

เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ : ส่วนหัวฉีด

3D PRINTER : INJECTION PART



ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ : ส่วนหัวฉีด

3D PRINTER: INJECTION PART



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 3D PRINTER: INJECTION PART



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ : ส่วนหัวฉีด  
3D PRINTER: INJECTION PART

ผู้จัดทำ นายกীরติ สมอารยพงศ์ 53010125  
นายพัลลภ สมรภูมิ 53011110



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ธีรรัฐจา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพจิตร เขยโกคา)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องพิมพ์แบบสามมิติ : ส่วนหัวฉีด

โดย

นายกิริติ สมอารยพงศ์ 53010125

นายพัลลภ สมรภูมิ 53011110

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย รั้วรุจา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพจิตร เขยโกคา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า

ปีการศึกษา 2556

## บทคัดย่อ

ปฏิญานีพนธ์ฉบับนี้นำเสนอทฤษฎีและการออกแบบเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ โดยในโครงการนี้รับผิดชอบในส่วนของหัวฉีดของเครื่องพิมพ์สามมิติ ซึ่งมีโครงสร้างที่ประกอบด้วย หัวฉีดรีเลย์ ฮีตเตอร์และบอร์ดควบคุม จุดมุ่งหมายของโครงการนี้คือ สามารถพิมพ์วัสดุพลาสติกชนิดพีแอลเอ ให้เป็นรูปร่างสามมิติโดยการควบคุมอุณหภูมิของหัวฉีด

ขั้นตอนดำเนินการ เริ่มจากศึกษาการออกแบบโครงสร้างของหัวฉีด วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็นสำหรับระบบการอัดฉีดพลาสติก และโปรแกรมที่ใช้งาน จากนั้นสร้างหัวฉีดและประกอบส่วนประกอบทั้งหมดแล้วจึงทำการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิของหัวฉีด โดยเปิดไฟล์ .STL ที่ออกแบบชิ้นงานโดยโปรแกรม SolidWorks ในโปรแกรม Pronterface จากนั้นควบคุมอุณหภูมิของหัวฉีดผ่านโปรแกรม Pronterface ที่ 200 °C โดยใช้บอร์ด Arduino Mega 1280 เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้รีเลย์ควบคุมแหล่งจ่ายไฟ 24 โวลต์ 4.8แอมป์ ที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์ เมื่อฮีตเตอร์อุณหภูมิถึง 200 °C พลาสติกจะถูกหลอมและไหลออกมาจากหัวฉีด โดยจะทำการควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 200 °C ซึ่งควบคุมแบบป้อนกลับจนได้ชิ้นงานตามต้องการ

# 3D PRINTER : INJECTION PART

By

Mr.Kirati Somarrayapong 53010125

Mr.Phunlop Samoraphum 53011110

Advisor

Prof.Dr. Vanchai Riewruja

Asst.Prof.Thepjit Cheyphoka

Asst.Prof.Dr. Wandee Petchmaneelamka

Academic Year 2013

## ABSTRACT

This thesis presents theory and implementation of three-dimension printer. Responsibility in 3D printer is injection part. The structure in injection part consists of nozzle, relay, heater and control board. The aim of this project is to print the 3D work piece using PLA plastic with temperature control of injection.

The procedure starts from studying structure of injection, concerned electronic circuit, injection system and software for control system. Then the structure is designed and constructed with another components. The temperature control system of injection is tested using Pronterface program. STL file from SolidWorks program is opened in Pronterface program. Injection is controlled temperature via Pronterface program at 200 °C using Arduino Mega 1280 board. Relay is used to control 24V4.8A supply which applies to heater. At 200 °C, plastic will melt and flow out the nozzle. Feedback control is used for control temperature at 200 °C until the work piece completes.

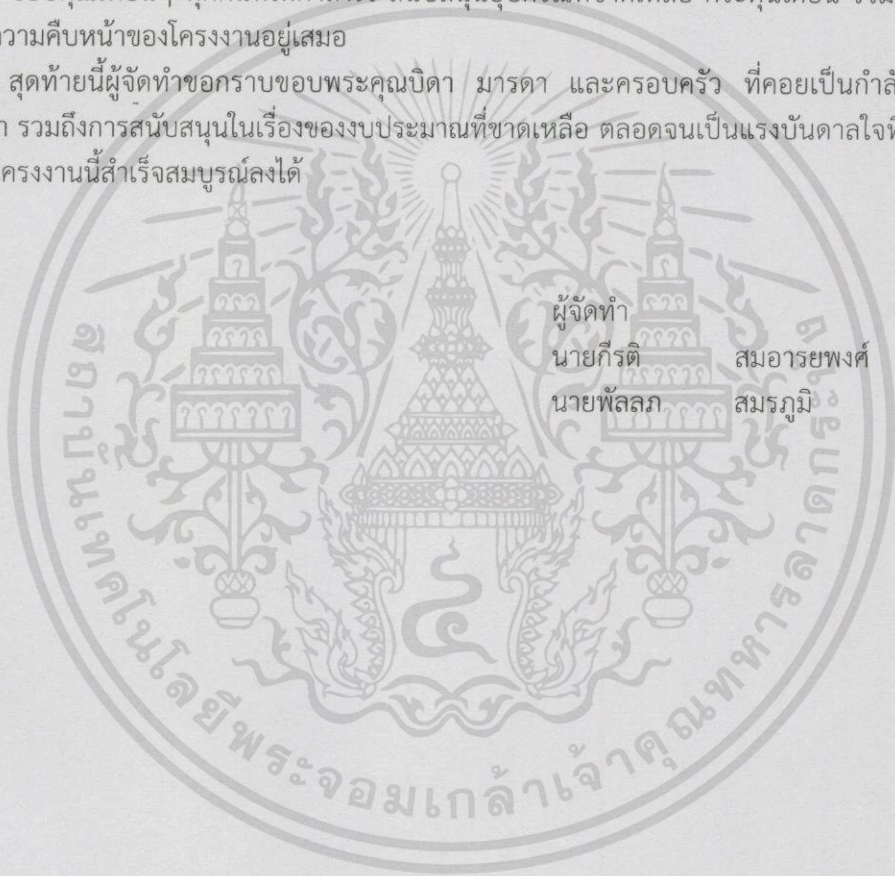
## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญาบัตรฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จาก ศ.ดร.วันชัย วัชรูจา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่ดีมาโดยตลอดตั้งแต่ต้น รวมทั้งเอื้อเพื่ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เทพจิตร เขยโกคา ที่คอยถามถึงความคืบหน้าอยู่ตลอดเวลา

ขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ สนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ กระตุ้นเตือน รวมทั้งคอยถามไถ่ความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้



ผู้จัดทำ

นายเกียรติ

นายพัลลภ

สมอารยพงศ์

สมรภูมิ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	2
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความเป็นมาและหลักการทํางาน	3
2.2 โครงสร้างของเครื่องพิมพ์สามมิติ	7
2.2.1 ส่วนโครงสร้าง	7
2.2.2 ส่วนโปรแกรม	8
2.2.3 ส่วนชุดขับเคลื่อนมอเตอร์	10
2.2.4 ส่วนหัวฉีด	11
2.3 ทฤษฎีการควบคุมแบบป้อนกลับ	23
2.3.1 การควบคุมแบบสัดส่วน	26
2.3.2 การควบคุมแบบอินทิกรัล	26
2.3.3 การควบคุมแบบอนุพันธ์	27
2.3.4 ตัวควบคุมแบบพีไอดี	28
บทที่ 3 หลักการออกแบบ	29
3.1 โครงสร้างโดยรวม	29
3.2 หัวฉีด	29
3.3 ส่วนควบคุมการป้อนเส้นพลาสติกสู่หัวฉีด	36

## สารบัญ(ต่อ)

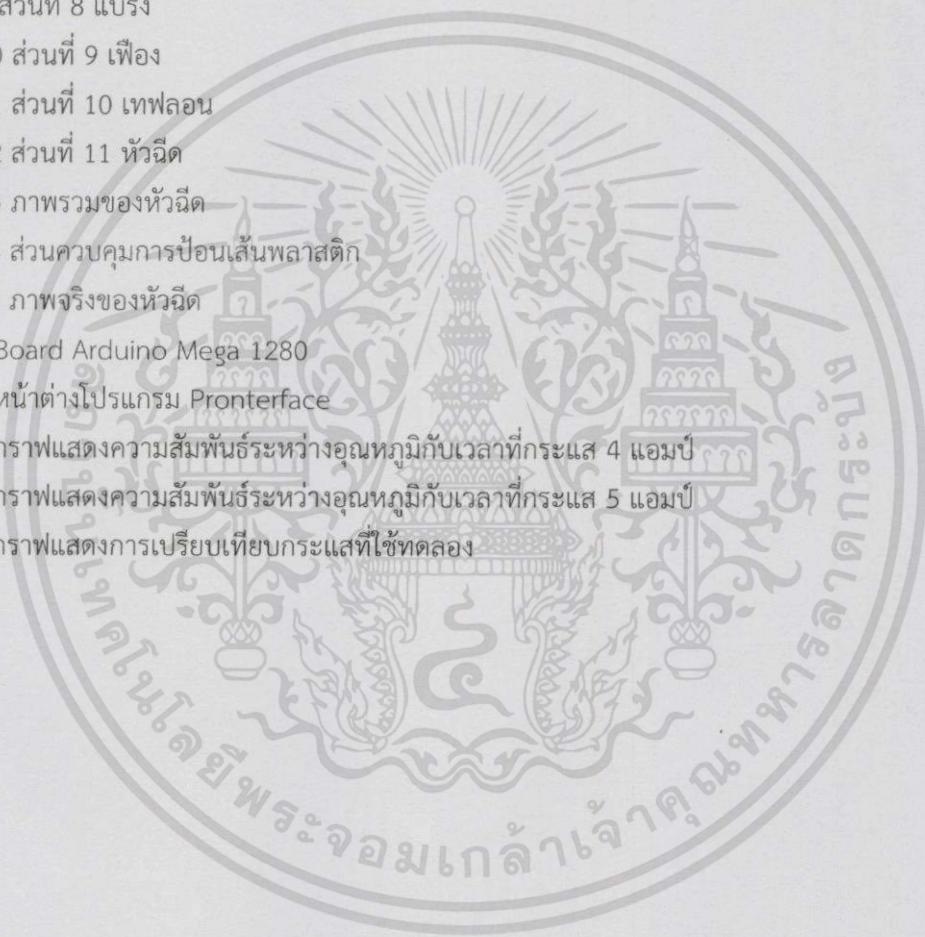
	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	37
4.1 ขั้นตอนการทดลอง	37
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	42
5.1 สรุปผลการทดลอง	42
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข	42
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	46
ภาคผนวก ก เอกสารคู่มือการใช้งานอุปกรณ์	47
ก.1 คู่มือการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ Board Arduino Mega 1280	47
ก.2 คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ Stepping Motor 17PM-K	67
ก.3 คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ Thermistor	69
ภาคผนวก ข โปสเตอร์	88

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดง RP ชนิด Stereo Lithography (SLA)	4
2.2 ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบ Photopolymer (Resin)	4
2.3 เครื่อง RP แบบ 3D Printing	5
2.4 เครื่อง RP แบบ Selective Laser Sintering	5
2.5 เครื่อง RP แบบ Fused Deposition Modeling	6
2.6 เครื่อง RP แบบ Multi Jet Modeling	6
2.7 โครงสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	7
2.8 ตัวอย่างโปรแกรม MakerWare	9
2.9 ตัวอย่างโปรแกรม Pronterface	10
2.10 ระบบและวงจรควบคุม	10
2.11 การผลิตพลาสติก PLA	13
2.12 สูตรโครงสร้างทางเคมีของ Polylactic acid	13
2.13 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จาก Polylactic acid	14
2.14 ทองเหลืองแท้	15
2.15 การแปรรูปเป็นสิ่งต่างๆ ของทองเหลือง	16
2.16 ลักษณะของอะลูมิเนียม	17
2.17 การออกแบบโปรเบเทอร์มิสเตอร์แบบต่างๆ	21
2.18 เทอร์มิสเตอร์	22
2.19 ฮีตเตอร์	22
2.20 การควบคุมระบบ	24
2.21 ระบบควบคุมแบบเปิด	24
2.22 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	25
2.23 ระบบควบคุมหลายตัวแปร	25
2.24 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน	26
2.25 ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล	26
2.26 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับตัวควบคุมแบบอนุพันธ์	27
2.27 ระบบควบคุมแบบวงปิด	28
3.1 ภาพรวมของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	29
3.2 ส่วนที่ 1 แผ่นฐานรองสเต็ปปีงมอเตอร์	30
3.3 ส่วนที่ 2 แผ่นยึดฐานรองสเต็ปปีงมอเตอร์	30

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 ส่วนที่ 3 เกลียว	31
3.5 ส่วนที่ 4 สเต็ปป์มอเตอร์	31
3.6 ส่วนที่ 5 ก้อนฮีตเตอร์	32
3.7 ส่วนที่ 6 ฉากกันแบร์ริง 1	32
3.8 ส่วนที่ 7 ฉากกันแบร์ริง 2	33
3.9 ส่วนที่ 8 แบร์ริง	33
3.10 ส่วนที่ 9 เฟือง	34
3.11 ส่วนที่ 10 เทพลอน	34
3.12 ส่วนที่ 11 หัวฉีด	35
3.13 ภาพรวมของหัวฉีด	35
3.14 ส่วนควบคุมการป้อนเส้นพลาสติก	36
3.15 ภาพจริงของหัวฉีด	36
4.1 Board Arduino Mega 1280	37
4.2 หน้าต่างโปรแกรม Pronterface	37
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่กระแส 4 แอมป์	41
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่กระแส 5 แอมป์	41
4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสที่ใช้ทดลอง	41



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เทพลอนแท่งชนิด PTFE Rod ที่มีการจำหน่าย	15
2.2 เทพลอนแผ่นชนิด PTFE Sheet ที่มีการจัดจำหน่าย	15
2.3 คุณสมบัติโดยทั่วไปของเทอร์โมสเตอร์ชนิด เอ็นทีซี ที่ใช้กันบ่อยๆ	20
4.1 ผลการทดลองการให้อุณหภูมิกับพลาสติกชนิด PLA	38
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา	39



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีต่างๆ เริ่มพัฒนาไปอย่างก้าวกระโดด โดยที่เทคโนโลยีเหล่านั้นเริ่มเข้ามามีความสำคัญกับชีวิตประจำวันเรามากขึ้นเรื่อยๆ และเทคโนโลยีที่กำลังเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายที่ได้นำมาทำการศึกษานี้คือ เทคโนโลยีการพิมพ์แบบ 3 มิติ (3D Printer) โดยหลักการทำงานของการทำงานของการพิมพ์งาน 3 มิตินี้เป็นการสร้างชิ้นงานต้นแบบ โดยชิ้นงานจะถูกสร้างขึ้นทีละชั้น โดยไม่ต้องอาศัยแม่พิมพ์ โดยมีเทคโนโลยีหลายประเภทที่ใช้หลักการนี้ แต่อาจจะต่างกันเล็กน้อย และแต่ละเทคโนโลยีมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นพื้นผิวที่เรียบ ชิ้นงานที่แข็งแรงสำหรับทดสอบงานหรือชิ้นงานที่มีสีสันสวยงามสำหรับออกแสดง โดยหลักการทำงานพื้นฐาน คือเครื่องพิมพ์ 3 มิติทุกเครื่องทำงานจากส่วนล่างสุดของชิ้นงานก่อนเสมอ ชั้นแรกจะถูกสร้างลงบนถาดสร้างชิ้นงานเหมือนกับเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท เมื่อเสร็จหนึ่งชั้นถาดสร้างชิ้นงานจะเลื่อนลงไปตามความละเอียดที่เลือกเอาไว้ จากนั้นจะทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนชิ้นงานจะเสร็จ

เครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติเป็นเทคโนโลยีที่มีอายุมากกว่า 30 ปีแล้ว แต่เพิ่งมาเป็นที่แพร่หลายในปัจจุบัน ในแง่ของเศรษฐกิจ เทคโนโลยีการพิมพ์แบบ 3 มิติมีผลบวกอย่างมากต่ออุตสาหกรรมหลากหลายประเภท รวมถึงการวิจัยและพัฒนา จะมีต้นทุนต่ำลงและใช้เวลาน้อยลง ซึ่งหมายถึงสินค้าใหม่สามารถเข้าสู่ตลาดได้เร็วขึ้น แต่ปัญหาหลักที่ทำให้การพิมพ์แบบ 3 มิติยังไม่มีการใช้อย่างแพร่หลายในขั้นตอนการผลิต เป็นเพราะว่าการพิมพ์แบบ 3 มิติใช้เวลานานในการสร้างชิ้นงาน และวัสดุยังมีราคาแพง แต่เมื่อมีการพัฒนาและมีการใช้กันมากขึ้น ปัญหานี้ก็จะลดลงไป และนำไปสู่การเดินเครื่องเมื่อต้องใช้ Print on Demand ตัดปัญหาเรื่องความต้องการใช้โกดังเก็บของ การผลิตที่ไม่ซับซ้อน รองรับสินค้าแบบใหม่ๆ ได้ตลอดเวลา โดยไม่จำเป็นต้องปรับสายการผลิต และสามารถช่วยลดมลภาวะแก่โลกได้อีกด้วย เพราะปริมาณเศษของเสียจากการผลิตแทบจะไม่มีเลย เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่

แต่เมื่อมีข้อดีก็ต้องมีข้อเสีย เหมือนเหรียญต้องมีสองด้าน หลักๆ ที่ทุกคนรู้ว่าต้องเกิดขึ้นก็คือการละเมิดลิขสิทธิ์สินค้า เพราะแค่เราพิมพ์โมเดลการ์ตูนที่ขายทั่วไปตามท้องตลาดมันก็ผิดแล้ว ยิ่งพิมพ์ออกมาขายยิ่งผิดมากขึ้นอีก หรือคู่แข่งที่สามารถลอกเลียนแบบสินค้า โดยแค่ทำการดัดแปลงเล็กน้อยไม่ให้ถูกฟ้องได้ และสามารถนำเข้าสู่ตลาดได้เสียกับทางผู้คิดค้นตัวจริง และเมื่อผลิตง่ายขึ้นหมายความว่าคุณภาพก็อาจจะด้อยลงตามไปด้วย และก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ได้ ยกตัวอย่างเช่นปืนพลาสติก ผู้ออกแบบไม่ได้มีการแจ้งข้อควรระวังใดๆ โดยเปิดให้ใครก็ได้ที่ต้องการทำดาวนโหลตไปได้ฟรี ซึ่งมีมากกว่า 100,000 คนที่ได้ดาวนโหลตไป และคนกลุ่มนี้อาจจะได้รับการบาดเจ็บจากการออกแบบที่ไม่ได้ทดสอบอย่างถี่ถ้วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. ทำการศึกษาและทดลองการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ
2. ทำการศึกษาและสร้างหัวฉีด ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ประกอบเป็นโครงสร้างทางกล อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ
3. ทำการศึกษาทฤษฎีการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) และทดลองการใช้งานในระบบควบคุมจริง

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ทำการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของหัวฉีดเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ เพื่อออกแบบหัวฉีดพลาสติกได้
2. ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีการควบคุมอุณหภูมิแบบป้อนกลับ
3. ศึกษาหลักการการทำงานของหัวฉีดเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติที่มีในปัจจุบันเพื่อสร้างหัวฉีดเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่า
4. สร้างหัวฉีดพลาสติก และสามารถใช้งานได้จริง
5. สามารถผลิตชิ้นงานจากวัสดุพลาสติกได้
6. ใช้ต่อยอดในการจัดทำหัวฉีดพลาสติกที่มีเสถียรภาพ และสร้างชิ้นงานได้

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างชิ้นงานได้จริงจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติต้นแบบ
2. สามารถพัฒนาต่อยอดสู่ภาคอุตสาหกรรม เพื่อเป็นทางเลือกในการผลิตชิ้นงาน
3. ทักษะในการทำงานด้านวิศวกรรม ในการคิด วิเคราะห์ แก้ปัญหา
4. ทักษะในการทำงานร่วมกับผู้อื่น

## 1.5 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวนำถึงวัตถุประสงค์ ขอบเขตของโครงการ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และรายละเอียดของปริญญานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎี หลักการ และความรู้ที่เกี่ยวข้องในการสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติ

บทที่ 3 หลักการออกแบบในส่วนโครงสร้างโดยรวม และโครงสร้างของหัวฉีด

บทที่ 4 การทดลอง เป็นส่วนการทดสอบการฉีดพลาสติกโดยการควบคุมอุณหภูมิแบบป้อนกลับ

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป สรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาและแนวทางการปรับปรุงพัฒนาโครงการ

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ความเป็นมาและหลักการทำงาน

3D Printer คือ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ที่สามารถพิมพ์สิ่งของจากคอมพิวเตอร์ให้ออกมาแบบ 3 มิติ เพื่อใช้ในงานต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นงานทางด้านการออกแบบ งานหล่อโลหะ งานทางด้านสถาปัตยกรรม งานทางด้านวิศวกรรม ฯลฯ

การพิมพ์ภาพ 3 มิติเป็นกระบวนการพิมพ์ภาพ 3 มิติให้มีรูปร่างเหมือนของจริงจากรูปแบบดิจิทัล การพิมพ์ภาพ 3 มิติคือความสำเร็จในกระบวนการเติมแต่งวัสดุ ที่วางในแต่ละชั้นที่มีรูปร่างที่แตกต่างกัน การพิมพ์ภาพ 3 มิติมีความแตกต่างจากเทคนิคของเครื่องจักรรุ่นก่อนๆ ซึ่งส่วนใหญ่การตัดแต่งวัสดุจะใช้วิธีการ เช่น การตัดหรือการเจาะ เครื่องพิมพ์ที่ดำเนินการพิมพ์ภาพ 3 มิติจะใช้กระบวนการเทคโนโลยีดิจิทัล ตั้งแต่ทศวรรษ 21 ที่มีการเจริญเติบโตของการขายเครื่องจักรเหล่านี้ และราคาได้ปรับลดลงอย่างมาก เครื่องพิมพ์ 3 มิติเครื่องแรกถูกสร้างขึ้นในปี 1984 โดย 3D Systems Corp โดย Chuck Hull เป็นนักประดิษฐ์เครื่องพิมพ์ 3 มิติที่ทันสมัยและเป็นผู้ริเริ่มเทคโนโลยีมาตรฐาน De Facto

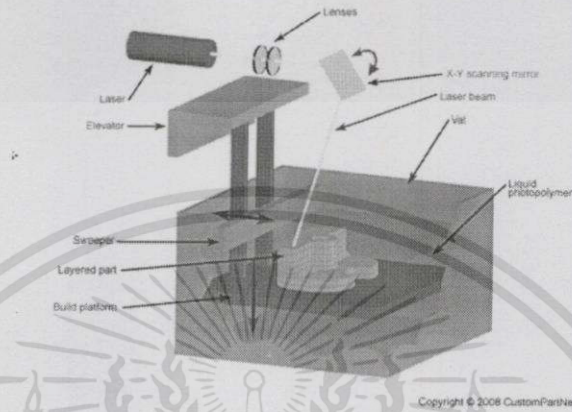
หลักการทั่วไป การสร้างงาน 3 มิติจะใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบ หรือซอฟต์แวร์ในการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนไหวของเครื่องดิจิทัลตัดตามขวาง ความต่อเนื่องสำหรับการพิมพ์ขึ้นอยู่กับเครื่องที่ใช้ จะสร้างวัสดุเป็นชั้นๆ รวมกันวางบนแพลตฟอร์มที่เป็นชั้นจนเสร็จสมบูรณ์ สุดท้ายจะได้เป็นรูปแบบ 3 มิติที่ได้รับ การพิมพ์เป็นกระบวนการแบบ WYSIWYG ที่เป็นรูปแบบเสมือนและรูปแบบจำลองทางกายภาพเกือบจะเหมือนกัน การติดต่อระหว่างซอฟต์แวร์ CAD และเครื่องพิมพ์จะเป็นรูปแบบไฟล์ STL ซึ่งเป็นรูปแบบไฟล์ที่สร้างขึ้นเข้าเครื่องพิมพ์และไฟล์ VRML หรือ WRL จะใช้สำหรับเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติที่สามารถพิมพ์สีได้เต็มรูปแบบ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติหรือในอีกชื่อที่เป็นทางการคือ Rapid Prototype (RP) เป็นระบบที่ช่วยให้เราสร้างชิ้นงานต้นแบบในเวลาอันรวดเร็ว โดยมีหลักการพื้นฐานสามขั้นตอนดังนี้ โปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่อง RP เช่น ออกแบบด้วยโปรแกรมออกแบบ 3 มิติ AUTOCAD หรือ SolidWorks เป็นต้น ชิ้นงานจะสวยหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับจินตนาการและเทคนิคในการออกแบบ ส่วนเครื่องพิมพ์เป็นส่วนที่สร้างชิ้นงานจริงออกมา จะรับไฟล์ข้อมูลชิ้นงานประเภท .STL ที่ได้จากการแปลงโดยโปรแกรมออกแบบสามมิติ (3D Model CAD) แล้วจะทำการประมวลผล และแบ่งซอยข้อมูลของชิ้นงานเป็นชั้นๆ ตามค่าความหนาที่กำหนด เพื่อดำเนินการข้อมูลพื้นที่ภาคตัดขวางในแต่ละชั้นของชิ้นงาน แล้วจึงส่งข้อมูลเหล่านั้นไปยังเครื่องจักร RP จากนั้นเครื่อง RP จะทำการสร้างชิ้นงานจากข้อมูลที่ได้รับ โดยจะทำการสร้างเนื้อวัสดุให้เต็มพื้นที่ภาคตัดขวางขึ้นมาทีละชั้น เริ่มสร้างจากชั้นล่างสุดก่อน เสร็จจากชั้นล่างแล้วจึงจะสร้างชั้นบนถัดไป จนกระทั่งได้ชิ้นงานต้นแบบที่เสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

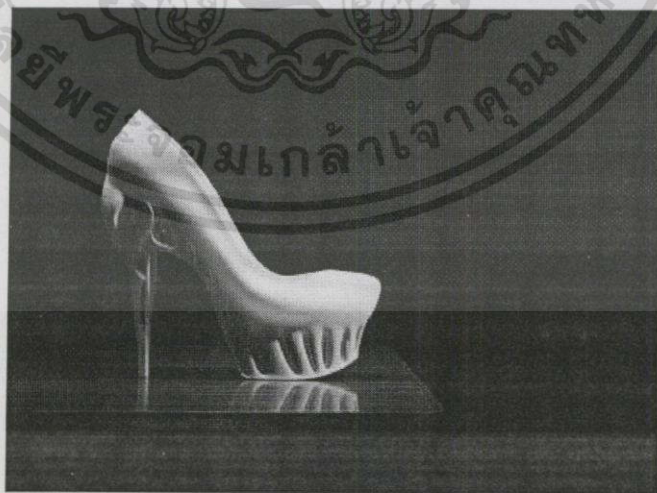
ซึ่งในปัจจุบันเครื่อง RP มีอยู่หลากหลายเทคโนโลยี โดยสามารถจำแนกเป็นหลักๆ ได้ดังนี้

1. SLA (Stereo Lithography) ถือว่าเป็นเทคโนโลยี Rapid Prototype แรกที่คิดค้นขึ้นมา เป็นการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการยิงแสงเลเซอร์ไปบนของเหลวเพื่อให้ของเหลวในแต่ละชั้นแข็งตัว โดยวัสดุของเหลวเป็นแบบ Liquid



รูปที่ 2.1 เครื่อง RP ชนิด Stereo Lithography (SLA)

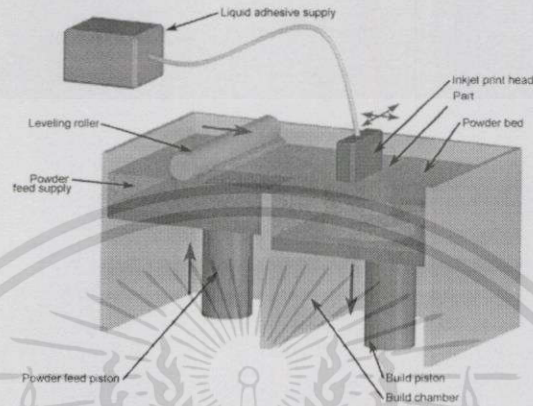
2. Photopolymer (Resin) ชิ้นงานที่ได้มีความละเอียดและเที่ยงตรงสูง แต่ราคาเครื่องจักรและค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาสูง Photopolymer คือ โพลีเมอร์รูปแบบหนึ่ง que เปลี่ยนคุณสมบัติของตัวมันเมื่อเจอแสง ในช่วงความถี่อัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet Frequency) ของอิเล็กโตรแมกเนติกสเปกตรัม (Electromagnetic Spectrum) โพลีเมอร์เหล่านี้ถูกใช้ในอุตสาหกรรมมากมาย Photopolymer ก่อนจะเข้ากระบวนการพิมพ์ 3 มิติ โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นของเหลว และไวต่อแสง



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบ Photopolymer (Resin)

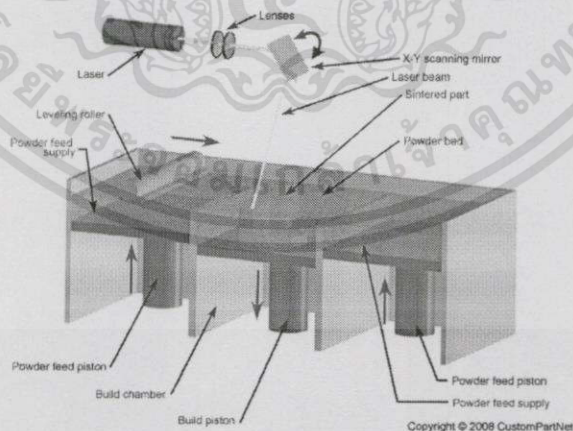
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. 3DP (3D Printing) เป็นการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการฉีดน้ำยาประสานไปบนชั้นผงวัสดุ เพื่อให้ผงวัสดุในแต่ละชั้นเกาะตัวเป็นรูปทรงชิ้นงาน สามารถสร้างชิ้นงานที่มีหลากหลายได้โดยการผสมสีของน้ำยาประสานที่เป็นแม่สี ชิ้นงานที่ได้มีความสวยงามแต่ค่อนข้างเปราะ เป็นเทคโนโลยีที่สามารถขึ้นชิ้นงานได้เร็วที่สุด และราคาวัสดุถูก



รูปที่ 2.3 เครื่อง RP แบบ 3D Printing

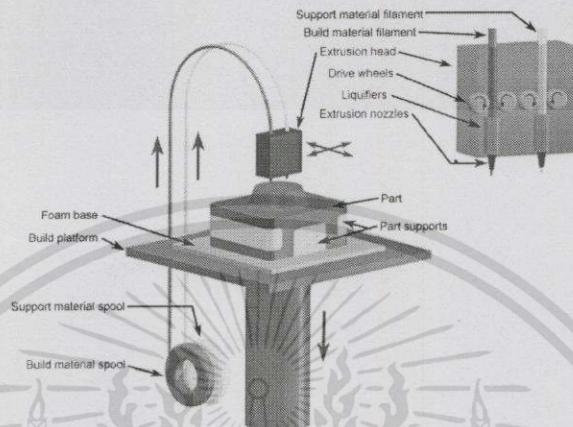
4. SLS (Selective Laser Sintering) เป็นการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการยิงแสงเลเซอร์ไปยังชั้นวัสดุแบบผง เพื่อให้ผงวัสดุหลอมละลาย และเกาะติดกันในแต่ละชั้น สามารถเลือกวัสดุได้หลากหลายชนิด เช่น Nylon, Polymer และ Metal Powder เป็นต้น ชิ้นงานที่ได้มีความละเอียด และเที่ยงตรงสูง แต่ราคาเครื่องจักรและค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาสูงเช่นกัน



รูปที่ 2.4 เครื่อง RP แบบ Selective Laser Sintering

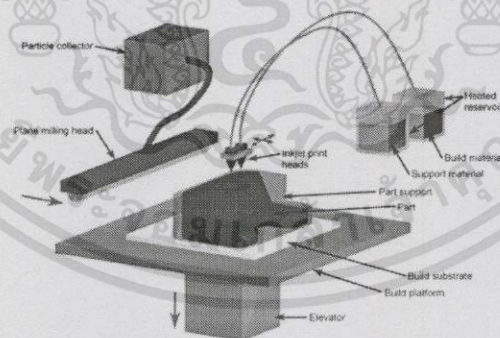
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. FDM (Fused Deposition Modeling) เป็นการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการหลอมละลายเส้นพลาสติก แล้วฉีดผ่านหัวฉีด (Nozzle) สร้างชิ้นงานทีละชั้นโดยสามารถเลือกวัสดุที่เป็นเทอร์โมพลาสติกได้หลากหลาย เช่น ABS PC และ PPSF ชิ้นงานที่ได้มีความแข็งแรงสูง ทนต่อความชื้น และความร้อนในสภาพการใช้งานทั่วไปได้ดี



รูปที่ 2.5 เครื่อง RP แบบ Fused Deposition Modeling

6. MJM (Multi Jet Modeling) เป็นการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการฉีดเรซินเหลวทีละชั้น และฉายแสงยูวี (UV Light) ไปพร้อมๆ กัน เพื่อให้วัสดุเรซินในแต่ละชั้นแข็งตัว โดยชิ้นงานที่ได้มีรายละเอียดและคุณภาพของพื้นผิวดีสามารถทำชิ้นงานที่โปร่งใสได้ (Transparency)



Copyright © 2008 CustomPartNet

รูปที่ 2.6 เครื่อง RP แบบ Multi Jet Modeling

ซึ่งในรายงานเล่มนี้จะกล่าวถึง แบบที่ 5 คือ FDM (Fused Deposition Modeling) เฉพาะส่วนที่เป็นหัวฉีด (Nozzle) ซึ่งเป็นส่วนที่ผู้จัดทำได้รับผิดชอบโดยตรง

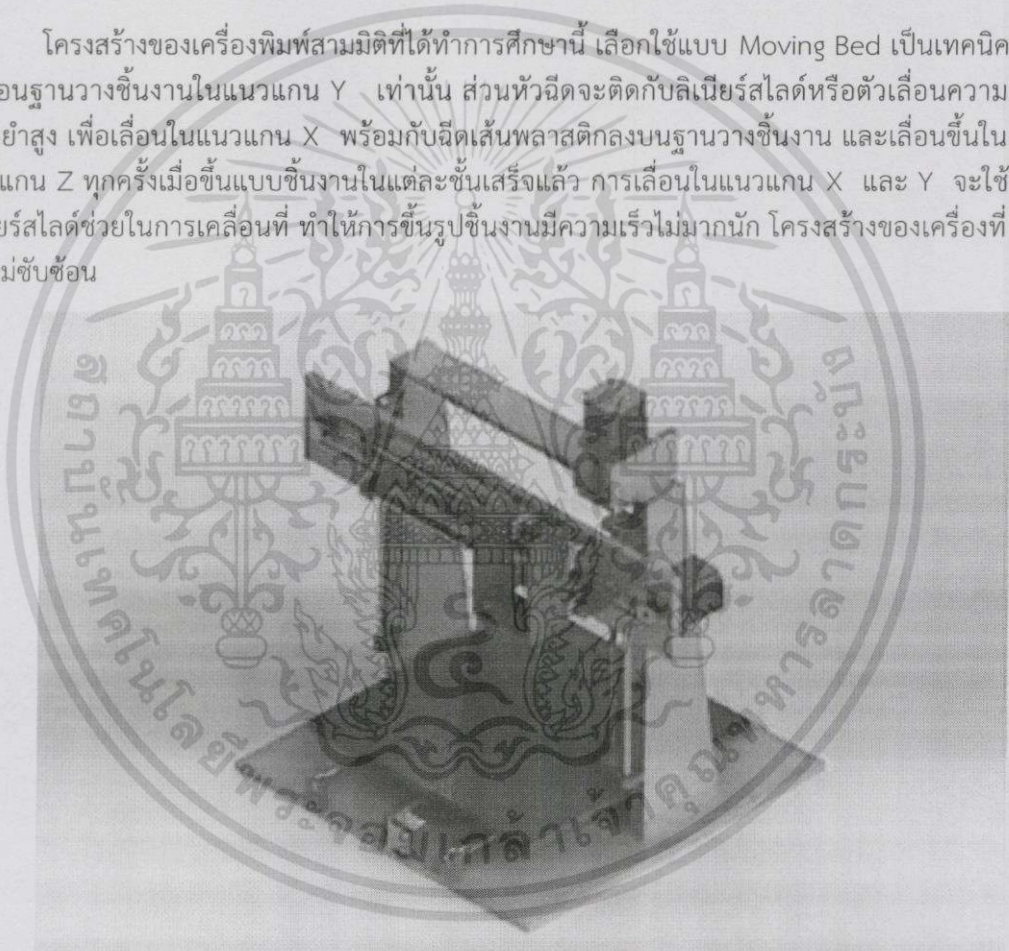
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 โครงสร้างของเครื่องพิมพ์สามมิติ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติที่นิยมผลิตและใช้งานมากที่สุดคือ เครื่องพิมพ์ที่ใช้เทคนิค FDM เนื่องจากกลไกของตัวเครื่องพิมพ์มีความซับซ้อนน้อย ใช้งบประมาณต่ำสุดเมื่อเทียบกับเครื่องพิมพ์ที่ใช้เทคนิคอื่น ในโครงการนี้ทำการศึกษาและออกแบบส่วนประกอบและการทำงานของเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ แบบนี้เป็นหลักเครื่องพิมพ์แบบสามมิติแบ่งโครงสร้างหลักออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนโครงสร้าง ส่วนโปรแกรม ส่วนชุดขับเคลื่อน และส่วนหัวฉีด

### 2.2.1 ส่วนโครงสร้าง

โครงสร้างของเครื่องพิมพ์สามมิติที่ได้ทำการศึกษาได้เลือกใช้แบบ Moving Bed เป็นเทคนิคที่เลื่อนฐานวางชิ้นงานในแนวแกน Y เท่านั้น ส่วนหัวฉีดจะติดกับลิเนียร์สไลด์หรือตัวเลื่อนความแม่นยำสูง เพื่อเลื่อนในแนวแกน X พร้อมกับฉีดเส้นพลาสติกลงบนฐานวางชิ้นงาน และเลื่อนขึ้นในแนวแกน Z ทุกครั้งเมื่อขึ้นแบบชิ้นงานในแต่ละชั้นเสร็จแล้ว การเลื่อนในแนวแกน X และ Y จะใช้ลิเนียร์สไลด์ช่วยในการเคลื่อนที่ ทำให้การขึ้นรูปชิ้นงานมีความเร็วไม่มากนัก โครงสร้างของเครื่องที่ง่ายไม่ซับซ้อน



รูปที่ 2.7 โครงสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 ส่วนโปรแกรม

หลังจากได้กล่าวถึงฮาร์ดแวร์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติไปแล้ว ลำดับต่อไปเป็นเรื่องของซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งมีทั้งในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor) ระบบ PID ของการควบคุมความร้อนของหัวฉีดร้อน หรือฐานวางชิ้นงานแบบร้อน เครื่องพิมพ์ 3 มิติแต่ละยี่ห้อจะมีการควบคุมเป็นของตัวเอง ในส่วนของซอฟต์แวร์ในคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ มีด้วยกัน 2 ตัวหลักๆ คือ ซอฟต์แวร์สร้างแบบ 3 มิติ และซอฟต์แวร์แปลงแบบ 3 มิติเป็นไฟล์ G-code

ซอฟต์แวร์สร้างแบบ 3 มิติ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

### 1. แบบเชิงพาณิชย์

มีให้เลือกหลายตัว เช่น Solidwork, Autocad, Autodesk หรือ Sketchup ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องจัดซื้อเพื่อให้ได้ซอฟต์แวร์เหล่านี้มาใช้งานอย่างถูกต้อง บางตัวอาจมีให้ทดลองใช้งานฟรีในระยะเวลาจำกัด

### 2. แบบฟรีแวร์

ผู้ใช้งานสามารถออกแบบสร้างชิ้นงาน 3 มิติ โดยไม่ใช้ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ได้ โดยใช้ซอฟต์แวร์ในกลุ่มฟรีแวร์ หรือแบบโอเพ่นซอร์ส หากแต่ฟังก์ชันการใช้งานอาจมีไม่ครบถ้วน แต่ก็ใช้สร้างชิ้นงาน 3 มิติได้ในระดับหนึ่ง มีผู้พัฒนาหลากหลาย ตัวที่สะดวกมากที่สุดตอนนี้คือ ซอฟต์แวร์วาดชิ้นงาน 3 มิติผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เก็บข้อมูลไว้ในระบบ Cloud ทำให้เข้าถึงการใช้งานได้ทุกที่ที่มีคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต หรือสมาร์ทโฟน และเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

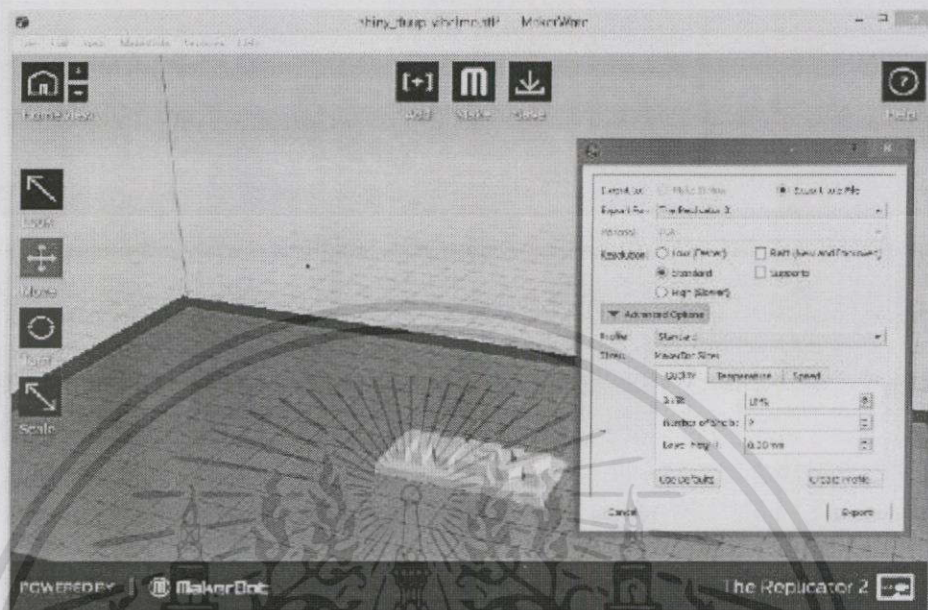
ซอฟต์แวร์แปลงแบบ 3 มิติเป็นไฟล์ G-code

ผู้พัฒนาเครื่องพิมพ์ 3 มิติหลายแห่งได้พัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับแปลงไฟล์ชิ้นงาน 3 มิติให้กลายเป็นไฟล์ G-code เพื่อนำไปควบคุมเครื่องพิมพ์ 3 มิติให้สร้างชิ้นงานออกมาตามที่ออกแบบไว้ บางตัวสามารถแปลงไฟล์ .STL เป็น G-code อย่างเดียว บางตัวอาจรวมไปถึงการควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องพิมพ์ผ่านพอร์ต USB หรือนำไฟล์ G-code ใส่ลงใน SD การ์ด แล้วนำไปเสียบที่เครื่องพิมพ์ 3 มิติ แล้วให้เครื่องอ่านไฟล์ G-code เพื่อทำงานเองก็ได้ ตัวอย่างซอฟต์แวร์ที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย มีดังนี้

#### 1. MakerWare

เป็นซอฟต์แวร์ที่ทาง MakerBot พัฒนาขึ้นเพื่อแปลงไฟล์ .STL เป็นไฟล์ .x3g (ไฟล์ G-code ที่ทาง MakerBot ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องพิมพ์ของตัวเอง) สามารถปรับเปลี่ยนตำแหน่ง แนวการวางชิ้นงานและขนาดได้ แล้วทำการส่งไฟล์เอาต์พุตหรือ Export ออกไป ข้อมูลของไฟล์ใช้ควบคุมความละเอียด ความหนาแน่นของพื้นผิวต้น (Infill) ปรับอุณหภูมิของหัวฉีดให้เหมาะกับวัสดุที่ใช้ สร้าง

ส่วนรองรับชิ้นงาน ตลอดจนกำหนดความเร็วในการฉีด ไฟล์เอาต์พุตจะถูกคัดลอกลงใน SD การ์ด แล้วนำไปเสียบยังเครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น MakerBot เพื่ออ่านไฟล์ แล้วพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติต่อไป



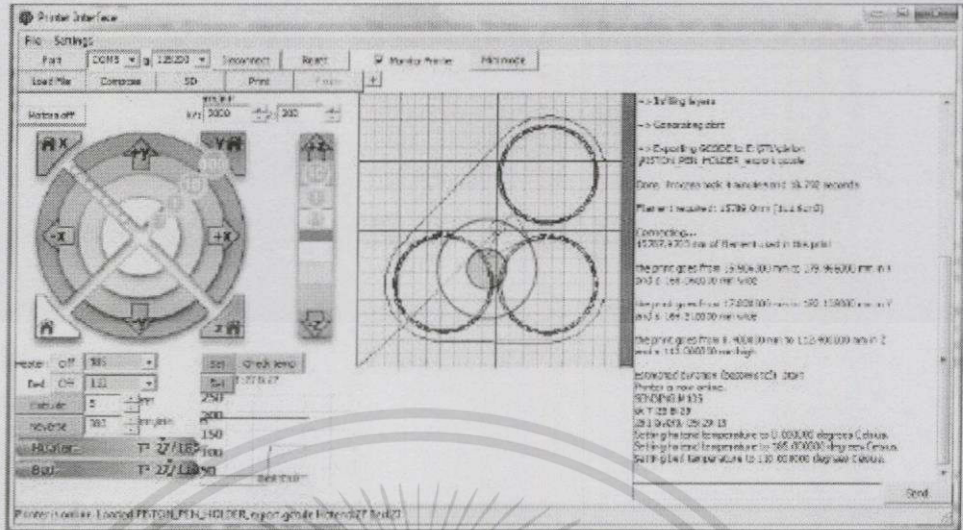
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างโปรแกรม MakerWare

## 2. Pronteface

เป็นอีกหนึ่งซอฟต์แวร์ที่พัฒนาให้มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง ปรับแต่ง ตั้งค่าได้อย่างอิสระ จึงเหมาะกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบโอเพ่นซอร์ส เช่น RepRap หรือรุ่นอื่นๆ เพียงตั้งค่าให้เหมาะสมกับเครื่องพิมพ์ที่ทำการพัฒนาชิ้นเท่านั้น

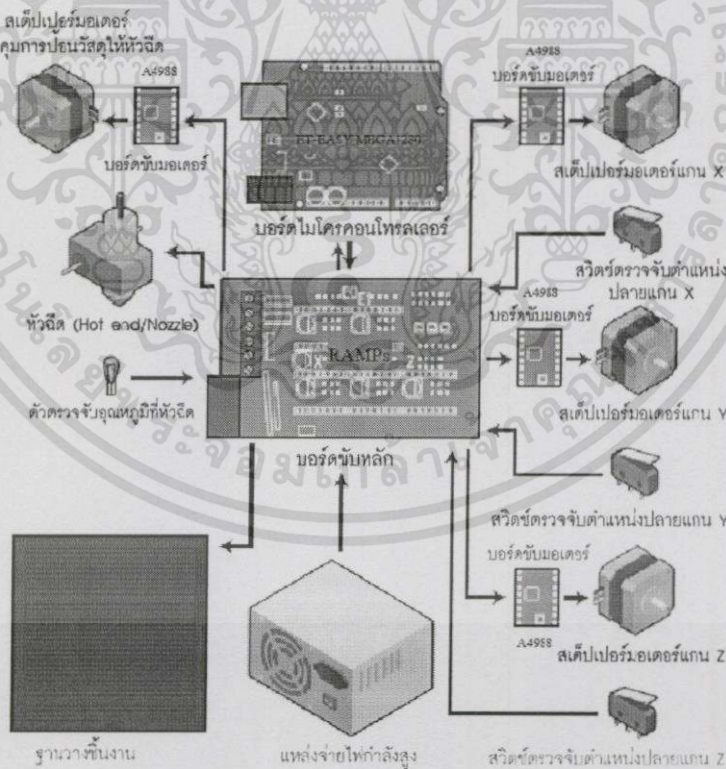
ตัวซอฟต์แวร์มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนตำแหน่ง แนวการวางชิ้นงาน ขนาดของชิ้นงาน แปลงไฟล์ .STL เป็น G-code ควบคุมตำแหน่งของระบบเคลื่อนที่ในระนาบต่างๆ ของเครื่องพิมพ์ ควบคุมการให้ความร้อนและอุณหภูมิของหัวฉีดร้อนและฐานวางชิ้นงานแบบร้อนผ่าน GUI ของซอฟต์แวร์ได้ และมีกราฟแสดงค่าอุณหภูมิตลอดการทำงาน เชื่อมต่อกับเครื่องพิมพ์ผ่านพอร์ต USB หรือนำไฟล์เอาต์พุตคัดลอกลงใน SD การ์ด เพื่อนำไปเสียบที่เครื่องพิมพ์ 3 มิติ แล้วพิมพ์ชิ้นงานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างโปรแกรม Pronterface

2.2.3. ส่วนชุดขับเคลื่อนมอเตอร์



รูปที่ 2.10 ระบบและวงจรควบคุม

จากรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นถึงระบบและวงจรควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบ FDM บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลและควบคุมหลัก โดยเชื่อมต่อกับส่วนอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านวงจรขับหลักที่ได้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟตรงกระแสไฟฟ้าสูง เพื่อจ่ายให้กับสแต็ปปีงมอเตอร์ผ่านบอร์ดขับมอเตอร์ เพื่อควบคุมให้สแต็ปปีงมอเตอร์หมุนตามสแต็ปที่ต้องการซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของฐานวางชิ้นงาน มีสแต็ปปีงมอเตอร์อีกตัวหนึ่งทำงานเพื่อรีดให้เส้นพลาสติกผ่านเข้าไปยังหัวฉีด (Hot End) ภายใต้การควบคุมให้ความร้อนที่เหมาะสมกับชนิดของเส้นพลาสติก โดยมีการตรวจสอบอุณหภูมิที่หัวฉีดด้วย ชิ้นส่วนในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรควบคุมในส่วนชุดขับมอเตอร์ ได้แก่ สแต็ปปีงมอเตอร์ จำนวน 4 ตัว ต่อเข้าบอร์ดขับมอเตอร์ A4988 และต่อกับบอร์ดขับหลัก Shield for Arduino หรือ RAMPs 1.4 โดยบอร์ดหลักนี้จะเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟ End Stop ตัวตรวจจับอุณหภูมิที่หัวฉีดและทำหน้าที่จ่ายไฟให้แก่หัวฉีด และประกอบเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ET-EASY MEGA1280 (ARDUINO MEGA)

ส่วนควบคุมการป้อนเส้นพลาสติกสู่หัวฉีดในส่วนนี้ ใช้สแต็ปปีงมอเตอร์ควบคุมกลไกเพื่อป้อนเส้นพลาสติกเข้าสู่หัวฉีดร้อน ความเร็วของสแต็ปปีงมอเตอร์ที่หมุนไปมีผลต่อปริมาณการฉีดพลาสติกออกมาจากหัวฉีด ติดตั้งอยู่บนแท่นเลื่อนในแนวแกน X และ Y

## 2.2.4 ส่วนหัวฉีด

หัวฉีดร้อน (Nozzle) หรือบางครั้งเรียกว่า Hot End เป็นส่วนที่ให้ความร้อนกับเส้นพลาสติกที่ป้อนเข้ามาจากส่วนควบคุมการป้อนเส้นพลาสติกหรือ Extruder โดยอุณหภูมิที่หัวฉีดนี้จะอยู่ในช่วงที่ทำให้เส้นพลาสติกหลอม ซึ่งมีค่าประมาณ 190 ถึง 250 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นพลาสติก) มีตัวตรวจจับและวัดอุณหภูมิเป็นตัวตรวจสอบและส่งสัญญาณไปยังส่วนควบคุมอุณหภูมิ หัวฉีดร้อนนี้ทำมาจากโลหะ บรอนซ์ในบล็อกอะลูมิเนียม และมีแผ่นระบายความร้อนติดอยู่ที่ตัวถังด้วย โดยรูของหัวฉีดมีขนาดอยู่ที่ 0.2 ถึง 0.8 มิลลิเมตร รูที่มีขนาดเล็กจะทำให้ฉีดพลาสติกออกมาได้ละเอียด ทำให้ได้ชิ้นงานที่เรียบเนียนยิ่งขึ้น โดยในส่วนของหัวฉีดมีอุปกรณ์ที่สำคัญดังหัวข้อต่อไปนี้

### 2.2.4.1 เส้นพลาสติก

ในเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบ FDM วัสดุที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงานที่สำคัญคือ เส้นพลาสติกหรือ Filament มีด้วยกันหลายวัสดุและหลายสี ตัวอย่างเช่น

เส้นพลาสติกแบบ ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

เป็นเส้นพลาสติกที่ได้รับความนิยมชนิดหนึ่งในงานพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ โดยใช้อุณหภูมิที่หัวฉีดร้อนอยู่ที่ 215 ถึง 250 องศาเซลเซียส แต่มีข้อเสียคือ เมื่อหลอมแล้วจะเกิดไอระเหยออกมาที่เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์เลี้ยง เส้นพลาสติก ABS นี้มีส่วนผสมของอะซิโตน (Acetone) ทำให้พื้นผิวของชิ้นงานที่ขึ้นรูปเสร็จแล้ว มีความเรียบเนียน เงางาม เมื่อใช้ ABS ในการพิมพ์ชิ้นงานจำเป็นที่จะต้องใช้ฐานวางชิ้นงานแบบร้อน

### เส้นพลาสติกแบบ PVA (Polyvinyl Alcohol)

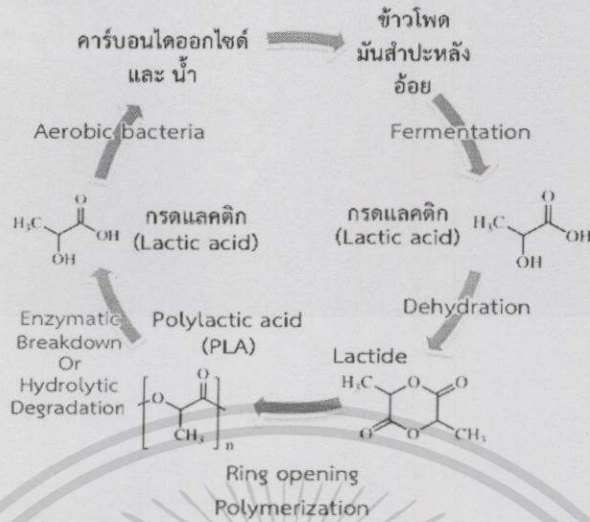
เป็นเส้นพลาสติกชนิดพิเศษที่มีการผสมผสานกันหลายสี ใช้อุณหภูมิที่หัวฉีดพลาสติกอยู่ที่ 190 องศาเซลเซียส วัสดุแบบนี้ละลายน้ำได้ ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเส้นพลาสติกชนิดนี้อาจจะต้องระวังเรื่องความชื้น เพราะอาจส่งผลให้ชิ้นงานสลายไปได้

### เส้นพลาสติกแบบ PLA (Polylactic Acid หรือ Polylactide)

เป็นเส้นพลาสติกที่มีส่วนผสมจากวัตถุดิบชีวภาพ เช่น ข้าวโพดหรือมันฝรั่ง ใช้อุณหภูมิที่หัวฉีดพลาสติกอยู่ที่ 160 ถึง 220 องศาเซลเซียส เมื่อเส้นพลาสติก PLA หลอมจะมีกลิ่นคล้ายๆ กับข้าวโพดคั่ว ซึ่งไม่เป็นอันตรายและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนั้นเมื่อใช้ PLA ในการพิมพ์ชิ้นงานก็ไม่จำเป็นต้องใช้ฐานวางชิ้นงานแบบร้อน แต่ถ้าใช้ก็จะทำให้ฐานของชิ้นงานเรียบเนียนขึ้น โครงการนี้เลือกใช้พลาสติกชนิดนี้และไม่ใช้ฐานวางชิ้นงานแบบร้อน

ซึ่งผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีบทบาทในชีวิตประจำวันเกือบทั้งหมด ที่มีการตอบสนองด้านการใช้งานมีความคงทนถาวร ตลอดจนราคาที่เหมาะสม ได้มาจากกระบวนการทางปิโตรเคมี ด้วยปัญหาในการกำจัดไม่ย่อยสลายตกค้างในธรรมชาติ และต้องเผาเพื่อทำลาย สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อโลก เช่น ปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ณ ปัจจุบันจึงมีแนวคิดใหม่ในการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ และใช้วัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ในธรรมชาติ (Renewable Resources) เพื่อนำมาทดแทนพลาสติกจากปิโตรเคมี

โดย Polylactic Acid (PLA) เป็นพลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) สามารถย่อยสลายได้ เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำได้ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติภายหลังจากการใช้งาน ผลิตมาจากวัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ในธรรมชาติ (Renewable Resource) เช่น ผลิตมาจากพืชจำพวก ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย เป็นต้น โดยการบดหรือม่ที่ขุ่นให้ละเอียดเป็นแป้งแล้วใช้เอนไซม์ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลกลูโคส ผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) โดยใช้แบคทีเรีย Lactobacillus Brevis ได้ผลผลิตเป็นกรดแลคติก (Lactic Acid) ผ่านกระบวนการทางเคมีได้ Lactide มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวน แล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) กลับในระบบสุญญากาศเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างได้เป็นโพลีเมอร์ดังรูปที่ 2.11



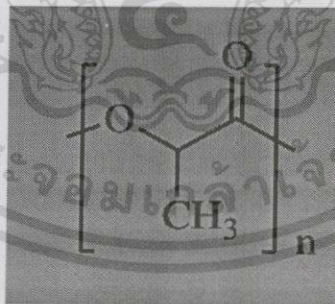
รูปที่ 2.11 การผลิตพลาสติก PLA

ชื่อทางเคมี (Chemical Name): Polylactic Acid

ชื่อพ้อง (Synonyms) : พอลิแลคติก, Polylactide, PLA

สูตรเคมีอย่างง่าย (Chemical Formula) :  $(C_3H_4O_2)_n$

น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) : ประมาณ 60,000 (ทั้งนี้จำนวน n ประมาณ 30,000)



รูปที่ 2.12 สูตรโครงสร้างทางเคมีของ Polylactic Acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จาก PLA

- फिल्मสำหรับหุ้มอาหาร
- ผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร เช่น กล่อง จาน ช้อน มีด ส้อม ตะเกียบ แก้วน้ำ ที่ใช้ครั้งเดียวทิ้ง รวมทั้ง ถังหิ้ว ถังใส่กล่อง เป็นต้น
- เส้นใยและสิ่งทอนำมาใช้ในงานด้านการผลิตเป็นเสื้อผ้าและผ้าเบาะรถยนต์



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จาก Polyactic Acid

#### 2.2.4.2 เทฟลอน

เทฟลอน (PTFE) ชื่อทางเคมีคือ Polytetrafluoroethylene คำย่อ (PTFE) ภาษาไทยใช้คำว่า เทฟลอน เป็นพลาสติกชนิดมีความลื่นและทนความร้อนสูง จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 260 องศา ทนกรดต่างและเคมี ไม่เป็นสื่อนำไฟฟ้า ป้องกันการเกาะติดสิ่งสกปรก

#### คุณสมบัติของเทฟลอน

- THERMOPLASTIC
- ไม่เป็นพิษ
- ใช้กับอาหารได้
- ค่าความเสียดทานต่ำมาก และลื่น
- สามารถใช้ในอุณหภูมิ  $-200^{\circ}\text{C}$  ถึง  $+260^{\circ}\text{C}$  ได้
- สามารถทนต่อตัวทำละลาย และสารเคมีได้เกือบทุกชนิด
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใช้งานเทฟลอน

เทฟลอนมีการนำไปประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย อาทิเช่น ปะเก็น โอริง แหวน ซีลน้ำมัน แผ่นรองสไลด์ บูช วาล์ว บอลวาล์ว ซีทบอลวาล์ว ทำ Lining ถังสารเคมี แผ่นรองขนม Bakery ใช้ในเตาอบ Jig และ Fixtures และอะไหล่สำหรับหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหาร เคมี ผลิตเครื่องจักร อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ไฟฟ้าและเสื้อผ้า เป็นต้น

### ตารางที่ 2.1 เทฟลอนแท่งชนิด PTFE Rod ที่มีการจำหน่าย

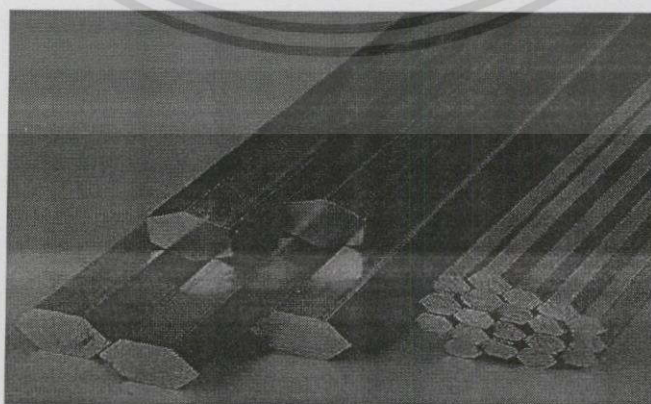
PTFE Rod (Nominal OD x Nominal Length) หน่วยมิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลาง x ความยาว					
4 x 1000	5 x 1000	6 x 1000	7 x 1000	8 x 1000	9 x 1000
10 x 1000	13 x 1000	15 x 1000	16 x 1000	18 x 1000	20 x 1000
25 x 1000	30 x 1000	35 x 1000	40 x 1000	45 x 1000	50 x 1000
55 x 1000	60 x 1000	65 x 1000	70 x 1000	75 x 1000	80 x 1000
85 x 1000	90 x 1000	95 x 1000	100 x 1000	110 x 1000	120 x 1000
130 x 1000	140 x 1000	150 x 1000	180 x 100-300	200x100-300	250x100-300
270 x 100-300	300 x 100-300	มีบริการตัดแบ่งขายหรือตัดตามขนาดที่ต้องการ			

### ตารางที่ 2.2 เทฟลอนแผ่นชนิด PTFE Sheet ที่มีการจำหน่าย

ความหนา (มิลลิเมตร)	กว้าง x ยาว (เมตร)	กว้าง x ยาว (เมตร)
0.25, 0.5, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0	1.20 x 1.20	1.20 x ตามสั่ง

#### 2.2.4.3 ทองเหลืองแท่ง



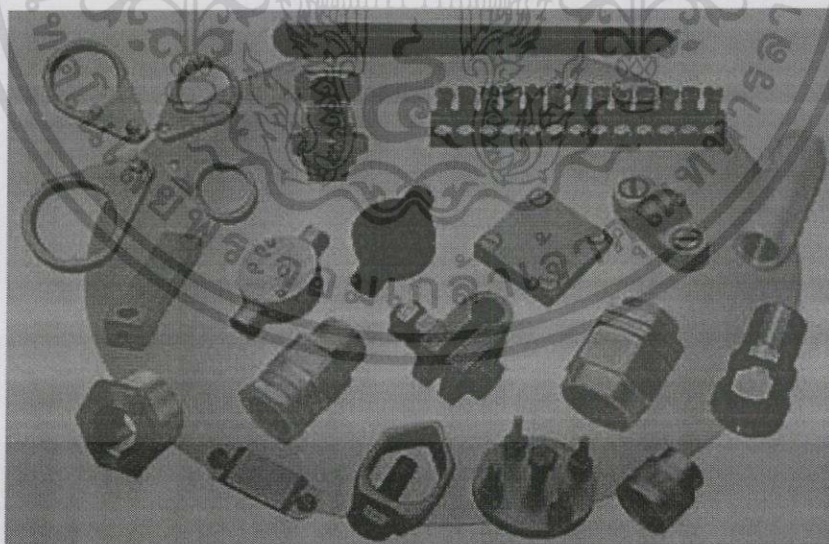
รูปที่ 2.14 ทองเหลืองแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทองเหลือง คือโลหะผสมชนิดหนึ่งที่มีส่วนประกอบระหว่างทองแดงและสังกะสี โดยสัดส่วนของสังกะสีในทองเหลืองนั้น มีได้ตั้งแต่ร้อยละ 5-45 ปริมาณของสังกะสีที่เปลี่ยนไปในทองแดงนั้น ย่อมทำให้ทองเหลืองเปลี่ยนตามไปด้วย ลักษณะโดยทั่วไปของทองเหลืองจะมีสีเหลืองตามชื่อ จึงมีส่วนคล้ายเนื้อทองคำ ทองเหลืองมีความทนทานต่อสนิม ทนต่อทุกสภาพอากาศ และทนต่อรอยขีดข่วนจากการใช้งานทองเหลืองแบบปกติ ทำให้นิยมใช้ทำเป็นของตกแต่งภายในบ้าน ทองเหลือง เป็นโลหะที่รู้จักกันมาแต่โบราณและมีการผลิตขึ้นเองด้วย โดยการผลิตทองเหลืองนั้นอาศัยการหลอมละลายระหว่างทองแดงกับแร่คาลาไมน์ ซึ่งมีส่วนผสมของสังกะสีทำให้ได้ทองเหลืองออกมา

### ข้อดีของทองเหลืองที่มีต่ออุตสาหกรรม

ข้อดีของทองเหลืองที่มีต่ออุตสาหกรรม ทั้งผลิตภัณฑ์ทองเหลืองชนิดแผ่นและผลิตภัณฑ์ทองเหลืองชนิดม้วนที่มีขนาดและคุณสมบัติต่างๆ กันนั้น สามารถนำไปใช้สำหรับผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ การผลิตกุญแจ บ้านพักประตูลูกบิด และป้ายต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำทองเหลืองมาทำเป็นอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ท่อทองเหลือง ข้อต่อทองเหลืองที่นำไปใช้ในระบบระบายความร้อน เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องฉีดยาฆ่าแมลง และอุตสาหกรรมยานยนต์ สามารถใช้ผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ได้หลากหลาย และเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมยานยนต์ ที่นำทองเหลืองไปผลิตหมอน้ำรถยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า ที่นำทองเหลืองไปเป็นชิ้นส่วนไฟฟ้า ใช้ผลิตขาปลั๊กไฟ คัทเอาท์ สวิตช์ไฟ สายเคเบิล Connector อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เช่น Heatsink Adapter Leadframe และใช้ในวงการ Stamping ทั่วไป เช่น งานขึ้นรูปดอกกุญแจ ขั้วหลอดไฟ Audio Cassette กระดุม ตาไก่ เป็นต้น



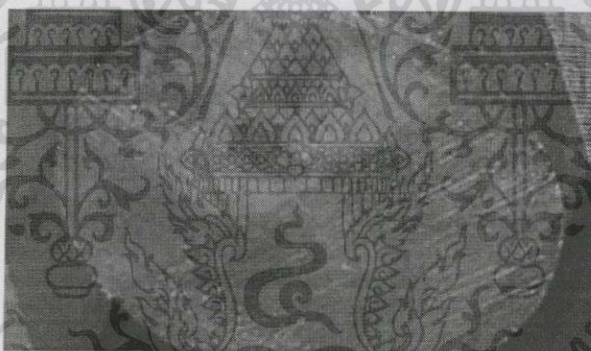
รูปที่ 2.15 การแปรรูปเป็นสิ่งต่างๆ ของทองเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คุณสมบัติของเหลือง

ทองเหลืองเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงและสังกะสี ซึ่งสังกะสีจะละลายในทองแดงได้ โดยให้สารละลายเป็นของแข็ง ปริมาณของสังกะสีที่สามารถละลายได้อยู่ที่ 39% ทองเหลืองแต่ละชนิดที่ทำกรผลิตออกมาจะมีปริมาณในการผสมสังกะสีลงไปแตกต่างกันตามความต้องการของผู้ผลิต โดยคุณสมบัติของทองเหลืองที่ดีคือ มีความแข็งแรง ทนทาน มีความเหนียว สามารถทนต่อการถูกกัดกร่อน และทุกสภาพอากาศ อีกทั้งรอยขีดข่วนจากการใช้งานปกติของทองเหลืองด้วย สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตได้แบ่งทองเหลืองออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ทองเหลืองประเภทรีดเป็นแท่งหรือทองเหลืองประเภทรีดเป็นแผ่น และทองเหลืองประเภทหล่อ ทองเหลืองทั้งสองประเภทนี้สามารถแยกคุณภาพและคุณสมบัติเชิงกลออกได้ตามรายละเอียดคู่มือ ASTM (American Society for Testing and Materials) หรือ JIS (Japanese Industrial-Standards) ที่เป็นมาตรฐานภายใต้ข้อกำหนดที่ตกลงร่วมกันระหว่างผู้ผลิตทองเหลืองภายในประเทศและต่างประเทศ เพื่อเป็นการสร้างความเข้าใจให้ตรงกัน ทั้งเรื่องคุณภาพ รูปร่าง น้ำหนัก ฯลฯ ทั้งนี้คุณสามารถขอคำแนะนำเกี่ยวกับทองเหลืองได้ตามแหล่งซื้อขายทองเหลืองทั่วไป

#### 2.2.4.4 อะลูมิเนียม



รูปที่ 2.16 ลักษณะของอะลูมิเนียม

อะลูมิเนียม (Aluminium) คือธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ Al และมีเลขอะตอม 13 เป็นโลหะทรานซิชันที่มันวาวและอ่อนดัดง่าย

#### คุณสมบัติ

อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่อ่อนและเบาที่มีลักษณะไม่เป็นเงา เนื่องจากเกิดการออกซิเดชันชั้นบางๆ ที่เกิดขึ้นเร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศ โลหะอะลูมิเนียมไม่เป็นสารพิษ ไม่เป็นแม่เหล็ก และไม่เกิดประกายไฟ อะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีความหนาแน่น 2.70 ก./ซม.<sup>3</sup> มีจุดหลอมเหลว 660.32 °C และมีแรงต้านการดึงประมาณ 49 ล้านปาสกาล (MPa) และ 400 MPa ถ้าทำเป็นโลหะผสมอะลูมิเนียมมีความหนาแน่นเป็น 1/3 ของเหล็กกล้าและทองแดงอ่อนสามารถดัดได้ง่าย สามารถกลึงและหล่อแบบได้ง่าย และมีความสามารถต่อต้านการกร่อนและความทนเนื่องจากชั้นออกไซด์ที่ป้องกัน พื้นหน้ากระจกเงาที่เป็นอะลูมิเนียมมีการสะท้อนแสงมากกว่าโลหะอื่นๆ ในช่วงความยาวคลื่น 200-400 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(UV) และ 3000-10000 nm (IR ไกล) ส่วนในช่วงที่มองเห็นได้ คือ 400-700 nm โลหะเงินสะท้อนแสงได้ดีกว่าเล็กน้อย และในช่วง 700-3000 (IR ใกล้) โลหะเงิน ทองคำ และทองแดง สะท้อนแสงได้ดีกว่า อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่ติดตั้งง่ายเป็นอันดับ 2 (รองจากทองคำ) และอ่อนเป็นอันดับที่ 6 อะลูมิเนียมสามารถนำความร้อนได้ดี จึงเหมาะสมที่จะทำหม้อหุงต้มอาหาร

### การประยุกต์ใช้อะลูมิเนียม

เมื่อวัดในทั้งปริมาณและมูลค่า การใช้อะลูมิเนียมมีมากกว่าโลหะอื่นๆ ยกเว้นเหล็ก และมีความสำคัญในเศรษฐกิจโลกทุกด้าน

อะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีแรงต้านการดึงต่ำ แต่สามารถนำไปผสมกับธาตุต่างๆ ได้ง่าย เช่น ทองแดง สังกะสี แมกนีเซียม แมงกานีส และซิลิกอน (เช่น Duralumin) ในปัจจุบันวัสดุเกือบทั้งหมดที่เรียกว่าอะลูมิเนียมเป็นโลหะผสมของอะลูมิเนียม อะลูมิเนียมบริสุทธิ์พบเฉพาะเมื่อต้องการความทนต่อการกัดกร่อนมากกว่าความแข็งแรงและความแข็ง

เมื่อรวมกับกระบวนการทางความร้อนและกลการ (Thermo-Mechanical Processing) โลหะผสมของอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติทางกลศาสตร์ที่ดีขึ้น โลหะผสมอะลูมิเนียมเป็นส่วนสำคัญของเครื่องบินและจรวด เนื่องจากมีอัตราความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง

อะลูมิเนียมสามารถสะท้อนแสงที่มองเห็นได้ดีเยี่ยม (~99%) และสามารถสะท้อนแสงอินฟราเรดได้ดี (~95%) อะลูมิเนียมชั้นบางๆ สามารถสร้างบนพื้นผิวเรียบด้วยวิธีการควบแน่นของไอสารเคมี (Chemical Vapor Deposition) หรือวิธีการทางเคมี เพื่อสร้างผิวเคลือบออปติคัล (Optical Coating) และกระจกเงา ผิวเคลือบเหล่านี้จะเกิดชั้นอะลูมิเนียมออกไซด์ที่บางยิ่งกว่า ที่ไม่สึกกร่อนเหมือนผิวเคลือบเงิน กระจกเงาเกือบทั้งหมดสร้างโดยใช้อะลูมิเนียมชั้นบางบนผิวหลังของแผ่นกระจกลอย (Float Glass). กระจกเงาในกล้องโทรทรรศน์สร้างด้วยอะลูมิเนียมเช่นกัน แต่เคลือบข้างหน้าเพื่อป้องกันการสะท้อนภายใน การหักเห และการสูญเสียจากความใส กระจกเหล่านี้เรียกว่า First Surface Mirrors และเกิดความเสียหายได้ง่ายกว่ากระจกตามบ้านทั่วไปที่เคลือบข้างหลัง

### ตัวอย่างการนำเอาอะลูมิเนียมไปใช้งาน

- การขนส่ง (รถยนต์ เครื่องบิน รถบรรทุก ตู้รถไฟ เรือทะเล จักรยาน ฯลฯ)
- ภาชนะ (กระป๋อง, ฟอยล์ ฯลฯ)
- งานก่อสร้าง (หน้าต่าง ประตู รางข้าง ลวด ฯลฯ)
- สินค้าสำหรับผู้บริโภคที่มีความคงทน (เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ครัว ฯลฯ)
- อะลูมิเนียมความบริสุทธิ์สูง (SPA ย่อจาก Super Purity Aluminium, 99.980% to 99.999% Al) ใช้ในอิเล็กทรอนิกส์และซีดี
- อะลูมิเนียมผง ใช้เป็นตัวเคลือบเงินในสี เกล็ดอะลูมิเนียมมีอยู่ในสีพื้น เช่น สีเคลือบเนื้อไม้ (Primer) เมื่อแห้ง เกล็ดจะซ้อนทับกันเป็นชั้นกันน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อะลูมิเนียมแอโนไดส์ (Anodised) คงทนต่อการออกซิเดชันเพิ่มเติม และใช้ในการก่อสร้างในด้านต่างๆ รวมถึงการทำฮีตซิงก์ด้วย

- อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ที่ต้องทำความเย็นของชิ้นส่วนภายใน (เช่น ทรานซิสเตอร์ ซีพียู – สารกึ่งตัวนำ) โดยทั่วไปมีฮีตซิงก์ที่ทำจากอะลูมิเนียม เนื่องจากผลิตง่ายและนำความร้อนได้ดี ฮีตซิงก์ทองแดงเล็กกว่า แต่แพงกว่าและผลิตยากกว่าด้วย

#### 2.2.4.5 เทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) มาจากคำว่า “Thermally Sensitive Variable Resistor” ทำมาจากวัสดุตัวนำที่เหมือนกับเซรามิก อยู่ในรูปของออกไซด์ของแมงกานีส นิกเกิล และโคบอลต์ มีค่าความต้านทานจำเพาะในช่วง 100 ถึง 450,000 โอห์ม-เซนติเมตร ในเบื้องต้นสามารถประยุกต์ใช้งานสองอย่างคือ (1) เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิสำหรับระบบการวัดและควบคุม (2) เป็นอุปกรณ์ตรวจจับกำลังงานไฟฟ้า เพราะอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ จะเป็นฟังก์ชันกับกำลังที่ถูกดูดกลืนโดยอุปกรณ์การวัดกำลังคลื่นความถี่วิทยุ

#### ความต้านทานของสารกึ่งตัวนำกับอุณหภูมิ

Semiconductor Resistance Versus Temperature หรือสารกึ่งตัวนำคือ การที่อิเล็กตรอนสั้นจนถึงช่วงที่ทำให้มีการเพิ่มพลังงานของวาเลนซ์อิเล็กตรอน เมื่อพลังงานนี้มีค่าเท่ากันหรือมากกว่าช่องว่างพลังงาน  $\Delta_{\text{band}}$  ในขณะนี้อิเล็กตรอนจะเข้ามาอยู่ในแถบการนำและอิสระที่จะนำกระแสได้

ข้อสำคัญคือช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของสารกึ่งตัวนำนี้จะไม่เป็นเชิงเส้น

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่ออุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ หลักการของเทอร์มิสเตอร์คือ ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิตามหลักการของสารกึ่งตัวนำ นั่นคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความต้านทานจะลดลง คุณสมบัติดังกล่าวนี้เรียกว่ามี “สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นลบ” (เอ็นทีซี) การเปลี่ยนแปลงนี้จะแปรตามความไม่บริสุทธิ์ในการเจือปน หากเจือปนมากเกินไปสารกึ่งตัวนำจะมีสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิเป็นบวก

2. ความไวหรือสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของอาร์ทีดี จะมีค่าเพิ่มขึ้นหากว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

3. เวลาตอบสนอง (Time Response) ผลตอบสนองของเทอร์มิสเตอร์ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุและสถานะแวดล้อม สำหรับเทอร์มิสเตอร์ที่บรรจุอยู่ในอ่างน้ำมัน (ที่มีการสัมผัสความร้อนที่ดี) ผลตอบสนองของเวลาจะมีค่าประมาณ 0.5 วินาที แต่หากเป็นเทอร์มิสเตอร์ตัวเดียวกันที่อยู่ในอากาศ อาจจะใช้เวลาตอบสนองถึง 10 วินาที เทอร์มิสเตอร์แบบจานหรือแบบแท่งขนาดใหญ่ อาจจะมีผลตอบสนองต่อเวลาเป็น 10 วินาที หรือมากกว่า ถึงแม้ว่าจะมีการสัมผัสความร้อนที่ดีก็ตาม

### ชนิดของเทอร์มิสเตอร์

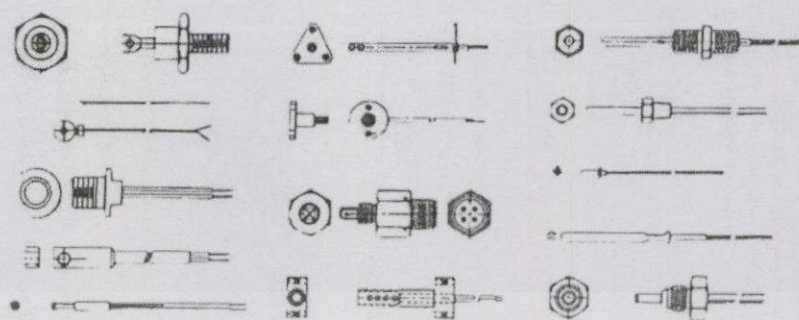
โดยปกติเทอร์มิสเตอร์จะแบ่งเป็น 2 ประเภทตามสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่ออุณหภูมิ อันได้แก่

1. ชนิดเอ็นทีซี เทอร์มิสเตอร์ชนิดนี้ผลิตได้โดยการผสมและเจือปนออกไซด์ของโลหะ เช่น นิกเกิล โคบอลต์ แมงกานีส เหล็ก และทองแดง แล้วอัดให้ติดกันเป็นก้อนแข็ง (Sintering Dope) กระบวนการนี้ทำให้สำเร็จได้เมื่อมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมในการผลิต เทอร์มิสเตอร์แบบนี้ใช้สำหรับการวัดและควบคุมอุณหภูมิ

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติโดยทั่วไปของเทอร์มิสเตอร์ชนิด เอ็นทีซี ที่ใช้กันบ่อยๆ

คุณสมบัติ	ช่วงการทำงาน
ย่านของอุณหภูมิที่ทำการวัด	-100° C ถึง 450° C (ไม่ได้วัดโดยตัวเดียวกัน)
ความต้านทานที่ 25° C	0.5 $\Omega$ ถึง 100 M $\Omega$ 1 k $\Omega$ ถึง 10 M $\Omega$ เป็นค่าโดยทั่วไป
อุณหภูมิสูงสุด	> 125° C 300° C เป็นค่าปกติในสภาวะคงที่ 600° C เป็นค่าปกติเมื่อไม่สม่ำเสมอ
ค่าคงที่ในการสูญเสีย , $\delta$	1 mW/K ในอากาศนิ่ง ,8 mW/K ในน้ำมัน
เวลาคงที่ความร้อน	1 มิลลิวินาที ถึง 22 วินาที
การสูญเสียกำลังสูงสุด	1 มิลลิวัตต์ ถึง 1 วัตต์

2. ชนิดพีทีซีอยู่ในรูปของสวิตช์ พีทีซีใช้แบเรียมไททาเนตเป็นฐานและเพิ่มตะกั่วหรือเซอร์โคเนียมไททาเนตลงไป ปรับความไวในการสับเปลี่ยนอุณหภูมิที่จะวัด ส่วนเทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซีที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิจริงๆ จะใช้ซิลิคอนเป็นธาตุตั้งต้นในการเจือปน เทอร์มิสเตอร์แบบนี้มักจะนำไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันแรงเคลื่อนหรือกระแสเกินค่าปกติในวงจรไฟฟ้า



รูปที่ 2.17 การออกแบบโพรบเทอร์มิสเตอร์แบบต่างๆ

### การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning)

เพราะว่าเทอร์มิสเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานกับอุณหภูมิสูง จึงมีหลายวงจรที่สามารถนำมาใช้งานได้ เช่น วงจรแบ่งแรงเคลื่อน วงจรบริดจ์ เป็นต้น แต่ก็ต้องพิจารณาข้อได้เปรียบของแต่ละแบบ เนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของเทอร์มิสเตอร์ทำให้ยากต่อการวัดค่า จึงต้องแน่ใจว่าการสูญเสียกำลังในเทอร์มิสเตอร์จะไม่เกินขีดจำกัด

### การประยุกต์ใช้งาน

ตัวอย่างเช่น การวัดระบบการทำความเย็นของหม้อน้ำในรถยนต์ ในวงจรประกอบด้วยแบตเตอรี่ ตัวต้านทานปรับค่าได้ เทอร์มิสเตอร์ และไมโครแอมป์มิเตอร์ การวัดอุณหภูมิหัวฉีดของเครื่องยนต์แบบ 3 มิติ

### การออกแบบวงจร (Design Considerations)

ในการออกแบบระบบควบคุมกระบวนการทั้งหมดต้องกำหนดความต้องการของอุปกรณ์แต่ละตัวในระบบ และระมัดระวังความเข้ากันได้ระหว่างคุณสมบัติของอุปกรณ์แต่ละตัวในวงจรต่อระบบทั้งหมดที่เราต้องการ

การจะสร้างระบบการตรวจวัดอุณหภูมิ มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. ศึกษาและกำหนดธรรมชาติของการวัด ประกอบด้วยค่าในสภาวะปกติเดิม (Nominal Value) และย่านของการวัดอุณหภูมิ สภาวะทางกายภาพของธรรมชาติในระบบที่จะวัดความเร็วตอบสนองที่ต้องการวัด และลักษณะอื่นๆ ที่จะต้องพิจารณา
2. กำหนดความต้องการของสัญญาณทางด้านเอาต์พุต ในการใช้งานส่วนใหญ่เอาต์พุตจะเป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์ หรือแรงเคลื่อนที่เป็นสเกลเดียวกันเพื่อแสดงย่านของอุณหภูมิในการวัด โดยอาจมีหัวข้ออื่นที่ต้องพิจารณา ได้แก่ การแยกระบบทางไฟฟ้าออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Isolation) อิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตหรือตัวประกอบอื่นๆ เช่น ในบางกรณีอาจจะต้องกำหนดเอาต์พุตให้อยู่ในรูปของการเข้ารหัสในระบบดิจิทัลด้วย

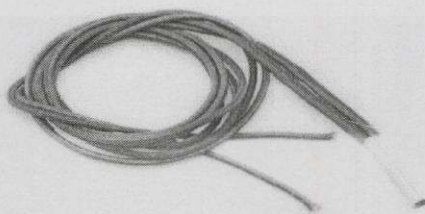
3. การเลือกตัวเซนเซอร์ พื้นฐานเบื้องต้นในการเลือกเซนเซอร์คือ เซนเซอร์มีคุณสมบัติที่พอดีกับย่านที่ต้องการวัดหรือไม่ สิ่งแวดล้อมเป็นอย่างไร แล้วจึงจะเลือกตัวเซนเซอร์นั้น รวมถึงตัวประกอบอื่นๆ ที่ต้องเลือก เช่น ราคา และความน่าเชื่อถือซึ่งเป็นสิ่งสำคัญ นอกจากนั้นความต้องการของสัญญาณเอาต์พุตก็เป็นตัวหนึ่งที่ต้องพิจารณา แต่ก็จัดว่ามีความสำคัญน้อยกว่าเพราะเราสามารถออกแบบวงจรปรับสภาพสัญญาณให้เป็นไปตามต้องการได้ในภายหลัง

4. การออกแบบการปรับสภาพสัญญาณที่ต้องการ โดยการใช้เทคนิคการปรับสภาพสัญญาณ การตรวจจับอุณหภูมิโดยตรงของตัวเซนเซอร์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณเอาต์พุตที่ต้องการ การจะกำหนดชนิดของการปรับสภาพสัญญาณจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเซนเซอร์ที่ใช้ และคุณสมบัติของสัญญาณเอาต์พุตที่ต้องการในเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ : ส่วนหัวฉีด เราเลือกใช้รุ่น EPCOS 100K Thermistor (B57560G104F)



รูปที่ 2.18 เทอร์มิสเตอร์

#### 2.2.4.6 ฮีตเตอร์



รูปที่ 2.19 ฮีตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของเราได้เลือกใช้ Ceramic Heater Cartridge 12v/40w for RepRap 3d Printer โดยมีคุณสมบัติดังนี้

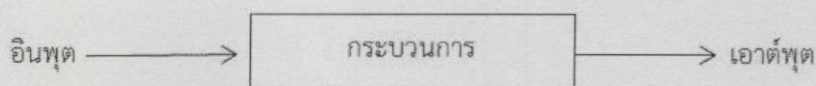
1. Type: Electric Heater Parts
2. Voltage: 12-480V
3. Place of Origin: China (Mainland)
4. Working Temperature:  $\leq 450$  Degrees
5. Brand Name: OEM
6. Usage: Cartridge Heater
7. 6x20mm 12V 40W Cartridge Heater for 3D Printer
8. Resistance wire OCr20Ni80
9. Min.dia.2mm, Length: 20mm
10. Common 10w/cm<sup>2</sup>
11. High or Low Wattages

### 2.3 ทฤษฎีการควบคุมแบบป้อนกลับ

การศึกษาในเรื่องการควบคุมระบบมีความจำเป็นอย่างมากขึ้นเรื่อยๆ ในโลกปัจจุบันนี้ เนื่องจากความต้องการในการใช้ทรัพยากรต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพทำให้เราสามารถประหยัดพลังงาน เวลา และอื่นๆ ได้อย่างมาก ในขณะที่เราได้ผลลัพธ์ออกมาได้ตามที่เราต้องการอย่างถูกต้อง การศึกษาของวิศวกรรมระบบควบคุม จะมีพื้นฐานอยู่บนทฤษฎีการป้อนกลับ (Feedback Theory) และการวิเคราะห์ระบบเชิงเส้น (Linear System Analysis) และหลายกรณีจะต้องนำเอาทฤษฎีอื่นๆ เช่น Network Theory และ Communication Theory ดังนั้นวิศวกรควบคุมระบบจึงไม่จำกัดอยู่ในศาสตร์ของวิศวกรสาขาใดสาขาหนึ่งโดยเฉพาะ แต่จะเป็นการนำเอาองค์ความรู้ของวิศวกรในหลายสาขาวิชามาใช้ร่วมกัน ตลอดจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในวิศวกรรมสาขาต่างๆ เช่น วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมเคมี วิศวกรรมโยธา และอื่นๆ อีกมากมาย

ระบบควบคุมคือ ส่วนประกอบหลายๆ ส่วนต่อเชื่อมกันขึ้นเป็นระบบที่จะให้การตอบสนองตามที่เรต้องการ พื้นฐานของการวิเคราะห์ระบบจะมีพื้นฐานจากทฤษฎีระบบเชิงเส้น ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตหรือการตอบสนอง ดังนั้นส่วนประกอบหรือกระบวนการ (Process) ที่เรต้องการที่จะควบคุมสามารถแทนที่ได้ด้วยบล็อก (Block) ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ส่วนอินพุตและเอาต์พุตของระบบมักแทนด้วยสัญญาณ โดยสัญญาณอินพุตจะเป็นส่วนสำคัญของผลลัพธ์หรือเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 การควบคุมระบบ

ระบบควบคุมสามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการทำงานได้เป็น 2 แบบ คือ

1. ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System)
2. ระบบควบคุมแบบปิด หรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Close Loop or Feedback Control System)

#### ระบบควบคุมแบบเปิด

เป็นการใช้อุปกรณ์ Controller หรืออุปกรณ์กระตุ้น (Control Actuator) เพื่อให้ได้การตอบสนองที่เราต้องการ โดยไม่นำผลการตอบสนองของระบบเข้าสู่การพิจารณา ลักษณะของระบบควบคุมแบบเปิดแสดงในรูปที่ 2.21



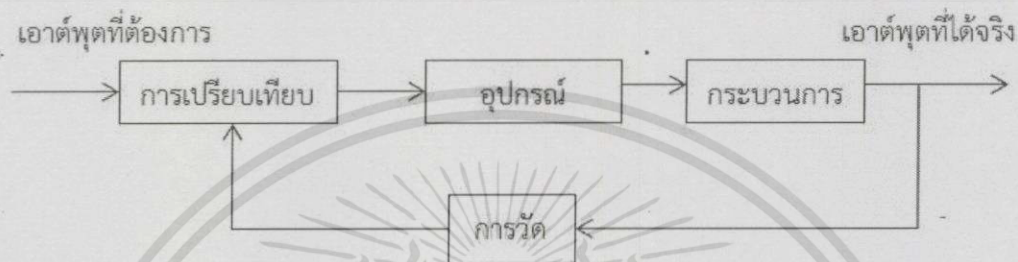
รูปที่ 2.21 ระบบควบคุมแบบเปิด

#### ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ จะแตกต่างจากระบบควบคุมแบบเปิดคือ มีการนำเอาผลที่ได้จากกระบวนการป้อนกลับมาเข้าเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลที่จะส่งเข้าไปเป็นอินพุตที่จะให้กับระบบการที่เราจะทราบค่าเอาต์พุตได้ เราจะต้องมีการวัดข้อมูลของเอาต์พุตที่เราต้องการจากระบบ จากนั้นความแตกต่างระหว่างเอาต์พุตที่ต้องการ และเอาต์พุตที่แท้จริงจะถูกส่งต่อไปสู่อุปกรณ์ควบคุม แล้วส่งต่อเป็นอินพุตเข้าสู่ระบบเพื่อให้ความแตกต่างระหว่างเอาต์พุตที่ต้องการ และเอาต์พุตที่แท้จริง

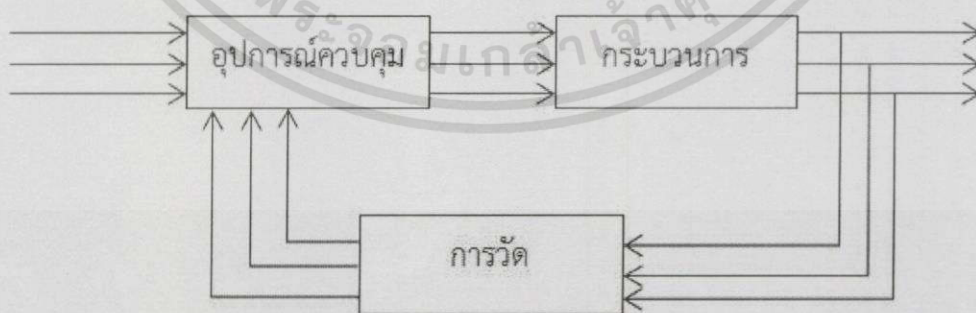
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าทั้งสอง ดังนั้นเราจะได้อัตราส่วนของระบบ เป็นไปตามที่เราต้องการ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับแสดงในรูปที่ 2.22 สำหรับหลักการของการ ป้อนกลับที่ได้อธิบายไปแล้วนี่ถือว่าเป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์ และออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 2.22 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

สำหรับระบบควบคุมหนึ่งๆ นั้นอาจจะมีพารามิเตอร์หรือตัวแปรที่ต้องการควบคุมมากกว่า หนึ่งพารามิเตอร์ ซึ่งระบบควบคุมดังกล่าวเป็นระบบที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น แต่หลักการของระบบ ควบคุมก็จะเหมือนเดิมคือ ทุกตัวแปรที่เราต้องการควบคุมจะต้องมีการวัดค่าที่ได้จากเอาต์พุต และ นำมาเปรียบเทียบกับค่าที่เราต้องการของตัวแปรนั้นๆ สำหรับระบบควบคุมหลายตัวแปร (Multivariable Control System) จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.23

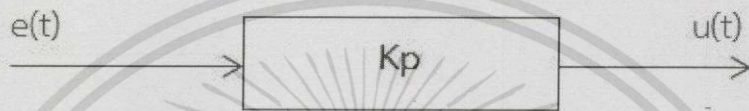


รูปที่ 2.23 ระบบควบคุมหลายตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control, P-control)

การควบคุมระบบแบบป้อนกลับโดยใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนนั้น สัญญาณควบคุม  $u(t)$  จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าสัญญาณความผิดพลาด  $e(t)$  ที่เกิดขึ้นจากผลต่างระหว่างค่าสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณเอาต์พุตของระบบที่ต้องการควบคุม แผนภาพบล็อกของตัวควบคุมแบบสัดส่วนแสดงได้ดังรูป 2.24



รูปที่ 2.24 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน

ได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

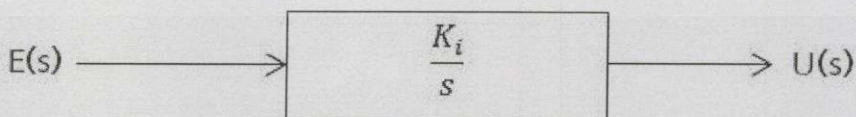
$$u(t) = K_p \cdot e(t)$$

เมื่อ  $K_p$  คือค่าอัตราขยายของตัวควบคุมนี้หรือจะเรียกว่าเกนสัดส่วน

ประโยชน์ของตัวควบคุมแบบสัดส่วน คือ ลดค่าความผิดพลาดของระบบ โดยสามารถตอบสนองกับค่าสัญญาณความผิดพลาดอย่างทันทีทันใด

### 2.3.2 การควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Control)

การควบคุมแบบอินทิกรัลมีรูปแบบสมการ คือ  $u(t) = K_i \int e(t) dt$  เมื่อ  $K_i$  คือค่าคงที่ของตัวควบคุมแบบอินทิกรัล แผนภาพบล็อกของตัวควบคุมแบบอินทิกรัลแสดงดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล

จากรูปแบบการควบคุมแบบอินทิกรัลนี้ จะเห็นว่าสัญญาณควบคุม  $u(t)$  จะมีค่ามากโดยที่สัญญาณความผิดพลาด  $e(t)$  มีค่าเป็นศูนย์ในภายหลังเมื่อเวลาผ่านไปแล้วก็ตาม ทั้งนี้เพราะว่า

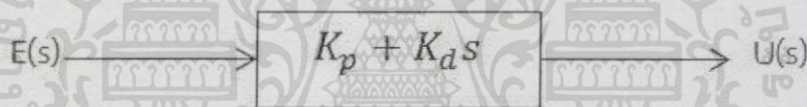
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณการควบคุมในกรณีของการควบคุมแบบอินทิกรัลขึ้นอยู่กับค่าในอดีต (Past Value) ไม่เหมือนกับตัวควบคุมแบบสัดส่วนซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าปัจจุบัน

ประโยชน์ของตัวควบคุมแบบอินทิกรัลก็เพื่อต้องการลดค่าความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว ในขณะที่เดียวกันค่าความถี่เสถียรภาพของระบบก็จะลดน้อยลงด้วยการควบคุมแบบอินทิกรัลนี้ จะเป็นการเพิ่มอันดับให้กับระบบของเรา เช่น ในกรณีระบบเป็นอันดับที่หนึ่ง และเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล แล้วระบบป้อนกลับจะมีอันดับเป็นสอง

### 2.3.3 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control)

การควบคุมแบบอนุพันธ์มีรูปแบบสมการคือ  $u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt}$  เมื่อ  $K_d$  คือค่าคงที่ของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ ส่วนมากแล้วจะใช้ร่วมกับตัวควบคุมตัวอื่น เช่น ใช้ร่วมกับตัวควบคุมแบบสัดส่วน ซึ่งเรียกว่าตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับอนุพันธ์หรือ (PD-Controller) ดังแสดงในรูปที่ 2.26 ถ้าตัวควบคุมแบบสัดส่วนใช้ร่วมกับอินทิกรัลก็จะเรียกว่าตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับอินทิกรัล (PI-Controller) และถ้าใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลและตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ เรียกว่า (PID-Controller)

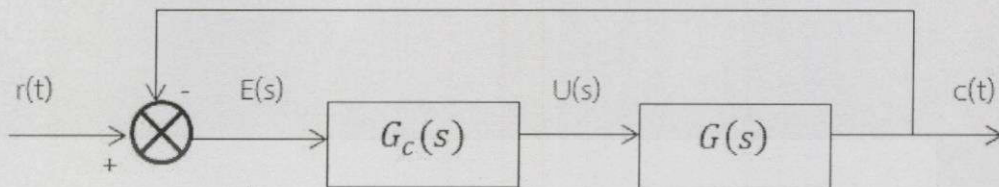


รูปที่ 2.26 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้จะช่วยเพิ่มค่าความหน่วง (Damping) ให้กับระบบที่ต้องการจะควบคุม นั่นคือ ทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น ในขณะเดียวกันจะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้ เป็นสัญญาณที่เกิดจากการหาอนุพันธ์ของสัญญาณความผิดพลาด ดังนั้นถ้าสัญญาณความผิดพลาดนี้มีสัญญาณรบกวนมาก สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้จะกระเพื่อม (Fluctuate) ค่อนข้างมาก (เนื่องจากค่าความชัน (Slope) ของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก) ซึ่งจะทำให้ระบบควบคุมของเราไม่มีเสถียรภาพได้

### 2.3.4 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller)

พิจารณาระบบควบคุมแบบปิด



รูปที่ 2.27 ระบบควบคุมแบบวงปิด

PID Controller ประกอบด้วย 3 เทอม คือ Proportion, Integral และ Derivative

$$U(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (2.1)$$

จาก

$$e(t) = r(t) - c(t) \quad (2.2)$$

เมื่อทำการแปลงลาปลาซจะได้

$$U(s) = \left( K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) E(s) \quad (2.3)$$

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \left( K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad (2.4)$$

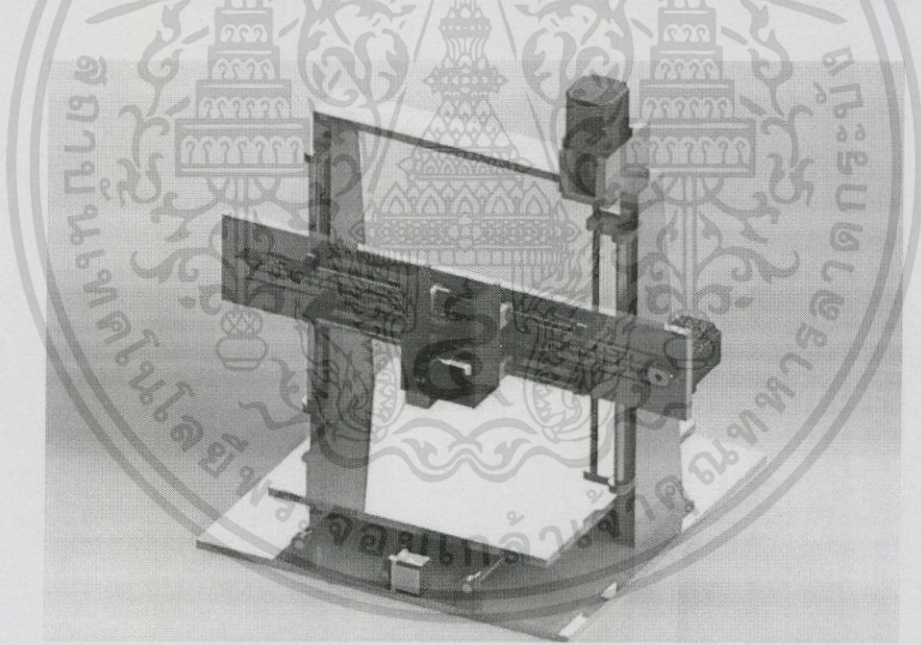
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### หลักการออกแบบ

#### 3.1 โครงสร้างโดยรวม

ระบบโครงสร้างของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ออกแบบโดยโปรแกรม SolidWorks โครงสร้างทำจากอะคริลิกทั้งหมด โดยฐานรองรับ (Supports) ของโครงสร้างจริงมีหลายรูปแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท ให้โครงสร้างเกิดการสมดุล สำหรับลักษณะของฐานตัวเครื่องพิมพ์ที่ได้ ออกแบบมานั้นเป็นฐานรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งสามารถที่จะรับแรงกระทำเวลาผลิตชิ้นงานได้มีความเสถียรมากที่สุด ส่วนโครงด้านบน (Upper Structure) โครงสร้างส่วนด้านบนฐานมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูโดยข้อดีของอะคริลิก ซึ่งมีราคาไม่แพง มีความโปร่งใสคล้ายกระจก ทำให้สามารถดูโครงสร้างบางอย่างได้ สามารถตัดหรือเจาะ วางเกลียวได้ง่ายกว่าเหล็ก น้ำหนักเบาและเป็นฉนวนไฟฟ้าปลอดภัยจากไฟรั่ว แต่เมื่อมีข้อดีก็ย่อมต้องมีข้อเสีย นั่นก็คือ โครงสร้างแบบอะคริลิกมันจะบาง ทำให้ระหว่างที่พิมพ์งานหัวพิมพ์จะกระตุกไม่คงที่ การแก้ปัญหาคือต้องคอยใช้เหล็กเหลี่ยมและไขควงปรับแต่ง และร้านรับตัดแผ่นอะคริลิกนั้นหายาก เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เหล็กเป็นโครงสร้าง

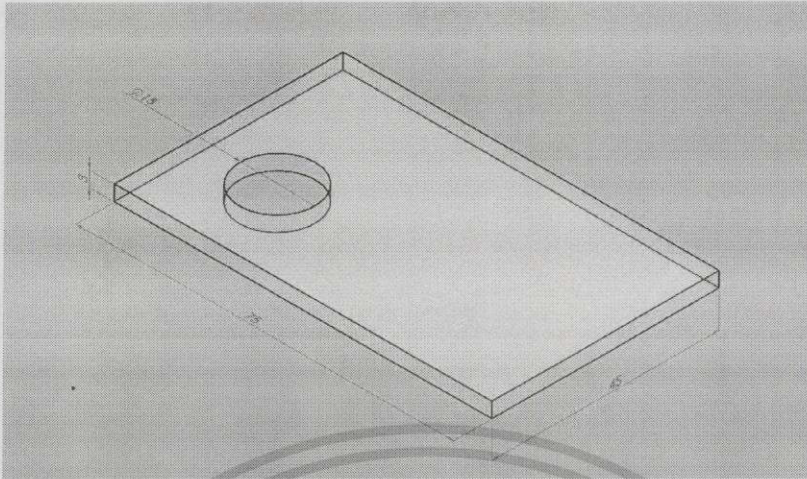


รูปที่ 3.1 ภาพรวมของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

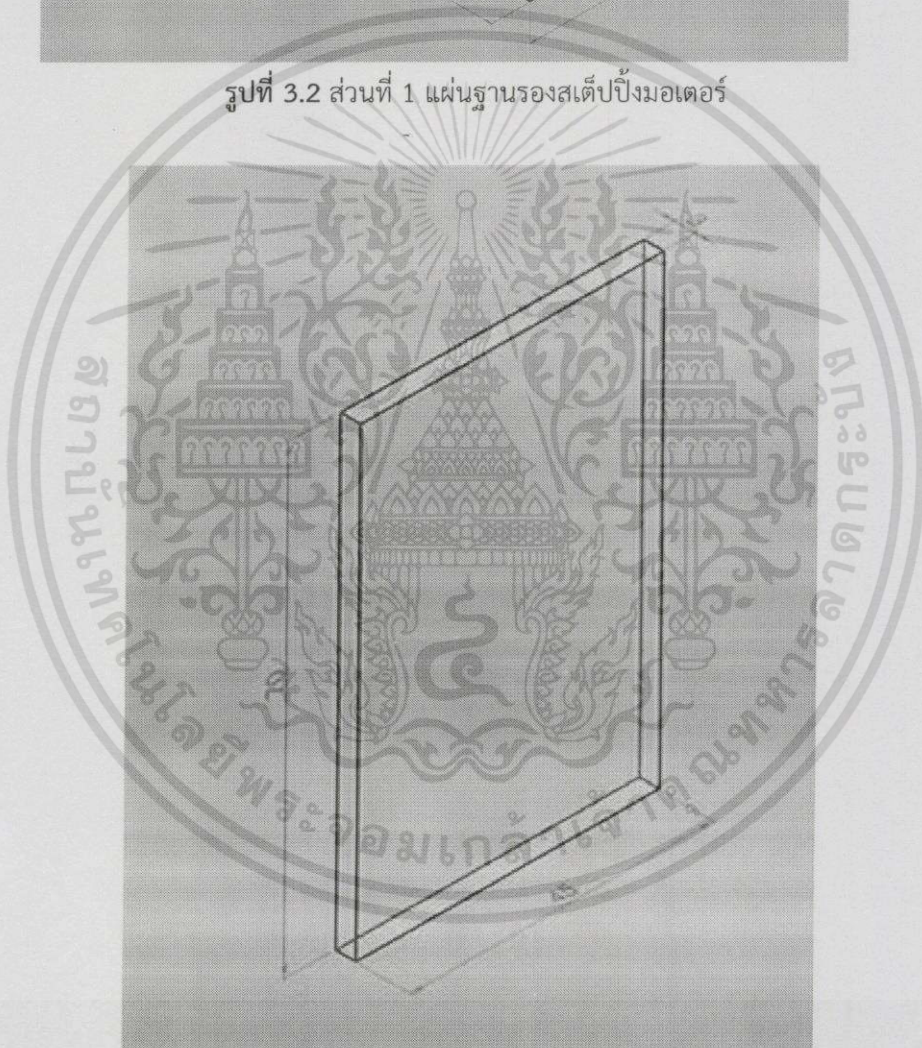
#### 3.2 หัวฉีด

ในส่วนนี้เราเริ่มจากการศึกษาเครื่องจริงและทำการค้นคว้าการใช้โปรแกรมการออกแบบจากสื่อต่างๆ และได้ทำการปรึกษาอาจารย์ เราจึงทำการออกแบบชิ้นส่วน รูปร่างและขนาดโดยใช้โปรแกรม SolidWorks ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

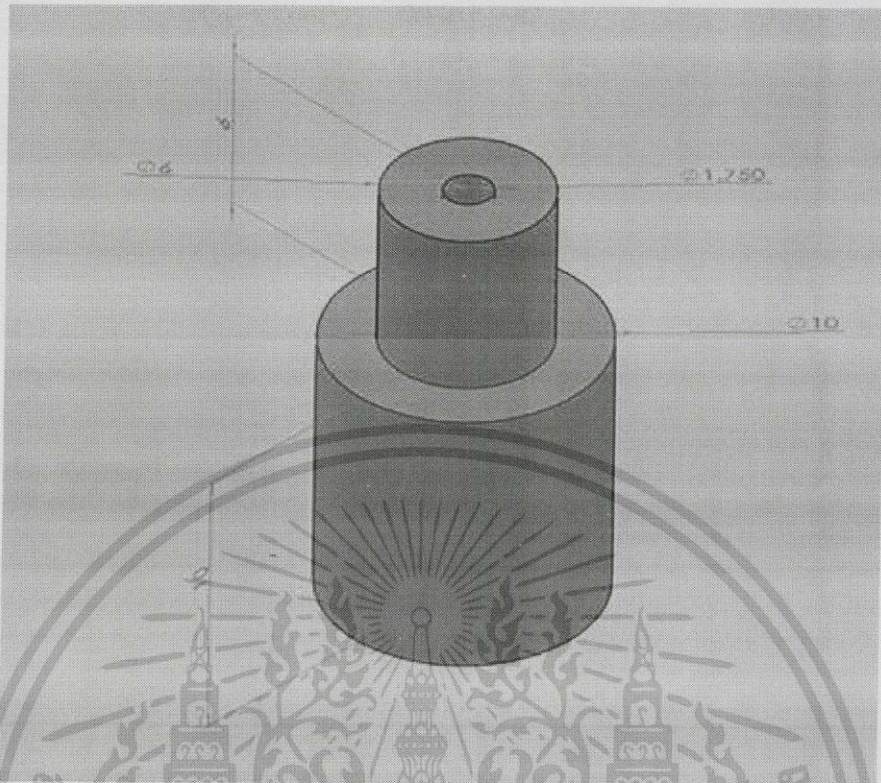


รูปที่ 3.2 ส่วนที่ 1 แผ่นฐานรองสเต็ปป์มอเตอร์

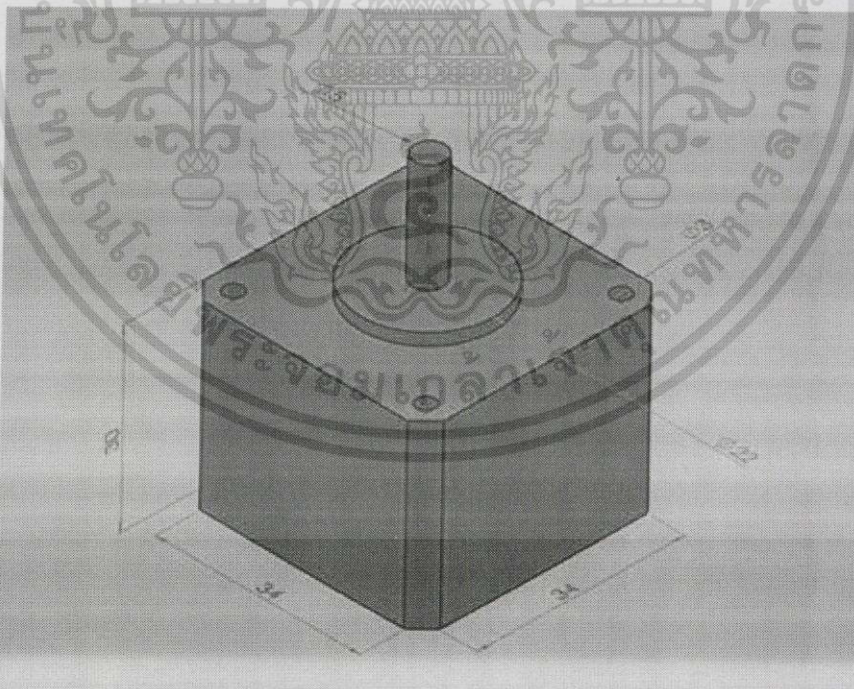


รูปที่ 3.3 ส่วนที่ 2 แผ่นยึดฐานรองสเต็ปป์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



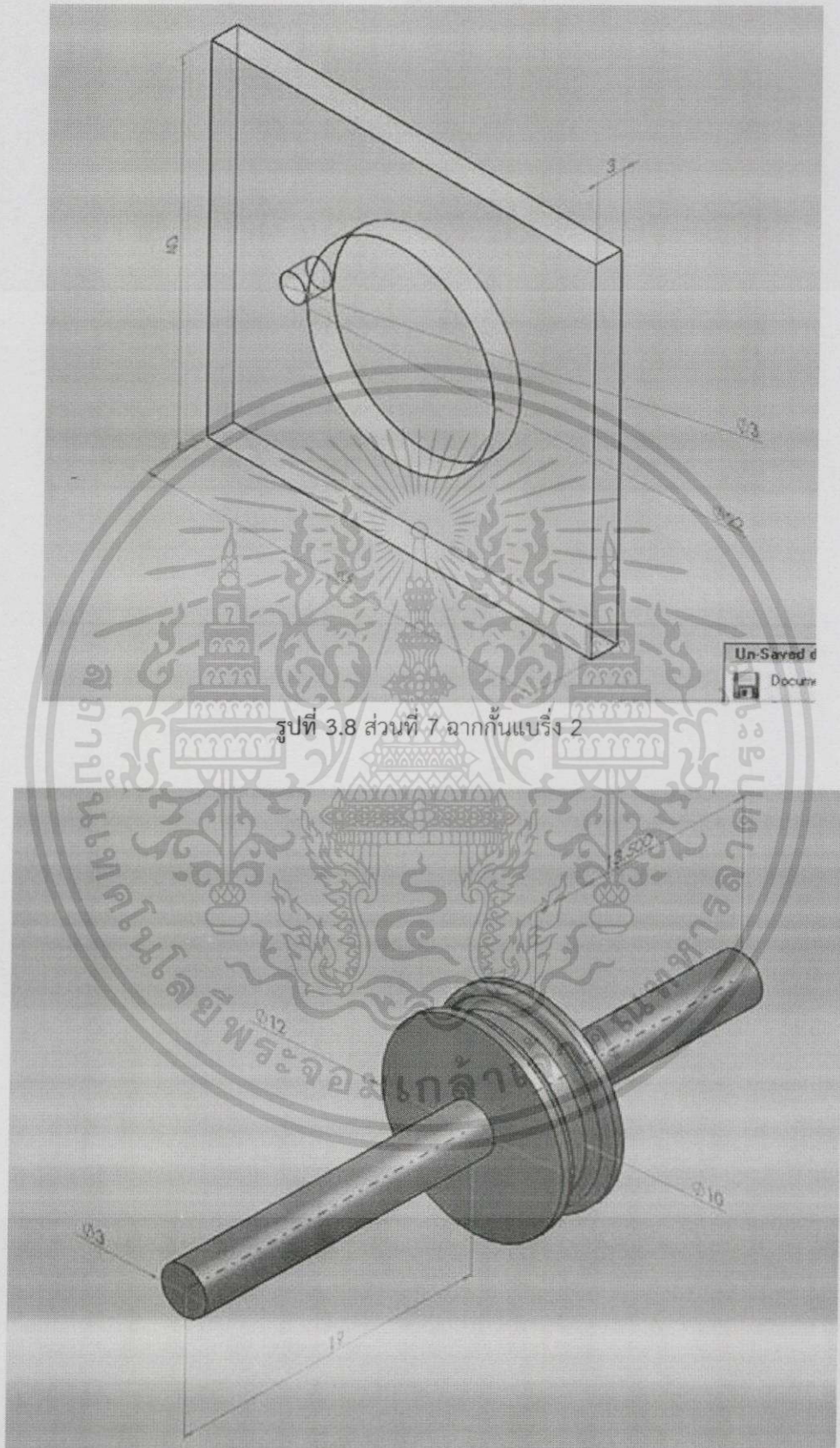
รูปที่ 3.4 ส่วนที่ 3 เกลียว



รูปที่ 3.5 ส่วนที่ 4 สเต็ปปีงมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

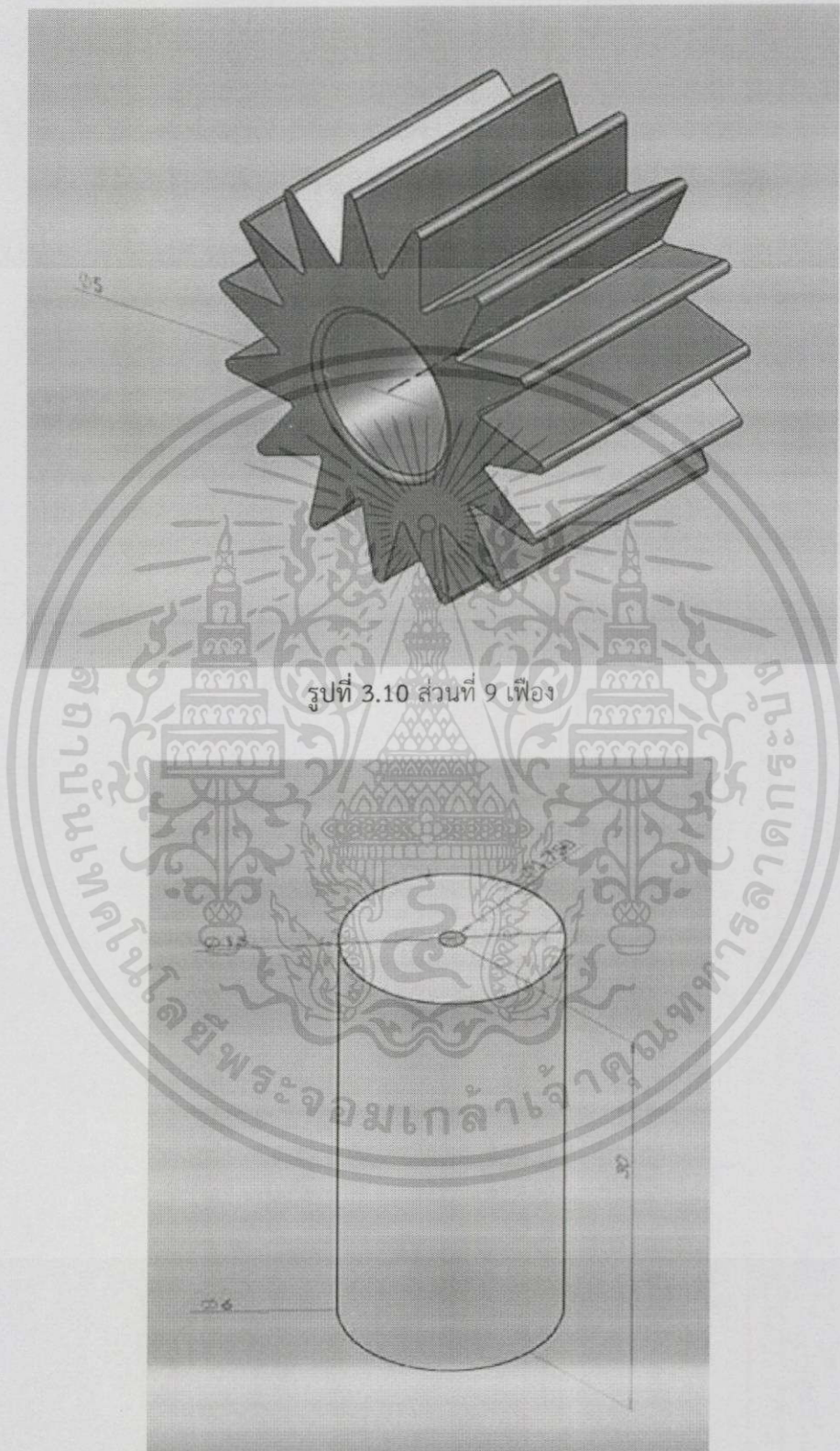




รูปที่ 3.8 ส่วนที่ 7 ฉากกันแบร์ริง 2

รูปที่ 3.9 ส่วนที่ 8 แบร์ริง

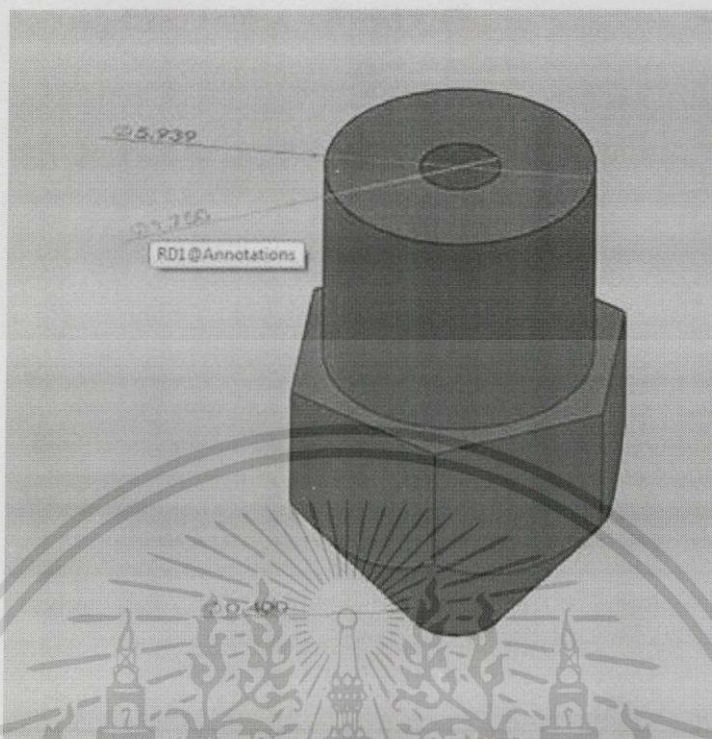
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



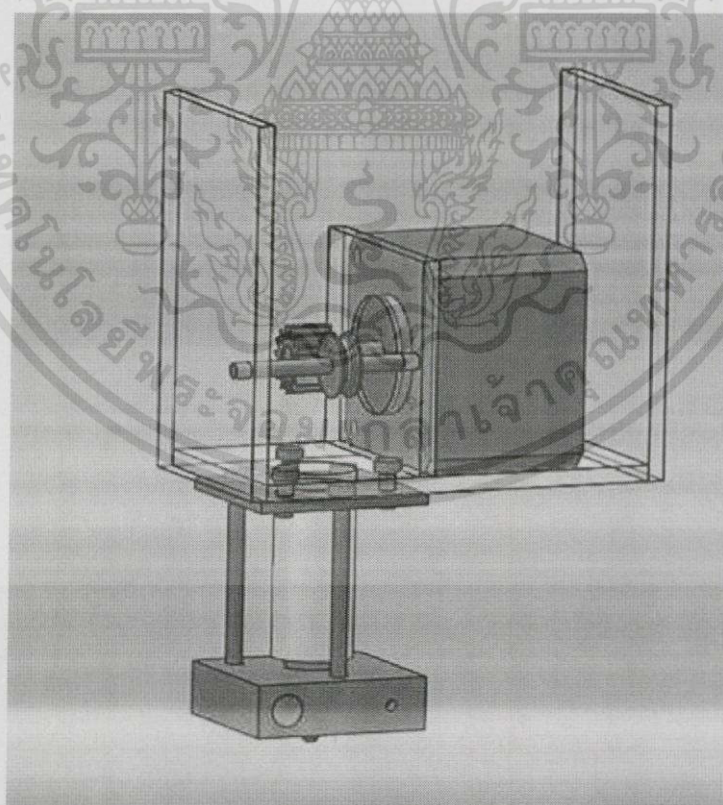
รูปที่ 3.10 ส่วนที่ 9 เฟือง

รูปที่ 3.11 ส่วนที่ 10 เทฟลอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ส่วนที่ 11 หัวฉีด

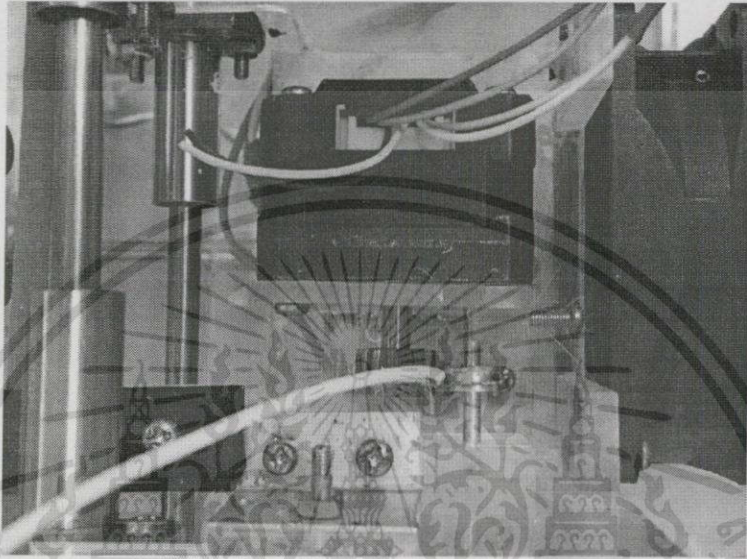


รูปที่ 3.13 ภาพรวมของหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ส่วนควบคุมการป้อนเส้นพลาสติกสู่หัวฉีด

ในส่วนนี้ใช้สแต็ปเปอร์มอเตอร์ควบคุมกลไกเพื่อป้อนเส้นพลาสติกเข้าสู่หัวฉีดร้อน ความเร็วของสแต็ปเปอร์ที่หมุนไปมีผลต่อปริมาณการฉีดพลาสติกออกมาจากหัวฉีด ติดตั้งอยู่บนแผ่นอะคริลิก ซึ่งติดตั้งบนท่อเพลลอนดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ส่วนควบคุมการป้อนเส้นพลาสติก



รูปที่ 3.15 ภาพจริงของหัวฉีด

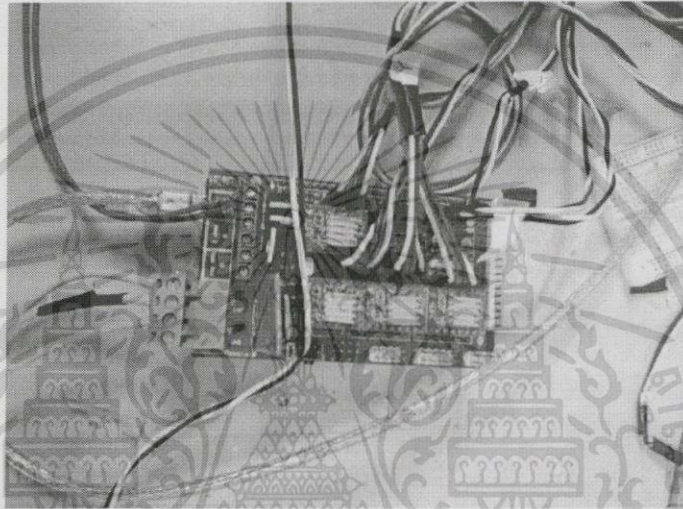
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

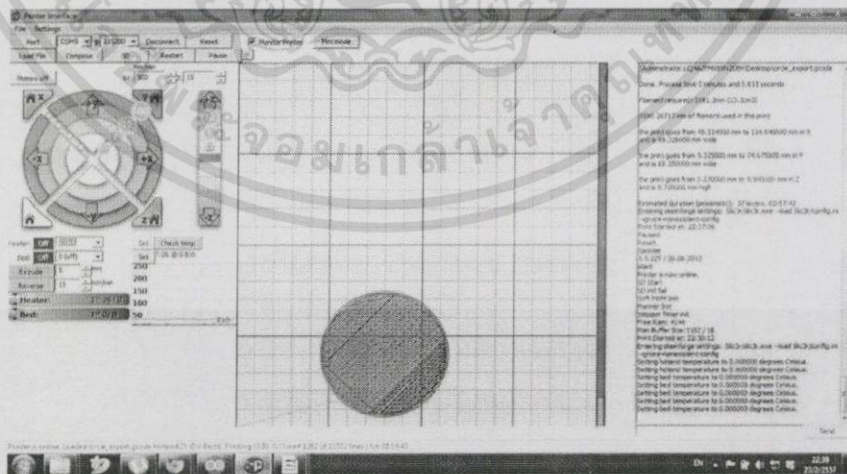
#### 4.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. เชื่อมต่อ Board Arduino Mega 1280 กับตัว Stepping Motor
2. นำสาย USB จาก Board เชื่อมกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.1 Board Arduino Mega 1280

#### 3. เปิดโปรแกรม Pronterface



รูปที่ 4.2 หน้าต่างโปรแกรม Pronterface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กดปุ่ม Connect คอมพิวเตอร์เข้ากับ Board
5. ตั้งค่าต่างๆ ให้เรียบร้อย โดยอุณหภูมิตั้งค่าตามตาราง
6. Load File G-Code
7. สั่ง Print
8. สังเกตลักษณะของพลาสติกและจัดบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการให้อุณหภูมิกับพลาสติกชนิด PLA

Temperature(°C)	Quality of plastic
185	เป็นจุดหลอมเหลวของพลาสติก เมื่อเราให้ความร้อนที่อุณหภูมินี้ การฉีดของพลาสติกยังไหลไม่สมบูรณ์พอ
190	เมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิมาเป็น 190 °C ความร้อนที่เราให้กับพลาสติกยังไม่พอ พลาสติกที่ฉีดออกมา มีอัตราการไหลช้า เราจึงสันนิษฐานว่าความร้อนที่ให้แก่วัสดุไม่เพียงพอ
195	เมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิมาเป็น 195 °C ความร้อนที่ให้แก่วัสดุก็ยังไม่เพียงพอเช่นเดิม
200	เมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิมาเป็น 200 °C พลาสติกที่ไหลออกจากหัวฉีด มีอัตราการไหลคงที่ และเหมาะสมแก่การใช้
205	เมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิมาเป็น 205 °C พลาสติกที่ไหลออกมาจากหัวฉีดนั้นอ่อนตัวมาก ทำให้การแข็งตัวของพลาสติกนั้นไม่คงรูป การแข็งตัวของพลาสติกนั้นไม่คงรูปเหมือนตอนเริ่มฉีดออกมา
210	เมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิมาเป็น 210 °C พลาสติกที่ไหลออกมาจากหัวฉีดนั้นอ่อนตัวมากขึ้น ทำให้การแข็งตัวของพลาสติกนั้นไม่คงรูปเหมือนตอนเริ่มฉีดออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้กระแส 4A และ 5A

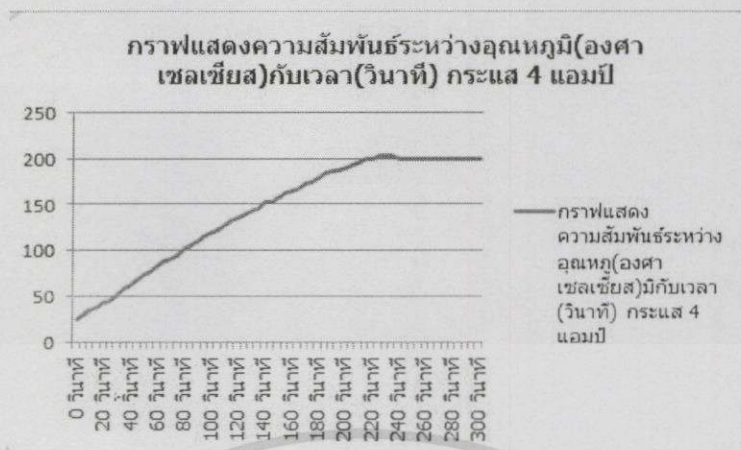
เวลา(วินาที)	อุณหภูมิ(°C)	
	กระแส 4 แอมป์	กระแส 5 แอมป์
0	25	25
5	30	44
10	34	49
15	38	58
20	44	67
25	45	73
30	51	82
35	58	92
40	61	96
45	68	105
50	74	114
55	77	122
60	83	127
65	89	134
70	91	139
75	96	146
80	102	154
85	105	158
90	110	166
95	115	174
100	118	176
105	123	181
110	128	190
115	132	193
120	135	199
125	139	203
130	142	201
135	146	200
140	152	198
145	153	200
150	157	200
155	162	198
160	165	199
165	167	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

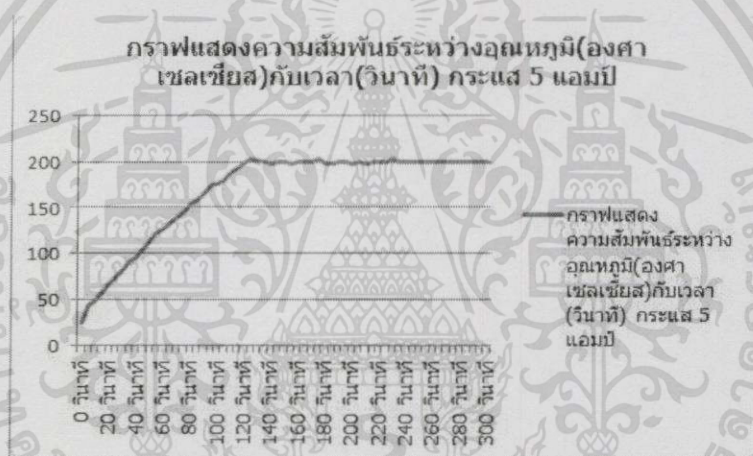
ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้กระแส 4A และ 5A (ต่อ)

เวลา(วินาที)	อุณหภูมิ(°C)	
	กระแส 4 แอมป์	กระแส 4 แอมป์
170	172	200
175	174	202
180	179	197
185	185	198
190	186	200
195	187	200
200	190	198
205	192	200
210	196	198
215	200	199
220	200	200
225	202	200
230	203	202
235	203	200
240	200	200
245	200	200
250	200	200
255	200	200
260	200	200
265	200	200
270	200	200
275	200	200
280	200	200
285	200	200
290	200	200
295	200	200
300	200	200

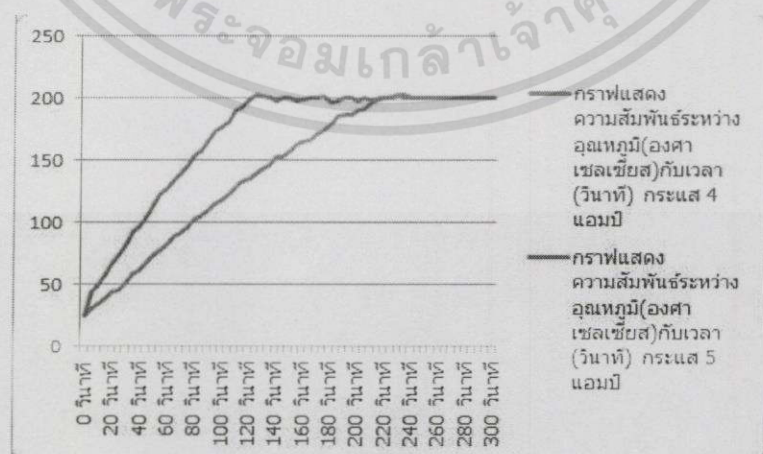
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่กระแส 4 แอมป์



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่กระแส 5 แอมป์



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสที่ใช้ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# บทวิจารณ์และสรุป

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเราสรุปได้ว่าอุณหภูมิ 200°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด ในการให้ความร้อนแก่หัวฉีด ซึ่งถ้าเราให้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 200°C ลักษณะพลาสติกที่ไหลออกจากหัวฉีด มีอัตราการไหลที่ไม่คงที่ และไหลช้า ถ้าเราให้ความร้อนที่สูงกว่าอุณหภูมิ 200°C ลักษณะพลาสติกที่ไหลออกจากหัวฉีดนั้นอ่อนตัวมาก และการแข็งตัวของพลาสติกนั้นไม่คงรูปเหมือนตอนเริ่มฉีดออกมา

### 5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

จากการทำการทดลองพบปัญหา ดังนี้

1. ก่อนที่จะเปลี่ยนตัวส่งพลาสติกไปเป็นเทพลอน เราใช้วัสดุอะลูมิเนียม พอเราให้ความร้อนแก่หัวฉีด เกิดความร้อนไปยังอะลูมิเนียมด้านบน ทำให้พลาสติกหลอมละลายในบริเวณนั้น และไม่สามารถดันพลาสติกลงไปยังหัวฉีดได้

2. มีช่องว่างระหว่างหัวฉีดกับท่อส่งพลาสติกเทพลอน เมื่อเราเริ่มต้นพลาสติกลงไปยังท่อส่งพลาสติก เมื่อเราให้ความร้อนแก่หัวฉีด และเริ่มต้นพลาสติกลงไปยังท่อส่งพลาสติกเทพลอนที่ติดกับหัวฉีด ทำให้พลาสติกเหลวที่หลอมละลาย และไปแทนที่ช่องว่างนั้น ทำให้ดันท่อส่งพลาสติกเทพลอนออกจากหัวฉีด

3. อุณหภูมิที่วัดจากโปรแกรม Pronterface ไม่ตรงกับค่าได้วัดจริงจากเครื่องมือวัด

4. สเตปปีงมอเตอร์ ฟันเฟืองดันพลาสติกไม่ค่อยลง เนื่องจากฟันเฟืองไม่คมพอ

5. เกิดค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิจากสภาพแวดล้อมในบริเวณที่ทำการทดลอง

แนวทางในการแก้ไขปัญหาดังนี้

1. ได้เปลี่ยนตัวส่งพลาสติก จากอะลูมิเนียมมาเป็นพลาสติกเทพลอน ทำให้ไม่เกิดความร้อนบริเวณท่อที่ส่งผ่านพลาสติกไปยังหัวฉีด

2. ทำเกลียวบริเวณหัวพลาสติกเทพลอนที่ติดกับหัวฉีด ทำให้สามารถยึดติดกับหัวฉีดได้มากขึ้น

3. ใช้อุณหภูมิอ้างอิงจากโปรแกรม Pronterface อย่างเดียว

4. ทำฟันเฟืองให้คมมากยิ่งขึ้น โดยการปรับปรุงบริเวณฟันเฟือง ทำให้สามารถดันพลาสติกลงไปได้มากยิ่งขึ้น

5. ใช้อุณหภูมิอ้างอิงที่อุณหภูมิห้อง 25°C

### 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

ทำให้มีหลายหัวฉัดมากขึ้น เพื่อที่จะอัดฉีดได้หลากหลายสี และใช้วัสดุในการทำหัวฉัดที่มีคุณภาพดีกว่าเดิม และเปลี่ยนชนิดพลาสติก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] นายเป็นเอก เพ็งวัน, นายสุริยันต์ โชตะศรี. “ระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนคาน.” ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.
- [2] นายกิตติพงษ์ ผาบหนูดำ, นายจารุเดช โตจำศิลป์. “การลอยตัวของลูกบอลด้วยลมและการควบคุม.” ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2555.
- [3] “Inventor 3D”. [Online]. Available :<http://www.inventor-3d.com/home/> 2014.
- [4] “เครื่องพิมพ์ 3 มิติ”. [Online]. Available :<http://www.donaus.cmxseed.com/main/-3d/218--3-.html> 2013.
- [5] “Electronic”. [Online]. Available :<http://student.nu.ac.th/electronic>
- [6] “Arduino”. [Online]. Available :<http://www.arduino.in.th/> 2014.
- [7] “พลาสติกวิศวกรรม”. [Online]. Available :<http://www.material.co.th/index.php?app=products &op=detail&id=P011>
- [8] “เทฟลอน”. [Online]. Available :<http://th.shop.88db.com/teflon-hdpe/Teflon.20-06>.
- [9] “คุณสมบัติของเทฟลอน”. [Online]. Available :<http://www.thaiplastic2012.com/index.php?mo=3&art=42015139>, 2005.
- [10] “รูปชิ้นงานจากเครื่องพิมพ์ 3มิติ แบบ Photopolymer (Resin)” [Online]. Available :<http://formlabs.com/products/material>. 2013.
- [11] “โฟโต้โพลิเมอร์ (Photopolymer)” [Online]. Available:<http://www.thai3dprint.com/?p=326>. 2014.
- [12] “อะลูมิเนียม” [Online]. Available : <http://www.sincharoenloha.com/158950/อลูมิเนียม>. 2012.
- [13] “คู่มือ NTC thermistors for temperature measurement” [Online]. Available : [http://www.mouser.com/ds/2/136/glass\\_enc\\_sensors\\_b57560\\_g560\\_g156029-9239.pdf](http://www.mouser.com/ds/2/136/glass_enc_sensors_b57560_g560_g156029-9239.pdf).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [14] “คู่มือ Arduino Mega” [Online]. Available :[http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega#.Uyx\\_pPmSy6N](http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega#.Uyx_pPmSy6N). 2014.
- [15] “คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY MEGA1280 (Aduino Mega)” [Online]. Available :<http://www.ett.co.th/product2009/ET-AVR/man-ET-EASY-MEGA1280.pdf>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

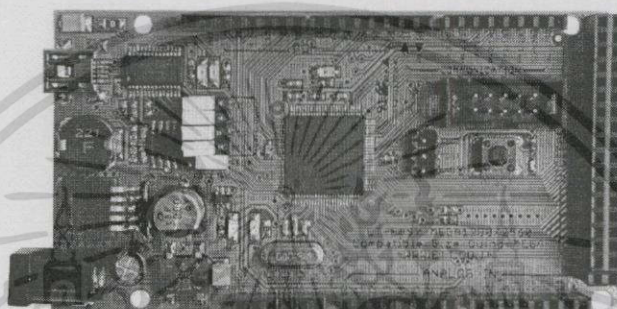
## ภาคผนวก ก

## เอกสารคู่มือการใช้อุปกรณ์

## ก.1 คู่มือการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ Board Arduino Mega 1280

คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY MEGA1280 (Duino Mega) ETT

## ET-EASY MEGA1280 (Duino Mega)

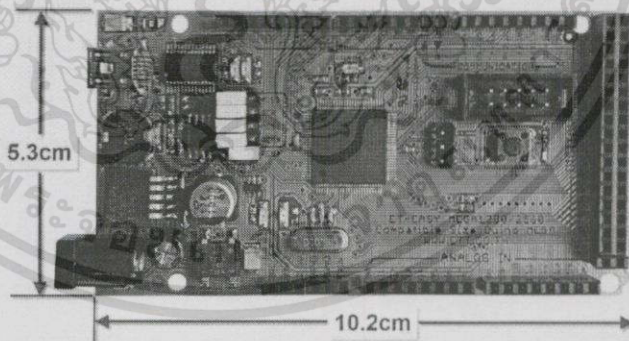


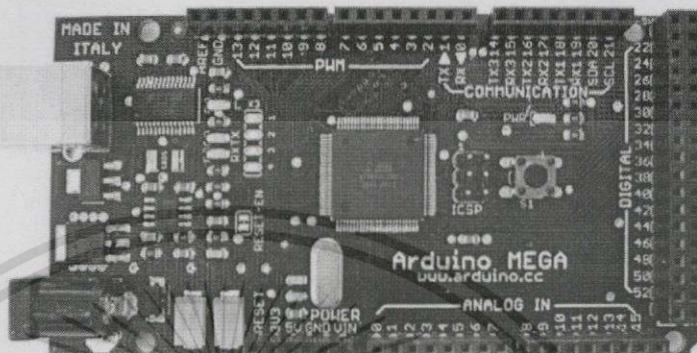
จากการที่ Arduino ที่เป็นโครงการพัฒนาระบบ MCU ของ AVR แบบ Open Source ได้รับการแนะนำเผยแพร่ออกสู่สาธารณะ ซึ่งได้รับความนิยกันอย่างแพร่หลายจากผู้คนทั่วโลก ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว ทางด้านของ Software ก็มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในขณะนี้ (สิงหาคม 2552) โปรแกรมของ Arduino ได้รับการปรับปรุงเป็น Version "arduino-0016" แล้ว โดยทางด้าน Hardware เองก็ได้มีการพัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่องควบคู่กันไปด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่งจากเดิมที่มีการพัฒนาโปรแกรมให้รองรับกับการใช้งานได้กับชิพ MCU รุ่นเล็ก 28 ขา อย่าง ATMEGA8/ATMEGA88/ATMEGA168/ATMEGA328 สลับกับเป็นจุดเริ่มต้นให้ผู้ใช้สนใจได้ใช้เป็นเครื่องมือและอุปกรณ์ในการศึกษาทดลองเรียนรู้ ตลอดจนนำไปประยุกต์ใช้งานกันนั้น มาถึงวันนี้ ขนาดของทรัพยากรต่างๆ รวมทั้งขนาดของหน่วยความจำ สำหรับเขียนโปรแกรม ที่มีอยู่ในชิพ AVR รุ่นเล็กที่มีอยู่เริ่มไม่เพียงพอกับการประยุกต์ใช้งานในงานบางประเภทแล้ว ทาง Arduino เอง จึงได้ทำการพัฒนาให้ Arduino สามารถรองรับการใช้งานขนาดใหญ่ขึ้นอีก โดยปรับปรุงโปรแกรมให้ใช้กับชิพ AVR รุ่นใหญ่ขึ้น เพื่อให้มีจำนวน I/O ทั้ง Digital, Analog, PWM, UART และ ขนาดหน่วยความจำเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม แต่ก็ยังคงใช้แนวทางในการพัฒนาโปรแกรม แบบเดียวกันกับรุ่นเล็กทุกประการ โดยได้เลือกใช้ชิพ AVR เบอร์ ATMEGA1280 และออกแบบพัฒนา Hardware บอร์ดขึ้นมารองรับ โดยให้รหัสชื่อรุ่นว่า "Arduino Mega" ออกวางจำหน่าย และได้มีการเผยแพร่รายละเอียดทาง Hardware ต่างๆ ให้ผู้สนใจนำไปพัฒนาต่อยอดกันได้อีก แต่เนื่องจากชิพดังกล่าวมีโครงสร้างติดตั้งเป็นแบบ SMD จึงทำให้เป็นอุปสรรคสำหรับผู้ใช้งานจำนวนมากไม่ถนัดในการที่จะผลิตหรือสร้างบอร์ดขึ้นใช้งานเอง

ทาง ETT ที่ จึงได้นำ ATMEGA1280 มาพัฒนาเป็นบอร์ด โดยให้มีโครงสร้างการทำงานเช่นเดียวกันกับ Arduino Mega ขึ้นมา โดยให้ชื่อว่า "ET-EASY MEGA1280" โดยได้ออกแบบให้มีการจัดสรร Pin I/O ต่างๆ รวมทั้งขนาดให้ตรงตามมาตรฐานของบอร์ด "Arduino Mega" เพียงแต่ได้มีการปรับปรุงข้อจำกัดบางอย่างให้ดีขึ้นกว่า Arduino Mega รุ่นมาตรฐาน เพื่อเพิ่มความสะดวกกับผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น

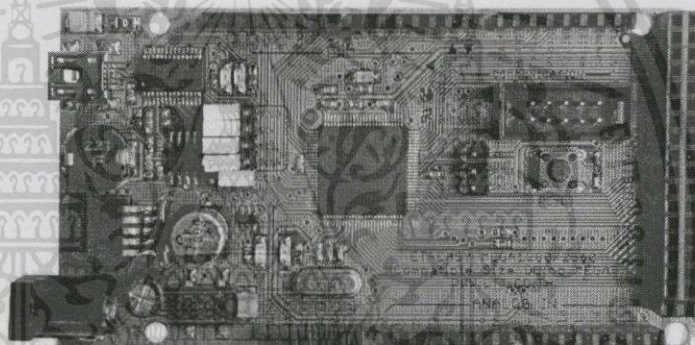
### คุณสมบัติของบอร์ด

- ใช้ ATMEGA1280 เป็น MCU ประจำบอร์ด Run ความถี่ 16MHz จาก Crystal Oscillator
- 128KByte Flash(สงวนไว้ 4KByte สำหรับ Bootloader) / 8KByte SRAM / 4KByte EEPROM
- รองรับการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C++ ของ Arduino ตามแบบ Arduino Mega ได้ 100%
- ใช้ USB Bridge ของ FTDI เบอร์ FT232RL พร้อม Over Current Protection สำหรับติดต่อสื่อสาร และ Download Code จากคอมพิวเตอร์ให้บอร์ด พร้อม Jumper สำหรับปรับใช้งานบอร์ดเป็นการ Program Bootloader ให้กับ MCU จากพอร์ต USB ในบอร์ดได้เอง โดยไม่ต้องใช้เครื่องโปรแกรม AVRISP จากภายนอก
- 54 Pin Digital I/O โดยมี 14Pin สามารถโปรแกรมหน้าที่เป็น PWM ได้
- 16 Pin Analog Input (ADC ขนาด 10 บิต 16 ช่อง)
- 4 UART(Hardware Serial Port) แบบ TTL Logic
- ขนาดของ PCB บอร์ด และ ตำแหน่ง Pin Connector ต่างๆ ตรงกันกับ Arduino Mega ทั้งหมด ทำให้สามารถนำไปติดตั้งใช้งานร่วมกับบอร์ด Shield แบบต่างๆที่มีการผลิตขึ้นมาใช้งานร่วมกับบอร์ด Arduino Mega ได้ทั้งหมด โดยบอร์ดมีขนาด PCB Size 5.3cm x 10.2cm
- มีหัว Header 10Pin IDE ของ 8 บิต Digital I/O(D22...D29) สำหรับเชื่อมต่อกับ LCD หรือ บอร์ด I/O แบบต่างๆ ของ อีทีที เพิ่มความสะดวกในการใช้งาน
- รองรับการใช้งานกับ External Supply ทั้งแบบ AC และ DC ขนาด 7-20V โดยเลือกใช้ Regulate แบบ Switching ขนาด 1A (LM2575-5V) ลดปัญหาเรื่องความร้อนเมื่อมีการใช้กระแสสูงๆ สามารถใช้แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB ได้ในกรณีใช้กระแสไม่เกิน 500mA โดยมีวงจรเลือกแหล่งจ่ายอัตโนมัติ โดยจะตัดการใช้ไฟเลี้ยงจาก USB โดยอัตโนมัติ เมื่อมีการต่อแหล่งจ่ายจากภายนอกให้บอร์ด



คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY MEGA1280 (Duino Mega) **ETT****ความแตกต่างระหว่าง Arduino Mega กับ ET-EASY MEGA1280(Duino Mega)**

รูปแสดง ลักษณะของบอร์ด Arduino Mega

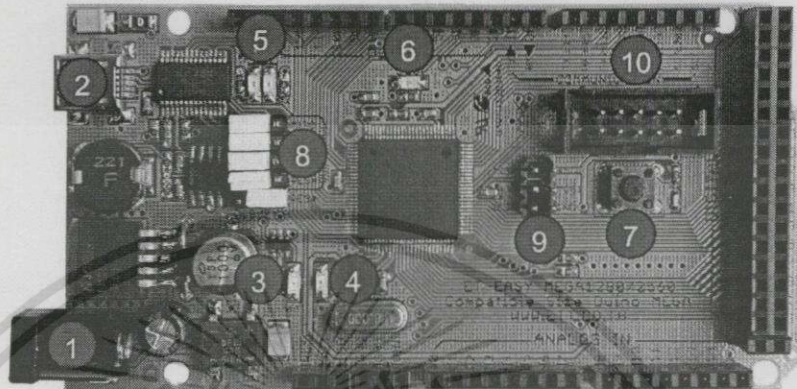


รูปแสดง ลักษณะของบอร์ด ET-EASY MEGA1280

1. วงจรภาค Supply ของบอร์ด ET-EASY MEGA1280 ปรับปรุงให้ใช้วงจร Bridge Rectifier และ ใช้ Switching Regulate ทำให้สามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายทั้งแบบ AC และ DC โดยไม่จำกัดขั้วไฟฟ้า และ ช่วยลดความร้อนที่เกิดจากไอซี Regulate ได้เป็นอย่างมาก ในขณะที่วงจร Arduino Mega ใช้ Half wave Rectifier ซึ่งต้องใช้กับ DC Adapter แบบ แกนโน เป็น ขั้วบวกเท่านั้น และใช้ไอซี Regulate ธรรมดา ซึ่งจะเกิดความร้อนสูงกว่าเมื่อต้องจ่ายกระแสหลายๆ
2. บอร์ด ET-EASY MEGA1280 ออกแบบให้มีระบบ Jumper สำหรับใช้ทำหน้าที่เป็นตัวเลือกการทำ Auto Reset และการ Program Bootloader ด้วย FTDI BitBang ได้ให้ด้วยทำให้มีความสะดวกมากขึ้นในการใช้งาน ในขณะที่ Arduino Mega ต้องใช้การต่อสาย Jump เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โครงสร้างบอร์ด ET-EASY MEGA1280 (Duino Mega)

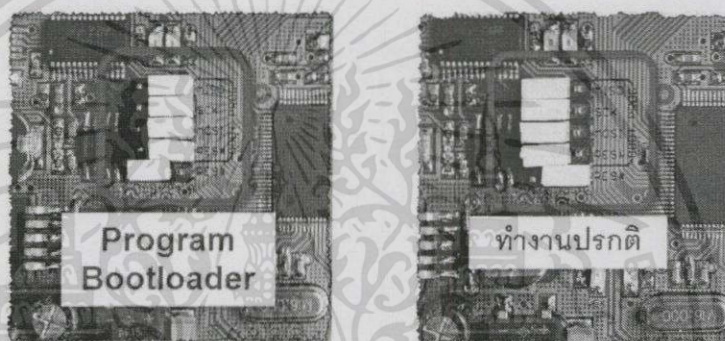


รูปแสดง โครงสร้างของบอร์ด ET-EASY MEGA1280 (Duino MeGA)

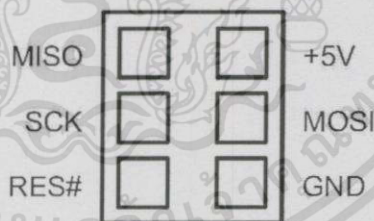
- หมายเลข 1 คือ ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงจากภายนอก สามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายทั้งแบบ AC และ DC พร้อมวงจร Bridge Rectifier และ Regulate แบบ Switching ช่วยลดความร้อนของ IC Regulate เมื่อมีการดึงกระแสมากได้เป็นอย่างดี สามารถใช้กับแรงดัน Input 7-20V
- หมายเลข 2 เป็นขั้วต่อ USB สำหรับติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ PC โดยใช้ FT232RL เป็น USB Bridge ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ PC และ MCU ในบอร์ด และยังสามารถใช้ไฟจาก พอร์ต USB เป็นแหล่งจ่ายให้กับบอร์ดได้ด้วย โดยจะมี Poly Fuse ขนาด 500mA สำหรับป้องกันการดึงกระแสเกินจากพอร์ต USB ด้วย และที่พิเศษคือมีวงจรสำหรับตรวจสอบแหล่งจ่ายเพื่อสลับการใช้งานแหล่งจ่ายจาก USB ไปเป็น External Supply ได้เอง โดยอัตโนมัติ โดยเมื่อไม่ได้ต่อ External Supply บอร์ดจะใช้ไฟจากพอร์ต USB เป็นแหล่งจ่ายในการทำงาน แต่เมื่อมีการต่อ External Supply งบจะสลับไปใช้แหล่งจ่ายจาก External Supply เองโดยอัตโนมัติ
  - LED +VCC ให้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟให้กับบอร์ด
  - LED VEXT ให้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟจาก External Supply
- หมายเลข 3 เป็น LED VEXT ให้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟเลี้ยงจาก External Supply
- หมายเลข 4 เป็น LED +VCC ให้แสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง (+VCC) ของบอร์ด โดยเมื่อบอร์ดใช้แหล่งจ่ายจาก External Supply จะแสดงสถานะโดยการให้ LED VEXT และ LED +VCC ติดสว่างพร้อมกันทั้งคู่ แต่ถ้าบอร์ดใช้แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB จะแสดงสถานะโดยการให้ LED +VCC ติดสว่างเพียงดวงเดียว

### คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY MEGA1280 (Duino Mega) **ETT**

- หมายเลข 5 เป็น LED แสดงสถานะของ RX และ TX ใช้สำหรับแสดงการรับส่งข้อมูลระหว่างบอร์ด ET-EASY MEGA1280 กับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ต USB
- หมายเลข 6 เป็น LED D13 ใช้สำหรับทดสอบการทำงานของ Bootloader และ ใช้ทดสอบการทำงานของบอร์ดจากการควบคุมของ Pin Digital-13 ทำงานด้วย Logic "1" และ หยุดทำงานด้วย Logic "0"
- หมายเลข 7 เป็นสวิตช์ Reset ใช้สำหรับสั่ง Reset การทำงานของบอร์ด
- หมายเลข 8 เป็นชุด Jumper สำหรับเลือก การ Program Bootloader ผ่าน USB Port และ การใช้งานตามปกติ

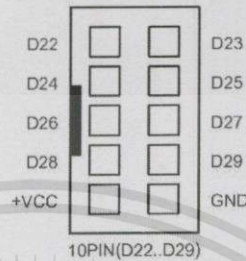


- หมายเลข 9 เป็นขั้วต่อ AVRISP ใช้สำหรับ Download Code ให้กับ MCU โดยขั้วต่อ AVRISP นี้จะสามารถใช้งานได้กับเครื่องโปรแกรมพื้นฐานที่รองรับการใช้งานกับ ATMEGA1280 และใช้ขั้วต่อตรงตามมาตรฐาน AVRISP ดังรูป

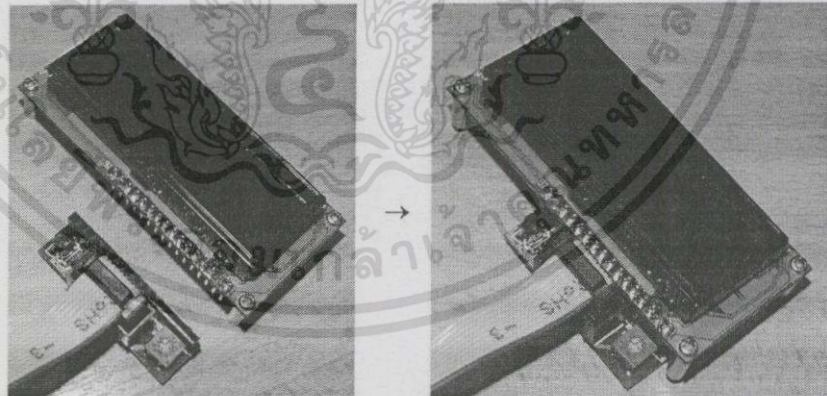
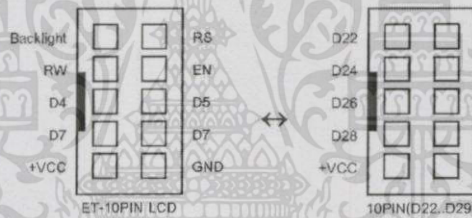


คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY MEGA1280 (Duino Mega) **ETT**

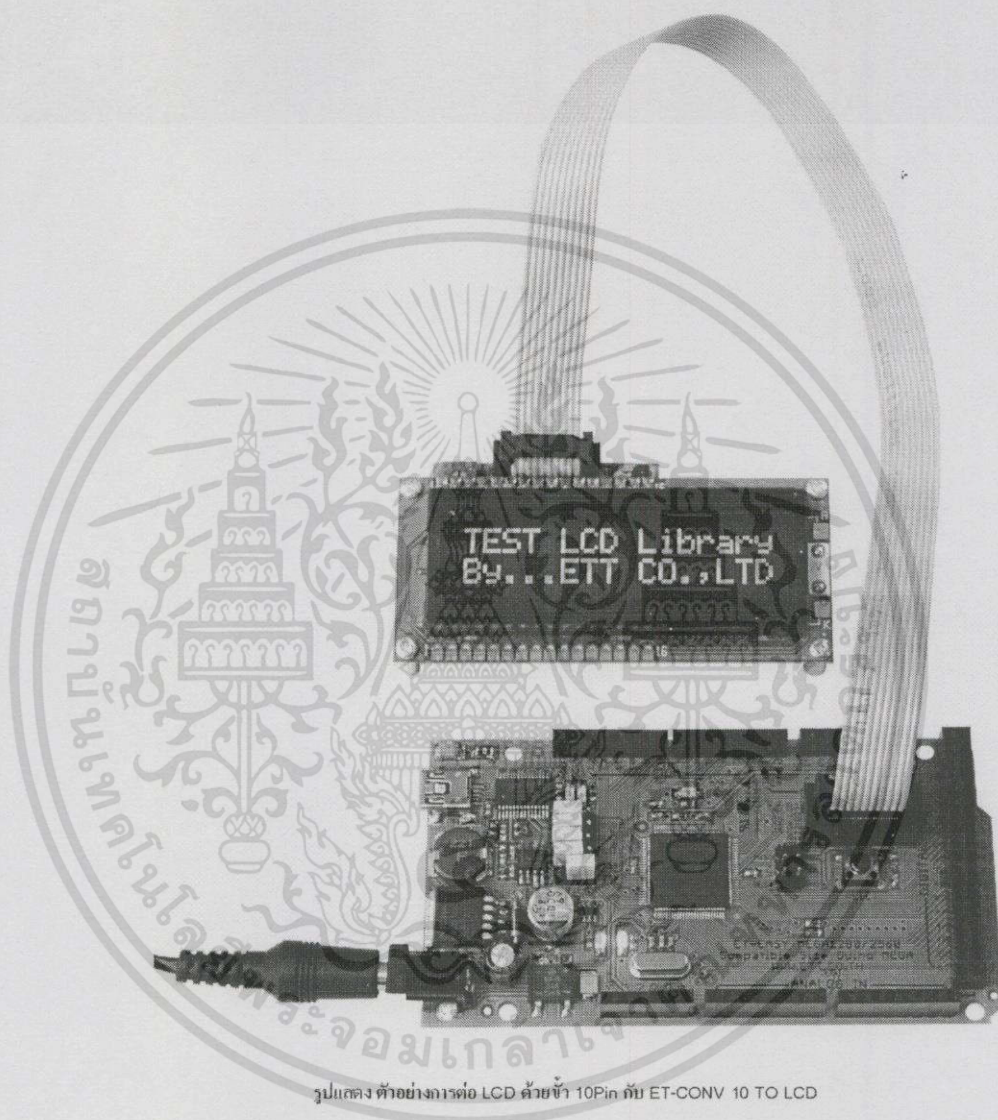
- หมายเลข 10 เป็นหัวต่อสัญญาณจาก D[22..29] สำหรับเชื่อมต่อกับบอร์ด I/O ของ อีทีที รวมทั้งจอแสดงผล LCD โดยใช้ร่วมกับ 10PIN LCD หรือ ET-CONV SPI TO LCD



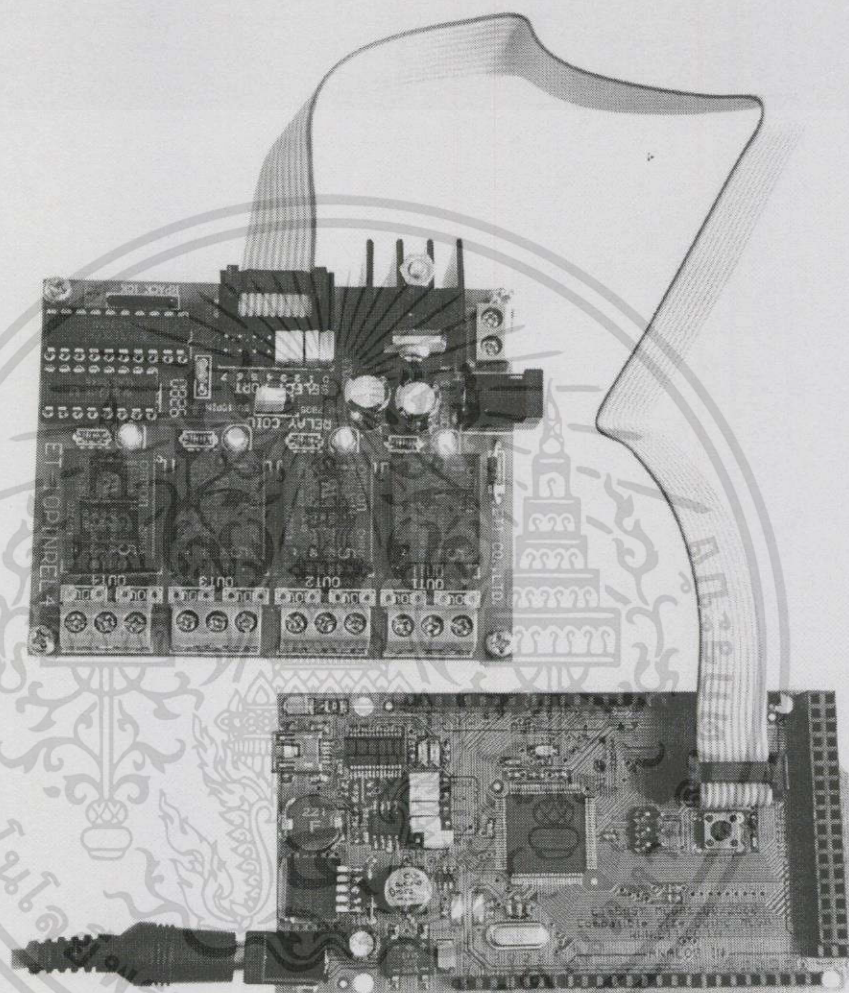
โดยในกรณีที่ต้องการนำหัวต่อ 10PIN ไปเชื่อมต่อเพื่อใช้ควบคุมการแสดงผลของ LCD นั้น เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ขอแนะนำให้จัดหาชุด ET-10PIN CLCD (ET-CONV 10 TO LCD) มาเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่าง หัว IDE 10PIN ของบอร์ด ET-EASY MEGA1280 ดังตัวอย่างโดยเมื่อนำ LCD มาติดตั้งเข้ากับชุด ET-10PIN CLCD เรียบร้อยแล้วจะทำให้สามารถเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างหัว ET-10PIN CLCD กับ 10PIN ได้โดยง่าย โดยใช้การเชื่อมต่อผ่านทางสายแพร 10PIN ได้ทันทีดังตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



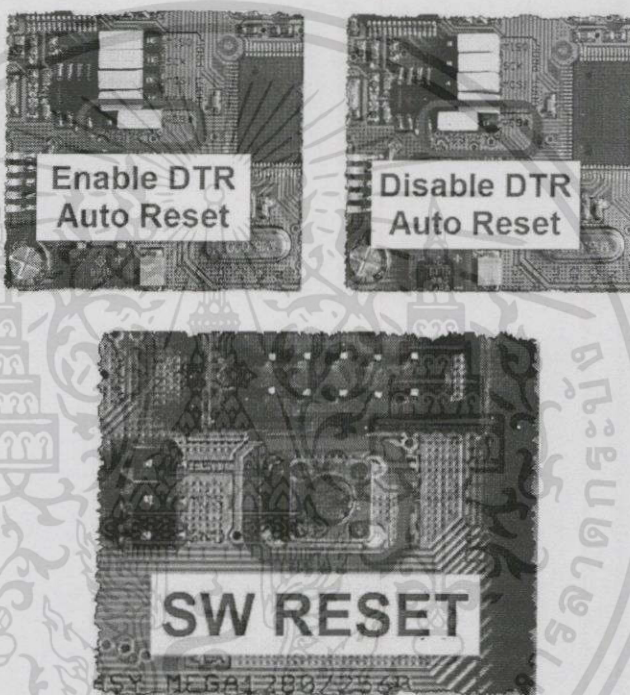
รูปแสดง ตัวอย่างการต่อ LCD ด้วยขั้ว 10Pin กับ ET-CONV 10 TO LCD



รูปแสดง ตัวอย่างการต่อ บอร์ด I/O ของ อีทีที ด้วยขั้ว 10Pin

## คุณสมบัติของสัญญาณต่างๆของบอร์ด ET-EASY MEGA1280

- RESET# เป็นสัญญาณ Input Logic Reset ของ MCU เมื่อเป็น Logic Low จะทำให้ MCU อยู่ในสถานะรีเซ็ต เมื่อเป็น Logic High จะทำให้ MCU อยู่ในสถานะทำงานตามปกติ โดยสัญญาณ RESET# นี้จะถูกควบคุมจาก 2 แหล่ง คือ จาก สวิตช์ RESET ภายใบบอร์ด และ จากสัญญาณ DTR ของ FT232RL ถ้ามีการเลือก Enable Jumper ของ Auto Reset จาก DTR ได้



- +3V3 เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาด +3.3V ที่ได้จากวงจร Regulate ภายใบบอร์ด FT232RL สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 50mA ซึ่งเมื่อต้องการนำแหล่งจ่าย +3.3V นี้ไปใช้งานเป็นแหล่งจ่ายให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ต้องระมัดระวังเรื่องการดึงกระแสของโหลดด้วย ถ้าโหลดมีการดึงกระแสมากกว่า 50mA อาจทำให้ FT232RL เกิดความเสียหายได้
- +VIN เป็นไฟ DC ที่รับมาจาก Jack VIN(External Supply) แต่ผ่านการ Rectifier และ Filter เป็น DC แล้ว มีขนาดแรงดันเฉลี่ยตามขนาดแรงดันที่ป้อนให้กับบอร์ดทาง Jack VIN

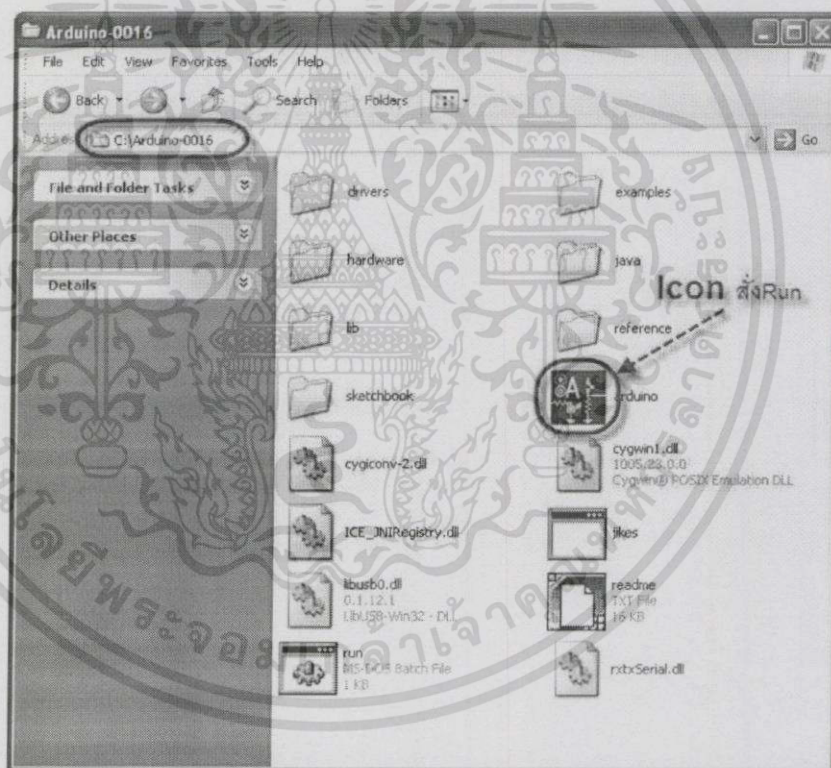
คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY MEGA1280 (Duino Mega) **ETT**

- +5V เป็นจุดต่อแหล่งจ่ายไฟของบอร์ดออกไปใช้งาน ซึ่งมาจากแหล่งกำเนิด 2 แหล่ง คือ จากพอร์ต USB และจาก External Supply ซึ่งถ้าต่อแหล่งจ่ายให้บอร์ดจาก External Supply ผ่านทาง Jack VIN แหล่งจ่าย +5V นี้จะมาจาก Switching Regulate (LM2575-5V) สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดถึง 1A แต่ถ้าใช้แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB แหล่งจ่าย +5V นี้จะมาจากพอร์ต USB โดยตรงโดยจะมีฟิวส์ แบบ Poly ขนาด 500mA ต่อบริเวณการตั้งกระแสเกินเพื่อป้องกันความเสียหายของพอร์ต USB โดยจะจ่ายกระแสได้สูงสุดไม่เกิน 500mA ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการจ่ายกระแสของพอร์ต USB และการ Configure ค่าให้กับ FT232RL ด้วย
- A0-A15 เป็นาสัญญาณ Analog Input แบบ ADC มีขนาดความละเอียด 10บิต มี 16 Pin สามารถรับแรงดัน Analog Input ได้ 0-5VDC
- D0-D53 เป็นาสัญญาณ Digital Input/Output แบบ TTL มีทั้งหมด 64 Pin สามารถใช้ทำหน้าที่เป็น Input หรือ Output ตามการกำหนดจากโปรแกรม โดยมีบาง Pin สามารถกำหนดหน้าที่ใช้งานเป็นฟังก์ชันพิเศษต่างๆเพิ่มเติมได้อีก
  - D0-D1 ถูกสงวนไว้ให้ทำหน้าที่เป็นพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 (UART0) โดยได้ทำการเชื่อมต่อกับ USB Bridge ของ FT232RL เพื่อให้ Upload Code ให้กับบอร์ด และยังสามารทำให้ทดลองติดต่อสื่อสารรับส่งข้อมูลระหว่างบอร์ดกับคอมพิวเตอร์ PC ได้ด้วย
  - D2-D13 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น PWM ขนาด 8 บิต มี 14 Pin ได้
  - D14 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น TX3 สำหรับ ส่งข้อมูลของ UART3 ได้ด้วย
  - D15 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น RX3 สำหรับ รับข้อมูลให้กับ UART3 ได้ด้วย
  - D16 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น TX2 สำหรับ ส่งข้อมูลของ UART2 ได้ด้วย
  - D17 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น RX2 สำหรับ รับข้อมูลให้กับ UART2 ได้ด้วย
  - D18 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น TX1 สำหรับ ส่งข้อมูลของ UART1 ได้ด้วย
  - D19 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น RX1 สำหรับ รับข้อมูลให้กับ UART1 ได้ด้วย
  - D20 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น SDA ของ I2C Bus สำหรับ ใช้สื่อสารกับ I2C ได้ด้วย
  - D21 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น SCL ของ I2C Bus สำหรับ ใช้สื่อสารกับ I2C ได้ด้วย
- AREF เป็นสัญญาณ Analog Reference จากภายนอกที่ต้องการป้อนให้กับ MCU ซึ่งตามปรกติแล้ว ATMEGA1280 สามารถโปรแกรมให้เลือกใช้แรงดันอ้างอิงจากภายในได้อยู่แล้วโดยสามารถเลือกเป็น 1.1V หรือ 2.56V หรือ AVCC(+5V) โดยไม่จำเป็นต้องป้อนแรงดันอ้างอิงจากภายนอกให้กับบอร์ดอีก แต่ถ้าต้องการแรงดันอ้างอิงที่มีความแตกต่างจากที่กล่าวมาแล้วก็สามารถป้อนเป็นแรงดันอ้างอิงจากภายนอกผ่านทางขา AREF นี้เข้าไปเองได้ระหว่าง 0-5V

## การติดตั้งโปรแกรม Arduino

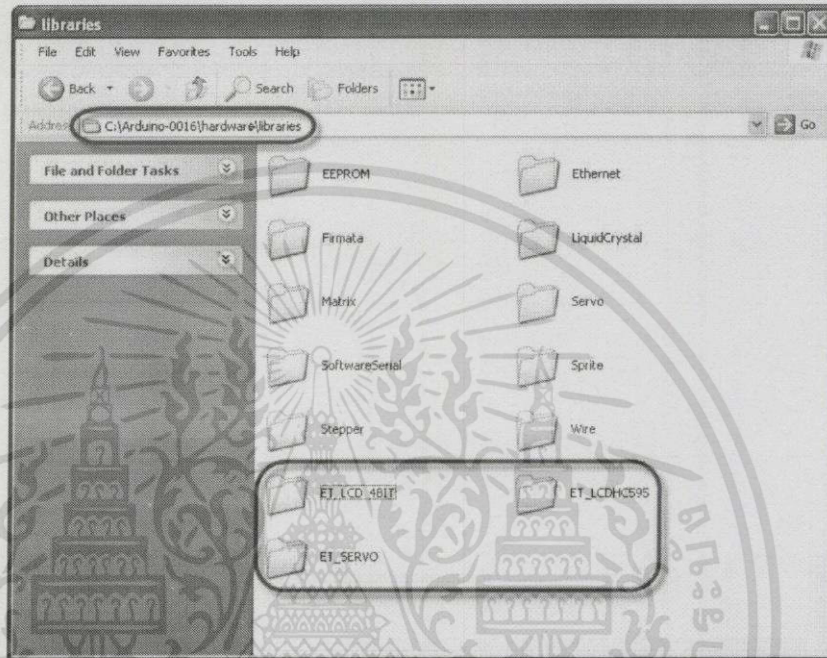
สำหรับโปรแกรม Arduino นั้น ได้รับการพัฒนาขึ้นมาให้สามารถใช้งานกับระบบปฏิบัติการแบบต่างๆ ได้หลาย Platform ซึ่งปัจจุบัน (เดือน สิงหาคม พ.ศ.2552) โปรแกรมของ Arduino ได้รับการปรับปรุงเป็นรุ่น เวอร์ชัน "Arduino-0016" แล้ว โดยมีโปรแกรมให้เลือกใช้งาน 4 Platform ทั้ง Windows, Mac OSx และ Linux โดยผู้อ่านสามารถเข้าไป ตรวจสอบ หรือ Download โปรแกรมรุ่นใหม่ๆ ของ Arduino มาใช้งาน ได้ฟรีโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ จาก "<http://arduino.cc>" หรือ "<http://arduino.cc/en/Main/Software>" ซึ่งเป็นเว็บไซต์ที่รวบรวมรายละเอียดและข่าวคราวความเคลื่อนไหวต่างๆ เกี่ยวกับ Arduino มากมาย ซึ่งข้อมูลต่างๆ จะได้รับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ

โดยในการติดตั้งโปรแกรมของ Arduino นั้นให้ทำการ Unzip แล้ว Copy ไปติดตั้งไว้ในตำแหน่งไฟล์เดอร์ "c:\arduino-0016" ดังตัวอย่าง



คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY MEGA1280 (Duino Mega) **ETT**

ให้ทำการ Copy ไฟล์เตอร์ Library ต่างๆ ของ อีทีที ในแผ่น CD-ROM เพิ่มเข้าไปในโฟลเดอร์ที่ได้ทำการติดตั้งโปรแกรม Arduino ให้คือ "c:\Arduino-0016\hardware\Library" ดังรูป

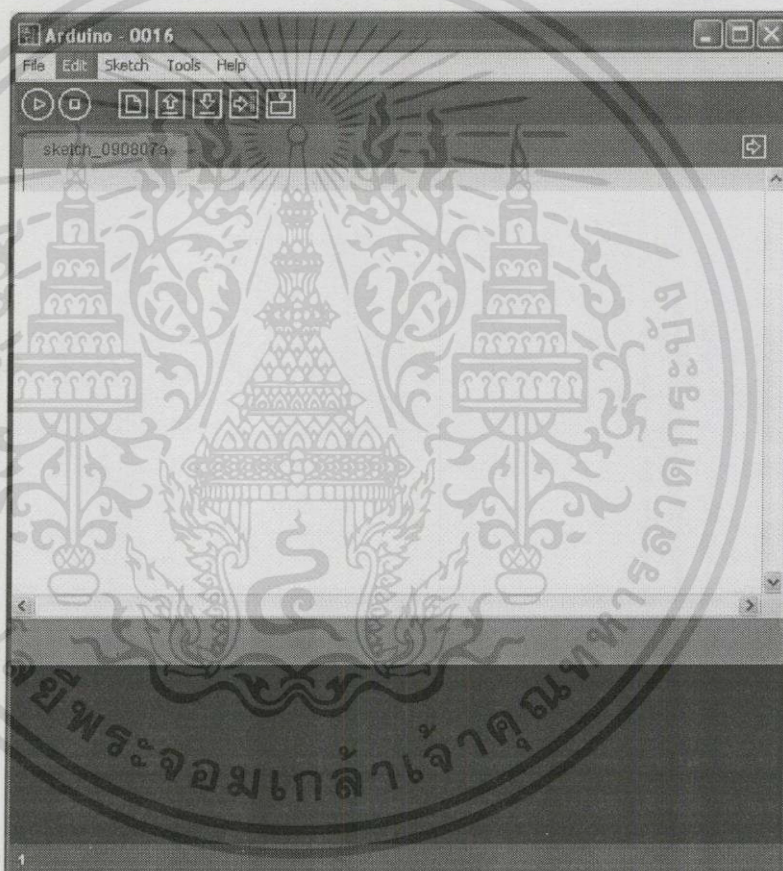


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ทดสอบเขียนโปรแกรมใช้งานด้วย Arduino

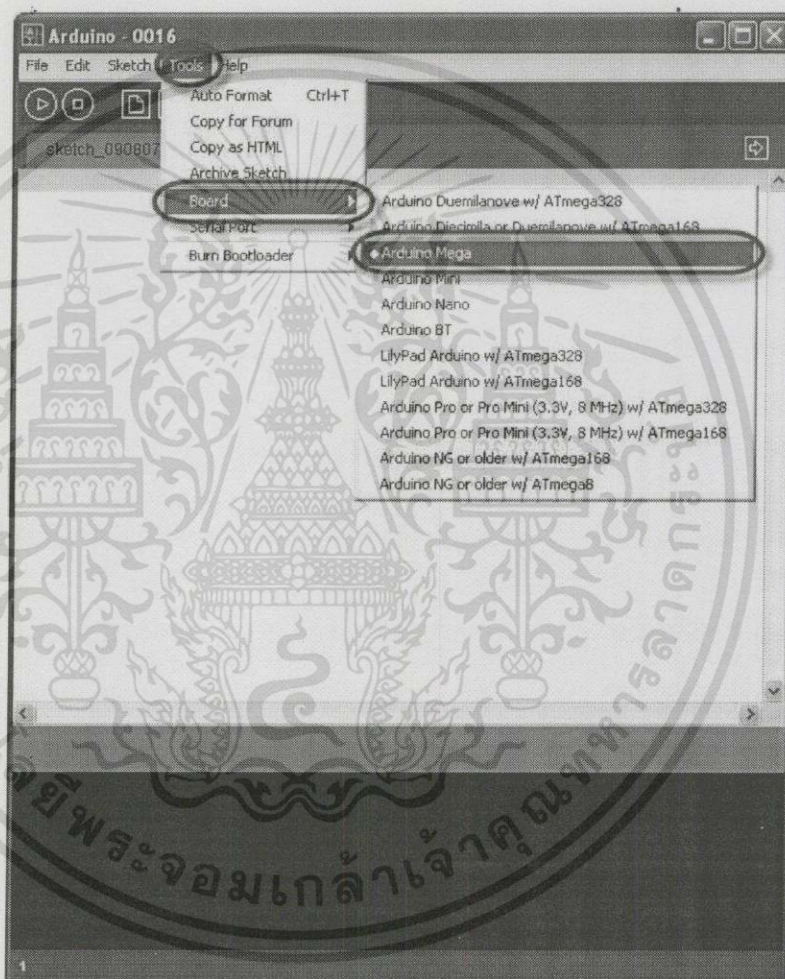
หลังจากที่เราได้ทำการติดตั้งโปรแกรม Arduino เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็เป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนของการเตรียมการแล้ว ลำดับขั้นตอนต่อจากนี้เป็นต้นไป ก็เป็นเรื่องของการใช้งาน การเขียนโปรแกรม และการศึกษาเรียนรู้ต่างๆตามความต้องการแล้ว แต่ก่อนอื่นเราจะต้องทำการติดตั้งโปรแกรมของ Arduino เพื่อใช้เป็นโปรแกรมสำหรับศึกษาเรียนรู้ จึงมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการสั่ง Run โปรแกรม "arduino.exe" จะได้ผลดังรูป



## คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY MEGA1280 (Duino Mega) **ETT**

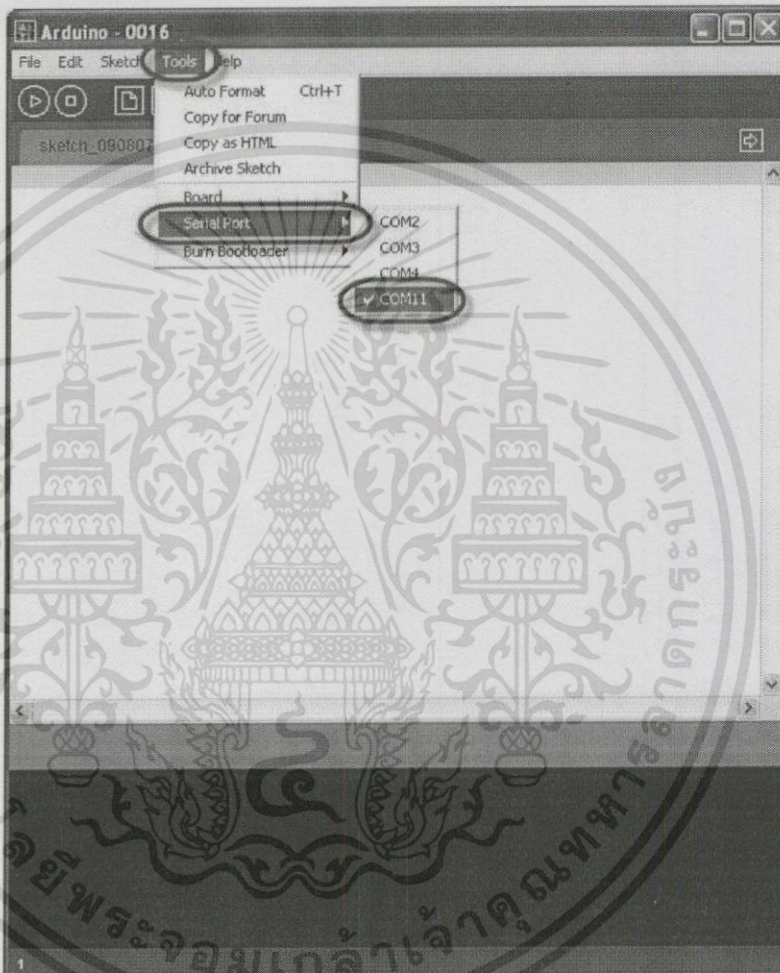
2. ในครั้งแรกของการเรียกใช้งานโปรแกรม ให้ทำการกำหนดระบบฮาร์ดแวร์ที่จะใช้งานกับโปรแกรมของ Arduino ให้เรียบร้อยเสียก่อน เนื่องจากในปัจจุบันนี้มีการออกแบบวงจรและสร้างฮาร์ดแวร์บอร์ดแบบต่างๆสำหรับนำมาใช้งานร่วมกับโปรแกรมพัฒนาของ Arduino ได้มากมายหลายรุ่น โดยในกรณีของบอร์ด ET-EASY MEGA1280 ให้ทำการเลือกกำหนดชื่อบอร์ดเป็น "Arduino Mega" โดยคลิกเมาส์ที่ "Tools → Board → "Arduino Mega" ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

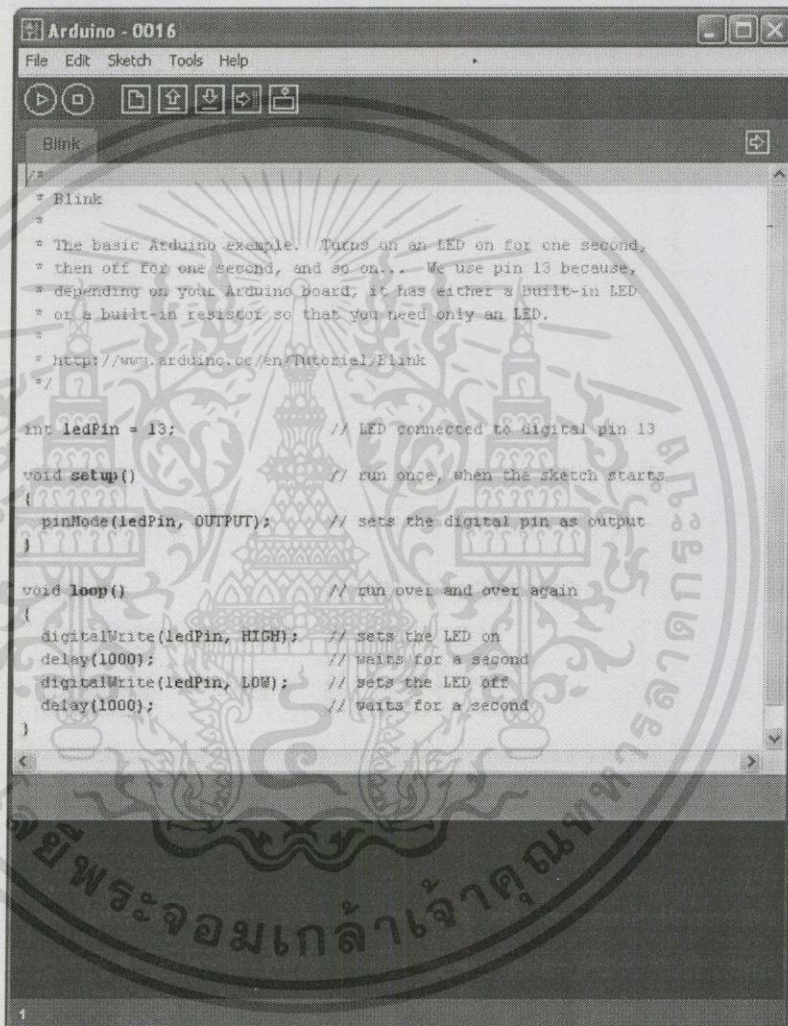
คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY MEGA1280 (Duino Mega) **ETT**

3. เลือกกำหนดหมายเลขพอร์ต สำหรับติดต่อสื่อสารกับบอร์ด ให้ตรงกับหมายเลข Comport ที่ต่อใช้งานไว้จริงในเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เช่น ถ้าหมายเลข Comport ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เป็น COM11 ให้คลิกเมาส์ที่ Tools → Serial Port → COM11 ดังรูป



คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY MEGA1280 (Duino Mega) **ETT**

4. ทดสอบเขียนโปรแกรม โดยคลิกเมาส์ที่ File → New แล้วพิมพ์โปรแกรมทดสอบ หรืออาจใช้การ  
 สืบเปิดไฟล์ตัวอย่างที่สร้างไว้แล้วขึ้นมาแทนก็ได้ โดยในที่นี้ขอแนะนำให้ทดสอบด้วยโปรแกรมไฟ  
 กะพริบ โดยให้เลือก "File → sketchbook → Examples → Digital → Blink" ซึ่งจะได้ดังรูป



```

Arduino - 0016
File Edit Sketch Tools Help

Blink

/*
 * Blink
 *
 * The basic Arduino example. Turns on an LED on for one second,
 * then off for one second, and so on... We use pin 13 because,
 * depending on your Arduino board, it has either a built-in LED
 * or a built-in resistor so that you need only an LED.
 *
 * http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Blink
 */

int ledPin = 13; // LED connected to digital pin 13

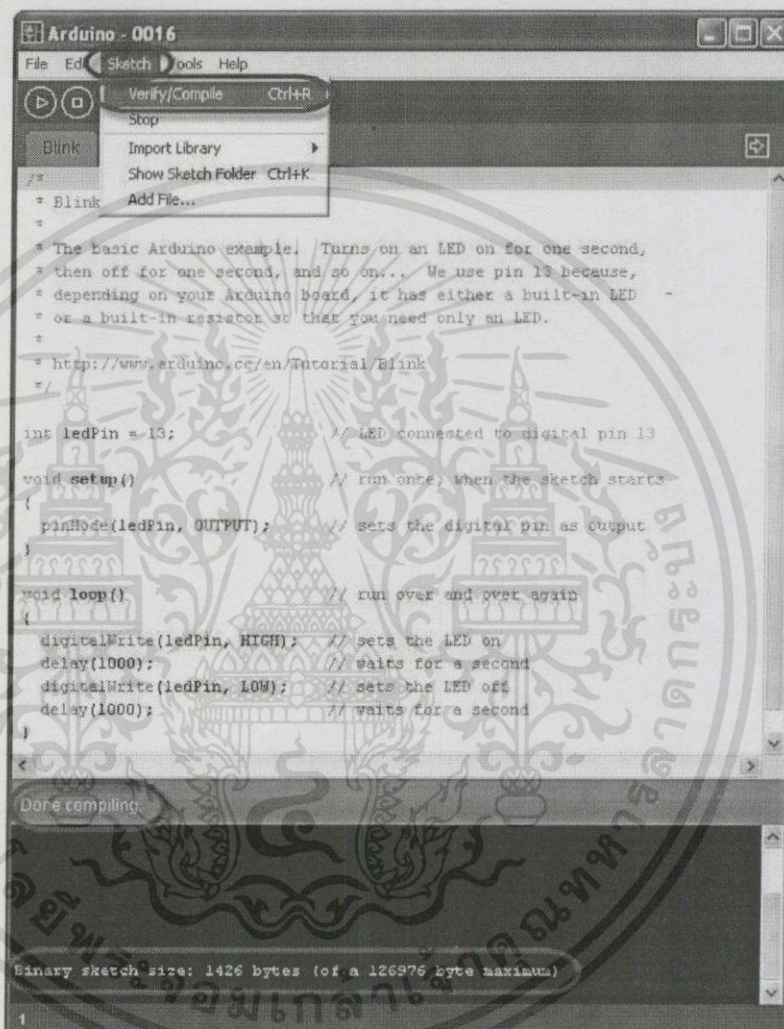
void setup() // run once, when the sketch starts
{
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // sets the digital pin as output
}

void loop() // run over and over again
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // sets the LED on
  delay(1000); // waits for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW); // sets the LED off
  delay(1000); // waits for a second
}
  
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY MEGA1280 (Duino Mega) **ETT**

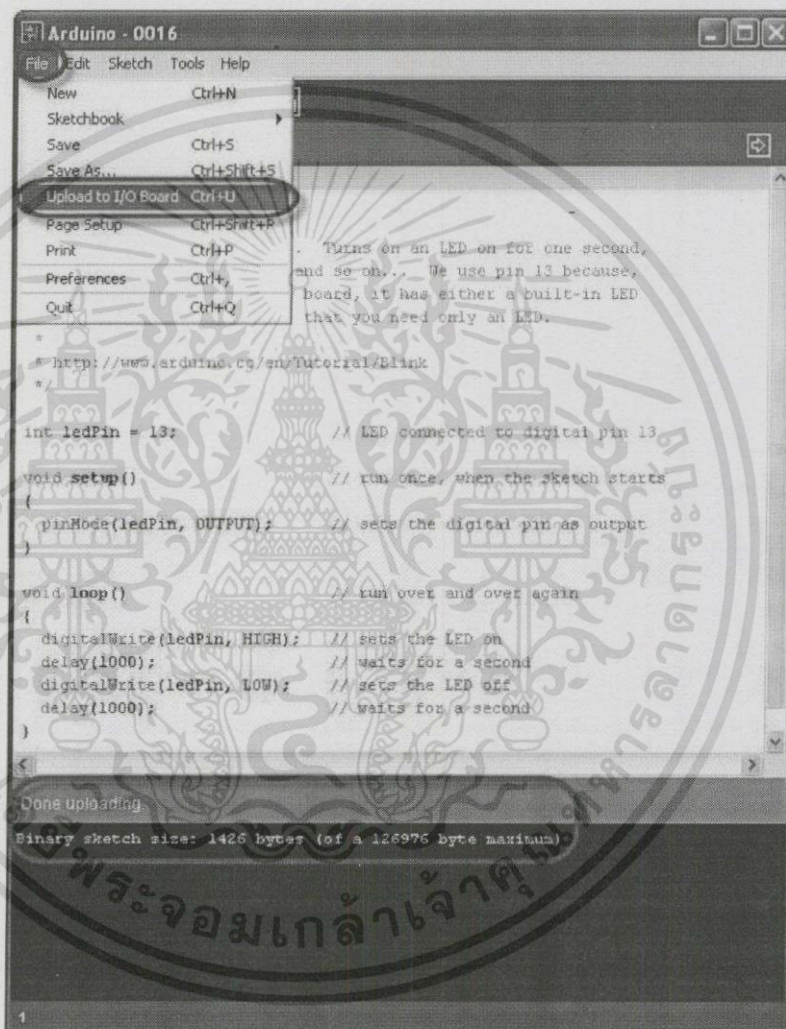
5. สั่งแปลโปรแกรมโดยคลิกเมาส์ที่ "Sketch → Verify/Compile" เพื่อตรวจสอบคำสั่งต่างๆในโปรแกรมว่าถูกต้องหรือไม่ ดังตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY MEGA1280 (Duino Mega) **ETT**

6. สั่ง Download Code ให้กับบอร์ด โดยคลิกเมาส์เลือกที่ "File → Upload to I/O Board" แล้วรอสักครู่จนโปรแกรมทำงานเสร็จ หลังจากนั้นทำการ Upload Code ให้กับบอร์ดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว บอร์ดก็จะเริ่มต้นทำงานตามคำสั่งที่เขียนไว้ในโปรแกรมทันที โดยจะสังเกตเห็น LED กระพริบ ติด และดับ สลับกันไปมา ด้วยความเร็วประมาณ 1 วินาที ตลอดเวลา ซึ่งควรได้ผลดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





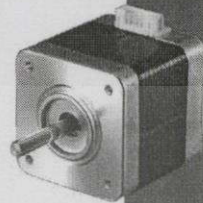
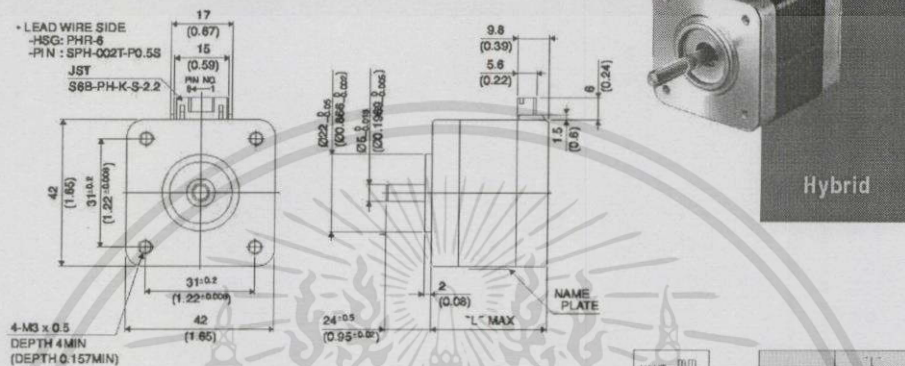
## ก.2 คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ Stepping Motor 17PM-K

# 42□ 1.8°

# 17PM-K

# 1.8°

### ■ 外觀図 Outline



Hybrid

精線表 PIN NO. VS. PHASE

相 (PHASE)	A	A.COM	Z	B	B.COM	5
ピン番号 (PIN NO.)	4	5	6	3	2	1

UNIT	mm (inch)	寸
17PM-K7**	26 (1.02)	
17PM-K2**	30 (1.18)	
17PM-K0**	34 (1.34)	
17PM-K3**	38 (1.50)	
17PM-K1**	42 (1.65)	
17PM-K4**	48 (1.89)	

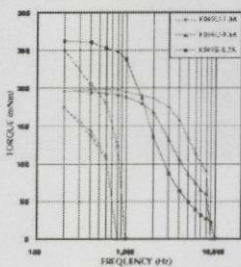
### ■ 仕様 Specifications

型式	ステップ角	ドライブ方式	定格電流	巻線抵抗	ホールディングトルク	インダクタンス	ロータイナーチャ	デイトメント	質量
Model	Step Angle (deg)	Drive Sequence	Rated Current (A)	Resistance (Ohms)	Holding Torque (mNm)	Inductance (mH)	Rotor Inertia (g-cm <sup>2</sup> )	Detent Torque (mNm)	Mass (g)
17PM-K049U	1.8	UNI-POLAR	1	3.1	200	3.2	37	10.8	200
17PM-K064U	1.8	UNI-POLAR	0.6	8.3	200	9.1	37	10.8	200
17PM-K142U	1.8	UNI-POLAR	1.4	2.3	280	3.2	62	11.8	300
17PM-K149U	1.8	UNI-POLAR	1	4.3	280	6.0	62	11.8	300
17PM-K249U	1.8	UNI-POLAR	0.8	2.7	100	3.0	24	4.3	180
17PM-K264U	1.8	UNI-POLAR	0.6	6.9	100	7.4	24	4.3	180
17PM-K342U	1.8	UNI-POLAR	1.4	2.0	250	2.5	50	11.3	250
17PM-K349U	1.8	UNI-POLAR	1	3.6	250	4.7	50	11.3	250
17PM-K442U	1.8	UNI-POLAR	1.4	2.8	400	3.4	75	16.7	350
17PM-K449U	1.8	UNI-POLAR	1	4.9	400	6.5	75	16.7	350
17PM-K749U	1.8	UNI-POLAR	0.9	2.2	50	0.4	11	2.8	150
17PM-K764U	1.8	UNI-POLAR	0.6	5.6	50	1.0	11	2.8	150
17PM-K049B	1.8	BI-POLAR	0.7	6.2	270	12.8	37	10.8	200
17PM-K142B	1.8	BI-POLAR	1	4.6	380	12.9	62	11.8	300
17PM-K249B	1.8	BI-POLAR	0.6	5.4	140	12.0	24	4.3	180
17PM-K342B	1.8	BI-POLAR	0.9	4.0	310	9.9	50	11.3	250
17PM-K442B	1.8	BI-POLAR	0.9	5.6	500	13.6	75	16.7	350
17PM-K749B	1.8	BI-POLAR	0.6	4.4	65	1.6	11	2.8	150

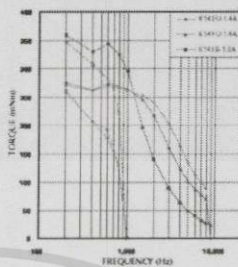
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■トルク・スピード特性 Torque/Speed Characteristics

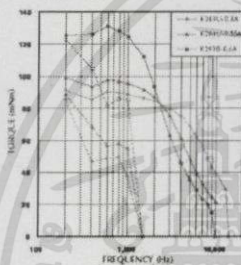
Model No: 17PM-K09U0K06U0K09B  
Driver: Chopper Dual  
Supply Voltage: 24.0 (Vd0)



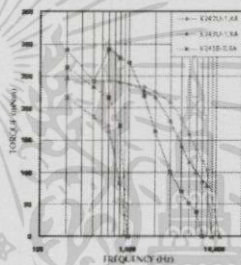
Model No: 17PM-K14U0K16U0K147B  
Driver: Chopper Dual  
Supply Voltage: 24.0 (Vd0)



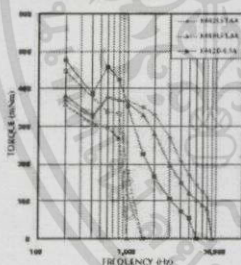
Model No: 17PM-K20U0K26U0K209B  
Driver: Chopper Dual  
Supply Voltage: 24.0 (Vd0)



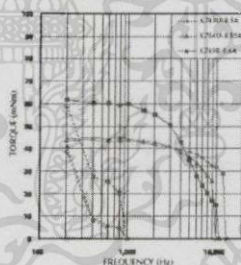
Model No: 17PM-K30U0K36U0K309B  
Driver: Chopper Dual  
Supply Voltage: 24.0 (Vd0)



Model No: 17PM-K042U0K044U0K042B  
Driver: Chopper Dual  
Supply Voltage: 24.0 (Vd0)



Model No: 17PM-K40U0K44U0K409B  
Driver: Chopper Dual  
Supply Voltage: 24.0 (Vd0)



—: PULL OUT  
- - -: PULL IN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก.3 คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ Thermistor



#### NTC thermistors for temperature measurement

Glass-encapsulated sensors,  
standard type

Series/Type: B57560G, B57560G1

The following products presented in this data sheet are being withdrawn.

Ordering Code	Substitute Product	Date of Withdrawal	Deadline Last Orders	Last Shipments
B57560G0145*	B57560G1104*	2012-03-23	2012-06-28	2012-09-28

For further information please contact your nearest EPCOS sales office, which will also support you in selecting a suitable substitute. The addresses of our worldwide sales network are presented at [www.epcos.com/sales](http://www.epcos.com/sales).

© EPCOS AG 2009. Reproduction, publication and dissemination of this publication, enclosures hereto and the information contained therein without EPCOS' prior express consent is prohibited.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


**Temperature measurement**
**B57560G, B57560G1**
**Glass-encapsulated sensors**
**G560/G1560**
**Applications**

- Temperature measurement

**Features**

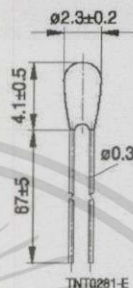
- Glass-encapsulated, heat-resistive and highly stable
- For temperature measurement up to 300 °C
- Leads: dumet wires (copper-clad FeNi)

**Options**

- Leads: nickel-plated dumet wires
- Alternative dimensions available on request

**Delivery mode**

Bulk

**Dimensional drawing**


Dimensions in mm

**General technical data**

Climatic category	(IEC 60068-1)		55/300/56	
Max. power	(at 25 °C)	$P_{25}$	50	mW
Resistance tolerance		$\Delta R_R/R_R$	$\pm 1, \pm 2, \pm 3$	%
Rated temperature		$T_R$	25	°C
Dissipation factor	(in air)	$\delta_{th}$	approx. 1.3	mW/K
Thermal cooling time constant	(in air)	$\tau_c$	approx. 15	s
Heat capacity		$C_{th}$	approx. 20	mJ/K

 Please read *Cautions and warnings* and *Important notes* at the end of this document.

Page 2 of 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Temperature measurement	B57560G, B57560G1
Glass-encapsulated sensors	G560/G1560

#### Electrical specification and ordering codes

$R_{25}$ $\Omega$	No. of R/T characteristic	$B_{25,65}$ K	$B_{0/100}$ K	$B_{25/100}$ K	Ordering code
2 k	8401	3420	3390 $\pm 1\%$	3436	B57560G0202+000
2 k	8401	3420	3390 $\pm 1\%$	3436	B57560G0202+002
5 k	8402	3480	3450 $\pm 1\%$	3497	B57560G0502+000
5 k	8402	3480	3450 $\pm 1\%$	3497	B57560G0502+002
10 k	7003	3612	3586	3625 $\pm 1\%$	B57560G1103+005
10 k	7003	3612	3586	3625 $\pm 1\%$	B57560G1103+007
10 k	8307	3478	3450	3492 $\pm 1\%$	B57560G1103+000
10 k	8307	3478	3450	3492 $\pm 1\%$	B57560G1103+002
20 k	8415	3992	3970 $\pm 1\%$	4006	B57560G0203+000
20 k	8415	3992	3970 $\pm 1\%$	4006	B57560G0203+002
30 k	7002	3973	3944	3988 $\pm 1\%$	B57560G1303+005
30 k	7002	3973	3944	3988 $\pm 1\%$	B57560G1303+007
50 k	8403	3992	3970 $\pm 1\%$	4006	B57560G0503+000
50 k	8403	3992	3970 $\pm 1\%$	4006	B57560G0503+002
100 k	8304	4072	4036	4092 $\pm 1\%$	B57560G1104+000
100 k	8304	4072	4036	4092 $\pm 1\%$	B57560G1104+002
1400 k	8406	4557	5133 $\pm 2\%$ <sup>1)</sup>	4581	B57560G0145+000
1400 k	8406	4557	5133 $\pm 2\%$ <sup>1)</sup>	4581	B57560G0145+002

+ = Resistance tolerance

F =  $\pm 1\%$

G =  $\pm 2\%$

H =  $\pm 3\%$

The last three digits of the ordering code denote:

000 and 005 = dumet wires

002 and 007 = nickel-plated wires

1) B200000



Temperature measurement

B57560G, B57560G1

Glass-encapsulated sensors

G560/G1560

## Reliability data

Test	Standard	Test conditions	$\Delta R_{25}/R_{25}$ (typical)	Remarks
Storage in dry heat	IEC 60068-2-2	Storage at upper category temperature T: 300 °C t: 1000 h	< 3%	No visible damage
Storage in damp heat, steady state	IEC 60068-2-67	Temperature of air: 85 °C Relative humidity of air: 85% Duration: 56 days	< 2%	No visible damage
Rapid temperature cycling	IEC 60068-2-14	Lower test temperature: -55 °C Upper test temperature: 200 °C Number of cycles: 1000	< 2%	No visible damage



Please read *Cautions and warnings* and *Important notes* at the end of this document.

Page 4 of 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Temperature measurement

B57560G, B57560G1

Glass-encapsulated sensors

G560/G1560

## R/T characteristics

R/T No.	7002		7003		8304	
	$B_{25/100} = 3988 \text{ K}$		$B_{25/100} = 3625 \text{ K}$		$B_{25/100} = 4092 \text{ K}$	
T (°C)	$R_T/R_{25}$	$\alpha$ (%/K)	$R_T/R_{25}$	$\alpha$ (%/K)	$R_T/R_{25}$	$\alpha$ (%/K)
-55.0	96.33	7.4	63.225	6.7	100.11	7.4
-50.0	66.866	7.2	45.46	6.5	69.56	7.2
-45.0	47.037	6.9	33.07	6.3	48.945	6.9
-40.0	33.508	6.7	24.324	6.0	34.853	6.7
-35.0	24.156	6.4	18.081	5.8	25.102	6.5
-30.0	17.613	6.2	13.575	5.6	18.275	6.2
-25.0	12.98	6.0	10.29	5.4	13.443	6.0
-20.0	9.6643	5.8	7.8716	5.3	9.9853	5.9
-15.0	7.2656	5.6	6.0739	5.1	7.4867	5.7
-10.0	5.5129	5.4	4.7258	4.9	5.6636	5.5
-5.0	4.22	5.3	3.7062	4.8	4.3212	5.3
0.0	3.2575	5.1	2.9287	4.6	3.324	5.2
5.0	2.5348	4.9	2.3311	4.5	2.5769	5.0
10.0	1.9876	4.8	1.8684	4.4	2.0127	4.9
15.0	1.5699	4.6	1.5075	4.2	1.5834	4.7
20.0	1.2488	4.5	1.224	4.1	1.2542	4.6
25.0	1.0000	4.4	1.0000	4.0	1.0000	4.5
30.0	0.80594	4.3	0.82176	3.9	0.80239	4.3
35.0	0.65355	4.1	0.67909	3.8	0.64776	4.2
40.0	0.53312	4.0	0.56422	3.7	0.52598	4.1
45.0	0.43735	3.9	0.47122	3.6	0.4295	4.0
50.0	0.36074	3.8	0.3955	3.5	0.35262	3.9
55.0	0.29911	3.7	0.33355	3.4	0.291	3.8
60.0	0.24925	3.6	0.2826	3.3	0.24136	3.7
65.0	0.20872	3.5	0.24049	3.2	0.20114	3.6
70.0	0.17558	3.4	0.20553	3.1	0.16841	3.5
75.0	0.14837	3.3	0.17637	3.0	0.14164	3.4
80.0	0.12592	3.2	0.15195	2.9	0.11963	3.3
85.0	0.10731	3.2	0.13141	2.9	0.10147	3.3
90.0	0.091816	3.1	0.11406	2.8	0.086407	3.2
95.0	0.078862	3.0	0.099352	2.7	0.073867	3.1
100.0	0.067988	2.9	0.086837	2.7	0.063383	3.0
105.0	0.058824	2.9	0.076149	2.6	0.054584	3.0
110.0	0.051071	2.8	0.066989	2.5	0.04717	2.9
115.0	0.044489	2.7	0.059112	2.5	0.040901	2.8
120.0	0.03888	2.7	0.052316	2.4	0.035581	2.8
125.0	0.034084	2.6	0.046433	2.4	0.03105	2.7
130.0	0.02997	2.5	0.041327	2.3	0.027179	2.6
135.0	0.02643	2.5	0.03688	2.3	0.023861	2.6
140.0	0.023373	2.4	0.032998	2.2	0.021008	2.5
145.0	0.020727	2.4	0.029598	2.2	0.018548	2.5
150.0	0.018429	2.3	0.026612	2.1	0.016419	2.4
155.0	0.016427	2.3	0.023984	2.1	0.014573	2.4

Please read *Cautions and warnings* and *Important notes* at the end of this document.

Page 5 of 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Temperature measurement

B57560G, B57560G1

## Glass-encapsulated sensors

G560/G1560

R/T No.	7002		7003		8304	
	B <sub>25/100</sub> = 3988 K		B <sub>25/100</sub> = 3625 K		B <sub>25/100</sub> = 4092 K	
T (°C)	R <sub>T</sub> /R <sub>25</sub>	α (%/K)	R <sub>T</sub> /R <sub>25</sub>	α (%/K)	R <sub>T</sub> /R <sub>25</sub>	α (%/K)
160.0	0.014679	2.2	0.021665	2.0	0.012967	2.3
165.0	0.013149	2.2	0.019613	2.0	0.011566	2.3
170.0	0.011806	2.1	0.017793	1.9	0.010341	2.2
175.0	0.010623	2.1	0.016176	1.9	0.0092664	2.2
180.0	0.0095804	2.0	0.014735	1.8	0.0083224	2.1
185.0	0.0086582	2.0	0.013448	1.8	0.0074907	2.1
190.0	0.0078408	2.0	0.012297	1.8	0.0067564	2.0
195.0	0.0071148	1.9	0.011265	1.7	0.0061064	2.0
200.0	0.0064685	1.9	0.010338	1.7	0.0055299	2.0
205.0	0.005892	1.8	0.009504	1.7	0.0050175	1.9
210.0	0.0053767	1.8	0.0087516	1.6	0.0045611	1.9
215.0	0.0049152	1.8	0.0080718	1.6	0.0041537	1.9
220.0	0.0045011	1.7	0.0074567	1.6	0.0037895	1.8
225.0	0.0041287	1.7	0.0068989	1.5	0.0034631	1.8
230.0	0.0037934	1.7	0.0063925	1.5	0.0031701	1.8
235.0	0.0034908	1.6	0.0059318	1.5	0.0029067	1.7
240.0	0.0032173	1.6	0.005512	1.5	0.0026693	1.7
245.0	0.0029697	1.6	0.005129	1.4	0.0024551	1.7
250.0	0.0027451	1.6	0.004779	1.4	0.0022615	1.6
255.0	0.0025412	1.5	0.0044586	1.4	0.0020862	1.6
260.0	0.0023556	1.5	0.004165	1.4	0.0019273	1.6
265.0	0.0021865	1.5	0.0038955	1.3	0.0017829	1.5
270.0	0.0020323	1.5	0.0036478	1.3	0.0016516	1.5
275.0	0.0018913	1.4	0.0034199	1.3	0.0015319	1.5
280.0	0.0017623	1.4	0.0032098	1.3	0.0014228	1.5
285.0	0.0016441	1.4	0.003016	1.2	0.0013231	1.4
290.0	0.0015357	1.4	0.002837	1.2	0.0012319	1.4
295.0	0.001436	1.3	0.0026714	1.2	0.0011483	1.4
300.0	0.0013444	1.3	0.002518	1.2	0.0010716	1.4

Please read *Cautions and warnings* and *Important notes* at the end of this document.

Page 6 of 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Temperature measurement

B57560G, B57560G1

Glass-encapsulated sensors

G560/G1560

## R/T characteristics

R/T No.	8307		8401		8402	
T (°C)	B <sub>25/100</sub> = 3492 K		B <sub>0/100</sub> = 3390 K		B <sub>0/100</sub> = 3450 K	
	R <sub>T</sub> /R <sub>25</sub>	α (%/K)	R <sub>T</sub> /R <sub>25</sub>	α (%/K)	R <sub>T</sub> /R <sub>25</sub>	α (%/K)
-55.0	52.624	6.4	48.237	6.2	51.991	6.4
-50.0	38.452	6.2	35.488	6.0	37.989	6.2
-45.0	28.401	6.0	26.39	5.8	28.07	5.9
-40.0	21.194	5.8	19.825	5.6	20.96	5.7
-35.0	15.972	5.6	15.037	5.4	15.809	5.5
-30.0	12.149	5.4	11.511	5.3	12.037	5.4
-25.0	9.3246	5.2	8.8893	5.1	9.2484	5.2
-20.0	7.2181	5.0	6.9218	4.9	7.1668	5.0
-15.0	5.6332	4.9	5.4326	4.8	5.5993	4.9
-10.0	4.4308	4.7	4.2961	4.6	4.4087	4.7
-5.0	3.5112	4.6	3.422	4.5	3.4971	4.6
0.0	2.8024	4.4	2.7445	4.3	2.7936	4.4
5.0	2.252	4.3	2.2158	4.2	2.2468	4.3
10.0	1.8216	4.2	1.8002	4.1	1.8187	4.2
15.0	1.4827	4.1	1.4714	4.0	1.4813	4.0
20.0	1.2142	3.9	1.2097	3.9	1.2136	3.9
25.0	1.0000	3.8	1.0000	3.8	1.0000	3.8
30.0	0.82818	3.7	0.8311	3.6	0.82845	3.7
35.0	0.68954	3.6	0.69427	3.5	0.68991	3.6
40.0	0.57703	3.5	0.58282	3.5	0.57742	3.5
45.0	0.48525	3.4	0.49158	3.4	0.4856	3.4
50.0	0.41	3.3	0.41652	3.3	0.41026	3.3
55.0	0.34798	3.2	0.35446	3.2	0.34816	3.2
60.0	0.29663	3.2	0.30292	3.1	0.29673	3.2
65.0	0.25392	3.1	0.25994	3.0	0.25393	3.1
70.0	0.21824	3.0	0.22392	2.9	0.21817	3.0
75.0	0.1883	2.9	0.19363	2.9	0.18816	2.9
80.0	0.16307	2.8	0.16805	2.8	0.16288	2.8
85.0	0.14174	2.8	0.14636	2.7	0.1415	2.8
90.0	0.12362	2.7	0.1279	2.7	0.12335	2.7
95.0	0.10818	2.6	0.11214	2.6	0.10788	2.6
100.0	0.094973	2.6	0.098635	2.5	0.094659	2.6
105.0	0.08364	2.5	0.087023	2.5	0.083313	2.5
110.0	0.073881	2.5	0.077007	2.4	0.073547	2.5
115.0	0.06545	2.4	0.06834	2.4	0.065114	2.4
120.0	0.058144	2.3	0.060818	2.3	0.05781	2.4
125.0	0.051794	2.3	0.05427	2.3	0.051464	2.3
130.0	0.046259	2.2	0.048554	2.2	0.045936	2.2
135.0	0.04142	2.2	0.043551	2.2	0.041106	2.2
140.0	0.037179	2.1	0.039159	2.1	0.036875	2.1
145.0	0.033451	2.1	0.035294	2.1	0.033159	2.1
150.0	0.030166	2.0	0.031885	2.0	0.029886	2.1
155.0	0.027264	2.0	0.02887	2.0	0.026998	2.0

Please read *Cautions and warnings* and *Important notes* at the end of this document.

Page 7 of 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Temperature measurement

B57560G, B57560G1

Glass-encapsulated sensors

G560/G1560

R/T No.	8307		8401		8402	
T (°C)	B <sub>25/100</sub> = 3492 K		B <sub>0/100</sub> = 3390 K		B <sub>0/100</sub> = 3450 K	
	R <sub>T</sub> /R <sub>25</sub>	α (%/K)	R <sub>T</sub> /R <sub>25</sub>	α (%/K)	R <sub>T</sub> /R <sub>25</sub>	α (%/K)
160.0	0.024694	2.0	0.026197	1.9	0.024442	2.0
165.0	0.022414	1.9	0.023822	1.9	0.022175	1.9
170.0	0.020385	1.9	0.021707	1.8	0.02016	1.9
175.0	0.018577	1.8	0.01982	1.8	0.018365	1.8
180.0	0.016961	1.8	0.018132	1.8	0.016762	1.8
185.0	0.015514	1.8	0.016619	1.7	0.015328	1.8
190.0	0.014216	1.7	0.01526	1.7	0.014043	1.7
195.0	0.013049	1.7	0.014038	1.7	0.012888	1.7
200.0	0.011999	1.7	0.012936	1.6	0.011849	1.7
205.0	0.011051	1.6	0.011941	1.6	0.010913	1.6
210.0	0.010194	1.6	0.011041	1.6	0.010067	1.6
215.0	0.0094181	1.6	0.010225	1.5	0.0093013	1.6
220.0	0.0087144	1.5	0.0094848	1.5	0.0086075	1.5
225.0	0.0080751	1.5	0.0088113	1.5	0.0079777	1.5
230.0	0.0074933	1.5	0.0081978	1.4	0.007405	1.5
235.0	0.0069631	1.5	0.0076382	1.4	0.0068833	1.4
240.0	0.0064791	1.4	0.0071268	1.4	0.0064075	1.4
245.0	0.0060366	1.4	0.006659	1.3	0.0059728	1.4
250.0	0.0056316	1.4	0.0062302	1.3	0.0055751	1.4
255.0	0.0052602	1.4	0.0058368	1.3	0.0052107	1.3
260.0	0.0049193	1.3	0.0054753	1.3	0.0048764	1.3
265.0	0.0046059	1.3	0.0051426	1.2	0.0045692	1.3
270.0	0.0043173	1.3	0.004836	1.2	0.0042866	1.3
275.0	0.0040514	1.3	0.0045532	1.2	0.0040263	1.2
280.0	0.003806	1.2	0.004292	1.2	0.0037862	1.2
285.0	0.0035793	1.2	0.0040504	1.1	0.0035645	1.2
290.0	0.0033696	1.2	0.0038266	1.1	0.0033596	1.2
295.0	0.0031753	1.2	0.0036192	1.1	0.0031697	1.2
300.0	0.0029952	1.2	0.0034267	1.1	0.0029938	1.1

Please read *Cautions and warnings* and *Important notes* at the end of this document.

Page 8 of 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Temperature measurement

B57560G, B57560G1

Glass-encapsulated sensors

G560/G1560

## R/T characteristics

R/T No.	8403		8406		8415	
	B <sub>0/100</sub> = 3970 K		B <sub>200/300</sub> = 5133 K		B <sub>0/100</sub> = 3970 K	
	R <sub>1</sub> /R <sub>25</sub>	α (%/K)	R <sub>1</sub> /R <sub>25</sub>	α (%/K)	R <sub>1</sub> /R <sub>25</sub>	α (%/K)
-55.0	103.29	7.6	183.3	8.5	103.29	7.6
-50.0	71.079	7.3	120.69	8.2	71.079	7.3
-45.0	49.619	7.1	80.721	7.9	49.619	7.1
-40.0	35.108	6.8	54.792	7.6	35.108	6.8
-35.0	25.158	6.5	37.713	7.3	25.158	6.5
-30.0	18.245	6.3	28.301	7.1	18.245	6.3
-25.0	13.383	6.1	18.571	6.8	13.383	6.1
-20.0	9.9221	5.9	13.269	6.6	9.9221	5.9
-15.0	7.4316	5.7	9.5865	6.4	7.4316	5.7
-10.0	5.6202	5.5	6.9997	6.2	5.6202	5.5
-5.0	4.2894	5.3	5.1625	6.0	4.2894	5.3
0.0	3.3024	5.2	3.844	5.8	3.3024	5.2
5.0	2.5607	5.0	2.8894	5.6	2.5607	5.0
10.0	2.0017	4.8	2.1892	5.5	2.0017	4.8
15.0	1.5768	4.7	1.673	5.3	1.5768	4.7
20.0	1.2513	4.6	1.2886	5.1	1.2513	4.6
25.0	1.0000	4.4	1.0000	5.0	1.0000	4.4
30.0	0.80451	4.3	0.78164	4.9	0.80451	4.3
35.0	0.65139	4.2	0.61516	4.7	0.65139	4.2
40.0	0.53064	4.0	0.48734	4.6	0.53064	4.0
45.0	0.43481	3.9	0.38851	4.5	0.43481	3.9
50.0	0.35828	3.8	0.3116	4.4	0.35828	3.8
55.0	0.29681	3.7	0.25136	4.2	0.29681	3.7
60.0	0.24715	3.6	0.2039	4.1	0.24715	3.6
65.0	0.20682	3.5	0.16629	4.0	0.20682	3.5
70.0	0.17389	3.4	0.1363	3.9	0.17389	3.4
75.0	0.14687	3.3	0.11228	3.8	0.14687	3.3
80.0	0.12459	3.2	0.092932	3.7	0.12459	3.2
85.0	0.10614	3.2	0.077268	3.6	0.10614	3.2
90.0	0.09078	3.1	0.064527	3.6	0.09078	3.1
95.0	0.077949	3.0	0.054116	3.5	0.077949	3.0
100.0	0.067183	2.9	0.045571	3.4	0.067183	2.9
105.0	0.058113	2.9	0.038526	3.3	0.058113	2.9
110.0	0.050443	2.8	0.032694	3.2	0.050443	2.8
115.0	0.043932	2.7	0.027847	3.2	0.043932	2.7
120.0	0.038386	2.7	0.023803	3.1	0.038386	2.7
125.0	0.033645	2.6	0.020416	3.0	0.033645	2.6
130.0	0.029579	2.5	0.017569	3.0	0.029579	2.5
135.0	0.02608	2.5	0.015167	2.9	0.02608	2.5
140.0	0.02306	2.4	0.013135	2.8	0.02306	2.4
145.0	0.020446	2.4	0.011409	2.8	0.020446	2.4
150.0	0.018176	2.3	0.0099385	2.7	0.018176	2.3
155.0	0.016199	2.3	0.0086821	2.7	0.016199	2.3

Please read *Cautions and warnings* and *Important notes* at the end of this document.

Page 9 of 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Temperature measurement

B57560G, B57560G1

Glass-encapsulated sensors

G560/G1560

R/T No.	8403		8406		8415	
	$B_{0/100} = 3970 \text{ K}$		$B_{200/300} = 5133 \text{ K}$		$B_{0/100} = 3970 \text{ K}$	
	$R_T/R_{25}$	$\alpha$ (%/K)	$R_T/R_{25}$	$\alpha$ (%/K)	$R_T/R_{25}$	$\alpha$ (%/K)
160.0	0.014473	2.2	0.0076052	2.6	0.014473	2.2
165.0	0.012962	2.2	0.0066796	2.6	0.012962	2.2
170.0	0.011636	2.1	0.0058817	2.5	0.011636	2.1
175.0	0.010469	2.1	0.005192	2.5	0.010469	2.1
180.0	0.0094395	2.0	0.0045943	2.4	0.0094395	2.0
185.0	0.0085294	2.0	0.0040749	2.4	0.0085294	2.0
190.0	0.0077229	2.0	0.0036225	2.3	0.0077229	2.0
195.0	0.0070067	1.9	0.0032274	2.3	0.0070067	1.9
200.0	0.0063691	1.9	0.0028817	2.2	0.0063691	1.9
205.0	0.0058005	1.9	0.0025783	2.2	0.0058005	1.9
210.0	0.0052924	1.8	0.0023116	2.2	0.0052924	1.8
215.0	0.0048373	1.8	0.0020766	2.1	0.0048373	1.8
220.0	0.004429	1.7	0.0018691	2.1	0.004429	1.7
225.0	0.004062	1.7	0.0016854	2.0	0.004062	1.7
230.0	0.0037315	1.7	0.0015226	2.0	0.0037315	1.7
235.0	0.0034333	1.6	0.001378	2.0	0.0034333	1.6
240.0	0.0031639	1.6	0.0012492	1.9	0.0031639	1.6
245.0	0.00292	1.6	0.0011344	1.9	0.00292	1.6
250.0	0.0026988	1.6	0.0010318	1.9	0.0026988	1.6
255.0	0.002498	1.5	0.00094005	1.8	0.002498	1.5
260.0	0.0023153	1.5	0.00085777	1.8	0.0023153	1.5
265.0	0.0021489	1.5	0.00078388	1.8	0.0021489	1.5
270.0	0.0019971	1.5	0.00071742	1.8	0.0019971	1.5
275.0	0.0018584	1.4	0.00065754	1.7	0.0018584	1.4
280.0	0.0017316	1.4	0.00060352	1.7	0.0017316	1.4
285.0	0.0016153	1.4	0.0005547	1.7	0.0016153	1.4
290.0	0.0015087	1.4	0.00051051	1.6	0.0015087	1.4
295.0	0.0014107	1.3	0.00047047	1.6	0.0014107	1.3
300.0	0.0013207	1.3	0.00043412	1.6	0.0013207	1.3

Please read *Cautions and warnings* and *Important notes* at the end of this document.

Page 10 of 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Temperature measurement

B57560G, B57560G1

Glass-encapsulated sensors

G560/G1560

## Mounting instructions

### 1 Soldering

#### 1.1 Leaded NTC thermistors

Leaded thermistors comply with the solderability requirements specified by CECC.

When soldering, care must be taken that the NTC thermistors are not damaged by excessive heat. The following maximum temperatures, maximum time spans and minimum distances have to be observed:

	Dip soldering	Iron soldering
Bath temperature	max. 260 °C	max. 360 °C
Soldering time	max. 4 s	max. 2 s
Distance from thermistor	min. 6 mm	min. 6 mm

Under more severe soldering conditions the resistance may change.

#### 1.2 Leadless NTC thermistors

In case of NTC thermistors without leads, soldering is restricted to devices which are provided with a solderable metallization. The temperature shock caused by the application of hot solder may produce fine cracks in the ceramic, resulting in changes in resistance.

To prevent leaching of the metallization, solder with silver additives or with a low tin content should be used. In addition, soldering methods should be employed which permit short soldering times.

### 2 Clamp contacting

Pressure contacting by means of clamps is particularly suitable for applications involving frequent switching and high turn-on powers.

### 3 Robustness of terminations (leaded types)

The leads meet the requirements of IEC 60068-2-21. They may not be bent closer than 4 mm from the solder joint on the thermistor body or from the point at which they leave the feed-throughs. During bending, any mechanical stress at the outlet of the leads must be removed. The bending radius should be at least 0.75 mm.

Tensile strength: Test Ua1:

Leads	$\varnothing \leq 0.25 \text{ mm}$	=	1.0 N
	$0.25 < \varnothing \leq 0.35 \text{ mm}$	=	2.5 N
	$0.35 < \varnothing \leq 0.50 \text{ mm}$	=	5.0 N
	$0.50 < \varnothing \leq 0.80 \text{ mm}$	=	10.0 N
	$0.80 < \varnothing \leq 1.25 \text{ mm}$	=	20.0 N

Please read *Cautions and warnings* and *Important notes* at the end of this document.

Page 11 of 18



Temperature measurement

B57560G, B57560G1

Glass-encapsulated sensors

G560/G1560

Bending strength: Test Ub:

Two 90°-bends in opposite directions at a weight of 0.25 kg.

Torsional strength: Test Uc: severity 2

The lead is bent by 90° at a distance of 6 to 6.5 mm from the thermistor body.

The bending radius of the leads should be approx. 0.75 mm. Two torsions of 180° each (severity 2).

When subjecting leads to mechanical stress, the following should be observed:

*Tensile stress on leads*

During mounting and operation tensile forces on the leads are to be avoided.

*Bending of leads*

Bending of the leads directly on the thermistor body is not permissible.

A lead may be bent at a minimum distance of twice the wire's diameter +2 mm from the solder joint on the thermistor body. During bending the wire must be mechanically relieved at its outlet. The bending radius should be at least 0.75 mm.

*Twisting of leads*

The twisting (torsion) by 180° of a lead bent by 90° is permissible at 6 mm from the bottom of the thermistor body.

#### 4 Sealing and potting

When thermistors are sealed, potted or overmolded, there must be no mechanical stress caused by thermal expansion during the production process (curing / overmolding process) and during later operation. The upper category temperature of the thermistor must not be exceeded. Ensure that the materials used (sealing / potting compound and plastic material) are chemically neutral.

#### 5 Cleaning

If cleaning is necessary, mild cleaning agents such as ethyl alcohol and cleaning gasoline are recommended. Cleaning agents based on water are not allowed. Ultrasonic cleaning methods are permissible.

#### 6 Storage

In order to maintain their solderability, thermistors must be stored in a non-corrosive atmosphere. Humidity, temperature and container materials are critical factors.

Do not store SMDs where they are exposed to heat or direct sunlight. Otherwise, the packing material may be deformed or SMDs may stick together, causing problems during mounting. After opening the factory seals, such as polyvinyl-sealed packages, use the SMDs as soon as possible.

Please read *Cautions and warnings* and *Important notes* at the end of this document.

Page 12 of 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Temperature measurement

B57560G, B57560G1

Glass-encapsulated sensors

G560/G1560

The components should be left in the original packing. Touching the metallization of unsoldered thermistors may change their soldering properties.

Storage temperature:  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  up to  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$

Relative humidity (without condensation):  $\leq 75\%$  annual mean

$< 95\%$ , maximum 30 days per annum

Solder the thermistors listed in this data book after shipment from EPCOS within the time specified:

SMDs: 12 months

Leaded components: 24 months



Please read *Cautions and warnings* and *Important notes* at the end of this document.

Page 13 of 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Temperature measurement

B57560G, B57560G1

Glass-encapsulated sensors

G560/G1560

#### Cautions and warnings General

See "Important notes" at the end of this document.

#### Storage

- Store thermistors only in original packaging. Do not open the package prior to storage.
- Storage conditions in original packaging; storage temperature  $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , relative humidity  $\leq 75\%$  annual mean,  $< 95\%$  maximum 30 days per annum, dew precipitation is inadmissible.
- Do not store thermistors where they are exposed to heat or direct sunlight. Otherwise, the packing material may be deformed or components may stick together, causing problems during mounting.
- Avoid contamination of thermistor surface during storage, handling and processing.
- Avoid storage of thermistors in harmful environments like corrosive gases ( $\text{SO}_2$ , Cl etc).
- Use the components as soon as possible after opening the factory seals, i.e. the polyvinyl-sealed packages.
- Solder thermistors within the time specified after shipment from EPCOS.  
For leaded components this is 24 months, for SMDs 12 months.

#### Handling

- NTC thermistors must not be dropped. Chip-offs or any other damage must not be caused during handling of NTCs.
- Do not touch components with bare hands. Gloves are recommended.
- Avoid contamination of thermistor surface during handling.

#### Bending / twisting leads

- A lead (wire) may be bent at a minimum distance of twice the wire's diameter plus 4 mm from the component head or housing. When bending ensure the wire is mechanically relieved at the component head or housing. The bending radius should be at least 0.75 mm.
- Twisting (torsion) by  $180^{\circ}$  of a lead bent by  $90^{\circ}$  is permissible at 6 mm from the bottom of the thermistor body.

#### Soldering

- Use resin-type flux or non-activated flux.
- Insufficient preheating may cause ceramic cracks.
- Rapid cooling by dipping in solvent is not recommended.
- Complete removal of flux is recommended.

Please read *Cautions and warnings* and *Important notes* at the end of this document.

Page 14 of 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Temperature measurement

B57560G, B57560G1

Glass-encapsulated sensors

G560/G1560

### Mounting

- Ensure that no thermo-mechanical stress occurs due to production processes (curing or overmolding processes) when thermistors are sealed, potted or overmolded or during their subsequent operation. The maximum temperature of the thermistor must not be exceeded. Ensure that the materials used (sealing/potting compound and plastic material) are chemically neutral.
- Electrodes/contacts must not be scratched or damaged before/during/after the mounting process.
- Contacts and housing used for assembly with the thermistor must be clean before mounting.
- Ensure that adjacent materials are designed for operation at temperatures comparable to the surface temperature of the thermistor. Be sure that surrounding parts and materials can withstand the temperature.
- Avoid contamination of the thermistor surface during processing.
- The connections of sensors (e.g. cable end, wire end, plug terminal) may only be exposed to an environment with normal atmospheric conditions.
- Tensile forces on cables or leads must be avoided during mounting and operation.
- Bending or twisting of cables or leads directly on the thermistor body is not permissible.
- Avoid using chemical substances as mounting aids. It must be ensured that no water or other liquids enter the NTC thermistors (e.g. through plug terminals). In particular, water based substances (e.g. soap suds) must not be used as mounting aids for sensors.

### Operation

- Use thermistors only within the specified operating temperature range.
- Use thermistors only within the specified power range.
- Environmental conditions must not harm the thermistors. Only use the thermistors under normal atmospheric conditions or within the specified conditions.
- Contact of NTC thermistors with any liquids and solvents should be prevented. It must be ensured that no water enters the NTC thermistors (e.g. through plug terminals). For measurement purposes (checking the specified resistance vs. temperature), the component must not be immersed in water but in suitable liquids (e.g. Galden).
- Avoid dewing and condensation unless thermistor is specified for these conditions.
- Bending or twisting of cables and/or wires is not permissible during operation of the sensor in the application.
- Be sure to provide an appropriate fail-safe function to prevent secondary product damage caused by malfunction.

This listing does not claim to be complete, but merely reflects the experience of EPCOS AG.


**Temperature measurement**
**B57560G, B57560G1**
**Glass-encapsulated sensors**
**G560/G1560**
**Symbols and terms**

Symbol	English	German
A	Area	Fläche
AWG	American Wire Gauge	Amerikanische Norm für Drahtquerschnitte
B	B value	B-Wert
$B_{25/100}$	B value determined by resistance measurement at 25 °C and 100 °C	B-Wert, ermittelt durch Widerstandsmessungen bei 25 °C und 100 °C
$C_{th}$	Heat capacitance	Wärmekapazität
I	Current	Strom
N	Number (integer)	Anzahl (ganzzahliger Wert)
$P_{25}$	Maximum power at 25 °C	Maximale Leistung bei 25 °C
$P_{diss}$	Power dissipation	Verlustleistung
$P_{el}$	Electrical power	Elektrische Leistung
$P_{max}$	Maximum power within stated temperature range	Maximale Leistung im angegebenen Temperaturbereich
$\Delta R_B/R_B$	Resistance tolerance caused by spread of B value	Widerstandstoleranz, die durch die Streuung des B-Wertes verursacht wird
$R_{ins}$	Insulation resistance	Isolationswiderstand
$R_p$	Parallel resistance	Parallelwiderstand
$R_R$	Rated resistance	Nennwiderstand
$\Delta R_R/R_R$	Resistance tolerance	Widerstandstoleranz
$R_S$	Series resistance	Serienwiderstand
$R_T$	Resistance at temperature T (e.g. $R_{25}$ = resistance at 25 °C)	Widerstand bei Temperatur T (z.B. $R_{25}$ = Widerstand bei 25 °C)
T	Temperature	Temperatur
$\Delta T$	Temperature tolerance	Temperaturtoleranz
t	Time	Zeit
$T_A$	Ambient temperature	Umgebungstemperatur
$T_{max}$	Upper category temperature	Obere Grenztemperatur (Kategorietemperatur)
$T_{min}$	Lower category temperature	Untere Grenztemperatur (Kategorietemperatur)
$T_{op}$	Operating temperature	Betriebstemperatur
$T_R$	Rated temperature	Nenntemperatur
$T_{surf}$	Surface temperature	Oberflächentemperatur
V	Voltage	Spannung
$V_{ins}$	Insulation test voltage	Isolationsprüfspannung
$V_{op}$	Operating voltage	Betriebsspannung
$V_{test}$	Test voltage	Prüfspannung

Please read *Cautions and warnings* and *Important notes* at the end of this document.

Page 16 of 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Temperature measurement	B57560G, B57560G1
Glass-encapsulated sensors	G560/G1560

Symbol	English	German
$\alpha$	Temperature coefficient	Temperaturkoeffizient
$\Delta$	Tolerance, change	Toleranz, Änderung
$\delta_{th}$	Dissipation factor	Wärmeleitwert
$\tau_c$	Thermal cooling time constant	Thermische Abkühlzeitkonstante
$\tau_a$	Thermal time constant	Thermische Zeitkonstante

#### Abbreviations / Notes

Symbol	English	German
<b>SMD</b>	Surface-mounted devices	Oberflächenmontierbares Bauelement
*	To be replaced by a number in ordering codes, type designations etc.	Platzhalter für Zahl im Bestellnummern-code oder für die Typenbezeichnung.
+	To be replaced by a letter.	Platzhalter für einen Buchstaben.
	All dimensions are given in mm.	Alle Maße sind in mm angegeben.
	The commas used in numerical values denote decimal points.	Verwendete Kommas in Zahlenwerten bezeichnen Dezimalpunkte.

Please read *Cautions and warnings* and *Important notes* at the end of this document.

Page 17 of 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### Important notes

The following applies to all products named in this publication:

1. Some parts of this publication contain **statements about the suitability of our products for certain areas of application**. These statements are based on our knowledge of typical requirements that are often placed on our products in the areas of application concerned. We nevertheless expressly point out that **such statements cannot be regarded as binding statements about the suitability of our products for a particular customer application**. As a rule, EPCOS is either unfamiliar with individual customer applications or less familiar with them than the customers themselves. For these reasons, it is always ultimately incumbent on the customer to check and decide whether an EPCOS product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular customer application.
2. We also point out that **in individual cases, a malfunction of electronic components or failure before the end of their usual service life cannot be completely ruled out in the current state of the art, even if they are operated as specified**. In customer applications requiring a very high level of operational safety and especially in customer applications in which the malfunction or failure of an electronic component could endanger human life or health (e.g. in accident prevention or lifesaving systems), it must therefore be ensured by means of suitable design of the customer application or other action taken by the customer (e.g. installation of protective circuitry or redundancy) that no injury or damage is sustained by third parties in the event of malfunction or failure of an electronic component.
3. **The warnings, cautions and product-specific notes must be observed.**
4. In order to satisfy certain technical requirements, **some of the products described in this publication may contain substances subject to restrictions in certain jurisdictions (e.g. because they are classed as hazardous)**. Useful information on this will be found in our Material Data Sheets on the Internet ([www.epcos.com/material](http://www.epcos.com/material)). Should you have any more detailed questions, please contact our sales offices.
5. We constantly strive to improve our products. Consequently, **the products described in this publication may change from time to time**. The same is true of the corresponding product specifications. Please check therefore to what extent product descriptions and specifications contained in this publication are still applicable before or when you place an order. We also **reserve the right to discontinue production and delivery of products**. Consequently, we cannot guarantee that all products named in this publication will always be available. The aforementioned does not apply in the case of individual agreements deviating from the foregoing for customer-specific products.
6. Unless otherwise agreed in individual contracts, **all orders are subject to the current version of the "General Terms of Delivery for Products and Services in the Electrical Industry" published by the German Electrical and Electronics Industry Association (ZVEI)**.
7. The trade names EPCOS, BAOKE, Alu-X, CeraDiode, CSMP, CSSP, CTVS, DSSP, MiniBlue, MKK, MLSC, MotorCap, PCC, PhaseCap, PhaseCube, PhaseMod, SIFERRIT, SIFI, SIKOREL, SilverCap, SIMDAD, SIMID, SineFormer, SIOV, SIP5D, SIP5K, ThermoFuse, WindCap are **trademarks registered or pending** in Europe and in other countries. Further information will be found on the Internet at [www.epcos.com/trademarks](http://www.epcos.com/trademarks).

## Mouser Electronics

Authorized Distributor

[Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:](#)


### EPCOS:

[B57560G103F](#) [B57560G104F](#) [B57560G503H2](#) [B57560G0145F000](#) [B57560G0145G000](#) [B57560G0145H000](#)  
[B57560G0145J000](#) [B57560G0145F002](#) [B57560G0145G002](#) [B57560G0145H002](#) [B57560G202J](#) [B57560G104J](#)  
[B57560G502H2](#) [B57560G103J](#) [B57560G203J](#)



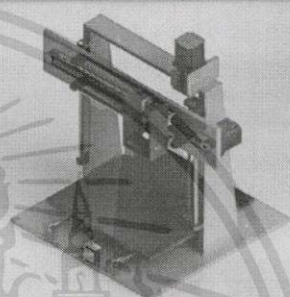
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข โปสเตอร์



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

## เครื่องพิมพ์สามมิติ ( 3D PRINTER )

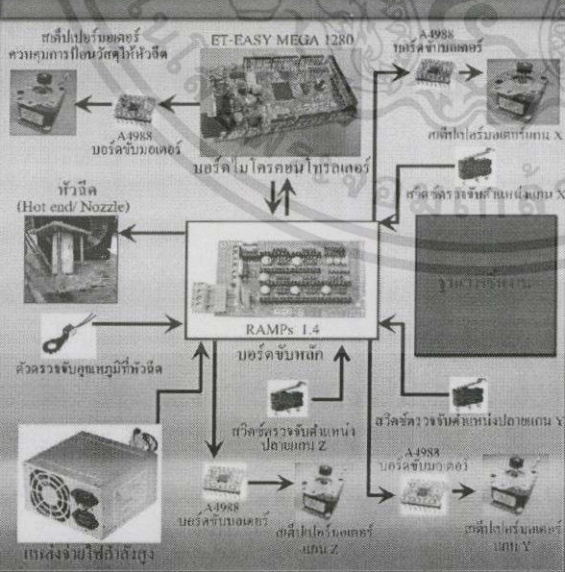


เครื่องพิมพ์สามมิติ เป็นการพิมพ์ด้วยกระบวนการพิมพ์สามแกน ให้มีรูปร่างเหมือนจริงจากรูปแบบดิจิทัล หลักการทั่วไป การสร้างงานสามมิติจะใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบ หรือซอฟต์แวร์ในการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนไหวของเครื่องคิดจอตตามขวาง ความต่อเนื่องสำหรับการพิมพ์ขึ้นอยู่กับเครื่องที่ใช้ จะสร้างวัสดุเป็นชิ้นๆ รวมกันวางบนแพลตฟอร์มที่เว็บชั้นจนเสร็จสมบูรณ์สุดท้ายจะได้เป็นรูปแบบสามมิติที่ได้รับกรพิมพ์เป็นกระบวนการแบบ WYSIWYG ที่เป็นรูปแบบเสมือนและรูปแบบจำลองทางภาพเกือบจะเหมือนกัน การคิดต่อระหว่างซอฟต์แวร์ CAD และเครื่องพิมพ์จะเป็นราแม่พิมพ์ STL เป็นรูปแบบไฟล์ที่สร้างขึ้นเข้าเครื่องพิมพ์และไฟล์ VRML หรือ VRL จะใช้สำหรับเทคโนโลยีการพิมพ์ 3D ที่สามารถพิมพ์ที่ได้เต็มรูปแบบ

### วัตถุประสงค์ของโครงการ

- ทำการศึกษาทฤษฎีการควบคุมแบบป้อนกลับ
- ทำการศึกษาและสร้างชุดขับ Stepping Motor
- ทำการศึกษาและสร้างหัวฉีดพลาสติก
- ออกแบบและสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติให้สามารถสร้างชิ้นงานได้จริงตามต้นแบบ

### วงจรควบคุมการทำงาน



### ส่วนประกอบของเครื่องพิมพ์

- Stepping Motor 4 ตัว
- พลาสติกเส้น ชนิด PLA 1 หลอด
- ชุดขับมอเตอร์ 1 ชุด

ได้แก่บอร์ด ET-EASY MEGA 1280  
บอร์ด RAMPs 1.4  
บอร์ด Driver A4988

### อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร. วันชัย รั้วรจา  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เทพจักร์ เขยโสภา  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณดี เพชรวงษ์ล้ำค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้