

ระบบคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

อนุพงษ์ ติตะ

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Email : t.anupong@kkumail.com

Received: Nov 3, 2022

Revised: Feb 20, 2023

Accepted: Feb 24, 2023

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ ระบบคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ เป็นนวัตกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ จากขยะทั่วไป เพื่อนำขยะอิเล็กทรอนิกส์ไปจัดการอย่างถูกวิธี ระบบคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ใช้หลักการเหนี่ยวนำของแม่เหล็ก ในการจำแนกขยะที่เป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ออกจากขยะทั่วไป โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ เพื่อหมุนเปิดช่องให้ขยะตกลงที่ถูกต้อง ภายในถังขยะมีการวัดระดับของขยะทั้งสองประเภท นับจำนวนขยะวัดอุณหภูมิ ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งและส่งข้อมูลผ่านระบบ NB-IOT เพื่อจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล ระบบแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์แสดงข้อมูล ระดับของขยะ จำนวนขยะที่เป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์และขยะทั่วไป ตำแหน่งที่ตั้งของถังแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ อุณหภูมิภายใน ผ่านเว็บไซต์ แอปพลิเคชัน สามารถนำมาวิเคราะห์ ออกแบบการจัดเก็บขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดสอบนำขยะที่มีลักษณะแตกต่างกัน ทำการทดลอง ทั้งหมด 67 ชิ้น ความแม่นยำ ร้อยละ 89.5 ระบบสามารถตรวจขยะที่มีขนาดกลางขึ้นไป ไม่สามารถตรวจสอบขยะที่มีขนาดเล็ก เช่น หูฟังแบบสมอลทอร์ค ได้เนื่องจากปริมาณโลหะไม่สามารถเกิดการเหนี่ยวนำ จำเป็นต้องใช้วงจรเหนี่ยวนำที่สูงขึ้น

คำสำคัญ : คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์, อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง, ระบบแยกขยะ, ขยะอิเล็กทรอนิกส์, การเหนี่ยวนำของแม่เหล็ก

Electronic Waste Segregation System

Anupong Tita

Faculty of Engineering, Khonkean University

Email : t.anupong@kkumail.com

Received: Nov 3, 2022

Revised: Feb 20, 2023

Accepted: Feb 24, 2023

Abstract

This article presents the electronic waste separation system. It is an innovation for separating electronic waste from other types of waste to properly destroy it later. The electronic waste separation system uses magnetic induction theory to facilitate the separation of electronic waste from other types of waste. The Servo motor will spin and open an outlet for waste to correctly fall into. Inside the bins, there is a measure of the level of both types of waste, counting amount of waste, measuring temperature. Which controls the work with the Internet of Things technology and sends data through the NB-IOT system to store data in a database. The e-waste sorting system shows the level of waste, the amount of e-waste, general waste, and the location of e-waste sorting bins. Internal temperature via application website can be analyzed and designed for efficient waste collection. In the experiment, 67 pieces of random waste were tested. The accuracy is approximately 89.5%. However, the system is more suitable for medium size waste while being unable to identify smaller-size waste such as earbud headphones or Smalltalk. The reason behind this limitation is the fact that the quantity of metal was too little and unable to facilitate induction. Therefore, a stronger induction circuit is required.

Keywords : Electronic waste sorting, Internet of all things, Waste separation system, Electronic waste, Magnetic induction

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าอย่างมาก มีผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นจำนวนมาก ความต้องการใช้งานเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์รุ่นเก่า ไม่ตอบโจทย์ต่อการใช้งาน ก่อให้เกิดเป็นซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทย มีขยะอันตรายที่เกิดจากชุมชน 6.38 แสนตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2560 ร้อยละ 3.2 โดยร้อยละ 65 ของขยะอันตราย เป็นซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หรือขยะอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 4.14 แสนตัน[1] และมีแนวโน้มปริมาณของขยะอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นในทุกปี เป็นปัญหาที่ทั่วโลกให้ความสำคัญอย่างมาก ขยะเหล่านี้สามารถสร้างมลพิษให้แก่สิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตได้

การกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นขั้นตอนสำคัญ ในการลดมลพิษและสารพิษ เนื่องจากขยะมีสารโลหะเป็นส่วนประกอบ เช่น ตะกั่วปรอท ทองแดง อลูมิเนียม เป็นต้น ยังรวมถึงสารที่เป็นพิษตกค้างยาวนาน[2] สารโลหะเหล่านั้น ส่งผลกระทบอย่างมาก หากการกำจัดไม่ถูกวิธี เช่น การเผาแยกเพื่อส่วนที่เป็นโลหะ การแช่น้ำกรด เป็นต้น ประเทศไทยให้ความสำคัญ ในการกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยรัฐบาลได้ออกนโยบายจัดการขยะเหล่านี้ ขยะอิเล็กทรอนิกส์ไม่เพียงแต่สร้างปัญหาให้แก่สิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่สามารถนำไปแปรใช้ใหม่ สร้างมูลค่าเพิ่ม จากชิ้นส่วนประกอบของขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นโลหะ

การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นปัจจัยที่สำคัญ ที่จะช่วยลดมลพิษและสารพิษในสิ่งแวดล้อม เพราะการแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นการแยกขยะที่อันตรายออกจากขยะทั่วไป ป้องกันไม่ให้เกิดการกำจัดอย่างผิดวิธีและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งสามารถนำไปแปรใช้ใหม่ เพื่อสร้างมูลค่าการจัดการขยะให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

ในการตรวจจับขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป งานวิจัยของ[10] นำเทคโนโลยี Inductive Sensor และ Color Sensor ใช้สำหรับการคัดแยกและเก็บ

ข้อมูลผ่าน Micro SD Card งานวิจัยของ[12] ใช้เทคโนโลยี RFID ติดทุกผลิตภัณฑ์และส่งข้อมูลระบบ GSM ไปยังฐานข้อมูล และแสดงผลผ่านมือถือ งานวิจัย[14] แยกขยะออกเป็น 4 ประเภท โดยเซ็นตรวจจับโลหะ เซ็นเซอร์ตรวจจับกระจก laser และ LDR ซึ่งใช้มอเตอร์สำหรับการปรับทิศทางการตกลงช่องของขยะ ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการตอบโต้ปัญหา ขั้นตอนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยหลักการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากขดลวด(Inductive Proximity) [13] เซอร์โวมอเตอร์สำหรับการปรับทิศทางการตกของขยะ วัดอุณหภูมิ วัดปริมาณระดับขยะ ภายในถังขยะและนำเทคโนโลยี NB-IoT[15] ในการควบคุมและส่งข้อมูล ระบบคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์แสดงข้อมูลผ่านเว็บไซต์แอปพลิเคชัน และสามารถดูข้อมูลแบบปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ ให้สามารถนำขยะอิเล็กทรอนิกส์กลับไปใช้ใหม่ได้
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ขยะอิเล็กทรอนิกส์

ขยะอิเล็กทรอนิกส์ (E-waste หรือ Electronic waste) หมายถึง ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ ไฟฟ้าหรือผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ได้ใช้งานหรือหมดอายุการใช้งาน กรมควบคุมมลพิษใช้คำว่า “ซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์” (Waste Electrical and Electronic Equipment หรือ WEEE)[3] ซึ่งขยะอิเล็กทรอนิกส์ สามารถแบ่งตามลักษณะได้ 10 ประเภท[4]

การกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยการฝังกลบหรือการเผาทำลาย เป็นวิธีที่ไม่ถูกต้องเนื่องจากจะส่งผลให้สารพิษรั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อม เกิดการตกค้างของสารพิษและสะสม เกิดผลกระทบต่อ

คุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อมโดยตรง ซึ่งมีถื้อ 1 เครื่อง รวมกับอุปกรณ์เสริม สามารถสร้างก๊าซ CO₂e จำนวน 57 กิโลกรัม ภายใน 3 ปี[5] สารพิษที่เกิดจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ สามารถก่อให้เกิด Carbon footprint[6] ในแต่ละโลหะ ดังตารางที่ 1 คอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่อง มีส่วนผสมของโลหะหลายชนิด ซึ่งในตารางที่ 2 จะแสดงการเกิด carbon footprint ของคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 1 ปริมาณการปล่อยมลพิษต่อโลหะใน tCO₂[6]

Metal	1 (Pri Min)	2a (Ma-nIn)	2b (Me-chin)	2c (Ma-nEU)	2d (Me-chEU)
Steel	2,04	0,59	0,6	0,38	0,39
Aluminium	10,02	0,87	0,94	0,75	0,82
Lead	3,2	9,16	13,3	9,5	13,64
Nickel	19,53	4,76	6,743	4,66	6,65
Copper	6,4	1,21	1,5	0,98	1,21
Gold	16991	712,44	1337,17	690,28	1307,7
Silver	144	20,1	40,52	19,47	39,63
Palladium	9380	208,25	734,71	201,78	718,52

ตารางที่ 2 ปริมาณการปล่อยมลพิษใน tCO₂ ของคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง[6]

Scenario	1	2a	2b	2c	2d	3(Refurb.)
Emissions in tCO ₂	0.0256	0.005	0.0055	0.0035	0.004	0.00079

กระบวนการแปรใช้ใหม่ของขยะอิเล็กทรอนิกส์ เป็นกระบวนการนำโลหะกลับมาใช้ใหม่ที่เป็นส่วนผสมของแผงวงจรควบคุมการทำงาน (PCB) ที่มีส่วนผสมของโลหะจำนวนมาก[7] โดยใช้กรดสกัดโลหะออกจากแผงควบคุม[8] ซึ่งคอมพิวเตอร์มีส่วนประกอบภายในแผงวงจรถึง 250 กรัม/ตัน และมีแผงเลเดียม 110 กรัม/ตัน[9]

2. การตรวจจับขยะอิเล็กทรอนิกส์

การตรวจจับขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปใช้หลักการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากขดลวด เนื่องจากขยะมีโลหะเป็นส่วนประกอบ วิจัยนี้ได้ใช้หลักการตรวจจับโลหะแบบครอบเอาต์ (Drop-out) จะใช้

ขดลวดทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์ต่อเข้ากับวงจร ออสซิลเลเตอร์ 1 วงจร และใช้วงจรตีโมดูลเลเตอร์ วงจรตรวจจับระดับสัญญาณ วงจรควบคุมสัญญาณ ต่อกัน เพื่อควบคุมแอมพลิจูดให้ค่าคงที่ เมื่อวัตถุที่มีโลหะเข้าใกล้ขดลวดจะส่งผลให้ค่าความถี่เปลี่ยนแปลง ค่าแอมพลิจูดลดลง วงจรตรวจจับส่งสัญญาณเอาต์ออกไปแสดงผล ซึ่งเป็นหลักการที่นิยมใช้ในการผลิตการตรวจจับโลหะ Inductive Proximity ที่มีความแม่นยำและสะดวกต่อการใช้งาน[10] จากแนวคิดของ Mahat, Yusoff, Zaini, Midi, & Mohamad[10] ศึกษาการแยกขยะโดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับขยะแต่ละประเภท โดยแรกใช้ Inductive Sensor เพื่อแยกขยะที่เป็นโลหะ และไม่เป็นโลหะ Krishna Veni, Srilakshmi, & Uma[11] ศึกษาการแยกขยะ โดยใช้ IR ซึ่งเป็นตัวจับการตกของขยะซึ่ง ใช้เครื่องตรวจจับโลหะแบบหลักการออฟเรโซแนนซ์ สำหรับตรวจจับขยะโลหะ และ Amritkar[12] ใช้เทคโนโลยี RFID ช่วยในการคัดแยกขยะ ใช้วิธีติด RFID กับขยะทุกชิ้นเพื่อคัดแยก เมื่อขยะผ่านเครื่องอ่าน RFID จะสามารถตรวจสอบประเภทขยะได้

3. การวัดระดับปริมาณขยะ

การวัดระดับปริมาณขยะขึ้นอยู่กับทรงของถังขยะ ถังขยะในปัจจุบันมีขนาดรูปร่างและความจุแตกต่างกัน มีหลายวิธีในการวัดระดับปริมาณของขยะภายในถังขยะ เช่นการวัดปริมาณน้ำหนัก การวัดความสูง การวัดจากจำนวนขยะ งานวิจัยนี้เลือกวิธีการวัดความสูงถังขยะ โดยการวัดความสูงของถังขยะ และแบ่งเป็นสี่ช่วง 0-25%, 25-50%, 50-75%, 75-100% การวัดระดับปริมาณขยะไม่สามารถครอบคลุมตัวแปรภายนอกได้ เช่น ขยะมีขนาดใหญ่ทั้งถังขยะจะทำให้ถังเต็ม ไม่สามารถทิ้งได้อีก ขยะขนาดเล็กแต่มีปริมาณน้ำหนักมาก แต่ยังสามารถทิ้งได้อีก วิธีการวัดปริมาณขยะจากความสูงจึงเหมาะที่จะใช้ในการวัดปริมาณระดับของระบบคัดแยก

4. การวัดอุณหภูมิ

ขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ส่วนประกอบของชิ้นส่วนที่เป็นอัตราย สามารถจุดระเบิดเองได้ เมื่ออุณหภูมิสูง เพื่อป้องกันการเผาไหม้ของถังขยะ จึงต้องวัดอุณหภูมิ การวัดอุณหภูมิที่ถูกต้องและแม่นยำ การเลือกใช้เซ็นเซอร์การวัดอุณหภูมิเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม เซ็นเซอร์ DHT11 มีความคลาดเคลื่อน 0.4 องศาเซลเซียส ถูกต้องและแม่นยำ 98.11% เซ็นเซอร์ DHT22(AM2302)ความคลาดเคลื่อน 0.7 องศาเซลเซียส ถูกต้องและแม่นยำ 96.69%[16] ข้อมูลผู้ผลิต ตามตารางที่ 3 DHT22(AM2302) สามารถวัดอุณหภูมิถูกต้องและแม่นยำกว่า DHT11 อีกทั้งสามารถวัดช่วงอุณหภูมิที่มากกว่า[17]

ตารางที่ 3 ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่าง DHT11 และ DHT22

	DHT11	DHT22 (AM2302)
Temperature range	0 to 50 °C +/-2 °C	-40 to 80 °C +/-0.5°C
Humidity range	20 to 90% +/-5%	0 to 100% +/-2%
Resolution	Humidity: 1%	Humidity: 0.1%
	Temperature: 1°C	Temperature: 0.1°C
Operating voltage	3 – 5.5 V DC	3 – 6 V DC
Current supply	0.5 – 2.5 mA	1 – 1.5 mA
Sampling period	1 second	2 seconds

ระเบียบวิธีวิจัย

1. วัสดุและอุปกรณ์

1.1 บอร์ดควบคุมการทำงาน อาร์ดูโน้ อาร์สาม (Arduino R3) สำหรับการควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานไม่ซับซ้อน

1.2 บอร์ดส่งข้อมูลเอ็นบี ไอโอที (NB-IoT shield) เป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูล ที่ใช้พลังงานน้อยในการส่งข้อมูล และมีช่องสัญญาณเฉพาะการส่ง

1.3 เซ็นเซอร์ตรวจจับเหล็ก (Metal Sensor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับเหล็ก ที่เกิดจากการนำขดลวดมาทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

1.4 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) เป็นมอเตอร์ที่มีการควบคุมการเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถควบคุมเป็นระยะมุมการหมุน

1.5 เซ็นเซอร์วัดระดับ (Level Sensors) เป็นเซ็นเซอร์วัดระดับใช้หลักการสะท้อนของลำแสงอินฟราเรด ใช้สำหรับวัดระดับของขยะภายในถังขยะ และตรวจจับการตกขยะที่ฐานรองรับขยะ

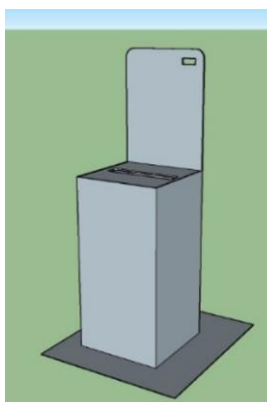
1.6 จอแสดงผลแอลซีดี (Character LCD) เป็นจอที่แสดงผลเป็นตัวอักษรตามช่องแบบตายตัว ใช้สำหรับการแสดงผล จำนวนขยะทั้งสองประเภท

1.7 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (AM2302 Sensor) เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบดิจิทัล

2. การวางแผนเก็บข้อมูล

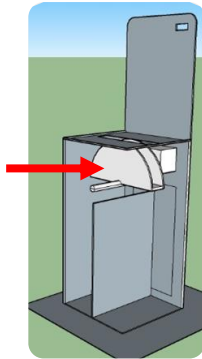
การออกแบบการทำงานของเครื่องคัดแยกมีการทำงานหลายส่วนซึ่งแบ่งออก เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เครื่องคัดแยกทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดลองเบื้องต้นมีส่วนประกอบของเครื่องดังนี้

1. ตัวเครื่อง เป็นกล่องสี่เหลี่ยมภายในมี 2 ช่อง สำหรับการแยกขยะ ทำจากวัสดุพลาสติก 30x30x60 เซนติเมตร มีฝาปิดด้านบนเจาะรูเป็นรูปสี่เหลี่ยม ขนาด 5x25 เซนติเมตร สำหรับทิ้งขยะ ดังรูปที่ 1



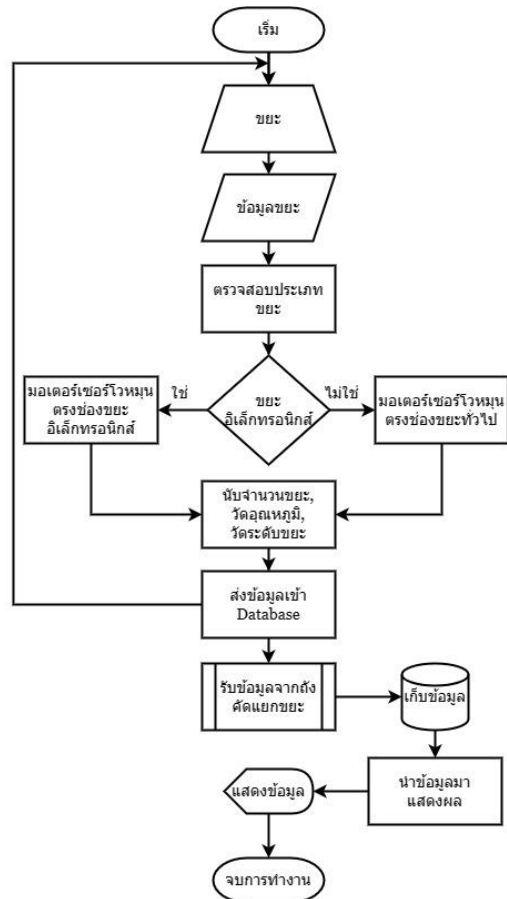
รูปที่ 1 ลักษณะภายนอกของเครื่องแยกขยะ

2. ฐานรองรับขยะ เนื่องจากการตกของขยะที่มีความเร็วเกินจะสามารถจับได้ จึงมีฐานรองรับขยะเพื่อตรวจสอบการตกของขยะและใช้สำหรับการคัดแยกขยะ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะกลไกภายในถังขยะ

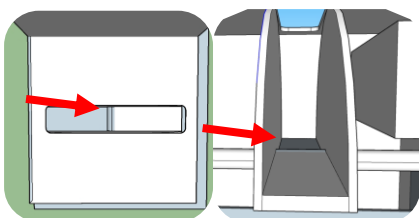
3. ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องแยกขยะ
ในการทำงานของเครื่องแยกขยะได้แบ่งฟังก์ชันการทำงานออกเป็น 3 ฟังก์ชัน ตามรูปที่ 3 โดยแบ่งตามลักษณะการทำงาน ดังนี้



รูปที่ 3 Flowchart การทำงานของระบบคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

3.1 กลไกการคัดแยกขยะ จะทำการตรวจสอบและทำการคัดแยกขยะ จะมีลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้

1) ขั้นตอนตรวจสอบการตกของขยะ จากรูปที่ 3 จะแสดงพื้นที่สำหรับขยะตก เมื่อขยะที่ตกลงมายังบริเวณฐานรองรับ จะมีเซ็นเซอร์อินฟราเรดทำการตรวจจับ ทำให้ค่าของเซ็นเซอร์มีค่าเปลี่ยน ทำให้ทราบว่ามีการตกของขยะ



รูปที่ 3 พื้นที่การตกของขยะ



รูปที่ 4 ชุดควบคุมการทำงาน



รูปที่ 5 ขดลวดเหนี่ยวนำ

2) การตรวจจับวัตถุโลหะ เมื่อขยะที่เป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ตกมายังฐานรับค่าเหนี่ยวนำของขดลวดจะเปลี่ยนไป หากเป็นขยะทั่วไปค่าเหนี่ยวนำจะไม่มีเปลี่ยนแปลง

3) ตัวควบคุมทำการประมวลผล และสั่งการ ทำหน้าที่รับค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์และ

เปรียบเทียบค่าที่ตั้ง แล้วสั่งการให้มอเตอร์ปรับทิศทางและส่งข้อมูลไปยังฐานเก็บข้อมูล

3.2 แสดงผลข้อมูล ข้อมูลที่แสดงต้องมีการเข้าถึงได้ง่าย ซึ่งใช้การแสดงผลโดยผ่านเว็บไซต์ โมบายแอปพลิเคชัน และตัวเครื่อง ซึ่งจะแสดงค่าดังนี้

- แสดงจำนวนของขยะทั้งสองช่อง
- แสดงปริมาณขยะภายในเครื่อง
- แสดงตำแหน่งจุดวางของเครื่อง (ไม่มี

การแสดงผลที่ตัวเครื่อง)

3.3 การส่งข้อมูล จะส่งข้อมูลเมื่อเกิด interrupt และส่งทุก 30 นาที เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ซึ่งขยะตกมายังฐานรองรับจะเกิด interrupt กล้องควบคุมรับค่าและส่งข้อมูล ซึ่งใช้เทคโนโลยี NB-IoT สำหรับการส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูล โดยข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลแบบเรียลไทม์

3. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในการเก็บข้อมูลวิจัยมีดังนี้

1) ขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปภายในบ้าน ที่มีขนาดไม่เกิน 14X14x4 เซนติเมตร เช่น แผงวงจร โทรศัพท์มือถือ แป้นพิมพ์ เมาส์ แรม การ์ดจอ เป็นต้น

2) ขยะทั่วไปที่เปียกชุ่มน้ำ หรือมีน้ำบรรจุภายใน และไม่ใช้ขยะสด

4. วิธีการเก็บข้อมูล

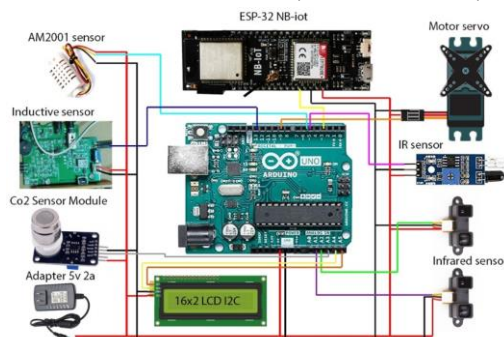
เก็บข้อมูลจากตัวเครื่องคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยทำการนำขยะต่าง ๆ มาทำการทดสอบ เก็บข้อมูลจำนวนครั้งที่ตรวจจับได้ และแบ่งแยกตามช่องที่กำหนดไว้ ซึ่งจะได้ร้อยละความแม่นยำในแต่ละครั้งของการทดสอบ และการส่งข้อมูลที่ถูกต้อง

$$\text{ความแม่นยำ} = \frac{\text{จำนวนขยะที่ตกตรงช่อง}}{\text{จำนวนขยะที่ทดสอบ}}$$

ผลการวิจัย

1. การออกแบบและการพัฒนาระบบขยะอิเล็กทรอนิกส์

1.1 สถาปัตยกรรมผังวงจร (Electronic circuit)



รูปที่ 6 สถาปัตยกรรมผังวงจร



รูปที่ 7 Diagram การทำงาน

2. การทดสอบถังคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

2.1 ประสิทธิภาพการใช้งาน

เทียบจากความแม่นยำของถังคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ จะคำนวณได้จากสูตร

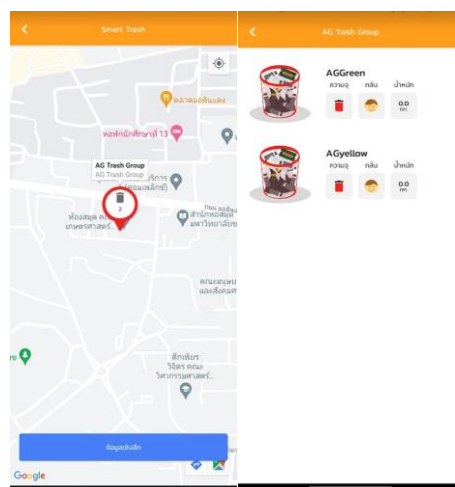
$$\text{ความแม่นยำ(\%)} = \frac{\text{จำนวนขยะที่คัดตรงช่อง}}{\text{จำนวนขยะที่ทดสอบ}}$$

ในการทดสอบ ใช้ผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันจำนวน 8 ประเภท ซึ่งเป็นสิ่งผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่และใช้ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ แบตเตอรี่, หูฟัง, มือถือ, แผงวงจร, ฮาร์ดดิสก์, ขวดน้ำ, กระดาษ, ขวดแก้ว จำนวนที่ทดสอบ เป็นจำนวนที่ขึ้นอยู่กับที่สามารถหามาได้และมีอยู่ทั่วไป

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบถังคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

ผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ	จำนวนถูกต้อง	ร้อยละความถูกต้อง
มือถือ	10	9	80
หูฟัง	5	2	60
แบตเตอรี่	6	5	83.3
แผงวงจร	15	13	86.6
ฮาร์ดดิสก์	3	3	100
ขวดน้ำ	10	10	100
ขวดแก้ว	3	3	100
กระดาษ	15	15	100
รวม	67	60	89.5

จากตารางที่ 4 จำนวนผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันจำนวน 67 ชิ้น จำนวนที่ถังคัดแยกถูกต้องจำนวน 60 ชิ้น คิดได้เป็นร้อยละ 89.5



รูปที่ 8 จดวางถังคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์บนแอปพลิเคชัน

Name	Y_EW	N_EW	Level1	Level2	Co2	Temperature
AG	5	16	5%	25%	206	36 °C
VET	3	5	5%	5%	240	35 °C
AR	5	3	10%	5%	225	33 °C
EN	3	14	5%	25%	223	33 °C
DT	5	7	25%	25%	300	34 °C

รูปที่ 9 ข้อมูลจัดเก็บภายในฐานข้อมูล

สรุปและอภิปรายผล

1. ออกแบบและพัฒนาระบบคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งระบบสามารถคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์และขยะทั่วไปได้ ถึงขยะส่งข้อมูลจัดเก็บที่ฐานข้อมูลทุก 30 วินาที ระบบสามารถแสดงระดับขยะภายในถัง จำนวนขยะทั้งสองประเภท ข้อมูลในส่วนนี้สามารถคำนวณค่า carbon footprint ที่เป็นค่าแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกคัดแยกสามารถนำไปกำจัดอย่างถูกวิธีหรือแปรใช้ใหม่ที่ช่วยให้ลดต้นทุนและการนำเข้า

2. จากทดสอบประสิทธิภาพของการทำงานของถังคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยตัวทดสอบที่แตกต่างกันจำนวน 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทขยะอิเล็กทรอนิกส์ และขยะทั่วไปที่ไม่ใช่ขยะเปียกสามารถคัดแยกขยะได้ และมีความแม่นยำถึง ร้อยละ 89 จะเห็นได้ว่าระบบมีความแม่นยำค่อนข้างสูง ผลทดสอบที่มีความผิดพลาดส่วนใหญ่ เป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับโลหะ ไม่สามารถเกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก

3. ถังคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ มีจอLCD แสดงจำนวนขยะ และเว็บไซต์แอปพลิเคชันในการแสดงข้อมูลต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงจำนวนขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่คัดแยกได้ ขยะอิเล็กทรอนิกส์หนึ่งชิ้น สามารถแยกโลหะได้หลายชนิด นำกลับมาใช้งาน ช่วยลดทุนการผลิต การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ก่อนนำไปกำจัด เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดขยะ ซึ่งเป็นการช่วยลดการตกค้างของสารเคมี ที่เกิดจากการเผาไหม้ของขยะอิเล็กทรอนิกส์

References

[1] Thailand Pollution Report 2018 _Thai.pdf [Online]. [cited 2019 Mar 26]. Available from: http://www.pcd.go.th/file/Thailand%20Pollution%20Report%202018_Thai.pdf. 2019.

[2] Kiddee P, Naidu R, Wong MH. “Electronic waste management approaches: An overview.” *Waste Management*, vol.33, no.5, pp. 1237–50. 2013.

[3] Suchitra Wasanadamrongdee, Panet Manomaiwiboon. “ Electronic waste The threat is imminent in the high-tech era” . *Naval Medical Journal*, vol.41, no.3, pp 65-74. 2014.

[4] Prateep Lertchaiprasert. “ Green ICT for electronic waste management” . *Journal of Vocational and Technical Education*, vol.3, no.6, pp 63–74. 2013.

[5] Ercan M, Malmodin J, Bergmark P. “*Life Cycle Assessment of a Smartphone*” . [n.p.]: Atlantis Press; 2018.

[6] Chaturvedi A, Strasserl C, Eisingerl F, Raghupath L, Henzler MP. “ *The carbon footprint of e-waste recycling - Indian scenarios*” . [n.p.].

[7] Zhang Y, Liu S, Xie H, Zeng X, Li J. “ Current status on leaching precious metals from waste printed circuit boards” . *Procedia Environmental Sciences*, vol.16, pp 560–8. 2012

[8] Chancerel P, Meskers CEM, Hagelken C, Rotter VS. “ Assessment of Precious Metal Flows During reprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment” . *Journal of Industrial Ecology*, vol. 13, no.5, pp 791–810. 2009.

[9] Yamazaki S, Nakane H, Tanaka A. “ Basic analysis of a metal detector” . *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol.51, no.4, pp 810–4. 2002.

- [10] Krishna Veni G, Srilakshmi P, Uma B. "Automatic Waste (Metal and Non-Metal) Separation using IR Sensor – IJRTS". : 2. *International Journal for Research in Technological Studies*, vol.3, no.5, pp 2348-1439. 2016.
- [11] Mapari R, Narkhede S, Navale A, Babrah J. "Automatic Waste Segregator and Monitoring System" [Online] [cited 2019 Apr 8] . Available from: https://www.researchgate.net/publication/317720527_Automatic_Waste_Segregator_and_Monitoring_System. 2019.
- [12] Vanessa F, Kees B, Ruediger K. "E-Waste Statistics". Bonn, Germany: United Nations University; 2018.
- [13] Anucha Kaewpoolsuk. "Development of high-sensitivity metal detectors for the food industry". M.P.A.: Naresuan University, 2013.
- [14] Russel MH, Chowdhury MH, Uddin SN, Newaz A, Talukder MM. "Development of Automatic Smart Waste Sorter Machine". n.p.
- [15] Sinha RS, Wei Y, Hwang S. "A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT". *ICT Express*, vol.3, no.1, pp 14–21. 2017.
- [16] N. Sornjapo, "Comparative Study of the Accuracy and Precision of Weather Temperature Sensor for lot in Different Environment," *sripatum Chonuri journal*, 2021.
- [17] "DHT11, DHT22 and AM2302 Sensors," Adafruit Learning System. <https://learn.adafruit.com/dht/overview> (accessed Feb. 05, 2023).