เครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์ที่เสียจากการพิมพ์ 3 มิติ

3D PRINTING FILAMENT WASTE RECYCLING MACHINE

ฉัตรกมล วรกิจธำรงค์ชัย

ธนินท์ณัฐ ศิริ

สโรชา ติยวัฒนาโรจน์

สุขภวิชณ์ เตชะกมลสุข

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุมคณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์ที่เสียจากการพิมพ์ 3 มิติ

3D PRINTING FILAMENT WASTE RECYCLING MACHINE

ฉัตรกมล วรกิจธำรงค์ชัย

ธนินท์ณัฐ ศิริ

สโรชา ติยวัฒนาโรจน์

สุขภาวิชณ์ เตชะกมลสุข

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3D PRINTING FILAMENT WASTE RECYCLING MACHINE

Chatkamol Worakijthamrongchai

Taninnat Siri

Sarocha Tiyawattanaroj

Sukpawit Tachakamolsuk

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์ที่เสียจากการพิมพ์ 3 มิติ

3D PRINTING FILAMENT WASTE RECYCLING MACHINE

คณะผู้จัดทำ	นางสาวฉัตรกมล	วรกิจธำรงค์ชัย	60010171
	นายธนินท์ณัฐ	ศิริ	60010436
	นางสาวสโรชา	ติยวัฒนาโรจน์	60011038
	นายสุขภวิชณ์	เตชะกมลสุข	60011079

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ชนินทร์ บุญลักษณานุสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์ที่เสียจากการพิมพ์ 3 มิติ

โดย

นางสาว ฉัตรกมล วรกิจธำรงค์ชัย

นาย ธนินท์ณัฐ ศิริ

นางสาว สโรชา ติยวัฒนาโรจน์

นาย สุขภวิชณ์ เตชะกมลสุข

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ชนินทร์ บุญลักษณานุสรณ์

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและจัดทำเครื่องรีไซเคิลขยะพลาสติกจากการพิมพ์สามมิติ อาทิเช่น การพิมพ์ที่ผิดพลาด ส่วนเสริมที่รองรับชิ้นงาน ให้เป็นเส้นพลาสติกสำหรับการพิมพ์สามมิติใหม่ ที่สามารถใช้งานได้ มีจุดประสงค์เพื่อการลดขยะ ลดค่าใช้จ่าย และลดการสิ้นเปลืองวัสดุในการพิมพ์สามมิติ โดยในรายงานนี้จะเป็นการใช้ความรู้ที่ได้เรียนมาใช้ในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน และการออกแบบชิ้นส่วนทางกลของเครื่องรีไซเคิล ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนหลอมและฉีดเส้นพลาสติก ส่วนเซนเซอร์ และส่วนการม้วนเก็บเส้นพลาสติก แต่เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรค COVID19 ทำให้สามารถทำสำเร็จเพียงแค่ส่วนแรก คือ ส่วนหลอมและฉีดเส้นพลาสติกเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3D Printing Filament Waste Recycling Machine

By

Ms. Chatkamol Worakijthamrongchai

Mr. Taninnat Siri

Ms. Sarocha Tiyawattanaroj

Mr. Sukpawit Tachakamolsuk

Advisors

Assoc. Prof. Dr. Chanin Bunlaksananusorn

Academic Year 2020

ABSTRACT

This project is about the making of the 3D waste recycling machine aiming to reduce the amount of waste from 3D printing, including failed prints, printing support, and etcetera, by recycling them into new printable plastic filament. This project utilizes the knowledge learned from various subjects to design electronic circuits, processes control program and design mechanical parts of the machine which consists of 3 main parts, Filament extruder, sensor, and winding part. Due to the outbreak of the COVID19, only the extruder part can be finished.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์อย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ชนินทร์ บุญลักษณานุสรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้โอกาสในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ซึ่งสืบเนื่องกับการเรียนรู้ในหลายด้านของการศึกษาที่คณะผู้จัดทำได้รับมาตลอด หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ทั้งนี้ตลอดกระบวนการของปริญญานิพนธ์นี้ยังกรุณาในการให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะ แนวทางการปรับปรุงแก้ไข ติดตามผลการดำเนินงานอย่างใกล้ชิดเพื่อให้การศึกษาค้นคว้าเกิดประสิทธิภาพสูงสุดตลอดจน กรุณาจัดหาอุปกรณ์และอำนวยความสะดวกพื้นที่ในการปฏิบัติการอย่างสูง ทั้งนี้ไม่ใช่เพียงคำแนะนำทางวิชาการเท่านั้น ยังให้ความใส่ใจและอบรมสั่งสอนในการทำงาน การใช้ชีวิตและการทำงานร่วมกับผู้อื่น ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับคณะผู้จัดทำ จึงขอกล่าวขอบพระคุณอาจารย์ในความกรุณา มา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการจัดทำปริญญานิพนณ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณแหล่งความรู้และอาจารย์ทุกท่านที่คณะผู้จัดทำได้รับความรู้อันมีประโยชน์ยิ่งจากการสืบค้นข้อมูล ทำให้เกิดเป็นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งได้รับความรู้ที่สามารถนำไปต่อยอดได้ในอนาคต

ขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน เพื่อน พี่ น้อง ทุกคนในคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ที่มีส่วนร่วมให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและคำปรึกษาตลอดระยะเวลาทำโครงงาน ทั้งยังมอบมิตรภาพที่ดีให้แก่กัน

สุดท้ายนี้ในการศึกษาค้นคว้าปริญญานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผลอันเป็นประโยชน์และความดีอันเกิดจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบแด่ บิดา มารดา อาจารย์ และมิตรสหายทุกท่าน ผู้ซึ่งให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจเสมอมา และหากผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับไว้ด้วยความขอบคุณยิ่ง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

ABSTRACT II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญรูป VI

สารบัญตาราง IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการวิจัย 2

1.4 วิธีการดำเนินงาน 2

1.5 สถานที่ทำการวิจัย 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2

2.1 การพิมพ์ 3 มิติ 2

2.2 หลักการออกแบบและเครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์ที่มีในท้องตลาด 13

2.3 การควบคุมและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 19

2.4 การออกแบบทางกล 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 หลักการออกแบบ.....27

3.1 Filament Extruder Part.....27

3.2 Sensor Part.....40

3.3 Winding Part.....40

บทที่ 4 การทดลอง.....42

4.1 การทดลองที่ 1 แบบจำลองของโครงงาน โดยโปรแกรม SolidWorks.....42

4.2 การทดลองที่ 2 ประกอบเครื่องในส่วนของ Filament Extruder Part.....44

4.3 การทดลองที่ 3 ผลการทำงานของ Filament Extruder Part.....45

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป.....48

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....48

5.2 ข้อเสนอแนะ.....49

เอกสารอ้างอิง.....50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 กระบวนการสร้างชิ้นงาน 3 มิติ..5

2.2 ม้วนฟิลาเมนต์..13

2.3 Filament maker จากผู้ผลิต Felfill. ..13

2.4 ผลิตภัณฑ์ส่วนการหลอมและฉีดฟิลาเมนต์ Felfil Evo Filament Extruder..14

2.5 ผลิตภัณฑ์ส่วนการดึงม้วนเก็บฟิลาเมนต์ Felfil Evo Filament Extruder..14

2.6 ผลิตภัณฑ์ส่วนของเซนเซอร์และการดึงเก็บฟิลาเมนต์ในแบบผู้ผลิต Felfil..14

2.7 ผลิตภัณฑ์ Filament Makers จากผู้ผลิต 3devo..15

2.8 รูปภาพอธิบายส่วนประกอบภายในผลิตภัณ์ Filament Makers จากผู้ผลิต 3devo..15

2.9 FILASTRUDER KIT..16

2.10 FILAWINDER..17

2.11 ส่วนเซนเซอร์ที่ผู้ผลิตเลือกใช้..17

2.12 การควบคุมอุณหภูมิของระบบเตาเผาไฟฟ้า..19

2.13 โครงสร้างของ RTD ชนิด PT100..20

2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความต้านทานของ PT100..20

2.15 วงจร Wheatstone Bridge..21

2.16 Balanced Bridge Circuit..22

2.17 วงจร Difference Amplifier พิจารณา V_1 โดยให้ $V_2 = 0$..24

2.18 วงจร Difference Amplifier พิจารณา V_2 โดยให้ $V_1 = 0$..24

2.19 Photoresistor..25

2.20 Cycloidal drive..26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.1 การออกแบบ Filament Extruder Part โดยโปรแกรม SolidWorks.....27

3.2 Rotor Housing.....28

3.3 Rotor.....29

3.4 Rotor Shaft.....29

3.5 Output Disk.....29

3.6 The cover.....30

3.7 Assembling the Drive.....30

3.8 Temperature Control Block Diagram ของ Filament Extruder Part.....31

3.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Wheatstone Bridge Voltage กับ PT 100 Resistance.....33

3.10 การเปรียบเทียบกำลังสูญเสียจาก Wheatstone Bridge กับ PT 100 Resistance.....34

3.11 Wheatstone Bridge.....34

3.12 Differential OpAmp.....35

3.13 แบบจำลองการต่อวงจรโดยโปรแกรม Tinkercad.....35

3.14 ตารางอุณหภูมิเปรียบเทียบตัวต้านทาน.....37

3.15 กราฟค่าความต้านทานเทียบกับอุณหภูมิตั้งแต่ 190-220 องศาเซลเซียส.....39

3.16 Flow Chart แสดงการทำงานของ Programming Part.....39

3.17 การออกแบบ Sensor Part โดยโปรแกรม SolidWorks.....40

3.18 การออกแบบ Winding Part โดยโปรแกรม SolidWorks.....40

4.2 แบบจำลองของ Filament Extruder Part โดยโปรแกรม SolidWorks.....42

4.2 แบบจำลองของ Sensor Part โดยโปรแกรม SolidWorks.....42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.3 แบบจำลองของ Winding โดยโปรแกรม SolidWorks.....43

4.4 แบบจำลองของโครงงานโดยโปรแกรม SolidWorks.....43

4.5 แบบจำลองของโครงงานโดยโปรแกรม SolidWorks.....44

4.6 การประกอบส่วน Filament Extruder Part.....44

4.7 ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของเส้น.....45

4.8 ผลการทดลองเมื่อใช้ Relay.....46

4.9 Block Diagram เมื่อเปลี่ยน Relay เป็น SSR.....47

4.10 ผลการทดลองเมื่อเปลี่ยน Relay เป็น SSR.....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 เปรียบเทียบความต้านทานมาตรฐานที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด Temperature Conversion ของ RTD PT100.....32
3.2 ค่าความต้านทานเทียบกับอุณหภูมิตั้งแต่ 190-220 องศาเซลเซียส.....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

3D printer คือ เครื่องจักรที่ใช้กระบวนการเติมเนื้อวัสดุ เพื่อทำให้เกิดเป็นรูปร่างที่สามารถจับต้องได้ตามที่ต้องการ โดยอาศัยข้อมูลในรูปแบบดิจิตอล ซึ่งการเติมเนื้อหรือพิมพ์วัสดุลงไปนั้นเรียกว่า Additive Process โดยการพิมพ์จะเป็นการพิมพ์ทีละชั้น (Layer) มีเทคโนโลยีการพิมพ์และวัสดุที่นำมาใช้ขึ้นรูปหลากหลาย ซึ่งเทคโนโลยีที่ได้รับความแพร่หลายที่สุดในปัจจุบัน คือ FDM หรือ Fused Deposition Modeling และวัสดุขึ้นรูปส่วนใหญ่ผลิตมาจากวัสดุเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เนื่องจากการพิมพ์ 3 มิติด้วยเทคโนโลยี FDM (Fused Deposition Modeling) ที่แพร่หลายทั้งในอุตสหกรรมขนาดเล็ก มหาวิทยาลัยหรือในครัวเรือน จะนิยมใช้วัสดุเส้นพลาสติกฟิลาเมนต์ (Filament) ในปริญญานิพนธ์นี้คณะผู้จัดทำจึงให้ความสนใจกับเส้นพลาสติก ชนิด PLA (Polylactic Acid) ซึ่งเป็นประเภทหนึ่งของฟิลาเมนต์ที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย และไม่มีกลิ่นหรือไอระเหยที่เป็นอันตรายซึ่งอาจส่งผลต่อการออกแบบในการรีไซเคิล

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ (3D Printing) เป็นที่รู้จักและได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย นอกจากเดิมที่นักออกแบบและวิศวกรส่วนใหญ่มักจะเลือกใช้การพิมพ์ 3 มิติในการ สร้างแบบจำลองของชิ้นงานที่จะผลิต ซึ่งมีแนวโน้มจะมีผู้ใช้งานทั่วไปนอกเหนือจากนี้เพิ่มขึ้นในอนาคต ส่งผลให้มีการผลิตชิ้นงาน (3D Printing) จากพลาสติกมากขึ้นและเนื่องด้วยในการพิมพ์แต่ละครั้งของการพิมพ์แบบ FDM จำเป็นจะต้องมีการพิมพ์ส่วนรองรับโครงสร้าง (Structural support) ชิ้นงานเมื่อมีส่วนยื่นออกมากลางอากาศ (overhangs) ที่จะต้องแกะออกจากชิ้นงานเมื่อพิมพ์เสร็จ รวมทั้งชิ้นงานที่เกิดความผิดพลาดขณะพิมพ์หรือชิ้นงานที่ถูกพิมพ์ออกมาแต่ไม่ถูกใช้งานมีจำนวนมากและมากขึ้นเมื่ออุตสาหกรรมการพิมพ์ 3 มิติยิ่งขยายใหญ่ขึ้น วัสดุจำนวนนี้กลายเป็นขยะพลาสติกที่ยากต่อการย่อยสลายและไม่เกิดประโยชน์ คณะผู้จัดทำเล็งเห็นถึงปัญหาขยะพลาสติก รวมทั้งการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในส่วนชิ้นงานเหล่านี้ จึงเป็นที่มาของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ที่จะนำขยะพลาสติกจากชิ้นงาน 3 มิติมาทำการรีไซเคิลเพื่อสามารถนำมาใช้งานใหม่ในรูปของวัสดุเส้นพลาสติกฟิลาเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อแก้ปัญหาขยะพลาสติกที่เกิดจากการพิมพ์ 3 มิติ
2. เพื่อลดค่าใช้จ่าย และ การสิ้นเปลืองวัสดุในการพิมพ์ 3 มิติ โดยการนำขยะที่เกิดขึ้นมารีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในรูปเส้นพลาสติกฟิลาเมนต์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาและออกแบบหลักการทำงานสำหรับเครื่องรีไซเคิลขยะพลาสติกฟิลาเมนต์ที่เสียจากการพิมพ์ 3 มิติ
2. ออกแบบชิ้นงานและวางผังสำหรับเครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์ที่เสียจากการพิมพ์ 3 มิติ
3. ออกแบบระบบในการควบคุมคุณภาพฟิลาเมนต์ที่ได้จากการรีไซเคิลให้มีขนาดสม่ำเสมอ

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. สำรวจปัญหาหรือความสนใจเพื่อกำหนดหัวข้อการศึกษาและวัตถุประสงค์
2. สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการรีไซเคิลพลาสติกชนิด PLA และข้อมูลเพิ่มเติมของเครื่องรีไซเคิลเพื่อกำหนดขอบเขตการศึกษาที่ชัดเจน
3. ออกแบบเครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์เบื้องต้นเพื่อทำรายการวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบเครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์
4. ออกแบบเครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์ด้วยโปรแกรมออกแบบ 3 มิติด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนขึ้น ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ FILAMENT EXTRUDER PART, SENSOR PART และ WINDING PART
5. ดำเนินงานในส่วน FILAMENT EXTRUDER PART โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การเขียนโปรแกรมการควบคุมและส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการควบคุม
6. ประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์เพื่อทดสอบใช้งานจากส่วนควบคุมที่เตรียมการไว้ก่อนหน้าในข้อที่ 5
7. ดำเนินงานส่วน SENSOR PART และ WINDING PART
   7.1 ติดตั้งอุปกรณ์ส่วน SENSOR PART และ WINDING PART เพื่อหาจุดเหมาะสมสำหรับการดำเนินการ
   7.2 เขียนโปรแกรมการควบคุม
8. ทดลองระบบการทำงานของเครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์และบันทึกผลการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

9. หากพบข้อบกพร่อง ปรับปรุงและแก้ไขในส่วนที่ยังไม่สมบูรณ์ หรือ หากผลการทดลองเป็นที่น่าพึงพอใจแล้วสามารถเพิ่มเติมในส่วนที่ต้องการ
10. สรุปผลการดำเนินงาน วิเคราะห์แนวทางการแก้ปัญหาและข้อเสนอแนะ
11. นำเสนอผลงานและจัดทำปริญญานิพนธ์

1.5 สถานที่ทำการวิจัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ด้านการศึกษาและสังคม

1. ประยุกต์ใช้ทักษะและความรู้ในสาขาวิชาที่ศึกษา เช่น การออกแบบและเขียนแบบ 3 มิติด้วยวิธีการ CAD ผ่านโปรแกรม SOLISWORKS, การออกแบบและคำนวณวงจรอิเล็กทรอนิกส์, การออกแบบเครื่องจักร และ การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ เป็นต้น
2. เรียนรู้และได้จัดทำเครื่องรีไซเคิลพลาสติกฟิลาเมนต์ที่เป็นไปตามวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา
3. ผลลัพธ์ที่ได้จากปริญญานิพนธ์ สามารถช่วยลดปัญหาขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมการพิมพ์ 3 มิติ รวมทั้งลดภาระค่าใช้จ่ายจากวัสดุการพิมพ์ 3 มิติ
4. สืบเนื่องจากการลดปัญหาขยะพลาสติกซึ่งนำไปสู่การลดภาวะเลือนกระจก การเกิดสารพิษและการย่อยสลายยากของขยะพลาสติก
5. ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถเป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงและผู้ศึกษาท่านอื่นสามารถนำไปต่อยอดให้เกิดประโยชน์ในต่างๆต่อไป

ประโยชน์ต่อตนเอง

1. เรียนรู้และใช้ทักษะต่างๆที่จำเป็นในการวิเคราะห์ปัญหานำไปสู่วิธีแก้ปัญหา ผ่านการฝึกฝนทักษะการสืบค้นและนำองค์ความรู้ที่มีมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์
2. ออกแบบและวางแผนในการทำวิจัยให้เป็นไปตามขอบเขตและแผนที่วางไว้
3. ฝึกความมีระเบียบวินัยและเรียนรู้การทำงานร่วมกับผู้อื่น
4. เรียนรู้และฝึกฝนทักษะการนำเสนอและการสื่อสารกับผู้อื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การพิมพ์ 3 มิติ

2.1.1 การพิมพ์ 3 มิติและเครื่องพิมพ์ 3 มิติ คืออะไร

3D Printing หรือ การพิมพ์ 3 มิติ มีชื่อเรียกอีกอย่างคือ Additive Manufacturing มีรากมาจากคำว่า 'Add' ซึ่งคือการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการเติมเนื้อวัสดุทีละชั้นๆ จนได้ออกมาเป็นวัตถุที่ต้องการ กระบวนการผลิตชนิดนี้ได้มีความแตกต่างไปจากแนวจากวิธีการแบบเดิมๆที่เรียกว่า Subtractive Manufacturing ที่เป็นการสกัดเนื้อวัสดุออกจนได้เป็นรูปร่างของวัตถุที่ต้องการผลิตโดยวิธีการตัด กลึง ไส เจาะ เจียรไน เป็นต้น

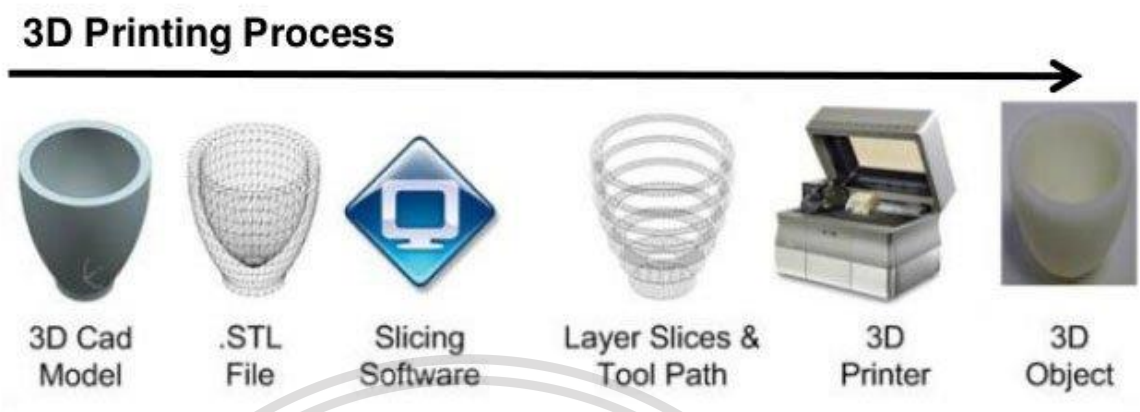
โดยการพิมพ์ 3 มิตินี้จะทำผ่านเครื่องพิมพ์ 3 มิติ หรือ 3D Printer เป็นเครื่องจักรที่สามารถสร้างชิ้นงานที่เป็นวัตถุจับต้องได้(3มิติ) มีความกว้าง-ลึก-สูง โดยใช้กระบวนการเติมเนื้อวัสดุ เพื่อทำให้เกิดเป็นรูปร่างที่สามารถจับต้องได้ตามที่ต้องการ อาศัยข้อมูลในรูปแบบดิจิตอล ซึ่งการเติมเนื้อหรือพิมพ์วัสดุลงไปเช่นนี้เรียกว่า Additive Process อย่างที่ได้กล่าวก่อนหน้าในย่อหน้าแรกซึ่งการพิมพ์นั้นจะค่อยเป็นไปทีละ Layer หรือทีละชั้น

2.1.2 หลักการเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

3D Printer หรือ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ อย่างที่กล่าวไปในหัวข้อก่อนหน้าว่าเป็นการเติมเนื้อหรือพิมพ์วัสดุเป็นชั้นๆหรือ Layer สามารถอธิบายให้ชัดเจนได้มากขึ้น คือ การพิมพ์ 2 มิติแต่ชั้นในแนวระนาบกับพื้นโลก XY ก่อน ส่วนที่พิมพ์ก็คือภาพตัดขวาง-Cross Section ของวัตถุนั้นๆ เมื่อพิมพ์เสร็จในแต่ละชั้นแล้ว เครื่องจะเลื่อนฐานพิมพ์ไปชั้นถัดๆไปซึ่งการเลื่อนขึ้นหรือลงในแนวแกน Z ของฐานพิมพ์ทำให้เกิดมิติที่ 3 จนออกมาเป็นรูปร่าง 3 มิติ โดยต้องมีการป้อนข้อมูลในรูปแบบของ Digital ซึ่งสามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำพวก CAD (Computer Aided Design) ในการออกแบบ นอกจากจะใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบแล้ว ยังสามารถใช้ สแกนเนอร์ 3 มิติ ในการเปลี่ยนวัตถุในโลกความจริงไปเป็นไฟล์ดิจิตอล ที่สามารถนำไปใช้งานกับ 3D Printer เมื่อได้โมเดลหรือชิ้นงานในรูปของไฟล์ดิจิตอลแล้ว ก็จะนำไฟล์นั้นไปทำการ Slice หรือตัดเลเยอร์งานออกมาให้เป็นแผ่นบางๆ เพื่อที่จะให้ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ พิมพ์แผ่นหรือชั้นบางๆ นั้นทับต่อกัน จนเกิดเป็นวัตถุ 3 มิติขึ้นมาดังที่ได้อธิบายไปในข้างต้น ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ มีเทคนิคการพิมพ์หลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แบบด้วยกัน รวมไปถึงประเภทของวัสดุที่ใช้ในการพิมพ์เองก็มีหลากหลายเช่นกัน แตกต่างไปตามคุณสมบัติที่ต้องการและประเภทการพิมพ์



รูปที่ 2.1 กระบวนการสร้างชิ้นงาน 3 มิติ

2.1.3 ประเภทของการพิมพ์ 3 มิติ

ในการพิมพ์ 3 มิติ ใช้หลักการที่คล้ายกันในแต่ละเทคโนโลยีของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ คือ การตัดหรือ Slice งานเป็นแผ่นบางๆ แล้วพิมพ์แผ่นนั้นซ้อนทับกันไปเรื่อยๆ ซึ่งข้อแตกต่างระหว่างเทคโนโลยีแต่ละตัวนั้น จะต่างกันในส่วนของวัสดุที่ใช้พิมพ์ และกระบวนการในการพิมพ์ เทคโนโลยีของ 3D printer

สมาคมการทดสอบและวัสดุอเมริกัน หรือ American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้บัญญัติคำศัพท์มาตรฐานเกี่ยวกับเครื่องพิมพ์สามมิติที่มีชื่อว่า F2792 โดยแยกเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติออกเป็น 7 กลุ่ม ดังนี้

1. การฉีดวัสดุผ่านหัวฉีด (Material Extrusion)

2. การทำให้วัสดุเหลวในอ่างแข็งด้วยแสง (Vat Photopolymerization)

3. การพ่นวัสดุ (Material Jetting)

4. การพ่นกาว (Binder Jetting)

5. การหลอมผงวัสดุ (Powder Bed Fusion)

6. การเพิ่มวัสดุด้วยการฉายพลังงาน (Directed Energy Deposition)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

7. การยึดวัสดุแผ่นเข้าหากัน (Sheet Lamination)

การแบ่งกลุ่มเทคโนโลยีเครื่องพิมพ์ 3 มิตินี้ เพื่อเป็นการแบ่งกลุ่มสินค้าให้มีมาตรฐานที่เข้าใจได้ตรงกันมากขึ้น ทั้งผู้ผลิต กลุ่มผู้ใช้ และผู้ซื้อเครื่องพิมพ์ โดยการแบ่งกลุ่มทั้ง 7 กลุ่มมีคำอธิบายเพิ่มเติมดังนี้

2.1.3.1 การฉีดวัสดุผ่านหัวฉีด (Material Extrusion)

เทคโนโลยีการฉีดวัสดุผ่านหัวฉีด หรือ Material Extrusion เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้สูงสุด และเป็นเทคโนโลยีที่มีการใช้งานได้หลากหลายมากที่สุดในกลุ่มเครื่องพิมพ์ 3 มิติทั้งหมด ด้วยหลักการฉีดวัสดุกึ่งเหลวผ่านหัวฉีดออกมาเพื่อสร้างวัสดุทีละชั้น โดยวัสดุที่นำมาใช้ในการฉีดผ่านหัวฉีดมากที่สุดคือ เทอร์โมพลาสติก ชื่อเรียกของเทคโนโลยีนี้เรียกว่า FDM (Fuse Deposition Material) ชื่อนี้ถูกตั้งโดย บริษัท Stratasys ซึ่งเป็นเจ้าของเครื่องหมายการค้าชื่อ FDM สำหรับหรับเทคโนโลยีนี้ ซึ่งถูกนำไปเรียกการฉีดเทอร์โมพลาสติก (Thermal Plastic) เช่น ABS Nylon PLA PET เป็นต้น ซึ่งพลาสติกแต่ละชนิดจะให้คุณสมบัติของชิ้นงานที่พิมพ์แตกต่างกันและต่อมากลับกลายเป็นการฉีดวัสดุใดๆ ผ่านหัวฉีด และเหตุผลที่ได้รับความนิยมอีกอย่างหนึ่ง คือ ในปัจจุบัน เป็น Open Source ที่เหล่านักสร้าง สามารถนำไปสร้างเครื่องโดยไม่ติดลิขสิทธิ์

นอกจากการฉีดวัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติกแล้ว ยังมีการฉีดวัสดุผ่านหัวฉีดด้วยวัสดุอื่นๆ อีก ได้แก่

- การฉีดคอมโพสิตผ่านหัวฉีด
- การฉีดเส้นใยคาร์บอน
- การฉีดโลหะผ่านหัวฉีด
- การฉีดวัสดุหลายชนิดให้แข็งตัวด้วยกัน
- การฉีดคอนกรีตผ่านหัวฉีด
- การฉีดดินเหนียวผ่านหัวฉีด
- การฉีดอาหารผ่านหัวฉีด

2.1.3.2 การทำให้วัสดุเหลวในอ่างแข็งด้วยแสง (Vat Photopolymerization)

เป็นเทคโนโลยีการฉายแสงลงในอ่างเพื่อทำให้วัสดุเหลวแข็งตัวเป็นชิ้นงานพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้วัสดุเรซิ่นที่มีความไวต่อแสง UV เทลงในถาด แล้วใช้แสง UV ในการทำให้เรซิ่นแข็งตัว เหมาะกับงานชิ้นเล็กๆที่ต้องการความละเอียดสูง เครื่องโดยทั่วไปจะพิมพ์ชิ้นงานได้ชิ้นไม่ใหญ่มาก โดยมีเทคโนโลยีหลายตัว ได้แก่ LA, DLP, 3SP, LCM และ 2PP โดยแต่ละเทคโนโลยีมีความหมายดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- SLA (StereoLithographic Apparatus)

สเตริโอลิทโทรกราฟี่ เป็นเทคโนโลยีนี้เป็นต้นแบบของการพิมพ์ 3 มิติ ด้วยการอาศัยการฉายลำแสงเลเซอร์เหนือม่วง (Ultraviolet Laser) ที่สะท้อนกับกระจกไปยังพลาสติกเหลวเพื่อกระตุ้นให้พลาสติกเหลวแข็งตัวเป็นรูปร่างที่ต้องการ ผ่านการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

- DLP (Digital Light Processing)

การฉายดีแอลพี (DLP) เป็นเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติที่ใช้การฉายแสงด้วยโปรเจคเตอร์ไปยังวัสดุเหลวใส โดยสามารถเลือกบริเวณที่ต้องการให้แสงตกกระทบเพื่อให้พลาสติกเหลวแข็งตัวได้ ซึ่งนอกจากพลาสติกเหลวใสที่ใช้แล้วยังมีพลาสติกอีกหลากหลาย เช่น พลาสติกผสมไขหรือขี้ผึ้ง วัสดุสำหรับงานทันตกรรม พลาสติกทางการแพทย์ พลาสติกทางอุตสาหกรรม และ อื่นๆ

- 3SP (Scan Spin and Selectively Photocure)

เป็นอีกเทคโนโลยีจาก EnvisionTEC ด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่มีกระจก 6 เหลี่ยมหมุนอยู่ด้านใน และเลือกทำให้พลาสติกเหลวแข็งตัวด้วยแสง โดยการฉายม่านแสงสะท้อนจากกระจก 6 เหลี่ยมที่หมุนเร็วถึง 20,000 รอบต่อนาที จากนั้นม่านแสงจึงผ่านเลนส์เพื่อให้ได้ภาพที่คมชัด ซึ่งกระบวนการทำงานเริ่มจากระบบสร้างภาพและแหล่งกำเนิดแสงฉายม่านแสงไปบนผิวของพลาสติกเหลวในแนวแกน Y จากนั้นจึงเคลื่อนแหล่งกำเนิดแสงพร้อมม่านแสงเพื่อสร้างภาพไปในแนวแกน X

- LCM (Lithography based Ceramic Manufacturing)

การผลิตเซรามิกด้วยวิธีลิทโทรกราฟี่ ซึ่งถูกพัฒนาโดยบริษัท Lithoz ในประเทศออสเตรีย โดยเป็นสารพลาสติกเหลวที่มีส่วนผสมของเซรามิก ซึ่งหลังจากพิมพ์แล้วจะมีการกำจัดพลาสติกที่แข็งตัวออกเหลือจากชิ้นงานก่อนจะนำไปเผาผนึก (Sinter) เพื่อให้กลายเป็นชิ้นงานเซรามิกที่มีความแข็งแรง

- 2PP (Two-Photon Polymerization)

เทคโนโลยีการแข็งตัวด้วยโฟตอน 2 ตัว โดยเป็นกระบวนการพิมพ์ที่เกิดขึ้นในระดับนาโนด้วยหลักการ Stereolithography ซึ่งใช้การปล่อยเลเซอร์พิเศษที่มีช่วงการปล่อยแสงสั้นมากๆ เพื่อฉายบนพลาสติกเหลวและทำให้แข็งตัว ด้วยความละเอียดถึง 0.0001 มิลลิเมตรในทั้งสามแกน โดยละเอียดกว่าเครื่องพิมพ์ สเตริโอลิทโทรกราฟี่ ถึง 250 เท่า ทำให้สามารถพิมพ์ชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและต้องการความแม่นยำอย่าง การสร้างไมโครชิป หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.3.3 การพ่นวัสดุ (Material Jetting)

เทคโนโลยีการพ่นวัสดุโดยอาศัยหลักการพื้นฐานที่ทำให้ของเหลวแข็งตัว มีหัวพ่นหลายรูปแบบซึ่งมีการทำงานคล้ายกับเครื่องพิมพ์แบบอิงค์เจ็ทที่เรารู้จักกัน การทำงานของเครื่องพิมพ์นี้จะมีหัวพิมพ์ที่กวาดไปมาเหนือบริเวณที่ต้องการสร้างชิ้นงาน จากนั้นจะปล่อยแสงเหนือม่วง (Ultraviolet) เพื่อทำให้ของเหลวที่พ่นออกมานั้นแข็งตัว

วัสดุพลาสติกที่ใช้ในเทคโนโลยีนี้มีหลากหลายทั้งแข็ง อ่อนตัว ทึบแสง หรือโปร่งแสง นอกจากนี้ยังมีทั้งสารประกอบที่มีคุณสมบัติคล้าย ABS, Polypropylene, Polycarbonate และยาง โดยเครื่องพิมพ์นี้สามารถพ่นวัสดุหลายชนิดลงในชิ้นงานเดียวกันได้ ด้วยการสับเปลี่ยนวัสดุระหว่างการพิมพ์หรือการนำวัสดุที่แตกต่างกันมาผสมกันก่อนทำการพิมพ์

2.1.3.4 การพ่นกาว (Binder Jetting)

เครื่องพิมพ์ระบบพ่นกาวบนวัสดุผงนี้มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Zprinting มาจากชื่อบริษัท Z Corporation ซึ่งเป็นผู้พัฒนาระบบนี้ขึ้นมาและขายเครื่องพิมพ์ในชื่อว่า Zprinters และภายหลังได้เปลี่ยนเป็นชื่อใหม่คือ ColorJet Printing โดย 3D System ซึ่งเป็นผู้ซื้อกิจการต่อ

การพ่นกาวเป็นเทคโนโลยีกลุ่มที่ใช้กาวยึดวัสดุที่เป็นผงเข้าหากัน กระบวนการนี้ทำงานด้วยการเกลี่ยผงวัสดุให้เป็นชั้นบนแท่นสร้างชิ้นงาน จากนั้นหัวพิมพ์จะเคลื่อนผ่านผิวหน้าผงไปและเลือกฉีดพ่นกาวลงไปเพื่อสร้างเป็นชิ้นงาน โดยกาวนี้จะจับยึดผงวัสดุให้เป็นรูปร่างที่ต้องการเป็นชั้นแรก และจะทำไปเป็นชั้นๆ ไปเรื่อยๆ จนได้ชิ้นงานที่ต้องการ เมื่อพิมพ์เสร็จแล้ววัสดุผงที่ไม่ได้ติดกาวจะถูกดูดแยกออก รวมถึงส่วนที่อยู่รอบๆ ชิ้นงานก็สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกด้วยระบบดูดสุญญากาศ

นอกจากนี้แล้วเครื่องพิมพ์แบบพ่นกาว ยังสามารถใช้พิมพ์ลงบนวัสดุอื่นๆ ได้แก่ การสร้างแบบหล่อทราย การผลิตชิ้นงานโลหะ การพิมพ์เซรามิก และการพิมพ์แก้ว

2.1.3.5 การหลอมผงวัสดุ (Powder Bed Fusion)

การหลอมผงวัสดุเป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลบข้อจำกัดของเทคโนโลยีการพ่นกาว เนื่องจากการพ่นกาวมีข้อจำกัดเรื่องความหนาแน่นของเนื้อวัสดุ ที่มีโพรงอากาศขนาดเล็กแทรกอยู่ในเนื้องานพิมพ์ ซึ่งหากต้องการให้เนื้องานมีความแน่นและไม่มีโพรงอากาศอยู่ในงานพิมพ์ เทคโนโลยีการหลอมผงวัสดุที่จะยิงพลังงานความร้อนไปในบริเวณที่ต้องการผนึกไว้แทนที่จะยิงกาวเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เพื่อให้ชิ้นงานติดกันได้แนบสนิทในจุดที่ได้รับความร้อน โดยความร้อนที่ใช้ในเทคโนโลยีนี้ได้แก่ แสงเลเซอร์, อนุภาคอิเล็กตรอน และการเผาผนึกด้วยความร้อน (Selective Heat Sintering หรือ SHS)

2.1.3.6 การเพิ่มวัสดุด้วยการฉายพลังงาน (Directed Energy Deposition หรือ DED)

DED เป็นเทคโนโลยีการเพิ่มวัสดุด้วยการฉายพลังงาน หรืออาจจะเรียกว่าเป็นการสร้างชิ้นงานด้วยแสงเลเซอร์และวัสดุผง (Laser Powder Forming) โดยผงโลหะจะถูกพ่นเข้าไปในลำแสงเลเซอร์กำลังสูงให้หลอมละลายเพื่อให้สะสมบนชิ้นงาน เครื่องพิมพ์นี้สามารถใช้งานร่วมกับวัสดุที่หลากหลาย เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม ทองแดง อลูมิเนียม ไทเทเนียม เป็นต้น

ในขณะที่เครื่องพิมพ์นี้ทำงานสามารถปรับปริมาณผงได้อย่างต่อเนื่อง โดยสามารถสร้างเป็นชิ้นงานที่มีคุณสมบัติพิเศษที่ไม่สามารถผลิตด้วยวิธีการอื่นๆ กล่าวคือ เครื่องพิมพ์นี้ไม่ได้จำกัดการพิมพ์บนผิวระนาบเหมือนวิธีการอื่นๆ และสามารถนำไปใช้งานได้เลยเนื่องจากเนื้อของชิ้นงานมีเนื้อแน่น 100%

2.1.3.7 การยึดวัสดุแผ่นเข้าหากัน (Sheet Lamination)

นอกจากเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติที่มีทั้งการฉีดวัสดุในสถานะกึ่งเหลว การกระตุ้นให้พลาสติกแข็งตัวด้วยแสง การพ่นกาว ยังมีอีกหนึ่งเทคโนโลยีการพิมพ์ที่น่าสนใจคือ การยึดวัสดุแผ่นเข้าหากันด้วยการติดกาวบนวัสดุที่เป็นแผ่น เช่น กระดาษ พลาสติก อโลหะบางๆ เป็นต้น

กระบวนการทำงานจะส่งแผ่นวัสดุที่ด้านหลังถูกทากาวเอาไว้เข้าไปในแท่นพิมพ์ จากนั้นเลเซอร์หรือมีดของเครื่องพิมพ์จะทำการตัดแผ่นวัสดุนี้ตามเส้นรอบรูป และจะทำซ้ำไปหลายรอบจนเกิดเป็นชิ้นงานพิมพ์

เนื่องจากในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้ความสนใจในการรีไซเคิลขยะพลาสติกฟิลาเมนต์จากการพิมพ์ด้วยเทคโนโลยี FDM (Fuse Deposition Material) ซึ่งเป็นการพิมพ์ 3 มิติ ด้วยวิธีการฉีดวัสดุผ่านหัวฉีด (Material Extrusion) ซึ่งประเภทวัสดุที่นำมาเป็นวัสดุการพิมพ์ก็มีความหลากหลาย ส่วนวัสดุเทอร์โมพลาสติก (Thermal Plastic) ที่ได้รับความนิยมก็มีอีกหลายชนิดให้เลือกใช้ แต่วัสดุที่คณะผู้จัดให้ทำสนใจในการนำมารีไซเคิล ได้แก่ พลาสติก PLA (Polylactic Acid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.4 ประเภทของวัสดุพลาสติกในการพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเทคโลยี FDM

วัสดุในการพิมพ์ 3 มิติ มีรูปแบบหลากหลาย แต่ที่เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ เทอร์โมพลาสติก ซึ่งก็มีรูปลักษณ์ที่หลากหลาย ทั้งเป็นฟิลาเมนต์ ผงเรซิ่น เม็ดพลาสติกและผงแป้ง โดยแต่ละชนิดพลาสติกและรูปแบบต่างก็ถูกนำมาใช้ตามความเหมาะสมของการพิมพ์ 3 มิติ ที่แตกต่างกันไป ผู้จัดทำจึงขอหยิบยกประเภทพลาสติกฟิลาเมนต์ของการพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเทคโลยี FDM ที่เป็นที่นิยมและรู้จักกันอย่างแพร่หลายอย่างชนิด ABS และ PLA ละชนิดอื่นๆบางส่วนที่มีความน่าสนใจ เพื่ออธิบายให้เห็นถึงความแตกต่าง ซึ่งมีดังนี้

2.1.4.1 ABS (Acrylonitrile butadiene styrene)

ABS เป็นพลาสติกที่มีความเหนียว ปลอดสารพิษ และมีความคงทนของสี มีอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมละลายอยู่ที่ 200 องศาเซลเซียส (420 องศาฟาเรนไฮ) ซึ่งถือเป็นอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงที่ต้องใช้ในการแปรสภาพของวัสดุ ดังนั้น เตียงของเครื่องปริ้นที่ใช้จะต้องถูกทำให้ความร้อนเสียก่อน ไม่เช่นนั้นก็จะเกิดการติดเนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำเกินไป ตามที่ระบุไว้ ABS จะนุ่มและยืดหยุ่นได้เมื่อได้รับความร้อนแต่ก็จะคืนตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิลดลง

ABS ทนน้ำและสารเคมีและไม่ก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์เมื่อถูกความร้อน เนื่องจากสารเคมีที่ปล่อยออกมาในไอจำเป็นต้องมีการระบายอากาศที่ดี และเนื่องจาก ABS สามารถเกิดความเสียหายได้เมื่อโดนรังสี UV ทำให้เกิดความเปราะและสีซีดลง จึงไม่เหมาะสำหรับการใช้งานกลางแจ้งเป็นเวลานาน

ดังนั้น ABS เหมาะสำหรับการสร้างแบบจำลองแนวคิดและการทำงานและในการผลิต เช่น การผลิตเกียร์หรือชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกัน

2.1.4.2 PLA (Polylactic Acid)

PLA เป็นพลาสติกโพลีเมอร์ที่ทำจากวัสดุชีวภาพ เช่น แป้งข้าวโพดหรืออ้อย คล้ายกับวัสดุที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ มันละลายระหว่าง 180-200 องศาเซลเซียสขึ้นอยู่กับวัสดุอื่น ๆ ที่เพิ่มลงในสีและพื้นผิว

PLA มีความเหนียวและยืดหยุ่น แต่ไม่ทนต่อความร้อนได้เท่ากับ ABS มันเริ่มเสียรูปที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียสและยังไม่ทนน้ำหรือสารเคมี มีกลิ่นเล็กน้อยเมื่อได้รับความร้อน แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไม่มีกลิ่นหรือไอระเหยที่เป็นพิษเนื่องจาก PLA พิมพ์ได้ง่ายกว่า ABS จึงเป็นตัวเลือกที่ต้องการสำหรับเครื่องพิมพ์ 3 มิติราคาประหยัด PLA สามารถยึดติดกับฐานที่ปูด้วยกาวสีขาวหรือเทปสีฟ้าซึ่งหมายความว่าไม่จำเป็นต้องใช้เตียงพิมพ์ที่ให้ความร้อนมากขนาดเท่า ABS ในภาวะและสภาพแวดล้อม ปกติ PLA สามารถอยู่ได้นานและสามารถย่อยสลายได้เมื่อฝังลงดิน อย่างไรก็ตามมันไม่ได้เป็นวัสดุ ชนิด food safe และค่อนข้างเปราะบาง งานพิมพ์อาจแตกเป็นเสี่ยงๆได้ ดังนั้น ผู้ผลิตบางรายจึงสร้างสิ่งที่พวกเขาเรียกว่า ‘tough PLA’ โดยการเติมสารเคมี เพื่อให้ได้ PLA ที่เปราะน้อยกว่าและทนความร้อนได้มากขึ้น หรือที่เรียกว่า PLA ชนิดเหนียว จึงสรุปได้ว่า PLA ใช้งานได้ดีสำหรับการพิมพ์ 3 มิติทั่วไป

2.1.4.3 PVA (Polyvinyl Alcohol)

PVA หรือ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์เป็นวัสดุการพิมพ์ 3 มิติชนิดใหม่ที่ใช้สำหรับรองรับการพิมพ์ 3 มิติ เป็นโพลีเมอร์สังเคราะห์และละลายน้ำได้ ละลายที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียสและปล่อยสารเคมีที่ไม่พึงประสงค์ออกมาเมื่อถูกความร้อนที่อุณหภูมิสูง

PVA ใช้ในเครื่องอัดรีดเครื่องพิมพ์ 3D มาตรฐานเพื่อสร้างชิ้นส่วนที่รองรับวัตถุอื่น ๆ และยึดติดกับเตียงพิมพ์แก้วที่มีความร้อนสูง เมื่อพิมพ์เสร็จแล้วให้จุ่มชิ้นส่วนลงในน้ำและชิ้นส่วน PVA จะละลายทิ้งส่วนที่เหลือของงานพิมพ์ที่ไม่ละลายน้ำไว้ด้านหลัง ทำให้ง่ายต่อการพิมพ์โมเดลที่ซับซ้อนที่ต้องการการรองรับหรือโมเดลที่มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหว

2.1.4.4 ไนลอน (Nylon)

ไนลอนถูกสร้างขึ้นเพื่อทดแทนผ้าไหม มีความต้านทานแรงดึงสูง (หมายถึง สามารถรับน้ำหนักได้มากโดยไม่แตกหัก) ไม่เป็นพิษและละลายที่อุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียส

การใช้ไนลอนในกระบวนการพิมพ์ 3 มิตินั้นค่อนข้างเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากงานพิมพ์มีความเหนียวและทนทานต่อความเสียหาย และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอื่น ๆ จึงมีราคาไม่แพงและไม่ได้รับความเสียหายจากสารเคมีทั่วไป ไนลอนต้องการอุณหภูมิที่สูงกว่าในการพิมพ์เมื่อเปรียบเทียบกับชนิด ABS และ PLA ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้วัสดุหลอมละลายอยู่ที่ 250 องศาเซลเซียส ซึ่งร้อนเกินกว่าที่เครื่องอัดรีดจำนวนมากสามารถจัดการได้ นอกจากนี้ยังเป็นการยากมากกว่า ABS หรือ PLA ที่จะทำให้ไนลอนที่พิมพ์ออกมาติดบนเตียงพิมพ์ โดยปกติจะต้องใช้ทั้งเตียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

พิมพ์แบบอุ่นและกาวสีขาวเพื่อติดระหว่างการพิมพ์ ส่วนงานพิมพ์ที่เหมาะสำหรับพิมพ์ด้วยไนลอน ได้แก่ ภาชนะที่สัมผัสกับอาหารและกระถางต้นไม้ที่ใช้การเลี้ยงแบบน้ำ

นอกจากที่กล่าวเป็นตัวอย่างไปข้างต้น ยังมีประเภทวัสดุอื่นเพิ่มเติมอีก ดังนี้

- HDPE หรือ โพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง

  ใช้ในท่อและบรรจุภัณฑ์ที่สามารถรีไซเคิลได้ เช่น ขวดพลาสติกและบรรจุภัณฑ์ซึ่งมีรหัสประจำตัว รีไซเคิล 2 ต้องใช้เครื่องอัดรีดที่สามารถเข้าถึงอุณหภูมิที่สูงขึ้นและเตียงพิมพ์แบบอุ่น ทั้งนี้ HDPE ยังมีแนวโน้มที่จะหดตัวเมื่อเย็นลงซึ่งอาจทำให้งานพิมพ์บิดเบี้ยวได้ ส่วนงานที่นิยมนำไปใช้และใช้งานได้ดี คือ การพิมพ์สำหรับงานพิมพ์น้ำหนักเบาและใช้พิมพ์เป็นส่วนรองรับโครงสร้าง (Support) งานพิมพ์ ABS
- PET (Polyethylene terephthalate)

  คล้ายกับโพลีเอสเตอร์เรียกอีกอย่างว่า t-glase มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ เมื่อเย็นตัวชิ้นงานที่ได้จะกลายเป็นของแข็งคล้ายแก้ว ได้รับการรับรองสำหรับใช้กับอาหารดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการพิมพ์ภาชนะถ้วยขวดน้ำและสิ่งของอื่น ๆ ที่สัมผัสกับอาหาร
- PETG

  เป็นรูปแบบของ PET ที่รวมกับไกลคอล มีความโปร่งใสสูงและสามารถพิมพ์ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าด้วยความเร็วในการไหลที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้พิมพ์ได้เร็วขึ้น เนื่องจากมีความทนทานต่อสภาพอากาศจึงมักใช้กับเครื่องใช้ในสวนและยังเป็นวัสดุชนิด food safe ดังนั้นจึงมีประโยชน์สำหรับภาชนะบรรจุอาหาร

  และยังมีวัสดุอื่นๆ เพิ่มเติม ดังนี้ เส้นใยไม้, ยิปซั่ม, เซรามิกส์, เส้นใยโลหะ, เส้นใยผสมของคาร์บอนไฟเบอร์, ฟิล์มคอนดัคทีฟ และ FLEXIBLE FILAMENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.2 ม้วนฟิลาเมนต์

2.2 หลักการออกแบบและเครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์ที่มีในท้องตลาด

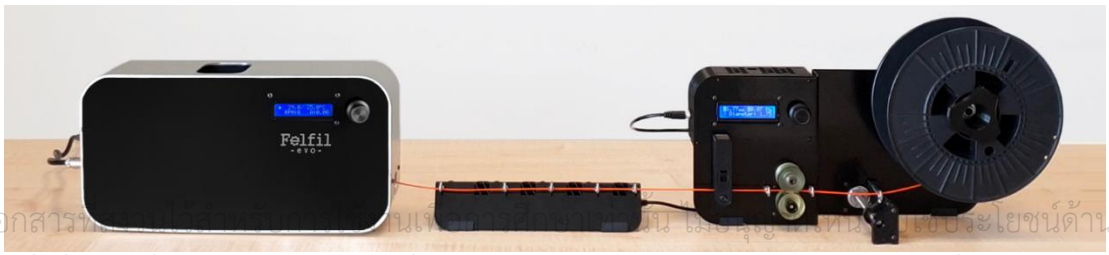
ในปัจจุบันมีผู้ผลิตบางรายให้ความสนใจในการรีไซเคิลฟิลาเม้นและได้ทำการจัดจำหน่ายเครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์ขึ้น นอกจากนี้ยังมีผู้ใช้รายย่อยการบางส่วนที่มีการประดิษฐ์เครื่องรีไซเคิลที่ใช้ในครัวเรือน ในหัวข้อนี้คณะผู้จัดทำจึงหยิบยกผลิตภัณฑ์บางส่วนที่ทางคณะผู้จัดทำใช้เป็นต้นแบบในการศึกษา

2.2.1 กรณีศึกษาเครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์ในท้องตลาด

2.2.1.1 เครื่องผลิต 3D printing filament จากผู้ผลิต Felfil

ชื่อผลิตภัณฑ์ : Felfil Evo Filament Extruder และ Felfil Spooler

โดยผู้ผลิตแบ่งผลิตภัณฑ์เป็นสองส่วน ซึ่งก็คือส่วน การหลอมและฉีดเส้นพลาสติก (Extruder part) อีกส่วนหนึ่งเป็นการดึงเก็บม้วน (Spool : Sensor and winding part)



รูปที่ 2.3 Filament maker จากผู้ผลิต Felfill

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.4 ผลิตภัณฑ์ส่วนการหลอมและฉีดฟิลาเมนต์ Felfil Evo Filament Extruder

รูปที่ 2.5 ผลิตภัณฑ์ส่วนการดึงม้วนเก็บฟิลาเมนต์ Felfil Evo Filament Extruder

รูปที่ 2.6 ผลิตภัณฑ์ส่วนของเซนเซอร์และการดึงเก็บฟิลาเมนต์ในแบบผู้ผลิต Felfil

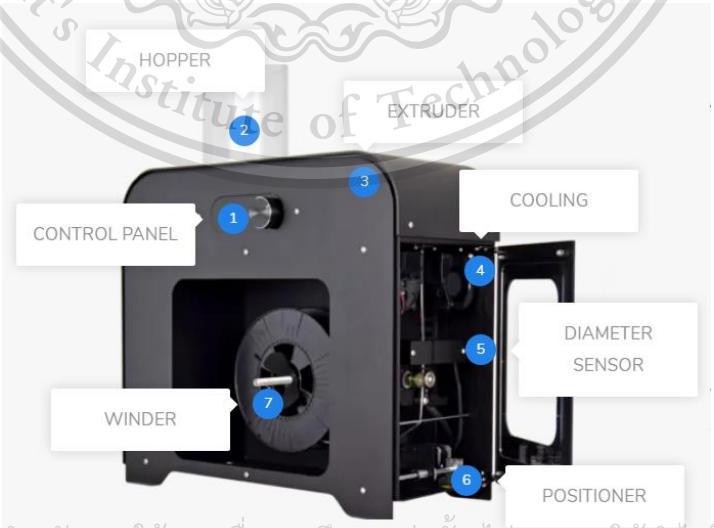
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.1.2 เครื่องผลิต 3D printing filament จากผู้ผลิต 3devo

ชื่อผลิตภัณฑ์ : Filament Makers

ทุกส่วนของการทำงานถูกออกแบบให้รวมอยู่ในเครื่องเดียวกัน ทั้งการหลอมและฉีดฟิลาเมนต์ การวัดขนาดฟิลาเมนต์ และ การม้วนเก็บฟิลาเมนต์ที่ได้

รูปที่ 2.7 ผลิตภัณฑ์ Filament Makers จากผู้ผลิต 3devo



รูปที่ 2.8 รูปภาพอธิบายส่วนประกอบภายในผลิตภัณฑ์ Filament Makers จากผู้ผลิต 3devo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบภายในเครื่องผลิตฟิลาเมนต์จากผู้ผลิต 3devo ซึ่งประกอบไปด้วย 7 ส่วน ได้แก่

1. Control Panel หรือ แผงควบคุม ใช้ในการมอนิเตอร์และปรับค่าที่ต้องการในการผลิตฟิลาเมนท์
2. Hopper ช่องสำหรับใส่วัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นเส้นพลาสติกฟิลาเมนต์
3. Extruder ส่วนได้จากหลอมวัสดุละฉีดออกมาเป็นเส้นพลาสติกฟิลาเมนต์
4. Cooling ส่วนที่ทำให้พลาสติกที่ฉีดออกมาเซ็ตตัวเร็วยิ่งขึ้นด้วยการลดอุณหภูมิของเส้นฟิลาเมนต์ โดยการใช้พัดลม
5. Diameter Sensor ส่วนเซนเซอร์วัดขนาดเส้นพลาสติกฟิลาเมนต์ที่ฉีดออกมา
6. Positional กลไลบังคับตำแหน่งเส้นพลาสติกฟิลาเมนต์ให้ขยับไปมาเพื่อจัดเรียงเส้นพลาสติกฟิลาเมนต์ตามทิศทางการม้วนเก็บในส่วน Winding
7. Winder ส่วนการม้วนเก็บเส้นพลาสตอกฟิลาเมนต์ที่ได้เป็นม้วนเผื่อสามารถนำใช้งานต่อไปกับ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ได้สะดวกยิ่งขึ้น

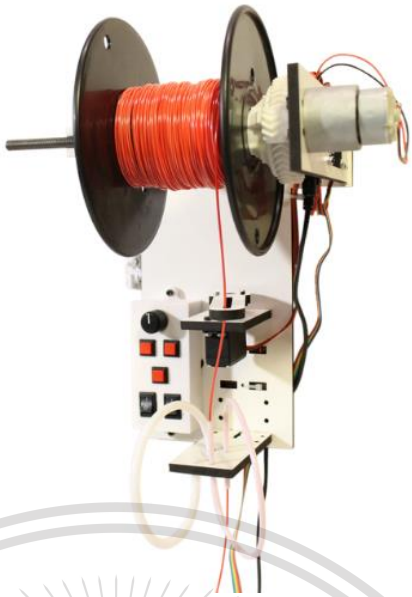
2.2.1.3 เครื่องผลิต 3D printing filament จากผู้ผลิต FILASTRUDER

ชื่อผลิตภัณฑ์ : FILASTRUDER KIT และ FILAWINDER

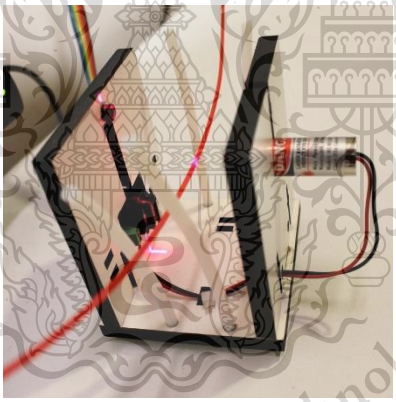
เช่นเดียวกับผู้ผลิต Felfil ผู้ผลิต FILASTRUDER ได้แบ่งผลิตภัณฑ์เป็น 2 ผลิตภัณฑ์ คือส่วนการหลอมและฉีดเส้นพลาสติก (Extruder part) อีกส่วนหนึ่งเป็นการดึงเก็บม้วน (Spool : Sensor and winding part)

รูปที่ 2.9 FILASTRUDER KIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.10 FILAWINDER



รูปที่ 2.11 ส่วนเซนเซอร์ที่ผู้ผลิตเลือกใช้

จากรูปที่ 2.8 2.9 และ 2.10 ผู้ผลิตออกแบบให้ส่วนผลิตภัณฑ์ FILASTRUDER เป็นส่วนที่ใช้ในการหลอมละลายวัสดุและฉีดเส้นพลาสติกฟิลาเมนต์ และ ใช้การม้วนเก็บโดยการใช้ผลิตภัณฑ์ FILAWINDER ม้วนเก็บเป็นม้วนฟิลาเมนต์สำหรับนำไปใช้งานต่อไป โดยทางผู้ผลิตก็ได้มีการนำเซนเซอร์มาใช้ในการควบคุมคุณภาพของเส้นพลาสติกที่ได้ โดยการใช้ข้อมูลที่ได้กลับมาเขียนเป็นโปรแกรมควบคุมแบบ Closed Loop Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.2 หลักการออกแบบ

จากผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตที่คณะผู้จัดทำนำมาใช้ในการศึกษาการแบ่งส่วนประกอบใหญ่ๆ ออกเป็น 3 ส่วน

1. Filament Extruder part

   ส่วนสำคัญที่ใช้ในการแปรสภาพพลาสติกหรือวัสดุใดๆที่จะนำมาฉีดเป็นเส้นพลาสติกฟิลาเมนต์ โดยจะใช้การให้ความร้อนแก่วัสดุ เช่นเดียวกับการพิมพ์ 3 มิติ ที่จะนำวัสดุที่ใช้มาทำให้เกิดความร้อนและอ่อนตัว จากนั้นจึงฉีดเส้นพลาสติดที่ยังไม่คงตัวตามชั้น (Layor) ของชิ้นงานจนเกิดเป็น ชิ้นงาน 3 มิติ ทั้งนี้ในส่วนนี้จะเห็นได้ว่าจะมีส่วนให้ความร้อนภายในท่อหรือผลิตภัณฑ์อื่นตามการออกแบบของผู้ผลิต ก่อนจะใช้การผลักของ

2. Sensor

   เมื่อได้เส้นพลาสติกฟิลาเม้นจากส่วน Extruder แล้วจะใช้เซนเซอร์เข้ามาตรวจวัดคุณภาพหรือเป็นการรับข้อมูลเพื่อส่งต่อให้กับส่วนโปรแกรมควบคุม อาจจะทั้งการควบคุมอุณหภูมิและการปรับความเร็วมอเตอร์ในส่วน Extruder part และ Winding Part แล้วแต่ผู้ผลิตต่างกันไป

3. Winding Part

   ส่วนที่ใช้ในการม้วนเก็บเส้นพลาสติกฟิลาเมนต์ที่ได้ขึ้นเป็นม้วนฟิลาเมนต์ซึ่งเป็นรูปลักษณ์ที่รู้จักกันดี และ สามารถนำไปใช้ในการพิมพ์ 3 มิติ ต่อไปได้สะดวกยิ่งขึ้น

ในการออกแบบเครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คณะผู้จัดทำจึงแบ่งส่วนของเครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์ออกเป็น 3 ส่วน ตามที่กล่าวไปด้านบน โดยส่วนที่ 1 Extruder Part จะเป็นการหลอมขยะจากการพิมพ์ 3 มิติ โดยนำชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐานหรือส่วนเสริมโครงสร้างที่เกิดจากการพิมพ์ชิ้นงาน มาบดหรือทำให้มีขนาดเล็กลงเป็นลักษณะคล้ายเม็ดพลาสติกขนาดเล็ก ก่อนนำไปหลอมและฉีดเส้นพลาสติกฟิลาเมนต์ออกมา

ในส่วนที่ 2 ซึ่งจะเป็นส่วนของ เซนเซอร์ ในส่วนนี้ผู้จัดทำมีแนวคิดในการใช้วัดระดับการหย่อนของเส้นฟิลาเมนต์ที่ฉีดออกมา จากส่วนที่ 1 ซึ่งจะไว้ด้านบนให้ตัวเครื่องฉีดพลาสติกลงมาโค้งผ่านส่วนเซนเซอร์ ที่ใช้หลักการฉายแสงของโฟโต้รีซิสเตอร์ เพื่อวัดระดับความหย่อนว่าอยู่ที่ระดับใด โดยใช้การเกิดเงาที่ตัวรับว่าเกิดที่ตัวใด แล้วม้วนขึ้นเก็บเป็นม้วนพลาสติกต่อไปในส่วน ที่ 3 Winding Part ในส่วนที่ 2 หรือ ส่วนเซนเซอร์เมื่อรับข้อมูลจากเซนเซอร์จะนำมาประมวลผลผ่านโปรแกรมควบคุมที่เขียนขึ้น ไปสั่งการให้ความเร็วมอเตอร์ในส่วนที่ 3 ซึ่งเป็นความเร็วในการดึงม้วนเก็บเส้นฟิลา

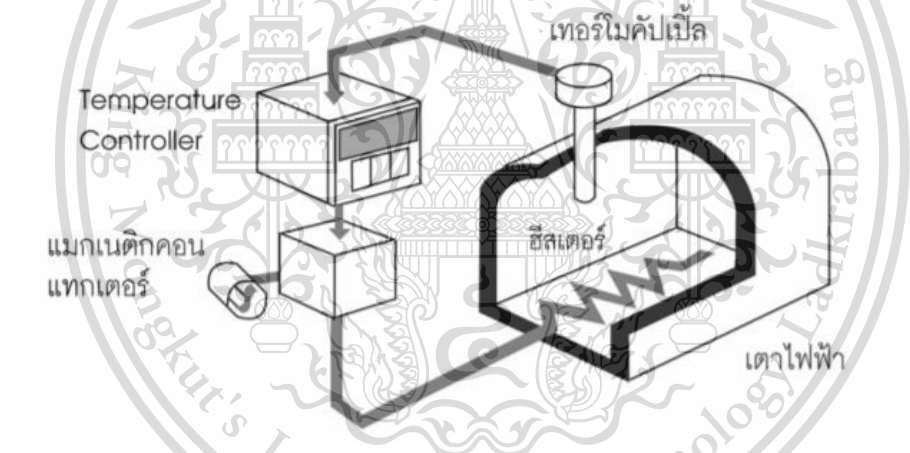
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมนต์ ทั้งนี้ในเบื้องต้นผู้จัดทำคาดว่าจะต้องมีการทดลองหลายครั้งเพื่อหาจุดเหมาะสมในการติดตั้งส่วนของเซนเซอร์ต่อไป

ในแต่ละส่วนของเครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์จะมีส่วนงานที่ต่างกันไปอีก ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้จำแนกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการควบคุมและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และ ส่วนการออกแบบทางกล ซึ่งจะอธิบายแต่ละส่วนและความรู้ที่ใช้ในหัวข้อถัดไป

2.3 การควบคุมและวงจรอิเล็กทรอนิกส์

2.3.1 การควบคุมอุณหภูมิ เป็นการควบคุมแบบระบบปิด โดยมีการตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม (Set Point) ไว้ที่ตัวควบคุม เอาต์พุตของตัวควบคุมจะถูกต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่เป็นตัวตัดต่อไฟให้กับแหล่งจ่ายความร้อน เช่น ฮีตเตอร์ อุณหภูมิของระบบจะถูกวัดโดยตัววัดอุณหภูมิ และส่งกลับมายังตัวควบคุมเพื่อเปรียบเทียบกับเซตพอยต์ ตัวควบคุมจะนำผลต่างที่ใช้ไปคำนวณเพื่อให้เอาต์พุตออกมาเพื่อทำให้อุณหภูมิที่วัดได้มีค่าเท่ากับเซตพอยต์ ดังรูปตัวอย่าง



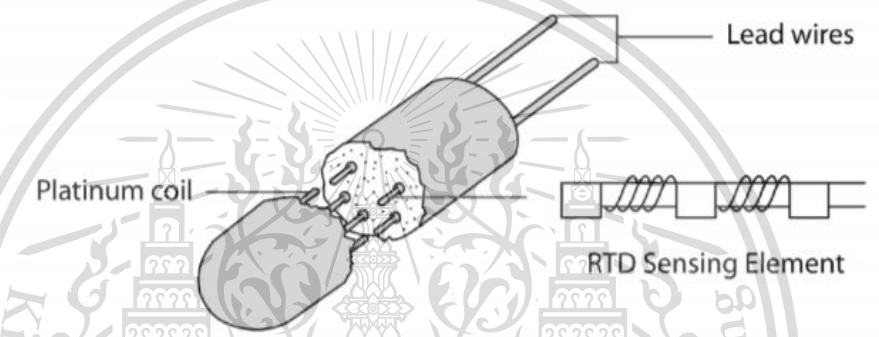
รูปที่ 2.12 การควบคุมอุณหภูมิของระบบเตาเผาไฟฟ้า

จากรูป เตาเผาไฟฟ้าจะได้ความร้อนจากฮีตเตอร์ เทอร์โมคัปเปิ้ลจะทำหน้าที่วัดอุณหภูมิในเตาแล้วส่งไปที่ตัวบควบคุมที่ตั้งค่าเซตพอยต์ไว้ ถ้ามีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้กับค่าเซตพอยต์ (Deviation) ตัวควบคุมจะพยายามทำให้ความแตกต่างนั้นเหลือน้อยจนเท่ากับ 0 โดยจะทำการให้เอาต์พุต (Manipulate Variable: MV) ออกมา โดยตัวอย่างนี้ เอาต์พุตของตัวควบคุมเป็นรีเลย์หรือหน้าสัมผัสทำหน้าที่ตัดต่อไฟให้กับแมคเนติกคอนแทคเตอร์ที่เป็นตัวตัด/ต่อไฟให้กับฮีตเตอร์อีกทอดหนึ่ง บล็อกไดอะแกรมข้างล่าง แสดงถึงไดอะแกรมของการควบคุมอุณหภูมิของระบบเตาไฟฟ้านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

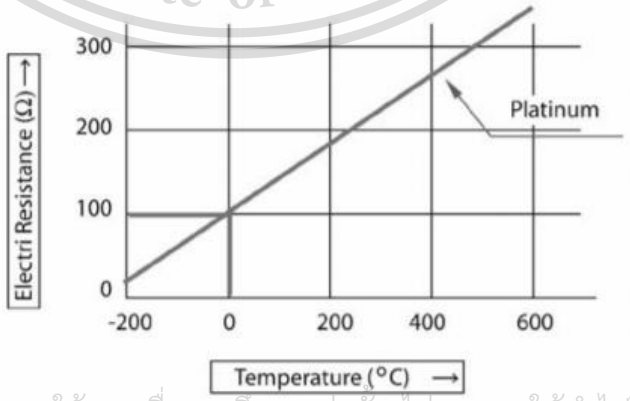
การควบคุมอุณหภูมิเป็นการควบคุมแบบลูปปิด นั่นคือจะต้องมีสัญญาณป้อนกลับมาจากระบบที่ควบคุมมาเปรียบเทียบกับเซตพอยต์เพื่อปรับแต่งการควบคุม อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอุณหภูมิเป็นสัญญาณฟฟ้าแล้วส่งกลับมาที่ตัวควบคุมเรียกว่า "อินพุตเซนเซอร์" ซึ่งในโครงงาน เราใช้เป็น RTD

Resistance Thermometer Device (RTD) เป็นอินพุตเซนเซอร์ที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงโดยจะแปรผันตรงกัน กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานของ RTD ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย RTD ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ PT100 โดยใช้วัสดุจากธาตุทองคำขาว(Platinum) มาทำเป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของ RTD ชนิด PT100

คุณสมบัติเด่นของ PT100 คือมีความเป็นเชิงเส้นสูง นั่นคือความต้านทานที่เปลี่ยนไปต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจะเป็นสัดสวนคงที่ ดังนั้น PT100 จึงสามารถคำนวณหาอุณหภูมิที่วัดได้เมื่อรู้ค่าความต้านทานที่ตัวมัน P100 จะมีช่วงของการวัดอยู่ที่ประมาณ -200 ถึง 850 องศาเซลเซียส และมีช่วงของความต้านทานอยู่ที่ประมาณ 18 ถึง 400 โอห์ม โดยที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส PT100 จะมีความต้านทาน 100 โอห์ม พอดี



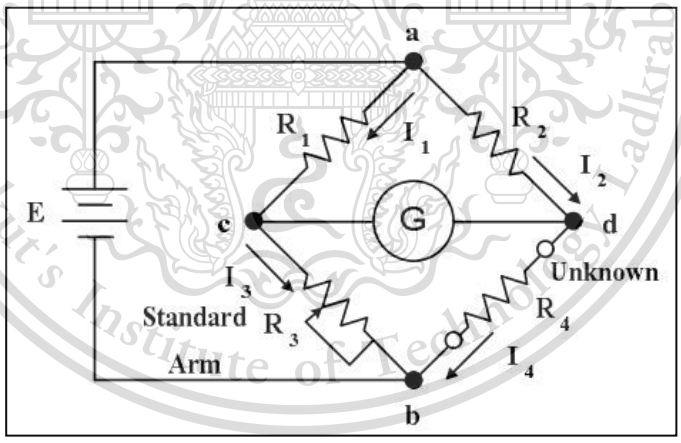
รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความต้านทานของ PT100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

PT100 มีอยู่หลายมาตรฐาน ซึ่งแตกต่างกันที่ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปต่อ 1 หน่วยของอุณหภูมิ เช่น PT100 มาตรฐานเยอรมัน ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส PT100 จะมีความต้านทาน 100 โอห์ม แต่ที่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะมีความต้านทาน 138.5 โอห์ม นั่นคือ ความต้านทานเปลี่ยนไป 0.385 โอห์ม ทุกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ในขณะที่ PT100 มาตรฐานญี่ปุ่น หรือ PT100 ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส PT100 จะมีความต้านทาน 100 โอห์ม แต่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะมีความต้านทาน 139.2 โอห์ม นั่นคือ ความต้านทานเปลี่ยนไป 0.392 โอห์ม ทุกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ดังนั้นการที่ต้องทราบว่า PT100 ที่ใช้อยู่เป็นมาตรฐานใดจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ

2.3.2 Wheatstone Bridge

DC Bridge เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งมีค่าความถูกต้องสูง ประเภทที่ใช้ในปัจจุบันคือ วีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge)
วงจรภายในเครื่องวัดชนิดนี้ ประกอบด้วย



รูปที่ 2.15 วงจร Wheatstone Bridge

1) ตัวต้านทานที่ต่อขนานกัน 2 สาขา แต่ละสาขาประกอบตัวต้านทาน 2 ตัวต่ออนุกรมกัน
2) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (E) ต่อขนานกับตัวต้านทานของวงจรทำหน้าทีจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านตัวต้านทานในวงจร
3) กัลวานอมิเตอร์ (G) ซึ่งต่อกับขั้วสายที่ขนานกันทำหน้าที่ตรวจจับ(detect)กระแสไฟฟ้าเพื่อบ่งบอกสภาพของวงจร ในกรณีที่วงจรบริดจ์สมดุลเข็มจะชี้ที่ศูนย์ แต่ถ้าไม่สมดุลเข็มจะเบี่ยงเบน (กัลวานอมิเตอร์เป็นเครื่องวัดที่มีความไวต่อกระแสไฟฟ้าสูงใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้า

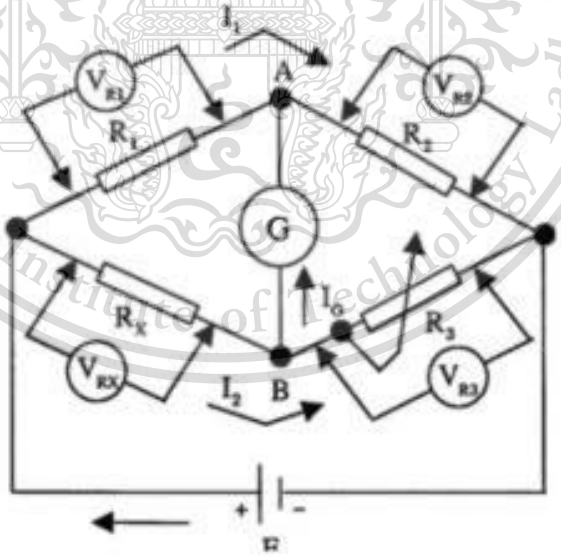
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จำนวนน้อยๆ (เป็นไมโครแอมป์) หรือบางครั้งใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าเพื่อแสดงให้รู้ว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรหรือไม่)

วงจรบริดจ์ไฟกระแสตรง ส่วนมากใช้ในการวัดหาค่าความต้านทาน วงจรบริดจ์แบบวีทสโตนบริดจ์เป็นวงจรที่นิยมใช้ เนื่องจากให้ความถูกต้องในการวัดได้สูงถึง 0.01 ถึง 1% ใช้วัดค่าความต้านทานระหว่าง 1 โอห์มถึง 1 เมกกะโอห์ม

วงจรบริดจ์ในสภาวะสมดุล (Balanced Bridge Circuit)

ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Circuit) วงจรบริดจ์ที่ใช้กันมาก คือ วีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) ซึ่งจะใช้วิธีการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้โดยวงจรบริดจ์จะประกอบด้วยค่าความต้านทาน 4 ค่า คือ R1, R2, R3 (ค่าความต้านทานค่าคงที่) และ RX (ค่าความต้านทานไม่ทราบค่า) การปรับค่าความต้านทานในวงจรบริดจ์จะปรับที่ความต้านทาน R3 โดยปรับจนตำแหน่งของเข็มกัลป์วานอร์มิเตอร์ ชี้ค่าที่ตำแหน่งศูนย์ในสภาวะอย่างนี้เรียกว่า สภาวะวงจรบริดจ์สมดุล (Balance Bridge Circuit) เนื่องจากจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกัลป์วานอร์มิเตอร์ (IG = 0) และค่าแรงดันระหว่างจุด A และ B จะมีค่าเท่ากันนั่นคือ $V_A = V_B$



รูปที่ 2.16 Balanced Bridge Circuit

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_x}{R_3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วงจรบริดจ์ในสภาวะไม่สมดุล (Unbalanced Bridge Circuit)

ในสภาวะวงบริดจ์ไม่สมดุลเกิดจากอัตราส่วนของค่าความต้านทานในวงจรบริดจ์ไม่เท่ากันนั่นคือ R1R2 ≠ RxR3 ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมความต้านทานในวงจรบริดจ์ไม่เท่ากันด้วย คือ VR1 ≠ VRX และ VR2 ≠ VR3 ส่งผลให้ค่าความต่างศักย์ที่จุด A และ B มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ คือ VAB ≠ 0 จึงทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกัลป์วานอมิเตอร์ (IG) เข็มของกัลป์วานอมิเตอร์จะชี้และเบี่ยงเบนตามปริมาณกระแสที่ไหลผ่านสภาวะอย่างนี้เรียกว่า สภาวะวงบริดจ์ไม่สมดุล (Unbalanced Bridge Circuit)

$$\frac{R_1}{R_3} \neq \frac{R_x}{R_3}$$

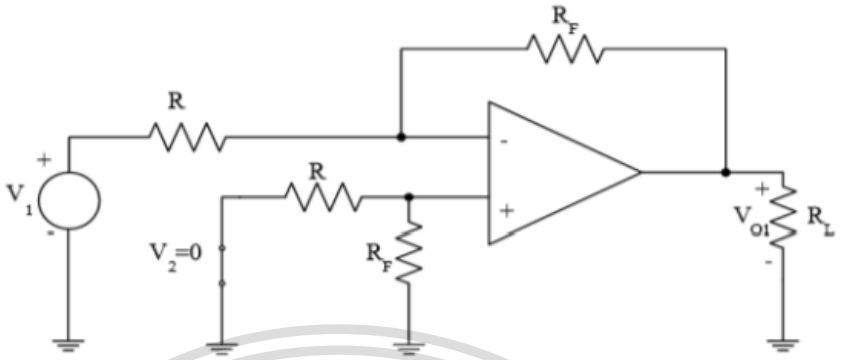
2.3.3 Differential OpAmp

ออปแอมป (Operation Amplifier, Op-Amp) หรือวงจรขยายเชิงดำเนินการ เป็นอุปกรณ์วงจรรวมหรือไอซีประเภทเชิงเส้น (Linear Integrated Circuit) ซึ่งมีการนำไปใช้ในงานประยุกต์ต่างๆ อย่างกว้างขวาง ออปแอมป์ถูกออกแบบครั้งแรกในปี 1948 เพื่อช่วยปฏิบัติการด้านคณิตศาสตร์ในเครื่องอนาล็อกคอมพิวเตอร์ (Analog Computer) ดั้งนั้น จึงใช้ชื่อว่า Operational Amplifier ซึ่งหมายถึง วงจรขยายดำเนินการ นอกจากนี้ออปแอมป์ ยังได้ถูกนำไปใช้ในงานประยุกต์ต่างๆ มากมาย ทั้งนี้ก็เนื่องจากเป็นวงจรขยายต่าง (Differential Amplifier) ที่มีอัตราขยายที่สูงมากและการออกแบบและวิเคราะห์วงจรที่ใช้ออปแอมป์ก็สามารถทำได้ง่ายงานประยุกต์ใช้ออปแอมป์จะพบได้ในวงจรเครื่องวัด, วงจรแสดงผล และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุมกระบวนการ, วงจรปรับสัญญาณ, วงจรสื่อสาร, ระบบเตือนภัย, วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทาด้านการแพทย์ด้านวิทยาศาสตร์ และในระบบคอมพิวเตอร์ เป็นต้น จะเห็นได้ว่าออปแอมปได้ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ดังนั้นจึงอาจเรียกออปแอมป์ได้ว่า เป็นวงจรขยายเชิงเสนอเนกประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วงจรลบสัญญาณ (Difference Amplifier)

เป็นวงจรที่สัญญาณเอาท์พุตเป็นผลจากการลบกันของสัญญาณอินพุตทั้งสอง

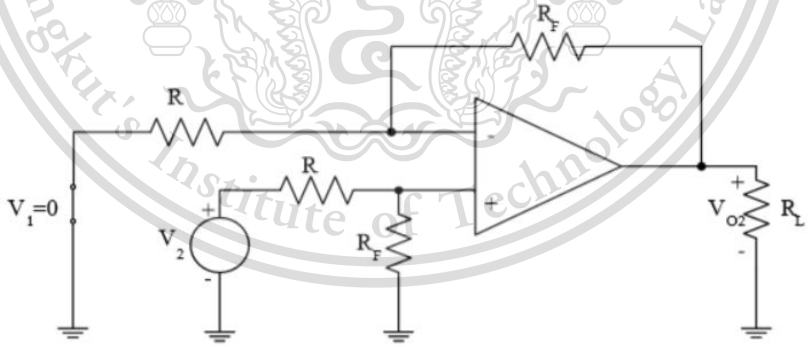


รูปที่ 2.17 วงจร Difference Amplifier พิจารณา V_1 โดยให้ $V_2 = 0$

จากนั้น ให้ $V_1 = 0$ เราจะได้วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส ได้ V_{o2} คือ

$$V_{o2} = \left(1 + \frac{R_F}{R}\right)\left(\frac{R_F}{R+R_F}\right)V_2$$

$$= \frac{R_F}{R}V_2$$



รูปที่ 2.18 วงจร Difference Amplifier พิจารณา V_2 โดยให้ $V_1 = 0$

ดังนั้น $V_o = V_{o1} + V_{o2}$ คือ

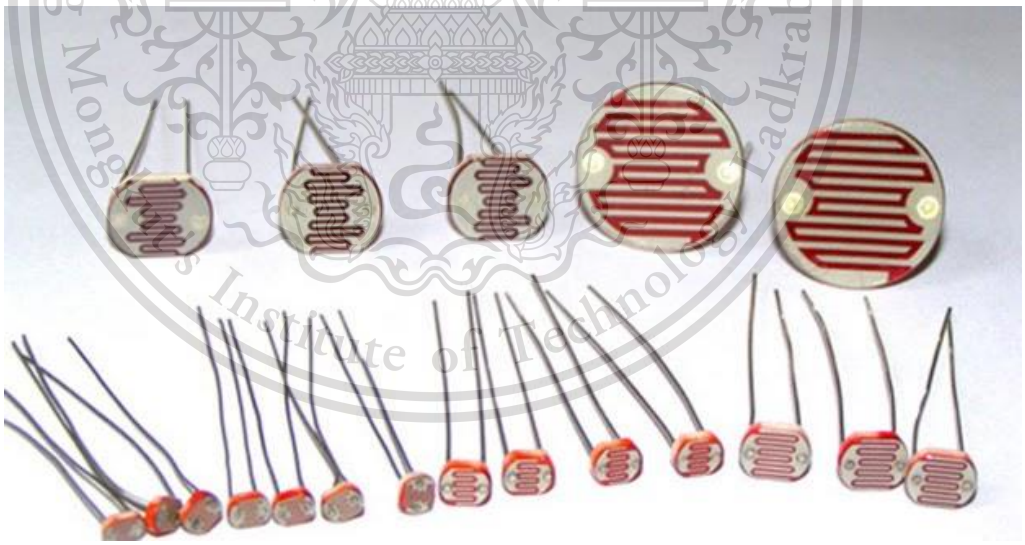
$$V_o = \frac{R_F}{R}(V_2 - V_1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4 การออกแบบทางกล

2.4.1 Photoresistor

ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้โดยใช้แสง อุปกรณ์โฟโต้ริซิสเตอร์ (Photoresistor) มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Light - Dependent Resistor (LDR) ซึ่งเป็นตัวต้านทานที่ทำงานโดยอาศัยแสงที่มาตกกระทบ นั่นคือ วัสดุที่ใช้ทำโฟโต้ริซิสเตอร์ เมื่อถูกแสงจะมีค่าความนำมากขึ้น หรือทำให้ค่าความต้านทานลดลงนั่นเอง โฟโต้ริซิสเตอร์สร้างจากวัสดุนำแสงที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ ซึ่งค่าความต้านทานของวัสดุนี้ลดลงเมื่อมีแสงมาตกกระทบ โดยพลังงานแสงจะถูกดูดซึมจากอะตอมที่มีอยู่มากมายในวัสดุนำแสงนี้และทำให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกสุด(Valence Electron) ออกมา ด้วยเหตุผลของจำนวนอิเล็กตรอนอิสระมากขึ้น จึงทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านโฟโต้ริซิสเตอร์ได้มาก ดังนั้นจึงทำให้ความต้านทานมีค่าลดลงด้วยการนำอุปกรณ์โฟโต้ริซิสเตอร์ไปใช้งาน เช่น การนำไปใช้ในอุปกรณ์ปิดเปิด ไฟส่องสว่างภายนอกอาคารโดยใช้เวลาช่วงกลางวัน แสงสว่างจากดวงอาทิตย์จะทำให้ค่าความต้านทานของโฟโตริซิสเตอร์ไปลดลงและค่าความต้านทานที่ลดลงนี้จะถูกนำไปใช้ในการปิดไฟส่องสว่าง ส่วนในช่วงเวลากลางคืนค่าความต้านทานของโฟโต้ริซิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นไฟส่องสว่างจะเปิดอีกครั้ง



รูปที่ 2.19 Photoresistor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.2 Cycloidal drive

Cycloidal drive หรือตัวลดความเร็ว cycloidal เป็นกลไกในการลดความเร็วของเพลาอินพุตด้วยอัตราทดที่แน่นอน ตัวลดความเร็วcycloidalมีอัตราทดที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับขนาดที่กะทัดรัดและมีbacklashต่ำมาก เพลาอินพุทจะขับเคลื่อนแบริ่งที่มีความเบี้ยว ซึ่งจะขับเคลื่อนแผ่นดิสก์ cycloidal ในลักษณะที่มีความเบี้ยว เส้นรอบวงของแผ่นดิสก์นี้ได้รับการปรับให้เข้ากับเฟืองวงแหวนที่หยุดนิ่งและมีชุดหมุดหรือลูกกลิ้งของเพลาส่งออกวางไว้ที่ด้านหน้าของแผ่นดิสก์ หมุดเพลาขาออกเหล่านี้จะขับเคลื่อนเพลาขาออกโดยตรง เมื่อแผ่นดิสก์ไซโคลลอยด์หมุน การเคลื่อนที่ในแนวรัศมีของแผ่นดิสก์จะไม่ถูกส่งไปยังเพลาขาออก

รูปที่ 2.20 Cycloidal drive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

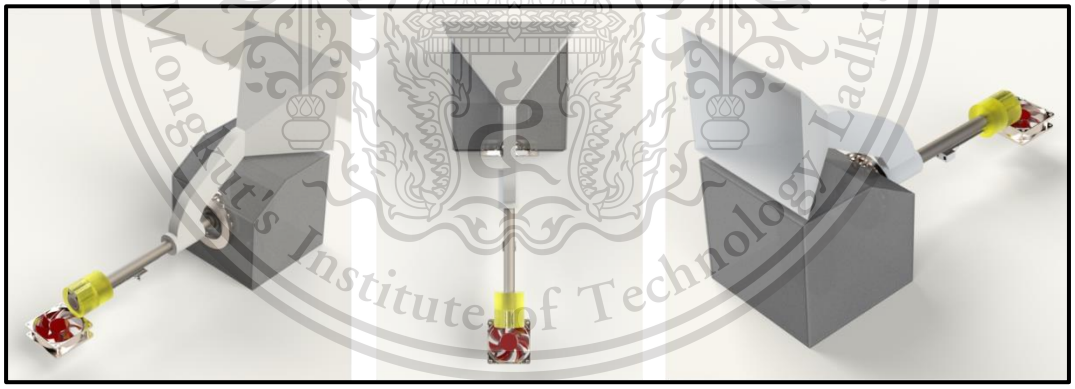
บทที่ 3
หลักการออกแบบ

โครงงานเครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์ที่เสียจากการพิมพ์สามมิติ จะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ Filament Extruder Part, Sensor Part และ Winding Part โดยบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบในแต่ละส่วน

3.1 Filament Extruder Part

Filament Extruder Part คือ ส่วนการหลอมพลาสติกหรือฟิลาเมนต์ที่ทำการบดแล้ว โดยจะกรอบไปด้วยกรวย, ท่อเหล็ก และดอกสว่าน หลักการคือ เมื่อทำการบดพลาสติกหรือฟิลาเมนต์แล้ว จะนำลงไปใส่ในกรวย จากกรวยผ่านท่อ ภายในท่อจะมีดอกสว่านเพื่อใช้ในการลำเลียงพลาสติกหรือฟิลาเมนต์ที่บดแล้วลงไปสู่ปลายท่อ โดยปลายท่อจะทำการติดตั้งฮีตเตอร์เพื่อทำการหลอมพลาสติกหรือฟิลาเมนต์ และจะมีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเพื่อ ควบคุมฮีตเตอร์ให้ได้อุณหภูมิในการหลอมละลายอยู่ในช่วงที่ทำการตั้งค่าไว้ เมื่อหลอมจนพลาสติกละลาย พลาสติกที่ละลายแล้วจะถูกดันออกมาจากรูที่ปลายท่อเป็นเส้นพลาสติก จากนั้นจะมีพัดลมสำหรับทำให้เส้นพลาสติกเย็นลงและเซ็ตตัวได้เร็วขึ้น

3.1.1 การออกแบบโดยโปรแกรม SolidWorks



รูปที่ 3.3 การออกแบบ Filament Extruder Part โดยโปรแกรม SolidWorks

เมื่อทำการทดลองในตอนแรกพบว่ามอเตอร์ในส่วนที่หลอมพลาสติกมีกำลังในการขับไม่เพียงพอและขับได้เร็วเกินไป จึงต้องหาชุดเกียร์เข้ามาเสริมมอเตอร์ต้นกำลัง ซึ่งในที่นี้เลือกcycloidal driveเพราะเนื่องจากพื้นที่ที่มีจำกัด, ต้องการลดความเร็วที่ออกมาจากมอเตอร์ต้นกำลังและต้องการกำลังในการขับที่มากขึ้น เพราะฉะนั้นจึงเลือก cycloidal drive เข้ามาเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สมการสองสมการที่กำหนดรูปร่างของโรเตอร์(Rotor) มีดังต่อไปนี้

$$X = (R \times \cos(t)) - (Rr \times \cos(t + \arctan(\sin((1-N)\times t) / ((R/EN)-\cos((1-N)\times t))))) - (E \times \cos(N \times t))$$

$$Y = (-R \times \sin(t)) + (Rr \times \sin(t + \arctan(\sin((1-N)\times t) / ((R/EN)-\cos((1-N)\times t))))) + (E \times \sin(N \times t))$$

E คือ the eccentricity (หรือ offset) จาก Input Shaft ไปยังศูนย์กลางของโรเตอร์

R คือ รัศมีของโรเตอร์ (Rotor)

Rr คือ รัศมีของลูกกลิ้ง (Rollers)

N คือ จำนวนลูกกลิ้ง (Rollers)

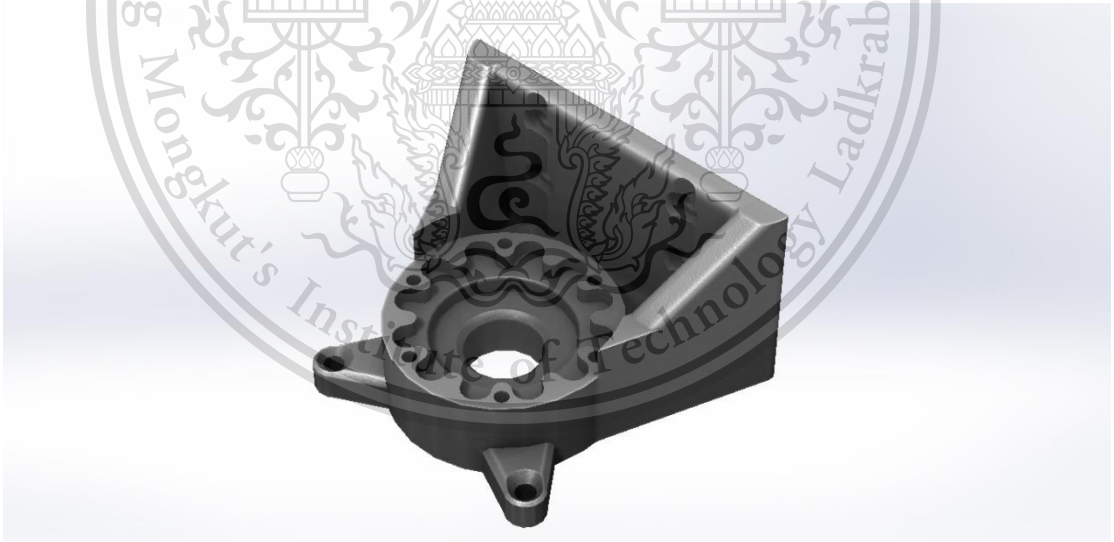
แทนค่า

$$X = (25 \times \cos(t)) - (2.5 \times \cos(t + \arctan(\sin(-11\times t) / ((25/24)-\cos(-11\times t))))) - (2 \times \cos(12 \times t))$$

$$Y = (-25 \times \sin(t)) + (2.5 \times \sin(t + \arctan(\sin(-11\times t) / ((25/24)-\cos(-11\times t))))) + (2 \times \sin(12 \times t))$$

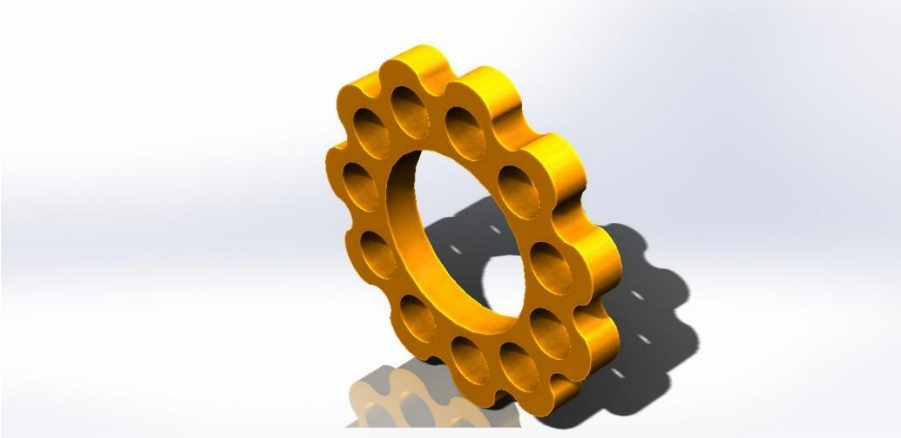
โดยที่ $t_1 = (-10/360) \times (2\times\pi)$

$t_2 = (190/360) \times (2\times\pi)$



รูปที่ 3.2 Rotor Housing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



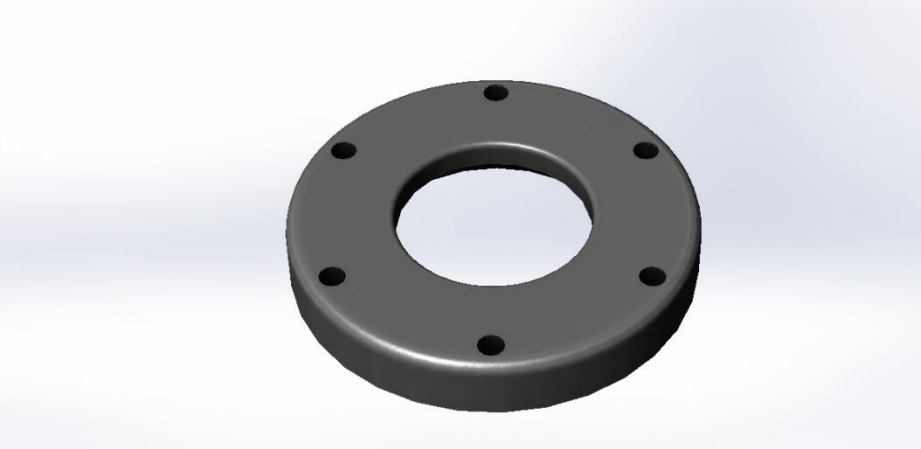
รูปที่ 3.3 Rotor

รูปที่ 3.4 Rotor Shaft

รูปที่ 3.5 Output Disk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.6 The cover

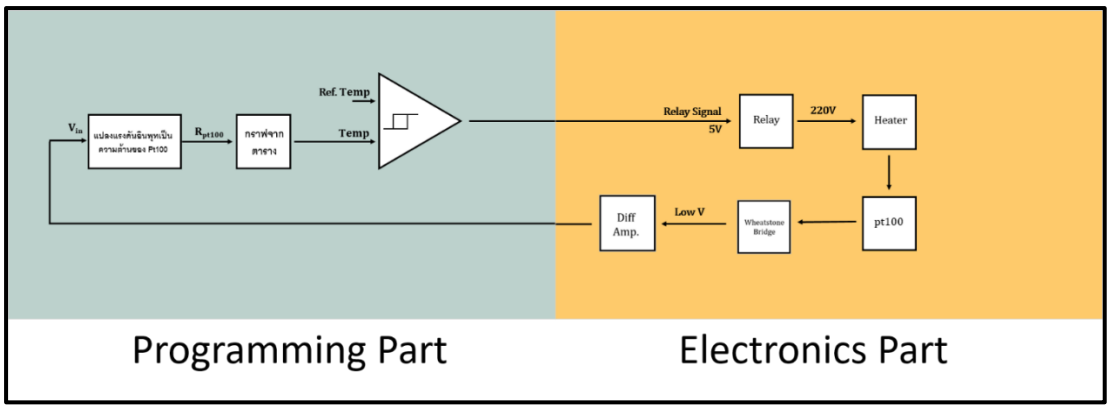
Assembling the Drive

รูปที่ 3.7 Assembling the Drive

3.1.2 การควบคุมอุณหภูมิ

ในส่วนของ Filament Extruder Part จะแบ่งการควบคุมอุณหภูมิเป็น 2 ส่วน คือ Electronics Part และ Programming Part ซึ่งมี Block Diagram ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.8 Temperature Control Block Diagram ของ Filament Extruder Part

3.1.2.1 Electronics Part

การควบคุมอุณหภูมิเป็นแบบระบบปิด โดยมี Resistance Temperature Device (RTD) ชนิด PT100 เป็นตัววัดอุณหภูมิของระบบจากฮีตเตอร์ และมีการตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมไว้ที่ตัวควบคุม ซึ่งในส่วนของการทำงานของ Filament Extruder Part นั้น ต้องการออกแบบให้อุณหภูมิที่ต้องการควบคุมอยู่ในช่วง 0 -200 องศาเซลเซียส โดยเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเป็นรีเลย์ซึ่งจะทำหน้าที่ตัดต่อไฟให้ฮีตเตอร์อีกทอดหนึ่ง

ดังที่อธิบายไปในข้างต้น ในการควบคุมอุณหภูมินี้ เลือกใช้ RTD ชนิด PT100 เป็นตัววัดอุณหภูมิจากฮีตเตอร์ เนื่องจาก PT100 มีคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นสูง นั่นหมายถึง ความต้านทานที่เปลี่ยนไปต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจะเป็นสัดส่วนคงที่ โดยเลือกใช้แบบ 3 สาย

เนื่องจากความต้านทานสายของ RTD PT100 เป็นปัจจัยสำคัญในการวัดความเที่ยงตรงของ RTD เพราะถ้าความต้านทานคลาดเคลื่อนไปเพียง 0.385 โอห์ม อุณหภูมิจะเปลี่ยนไป 1 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงต้องใช้วงจรบริดจ์สมดุลย์ มาช่วยในวงจรอินพุตของตัวควบคุม คือจะมีความต้านทานคงที่ในบริดจ์ 3 ตัว ส่วนตัวที่ 4 คือความต้านทานจาก RTD PT 100 นั่นเอง เมื่อความต้านทานของ RTD เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ จะทำให้วงจารบริดจ์ไม่สมดุล เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในวงจรบริดจ์ ซึ่งจะนำไปเข้าวงจรประมวลผลแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้ โดยในแบบ 3 สาย วงจรบริดจ์จะถูกออกแบบให้ความสามารถชดเชยความต้านทานในสายให้หมดไปได้ แต่ทุกสายต้องมีความต้านทานเท่ากัน กล่าวคือสายที่นำมาต่อเพิ่มต้องเป็นสายชนิดเดียวกันที่มีขนาดและความยาวเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หลักการคำนวณในวงจรบริดจ์สมดุล

เป็นการคำนวณเพื่อเลือกตัวต้านทานในวงจร โดยให้ R_4 คือ R_{PT100} ซึ่งจะ $0\ ℃$ ที่ $100\ \Omega$

เนื่องจากต้องการให้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ $0\ ℃$ ดังนั้น

จาก $$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$; โดย $R_4 = R_{PT100} = 100\ \Omega$

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{100}$$

ให้ $R_1 = R_2$

ดังนั้น $$R_3 = 100\ \Omega$$

จากข้างต้น ถ้า R_{PT100} เปลี่ยนไปจาก $100\ \Omega$ เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป อัตราส่วนก็จะเปลี่ยน ทำให้ความต่างศักย์ในวงจรบริดจ์ $\neq 0$

หมายเหตุ เลือกให้อุณหภูมิเริ่มต้น $0\ ℃$ เนื่องจากเมื่อทำการดูค่าความต้านทานมาตรฐานที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด เทียบกับตาราง Temperature Conversion ของ RTD PT100 พบว่า

ความต้านทานที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด (Ω)	ความต้านทางของ RTD PT100 (Ω)	อุณหภูมิ $(℃)$
91	91.37	-22
100	100	0
110	110.12	26

ตารางที่ 3.3 ตารางเปรียบเทียบความต้านทานมาตรฐานที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด Temperature Conversion ของ RTD PT100

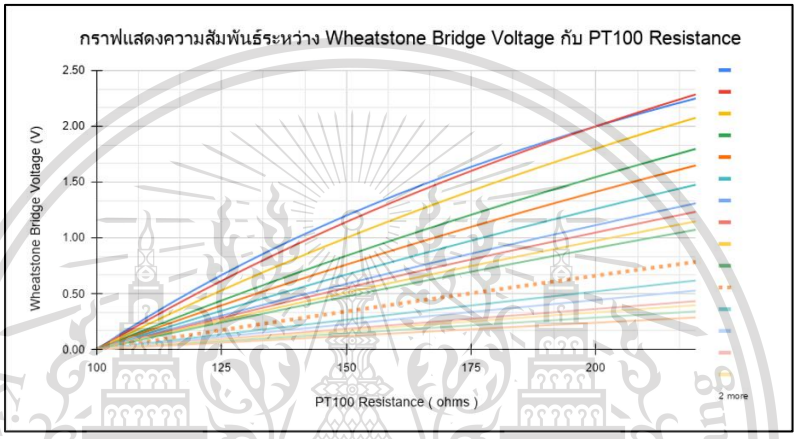
จะเห็นได้ว่า หากเลือกให้ความต้านทานที่ $91\ \Omega$ อุณหภูมิจะประมาณ $-22\ ℃$ ซึ่งอุณหภูมิต่ำเกินไป ในขณะที่ $110\ \Omega$ อุณหภูมิประมาณ $26\ ℃$ ซึ่งอุณหภูมิสูงเกินไป หากตั้งเครื่องรีไซเคิลนี้ไว้ที่อุณหภูมิห้องก็จะอาจจะมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น ดังนั้นจึงเลือก $100\ \Omega$ โดยอุณหภูมิเริ่มต้น $0\ ℃$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

พิจารณา $\mathbf{R_1}$ และ $\mathbf{R_2}$

จากการคำนวณ $\mathbf{V_{output} = V_{in} * \left(\frac{R_{PT100}}{R_1+R_{PT100}} - \frac{R_{off}}{R_2+R_{off}}\right)}$ โดยให้ $\mathbf{R_{off} = 100\Omega}$

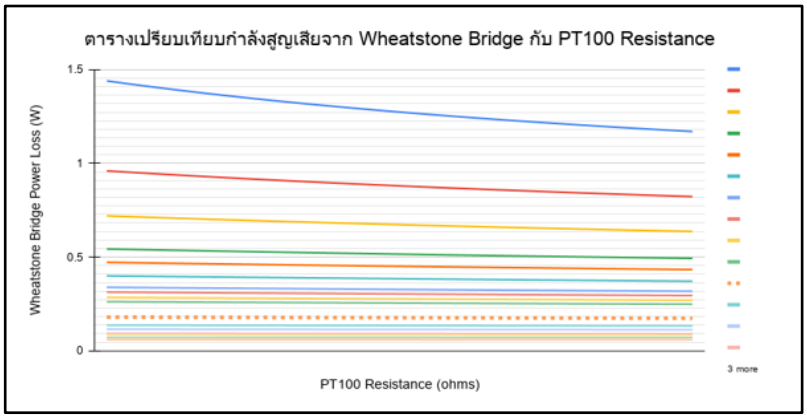
ทำการพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Wheatstone Bridge Voltage กับ PT 100 Resistance จะได้ดังรูป



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Wheatstone Bridge Voltage กับ PT 100 Resistance

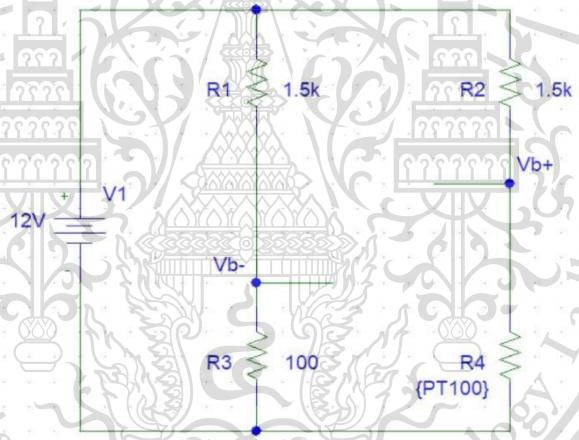
เลือก R_1 และ R_2 ที่ $1500\ \Omega$ เนื่องจากมีความเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเพื่อให้ฟังก์ชันแรงดันต่ออุณหภูมิเป็นเชิงเส้น และเมื่อพิจารณากำลังสูญเสียจาก Wheatstone Bridge เปรียบเทียบกับ PT 100 Resistance พบว่ามีค่าค่อนข้างน้อย ซึ่งสามารถยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังสูญเสียจาก Wheatstone Bridge กับ PT 100 Resistance

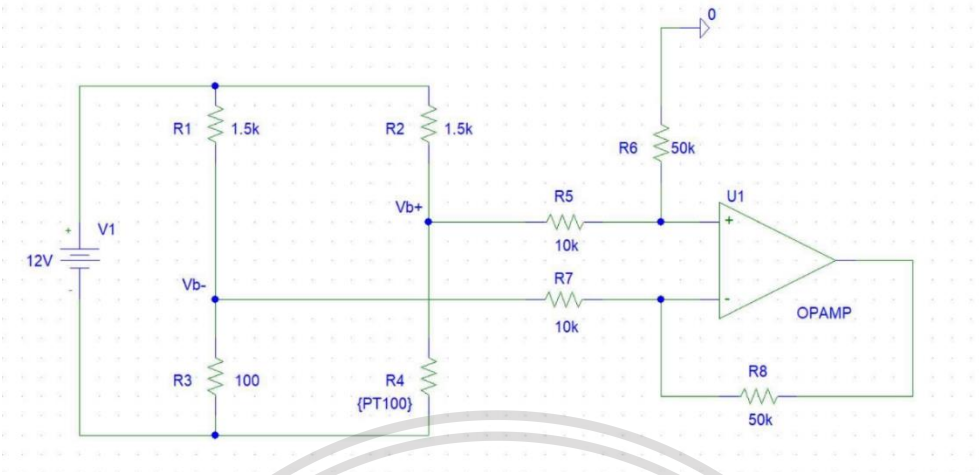
จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถออกแบบเป็นวงจรบริดจ์สมดุลได้ดังนี้



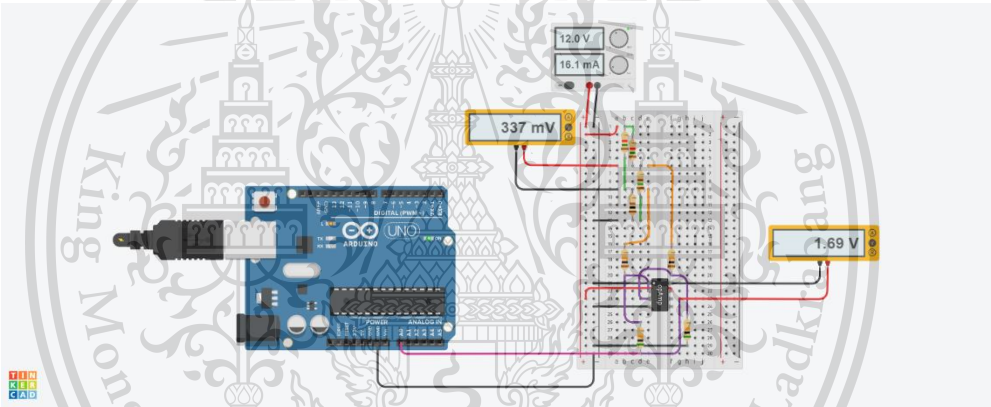
รูปที่ 3.11 Wheatstone Bridge

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า Wheatstone Bridge Voltage มีค่าค่อนข้างน้อย จึงได้นำวงจร Differential OpAmp มาต่อกับ Output ของ Wheatstone Bridge เพื่อขยายสัญญาณไป 5 เท่า จากการคำนวณ $\mathrm{V_{out,OpAmp}} = \frac{\mathrm{R_6}}{\mathrm{R_5}} (\mathrm{V_{B+}} - \mathrm{V_{B-}})$ โดย $R_5 = R_7$ และ $R_6 = R_8$ เนื่องจากต้องการขยายสัญญาณไป 5 เท่า จึงให้ $\mathrm{R_6} = 50\ \mathrm{k\Omega}$ และ $\mathrm{R_5} = 10\ \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.12 Differential OpAmp



รูปที่ 3.13 แบบจำลองการต่อวงจรโดยโปรแกรม Tinkercad

3.1.2.2 Programming Part

เมื่อได้ค่าแรงดัน Output จาก OpAmp จะทำการเปลี่ยนค่าแรงดันเป็นค่าความต้านทาน ของ PT100 จากนั้นจะเปลี่ยนค่าความต้านทาน PT100 กลับมาเป็น อุณหภูมิ โดยจะมีการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้คือ $200℃$ หากเกิน Relay จะทำการตัดวงจรให้กับฮีตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1. การแปลงแรงดันเป็นค่าความต้านทาน PT100

หาสมการเพื่อนำไปประมวลผลใน Arduino ได้ดังนี้

$$V = 5 \times 12\left(\frac{R_x}{1.5k + R_x} - \frac{100}{1.5k + 100}\right)\frac{V}{60} = \frac{R_x}{1.5k + R_x} - \frac{100}{1.6k}$$

$$\frac{V}{60} + \frac{100}{1.6k} = \frac{R_x}{\frac{1.5k}{R_x} + R_x}$$

$$\frac{1600V + 6000}{96000} = \frac{R_x}{\frac{1500}{R_x} + R_x}$$

$$\frac{16V + 60}{960} = \frac{1}{\frac{1500}{R_x} + 1}$$

$$\frac{960}{16V + 60} = \frac{1500}{R_x} + 1$$

$$\frac{960}{16V + 60} - 1 = \frac{1500}{R_x}$$

$$\frac{960 - (16V + 60)}{16V + 60} = \frac{1500}{R_x}$$

$$\frac{960 - 16V - 60}{16V + 60} = \frac{1500}{R_x}$$

$$R_x = \frac{1500(16V + 60)}{960 - 60 - 16V}$$

$$R_x = \frac{24000V + 90000}{900 - 16V}$$

$$R_x = \frac{24000V + 90000}{900 - 16V}$$

$$R_x = \frac{4(22500V + 6000)}{4(225 - 4V)}$$

$$R_x = \frac{22500 + 6000V}{225 - 4V}$$

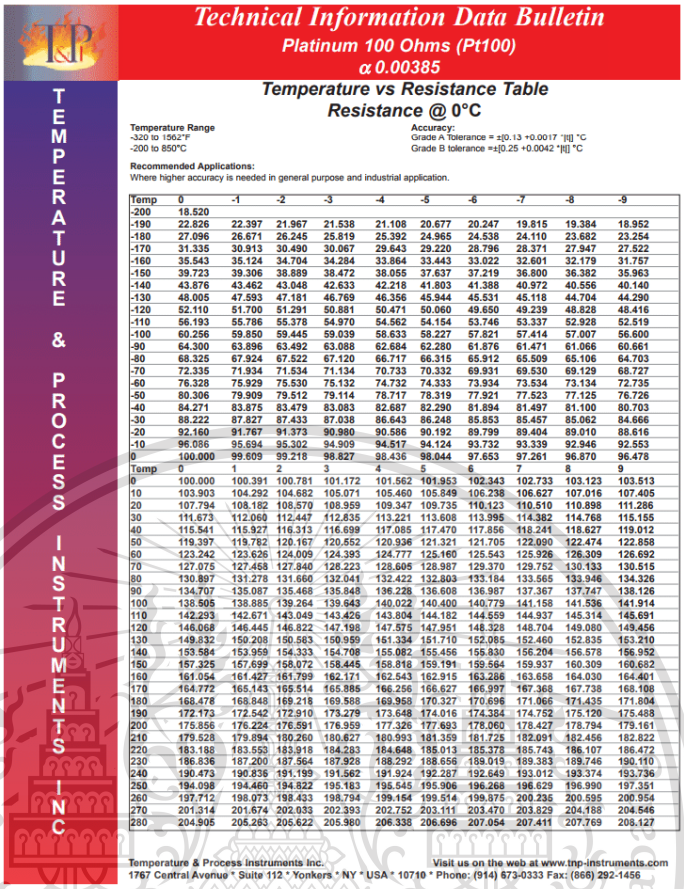
2. การเปลี่ยนค่าความต้านทาน PT100 เป็นอุณหภูมิ

จากการคำนวณ จาก $R_x = R_0(1 + \alpha T)$ โดย $R_0 = 100\Omega$ และ $\alpha = 0.00385$

$$R_x = 100(1 + 0.00385T)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางอุณหภูมิเปรียบเทียบความต้านทาน



Technical Information Data Bulletin

Platinum 100 Ohms (Pt100)

α 0.00385

TEMPERATURE & PROCESS INSTRUMENTS INC

Temperature vs Resistance Table

Resistance @ 0°C

Temperature Range
-320 to 1562°F
-200 to 850°C

Accuracy:
Grade A Tolerance = ±[0.13 +0.0017 *|t|] °C
Grade B tolerance =±[0.25 +0.0042 *|t|] °C

Recommended Applications:
Where higher accuracy is needed in general purpose and industrial application.

Temp	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
-200	18.520									
-190	22.826	22.397	21.967	21.538	21.108	20.677	20.247	19.815	19.384	18.952
-180	27.096	26.671	26.245	25.819	25.392	24.965	24.538	24.110	23.682	23.254
-170	31.335	30.913	30.490	30.067	29.643	29.220	28.796	28.371	27.947	27.522
-160	35.543	35.124	34.704	34.284	33.864	33.443	33.022	32.601	32.179	31.757
-150	39.723	39.306	38.889	38.472	38.055	37.637	37.219	36.800	36.382	35.963
-140	43.876	43.462	43.048	42.633	42.218	41.803	41.388	40.972	40.556	40.140
-130	48.005	47.593	47.181	46.769	46.356	45.944	45.531	45.118	44.704	44.290
-120	52.110	51.700	51.291	50.881	50.471	50.060	49.650	49.239	48.828	48.416
-110	56.193	55.786	55.378	54.970	54.562	54.154	53.746	53.337	52.928	52.519
-100	60.256	59.850	59.445	59.039	58.633	58.227	57.821	57.414	57.007	56.600
-90	64.300	63.896	63.492	63.088	62.684	62.280	61.876	61.471	61.066	60.661
-80	68.325	67.924	67.522	67.120	66.717	66.315	65.912	65.509	65.106	64.703
-70	72.335	71.934	71.534	71.134	70.733	70.332	69.931	69.530	69.129	68.727
-60	76.328	75.929	75.530	75.132	74.732	74.333	73.934	73.534	73.134	72.735
-50	80.306	79.909	79.512	79.114	78.717	78.319	77.921	77.523	77.125	76.726
-40	84.271	83.875	83.479	83.083	82.687	82.290	81.894	81.497	81.100	80.703
-30	88.222	87.827	87.433	87.038	86.643	86.248	85.853	85.457	85.062	84.666
-20	92.160	91.767	91.373	90.980	90.586	90.192	89.799	89.404	89.010	88.616
-10	96.086	95.694	95.302	94.909	94.517	94.124	93.732	93.339	92.946	92.553
0	100.000	99.609	99.218	98.827	98.436	98.044	97.653	97.261	96.870	96.478
Temp	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100.000	100.391	100.781	101.172	101.562	101.953	102.343	102.733	103.123	103.513
10	103.903	104.292	104.682	105.071	105.460	105.849	106.238	106.627	107.016	107.405
20	107.794	108.182	108.570	108.959	109.347	109.735	110.123	110.510	110.898	111.286
30	111.673	112.060	112.447	112.835	113.221	113.608	113.995	114.382	114.768	115.155
40	115.541	115.927	116.313	116.699	117.085	117.470	117.856	118.241	118.627	119.012
50	119.397	119.782	120.167	120.552	120.936	121.321	121.705	122.090	122.474	122.858
60	123.242	123.626	124.009	124.393	124.777	125.160	125.543	125.926	126.309	126.692
70	127.075	127.458	127.840	128.223	128.605	128.987	129.370	129.752	130.133	130.515
80	130.897	131.278	131.660	132.041	132.422	132.803	133.184	133.565	133.946	134.326
90	134.707	135.087	135.468	135.848	136.228	136.608	136.987	137.367	137.747	138.126
100	138.505	138.885	139.264	139.643	140.022	140.400	140.779	141.158	141.536	141.914
110	142.293	142.671	143.049	143.426	143.804	144.182	144.559	144.937	145.314	145.691
120	146.068	146.445	146.822	147.198	147.575	147.951	148.328	148.704	149.080	149.456
130	149.832	150.208	150.583	150.959	151.334	151.710	152.085	152.460	152.835	153.210
140	153.584	153.959	154.333	154.708	155.082	155.456	155.830	156.204	156.578	156.952
150	157.325	157.699	158.072	158.445	158.818	159.191	159.564	159.937	160.309	160.682
160	161.054	161.427	161.799	162.171	162.543	162.915	163.286	163.658	164.030	164.401
170	164.772	165.143	165.514	165.886	166.256	166.627	166.997	167.368	167.738	168.108
180	168.478	168.848	169.218	169.588	169.958	170.327	170.696	171.066	171.435	171.804
190	172.173	172.542	172.910	173.279	173.648	174.016	174.384	174.752	175.120	175.488
200	175.856	176.224	176.591	176.959	177.326	177.693	178.060	178.427	178.794	179.161
210	179.528	179.894	180.260	180.627	180.993	181.359	181.725	182.091	182.456	182.822
220	183.188	183.553	183.918	184.283	184.648	185.013	185.378	185.743	186.107	186.472
230	186.836	187.200	187.564	187.928	188.292	188.656	189.019	189.383	189.746	190.110
240	190.473	190.836	191.199	191.562	191.924	192.287	192.649	193.012	193.374	193.736
250	194.098	194.460	194.822	195.183	195.545	195.906	196.268	196.629	196.990	197.351
260	197.712	198.073	198.433	198.794	199.154	199.514	199.875	200.235	200.595	200.954
270	201.314	201.674	202.033	202.393	202.752	203.111	203.470	203.829	204.188	204.546
280	204.905	205.263	205.622	205.980	206.338	206.696	207.054	207.411	207.769	208.127

Temperature & Process Instruments Inc.
1767 Central Avenue * Suite 112 * Yonkers * NY * USA * 10710 * Phone: (914) 673-0333 Fax: (866) 292-1456
Visit us on the web at www.tnp-instruments.com

รูปที่ 3.14 ตารางอุณหภูมิเปรียบเทียบตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

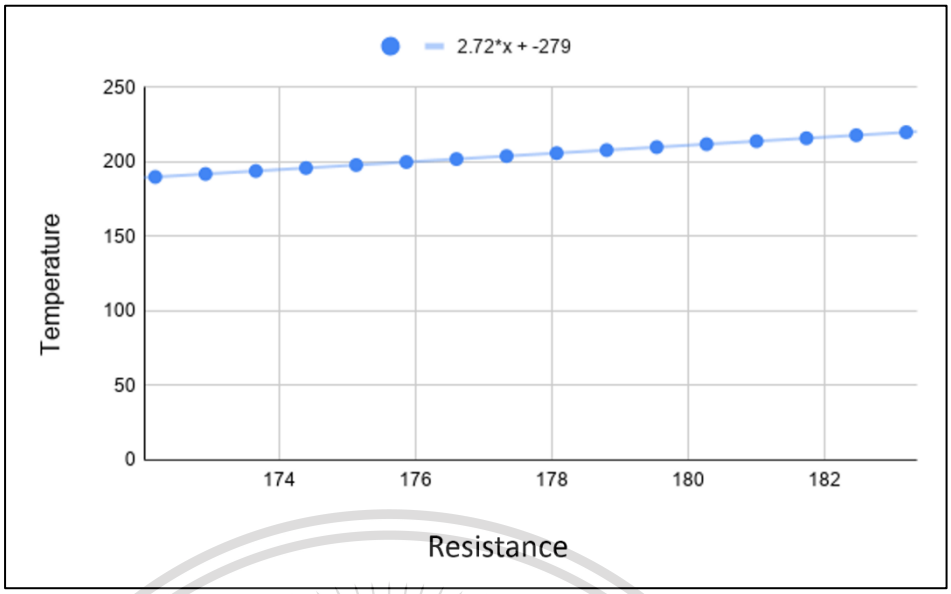
จากตารางเราจะสนใจในช่วง 190-200 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าความต้านทานของ PT100 (ohm) (ตาราง)	ค่าความต้านทานของ PT100 (ohm) (คำนวณ)
190	172.173	173.15
192	172.910	173.92
194	173.648	174.69
196	174.384	175.46
198	175.120	176.23
200	175.856	177.00
202	176.591	177.77
204	177.326	178.54
206	178.060	179.31
208	178.794	180.08
210	179.528	180.85
212	180.260	181.62
214	180.993	182.39
216	181.725	183.16
218	182.456	183.93
220	183.188	184.70

ตารางที่ 3.4 ค่าความต้านทานเทียบกับอุณหภูมิตั้งแต่ 190-220 องศาเซลเซียส

จากตารางเปรียบเทียบค่าความต้านทานเทียบกับอุณหภูมิตั้งแต่ 190-220 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าเมื่อความต้านทานเปลี่ยนไป จะทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนไปด้วย โดยความต้านทานจากการคำนวณกับความต้านทานจากตารางสำเร็จรูปมีค่าค่อนข้างใกล้กัน จึงเลือกจากพลอตกราฟโดยอ้างอิงจากตารางสำเร็จรูป

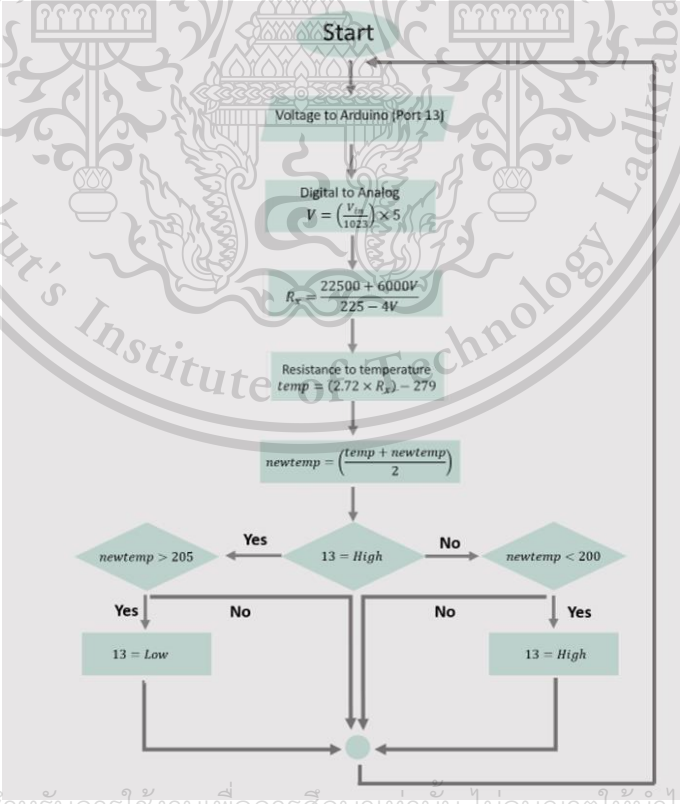
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.15 กราฟค่าความต้านทานเทียบกับอุณหภูมิตั้งแต่ 190-220 องศาเซลเซียส

จากกราฟจะได้สมการ $\text{temp} = 2.72R_X - 279$

สามารถเขียน Flow Chart ได้ดังนี้



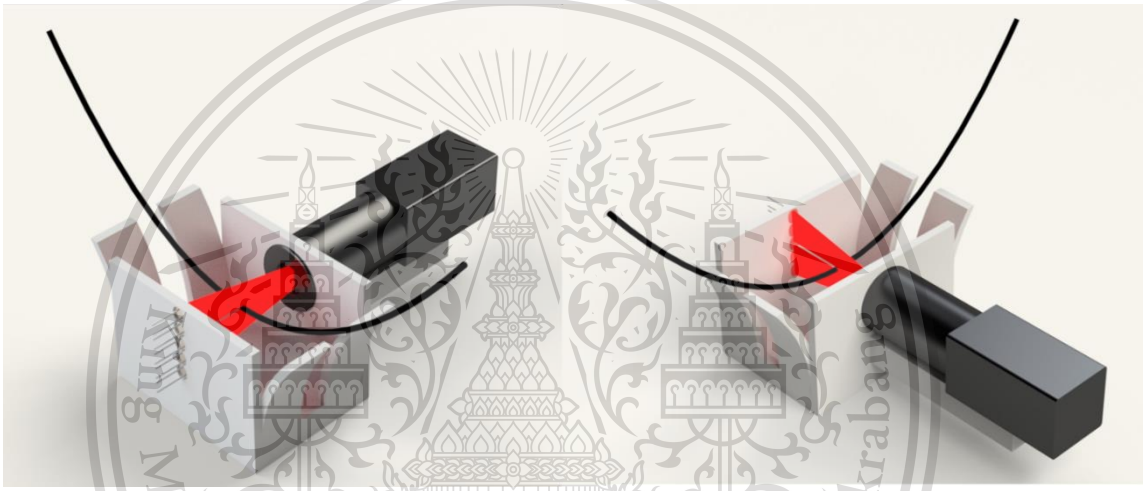
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.16 Flow Chart แสดงการทำงานของ Programming Part

3.2 Sensor Part

Sensor Part เป็นส่วนที่ทำงานต่อจากส่วน Filament Extruder Part โดยเส้นพลาสติกที่ถูกหลอมออกมาจะยังมีขนาดไม่สม่ำเสมอทั้งเส้น ดังนั้นจึงใช้น้ำหนักของเส้นพลาสติกที่ย้อยลงมาเป็นตัวควบคุมการดึงให้เส้นที่หลอมออกมามีความสม่ำเสมอ ซึ่ง Sensor Part จะประกอบไปด้วย Photoresistor 5 ตัว หลักการทำงานคือจะฉายเลเซอร์ส่องมาตกกระทบกับ Photoresistor และเมื่อมีเส้นพลาสติกมาคั่นกลาง จะทำให้เกิดเงาบน Photoresistor 1 ตัวจากทั้งหมด โดยเราจะใช้เงาในการวัดความสูงของเส้น เพื่อนำมาควบคุมใน Winding Part ต่อไป

3.2.1 การออกแบบโดยโปรแกรม SolidWorks



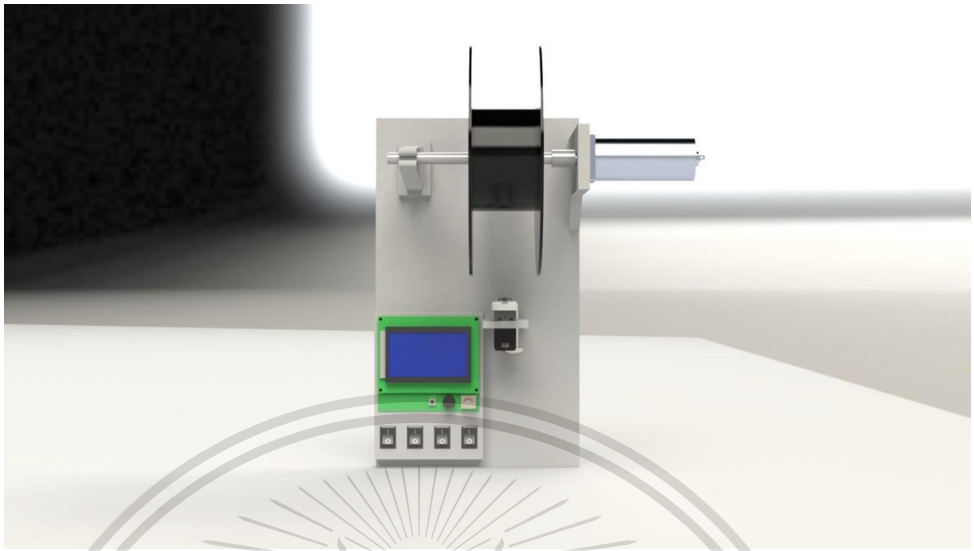
รูปที่ 3.17 การออกแบบ Sensor Part โดยโปรแกรม SolidWorks

3.3 Winding Part

Winding Part คือส่วนที่ใช้ในการม้วนเก็บเส้นพลาสติกที่เย็นลงแล้วและยังเป็นส่วนที่สามารถช่วยควบคุมความสม่ำเสมอของเส้น โดยจะทำงานร่วมกับ Sensor Part โดยส่วนนี้จะทำการรับข้อมูลความสูงจาก Sensor Part เพื่อนำไปควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ทำให้ความสูงของเส้นคงที่และเมื่อความสูงของเส้นที่ย้อยมาคงที่ จะทำให้แรงดึงคงที่ เพราะฉะนั้นจึงทำให้เส้นพลาสติกที่ถูกหลอมออกมามีความสม่ำเสมอตลอดทั้งเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.1 การออกแบบโดยโปรแกรม SolidWorks



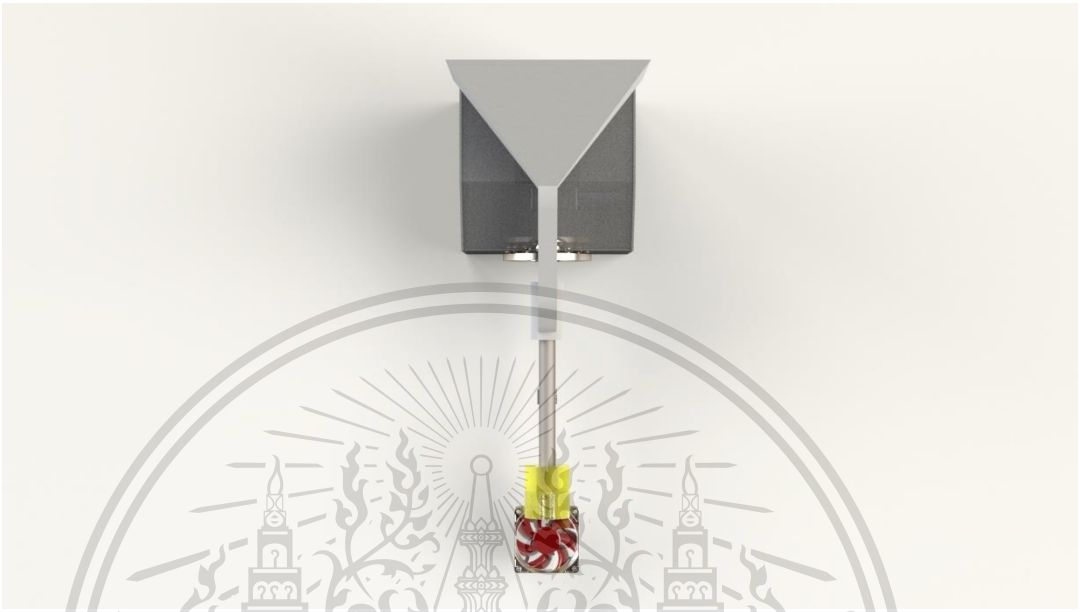
รูปที่ 3.18 การออกแบบ Winding Part โดยโปรแกรม SolidWorks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

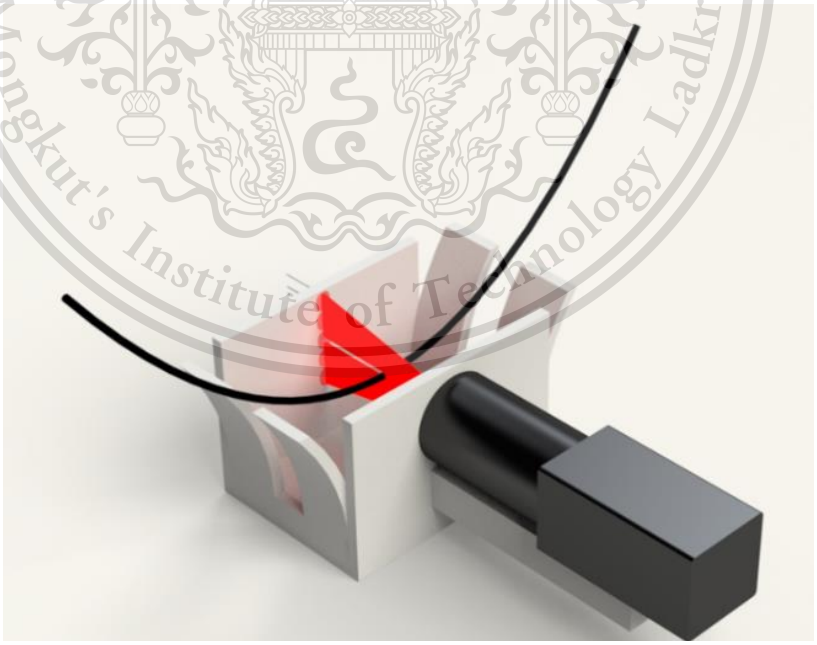
บทที่ 4

การทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 แบบจำลองของโครงงาน โดยโปรแกรม SolidWorks

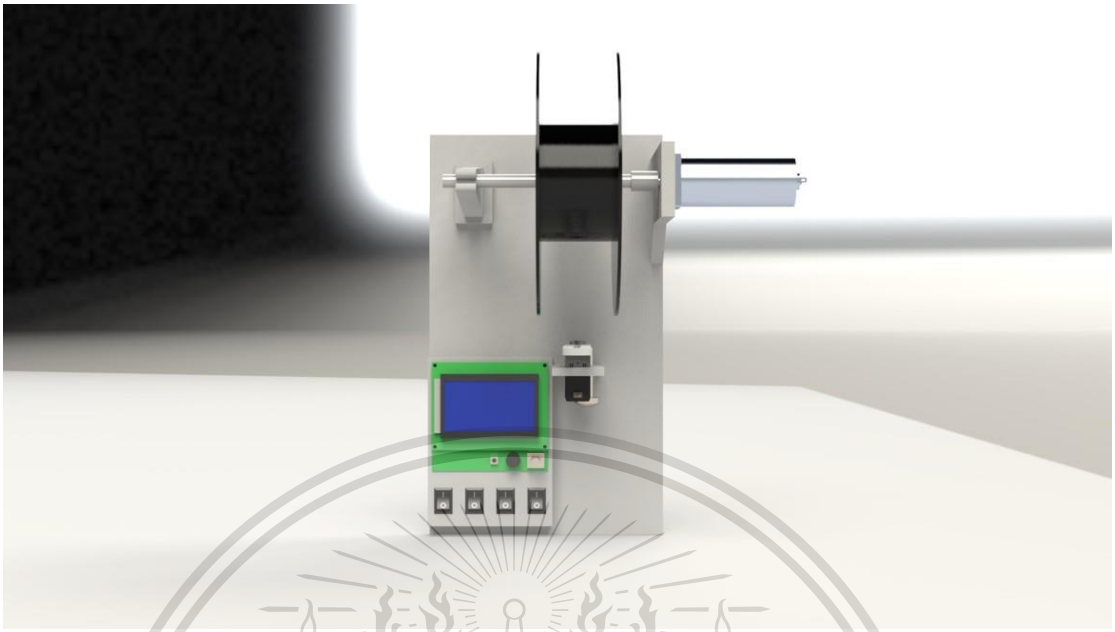


รูปที่ 4.1 แบบจำลองของ Filament Extruder Part โดยโปรแกรม SolidWorks

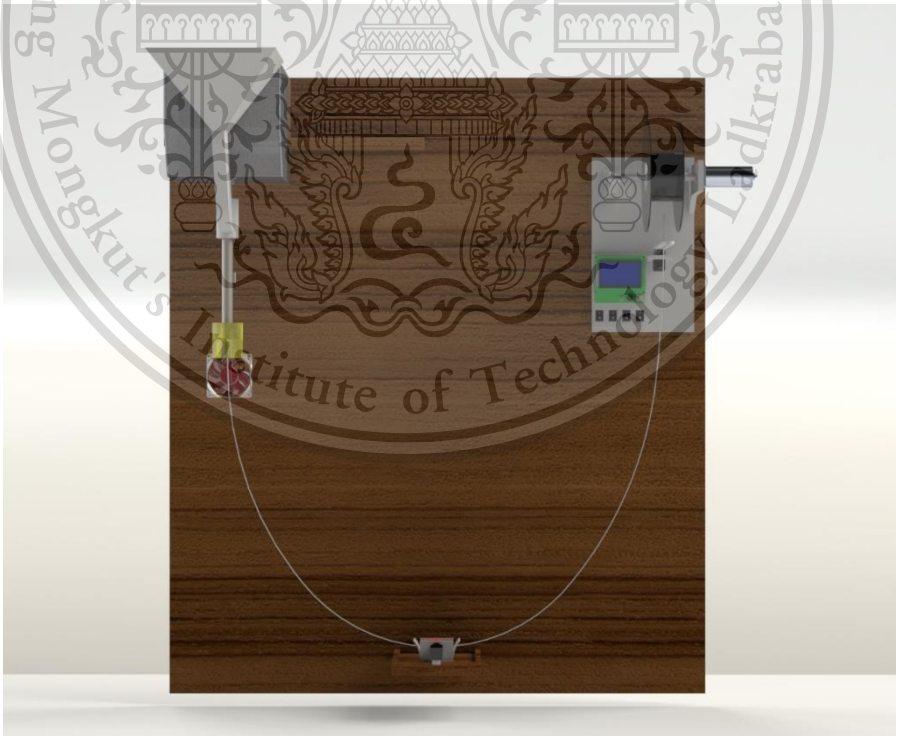


รูปที่ 4.2 แบบจำลองของ Sensor Part โดยโปรแกรม SolidWorks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

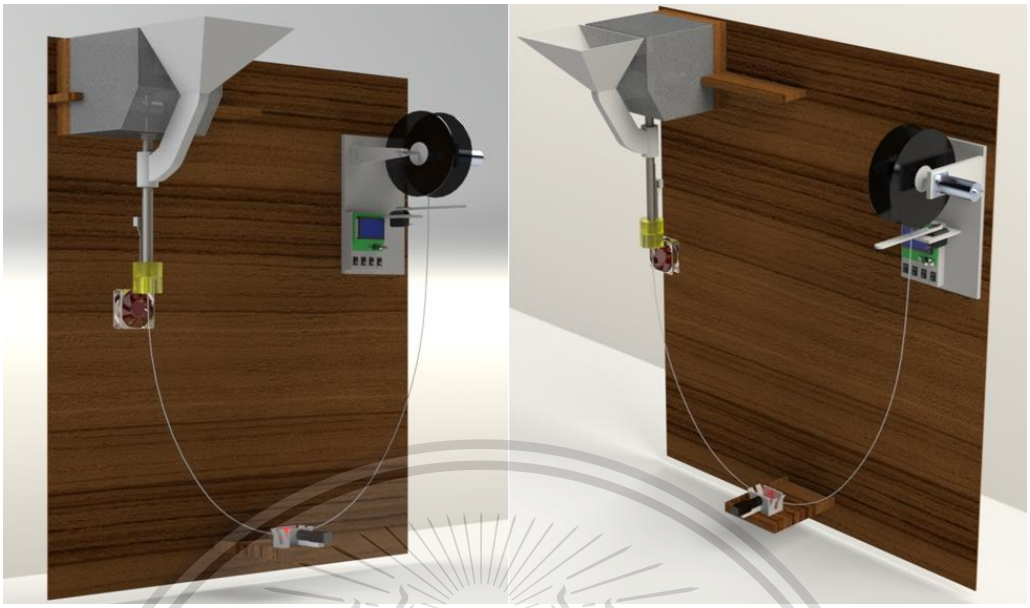


รูปที่ 4.3 แบบจำลองของ Winding โดยโปรแกรม SolidWorks



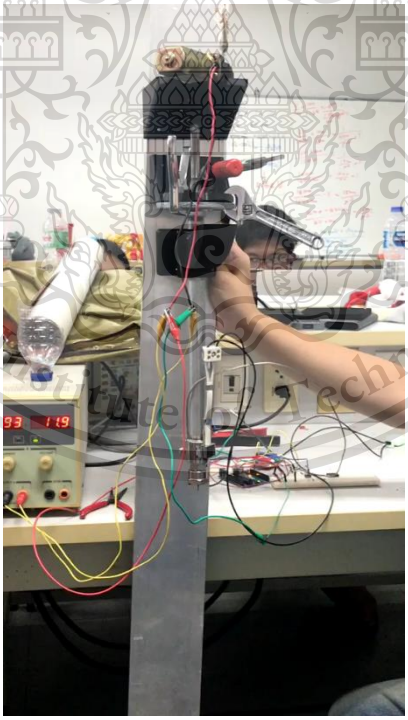
รูปที่ 4.4 แบบจำลองของโครงงานโดยโปรแกรม SolidWorks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 แบบจำลองของโครงงานโดยโปรแกรม SolidWorks

4.2 การทดลองที่ 2 ประกอบเครื่องในส่วนของ Filament Extruder Part



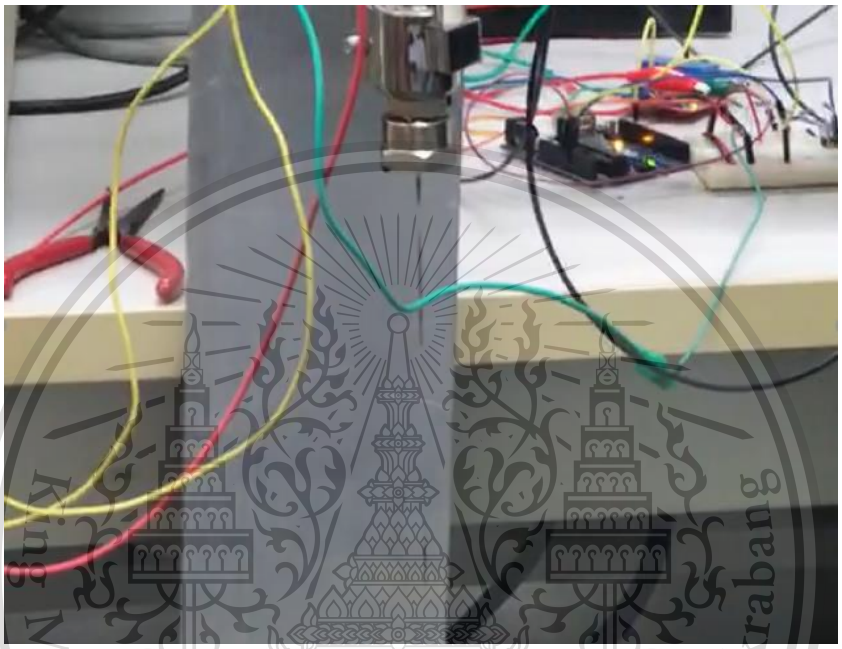
รูปที่ 4.6 การประกอบส่วน Filament Extruder Part

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 การทดลองที่ 3 ผลการทำงานของ Filament Extruder Part

เมื่อทำการทดลองทำงานในส่วนของ Filament Extruder Part ผลการทดลองเกิดปัญหาไม่เป็นไปตามเป้าหมาย ซึ่งทางผู้จัดทำโครงงานได้พยายามในการหาแนวทางเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยจะแบ่งเป็น 2 ข้อ ดังนี้

4.3.1 ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของเส้น



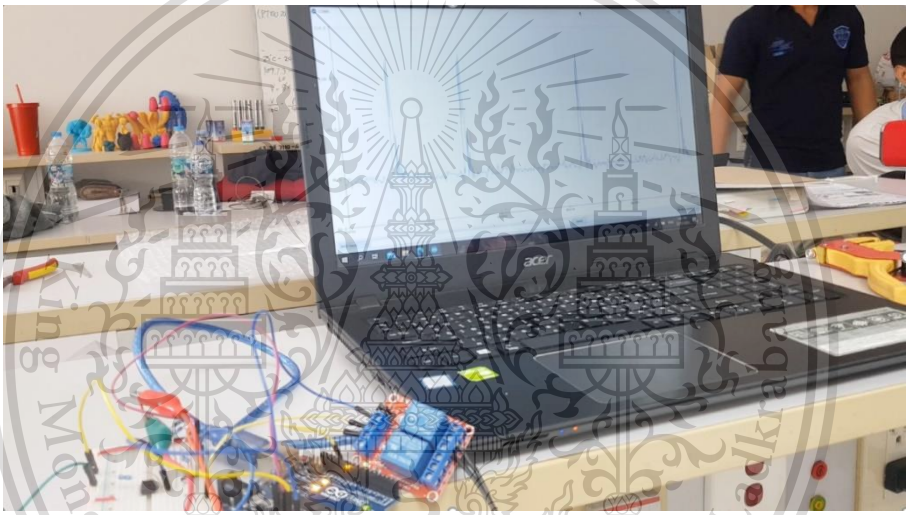
รูปที่ 4.7 ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของเส้น

เมื่อทำการทดลองการทำงานของ Filament Extruder Part ให้ทำการหลอมเศษพลาสติก พบว่าเส้นที่ทำการหลอมออกมามีความไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นทางคณะผู้จัดจึงได้ทำการใส่ cycloidal drive เข้ามาเพื่อแก้ปัญหาในส่วนนี้ ซึ่งทางผู้จัดทำโครงงานได้ทำการออกแบบและคำนวณเรียบร้อย หากแต่ยังไม่ได้ทดลองว่าสามารถแก้ปัญหาได้ตามที่ต้องการหรือไม่ เนื่องจากสถานการณ์ COVID-19 ทำให้ต้องหยุดการดำเนินโครงงานกะทันหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.2 ปัญหาระหว่างเซนเซอร์กับรีเลย์

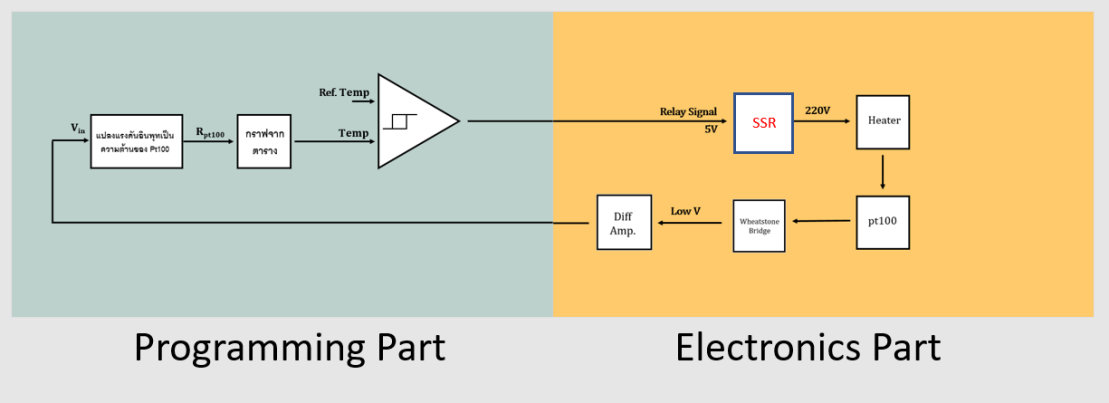
ในช่วงแรกที่ได้ทำการทดสอบ Filament Extruder Part ได้พบว่าเมื่อทำการเปิดหรือปิดรีเลย์ จะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการวัดอุณหภูมิดังที่ปรากฏในดังรูป 4.8 ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิของระบบได้ตามต้องการ ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่า เกิดมาจาก back emf จากการที่สนามแม่เหล็กที่ขดลวดของรีเลย์เกิดการยุบตัวเมื่อทำการเปลี่ยนสถานะ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการใส่flyback diode ลงไปที่ขดลวดของตัวรีเลย์ เพื่อให้สนามแม่เหล็กดังกล่าวสามารถยุบตัวลงเป็นกระแสโดยที่ไม่สร้างการกระชากของสัญญาณไปรบกวนส่วนอื่น ๆ ของวงจร แต่เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้มีการวางแผนว่าจะปรับปรุงระบบการควบคุมอุณหภูมิไปใช้แบบ PID ในอนาคต จึงได้ตัดสินใจเปลี่ยนจากการใช้รีเลย์ทางกล ไปใช้ solid state relay หรือ SSR แทน



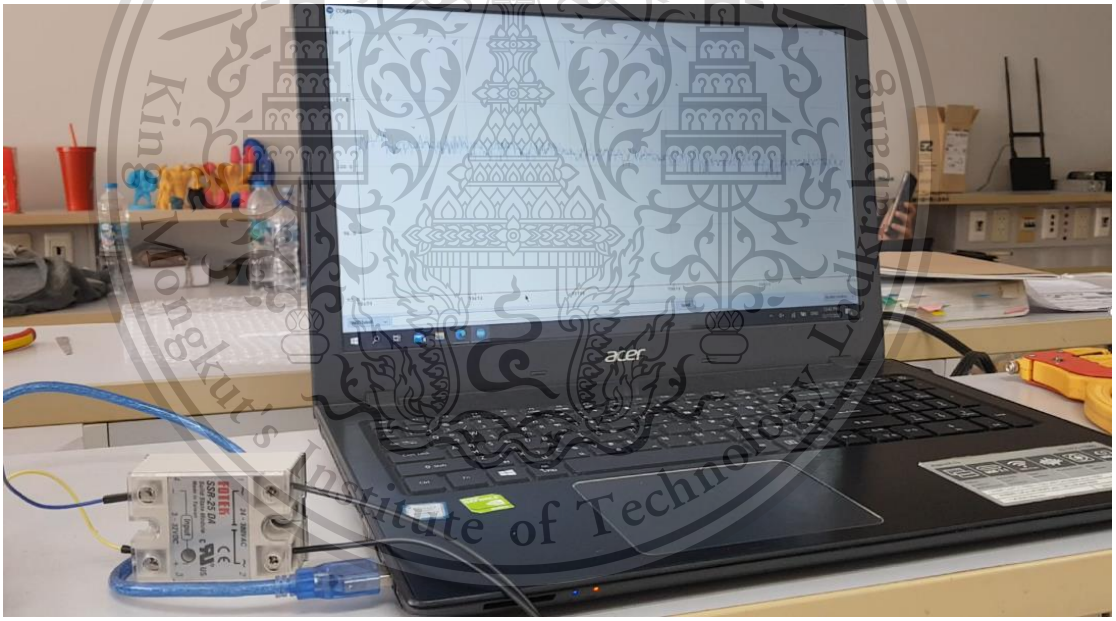
รูปที่ 4.8 ผลการทดลองเมื่อใช้ Relay

หลังจากที่เปลี่ยนไปใช้ SSR แล้วก็พบว่าปัญหาความผิดพลาดในการวัดอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์ทำความร้อนนั้น ไม่เกิดขึ้นแล้ว ดังที่ปรากฏในรูป 4.10 เนื่องจาก SSR นั้นไม่ได้มีการใช้ขดลวดแบบรีเลย์ทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 Block Diagram เมื่อเปลี่ยน Relay เป็น SSR



รูปที่ 4.10 ผลการทดลองเมื่อเปลี่ยน Relay เป็น SSR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเครื่องรีไซเคิลฟิลาเมนต์ที่เสียจากการพิมพ์ 3 มิติ (3D-Printing Filament Waste Recycling Machine) เพื่อต้องลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการพิมพ์ 3 มิติ อันเนื่องมาจากชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐาน การพิมพ์ซ้ำ และส่วนเสริมโครงสร้างที่จะต้องเกิดขึ้นจากการพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งกลายเป็นขยะพลาสติกจำนวนมาก คณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงปัญหาจึงได้มีแนวคิดที่จะทำการรีไซเคิลเพื่อนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่

ในการดำเนินงานจำเป็นจะต้องใช้ความรู้ความเข้าใจหลายด้านอันได้แก่ การออกแบบและคำนวณวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม การเขียนโปรแกรมควบคุม และ การออกแบบเครื่องจักรกล จากการดำเนินงานได้ข้อสรุปดังนี้ หลังจากที่ประกอบเครื่องและทดลองใช้ในส่วนที่ 1 หรือ Filament Extruder Part ซึ่งเป็นส่วนสำคัญหลักในการรีไซเคิลเพราะมีการฉีดพลาสติกในขั้นตอนดังกล่าว เส้นพลาสติกที่ได้ มีความไม่สม่ำเสมอกันอันเนื่องมาจากกำลังมอเตอร์ที่ไม่เพียงพอ จึงได้ทำการแก้ไขปัญหากำลังมอเตอร์ในส่วน Filament Extruder Part โดยใส่ เกียร์ทดรอบ (cycloidal gear) ซึ่งได้มีการออกแบบผ่านโปรแกรม SOLIDWORKS และ พิมพ์เป็นชิ้นงาน 3 มิติแล้ว แต่เนื่องด้วยสถานการณ์โรคระบาดไวรัสโควิด-19 ทางสถาบันจำเป็นจะต้องประกาศปิดสถานศึกษา ทำให้ไม่สามารถเข้าถึงอุปกรณ์ได้ ส่งผลให้ไม่สามารถทดสอบในขั้นต่อไป รวมถึงการทดลองใช้งานร่วมกับส่วนการทำงานที่ 2 และ 3 ซึ่งก็คือ ส่วนเซนเซอร์และการดึงม้วนเก็บฟิลาเมนต์ (Winding part)

ทั้งนี้คณะผู้จัดทำคาดว่าหากได้ทำการปรับปรุงดังที่กล่าวไปก่อนหน้าจะทำให้ได้เส้นพลาสติกฟิลาเมนต์ที่มีความสม่ำเสมอกันดั่งที่ได้ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ในตอนต้น และหากมีการปรับแต่งแก้ไขและศึกษาเพิ่มเติมก็จะสามารถควบคุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นพลาสติกฟิลาเมนต์ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ใช้งานกันทั่วไปสำหรับการนำไปใช้ในงานพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งจะตรงกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการรีไซเคิลขยะจากการพิมพ์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อฟิลาเมนต์สำหรับงานพิมพ์ 3 มิติได้อีกทางด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ติดตั้งเอ็นโค้ดเดอร์ที่ตัว มอเตอร์กระแสตรง ในส่วนที่ 1 หรือเปลี่ยนมอเตอร์เป็น สเตปเปอร์มอเตอร์ หรือ เซอร์โวมอเตอร์ เพื่อให้การควบคุมความเร็วในการอัด เศษพลาสติกให้มีความคงที่มากขึ้น
2. เพิ่มฮีตเตอร์ให้ช่วงการหลอมของพลาสติกมีความยาวมากขึ้น เพื่อให้พลาสติกมีเวลาหลอมนานขึ้น ทำให้การหลอมเหลวเป็นไปอย่างสม่ำเสมอมากขึ้น
3. ติดตั้งฉนวนความร้อนหุ้มในส่วนฮีตเตอร์ ทำให้ประสิทธิภาพการหลอมสูงขึ้นและทำให้การวัดอุณหภูมิทำได้แม่นยำขึ้น
4. เปลี่ยนส่วนเซนเซอร์ จากที่ใช้ความสูง ในการควบคุมแรงตึงของเส้นพลาสติกในการฉีด เพื่อควบคุมขนาดของเส้น เป็นการใช้เซนเซอร์วัดขนาดของเส้นพลาสติกเพื่อควบคุมตรงๆ เพื่อให้ขนาดตัวเครื่องลดลง และ ความละเอียดในการคุมขนาดเส้นสูงขึ้น
5. เปลี่ยนการควบคุมการให้ความร้อน จากการปิดเปิดธรรมดา (ON-OFF Control) เป็นการใช้การควบคุมแบบ พีไอดี (PID) เพื่อให้อุณหภูมิมีความสเถียรมากขึ้น
6. อาจมีการติดตั้งหน้าจอแสดงผลสถานะการทำงาน และอุปกรณ์รับข้อมูล ให้สามารถปรับค่าในการทำงานของเครื่องให้สะดวกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

[1] Nattawat. (2558). **3D Printer คืออะไร.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.siamreprap.com/2015/10/what-is-3d-printer/

[2] **What is 3D Printing?.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/

[3] (2558). **3D Printer คืออะไร / มีกี่ประเภท อะไรบ้าง.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.print3dd.com/what-is-3d-printer/

[4] **7 คำศัพท์ที่ควรรู้เกี่ยวกับ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.harn.co.th/articles/7-words-to-know-about-3d-printers/

[5] (2559). **3D Printing แบบ FDM คืออะไร.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.siamreprap.com/2015/10/what-is-3d-printer/

[6] **WHAT ARE 3D PRINTED MATERIALS AND HOW ARE THEY USED.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.makerbot.com/stories/design/3d-printing-materials/

[7] 3D Hubs. (2559). **การพิมพ์ 3 มิติคืออะไร? What is 3D Printing? - ข้อดีและข้อเสียของ 3D Printing.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://x3dtechnology.com/blogs/knowledge/what-is-3d-printing

[8] **Felfil Filament Maker** (แหล่งสืบค้นข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ใช้อ้างอิงจากผู้ผลิต Felfil). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://felfil.com/?v=5ea34fa833a1

[9] **Filament Makers** (แหล่งสืบค้นข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ใช้อ้างอิงจากผู้ผลิต 3devo). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://3devo.com/filament-makers/

[10] **FILASTRUDER KIT** (แหล่งสืบค้นข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ใช้อ้างอิงจากผู้ผลิต FILASTRUDER). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.filastruder.com/collections/filastruders-accessories/products/filastruder-kit?variant=323882043

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[11] **FILAWINDER** (แหล่งสืบค้นข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ใช้อ้างอิงจากผู้ผลิต FILASTRUDER). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.filastruder.com/collections/filastruders-accessories/products/filawinder

[12] CNC Kitchen. (2561). **Recycle your failed 3D prints! Make new filament at home.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.siamreprap.com/2015/10/what-is-3d-printer/

[13] **เทคนิคการควบคุมอุณหภูมิ** (แหล่งสืบค้นข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ใช้อ้างอิงจากผู้ผลิต OMRON). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.g-tech.ac.th/vdo/moterdoc/Temperature%20Controller_thai%20manual.pdf

[14] **Measuring Temperature From PT100 Using Arduino.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.instructables.com/Reading-Temperature-From-PT100-Using-Arduino/

[15] **วงจรบริดจ์.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://docs.google.com/document/preview?hgd=1&id=1q0h8ikfdbSFJrvgLfrF8LaXzPEuA2IJaB07oUoAu_yA

[16] **วงจรขยายสัญญาณไฟฟ้า และการประมวลผลสัญญาณทางไฟฟ้า.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://navapadol.files.wordpress.com/2016/01/chapter-03-01.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.