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