เครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติ

AUTOMATIC FRIED ICE-CREAM MACHINE

กฤตภพ บัวแย้ม
ไชยวัฒน์ ก้องพัฒนางกูร
ศิวกร เผยเผ่าเย็น

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติ

AUTOMATIC FRIED ICE-CREAM MACHINE

-

กฤตภพ บัวแย้ม
ไชยวัฒน์ ก้องพัฒนางกูร
ศิวกร เผยเผ่าเย็น

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2566
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติ
AUTOMATIC FRIED ICE-CREAM MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นาย กฤตภพ บัวแย้ม รหัสประจำตัว 63010023
2. นาย ไชยวัฒน์ ก้องพัฒนางกูร รหัสประจำตัว 63010240
3. นาย ศิวกร เผยเผ่าเย็น รหัสประจำตัว 63010919

ณัฐวุฒิ เดไปวา
____________________ อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.ณัฐวุฒิ เดไปวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติ

นายกฤตภพ	บัวแย้ม	63010023
นายไชยวัฒน์	ก้องพัฒนากูร	63010240
นายศิวกร	เผยเผ่าเย็น	63010919
ดร.ณัฐวุฒิ เดไปวา		อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2566

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นักศึกษาได้มีการลงมือสร้างเครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติโดยมรออกแบบลักษณะตัวเครื่องให้มีความเรียบง่ายเหมาะแก่การใช้เป็นต้นแบบ โดยการออกแบบได้ทำการใช้โปรแกรม AutoCAD ในการออกแบบเบื้องต้น ส่วนในการจำลองการทำงานได้ใช้โปรแกรม Solidwork ในการทดสอบในการเลือกวัสดผู้จัดทำได้มีการเลือกวัสดุประเภท Material Food Grade ซึ่งเหมาะกับการใช้ในงานอาหารก่อนที่จะใช้จำลองแรงต่าง ทอร์ค ที่ต้องใช้สำหรับการขยับกลไกในโปรแกรม Solidwork อีกครั้งสำหรับการเลือกซื้ออุปกรณ์ โดยในการควบคุมกลุ่มผู้จัดทำได้ทำการศึกษาระบบ Microcontroller จากนั้นนำมาประยุกต์ใช้กับการควบคุมกลไกต่างๆของเครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC FRIED ICE-CREAM MACHINE

Grittapop	Buayam	63010023
Chaiwat	Kongpattanangkoon	63010240
Siwakorn	Phoeypaoyen	63010919

Assoc.Prof. Dr.Nattawt Depaiwa Advisor

Year 2566

ABSTRACT

This project involves students designing and constructing an automatic ice cream fryer. The machine was designed with a simple and user-friendly appearance suitable for use as a prototype. The initial design was created using AutoCAD software. To simulate its operation, SolidWorks software was employed. In selecting materials, Food Grade materials were chosen to ensure suitability for food applications before subjecting them to various mechanical forces. Torque calculations were performed in SolidWorks to select the appropriate components for the mechanism. For controlling the system, the project team studied Microcontroller systems and subsequently applied this knowledge to control various mechanisms of the automatic ice cream fryer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องเครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความช่วยเหลือและการแนะนำในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก รศ.ดร.ณัฐวุฒิ เดไปวา อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.บำรุง พ่วงเกิด อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกๆท่าน ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเฟื้อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานนี้ และขอบคุณพี่ๆที่ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆในการทำชิ้นส่วนของโครงงานนี้จึงทำให้โครงงานนี้ดำเนินงานไปได้อย่างรวดเร็ว

ขอขอบคุณความช่วยเหลือจากพี่เลี้ยงที่ฝึกงาน ที่ให้ความรู้ และ การแนะนำในด้านต่างๆซึ่งเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการทำโครงงานในครั้งนี้

และต้องขอขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุนในทุกๆด้านอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย คณะผู้จัดทำหวังว่า ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อวงการการศึกษาและผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

นายกฤตภพ บัวแย้ม
นายไชยวัฒน์ ก้องพัฒนากูร
นายศิวกร เผยเผ่าเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ....i
ABSTRACT....ii
กิตติกรรมประกาศ....iii
สารบัญ....iv-vi
สารบัญตาราง....viii
สารบัญรูป....iix-x
บทที่ 1 บทนำ....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา....1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา....1
1.3 ขอบเขตการวิจัย....1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ....2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา....2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....3
2.1 เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ (Vending Machine)....3
2.1.1 ต้นกำเนิด Vending machine....3
2.1.2 vending machine กับรูปแบบการทำธุรกิจ....3
2.1.3 Vending machine ในไทย....3
2.2 ไอศกรีมทอด....4
2.2.1 ไอศกรีมทอดคือ....4
2.2.2 ที่มาของไอไอศกรีมทอด....4
2.3 Material....4
2.3.1 Material Food Grade....4
2.3.2 Material Filament....5
2.4 การออกแบบเครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติ....5
2.4.1 โปรแกรมออกแบบเครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติ....5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.2 การคำนวณโหลดสำหรับเครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติ 5
2.5 อุปกรณ์สำหรับการควบคุมเครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติ 8
2.5.1 อุปกรณ์ 8
2.5.2 การควบคุมเครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติ 14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 16
3.1 ออกแบบการทำงานของเครื่องในรูปแบบ Flow chart 16
3.1.1 ระบบการจ่ายไอศกรีม 16
3.1.2 ระบบการอบลมร้อน 17
3.1.3 ระบบการเสิร์ฟ 18
3.2 การออกแบบชิ้นส่วน 19
3.2.1 ระบบการจ่ายไอศกรีม 19
3.2.2 ระบบการอบลมร้อน 20
3.3 การจำลองการทำงานในโปรแกรม SOLIDWORKS 20
3.3.1 การทำ motion simulator 20
3.4 การคำนวณหาค่าทอร์คของเซอร์โว 21
3.4.1 ของระบบจ่ายไอศกรีม 21
3.4.2 ระบบอบลมร้อน 22
3.4.3 ระบบเสิร์ฟไอศกรีม 28
3.5 การเตรียมไฟล์ชิ้นงานสำหรับการขึ้นรูปสามมิติและการตัดแผ่นอะคลิลิก 29
3.5.1 การเตรียมไฟล์การขึ้นรูปสามมิติ 29
3.5.2 การเตรียมไฟล์ตัดแผ่นอะคลิลิก 30
3.6 กระบวนการทำชั้นโครงสร้างรองรับกลไกทั้งหมด 32
3.6.1 ชั้นโครงสร้าง 32
3.6.2 ตัดแผ่นอะคลิลิก 32
3.7 ประกอบชั้นโครง วางตำแหน่งกลไก และต่อสายไฟเข้ากับชุด Controller 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.7.1 ประกอบชั้นโครงสำหรับวางตำแหน่งกลไก 33
3.7.2 การต่อสายไฟกับ Controller ของระบบหน้าจอแสดงผล 33
3.7.3 การต่อสายไฟกับ Controller ของระบบหม้อทอดไร้น้ำมัน 34
3.7.4 การต่อสายไฟกับ Controller ของระบบเสิร์ฟ 34
3.7.5 ประกอบกลไกทั้งหมดพร้อมเดินสายไฟ 35
บทที่ 4 ผลการวิจัย 36
4.1 ผลการทดสอบของ ระบบการจ่ายไอศกรีม 36
4.1.1 ขั้นตอนการทดสอบกลไกของ ระบบการจ่ายไอศกรีม 36
4.1.2 วิเคราะห์การทำงาน ในส่วนการทำงานโดยใช้เซอร์โว และ กลไกแบบต่างๆ 36
4.2 ผลการทดสอบของ “ระบบการอบลมร้อน” 36
4.2.1 ขั้นตอนการทดสอบกลไกของ “ระบบการอบลมร้อน” 36
4.2.2 วิเคราะห์การทำงาน 36
4.3 ผลการทดสอบของ “ระบบการเสิร์ฟ” 37
4.3.1 ขั้นตอนการทดสอบกลไกของ “ระบบการเสิร์ฟ” 37
4.3.2 วิเคราะห์การทำงาน การทำงานส่วนที่ 1* 37
4.4 ผลการทดสอบของ “ระบบรวม (Full System)” 38
4.4.1 วิเคราะห์การทำงาน ระบบทำงานโดยจ่ายไฟในรูปแบบต่างๆ 38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 39
5.1 สรุปผลการทดลอง 39
5.1.1 สรุปผลการทดสอบของ “ระบบการจ่ายไอศกรีม” 39
5.1.2 สรุปผลการทดสอบของ “ระบบการอบลมร้อน” 39
5.1.3 สรุปผลการทดสอบของ “ระบบการเสิร์ฟ” 39
5.1.4 สรุปผลการทำงานโดยรวม 40
5.2 ข้อเสนอแนะ 40
5.2.1 ข้อเสนอแนะทางด้านกลไก 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.2.2 ข้อเสนอแนะในส่วนของวัสดุ 40

5.2.2 ข้อเสนอแนะด้านการควบคุม 40

5.3 สรุปค่าใช้จ่าย.. 40

5.3.1 อธิบายสรุปค่าใช้จ่าย.. 43

บรรณานุกรม...44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานของโครงงาน........2
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการจ่ายไอศกรีมของกลไก........33
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการทำงานของกลไกอบลมร้อน........34
ตาราง 4.3 ผลการทดสอบการทำงานของกลไกเสิร์ฟ........34
ตารางที่ 5.3 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการจัดทำโครงงาน........37-40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 2.1 load torque screw....6
รูปที่ 2.2 แสดงการจำลอง Motion ของไอศกรีมซึ่งสัมผัสกับพื้น Stainless....7
รูปที่ 2.3 แสดงสูตรการคำนวณ torque ball screw....7
รูปที่ 2.4 แสดงการพลิกหม้อทอด....8
รูปที่ 2.5 Lead screw....8
รูปที่ 2.6 Bearing....9
รูปที่ 2.8 Coupling....9
รูปที่ 2.10 IR infrared Obstacle Avoidance Sensor....9
รูปที่ 2.11 Micro Servo....10
รูปที่ 2.12 จอ LCD ขนาด 20x4....10
รูปที่ 2.13 Adaptor....11
รูปที่ 2.14 ปุ่มกดไมโครสวิตช์ 11
รูปที่ 2.15 โมดูลรีเลย์....12
รูปที่ 2.16 โมดูลบัซเซอร์....12
รูปที่ 2.17 โมดูลตรวจจับการชน....13
รูปที่ 2.18 วงจรลดแรงดันแบบ Step-Down....13
รูปที่ 2.19 หม้อทอดไร้น้ำมัน....14
รูปที่ 2.20 Arduino board....14
รูปที่ 2.21 แสดงตัวอย่าง code Arduino....15
รูปที่ 3.1 แสดง flow chart ของ ระบบการจ่ายไอศกรีม....16
รูปที่ 3.2 แสดง flow chart ของ ระบบการอบลมร้อน....17
รูปที่ 3.3 แสดง flow chart ของ ระบบการเสิร์ฟ....18
รูปที่ 3.4 การออกแบบชิ้นส่วนระบบการจ่ายไอศกรีม....19
รูปที่ 3.5 การออกแบบชิ้นส่วนระบบการจ่ายไอศกรีมแบบ explode....19
รูปที่ 3.6 การออกแบบชิ้นส่วนระบบการอบลมร้อน....20
รูปที่ 3.7 การทำ motion simulator ของชิ้นส่วนที่ออกแบบ....20
รูปที่ 3.8 การหาค่าต่างๆสำหรับการคำนวณ....21
รูปที่ 3.9 ภาพแสดงกลไกเปิดและปิดประตู....21
รูปที่ 3.10 แสดงการหาค่าต่างๆของวัตถุด้วยโปรแกรม AutoCAD....22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 3.11 แสดงภาพแรงที่เกิดขึ้นในกลไกหมุนจ่ายไอศกรีม.....23
รูปที่ 3.12 ภาพแสดงกลไกทั้งหมดของระบบอบลมร้อน.....24
รูปที่ 3.13 แสดงสูตรการคำนวณ torque ball screw.....24
รูปที่ 3.14 แสดงสูตรการคำนวณกลไกพลิกหม้อ.....25
รูปที่ 3.15 แสดงการตัดหม้อสำหรับเทไอศกรีม 26
รูปที่ 3.16 แสดงการทำเกลียวเพลาเหล็กและเชื่อมเข้ากับแผ่นสแตนเลสเพื่อยึดกับหม้อ.....26
รูปที่ 3.17 แสดงการทำเกลียวเพลาเหล็กและเชื่อมเข้ากับแผ่นสแตนเลสเพื่อยึดกับหม้อ(ต่อ).....27
รูปที่ 3.18 แสดงการสวมเพลาเข้ากับหม้อทอด.....27
รูปที่ 3.19 แสดงการต่อ Relay แทน Timer switch 28
รูปที่ 3.20 Motion guide สำหรับควมคุมไอศกรีมให้ตกลงแนวดิ่ง.....28
รูปที่ 3.21 กลไกจ่ายถ้วยและเสิร์ฟถ้วยใส่ไอศกรีม.....29
รูปที่ 3.22 การแบ่งไฟล์ชิ้นงาน.....29
รูปที่ 3.23 การตั้งค่าชิ้นงานในโปรแกรม UltiMaker Cura.....30
รูปที่ 3.24 ชิ้นงานจากการขึ้นรูปสามมิติ.....30
รูปที่ 3.25 การตั้งค่าชิ้นงานในโปรแกรม AutoLaser.....30
รูปที่ 3.26 การตั้งค่าชิ้นงานในโปรแกรม AutoLaser (ต่อ).....31
รูปที่ 3.27 แสดงขั้นตอนตัดเหล็กฉาก.....32
รูปที่ 3.28 แผ่นอะคลิลิกสำหรับทำผนังตู้.....32
รูปที่ 3.29 ประกอบโครงด้วยเหล็กฉาก.....33
รูปที่ 3.30 วงจรไฟฟ้าของระบบหน้าจอแสดงผล.....33
รูปที่ 3.31 วงจรไฟฟ้าของระบบหม้อทอด.....34
รูปที่ 3.32 งจรไฟฟ้าของระบบเสิร์ฟถ้วยไอศกรีม.....34
รูปที่ 3.33 แสดงการประกอบกลไกและการต่อสายไฟตามวงจรเสร็จสมบูรณ์ 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันตู้จำหน่ายสินค้าอัตโนมัติในไทยเริ่มมีบทบาทโดดเด่นมากขึ้นในช่วง 5 ปี ที่ผ่านมา สะท้อนจากจำนวนตู้จำหน่ายสินค้าอัตโนมัติที่ขยายตัวอย่างรวดเร็ว ณ ปัจจุบันมีมากกว่า 10 แบรนด์ มากกว่า 30,000 ตู้ แต่ยังกระจุกตัวในกรุงเทพและภาคตะวันออกรวมแล้วมากกว่า 60%

โดยตู้จำหน่ายสินค้าอัตโนมัติมีผลกระทบต่อชีวิตประจำวันเป็นอย่างมากซึ่งการมาถึงของตู้จำหน่ายสินค้าอัตโนมัติเพิ่มความสะดวกสบายเป็นอย่างมากโดยเฉพาะบางครั้งในเวลาที่เร่งรีบไม่ว่าจะเป็นการซักผ้า ซื้อสินค้า หรือ แม้แต่การหาของกินก็สามารถทำได้ทันทีของเพียงบริเวณใกล้เคียงมีตู้อัตโนมัติอยู่ดังนั้นการที่มีตู้จำหน่ายสินค้าอัตโนมัติก็จะเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภคได้มากเช่นกัน

แม้ในปัจจุบันประเทศไทยเริ่มมีตู้จำหน่ายสินค้าอัตโนมัติที่หลากหลายมากขึ้นโดยเฉพาะตู้จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่มแต่ก็ยังคงไม่เป็นที่แพร่หลายเท่าไหร่นอกจากนี้อาหารที่อยู่ในตู้จำหน่ายสินค้าอัตโนมัติมักจะเป็นของสำเร็จรูป เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป หรือ อาหารที่ใช้ไมโครเวฟ ซึ่งมักจะส่งผลเสียต่อสุขภาพหากรับประทานบ่อยๆปัจจุบันจะมีตู้อัตโนมัติที่สามารถทำอาหารได้ทันทีแต่ส่วนมากจะเป็นประเภทเครื่องดื่ม

ทางผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะสร้างตู้จำหน่ายสินค้าอัตโนมัติประเภทของกินเล่นที่ง่ายต่อการควบคุมขึ้นมาเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการนำไปต่อยอดให้ธุรกิจตู้จำหน่ายอาหารอัตโนมัติเป็นที่แพร่หลายมากขึ้นในประเทศไทยให้มีตัวเลือกที่มากขึ้นในการหาของกินจากตู้จำหน่ายอาหารอัตโนมัติและเพื่อหาปัญหาและอุปสรรคของการสร้างตู้โดย รวมทั้งหาวิธีการแก้ไขปรับปรุงในส่วนนั้นๆต่อไปผู้จัดทำมีจุดมุ่งหมายให้ตัวต้นแบบในโครงงานนี้จะถูกนำไปต่อยอดสำหรับการใช้งานจริงในอนาคต

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อสร้างตัวต้นแบบของตู้จำหน่ายอาหารอัตโนมัติอย่างง่าย สามารถควบคุมการทำงานทุกกลไกของตู้ได้สำเร็จ และ ทำงานได้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ครบทุกขั้นตอนพร้อมเสิร์ฟ

1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานต่างๆของกลไก และ การควบคุมตู้จำหน่ายอาหารอัตโนมัติ

1.2.3 เพื่อหาปัญหาและอุปสรรคของการสร้างตู้จำหน่ายอาหารอัตโนมัติ และ วิธีแก้ไข

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 สร้างตัวต้นแบบ และ สามารถควบคุมการทำงานทุกกลไกของตู้ได้สำเร็จ

1.3.3 ตู้สามารถจ่ายแล้วทำการไอศกรีมทอด และ เสิร์ฟได้สำเร็จอย่างสมบูรณ์

1.3.2 เครื่องมีการแสดงผล และ สามารถเลือกรสของไอติมได้ 2 รส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ตัวต้นแบบที่สร้างสามารถใช้ในในการศึกษาหรือต่อยอดการสร้างตู้จำหน่ายอาหารอัตโนมัติต่อไป สำหรับผู้ที่สนใจ

1.4.2 ได้ความรู้จากการสร้าง และ ควบคุมกลไกต่างของตู้จำหน่ายอาหารอัตโนมัติ

1.4.3 ได้เรียนรู้ปัญหาหาที่เกิดขึ้นในการสร้างตู้จำหน่ายอาหารอัตโนมัติและการแก้ไข

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานของโครงงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2566					พ.ศ. 2567				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาเกี่ยวกับความเหมาะสมของโครงงาน										
2. รวบรวมข้อมูลที่จำเป็น										
3. รวมกลุ่มออกแบบการทำงานของเครื่อง										
4. วางแผนแจกจ่ายงาน										
5. เริ่มการออกแบบ										
6. จำลองการทำงาน										
7. คำนวนค่าต่างๆสำหรับการซื้ออุปกรณ์										
8. ซื้ออุปกรณ์										
9. ขึ้นรูปชิ้นส่วน										
10. ประกอบชิ้นส่วน										
11. ออกแบบระบบควบคุม										
12. ใส่กลไก										
13. ทดสอบการทำงาน										
14. เข้าตู้และขึ้นโครง										
15. รวบรวมรูปเล่มปริญญานิพนธ์										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเครื่องทอดไอติมอัตโนมัติ ได้พิจารณาในด้านการออกแบบและคำนวณเพื่อทำความเข้าใจในด้านส่วนประกอบ อุปกรณ์ เพื่อนำมาเลือกใช้ส่วนประกอบและอุปกรณ์ในเครื่องทอดไอติมอัตโนมัติในระบบควบคุมต่างๆ โดยมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ (Vending Machine)

2.1.1 ต้นกำเนิด Vending machine

vending machine หรือเครื่องหยอดเหรียญอัตโนมัติ เกิดขึ้นมาตั้งแต่สมัยโรมันอียิปต์ศตวรรษแรกด้วยเครื่องจำหน่ายน้ำมนต์ หลังจากนั้นในประเทศอังกฤษช่วงปี ค.ศ.1615 มีเครื่องจำหน่ายยาสูบอัตโนมัติในร้านเหล้าตามมาด้วยเครื่องจำหน่ายหนังสือพิมพ์และเครื่องจำหน่ายแสตมป์ไล่เรียงไปตามลำดับ

2.1.2 vending machine กับรูปแบบการทำธุรกิจ

การทำธุรกิจที่เรียกว่า vending machine หากแปลตรงตัวแล้วจะหมายถึง “เครื่องหยอดเหรียญ” จำหน่ายเครื่องดื่ม อาหารและสินค้าอื่นๆ แบบอัตโนมัติ

ในต่างประเทศเป็นรูปแบบการจำหน่ายสินค้าที่ได้รับความนิยมมากเพราะสามารถสร้างความสะดวกให้กับผู้บริโภคได้ในทุกพื้นที่ เป็นช่องทางทำให้ผู้บริโภคสามารถเข้าถึงและรู้จักสินค้า เป็นกลยุทธทางการตลาดรูปแบบหนึ่งยุค 2021 เลยทีเดียว

2.1.3 Vending machine ในไทย

ส่วนในประเทศไทยในช่วงแรกเครือสหพัฒน์ได้นำเอาระบบตู้หยอดเหรียญอัตโนมัติมาใช้งานในชื่อของ SUN108 ตามมาด้วยตู้บุญเติมที่สามารถวางตู้ได้ในพื้นที่เล็กๆ ทั่วไป เข้าถึงผู้บริโภคพื้นฐานได้มาก ปัจจุบันมีมากกว่า 2,000 ตู้ทั่วประเทศ / ตู้เวนดิ้งพลัส / Bluepay / T.G.Vending ของเครือกระทิงแดง / ตู้ AOC / Sundew / Unif / Inbox Vending

ต่อมาเครือโอสถสภาเห็นว่าการทำธุรกิจผ่านเครื่องหยอดเหรียญอัตโนมัติเป็นรูปแบบการโปรโมทสินค้าและสามารถกระจายผลิตภัณฑ์ของบริษัทได้กว้างขึ้นมาก สามารถจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่หลากหลายของโอสถสภาได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่ต้องอาศัย “พนักงาน” เข้าทำหน้าที่อีกด้วย

ปัจจุบัน 7-11 ได้นำเอา vending machine เครื่องหยอดเหรียญอัตโนมัติมาร่วมในบริการด้วยเช่นกันนั่นหมายความว่านับต่อจากนี้ไปธุรกิจเครื่องหยอดเหรียญอัตโนมัติจะไม่ถูกผูกขาดโดยเจ้าของธุรกิจเพียง 1 หรือ 2 รายเท่านั้น ทำให้เกิดการแข่งขันที่สูงขึ้นพร้อมๆ กับสร้างทางเลือกให้ผู้บริโภคได้รับสินค้าทั้งอุปโภคและบริโภคที่มีคุณภาพและหลากหลายมากขึ้นนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ไอศกรีมทอด

2.2.1 ไอศกรีมทอดคือ

ไอศกรีมทอด(Fried ice cream) เป็นของหวานชนิดหนึ่ง ซึ่งทำจากขนมปังแผ่นยัดใส้ไอศกรีม แช่ให้เย็นจนไส้แข็ง, แล้วนำไปลงทอดในน้ำมันจนผิวเหลืองกรอบ (แต่ภายในยังไม่ละลาย) และมักราดด้วยนมข้นหวาน คาราเมล หรือช็อกโกแลต ก่อนรับประทาน, ซึ่งในประเทศไทย จะสามารถหาซื้อไอศกรีมทอดได้ทั่วไปตามรถเข็นขายอาหาร และก็มีทำจำหน่ายบ้างในร้านไอศกรีมบางแห่ง

ไอศกรีมที่เป็นไส้ในไอศกรีมทอดนั้น สามารถเป็นไอศกรีมรสใดก็ได้, แต่จะต้องแช่เย็นอยู่ในอุณหภูมิที่ต่ำมาก (ต่ำกว่าอุณหภูมิปกติที่จำเป็นต้องใช้เพื่อแช่ไอศกรีมตัก) และจะใช้เวลาทอดเพียงสั้นๆ ด้วยน้ำมันร้อนจัด เพื่อให้แป้งที่ห่อไอศกรีมกรอบ โดยที่ไส้ไอศกรีมภายในไม่ละลาย และจะต้องจัดใส่ถ้วยทันทีหลังจากสะเด็ดน้ำมันเป็นเวลาสั้นๆ เพื่อให้ผิวนอกยังคงความกรอบ และไส้ไอศกรีมภายในยังคงรูปอยู่ ขณะรับประทาน

2.2.2 ที่มาของไอไอศกรีมทอด

ไอศกรีมทอดเป็นของหวานของชาวจีนซึ่งมีต้นกำเนิดมาแต่โบราณ หลักฐานแรกของอาหารจานนี้มีอายุย้อนไปถึงปี 1800 อีกทั้งความกรอบนอกนุ่มในยังเป็นจานที่ต้องชิมให้ได้ โดยเฉพาะเมื่อไปทานอาหารในร้านอาหารตะวันออก
ทำให้ไอศกรีมทอดแพร่หลายมากขึ้น โดยเฉพาะในร้านอาหารญี่ปุ่น และยังเปิดตัวครั้งแรกที่งาน Chicago World's Fair ปี 1893 ของว่างจานนี้สามารถทำซ้ำได้ง่ายเพราะใช้เวลาทอดเพียง 10-20 วินาทีเวลา เพื่อให้แป้งที่หนาพองฟูและกรุปกรอบมากขึ้น เมื่อยุคสมัยผ่านไปเชฟก็ได้เสริมรสชาติของไอศกรีมทอดด้วยวิปครีม ซอสรสชาติต่าง ๆ แล้วปรุงรสด้วยบิสกิตอบเชย ขิง และผลไม้หวาน ๆ เพื่อเพิ่มความเพลิดเพลินในการทานให้เข้ากับยุคสมัยมากขึ้น

2.3 Material

2.3.1 Material Food Grade

วัสดุ ฟู้ดเกรด เป็นคำที่ใช้บอกถึงเกรดหรือประเภทของวัสดุ ที่ทำมาใช้เป็นวัตถุดิบที่ใส่อาหารได้ปลอดภัย ไม่เป็นพิษเมื่อสัมผัสกับอาหาร โดยวัตถุดิบที่เรานำมาใช้เป็นทำเป็นชิ้นส่วนที่สัมผัสอาหารโดยตรงได้แก่

2.3.1.1 stainless 304

เป็นสแตนเลสกลุ่มออสเทนนิติก ซึ่งจำแนกตามมาตรฐาน ISO โดยมีส่วนผสมเป็นเหล็กกล้า โครเมียม นิกเกิล และคาร์บอน โดย เป็นวัสดุที่ มีความทนทาน มีความเหนียวสูง และทนการกัดกร่อนได้ดีจากการที่โครเมียมจะสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ออกมาเคลือบผิวเพื่อช่วยในการทนการกัดกร่อน โดยจัดอยู่ในมาตรฐานฟู้ดเกรด สามารถนำมาใช้ทำเป็นวัสดุที่สัมผัสอาหารได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 Material Filament

เป็นวัสดุที่ใช้สำหรับการพิมพ์สำหรับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้หลักการในการขึ้นรูปด้วยความร้อนด้วยหัวฉีด โดยมีจุดเด่นที่ สามารถผลิตชิ้นงานด้วยรวดเร็ว และต้นทุนที่ถูก และมีชนิดให้เลือกใช้หลากหลายตามความเหมาะสมของงาน โดยวัตถุดิบที่เราเลือกใช้ได้แก่

2.3.2.1 PETG

PETG หรือ Polyethylene terephthalate glycol เป็นเส้นใยวัสดุที่ใช้สำหรับการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยพัฒนามาจาก PET หรือ Polyethylene terephthalate โดยเติม glycol ลงไปเพื่อเพิ่มความใสและความเหนียว เพื่อให้เหมาะกับการขึ้นรูป โดย PETG มีคุณสมบัติที่ต่างจากเส้นใยอื่นๆคือเหนียวและทนจากการฉีกขาด สามารถทนความร้อนสูงได้ถึง 200 องศาเซลเซียส ทนต่อแรงดึง การยืดตัว และการดัดงอได้ดี

2.4 การออกแบบเครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติ

2.4.1 โปรแกรมออกแบบเครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติ

2.4.1.1 AutoCAD

โปรแกรม AutoCAD เป็นชื่อโปรแกรมเป็นซอฟต์แวร์สำเร็จรูปที่ใช้ในการออกแบบไม่ว่าจะเป็นการเขียนงานในระบบ 2 มิติ และในระบบ 3 มิติได้สร้างแบบจำลอง (Model) ได้โดยทำให้เหมือนจริง หมุนดูทิศทางต่าง ๆสามารถรองรับการเขียนแบบที่มีจุดทศนิยมมากถึง 8 หลักรวมถึงสร้างออกมาเป็น G-code

2.4.1.2 SOLIDWORKS

เป็นอีกหนึ่งโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบและหลังจากออกแบบแล้วสามารถวิเคราะห์ ค่าต่างๆ ทางวิศวกรรม เช่น ความแข็งแรง อายุการใช้งาน การไหล การถ่ายเทความร้อน หรือวิเคราะห์ผลกระทบ ในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการฉีดพลาสติก รวมถึงสร้างออกมาเป็น G-code ได้อีกด้วย

โดยในการทำโครงการของนักศึกษาได้ใช้โปรแกรม AutoCAD ในการออกแบบเบื้องต้นจากนั้นเป็นการทำ motion simulator ในโปรแกรม SOLIDWORKS รวมถึงการหาแรง น้ำหนัก และ พื้นที่ผิวต่างๆ ที่สำคัญต่อการคำนวณ

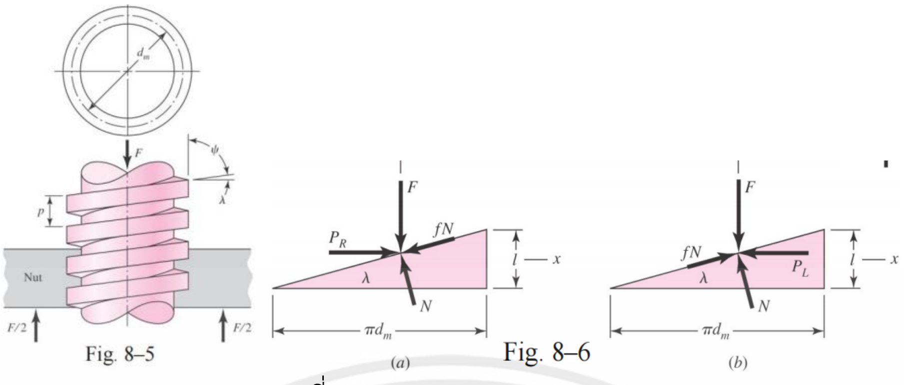
2.4.2 การคำนวณโหลดสำหรับเครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติ

2.4.2.1 Feed system

ในระบบนี้จะมีอยู่ 2 กลไก คือ 1. กลไกขับสกรูเปิด/ปิดประตู และ 2. กลไกหมุนจ่ายไอศกรีมโดย Load Torque ที่ใช้ในการหมุนกลไกเพื่อจ่ายไอศกรีมจะมี Load Torque เนื่องจากแรงเสียดทานของตัวกลไกเอง (T1) และ Load Torque เนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างไอศกรีมกับพื้นที่เป็น Food Grade Stainless (T2) โดยจะนำมารวมกันภายหลังเพื่อนำไปใช้ในการเลือกขนาดเซอร์โวมอเตอร์ต่อไป โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. <u>การคำนวณ Load Torque ที่ใช้ในการขับสกรูเพื่อเปิด/ปิดประตู</u> โดยสูตรที่ใช้คำนวณจะเป็นไปตามรายวิชา Machine Design ดังนี้



รูปที่ 2.1 load torque screw

$$T_R = \frac{Fd_m}{2}\left(\frac{l + \pi\mu d_m}{\pi d_m - \mu l}\right) + \left(\frac{F\mu_c d_c}{2}\right)$$

$$T_L = \frac{Fd_m}{2}\left(\frac{\pi\mu d_m - l}{\pi d_m + \mu l}\right)$$

โดย TR คือ Raising Torque ที่ใช้ในการขับสกรูให้เคลื่อนที่ขึ้นโดยมีการคิดผลของ Collar friction ด้วย

TL คือ Lowering Torque ที่ใช้ในการขับสกรูให้เคลื่อนที่ลง ซึ่ง Lowering Torque นี้จะมีการตรวจสอบว่าสามารถเกิด Self-Locking ได้ด้วยตัวมันเองหรือไม่ โดยจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

$$\pi f d_m > l$$

2. <u>การคำนวณ Torque ที่ใช้ในการหมุนชุดกลไกจ่ายไอศกรีม (T1)</u>

ในการที่จะให้กลไกหมุนเพื่อจ่ายไอศกรีมได้จะต้องคิดจาก Acceleration Torque (Tacc)ในการเร่งความเร็วในการหมุนจากหยุดนิ่งไปยังตำแหน่งหรือความเร็วที่ต้องการ โดยมีสมการดังนี้

Acceleration Torque (Tacc) = T1 – TL = I x α

โดย **T1** คือ แรงบิดจากเซอร์โวมอเตอร์ (N*m)

TL คือ แรงบิดจำเป็นที่ต้องเอาชนะเพื่อทำให้กลไกเริ่มหมุน (N*m) หรือก็คือ Friction Torque นั่นเอง

I คือ Moment of Inertia (kg*m^2) เป็นค่าความเฉื่อยที่ต้านการเปลี่ยนแปลงการหมุน

α คือ ความเร่งเชิงมุมที่ใช้เร่งวัตถุให้หมุน (rad/s^2)

สำหรับ Trajectory เริ่มต้นของ Micro servo motor ที่นำมาใช้จะเป็นแบบ Set Point กล่าวคือ ไปให้ถึงตำแหน่งให้เร็วที่สุดแต่จะไม่สามารถควบคุมความเร็วของเซอร์โวมอเตอร์จริงๆให้มี Speed Curve เป็นลักษณะ Trapezoidal curve ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแต่ง Arduino Code โดยจะให้ Servo motor ค่อยๆเปลี่ยนมุมการหมุนเพื่อให้กลไกจ่ายไอศกรีมเสมือนว่ามี Speed Curve คงที่ตลอดเวลาและเพื่อลดผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการกระชากในการหมุน (Jerk) ให้น้อยลงด้วย ดังนั้นในการเลือกขนาดของมอเตอร์ตรงนี้จะดูที่ T1 เป็นหลักว่ามีขนาดมากกว่า TL ที่ได้จากการคำนวณหรือไม่ ดังนั้นในส่วนนี้จะพิจารณาว่า T1 = TL

T1 = TL = (f x M x g) x R

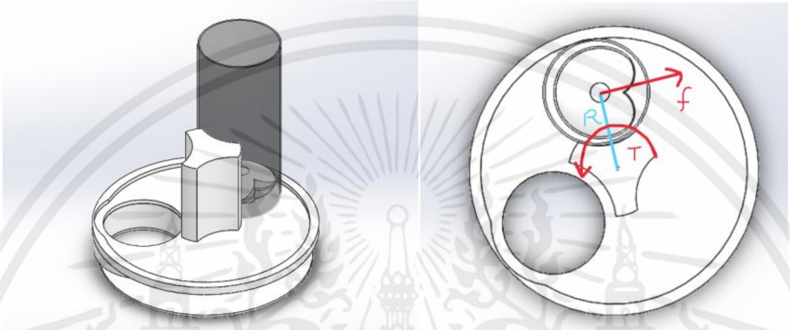
โดยที่ f คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทางของกลไก

M คือ มวลของกลไกแต่ละชิ้นส่วน (kg)

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)

R คือ รัศมีจากจุดกึ่งกลางของชิ้นส่วนแต่ละกลไกมาถึงจุดหมุน (m)

3. <u>การคำนวณ Load Torque เนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างไอศกรีมกับพื้น Stainless (T2)</u>



รูปที่ 2.2 แสดงการจำลอง Motion ของไอศกรีมซึ่งสัมผัสกับพื้น Stainless

โดยแรงบิดในส่วนนี้จะคำนวณได้จาก

Torque (T2) = f x R

โดย f คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างไอศกรีมและพื้น (N)

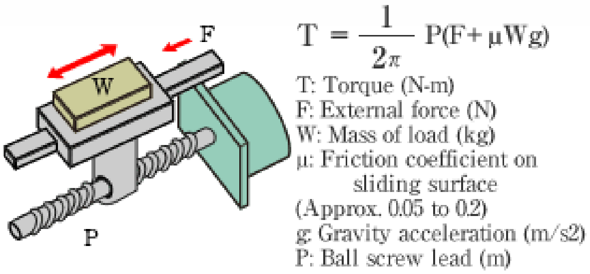
R คือ แขนของโมเมนต์จากแกนกลางหมุนไปถึง CM ของไอศกรีม (m)

ท้ายที่สุดในการเลือกขนาดเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในการขับกลไกจ่ายไอศกรีมจะต้องนำ T1 และ T2 ที่ได้มารวมกันเพื่อเลือกขนาดมอเตอร์

2.4.2.2 Air fryer system

สำหรับระบบนี้จะมีระบบขับเคลื่อนอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ 1. กลไกเลื่อนหม้อทอดเข้าและเลื่อนออกโดยใช้กลไก Lead screw และ 2. กลไกพลิกหม้อเทไอศกรีม โดยมีหลักการคำนวณ Load Torque ดังต่อไปนี้

1. <u>กลไกเลื่อนหม้อทอด</u> โดยสูตรการคำนวณแรงบิด (Torque) ที่ใช้ในการขับสกรูให้เลื่อนเข้าและเลื่อนออกจะเป็นไปตามสมการด้านล่างนี้



รูปที่ 2.3 แสดงสูตรการคำนวณ torque ball screw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยน้ำหนักของหม้อและไอศกรีมจะตกลงตรงกลางระหว่างรางเลื่อนทั้งสองฝั่งพอดี ดังนั้นน้ำหนักหรือว่าแรงจะถูกแบ่งไป 2 ข้างของ Support อย่างละเท่าๆกัน ดังนั้นตัวแปร W ในสมการจะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของน้ำหนัก

2. <u>กลไกพลิกหม้อเทไอศกรีม</u>

รูปที่ 2.4 แสดงการพลิกหม้อทอด

จากที่เห็นดังรูปจะเป็นด้าน Top view ของหม้อ ซึ่งกลไกการเทไอศกรีมจะหมุนรอบแกน X ตามรูป ดังนั้นสูตรในการคำนวณแรงบิดมอเตอร์ที่ใช้ในการเทไอศกรีมจะเป็นการคำนวณหาแรงบิดทั่วไป

Torque = M g x R โดย M คือมวลของหม้อและไอศกรีม (kg)

R คือ รัศมีของหม้อทอด (m)

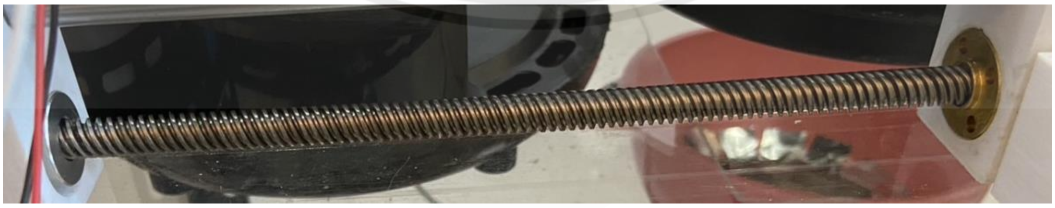
2.5 อุปกรณ์สำหรับการควบคุมเครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติ

2.5.1 อุปกรณ์

2.5.1.1 หมวดกลไก

1. Lead screw

ลีดสกรูเป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรและเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการแปลงการเคลื่อนที่แบบหมุนเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น (เช่น สำหรับตัวขับประตู ปากกาจับชิ้นงาน หริอ กลไกต่างๆที่ต้องการการเคลื่อนที่เชิงเส้น เป็นต้น)



รูปที่ 2.5 Lead screw

2. Bearing

ทำหน้าที่รองรับและรักษาตำแหน่งชิ้นส่วนของเครื่องจักรงานหมุนต่อเนื่องหรือหมุนไปกลับ เช่น เพลา แกน หรือล้อ และส่งถ่ายกำลังระหว่างส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องจักรตลับลูกปืนเหล่ามีความแม่นยำสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแรงเสียดทานต่ำ ดังนั้นจึงรองรับความเร็วการหมุนได้สูงพร้อมทั้งลดเสียงรบกวน ความร้อน ความสิ้นเปลืองพลังงาน และการสึกหรอ

รูปที่ 2.6 Bearing

3. Coupling

ทำหน้าที่เป็นตัวยึดงานให้เป็นไปทิศทางเดียวกันหรือเป็นตัวเชื่อมระหว่างของ 2 สิ่ง ให้ทำงานไปพร้อมกันตามตัวส่งกำลัง เช่น การใช้ COUPLING ต่อระหว่าง MOTOR และ GEAR เพื่อให้ MOTOR ส่งกำลังไปยัง GEAR

รูปที่ 2.8 Coupling

2.5.1.2 หมวดวงจร

1. IR infrared Obstacle Avoidance Sensor

เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ IR Infrared เป็นโมดูลเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุระยะใกล้ มีหลักการทำงานโดยให้หลอด Infrared LED ทำการส่งสัญญาณ เป็นแสงอินฟราเรดออกไปตกกระทบกับวัตถุที่ตรวจพบในระยะ และทำการสะท้อนกลับมายังตัวหลอดโฟโต้ไดโอดที่ทำหน้าที่รับแสงอินฟราเรด โดยจะให้ค่า output ออกมาเป็น Digital signal

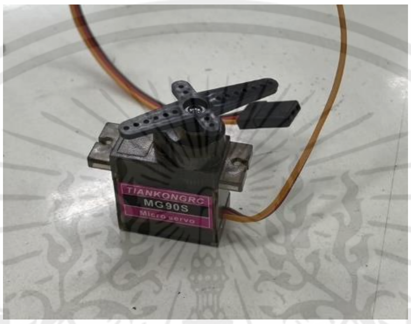
รูปที่ 2.10 IR infrared Obstacle Avoidance Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Micro Servo

Servo Motor เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมเครื่องจักรกล หรือระบบการทำงานนั้นๆ ให้เป็นไปตามความต้องการ เช่น ควบคุมความเร็ว (Speed), ควบคุมแรงบิด (Torque) , ควบคุมแรงตำแหน่ง (Position) โดยให้ผลลัพธ์ตามความต้องการที่มีความแม่นยำสูง

วัสดุที่ใช้ทำแกนหมุนของเซอร์โวมอเตอร์มี 2 ชนิด คือ พลาสติก และเหล็ก สำหรับแกนหมุนพลาสติก เมื่อใช้งานเซอร์โวมอเตอร์อย่างหนักเป็นเวลานาน จะทำให้เฟืองของเซอร์โวมอเตอร์ครูด ดังนั้นหากนำเซอร์โวมอเตอร์ไปใช้งานหนักเป็นเวลานาน จึงควรเลือกแกนเหล็ก เพราะแกนเหล็กมีโอกาสที่เฟืองครูดได้น้อยกว่า



รูปที่ 2.11 Micro Servo

3. จอ LCD

จอ LCD คือเทคโนโลยีมอนิเตอร์ LCD ย่อมาจาก Liquid Crystal Display ซึ่งเป็นจอแสดงผลแบบ (Digital) โดยภาพที่ปรากฏขึ้นเกิดจากแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากหลอดไฟด้านหลังของจอภาพ (Black Light) ผ่านชั้นกรองแสง (Polarized filter) แล้ววิ่งไปยัง คริสตัลเหลวที่เรียงตัวด้วยกัน 3 เซลล์คือ แสงสีแดง แสงสีเขียวและแสงสีน้ำเงิน กลายเป็นพิกเซล (Pixel) ที่สว่างสดใสเกิดขึ้น

รูปที่ 2.12 จอ LCD ขนาด 20x4

4. Adaptor

เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับส่วนที่มีขนาดหรือแบบที่แตกต่างกันเพื่อให้เข้ากันได้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่ง Adaptor คือ การแปลงแรงดันของไฟฟ้าที่สูงถึง 220 โวลต์ในบ้านให้เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำที่เสถียรอยู่ที่ 5 โวลต์ถึง 20 โวลต์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ สามารถทำงานได้ตามปกติ หรือก็คือ การ แปลงไฟฟ้า จากไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่มีความต่างศักย์ต่ำลงไป เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้ากับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13 Adaptor

5. ปุ่มกดไมโครสวิตช์

ปุ่มกด (Push Button) หรือสวิตช์ปุ่มกด เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการนำ มาใช้งานร่วมกับระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าหรือติดตั้งไว้ภายในตู้ควบคุมวงจรไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ โดยหลักการทำงาน จะใช้นิ้วมือกดที่ปุ่ม เป็นการควบคุมให้ระบบทำงานและหยุดทำงานได้ทันที ซึ่งลักษณะรูปแบบของปุ่มกดแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างที่สำคัญ คือหน้าสัมผัส เปิด-ปิดวงจรไฟฟ้าที่อยู่ภายใน

สวิตช์ แบบNO = Normally Open คือขาที่ปกติจะเป็นวงจรเปิด หากไม่มีการกดสวิตช์

รูปที่ 2.14 ปุ่มกดไมโครสวิตช์

6.โมดูลรีเลย์

อุปกรณ์รีเลย์เป็นส่วนสำคัญในการควบคุมวงจรไฟฟ้าอัตโนมัติ โดยมีส่วนประกอบหลักคือ:

1.ขดลวด (Coil): เป็นส่วนที่รับสัญญาณไฟฟ้าจากวงจรควบคุม แล้วแปลงเป็นพลังงานที่ใช้ในการสร้างแรงดันแม่เหล็กภายในรีเลย์ เพื่อเปิดหรือปิดหน้าสัมผัส

2.หน้าสัมผัส (Contact): เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปรียบเสมือนสวิตช์ในการควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า มีสามชนิดหลักคือ:

- **NO (Normal Open)**: สัมผัสนี้จะเปิดเมื่อไม่มีการจ่ายไฟฟ้าเข้ามา และปิดเมื่อมีไฟฟ้าเข้ามา ใช้สำหรับอุปกรณ์ที่ต้องการทำงานเมื่อมีไฟฟ้าไหลผ่าน
- **NC (Normal Close)**: สัมผัสนี้จะปิดเมื่อไม่มีการจ่ายไฟฟ้าเข้ามา และเปิดเมื่อมีไฟฟ้าเข้ามา ใช้สำหรับอุปกรณ์ที่ต้องการทำงานตลอดเวลาจนกว่าจะมีการกำหนดให้ปลดล็อค
- **C (Common):** เป็นจุดต่อร่วมที่ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า เชื่อมต่อกับทั้งสัมผัส NO และ NC เพื่อควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีเลย์มีการใช้งานกว้างขวางในหลายอุตสาหกรรม เช่น ในงานอุตสาหกรรม, ระบบสัญญาณ, ระบบควบคุมเทคโนโลยีสารสนเทศ และอื่น ๆ โดยการใช้รีเลย์เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ให้ทำงานตามที่ต้องการโดยอัตโนมัติ ตามสัญญาณหรือเงื่อนไขที่กำหนดไว้ล่วงหน้า

รูปที่ 2.15 โมดูลรีเลย์

7.Buzzer Module

โมดูล Buzzer 5V เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเสียงเตือนหรือเสียงแจ้งเตือนในโปรเจกต์ที่ใช้ Arduino เป็นตัวควบคุมหลัก มันใช้ในการควบคุมเสียงที่หลากหลายและใช้งานง่าย เนื่องจากมีอินเตอร์เฟซที่ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับ Arduino ได้อย่างตรงไปตรงมา จึงเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในโปรเจกต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการสร้างเสียงเตือนหรือเสียงแจ้งเตือนแบบต่าง ๆ โดยเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กและมีความหลากหลายในการควบคุมเสียงทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในหลากหลายสถานการณ์และโปรเจกต์ต่าง ๆ ที่ต้องการการแจ้งเตือนผ่านเสียงให้กับผู้ใช้ อุปกรณ์นี้สามารถสร้างเสียงเตือนหรือเสียงแจ้งเตือนที่ต่างกันไปได้ตามโปรแกรมที่เขียนไว้บน Arduino ของคุณ และมีการควบคุมที่หลากหลายเพื่อให้คุณสามารถปรับเสียงตามต้องการได้อย่างง่ายดาย

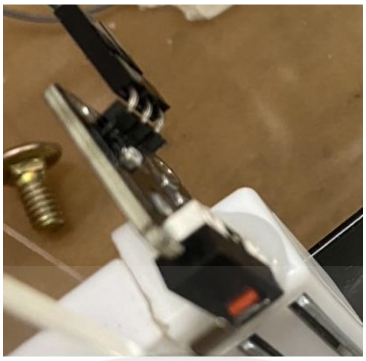
รูปที่ 2.16 โมดูลบัซเซอร์

9.crash sensor

โมดูลสวิตช์เช็คการชนสำหรับ Crash Sensor เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับการชนหรือการกดสวิตช์ โดยเมื่อมีการชนหรือสวิตช์ถูกกด โมดูลจะส่งสัญญาณ Digital ออกมา โดยเมื่อเกิดการชนหรือสวิตช์ถูกกด จะส่งสัญญาณเป็น 1 และเมื่อสถานะปกติจะส่งสัญญาณเป็น 0 นั่นคือเมื่อไม่เกิดการชนหรือไม่มีการกดสวิตช์ เซ็นเซอร์จะส่งสัญญาณเป็น 0 เพื่อแสดงว่าสถานะปกติอยู่ โดยการส่งสัญญาณเป็น Digital ทำให้ง่ายต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

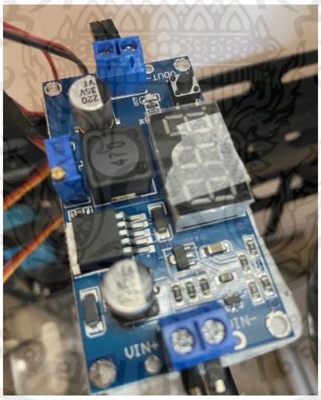
การตรวจจับและประมวลผลในระบบอิเล็กทรอนิกส์ได้ง่ายและรวดเร็ว เช่น สามารถนำข้อมูลสัญญาณเข้าไปใช้ในการหยุดหรือเปลี่ยนทิศทางของรถอัตโนมัติเมื่อเกิดการชนแล้ว



รูปที่ 2.17 โมดูลตรวจจับการชน

10. step down LM2596 DC-to-DC Step down Converter Module

LM2596 เป็นโมดูลเรกูเลเตอร์ที่ใช้ในการปรับแรงดันไฟฟ้าในงานอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถลดหรือปรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งไฟ เช่น แบตเตอรี่หรือแหล่งไฟที่มีแรงดันสูง ให้ได้แรงดันที่ต้องการสำหรับโปรเจกต์หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ มีความเสถียรและประสิทธิภาพสูง โมดูลรุ่น LM2596 สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ในช่วงค่าต่าง ๆ และมีความสะดวกและเสถียรในการใช้งาน โดยมีข้อมูลเทคนิคคือ อินพุต 4-35 โวลต์ เอาต์พุต 1.25-30 โวลต์ กระแส 3 แอมป์



รูปที่ 2.18 วงจรลดแรงดันแบบ Step-Down

2.5.1.3 หม้อทอดไร้น้ำมัน

หม้อทอดไร้น้ำมันคือ หม้อทอดไร้น้ำมัน หรือ Air Fryer คือการใช้เทคโนโลยีการทำอาหารด้วยการทอดให้สุก ซึ่งไม่ต้องใช้น้ำมัน โดยการสร้างความร้อน ให้หมุนอย่างต่อเนื่องในช่องปรุงอาหาร ใช้ลมร้อนทำให้อาหารสุก ซึ่งโดยปกติ ในอาหารจะมีน้ำมันอยู่ ก็จะถูกความร้อนกระตุ้นให้เดือดระหว่างปรุง ทำให้อาหารสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเหมือนการทอด และอุปกรณ์จะรีดน้ำมันออกมาบริเวณก้นหม้อด้วย ทำให้การปรุงอาหารครั้งนี้ไม่ต้องใช้น้ำมันเพิ่ม

หลักการทำงานของหม้อทอดไร้น้ำมันคือการใช้ลมความร้อนสูงทำให้อาหารสุก ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อน โดยเครื่องจะสร้างลมร้อนให้หมุนเวียนกระจายตัวไปรอบๆ อาหาร ซึ่งทำให้ได้เนื้อสัมผัสของอาหารที่กรอบอร่อย หม้อทอดไร้น้ำมัน ใช้ไฟฟ้าในการสร้างลมร้อนและพัดลมช่วยหมุนเวียนอากาศภายในให้ร้อนทั่วถึงรอบชิ้นอาหารเมื่อนำอาหารเข้าไปวางในหม้อทอดไร้น้ำมัน อากาศร้อนจะหมุนกระจายรอบๆ ชิ้นอาหาร ขจัดความชื้นบนผิวอาหารออก จึงได้สัมผัสที่กรอบเหมือนกับการทอดแบบมีน้ำมัน ซึ่งการปรุงอาหารด้วยหม้อทอดไร้น้ำมันนั้น ไม่จำเป็นต้องใช้น้ำมันในการปรุงแต่อย่างใด ด้วยระบบที่ออกแบบให้ปรุงสุกได้รวดเร็ว ทั่วถึง ประหยัดทั้งเวลาและพลังงาน

รูปที่ 2.19 หม้อทอดไร้น้ำมัน

2.5.2 การควบคุมเครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติ

2.5.2.1 Arduino

Arduino อ่านว่า (อา-ดู-อิ-โน่ หรือ อาดุยโน่) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบOpen Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย

Arduino ถูกใช้ประโยชน์ในลักษณะเดียวกับ MCU (Microcontroller Unit) อื่นๆ คือ ใช้ติดต่อสื่อสารและควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ด้วยการเขียนโปรแกรมให้กับ MCU เพื่อควบคุมการรับส่งสัญญาณทางไฟฟ้าตามเงื่อนไขต่างๆ

รูปที่ 2.20 Arduino board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2 การเขียน Arduino

โครงสร้างพื้นฐานของภาษาซีที่ใช้กับ Arduino นั้นจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆด้วยกัน คือ

1. Header

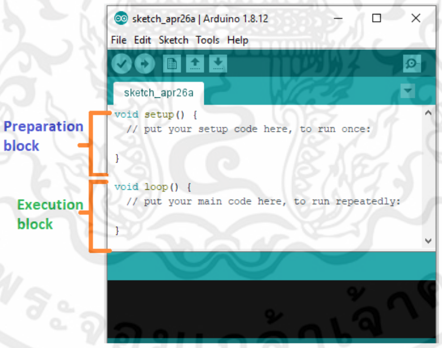
ในส่วนนี้จะมีหรือไม่มีก็ได้ ถ้ามีต้องกำหนดไว้ในส่วนเริ่มต้นของโปรแกรม ซึ่งส่วนของ Header ได้แก่ ส่วนที่เป็น Compiler Directive ต่างๆรวมไปถึงส่วนของการประกาศตัวแปร และค่าคงที่ต่างๆที่จะใช้ใน โปรแกรม

2. setup ()

ในส่วนนี้เป็นฟังกชันบังคับที่ต้องกำหนดให้มีในทุกๆโปรแกรม ถึงแม้ว่าในบางโปรแกรมจะไม่ต้องการ ใช้งานก็ยังจำเป็นต้องประกาศไว้ด้วยเสมอ เพียงแต่ไม่ต้องเขียนคำสั่งใดๆไว้ในระหว่างวงเล็บปีกกา {} ที่ใช้เป็น ตัวกำหนดของเขตของฟังกชัน โดยฟังกชันนี้จะใช้สำหรับบรรจุคำสั่งในส่วนที่ต้องกาให้โปรแกรมทำงานเพียง รอบเดียวตอนเริ่มต้นทำงานของโปรแกรมครั้งแรกเท่านั้น ซึ่งได้แก่คำสั่งเกี่ยวกับการ Setup ค่าการทำงาน ต่างๆ เช่น การกำหนดหน้าที่การใช้งานของ PinMode และการกำหนดค่า Baudrate สำหรับใช้งานพอร์ต สื่อสารอนุกรม เป็นต้น

3. loop ()

เป็นส่วนฟังกชันบังคับที่ต้องกำหนดให้มีในทุกๆโปรแกรมเช่นเดียวกันกับฟังกชัน setup() โดยฟังกชัน loop() นี้จะใช้บรรจุคำสั่งที่ต้องการให้โปรแกรมทำงานเป็นวงรอลซ้ำๆกันไปไม่รู้จบ ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับ รูปแบบของ ANSI-C ส่วนนี้ก็คือ ฟังกชัน main() นั่นเอง



รูปที่ 2.21 แสดงตัวอย่าง code Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

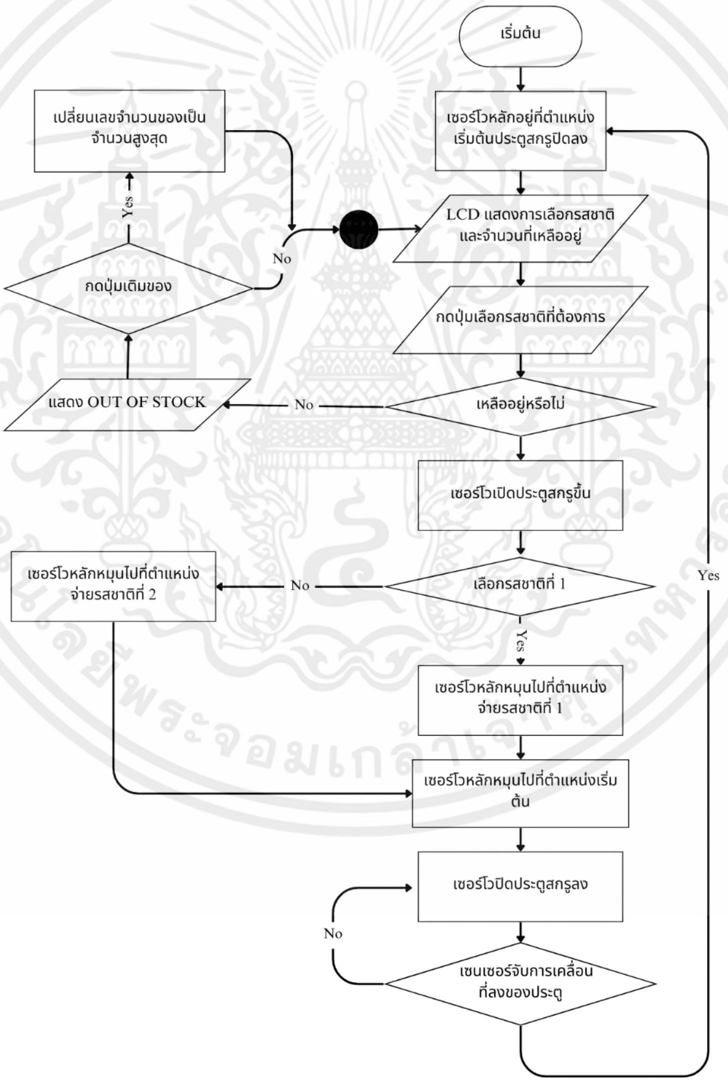
บทที่ 3

(วิธีการดำเนินงาน)

การออกแบบและดำเนินการสร้างเครื่องทอดไอติมอัตโนมัติโดยใช้บอร์ดอาดูอิโน่ในการควบคุมมีวิธีการในการดำเนินงานดังนี้

3.1 ออกแบบการทำงานของเครื่องในรูปแบบ Flow chart

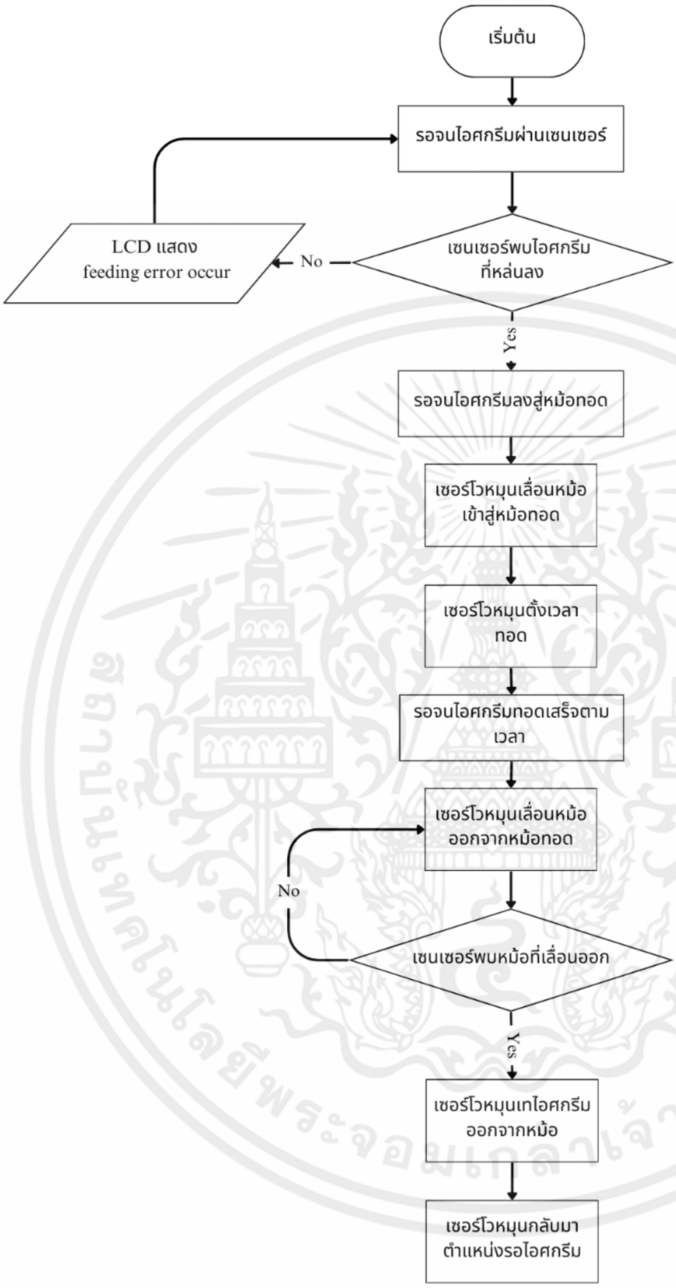
3.1.1 ระบบการจ่ายไอศกรีม



รูปที่ 3.1 แสดง flow chart ของ ระบบการจ่ายไอศกรีม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

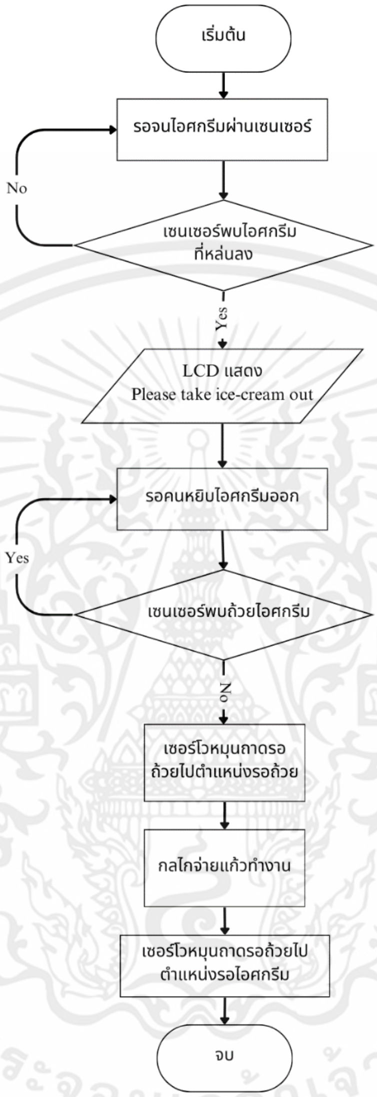
3.1.2 ระบบการอบลมร้อน



รูปที่ 3.2 แสดง flow chart ของ ระบบการอบลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ระบบการเสิร์ฟ

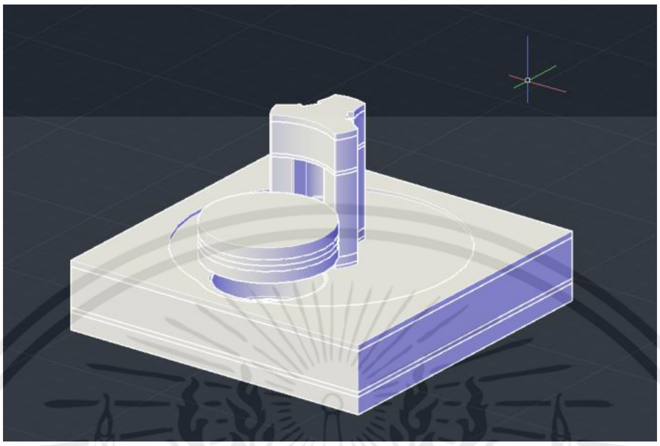


รูปที่ 3.3 แสดง flow chart ของ ระบบการเสิร์ฟ

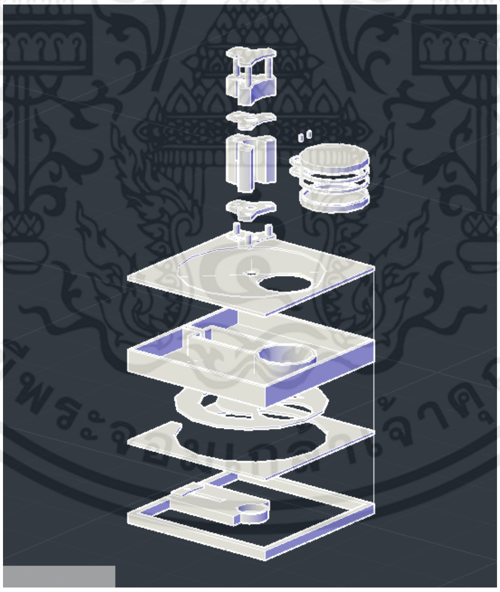
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบชิ้นส่วน

3.2.1 ระบบการจ่ายไอศกรีม



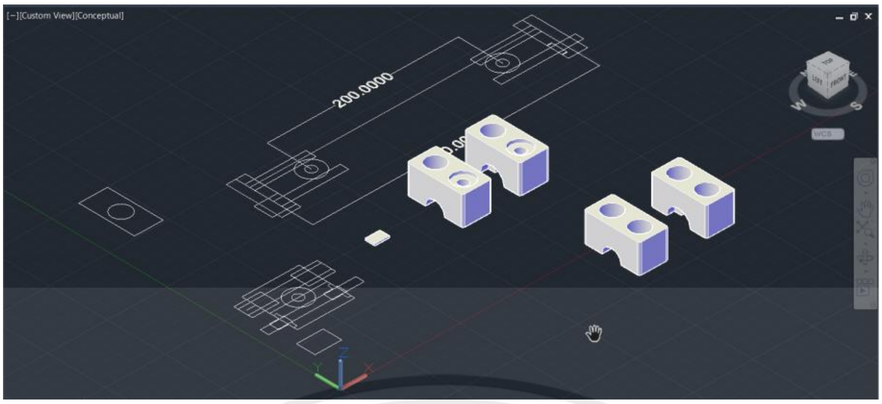
รูปที่ 3.4 การออกแบบชิ้นส่วนระบบการจ่ายไอศกรีม



รูปที่ 3.5 การออกแบบชิ้นส่วนระบบการจ่ายไอศกรีมแบบ explode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ระบบการอบลมร้อน

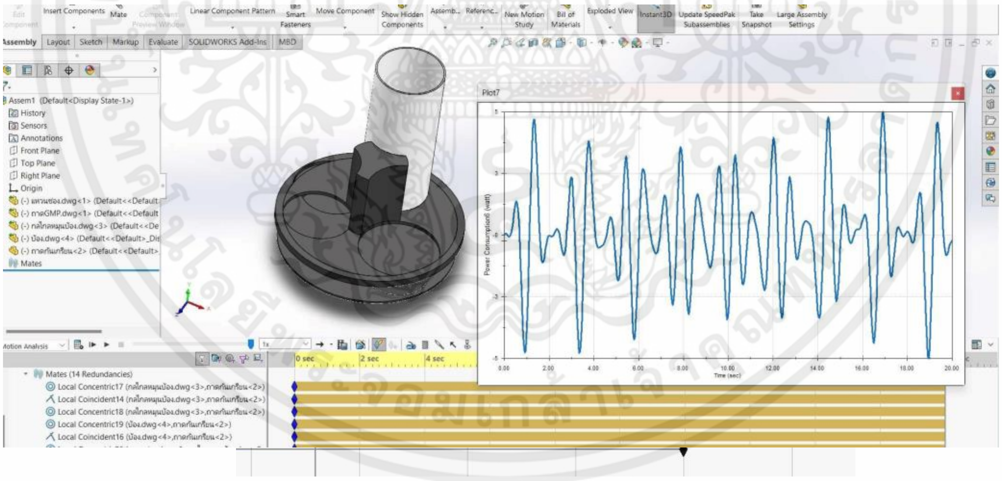


รูปที่ 3.6 การออกแบบชิ้นส่วนระบบการอบลมร้อน

3.3 การจำลองการทำงานในโปรแกรม SOLIDWORKS

3.3.1 การทำ motion simulator

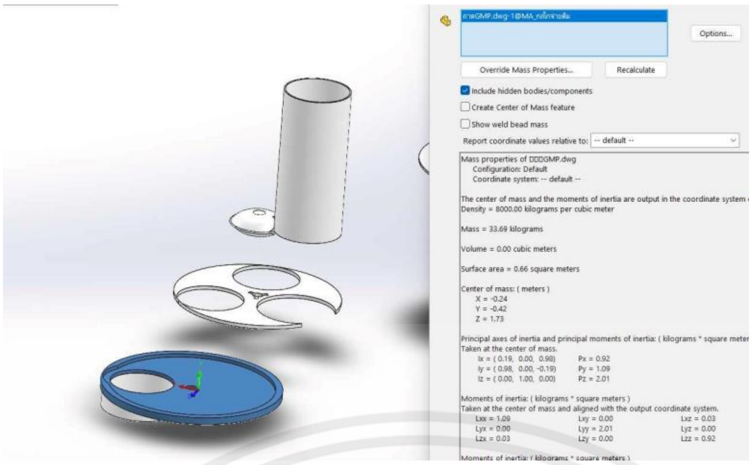
หลังจากเลือกวัสดุและออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จแล้วเป็นขั้นตอนในการนำแบบไปจำลองการเคลื่อนที่ของชิ้นงานเพื่อดูว่าสามารถทำงานได้หรือไม่



รูปที่ 3.7 การทำ motion simulator ของชิ้นส่วนที่ออกแบบ

หลังจากทำ motion simulator จึงทำการใส่ค่าต่างๆที่เลือกมาเช่น ความหนาแน่นของวัสดุ เพื่อหาค่า โมเมนต์ความเฉื่อยของการหมุนชิ้นส่วน ค่าความเสียดของพื้นผิว น้ำหนักชิ้นงานเพื่อการคำนวณหาทอร์คของเซอร์โวก่อนเลือกซื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

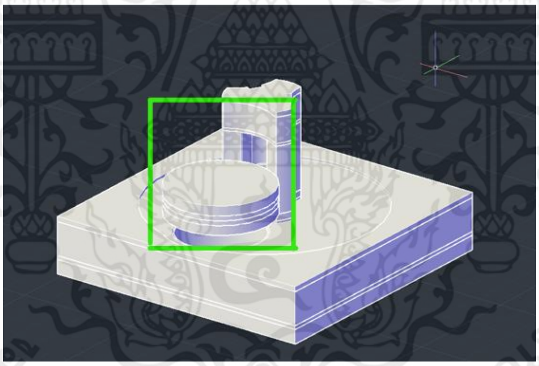


รูปที่ 3.8 การหาค่าต่างๆสำหรับการคำนวณ

3.4 การคำนวณหาค่าทอร์คของเซอร์โว

3.4.1 ของระบบจ่ายไอศกรีม

ระบบการเปิดประตูระบบเปิดตูเป็นการใช้ Lead screw ในการเลื่อนประตูขึ้นก่อนการหมุนกลไกหลัก



รูปที่ 3.9 ภาพแสดงกลไกเปิดและปิดประตู

จากสมการ Raising Torque

$$T_R = \frac{Fd_m}{2}\left(\frac{l+\pi\mu d_m}{\pi d_m-\mu l}\right)+\left(\frac{F\mu_c d_c}{2}\right)$$

โดย F = 2.72 N (คิดจากน้ำหนักประตู 72 grams รวมกับแรงที่จะต้องเอาชนะแรงแม่เหล็ก 2 N)

dm = 8 mm (เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของ Lead screw)

l = 8 mm (ระยะ lead ของ screw)

μ = 0.3 (สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ lead screw)

μ_c = 0.3 (สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ collar coupling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dc = 16 mm (เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของ collar coupling)

$$T = \frac{2.72 \times 0.008}{2} \times \frac{0.008 + \pi \times 0.3 \times 0.008}{\pi \times 0.008 - 0.3 \times 0.008} + \frac{2.72 \times 0.3 \times 16}{2000}$$

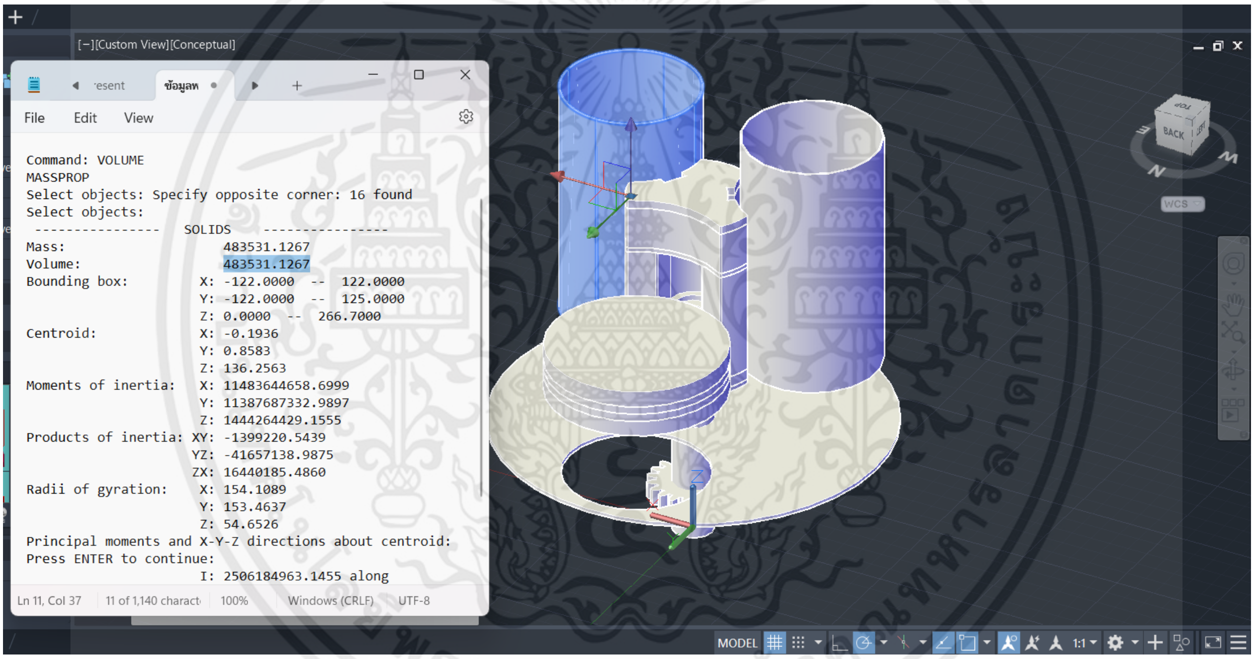
แทนค่าตัวแปรทั้งหมดลงในสมการเพื่อหา Raising Torque

ได้ TR = 0.14 kg • cm และกำหนดค่า Safe factor = 1.5

จะได้ TR = 1.5 x 0.14 = 0.21 kg • cm

ระบบการหมุนกลไกหลัก

ระบบหมุนให้ไอติมรสที่เลือกไปตรงกับช่องที่ใส่ไอติมสำหรับส่งไปยังระบบต่อไป(ระบบอบลมร้อน) จากสมการทอร์คที่ใช้บิดเพื่อหมุนจ่ายไอศกรีม



รูปที่ 3.10 แสดงการหาค่าต่างๆของวัตถุด้วยโปรแกรม AutoCAD

จาก $\rho = \frac{m}{v}$ น้ำหนัก $\mathrm{PETG(density)35\%}$

$$= 0.35 \times 0.0004835\ \mathrm{m^3} \times 1230\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}$$

$$= 0.208\ \mathrm{kg}$$

จากค่าที่ได้จาก Simulation ของ AutoCAD ดังรูป 3.10 *ได้ค่า*

$$I_{PETG} = 0.208\ \mathrm{kg} \times \frac{1{,}444{,}264{,}429\ \mathrm{g{\cdot}mm^2}}{483{,}531\ \mathrm{g}} = 6.212 \times 10^{-4}\ \mathrm{kg \cdot m^2}$$

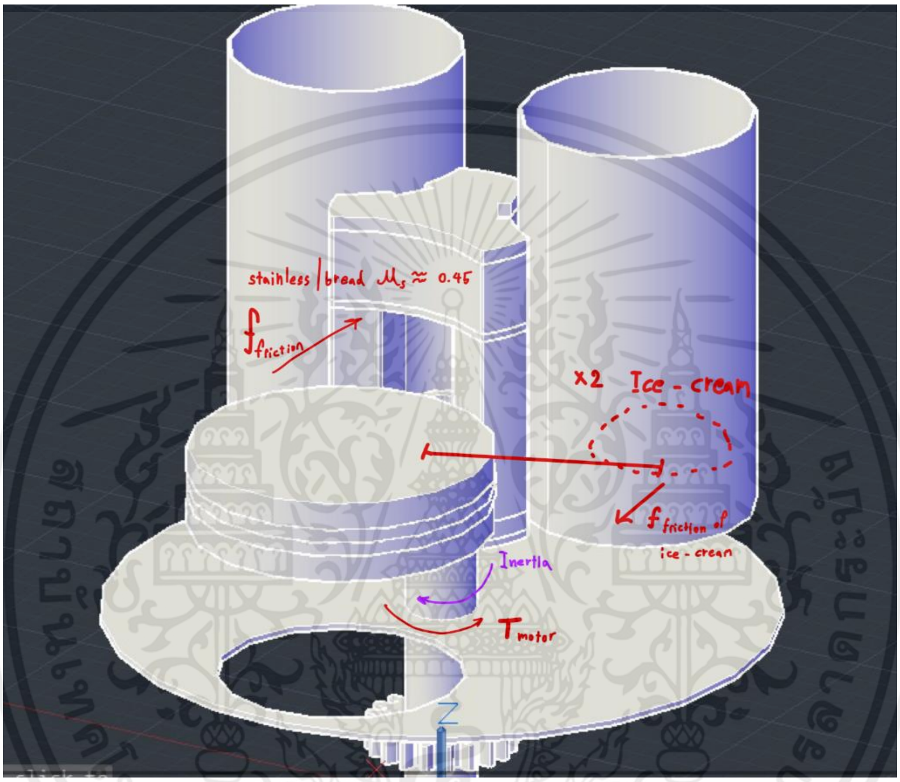
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$I_{\text{lead screw}} = (\frac{1}{2}mr^2)$ โดย Lead screw *มีค่า* r = 5 mm *และ น้ำหนัก* = 0.025 kg

$I_{\text{ice-cream}} = (\frac{2}{5}mr^2 + md^2)$ ไอศกรีมหนัก 0.07 kg มีรัศมี r = 35 mm *และระยะ* d = 70

$I_{\text{coupling}} = (\frac{1}{2}m(R^2 + r^2) + 0\ )$ Couplingหนัก 0.02 kg, R = 10 mm *และ* r = 5 mm

$I_{\text{รวม}} = I_{\text{PETG}} + I_{\text{lead screw}} + I_{\text{ice-cream}} + I_{\text{coupling}} = 2.132 \times 10^{-3} kg \cdot m^2$



รูปที่ 3.11 แสดงภาพแรงที่เกิดขึ้นในกลไกหมุนจ่ายไอศกรีม

จากรูปที่ 3.11 เขียนสมการโมเมนต์รอบแกนหมุนได้ว่า

$\sum M_0 = -T_{motor} + 8\mu_s m_{\text{ice-cream}}\, g \cdot r + I_{\text{รวม}}\ddot{\theta}$ ------------------------------[0]

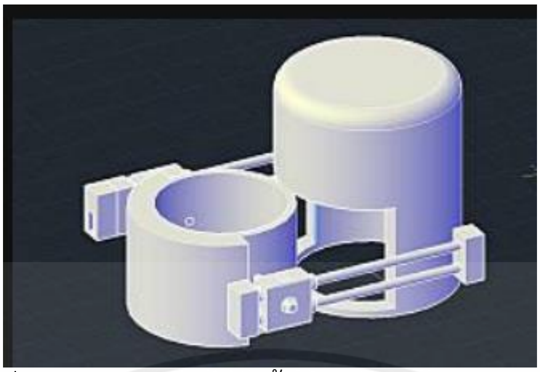
โดย μ_s ระหว่างเนื้อขนมปัง และ stainless304 ≈ 0.45 และจาก $\theta = \theta_0 + \frac{1}{2}\ddot{\theta}t^2$ *เมื่อ* ต้องการให้กลไกหมุนจ่ายไอติมเคลื่อนที่ไป $120°$ ภายในเวลา *1* วินาที $\ddot{\theta} = 4.2\ rad/s^2$ เมื่อแทนค่าทุกอย่างลงใน [0] ; $T_{motor} = 8 \times 0.45 \times 0.07 \times 9.81 \times 0.07 + (2.132 \times 10^{-3} \times 4.2)$

$T_{motor} = 0.182\ N \cdot m$

แต่เนื่องจากกลไกใช้เฟืองในการขับซึ่งมีอัตราทดของเฟืองเท่ากับ 40 *teeth(drive)* ต่อ 20 *teeth* ดังนั้นต้องใช้เซอร์โวแรงบิดมากกว่า $0.364\ N \cdot m$ และให้ safety factor = 2 ดังนั้นควรใช้เซอร์โวขนาดมากว่าหรือเท่ากับ 0.728 N • m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

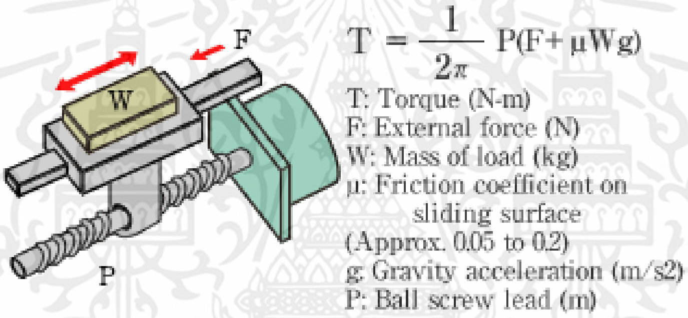
3.4.2 ระบบอบลมร้อน



รูปที่ 3.12 ภาพแสดงกลไกทั้งหมดของระบบอบลมร้อน

ระบบการเลื่อนหม้อ เข้า-ออก

ระบบเปิดตูเป็นการใช้ Lead screw ในการเลื่อนเลื่อนหม้อ เข้า-ออก



รูปที่ 3.13 แสดงสูตรการคำนวณ torque ball screw

P แทนค่า lead screw ซึ่งมีค่า = 8 mm

F = 0 N เนื่องจากระบบไม่มีแรงภายนอกที่เป็นแรงต้านมากระทำ

W = 0.31 kg (เนื่องจากน้ำหนักของหม้อและไอศกรีมจะตกลงตรงกลางระหว่างรางเลื่อนทั้งสองฝั่งพอดี ดังนั้นแรงจะถูกแบ่งไป 2 ข้างของ Support อย่างละเท่าๆกัน ดังนั้นตัวแปร W ในสมการจะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของน้ำหนัก โดยน้ำหนกรวมคือ 0.62 kg)

แทนค่าตัวแปรลงในสมการ

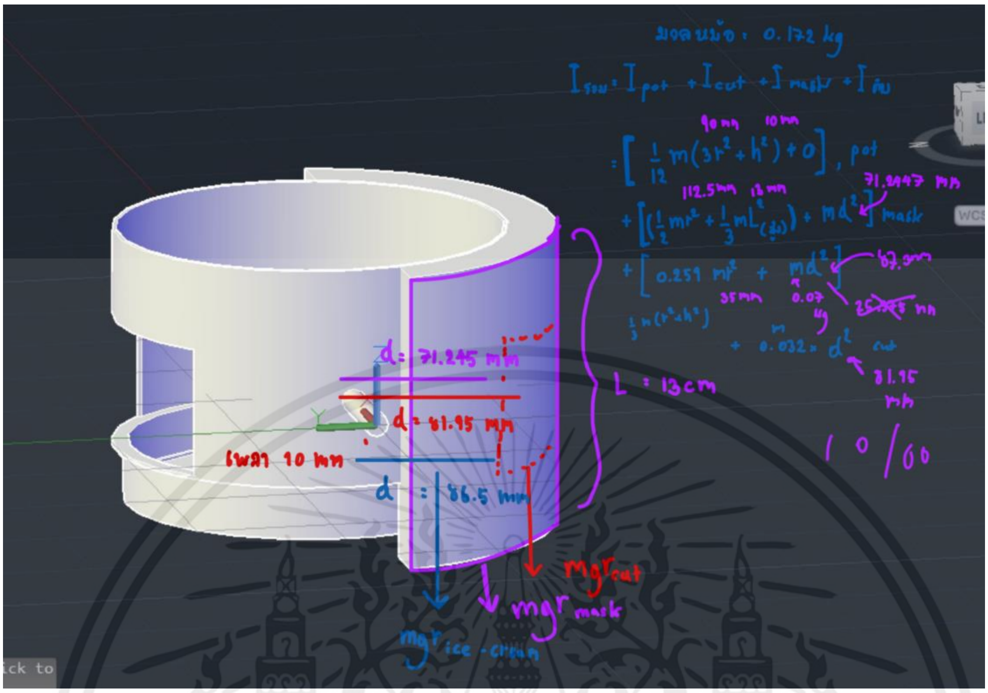
$$T = \frac{1}{2\pi} \times 0.008\,(0.3 \times 0.31 \times 10)$$

T = 0.012 kg • cm และกำหนดค่า Safe factor = 2

จะได้ T = 0.024 kg • cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการพลิกหม้อ



รูปที่ 3.14 แสดงสูตรการคำนวณกลไกพลิกหม้อ

จากรูป 3.14 เราสามารถหาแรงบิดของเซอร์โวได้จาก

$\sum M_0 = T_{motor} + M_{mask}g \cdot r + M_{cut}\, g \cdot r + M_{ice}\, g \cdot r + I_{\text{รวม}}\ddot{\theta}$--[0]

โดย $I_{\text{รวม}} = I_{pot} + I_{mask} + I_{cut} + I_{ice} + I_{Ishaft}$---[1]

จาก $I = I_{cm} + md^2$

$I_{pot} = [\frac{1}{12}m(3r^2 + h^2) + 0\,]$ ----------------[2] ***สมมุติว่าเป็นทรงกระบอกกลวง

$I_{mask} = [\left(\frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{3}mL^2\right) + md_1^2\,]$ -------[3] ***สมมุติว่าเป็นครึ่งทรงกระบอก

$I_{ice} = [0.259mr^2 + md^2]$---------------------------[4] ***สมมุติว่าเป็นครึ่งทรงกลม

$I_{cut} = \left[\frac{1}{3}m(r^2 + h^2) + md^2\right]$ -------------------[5] ***สมมุติว่าเป็นแผ่นโค้ง

$I_{shaft} = \frac{1}{2}mr^2$---[6]

$I_{coupling} = [\frac{1}{2}m(R^2 + r^2) + 0\,]$---------------[7]

โดย d คือระยะห่างจากศูนย์กลางวัตถุถึงแกนหมุน และ ค่าต่างๆถูกวัดออกมาดังนี้ m_{pot}= 0.172kg, m_{mask} = 0.068kg, $m_{ice\text{-}cream}$ = 0.1237kg, m_{shaft} = 0.1237kg และm_{cut} = 0.032kg โดยมีค่า r, l และ d ดังรูปที่ 3.14

เมื่อต้องการให้หม้อพลิกภายใน 0.5 วินาที จาก $\theta = \theta_0 + \frac{1}{2}\ddot{\theta}t^2$ โดย $\theta = 90°$ และ θ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\therefore \ddot{\theta} = 12.57\ rad/s^2$

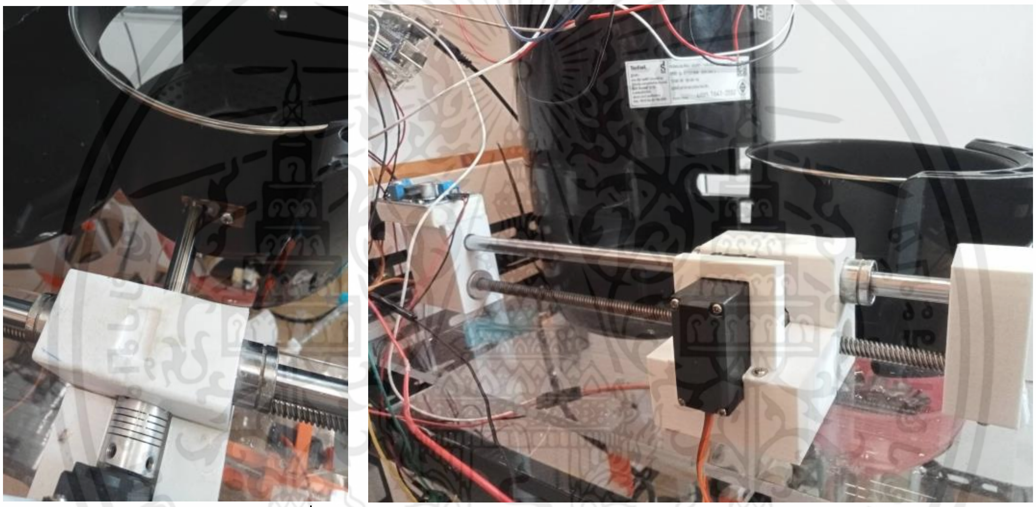
เมื่อแทนค่าต่างๆลงใน [0], [1], [2], [3], [4], [5], [6] และ [7] แล้วแก้สมการ จะได้ว่าแรงบิดที่ใช้พลิกหม้อมีค่าเท่ากับ T_{motor} = 0.186 N • mหรือ 1.86 kg.cm ซึ่งสามารถใช้เซอร์โวที่มีแรงบิดเท่ากับ 2 kg.cm ได้ และถ้าหากต้อง safety factor = 2 ดังนั้นควรใช้เซอร์โวขนาดมากว่าหรือเท่ากับ 0.372 N • m

รูปที่ 3.15 แสดงการตัดหม้อสำหรับเทไอศกรีม

รูปที่ 3.16 แสดงการทำเกลียวเพลาเหล็กและเชื่อมเข้ากับแผ่นสแตนเลสเพื่อยึดกับหม้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.17 แสดงการทำเกลียวเพลาเหล็กและเชื่อมเข้ากับแผ่นสแตนเลสเพื่อยึดกับหม้อ(ต่อ)



รูปที่ 3.18 แสดงการสวมเพลาเข้ากับหม้อทอด

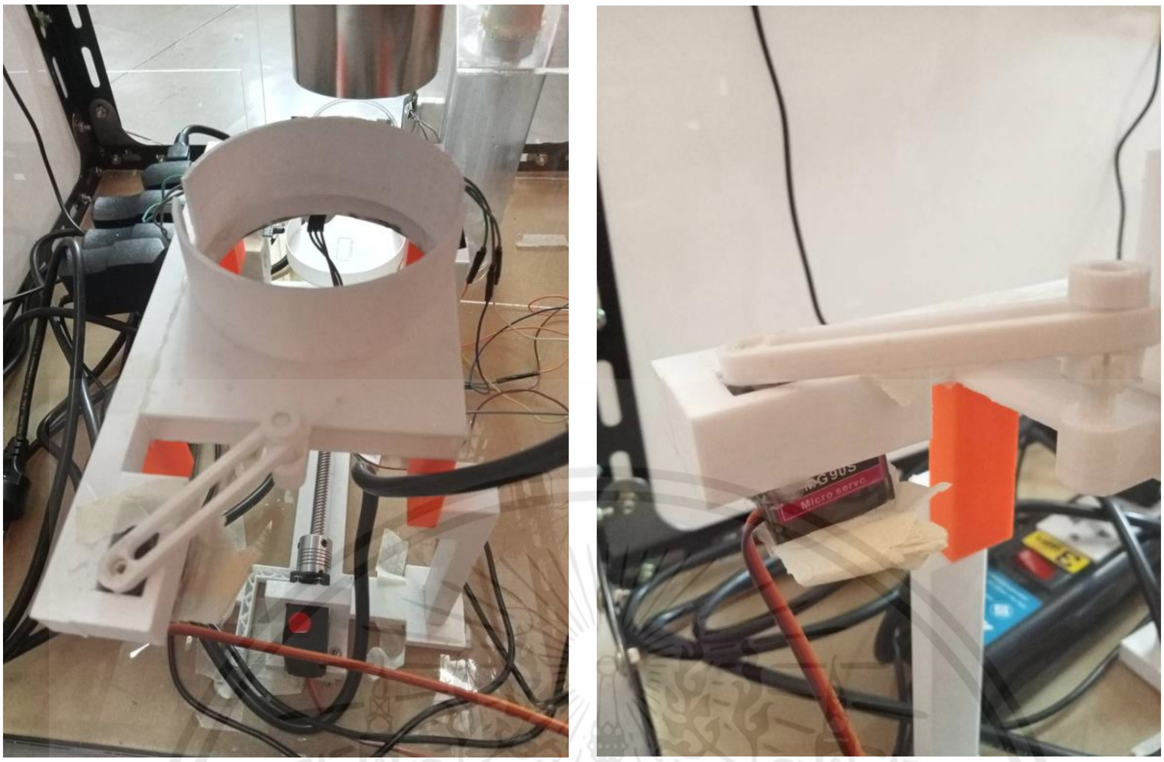
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.19 แสดงการต่อ Relay แทน Timer switch

3.4.3 ระบบเสิร์ฟไอศกรีม

รูปที่ 3.20 Motion guide สำหรับควมคุมไอศกรีมให้ตกลงแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 กลไกจ่ายถ้วยและเสิร์ฟถ้วยใส่ไอศกรีม

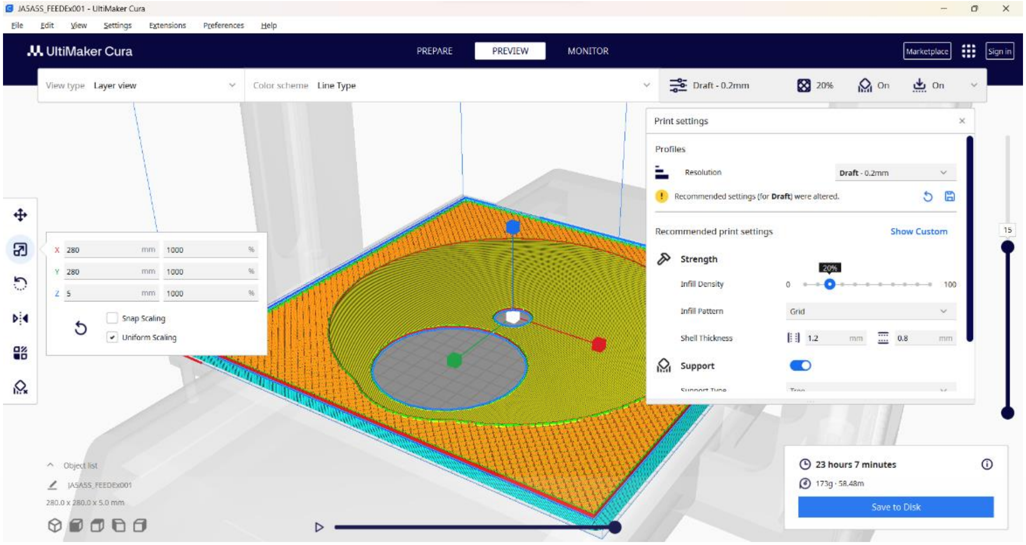
3.5 การเตรียมไฟล์ชิ้นงานสำหรับการขึ้นรูปสามมิติและการตัดแผ่นอะคลิลิก

3.5.1 การเตรียมไฟล์การขึ้นรูปสามมิติ

การเตรียมชิ้นงานโดยการแบ่งเป็นชิ้นงานและเปลี่ยนเป็นไฟล์ .stl ก่อนการตั้งค่าในโปรแกรม UltiMaker Cura เพื่อใช้ในการตั้งค่าต่างๆของการขึ้นรูปสามมิติก่อน

รูปที่ 3.22 การแบ่งไฟล์ชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

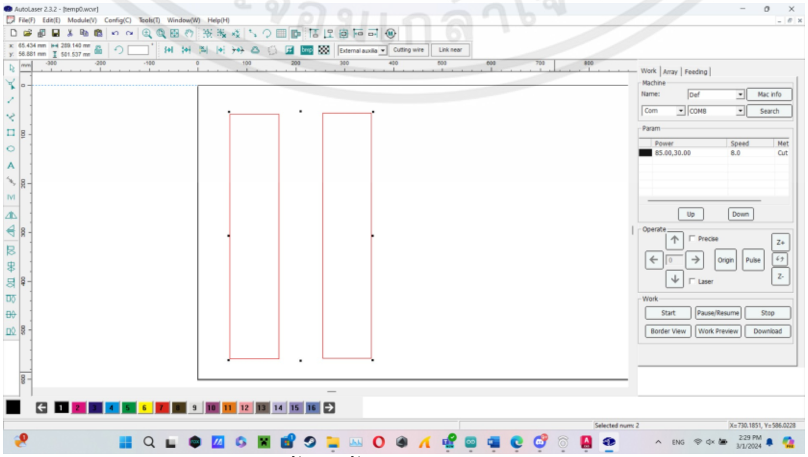


รูปที่ 3.23 การตั้งค่าชิ้นงานในโปรแกรม UltiMaker Cura

รูปที่ 3.24 ชิ้นงานจากการขึ้นรูปสามมิติ

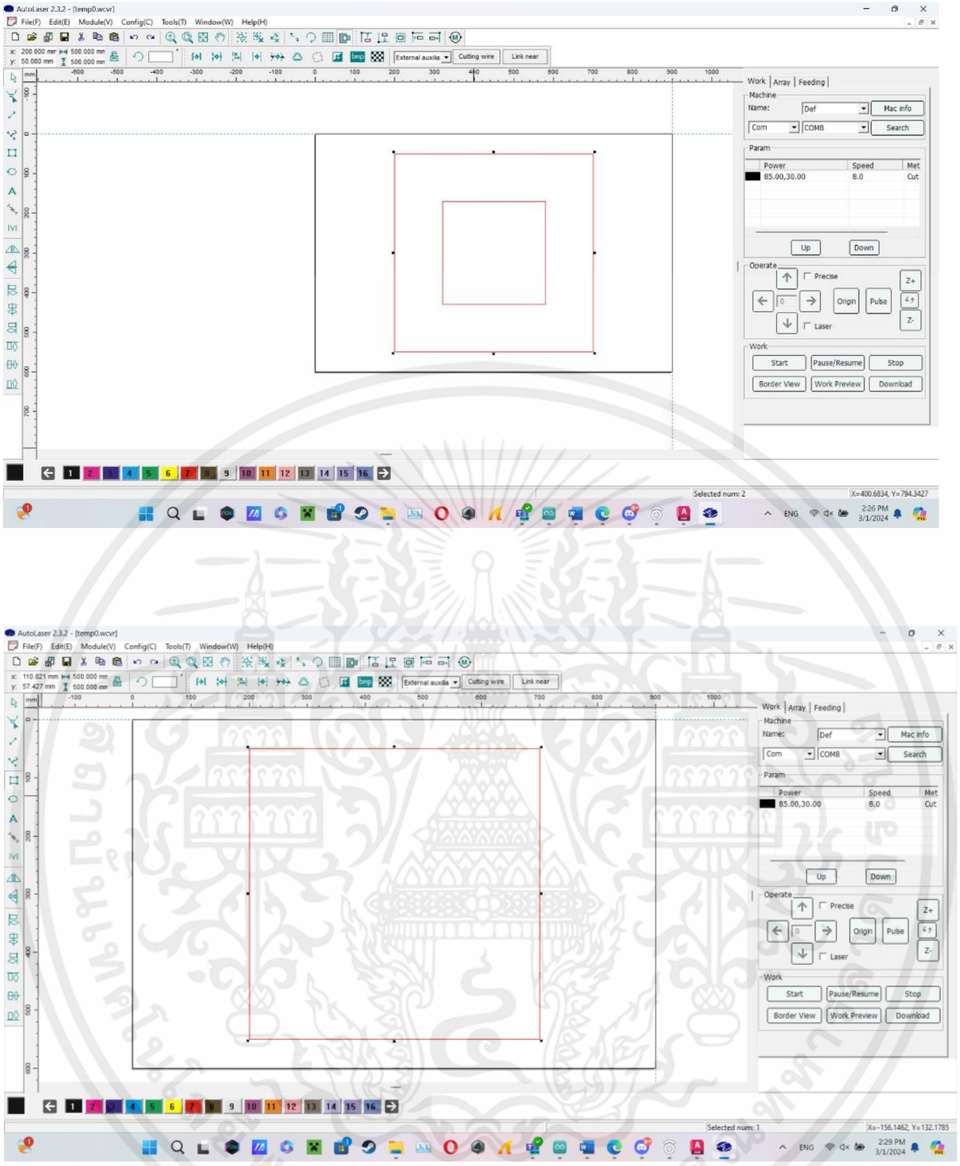
3.5.2 การเตรียมไฟล์ตัดแผ่นอะคลิลิก

การตัดชิ้นงานอะคลิลิกโดยใช้เครื่องตัด Laser cutting และใช้ซอฟต์แวร์ AutoLaser ในการจัดการไฟล์



รูปที่ 3.25 การตั้งค่าชิ้นงานในโปรแกรม AutoLaser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 การตั้งค่าชิ้นงานในโปรแกรม AutoLaser (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 กระบวนการทำชั้นโครงสร้างรองรับกลไกทั้งหมด

3.6.1 ชั้นโครงสร้าง

ทำชั้นโครงสร้างรองรับกลไกโดยใช้เหล็กฉาก

รูปที่ 3.27 แสดงขั้นตอนตัดเหล็กฉาก

3.6.2 ตัดแผ่นอะคลิลิก

การทำชั้นรองรับกลไกและผนังทั้ง 4 ด้านของตู้จะใช้แผ่นอะคลิลิก

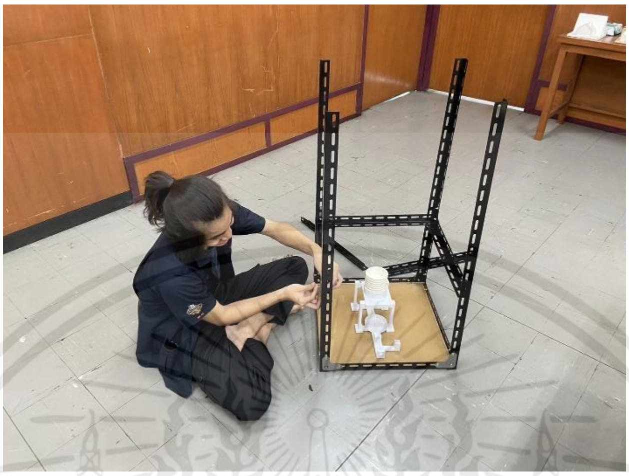
รูปที่ 3.28 แผ่นอะคลิลิกสำหรับทำผนังตู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ประกอบชั้นโครง วางตำแหน่งกลไก และต่อสายไฟเข้ากับชุด Controller

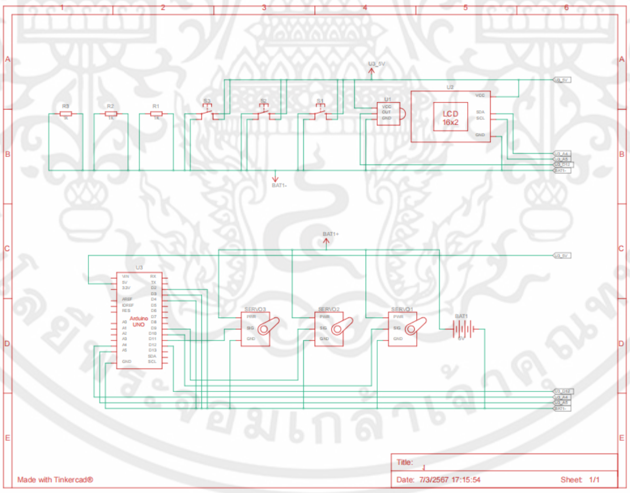
3.7.1 ประกอบชั้นโครงสำหรับวางตำแหน่งกลไก

ประกอบเหล็กฉากเข้าด้วยกันโดยใช้ชุดสามเหลี่ยม จะได้ขนาดตู้โดยรวมที่มีความสูง ความกว้าง ความลึก เป็น 100 x 50 x 50 เซนติเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 3.29 ประกอบโครงด้วยเหล็กฉาก

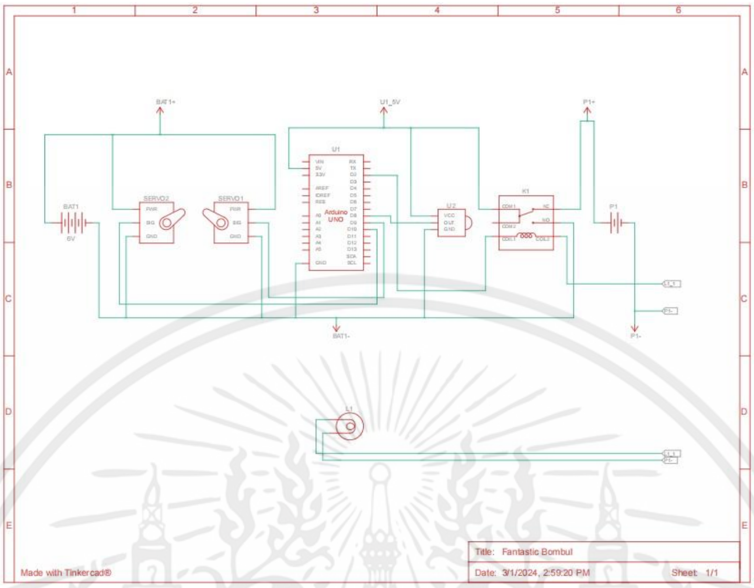
3.7.2 การต่อสายไฟกับ Controller ของระบบหน้าจอแสดงผล



รูปที่ 3.30 วงจรไฟฟ้าของระบบหน้าจอแสดงผล

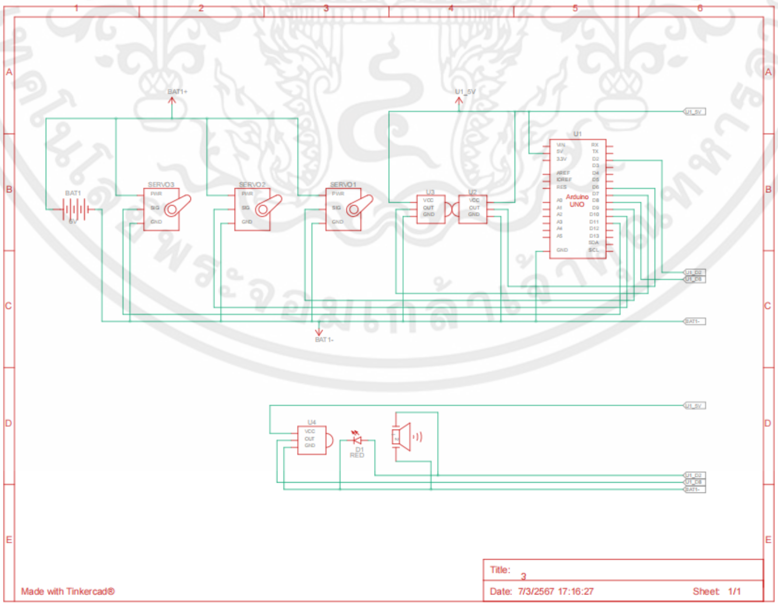
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.3 การต่อสายไฟกับ Controller ของระบบหม้อทอดไร้น้ำมัน



รูปที่ 3.31 วงจรไฟฟ้าของระบบหม้อทอด

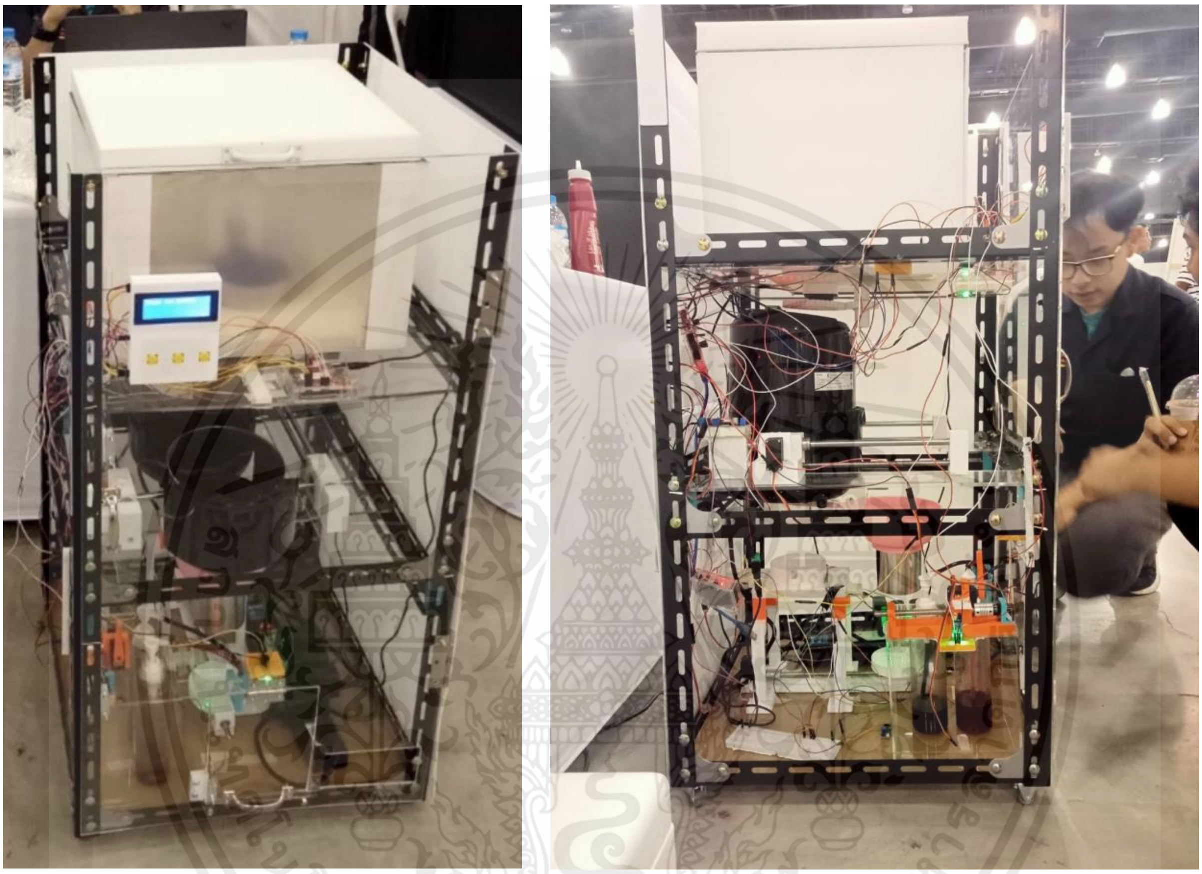
3.7.4 การต่อสายไฟกับ Controller ของระบบเสิร์ฟ



รูปที่ 3.32 วงจรไฟฟ้าของระบบเสิร์ฟถ้วยไอศกรีม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.5 ประกอบกลไกทั้งหมดพร้อมเดินสายไฟ



รูปที่ 3.33 แสดงการประกอบกลไกและการต่อสายไฟตามวงจรเสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์การทำงานของ “เครื่องทอดไอศกรีม” อัตโนมัติในส่วนกลไก และ การควบคุมของส่วนการทำงานหลักต่างๆ

4.1 ผลการทดสอบของ ระบบการจ่ายไอศกรีม

4.1.1 ขั้นตอนการทดสอบกลไกของ ระบบการจ่ายไอศกรีม

การทดสอบนี้เพื่อตรวจสอบการจ่ายไอศกรีมของกลไกตามลำดับ คือ

1.) ระบบเปิดกลไกประตู

2.) กลไกทำการหมุนไอศกรีมไปยังรสชาติที่เลือกตามที่สั่งการ

3.) กลหมุนกลับไปยังตำแหน่ง “รอ” เพื่อจ่ายไอศกรีมลงไปยังกลไกต่อไป

4.1.2 วิเคราะห์การทำงาน ในส่วนการทำงานโดยใช้เซอร์โว และ กลไกแบบต่างๆ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการจ่ายไอศกรีมของกลไก

ครั้งที่	เซอร์โว	รูปแบบกลไก	ผลลัพธ์
1	MG90s	Pulley	ไม่สำเร็จ
2	MG90s	Gear	ไม่สำเร็จ
3	MG996r	Pulley	ไม่สำเร็จ
4	MG996r	Gear	สำเร็จ

4.2 ผลการทดสอบของ “ระบบการอบลมร้อน”

4.2.1 ขั้นตอนการทดสอบกลไกของ “ระบบการอบลมร้อน”

เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจจับเจอไอศกรีมที่ตกลงมาจะทำการสั่งให้เซอร์โวหมุนเลื่อนตัวหม้อเข้าสู่หม้อทอด จากนั้นจึงสั่งให้รีเลย์ทำงาน เมื่อทำงานจนครบเวลาทำการเลื่อนหม้อออกแล้วทำการพลิก

4.2.2 วิเคราะห์การทำงาน

การทำงานในระบบของส่วนนี้ประกอบด้วยการเลื่อนหม้อเข้าออกด้วยกลไก

Lead Screw การจ่ายไฟหม้อทอด และ การพลิกหม้อ โดยใช้อุปกรณ์ คือ เซอร์โว รีเลย์ และ เซอร์โว ตามลำดับ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการทำงานของกลไกอบลมร้อน

ครั้งที่	เซอร์โวเลื่อน	เซอร์โวพลิก	โมดูลรีเลย์	ผลลัพธ์1*	ผลลัพธ์2**	ผลลัพธ์3***
1	MG90s	MG90s	220V 10A / 5V	สำเร็จ	สำเร็จ	ไม่สำเร็จ
2	MG90s	MG996r	220V 10A / 5V	ไม่สำเร็จ	สำเร็จ	ไม่สำเร็จ
3	MG90s	MG996r	220V 30A / 5V	สำเร็จ	สำเร็จ	สำเร็จ

*ผลลัพธ์ 1 เลื่อนหม้อทอด **ผลลัพธ์ 2 พลิกหม้อทอด ***ผลลัพธ์ 3 สั่งหม้อทอดทำงาน

4.3 ผลการทดสอบของ "ระบบการเสิร์ฟ"

4.3.1 ขั้นตอนการทดสอบกลไกของ "ระบบการเสิร์ฟ"

หลังจากไอศกรีมผ่านเซนเซอร์ จะทำการสั่งงานเซอร์โวปั๊มซอส และ ส่งสัญญาณเสียงพร้อมไฟกระพริบ 1 ครั้ง จึงพร้อมเสิร์ฟ จากนั้นจึงย้อนกลับไปรับถ้วยใหม่อีกครั้ง

4.3.2 วิเคราะห์การทำงาน การทำงานส่วนที่ 1*

ประกอบด้วยเซอร์โวปั๊มซอส และ โมดูลส่งเสียง การทำงานส่วนที่ 2** คือการจ่ายถ้วยไอศกรีมด้วยเซอร์โว

ตาราง 4.3 ผลการทดสอบการทำงานของกลไกเสิร์ฟ

ครั้งที่	การทำงานส่วนที่ 1*	การทำงานส่วนที่ 2**
1	สำเร็จ	สำเร็จ
2	สำเร็จ	สำเร็จ
3	สำเร็จ	สำเร็จ
4	สำเร็จ	ไม่สำเร็จ
5	สำเร็จ	สำเร็จ
6	สำเร็จ	สำเร็จ
7	สำเร็จ	สำเร็จ
8	สำเร็จ	ไม่สำเร็จ
9	สำเร็จ	สำเร็จ
10	สำเร็จ	สำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบของ “ระบบรวม (Full System)”

4.4.1 วิเคราะห์การทำงาน ระบบทำงานโดยจ่ายไฟในรูปแบบต่างๆ

ตาราง 4.4 ผลการทดสอบการทำงานโดยรวม

ครั้งที่ 1	รูปแบบการจ่ายไฟ	ระบบการจ่ายไอศกรีม	ระบบการอบลมร้อน	ระบบเสิร์ฟ
1	จากบอร์ด	สำเร็จ	ไม่สำเร็จ	ไม่สำเร็จ
2	แยกการจ่ายไฟ	สำเร็จ	สำเร็จ	สำเร็จ

***แยกการจ่ายไฟระหว่างบอร์ดสั่งการและเซอร์โวด้วย โมดูลแปลไฟจาก Adapter DC to DC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 สรุปผลการทดสอบของ "ระบบการจ่ายไอศกรีม"

จากการทดสอบด้วยกลไกในรูปแบบสุดท้ายพบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ สาเหตุที่ทำให้กลไกไม่สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องในช่วงแรกคือ

1.) การใช้ servo กำลังน้อยเกินไปเนื่องจากทางผู้จัดทำลืมคำนึงถึง gear ratio ซึ่งมีค่า 1:2 จากการคำนวณโดยใช้ Safety Factor = 2 ทำให้กำลังของ motor ที่ใช้ขับมีไม่เพียงพอเนื่อง Friction ดังสมการ

$$\sum M_0 = -T_{motor} + 8\mu_s m_{ice-cream} g \cdot r + I_{รวม}\ddot{\theta}$$
$$T_{motor} = 8 \times 0.45 \times 0.07 \times 9.81 \times 0.07 + (2.132 \times 10^{-3} \times 4.2)$$

$= 0.182\ \mathrm{N \cdot m}$ โดย servo Mg90s มีแรงบิดเพียง *2* kg.cm ซึ่งเมื่อผ่านการทดเฟืองจึงมีกำลังเพียง *1* kg.cm เท่านั้น

2.) จากการใช้ pulley system ในการขับกลไก โดยที่เมื่อเปลี่ยนให้เซอร์โวแรงบิดสูงจึงทำให้ pulley เกิดการเคลื่อน(slip) ซึ่งส่งผลให้กลไกทำมุมที่คลาดเคลื่อน

5.1.2 สรุปผลการทดสอบของ "ระบบการอบลมร้อน"

สำหรับระบบการอบลมร้อนเมื่อใช้กลไก และ อุปกรณ์ต่างๆตามที่ทดสอบแบบสุดท้าย กลไกจึงจะสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องโดย สาเหตุที่ครั้งอื่นไม่สำเร็จเนื่องจาก

1.) เนื่องจากในส่วนของหม้อในความเป็นจริงต้องเจาะหม้อในบางส่วนรวมถึงหม้อทอดยังมีสี่หน้ากากที่ใช้กันีความร้อนจึงทำให้จุดศูนย์กลางไม่ใช่จุดสมดุล เซอร์โวตัวแรกจึงไม่มีกำลังมาพอที่จะขับกลไกให้พลิกได้ รวมถึง โมเมนต์ความเฉื่อยของตัวหม้อและชิ้นส่วนต่างๆดังสมการสมดุลโมเมนต์

$$\sum M_0 = T_{motor} + M_{mask} g \cdot r + M_{cut}\, g \cdot r + M_{ice}\, g \cdot r + I_{รวม}\ddot{\theta}$$

$T_{motor} = 0.186\ \mathrm{N \bullet m}$ ซึ่งเป็นค่าที่ยังไม่รวม friction และ safety factor จึงทำให้เซอร์โว Mg90s ซึ่งมีแรงบิดสูงสุดที่ 2 kg.cm ไม่สามารถพลิกหม้อทอดได้

2.) การใช้ relay ควบคุมอุปกรณ์ในครั้งแรกใช้เป็น โมดูลรีเลย์ 5V / 220V 10A ซึ่งไม่สามารถรองรับการจ่ายไฟของหม้อทอดไร้น้ำมันซึ่งใช้ไฟ 250V 16A ได้จึงทำให้รีเลย์เกิดอาการค้างและไม่ทำงานตามที่สั่งการ

5.1.3 สรุปผลการทดสอบของ "ระบบการเสิร์ฟ"

ในส่วนของระบบเสิร์ฟ สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบทุกอย่างโดยอัตราการทำงานสำเร็จวัดจากจำนวนครั้งที่สำเร็จและไม่สำเร็จ คิดเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความไม่เสถียรของกลไกมาจาก

1.) การออกแบบซึ่งไม่ตรงกับขนาดของถ้วยที่ใช้จึงทำให้กลไกติดขัดบ้าง

2.) การเปลี่ยนถ้วยที่ใช้ซึ่งขนาดของถ้วยไม่ทำให้การจ่ายถ้วยมีโอกาสหล่นมากกว่า 1 อัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 สรุปผลการทำงานโดยรวม

1.) ในส่วนของการทำงานโดยรวมพบว่าเมื่อประกอบกลไกทุกอย่างเข้าด้วยกันแล้วสั่งการพบว่าการทำงานไม่เป็นไปตามคำสั่งเนื่องจากผู้จัดทำนั้นทำการต่อวงจรโดยต่อบอร์ดสั่งการ(Aruino UNO) เข้ากับเซอร์โวโดยตรงซึ่งเซอร์โวต้องการกำลังสูงในการทำงานจึงดึงไฟจากบอร์ดสั่งการมาใช้ทำให้

2.) บอร์ดสั่งการไม่สามารถส่งสัญญาณคำสั่งออกไปยังอุปกรณ์อื่นๆจึงทำให้การทำงานของระบบรวมไม่สามารถทำงานตามคำสั่งได้ ดังนั้นจึงต้องใช้แหล่งจ่านไฟแยกจากบอร์ดสั่งการแทนจึงจะทำให้ลไกทุกอย่างทำงานได้อย่างสมบูรณ์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะทางด้านกลไก

ในส่วนของกลไก หากต้องการให้การทำงานเสถียรขึ้น ควรใช้ stepper motor เป็นตัวขับเคลื่อนกลต่างๆเนื่องจากได้กำลังและรอบที่สูงมากทำให้กลไกทำงานได้มั้นคง และ รวดเร็วกว่ามาก

5.2.2 ข้อเสนอแนะในส่วนของวัสดุ

ในส่วนของวัสดุทางผู้จัดทำได้ขึ้นรูปบางอย่างจากเครื่องพิมพ์สามมิติ ซึ่งจะมีข้อจำกัดด้านความแข็งแรงแลความยืดหยุ่นบ้าง ซึ่งควรจะขึ้นรูปโดยใช้วัสดุที่เป็น Food Grade และมีความแข็งแรงมากว่านี้

5.2.2 ข้อเสนอแนะด้านการควบคุม

หากต้องการ การควบคุมที่เสถียรทางผู้จัดทำไม่แนะนำการใช้ Arduino เนื่องจากเกิดความผิดพลาดค่อนข้างบ่อยซึ่งมักจะทำให้กลไกเกิดความเสียหาย

5.3 สรุปค่าใช้จ่าย

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการจัดทำโครงงาน

ลำดับ	รายการ	จำนวน (ชิ้น)	ราคา/ชิ้น	ราคารวม
1	PETG Filament 1Kg	1	673	673
2	Pulley 2GT-6 60 teeth (รูเพลา 12 mm)	1	100	100
3	RS Coupling 8x5	1	35	35
4	สายพาน 2GT-6 240mm	1	35	35
5	Bearing 6005-zz	1	35	35
6	Pulley 2GT-6 30 teeth	1	50	50
7	Lead Screw 100mm	1	100	100
8	Bearing668-zz	1	25	25
9	Servo MG90 (360)	2	99	198

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10	Pulley 2GT-6 60 teeth (รูเพลา 5 mm)	1	110	110
11	เพลาเหล็กชุบ 10mm ยาว 200	1	132	132
12	Lead Screw 300mm	1	165	165
13	Linear Ball Bearing(LM10UU)	6	44	264
14	เพลาเหล็กชุบ 10mm ยาว 300mm	3	165	495
15	Bearing668-zz	2	25	50
16	Bearing6000-2RS	2	12	24
17	Glue PVA	1	33	33
18	T8 srew brass nut	1	34	34
19	RS Coupling 8x5	1	38	38
20	RS Coupling 5x10	1	38	38
21	ค่าส่ง	1	35	35
22	ลดราคา	1	-225	-225
23	Case Arduino UNO R3	3	19	57
24	IR Sensor	6	17	102
25	Adaptor 9V1A	3	54	162
26	จอ LCD(20x4) I2C	1	188	188
27	สายจัมป์ 40cm (ผ-ม) แบบแผง	1	30	30
28	Breadboard 170 รู	3	12	36
29	Servo Holder	1	9	9
30	สายจัมป์ 20cm (ผ-ผ) สีดำ 10 เส้น	1	19	19
31	สายจัมป์ 20cm (ผ-ผ) สีแดง 10 เส้น	1	19	19
32	สายจัมป์ 20cm (ผ-ผ) สีขาว10 เส้น	1	19	19
33	ค่าส่ง	1	35	35
34	ลดราคา	1	-97	-97
35	Servo MG90 (180)	4	96	384
36	Board UNO R3	3	140	420
37	ค่าส่ง	1	27	27
38	ลดราคา	1	-129	-129
39	Tefal หม้อทอดไร้น้ำมัน 1.6L	1	899	899
40	ค่าส่ง	1	104	104
41	ลดราคา	1	-146	-146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42	PETG Filament 1Kg	1	709	709
43	แผ่นอลูมิเนียม 1100 (0.5mm 30x30cm)	2	70	140
44	แผ่นสแตนเลส304 (1mm 30x30cm)	1	240	240
45	ค่าส่ง	1	64	64
46	ลดราคา	1	-37	-37
47	ลดราคา	1	-19	-19
48	ค่าตัดเลเซอร์	1	1,016.50	1016.5
49	แผ่นโฟม หนา1/2" 40x60cm	6	10	60
50	ค่าส่ง	1	27	27
51	แม่เหล็ก 6x2mm	3	15	45
52	แผ่นแม่เหล็ก 0.5mm A4	1	49	49
53	PU FOAM	1	39	39
54	ค่าส่ง	1	27	27
55	สายจัมป์ 20cm (ผ-ผ) สีดำ 10 เส้น	3	19	57
58	Servo MG996R(180)	1	115	115
59	แม่เหล็ก D15mm	8	12	96
60	กระปุกพลาสติก 980ml	2	24	48
61	ค่าส่ง	1	27	27
62	แผ่นอะคริลิคใส (30x30cm)	1	45	45
63	ค่าส่ง	1	27	27
64	ปุ่ม Switch	1	15	15
65	Breadboard 400 รู	1	24	24
66	Relay 5V	1	26	26
67	Servo MG996R(180)	1	118	118
68	ค่าส่ง	1	27	27
69	RS Coupling 6x10	1	35	35
70	ค่าส่ง	1	27	27
71	Servo MG996R(180)	1	118	118
72	ล้อโพลี 1" เป็น	2	15	30
73	ล้อโพลี 1" ตาย	2	11	22
74	เหล็กฉาก 37mm*100cm	5	57	285
75	ค่าส่ง	1	100	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

78	แผ่นอะคริลิค(50x100cm) หนา 2mm	3	345	1035
79	ค่าส่ง	1	250	250
80	ปลั๊กพ่วง (4x4)	1	235	235
81	ค่าส่ง	1	42	42
82	RS Coupling 6x8	2	35	70
83	ค่าส่ง	1	27	27
84	Lead Screw 300mm	1	165	165
85	Servo MG996R(360)	1	118	118
87	lead screw	1	165	165
88	serrvo mg996r	1	118	118
89	Screw เหล็กฉาก	1	137	137
90	ชุดสายไฟ + adapter	1	104	104
91	ชุดน็อต + Screw ฉาก	1	166	166
92	board uno + สายไฟ	1	142	142
93	บานพับ + แม่เหล็ก	1	187	187
94	เซนเซอร์ อะแดปเตอร์	1	206	206
95	ที่กรอกของทอด + ช้อนพลาสติก	1	129	129
96	ซอสstrawberry และ chocolate	1	190	190
97	รีเลย์ 5v/220V 30A	1	145	145
98	น้ำแข็งแห้ง	1	291	291
99	step down DC-DC	1	54	54
100	Board UNO R3	2	148	296
101	สายยาง PVC	1	22	22

5.3.1 อธิบายสรุปค่าใช้จ่าย

สรุปเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 12,890.5 บาทซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในส่วนที่ไม่ได้ใช้งานและเสียหายจากการทดสอบเป็นจำนวน 2,583 บาท ดังนั้นการสร้างเครื่องทอดไอศกรีมอัตโนมัติมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 10,307.5 บาท จากการคาดประมาณค่าใช้จ่ายตอนเริ่มต้นที่ 12,000 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Textbook: (McGraw-Hill series in mechanical engineering) Richard G Budynas_ J Keith Nisbett_ Joseph Edward Shigley - Shigley's m

[2] Hundy, Trott, Welch. (2008). Refrigeration and Air-Conditioning 4 ed. Oxford: Butterworth-Heinemann.

[3] ไอติมทอดคือ [online]. เข้าถึงได้จาก : https://th.wikipedia.org/wiki/ไอศกรีมทอด

[4] ไอติมทอดที่มา [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.blockdit.com/posts/63c39273cab97f53ecb6cc81

[5] Vending Machine [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.qualitat.co.th/knowledge_detail.php?KnowledgeID=93#:~:text=vending%20machine%20หรือเครื่องหยอด,รูปแบบการทำธุรกิจ

[6] รู้จัก Solidwork [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.simtec.or.th/blog/solidworks-basic-2022-14032022/

[7] รู้จัก AutoCAD [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.buildernews.in.th/productsservices/technology/341005

[8] LEAD SCREW [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.igus.co.th/info/lead-screw-units-lead-screw-units#:~:text=ลีดสกรูเป็น,และเกลียว%20ACME%20ของอเมริกา%3F

[9] bearing [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.duraprothai.com/bearing?gclid=CjwKCAjws9ipBhB1EiwAccEi1Ns3P_On3QvHJtv_SV49fuz7tWgOOLwWwmhWO5U7Xs4ZOGzSoEIfRhoCDR4QAvD_BwE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] Pulley [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.conveyorclub.com/17722325/introduction-to-pulley

[11] coupling [online]. เข้าถึงได้จาก : https://fms.co.th/กลุ่มอุปกรณ์อุตสาหกรรมอื่นๆ-Other-Equipment/44040#:~:text=COUPLING%20หรือเรียกอีกอย่าง,ไปยัง%20GEAR%20และนำ

[12] สายพาน [online]. เข้าถึงได้จาก : https://northpower.co.th/pages/สายพานคืออะไร-ทำหน้าที่อะไร-และมีกี่ประเภท

[13] IR sensor [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.ai-corporation.net/2022/02/07/ir-infrared-with-arduino-uno/#:~:text=เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ%20IR%20Infrared%20เป็นโมดูลเซ็นเซอร์ตรวจ,บางโมดูลอาจจะรองรับ

[14] servo [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.artronshop.co.th/article/92/ทุกเรื่องที่ควรรู้เกี่ยวกับเซอร์โวมอเตอร์และการใช้งาน

[15] lcd [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.gotoknow.org/posts/51805

[16] adaptor [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.mercular.com/review-article/what-is-an-adapter-used-for

[17] สวิตช์ [online]. เข้าถึงได้จาก : https://th.misumi-ec.com/th/pr/recommend_category/push_button201905/#:~:text=ปุ่มกด%20(Push%20Button)%20หรือ,ที่สำคัญ%20คือหน้าสัมผัส

[18] หม้อทอด [online]. เข้าถึงได้จาก : https://techsauce.co/tech-and-biz/what-is-air-fryer

[19] [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.electrolux.co.th/blog/how-to-use-air-fryer/#:~:text=ทอดไร้น้ำมัน-,หลักการทำงานของหม้อทอดไร้น้ำมัน,ร้อนทั่วถึงรอบชิ้นอาหาร

[20] Arduino [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.cybertice.com/article/5/การเขียนโปรแกรมเบื้องต้นกับ-arduino-c-โครงสร้างโปรแกรมของ-arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[21] สูตรคำนวณ Torque ต่างๆ [online]. เข้าถึงได้จาก : https://3dprinting.stackexchange.com/questions/7695/z-axis-stepper-motor-and-lead-screw-torque-calculation

[22] สูตรคำนวณ Power screw [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.nidec.com/en/product/calc/torque/ballscrew/

[23] ข้อมูล PETG [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-petg#Properties

[24] ข้อมูล Stainless เกรด 304 [online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.tpe-trading.com/ss-304/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้