

การแต่งหน้าเค้กด้วยการพิมพ์สามมิติแบบอัดขึ้นรูป

Cake Decorations by Extrusion – Based 3D Printing



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2563

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

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

การแต่งหน้าเค้กด้วยการพิมพ์สามมิติแบบอัดขึ้นรูป

Cake Decorations by Extrusion – Based 3D Printing



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดแบบใดที่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2563

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

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

การแต่งหน้าเค้กด้วยการพิมพ์สามมิติแบบอัดขึ้นรูป

Cake Decorations by Extrusion – Based 3D Printing



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2563

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

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

การแต่งหน้าเค้กด้วยการพิมพ์สามมิติแบบอัดขึ้นรูป

Cake Decorations by Extrusion – Based 3D Printing



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานแค่ **คณะวิศวกรรมศาสตร์** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม **สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง** ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2563

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

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

Cake Decorations by Extrusion – Based 3D Printing



THE THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **FACULTY OF ENGINEERING** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้ทั้งในและนอกขอบข่ายของบัณฑิตวิทยาลัยที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2020

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

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

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การแต่งหน้าเค้กด้วยการพิมพ์สามมิติแบบอัดขึ้นรูป

Cake Decorations by Extrusion – Based 3D Printing

ผู้จัดทำ

1. นางสาวชญานันท์ ศรีเผด็จกุลชา รหัสประจำตัว 60011039
2. นายจิรภัทร โปธิสุวรรณ รหัสประจำตัว 60011297



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. ดร. นวภัทรา หนูนาค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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.

หัวข้อโครงการ	การแต่งหน้าเค้กด้วยการพิมพ์สามมิติแบบอัดขึ้นรูป
นักศึกษา	นางสาวชฎานันท์ ศรีแผ่จกุลชา
	นายจิรภัทร โปธิสุวรรณ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร.นวภัทรา หนูนาค
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอาหาร
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการแต่งหน้าเค้กด้วยการพิมพ์สามมิติแบบอัดขึ้นรูป แบบกึ่งอัตโนมัติ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในกระบวนการพิมพ์สามมิติ คือ ฟิลลิ่งรสช็อกโกแลต ชุดหัวอัดขึ้นรูป สำหรับการพิมพ์แบบสามมิติ ประกอบด้วย สเต็ปมอเตอร์ มอเตอร์เพลาคอปเปเลอร์ ลีดสกรู อะคริลิก แท่งเหล็กกลม ชั้นยืดถุงพลาสติก ชั้นรีดฟิลลิ่ง ชั้นยืดหัวอัดขึ้นรูป และคอนโทรลเลอร์ของเครื่องพิมพ์สามมิติ รุ่น A-net E10 โดยสเต็ปมอเตอร์ทำหน้าที่ขับเคลื่อนเพลาคอปเปเลอร์เพื่อให้ลีดสกรูเคลื่อนที่และอัดฟิลลิ่งให้ไหลผ่านหัวอัดตามเส้นทางการพิมพ์สำหรับการแต่งหน้าเค้กในรูปแบบที่กำหนดไว้ โดยหัวอัดขึ้นรูปที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้กับฟิลลิ่งหรือของไหลอื่น ๆ ที่มีความหนืดอยู่ระหว่าง 150,000 ถึง 250,000 เซนติพอยส์ ด้วยอัตราการไหลของฟิลลิ่งผ่านหัวอัดเท่ากับ 0.052 กรัมต่อวินาที โดยประมาณ

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.

Project Title	Cake Decorations by Extrusion – Based 3D Printing
Students	Ms.Chayanun Sriphadejkullacha Mr.Cheeraphat Potisuwan
Project Advisor	Assoc. prof. Dr.Navaphattra Nunak
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food Engineering
Academic Year	2020

Abstract

This project proposes cake decorations by semi-automatic extrusion – based 3D printing. Chocolate filling was used as an example of food product for 3D printing. The extrusion set consists of a stepper motor, a motor shaft coupler, a lead screw, an acrylic sheet, a steel rod, a plastic bag mounting with the extrusion set, and the controller of the A-net E10 3D printer. The stepper motor drives the shaft coupler to move the lead screw and compress the filling through the extruder along the printing path as a template designed. The extrusion set as developed in this project could be used with any types of filling with viscosities between 150,000 and 250,000 centipoises with a mass flow rate approximately of 0.052 g/s.

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

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาของ รศ.ดร.นงภัทรา หนูนา และ รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ซึ่งคอยให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่อง และข้อผิดพลาด ตลอดจนเป็นกำลังใจให้คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ชี้แนะแนวทางในการศึกษา และสร้างแรงผลักดันตลอดระยะเวลา 4 ปีที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณนายอำรรหม มงคงชัยสิทธิ์ วิศวกรประจำศูนย์พัฒนานวัตกรรมและบริการทางวิศวกรรม (Engineering innovative Development and Technology Services (EIDTs)) ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน และให้คำปรึกษาด้านต่าง ๆ เพื่อให้เกิดการพัฒนา ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คณะผู้วิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร.....	3
2.1 กระบวนการพิมพ์สามมิติ.....	3
2.1.1 การสร้างไฟล์แบบจำลองสามมิติ.....	3
2.1.2 โปรแกรมสไลเซอร์.....	4
2.1.3 ชุดคำสั่งการพิมพ์.....	4
2.1.4 เครื่องพิมพ์สามมิติ.....	4
2.2 สมบัติเชิงรีโอโลยีของของไหล.....	5
2.2.1 ความหนืด.....	5
2.2.2 ความตึงผิว แรงเชื่อมแน่น และแรงยึดติด.....	9
2.3 สเต็ปมอเตอร์ (มอเตอร์ของเครื่องพิมพ์สามมิติ).....	10
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
2.4.1 การพิมพ์อาหารสามมิติ.....	12
2.4.2 การพิมพ์ซ็อกโกแลตสามมิติ.....	13
2.4.3 การยึดติดของอาหารกับภาชนะที่สัมผัสอาหาร.....	13

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 การออกแบบและสร้างชุดทดลอง.....	14
3.1 การออกแบบโครงสร้างของชุดทดลอง.....	14
3.1.1 แรงภายนอกที่ทำให้ฟิล์มไหลผ่านหัวอัดขึ้นรูป.....	14
3.1.2 แรงขับเคลื่อนและการเลือกสเต็มมอเตอร์.....	19
3.2 ชุดทดลอง.....	22
3.3 การเตรียมไฟล์ต้นแบบสามมิติ.....	27
3.4 การปรับแต่งชุดคำสั่งสามมิติ.....	29
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ.....	30
4.1 การแต่งหน้าเค้กด้วยการพิมพ์สามมิติแบบอัดขึ้นรูป.....	30
4.1.1 การทำงานของหัวอัดขึ้นรูป.....	30
4.1.2 ความสามารถในการแต่งหน้าเค้กของหัวอัดขึ้นรูป.....	30
4.1.3 การตั้งค่าการพิมพ์สามมิติ.....	30
4.2 แพลตฟอร์มตกแต่งหน้าเค้ก.....	33
4.2.1 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Congratulation.....	33
4.2.2 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Happy Birthday.....	33
4.2.3 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Happy Halloween.....	35
4.2.4 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Happy Valentine.....	35
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	36
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	36
5.2 ข้อเสนอแนะทั่วไป.....	37
บรรณานุกรม.....	38
ภาคผนวก.....	40

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
2.1 ตัวอย่างความหนืดของของไหล.....	7
2.2 ตัวอย่างความตึงผิวของของไหล.....	9
3.1 ส่วนประกอบของชุดทดลอง.....	22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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 ขั้นตอนการพิมพ์สามมิติ.....	3
2.2 เครื่องพิมพ์สามมิติ.....	5
2.3 การลดลงของความเร็ว (เกรเดียนต์ความเร็ว) เมื่อมีแรงมากกระทำในแนวขนานกับพื้นผิวของของไหล.....	6
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนของของไหลแบบต่าง ๆ	8
2.5 ลีตสกรูและน็อตสกรู.....	10
2.6 ระยะเวลาพิชของลีตสกรู.....	11
2.7 แรงกระทำของลีตสกรู.....	11
3.1 แผนภาพอิสระของบริเวณที่เกี่ยวข้องกับฟิลลิ่ง.....	15
3.2 สเต็ปมอเตอร์รุ่น Nema-17.....	20
3.3 ระยะตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรงของสเต็ปมอเตอร์.....	21
3.4 ภาพแบบชุดทดลอง.....	23
3.5 ภาพสามมิติของโครงสร้างหัวอัดขึ้นรูปที่ได้รับการพัฒนา.....	24
3.6 โครงสร้างส่วนของชั้นยึดถุงพลาสติกใส่ฟิลลิ่ง.....	25
3.7 โครงสร้างส่วนของชั้นรีดฟิลลิ่ง.....	26
3.8 โครงสร้างส่วนของชั้นยึดหัวอัดขึ้นรูป.....	27
3.9 หมวดหมู Quality.....	28
3.10 หมวดหมู Shell.....	28
3.11 หมวดหมู Infill.....	29
4.1 ภาพตัวอย่างการพิมพ์สามมิติ.....	31
4.2 การปรับแต่งตัวแปรในหมวดหมู Quality.....	32
4.3 การปรับแต่งตัวแปรในหมวดหมู Shell.....	32
4.4 การปรับแต่งตัวแปรในหมวดหมู Infill.....	32
4.5 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Congratulation.....	33
4.6 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Happy Birthday.....	34
4.7 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Happy Halloween.....	35
4.8 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Happy Valentine.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 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 ความเป็นมาและความสำคัญ

หนึ่งในผลิตภัณฑ์ของหวานที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั่วโลก ได้แก่ เค้ก (Guan et al., 2020) โดยเค้กตามร้านค้าต่าง ๆ มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว รสชาติ และมีรูปแบบที่หลากหลายให้ผู้บริโภคได้ตัดสินใจซื้อ ซึ่งในยุคปัจจุบัน สิ่งสำคัญที่ทำให้ผู้บริโภคให้ความสนใจในผลิตภัณฑ์ คือ ความคิดสร้างสรรค์ ความแปลกใหม่ และความแตกต่าง โดยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ (3D Printing) หรือเรียกอีกอย่างว่า การผลิตแบบเติมเนื้อวัสดุ (Additive Manufacturing, AM) เป็นหนึ่งในนวัตกรรมคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ ครอบคลุมการใช้งานในอุตสาหกรรมอาหาร การพิมพ์สามมิติเป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญในการนำเครื่องพิมพ์สามมิติมาทำงานแทนมนุษย์ ซึ่งเป็นการลดการใช้แรงงานมนุษย์ ลดระยะเวลาในกระบวนการผลิต ลดต้นทุนการผลิต และยังสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Matt et al., 2012) เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก (Piyush and Srivastava, 2019)

การนำเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติมาประยุกต์ใช้กับอาหารเรียกว่า การพิมพ์อาหารสามมิติ (3D Food Printing) เป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารในอนาคตเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นการนำเอาเครื่องพิมพ์สามมิติมาพัฒนาให้สามารถพิมพ์วัตถุดิบที่เป็นอาหารได้ ทำให้เกิดความหลากหลายในการผลิต และสามารถออกแบบได้ด้วยตนเอง ซึ่งการนำเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติมาเพื่อใช้สำหรับการตกแต่งหน้าเค้ก ทำให้เค้กที่ผ่านการตกแต่งด้วยการพิมพ์สามมิตินั้นมีความแตกต่างไปจากเค้กที่ผ่านการตกแต่งด้วยแรงงานฝีมือมนุษย์ เนื่องจากเครื่องพิมพ์สามมิติสามารถสร้างสรรค์โครงสร้างทางเรขาคณิต ที่มนุษย์ไม่สามารถทำได้ (Bae et al., 2018) ดังนั้น การนำกระบวนการพิมพ์สามมิติมาประยุกต์ใช้ จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเค้ก

การพิมพ์สามมิติโดยการอัดขึ้นรูป (Extrusion-based Printing) เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการพิมพ์สามมิติที่เกี่ยวข้องกับอาหารมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายต่อการพัฒนา และครอบคลุมวัตถุดิบทางอาหารที่หลากหลาย ตัวอย่างวัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการพิมพ์สามมิติ เช่น ไขมันนม, ช็อกโกแลต, ผลไม้, น้ำผลไม้ (Desselle et al., 2019) และฟิลลิ่ง (Filling) ซึ่งฟิลลิ่งเป็นผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเนื้อหาไปใช้ในการค้า
อาหารที่ใช้สำหรับตกแต่งหน้าเค้กหรือสอดไส้ขนมปัง คุกกี้ และขนมปังแวนิลา ซึ่งรสชาติของไส้
ไม่ว่ากรณีใดที่นิยมผลิต คือ ไส้ช็อกโกแลต ไส้ผลไม้ ไส้ครีม และไส้คัสตาร์ด เป็นต้น (สุรชาติพิทย์และคณะ, 2558) นำไปใช้

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

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

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงนำเสนอการพิมพ์สามมิติแบบอัดขึ้นรูปสำหรับการตกแต่งหน้าเค้ก เพื่อสร้างเส้นทางในการตกแต่งหน้าเค้กได้ตามรูปแบบที่กำหนด ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาในโครงการวิจัยนี้ คือ ฟิลลิ่งรสช็อกโกแลต (Chocolate Filling)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อพัฒนาหัวอัดขึ้นรูปสำหรับการพิมพ์เพื่อการตกแต่งหน้าเค้ก ตามรูปแบบที่กำหนด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในกระบวนการพิมพ์สามมิติแบบอัดขึ้นรูป จะต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะชั้นหนืด เช่น ฟิลลิ่ง ครีม และบัตเตอร์ครีม เป็นต้น และต้องมีค่าความหนืดระหว่าง 150,000 ถึง 250,000 เซนติพอยส์ เท่านั้น

1.3.2 พัฒนาหัวอัดขึ้นรูปให้ทำงานภายใต้การทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติแบบคาร์ทีเซียน

1.3.3 การทำงานของหัวอัดขึ้นรูปจะสามารถพิมพ์ได้ในระบบสองมิติเท่านั้น และการทำงานของระบบการพิมพ์เป็นการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่ต้องมีการสั่งงานและควบคุมจากผู้ใช้งาน

1.3.4 โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบหัวอัดขึ้นรูปและพิมพ์สามมิติแบบอัดขึ้นรูป คือ โปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SolidWork) และ โปรแกรมคูลาร์ (Cura) ตามลำดับ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 การพิมพ์สามมิติแบบอัดขึ้นรูปที่สามารถตกแต่งหน้าเค้กได้ตามรูปแบบที่กำหนดสามารถใช้งานได้จริง

1.4.2 เพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ (เค้ก) โดยนำนวัตกรรมการพิมพ์สามมิติมาประยุกต์ใช้ให้การพิมพ์ในแต่ละครั้งมีความใกล้เคียงกันมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

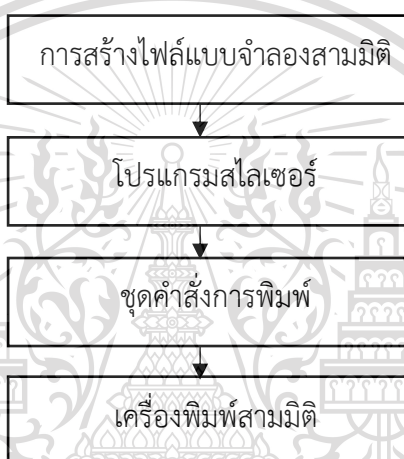
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 กระบวนการพิมพ์สามมิติ

กระบวนการพิมพ์สามมิติ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การสร้างแบบจำลองสามมิติ การปรับแต่งตัวแปร การแก้ไขชุดคำสั่งการพิมพ์ และเครื่องพิมพ์สามมิติ (Sylvester, 2020) โดยขั้นตอนการพิมพ์สามมิติแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการพิมพ์สามมิติ

2.1.1 การสร้างไฟล์แบบจำลองสามมิติ

การสร้างแบบจำลองสามมิติทำได้โดยการสร้างรูปทรงต่าง ๆ เช่น ตัวอักษร รูปทรงสามมิติ พื้นฐาน เช่น สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม วงกลม และรูปทรงอื่น ๆ ที่เกิดจากการประกอบรูปทรงสามมิติ พื้นฐานเข้าด้วยกัน ซึ่งสามารถกำหนดขนาดของรูปทรง ปรับแต่งรูปทรง และหมุนรูปทรงได้ตามความต้องการ ด้วยโปรแกรมออกแบบสามมิติที่ทำงานผ่านหน้าเว็บเพจ โดยตัวอย่างไฟล์สามมิติจะมีนามสกุล .STL (Standard Triangle Language) ในขณะที่รูปแบบของไฟล์สามมิติที่จะนำไปใช้พิมพ์กับเครื่องพิมพ์สามมิติมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น .OBJ, .3DP, ฯลฯ แต่รูปแบบ .STL (Standard Triangle Language) กลายเป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม และใช้อย่างกว้างขวาง โดยโปรแกรม CAD เกือบทั้งหมดสามารถบันทึกไฟล์งานในรูปแบบของ .STL ได้ จากนั้นทำหน้าที่แปลงโปรแกรม Slicer

เอกสารนี้เป็นเอกสารให้ข้อมูลในรูปแบบ G-code ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้ในการสั่งงานเครื่องพิมพ์สามมิติต่อไป

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.

2.1.2 โปรแกรมสไลเซอร์

การตั้งค่าการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์สามมิตินั้น เริ่มจากไฟล์สามมิติต้นแบบ (Standard Triangle Language) แล้วนำไปเข้าสู่โปรแกรมการตั้งค่า เรียกว่าโปรแกรมสไลเซอร์ (Slicer Program) เพื่อปรับค่าตัวโปรต่าง ๆ ที่เครื่องพิมพ์สามมิติต้องใช้งาน เพื่อให้การพิมพ์เป็นแบบที่ต้องการ ตัวอย่างโปรแกรมสไลเซอร์ เช่น โปรแกรมคูลาร์ ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำหรับการสร้างไฟล์จีโค้ด (G-CODE) เอาไว้ใช้สำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติ และพัฒนาให้สามารถใช้ได้กับเครื่องพิมพ์สามมิติหลายประเภท จึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นใช้เครื่องพิมพ์สามมิติเป็นครั้งแรก เพราะมี Interface ที่ทำงานง่าย ไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน ทำให้โปรแกรมตัวนี้เป็นที่นิยม ซึ่งโปรแกรมตัวนี้เป็นของบริษัท Ultimaker ซึ่งเป็นผู้ผลิตเครื่องพิมพ์สามมิติของทางยุโรป

2.1.3 ชุดคำสั่งการพิมพ์

ชุดคำสั่งการพิมพ์ หรือ G-Code ย่อมาจาก Geometric Code เป็นภาษาสำหรับการสั่งงานเครื่องจักรให้เคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้คู่กับเครื่อง CNC (CNC คือเครื่องจักรที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า Computer Numeric Control) ตัวเครื่องพิมพ์สามมิติก็ถือว่าเป็นเครื่องจักร ซึ่งหัวพิมพ์จะทำการเคลื่อนที่ตามคำสั่ง G-Code โดยที่ G-CODE จะนำไปใช้งานกับเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยที่เครื่องพิมพ์สามมิติจะถูกฝังด้วยเฟิร์มแวร์ที่เรียกว่ามารลินโคด เฟิร์มแวร์มารลิน (Marlin Firmware) เป็นเฟิร์มแวร์ที่ฝังอยู่บนบอร์ดของคอนโทรลเลอร์ บนเครื่องพิมพ์สามมิติ เป็นเฟิร์มแวร์ที่เปิดให้ใช้งานทั่วไปจากเรปเรป (RepRap Family) ส่วนใหญ่ใช้ในงานกับพวกเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยจะเป็นเฟิร์มแวร์ควบคุมเกี่ยวกับการสั่งงานการเคลื่อนที่สามมิติจะฝังตัวอยู่บนบอร์ดอาร์ดูโน (Arduino board)

2.1.4 เครื่องพิมพ์สามมิติ

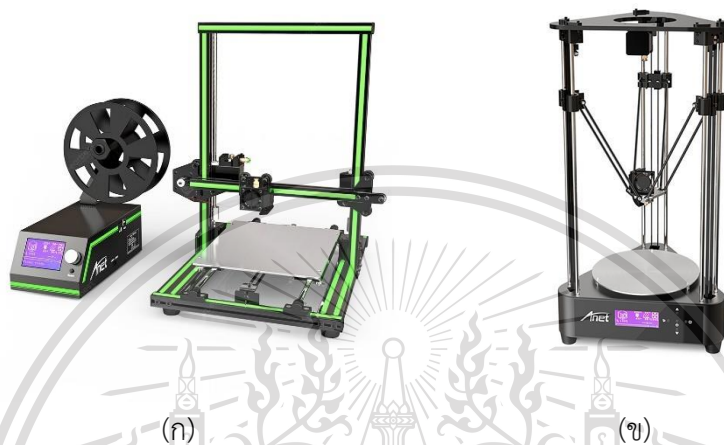
เครื่องพิมพ์สามมิติ คือ เครื่องจักรที่ทำการพิมพ์สามมิติโดยใช้กระบวนการเติมเนื้อวัสดุ (Additive Process) ซึ่งเป็นการเพิ่มเนื้อวัสดุตามพื้นที่ภาคตัดขวางในแนวนอนของแบบจำลองทีละชั้นไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ชิ้นงานที่ถูกต้องสมบูรณ์ตามที่ต้องการ ซึ่งกรรมวิธีการผลิตแบบนี้มีข้อดีคือสามารถสร้างแบบจำลองภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว ที่มีความซับซ้อนและมีความแม่นยำสูงได้ (Yang et al., 2018) โดยอาศัยข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล เช่น ตัวอักษร ภาพถ่าย หรือภาพวาดในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อทำให้เกิดเป็นรูปร่างที่สามารถจับต้องได้ตามที่ต้องการ ซึ่งชนิดของ

เอกสารนี้เป็นเครื่องพิมพ์สามมิติแบ่งออกเป็นสองชนิดตามการเคลื่อนที่ของหัวอัดขึ้นรูป ดังรูปที่ 2:2 ได้แก่การพิมพ์ไม่ว่ากรณีใดเครื่องพิมพ์สามมิติชนิดคาร์ทีเซียน ซึ่งเป็นเครื่องพิมพ์สามมิติที่หัวอัดขึ้นรูปจะเคลื่อนที่ในระนาบของ

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

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

แกน X และ Y คือ สามารถเคลื่อนที่ไปได้ซ้าย-ขวา/หน้า-หลัง และจะเคลื่อนที่ในระนาบของแกน Z คือ สามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้ และเครื่องพิมพ์สามมิติชนิดเดลต้า ซึ่งเป็นเครื่องพิมพ์สามมิติที่หัวอัดขึ้นรูปสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในระนาบของแกน X, Y และ Z ซึ่งจะทำการควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวอัดขึ้นรูปให้ทำงานสอดคล้องกันกับมอเตอร์



รูปที่ 2.2 (ก) เครื่องพิมพ์สามมิติชนิดคาร์ทีเซียน (ข) เครื่องพิมพ์สามมิติชนิดเดลต้า

ที่มา : www.geekbuying.com

2.2 สมบัติเชิงรีโอโลยีของของไหล

ของเหลวเป็นหนึ่งในสถานะของสสาร มีปริมาตรที่คงตัวและมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุ ซึ่งของเหลวสามารถไหลจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งได้ ของเหลวจึงถูกเรียกว่าของไหล (Fluid) รีโอโลยี (Rheology) เป็นศาสตร์ที่ศึกษาพฤติกรรมของวัตถุในการตอบสนองต่อแรงที่มากระทำ โดยการตอบสนองจะอยู่ในรูปของการเสียรูปทรงและการไหล

2.2.1 ความหนืด

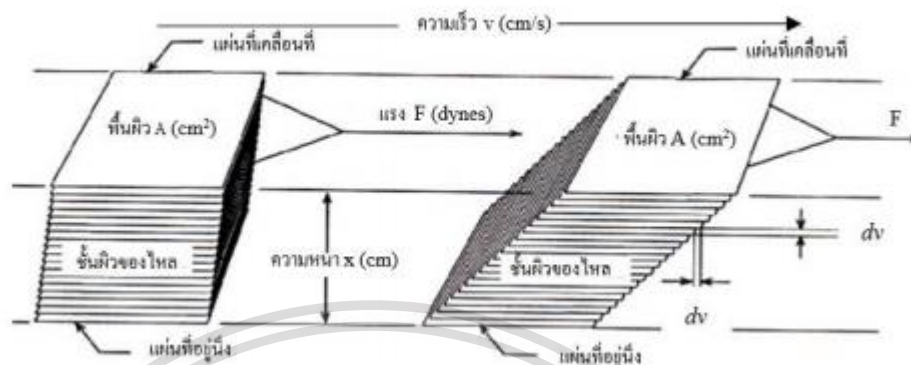
ความหนืด (Viscosity) คือ ความสามารถในการต้านทานแรงเฉือน (Shear Force) แต่ละชั้นของของไหลที่อยู่ติดกัน โดยความต้านทานแรงเฉือนของของไหลจะขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวและอัตราการถ่ายเทโมเมนตัมของของไหลนั้น การวัดความหนืดทำได้โดยการวัดแรงต้านทานการไหลของของไหลหรือแรงเฉือน ที่เกิดขึ้นในแนวขนานกับการไหลแต่ทิศทางตรงกันข้ามกับแนวการไหล (ทวิช, 2549) เมื่อพิจารณาก้อนของไหลที่มีแผ่นระนาบ 2 แผ่นวางขนานกันทั้งด้านบนและด้านล่างของก้อน

ของไหล เมื่อออกแรงกระทำ (Force, F) ในแนวขนานกับพื้นผิวของแผ่นด้านบน ให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ของไหลที่สัมผัสอยู่กับแผ่นระนาบบนจะมีความเร็วคงที่เท่ากับความเร็วของแผ่นไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา 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.

ระนาบบน ส่วนของไหลที่อยู่ในชั้นถัดลงมา จะมีความเร็วลดหลั่นลงมาอย่างสม่ำเสมอ โดยชั้นล่างสุด จะไม่มีการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การลดลงของความเร็ว (เกรเดียนต์ความเร็ว) เมื่อมีแรงมากระทำในแนวขนานกับพื้นผิวของของไหล

ที่มา : สายัณห์ สุยพงษ์ และวิรัตน์ ปฐมชัยอัมพร (2549)

อัตราส่วนความแตกต่างของความเร็ว (dv) ระหว่างชั้นผิวของของไหลที่ติดกันกับระยะทางที่เปลี่ยนไป (dx) คือ อัตราเฉือน (Shear rate, γ) ที่อยู่ในเทอมของเกรเดียนต์ความเร็ว (dv/dx) ค่าแรงต่อหน่วยพื้นที่ (F/A) ที่ทำให้เกิดการไหล คือ ความเค้นเฉือน (Shear Stress, τ) ในกรณีที่ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนและความเค้นเฉือนเป็นแบบเชิงเส้น จะถือว่าเป็นไปตามกฎความหนืดของนิวตัน (Newton law of viscosity) และเรียกของไหลที่เป็นไปตามความสัมพันธ์นี้ว่า ของไหลนิวโทเนียน และอัตราเฉือนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงเฉือนดังสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$\frac{F}{A} \propto \left(\frac{dv}{dx}\right) \quad (2.1)$$

หรือ

$$\frac{F}{A} = \mu \left(\frac{dv}{dx}\right) \quad (2.2)$$

โดย μ คือ สัมประสิทธิ์ของความหนืด (Coefficient of viscosity) หรือ ความหนืดปรากฏ (Apparent Viscosity) หรือ ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute Viscosity) ซึ่งโดยรวมเรียกว่า ความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้

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

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

A คือ พื้นที่
 $\left(\frac{dv}{dx}\right)$ คือ อัตราเฉือน

ซึ่งความหนืดสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ ดังสมการที่ 2.3

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2.3)$$

โดย τ คือ ความเค้นเฉือน มีหน่วยเป็นดายน์ต่อตารางเซนติเมตร
 (dynes/cm²) หรือ ปาสคัล (Pa)

γ คือ อัตราเฉือน มีหน่วยเป็นหนึ่งต่อวินาที (s⁻¹)

หน่วยของความหนืดที่นิยมใช้ทั่วไป คือ พอยส์ (Poise) โดย 1 พอยส์ คือ แรงที่มีผลทำให้ของไหลที่มีพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางเซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาที แสดงตัวอย่างความหนืดของของไหลดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างความหนืดของของไหล

ของไหล	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส, °C)	ความหนืด (เซนติพอยส์, cPs)
น้ำมันข้าวโพด	20	65
น้ำมันละหุ่ง	20	250 – 500
ไซรัปข้าวโพด	20	2,000 – 3,000
กากน้ำตาล (โมลาส)	20	5,000 – 10,000
ซอสมะเขือเทศเข้มข้น	20	150,000 – 250,000

ที่มา : William, 2008

ลักษณะการไหลของของไหลนิวโทเนียน (Newtonian Fluid) เป็นลักษณะการไหลของของไหลที่เป็นไปตามกฎความหนืดของนิวตัน คือ ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ของไหลจะมีค่าความหนืดเป็นค่าคงที่ และเป็นของไหลที่ความเค้นเฉือนแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราเฉือน ตัวอย่างของไหลนิวโทเนียน เช่น อากาศ น้ำ เอทานอน และเบนซิน เป็นต้น กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและ

อัตราเฉือนเป็นเส้นตรงดังภาพที่ 2.4 และการตัดสินใจว่าของไหลที่กำลังพิจารณาเป็นของไหลที่มีไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา 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.

ลักษณะการไหลเป็นแบบใด และมีค่าความหนืดเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับอัตราเฉือนและค่าความหนืดปรากฏ

ลักษณะการไหลของของไหลนอนนิวโทเนียน (Non-Newtonian Fluid)

เป็นลักษณะการไหลของของไหลที่ไม่เป็นไปตามกฎความหนืดของนิวตัน คือ ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ของไหลจะมีค่าความหนืดไม่คงที่ และเป็นของไหลที่ความเค้นเฉือนไม่แปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราเฉือน ซึ่งลักษณะการไหลแบบนี้จะแบ่งได้เป็น 3 แบบ ดังรูปที่ 2.4

1) ชูโดพลาสติก (Pseudoplastic)

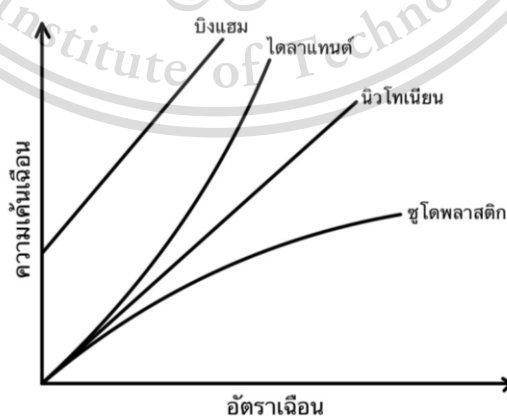
เป็นของไหลที่เมื่ออัตราเฉือนเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ความหนืดของของไหลลดลง ซึ่งมีสาเหตุเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากอัตราเฉือนที่เพิ่มขึ้น เป็นผลให้เกิดการคลายตัวของห่วงโซ่ที่พันกันของโมเลกุล โดยลักษณะกราฟเป็นเส้นโค้งลง ตัวอย่างของไหลชูโดพลาสติก เช่น ซีเมนต์ เลือด โคลน เป็นต้น

2) ไดลาแทนต์ (Dilatant)

เป็นของไหลที่เมื่ออัตราเฉือนเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ความหนืดของของไหลเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งมีสาเหตุเนื่องจากมีแรงมากระทำเป็นผลให้โมเลกุลมีการจับตัวกันแน่นมากขึ้น หรือห่วงโซ่โมเลกุลเกิดการเกี่ยวพันกัน โดยลักษณะกราฟเป็นเส้นโค้งขึ้น ตัวอย่างของไหลไดลาแทนต์ เช่น น้ำแป้ง ทราเยก สารละลายน้ำตาลเข้มข้น เป็นต้น

3) บิงแฮม (Bingham)

ของไหลประเภทนี้จะมีพฤติกรรมเหมือนของแข็งในระยะเริ่มต้น และจะเปลี่ยนคุณสมบัติเป็นเหมือนของไหลนิวโทเนียนก็ต่อเมื่อมีค่าความเค้นเฉือนกระทำจนกระทั่งถึงจุดคราก (Yield point) ตัวอย่างของไหลบิงแฮม เช่น ยาสีฟัน ซอสมะเขือเทศ มายองเนส เป็นต้น



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนของของไหลแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้
 ที่มา : โชคชัย นิเวศน์รังสรรค์ (2549)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 ความตึงผิว แรงเชื่อมแน่น และแรงยึดติด

ความตึงผิว (Surface Tension, γ) คือ ความพยายามในการยึดผิวของของเหลว ซึ่งจะทำให้เกิดแรงกระทำที่ผิวของของเหลว ซึ่งเป็นแรงระหว่างโมเลกุลของของเหลวที่พยายามทำให้ผิวของของเหลวราบเรียบ ไม่ให้แยกหรือฉีกขาดออกจากกัน เรียกแรงนี้ว่า แรงตึงผิว (Tension Force, F_{tension}) โดยแรงตึงผิวจะมีทิศขนานกับผิวของของเหลวและตั้งฉากกับเส้นขอบที่ของเหลวสัมผัส สามารถหาความตึงผิวของของเหลวแต่ละชนิดได้ดังสมการที่ 2.4 และแสดงตัวอย่างความตึงผิวของของไหลดังตารางที่ 2.2

$$\gamma = \frac{F_{\text{tension}}}{L} \quad (2.4)$$

โดย γ คือ ความตึงผิว มีหน่วยเป็นนิวตันต่อเมตร (N/m) หรือ ดายน์ต่อเซนติเมตร (dyne/cm)

F_{tension} คือ ขนาดของแรงตึงผิว มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

L คือ ความยาวของผิวสัมผัส มีหน่วยเป็นเมตร (m)

แรงตึงผิวมีความสัมพันธ์กันกับแรงเชื่อมแน่น (Cohesive Force) และแรงยึดติด (Adhesive Force) เป็นผลทำให้เกิดลักษณะที่คล้ายกับแผ่นบาง ที่สามารถต้านทานแรงดึงได้เพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างความตึงผิวของของไหล

ของไหล	อุณหภูมิ (°C)	ความตึงผิว (mN/m)
น้ำ	20	72.8
เอซิลแอลกอฮอล์	20	22.3
น้ำมันมะกอก	20	32.0
น้ำสบู่	20	25.0
เบนซิล	20	28.9

ที่มา : ศรีธนะ วรศักดิ์โยธิน, 2546

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.

แรงเชื่อมแน่น คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคหรือโมเลกุลของของเหลวชนิดเดียวกัน เช่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับน้ำ

แรงยึดติด คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคหรือโมเลกุลของของเหลวกับสารชนิดอื่น เช่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับแก้วที่ใช้เป็นภาชนะสำหรับใส่น้ำ สามารถหาสมการของแรงยึดติดได้ดังสมการที่ 2.5

$$F_{\text{adhesion}} = 2\pi RW_a \quad (2.5)$$

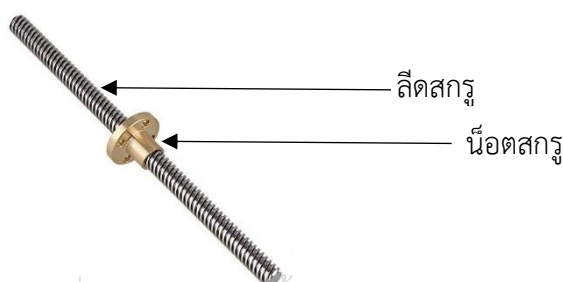
โดย F_{adhesion} คือ แรงยึดติด มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

R คือ รัศมีที่ปลายของรูปทรง มีหน่วยเป็นเมตร (m)

W_a คือ งานของการยึดติด มีหน่วยเป็นมิลลิวัตตันต่อเมตร (mN/m)

2.3 สเต็ปมอเตอร์ (มอเตอร์ของเครื่องพิมพ์สามมิติ)

ลีดสกรู (Lead screw) คือ เกลียวนำของแท่งกลิ้งยาวตามแนวนอน บางครั้งลีดสกรูเรียกว่า "สกรูไฟฟ้า" หรือ "สกรูแปลภาษา" สำหรับใช้ภายในอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบหมุนเป็นการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น ซึ่งการเคลื่อนที่แบบหมุนจะทำให้สกรูหมุน ส่งผลให้น็อตเคลื่อนที่ไปตามแนวเส้นตรง เกิดการเปลี่ยนจากการเคลื่อนที่จากแบบหมุนเป็นการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น และมีสกรูน็อตหรือน็อตพิดแบบเลื่อนที่โดยสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับเกลียวสกรูได้ ดังรูปที่ 2.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.5 ลีดสกรูและน็อตสกรู

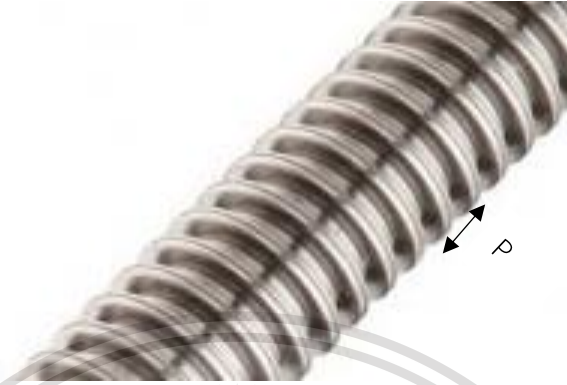
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มา : www.robu.com

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

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

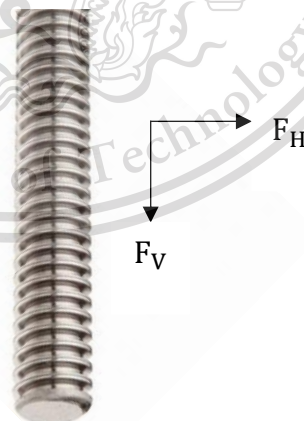
ระยะพิตช์ (Pitch, P) คือ ระยะห่างระหว่างปลายเกลียวถึงปลายเกลียวของเพลาสกรู มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm.) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ระยะพิตช์ของลีดสกรู

ที่มา : www.tuli-shop.com

แรงกระทำของลีดสกรูแบ่งออกตามแนวแกนได้เป็น แรงกระทำในแนวตั้ง (Vertical Force, F_V) และแรงกระทำในแนวนอน (Horizontal Force, F_H) ของลีดสกรู มีทิศทางดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แรงกระทำของลีดสกรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่อาจารย์มอบหมายไปอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ที่มา : www.tuli-shop.com

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ การพิมพ์อาหารสามมิติ การพิมพ์ช็อกโกแลตสามมิติ และการยึดติดของอาหารกับภาชนะที่สัมผัสอาหารนั้น

2.4.1 การพิมพ์อาหารสามมิติ

Zoran et al. (2009) กล่าวถึงเทคนิคการผลิตอาหารส่วนใหญ่ได้รับการพัฒนาเพื่อการผลิตจำนวนมาก ในขณะที่ความคิดสร้างสรรค์ด้านอาหารและการควบคุมรูปร่างโครงสร้างและรสชาติไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร เครื่องพิมพ์อาหารสามมิติเป็นแพลตฟอร์มสำหรับการตอบสนองผู้บริโภคด้วยรูปแบบและรสชาติใหม่ของอาหาร ซึ่งก่อนหน้านี้กระบวนการปรับแต่งนี้เกี่ยวข้องกับทักษะที่ต้องกระทำด้วยมือเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีอัตราการผลิตต่ำและค่าใช้จ่ายสูง เทคโนโลยีการพิมพ์อาหารสามมิติมีข้อดี ในการให้ผู้บริโภคมีแนวทางในการออกแบบ ปรับแต่ง และสร้างสรรค์อาหารได้ตามความต้องการ ทำให้อาหารมีความหลากหลายและน่ารับประทานมากยิ่งขึ้น

Ling et al. (2016) กล่าวถึงตัวแปรที่เกี่ยวกับการพิมพ์อาหารสามมิติ ที่ไม่เพียงแต่คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของส่วนผสมของอาหารที่มีผลต่อการพิมพ์สามมิติ แต่ยังรวมถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการพิมพ์ เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวอัดขึ้นรูป, อัตราการไหล, เส้นผ่านศูนย์กลางหัวอัดขึ้นรูป, ความสูงของหัวอัดขึ้นรูปและอุณหภูมิ ตัวแปรเหล่านี้ล้วนส่งผลในการพิมพ์สามมิติทั้งสิ้น เช่น ความแม่นยำในการพิมพ์และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นกับอุณหภูมิของหัวอัดขึ้นรูป การเพิ่มอุณหภูมิของหัวอัดขึ้นรูปสามารถลดความหนืดลงได้ อย่างไรก็ตามการศึกษาวิจัยได้ดำเนินการพิมพ์อาหารสามมิติที่อุณหภูมิห้อง

Kim et al. (2018) กล่าวถึงการพิมพ์สามมิติ หรือที่เรียกว่าการผลิตแบบเพิ่ม ได้รับความสนใจมากขึ้น เพราะ การพิมพ์สามมิติเป็นการพิมพ์ที่มีศักยภาพ มีความเป็นเอกลักษณ์ในการสร้างโครงสร้างเชิงเรขาคณิตที่มีความซับซ้อน เทคโนโลยีที่การพิมพ์สามมิติที่เกิดขึ้นใหม่นี้เป็นนวัตกรรมใหม่ สำหรับการผลิตอาหารทั่วไปตามความต้องการทางโภชนาการ และปริมาณพลังงานของแต่ละบุคคลที่พึงได้รับ เป็นแนวทางใหม่ที่เกิดขึ้นจากการพิมพ์อาหารสามมิติ มีความเกี่ยวข้องอย่างมากสำหรับผู้ที่มีความต้องการทางโภชนาการที่เฉพาะเจาะจง เช่น ผู้สูงอายุหรือผู้ป่วยที่มีปัญหาในการรับประทานหรือการกลืน

Huang et al. (2013) กล่าวถึงการพิมพ์แบบอัดขึ้นรูปซึ่งเรียกว่าการสร้างแบบจำลองการหลอมรวม (Fused Deposition Modelling, FDM) เป็นวิธีการโดยทั่วไปสำหรับการพิมพ์สามมิติของอาหาร การสร้างแบบจำลองแบบหลอมรวมได้รับการพัฒนาเป็นครั้งแรกสำหรับการสร้างแบบจำลองของพลาสติก ต่อมาได้รับการดัดแปลงเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร ซึ่งการสร้างแบบจำลอง

การหลอมรวมเกี่ยวข้องกับการพิมพ์แบบอัดขึ้นรูป โดยการอัดขึ้นรูป คือ การที่ของเหลวหรือวัสดุกึ่งแข็งถูกอัดผ่านหัวอัดขึ้นรูปซึ่งเคลื่อนที่ในทิศทางตามแนวแกน x, y และ z ซึ่งการพิมพ์แบบอัดขึ้นรูปจะสร้างโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เป็นชั้น ๆ ซ้อนกันจนกว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เสร็จสมบูรณ์ และข้อดีของการพิมพ์แบบอัดขึ้นรูป คือ อาหารที่มีส่วนผสมที่หลากหลายสามารถถูกอัดขึ้นรูปออกมาพร้อมกันเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์อาหารที่น่าสนใจได้

2.4.2 การพิมพ์ช็อกโกแลตสามมิติ

Malone et al. (2007) ทำการตรวจสอบพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์สามมิติ เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ และระยะห่างของหัวอัดขึ้นรูปถึงฐานการพิมพ์ ต่อมาได้สร้างเครื่องพิมพ์ช็อกโกแลตสามมิติ ซึ่งช็อกโกแลตเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการพิมพ์อาหาร เนื่องจากความสามารถในการรีดขึ้นรูปและความนิยมในตลาด โดยเครื่องพิมพ์สามมิตินี้เป็นเครื่องแรกที่วางจำหน่ายทั่วไป นั่นคือเครื่อง Choc Edge ซึ่งเครื่องนี้สามารถพิมพ์ช็อกโกแลตได้ทั้งสองมิติและสามมิติ แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าช็อกโกแลตจะเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการพิมพ์สามมิติอย่างแพร่หลาย แต่ก็ยังเป็นวัสดุที่มีความละเอียดในเรื่องส่วนผสมของช็อกโกแลตที่ประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่หลากหลาย ซึ่งแต่ละองค์ประกอบล้วนมีผลต่อการพิมพ์สามมิติทั้งสิ้น

2.4.3 การยึดติดของอาหารกับภาชนะที่สัมผัสอาหาร

Nicole et al. (1993) ศึกษาการยึดติดระหว่างสารเคลือบที่สามารถรับประทานได้ โดยการศึกษาการยึดติดของอาหารกับพื้นผิวอุปกรณ์อาจเป็นประโยชน์สำหรับการประมวลผลเฉพาะบางอย่าง เช่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผสมอาหารที่จะทำการอัดขึ้นรูป อย่างไรก็ตาม การยึดติดของอาหารกับบรรจุภัณฑ์เป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาและเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความกังวลของผู้บริโภค

Jain et al. (2006) กล่าวถึงการรวมตัวระหว่างส่วนผสมภายในอาหารกับอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปรรูปอาหารนั้น เป็นปัญหาอย่างหนึ่งสำหรับผู้ประกอบการ เพราะเป็นสาเหตุนำไปสู่การปนเปื้อนในสายการผลิต ส่งผลให้สามารถผลิตได้น้อยลง และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทำความสะอาดที่เพิ่มขึ้น

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

การออกแบบและสร้างชุดทดลอง

3.1 การออกแบบโครงสร้างของชุดทดลอง

การออกแบบโครงสร้างของชุดทดลองเพื่อให้หัวอัดขึ้นรูปสามารถอัดขึ้นรูปฟิล์มได้ นั้น เริ่มจากการหาแรงภายนอกที่ทำให้ฟิล์มสามารถไหลผ่านหน้าตัดของหัวฉีด หลังจากนั้นนำมากำหนดเป็นข้อจำกัดในการเลือกใช้สเต็มมอเตอร์ ที่มีแรงขับเคลื่อนมากกว่าแรงที่คำนวณได้ เพื่อให้ฟิล์มสามารถไหลผ่านหัวอัดขึ้นรูปได้

3.1.1 แรงภายนอกที่ทำให้ฟิล์มไหลผ่านหัวอัดขึ้นรูป

การคำนวณหาแรงภายนอกที่ทำให้ฟิล์มไหลผ่านหัวอัดขึ้นรูปมีดังนี้

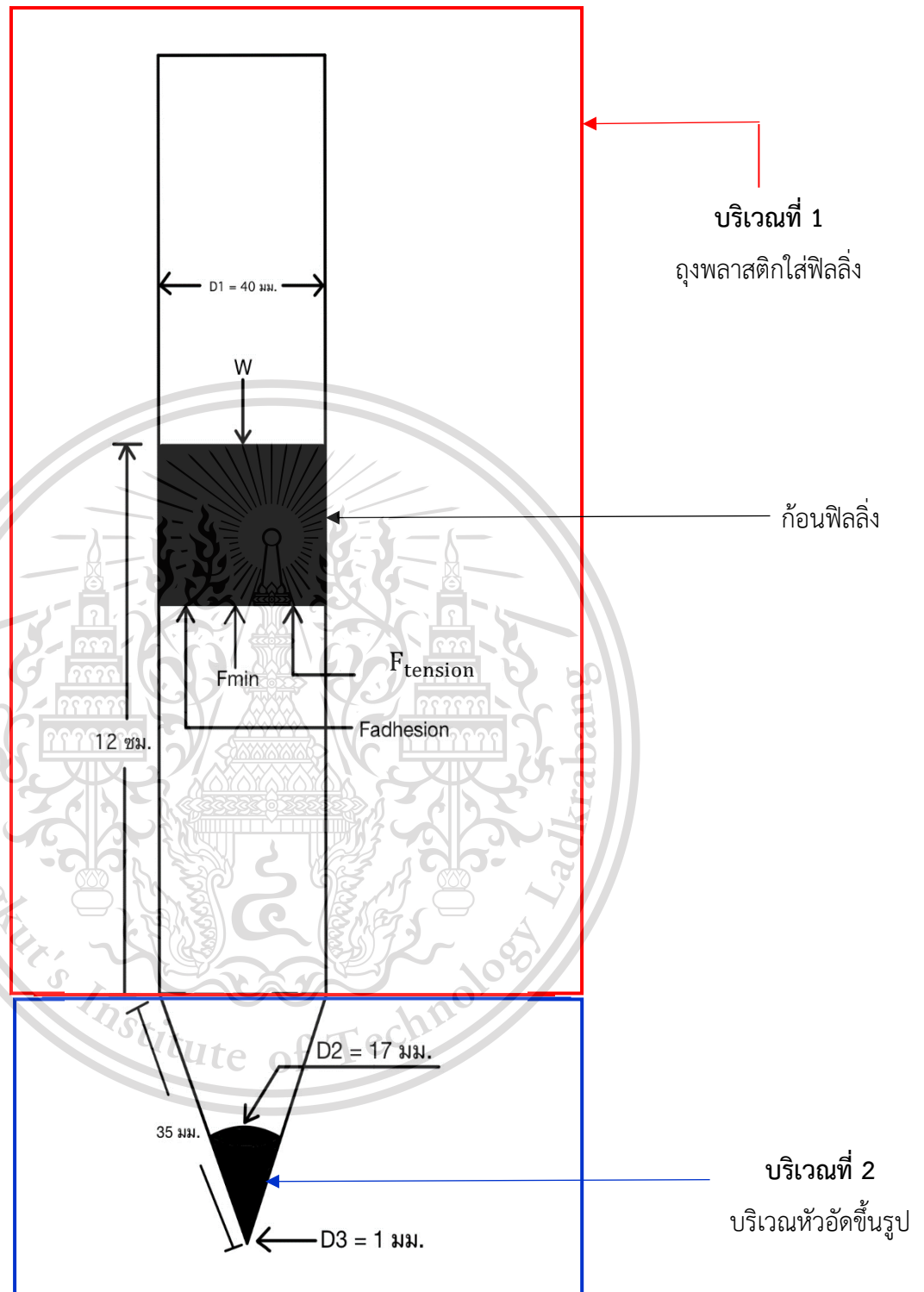
1) วาดแผนภาพอิสระ (Free Body Diagram)

แผนภาพอิสระของบริเวณที่เกี่ยวข้องกับฟิล์ม ได้แก่ บริเวณถุงพลาสติกใส่ฟิล์มที่ทำจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) โดยผ่านการซีลเป็นที่เรียบร้อย และบริเวณหัวอัดขึ้นรูป โดยสมมุติให้ฟิล์มมีลักษณะเป็นก้อนที่มีน้ำหนัก ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบด้วยแรง 4 แรงที่กระทำกับก้อนฟิล์ม ได้แก่ น้ำหนักของก้อนฟิล์ม แรงภายนอกที่ทำให้ฟิล์มไหลผ่านหัวอัดขึ้นรูป แรงตึงผิวและแรงยึดติดของถุงพลาสติกใส่ฟิล์มและฟิล์มที่มีพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก

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 3.1 แผนภาพอิสระของบริเวณที่เกี่ยวข้องกับฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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.

โดย D_1 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถุงพลาสติกใส่ฟิลลิ่งที่ผ่านการซีลเป็นที่เรียบร้อยแล้วมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

D_2 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนหัวฉีด มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

D_3 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างหัวฉีด มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

W คือ น้ำหนักของก้อนฟิลลิ่ง มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg.)

F_{\min} คือ แรงภายนอกที่ทำให้ฟิลลิ่งไหลผ่านหัวอัดขึ้นรูป มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

F_{tension} คือ แรงดึงผิว มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

F_{adhesion} คือ แรงยึดติด มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

จากกฎของแรงเมื่อวัตถุหยุดนิ่ง ดังสมการที่ 3.1

$$\sum F = 0$$

3.1)

$$\sum F_{\text{ขึ้น}} = \sum F_{\text{ลง}}$$

$$F_{\text{tension}} + F_{\text{adhesion}} + F_{\min} = W$$

2) การคำนวณหาแรงภายนอกทำให้ฟิลลิ่งไหลผ่านหัวอัดขึ้นรูป

การคำนวณเพื่อหาแรงภายนอกที่ทำให้ฟิลลิ่งไหลผ่านหัวอัดขึ้นรูปจะแบ่งพิจารณาพื้นที่เป็น 2 บริเวณ คือ บริเวณที่ 1 ซึ่งเป็นบริเวณถุงพลาสติกใส่ฟิลลิ่งที่ผ่านการซีลเรียบร้อยแล้ว และบริเวณที่ 2 ซึ่งเป็นบริเวณหัวอัดขึ้นรูป

2.1) แรงดึงผิวบริเวณที่ 1 คำนวณจากสมการที่ 2.4 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma = \frac{F_{\text{tension}}}{L}$$

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

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

$F_{\text{tension,LDPE}} = \gamma \times L$; ความตึงผิวของซ็อกโกแลตคือ 22.6 mN/m (Esther, 2008)

$$= (22.6 \times 10^{-3}) \times [2(12 \times 10^{-2}) + (40 \times 10^{-3})]$$

ได้ $F_{\text{tension,LDPE}} = 6.328 \times 10^{-3} \text{ N}$

2.2) แรงตึงผิวบริเวณที่ 2 คำนวณจากสมการที่ 2.4

$F_{\text{tension,stainless}} = \gamma \times L$; ความตึงผิวของซ็อกโกแลตคือ 22.6 mN/m (Esther, 2008)

$$= (22.6 \times 10^{-3}) \times [2(35 \times 10^{-3}) + (17 \times 10^{-3}) + (1 \times 10^{-3})]$$

ได้ $F_{\text{tension,stainless}} = 1.989 \times 10^{-3} \text{ N}$

2.3) หาแรงยึดติดบริเวณที่ 1 จากสมการที่ 2.5 ดังนี้

$$F_{\text{adhesion,LDPE}} = 2\pi R W_a$$

เมื่อ $W_a = \gamma_{\text{feeling}} + \gamma_{\text{LDPE}}$; ความตึงผิวของถุงพลาสติก LDPE คือ 31.9 mN/m (Ataeefard, 2008)

$$= (22.6 \times 10^{-3}) + (31.9 \times 10^{-3})$$

$$= 54.5 \times 10^{-3} \text{ N/m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ได้สั่ง อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่และอ้าง $F_{\text{adhesion,LDPE}} = 2\pi(2 \times 10^{-2})(54.5 \times 10^{-3})$ รังที่มีการนำไปใช้

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

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

$$= 6.849 \times 10^{-3} \text{ N}$$

2.4) หาแรงยึดติดบริเวณที่ 2 จากสมการที่ 2.5

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } W_a \text{ (งานของการยึดติดของสแตนเลส)} &= 59.1 \times 10^{-3} \text{ N/m} \\ &= 2\pi(2 \times 10^{-2})(59.1 \times 10^{-3}) \end{aligned}$$

$$\text{ได้ } F_{\text{adhesion, stainless}} = 7.427 \times 10^{-3} \text{ N}$$

จากสมการที่ 3.1 ทำการคิดรวมทั้งสองบริเวณ ได้แก่ บริเวณถุงพลาสติกใส่ฟิลลิ่งที่ผ่านการซิลเป็นที่เรียบร้อย และบริเวณหัวอัดขึ้นรูป

$$\begin{aligned} \Sigma F &= 0 & 3.1) \\ \Sigma F_{\text{ขึ้น}} &= \Sigma F_{\text{ลง}} \\ F_{\text{tension}} + F_{\text{adhesion}} + F_{\text{min}} &= W \\ F_{\text{tension, plastic}} + F_{\text{tension, stainless}} + F_{\text{adhesion, LDPE}} + F_{\text{adhesion, stainless}} &+ F_{\text{min}} = (m_{\text{feeling}} \times g) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (6.328 \times 10^{-3}) + (1.989 \times 10^{-3}) + (6.849 \times 10^{-3}) + (7.427 \times 10^{-3}) + F_{\text{min}} \\ = (0.3)(9.81) \end{aligned}$$

$$\text{ได้ } F_{\text{min}} = 2.920 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดดังนั้น แรงภายนอกที่ทำให้ฟิลลิ่งไหลผ่านหัวอัดขึ้นรูปได้มีค่าเท่ากับ 2.920 นิวตัน ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.1.2 แรงขับเคลื่อนและการเลือกสแต็ปมอเตอร์

การคำนวณหาแรงเพื่อนำไปใช้ในการเลือกสแต็ปมอเตอร์

การได้เปรียบเชิงกลของของลีดสกูว์เป็นดังสมการที่ 3.2

$$\begin{aligned}
 \text{การได้เปรียบเชิงกล} &= \frac{\text{ระยะทางที่แรงพยายามเคลื่อนที่}}{\text{ระยะทางที่แรงต้านทานเคลื่อนที่}} = \frac{\text{แรงต้านทาน}}{\text{แรงพยายาม}} & 3.2) \\
 &= \frac{\text{ระยะพิทช์}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของลีดสกูว์}} \\
 &= \frac{P}{D} \\
 &= \frac{2 \text{ มม.}}{8 \text{ มม.}} \\
 \frac{\text{แรงต้านทาน}}{\text{แรงพยายาม}} &= 0.25 \\
 \frac{\text{แรงในแนวตั้ง}}{\text{แรงในแนวขวาง}} &= \frac{F_V}{F_H} = 0.25
 \end{aligned}$$

ดังนั้น การได้เปรียบเชิงกลของของลีดสกูว์ คือ 0.25

หลักในการเลือกสแต็ปมอเตอร์ คือ เลือกสแต็ปมอเตอร์ที่มีขายทั่วไปในตลาด และสามารถสวมใส่กับโครงสร้างของเครื่องพิมพ์สามมิติได้ ผู้ทำการวิจัยได้ทำการเลือกสแต็ปมอเตอร์รุ่น Nema-17 ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นสแต็ปมอเตอร์ที่มีทอร์กการใช้งาน (Rated Torque) เท่ากับ 0.34 นิวตันเมตร จากสมการที่ 3.2 จะนำค่าทอร์กการใช้งานของสแต็ปมอเตอร์แทนค่าในสมการเพื่อหาค่าของแรงทั้ง 2 ทั้งในแนวตั้งและในแนวขวางของสแต็ปมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์ที่ดีต้องให้แรงหรือแรงขับเคลื่อนที่มากกว่าแรงภายนอก ทำให้ฟิลลิ่งไหลผ่านหัวอัดขึ้นรูปได้

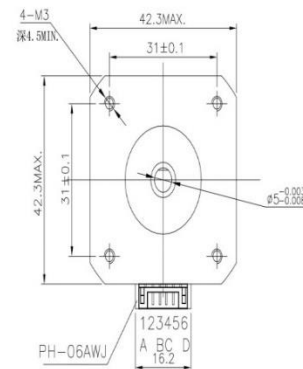
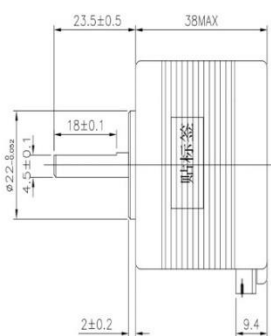
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2 สเต็ปมอเตอร์รุ่น Nema-17 (ก) โครงสร้างภายนอกของสเต็ปมอเตอร์,
(ข) ขนาดต่าง ๆ ของสเต็ปมอเตอร์

จากสมการในการหาทอร์ก ดังสมการที่ 3.3

$$T = F \times r$$

3.3)

โดย T คือ ทอร์ก (Torque) มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร (Nm)

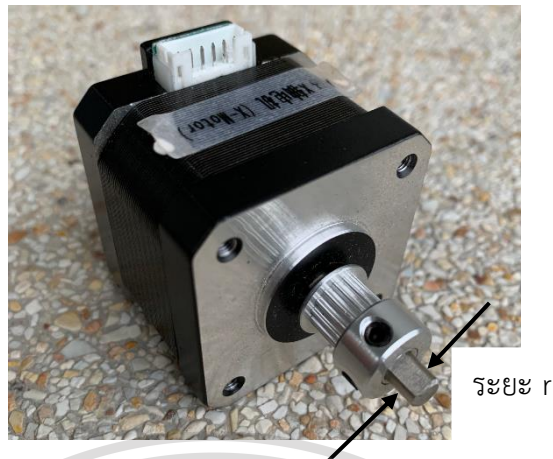
F คือ แรง (Force) มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

r คือ ระยะตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรง มีหน่วยเป็นเมตร (m) ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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 ระยะตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรงของสเต็ปมอเตอร์

$$\begin{aligned}
 F &= F_H = \frac{T}{r} \\
 &= \frac{0.34}{5 \times 10^{-3}} \\
 &= 68 \text{ N} \\
 F_H &= 68 \text{ N}
 \end{aligned}$$

ได้

นำไปแทนค่าในสมการที่ 3.2 เพื่อหาค่าแรงในแนวตั้ง

$$\frac{F_V}{F_H} = 0.25$$

$$\frac{F_V}{68} = 0.25$$

ได้

$$F_V = 17 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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.

ดังนั้น แรงขับเคลื่อนในแนวตั้งของสเต็ปมอเตอร์รุ่น Nema-17 มีค่าเท่ากับ 17 นิวตันซึ่งมากกว่าแรงภายนอกที่ได้คำนวณก่อนหน้านี้ มีค่าเท่ากับ 2.920 นิวตัน ดังนั้นจึงเป็นผลให้ฟิลลิ่งไหลผ่านหัวอัดขึ้นรูปได้

3.2 ชุดทดลอง

การสร้างชุดหัวอัดขึ้นรูปขั้นสูงที่ใช้ในการทดสอบการพิมพ์แสดงดังรูปที่ 3.4 ประกอบด้วย

- (1) สเต็ปมอเตอร์ ที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ (Usongshine รุ่น Nema-17, จีน) เพื่อนำมาขับเคลื่อน
- (2) มอเตอร์เพลาคอปเปิลอร์
- (3) ลีตสกรู ให้ทำการหมุนเพื่อเคลื่อนที่ขึ้นและลง
- (4) สลักทองเหลืองด้วยน็อตสี่ตัว ทำการยึดติดชิ้นการทำงานทั้งสามด้วย
- (5) อะคริลิก เพื่อให้มีความแข็งแรงและมีน้ำหนักเบา
- (6) เหล็กแท่งกลม เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการยึดระหว่างชิ้นสามชิ้นด้วยกัน
- (7) ชั้นยึดถุงพลาสติกจะอยู่บนสุด มีรูตรงกลางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาด 9 เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 1 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถดึงชั้นมายึดกับฝาขวดน้ำได้
- (8) ชั้นรีดฟิลลิ่ง ซึ่งมีรูตรงกลางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาด 9 เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 1 เซนติเมตร โดยชั้นนี้จะติดอยู่กับลีตสกรูด้วย เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้ สำหรับบีบหรือรีดถุงใส่ฟิลลิ่ง
- (9) ชั้นยึดหัวอัดขึ้นรูป ซึ่งมีรูตรงกลางที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับชั้นยึดถุงพลาสติกและชั้นรีดฟิลลิ่ง คือ 9 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 3.2 เซนติเมตร โดยใส่หัวอัดขึ้นรูปเข้าไปยึดกับถุง และใส่ฟิลลิ่งก่อนนำมาติดในส่วนนี้ ซึ่งทำให้หัวอัดขึ้นรูปอยู่นิ่งและทำการอัดขึ้นรูปได้เมื่อชั้นรีดฟิลลิ่งเคลื่อนที่ลงมาด้วยสเต็ปมอเตอร์
- (10) สายไฟที่ต่อสเต็ปมอเตอร์เข้ากับเครื่องคอนโทรลเลอร์
- (11) คอนโทรลเลอร์ของเครื่องพิมพ์สามมิติ A-net E10 เพื่อรับคำสั่งการทำงานจากคอนโทรลเลอร์ควบคุมการพิมพ์ รายละเอียดของชุดทดลองแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของชุดทดลอง

หมายเลข

รายละเอียด

1

สเต็ปมอเตอร์รุ่น Nema-17

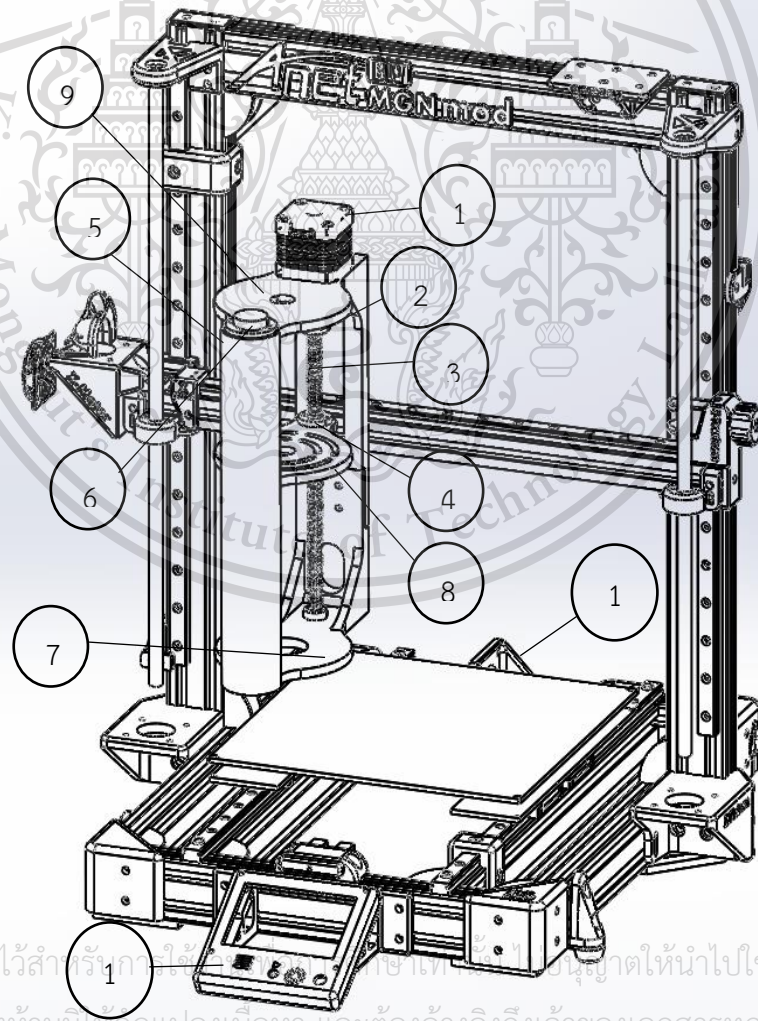
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงแหล่งที่มาทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์เพลาคอปเปิลอร์

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	ลีดสกู
4	สลักทองเหลือง
5	แผ่นอะคริลิก
6	เหล็กแท่งกลม
7	ชั้นยึดถ่วงพลาสติก
8	ชั้นรีดฟิล์ม
9	ชั้นยึดหัวอัดขึ้นรูป
10	สายไฟ
11	คอนโทรลเลอร์เครื่อง Anet-E10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

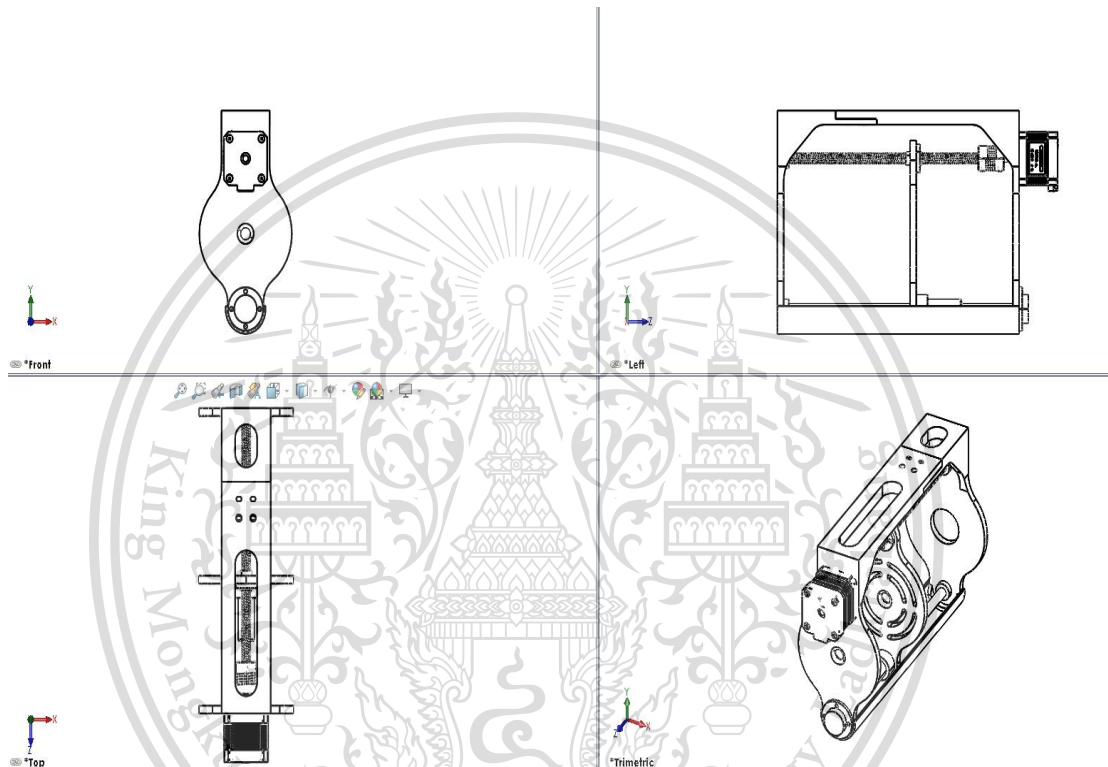
รูปที่ 3.4 ภาพแบบชุดทดลอง

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

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

ขนาดของชุดทดลอง

โครงสร้างของหัวอัดขึ้นรูปที่ได้รับการพัฒนา ดังรูปที่ 3.5 ประกอบไปด้วยสามส่วนหลัก ซึ่งประกอบไปด้วยโครงสร้างส่วนของชั้นยึดถุงพลาสติกสำหรับใส่ฟิล์ม โครงสร้างส่วนของชั้นรีดฟิล์ม และโครงสร้างส่วนของชั้นยึดหัวอัดขึ้นรูป และนำโครงสร้างทั้งสามส่วนมาประกอบยึดติดเข้าด้วยกัน จากนั้นนำไปประกอบติดเข้ากับเครื่องพิมพ์สามมิติรุ่น A-net E10



รูปที่ 3.5 ภาพสามมิติของโครงสร้างหัวอัดขึ้นรูปที่ได้รับการพัฒนา

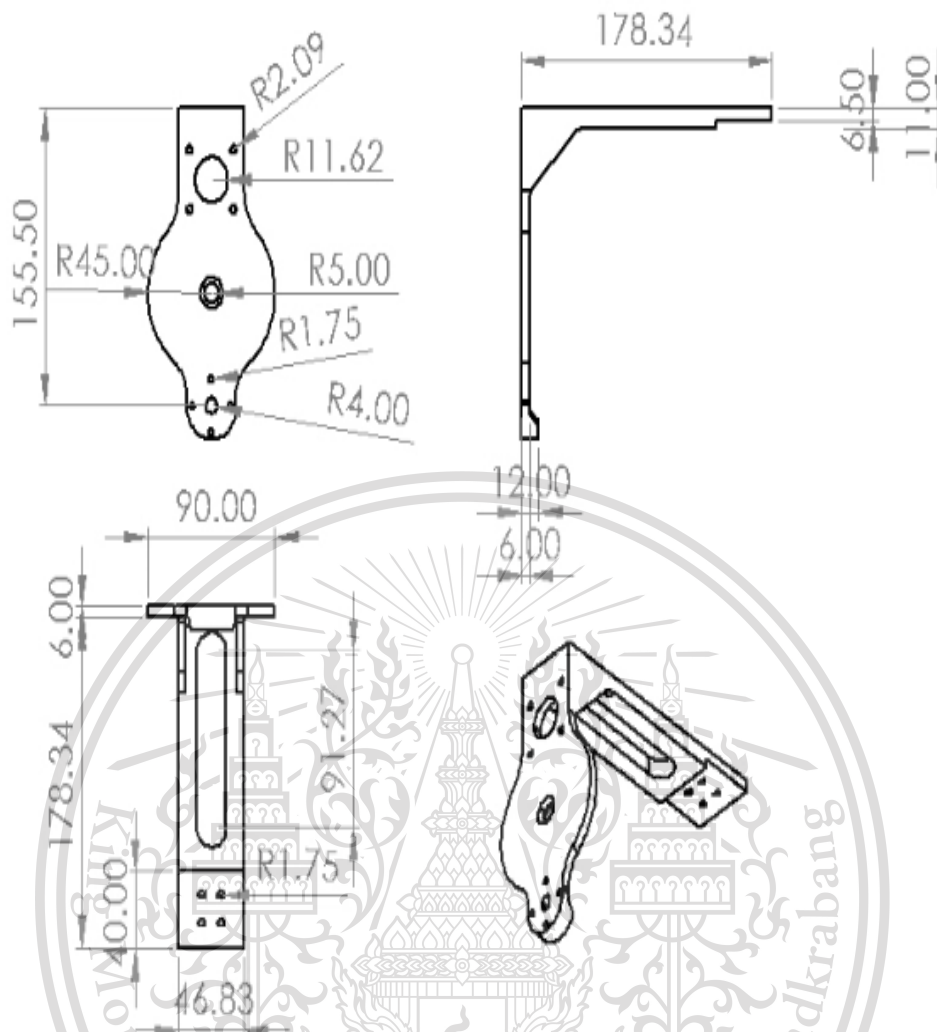
1) การออกแบบโครงสร้างส่วนของชั้นยึดถุงพลาสติกสำหรับใส่ฟิล์ม

โครงสร้างในส่วนนี้ประกอบไปด้วยชั้นยึดถุงพลาสติก สำหรับใส่ฟิล์ม หลักการออกแบบโครงสร้างในส่วนนี้เริ่มต้นจากชั้นยึดถุงพลาสติก ที่มีความหนา 6 เซนติเมตร และบริเวณที่ยึดกันกับถุงพลาสติก มีรูตรงกลางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาด 9 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 1 เซนติเมตร เหตุผลที่ต้องมีรูตรงกลางเพราะจะได้ใส่ถุงพลาสติกสำหรับใส่ฟิล์มได้ ดังรูปที่

3.6

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 โครงสร้างส่วนของชั้นยึดถุงพลาสติกใส่ฟิลลิ่ง

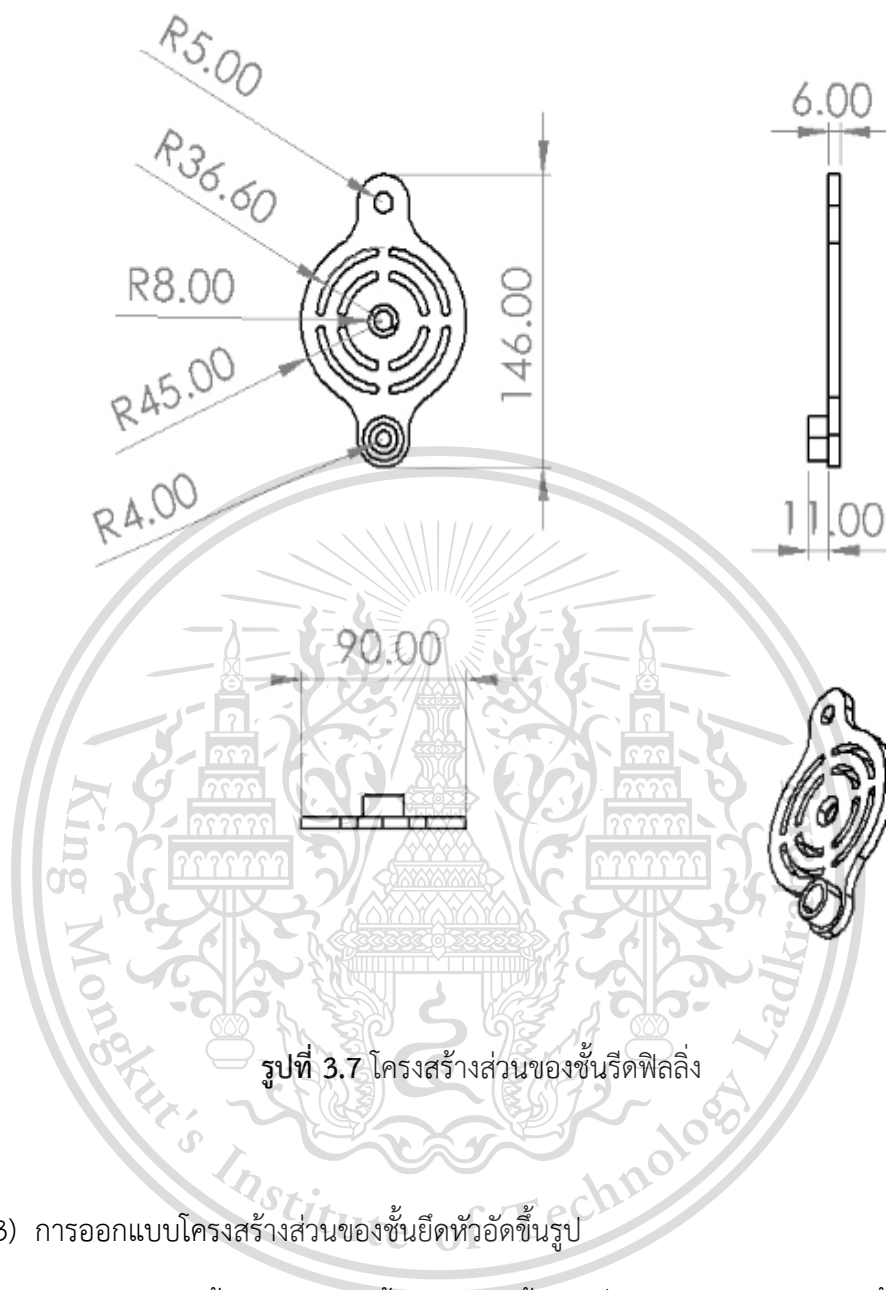
2) การออกแบบโครงสร้างส่วนของชั้นรีดฟิลลิ่ง

โครงสร้างในส่วนนี้ประกอบด้วยชั้นรีดฟิลลิ่ง ซึ่งทำการออกแบบให้มีรูตรงกลาง ซึ่งมีความหนา 6 เซนติเมตร มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับชั้นยึดถุงพลาสติก คือ 9 เซนติเมตรและ 1 เซนติเมตร โดยชั้นนี้ทำหน้าที่กดถุงใส่ฟิลลิ่งเพื่อให้ฟิลลิ่งไหลลงได้ ดังรูปที่ 3.7

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 3.7 โครงสร้างส่วนของชั้นรีดฟิลล์

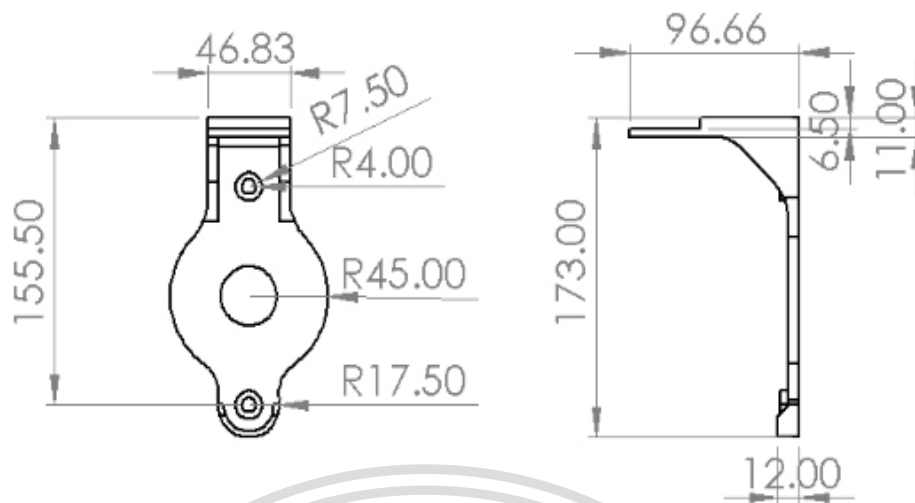
3) การออกแบบโครงสร้างส่วนของชั้นยึดหัวอัดขึ้นรูป

โครงสร้างในส่วนนี้ประกอบด้วยชั้นยึดหัวอัดขึ้นรูป ซึ่งยึดติดกับชุดยึดหัวอัดขึ้นรูป มีขนาดความหนา 6 เซนติเมตร บริเวณที่ยึดหัวฉีดมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับชั้นยึดถุงพลาสติก และชั้นรีดฟิลล์ คือ 9 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 3.2 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เท่ากับขนาดของชุดยึดหัวอัดขึ้นรูปฟิลล์ ดังรูปที่ 3.8

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 โครงสร้างส่วนของชั้นยึดหัวอัดขึ้นรูป

3.3 การเตรียมไฟล์ต้นแบบสามมิติ

การเตรียมไฟล์ต้นแบบสามมิติ จะถูกใช้ freeware open source บนเว็บไซต์ www.tinkercad.com และ export ไฟล์สามมิตินามสกุล (.STL) เพื่อนำมาเป็นไฟล์ต้นแบบการพิมพ์

การตั้งค่าการพิมพ์สามมิติผ่านโปรแกรม Cura Ultimaker รุ่น 4.6 ที่พัฒนาโดยบริษัท Ultimaker โดยนำเข้าไฟล์ต้นแบบสามมิตินามสกุล (.STL) จากนั้นแสดงผลไฟล์ต้นแบบสามมิติบนเอกสารนี้เป็นหน้าจอคอมพิวเตอร์ และสามารถตั้งค่าการพิมพ์ได้โดยที่คุณภาพการพิมพ์ขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรการตั้งค่า ไม่ว่าจะเป็นหน้าจอก่อนพิมพ์ตัวอักษร และหน้าจอก่อนพิมพ์ตัวอักษร เช่น หน้าจอก่อนพิมพ์ Quality, Shell และ Infill ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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) หมวดหมู่ Quality มีตัวแปร 3 ตัวให้ตั้งค่าดังแสดงในรูปที่ 3.9 ได้แก่

1.1) Layer Height คือ การปรับความสูงของชั้นการพิมพ์

1.2) Initial Layer Height คือ การปรับความสูงของชั้นการพิมพ์เริ่มต้น

1.3) Line Width คือ ขนาดความหนาของเส้น



รูปที่ 3.9 หมวดหมู่ Quality

2) หมวดหมู่ Shell มีตัวแปร 3 ตัวให้ตั้งค่าดังแสดงในรูปที่ 3.10 ได้แก่

2.1) Wall Thickness คือ การปรับความหนาของผนังการพิมพ์

2.2) Wall Line Count คือ การปรับจำนวนเส้นของผนังการพิมพ์

2.3) Top/Bottom Thickness คือ การปรับขนาดความหนาส่วนต้นและปลาย



รูปที่ 3.10 หมวดหมู่ Shell

3) หมวดหมู่ Infill มีตัวแปร 1 ตัวให้ตั้งค่าดังแสดงในรูปที่ 3.11 ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานเพื่อการศึกษายเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น Infill Density คือ การปรับความหนาเส้นภายในชิ้นงานจำของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 3.11 หมวดหมู่ Infill

3.4 การปรับแต่งชุดคำสั่งสามมิติ

การปรับแต่งชุดคำสั่งสามมิติ จะทำหลังจากที่ Slide ขึ้นงานสามมิติผ่านโปรแกรม Cura Ultimaker ที่เป็นไฟล์นามสกุล (.GCODE) และนำมาเปิดด้วยโปรแกรม Notepad เพื่อที่จะปรับตัวแปรก่อนการพิมพ์ โดยที่ตัวแปรจะอยู่ในรูปแบบของ Marlin firmware เพราะเป็นการออกคำสั่งบอร์ด Arduino บน Anet-E10 Controller



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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

ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ

4.1 การแต่งหน้าเค้กด้วยการพิมพ์สามมิติแบบอัดขึ้นรูป

4.1.1 การทำงานของหัวอัดขึ้นรูป

การทำงานของหัวอัดขึ้นรูป เริ่มต้นทำงานจากการใส่ฟิลลิ่งรสช็อกโกแลตลงในถุงพลาสติกใส่ฟิลลิ่ง ประกอบเข้ากันกับหัวอัดขึ้นรูปและตัวยึดให้เรียบร้อย หลังจากนั้นเริ่มส่งการพิมพ์ที่เครื่องคอนโทรลเลอร์ โดยที่ขณะเริ่มพิมพ์ต้องให้แน่ใจก่อนว่าฟิลลิ่งเริ่มไหล หลังจากนั้นจึงส่งพิมพ์

4.1.2 ความสามารถในการแต่งหน้าเค้กของหัวอัดขึ้นรูป

1. สามารถใช้ฟิลลิ่งที่มีพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก ที่มีค่าความหนืดคล้ายคลึงกันกับฟิลลิ่งที่ใช้ในการทดลอง โดยมีช่วงความหนืดระหว่าง 150,000 – 250,000 cPs
2. ในการทำงานของระบบ วัสดุพิมพ์ที่ใช้จะไม่สัมผัสกับอุปกรณ์ในการผลิต
3. เป็นต้นแบบการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร หากต้องการผลิตในปริมาณที่มากขึ้น
4. เป็นการลดแรงงานมนุษย์สำหรับการตกแต่งหน้าเค้ก และประหยัดเวลาในกระบวนการผลิต
5. ผู้ใช้งานสามารถตกแต่งหน้าเค้กได้เอง และยังมีรูปแบบการตกแต่งพื้นฐานให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกได้
6. สามารถพิมพ์ได้ในรูปแบบสามมิติ
7. ระบบเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ ต้องมีการสั่งงานและควบคุมจากผู้ใช้งาน

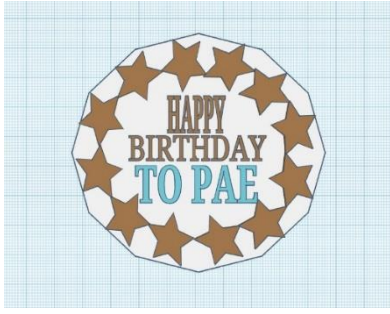
4.1.3 การตั้งค่าการพิมพ์สามมิติ

การตั้งค่าการพิมพ์สามมิติสำหรับฟิลลิ่งช็อกโกแลตนั้น ได้ทำการปรับแต่งตัวแปร ซึ่งผลของการตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ ตามหัวข้อ 3.3 ส่งผลให้ได้แบบจำลองของการพิมพ์ดังรูปที่ 4.1

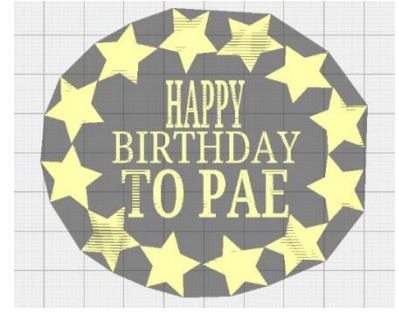
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

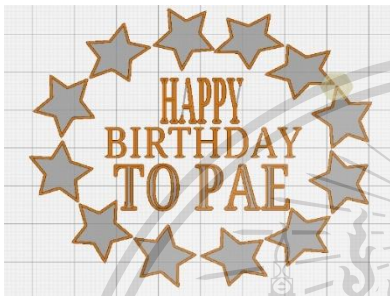
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



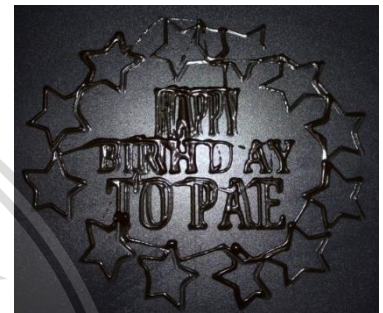
(ก) ภาพตัวอย่างไฟล์ต้นแบบนามสกุล (.STL)



(ข) ภาพตัวอย่างก่อนการสไลด์



(ค) ภาพตัวอย่างหลังการสไลด์



(ง) ภาพตัวอย่างหลังการพิมพ์

รูปที่ 4.1 ภาพตัวอย่างการพิมพ์สามมิติ (ก) ภาพตัวอย่างไฟล์ต้นแบบนามสกุล (.STL), (ข) ภาพตัวอย่างก่อนการสไลด์, (ค) ภาพตัวอย่างหลังการสไลด์, (ง) ภาพตัวอย่างหลังการพิมพ์

การปรับค่าตัวแปรภายในการตั้งค่าการพิมพ์สามมิตินั้น ทำการปรับค่าตัวแปรในหมวดของ Quality ได้แก่ Layer Height เท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร, ค่า Initial Layer Height เท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร และค่า Line Width เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ส่งผลให้ความหนาของเส้นแต่ละชั้นเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร และความหนาของเส้นจะเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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 4.2 การปรับแต่งตัวแปรในหมวดหมู่ Quality

การปรับค่าตัวแปรในหมวดของ Shell ได้แก่ ค่า Wall Thickness เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร, ค่า Wall Line Count เท่ากับ 1 และค่า Top/Bottom Thickness เท่ากับ 0 จะส่งผลให้ความหนาของกำแพงเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร และผนังจะมีเพียงชั้นเดียว จากการตั้งค่าตัวแปร Wall Line Count ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การปรับแต่งตัวแปรในหมวดหมู่ Shell

การปรับตัวแปรในหมวดของ Infill คือค่า Infill Density เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ไม่มีการพิมพ์โครงสร้างเพิ่มความแข็งแรงภายในชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การปรับแต่งตัวแปรในหมวดหมู่ Infill

โดยการปรับแต่งตัวแปรที่กล่าวมาข้างต้น หลังทำการสไลด์ จะได้ชิ้นงานที่ออกมาเป็นผนังชั้นเดียวตัวอักษรที่พิมพ์จะมีแต่ผนังภายนอก และเป็นการพิมพ์โดยที่มีความสูงเพียงชั้นเดียวไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา 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.

4.2 แพลตฟอร์มตกแต่งหน้าเค้ก

เมื่อการปรับตั้งค่าตัวแปรเสร็จสิ้นลง เพื่อง่ายต่อการใช้งาน จึงจัดทำชุดคำตกแต่งหน้าเค้ก เป็นตัวอย่างของการพิมพ์สามมิติ เพื่อให้ผู้ใช้งานได้เลือกใช้ ดังรูปที่ 4.5 ถึง รูปที่ 4.8

4.2.1 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Congratulation



(ก : ภาพที่ 1)



(ก : ภาพที่ 2)



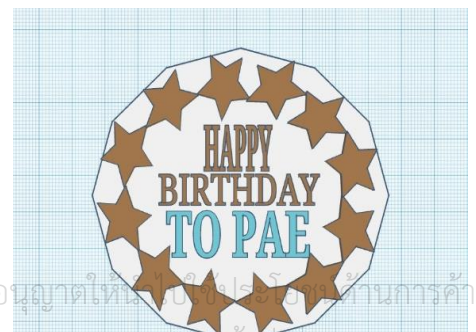
(ข : ภาพที่ 1)

รูปที่ 4.5 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Congratulation (ก) รูปแบบที่ 1, (ข) รูปแบบที่ 2

4.2.2 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Happy Birthday



(ก : ภาพที่ 1)



(ก : ภาพที่ 2)

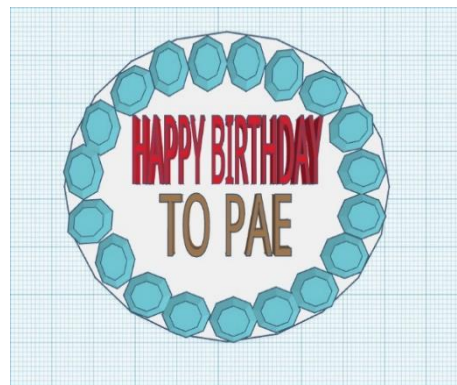
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ได้นำไปใช้

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

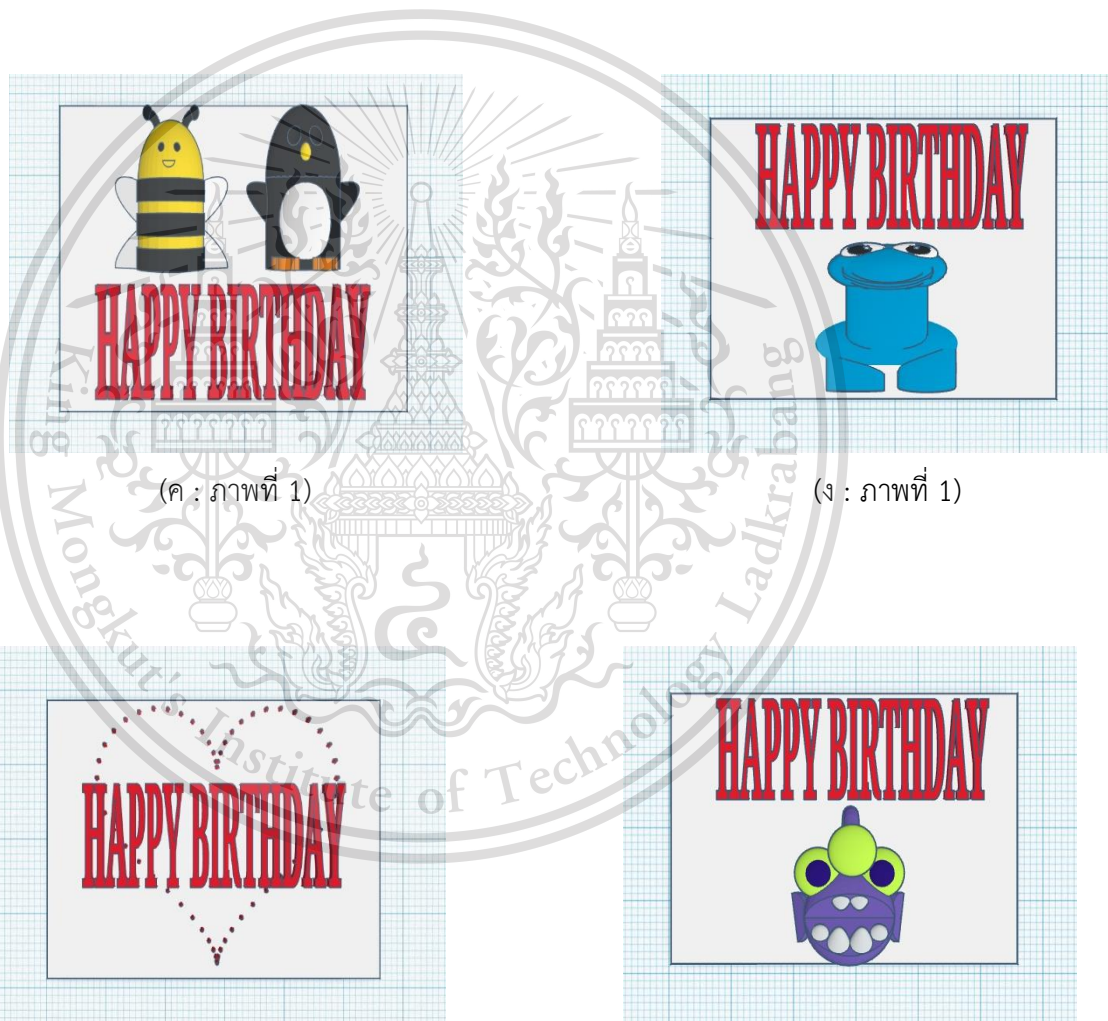
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ข : ภาพที่ 1)



(ข : ภาพที่ 2)



(ค : ภาพที่ 1)

(ง : ภาพที่ 1)

(จ : ภาพที่ 1)

(ฉ : ภาพที่ 1)

รูปที่ 4.6 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Happy Birthday (ก) รูปแบบที่ 1, (ข) รูปแบบที่ 2, (ค) เอกสารนี้เป็นรูปแบบที่ 3, (ง) รูปแบบที่ 4, (จ) รูปแบบที่ 5, (ฉ) รูปแบบที่ 6 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

4.2.3 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Happy Halloween



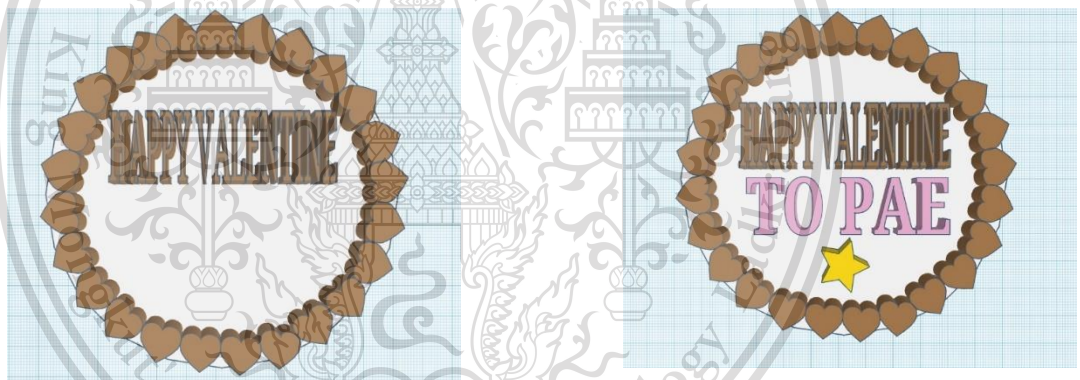
(ก : ภาพที่ 1)



(ข : ภาพที่ 2)

รูปที่ 4.7 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Happy Halloween (ก) รูปแบบที่ 1, (ข) รูปแบบที่ 2

4.2.4 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Happy Valentine



(ก : ภาพที่ 1)

(ข : ภาพที่ 2)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 ภาพตัวอย่างในหมวดของ Happy Valentine (ก) รูปแบบที่ 1, (ข) รูปแบบที่ 2

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

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การแต่งหน้าเค้กด้วยการพิมพ์สามมิติแบบอัดขึ้นรูปโดยการประยุกต์ใช้วัสดุที่เป็นอาหาร มาเข้าร่วมกับกระบวนการพิมพ์สามมิติ สามารถแก้ไขปัญหาเรื่องเวลาในการผลิตและความแม่นยำของการพิมพ์สามมิติได้ ในงานวิจัยนี้ใช้ฟิลลิ่งรสช็อกโกแลตเป็นตัวแทนอาหารที่มีความหนืดแบบนอนนิวโตเนียน ชนิดซูโดพลาสติก โดยการพิมพ์แบบสามมิตินั้น ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ฟิลลิ่งรสช็อกโกแลตในการทดลองเป็นปริมาณ 300 กรัม ซึ่งจากการคำนวณแรงดึงผิวและแรงยึดติดของฟิลลิ่งรสช็อกโกแลตบนพื้นผิวที่แตกต่างกัน ได้แก่ บริเวณถุงพลาสติกและหัวอัดขึ้นรูป พบว่าการที่ทำให้ฟิลลิ่งรสช็อกโกแลตไหลผ่านหัวอัดขึ้นรูปที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 7.854×10^{-7} ตารางมิลลิเมตร ต้องใช้แรงภายนอกขนาดมากกว่า 2.920 นิวตัน จากสเปคเตอร์ที่สามารถให้แรงขับเคลื่อนที่มากกว่า 2.920 นิวตัน ความเร็วการพิมพ์ของหัวอัดขึ้นรูป โปรแกรม Cura Ultimaker 4.6 ที่ใช้ตั้งค่ามาตรฐานการพิมพ์ โดยมีความเร็วในการพิมพ์อยู่ที่ 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งเมื่อผ่านการทำงาน สามารถควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลของฟิลลิ่งได้ 0.052 กรัมต่อวินาที ฟิลลิ่งปริมาณ 300 กรัม ต้องใช้เวลา 96 นาที เพื่อให้ฟิลลิ่งไหลจนหมด ถึงแม้ว่างานวิจัยนี้ใช้ฟิลลิ่งช็อกโกแลตเป็นตัวอย่งในการทดลอง แต่ชุดทดลองหัวอัดขึ้นรูปที่พัฒนาขึ้น เป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดใกล้เคียงกับฟิลลิ่งรสช็อกโกแลต เพื่อการพิมพ์สามมิติในรูปแบบต่าง ๆ ตามที่ได้นำเสนอในงานวิจัย โดยหัวอัดขึ้นรูปมีข้อจำกัดดังนี้

1. ควรใช้ฟิลลิ่งหรือของไหลอื่น ๆ ที่มีพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติกเท่านั้นและมีค่าความหนืดประมาณ 150,000-250,000 cPs หากมากกว่าหรือน้อยกว่านั้น หัวอัดขึ้นรูปอาจสามารถทำงานได้ แต่การพิมพ์อาจไม่ได้ผลลัพธ์ตามงานวิจัย
2. ระบบเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ ต้องมีการสั่งงานและควบคุมจากผู้ใช้งาน

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 ข้อเสนอแนะทั่วไป

การทำงานของชุดโครงสร้างหัวอัดขึ้นรูปเพื่อการพิมพ์สามมิติที่พัฒนาขึ้นในโครงการวิจัยนี้ เป็นการพิมพ์เพียงหนึ่งชั้นเท่านั้น ซึ่งเปรียบเสมือนเครื่องพิมพ์สองมิติ การนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหรือครัวเรือน ที่มีการต้องการลดจำนวนพนักงาน ต้องการความรวดเร็วและความแม่นยำ อาจสามารถนำโครงสร้างหัวอัดขึ้นรูปในงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อในเรื่องของการให้ความร้อนและการเย็นตัวของฟิล์มรีดช็อกโกแลต เพื่อให้สามารถพิมพ์ได้จำนวนชั้นที่มากขึ้น ดังนั้น การทำงานของระบบการพิมพ์สามมิติจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อเพิ่มฟังก์ชันการใช้งานได้ นอกจากนี้ ในงานวิจัยขั้นนี้จะใช้หัวอัดขึ้นรูปเพียงอันเดียว และเป็นฟิล์มรีดช็อกโกแลตที่มีสีและรสชาติเดียว หากต้องการเพิ่มความหลากหลายในการตกแต่งหน้าเค้ก เช่น ใช้ฟิล์มรีดช็อกโกแลตหรือใช้ช็อกโกแลตเหลวที่ผ่านการให้ความร้อนบริเวณหัวอัดขึ้นรูป สามารถพัฒนาหัวอัดขึ้นรูปให้มีกระบวนการทำงานที่เพิ่มขึ้น และใส่วัตถุที่เป็นของเหลวที่มีความหนืดใกล้เคียงกับฟิล์มรีดช็อกโกแลตในงานวิจัยนี้ เพื่อทำให้การพิมพ์มีสีสันมากขึ้น และการตกแต่งหน้าเค้กตามจุดประสงค์ ก็จะมีความน่าสนใจยิ่งขึ้น



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.

บรรณานุกรม

ทวิช จิตรสมบูรณ์. 2549. กลศาสตร์ของไหล Fluid Mechanics. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.

ศรีธน วรศักดิ์โยธิน. 2546. ค่าความตึงผิวของของเหลว. ฟิสิกส์ 1. กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์

สายัณห์ สุขพงษ์พันธ์ และวิรัตน์ ปฐมชัยอัมพร. (2549). ความหนืดคุณลักษณะเฉพาะของของไหล.

[ออนไลน์]. จาก: http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/pep_9_2549_viscosity.pdf

สุธาทิพย์ สกกุลพราหมณ์, กนิษฐา เมืองอยู่ และ ศศธร ศรีวิเชียร. 2558. การทดสอบลักษณะการใช้เสมือนจริงของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มฟิล์มและทอปปิ้ง. วิศวกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

โชคชัย นิเวศน์รังสรรค์. (2549). ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียความดันในงานฉีด. [ออนไลน์].

จาก: <http://www.gits.kmutnb.ac.th/ethesis/data/4610280039.pdf>

Ataeefard M., Moradian S., Mirabedini M., Ebrahimi M., and Asiaban, S. 2008. "Surface Properties of low Density Polyethylene upon Low-Temperature Plasma Treatment with Various Gases". *Plasma Chem Plasma Process.* 28: 377-390.

Bae, H.J., Kim, S. and Park, S. 2018. "Degradation of blue-phosphorescent organic light emitting devices involves exciton-induced generation of polaron pair within emitting layers". *Nature Communication.* 150. 235-242.

Desselle M.R., Lanaro, M., Woodruff M.A. 2019. "3D printing chocolate: properties of formulations for extrusion, sintering, binding and ink jetting". *Fundamentals of 3D Food Printing and Applications.* 10. 151-173.

Esther L., Keijbets, Jianshe C., Eric D., Joselio V. 2008. "Surface energy investigation of chocolate adhesion to solid mould material". *Journal of Food Engineering.* 92: 217-225.

Guan, E., Li, M. and Liu, Y. 2020. "Improvement of Cake quality by superheated steam treatment Of wheat". *Journal of Cereal Science.* 14: 34-40

Huang, S. H., Liu P., Mokusdar, A., and Hou L. 2013. "Additive manufacturing and its societal impact: A literature review", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* 67: 1191-1203.

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

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

- Jain S., and J. Chen. 2006. "Antibiotic resistance profiles and cell surface components of Salmonellae". **Journal of Food Prot.** 69: 1017-1023.
- Kim, H. W., J. H. Lee., S. M. Park., M. H. Lee., I. W. Lee., H. S. Doh., and H. J. Park. 2018. "Effect of Hydrocolloids on Rheological Properties and Printability of Vegetable Inks for 3D Food Printing". **Journal of Food Science.** 83 (12) : 2923-2932.
- Ling, C., Atalla, R., Selvaganapathy. 2016. "Fabrication and characterization of gels with integrated channels using 3D printing with microfluidic nozzle for tissue engineering applications", **Biomedical Microdevices.** 18: 17.
- Malone E., and Lipson H. 2007. "Fab@Home : the personal desktop fabricator kit". **Rapid Prototyping Journal.** 13 (4), 245-255.
- Matt, G., Richard, H.R., and Wegrzyn, T.F. 2012. "Food Layered Manufacture: A new process for constructing solid foods". **Food Science & Technology.** 27 : 66-72.
- Nicole C., Brake and Owen R. 1993. "Edible Coatings to Inhibit Lipid Migration in a Confectionery Product". **Journal of Food Science.** 58: 6.
- Piyush, C. and Srivastava, R.K. 2019. "Sustainability perspectives- a review for solar photovoltaic trends and growth opportunities". **Journal of Cleaner Production.** 227: 589-612.
- Sylvester M., Rovina K., and Boon-Beng L. 2020. "3D food printing of as the new way of preparing food: A review". **International Journal of Gastronomy and Food Science.** 22: 2
- William B., and Hauserman P.E. 2008. "All about Viscosity". **Continuing Education and Development.** 17: 403-406.
- Yang G., Li X., He Y., Ma J., Ni G., and Zhou S. 2018. From Nano to micro to macro: electrospun hierarchically structured polymeric fibers for biomedical applications. **Prog Polym Sci.** 81: 80-113.
- Zoran A., and Coelho M. 2011. Cornucopia : the concept of digital gastronomy. **Leonardo.** 44 (5). 425-431.

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.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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.

ขั้นตอนการพิมพ์และใช้งานโปรแกรมคูลาร์

1. ขั้นตอนการเขียนคำ

1.1 เข้าสู่เว็บไซต์ www.tinkercad.com และคลิก JOIN NOW



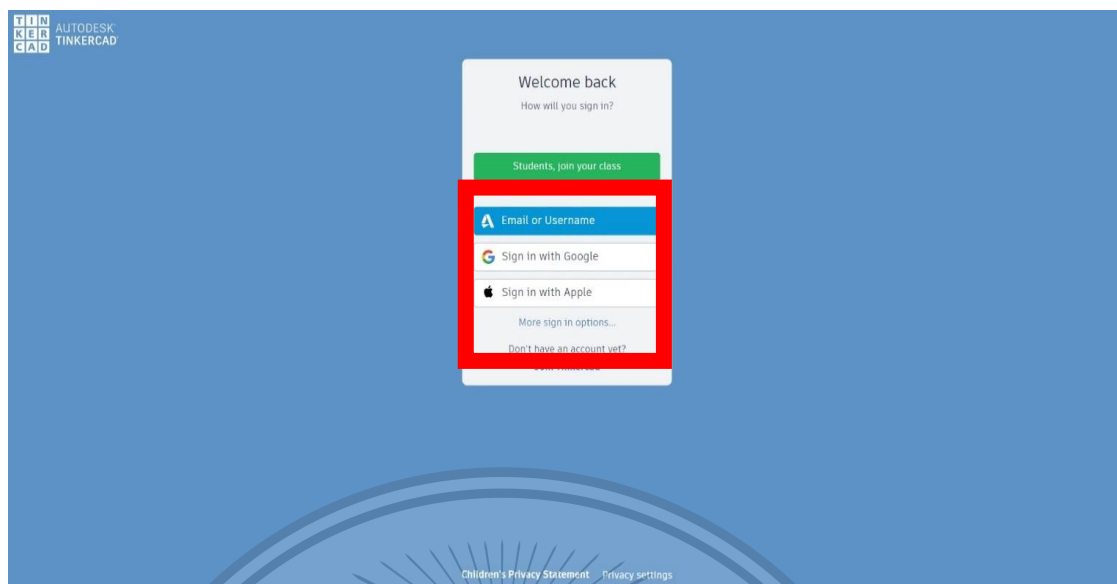
รูปที่ 1 ขั้นตอนการเขียนคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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 ทำการสมัครสมาชิกหรือล็อกอินผ่านอีเมลล์



รูปที่ 2 ขั้นตอนการเขียนคำ

1.3 เมื่อทำการล็อกอินเสร็จ จะได้หน้าต่างดังรูป ให้กดที่ปุ่ม Create new design



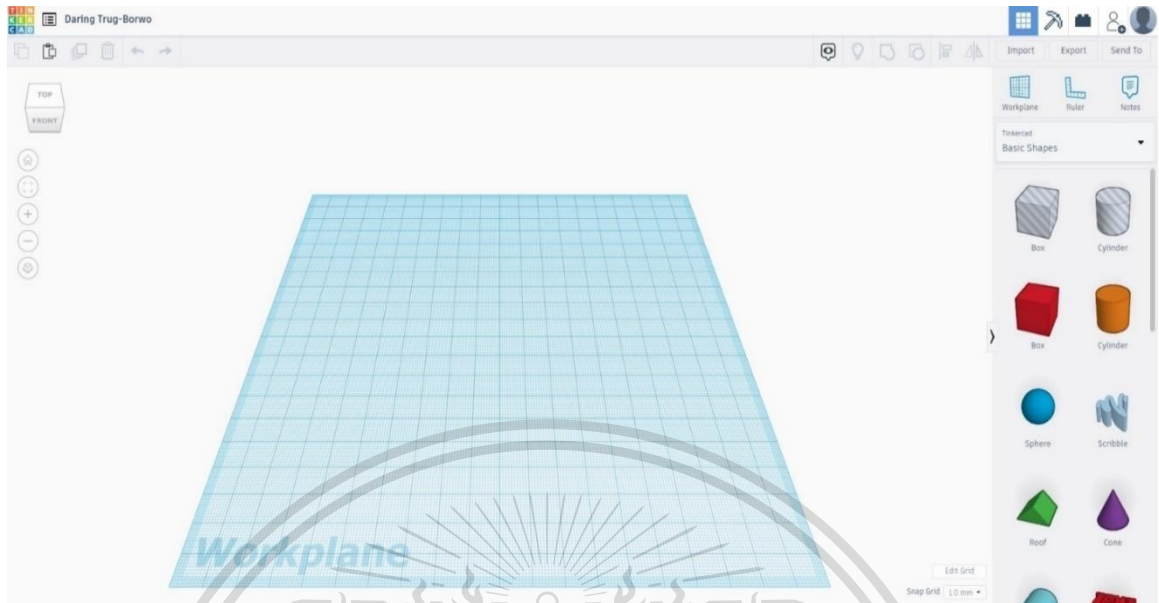
รูปที่ 3 ขั้นตอนการเขียนคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

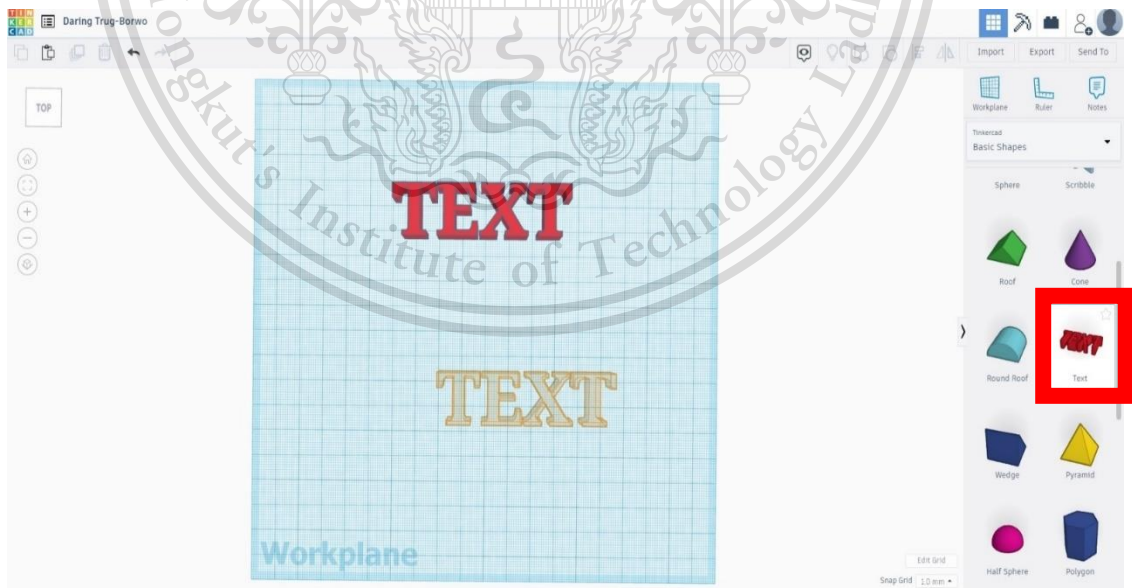
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.4 Workplane จะปรากฏขึ้นมา



รูปที่ 4 ขั้นตอนการเขียนคำ

1.5 บริเวณทางขวา เลื่อนลงมาจะเห็นคำว่า Text ซึ่งสามารถแก้เป็นคำที่ต้องการได้

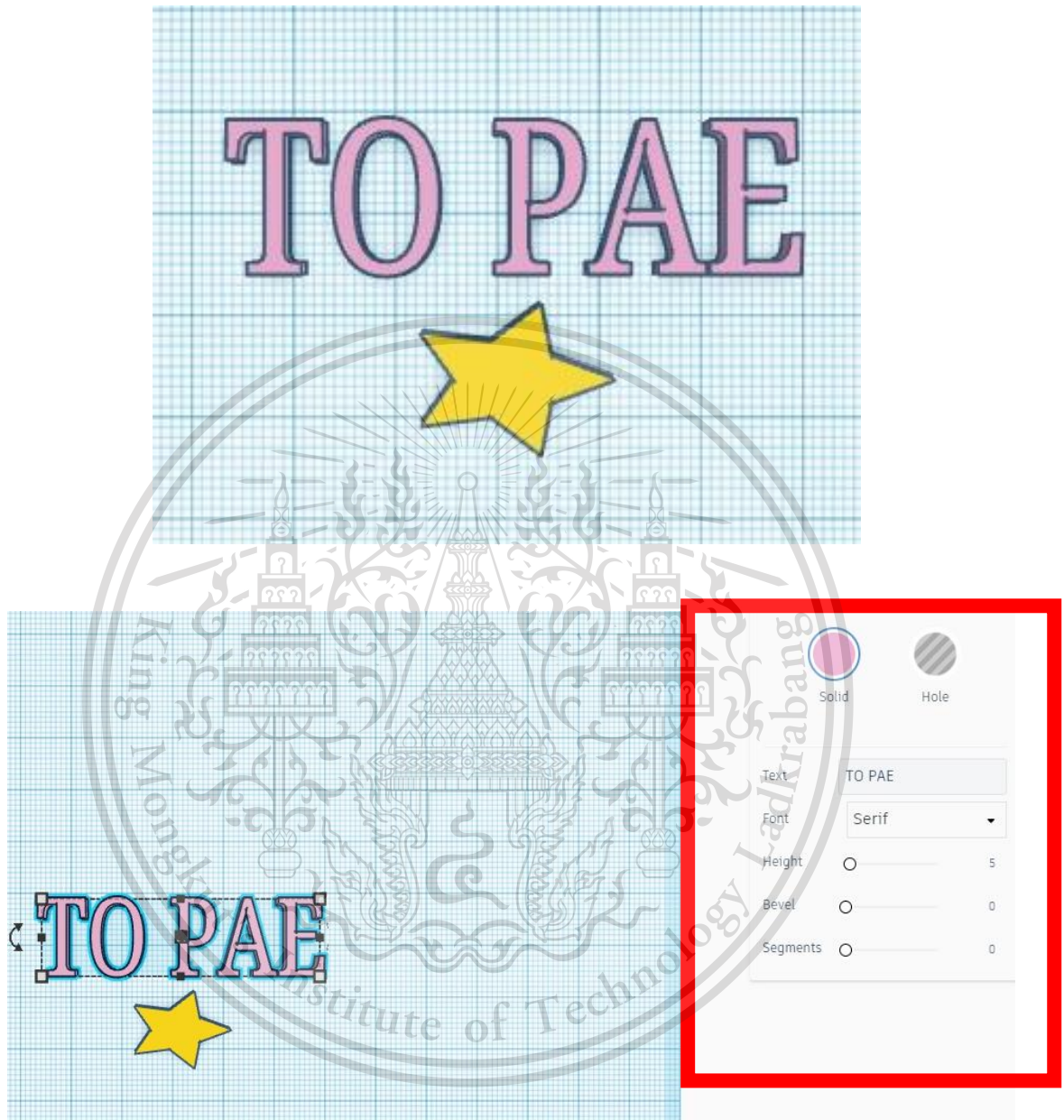


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 5 ขั้นตอนการเขียนคำ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

1.6 ปรับแต่งคำ เลือกรูปแบบที่ต้องการ และปรับ Height เป็น 0.5



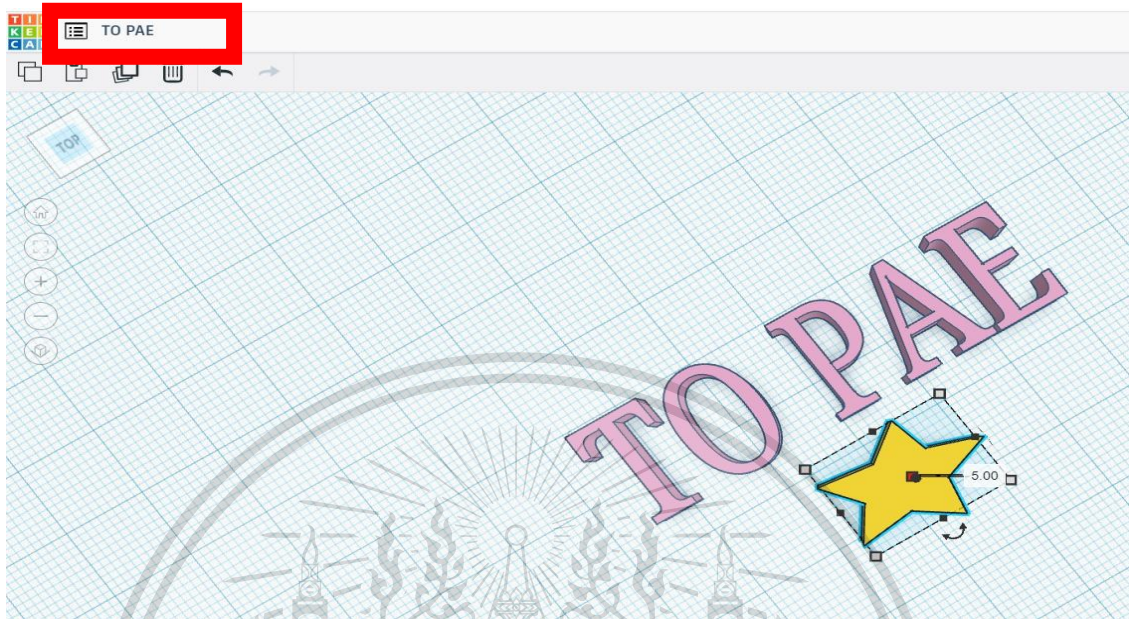
รูปที่ 6 ขั้นตอนการเขียนคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

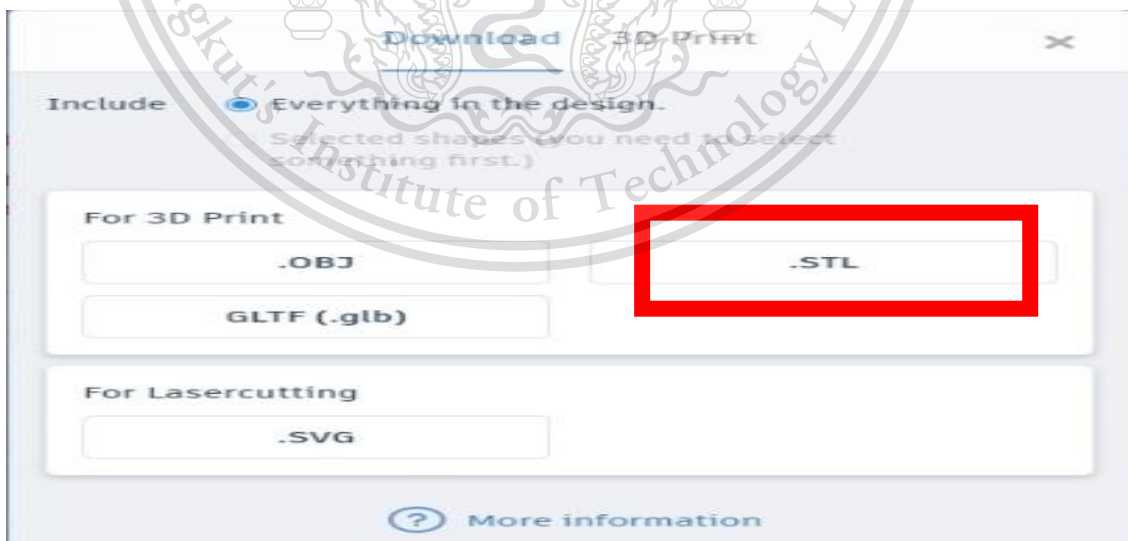
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.7 เปลี่ยนชื่อไฟล์ตามที่ต้องการ (ตัวอย่างเป็น TO PAE)



รูปที่ 7 ขั้นตอนการเขียนคำ

1.8 Export ไฟล์ โดยทำการเลือกเป็น .STL



รูปที่ 8 ขั้นตอนการเขียนคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
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.

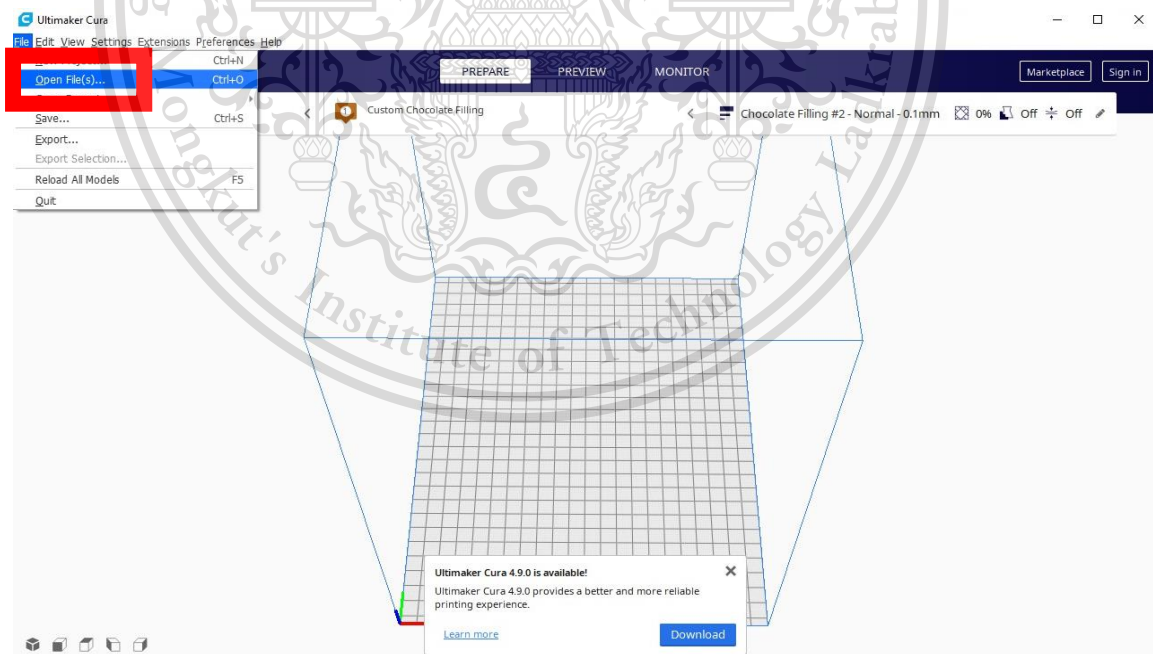
2. ขั้นตอนการตั้งค่าการพิมพ์

2.1 เปิดโปรแกรม Cura Ultimaker



รูปที่ 9 ขั้นตอนการเขียนค่า

2.2 เลือก File -> Open File (s)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 10 ขั้นตอนการเขียนค่าอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

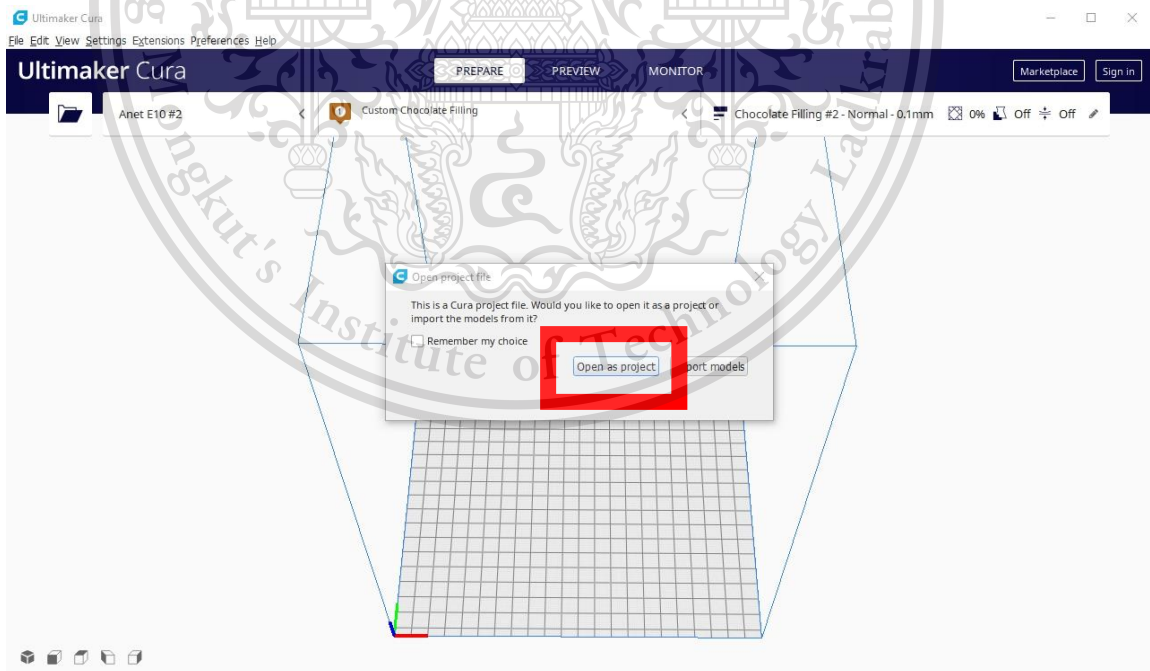
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 เลือกไฟล์ Template ตามรูปแบบที่ต้องการเพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐาน (ตัวอย่างใช้ชื่อไฟล์ : Real HVD Setting)



รูปที่ 11 ขั้นตอนการเขียนค่า

2.4 เลือก Open as project

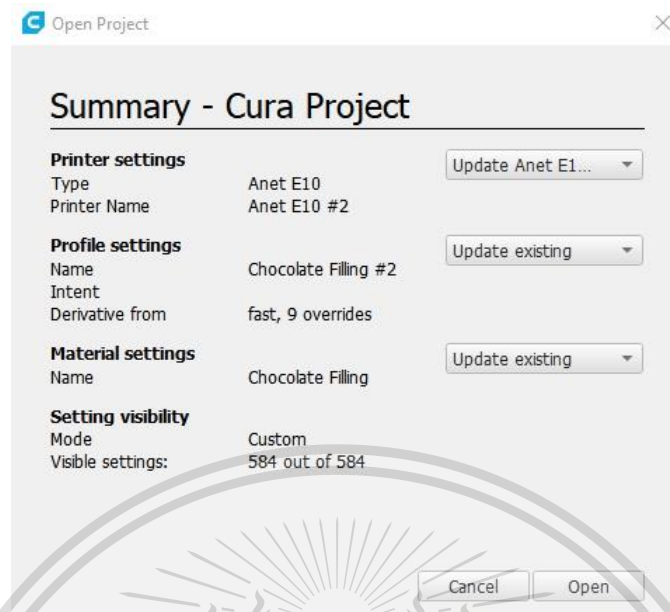


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 12 ขั้นตอนการเขียนค่าอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

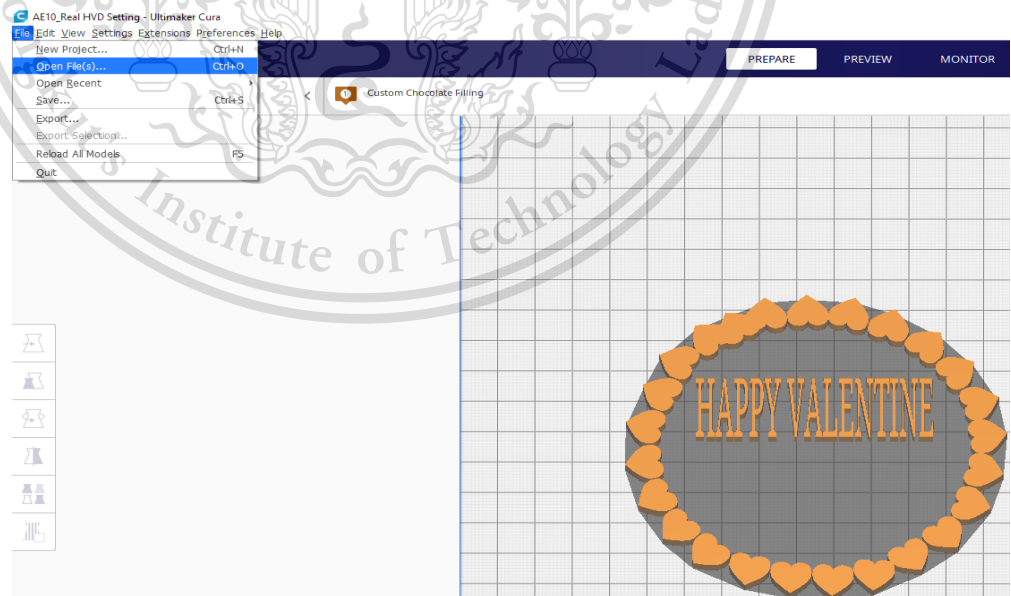
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 กด Open



รูปที่ 13 ขั้นตอนการเขียนคำ

2.6 ทำการเลือก File -> Open File (s) อีกครั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 14 ขั้นตอนการเขียนคำอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

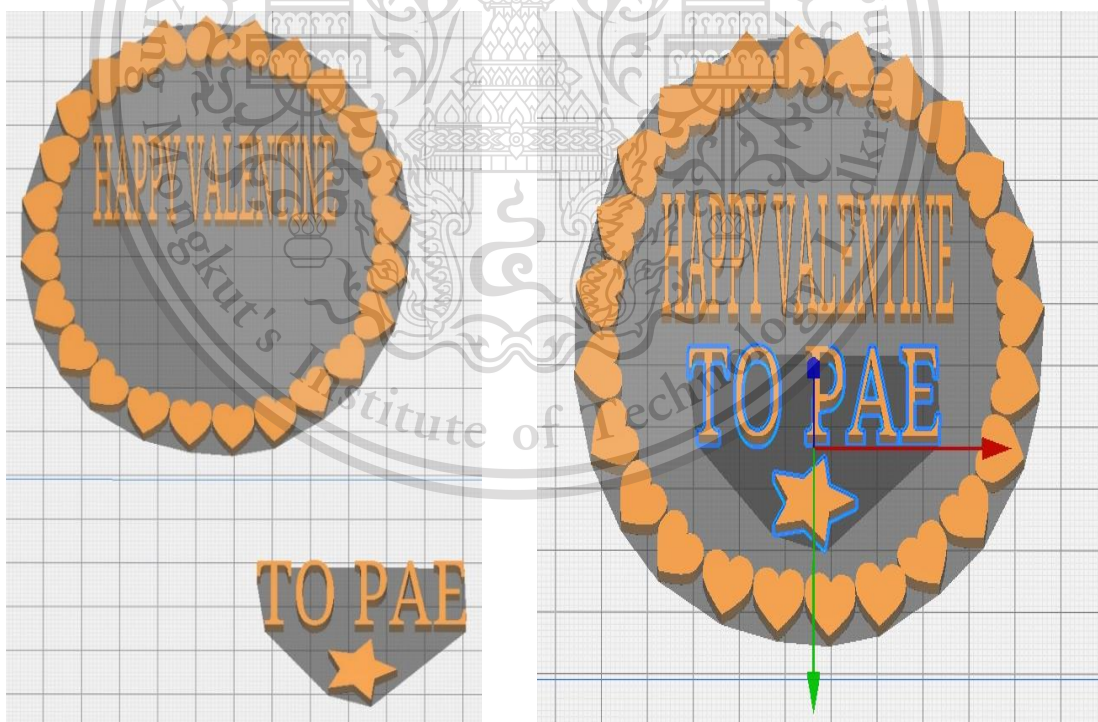
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7 เลือกไฟล์ที่ทำการ Export มาจาก tinkercad (ตัวอย่างไฟล์ชื่อ : TO PAE)



รูปที่ 15 ขั้นตอนการเขียนคำ

2.8 จะได้ไฟล์ที่นำมา และทำการเลือกตำแหน่งที่ต้องการ



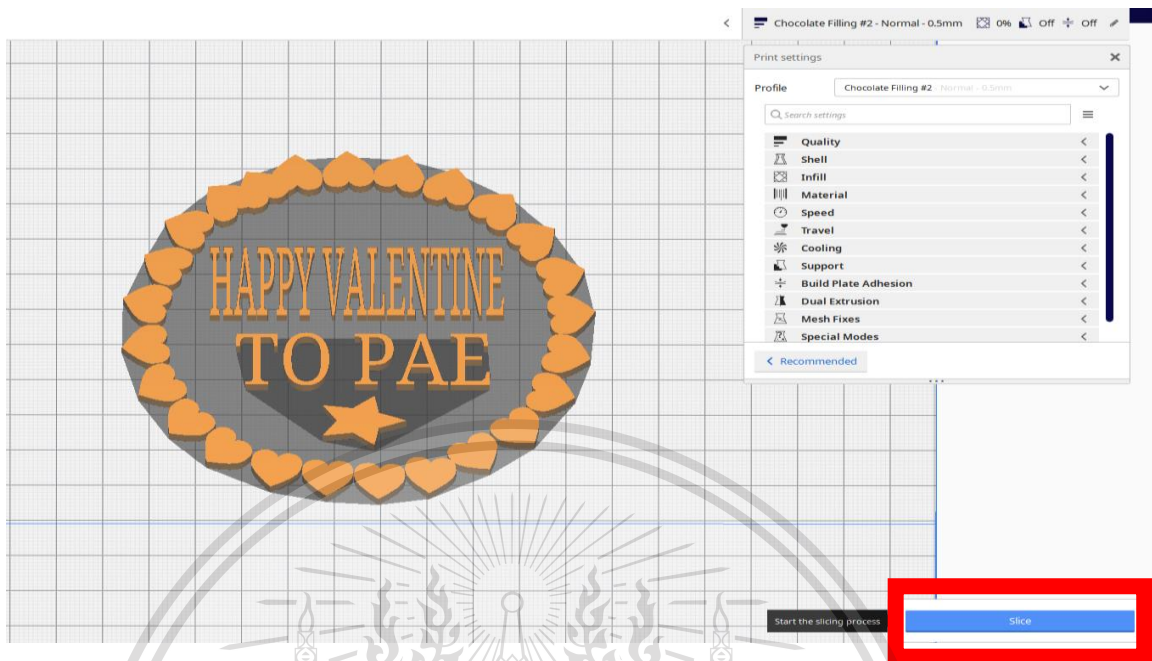
รูปที่ 16 ขั้นตอนการเขียนคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

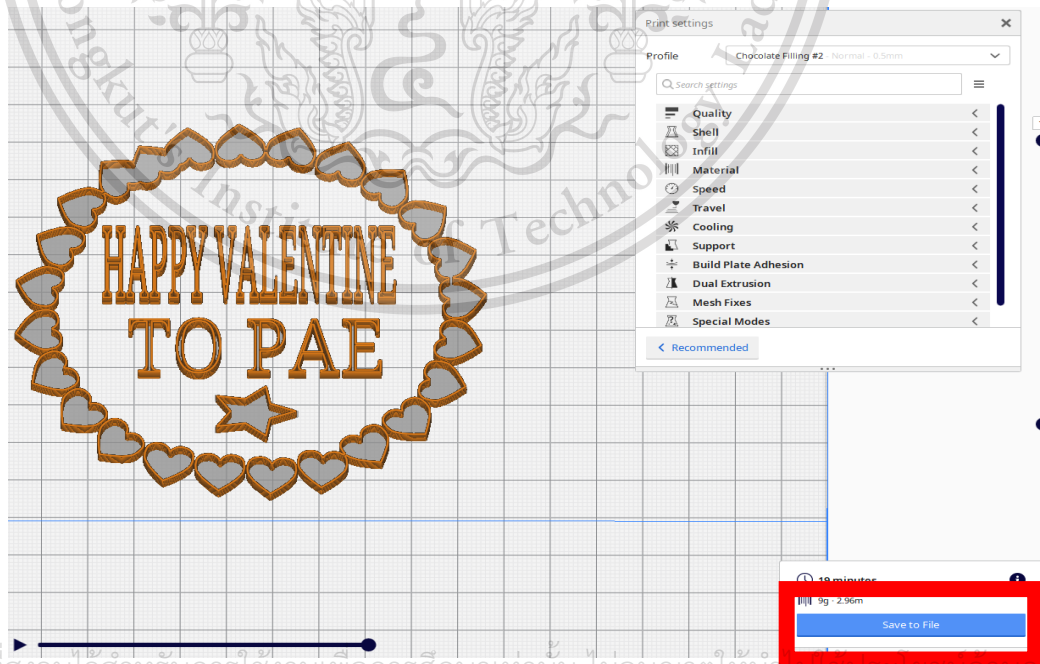
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.9 ทำการ Slice



รูปที่ 17 ขั้นตอนการเขียนค่า

2.10 สามารถ Preview ดูลักษณะการพิมพ์ของงานได้หลังจากนั้นกด Save to File

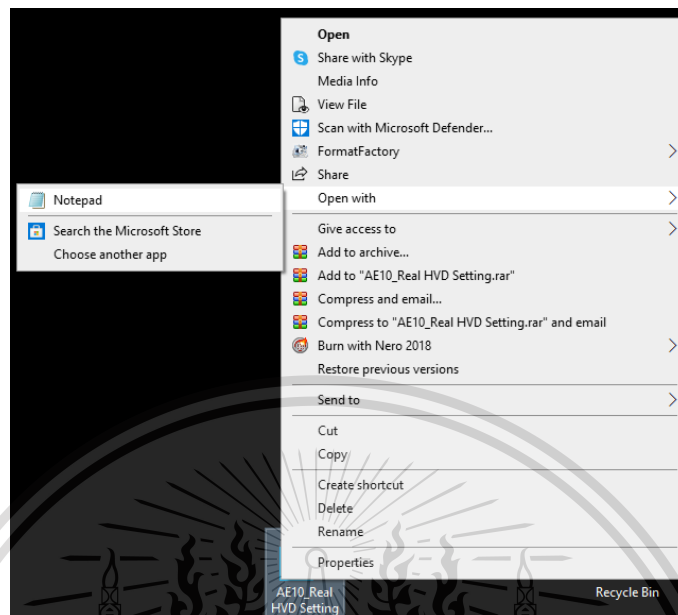


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.11 คลิกขวาที่ไฟล์ที่บันทึก และเลือก Open with -> Notepad



รูปที่ 19 ขั้นตอนการเขียนคำ

2.12 จะพบหน้าต่าง G-code แบบมาร์ลิน ให้ทำการลบ (M105, M109 S0 ออก)



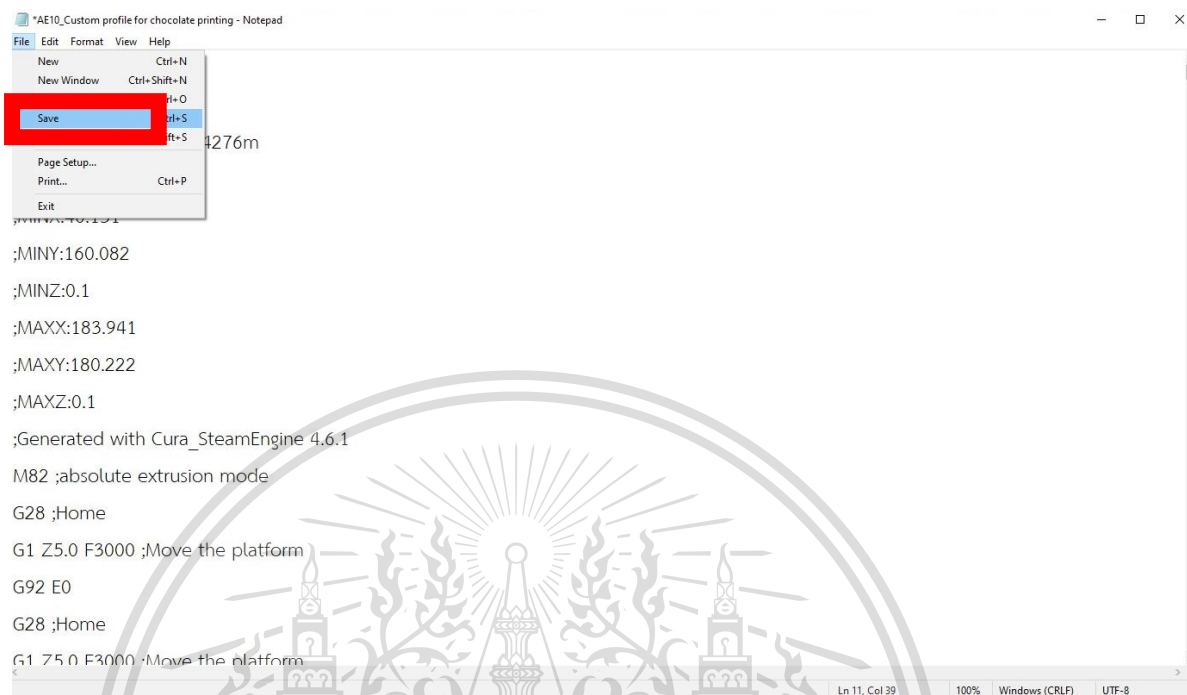
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 20 ขั้นตอนการเขียนคำ

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

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

2.13 เลือก File และทำการ Save อีกครั้ง



รูปที่ 21 ขั้นตอนการเขียนค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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.