เครื่องแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วอัตโนมัติ
Automatic Used Beverage Container Sorting Machine

ธนาภรณ์ วิทูรพงศ์พินิจ
ภาคภูมิ ซัยพิชิต
สุดารัตน์ สุขศรี
อาทิตยาภรณ์ รอบวงจันทร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เครื่องแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วอัตโนมัติ

Automatic Used Beverage Container Sorting Machine

ธนาภรณ์ วิทูรพงศ์พินิจ

ภาคภูมิ ชัยพิชิต

สุดารัตน์ สุขศรี

อาทิตยาภรณ์ รอบวงจันทร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Automatic Used Beverage Container Sorting Machine

Tanaporn Witoonpongpinit

Pakpoom Chaipichit

Sudarat Suksri

Atitayaporn Robwongjan

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วอัตโนมัติ

AUTOMATIC USED BEVERAGE CONTAINER SORTING MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นางสาวธนาภรณ์ วิทูรพงศ์พินิจ รหัสนักศึกษา 57010588
2. นายภาคภูมิ ชัยพิชิต รหัสนักศึกษา 57101969
3. นางสาวสุดารัตน์ สุขศรี รหัสนักศึกษา 57011391
4. นางสาวอาทิตยาภรณ์ รอบวงจันทร์ รหัสนักศึกษา 57011535

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สมัคร รักแม่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วอัตโนมัติ
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวธนาภรณ์ วิทูรพงศ์พินิจ
	นายภาคภูมิ ชัยพิชิต
	นางสาวสุดารัตน์ สุขศรี
	นางสาวอาทิตยาภรณ์ รอบวงจันทร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สมัคร รักแม่
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องแยกประเภทขวดพลาสติก กระป๋องโลหะ และขวดแก้วอัตโนมัติ เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปรีไซเคิล ซึ่งกล่องระบบส่วนที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุติด เซนเซอร์แสง (Photoelectric sensor) ที่ระยะ 2.5 เซนติเมตรจากขอบ และติดอินดักทีฟพร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ (Inductive proximity sensor) จำนวน 2 ตัว ห่างจากเซนเซอร์แสงระยะ 1 เซนติเมตร โดยอินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ทั้งสองห่างกัน 0.3 เซนติเมตรในแนวตั้ง กล่องจะทำมุม 30 องศากับแนวระดับ เพื่อใช้แรงโน้มถ่วงให้วัตถุสามารถเคลื่อนที่ไปยังท่อส่งเองได้ และใช้เซอร์โวมอเตอร์บังคับทิศทางและองศาการหมุนของวัตถุแต่ละประเภทให้ตกไปยังท่อส่งต่อไป ในส่วนของท่อส่งติดลูกตุ้มถ่วงน้ำหนักที่บริเวณต้นของท่อส่งขวดพลาสติกทั้ง 3 ชนิด โดยท่อส่งจะทำมุม 30 องศากับแนวระดับเช่นเดียวกัน เพื่อให้วัตถุแต่ละประเภทไหลลงสู่ถังรองรับที่เตรียมไว้ และส่วนการควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ทั้งหมดใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis title	Automatic Used Beverage Container Sorting Machine
Authors	Ms.Tanaporn Witoonpongpinit
	Mr.Pakpoom Chaipichit
	Ms. Sudarat Suksri
	Ms. Atitayaporn Robwongjan
Thesis Advisor	Mr. Samak Rakmae
Academic Year	2017

ABSTRACT

This project aims to design and construct used sorting machine for easily recycle. The system box used to detect objects is attached to the Photoelectric sensor at a distance of 2.5 centimeters from the edge. And two Inductive proximity sensors away from Photoelectric sensor 1 cm. Both inductive proximity sensors are spaced 0.3 centimeters in vertical, the box is 30 degrees to the horizontal. In order to use gravity, the object can move to the pipeline by itself, use the servo motor to control the direction and degree of rotation of each object to fall into the pipelines. In pipelines section, three weighted pendulums are placed at the top zone of plastic bottles pipelines, and all of the pipelines are 30 degrees horizontal for each type of objects flow into the prepared tank. All sensors and servo motors use the microcontroller to control.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จขึ้นมาได้ด้วยความอนุเคราะห์จากหลายๆ ท่าน ดังนี้

อาจารย์สมัคร รักแม่ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่กรุณาเอื้อเฟื้อข้อมูล ให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เกี่ยวกับเครื่องแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มอัตโนมัติ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งทั้งในเวลาและนอกเวลาราชการ ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

อาจารย์เอกภพ ไพรัมย์ และอาจารย์ธนา เดี่ยววณิชย์ ที่ให้คำแนะนำการทำงาน การออกแบบ การทดลอง และความห่วงใยถึงความคืบหน้าของโครงงานอยู่เสมอ

คุณอำนาจ คูตะคุ เจ้าพนักงานประจำห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือและให้คำแนะนำด้านการปฏิบัติ ตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัยรวมถึงให้ข้อมูลต่าง ๆ ที่เอื้อต่อการทำโครงงาน

ขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ช่วยกันสร้างสรรค์โครงงานนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำโครงงานทุกท่าน สำหรับโอกาสในการศึกษาเล่าเรียน ความห่วงใย กำลังทรัพย์ และกำลังใจในการศึกษาเล่าเรียนเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นักศึกษาผู้จัดทำโครงงาน

นางสาวธนาภรณ์	วิทูรพงศ์พินิจ
นายภาคภูมิ	ชัยพิชิต
นางสาวสุดารัตน์	สุขศรี
นางสาวอาทิตยาภรณ์	รอบวงจันทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ I

ABSTRACT II

กิตติกรรมประกาศ III

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 2

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ 4

2.2 บรรจุภัณฑ์อาหาร 4

2.3 กระป๋อง

2.3.1 กระป๋องเหล็ก 5

2.3.2 กระป๋องอลูมิเนียม 5

2.4 พลาสติก

2.4.1 พลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) 6

2.4.2 พลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) 7

2.4.3 พลาสติกโพลีเอทิลีนเทอพาทาเลท (Polyethylene terephthalate, PET) 7

2.5 บรรจุภัณฑ์แก้ว

2.5.1 แก้วที่มี Borosilicate 8

2.5.2 แก้วที่มีส่วนผสมของโซดา-ไลม์ 9

2.5.3 แก้วธรรมดา 9

2.6 การแยกประเภท

2.6.1 อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ (Inductive proximity sensor)

2.6.1.1 หลักการทำงานของอินดัคทีฟพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ 9

2.6.1.2 ระยะตรวจจับของอินดักทีฟพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ 10

2.6.1.3 ส่วนประกอบของอินดักทีฟพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.6.1.4 คุณสมบัติของอินดักทีฟพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ 11

2.6.2 เซนเซอร์แสง (Photoelectric sensor)

2.6.2.1 หลักการทำงานของเซนเซอร์แสง 11

2.6.2.2 คุณสมบัติของเซนเซอร์ตัวส่งแสง (Laser emitter sensor) 12

2.6.2.3 คุณสมบัติของเซนเซอร์เซนเซอร์โมดูลรับแสง (Photoresistor module sensor) 12

2.6.3.1 หลักการของตุ้มถ่วงน้ำหนัก 13

2.6.3.2 สมการการคำนวณหาน้ำหนักลูกตุ้ม 13

2.7 การควบคุม

2.7.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

2.7.1.1 บอร์ด Arduino รุ่น Uno R3 14

2.7.1.2 จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม 16

2.7.2 เซอร์โวมอเตอร์ (servo motor)

2.7.2.1 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ 16

2.7.2.2 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์ 17

2.7.2.3 โครงสร้างของระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ 17

2.8 ซอฟแวร์ที่ใช้ในโครงงาน

2.8.1 โปรแกรม Arduino IDE (Arduino IDE Program)

2.8.1.1 การใช้งาน Arduino IDE มีขั้นตอนดังนี้ 19

2.9 การแสดงผล

2.9.1 จอแสดงผล (LCD)

2.9.1.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของ LCD 20

2.9.1.2 หลักการทำงานของ LCD 21

2.10 การต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์

2.10.1 การต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ประโยชน์ 22

2.10.1.1 การต่อวงจรตัวต้านทาน 22

2.10.1.2 การต่อวงจรไดโอดเปล่งแสง 22

2.10.1.3 การต่อวงจรทรานซิสเตอร์ 23

2.10.2 การต่อวงจร

2.10.2.1 การต่อวงจรของเซนเซอร์ 23

2.10.2.2 การต่อวงจรของเซอร์โวมอเตอร์ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.10.2.3 การต่อวงจรของจอแสดงผล LCD 25

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 กล่าวนำ 28

3.2 การคัดแยกประเภท

3.2.1 การแยกกระป๋อง 28

3.2.2 การแยกพลาสติก 30

3.2.3 การแยกแก้ว 32

3.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องคัดแยกบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วอัตโนมัติ 34

3.4 ทฤษฎีในการออกแบบ

3.4.1 การออกแบบเครื่องคัดแยกบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วอัตโนมัติ 36

3.4.2 การต่อวงจรในส่วนระบบการคัดแยก 40

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ 42

4.2 ผลการทดลอง 42

4.3 ประสิทธิภาพการคัดแยก 45

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1 บทสรุป 46

5.2 ปัญหาและอุปสรรค 47

5.3 ข้อเสนอแนะ 47

ภาคผนวก 48

ภาคผนวก ก ภาพประกอบการออกแบบเครื่อง 49

ภาคผนวก ข ตารางผลการทดลองและผลสำรวจ 54

ภาคผนวก ค การเขียนโปรแกรม ARDUINO IDE 62

บรรณานุกรม 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของบอร์ด ARDUINO 15
ตารางที่ 3.1 ผลการสำรวจขวดพลาสติกบรรจุเครื่องดื่มปริมาตร 240 – 600 มิลลิลิตร 31
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองตรวจจับวัตถุ, ตรวจจับประเภท และตรวจจับทิศทาง 42
ตารางที่ 4.2 การทำงานของเครื่องคัดแยก 44
ตารางที่ 4.3 ตารางสรุปประสิทธิภาพในการตรวจจับ 45
ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองการตรวจจับการแยกประเภทวัตถุ 55
ตารางที่ ข.2 การแยกประเภทขวดพลาสติก 55
ตารางที่ ข.3 การสำรวจขวดพลาสติกบรรจุเครื่องดื่ม 56
ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองการชั่งน้ำหนักของขวดแก้วและขวดพลาสติก 57
ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองการตรวจจับวัตถุ 58
ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองการตรวจจับประเภทวัตถุ 59
ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองการแยกประเภทตามทิศทาง 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 บรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม 4
รูปที่ 2.2 กระป๋องเหล็ก 5
รูปที่ 2.3 กระป๋องอลูมิเนียม 5
รูปที่ 2.4 ขวดพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง 6
รูปที่ 2.5 ขวดพลาสติกโพลีโพรพิลีน 7
รูปที่ 2.6 ขวดพลาสติกโพลีเอทิลีนเทอพาทาเลท 7
รูปที่ 2.7 ขวดแก้ว 8
รูปที่ 2.8 อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ 9
รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของอินดักทีฟพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ 10
รูปที่ 2.10 เซนเซอร์ตัวส่งแสง (LASER EMITTER SENSOR) (A) 11
รูปที่ 2.11 คานกระดก 12
รูปที่ 2.12 คานกระดกแยกขวด 13
รูปที่ 2.13 บอร์ด ARDUINO UNO R3 14
รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของบอร์ด ARDUINO 15
รูปที่ 2.15 เซอร์โวมอเตอร์ 16
รูปที่ 2.16 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์ 17
รูปที่ 2.17 โหมดการควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ 18
รูปที่ 2.18 โปรแกรมอดูโน่ IDE 18
รูปที่ 2.19 การเขียนโปรแกรม ARDUINO IDE 19
รูปที่ 2.20 จอแสดงผล LCD I2C-PCF8574AT 20
รูปที่ 2.21 การต่อวงจรตัวต้านทาน 22
รูปที่ 2.22 การต่อไดโอดเปล่งแปลง 22
รูปที่ 2.23 ทรานซิสเตอร์ 23
รูปที่ 2.24 การต่อวงจรของเซนเซอร์ 24
รูปที่ 2.25 การต่อวงจรของเซอร์โวมอเตอร์ 24
รูปที่ 2.26 การต่อวงจรของจอแสดงผล LCD 25
รูปที่ 3.1 การทดลองการใช้อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซ็นเซอร์ตรวจโลหะ 28
รูปที่ 3.2 การตรวจจับการแยกประเภทวัตถุของอินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ 29
รูปที่ 3.3 การออกแบบการติดตั้งอินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซ็นเซอร์ 29
รูปที่ 3.4 การทดลองการใช้อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซ็นเซอร์ตรวจโลหะ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 3.5 การแยกประเภทขวดพลาสติกโดยใช้เซนเซอร์โมดูลวัดแสง (PHOTORESISTOR SENSOR) 30
รูปที่ 3.6 การวัดระยะห่างของขวดพลาสติก 31
รูปที่ 3.7 การออกแบบการติดตั้งโฟโต้อิเล็กตริคเซ็นเซอร์ 32
รูปที่ 3.8 การทดลองการหาน้ำหนักของขวด 32
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงผลความแตกต่างของน้ำหนักขวดแก้วและขวดพลาสติก 33
รูปที่ 3.10 แผนภูมิการทำงานของเครื่อง 34
รูปที่ 3.11 กล่องทดสอบวงจรและการคัดแยก 36
รูปที่ 3.12 แบบจำลองการยกที่กั้น 37
รูปที่ 3. 13 แบบจำลองตัวยกที่เลือก 37
รูปที่ 3.14 การจำลองการไหล 38
รูปที่ 3.15 แบบเครื่องทั้งหมดตามขนาดจริง 38
รูปที่ 3.16 รูปแบบแปลนโครงสร้างเครื่องและส่วนระบบการคัดแยก 39
รูปที่ 3.17 รูปโครงสร้างของส่วนระบบคัดแยก 39
รูปที่ 3.18 รูปจำลองการคัดแยกตามทิศทางของเครื่อง 40
รูปที่ 3.19 การต่อวงจรในส่วนระบบการคัดแยก 40
รูปที่ ก.1 โครงเครื่องแบบ TRIMETRIC VIEW 50
รูปที่ ก.2 โครงเครื่องแบบ LEFT และ FONT VIEW 51
รูปที่ ก.3 กล่องระบบแบบ TRIMETRIC VIEW 52
รูปที่ ก.4 กล่องระบบแบบ SECTION VIEW 53
รูปที่ ค.1 การเขียนโปรแกรม ARDUINO IDE ของเครื่องคัดแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วอัตโนมัติ 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในอุตสาหกรรมอาหาร มีปริมาณการผลิตและการใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋อง และพลาสติกมากขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้เกิดปัญหาการจัดการบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วเป็นอย่างมาก เนื่องจากการทิ้งขยะอย่างไม่เป็นระบบ มีการทิ้งบรรจุภัณฑ์ที่สามารถรีไซเคิลได้ปะปนกับขยะประเภทอื่นๆ ทำให้เกิดความสกปรก และยากต่อการแยกประเภท รวมไปถึงการรีไซเคิล การรีไซเคิลในอุตสาหกรรมอาหาร ถือเป็นส่วนสำคัญในการผลิตบรรจุภัณฑ์ เพื่อลดต้นทุนของวัตถุดิบ ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และประหยัดพลังงานในการผลิต โดยการนำขวดพลาสติกและกระป๋องที่ใช้แล้ว มาเข้ากระบวนการ แยกประเภท ลดขนาด หลอม ผสม และขึ้นรูปใหม่

กระป๋อง เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ทำมาจากโลหะ นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร โลหะที่นิยมใช้ในการผลิตกระป๋องมี 2 ประเภท คือ แผ่นเหล็กและแผ่นอลูมิเนียม 1. แผ่นเหล็กที่ใช้ในการทำกระป๋อง แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก (Tin plate) เป็นแผ่นเหล็กดำที่นำมาเคลือบผิวด้วยดีบุก มีคุณสมบัติมีสนามแม่เหล็ก มีความทนทานต่อการผุกร่อน ไม่เป็นพิษ ส่วนแผ่นเหล็กไม่เคลือบดีบุก (Tin free steel, TFS) เป็นแผ่นเหล็กดำ ที่นำมาเคลือบด้วยสารอื่นแทน เช่น เคลือบด้วยโครเมียม มีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็ก สามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ดี และมีต้นทุนต่ำ 2. อะลูมิเนียม เป็นโลหะที่ได้จากการผสมแร่ธาตุ อลูมิเนียม แมงกานีส และแมกนีเซียม เข้าด้วยกัน คุณสมบัติเด่น คือ น้ำหนักเบา ทนทานต่อการกัดกร่อนสูง ทนต่อการซึมผ่านของอากาศ ก๊าซ แสง และกลิ่นรสได้ดีเยี่ยม แต่ไม่มีคุณสมบัติสนามแม่เหล็ก

ขวดพลาสติก เป็นบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้บรรจุเครื่องดื่มและอาหารในอุตสาหกรรมอาหาร เพราะวัสดุที่ทำมาจากพลาสติก มีน้ำหนักเบา ราคาถูกและขึ้นรูปง่าย โดยขวดที่ทำจาก หรือ HDPE นิยมนำมาทำเป็นขวดนม น้ำผลไม้ ขวดที่ทำจาก หรือ PET นิยมนำมาทำเป็นขวดน้ำดื่ม น้ำอัดลม และเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ ขวดที่ทำจาก Polypropylene หรือ PP นิยมนำมาทำเป็นขวดน้ำผมไม้ เป็นต้น

แก้ว เป็นวัตถุโปร่งใส เนื้อใสสะอาด มีความเป็นมันแววววาวสุกใส แก้วเป็นสารประกอบของซิลิกากับสารโลหะออกไซด์มีลักษณะโปร่งตาและมีความเปราะในตัวเอง และเป็นสารอนินทรีย์ต่างๆ มาเผาให้ถึงจุดละลายที่อุณหภูมิสูง และเมื่อเวลาเย็นตัวลงมาจะกลายเป็นของแข็งโดยไม่ตกผลึก

การแยกประเภทของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วถือเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ง่ายต่อการนำไปรีไซเคิล ซึ่งการแยกประเภทกระป๋องโลหะ ขวดพลาสติกและขวดแก้ว ทำได้โดยอาศัยคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โลหะประเภทเหล็กและอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน จึงสามารถใช้ อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ (Inductive proximity sensor) ในการแยกอะลูมิเนียมออกจากเหล็กได้ และพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง 3 ชนิด มีความขุ่น – ใส ที่แตกต่างกัน จึงสามารถใช้ เซนเซอร์แสง (Photoelectric sensor) ในการแยกประเภทได้ และใช้ตุ้มถ่วงน้ำหนักในการคัดแยกแก้วออกจากขวดประเภทอื่นเนื่องจากมีน้ำหนักที่มากกว่าขวดชนิดอื่น

ในส่วนของระบบการควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นอุปกรณ์ควบคุม ที่สามารถทำให้การทำงานของเครื่องในแต่ละขั้นตอนมีความสัมพันธ์กันโดยอัตโนมัติ

ดังนั้น การทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ มุ่งศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วอัตโนมัติ โดยมีขั้นตอนการทำงานของเครื่องเริ่มจากการแยกประเภทของวัตถุ โดยใช้อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ (Inductive proximity sensor) ในการระบุวัตถุประเภทโลหะและชนิดของโลหะ จากนั้นใช้เซนเซอร์แสง (Photoelectric sensor) เพื่อระบุประเภทขวดพลาสติก โดยอาศัยการควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) และใช้ตุ้มถ่วงน้ำหนักในการคัดแยกแก้ว จึงออกแบบและสร้างเครื่องเพื่อเป็นเครื่องต้นแบบต้นทุนต่ำนี้ขึ้นมา เพื่อให้ง่ายต่อการนำบรรจุภัณฑ์ไปรีไซเคิลต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1.) เพื่อสร้างระบบคัดแยกประเภทบรรจุภัณฑ์โดยใช้เซ็นเซอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม

2.) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกประเภทบรรจุภัณฑ์ต้นทุนต่ำ

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1.) เครื่องสามารถแยกชนิดขวดพลาสติกได้

2.) เครื่องสามารถแยกกระป๋องเหล็กและกระป๋องอลูมิเนียมออกจากกันได้

3.) เครื่องสามารถแยกขวดแก้วออกจากขวดประเภทอื่นๆได้

4.) เครื่องสามารถรับขวดพลาสติกและกระป๋องโลหะ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากสุดที่ 10 เซนติเมตร และความสูงมากสุดที่ 25.6 เซนติเมตรได้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

ในการวางแผนการดำเนินงานเริ่มต้นจากการศึกษารายละเอียดที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การศึกษาข้อมูลขวดพลาสติก กระป๋องอลูมิเนียม ขวดแก้ว ที่ใช้สำหรับบรรจุอาหาร ศึกษาวิธีการแยกประเภทบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท ศึกษาเซ็นเซอร์ที่ในการแยกประเภท จากนั้นศึกษาในส่วนของการเขียนโปรแกรมควบคุมการสั่งงานและการทำงานของเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม เมื่อได้รายละเอียดครบแล้วจึงออกแบบโครงสร้างเครื่องที่เหมาะสม สุดท้ายทำการทดสอบการแยกประเภทของบรรจุภัณฑ์แล้วนำข้อมูลมาจัดทำเป็นรูปเล่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.) เป็นเครื่องต้นแบบของเครื่องแยกประเภทบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วโดยอัตโนมัติ

2.) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกประเภทบรรจุภัณฑ์ต้นทุนต่ำ

3.) สามารถลดมลภาวะสิ่งแวดล้อมได้

4.) เครื่องจักรที่สามารถแยกประเภทขวดพลาสติก กระป๋องโลหะและแก้วได้ ทำให้ง่ายต่อการรีไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องในโครงงานทั้งหมด รวมถึงด้านฮาร์ดแวร์โดยอธิบายถึงข้อมูลพื้นฐานของอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่อธิบายถึงภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

2.2 บรรจุภัณฑ์อาหาร

รูปที่ 2.1 บรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม
(ที่มา : https://www.marketingoops.com/reports/industry-insight/sermsuk-strategies/)

ในอุตสาหกรรมอาหาร มีปริมาณการผลิตและการใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋อง พลาสติกและแก้วมากขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้เกิดปัญหาการจัดการบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วเป็นอย่างมาก เนื่องจากการทิ้งขยะอย่างไม่เป็นระบบ มีการทิ้งบรรจุภัณฑ์ที่สามารถรีไซเคิลได้ปะปนกับขยะประเภทอื่นๆ ทำให้เกิดความสกปรก และยากต่อการแยกประเภท รวมไปถึงการรีไซเคิล การรีไซเคิลในอุตสาหกรรมอาหารถือเป็นส่วนสำคัญในการผลิตบรรจุภัณฑ์ เพื่อลดต้นทุนของวัตถุดิบ ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และประหยัดพลังงานในการผลิต โดยการนำขวดพลาสติกและกระป๋องที่ใช้แล้ว มาเข้ากระบวนการ แยกประเภท ลดขนาด หลอม ผสม และขึ้นรูปใหม่ (หนังสือบรรจุภัณฑ์อาหาร, 2555)

2.3 กระป๋อง

กระป๋อง เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ทำมาจากโลหะ นิยมใช้กันอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร โลหะที่นิยมใช้ในการผลิตกระป๋องมี 2 ประเภท คือ แผ่นเหล็กและแผ่นอลูมิเนียม สิ่งที่บรรจุอยู่ภายในมักเป็นอาหารและเครื่องดื่ม เพื่อวัตถุประสงค์ในการถนอมอาหารให้สามารถเก็บไว้ได้นานยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของกระป๋องได้แก่

1.) ทนทานต่อความร้อนและความดันสูงเพื่อให้สามารถเข้ากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนได้

2.) มีความแข็งแรงทางกายภาพ ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำ และแสงได้

3.) ช่วยเก็บรักษากลิ่นและรสของผลิตภัณฑ์

4.) สามารถหมุนเวียนกลับเข้ากระบวนการผลิตใหม่ได้ (พิมพ์เพ็ญ, นิธิยา, ม.ป.ป.)

2.3.1 กระป๋องเหล็ก

รูปที่ 2.2 กระป๋องเหล็ก

(ที่มา : https://www.bigc.co.th/birdy-ice-coffee-rich-and-smooth-180-ml-pake-6.html)

กระป๋องเหล็กทำจากแผ่นเหล็กส่วนใหญ่นิยมใช้วัสดุที่เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เหล็กชนิดนี้ขึ้นรูปได้ง่ายโดยนำแผ่นเหล็กมารีดเพื่อให้ได้ความหนาตามต้องการ แล้วนำไปเคลือบผิวป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างบนนจุภัณฑ์บรรจุกับอาหาร สารเคลือบที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่บรรจุภายใน แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก (Tin plate) เป็นแผ่นเหล็กดำที่นำมาเคลือบผิวด้วยดีบุก มีคุณสมบัติ คือ มีความเป็นสนามแม่เหล็ก มีความทนทานต่อการผุกร่อน ไม่เป็นพิษ แผ่นเหล็กไม่เคลือบดีบุก (Tin free steel, TFS) เป็นแผ่นเหล็กดำที่นำมาเคลือบด้วยสารอื่นแทนดีบุก เช่น สารเคลือบทำมาจากโครเมียม มีคุณสมบัติ คือ มีความเป็นแม่เหล็ก สามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ดีและมีต้นทุนต่ำ

2.3.2 กระป๋องอลูมิเนียม

รูปที่ 2.3 กระป๋องอลูมิเนียม

(ที่มา : http://www.officepromart.net/product/1612)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระป๋องอะลูมิเนียม มักทำมาจากอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ 99.5% และมีโลหะประเภทแมงกานีส แมกนีเซียม และสังกะสีผสมเข้าด้วย โดยผ่านกระบวนการผลิตใช้วิธีการอัดรีดขึ้นรูป (extrusion) การดึงขึ้นรูป (drawing) หรือการทำรูปร่างกระป๋อง (forming) มีคุณสมบัติเด่น คือ น้ำหนักเบา ทนทานต่อการกัดกร่อนสูง ทนคงทนต่อสภาวะแวดล้อม และกลิ่นรสได้ดีเยี่ยม มีความ แต่ไม่มีคุณสมบัติของสนามแม่เหล็ก จึงเหมาะกับการทำวัสดุห่อหุ้ม (ดิจิตอล กราเวียร์ แพคเกจจิ้ง, ม.ป.ป., มงคล, 2543)

2.4 พลาสติก

พลาสติก คือ สารที่สามารถทำให้เป็นรูปต่างๆหรือขึ้นรูป ได้ด้วยความร้อน พลาสติกเป็นพอลิเมอร์ ขนาดใหญ่ มวลโมเลกุลมาก เหมาะใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ มีคุณสมบัติ คือ มีความเสถียร สลายตัวยาก มีน้ำหนักเบา เป็นฉนวนกันความร้อนและไฟฟ้าที่ดี ส่วนมากอ่อนตัวและหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน จึงเปลี่ยนเป็นรูปต่างๆ ได้ตามวัตถุประสงค์

ผลิตภัณฑ์พลาสติกสามารถแบ่งตามชนิดของพลาสติกได้เป็น 7 ชนิด และมีการกำหนดหมายเลขไว้บนผลิตภัณฑ์เพื่อช่วยในเรื่องการคัดแยกพลาสติกเพื่อใช้สำหรับการรีไซเคิลตามลำดับดังนี้

1. พลาสติกโพลีเอทิลีนเทอพาทาเลท (Polyethylene terephthalate, PET)
2. พลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE)
3. พลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride)
4. พลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE)
5. พลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP)
6. พลาสติกโพลีสไตรีน (Polystyrene, PS)
7. พลาสติกชนิดอื่นๆ เช่น โพลีคาร์บอนเนต (Polycarbonate, PC)

แต่พลาสติกที่นิยมนำมาใช้ทำเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มมีเพียง 3 ประเภท ได้แก่

2.4.1 พลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE)

รูปที่ 2.4 ขวดพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
(ที่มา : http://greenveg.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High Density Polyethylene หรือเรียกย่อว่า HDPE เป็นพลาสติกประเภทนี้มีค่าความหนาแน่นสูง มีการเรียงตัวของโมเลกุลจะมีกิ่งก้านมาก มีความหนาแน่นมาก HDPE ส่วนมากนิยมใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก เช่น ขวด ถัง ถาด และถุงที่ต้องการความแข็งแรง แต่ไม่ต้องการความใสมากนัก และนิยมนำไปบรรจุอาหารประเภทนมและน้ำผลไม้ (พิมพ์เพ็ญ, นิธิยา, ม.ป.ป.)

2.4.2 พลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP)

รูปที่ 2.5 ขวดพลาสติกโพลีโพรพิลีน

(ที่มา : http://www.foodnetworksolution.com)

Polypropylene หรือเรียกย่อว่า PP เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่ใช้เป็นวัสดุสำหรับเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร มีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ มีความโปร่งแสงมากกว่า HDPE ส่วนมากนิยมใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก เช่น ถุงร้อนสำหรับบรรจุอาหาร ขวดใส่เครื่องดื่ม ซองใส่ขนม หลอดดูด ขวดนมเด็ก และนิยมนำปบรรจุอาหารประเภทน้ำผลไม้ (พิมพ์เพ็ญ, นิธิยา, ม.ป.ป.)

2.4.3 พลาสติกโพลีเอทิลีนเทอพาทาเลท (Polyethylene terephthalate, PET)

รูปที่ 2.6 ขวดพลาสติกโพลีเอทิลีนเทอพาทาเลท

(ที่มา : http://greenveg.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polyethylene terephthalate หรือเรียกย่อว่า PET เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติกที่มีความหนาแน่นสูง ได้รับการคิดค้นขึ้นมาเพื่อการบรรจุน้ำอัดลม โดมีสมบัติเด่นทางด้านความใส ทำให้ได้รับความนิยมในการบรรจุน้ำมันพืชและน้ำดื่ม มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้เป็นอย่างดี จึงมีการนำไปเคลือบหลายชั้นทำเป็นซองสำหรับบรรจุอาหารที่มีความไวต่อก๊าซ เช่น อาหารขบเคี้ยว ถาดบรรจุอาหาร ที่เป็น Modified Atmosphere Packaging (MAP) เป็นต้น นอกจากนี้ ฟิล์ม PET ยังมีคุณสมบัติเด่นอีกหลายประการ เช่น ทนแรงยืดและแรงกระแทกเสียดสีได้ดี จุดหลอมเหลว (พิมพ์เพ็ญ, นิธิยา, ม.ป.ป.)

2.5 บรรจุภัณฑ์แก้ว

รูปที่ 2.7 ขวดแก้ว
(ที่มา : http://www.foodnetworksolution.com)

แก้วเป็นวัสดุที่เฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยามากที่ และทนต่อการกัดกร่อนสูง ปราศจากปฏิกิริยาเคมีของบรรจุภัณฑ์กับอาหารทำให้รสชาติของอาหารไม่เปลี่ยนแปลง ความใสและเป็นประกายของแก้วช่วยให้มองเห็นผลิตภัณฑ์และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับได้ดี ด้วยความแข็งของแก้ว รูปทรงและปริมาตรของแก้วจะไม่เปลี่ยนแม้จะบรรจุด้วยแบบสุญญากาศหรือความดัน บรรจุภัณฑ์แก้วสามารถบรรจุอาหารขณะที่ร้อนหรือผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูงได้ แต่ข้อด้อยของแก้ว ก็คือ น้ำหนักที่มาก และแตกง่าย แม้ว่าจะเฉื่อยต่อปฏิกิริยาทั่วๆ ไป แต่โซเดียมและไอออนชนิดอื่นๆ ที่อยู่ในแก้วยังสามารถแยกตัวออกมาจากแก้วผสมกับอาหารที่บรรจุภายในได้ ด้วยเหตุนี้จึงแยกตามความเฉื่อยในการทำปฏิกิริยา ดังนี้

2.5.1 แก้วที่มี Borosilicate

จะมีการแยกตัวน้อยที่สุด ข้อเสียของแก้วแบบนี้คือ ต้องผลิตที่จุดหลอมเหลวสูงถึง 1750°C ซึ่งทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง และมีความเฉื่อยมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 แก้วที่มีส่วนผสมของโซดา-ไลม์

คล้ายกับแก้วแบบที่ 3 แต่มีซัลเฟทเป็นส่วนประกอบ อบที่อุณหภูมิ 500°C เพื่อลดสภาพความเป็นด่างบริเวณผิวหน้าของผิวแก้ว

2.5.3 แก้วธรรมดา

เป็นแก้วธรรมดาที่ใช้กันทั่วไปและมีการแยกตัวออกได้บ้าง (บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว, ม.ป.ป.)

2.6 การแยกประเภท

รูปที่ 2.8 อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์

2.6.1 อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ (Inductive proximity sensor)

การแยกประเภทกระป๋องโลหะ ใช้อินดักทีฟพร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ (Inductive proximity sensor) โมเดลรุ่น LJ12A3-4-Z/BX (NPN) อินดักทีฟพร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ คือ เซนเซอร์ประเภทหนึ่งที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานตรวจจับวัตถุประเภท "โลหะ" ซึ่งสามารถตรวจจับวัตถุในระยะที่กำหนดได้โดยไม่มีการสัมผัสกับตัวของวัตถุ ด้วยการกำหนดระยะของวัตถุนั้นจะมีความเกี่ยวเนื่องกับชนิดและขนาดของวัตถุที่ต้องการตรวจจับหรืออาจกล่าวได้ว่าระยะค่าการตรวจจับของเซนเซอร์นั้นจะถูกนำมาคำนวณได้โดยอาศัยค่าแฟกเตอร์จากวัตถุนั้นเอง

2.6.1.1 หลักการทำงานของอินดัคทีฟพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์

การทำงานของอินดัคทีฟพร็อกซิมิตี้จะเริ่มจากวงจรออสซิลเลทกำเนิดสัญญาณส่งให้ขดลวดซึ่งพันอยู่บนแกนเฟอร์ไรท์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าบริเวณด้านหน้าซึ่งเรียกบริเวณนี้ว่าส่วนตรวจจับ เมื่อมีวัตถุเป้าหมาย (ต้องเป็นโลหะเท่านั้น) เคลื่อนเข้ามายังบริเวณส่วนตรวจจับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุเป้าหมายได้ดีกว่าอากาศ (เนื่องจากวัตถุเป้าหมายเป็นโลหะ) ทำให้ภายในวัตถุเป้าหมายมีกระแสไหลวน หรือเรียกว่า Eddy current เกิดขึ้น ซึ่งเท่ากับว่าวัตถุเป้าหมายได้ดูดซับสนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้ จนเมื่อถึงจุดๆหนึ่งที่วัตถุเป้าหมายได้ดูดซับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจนหมดทำให้วงจรออสซิลเลเตอร์ไม่ทำงาน ส่งผลให้วงจรทริกเกอร์ทำงานเกิดเอาท์พุตออกมา หลักการดูดกลืนสนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้เรียกว่า "Edd Current Kill Oscillator"

2.6.1.2 ระยะตรวจจับของอินดักทีฟพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์

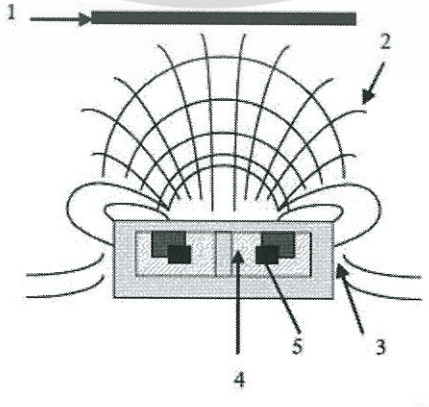
1. ขนาดของพร็อกซิมิตี้ ถ้าพร็อกตัวใหญ่จะมีระยะการตรวจจับวัตถุได้ไกลกว่าพร็อกตัวเล็ก เนื่องจากพร็อกตัวใหญ่มีขดลวดออสซิลเลเตอร์ใหญ่ สามารถสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้มากกว่าพร็อกที่ขนาดเล็กและขดลวดออสซิลเลเตอร์เล็ก

2. ชนิดของโลหะที่ตรวจจับ ระยะตรวจจับของพร็อกซิมิตี้จะใกล้หรือไกลขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่ถูกจับด้วย โดยวัตถุที่ถูกตรวจจับโลหะแต่ละชนิดจะมีตัวคูณ (Factor) ของมันเพื่อที่จะหาระยะในการตรวจจับ

3. ขนาดของวัตถุเป้าหมาย ถ้าวัตถุเป้าหมายที่มีขนาดเล็กระยะตรวจจับจะใกล้กว่าวัตถุเป้าหมายที่มีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากขนาดวัตถุมีผลต่อการเหนี่ยวนำ ดังนั้น (ขนาดใหญ่เหนี่ยวนำง่ายจึงจับได้ไกลกว่า)

2.6.1.3 ส่วนประกอบของอินดักทีฟพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์

1. วัตถุเป้าหมาย (Target)
2. สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Field)
3. ตัวเรือน (HOUSING)
4. ขดลวดออสซิลเลเตอร์ (Oscillator Coil)
5. แกนเฟอร์ไรท์ (Ferrous)



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของอินดักทีฟพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์
(ที่มา : http://www.psptech.co.th/-sensor-17211.page)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.4 คุณสมบัติของอินดักทีฟพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร
2. ระยะการตรวจจับ 4 มิลลิเมตร
3. ให้สัญญาณ Output แบบ NPN, 3 wires, NO
4. แรงดันที่ใช้ในการทำงาน 6 VDC – 36 VDC
5. ให้ Output Current 300 mA
6. ตรวจจับวัตถุประเภทโลหะ

2.6.2 เซนเซอร์แสง (Photoelectric sensor)

(a) (b)

รูปที่ 2.10 เซนเซอร์ตัวส่งแสง (Laser emitter sensor) (a) เซนเซอร์โมดูลรับแสง (Photoresistor sensor) (b)

การแยกประเภทขวดพลาสติก ใช้เซนเซอร์แสง (Photoelectric sensor) ซึ่งประกอบด้วย เซนเซอร์ตัวส่งแสง(Laser emitter sensor) รุ่น Kayes เป็นตัวส่งแสงไปยังตัวรับ และใช้เซนเซอร์โมดูลรับแสง (Photoresistor module sensor) รุ่น KY-0081 เป็นตัวรับการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่อมีแสงมาตกกระทบเพื่อใช้ในการแยก

2.6.2.1 หลักการทำงานของเซนเซอร์แสง

โดยมีหลักการทำงานการตรวจจับการเคลื่อนไหว การตรวจจับวัตถุ และการตรวจสอบขนาดรูปร่างของวัตถุ เซนเซอร์ชนิดนี้ทำงานโดยอาศัยหลักการส่งและรับแสง ลักษณะการตรวจจับเกิดจากการที่ลำแสงจากตัวส่งแสง ส่งไปสะท้อนกับวัตถุหรือถูกขวางกั้นด้วยวัตถุ ส่งผลให้ตัวรับแสงรู้สภาวะที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงสภาวะของสัญญาณทางด้านเอาต์พุตเพื่อนำไปใช้งานต่อไป อุปกรณ์ที่เป็นตัวรับแสงส่วนใหญ่ใช้โฟโต้รีซิสเตอร์ (Photoresistor module sensor) ส่วนตัวส่งแสงนั้นใช้เซนเซอร์ตัวส่งแสง(Laser emitter sensor) เนื่องจากการต่อใช้งานร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำได้ง่าย สะดวกในการบำรุงรักษา ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ และไม่ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบจากสภาวะรอบข้างไม่ว่าจะเป็นสนามแม่เหล็ก ความถี่ ความร้อน ความชื้น หรือการสั่นสะเทือน (นวภัทรา, ม.ป.ป.)

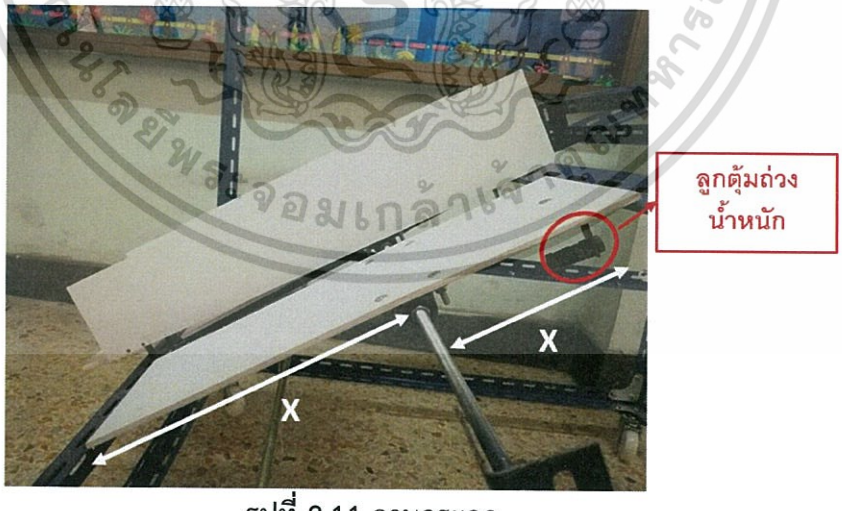
2.6.2.2 คุณสมบัติของเซนเซอร์ตัวส่งแสง (Laser emitter sensor)

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร
2. ส่งแสง LED สีแดง
3. แรงดันที่ใช้ในการทำงาน 3 VDC – 5 VDC
4. ให้ Output Current 30 mA
5. รับแสงที่ความยาวคลื่น 600-700 nm
6. ตรวจจับวัตถุประเภท

2.6.2.3 คุณสมบัติของเซนเซอร์เซนเซอร์โมดูลรับแสง (Photoresistor module sensor)

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตัวรับแสง 3 มิลลิเมตร
2. รับแสง LED สีแดง
3. แรงดันที่ใช้ในการทำงาน 3 VDC – 5 VDC
4. ให้ Output Current 30 mA
5. รับแสงที่ความยาวคลื่น 600-700 nm
6. Output ค่า Analog Voltage

2.6.3 คานกระดกด้วยตุ้มถ่วงน้ำหนัก



รูปที่ 2.11 คานกระดก

ตุ้มน้ำหนัก คือ วัสดุที่ใช้สำหรับถ่วงน้ำหนัก ซึ่งไม่ได้กำหนดให้มีรูปร่างลักษณะตายตัว เนื่องจากแต่ละรูปร่างสามารถนำมาใช้ถ่วงน้ำหนักในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป

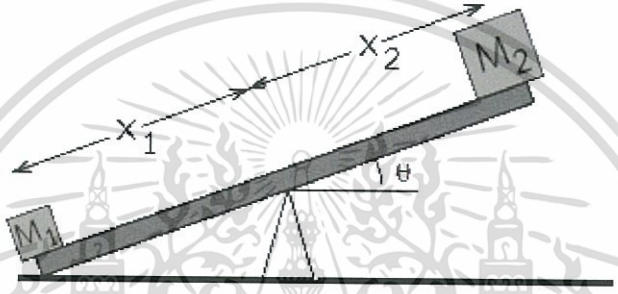
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3.1 หลักการของตุ้มถ่วงน้ำหนัก

นำหลักการของตุ้มถ่วงน้ำหนักในการออกแบบคานกระดกแยกขวด โดยให้ขวดแก้วที่มีน้ำหนักมากกว่าลูกตุ้มตกลงไปในถังรองรับด้านล่าง ส่วนขวดพลาสติกที่มีน้ำหนักเบาน้อยกว่าลูกตุ้มก็จะไม่ตกลงสู่ถังรองรับด้านล่าง เนื่องจากขวดแก้วและขวดพลาสติกมีน้ำหนักที่ต่างกันมาก

2.6.3.2 สมการการคำนวณหาน้ำหนักลูกตุ้ม

คำนวณน้ำหนักของลูกตุ้มที่ติดบริเวณปลายของคานกระดก โดยยึดน้ำหนักของขวดพลาสติกที่ใหญ่ที่สุดเป็นหลัก โดยใช้สมการโมเมนตัม



รูปที่ 2.12 คานกระดกแยกขวด

จาก $\Sigma M = 0$; $M = F(x)$

$F_1x_1 = F_2x_2$

M = โมเมนตัม (N•m)

F = แรงกระทำ (N)

x = ระยะทาง (m)

ดังนั้น $m_1gx_1 \cos\theta + m_1gx_1 \sin\theta = m_2gx_2 \cos\theta + m_2gx_2 \sin\theta$

m = มวลของวัตถุใดๆ (Kg)

g = ค่าคงตัวความโน้มถ่วง (9.81 m/s^2)

$\cos\theta$ = องศาแนวระนาบ

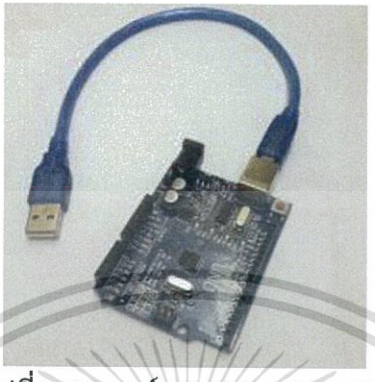
$\sin\theta$ = องศาแนวระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การควบคุม

2.7.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

2.7.1.1 บอร์ด Arduino รุ่น Uno R3

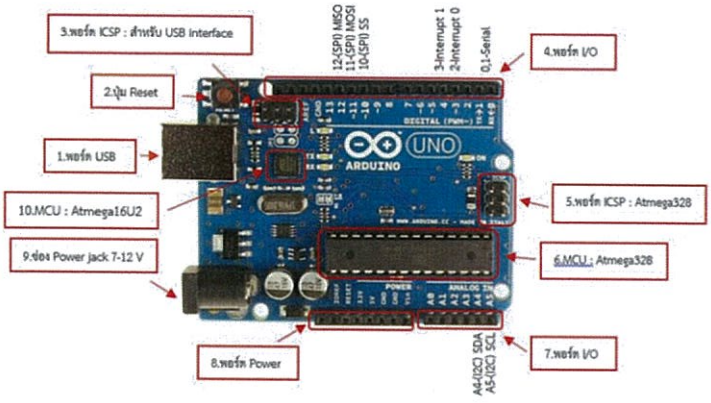


รูปที่ 2.13 บอร์ด Arduino Uno R3

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino โดยใช้ Arduino รุ่น Uno R3 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source ควบคุมการทำงานของ อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ (Inductive proximity sensor) เซนเซอร์แสง (Photoelectric sensor) และ เซอร์โวมอเตอร์ (servo motor) โดยใช้ภาษา C ในการเขียนโค้ชควบคุมการทำงานในแต่ละขั้นตอน

Arduino คือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ open source คือ การเปิดเผยทั้ง software และ hardware Arduino ชิพ AVR ใน Arduino แทบทุกรุ่น สาเหตุมาจากไมโครคอนโทรเลอร์ของตระกูล AVR มีความทันสมัย ในชิพบางตัวสามารถเชื่อมต่อผ่าน USB ได้โดยตรง สามารถใช้กับคอมพิวเตอร์ได้เป็นอย่างดี ทำให้สามารถเขียนสั่งให้ทำงานใดๆก็ได้ ก่อนการเรียกโปรแกรมปกติ ทำให้ Arduino นั้นอาศัยส่วนโปรแกรมแกรมพิเศษนี้ในการทำให้ชิพสามารถโปรแกรมผ่านพอร์ตอนุกรมชนิด UART ได้ จึงทำให้การเขียนโปรแกรมลงไปในชิพโดยใช้เพียง USB to UART ก็เพียงพอแล้ว แต่การโปรแกรมด้วยการใช้โปรโตคอล UART ต้องใช้เวลาในการบูทเข้าโปรแกรมปกติประมาณ 1 – 2 วินาที (ThaiEasyElec, ม.ป.ป., ทันพงษ์, ม.ป.ป.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของบอร์ด Arduino
(ที่มา : http://blog.mcp.ac.th/?p=166)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของบอร์ด Arduino

หมายเลข	รายละเอียด
1	ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออับโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2	เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3	เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4	I/OPort:Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5	เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6	เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7	I/OPort: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้วยังเปลี่ยนเป็นช่องรับสัญญาณอนาล็อกตั้งแต่ขา A0-A5
8	ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, V_{in}
9	รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
10	เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1.2 จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม

1.) ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น

2.) มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแรง

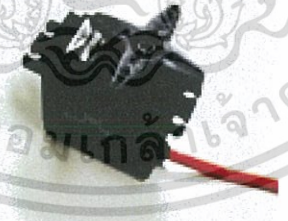
3.) เป็น Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน

4.) มีราคาที่ไม่แพง

5.) เป็น Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้

2.7.2 เซอร์โวมอเตอร์ (servo motor)

เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) Model Futaba S3003 & DS3210MG เป็นมอเตอร์ที่มีการควบคุมการเคลื่อนที่ของมัน (State) ไม่ว่าจะเป็นระยะ ความเร็ว มุมการหมุน โดยใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมเครื่องจักรกล หรือระบบการทำงานนั้นๆ ให้เป็นไปตามความต้องการ เช่น ควบคุมความเร็ว (Speed), ควบคุมแรงบิด (Torque), ควบคุมแรงตำแหน่ง (Position), ระยะทางในการเคลื่อนที่(หมุน) (Position Control) ของตัวมอเตอร์ได้ ซึ่งมอเตอร์ทั่วไปไม่สามารถควบคุมในลักษณะงานเบื้องต้นได้ โดยให้ผลลัพธ์ตามความต้องการที่มีความแม่นยำสูง



รูปที่ 2.15 เซอร์โวมอเตอร์

2.7.2.1 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

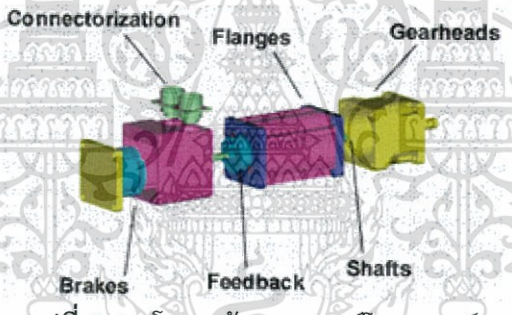
การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ชนิดนี้จะคล้ายกับการทำงานของซิงโครนัสมอเตอร์ 3 เฟส กล่าวคือเมื่อมีการควบคุมให้คอนโทรลเลอร์จ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดที่สเตเตอร์ แกนเหล็กของสเตเตอร์จะกลายเป็นแม่เหล็กไฟฟ้า และหมุนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่แปรผันตามความถี่ ซึ่งเรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(synchronous speed) หรือความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน และจะดูดให้โรเตอร์ซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวรหมุนเคลื่อนที่ตาม

2.7.2.2 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์

ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของระบบควบคุมเซอร์โว ก็คือการใช้งานจะต้องเป็นแบบ Closed loop เท่านั้น การใช้งานระบบควบคุมเซอร์โวไม่สามารถเลือกควบคุมเป็นแบบ Open loop ได้เหมือนกันระบบขับเคลื่อนเอซี (AC Drives) การตอบสนองของระบบเซอร์โว เช่น อัตราเร่ง แรงบิด และตำแหน่งที่ควบคุม จะไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์หากไม่มีสัญญาณป้อนกลับไปยังชุดขับเคลื่อนเซอร์โว การควบคุมการทำงานในระบบนี้อุปกรณ์ป้อนกลับหรือเอ็นโค๊ดเตอร์ (Encoder) จะมีบทบาทความสำคัญอย่างยิ่งเสมือนกับเป็นของคู่กันชนิดที่เรียกว่าขาดซึ่งกันและกันไม่ได้ ในทางปฏิบัติจึงทำเซอร์โวมอเตอร์และเอ็นโค๊ดเตอร์ ถูกออกแบบและผลิตสร้างขึ้นมาคู่กันในลักษณะเป็นแพ็คเกจ (Package ซึ่งมี Encoder ติดอยู่ที่ส่วนท้ายของมอเตอร์ ดังรูป



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์
(ที่มา : http://chanaphinp.blogspot.com)

Gearheads = เกียร์สำหรับลดความเร็วรอบเพื่อเพิ่มแรงบิด

Shafts = เพลาของมอเตอร์

Flanges = หน้าแปลนสำหรับติดตั้งมอเตอร์

Feedback = อุปกรณ์ป้อนกลับหรือ encoder

Connectorization = ขั้วต่อสายสำหรับ Encoder และเข้ามอเตอร์

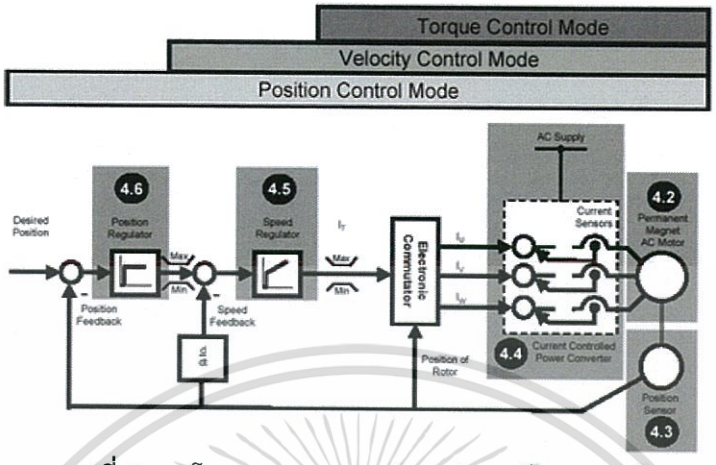
Breakes = ชุดเบรก

2.7.2.3 โครงสร้างของระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

ลักษณะของระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์จะเป็นระบบควบคุมแบบลูปปิด (Closed loop control) ซึ่งประกอบด้วย 3 โหมดการควบคุมคือ โหมดการควบคุมแรงบิด (Torque Control Mode) ซึ่งอยู่วงรอบหรือลูปในสุด โหมดการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร่ง(Velocity Control Mode) และโหมดการควบคุมตำแหน่ง(Position Control Mode) ซึ่งอยู่ลูปด้านนอกสุด โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญๆดังนี้



รูปที่ 2.17 โหมดการควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์

(ที่มา : http://chanaphinp.blogspot.com)

2.8 ซอฟแวร์ที่ใช้ในโครงงาน

2.8.1 โปรแกรม Arduino IDE (Arduino IDE Program)

ใช้เพื่อเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องโดยสามารถทำให้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น อินดั๊กทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ เซนเซอร์แสง เซอร์โวมอเตอร์ และจอแสดงผล LCD ทำงานร่วมกันอย่างสัมพันธ์กัน และใช้เพื่อทดสอบการทำงานของการต่อวงจร เซนเซอร์และการทำงานของระบบ เพื่อแสดงผลการ ทำงานของระบบ

รูปที่ 2.18 โปรแกรมอดูโน่ IDE

(ที่มา : http://www.elec-za.com/arduino-ide-program-esp8266/)

Arduino เป็น Open source ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของบอร์ดArduino จึงมีเครื่องมือสำหรับเขียนโปรแกรมมาให้ใช้กัน เครื่องมือที่ใช้สำหรับเขียนโปรแกรมนี้คือ Arduino IDE (Arduino integrated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

development environment (IDE)) โดยภาษา Arduino เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุม MCU, มีไวยากรณ์แบบเดียวกับภาษา C/C++

โปรแกรมของ Arduino IDE แบ่งได้ เป็นสองส่วนคือ void setup() และ void loop() โดยฟังก์ชั่น setup() เมื่อโปรแกรมทำงานจะทำคำสั่งของฟังก์ชั่นนี้เพียงครั้งเดียวใช้ในการกำหนดค่าเริ่มต้นของการทำงาน ส่วนฟังก์ชั่น loop() เป็นส่วนทำงาน โปรแกรมจะทำคำสั่งในฟังก์ชั่งนี้ต่อเนื่องตลอดเวลา โดยปกติใช้ กำหนดโหมดการทำงานของขาต่างๆ กำหนดการสื่อสารแบบอนุกรม ฯลฯ ส่วนของ loop() เป็นโค้ดโปรแกรมที่ทำงาน เช่น อ่านค่าอินพุต ประมวลผลสั่งงาน เอาต์พุต ฯลฯ โดยส่วนกำหนดค่าเริ่มต้น เช่น ตัวแปรจะต้องเขียนที่ส่วนหัวของโปรแกรม ก่อนถึงตัวฟังก์ชั่นนอกจากนั้นยังต้อง คำนึงถึงตัวพิมพ์เล็ก-ใหญ่ ของตัวแปรและชื่อฟังก์ชั่นให้ถูกต้อง

2.8.1.1 การใช้งาน Arduino IDE มีขั้นตอนดังนี้

1. ตั้งค่าบอร์ดให้ตรงกับบอร์ดที่ใช้งาน
2. ตั้งค่าพอร์ตเชื่อมต่อกับบอร์ด (กรณีต่อบอร์ดจริง)
3. ตั้งค่าชนิดการโปรแกรม (กรณีต่อบอร์ดจริง)
4. เขียนโปรแกรม
5. คลิกปุ่มแปลงไฟล์เป็นภาษาเครื่อง
6. คลิกปุ่มเบิร์นไฟล์ลงบอร์ด (กรณีต่อบอร์ดจริง)

```
int ch1;
#include<Servo.h>

Servo MyServo1;
Servo MyServo2;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  MyServo1.attach(9);
  MyServo2.attach(8);
}
void loop(){
     int x5 = analogRead(A4);
       Serial.print("x5 ="); Serial.println(x5);
          if (x5<500){
     Serial.println("Not Detected");
       MyServo1.write(90);
       MyServo2.write(0);
            }
```

รูปที่ 2.19 การเขียนโปรแกรม Arduino IDE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การแสดงผล

2.9.1 จอแสดงผล (LCD)

รูปที่ 2.20 จอแสดงผล LCD I2C-PCF8574AT

ใช้จอแสดงผล LCD รุ่น I2C-PCF8574AT เพื่อให้ทราบ ความพร้อมในการทำงาน และการตรวจจับของระบบ เพื่อให้ง่ายต่อการมองเห็นและใช้งานเครื่อง

คำว่า LCD ย่อมาจากคำว่า Liquid Crystal Display ซึ่งเป็นจอที่ทำมาจากผลึกคริสตอลเหลวหลักการคือด้านหลังจอจะมีไฟส่องสว่าง หรือที่เรียกว่า Backlight อยู่ เมื่อมีการปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปกระตุ้นที่ผลึก ก็จะทำให้ผลึกโปร่งแสง ทำให้แสงที่มาจากไฟ Backlight แสดงขึ้นมาบนหน้าจอ ส่วนอื่นที่โดนผลึกปิดกั้นไว้จะไม่สว่างผลึกมีสีที่แตกต่างกันตามสีของผลึกคริสตอล เช่นสีเขียว หรือ สีฟ้าฯลฯ ทำให้เมื่อมองไปที่จอก็จะพบกับตัวหนังสือแล้วพบกับพื้นหลังสีต่างๆกัน

จอ Liquid Crystal Display (LCD) เป็นจอแสดงผลรูปแบบหนึ่งที่นิยมนำมาใช้งานกันกับระบบสมองกลฝังตัวอย่างแพร่หลาย จอ LCD มีทั้งแบบแสดงผลเป็นตัวอักขระเรียกว่า Character LCD ซึ่งมีการกำหนดตัวอักษรหรืออักขระที่สามารถแสดงผลไว้ได้อยู่แล้ว และแบบที่สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพหรือสัญลักษณ์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานเรียกว่า Graphic LCD นอกจากนี้บางชนิดเป็นจอที่มีการผลิตขึ้นมาใช้เฉพาะงาน ทำให้มีรูปแบบและรูปร่างเฉพาะเจาะจงในการแสดงผล เช่นนาฬิกาดิจิตอล เครื่องคิดเลข หรือ หน้าปัดวิทยุ เป็นต้น

2.9.1.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของ LCD

โครงสร้างของ LCD ทั่วไปจะประกอบขึ้นด้วยแผ่นแก้ว 2 แผ่นประกบกันอยู่ โดยเว้นช่องว่างตรงกลางไว้ 6-10 ไมโครเมตร ผิวด้านในของแผ่นแก้วจะเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าแบบใสเพื่อใช้แสดงตัวอักษร ตรงกลางระหว่าง ตัวนำไฟฟ้าแบบใสกับผลึกเหลว มีชั้นของสารที่ทำให้โมเลกุลของผลึกรวมตัวกันในทิศทางที่แสงส่องมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทบ เรียกว่า Alignment Layer และผลึกเหลวที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นแบบ Magnetic โดย LCD สามารถแสดงผลให้เรา มองเห็นได้ทั้งหมด 3 แบบด้วยกันคือ

1.) แบบใช้การสะท้อนแสง (Reflective Mode) LCD แบบนี้ใช้สารประเภทโลหะเคลือบอยู่ที่แผ่นหลังของ LCD ซึ่ง LCD ประเภทนี้เหมาะกับการนำมาใช้งานในที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ

2.) แบบใช้การส่งผ่าน (Transitive Mode) LCD แบบนี้วางหลอดไฟไว้ด้านหลังจอ เพื่อทำให้การอ่านค่าที่แสดงผลทำได้ชัดเจน

3.) แบบส่งผ่านและสะท้อน (Transflective Mode) LCD แบบนี้เป็นการนำเอาข้อดีของจอแสดงผล LCD ทั้ง 2 แบบมารวมกันในบทนี้จะกล่าวถึงจอ LCD ที่แสดงผลเป็นอักขระหรือตัวอักษร

ตามท้องตลาดทั่วไปจะมีหลายแบบด้วยกันมีทั้ง 16 ตัวอักษร 20ตัวอักษร หรือมากกว่า และจำนวนบรรทัดจะมีตั้งแต่ 1 บรรทัด 2 บรรทัด 4 บรรทัดหรือมากกว่า ตามแต่ความต้องการและลักษณะของงานที่ใช้ หรืออาจจะมีแบบสั่งทำเฉพาะงานก็เป็นได้ ในบทนี้จะยกตัวอย่างจอ LCD ขนาด 16x2 Character หรือที่นิยมเรียกกันว่าจอ LCD 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด สามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาไม่สูง เหมาะสมกับการใช้งานแสดงผลไม่มากในหน้าจอเดียว

2.9.1.2 หลักการทำงานของ LCD

หลักการทำงานอาศัย-ของเหลวพิเศษที่มีคุณสมบัติการบิดแกนโพราไรซ์ของแสง ถ้าจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าไประหว่างสารเหลวนี้ โมเลกุลจะบิดตัวและทำให้แสงไม่สามารถผ่านกระจกออกมาได้ ถ้าไม่มีการจ่าแรงดันไฟฟ้าแสงจะทะลุผ่านออกมาได้ (ทันพงษ์, ม.ป.ป.)

2.10 การต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์

อิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) หมายถึง การควบคุมหรือออกแบบการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า ซึ่งมีชิ้นส่วน หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนประกอบของวงจร ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า

การต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์อินดั๊กทีฟ พร๊อกซิมิตี้ เซนเซอร์ เซนเซอร์แสง เซอร์โวมอเตอร์ และจอแสดงผล LCD สามารถทำงานได้ โดยมีแหล่งจ่ายไฟและต่อเชื่อมเข้ากับบอร์ด Arduino เพื่อรับคำสั่งในการทำงาน ทำให้อุปกรณ์ต่างๆมีการทำงานสัมพันธ์กัน

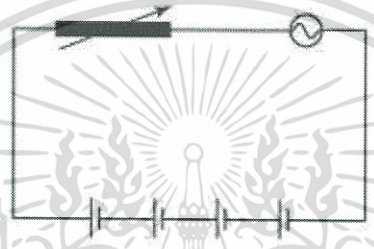
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 การต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ประโยชน์

ในการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์เราควรจะเข้าใจการทำงานทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อช่วยให้เข้าใจการทำงานของเครื่องมือ เครื่องใช้ต่างๆ มากขึ้น และสามารถนำมาพัฒนาคุณภาพของอุปกรณ์ร่วมต่างๆ ให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ควรศึกษา ได้แก่

2.10.1.1 การต่อวงจรตัวต้านทาน

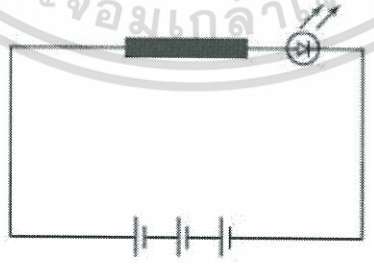
ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์การต่อตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ ต้องต่อวงจรแบบอนุกรม เพราะตัวต้านทานชนิดนี้สามามารถควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรให้ไหลมากหรือน้อยตามต้องการได้



รูปที่ 2.21 การต่อวงจรตัวต้านทาน
(ที่มา : https://krunui22.wordpress.com)

2.10.1.2 การต่อวงจรไดโอดเปล่งแสง

การต่อไดโอดเปล่งแสงในวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะต้องต่อตัวต้านทานไว้ในวงจรด้วย เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเล็กน้อยก็ทำให้ไดโอดเปล่งแสงทำงานได้ ดังนั้นจึงต้องต่อตัวต้าน ทานไว้ในวงจรด้วยเพื่อลดปริมาณกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านไดโอดในปริมาณที่พอเหมาะ

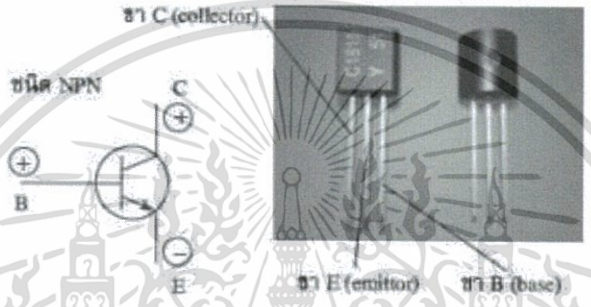


รูปที่ 2.22 การต่อไดโอดเปล่งแปลง
(ที่มา : https://krunui22.wordpress.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1.3 การต่อวงจรทรานซิสเตอร์

การที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ ทำงานได้ต้องจ่ายไฟให้ที่ขาเบส (B) ซึ่งเป็นขาที่มีหน้าที่ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จะไหลจากขาคอลเลกเตอร์ไปสู่ขาอิมิตเตอร์ กล่าวคือหากให้กระแสไหลที่ขาเบสมาก จะทำให้กระแสไหลผ่านขาคอลเลกเตอร์ไปสู่ขาอิมิตเตอร์มาก แต่ถ้าให้กระแสไหลที่ขาเบสน้อย กระแสที่จะไหลผ่านขาคอลเลกเตอร์ไปสู่ขาอิมิตเตอร์น้อยลงไปด้วย ดังนั้นด้วยหลักการทำงานของทรานซิสเตอร์นี้ ก็จะสามารถนำทรานซิสเตอร์ไปประกอบในวงจรต่างๆ ได้มากมาย โดยเฉพาะในวงจรที่ต้องการควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร



รูปที่ 2.23 ทรานซิสเตอร์

(ที่มา : https://krunui22.wordpress.com)

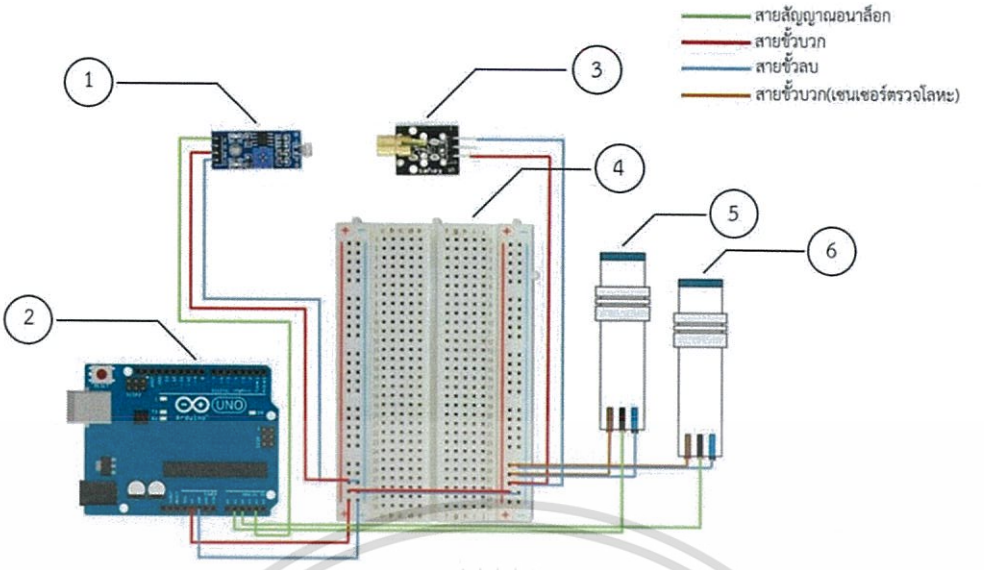
การประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน ต้องรู้จักเครื่องมือที่จะใช้เป็นอย่างดีและรู้วิธีการบัดกรี เช่น การใช้หัวแร้ง การใช้ตะกั่วบัดกรี ตลอดจนเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการบัดกรีด้วยเพื่อไม่ให้เกิดการผิดพลาดในการต่อวงจร

2.10.2 การต่อวงจร

2.10.2.1 การต่อวงจรของเซนเซอร์

การต่อวงของเซนเซอร์แสง (Photoelectric) ที่ประกอบด้วยเซนเซอร์ตัวส่งแสง(Laser emitter sensor) และเซนเซอร์โมดูลรับแสง (Photoresistor module sensor) และการต่ออินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ (Inductive proximity sensor) จำนวน 2 ตัว เข้ากับบอร์ด Arduino เพื่อควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ให้ทำงานสัมพันธ์กัน โดยมีโพรโต้บอร์ด (Protoborad) เป็นบอร์ดเชื่อม GND จาก Arduino และกระจายสัญญาณไฟจากแหล่งจ่ายไฟไปให้เซนเซอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

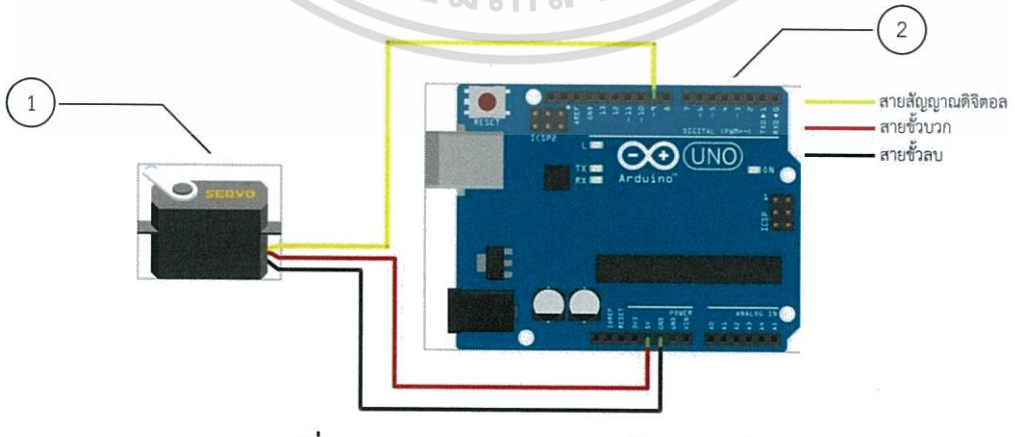


รูปที่ 2.24 การต่อวงจรของเซนเซอร์

1. เซนเซอร์โมดูลรับแสง (Photoresistor module sensor)
2. บอร์ด Arduino Uno R3
3. เซนเซอร์ตัวส่งแสง (Laser emitter sensor)
4. โพรโต้บอร์ด (Protoborad)
5. อินดักทีฟพร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ ตัวที่ 1 (Inductive proximity sensor)
6. อินดักทีฟพร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ ตัวที่ 2 (Inductive proximity sensor)

2.10.2.2 การต่อวงจรของเซอร์โวมอเตอร์

การต่อวงของเซอร์โวมอเตอร์เข้ากับบอร์ด Arduino เพื่อควบคุมการทำงานให้ทำงานสัมพันธ์กันกับส่วนอื่นๆ โดยมีโพรโต้บอร์ด (Protoborad) เป็นบอร์ดเชื่อม GND จาก Arduino และกระจายสัญญาณไฟจากแหล่งจ่ายไฟให้เซอร์โวมอเตอร์



รูปที่ 2.25 การต่อวงจรของเซอร์โวมอเตอร์

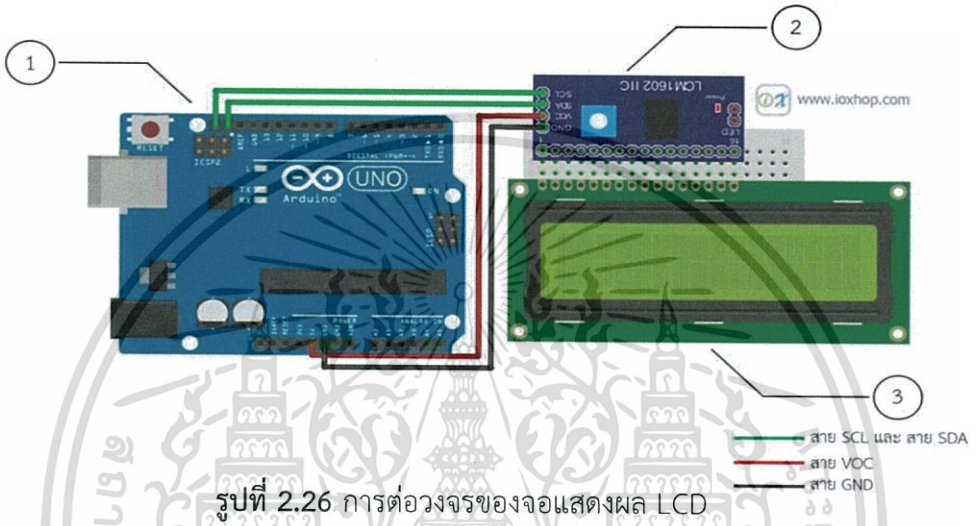
(ที่มา : http://commandronestore.com/learning/servo001.php)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เซอร์โวมอเตอร์
2. บอร์ด Arduino Uno R3

2.10.2.3 การต่อวงจรของจอแสดงผล LCD

การต่อวงของจอแสดงผล LCD เข้ากับบอร์ด Arduino เพื่อควบคุมการทำงานให้ทำงานสัมพันธ์กันกับส่วนอื่นๆ โดยมีโพรโต้บอร์ด (Protoborad) เป็นบอร์ดเชื่อม GND จาก Arduino และกระจายสัญญาณไฟจากแหล่งจ่ายไฟให้จอแสดงผล LCD



รูปที่ 2.26 การต่อวงจรของจอแสดงผล LCD
(ที่มา : https://www.ioxhop.com/article/30/)

1. บอร์ด Arduino Uno R3
2. บอร์ดโมดูลไอสองซี (I2C Serial Interface Board Module)
3. จอแสดงผล LCD

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kiffaya A. A. (2008) ได้ศึกษาการรีไซเคิลอลูมิเนียมเป็นสิ่งที่จำเป็น และเป็นผลดีทางเศรษฐกิจ ซึ่งทางด้านนิเวศวิทยาอลูมิเนียมสามารถนำไปรีไซเคิลได้ง่ายโดยไม่ทำให้คุณภาพลดลง กระป๋องเครื่องดื่มอลูมิเนียมเป็นวัสดุที่ถูกนำมารีไซเคิลมากที่สุด เพราะมูลค่าสูง และง่ายต่อการจัดเก็บ อลูมิเนียมสามารถรักษาคุณสมบัติของตัวมันเอง ตลอดกระบวนการรีไซเคิล ดังนั้นไม่ว่ากระป๋องจะผ่านกระบวนการรีไซเคิลหลายครั้งก็ยังสามารถนำกลับมาผลิตเป็นกระป๋องอลูมิเนียมได้ การรีไซเคิลกระป๋องน้ำดื่มอลูมิเนียมเป็นการลดปริมาณขยะที่เสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ทั้งยังลดการใช้พลังงาน ลดมลภาวะ และลดการฝังกลบ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มรายได้ให้กับผู้รีไซเคิลอีกด้วย โดยงานวิจัยนี้ศึกษาการจัดการเกี่ยวกับกระบวนการรีไซเคิลกระป๋องเครื่องดื่มอลูมิเนียมในอิรัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายข้อจำกัดในปัจจุบันและแนะนำโครงการระดับชาติเพื่อรวบรวมการแยกและการหลอมละลายกระป๋องชนิดนี้เพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมในอิรัก เนื่องจากส่งผลดีทางด้านเศรษฐกิจและสภาพแวดล้อม

Kim R., et al. (2017) ได้ศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก ในปัจจุบันมีการรีไซเคิลทั้งแบบทางกลและทางเคมี โดยการรีไซเคิลพลาสติกได้มีการออกแบบมาให้สอดคล้องกับความเป็นจริงในปัจจุบันของทางอุตสาหกรรม เนื่องด้วยอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติกมีการผลิตพลาสติกหลายประเภท และมากมายหลายรูปแบบ จึงทำให้เกิดขยะพลาสติกที่แตกต่างกัน ดังนั้นการรีไซเคิลจึงจำเป็นต้องออกแบบมาเพื่อรีไซเคิลพลาสติกที่เฉพาะเจาะจง ตัวอย่างการรีไซเคิลทางกลด้วยความร้อนของพลาสติกประเภท Poly Ethylene Terephthalate (PET) โดยการออกแบบการรีไซเคิลเน้นแนวคิดของ Design from Recycling.

The Council for Solid Waste Solution องค์กรเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยของประเทศสหรัฐอเมริกา, (CSWS,1991) ได้ศึกษาการลดปัญหาการจัดเก็บพลาสติกที่ใช้แล้วให้มีปริมาณเพียงพอที่จะนำกลับไปทำการรีไซเคิลและส่งเสริมการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุต่างๆ รวมทั้งพลาสติก โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาวิธีที่ดีที่สุดในการจัดเก็บและกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ ของพลาสติกประเภท PET PE PVC PP และ PS

Hamed M., et.al (2012) ได้ทำการศึกษาการระบุชนิดและแยกเม็ดพลาสติกโดยอาศัยการสะท้อนของคลื่นแสงในย่าน Near infrared ซึ่งมีการใช้วิธี Two-Filter ในการแยกชนิดพลาสติกระหว่าง Poly Ethylene Terephthalate (PET), High Density Polyethylene (HDPE), Polyvinyl Chloride (PVC), Polypropylene (PP)และ Polystyrene (PS) และสามารถแยกได้แม้มีผลกระทบจากพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น การปนเปื้อนของพื้นผิว, ความหนาของตัวอย่าง, ฉลาก และฝา พบว่าการใช้วิธี Two-filter ประสิทธิภาพในการระบุและแยกชนิดของพลาสติกสูง ซึ่งสามารถทำได้โดยการคำนวณจากความสัมพันธ์ของการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 2 แห่ง ในย่านNear infrared

OMRON Industrial Automation (2017) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับโฟโต้อิเล็กทริกเซนเซอร์ (Photoelectric sensor) ซึ่งเป็นเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่อมีแสงมาตกกระทบกับพื้นผิวและคุณสมบัติของแสง โดยโฟโต้อิเล็กทริกเซนเซอร์จะประกอบด้วยอิมิตเตอร์ (Emitter) สำหรับจ่ายแสงและรีซีฟเวอร์ (Reciever) สำหรับรับแสง เมื่อแสงที่ถูกปล่อยออกมาถูกรบกวนหรือสะท้อนโดยวัตถุที่ตรวจจับ แสงที่ถูกส่งมาที่ตัวรับก็จะเปลี่ยนไป ตัวรับแสงจะตรวจจับค่าที่เปลี่ยนไปแล้วส่งสัญญาณไฟฟ้าเป็นผลลัพธ์ (Output) ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงส่วนใหญ่ของโฟโต้อิเล็กทริกเซนเซอร์เป็นแสงอินฟาเรด (Infrared) หรือแสงที่มองเห็นได้

Amrutha C., et al. (2014) ได้ศึกษาการทำเครื่องแยกขยะอัตโนมัติ โดยทำการแยกขยะ 3 ประเภท คือ ขยะเปียก ขยะแห้ง และขยะที่เป็นโลหะ ในขั้นตอนการแยกขยะประเภทโลหะ ได้ใช้อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี เซนเซอร์ (Inductive proximity sensor) ในการตรวจจับ โดยเมื่อวัตถุที่เป็นโลหะเคลื่อนที่เข้าใกล้บริเวณเซนเซอร์ จะทำให้เกิดกระแสวนบริเวณผิวหน้าของวัตถุ ส่งผลให้ค่าผลลัพธ์ (Output) เปลี่ยนแปลง โดยค่าผลลัพธ์ (Output) จะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะนั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Irsyadi Y.,et al. (2015) การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองระบบการคัดแยกอัจฉริยะ ด้วยเครื่องคัดแยกกระป๋องและขวดพลาสติกอัตโนมัติซึ่งมุ่งเน้นไปในการตรวจจับวัตถุของกระป๋องและขวดพลาสติก ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทดลองด้วยกระป๋องจำนวน 60 กระป๋อง และขวดพลาสติกจำนวน 40 ขวด ผลการทดลองปรากฏว่าเครื่องสามารถระบุชนิดได้ถึง 91.33 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องยังสามารถทำความเร็วได้ถึง 21,600 ชิ้นต่อชั่วโมง

Padmalatha N A, Prabhish Sh. (2011) ผลของการวิจัยนี้คือเทคโนโลยีสำหรับการรีไซเคิลบรรจุภัณฑ์ชนิดแก้วอย่างง่ายและเป็นระเบียบเมื่อเทียบกับการรีไซเคิลแบบอื่นๆ โดยการรวบรวมเศษแก้ว การแยก การจัดเตรียมเศษแก้วเพื่อไปละลายและขึ้นรูปโดยใช้เวลาไม่ถึง 2 สัปดาห์ เนื่องจากอินเดียมีปัญหาขยะ และการแยกบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วเพื่อนำไปรีไซเคิล โดยการรีไซเคิลแก้ว นอกจากจะทำได้ง่าย แล้วยังเป็นการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดการดำเนินงาน วิธีการ โดยการศึกษาขวดพลาสติก กระป๋องโลหะ และขวดแก้ว เพื่อนำไปสู่การออกแบบและสร้างเครื่อง โดยใช้เซ็นเซอร์และอุปกรณ์ควบคุม R3 ให้เหมาะสมที่ใช้ในการแยกประเภท ด้วยการควบคุมผ่านตัวประมวลผล Arduino UNO R3 โดยการเขียนโปรแกรมในการควบคุมการทำงานของเครื่อง รวมถึงการออกแบบโครงสร้างเครื่องและส่วนประกอบต่างๆ

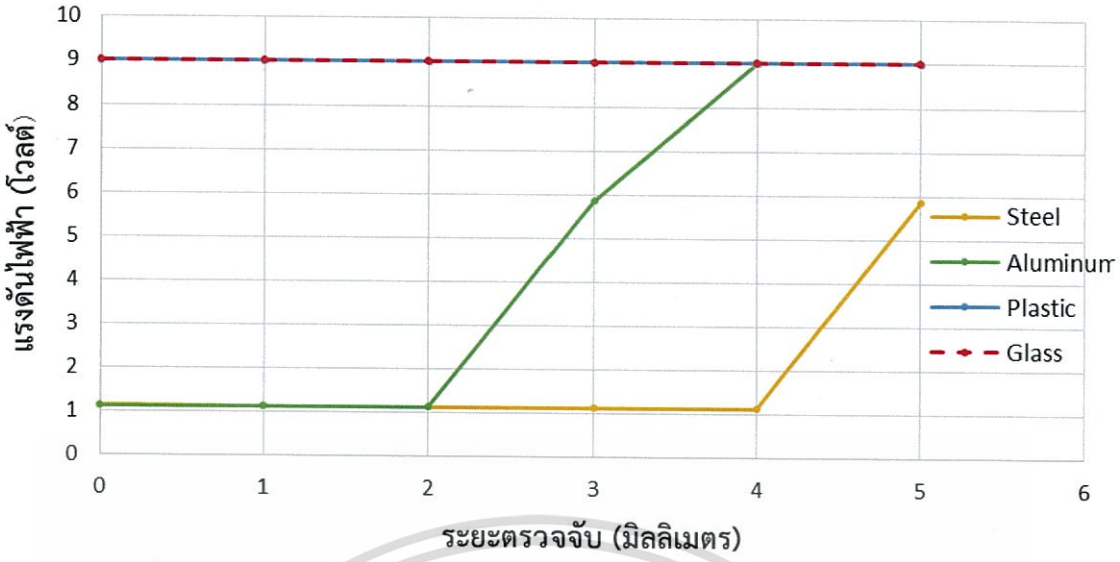
3.2 การคัดแยกประเภท

3.2.1 การแยกกระป๋อง

รูปที่ 3.1 การทดลองการใช้อินดักทีฟ พร๊อกซิมิตี้ เซ็นเซอร์ตรวจโลหะ

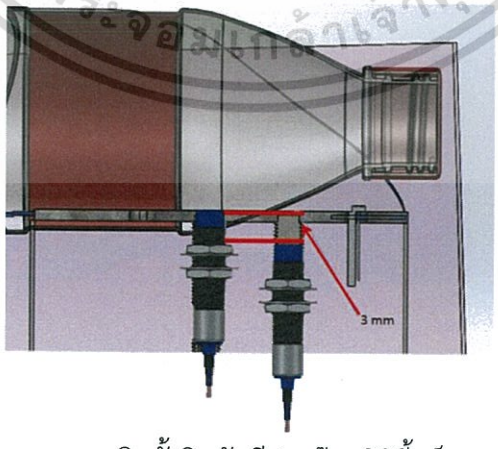
การแยกประเภทกระป๋องโลหะ ใช้อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ (Inductive proximity sensor) โมเดลรุ่น LJ12A3-4-Z/BX (NPN) จำนวน 2 ตัวในการแยก โดยอาศัยค่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่ต่างกันของโลหะประเภทเหล็กและอะลูมิเนียม และได้ทำการทดลอง ตรวจจับเหล็กและอะลูมิเนียมที่ระยะต่าง ๆ ได้ผลการทดลอง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การตรวจจับการแยกประเภทวัตถุของอินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์

จากการทำการทดลองการใช้ Inductive Proximity Sensor ในการตรวจจับวัตถุระยะ 0 - 5 มิลลิเมตร สามารถสรุปผลการทดลองได้ คือ การตรวจจับวัตถุที่เป็นโลหะประเภทเหล็กในระยะตรวจจับ 4 มิลลิเมตร จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเข้าใกล้ 1 โวลต์ แต่วัตถุที่เป็นโลหะประเภทอลูมิเนียมต้องมีการตรวจจับในระยะ 2 มิลลิเมตรจึงจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเข้าใกล้ 1 โวลต์ และหากวัตถุที่เป็นโลหะอยู่นอกเหนือระยะตรวจจับหรือเป็นวัตถุประเภทอื่นที่เป็นอโลหะ จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเข้าใกล้ 9 โวลต์อย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นจึงใช้ค่าที่ได้ออกแบบระยะห่างระหว่าง อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ 2 ตัวในการแยกโลหะประเภทเหล็กและอะลูมิเนียม โดยตั้งระยะห่างระหว่างอินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ ตัวที่ 1 และอินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ ตัวที่ 2 เป็นระยะ 3 มิลลิเมตร ในแนวตั้งจึงจะสามารถแยกเหล็ก อลูมิเนียม และวัตถุที่เป็นอโลหะจำพวกแก้วและพลาสติกได้ จึงออกแบบการติดตั้งได้ดังรูป



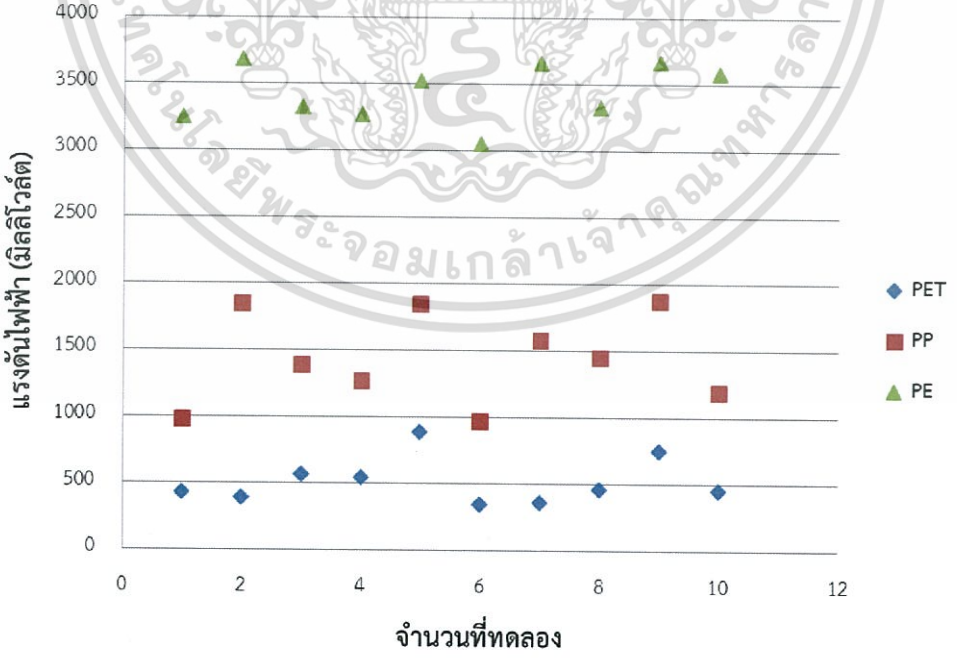
รูปที่ 3.3 การออกแบบการติดตั้งอินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การแยกพลาสติก

รูปที่ 3.4 การทดลองการใช้อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซ็นเซอร์ตรวจโลหะ

การแยกประเภทขวดพลาสติก ใช้เซนเซอร์แสง (Photoelectric sensor) ซึ่งประกอบด้วย เซนเซอร์ตัวส่งแสง(Laser emitter sensor) รุ่น Kayes เป็นตัวส่งแสงไปยังตัวรับ และใช้เซนเซอร์โมดูลรับแสง (Photoresistor module sensor) รุ่น KY-0081 เป็นตัวรับการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่อมีแสงมาตกกระทบเพื่อใช้ในการแยก โดยอาศัยความขุ่น – ใสที่ต่างกันของพลาสติก และได้ทำการทดลองวัดค่าแสงที่ทะลุผ่านขวดพลาสติกแต่ละประเภท ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 3.5 การแยกประเภทขวดพลาสติกโดยใช้เซนเซอร์โมดูลวัดแสง (Photoresistor sensor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง นำขวดพลาสติกชนิดต่างๆไปหาความเข้มแสงที่ส่องผ่านไปยังตัวรับแสง พบว่า ขวดพลาสติกชนิด PET ค่าที่ได้ส่วนมากจะไม่เกิน 1000 มิลลิโวล์ต ซึ่งต่างกับขวดชนิด PP ที่ค่าอยู่ที่ประมาณ 1000 มิลลิโวล์ต ขึ้นไปแต่ไม่เกิน 2500 มิลลิโวล์ต และขวดชนิด HDPE ที่ค่าอยู่ที่ประมาณ 2500 มิลลิโวล์ต ขึ้นไป ดังนั้นจึงใช้ค่าความเข้มแสงที่ 1000 ,2500 มิลลิโวล์ต ในการแยกประเภทขวดพลาสติกแต่ล่ะประเภท

รูปที่ 3.6 การวัดระยะห่างของขวดพลาสติก

จากการสำรวจขวดพลาสติกบรรจุเครื่องดื่มปริมาตร 240 – 600 มิลลิลิตร จำนวน 39 ชนิด โดยทำการวัดระยะห่างระหว่างฝาขวดและฉลาก ได้แสดงระยะห่างระหว่างฝาขวดกับฉลากน้อยที่สุดและความสูงของฝากมากที่สุด ดังนี้

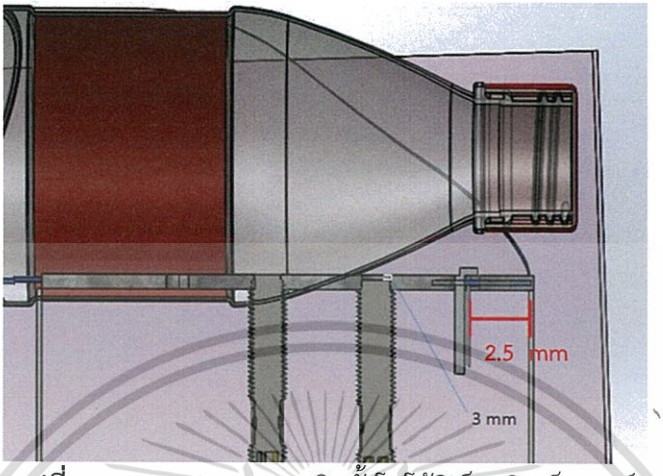
ตารางที่ 3.1 ผลการสำรวจขวดพลาสติกบรรจุเครื่องดื่มปริมาตร 240 – 600 มิลลิลิตร

ระยะห่าง	Max	Min
A	2.1	1
B	9	1

จากผลการสำรวจระยะห่างระหว่างฝาขวดกับฉลาก พบว่า มีระยะห่างระหว่างฝาขวดกับฉลาก (B)ระหว่าง 1 - 2.1 เซนติเมตร และความสูงของฝา(A)ระหว่าง 1- 9 เซนติเมตร ดังนั้นจึงออกแบบระยะการตรวจจับของเลเซอร์แสงให้ตรวจจับจากระยะห่างที่น้อยที่สุดที่ 1 เซนติเมตร คิดกับความสูงของฝาที่มากที่สุดที่ระยะ 2.1 เซนติเมตร พื้นที่ติดเซนเซอร์ตรวจจับจึงอยู่ในระหว่าง 1 – 3.1 เซนติเมตร ดังนั้น จึงเลือกติดเซ็นเซอร์ตรวจจับตรงตำแหน่ง 2.5 เซนติเมตร เพราะเป็นระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครอบคลุมที่ขวดทุกประเภทจะโดนตรวจจับในระยะที่ไม่โดนทั้งฝาขวดและฉลาก จึงออกแบบการติดตั้งได้ดังรูป



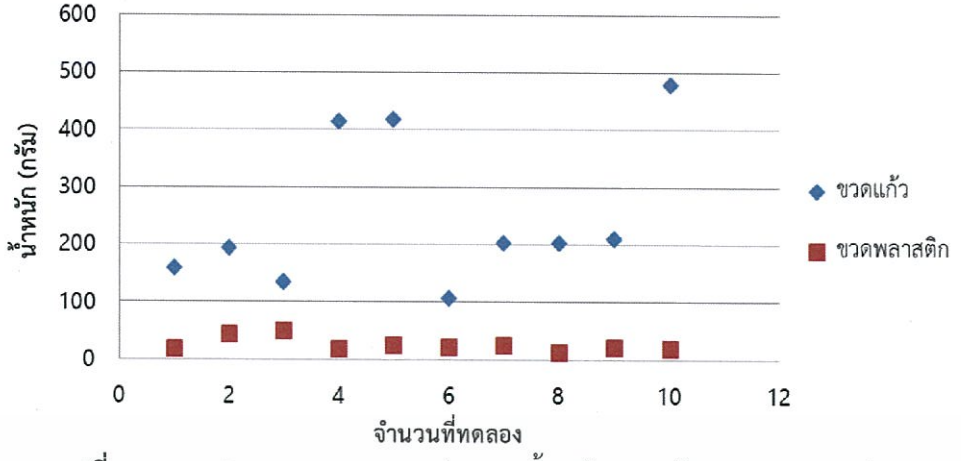
รูปที่ 3.7 การออกแบบการติดตั้งโฟโต้อิเล็กตริคเซ็นเซอร์

3.2.3 การแยกแก้ว

รูปที่ 3.8 การทดลองการหาน้ำหนักของขวด

จากผลสำรวจน้ำหนักของขวดแก้วและขวดพลาสติกขนาดปริมาตร 250-600 มิลลิลิตร จำนวน 20 ชนิด โดยทำการชั่งน้ำหนักขวดพลาสติกและขวดแก้วด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก ได้ข้อมูลดังตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

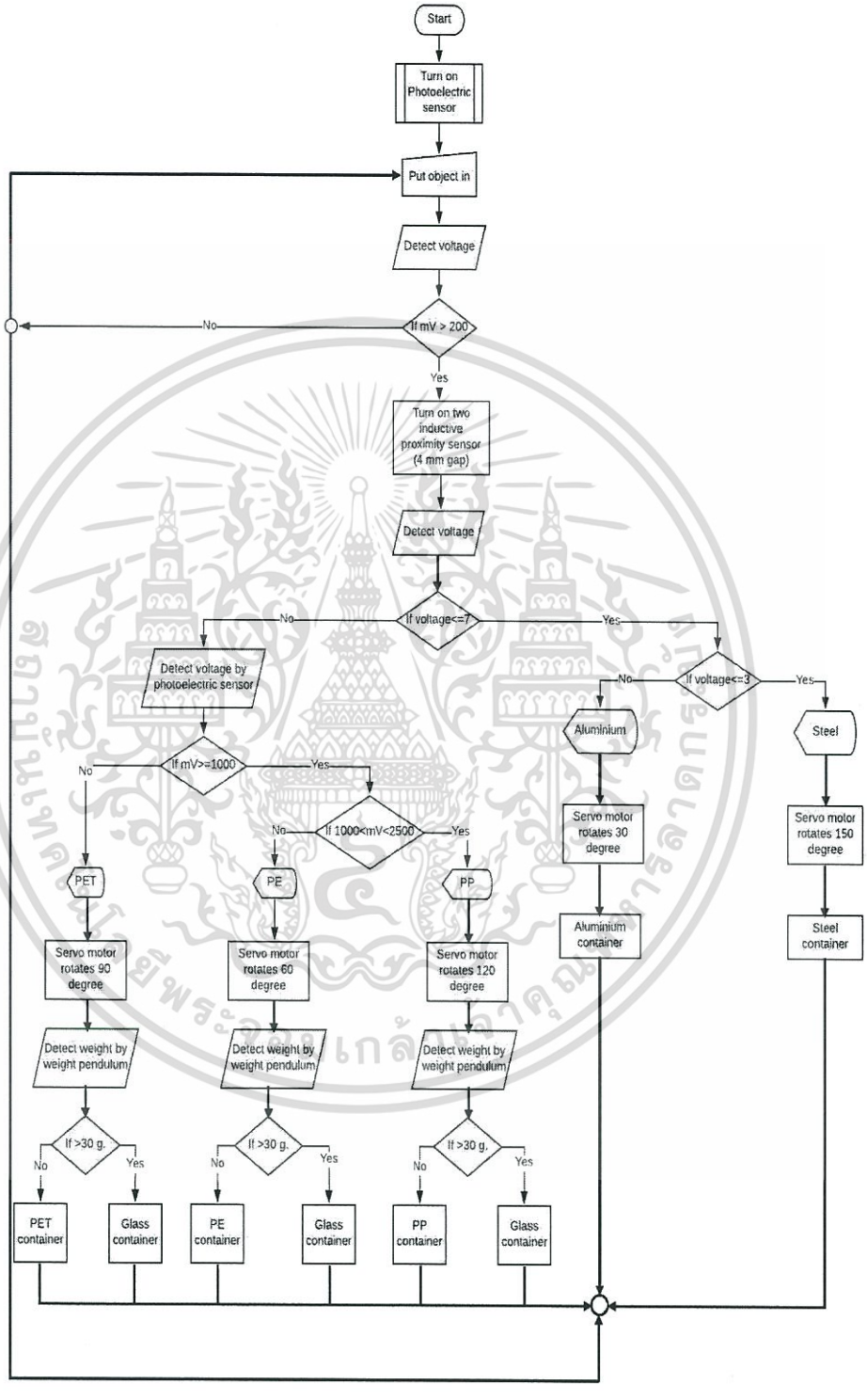


รูปที่ 3.9 กราฟแสดงผลความแตกต่างของน้ำหนักขวดแก้วและขวดพลาสติก

จากผลการทดลองจะได้ค่าความแตกต่างของน้ำหนักขวดแก้วและขวดพลาสติก สามารถนำน้ำหนักที่แตกต่างกันของขวด 2 ประเภท มาคำนวณหาน้ำหนักของลูกตุ้มได้ตามหลักการโมเมนตัม (Momentum) ตามขนาดความยาวของคานที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องคัดแยกบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วอัตโนมัติ



รูปที่ 3.10 แผนภูมิการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเครื่องเริ่มจาก การตรวจจับวัตถุที่เข้ามาภายในระบบด้วยเซนเซอร์แสง (Photoelectric sensor) โดยอาศัยค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า เมื่อมีวัตถุมาขวางแสงที่ออกจากเซนเซอร์ ส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาเปลี่ยน โดยเงื่อนไขคือ ถ้าแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 200 มิลลิโวลต์ หมายถึงมีวัตถุเข้ามาในระบบแล้ว จากนั้น อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซ็นเซอร์ (Inductive proximity sensor) ทำการตรวจจับวัตถุที่เป็นโลหะ โดยอาศัยค่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กของวัตถุ เงื่อนไขคือ ถ้าแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 โวลต์ หมายถึงวัตถุเป็นโลหะ และทำการตรวจประเภทของโลหะต่อ โดยใช้ อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ (Inductive proximity sensor) เช่นเดิม โดยเงื่อนไขคือ ถ้าแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 โวลต์ หมายถึงวัตถุนั้นเป็นอะลูมิเนียม จากนั้นเซอร์โวมอเตอร์ (servo motor) จะหมุนทำมุม 30 องศากับแนวระดับ ถ้าแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 3 โวลต์ หมายถึงวัตถุนั้นเป็นเหล็ก จากนั้นเซอร์โวมอเตอร์ (servo motor) จะหมุนทำมุม 150 องศากับแนวระดับ แต่ถ้าค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากอินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ (Inductive proximity sensor) ในครั้งแรกมากกว่า 7 โวลต์ หมายถึงวัตถุนั้นไม่ใช่โลหะแต่เป็นพลาสติก และทำการตรวจประเภทของพลาสติกต่อ ด้วยเซนเซอร์แสง (Photoelectric sensor) โดยอาศัยความขุ่นใสที่แตกต่างกันของวัตถุแต่ละประเภท มีสองเงื่อนไขคือ เงื่อนไขแรก ถ้าแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 1000 มิลลิโวลต์ หมายถึงเป็นพลาสติกชนิด PET จากนั้นเซอร์โวมอเตอร์ (servo motor) จะอยู่ที่มุม 90 องศากับแนวระดับหรืออยู่กับที่ ถ้าแรงดันไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 1000 มิลลิโวลต์ จะเข้าเงื่อนไขที่สอง คือ ถ้าแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 1000 แต่น้อยกว่า 2500 มิลลิโวลต์ หมายถึงเป็นพลาสติกชนิด PP จากนั้นเซอร์โวมอเตอร์ (servo motor) จะหมุนทำมุม 120 องศากับแนวระดับ ถ้ามากกว่า 2500 มิลลิโวลต์ หมายถึงเป็นพลาสติกชนิด PE จากนั้นเซอร์โวมอเตอร์ (servo motor) จะหมุนทำมุม 60 องศากับแนวระดับ และถ้านำวัตถุที่เป็นขวดแก้วเข้ามาในระบบ ระบบจะตรวจประเภทเป็นพลาสติกและถูกแยกประเภทตามความขุ่นใสของแก้ว แต่จะถูกแยกออกจากขวดพลาสติกโดยใช้ตุ้มถ่วงน้ำหนัก โดยอาศัยน้ำหนักที่มากกว่าของขวดแก้ว เงื่อนไขคือ ถ้าน้ำหนักมากกว่า 30 กรัม หมายถึงเป็นขวดแก้ว จากนั้นแผ่นพลาสวูดที่ทำหน้าคล้ายคานกระดกจะกระดกลงและวัตถุจะไหลลงสู่ถังแก้วที่รองรับไว้

3.4 ทฤษฎีในการออกแบบ

คุณสมบัติทางกายภาพ

วัสดุแต่ละชนิด จะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็น ความแข็ง ความเหนียว ความเปราะ ความยืดหยุ่น น้ำหนัก รวมไปถึงความขุ่นใส ซึ่งคุณสมบัติต่างๆจะเป็นตัวกำหนดหน้าที่และการใช้งานของวัสดุแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเหนี่ยวนำ

หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำเนิดขึ้นจากวงจรออสซิลเลเตอร์ โดยกำเนิดสัญญาณส่งให้ขดลวดซึ่งพันอยู่บนแกนเฟอร์ไรท์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น เมื่อมีวัตถุเป้าหมายซึ่งต้องเป็นโลหะเท่านั้นเคลื่อนที่เข้ามาบริเวณส่วนตรวจจับ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำในวัตถุที่ต้องการตรวจจับ ทำให้เกิดมีกระแสไหลวน (eddy current) ขึ้นภายในวัตถุ หรือวัตถุเป้าหมายทำการดูดซับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จนเมื่อถึงจุด ๆ หนึ่งที่วัตถุเป้าหมายได้ดูดซับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจนหมด หรือเกิดการเหนี่ยวนำมากที่สุด วงจรออสซิลเลเตอร์จะหยุดทำงาน จากนั้นวงจรทริกเกอร์จะทำงานและให้สัญญาณทางด้านเอาต์พุตออกมา

3.4.1 การออกแบบเครื่องคัดแยกบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วอัตโนมัติ

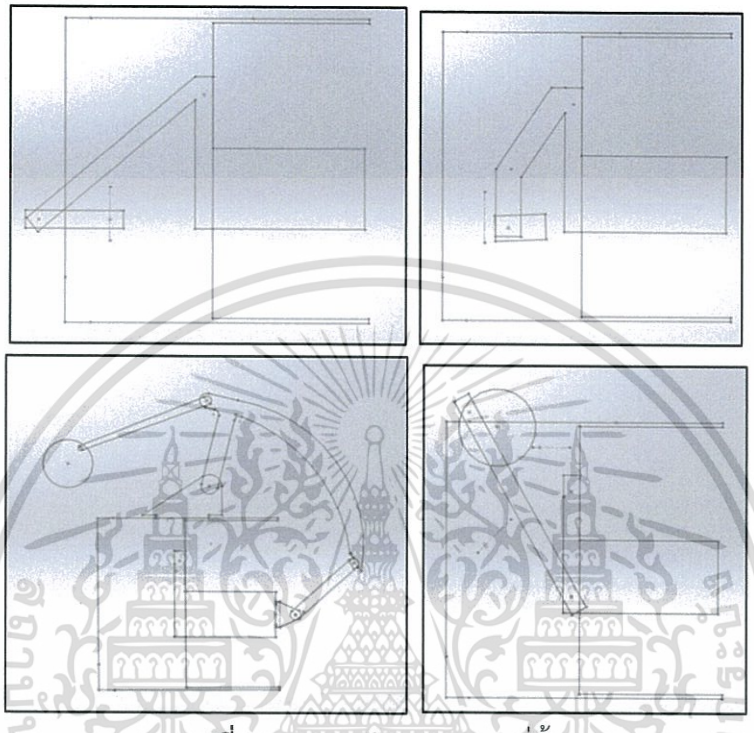
ในการออกแบบเครื่อง จำเป็นต้องทำการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นต่างๆของบรรจุภัณฑ์ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบระบบคัดแยกชนิดของบรรจุภัณฑ์ การรองรับขวดที่ใส่เข้ามาและขนาดของเครื่องในส่วนต่างๆ รวมทั้งศึกษาเครื่องรีไซเคิลบรรจุภัณฑ์น้ำดื่ม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการหาวิธีคัดแยกที่ใกล้เคียง และสามารถเป็นไปได้มากที่สุด โดยจากการศึกษาระบบเครื่องรีไซเคิลแบบต่างๆ พบว่าส่วนมากใช้หลักการแม่เหล็ก, X-ray, Nlr และระบบลม ในการแยกวัสดุต่างๆออกจากกัน ซึ่งระบบคัดแยกที่เลือกใช้คืออินดักทีฟพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Inductive proximity sensor) ที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการแยกกระป๋องออกจากขวดพลาสติก และเนื่องจากการแยกชนิดของขวดพลาสติกเป็นไปได้ยาก และมีราคาค่อนข้างสูง จึงเลือกใช้สิ่งที่ใกล้เคียงที่สุด คือ Photo electric sensor จากการสังเกตความแตกต่างด้านความขุ่นของขวดพลาสติกส่วนมาก และจากน้ำหนักที่แตกต่างกันของขวดแก้วและขวดพลาสติก จึงสามารถใช้การถ่วงน้ำหนักในการคัดแยกได้

จากนั้นได้สร้างแบบจำลองขึ้นเพื่อทดสอบหลักการที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้เหล็กแผ่นในการสร้างโครงกล่องบางส่วน ใช้ไม้ในการสร้างช่องและโครงส่วนที่เหลือ ใช้กระดาษแข็งและแผ่นพลาสติกในการทำกล่องใส่เซนเซอร์ และนำแผ่นอะคริลิกมาดัดงอให้เป็นทรงครึ่งวงกลมเพื่อรองรับขวด ดังรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 กล่องทดสอบวงจรและการคัดแยก

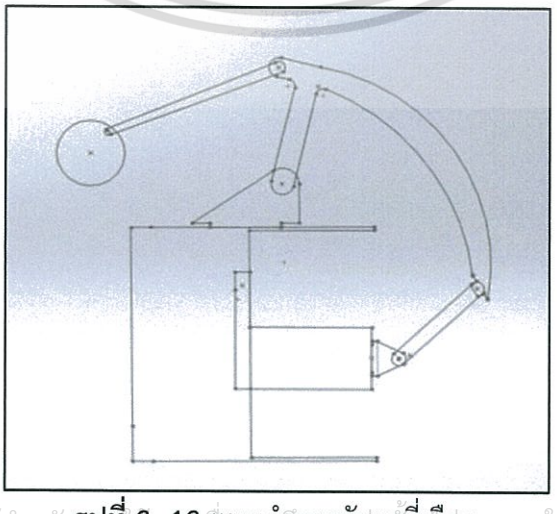
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบพบว่า วงจรสารมารถคัดแยกชนิดของขวดและกระป๋องได้จริง โดยกำหนดตำแหน่งของเซนเซอร์แต่ละตัวไว้ตามที่ได้ศึกษาและออกแบบ แล้วจึงออกแบบการเปิดปิดของแผ่นกั้นในรูปแบบต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แบบจำลองการยกที่กั้น

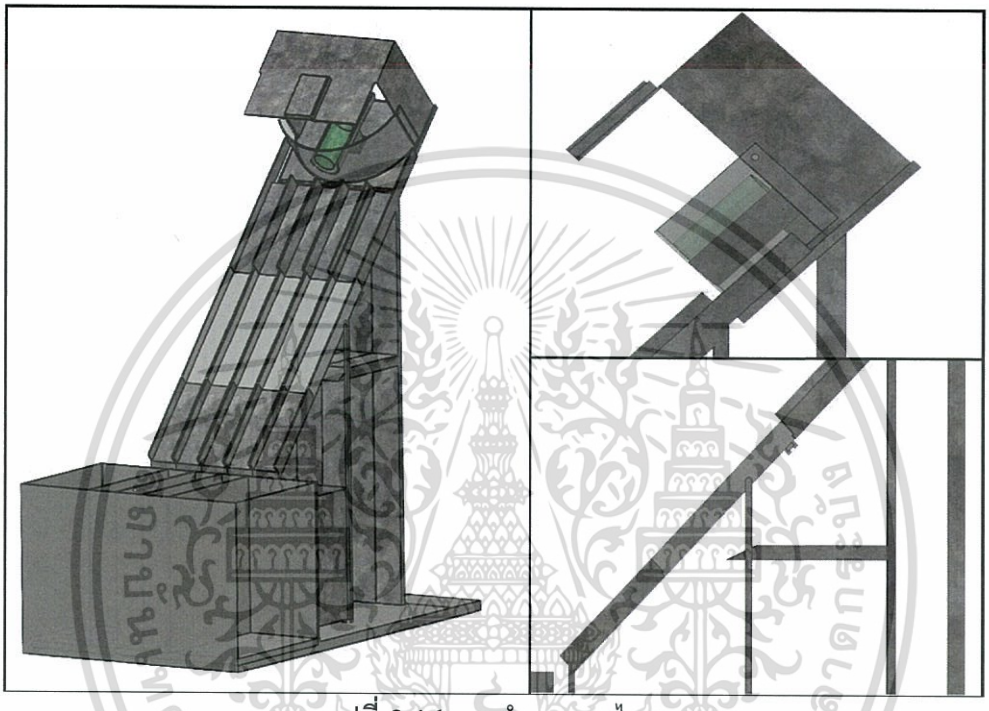
จากการลองแบบจำลองในรูปแบบต่างๆ แบบจำลองที่เลือกใช้และสามารถยกได้จริง คือแบบที่ 3 ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3. 13 แบบจำลองตัวยกที่เลือก

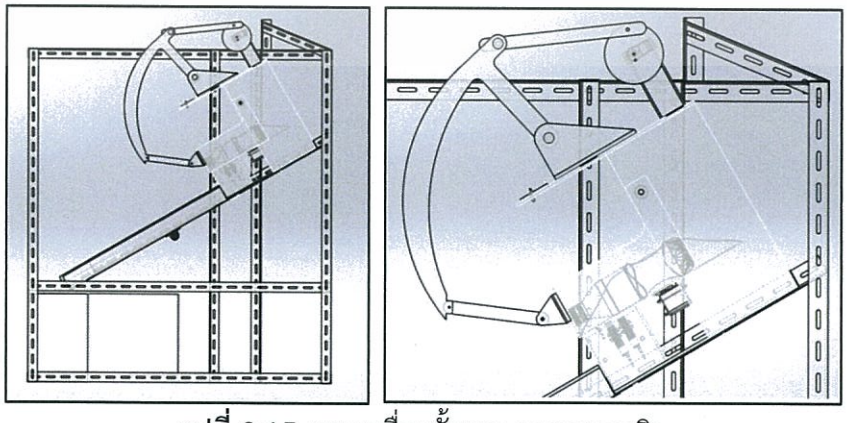
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อการตรวจจับ และการไหลที่ดีของบรรจุภัณฑ์ จึงจำเป็นต้องเลือกมุมเอียงที่เหมาะสมในการเอียงกล่องระบบตรวจจับ และรางลำเลียงบรรจุภัณฑ์ โดยออกแบบเครื่องให้ขวดและกระป๋องสามารถไหลไปยังบริเวณที่มีการตรวจวัด เพื่อให้เครื่องสามารถตรวจจับ และระบุชนิดของบรรจุภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน และการไหลไปยังถังเก็บขวดเป็นไปได้ง่ายขึ้น จากโปรแกรมเขียนแบบเพื่อจำลองการไหลของขวดดังรูปที่ 3.14 ซึ่งมุมที่เหมาะสมและง่ายต่อการสร้างคือ 30 องศา



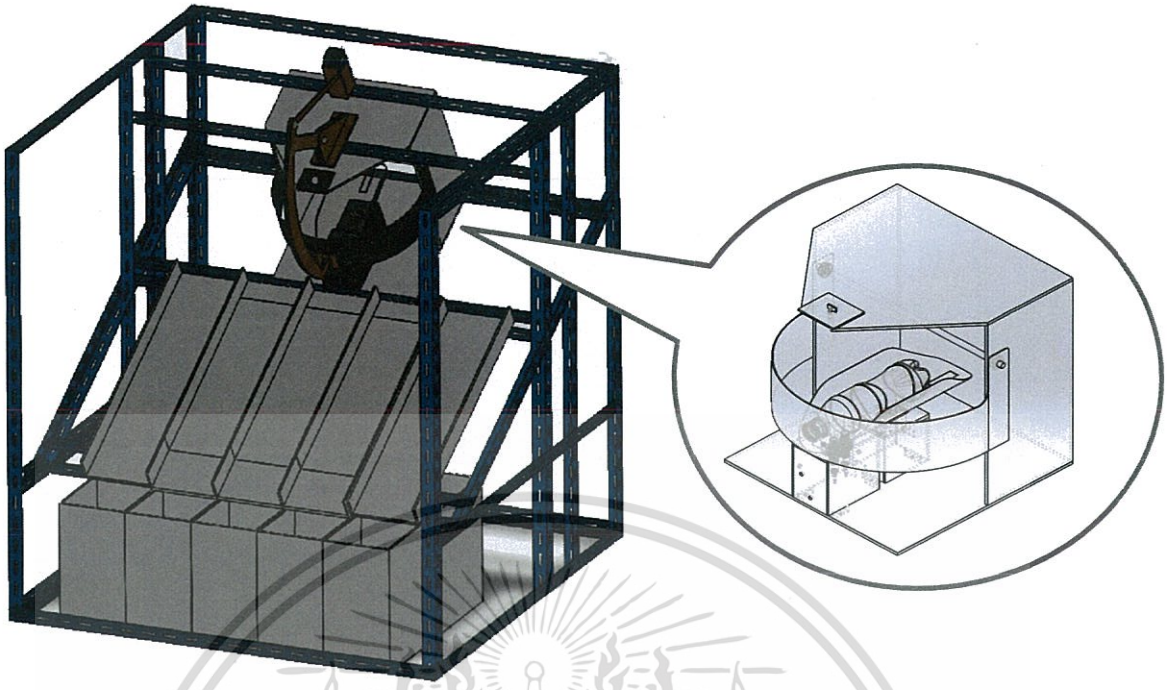
รูปที่ 3.14 การจำลองการไหล

จากนั้นจึงวัดขนาดกล่องทดสอบและแบบจำลองแล้วนำไปวาดในโปรแกรมเขียนแบบโดยใช้อัตราส่วนเท่ากับขนาดจริง ดังรูปที่ 3.15

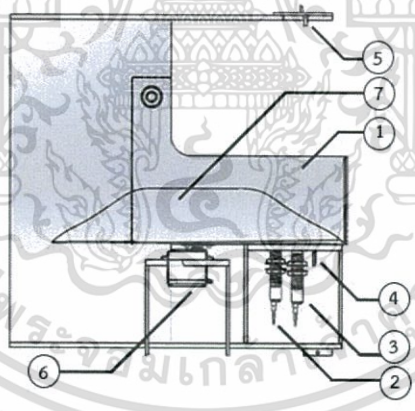


รูปที่ 3.15 แบบเครื่องทั้งหมดตามขนาดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



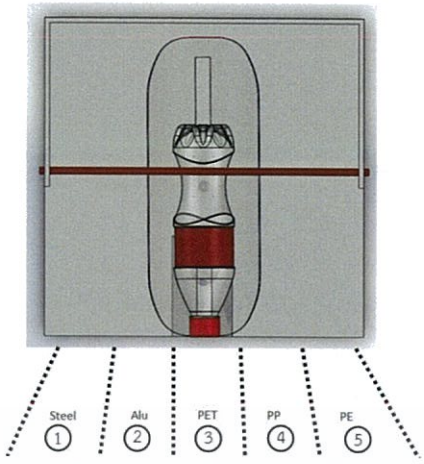
รูปที่ 3.16 รูปแบบแปลนโครงสร้างเครื่องและส่วนระบบการคัดแยก



รูปที่ 3.17 รูปโครงสร้างของส่วนระบบคัดแยก

1. แผ่นกั้นขวด: สำหรับเปิด – ปิด ขวดให้ไหลตามท่อ
2. อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซ็นเซอร์ตัวที่ 1: สำหรับตรวจจับกระป๋องโลหะ
3. อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซ็นเซอร์ตัวที่ 2: สำหรับสำหรับกระป๋องโลหะ
4. เซนเซอร์โมดูลรับแสง: สำหรับตรวจจับชนิดพลาสติก
5. เซนเซอร์ตัวส่งแสง: สำหรับส่งแสงไปยังโมดูลรับแสง
6. เซอร์โวมอเตอร์: สำหรับหมุนตามองศาที่กำหนด
7. แผ่นรองรับวัตถุ: สำหรับรองรับบรรจุภัณฑ์ที่เข้ามาในเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 รูปจำลองการคัดแยกตามทิศทางของเครื่อง

1.ช่องทางการไหลของกระป๋องเหล็ก

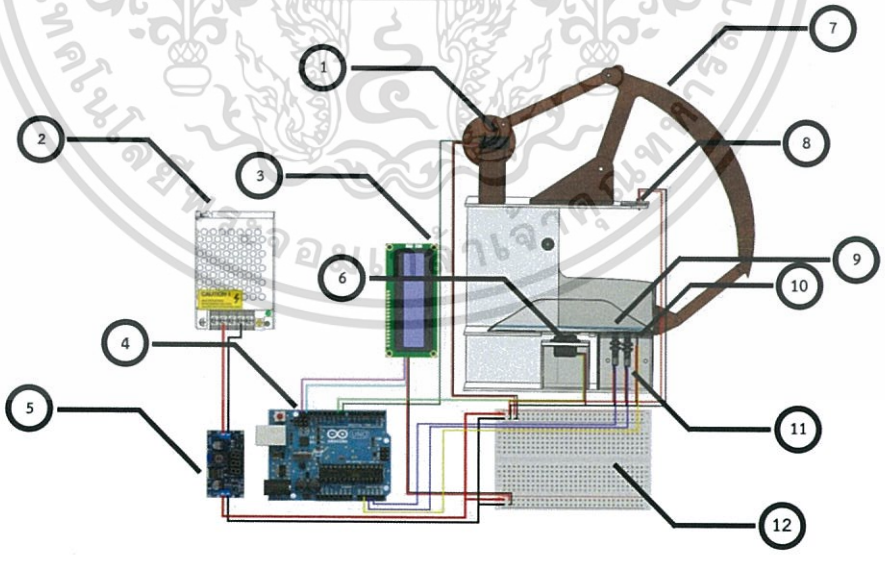
2.ช่องทางการไหลของขวดพลาสติกชนิด PP และขวดแก้ว

3.ช่องทางการไหลของขวดพลาสติกชนิด PET และขวดแก้ว

4.ช่องทางการไหลของขวดพลาสติกชนิด PE และขวดแก้ว

5.ช่องทางการไหลของกระป๋องอลูมิเนียม

3.4.2 การต่อวงจรในส่วนระบบการคัดแยก



รูปที่ 3.19 การต่อวงจรในส่วนระบบการคัดแยก

1.เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1: สำหรับยกคานยก

2.หน้าจอ LCD: สำหรับแสดงผลลัพธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.แหล่งจ่ายไฟ

4.บอร์ดอดูโน่

5.ตัวแปลงแรงดันไฟฟ้า

6.คานยกแผ่นกั้นขวด

7.เซนเซอร์ตัวส่งแสง: สำหรับส่งแสงไปยังโมดูลรับแสง

8.เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 2: สำหรับหมุนตามองศาที่กำหนด

9.อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ตัวที่ 1: สำหรับตรวจจับกระป๋องโลหะ

10.เซนเซอร์โมดูลรับแสง: สำหรับตรวจจับชนิดพลาสติก

11.อินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ตัวที่ 2: สำหรับสำหรับกระป๋องโลหะ

12.โพรโต้บอร์ด: สำหรับกระจายสัญญาณไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

บทนี้จะทำการทดลองการคัดแยกประเภทด้วยเครื่องคัดแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้ว เมื่อมีวัตถุเข้ามาจะทำการตรวจจับวัตถุ และตรวจจับวัตถุประเภทกระป๋องโลหะ ประเภทขวดพลาสติก และการคัดแยกประเภทขวดแก้ว จะถูกลำเลียงและแบ่งแยกไปตามทิศทางของช่องบรรจุวัตถุประเภทนั้นๆ

4.2 ผลการทดลอง

ทำการวางวัตถุลงไปในช่องทางเข้าของเครื่องคัดแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม และทำการบันทึกผลการทดลองผลที่ได้จากโปรแกรม Arduino หรือจอแสดงผล LCD ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองตรวจจับวัตถุ, ตรวจจับประเภท และตรวจจับทิศทาง

ยี่ห้อ	จำนวนครั้งที่ตรวจจับได้ (ทั้งหมด 5 ครั้ง)	จำนวนครั้งที่ตรวจจับถูกประเภท (ทั้งหมด 5 ครั้ง)	จำนวนครั้งที่ทิศทางถูกต้อง (ทั้งหมด 5 ครั้ง)
Crystal (PET)	3	5	5
Cocacola (PET)	5	5	5
Sprite (PET)	5	1	5
Unif green tea (PET)	5	2	5
Ichiton yellow (PET)	4	5	5
Strawberry (PP)	5	5	5
Tofusan (PP)	5	5	5
P-fresh (PP)	5	2	5
Honey lemon (PP)	5	5	5
Juizy (PP)	5	3	5
Ovaltine (PE)	5	5	5
Party dairy (PE)	5	5	5
Dutchy coffee (PE)	5	5	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยี่ห้อ	จำนวนครั้งที่ตรวจจับได้	จำนวนครั้งที่ตรวจจับถูกประเภท	จำนวนครั้งที่ทิศทางถูกต้อง
Dutchy coffee4in1 (PE)	5	5	5
Betagen (PE)	5	5	5
Zola (Steel)	5	5	5
Birdy (Steel)	5	5	5
Nescafe (Steel)	5	5	5
Bear band (Steel)	5	3	5
Milo (Steel)	5	4	5
Schawppes (Alu)	5	5	5
Pepsi (Alu)	5	5	5
Coke (Alu)	5	5	5
Fanta (Alu)	5	5	5
Schweppes (Alu)	5	5	5
Vitamilk (Glass)	5	5	5
Lipo (Glass)	5	5	3
M 150 (Glass)	5	5	2
Lipton (Glass)	5	5	5
Crystal (Glass)	5	5	5

จากการทดลองการคัดแยกประเภทบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม ด้วยแบบจำลองเครื่องคัดแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วอัตโนมัติ พบว่า

การตรวจจับวัตถุด้วยเซนเซอร์แสง (Photoelectric sensor) โดยทดลองกับขวด PET จำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถตรวจจับวัตถุได้จำนวน 22 ครั้ง ทดลองกับขวด PP จำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถตรวจจับวัตถุได้จำนวน 25 ครั้ง ทดลองกับขวด PE จำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถตรวจจับวัตถุได้จำนวน 25 ครั้ง ทดลองกับกระป๋องเหล็ก จำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถตรวจจับวัตถุได้จำนวน 25 ครั้ง ทดลองกับกระป๋องอะลูมิเนียมจำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถตรวจจับวัตถุได้จำนวน 25 ครั้ง และทดลองกับขวดแก้วจำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถตรวจจับวัตถุได้จำนวน 25 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจจับประเภทด้วยเซนเซอร์แสง (Photoelectric sensor) โดยทดลองกับขวด PET จำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถตรวจจับวัตถุถูกประเภทได้จำนวน 18 ครั้ง ทดลองกับขวด PP จำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถตรวจจับวัตถุถูกประเภทได้จำนวน 20 ครั้ง ทดลองกับขวด PE จำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถตรวจจับวัตถุได้จำนวน 25 ครั้ง ทดลองกับขวดแก้วจำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถตรวจจับวัตถุได้จำนวน 25 ครั้ง และตรวจจับประเภทด้วยอินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ (Inductive proximity sensor) โดยทดลองกับกระป๋องเหล็ก จำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถตรวจจับวัตถุถูกประเภทได้จำนวน 22 ครั้ง ทดลองกับกระป๋องอะลูมิเนียมจำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถตรวจจับวัตถุถูกประเภทได้จำนวน 25 ครั้ง

การบังคับทิศทางตามประเภทด้วยเซอร์โวมอเตอร์ (servo motor) โดยองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ขึ้นกับประเภทของวัตถุที่ตรวจจับ โดยทดลองกับขวด PET จำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถหมุนทิศทางถูกต้องจำนวน 25 ครั้ง ทดลองกับขวด PP จำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถหมุนทิศทางถูกต้องจำนวน 25 ครั้ง ทดลองกับขวด PE จำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถหมุนทิศทางถูกต้องจำนวน 25 ครั้ง ทดลองกับกระป๋องเหล็ก จำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถหมุนทิศทางถูกต้องจำนวน 25 ครั้ง ทดลองกับกระป๋องอะลูมิเนียมจำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถหมุนทิศทางถูกต้องจำนวน 25 ครั้ง และการใช้คานกระดกแยกทิศทางของขวดแก้วจำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 25 ครั้ง พบว่าสามารถแยกทิศทางถูกต้องจำนวน 20 ครั้ง

ตารางที่ 4.2 การทำงานของเครื่องคัดแยก

ประเภท	เวลาการตรวจจับวัตถุ(วินาที)	เวลาการตรวจประเภทวัตถุ (วินาที)	เวลาเปิดแผ่นกั้น (วินาที)	เวลาวัตถุไหลลงถัง (วินาที)	เวลารวม (วินาที)
ขวด PET	1	1.80 ± 0.41[a]	1	1	4.80± 0.41[a]
ขวด PE	1	1.72 ± 0.46[a]	1	1	4.72± 0.46[a]
ขวด PP	1	1.84 ± 0.37[a]	1	1	4.84± 0.37[a]
กระป๋องเหล็ก	1	1.48 ± 0.51[a]	1	1.48 ± 0.51[a]	4.96± 0.43[a]
กระป๋องอะลูมิเนียม	1	1.68 ± 0.56[a]	1	1.52 ± 0.51[a]	5.16± 0.46[a]
ขวดแก้ว	1	1.80 ± 0.41[a]	1	1.68 ± 0.48[a]	5.48± 0.49[a]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองการคัดแยกประเภทบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม ด้วยแบบจำลองเครื่องคัดแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วอัตโนมัติ ได้ทำการจับเวลาการตรวจจับวัตถุ เวลาการตรวจประเภทวัตถุ เวลาเปิดแผ่นกั้น และเวลาไหลลงถังของวัตถุ พบว่า

เวลาการตรวจจับวัตถุ ขวดและกระป๋องทุกประเภทมีเวลาเท่ากันคือ 1 วินาที

เวลาการตรวจประเภทวัตถุ ขวด PET มีเวลาอยู่ที่ 1.8 ± 0.41^{a} วินาที ขวด PE มีเวลาอยู่ที่ 1.72 ± 0.46^{a} ขวด PP มีเวลาอยู่ที่ 1.84 ± 0.37^{a} วินาที กระป๋องเหล็ก มีเวลาอยู่ที่ 1.48 ± 0.51^{a} กระป๋องอะลูมิเนียม มีเวลาอยู่ที่ 1.68 ± 0.56^{a} วินาที และขวดแก้ว มีเวลาอยู่ที่ 1.80 ± 0.41^{a} วินาที

เวลาเปิดแผ่นยก ขวดและกระป๋องทุกประเภทมีเวลาเท่ากันคือ 1 วินาที

และเวลาไหลของวัตถุลงถัง ขวด PET PE และPP มีเวลาที่เท่ากันคือ 1 วินาที กระป๋องเหล็ก มีเวลาอยู่ที่ 1.48 ± 0.51^{a} วินาที กระป๋องอะลูมิเนียม มีเวลาอยู่ที่ 1.52 ± 0.51^{a} วินาที และขวดแก้ว มีเวลาอยู่ที่ 1.68 ± 0.48^{a} วินาที

4.3 ประสิทธิภาพการคัดแยก

นำผลการทดลองการตรวจจับวัตถุ การตรวจจับประเภทวัตถุ และการแยกประเภทตามทิศทาง ได้ดังนี้

ตารางที่ 4. 3 ตารางสรุปประสิทธิภาพในการตรวจจับ

ที่	ประสิทธิภาพในการตรวจจับ	ร้อยละ
1	ประสิทธิภาพตรวจจับวัตถุ	99.87
2	ประสิทธิภาพตรวจจับกระป๋องเหล็ก	88.00
3	ประสิทธิภาพตรวจจับกระป๋องอลูมิเนียม	100.00
4	ประสิทธิภาพตรวจจับขวดพลาสติก PET	72.00
5	ประสิทธิภาพตรวจจับขวดพลาสติก PP	80.00
6	ประสิทธิภาพตรวจจับขวดพลาสติก PE	100.00
7	ประสิทธิภาพการแยกขวดแก้ว	80.00
8	ประสิทธิภาพการแยกประเภทตามทิศทาง	86.67
ประสิทธิภาพรวมของเครื่อง		88.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 บทสรุป

จากการทดลองแยกประเภทขวดพลาสติก กระป๋องโลหะ และขวดแก้วด้วยเครื่องคัดแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วอัตโนมัติ โดยทดลองกับขวด PET จำนวน 5 ขวด ขวด PP จำนวน 5 ขวด ขวด PE จำนวน 5 ขวด กระป๋องโลหะ จำนวน 5 กระป๋อง กระป๋องอะลูมิเนียม จำนวน 5 กระป๋อง และขวดแก้ว 5 ขวด รวมทั้งสิ้น 30 ชิ้น ทดลอง 5 ซ้ำ ทำให้ได้ผลการทดลองจำนวน 150 ครั้ง โดยพิจารณาประสิทธิภาพรวม แบ่งเป็นการตรวจจับวัตถุมีประสิทธิภาพร้อยละ 99.87 การทดลองกระป๋องเหล็กมีประสิทธิภาพการตรวจจับร้อยละ 88.0 กระป๋องอลูมิเนียมมีประสิทธิภาพการตรวจจับร้อยละ 100.0 ขวด PET มีประสิทธิภาพการตรวจจับ 72.0 ขวด PP มีประสิทธิภาพการตรวจจับร้อยละ 80.0 ขวด PE มีประสิทธิภาพการตรวจจับร้อยละ 100.0 มีประสิทธิภาพคัดแยกขวดแก้วร้อยละ 80.0 และประสิทธิภาพการแยกประเภทตามทิศทางร้อยละ 86.67

จากการทดลองจับเวลาในการคัดแยก สามารถแบ่งได้โดยวัตถุประเภทขวด PET 1 ขวด ใช้เวลา 4.80 ± 0.41^{a} วินาที ประเภทขวด PP 1 ขวด ใช้เวลา 4.72 ± 0.46^{a} วินาที ประเภทขวด PE 1 ขวด ใช้เวลา 4.84 ± 0.37^{a} วินาที และกระป๋องเหล็ก 1 กระป๋อง ใช้เวลา 4.96 ± 0.43^{a} วินาที กระป๋องอลูมิเนียม 1 กระป๋อง ใช้เวลา 5.16 ± 0.46^{a} วินาที และขวดแก้ว 1 ขวด ใช้เวลา 5.48 ± 0.49^{a} วินาที

จากการทำการทดลองในการแยกประเภทขวดพลาสติก กระป๋องโลหะ และขวดแก้วด้วยการใช้เซนเซอร์ในการตรวจจับและลูกตุ้มถ่วงน้ำหนักในการคัดแยกโดยมีระบบควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของเครื่องให้มีการงานสัมพันธ์กัน สามารถสรุปได้ว่าเครื่องคัดแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วอัตโนมัติมีประสิทธิภาพในการทำงานโดยรวมอยู่ที่ร้อยละ 88.32 ซึ่งสามารถคัดแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วประเภทกระป๋องเหล็ก กระป๋องอลูมิเนียม ขวดพลาสติก PET ขวดพลาสติก PE ขวดพลาสติก PP และขวดแก้ว ออกจากกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

จากการทดลอง มีปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นทำให้มีค่าความผิดพลาดส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง เช่น

- การตรวจจับวัตถุ

ส่วนมากค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมาจากการใส่ขวดพลาสติก PET ทางก้นขวดที่มีความโปร่งใสเพียงอย่างเดียว ทำให้ไม่เกิดการตรวจจับเนื่องจากโฟโต้อิเล็กทริคเซนเซอร์ไม่สามารถแยกวัตถุขาเข้าได้ แต่หากใส่ขวดพลาสติกทางหัวขวดจะมีฝาขวดหรือข้อต่อที่มีความโปร่งใสที่แตกต่างจากตัวขวด ทำให้สามารถตรวจจับได้ปกติ

- การตรวจจับประเภท

เกิดจากการตรวจจับขวดพลาสติก PET มีค่าความผิดพลาดมาจากขวดมีน้ำ ขวดมีหลอด และขวดมีสี ส่งผลให้เกิดการตรวจจับของโฟโต้อิเล็กตริคเซนเซอร์ผิดพลาดเกิดจากการตรวจจับขวดพลาสติก PP มีค่าความผิดพลาดมาจากขวดบางขวดมีความใสใกล้ย่านความโปร่งใสของขวดพลาสติก PET ส่งผลให้การตรวจจับของโฟโต้อิเล็กตริคเซนเซอร์ผิดพลาดและเกิดจากการตรวจจับของกระป๋องเหล็ก มีค่าความผิดพลาดมาจาก ขวดที่มีลักษณะบุบ ไม่ราบเรียบ และไม่เป็นทรงกลม ส่งผลให้การตรวจจับของอินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์ผิดพลาด

- การแยะประเภทตามทิศทาง

เกิดจากการการตรวจจับการแยกประเภทที่มีการตรวจจับผิดพลาด ทำให้วัตถุประเภทนั้นมีการคัดแยกไปในช่องทางลำเลียงที่ผิด และการคัดแยกขวดแก้วออกจากขวดพลาสติกมีความผิดพลาดเนื่องจากขวดแก้วบางขวดมีน้ำหนักเบาและไม่กระดกลงไปในช่องที่เตรียมไว้

- ปัญหาการต่อวงจร

การใช้อุปกรณ์ไม่ถูกต้อง เสียบสายต่ออุปกรณ์ไม่ถูกต้องทำให้อุปกรณ์เสียหาย และการต่อสายหลวมทำให้อุปกรณ์ไม่ทำงาน

- ขวดติดไม่ลงตามราง ติดระหว่างราง

เป็นผลมาจากการออกแบบองศาการแยกทิศทางที่อยู่ในแนวระดับมากเกินไปทำให้ขวดบางขวดไม่สามารถไหลไปได้ตามต้องการหรือติดอยู่ที่เครื่อง

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการทำเครื่องคัดแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วอัตโนมัติ ควรเลือกใช้เซนเซอร์ที่มีความเสถียรและมีประสิทธิภาพดี เนื่องจากจะเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับมากขึ้นและส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการตรวจจับมากขึ้นตามไปด้วย

และจากการทำเครื่องคัดแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วอัตโนมัติ สามารถนำความรู้และวิธีการการคัดแยกนำไปประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรมสามารถการคัดแยกวัสดุได้

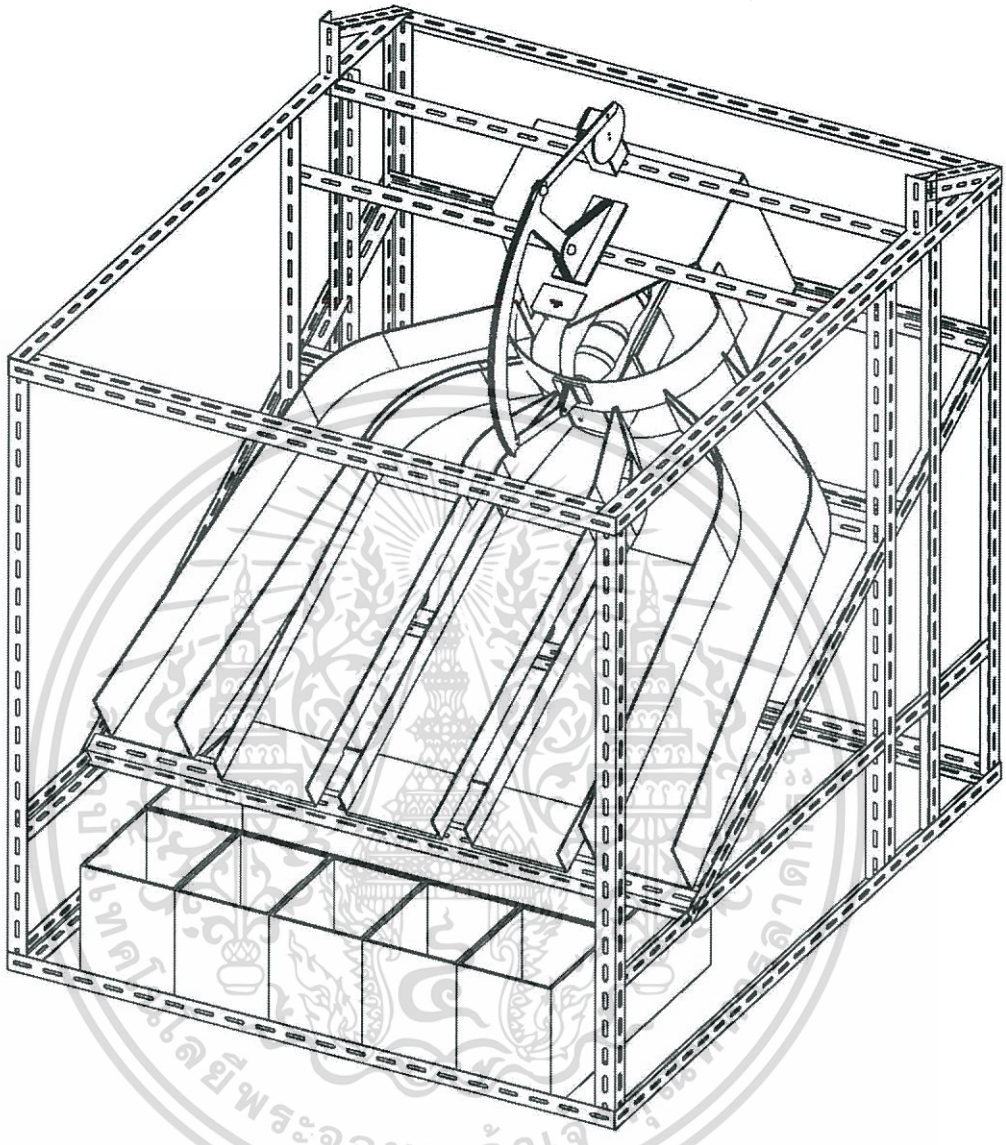
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ภาพประกอบการออกแบบเครื่อง

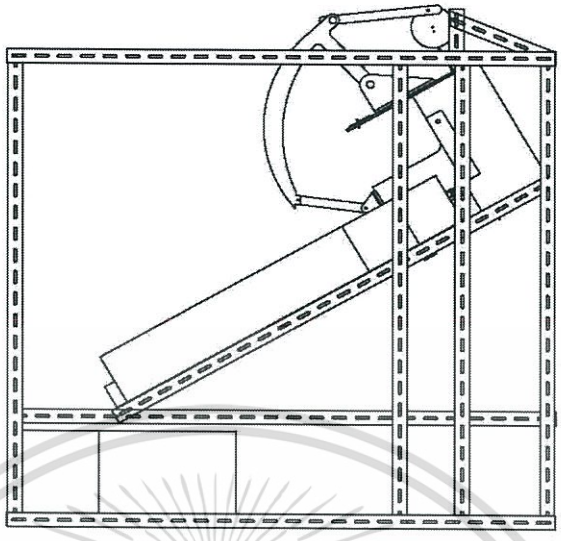
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

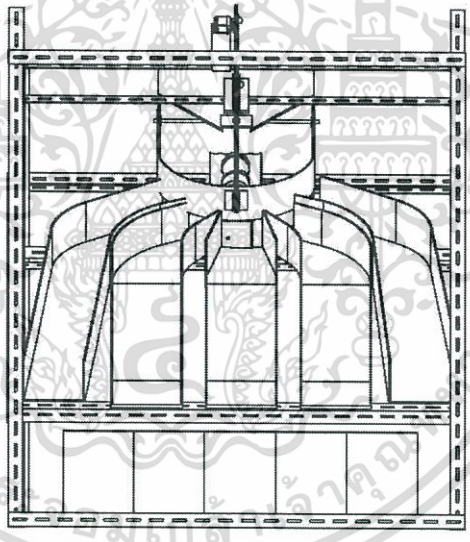


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:	FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES			DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE: AUTOMATIC BEVERAGE CONTAINER SORTING MACHINE	
DRAWN							
CHK'D							
APPV'D							
MFG							
Q.A				MATERIAL:		DWG NO. 001	A4
				WEIGHT:		SCALE:1:20	SHEET 1 OF 1

รูปที่ ก.1 โครงเครื่องแบบ trimetric view

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

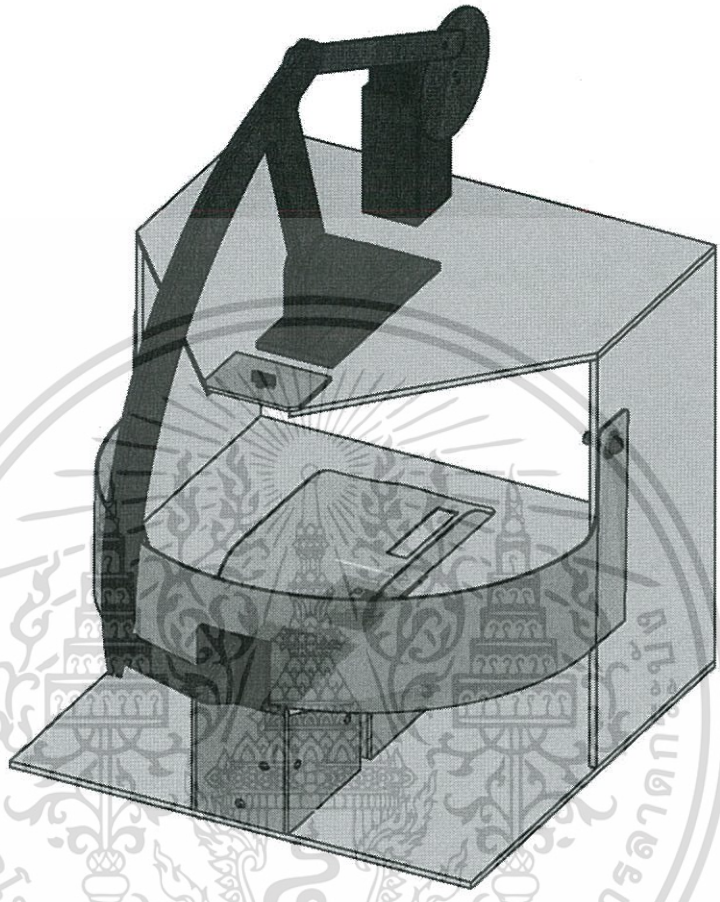




UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:			DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE: AUTOMATIC BEVERAGE CONTAINER SORTING MACHINE	
DRAWN							
CHK'D							
APPV'D							
MFG							
Q.A				MATERIAL:		DWG NO. 002	A4
				WEIGHT:		SCALE:1:20	SHEET 1 OF 1

รูปที่ ก.2 โครงเครื่องแบบ left และ font view

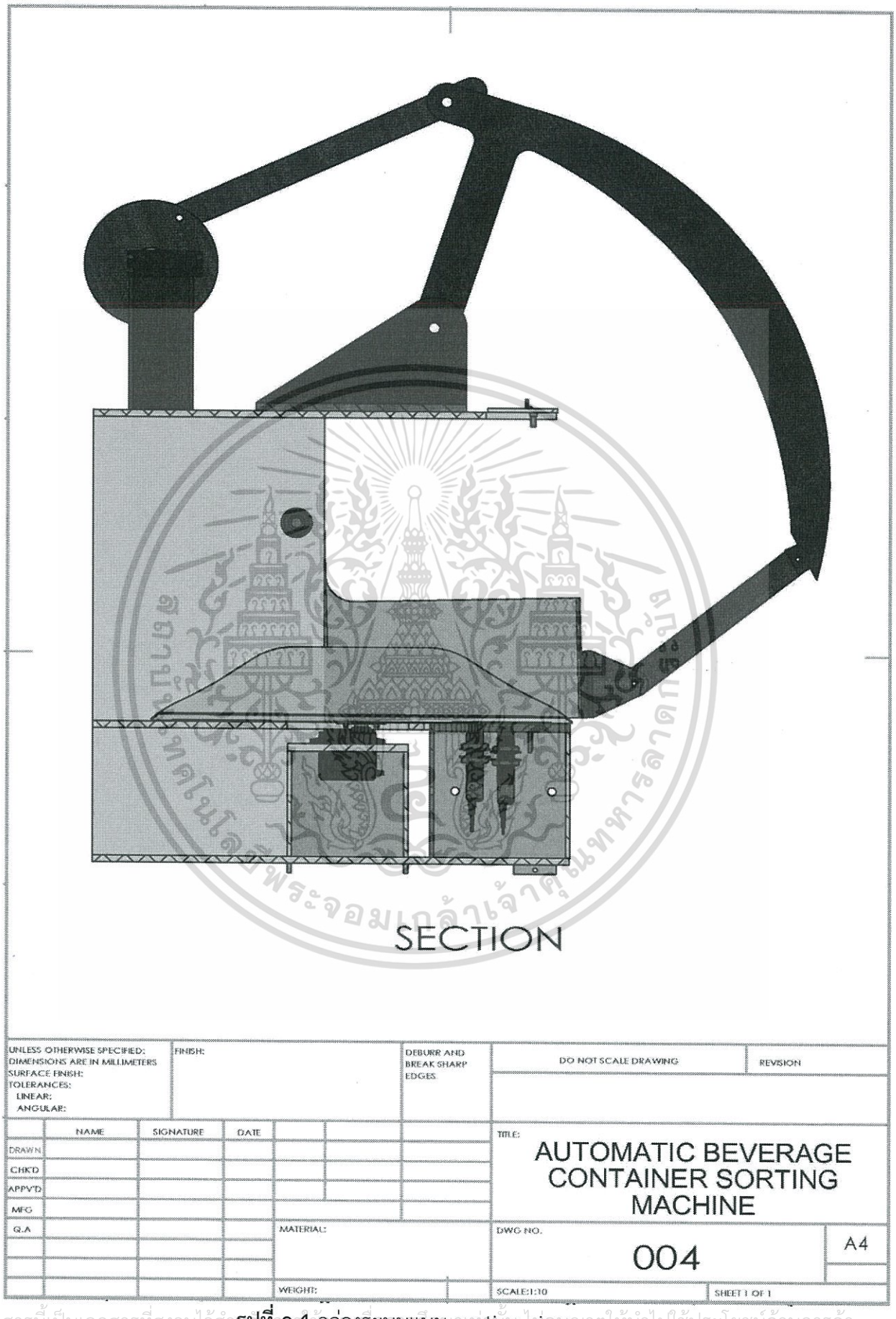
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE: AUTOMATIC BEVERAGE CONTAINER SORTING MACHINE	
DRAWN							
CHK'D							
APPV'D							
MFG							
Q.A				MATERIAL:		DWG NO. 003	A4
				WEIGHT:		SCALE:1:10	SHEET 1 OF 1

รูปที่ ก.3 กล่องระบบแบบ trimetric view

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 กล่องระบบแบบ section view

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ตารางผลการทดลองและผลสำรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ตารางผลการทดลองการตรวจจับการแยกประเภทวัตถุของอินดักทีฟ พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์

ประเภท/ระยะ	0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm
เหล็ก	1.142	1.139	1.137	1.138	1.138	5.852
อลูมิเนียม	1.139	1.140	1.139	5.855	8.898	8.999
พลาสติก	8.998	9.000	9.000	9.000	8.999	9.000
แก้ว	9.000	8.999	9.000	9.000	9.000	8.999

ตารางที่ ข.2 ตารางการแยกประเภทขวดพลาสติกโดยใช้เซนเซอร์โมดูลวัดแสง (Photoresistor sensor) ในการตรวจวัด

จำนวน/ประเภท	PET	PP	PE
1	429	981	3245
2	700	1850	3680
3	568	1389	3323
4	546	1265	3267
5	990	1850	3520
6	550	971	3050
7	359	1579	3659
8	460	1453	3321
9	750	1874	3664
10	450	1189	3579
เฉลี่ย	580.20	1440.10	3430.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 การสำรวจขวดพลาสติกบรรจุเครื่องดื่มปริมาตร 240 – 600 มิลลิลิตร

ยี่ห้อ	ขนาด ml	ฝา cm. (A)	ฝา-ฉลาก cm. (B)
KOPIKO	240	1.600	1.400
J-mix	270	2.000	1.300
IF	280	1.600	1.200
Bireley's	290	1.600	2.600
slim drink	300	1.600	9.000
Florida	300	1.800	1.000
J-mix	320	2.000	2.000
Kumi Kumi	320	1.600	1.200
Party Daily	340	2.000	2.000
Minute Maid	335	2	6
Calpis Lacto	350	1.6	1.7
IF	350	1.6	1.9
Aquarius	350	2.1	2.4
zummer	350	2	2.5
cocomax	350	1.6	1.7
Puriku	350	2.1	4
Oishi	380	1.7	2.8
Ichitan yen yen	400	1.7	2.6
Kato	400	1.6	1.9
Greenmate	400	2	1.4
Ichitan	420	1.7	2.6
7 Ups	440	1.9	8.5
Mansome	450	2.1	2.8
Aquapina	445	1.8	4.9
Lipton	445	2	1.3
Aura	500	1	5.5
Purra	500	1.4	3.1
Oishi	500	1.6	2.9
จับใจ	500	1.5	3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยี่ห้อ	ขนาด ml	ฝา cm. (A)	ฝา-ฉลาก cm. (B)
TEAS TEA	500	1.6	2.4
Fuji	500	1.9	2.6
POKKAP	500	2	2
Coke	500	2	5
Fanta	500	1.6	5.9
Namthip	550	1	5.5
Aquafina	550	1.5	4.9
PEPSI	550	2	9
Yen yen	555	1.5	2.9

หมายเหตุ : คือ ค่ามากสุด คือ ค่าน้อยสุด

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองการชั่งน้ำหนักของขวดแก้วและขวดพลาสติก

ที่	ขวดแก้ว	ขวดพลาสติก
1	159.4	17.95
2	193.5	43.86
3	135.3	50.18
4	413.9	17.97
5	417.7	26.08
6	107.6	22.03
7	203.3	26.84
8	203.2	13.8
9	209.5	23.17
10	479.3	20.41
เฉลี่ย	252.3	26.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองการตรวจจับวัตถุ

ยี่ห้อ	รอบที่ 1 สถานะ	รอบที่ 2 สถานะ	รอบที่ 3 สถานะ	รอบที่ 4 สถานะ	รอบที่ 5 สถานะ
Crystal (PET)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ไม่ตรวจจับ	ไม่ตรวจจับ	ตรวจจับ
Cocacola (PET)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Sprite (PET)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Unif green tea (PET)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Ichiton yellow (PET)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Strawberry (PP)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Tofusan (PP)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
P-fresh (PP)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Honey lemon (PP)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Juizy (PP)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Ovaltine (PE)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Party dairy (PE)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Dutchy coffee (PE)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Dutchy coffee4in1 (PE)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Betagen (PE)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Zola (Steel)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Birdy (Steel)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Nescafe (Steel)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Bear band (Steel)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Milo (Steel)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Schawppes (Alu)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Pepsi (Alu)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Coke (Alu)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Fanta (Alu)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Schweppes (Alu)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยี่ห้อ	รอบที่ 1 สถานะ	รอบที่ 2 สถานะ	รอบที่ 3 สถานะ	รอบที่ 4 สถานะ	รอบที่ 5 สถานะ
Vitamilk (Glass)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Lipo (Glass)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
M 150 (Glass)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Lipton (Glass)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ
Crystal (Glass)	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ	ตรวจจับ

หมายเหตุ : ■ คือ การตรวจจับผิดพลาด

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองการตรวจจับประเภทวัตถุ

ยี่ห้อ	รอบที่ 1 ประเภท	รอบที่ 2 ประเภท	รอบที่ 3 ประเภท	รอบที่ 4 ประเภท	รอบที่ 5 ประเภท
Crystal (PET)	PET	PET	-	-	PET
Cocacola (PET)	PET	PET	PET	PET	PET
Sprite (PET)	PP	PP	PP	PP	PET
Unif green tea (PET)	PP	PP	PET	PP	PET
Ichiton yellow (PET)	PET	PET	PET	PET	PET
Strawberry (PP)	PP	PP	PP	PP	PP
Tofusan (PP)	PP	PP	PP	PP	PP
P-fresh (PP)	PET	PP	PET	PET	PP
Honey lemon (PP)	PP	PP	PP	PP	PP
Juizy (PP)	PET	PP	PP	PP	PET
Ovaltine (PE)	PE	PE	PE	PE	PE
Party dairy (PE)	PE	PE	PE	PE	PE
Dutchy coffee (PE)	PE	PE	PE	PE	PE
Dutchy coffee4in1 (PE)	PE	PE	PE	PE	PE
Betagen (PE)	PE	PE	PE	PE	PE
Zola (Steel)	STEEL	STEEL	STEEL	STEEL	STEEL
Birdy (Steel)	STEEL	STEEL	STEEL	STEEL	STEEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยี่ห้อ	รอบที่ 1 ประเภท	รอบที่ 2 ประเภท	รอบที่ 3 ประเภท	รอบที่ 4 ประเภท	รอบที่ 5 ประเภท
Nescafe (Steel)	STEEL	STEEL	STEEL	STEEL	STEEL
Bear band (Steel)	STEEL	ALU	STEEL	ALU	STEEL
Milo (Steel)	STEEL	ALU	STEEL	STEEL	STEEL
Schawppes (Alu)	ALU	ALU	ALU	ALU	ALU
Pepsi (Alu)	ALU	ALU	ALU	ALU	ALU
Coke (Alu)	ALU	ALU	ALU	ALU	ALU
Fanta (Alu)	ALU	ALU	ALU	ALU	ALU
Schweppes (Alu)	ALU	ALU	ALU	ALU	ALU
Vitamilk (Glass)	PET	PET	PET	PET	PET
Lipo (Glass)	PP	PP	PP	PP	PP
M 150 (Glass)	PP	PP	PP	PP	PP
Lipton (Glass)	PET	PET	PET	PET	PET
Crystal (Glass)	PET	PET	PET	PET	PET

หมายเหตุ : ■ คือ การตรวจจับผิดพลาด

ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองการแยกประเภทตามทิศทาง

ยี่ห้อ	รอบที่ 1 องศา	รอบที่ 2 องศา	รอบที่ 3 องศา	รอบที่ 4 องศา	รอบที่ 5 องศา
Crystal (PET)	90	90	-	-	90
Cocacola (PET)	90	90	90	90	90
Sprite (PET)	120	120	120	120	90
Unif green tea (PET)	120	120	90	120	90
Ichiton yellow (PET)	90	90	90	90	90
Strawberry (PP)	120	120	120	120	120
Tofusan (PP)	120	120	120	120	120
P-fresh (PP)	90	120	90	90	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยี่ห้อ	รอบที่ 1 องศา	รอบที่ 2 องศา	รอบที่ 3 องศา	รอบที่ 4 องศา	รอบที่ 5 องศา
Honey lemon (PP)	120	120	120	120	120
Juizy (PP)	90	120	120	120	90
Ovaltine (PE)	60	60	60	60	60
Party dairy (PE)	60	60	60	60	60
Dutchy coffee (PE)	60	60	60	60	60
Dutchy coffee (PE)	60	60	60	60	60
Betagen (PE)	60	60	60	60	60
Zola (Steel)	30	30	30	30	30
Birdy (Steel)	30	30	30	30	30
Nescafe (Steel)	30	30	30	30	30
Bear band (Steel)	30	150	30	150	30
Milo (Steel)	30	150	30	30	30
Schawppes (Alu)	150	150	150	150	150
Pepsi (Alu)	150	150	150	150	150
Coke (Alu)	150	150	150	150	150
Fanta (Alu)	150	150	150	150	150
Schweppes (Alu)	150	150	150	150	150
Vitamilk (Glass)	กระดกลง	กระดกลง	กระดกลง	กระดกลง	กระดกลง
Lipo (Glass)	ไม่กระดกลง	ไม่กระดกลง	กระดกลง	กระดกลง	กระดกลง
M 150 (Glass)	กระดกลง	ไม่กระดกลง	ไม่กระดกลง	ไม่กระดกลง	กระดกลง
Lipton (Glass)	กระดกลง	กระดกลง	กระดกลง	กระดกลง	กระดกลง
Crystal (Glass)	กระดกลง	กระดกลง	กระดกลง	กระดกลง	กระดกลง

หมายเหตุ : ■ คือ การตรวจจับผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
การเขียนโปรแกรม Arduino IDE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1 การเขียนโปรแกรม Arduino IDE ของเครื่องคัดแยกบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วอัตโนมัติ

```
int ch1;
#include<Servo.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16, 2);
Servo MyServo1;
Servo MyServo2;
void setup(){
Serial.begin(9600);
lcd.begin();
MyServo1.attach(9);
MyServo2.attach(8);
}
void loop(){
int x5 = analogRead(A0);        // รับข้อมูลจากเซนเซอร์แสง
Serial.print("x5 ="); Serial.println(x5);   // คำสั่งแสดงผลข้อมูลที่ได้ของเซนเซอร์แสง
if (x5<300){        // คำสั่งการตรวจจับวัตถุเข้า
Serial.println("Not Detected");   // คำสั่งแสดงผลข้อมูลขาเข้าเป็นข้อความ
lcd.clear();
lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print("Ready...");      // คำสั่งแสดงผลข้อมูลบนจอแสดงผล LCD
MyServo1.write(45);
MyServo2.write(120);
          }

else {
Serial.println("Detected");   // คำสั่งแสดงผลข้อมูลขาเข้าเป็นข้อความ
lcd.clear();
lcd.setCursor(5, 1);
lcd.print("Wait...");    // คำสั่งแสดงผลข้อมูลบนจอแสดงผล LCD
delay(2000);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int x1 = analogRead(A1);    // รับข้อมูลอินดักทิฟ พร๊อกซิมิตี้ เซนเซอร์ ตัวที่ 1
int x2 = analogRead(A2);     // รับข้อมูลอินดักทิฟ พร๊อกซิมิตี้ เซนเซอร์ ตัวที่ 2
int x3 = analogRead(A0);     // รับข้อมูลจากเซนเซอร์แสงอีกครั้ง
float x4 = x3*(5.0/1.023);  // สูตรการคำนวนหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ของเซนเซอร์แสง
float voltage1 = x1*(5.0/1023.0);     // สูตรการคำนวนหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ของอินดักทีฟตัวที่
2
float voltage2 = x2*(5.0/1023.0);    // สูตรการคำนวนหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ของอินดักทีฟตัวที่
2
float a1 = (voltage1+voltage2);      // สูตรการคำนวนหาผลรวมค่าแรงดันไฟฟ้าของอินดักทีฟ
Serial.print("Volt =");  Serial.print(a1); Serial.println("V");
if (a1<7)  // คำสั่งการตรวจจับประเภทวัตถุประเภทเหล็ก
 {
Serial.println("It's Metal");
if (a1<3){
lcd.clear();
lcd.setCursor(4, 0);
 lcd.print("Detected");
 lcd.setCursor(5, 1);
lcd.print("Steel");
MyServo1.write(0);     // คำสั่งการควบคุมทิศทางของเซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1
delay(1000);           // คำสั่งหน่วงเวลา
MyServo2.write(0);     // คำสั่งการควบคุมทิศทางของเซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 2
delay(1000);
MyServo1.write(45);   // คำสั่งการควบคุมทิศทางของเซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1
}
else if(a1>3 && a1<8){    // คำสั่งการตรวจจับประเภทวัตถประเภทอลูมิเนียม
Serial.println("  = Aluminium");
lcd.clear();
lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print("Detected");
lcd.setCursor(3, 1);
lcd.print("Aluminium");
MyServo1.write(92);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
delay(1000);
 MyServo2.write(0);
delay(1000);
MyServo1.write(45);}

}
else {  // คำสั่งการตรวจจับประเภทวัตถุประเภทอโลหะ
Serial.println("It's Plastic");
Serial.print("Volt =");  Serial.print(x4); Serial.println("mV");
if(x4 < 1000){      // คำสั่งการตรวจจับชนิดพลาสติก PET หรือแก้วใส
Serial.println(" = PET or Glass");
lcd.clear();
lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print("Detected");
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print("PET or Glass");
MyServo1.write(45);}
delay(1000);
 MyServo2.write(0);
 delay(1000);
MyServo1.write(45);}
else if(x4 >=1000 && x4 <= 2500){  // คำสั่งการตรวจจับชนิดพลาสติก PP หรือแก้วขุ่น
Serial.println(" = PP ");
lcd.clear();
lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print("Detected");
lcd.setCursor(2, 1);}
lcd.print("PP or Glass");
 MyServo1.write(18);
 delay(1000);
MyServo2.write(0);
 delay(1000);
MyServo1.write(45);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
else{  // คำสั่งการตรวจจับด้วยเซนเซอร์แสงอีกครั้ง
MyServo1.write(180);
delay(3000);
int x5 = analogRead(A0);
float x6 = x5*(5.0/1.023);
Serial.print("Volt =");  Serial.print(x6); Serial.println("mV");
if (x6<1000)
{
Serial.println(" = PET");   // คำสั่งการตรวจจับชนิดพลาสติก PET หรือแก้วใส
lcd.clear();
lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print("Detected");
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print("PET or Glass"); }
MyServo1.write(45);
delay(1000);
MyServo2.write(0);
delay(1000);
MyServo1.write(45);}
else if(x6 >=2200&& x6 <= 3200){    // คำสั่งการตรวจจับชนิดพลาสติก PP หรือแก้วขุ่น
Serial.println(" = PP ");
 lcd.clear();
lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print("Detected");
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print("PP or Glass");
MyServo1.write(12);
delay(1000);
MyServo2.write(0);
delay(1000);
MyServo1.write(45);
          }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
else{   // คำสั่งการตรวจจับชนิดพลาสติก PE หรือแก้วทึบแสง
Serial.println(" = PE ");
lcd.clear();
lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print("Detected");
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print("PE or Glass");
MyServo1.write(68);
delay(1000);
MyServo2.write(0);
 delay(1000);
MyServo1.write(45);}
delay(1000);}
                    }
                    }

Serial.println("..........");
  }       //สิ้นสุด
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

4R Sustainability, Inc. 2011. Demingling the mix : An assessment of commercially available automated sorting technology. Portland, OR 97203. January 2011.

Allicano. **เซอร์โวมอเตอร์**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://chanaphinp.blogspot.com/. (สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2560)

Amrutha Chandramohan et al.,"Automated Waste Segregator." Ph.D.Thesis of Rashtreeya Vidyalaya College of Engineering (R.V.C.E.). 2014.

Chanya Samathayanon. **วงจรไฟฟ้าคืออะไร?**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://chanyasamathayanon.Blog spot.com/. (สืบค้นเมื่อ 8 กุมภาพันธ์ 2560)

Firas Awaja, Dumitru Pavel. "Recycling of PET." Department of Applied Chemistry, NationalResearch Council of Canada. 2005.

Irsyadi Yani, Ihsan Budiman. "Development of Identification System of cans And Bottle." Mechanical Engineering Department. 2015.

KENNETH MARSH, BETTY BUGUSU. "Food Packaging-Roles,Materials, and EnvironmentalIssues." Ph.D. Institute of Food Technologists. 2007.

Kevin Dickey. "A Low-Cost Multispectral Camera for Consumer Applications." Senior Project of Rochester Institute of Technology. 2014.

MSS, Inc. **MSS CIRRUS optical sorter achieves high score in independent study of shrink-sleeved PET bottles.** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.mssoptical.Com/2016/10/03/mss-cirrus-optical-sorter-achieves-high-score-in-independent-study-of-shrink-sleeved-pet-bottles/. (สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2560)

PSPTECH CO.,LTD. **Photo sensor คืออะไร?**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.psptech.co.th/photo-sensor-คืออะไร -21233.page. (สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2560)

S.M.Al-Salem, P.Lettieri, J.Baeyens. "Recycling and recovery routes of plastic solid waste." Department of Chemical Engineering. 2009.

SUPREME LINES CO.,LTD. **พร็อกซิมิตี้สวิตช์ PROXIMITY SWITCHES**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.supreme lines.co.th/สาระน่ารู้/2064-พร็อกซิมิตี้สวิตช์-proximity-switches.html. (สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2560)

ThaiEasyElec. ม.ป.ป. **บทความ Arduinoคืออะไร?ตอนที่2 มาทำความรู้จักกับ Arduinoรุ่นต่างๆกัน**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-elec tronics/. (สืบค้นเมื่อ 8 กุมภาพันธ์ 2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทันพงษ์ ภู่รักษ์. ม.ป.ป. **ARDUINO IDE ซอฟแวร์สำหรับโปรแกรมภาษาC**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.sbt.ac.th/new/ sites/default/ files/TNP_Unit_2.pdf. (สืบค้นเมื่อ 8 กุมภาพันธ์ 2560)

ทันพงษ์ ภู่รักษ์. ม.ป.ป. **การแสดงผลจอ LCD ของ Arduino**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.sbt. ac.th/new/sites/ default/files/TNP_Unit_6.pdf. (สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2560)

นวภัทรา หนูนาค. ม.ป.ป. **Photo sensor/เซนเซอร์ชนิดใช้แสง**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www. foodnetwork solution.com/wiki/word/7236/photo-sensor-เซนเซอร์ชนิดใช้แสง. (สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2560)

บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว. ม.ป.ป. **วัสดุแก้ว**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www2. mtec.or.th /th/re search/GSAT/Glassweb/define.html. (สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2560)

บริษัท ดิจิตอล กราเวียร์ แพคเกจจิ้ง จำกัด. ม.ป.ป. **กระป๋อง**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.Pack ingsiam.com/index.php?lay=show &ac=article&Id=539312392&Ntype=7. (สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2560)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. ม.ป.ป. **Can/กระป๋อง**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http:// www.foodnet worksolution.com/wiki/word/0599/can-กระป๋อง. (สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2560)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. ม.ป.ป. **High Density Polyethylene (HDPE) / พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution. com/wiki/word/ 1909/hdpe-high-density-polyethylene. (สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2560)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. ม.ป.ป. **Polyethylene terephthalate (PET) / พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/ wiki/word /1912/pet- polyethylene-terephthalate. (สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2560)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. ม.ป.ป. **Polypropylene (PP)/พอลิโพรไพลีน**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1611/ polypropylene-pp-พอลิโพรไพลีน. (สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2560)

มงคล อุมา. 2543. **กระป๋องบรรจุอาหาร**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.material.chula.ac.th/RA DIO44/ FEBRUARY /RADIO2-3.HTM. (สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสือบรรจุภัณฑ์อาหาร [บรรจุภัณฑ์อาหาร]. 2555. **บรรจุภัณฑ์อาหาร ตอนที่ 4 (กระป๋องและขวดแก้ว)**. [ออนไลน์].แหล่งที่มา: http://www.foodnetworksolution.com/news_and_articles/article/0100/บรรจุภัณฑ์อาหาร-ตอนที่4-กระป๋องและขวดแก้ว. (สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้