



สวทช  
NSTDA



## โครงการเครื่องคิดแยกขวดอัจฉริยะด้วย AI

### เสนอต่อ

มูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริ  
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ได้รับทุนสนับสนุนทุนโครงการ  
ในโครงการสนับสนุนทำโครงการของนักเรียนในชนบท  
ประจำปี ๒๕๖๗

### โดย

- |                   |          |                       |
|-------------------|----------|-----------------------|
| 1. เด็กหญิงพรพรรณ | แสงจันดา | ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒ |
| 2. เด็กชายภควัฒร  | ผาแก้ว   | ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒ |
| 3. เด็กชายคณิศร   | ครองบุญ  | ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒ |

### อาจารย์ที่ปรึกษา

นายนิรุจน์	ยีนสุข
นางสาวจิรสุดา	ไพโรสณฑ์

โรงเรียนราชประชานุเคราะห์ ๕๔ จังหวัดอำนาจเจริญ  
สำนักบริหารงานการศึกษาพิเศษ

## บทคัดย่อ

จากการประดิษฐ์เครื่องตัดแยกขวดอัจฉริยะด้วย AI โดยใช้หลักการทำงาน คือ เครื่องตัดแยกขวดอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยี AI และเซ็นเซอร์กล้องในการตรวจจับและจำแนกประเภทขวดพลาสติกและขวดแก้วอย่างแม่นยำ เทคโนโลยี AI ช่วยลดข้อผิดพลาดในการตัดแยก เพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับขวดที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ AI ยังมีความสามารถในการเรียนรู้และปรับปรุงผลลัพธ์เมื่อได้รับข้อมูลเพิ่มเติม ทำให้มีความยืดหยุ่นในการทำงานและมีประสิทธิภาพสูงกว่าการตัดแยกแบบเดิม การใช้เครื่องตัดแยกนี้จะช่วยลดภาระงานของมนุษย์ และส่งเสริมการนำขวดกลับมาใช้ใหม่ได้มากขึ้น ลดการปนเปื้อนและเพิ่มคุณภาพของวัสดุรีไซเคิล

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องนี้ คณะผู้ศึกษาได้ดำเนินการศึกษา เสร็จสิ้นลงได้โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก  
ผู้ให้การสนับสนุนหลายท่าน

ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนในการทำโครงการจากมูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริ  
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี โดยการสนับสนุนจากสถาบันกวดวิชา วี บายเดอะเบรน  
ในการทำโครงการครั้งนี้

ขอขอบคุณท่านผู้อำนวยการนายวิฑูรวงศ์ทอง วิฑูรังกูร ผู้อำนวยการโรงเรียนราชประชานุเคราะห์  
๕๔ จังหวัดอำนาจเจริญ ที่ให้ความกรุณาส่งเสริมและสนับสนุนด้านสถานที่ในการศึกษา

ขอขอบคุณ นางพิทยระมัย วารสาร นายนิรุจน์ ยืนสุข และนางสาวจิรสุดา ไพรสณฑ์ ที่กรุณาให้  
คำปรึกษา และอุปถัมภ์ในการศึกษาเรื่องนี้ ตลอดจนการชี้แนะ การจัดทำ ขั้นตอน รวมทั้งการจัดทำรูปเล่ม  
จนการดำเนินงานศึกษาสำเร็จสมบูรณ์

หากผิดพลาดประการใด ทางคณะผู้จัดทำกราบขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เรื่อง	เครื่องคัดแยกขวดอัจฉริยะด้วย AI		
ผู้ทำโครงการ	1. เด็กหญิงพรพรรณ	แสงจันทา	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒
	2. เด็กชายภควัฒร์	ผาแก้ว	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒
	3. เด็กชายคณิศร	ครองบุญ	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒
ครูที่ปรึกษาโครงการ	1. นายนิรุจน์	เย็นสุข	อาจารย์ที่ปรึกษา สอนวิชาคอมพิวเตอร์
	2. นางสาวจิรสุดา	ไพรสณฑ์	อาจารย์ที่ปรึกษา สอนวิชาคอมพิวเตอร์

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ	6
บทที่ 4 ผลการดำเนินการ	9
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการดำเนินการ	10
บรรณานุกรม	11

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน การจัดการขยะประเภทขวดพลาสติกและขวดแก้วยังขาดประสิทธิภาพ กระบวนการคัดแยกขวดที่ใช้แรงงานมนุษย์มักมีข้อผิดพลาดและเสียเวลา ซึ่งส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของวัสดุอื่นๆ ในกระบวนการรีไซเคิล ทำให้กระบวนการนี้มีความซับซ้อนขึ้นและสิ้นเปลืองทรัพยากรมากขึ้น นอกจากนี้ ขวดพลาสติกและขวดแก้วที่ไม่ได้รับการคัดแยกอย่างถูกต้องจะทำให้คุณภาพของวัสดุรีไซเคิลลดลง ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถนำมาใช้ซ้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการใช้ทรัพยากร

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาระบบคัดแยกขวดอัจฉริยะที่สามารถแยกขวดพลาสติกและขวดแก้วได้โดยอัตโนมัติ
2. เพื่อใช้เทคโนโลยี AI และเซ็นเซอร์กล้องในการตรวจจับและจำแนกประเภทขวดอย่างแม่นยำ
3. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกขวด ลดข้อผิดพลาดและความยุ่งยากจากการใช้แรงงานคน
4. เพื่อพัฒนาโปรแกรมควบคุมและระบบเสียงแจ้งเตือนที่สามารถแจ้งผู้ใช้เกี่ยวกับการคัดแยกขวดได้อย่างถูกต้อง
5. เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการคัดแยกขวดในสถานการณ์จริง โดยเปรียบเทียบความแม่นยำและความรวดเร็วของการคัดแยกที่ใช้ AI กับการคัดแยกด้วยมือ
6. เพื่อศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ AI ในการคัดแยกขวด โดยใช้ข้อมูลการทดสอบในสถานการณ์จริง
7. เพื่อส่งเสริมการรีไซเคิลและการนำขวดพลาสติกและขวดแก้วกลับมาใช้ใหม่ให้มากขึ้น
8. เพื่อสร้างแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการคัดแยกขยะที่สามารถประยุกต์ใช้ในชุมชนและภาคอุตสาหกรรม

#### แนวคิดและทฤษฎี

##### \*\*แนวคิด:\*\*

โครงการนี้มีแนวคิดหลักคือการนำเทคโนโลยี AI และเซ็นเซอร์กล้องมาประยุกต์ใช้ในการคัดแยกขวดพลาสติกและขวดแก้ว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดภาระงานของมนุษย์ในการจัดการขยะ การพัฒนานวัตกรรมนี้จะช่วยส่งเสริมการรีไซเคิลและการจัดการขยะอย่างยั่งยืน

##### \*\*หลักการ:\*\*

1. **\*\*การใช้ AI (Artificial Intelligence)\*\*:**
  - การใช้ AI ในการเรียนรู้และจำแนกประเภทของขวดพลาสติกและขวดแก้ว

- การพัฒนาโมเดล AI ที่สามารถตรวจจับขจัดได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว
  - การนำ AI มาใช้ในการควบคุมการเปิด-ปิดฝาถังและการแจ้งเตือนด้วยเสียง
2. **\*\*การใช้เซ็นเซอร์กล้อง\*\*:**
- การใช้กล้องในการถ่ายภาพและตรวจจับขจัดที่นำมาใส่ในเครื่อง
  - การประมวลผลภาพเพื่อจำแนกประเภทขวดพลาสติกและขวดแก้ว
  - การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์กล้องกับระบบควบคุมและ AI
3. **\*\*การพัฒนาโปรแกรมควบคุม\*\*:**
- การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบคัดแยกขวด
  - การพัฒนาอินเตอร์เฟซผู้ใช้สำหรับการตั้งค่าและการตรวจสอบสถานะของเครื่อง
  - การพัฒนาระบบเสียงแจ้งเตือนที่สามารถตอบสนองตามการทำงานของเครื่อง

#### ระยะเวลาและแผนงานในการดำเนินงานโครงการ

1. ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด 4 เดือน ตั้งแต่ สิงหาคม 2567 ถึง พฤศจิกายน 2567

2. แผนงานในการทำโครงการ

กิจกรรม	ระยะเวลา			
	เดือนที่			
	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน
1. ประชุมวางแผน	←→			
2. ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	←→	→		
3. ออกแบบโครงสร้างเครื่องแยกเหรียญอัตโนมัติ	←→	→		
4. เตรียมอุปกรณ์และชุดการประดิษฐ์	←→	→		
5. ออกแบบจำลองการทำงาน	←→	→		
6. ประดิษฐ์อุปกรณ์เขียนโปรแกรมเครื่องคัดแยกขวดอัจฉริยะด้วย AI	←→	→		
7. ทดสอบประสิทธิภาพ		←→	→	
8. สรุปและรวบรวมข้อมูล			←→	→
9. จัดทำรายงาน				←→

## บทที่ 2

### เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในการทำโครงการเรื่องเครื่องคัดแยกขวดอัจฉริยะด้วย AI ผู้ศึกษาได้รวบรวมแนวคิดและทฤษฎีและหลักการต่างๆดังต่อไปนี้

1. การศึกษาวิจัยและการรวบรวมข้อมูล
  - ศึกษาข้อมูลและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง เช่น AI, การประมวลผลภาพ, การใช้เซ็นเซอร์, และการควบคุมอัตโนมัติ
  - รวบรวมข้อมูลภาพของขวดพลาสติกและขวดแก้วในรูปแบบต่างๆ รวมถึงภาพที่ถ่ายจากมุมต่างๆ และในสภาพแสงที่หลากหลาย เพื่อสร้างชุดข้อมูล (dataset) สำหรับฝึกสอน AI
  - แบ่งข้อมูลออกเป็นชุดฝึกสอน (training set), ชุดทดสอบ (test set), และชุดตรวจสอบความถูกต้อง (validation set) เพื่อใช้ในการพัฒนาและทดสอบโมเดล AI
2. การพัฒนาโมเดล AI
  - ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เช่น Convolutional Neural Network (CNN) เพื่อพัฒนาโมเดล AI สำหรับการจำแนกประเภทของขวดพลาสติกและขวดแก้ว
  - ใช้ชุดข้อมูลที่รวบรวมมาเพื่อฝึกสอนโมเดล โดยเน้นการเรียนรู้คุณลักษณะเฉพาะของขวดแต่ละประเภท เช่น ขนาด รูปทรง และลักษณะพื้นผิว
  - ทดสอบโมเดล AI กับชุดทดสอบเพื่อประเมินความแม่นยำของการจำแนกประเภทขวด
  - ปรับปรุงโมเดลโดยใช้ข้อมูลจากชุดตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อให้ได้ความแม่นยำที่สูงขึ้นในสถานการณ์ต่างๆ
3. การพัฒนาเซ็นเซอร์กล้องและระบบตรวจจับ
  - ติดตั้งเซ็นเซอร์กล้องที่สามารถตรวจจับและถ่ายภาพขวดที่นำมาใส่ในเครื่อง
  - พัฒนาระบบประมวลผลภาพ (Image Processing) โดยใช้ OpenCV หรือเครื่องมืออื่นๆ ในการวิเคราะห์ภาพที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ และจำแนกประเภทของขวดโดยส่งข้อมูลไปยังโมเดล AI
  - เชื่อมต่อเซ็นเซอร์กล้องกับบอร์ดควบคุม (เช่น Arduino หรือ Raspberry Pi) เพื่อควบคุมการทำงานของระบบคัดแยก
4. การออกแบบและสร้างตัวเครื่องคัดแยกขวด
  - ออกแบบโครงสร้างของเครื่องคัดแยกขวดให้สามารถรองรับขวดพลาสติกและขวดแก้วได้อย่างเหมาะสม และออกแบบช่องแยกขวดตามประเภทที่โมเดล AI จำแนก



- ติดตั้งมอเตอร์และกลไกเปิด-ปิดฝาถัง รวมถึงช่องเก็บขวดที่คัดแยกแล้ว
  - ทดสอบการทำงานของโครงสร้างและกลไกเพื่อตรวจสอบความเสถียรและประสิทธิภาพ
5. การพัฒนาโปรแกรมควบคุมและระบบเสียงแจ้งเตือน
- เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องคัดแยก โดยโปรแกรมจะสั่งการกลไกเปิด-ปิดตามประเภทของขวดที่โมเดล AI ตรวจจับได้
  - พัฒนาระบบเสียงแจ้งเตือนที่สามารถแจ้งสถานะการคัดแยกขวดให้ผู้ใช้ทราบ เช่น เมื่อขวดถูกคัดแยกเสร็จสมบูรณ์หรือเมื่อเกิดข้อผิดพลาดในการคัดแยก
  - ทดสอบโปรแกรมในสภาพแวดล้อมจริง และปรับปรุงเพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างราบรื่น
6. การทดสอบและการปรับปรุง
- ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องในสถานการณ์จริง โดยทดสอบในสภาพแสงและมุมมองที่แตกต่างกัน เพื่อตรวจสอบความแม่นยำในการจำแนกขวดพลาสติกและขวดแก้ว
  - รวบรวมข้อมูลจากการทดสอบ เช่น ความแม่นยำและความเร็วในการคัดแยกขวด เพื่อนำมาวิเคราะห์และปรับปรุงโมเดล AI
  - ปรับปรุงระบบควบคุมและกลไกการคัดแยกให้สามารถตอบสนองต่อสถานการณ์จริงได้ดียิ่งขึ้น
7. การสรุปและการนำเสนอผลงาน
- สรุปผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบในสถานการณ์จริง รวมถึงความสามารถในการลดข้อผิดพลาดและเพิ่มความแม่นยำของการคัดแยก
  - จัดทำรายงานที่ครอบคลุมรายละเอียดทั้งหมดของโครงการ พร้อมจัดทำนำเสนอผลงานให้กับผู้ที่เกี่ยวข้อง
- อุปกรณ์ที่ใช้:
1. เซ็นเซอร์กล้อง
    - กล้องตรวจจับภาพสำหรับการถ่ายภาพขวด (เช่น Raspberry Pi Camera หรือ Arduino Camera Module)
  2. บอร์ดควบคุม
    - บอร์ดควบคุมเช่น Arduino หรือ Raspberry Pi สำหรับการประมวลผลและควบคุมการทำงานของระบบ
  3. โมดูล AI
    - โมดูล TensorFlow Lite หรือ Edge AI Module เพื่อใช้ในการประมวลผลโมเดล AI
  4. โครงสร้างและกลไก
    - วัสดุสำหรับการสร้างโครงสร้างของเครื่องคัดแยก (อะคริลิกหรือพลาสติก)
    - มอเตอร์สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดฝาถังและการแยกขวด

## 5. ระบบเสียงแจ้งเตือน

- ลำโพงและโมดูลเสียง (DFPlayer Mini MP3 Player Module) สำหรับแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่อง

## 6. แหล่งจ่ายไฟ

- แบตเตอรี่หรือแหล่งจ่ายไฟที่ใช้สำหรับการจ่ายพลังงานให้กับระบบทั้งหมด

## 7. ซอฟต์แวร์และเครื่องมือพัฒนา

- ซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนา AI และการประมวลผลภาพ เช่น Python, TensorFlow, OpenCV

- ซอฟต์แวร์สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุม เช่น Arduino IDE, Thonny

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงาน

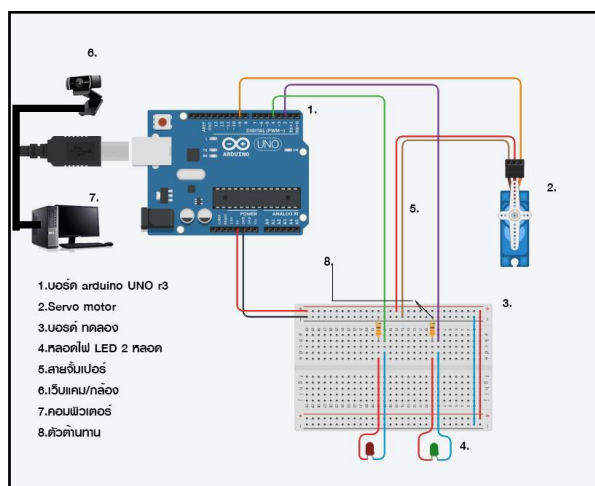
#### เครื่องมือในการพัฒนา/อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดทำโครงการ

๑. กล้องตรวจจับภาพ
๒. โมดูลเซ็นเซอร์กล้อง
๓. บอร์ดควบคุม Arduino หรือ Raspberry Pi
๔. โมดูล AI
๕. วัสดุสำหรับสร้างตัวเครื่อง
๖. มอเตอร์สำหรับเปิด-ปิดฝาถัง
๗. ถังสำหรับเก็บขวดพลาสติกและขวดแก้ว
๘. ลำโพง
๙. โมดูลเสียง
๑๐. แบตเตอรี่หรือแหล่งจ่ายไฟ
๑๑. การบำรุงรักษาและการทดสอบระยะยาว

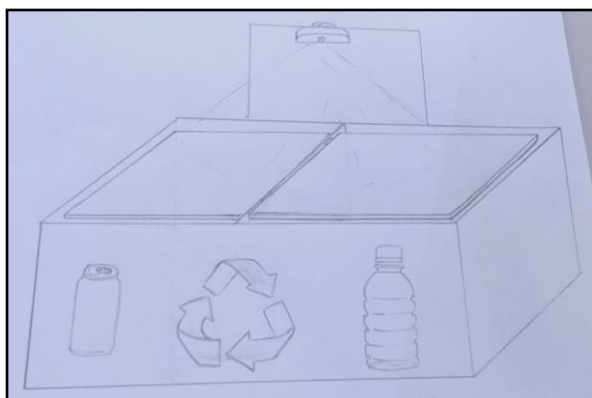
#### การพัฒนาชิ้นงาน

##### ขั้นตอนการทำโครงการงาน เครื่องคัดแยกขวดอัจฉริยะด้วย AI

1. ออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์เครื่องคัดแยกขวดอัจฉริยะด้วย AI



2. แบบจำลองการทำงานของเครื่องคัดแยกขวดอัจฉริยะด้วย AI



### 3. ขั้นตอนการประดิษฐ์เครื่องคัดแยกขวดอัจฉริยะด้วย AI

#### 3.1 ตัดแผ่นอะคริลิกเป็นชิ้น 4 เหลี่ยม และ ตัดกาวประกอบถังขยะ



#### ๓.๒ ติดแผ่นตรงกลางเพื่อแยกขยะ



#### ๓.๓ ติดเซอร์ไวและติดกระดาษสีเหลืองรอบๆกล่อง



๓.๔ ติดสัญญาณขดน้ำและกระป๋อง เจาะรูและติดฝา



๓.๕ ติดบอร์ดไว้ด้านหลัง และ ติดกล่องเว็บแคม



## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาโครงการการพัฒนา เรื่อง เครื่องคัดแยกขวดอัจฉริยะด้วย AI มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบคัดแยกขวดอัจฉริยะที่สามารถแยกขวดพลาสติกและขวดแก้วได้โดยอัตโนมัติ



จากการศึกษาการประดิษฐ์เครื่องคัดแยกขยะอัจฉริยะด้วย AI พบว่า ผู้ที่ทำการประดิษฐ์เครื่องคัดแยกขยะอัจฉริยะด้วย AI นั้น ได้ออกแบบวงจรเครื่องคัดแยกขยะด้วย AI โดยการใช้ บอร์ด Arduino R3 ในการใช้เป็นอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรมการคัดแยกขยะอัจฉริยะด้วย AI ทั้งนี้ก็จะมีการต่อบอร์ด Arduino R3 เข้ากับ จอภาพ เซนเซอร์ และคอมพิวเตอร์ โดยมีสายไฟจัมเปอร์ในการเชื่อมต่อเพื่อให้อุปกรณ์ที่ต่อเข้าด้วยกันทำงาน พร้อมกับ เซอร์โว มอเตอร์

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงาน

#### สรุปและอภิปรายผลการดำเนินงาน

จากการทดลอง ผลปรากฏว่าเครื่องคัดแยกขยะสามารถคัดแยกได้จริง และ ทำให้กลุ่มเด็กประถมมีความสนใจในการที่จะนำขวดน้ำพลาสติกและกระป๋องมาคัดแยกที่เครื่องคัดขยะอัจฉริยะด้วย AI แต่เครื่องคัดแยกขยะนี้ จะไม่สามารถแยกขยะทั่วไปและขยะอินทรีย์ เช่น ชองขนม ถุงพลาสติก กล่องนม และ เศษผัก หรือ เปลือกผลไม้ ซึ่งจะสามารถ แยกขยะได้แค่ 2 ประเภท คือ ขวดน้ำพลาสติก และ กระป๋อง แล้วถ้าเครื่องขยะนี้ ตรวจจับนอกเหนือ จาก 2 อย่างนี้ ฝาถังขยะทั้ง 2 ฝั่ง จะไม่ทำการเปิด

#### ปัญหาและอุปสรรค

โครงการนี้มีเป้าหมายในการพัฒนาเครื่องคัดแยกขวดอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยี AI และเซ็นเซอร์กล้อง ในการตรวจจับและจำแนกประเภทขวดพลาสติกและขวดแก้วอย่างแม่นยำ เทคโนโลยี AI ช่วยลดข้อผิดพลาดในการคัดแยก เพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับขวดที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ AI ยังมีความสามารถในการเรียนรู้และปรับปรุงผลลัพธ์เมื่อได้รับข้อมูลเพิ่มเติม ทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานและมีประสิทธิภาพสูงกว่าการคัดแยกแบบเดิม การใช้เครื่องคัดแยกนี้จะช่วยลดภาระงานของมนุษย์ และส่งเสริมการนำขวดกลับมาใช้ใหม่ได้มากขึ้น ลดการปนเปื้อนและเพิ่มคุณภาพของวัสดุรีไซเคิล

#### ข้อเสนอแนะ

ความยืดหยุ่นในการใช้งานและมีประสิทธิภาพสูงกว่าการคัดแยกแบบเดิม การใช้เครื่องคัดแยกนี้จะช่วยลดภาระงานของมนุษย์ และส่งเสริมการนำขวดกลับมาใช้ใหม่ได้มากขึ้น ลดการปนเปื้อนและเพิ่มคุณภาพของวัสดุรีไซเคิล

## บรรณานุกรม

- He, Y., Zhang, W., & Ji, T. (2018). Garbage Classification System Based on Convolutional Neural Networks." Proceedings of the 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Big Data. [DOI: 10.1109/ICAIBD.2018.8396207]
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). \*\*\*"Digital Image Processing."\*\* Pearson. ISBN: 978-0133356724
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). \*\*\*"Deep Learning."\*\* MIT Press. ISBN: 978-0262035613
- Monk, S. (2016). \*\*\*"Programming Arduino: Getting Started with Sketches."\*\* McGraw-Hill Education TAB. ISBN: 978-1259641633
- Halfacree, G., & Upton, E. (2016). \*\*\*"Raspberry Pi User Guide."\*\* Wiley. ISBN: 978-1119294323
- Schmidt, E. (2018). \*\*\*"Practical Audio Electronics: Design and Troubleshooting."\*\* Routledge. ISBN: 978-1138313520
- Zaman, A. U., & Lehmann, S. (2013). \*\*\*"Challenges and opportunities in transforming a city into a 'zero waste city'."\*\* Resources, Conservation and Recycling. [DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.01.009]
- Arduino Official Documentation. \*\*\*"Arduino Reference."\*\*  
[<https://www.arduino.cc/reference/en/>]
- Raspberry Pi Foundation. \*\*\*"Raspberry Pi Documentation."\*\*  
[<https://www.raspberrypi.org/documentation/>]
- Xiao, Y., & Zhao, Q. (2017). \*\*\*"Recycling of waste plastics in China: Opportunities and challenges."\*\* Waste Management. [DOI: 10.1016/j.wasman.2017.01.049]