ้นงาน	35
4.3.4 ทดสอบแปรผันค่าความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน	36
4.3.5 ทดสอบแปรผันค่าการทำงานพัดลมระบายความร้อน	38
5.3 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Summer)	
5.3.1 ชิ้นส่วนที่ต้องพิมพ์แบบ 3 มิติ	50
5.3.2 ชิ้นส่วนที่ต้องดัดแปลง	54
5.4 รายการวัสดุ	
5.4.1 รายการชิ้นส่วนที่ต้องพิมพ์ 3 มิติขึ้นมา	55
5.4.2 รายการวัสดุที่จัดซื้อ	59
6.1 กำหนดการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน	75
6.2 ตารางสรุปผลการทดสอบเครื่อง Summer	76
6.2.1 ทดสอบแปรผันค่าอุณหภูมิฐานความร้อน	76
6.2.2 ทดสอบแปรผันค่าความหนาแน่นชิ้นงาน	77
6.2.3 ทดสอบแปรผันค่าความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน	78
7.1 ชิ้นงานที่ดีที่สุดของเครื่อง Prusa i3 และ เครื่อง Summer	81
7.2 ชิ้นส่วนที่เสียหายได้ง่าย	83

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปทรง 3 มิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	10
2.2 แปลงเป็นข้อมูลในรูป .STL	10
2.3 อธิบายถึงการเคลื่อนที่ ตำแหน่งและการวางแนวที่ถูกต้อง	11
2.4 การตั้งค่าข้อจำกัดของวัสดุ	11
2.5 การขึ้นรูป	12
2.6 ชิ้นงานจากโปรแกรมและชิ้นงานที่พิมพ์ขึ้นรูปสำเร็จ	12
2.7 แนวการเคลื่อนที่ของเครื่อง CNC	13
2.8 การเคลื่อนที่เชิงเส้น X, Y และ Z และการเคลื่อนที่เชิงมุม A, B และ C	14
2.9 ใช้สายพานและพูเล่ย์ในการขับเคลื่อน	15
2.10 ใช้แกนเกลียวในการขับเคลื่อน	16
2.11 ฐานรองแบบร้อนด้านหลังและด้านหน้า	16
2.12 ขั้นตอนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก	17
2.13 ตัวควบคุม สเต็ปมอเตอร์และลิมิตสวิทช์	18
2.14 ภาพออกแบบ 3 มิติ ไฟล์ .STL	19
3.1 ลำดับขั้นตอนดำเนินงาน	22
3.2 ออกแบบชิ้นงานในโปรแกรม CAD	23
3.3 บันทึกไฟล์เป็นสกุล .STL	23
3.4 ไฟล์ชิ้นงานในโปรแกรม Cura	24
3.5 ไฟล์ชิ้นงานในโปรแกรม Repetier	24
3.6 เครื่องพิมพ์เริ่มทำงาน	25
3.7 เปิดไฟล์ .STL ในโปรแกรม Cura	25
3.8 ตั้งค่าการทำงาน	26
4.1 ตำแหน่งอุปกรณ์สำคัญและด้านหน้าและข้างของเครื่อง Prusa i3	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 ท็อปวิวและไอโซเมตริกของเครื่อง Prusa i3	28
4.3 ชิ้นงานต้นแบบ	32
5.1 โครงสร้างจากอะคริลิก	41
5.2 ตำแหน่งของสเต็ปมอเตอร์ ในแนวแกน x y z	42
5.3 ชุดขับเส้นพลาสติก	43
5.4 โครงสร้าง	44
5.5 ลดจำนวนสเต็ปมอเตอร์ในแนวแกน z เหลือเพียง 1 ตัว	45
5.6 ชุดขับเส้นพลาสติก	45
5.7 แบบ 3 มิติ	46
5.8 ภาพมุมมอง Isometric	47
5.9 ตำแหน่งของชิ้นส่วนที่พิมพ์ขึ้นรูปจากพลาสติก	47
5.10 ตำแหน่งของชิ้นส่วนที่พิมพ์ขึ้นรูปจากพลาสติก	48
5.11 ตำแหน่งของชิ้นส่วนที่พิมพ์ขึ้นรูปจากพลาสติก (ชุด Platform)	48
5.12 ตำแหน่งของชิ้นส่วนที่พิมพ์ขึ้นรูปจากพลาสติก (ชุดฉีดเส้นพลาสติก)	49
5.13 ชุดประกอบโครง	63
5.14 โครงเครื่องพิมพ์	63
5.15 ชุดประกอบการเคลื่อนที่แนวแกน Y	64
5.16 ชุดการเคลื่อนที่แนวแกน Y	64
5.17 ชุดการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z	65
5.18 ชุดฉีดเส้นพลาสติก	65
5.19 ประกอบชุด Platform Z	66
5.20 ชุดการเคลื่อนที่แนวแกน X	66
5.21 เครื่องพิมพ์ Summer หลังจากประกอบเรียบร้อย	67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.22 แผงผังวงจร electronics 67
5.23 แผงวงจรตัวควบคุม 68
5.24 สเต็ปมอเตอร์และ ลิมิตสวิทช์ 68
5.25 Thermistor และ Power supply 69
5.26 รูปการปรับตั้งค่าคำสั่งในโปรแกรม Arduino 70
5.27 การปรับค่า 70
5.28 จำลองการขึ้นรูป 71
5.29 เลือกชนิด support 71
5.30 Printer settings 72
6.1 ตำแหน่งอุปกรณ์สำคัญและด้านหน้าและข้างของเครื่อง Summer 74
6.2 ท็อปวิวของเครื่อง Summer 75
7.1 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของเครื่องพิมพ์ Prusa i3 และเครื่องพิมพ์ Summer 81
7.2 ตำแหน่งของชิ้นส่วนที่เสียหายได้ง่าย 82

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

เครื่องพิมพ์ 3 มิติ เป็นนวัตกรรมทางคอมพิวเตอร์ ที่ใช้ในการพิมพ์ชิ้นงานออกมาในรูปแบบ 3 มิติ ที่สามารถพิมพ์สิ่งของจากคอมพิวเตอร์ให้ออกมาในรูปทรง 3 มิติ เพื่อใช้ในงานต่างๆไม่ว่าจะเป็น งานทางด้านวิศวกรรม งานทางด้านสถาปัตยกรรม งานทางด้านการออกแบบ เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้สามารถสร้างชิ้นงานต้นแบบได้ในเวลาอันรวดเร็วและช่วยในการลดเวลาในการพัฒนาชิ้นงาน ในปัจจุบันเครื่องพิมพ์ 3 มิติยังคงเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงและมีการทำงานที่ซับซ้อน การเข้าถึงเทคโนโลยีนี้อยู่ในขอบเขตจำกัด

ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงได้ริเริ่มที่จะศึกษาและพัฒนาเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เพื่อให้กลุ่มนักเรียนนักศึกษาหรือบุคคลทั่วไปที่มีความสนใจสามารถใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีนี้ได้ จึงได้มีการนำเอาเครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น Prusa i3 ซึ่งเป็นเครื่องพิมพ์ที่มีราคาที่ย่อมเยาใช้งานง่าย เมื่อเปรียบเทียบราคากับเครื่องตัวอื่นในท้องตลาดมาทำการทดลอง ศึกษา เพื่อพัฒนาเป็นเครื่องเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Summer) ที่ประกอบและใช้งานได้ง่าย มีราคาถูกลง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาโครงสร้างและการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น Prusa i3

1.2.2 เพื่อหาแนวทางพัฒนาและปรับปรุงโครงสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

1.2.3 ออกแบบและสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (รุ่น Summer)

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการขึ้นรูป 3 มิติของเครื่องพิมพ์ต้นแบบ (Prusa i3) โดยพิจารณาจากอุณหภูมิหัวฉีด, อุณหภูมิของฐานให้ความร้อน, การตั้งค่าความหนาแน่นการพิมพ์, ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงานและการระบายความร้อนออกจากชิ้นงาน

1.3.2 พัฒนาและปรับปรุงเครื่องพิมพ์ 3 มิติ จากเครื่องพิมพ์ต้นแบบพร้อมทั้งจัดทำคู่มือการประกอบ

1.3.3 เปรียบเทียบการขึ้นรูป 3 มิติ ระหว่างเครื่องพิมพ์ 3 มิติต้นแบบ (Prusa i3) และเครื่องพิมพ์ที่พัฒนาขึ้น

1.4 สถานที่ดำเนินโครงงาน

อาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
1.5.2 ศึกษาและประกอบเครื่องพิมพ์ 3 มิติต้นแบบ (Prusa i3) เพื่อหาแนวทางการพัฒนา
1.5.3 ออกแบบเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ที่ปรับปรุงจากเครื่องพิมพ์ต้นแบบ
1.5.4 สร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ตัวใหม่ (Summer)
1.5.5 ทำการทดสอบและเปรียบเทียบระหว่างเครื่องพิมพ์ต้นแบบกับเครื่องพิมพ์ที่ ปรับปรุง
1.5.6 สรุปและจัดทำรายงาน

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เข้าใจหลักการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบ FFF (Fused Filament Fabrication) และปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูป
1.6.2 พัฒนาและสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

กิจกรรม	2558																2559																							
	ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.				เม.ย.				พ.ค.				มิ.ย.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. ศึกษาทฤษฎีการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติต้นแบบ																																								
2. ประกอบเครื่องพิมพ์ต้นแบบ																																								
2.1 ตรวจสอบนับชิ้นส่วน																																								
2.2 วัดชิ้นส่วนต่างๆ ในรูปแบบ 3 มิติต้นแบบ (Prusa i3)																																								
2.3 วาดชิ้นส่วนต่างๆ ในรูปแบบ 3 มิติ ลงในโปรแกรมเขียนแบบ																																								
2.4 ประกอบโครง																																								
2.5 ประกอบรางสไลด์และประกอบชุดสเต็ปมอเตอร์แนวแกน Y																																								

ตารางแสดงการดำเนินงานของโครงงาน (ต่อ)

กิจกรรม	2558																2559																							
	ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.				เม.ย.				พ.ค.				มิ.ย.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
2.6 ประกอบชุดหัวฉีดและประกอบชุดสเต็ปมอเตอร์แนวแกน X																																								
2.7 ประกอบชุดสเต็ปมอเตอรแกน Z																																								
2.8 ติดตั้งชุดควบคุม																																								
2.9 ติดตั้งโปรแกรมควบคุม																																								
3. การทดสอบเครื่องพิมพ์ต้นแบบ																																								
3.1 การทดลองเปลี่ยนค่า (Density)																																								
3.2 การทดลองเปลี่ยนค่า (Heat extruder)																																								
3.3 การทดลองเปลี่ยนค่า (Hot bed)																																								
3.4 การทดลองเปลี่ยนค่า (Print speed)																																								

ตารางแสดงการดำเนินงานของโครงงาน (ต่อ)

กิจกรรม	2558																2559																							
	ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.				เม.ย.				พ.ค.				มิ.ย.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
3.5 การทดลองเปลี่ยนค่า (Fan output)																											■	■												
4. วิเคราะห์ผลการทดสอบและสรุปผล																											■	■												
5. ออกแบบเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Summer)																													■	■	■	■								
5.1 ตรวจสอบรายการชิ้นส่วน																													■	■	■	■								
5.2 ซื้อสินส่วนและตรวจนับ																																	■							
5.3 พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนที่ต้องการ																																		■	■					
5.4 ตรวจสอบชิ้นส่วนที่ต้องใช้ทั้งหมด																																		■	■					
5.5 ประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ตามการออกแบบ																																		■	■					
6. ทดสอบเครื่องพิมพ์ (Summer)																																								
6.1 การทดลองเปลี่ยนค่า (Density)																																				■				

ตารางแสดงการดำเนินงานของโครงงาน (ต่อ)

กิจกรรม	2558												2559																											
	ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.				เม.ย.				พ.ค.				มิ.ย.				ก.ค.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	2	2	2	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
6.2 การทดลองเปลี่ยนค่า (Heat extruder)																																	■							
6.3 การทดลองเปลี่ยนค่า (Hot bed)																																		■						
6.4 การทดลองเปลี่ยนค่า (Print speed)																																			■					
6.5 การทดลองเปลี่ยนค่า (Fan output)																																			■					
7. วิเคราะห์ผลการทดลอบและสรุปผล																																				■				
8. สรุปผลและจัดทำรูปเล่ม																																					■	■	■	

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของระบบการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยกล่าวถึง ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ กระบวนการเติมเนื้อวัสดุ การเคลื่อนที่ตามแนวแกน 3 มิติ และการทำงานของระบบซอฟต์แวร์

2.1 ความรู้เกี่ยวกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติ หรือ 3D printer คือเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการเติมเนื้อวัสดุ เพื่อทำให้วัสดุนั้นเกิดเป็นรูปร่างที่สามารถจับต้องได้ตามที่ต้องการ การเติมเนื้อหรือพิมพ์วัสดุลงไปนั้นเรียกว่า Additive Process ซึ่งการขึ้นรูปนั้นจะค่อยเป็นไปทีละชั้น ซึ่งเป็นหลักการเดียวกับการพิมพ์งานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ หน้าที่หลักของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ คือ สร้างชิ้นงานจริงออกมาตามรูปร่างและขนาดท่ออกแบบไว้

2.2 กระบวนการเติมเนื้อวัสดุ (Additive Manufacturing : AM)

กระบวนการเติมเนื้อวัสดุ (Additive Manufacturing : AM) เป็นการพัฒนาและการใช้กระบวนการในการผลิตแบบ Additive Manufacturing หรือก็คือการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการเติมเนื้อวัสดุเข้าไป ซึ่งต่างจากการผลิตแบบกัดเนื้อวัสดุออกหรือ Subtractive Manufacturing อย่างเช่นการกลึง , เจาะ , กัด , ไส , เจียระไน ฯลฯ การพัฒนากระบวนการการเติมเนื้อวัสดุนั้นมีมาอย่างต่อเนื่องกลไกขับเคลื่อนการพัฒนานี้มาจากเทคโนโลยี วิธีการ และการนำไปประยุกต์ใช้งานที่ทันสมัยและแพร่หลายขึ้น กระบวนการเติมเนื้อวัสดุคือเทคโนโลยีด้านหนึ่งที่ใช้สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานในลักษณะที่จับต้องได้ เป็นชิ้นส่วนต้นแบบ หรือรวมไปถึงชิ้นงานที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยการขึ้นรูปเป็นไปตามแบบ 3D CAD

เทคโนโลยีกระบวนการเติมเนื้อวัสดุสามารถใช้ในการผลิตชิ้นส่วนต่างๆที่มีความซับซ้อนได้ กระบวนการเติมเนื้อวัสดุนั้นจึงมีการทำงานที่แม่นยำและใช้หลักการการเชื่อมต่อกันของวัสดุที่อยู่ในรูปแบบต่าง เช่น ในรูปแบบของเหลว ผง หรือแผ่นวัสดุบางๆ การทำงานของการขึ้นรูป ทำงานโดย

การเพิ่มวัสดุขึ้นมาทีละชั้น โดยแต่ละชั้นจะมีพื้นที่เป็นพื้นที่ตัดขวาง ที่ได้มาจากข้อมูลในระบบคอมพิวเตอร์ให้ออกแบบ (CAD)

ผู้ผลิตและพัฒนาเทคโนโลยีกระบวนการเติมเนื้อวัสดุ แยกสถานะวัสดุที่ใช้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ ของเหลว , เส้นใย , ผงและแผ่นแข็ง ซึ่งวัสดุแต่ละสถานะมีกระบวนการทำงานที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 หลักการทำงานของกระบวนการเติมเนื้อวัสดุ

สถานะ	กระบวนการ	การจัดเตรียมวัสดุ	เทคนิคการสร้างชั้น	การเปลี่ยนสถานะ	ชนิดวัสดุ
ของเหลว	SLA	ถังเรซินเหลว	ยิงแสงเลเซอร์/ฉายแสง	ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน	เรซิน,เซรามิกส์
	MJM	พอลิเมอร์เหลวในหัวฉีด	พ่นหมึก	ให้ความเย็นและปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน	อะคริลิค,ขี้ผึ้ง
	RFP	ของเหลวในหัวฉีด	หยดของเหลว	แข็งตัวโดยการให้ความเย็น	น้ำ
เส้นใย	FFF	เส้นใยหลอมละลายในหัวฉีด	ฉีดขึ้นรูปอย่างต่อเนื่อง	แข็งตัวโดยการระบายความร้อน	เทอร์โมเซท เทอร์โมพลาสติก, Waxs
	Robo casting	ป้อนในหัวฉัด	ฉีดขึ้นรูปอย่างต่อเนื่อง	-	เซรามิกส์
	FEF	ป้อนในหัวฉีด	ฉีดขึ้นรูปอย่างต่อเนื่อง	แข็งตัวโดยการให้ความเย็น	เซรามิกส์

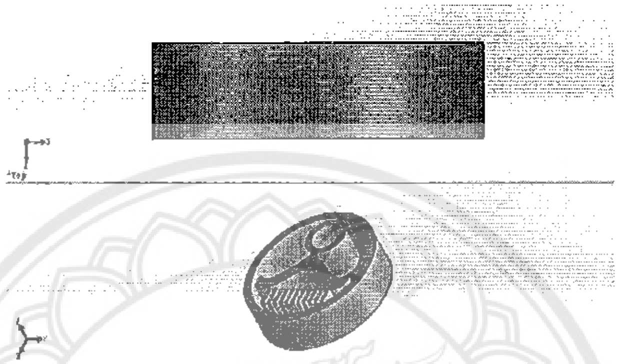
ตารางที่ 2.1 หลักการทำงานของกระบวนการเติมเนื้อวัสดุ (ต่อ)

สถานะ	กระบวนการ	การจัดเตรียมวัสดุ	เทคนิคการสร้างชั้น	การเปลี่ยนสถานะ	ชนิดวัสดุ
ผง	SLS	ผงวัสดุบนฐาน	เลเซอร์สแกน	หลอมละลายบางส่วน	โลหะ, พลาสติก, เซรามิกส์และแก้ว
	SLM	ผงวัสดุบนฐาน	เลเซอร์สแกน	หลอมละลายทั้งหมด	โลหะ
	EBM	ผงวัสดุบนฐาน	ลำแสงอิเล็กตรอนสแกน	หลอมละลายทั้งหมด	โลหะ
แผ่นแข็ง	LOM	ตัดด้วยเลเซอร์	ตัดชิ้นงานและติดเข้าด้วยกัน	-	กระดาษ, พลาสติก, โลหะ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติที่ทำการศึกษาและพัฒนานั้นใช้เทคโนโลยีแบบ Fused Filament Fabrication (FFF) จึงมีขั้นตอนการขึ้นรูป ดังนี้

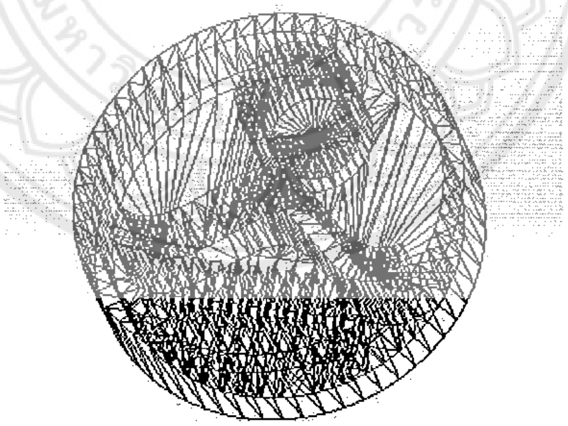
2.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยกระบวนการ

2.3.1 ออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรมออกแบบ 3 มิติมาตรฐานทั่วไป เช่น Sketchup , Solidworks , Autocad 3D , Autodesk 3D max , Rhino ดังรูปที่ 2.1 กระบวนการขึ้นรูปจะเริ่มจากการออกแบบรูปทรง 3 มิติ จากโปรแกรม CAD ต่างๆ



รูปที่ 2.1 รูปทรง 3 มิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

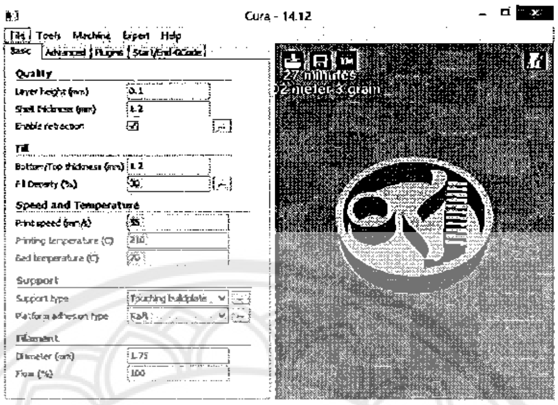
2.3.2 จัดเก็บไฟล์และส่งออกข้อมูล ในรูปแบบข้อมูล .STL



รูปที่ 2.2 แปลงเป็นข้อมูลในรูป .STL

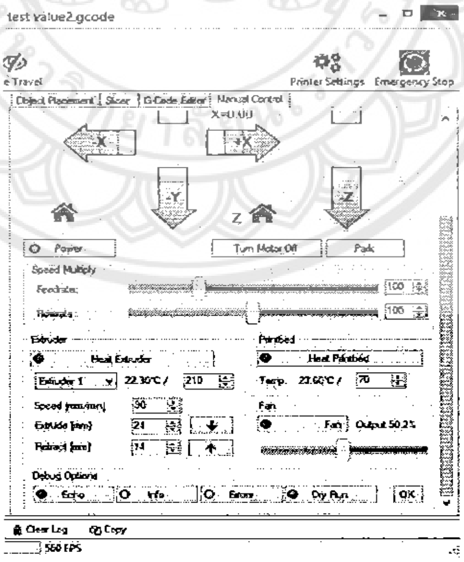
2.3.3 นำเข้าไฟล์ .STL เพื่อจัดวางตำแหน่งบนแท่นพิมพ์จำลอง กำหนดคุณสมบัติของการพิมพ์ชิ้นงาน ความสูงต่อชั้น ความละเอียดของผิวชิ้นงาน ความหนาของชิ้นงาน ความหนาแน่นของชิ้นงาน ความเร็วในการพิมพ์ อุณหภูมิในการละลายเส้นพลาสติก ขนาดของเส้นพลาสติกที่ใช้ โดยโปรแกรมจะแปลงคำสั่งในการพิมพ์ออกเป็นชั้นๆ (layers) เรียกว่า G-

Code ส่งคำสั่งต่อไปยังเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เพื่อตรวจสอบตำแหน่งและการวางแนวที่ถูกต้อง ดังรูปที่ 2.3



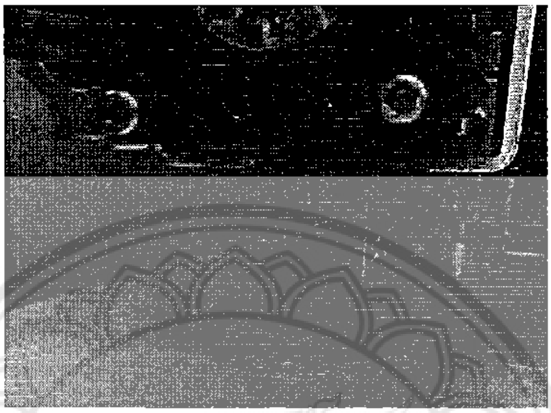
รูปที่ 2.3 อธิบายถึงการเคลื่อนที่ ตำแหน่งและการวางแนวที่ถูกต้อง

2.3.4 นำเข้าไฟล์ G-Code กำหนดอุณหภูมิของหัวพิมพ์และแท่นพิมพ์ให้เหมาะสม ปรับแต่งระยะหัวพิมพ์กับแท่นพิมพ์ให้ได้ระดับ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การตั้งค่าข้อจำกัดของวัสดุ

2.3.5 สั่งพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน ขั้นตอนของการขึ้นรูปชิ้นงานจะเป็นกระบวนการอัตโนมัติของเครื่องจักร ดังรูปที่ 2.5 ในช่วงแรกของการพิมพ์อาจมีการตรวจสอบบ้างเพื่อให้แน่ใจว่าการฉีดวัสดุ ตัวจ่ายไฟ และโปรแกรมไม่มีปัญหา

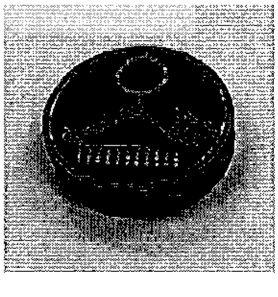


รูปที่ 2.5 การขึ้นรูป

2.3.6 การนำชิ้นงานออก เมื่อเครื่องขึ้นรูปวัสดุได้ขึ้นรูปเสร็จสิ้น ในการนำชิ้นงานออกนั้นจะต้องสั่งหยุดการทำงานของเครื่องเพื่อความปลอดภัยและต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าที่อุณหภูมิอยู่ในระดับต่ำพอหรือว่าเครื่องจักรได้หยุดทำงานแล้ว

2.3.7 หลังสิ้นสุดกระบวนการ เมื่อนำชิ้นงานที่ทำการขึ้นรูปออกมาแล้วนั้น ต้องทำความสะอาดก่อนการใช้งาน บางชิ้นส่วนที่มี Support ต้องนำเอา Support ออก ดังรูปที่ 2.6 ข. ซึ่งจะต้องใช้ความระมัดระวัง

ก.ชิ้นงานจากการออกแบบโดยโปรแกรม (CAD)



ข.ชิ้นงานที่พิมพ์สำเร็จ

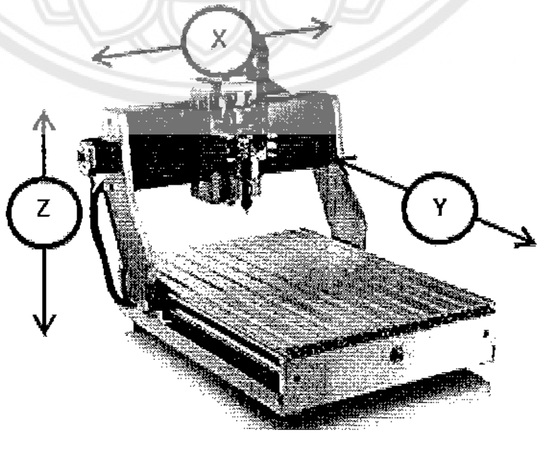
รูปที่ 2.6 ชิ้นงานจากโปรแกรมและชิ้นงานที่พิมพ์ขึ้นรูปสำเร็จ

2.4 การเคลื่อนที่ตามแนวแกน 3 มิติ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติมีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับการทำงานของเครื่อง CNC ซึ่งเป็นกระบวนการกัดเนื้อวัสดุออก (Subtractive Process) แต่มีการปรับเปลี่ยนบางส่วน โดยเปลี่ยนจากหัวกัดแบบของเครื่อง CNC เป็นหัวฉีดวัสดุ ในด้านการทำงานจะต่างกัน โดยเครื่อง CNC ใช้หัวสว่านติดกับดอกสว่านแบบต่างๆ ในการกึด ตัด หรือเจาะ วัสดุให้เป็นรูปร่างต่างๆ ตามต้องการ มีระบบมอเตอร์เคลื่อนที่ไปในทิศทาง 3 มิติ (แกน X, Y และ Z) ดังรูปที่ 2.7 ในขณะที่เครื่องพิมพ์ 3 มิตินั้นใช้การเคลื่อนที่ของมอเตอร์เหมือนกับเครื่อง CNC แต่สิ่งที่ต่างกันคือ มีหัวฉีดที่ใช้ฉีดพลาสติกเป็นชั้นๆ เรียงตัวขึ้นไป สร้างเป็นรูปทรงต่างๆ ในแต่ละชั้นมีความละเอียดในระดับมิลลิเมตร

ดังนั้นเราจึงได้ศึกษาหลักการเคลื่อนที่ของเครื่อง CNC เพื่ออ้างอิงหลักการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เครื่อง CNC เป็นเครื่องจักรกลที่พัฒนาระบบมาจากเครื่อง NC (Numerical Control) กล่าวคือ เป็นการนำเอาระบบคอมพิวเตอร์มาควบคุมการทำงานของเครื่อง หรือสั่งให้เครื่องทำงานโดยอาศัย โปรแกรมหรือคำสั่งที่เขียนขึ้นมาผ่านชุดควบคุมการทำงานของเครื่องคอนโทลเลอร์ เพื่อบังคับแนวแกนการเคลื่อนที่ของเครื่องให้เดินไปตามโปรแกรมที่เขียนไว้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการทำงาน

แนวแกนการเคลื่อนที่ของเครื่องกัด CNC

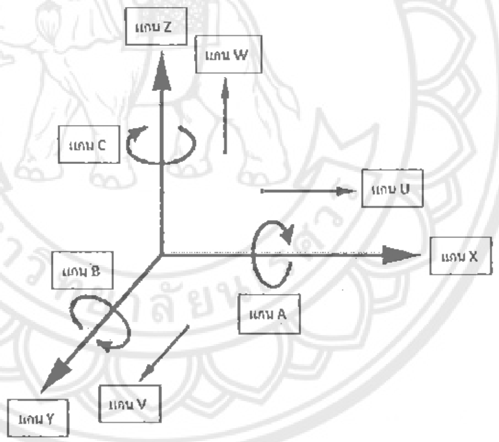


รูปที่ 2.7 แนวการเคลื่อนที่ของเครื่อง CNC

เครื่องกัด CNC นั้น จะประกอบไปด้วย แนวแกน X เป็นแนวแกนที่ทำให้โต๊ะงาน นั้น เคลื่อนที่ตัดขวางกับแนวแกนของหัวจับเครื่องมือตัด (Spindle) ส่วนแนวแกน Y เป็นแนวแกน ที่ทำให้โต๊ะงานเคลื่อนที่เข้าออกในแนวตั้งฉากหรือตัดขวางกับแนวแกน X และ แนวแกน Z ส่วนใหญ่จะเป็นแนวแกนการเคลื่อนที่ขึ้นลงของหัวจับเครื่องมือกัด

ส่วนใหญ่เครื่องจักรกล CNC นั้นจะมีการเคลื่อนที่แบบการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Motion) หรือตามแนวของแกน X, Y และ Z และการเคลื่อนที่แบบเชิงมุม (Angular Motion) หรือการหมุนรอบตามแนวแกน X, Y และ Z ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งจะใช้แทนในแนวแกน ดังนี้

- การหมุนรอบแกน X จะแทนแนวแกนหมุนด้วย A
- การหมุนรอบแกน Y จะแทนแนวแกนหมุนด้วย B
- การหมุนรอบแกน Z จะแทนแนวแกนหมุนด้วย C



รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่เชิงเส้น X, Y และ Z และการเคลื่อนที่เชิงมุม A, B และ C [2]

ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติจะใช้หลักการคล้ายๆ กับการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องกัด CNC แนวตั้ง แต่แค่เปลี่ยนจากหัวกัดที่กัดเนื้อวัสดุลงไปเป็นชั้นๆ เป็นหัวฉีดที่ฉีดวัสดุขึ้นมาเป็นชั้นๆแทน

2.5 เครื่องพิมพ์ 3 มิติต้นแบบ (Prusa i3)

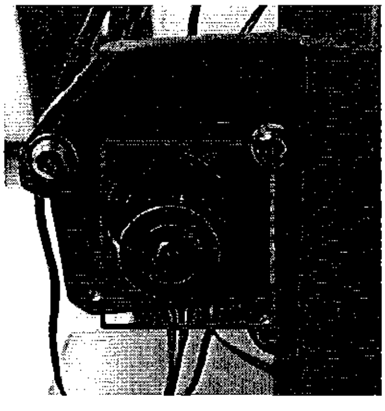
เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Prusa i3 ถูกพัฒนาขึ้นมาเมื่อปี 2010 ภายใต้ใบอนุญาต GPL ผลิตขึ้นโดยองค์กร RepRap ซึ่งเป็นองค์กรผลิตเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ในรูปแบบ Open Source วัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Prusa i3 คือ เป็นเครื่องพิมพ์ที่มีราคาถูกและมีขั้นตอนการประกอบง่าย ระบบการเคลื่อนนั้น ใช้ระบบการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X Y Z ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเติมเนื้อวัสดุ และขนาดชิ้นงานที่เครื่องสามารถพิมพ์ได้สูงสุดคือที่ความกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร และหนา 200 มิลลิเมตร

2.5.1 โครงสร้าง

โครงสร้างของเครื่องพิมพ์ 3 มิติต้นแบบ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X Y Z และ ส่วนฐานของเครื่องพิมพ์

2.5.1.1 ส่วนของการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X Y Z การเคลื่อนที่ของแต่ละแนวแกนนั้นจะเป็นดังนี้คือ ในแนวแกน X จะเคลื่อนที่ไปมาซ้ายและขวา ในแนวแกน Y จะเคลื่อนไหวไปข้างหน้าและข้างหลัง และในแนวแกน Z จะเคลื่อนที่ในทิศทางขึ้นลง การเคลื่อนที่เชิงเส้นโดยทั่วไป สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วย 2 วิธี ที่แตกต่างกัน คือ

- การใช้สายพานและพูเล่ย์ในการขับเคลื่อน พูเล่ย์มีลักษณะที่มีฟันเป็นซี่เพื่อขับสายพาน สามารถทำงานร่วมกับสายพานได้อย่างดี ตัวอย่างพูเล่ย์ที่ใช้ในเครื่องพิมพ์ 3 มิติ คือ พูเล่ย์รุ่น GT2 ที่ได้รับการออกแบบมาสำหรับการเคลื่อนไหวเชิงเส้นของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ การใช้สายพานและพูเล่ย์ในการขับเคลื่อนจะมีความรวดเร็วและการเคลื่อนที่ ส่วนการเคลื่อนที่โดยใช้แกนเกลียวการเคลื่อนที่นั้นจะช้าแต่มีแรงที่ดี และมีสเกลการเคลื่อนที่ละเอียด

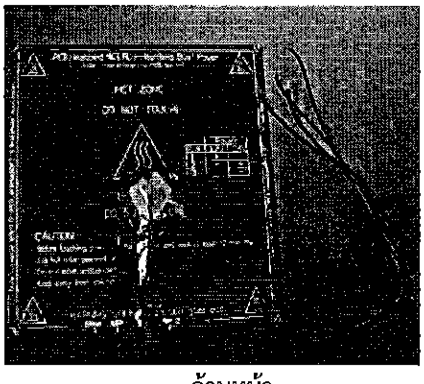


รูปที่ 2.9 ใช้สายพานและพูเล่ย์ในการขับเคลื่อน

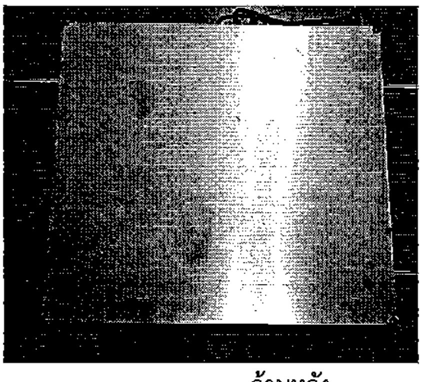
- การใช้แกนเกลียวในการขับเคลื่อน แนวการเคลื่อนที่ในแกนแกน Z จะใช้แกนเกลียวในการขับเคลื่อน ซึ่งต้องการการเคลื่อนที่ที่ละเอียดกว่าในแนวแกน X และ Y เพราะการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z จะต้องใช้ความละเอียดสูงและรับแรงมาก

รูปที่ 2.10 ใช้แกนเกลียวในการขับเคลื่อน

2.5.1.2 ส่วนฐานของเครื่องพิมพ์ จากรูปที่ 2.11 ฐานวางชิ้นงานแบบร้อน (Heat Bed) ทำจากกระจกหรือวัสดุโลหะที่มีการถ่ายเทความร้อนได้ ความร้อนนี้มาจากแผ่นขดลวดความร้อนที่ติดอยู่ด้านหลังของฐานวางชิ้นงาน มีอุณหภูมิอยู่ที่ 40 ถึง 110 องศาเซลเซียส มีตัวตรวจจับอุณหภูมิติดตั้งอยู่เพื่อวัดอุณหภูมิของฐานวางชิ้นงาน เมื่อเส้นพลาสติกฉีดลงมาถึงฐานวาง เส้นพลาสติกจะอุ่นและหลอมติดอยู่กับฐานวางชิ้นงานโดยไม่หลุดออกไป เครื่องพิมพ์ที่ใช้ฐานวางแบบนี้จะใช้งานได้กับเส้นพลาสติกทั้งแบบ ABS และ PLA



ด้านหน้า

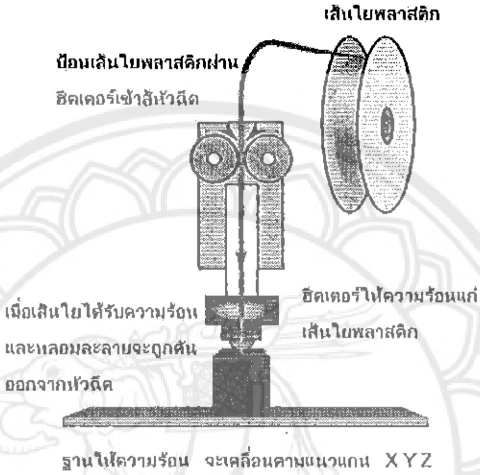


ด้านหลัง

รูปที่ 2.11 ฐานรองแบบร้อนด้านหลังและด้านหน้า

2.5.2 ระบบฉีดพลาสติกแบบ Fused Filament Fabrication (FFF)

ระบบฉีดพลาสติกแบบ FFF นั้น จะใช้ความร้อนละลายเส้นใยพลาสติกและฉีดพลาสติกเข้าสู่ตำแหน่งที่กำหนด โดยฉีดขึ้นไปเป็นชั้นๆ จากชั้นล่างขึ้นสู่ชั้นบนตามการออกแบบ พลาสติกเหลวที่ไหลออกมาจากหัวฉีดจะเริ่มกลับไปแข็งตัวและเชื่อมกันเป็นชั้นๆจนได้รูปตามต้องการ



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก [3]

จากรูปที่ 2.12 ขั้นตอนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก หัวฉีดทำหน้าที่ฉีดเส้นพลาสติกออกมา โดยหัวฉีดมีตัวทำความร้อนให้ถึงจุดที่เส้นพลาสติกละลายเป็นของเหลว เมื่อเส้นพลาสติกหลอมเหลวจะถูกฉีดผ่านหัวฉีดออกมา โดยปกติหัวฉีดจะมีรูขนาด 0.4 มิลลิเมตร เครื่องจะมีมอเตอร์ทำการเคลื่อนหัวฉีด หรือฐานพิมพ์ให้เคลื่อนที่ และพิมพ์ไปทีละชั้น จนออกมาเป็นงานขึ้นรูป

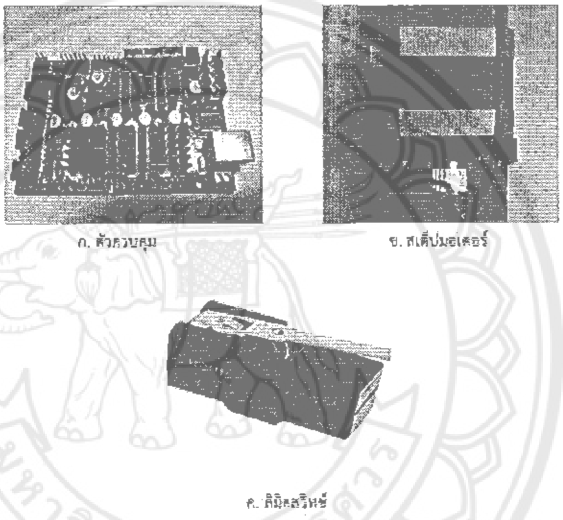
2.5.3 งานระบบอิเล็กซ์ทรอนิกส์

งานอิเล็กทรอนิกส์เครื่องพิมพ์ 3 มิติ แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ตัวควบคุม สเต็ปมอเตอร์ และลิมิตสวิตซ์

2.5.3.1 ตัวควบคุม รูป ก. เป็นส่วนสำคัญของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งตัวควบคุมเกือบทุกตัวจะขึ้นอยู่กับการทำงานของ Microcontroller เป็นหลัก

2.5.3.2 สเต็ปมอเตอร์ สเต็ปมอเตอร์เป็นชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าที่เป็นตัวควบคุมความแม่นยำการเคลื่อนที่ รูป ข. ส่วนใหญ่เครื่องพิมพ์ 3 มิติ จะใช้สเต็ปมอเตอร์ 4 – 5 ตัว ซึ่งนำไปใช้กับแนวแกน X Y Z จำนวน 3 – 4 ตัว (บางครั้งแกน Z ใช้สเต็ปมอเตอร์ควบคุมจำนวน 2 ตัว) และจะใช้สเต็ปมอเตอร์ 1 ตัวในการควบคุมชุดหัวฉีด

2.5.3.3 ลิมิตสวิทช์ รูป ค. คือ ตัวทำหน้าที่ส่งคำสั่งให้สเต็ปมอเตอร์หยุดทำงานเมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่มาชน ซึ่งจะมีติดอยู่ที่ตัวเครื่องที่หมดจำนวน 3 ตัว



รูปที่ 2.13 ตัวควบคุม สเต็ปมอเตอร์และลิมิตสวิทช์

2.5.4 ซอฟต์แวร์

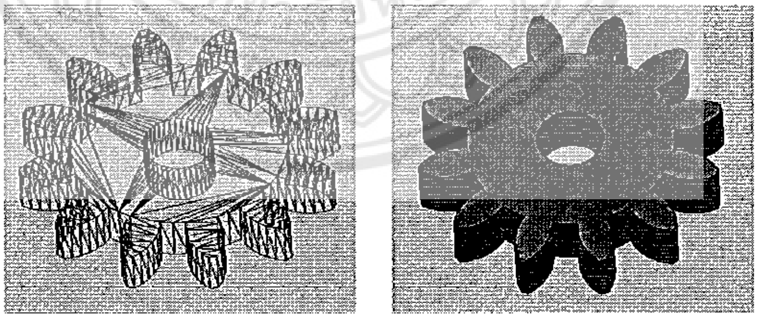
ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในระบบเครื่องพิมพ์ 3 มิติ แบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ Computer Aided Design (CAD) และระบบคอมพิวเตอร์ช่วยผลิต Computer Aided Manufacturing (CAM)

2.5.4.1 ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ Computer Aided Design (CAD) ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบนั้น จะเป็นตัวช่วยให้สามารถคำนวณและจำลองทางด้านเรขาคณิต เพื่อให้ได้รูปจำลอง รูปวาด รูปแบบงาน ของชิ้นส่วนที่ออกแบบไว้ ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ มี 2 แบบ ได้แก่ ระบบช่วยออกแบบแบบฟรีแวร์ และระบบช่วยออกแบบเชิงพาณิชย์ ระบบช่วยออกแบบฟรีแวร์เป็นซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย แต่ก็

จะมีข้อกำหนดในการใช้งานซอฟต์แวร์นั้น เช่น ซอฟต์แวร์นั้นไม่สามารถนำไปพัฒนาหรือแสวงหาผลประโยชน์จากซอฟต์แวร์ได้ ตัวอย่างระบบช่วยพิมพ์แบบฟรีแวร์ เช่น AUTODESK 123D DESIGN , TINKERCAD เป็นต้น ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงาน 3 มิติ ได้ในระดับหนึ่ง ระบบช่วยออกแบบเชิงพาณิชย์ เป็นซอฟต์แวร์ที่จะต้องมีการจัดซื้อก่อนที่จะนำมาใช้ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์นั้นมีฟังก์ชั่นการทำงานที่ครบถ้วนหลากหลาย ยกตัวอย่างระบบช่วยพิมพ์แบบเชิงพาณิชย์ เช่น Solidwork , AutoCAD , Autodesk , Sketchup

ไฟล์ Stereolithography (STL) ซอฟต์แวร์สำหรับกระบวนการขึ้นรูปวัสดุด้วยการเติมเนื้อวัสดุ ไฟล์ .STL เป็นไฟล์หนึ่งที่สามารถส่งข้อมูลออกในรูปแบบของ ไบนารี หรือ ASCII ซึ่งง่ายต่อการเข้าใจ ส่วนใหญ่กระบวนการเติมเนื้อวัสดุ จะทำงานด้วยไฟล์ .STL ซึ่งไฟล์นี้จะแสดงการประมาณของพื้นผิว และข้อมูล เป็นจุด เส้นตรง หรือเส้นโค้ง ที่ใช้ในการสร้างพื้นผิวของวัสดุ ไฟล์ STL จะเก็บข้อมูลในรูปของ Surface หรือ Solid ในรูปของสามเหลี่ยมรูปเล็กๆ แล้วนำเอาสามเหลี่ยมเล็กๆ จำนวนมากมาประกอบกันจนเป็น 3 มิติ

ภายใน File แบบ .STL เป็นไฟล์อธิบายแต่ละรูปสามเหลี่ยม และจะประกอบไปด้วยข้อมูลที่เป็นชั้นบางๆ มากมายซ้อนกันอยู่ และจะถูกส่งไปยังเครื่องพิมพ์ 3 มิติต้นแบบ และส่งต่อไปยังส่วนที่ควบคุมการทำงานของเครื่อง ซึ่งทำหน้าที่ในการสร้างชิ้นงาน 3 มิติ



รูปที่ 2.14 ภาพออกแบบ 3 มิติ ไฟล์ .STL

2.5.4.2 ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยผลิต Computer Aided Manufacturing (CAM) ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยผลิต เป็นเครื่องมือแปลงไฟล์ของระบบคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ จะเป็นตัวแปลงไฟล์ชิ้นงาน 3 มิติ ซึ่งเป็นไฟล์ .STL ให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์ G-code เพื่อนำไปควบคุม

เครื่องพิมพ์ 3 มิติให้สร้างชิ้นงานออกมาตามที่ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบได้ออกแบบไว้

ตัวอย่างโปรแกรมของระบบคอมพิวเตอร์ช่วยผลิต

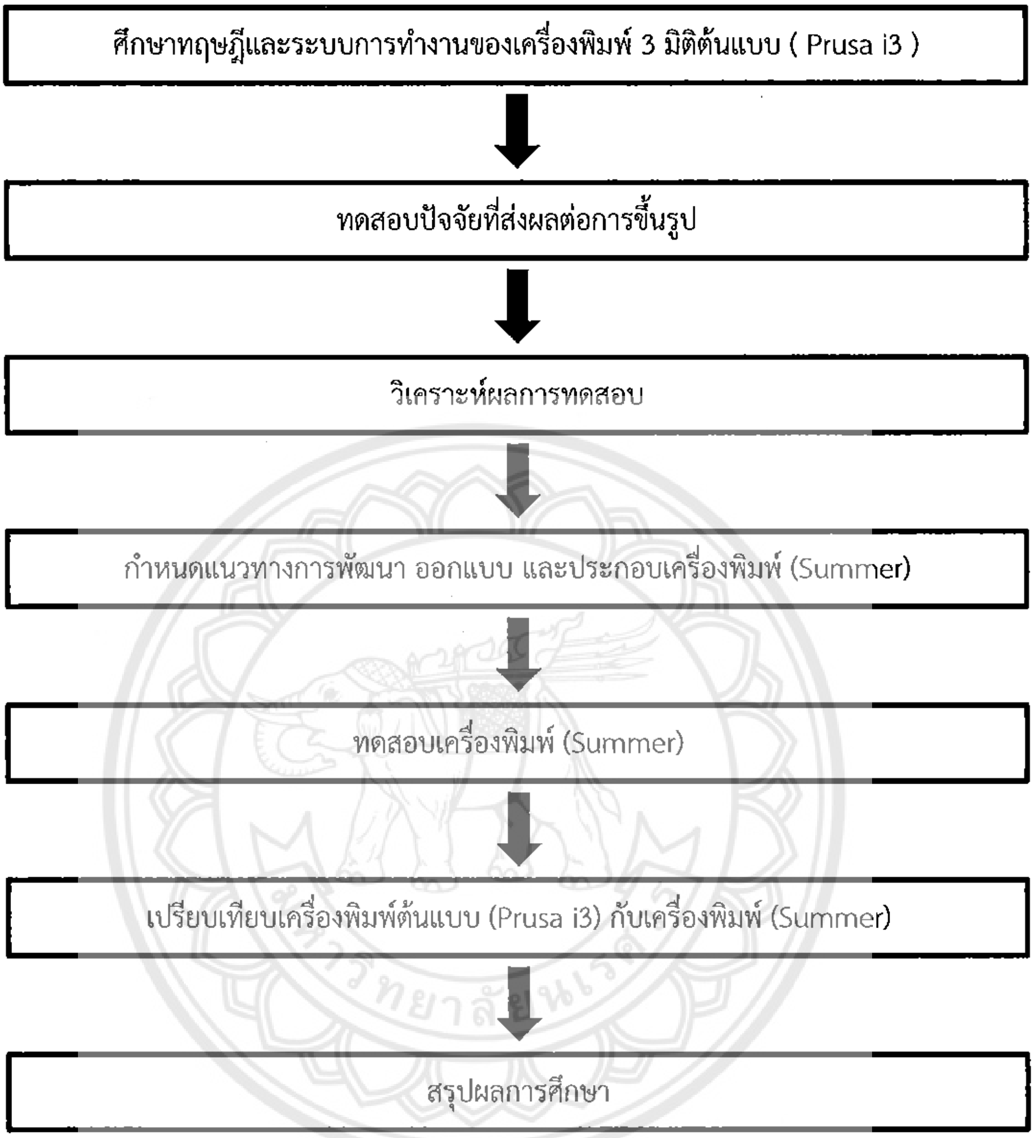
- MatterSlice
- Skeinforge
- Cura
- Slic3r
- Kisslicer
- RepSnapper
- RepRap Host Software
- X2sw
- SuperSkein
- SlicerCloud
- Simplify3D

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

3.1 แผนการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานแบ่งออกได้เป็น 6 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

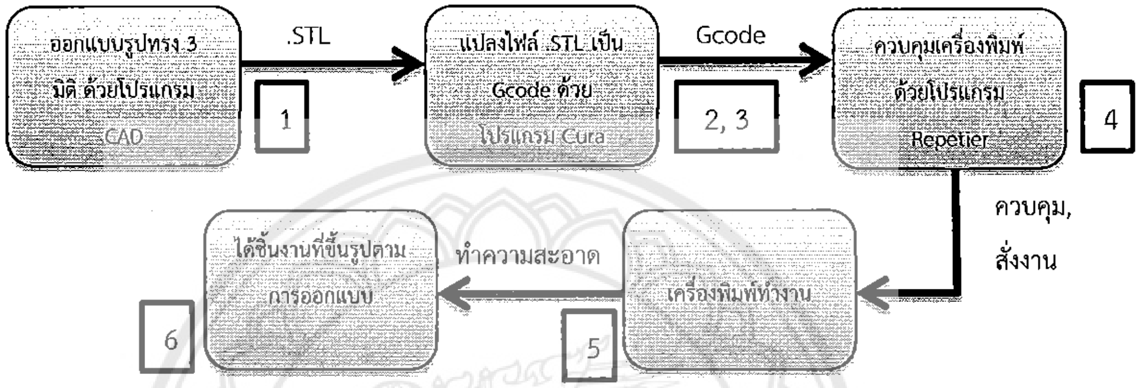
1. ศึกษาทฤษฎีและระบบการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติต้นแบบ โดยศึกษาการทำงานหลักของเครื่องพิมพ์ ดังนี้ ระบบการเคลื่อนที่ 3 แนวแกน กระบวนการฉีดเนื้อวัสดุ และซอฟต์แวร์ควบคุม
2. ศึกษาและทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อการขึ้นรูป ได้แก่
    - อุณหภูมิหัวฉีด (Heat extruder)
    - อุณหภูมิฐานความร้อน (Heat bed)
    - ความหนาแน่นชิ้นงาน (Density)
    - การทำงานพัดลมระบายความร้อน (Fan output)
    - ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน (Print speed)
3. วิเคราะห์ผลการทดสอบ โดยใช้ตัวชี้วัดผลการทดสอบจาก
    - เวลาที่ใช้พิมพ์
    - ขนาดของชิ้นงาน
    - น้ำหนักชิ้นงาน
    - ระดับคุณภาพชิ้นงาน
4. กำหนดแนวทางการพัฒนา ออกแบบ และประกอบเครื่องพิมพ์ 3 มิติตัวใหม่
5. ทดสอบเครื่องพิมพ์ (Summer)
6. วิเคราะห์ผลการทดสอบ
7. สรุป ในขั้นตอนที่ 7 จะแบ่งผลการสรุปออกเป็น 4 ส่วน โดยการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องพิมพ์ต้นแบบและเครื่องพิมพ์ (Summer) ดังนี้
    - ผลการทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อการขึ้นรูป
    - คุณภาพชิ้นงาน - ขั้นตอนการประกอบ และ ราคาเครื่อง



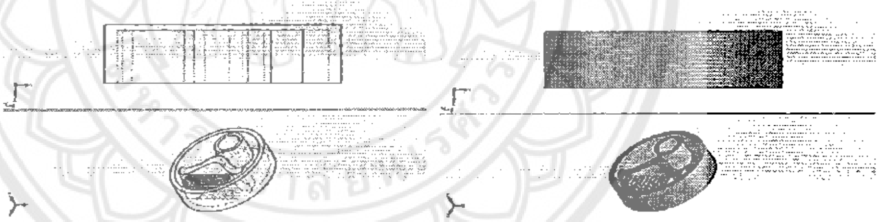
รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนดำเนินงาน

3.2 ขั้นตอนการใช้งานเครื่องพิมพ์

การใช้งานเครื่องเครื่องพิมพ์นั้น จะต้องปฏิบัติตามขั้นตอนที่ถูกต้อง เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการดำเนินงาน ซึ่งสามารถปฏิบัติได้ตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

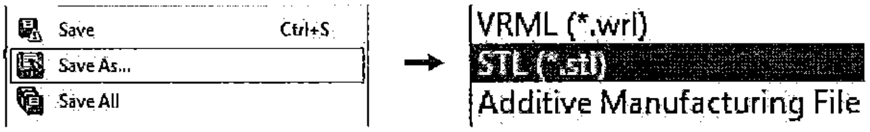


1. ออกแบบรูปทรง 3 มิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ต้องการพิมพ์



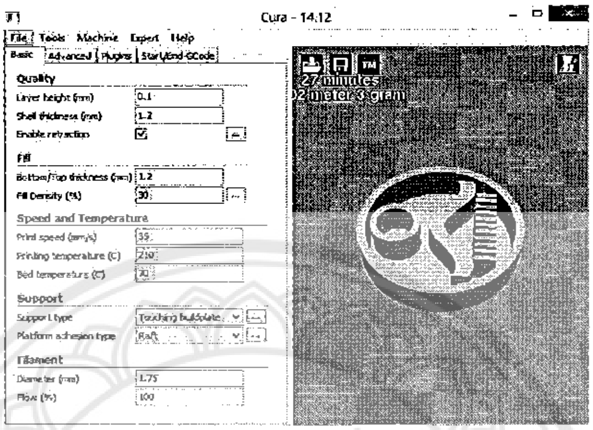
รูปที่ 3.2 ออกแบบชิ้นงานในโปรแกรม CAD

2. หลังจากออกแบบชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว จากนั้นบันทึกไฟล์ชิ้นงานเป็นสกุล .STL



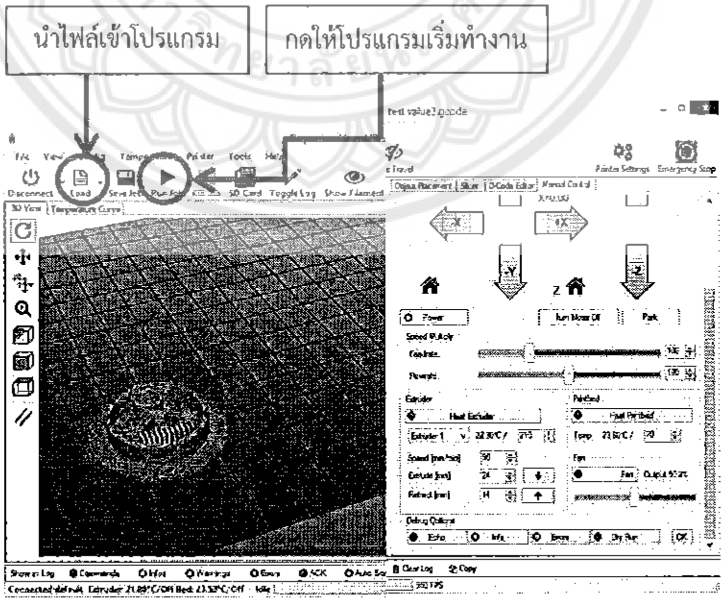
รูปที่ 3.3 บันทึกไฟล์เป็นสกุล .STL

3. นำไฟล์สกุล .STL มาเปิดในโปรแกรม Cura เพื่อแปลงเป็นไฟล์ .gcode และปรับค่าต่างๆผ่านโปรแกรม Cura



รูปที่ 3.4 ไฟล์ชิ้นงานในโปรแกรม Cura

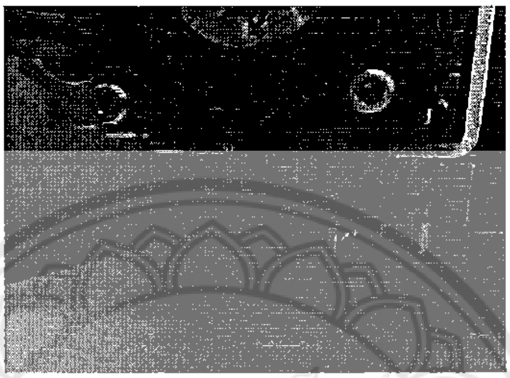
4. นำไฟล์ gcode มาเปิดในโปรแกรม Repetier จากนั้นกด Run Job โปรแกรมจะทำงานอัตโนมัติ รวมถึงให้ความร้อนหัวฉีดและฐานความร้อน



รูปที่ 3.5 ไฟล์ชิ้นงานในโปรแกรม Repetier

1919651X
สำนักหอสมุด

5. หลังจากที่กด Run Job เครื่องจะเริ่มทำงาน เส้นพลาสติกจะถูกหลอมเหลวด้วยความร้อนและถูกฉีดลงมาในตำแหน่งที่ตั้งไว้ โดยเริ่มจากฐานและฉีดขึ้นรูปไปทีละชั้นจนได้ชิ้นงานตามที่ต้องการ

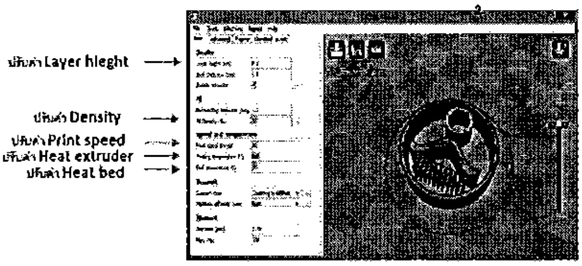


รูปที่ 3.6 เครื่องพิมพ์เริ่มทำงาน

6. เมื่อชิ้นงานเสร็จสมบูรณ์ ควรปล่อยทิ้งไว้ให้ชิ้นงานมีอุณหภูมิที่เย็นตัวลงสักพัก จึงแกะชิ้นงานออกมาจากฐานได้ เพื่อไม่ให้ชิ้นงานเสียรูป และเพื่อความปลอดภัย

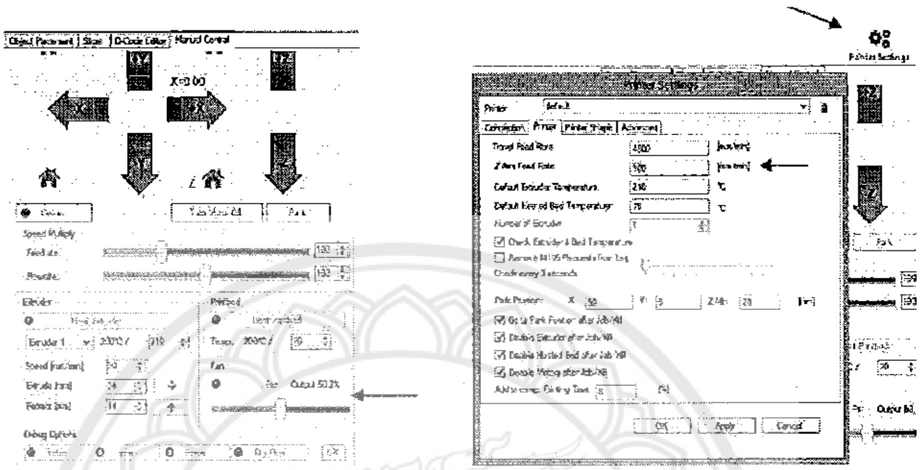
3.3 ขั้นตอนการตั้งค่าต่างๆจาก Software ควบคุม

นำไฟล์สกุล .stl มาเปิดในโปรแกรม Cura สามารถตั้งค่า อุณหภูมิหัวฉีด , อุณหภูมิฐานความร้อน , ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงานและความหนาแน่นส่วนค่าการทำงานพัดลมระบายความร้อนและ Feed rate จะตั้งค่าโปรแกรม Repetier-Host ขั้นแรกปรับค่าทั้ง 4 ค่าตามต้องการในโปรแกรม Cura ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.7 เปิดไฟล์ .STL ในโปรแกรม Cura

เข้าโปรแกรม Repetier-Host ตั้งค่าการทำงานพัดลมระบายความร้อนได้ดังรูปส่วน Feed rate ต้องเข้าที่ Printer Settings ก่อน จากนั้นทำการตั้งค่าได้ ดังรูปที่ 3.7



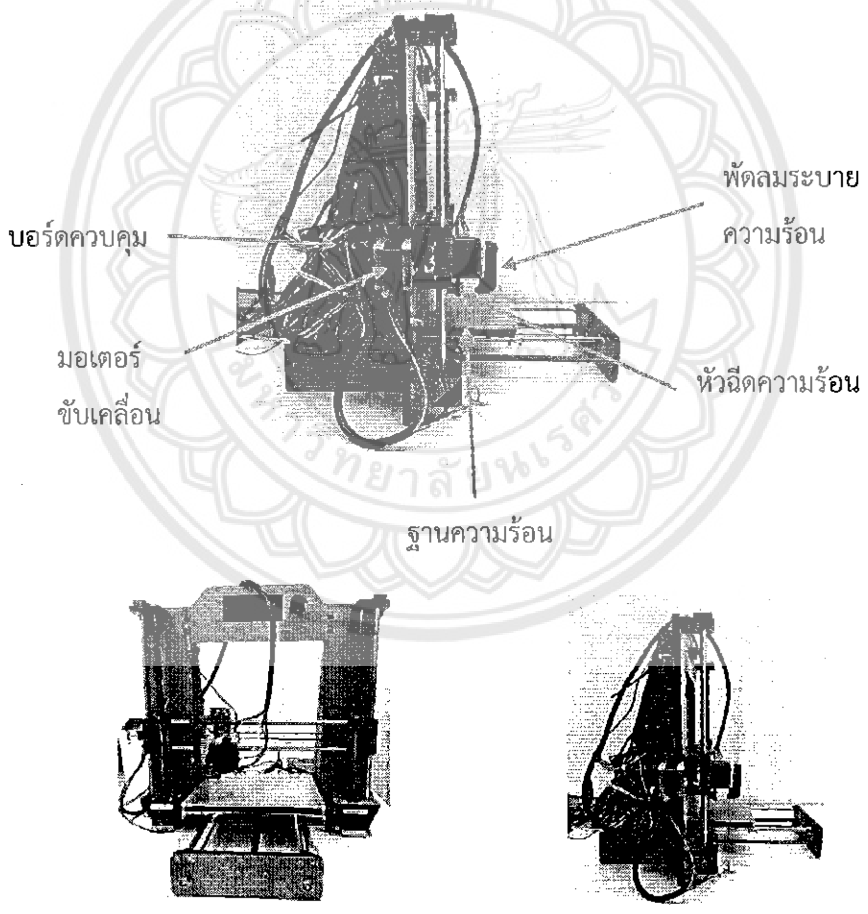
รูปที่ 3.8 ตั้งค่าการทำงาน

บทที่ 4

เครื่องพิมพ์ 3 มิติต้นแบบ (Prusa i3)

4.1 ส่วนประกอบเครื่องพิมพ์ 3 มิติต้นแบบ (Prusa i3)

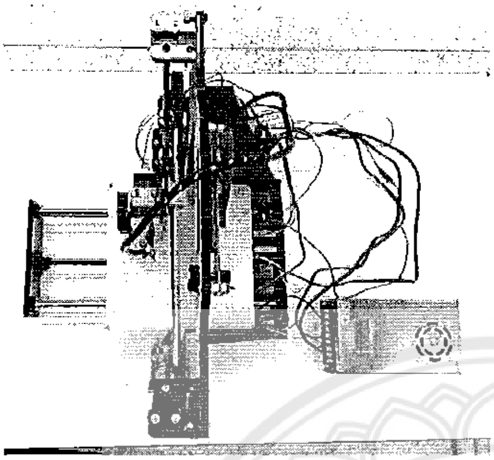
มีอุปกรณ์สำคัญดังรูป

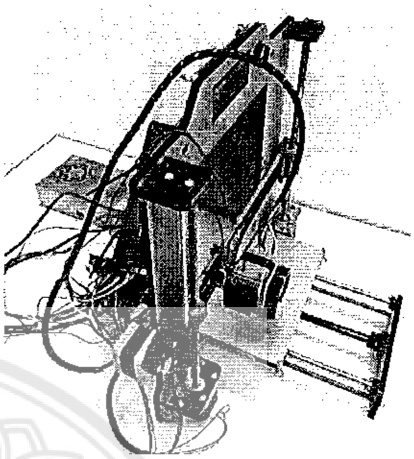


Front view

Side view

รูปที่ 4.1 ตำแหน่งอุปกรณ์สำคัญและด้านหน้าและข้างของเครื่อง Prusa i3





Top view Isometric

รูปที่ 4.2 ท็อปวิวและไอโซเมตริกของเครื่อง Prusa i3

4.2 การออกแบบการทดสอบ

ทำการทดสอบเพื่อที่จะหาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อตัวชิ้นงานที่ระหว่างการฉีดขึ้นรูป การออกแบบการทดสอบจะทำการแปรผันค่าทั้งหมด 5 ค่าก็คือตัวแปรควบคุมดังนี้

4.2.1 ตัวแปรควบคุม

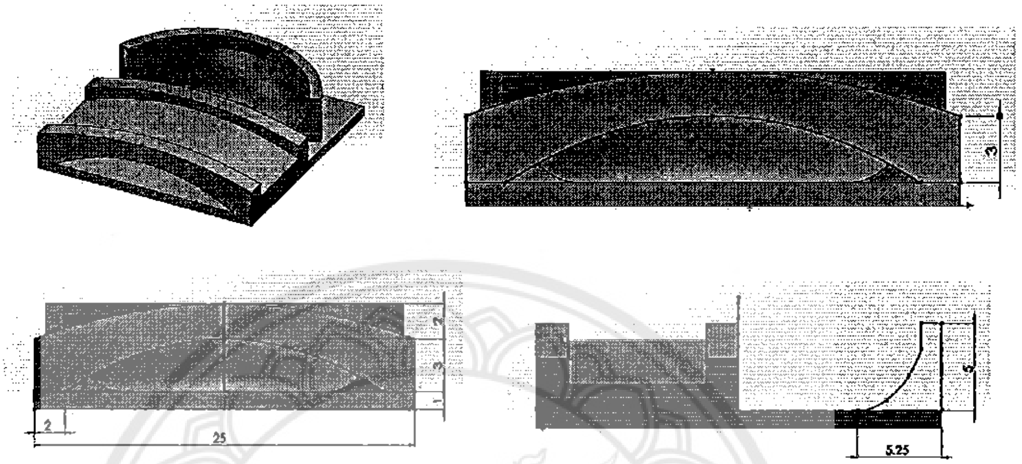
1) อุณหภูมิหัวฉีด (Heat extruder temperature)
2) อุณหภูมิฐานความร้อน (Heat bed temperature)
3) ความหนาแน่น (Density)
4) ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน (Print speed)
5) การทำงานพัดลมระบายความร้อน (Fan output)

การทดสอบนั้นจะทำการเปลี่ยนค่าเพียง 1 ค่า ส่วนอีก 4 ค่าที่เหลือจะทำให้มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงโดยจะอ้างอิงตามค่ามาตรฐานที่ทำการกำหนดไว้สำหรับการทดสอบซึ่งมีค่าดังนี้

ตารางที่ 4.1 กำหนดตัวแปรการทดสอบ

ค่าคงที่	ค่าตัวแปรต้น	
1.Feed rate = 100 mm/min 2.Layer height = 0.1 mm	1.อุณหภูมิหัวฉีด (^{o}C)	200
		210
		220
	2.อุณหภูมิฐานความร้อน (^{o}C)	50
		60
		70
	3.ความหนาแน่น (%)	20
		40
		60
		80
		100
	4.ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน (mm/s)	40
		50
		60
		70
	5.การทำงานพัดลมระบายความร้อน (%)	0
		20
		40
		60
		80
		100

4.2.2 ชิ้นงานทดสอบ



Unit : millimeter

4.2.2.1 รูปทรงเรขาคณิต

ฐานได้ออกแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งมีขนาด 25x25 มิลลิเมตร และมีความสูง 1 มิลลิเมตร ส่วนตัวสะพานจะออกแบบให้คอสะพานมีความยาว 2 มิลลิเมตรความกว้างของสะพานมีความยาว 17.5 มิลลิเมตร ความหนาของราวจับสะพานทั้งสองฝั่งจะมีความหนา 3 มิลลิเมตรส่วนภายในพื้นสะพานจะมีความหนา 2 มิลลิเมตร ส่วนที่เป็นโค้งเว้าจะมีความยาวฐาน 5.25 มิลลิเมตร สูง 5 มิลลิเมตร

4.2.2.2 ออกแบบชิ้นงานทดสอบ

โดยรูปทรงที่คล้ายกับสะพานออกแบบขึ้นมาเพื่อทดสอบผล การทำงานพัดลมระบายความร้อน , ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน เนื่องจากระหว่างขึ้นรูปชิ้นงานตรงใต้สะพานนั้นจะมีการย้อยของเส้นพลาสติกเพราะไม่มีโครงถักที่คอยค้ำไม่ให้เส้นพลาสติกย้อย ส่วนรูปทรงโค้งมนไว้ทดสอบค่า ความหนาแน่น , อุณหภูมิหัวฉีด , การทำงานพัดลมระบายความร้อน และ ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน เพื่อให้เห็นถึงความละเอียดของชั้นต่างๆของชิ้นงาน

4.2.3 ตัวแปรตาม จะทำการพิจารณาแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1) ส่วนการทำงานของเครื่อง เวลาที่พิมพ์ชิ้นงาน การสิ้นเปลืองวัสดุที่ประเมินโดยโปรแกรม
2) ชิ้นงานโดยพิจารณาดังนี้
   - น้ำหนักจริงของชิ้นงาน
   - ขนาดของชิ้นงาน ความกว้าง x ความยาว x ความสูง
   - ระดับคุณภาพของชิ้นงาน A , B , C , D

4.3 ขั้นตอนการทดสอบ

1.เขียนแบบขึ้นมาแล้วทำการ save as ไฟล์ให้เป็นสกุล .stl

2.นำไฟล์สกุล .stl มาเปิดในโปรแกรม Cura และทำการตั้งค่า อุณหภูมิหัวฉีด , อุณหภูมิฐานความร้อน , ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงานและความหนาแน่นตามที่ต้องการ

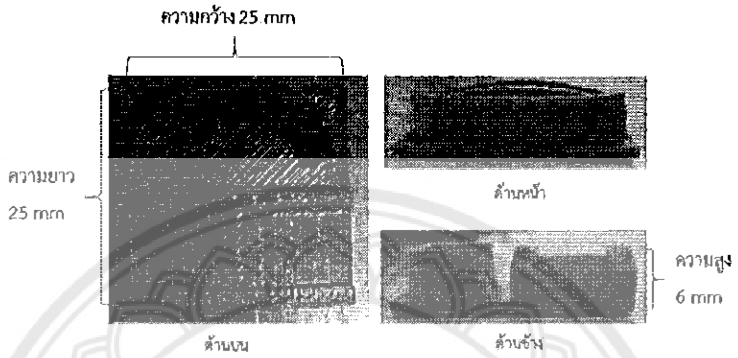
3.ตั้งค่าต่างๆเสร็จกด save จะได้เป็นไฟล์สกุล .gcode

4.นำไฟล์สกุล .gcode มาเปิดในโปรแกรม Repetier-Host และทำการเปิดเครื่องและให้ความร้อนหัวฉีดและฐานความร้อนจากนั้นกดปุ่ม Run Job เพื่อให้เครื่องเริ่มขึ้นรูป

5.เมื่อขึ้นชิ้นงานเสร็จแล้ว รอให้อุณหภูมิหัวฉีดและอุณหภูมิฐานความร้อนเย็นตัวลงแล้วนำชิ้นงานออกมาจากเครื่องแล้วทำการแกะ support ออกจากชิ้นงาน และนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการวัดชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งสารเคมียี่ห้อ DENVER INSTRUMENT รุ่น SI-234 มีความละเอียด 0.0001 กรัม ส่วนการวัดความยาว ความกว้าง ความสูง ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ Sonic มีความละเอียด 0.05 มิลลิเมตร

พิจารณารอยเชื่อมต่อระหว่างชั้น โดยวิธีการประเมินผลด้วยสายตา ในการประเมินผลนี้ผู้จัดทำโครงงานเป็นผู้ประเมินซึ่งมีจำนวน 3 คนโดยเปรียบเทียบกับชิ้นงานต้นแบบที่พิมพ์ด้วยค่าความหนาแน่น 100% ค่าอุณหภูมิหัวฉีดที่ 210 °C ค่าอุณหภูมิฐานความร้อนที่ 70 °C ความเร็วในการ

พิมพ์ชิ้นงาน 35 mm/s และค่าพัดลมระบายความร้อน 0 % เป็นชิ้นงานต้นแบบเพราะรอยเชื่อมต่อในแต่ละชั้นของชิ้นงานนั้นมีความละเอียด และสมบูรณ์มากที่สุด ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ชิ้นงานต้นแบบ

ตารางที่ 4.2 ตารางเกณฑ์การประเมินและขนาด

เกณฑ์การประเมิน	
ระดับ	คะแนนเฉลี่ย
A	3.5 - 4
B	2.5 - 3.49
C	2 - 2.49
D	1 - 1.99

ขนาดชิ้นงานที่ออกแบบ (mm)		
กว้าง	ยาว	สูง
25	25	6

4.4 ผลการทดสอบเครื่องพิมพ์

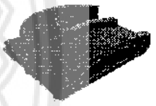
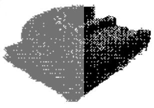
ทำการสร้างกราฟเรดาห์และตั้งเกณฑ์ขึ้นมาโดยเลือกทั้งหมด 5 ค่าคือ เวลา น้ำหนัก ความกว้าง ความยาว ความสูง ซึ่งค่าเกณฑ์สูงสุดของแต่ละค่าคือ 5 เพื่อให้กราฟดูเข้าใจง่ายขึ้นซึ่งการคำนวณจะได้จากสูตรนี้คือ (ค่าชิ้นงานจริง*5)/ค่าต้นแบบ และค่าต้นแบบมีดังนี้

	เวลา(min)	น้ำหนัก(g)	กว้าง(mm)	ยาว(mm)	สูง(mm)
ต้นแบบ	25	2	25	25	6
ปรับค่า	5	5	5	5	5

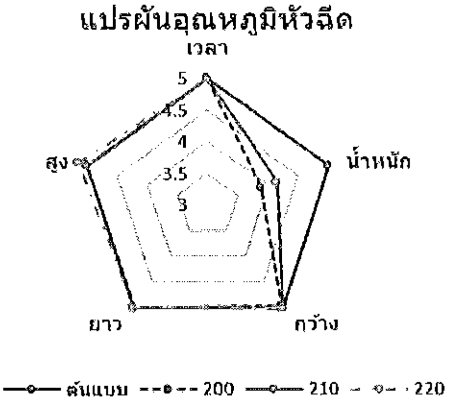
ตารางที่ 4.3 ตารางสรุปผลการทดสอบและกราฟเรดาร์

4.3.1 ทดสอบแปรผันค่าอุณหภูมิหัวฉีด

ตัวแปรต้น	
1.อุณหภูมิหัวฉีด	200 / 210 / 220 °C
2.อุณหภูมิฐานความร้อน	70 °C
3.ความหนาแน่น	30%
4.ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน	35 mm/s
5.การทำงานพัดลมระบายความร้อน	100%

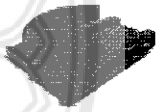
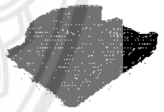
อุณหภูมิหัวฉีด (°C)	น้ำหนักชิ้นงาน(g)		ขนาดชิ้นงาน (mm)			รอยเชื่อมงาน	ประเมินคุณภาพ
	โปรแกรม	น้ำหนักจริง	กว้าง	ยาว	สูง		
200	2.00	1.55	24.90	24.95	6.00		2.67
210	2.00	1.66	25.00	25.00	6.00		3.00
220	2.00	1.65	25.05	25.00	6.15		2.67

	เวลา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	สูง
ต้นแบบ	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
200	5.00	3.88	4.98	4.99	5.00
210	5.00	4.15	5.00	5.00	5.00
220	5.00	4.13	5.01	5.00	5.13

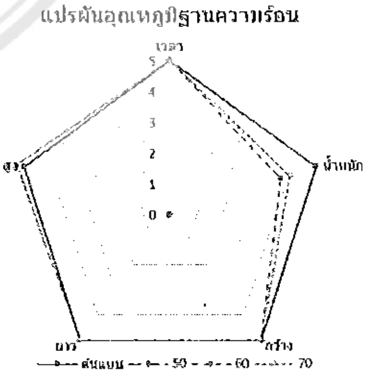


4.3.2 ทดสอบแปรผันค่าอุณหภูมิฐานความร้อน

ตัวแปรต้น	
1.อุณหภูมิหัวฉีด	210^{o}C
2.อุณหภูมิฐานความร้อน	50 / 60 / 70^{o}C
3.ความหนาแน่น	30%
4.ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน	35 mm/s
5.การทำงานพัดลมระบายความร้อน	100%

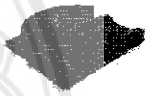
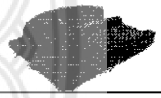
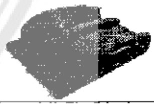
อุณหภูมิฐานความร้อน (^{o}C)	น้ำหนักชิ้นงาน(g)		ขนาดชิ้นงาน(mm)			รอยเชื่อมงาน	ประเมินคุณภาพ
	โปรแกรม	น้ำหนักจริง	กว้าง	ยาว	สูง		
50	2	0	0	0	0	-	1.00
60	2.00	1.51	25.05	25.00	6.30		2.67
70	2.00	1.63	25.00	25.00	6.30		3.00

	เวลา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	สูง
ต้นแบบ	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
50	0	0	0	0	0
60	5.00	3.78	5.01	5.00	5.25
70	5.00	4.08	5.00	5.00	5.25

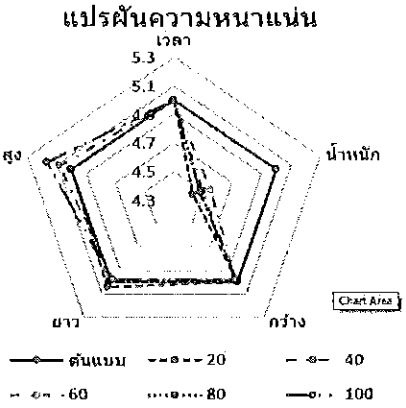


4.3.3 ทดสอบแปรผันค่าความหนาแน่นชิ้นงาน

ตัวแปรต้น	
1.อุณหภูมิหัวฉีด	210°C
2.อุณหภูมิฐานความร้อน	70°C
3.ความหนาแน่น	20 / 40 / 60 / 80 / 100 %
4.ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน	35 mm/s
5.การทำงานพัดลมระบายความร้อน	100%

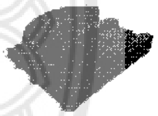
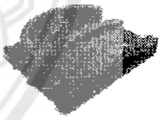
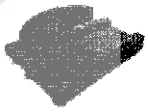
ความหนาแน่น (%)	น้ำหนักชิ้นงาน (g)		ขนาดชิ้นงาน (mm)			รอยเชื่อมงาน	ประเมินคุณภาพ
	โปรแกรม	น้ำหนักจริง	กว้าง	ยาว	สูง		
20	2.00	1.77	25.0	25.20	6.00		2.33
40	2.00	1.80	24.90	24.90	6.10		2.67
60	2.00	1.82	24.90	25.00	6.20		2.67
80	2.00	1.79	25.00	25.00	6.00		4.00
100	2.00	1.79	24.90	24.90	6.20		4.00

	เวลา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	สูง
ต้นแบบ	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
20	5.00	4.43	5.00	5.04	5.00
40	5.00	4.50	4.98	4.98	5.08
60	5.00	4.55	4.98	5.00	5.17
80	5.00	4.48	5.00	5.00	5.00
100	5.00	4.48	4.98	4.98	5.17



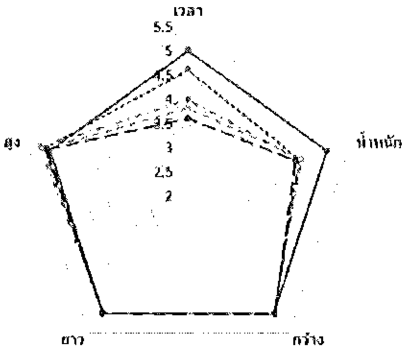
4.3.4 ทดสอบแปรผันค่าความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน

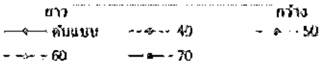
ตัวแปรต้น	
1.อุณหภูมิหัวฉีด	210°C
2.อุณหภูมิฐานความร้อน	70°C
3.ความหนาแน่น	30%
4.ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน	40 / 50 / 60 / 70 mm/s
5.การทำงานพัดลมระบายความร้อน	100%

ความเร็วในการพิมพ์ (mm/s)	น้ำหนักชิ้นงาน (g)		ขนาดชิ้นงาน (mm)			รอยเชื่อมงาน	ประเมินคุณภาพ
	โปรแกรม	น้ำหนักจริง	กว้าง	ยาว	สูง		
40	2.00	1.76	25.00	24.95	6.15		3.33
50	2.00	1.76	25.10	25.00	6.25		2.67
60	2.00	1.78	25.00	25.00	6.15		2.67
70	2.00	1.73	25.05	25.00	6.10		2.33

	เวลา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	สูง
ต้นแบบ	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
40	4.60	4.40	5.00	4.99	5.13
50	4.00	4.40	5.02	5.00	5.21
60	3.80	4.45	5.00	5.00	5.13
70	3.60	4.33	5.01	5.00	5.08

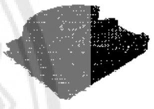
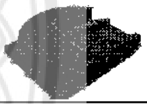
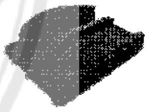
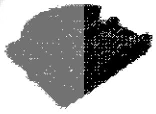
แปรผันความเร็วในการพิมพ์



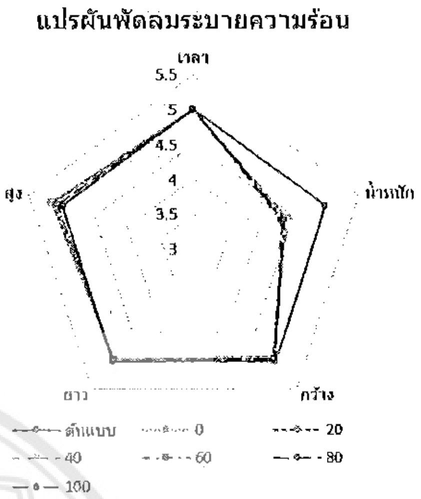


4.3.5 ทดสอบแปรผันค่าการทำงานพัดลมระบายความร้อน

ตัวแปรต้น	
1.อุณหภูมิหัวฉีด	210°C
2.อุณหภูมิฐานความร้อน	70°C
3.ความหนาแน่น	30%
4.ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน	35 mm/s
5.การทำงานพัดลมระบายความร้อน	0 / 20 / 40 / 60 / 80 / 100%

การทำงานของพัดลม (%)	น้ำหนักชิ้นงาน(g)		ขนาดชิ้นงาน(mm)			รอยเชื่อมงาน	ประเมินคุณภาพ
	โปรแกรม	น้ำหนักจริง	กว้าง	ยาว	สูง		
0	2.00	1.77	24.80	24.90	6.20		2.00
20	2.00	1.76	24.70	24.90	6.15		2.33
40	2.00	1.77	24.65	24.90	6.20		2.67
60	2.00	1.73	24.90	24.90	6.10		2.67
80	2.00	1.74	25.00	24.90	6.10		3.00
100	2.00	1.75	24.90	25.00	6.00		3.00

	เวลา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	สูง
ต้นแบบ	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
0	5.00	4.43	4.96	4.98	5.17
20	5.00	4.4	4.94	4.98	5.13
40	5.00	4.43	4.93	4.98	5.17
60	5.00	4.33	4.98	4.98	5.08
80	5.00	4.35	5.00	4.98	5.08
100	5.00	4.38	4.98	5.00	5.00



มหาวิทยาลัยนเรศวร

4.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบเครื่องจะมีน้ำหนักที่ค่อนข้างไม่ตรงกับน้ำหนักในโปรแกรมตัววิเคราะห์ ส่วนขนาดความกว้าง ความยาว ความสูง นั้นมีขนาดที่ใกล้เคียงกับตัวโปรแกรมและมีค่าความผิดพลาดเล็กน้อยซึ่งเกิดจากระหว่างการขึ้นรูปชิ้นงาน การทดสอบปรับเปลี่ยนค่าต่างๆสรุปได้ว่าค่าแต่ละอย่างนั้นส่งผลต่อตัวชิ้นงานที่ต่างกันและการปรับค่าบางค่าก็ส่งผลต่อตัวชิ้นงานน้อยมากจนเหมือนกับไม่ส่งผลใดๆต่อตัวชิ้นงาน

ค่าความร้อนหัวฉีดที่อุณหภูมิ 200 °C , 210 °C จะขึ้นชิ้นงานได้ปกติส่วนที่อุณหภูมิ 220 °C ควรระวังเรื่องเส้นพลาสติกไหม้เมื่อไม่ได้ฉีดแล้วอุ่นหัวฉีดทิ้งไว้อยู่

ค่าอุณหภูมิฐานความร้อนที่ค่า 50 °C เครื่อง Prusa i3 ทำการฉีดขึ้นรูปไม่สำเร็จซึ่งเกิดจากอุณหภูมิฐานความร้อนนั้นมีค่าต่ำทำให้เส้นพลาสติกได้รับความร้อนไม่มากพอที่จะทำให้เกิดการหลอมตัวเพื่อที่จะยึดติดกับฐานให้ความร้อน จึงทำให้เส้นพลาสติกหลุดออกมาจากฐานให้ความร้อนหลังจากพิมพ์ชิ้นงานได้ไม่นานนัก ค่าอุณหภูมิฐานความร้อนที่ 60 °C และ 70 °C ตัวเส้นพลาสติกจะยึดฐานให้ความร้อนได้ปกติ

ค่าความหนาแน่นจากที่ทำการทดสอบจะเห็นได้ว่าจะไม่ส่งผลต่อภายนอกของชิ้นงานแต่จะส่งผลภายในชิ้นงานคือส่วนของด้านความแข็งแรงซึ่งปรับค่าความหนาแน่นไปที่ 100 % จะเหมาะสมสำหรับชิ้นงานที่ต้องการความแข็งแรงทรงตัน ส่วนปรับค่าความหนาแน่นไปที่ 20 % จะเหมาะสมกับชิ้นงานที่ไม่ต้องความแข็งแรงคงทนมากนักหรือเป็นชิ้นงานที่โปร่งข้างในกลวง ซึ่งค่าความหนาแน่นนั้นจะส่งผลโดยตรงต่อเวลาในการฉีดชิ้นงานขึ้นมา ยิ่งใช้ค่าความหนาแน่นที่เปอร์เซ็นต์สูงจะยิ่งใช้เวลาในการฉีดชิ้นงานมากขึ้น

ค่าการทำงานพัดลมระบายความร้อนจากการทดสอบจะเห็นได้ว่าตอนฉีดขึ้นรูปชิ้นงานจะส่งผลต่อตัวชิ้นงานน้อยมาก ยกเว้นกรณีที่ชิ้นงานนั้นมีขนาดเล็กประมาณ 3 mm หรือน้อยกว่านั้นแล้วตัวชิ้นงานมีความสูง ซึ่งกรณีนี้ค่าการทำงานพัดลมระบายความร้อนจะส่งผลต่อตัวชิ้นงานเล็กน้อย

ค่าความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงานจะส่งผลโดยตรงต่อชิ้นงานที่มีขนาดเล็กซึ่งถ้าปรับความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงานมากๆจะทำให้พลาสติกเย็นตัวไม่ทัน แต่ในกรณีที่ชิ้นงานมีขนาดใหญ่การปรับค่าความเร็วใน

การพิมพ์ชิ้นงาน มากๆจะไม่ส่งผลต่อการเย็นตัวของพลาสติก ซึ่งการปรับค่าความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงานนั้นก็ยังจะส่งผลถึงระยะเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงานซึ่งยิ่งปรับมากๆก็จะยิ่งใช้เวลาในการขึ้นรูปชิ้นงานน้อยลงซึ่งจะเห็นผลได้ชัดเจนในกรณีที่ชิ้นงานมีขนาดใหญ่แต่ชิ้นงานขนาดเล็กจะเห็นผลลัพธ์ที่ไม่ชัดเจนมากนัก

สรุปจากการทดสอบค่าต่างๆแล้วค่าที่เป็นมาตรฐานที่สุดสำหรับเครื่อง Prusa i3 มีดังนี้

อุณหภูมิหัวฉีด = 210 °C

อุณหภูมิฐานความร้อน = 70 °C

ความหนาแน่น = 100 %

ความเร็วในการพิมพ์ = 40 mm/s

การทำงานพัดลมระบายความร้อน = 0 %

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 5

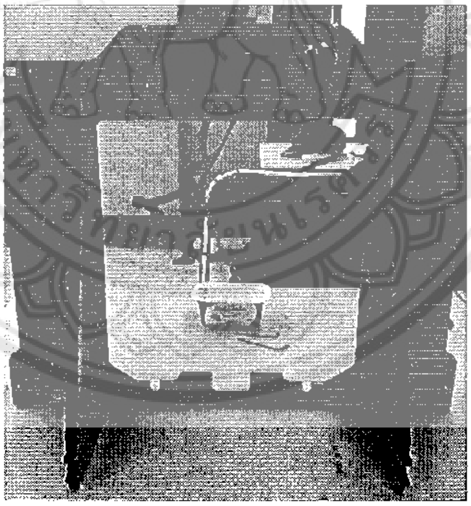
การพัฒนาเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Summer)

5.1 ปัญหาที่พบในจากเครื่องพิมพ์ต้นแบบ

จากการศึกษาและทดสอบเครื่องพิมพ์ 3 มิติต้นแบบ พบว่าปัญหาที่พบในระยะแรก จนถึงกระบวนการทดสอบ มีดังนี้

5.1.1 โครงสร้าง

โครงสร้างของเครื่องต้นแบบนั้น ทำมาจากแผ่นอะคริลิก ซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นอะคริลิกจำนวนหลายชิ้นส่วน หลายขนาด แต่ละส่วนจะมีรูเจาะและส่วนเว้าส่วนโค้งที่จำเพาะแตกต่างกันออกไป ซึ่งต้องใช้เครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง เช่นเครื่องตัดแบบเลเซอร์ ทำให้ขั้นตอนการประกอบโครงสร้างนั้นมีความยุ่งยากมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างโครงสร้างที่ทำจาก แผ่นอะคริลิก ดังภาพที่ 5.1

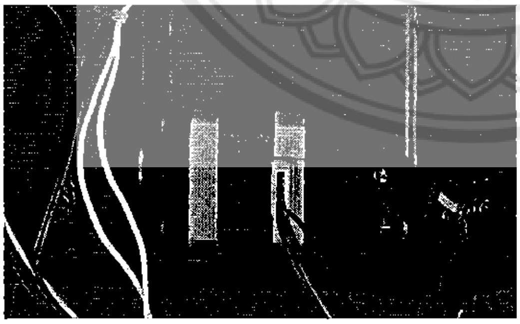


รูปที่ 5.1 โครงสร้างจากอะคริลิก

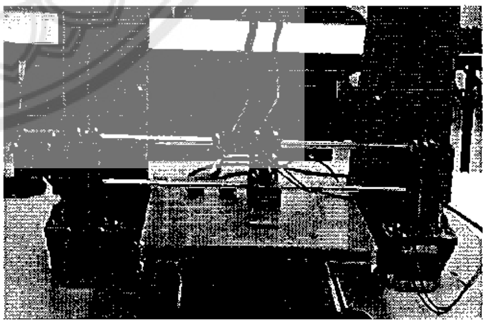
5.1.2 การเคลื่อนที่ด้วยสเต็ปมอเตอร์

ในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของเครื่องพิมพ์ต้นแบบนั้น ใช้สเต็ปมอเตอร์ในการขับเคลื่อนทั้งหมดจำนวน 4 ตัว ใน 4 ตัวนี้ ใช้ในการเคลื่อนที่ตามแนวแกน y จำนวน 1 ตัว ดังภาพ ก. แนวแกน x จำนวน 1 ตัว ดังภาพ ข. และในแนวแกน z จำนวน 2 ตัว ดังภาพ ค. ถ้าหากรวมสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการฉีดเนื้อพลาสติกด้วยจะรวมเป็น ทั้งหมด 5 ตัว ซึ่งสเต็ปมอเตอร์ในแต่ละตัวนั้น มีราคาที่ค่อนข้างสูง

ภาพ ก.



ภาพ ข.



ภาพ ค.

รูปที่ 5.2 ตำแหน่งของสเต็ปมอเตอร์ ในแนวแกน x y z

5.1.3 ชุดขับเส้นพลาสติก

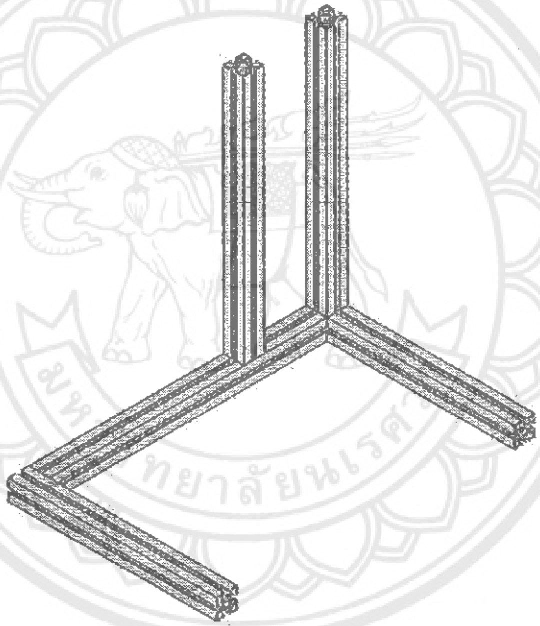
จากการทดลองใช้ชุดขับเส้นพลาสติกนี้ ปัญหาที่พบคือเมื่อหัวฉีดมีปัญหาและมีความต้องการที่จะเปลี่ยนเส้นพลาสติก ในแต่ละครั้งจะต้องแกะชิ้นส่วนชุดขับเส้นพลาสติกนี้ออกในบางชิ้นจึงจะเปลี่ยนเส้นพลาสติกได้ ทำให้ต้องใช้เวลาในการแกะชิ้นส่วน และมีความยุ่งยาก ดังรูปที่ 5.3

รูปที่ 5.3 ชุดขับเส้นพลาสติก

5.2 แนวการพัฒนา Summer

5.2.1 โครงสร้าง

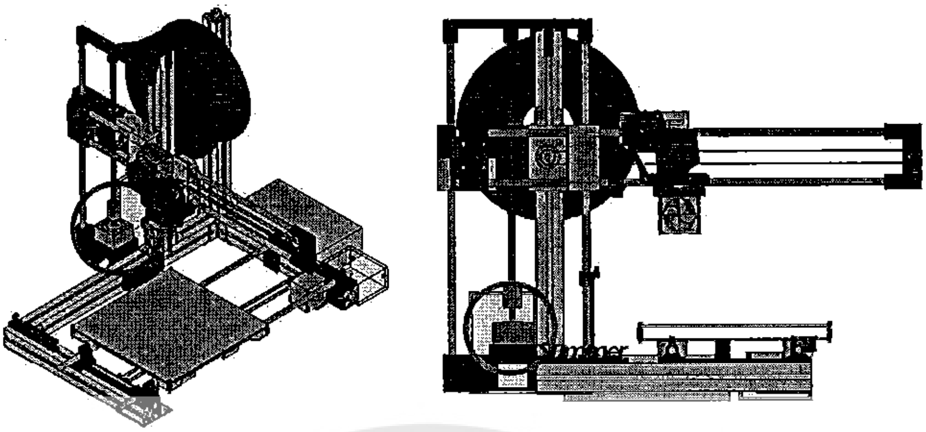
ตัวโครงสร้างได้เปลี่ยนมาใช้อะลูมิเนียมโปรไฟล์เป็นโครงสร้างหลัก ดังรูปที่ 5.4 ข้อดีของอะลูมิเนียมโปรไฟล์คือมีน้ำหนักที่เบา ไม่เป็นสนิม และรองรับน้ำหนักได้สูง ช่วยลดความยุ่งยากในการประกอบได้มาก ซึ่งได้อะลูมิเนียมโปรไฟล์ทำจากอะลูมิเนียม 6063-T5 ผ่านการชุบผิวแบบ Clear Anodize มีน้ำหนัก 0.9 กิโลกรัมต่อเมตร รับแรงเฉพาะจุดสูงสุด 38 กิโลกรัม และรับแรงกระจายได้สูงสุด 77 กิโลกรัม



รูปที่ 5.4 โครงสร้าง

5.2.2 ลดจำนวนสเต็ปมอเตอร์

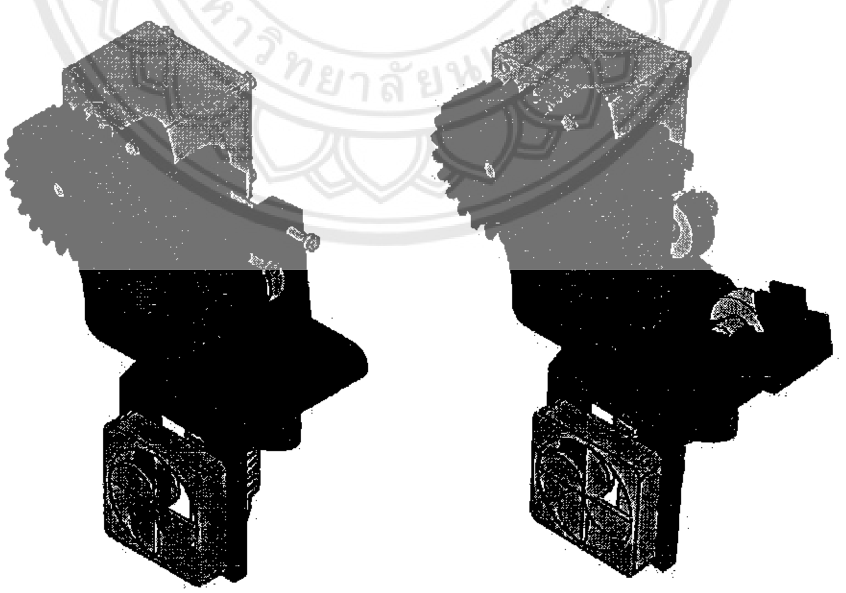
การเคลื่อนที่ด้วยสเต็ปมอเตอร์นั้น จากเดิมใช้มอเตอร์ในการเคลื่อนที่ 4 ตัว ซึ่งจากการทดสอบ ในการเคลื่อนที่ในแนวแกน z นั้น สามารถใช้สเต็ปมอเตอร์เพียง 1 ตัวได้ เมื่อการเคลื่อนที่ในแนวแกน z สามารถใช้สเต็ปมอเตอร์เพียง 1 ตัว เพื่อลดต้นทุน จึงเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างเป็นลักษณะคานยื่น และใช้ไกด์รอด 2 ตัว ช่วยควบคุมการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 5.5 จากเดิมเครื่องพิมพ์ Prusa i3 ใช้ลีดสกรู 2 ตัว และไกด์รอด 2 ตัว เปลี่ยนเป็นใช้ลีดสกรู 1 ตัว ไกด์รอด 2 ตัว



รูปที่ 5.5 ลดจำนวนสเต็ปมอเตอร์ในแนวแกน z เหลือเพียง 1 ตัว

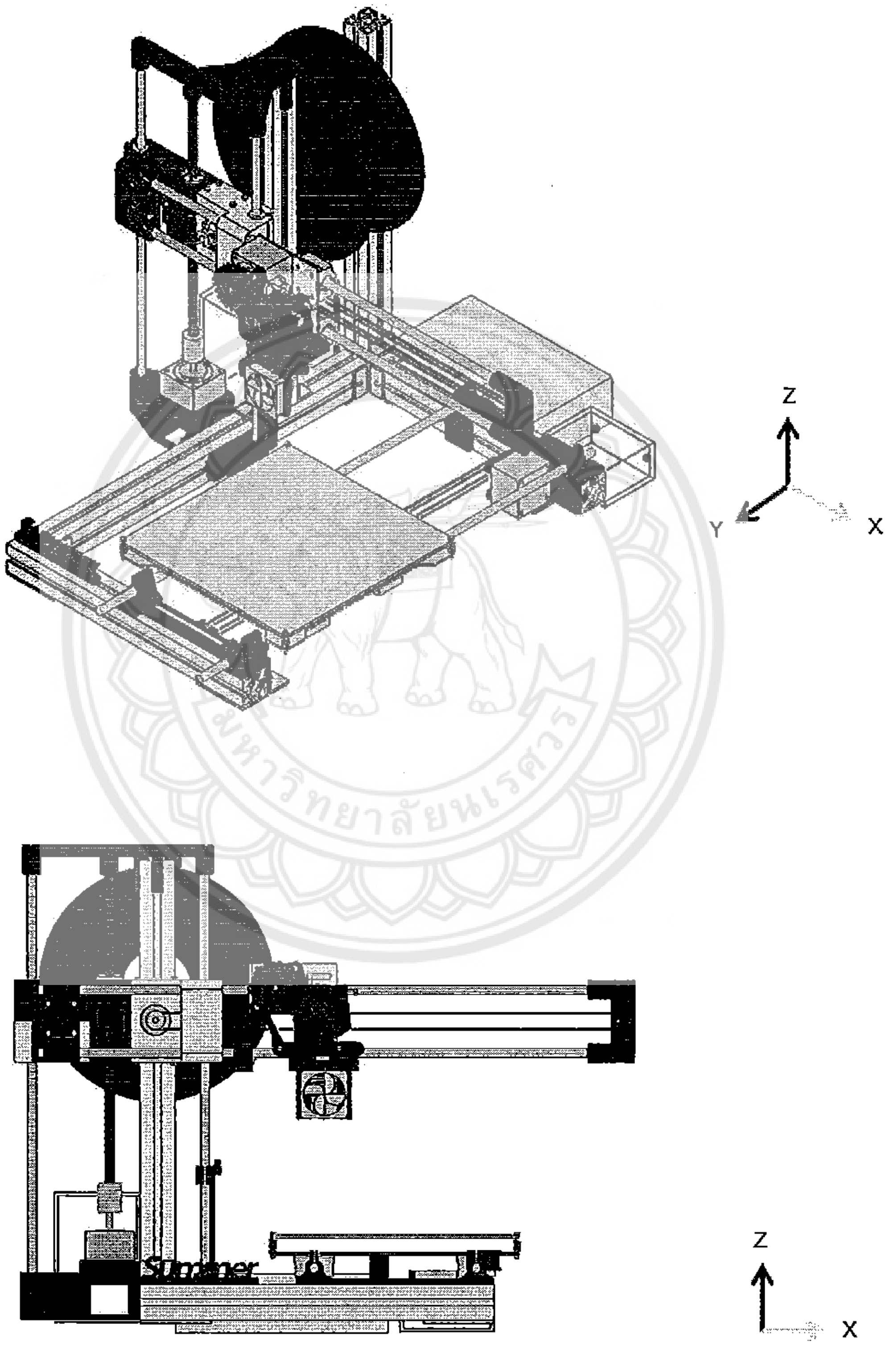
5.2.3 ชุดขับเส้นพลาสติก

ชุดขับเส้นพลาสติกนี้ มีการทำงานโดยใช้เฟือง 2 ตัว ในการขับดึงเส้นพลาสติก เมื่อหัวฉีดมีปัญหาหรือต้องการที่จะเปลี่ยนเส้นพลาสติกสามารถดึงเส้นพลาสติกออก และใส่ลงกลับไปใหม่ได้เลย ไม่ต้องใช้เวลาในการแกะชิ้นส่วน ดังภาพที่ 5.6



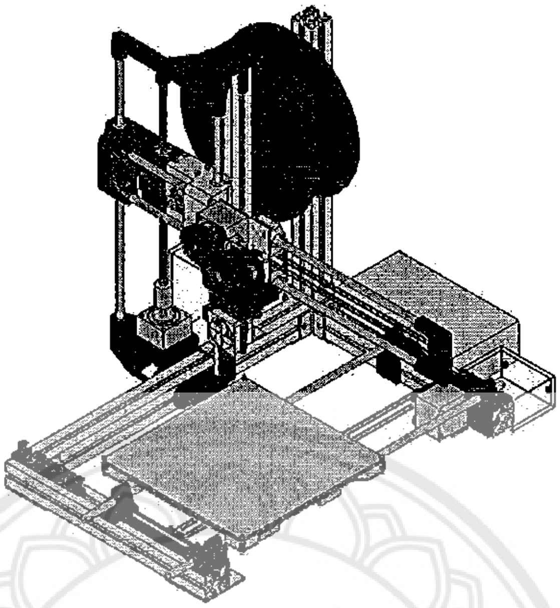
รูปที่ 5.6 ชุดขับเส้นพลาสติก

5.3 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Summer)

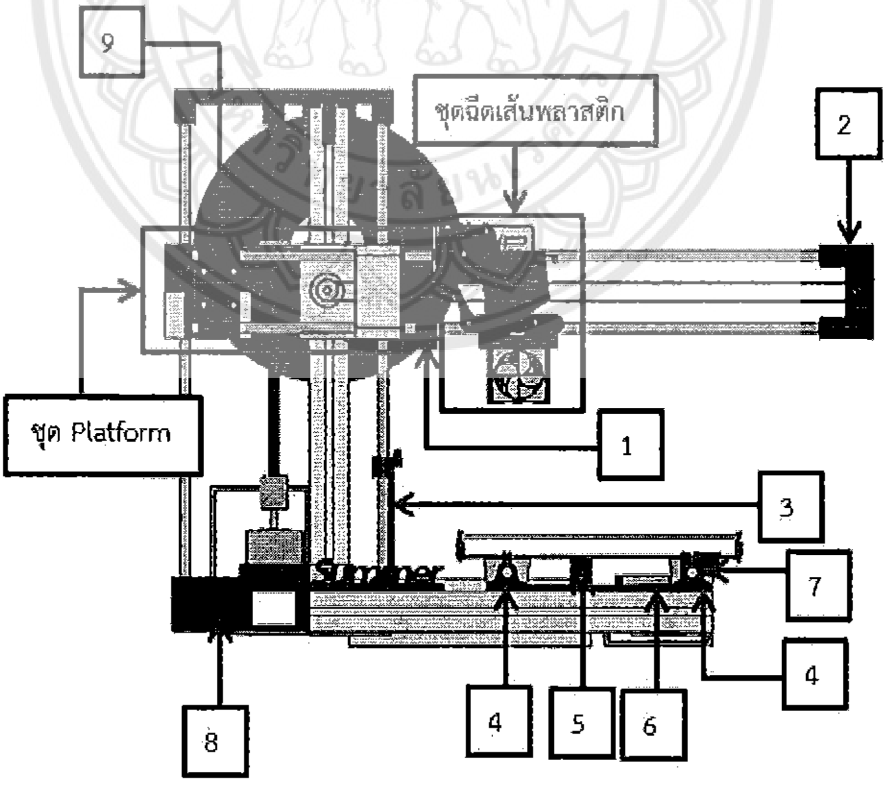


รูปที่ 5.7 แบบ 3 มิติ

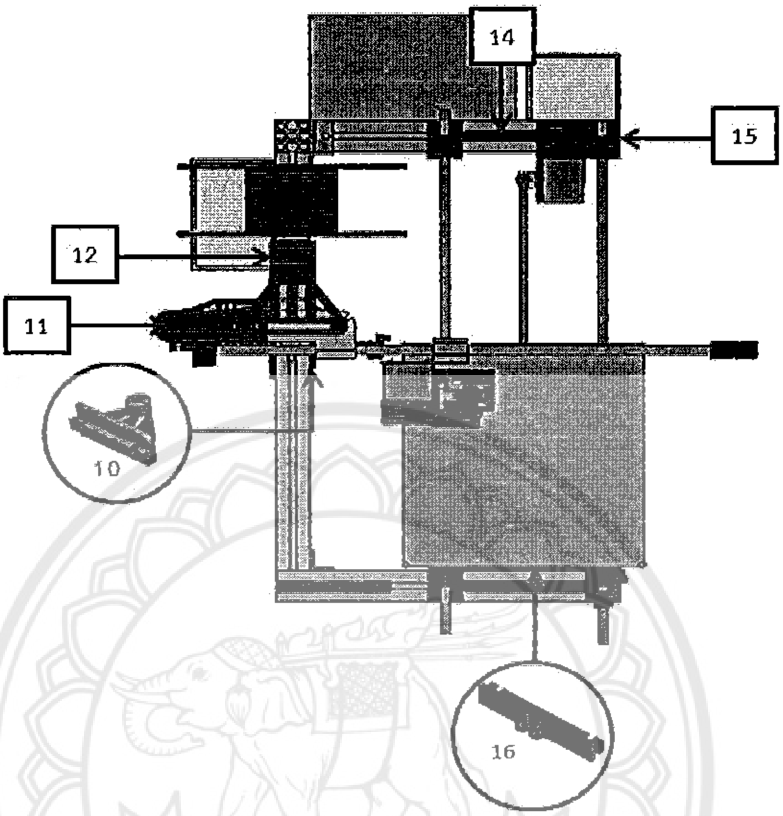
มหาวิทยาลัยนเรศวร



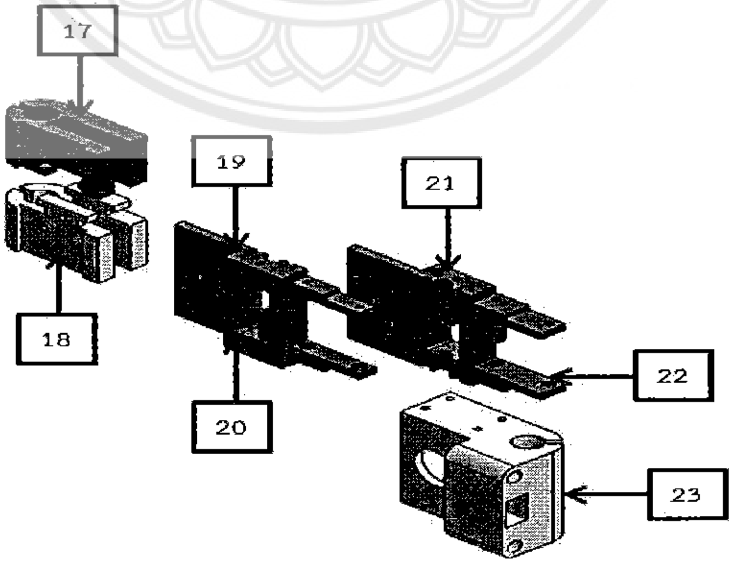
รูปที่ 5.8 ภาพมุมมอง Isometric



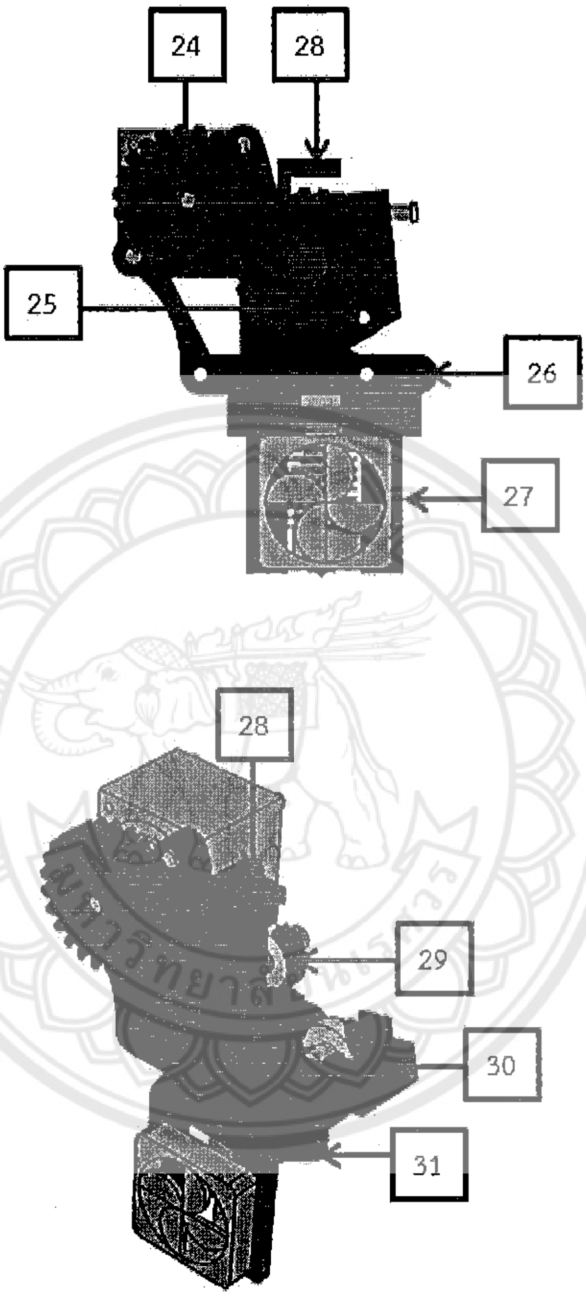
รูปที่ 5.9 ตำแหน่งของชิ้นส่วนที่พิมพ์ขึ้นรูปจากพลาสติก



รูปที่ 5.10 ตำแหน่งของชิ้นส่วนที่พิมพ์ขึ้นรูปจากพลาสติก

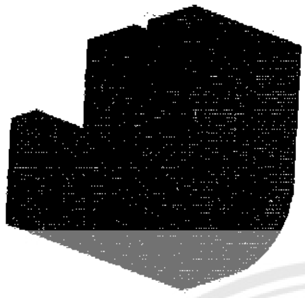
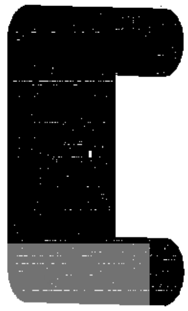
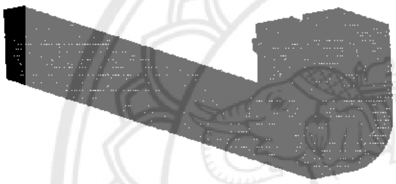
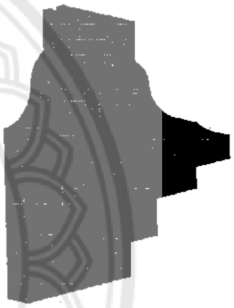
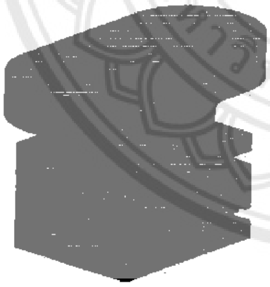
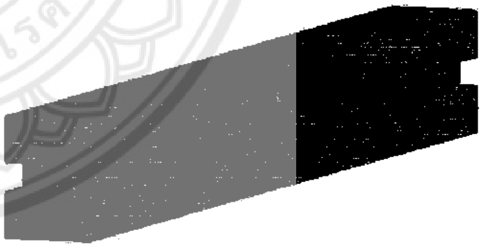
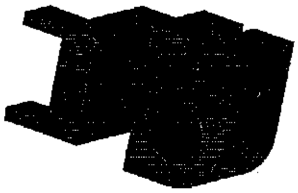
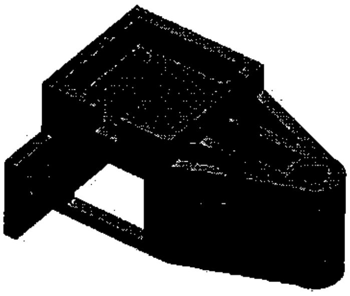


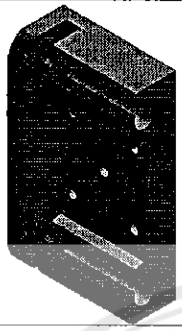
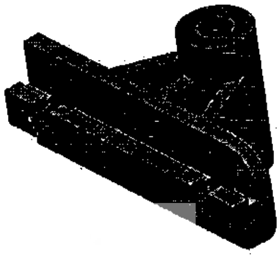
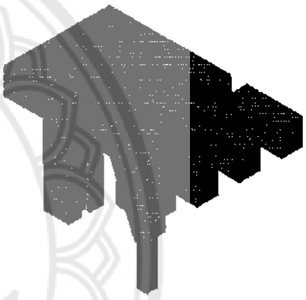
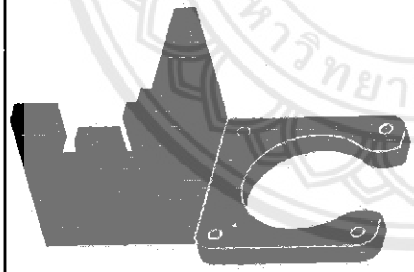
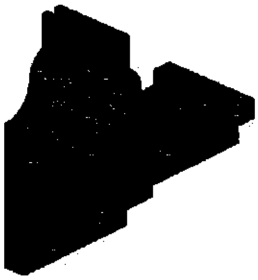
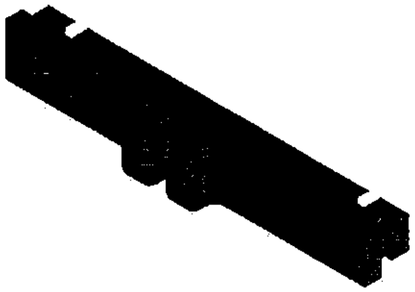
รูปที่ 5.11 ตำแหน่งของชิ้นส่วนที่พิมพ์ขึ้นรูปจากพลาสติก (ชุด Platform)



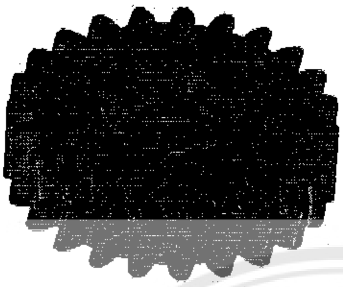
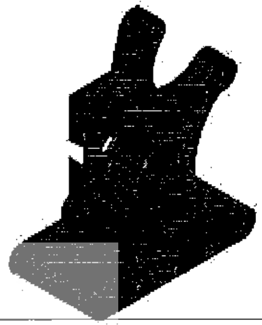
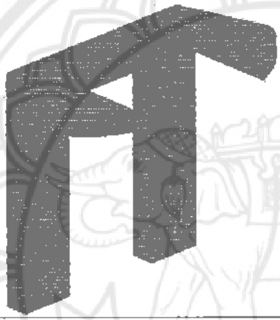
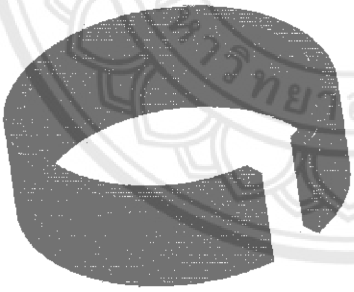
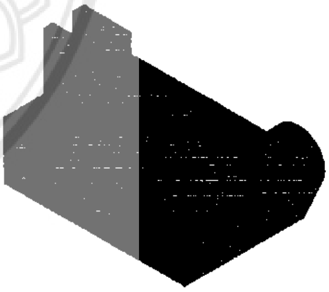
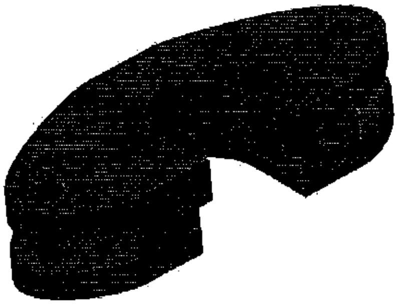
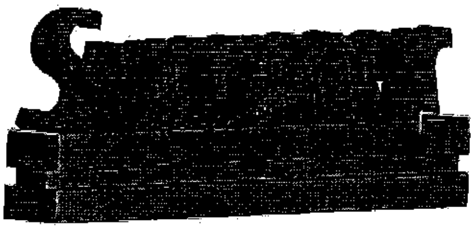
รูปที่ 5.12 ตำแหน่งของชิ้นส่วนที่พิมพ์ขึ้นรูปจากพลาสติก (ชุดฉีดเส้นพลาสติก)

ตารางที่ 5.3.1 ชิ้นส่วนที่ต้องพิมพ์แบบ 3 มิติ

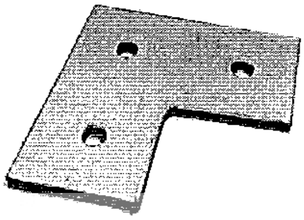
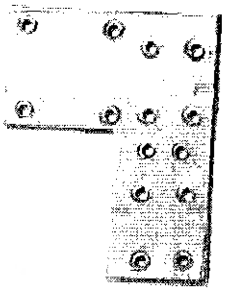
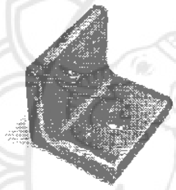
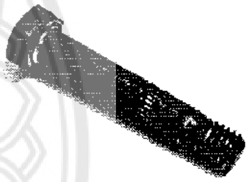
ชิ้นที่	รูปชิ้นงานจาก CAD	ชิ้นที่	รูปชิ้นงานจาก CAD
1	 Camp Limit Switch X	2	 Return X
3	 Camp Limit Switch Z	4	 Cover Rod Y
5	 Hold timing belt	6	 Gap Front cover
7	 Camp Limit Switch Y	8	 Cover step motor and Rod Z

ชิ้นที่	รูปชิ้นงานจาก CAD	ชิ้นที่	รูปชิ้นงานจาก CAD
9		10	
	Platform 2		Cover Rod Z
11		12	
	Cover Rod Top		Cover Aluminium Profile Top
13		14	
	Clamp step motor and Rod 2		Gap back cover
15		16	
	Clamp step motor and Rod 1		Return Y

MISSING

ชิ้นที่	รูปชิ้นงานจาก CAD	ชิ้นที่	รูปชิ้นงานจาก CAD
25	 Follow Gear	26	 Platform X
27	 Hold Fan	28	 Guide Filament
29	 Support Extruder	30	 Support Feed Filament
31	 Hold Heat sink	32	 Summer

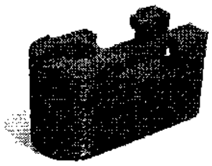
ตารางที่ 5.3.2 ชิ้นส่วนที่ต้องดัดแปลง

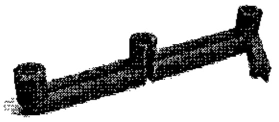
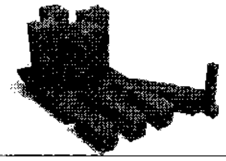
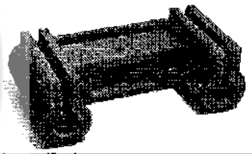
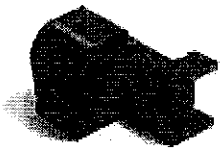
ชิ้นที่	รูปชิ้นงาน	ชิ้นที่	รูปชิ้นงาน
1	 Aluminium L Shape	2	 Aluminium Hold Extruder Set
3	 Angle Bar	4	 Bolt Feeder

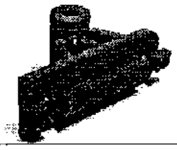
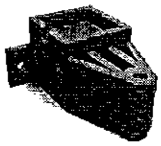
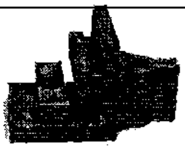
5.4 รายการวัสดุ

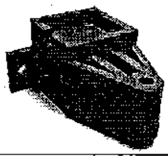
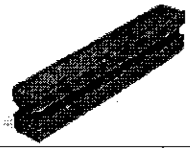
ตารางที่ 5.4.1 รายการชิ้นส่วนที่ต้องพิมพ์ 3 มิติขึ้นมา

คำนวณราคาชิ้นงานที่พิมพ์ออกมา 1กรัม = 0.82 บาท

ลำดับ	ชื่อชิ้นงาน	น้ำหนัก (g)	จำนวน	ราคา (บาท)	รูปชิ้นงาน
1	Hold Fan	11	1	9.02	
2	Hold Heat sink	10	1	8.2	
3	Platform 3-2	23	1	18.86	
4	Platform 3-4	26	1	21.32	
5	Platform 3-2	36	1	29.52	
6	Platform 3-3	30	1	24.6	
7	Platform 1	94	1	77.08	
8	Platform 5-2	30	1	24.6	

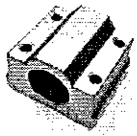
ลำดับ	ชื่อชิ้นงาน	น้ำหนัก (g)	จำนวน	ราคา (บาท)	รูปชิ้นงาน
9	Platform 5-1	36	1	29.52	
10	Cover Rod Top	48	1	39.36	
11	Cover Aluminium Profile Top	41	1	33.62	
12	Return Y	20	1	16.4	
13	Return X	31	1	25.42	
14	Camp Limit Switch X	5	1	4.1	
15	Camp Limit Switch Y	8	1	6.56	
16	Camp Limit Switch Z	9	1	7.38	
17	Support Feed Filament	11	1	9.02	

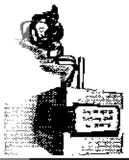
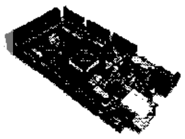
ลำดับ	ชื่อชิ้นงาน	น้ำหนัก (g)	จำนวน	ราคา (บาท)	รูปชิ้นงาน
18	Follow Gear	14	1	11.48	
19	Drive Gear	16	1	13.12	
20	Cover Rod Z	45	1	36.9	
21	Hold timing belt	8	1	6.56	
22	Clamp step motor and Rod 1	30	1	24.6	
23	Cover step motor and Rod Z	95	1	77.9	
24	Platform X	53	1	43.46	
25	Clamp step motor and Rod 2	22	1	18.04	
26	Cover Rod Y	23	3	37.72	

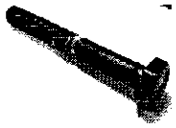
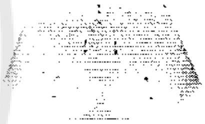
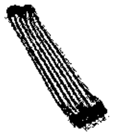
ลำดับ	ชื่อชิ้นงาน	น้ำหนัก (g)	จำนวน	ราคา (บาท)	รูปชิ้นงาน
27	Cover step motor and Rod Z	95	1	77.9	
28	Gap back cover	8	1	6.56	
29	Gap Front cover	13	1	10.6	
30	Support Extruder	2	2	3.28	
31	Guide Filament	2	1	1.64	
32	Summer	25	1	20.5	

น้ำหนักโดยรวมที่ใช้พลาสติกทั้งหมด 873 กรัม มูลค่าต่อกรัมเท่ากับ 0.82 บาท คิดเป็นมูลค่าที่ใช้พลาสติกในการพิมพ์ 3 มิติ 715.74 บาท

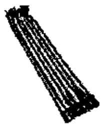
ตารางที่ 5.4.2 รายการวัสดุที่จัดซื้อ

ลำดับ	ชื่อชิ้นงาน	จำนวน	ราคา (บาท)	รวม	รูปอุปกรณ์
1	Motor Shaft Coupling	1	75	75	
2	Power Supply 12V 30A	1	700	700	
3	Heat bed MK3 ขนาด 200X200 mm	1	450	450	
4	2GT-6mm	1	50	50	
5	limit switch	3	50	150	
6	3D Printer J-head Hoted for 0.4mm/1.75mm	1	500	500	
7	Linear Ball Bearing Block 8mm	5	120	600	
8	Bearing 3-8	4	37	148	
9	Bearing 8-19	2	37	74	

ลำดับ	ชื่อชิ้นงาน	จำนวน	ราคา (บาท)	รวม	รูปอุปกรณ์
10	Gear Drive Step motor	2	50	100	
11	Feed Rod J4073 8 mm L 50 cm	6	140	840	
12	Lead Screw Dia 8mm Length 300mm T8-2-D8	1	390	390	
13	Step motor NEMA 17	4	450	687	
14	AL-3030-NUT	1 (2.5m)	687	1800	
15	MEGA 2560	1	440	687	
16	RAMP 1.4	1	250	250	
17	Drive Motor A4988	4	85	340	
18	Fan	1	45	45	

ลำดับ	ชื่อชิ้นงาน	จำนวน	ราคา (บาท)	รวม	รูปอุปกรณ์
19	LM8 UU	4	50	200	
20	extruder-hobbed-bolt-m8	1	100	100	
21	Spring 5mm	4	8	32	
22	Angle Bar	5	38	190	
23	Heat bed	1	300	300	
24	Switch	1	13	13	
25	ขั้ว	1	10	10	
26	สายไฟ	1	28	28	
27	สายแพร เมีย-เมีย	1	55	55	

มหาวิทยาลัยนเรศวร

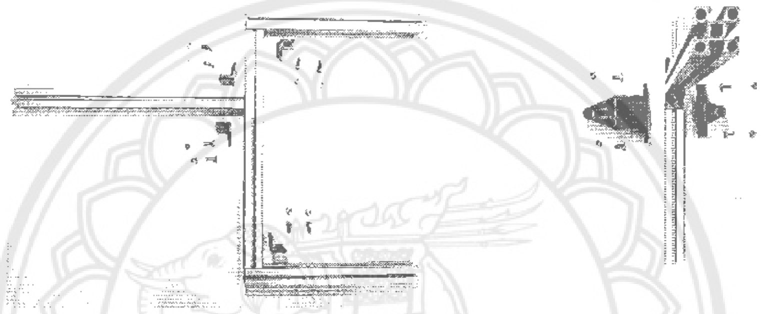
ลำดับ	ชื่อชิ้นงาน	จำนวน	ราคา (บาท)	รวม	รูปอุปกรณ์
28	สายแพร ผู้-ผู้	1	55	55	
29	แผ่นอะลูมิเนียม	1	180	180	
30	แผ่นอะคริลิก	1	100	100	
31	Nut-M3	14	2	28	
32	Bolt M3-10	4	2	8	
33	Bolt M3-12	8	2	16	
34	Bolt M3-15	16	2	32	
35	Bolt M3-20	4	2	8	
36	Bolt M3-35	4	2	8	
37	Bolt M3-40	6	2	8	
38	Wash M3	56	2	112	
39	Nut-M4	4	3	12	
40	Bolt M4-8	10	3	30	
41	Bolt M4-10	4	3	12	
42	Nut-M6	35	5	175	
43	Bolt M6-15	35	5	175	
44	Wash M8	45	3	135	

ราคารวม 10,218.3 บาท

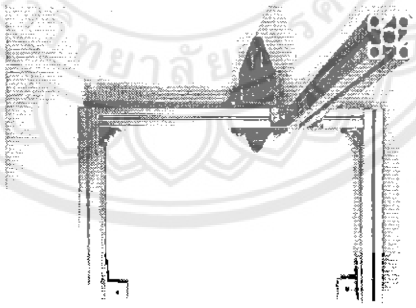
5.5 ขั้นตอนการประกอบเครื่อง Summer

5.5.1 ประกอบโครง

การประกอบโครงสร้างเป็นขั้นตอนแรกในการประกอบเครื่องพิมพ์ โดยใช้อลูมิเนียมเป็นโครงสร้างในการประกอบ ดังรูปที่ 5.13 และได้โครงเครื่องพิมพ์ ดังรูปที่ 5.14



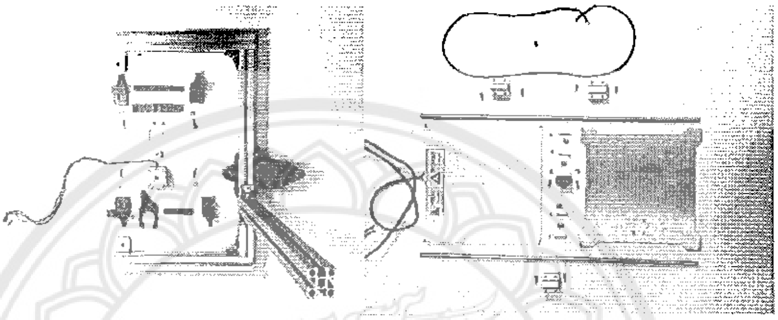
รูปที่ 5.13 ชุดประกอบโครง



รูปที่ 5.14 โครงเครื่องพิมพ์

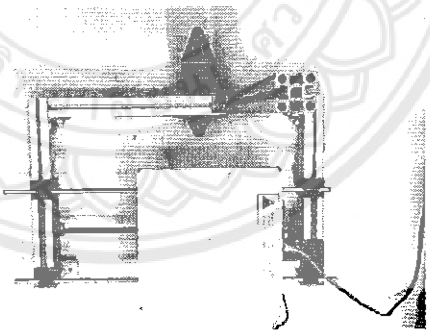
5.5.2 ประกอบชุดการเคลื่อนที่แนวแกน Y

ประกอบชุดการเคลื่อนที่แนวแกน Y โดยเป็นการนำชุดประกอบการเคลื่อนที่แนวแกน Y รูปที่ 5.15 มาประกอบเข้ากับโครงที่ประกอบไว้เรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 5.15 ชุดประกอบการเคลื่อนที่แนวแกน Y

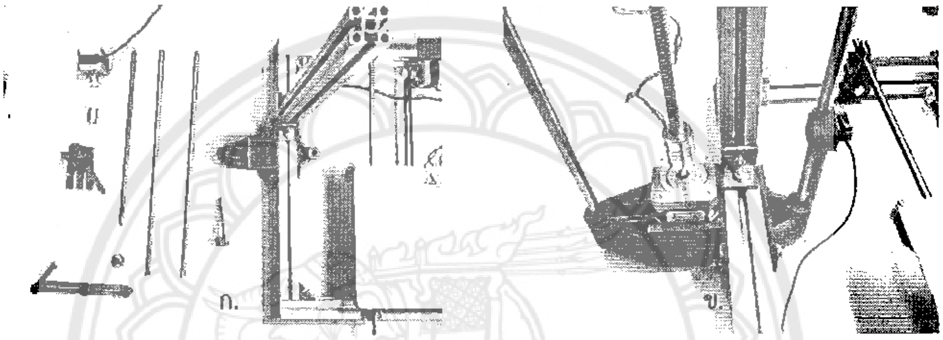
จะได้ชุดประกอบการเคลื่อนที่แนวแกน Y ดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 ชุดการเคลื่อนที่แนวแกน Y

5.5.3 ประกอบชุดการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z

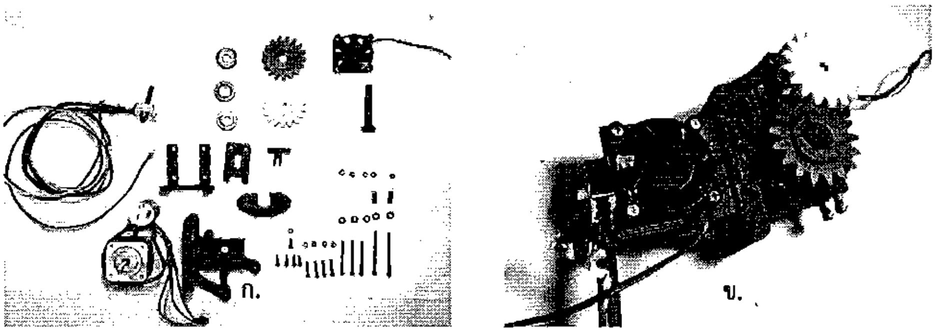
ประกอบชุดเคลื่อนที่ในแนวแกน Z เป็นการใส่แท่งเหล็กและแกนเกลียวในการเคลื่อนที่ขึ้นลงพร้อมสเต็ปมอเตอร์ ดังรูปที่ 5.17 ก. และจะได้ชุดเคลื่อนที่ในแนวแกน Z ดังรูปที่ 5.17 ข.



รูปที่ 5.17 ชุดการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z

5.5.4 ประกอบชุดฉีดเส้นพลาสติก

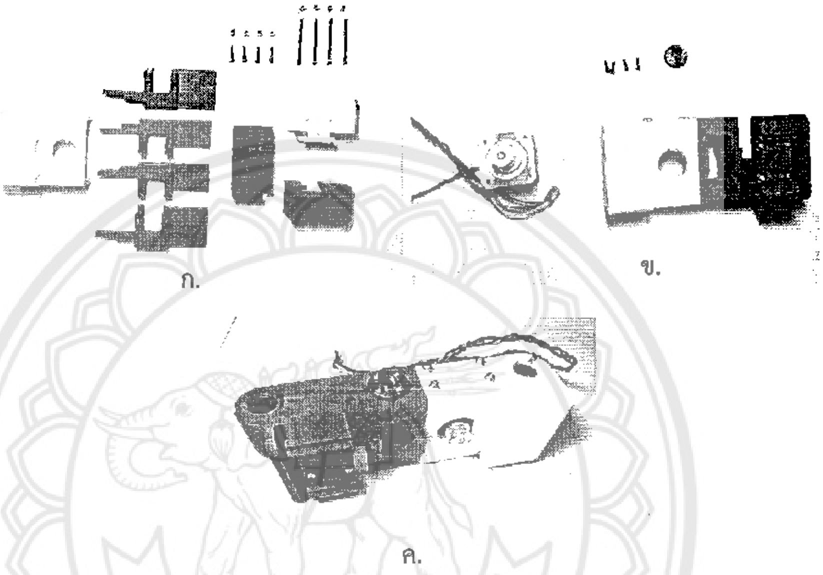
ประกอบชุดฉีดเส้นพลาสติก ใช้อุปกรณ์ดังรูปที่ 5.18 ก3 และจะได้ชุดฉีดเส้นพลาสติก ดังรูปที่ 5.18 ข.



รูปที่ 5.18 ชุดฉีดเส้นพลาสติก

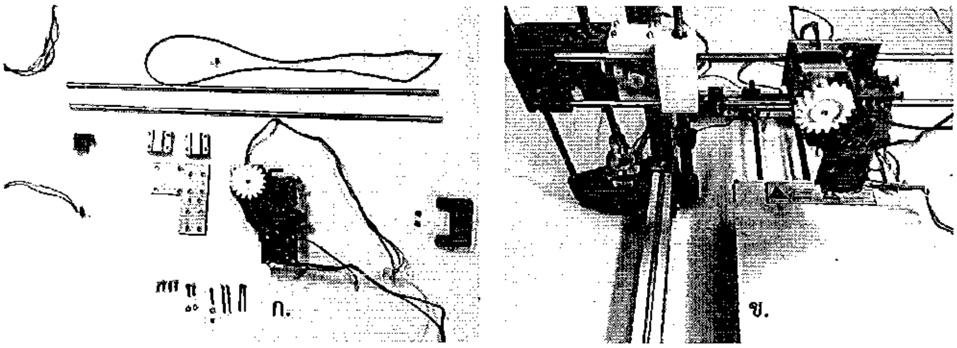
5.5.5 ประกอบชุด Platform Z และการเคลื่อนที่ในแนวแกน X

ประกอบชุด Platform Z ใช้อุปกรณ์ ดังรูปที่ 5.19 ก. และสเต็ปมอเตอร์ ดังรูปที่ 5.19 ข. จะได้ชุด Platform Z ดังรูปที่ 5.19 ค. จากนั้นนำชุด Platform Z ใส่เข้ากับชุดการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z

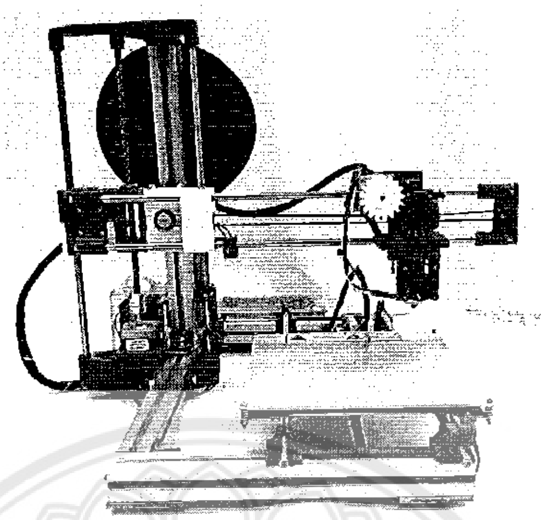


รูปที่ 5.19 ประกอบชุด Platform Z

ประกอบชุดการเคลื่อนที่แนวแกน X รูปที่ 5.20 ก. เป็นการนำชุดการฉีดเส้นพลาสติกมาประกอบเข้ากับชุดการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และนำไปสวมเข้ากับชุด Platform Z ดังรูปที่ 5.20 ข.

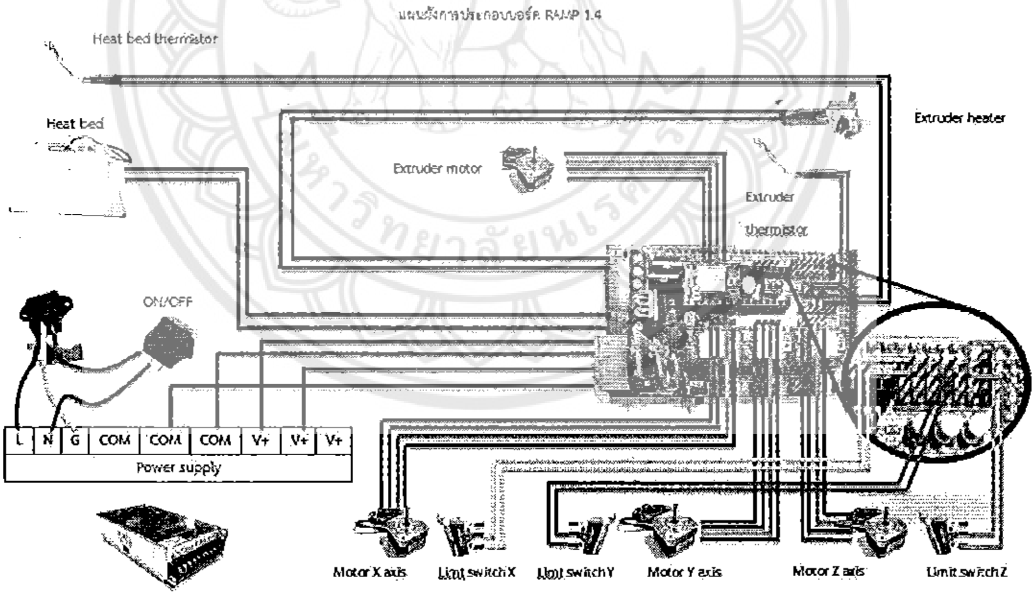


รูปที่ 5.20 ชุดการเคลื่อนที่แนวแกน X



รูปที่ 5.21 เครื่องพิมพ์ Summer หลังจากประกอบเรียบร้อย

5.6 ระบบ electronics



รูปที่ 5.22 แผงผังวงจร electronics

งานอิเล็กทรอนิกส์เครื่อง Summer แบ่งเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ส่วนตัวควบคุม สเต็ปมอเตอร์ ลิมิตสวิตช์ ตัววัดอุณหภูมิ และแหล่งจ่ายไฟ(Power Supply)

MISSING

มหาวิทยาลัยนเรศวร

5.6.5 แหล่งจ่ายไฟ แหล่งจ่ายไฟ (Power supply) เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิก ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าจาก 220 โวลต์ เป็น 3.3 โวลต์, 5 โวลต์ และ 12 โวลต์ ตามความต้องการของอุปกรณ์ ในเครื่อง Summer ใช้แหล่งจ่ายไฟแปลงไฟจาก 220 โวลต์ เป็น 12 โวลต์ เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงแผงวงจรและอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่อง

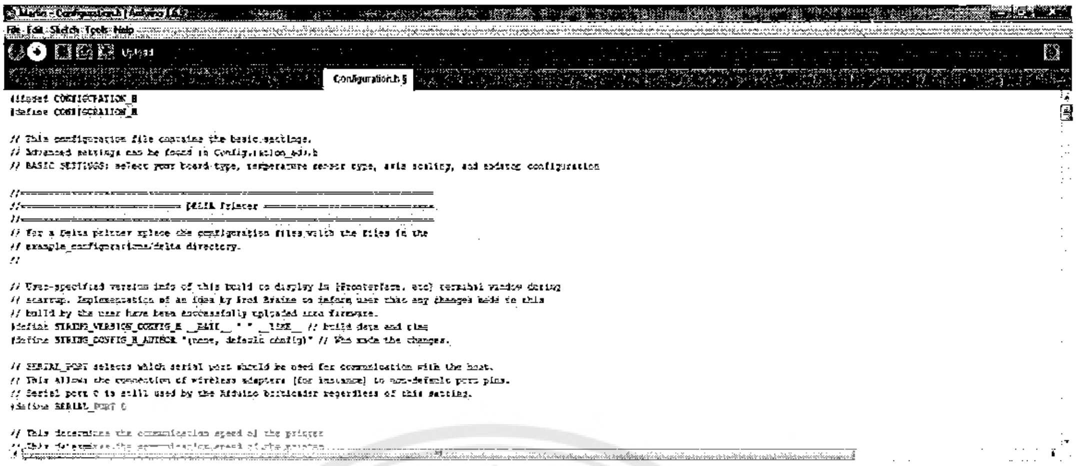
Thermistor Power supply

รูปที่ 5.25 Thermistor และ Power supply

5.7 โปรแกรมควบคุม

โปรแกรมควบคุมของ Summer นั้นแบ่งออกดเป็น3 ส่วนได้แก่ ส่วนที่หนึ่งส่วนการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง ส่วนที่สองเป็นส่วนที่ใช้ในการแปลงไฟล์ .STL จากโปรแกรมเขียนแบบเป็นไฟล์ g.code สำหรับการพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ และส่วนที่สามทำหน้าที่คำสังการทำงานในรู้แบบ g.code ไฟล์แล้วทำการพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ

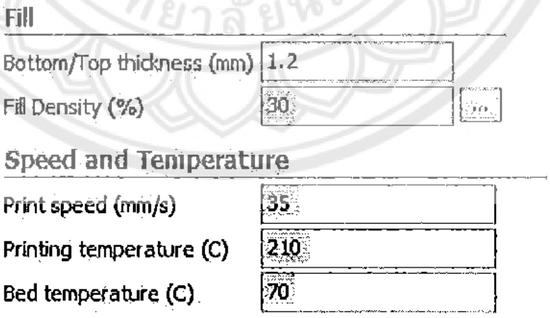
5.7.1 โปรแกรม Arduino โปรแกรม Arduino เป็นโปรแกรมสำหรับเขียนคำสั่งควบคุมไมโครคอนโทเลอร์ในการควบคุมและสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆ เครื่อง Summer ได้มีการใช้โปรแกรม Arduino สำหรับเขียนโค้ดควบคุมเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งเป็นฟรีแวร์ของ Reprap โดยได้ทำการปรับตั้งค่าคำสั่งแล้วเขียนคำสั่งผ่านโปรแกรม Arduino ลง บอร์ดควบคุมหลัก



รูปที่ 5.26 รูปการปรับตั้งค่าคำสั่งในโปรแกรม Arduino

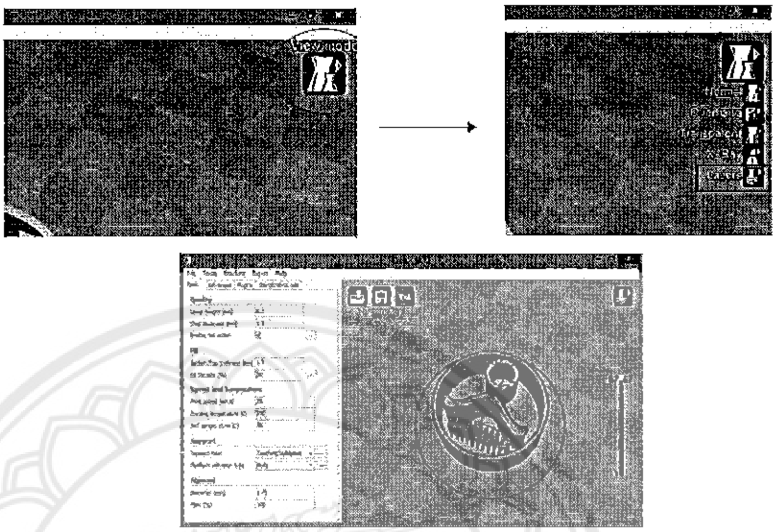
5.7.2 โปรแกรม Cura เครื่อง Summer จะใช้โปรแกรม Cura ในการตั้งค่าต่างๆสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานรวมถึงการตั้งแนวการขึ้นรูปชิ้นงานได้อีกด้วยซึ่งจะปรับค่าหลักๆมีอยู่ 5 ค่าดังนี้

1. Heat extruder
2. Heat bed
3. Density
4. Print speed



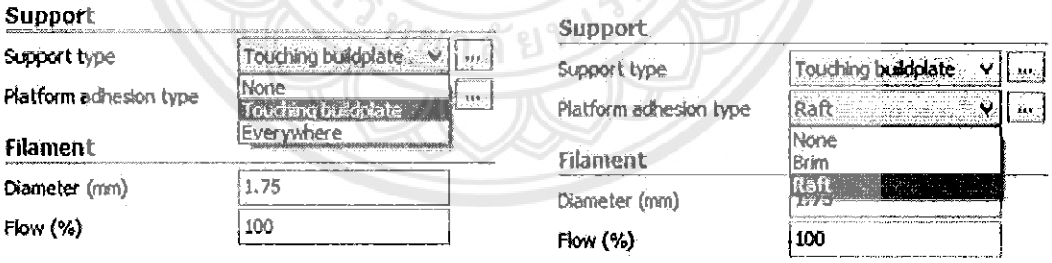
รูปที่ 5.27 การปรับค่า

ในโปรแกรม Cura ก็สามารถจำลองการขึ้นรูปแต่ละชั้นได้โดยการจำลองการขึ้นรูปสามารถทำได้ดังรูป



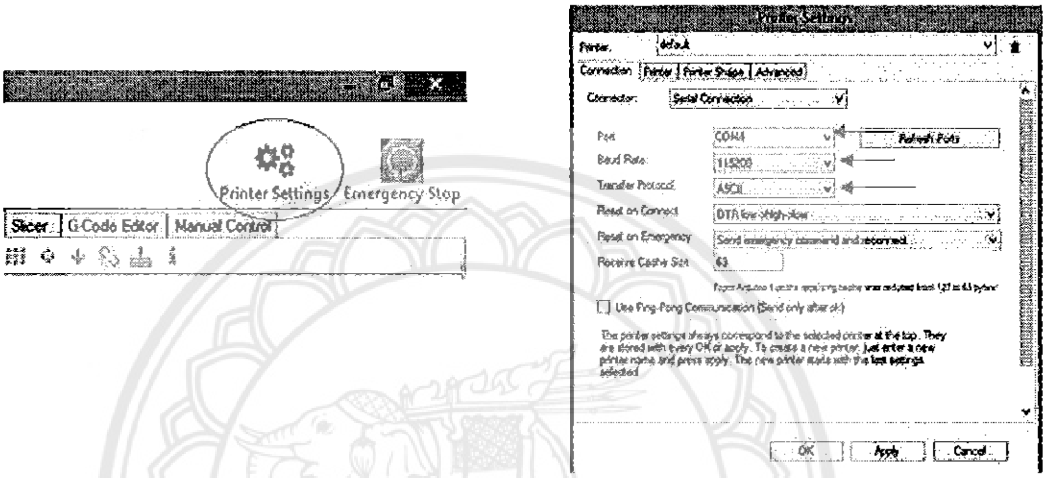
รูปที่ 5.28 จำลองการขึ้นรูป

การเลือกชนิด support สามารถทำได้ดังรูปโดยที่ชนิด support ที่ใช้เป็นแบบ Touching buildplate และตัวฐานใช้แบบ Raft



รูปที่ 5.29 เลือกชนิด support

5.7.3 โปรแกรม Repetier-Host โปรแกรมที่ใช้ควบคุมเครื่อง Summer คือโปรแกรม Repetier-Host โดยเริ่มแรกตั้งทำการตั้งค่าการเชื่อมต่อก่อนโดยเข้าไปที่ Printer settings แล้วทำการตั้งค่าตามดังรูป (สำหรับเครื่อง Summer)



รูปที่ 5.30 Printer settings

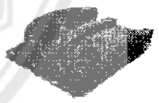
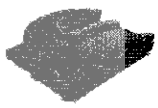
สามารถควบคุมเครื่องได้โดยไปที่เมนู Manual Control โดยภายในช่องนั้นจะสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ได้ทั้ง 3 แกน การให้ความร้อนหัวฉีดและการให้ความร้อนกับฐานความร้อนทำให้สามารถตรวจสอบการทำงานของเครื่องได้ว่าพร้อมทำงานหรือยัง เมื่อตรวจสอบเสร็จก็ทำการกด Run job เพื่อให้ทำงาน

MISSING

ตารางที่ 6.2 ตารางสรุปผลการทดสอบเครื่อง Summer

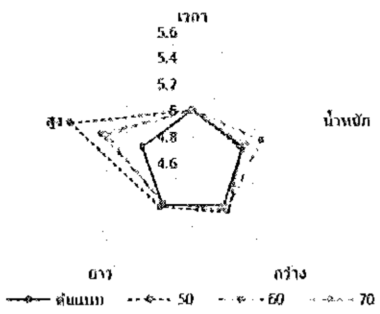
6.2.1 ทดสอบแปรผันค่าอุณหภูมิฐานความร้อน

ตัวแปรต้น	
1.อุณหภูมิหัวฉีด	210°C
2.อุณหภูมิฐานความร้อน	50 / 60 / 70°C
3.ความหนาแน่น	30%
4.การทำงานพัดลมระบายความร้อน	100%
5.ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน	35 mm/s

อุณหภูมิฐานความร้อน (°C)	น้ำหนักชิ้นงาน(g)		ขนาดชิ้นงาน(mm)			รอยเชื่อมงาน	ประเมินคุณภาพ
	โปรแกรม	น้ำหนักจริง	กว้าง	ยาว	สูง		
50	2.00	1.99	25.30	25.10	6.70		3.00
60	2.00	2.06	25.20	24.90	6.40		2.33
70	2.00	2.01	25.00	24.90	6.35		2.00

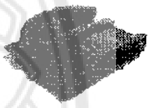
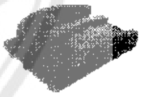
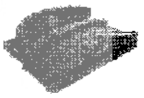
	เวลา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	สูง
ต้นแบบ	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
50	5.00	4.98	5.06	5.02	5.58
60	5.00	5.15	5.04	4.98	5.33
70	5.00	5.03	5.00	4.98	5.29

แปรผันอุณหภูมิฐานความร้อน



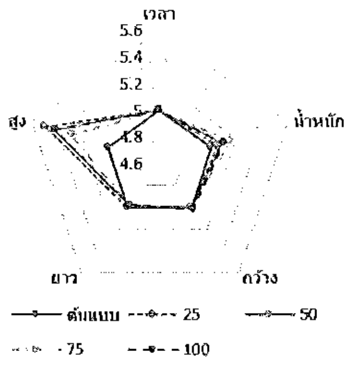
6.2.2 ทดสอบแปรผันค่าความหนาแน่นชิ้นงาน

ตัวแปรต้น	
1.อุณหภูมิหัวฉีด	210^{o}C
2.อุณหภูมิฐานความร้อน	70^{o}C
3.ความหนาแน่น	25 / 50 / 75 / 100 %
4.การทำงานพัดลมระบายความร้อน	100%
5.ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน	35 mm/s

ความหนาแน่น (%)	น้ำหนักชิ้นงาน(g)		ขนาดชิ้นงาน(mm)			รอยเชื่อมงาน	ประเมินคุณภาพ
	โปรแกรม	น้ำหนักจริง	กว้าง	ยาว	สูง		
25	2.00	2.02	25.00	25.00	6.60		2.33
50	2.00	2.03	25.00	24.90	6.50		2.33
75	2.00	2.06	25.00	24.90	6.35		2.33
100	2.00	2.04	25.10	24.90	6.50		2.33

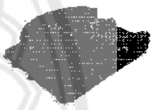
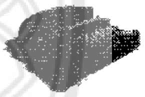
	เวลา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	สูง
ต้นแบบ	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
25	5.00	5.05	5.00	5.00	5.50
50	5.00	5.08	5.00	4.98	5.42
75	5.00	5.15	5.00	4.98	5.29
100	5.00	5.10	5.02	4.98	5.42

แปรผันความหนาแน่น



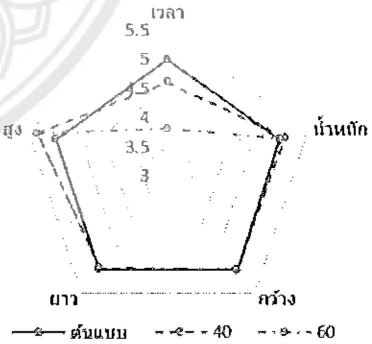
6.2.3 ทดสอบแปรผันค่าความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน

ตัวแปรต้น	
1.อุณหภูมิหัวฉีด	210°C
2.อุณหภูมิฐานความร้อน	70°C
3.ความหนาแน่น	30%
4.การทำงานพัดลมระบายความร้อน	100%
5.ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน	40 / 60 mm/s

ความเร็วในการพิมพ์ (mm/s)	น้ำหนักชิ้นงาน(g)		ขนาดชิ้นงาน(mm)			รอยเชื่อมงาน	ประเมินคุณภาพ
	โปรแกรม	น้ำหนักจริง	กว้าง	ยาว	สูง		
40	2.00	2.04	25.00	24.90	6.40		2.67
60	2.00	2.01	25.00	24.85	6.40		2.00

	เวลา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	สูง
ต้นแบบ	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
40	4.60	5.10	5.00	4.98	5.33
60	3.80	5.03	5.00	4.97	5.33

แปรผันความเร็วในการพิมพ์



6.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการชั่งน้ำหนักและวัดขนาดของชิ้นงานที่ได้จากเครื่อง Summer มีค่าน้ำหนักน้อยกว่า 0.5% เมื่อเทียบกับโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ ส่วนค่าความยาว ความกว้าง ความสูงจะมีค่ามากกว่าในโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ทั้งหมด 1.2% , 0.4% , 11.67% ตามลำดับและจะมีค่าความผิดพลาดเล็กน้อยซึ่งเกิดขึ้นจากช่วงระหว่างการขึ้นรูปและยังส่งผลให้ต่อชิ้นงานที่ออกมานั้นมีเส้นพลาสติกที่ย้อยลงมาทำให้ชิ้นงานที่ได้มีความผิดพลาดเล็กน้อย

เมื่อทำการประเมินคุณภาพแล้วที่อุณหภูมิฐานความร้อน 50 ^{o}C จะมีคุณภาพที่ดีที่สุดในส่วนที่ค่า 60 ^{o}C และ 70 ^{o}C จะมีคุณภาพรองลงมา

ความหนาแน่นนั้นทุกค่าจะมีคุณภาพที่ใกล้เคียงกันทุกค่าซึ่งการเลือกใช้ค่าความหนาแน่นนั้นเลือกใช้ที่ 50% สำหรับชิ้นงานไม่ต้องการความแข็งแรงมากนักและใช้ที่ 100% สำหรับชิ้นงานที่ต้องการความแข็งแรงมาก

ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงานที่ความเร็ว 40 mm/s จะมีคุณภาพที่ดีที่สุดส่วนที่ความเร็ว 60 mm/s จะมีค่ารองลงมาซึ่งตามหลักการแล้วยิ่งความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงานมีค่าน้อยยิ่งทำให้ชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพที่ดี

สรุปได้ว่าเครื่อง Summer จะมีค่าการทำงานที่ดีที่สุดดังนี้

อุณหภูมิฐานความร้อน = 50 ^{o}C

ความหนาแน่น = 100 %

ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน = 40 mm/s

6.4 การวิเคราะห์คุณภาพของชิ้นงาน

จากผลการทดสอบได้มีการสังเกตเห็นว่าชิ้นงานของเครื่อง Prusa i3 กับเครื่อง Summer มีความแตกต่างกันที่ความเรียบเนียนของผิวชิ้นงานและความเงาของผิวชิ้นงานซึ่งชิ้นงานของเครื่อง Prusa i3 นั้นมีผิวที่เรียบเนียนกว่าและไม่เกิดความเงาบนผิวชิ้นงานส่วนเครื่อง Summer มีผิวชิ้นงานที่หยาบเล็กน้อยและมีความเงาบนผิวของชิ้นงานซึ่งวิเคราะห์ผลออกมาได้ว่าเกิดจากการแห้งตัวไวและช้าของตัวเส้นพลาสติกซึ่งการแห้งตัวช้าหรือไวนั้นเกิดได้จาก 3 ตัวแปรหลักคือ อุณหภูมิหัวฉีด , การทำงานของพัดลมระบายความร้อน และ อุณหภูมิฐานความร้อน ซึ่งอุณหภูมิหัวฉีด อุณหภูมิฐานความร้อนจะส่งผลโดยตรงกับการทำงานของพัดลมระบายความร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงการระบายความร้อนก็ต้องต่ำลงเพื่อทำให้ชิ้นงานไม่แห้งไวจนเกินไป

บทที่ 7

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

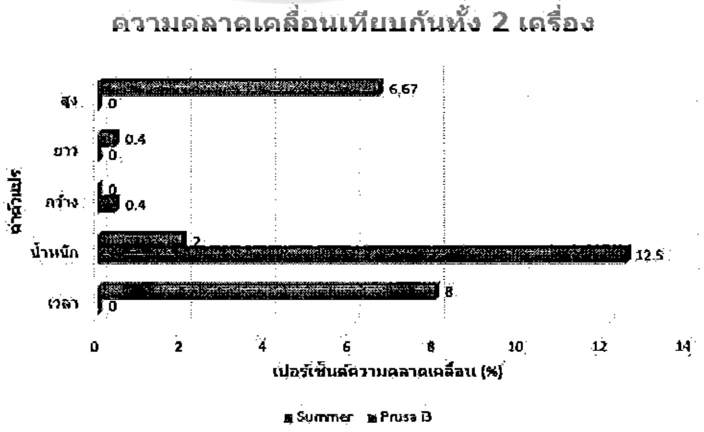
7.1 สรุปผล

7.1.1 คุณภาพของชิ้นงาน

จากการวัดค่าต่างๆแล้วเครื่อง Summer จะมีค่าน้ำหนักที่ใกล้เคียงมากที่สุดกับค่าในโปรแกรมที่ใช้คำนวณซึ่งน้ำหนักในโปรแกรมมีค่า 2 กรัม น้ำหนักที่วัดได้จริงมีค่าเฉลี่ย 2.03 กรัม ส่วนเครื่อง Prusa i3 มีน้ำหนักห่างจากค่าในโปรแกรมเล็กน้อยซึ่งวัดแล้วมีค่าเฉลี่ย 1.72 กรัม ด้านขนาดชิ้นงานทั้งสองเครื่องมีขนาดใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้ทั้งหมดและในด้านความละเอียดชิ้นงานเครื่อง Summer จะมีความละเอียดน้อยกว่าเครื่อง Prusa i3

ตาราง 7.1 ชิ้นงานที่ดีที่สุดของเครื่อง Prusa i3 และ เครื่อง Summer

ตัวแปรควบคุม	Prusa i3	Summer
อุณหภูมิหัวฉีด	210 ^{o}C	210 ^{o}C
อุณหภูมิฐาน	70 ^{o}C	50 ^{o}C
ความหนาแน่น	100 %	100 %
การทำงานพัดลมระบายความร้อน	100 %	100 %
ความเร็วในการพิมพ์	40 mm/s	40 mm/s



รูปที่ 7.1 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของเครื่องพิมพ์ Prusa i3 และเครื่องพิมพ์ Summer

7.1.2 ราคารวมของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

ราคารวมของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Summer) มีราคาที่ย่อมเยากว่าเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Prusa i3) ดังนี้

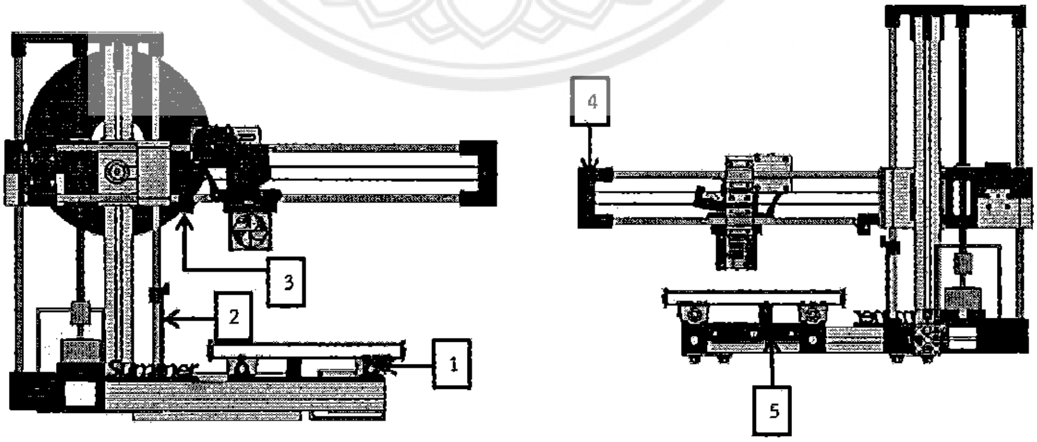
ราคารวมเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Prusa i3)	เท่ากับ	15,000	บาท
ราคารวมเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Summer)	เท่ากับ	10,218.3	บาท

เครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Summer) ราคาย่อมเยากว่าเครื่องพิมพ์ 3มิติ (Prusa i3) เป็นจำนวนเงิน 4,871.7 บาท

7.1.3 ขั้นตอนการประกอบ

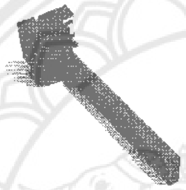
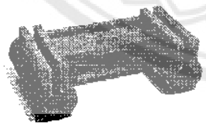
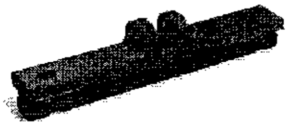
ขั้นตอนการประกอบระหว่างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Prusa i3 และ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Summer นั้น จากผลการสอบถามความเข้าใจของผู้ศึกษา[illegible]ารประกอบ พบว่าค่าเฉลี่ยในการประเมินนั้น เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Prusa i3 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 12.8 และ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Summer มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 15 จึงสรุปได้ว่า เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Summer มีขั้นตอนการประกอบที่น่าพึงพอใจมากกว่าเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Prusa i3

ชิ้นงานที่ได้จากการพิมพ์ขึ้นรูปและนำมาใช้เป็นชิ้นส่วนในการประกอบเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Summer บางชิ้นมีความแข็งแรงน้อยและเสียหายได้ง่าย ในเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Summer มีชิ้นส่วนที่มีเกิดความเสียหายได้ง่ายทั้งหมด 5 ชิ้นส่วน โดยแสดงตำแหน่งของชิ้นส่วนที่เสียหายได้ง่ายดังรูปที่ 7.2 และอธิบายสาเหตุของการเกิดความเสียหายของชิ้นส่วนในตารางที่ 7.2



รูปที่ 7.2 ตำแหน่งของชิ้นส่วนที่เสียหายได้ง่าย

ตารางที่ 7.2 ชิ้นส่วนที่เสียหายได้ง่าย

ลำดับที่	ชิ้นงาน	สาเหตุ
1	 Clamp Limit Switch Y	เนื่องจากลักษณะการทำงานของ Clamp Limit Switch นั้นมีการแรงกระแทกจากอุปกรณ์ขับเคลื่อนต่างๆ ซ้ำทำให้ชิ้นส่วนเกิดความล้าและส่งผลให้เกิดความเสียหายได้หลังจากการใช้งานในระยะยาว
2	 Clamp Limit Switch Z	เนื่องจากลักษณะการทำงานของ Clamp Limit Switch นั้นมีการแรงกระแทกจากอุปกรณ์ขับเคลื่อนต่างๆ ซ้ำทำให้ชิ้นส่วนเกิดความล้าและส่งผลให้เกิดความเสียหายได้หลังจากการใช้งานในระยะยาว
3	 Clamp Limit Switch X	เนื่องจากลักษณะการทำงานของ Clamp Limit Switch นั้นมีการแรงกระแทกจากอุปกรณ์ขับเคลื่อนต่างๆ ซ้ำทำให้ชิ้นส่วนเกิดความล้าและส่งผลให้เกิดความเสียหายได้หลังจากการใช้งานในระยะยาว
4	 Return X	เนื่องจากลักษณะการรับแรงของ Return X นั้นมีการแรงดึงจากการดึงสายพานของมอเตอร์ซ้ำทำให้ชิ้นส่วนเกิดความล้าและส่งผลให้เกิดความเสียหายได้หลังจากการใช้งานในระยะยาว
5	 Return Y	เนื่องจากลักษณะการรับแรงของ Return Y นั้นมีการแรงดึงจากการดึงสายพานของมอเตอร์ซ้ำทำให้ชิ้นส่วนเกิดความล้าและส่งผลให้เกิดความเสียหายได้หลังจากการใช้งานในระยะยาว

7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาและปรับปรุง

7.2.1 การละลายมีผลต่อชิ้นงาน ในด้านคุณภาพของชิ้นงาน ความเรียบของพื้นผิวและการประสานกันระหว่างชั้น

7.2.2 เครื่อง 3 มิติ ควรมีกล่องตัวเครื่องพิมพ์ เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่

7.2.3 เพิ่มระบบป้อนเส้นพลาสติก เพื่อป้องกันการหักงอของเส้นพลาสติกและง่ายต่อการฉีดเส้นพลาสติก

7.2.4 เพิ่มการสั่งงานหรือการพิมพ์ด้วย SD การ์ด เพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน

7.2.5 ใส่กระจกที่ฐานให้ความร้อน เพื่อให้ชิ้นงานมีการยึดติดกับฐานที่ดีขึ้น และเพิ่มความเรียบเนียน

7.2.6 ก่อนใช้งานเครื่องพิมพ์ ควรตรวจสอบความพร้อมของเครื่อง

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บรรณานุกรม

[1] Nannan GUO, Ming C. LEU (2013). Additive manufacturing: technology, applications and research needs , Review article.

[2] หลักการเคลื่อนที่ 3 แกน สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2559 , จาก www.teched.rmutt.ac.th/wp-content/uploads/2013/05/3-หน่วย-1-การควบคุมเครื่องจักรกล-CNC.pdf

[3] Fused Filament Fabrication (FFF). สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2559 , จาก http://3dprintingforbeginners.com/3d-printing-technology/

[4] Stereolithography (STL). สืบค้นเมื่อ 10 กรกฎาคม 2559 http://www.designengineerlife.com/2015/10/what-is-stl-file/

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การทดสอบเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Prusa i3 และ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Summer

ตาราง ก1 ผลการทดสอบชิ้นงานเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Prusa i3

ตาราง ก1.1 ทดสอบแปรผันค่าอุณหภูมิหัวฉีด

อุณหภูมิหัวฉีด (^{o}C)	จำนวนครั้ง			ค่าเฉลี่ย (g)	ค่าจาก โปรแกรม (g)
	1	2	3		
200	1.5533	1.5532	1.532	1.5532	2
210	1.6627	1.6630	1.6632	1.663	2
220	1.6451	1.6450	1.6449	1.645	2

ตาราง ก1.2 ทดสอบแปรผันค่าอุณหภูมิฐานความร้อน

อุณหภูมิฐาน ความร้อน (^{o}C)	จำนวนครั้ง			ค่าเฉลี่ย (g)	ค่าจาก โปรแกรม (g)
	1	2	3		
50	0	0	0	0	2
60	1.5073	1.5074	1.5075	1.5074	2
70	1.6266	1.6264	1.6261	1.6264	2

ตาราง ก1.3 ทดสอบแปรผันค่าความหนาแน่น

ความ หนาแน่น (%)	จำนวนครั้ง			ค่าเฉลี่ย (g)	ค่าจาก โปรแกรม (g)
	1	2	3		
20	1.7699	1.7699	1.7699	1.7699	2
40	1.8040	1.8040	1.8040	1.804	2
60	1.8181	1.8181	1.8181	1.8181	2
80	1.7866	1.7868	1.7868	1.7867	2
100	1.7782	1.7786	1.7785	1.7784	2

ตาราง ก1.4 ทดสอบแปรผันค่าการทำงานพัดลมระบายความร้อน

การทำงานของพัดลม (%)	จำนวนครั้ง			ค่าเฉลี่ย (g)	ค่าจากโปรแกรม (g)
	1	2	3		
0	1.7671	1.7671	1.7672	1.7671	2
20	1.7553	1.7552	1.7552	1.7552	2
40	1.7729	1.7729	1.7730	1.7729	2
60	1.7285	1.7285	1.7282	1.7284	2
80	1.7401	1.7405	1.7400	1.7402	2
100	1.7476	1.7474	1.7475	1.7475	2

ตาราง ก1.5 ทดสอบแปรผันค่าความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน

ความเร็วในการพิมพ์ (mm/s)	จำนวนครั้ง			ค่าเฉลี่ย (g)	ค่าจากโปรแกรม (g)
	1	2	3		
40	1.7613	1.7609	1.7611	1.7611	2
50	1.7639	1.7640	1.7638	1.7639	2
60	1.7793	1.7792	1.7791	1.7792	2
70	1.7315	1.7316	1.7317	1.7316	2

ตาราง ก1.6 ประเมินผลการทดสอบชิ้นงาน โดยการพิจารณารอยเชื่อมของเครื่อง Prusa i3

แบบประเมินผลการทดสอบชิ้นงาน โดยการพิจารณารอยเชื่อม							
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการขึ้นรูป				ระดับความพึงพอใจ			
				4	3	2	1
อุณหภูมิหัวฉีด	ชิ้นงาน	อุณหภูมิฐานคงที่					
	200	70			2	1	
	210	70			3		
	220	70			2	1	
อุณหภูมิฐาน	ชิ้นงาน	อุณหภูมิหัวฉีดคงที่					
	50	210					3
	60	210			2	1	
	70	210			3		
ความหนาแน่นชิ้นงาน	ชิ้นงาน (%)	อุณหภูมิฐานคงที่	อุณหภูมิหัวฉีดคงที่				
	20	70	210		1	2	
	40	70	210		2	1	
	60	70	210		2	1	
	80	70	210	3			
	100	70	210	3			
การทำงานพัดลมระบายความร้อน	ชิ้นงาน (%)	อุณหภูมิฐานคงที่	อุณหภูมิหัวฉีดคงที่				
	0	70	210			3	
	20	70	210		1	2	
	40	70	210		2	1	

ตาราง ก1.6 ประเมินผลการทดสอบชิ้นงาน โดยการพิจารณารอยเชื่อมของเครื่อง Prusa i3 (ต่อ)

แบบประเมินผลการทดสอบชิ้นงาน โดยการพิจารณารอยเชื่อม							
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการขึ้นรูป				ระดับความพึงพอใจ			
				4	3	2	1
การทำงานพัดลมระบายความร้อน	60	70	210		2	1	
	80	70	210	3			
	100	70	210	3			
[redacted]							
การทำงานพัดลมระบายความร้อน	ชิ้นงาน (%)	อุณหภูมิฐานคงที่	อุณหภูมิหัวฉีดคงที่				
	0	70	210			3	
	20	70	210		1	2	
	40	70	210		2	1	
	60	70	210		2	1	
	80	70	210		3		
	100	70	210		3		
[redacted]							
ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน	ชิ้นงาน	อุณหภูมิฐานคงที่	อุณหภูมิหัวฉีดคงที่				
	40	70	210	1	2		
	50	70	210		2	1	
	60	70	210		2	1	
	70	70	210		1	2	

ตาราง ก2 ผลการทดสอบชิ้นงานเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Summer

ตาราง ก2.1 ทดสอบแปรผันค่าอุณหภูมิฐานความร้อน

อุณหภูมิฐานความร้อน(o C)	จำนวนครั้ง			ค่าเฉลี่ย	ค่าจากโปรแกรม
	1	2	3		
50	1.9874	1.987	1.9877	1.9874	2
60	2.0557	2.0557	2.0555	2.0556	2
70	2.0117	2.0115	2.0116	2.0116	2

ตาราง ก2.2 ทดสอบแปรผันค่าความหนาแน่น

ความหนาแน่น (%)	จำนวนครั้ง			ค่าเฉลี่ย	ค่าจากโปรแกรม
	1	2	3		
25	2.0215	2.0214	2.0215	2.0215	2
50	2.0326	2.0328	2.0327	2.0327	2
75	2.0614	2.0615	2.0613	2.0614	2
100	2.0425	2.0426	2.0425	2.0425	2

ตาราง ก2.3 ทดสอบแปรผันค่าความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน

ความหนาแน่น (%)	จำนวนครั้ง			ค่าเฉลี่ย	ค่าจากโปรแกรม
	1	2	3		
40	2.0408	2.0409	2.0411	2.0409	2
60	2.0136	2.0140	2.0139	2.0138	2

ตาราง ก2.4 ประเมินผลการทดสอบชิ้นงานโดยการพิจารณารอยเชื่อมของเครื่อง Summer

แบบประเมินผลการทดสอบชิ้นงาน โดยการพิจารณารอยเชื่อม							
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการขึ้นรูป				ระดับความพึงพอใจ			
				4	3	2	1
อุณหภูมิฐาน	ชิ้นงาน	อุณหภูมิหัวฉีดคงที่					
	50	210			3		
	60	210			1	2	
	70	210				3	
ความหนาแน่นชิ้นงาน	ชิ้นงาน (%)	อุณหภูมิฐานคงที่	อุณหภูมิหัวฉีดคงที่				
	25	70	210		1	2	
	50	70	210		1	2	
	75	70	210		1	2	
	100	70	210		1	2	
ความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน	ชิ้นงาน	อุณหภูมิฐานคงที่	อุณหภูมิหัวฉีดคงที่				
	40	70	210		2	1	
	60	70	210			3	

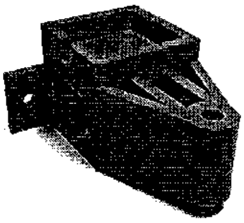
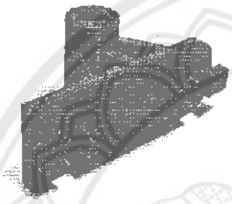
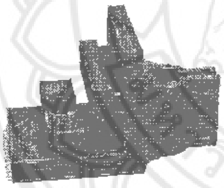
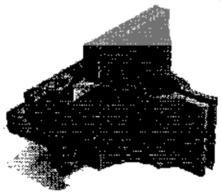
ภาคผนวก ข

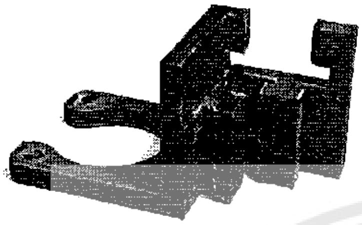
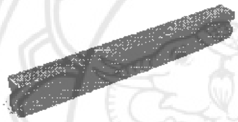
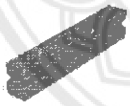
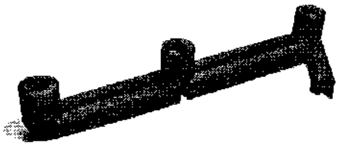
มหาวิทยาลัยนเรศวร

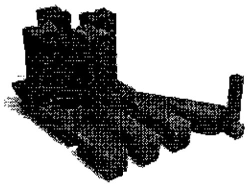
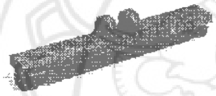
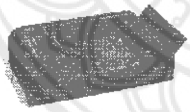
คู่มือการประกอบ

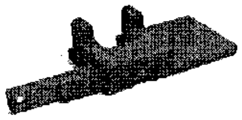
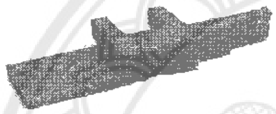
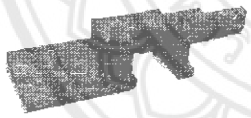
เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Summer

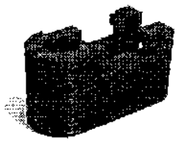
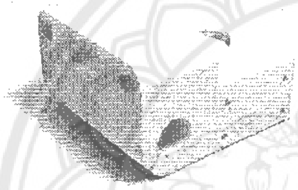
<u>รายการประกอบชิ้นส่วน</u>

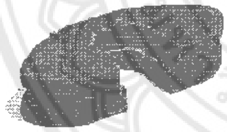
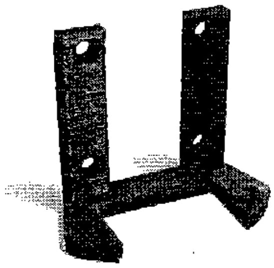
	Cover step motor and Rod Z 1 ชิ้น
	Cover Rod Z 1 ชิ้น
	Cover Rod Y 2 ชิ้น
	Clamp step motor and Rod 1 1 ชิ้น

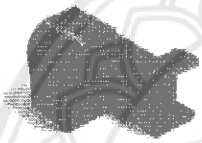
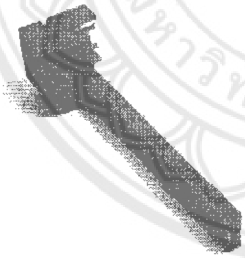
	Clamp step motor and Rod 2 1 ชิ้น
	Gap Front cover 1 ชิ้น
	Gap back cover 1 ชิ้น
	Cover Rod Top 1 ชิ้น

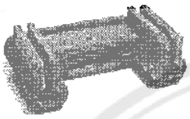
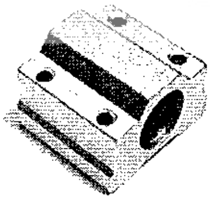
	Cover Aluminum Profile Top 1 ชิ้น
	Return Y 1 ชิ้น
	Platform 2 1 ชิ้น
	Platform 3-1 1 ชิ้น

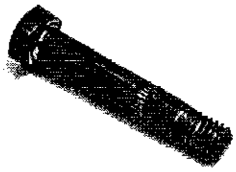
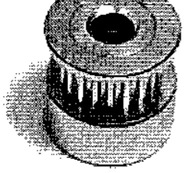
	Platform 3-2 1 ชิ้น
	Platform 3-3 1 ชิ้น
	Platform 3-4 1 ชิ้น
	Platform 5-1 1 ชิ้น

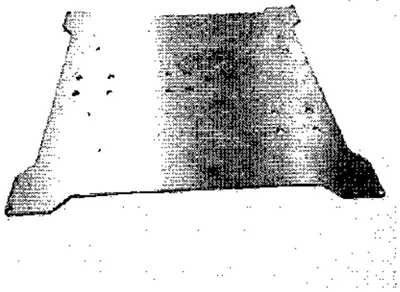
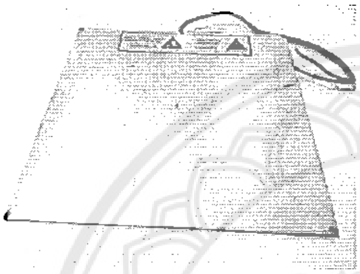
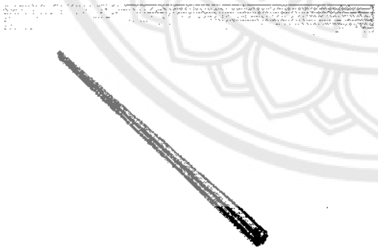
	Platform 5-2 1 ชิ้น
	Platform 1 1 ชิ้น
	Platform X 1 ชิ้น
	Support Feed Filament 1 ชิ้น

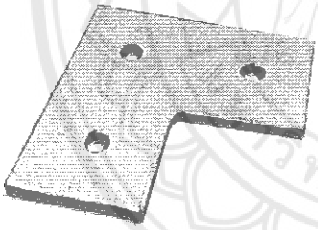
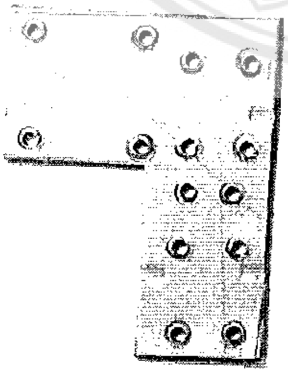
	Follow Gear 1 ชิ้น
	Drive Gear 1 ชิ้น
	Hold Heat sink 1 ชิ้น
	Hold Fan 1 ชิ้น

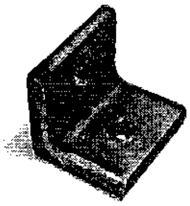
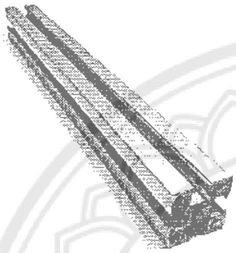
	Guide Filament 1 ชิ้น
	Clamp Limit Switch Y 1 ชิ้น
	Clamp Limit Switch Z 1 ชิ้น
	Clamp Limit Switch X 1 ชิ้น

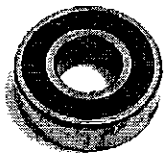
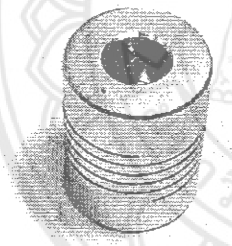
	Hold timing belt 1 ชิ้น
	Return X 1 ชิ้น
	Axial bearing 4 ชิ้น
	Block bearing 5 ชิ้น

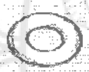
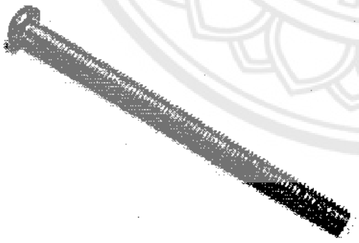
	Bolt Feeder 1 ชิ้น
	Heat sink 1 ชิ้น
	Nozzle 1 ชุด
	Gear Drive Step motor 2 ชิ้น

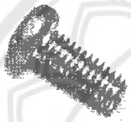
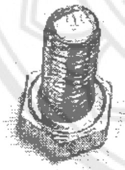
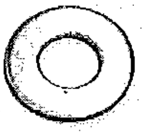
	Aluminum Plate 1 ชิ้น
	Heat Bed 1 ชิ้น
	Rod 8-50 2 แท่ง
	Rod 8-38 2 แท่ง

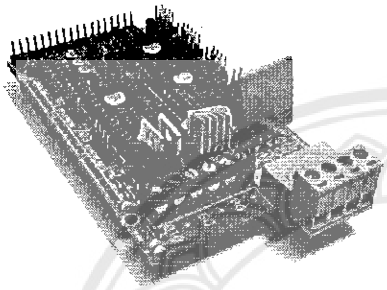
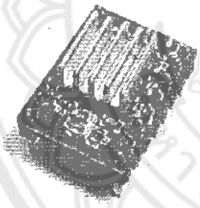
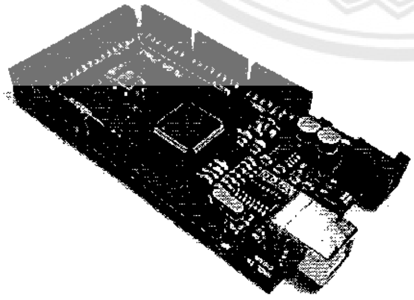
	Rod 8-20 1 ชิ้น
	Drive Screw 1 แท่ง
	Aluminum L Shape 4 ชิ้น
	Aluminium Hold Extruder Set 1 ชิ้น

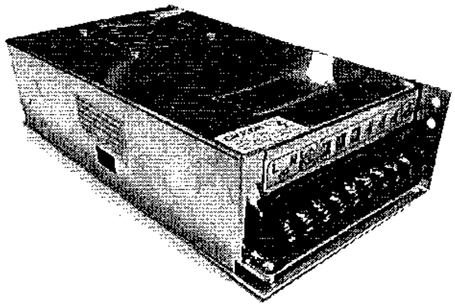
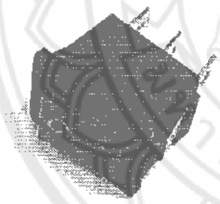
	Angle Bar 5
	Aluminium Profile 30x30x300 2 แท่ง Aluminium Profile 30x30x360 2 แท่ง Aluminium Profile 30x30x400 1 แท่ง
	Lead Screw 1 ชิ้น
	Support Bearing 8-19 1 ชิ้น

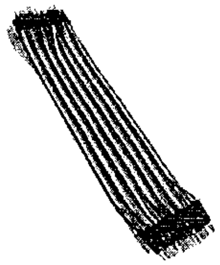
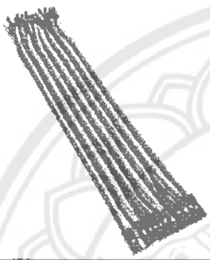
	Bearing 8-19 2 ชิ้น
	Bearing 3-8 4 ชิ้น
	Coupler 5mm – 8mm 1 ชิ้น
	Spring 4mm 2 ชิ้น

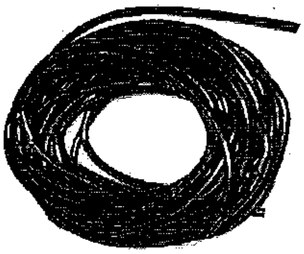
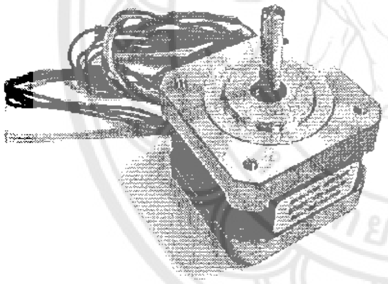
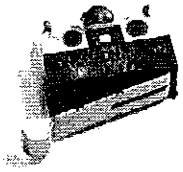
	Spring 5mm 4 ชิ้น
	Nut M3 14 ตัว
	Washer M3 56 ตัว
	Bolt M3-40 6 ตัว Bolt M3-35 4 ตัว Bolt M3-20 4 ตัว Bolt M3-15 16 ตัว Bolt M3-12 8 ตัว Bolt M3-10 4 ตัว

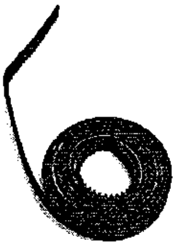
	Nut M4 4 ตัว
	Bolt M4-10 4 ตัว Bolt M4-8 10 ตัว
	Bolt M6-15 35 ตัว
	Washer M8 45 ตัว

	Nut M6 35 ตัว
	RAMP 1.4 1 บอร์ด
	Drive Motor A4988 4 ตัว
	MEGA 2560 1 บอร์ด

	Power Supply 12V 30A 1 เครื่อง
	FAN 1 ชิ้น
	Switch 1 ชิ้น
	เต้าเสียบ 1 ชิ้น

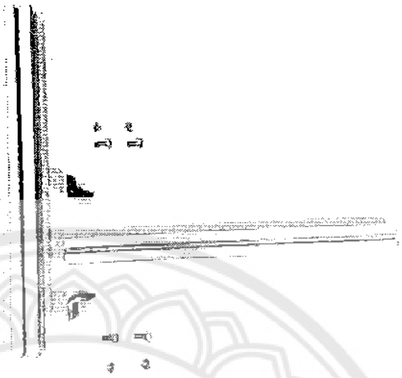
	สายแพร เมีย-เมีย 1 ชุด
	สายแพร ผู้-ผู้ 1 ชุด
	สายไฟ 1 เส้น
	ท่อหด 6 ท่อ

	ที่เก็บสายไฟ 1 ม้วน
	Thermistor 100 ohm 1 ชุด
	Step motor 4 ตัว
	Limit Switch 4 ชิ้น

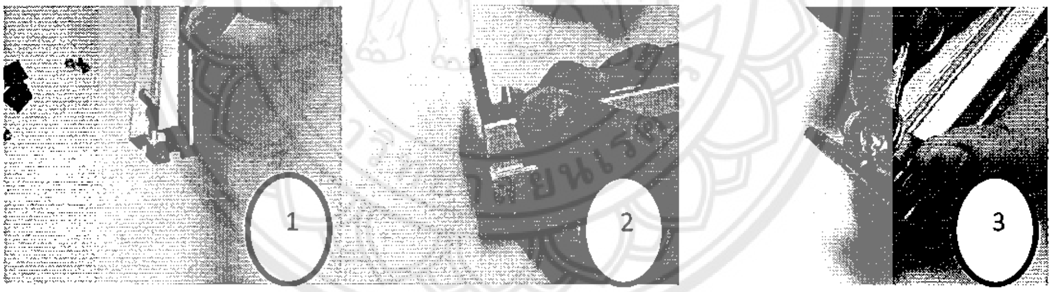
	Timing Belt 1 ม้วน
	Belt Tension Spring 2 ตัว

ขั้นตอนการประกอบ

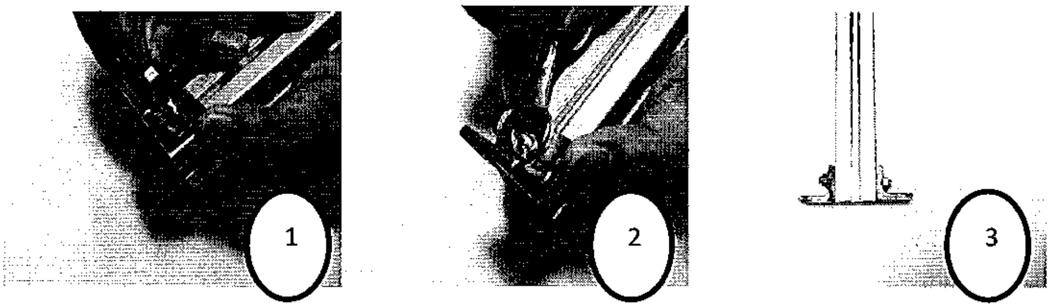
การประกอบฐาน



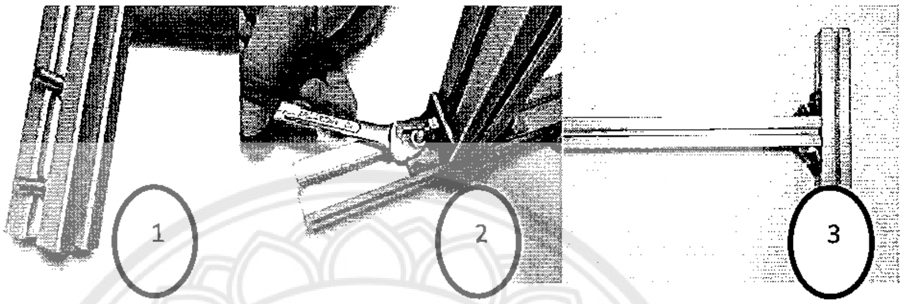
นำ Bolt M6x15 ใส่เข้าไปใน อลูมิเนียมโปรไฟล์ยาว 37 เซนติเมตรแล้วนำ Angle Bar สวมเข้ากับน็อตตัวผู้



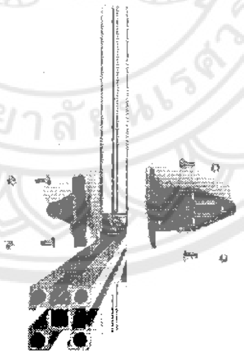
จากนั้นขันน็อตตัวเมียให้แน่นด้วยประแจปากตายเบอร์ 10 จากนั้นทำอีกข้างเหมือนกันเสร็จแล้วพักส่วนนี้ไว้ก่อน



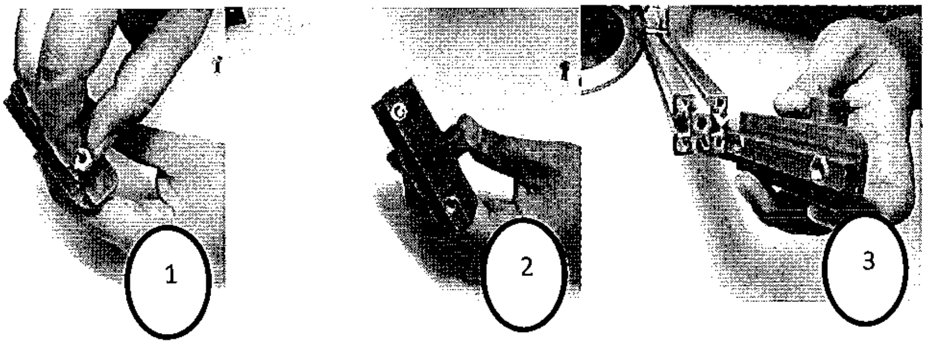
ต่อไปนำ Bolt M6x15 2 ตัวใส่เข้าไปใน อะลูมิเนียมโปรไฟล์ยาว 40 เซนติเมตร แล้วนำส่วนที่พักไว้มาสวมเข้ากับ Bolt สวม Nut เว้นระยะห่างจากปลายอลูมิเนียมโปรไฟล์เป็นระยะ 6 เซนติเมตรแล้วขัน Nut ให้แน่น



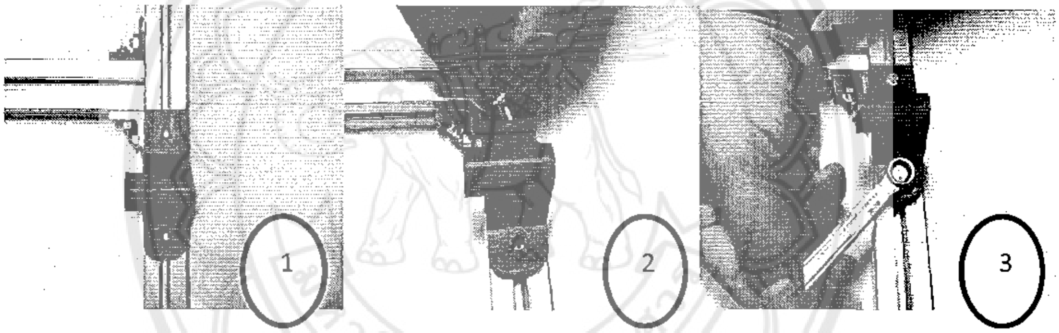
การประกอบตัวยึดฐานแกน Z



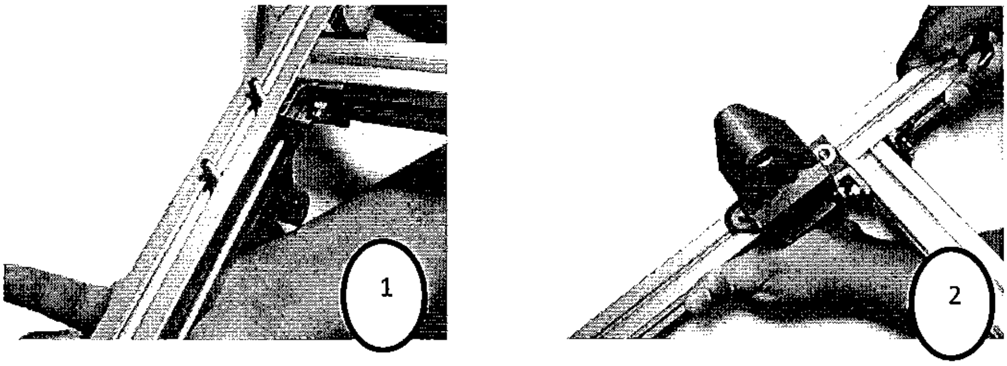
ก่อนอื่นให้นำ Nut ขนาด M6x15 ใส่เข้าไปในฐานยึดแกน Z (Cover Rod Z)แล้วใส่เข้าฐานยึดแกน Z เข้าไปในอลูมิเนียโปรโฟล์

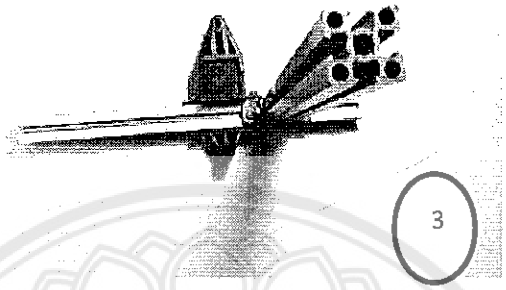


จากนั้นจัดระยะให้ขอบของฐานยึดแกน Z (Cover Rod Z) ตรงกับอะลูมิเนียมโปรไฟล์ด้านยาว แล้วสวม Bolt และขันให้แน่น

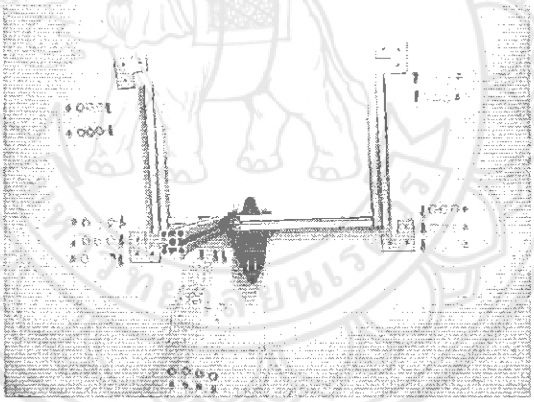


ต่อไปนำ Bolt M6x15 จำนวน 2 ตัวใส่เข้าไปในอลูมิเนียมโปรไฟล์อีกด้านนึงแล้วนำฐานยึดแกน Z (Cover step motor and Rod Z) สวมเข้ากับ Bolt ทั้ง 2 ตัว ปรับระยะขอบให้เท่ากับของฐานยึดแกน Z Cover Rod Z) แล้วสวม Nut ใส่ Washer และขันให้แน่น

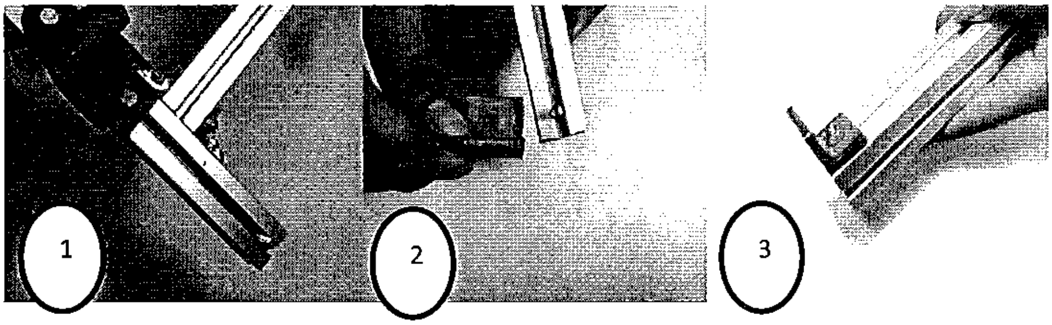




การประกอบฐานสำหลับยึดแนวการเคลื่อนที่แกน Y

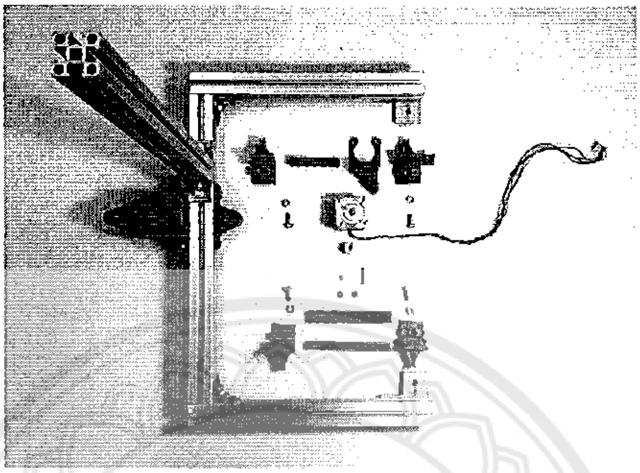


เริ่มจากใส่ Bolt M6x15 เข้าไปชุดตัวยึดฐานแกน Z โดยใส่เข้าไปในอลูมิเนียมโปรไฟล์ด้านสั้นฝั่งของฐานยึดแกน Z (Cover Rod Z) แล้วนำเข้ามุมมาสวมและยึดด้วยน็อตตัวเมียให้แน่น

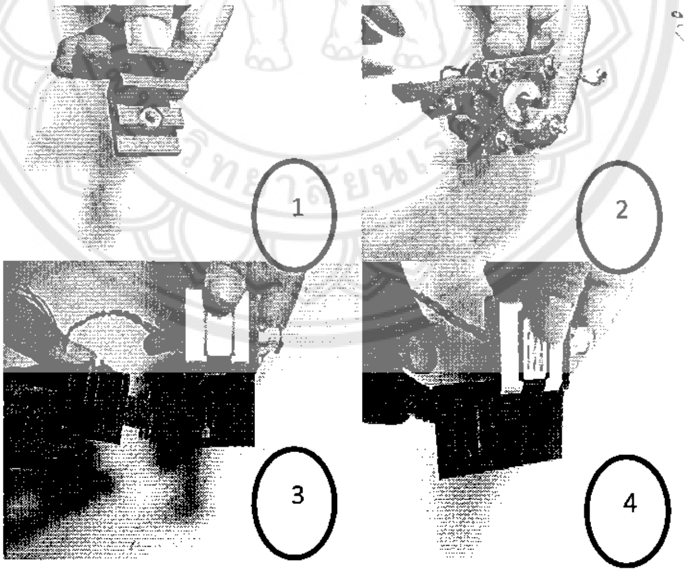


MISSING

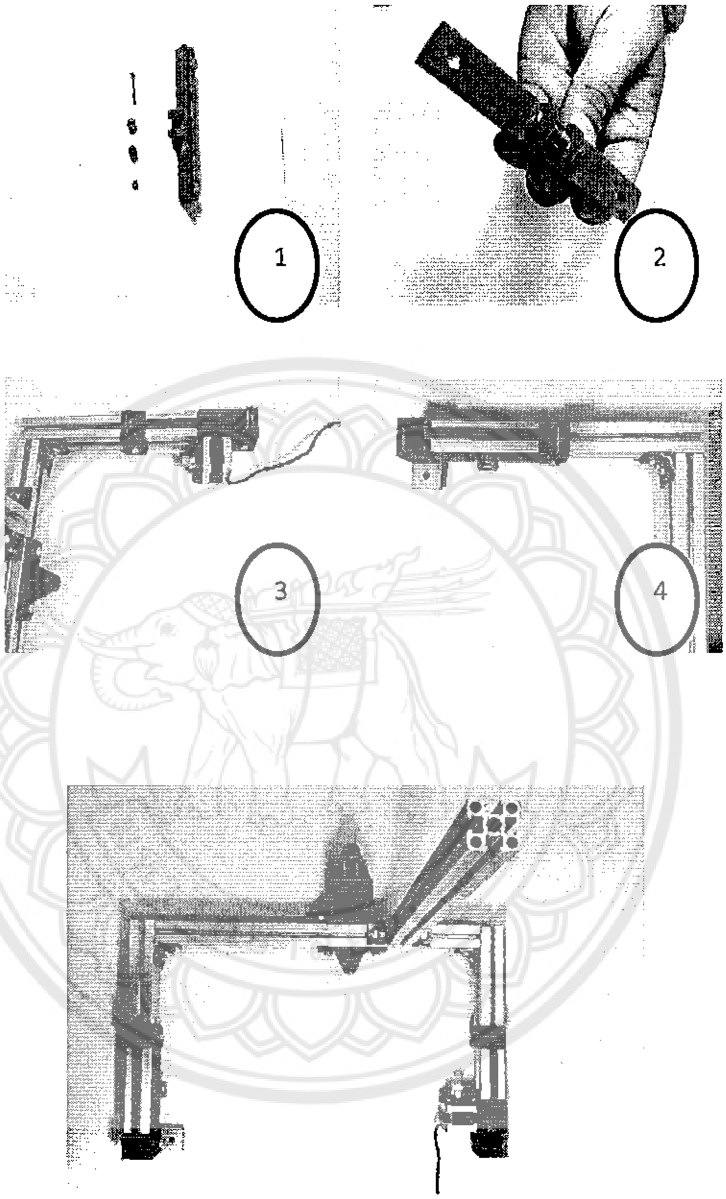
การประกอบส่วนยึดแนวการเครื่อนที่แกน Y



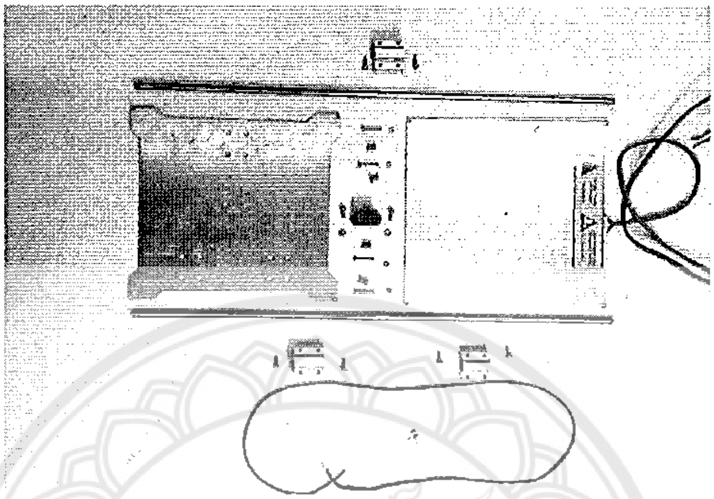
เริ่มด้วยการนำตัวยึด Rod แกน Y มาใส่ Nut M6 แล้วนำ step motor ยึดกับ Clamp step motor and Rod 2 และนำไปต่อกับ Clamp step motor and Rod 1



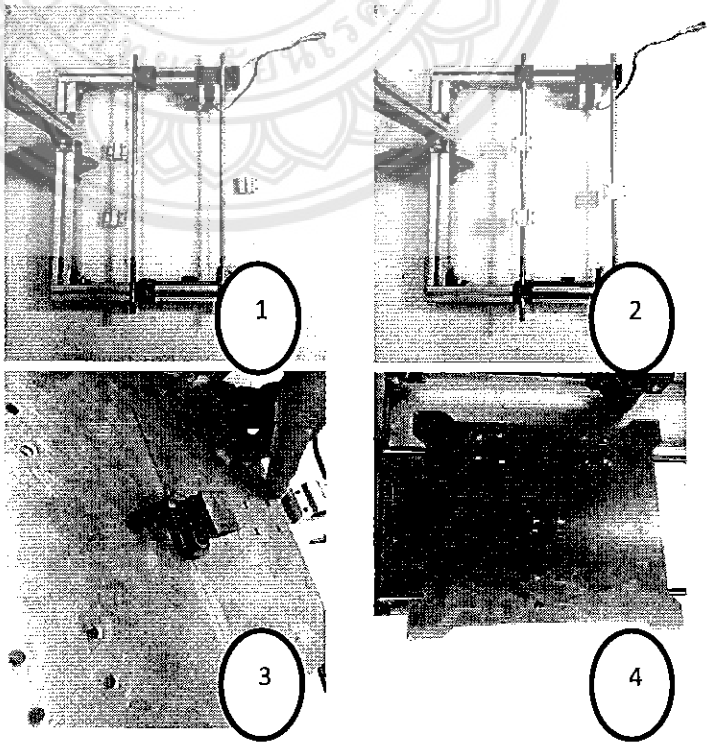
จากนั้นนำReturn Y มาประกอบโดยนำแบริ่งขนาด M3-8 จำนวน 2 ตัวใส่เข้าไปในช่องของ Return Y แล้วสวมน็อตตัวผู้ขนาด M3x15 และยึด Nut แล้วใส่ Cover Rod และ Return Y เข้าไปในอลูมิเนียมโปรไฟล์โดยนำส่วนที่มี Stepmotor ไว้ด้านหลังและใส่ Return Y ไว้ด้านหน้าสวม Bolt เข้า Cover Rod และขันให้แน่น


1
2
3
4

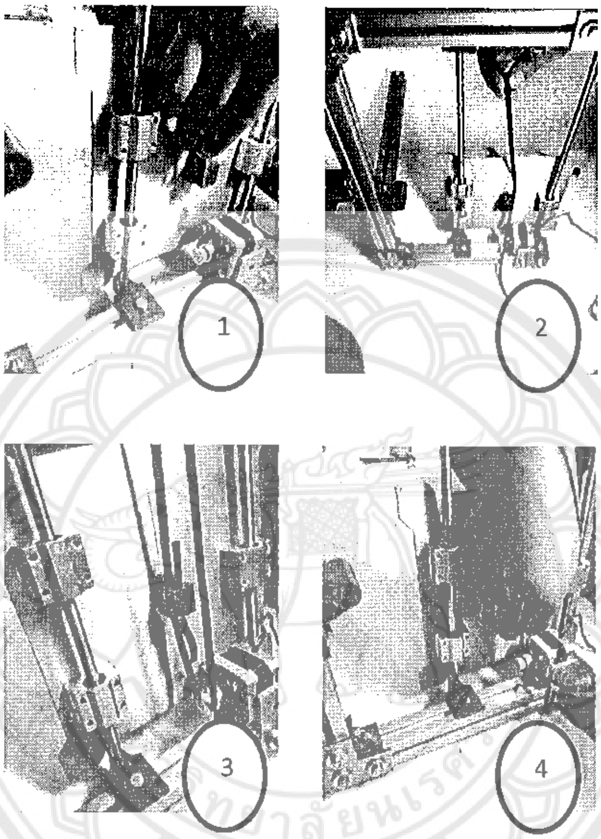
การประกอบชุดการเคลื่อนที่แกน Y



ขั้นแรกนำ Rod ใส่เข้าไปในรูของ Cover Rod Y และสวม Block bearingเข้ากับ Rod 2 ตัวด้านใน และ 1 ตัวด้านนอก จากนั้นนำ Hold timing belt มายึดกับแผ่นอลูมิเนียมฐาน Heat bed ด้วย Bolt M4x10 จำนวน 2 ตัว และยึด Nut ให้แน่น แล้วนำแผ่นอลูมิเนียมฐาน Heat bed ยึดกับ Block bearing ด้วย Bolt M4x10

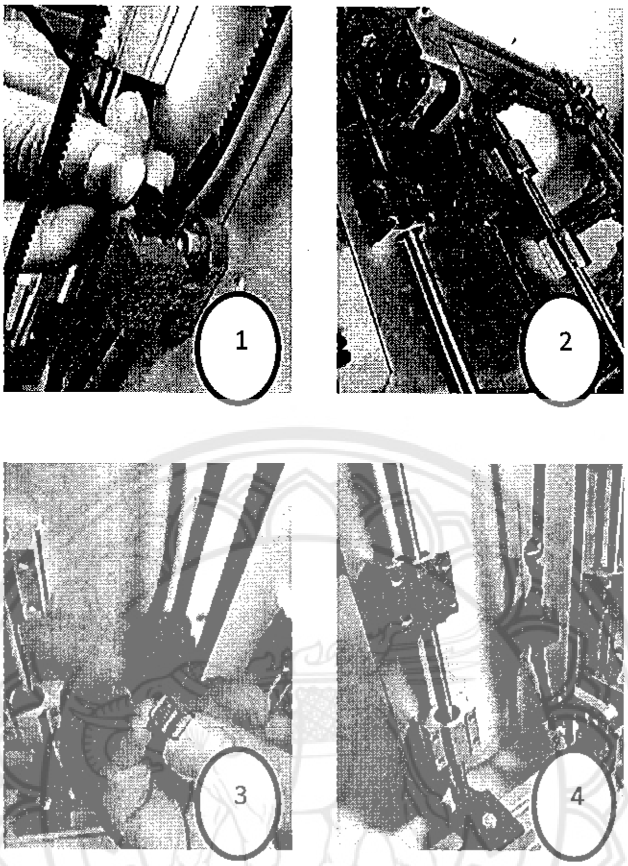


ต่อไปใส่ชุดขับเคลื่อนแกน Y และฐานให้ความร้อน Heat bed

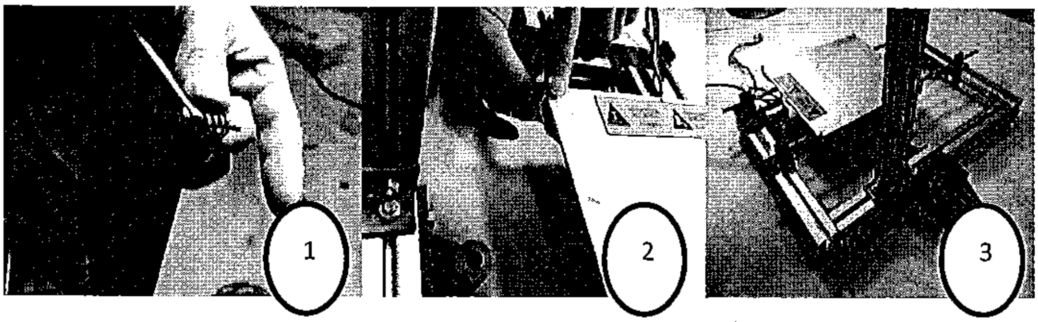


ขั้นแรกนำสาย Timing belt คล้องกับ bearing ของ Return Y และทบปลายของ timing belt แล้วสอดเข้าไปในช่องรูปตัว U ของ Hold timing belt ด้านหนึ่ง จากนั้นนำปลายของ Timing belt อีกด้านคล้องกับ Pulley ของ step motor แล้วทบปลายสายและสอดเข้าไปในช่องตัว U ของ Hold timing belt อีกด้าน

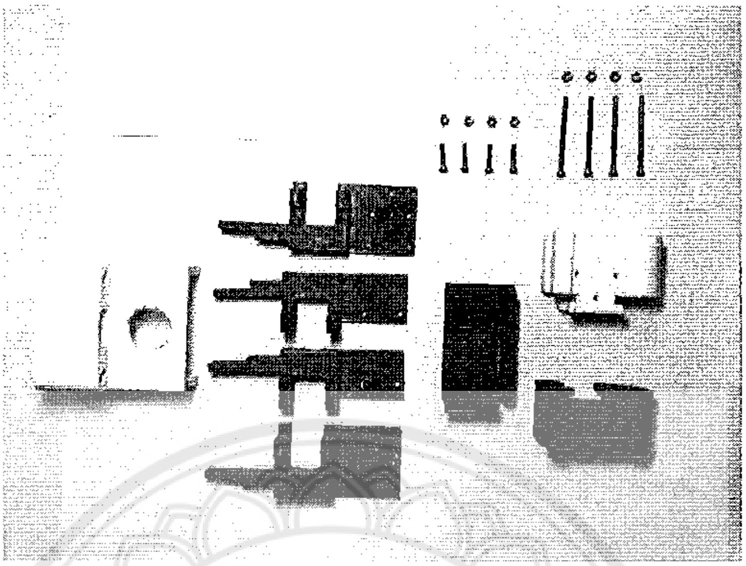
จากนั้นนำ Cable type มารัดปลาย Timing belt ที่เหลือให้แน่นทั้ง 2 ด้านและใส่ Belt Tension Spring ตึงสาย Timing belt



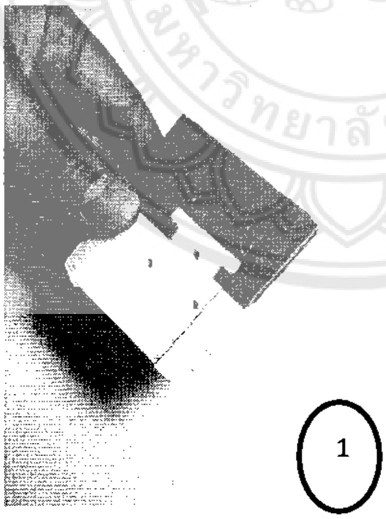
ต่อไปนำตัววัดอุณหภูมิ(Thermistor) มาติดที่ Heat bed ด้วยแทปกาวทนความร้อน(Teflon Tape) แล้วนำน็อตตัวผู้ขนาด M3x20 ใส่เข้ากับรูที่มุมทั้ง 4 ของ Heat bed แล้วสวมสปริงค์ขนาด 8 mm ยาว 10 mm แล้ววางบนแผ่นอลูมิเนียมฐาน Heat bed แล้วขัน Nut เพื่อยึดและปรับระดับให้ได้ระนาบ

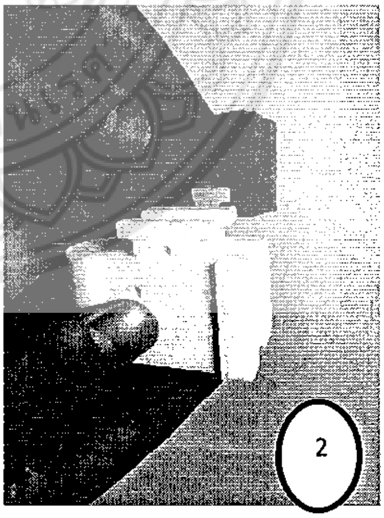


การประกอบชุด Platfrom Z

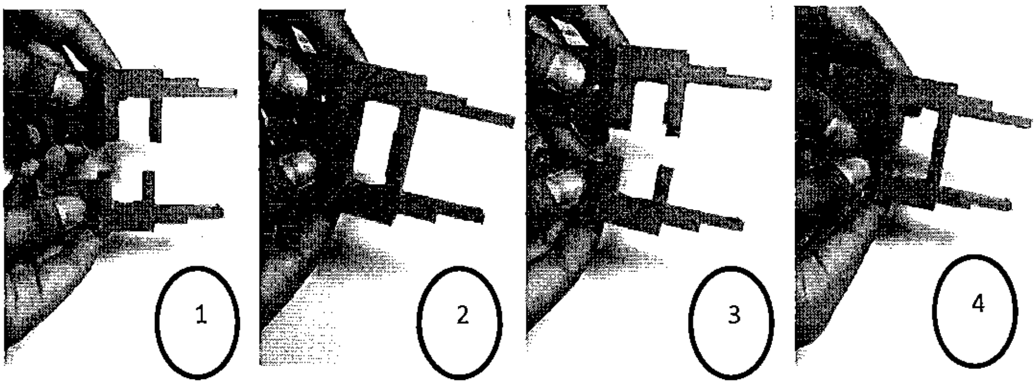


เริ่มโดยการนำ Platform 5-1 มาต่อกับ Platform 5-2

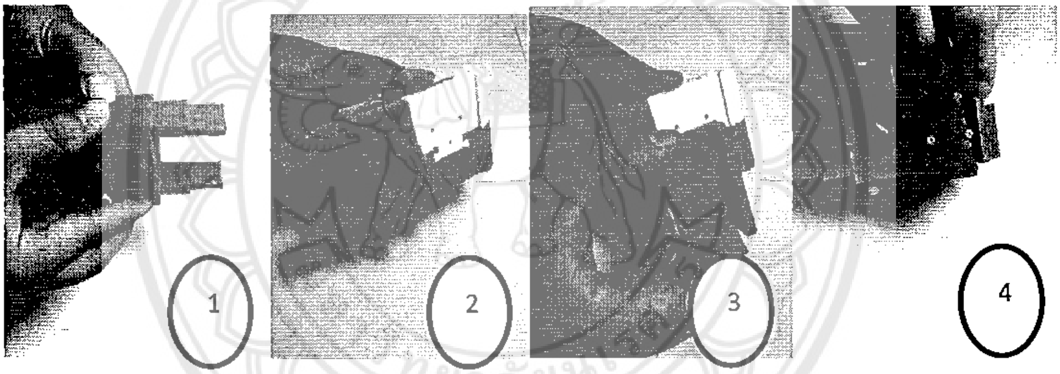




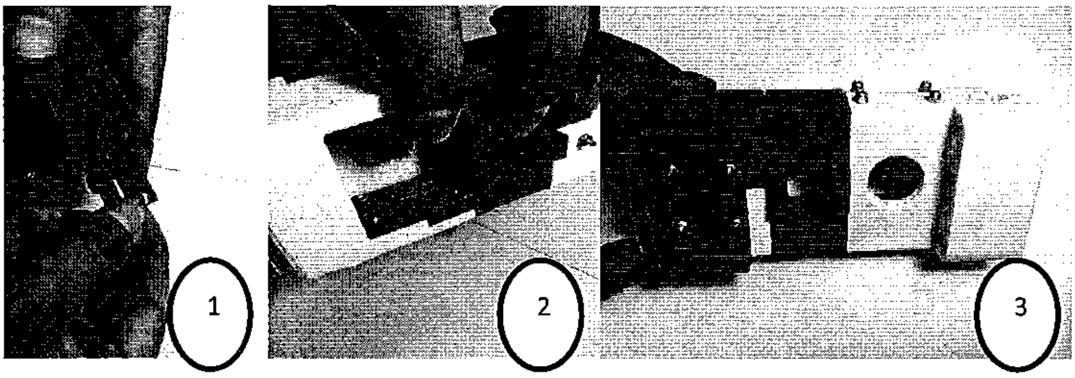
ต่อไปนำ Platform 3-(1-4) มาต่อกัน



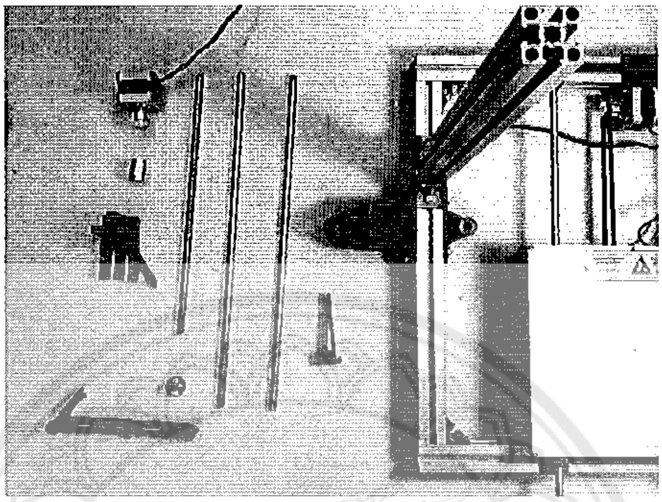
แล้วยึด Platform 5, Platform 3 และ Platform 2 เข้าด้วยกันด้วย Bolt M3x45 และยึด Nut ให้แน่น



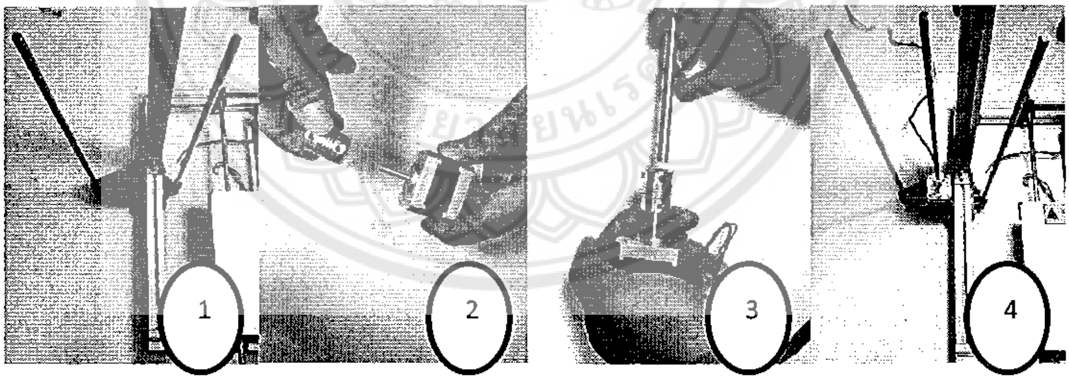
ต่อไปใส่ Nut M3 เข้าไปในช่องใส่น็อตของ Platform 3 แล้วนำ Platform 3 มาสวมเข้ากับ Platform 1 จากนั้นนำ Bolt M3x15 ยึด Platform 3 และ Platform 1 เข้าด้วยกัน



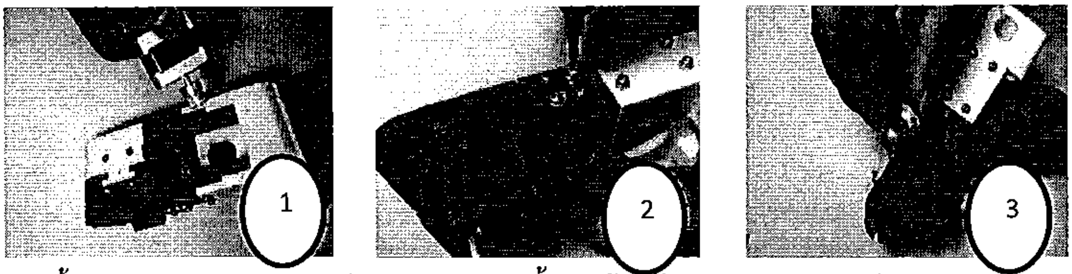
การประกอบชุดการเคลื่อนที่ในแกน Z



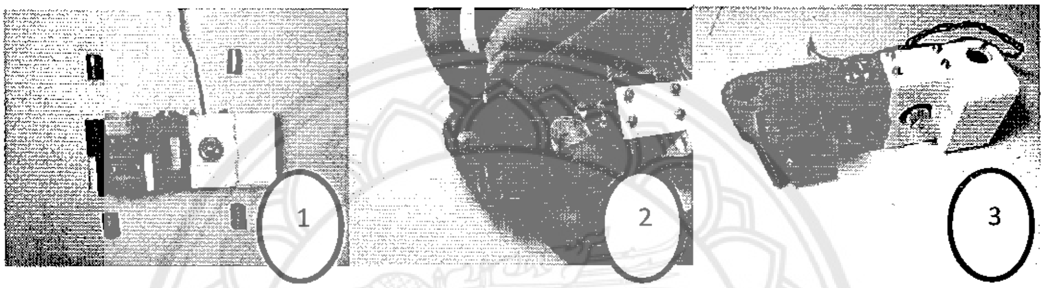
เริ่มด้วยการสวม Rod เข้ากับ Cover Rod Z 2 ด้านแล้วสวมลีดสกรูเข้ากับ Coupler และสวม Coupler เข้ากับ Step motor แล้ววาง Step motor เข้ากับ Cover step motor and Rod Z



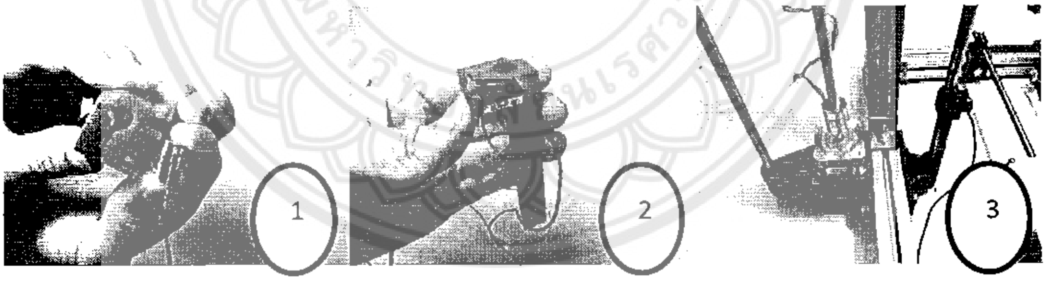
ต่อไปนำไดร์สกรู สวมเข้ากับชุด Platform แล้วยึดด้วย Bolt M3x10 และนำ Step motor แกน X สวมเข้ากับ Platform



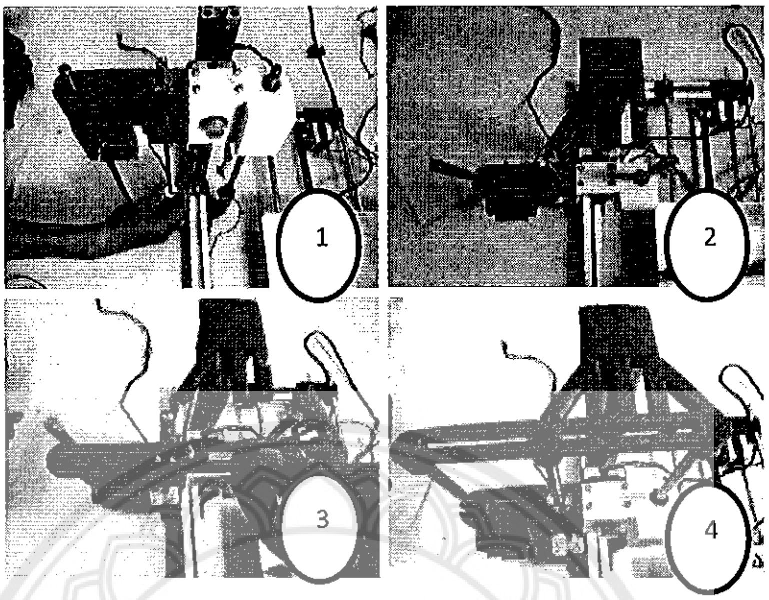
จากนั้นนำ Axial Bearing สวมเข้าชุด Platform ทั้งสองด้านด้านละ 2 ตัวบนและล่าง



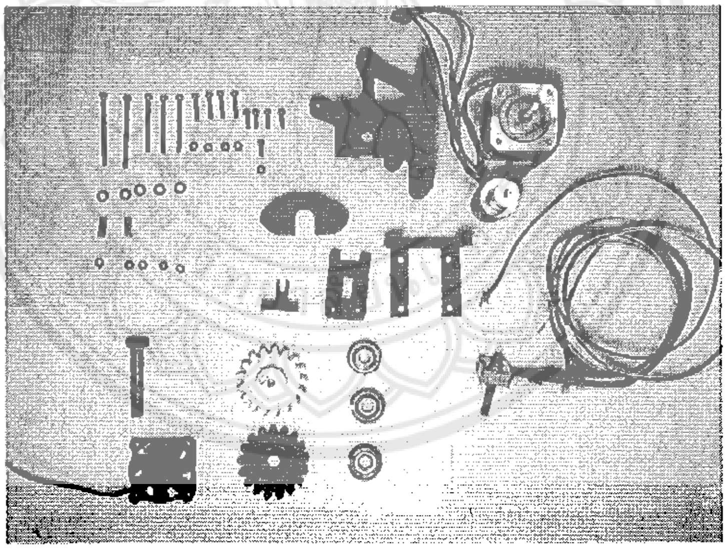
ต่อไปนำลิมิทสวิทช์ใส่เข้าไปใน Clamp Limit Switch Z สวม Bolt M3x15 และ Nut ขันพอหลวม แล้วนำชุดลิมิตสวิทช์แกน Z สวมเข้าไปใน Rod แกน Z ด้านในแล้วขันน็อตให้แน่น



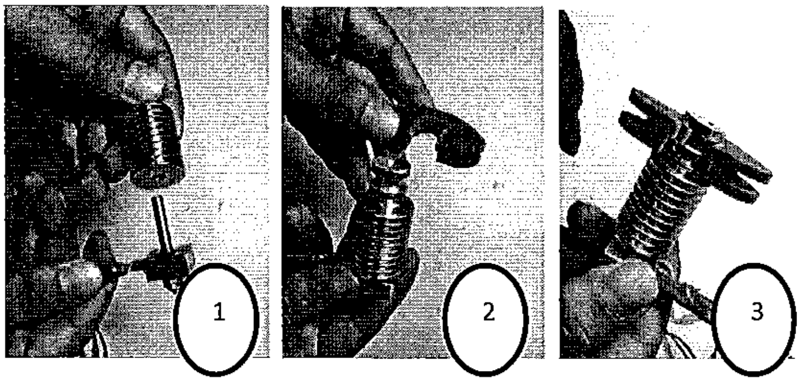
แล้วนำ Platform สวม Rod และ ลีดสกรู จากนั้นนำ Cover Aluminum Profile Top สวมเข้ากับอลูมิเนียมโปรไฟล์ด้านบนและสวม Cover Rod Top เข้ากับ นำ Cover Aluminum Profile Top ลีดสกูลและ Rod ทั้ง 2 ข้าง



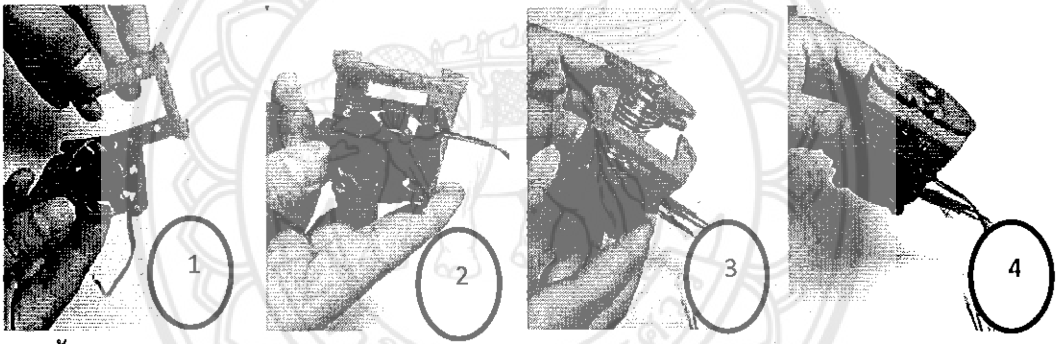
การประกอบชุดหัวฉีด



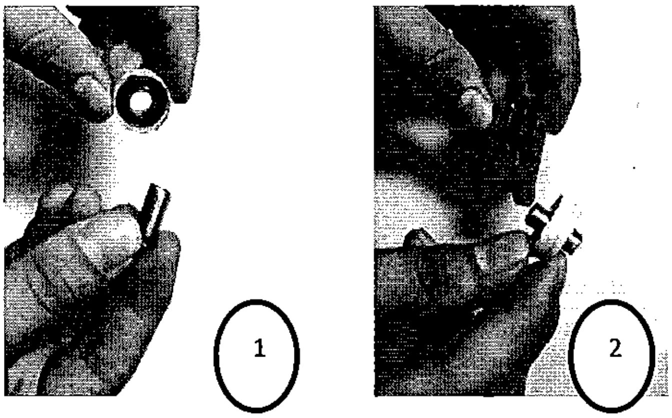
ขั้นแรกนำตัวระบายความร้อน (Heat sink) และหัวฉีด (Nozzle) มาต่อเข้าด้วยกันแล้วนำชุดหัวฉีดมาสวมเข้ากับ Hold Heat sink

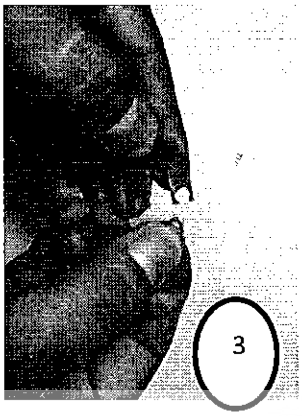


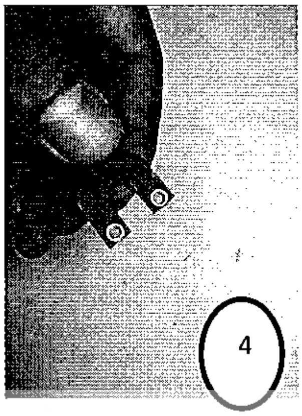
ต่อไปนำพัดลมมาติดกับ Hold Fan ด้วย Nut M3x35 แล้วนำชุดพัดลมหัวฉีดไปต่อกับ Hold Heat sink



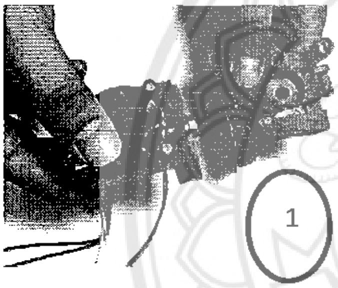
จากนั้นนำ Rod ยาว 2 เซนติเมตร สวมเข้าไปใน Bearing 8-19 แล้วนำชุด Bearing ใส่เข้าไปใน Support Feed Filament ต่อไปนำ Nut M3 ใส่เข้าไปใน Guide Filament แล้วนำชุด Support Feed Filament สวมเข้ากับ Platform X ด้านข้างและยึดด้วย Nut และ Bolt M3x15

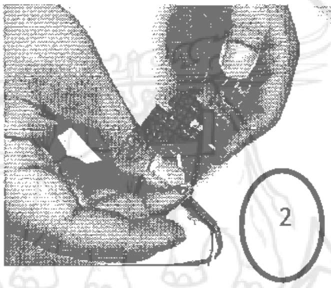


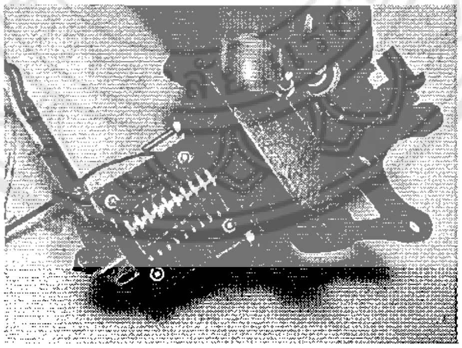




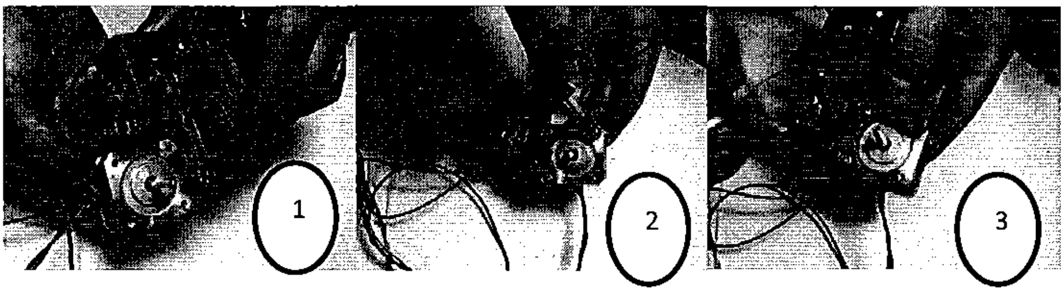
จากนั้นนำชุดยึดหัวฉีดมาต่อกับ Platform X และยึดด้วย Bolt และ Nut M3x40





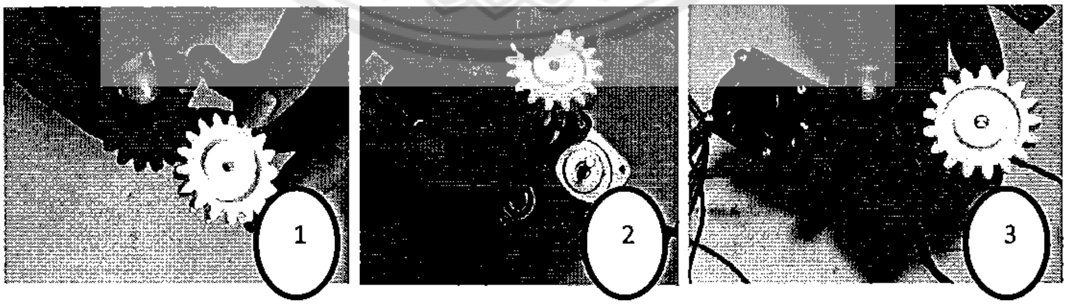


ต่อไปนำสเต็ปมอเตอร์มายึด Platform X ด้วย Bolt M3x10

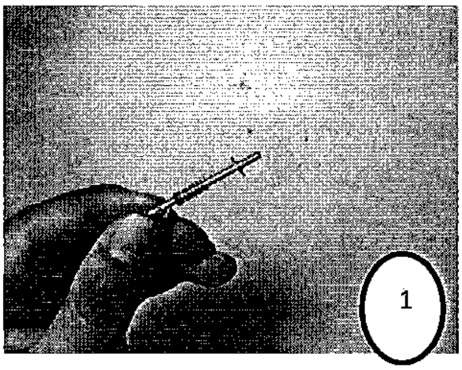


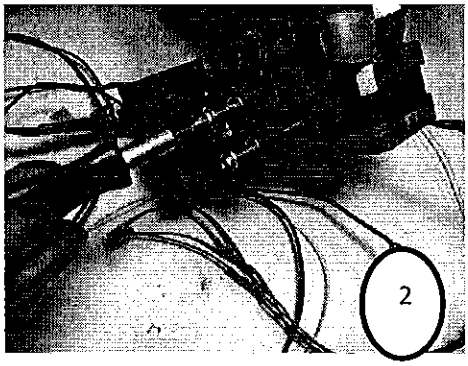
นำ Bearing 8-1 ให้เข้ากับ Support Bearing 8-19แล้วนำไปใส่เข้าไปในช่องใส่ Bearing ของ Platform X ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง

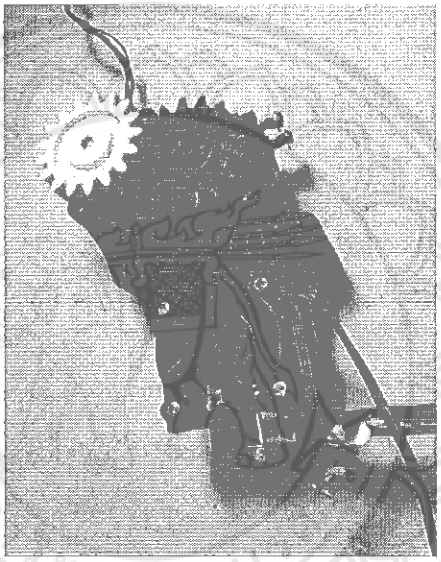
แล้ว Nut M3 ใส่เข้าไปในช่องของ Drive Gear และนำน็อตดึงเส้นใยพลาสติกใส่เข้าไปใน Follow Gear จากนั้นนำเฟืองทั้งสวมเข้าไปใน Step motor และรู Bearing และนำ Bolt M3x10 ขันยึดที่ Drive Gear



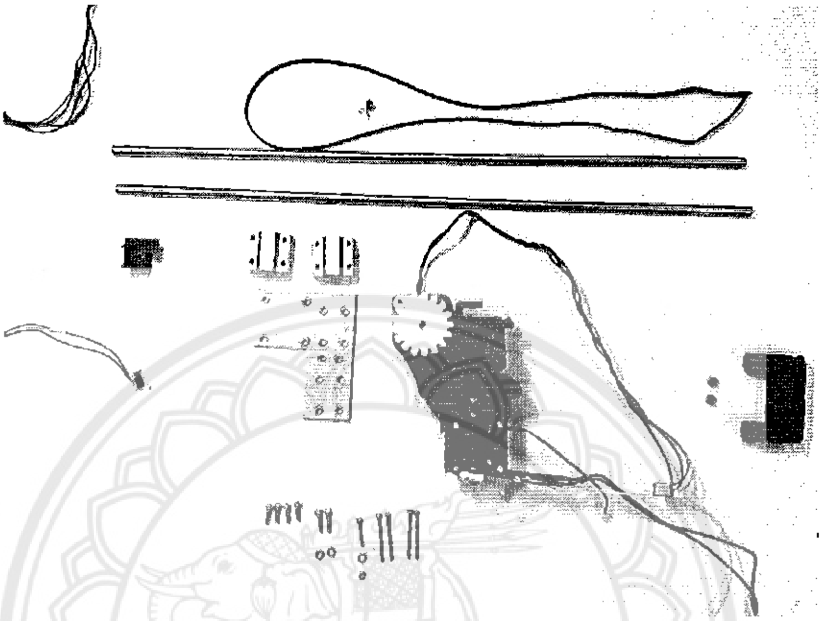
ต่อไปนำ Washer M3 , Spring 4mm และ Washer M3 สวมเข้ากับ Bolt M3x45 ตามลำดับ จำนวน 2 ชุด แล้วใส่เข้ากับรูบน Support Feed Filamant ดันเข้าไปให้สุดและ Bolt ให้แน่น


1

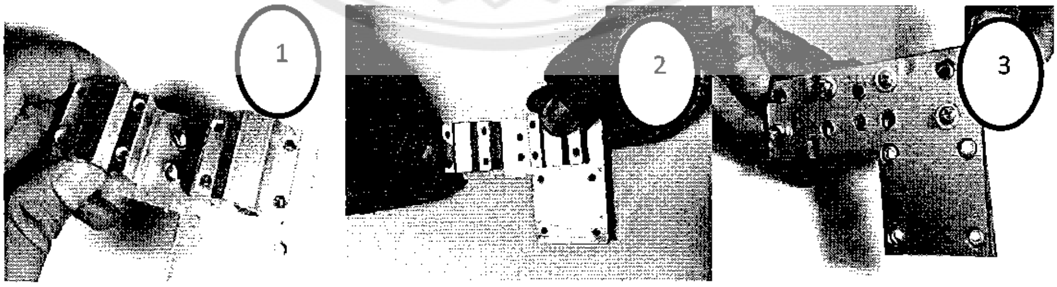

2



การประกอบชุดขับการเคลื่อนที่แกน X

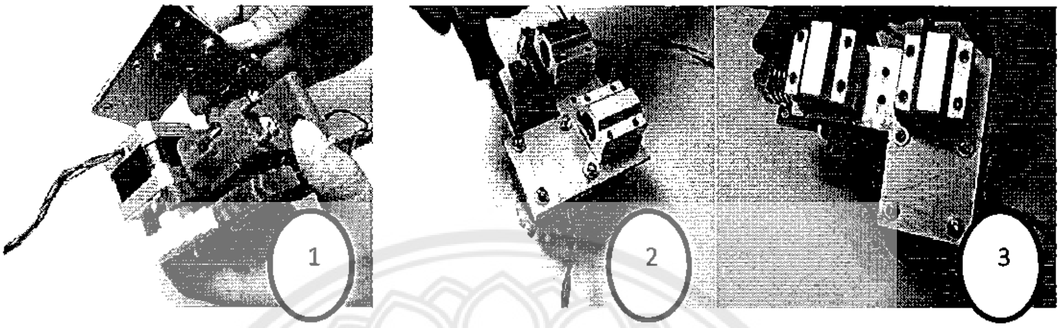


ขั้นแรกนำ Block baering 2 ตัวยึดเข้ากับ Aluminum Hold Extruder Set ด้วย Bolt M4x15 โดยใช้ Bolt 2 ตัวต่อ 1 Block baering ขันแนวทะแยงและขันไม่ต้องแน่นมากเพื่อรอปรับระยะขณะสวม Rod

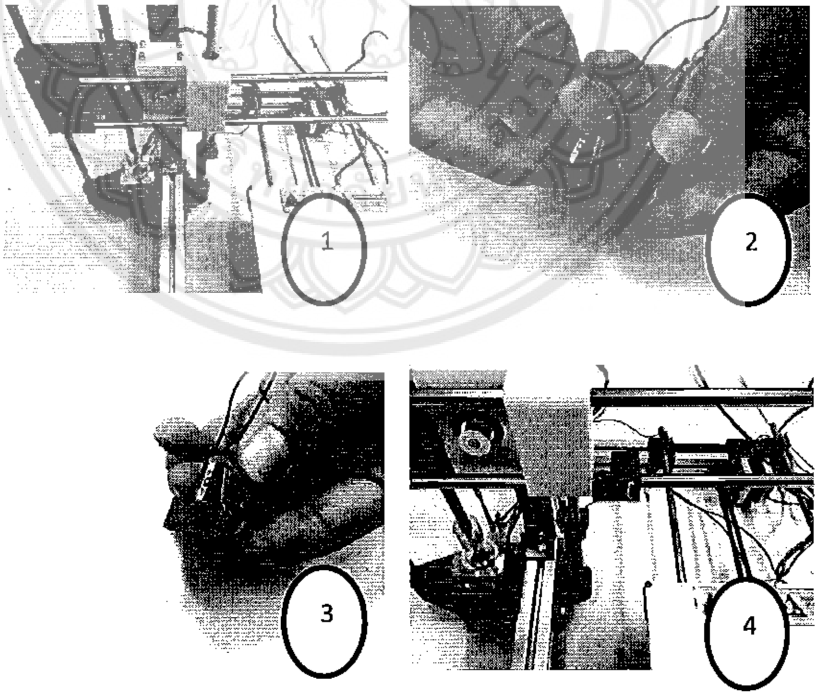


แล้วนำยึดไปกับด้านหลังของ Step motor ของ ชุด Platform X ด้วย Bolt M3x35 โดยสวม Washer ให้กับ Bolt 3 ตัว แล้วเหลือ 1 ตัวที่ไม่สวม Washer เป็นตัวที่อยู่มุมล่างฝั่งขวามือเมื่อมองจากด้านเดียวกับ Block baering จากนั้นนำ Bolt M4x15 จำนวน 2 ตัวใส่เข้าในรู้ 2 รู้ระหว่าง

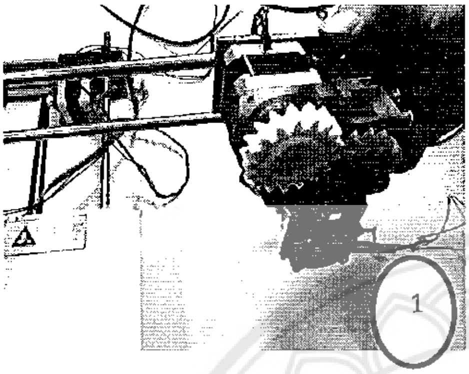
Block baering 2 ตัวและยึดด้วย Nut M4 ให้แน่นไว้สำหรับการยึด Timing belt ในการเคลื่อนที่แกน X

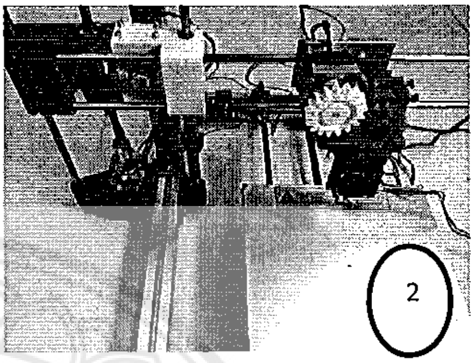


จานนั้นใส่ Rod ยาว 500 mm จำนวน 2 อันใส่เข้าไปในรูทั้ง 2 ของ Cover Rod Z ต่อไปนำลิมิตสวิทช์สวมเข้ากับ Clamp Limit Switch X แล้วนำตัวยึดลิมิตสวิทช์แกน X สวมเข้ากับ Rod ที่อยู่ด้านล่าง

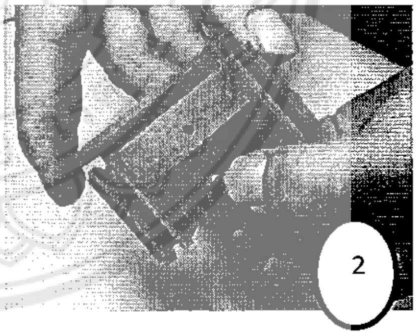


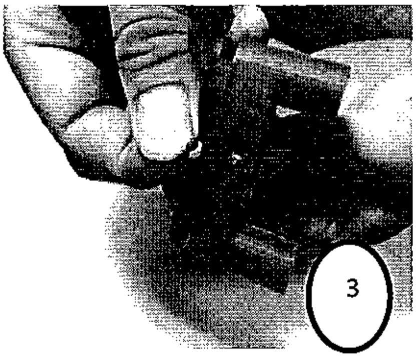
ต่อไปนำ Block baering ของชุด Platform X สวมเข้ากับ Rod แกน X เสร็จแล้วขยับ Block baering ให้ลื่นมากที่สุดขณะเลื่อนซ้ายขวาแล้วขัน Bolt ที่ Block baering ให้แน่น

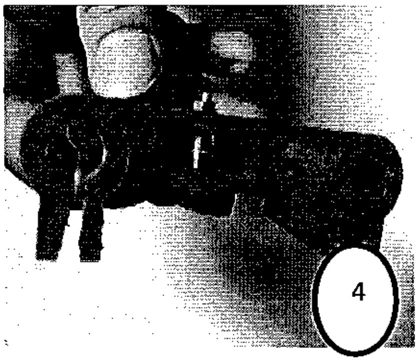




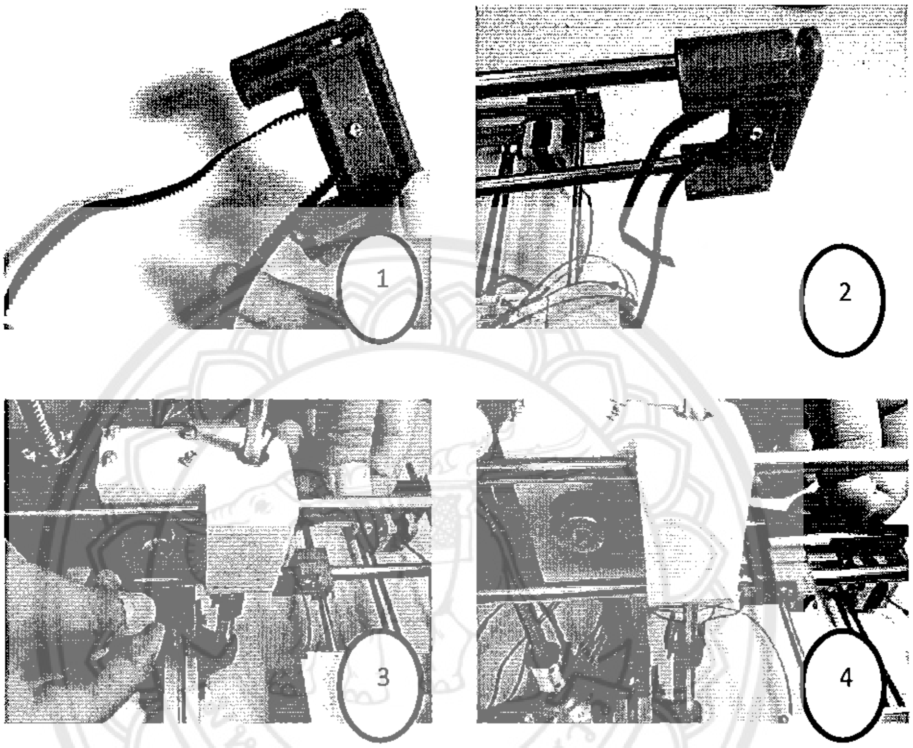
แล้วนำ Bearing 3-8 จำนวน 2 ตัวใส่เข้าไปใน Return X แล้วยึด bearing ด้วยน็อตขนาด M3x15 โดยสวมเข้าที่รูด้านข้างของ Return X และขันน็อตให้แน่น



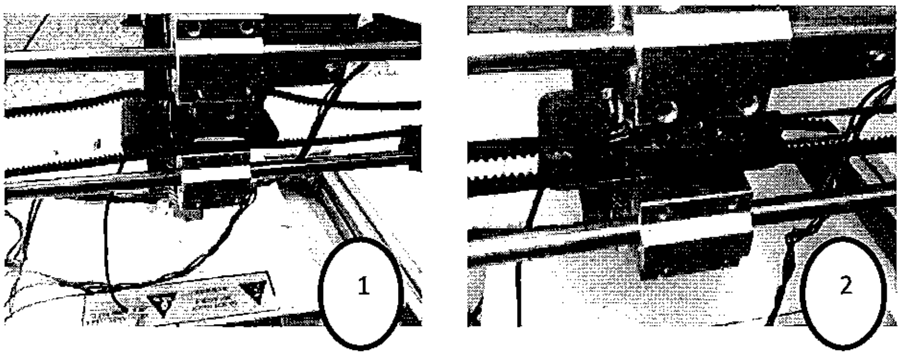


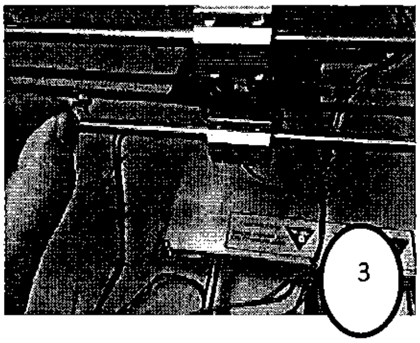


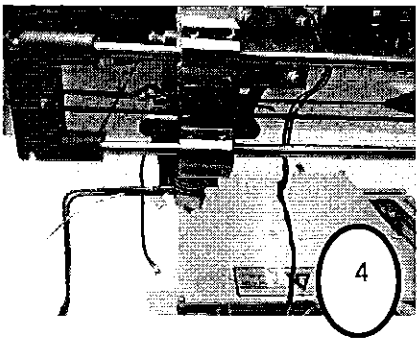
ต่อไปนำปลายของสาย Timing belt ด้านหนึ่ง สอดเข้าไปคล้อง bearing และนำ Return X สวม Rod แกน X ทั้ง 2 แล้ว นำปลายสายอีกด้านหนึ่งคล้องกับเฟืองของ Step motor แกน X



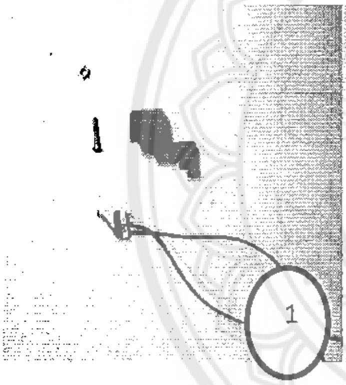
จากนั้นนำปลาย Timing belt ทั้งสองมาคล้องกับน็อตยึด Timing belt ที่อยู่ระหว่าง Blockbaering ทั้ง 2 ของชุด Platform X ดึงให้ตึงแล้วยึดด้วย Cable type แล้วใส่ Belt Tension Spring จะทำให้ Timing belt ตึง

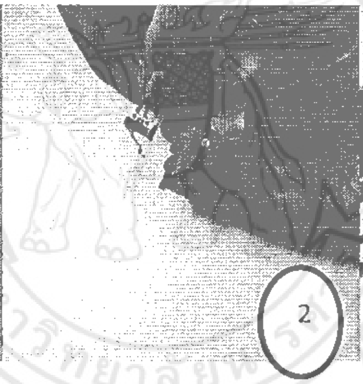


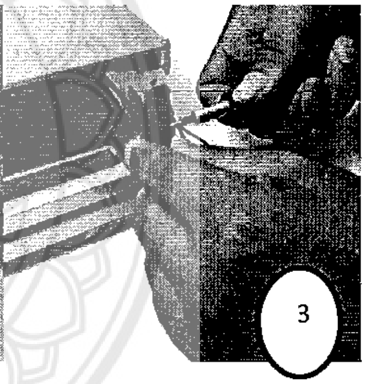


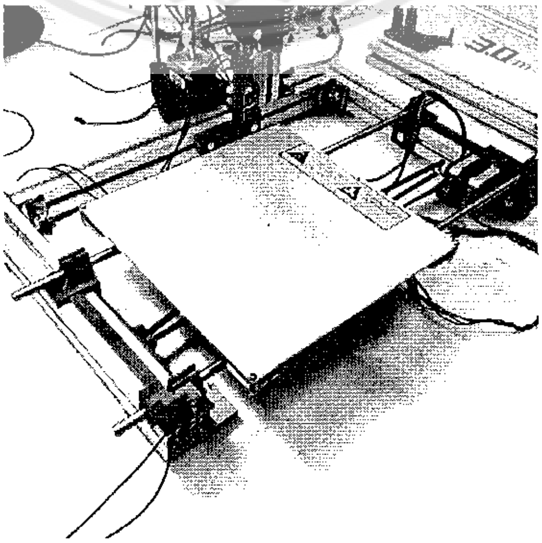


ต่อไปนำลิมิทสวิทช์ใส่เข้าไปใน Clamp Limit Switch Y สวม Bolt m3x15 และ Nut ขันพอหลวม แล้วนำชุด Clamp Limit Switch Y สวมเข้าไปที่ปลายด้านนอกของ Rod แกน Y ที่อยู่ริมขวามือเมื่อมองจากด้านหน้าแล้วขันน็อตให้แน่น

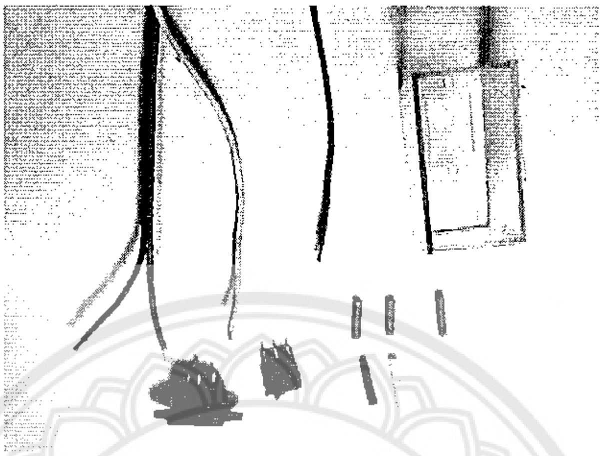




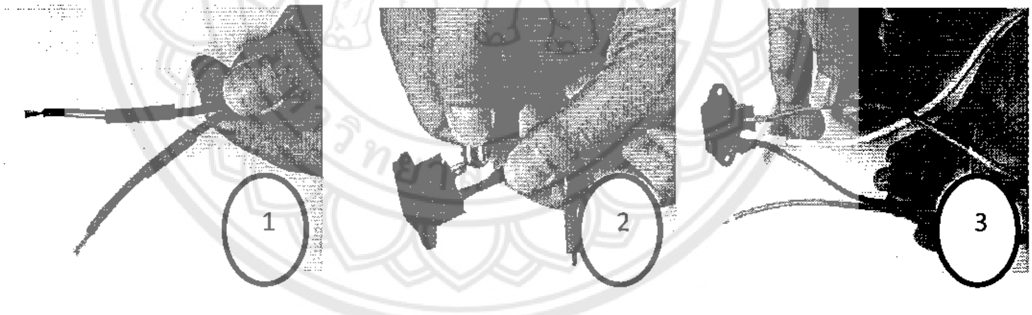




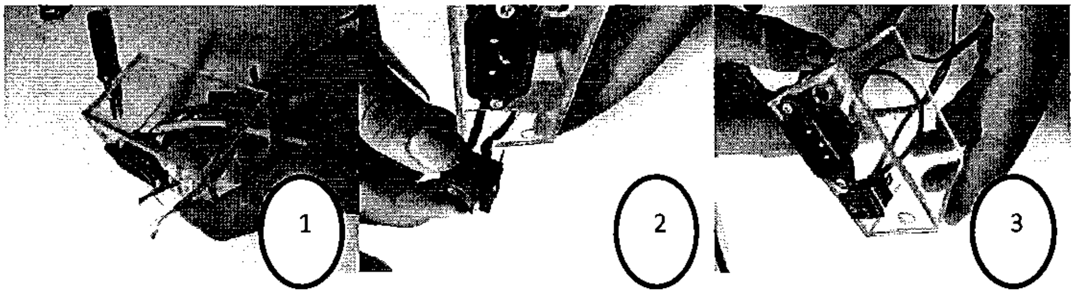
การประกอบชุดจ่ายไฟ



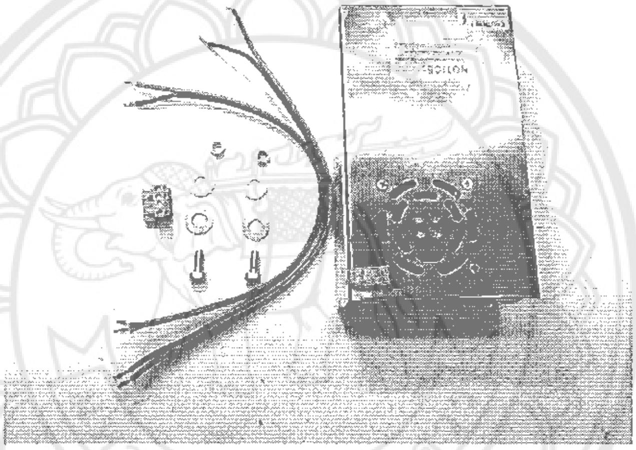
ขั้นแรกนำท่อหดสวมเข้าไปในสายไฟแบ่งตามสีต่อสายไฟสีดำเข้ากับขา N ต่อสายไฟสีแดงเข้ากับขา L ต่อสายไฟสีเหลืองเข้ากับสายกราวด์ ของเต้าเสียบปลั๊กสามตา แล้วเอาไฟลนท่อหดให้เรียบร้อย



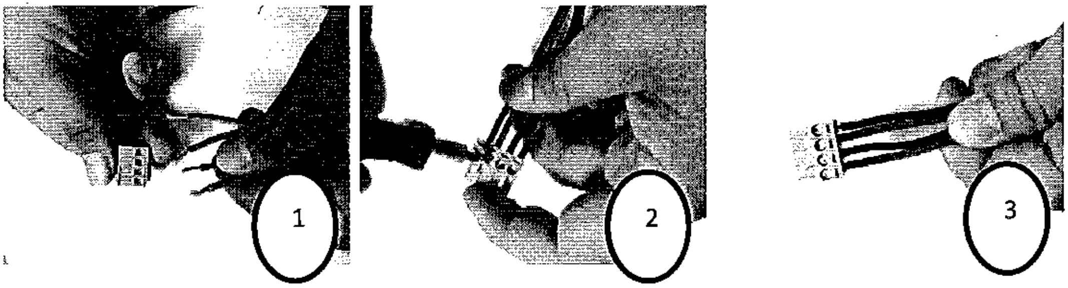
ต่อไปนำเต้าเสียบปลั๊กสามตาใส่ในกล่องอะคิลิคแล้วยึดด้วย Bolt M3x15 และนำสายไฟสีแดงมาต่อกับขาล่างของสวิทซ์เปิดปิด แล้วนำนำสายไฟสีแดงอีกสายมาต่อกับขากลางของสวิทซ์เปิดปิดลนท่อหดแล้วใส่เข้าไปในช่องให้เรียบร้อย



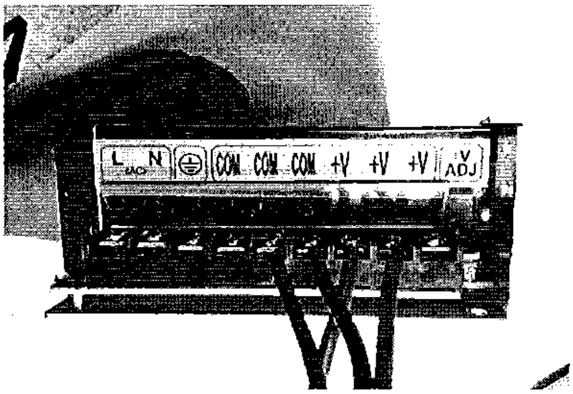
การต่อชุด Power supply



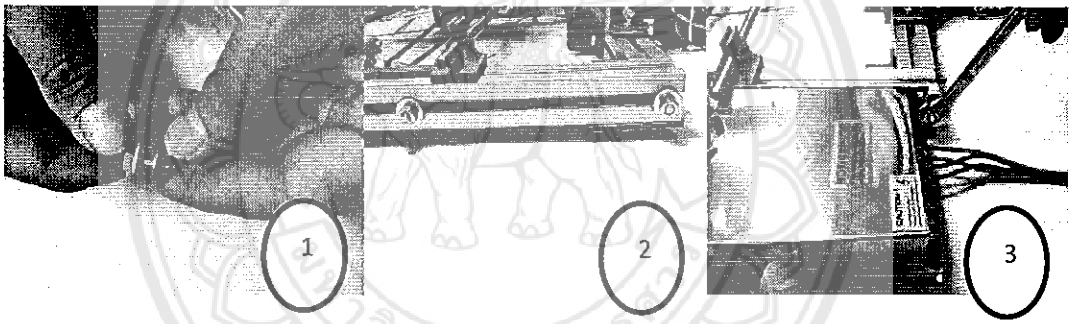
ขั้นแรกนำสายไฟดำแดง 2 คู่มาต่อกับขั้วต่อสายไฟต่อแบบสลับดำแดงเสร็จแล้วขันยึดให้แน่น



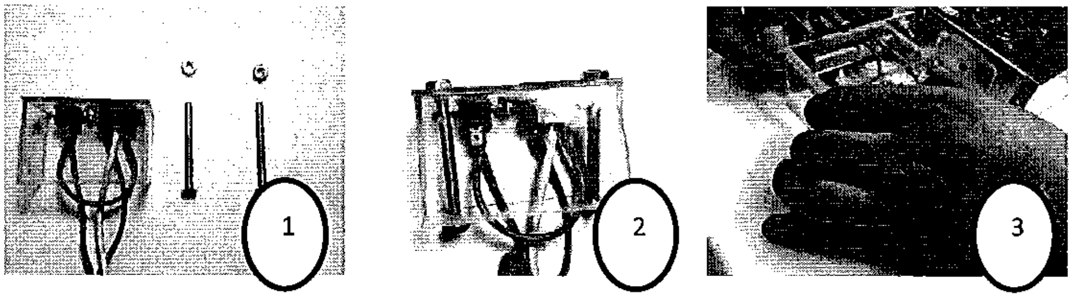
ต่อไปนำสายไฟมาต่อกับ Power supply โดยสายสีดำต่อกับ Port COM และสายสีแดงต่อกับ Port +V



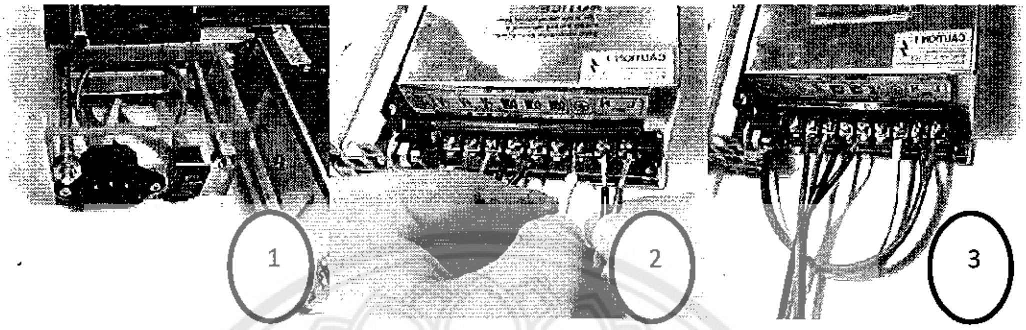
ต่อไป Bolt M6x10 สวม Washer 2ตัว และ สวม Nut ไว้หลวมๆ จำนวน 2 ชุดแล้วใส่น็อตทั้ง 2 ชุดเข้าไปในอลูมิเนียมโปรไฟล์ฐานแล้วนำ Power supply วางลงไประหว่าง Bolt ทั้งสองอันแล้วนำ Washer หนีบขอบของ Power supply ทั้งด้านหน้าและหลังแล้วขันยึดให้แน่น



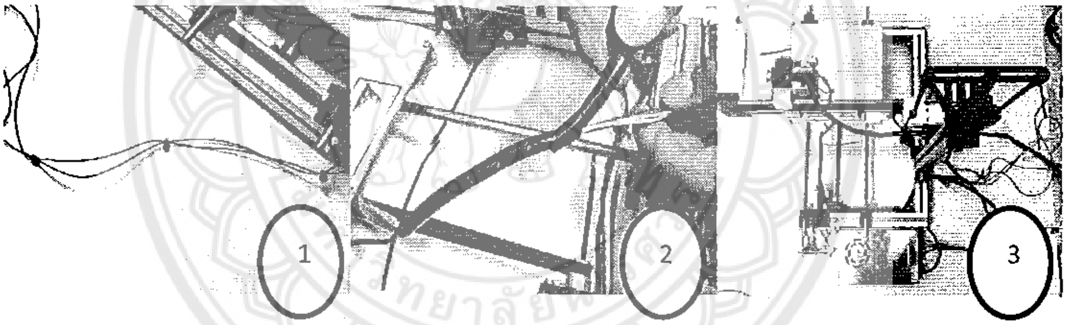
จากนั้นนำกล่องจ่ายไฟที่ประกอบไว้มายึดเข้ากับอลูมิเนียมโปลไฟล์ด้วย Bolt M6x60 จำนวน 2 ตัว โดยใส่ Bolt เข้ามาจากด้านในแล้วสวม Nut ไว้แบบหลวมๆจากนั้นนำหัวของ Bolt ใส่เข้าไปในช่องของอลูมิเนียมโปรไฟล์แล้วขัน Nut ยึดแค่พอตึงมือ

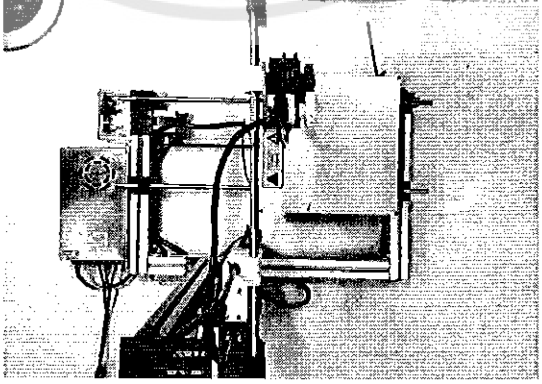


แล้วนำสายไฟ 3 เส้นจากกล่องจ่ายไฟมาต่อเข้ากับ Power supply โดยต่อสายไฟสีแดงเข้ากับ Port L ต่อสายไฟสีดำเข้ากับ Port N ต่อสายไฟสีเหลืองเข้ากับ Port Ground

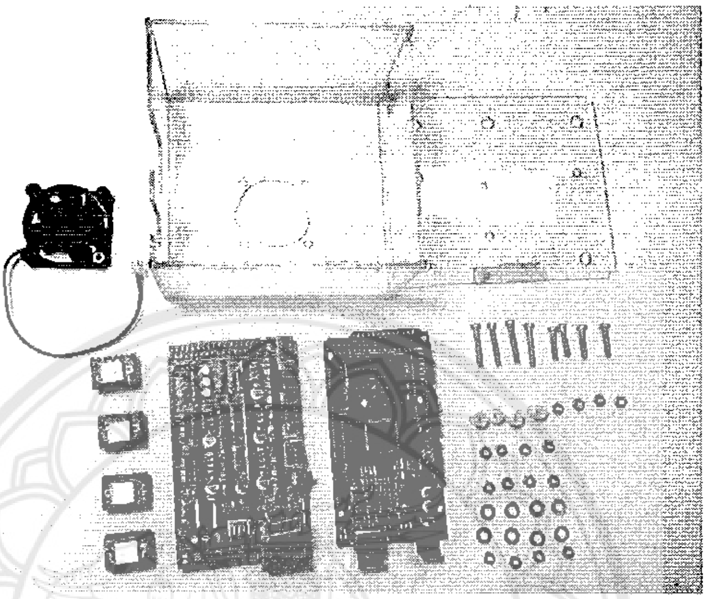


จากนั้นเก็บสายไฟให้เรียบร้อย

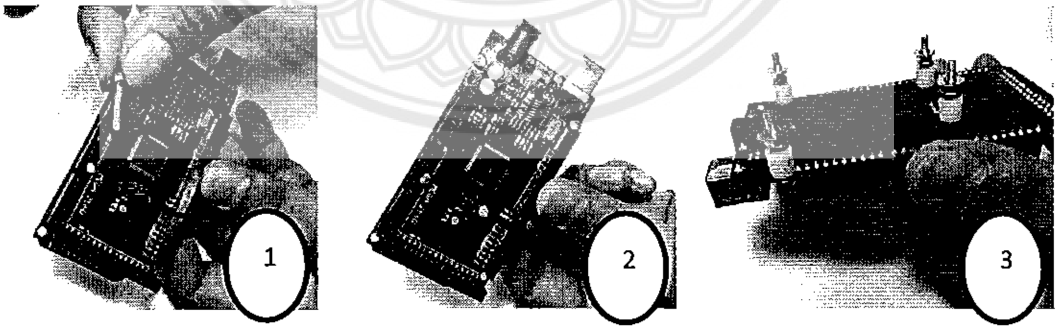




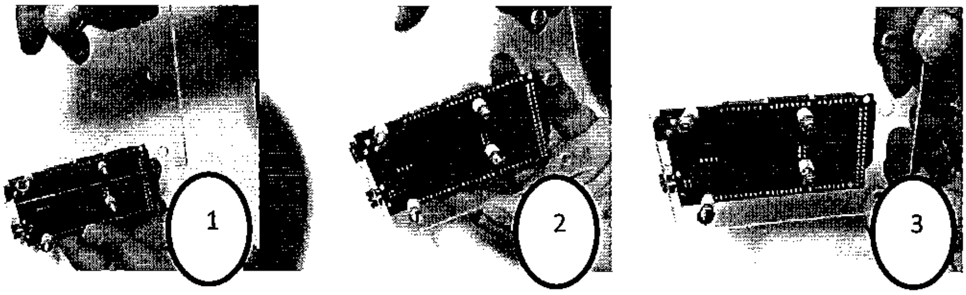
การประกอบชุดแผงควบคุม



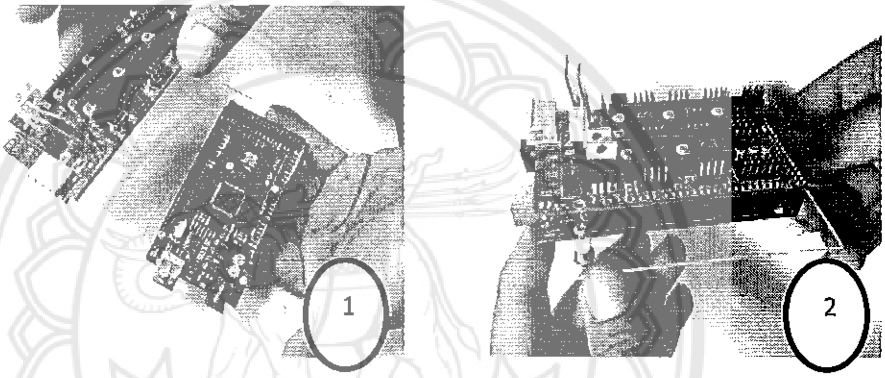
ขั้นแรกน Bolt M3x15 ใส่เข้าไปในรูของแผงวงจร MEGA 2560 ตรง 4 รูแรกจากที่เสียบ Port ข้อมูล แล้วนำพลาสติกรองแผงวงจรสวมเข้าไปใน Bolt ทั้ง 4 ตัวแล้วใช้ Nut M3 ขันยึดโดยใช้ Nut 2 ตัวต่อ Bolt 1 ตัว เพื่อเพิ่มระยะห่างของแผงวงจรกับแผ่นอะคิลิกแล้วสวมแหวนรองน็อต



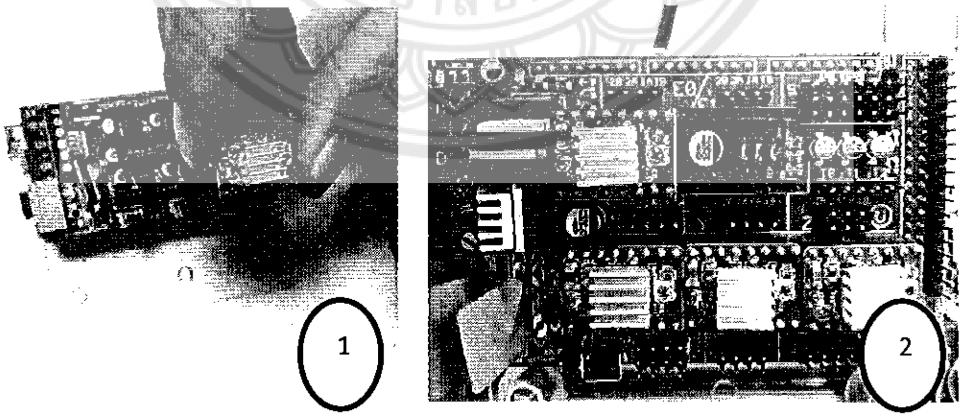
แล้วยึดแผงวงจร MEGA 2560 เข้ากับแผ่นอะคิลิกสวม Washer และขันยึดด้วยน็อตตัวเมีย



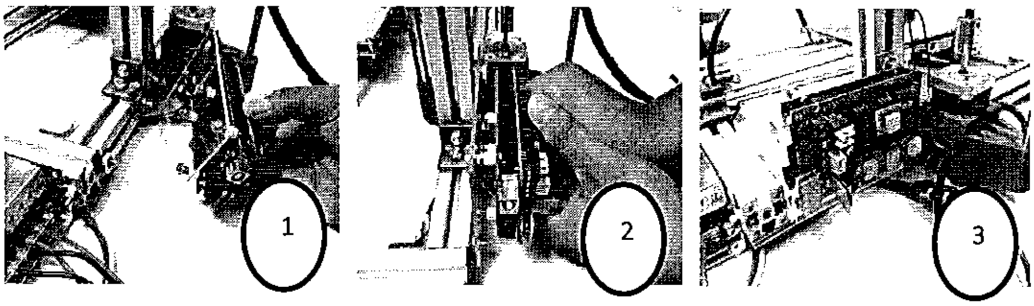
จากนั้นนำแผงวงจร RAM 1.4 ต่อเข้ากับแผงวงจร MEGA 2560



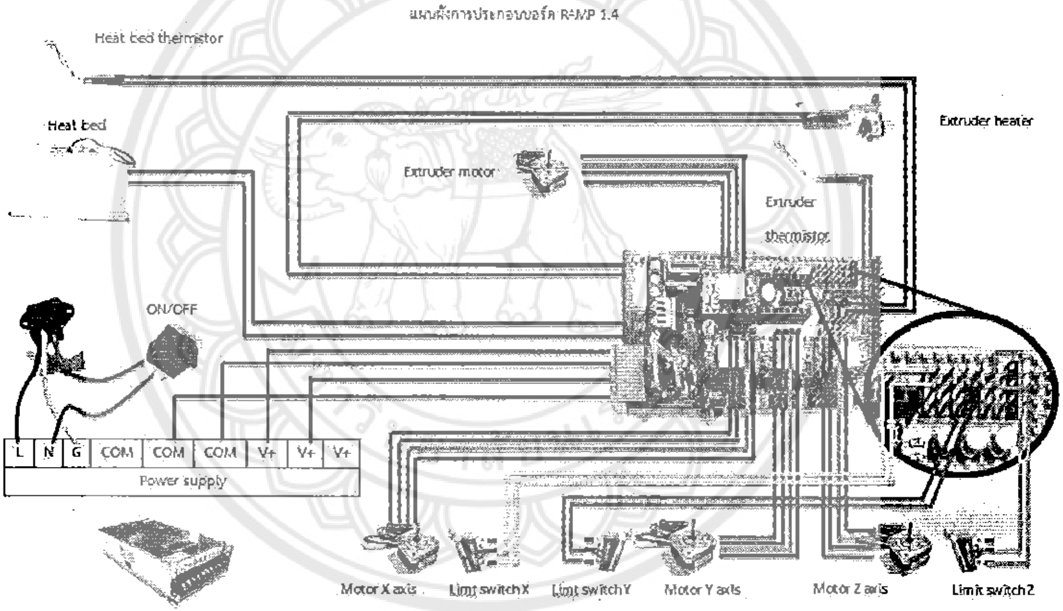
แล้วนำแผงวงจร Driver Step motor ต่อกับแผงวงจร RAM 1.4 โดย ต่อที่ช่อง E0 , X , Y และ Z



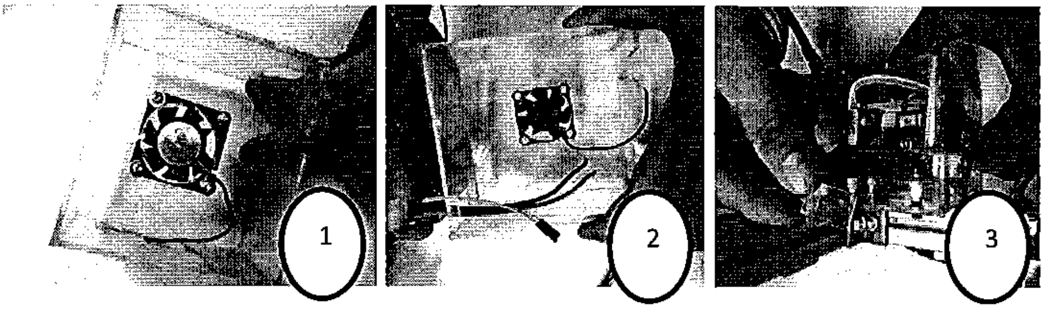
ต่อไปนำ Washer M8 สวมเข้ากับ Bolt M6x15 ที่ใส่ไว้ตั้งแต่ตอนแรกโดยใช้ Washer 3 ตัวต่อ Bolt 1 ตัวแล้วนำชุดแผงวงจรสวมเข้ากับ Bolt ที่ฐานและขัน Nut ยึดให้แน่นพอตึงมือ



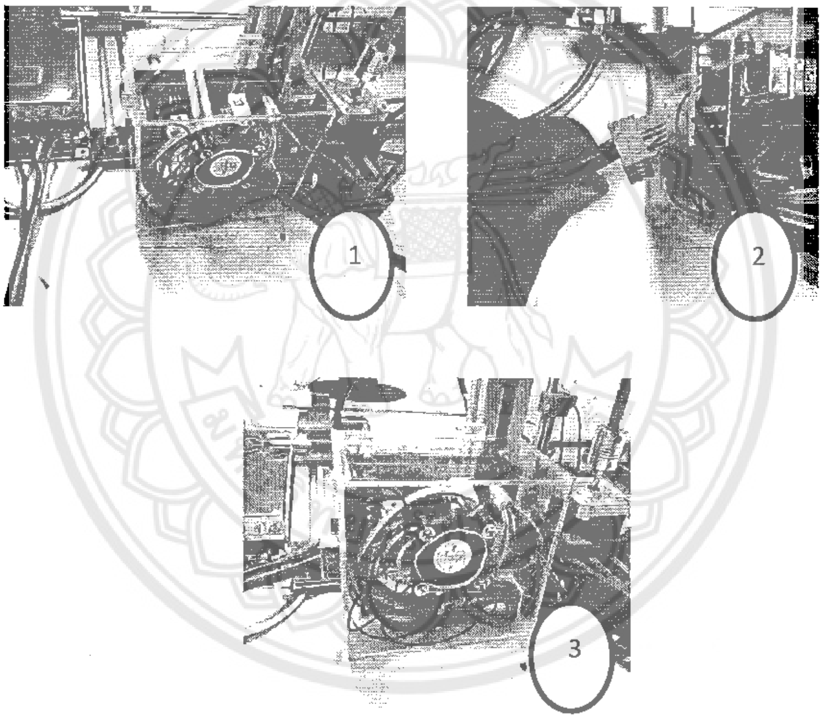
การต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้ากับแผงวงจร



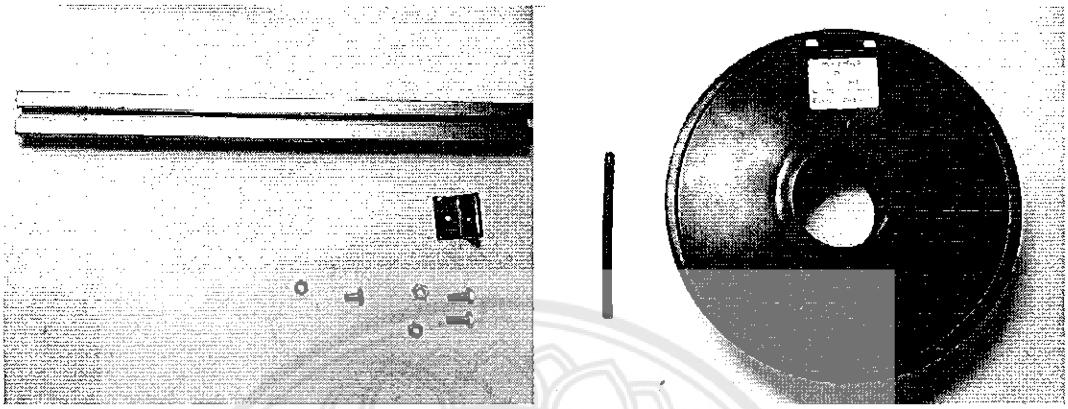
จากนั้นนำพัดลมระบายความร้อนมายึดกับฝาครอบแผงวงจรด้วย Bolt M3x10 เก็บสายไฟทั้งหมดเข้าทางช่องสายไฟแล้วครอบฝาครอบแผงวงจรแล้วเสียบตัวล็อคฝาครอบให้เรียบร้อย



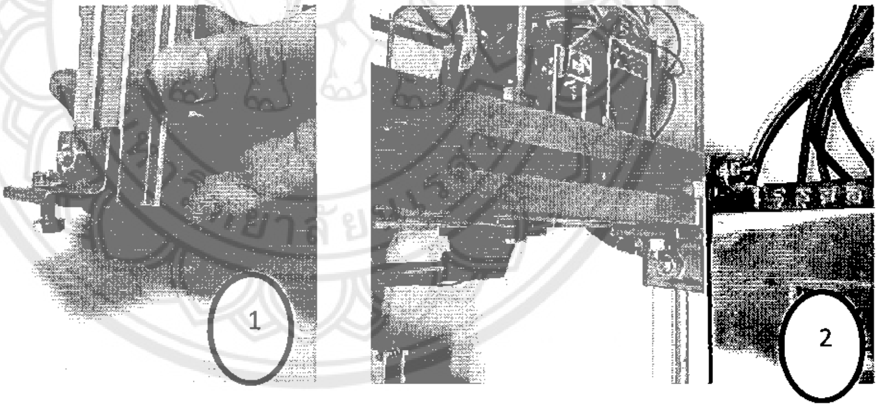
แล้วนำสาย Power จาก Power supply มาต่อกับชุดแผงวงจร



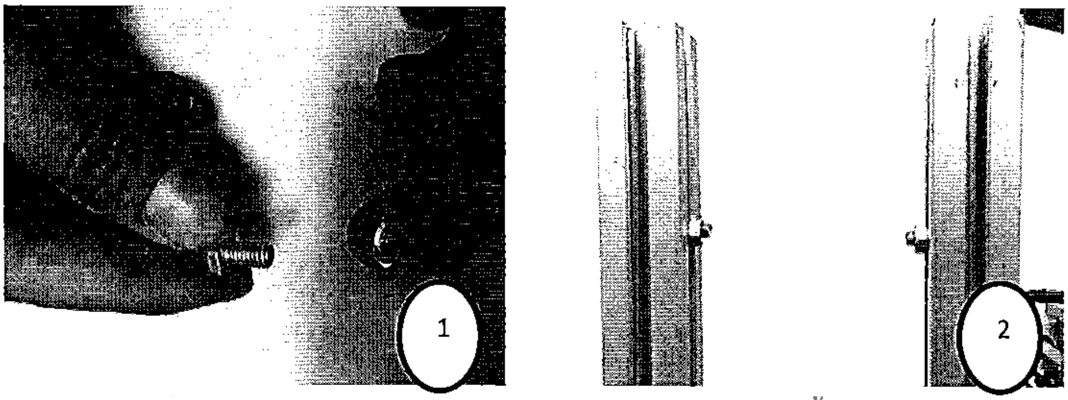
การประกอบชุดวางเส้นใยพลาสติก



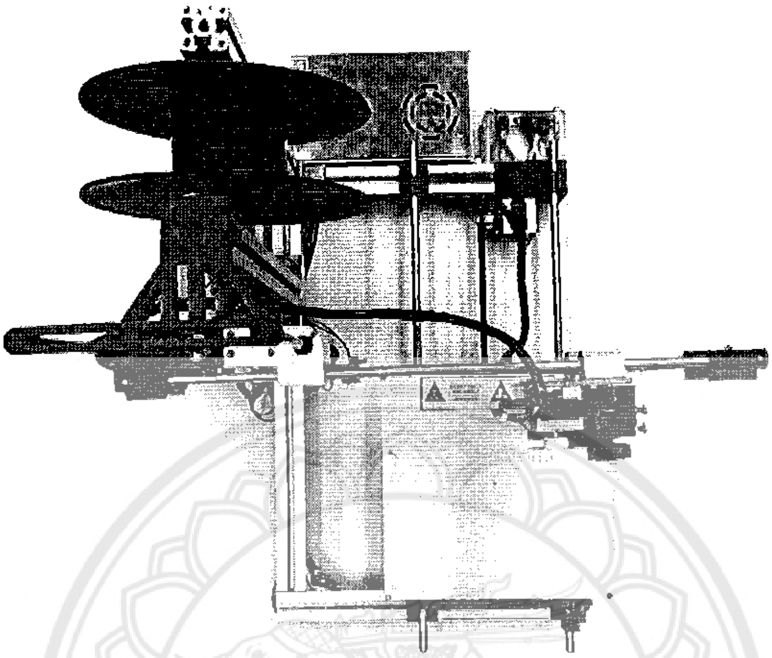
ขั้นแรกนำ Angle Bar ยึดกับอลูมิเนียมโปรไฟล์และนำไปยึดกับฐานด้วย Bolt M6x15 **โดยให้อลูมิเนียม**โปรไฟล์อยู่มุมริมสุด

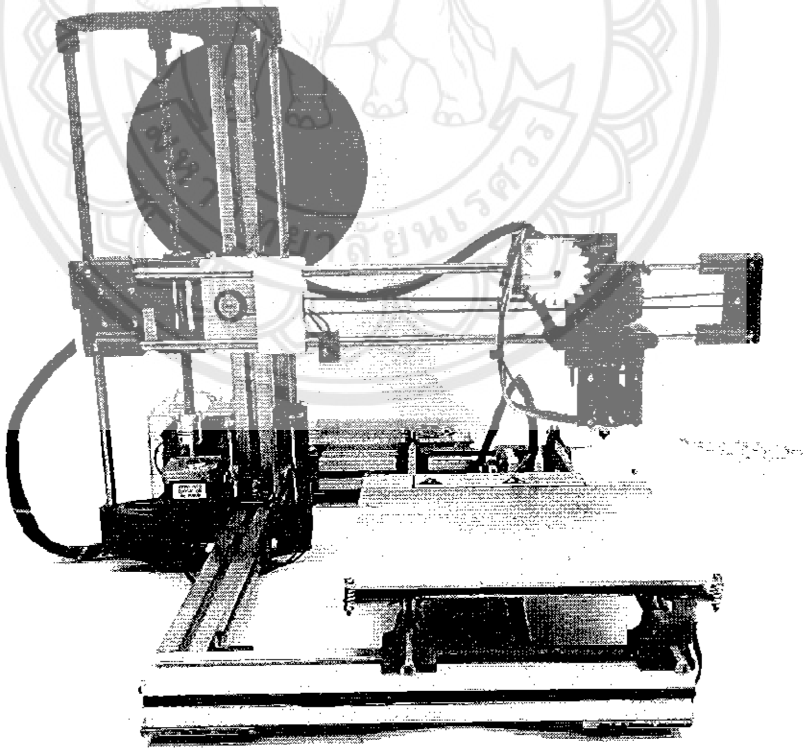


ต่อไปนำ Bolt M6x10 จำนวน 2 ชุด สวมเข้าไปในอลูมิเนียมโปรไฟลแนวตั้งทั้งสองวัดจากปลายด้านบนสุดลงมา 6 เซนติเมตรขัน Nut ทั้ง 2 ข้างให้แน่น



แล้วนำแกนเส้นใยพลายติกสวม Rod ขนาด M6 ยาว 9 เซนติเมตรจากนั้นนำ Rod ใส่เข้าไปในอลูมิเนียมโปรไฟล์พาดบน Bolt ที่ยึดไว้

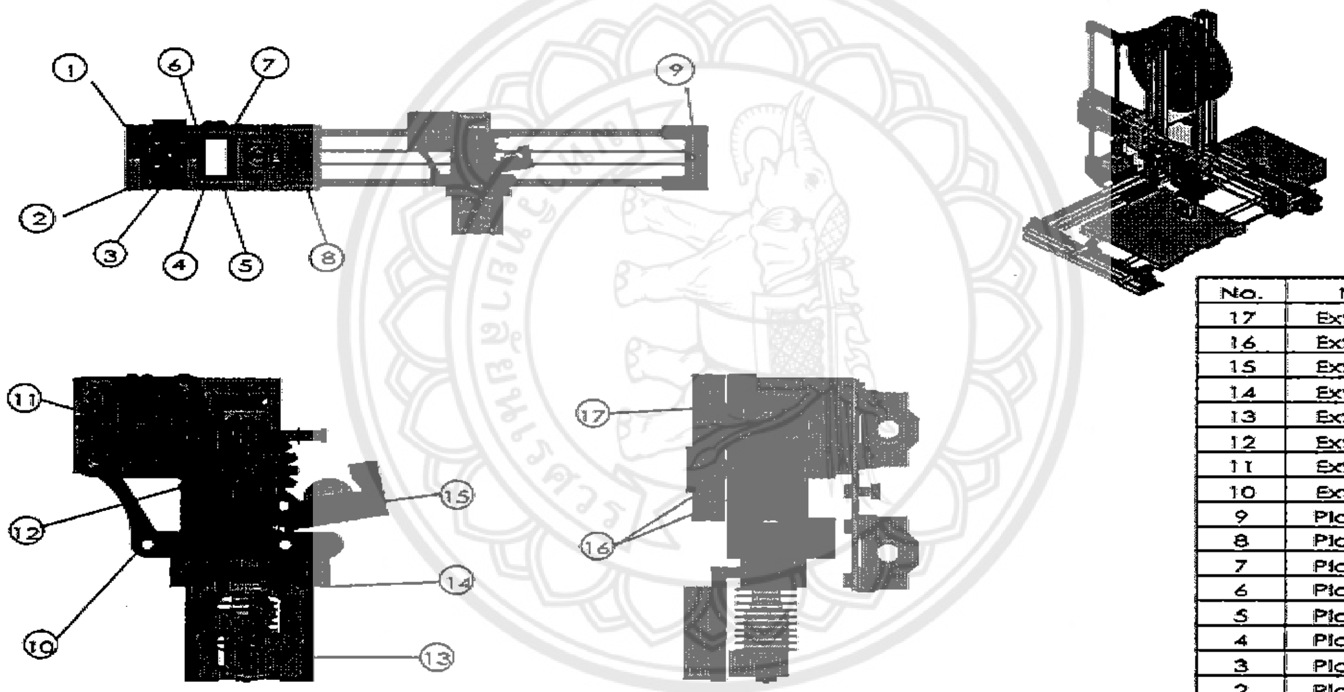




ภาคผนวก ค

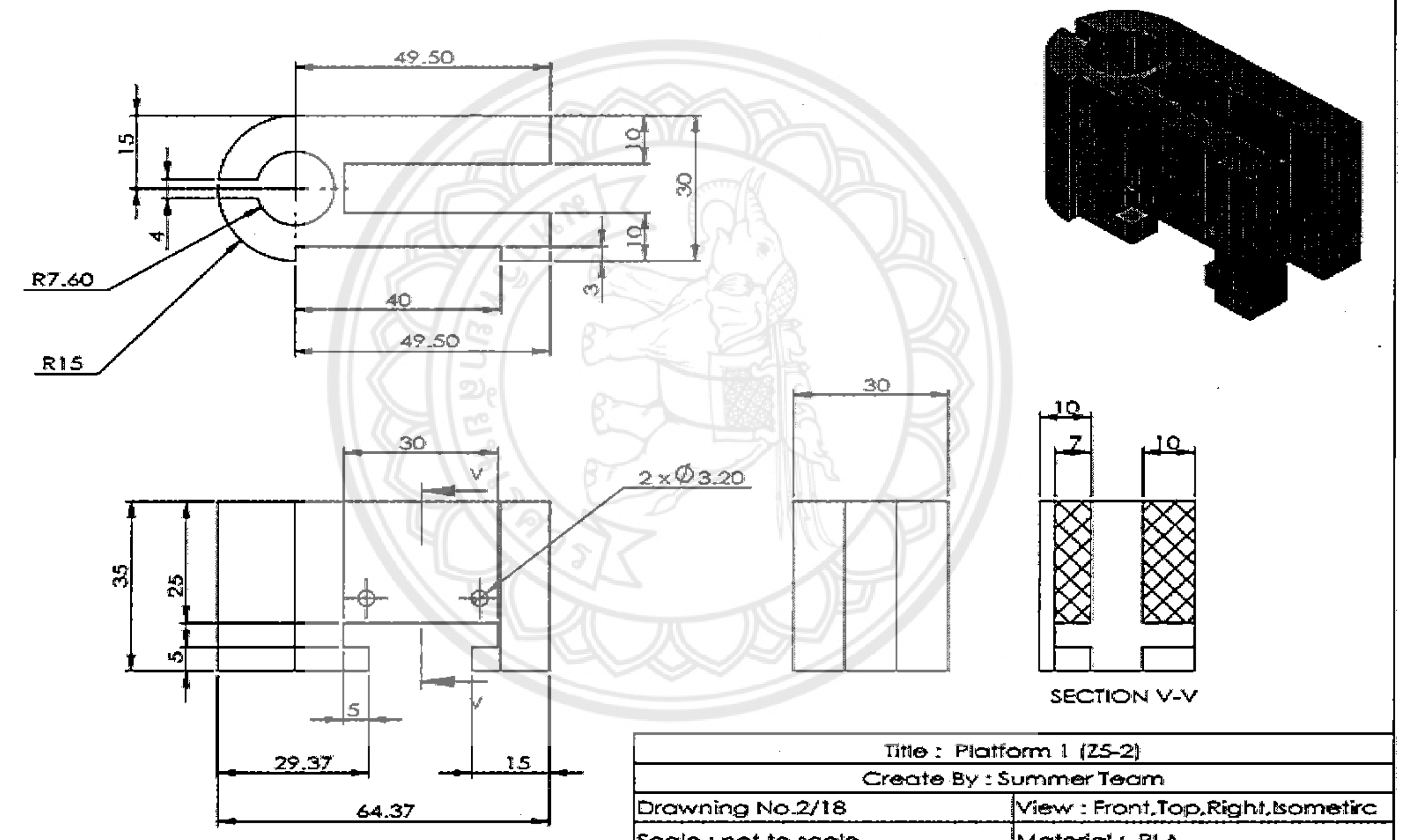
มหาวิทยาลัยนเรศวร

แบบ 2 มิติ

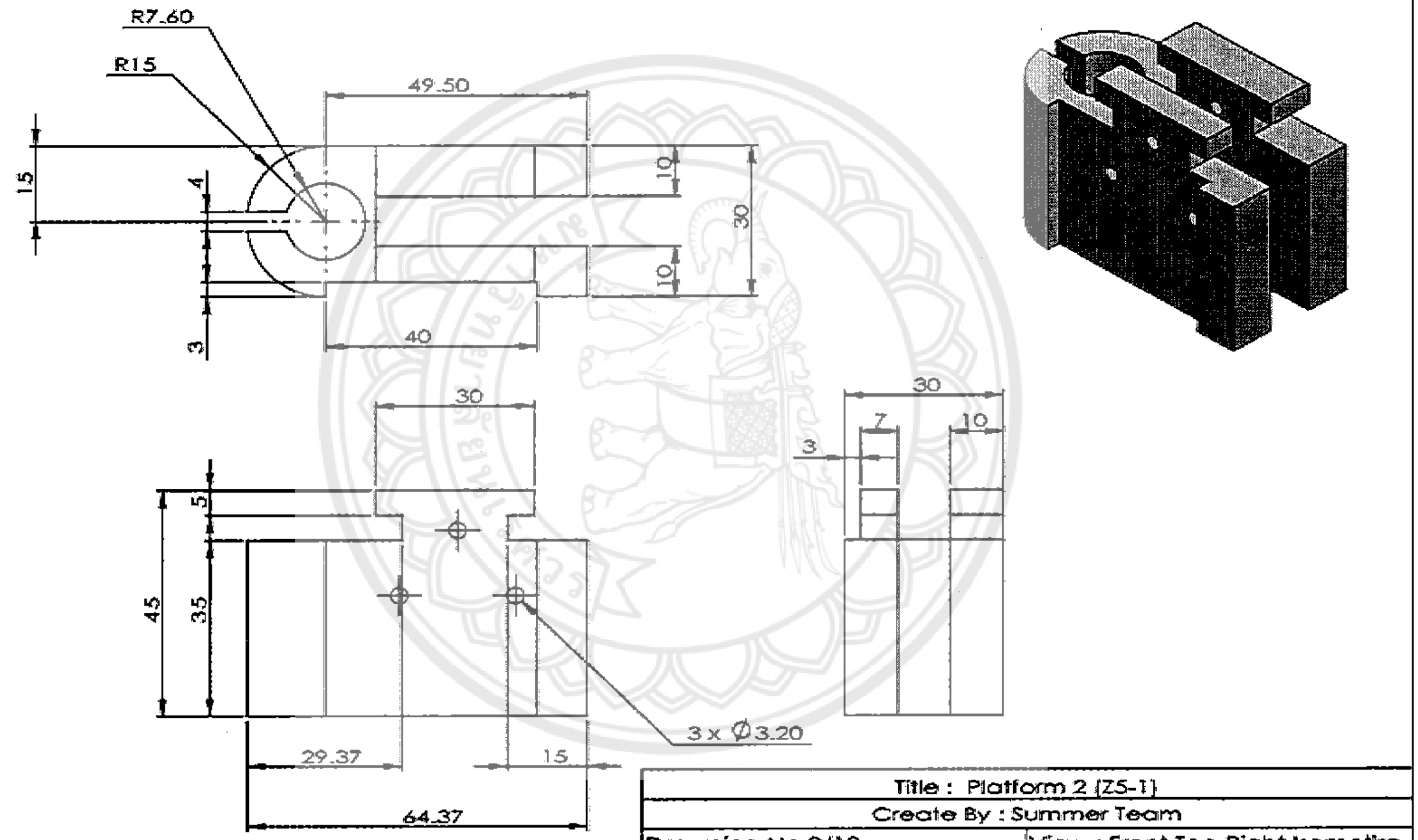


No.	NAME
17	Extruder 8
16	Extruder 7
15	Extruder 6
14	Extruder 5
13	Extruder 4
12	Extruder 3
11	Extruder 2
10	Extruder 1
9	Platfrom 9
8	Platfrom 8
7	Platfrom 7
6	Platfrom 6
5	Platfrom 5
4	Platfrom 4
3	Platfrom 3
2	Platfrom 2
1	Platfrom 1

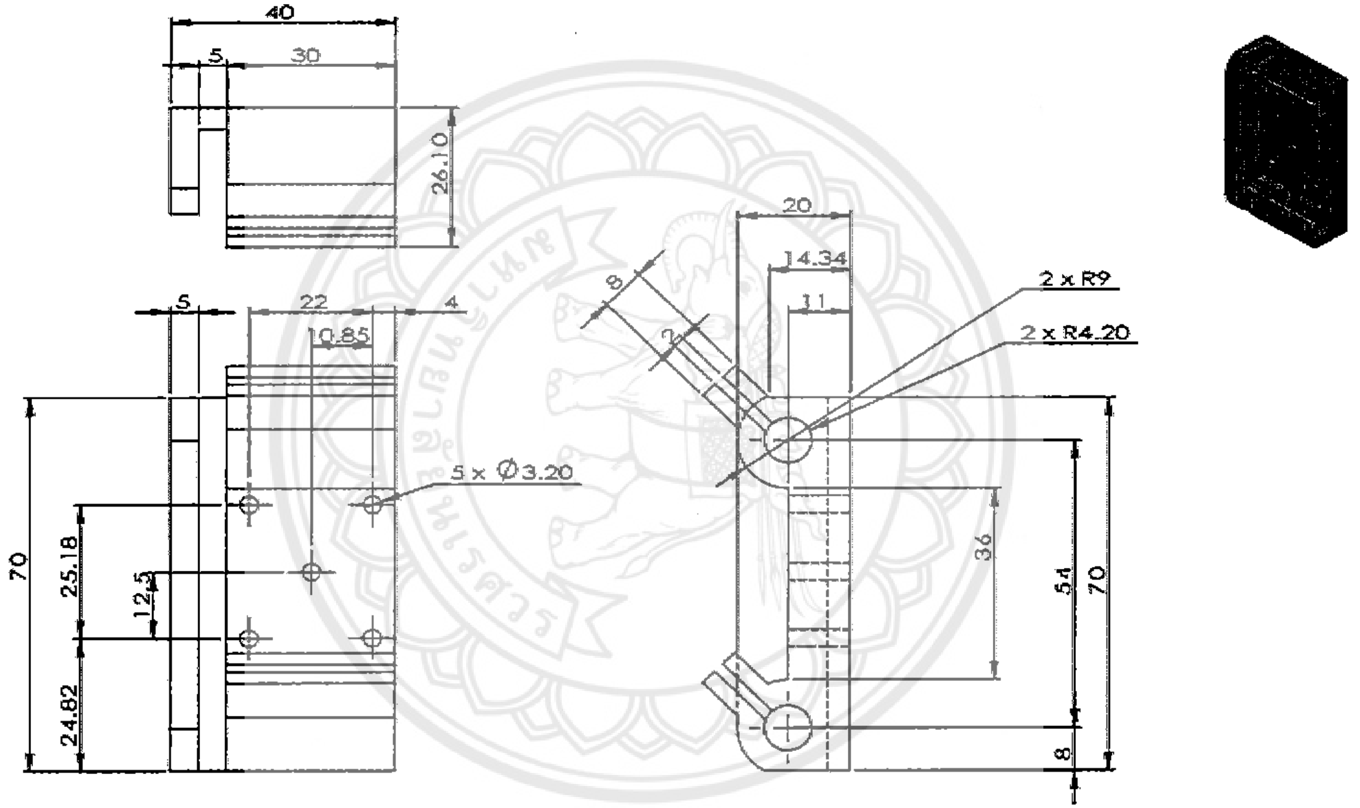
Title : Platfrom and Exruder	
Create By : Summer Team	
Drawning No. 1/18	View : Front,Right,Isometirc
Date : 29/7/2016	



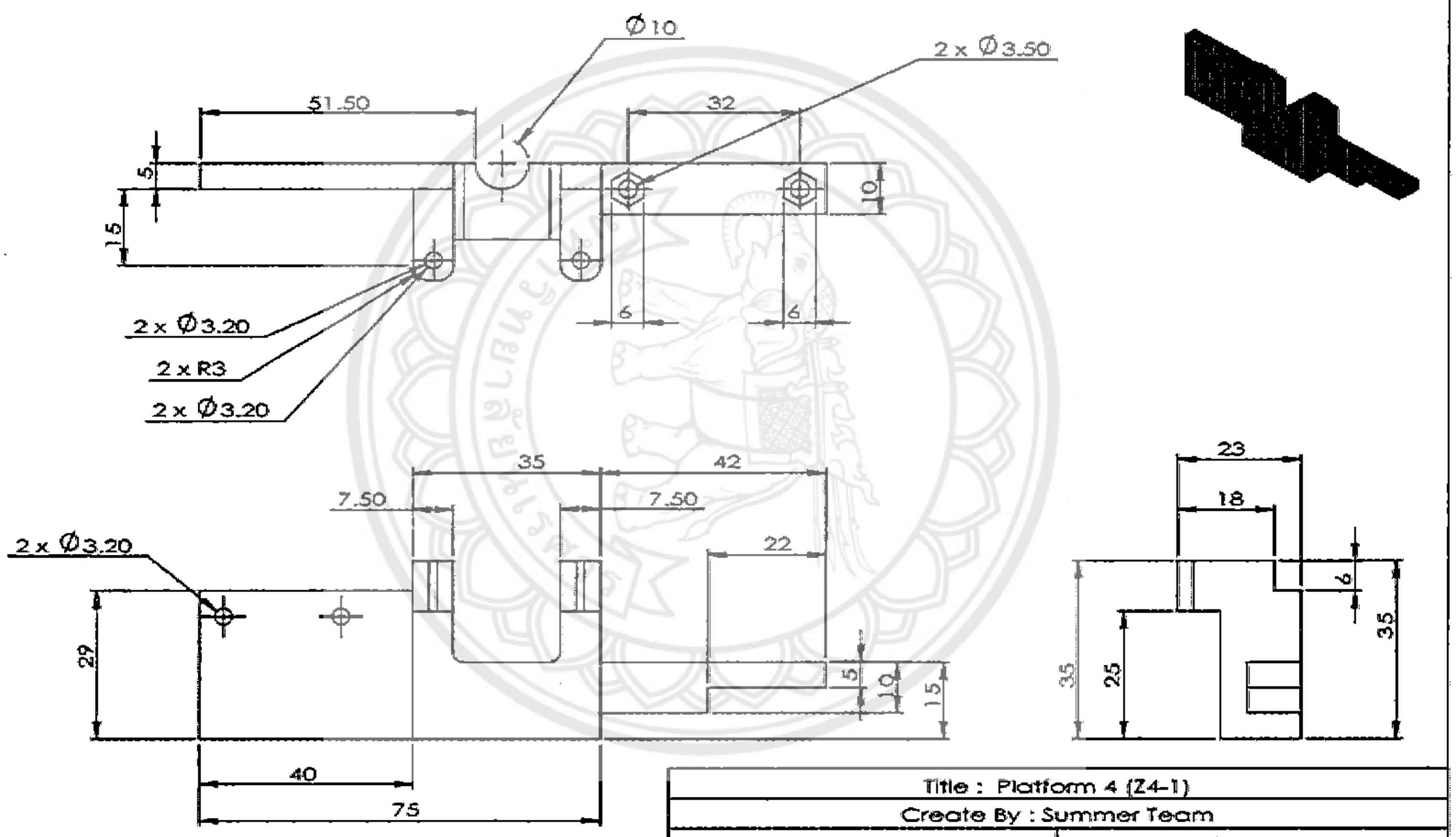
Title : Platform 1 (ZS-2)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.2/18	View : Front,Top,Right,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 16/4/2016	



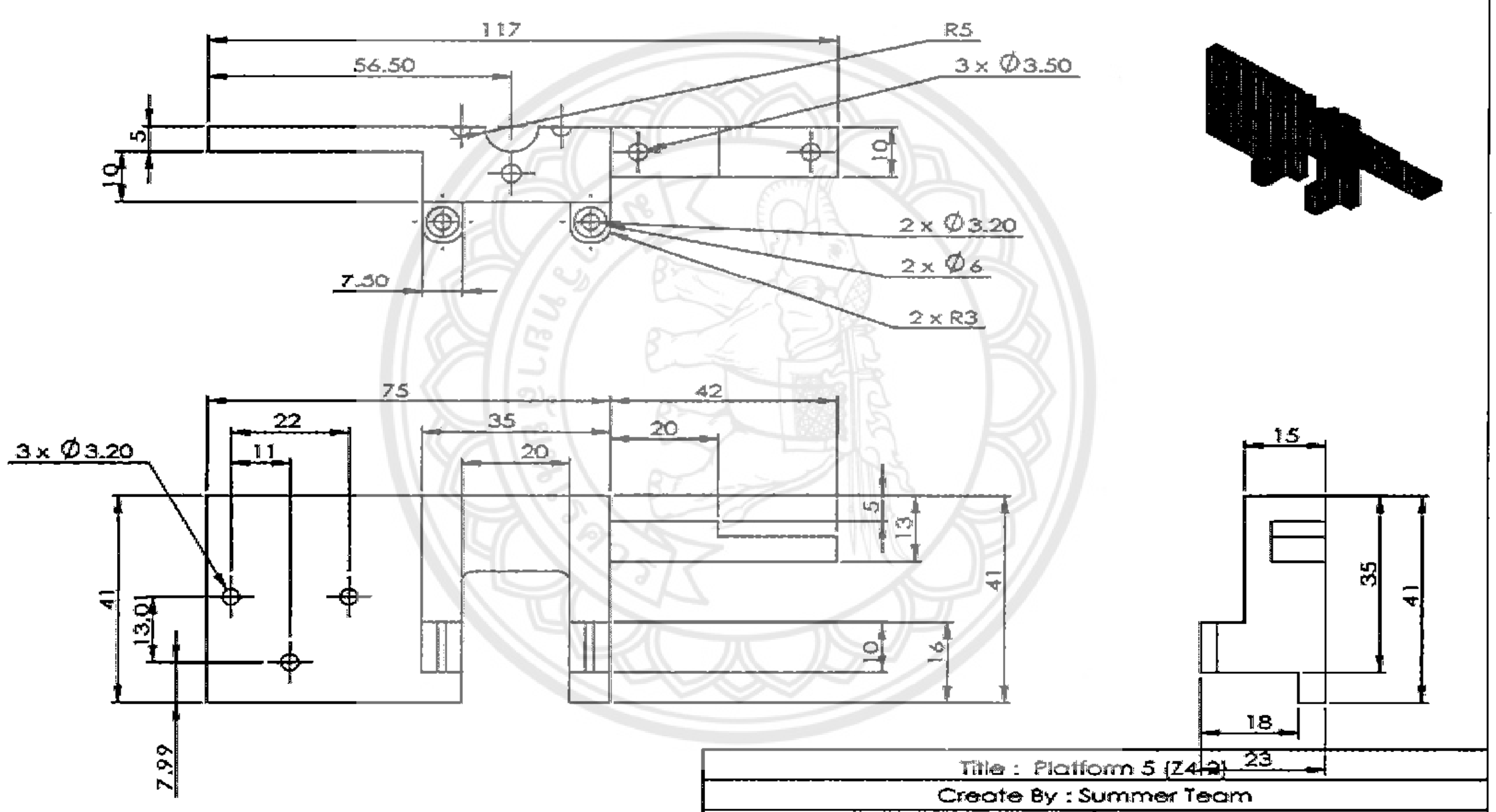
Title : Platform 2 (ZS-1)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.3/18	View : Front,Top,Right,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 16/4/2016	



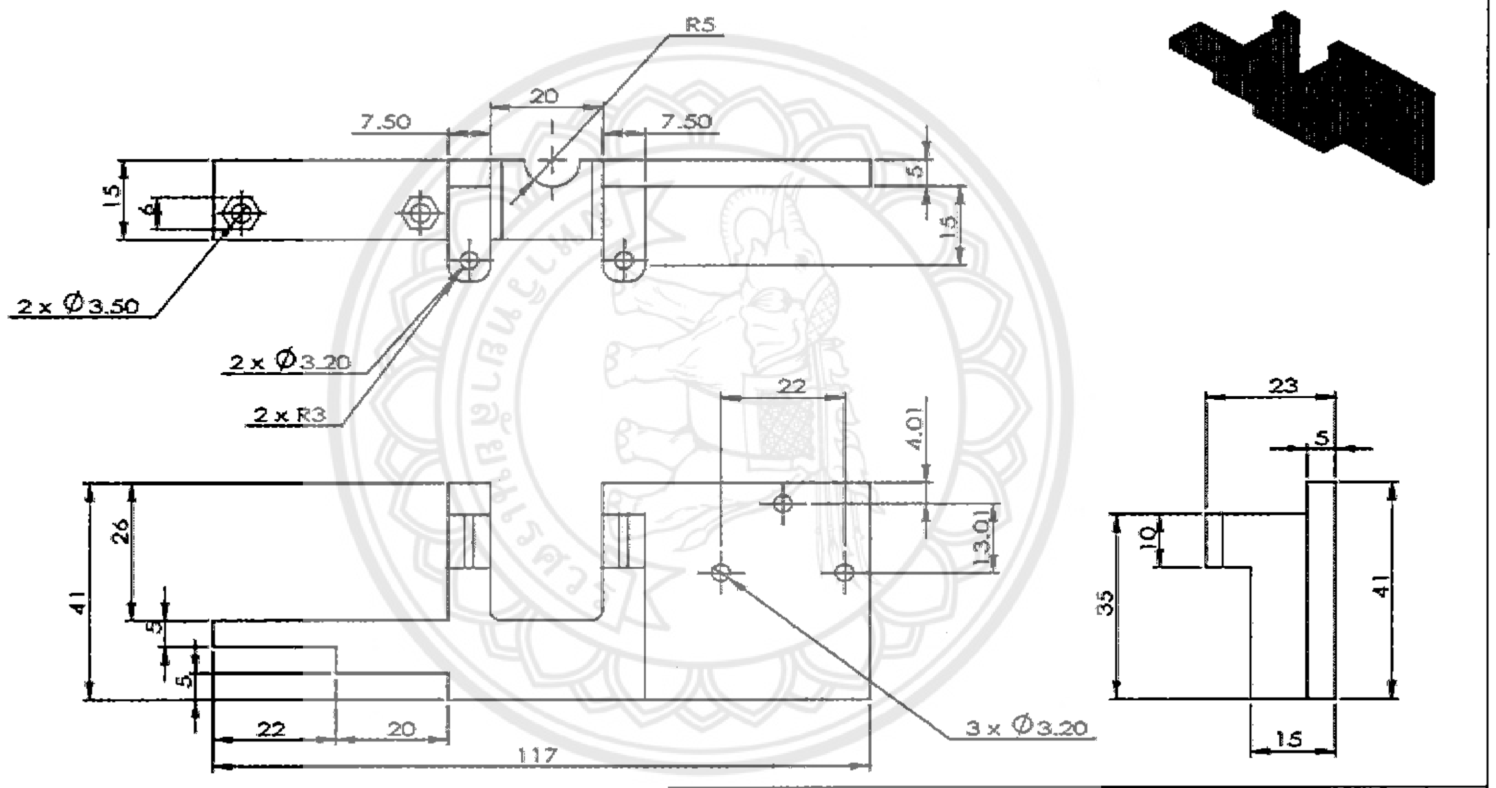
Title : Platform 3 (Z2)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.4/18	View : Front,Top,Right,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 16/4/2016	



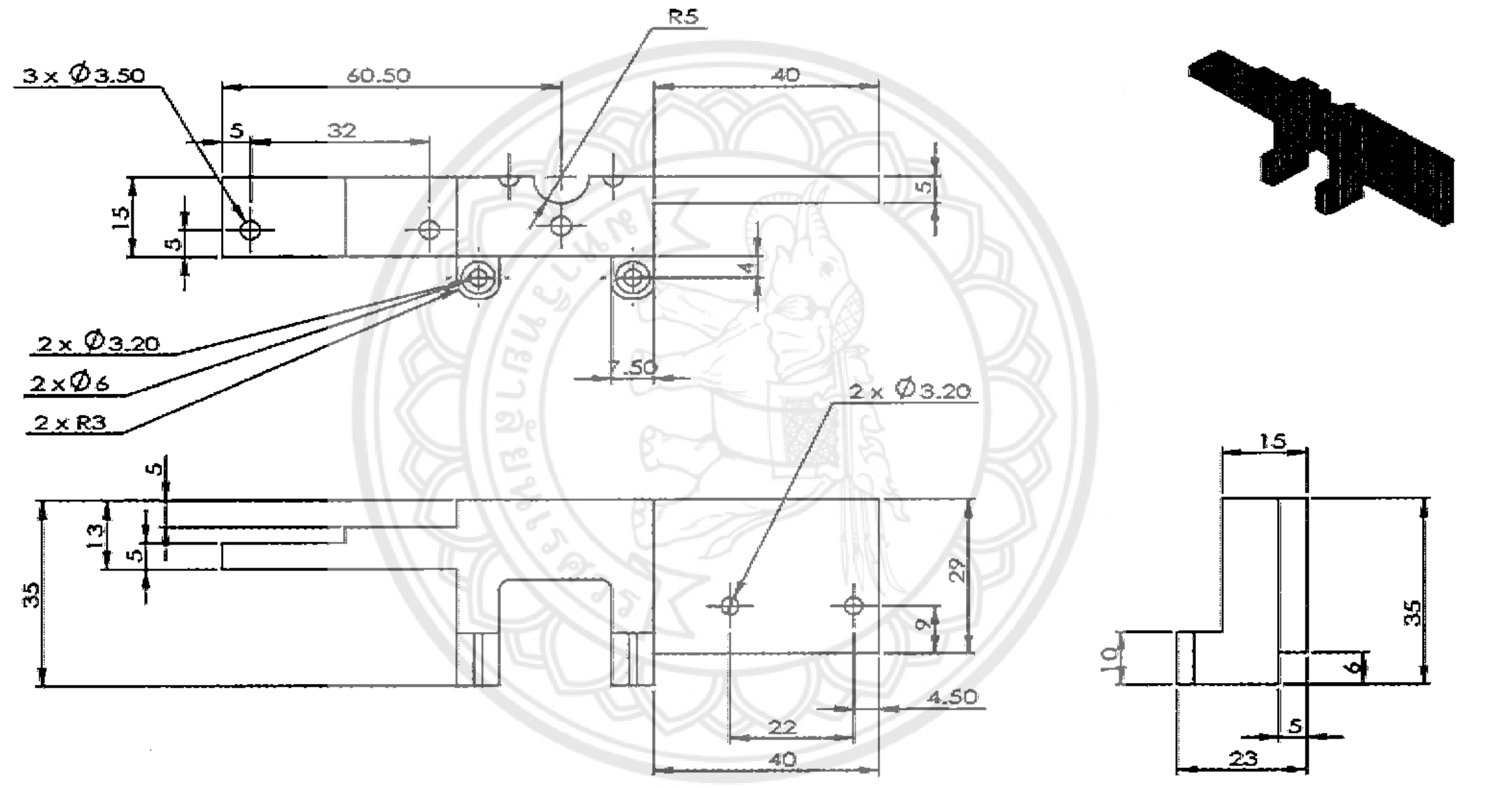
Title : Platform 4 (Z4-1)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.5/18	View : Front,Top,Right,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 16/4/2016	



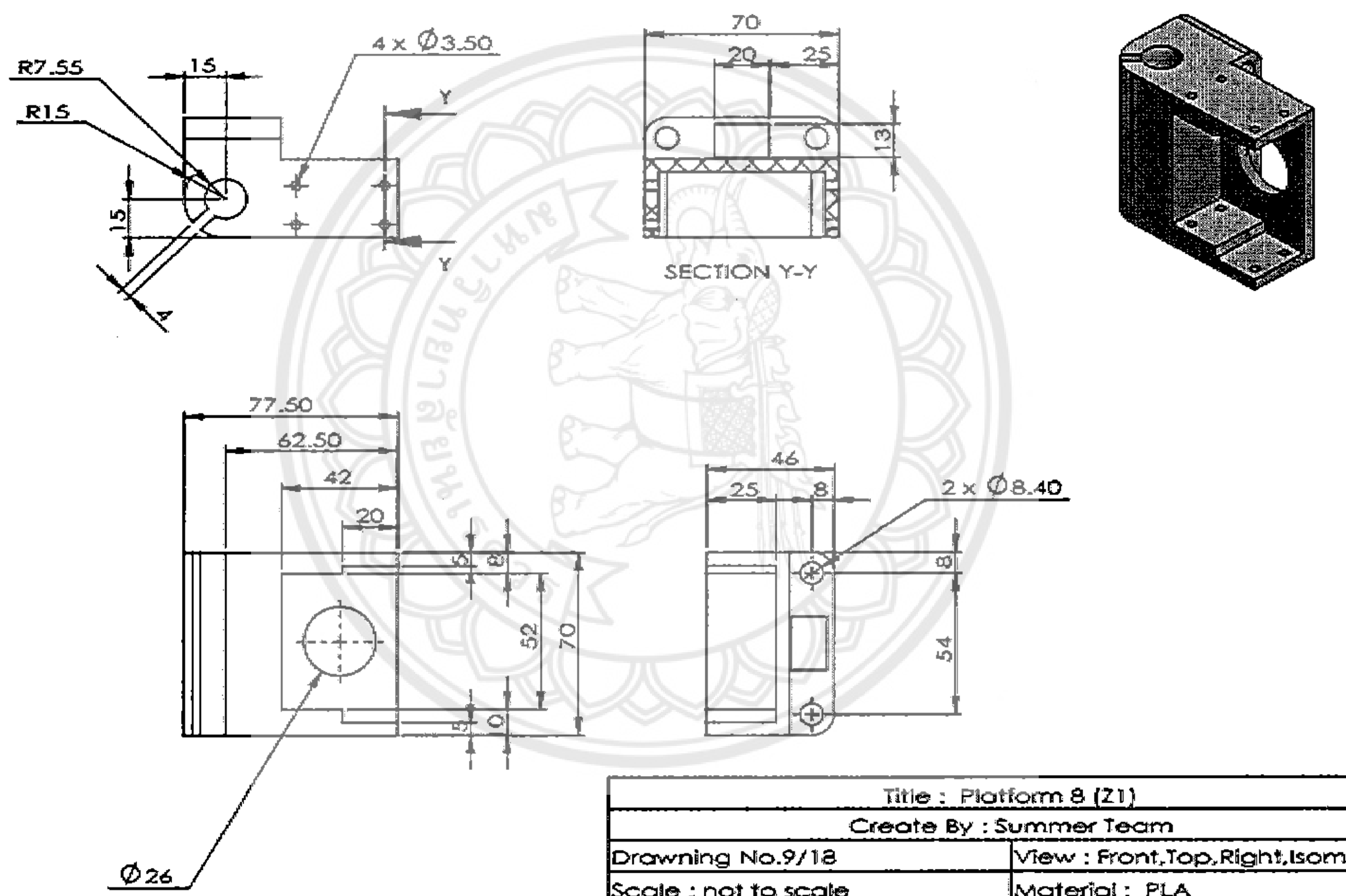
Title : Platform 5 (Z4-2)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.6/18	View : Front,Top,Right,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 16/4/2016	



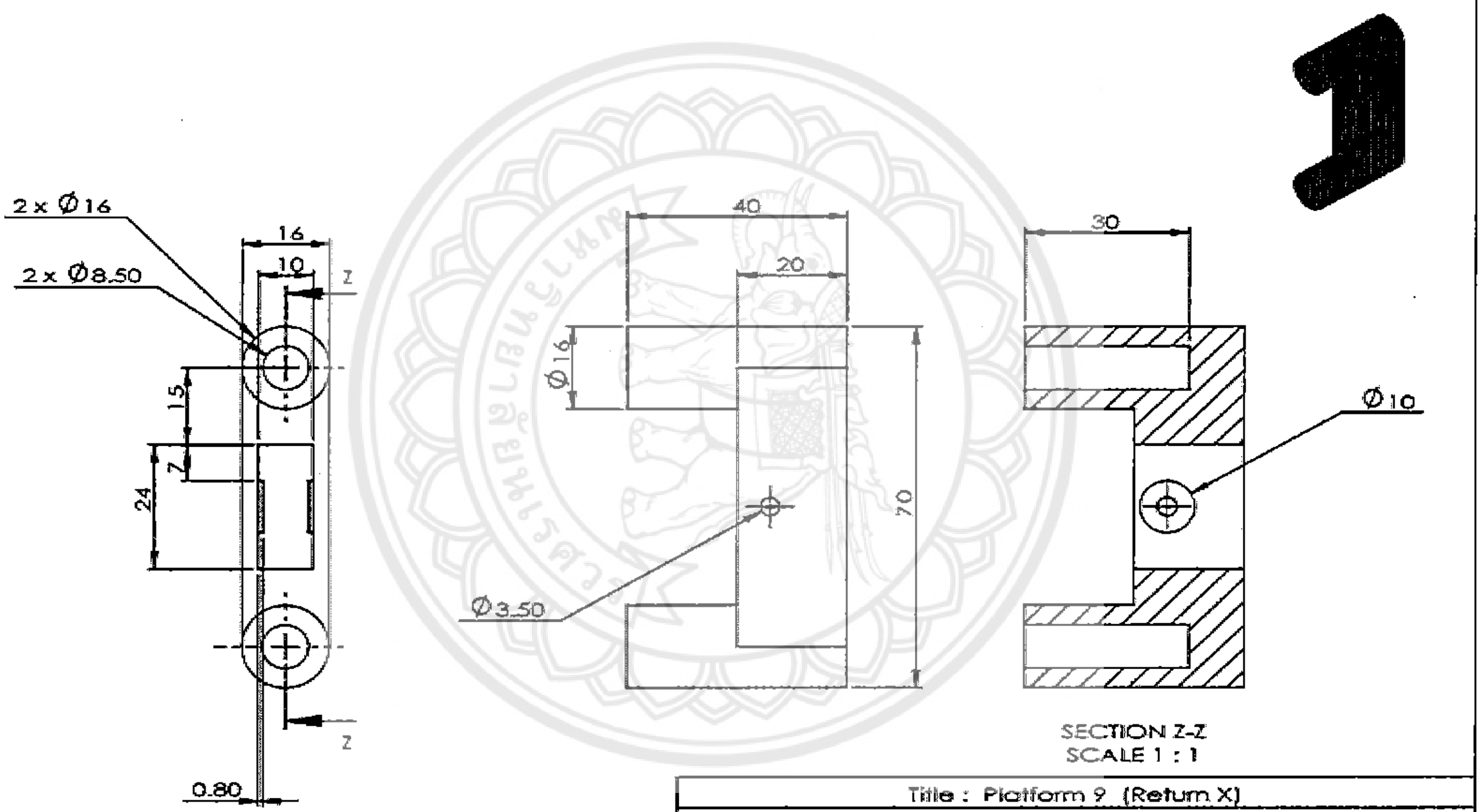
Title : Platform 6 (Z4-3)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.7/18	View : Front,Top,Right,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 16/4/2016	



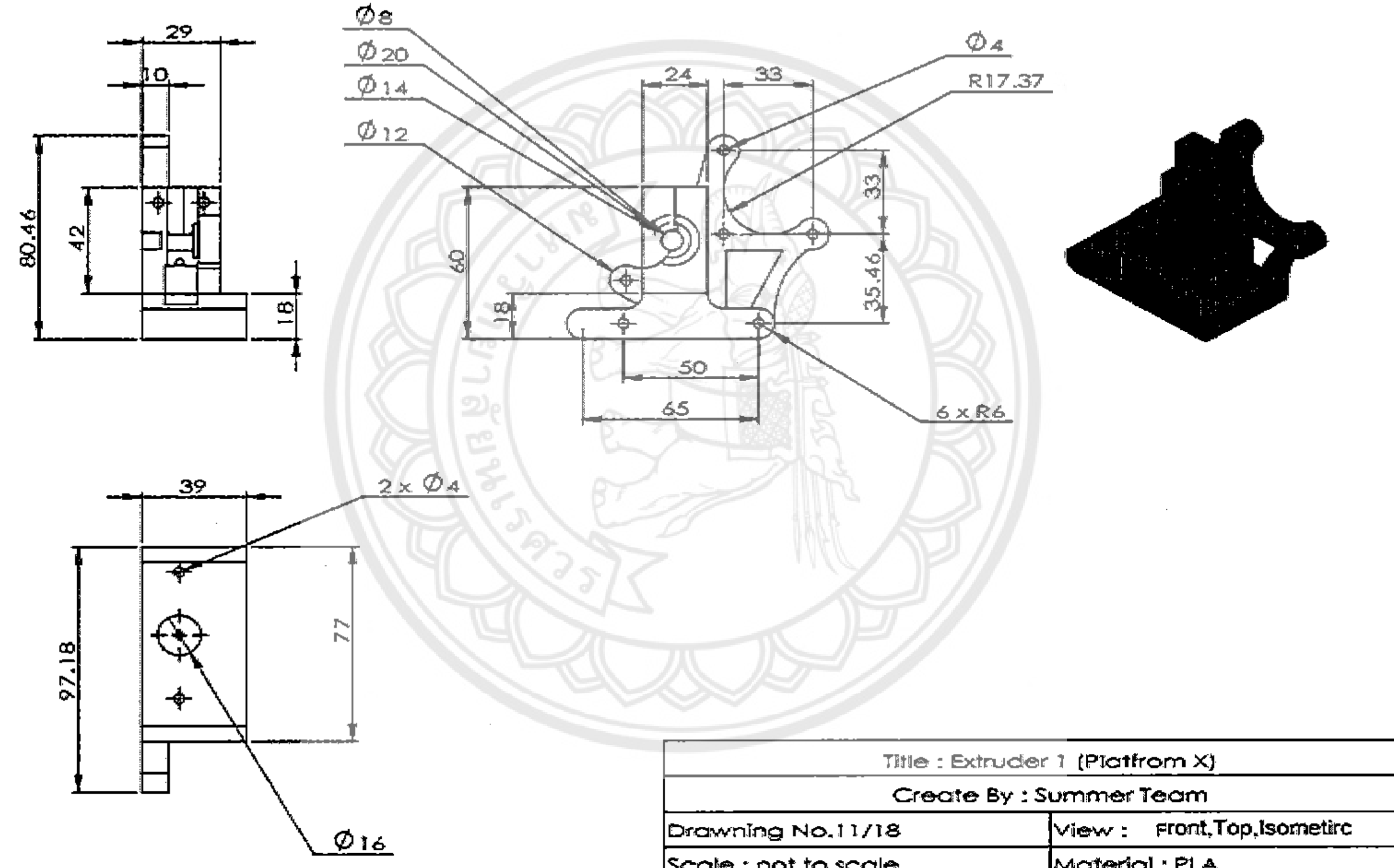
Title : Platform 7 (Z4-4)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.8/18	View : Front,Top,Right,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 16/4/2016	



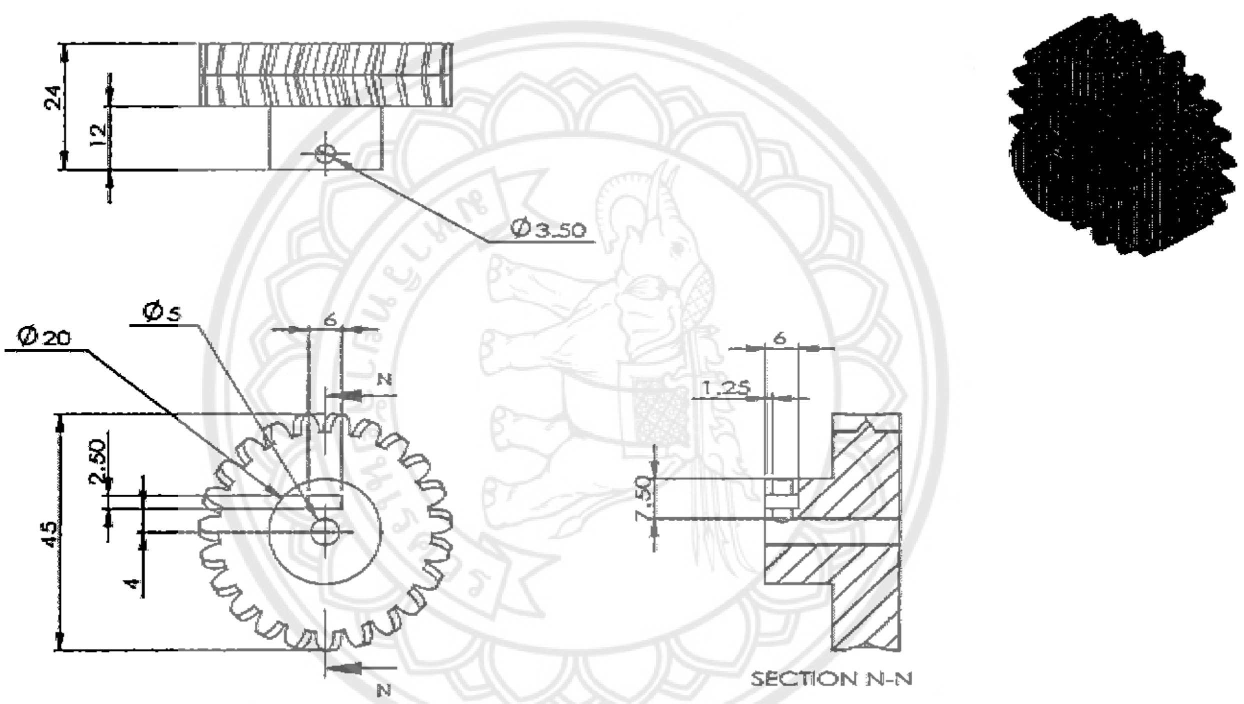
Title : Platform 8 (Z1)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.9/18	View : Front,Top,Right,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 16/4/2016	



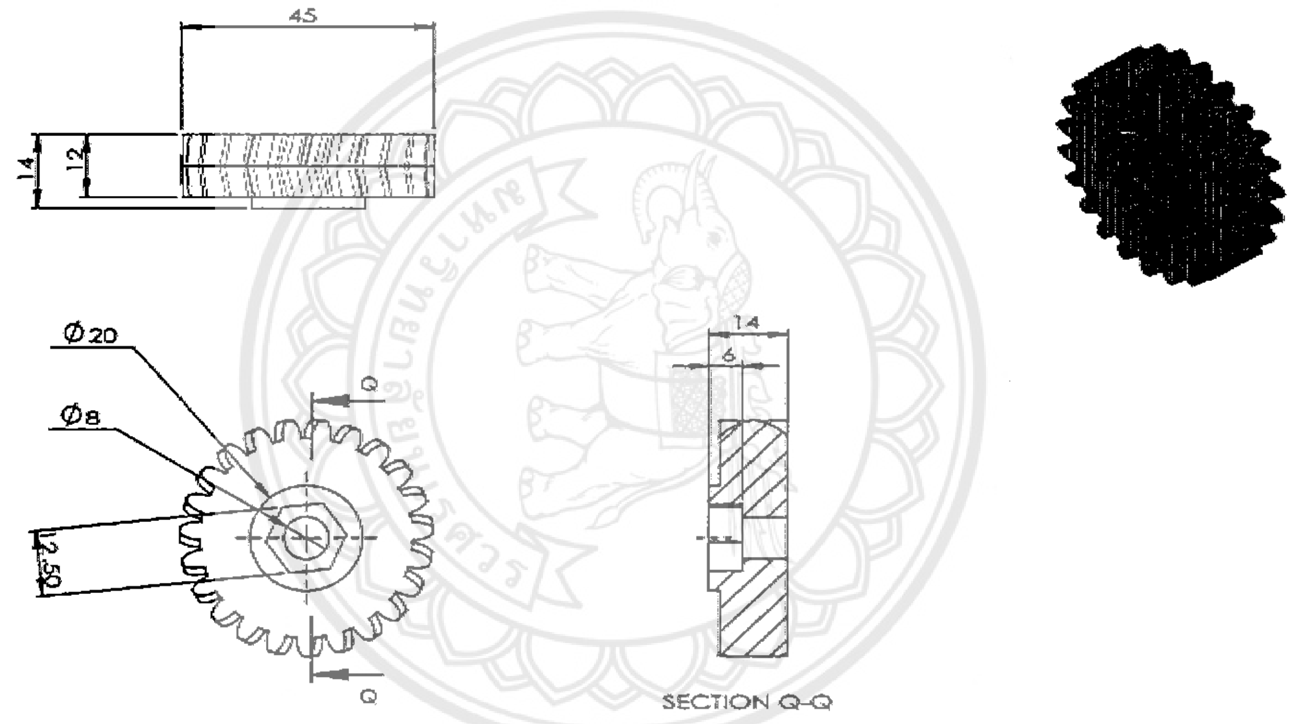
Title : Platform 9 (Return X)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.10/18	View : Front,Right,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 16/4/2016	



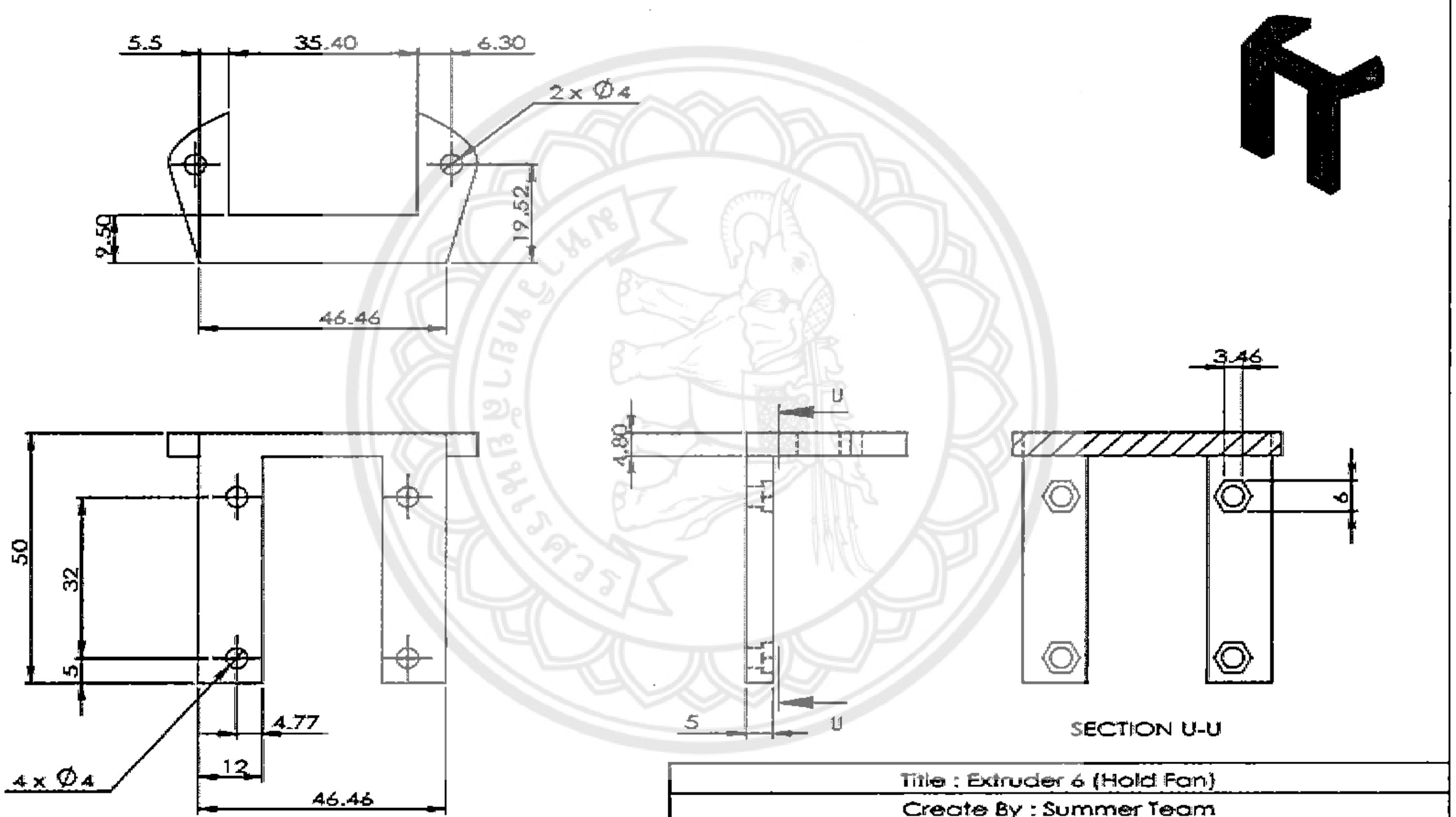
Title : Extruder 1 (Platfrom X)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.11/18	View : Front,Top,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 4/5/2016	



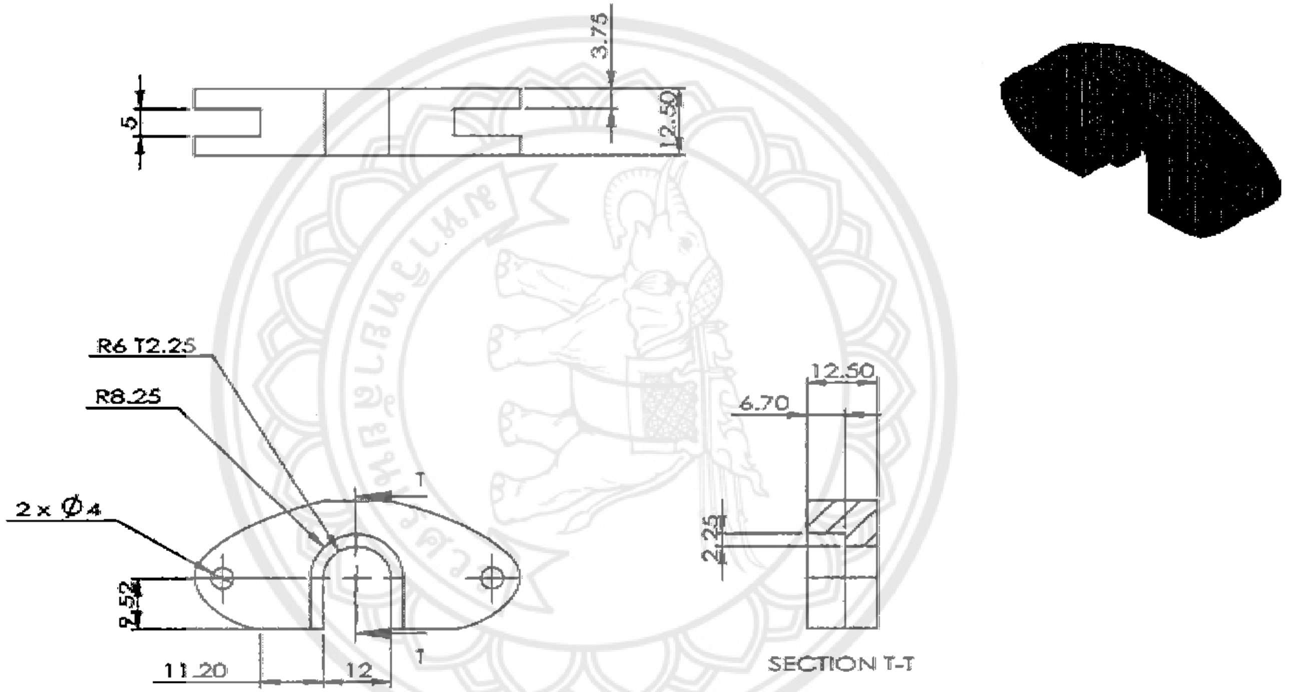
Title : Extruder 2 (Drive Gear)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.12/18	View : Front,Top,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 18/6/2016	



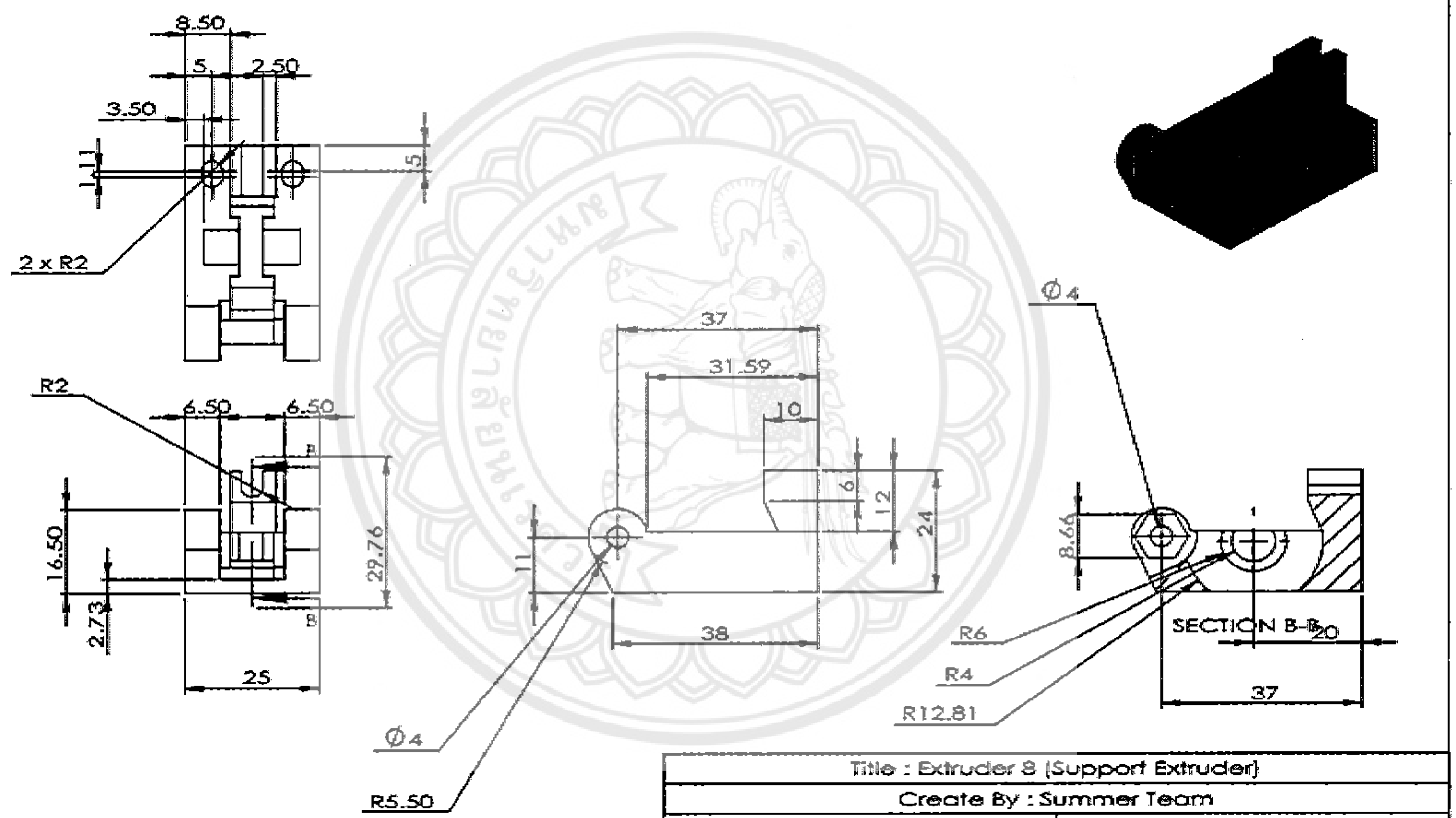
Title : Extruder 3 (Follow Gear)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.13/18	View : Front,Top,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 18/6/2016	



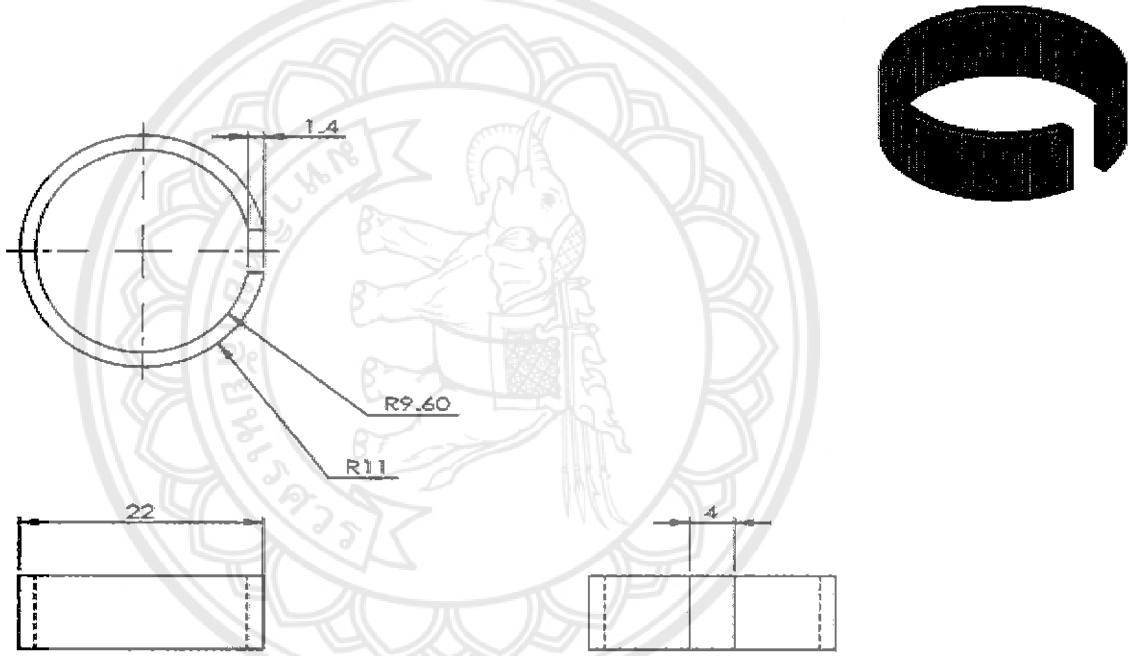
Title : Extruder 6 (Hold Fan)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.14/18	View : Front,Top,Right,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 26/6/2016	



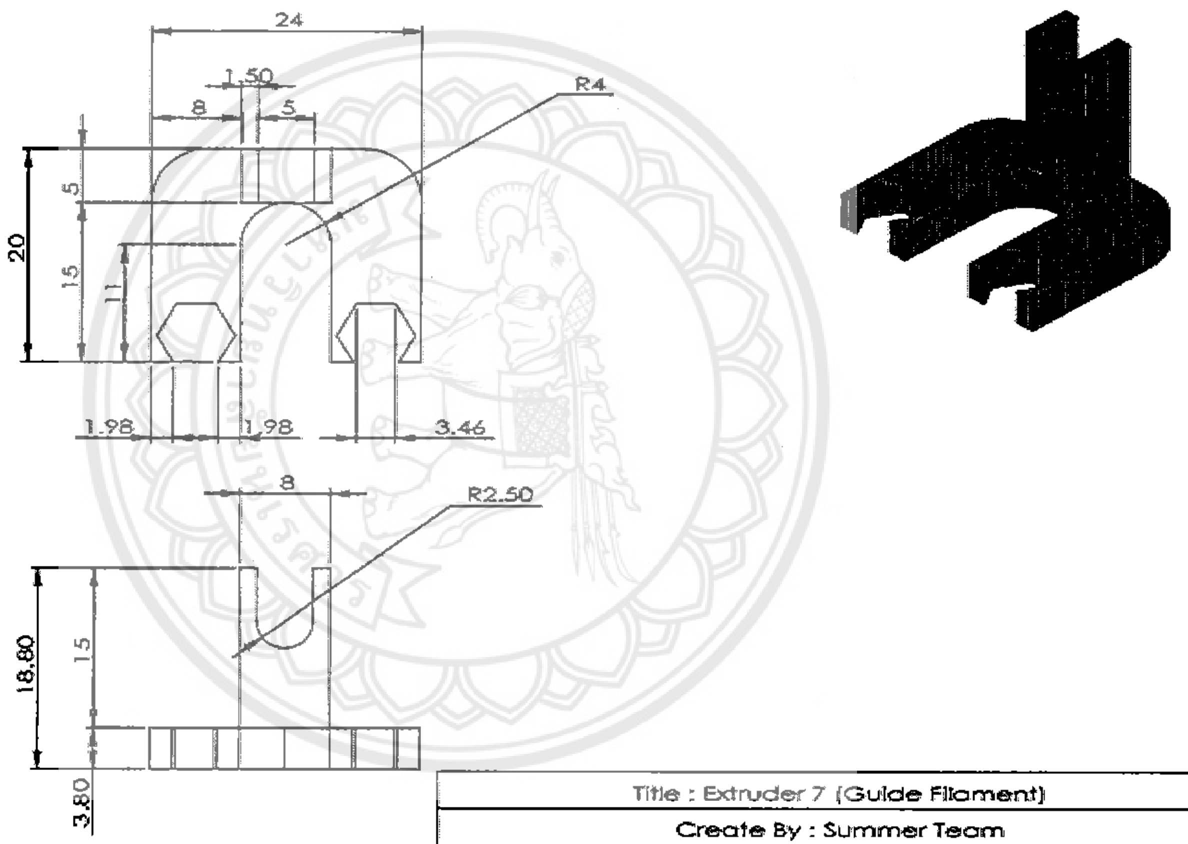
Title : Extruder 5 (Hold Heatsink)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.15/18	View : Front,Top,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 26/6/2016	



Title : Extruder 8 (Support Extruder)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.16/18	View : Front,Top,Right,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 21/6/2016	



Title : Extruder 4 (Support Extruder)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.17/18	View : Front,Top,Right,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 18/6/2016	

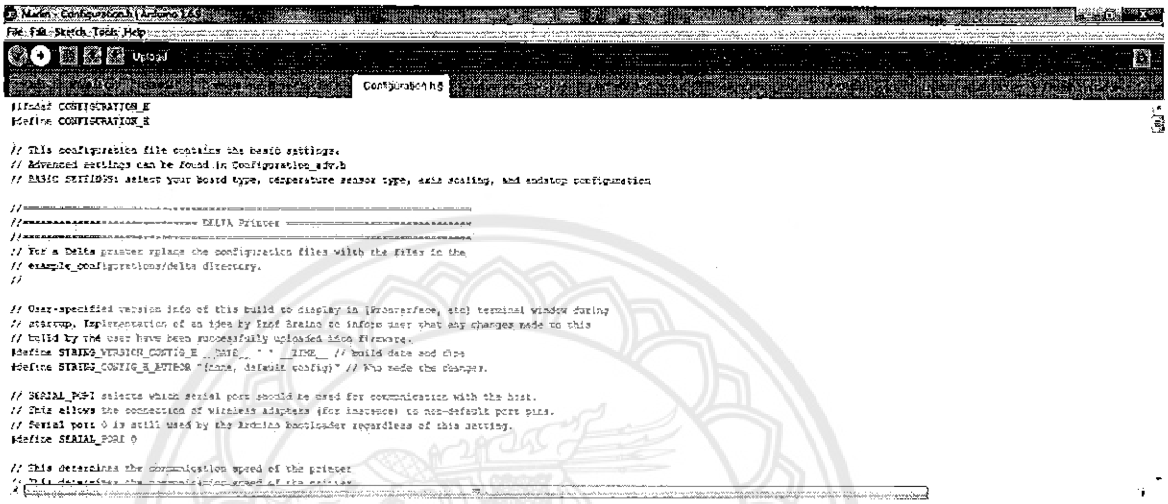


Title : Extruder 7 (Guide Filament)	
Create By : Summer Team	
Drawning No.18/18	View : Front,Top,Isometirc
Scale : not to scale	Material : PLA
Dimension in : mm	note : Print 3D
Date : 26/6/2016	

ภาคผนวก ง

มหาวิทยาลัยนเรศวร

การทดลองปรับค่าโปรแกรมเครื่องพิมพ์ 3 มิติ



รูปที่ ค.1 หน้าต่างโปรแกรม Arduino

เมื่อเปิดไฟล์ Marlin จากนั้นเปิด Configuration.h แล้วทำการตรวจลักษณะของการใช้งานของเครื่องพิมพ์ที่เราต้องการและแผงวงจรที่ใช้

Configuation.h

```
//// The following define selects which electronics board you have. Please choose the one that matches your setup
// 10 = Gen7 custom (Alfons3 Version) "https://github.com/Alfons3/Generation_7_Electronics"
// 11 = Gen7 v1.1, v1.2 = 11
// 12 = Gen7 v1.3
// 13 = Gen7 v1.4
// 2  = Cheaptronic v1.0
// 20 = Sethi 3D_1
// 3  = MEGA/RAMPS up to 1.2 = 3
// 33 = RAMPS 1.3 / 1.4 (Power outputs: Extruder, Fan, Bed)
// 34 = RAMPS 1.3 / 1.4 (Power outputs: Extruder0, Extruder1, Bed)
// 35 = RAMPS 1.3 / 1.4 (Power outputs: Extruder, Fan, Fan)
// 36 = RAMPS 1.3 / 1.4 (Power outputs: Extruder0, Fan, Extruder1)
// 4  = Duemilanove w/ ATMega328P pin assignment
// 5  = Gen6
// 51 = Gen6 deluxe
// 6  = Sanguinololu < 1.2
// 62 = Sanguinololu 1.2 and above
// 63 = Melzi
// 64 = STB V1.1
// 65 = Azteeg X1
// 66 = Melzi with ATmega1284 (MaKr3d version)
// 67 = Azteeg X3
// 68 = Azteeg X3 Pro
// 7  = Ultimaker
// 71 = Ultimaker (Older electronics. Pre 1.5.4. This is rare)
```

ใส่โค้ดชนิดและอุปกรณ์ที่ใช้ ในของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Summer ใช้โค้ด 33 คือใช้

แผงวงจร RAMP 1.4 และมี Extruder 1 ตัว Fan 1 ตัว และ Bed 1อัน

```
#ifndef MOTHERBOARD
#define MOTHERBOARD 33
#endif

// Define this to set a custom name for your generic Mendel,
// #define CUSTOM_MENDEL_NAME "This Mendel"

// Define this to set a unique identifier for this printer, (Used by some programs to differentiate between machines)
// You can use an online service to generate a random UUID. (eg http://www.uuidgenerator.net/version4)
// #define MACHINE_UUID "00000000-0000-0000-0000-000000000000"

// This defines the number of extruders
#define EXTRUDERS 1
```

รูปที่ ค.3 การใส่ค่าชุดคำสั่งตามแผงวงจรที่มี

จุดเริ่มต้น (HOME) ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Summer มีการตั้งค่า ดังนี้

แกน X เคลื่อนที่ไปทางลบ(ทางซ้าย) จนกว่าจะชน Limit Switch แล้วเป็นจุด จุดเริ่มต้น แกน X

แกน Y เคลื่อนที่ไปในทางบวก(ข้างหน้า) จนกว่าจะชน Limit Switch แล้วเป็นจุด จุดเริ่มต้น แกน Y

แกน Z เคลื่อนที่ไปในทางลบ(เคลื่อนลง) จนกว่าจะชน Limit Switch แล้วเป็นจุด จุดเริ่มต้น แกน Z

```
// 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
```

รูปที่ ค.4 การตั้งค่าการเคลื่อนที่เข้าหาจุดเริ่มต้นของแต่ละแนวแกน

ตั้งค่าความเร็วในการเคลื่อนที่เข้าสู่จุดเริ่มต้น

ตั้งค่าให้ แกน X , Y , Z เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3000 mm/min

```
//// MOVEMENT SETTINGS
#define NUM_AXIS 4 // The axis order in all axis related arrays is X, Y, Z, E
#define HOMING_FEEDRATE {3000, 3000, 3000, 0}  // set the homing speeds (mm/min)
```

รูปที่ ค.5 การตั้งค่าความเร็วของการเคลื่อนที่เข้าสู่จุดเริ่มต้นของแต่ละแนวแกน

การทดลองปรับค่าโปรแกรม

```
// default settings

#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT   {80, 80,400,650}  // default steps per unit for Ultimaker
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE          {500, 500,0.12, 25}    // (mm/sec)
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION      {1000,1000,4,3000}    // X, Y, Z, E maximum start speed for accelerated moves. E

#define DEFAULT_ACCELERATION          3000    // X, Y, Z and E max acceleration in mm/s^2 for printing moves
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION  3000   // 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, 20.00} // (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
```

รูปที่ ค.6 การใส่ค่าควบคุมการเคลื่อนที่ต่างๆ ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

ทดลองปรับค่าครั้งที่ 1

ค่า Step per unit แกน X =80 แกน Y =80 แกน Z =400 แกน E =650 mm/s

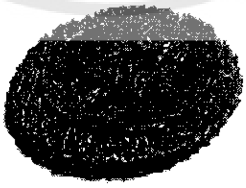
ค่า Max Feed rate แกน X =500 แกน Y =500 แกน Z =0.12 แกน E =25 mm/s

ค่า Max Acceleration แกน X =1000 แกน Y =1000 แกน Z =4 แกน E =3000 mm/s^2

ค่า Acceleration แกน X , Y , Z , E = 3000 mm/s^2

ค่า Retract Acceleration แกน X , Y , Z , E = 3000 mm/s^2

ตารางที่ ค.1 ผลการปรับค่าครั้งที่ 1

รูปชิ้นงานต้นแบบจากเครื่อง Prusa i3	รูปชิ้นงานการปรับค่า ครั้งที่ 1 จากเครื่อง Summer	อธิบาย
		จะเห็นว่าชิ้นงานที่พิมพ์ ออกมานั้นมีการฉีดพลาสติกออกมามากเกินไปและเส้นพลาสติกยังมีความห่างกันเนื่องจากความเร่งในการ พิมพ์ และ Step per unit ของ Extruder ที่มากเกินไป

ทดลองปรับค่าครั้งที่ 2

ค่า Step per unit แกน X =80 แกน Y =80 แกน Z =400 แกน E =650 mm/s

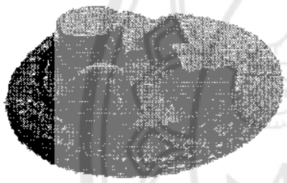
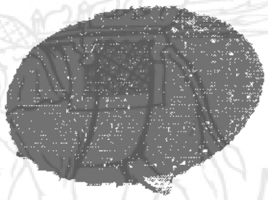
ค่า Max Feed rate แกน X =500 แกน Y =500 แกน Z= 0.12 แกน E =25 mm/s

ค่า Max Acceleration แกน X =1000 แกน Y =1000 แกน Z =4 แกน E =3000 mm/s^2

ค่า Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

ค่า Retract Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

ตารางที่ ค.2 ผลการปรับค่าครั้งที่ 2

รูปชิ้นงานต้นแบบจากเครื่อง Prusa i3	รูปชิ้นงานการปรับค่า ครั้งที่ 2 จากเครื่อง Summer	อธิบาย
		เมื่อปรับ Acceleration ลดลงมาเหลือ 1000 ทำให้ชิ้นงานที่พิมพ์ ออกมามีความเรียบเนียนขึ้นแต่พื้นผิวยังมีเนื้อขึ้นมาทับซ้อนกันเกิดจากการพลาสติกฉีดเส้นพลาสติกออกมามากเกินอยู่

ทดลองปรับค่าครั้งที่ 3

ค่า Step per unit แกน X =80 แกน Y =80 แกน Z =400 แกน E =350 mm/s

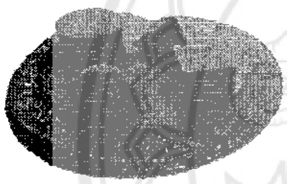
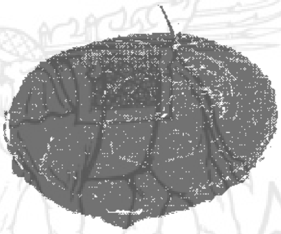
ค่า Max Feedrate แกน X =500 แกน Y =500 แกน Z =1.2 แกน E =25 mm/s

ค่า Max Acceleration แกน X =1000 แกน Y =1000 แกน Z =100 แกน E =3000 mm/s^2

ค่า Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

ค่า Retract Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

ตารางที่ ค.3 ผลจากการทดลองที่ 3

รูปชิ้นงานต้นแบบจากเครื่อง Prusa i3	รูปชิ้นงานการปรับค่า ครั้งที่ 3 จากเครื่อง Summer	อธิบาย
		เมื่อปรับ Step per unit ของ Extruder ลดลงเหลือ 350 ทำให้ชิ้นงานที่พิมพ์ออกมามีความเรียบเนียนขึ้นแต่ยังมีการทับซ้อนกันของเนื้อพลาสติกอยู่

ทดลองปรับค่าครั้งที่ 4

ค่า Step per unit แกน X =80 แกน Y =80 แกน Z =400 แกน E =200 mm/s

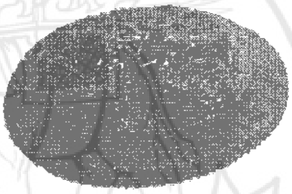
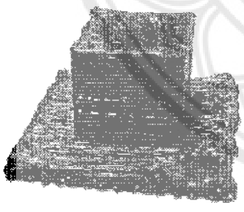
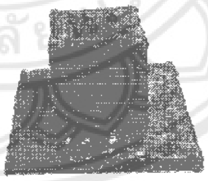
ค่า Max Feedrate แกน X =500 แกน Y =500 แกน Z =1.2 แกน E =25 mm/s

ค่า Max Acceleration แกน X =1000 แกน Y =1000 แกน Z =100 แกน E =1000 mm/s^2

ค่า Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

ค่า Retract Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

ตารางที่ ค.4 ผลการปรับค่าครั้งที่ 4

รูปชิ้นงานต้นแบบจากเครื่อง Prusa i3	รูปชิ้นงานการปรับค่า ครั้งที่ 4 จากเครื่อง Summer	อธิบาย
		เมื่อปรับ Step per unit ของ Extruder ลดลงเหลือ 200 และลด Max Acceleration ของ Extruder เหลือ 1000 ทำให้ชิ้นงานที่พิมพ์ออกมามีความเรียบใกล้เคียงกับของ Prusa i3 ในชิ้นที่มีขนาดใหญ่ แต่ในชิ้นส่วนขนาดเล็กมีการทับซ้อนของพลาสติกและเสียรูปเนื่องจากฉีดพลาสติกมากเกินไป
		

ทดลองปรับค่าครั้งที่ 5

ค่า Step per unit แกน X =80 แกน Y =80 แกน Z =400 แกน E =180 mm/s

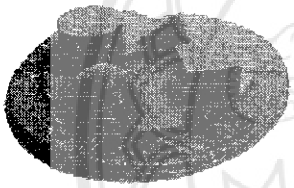
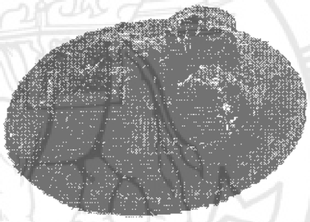
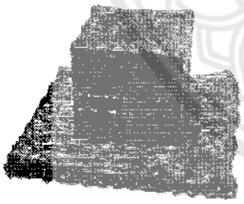
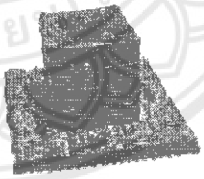
ค่า Max Feedrate แกน X =500 แกน Y =500 แกน Z =1.2 แกน E =25 mm/s

ค่า Max Acceleration แกน X =1000 แกน Y =1000 แกน Z =100 แกน E =1000 mm/s^2

ค่า Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

ค่า Retract Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

ตารางที่ ค.5 ผลการปรับค่าครั้งที่ 5

รูปชิ้นงานต้นแบบจากเครื่อง Prusa i3	รูปชิ้นงานการปรับค่า ครั้งที่ 5 จากเครื่อง Summer	อธิบาย
		เมื่อปรับ Step per unit ของ Extruder ลดลงเหลือ ทำให้ชิ้นงานที่พิมพ์ออกมามีความเรียบใกล้เคียงกับของ Prusa i3 ในชิ้นที่มีขนาดใหญ่ แต่ในชิ้นส่วนขนาดเล็กมีการทับซ้อนของพลาสติกและมีการเสียรูปเล็กน้อย เนื่องจากฉีดพลาสติกมากเกินไป
		

ทดลองปรับค่าครั้งที่ 6

ค่า Step per unit แกน X =80 แกน Y =80 แกน Z =400 แกน E =150 mm/s

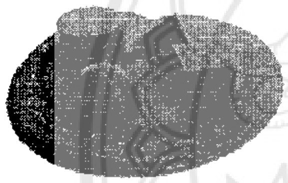
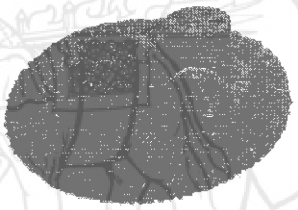
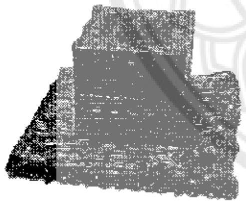
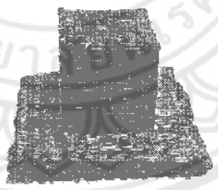
ค่า Max Feedrate แกน X =500 แกน Y =500 แกน Z =1.2 แกน E =25 mm/s

ค่า Max Acceleration แกน X =1000 แกน Y =1000 แกน Z =100 แกน E =1000 mm/s^2

ค่า Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

ค่า Retract Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

ตารางที่ ค.6 ผลการปรับค่าครั้งที่ 6

รูปชิ้นงานต้นแบบจากเครื่อง Prusa i3	รูปชิ้นงานการปรับค่า ครั้งที่ 6 จากเครื่อง Summer	อธิบาย
		เมื่อปรับ Step per unit ของ Extruder ลดลงเหลือ 150 ทำให้ชิ้นงานที่พิมพ์ออกมามีความเรียบใกล้เคียงกับของ Prusa i3 ในชิ้นที่มีขนาดใหญ่ และในชิ้นส่วนขนาดเล็กแต่ยังมีความแต่ต่างกันที่พื้นผิวและความระเอียดของชิ้นงาน
		

ทดลองปรับค่าครั้งที่ 7

ค่า Step per unit แกน X =80 แกน Y =80 แกน Z =400 แกน E =120 mm/s

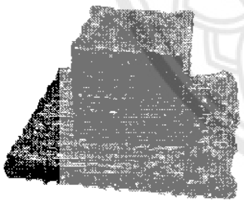
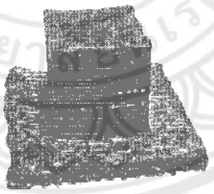
ค่า Max Feedrate แกน X =500 แกน Y =500 แกน Z =1.2 แกน E =25 mm/s

ค่า Max Acceleration แกน X =1000 แกน Y =1000 แกน Z =100 แกน E =1000 mm/s^2

ค่า Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

ค่า Retract Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

ตารางที่ ค.7 ผลการปรับค่าครั้งที่ 7

รูปชิ้นงานต้นแบบจากเครื่อง Prusa i3	รูปชิ้นงานการปรับค่า ครั้งที่ 7 จากเครื่อง Summer	อธิบาย
		เมื่อปรับ Step per unit ของ Extruder ลดลงเหลือ 150 ทำให้ชิ้นงานที่พิมพ์ออกมาเริ่มมีการขาดของเนื้อพลาสติกในชั้นต่างๆของชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่
		

ทดลองปรับค่าครั้งที่ 8

ค่า Step per unit แกน X =80 แกน Y =80 แกน Z =400 แกน E =130 mm/s

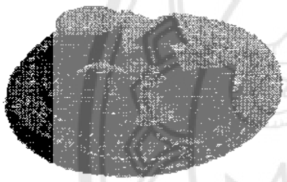
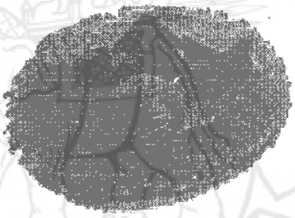
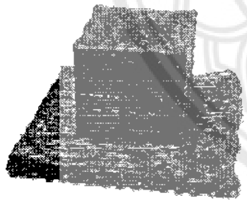
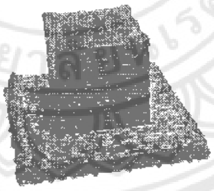
ค่า Max Feedrate แกน X =500 แกน Y =500 แกน Z =1.2 แกน E =25 mm/s

ค่า Max Acceleration แกน X =1000 แกน Y =1000 แกน Z =100 แกน E =1000 mm/s^2

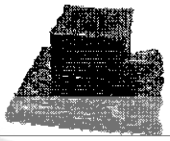
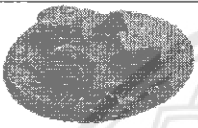
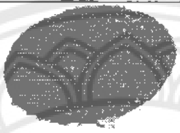
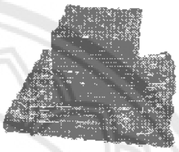
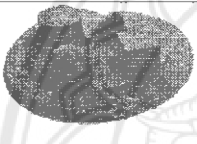
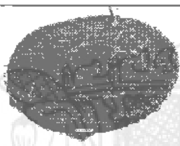
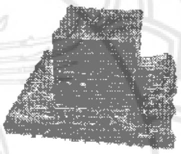
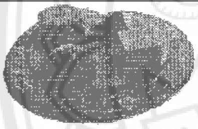
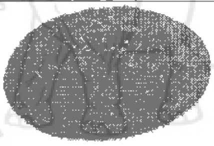
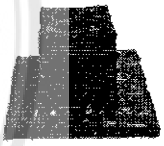
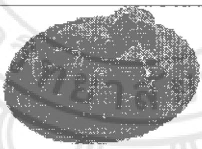
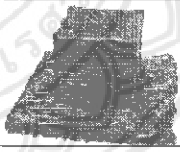
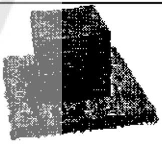
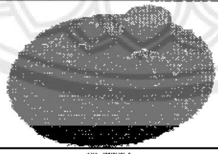
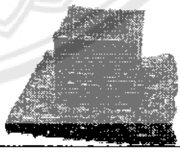
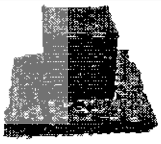
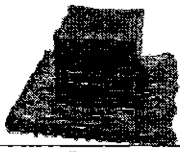
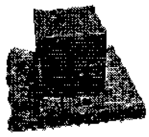
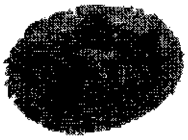
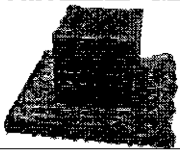
ค่า Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

ค่า Retract Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

ตารางที่ ค.8 ผลการปรับค่าครั้งที่ 8

รูปชิ้นงานต้นแบบจากเครื่อง Prusa i3	รูปชิ้นงานการปรับค่า ครั้งที่ 8 จากเครื่อง Summer	อธิบาย
		เมื่อปรับ Step per unit ของ Extruder ลดลงเหลือ 130 ทำให้ชิ้นงานที่พิมพ์ออกมาเริ่มมีการขาดของเนื้อพลาสติกในชั้นต่างๆของชิ้นงานอย่างเห็นได้ชัดในทั้งชิ้นงานขนาดใหญ่และขนาดเล็ก
		

ตารางที่ ค.9 ตารางสรุปผลการทดลองปรับค่าการเคลื่อนที่ของเครื่อง Summer

ตารางสรุปผลการทดลองปรับค่าการเคลื่อนที่ของเครื่อง Summer					
ทดลองปรับค่าครั้งที่	ชิ้นเล็ก		ชิ้นใหญ่		ผล
	Prusa i3	Summer	Prusa i3	Summer	
1				-	เสีย
2				-	เสีย
3				-	เสีย
4					พอใช้
5					พอใช้
6					ดี
7					พอใช้
8					พอใช้

จากการทดลองเลือกใช้โค้ดจากการปรับค่าโปรแกรมครั้งที่ 6

ค่า Step per unit แกน X =80 แกน Y =80 แกน Z =400 แกน E =150 mm/s

ค่า Max Feed rate แกน X =500 แกน Y =500 แกน Z =1.2 แกน E =25 mm/s

ค่า Max Acceleration แกน X =1000 แกน Y =1000 แกน Z =100 แกน E =1000 mm/s^2

ค่า Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

ค่า Retract Acceleration แกน X , Y , Z , E = 1000 mm/s^2

เนื่องจากชิ้นงานที่พิมพ์ออกมามีความเรียบใกล้เคียงกับของ Prusa i3 ทั้งในชิ้นที่มีขนาดใหญ่ และในชิ้นส่วนขนาดเล็กแต่ยังมีความแต่ต่างกันที่พื้นผิวและความระเอียดของชิ้นงานบ้างเล็กน้อย

รูปที่ ค.7 ชิ้นงาน

ภาคผนวก จ

วิเคราะห์แบบสอบถาม

คู่มือการประกอบเครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น Prusa i3 และ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น Summer

คำชี้แจง ประเมินความเข้าใจหลังจากที่ได้ศึกษาคู่มือการประกอบเครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น Summer ตามความพึงพอใจ จำนวนผู้ทำแบบสอบถาม 5 คน (สมาชิกในห้อง PMET)

รายละเอียด	ความเข้าใจเครื่อง 3 มิติ รุ่น Prusa i3						
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	
1.วิธีการเขียนอ่านง่าย		3		2		2.8	ปรับปรุง
2.รูปภาพประกอบดูแล้วง่ายต่อการเข้าใจ			4	1		3.2	พอใช้
3.สามารถประกอบเครื่องตามคู่มือได้			4	1		3.2	พอใช้
4.ให้คะแนนความพึงพอใจคู่มือการประกอบ			3	1	1	3.6	ดี

รายละเอียด	ความเข้าใจเครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น Summer						
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	
1.วิธีการเขียนอ่านง่าย			3	1	1	3.6	ดี
2.รูปภาพประกอบดูแล้วง่ายต่อการเข้าใจ		3		2		2.8	ปรับปรุง
3.สามารถประกอบเครื่องตามคู่มือได้				3	2	4.4	ดีมาก
4.ให้คะแนนความพึงพอใจคู่มือการประกอบ				4	1	4.2	ดีมาก

ค่าเฉลี่ย	ตั้งแต่ 4.00	ดีมาก
	3.50 - 3.99	ดี
	3.00 - 3.49	พอใช้
	2.50 - 2.99	ควรปรับปรุง
	น้อยกว่า 2.50	ควรปรับปรุงอย่างยิ่ง
รวมค่าเฉลี่ย	Prusa i3 = 12.8	
	Summer = 15	

<u>สรุป</u>

เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Summer มีขั้นตอนการประกอบที่เข้าใจและผู้ประเมินแบบสอบถามมีความพึงพอใจเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Summer อยู่ในเกณฑ์ที่ ดีมาก

ภาคผนวก ฉ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ข้อมูลจำเพาะของผลิตภัณฑ์		
คุณสมบัติ	Prusa-i3	Summer
โครงสร้าง	กรอบอะคริลิก	อลูมิเนียมโปรไฟล์
หัวพิมพ์จำนวน	1	1
พิมพ์วัตถุขนาด	200*200*210 มิลลิเมตร	180*180*200 มิลลิเมตร
ความแม่นยำในการพิมพ์	0.1-0.4 มิลลิเมตร	0.1-0.4มิลลิเมตร
มีจอแสดงผล	มี (4 แถว)	ไม่มี
ความเร็ว(สูงสุด) แกน XY	3000 มิลลิเมตร/นาที	1000 มิลลิเมตร/นาที
ความเร็ว(สูงสุด) แกน Z	200 มิลลิเมตร/นาที	100 มิลลิเมตร/นาที
มิติชั้น	100 ไมครอน	100 ไมคอน
ความเร็วในการพิมพ์	120 มิลลิเมตร/วินาที	110 มิลลิเมตร/วินาที
เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด	0.2/0.3/0.4 มิลลิเมตร	0.4 มิลลิเมตร
อุณหภูมิหัวฉีด(สูงสุด)	260 องศาเซลเซียส	280 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิฐานให้ความร้อน(สูงสุด)	80 องศาเซลเซียส	100 องศาเซลเซียส
วัสดุฐานให้ความร้อน	แผ่นอลูมิเนียม	แผ่นอลูมิเนียม
แกนXYความถูกต้องตำแหน่ง	0.012 มิลลิเมตร	0.015 มิลลิเมตร
แกนZความถูกต้องตำแหน่ง	0.004 มิลลิเมตร	0.008 มิลลิเมตร
รองรับการพิมพ์วัสดุ	ABS,PLA,HIPS,WOOD,PVA	PLA
รองรับวัสดุเส้นผ่าศูนย์กลาง	1.75	1.75
วัสดุแนะนำการใช้งาน	PLA	PLA
ซอฟแวร์ควบคุมรองรับภาษา	13 ภาษา(อังกฤษ ไทย ฯลฯ)	13 ภาษา(อังกฤษ ไทย ฯลฯ)
รองรับข้อมูลอินพุต	STL, OBJ, G-Codeฯลฯ	STL, G-code
ขนาดเครื่อง	510*400*415 มิลลิเมตร	550*600*420 มิลลิเมตร
น้ำหนักเครื่อง	8.5กิโลกรัม	7.3 กิโลกรัม
แหล่งจ่ายไฟ	220โวลต์/110โวลต์	220โวลต์/110โวลต์
สนับสนุนระบบปฏิบัติการ	XP, WIN7, mac os	XP, WIN7, mac os
พิมพ์โฮสต์ซอฟแวร์	Repetier-Host	Repetier-Host
การเชื่อมต่อ	SD card และ USB	USB

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

ชื่อ-นามสกุล นายเชษฐพงศ์ รอดพ่าย

วันเดือนปีเกิด วันศุกร์ที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 99/1 หมู่ 1 ตำบลป่าแดง อำเภอชาติการ จังหวัดพิษณุโลก 65170

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2554 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม จังหวัดพิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อ-นามสกุล นายพิพัฒน์พล จิระรุ่งเสถียร

วันเดือนปีเกิด วันพุธที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2536

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 19/231 ถนน วิสุทธิ์กษัตริย์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2554 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม จังหวัดพิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อ-นามสกุล นางสาวมณีรัตน์ ดิษพัฒน์

วันเดือนปีเกิด วันอังคาร 13 กรกฎาคม 2536

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 195 หมู่ 5 ตำบลป่าเซ่า อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2554 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนทุ่งกะโล่วิทยา จังหวัดอุตรดิตถ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร