

การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะภายในครัวเรือนด้วยระบบถังขยะแยกประเภทแบบอัตโนมัติ

Improving Household Waste Management Efficiency with Automatic Waste Sorting Bin Systems

ชลิตล อินยาศรี^{1*} ปองพล รักการงาน¹ กังสดาล สกกุลพงษ์มาลี¹ ดวงฤดี ชุตระกุล²
ชลาลัย วงเวียน³ และ อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

³สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อ.เมืองเพชรบุรี จ.เพชรบุรี 76000

E-mail: chaleedol.jai@mail.pbru.ac.th*

Chaleedol Inyasri^{1*} Pongphol Rakkanrane¹ Kangsadan Sagulpongmalee¹ Duangrudee Chutrakul²

Chalalai Wongwian³ and Alongkorn Chatmuangpak³

¹Division of Energy Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology

²Division of Energy Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology

³Division of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology

Phetchaburi Rajabhat University, Muang Phetchaburi, Phetchaburi, 76000

E-mail: Chaleedol.jai@mail.pbru.ac.th*

Received 29 Apr 2025; Revised 26 Jun 2025

Accepted 8 Aug 2025; Available online 30 Dec 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบถังขยะแยกประเภทแบบอัตโนมัติ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะ ประกอบด้วยถังขยะรีไซเคิลและถังขยะอินทรีย์ ในส่วนของถังขยะรีไซเคิลสามารถแยกขยะแบบอัตโนมัติได้ 3 ประเภท ได้แก่ ขวดแก้ว ขวดพลาสติก และกระป๋องอลูมิเนียม โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับหลักการของทางลาดเอียงและแผ่นกระดกในการคัดแยก ส่วนระบบถังขยะอินทรีย์มีระบบใบกวนเพื่อเติมอากาศควบคุมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า พร้อมระบบเปิด-ปิดฝาอัตโนมัติ เพื่อลดการสัมผัสและป้องกันการแพร่เชื้อโรค อีกทั้งยังใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อความยั่งยืนด้านพลังงาน ผลการทดสอบระบบการคัดแยกขยะขวดแก้ว ขวดพลาสติก และกระป๋องอลูมิเนียม ที่มีขนาดแตกต่างกันรวมทั้งหมด 30 ชิ้น พบว่าสามารถแยกขวดพลาสติกและกระป๋องได้ถูกต้อง 100% ส่วนขวดแก้วสามารถแยกได้ถูกต้อง 66% โดยพบว่าสามารถแยกขวดแก้วที่มีน้ำหนักมากกว่า 160 กรัมได้อย่างแม่นยำ สำหรับถังขยะอินทรีย์สามารถเปลี่ยนเศษอาหารเป็นอินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นปุ๋ยหมักได้ภายในระยะเวลา 7 วัน ระบบต้นแบบมีเงินลงทุนเริ่มต้นรวมทั้งสิ้น 14,180 บาท หากมีการนำขยะที่แยกได้จากระบบไปจำหน่ายจะสามารถสร้างรายได้ประมาณ 141 บาทต่อเดือน ทำให้สามารถคืน

ทุนได้ภายในระยะเวลา 8.38 ปี ซึ่งยังไม่รวมผลประโยชน์ทางอ้อม เช่น การลดภาระการแยกขยะด้วยแรงงานคน และการส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดภายในครัวเรือน ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการคัดแยกขยะได้อย่างมีนัยสำคัญ และมีศักยภาพในการนำไปต่อยอดใช้งานในระดับชุมชนหรือองค์กรเพื่อสนับสนุนการจัดการขยะที่มีประสิทธิภาพในอนาคต

คำหลัก: ถังขยะแยกประเภทอัตโนมัติ ขยะรีไซเคิล การจัดการขยะในครัวเรือน

Abstract

This research aims to design and develop an automatic waste sorting bin system to help increase the efficiency of waste management, consisting of recycling and wet waste bins. The recycling bin is designed to automatically separate glass bottles, plastic bottles and cans using electronic sensors and a tilted surface. The wet bin has a blade system, powered by an electric motor, that introduces air into the bin, along with an automatic lid-opening mechanism to reduce contact and prevent disease transmission. The entire system is powered by solar energy, promoting energy sustainability. The performance testing involved 30 different recyclable items. The results showed that plastic bottles and aluminum cans were successfully sorted with 100% accuracy, while glass bottles were sorted with 66% accuracy. It was observed that the system could accurately separate glass bottles weighing more than 160 grams. The wet waste bin successfully converted food waste into organic matter suitable for composting within 7 days. The total initial investment for the prototype system was 14,180 THB. Based on an estimated monthly revenue of 141 THB from selling separated recyclables, the payback period is approximately 8.38 years. This does not include indirect benefits such as reducing manual labor for waste sorting and promoting the use of clean energy within households. The results indicate that the system significantly enhances waste sorting efficiency and has strong potential for further implementation at the community or organizational level to support more effective waste management in the future.

Keywords: Automatic sorting bins, Recyclable waste, Household waste management

1. บทนำ

การคัดแยกขยะถือเป็นกระบวนการที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในยุคปัจจุบัน ทั้งในมิติของการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนและการลดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และระบบนิเวศ การจัดการขยะอย่างมีประสิทธิภาพไม่เพียงแต่ช่วยแก้ไขปัญหาภายในพื้นที่ของสถานศึกษา เช่น มหาวิทยาลัยเท่านั้น แต่ยังสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 11 (เมืองและถิ่นฐานมนุษย์อย่างยั่งยืน) และเป้าหมายที่ 12 (การบริโภคและการผลิตอย่างยั่งยืน) การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมในการคัดแยกขยะสามารถเพิ่มความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน ลดภาระงานของบุคลากร และสร้างแรงจูงใจ

ให้ประชาชนทั่วไปเข้ามามีส่วนร่วมมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการวางรากฐานด้านองค์ความรู้และจิตสำนึกในการดูแลสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถขยายผลสู่การพัฒนาในระดับชุมชนหรือพื้นที่อื่น ๆ ได้อีกในอนาคต

อย่างไรก็ตาม จากการสังเกตพฤติกรรม การทิ้งขยะลงถัง พบว่ายังมีอุปสรรคหลายประการที่ส่งผลให้การคัดแยกขยะยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร ได้แก่ (1) ขาดจิตสำนึกในการแยกขยะ (2) การออกแบบถังขยะที่ไม่เหมาะสมกับประเภทของขยะ (3) ปริมาณถังขยะไม่สอดคล้องกับปริมาณขยะ ทำให้บางประเภทเต็มเร็ว และ (4) ปัญหาถังขยะอินทรีย์ที่มักมีกลิ่นเหม็นและเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรค

ซึ่งได้มีการศึกษาและพัฒนานวัตกรรมด้านการจัดการขยะหลากหลายรูปแบบในระดับครัวเรือนและ

ชุมชน โดยเน้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกขยะ รวมถึงการลดปริมาณขยะอินทรีย์อย่างยั่งยืน เช่น ระบบถังขยะอัจฉริยะที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการเปิด-ปิดฝาถังแบบอัตโนมัติโดยอาศัยเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุและปริมาณขยะภายในถัง และสามารถแสดงสถานะผ่านจอ LCD หรือส่งข้อมูลผ่านเว็บไซต์ [1-3] เครื่องแยกขวดอัตโนมัติที่สามารถจำแนกวัสดุรีไซเคิล เช่น ขวดแก้ว ขวดพลาสติก และกระป๋องอลูมิเนียม โดยใช้เซนเซอร์หลากหลายชนิด ได้แก่ เซนเซอร์แสงอินฟราเรด น้ำหนัก และเซนเซอร์โลหะ เพื่อระบุลักษณะของวัสดุอย่างแม่นยำ [4-8] และการหมักปุ๋ยจากขยะอินทรีย์ด้วยวิธีการทางชีวภาพ เช่น การใช้เครื่องย่อยเศษอาหารร่วมกับระบบเติมอากาศอัตโนมัติ เพื่อเร่งกระบวนการหมัก ทำให้สามารถผลิตอินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นปุ๋ยภายในระยะเวลาอันสั้น [9-10] ซึ่งพบว่ยังไม่มีการพัฒนาดังกล่าวที่มีระบบแยกประเภทแบบอัตโนมัติและระบบถังขยะอินทรีย์ในชุดเดียวกัน ดังนั้นจึงนำไปสู่แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาระบบถังขยะแยกประเภทแบบอัตโนมัติพร้อมถังขยะอินทรีย์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ เพื่อสนับสนุนแนวคิด “ขยะเหลือศูนย์”

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1) เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบถังขยะแยกประเภทแบบอัตโนมัติที่สามารถจำแนกขยะรีไซเคิล 3 ประเภท ได้แก่ ขวดแก้ว ขวดพลาสติก และกระป๋องอลูมิเนียม พร้อมระบบแยกขยะอินทรีย์สำหรับครัวเรือน

2) เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบถังขยะแยกประเภทอัตโนมัติในระดับครัวเรือน

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาระบบถังขยะแยกประเภทแบบอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกขยะรีไซเคิลประเภทขวด

และขยะอินทรีย์ในครัวเรือน

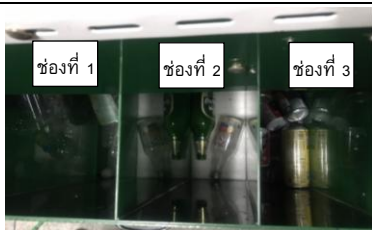
3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับประเภทของขยะ ได้แก่ ขวดแก้ว ขวดพลาสติก กระป๋องอลูมิเนียม และขยะอินทรีย์ พร้อมทั้งศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของวัสดุแต่ละประเภทเพื่อกำหนดขนาดช่องคัดแยกขยะแต่ละประเภทอย่างเหมาะสม นอกจากนี้ได้ศึกษาหลักการการทำงานของเซนเซอร์และระบบอัตโนมัติที่เกี่ยวข้อง ระบบกลไกการคัดแยกขยะ และการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดภายในครัวเรือน

3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบต้นแบบ

ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบถังขยะแยกประเภทแบบอัตโนมัติ ประกอบด้วยสองส่วนหลัก ได้แก่ (1) ถังสำหรับขยะรีไซเคิล ที่สามารถแยกขวดแก้ว ขวดพลาสติก และกระป๋องอลูมิเนียมโดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับคุณสมบัติของวัสดุร่วมกับกลไกทางลาดเอียงและแผ่นกระดก และ (2) ถังสำหรับขยะอินทรีย์ที่ติดตั้งระบบใบกวนควบคุมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อเติมอากาศและเร่งกระบวนการหมักอินทรีย์วัตถุ พร้อมระบบเปิด-ปิดฝาอัตโนมัติ ทั้งนี้ ระบบทั้งหมดใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อความยั่งยืนทางพลังงาน ดังนี้

1) การออกแบบส่วนของถังขยะรีไซเคิล ได้จัดแบ่งประเภทของขยะออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ขวดพลาสติก ขวดแก้ว และขวดกระป๋อง โดยมีขนาดของถังแต่ละประเภทดังนี้ ถังขวดพลาสติกมีขนาด $25 \times 36 \times 55.5$ เซนติเมตร รองรับปริมาตร 40 ลิตร ถังขวดแก้วมีขนาด $15.5 \times 36 \times 55.5$ เซนติเมตร รองรับปริมาตรได้ 20.8 ลิตร และถังกระป๋องมีขนาด $13 \times 36 \times 55.5$ เซนติเมตร รองรับปริมาตร 24.8 ลิตร ลักษณะช่องถังขยะแต่ละประเภทแสดงดังรูปที่ 1

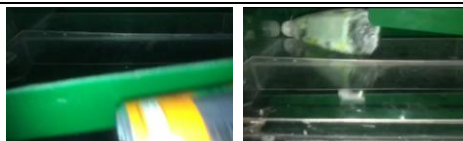


รูปที่ 1 รูปภายในถังช่องคัดแยกขยะ

กลไกการทำงานคัดแยกขวดกระป๋องออกจากขวดแก้วและขวดพลาสติกนั้นทำงานผ่านการจัดวางใบพัดในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อแยกประเภทขยะไปยังช่องจัดเก็บอาศัยหลักการของแรงโน้มถ่วง มวล และกลศาสตร์การเคลื่อนที่ เพื่อให้สามารถคัดแยกขยะตามคุณสมบัติทางกายภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ต้องพึ่งพาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือระบบอัตโนมัติที่ซับซ้อน ซึ่งการวางแนวทางลาดเอียงทำมุม 15 องศา ร่วมกับแผ่นกระดก โดยเลือกใช้วัสดุเป็นแผ่นอะคริลิกเพื่อให้มีแรงเสียดทานต่ำทำให้ขวดที่มีลักษณะทรงกระบอกสามารถกลิ้งและไหลไปยังช่องคัดแยกตามที่ต้องการได้ ซึ่งขวดแก้วที่มีน้ำหนักมากกว่าเมื่อกลิ้งมาตามทางลาดแล้วเจอกับแผ่นกระดกที่ใช้สำหรับคัดแยกขวดแก้วนั้นจะสามารถกดให้แผ่นกระดกเปิดและตกลงในช่องขวดแก้วได้ ส่วนขวดพลาสติกที่เบากว่าจึงไม่สามารถกดแผ่นกระดกให้เปิดได้จึงกลิ้งผ่านไปยังช่องขวดพลาสติกซึ่งอยู่ถัดไป ลักษณะทางลาดเอียงสำหรับแยกขวดพลาสติกและขวดแก้วแสดงดังรูปที่ 2 และใบพัดขวดสำหรับแยกขวดกระป๋องออกจากขวดพลาสติกและขวดแก้วแสดงดังรูปที่ 3



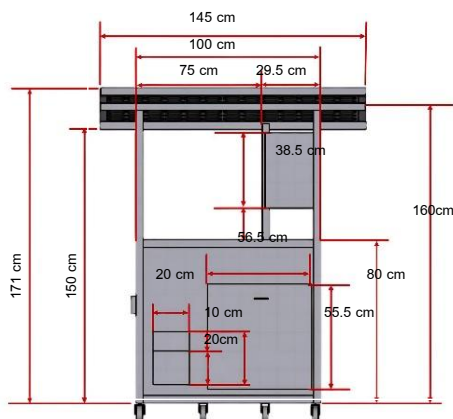
รูปที่ 2 ลักษณะทางลาดเอียงพร้อมแผ่นกระดกสำหรับคัดแยกขวดพลาสติกและขวดแก้ว



รูปที่ 3 ใบพัดขวดกระป๋อง ขวดแก้ว และขวดพลาสติก

2) ออกแบบในส่วนของถังขยะอินทรีย์ มีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 เซนติเมตร สูง 42 เซนติเมตร เจาะรูระบายอากาศรอบถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว และปิดรูด้วยตาข่ายไนลอนความถี่ 20 ตา มีใบกวนวัสดุหมักควบคุมการทำงานด้วยสวิตช์

3) ระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์แบบออฟกริดติดตั้งบนหลังคา ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทโมโนคริสตัลไลน์ขนาด 200 วัตต์ จำนวน 1 แผง โซลาร์ชาร์จเจอร์ รุ่น ST-S1220 แรงดัน 12V/24V จำนวน 1 เครื่อง เบรกเกอร์ DC จำนวน 2 ตัว และแบตเตอรี่ขนาด 90 Ah จำนวน 1 ลูก



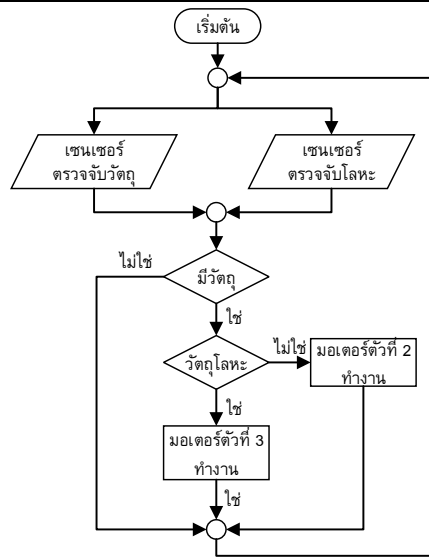
รูปที่ 4 แบบผังจัดการขยะอัจฉริยะเพื่อเป้าหมายขยะเหลือศูนย์



รูปที่ 5 ตู้จัดการขยะอัจฉริยะเพื่อเป้าหมายขยะเหลือศูนย์

3.3 ระบบการทำงานคัดแยกอัตโนมัติ

การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบอัตโนมัติประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น UNO R3 สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดฝาถังอัตโนมัติและควบคุมระบบคัดแยกขยะประเภทพลาสติกและขวดแก้วออกจากกัน ระบบการเปิด-ปิดฝาถังขยะทำงานโดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรด (IR sensor) ตรวจจับการมีวัตถุหรือคนเข้าใกล้ถังขยะเมื่อตรวจพบวัตถุจะสั่งการให้มอเตอร์ตัวที่ 1 ทำงานเปิดฝาถังขยะโดยอัตโนมัติ จากนั้นเมื่อผู้ใช้งานทิ้งขยะลงถังขยะระบบจะทำการคัดแยกขวด ขันแรกจะทำการแยกขวดประเภทพลาสติกและขวดแก้วโดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับโลหะ ถ้าเซนเซอร์ตรวจพบโลหะมอเตอร์ตัวที่ 2 จะขับเคลื่อนขวดประเภทพลาสติกและขวดแก้วโดยให้เซนเซอร์ตรวจจับโลหะ ถ้าเซนเซอร์ตรวจพบโลหะมอเตอร์ตัวที่ 2 จะขับเคลื่อนขวดประเภทพลาสติกและขวดแก้วโดยให้เซนเซอร์ตรวจจับโลหะ ถ้าเซนเซอร์ตรวจพบโลหะมอเตอร์ตัวที่ 2 จะขับเคลื่อนขวดประเภทพลาสติกและขวดแก้วโดยให้เซนเซอร์ตรวจจับโลหะ ถ้าเซนเซอร์ตรวจพบโลหะมอเตอร์ตัวที่ 2 จะขับเคลื่อนขวดประเภทพลาสติกและขวดแก้วโดยให้เซนเซอร์ตรวจจับโลหะ



รูปที่ 6 แผนผังแสดงระบบการทำงานการคัดแยกขยะ

3.4 ระบบการทำงานถังขยะอินทรีย์

การทำงานของถังขยะอินทรีย์จะมีฝาถังขยะเปิด-ปิดอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับเซอร์โวมอเตอร์และเซนเซอร์อินฟราเรด ในส่วนของการทำงานระบบเติมอากาศนั้นได้ติดตั้งสวิตช์เพื่อใช้สำหรับควบคุมการทำงานของใบกวนผสมภายในถัง



รูปที่ 7 รูปภายในถังขยะอินทรีย์

4. วิธีการทดลอง

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยใช้วัสดุจำลอง ได้แก่ ขวดแก้ว ขวดพลาสติก และกระป๋องอลูมิเนียม ขนาดแตกต่างกัน รวมจำนวน 30 ชิ้น และทำการทดลองซ้ำจำนวน 10 ครั้ง เพื่อประเมินความแม่นยำในการแยกขยะและระยะเวลาที่ใช้ในการจำแนกขยะแต่ละประเภท นอกจากนี้ยังมีการทดลองการหมักเศษอาหารภายในถังขยะเปียก โดยกำหนดให้อัตราส่วนในการทดลองโดยใช้ปุ๋ยคอก เศษอาหาร และเศษใบไม้ในอัตราส่วน 1:1:1 น้ำหนักโดยรวมอยู่ที่ 2 kg เปิดระบบการกวนผสมอย่างต่อเนื่องตั้งแต่วันที่ 8:00 – 18:00 น. และวัดค่า PH ในดิน ตัดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิด้านนอกและด้านในของถังหมัก เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเศษอาหารเป็นอินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมสำหรับการทำปุ๋ยหมัก สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสภาพของอินทรีย์วัตถุ

5. ผลการทดลอง

ในการวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบต้นแบบถังขยะแยกประเภทแบบอัตโนมัติทั้งในด้านความแม่นยำในการจำแนกขยะ ผลของการหมักขยะอินทรีย์ และรายละเอียดดังนี้

5.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของถังแยกขยะอัตโนมัติ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยใช้ขยะแต่ละประเภท ได้แก่ ขวดแก้ว ขวดพลาสติก และกระป๋องอลูมิเนียม ที่มีขนาดแตกต่างกัน รวมจำนวน 30 ชิ้น แสดงดังรูปที่ 8 ถึงรูปที่ 10 ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบระบบคัดแยกอัตโนมัติ

ครั้งที่	จำนวนผลการคัดแยกประเภทของขยะ (ครั้ง)								
	ช่องที่ 1			ช่องที่ 2			ช่องที่ 3		
		✓	✗		✓	✗		✓	✗
1		10	-		10	-		10	-
2		10	-		10	-		10	-
3		10	-		10	-		10	-
4		10	-		10	-		10	-
5		10	-		10	-		10	-
6		10	-		3	7		10	-
7		10	-		10	-		10	-
8		10	-		1	9		10	-
9		10	-		2	8		10	-
10		10	-		-	10		10	-



รูปที่ 8 ขยะประเภทกระป๋องอลูมิเนียม



รูปที่ 9 ขยะประเภทขวดแก้ว



รูปที่ 10 ขยะประเภทขวดพลาสติก

จากตารางที่ 1 ผลการคัดแยกขยะประเภทกระป๋องหมายเลข 1 – 10 พบว่าสามารถคัดแยกได้ถูกต้องทั้งหมด 100 ครั้ง คิดเป็นความถูกต้อง 100% ผลการคัดแยกขยะประเภทขวดแก้ว หมายเลข 1, 2, 3, 4, 5 และ 7 สามารถคัดแยกได้ถูกต้อง คิดเป็นความถูกต้อง 100% ขวดแก้วหมายเลข 6, 8 และ 9 พบว่าคัดแยกได้ไม่ถูกต้อง โดยมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง 30%, 10% และ 20% ตามลำดับ ขวดแก้วหมายเลข 10 ไม่สามารถคัดแยกได้โดยรวมแล้ว ขวดแก้วทั้งหมดสามารถคัดแยกได้ถูกต้อง 66 ครั้ง จาก 100 ครั้ง คิดเป็นความถูกต้องเฉลี่ย 66% ผลการคัดแยกขยะประเภทขวดพลาสติกหมายเลข 1 - 10 สามารถคัดแยกได้ถูกต้องทั้งหมด 100 ครั้ง คิดเป็นความถูกต้อง 100%

จากผลการทดสอบ พบว่าระบบถังขยะแยกประเภทที่พัฒนาขึ้นสามารถคัดแยกขยะประเภทกระป๋องและขวดพลาสติกได้อย่างถูกต้องทั้งหมด อย่างไรก็ตาม สำหรับขวดแก้วที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 160 กรัม ระบบมีประสิทธิภาพการคัดแยกที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

5.2 ผลการทดสอบการทำงานของถังขยะอินทรีย์

ผลการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์วัตถุในถังหมักดำเนินการโดยสังเกตลักษณะทางกายภาพของขยะเปียกที่ถูกหมักในระบบต้นแบบ และทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เพื่อประเมินความเหมาะสมของอินทรีย์วัตถุที่ได้ พบว่าหลังจากหมักเป็นระยะเวลา 7 วัน ลักษณะทางกายภาพของขยะเปียกเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน โดยมีลักษณะร่วนซุย ไม่มีกลิ่นเหม็นรุนแรง และมีสีเข้มขึ้นซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้ดี การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ใช้อุปกรณ์วัด pH Meter รุ่น TESTO 206-pH2 พบว่าค่า pH เฉลี่ยของวัสดุหมักมีค่าเท่ากับ 6.65 ซึ่งอยู่ในช่วงมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับการเป็นอินทรีย์วัตถุ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อในทางเกษตรกรรม เช่น การผลิตปุ๋ยหมักหรือสารปรับปรุงดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 11 ลักษณะของขยะเปียกในถังหมักวันที่ 1

จากรูปที่ 11 แสดงภาพขยะเปียกในช่วงเริ่มต้นกระบวนการหมัก โดยทดลองใช้ปุ๋ยคอก เศษอาหาร และเศษใบไม้ ในอัตราส่วน 1:1:1 น้ำหนักโดยรวมอยู่ที่ 2 kg



รูปที่ 12 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของขยะเปียกในถังหมักวันที่ 7

จากรูปที่ 12 แสดงภาพการเปลี่ยนแปลงของขยะเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักในวันที่ 7 ซึ่งพบว่ามีลักษณะร่วนซุย ไม่มีกลิ่นเหม็นรุนแรง และมีสีเข้มขึ้น

5.3 ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางการเงินของระบบถังขยะแยกประเภทแบบอัตโนมัติที่ออกแบบขึ้น ดำเนินการโดยประเมินต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น รายได้ที่อาจได้รับจากการจำหน่ายวัสดุรีไซเคิล ทั้งนี้ไม่รวมถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งส่งผลให้ระบบสามารถดำเนินการได้โดยไม่ต้องพึ่งพาไฟฟ้าจากภายนอก และการลดภาระการแยกขยะด้วยแรงงาน และคำนวณระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น เพื่อพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนใช้งานระบบในระดับครัวเรือน จากการศึกษพบว่า ระบบต้นแบบมีเงินลงทุนเริ่มต้นเป็นเงิน 14,180 บาท รายได้จากการจำหน่ายวัสดุรีไซเคิลที่สามารถบรรจุในถังขยะแต่ละ

ประเภท พบว่า สามารถรวบรวมขยะต่อรอบได้ ดังนี้ ขวดพลาสติกประเภทขวดน้ำ PET ขนาดบรรจุ 1.5 ลิตร สามารถบรรจุได้จำนวน 18 ขวด คิดเป็นน้ำหนักโดยประมาณ 0.63 กิโลกรัม สร้างรายได้ 6.93 บาท ต่อรอบ ขวดอลูมิเนียมกระป๋องโค้ก ขนาดบรรจุ 11 ออนซ์ สามารถบรรจุได้จำนวน 28 กระป๋อง สร้างรายได้ 21.84 บาทต่อรอบ คิดเป็นน้ำหนักโดยประมาณ 0.36 กิโลกรัม และขวดแก้วน้ำหวานเฮลซ์บลูบอยคิดเป็นขยะรีไซเคิลประเภทเศษแก้วสีขาว สามารถบรรจุได้จำนวน 7 ขวด คิดเป็นน้ำหนักโดยประมาณ 3.85 กิโลกรัม สร้างรายได้ 6.48 บาท เมื่อพิจารณาจากการจำหน่ายวัสดุรีไซเคิลทั้งหมด จะมีรายได้เฉลี่ยต่อรอบการเก็บอยู่ที่ 35.25 บาท แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงราคาขายขยะแต่ละประเภทและน้ำหนักโดยประมาณของขยะเมื่อบรรจุเต็มถัง

ประเภทขยะ	ราคาขาย (บาท/กิโลกรัม)	จำนวน (ชิ้น)	น้ำหนักรวมโดยประมาณ (กิโลกรัม)	รายได้ต่อถัง (บาท)
ขวดน้ำ PET สี	11.00	18	0.63	6.93
อลูมิเนียมกระป๋องโค้ก	56.00	28	0.39	21.84
เศษแก้วสีขาว	1.85	7	3.50	6.48
รวม				35.25

ที่มา : Wongpanit. (2025, April 5). ราคากลางรับซื้อขยะวันนี้. สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2568, from https://wongpanit.com/print_history_price/2327

จากข้อมูลตารางที่ 2 หากมีการรวบรวมขยะเพื่อจำหน่ายได้เดือนละ 4 ครั้ง จะสามารถสร้างรายได้ประมาณ 141 บาทต่อเดือน สามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มต้น(บาท)}}{\text{รายได้ต่อปี(บาท / ปี)}} \\ &= \frac{14,180(\text{บาท})}{141 \times 12(\text{บาท / ปี})} \\ &= 8.38 \text{ ปี} \end{aligned}$$

กล่าวได้ว่า ระบบต้นแบบนี้สามารถคืนทุนในระยะเวลา 8.38 ปี แม้ว่าผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนจะอยู่ในช่วงเวลาที่ยาวนาน แต่ระบบถังขยะแยก

ประเภทแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นยังสร้างคุณค่าที่ไม่สามารถประเมินได้ด้วยตัวเงินโดยตรง เช่น การลดปริมาณขยะรีไซเคิลที่หลุดรอดสู่สิ่งแวดล้อม การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการเผาหรือฝังกลบขยะ และการส่งเสริมพฤติกรรมคัดแยกขยะอย่างมีประสิทธิภาพในระดับครัวเรือน ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการส่งเสริมการขับเคลื่อนเศรษฐกิจหมุนเวียน และการพัฒนาที่ยั่งยืนตามเป้าหมาย SDGs ได้แก่ SDG 11 (เมืองและถิ่นฐานมนุษย์ที่ยั่งยืน) และ SDG 12 (การผลิตและการบริโภคอย่างยั่งยืน)

6. สรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบถังขยะแยกประเภทแบบอัตโนมัติที่ประกอบด้วยถังขยะรีไซเคิลและถังขยะอินทรีย์โดยเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะภายในครัวเรือน ระบบดังกล่าวสามารถแยกขยะรีไซเคิลประเภทกระป๋องอลูมิเนียมและขวดพลาสติกได้อย่างถูกต้อง 100% ผ่านการทำงานร่วมกันของเซนเซอร์และกลไกทางลาดเอียง อย่างไรก็ตาม ในกรณีของขวดแก้วที่มีน้ำหนักเบา กว่า 160 กรัม ระบบยังคงมีข้อจำกัดในการแยกประเภทอย่างแม่นยำ โดยมีความถูกต้องเฉลี่ย 66% นอกจากนี้ระบบถังขยะอินทรีย์ได้ถูกออกแบบให้มีการกวนผสมและการระบายอากาศที่เหมาะสม ส่งผลให้กระบวนการหมักเศษอาหารดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ เห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของขยะเปียกที่กลายเป็นวัสดุอินทรีย์ที่มีลักษณะร่วนซุยภายในระยะเวลา 7 วัน ปราศจากกลิ่นเหม็นรุนแรง และมีความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมกับการย่อยสลายทางชีวภาพ เมื่อพิจารณาในด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น ระบบต้นแบบนี้สามารถสร้างรายได้จากการขายวัสดุรีไซเคิลได้เดือนละ 141 บาท และด้วยเงินลงทุน 14,180 บาท ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาคืนทุน 8.38 ปี ซึ่งให้เห็นว่า ระบบถังขยะแยกประเภทแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพสูงในการส่งเสริมการจัดการขยะที่มีประสิทธิภาพในระดับครัวเรือนและชุมชน แม้ว่าผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์โดยตรงจะใช้เวลาระยะเวลาคืนทุนนาน แต่เมื่อพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและสังคมร่วมด้วย ระบบนี้ถือว่ามีคุณค่าต่อการส่งเสริมและพัฒนาที่ยั่งยืนในอนาคต และเหมาะสมกับการใช้งานในระยะยาวในกลุ่มผู้ใช้งานที่

ความสำคัญกับความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมมากกว่าการคืนทุนในระยะสั้น

7. ข้อเสนอแนะ

หากมีการขยายขอบเขตการใช้งานระบบให้ครอบคลุมหลายครัวเรือนในรูปแบบศูนย์รวมขยะระดับชุมชน หรือเพิ่มประเภทวัสดุรีไซเคิลอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบและเพิ่มรายได้จากการรีไซเคิลและลดระยะเวลาคืนทุนให้สั้นลงได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนจาก กองทุนส่งเสริม วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี และคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อใช้ในการวิจัย ตลอดจนขอขอบพระคุณบุคลากรผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาการทำการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชุตติกาญจน์ จันทรสภา และศรัทษ์ คำป้อม. การบริหารจัดการขยะแบบฉลาด : ถังขยะอัจฉริยะ [ปริญญานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต]. พิษณุโลก; มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2560.
- [2] ทิพานัน พงษ์สุวรรณ, อนุพงษ์ ดิตะ, และภาณุ วัตรอุทัยบาล. ระบบติดตามถังขยะอัจฉริยะ. PULINET Journal. 2019; 6(2) : 41-50.
- [3] ชุตติราษฎร์ อุดมะสิริเสนีย์ และณิชนันท์ รัชฎพรพิริณย์. การพัฒนาต้นแบบระบบถังขยะไอโอที และระบบจัดเก็บข้อมูลการทิ้งขยะแบบออนไลน์ของนักเรียนในโรงเรียนระดับประถมศึกษา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ. 2021; 7(1): 54-63.

- [4] ธนโชติ ภาชนะนัย, จักรกริช ปานเงิน, กรรณิการ์ คนงาม, วรชัย ศรีสมุดคำ และวาสนา วงศ์ษา. เครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ. วารสารวิชาการเทคโนโลยี อุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ พิบูลสงคราม. 2557; 4(2): 242-253.
- [5] ธนาดี ไชยลังการณ และพรรณรายณ์ นุชพงษ์. เครื่องแยกขวดแก้วและขวดพลาสติก [ปริญญา นิพนธ์ ปริญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต]. พิษณุโลก; มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2560.
- [6] ธาณิล ม่วงพูล และวริยา เย็นเปิง. การพัฒนาระบบคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีไอโอที. วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้ เทคโนโลยีสารสนเทศ. 2020; 8(2): 7-16.
- [7] Kwan LS, Sanudin R. Development of Segregated Recycle Waste System. Evolution in Electrical and Electronic Engineering. 2020; 1(1): 182-190.
- [8] Muangnak N, Sirawattananon C, Sukthanapirat R, Pukdee W, Attaset J. Waste Management System Driven by Smart Technology Platform with a Social Enterprise. ICIC Express Letters, Part B: Applications 2022; 13: 1189-1198.
- [9] กลยุทธ์ ศรีสมัย, ทรงวุฒิ เอกวุฒิจวงศา และอุดมศักดิ์ สาริบุตร. ศึกษาและออกแบบเครื่องบดขยะเปียกเพื่อทำปุ๋ยชีวภาพ. วารสารวิชาการ ศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2557; 5(2): 21-41.
- [10] จีมา ศรลัมพ์, ประกาศิต อุบลรัตน์ และโสฬส มีสุขอนุกุล. การออกแบบถังหมักขยะขนาดเล็กเพื่อการหมักขยะอินทรีย์จากครัวเรือน. Kasetsart Engineering Journal. 2019; 32(108): 63-70.