



เครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีทีเป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ  
PET PLASTIC SCRAP RECYCLE MACHINE TO 3D PRINTER FILAMENT

กาจพล ปลั่งกลาง  
KATPON PLANGKLANG  
ศุภวิชญ์ วรณวิริยะ  
SUPAWIT WANWIRIYA

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร  
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ  
PET PLASTIC SCRAP RECYCLE MACHINE TO 3D PRINTER FILAMENT

กาจพล ปลั่งกลาง  
KATPON PLANGKLANG  
ศุภวิษณุ วรณวิริยะ  
SUPAWIT WANWIRIYA

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร  
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

เรื่อง เครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ

PET Plscrap Recycle Machine to 3D Printer Filament

ผู้จัดทำ

1. นายกาจพล ปลั่งกลาง รหัสนักศึกษา 62201004
2. นายศุภวิชญ์ วรรณวิริยะ รหัสนักศึกษา 62201017

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ศิลา ศิริมาสกุล)

ชื่อปริญญาบัตร	เครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ	
นักศึกษา	นายกาจพล ปลั่งกลาง	รหัสนักศึกษา 62201004
	นายศุภวิชญ์ วรรณวิริยะ	รหัสนักศึกษา 62201017
อาจารย์ที่ปรึกษา	ว่าที่ ร.ต. ศิลา ศิริมาสกุล	
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	
ปีการศึกษา	2565	

### บทคัดย่อ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ได้กล่าวถึงการนำเอาเศษพลาสติกชนิดพีอีที่มารีไซเคิลเป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ ซึ่งตัวเครื่องจะประกอบไปด้วยสี่ส่วนคือ ส่วนของชุดป้อนเศษพลาสติก ส่วนชุดหลอมเหลวเศษพลาสติก ส่วนชุดหล่อเย็นเส้นพลาสติก และส่วนชุดม้วนเก็บเส้นโดยส่วนของชุดป้อนเศษพลาสติกเมื่อป้อนเศษพลาสติกเข้าไปเกินระดับเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ เป็นการเริ่มกระบวนการผลิตเส้นใยจากนั้นป้อนค่าอุณหภูมิ ในการหลอมเศษพลาสติกเมื่ออุณหภูมิในท่อหลอมคงที่ จึงปรับสเตปป์มอเตอร์ (Stepping Motor) เพื่อดันเศษพลาสติกในกระบอกไปยังหัวฉีดเส้น จากนั้นจึงนำเส้นไปยังชุดหล่อเย็นเส้นพลาสติกเพื่อให้เส้นมีความยืดหยุ่น จากนั้นนำเส้นไปยังตัวดึงเส้นปรับค่าความเร็วของตัวดันเส้น และตัวดึงเส้นเพื่อให้ได้ขนาดที่ต้องการจากนั้นนำเส้นไปยังชุดม้วนเก็บเส้นโดยตัวของโรลล์ม้วนเก็บเส้น

ผลการทดลองของเครื่องรีไซเคิล (Recycle) เศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ ในการหลอมพลาสติกเพื่อให้ได้เป็นเส้นใยเพื่อใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ ต้องควบคุมปัจจัยต่อไปนี้เพื่อให้ได้เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ ใช้หัวฉีดเส้นขนาด 2 มิลลิเมตร ควบคุมอุณหภูมิภายในท่อหลอมที่อุณหภูมิ 255 องศาเซลเซียส เพื่อไม่ให้เศษพลาสติกไหม้หรือแข็งตัวภายในท่อควบคุมความเร็วสเตปป์มอเตอร์ของตัวดันเส้น และตัวดึงเส้นให้มีความเร็วที่ 2.9 เมตรต่อนาที เพื่อเส้นใยที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และได้ขนาดตามที่ต้องการ การนำเส้นไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ คัดเส้นใยที่มีขนาดเหมาะสมในการใส่เครื่องพิมพ์สามมิติ จากการทดลองเส้นที่ผลิตจากเครื่องสามารถนำไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ และพิมพ์ชิ้นงานออกมาได้ตามงานที่ออกแบบไว้

**คำสำคัญ:** พลาสติกชนิดพีอี, สเตปป์มอเตอร์, หัวฉีดเส้น

<b>Project Title</b>	PET Plastic Recycle Machine to 3D Printer Filament	
<b>Student</b>	Mr.Katpon Plangklang	<b>Student ID</b> 62201004
	Mr.Supawit Wanwiriya	<b>Student ID</b> 62201017
<b>Advisor</b>	Acting Sub Lt.Silar Sirimasakul	
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering	
<b>Program in</b>	Electronics Engineering	
<b>Academic Year</b>	2022	

## ABSTRACT

This thesis PET Plastic Recycle Machine to 3D Printer Filament, the following thesis may be made. When plastic scrap is fed above the permitted level, the spool part is provided by the plastic scrap feeder component. Which is where the process of creating the sword must begin. Visitors' mouthpieces will be pushed through plastic debris by a stepping motor. The line requests to be brought to the cooling device for plastic filaments and is afterwards requested to do so for it, go to the time adjustment line puller bring the line to the line winder by pushing it with the line puller until it is the correct size.

Experimental results of PET Plastic Recycle Machine to 3D Printer Filament in melting plastic to form filaments for use in 3D printers. The following factors must be controlled in order to obtain a 3D printer filament. Use's a 2 millimeter nozzle to control the temperature inside the melting tube at a temperature of 255 degrees Celsius to avoid burning or hardening of the plastic in the tube. This is controls the stepping motor speed of the line pusher and the line puller to have a speed of 2.9 meters per minute so that the fibers will have a straight line and get the size you want applying the filament to the 3D printer, selecting the filament of the right size to insert into the 3D printer from the experiment, the lines produced by the machine can be applied to a 3D printer and print the workpiece out according to the designed work.

**Keywords:** Polyethylene, Stepping Motor, Nozzle

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากบุคคลหลายท่าน ซึ่งผู้เขียนขอขอบคุณทุกๆ ท่านดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ผู้ซึ่งคอยให้การอบรมสั่งสอน เลี้ยงดู สนับสนุนการศึกษาตลอดจนให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ศิลา ศิริมาสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งให้คำแนะนำต่างๆรวมทั้งเอื้อเพื่อเครื่องมือเครื่องใช้ในการทำโครงการ และติดตามเกี่ยวกับโครงการตลอดมา ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตาของท่านจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ให้ความเอาใจใส่แนะนำคอยช่วยเหลือเสมอมาและต้องขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่คอยช่วยเหลือในการทำโครงการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

กาจพล ปลั่งกลาง  
ศุภวิชญ์ วรรณวิริยะ  
มิถุนายน 2566

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญโครงการ.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการทำโครงการ.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.7 โครงสร้างปริญญานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply).....	4
2.2 หลอดไฟแสดงสถานะ (Pilot lamp).....	5
2.3 ไมโครลัตตอุมทงูมิเอ็มเอเอกซ์ 6675 (MAX6675 Module).....	5
2.4 จอทัชสกรีนแซมคูน (HMI Samkoon).....	6
2.5 เบรกเกอร์ (Circuit Breaker).....	6
2.6 สเต็ปปีงมอเตอร์ (Stepping Motors).....	7
2.6.1 การกระตุ้นเฟส แบบฟูลสเต็ปมอเตอร์ (Full Step Motor).....	7
2.6.2 การกระตุ้นเฟส แบบฮาลฟสเต็ป (Half Step Motor).....	8
2.7 ฮีตเตอร์รัดท้อ (Band Heater).....	8
2.8 รีเลย์ (Relay).....	9
2.9 อุปกรณ์แปลงสัญญาณเอ็มเอเอ็กซ์ 3232 (MAX3232).....	9
2.9.1 การเชื่อมต่อสายอุปกรณ์แปลงสัญญาณเอ็มเอเอ็กซ์ 3232.....	10
2.9.2 คุณลักษณะสำคัญของอุปกรณ์แปลงสัญญาณเอ็มเอเอ็กซ์ 3232.....	10

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10 อาดุยโน่ นาโน (Arduino Nano).....	10
2.11 บอร์ดขับสเตปปีงมอเตอร์ทีบี 6600 (stepper motor driver TB6600).....	12
2.12 เทอร์โมคัปเปิลชนิด เค (Thermocouple Type K).....	12
2.13 เส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D printing filament).....	13
2.14 พลาสติกชนิดพีอีที (Polyethylene Terephalate).....	14
2.15 เซอร์โวมอเตอร์ (servo motor).....	15
2.15.1 เซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วย.....	15
2.15.2 เซอร์โวมอเตอร์มีการทำงานหลักๆ อยู่ในโหมดควบคุม 2 โหมด.....	15
2.16 อาดุยโน่เมก้า 2560 (Arduino Mega 2560).....	16
2.17 ออปโตคัปเปิลเลอร์ (Optocoupler).....	17
2.18 ไอซีเอทีเมลเอทีเมก้า 328 พี-พียู (Atmel ATmega328P-PU).....	17
บทที่ 3 การออกแบบ.....	19
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีทีเป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	19
3.2 โพลาร์ชาร์ตการทำงานของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีทีเป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	20
3.3 การออกแบบการเขียนจอตช์สกรีน.....	21
3.4 การออกแบบวงจร.....	24
3.4.1 วงจรรวมของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีทีเป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	24
3.4.2 การต่อระบบไฟฟ้ากระแสสลับเข้าตัวเครื่อง.....	25
3.4.3 วงจรควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์.....	26
3.4.4 วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ของไฟฟ้ากระแสสลับ (Zero crossing).....	27
3.4.5 วงจรตรวจจับวัตถุ.....	28
3.4.6 วงจรแยกแหล่งจ่ายไฟฟ้าเทอร์โมคัปเปิล.....	29
3.4.7 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์และแอลอีดี.....	30
3.4.8 วงจรแปลงค่าเวอร์เนียดิจิตอล.....	31

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 การออกโครงสร้างของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	32
3.5.1 การออกโครงสร้างของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	32
3.5.2 ชุดควบคุมการทำงาน.....	35
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	36
4.1 การทดลองควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 200 องศาเซลเซียส ถึง 280 องศาเซลเซียส.....	36
4.2 การทดลองควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์.....	38
4.3 การทดลองการทำงานของเซ็นเซอร์เมื่อเศษพลาสติกหมด.....	40
4.4 การทดลองม้วนเก็บเส้นพลาสติก.....	41
4.5 การทดลองแสดงขนาดเส้นพลาสติกผ่านทางจอแสดงผล.....	42
4.6 การทดลองการหล่อเย็น.....	43
4.7 การทดลองหลอมเส้นพลาสติก.....	45
4.8 การทดลองฉีดเส้นพลาสติก.....	47
4.9 การทดลองความเร็วในการผลิตเส้น.....	50
4.10 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติก.....	54
4.11 การทดลองนำเส้นไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	66
4.12 การทดลองกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตเส้นพลาสติก.....	69
4.13 การทดลองเพิ่มตัวกรองกรองพลาสติกภายในท่อ.....	73
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	76
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	76
5.1.1 สรุปผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 200 องศาเซลเซียส ถึง 280 องศาเซลเซียส.....	76
5.1.2 สรุปผลการทดลองทดลองควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์.....	76
5.1.3 สรุปผลการทดลองการทำงานของเซ็นเซอร์เมื่อเศษพลาสติกหมด.....	76
5.1.4 สรุปผลการทดลองม้วนเก็บเส้นพลาสติก.....	76
5.1.5 สรุปผลการทดลองแสดงขนาดเส้นพลาสติกผ่านทางจอแสดงผล.....	76
5.1.6 สรุปผลการทดลองการหล่อเย็น.....	77

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.7 สรุปผลการทดลองหลอมเส้นพลาสติก.....	77
5.1.8 สรุปผลการทดลองฉีดเส้นพลาสติก.....	77
5.1.9 สรุปผลการทดลองความเร็วในการผลิตเส้น.....	77
5.1.10 สรุปผลการทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติก.....	77
5.1.11 สรุปผลการทดลองนำเส้นไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	77
5.1.12 สรุปผลการทดลองกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตเส้นพลาสติก.....	77
5.1.13 สรุปผลการทดลองเพิ่มตัวกรองกรองพลาสติกภายในท่อ.....	78
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	78
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	78
เอกสารอ้างอิง.....	80
ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใย เครื่องพิมพ์สามมิติ.....	82
ภาคผนวก ข คู่มือการใช้งานเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ....	102
ภาคผนวก ค คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ (Datasheet).....	107
ประวัติผู้เขียน.....	147

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1.....	2
1.2 แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 2.....	3
2.1 แบบฟูลสแต็ป 1 เฟส.....	7
2.2 แบบฟูลสแต็ป 2 เฟส.....	8
2.3 แบบฮาล์ฟสแต็ป.....	8
4.1 การทดลองควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 200 องศาเซลเซียส ถึง 280 องศาเซลเซียส.....	37
4.2 การทดลองควบคุมความเร็วของสเตปป์มอเตอร์ วัดความผิดพลาดขององศาการหมุน.....	39
4.3 การทดลองการทำงานของเซ็นเซอร์เมื่อเศษพลาสติกหมด.....	40
4.4 การทดลองม้วนเก็บเส้นพลาสติก.....	41
4.5 การทดลองแสดงขนาดเส้นพลาสติกผ่านทางจอแสดงผล.....	43
4.6 การทดลองการหล่อเย็น.....	44
4.7 การทดลองหลอมเส้นพลาสติก.....	46
4.8 การทดลองฉีดเส้นพลาสติก.....	48
4.9 การทดลองความเร็วในการผลิตเส้น.....	51
4.10 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกเส้นที่ 1.....	54
4.11 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกเส้นที่ 2.....	58
4.12 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกเส้นที่ 3.....	61
4.13 การทดลองนำเส้นไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	66
4.14 กระแสที่ใช้ในขณะที่เครื่องกำลังผลิตเส้นในแต่ละช่วง.....	69
4.15 การทดลองลักษณะของเส้นพลาสติกที่ไม่มีตัวกรองเส้น.....	73
4.16 การทดลองลักษณะของเส้นพลาสติกที่มีตัวกรองเส้น.....	74

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply).....	4
2.2 หลอดไฟแสดงสถานะ (Pilot lamp).....	5
2.3 โมดูลอุณหภูมิ เอ็มเอเอกซ์ 6675 (MAX6675 Module).....	5
2.4 จอทัชสกรีนแซมคูณ (HMI Samkoon).....	6
2.5 เบรกเกอร์ (Circuit Breaker).....	6
2.6 สเตปปีงมอเตอร์ (Stepping Motors).....	7
2.7 ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band Heater).....	9
2.8 รีเลย์ (Relay).....	9
2.9 อุปกรณ์แปลงสัญญาณ เอ็มเอเอ็กซ์ 3232 (MAX3232).....	10
2.10 ขาพอร์ตอาดยุโน นาโน.....	11
2.11 บอร์ดขับสเตปปีงมอเตอร์ ทีบี 6600 (Stepper Motor Driver TB 6600).....	12
2.12 เทอร์โมคัปเปิลชนิด เค (Thermocouple Type K).....	13
2.13 เส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printing Filament).....	13
2.14 พลาสติกชนิดพีอีที (Polyethylene Terephthalate).....	14
2.15 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor).....	15
2.16 ขาการต่อใช้งาน อาดยุโนเมก้า 2560.....	16
2.17 ออปโตคัปเปิลเลอร์ (Optocoupler).....	17
2.18 ไอซีเอทเมลเอทเมก้า 328 พี-พียู (Atmel ATmega 328 P-PU).....	18
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีทีเป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	19
3.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีทีเป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	20
3.3 ไอคอนโปรแกรม เอสเคโทล (SKTOOL V7.0).....	21
3.4 สร้าง New Project กำหนด Modle ของหน้าจอสกรีน.....	22
3.5 สร้าง New Link เพื่อใช้ Modbus ในการสื่อสารกับอาดยุโนเมก้า 2560.....	22
3.6 ออกแบบหน้าจอสกรีน.....	23
3.7 การ Download ไปยังจอแสดงผล.....	23
3.8 วงจรรวมของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีทีเป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	24
3.9 การต่อระบบไฟฟ้ากระแสสลับเข้าตัวเครื่อง.....	25
3.10 วงจรควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์.....	26

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ของไฟฟ้ากระแสสลับ.....	27
3.12 วงจรตรวจจับวัตถุ.....	28
3.13 วงจรแยกแหล่งจ่ายไฟฟ้าเทอร์โมคัปเปิล.....	29
3.14 วงจรขับมอเตอร์และแอลอีดี.....	30
3.15 วงจรแปลงค่าเวอร์เนียร์ดิจิตอล.....	31
3.16 เครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	33
3.17 กระจกบอกรับใส่เศษพลาสติก.....	33
3.18 ชุดต้นเส้นพลาสติก.....	33
3.19 ชุดทำความร้อนและกระจกบอกรวมเศษพลาสติก.....	34
3.20 ชุดหล่อเย็น.....	34
3.21 ชุดม้วนเก็บเส้นพลาสติก.....	34
3.22 ชุดควบคุมการทำงาน.....	35
4.1 การทดลองควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 180 องศาเซลเซียส ถึง 210 องศาเซลเซียส.....	37
4.2 การทดลองควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 220 องศาเซลเซียส ถึง 250 องศาเซลเซียส.....	38
4.3 การทดลองควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 260 องศาเซลเซียส ถึง 280 องศาเซลเซียส.....	38
4.4 กระจกใส่พลาสติก.....	40
4.5 เมื่อพลาสติกในกระจกลดลงต่ำกว่าเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ.....	41
4.6 การทดลองม้วนเก็บเส้นพลาสติก.....	42
4.7 ชุดหล่อเย็น.....	44
4.8 เส้นมีความเหนียว สีใส.....	45
4.9 เส้นมีลักษณะแข็ง สีขาวทึบ.....	45
4.10 เอาเศษพลาสติกชนิดพีอีที่นำมาผสมกับเม็ดพลาสติก.....	46
4.11 เส้นจากการนำเศษพลาสติกชนิดพีอีที่นำมาผสมกับเม็ดพลาสติก.....	46
4.12 เศษพลาสติกชนิดพีอีที่.....	47
4.13 เส้นจากการนำเศษพลาสติกชนิดพีอีที่.....	47
4.14 หัวฉีดเส้นพลาสติก.....	48
4.15 การตั้งค่าการใช้งานเครื่อง.....	48
4.16 การทดลองฉีดเส้นพลาสติก.....	49

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 การทดลองขนาดหัวฉีดเส้น 1.3 มิลลิเมตร เส้นพลาสติกขนาดไม่สม่ำเสมอ.....	49
4.18 การทดลองขนาดหัวฉีดเส้น 1.5 มิลลิเมตร เส้นพลาสติกขนาดไม่สม่ำเสมอ.....	49
4.19 การทดลองขนาดหัวฉีดเส้น 1.75 มิลลิเมตร เส้นพลาสติกขนาดไม่สม่ำเสมอ.....	50
4.20 การทดลองขนาดหัวฉีดเส้น 2 มิลลิเมตร เส้นพลาสติกขนาดไม่สม่ำเสมอ.....	50
4.21 ใส่เศษพลาสติกลงในกระบอกใส่เศษพลาสติก.....	51
4.22 การตั้งค่าการใช้งานเครื่อง.....	52
4.23 การทดลองความเร็วในการผลิตเส้น.....	52
4.24 ผลการทดลองความเร็วในการผลิตเส้นครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 10.....	53
4.25 วัดความยาวเส้น 200 เซนติเมตร.....	65
4.26 เส้นบางช่วงที่เกิดจากหัวฉีดเส้นไม่สม่ำเสมอ.....	65
4.27 เส้นพลาสติกที่นำไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	67
4.28 แบบที่ใช้ในการทดสอบการพิมพ์ชิ้นงาน.....	67
4.29 การทดลองนำเส้นไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	68
4.30 ชิ้นงานที่พิมพ์สำเร็จ.....	68
4.31 ปัญหาของเส้นพลาสติกที่ไม่ได้ขนาด.....	69
4.32 ตาข่ายอลูมิเนียมภายในท่อ.....	75
4.33 หัวฉีดที่ขันยึดกับท่อ.....	75

# บทที่ 1

## บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ ขอบเขตของการทำโครงการประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับขั้นตอน และวิธีการดำเนินงานรวมถึง โครงสร้างของปริญญาโท

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ขยะพลาสติกในปัจจุบันซึ่งมีจำนวนที่เพิ่มมากขึ้นในทุก ๆ ครั้งการกำจัดขยะพลาสติกเหล่านี้หลายกระบวนการ เช่น การนำพลาสติกไปรีไซเคิลฝังกลบ หรือเผาทำลายเพื่อเป็นการเพิ่มทางเลือก ในการรีไซเคิลขยะพลาสติก โดยเฉพาะขวดน้ำที่เป็นพลาสติกชนิดพีอีที ที่มีมากมายในปัจจุบันซึ่งสามารถนำมารีไซเคิลได้อย่างหลากหลาย ในโครงการนี้จะนำพลาสติกชนิดพีอีทีมาแปรรูปให้เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ เพื่อเป็นการประหยัดในการซื้อเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติสำเร็จรูปมาใช้งาน ในการสร้างสรรค์ต่อยอดความคิดใหม่ ๆ เพิ่มโอกาสในการเกิดผลงานนวัตกรรมกรรมใหม่ ๆ

### 1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการทำโครงการ

- 1) เพื่อศึกษาการรีไซเคิลของพลาสติก
- 2) เพื่อลดขยะของขวดพลาสติก
- 3) เพิ่มทางเลือกในการแปรรูปพลาสติก
- 4) เพื่อศึกษาระบบควบคุมการผลิตเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ

### 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ในการออกแบบผลงานโดยใช้พิมพ์สามมิติได้ แต่ละครึ่งของการพิมพ์ชิ้นงานอาจต้องมีการทดลองพิมพ์ชิ้นงาน ที่เป็นชิ้นงานทดลองก่อนพิมพ์ชิ้นงานจริง หรือชิ้นงานที่ไม่ต้องการความละเอียด ในการพิมพ์ซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในส่วนของการพิมพ์สามมิติ การที่นำพลาสติกอย่างเช่น ขวดน้ำที่ใช้พลาสติก หรือเศษพลาสติกชนิดพีอีที นำมารีไซเคิลให้เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการพิมพ์ และเพิ่มโอกาสในการสร้างสรรค์ชิ้นงานใหม่ ๆ

### 1.4 ขอบเขตของโครงการ

- 1) เครื่องสามารถหลอมพลาสติก ชนิดพีอีทีได้
- 2) เครื่องสามารถปรับอุณหภูมิในการหลอม 200 ถึง 280 องศาเซลเซียสค่าความผิดพลาด  $\pm 1$  องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) เส้นใยมีขนาด 1.75 มิลลิเมตร ความผิดพลาด  $\pm 0.2$  มิลลิเมตร
- 4) เครื่องหยุดเมื่อเศษพลาสติกที่ใช้ผลิตเส้นหมด
- 5) เครื่องสามารถใส่เศษพลาสติกได้ไม่น้อยกว่า 200 กรัม
- 6) เครื่องสามารถผลิตเส้นความเร็วไม่น้อยกว่า 40 มิลลิเมตรต่อนาที
- 7) เครื่องสามารถม้วนเก็บเส้นใยที่ผลิตได้
- 8) เครื่องสามารถแสดงค่าอุณหภูมิ ขนาดและความเร็วเส้นผ่านจอมอนิเตอร์ได้
- 9) เส้นใยสามารถนำไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติได้

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถลดขยะของขวดพลาสติก
- 2) สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ
- 3) ได้รับความรู้ของการแปรรูปพลาสติก

### 1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ในส่วนขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานแบ่งได้เป็นสองช่วงหลัก ๆ คือ แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1 ดังตารางที่ 1.1 และแผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 2 ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ช่วงเวลาดำเนินงาน (สิงหาคม - ธันวาคม 2565)				
	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
1) ศึกษาค้นคว้าคุณสมบัติของเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ	←→				
2) ศึกษาค้นคว้าระบบการหลอมพลาสติก และการผลิตเส้น		←→			
3) สร้างโครงสร้างชุดหลอมพลาสติก		←→			
4) ทดลองระบบการควบคุมอุณหภูมิ			←→		
5) สร้างโครงสร้างชุดอัดเส้นพลาสติก				←→	
6) ทดลองระบบการควบคุมสเตปมอเตอร์ สำหรับชุดอัดเส้นพลาสติก				←→	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 2

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ช่วงเวลาดำเนินงาน (มกราคม - พฤษภาคม 2566)				
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม
1) สร้างชุดหล่อเย็นของเส้นใย	←→				
2) ทดลองการหล่อเย็นของเส้นใย	←→	→			
3) ทดลองปรับขนาดของเส้นใย			←→	→	
4) ทดลองการใช้งานเส้นใยพลาสติกกับเครื่องพิมพ์สามมิติ				←→	→
5) ทดลองความคุ้มค่าระหว่างราคาของเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติและค่าไฟที่ใช้				←→	→

### 1.7 โครงสร้างปริญญาโท

ปริญญาโทฉบับนี้แบ่งออกเป็น 5 บท แต่ละบทประกอบไปด้วยเนื้อหาต่าง ๆ ดังต่อไปนี้  
 บทที่ 1 ในบทนี้จะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของขอบเขตของการศึกษาประโยชน์ และผลที่คาดว่าจะได้รับขั้นตอนการดำเนินงาน และโครงสร้างปริญญาโท

บทที่ 2 ในบทนี้จะกล่าวถึง ความรู้เบื้องต้นของเครื่องรีไซเคิลพลาสติกชนิดฟือที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำเครื่องรีไซเคิลพลาสติกชนิดฟือที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ

บทที่ 3 ในบทนี้จะกล่าวถึง บล็อกไดอะแกรมการทำงานเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดฟือที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ โพลีชาร์ตการทำงานเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดฟือที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ การออกแบบการเขียนจอตัสกรีน การออกแบบวงจร และการออกแบบโครงสร้างเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดฟือที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ

บทที่ 4 ในบทนี้จะกล่าวถึง การทดลองการทำงานของเครื่องรีไซเคิลพลาสติกชนิดฟือที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ การทดลองควบคุมอุณหภูมิ การทดลองควบคุมการทำงานของสเตปป์มอเตอร์ การทดลองการทำงานของเซ็นเซอร์เมื่อเศษพลาสติกหมด การทดลองม้วนเก็บเส้นพลาสติก การทดลองการหล่อเย็น การทดลองฉีดเส้นพลาสติก การทดลองหลอมเส้นพลาสติก การทดลองความเร็วในการผลิตเส้น การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติก และการทดลองนำเส้นไปใช้กับเครื่องพิมพ์ 3 มิติการทดลองกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตเส้นพลาสติก

บทที่ 5 ในบทนี้จะกล่าวถึง การทดลองเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดฟือที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติต่าง ๆ ปัญหาและอุปสรรค และข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ เครื่องแปรรูปเศษพลาสติกชนิดพีอีที เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply), หลอดไฟแสดงสถานะ (Pilot lamp), โมดูลวัดอุณหภูมิ เอ็มเอเอกซ์ 6675 (MAX6675 Module), จอทัชสกรีนแซมคูน (HMI Samkoon), เบรกเกอร์ (Circuit Breaker), สเตปป์มอเตอร์ (Stepping Motors), ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band Heater), รีเลย์ (Relay), อุปกรณ์แปลงสัญญาณ เอ็มเอเอกซ์ 3232 (MAX3232), อาดูยโน นาโน (Arduino Nano), บอร์ดขับสเตปป์มอเตอร์ ทีบี6600 (stepper motor driver TB6600), เทอร์โมคัปเปิล ชนิดเค (Thermocouple Type K), เส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D printing filament), พลาสติกชนิดพีอีที (Polyethylene Terephthalate) เซอร์โวมอเตอร์ (servo motor), อาดูยโนเมก้า (Arduino Mega 2560), ออปโตคัปเปิลเลอร์ (Optocoupler), ไอซีเอทีเมลเอทีเมก้า 328 พี-พียู (Atmel ATmega328P-PU) รวมไปถึงความรู้และทฤษฎีต่าง ๆ เป็นต้น

### 2.1 สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply)

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย [1] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลง และจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อื่น ๆ โดยการใช้กระแสไฟฟ้าสลับ เป็นแหล่งพลังงานเข้าสู่อุปกรณ์แล้วแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าตรง เพื่อให้อุปกรณ์ที่ต้องการได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม หน้าที่ของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย คือ ควบคุมการสลับสถานะของอุปกรณ์สวิตซ์ภายใน โดยใช้ระบบควบคุมที่ทำให้สวิตซ์เปิด และปิดในอัตราความถี่สูง การสลับสถานะนี้ทำให้พลังงานไฟฟ้าสามารถแปลง และจ่ายออกมาเป็นกระแสไฟฟ้าตรงที่มีความเสถียรและความเหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ใช้งานได้ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายของลักษณะมักจะมีรูปร่างทรงกลมหรือทรงสี่เหลี่ยมแบนบกล่องเล็ก ๆ แสดงดังรูปที่ 2.1 และมีขนาดเล็กพอที่จะพกพาได้ง่าย



รูปที่ 2.1 สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply)

(ที่มา: [www.songthamelec.com/product/9554](http://www.songthamelec.com/product/9554))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 หลอดไฟแสดงสถานะ (Pilot lamp)

หลอดไฟแสดงสถานะ [2] เป็นอุปกรณ์แสดงสถานะที่ใช้ในการแสดงผล หรือแจ้งเตือนในอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยทั่วไปจะเป็นหลอดไฟฟ้าที่มีสีสว่าง และสว่างเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่าน และสว่างอ่อนหรือดับเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน ซึ่งมักจะใช้ในการแสดงสถานะ เช่น สถานะเปิด/ปิด หรือการทำงานของระบบในอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน เครื่องจักร เครื่องกล เครื่องอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และอื่น ๆ หลอดไฟแสดงสถานะมีสีต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 หลอดไฟแสดงสถานะ (Pilot lamp)

(ที่มา: [mall.factomart.com/type-of-pilot-lamp](http://mall.factomart.com/type-of-pilot-lamp))

## 2.3 โมดูลวัดอุณหภูมิ เอ็มเอเอกซ์ 6675 (MAX6675 Module)

โมดูลวัดอุณหภูมิ เอ็มเอเอกซ์ 6675 [3] ใช้วัดอุณหภูมิที่ร้อนได้ถึง 1024 องศาเซลเซียส โดยมีความละเอียดอยู่ที่ 12 บิตสื่อสารด้วย SPI (Serial peripheral interface) ใช้เทคนิคการชดเชยจุดเย็นเพื่อวัดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างจุดเชื่อมต่อเทอร์โมคัปเปิล และจุดเชื่อมต่ออ้างอิงแปลงความแตกต่างอุณหภูมินี้ เป็นค่าดิจิตอล 12 บิต ซึ่งสามารถอ่าน และประมวลผลได้โดยไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อเทอร์โมคัปเปิลกับขาเข้าของไอซี และให้พลังงานไฟให้กับไอซีจะสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้อินเทอร์เฟซซีเรียลง่าย ๆ และให้ค่าอุณหภูมิเป็นตัวเลขดิจิตอลใช้กับเทอร์โมคัปเปิลชนิด เค โมดูลวัดอุณหภูมิเอ็มเอเอกซ์ 6675 มักจะมีขนาดเล็กและออกแบบให้สามารถใช้งานได้ง่าย และมีความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิในช่วงที่กำหนด โดยโมดูลมีลักษณะภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โมดูลอุณหภูมิ เอ็มเอเอกซ์ 6675 (MAX6675 Module)

(ที่มา: [th.aliexpress.com/item/32360367818.html](http://th.aliexpress.com/item/32360367818.html))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 จอทัชสกรีนแซมคูน (HMI Samkoon)

จอทัชสกรีนแซมคูน [4] ใช้ในอุตสาหกรรมอัตโนมัติ และระบบควบคุมต่าง ๆ ที่ต้องการการแสดงผลและควบคุมผ่านหน้าจอสัมผัส จอทัชสกรีนแซมคูนมีคุณสมบัติ และฟังก์ชันที่หลากหลายเพื่อรองรับความต้องการในงานอุตสาหกรรม การเชื่อมต่อกับระบบคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ผ่านพอร์ตการสื่อสาร ขนาดและรูปร่าง: จอทัชสกรีนแซมคูนมีหลากหลายขนาดตั้งแต่เล็กไปจนถึงใหญ่ ขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบหรืออุตสาหกรรมที่ใช้ งาน จอทัชสกรีนแซมคูนมีลักษณะเป็นจอสีเหลี่ยมผืนผ้าหรือจอสี่เหลี่ยมมุมมน แสดงดังรูปที่ 2.4 รวมถึงมีตัวเลือกให้เลือกตามความต้องการของผู้ใช้งาน



รูปที่ 2.4 จอทัชสกรีนแซมคูน (HMI Samkoon)  
(ที่มา: [th.aliexpress.com/item/1005002870703399.html?spm](http://th.aliexpress.com/item/1005002870703399.html?spm))

## 2.5 เบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

เบรกเกอร์ [5] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบไฟฟ้าเพื่อป้องกัน และควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ผ่านไปในวงจรไฟฟ้า ซึ่งมีหน้าที่สำคัญในการควบคุมความปลอดภัย และป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายที่อาจเกิดจากกระแสไฟฟ้าที่เกินกำหนด เซอร์กิตเบรกเกอร์จะทำหน้าที่ในการตัดการส่งกระแสไฟฟ้าเข้าสู่วงจร โดยการเปิดวงจรไฟฟ้าให้หยุดทำงานชั่วคราว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์หรือระบบที่เชื่อมต่อกับวงจรนั้น ๆ เบรกเกอร์มีลักษณะที่สอดคล้องกับมาตรฐานและรูปแบบการใช้งานในแต่ละอุตสาหกรรม และระบบไฟฟ้าและอาจมีขนาดและความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันไปตามความต้องการและการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยเบรกเกอร์ลักษณะภายนอกเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขั้วต่ออินพุทขั้วต่อเอาพุทคนละฝั่งกัน แสดงดังรูปที่ 2.5



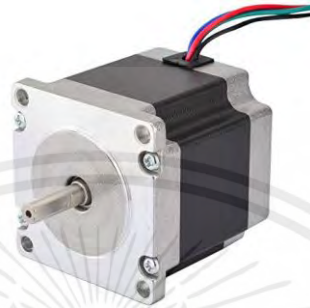
รูปที่ 2.5 เบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

(ที่มา: [dohome.co.th/th/haco-breaker-with-light-2p-10a-no-sb-n10l-10275921.html](http://dohome.co.th/th/haco-breaker-with-light-2p-10a-no-sb-n10l-10275921.html))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 สเต็ปป์มอเตอร์ (Stepping Motors)

สเต็ปป์มอเตอร์ [6] เป็นชนิดหนึ่งของมอเตอร์ที่ใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้า เป็นพลังงานกลโดยการทำให้แกนหมุนของมอเตอร์เลื่อนทีละขั้น มอเตอร์สเต็ปเป็นมอเตอร์ที่มีการควบคุมแบบดิจิทัล ซึ่งแตกต่างจากมอเตอร์แบบอื่นที่ใช้การควบคุมแบบอนาล็อก โดยส่วนใหญ่สเต็ปป์มอเตอร์มีลักษณะภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สเต็ปป์มอเตอร์ (Stepping Motors)

(ที่มา: [th.misumi-ec.com/th/pr/recommend\\_category/stepping\\_motors](http://th.misumi-ec.com/th/pr/recommend_category/stepping_motors))

### 2.6.1. การกระตุ้นเฟส แบบฟูลสเต็ปมอเตอร์ (Full Step Motor)

1) การกระตุ้นเฟส แบบฟูลสเต็ป 1 เฟส (Single-Phase Driver) หรือแบบเวฟจะเป็นการป้อนกระแสไฟให้แก่ขดลวด ของสเต็ปป์มอเตอร์ทีละขด โดยจะมีการป้อนกระแสเรียงตามลำดับกันไป ดังตารางที่ 2.1 กระแสที่ไหลในขดลวด จะทำการไหลไปในทิศทางเดียวกันทุกขดโดยลักษณะเช่นนี้จึงทำให้แรงขับของสเต็ปป์มอเตอร์มีแรงบิดน้อย

ตารางที่ 2.1 แบบฟูลสเต็ป 1 เฟส

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

2) การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส (Two-Phase Driver) เป็นการป้อนกระแสให้แก่ขดลวด 2 ขด ของสเต็ปป์มอเตอร์ไปพร้อม ๆ กัน ดังตารางที่ 2.2 และจะกระตุ้นเรียงถัดกันไปเป็นลำดับเช่นเดียวกับแบบหนึ่งเฟส ดังนั้นการกระตุ้นแบบนี้จึงต้องใช้กระแสที่มากขึ้น และจะทำให้มีแรงบิดของมอเตอร์มากกว่าการกระตุ้นแบบ 1 เฟส

ตารางที่ 2.2 แบบพูลสเต็ป 2 เฟส

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

### 2.6.2 การกระตุ้นเฟส แบบฮาล์ฟสเต็ป (Half Step Motor)

การกระตุ้นเฟส แบบฮาล์ฟสเต็ป คือการกระตุ้นเฟสแบบ พูลสเต็ป 1 เฟส และ 2 เฟส เรียงลำดับกันไป ดังตารางที่ 2.3 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นเฟสแบบนี้จะมีเพิ่มมากขึ้น เพราะช่วงของสเต็ปมีระยะสั้นลง ในการกระตุ้นแบบนี้จะต้องมีการกระตุ้นที่เฟสถึง 2 ครั้ง จึงจะได้ระยะของสเต็ปเท่ากับการกระตุ้นเพียงครั้งเดียว ของแบบพูลสเต็ป 2 แบบแรก ความละเอียดของการหมุนตำแหน่งองศาต่อสเต็ป ก็เป็นสองเท่าของแบบแรก ความถูกต้องของตำแหน่งที่กำหนดจึงมีมากขึ้น

ตารางที่ 2.3 แบบฮาล์ฟสเต็ป

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

### 2.7 ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band Heater)

ฮีตเตอร์รัดท่อ [7] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเพิ่มความร้อนให้กับวัตถุหรือส่วนของเครื่องจักร โดยมักจะมีรูปร่างเป็นแบนด์ หรือแถบที่คล้องรอบวัตถุที่ต้องการเพิ่มความร้อน และมีการติดตั้งระบบสั่งงานเพื่อปรับความร้อนที่ต้องการ ฮีตเตอร์รัดท่อสามารถปรับอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าได้ตามความต้องการ โดยใช้ความร้อนจากตัวอุปกรณ์เผาไฟฟ้าที่คล้องรอบวัตถุ เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าสู่ฮีตเตอร์รัดท่อ จะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสายไฟ และเครื่องหมายสัญญาณจะส่งคำสั่งไปยังระบบ

ควบคุมเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม ฮีตเตอร์รััดท่อมีลักษณะที่หลากหลายและสามารถปรับแต่งให้เหมาะสมกับความต้องการของแต่ละการใช้งาน ลักษณะภายนอกฮีตเตอร์รััดท่อ แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ฮีตเตอร์รััดท่อ (Band Heater)

(ที่มา: hi-den.co.th)

## 2.8 รีเลย์ (Relay)

รีเลย์ [8] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบไฟฟ้าเพื่อควบคุมการเปิดหรือปิดวงจรไฟฟ้า โดยใช้งานของแม่เหล็กโดยทั่วไปมีส่วนประกอบ แม่เหล็ก (Coil) ตัวกันรีเลย์ มักนำไปใช้ในระบบควบคุมอุตสาหกรรม ระบบควบคุมเครื่องจักร ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ การใช้รีเลย์ช่วยในการควบคุมวงจรไฟฟ้าช่วยลดความซับซ้อนของวงจร เพราะสามารถใช้สัญญาณเล็กเพื่อควบคุมสัญญาณไฟฟ้าที่มีความแรงสูงขึ้น การเลือกใช้รีเลย์ต้องคำนึงถึงค่ากระแส และแรงดันที่เหมาะสมกับการทำงานของวงจร รวมถึงความต้องการของการสั่งงานและการเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้า รีเลย์มักมีลักษณะกล่องแสดงดังรูปที่ 2.8 เพื่อปกป้องอุปกรณ์ภายในจากสภาวะแวดล้อมภายนอก



รูปที่ 2.8 รีเลย์ (Relay)

(ที่มา: <http://www.praguynakorn.com/product/1718/item>)

## 2.9 อุปกรณ์แปลงสัญญาณ เอ็มเอเอ็กซ์ 3232 (MAX3232)

อุปกรณ์แปลงสัญญาณ เอ็มเอเอ็กซ์ 3232 [9] เป็นไอซีที่ใช้ในการแปลงสัญญาณระหว่างระบบรับ-ส่งข้อมูล แบบระดับโลจิกกับระบบรับ-ส่งข้อมูลแบบระดับไฟฟ้าสูงหรือระบบรับ-ส่งข้อมูลแบบระดับอนาล็อกอาร์เอส 232 ในการสื่อสารข้อมูลมีฟังก์ชันในการแปลงสัญญาณ และป้องกันอุปกรณ์ที่อาจเกิดขึ้นในการสื่อสาร โดยมีความสามารถในการปรับระดับแรงดัน และสัญญาณข้อมูล และรองรับความเร็วสูง ในการสื่อสารอุปกรณ์ที่มีการส่งข้อมูลด้วยอนาล็อก อุปกรณ์แปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเอ็มเอเอ็กซ์ 3232 มักมีลักษณะกล่องหรือภายนอกที่มีการออกแบบเพื่อปกป้องอุปกรณ์ภายในจากสถานะแวดล้อมภายนอก โดยลักษณะภายนอกของบอร์ดเอ็มเอเอ็กซ์ 3232 แสดงดังรูป 2.9



**รูปที่ 2.9** อุปกรณ์แปลงสัญญาณ เอ็มเอเอ็กซ์ 3232 (MAX3232)  
(ที่มา: [th.aliexpress.com/item/4000393724726.html](http://th.aliexpress.com/item/4000393724726.html))

### 2.9.1 การเชื่อมต่อสายอุปกรณ์แปลงสัญญาณ เอ็มเอเอ็กซ์ 3232

- 1) พอร์ต TX เป็นขาส่งข้อมูล
- 2) พอร์ต RX เป็นขารับข้อมูล
- 3) พอร์ต RTS เป็นขาที่ส่งสถานะไปยังตัวรับ ว่าต้องการส่งข้อมูล เมื่อต้องการส่งข้อมูลจะ ON จนกระทั่งส่ง Data ออกทางขา TX จนเสร็จจึงจะ OFF
- 4) พอร์ต CTS เป็นขาที่รอรับสถานะ จาก RTS ของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ด้วย
- 5) พอร์ต DTR เป็นขาที่แสดงสถานะว่า Port นั้นเปิดอยู่หรือไม่
- 6) พอร์ต DSR เป็นขาที่ใช้ตรวจเช็ค สถานะ DTR ของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ
- 7) พอร์ต GND เป็น Signal Ground

### 2.9.2 คุณสมบัติสำคัญของอุปกรณ์แปลงสัญญาณเอ็มเอเอ็กซ์ 3232

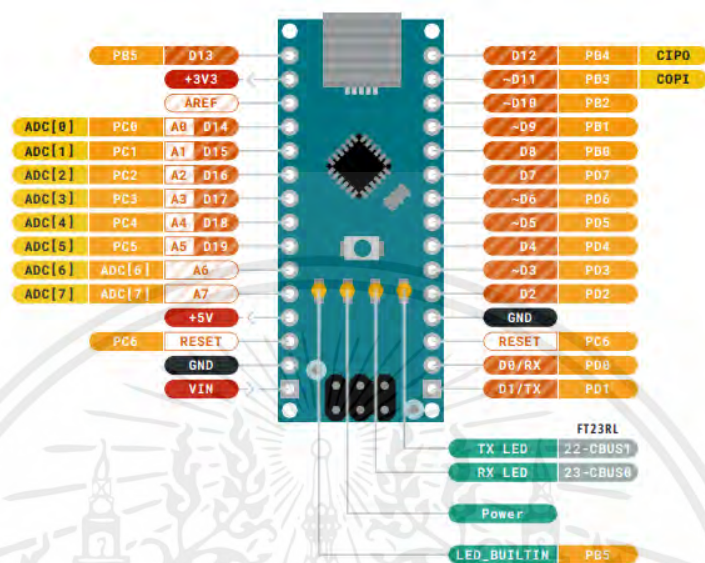
อุปกรณ์แปลงสัญญาณเอ็มเอเอ็กซ์ 3232 เป็นชิปไอซีที่มีความสามารถในการแปลงสัญญาณระดับไฟฟ้าระหว่างระบบลอจิก และระบบอาร์เอส 232 โดยมีคุณสมบัติที่ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ที่ใช้อาร์เอส 232

## 2.10 อาดูยโนนาโน (Arduino Nano)

อาดูยโนนาโน [10] เป็นรุ่นหนึ่งของบอร์ดอาดูยโนที่มีขนาดเล็ก และใช้ชิปคอมพิวเตอร์ เอทีเมก้า 328 พี ซึ่งเป็นชิปเดียวกับบอร์ดอาดูยโนยูโน แต่มีขนาดเล็กกว่า อาดูยโนนาโนสามารถเชื่อมต่อกับโมดูลและเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เพื่อให้สามารถควบคุมและติดต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างหลากหลายอาดูยโน นาโน มีข้อดีหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับบอร์ดอาดูยโน มีขนาดเล็ก และเล็กกระทัดรัดทำให้ง่ายต่อการติดตั้ง และใช้งานในพื้นที่ที่มีขนาดจำกัดหรือโครงการที่ต้องการบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเล็กอาดุยโนนาโน มีความสามารถ และฟังก์ชันที่ครบถ้วนเหมือนกับบอร์ดอาดุยโน ที่สามารถทำได้โดยใช้ไลบรารี และการเขียนโค้ด อาดุยโนนาโน มีพอร์ตต่าง ๆ ขาพอร์ตอาดุยโน นาโนดัง แสดงรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ขาพอร์ตอาดุยโนนาโน

(ที่มา: <https://www.ai-corporation.net/2021/11/26/arduino-nano-v3/>)

พอร์ตใช้งานต่าง ๆ อาดุยโน นาโน มีดังนี้

- 1) ขาพอร์ต D0 ถึง D13 สามารถใช้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้
- 2) ขาพอร์ต A0 ถึง A7 ใช้ในการอ่านค่าแอนาล็อก
- 3) ขาพอร์ต VIN พอร์ตนำเข้าแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟภายนอก
- 4) ขาพอร์ต 5V พอร์ตส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์
- 5) ขาพอร์ต 3.3V พอร์ตส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์
- 6) ขาพอร์ต GND พอร์ตเก็บแรงดันไฟฟ้าออกจากบอร์ด
- 7) ขาพอร์ต RX (Receive) พอร์ตรับข้อมูลแบบซีเรียล
- 8) ขาพอร์ต TX (Transmit) พอร์ตส่งข้อมูลแบบซีเรียล
- 9) ขาพอร์ต SDA พอร์ตสำหรับส่งข้อมูลในระบบสื่อสารแบบ I2C
- 10) ขาพอร์ต SCL พอร์ตสำหรับส่งสัญญาณนาฬิกาในระบบสื่อสารแบบ I2C
- 11) ขาพอร์ต MOSI พอร์ตสำหรับส่งข้อมูลจาก Master ไปยัง Slave
- 12) ขาพอร์ต MISO พอร์ตสำหรับรับข้อมูลจาก Slave ไปยัง Master
- 13) ขาพอร์ต SCK พอร์ตสำหรับส่งสัญญาณนาฬิกาในระบบสื่อสารแบบ SPI
- 14) ขาพอร์ต SS พอร์ตสำหรับเลือก Slave ในระบบสื่อสารแบบ SPI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 บอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ทีบี 6600 (Stepper Motor Driver TB 6600)

บอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ทีบี 6600 [11] โมดูลสเต็ปมอเตอร์ ที่มีช่องไว้สำหรับ การเชื่อมต่อเข้ากับสเต็ปมอเตอร์ จำนวน 4 เส้น และมีช่องสำหรับบ่อนสัญญาณจากตัวของ คอนโทรลเลอร์ จำนวน 3 เส้น คือ PUL DIR ENABLE โดย PUL และ DIR เป็นขาที่ใช้สำหรับการ ควบคุมในการหมุนของมอเตอร์ ดังรูป 2.11 ซึ่งจะเป็นการระบุทิศทางองศา และความเร็วในการหมุน ENABLE เป็นช่องที่ถูกปล่อนให้เป็น LOW ตลอดการใช้งาน เนื่องจากหากมีสถานะเป็น HIGH นั้นจะ ทำให้ Output ที่ไปยังตัวสเต็ปมอเตอร์ เป็น Disable Mode



รูปที่ 2.11 บอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ทีบี 6600 (Stepper Motor Driver TB 6600)  
(ที่มา: [arduino4.com/product](http://arduino4.com/product))

คุณสมบัติบอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ ทีบี 6600

- 1) รองรับการควบคุมกระแสไฟ 8 แอมป์
- 2) รองรับไมโครสเต็ปที่สามารถปรับได้ 7 แบบ
- 3) ชูระบายความร้อนขนาดใหญ่
- 4) สามารถป้องกันสัญญาณรบกวนความถี่สูง
- 5) อินพุตของระบบสามารถป้องกันการกลับด้าน
- 6) มีวงจรป้องกันไฟฟาลัดวงจรและการเสไฟฟ้าเกิน

## 2.12 เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (Thermocouple Type K)

เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค [12] เป็นชนิดหนึ่งของเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้สำหรับการวัดอุณหภูมิอย่าง แพร่หลาย นับเป็นหนึ่งในชนิดของเทอร์โมคัปเปิลที่ได้รับความนิยม และใช้งานอย่างกว้างขวาง มี คุณสมบัติที่โดดเด่นคือ ช่วงอุณหภูมิที่กว้างและความแม่นยำที่ดี สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -200 องศาเซลเซียส ถึง +1372 องศาเซลเซียส และมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูง มีการสร้าง แรงดันไฟฟ้าเมื่อมีความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างจุดประสานการวัด และจุดอ้างอิง ทำให้มีการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่หลากหลายในอุตสาหกรรม และการประยุกต์ใช้ต่าง ๆ เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค มักใช้วัสดุชนิด Nickel-Chromium (NiCr) เป็นสายหลัก และชนิด Nickel-Aluminum (NiAl) เป็นสายประกอบ โดยสายทั้งสองจะถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เทอร์โมคัปเปิลชนิด เค (Thermocouple Type K)  
(ที่มา: [zonemaker.com/product](http://zonemaker.com/product))

### 2.13 เส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printing Filament)

เส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ [13] เป็นวัสดุที่ใช้ในกระบวนการพิมพ์สามมิติ โดยเส้นใยนี้จะถูกล็อกเข้าสู่เครื่องพิมพ์สามมิติเพื่อสร้างวัตถุตามแบบจำลองที่ออกแบบไว้ เส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติสามารถมาจากวัสดุหลายชนิด เช่น พลาสติก ไฟเบอร์กลาส โลหะ ไม้ และวัสดุอื่น ๆ ซึ่งแต่ละวัสดุมีคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกันไป เส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติมีขนาดหลายขนาด แต่ขนาดที่พบบ่อยที่สุดคือ 1.75 มิลลิเมตร และ 2.85 มิลลิเมตร ซึ่งมีการใช้งานและความเข้ากันได้กับเครื่องพิมพ์สามมิติต่าง ๆ เส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติมีลักษณะที่เป็นเส้นเรียบ ๆ ขดอยู่ในม้วนกลม แสดงดังรูป 2.13 และสีที่หลากหลายมักมีขนาดมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการพิมพ์สามมิติ



รูปที่ 2.13 เส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printing Filament)  
(ที่มา: [metrosystems-des.com](http://metrosystems-des.com))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติมีคุณสมบัติที่หลากหลายขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ผลิต และความต้องการของผู้ใช้งาน ในการเลือกใช้เส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติควรพิจารณาคุณสมบัติทั้งหมด เพื่อให้ได้ผลลัพธ์การพิมพ์ที่ตรงตามความต้องการ

## 2.14 พลาสติกชนิดพีอีที (Polyethylene Terephthalate)

พลาสติกชนิดพีอีที [14] เป็นชนิดพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายในการผลิตผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภท รวมถึงภาชนะสำหรับอาหาร และเครื่องดื่มวัสดุบรรจุภัณฑ์ และผ้าอาน เป็นวัสดุที่แข็งแรง น้ำหนักเบา และทนทานต่อความชื้น และมีความแข็งแรงต่อสารเคมีดีพลาสติกชนิดพีอีทียังได้รับการรีไซเคิลอย่างแพร่หลาย และถือว่าเป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าชนิดพลาสติกอื่น ๆ จุดหลอมเหลว อยู่ในช่วงประมาณ 245 ถึง 255 องศาเซลเซียส ลักษณะของพลาสติกชนิดพีอีทีคือ วัสดุที่แข็งแรง โปร่งใส แสดงดังรูปที่ 2.14 ทนต่อสารเคมี ทนต่อความร้อน มีความสามารถในการรีไซเคิล และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.14 พลาสติกชนิดพีอีที (Polyethylene Terephthalate)

(ที่มา: ruengratinter.com)

คุณสมบัติที่สำคัญของพีอีทีมีลักษณะดังนี้

- 1) ความแข็งแรง พลาสติกชนิดพีอีทีเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง ทำให้มีความทนทานต่อแรงกดและแรงตกรางได้ดี นั้นทำให้เหมาะสำหรับการใช้ในแอปพลิเคชันที่ต้องการความทนทาน และความต้านทานต่อแรงกระแทก เช่น ขวดน้ำดื่ม และอุปกรณ์บรรจุภัณฑ์อื่น ๆ
- 2) ความโปร่งแสง พลาสติกชนิดพีอีทีมีความโปร่งแสง
- 3) ความต้านทานต่อสารเคมี พลาสติกชนิดพีอีทีมีความต้านทานต่อสารเคมี ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในแวดวงอาหารและเครื่องดื่ม
- 4) ความทนทานต่อความร้อน พลาสติกชนิดพีอีทีมีความทนทานต่อความร้อนสูง
- 5) ความใส พลาสติกชนิดพีอีทีเป็นวัสดุที่มีความใสสูง ซึ่งทำให้สามารถมองเห็นสิ่งของภายในได้อย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.15 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

เซอร์โวมอเตอร์ [15] เป็นชนิดหนึ่งของมอเตอร์ที่ใช้ในระบบควบคุม และปรับเปลี่ยนตำแหน่งหรือการเคลื่อนที่ของวัตถุตามคำสั่งที่ได้รับ โดยมีหลักการทำงานคือการตรวจจับตำแหน่งปัจจุบัน และทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งเพื่อให้วัตถุเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการหรือรักษาตำแหน่งให้คงที่ ลักษณะของเซอร์โวมอเตอร์คือ วัสดุที่มีขนาดและรูปร่างหลากหลาย มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยมอเตอร์และระบบตัวควบคุม โดยลักษณะภายนอกเซอร์โวมอเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

(ที่มา: <http://banmohelectronic.lnwshop.com>)

### 2.15.1 เซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วย

- 1) มอเตอร์ (Motor) เซอร์โวมอเตอร์ใช้มอเตอร์เป็นหลักซึ่งมีโครงสร้างที่สามารถควบคุมการหมุนโดยใช้สัญญาณพลังงานไฟฟ้า
- 2) เซอร์โวชุดก้าน (Servo Shaft) เป็นก้านหรือแขนที่ต่ออยู่กับมอเตอร์ และใช้สำหรับรับแรงที่มอเตอร์ส่งออกมา และส่งพลังงานไปยังวัตถุที่ต้องการควบคุม
- 3) วงจรควบคุม (Control Circuit) เป็นส่วนที่ใช้ในการรับสัญญาณควบคุม และประมวลผลเพื่อส่งสัญญาณควบคุมไปยังมอเตอร์เพื่อควบคุมการหมุน และตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์

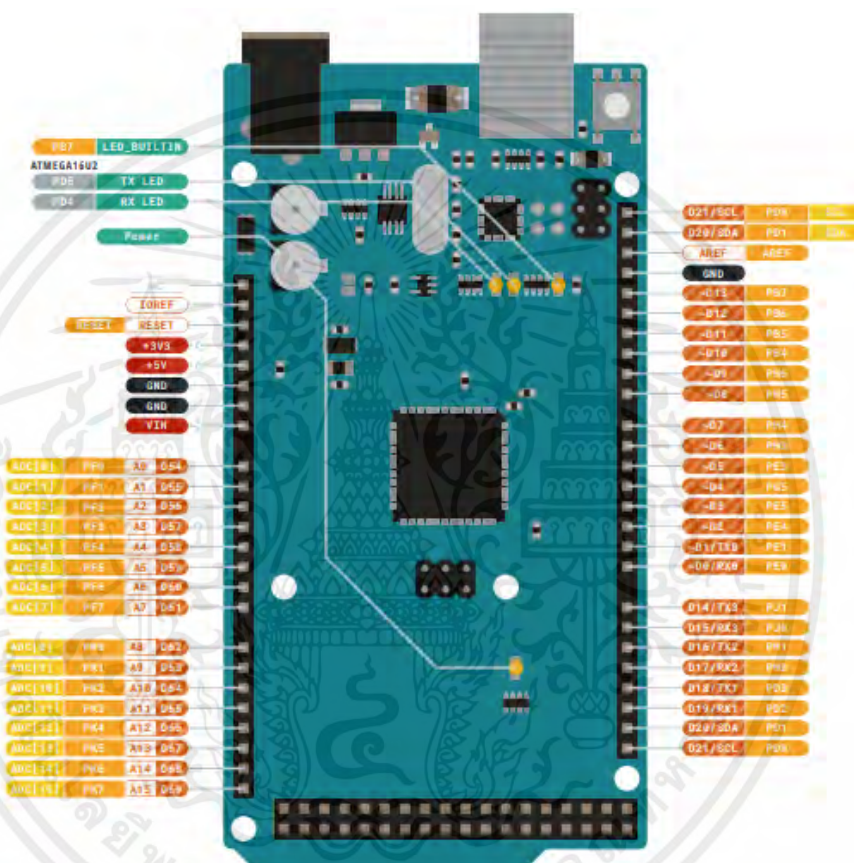
### 2.15.2 เซอร์โวมอเตอร์มีการทำงานหลัก ๆ อยู่ในโหมดควบคุม 2 โหมด

- 1) โหมดควบคุมตำแหน่ง (Position Control Mode) เมื่อได้รับสัญญาณควบคุมตำแหน่ง มอเตอร์จะหมุนไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ และรักษาตำแหน่งนั้นในขณะที่ได้รับสัญญาณควบคุมอยู่
- 2) โหมดควบคุมความเร็ว (Speed Control Mode) เมื่อได้รับสัญญาณควบคุมความเร็ว มอเตอร์จะหมุนในความเร็วที่กำหนดไว้ และรักษาความเร็วนั้นในขณะที่ได้รับสัญญาณควบคุมอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.16 อาศัยโนเมก้า 2560 (Arduino Mega 2560)

อาศัยโนเมก้า 2560 [16] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมและจัดการระบบอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ โดยมีความสามารถในการประมวลผลและควบคุมอยู่บนชิปวงจรเล็ก ๆ ที่อยู่ในตัวอุปกรณ์นั้น สามารถนำมาใช้ในหลาย ๆ งาน เช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ระบบควบคุมอัตโนมัติ และอื่น ๆ ในตัวอุปกรณ์นี้มีซีพียูและหน่วยความจำที่ใช้ในการประมวลผล ลักษณะพอร์ตขาอาศัยโนเมก้า แสดงดังรูป 2.16



รูปที่ 2.16 ขาการต่อใช้งาน อาศัยโนเมก้า 2560

(ที่มา: <https://www.ai-corporation.net/2021/11/25/arduino-mega2560/>)

พอร์ตใช้งานต่าง ๆ อาศัยโน นานอ มีดังนี้

- 1) ขาพอร์ต D0 ถึง D53 สามารถใช้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้
- 2) ขาพอร์ต A0 ถึง A15 ใช้ในการอ่านค่าแอนาล็อกจากเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์อื่น ๆ
- 3) ขาพอร์ต VIN พอร์ตนำเข้าแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟภายนอก
- 4) ขาพอร์ต 5V พอร์ตส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์
- 5) ขาพอร์ต 3.3V พอร์ตส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) ขาพอร์ต GND: พอร์ตเก็บแรงดันไฟฟ้าออกจากบอร์ด
- 7) ขาพอร์ต RX0, TX0 รับและส่งข้อมูลแบบซีเรียลสื่อสารผ่านช่องทาง Serial 0
- 8) ขาพอร์ต RX1, TX1 รับและส่งข้อมูลแบบซีเรียลสื่อสารผ่านช่องทาง Serial 1
- 9) ขาพอร์ต RX2, TX2 รับและส่งข้อมูลแบบซีเรียลสื่อสารผ่านช่องทาง Serial 2
- 10) ขาพอร์ต RX3, TX3 รับและส่งข้อมูลแบบซีเรียลสื่อสารผ่านช่องทาง Serial 3
- 11) ขาพอร์ต SDA พอร์ตสำหรับส่งข้อมูลในระบบสื่อสารแบบ I2C
- 12) ขาพอร์ต SCL พอร์ตสำหรับส่งสัญญาณนาฬิกาในระบบสื่อสารแบบ I2C
- 13) ขาพอร์ต MOSI ส่งข้อมูลจาก Master ไปยัง Slave สื่อสารแบบ SPI
- 14) ขาพอร์ต MISO รับข้อมูลจาก Slave ไปยัง Master สื่อสารแบบ SPI
- 15) ขาพอร์ต SCK พอร์ตสำหรับส่งสัญญาณนาฬิกาในระบบสื่อสารแบบ SPI
- 16) ขาพอร์ต SS พอร์ตสำหรับเลือก Slave ในระบบสื่อสารแบบ SPI

## 2.17 ออปโตคัปเปิลเลอร์ (Optocoupler)

ออปโตคัปเปิลเลอร์ [17] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกแยะ และป้องกันสัญญาณไฟฟ้าระหว่างวงจรภายใน และวงจรภายนอก โดยประกอบด้วยองค์ประกอบสองส่วนหลัก คืออิมิตเตอร์แสง และไฟตรวจจับ เพื่อเชื่อมต่อระหว่างส่วนของวงจรอินพุต และส่วนของวงจรเอาต์พุต ทำให้สามารถส่งสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาล็อกหรือดิจิทัลระหว่างวงจรภายใน โดยไม่ต้องตรงต่อกันโดยตรง องค์ประกอบส่วนภายในของออปโตคัปเปิลเลอร์ปกติจะปิดถึงมีลักษณะเป็นแยกแยะ โดยลักษณะภายนอกมีขาอินพุต 2 ขา และขาเอาต์พุต 2 ขา แสดงรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ออปโตคัปเปิลเลอร์ (Optocoupler)

(ที่มา: <https://www.arduitronics.com/product/2816/>)

## 2.18 ไอซีเอทีเมลเอทีเมก้า 328 พี-พียู (Atmel ATmega 328 P-PU)

ไอซีเอทีเมลเอทีเมก้า 328 [18] อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน จำนวนไอซีเอทีเมลเอทีเมก้า 328 พี-พียู มีคุณสมบัติทางด้านการประมวลผลและความจำที่สำคัญซึ่งประกอบด้วย แกนประมวลผลที่ทำงานด้วยเทคโนโลยี AVR RISC (Reduced Instruction Set) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Computing) ที่มีความเร็วสูงสุดที่ 20 เมกะเฮิร์ตซ์ความจำแบบภายในแบ่งออกเป็นภายในแฟลชเมมโมรี (Flash memory) ขนาด 32 กิโลไบต์ สำหรับโปรแกรม และ 2 กิโลไบต์ ของความจำแบบแรม (SRAM) มีตัวแปรที่ถูกต้องตรงตามมาตรฐาน และตัวกระตุ้นสัญญาณในการติดต่อภายนอก เช่น ขาแสดงผลดิจิทัล (Digital I/O pins) และพอร์ตแอนาล็อก (Analog ports) สำหรับการอ่านค่าแรงดันแอนาล็อก สนับสนุนการติดต่อสื่อสารต่างๆ โดยลักษณะภายนอกของไอซีเอทีเมลเอทีเมก้า 328 พี-พียู แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ไอซีเอทีเมลเอทีเมก้า 328 พี-พียู (Atmel ATmega 328 P-PU)

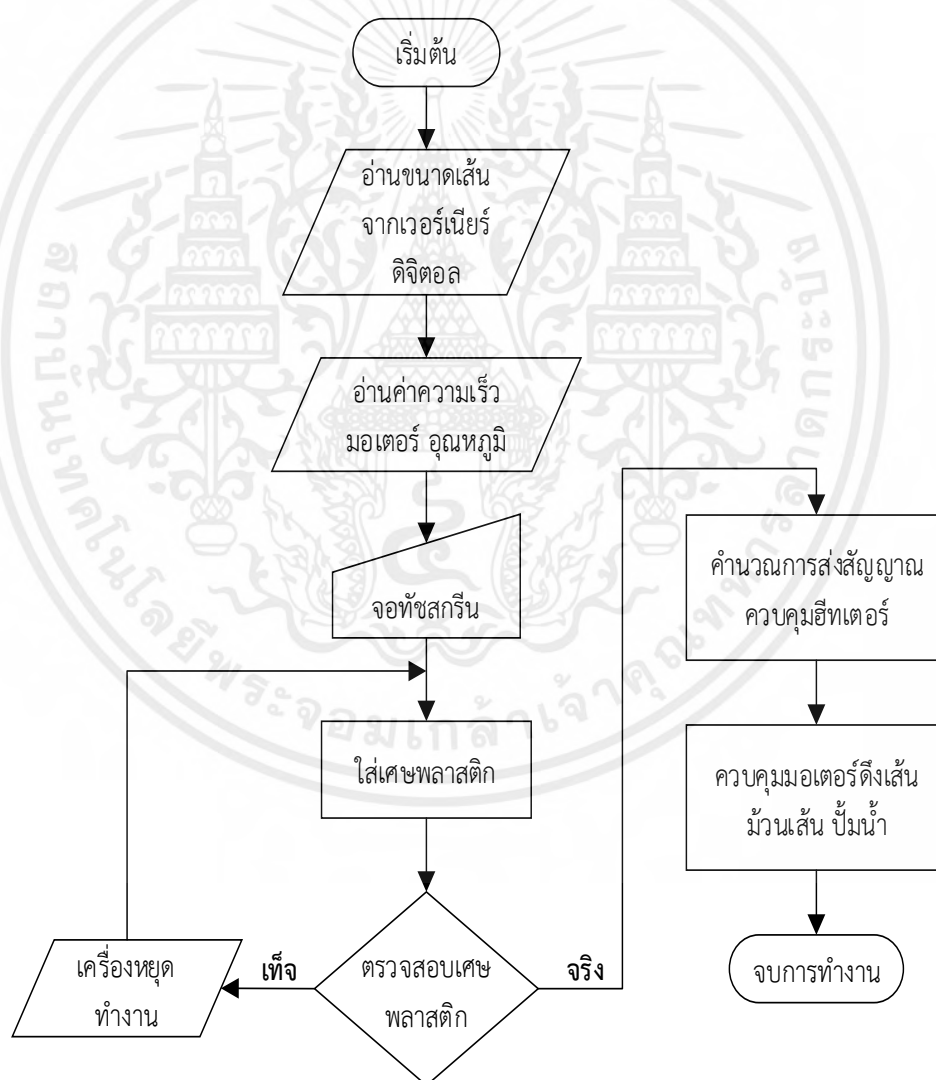
(ที่มา: <https://www.arduino4.com/product/540/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



nano) สั่งให้ตัวทำความร้อนเริ่มทำงานตามอุณหภูมิ ที่ตั้งไว้จากหน้าจอตชสกรีนพร้อมทั้งอ่านค่าอุณหภูมิ ส่งไปแสดงผลที่หน้าจอตชสกรีน เมื่ออุณหภูมิได้ตามที่กำหนดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนเมกกะ 2560 จะสั่งการให้แก่ สเตปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motors) เพื่อป้อนเศษพลาสติกเข้าสู่เตาหลอมตามค่าความเร็วที่ตั้งค่าไว้เหมาะสม เมื่อพลาสติกถูกหลอมเหลวจะถูกฉีดออกมา และเข้าสู่ระบบหล่อเย็นโดยมีการวัดขนาดเพื่อทำการปรับจูน ขนาดเส้นของพลาสติกให้ได้ตามขนาดที่กำหนดไว้ และเข้าสู่การม้วนเก็บเส้นพลาสติกที่ได้เป็นลำดับถัดไป

### 3.2 โพล์ชาร์ตการทำงานของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ



รูปที่ 3.2 โพล์ชาร์ตการทำงานของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 ในการโปรแกรมของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ เริ่มต้นการทำงานโดยอ่านค่าต่าง ๆ จากเซนเซอร์ที่มีเช่น วัดขนาดเส้น ความเร็วมอเตอร์ อุณหภูมิ ซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้นำมาแสดงผลไว้ที่หน้าจอทัชสกรีน

การที่เครื่องจะทำงานได้นั้นจะมีเงื่อนไขคือ ในกระบอกใส่เศษพลาสติกจะต้องมีเศษพลาสติกอยู่โดยมีเงื่อนไขตรวจสอบก่อนที่จะให้มีการควบคุมในส่วนอื่น ๆ ผ่านจอทัชสกรีน ถ้าในกระบอกไม่มีเศษพลาสติก เครื่องจะหยุดทำงานจนกว่าจะใส่เศษพลาสติกลงในท่อ ส่วนในจอทัชสกรีนนั้นสามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ต่าง ๆ อุณหภูมิของฮีทเตอร์ได้ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้จะนำมาประมวลผลโดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการควบคุมระบบต่าง ๆ ของตัวเครื่อง

### 3.3 การออกแบบการเขียนจอทัชสกรีน

การออกแบบหน้าจอตชกรีน ใช้โปรแกรม เอสเคโทล (SKTOOL V7.0) HMI SAMKOOKN แสดงดังรูปที่ 3.3 ในการออกแบบเป็นโปรแกรมสำหรับออกแบบหน้าจอตชกรีนของจอ มีขั้นตอนการออกแบบการเขียนหน้าจอตชกรีนดังนี้



รูปที่ 3.3 ไอคอนโปรแกรม เอสเคโทล (SKTOOL V7.0)

1) การออกแบบนั้น เริ่มจากสร้าง New Project และตั้งชื่อโปรเจกตามต้องการ เลือก Size/Series และ Model ตามสเปคจอที่มี แสดงดังรูปที่ 3.4

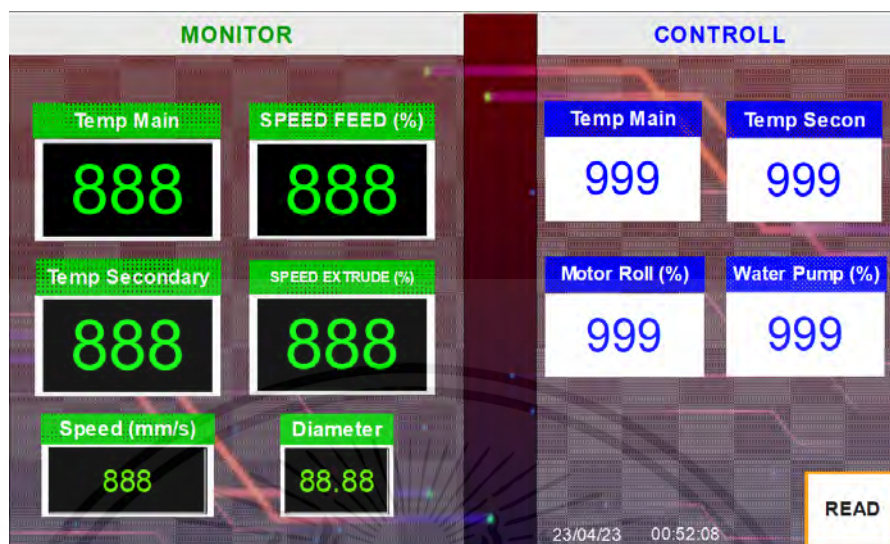
รูปที่ 3.4 สร้าง New Project กำหนด Model ของหน้าจอทัชสกรีน

2) การเลือก New Link เพื่อทำการเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ 2560 โดยการเลือก Device Service แสดงดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 สร้าง New Link เพื่อใช้ Modbus ในการสื่อสารกับฮาร์ดแวร์ 2560

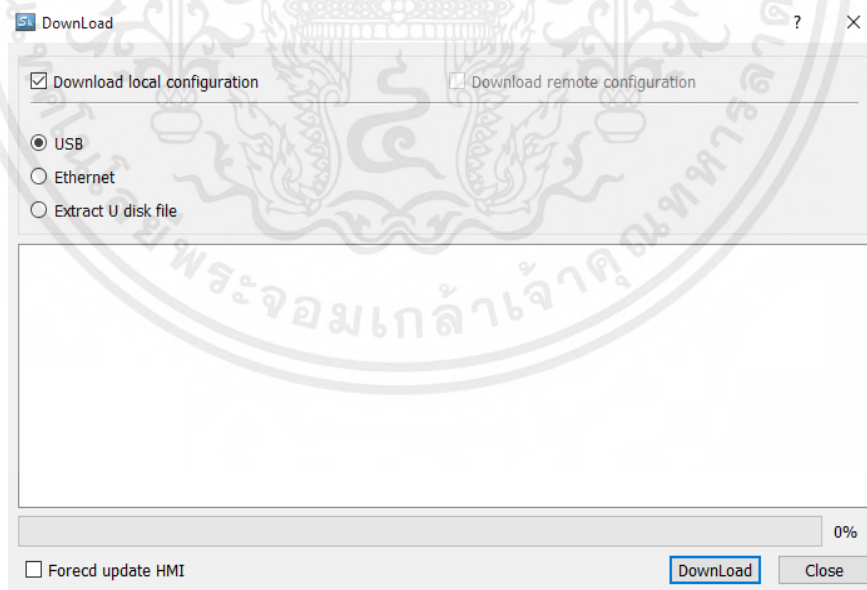
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ทำการออกแบบหน้าจอที่ชกรีนที่ต้องการใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ออกแบบหน้าจอที่ชกรีน

4) ดาวนโหลดโปรแกรมไปยังหน้าจอ HMI โดยไปยังคำสั่ง Download > USB Download > Download แสดงดังรูปที่ 3.7

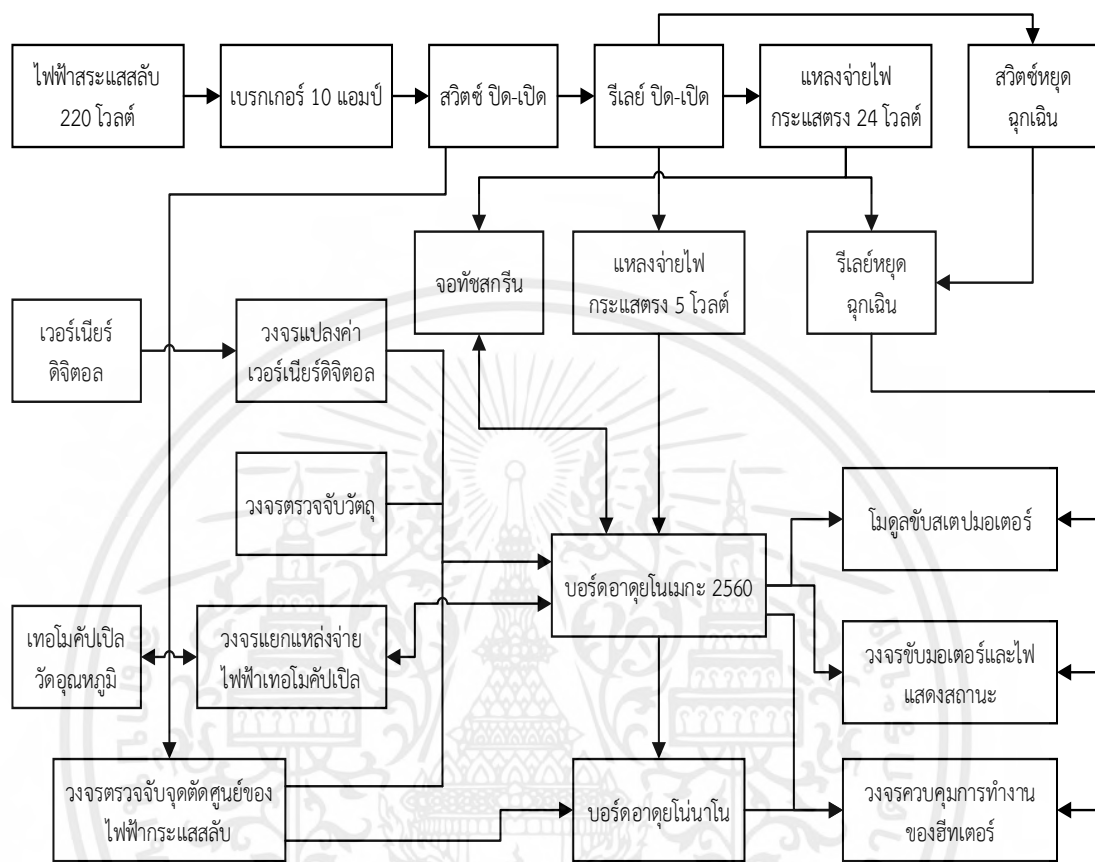


รูปที่ 3.7 การ Download ไปยังจอแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การออกแบบวงจร

#### 3.4.1 วงจรรวมของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ



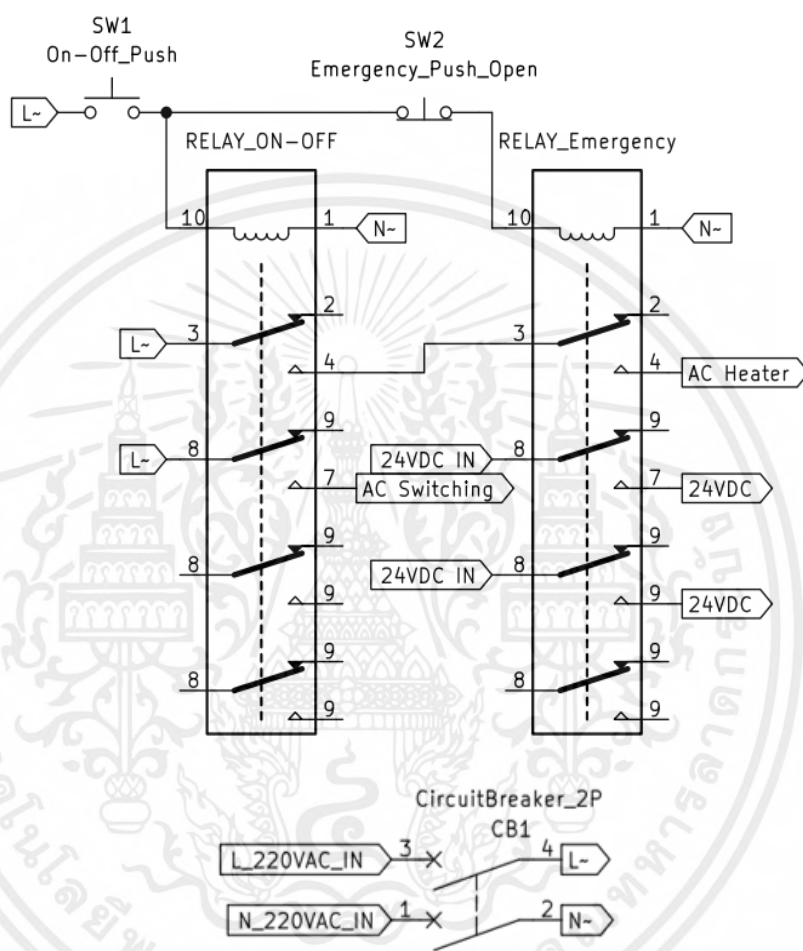
รูปที่ 3.8 วงจรรวมของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ

จากรูปที่ 3.8 เมื่อวงจรเริ่มทำงานส่วนแรกจะเป็นสวิตช์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟให้แก่ส่วนต่าง ๆ ของระบบโดยจะมีวงจรลดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 7 โวลต์ ถึง 40 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ กระแส 3 แอมป์ เพื่อจ่ายให้แก่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อายุโนเออร์สามและอุปกรณ์ควบคุมรวมไปถึงเซ็นเซอร์ต่าง ๆ

การทำงานของระบบการควบคุมต่าง ๆ นั้นเริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์อายุโนเมกะ 2560 ได้รับค่าการกำหนดอุณหภูมิจากจอตซ์กรีนผ่านโมดูล เอ็มเอเอ็กซ์ 3232 (MAX3232) โมดูลนี้จะทำการแปลงสัญญาณจาก อาเอส 232 (RS232) เป็น TTL จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์อายุโนเออร์สาม ทำการตรวจจับสัญญาณจากวงจรตรวจจับศูนย์ และทำการควบคุมอุณหภูมิของฮีตเตอร์ทั้งสามตัวผ่านวงจรที่มีไตรแอกเป็นส่วนใหญ่ช่วยในการเปิด-ปิดเฟสของรูปคลื่นไซน์ และส่งค่าอุณหภูมิไปยังจอตซ์กรีนผ่านโมดูล เอ็มเอเอ็กซ์ 3232 เพื่อแสดงผล เมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งไว้

ไมโครคอนโทรลเลอร์อาδυโนอูโนอาร์สาม จะเริ่มสั่งให้สเต็ปมอเตอร์เริ่มทำงานตามความเร็วที่กำหนดเพื่อป้องกันเศษพลาสติกเข้าสู่ท่อหลอมพลาสติก

### 3.4.2 การต่อระบบไฟฟ้ากระแสสลับเข้าตัวเครื่อง



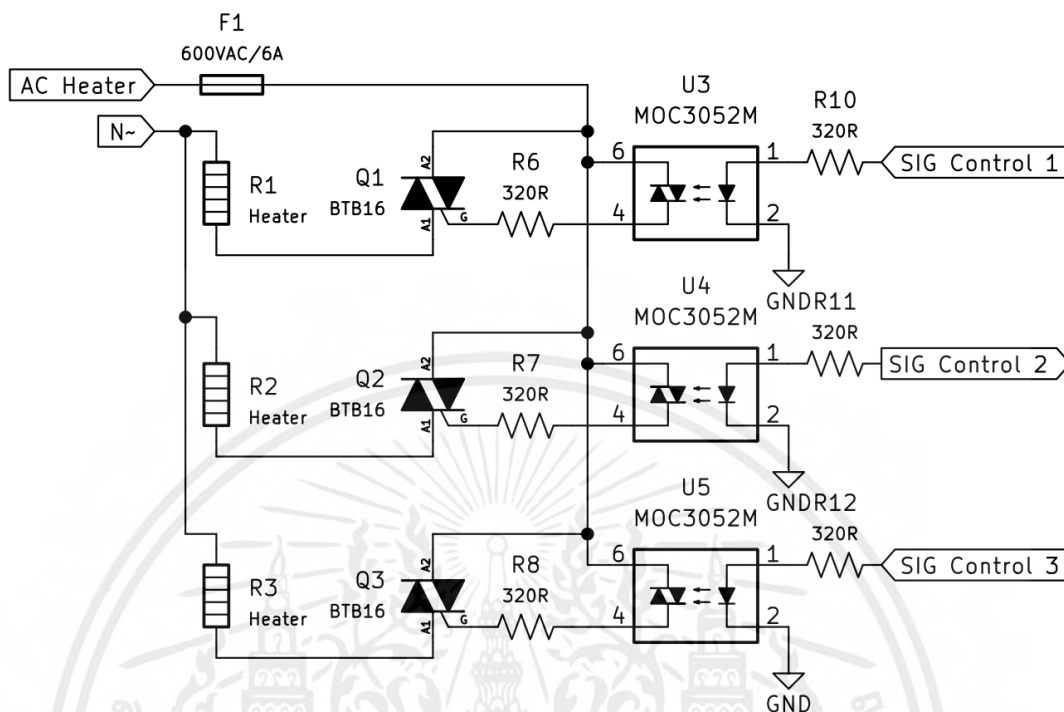
รูปที่ 3.9 การต่อระบบไฟฟ้ากระแสสลับเข้าตัวเครื่อง

จากรูปที่ 3.9 การทำงานไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เข้ามาที่เบรกเกอร์ 10 แอมป์ ผ่านสวิตช์ ปิด-เปิด ตัวสวิตช์ ปิด-เปิดทำหน้าที่สั่งให้รีเลย์ 220 โวลต์ ทำงานเพื่อต่อหน้าสัมผัสให้กระแสไหลไปยัง สวิตซ์ซิงเพาเวอร์ซัพพลาย 24 โวลต์, 5 โวลต์ และ ฮีตเตอร์กระแสสลับ

ฮีตเตอร์กระแสสลับจะทำงานได้นั้นจะต้องผ่าน รีเลย์อิมเมจิ้นซีควบคุมด้วย ปุ่มสวิตช์ ฉูกฉินโดยจะทำการตัดหน้าสัมผัสออกเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้ามา โดยที่ปุ่มสวิตซ์ฉูกฉินจะต่อเข้ากับหน้าสัมผัสปกติปิด (NC) เพื่อป้องกันเหตุฉูกฉินที่ปุ่มสวิตซ์ฉูกฉินเสียหายหรือสายไฟขาด ชำรุด ทำให้ไม่สามารถปลดโหลดหรืออุปกรณ์ที่ทำงานอยู่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 วงจรควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์



รูปที่ 3.10 วงจรควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์

จากรูปที่ 3.10 วงจรควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์นั้น จะได้รับคำสั่งมาจากอาคิโน้ อูโน้อร์สาม ผ่านตัวต้านทานเพื่อจำกัดกระแสให้แก่แหล่งกำเนิดแสงภายใน ของออปโตไอโซเลเตอร์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

คุณสมบัติออปโตไอโซเลเตอร์ ของแอลอีดีภายในมีแรงดันตกคร่อม 1.5 โวลต์ สามารถทนกระแสได้ 10 มิลลิแอมป์ กระแสสูงสุด 60 มิลลิแอมป์

$$V = IR \quad (3.1)$$

$$5V - 1.5V = 0.01A \times R$$

$$3.5V = 0.01A \times R$$

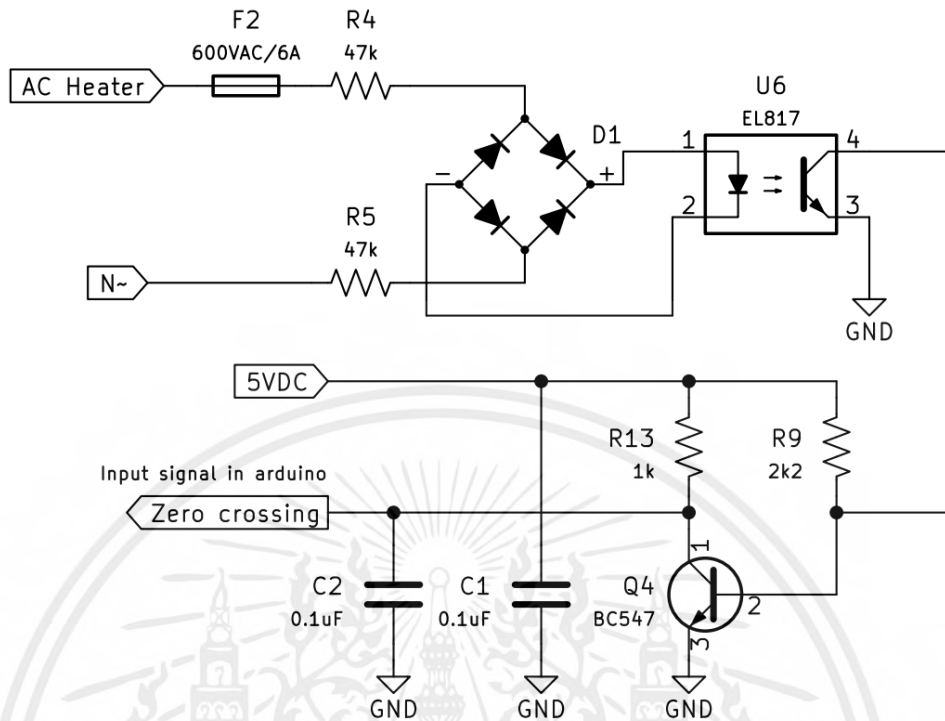
$$R = \frac{3.5V}{0.01A}$$

$$R = 350\Omega$$

จึงเลือกใช้ตัวต้านทานที่มีในตลาด 320 โอห์ม เพราะจากการคำนวณสามารถใช้ได้ เนื่องจากกระแสที่ผ่านยังไม่เกิน 60 มิลลิแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.4 วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ของไฟฟ้ากระแสสลับ (Zero crossing)



รูปที่ 3.11 วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ของไฟฟ้ากระแสสลับ

จากรูปที่ 3.11 วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ของไฟฟ้ากระแสสลับ ทำหน้าที่เป็นสัญญาณอ้างอิงในการควบคุมฮีตเตอร์ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ในการจ่ายสัญญาณควบคุมฮีตเตอร์ได้อย่างแม่นยำตรงกับจุดตัดศูนย์ของไฟฟ้ากระแสสลับ การคำนวณต้านทานสำหรับออปโตไอโซเลเตอร์ ในฝั่งอินพุตสามารถหาได้ จากสมการที่ 3.1 กระแสที่อินพุตไปยังแอลอีดี 4 มิลลิแอมป์สูงสุด 20 มิลลิแอมป์ แรงดันตกคร่อมแอลอีดี 1.2 โวลต์ เพื่อที่จะให้ทรานซิสเตอร์ภายใน เริ่มทำงานสามารถกำหนดแรงดันเริ่มต้นที่จะให้ วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์เริ่มทำงานได้ การที่จะกำหนดแรงดันให้อยู่ช่วงบริเวณบนของ  $V_p$  จึงกำหนดแรงดันไว้ที่  $230 V_p$  สามารถคำนวณหาแรงดัน  $V_p$  จาก  $V_{RMS}$  ได้จากสมการที่ 3.2

$$V_{RMS} \times \sqrt{2} = V_p \quad (3.2)$$

$$220V_{RMS} \times \sqrt{2} = 311V_p$$

สามารถคำนวณหาค่าของตัวต้านทานได้ตาม จากสมการที่ 3.1 ดังนี้

$$230V_p - 1.2V = 0.005 \times R$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

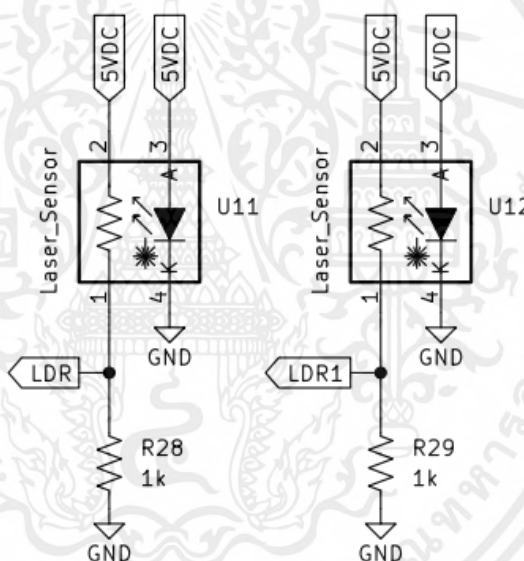
$$\frac{228.8}{0.004} = R$$

$$R = 57.2 \text{ k}\Omega$$

ดังนั้นจึงประมาณตัวต้านทานที่ใช้ที่ 47 กิโลโอห์ม เพราะจากการคำนวณสามารถใช้ได้เนื่องจากกระแสที่ผ่านยังไม่เกิน 20 มิลลิแอมป์

สัญญาณที่ได้จากออปโตไอโซเลเตอร์จะมีการอินเวอร์สสัญญาณอยู่ ดังนั้นจึงต้องผ่านน็อตเกจ (NOT gate) ที่ทำมาจากทรานซิสเตอร์ Q1 เพื่อทำการกลับสถานะของสัญญาณ และฟิลเตอร์สัญญาณด้วย C2 เพื่อกรองความถี่ที่ผิดเพี้ยนออกจากสัญญาณตรวจจับจุดตัดศุนย์

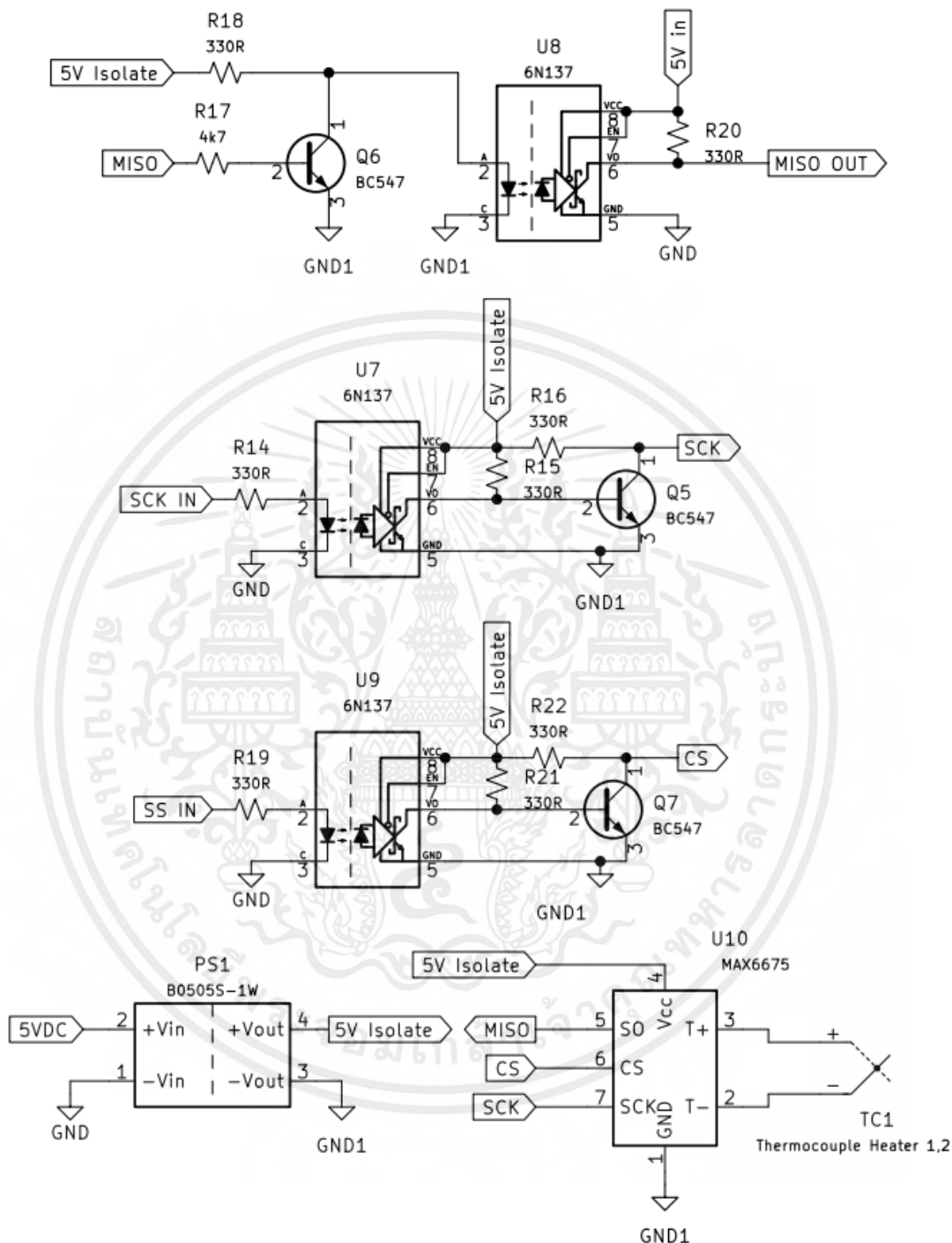
### 3.4.5 วงจรตรวจจับวัตถุ



รูปที่ 3.12 วงจรตรวจจับวัตถุ

จากรูปที่ 3.12 การทำงานของวงจรตรวจจับวัตถุ จะมีเลเซอร์ยิงแสงไปยังแอลดีอาร์ จากนั้น เมื่อแอลดีอาร์ได้รับแสงความต้านทานภายในตัวจะลดลง ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน R28 มากขึ้น จึงนำระดับแรงดันนี้ไปใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุม

### 3.4.6 วงจรแยกแหล่งจ่ายไฟฟ้าเทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 3.13 วงจรแยกแหล่งจ่ายไฟฟ้าเทอร์โมคัปเปิล

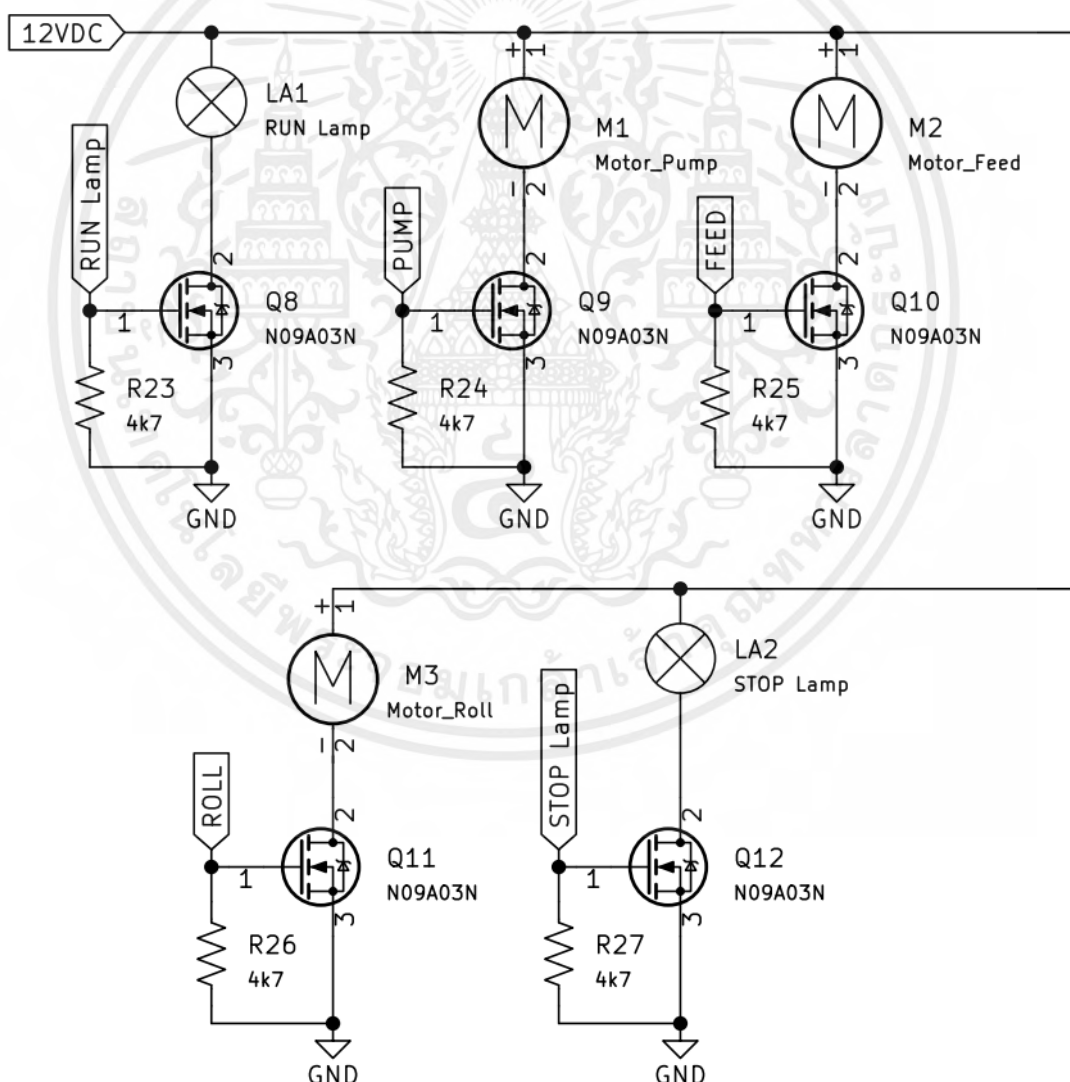
จากรูปที่ 3.13 เทอร์โมคัปเปิลชนิด เค เป็นการวัดอุณหภูมิที่ได้จากการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า จากหัววัด จึงทำให้ไวต่อสัญญาณรบกวน ดังนั้นการแยกแหล่งจ่าย และการแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราวด์ออกจากกันทั้งหมด เป็นการช่วยในการแก้ปัญหานี้ได้ สามารถทำได้โดยใช้ ปี 05055 (B05055) เป็นไอซีแปลงไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อแยกระบบไฟฟ้าเข้าและขาออกออกจากกันจากนั้นเพื่อที่ ทำให้ตัวไอซี เอ็มเอเอกซ์ 6675 (MAX6675) สามารถสื่อสารกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้จะต้องใช้ ออปโตไอโซเลต เป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูลดิจิทัล

### 3.4.7 วงจรขับมอเตอร์และแอลอีดี

วงจรถับมอเตอร์และแอลอีดีการออกแบบวงจรมอเตอร์นี้จะให้มอสเฟต (n-channel) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิด โดยรับสัญญาณควบคุมมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการเปิด-ปิดโหลด และมีตัวต้านทาน 4700 กิโลโอห์ม ในการดิสชาร์จขาเกตของมอสเฟต เพื่อให้มอสเฟตปิดการทำงาน ในขณะที่ไม่จ่ายสัญญาณควบคุม แสดงดังรูปที่ 3.14

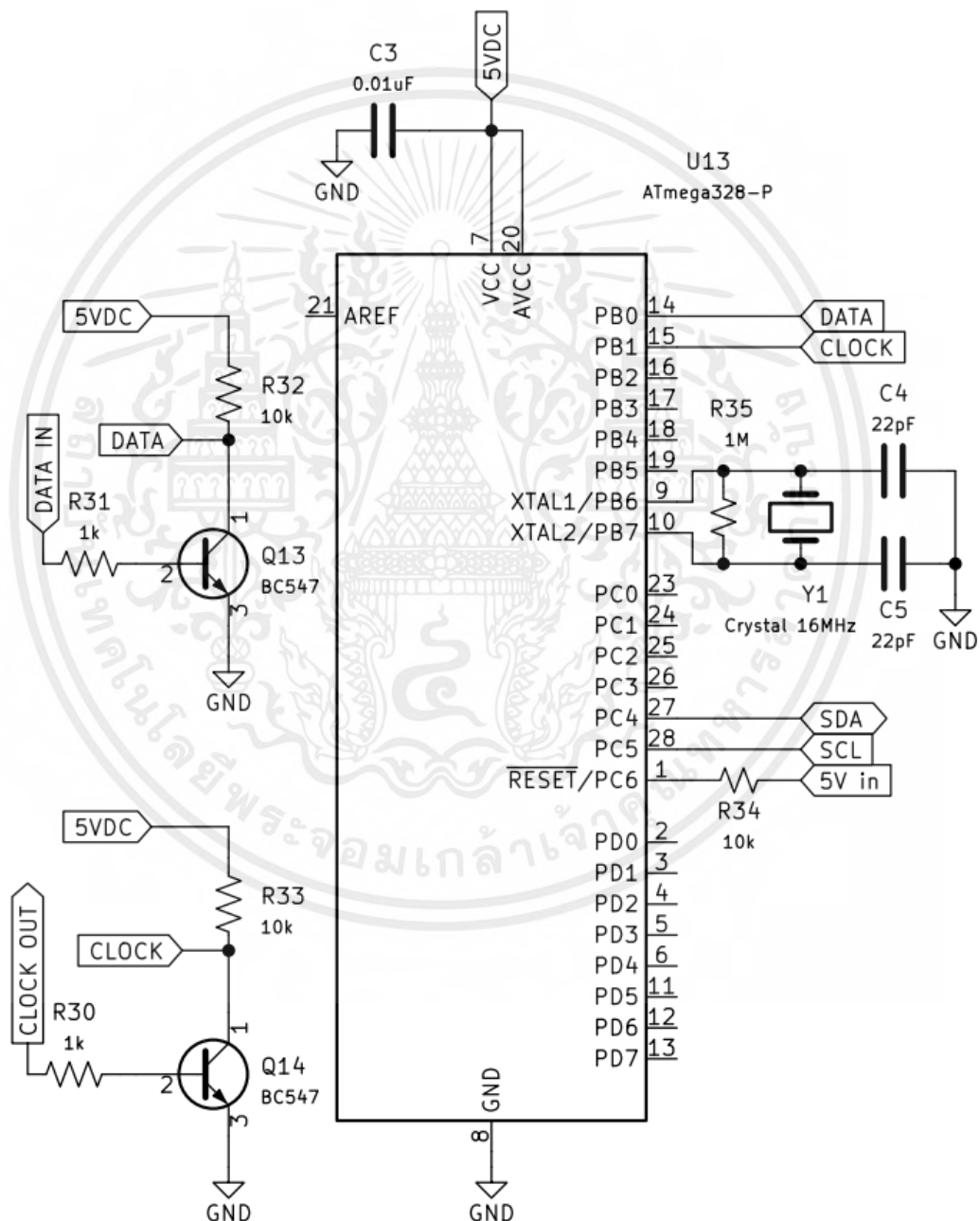


รูปที่ 3.14 วงจรถับมอเตอร์และแอลอีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.8 วงจรแปลงค่าเวอร์เนียร์ดิจิตอล

เวอร์เนียร์ดิจิตอลมีสายข้อมูลทั้งหมดสองเส้นด้วยกัน คือสายข้อมูลและสัญญาณนาฬิกา เนื่องด้วยสัญญาณนาฬิกา ที่มาจากเวอร์เนียร์ดิจิตอลมีความถี่ที่ค่อนข้างช้า ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์หลักไม่สามารถทำฟังก์ชันอื่นได้ ขณะรอรับข้อมูลจนครบ จึงแก้ปัญหาโดยการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega 328 มาเพื่อรอรับค่าจากเวอร์เนียร์ และเก็บค่าไว้เพื่อส่งข้อมูลค่าที่ได้ด้วยความเร็วที่มากกว่าทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก ไม่รับผลกระทบมากนักจากการรับส่งข้อมูล แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 วงจรแปลงค่าเวอร์เนียร์ดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การออกโครงสร้างของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ

#### 3.5.1 การออกโครงสร้างของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ

โครงสร้างสามารถของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) ส่วนเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ ตัวเครื่องออกแบบเป็นสองชั้น ชั้นบนประกอบด้วยชุดหลอมเส้น ชุดหล่อเย็น มอเตอร์ดึงเส้น อุปกรณ์วัดขนาดเส้น และชั้นล่างประกอบด้วย ชุดม้วนเส้น ช่องใส่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งตัวเครื่องจะใช้การควบคุมจากหน้าจอสัมผัสและลูกบิดเป็นหลัก ได้ออกแบบให้ฐานวางอุปกรณ์สำหรับควบคุมให้มีความลาดเอียงเพื่อรับรองการใช้งานได้สะดวก แสดงดังรูปที่ 3.16

2) ส่วนของชุดป้อนเศษพลาสติก ประกอบไปด้วยตัวเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุเมื่อเศษพลาสติกในกระบอกใส่เส้นต่ำกว่าตัวเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ เครื่องจะไม่ทำงานต้องป้อนเศษพลาสติกให้สูงกว่าเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุเพื่อให้เครื่องเริ่มการทำงาน แสดงดังรูปที่ 3.17

3) ส่วนชุดดันเส้นพลาสติก ประกอบด้วยเกลียวดันเส้นมีลักษณะที่เป็นช่องค่อนข้างลึกเพื่อกักเก็บเศษพลาสติกให้ได้มาก และเหมาะสมแก่การหลอมซึ่งจะมีเพลาท่อครอบกับชุดโซ่ เพื่อทำการครอบเพิ่มแรงบิดที่ได้จากสเตปมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.18

4) ส่วนชุดหลอมเหลวเศษพลาสติก หัวฉีดเส้นใช้เป็นหัวฉีดเส้นทองเหลือง เพื่อการให้ความร้อนได้ดีมีขนาด 2 มิลลิเมตร และฮีตเตอร์สองชุด แบ่งเป็นด้านหน้าสองตัวและด้านหลังสองตัว มีอุณหภูมิต่างกัน 10 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการวอร์มเศษพลาสติกก่อนที่จะให้ความร้อนที่เป็นอุณหภูมิการหลอมจริง เศษพลาสติกเพื่อให้อุณหภูมิคงที่มากที่สุด แสดงดังรูปที่ 3.19

5) ส่วนชุดหล่อเย็นเส้นพลาสติก ประกอบด้วยรางน้ำเพื่อช่วยในการหล่อเย็นแก่เส้นพลาสติกเมื่อเส้นพลาสติกออกจากหัวฉีด ทำให้เส้นพลาสติกนั้นใส และมีความยืดหยุ่น แสดงดังรูปที่ 3.20

6) ส่วนชุดม้วนเก็บเส้น ประกอบด้วยมอเตอร์ในการม้วนเก็บเส้น ไปยังเซอร์โวมอเตอร์ในการช่วยเลี้ยงเส้นไปยังตัวโรลล์ม้วนเก็บเส้น แสดงดังรูปที่ 3.21



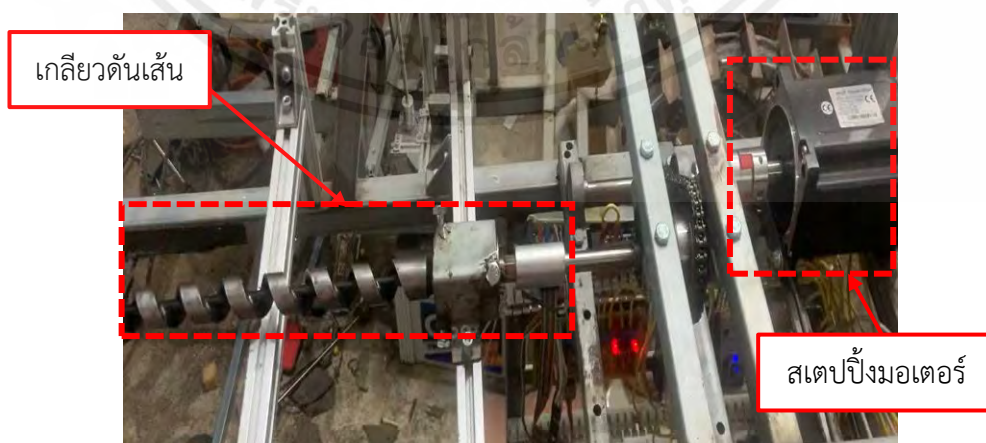
รูปที่ 3.16 เครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ



กระบอกใส่เศษพลาสติก

เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ

รูปที่ 3.17 กระบอกสำหรับใส่เศษพลาสติก

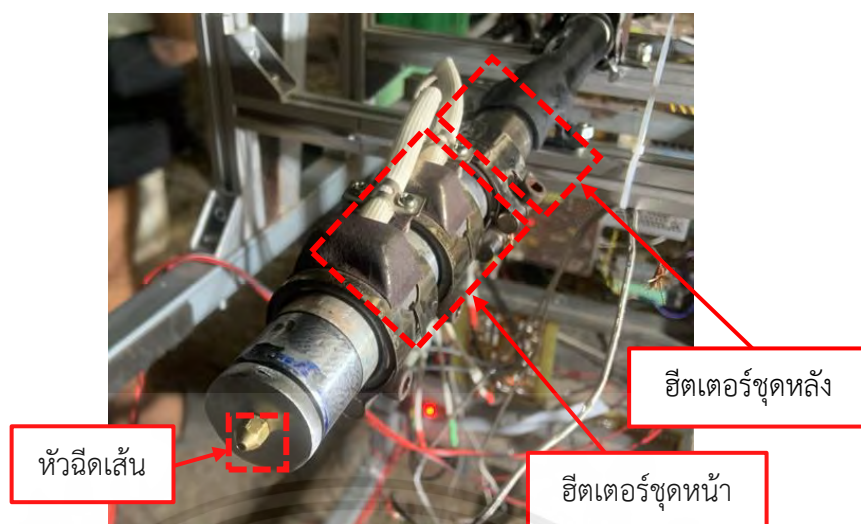


เกลียวตันเส้น

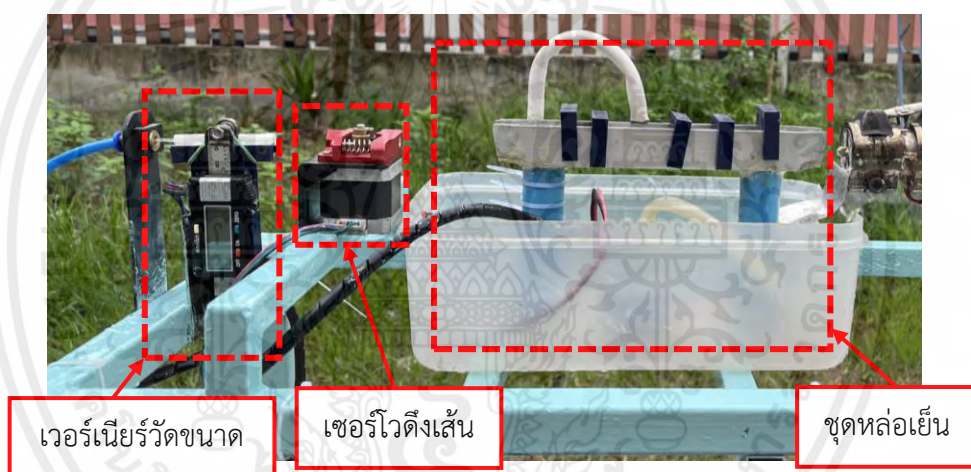
สเต็ปป์มอเตอร์

รูปที่ 3.18 ชุดตันเส้นพลาสติก

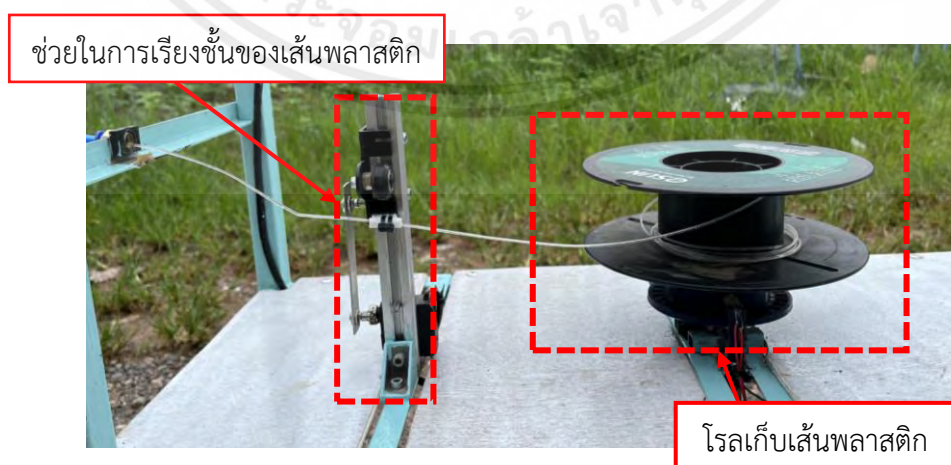
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ชุดทำความร้อนและกระบอกหลอมเศษพลาสติก



รูปที่ 3.20 ชุดหล่อเย็น

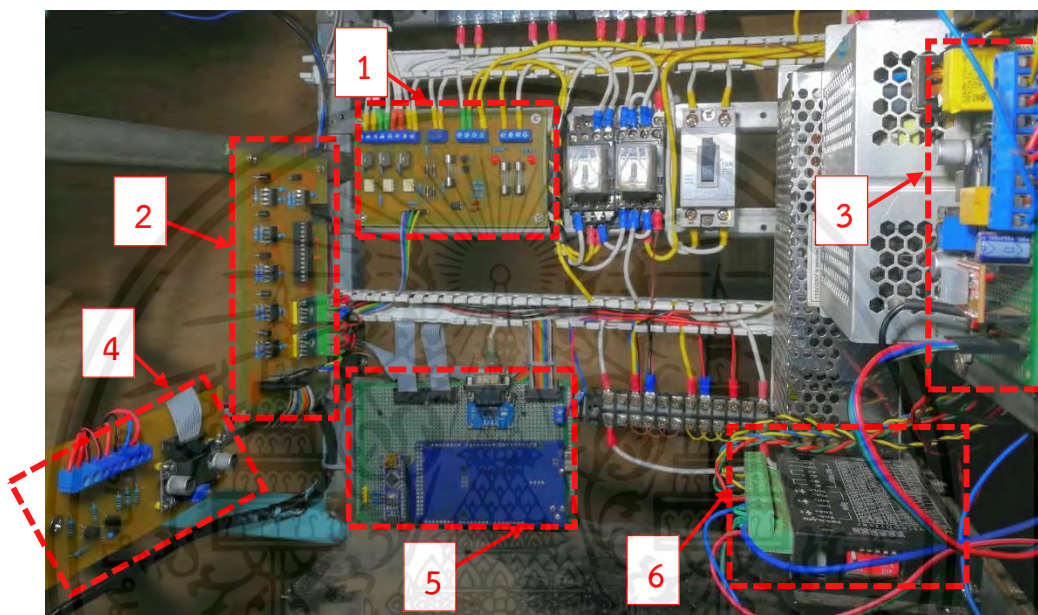


รูปที่ 3.21 ชุดม้วนเก็บเส้นพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 ชุดควบคุมการทำงาน

ชุดควบคุมการทำงานจะถูกออกแบบไว้สำหรับวงจรและไมโครคอนโทรลเลอร์โดย ซึ่งจะประกอบไปด้วย 1) วงจรควบคุมอุณหภูมิ 2) วงจรแยกแหล่งจ่ายไฟฟ้าเทอร์โมคัปเปิล 3) วงจรขับมอเตอร์และแอลอีดี 4) วงจรแปลงค่าเวอร์เนียร์ดิจิตอล 5) ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนเมก้า ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนนาโน 6) บอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ ทีบี 6600 (stepper motor driver TB 6600) ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ชุดควบคุมการทำงาน

- 1) วงจรควบคุมอุณหภูมิ
- 2) วงจรแยกแหล่งจ่ายไฟฟ้าเทอร์โมคัปเปิลและแปลงข้อมูลเวอร์เนียร์
- 3) วงจรขับมอเตอร์และแอลอีดี
- 4) วงจรแปลงค่าเวอร์เนียร์ดิจิตอล
- 5) ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนเมก้า และอาดูโนนาโน
- 6) บอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ ทีบี 6600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึง การทดลองของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใย เครื่องพิมพ์สามมิติ ได้แก่ ทดลองการทำงานทดลองควบคุมอุณหภูมิ การทดลองควบคุมการทำงานของ สเตปป์มอเตอร์ การทดลองการทำงานของเซ็นเซอร์เมื่อเศษพลาสติกหมด การทดลองม้วนเก็บเส้นพลาสติก การทดลองแสดงขนาดเส้นพลาสติกผ่านทางจอแสดงผล การทดลองการหล่อเย็น การทดลองหลอมเส้นพลาสติก การทดลองฉีดเส้นพลาสติก การทดลองความเร็วในการผลิตเส้น การทดลองนำเส้นไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ และการทดลองค่าไฟที่ใช้ในการผลิตเส้นพลาสติก

#### 4.1 การทดลองควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 200 องศาเซลเซียสถึง 280 องศาเซลเซียส

เป็นการทดลองการควบคุมอุณหภูมิตามที่กำหนดเป็นระยะเวลา 1 นาที เพื่อคำนวณค่าความผิดพลาด และทดสอบระบบทำความร้อน ในการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ โดยการทำการทดลองที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสถึง อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส และบันทึกผลการทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1) ทำการเปิดเครื่องโดยเปิดสวิทช์เครื่อง
- 2) จากนั้นทำจากป้อนค่าอุณหภูมิที่ต้องการทดลอง
- 3) รอให้อุณหภูมิคงที่
- 4) สังเกตอุณหภูมิจับเวลาที่ 1 นาที
- 5) ทดสอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส
- 6) ทดสอบเพิ่มอุณหภูมิขึ้นครั้งละ 10 องศาเซลเซียส
- 7) ทดสอบจนถึงอุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส
- 8) บันทึกผลการทดลองลงควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 200 องศาเซลเซียสถึง 280 องศาเซลเซียส

ในตารางที่ 4.1

การคำนวณค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิในตารางที่ 4.1

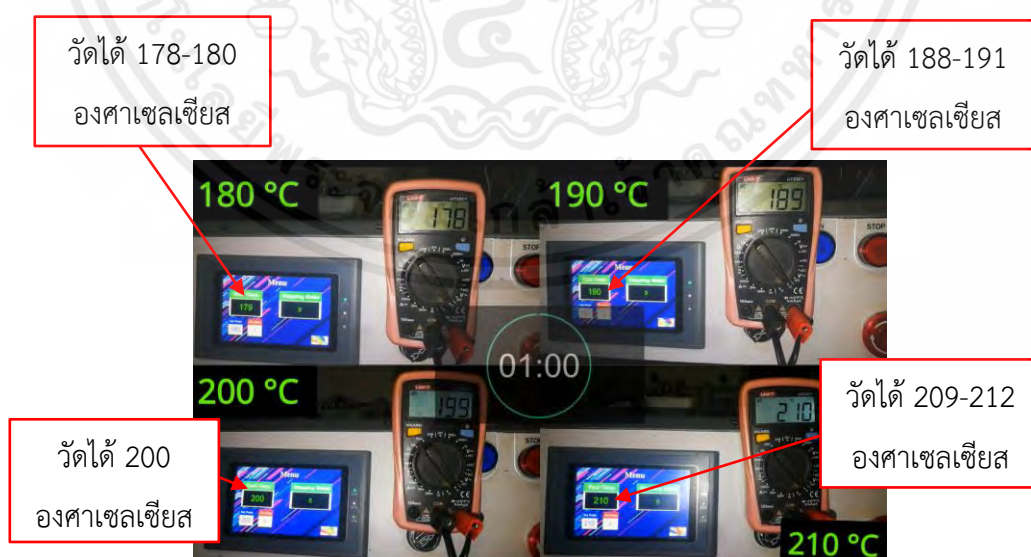
$$\text{ค่าความผิดพลาดอุณหภูมิ} = |\text{อุณหภูมิทดลอง} - \text{อุณหภูมิวัดจากอุปกรณ์เครื่องมือวัด}| \quad (4.1)$$

นำผลการทดลองที่ได้ไปหาค่าความผิดพลาดอุณหภูมิจากสามการที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การทดลองควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 200 องศาเซลเซียสถึง 280 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิที่ทำการ ทดลอง (องศาเซลเซียส)	เครื่องสามารถควบคุมอุณหภูมิตามที่กำหนด		
	อุณหภูมิที่วัดได้ จากเครื่อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิที่วัดได้จาก อุปกรณ์เครื่องมือวัด (องศาเซลเซียส)	ค่าความผิดพลาดของ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
200	200	199-200	1
210	209-212	209-211	1
220	219-221	219-221	1
230	229-231	229-231	1
240	238-240	238-240	2
250	249-250	250-251	1
260	259-260	259-260	1
270	269-270	270	0
280	278-280	279-280	1

จากผลการทดลองตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าใน 1 นาที ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิช่วงอุณหภูมิที่ 240 องศาเซลเซียส มีความผิดพลาดของอุณหภูมิที่ 2 องศาเซลเซียส ในช่วงอุณหภูมิที่ 270 ความผิดพลาดของอุณหภูมิที่ 0 องศาเซลเซียส และในช่วงเวลา 200, 210, 220, 230, 250, 260, 280 มีความผิดพลาดของอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส แสดงที่ดังรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.1 การทดลองควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 180 องศาเซลเซียสถึง 210 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การทดลองควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 220 องศาเซลเซียสถึง 250 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3 การทดลองควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 260 องศาเซลเซียสถึง 280 องศาเซลเซียส

#### 4.2 การทดลองควบคุมการทำงานของสเตปป์มอเตอร์

เป็นการทดลองการควบคุมสเตปป์มอเตอร์โดยการทดลองนี้จะทดสอบความเสถียรของการหมุนครบตามความเร็วที่กำหนดไว้โดยแบ่งการทดลองเป็น 10 ช่วง และบันทึกผลการทดลองโดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ทำการตั้งค่าคาบของสัญญาณ จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโนโอโนเมก้า ในโปรแกรมโดยเริ่มจาก ตั้งค่าคาบเวลาของคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 4 มิลลิวินาที ความกว้างคลื่น 50 เปอร์เซ็นต์ โดยจะเพิ่มคาบเวลาครั้งละ 4 มิลลิวินาที จนครบที่ 40 มิลลิวินาที

2) กำหนดจุดตำแหน่งครบรอบการหมุนเพื่อเปรียบเทียบความเสถียรของการหมุน

3) สังเกตตำแหน่งของการหมุนสเต็ปมอเตอร์ของจุดที่กำหนด

4) บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.2

การคำนวณค่าความผิดพลาดขององศาที่วัดได้ในตารางที่ 4.2

$$\text{ค่าความผิดพลาดขององศาที่วัดได้} = |\text{องศาการหมุนใน 1 รอบ} - \text{องศาการหมุนที่วัดได้}| \quad (4.2)$$

นำผลการทดลองที่ได้ไปหาค่าความผิดพลาดขององศาที่วัดได้จากสมการที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การทดลองควบคุมความเร็วของสเต็ปมอเตอร์ วัดความผิดพลาดขององศาการหมุน

คาบเวลา ของสัญญาณ (มิลลิวินาที)	องศาการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ตามที่กำหนด		
	องศาการหมุนใน 1 รอบ (องศา)	องศาการหมุนที่วัดได้ (องศา)	ค่าความผิดพลาด (องศา)
4	360	360	0
8	360	360	0
12	360	360	0
16	360	361	1
20	360	360	0
24	360	362	2
28	360	361	1
32	360	360	0
36	360	361	1
40	360	360	0

จากผลการทดลองตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดองศาการหมุนของสเต็ปมอเตอร์มีค่ามากที่สุดคือ 2 องศา และค่าน้อยที่สุดคือ 0 องศา

### 4.3 การทดลองการทำงานของเซ็นเซอร์เมื่อเศษพลาสติกหมด

การทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบเมื่อพลาสติกในกระบอกลใส่พลาสติกต่ำกว่าตัวเซ็นเซอร์จะหยุดการทำงานของเครื่อง เพื่อเตือนว่าใส่พลาสติกในกระบอกลใส่เศษพลาสติกหมด และบันทึกผลการทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1) ทำการเปิดเครื่องโดยเปิดสวิตซ์เครื่อง
- 2) นำพลาสติกใส่ในกระบอกลใส่พลาสติก
- 3) สังเกตจำนวนพลาสติกในกระบอกลใส่พลาสติก
- 4) ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง
- 5) บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การทดลองการทำงานของเซ็นเซอร์เมื่อเศษพลาสติกหมด

ทดสอบ (ครั้งที่)	ผลการทดลอง
1	หยุดการทำงาน หลอดไฟสีแดงติด
2	หยุดการทำงาน หลอดไฟสีแดงติด
3	หยุดการทำงาน หลอดไฟสีแดงติด
4	หยุดการทำงาน หลอดไฟสีแดงติด
5	หยุดการทำงาน หลอดไฟสีแดงติด

จากการทดลองตารางที่ 4.3 พบว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง เมื่อเศษพลาสติกในท่อลดลงต่ำกว่าตัวเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ แสดงดังรูปที่ 4.4 เครื่องสามารถหยุดการทำงาน และบริเวณแผงควบคุมหลอดไฟสีแดงติด เพื่อแจ้งเตือนให้ใส่เศษพลาสติกเพิ่มลงในกระบอกล แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 กระบอกลใส่พลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 เมื่อพลาสติกในกระบอกลดลงต่ำกว่าเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ

#### 4.4 การทดลองม้วนเก็บเส้นพลาสติก

การทดลองนี้เป็นการลองการม้วนเก็บเส้นพลาสติก โดยใช้มอเตอร์ในการม้วนเก็บเส้น ไปยังเซอร์โวมอเตอร์ในการช่วยเลี้ยงเส้นไปยังตัวโรลล์ม้วนเก็บเส้น และบันทึกผลการทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1) ทำการเปิดเครื่องโดยเปิดสวิตช์เครื่อง
- 2) นำเส้นพลาสติกไปยังตัวโรลล์เก็บเส้นพลาสติก
- 3) บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การทดลองม้วนเก็บเส้นพลาสติก

ทดสอบ (ครั้งที่)	ผลการทดลอง
1	ม้วนเก็บเส้นพลาสติกได้
2	ม้วนเก็บเส้นพลาสติกได้
3	ม้วนเก็บเส้นพลาสติกได้
4	ม้วนเก็บเส้นพลาสติกได้
5	ม้วนเก็บเส้นพลาสติกได้

จากผลการทดลองตารางที่ 4.4 พบว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง เมื่อนำเส้นไปยังตัวโรลล์ม้วนเก็บเส้นนั้น เครื่องสามารถม้วนเก็บเส้นพลาสติกได้ทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การทดลองม้วนเก็บเส้นพลาสติก




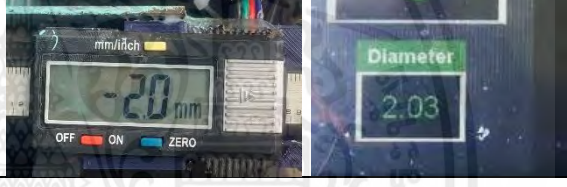
#### 4.5 การทดลองแสดงขนาดเส้นพลาสติกผ่านทางจอแสดงผล

การทดลองนี้เป็นการทดลองการใช้เวอร์เนียร์แสดงค่าออกทางหน้าจอแสดงผล ว่ามีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด โดยวัดระยะตั้งแต่ 0.5 มิลลิเมตร ถึง 2.0 มิลลิเมตร และบันทึกผลการทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1) ทำการเปิดเครื่องโดยเปิดสวิตซ์เครื่อง
- 2) ทำการเซตค่าศูนย์ที่ตัวเวอร์เนียร์
- 3) อ่านค่าที่เวอร์เนียร์
- 4) อ่านค่าที่จอแสดงผล
- 5) ทดลองวัดระยะทั้งหมด 5 ครั้ง
- 6) ทดลองวัดระยะตั้งแต่ 0.5 มิลลิเมตร
- 7) ทดลองเพิ่มระยะขึ้นครั้งละ 0.5 มิลลิเมตร
- 8) ทดลองจนถึงที่ระยะ 2.0 มิลลิเมตร
- 9) บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 การทดลองแสดงขนาดเส้นพลาสติกผ่านทางจอแสดงผล

ขนาด (มิลลิเมตร)	ค่าที่หน้าจอแสดง (มิลลิเมตร)	ภาพประกอบ
0.5	0.52	
1.0	1.04	
1.5	1.52	
2.0	2.03	

จากการทดลองตารางที่ 4.5 พบว่าทั้ง 5 ครั้ง หน้าจอแสดงผลสามารถแสดงค่าขนาดตรงกับเวอร์เนียร์ได้ทุกครั้ง

#### 4.6 การทดลองการหล่อเย็น

การทดลองนี้เป็นการทดลองวาระยะห่างระหว่างเส้นพลาสติกที่ออกจากท่อแล้วไปยังชุดหล่อเย็นมีผลต่อลักษณะของเส้นพลาสติกหรือไม่ และบันทึกผลการทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

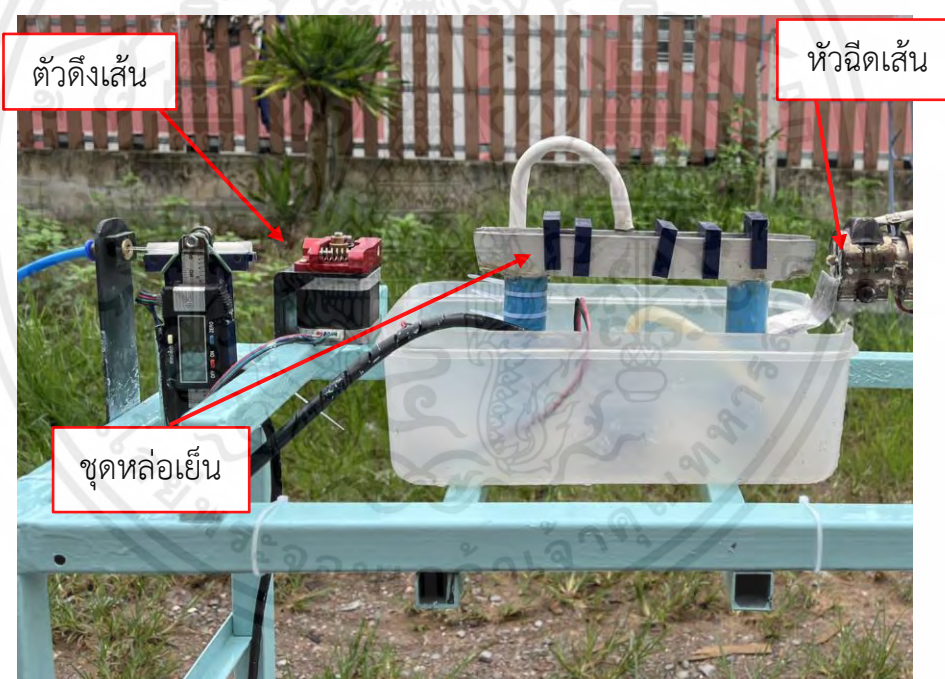
- 1) ทำการเปิดเครื่องโดยเปิดสวิตช์เครื่อง
- 2) ใส่เศษพลาสติกลงในกระบอกล
- 3) ปรับอุณหภูมิเพื่อให้พลาสติกในกระบอกลหลอมเหลว
- 4) เมื่ออุณหภูมิคงที่ ปรับความเร็วของตัวดันเส้นและตัวดึงเส้น
- 5) ปรับระยะระหว่างที่หล่อเย็นกับปากกระบอกลฉีกเส้น
- 6) ทดลองเริ่มที่ระยะ 1 เซนติเมตร จนถึงระยะ 5 เซนติเมตร
- 7) ทดลองเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เซนติเมตร
- 8) บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตารางที่ 4.6 การทดลองการหล่อเย็น

ระยะห่าง (เซนติเมตร)	ลักษณะของเส้นพลาสติก
1	เส้นมีความเหนียว สีใส
2	เส้นมีความเหนียว สีใส
3	เส้นแข็ง สีขาวทึบ
4	เส้นแข็ง สีขาวทึบ
5	เส้นแข็ง สีขาวทึบ

จากการทดลองตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าระยะห่างเส้นพลาสติกที่ออกจากท่อแล้วไปยังชุดหล่อเย็น แสดงดังรูปที่ 4.7 มีผลต่อเส้นพลาสติกที่ระยะ 3 เซนติเมตร ขึ้นไปนั้นลักษณะของเส้นพลาสติกที่ได้นั้นมีลักษณะแข็ง สีขาวทึบ แสดงดังรูปที่ 4.9 และมีสีขาวทึบที่ระยะน้อยกว่า 2 เซนติเมตร นั้นลักษณะของเส้นพลาสติกที่ได้มีความเหนียวสีใส แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 ชุดหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 เส้นมีความเหนียว สีใส



รูปที่ 4.9 เส้นมีลักษณะแข็ง สีขาวทึบ

#### 4.7 การทดลองหลอมเส้นพลาสติก

การทดลองนี้เป็นการทดลองเอาเศษพลาสติกชนิดพีอีที่นำมาผสมกับเม็ดพลาสติกไปใช้ในกระบวนการผลิตเส้นพลาสติก กับการหลอมโดยใช้เศษพลาสติกชนิดพีอีที่อย่างเดียวนั้นบันทึกผลการทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1) ทำการเปิดเครื่องโดยเปิดสวิทซ์เครื่อง
- 2) เอาเศษพลาสติกชนิดพีอีที่นำมาผสมกับเม็ดพลาสติก แสดงดังรูปที่ 4.10
- 3) สังเกตลักษณะของเส้นพลาสติก
- 4) เอาเศษพลาสติกชนิดพีอีที่ แสดงดังรูปที่ 4.12
- 5) สังเกตลักษณะของเส้นพลาสติก
- 6) บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตารางที่ 4.7 การทดลองหลอมเส้นพลาสติก

ชนิดพลาสติกที่ใช้	ลักษณะของเส้น
เศษพลาสติกชนิดพีอีที	พลาสติกไม่ค่อยยืดหยุ่น สีใส
เศษพลาสติกชนิดพีอีทีนำมาผสมกับเม็ดพลาสติก	พลาสติกยืดหยุ่น สีใส

จากการทดลองตารางที่ 4.7 พบว่าการใช้เศษพลาสติกชนิดพีอีทีหลอมเส้นพลาสติก ลักษณะของเส้นพลาสติกไม่ค่อยยืดหยุ่น สีใส แสดงดังรูปที่ 4.13 เมื่อเม็ดพลาสติกที่ผสมเข้าไปช่วยปรับคุณสมบัติของวัสดุพลาสติกช่วยเพิ่มความแข็งแรง ยืดหยุ่น หรือลดความหุ้มห่อของวัสดุ ทำให้กระบวนการผลิตเส้นพลาสติกดีขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 เศษพลาสติกชนิดพีอีทีนำมาผสมกับเม็ดพลาสติก



รูปที่ 4.11 เส้นจากการนำเศษพลาสติกชนิดพีอีทีนำมาผสมกับเม็ดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 เศษพลาสติกชนิดพีอีที



รูปที่ 4.13 เส้นจากการนำเศษพลาสติกชนิดพีอีที

#### 4.8 การทดลองฉีดยึดเส้นพลาสติก

การทดลองนี้เป็นการทดลองฉีดยึดเส้นพลาสติก เพื่อให้ได้ขนาดที่ต้องการ โดยการใช้อัดเส้น 4 ขนาดในการทดลอง หัวฉีดขนาด 1.3 มิลลิเมตร, หัวฉีดขนาด 1.5 มิลลิเมตร, หัวฉีดขนาด 1.75 มิลลิเมตร, และหัวฉีดขนาด 2 มิลลิเมตร. โดยใช้ความเร็วของตัวดันเส้นและตัวดึงเส้นเท่ากัน และบันทึกผลการทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

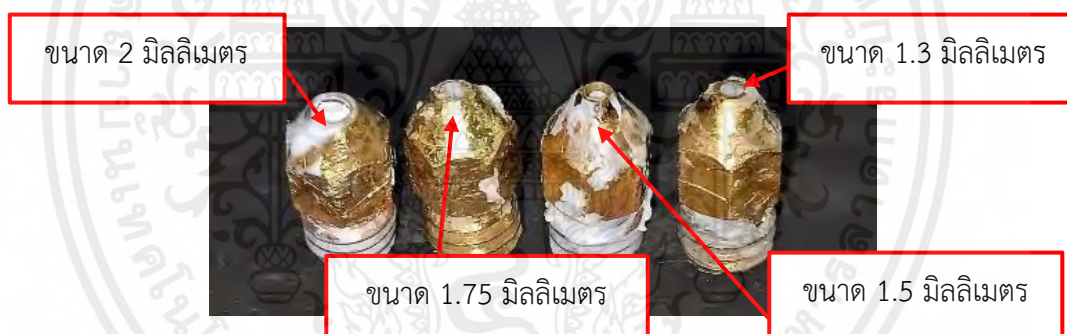
- 1) ทำการเปิดเครื่องโดยเปิดสวิตซ์เครื่อง
- 2) นำหัวฉีดเส้นขนาดที่ต้องการลงใส่ที่ปากการบอก แสดงดังรูปที่ 4.14
- 3) เอาเศษพลาสติกชนิดพีอีทีใส่ในกระบอกใส่เส้นรอกอณุมิคงที่
- 4) การตั้งค่าการใช้งานเครื่อง แสดงดังรูปที่ 4.15
- 5) บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

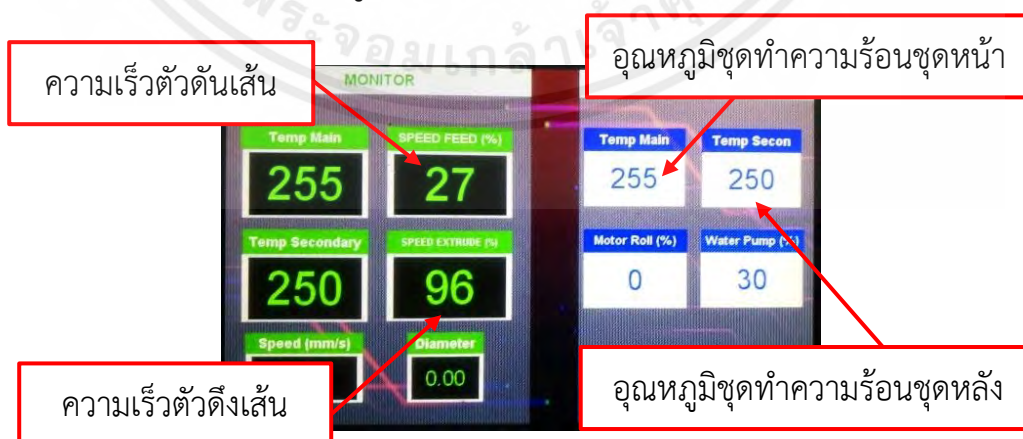
#### ตารางที่ 4.8 การทดลองฉีดเส้นพลาสติก

ขนาดหัวฉีดเส้น (มิลลิเมตร)	ขนาดของเส้น (มิลลิเมตร)			เฉลี่ย (มิลลิเมตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1.3	0.5	0.7	0.8	0.67
1.5	1.1	0.8	0.9	0.93
1.75	1.5	1.6	1.4	1.5
2	1.9	1.7	1.5	1.7

จากการทดลองตารางที่ 4.8 พบว่าการทดลองฉีดเส้นพลาสติก แสดงดังรูปที่ 4.16 เส้นที่ออก จากขนาดหัวฉีดเส้น 1.3 มิลลิเมตร เฉลี่ยขนาดของเส้นที่ได้ 0.67 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4.17 เส้นที่ ออกจากขนาดหัวฉีดเส้น 1.5 มิลลิเมตร เฉลี่ยขนาดของเส้นที่ได้ 0.93 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4.18 เส้นที่ออกจากขนาดหัวฉีดเส้น 1.75 มิลลิเมตร เฉลี่ยขนาดของเส้นที่ได้ 1.5 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4.19 และเส้นที่ออกจากขนาดหัวฉีดเส้น 2 มิลลิเมตร เฉลี่ยขนาดของเส้นที่ได้ 1.7 มิลลิเมตร แสดงดัง รูปที่ 4.20



รูปที่ 4.14 หัวฉีดเส้นพลาสติก

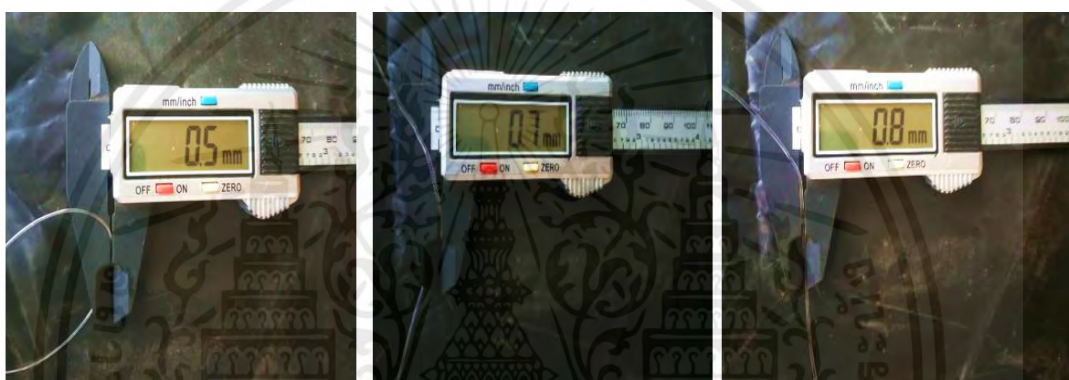


รูปที่ 4.15 การตั้งค่าการใช้งานเครื่อง

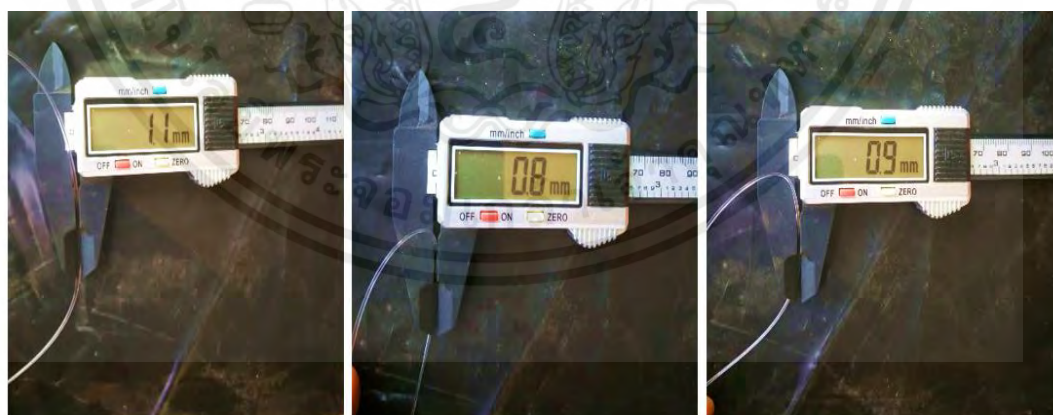
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 การทดลองฉีตเส้นพลาสติก



รูปที่ 4.17 การทดลองขนาดหัวฉีตเส้น 1.3 มิลลิเมตรเส้นพลาสติกขนาดไม่สม่ำเสมอ

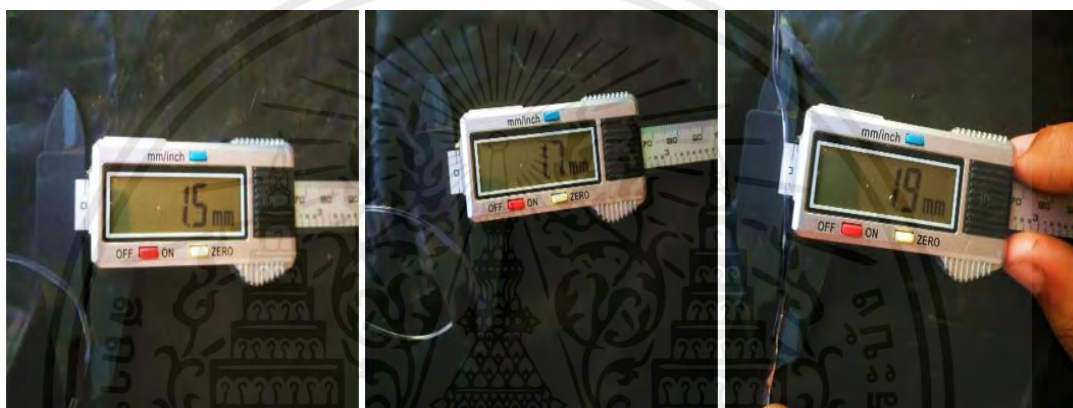


รูปที่ 4.18 การทดลองขนาดหัวฉีตเส้น 1.5 มิลลิเมตร เส้นพลาสติกขนาดไม่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 การทดลองขนาดหัวฉีดเส้น 1.75 มิลลิเมตร เส้นพลาสติกขนาดไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 4.20 การทดลองขนาดหัวฉีดเส้น 2 มิลลิเมตร เส้นพลาสติกขนาดไม่สม่ำเสมอ

#### 4.9 การทดลองความเร็วในการผลิตเส้น

การทดลองนี้เป็นการทดลองจับเวลา ภายในเวลา 1 นาที เส้นที่ผลิตได้มีความยาวเท่าใด โดยใช้อุณหภูมิ 255 องศาเซลเซียส ความเร็วของตัวต้นเส้น 27 เปอร์เซ็นต์ และตัวดึงเส้น 96 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลอง จากนั้นบันทึกผลการทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1) ทำการเปิดเครื่องโดยเปิดสวิทช์เครื่อง
- 2) เอาเศษพลาสติกชนิดพีอีทีใส่ในกระบอกใส่เส้น แสดงดังรูปที่ 4.21
- 3) รออุณหภูมิคงที่
- 4) การตั้งค่าการใช้งานเครื่อง แสดงดังรูปที่ 4.22
- 4) จับเวลาเริ่มดึงเส้น 1 นาที
- 5) วัดความยาวเส้นเส้นที่ได้
- 6) บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 การทดลองความเร็วในการผลิตเส้น

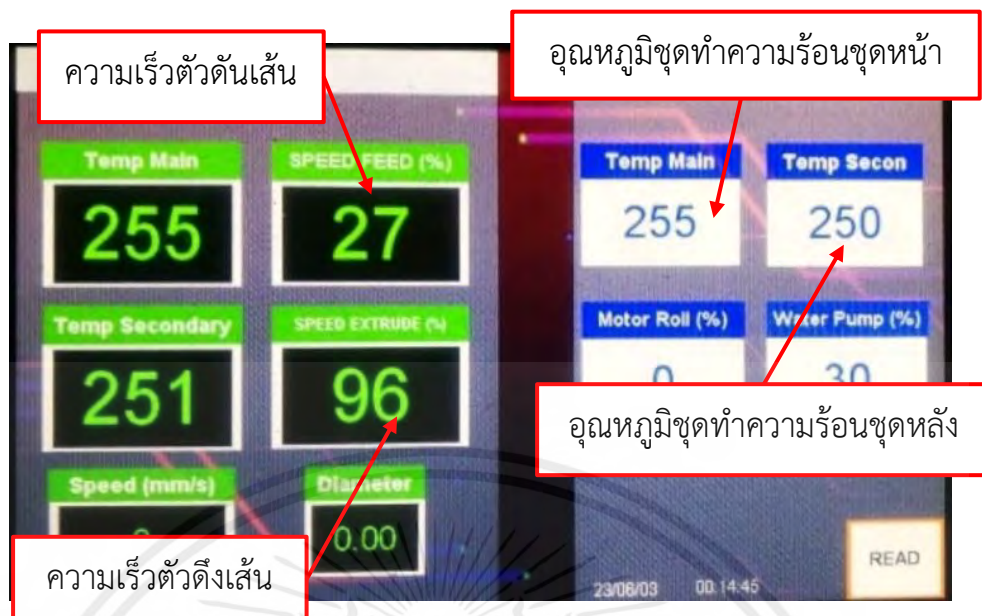
ทดสอบ (ครั้งที่)	ความยาวของเส้น (เซนติเมตร)
1	204
2	201
3	203
4	205
5	203
6	202
7	203
8	202
9	204
10	202
เฉลี่ย	203

จากการทดลองตารางที่ 4.9 พบว่าในระยะเวลา 1 นาที โดยใช้อุณหภูมิจากความเร็วของตัวต้นเส้นและตัวดึงเส้นเท่ากันในการทดลอง ในระยะเวลา 1 นาที แสดงดังรูปที่ 4.23 ในการผลิตเส้นได้ความยาวเส้นที่ได้เฉลี่ยอยู่ที่ 203 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.21 ใส่เศษพลาสติกลงในกระบอกใส่เศษพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

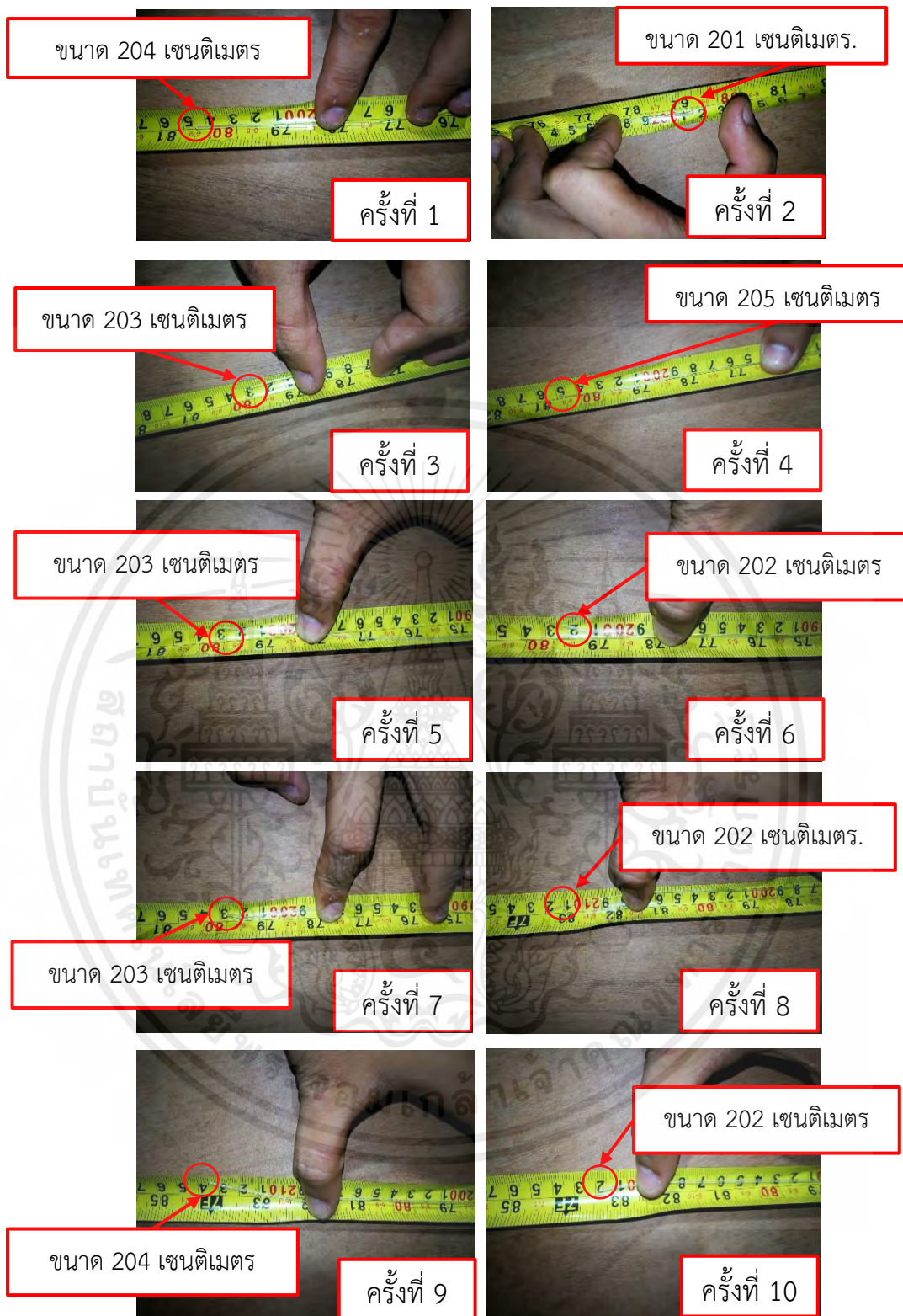


รูปที่ 4.22 การตั้งค่าการใช้งานเครื่อง



รูปที่ 4.23 การทดลองความเร็วในการผลิตเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ผลการทดลองความเร็วในการผลิตเส้นครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.10 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติก

การทดลองนี้เป็นการทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกในช่วงทุก ๆ 10 เซนติเมตร ที่ความยาวเส้น 200 เซนติเมตร โดยวัดเส้นจำนวน 3 เส้น เพื่อให้ทราบขนาดของเส้นในช่วง 200 เซนติเมตร นั้นมีขนาดเท่าใดบ้าง และบันทึกผลการทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้







- 1) ทำการเปิดเครื่องโดยเปิดสวิตซ์เครื่อง
- 2) เอาเศษพลาสติกชนิดพีอีที่ใส่ในกระบอกใส่เส้น
- 3) รอรออุณหภูมิคงที่
- 4) ตั้งค่าการใช้งานตัวเครื่อง
- 5) วัดความยาวเส้นที่ได้ให้มีความยาว 200 เซนติเมตร แล้วทำการตัดเส้น ทำ 3 ครั้ง
- 6) วัดขนาดเส้นที่ได้ทุก ๆ 10 เซนติเมตร
- 7) บันทึกผลการทดลองในตาราง 4.10 ถึงตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.10 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกเส้นที่ 1

ความยาวเส้น (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นที่ 1 (มิลลิเมตร)	รูปภาพประกอบ
10	1.5	
20	1.7	
30	1.8	






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกเส้นที่ 1 (ต่อ)

ความยาวเส้น (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นที่ 1 (มิลลิเมตร)	รูปภาพประกอบ
40	1.4	
50	1.7	
60	1.7	
70	1.7	
80	1.3	
90	1.5	







เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกเส้นที่ 1 (ต่อ)

ความยาวเส้น (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นที่ 1 (มิลลิเมตร)	รูปภาพประกอบ
100	1.5	
110	1.6	
120	1.7	
130	1.7	
140	1.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

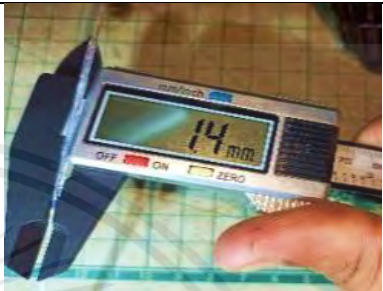
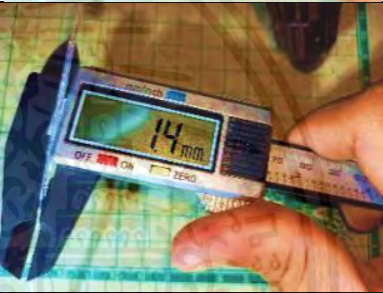

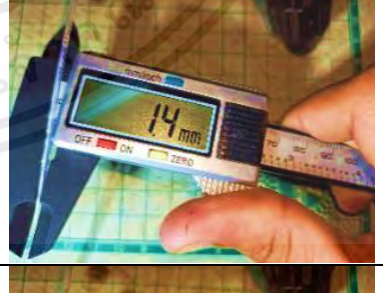

ตารางที่ 4.10 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกเส้นที่ 1 (ต่อ)

ความยาวเส้น (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นที่ 1 (มิลลิเมตร)	รูปภาพประกอบ
150	1.6	
160	1.5	
170	1.5	
180	1.5	
190	1.4	
200	1.8	
เฉลี่ย	1.59	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

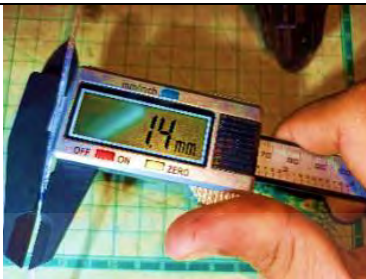

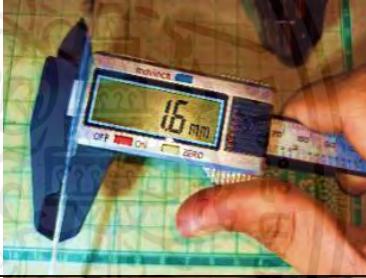

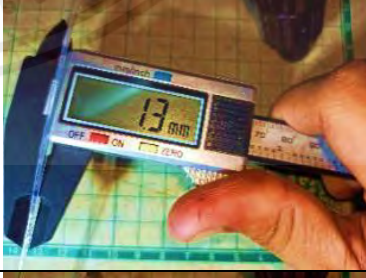
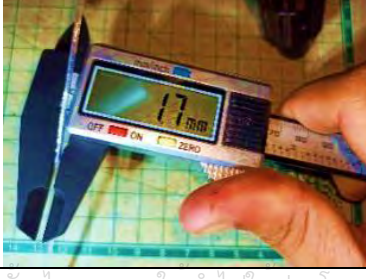
จากการทดลองตารางที่ 4.10 ขนาดเส้นที่วัดได้ทุกๆ 10 เซนติเมตรในความยาวทั้งหมด 200 เซนติเมตร ได้ขนาดเฉลี่ยที่ 1.59 มิลลิเมตร ขนาดใหญ่ที่สุดที่ 1.8 มิลลิเมตร เล็กที่สุด 1.3 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.11 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกเส้นที่ 2

ความยาวเส้น (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นที่ 2 (มิลลิเมตร)	รูปภาพประกอบ
10	1.4	
20	1.4	
30	1.5	
40	1.4	
50	1.6	


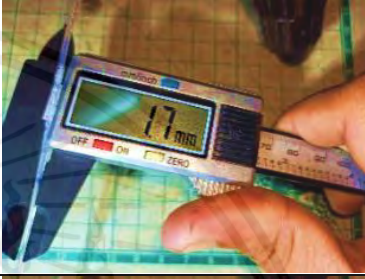
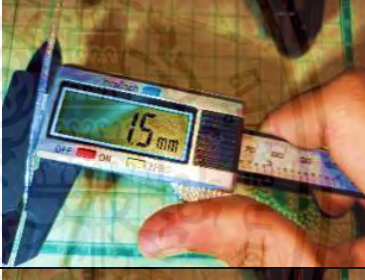



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกที่ 2 (ต่อ)

ความยาวเส้น (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นที่ 2 (มิลลิเมตร)	รูปภาพประกอบ
60	1.4	
70	1.4	
80	1.6	
90	1.7	
100	1.3	
110	1.7	


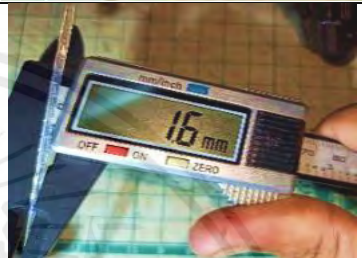

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกที่ 2 (ต่อ)

ความยาวเส้น (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นที่ 2 (มิลลิเมตร)	รูปภาพประกอบ
120	1.4	
130	1.7	
140	1.5	
150	1.5	
160	1.6	
170	1.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกเส้นที่ 2 (ต่อ)

ความยาวเส้น (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นที่ 2 (มิลลิเมตร)	รูปภาพประกอบ
180	1.7	
190	1.6	
200	1.8	
เฉลี่ย	1.55	

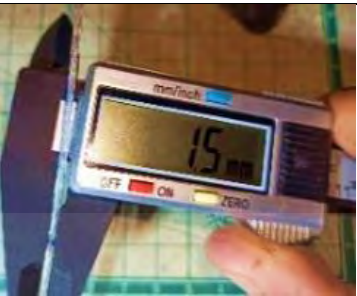




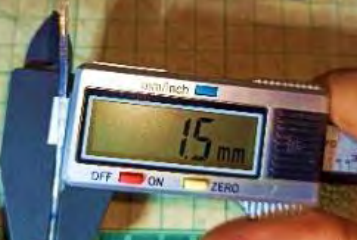
จากการทดลองตารางที่ 4.11 ขนาดเส้นที่วัดได้ทุกๆ 10 เซนติเมตรในความยาวทั้งหมด 200 เซนติเมตร ได้ขนาดเฉลี่ยที่ 1.55 มิลลิเมตร ขนาดใหญ่ที่สุดที่ 1.8 มิลลิเมตร เล็กที่สุด 1.3 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.12 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกเส้นที่ 3

ความยาวเส้น (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นที่ 3 (มิลลิเมตร)	รูปภาพประกอบ
10	1.4	
20	1.6	






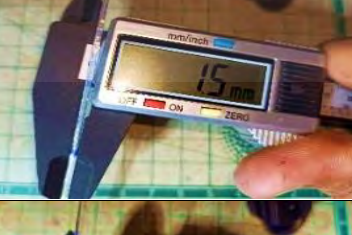

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกเส้นที่ 3 (ต่อ)

ความยาวเส้น (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นที่ 3 (มิลลิเมตร)	รูปภาพประกอบ
30	1.5	
40	1.5	
50	1.5	
60	1.6	
70	1.5	
80	1.5	






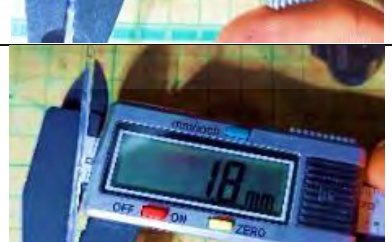
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกเส้นที่ 3 (ต่อ)

ความยาวเส้น (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นที่ 3 (มิลลิเมตร)	รูปภาพประกอบ
90	1.6	
100	1.6	
110	1.5	
120	1.5	
130	1.3	
140	1.5	
150	1.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติกเส้นที่ 3 (ต่อ)

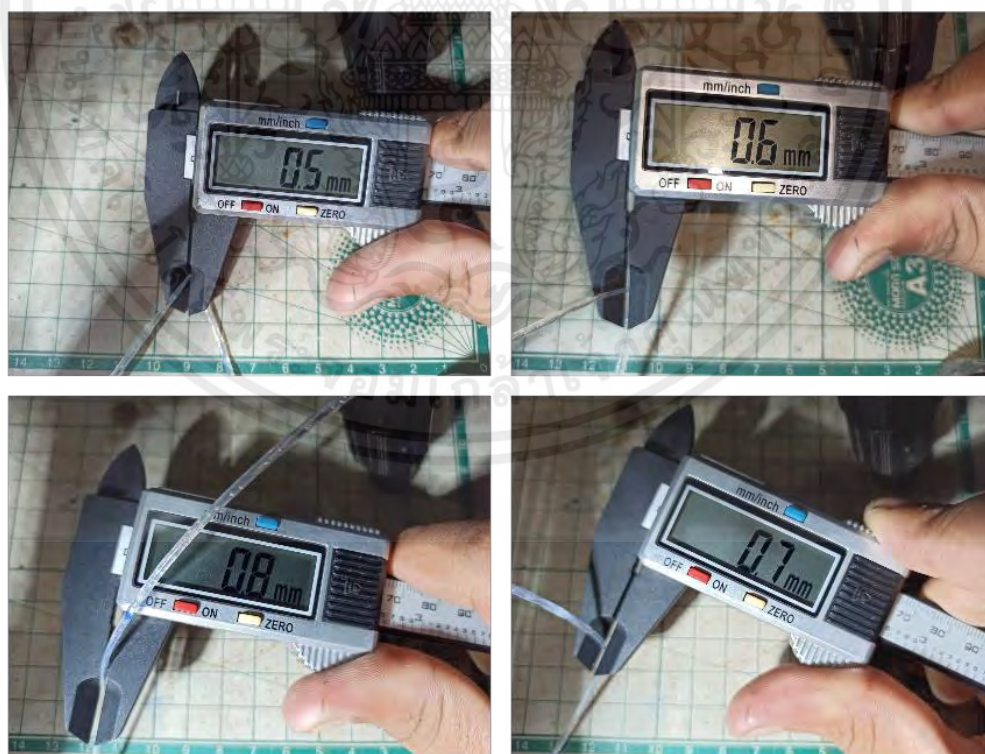
ความยาวเส้น (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นที่ 3 (มิลลิเมตร)	รูปภาพประกอบ
160	1.6	
170	1.7	
170	1.7	
180	1.7	
190	1.7	
200	1.8	
เฉลี่ย	1.57	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองตารางที่ 4.12 ขนาดเส้นที่วัดได้ทุกๆ 10 เซนติเมตรในความยาวทั้งหมด 200 เซนติเมตร ได้ขนาดเฉลี่ยที่ 1.57 มิลลิเมตร ขนาดใหญ่ที่สุดที่ 1.8 มิลลิเมตร เล็กที่สุด 1.3 มิลลิเมตร และในการทดลองตั้งแต่ตารางที่ 4.10 ถึง ตารางที่ 4.11 ในการทดลองพบเส้นบางช่วงมีขนาดเล็กกว่าปกติเนื่องจากการฉีกเส้นออกมาไม่สม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.25 วัดความยาวเส้น 200 เซนติเมตร



รูปที่ 4.26 เส้นบางช่วงที่เกิดจากหัวฉีกเส้นไม่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.26 ปัญหาการฉีกเส้นที่ออกมาไม่สม่ำเสมอปัจจัยหลักมาจาก กำลังของสตีปมอเตอร์ไม่สามารถดันแกนอัดฉีดเส้นได้อย่างสม่ำเสมอ จึงทำให้รอบในการอัดฉีดเส้นไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เส้นที่ฉีดออกมาไม่มีความต่อเนื่อง ทำให้บางช่วงของเส้นมีขนาดเล็กกว่าปกติ

#### 4.11 การทดลองนำเส้นไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ

การทดลองนี้เป็นการนำเส้นที่ผลิตได้ไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ เพื่อปรับชิ้นงานที่ออกแบบทั้งหมด 3 แบบ โดยพิมพ์ทั้งหมด 5 ครั้ง และบันทึกผลการทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1) เปิดสวิตช์เครื่องพิมพ์สามมิติ
- 2) คัดเลือกเส้นใยที่มีขนาดเหมาะสมนำเส้นไปใส่ยังเครื่องพิมพ์สามมิติ
- 3) สร้างแบบชิ้นงานที่ต้องการพิมพ์ แสดงดังรูป 4.28
- 4) เลือกแบบชิ้นงานที่ต้องการพิมพ์ที่เครื่องพิมพ์สามมิติ
- 5) รอชิ้นงานพิมพ์เสร็จ
- 6) บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 การทดลองนำเส้นไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ

ทดลองพิมพ์	ผลการนำเส้นไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ
ชิ้นงานแบบที่ 1	สามารถพิมพ์ชิ้นงานได้
ชิ้นงานแบบที่ 2	สามารถพิมพ์ชิ้นงานได้สำเร็จ
ชิ้นงานแบบที่ 2	สามารถพิมพ์ชิ้นงานได้
ชิ้นงานแบบที่ 3	สามารถพิมพ์ชิ้นงานได้
ชิ้นงานแบบที่ 3	สามารถพิมพ์ชิ้นงานได้

จากการทดลองตารางที่ 4.13 พบว่าการพิมพ์ชิ้นงานแบบที่ 1 ถึง ชิ้นงานแบบที่ 3 สามารถพิมพ์ได้สำเร็จไม่มีการติดขัด และพิมพ์ชิ้นงานแบบที่ 2 ครั้งแรกเกิดปัญหาแก่การพิมพ์ชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 4.30 (ข) เนื่องจากขนาดเส้นที่เกิดจากหัวฉีด ฉีดเส้นออกมาไม่ต่อเนื่องทำให้เส้นมีขนาดเล็กกว่าปกติ ทำให้เฟืองที่ใช้ในการดันเส้นเข้าสู่หัวพิมพ์ไม่สามารถหนีบเพื่อดันเส้นเข้าได้ แสดงดังรูปที่ 4.31 จึงทำการเลือกเส้นพลาสติกที่มีความสมบูรณ์เพื่อทำการพิมพ์ชิ้นงานแบบที่ 2 ใหม่อีกครั้ง ผลปรากฏว่าสามารถพิมพ์ชิ้นงานสำเร็จได้ แสดงดังรูปที่ 4.30 (ค)



รูป 4.27 เส้นพลาสติกที่นำใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ



(ก)

(ข)

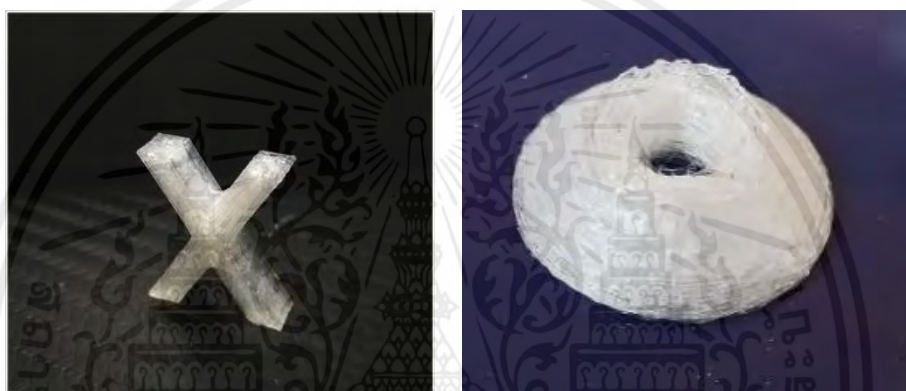
(ค)

รูปที่ 4.28 แบบที่ใช้ในการทดสอบการพิมพ์ชิ้นงาน  
(ก) ชิ้นงานแบบที่ 1 (ข) ชิ้นงานแบบที่ 2 (ค) ชิ้นงานแบบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 การทดลองนำเส้นไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

รูปที่ 4.30 ชิ้นงานที่พิมพ์สำเร็จ

- (ก) ทดลองพิมพ์แบบที่ 1 (ข) ทดลองพิมพ์แบบที่ 2 เมื่อเส้นมีขนาดเล็ก  
(ค) ทดลองพิมพ์แบบที่ 2 เส้นมีขนาดใกล้เคียง 1.75 มิลลิเมตร (ง) ทดลองพิมพ์แบบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 ปัญหาของเส้นพลาสติกที่ไม่ได้ขนาด


จากรูปที่ 4.31 เห็นได้ว่าตัวเฟืองสามารถใส่เส้นเข้าไปได้ แต่ไม่สามารถบีบเส้นไว้ได้เนื่องจากเส้นพลาสติกมีขนาดที่เล็กกว่าปกติ โดยเส้นพลาสติกมีขนาด 0.7 มิลลิเมตร

#### 4.12 การทดลองกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตเส้นพลาสติก

การทดลองนี้เป็นการทดลองวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตเส้นพลาสติก และนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละช่วง เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าของการผลิตเส้นพลาสติกจากค่าไฟฟ้า และบันทึกผลการทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1) ตรวจสอบปลั๊กไฟว่ามีการถอดออกเรียบร้อยแล้ว
- 2) นำมัลติมิเตอร์มาตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า และบันทึกค่า
- 3) สลับสายมัลติมิเตอร์ไปยังช่องสำหรับวัดกระแส
- 4) ปรับมัลติมิเตอร์เป็นย่านการวัดกระแสของไฟฟ้ากระแสสลับ
- 5) นำสายโพรบมัลติมิเตอร์ต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟเข้าไปยังตัวเครื่อง
- 6) ทำการเดินเครื่องตามขั้นตอน
- 7) บันทึกผลในช่วงต่าง ๆ ในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 กระแสที่ใช้ในขณะที่เครื่องกำลังผลิตเส้นในแต่ละช่วง

การทำงานของเครื่อง	กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (แอมป์)	แรงดันที่วัดได้ (โวลต์)	รูปประกอบ
เปิดเครื่องเพื่อวัดแรงดันไฟฟ้า	-	229.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 กระแสที่ใช้ในขณะที่เครื่องกำลังผลิตเส้นในแต่ละช่วง (ต่อ)

การทำงานของเครื่อง	กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (แอมป์)	แรงดันที่วัดได้ (โวลต์)	รูปประกอบ
ขณะเริ่มทำความร้อนจนถึงค่าที่กำหนด ใช้เวลา 3.32 นาที	2.30	229.4	
ขณะรอให้ความร้อนถ่ายเทไปยังพลาสติกภายในเป็นเวลา 5 นาที	0.99	229.4	
เริ่มทุกระบบในการผลิตเส้นพลาสติก วัดช่วงเวลาที่ 1	1.31	229.4	
เริ่มทุกระบบในการผลิตเส้นพลาสติก วัดช่วงเวลาที่ 2	1.39	229.4	
เริ่มทุกระบบในการผลิตเส้นพลาสติก วัดช่วงเวลาที่ 3	1.37	229.4	

จากตารางที่ 4.14 พบว่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ขณะเริ่มทุกระบบในการผลิตเส้นพลาสติกทั้ง 3 ช่วง มีค่าเท่ากับ 1.36 แอมป์ สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ใช้ได้ดังสมการที่ 4.1

$$P = \frac{Time \times V \times I}{60} \quad (4.3)$$

เมื่อ P คือค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ ณ เวลานั้นเทียบกับระยะเวลาภายในหนึ่งชั่วโมง (Wh)

Time คือ ระยะเวลาที่โหลดใช้กระแสไฟฟ้า (นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ ( $V$ )

$I$  คือ กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ ( $A$ )

คำนวณกำลังไฟฟ้าขณะเริ่มทำความร้อนจนถึงค่าที่กำหนดได้จากสมการที่ 4.3

$$P = \frac{3.32 \times 229.4 \times 2.30}{60}$$

$$P = 29.195 \text{ W}$$

ดังนั้นค่าของกำลังไฟฟ้าขณะเริ่มต้นทำความร้อนจนถึงค่าที่กำหนดเท่ากับ 29.195 วัตต์ต่อชั่วโมง คำนวณกำลังไฟฟ้าขณะรอให้ความร้อนถ่ายเทไปยังพลาสติกภายในเป็นเวลา 5 นาที ได้จากสมการที่ 4.3

$$P = \frac{5.00 \times 229.4 \times 0.99}{60}$$

$$P = 18.926 \text{ Wh}$$

ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าขณะรอให้ความร้อนถ่ายเทไปยังพลาสติกภายในเป็นเวลา 5 นาที เท่ากับ 18.926 วัตต์ต่อชั่วโมง คำนวณกำลังไฟฟ้าขณะเริ่มทุกระบบในการผลิตเส้นพลาสติกทั้ง 3 ช่วง ได้จากสมการที่ 4.3

$$P = \frac{51.68 \times 229.4 \times 1.36}{60}$$

$$P = 268.72 \text{ Wh}$$

ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าขณะเริ่มทุกระบบในการผลิตเส้นพลาสติกทั้ง 3 เท่ากับ 268.72 วัตต์ต่อชั่วโมง กำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมงรวมทั้งระบบเมื่อเริ่มต้นคำนวณได้ดังนี้

$$P_{total} = 29.195 + 18.926 + 268.72$$

$$P_{total} = 316.84 \text{ Wh}$$

กำลังไฟฟารวมทั้งระบบเมื่อเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 316.84 วัตต์ต่อชั่วโมง และกำลังไฟฟารวมทั้งระบบเมื่อระบบทำงานอย่างต่อเนื่องมีค่าเท่ากับ 268.72 วัตต์ต่อชั่วโมง สามารถคำนวณค่าไฟฟ้าได้โดยอ้างอิงอัตราค่าไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยปกติ ประเภทใช้พลังงานไม่เกิน 150 หน่วยต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดือน ณ วันที่ 9 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2566 อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า 2.35 บาทต่อหน่วย ค่าไฟฟ้าแปรผัน ( $F_t$ ) 91.19 สตางค์ต่อหน่วย ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 เปอร์เซ็นต์ ค่าบริการ 8.19 บาท สามารถคำนวณค่าไฟฟ้าแบ่งเป็นสามส่วนได้ตั้งสมการที่ 4.4, สมการที่ 4.5, สมการที่ 4.6

$$\text{ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน} = \left( \frac{P_{total} \times \text{ค่าพลังงานไฟฟ้า}}{1000} \right) + \text{ค่าบริการ} \quad (4.4)$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าแปรผัน} = \left( \frac{P_{total} \times F_t}{1000} \right) \quad (4.5)$$

$$\text{ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม} = (\text{ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน} + \text{ค่าไฟฟ้าแปรผัน}) \times \frac{7}{100} \quad (4.6)$$

คำนวณค่าไฟฟ้าพื้นฐานในขณะที่เปิดเครื่องครั้งแรกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่ได้จากการวัดอัตราการใช้พลังงานได้จากสมการที่ 4.4

$$\text{ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน} = \left( \frac{316.84 \times 2.35}{1000} \right) + 8.19$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน} = 8.93 \text{ บาท}$$

ค่าไฟฟ้าพื้นฐานมีค่าเท่ากับ 8.93 บาท

คำนวณค่าไฟฟ้าแปรผันในขณะที่เปิดเครื่องครั้งแรกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่ได้จากการวัดอัตราการใช้พลังงานได้จากสมการที่ 4.5

$$\text{ค่าไฟฟ้าแปรผัน} = \left( \frac{316.84 \times 0.91}{1000} \right)$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าแปรผัน} = 0.29 \text{ บาท}$$

ค่าไฟฟ้าแปรผันค่าเท่ากับ 0.29 บาท

คำนวณค่าภาษีมูลค่าเพิ่มจากค่าใช้จ่ายของค่าไฟฟ้าพื้นฐานรวมกับค่าไฟฟ้าแปรผันได้จากสมการที่ 4.6

$$\text{ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม} = (8.93 + 0.29) \times \frac{7}{100}$$

$$\text{ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม} = 0.65 \text{ บาท}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าภาษีมูลค่าเพิ่มมีค่าเท่ากับ 0.65 บาท  
รวมค่าใช้จ่ายไฟฟ้าทั้งหมดขณะที่เครื่องเปิดเครื่องครั้งแรกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถ  
คำนวณได้จากสมการที่ 4.7

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = \text{ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน} + \text{ค่าไฟฟ้าแปรผัน} + \text{ภาษีมูลค่าเพิ่ม} \quad (4.6)$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 8.93 + 0.29 + 0.65$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 9.87 \text{ บาท}$$



ดังนั้นค่าไฟฟ้าทั้งหมดขณะเปิดเครื่องครั้งแรกเป็นเวลา 1 ชั่วโมงได้ 9.87 บาท

#### 4.13 การทดลองเพิ่มตัวกรองกรองพลาสติกภายในท่อ

การทดลองนี้เป็นการทดลองเปรียบเทียบลักษณะของเส้นพลาสติกที่มีการเพิ่มตัวกรอง  
พลาสติกเหลวภายในท่อและไม่มีการเพิ่มตัวกรองกรอง เพื่อหาวิธีแก้ปัญหาเศษพลาสติกที่ยังไม่  
ละลายหมดไม่ให้ออกมาทางหัวฉีด เส้นพลาสติกที่ฉีดออกมาไม่สม่ำเสมอ ฟองอากาศที่แผ่ออก  
มากกับเส้นพลาสติก โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1) เปิดชั้นหัวฉีดที่ยึดกับท่อตันเส้นออก
- 2) นำตาข่ายอลูมิเนียมขนาดกั้นนำไปใส่ภายในท่อ แสดงดังรูปที่ 4.32
- 3) ชั้นปิดหัวฉีดกับท่อให้แน่น แสดงดังรูปที่ 4.33
- 4) ทดลองฉีดเส้นและเปรียบเทียบลักษณะของเส้น จำนวน 5 เส้น ยาวเส้นละ 20 เซนติเมตร
- 5) บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.15 และตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.15 การทดลองลักษณะของเส้นพลาสติกที่ไม่มีตัวกรองเส้น

จำนวนเส้น	ลักษณะของเส้น	รูปประกอบ
เส้นที่ 1	สีใส มีผิวขรุขระ มีฟองอากาศ	
เส้นที่ 2	สีใส มีผิวขรุขระ มีฟองอากาศ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 การทดลองลักษณะของเส้นพลาสติกที่ไม่มีตัวกรองเส้น (ต่อ)

จำนวนเส้น	ลักษณะของเส้น	รูปประกอบ
เส้นที่ 3	สีใส มีผิวขรุขระ มีฟองอากาศ	
เส้นที่ 4	สีใส มีผิวขรุขระ มีฟองอากาศ	
เส้นที่ 5	สีใส มีผิวขรุขระ มีฟองอากาศ	

จากตารางที่ 4.15 เศษพลาสติกที่ไม่ละลายสามารถออกมาทางหัวฉีดทำให้เส้นมีลักษณะที่ขรุขระไม่เรียบและมีฟองอากาศค่อนข้างเยอะ

ตารางที่ 4.16 การทดลองลักษณะของเส้นพลาสติกที่มีตัวกรองเส้น

จำนวนเส้น	ลักษณะของเส้น	รูปประกอบ
เส้นที่ 1	สีใส มีผิวเรียบ มีฟองอากาศผสมเล็กน้อย	
เส้นที่ 2	สีใส มีผิวเรียบ มีฟองอากาศผสมเล็กน้อย	
เส้นที่ 3	สีใส มีผิวเรียบ มีฟองอากาศผสมเล็กน้อย	
เส้นที่ 4	สีใส มีผิวเรียบ มีฟองอากาศผสมเล็กน้อย	
เส้นที่ 5	สีใส มีผิวเรียบ มีฟองอากาศผสมเล็กน้อย	

จากตารางที่ 4.16 ตัวกรองสามารถช่วยให้พลาสติกที่ฉีดออกมามีความเรียบและช่วยลดฟองอากาศได้ เพราะเศษพลาสติกที่ละลายไม่หมดหรือที่มีความหนืดสูงจะติดที่ตัวกรองไม่สามารถออกผ่านทางหัวฉีดได้จึงทำให้เส้นที่ออกมีคุณภาพที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ตาข่ายอลูมิเนียมภายในท่อ



รูปที่ 4.33 หัวฉีดที่ขันยึดกับท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึง บทสรุปในการทดลองจากบทที่ 4 จากเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ บอกถึงปัญหาและอุปสรรค และข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

เครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ มีวัตถุประสงค์เพื่อรีไซเคิล (Recycle) ขวดพลาสติกชนิดพีอีโดยการนำพลาสติกชนิดพีอีที่ ผ่านกระบวนการหลอมเพื่อให้เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ เพื่อใช้ในการพิมพ์แบบขึ้นงานสามมิติ ซึ่งจากการทดลองนำเส้นไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ สามารถใช้งานกับเครื่องพิมพ์สามมิติ และพิมพ์ชิ้นงานได้ตามที่ออกแบบไว้ได้

#### 5.1.1 สรุปผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 200 องศาเซลเซียส ถึง 280 องศาเซลเซียส

การทดลองควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 200 องศาเซลเซียส ถึง 280 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมิตามที่กำหนดเป็นระยะเวลา 1 นาที ซึ่งใน 1 นาทีค่าความผิดพลาดที่ทำได้มากที่สุดที่ 2 องศาเซลเซียส และค่าความผิดพลาดที่ได้น้อยที่สุดที่ 0 องศาเซลเซียส

#### 5.1.2 สรุปผลการทดลองทดลองควบคุมการทำงานของสเตปป์มอเตอร์

การทดลองทดลองควบคุมการทำงานของสเตปป์มอเตอร์ เครื่องสามารถควบคุมความเร็วได้และความผิดพลาดขององศา ในการหมุนค่าความผิดพลาดองศาการหมุนของสเตปป์มอเตอร์ มีค่ามากที่สุดประมาณ 2 องศา และน้อยที่สุดประมาณ 0 องศา

#### 5.1.3 สรุปผลการทดลองการทำงานของเซ็นเซอร์เมื่อเศษพลาสติกหมด

การทดลองการทำงานของเซ็นเซอร์เมื่อเศษพลาสติกหมดจำนวน 5 ครั้ง พบว่าเมื่อพลาสติกในท่อลดลงถึงจุดที่เซ็นเซอร์ไม่สามารถจับได้ เครื่องสามารถหยุดการทำงานได้ทั้งหมด

#### 5.1.4 สรุปผลการทดลองม้วนเก็บเส้นพลาสติก

การทดลองม้วนเก็บเส้นพลาสติกจำนวน 5 ครั้ง พบว่าเมื่อนำเส้นไปยังตัวโรลล์ม้วนเก็บเส้นเครื่องสามารถม้วนเก็บเส้นพลาสติกได้ทั้งหมด

#### 5.1.5 สรุปผลการทดลองแสดงขนาดเส้นพลาสติกผ่านทางจอแสดงผล

การทดลองแสดงขนาดเส้นพลาสติกผ่านทางจอแสดงผลจำนวน 5 ครั้ง โดยเพิ่มระยะขึ้นครั้งละ 0.5 มิลลิเมตรเครื่องสามารถแสดงค่าขนาดตรงกับเวอร์เนียร์ได้ในขนาดตั้งแต่ขนาด 0.5 มิลลิเมตร จนถึงขนาด 2.5 มิลลิเมตร

### 5.1.6 สรุปผลการทดลองการหล่อเย็น

การทดลองการหล่อเย็นจะเห็นว่าระยะห่างระหว่างเส้นพลาสติกที่ออกจากท่อไปยังชุดหล่อเย็นมีผลต่อเส้นพลาสติกที่ระยะ 3 เซนติเมตร ขึ้นไปนั้นลักษณะของ เส้นพลาสติกที่ได้มีลักษณะ แข็ง และมีสีขาวทึบที่ระยะน้อยกว่า 2 เซนติเมตร นั้นลักษณะของเส้นพลาสติกที่ได้มีความเหนียวสีใส

### 5.1.7 สรุปผลการทดลองหลอมเส้นพลาสติก

การทดลองหลอมเส้นพลาสติก เมื่อใช้เศษพลาสติกชนิดพีอีที่หลอมเส้นพลาสติกลักษณะ ของเส้นพลาสติกไม่ค่อยยืดหยุ่น สีใส และเมื่อเม็ดพลาสติกที่ผสมเข้าไปช่วยปรับคุณสมบัติของวัสดุ พลาสติกช่วยเพิ่มความแข็งแรง ยืดหยุ่น หรือลดความหุ้มห่อของวัสดุ ทำให้กระบวนการผลิตเส้นพลาสติก ดีขึ้น

### 5.1.8 สรุปผลการทดลองฉีดเส้นพลาสติก

การทดลองฉีดเส้นพลาสติกโดยการใช้หัวฉีดเส้น 4 ขนาดในการทดลอง หัวฉีดขนาด 1.3 มิลลิเมตร หัวฉีดขนาด 1.5 มิลลิเมตร หัวฉีดขนาด 1.75 มิลลิเมตร และหัวฉีดขนาด 2 มิลลิเมตร พบว่า เส้นที่ออกจากหัวฉีดเส้นพลาสติกนั้นมีขนาดเล็กกว่าขนาดของหัวฉีด หากเราต้องการเส้นที่ขนาดเท่าไร นั้นเราควรใช้ขนาดหัวที่ให้ใหญ่กว่าขนาดเส้นที่ต้องการเพื่อให้ได้ขนาดที่ต้องการ

### 5.1.9 สรุปผลการทดลองความเร็วในการผลิตเส้น

การทดลองความเร็วในการผลิตเส้น จากการทดลองพบว่าในระยะเวลา 1 นาที โดยใช้ อุณหภูมิ ความเร็วของตัวดันเส้นและตัวดึงเส้นเท่ากันในการทดลอง ในระยะเวลา 1 นาที ผลิตเส้นได้ ความยาวเส้นที่ได้เฉลี่ยอยู่ที่ 203 เซนติเมตร

### 5.1.10 สรุปผลการทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติก

การทดลองวัดขนาดเส้นพลาสติก พบว่าในช่วงทุก ๆ 10 เซนติเมตร ที่ความยาวเส้น 200 เซนติเมตร มีขนาดเส้นเฉลี่ย 1.57 มิลลิเมตร และบางช่วงมีขนาดเล็กกว่าปกติเกิดจากการฉีดเส้น ออกมาไม่สม่ำเสมอ

### 5.1.11 สรุปผลการทดลองนำเส้นไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ

การทดลองนำเส้นไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ สามารถนำเส้นใยที่ใช้กับพิมพ์สามมิติ ได้ พิมพ์สามมิติสามารถใช้เส้นพลาสติกพิมพ์ชิ้นงานตามที่ต้องการได้

### 5.1.12 สรุปผลการทดลองกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตเส้นพลาสติก

การทดลองกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตเส้นพลาสติก โดยคำนวณค่าไฟฟ้าทั้งหมดขณะ เปิดเครื่องครั้งแรกเป็นเวลา 1 ชั่วโมงได้ 9.87 บาท

### 5.1.13 สรุปผลการทดลองเพิ่มตัวกรองกรองพลาสติกภายในท่อ

การทดลองเพิ่มตัวกรองกรองพลาสติกภายในท่อการเพิ่มตะแกรงอลูมิเนียมภายในท่อ ช่วยเพิ่มคุณภาพของเส้นใยที่ออกมาให้ดีขึ้น ฟองอากาศลดน้อยลง เส้นใยมีความเรียบขึ้น ซึ่งเป็นผลดีต่อการนำเส้นใยไปใช้ในการพิมพ์สามมิติ

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรค

- 1) ปัญหาการสูญเสียความร้อนระหว่างชุดทำความร้อนกับแท่นวาง และอากาศบริเวณรอบนอก ทำให้มีการสูญเสียอุณหภูมิที่เยอะเกินไป
- 2) หน้าจอแสดงผลไม่สามารถบอกค่าอุณหภูมิได้ทันกับตัวทำความร้อนเพื่อส่งไปยังอาตุยโน เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ทัน
- 3) ความเร็วและกำลังของสเต็ปมอเตอร์น้อยเกินไป
- 4) มอเตอร์ดึงเส้นกำลังน้อยและความเร็วรอบไม่คงที่
- 5) ลักษณะของเกลียวตันเส้น มีลักษณะที่ไม่ได้มาตรฐานทำให้การบีบอัดพลาสติกเกิดช่องอากาศในเส้นพลาสติก
- 6) การทำงานของโค้ดในไมโครคอนโทรลเลอร์ มีการสูญเสียเวลาในการทำคำสั่งต่าง ๆ ในโปรแกรมส่งผลให้การควบคุมเฟส เพื่อควบคุมฮีตเตอร์และความเร็วของตัวสเต็ปมอเตอร์มีความผิดพลาด
- 7) เส้นใยพลาสติกที่หลอมมีฟองอากาศจำนวนมากเนื่องจากอุณหภูมิภายในท่อมียุณหภูมิสะสมที่มากเกินไปทำให้พลาสติกเหลวภายในเดือดมีฟองอากาศ
- 8) เส้นใยพลาสติกที่หลอมมีขนาดไม่สม่ำเสมอ

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรควบคุมให้ PID CONTROL เพื่อให้ได้อุณหภูมิคงที่มากที่สุด
- 2) เพิ่มฉนวนกันความร้อนบริเวณจุดวางแท่นทำความร้อนและครอบคลุมแท่นทำความร้อนที่สัมผัสกับอากาศ
- 3) ทำวงจรถองสัญญาณ และอาจจะต้องเปลี่ยนตัววัดอุณหภูมิเป็นชนิด RTD ที่ใช้การเปลี่ยนแปลงความต้านทานในการวัดอุณหภูมิ แทนตัววัดอุณหภูมิปัจจุบันที่ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากโลหะสองชนิดเพราะว่าระดับแรงดันที่ได้จากโลหะสองชนิดมีแรงดันที่ต่ำระดับมิลลิโวลต์ จึงไวต่อสัญญาณรบกวนได้ง่ายทำให้มีผลต่อการอ่านค่าอุณหภูมิ
- 4) เปลี่ยนสเต็ปมอเตอร์
- 5) เปลี่ยนตัวเกลียวตันเส้น

- 6) ลดการทำซ้ำของคำสั่งที่ไม่จำเป็น
- 7) ปรับความดันอากาศในกระบอกหล่อ เพื่อลดปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้นในเส้นใยพลาสติก
- 8) ปรับความเร็วในการดึงเส้น และความเร็วในการดันเส้นให้มีความเหมาะสมกัน



## เอกสารอ้างอิง

- [1] สุวัฒน์ แซ่ตัน, **เทคนิคและการออกแบบ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย**, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2563.
- [2] “หลอดไฟแสดงสถานะ” (Pilot Lamp) (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://mall.factomart.com>, เข้าถึงครั้งสุดท้าย 15 ธันวาคม 2565.
- [3] “โมดูลวัดอุณหภูมิ เอ็มเอเอกซ์ 6675” (MAX6675) (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://www.analogread.com>, เข้าถึงครั้งสุดท้าย 6 ธันวาคม 2565.
- [4] “จอทัชสกรีนแซมคุนแซมคุน” (HMI Samkoon) (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://il.mahidol.ac.th>, เข้าถึงครั้งสุดท้าย 7 ธันวาคม 2565.
- [5] กฤษณ์ อินทรนนท์; **ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า**, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์คอร์ฟังก์ชั่น, 2564.
- [6] อำนาจ ทองผาสุข, **การควบคุมมอเตอร์**, กรุงเทพฯ, 2563.
- [7] “ฮีตเตอร์รัดท่อ” (Band Heater) (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://hi-den.co.th>, เข้าถึงครั้งสุดท้าย 8 ธันวาคม 2565.
- [8] รัชชัย สุมิตร, **รีเลย์ป้องกันระบบพลังไฟฟ้า**, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี, 2529.
- [9] “อุปกรณ์แปลงสัญญาณ เอ็มเอเอกซ์ 3232” (MAX3232) (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://blog.thaieasyelec.com>, เข้าถึงครั้งสุดท้าย 6 ธันวาคม 2565.
- [10] ดอนสัน ปงผาบ, **ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino**, กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2563.
- [11] อภิรักษ์ สุขเกษม, **มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ**, สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2561.
- [12] “เทอร์โมคัปเปิลชนิด เค” (Thermocouple Type K) (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://sangchaimeter.com>, เข้าถึงครั้งสุดท้าย 6 ธันวาคม 2565.
- [13] “เส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ” (3D printing filament) (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://metrosystems-des.com>, เข้าถึงครั้งสุดท้าย 6 ธันวาคม 2565.
- [14] “พลาสติกชนิดพีอีที” (polyethylene terephthalate) (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <http://www.ruengratinter.com>, เข้าถึงครั้งสุดท้าย 6 ธันวาคม 2565.
- [15] อำนาจ ทองผาสุข, **การควบคุมมอเตอร์**, กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี, 2563.
- [16] ดอนสัน ปงผาบ, **ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino**, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2563.

- [17] “ออปโตคัปเปิลเลอร์” (Optocoupler) (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา:  
<http://electhai.blogspot.com>, เข้าถึงครั้งสุดท้าย 5 ธันวาคม 2565.
- [18] ดอนสัน ปงผาบ, ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino , กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2563.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก ก**

**โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที  
เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ**

## โค้ดการทำงานของเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ

```
// -----อาดูยโน เมกกะ 2560 -----
#include <Wire.h> // เรียกใช้ไลบรารี Wire
#include <Modbus.h> // เรียกใช้ไลบรารี Modbus
#include <ModbusSerial.h> // เรียกใช้ไลบรารี ModbusSerial
#include <PID_v1.h> // เรียกใช้ไลบรารี พีไอดี
#include "max6675.h" // เรียกใช้ไลบรารี เอ็มเอเอ็กซ์ 6675
#include <Servo.h> // เรียกใช้ไลบรารี เซอร์โวมอเตอร์
int i2c_address = 0x21; // กำหนด I2C Address อาดูยโนควบคุมอุณหภูมิ
const int volumFeed = A4; // พินอ่านค่าความเร็วสแต็ปมอเตอร์ต้นเส้น
const int enPin = 37; // พินควบคุมความการทำงานของสแต็ปมอเตอร์ต้นเส้น
int motorSpeedRead = 0; // เก็บค่าความเร็วของมอเตอร์ปั้มน้ำ
int motorSpeed = 0; // เก็บค่าความเร็วของมอเตอร์ปั้มน้ำที่แปลงค่าแล้ว

const int volumRoll = A5; // พินอ่านค่าความเร็วสแต็ปมอเตอร์ตั้งเส้น
const int ENPIN = 39; // พินควบคุมความการทำงานของสแต็ปมอเตอร์ตั้งเส้น
const int pilolampBLUE = 41 ; // ไฟแสดงการทำงาน
const int pilolampRED = 40; // ไฟแสดงหยุดทำงาน

int motorSpeedReadB = 0; // เก็บค่าความเร็วของมอเตอร์ม้วนเส้น
int motorSpeedB = 0; // เก็บค่าความเร็วของมอเตอร์ม้วนเส้นที่แปลงค่าแล้ว
int PUMP = 7 ; // ปั้มน้ำหล่อเย็น ช่อง PWM
int LDRSTOP = A1; // เซนเซอร์ตรวจจับเศษพลาสติกหมด

//-----เริ่มกำหนดค่าชุดม้วนเส้น-----
Servo myservo; // ประกาศซื้อตัวแปรเซอร์โว
int motor = 5 ; // กำหนดพิน มอเตอร์ม้วนเส้น PWM
int 83imits = 25 ; // กำหนดพิน ลิ้มิตสวิตช์ม้วนเส้น
int FilamentRoll = 0; // เก็บค่ารอบม้วนเส้น
```

```

int turn = 0; // กำหนดค่าเริ่มต้นการนับรอบการหมุนเส้น
int IFDT = A0; // เซนเซอร์ตรวจจับรอบการหมุนเส้น
int PST ; // เก็บค่าจำนวนครั้งที่ทำงานของเซอร์โวมอเตอร์
int deg; // เก็บค่าองศาของเซอร์โวมอเตอร์
int sta; // เซนเซอร์ตรวจจับรอบการหมุนเส้น
bool PST_detected = false; // กำหนดค่าจำนวนครั้งที่ทำงานของโปรแกรมวัดรอบเป็นเท็จ
int servo_PST = 0; // กำหนดค่าจำนวนครั้งที่ทำงานของเซอร์โวมอเตอร์เป็นศูนย์
//-----เริ่มกำหนดค่าเวอร์เนียร์-----
int i2c_address1 = 0x22; // กำหนด Address ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าเวอร์เนียร์
float vernier; // กำหนด ตัวแปรเก็บค่า เวอร์เนียร์
//-----แสดงความเร็วเส้น-----
float speedval; // เก็บค่าความเร็วเส้น
const int Extrude =4 ; // กำหนดพินมอเตอร์ดึงเส้น PWM เพื่อใช้
int firing_pin = 6; // กำหนดพินควบคุมฮีตเตอร์ 1
int zero_cross = 53; // รับสถานะ จุดตัดศูนย์
int thermoDO = 49; //|
int thermoCS = 46; //| กำหนดพิน MAX5575 อ่านค่าอุณหภูมิตัวที่ 1
int thermoCLK = 52; //|
MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
double Setpoint, Input, Output; //|
double Kp= 7, Ki=0.5, Kd=0.05; //| จูนพีไอดีชุดที่ 1
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
int thermoDO2 = 50; //|
int thermoCS2 = 48; //| กำหนดพิน MAX5575 อ่านค่าอุณหภูมิตัวที่ 1
int thermoCLK2 = 52; //|
MAX6675 thermocouple2(thermoCLK2, thermoCS2, thermoDO2);
double Setpoint2, Input2, Output2; //|
double Kp2= 8, Ki2=1.1 , Kd2=0.01; //| จูนพีไอดีชุดที่ 2

```

```

PID myPID2(&Input2, &Output2, &Setpoint2, Kp2, Ki2, Kd2, DIRECT);

bool zero_cross_detected = false;           // สถานะฟังก์ชันควบคุมอุณหภูมิ
int maximum_firing_delay = 10600;          // ดีเลย์จุดตัดศูนย์
unsigned long previousMillis = 0;           // ตัวแปรเก็บค่าเวลาในการอ่านอุณหภูมิ
unsigned long currentMillis = 0;           // ตัวแปรเก็บค่าเวลาในการอ่านอุณหภูมิ
unsigned long pv;                           // ตัวแปรเก็บค่าเวลาในการส่งข้อมูลไปยังจอทัชสกรีน
unsigned long pv1 = 0;                      // ตัวแปรเก็บค่าเวลาในการส่งข้อมูลไปยังจอทัชสกรีน
unsigned long pvstop;                       // ตัวแปรเก็บค่าเวลาไฟหยุดเครื่อง
unsigned long pvstop1 = 0;                  // ตัวแปรเก็บค่าเวลาไฟหยุดเครื่อง
unsigned long val;                          // เก็บค่าเปอร์เซ็นต์สเตปมอเตอร์ต้นเส้น
unsigned long val2;                         // เก็บค่าอุณหภูมิ
unsigned long showval2;                     // เก็บค่าเปอร์เซ็นต์สเตปมอเตอร์ตั้งเส้น
int temp_read_Delay = 500;                  // กำหนดค่าดีเลย์การอ่านอุณหภูมิ
int real_temperature = 0;                   // เก็บค่าอุณหภูมิตัวที่ 1
int real_temperature2 = 0;                  // เก็บค่าอุณหภูมิตัวที่ 2
//-----Modbus Registers Offsets-----
const int TEMP_IREG = 100;                  // Address จอทัชสกรีน ส่งค่าอุณหภูมิตัวที่ 2
const int TEMPP_IREG = 101;                 // Address จอทัชสกรีน ส่งค่าอุณหภูมิตัวที่ 1
const int SPEEDFEED_IREG = 102;            // Address จอทัชสกรีน ส่งค่าความเร็วสเตปมอเตอร์ต้นเส้น
const int SPEEDROLL_IREG = 103;            // Address จอทัชสกรีน ส่งค่าความเร็วสเตปมอเตอร์ตั้งเส้น
const int temc_HREG = 104;                 // Address จอทัชสกรีน รับค่าอุณหภูมิตัวที่ 1
const int temc2_HREG = 106;                // Address จอทัชสกรีน รับค่าอุณหภูมิตัวที่ 2
const int PUMP_HREG = 105;                 // Address จอทัชสกรีน รับค่าการควบคุมมอเตอร์ปั๊ม
const int MROLL_HREG = 107;                // Address จอทัชสกรีน รับค่าการควบคุมมอเตอร์ม้วนเส้น
const int speed_IREG = 108;                // Address จอทัชสกรีน ส่งค่าความเร็วเส้น
const int diameter_IREG = 109;             // Address จอทัชสกรีน ส่งค่าขนาดเส้น
ModbusSerial mb;                           // เริ่มต้นการสื่อสาร ModbusSerial

```

```
//-----ติดตั้งการใช้งานเริ่มต้น-----
void setup() {
  Wire.begin();           // เริ่มต้นใช้งาน Library Wire
  Serial.begin(9600);     // เริ่ม
  mb.config(&Serial3, 38400, SERIAL_8N1); // ตั้งค่า ซีเรียลชุดที่สามบน อาศัยโน้มนำ 2560
  mb.setSlavelD(10);     // ตั้งค่า หมายเลขของเซลฟของจอทัชสกรีน
  mb.addIreg(TEMP_IREG); // ตั้งค่าการส่งข้อมูลอุณหภูมิ 1
  mb.addIreg(TEMPP_IREG); // ตั้งค่าการส่งข้อมูลอุณหภูมิ 2
  mb.addIreg(SPEEDFEED_IREG); // ตั้งค่าการส่งข้อมูลความเร็วสเตปมอเตอร์ต้นเส้น
  mb.addIreg(SPEEDROLL_IREG); // ตั้งค่าการส่งข้อมูลค่าความเร็วสเตปมอเตอร์ตั้งเส้น
  mb.addHreg(temc_HREG,240); // ตั้งค่าการรับข้อมูลอุณหภูมิตัวที่ 1 บนหน้าจอ
  mb.addHreg(temc2_HREG,240); // ตั้งค่าการรับข้อมูลอุณหภูมิตัวที่ 2 บนหน้าจอ
  Setpoint = 240;       // ตั้งค่าเริ่มต้นอุณหภูมิ
  Setpoint2 = 240;     // ตั้งค่าเริ่มต้นอุณหภูมิ
  mb.addHreg(PUMP_HREG,0 ); // ตั้งค่าการรับข้อมูลสเตปมอเตอร์1 บนหน้าจอ
  mb.addHreg(MROLL_HREG,0 ); // ตั้งค่าการรับข้อมูลสเตปมอเตอร์2 บนหน้าจอ
  mb.addIreg(speed_IREG); // ตั้งค่าการส่งข้อมูลแสดงค่า ความเร็วเส้น
  mb.addIreg(diameter_IREG); // ตั้งค่าการส่งข้อมูลแสดงค่า ขนาดเส้น
  pinMode (firing_pin, OUTPUT); // กำหนดอินพุตและเอาต์พุต
  pinMode (zero_cross,INPUT); // กำหนดอินพุตและเอาต์พุต
  pinMode(volumFeed,INPUT); // กำหนดอินพุตและเอาต์พุต
  pinMode(enPin,OUTPUT); // กำหนดอินพุตและเอาต์พุต
  pinMode(volumRoll,INPUT); // กำหนดอินพุตและเอาต์พุต
  pinMode(ENPIN,OUTPUT); // กำหนดอินพุตและเอาต์พุต
  pinMode(pilolampBLUE,OUTPUT); // กำหนดอินพุตและเอาต์พุต
  pinMode(pilolampRED,OUTPUT); // กำหนดอินพุตและเอาต์พุต
  digitalWrite(enPin,LOW); // กำหนดสถานะขาเปิดสเตปมอเตอร์เป็นต่ำ
  digitalWrite(ENPIN,HIGH); // กำหนดสถานะขาเปิดสเตปมอเตอร์เป็นสูง
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----เริ่มกำหนดค่า ชุดม้วนเส้น-----
myservo.attach(3); // กำหนดพินเซอร์โวมอเตอร์
pinMode(IFDT,INPUT); // กำหนดอินพุทและเอาต์พุท แอลดีอาร์ วัตรอบ
pinMode(LDRSTOP,INPUT); // กำหนดอินพุทและเอาต์พุท แอลดีอาร์พิเศษพลาสติกกลม
pinMode(87imits,INPUT); // กำหนดอินพุทและเอาต์พุท ลิมิตสวิตซ์ตรวจเส้น
pinMode(motor,OUTPUT); // กำหนดอินพุทและเอาต์พุท มอเตอร์ม้วนเส้น
pinMode(PUMP,OUTPUT); // กำหนดอินพุทและเอาต์พุท มอเตอร์ปั้มน้ำ
deg = 26 ; // องศาเริ่มต้น เซอร์โวมอเตอร์
sta=1; // สถานะของการนับรอบการม้วน
myservo.write(deg); // สั่งเซอร์โวมอเตอร์ให้หมุนตามองศาที่กำหนด
digitalWrite(motor,LOW); // สั่งหยุดมอเตอร์ม้วนเส้น
PCICR |= B00000001; // เปิดใช้งานขาขัดจังหวะในชุด PCMSK0
PCMSK0 |= B00000001; // ตั้งค่าขา 53 เป็นขาขัดจังหวะ
myPID.SetMode(AUTOMATIC); // ตั้งค่าการคำนวณพีไอดีเป็นอัตโนมัติ
myPID2.SetMode(AUTOMATIC); // ตั้งค่าการคำนวณพีไอดีเป็นอัตโนมัติ
}
//-----เริ่มการทำงานวนลูบ-----
void loop()
{
if(analogRead(volumFeed)>1010 ){ // ตั้งค่าให้สเตปมอเตอร์ดันเส้นปิด
digitalWrite(enPin,LOW);
}
if(analogRead(volumFeed)<1015){ // ตั้งค่าให้สเตปมอเตอร์ดันเส้นเปิด
digitalWrite(enPin,HIGH);
}

if(analogRead(volumRoll)>1015){ // ตั้งค่าให้สเตปมอเตอร์ดึงเส้นปิด
digitalWrite(ENPIN,HIGH);
}
}

```

```

}
if(analogRead(volumRoll)<1015){ // ตั้งค่าให้สเตปมอเตอร์ดึงเส้นเปิด
    digitalWrite(ENPIN,LOW);
}

stopmachine(); // ทำงานฟังก์ชันหยุดเครื่อง
RUNmachine(); // ไฟแสดงสถานะเครื่องทำงาน
mb.task(); //Samkoon // เริ่มการส่งข้อมูลจอทัชสกรีน
currentMillis = millis(); // กำหนดให้ตัวแปรเท่ากับตัวจับเวลาในไมโครคอนโทรลเลอร์
if(currentMillis - previousMillis >= temp_read_Delay){ //กำหนดเวลาดีเลย์โดยการ
เปรียบเทียบ
    previousMillis += temp_read_Delay; // กำหนดดีเลย์ให้แก่ฟังก์ชัน
    real_temperature = thermocouple.readCelsius(); //รับค่าอุณหภูมิที่ 1
    Input = thermocouple.readCelsius(); //รับค่าอุณหภูมิที่ 1
    myPID.Compute(); //คำนวณพีไอดีที่ 1
    real_temperature2 = thermocouple2.readCelsius(); //รับค่าอุณหภูมิที่ 2
    Input2 = thermocouple2.readCelsius(); //รับค่าอุณหภูมิที่ 2
    myPID2.Compute(); //คำนวณพีไอดีที่
    val = map(analogRead(volumFeed), 0, 1023, 100, 0); // อ่านและแปลงค่าความเร็วสเตปมอ
เตอร์ต้นเส้น
    val2 = Output2; //เก็บค่าพีไอดีตัวที่ 2
    showval2 = map(analogRead(volumRoll), 0, 1023, 100, 0); // อ่านและแปลงค่าความเร็วสเต
ปมอเตอร์ดึงเส้น
    speeddisplay(); // ทำฟังก์ชันคำนวณความเร็วเส้น
}

pv = millis(); // กำหนดให้ตัวแปรเท่ากับตัวจับเวลาในไมโครคอนโทรลเลอร์
if(pv-pv1 > 500){ // กำหนดเวลาดีเลย์โดยการเปรียบเทียบ
    mb.lreg( TEMP_IREG, real_temperature); // แสดงค่า อุณหภูมิตัวขวาสุด
    mb.lreg( TEMPP_IREG, real_temperature2); // แสดงค่า อุณหภูมิตัวซ้ายสุด 2 ตัว

```

```

mb.lreg( SPEEDFEED_IREG, val );           // แสดงค่าเปอร์เซ็นต์สเตปมอเตอร์ ดันเส้น
mb.lreg( SPEEDROLL_IREG, showval2 );     // แสดงค่าเปอร์เซ็นต์สเตปมอเตอร์ ดึงเส้น
Setpoint = mb.Hreg( temc_HREG );         // อ่านค่าอุณหภูมิตัว 1 จากหน้าจอทัชสกรีน
Setpoint2 = mb.Hreg( temc2_HREG );       // อ่านค่าอุณหภูมิตัว 2 จากหน้าจอทัชสกรีน
motorSpeedRead = mb.Hreg( PUMP_HREG );   // อ่านค่าความเร็วมอเตอร์ปั้มน้ำ จาก
หน้าจอทัชสกรีน

motorSpeed = map(motorSpeedRead, 0, 100, 0, 255); // แปลงค่าความเร็วมอเตอร์ปั้มน้ำ
motorSpeedReadB = mb.Hreg( MROLL_HREG ); //อ่านค่าความเร็วมอเตอร์ม้วนเส้น จาก
หน้าจอทัชสกรีน

motorSpeedB = map(motorSpeedReadB, 0, 100, 0, 255); // แปลงค่าความเร็วมอเตอร์
ม้วนเส้น

Wire.requestFrom(i2c_address1,1);       // ส่งคำขอข้อมูลค่าเวอร์เนียไปยังเซเลฟ
vernier = Wire.read();                   // อ่านค่าเวอร์เนียเก็บในตัวแปร
Wire.endTransmission();                 // สิ้นสุดการส่งข้อมูล I2c
mb.lreg( diameter_IREG,vernier );       // แสดงค่าขนาดเส้นบนหน้าจอทัชสกรีน
speedval=speedval*6;                     // แปลงค่าความเร็วเส้น
mb.lreg( speed_IREG, speedval );         // แสดงค่าความเร็วเส้นบนหน้าจอทัชสกรีน
pv1 = millis();                          // กำหนดให้ตัวแปรเท่ากับตัวจับเวลาในไมโครคอนโทรลเลอร์
}
//-----การทำงานปั้มน้ำ-----
analogWrite(PUMP,motorSpeed);           // สั่งปั้มน้ำทำงานแบบ PWM
//-----ควบคุมอุณหภูมิ-----
if ( real_temperature < Setpoint - 1 ) // ฟังก์ชันควบคุมอุณหภูมิรองตัวที่ 1
{
digitalWrite(firing_pin,HIGH);          // สั่งให้ฮีทเตอร์ทำงาน
}
if ( real_temperature >= Setpoint )     // ฟังก์ชันควบคุมอุณหภูมิรองตัวที่ 1
{

```

```

digitalWrite(firing_pin,LOW);          // สั่งให้ฮีทเตอร์ปิดการทำงาน
}
if (zero_cross_detected)              // ฟังก์ชันตรวจจับจุดตัดศูนย์
{
if(real_temperature2 > ((Setpoint2) +1)){ // ลิมิตอุณหภูมิตัวที่ 2
val2=60;
}
Wire.beginTransmission(i2c_address); // เริ่มการส่งข้อมูลการควบคุมอุณหภูมิไปยังเซเลฟ
Wire.write(val2);                    // ส่งข้อมูลการควบคุมอุณหภูมิไปยังเซเลฟ
Wire.endTransmission();              // สิ้นสุดการส่งข้อมูล I2c
zero_cross_detected = false;        // กำหนดให้ฟังก์ชันเป็นเท็จ
}
filament_roll();                    // เริ่มทำในฟังก์ชันม้วนเส้น
}
//-----ZERO CROSS DETECTED-----
ISR(PCINT0_vect){                    // ฟังก์ชันขัดจังหวะในการตรวจจับจุดตัดศูนย์
if(PINB & B00000001){                // ตรวจจับขาขัดจังหวะขา 53
zero_cross_detected = true; // สถานะของฟังก์ชัน
}
}
//-----FILAMENT ROLL-----
void filament_roll() {                // ฟังก์ชันม้วนเส้น
PST = analogRead(IFDT);              // ตรวจจับแอลดีอาร์ม้วนเส้น
//Serial.println(PST);
if((PST>100)&&(sta==1)){              // เปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากแอลดีอาร์
PST_detected = true;                // กำหนดค่าฟังก์ชันให้เป็นจริง
servo_PST = servo_PST + 1 ;        // ตั้งค่าตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์
sta=0;                               // ตั้งค่าการทำงานของฟังก์ชันเป็นศูนย์
}
}

```

```

}
if((PST<100)&&(sta==0)){           // เปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากแอลดีอาร์
FilamentRoll = 0;                 // รอบการม้วนเส้น
  sta=1;                           // ตั้งค่าการทำงานของฟังก์ชันเป็นหนึ่ง
}
if(PST_detected){                 // ตรวจจับสถานะของฟังก์ชัน
  if(servo_PST >= 30){             // ตั้งค่าตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์
    servo_PST=0;                   // ตั้งค่าตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์
    FilamentRoll=FilamentRoll+1;   // ตั้งค่ารอบการม้วนเส้น
    turn = turn+1;                 // ตั้งค่ารอบการม้วนเส้น
  }
  if(FilamentRoll == 1){           // ฟังก์ชันเพิ่มองศาเซอร์โวมอเตอร์
    if(turn>=1 & turn<=33){        // เปรียบเทียบรอบการม้วน
      deg = deg + 4 ;              // เพิ่มองศาเซอร์โวมอเตอร์
      myservo.write(deg);          // สั่งเซอร์โวมอเตอร์หมุนตามตำแหน่ง
    }
    if(turn>33 & turn<66){         // เปรียบเทียบรอบการม้วน
      deg = deg - 4 ;              // ลดองศาเซอร์โวมอเตอร์
      myservo.write(deg);          // สั่งเซอร์โวมอเตอร์หมุนตามตำแหน่ง
    }
    if(turn == 67){                // ฟังก์ชันนับรอบการม้วน
      turn = 0;                    // ตั้งค่ารอบการม้วนเส้น
    }
  }
  PST_detected = false;            // กำหนดค่าฟังก์ชันให้เป็นเท็จ
}
if(digitalRead(91imits) == 1){    // อ่านค่าลิมิตสวิตซ์ในการหมุนมอเตอร์ม้วนเส้น
  digitalWrite(motor,LOW);        // ปิดมอเตอร์ม้วนเส้น
}

```

```

}
if(digitalRead(92imits) == 0){ // อ่านค่าลิมิตสวิตซ์ในการหมุนมอเตอร์ม้วนเส้น
  analogWrite(motor,motorSpeedB); // เปิดมอเตอร์ม้วนเส้น PWM
}
}
//-----start pilolampSTOP-----
void stopmachine() { // ฟังก์ชันหยุดเครื่อง
while (analogRead(LDRSTOP) > 110) { // อ่านแอลดีอาร์ตรวจจับเส้นหมด
motorSpeedB = 0; // กำหนดให้ความเร็วมอเตอร์ม้วนเส้นเป็นศูนย์เพื่อหยุด
motorSpeed = 0; // กำหนดให้ความเร็วมอเตอร์ปั้มน้ำเป็นศูนย์เพื่อหยุด
mb.task(); // เริ่มส่งข้อมูลจอทัชสกรีน
digitalWrite(motor,LOW); // ปิดมอเตอร์ม้วนเส้น
digitalWrite(PUMP,LOW); // ปิดมอเตอร์ปั้มน้ำ
currentMillis = millis(); // กำหนดให้ตัวแปรเท่ากับตัวจับเวลาในไมโครคอนโทรลเลอร์
if(currentMillis – previousMillis >= temp_read_Delay){ //กำหนดเวลาที่เลยโดยการเปรียบเทียบ
  previousMillis += temp_read_Delay; // กำหนดดีเลย์ให้แก่ฟังก์ชัน
  real_temperature = thermocouple.readCelsius(); //รับค่าอุณหภูมิที่ 1
  Input = thermocouple.readCelsius(); //รับค่าอุณหภูมิที่ 1
  myPID.Compute(); // คำนวณพีไอดีที่ 1
  digitalWrite(firing_pin,LOW); // ปิดฮีทเตอร์รอง ตัวที่ 1
  real_temperature2 = thermocouple2.readCelsius(); //รับค่าอุณหภูมิที่ 2
  Input2 = thermocouple2.readCelsius(); //รับค่าอุณหภูมิที่ 2
  myPID2.Compute(); // คำนวณพีไอดีที่ 2
  val2 = Output2; // กำหนดค่าตัวแปรให้เท่ากับการคำนวณพีไอดี
  Wire.beginTransmission(i2c_address); // เริ่มการส่งข้อมูลไปยังเซเลฟ
  Wire.write(0); // ส่งข้อมูลไปยังอาดยุโนนาโน ควบคุมอุณหภูมิหลัก ที่ 2
  Wire.endTransmission(); // สิ้นสุดการส่งข้อมูล
}
}

```

```

pv = millis(); // กำหนดให้ตัวแปรเท่ากับตัวจับเวลาในไมโครคอนโทรลเลอร์
if(pv-pv1 > 500){ // กำหนดเวลาดีเลย์โดยการเปรียบเทียบ
  mb.addHreg(temc_HREG,0); // ปรับอุณหภูมิตัวที่ 1 บนหน้าจอ
  mb.addHreg(temc2_HREG,0); // ปรับอุณหภูมิตัวที่ 2 บนหน้าจอ
  mb.lreg( TEMP_IREG, real_temperature); // แสดงค่า อุณหภูมิตัวขวาสุด
  mb.lreg( TEMPP_IREG, real_temperature2); // แสดงค่า อุณหภูมิตัวซ้ายสุด 2 ตัว
  Wire.requestFrom(i2c_address1,1); // ส่งค่าขอข้อมูลค่าเวอร์เนียไปยังเซเลฟ
  vernier = Wire.read(); // อ่านค่าเวอร์เนียจจาก I2c
  Wire.endTransmission(); // สิ้นสุดการส่งข้อมูล
  mb.lreg( diameter_IREG,vernier ); // ส่งค่าแสดงค่าขนาดของเส้น
  pv1 = millis(); // กำหนดให้ตัวแปรเท่ากับตัวจับเวลาในไมโครคอนโทรลเลอร์
}
digitalWrite(ENPIN,HIGH);
digitalWrite(enPin,LOW);
pvstop = millis(); // กำหนดให้ตัวแปรเท่ากับตัวจับเวลาในไมโครคอนโทรลเลอร์
digitalWrite(pilolampBLUE,LOW);
if( pvstop - pvstop1 > 2000 ) // กำหนดเวลาดีเลย์โดยการเปรียบเทียบ
{
  digitalWrite(pilolampRED,HIGH); // เปิดไฟหยุดเครื่อง
  digitalWrite(pilolampBLUE,LOW); // ปิดไฟหยุดเครื่อง

  if( pvstop - pvstop1 > 4000 ) // กำหนดเวลาดีเลย์โดยการเปรียบเทียบ
  {
    digitalWrite(pilolampRED,LOW); // ปิดไฟหยุดเครื่อง
    digitalWrite(pilolampBLUE,LOW); // ปิดไฟเครื่องเครื่องทำงาน

    pvstop1 = millis(); // กำหนดให้ตัวแปรเท่ากับตัวจับเวลาในไมโครคอนโทรลเลอร์
  }
}

```

```

    }
  }
}

void RUNmachine() { //ไฟแสดงสถานะเดินเครื่อง
  pvstop = millis(); // กำหนดให้ตัวแปรเท่ากับตัวจับเวลาในไมโครคอนโทรลเลอร์
  digitalWrite(pilolampRED,LOW); // ปิดไฟหยุดเครื่อง
  if( pvstop - pvstop1 > 2000 ) // กำหนดเวลาดีเลย์โดยการเปรียบเทียบ
  {
    digitalWrite(pilolampRED,LOW); // ปิดไฟหยุดเครื่อง
    digitalWrite(pilolampBLUE,HIGH); // เปิดไฟเครื่องทำงาน
    if( pvstop - pvstop1 > 4000 ) // กำหนดเวลาดีเลย์โดยการเปรียบเทียบ
    {
      digitalWrite(pilolampBLUE,LOW); // ปิดไฟเครื่องทำงาน
      digitalWrite(pilolampRED,LOW); // ปิดไฟหยุดเครื่อง
      pvstop1 = millis(); // กำหนดให้ตัวแปรเท่ากับตัวจับเวลาในไมโครคอนโทรลเลอร์
    }
  }
}

void speeddisplay() { // ฟังก์ชันแสดงผลเปรียบเทียบและแปลงค่าจากสเตปมอเตอร์ดึง
เส้น
  if(showval2==0){ // ฟังก์ชันหยุดแสดงค่า
    speedval=0.00; // แสดงค่าเป็นศูนย์
  }
  if(showval2>0 && showval2 <=36 ){ //แปลงค่าแสดงขึ้นจอ
    speedval = map( showval2, 1, 36, 650, 890);
  }
  if(showval2>36 && showval2 <=46 ){ //แปลงค่าแสดงขึ้นจอ

```

```

speedval = map( showval2, 36, 46, 890, 1090);
}
if(showval2>46 && showval2 <=52 ){           //ฟังก์ชันแปลงค่าแสดงขึ้นจอ
    speedval = map( showval2, 46, 52, 1090, 1230);
}
if(showval2>52 && showval2 <=62 ){           //ฟังก์ชันแปลงค่าแสดงขึ้นจอ
    speedval = map( showval2, 52, 62, 1230, 1420);
}
if(showval2>62 && showval2 <=68 ){           //ฟังก์ชันแปลงค่าแสดงขึ้นจอ
    speedval = map( showval2, 62, 68, 1420, 1620);
}
if(showval2>68 && showval2 <=72 ){           //ฟังก์ชันแปลงค่าแสดงขึ้นจอ
    speedval = map( showval2, 68, 72, 1620, 1830);
}
if(showval2>72 && showval2 <=76 ){           //ฟังก์ชันแปลงค่าแสดงขึ้นจอ
    speedval = map( showval2, 72, 76, 1830, 1950);
}
if(showval2>76 && showval2 <=80 ){           //ฟังก์ชันแปลงค่าแสดงขึ้นจอ
    speedval = map( showval2, 76, 80, 1950, 2200);
}
if(showval2>80 && showval2 <=84 ){           //ฟังก์ชันแปลงค่าแสดงขึ้นจอ
    speedval = map( showval2, 80, 84, 2200, 2550);
}
if(showval2>84 && showval2 <=88 ){           //ฟังก์ชันแปลงค่าแสดงขึ้นจอ
    speedval = map( showval2, 84, 88, 2550, 2900);
}
if(showval2>88 && showval2 <=92 ){           //ฟังก์ชันแปลงค่าแสดงขึ้นจอ
    speedval = map( showval2, 88, 92, 2900, 3440);
}

```

```

}
if(showval2>92 && showval2 <=96 ){           //ฟังก์ชันแปลงค่าแสดงขึ้นจอ
    speedval = map( showval2, 92, 96, 3440, 4150);
}
if(showval2>96 && showval2 <=98 ){           //ฟังก์ชันแปลงค่าแสดงขึ้นจอ
    speedval = map( showval2, 96, 98, 4150, 4900);
}
if(showval2>98 && showval2 <=100 ){         //ฟังก์ชันแปลงค่าแสดงขึ้นจอ
    speedval = map( showval2, 98, 100, 4900, 6930);
}
}
//-----อาดูยโน้ นาโน-----
#include <Wire.h>           // เรียกใช้ไลบรารี Wire
int i2c_address = 0x21;    // กำหนด I2C Address อาดูยโน้ควบคุมอุณหภูมิ
int firing_pin2 = 5;       // กำหนดพินควบคุมฮีตเตอร์ 2
int firing_pin3 = 4;       // กำหนดพินควบคุมฮีตเตอร์ 3
int zero_cross = 9;       // รับสถานะ จุดตัดศูนย์

unsigned long val2;        // เก็บค่าอุณหภูมิ
unsigned long pidval;      // เก็บค่าพีไอดี

bool zero_cross_detected = false; // สถานะฟังก์ชันควบคุมอุณหภูมิ
int maximum_firing_delay = 12500; // ดีเลย์จุดตัดศูนย์
//-----ติดตั้งการใช้งานเริ่มต้น-----
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Wire.begin(i2c_address);           // เริ่มใช้งาน Library Wire ที่ Address 0x21

```

```

pinMode (firing_pin2,OUTPUT);      // กำหนดอินพุทและเอาต์พุท
pinMode (firing_pin3,OUTPUT);      // กำหนดอินพุทและเอาต์พุท
pinMode (zero_cross,INPUT);        // กำหนดอินพุทและเอาต์พุท
Wire.onReceive(receiveEvent);      // ฟังก์ชันรับค่า I2c

PCICR |= B00000001; // เปิดใช้งานขาขัดจังหวะในชุด PCMSK0
PCMSK0 |= B00000010; // ตั้งค่าขาขัดจังหวะ
}

//-----เริ่มการทำงานวนลูป-----
void loop() {
  pidval = map(val2, 0, 255, 0, 8500); //แปลงค่าพีไอดีจากค่าที่รับได้
  if (zero_cross_detected){
    delayMicroseconds(maximum_firing_delay - pidval ); //ดีเลย์เฟสคลื่น
    digitalWrite(firing_pin2,HIGH); //สั่งให้ฮีทเตอร์ทำงาน
    digitalWrite(firing_pin3,HIGH); //สั่งให้ฮีทเตอร์ทำงาน
    delayMicroseconds(100); // ดีเลย์เพื่อปิด
    digitalWrite(firing_pin2,LOW); //สั่งให้ฮีทเตอร์ปิดทำงาน
    digitalWrite(firing_pin3,LOW); //สั่งให้ฮีทเตอร์ปิดทำงาน
    zero_cross_detected = false; // สถานะฟังก์ชันควบคุมอุณหภูมิ
  }
}

void receiveEvent(int bytes) //ฟังก์ชันรับค่า I2c
{
  //digitalWrite(firing_pin2,LOW);
  // digitalWrite(firing_pin3,LOW);
  val2 = Wire.read(); //อ่านค่าเก็บในตัวแปร
}

ISR(PCINT0_vect){ // ฟังก์ชันขัดจังหวะในการตรวจจับจุดตัดสัญญาณ
  if(PINB & B00000010){ // ตรวจจับขาขัดจังหวะขา

```

```

    zero_cross_detected = true;          // สถานะของฟังก์ชัน
  }
}

//-----ไอซีเอทีเมลเอทีเมก้า 328 พี-พียู-----

#include <Wire.h>      // เรียกใช้ไลบรารี Wire
int i2c_address = 0x22; // กำหนด I2C Address
float val;           // ตัวแปรรับเวอร์เนียร์
int val1;           // ตัวแปรค่าเวอร์เนียร์ในการส่งข้อมูล
float result;       // ตัวแปรรับเวอร์เนียร์ที่แปลงได้
#include "Arduino.h" // เรียกใช้ไลบรารี Arduino
#include "pins_arduino.h" // เรียกใช้ไลบรารี pins_arduino

#define CLOCK_PIN 9 // กำหนดพินสัญญาณนาฬิกา
#define DATA_PIN 8 // กำหนดพินข้อมูล
unsigned long tempmicros; // กำหนดตัวแปรเก็บเวลา
//-----ติดตั้งการใช้งานเริ่มต้น-----

void setup() {

  Wire.begin(i2c_address); // เริ่มต้นใช้งาน ไลบรารี Wire ตาม Address
  Wire.onRequest(requestEvent); // ฟังก์ชัน รอรับค่า I2c
  Serial.begin(9600);
  pinMode( CLOCK_PIN, INPUT ); // กำหนดอินพุทและเอาต์พุท
  pinMode( DATA_PIN, INPUT ); // กำหนดอินพุทและเอาต์พุท
}

//-----เริ่มทำงานวนลูป-----

void loop() {
  vernier(); // ฟังก์ชันอ่านข้อมูลจากเวอร์เนียร์
  //Serial.println(val);
}

```

```

}
void requestEvent(){ // ฟังก์ชันส่งข้อมูล
    val= (val*(-100));
    val1=val;
    Serial.println(val1);
    if(val1>=255){
        val1=0;
    }
    if(val1<=0){
        val1=0;
    }
    Wire.write(val1); // ส่งข้อมูลไปยังอาดุยโนเมก้า 2560
}
float decode() { //แปลงค่าที่รับได้
    int sign = 1;
    long value = 0;
    for (int i = 0; i < 23; i++)
    {
        while ( digitalRead( CLOCK_PIN ) == HIGH ) {} //รอรับสัญญาณสูงจากสัญญาณนาฬิกา
        while ( digitalRead( CLOCK_PIN) == LOW ) {} //รอรับสัญญาณต่ำจากสัญญาณนาฬิกา
        if ( digitalRead( DATA_PIN ) == HIGH ) // รับสัญญาณข้อมูล
        {
            if (i < 20)
            {
                value |= 1 << i;
            }
            if (i == 20)
            {

```

```

        sign = -1;
    }
}
}
return ( value * sign ) / 100.00;
}
void vernier() {                                //รอรับสัญญาณจากเวอร์เนียร์

while (digitalRead( CLOCK_PIN) == HIGH ) {}

tempmicros = micros();

while ( digitalRead( CLOCK_PIN ) == LOW ) {}

if ( ( micros() - tempmicros ) > 500 )
{
    result = decode();                          //ส่งข้อมูลไปแปลงค่า
    val=result;
}
}
}
}

```



## ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้งานเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ



คู่มือการใช้งานเครื่องรีไซเคิลเศษพลาสติกชนิดพีอีที่เป็นเส้นใยเครื่องพิมพ์สามมิติ



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

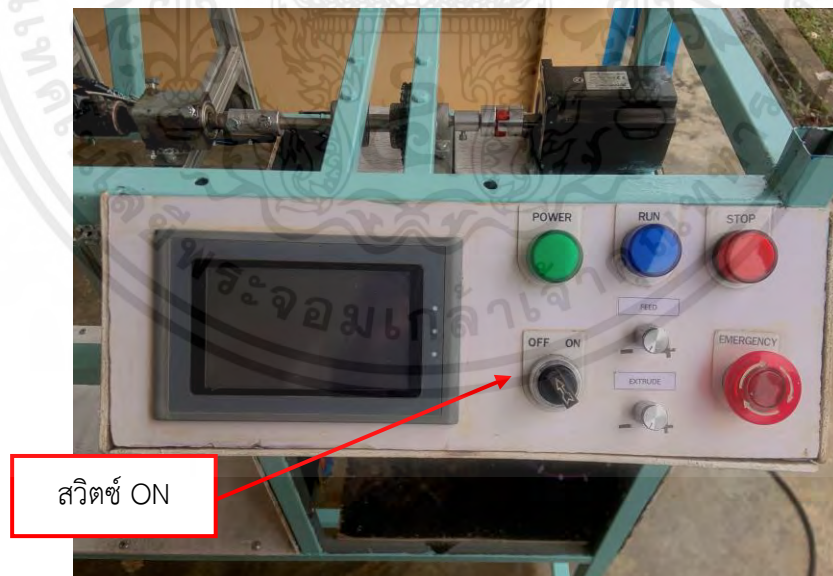
## ขั้นตอนการใช้งาน

- 1) ทำการเสียบปลั๊กไฟเครื่องดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 เสียบปลั๊กไฟ

- 2) ทำการกดลิตซ์ ON ที่แผงควบคุม ดังรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.2 กดสวิตซ์ ON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ทำการการใส่เศษพลาสติกลงในกระบอกลใส่เศษพลาสติก ดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 ใส่เศษพลาสติกลงในกระบอกลใส่เศษพลาสติก

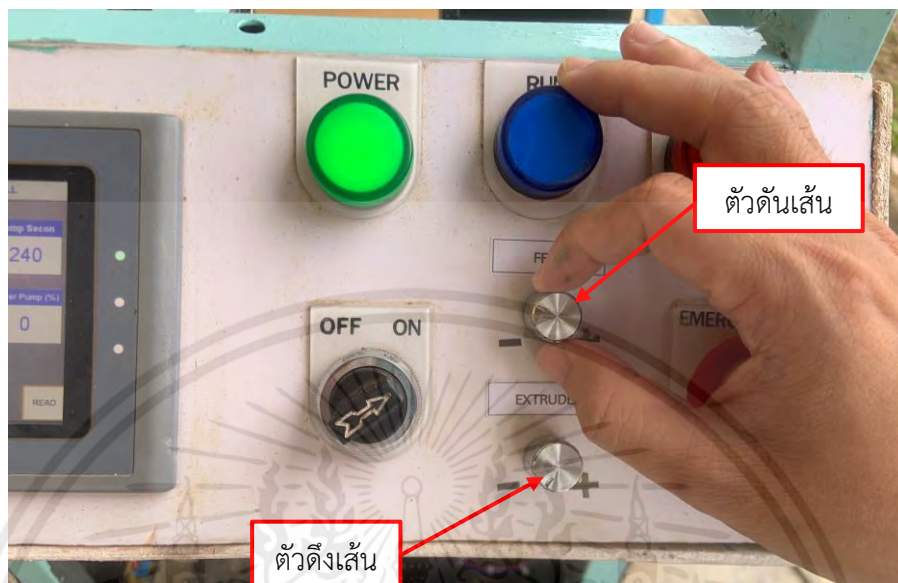
4) ทำการปรับอุณหภูมิต้องการบนแผงควบคุม ดังรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.4 ปรับอุณหภูมิต้องการบนแผงควบคุม

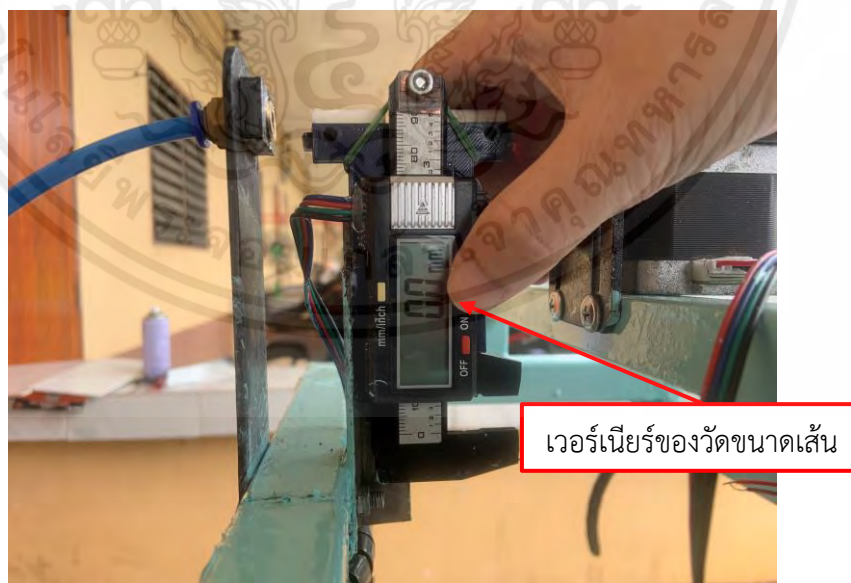
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เมื่ออุณหภูมิแสดงในจอคงที่ ปรับความเร็วสเปดมอเตอร์ตัวดันเส้น และตัวดึงเส้น ดังรูปที่ ข.5



รูปที่ ข.5 ปรับความเร็วสเปดมอเตอร์ตัวดันเส้นและตัวดึงเส้น

6) เซ็ตค่าศูนย์ตัวเวอร์เนียร์ของวัดขนาดเส้น ดังรูปที่ ข.6



รูปที่ ข.6 เซ็ตค่าศูนย์ตัวเวอร์เนียร์ของวัดขนาดเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) จากนั้นนำเส้นจากชุดหล่อเย็น ไปยังสเต็ปมอเตอร์ตัวดึงเส้น ดังรูปที่ ข.7



รูปที่ ข.7 นำเส้นพลาสติกไปยังสเต็ปมอเตอร์ตัวดึงเส้น

8) จากนั้นนำเส้นไปยังโรลม้วนเส้น ดังรูปที่ ข.8



รูปที่ ข.8 นำเส้นพลาสติกไปยังโรลม้วนเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The seal of Rajabhat Buriram is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The umbrella is flanked by two smaller, three-tiered umbrellas. The entire design is set against a background of stylized floral and flame-like patterns. The Thai text "สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" is written around the perimeter of the seal.

ภาคผนวก ค  
คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ (Datasheet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-2225; Rev 1; 2/02

**MAXIM**

## Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

### General Description

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 8LSBs for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

### Features

- o Direct Digital Conversion of Type-K Thermocouple Output
- o Cold-Junction Compensation
- o Simple SPI-Compatible Serial Interface
- o 12-Bit, 0.25°C Resolution
- o Open Thermocouple Detection

### Ordering Information

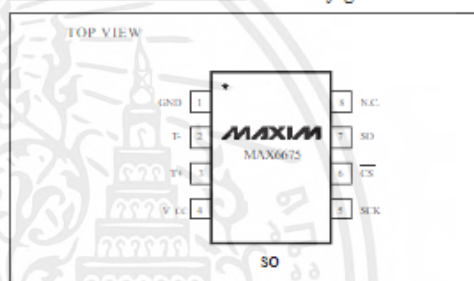
PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

### Applications

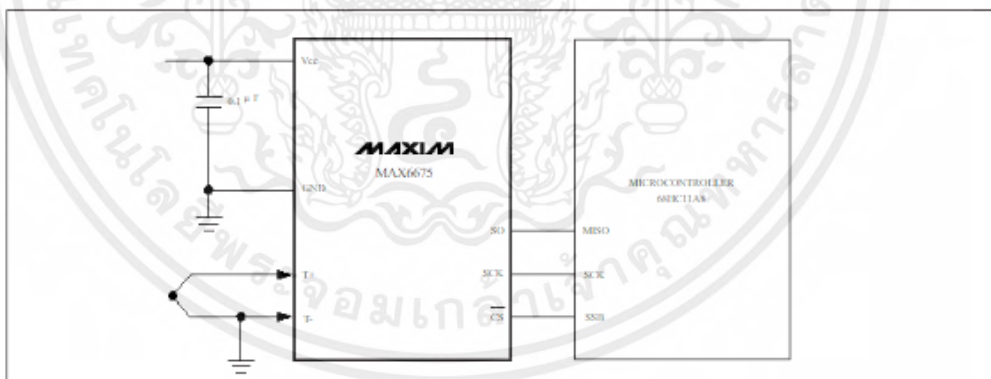
Industrial  
Appliances  
HVAC  
Automotive

*SPI is a trademark of Motorola, Inc.*

### Pin Configuration



### Typical Application Circuit

**MAXIM**

Maxim Integrated Products

1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at [www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com).

**MAX6675**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

MAX6675

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (V <sub>CC</sub> to GND)	-0.3V to +6V
SO, SCK, CS, I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub> to GND	-0.3V to V <sub>CC</sub> + 0.3V
SO Current	50mA
ESD Protection (Human Body Model)	+2000V
Continuous Power Dissipation (T <sub>A</sub> = +70°C)	
8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C)	471mW
Operating Temperature Range	-20°C to +85°C

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Junction Temperature	+150°C
SO Package:	
Vapor Phase (60s)	+215°C
Infrared (15s)	+220°C
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V<sub>CC</sub> = +3.0V to +5.5V, T<sub>A</sub> = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Temperature Error		T <sub>Thermocouple</sub> = -70°C	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-5	-5	LSB
		T <sub>A</sub> = +25°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +5V	-6	-6	
		T <sub>Thermocouple</sub> = 0°C in -70°C to +70°C, T <sub>A</sub> = +25°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-8	-8	
		V <sub>CC</sub> = +5V	-9	-9		
		T <sub>Thermocouple</sub> = -700 to +1000 °C, T <sub>A</sub> = +25°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-17	+17	
			V <sub>CC</sub> = +5V	-19	+19	
Thermocouple Conversion Constant				10.25		μV/LSB
Cold-Junction Compensation Error		T <sub>A</sub> = -20°C to +85°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-3.0	+3.0	°C
			V <sub>CC</sub> = +5V	-3.0	+3.0	
Resolution				0.25		°C
Thermocouple Input Impedance				60		kΩ
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		3.0		5.5	V
Supply Current	I <sub>CC</sub>			0.7	1.5	mA
Power-On Reset Threshold		V <sub>CC</sub> rising	1	2	2.5	V
Power-On Reset Hysteresis				50		mV
Conversion Time		(Note 2)		0.17	0.22	s
<b>SERIAL INTERFACE</b>						
Input Low Voltage	V <sub>IL</sub>			0.3 × V <sub>CC</sub>		V
Input High Voltage	V <sub>IH</sub>			0.7 × V <sub>CC</sub>		V
Input Leakage Current	I <sub>ILK</sub>	V <sub>IN</sub> = GND or V <sub>CC</sub>			+5	μA
Input Capacitance	C <sub>IN</sub>			5	pF	

## Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V<sub>CC</sub> = +3.0V to +5.5V, I<sub>A</sub> = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output High Voltage	V <sub>OH</sub>	I <sub>OH</sub> (max) = 1.6mA	0.93			V
Output Low Voltage	V <sub>OL</sub>	I <sub>OL</sub> (max) = 1.6mA			0.4	V
<b>TIMING</b>						
Serial Clock Frequency	f <sub>SCK</sub>				4.3	MHz
SCK Pulse High Width	t <sub>CH</sub>		100			ns
SCK Pulse Low Width	t <sub>CL</sub>		100			ns
CSB Fall to SCK Rise	t <sub>CSB</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF	100			ns
CSB Fall to Output Enable	t <sub>OV</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF			100	ns
CSB Rise to Output Disable	t <sub>OF</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF			100	ns
SCK Fall to Output Data Valid	t <sub>DOV</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF			100	ns

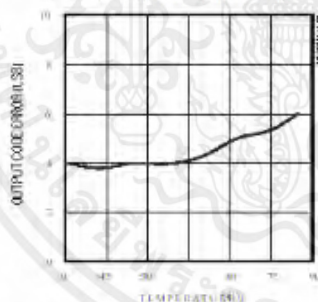
Note 1: All specifications are 100% tested at V<sub>CC</sub> = +2.5V, -25°C. Specification limits over temperature (I<sub>A</sub> = I<sub>OH</sub> or I<sub>OL</sub>) are guaranteed by design and characterization, not production tested.

Note 2: Guaranteed by design. Not production tested.

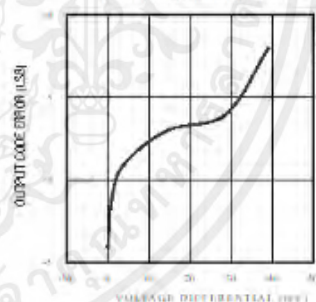
### Typical Operating Characteristics

(V<sub>CC</sub> = +3.0V, I<sub>A</sub> = +25°C, unless otherwise noted.)

OUTPUT CODE ERROR  
vs. AMBIENT TEMPERATURE



OUTPUT CODE ERROR  
vs. VOLTAGE DIFFERENTIAL



**MAXIM**

3

**MAX6675**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

MAX6675

### Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	GND	Ground
2	T <sup>+</sup>	Alumel Lead of Type-K Thermocouple. Should be connected to ground externally.
3	T <sup>-</sup>	Chromel Lead of Type-K Thermocouple
4	V <sub>CC</sub>	Positive Supply. Bypass with a 0.1µF capacitor to GND.
5	SCK	Serial Clock Input
6	CS	Chip Select. Set CS low to enable the serial interface.
7	SO	Serial Data Output
8	N.C.	No Connection

### Detailed Description

The MAX6675 is a sophisticated thermocouple-to-digital converter with a built-in 12-bit analog-to-digital converter (ADC). The MAX6675 also contains cold-junction compensation sensing and correction, a digital controller, an SPI-compatible interface, and associated control logic.

The MAX6675 is designed to work in conjunction with an external microcontroller (µC) or other intelligence in thermostatic, process-control, or monitoring applications.

#### Temperature Conversion

The MAX6675 includes signal-conditioning hardware to convert the thermocouple's signal into a voltage compatible with the input channels of the ADC. The T<sup>+</sup> and T<sup>-</sup> inputs connect to internal circuitry that reduces the introduction of noise errors from the thermocouple wires.

Before converting the thermoelectric voltages into equivalent temperature values, it is necessary to compensate for the difference between the thermocouple cold-junction side (MAX6675 ambient temperature) and a 0°C virtual reference. For a type-K thermocouple, the voltage changes by 41µV/°C, which approximates the thermocouple characteristic with the following linear equation:

$$V_{OUT} = (41\mu\text{V}/^\circ\text{C}) \times (T_R - T_{AMB})$$

Where:

V<sub>OUT</sub> is the thermocouple output voltage (µV).

T<sub>R</sub> is the temperature of the remote thermocouple junction (°C).

T<sub>AMB</sub> is the ambient temperature (°C).

#### Cold-Junction Compensation

The function of the thermocouple is to sense a difference in temperature between two ends of the thermocouple wires. The thermocouple's hot junction can be read from 0°C to +1023.75°C. The cold end (ambient temperature of the board on which the MAX6675 is mounted) can only range from -20°C to +85°C. While the temperature at the cold end fluctuates, the MAX6675 continues to accurately sense the temperature difference at the opposite end.

The MAX6675 senses and corrects for the changes in the ambient temperature with cold-junction compensation. The device converts the ambient temperature reading into a voltage using a temperature-sensing diode. To make the actual thermocouple temperature measurement, the MAX6675 measures the voltage from the thermocouple's output and from the sensing diode. The device's internal circuitry passes the diode's voltage (sensing ambient temperature) and thermocouple voltage (sensing remote temperature minus ambient temperature) to the conversion function stored in the ADC to calculate the thermocouple's hot-junction temperature.

Optimal performance from the MAX6675 is achieved when the thermocouple cold junction and the MAX6675 are at the same temperature. Avoid placing heat-generating devices or components near the MAX6675 because this may produce cold-junction-related errors.

#### Digitization

The ADC adds the cold-junction diode measurement with the amplified thermocouple voltage and reads out the 12-bit result onto the SO pin. A sequence of all zeros means the thermocouple reading is 0°C. A sequence of all ones means the thermocouple reading is +1023.75°C.

## Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

### Applications Information

#### Serial Interface

The Typical Application Circuit shows the MAX6675 interfaced with a microcontroller. In this example, the MAX6675 processes the reading from the thermocouple and transmits the data through a serial interface. Force CS low and apply a clock signal at SCK to read the results at SO. Forcing CS low immediately stops any conversion process. Initiate a new conversion process by forcing CS high.

Force CS low to output the first bit on the SO pin. A complete serial interface read requires 16 clock cycles. Read the 16 output bits on the falling edge of the clock. The first bit, D15, is a dummy sign bit and is always zero. Bits D14–D3 contain the converted temperature in the order of MSB to LSB. Bit D2 is normally low and goes high when the thermocouple input is open. D1 is low to provide a device ID for the MAX6675 and bit D0 is three-state.

Figure 1a is the serial interface protocol and Figure 1b shows the serial interface timing. Figure 2 is the SO output.

#### Open Thermocouple

Bit D2 is normally low and goes high if the thermocouple input is open. In order to allow the operation of the open thermocouple detector, T<sub>+</sub> must be grounded. Make the ground connection as close to the GND pin as possible.

#### Noise Considerations

The accuracy of the MAX6675 is susceptible to power-supply coupled noise. The effects of power-supply noise can be minimized by placing a 0.1µF ceramic bypass capacitor close to the supply pin of the device.

#### Thermal Considerations

Self-heating degrades the temperature measurement accuracy of the MAX6675 in some applications. The magnitude of the temperature errors depends on the thermal conductivity of the MAX6675 package, the

mounting technique, and the effects of airflow. Use a large ground plane to improve the temperature measurement accuracy of the MAX6675.

The accuracy of a thermocouple system can also be improved by following these precautions:

- Use the largest wire possible that does not shunt heat away from the measurement area.
- If small wire is required, use it only in the region of the measurement and use extension wire for the region with no temperature gradient.
- Avoid mechanical stress and vibration, which could strain the wires.
- When using long thermocouple wires, use a twisted-pair extension wire.
- Avoid steep temperature gradients.
- Try to use the thermocouple wire well within its temperature rating.
- Use the proper sheathing material in hostile environments to protect the thermocouple wire.
- Use extension wire only at low temperatures and only in regions of small gradients.
- Keep an event log and a continuous record of thermocouple resistance.

#### Reducing Effects of Pick-Up Noise

The input amplifier (A1) is a low-noise amplifier designed to enable high-precision input sensing. Keep the thermocouple and connecting wires away from electrical noise sources.

### Chip Information

TRANSISTOR COUNT: 6120

PROCESS: BiCMOS

MAX6675

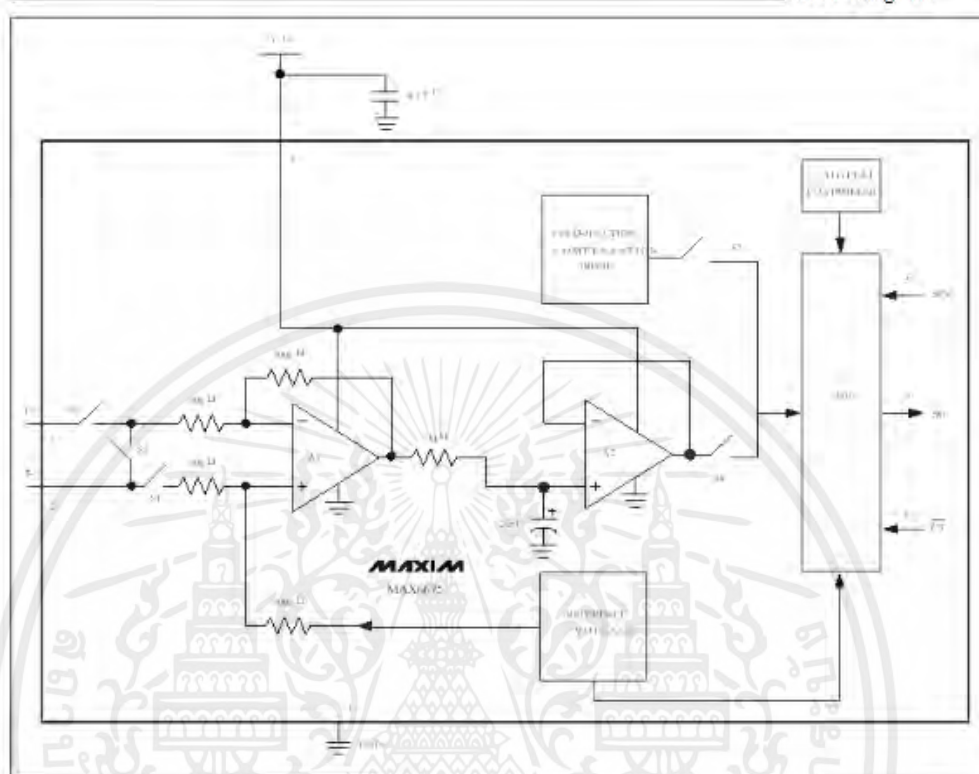
MAXIM

5



*Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-  
to-Digital Converter (0°C to +1024°C)*

Block Diagram

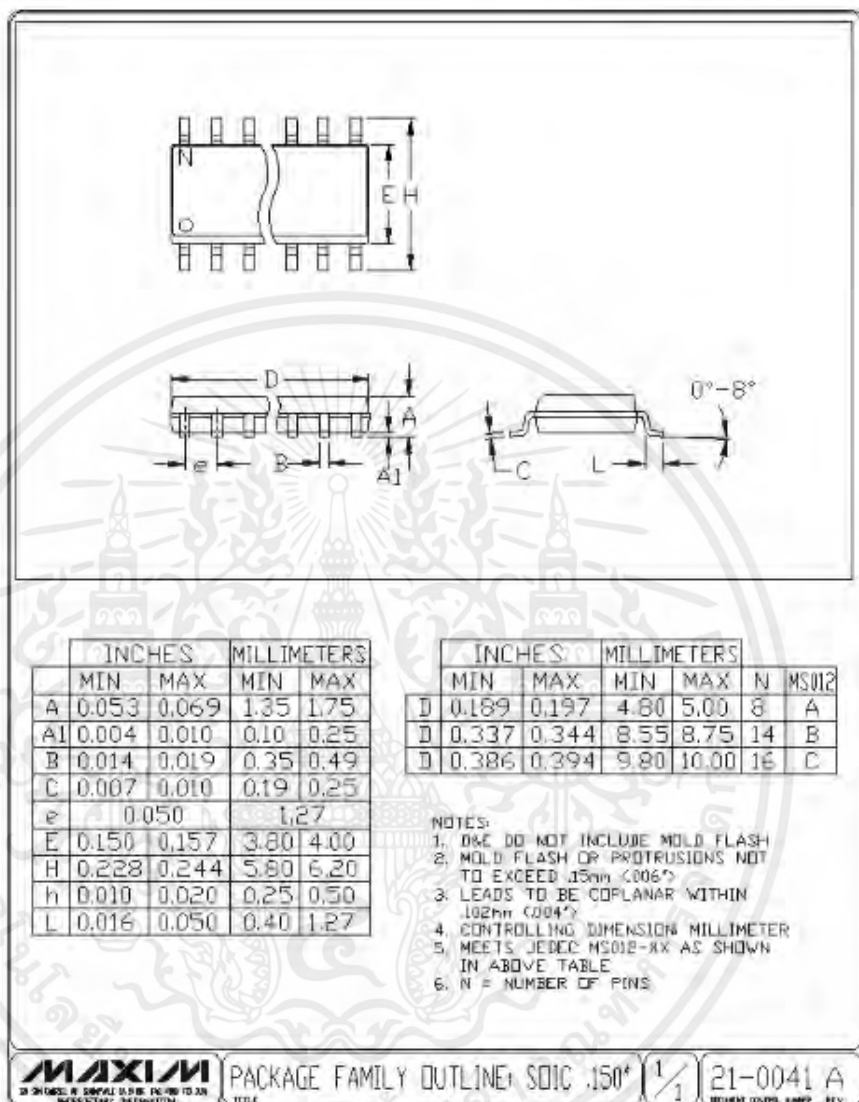


**MAX6675**

**MAXIM**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

**MAX6675**
*Package Information*


Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry expressly intended for a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

© 2002 Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94085 408-737-1600

© 2002 Maxim Integrated Products

PRINTED IN USA

MAXIM is a registered trademark of Maxim Integrated Products.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SKTOOL Help



Shenzhen Samkoon Technology Corporation Ltd.

Model	Size (Inch)	Resolution	Color	Memory	Length-width h ratio	Number of COM	RJ45	USB-A	USB-B
SK-035FE	3.5	320×240	262144	12M	4:3	1	0	1	0
SK-043FE	4.3	480×272	262144	12M	16:9	1	0	1	1
SK-043HS	4.3	480×272	262144	12M	16:9	1	1	1	1
SK-043HE	4.3	480×272	262144	12M	16:9	1	0	1	1
SK-050HS	5.0	480×272	262144	12M	16:9	1	1	1	1
SK-050HE	5.0	480×272	262144	12M	16:9	1	0	1	1
SK-057FE	5.7	640×480	262144	12M	4:3	2	0	1	1
SK-070FS	7.0	800×480	262144	12M	16:9	2	1	1	1
SK-070FE	7.0	800×480	262144	12M	16:9	2	0	1	1
SK-070HS	7.0	800×480	262144	12M	16:9	2	1	1	1
SK-070HE	7.0	800×480	262144	12M	16:9	2	0	1	1
SK-102HS	10.2	1024×600	262144	12M	16:9	2	1	1	1
SK-102HE	10.2	1024×600	262144	12M	16:9	2	0	1	1
SK-104FS	10.4	800×600	262144	12M	4:3	2	1	1	1
SK-104FE	10.4	800×600	262144	12M	4:3	2	0	1	1
SK-121FS	12.1	800×600	262144	12M	4:3	2	1	1	1
SK-121FE	12.1	800×600	262144	12M	4:3	2	0	1	1

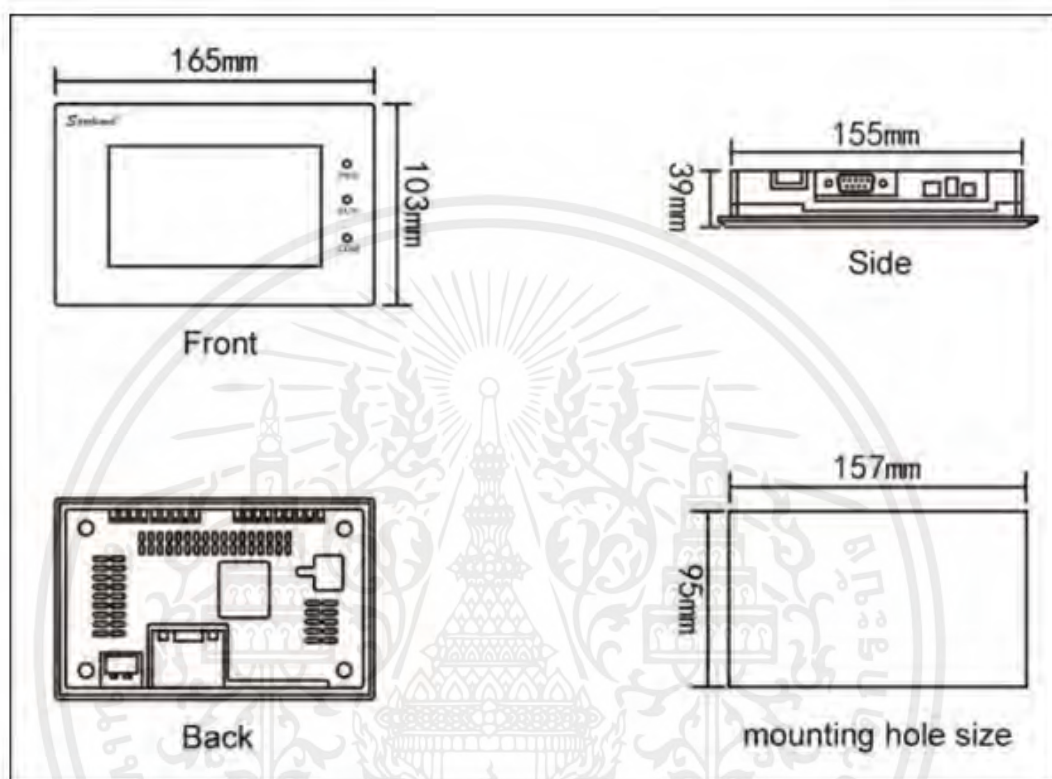
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SK-050

Figure 1-4 shows the product dimensions(mm) of SK-050H

The outline dimension is 165×103×39

The mounting hole size is 157×95



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



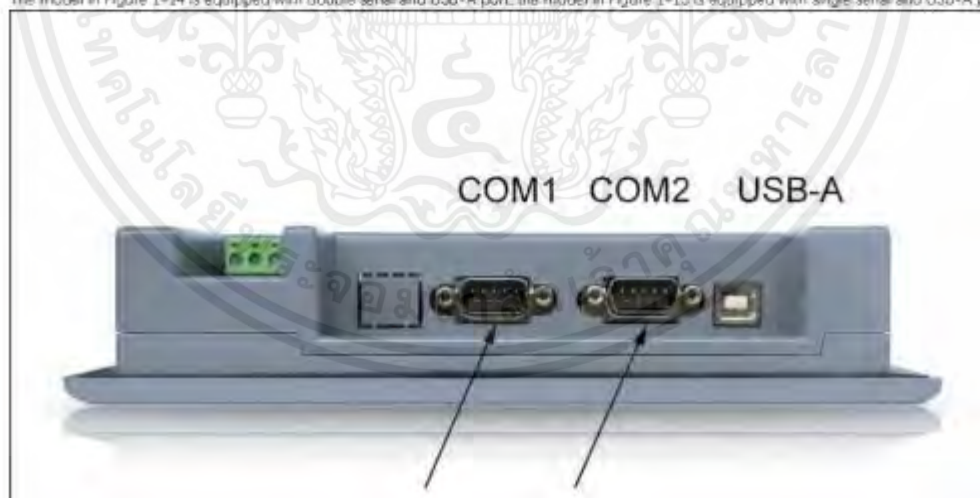
Figure 1-13 SK series front panel

## Communication port

Communication ports of HMI are located in the bottom panel. Models of SK-121F, SK-102H, SK-070H, SK-070F provide two standard serial communication ports while those SK-035F, SK-043F, SK-043H, SK-050H adopting a 9-core D-type interface for connection to a PLC or other controller and also for communication, provide one standard serial communication port.

When using a shielded cable, RS232 communication distance shall not go over 15 meters. For connection to the computer, it has a USB communication interface used for downloading configuration (data transmission). The transmission rate can be up to 10Mbps. Definition of communication interface differs if it is connected to different PLC (Please inform us the type of PLC to be connected when ordering for facilitating the distribution of communication cables).

The model in Figure 1-14 is equipped with double serial and USB-A port, the model in Figure 1-15 is equipped with single serial and USB-A port.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SK-050

Main technical parameters		
Model	SK-050HS	SK-050HE
Network interfaces	1	0
USB-A	1	
USB-B	1	
COM interfaces	COM1-RS232,RS422,RS485	
Display specifications	5.0"( length: width = 16:9)	
Resolution	800×480	

Brightness	350cd/m <sup>2</sup>
Color	262,144 pigments
Contrast	400 : 1
Life of back light	50,000 hours
Touch screen plate	4-wire high precision touch plate
User memory	12M
Power supply	DC24V(±15%)
Power consumption	3W
CE certification	Meeting EN50022 and EN50024
FCC compatibility	Meeting FCC,Class A
Dielectric strength test	1000V AC,1 minute
Protection grade	IP65 ( front panel )
Ambient temperature for running	-20 ~ 65°C
Ambient humidity for running	10 ~ 90%RH
Shell plastic	Engineering plastic: ABS+PC
Outline dimension	165×103×39(mm)
Mounting hole size	157×95(mm)
Weight	About 0.2kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## FEATURES

- 1 - Average output current control;
- 2 - Bipolar sinusoidal micro-step stepping driver;
- 3 - Wide supply range from 12 to 48VDC;
- 4 - Digital inputs optically isolated;
- 5 - Under-voltage protection;
- 6 - Over-current detection circuit;
- 7 - Five selectable micro-stepping possibilities (1/1, 1/2, 1/4, 1/8 and 1/16);
- 8 - Eight selectable output phase current settings;
- 9 - High starting speed;
- 10 - High-speed torque.

## TECHNICAL DATA

- Supply voltage 12 – 48VDC
- Input current of 1 to 5A depending on the selected
- Output current settings.
- Stepper Motor output current of 0.2A ~ 5A
- Operating Temperature -10 to 45 °C;
- Storage temperature -40 °C to 70 °C
- Weight 230 grams

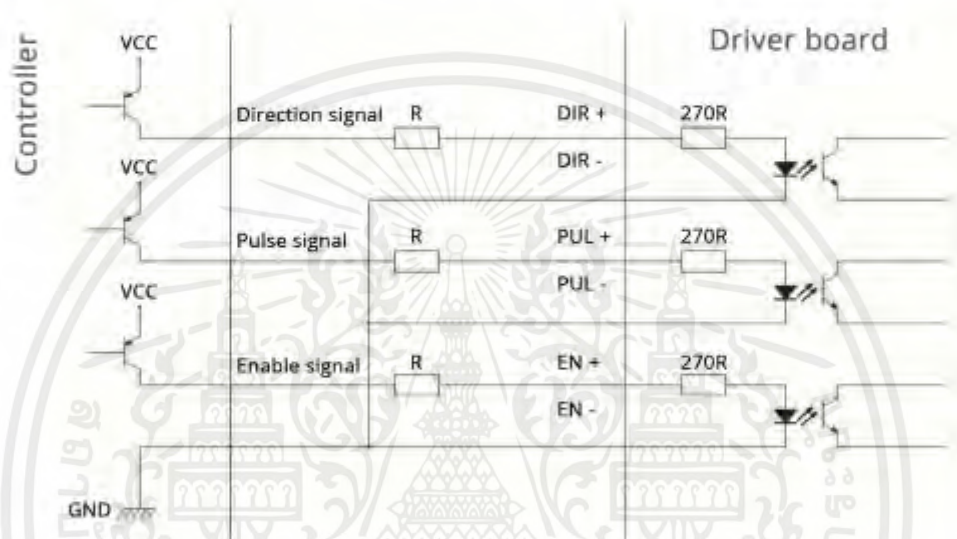
## CONTROL SIGNAL INTERFACE

### 1- Control signals description:

- PUL +** : step pulse signal positive input;
- PUL -** : step pulse signal negative input;
- DIR +** : stepping direction signal positive input;
- DIR -** : stepping direction signal negative input;
- EN +** : offline enable signal positive input;
- EN -** : offline enable signal negative input;

## 2- Control Signal Connections

The control signals can be low-level active or high-level active. For low-level active, the positive inputs must be connected to VCC (+5V) and for high-level active the negative inputs must be connected to reference GND (0V). For open-collector and PNP output interface the connections should be as follows:



### Note:

For VCC = 5V, R is not necessary;

For VCC = 12V, R should be 1K – 1/4W resistor;

For VCC = 24V, R should be 2K – 1/4W resistor;

R resistor must be connected to the controller output terminals.

## FUNCTION SELECTION (DIP-switch on the drive panel)

Microstep resolutions and output current are programmable, the steps can be set from full-step (1/1) to (1/16) 3200 steps/rev and the latter can be set from 0.2A to 5A.

### 1- Microstep Resolution Selection

The microstep resolution is set by DIP-switches SW4, SW5 and SW6 as shown in the following table.

SUB	4	5	6
NC	ON	ON	ON
1	OFF	ON	ON
1/2	ON	OFF	ON
1/2	OFF	OFF	ON
1/4	ON	ON	OFF
1/8	OFF	ON	OFF
1/16	ON	OFF	OFF
NG	OFF	OFF	OFF

### 2- Output phase current settings

The dynamic current limitation for the motor coils is set by the DIP-switches SW1, SW2 and SW3 as shown in the following table.

Cur	1	2	3
0.2A	ON	ON	ON
0.6A	OFF	ON	ON
1.2A	ON	OFF	ON
1.8A	OFF	OFF	ON
2.5A	ON	ON	OFF
3.3A	OFF	ON	OFF
4.2A	ON	OFF	OFF
5A	OFF	OFF	OFF

#### Note:

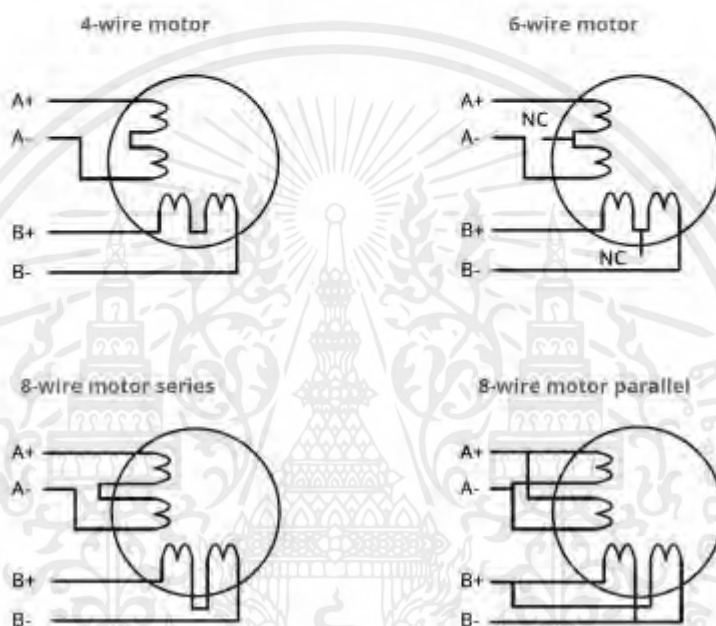
- Select a setting closest to your motor's required current.
- Due to motor inductance, the actual current in the coil may be smaller than the dynamic current setting, particularly under high speed condition.

### 3- POWER INTERFACE

**DC +, DC-**: Connection for power supply voltage (12 to 48VDC);

**A+, A-, B+, B-**: Connection for the two-phase hybrid stepping motor;

The stepper-motor driver WD-TB6600 supports any 2-phase or 4-phase hybrid stepping motors of 4, 6 and 8 wires. The following motor connections are possible:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TGS TIGER ELECTRONIC CO.,LTD



## 3.0V to 5.5V, Low-Power, up to 1Mbps, True RS-232 Transceivers Using Four 0.1 $\mu$ F External Capacitors

### Description

The MAX3222/MAX3232/MAX3237/MAX3241 transceivers have a proprietary low-dropout transmitter output stage enabling true RS-232 performance from a 3.0V to 5.5V supply with a dual charge pump. The devices require only four small 0.1 $\mu$ F external charge-pump capacitors. The MAX3222, MAX3232, and MAX3241 are guaranteed to run at data rates of 120kbps while maintaining RS-232 output levels. The MAX3237 is guaranteed to run at data rates of 250kbps in the normal operating mode and 1Mbps in the MegaBaud™ operating mode, while maintaining RS-232 output levels.

The MAX3222/MAX3232 have 2 receivers and 2 drivers. The MAX3222 features a 1 $\mu$ A shutdown mode that reduces power consumption and extends battery life in portable systems. Its receivers remain active in shutdown mode, allowing external devices such as modems to be monitored using only 1 $\mu$ A supply current. The MAX3222 and MAX3232 are pin, package, and functionally compatible with the industry-standard MAX242 and MAX232, respectively.

The MAX3241 is a complete serial port (3 drivers/5 receivers) designed for notebook and subnotebook computers. The MAX3237 (5 drivers/3 receivers) is ideal for fast modem applications. Both these devices feature a shutdown mode in which all receivers can remain active while using only 1 $\mu$ A supply current. Receivers R1 (MAX3237/MAX3241) and R2 (MAX3241) have extra outputs in addition to their standard outputs. These extra outputs are always active, allowing external devices such as a modem to be monitored without forward biasing the protection diodes in circuitry that may have V<sub>CC</sub> completely removed.

The MAX3222, MAX3237, and MAX3241 are available in space-saving TSSOP and SSOP packages.

### Applications

- Notebook, Subnotebook, and Palmtop Computers
- High-Speed Modems
- Battery-Powered Equipment
- Hand-Held Equipment
- Peripherals
- Printers

### Features

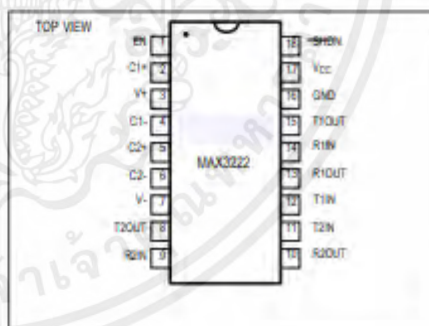
- ◆ **Low Supply Current:**  
300 $\mu$ A (MAX3222/MAX3232/MAX3241)  
500 $\mu$ A (MAX3237)
- ◆ **Guaranteed Data Rate:**  
120kbps (MAX3222/MAX3232/MAX3241)  
250kbps (MAX3237—Normal Operation)  
1Mbps (MAX3237—MegaBaud Operation)
- ◆ **1 $\mu$ A Low-Power Shutdown with Receivers Active (MAX3222/MAX3237/MAX3241)**
- ◆ **Flow-Through Pinout (MAX3237)**
- ◆ **Meets EIA/TIA-232 Specifications Down to 3.0V**
- ◆ **Guaranteed Mouse Driveability (MAX3241)**
- ◆ **Pin Compatible with Industry-Standard MAX232 (MAX3232)**  
**Pin Compatible with Industry-Standard MAX242 (MAX3222)**
- ◆ **Guaranteed Stew Rate:**  
6V/ $\mu$ s (MAX3222/MAX3232/MAX3237/MAX3241)  
24V/ $\mu$ s (MAX3237—MegaBaud Operation)

### Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX3222CUP	0°C to +70°C	20 TSSOP
MAX3222CAP	0°C to +70°C	20 SSOP
MAX3222CWN	0°C to +70°C	18 SO
MAX3222CPN	0°C to +70°C	18 Plastic DIP

Ordering Information continued at end of data sheet.

### Pin Configurations



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

V <sub>CC</sub> .....	-0.3V to +6V	Continuous Power Dissipation (T <sub>A</sub> = +70°C)	
V <sub>+</sub> (Note 1) .....	-0.3V to +7V	16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C) .....	842mW
V <sub>-</sub> (Note 1) .....	+0.3V to -7V	16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C) .....	898mW
V <sub>+</sub> + V <sub>-</sub> (Note 1) .....	+13V	16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C) .....	762mW
Input Voltages		16-Pin TSSOP (derate 6.7mW/°C above +70°C) .....	533mW
T <sub>IN</sub> , SHDN, EN .....	-0.3V to +6V	18-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C) .....	889mW
MBAUD .....	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 0.3V)	18-Pin SO (derate 9.52mW/°C above +70°C) .....	762mW
R <sub>IN</sub> .....	±25V	20-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C) .....	640mW
Output Voltages		20-Pin TSSOP (derate 7.0mW/°C above +70°C) .....	559mW
T <sub>OUT</sub> .....	±13.2V	28-Pin SO (derate 12.50mW/°C above +70°C) .....	1W
R <sub>OUT</sub> .....	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 0.3V)	28-Pin SSOP (derate 9.52mW/°C above +70°C) .....	762mW
Short-Circuit Duration		28-Pin TSSOP (derate 8.7mW/°C above +70°C) .....	696mW
T <sub>OUT</sub> .....	Continuous	Operating Temperature Ranges	
		MAX322_C .....	0°C to +70°C
		MAX322_E .....	-40°C to +85°C
		Storage Temperature Range .....	-65°C to +150°C
		Lead Temperature (soldering, 10sec) .....	+300°C

**Note 1:** V<sub>+</sub> and V<sub>-</sub> can have a maximum magnitude of 7V, but their absolute difference cannot exceed 13V.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

(V<sub>CC</sub> = +3.0V to +5.5V, C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> = 0.1µF (Note 2), T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted. Typical values are at T<sub>A</sub> = +25°C.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>DC CHARACTERISTICS</b>					
V <sub>CC</sub> Power-Supply Current	No load, V <sub>CC</sub> = 3.3V or 5.0V, T <sub>A</sub> = +25°C	MAX3222/MAX3232/ MAX3241	0.3	1.0	mA
		MAX3237	0.5	2.0	
Shutdown Supply Current	SHDN = GND, T <sub>A</sub> = +25°C		1.0	10	µA
<b>LOGIC INPUTS AND RECEIVER OUTPUTS</b>					
Input Logic Threshold Low (Note 3)	T <sub>IN</sub> , EN, SHDN, MBAUD			0.8	V
Input Logic Threshold High (Note 3)	V <sub>CC</sub> = 3.3V		2.0		V
	V <sub>CC</sub> = 5.0V		2.4		
Input Leakage Current	T <sub>IN</sub> , EN, SHDN, MBAUD		±0.01	±1.0	µA
Output Leakage Current	Receivers disabled		±0.05	±10	µA
Output Voltage Low	I <sub>OUT</sub> = 1.6mA			0.4	V
Output Voltage High	I <sub>OUT</sub> = -1.0mA	V <sub>CC</sub> - 0.6		V <sub>CC</sub> - 0.1	V
<b>RECEIVER INPUTS</b>					
Input Voltage Range			-25	25	V
Input Threshold Low	T <sub>A</sub> = +25°C	V <sub>CC</sub> = 3.3V	0.6	1.2	V
		V <sub>CC</sub> = 5.0V	0.8	1.5	
Input Threshold High	T <sub>A</sub> = +25°C	V <sub>CC</sub> = 3.3V	1.5	2.4	V
		V <sub>CC</sub> = 5.0V	1.8	2.4	

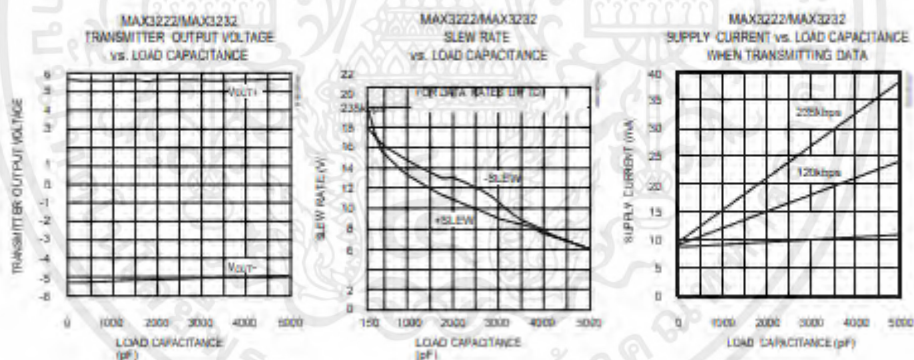
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)**(VCC = +3.0V to +5.5V, C1-C4 = 0.1 $\mu$ F (Note 2), TA = TMIN to TMAX, unless otherwise noted. Typical values are at TA = +25°C.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Hysteresis			0.3		V
Input Resistance	TA = +25°C	3	5	7	k $\Omega$
<b>TRANSMITTER OUTPUTS</b>					
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3k $\Omega$ to ground	$\pm 5.0$	$\pm 5.4$		V
Output Resistance	VCC = V+ = V- = 0V, TOUT = $\pm 2$ V	300	10M		$\Omega$
Output Short-Circuit Current			$\pm 35$	$\pm 60$	mA
Output Leakage Current	VOUT = $\pm 12$ V, VCC = 0V or 3V to 5.5V, transmitters disabled			$\pm 25$	$\mu$ A
<b>MOUSE DRIVEABILITY (MAX3241)</b>					
Transmitter Output Voltage	T1IN = T2IN = GND, T3IN = VCC, T3OUT loaded with 3k $\Omega$ to GND, T1OUT and T2OUT loaded with 2.5mA each	$\pm 5.0$			V

**TIMING CHARACTERISTICS—MAX3222/MAX3232/MAX3241**(VCC = +3.0V to +5.5V, C1-C4 = 0.1 $\mu$ F (Note 2), TA = TMIN to TMAX, unless otherwise noted. Typical values are at TA = +25°C.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Maximum Data Rate	RL = 3k $\Omega$ , CL = 1000pF, one transmitter switching	120	235		kbps
Receiver Propagation Delay	RIN to ROUT, CL = 150pF	tPHL	0.3		$\mu$ s
		tPLH	0.3		
Receiver Output Enable Time	Normal operation		200		ns
Receiver Output Disable Time	Normal operation		200		ns
Transmitter Skew	tPHL - tPLH		300		ns
Receiver Skew	tPHL - tPLH		300		ns
Transition-Region Slew Rate	VCC = 3.3V, RL = 3k $\Omega$ to 7k $\Omega$ , +3V to -3V or -3V to +3V, TA = +25°C	CL = 150pF to 1000pF	6	30	V/ $\mu$ s
		CL = 150pF to 2500pF	4	30	

**Typical Operating Characteristics**(VCC = +3.3V, 235kbps data rate, 0.1 $\mu$ F capacitors, all transmitters loaded with 3k $\Omega$ , TA = +25°C, unless otherwise noted.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Pin Description

MAX3222		PIN			NAME	FUNCTION
DIP/SO	SSOP	MAX3232	MAX3237	MAX3241		
1	1	—	13	23	EN	Receiver Enable. Active low.
2	2	1	28	28	C1+	Positive Terminal of Voltage-Doubler Charge-Pump Capacitor
3	3	2	27	27	V+	+5.5V Generated by the Charge Pump
4	4	3	25	24	C1-	Negative Terminal of Voltage-Doubler Charge-Pump Capacitor
5	5	4	1	1	C2+	Positive Terminal of Inverting Charge-Pump Capacitor
6	6	5	3	2	C2-	Negative Terminal of Inverting Charge-Pump Capacitor
7	7	6	4	3	V-	-5.5V Generated by the Charge Pump
8, 15	8, 17	7, 14	5, 6, 7, 10, 12	9, 10, 11	T_OUT	RS-232 Transmitter Outputs
9, 14	9, 16	8, 13	8, 9, 11	4-5	R_IN	RS-232 Receiver Inputs
10, 13	10, 15	9, 12	18, 20, 21	15-19	R_OUT	TTL/CMOS Receiver Outputs
11, 12	12, 13	10, 11	17, 19, 22, 23, 24	12, 13, 14	T_IN	TTL/CMOS Transmitter Inputs
16	18	15	2	25	GND	Ground
17	19	16	26	26	V <sub>CC</sub>	+3.0V to +5.5V Supply Voltage
18	20	—	14	22	SHDN	Shutdown Control. Active low.
—	11, 14	—	—	—	N.C.	No Connection
—	—	—	15	—	MBALID	MegaBaud Control Input. Connect to GND for normal operation; connect to V <sub>CC</sub> for 1Mbps transmission rates.
—	—	—	16	20, 21	R_OUTB	Noninverting Complementary Receiver Outputs. Always active.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Table 1. MAX3222/MAX3237/MAX3241  
Shutdown and Enable Control Truth Table**

SHDN	EN	T_OUT	R_OUT	R_OUTB (MAX3237/ MAX3241)
0	0	High-Z	Active	Active
0	1	High-Z	High-Z	Active
1	0	Active	Active	Active
1	1	Active	High-Z	Active

**Table 2. Required Minimum Capacitor Values**

V <sub>CC</sub> (V)	C1 ( $\mu$ F)	C2, C3, C4 ( $\mu$ F)
<b>MAX3222/MAX3232/MAX3241</b>		
3.0 to 3.6	0.1	0.1
4.5 to 5.5	0.047	0.33
3.0 to 5.5	0.1	0.47
<b>MAX3237</b>		
3.0 to 3.6	0.22	0.22
3.15 to 3.6	0.1	0.1
4.5 to 5.5	0.047	0.33
3.0 to 5.5	0.22	1.0

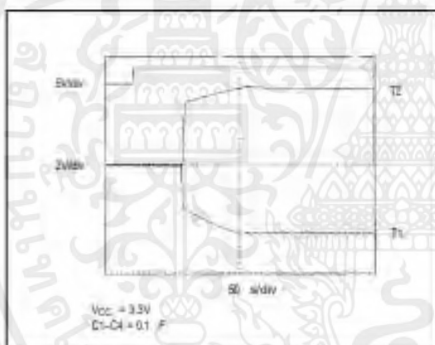


Figure 3. Transmitter Outputs when Exiting Shutdown or Powering Up

#### Power-Supply Decoupling

In most circumstances, a 0.1 $\mu$ F bypass capacitor is adequate. In applications that are sensitive to power-supply noise, decouple V<sub>CC</sub> to ground with a capacitor of the same value as charge-pump capacitor C1. Connect bypass capacitors as close to the IC as possible.

#### Operation Down to 2.7V

Transmitter outputs will meet EIA/TIA-562 levels of  $\pm 3.7$ V with supply voltages as low as 2.7V.

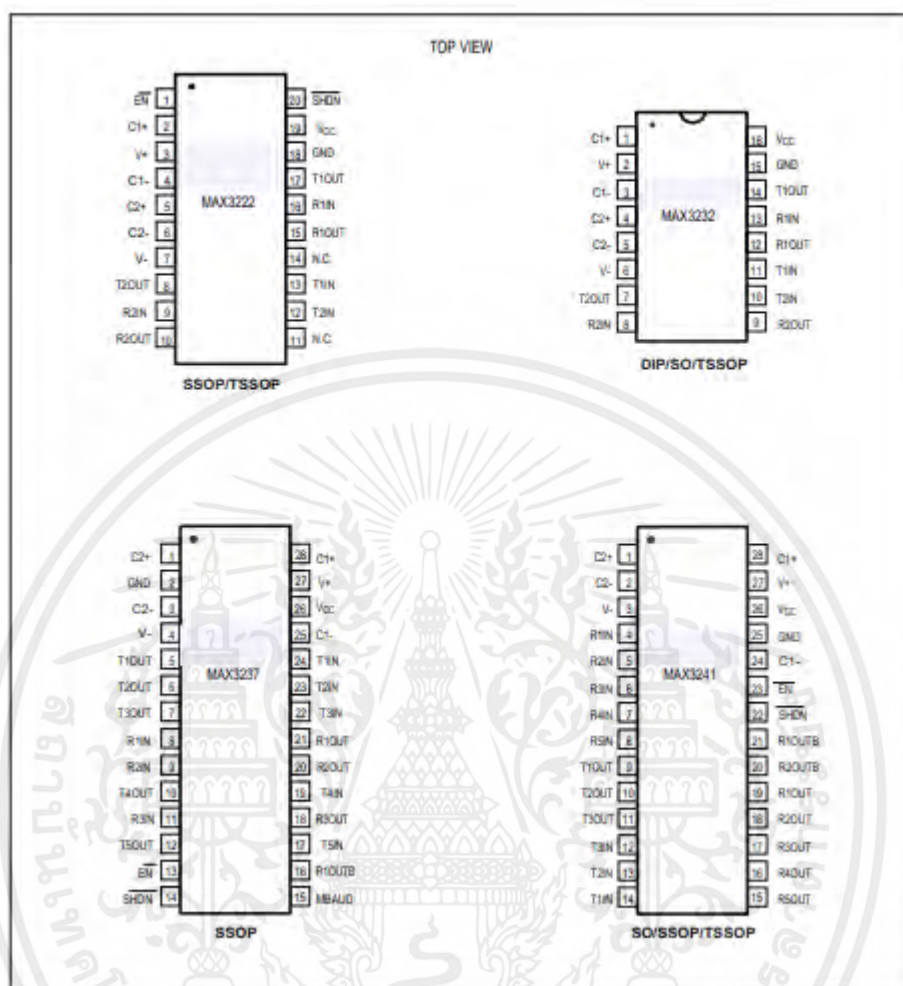
#### Transmitter Outputs when Exiting Shutdown

Figure 3 shows two transmitter outputs when exiting shutdown mode. As they become active, the two transmitter outputs are shown going to opposite RS-232 levels (one transmitter input is high, the other is low). Each transmitter is loaded with 3k $\Omega$  in parallel with 2500pF. The transmitter outputs display no ringing or undesirable transients as they come out of shutdown. Note that the transmitters are enabled only when the magnitude of V<sub>CC</sub> exceeds approximately 3V.

#### Mouse Driveability

The MAX3241 has been specifically designed to power serial mice while operating from low-voltage power supplies. It has been tested with leading mouse brands from manufacturers such as Microsoft and Logitech. The MAX3241 successfully drove all serial mice tested and met their respective current and voltage requirements. Figure 4a shows the transmitter output voltages under increasing load current at 3.0V. Figure 4b shows a typical mouse connection using the MAX3241.

## Pin Configurations (continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information (continued)

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX3222EUP	-40°C to +85°C	20 TSSOP
MAX3222EAP	-40°C to +85°C	20 SSOP
MAX3222EWN	-40°C to +85°C	18 SO
MAX3222EPN	-40°C to +85°C	18 Plastic DIP
MAX3222CID	0°C to +70°C	Dice*
MAX3232CUE	0°C to +70°C	16 TSSOP
MAX3232CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX3232CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX3232CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX3232EUE	-40°C to +85°C	16 TSSOP
MAX3232ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX3232EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX3232EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX3237CAI	0°C to +70°C	28 SSOP
MAX3237EAI	-40°C to +85°C	28 SSOP
MAX3241CUI	0°C to +70°C	28 TSSOP
MAX3241CAI	0°C to +70°C	28 SSOP
MAX3241CWI	0°C to +70°C	28 SO
MAX3241EUI	-40°C to +85°C	28 TSSOP
MAX3241EAI	-40°C to +85°C	28 SSOP
MAX3241EWI	-40°C to +85°C	28 SO

\* Dice are tested at T<sub>A</sub> = +25°C, DC parameters only.

3V-Powered EIA/TIA-232 and EIA/TIA-562 Transceivers

PART	POWER-SUPPLY VOLTAGE (V)	No. OF TRANSMITTERS/RECEIVERS	No. OF RECEIVERS ACTIVE IN SHUTDOWN	GUARANTEED DATA RATE (kbps)	EIA/TIA-232 OR 562	FEATURES
MAX212	3.0 to 3.6	3/5	5	120	232	Drives mice
MAX218	1.8 to 4.25	2/2	2	120	232	Operates directly from batteries without a voltage regulator
MAX562	2.7 to 5.25	3/5	5	230	562	Wide supply range
MAX563	3.0 to 3.6	2/2	2	230	562	0.1µF capacitors
MAX3212	2.7 to 3.6	3/5	5	235	232	AutoShutdown, complementary receiver, drives mice, transient detection
MAX3222	3.0 to 5.5	2/2	2	120	232	0.1µF capacitors
MAX3223	3.0 to 5.5	2/2	2	120	232	0.1µF capacitors, AutoShutdown
MAX3232	3.0 to 5.5	2/2	N/A	120	232	0.1µF capacitors
MAX3237	3.0 to 5.5	3/3	3	250/1000	232	0.1µF capacitors, 1 complementary receiver, MegaBaud operation
MAX3241	3.0 to 5.5	3/5	5	120	232	0.1µF capacitors, 2 complementary receivers, drives mice
MAX3243	3.0 to 5.5	3/5	1	120	232	0.1µF capacitors, AutoShutdown, complementary receiver, drives mice

Package Information

**PACKAGE DIMENSIONS**

SYMBOL	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	0.15	0.25	0.006	0.010
A1	0.10	0.15	0.004	0.006
A2	0.05	0.05	0.002	0.002
B	0.15	0.20	0.006	0.008
C	0.10	0.15	0.004	0.006
D	0.10	0.15	0.004	0.006
E	0.10	0.15	0.004	0.006
F	0.10	0.15	0.004	0.006
G	0.10	0.15	0.004	0.006
H	0.10	0.15	0.004	0.006
I	0.10	0.15	0.004	0.006
J	0.10	0.15	0.004	0.006
K	0.10	0.15	0.004	0.006
L	0.10	0.15	0.004	0.006
M	0.10	0.15	0.004	0.006
N	0.10	0.15	0.004	0.006
O	0.10	0.15	0.004	0.006
P	0.10	0.15	0.004	0.006
Q	0.10	0.15	0.004	0.006
R	0.10	0.15	0.004	0.006
S	0.10	0.15	0.004	0.006
T	0.10	0.15	0.004	0.006
U	0.10	0.15	0.004	0.006
V	0.10	0.15	0.004	0.006
W	0.10	0.15	0.004	0.006
X	0.10	0.15	0.004	0.006
Y	0.10	0.15	0.004	0.006
Z	0.10	0.15	0.004	0.006

**VARIATIONS**

NO-TSD	W	H	H	H	H	H	H	H	H
08	16	10	2.00	2.54	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
AL	16	10	2.54	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50
AL-CP	16	10	2.54	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50
AL	20	10	2.54	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50
AL-CP	20	10	2.54	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50
AL	24	10	2.54	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50
AL-CP	24	10	2.54	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50
AL	28	10	2.54	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50
AL-CP	28	10	2.54	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50

**NOTES**

1. DIMENSIONS D AND E DO NOT INCLUDE FLASH.
2. HOLD FLASH OR PROTRUSIONS NOT TO EXCEED 0.15 mm PER SIDE.
3. CONTROLLING DIMENSION IS MILLIMETER.
4. INCLUDES SOLDER DUTY FOR NO-TSD VARIATIONS AND AL, AL-CP, AL-CP.
5. DIMENSIONS 3 AND 4 APPLY TO EXPOSED PAD ONLY VARIATIONS ONLY.
6. EXPOSED PAD FLUSH WITH BOTTOM OF PACKAGE WITHIN 0.05 mm.

21-0066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Arduino® MEGA 2560 Rev3

Product Reference Manual  
SKU: A000067



### Description

Arduino® Mega 2560 is an exemplary development board dedicated for building extensive applications as compared to other maker boards by Arduino. The board accommodates the ATmega2560 microcontroller, which operates at a frequency of 16 MHz. The board contains 54 digital input/output pins, 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button.

### Target Areas

3D Printing, Robotics, Maker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 1 The Board

Arduino® Mega 2560 is a successor board of Arduino Mega, it is dedicated to applications and projects that require large number of input output pins and the use cases which need high processing power. The Arduino® Mega 2560 comes with a much larger set of I/Os when we compare it with traditional Uno board considering the form factor of both the boards.

### 1.1 Application Examples

- **Robotics:** Featuring the high processing capacity, the Arduino Mega 2560 can handle the extensive robotic applications. It is compatible with the motor controller shield that enables it to control multiple motors at an instance, thus making it perfect of robotic applications. The large number of I/O pins can accommodate many robotic sensors as well.
- **3D Printing:** Algorithms play a significant role in implementation of 3D printers. Arduino Mega 2560 has the power to process these complex algorithms required for 3D printing. Additionally, the slight changes to the code is easily possible with the Arduino IDE and thus 3D printing programs can be customized according to user requirements.
- **Wi-Fi:** Integrating wireless functionality enhances the utility of the applications. Arduino Mega 2560 is compatible with WiFi shields hence allowing the wireless features for the applications in 3D printing and Robotics.

### 1.2 Accessories

### 1.3 Related Products

- Arduino® Uno Rev 3
- Arduino® Nano
- Arduino® DUE without headers



## Features

- **ATmega2560 Processor**
  - Up to 16 MIPS Throughput at 16MHz
  - 256k bytes (of which 8k is used for the bootloader)
  - 4k bytes EEPROM
  - 8k bytes Internal SRAM
  - 32 × 8 General Purpose Working Registers
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Four 8-bit PWM Channels
  - Four Programmable Serial USART
  - Controller/Peripheral SPI Serial Interface
- **ATmega16U2**
  - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
  - 16k bytes ISP Flash Memory
  - 512 bytes EEPROM
  - 512 bytes SRAM
  - USART with SPI master only mode and hardware flow control (RTS/CTS)
  - Master/Slave SPI Serial Interface
- **Sleep Modes**
  - Idle
  - ADC Noise Reduction
  - Power-save
  - Power-down
  - Standby
  - Extended Standby
- **Power**
  - USB Connection
  - External AC/DC Adapter
- **I/O**
  - 54 Digital
  - 16 Analog
  - 15 PWM Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 2 Ratings

### 2.1 Recommended Operating Conditions

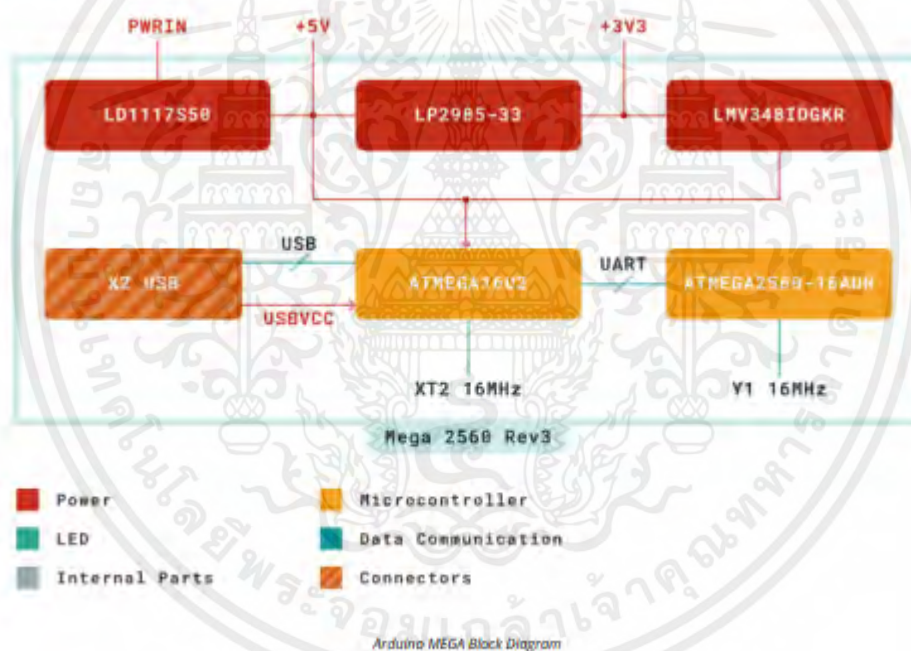
Symbol	Description	Min	Max
TOP	Operating temperature:	-40 °C	85 °C

### 2.2 Power Consumption

Symbol	Description	Min	Typ	Max	Unit
PWRIN	Input supply from power jack		TBC		mW
USB VCC	Input supply from USB		TBC		mW
VIN	Input from VIN pad		TBC		mW

## 3 Functional Overview

### 3.1 Block Diagram

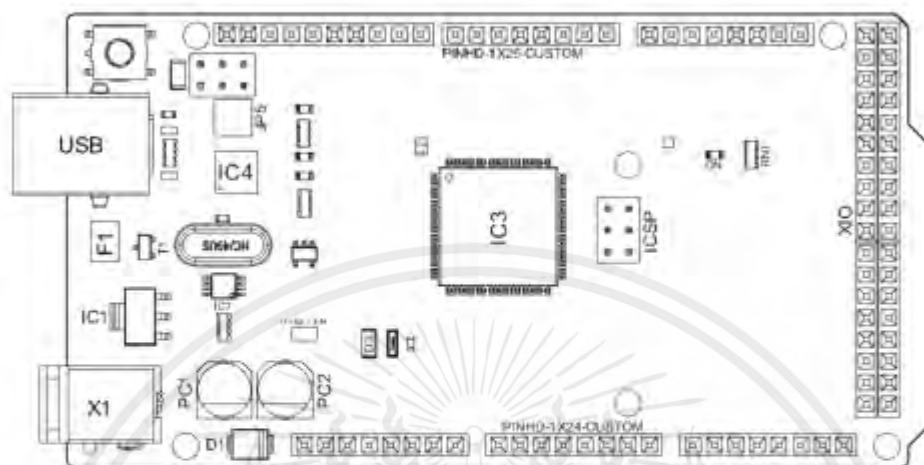


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 3.2 Board Topology

## Front View



Arduino MEGA Top View

Ref.	Description	Ref.	Description
USB	USB B Connector	F1	Chip Capacitor
IC1	5V Linear Regulator	X1	Power Jack Connector
JP5	Plated Holes	IC4	ATmega16U2 chip
PC1	Electrolytic Aluminium Capacitor	PC2	Electrolytic Aluminium Capacitor
D1	General Purpose Rectifier	D3	General Purpose Diode
L2	Fixed Inductor	IC3	ATmega2560 chip
ICSP	Connector Header	ON	Green LED
RN1	Resistor Array	XIO	Connector

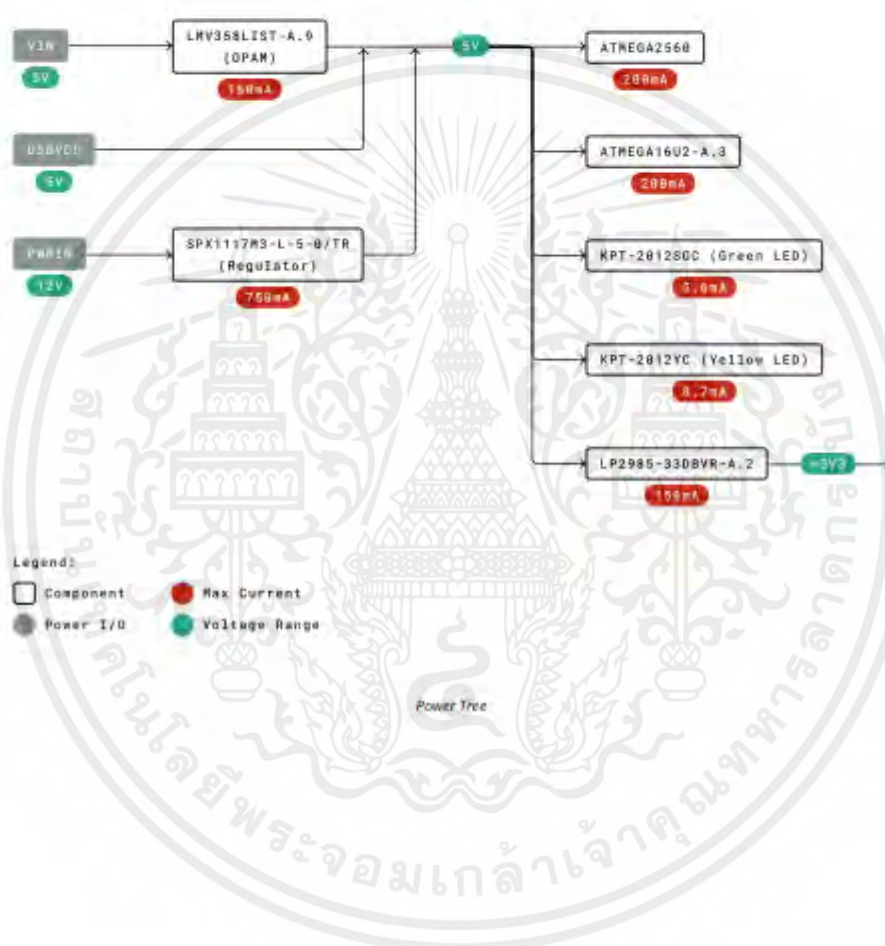
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.3 Processor

Primary processor of Arduino Mega 2560 Rev3 board is ATmega2560 chip which operates at a frequency of 16 MHz. It accommodates a large number of input and output lines which gives the provision of interfacing many external devices. At the same time the operations and processing is not slowed due to its significantly larger RAM than the other processors. The board also features a USB serial processor ATmega16U2 which acts an interface between the USB input signals and the main processor. This increases the flexibility of interfacing and connecting peripherals to the Arduino Mega 2560 Rev 3 board.

### 3.4 Power Tree



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 4 Board Operation

### 4.1 Getting Started – IDE

If you want to program your Arduino® MEGA 2560 while offline you need to install the Arduino® Desktop IDE **[1]**. To connect the Arduino® MEGA 2560 to your computer, you'll need a Type-B USB cable. This also provides power to the board, as indicated by the LED.

### 4.2 Getting Started – Arduino Web Editor

All Arduino® boards, including this one, work out-of-the-box on the Arduino® Web Editor **[2]**, by just installing a simple plugin.

The Arduino® Web Editor is hosted online, therefore it will always be up-to-date with the latest features and support for all boards. Follow **[3]** to start coding on the browser and upload your sketches onto your board.

### 4.3 Sample Sketches

Sample sketches for the Arduino® MEGA 2560 can be found either in the "Examples" menu in the Arduino® IDE

### 4.4 Online Resources

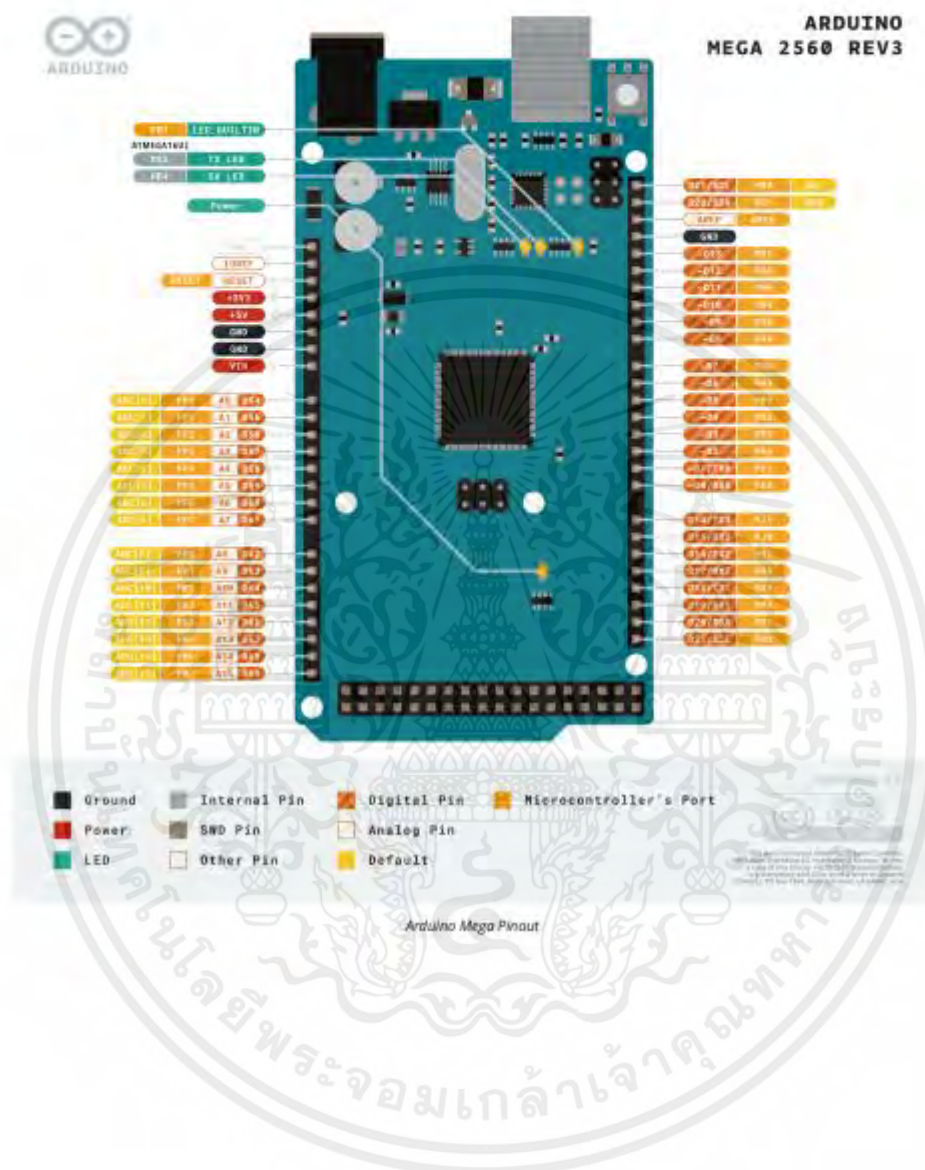
Now that you have gone through the basics of what you can do with the board you can explore the endless possibilities it provides by checking exciting projects on ProjectHub **[5]**, the Arduino® Library Reference **[6]** and the online store **[7]** where you will be able to complement your board with sensors, actuators and more.

### 4.5 Board Recovery

All Arduino boards have a built-in bootloader which allows flashing the board via USB. In case a sketch locks up the processor and the board is not reachable anymore via USB it is possible to enter bootloader mode by double-tapping the reset button right after power up.



## 5 Connector Pinouts



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 5.1 Analog

Pin	Function	Type	Description
1	NC	NC	Not Connected
2	IOREF	IOREF	Reference for digital logic V - connected to 5V
3	Reset	Reset	Reset
4	+3V3	Power	+3V3 Power Rail
5	+5V	Power	+5V Power Rail
6	GND	Power	Ground
7	GND	Power	Ground
8	VIN	Power	Voltage Input
9	A0	Analog	Analog input 0 /GPIO
10	A1	Analog	Analog input 1 /GPIO
11	A2	Analog	Analog input 2 /GPIO
12	A3	Analog	Analog input 3 /GPIO
13	A4	Analog	Analog input 4 /GPIO
14	A5	Analog	Analog input 5 /GPIO
15	A6	Analog	Analog input 6 /GPIO
16	A7	Analog	Analog input 7 /GPIO
17	A8	Analog	Analog input 8 /GPIO
18	A9	Analog	Analog input 9 /GPIO
19	A10	Analog	Analog input 10 /GPIO
20	A11	Analog	Analog input 11 /GPIO
21	A12	Analog	Analog input 12 /GPIO
22	A13	Analog	Analog input 13 /GPIO
23	A14	Analog	Analog input 14 /GPIO
24	A15	Analog	Analog input 15 /GPIO

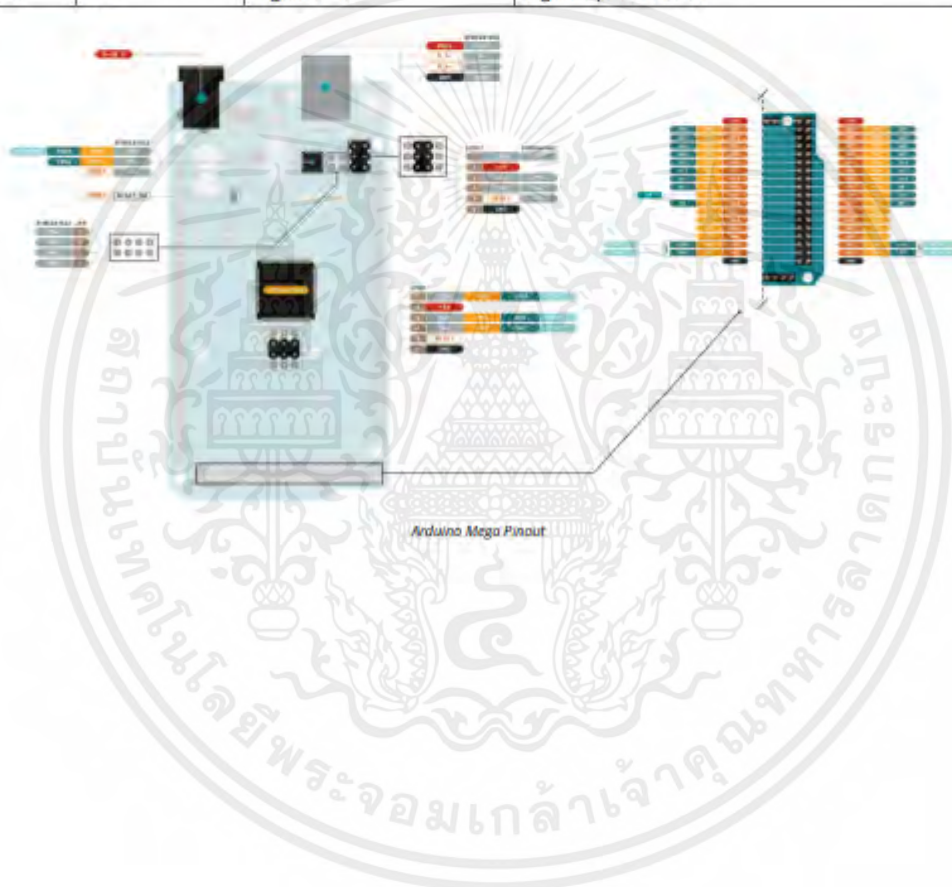
## 5.2 Digital

Pin	Function	Type	Description
1	D21/SCL	Digital Input/I2C	Digital input 21/I2C Dataline
2	D20/SDA	Digital Input/I2C	Digital input 20/I2C Dataline
3	AREF	Digital	Analog Reference Voltage
4	GND	Power	Ground
5	D13	Digital/GPIO	Digital input 13/GPIO
6	D12	Digital/GPIO	Digital input 12/GPIO
7	D11	Digital/GPIO	Digital input 11/GPIO
8	D10	Digital/GPIO	Digital input 10/GPIO
9	D9	Digital/GPIO	Digital input 9/GPIO
10	D8	Digital/GPIO	Digital input 8/GPIO
11	D7	Digital/GPIO	Digital input 7/GPIO
12	D6	Digital/GPIO	Digital input 6/GPIO
13	D5	Digital/GPIO	Digital input 5/GPIO
14	D4	Digital/GPIO	Digital input 4/GPIO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Pin	Function	Type	Description
15	D3	Digital/GPIO	Digital input 3/GPIO
16	D2	Digital/GPIO	Digital input 2/GPIO
17	D1/TX0	Digital/GPIO	Digital input 1 /GPIO
18	D0/Tx1	Digital/GPIO	Digital input 0 /GPIO
19	D14	Digital/GPIO	Digital input 14 /GPIO
20	D15	Digital/GPIO	Digital input 15 /GPIO
21	D16	Digital/GPIO	Digital input 16 /GPIO
22	D17	Digital/GPIO	Digital input 17 /GPIO
23	D18	Digital/GPIO	Digital input 18 /GPIO
24	D19	Digital/GPIO	Digital input 19 /GPIO
25	D20	Digital/GPIO	Digital input 20 /GPIO
26	D21	Digital/GPIO	Digital input 21 /GPIO



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


**5.3 ATMEGA16U2 JP5**

Pin	Function	Type	Description
1	PB4	Internal	Serial Wire Debug
2	PB6	Internal	Serial Wire Debug
3	PB5	Internal	Serial Wire Debug
4	PB7	Internal	Serial Wire Debug

**5.4 ATMEGA16U2 ICSP1**

Pin	Function	Type	Description
1	CIPO	Internal	Controller In Peripheral Out
2	+5V	Internal	Power Supply of 5V
3	SCK	Internal	Serial Clock
4	COPI	Internal	Controller Out Peripheral In
5	RESET	Internal	Reset
6	GND	Internal	Ground

**5.5 Digital Pins D22 - D53 LHS**

Pin	Function	Type	Description
1	+5V	Power	Power Supply of 5V
2	D22	Digital	Digital Input 22/GPIO
3	D24	Digital	Digital Input 24/GPIO
4	D26	Digital	Digital Input 26/GPIO
5	D28	Digital	Digital input 28/GPIO
6	D30	Digital	Digital input 30/GPIO
7	D32	Digital	Digital input 32/GPIO
8	D34	Digital	Digital input 34/GPIO
9	D36	Digital	Digital input 36/GPIO
10	D38	Digital	Digital input 38/GPIO
11	D40	Digital	Digital input 40/GPIO
12	D42	Digital	Digital input 42/GPIO
13	D44	Digital	Digital input 44/GPIO
14	D46	Digital	Digital input 46/GPIO
15	D48	Digital	Digital input 48/GPIO
16	D50	Digital	Digital input 50/GPIO
17	D52	Digital	Digital input 52/GPIO
18	GND	Power	Ground

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

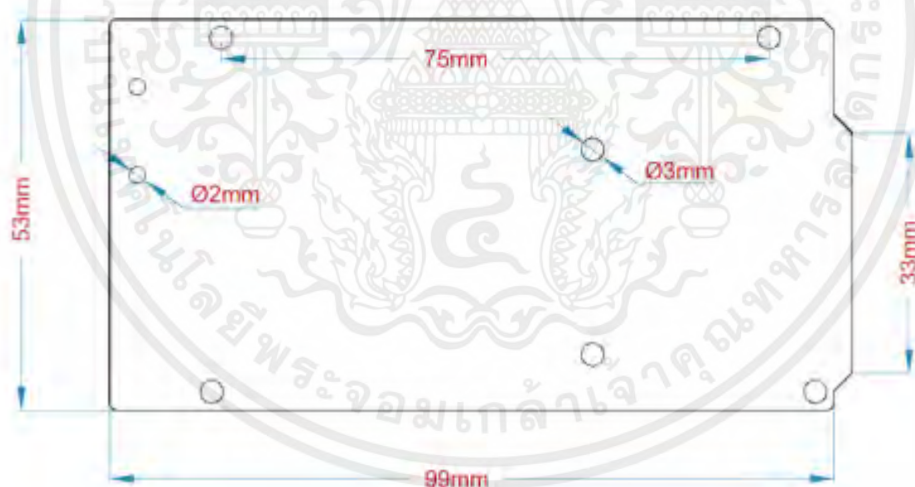


### 5.6 Digital Pins D22 - D53 RHS

Pin	Function	Type	Description
1	+5V	Power	Power Supply of 5V
2	D23	Digital	Digital input 23/GPIO
3	D25	Digital	Digital input 25/GPIO
4	D27	Digital	Digital input 27/GPIO
5	D29	Digital	Digital input 29/GPIO
6	D31	Digital	Digital input 31/GPIO
7	D33	Digital	Digital input 33/GPIO
8	D35	Digital	Digital input 35/GPIO
9	D37	Digital	Digital input 37/GPIO
10	D39	Digital	Digital input 39/GPIO
11	D41	Digital	Digital input 41/GPIO
12	D43	Digital	Digital input 43/GPIO
13	D45	Digital	Digital input 45/GPIO
14	D47	Digital	Digital input 47/GPIO
15	D49	Digital	Digital input 49/GPIO
16	D51	Digital	Digital input 51/GPIO
17	D53	Digital	Digital input 53/GPIO
18	GND	Power	Ground

## 6 Mechanical Information

### 6.1 Board Outline

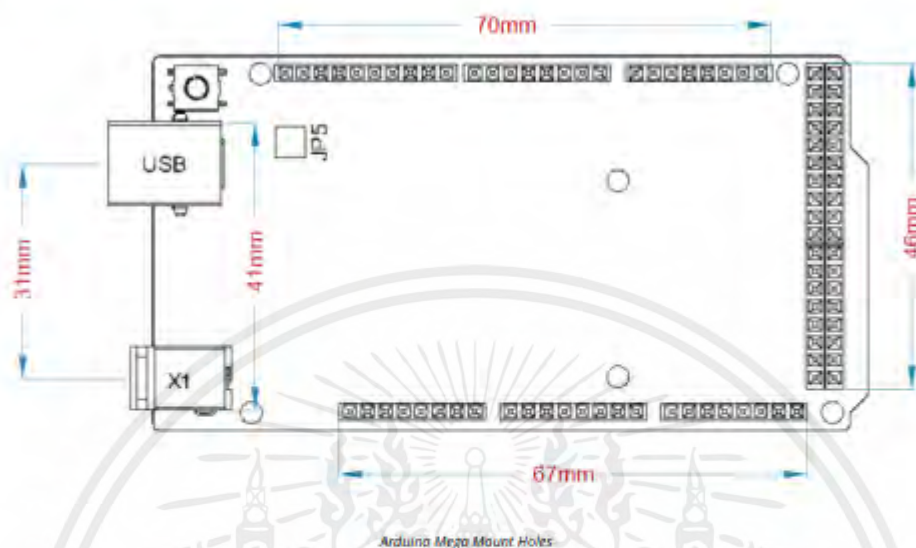


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Arduino Mega Outline

## 6.2 Board Mount Holes



## Certifications

## 7 Declaration of Conformity CE DoC (EU)

We declare under our sole responsibility that the products above are in conformity with the essential requirements of the following EU Directives and therefore qualify for free movement within markets comprising the European Union (EU) and European Economic Area (EEA).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 8 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021

Arduino boards are in compliance with RoHS 2 Directive 2011/65/EU of the European Parliament and RoHS 3 Directive 2015/863/EU of the Council of 4 June 2015 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.

Substance	Maximum Limit (ppm)
Lead (Pb)	1000
Cadmium (Cd)	100
Mercury (Hg)	1000
Hexavalent Chromium (Cr6+)	1000
Poly Brominated Biphenyls (PBB)	1000
Poly Brominated Diphenyl ethers (PBDE)	1000
Bis(2-Ethylhexyl) phthalate (DEHP)	1000
Benzyl butyl phthalate (BBP)	1000
Dibutyl phthalate (DBP)	1000
Diisobutyl phthalate (DIBP)	1000

Exemptions : No exemptions are claimed.

Arduino Boards are fully compliant with the related requirements of European Union Regulation (EC) 1907 /2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH). We declare none of the SVHCs (<https://echa.europa.eu/web/guest/candidate-list-table>), the Candidate List of Substances of Very High Concern for authorization currently released by ECHA, is present in all products (and also package) in quantities totaling in a concentration equal or above 0.1%. To the best of our knowledge, we also declare that our products do not contain any of the substances listed on the "Authorization List" (Annex XIV of the REACH regulations) and Substances of Very High Concern (SVHC) in any significant amounts as specified by the Annex XVII of Candidate list published by ECHA (European Chemical Agency) 1907 /2006/EC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 9 Conflict Minerals Declaration

As a global supplier of electronic and electrical components, Arduino is aware of our obligations with regards to laws and regulations regarding Conflict Minerals, specifically the Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act, Section 1502. Arduino does not directly source or process conflict minerals such as Tin, Tantalum, Tungsten, or Gold. Conflict minerals are contained in our products in the form of solder, or as a component in metal alloys. As part of our reasonable due diligence Arduino has contacted component suppliers within our supply chain to verify their continued compliance with the regulations. Based on the information received thus far we declare that our products contain Conflict Minerals sourced from conflict-free areas.

## 10 FCC Caution

Any Changes or modifications not expressly approved by the party responsible for compliance could void the user's authority to operate the equipment.

This device complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions:

- (1) This device may not cause harmful interference
- (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

### **FCC RF Radiation Exposure Statement:**

1. This Transmitter must not be co-located or operating in conjunction with any other antenna or transmitter.
2. This equipment complies with RF radiation exposure limits set forth for an uncontrolled environment.
3. This equipment should be installed and operated with minimum distance 20cm between the radiator & your body.

English: User manuals for licence-exempt radio apparatus shall contain the following or equivalent notice in a conspicuous location in the user manual or alternatively on the device or both. This device complies with Industry Canada licence-exempt RSS standard(s). Operation is subject to the following two conditions:

- (1) this device may not cause interference
- (2) this device must accept any interference, including interference that may cause undesired operation of the device.

French: Le présent appareil est conforme aux CNR d'Industrie Canada applicables aux appareils radio exempts de licence. L'exploitation est autorisée aux deux conditions suivantes :

- (1) l'appareil n'a pas de brouillage
- (2) l'utilisateur de l'appareil doit accepter tout brouillage radioélectrique subi, même si le brouillage est susceptible d'en compromettre le fonctionnement.

### **IC SAR Warning:**

English This equipment should be installed and operated with minimum distance 20 cm between the radiator and your body.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



French: Lors de l'installation et de l'exploitation de ce dispositif, la distance entre le radiateur et le corps est d'au moins 20 cm.

**Important:** The operating temperature of the EUT can't exceed 85°C and shouldn't be lower than -40°C.

Hereby, Arduino S.r.l. declares that this product is in compliance with essential requirements and other relevant provisions of Directive 201453/EU. This product is allowed to be used in all EU member states.

## 11 Company Information

<b>Company name</b>	<b>Arduino S.r.l.</b>
Company Address	Arduino SRL, Via Andrea Appiani 25, 20900 Monza MB, Italy

## 12 Reference Documentation

Ref	Link
Arduino IDE (Desktop)	<a href="https://www.arduino.cc/en/Main/Software">https://www.arduino.cc/en/Main/Software</a>
Arduino IDE (Cloud)	<a href="https://create.arduino.cc/editor">https://create.arduino.cc/editor</a>
Cloud IDE Getting Started	<a href="https://create.arduino.cc/projecthub/Arduino_Genuino/getting-started-with-arduino-web-editor-4b3e4a">https://create.arduino.cc/projecthub/Arduino_Genuino/getting-started-with-arduino-web-editor-4b3e4a</a>
Arduino Pro Website	<a href="https://www.arduino.cc/pro">https://www.arduino.cc/pro</a>
Project Hub	<a href="https://create.arduino.cc/projecthub?by=part&amp;part_id=11332&amp;sort=trending">https://create.arduino.cc/projecthub?by=part&amp;part_id=11332&amp;sort=trending</a>
Library Reference	<a href="https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/">https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/</a>
Online Store	<a href="https://store.arduino.cc/">https://store.arduino.cc/</a>

## 13 Revision History

Date	Revision	Changes
29/09/2020	1	First Release

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล

นายกาจพล ปลั่งกลาง

วัน เดือน ปีเกิด

15 มีนาคม 2544

ที่อยู่

18/6 หมู่ 6 ตำบลบ้านควน อำเภอเมือง จังหวัดตรัง 92000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2561 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากโรงเรียนวิเชียรมาตุ จังหวัดตรัง

Tel. 0634122544

Email 62201004@kmitl.ac.th



ชื่อ-นามสกุล

นายศุภวิชญ์ วรรณวิริยะ

วัน เดือน ปีเกิด

12 เมษายน 2544

ที่อยู่

157/1 หมู่ 2 ตำบลเขาถ่าน อำเภอท่าฉาง

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2561 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากโรงเรียนไชยาวิทยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Tel. 088-1343516

Email: 62201017@kmitl.ac.th