ต้นแบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติ
เพื่อส่งเสริมการปลอดขยะในมหาวิทยาลัย

A Prototype of a Semi-automated Reverse Vending Machine
to Promote Zero Waste in a University Campus

นายณัฐพงษ์ สารยศ รหัสนิสิต 59361539

นายธนัชกุล กาญจนา รหัสนิสิต 59362086

นายภูผา กันตีมูล รหัสนิสิต 59364196

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2562

ใบรับรองโครงงาน

ชื่อหัวข้อโครงงาน ต้นแบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติ
เพื่อส่งเสริมการปลอดขยะในมหาวิทยาลัย

ผู้ดำเนินโครงงาน

นายณัฐพงษ์	สารยศ	รหัสนิสิต 59361539
นายธนัชกุล	กาญจนา	รหัสนิสิต 59362086
นายภูผา	กันตีมูล	รหัสนิสิต 59364196

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.ปัญญวัณ ลำเพาพงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิศุทธิ์ วรจิรันตน์

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2562

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร.ปัญญวัณ ลำเพาพงศ์)

.....ที่ปรึกษาโครงงานร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิศุทธิ์ วรจิรันตน์)

.....กรรมการ
(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)

.....กรรมการ
(ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์)

หัวข้อโครงงาน	: ต้นแบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อ ส่งเสริมการปลอดขยะในมหาวิทยาลัย		
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายณัฐพงษ์	สารยศ	รหัสนิสิต 59361539
	: นายธนัชกุล	กาญจนา	รหัสนิสิต 59362086
	: นายภูผา	กันตีมูล	รหัสนิสิต 59364196
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ดร.ปัญญวัณ ลำเพาพงศ์		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิศุทธิ์ วรจิรันตน์		
สาขาวิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	: 2562		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการพัฒนาเครื่องรับคืนขวดกึ่งอัตโนมัติสำหรับใช้เพื่อส่งเสริมการปลอดขยะภายในมหาวิทยาลัย โดยมุ่งเน้นที่กลุ่มนิสิตที่เข้ามาใช้บริการและให้สิ่งตอบแทนเป็นชั่วโมงกิจกรรม การดำเนินงาน เริ่มจากศึกษาข้อมูลเครื่องรับคืนขวดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและศึกษาวรรณกรรมปริทัศน์ รวมทั้งทำการสำรวจราคารับซื้อขวดในท้องตลาดและข้อมูลการใช้ขวดพลาสติกจากร้านค้าภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อนำข้อมูลข้างต้นนี้ไปออกแบบและสร้างเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติที่มีต้นทุนในการสร้างต่ำ สามารถรองรับขวดน้ำประเภท PET ใส ขนาด 330 มิลลิลิตร ถึง 1,500 มิลลิลิตร โดยเครื่องมีบอร์ด Arduino รับข้อมูลบาร์โค้ดรหัสนิสิต บาร์โค้ดขวด และน้ำหนักขวด ส่งออกข้อมูลไปประมวลผลในโปรแกรม Windows Form Application ที่เขียนขึ้นด้วยโปรแกรม Visual Basic บนโปรแกรม Visual Studio 2019 โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 365 เป็นฐานข้อมูลทั้งนี้โปรแกรมสามารถตรวจสอบฐานข้อมูลและสะสมชั่วโมงกิจกรรมได้ นอกจากนี้ยังสามารถสื่อสารกับผู้ใช้งานผ่านหน้าจอ LCD อีกด้วย จากการทดสอบการทำงานของเครื่องรับคืนขวดพบว่าเครื่องสามารถทำงานอย่างถูกต้องและทำงานต่อเนื่องได้ สามารถใช้งานได้จริงตามขอบเขตที่กำหนดไว้

Project title	: A Prototype of a Semi-automated Reverse Vending Machine to Promote Zero Waste in a University Campus
Name	: Mr.Natthaphong Sarnyot ID 59361539
	: Mr.Thanatkul Kanchana ID 59362086
	: Mr.Phupa Kunteemol ID 59364196
Project advisor	: Dr. Punyawan Lumpaopong
	: Assistant Professor Dr. Ponpisut Worrajiran
Major	: Mechanical Engineering
Department	: Mechanical Engineering Academic
Year	: 2562

Abstract

This project is the development of a prototype of a semi-automated reverse vending machine (RVM) to promote zero waste in a university campus. The RVM aims to serve university students, and rewards the users with activity hours required by the university. Initially, reverse vending machines were researched and relevant articles were reviewed. Moreover, plastic bottle purchase prices in the market and plastic bottle consumption of stores around the Faculty of Engineering were surveyed. This information was used to design and construct a semi-automated RVM at low construction cost. The machine can take clear PET bottles 330 ml to 1,500 ml. It has an Arduino board which receives students barcodes, bottle barcodes and bottle weights, and sends the data to be processed using a Windows Form Application developed with Visual Basic in Vishal Studio 2019, using Microsoft Excel 365 as a database. The program can also check the database and accumulate user's activity hours. Moreover, communication with users is done via an LCD screen. From the testing of the semi-automated RVM function and operation, it was found that the machine can work correctly and continuously. It can actually operate regarding the predefined scope.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลือ แนะนำ ให้คำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และสนับสนุนอุปกรณ์ในการทำงานตลอดระยะเวลาการทำปริญญานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่งจาก ดร.ปัญญวัณ ลำเพาพงศ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิศุทธิ์ วรจิรันตน์ ทางคณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้สถานที่ค้นคว้าหาความรู้ และสนับสนุนการใช้อุปกรณ์เครื่องมือช่างต่าง ๆ ภายในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล ตลอดระยะเวลาในการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ ดร.ภาณุ พุทธวงศ์ และ ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้มาเป็นคณะกรรมการในการสอบปริญญานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ทุกคนที่ช่วยเหลือสนับสนุนทั้งด้านกำลังใจด้วยดีมาตลอด นอกจากนี้ยังมีผู้ที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลืออีกหลายท่าน ซึ่งผู้เขียนไม่สามารถกล่าวนามในที่นี้ได้หมด จึงขอขอบพระคุณทุกท่านเหล่านั้นไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำโครงงาน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ข้อมูลเครื่องรับคืนขวดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1.1 ข้อมูลเครื่องรับคืนขวดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	5
2.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.2 ข้อมูลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	11
2.2.1 Arduino	11
2.2.2 หน้าจอ TFT LCD	12
2.2.3 เครื่องอ่านบาร์โค้ด	13
2.2.4 Load Cell แบบ Straight Bar	14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.5 โมดูลขยายสัญญาณของ Load Cell 15
2.2.6 Servo Motor 15
2.2.7 Protoboard 16
2.3 โปรแกรมที่เกี่ยวข้อง 17
2.3.1 Arduino IDE 17
2.3.2 Visual Studio 2019 17
2.3.3 Microsoft Excel 365 18
2.4 ข้อมูลพื้นฐานของบาร์โค้ด 18
2.4.1 บาร์โค้ด 1 มิติ 19
2.4.2 บาร์โค้ด 2 มิติ 19
2.4.3 บาร์โค้ด 3 มิติ 20
บทที่ 3 วิธีการและผลการดำเนินงาน 21
3.1 การสืบค้นข้อมูลเครื่องรับคืนขวดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและศึกษาวรรณกรรมปริทัศน์ 21
3.1.1 สืบค้นข้อมูลเครื่องรับคืนขวดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด 21
3.1.2 ศึกษาวรรณกรรมปริทัศน์ 21
3.1.3 ข้อมูลน้ำหนักขวดพลาสติกและราคารับซื้อ 21
3.2 การประมาณปริมาณการใช้ขวดพลาสติกในมหาวิทยาลัยนเรศวร 24
3.2.1 สำรวจขวดพลาสติกในคณะวิศวกรรมศาสตร์ 24
3.2.2 สำรวจจำนวนการซื้อเครื่องดื่มบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติกของนิสิตในคณะวิศวกรรมศาสตร์ 24
3.3 ออกแบบต้นแบบเครื่องรับคืนขวด 25
3.3.1 ฟังก์ชันต้นแบบเครื่องรับคืนขวด 25
3.3.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องรับคืนขวด 25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.3 การคำนวณชั่วโมงกิจกรรมของเครื่องรับคืนขวด 29

3.4 การสร้างต้นแบบเครื่องรับคืนขวดและเขียนโปรแกรม 30

3.4.1 การสร้างต้นแบบเครื่องรับคืนขวดและการเขียนโปรแกรม 30

3.4.2 อุปกรณ์และงบประมาณ 33

บทที่ 4 การใช้งานและการทดสอบ 36

4.1 การใช้งาน 36

4.1.1 ขั้นตอนการใช้งานเครื่องรับคืนขวด 36

4.2 การทดสอบฟังก์ชันและการทำงาน 35

4.2.1 การทดสอบส่วนที่ 1 36

4.2.2 การทดสอบส่วนที่ 2 39

บทที่ 5 สรุปผล 42

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 42

5.2 ข้อเสนอแนะ 43

บรรณานุกรม 44

ภาคผนวก 49

ก. การสอบเทียบ Load Cell 50

ก.1 วิธีการดำเนินการ 50

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนดำเนินงาน 3

ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบเครื่องรับคืนขวดตามท้องตลาดและจากงานวิจัย 22

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงน้ำหนักบรรจุภัณฑ์และราคาต่อขวด 23

ตารางที่ 3.3 ตารางราคารับซื้อสินค้าประเภทพลาสติกของบริษัท วงษ์พาณิชย์ อินเตอร์เนชั่นเนล จำกัด 23

ตารางที่ 3.4 ตารางสำรวจจำนวนบรรจุภัณฑ์ที่ขายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ 24

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงชั่วโมงกิจกรรมต่อขวดของต้นแบบเครื่องรับคืนขวด 30

ตารางที่ 3.6 รายการวัสดุอุปกรณ์ต้นทุนของต้นแบบเครื่องรับคืนขวด และงบประมาณ 33

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบบัตรประจำตัวนิสิตในฐานข้อมูล 37

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบบาร์โค้ดขวดในฐานข้อมูล 37

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบน้ำหนักขวดในฐานข้อมูล 38

ตารางที่ 4.4 ผลการตรวจสอบรหัสบาร์โค้ดขวดและน้ำหนักขวดในฐานข้อมูลของกลุ่มที่ 1 40

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจสอบรหัสบาร์โค้ดขวดและน้ำหนักขวดในฐานข้อมูลของกลุ่มที่ 2 40

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ตู้ Refund Machine 5

รูปที่ 2.2 ตู้ HONEST 6

รูปที่ 2.3 ตู้ INCOM TOMRA รุ่น YC–301 6

รูปที่ 2.4 ตู้ INCOM TOMRA รุ่น H-11 7

รูปที่ 2.5 ตู้ TOMRA รุ่น T-53S 7

รูปที่ 2.6 TOMRA รุ่น T-70 8

รูปที่ 2.7 ตู้ AZALCO รุ่น RL140108 8

รูปที่ 2.8 ถังขยะรีไซเคิล 10

รูปที่ 2.9 ระบบสแกนบาร์โค้ดด้วยโมดูลกล้อง 6 ตัว 10

รูปที่ 2.10 เครื่องรับซื้อบรรจุภัณฑ์รีไซเคิล (RVM) 10

รูปที่ 2. 11ส่วนประกอบของบอร์ด Arduino Mega 2560 12

รูปที่ 2.12 USB Host Shield 12

รูปที่ 2.13 จอ TFT3.5 LCD Module Display for Arduino Mega 2560 13

รูปที่ 2.14 Barcode Scanner 13

รูปที่ 2.15 Load Cell แบบ Straight Bar 14

รูปที่ 2.16 รูปแบบการรับภาระของ Load Cell Weight Sensor 14

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.17 Wheatstone Bridge ของ Load Cell แบบ Straight Bar 15

รูปที่ 2.18 Amplifier Module Dual Channel For Load Cell รุ่น HX711 15

รูปที่ 2.19 Servo Motor 16

รูปที่ 2.20 Protoboard 17

รูปที่ 2.21 ตัวอย่างบาร์โค้ด 18

รูปที่ 2.22 ตัวอย่างบาร์โค้ด 19

รูปที่ 2.23 บาร์โค้ด 2 มิติ 20

รูปที่ 2.24 บาร์โค้ด 3 มิติ 20

รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องรับคืนขวดกับผู้ใช้งาน 27

รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกันของต้นแบบเครื่องรับคืนขวด 29

รูปที่ 3.3 ต้นแบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติ 32

รูปที่ 3.4 โครงสร้างและกลไกภายในเครื่องรับคืนขวด 32

รูปที่ 3.5 Windows Form Application บน Visual Studio 2019 ที่ใช้รับส่งค่าระหว่าง Arduino และ Excel 32

รูปที่ 4.1 สแกนบาร์โค้ดผู้ใช้งาน 36

รูปที่ 4.2 หน้าจอแสดงผลโปรดสแกนบาร์โค้ดขวด 36

รูปที่ 4.3 สแกนบาร์โค้ดขวดน้ำ 36

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.4 หน้าจอแสดงผลกำลังค้นหาข้อมูลขวด 36

รูปที่ 4.5 ใส่ขวดในช่องคืนขวด 35

รูปที่ 4.6 หน้าจอแสดงผลสแกนขวดถัดไปหรือหยุดการทำงาน 35

รูปที่ 4.7 กดปุ่มหยุดการทำงาน 35

รูปที่ 4.8 หน้าจอแสดงรหัสนิสิตและชั่วโมงกิจกรรม 35

รูปที่ ก.1 ตุ้มน้ำหนัก 51

รูปที่ ก.2 ค่า Zero Factor 51

รูปที่ ก.3 Calibration Factor 51

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันปัญหาสภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาที่ทั่วโลกได้รับผลกระทบและเริ่มตระหนักถึงวิธีการแก้ไข โดยสาเหตุหนึ่งคือขยะพลาสติกที่มีมากขึ้นทุกวันและการกำจัดที่ยังไม่เพียงพอต่อปริมาณขยะ โดยในประเทศไทยได้เริ่มตระหนักถึงผลกระทบและรณรงค์ให้ทั้งภาคเอกชนและภาครัฐลดการใช้พลาสติกลง ไม่ว่าจะเป็นการนำผลิตภัณฑ์รูปแบบอื่นที่ผลิตจากธรรมชาติมาทดแทน หรือการนำขวดพลาสติกกลับมารีไซเคิลใหม่ ทั้งนี้การแก้ไขปัญหาเหล่านี้ก็ยังไม่มีประสิทธิภาพมากพอ เนื่องจากไม่ได้แก้ปัญหาจากต้นเหตุที่แท้จริงนั้นคือพฤติกรรมการทิ้งขยะของคนในประเทศ การที่ปริมาณขยะขวดพลาสติกมีจำนวนหลายร้อยตันต่อปีจึงถือเป็นจำนวนมากหากเทียบกับขยะชนิดอื่น [1] พลาสติกหลายประเภทเป็นขยะที่ใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งและบางประเภทสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ ยิ่งไปกว่านั้นขยะพลาสติกยังใช้เวลาย่อยสลายนานถึง 450 ปี [2] การคัดแยกขยะพลาสติกเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ก็ถือเป็นวิธีที่ทำได้ยากในปัจจุบัน อาจเพราะด้วยปริมาณการใช้ขวดพลาสติกที่มากขึ้นทุกวันและมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ [3] การรองรับปริมาณขยะที่ไม่เพียงพอในเขตชุมชน ระบบการจัดการขยะที่ยังไม่มีประสิทธิภาพมากพอ รวมถึงพฤติกรรมการใช้และการทิ้งขยะที่ไม่คัดแยกขยะและไม่คำนึงถึงผลกระทบที่ตามมาอีกด้วย ซึ่งในขณะนี้หลาย ๆ ประเทศรวมถึงประเทศไทยได้ให้ความสนใจและคิดค้นวิธีลดขยะขวดพลาสติกจากเทคโนโลยีที่สามารถคัดแยกขวดพลาสติกที่ง่ายต่อการทิ้งขยะและการนำไปรีไซเคิลต่อ จึงได้เกิดเป็นนวัตกรรมเครื่องรับคืนขวดให้ผู้คนได้ใช้บริการ เพื่อปลูกฝังพฤติกรรมการทิ้งขยะที่ดีของบุคคล แต่ถึงอย่างนั้นเครื่องรับคืนขวดก็ยังไม่ได้รับความนิยมมากนักในประเทศไทย เนื่องจากเครื่องรับคืนขวดมีบริการเพียงบางจุดในเมืองใหญ่เท่านั้น สาเหตุหนึ่งอาจเป็นเพราะราคาของเครื่องที่ค่อนข้างสูงไม่ว่าจะนำเข้าจากต่างประเทศหรือผลิตในประเทศไทย ทำให้ผู้ประกอบการรายย่อยที่ยังไม่มีกำลังทรัพย์มากพอที่จะซื้อเครื่องรับคืนขวดมากระจายบริการตามจุดต่าง ๆ ได้ ด้วยเหตุนี้ผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องรับคืนขวดกึ่งอัตโนมัติสำหรับใช้ในมหาวิทยาลัยโดยมีต้นทุนต่ำและใช้งานได้จริง เพื่อส่งเสริมการลดปริมาณขวดพลาสติกในมหาวิทยาลัย

โดยมุ่งเน้นที่กลุ่มนิสิตที่เข้ามาใช้บริการและให้สิ่งตอบแทนเป็นชั่วโมงกิจกรรมจากการใช้เครื่องในหน่วยนาที เพื่อนำไปแลกชั่วโมงกิจกรรมในมหาวิทยาลัย เครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัตินี้แตกต่างจากเครื่องรับคืนขวดทั่วไปคือ นิสิตสามารถใช้รหัสบาร์โค้ดบนบัตรประจำตัวนิสิตทำให้สะดวกและรวดเร็วในการใช้งานนอกจากนี้ยังสามารถสะสมชั่วโมงกิจกรรมได้ ประโยชน์ที่ได้รับจากเครื่องรับคืนขวดไม่เพียงแต่ช่วยส่งเสริมการลดปริมาณขยะขวดพลาสติกในมหาวิทยาลัย แต่ยังสร้างประโยชน์ต่อสังคมและให้ผลตอบแทนแก่นิสิต สิ่งนี้จึงเป็นการกระตุ้นให้นิสิตในมหาวิทยาลัย มีแรงจูงใจในการคัดแยกขยะและตระหนักถึงความสำคัญของการรีไซเคิลขวดพลาสติก

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติที่เหมาะกับการใช้งานในมหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานนี้ประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ส่วนที่ 1 ค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสำรวจเครื่องรับคืนขวดที่มีขายตามท้องตลาด โดยศึกษาเปรียบเทียบการใช้งานและคุณสมบัติของแต่ละเครื่อง ส่วนที่ 2 ออกแบบฐานข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 365 (บริษัทไมโครซอฟท์, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่สามารถเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino โดยผ่านโปรแกรม Visual Studio 2019 (บริษัทไมโครซอฟท์, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ซึ่งบอร์ด Arduino ใช้โปรแกรม Arduino IDE (Integrated Development Environment) ในการเขียนคำสั่งและออกแบบการทำงานของฟังก์ชันต้นแบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งกำหนดให้เครื่องสามารถสแกนรหัสบาร์โค้ดบนบัตรประจำตัวนิสิตและขวดน้ำ PET ใสขนาดไม่เกิน 1,500 มิลลิลิตร ที่มีรหัสบาร์โค้ดแบบแท่งเท่านั้น เครื่องต้นแบบจะสื่อสารกับ Microsoft Excel 365 ผ่านทางโปรแกรม Visual Studio 2019 ที่สามารถค้นหารหัสบาร์โค้ดในฐานข้อมูลเพื่อตรวจสอบรหัสบาร์โค้ดบนบัตรนิสิต รหัสบาร์โค้ดบนขวด และตรวจสอบน้ำหนักของขวดในฐานข้อมูล รวมทั้งสามารถตรวจสอบและสะสมชั่วโมงกิจกรรมในหน่วยนาที เพื่อแลกเป็นชั่วโมงกิจกรรมในมหาวิทยาลัย ส่วนที่ 3 เป็นการสร้างเครื่องต้นแบบและการเขียนโปรแกรมที่ใช้กับต้นแบบเครื่องรับคืนขวด และส่วนสุดท้ายคือการทดสอบการทำงานของต้นแบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติโดยเครื่องต้องรับขวดพลาสติกที่มีข้อมูลถูกต้องเท่านั้นและปฏิเสธขวดที่ไม่ตรงกับฐานข้อมูล ดังนั้นจึงใช้ขวดที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกันมาทำการทดสอบรวมถึงใช้ขวดพลาสติกต่างยี่ห้อต่างขนาดมาทำการทดสอบความถูกต้องของการทำงานของเครื่องต้นแบบ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ผลิตภัณฑ์ ขนาดและชนิดขวดพลาสติกรวมไปถึงสำรวจปริมาณการใช้ขวดพลาสติกในคณะวิศวกรรมศาสตร์

1.4.2 ออกแบบระบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติที่เหมาะกับการใช้งานในมหาวิทยาลัย

1.4.3 สร้างเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติที่สามารถใช้งานได้จริงและเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานกับต้นแบบเครื่องรับคืนขวด

1.4.4 ทดสอบการใช้งานเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติ

1.4.5 จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนดำเนินงาน

ระยะเวลาดำเนินการ	2562						2563			
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ผลิตภัณฑ์ ขนาดและชนิดขวดพลาสติก										
2. สำรวจปริมาณการใช้ขวดพลาสติกในคณะวิศกรรมศาสตร์										
3. ออกแบบระบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติ										
4. สร้างเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติที่สามารถใช้งานได้จริงและเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานกับต้นแบบเครื่องรับคืนขวด										
5. ทดสอบการใช้งานเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติ										
6. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์										

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ต้นแบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติที่สามารถใช้งานได้จริง เหมาะกับการใช้งานในมหาวิทยาลัย

1.6.2 ช่วยส่งเสริมให้ผู้ใช้ตระหนักเห็นความสำคัญของการรีไซเคิลขยะขวดพลาสติก

1.6.3 สามารถนำต้นแบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติไปพัฒนาต่อได้ในอนาคต

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเครื่องรับคืนขวดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ข้อมูลเครื่องรับคืนขวดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

เครื่องรับคืนขวดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดโดยทั่วไปทั้งในไทยและในต่างประเทศนั้นมีฟังก์ชันและหลักการโดยรวมที่คล้ายคลึงกันคือการรับขวดจากผู้ใช้งานและแลกเป็นเงินหรือแลกเป็นคูปองจากการสืบค้นข้อมูลพบเครื่องที่มีฟังก์ชันเพิ่มเติมจากเครื่องทั่วไปอยู่ 7 เครื่องดังนี้

1. ตู้ Refund Machine (รูปที่ 2.1) เป็นตู้ที่ขึ้นผลิตในประเทศไทย ราคาของตู้ประมาณ 120,000 บาท (ไม่รวมภาษี) โดยตู้มีหน้าจอแบบสัมผัสขนาด 19 นิ้ว รับเฉพาะขวดพลาสติกและมีระบบสแกนบาร์โค้ดอัตโนมัติเพื่อการจำแนกบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทรวมไปถึงการชั่งน้ำหนักเพื่อตรวจจับของเหลวที่ตกค้างอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์และตู้สามารถทำการการอัพเกรด Software แบบ OTA (Over The Air) โดยการสั่งการจากศูนย์ปฏิบัติการของบริษัทได้ ซึ่งการทำงานของตู้เมื่อนำขวดไปใส่ในช่องรับขวด เครื่องจะทำการประเมินราคาของขวดนั้น ๆ ในการรับเงินนั้นจะให้ผู้ใช้งานเลือกวิธีการรับเงิน 4 แบบ คือ 1. ใช้แทนเงินสดเพื่อซื้อสินค้า 2. เก็บสะสมแต้ม 3. เติมเงินโทรศัพท์ 4. บริจาคเพื่อการกุศล

รูปที่ 2.1 ตู้ Refund Machine [4]

2. ตู้ HONEST (รูปที่ 2.2) เป็นตู้ที่ผลิตขึ้นในประเทศจีน ราคาของตู้ประมาณ 180,000 ถึง 306,000 บาท (ไม่รวมภาษี) มีหน้าจอแบบสัมผัสขนาด 19 นิ้ว สามารถรับได้ทั้งขวดพลาสติกและกระป๋อง มีระบบสแกนบาร์โค้ดอัตโนมัติเพื่อการจำแนกบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทรวมไปถึงการชั่งน้ำหนักเพื่อตรวจจับของเหลวที่ตกค้างอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ตู้ HONEST มีระบบบีบอัดเพื่อเพิ่มพื้นที่เก็บบรรจุภัณฑ์ ซึ่งการทำงานของตู้เมื่อนำขวดไปใส่ในช่องรับบรรจุภัณฑ์ เครื่องจะทำการประเมินราคาของบรรจุภัณฑ์นั้น ๆ ให้ผลตอบแทนเป็นบัตรกำนัลแลกของรางวัลซึ่งสามารถนำไปแลกของรางวัลหรือใช้เป็นส่วนลดได้

รูปที่ 2.2 ตู้ HONEST [5]

3. ตู้ INCOM TOMRA รุ่น YC–301 เป็นตู้ที่ผลิตขึ้นในประเทศจีน ราคาตู้ประมาณ 210,000 ถึง 280,000 บาท (ไม่รวมภาษี) มีหน้าจอแบบสัมผัสขนาด 42 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.3 สามารถรับได้ทั้งขวดพลาสติกและกระป๋อง ซึ่งตู้ INCOM TOMRA มีระบบป้องกันการฉ้อโกง มีระบบการสแกนบาร์โค้ดเพื่อจำแนกบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท เมื่อนำบรรจุภัณฑ์ใส่ในช่องรับบรรจุภัณฑ์ เครื่องจะทำการประเมินราคาของบรรจุภัณฑ์นั้น ๆ ให้ผลตอบแทนเป็นบัตรกำนัลแลกของรางวัลซึ่งสามารถนำไปแลกของรางวัลหรือใช้เป็นส่วนลดได้

รูปที่ 2.3 ตู้ INCOM TOMRA รุ่น YC–301 [6]

4. ตู้ INCOM TOMRA รุ่น H-11 เป็นตู้ที่ผลิตขึ้นในประเทศจีน ราคาตู้ประมาณ 240,000 ถึง 350,000 บาท (ไม่รวมภาษี) ซึ่งมีหน้าจอแบบสัมผัสขนาด 21.5 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.4 สามารถรับได้ทั้งขวดพลาสติกและกระป๋อง มีระบบการสแกนที่ใช้ร่วมกับ Sensor เพื่อจำแนกบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทและทำให้มีความแม่นยำของกระบวนการรีไซเคิล การทำงานเมื่อนำบรรจุภัณฑ์ใส่ในช่องรับบรรจุภัณฑ์เครื่องจะทำการประเมินราคาของบรรจุภัณฑ์นั้น ๆ ให้ผลตอบแทนเป็นบัตรกำนัลแลกของรางวัลซึ่งสามารถนำไปแลกของรางวัลหรือใช้เป็นส่วนลดได้

รูปที่ 2.4 ตู้ INCOM TOMRA รุ่น H-11 [7]

5. ตู้ TOMRA รุ่น T-53S (รูปที่ 2.5) เป็นตู้ที่ผลิตขึ้นในประเทศนอร์เวย์ (ไม่ระบุราคาและขนาดหน้าจอ) สามารถรับได้เฉพาะขวดพลาสติกและมีการบีบอัดขวด การทำงานเมื่อนำบรรจุภัณฑ์ไปใส่ในช่องรับบรรจุภัณฑ์เครื่องจะทำการประเมินราคาของบรรจุภัณฑ์นั้น ๆ ให้ผลตอบแทนเป็นบัตรกำนัลแลกของรางวัลซึ่งสามารถนำไปแลกของรางวัลหรือใช้เป็นส่วนลดได้

รูปที่ 2.5 ตู้ TOMRA รุ่น T-53S [8]

6. ตู้ TOMRA รุ่น T-70 (รูปที่ 2.6) เป็นตู้ที่ผลิตขึ้นในประเทศนอร์เวย์ (ไม่ระบุราคาและขนาดหน้าจอ) เครื่องสามารถรับได้ทั้งขวดพลาสติกและกระป๋อง โดยการทำงานเมื่อนำบรรจุภัณฑ์ใส่ในช่องรับบรรจุภัณฑ์ เครื่องจะทำการประเมินราคาของบรรจุภัณฑ์นั้น ๆ ให้ผลตอบแทนเป็นบัตรกำนัลแลกของรางวัลซึ่งสามารถนำไปแลกของรางวัลหรือใช้เป็นส่วนลดได้

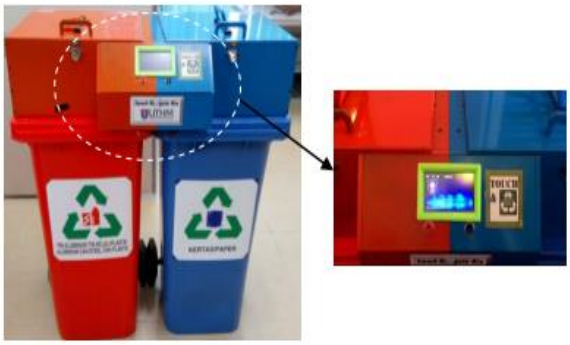
รูปที่ 2.6 TOMRA รุ่น T-70 [9]

7. ตู้ AZALCO รุ่น RL140108 เป็นตู้ที่ผลิตขึ้นในประเทศจีน ราคาตู้ประมาณ 300,000 บาท (ไม่รวมภาษี) ซึ่งมีหน้าจอแบบสัมผัสขนาด 21 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.7 เครื่องสามารถรับได้เฉพาะขวดพลาสติกและบรรจุขวดได้ถึง 1,000 ขวด ไม่มีการบีบอัดขวด โดยการทำงานเมื่อนำบรรจุภัณฑ์ใส่ในช่องรับบรรจุภัณฑ์ เครื่องจะทำการประเมินราคาของบรรจุภัณฑ์นั้น ๆ ให้ผลตอบแทนคืนแบบเป็นเหรียญ บัตรกำนัลแลกของรางวัล หรือคะแนนเครดิต

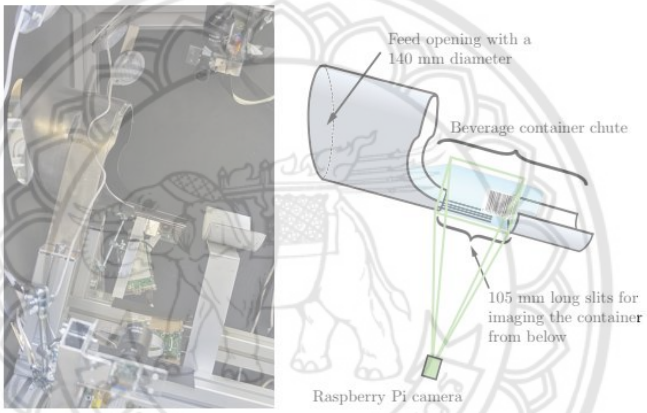
รูปที่ 2.7 ตู้ AZALCO รุ่น RL140108 [10]

2.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การรีไซเคิลเป็นหนึ่งในวิธีการสำคัญในการจัดการขยะและปัญหาสภาวะโลกร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ โดย Razali Tomari และคณะ [11] ได้เสนอการพัฒนาถังขยะรีไซเคิลมาตรฐานที่ควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรเลอร์และระบบเซ็นเซอร์ที่ทำขึ้นบนฝาถังขยะ ดังรูปที่ 2.8 เพื่อสะดวกในการคัดแยกขยะทำหน้าที่โดยการรับขยะพลาสติก ระบุข้อมูลผู้ใช้ ชั่งน้ำหนักและแปลงน้ำหนักเป็นคะแนนสะสมเพื่อแลกเปลี่ยนเป็นสิ่งตอบแทน การพัฒนานวัตกรรมใหม่ ๆ ยังเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีเครื่องแลกขวดคืนเงินที่พัฒนาขึ้นมาด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัยมากขึ้น Jere Liukkonen และคณะ [12] ได้พัฒนาระบบสแกนบาร์โค้ดที่เข้ามาช่วยในการคัดแยกประเภทของขวดพลาสติกควบคุมด้วย Raspberry Pi ที่มีระบบโมดูลกล้องหลายตัว ดังรูปที่ 2.9 สามารถอ่านบาร์โค้ดจากขวดได้รอบทิศทางอย่างชัดเจนและมีความแม่นยำสูง เพื่อความรวดเร็วและประหยัดเวลาในการประมวลผล นอกจากนี้ยังสามารถคัดแยกขวดที่มีของเหลวอยู่คืนกลับไปยังผู้ใช้งานได้อีกด้วย ไม่เพียงแต่เท่านี้ในประเทศไทยยังมีผู้ที่สนใจนำเครื่องแลกคืนขวดมาพัฒนาต่อโดยสาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลพระนคร [13] ได้ศึกษาพัฒนาและผลิตเครื่องรับซื้อบรรจุภัณฑ์รีไซเคิลหรือเครื่อง RVM (Reverse Vending Machines) มีหน้าจอแบบสัมผัสขนาด 15 นิ้ว เป็นเครื่องสำหรับจัดการขยะประเภทขวดพลาสติกและกระป๋องอลูมิเนียมในเครื่องเดียวกัน โดยใช้ PLC (Programmable Logic Controller) ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์และเซนเซอร์ต่าง ๆ และเทคโนโลยีบีบอัดขวดหรือกระป๋องให้มีขนาดเล็กลงเพื่อสะดวกในการจัดเก็บและพื้นที่รองรับประมาณขยะได้มากขึ้น รวมทั้งยังมีระบบป้องกันความปลอดภัยให้กับเครื่องรับซื้อบรรจุภัณฑ์รีไซเคิลด้วย ดังรูปที่ 2.10 อย่างไรก็ตามเครื่อง RVM ยังมีข้อจำกัดทั้งในเรื่องของขนาดและน้ำหนักเครื่องที่ค่อนข้างใหญ่และมีต้นทุนในการพัฒนาที่สูงทำให้ไม่มีจำหน่ายในท้องตลาด นอกจากนี้ยังมี นายธนกิตติ์ สาชาติ และคณะ [14] ได้สร้างแบบจำลองตู้รับซื้อขยะรีไซเคิลและแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือที่ควบคุมผ่านเทคโนโลยี IOT (Internet Of Things) แบบจำลองระบบรับซื้อขยะสามารถรับขยะได้ตามประเภทไม่ว่าจะเป็น ขวดพลาสติก ขวดแก้ว กระป๋องและกระดาษ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทิ้งขยะได้ถูกตามประเภท จากนั้นผู้ใช้จะได้ค่าตอบแทนผ่านแอปพลิเคชันเพื่อนำไปใช้จ่ายหรือเป็นส่วนลดในมหาวิทยาลัยได้อย่างไรก็ตามตู้รับซื้อขยะรีไซเคิลเป็นเพียงแบบจำลองทำให้ยังไม่มีฟังก์ชันอีกหลายอย่างเช่น วัสดุตู้ที่ใช้ยังไม่มีความแข็งแรงทนทานเมื่อนำไปใช้งานจริง ระบบความปลอดภัยของตู้กับผู้ใช้และพื้นที่กักเก็บบรรจุภัณฑ์



รูปที่ 2.8 ถังขยะรีไซเคิล [12]



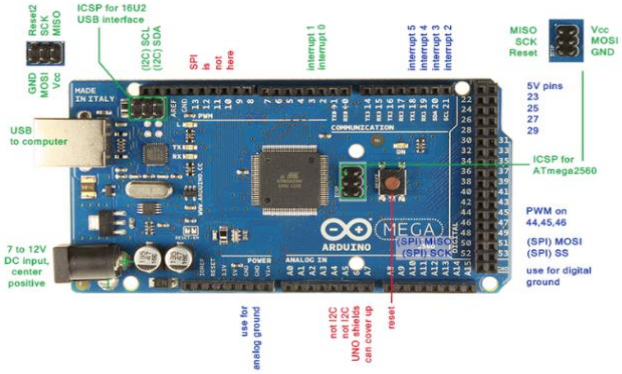
รูปที่ 2.9 ระบบสแกนบาร์โค้ดด้วยโมดูลกล้อง 6 ตัว [13]

รูปที่ 2.10 เครื่องรับซื้อบรรจุภัณฑ์รีไซเคิล (RVM) [14]

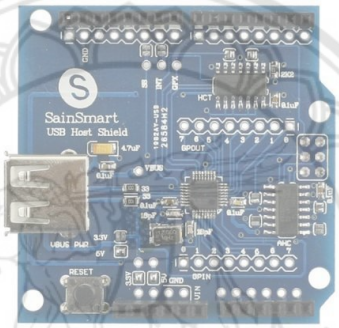
2.2 ข้อมูลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2.2.1 Arduino

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR (Microcontroller AVR) [15] ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต คือบอร์ดตระกูลหนึ่งผลิตโดยบริษัท Atmel AVR อยู่ในรูปแบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) มีลักษณะสถาปัตยกรรมเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computing) มีความเร็วในการประมวลผล 1 คำสั่งต่อ 1 สัญญาณนาฬิกา ใช้พลังงานไฟฟ้า โดยบางรุ่นใช้ไฟเพียง 1.5 Volt ถึง 5.5 Volt เท่านั้น และยังมีโหมดประหยัดพลังงานอีก 6 โหมด มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย โดยความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่าง ๆ คือ ผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิคส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ดหรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield คืออุปกรณ์เสริมที่เสียบลงไปแล้วก็นำไปใช้งานได้ ทำให้อุปกรณ์เสริมที่นำมาใช้ต่อพ่วงร่วมกันเรียกว่า Shield) [16] เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, USB Host Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้ ในการเขียนโปรแกรมสำหรับบอร์ด Arduino ต้องใช้ภาษาของ Arduino โดยอ้างอิงตามภาษา C/C++ ซึ่งมีเครื่องมือที่ใช้เขียนโปรแกรม คือ Arduino IDE โดยเครื่องมือนี้สามารถใช้งานได้ Arduino ได้ทุกรุ่น ภายในจะมีเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับใช้งาน Arduino เช่น การค้นหา Arduino ที่เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ การเลือกรุ่น Arduino ที่ต่ออยู่เพื่อตรวจสอบว่าขนาดของโปรแกรมที่เขียนหรือไลบรารี่ (Library) ต่าง ๆ ที่รองรับกับ Arduino รุ่นนั้น ๆ อีกทั้งยังมีโปรแกรมเชื่อมต่อแบบอนุกรมโดยตรงสำหรับคอมพิวเตอร์ ซึ่งสะดวกและทำให้ผู้ที่ไม่มีความรู้ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างลึกซึ้งสามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานได้ โดยบอร์ดที่นำมาใช้คือ Arduino รุ่น MEGA 2560 (รูปที่ 2.11) เนื่องจาก มีจำนวนพอร์ต Digital 54 พอร์ต พอร์ต I/O 16 พอร์ต เหมาะกับงานที่ต้องการรับสัญญาณจาก Sensor หรือควบคุมมอเตอร์ Servo หลาย ๆ ตัว



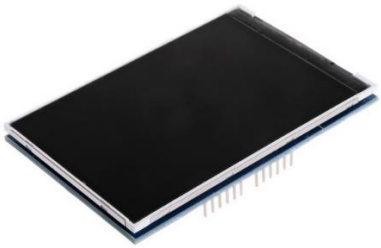
รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของบอร์ด Arduino Mega 2560 [15]



รูปที่ 2.12 USB Host Shield [16]

2.2.2 หน้าจอ TFT LCD

หน้าจอ TFT LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display) [17] ดังรูปที่ 2.13 เป็นหน้าจอที่มีการตอบสนองต่อการแสดงผลที่ค่อนข้างไว ประมวลผลการทำงานได้รวดเร็ว ทำให้การแสดงผลมีความคมชัด และสว่างสดใสกว่าหน้าจอแบบ STN LCD (เทคโนโลยีมอนิเตอร์ Liquid Crystal Display) ซึ่งหน้าจอมักนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ราคาแพงต่าง ๆ เช่น Notebook, PDA (Personal Digital Assistant), กล้องดิจิตอล รวมถึงโทรศัพท์มือถือราคาแพงหลายรุ่น แต่ข้อเสียของหน้าจอ TFT LCD ก็คือจะใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างมาก ทำให้แบตเตอรี่ต้องมีการประจุไฟใหม่บ่อยครั้ง หรืออาจต้องมีแบตเตอรี่ที่มีค่าความจุ (mAh) สูงไว้รองรับ



รูปที่ 2.13 จอ TFT3.5 LCD Module Display for Arduino Mega 2560 [17]

2.2.3 เครื่องอ่านบาร์โค้ด

Barcode Reader หรือตัวอ่าน Barcode มีอีกชื่อว่า Scanner Barcode และมีการเรียกว่า Price Scanner หรือ Point-Of-Sale (POS)

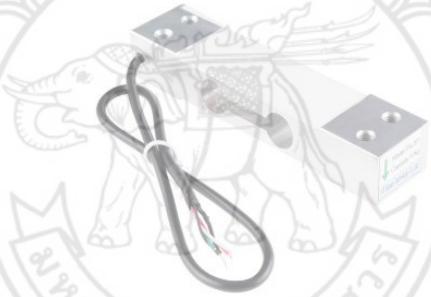
Barcode Reader [18] ดังรูปที่ 2.14 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจับและอ่านสารสนเทศที่เก็บในบาร์โค้ด ตัวอ่านบาร์โค้ดประกอบด้วยตัวสแกน ตัวถอดรหัส (มีทั้งติดอยู่ภายในหรือภายนอก) และสายเคเบิลที่เชื่อมตัวอ่านกับคอมพิวเตอร์ เนื่องจากตัวอ่าน Barcode จับและแปล Barcode เป็นตัวเลขหรือตัวอักษร ข้อมูลต้องได้รับการส่งไปยังคอมพิวเตอร์ ดังนั้นซอฟต์แวร์สามารถทำข้อมูลให้เข้าใจได้ ตัวสแกน Barcode สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน USB หรืออุปกรณ์อินเตอร์เฟสที่เรียกว่า Wedge ได้ ตัวอ่าน Barcode ทำงานโดยส่งลำแสงตรงตัด Barcode และวัดจำนวนรวมของแสงที่สะท้อนกลับ (แท่งสีดำสะท้อนแสงน้อยกว่าช่องว่างระหว่างแท่ง) ตัวสแกนแปลงกลับพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแปลงไปเป็นข้อมูลโดยตัวถอดรหัสและส่งต่อข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์

รูปที่ 2.14 Barcode Scanner [18]

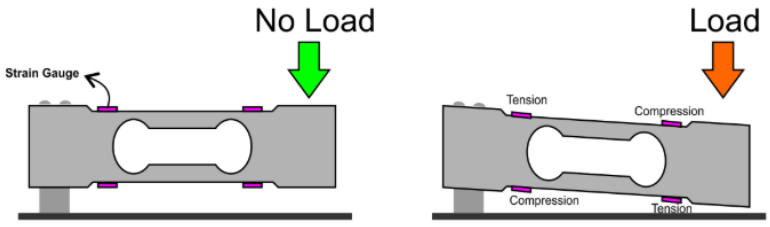
2.2.4 Load Cell แบบ Straight Bar

Load Cell [19] (รูปที่ 2.15) คือ Sensor สำหรับตรวจวัดน้ำหนัก แรงกระทำทางกลหรือปริมาณของ Load ที่ต้องการทราบค่า โดยใช้ Strain Gauge มาติดตั้งในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของ Load Cell เมื่อมีแรงมากระทำกับตัว Load Cell จะทำให้ Strain Gauge ที่ติดอยู่ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนรูปทรงยืดหรือหดตัวทำให้ค่าความต้านทานที่ตัว Strain Gauge เปลี่ยนไป

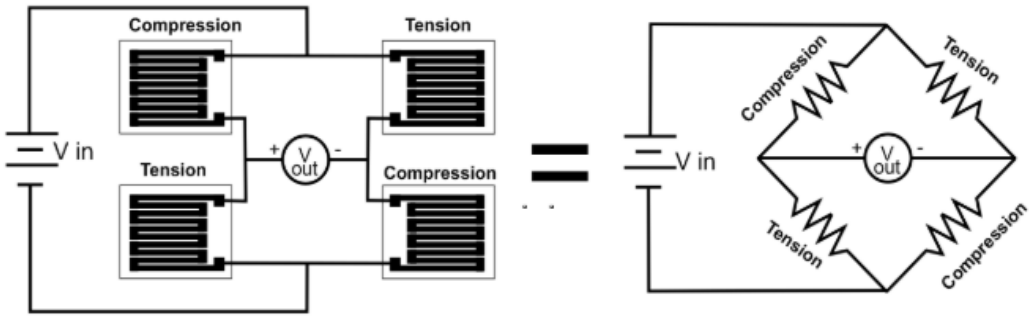
ในจุดที่ Strain Gauge ได้รับแรงกด (Compression) จะทำให้ Strain Gauge หดตัวเข้าหากันดังรูปที่ 2.16 และในจุดที่ได้รับแรงดึง (Tension) จะทำให้ Strain Gauge ถูกยืดออก จึงทำให้ค่าความต้านทานของ Strain Gauge เปลี่ยนแปลงไป Strain Gauge ทั้ง 4 ตัวที่อยู่บน Load Cell แบบ Straight Bar จะถูกต่ออยู่ด้วยกันในลักษณะของวงจร Wheatstone Bridge [20] ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.15 Load Cell แบบ Straight Bar [19]



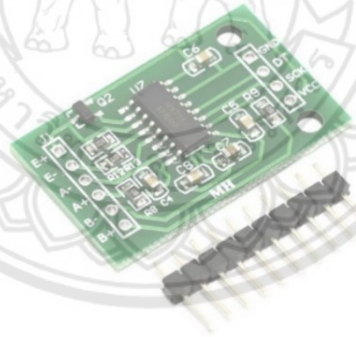
รูปที่ 2.16 รูปแบบการรับภาระของ Load Cell Weight Sensor [19]



รูปที่ 2.17 Wheatstone Bridge ของ Load Cell แบบ Straight Bar [20]

2.2.5 โมดูลขยายสัญญาณของ Load Cell

Amplifier Module Dual Channel for Load Cell รุ่น HX711 [21] เป็นโมดูลขยายสัญญาณจาก Load Cell ให้บอร์ด Arduino สามารถอ่านสัญญาณได้ สัญญาณที่ได้เป็นแบบดิจิตอล 24 Bit มีช่องสำหรับต่อกับโหลดเซลล์ได้โดยตรง ใช้ไฟเลี้ยง 2.6-5.5 โวลต์ ทำงานที่อุณหภูมิ -20 ถึง 85 องศาเซลเซียส โดยโมดูลขยายสัญญาณของ Load Cell มีลักษณะดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 Amplifier Module Dual Channel For Load Cell รุ่น HX711 [21]

2.2.6 Servo Motor

Servo Motor [22] คือมอเตอร์ที่ประกอบด้วยไฟฟ้าคอนโทรลและเครื่องกล ใช้สำหรับงานที่ต้องการควบคุมตำแหน่งความเร็ว แรงบิด ความแม่นยำ และความรวดเร็ว เพื่อให้เครื่องกลและไฟฟ้าคอนโทรลทำงานสอดคล้องกันอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Controller) ซึ่งคือระบบควบคุมที่มีการวัดค่าส่งออกของระบบ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าป้อนเข้าระบบเพื่อควบคุมและปรับแต่งให้ค่าส่งออกของระบบให้มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าที่ป้อนเข้า

หลักการทำงานของ RC Servo Motor (Remote Control Servo Motor) เมื่อจ่ายสัญญาณพัลซ์เข้ามายัง RC Servo Motor ส่วนวงจรควบคุม (Electronic Control System) ภายใน Servo จะทำการอ่านและประมวลผลค่าความกว้างของสัญญาณพัลซ์ (Pulse) คือสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีรูปร่างหรือลักษณะเป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) ที่ส่งเข้ามาเพื่อแปลค่าเป็นตำแหน่งองศาที่ต้องการให้มอเตอร์หมุนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งนั้น แล้วส่งคำสั่งไปทำการควบคุมให้ Motor หมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยมี Position Sensor เป็นตัวเซ็นเซอร์คอยวัดค่ามุมที่ Motor กำลังหมุนเป็น Feedback กลับมาให้วงจรควบคุมเปรียบเทียบกับค่าที่ป้อนเข้าเพื่อควบคุมให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการอย่างถูกต้องแม่นยำ เซอโวมอเตอร์มีลักษณะ ดังรูปที่ 2.19

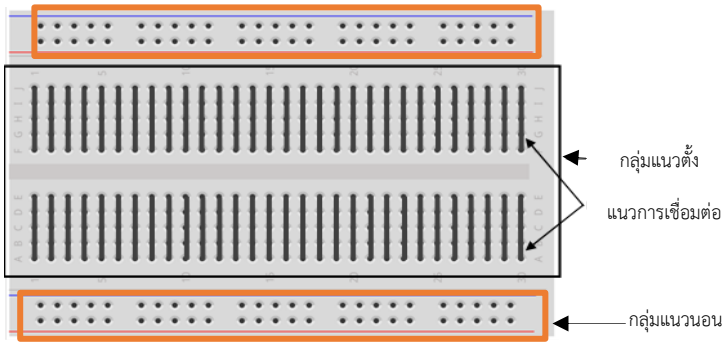
รูปที่ 2.19 Servo Motor [22]

2.2.7 Protoboard

Protoboard [23] คือเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้สามารถเชื่อมต่อวงจรเพื่อทดลองง่ายขึ้น ลักษณะของบอร์ดจะเป็นพลาสติกมีรูจำนวนมาก ภายใต้รูเหล่านั้นจะมีการเชื่อมต่อถึงกันอย่างมีรูปแบบ เมื่อนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาเสียบ ทำให้พลังงานไฟฟ้าสามารถไหลจากอุปกรณ์หนึ่ง ไปยังอุปกรณ์หนึ่งได้ ผ่านรูที่มีการเชื่อมต่อกันด้านล่าง พื้นที่การเชื่อมต่อกัน จะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

2.2.7.1 กลุ่มแนวตั้ง เป็นกลุ่มที่เป็นพื้นที่สำหรับการเชื่อมต่อวงจร วางอุปกรณ์ จะมีช่องเว้นกลางกลุ่มสำหรับเสียบไอซีตัวถังแบบ DIP และบ่งบอกการแบ่งเขตเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 2.20

2.2.7.2 กลุ่มแนวนอน เป็นกลุ่มที่มีการเชื่อมต่อกันในแนวนอน ใช้สำหรับพักไฟที่มาจากแหล่งจ่าย เพื่อใช้สำหรับเชื่อมต่อไฟจากแหล่งจ่ายเลี้ยงให้วงจรต่อไป และจะมีสี สัญลักษณ์สกรีนเพื่อบอกขั้วที่ของแหล่งจ่ายที่ควรนำมาพักไว้ โดยสีแดง จะหมายถึงขั้วบวก และสีดำ หรือสีน้ำเงิน จะหมายถึงขั้วลบ



รูปที่ 2.20 Protoboard [23]

2.3 โปรแกรมที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 Arduino IDE

Arduino IDE [24] เป็นโปรแกรมสำหรับใช้เขียนโปรแกรมคอมไพล์และอัพโหลดโปรแกรมลงบอร์ด Arduino หรือบอร์ดตัวอื่น ๆ ที่คล้ายกัน Arduino IDE สามารถสร้าง Sketch (โปรแกรมที่ถูกเขียนด้วย Arduino IDE จะถูกเรียกว่า Sketch) โดยการเขียนโปรแกรมจะใช้ภาษา C/C++ สำหรับ Arduino 1.8.12 ซึ่งการเขียนโปรแกรมสำหรับ Arduino จะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่หลากหลายเพื่อช่วยในการป้อนคำสั่ง

2.3.2 Visual Studio 2019

Visual Studio 2019 [25] คือการสนับสนุนการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุอย่างเต็มรูปแบบและยังถูกออกแบบมาเพื่อช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้อย่างรวดเร็ว โปรแกรมเมอร์สามารถสร้างโปรแกรม GUI (Graphical User Interface) อย่างง่ายไปจนถึงซับซ้อน ออกแบบการติดต่อกับผู้ใช้ (ฟอร์ม) ได้ทันทีและพัฒนา Application ได้หลายแบบไม่ว่าจะ Windows Form Application และ Web Application เป็นต้น โดยใช้ภาษา เช่น Visual Basic และ C# เป็นต้น การเขียนโปรแกรมนั้นสามารถออกแบบได้โดยการลากและวางส่วนประกอบต่าง ๆ ของตัวควบคุมหรือฟอร์ม การระบุ Attribute เพิ่มเติมสำหรับส่วนประกอบเหล่านั้นและเป็นเครื่องมือที่ใช้สร้างโปรแกรมต่าง ๆ เช่น โปรแกรมที่รันบนระบบปฏิบัติการ Windows โปรแกรมฐานข้อมูล Microsoft access, Microsoft Excel, Microsoft SQL Server และ Component ทางด้าน Active X

2.3.3 Microsoft Excel 365

Microsoft Excel 365 [26] คือโปรแกรมใช้สำหรับเก็บข้อมูลในลักษณะของตาราง มีความสามารถในการคำนวณและสร้างกราฟจากข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ปัจจุบันได้มีการพัฒนา Microsoft Excel หลายรุ่นเพื่อรูปลักษณ์ของหน้าตาและการใช้งานโปรแกรมให้ดูง่าย โดยมีส่วนติดต่อผู้ใช้ที่มีการรวบรวมไว้เป็นหมวดหมู่ให้สามารถใช้งานได้ง่ายและเป็นระบบมากขึ้น โปรแกรม Microsoft Excel เป็นโปรแกรมประเภท Speadsheet หรือโปรแกรมตารางงาน ซึ่งจะเก็บข้อมูลต่าง ๆ ลงบนแผ่นตารางงาน คล้ายกับการเขียนข้อมูลลงไปในสมุดที่มีการตีช่องตารางทั้งแนวนอนและแนวตั้ง ซึ่งช่องตารางแต่ละช่องจะมีชื่อประจำแต่ละช่อง ทำให้ง่ายต่อการป้อนข้อมูล การแก้ไขข้อมูล สะดวกต่อการคำนวณและการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ เนื่องจากมีความสามารถด้านการคำนวณ Microsoft Excel สามารถสร้างสูตรการคำนวณได้ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานจัดเก็บข้อมูลเบื้องต้นได้

2.4 ข้อมูลพื้นฐานของบาร์โค้ด

บาร์โค้ด (Barcode) [27] หรือในภาษาไทยเรียกว่า “รหัสแท่ง” ประกอบด้วยเส้นมืด (มักจะเป็นสีดำ) และเส้นสว่าง (มักเป็นสีขาว) วางเรียงกันเป็นแนวดิ่ง เป็นรหัสแทนตัวเลขและตัวอักษร โดยหลักการแล้วบาร์โค้ดจะถูกอ่านด้วยเครื่องอ่านบาร์โค้ดและบันทึกข้อมูลเข้าไปเก็บในคอมพิวเตอร์โดยตรงไม่ต้องกดปุ่มที่แป้นพิมพ์ ทำให้มีความสะดวก รวดเร็วในการทำงานรวมถึงอ่านข้อมูลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เชื่อถือได้โดยประเทศไทยเลือกใช้ระบบ EAN-13 ซึ่งมีลักษณะเฉพาะของเลขชุด 13 หลักดังแสดงในรูปที่ 2.21 มีความหมายดังนี้

รูปที่ 2.21 ตัวอย่างบาร์โค้ด [27]

885 : ตัวเลข 3 หลักแรก คือรหัสของประเทศไทย

0000 : ตัวเลข 4 ตัวถัดมา เป็นรหัสโรงงานที่ผลิต หรือรหัสสมาชิก

99999 : ตัวเลข 5 ตัวถัดมา เป็นรหัสของสินค้า

4 : ตัวเลขหลักสุดท้ายเป็นตัวเลขตรวจสอบความถูกต้องของตัวเลข 12 ตัวข้างหน้า

บาร์โค้ดออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ บาร์โค้ด 1 มิติ (Barcode 1D), 2 มิติ (Barcode 2D) และ 3 มิติ (Barcode 3D)

2.4.1 บาร์โค้ด 1 มิติ

มีลักษณะเป็นแถบประกอบด้วยเส้นสีดำสลับกับเส้นสีขาว ใช้แทนรหัสตัวเลขหรือตัวอักษร โดยสามารถบรรจุข้อมูลได้ประมาณ 20 ตัวอักษรการใช้งานบาร์โค้ดมักใช้ร่วมกับฐานข้อมูลคือเมื่ออ่านบาร์โค้ดและถอดรหัสแล้วจึงนำรหัสที่ได้ใช้เรียกข้อมูลจากฐานข้อมูลอีกต่อหนึ่งบาร์โค้ดจะต้องมีความคมชัดของเส้นแต่ละเส้น ไม่ขาดหาย ออกดังรูปที่ 2.22 ขนาดของบาร์โค้ดจะมีขนาดมาตรฐานของแต่ละระบบอยู่แล้ว โดยสามารถย่อลงได้มากสุด 20% พื้นที่ด้านข้างของตัวบาร์โค้ด (Quiet Zone) จะต้องมีเนื้อที่ 10 เท่าของแท่งรหัสที่เล็กที่สุด หรือมากกว่า 3.6 มิลลิเมตร มิฉะนั้นจะอ่านไม่

รูปที่ 2.22 ตัวอย่างบาร์โค้ด [27]

2.4.2 บาร์โค้ด 2 มิติ

เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาเพิ่มเติมจากบาร์โค้ด 1 มิติ โดยออกแบบให้บรรจุได้ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน ทำให้สามารถบรรจุข้อมูลมากได้ประมาณ 4,000 ตัวอักษรหรือประมาณ 200 เท่าของบาร์โค้ด 1 มิติในพื้นที่เท่ากันหรือเล็กกว่า ข้อมูลที่บรรจุสามารถใช้ภาษาอื่นนอกจากภาษาอังกฤษได้ เช่น ภาษาญี่ปุ่น จีน หรือเกาหลี เป็นต้นและบาร์โค้ด 2 มิติสามารถถอดรหัสได้ แม้ภาพบาร์โค้ด

บางส่วนมีการเสียหาย อุปกรณ์ที่ใช้อ่านและถอดรหัสบาร์โค้ด 2 มิติมีตั้งแต่เครื่องอ่านแบบซีซีดีหรือเครื่องอ่านแบบเลเซอร์เหมือนกับของบาร์โค้ด 1 มิติจนถึงโทรศัพท์มือถือแบบมีกล้องถ่ายรูปในตัวซึ่งติดตั้งโปรแกรมถอดรหัสไว้ ในส่วนลักษณะของบาร์โค้ด 2 มิติมีอยู่อย่างมากมายตามชนิดของบาร์โค้ด เช่น วงกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าคล้ายกับบาร์โค้ด 2 มิติ ดังรูปที่ 2.24 เป็นต้น ตัวอย่างบาร์โค้ด 2 มิติ ได้แก่ PD417, MaxiCode, Data Matrix, และ QR Code

รูปที่ 2.23 บาร์โค้ด 2 มิติ [27]

2.4.3 บาร์โค้ด 3 มิติ

เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาเพิ่มเติมจากบาร์โค้ด 2 มิติเพื่อบาร์โค้ดติดบนวัตถุได้นาน ทนต่อสภาพสิ่งแวดล้อม โดยการยิงเลเซอร์ หรือทำการสลักตัวบาร์โค้ดลงไปบนเนื้อวัตถุโดยตรง ทำให้บาร์โค้ดมีลักษณะสูงหรือต่ำกว่าพื้นผิวขึ้นมาดังรูปที่ 2.24

รูปที่ 2.24 บาร์โค้ด 3 มิติ [27]

บทที่ 3
วิธีการและผลการดำเนินงาน

3.1 การสืบค้นข้อมูลเครื่องรับคืนขวดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและศึกษาวรรณกรรมปริทัศน์

3.1.1 สืบค้นข้อมูลเครื่องรับคืนขวดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

จากการสืบค้นข้อมูลราคา ฟังก์ชันการทำงาน ประเภทของบรรจุภัณฑ์ที่เครื่องสามารถรับได้ และการให้ผลตอบแทนแก่ผู้ที่มาใช้บริการเครื่องรับคืนขวดเป็นต้น พบว่าเครื่องรับคืนขวดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดแต่ละเครื่องนั้น มีราคาที่ค่อนข้างสูง มีฟังก์ชันการทำงานโดยรวมที่คล้ายคลึงกันดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.1 โดยได้ทำการเปรียบเทียบฟังก์ชันของแต่ละเครื่องดังตารางที่ 3.1

3.1.2 ศึกษาวรรณกรรมปริทัศน์

ในการศึกษาวรรณกรรมปริทัศน์เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเช่น การพัฒนาถังขยะรีไซเคิลที่ถูกควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรเลอร์และระบบเซ็นเซอร์เพื่อสะดวกในการคัดแยก การนำระบบสแกนบาร์โค้ดที่เข้ามาช่วยในการคัดแยกประเภทของขวดพลาสติก และการเพิ่มพื้นที่เก็บบรรจุภัณฑ์ภายในเครื่องโดยจะใช้กระบวนการบีบอัด ซึ่งเนื้อหานั้นถูกกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.1.2

3.1.3 ข้อมูลน้ำหนักขวดพลาสติกและราคารับซื้อ

จากการสำรวจขวดพลาสติกในคณะวิศวกรรมศาสตร์ในเบื้องต้นได้นำขวดพลาสติกมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล Electronic Balance (OHAUS) รุ่น Pioneer Series ความละเอียด ± 0.001 กรัม เพื่อทดลองคำนวณราคารับซื้อต่อขวด ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบเครื่องรับคืนขวดตามท้องตลาดและจากงานวิจัย

Function	ชื่อ/ยี่ห้อ เครื่องรับคืนขวด							
	YC-301 (INCOM TOMRA)	RL140108 (AZALCO)	H-11 (INCOM TOMRA)	HONEST	Refund Machine	RVM	T-53 (TOMRA)	T-70(TOMRA)
จอสัมผัส	/	/	/	/	/	/	/	/
ขนาดหน้าจอ (นิ้ว)	42	21	21.5	19	19	15	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
ความจุ	400 ขวด (0.5L) ,150 ขวด (1.5 L)	1000 ขวด (50-85 มม.)	> 500 ขวด (0.5L)	>500 ขวด (0.5L)	>500 ขวด (0.5 L), (1 L), (1.5 L)	900 ขวด 700 กระป๋อง	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
ผลิตภัณฑ์ที่รองรับ	ขวดPET, กระป๋องอลูมิเนียม	ขวด PET	ขวด PET, กระป๋องอลูมิเนียม	ขวด PET, กระป๋องอลูมิเนียม	ขวด PET	ขวด PET, กระป๋องอลูมิเนียม	ขวด PET, กระป๋องอลูมิเนียม	ขวดPET, กระป๋องอลูมิเนียม, ขวดแก้ว
กระบวนการอัดบีบขวด	x	x	/	/	/	/	/	x
แสดงสถานะเมื่อพบบรรจุภัณฑ์ที่ไม่พึงประสงค์	/	/	/	/	/	/	/	/
ระบบคัดแยกขวด	x	x	x	x	x	x	x	/
ระบบสแกนบาร์โค้ด	/	/	/	/	/	/	/	/
ผลตอบแทน	บัตรกำนัล	เงินสด, บัตรกำนัล	บัตรกำนัล	บัตรกำนัล	ใช้แทนเงินสดเพื่อซื้อสินค้า, เก็บสะสมแต้มเพื่อใช้เติมเงินโทรศัพท์, บริจาคเพื่อการกุศล	บัตรกำนัล, เงินสด	บัตรกำนัล	บัตรกำนัล
ผลิตจาก	ประเทศจีน	ประเทศจีน	ประเทศจีน	ประเทศจีน	ประเทศไทย	ประเทศไทย	ประเทศนอร์เวย์	ประเทศนอร์เวย์
ราคา (บาท)	210,000 - 280,000	300,000	240,000 - 350,000	180,000 - 306,000	120,000	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
รูปภาพประกอบ								

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงน้ำหนักบรรจุภัณฑ์และราคาต่อขวด

ลำดับ	ชื่อ/ยี่ห้อ	ประเภทขวดพลาสติก	ปริมาตรสุทธิ (มล.)	น้ำหนัก (กรัม)	ราคา/ขวด (บาท)
1	มิสเตอร์ วอเตอร์	ขวด PET ใส	600	20.05	0.195
2	คริสตัล	ขวด PET ใส	1,500	29.19	0.277
3	คริสตัล	ขวด PET ใส	1,000	23.09	0.219
4	ยันฮี	ขวด PET ใส (สกรีน)	460	28.95	0.116
5	โออิชิ	ขวด PET ใส	380	22.02	0.209
6	เย็น เย็น	ขวด PET ใส(สกรีน)	315	21.74	0.087
7	อิชิตัน	ขวด PET ใส	420	22.91	0.218
8	โค้ก	ขวด PET ใส	590	26.19	0.249
9	Nestle เพียวไลฟ์	ขวด PET ใส	330	10.78	0.102
10	โออิชิ	ขวด PET ใส	380	21.63	0.205
11	แฟนต้า	ขวด PET ใส	500	26.01	0.247
12	คริสตัล	ขวด PET ใส	600	15.49	0.147
13	เอ็น ยู ดริ๊ง	ขวด PET ใส	600	19.74	0.187

ในการคำนวณราคาของบรรจุภัณฑ์ใช้ข้อมูลอ้างอิงจากจากตารางที่ 3.3 ซึ่งเป็นใบแจ้งราคารับซื้อสินค้าของบริษัท วงษ์พาณิชย์ อินเตอร์เนชั่นเนล จำกัด ณ วันที่ 19 สิงหาคม 2562

ตารางที่ 3.3 ราคารับซื้อสินค้าประเภทพลาสติกของบริษัท วงษ์พาณิชย์ อินเตอร์เนชั่นเนล จำกัด (บาท/กิโลกรัม) [28]

ประเภทพลาสติก / Plastic							
ชนิดสินค้า	ราคา / หน่วย	ชนิดสินค้า	ราคา / หน่วย	ชนิดสินค้า	ราคา / หน่วย	ชนิดสินค้า	ราคา / หน่วย
ขวดน้ำ PET ใสในเครือเป๊ปซี่	10.50.-	No.1 ขวดน้ำ PET ใส	9.50.-	No.2 ขวดน้ำPET(สีเขียว)	3.00.-	No.3 ขวดน้ำ PET ใส (สกรีน)	2.00.-
ขวดน้ำขาว-ขุ่น (HDPE)	12.00.-	ถังน้ำขาว-ขุ่น20ลิตร (HDPE)	4.00.-	พลาสติกรวมสี	4.00.-	พลาสติกจุกน้ำปลา	2.50.-
พลาสติกแผ่นป้ายอะคีลิค	4.50.-	พลาสติกขวดน้ำเกลือ (ตัดจุก)	10.00.-	พลาสติกขวดน้ำเกลือ (ไม่ตัดจุก)	5.00.-	พลาสติก กรอบจอม (ชิ้นใหญ่)	0.50.-
สายรัด PET(สีเขียวใส)	2.00.-	สายรัดPP.ลอยน้ำ(รวมสี)	1.50.-	พลาสติกแผ่น VCD	11.00.-	พลาสติกแผ่นDVD	4.50.-
ขวด PVC ใส/สี	0.40.-	เศษถุงปุ๋ย(ไม่เปียก,สะอาด)	1.00.-	PP.TD10,20(กึ่งจมกึ่งลอยน้ำ)	2.00.-	ขวด เชเว่นอัพ , เมาเท่นดิว	4.00.-
ถุงพลาสติกใหญ่ PE	1.30.-	ถุงพลาสติกใหญ่ HDPE	1.00.-	ถุงดำใหญ่(ไม่เปียก)	0.70.-	แผ่นฟิวเจอร์ บอร์ด(สี)	2.00.-
แผ่นฟิวเจอร์บอร์ด(ดำ)	1.20.-	ท่อเอสล่อนPVCสีฟ้า	5.00.-	ท่อเอสล่อน PVC สีเทา	0.30.-	เปลือกสาย PVC ใหญ่(ดำ)	3.00.-
เปลือกสาย PVCเล็ก(ดำ)	1.00.-	เปลือกสาย PVC รวมสี	0.50.-	รองเท้ายางPVC	1.50.-	รองเท้าบู๊ทPVC	6.50.-
ไฟหน้า,ไฟท้ายรถยนต์ (P.C)	2.00.-	สายยางอ่อน	2.00.-	สายยางแข็ง	1.00.-	สายยางเขียว	1.40.-
พลาสติกPSใส กล่อง CD	1.00.-	โฟม(สะอาด)	3.00.-	ท่อเอสล่อนPVCสีเหลือง	1.00.-		

3.2 การประมาณปริมาณการใช้ขวดพลาสติกในมหาวิทยาลัยนเรศวร

3.2.1 สำรวจขวดพลาสติกในคณะวิศวกรรมศาสตร์

จากการสำรวจพบว่าร้านค้าในคณะวิศวกรรมศาสตร์มีทั้งหมด 4 ร้าน แต่ละร้านมีตู้จำหน่ายเครื่องดื่มหลากหลายชนิดรวมถึงขวดพลาสติกที่เป็นบรรจุภัณฑ์ซึ่งพบค่อนข้างมากตามบริเวณโต๊ะของโรงอาหารและบนตึกอาคารเรียนรวมถึงบริเวณที่ทิ้งขยะที่ถูกทิ้งปนกันอยู่กับขยะประเภทต่าง ๆ เช่น กระดาษ ถุงพลาสติก ขวดแก้วและกระป๋องอื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นขยะจำพวกขวดพลาสติกแบบ PET (Polyethylene Terephthalate) เป็นจำนวนมาก

3.2.2 สำรวจจำนวนการซื้อเครื่องดื่มบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติกของนิสิตในคณะวิศวกรรมศาสตร์

จากการสัมภาษณ์ผู้จำหน่ายสินค้าในคณะวิศวกรรมศาสตร์ พบว่าจำนวนบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มขวดพลาสติกมีปริมาณการซื้อค่อนข้างมากอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มชนิดอื่น ๆ ที่วางจำหน่ายในตู้ ดังแสดงในตารางที่ 3.4 แสดงถึงปริมาณการซื้อขวดพลาสติกของนิสิตและบุคลากรต่อวัน ซึ่งประมาณการโดยนำจำนวนขวดพลาสติกที่ขายได้ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ คูณกับจำนวนคณะในมหาวิทยาลัยนเรศวร 16 คณะ 1 วิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 ผลสำรวจจำนวนบรรจุภัณฑ์ที่ขายในคณะวิศวกรรมศาสตร์

ร้านที่สำรวจ	วัน/เดือน/ปี	ผลสำรวจ		เฉลี่ยจำนวนขวดพลาสติกต่อวัน
		จำนวนขวดพลาสติก	จำนวนขวดอื่น ๆ	
ซุ้มคณะเกษตรศาสตร์	7/2/2562	70	50	75.33
	7/5/2562	80	56	
	7/6/2562	76	53	
ร้าน I am coffee	20/7/2562	60	35	70
	21/7/2562	80	40	
ร้านค้า 1	20/7/2562	36	10	33
	21/7/2562	30	10	
ร้านค้า 2	20/7/2562	10	5	9.5
	21/7/2562	9	5	
รวมขวดพลาสติกที่ขายได้ในคณะวิศวกรรมศาสตร์				187.83
ประมาณการจำนวนขวดพลาสติกต่อวันในมหาวิทยาลัย/จำนวนนิสิตและบุคลากรทั้งหมด				3,193.11

3.3 ออกแบบต้นแบบเครื่องรับคืนขวด

3.3.1 ฟังก์ชันต้นแบบเครื่องรับคืนขวด

3.3.1.1 เครื่องสามารถอ่านรหัสบาร์โค้ดบนบัตรประจำตัวนิสิตและขวดเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในฐานข้อมูลได้

3.3.1.2 เครื่องสามารถชั่งน้ำหนักขวดเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่มากับขวด

3.3.1.3 เครื่องสามารถสื่อสารกับผู้ใช้งานผ่านการแสดงผลบนหน้าจอ LCD หากพบรหัสบาร์โค้ดบนบัตรนิสิตและขวดไม่มีอยู่ในฐานข้อมูลเครื่องสามารถแสดงข้อความให้ผู้ใช้งานสแกนรหัสบาร์โค้ดและขวดใหม่อีกครั้ง และหากมีสิ่งแปลกปลอมที่มากับขวดที่ใช้งานเครื่องแสดงข้อความตอบกลับผู้ใช้งานให้นำขวดออกแล้วใส่ขวดใหม่อีกครั้งเช่นกัน นอกจากนี้เครื่องสามารถคำนวนคะแนนและแสดงคะแนนสะสมได้

3.3.1.4 เครื่องสามารถรับขวด PET ใสตั้งแต่ 330 ถึง 1,500 มิลลิลิตร ได้

3.3.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องรับคืนขวด

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องรับคืนขวด มีลำดับดังนี้

1. ผู้ใช้งานทำการสแกนรหัสบาร์โค้ดบนบัตรประจำตัวนิสิต เครื่องรับคืนขวดจะอ่านบาร์โค้ดและเปรียบเทียบรหัสบาร์โค้ดของผู้ใช้งานในฐานข้อมูล เมื่อพบรหัสในฐานข้อมูลเครื่องทำการรอบันทึกข้อมูลการทำรายการของผู้ใช้งานและส่งข้อมูลผู้ใช้งานไปเก็บในฐานข้อมูล

2. หลังจากขั้นตอนที่ 1 เมื่อผู้ใช้งานนำขวดมารับการสแกนบาร์โค้ด เครื่องรับคืนขวดจะทำการอ่านบาร์โค้ดของขวดและนำข้อมูลที่อ่านได้ไปเปรียบเทียบในฐานข้อมูล รอการประมวลผลเปรียบเทียบข้อมูลของขวดกับฐานข้อมูลในลำดับต่อไป

3. หลังจากการอ่านบาร์โค้ดของขวด ผู้ใช้งานนำขวดใส่ช่องวางขวด เครื่องรับคืนขวดจะทำการชั่งน้ำหนักของขวด จากนั้นเครื่องรับคืนขวดจะนำข้อมูลที่ได้จากการชั่งน้ำหนักไปประมวลผลเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล

4. เครื่องรับคืนขวดจะทำการประมวลผลเปรียบเทียบข้อมูลขวดทั้งหมด ถ้าหากข้อมูลที่ได้รับตรงกับข้อมูลในฐานข้อมูล เครื่องรับคืนขวดจะแสดงข้อความตอบรับขวดผ่านหน้าจอ LCD

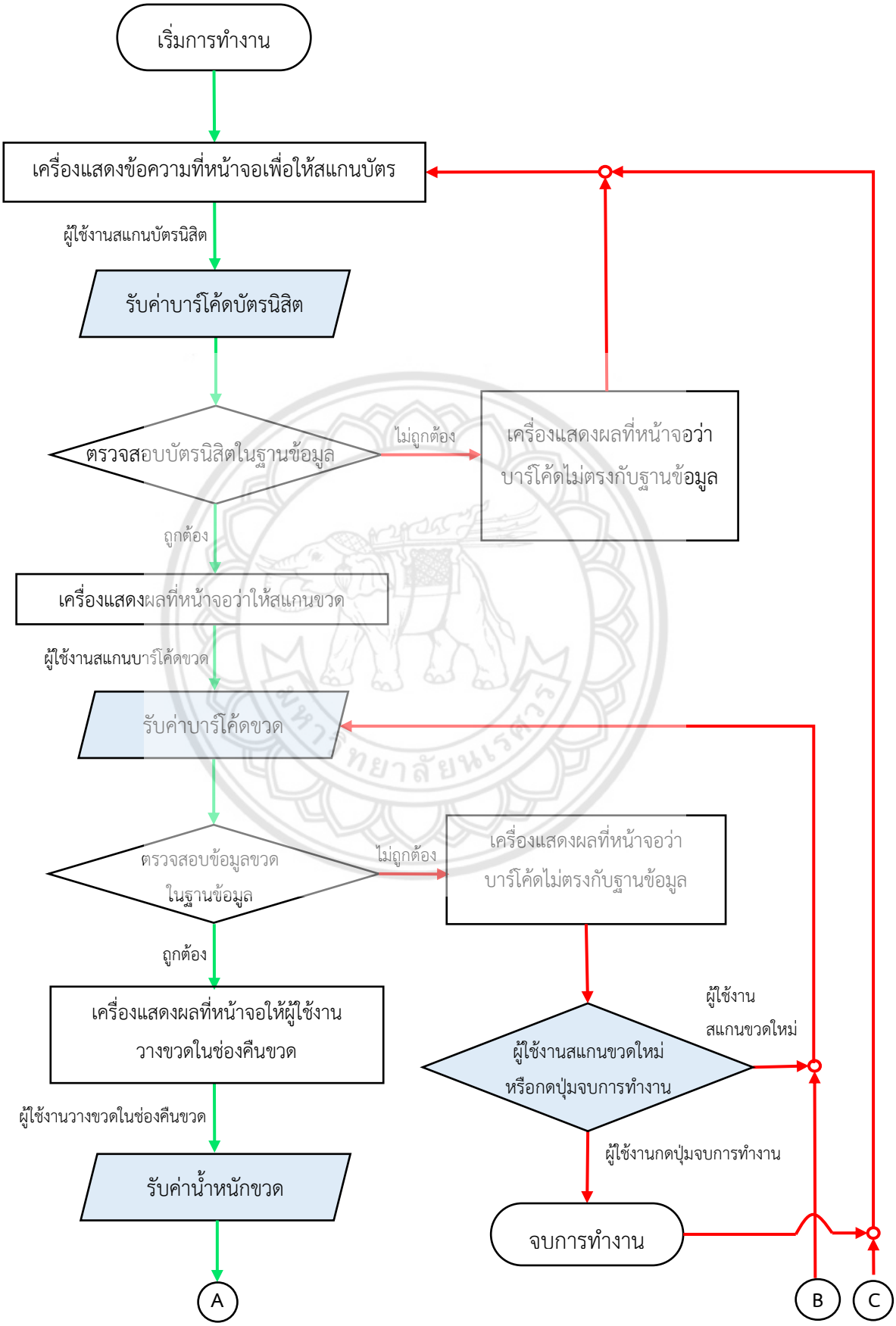
บนเครื่องรับคืนขวด หากข้อมูลที่ได้ไม่ตรงกับฐานข้อมูล เครื่องจะปฏิเสธขวดน้ำและแสดงบนหน้าจอของเครื่องรับคืนขวดเพื่อผู้ใช้นำขวดออก

5. เมื่อประมวลผลสำเร็จ เครื่องรับคืนขวดจะทำการเก็บขวดลงในถังเก็บขวด และแสดงข้อความรอรับขวดถัดไปหรือให้ผู้ใช้งานกดปุ่มหยุดการใช้งาน

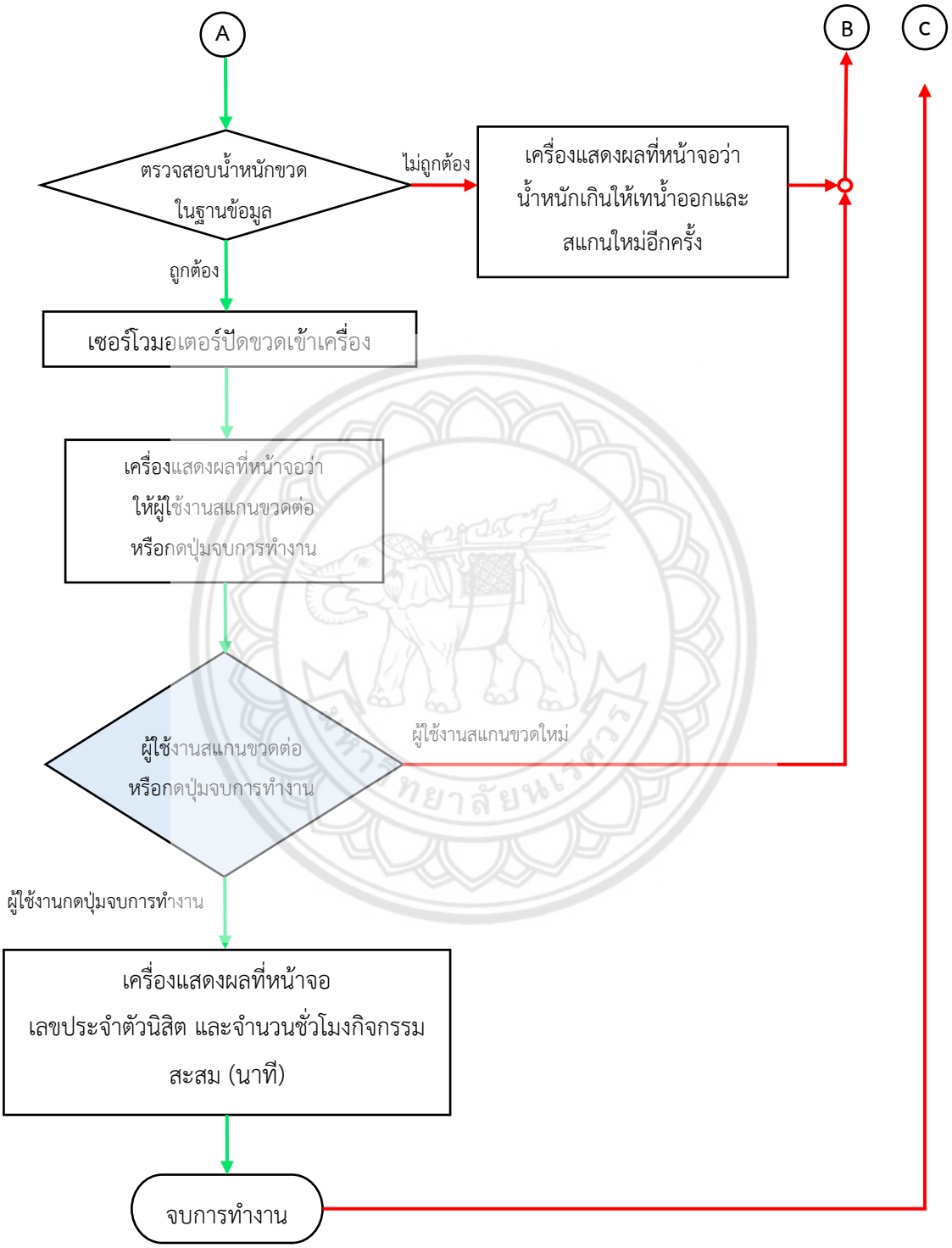
6. หากผู้ใช้งานนำขวดเข้าเครื่องรับคืนขวดเรียบร้อยแล้ว เครื่องทำการคำนวณคะแนนจากขวดทั้งหมดที่ได้รับและส่งผลคำนวณไปยังฐานข้อมูล

7. หลังจากการบันทึกคะแนนลงในฐานข้อมูล เครื่องรับคืนขวดจะทำการการบันทึกข้อมูลการทำรายการลงในฐานข้อมูลจากนั้นเมื่อผู้ใช้งานกดปุ่มหยุดการใช้งานเครื่อง จะแสดงข้อความสรุปคะแนนข้อผู้ใช้งาน

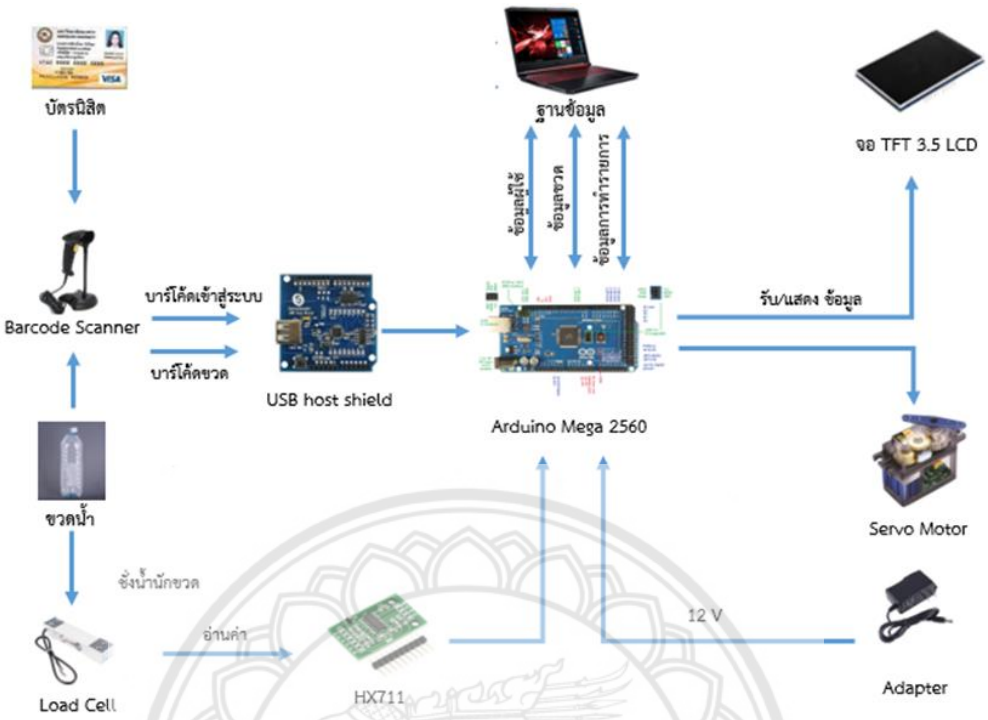
จากการออกแบบการใช้งานเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติทำให้สามารถออกแบบแผนผังการทำงานของเครื่องรับคืนขวดกับผู้ใช้งานได้ แสดงดังรูปที่ 3.1 และสามารถเลือกอุปกรณ์และโปรแกรมที่เหมาะสมมาใช้ในการจัดทำโครงงานได้ โดยแผนผังแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ของระบบต้นแบบเครื่องรับคืนขวด แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องรับคืนขวดกับผู้ใช้งาน



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องรับคืนขวดกับผู้ใช้งาน (ต่อ)



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกันของต้นแบบเครื่องรับคืนขวด

3.3.3 การคำนวณชั่วโมงกิจกรรมของเครื่องรับคืนขวด

หลักการคำนวณอัตราส่วนแลกเปลี่ยนพื้นฐานของเครื่องรับคืนขวดอ้างอิงจากค่าจ้างนิสิตช่วยงาน 25 บาท ต่อ 1 ชั่วโมง โดยคิดอัตราส่วนเท่ากับ 2,500 สตางค์ต่อชั่วโมง และนำมาหารด้วยค่าเฉลี่ยของราคาต่อขวดแต่ละยี่ห้อ จากตารางที่ 3.2 คือ 18.91 สตางค์ เพื่อสร้างแรงจูงใจในการนำขวดมาคืนที่เครื่องจึงให้ราคาเป็น 4 เท่าของค่าเฉลี่ยราคาขวด โดยพบว่าจากเมื่อคำนวณแล้วได้ปริมาณจำนวนขวดเฉลี่ยต่อชั่วโมงที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ดังสมการที่ 3.1

$$\frac{2500}{4 \times 18.91} = 33 \text{ ขวด/ชั่วโมง} \qquad (3.1)$$

ดังนั้นหากต้องการชั่วโมงกิจกรรม 1 ชั่วโมง หรือ 60 นาที จะต้องนำขวดมาแลกที่เครื่องรับคืนขวดอย่างน้อย 33 ขวดโดยประมาณ ซึ่งนำมาคิดเป็นชั่วโมงกิจกรรมสะสมเป็นนาทีต่อขวด โดยใช้สมการที่ 3.2

$$\frac{60}{33} = 1.818 \text{ นาที/ขวด} \qquad (3.2)$$

หรือสามารถคิดเป็นชั่วโมงกิจกรรมสะสมของขวดแต่ละยี่ห้อโดยเฉลี่ย ประมาณ 2 นาทีต่อขวด ดังนั้น จึงสรุปเป็นชั่วโมงกิจกรรมต่อขวด ของขวดแต่ละยี่ห้อ ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงชั่วโมงกิจกรรมต่อขวดของต้นแบบเครื่องรับคืนขวด

ลำดับ	ชื่อ/ยี่ห้อ	ปริมาตรสุทธิ (มิลลิลิตร)	ชั่วโมงกิจกรรม (นาที/ขวด)
1	มิสเตอร์ วอเตอร์	600	2
2	คริสตัล	1,500	3
3	คริสตัล	1,000	2
4	ยันฮี	460	1
5	โออิชิ	380	2
6	เย็น เย็น	315	1
7	อิชิตัน	420	2
8	โค้ก	590	2
9	Nestle เพียวไลฟ์	330	1
10	โออิชิ	380	2
11	แฟนต้า	500	2
12	คริสตัล	600	2
13	เอ็น ยู ดริ๊ง	600	2

3.4 การสร้างต้นแบบเครื่องรับคืนขวดและเขียนโปรแกรม

3.4.1 การสร้างต้นแบบเครื่องรับคืนขวดและการเขียนโปรแกรม

การสร้างต้นแบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ โครงสร้างกลไกเครื่องรับคืนขวด และฟังก์ชันการทำงานชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยรูปร่างลักษณะภายนอกของเครื่องเป็นดังรูปที่ 3.3

เครื่องรับคืนขวดสร้างด้วยวัสดุโครงสร้างอย่างง่ายมาประกอบกันด้วยการใช้เหล็กฉากเจาะรูที่ยึดด้วยสกรู มีฝาตู้ที่ทำจากฟิวเจอร์บอร์ด (รูปที่ 3.4) และติดตั้งกลไกการทำงานด้วยการใช้เหล็กฉากเจาะรูและไม้เหลี่ยมเป็นฐานสำหรับชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ๆ คือ

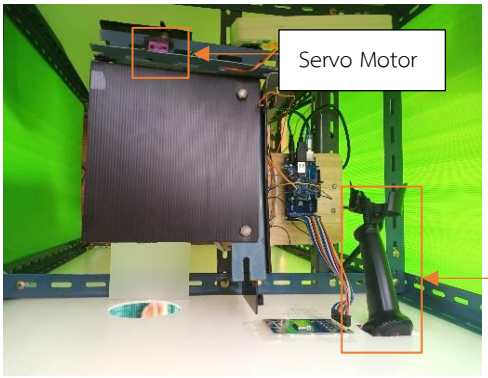
Arduino Mega 2560, จอ TFT3.5 LCD, Barcode Scanner, Load Cell, และ Servo Motor ตามที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.3.2 (รูปที่ 3.2)

อุปกรณ์ดังกล่าวข้างต้นถูกควบคุมด้วยการใช้ Arduino Mega 2560 สั่งการผ่านโปรแกรม Arduino IDE ให้สามารถสแกนบาร์โค้ดบนบัตรนิสิตด้วย Barcode Scanner ผ่าน USB Host Shield เพื่อแปลงและส่งไปยัง Arduino จากนั้น Arduino ส่งข้อมูลไปที่ Windows Form Application ที่เขียนด้วยภาษา Visual Basic บนโปรแกรม Visual Studio 2019 ให้สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติ (รูปที่ 3.5) เพื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่สร้างไว้ในโปรแกรม Microsoft Excel 365

ทั้งนี้ในฐานข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย เลขบาร์โค้ดบนบัตรนิสิต เลขบาร์โค้ดบนขวด น้ำหนักขวด และคะแนนของขวด นอกจากนี้ฐานข้อมูลยังเป็นที่เก็บบันทึกคะแนนของ User อีกด้วย โดยผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่มข้อมูลเหล่านี้ในฐานข้อมูลได้ตลอดเวลา

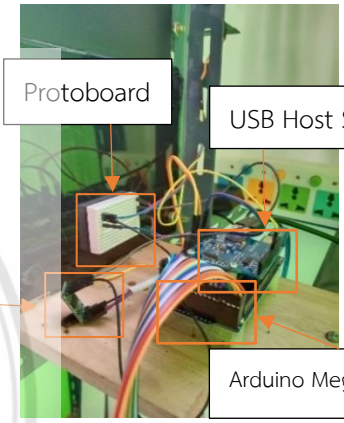
เมื่อ Windows Form Application ประมวลผลแล้วจะส่งสัญญาณกลับไปให้ Arduino เพื่อดำเนินการในฟังก์ชันต่อไปตามแผนผังการทำงานของเครื่องและผู้ใช้ (รูปที่ 3.1) ได้แก่ 1) เชื่อมต่อกับจอ TFT3.5 LCD ทุกครั้งเมื่อมีข้อมูลส่งมาเพื่อสื่อสารกับผู้ใช้งาน 2) รับค่าน้ำหนักขวดจาก Load Cell ซึ่งทำการสอบเทียบแล้ว และมีความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย 0.852 % (ภาคผนวก) เชื่อมผ่าน HX711 แปลงสัญญาณส่งไป Arduino 3) เชื่อมต่อกับ Servo Motor ทำการปัดขวดเก็บ และ 4) รอรับสัญญาณจากผู้ใช้งานเมื่อกดปุ่มหยุดการทำงาน

รูปที่ 3.3 ต้นแบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติ



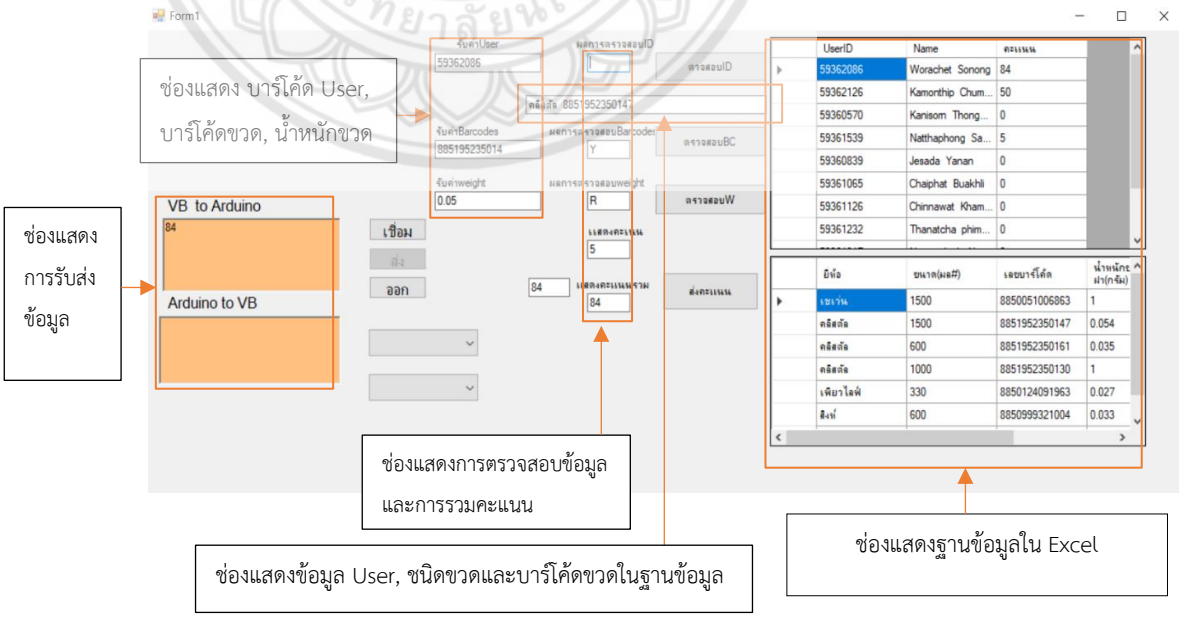
ก. ด้านบน

ข. ด้านหน้า



ค. ด้านข้าง

รูปที่ 3.4 โครงสร้างและกลไกภายในเครื่องรับคืนขวด



รูปที่ 3.5 Windows Form Application บน Visual Studio 2019 ที่ใช้รับส่งค่าระหว่าง Arduino และ Excel

3.4.2 อุปกรณ์และงบประมาณ

ต้นทุนวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาต้นแบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติ มีมูลค่ารวม 4,193 บาท ทั้งนี้ เมื่อคิดเฉพาะรายการวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตต้นแบบ โดยไม่รวมค่าคอมพิวเตอร์และโปรแกรม คิดเป็นต้นทุนทั้งสิ้น 2,643 บาท ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 รายการวัสดุอุปกรณ์ต้นทุนของต้นแบบเครื่องรับคืนขวด และงบประมาณ

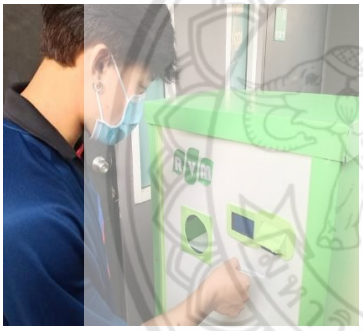
ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคา (บาท)
1	จอ TFT3.5 LCD	1	350
2	Arduino Mega 2560	1	360
3	Barcode Scanner Module (MH-ET LIVE Scanner V3)	1	430
4	Load Cell	1	100
5	HX711 Load Cell Amplifier Module	1	35
6	USB Host Shield	1	300
7	สายไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์, USB	78	233
8	สวิตช์กดติดปล่อยดับ	1	15
9	Protoboard	1	35
10	Adapter 9V	1	80
วัสดุกลไก			
1	Servo Motor	1	125
2	ล้อรถเข็น (5 cm)	4	80
4	แผ่นพลาสติก (10x32 cm)	1	65
วัสดุโครงสร้าง			
1	ชุดน็อตตัวผู้ ตัวเมีย	5	116
2	ฟิวเจอร์บอร์ด (12x65 cm)	6	70
3	ไม้เหลี่ยม (20x30 cm)	1	49
รวม	วัสดุอื่น ๆ		200
รวมทั้งหมด			2,643

บทที่ 4
การใช้งานและการทดสอบ

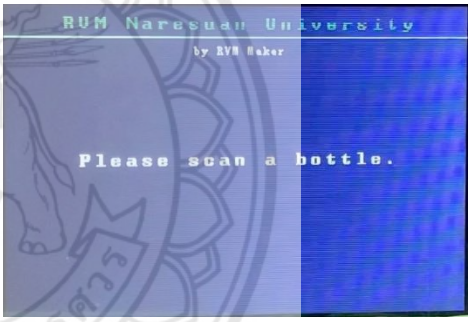
4.1 การใช้งาน

4.1.1 ขั้นตอนการใช้งานเครื่องรับคืนขวด

1. ผู้ใช้งานทำการสแกนรหัสบาร์โค้ดบนบัตรประจำตัวนิสิตที่หน้าเครื่องดังรูปที่ 4.1 รอเครื่องทำการประมวลผลและแสดงผลที่หน้าจอให้ผู้ใช้งานสแกนบาร์โค้ดบนขวด ดังรูปที่ 4.2



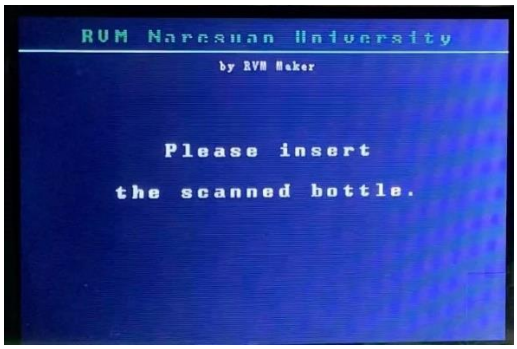
รูปที่ 4.1 สแกนบาร์โค้ดผู้ใช้งาน



รูปที่ 4.2 หน้าจอแสดงผลโปรดสแกนบาร์โค้ดขวด

2. ผู้ใช้งานนำขวดมารับการสแกนบาร์โค้ดที่หน้าเครื่อง (รูปที่ 4.3) รอเครื่องทำการประมวลผลและแสดงผลที่หน้าจอให้ผู้ใช้งานนำขวดที่ผ่านการสแกนแล้วใส่ในช่องคืนขวด ดังรูปที่ 4.4

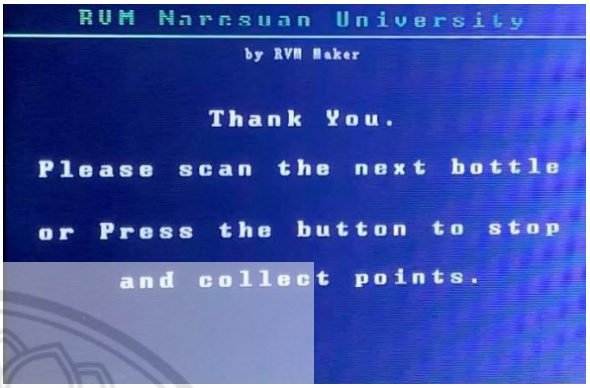
รูปที่ 4.3 สแกนบาร์โค้ดขวดน้ำ



รูปที่ 4.4 หน้าจอแสดงผลให้ผู้ใช้งานวางขวด

3. ผู้ใช้งานนำขวดที่สแกนบาร์โค้ด มาใส่ในช่องรับคืนขวดดังรูปที่ 4.5 รอเครื่องทำการประมวลผลหากผ่านเกณฑ์เครื่องจะปัดเก็บขวดและแสดงผลที่หน้าจอให้ผู้ใช้งานสแกนขวดถัดไปหรือกดปุ่มหยุดการทำงาน ดังรูปที่ 4.6

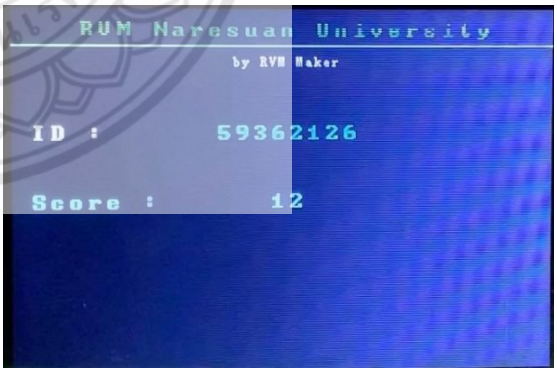
รูปที่ 4.5 ใส่ขวดในช่องคืนขวด



รูปที่ 4.6 หน้าจอแสดงผลสแกนขวดถัดไปหรือหยุดการทำงาน

4. ถ้าผู้ใช้งานต้องการทำรายการต่อให้ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 และ 3 หากไม่ต้องการทำรายการต่อให้ผู้ใช้งานกดปุ่มหยุดการทำรายการที่หน้าเครื่องดังรูปที่ 4.7 และหน้าหน้าจอจะแสดงผลสรุปการทำรายการเป็นชั่วโมงกิจกรรมในหน่วยนาทีของผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 4.8

รูปที่ 4.7 กดปุ่มหยุดการทำงาน



รูปที่ 4.8 หน้าจอแสดงรหัสนิสิตและชั่วโมงกิจกรรม

4.2 การทดสอบฟังก์ชันและการทำงาน

การทดสอบเครื่องรับคืนขวดแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ส่วนที่ 1 คือการทดสอบฟังก์ชันการตรวจสอบทั้ง 3 ฟังก์ชัน ได้แก่ บัตรนิสิต บาร์โค้ดขวดและน้ำหนักขวด ส่วนที่ 2 คือการทดสอบการทำงานแบบต่อเนื่องของเครื่องรับคืนขวด

วัสดุอุปกรณ์

1. ต้นแบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติ 1 เครื่อง
2. บัตรนิสิตที่มีในฐานข้อมูล 3 ใบ
3. บัตรนิสิตที่ไม่มีในฐานข้อมูล 3 ใบ
4. ขวดน้ำดื่มที่มีในฐานข้อมูล 4 ขวด
    - 4.1. ขวดเนสท์เล่ ขนาด 330 มิลลิลิตร
    - 4.2. ขวดสิงห์ ขนาด 600 มิลลิลิตร
    - 4.3. ขวดคริสตัล ขนาด 1,500 มิลลิลิตร
    - 4.4. ขวดคริสตัล ขนาด 600 มิลลิลิตร
5. ขวดน้ำดื่มที่ไม่มีในฐานข้อมูล 2 ขวด
    - 5.1. ขวดแมนซั่ม ขนาด 450 มิลลิลิตร
    - 5.2. ขวดสไปรท์ ขนาด 1,250 มิลลิลิตร

4.2.1 การทดสอบส่วนที่ 1

การทดสอบฟังก์ชันการตรวจสอบข้อมูลของต้นแบบเครื่องรับคืนขวดกึ่งอัตโนมัติ 3 ฟังก์ชัน ได้แก่ การตรวจสอบรหัสบัตรนิสิต บาร์โค้ดขวดและน้ำหนักขวด ซึ่งเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูล

4.2.1.1 ขั้นตอนการทดสอบบัตรนิสิต

1. นำบัตรนิสิตสแกนที่หน้าเครื่อง บันทึกผลการตรวจสอบข้อมูลบัตรนิสิตลงในตารางที่ 4.1
2. กดปุ่มที่หน้าเครื่อง เพื่อจบการทำงาน
3. ทำขั้นตอนที่ 1 และ 2 ซ้ำ โดยใช้บัตรลำดับทัดไปจนครบทั้ง 6 ใบ

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบบัตรประจำตัวนิสิตในฐานข้อมูล

ลำดับ	รายการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบรหัสบัตรนิสิต	
		มี	ไม่มี
1	รหัสบัตร 59362086 (มีในฐานข้อมูล)	✓	
2	รหัสบัตร 59362126 (มีในฐานข้อมูล)	✓	
3	รหัสบัตร 59360570 (มีในฐานข้อมูล)	✓	
4	รหัสบัตร 59361456 (ไม่มีในฐานข้อมูล)		✓
5	รหัสบัตร 59361333 (ไม่มีในฐานข้อมูล)		✓
6	รหัสบัตร 59361369 (ไม่มีในฐานข้อมูล)		✓

4.2.1.2 ขั้นตอนการทดสอบบาร์โค้ดขวดน้ำ

1. นำบัตรนิสิตที่มีข้อมูลอยู่ในระบบมาสแกนที่หน้าเครื่อง เพื่อเริ่มใช้งาน

2. นำขวดน้ำขวดที่ 1 ไปสแกนที่หน้าเครื่องบันทึกผลการตรวจสอบข้อมูลขวดลงในตารางที่ 4.2

3. ทำขั้นตอนที่ 2 ซ้ำ โดยใช้ขวดน้ำขวดถัดไปจนครบทั้ง 6 ใบ

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบบาร์โค้ดขวดในฐานข้อมูล

ลำดับ	รายการตรวจสอบขวดน้ำดื่ม	ผลการตรวจสอบบาร์โค้ดขวด	
		มี	ไม่มี
1	เนสท์เล่ ขนาด 330 มิลลิลิตร	✓	
2	สิงห์ ขนาด 600 มิลลิลิตร	✓	
3	คริสตัล ขนาด 1,500 มิลลิลิตร	✓	
4	คริสตัล ขนาด 600 มิลลิลิตร	✓	
5	แมนซั่ม ขนาด 450 มิลลิลิตร (ไม่มีในฐานข้อมูล)		✓
6	สไปรท์ ขนาด 1,250 มิลลิลิตร (ไม่มีในฐานข้อมูล)		✓

4.2.1.3 ขั้นตอนการทดสอบน้ำหนักของขวดน้ำ (เฉาะขวดน้ำดื่มที่มีในฐานข้อมูล)

1. นำบัตรนิสิตที่มีข้อมูลอยู่ในระบบมาสแกนที่หน้าเครื่อง เพื่อเริ่มใช้งาน

2. นำขวดน้ำขวดที่ 1 ไปสแกนที่หน้าเครื่อง

3. นำขวดน้ำที่ในข้อ 2 ใส่เข้าไปในช่องคืนขวดเพื่อชั่งน้ำหนัก บันทึกผลการตรวจสอบน้ำหนัก ลงในตารางที่ 4.3

4. ทำตามขั้นตอนที่ 2 โดยใช้ขวดถัดไปจนครบ 4 ขวด แต่ละขวดทำซ้ำ 3 ครั้ง

5. เตรียมขวด 4 ขวดเดิมให้มีน้ำหนักเกินเกณฑ์น้ำหนักขวดรวมกับค่าเผื่อน้ำหนักที่อยู่ในฐานข้อมูล โดยเติมน้ำใส่ขวดให้มีความสูงจากก้นขวด ประมาณ 5 เซนติเมตร ทั้ง 4 ขวด

6. นำขวดที่ 1 (เติมน้ำแล้ว) ไปสแกนที่หน้าเครื่อง

7. นำขวดน้ำที่ในข้อ 6 ใส่เข้าไปในช่องคืนขวดเพื่อชั่งน้ำหนัก บันทึกผลการตรวจสอบน้ำหนัก ลงในตารางที่ 4.3

8. ทำตามขั้นตอนที่ 6 โดยใช้ขวดที่มีน้ำขวดถัดไปจนครบ 4 ขวด แต่ละขวดทำซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบน้ำหนักขวดในฐานข้อมูล

ลำดับ	รายการตรวจสอบขวดน้ำดื่ม	ผลการตรวจสอบน้ำหนักขวด	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน
1	เนสท์เล่ ขนาด 330 มิลลิลิตร (ไม่มีน้ำ)	✓	
2	สิงห์ ขนาด 600 มิลลิลิตร (ไม่มีน้ำ)	✓	
3	คริสตัล ขนาด 1,500 มิลลิลิตร (ไม่มีน้ำ)	✓	
4	คริสตัล ขนาด 600 มิลลิลิตร (ไม่มีน้ำ)	✓	
5	เนสท์เล่ ขนาด 330 มิลลิลิตร (มีน้ำ)		✓
6	สิงห์ ขนาด 600 มิลลิลิตร (มีน้ำ)		✓
7	คริสตัล ขนาด 1,500 มิลลิลิตร (มีน้ำ)		✓
8	คริสตัล ขนาด 600 มิลลิลิตร (มีน้ำ)		✓

จากการทดสอบในส่วนที่ 1 คือการทดสอบทั้ง 3 ฟังก์ชันการตรวจสอบของเครื่องรับคืนขวด ซึ่งได้แก่ การตรวจสอบรหัสบัตรนิสิต การตรวจสอบบาร์โค้ดขวดและน้ำหนักขวด พบว่าเครื่องมีความถูกต้องในการตรวจสอบสิ่งที่ผู้ใช้งานป้อนให้กับเครื่องตามลำดับ และยังสามารถสื่อสารกับผู้ใช้งานโดยผ่านทางหน้าจอ

4.2.2 การทดสอบส่วนที่ 2

การทดสอบต้นแบบเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติแบบทำงานต่อเนื่อง โดยใช้บัตรนิสิตที่มีข้อมูลอยู่ในฐานข้อมูล 1 ใบ กับขวดน้ำที่ถูกต้องและไม่ถูกต้องจำนวน 6 ขวด โดยไม่เรียงลำดับ ทำการทดสอบจำนวน 2 ชุด เพื่อตรวจสอบการทำงานแบบต่อเนื่องของเครื่อง การจบการทำงานและการสรุปคะแนนของผู้ใช้งาน

4.2.2.1 ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำบัตรนิสิตที่มีอยู่ในฐานข้อมูลมาสแกนที่หน้าเครื่อง เพื่อเริ่มใช้งาน

2. นำขวดที่ 1 มาสแกนบาร์โค้ดที่หน้าเครื่อง หากตรวจสอบพบว่ามีอยู่ในฐานข้อมูลให้ทำขั้นตอนที่ 3 ต่อ หากตรวจสอบไม่พบให้เปลี่ยนเป็นขวดลำดับต่อไป

3. นำขวดที่สแกนบาร์โค้ดแล้วไปใส่ในช่องคืนขวดเพื่อตรวจสอบน้ำหนัก บันทึกผลที่ได้ลงในตารางที่ 4.4

4. ทำตามขั้นตอนที่ 2 โดยใช้ขวดลำดับถัดไป

5. เมื่อตรวจสอบจนครบ 6 ขวดแล้วให้กดปุ่มที่หน้าเครื่อง เพื่อจบการทำงาน บันทึกผลคะแนนที่ได้ลงในตารางที่ 4.4 เพื่อเปรียบเทียบคะแนนจากตารางที่ 3.5

6. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง โดยสลับลำดับขวด

ตารางที่ 4.4 ผลการตรวจสอบรหัสบาร์โค้ดขวดและน้ำหนักขวดในฐานข้อมูลของชุดที่ 1

ลำดับ	ขวดน้ำดื่มชุดที่ 1	ผลการตรวจสอบบาร์โค้ดขวด		ผลการตรวจสอบน้ำหนักขวด		ชั่วโมงกิจกรรมที่คำนวณจากตารางที่ 3.5 (นาที)	ชั่วโมงกิจกรรมที่เครื่องคำนวนและแสดงที่หน้าจอ (นาที)
		มี	ไม่มี	ผ่าน	ไม่ผ่าน		
1	น้ำสิงห์ ขนาด 600 มล.	✓		✓		6	6
2	สไปรท์ ขนาด 1,250 มล. (ไม่มีในฐานข้อมูล)		✓	–	–		
3	คริสตัล ขนาด 600 มล. (น้ำหนักเกิน)	✓			✓		
4	เนสท์เล่ ขนาด 330 มล.	✓		✓			
5	แมนซั่ม ขนาด 450 มล. (ไม่มีในฐานข้อมูล)		✓	–	–		
6	คริสตัล ขนาด 1,500 มล.	✓		✓			

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจสอบรหัสบาร์โค้ดขวดและน้ำหนักขวดในฐานข้อมูลของชุดที่ 2

ลำดับ	ขวดน้ำดื่มชุดที่ 2	ผลการตรวจสอบบาร์โค้ดขวด		ผลการตรวจสอบน้ำหนักขวด		ชั่วโมงกิจกรรมที่คำนวณจากตารางที่ 3.5 (นาที)	ชั่วโมงกิจกรรมที่เครื่องคำนวนและแสดงที่หน้าจอ (นาที)
		มี	ไม่มี	ผ่าน	ไม่ผ่าน		
1	คริสตัล ขนาด 1,500 มล.	✓		✓		6	6
2	คริสตัล ขนาด 600 มล.	✓		✓			
3	คริสตัล ขนาด 600 มล. (น้ำหนักเกิน)	✓			✓		
4	แมนซั่ม ขนาด 450 มล. (ไม่มีในฐานข้อมูล)		✓	–	–		
5	สไปรท์ ขนาด 1,250 มล. (ไม่มีในฐานข้อมูล)		✓	–	–		
6	เนสท์เล่ ขนาด 330 มล.	✓		✓			

จากการทดสอบส่วนที่ 2 การทำงานต้นแบบเครื่องรับคืนขวดแบบต่อเนื่องของแต่ละชุด พบว่าเครื่องสามารถตรวจสอบข้อมูลที่รับมาจากผู้ใช้งานเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลได้อย่างถูกต้อง สามารถทำงานอย่างต่อเนื่องได้จริงและครบถ้วนตามขอบเขตที่ได้ออกแบบไว้

บทที่ 5
สรุปผล

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงงานนี้เป็นการพัฒนาเครื่องรับคืนขวดกึ่งอัตโนมัติสำหรับใช้ในมหาวิทยาลัย เพื่อส่งเสริมการลดปริมาณขยะขวดพลาสติกภายในมหาวิทยาลัย โดยมุ่งเน้นที่กลุ่มนิสิตที่เข้ามาใช้บริการและให้สิ่งตอบแทนเป็นชั่วโมงกิจกรรมในหน่วยนาที เครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัตินี้ นิสิตสามารถใช้รหัสบาร์โค้ดบนบัตรประจำตัวนิสิต ทำให้สะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถสะสมชั่วโมงกิจกรรมจากการใช้เครื่องรับคืนขวด เพื่อนำไปแลกชั่วโมงกิจกรรมในมหาวิทยาลัย สิ่งนี้จึงเป็นการกระตุ้นให้นิสิตในมหาวิทยาลัย มีแรงจูงใจในการคัดแยกขยะและตระหนักถึงความสำคัญของการรีไซเคิลขวดพลาสติก

การดำเนินงานเริ่มจากการศึกษาข้อมูลเครื่องรับคืนขวดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและศึกษาวรรณกรรมปริทัศน์ในการพัฒนาเครื่องรับคืนขวด พบว่า ส่วนใหญ่มีฟังก์ชันการทำงานคล้ายคลึงกัน เช่น การสแกนขวด และการแยกประเภทขวด เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามเครื่องรับคืนขวดเป็นเครื่องที่มีราคาที่สูงจึงทำให้พบได้น้อยมากในประเทศไทย นอกจากนี้ได้ทำการสำรวจราคารับซื้อขวดในท้องตลาด และข้อมูลการใช้ขวดพลาสติกจากร้านค้าภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรเพื่อประมาณการการใช้ขวดในมหาวิทยาลัยต่อวันของนิสิตและบุคลากรภายในมหาวิทยาลัย พบว่ามีการใช้ ขวดประเภท PET สูงที่สุด จากนั้นจึงนำข้อมูลข้างต้นนี้ไปออกแบบและสร้างเครื่องรับคืนขวดแบบกึ่งอัตโนมัติที่มีต้นทุนในการสร้างต่ำ สามารถรองรับขวดน้ำประเภท PET ใส ขนาด 330 มิลลิลิตร ถึง 1,500 มิลลิลิตร ได้ โดยเครื่องมีบอร์ด Arduino รับข้อมูลบาร์โค้ดรหัสนิสิต บาร์โค้ดขวด และน้ำหนักขวด จากผู้ใช้งานที่มาใช้งานเครื่อง และส่งข้อมูลไปประมวลผลในโปรแกรม Windows Form Application ที่เขียนขึ้นด้วยภาษา Visual Basic บนโปรแกรม Visual Studio 2019 ซึ่งมีโปรแกรม Microsoft Excel 365 เป็นฐานข้อมูล เครื่องสามารถค้นหารหัสบาร์โค้ดในฐานข้อมูล เพื่อตรวจสอบความถูกต้องรหัสบาร์โค้ดบนบัตรนิสิต รหัสบาร์โค้ดบนขวด และตรวจสอบน้ำหนักสิ่งแปลกปลอมที่มากับขวดจากฐานข้อมูล รวมถึงสามารถตรวจสอบและสะสมคะแนนผู้ใช้งาน และส่งข้อความสื่อสารและแสดงคะแนนสะสมแก่ผู้ใช้งานผ่านหน้าจอ LCD ผู้ใช้งานสามารถนำคะแนนไป

แลกเปลี่ยนเป็นชั่วโมงกิจกรรมในมหาวิทยาลัยได้ต่อไป ทั้งนี้เครื่องมีต้นทุนในการพัฒนาต้นแบบ 4,193 บาท และต้นทุนคิดเฉพาะวัสดุอุปกรณ์ในการผลิตต้นแบบโดยไม่รวมค่าคอมพิวเตอร์และโปรแกรม 2,643 บาท

ในการทดสอบการทำงานของเครื่องรับคืนขวดกึ่งอัตโนมัติแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกเป็นการทดสอบฟังก์ชันการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลทั้ง 3 ฟังก์ชัน คือ 1. การตรวจสอบรหัสบัตรนิสิต 2. การตรวจสอบบาร์โค้ดขวด และ 3. การตรวจสอบน้ำหนักขวด และในส่วนที่สองเป็นการทดสอบการทำงานแบบต่อเนื่องของเครื่องรับคืนขวด พบว่าเครื่องสามารถทำงานได้ถูกต้องและทำงานอย่างต่อเนื่องได้จริง สามารถตรวจสอบข้อมูลที่รับมาจากผู้ใช้งานเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลได้ถูกต้อง ใช้งานตามฟังก์ชันการทำงานที่กำหนดได้ คือ สามารถรับขวด PET ใสขนาด 330 ถึง 1,500 มิลลิลิตรได้ สามารถสื่อสารกับผู้ใช้งานได้ผ่านหน้าจอ LCD และสามารถสะสมคะแนนเพื่อแลกเป็นชั่วโมงกิจกรรมในมหาวิทยาลัยได้ตามขอบเขตที่กำหนดไว้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ต้นแบบเครื่องรับคืนขวดอัตโนมัติมีข้อจำกัดในการให้บริการเนื่องจากผู้ใช้บริการเป็นนิสิตในมหาลัยนเรศวรเท่านั้น บุคลากรอื่น ๆ ยังไม่สามารถใช้บริการได้เพราะว่าเครื่องรับคืนขวดกึ่งอัตโนมัติต้องสแกนบาร์โค้ดบนบัตรนิสิตเพื่อให้คะแนนแก่ผู้ใช้บริการ ควรมีการรองรับกลุ่มผู้ใช้บริการให้หลากหลายมากขึ้นรวมถึงการพัฒนาทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
2. ควรมีการปรับโครงสร้างให้มีความแข็งแรง คงทนถาวร และอาจมีการปรับเพิ่มให้มีหลายรุ่นหรือหลายขนาด ตามความเหมาะสมของผู้ใช้งานในอนาคต
3. อาจมีการเพิ่มฟังก์ชันให้สามารถใช้งานผ่านแอพพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือได้
4. อาจมีการใช้โมดูล Wi-Fi เชื่อมต่อกับ Web Server ที่เป็นฐานข้อมูล โดยที่เครื่องรับคืนขวดไม่ต้องเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB

บรรณานุกรม

1. Kapook. (28 ตุลาคม 2560). Zero Waste ขยะเหลือศูนย์เป็นจริงได้. เข้าถึงได้จาก https://hilight.kapook.com/view/162670
2. ณิชชา บูรณสิงห์. (1 พฤษภาคม 2562). ขยะพลาสติกก็ให้เกิดปัญหาระดับโลก เข้าถึงได้จาก https://www.parliament.go.th/ewtadmin/ewt/parliament_parcy/ewt_dl_link.php?nid=58603&filename=index
3. ณิชชา บูรณสิงห์. (1 พฤษภาคม 2562). มลพิษจากขยะพลาสติกภัยใกล้ตัว เข้าถึงได้จาก https://library2.parliament.go.th/ejournal/content_af/2559/feb2559-7.pdf
4. บริษัท รีฟัน จำกัด. (ม.ป.ป.). เครื่องรีฟัน Reverse Vending Fun Machine เข้าถึงได้จาก https://www.refun.com/refun-machine/
5. Alibaba. (ม.ป.ป.). เครื่องรับคืนบรรจุภัณฑ์กระป๋องที่ใช้ภายในอาคารและเครื่องรีไซเคิลขวด เข้าถึงได้จาก https://www.alibaba.com/productdetail/Indoor-Reverse-Vending-Machine.RVM.Cans_60744893183.html?spm=a2700.7724857.normalList.61.65d4601a0vzDYH
6. Alibaba. (ม.ป.ป.). เครื่องรับคืนขวดพลาสติกใสและเครื่องรีไซเคิลกระป๋องเข้าถึงได้จาก https://www.alibaba.com/product-detail/Reverse-Vending-Machine-for-PET-bottle_60798601082.
7. Alibaba. (ม.ป.ป.).เครื่องรับคืนขวด Incom Tomra สำหรับไรไซเคิลบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม (Incom Tomra Reverse Vending Machine for beverage containers recycle). เข้าถึงได้จาก https://www.alibaba.com/product-detail/Incom-Tomra-Reverse-Vending-Machine
8. Alibaba. (ม.ป.ป.). เครื่องรับคืนขวดและกระป๋องสำหรับไรไซเคิลบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม เข้าถึงได้จาก https://www.alibaba.com/product-detail/Incom-Tomra-Reverse-Vending-Machine

9. Tomra. (ม.ป.ป.). เครื่องรับคืนบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม TOMRA T70 TRISORT. เข้าถึงได้จาก https: / / www. tomra. com/ en/ collection/ reverse- vending/ reverse- vending-systems/standalone-line/t70-trisort

10. Alibaba. (ม.ป.ป.). Model RL140108 Reverse vend for PET bottle. เข้าถึงได้จาก https://www.alibaba.com/product-detail/Model-RL140108-Reverse-vend-for-PET_60204394604.html

11. อัญชลี พิพัฒนวัฒนากุล. (ม.ป.ป.). รีไซเคิลพลาสติก การจัดการขยะที่ปลายเหตุ. เข้าถึงได้จาก Greenpeace: https://www.greenpeace.org/thailand/story/2382/plastic-recycle/

12. Aeslina Abdul Kadir,Wan Nurshazwani Wan Zakaria,Mohd Fauzi Zakaria, Mohd Helmy Abd Wahab and Mohamad Hairol Jabbar Razali Tomari. (2560). Development of Reverse Vending Machine (RVM) Framework for Implementation to a Standard Recycle Bin. เข้าถึงได้จาก ScienceDirect:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917302247

13. Jere Liukkonen. (15 ตุลาคม 2558). Machine vision system for a reverse vending machine. เข้าถึงได้จาก https://pdfs.semanticscholar.org/9cf4/3b88c08acac634665822cdf34dcad5c43e68.pdf

14. Scurvehub. (ม.ป.ป.). เครื่องรับซื้อบรรจุภัณฑ์รีไซเคิล (Reverse Vending Machines; RVM). เข้าถึงได้จาก https://www.scurvehub.com/knowledge/detail/68

15. Thai Easy Elec. (11 มีนาคม 2560). บทความ Arduino คืออะไร ตอนที่1 แนะนำเพื่อนใหม่ที่ชื่อ Arduino. เข้าถึงได้จาก https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/latest-blogs/what-is-arduino-ch1.html

16. Thai Easy Elec. (ม.ป.ป.). Keyes USB Host Shield. เข้าถึงได้จาก https://www.thaieasyelec.com/keyes-usb-host-shield.html

17. Thaimobilecenter. (ม.ป.ป.). TFT LCD กับ TFD LCD มีความแตกต่างกัน? เข้าถึงได้จาก https://www.thaimobilecenter.com/home/mobile_tips_detail.asp?nid=42

18. All in one system and supply co.ltd (2560). Barcode Scanner (เครื่องอ่านบาร์โค้ด). เข้าถึงได้จาก http://www.aio-ss.com/

19. Thai Easy Elec. (11 มกราคม 2562). วิธีการใช้งาน Load Cell. เข้าถึงได้จาก https://www. thaieasyelec. com/ article- wiki/ latest- blogs/ how- to- use- load- cell- and-hx711-amplifier-module.html

20. Thai Easy Elec. (11 มกราคม 2562). Wheatstone Bridge กับ HX711 Amplifier Module. เข้าถึงได้จาก https://www. thaieasyelec. com/ article- wiki/ latest-blogs/how-to-use-load-cell-and-hx711-amplifier-module.html

21. Mosfex. (4 กุมภาพันธ์ 2562). โมดูล HX711 Weight Sensor Amplifier Dual Channel Module สำหรับต่อ load cell พร้อมขา pin header . เข้าถึงได้จาก https://www.mosfex.com/

22. ครูทันพงษ์ ภูรักษ์. (ม.ป.ป.). เอกสารประกอบการสอนวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น หน่วยการเรียนรู้ที่ 9 การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ด้วย Arduino. เข้าถึงได้จาก http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_9.pdf

23. Regjna Coeli College. (ม.ป.ป.). โพรโทบอร์ด (Protoboard). เข้าถึงได้จาก https://sites.google.com/site/somyongregina/academic/electronic/protoboar

24. Poundxi. (1 กรกฎาคม 2018). วิธีใช้งานโปรแกรม Arduino IDE เบื้องต้น. เข้าถึงได้จาก https://poundxi.com/

25. Mindphp. (1 กรกฎาคม 2559). Visual Studio 2019 วิชวลสตูดิโอ คืออะไร. เข้าถึงได้จาก https://www.mindphp.com/

26. 9Expert. (ม.ป.ป.). ประโยชน์ของ Microsoft Excel เพื่องานธุรกิจของคุณ. เข้าถึงได้จาก https://www.9experttraining.com/articles/

27. All in One System and Supply Co.Ltd. (ม.ป.ป.). รหัสบาร์โค้ดคืออะไร. เข้าถึงได้จาก http://www.aioss.com/

28. โรงงานคัดแยกขยะวงษ์พาณิชย์. (ม.ป.ป.). ราคากลางรับซื้อขยะวันนี้. เข้าถึงได้จาก http://www.wongpanit.com/

29. ทีมบรรณาธิการวิกิฮาว. (ม.ป.ป.). แนวคิดและวิธีการหาค่าคลาดเคลื่อนร้อยละ. เข้าถึงได้จาก https://th.m.wikihow.com/

ภาคผนวก

ก. การสอบเทียบ Load Cell

วัตถุประสงค์ เพื่อให้ Load Cell อ่านค่าน้ำหนักได้อย่างถูกต้องตรงตามน้ำหนักที่อ่านได้จากเครื่องชั่งมาตรฐาน

ก.1 วิธีการดำเนินการ

หลักการสอบเทียบโหลดเซลล์ (Calibrate Load Cell) ที่ใช้งานในโปรแกรม Arduino ต้องมี Load หรือน้ำหนักที่ทราบค่าเพื่อทำการ Calibrate โดยใช้ลูกตุ้มน้ำหนัก หากไม่มีลูกตุ้มน้ำหนักสามารถใช้สิ่งของที่ทราบค่าน้ำหนักมาใช้ทดลองได้เช่นกัน แต่ในทีนี้จะใช้ลูกตุ้มน้ำหนักเพื่อ Calibrate Load Cell โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. ใช้ลูกตุ้มน้ำหนักขนาด 1 นิวตัน 3 นิวตัน 5 นิวตันและ 10 นิวตัน ซึ่งแปลงเป็นหน่วยกิโลกรัม (ทศนิยม 3 ตำแหน่ง) ได้ 0.102 กิโลกรัม 0.305 กิโลกรัม 0.509 กิโลกรัมและ 1.019 กิโลกรัม ตามลำดับ ดังรูปที่ ก.1

2. ติดตั้ง Load Cell เข้ากับแผ่นชั่งน้ำหนัก

3. เชื่อมต่อ Load Cell และ HX711 เข้ากับบอร์ด Arduino

4. ดาวน์โหลด Library สำหรับใช้กับ HX711

5. ติดตั้ง Library HX711 ให้กับ Arduino IDE

6. ดาวน์โหลด Code Auto Calibrate ชื่อไฟล์ Arduino_Auto_Cal.ino

7. เปิด Arduino IDE และ เปิดไฟล์ Arduino_Auto_Cal.ino

8. แก้ค่าในตัวแปร Real Weight ให้เป็นค่าน้ำหนักจริงของ load ที่จะใช้นำมา Calibrate (หน่วยเป็น กิโลกรัม) และอัพโหลด Arduino_Auto_Cal.ino ลงไปยัง Board Arduino IDE เปิดหน้าต่าง Serial Monitor ขึ้นมาตั้งค่า Baud Rate เป็น 115200 และนำสิ่งของทุกอย่างออกจากแผ่นชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่า Zero Factor (รูปที่ ก.2)

9. ใช้ลูกตุ้มน้ำหนักที่ทราบค่าวางบนแผ่นชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่า Calibration Factor รอจนโปรแกรมสามารถหาค่า Calibration Factor ได้สำเร็จ ดังรูปที่ ก.3

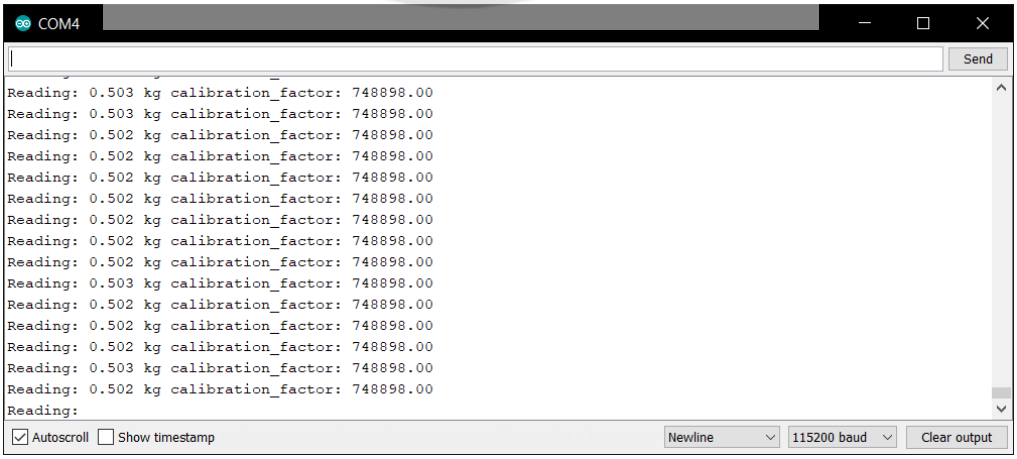
10 ทำซ้ำข้อ 8 และ 9 ตามลำดับ 4 ครั้งโดยใช้ลูกตุ้มน้ำหนักเท่าเดิม

11. ทำซ้ำข้อ 10 โดยเปลี่ยนลูกตุ้มน้ำหนักเป็น 0.305 กิโลกรัม 0.509 กิโลกรัมและ 1.019 กิโลกรัม ตามลำดับ

12. จากข้อ 11 จะได้ค่า Zero Factor และ Calibration Factor ที่ได้จากการทำซ้ำ 4 ครั้งของแต่ละตุ้มน้ำหนัก 4 ลูก เพื่อนำไปใช้กับงาน Load Cell

รูปที่ ก.1 ตุ้มน้ำหนัก

รูปที่ ก.2 ค่า Zero Factor



รูปที่ ก.3 Calibration Factor

ก.2 การทดสอบชั่งน้ำหนัก

ทำการเทียบน้ำหนัก Load Cell กับเครื่องชั่งน้ำหนักมาตรฐาน โดยใช้ลูกตุ้มขนาด 0.102 กิโลกรัม 0.305 กิโลกรัม 0.509 กิโลกรัม และ 1.019 กิโลกรัม นำลูกตุ้มแต่ลูกมาชั่งบน Load Cell ที่ทำการ Calibrate แล้วจำนวน 4 ครั้ง จากนั้นจดบันทึกค่าหนัก ต่อมานำลูกตุ้มชุดเดิมมาชั่งบนเครื่องชั่งน้ำหนักมาตรฐานแล้วจดบันทึกค่าหนักที่ชั่งได้ โดยนำค่าน้ำหนักที่ได้จาก Load Cell และเครื่องชั่งน้ำหนักมาตรฐานมาคำนวนหาหาค่าเปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อน [29] ยอมรับได้ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สมการที่ 3.1

$$\%error = \left| \frac{\text{ค่าจริง} - \text{ค่าประมาณ}}{\text{ค่าจริง}} \right| \times 100 \qquad (1)$$

จากการทดลองการเทียบน้ำหนัก Load Cell ด้วยการใช้ตุ้มน้ำหนัก 4 ลูกแต่ละลูกชั่ง 4 ครั้ง เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อน ดังแสดงในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ผลการบันทึกค่าน้ำหนักลูกตุ้มที่อ่านได้จาก Load Cell

ครั้งที่	น้ำหนักลูกตุ้มที่ใช้เทียบ (kg)			
	0.102	0.305	0.509	1.019
1	0.101	0.303	0.501	1.028
2	0.101	0.304	0.502	1.027
3	0.101	0.304	0.502	1.027
4	0.101	0.303	0.501	1.027
	0.101	0.304	0.502	1.027
% คลาดเคลื่อน	0.330 - 1.375			
% คลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.852			

จากตารางที่ ก.1 แสดงให้เห็นการสอบเทียบ Load Cell มีความแม่นยำเนื่องจากการทดลองพบว่า ค่าน้ำหนักลูกตุ้มที่วัดได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องชั่งน้ำหนักมาตรฐานเปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0.330 ถึง 1.375 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นตัวเลขที่ยอมรับได้