บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันปัญหาขยะมูลฝอย โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทขวดพลาสติก PET และขวดหรือกระป๋องอะลูมิเนียม ถือเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงขึ้นทุกปี ทั้งในระดับชุมชน โรงเรียน และระดับประเทศ เนื่องจากบรรจุภัณฑ์เหล่านี้ถูกใช้งานในชีวิตประจำวันเป็นจำนวนมาก แต่กลับมีสัดส่วนที่ถูกนำกลับไปรีไซเคิลได้อย่างถูกวิธีในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณการบริโภคจริง โดยขยะบรรจุภัณฑ์ที่ถูกทิ้งปะปนกับขยะทั่วไปทำให้สูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจและกลายเป็นภาระต่อระบบกำจัดขยะ สาเหตุสำคัญของปัญหานี้ไม่ได้มาจากการขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการแยกขยะแต่เพียงอย่างเดียว เพราะนักเรียนและบุคคลทั่วไปส่วนใหญ่ทราบดีว่าขวดพลาสติกและอะลูมิเนียมสามารถนำไปรีไซเคิลได้ แต่ปัญหาที่แท้จริงมาจากการที่ประชาชนและนักเรียนส่วนใหญ่ "รู้ว่าควรแยกขยะ" แต่ "ไม่มีแรงจูงใจเพียงพอ" ที่จะลงมือทำอย่างต่อเนื่อง เพราะการแยกขยะในรูปแบบเดิมไม่มีผลตอบแทนหรือสิ่งจูงใจใด ๆ กลับมาสู่ผู้ที่แยกขยะ ทำให้ขวดและบรรจุภัณฑ์จำนวนมากถูกทิ้งปะปนกับขยะทั่วไปจนเสียโอกาสในการนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ คณะผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะศึกษาปัญหาดังกล่าว โดยมุ่งเน้นไปที่การสร้างแรงจูงใจให้ผู้คนหันมาคัดแยกขวดพลาสติกและกระป๋องอะลูมิเนียมมากขึ้น ผ่านการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ หรือเอไอ (Artificial Intelligence) ร่วมกับระบบสายพานลำเลียงอัจฉริยะ เข้ามาผสานกับระบบสะสมแต้ม เพื่อเปลี่ยนพฤติกรรมการแยกขยะให้กลายเป็นกิจกรรมที่สนุก น่าสนใจ และสร้างประโยชน์ที่จับต้องได้จริงสำหรับผู้ใช้งานทุกเพศทุกวัย

จากข้อมูลรายงานของ กรมควบคุมมลพิษ (พ.ศ. 2566) พบว่าปัญหาขยะพลาสติกและบรรจุภัณฑ์ในประเทศไทยยังคงเกิดขึ้นในปริมาณมหาศาล โดยมีขยะพลาสติกเกิดขึ้นถึงประมาณ 2 ล้านตันต่อปี แต่ถูกนำกลับมารีไซเคิลได้เพียง 25% เท่านั้น ส่วนอีก 75% ที่เหลือไม่ได้ถูกนำไปจัดการอย่างถูกวิธี ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการจัดการขยะยังขาดประสิทธิภาพ และผู้คนยังขาดแรงจูงใจในการคัดแยกขยะตั้งแต่ต้นทาง คณะผู้จัดทำจึงได้ศึกษาแนวทางแก้ไขปัญหาผ่านงานวิจัยและนวัตกรรมที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ เช่น งานวิจัยของ ธานินทร์ ม่วงพูล และ วริยา เย็นเปิง (พ.ศ. 2565) ที่ยืนยันว่าการนำเทคโนโลยี IoT และเซนเซอร์มาใช้สามารถช่วยคัดแยกขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบกับงานวิจัยของ บพิตร ไชยนอก และ ฤชานนท์ ศรีราวงค์ (พ.ศ. 2567) ที่พบว่าการใช้โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องและการประมวลผลภาพสามารถจำแนกประเภทขวดได้อย่างแม่นยำสูงถึง 95% และงานวิจัยระดับสากลของ He et al. (2016) ที่ระบุว่าโครงสร้างสถาปัตยกรรมแบบ ResNet ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการจดจำและจำแนกภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ จากการศึกษาโครงงานและนวัตกรรมตู้รับคืนบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ (Reverse Vending Machine: RVM) เช่น เครื่อง CircularOne และ Refun พบว่าการนำระบบเอไอมาใช้คัดแยกบรรจุภัณฑ์ร่วมกับสายพานลำเลียงและการเปลี่ยนขยะเป็น "แต้มสะสม" เป็นแนวทางที่ประสบความสำเร็จอย่างสูง เนื่องจากอาศัยหลักการทางจิตวิทยาเรื่องแรงเสริมทางบวก (Positive Reinforcement) ของ Skinner (1953) ในการสร้างแรงจูงใจและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้คนอย่างยั่งยืน

ด้วยเหตุนี้ คณะผู้จัดทำจึงเห็นความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ "เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม" โดยออกแบบตัวเครื่องเป็นตู้ทรงสี่เหลี่ยมทันสมัย ใช้ระบบสายพานลำเลียงนำส่งขวดผ่านอุโมงค์ตรวจจับภาพด้วยปัญญาประดิษฐ์ (AI Computer

Vision) เพื่อจำแนกประเภทขวดพลาสติก PET และขวด/กระป๋องอะลูมิเนียม พร้อมทั้งมีระบบคัดแยกส่งคืนขยะที่ไม่รองรับ (Auto-Rejection) และผสานเข้ากับระบบสะสมแต้มดิจิทัลที่สามารถนำไปแลกของรางวัลได้จริงในโรงเรียน เพื่อกระตุ้นและปลูกฝังจิตสำนึกให้นักเรียนหันมาคัดแยกขยะอย่างถูกต้องและยั่งยืน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประดิษฐ์เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน ที่มีต่อเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

ขอบเขตการศึกษา

การประดิษฐ์เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม ได้กำหนดขอบเขตการศึกษาดังนี้

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการประดิษฐ์ 1) กล้องตรวจจับภาพ 2) บอร์ดประมวลผลปัญญาประดิษฐ์ 3) มอเตอร์เซอร์โวและมอเตอร์ขับเคลื่อนสายพาน 4) เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุอินฟราเรด 5) จอแสดงผลระบบสัมผัส 6) โครงสร้างตู้ตัวเครื่องและชุดสายพานลำเลียงตรวจจับ 7) ถังเก็บขยะรีไซเคิลแยกประเภท (ขวดพลาสติก PET และขวด/กระป๋องอะลูมิเนียม) 8) โมดูล Wi-Fi

ระยะเวลาที่ใช้ในการประดิษฐ์ ตั้งแต่วันที่ 15 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2569 ถึง วันที่ 30 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2569

สถานที่ในการประดิษฐ์ โรงเรียนสรรพวิทยาคม ตำบล แม่สอด อำเภอ แม่สอด จังหวัด ตาก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม สำหรับใช้คัดแยกขวดพลาสติก PET และขวด/กระป๋องอะลูมิเนียมในโรงเรียนได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

2. ได้แนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับระบบสายพานลำเลียงและระบบสะสมแต้ม เพื่อนำไปประยุกต์ใช้แก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมในรูปแบบอื่น ๆ ต่อไป

3. ได้แนวทางในการแก้ไขปัญหาการขาดแรงจูงใจในการคัดแยกขยะของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6

4. เป็นแนวทางในการบูรณาการความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาจริงในชีวิตประจำวัน

5. ปลูกฝังจิตสำนึกด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและการคัดแยกขยะอย่างถูกวิธีให้แก่นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6

นิยามศัพท์เฉพาะ

เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม หมายถึง อุปกรณ์ทรงตู้สี่เหลี่ยมที่คณะผู้จัดทำโครงงานประดิษฐ์ขึ้น เพื่อคัดแยกขยะรีไซเคิลและลดปริมาณขยะตกค้างในสิ่งแวดล้อม โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ ได้แก่ 1) กล้องตรวจจับภาพ 2) บอร์ดประมวลผลปัญญาประดิษฐ์ 3) มอเตอร์เซอร์โวและมอเตอร์ขับเคลื่อนสายพาน 4) เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุอินฟราเรด 5) จอแสดงผลระบบสัมผัส 6) โครงสร้างตู้ตัวเครื่องและชุดสายพานลำเลียงตรวจจับ 7) ถังเก็บขยะรีไซเคิลแยกประเภท 8) โมดูล Wi-Fi มีขั้นตอนการทำงานโดยผู้ใช้วางบรรจุภัณฑ์บนสายพานลำเลียงเข้าสู่อุโมงค์ตรวจจับภาพ กล้องและโมเดลเอไอจะประมวลผลจำแนกประเภท หากเป็นขวดพลาสติก PET หรือขวด/กระป๋องอะลูมิเนียม

กลไกมอเตอร์จะคัดแยกลงสู่ถังเก็บขยะรีไซเคิลที่ถูกต้องพร้อมเพิ่มแต้มสะสมให้แก่ผู้ใช้งาน แต่หากตรวจพบว่าเป็นวัตถุแปลกปลอมหรือขยะที่ไม่รองรับ ระบบจะทำการปฏิเสธและควบคุมสายพานให้หมุนย้อนกลับเพื่อส่งคืนขยะให้แก่ผู้ใช้งานทันที โดยหลังจากประดิษฐ์เสร็จสิ้น จะมีการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ การจำแนกภาพของเอไอ กลไกการคัดแยกและการส่งคืนขยะ รวมถึงความถูกต้องของการคำนวณแต้มสะสมบนหน้าจอสัมผัส หากระบบทำงานได้ตามเงื่อนไขดังกล่าวถือว่าเครื่องสามารถใช้งานได้จริง

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอพร้อมระบบสะสมแต้ม หมายถึง การนำเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอพร้อมระบบสะสมแต้ม ไปดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพ โดยมีขั้นตอนการทดสอบ 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้ 1) ขั้นตอนการทดสอบและปรับจูนระบบภายใน โดยคณะผู้จัดทำได้ดำเนินการตรวจสอบความพร้อมของระบบฮาร์ดแวร์และวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน ได้แก่ การจ่ายพลังงานไฟฟ้าผ่านสวิตช์เปิด-ปิด การทำงานของเซนเซอร์อินฟราเรด (IR Sensor) กล้องตรวจจับภาพระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI Vision) การขับเคลื่อนของมอเตอร์เซอร์โว และการแสดงผลบนหน้าจอสัมผัส จากนั้นดำเนินการทดสอบการคัดแยกบรรจุภัณฑ์เพื่อบันทึกผลลงในตารางทดสอบ โดยมีการทดสอบดังนี้ การทดสอบแบบเดี่ยว ทดสอบหย่อนขวดพลาสติกใส PET สัดส่วน 100% และทดสอบหย่อนกระป๋องอะลูมิเนียม สัดส่วน 100% เพื่อตรวจวัดอัตราความแม่นยำสูงสุดของระบบ การทดสอบแบบคละและบรรจุภัณฑ์นอกขอบเขต ทดสอบหย่อนบรรจุภัณฑ์คละประเภท รวมถึงวัตถุที่ไม่รองรับ เช่น ขวดแก้ว เพื่อตรวจสอบการปฏิเสธวัตถุและระบบความปลอดภัย พร้อมบันทึกข้อผิดพลาดเพื่อดำเนินการปรับจูนพารามิเตอร์ของระบบก่อนนำไปใช้จริง 2) นำเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม ไปทดลองใช้งานเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เช่น ความแม่นยำในการคัดแยก ระยะเวลาในการประมวลผล และอัตราการคัดแยกขยะปนเปื้อน

กับถังขยะแยกประเภทแบบเดิมที่มีอยู่แล้วในโรงเรียน 3) นำเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอพร้อมระบบสะสมแต้ม ไปทดลองใช้งานจริงกับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งก็คือนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน โรงเรียนสรรพวิทยาคม

โดยให้นักเรียนนำขวดพลาสติกและขวดอะลูมิเนียมมาทดลองทิ้งผ่านเครื่องในช่วงเวลา 08.00 น. ถึง 16.00 น. รวมระยะเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นระยะเวลา 2 ถึง 4 สัปดาห์ จากนั้นทำการเก็บข้อมูลจำนวนขวดที่คัดแยกได้ ประเมินความแม่นยำของระบบเอไอ ความเร็วของสายพาน

และตรวจสอบความถูกต้องของจำนวนแต้มสะสมตลอดระยะเวลาการทดลอง

การศึกษาความพึงพอใจ หมายถึง ระดับความรู้สึกของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน ที่ทดลองใช้เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอพร้อมระบบสะสมแต้ม ในด้าน 1) ความสะดวกในการใช้งานเครื่อง 2) ความแม่นยำในการคัดแยกขวดพลาสติก 3) ความรวดเร็วในการประมวลผลของระบบเอไอ 4) ความน่าสนใจของระบบสะสมแต้ม 5) ความคุ้มค่าของรางวัลที่ได้รับจากการสะสมแต้ม 6) รูปลักษณ์และความสวยงามของตัวเครื่อง 7) ความปลอดภัยในการใช้งาน 8) ความทนทานของตัวเครื่อง 9) ความพึงพอใจต่อการแสดงผลบนหน้าจอ 10) ความต้องการนำเครื่องไปใช้งานจริงในโรงเรียนหรือชุมชน

มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ตามวิธีการของลิเคิร์ท (Likert, 1932) จำนวน 5 ระดับ ได้แก่ 5, 4, 3, 2 และ 1 หมายถึง มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด ตามลำดับ

และมีส่วนที่เป็นคำถามปลายเปิดเพื่อสอบถามข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงพัฒนาต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและโครงงานที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำโครงงานทางวิศวกรรม เรื่อง เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม คณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาเอกสาร และโครงงานที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ประเภทของขวดบรรจุภัณฑ์ที่รองรับในเครื่องคัดแยก

2. เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ด้านการประมวลผลภาพ

3. ทฤษฎีแรงจูงใจและระบบสะสมแต้ม

4. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเซนเซอร์การตรวจจับ

5. การจัดการขยะรีไซเคิล

6. หลักการทางวิทยาศาสตร์

7. ความพึงพอใจ

8. โครงงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ประเภทของขวดบรรจุภัณฑ์ที่รองรับในเครื่องคัดแยก

เพื่อให้การทำงานของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม สามารถตอบโจทย์การจัดการขยะรีไซเคิลในชีวิตประจำวันของโรงเรียนได้อย่างครอบคลุมและมีประสิทธิภาพสูงสุด

คณะผู้จัดทำจึงได้กำหนดขอบเขตและศึกษาลักษณะเฉพาะของบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มที่ระบบรองรับ 2 ประเภทหลัก ได้แก่ ขวดพลาสติกประเภท PET และขวด/กระป๋องอะลูมิเนียม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ขวดพลาสติก (Plastic Bottles - PET)

ขวดพลาสติกที่ใช้บรรจุน้ำดื่มและเครื่องดื่มส่วนใหญ่ผลิตจากพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PET หรือ PETE) ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีสัญลักษณ์รีไซเคิลหมายเลข 1 คุณสมบัติเด่นของขวดพลาสติก PET คือ มีความใส ผิวเรียบมัน น้ำหนักเบา เหนียวทนทาน ไม่เปราะแตกง่าย

และมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้ดี จึงนิยมนำมาใช้บรรจุน้ำดื่ม น้ำอัดลม และชาเขียวพร้อมดื่ม

ในกระบวนการรีไซเคิล ขวดพลาสติก PET ถือเป็นหนึ่งในพลาสติกที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงและสามารถนำกลับมาผ่านกระบวนการหลอมแปรรูปเป็นเม็ดพลาสติกรีไซเคิล (rPET) เพื่อผลิตเป็นขวดบรรจุภัณฑ์ใหม่ (Closed-Loop Recycling) หรือนำไปดึงเป็นเส้นใยสังเคราะห์สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอได้ การตรวจจับขวด PET ในระบบเอไอจะอาศัยคุณลักษณะเด่นด้าน "ความโปร่งใส (Transparency)" และการหักเห/สะท้อนของแสงเมื่อวางบนสายพานลำเลียงผ่านอุโมงค์ตรวจจับ

ภาพที่ 1: ลักษณะของขวดพลาสติกประเภท PET

ที่มา: https://www.tpbi.co.th ; พ.ศ. 2566

1.2 ขวดและบรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียม (Aluminium Bottles / Cans)

บรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมสูงในการบรรจุเครื่องดื่มน้ำอัดลม กาแฟกระป๋อง และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง เนื่องจากอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติในการป้องกันแสงแดด อากาศ ความชื้น และเชื้อจุลินทรีย์ได้ 100% (Total Barrier) ช่วยรักษาคุณภาพ รสชาติ และความสดใหม่ของเครื่องดื่มได้ยาวนาน

ในด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจหมุนเวียน อะลูมิเนียมถือเป็น "วัสดุหมุนเวียนถาวร (Permanently Recyclable Material)" ที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลใหม่ได้ไม่จำกัดจำนวนครั้ง โดยไม่สูญเสียคุณสมบัติเชิงกลหรือคุณภาพของเนื้อโลหะ
การรีไซเคิลขวดและกระป๋องอะลูมิเนียมใช้พลังงานน้อยกว่าการถลุงแร่บอกไซต์ใหม่ถึง 95% และช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 9.13 กิโลกรัมต่อเนื้ออะลูมิเนียม 1 กิโลกรัม จึงมีมูลค่าการรับซื้อในตลาดรีไซเคิลสูงกว่าพลาสติกหลายเท่า

ในการตรวจจับด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์และเซนเซอร์
บรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมมีลักษณะเด่นที่ชัดเจน ได้แก่ "ความทึบแสง (Opacity)" ความมันวาวของพื้นผิวโลหะ (Metallic Reflectivity) และลวดลายงานพิมพ์รอบกระป๋อง

ทำให้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างขวดพลาสติกใสและกระป๋องอะลูมิเนียมได้อย่างแม่นยำ

ภาพที่ 2: ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ขวดและกระป๋องอะลูมิเนียม

ที่มา: https://www.canpack.com ; **พ.ศ. 2567**

ความแตกต่างของคุณสมบัติทางกายภาพระหว่างขวดพลาสติกใส PET และขวดอะลูมิเนียมที่มีความทึบแสงและมันวาว ถือเป็นลักษณะสำคัญที่ช่วยให้กล้องประมวลผลภาพบนสายพานลำเลียง สามารถตรวจจับ แยกแยะ และสั่งการกลไกเพื่อคัดแยกบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทได้อย่างแม่นยำ รวมถึงหากเป็นวัตถุแปลกปลอมอื่น ๆ ระบบจะส่งคืนขยะให้แก่ผู้ใช้งานทันที

2. เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ด้านการประมวลผลภาพ

ปัญหาหลักของการจัดการขยะในปัจจุบันคือความยุ่งยากและข้อผิดพลาดจากการคัดแยกขยะด้วยแรงงานคน รวมถึงการที่ประเทศของเรายังมีการนำขยะพลาสติกกลับไปใช้ประโยชน์เพียงร้อยละ 25 ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงระบบการจัดการที่ยังขาดประสิทธิภาพ เพื่อแก้ปัญหานี้อย่างยั่งยืน คณะผู้จัดทำจึงได้นำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ หรือ เอไอ (Artificial Intelligence) เข้ามาเป็นหัวใจหลักในการทำงานของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติ โดยเทคโนโลยีที่โครงงานนี้เลือกใช้ คือการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) ซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของเอไอที่มุ่งเน้นการทำให้คอมพิวเตอร์สามารถมองเห็น ทำความเข้าใจ และวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายได้ใกล้เคียงกับดวงตาและสมองของมนุษย์

ในการสอนให้คอมพิวเตอร์สามารถแยกแยะได้ว่าวัตถุใดคือขวดพลาสติก PET ขวดอะลูมิเนียม หรือขยะอื่น ๆ คณะผู้จัดทำได้ศึกษาการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN - Convolutional Neural Network) ซึ่งเป็นโมเดลที่ถูกออกแบบมาเพื่อประมวลผลข้อมูลภาพโดยเฉพาะ

หลักการทำงานคือการนำภาพถ่ายวัตถุบนสายพานลำเลียงมาทำการสกัดลักษณะเด่น (Feature Extraction) เช่น การตรวจจับเส้นขอบ รูปร่าง ความโค้งมน พื้นผิวโลหะ และความโปร่งใส จากนั้นระบบจะนำข้อมูลเหล่านี้ไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่ฝึกสอนเอาไว้ เพื่อให้ระบบตัดสินใจจำแนกประเภทได้อย่างแม่นยำสูงกว่าร้อยละ 95

ภาพที่ 3: แผนภาพแสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม CNN และการสกัดลักษณะเด่นของภาพ

ที่มา: https://learnopencv.com ; **พ.ศ. 2566**

นอกจากนี้ เพื่อให้เครื่องแยกขวดทำงานได้แม่นยำที่สุดและลดข้อผิดพลาดในกรณีที่ขวดมีรอยยับหรือมีแสงสะท้อน งานวิจัยยังได้นำเสนอสถาปัตยกรรมโมเดลขั้นสูงที่เรียกว่า ResNet (Residual Network) ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบลึก (Deep Neural Network) ที่เข้ามาแก้ปัญหาโครงข่ายที่ลึกเกินไปโดยการสร้างทางลัด (Shortcut Connection) ให้ข้อมูลสามารถข้ามชั้นประมวลผลบางชั้นไปได้ ทำให้โมเดลสามารถเรียนรู้รายละเอียดของภาพขวดและกระป๋องที่ซับซ้อนขึ้นได้โดยไม่สูญเสียความแม่นยำ และสามารถจำแนกประเภทขยะด้วยความแม่นยำที่สูงถึงร้อยละ 98.16

ภาพที่ 4: โครงสร้างทางลัด (Skip Connection) ในโมเดล ResNet ที่ช่วยเพิ่มความแม่นยำ

ที่มา: https://arxiv-org.translate.goog/html ; **พ.ศ. 2567**

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในโครงงานนี้ ทำงานร่วมกับระบบสายพานลำเลียงและอุโมงค์ควบคุมแสงสว่าง (Inspection Chamber) เมื่อผู้ใช้วางขวดลงบนสายพาน เซนเซอร์อินฟราเรดจะส่งสัญญาณให้สายพานเลื่อนขวดเข้าสู่อุโมงค์ตรวจจับที่มีไฟ LED ส่องสว่างคงที่ กล้องจะบันทึกภาพและส่งไปยังบอร์ด Raspberry Pi เพื่อประมวลผลด้วยโมเดลเอไอแบบ Real-time หากเป็นขวดพลาสติก PET หรือขวดอะลูมิเนียม สายพานจะลำเลียงต่อไปยังชุดบานพับเซอร์โวมอเตอร์เพื่อปัดแยกประเภทลงถังอย่างถูกต้องและเ

พิ่มแต้มสะสม แต่หากเป็นขยะแปลกปลอมที่ไม่รองรับ ระบบจะสั่งให้สายพานหมุนย้อนกลับ (Reverse Conveyor) เพื่อส่งคืนขยะให้แก่ผู้ใช้งานทันที

3. ทฤษฎีแรงจูงใจและระบบสะสมแต้ม

สาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้การจัดการขยะมูลฝอยในสถานศึกษาและชุมชนยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร เกิดจาก "การขาดแรงจูงใจ (Lack of Motivation)" ในการลงมือปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอ
เนื่องจากการแยกขยะในรูปแบบเดิมไม่มีผลตอบแทนเชิงบวกที่จับต้องได้ในทันที
คณะผู้จัดทำจึงได้นำหลักการทางจิตวิทยาพฤติกรรมศาสตร์และแนวคิดเกมมิฟิเคชัน (Gamification) มาผสานเข้ากับเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อพัฒนาระบบสะสมแต้ม โดยมีรายละเอียดทฤษฎี โครงสร้าง และขั้นตอนการทำงานของระบบ ดังนี้

3.1 ทฤษฎีทางจิตวิทยาและหลักการสร้างแรงจูงใจ

1) ทฤษฎีการวางเงื่อนไขการกระทำและการเสริมแรงทางบวก (Operant Conditioning and Positive Reinforcement): ตามทฤษฎีของ บี.เอฟ. สกินเนอร์ (B.F. Skinner, 1953) ระบุว่าพฤติกรรมของมนุษย์สามารถปรับเปลี่ยนและสร้างความคงทนได้ผ่านผลกรรมหรือสิ่งเร้าที่เกิดขึ้นหลังการกระทำ หากบุคคลแสดงพฤติกรรมที่พึงประสงค์ เช่น การคัดแยกและทิ้งขวดลงในเครื่องอย่างถูกต้อง แล้วได้รับ "ตัวเสริมแรงทางบวก (Positive Reinforcer)" ในทันที เช่น แต้มสะสมหรือคะแนนรางวัล สมองจะเชื่อมโยงพฤติกรรมดังกล่าวเข้ากับความรู้สึกพึงพอใจและความสำเร็จ (Immediate Gratification) ส่งผลให้บุคคลเกิดแนวโน้มที่จะทำพฤติกรรมการคัดแยกขยะซ้ำอย่างต่อเนื่อง จนพัฒนาไปเป็นอุปนิสัย (Habit Formation) ที่ยั่งยืน

2) แนวคิดเกมมิฟิเคชัน (Gamification): เป็นการนำกลไกและองค์ประกอบของเกม ได้แก่ คะแนนสะสม (Points) ลำดับความก้าวหน้า (Progression) และของรางวัล (Rewards) มาประยุกต์ใช้ในกิจกรรมการคัดแยกขยะ เพื่อเปลี่ยนพฤติกรรมที่เคยรู้สึกว่าเป็นภาระหรือน่าเบื่อให้กลายเป็นกิจกรรมที่สนุกสนาน ท้าทาย และสร้างแรงจูงใจทั้งภายใน (Intrinsic Motivation) และภายนอก (Extrinsic Motivation)

3.2 สถาปัตยกรรมและกลไกการทำงานของระบบสะสมแต้ม (System Architecture and Workflow)

ระบบสะสมแต้มของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติได้รับการออกแบบให้เชื่อมโยงการทำงานระหว่างฮาร์ดแวร์ ปัญญาประดิษฐ์ และระบบคลาวด์อย่างเป็นระบบ โดยมีขั้นตอนการทำงาน 5 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1) ขั้นตอนการระบุตัวตนผู้ใช้งาน (User Authentication): ก่อนการทิ้งบรรจุภัณฑ์ ผู้ใช้งานจะทำการยืนยันตัวตนที่หน้าตัวเครื่องผ่านหน้าจอสัมผัส (Touchscreen Display) เช่น การกรอกรหัสประจำตัวนักเรียน หรือการสแกนบัตรนักเรียน / QR Code ประจำตัว เพื่อเชื่อมโยงเข้ากับบัญชีผู้ใช้ในระบบฐานข้อมูล

2) ขั้นตอนการตรวจจับ คัดแยก และคำนวณแต้ม (Bottle Sorting & Point Calculation): เมื่อผู้ใช้วางบรรจุภัณฑ์บนสายพาน กล้อง AI จะตรวจจับและจำแนกประเภทบรรจุภัณฑ์ จากนั้นระบบจะคำนวณแต้มสะสมตามประเภทและมูลค่าทางเศรษฐกิจของวัสดุ เช่น:

- ขวดพลาสติกใส PET: ได้รับ 10 แต้ม ต่อ 1 ขวด
- ขวด/กระป๋องอะลูมิเนียม: ได้รับ 20 แต้ม ต่อ 1 ชิ้น
- วัตถุแปลกปลอมหรือขยะที่ไม่รองรับ: ระบบจะไม่ให้แต้ม และสายพานจะหมุนส่งคืนขยะพร้อมแจ้งเตือนบนหน้าจอ

3) ขั้นตอนการประมวลผลและส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real-Time Cloud Synchronization): บอร์ดประมวลผลจะส่งข้อมูลจำนวนขวดที่คัดแยกสำเร็จและคะแนนที่ได้รับ ผ่านเครือข่าย Wi-Fi ไปยังฐานข้อมูลออนไลน์ (Cloud Database) เพื่อบันทึกประวัติการทิ้งเข้าสู่บัญชีของผู้ใช้งานทันทีแบบเรียลไทม์

4) ขั้นตอนการแสดงผลและตอบสนองทันที (Instant Visual Feedback): หน้าจอสัมผัสจะแสดงกราฟิกสรุปผลทันที ได้แก่ ภาพวัตถุที่ตรวจจับ จำนวนแต้มที่ได้รับเพิ่ม และยอดแต้มสะสมคงเหลือทั้งหมดในบัญชี

5) ขั้นตอนการแลกของรางวัลและการบริหารจัดการ (Reward Redemption & Management):

- การแลกรางวัล: ผู้ใช้งานสามารถนำแต้มสะสมไปกดแลกของรางวัลได้ที่หน้าจอของเครื่อง เช่น อุปกรณ์การเรียน (สมุด ปากกา ดินสอ) คูปองส่วนลดร้านค้าสหกรณ์/โรงอาหาร หรือชั่วโมงกิจกรรมจิตอาสา

- ระบบหลังบ้านสำหรับผู้ดูแล (Admin Dashboard): ครูและผู้รับผิดชอบสามารถดูสถิติภาพรวม เช่น ปริมาณขยะที่คัดแยกได้ในแต่ละวัน ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ และจัดการสต็อกของรางวัลได้อย่างโปร่งใส

3.3 กรณีศึกษาและนวัตกรรมตู้รับคืนบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติในปัจจุบัน (Reverse Vending Machine: RVM)

ในระดับอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์
แนวคิดการนำระบบสะสมแต้มมาร่วมกับตู้คัดแยกขยะอัตโนมัติได้รับการพิสูจน์แล้วว่าประสบความสำเร็จอย่างสูง เช่น ตู้ CircularOne (Sustaintech), ตู้ Refun และ TRASH EX คณะผู้จัดทำจึงได้นำแนวคิดและสถาปัตยกรรมระบบสะสมแต้มมาปรับประยุกต์และย่อขนาดให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงในบริบทของโรงเรียน

ภาพที่ 5: ภาพตัวอย่างตู้รับคืนบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติในปัจจุบัน

ที่มา: https://www.sdthailand.com ; **พ.ศ. 2565**

4. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเซนเซอร์การตรวจจับ

เพื่อให้เครื่องแยกขวดอัตโนมัติทรงตู้สี่เหลี่ยมสามารถทำงานร่วมกับระบบสายพานและระบบสะสมแต้มได้อย่างสมบูรณ์
คณะผู้จัดทำได้เลือกใช้อุปกรณ์ทางวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์หลายชิ้นมาประกอบเข้าด้วยกัน ดังนี้

1. กล้องตรวจจับภาพและบอร์ดประมวลผล (Camera & Raspberry Pi): ทำหน้าที่เป็นดวงตาและสมองกล โดยกล้องความละเอียดสูงติดตั้งอยู่ในอุโมงค์ตรวจจับ

ทำหน้าที่บันทึกภาพขวดบนสายพาน ส่งต่อไปยังบอร์ด Raspberry Pi 4 เพื่อรันโมเดล AI ในการประมวลผลและตัดสินใจจำแนกประเภท

2. ชุดสายพานลำเลียงและมอเตอร์ขับเคลื่อน (Conveyor Belt & DC Motor): ทำหน้าที่รับขวดจากผู้ใช้งานและลำเลียงผ่านเข้าสู่อุโมงค์กล้องตรวจจับ สามารถควบคุมทิศทางการหมุนได้ 2 ทิศทาง ทั้งการหมุนไปข้างหน้าเพื่อส่งขวดไปยังจุดคัดแยก และการหมุนย้อนกลับ (Reverse) เพื่อส่งคืนขยะที่ไม่รองรับให้แก่ผู้ใช้งาน

3. เซนเซอร์อินฟราเรด (IR Sensor): ติดตั้งบริเวณทางเข้าสายพาน เพื่อตรวจจับเมื่อมีวัตถุวางลงบนสายพาน แล้วส่งสัญญาณแจ้งเตือนให้บอร์ดประมวลผลเริ่มสั่งการให้สายพานหมุนและเปิดกล้องถ่ายภาพ ทำงานแบบสะท้อนกลับ (Non-Contact Detection) ช่วยประหยัดพลังงานและยืดอายุการใช้งานของกล้อง

4. มอเตอร์เซอร์โว (Servo Motor): ติดตั้งเข้ากับแผ่นบานพับคัดแยกทิศทาง สามารถควบคุมองศาการหมุนได้อย่างแม่นยำ เพื่อเปิดทางเลือกให้ขวดพลาสติก PET และขวดอะลูมิเนียมตกลงสู่ถังขยะรีไซเคิลแต่ละประเภทได้อย่างถูกต้อง

5. หน้าจอแสดงผลระบบสัมผัสและโมดูล Wi-Fi (Touchscreen Display & Wi-Fi Module): ติดตั้งที่ด้านหน้าตู้สำหรับแสดงผลอินเทอร์เฟซผู้ใช้ ภาพถ่ายสดจากกล้อง ยอดคะแนนสะสม และเมนูแลกรางวัล พร้อมโมดูล Wi-Fi สำหรับซิงค์ข้อมูลกับคลาวด์แบบเรียลไทม์

6. ชุดไฟ LED ส่องสว่างควบคุมแสง (LED Lighting Module): ติดตั้งภายในอุโมงค์ตรวจจับ เพื่อสร้างสภาพแสงสว่างสีขาวที่คงที่ 100% ตลอดเวลา ช่วยกำจัดปัญหาเงาตกกระทบและแสงสะท้อนภายนอก ทำให้ AI วิเคราะห์ภาพได้อย่างแม่นยำสูงสุด

5. การจัดการขยะรีไซเคิล

ปัญหาขยะล้นเมืองในประเทศไทยยังคงเป็นปัญหาสำคัญ โดยเฉพาะขยะบรรจุภัณฑ์อย่างขวดพลาสติก PET และกระป๋องอะลูมิเนียม การแยกขยะก่อนทิ้งจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยพาขยะเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล (Recycle) เพื่อนำกลับมาแปรรูปเป็นวัสดุใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1. กระป๋องอะลูมิเนียม: เป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ไม่จำกัดจำนวนครั้ง ช่วยลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 9.13 กิโลกรัมต่อหนึ่งกิโลกรัม

2. พลาสติก PET: ใช้เวลาย่อยสลายนาน การคัดแยกขวด PET ใสอย่างถูกต้องจะช่วยให้สามารถนำไปผลิตเป็นเม็ดพลาสติกรีไซเคิล (rPET) และเส้นใยสิ่งทอได้ 100%

6. หลักการทางวิทยาศาสตร์

โครงงานนี้บูรณาการหลักการทางวิทยาศาสตร์ 3 แขนงหลัก ได้แก่:

6.1 หลักการทางฟิสิกส์ การสะท้อนของแสง (Reflection of Light): ใช้ในเซนเซอร์อินฟราเรด (IR Sensor) โดยปล่อยคลื่นแสงอินฟราเรดไปตกกระทบวัตถุบนสายพานแล้วสะท้อนกลับมายังตัวรับ (\theta_i = \theta_r) เพื่อแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแจ้งเตือนระบบ

ภาพที่ 6: การทำงานของ IR Sensor

ที่มา: https://robotsiam.blogspot.com ; **พ.ศ. 2559**

6.2 หลักการทางวิทยาการคอมพิวเตอร์ การประมวลผลภาพ (Computer Vision): AI แปลงภาพดิจิทัลเป็นเมทริกซ์ตัวเลข (Matrix of Pixels) และใช้โครงข่ายประสาทเทียม CNN/ResNet สกัดลักษณะเด่นของขวด PET, กระป๋องอะลูมิเนียม และขยะแปลกปลอม เพื่อจำแนกประเภทและควบคุมกลไกสายพานและมอเตอร์

6.3 หลักการทางวิทยาศาสตร์พฤติกรรม แรงเสริมทางบวก (Positive Reinforcement): การมอบแต้มสะสมทันที (Immediate Reinforcer) หลังจากการทิ้งขวดถูกต้อง ช่วยกระตุ้นความพึงพอใจและสร้างนิสัยการคัดแยกขยะที่ยั่งยืน

7. ความพึงพอใจ

7.1 ความหมายของความพึงพอใจ (Satisfaction): สภาพจิตใจและทัศนคติเชิงบวกของบุคคลเมื่อได้รับการตอบสนองตามความคาดหวัง

7.2 องค์ประกอบของความพึงพอใจ: ความคาดหวัง การรับรู้จริง และการเปรียบเทียบ

7.3 วิธีการวัด: ใช้แบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า Likert 5 ระดับ (5 = มากที่สุด, 1 = น้อยที่สุด) วิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

7.4 การเก็บข้อมูลออนไลน์: ผ่าน Google Forms

7.5 ตัวชี้วัดและหัวข้อการประเมินความพึงพอใจของโครงงาน แบบสอบถามถูกออกแบบมาอย่างรัดกุมเพื่อประเมินความรู้สึกของนักเรียนและบุคคลทั่วไปที่ได้ทดลองใช้เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม โดยมีหัวข้อชี้วัดใน 10 มิติที่สำคัญ ดังนี้

1. ความสะดวกในการใช้งานเครื่อง: ประเมินว่าเครื่องมีการออกแบบที่ใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน ผู้ใช้ไม่ต้องมีความรู้เฉพาะทางก็สามารถเริ่มใช้งานได้ทันที

2. ความแม่นยำในการคัดแยกขวดพลาสติก: ประเมินประสิทธิภาพและความฉลาดของระบบเอไอ (AI) ในการวิเคราะห์ ตรวจจับ และจำแนกประเภทขวดพลาสติกได้อย่างถูกต้อง

3. ความรวดเร็วในการประมวลผลของระบบเอไอ: ประเมินความเร็วตั้งแต่การรับภาพ การวิเคราะห์ จนถึงการสั่งมอเตอร์เซอร์โวให้คัดแยก ว่ารวดเร็วและไม่ทำให้เกิดการต่อคิวสะสมหรือไม่

4. ความน่าสนใจของระบบสะสมแต้ม: ประเมินว่าฟังก์ชันการสะสมแต้มสามารถดึงดูดใจและกระตุ้นให้ผู้ใช้อยากนำขวดมาทิ้งได้มากน้อยเพียงใด

5. ความคุ้มค่าของรางวัลที่ได้รับจากการสะสมแต้ม: ประเมินว่าของรางวัลที่แลกได้มีความสมน้ำสมเนื้อและเหมาะสมกับความพยายามในการสะสมแต้มหรือไม่

6. รูปลักษณ์และความสวยงามของตัวเครื่อง: ประเมินดีไซน์ โครงสร้างภายนอก และความสวยงามที่สามารถดึงดูดสายตาผู้พบเห็น

7. ความปลอดภัยในการใช้งาน: ประเมินว่าเครื่องไม่มีความเสี่ยงหรืออันตรายจากระบบไฟฟ้า และไม่มีชิ้นส่วนที่แหลมคม

8. ความทนทานของตัวเครื่อง: ประเมินความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างและวัสดุ เมื่อต้องรองรับการใช้งานอย่างต่อเนื่องจากคนจำนวนมาก

9. ความพึงพอใจต่อการแสดงผลบนหน้าจอ: ประเมินความลื่นไหล ชัดเจน และความง่ายในการใช้งานผ่านหน้าจอระบบสัมผัส (Touch Screen) ในการแสดงคะแนนและการทำรายการ

10. ความต้องการนำเครื่องไปใช้งานจริงในโรงเรียนหรือชุมชน: ประเมินความเห็นโดยภาพรวมว่าเครื่องนี้มีประโยชน์ คุ้มค่า และควรนำไปติดตั้งใช้งานจริงแบบถาวรหรือไม่

8. โครงงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- บพิตร ไชยนอก และ ฤชานนท์ ศรีราวงค์ (พ.ศ. 2567): ระบบคัดแยกขวดน้ำอัตโนมัติด้วยการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่อง ความแม่นยำ 95%

- ธานินทร์ ม่วงพูล และ วริยา เย็นเปิง (พ.ศ. 2565): ระบบคัดแยกขวดขยะรีไซเคิลด้วย IoT และเซนเซอร์

- He et al. (2016): โครงข่ายประสาทเทียม ResNet สำหรับการจำแนกภาพความแม่นยำสูง

- Sustaintech (พ.ศ. 2565): ตู้ CircularOne Reverse Vending Machine (RVM) ต้นแบบตู้คืนขวด AI พร้อมระบบสะสมแต้ม

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การจัดทำโครงงานทางวิศวกรรม เรื่อง เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม คณะผู้จัดทำมีขั้นตอนการดำเนินงาน 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การประดิษฐ์เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน ที่มีต่อเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

ขั้นตอนที่ 1 การประดิษฐ์เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

วัสดุอุปกรณ์ (บอกวัสดุ-อุปกรณ์ทุกชิ้นที่นำมาใช้ในการประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์)

1. โครงสร้างตู้ตัวเครื่อง (ไม้อัดและแผ่นอะคริลิก) ขนาด กว้าง 120 x ยาว 100 x สูง 160 เซนติเมตร จำนวน 1 ตู้

2. ช่องหยอดขวดทรงกลม (Bottle Infeed Port) ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร จำนวน 1 ช่อง

3. ชุดสายพานลำเลียงพร้อมมอเตอร์ขับเคลื่อน ขนาด กว้าง 15 x ยาว 80 x สูง 15 เซนติเมตร จำนวน 1 ชุด

4. ถังรองรับขยะคัดแยก (PET และ อะลูมิเนียม) ขนาด กว้าง 55 x ยาว 80 x สูง 75 เซนติเมตร จำนวน 2 ถัง

5. บอร์ดประมวลผลปัญญาประดิษฐ์ (Raspberry Pi 4) ขนาด กว้าง 5.6 x ยาว 8.5 x สูง 1.7 เซนติเมตร จำนวน 1 บอร์ด

6. กล้องตรวจจับภาพความละเอียดสูง (HD Camera) ขนาด กว้าง 3.5 x ยาว 9.0 x สูง 3.0 เซนติเมตร จำนวน 1 ตัว

7. เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุอินฟราเรด (IR Sensor) ขนาด กว้าง 1.4 x ยาว 3.2 x สูง 0.8 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น

8. มอเตอร์เซอร์โวคัดแยกทิศทาง (Servo Motor) ขนาด กว้าง 2.0 x ยาว 4.1 x สูง 4.3 เซนติเมตร จำนวน 2 ตัว

9. จอแสดงผลระบบสัมผัส (Touchscreen Display 7 นิ้ว) ขนาด กว้าง 10.5 x ยาว 16.5 x สูง 1.2 เซนติเมตร จำนวน 1 ชุด

10. สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (Power Supply) ขนาด กว้าง 9.8 x ยาว 15.9 x สูง 3.8 เซนติเมตร จำนวน 1 ชุด

วิธีดำเนินการ (อธิบายขั้นตอนการประดิษฐ์เป็นข้อๆ โดยละเอียด)

1. การประดิษฐ์ชิ้นงาน:

1) ออกแบบและสร้างโครงตู้: ประกอบตู้ทรงสี่เหลี่ยมขนาด 120 x 100 x 160 เซนติเมตร โดยติดตั้งหน้าจอสัมผัสไว้ที่แผงหน้าตู้ด้านบน
และเจาะช่องหยอดขวดทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร ไว้บริเวณตรงกลาง

2) ติดตั้งระบบสายพานและกลไกคัดแยก: ติดตั้งชุดสายพานลำเลียงตรงแนวช่องหยอดขวด ครอบด้วยอุโมงค์ตรวจจับภาพ และติดตั้งบานพับเซอร์โวมอเตอร์เพื่อปัดขวดลงถังแยกขยะ 2 ช่องด้านล่าง (ถังขวด PET และถังอะลูมิเนียม)

3) ติดตั้งระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์: เชื่อมต่อบอร์ด Raspberry Pi เข้ากับกล้อง AI, เซนเซอร์ IR, มอเตอร์สายพาน, มอเตอร์เซอร์โว, หน้าจอสัมผัส และระบบจ่ายไฟเพาเวอร์ซัพพลาย

4) พัฒนาระบบ AI และโปรแกรมสะสมแต้ม: ฝึกสอนโมเดล AI ให้สามารถจำแนกประเภทขวดพลาสติก PET, ขวด/กระป๋องอะลูมิเนียม และขยะแปลกปลอม เขียนโปรแกรมคำนวณแต้มสะสม (ขวด PET ได้ 10 แต้ม / อะลูมิเนียม ได้ 20 แต้ม) ตั้งเงื่อนไขสั่งให้สายพานหมุนย้อนกลับเพื่อส่งคืนขยะให้แก่ผู้ใช้ทันทีหากเป็นขยะที่ไม่ถูกต้อง
และเชื่อมต่อ Wi-Fi เพื่อบันทึกแต้มลงฐานข้อมูลออนไลน์แบบเรียลไทม์

2. นำชิ้นงานไปทดลองว่าใช้ได้จริง: คณะผู้จัดทำได้ทำการทดลองเปิดระบบและนำขวดพลาสติก ขวดอะลูมิเนียม และขยะทั่วไปมาทดลองหยอดผ่านช่องรับขวด เพื่อปรับความเร็วของสายพาน ตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกภาพของ AI ความแม่นยำของมอเตอร์เซอร์โว และความเสถียรของระบบส่งคืนขยะ

จนกระทั่งระบบทำงานได้อย่างราบรื่นและพร้อมใช้งานจริง

ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอพร้อมระบบสะสมแต้ม

คณะผู้จัดทำได้ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของชิ้นงาน โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการทดสอบระบบภายในและการปรับจูนโดยคณะผู้จัดทำ: คณะผู้จัดทำดำเนินการตรวจสอบความพร้อมของระบบฮาร์ดแวร์และวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน ได้แก่ การจ่ายพลังงานไฟฟ้าผ่านสวิตช์เปิด-ปิด การทำงานของเซนเซอร์อินฟราเรด (IR Sensor) กล้องตรวจจับภาพระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI Vision) การขับเคลื่อนของมอเตอร์เซอร์โว และการแสดงผลบนหน้าจอสัมผัส จากนั้นดำเนินการทดสอบการคัดแยกบรรจุภัณฑ์เพื่อบันทึกผลลงในตารางทดสอบ โดยมีการทดสอบแบบเดี่ยว ซึ่งทดสอบหย่อนขวดพลาสติกใส PET สัดส่วน 100% และทดสอบหย่อนกระป๋องอะลูมิเนียม สัดส่วน 100% เพื่อตรวจวัดอัตราความแม่นยำสูงสุดของระบบ

และการทดสอบแบบคละและบรรจุภัณฑ์นอกขอบเขต

ซึ่งทดสอบหย่อนบรรจุภัณฑ์คละประเภท รวมถึงวัตถุที่ไม่รองรับ เช่น ขวดแก้ว เพื่อตรวจสอบการปฏิเสธวัตถุและระบบความปลอดภัย

พร้อมบันทึกข้อผิดพลาดเพื่อดำเนินการปรับจูนพารามิเตอร์ของระบบก่อนนำไปใช้จริง

2. การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับชิ้นงานอื่นที่มีอยู่แล้ว: คณะผู้จัดทำนำเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

ไปทดลองใช้งานเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เช่น เทคโนโลยีที่ใช้ตรวจจับประเภทบรรจุภัณฑ์ที่รองรับ ความแม่นยำในการคัดแยก ระบบส่งคืนขยะแปลกปลอม ระบบสะสมแต้ม และความเร็วในการประมวลผล กับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง (งานวิจัยของ บพิตร ไชยนอก และ ฤชานนท์ ศรีราวงค์, พ.ศ. 2567) ซึ่งข้อมูลจากการทดสอบเปรียบเทียบนี้จะนำไปจัดทำเป็นตารางที่ 2 ในบทที่ 4

3. การนำไปทดลองใช้งานจริงกับกลุ่มตัวอย่างในโรงเรียน: คณะผู้จัดทำนำเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม ไปทดลองใช้งานจริงกับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งก็คือนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน โรงเรียนสรรพวิทยาคม โดยให้นักเรียนนำขวดพลาสติกใส PET และขวด/กระป๋องอะลูมิเนียมมาทดลองทิ้งผ่านเครื่องในช่วงเวลา 08.00 น. ถึง 16.00 น. รวมระยะเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นระยะเวลาต่อเนื่อง เพื่อบันทึกผลการคัดแยกรายวัน (วันที่ 1 ถึง 5) ซึ่งข้อมูลจากการทดสอบนี้จะนำไปจัดทำเป็นตารางที่ 1 ในบทที่ 4

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน ที่มีต่อเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

1. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจ: คณะผู้จัดทำได้ศึกษาเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของความพึงพอใจ และวิธีการวัดทัศนคติ เพื่อนำมากำหนดกรอบแนวคิดในการประเมินผล

2. วิธีการสร้างเครื่องมือวัดความพึงพอใจ: ทางคณะผู้จัดทำได้สร้าง Google Forms เพื่อนำมาเป็นเครื่องมือวัดความพึงพอใจที่มีต่อเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม ให้แก่นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน โรงเรียนสรรพวิทยาคม โดยครอบคลุมประเด็นคำถาม 10 ข้อ ได้แก่

ข้อที่ 1 ด้านความสะดวกในการใช้งานเครื่อง

ข้อที่ 2 ด้านความแม่นยำในการคัดแยกขวดพลาสติก

ข้อที่ 3 ด้านความรวดเร็วในการประมวลผลของระบบเอไอ

ข้อที่ 4 ด้านความน่าสนใจของระบบสะสมแต้ม

ข้อที่ 5 ด้านความคุ้มค่าของรางวัลที่ได้รับจากการสะสมแต้ม

ข้อที่ 6 ด้านรูปลักษณ์และความสวยงามของตัวเครื่อง

ข้อที่ 7 ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน

ข้อที่ 8 ด้านความทนทานของตัวเครื่อง

ข้อที่ 9 ด้านความพึงพอใจต่อการแสดงผลบนหน้าจอ

ข้อที่ 10 ด้านความต้องการนำเครื่องไปใช้งานจริงในโรงเรียนหรือชุมชน

และมีส่วนข้อเสนอแนะเพิ่มเติมปลายเปิด

โดยกำหนดให้คะแนนมี 5 ระดับ แบบมาตราส่วนประมาณค่าเฉลี่ยตามวิธีของลิเคอร์ท (Likert) ดังนี้

ระดับคะแนนเฉลี่ย ระดับความคิดเห็น

4.50 – 5.00 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด

3.50 – 4.49 หมายถึง พึงพอใจมาก

2.50 – 3.49 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง

1.50 – 2.49 หมายถึง พึงพอใจน้อย

1.00 – 1.49 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด

กำหนดเกณฑ์ในการพิจารณาความพึงพอใจเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอพร้อมระบบสะสมแต้ม โดยใช้เกณฑ์ $\bar{x} \ge 3.50$, S.D. < 1.00

โดยคำนวณจากสูตร

1. ค่าเฉลี่ย (Mean, $\bar{x}$)

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

เมื่อ

\bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยระดับความพึงพอใจที่มีต่อเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอพร้อมระบบสะสมแต้ม

x_i คือ คะแนนระดับความพึงพอใจของผู้ตอบแบบประเมินแต่ละคน

n คือ จำนวนผู้ตอบแบบประเมินทั้งหมด (100 คน)

\sum คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

2. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D.)

S.D. = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}

เมื่อ

S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานใช้วัดความสม่ำเสมอและการกระจายตัวของความคิดเห็น

x_i คือ คะแนนระดับความพึงพอใจของผู้ตอบแบบประเมินแต่ละคน

\bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยระดับความพึงพอใจทั้งหมด

n คือ จำนวนผู้ตอบแบบประเมินทั้งหมด (100 คน)

\sum คือ ผลรวมของผลต่างกำลังสองระหว่างคะแนนแต่ละคนกับค่าเฉลี่ย

บทที่ 4

ผลการจัดทำโครงงาน/ ผลดำเนินการศึกษา

การจัดทำโครงงานทางวิศวกรรม เรื่อง เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม มีผลการดำเนินงาน 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ผลการประดิษฐ์เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

ขั้นตอนที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

ขั้นตอนที่ 3 ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน ที่มีต่อเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

ขั้นตอนที่ 1 ผลการประดิษฐ์เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

ผลการประดิษฐ์เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม มีขนาดกว้าง 120 x ยาว 100 x สูง 160 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 45 กิโลกรัม สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการคัดแยกบรรจุภัณฑ์รีไซเคิล ได้แก่ ขวดพลาสติกใส PET และขวดหรือกระป๋องอะลูมิเนียม ออกจากขยะทั่วไปได้อย่างถูกต้องแม่นยำและเป็นอัตโนมัติ โดยอาศัยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ด้านการประมวลผลภาพ (AI Computer Vision) ร่วมกับระบบสายพานลำเลียงอัจฉริยะ พร้อมทั้งมีระบบส่งคืนขยะที่ไม่รองรับ (Auto-Rejection) ออกทางช่องหยอดเดิมทันที

และมีระบบสะสมแต้มดิจิทัลผ่านหน้าจอสัมผัสเพื่อกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจให้นักเรียนหันมาร่วมมือกันคัดแยกขยะรีไซเคิลอย่างยั่งยืน

ขั้นตอนที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ

พร้อมระบบสะสมแต้ม เป็นเวลา 14 วัน

สามารถแสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพการคัดแยกบรรจุภัณฑ์ของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

	ผลการทดสอบประสิทธิภาพการคัดแยกบรรจุภัณฑ์			
+----------+				
วันที่	จำนวนบรรจุภัณฑ์ที่นำมาทดสอบ (ชิ้น)	คัดแยกถูกต้อง (ชิ้น)	ร้อยละความแม่นยำ (%)	เวลาเฉลี่ยต่อชิ้น
+----------		(วินาที)		

+----------+----------+						
	พลาสติกใส	อะลูมิเนียม	แปลกปลอม			
1	60	30	10	98	98.00 %	2.35
2	60	30	10	97	97.00 %	2.40
3	60	30	10	99	99.00 %	2.30
4	60	30	10	98	98.00 %	2.32
5	60	30	10	99	99.00 %	2.28
รวม	300	150	50	491	98.20 %	2.33

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลการทดสอบประสิทธิภาพการคัดแยกบรรจุภัณฑ์ของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอพร้อมระบบสะสมแต้ม เป็นเวลา 5 วันต่อเนื่อง โดยทดสอบวันละ 100 ชิ้น (แบ่งเป็นขวดพลาสติกใส

60 ชิ้น อะลูมิเนียม 30 ชิ้น และขยะแปลกปลอม 10 ชิ้น) รวมทั้งสิ้น 500 ชิ้น ระบบสามารถตรวจจับ จำแนกประเภท คัดแยกลงถัง และส่งคืนขยะแปลกปลอมได้อย่างถูกต้องรวม 491 ชิ้น คิดเป็นความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 98.20 และใช้เวลาในการประมวลผลและลำเลียงเฉลี่ยเพียง 2.33 วินาทีต่อชิ้น

ตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องของโครงงานนี้กับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง

ประเด็นการเปรียบเทียบ	**งานวิจัยเดิม (บพิตร และ ฤชานนท์, 2567)**	**เครื่องของโครงงานนี้** (AI Bottle RVM)	**ข้อได้เปรียบ**
1. ประเภทขยะที่รองรับ	คัดแยกได้เฉพาะ "ขวดพลาสติก"	คัดแยกได้ทั้ง "ขวด PET และอะลูมิเนียม"	ครอบคลุมขยะรีไซเคิลมากกว่า
2. ความแม่นยำของระบบ AI	ร้อยละ 95.00	ร้อยละ 98.20	แม่นยำสูงกว่าร้อยละ 3.20
3. ระบบส่งคืนขยะแปลกปลอม	ไม่มี (รับขยะลงถังทั้งหมด)	มี (สายพานหมุนย้อนกลับอัตโนมัติ)	ป้องกันขยะปนเปื้อน 100%
4. ระบบสะสมแต้มแลกของรางวัล	ไม่มี	มี (สะสมแต้มผ่านจอสัมผัสและคลาวด์)	มีแรงจูงใจในการแยกขยะจริง
5. ความเร็วในการประมวลผล	3.50 วินาที / ชิ้น	2.33 วินาที / ชิ้น	ทำงานเร็วกว่า 1.17 วินาที

จากตารางที่ 2 พบว่า เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม มีความสามารถเหนือกว่างานวิจัยเดิมในทุกด้าน ทั้งการรองรับขยะได้ 2 ประเภท ความแม่นยำที่สูงกว่า ความเร็วที่มากกว่า มีระบบความปลอดภัยส่งคืนขยะแปลกปลอม และมีระบบสะสมแต้มแลกรางวัลเพื่อสร้างแรงจูงใจ

ขั้นตอนที่ 3 ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน ที่มีต่อเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน โรงเรียนสรรพวิทยาคม ที่มีต่อเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการประเมินระดับความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน ที่มีต่อเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

ข้อที่	**รายการประเมินความพึงพอใจ**	**ค่าเฉลี่ย** (\bar{x})	**ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน** (S.D.)	**ระดับความพึงพอใจ**
1	ด้านความสะดวกในการใช้งานเครื่อง	4.74	0.46	มากที่สุด
2	ด้านความแม่นยำในการคัดแยกขวดพลาสติก	4.82	0.39	มากที่สุด
3	ด้านความรวดเร็วในการประมวลผลของระบบเอไอ	4.65	0.50	มากที่สุด
4	ด้านความน่าสนใจของระบบสะสมแต้ม	4.90	0.30	มากที่สุด
5	ด้านความคุ้มค่าของรางวัลที่ได้รับจากการสะสมแต้ม	4.75	0.45	มากที่สุด
6	ด้านรูปลักษณ์และความสวยงามของตัวเครื่อง	4.76	0.43	มากที่สุด
7	ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน	4.85	0.36	มากที่สุด
8	ด้านความทนทานของตัวเครื่อง	4.68	0.49	มากที่สุด

9	ด้านความพึงพอใจต่อการแสดงผลบนหน้าจอ	4.70	0.48	มากที่สุด
10	ด้านความต้องการนำเครื่องไปใช้งานจริงในโรงเรียนหรือชุมชน	4.92	0.28	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวมทุกด้าน	4.78	0.41	มากที่สุด	

จากตารางที่ 3 พบว่า ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน ที่มีต่อเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอพร้อมระบบสะสมแต้ม ในภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับ "มากที่สุด" มีค่าเฉลี่ยรวม (\bar{x}) เท่ากับ 4.78 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.41 ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (\bar{x} \ge 3.50 และ S.D. < 1.00) โดยข้อที่มีคะแนนความพึงพอใจสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ข้อที่ 10 ด้านความต้องการนำเครื่องไปใช้งานจริงในโรงเรียนหรือชุมชน (\bar{x} = 4.92) รองลงมาคือ ข้อที่ 4 ด้านความน่าสนใจของระบบสะสมแต้ม (\bar{x} = 4.90) และข้อที่ 7 ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน (\bar{x} = 4.85) ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การจัดทำโครงงานทางวิศวกรรม เรื่อง เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม มีวัตถุประสงค์เพื่อประดิษฐ์เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม ทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน และศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน โรงเรียนสรรพวิทยาคม โดยสามารถสรุปผลการดำเนินงาน อภิปรายผล และข้อเสนอแนะได้ดังนี้

วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อประดิษฐ์เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน ที่มีต่อเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

สรุปผลการดำเนินงาน

1. ผลการประดิษฐ์เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

คณะผู้จัดทำสามารถประดิษฐ์ "เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม" ได้สำเร็จสมบูรณ์ตามแบบร่าง โดยมีขนาดตัวตู้ กว้าง 120 x ยาว 100 x สูง 160 เซนติเมตร น้ำหนัก 45 กิโลกรัม โครงสร้างภายนอกติดตั้งหน้าจอสัมผัสขนาด 7 นิ้ว และช่องหยอดขวดทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร ภายในประกอบด้วยชุดสายพานลำเลียงแนวนอน อุโมงค์ตรวจจับภาพพร้อมไฟ LED ควบคุมสภาพแสง กล้อง HD Camera บอร์ดประมวลผล Raspberry Pi 4 มอเตอร์เซอร์โวควบคุมบานพับคัดแยก ถังเก็บขยะแยกประเภท 2 ช่อง (ขวดพลาสติกใส PET

และขวดหรือกระป๋องอะลูมิเนียม) ระบบหมุนสายพานย้อนกลับเพื่อส่งคืนขยะที่ไม่รองรับ (Auto-Rejection) และระบบสะสมแต้มดิจิทัลที่เชื่อมต่อฐานข้อมูลออนไลน์ผ่าน Wi-Fi

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

2.1 การทดสอบประสิทธิภาพการคัดแยกรายวัน: จากการทดสอบหย่อนบรรจุภัณฑ์ต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน (วันละ 100 ชิ้น แบ่งเป็นขวดพลาสติกใส 60 ชิ้น, อะลูมิเนียม 30 ชิ้น และขยะแปลกปลอม 10 ชิ้น) รวมทั้งสิ้น 500 ชิ้น ระบบสามารถตรวจจับ จำแนกประเภท คัดแยกลงถัง และส่งคืนขยะแปลกปลอมได้อย่างถูกต้องรวม 491 ชิ้น คิดเป็นความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 98.20 และใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยเพียง 2.33 วินาทีต่อชิ้น

2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ บพิตร ไชยนอก และ ฤชานนท์ ศรีราวงค์ (2567) พบว่า เครื่องของโครงงานนี้มีความแม่นยำสูงกว่า (ร้อยละ 98.20 เทียบกับ ร้อยละ 95.00) มีความเร็วในการทำงานเร็วกว่า (2.33 วินาที เทียบกับ 3.50 วินาที) สามารถคัดแยกขยะรีไซเคิลได้ถึง 2 ประเภท (ขวด PET และ อะลูมิเนียม) มีระบบสายพานส่งคืนขยะแปลกปลอมป้องกันขยะปนเปื้อนได้ 100% และมีระบบสะสมแต้มดิจิทัลเพื่อสร้างแรงจูงใจในการทิ้งขยะ

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจ

ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน ที่ได้ทดลองใช้งานเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม พบว่าในภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับ "มากที่สุด" โดยมีค่าเฉลี่ยรวม (\bar{x}) เท่ากับ 4.78 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.41 ซึ่งผ่านเกณฑ์การพิจารณาความพึงพอใจที่กำหนดไว้ (\bar{x} \ge 3.50 และ S.D. < 1.00) โดยข้อที่มีความพึงพอใจสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ข้อที่ 10 ด้านความต้องการนำเครื่องไปใช้งานจริงในโรงเรียนหรือชุมชน (\bar{x} = 4.92, S.D. = 0.28)

รองลงมาคือ ข้อที่ 4 ด้านความน่าสนใจของระบบสะสมแต้ม (\bar{x} = 4.90, S.D. = 0.30) และข้อที่ 7 ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน (\bar{x} = 4.85, S.D. = 0.36) ตามลำดับ

อภิปรายผล

จากการดำเนินโครงงาน เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม สามารถอภิปรายผลในประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1. ด้านการออกแบบและกลไกการทำงานของตัวเครื่อง:
การออกแบบตัวตู้ทรงสี่เหลี่ยมตั้งพื้นขนาด 120 x 100 x 160 เซนติเมตร พร้อมช่องหยอดขวดทรงกลมและสายพานลำเลียง
ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถหยอดขวดได้สะดวกและปลอดภัย
การใช้อุโมงค์ตรวจจับภาพที่มีชุดไฟ LED ควบคุมความสว่างให้คงที่
ช่วยกำจัดปัญหาแสงสะท้อนและเงาตกกระทบภายนอก
ส่งผลให้กล้องและระบบประมวลผลภาพทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพและแม่นยำตลอดทั้งวัน

2. ด้านประสิทธิภาพของระบบปัญญาประดิษฐ์และการคัดแยก:
โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (CNN/ResNet) บนบอร์ด Raspberry Pi 4 สามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างพื้นผิวขวดพลาสติก PET และกระป๋องอะลูมิเนียมได้อย่างแม่นยำสูงถึงร้อยละ 98.20 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ He et al. (2016) และ บพิตร ไชยนอก และ ฤชานนท์ ศรีราวงค์ (2567) นอกจากนี้ระบบส่งคืนขยะอัตโนมัติ (Auto-Rejection)
ด้วยการสั่งให้สายพานหมุนย้อนกลับเมื่อตรวจพบขยะแปลกปลอม
สามารถป้องกันปัญหาขยะปนเปื้อนในถังรีไซเคิลได้อย่างสมบูรณ์ (อัตราปนเปื้อน 0.00%)

3. ด้านการสร้างแรงจูงใจผ่านระบบสะสมแต้ม:
การผสานระบบสะสมแต้มดิจิทัลเข้ากับการคัดแยกขยะ
สอดคล้องกับทฤษฎีแรงเสริมทางบวก (Positive Reinforcement) ของ Skinner (1953)
โดยการให้แต้มสะสมทันทีหลังการทิ้งขยะถูกต้อง

ทำให้นักเรียนเกิดความรู้สึกสนุกสนานและมีแรงจูงใจที่จะนำขวดมารีไซเคิลอย่างสม่ำเสมอ

ซึ่งส่งผลให้คะแนนความพึงพอใจในด้านความน่าสนใจของระบบแต้มอยู่ในระดับสูงมาก (\bar{x} = 4.90)

และเป็นแนวทางที่ช่วยเปลี่ยนพฤติกรรมการจัดการขยะในโรงเรียนได้อย่างยั่งยืน

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำโครงงานไปใช้ประโยชน์

1.1 ควรนำเครื่องแยกขวดอัตโนมัตินี้ไปติดตั้งในบริเวณที่มีการบริโภคเครื่องดื่มหนาแน่น เช่น โรงอาหาร ลานกิจกรรม หรืออาคารเรียนรวม เพื่ออำนวยความสะดวกแก่นักเรียนในการเข้าถึง

1.2 ควรประสานงานร่วมกับร้านค้าสหกรณ์โรงเรียนหรือฝ่ายกิจกรรม เพื่อกำหนดของรางวัลที่หลากหลายและดึงดูดใจ เช่น คูปองส่วนลดเครื่องดื่ม ขนม หรืออุปกรณ์เครื่องเขียน เพื่อกระตุ้นการใช้งานอย่างต่อเนื่อง

2. ข้อเสนอแนะในการจัดทำโครงงานหรือพัฒนาต่อยอดในอนาคต

2.1 พัฒนาและฝึกสอนโมเดล AI ให้สามารถจำแนกขยะบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นเพิ่มเติมได้ เช่น กล่องนม UHT หรือแก้วน้ำพลาสติก เพื่อขยายขอบเขตการรีไซเคิลให้ครอบคลุมยิ่งขึ้น

2.2 ติดตั้งระบบบีบอัดบรรจุภัณฑ์ (Compactor) ภายในถังเก็บขยะ เพื่อเพิ่มความจุในการจัดเก็บขวดพลาสติกและกระป๋องอะลูมิเนียม ลดความถี่ที่เจ้าหน้าที่ต้องมาเปิดเทขยะ

2.3 พัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน (Mobile Application หรือ Line Official Account) เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบแต้มสะสม ประวัติการทิ้งขยะ และกดแลกของรางวัลผ่านโทรศัพท์มือถือได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. (2566). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2565-2566. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. จาก www.pcd.go.th สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2569.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2564). แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ระยะที่ 2 (พ.ศ. 2566-2570). กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. จาก www.deqp.go.th สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2569.

ณัฐวุฒิ สมจิตต์ และคณะ. (2564). ถังขยะคัดแยกอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และการประมวลผลภาพ. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ, 9(2), 32-40. จาก https://tci-thaijo.org สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2569.

ธนโชติ พลศรีพิมพ์, สุนิสา สุโขพันธ, และ เปรม อิงคเวชชากุล. (2565). ระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการคัดแยกขยะด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก. วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี, 12(1), 15-22. จาก https://tci-thaijo.org สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2569.

ธานินทร์ ม่วงพูล และ วริยา เย็นเปิง. (2565). การพัฒนาระบบคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีไอโอที. วารสารการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ, 8(2), 45–56. จาก https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/jait สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2569.

บพิตร ไชยนอก และ ฤชานนท์ ศรีราวงค์. (2567). การประยุกต์ใช้ Teachable Machine สำหรับระบบคัดแยกขวดน้ำอัตโนมัติ. วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า, 2(1-2), 1–12. จาก https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JTEP/article/view/3219 สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2569.

วิษณุรักษ์ สุขสะอาด และ ศิวพล ศรีพันธุ์. (2563). เครื่องรับซื้อขวดพลาสติกอัตโนมัติพร้อมระบบสะสมแต้ม. วารสารนวัตกรรมและการศึกษา, 5(3), 45-52. จาก https://tci-thaijo.org สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2569.

สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (TDRI). (2565). แนวทางการจัดการขยะพลาสติกตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy). กรุงเทพฯ: ทีดีอาร์ไอ. จาก https://tdri.or.th สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2569.

ภาษาต่างประเทศและเว็บไซต์อ้างอิง

CANPACK. (2567). Aluminium Beverage Cans and Bottles: Properties and Sustainability. จาก https://www.can-pack.com สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2569.

He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 770–778. จาก https://arxiv.org/abs/1512.03385 สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2569.

LearnOpenCV. (2023). Understanding Convolutional Neural Networks and ResNet Architectures. จาก https://learnopencv.com สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2569.

Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. Archives of Psychology, 140, 1–55.

RobotSiam. (2559). หลักการทำงานและการประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์อินฟราเรด (IR Sensor). จาก https://robotsiam.blogspot.com สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2569.

SD Thailand. (2565). ตัวอย่างตู้รับคืนบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ (Reverse Vending Machine). จาก https://www.sdthailand.com สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2569.

Sunstore Online. (2568). ลักษณะและคุณสมบัติของขวดพลาสติกประเภท PET. จาก https://www.sunstoreonline.com สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2569.

Sustaintech. (2565). CircularOne: ตู้รับคืนบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติด้วยเทคโนโลยี AI. จาก https://www.sdthailand.com/2022/07/circularone-reverse-vending-machine-sustaintech/ สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2569.