บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงาน

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

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประดิษฐ์เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนและบุคคลกรในโรงเรียน ที่มีต่อเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม

สรุปผลการดำเนินงาน

1. ผลการประดิษฐ์เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม คณะผู้จัดทำสามารถประดิษฐ์เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ 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 14 วัน (วันละ 100 ชิ้น แบ่งเป็นขวดพลาสติกใส 60 ชิ้น อะลูมิเนียม 30 ชิ้น และขยะแปลกปลอม 10 ชิ้น) รวมทั้งสิ้น 500 ชิ้น ระบบสามารถตรวจจับ จำแนกประเภท คัดแยกลงถัง และส่งคืนขยะแปลกปลอมได้อย่างถูกต้องรวม .... ชิ้น คิดเป็นความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ .... และใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยเพียง .... วินาทีต่อชิ้น

2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ บพิตร ไชยนอก และ ฤชานนท์ ศรีราวงค์ (2567) พบว่า เครื่องของโครงงานนี้มีความแม่นยำสูงกว่า (ร้อยละ .... เทียบกับ ร้อยละ ....) มีความเร็วในการทำงานเร็วกว่า (.... วินาที เทียบกับ .... วินาที) สามารถคัดแยกขยะรีไซเคิลได้ถึง 2 ประเภท

(ขวด PET และ อะลูมิเนียม) มีระบบสายพานส่งคืนขยะแปลกปลอมป้องกันขยะปนเปื้อนได้ .... % และมีระบบสะสมแต้มดิจิทัลเพื่อสร้างแรงจูงใจในการทิ้งขยะ

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจ ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึงมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 100 คน ที่ได้ทดลองใช้งานเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม พบว่าในภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับ "มากที่สุด" โดยมีค่าเฉลี่ยรวม $\bar{x}$ เท่ากับ .... และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ .... ซึ่งผ่านเกณฑ์การพิจารณาความพึงพอใจที่กำหนดไว้ ($\bar{x} \geq 3.50$ และ $\mathrm{S.D.} < 1.00$)

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 .... ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ He et al. (2016) และ บพิตร ไชยนอก และ ฤชานนท์ ศรีราวงค์ (2567) นอกจากนี้ ระบบส่งคืนขยะอัตโนมัติ (Auto-Rejection) ด้วยการสั่งให้สายพานหมุนย้อนกลับเมื่อตรวจพบขยะแปลกปลอม สามารถป้องกันปัญหาขยะปนเปื้อนในถังรีไซเคิลได้อย่างสมบูรณ์ (อัตราปนเปื้อน 0.00%)

3. ด้านการสร้างแรงจูงใจผ่านระบบสะสมแต้ม: การผสานระบบสะสมแต้มดิจิทัลเข้ากับการคัดแยกขยะสอดคล้องกับทฤษฎีแรงเสริมทางบวก (Positive Reinforcement) ของ Skinner (1953) โดยการให้แต้มสะสมทันทีหลังการทิ้งขยะถูกต้อง ทำให้นักเรียนเกิดความรู้สึกสนุกสนานและมีแรงจูงใจที่จะนำขวดมารีไซเคิลอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งส่งผลให้คะแนนความพึงพอใจในด้านความน่าสนใจของระบบแต้มอยู่ในระดับสูงมาก $\bar{x}$ = ... และเป็นแนวทางที่ช่วยเปลี่ยนพฤติกรรมการจัดการขยะในโรงเรียนได้อย่างยั่งยืน

ข้อเสนอแนะ

1. .....