การพัฒนาเครื่องต้นแบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับคัดแยกขยะรีไซเคิลอย่างยั่งยืน ด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

Developing an Artificial Intelligence Prototype for Sustainable Recycled Waste Separation with Circular Economy Concept

ศิริชัย สาระมนัส
วรินธร บุญยะโรจน์
จิระศักดิ์ ธาระจักร์

งานวิจัยได้รับการจัดสรรงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง การพัฒนาเครื่องต้นแบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับคัดแยกขยะรีไซเคิลอย่างยั่งยืนด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

ผู้วิจัย ศิริชัย สาระมนัส
วรินธร บุญยะโรจน์
จิระศักดิ์ ธาระจักร์

ปีที่ทำวิจัย พ.ศ. 2566

บทคัดย่อ

การพัฒนาเครื่องต้นแบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับคัดแยกขยะรีไซเคิลอย่างยั่งยืนด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิล เพื่อนำต้นแบบเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลไปใช้ภายในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อการถ่ายทอดองค์ความรู้จากการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะรีไซเคิลให้กับสถานศึกษา โดยการพัฒนาเครื่องต้นแบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับจัดการขยะรีไซเคิลอย่างยั่งยืนด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน การวิจัยนี้เป็นตอบสนองนโยบายรัฐบาลที่เกี่ยวข้องกับการจัดการและการจัดการ Zero Waste to Landfill ส่งเสริมการคัดแยกขยะมูลฝอยตั้งแต่ต้นทาง เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์ รวมถึงรองรับนโยบายของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ต้องการพัฒนาทางด้านสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย (Green & Clean Faculty) เป็นองค์ประกอบหนึ่งในการส่งเสริมการจัดทำสำนักงานสีเขียว (Green Office) โดยการออกแบบเครื่องต้นแบบที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 78 เซนติเมตร ความยาวเท่ากับ 112 เซนติเมตร และความสูง เท่ากับ 153 เซนติเมตร นำเทคนิคการถ่ายโอนการเรียนรู้จาก โครงข่ายประสาทเทียมแบบ VGG16 มาพัฒนาเพื่อให้ได้โมเดลที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกขยะรีไซเคิล ใช้ Microcontroller ARM Cortex-A72 ในการควบคุมการทำงาน ผลการทดสอบ การทำนายการคัดแยกขยะรีไซเคิลของโมเดลที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้อง ร้อยละ 89.33 และการทดสอบการทำงานของระบบของเครื่องต้นแบบสามารถทำงานตามขอบเขตที่กำหนด โดยสามารถคัดแยกประเภทของขยะรีไซเคิลได้ตามวัตถุประสงค์

คำสำคัญ : ต้นแบบ, ปัญญาประดิษฐ์, ขยะรีไซเคิล, แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

Title	Developing an Artificial Intelligence Prototype for Sustainable Recycled Waste Separation with Circular Economy Concept
Researcher	Sirichai Saramanus Varinthorn Boonyaroj Jirasak Tharajak
Year	2023

Abstract

Development of artificial intelligence prototypes for sustainable recycling separation with a circular economy concept. The objectives of this research were to apply artificial intelligence to the development of recycling waste sorting machine prototypes. To implement a prototype of a recycling sorting machine within the Faculty of Science and Technology. To transfer knowledge from research related to recycling waste management to educational institutions. By developing artificial intelligence prototypes for sustainable recycling waste management with a circular economy concept. This research is in response to government policies related to zero waste to landfill management, promoting solid waste separation at source for ease of use, as well as supporting the Faculty of Science and Technology's policy to develop environmental and safety (Green & Clean Faculty) as an element in promoting the establishment of a green office by designing a prototype with a width of 78 centimeters, a length of 112 centimeters, and a height of 153 centimeters. The techniques were applied for the transfer learning of the VGG16 artificial neural network, which was developed to obtain a suitable model for sorting recycled waste. An ARM Cortex-A72 microcontroller was used to control a working system. The results show that the accuracy of this development of a prediction model for recyclable waste separation was found to be 89.33 percent, and the testing of the prototype system was able to work according to the specified scopes. The type of recyclable waste can be sorted according to its purpose.

Keywords: Prototype, Artificial Intelligence, Recycle Waste, Circular Economy

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566

นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ สถานที่ อุปกรณ์ ในการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิชาการและวิจัย คุณอมรชัย ขาวขำ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงินและพัสดุทุกท่าน

ท้ายสุดนี้ คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องที่จะนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย (ก)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (ข)
กิตติกรรมประกาศ (ค)
สารบัญ (ง)
บัญชีตาราง (จ)
บัญชีภาพประกอบ (ฉ)

1. บทนำ **1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย 2
1.4 กรอบแนวคิดโครงการวิจัย 2
1.5 แผนการดำเนินการวิจัย 2

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง **3**
2.1 ประเทศไทย 4.0 (Thailand 4.0) 3
2.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น 4
2.3 การเรียนรู้แบบถ่ายโอน 7
2.4 VGG16 6
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

3. วิธีดำเนินการวิจัย **10**
3.1 การศึกษาข้อมูลขยะรีไซเคิล 10
3.2 การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมศึกษาข้อมูลขยะรีไซเคิล 10

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล **14**
4.1 ผลการออกแบบเครื่องต้นแบบ 14
4.2 ผลการทดสอบการทำงานของระบบของเครื่องต้นแบบ 21
4.3 ผลการทดสอบโมเดล 25

5. สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ **30**
5.1 สรุปผลการวิจัย 30
5.2 ข้อเสนอแนะ 30

บรรณานุกรม **31**

ประวัติผู้วิจัย **34**

บัญชีตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ค่าการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังถังขยะหมายเลขที่กำหนด	21
4.2	ค่าน้ำหนักของอุปรณ์รับค่าน้ำหนักในจุดวางถังขยะหมายเลขที่กำหนด	22
4.3	ค่าปริมาณน้ำหนักของอุปรณ์รับค่าน้ำหนักในจุดวางถังขยะหมายเลขที่กำหนด	22
4.4	การทดสอบโมเดลการคัดแยกขยะรีไซลเคิลแบบกล่องกระดาษ (Cardborad)	27
4.5	การทดสอบโมเดลการคัดแยกขยะรีไซลเคิลแบบแก้ว (Glass)	27
4.6	การทดสอบโมเดลการคัดแยกขยะรีไซลเคิลแบบโลหะ (Metal)	27
4.7	การทดสอบโมเดลการคัดแยกขยะรีไซลเคิลแบบกระดาษ (Paper)	27
4.8	การทดสอบโมเดลการคัดแยกขยะรีไซลเคิลแบบพลาสติก (Pastic)	27
4.9	การทดสอบโมเดลการคัดแยกขยะรีไซลเคิลแบบเศษขยะ (Trash)	27

บัญชีภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1.1	กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
3.1	แสดงการเก็บชุดข้อมูลภาพขยะแบบรีไซเคิล	12
3.2	แสดงโครงข่ายประสาทเทียม VGG16	12
3.3	แสดงการนำ VGG16 มาใช้เป็นส่วนหน้าของโมเดล	13
4.1	การออกแบบเครื่องต้นแบบจากมุมมองด้านบนในรูปแบบ 3 มิติ	14
4.2	แสดงภาพต้นแบบการเปิดช่องบรรจุถังขยะ	15
4.3	แสดงภาพต้นแบบการเปิดช่องบรรจุถังขยะมุมมองด้านขวา	15
4.4	ต้นแบบการเปิดช่องบรรจุถังขยะมุมมองภายใน	16
4.5	ต้นแบบมุมมองด้านหน้าเครื่อง	16
4.6	ต้นแบบมุมมองด้านหลังเครื่อง	17
4.7	ต้นแบบมุมมองด้านข้างเครื่อง	17
4.8	เครื่องต้นแบบจากมุมมองด้านบน	18
4.9	เครื่องต้นแบบจากมุมมองด้านหน้า	18
4.10	เครื่องต้นแบบการเปิดช่องบรรจุถังขยะมุมมองด้านหน้า	19
4.11	เครื่องต้นแบบการเปิดช่องบรรจุถังขยะด้านซ้าย	19
4.12	เครื่องต้นแบบการเปิดช่องบรรจุถังขยะด้านขวา	20
4.13	เครื่องต้นแบบมุมมองหน้าด้านขวา	20
4.14	แผนผังระบบเครื่องต้นแบบ	23
4.15	แผนผังการทำงานของระบบเครื่องต้นแบบ	24
4.16	ค่า Accuray โมเดล TransferModel-A	25
4.17	ค่า Loss โมเดล TransferModel-A	26
4.18	ค่า Accuray โมเดล TransferModel-B	26
4.19	ค่า Loss โมเดล TransferModel-B	26
4.20	Confusion matrix โมเดล TransferModel-A และ TransferModel-B	28
4.21	ข้อมูลปริมาณขยะรายเดือนที่เกิดขึ้นบริเวณชั้น 9 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	29

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

นโยบายยุทธศาสตร์การอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม พ.ศ. 2563-2570 และแผนด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม พ.ศ. 2563-2565 ยุทธศาสตร์การจัดการมลพิษ 20 ปี และแผนจัดการมลพิษ พ.ศ. 2561–2580 ตลอดจนนโยบายรัฐบาล เรื่อง การพัฒนาและส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การวิจัยและพัฒนาและนวัตกรรม นโยบายมหาวิทยาลัยที่ต้องพัฒนางานวิจัย นวัตกรรม เพื่อการขับเคลื่อนการพัฒนาประเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เป็นหน่วยงานทางการศึกษาทำหน้าที่ให้บริการด้านการศึกษา ซึ่งมีผู้เข้ารับบริการในพื้นที่ทั้งนักศึกษาและบุคลากร จากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ แผนการปฏิรูปประเทศด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals (SDGs)) นโยบายรัฐบาล นโยบายรัฐบาล เรื่อง การพัฒนาและส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การวิจัยและพัฒนาและนวัตกรรม แผนด้านวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม พ.ศ. 2566-2570 ยุทธศาสตร์ที่ 1 การพัฒนาเศรษฐกิจไทยด้วยเศรษฐกิจสร้างคุณค่าและเศรษฐกิจสร้างสรรค์ ให้มีความสามารถในการแข่งขัน และพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน พร้อมสู่อนาคต โดยใช้วิทยาศาสตร์ การวิจัยและนวัตกรรม นโยบายมหาวิทยาลัยที่ต้องการ พัฒนาการวิจัยและสร้างนวัตกรรมที่มีคุณค่าต่อสังคม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เป็นหน่วยงานปฏิบัติภาระกิจทางการศึกษาทำหน้าที่ให้บริการด้านการศึกษา มีผู้เข้ารับบริการในพื้นที่ทั้งนักศึกษา คณาจารย์ และฝ่ายสนับสนุนการศึกษา ปัจจุบันประสบปัญหาทางด้านการคัดแยกขยะ เนื่องจากการทิ้งขยะโดยไม่มีการคัดแยก เป็นจำนวนมาก ทำให้ขยะเหล่านั้นไม่ได้รับการจัดการที่ดีพอ เกิดความสกปรก ผู้มีหน้าที่ดำเนินการไม่สามารถดูแลได้อย่างทั่วถึง หากต้องการคัดแยกทำให้เสียเวลาในการจัดการ ส่งผลให้มีปริมาณขยะมากเกินกว่าที่จะดูแลได้อย่างทั่วถึง จากข้อมูลดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญในการพัฒนาเครื่องต้นแบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับจัดการขยะรีไซเคิลอย่างยั่งยืนด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน การวิจัยนี้เป็นตอบสนองนโยบายรัฐบาลที่เกี่ยวข้องกับการจัดการและการจัดการ Zero waste to landfill ส่งเสริมการคัดแยกขยะมูลฝอยตั้งแต่ต้นทาง เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์ รวมถึงรองรับนโยบายของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ต้องการพัฒนาทางด้านสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย (Green & Clean Faculty) เป็นองค์ประกอบหนึ่งในการส่งเสริมการจัดทำสำนักงานสีเขียว หรือ Green Office

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิล

1.2.2 เพื่อนำต้นแบบเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลไปใช้ภายในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1.2.3 เพื่อการถ่ายทอดองค์ความรู้จากการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะรีไซเคิลให้กับสถานศึกษา

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 พื้นที่วิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1.3.2 กลุ่มเป้าหมายในถ่ายทอดองค์ความรู้จากการวิจัย คือ นักศึกษาและบุคลากรคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1.3.3 ใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์และปัญญาประดิษฐ์ในการคัดแยกขยะรีไซเคิล เพื่อสร้างต้นแบบเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลไปใช้ ภายในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1.4 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

ภาพที่ 1.1 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

1.5 แผนการดำเนินการวิจัย

ระยะเวลาดำเนินโครงการวิจัย ตั้งแต่ วันที่ 19 ธันวาคม 2565 ถึง 30 กันยายน 2566

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประเทศไทย 4.0 (Thailand 4.0)

การสร้างความเข้มแข็งจากภายใน Thailand 4.0 เน้นการปรับเปลี่ยนใน 4 ทิศทาง โดยน้อมนำหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง และการพัฒนาที่สมดุล ” ใน 4 มิติ ประกอบด้วย ความมั่งคั่งทางเศรษฐกิจ (economic wealth) ความอยู่ดีมีสุขของผู้คนในสังคม (social well-beings) การรักษ์สิ่งแวดล้อม (environmental wellness) และการยกระดับศักยภาพและคุณค่าของมนุษย์ (human wisdom) การพัฒนาที่สมดุลใน 4 มิติของ Thailand 4.0 ตามแนวคิดปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงนี้สอดรับกับ 17 เป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (sustainable development Goals) ของสหประชาชาติได้อย่างลงตัว 1.2) สำหรับปริมาณกากอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้ทำการประเมินปริมาณกากอุตสาหกรรม โดยใช้ “ปริมาณกากอันตรายและกากไม่อันตรายที่โรงงานแต่ละประเภท มีการแจ้งขนส่งออกไปกำจัดทั้งหมด ในปี พ.ศ. 2557 เทียบกับจำนวนแรงม้ารวมของโรงงานแต่ละประเภท” พบว่า ประเทศไทยควรมีกากอันตรายปีละ 3.35 ล้านตัน และมีกากไม่อันตรายปีละ 50.30 ล้านตัน และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกากอุตสาหกรรมที่โรงงานได้ขออนุญาตออกไปบำบัด/กำจัด/รีไซเคิล และแจ้งขนส่งแล้วจริงในปี พ.ศ. 2557 สำหรับกากอันตราย จำนวน 1.03 ล้านตัน (หรือร้อยละ 31) และกากไม่อันตราย จำนวน 12.24 ล้านตัน (หรือร้อยละ 24) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2561)[1]

2.1.1 แนวทางการจัดการขยะและการจัดการของเสียให้เหลือศูนย์ (Zero waste) และระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy)

แนวทางการจัดการขยะ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- การลดการเกิดของเสียให้น้อยที่สุด (Zero waste) โดยใช้หลัก 3Rs (Reduce, Reuse, Recycle) ผ่านกระบวนการคัดแยกขยะ
- การส่งเสริมผลิตภัณฑ์ประเภท Green product
- การบริหารจัดการขยะมูลฝอยแบบผสมผสานโดยใช้ระบบ Zero to landfill ซึ่งหมายถึงขบวนการลดปริมาณขยะโดยการนำขยะที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากพื้นที่ให้ได้ถึง 90% ซึ่งส่วนที่เหลือจะอยู่ในระบบบำบัดและขยะที่นำออกไปนั้นสามารถพัฒนาให้เกิดมูลค่าและนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ ดังนี้ - CDM (นำ ไปชดเชยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) - CPR (วัตถุดิบที่สามารถนำ มาผลิตเป็นเม็ดพลาสติก) - RDF (ขยะที่สามารถนำ ไปเป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทน) - Compost (ขยะมูลฝอยที่สามารถย่อยสลายได้ สามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยใช้เพื่อการเกษตร ที่เน้นการแปรรูปเป็นพลังงาน
- การรวมกลุ่มองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น การบริหารจัดการขยะ โดยเชิญชวนภาคเอกชนร่วมลงทุน
- การสร้างระบบ/เครื่องมือบริหารจัดการของเสียอันตรายชุมชน โดยเน้นการเรียกคืนซากของเสียอันตรายจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้ว ส่วนแนวคิดและหลักการของ Zero waste หรือการ

จัดการของเสียให้เหลือศูนย์ ซึ่งเป็นวิสัยทัศน์สำหรับศตวรรษใหม่ที่มีเป้าหมายและกระบวนการการเปลี่ยนแปลง การจัดการขยะมูลฝอยได้อย่างยั่งยืนตามหลัก 3Rs คือ ลดการใช้ (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) และ การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) การก้าวเข้าสู่สังคมปลอดขยะ (Zero waste society) ซึ่งผู้ผลิตต้องแสดงความรับผิดชอบตลอดวงจรตั้งแต่กระบวนการผลิต การใช้งานและการกำจัดผลิตภัณฑ์ ซึ่งในระดับนโยบายนั้นจะต้องมีการบังคับใช้กฎหมายการฝังกลบและการเผาให้เกิดผลอย่างเป็นรูปธรรม (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2566)[2]

2.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของอัลกอริธึมการเรียนรู้เชิงลึก ประกอบด้วยชั้นโหนด ซึ่งประกอบด้วยชั้นอินพุต ชั้นที่ซ่อนอยู่หนึ่งชั้นขึ้นไป และชั้นเอาท์พุต แต่ละโหนดเชื่อมต่อกับอีกโหนดหนึ่ง และมีค่าน้ำหนัก และเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง หากเอาต์พุตของแต่ละโหนดอยู่เหนือค่าเกณฑ์ที่ระบุ โหนดนั้นจะถูกเปิดใช้งาน โดยส่งข้อมูลไปยังชั้นถัดไปของเครือข่าย ไม่เช่นนั้น จะไม่มีการส่งข้อมูลไปยังชั้นไปของเครือข่าย[10]

โครงข่ายประสาทเทียมมีหลายประเภท มีการใช้งานแตกต่างกันตามประเภทของข้อมูล เช่น โครงข่ายประสาทแบบวนกลับ ใช้สำหรับการประมวลผลภาษาธรรมชาติ และการรู้จำเสียง โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น (ConvNets หรือ CNN) [16] นำไปใช้สำหรับการจำแนกประเภท และงานด้านการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ ก่อนที่จะมี CNN มีการใช้วิธีการแยกคุณสมบัติแบบแมนนวล จะใช้ระยะเวลานานเพื่อระบุวัตถุในภาพ โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่นปัจจุบันมีความสามารถที่มากขึ้น ทางด้านการจัดหมวดหมู่รูปภาพและงานการจดจำวัตถุ โดยใช้ประโยชน์จากหลักการพีชคณิตเชิงเส้น โดยเฉพาะการคูณเมทริกซ์ เพื่อระบุรูปแบบภายในภาพ โครงข่ายประสาทเทียมอาจมีความต้องการในการคำนวณ โดยใช้หน่วยประมวลผลกราฟิก เพื่อฝึกการเรียนรู้ของโมเดล

โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น มีความแตกต่างจากโครงข่ายประสาทเทียมอื่นๆ เนื่องจากประสิทธิภาพที่เหนือกว่า ด้วยอินพุตสัญญาณแบบรูปภาพ เสียงพูด หรือสัญญาณเสียง มีชั้นหลักสามชั้นคือ Convolutional layer Pooling layer และ Fully-connected layer [16]

ขั้นคอนโวลูชั่น เป็นชั้นแรกของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น แม้ว่าชั้นคอนโวลูชั่นจะสามารถตามมาด้วยชั้นคอนโวลูชั่นเพิ่มเติม หรือชั้นที่รวมกลุ่มกัน แต่ชั้นที่เชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ก็คือ ชั้นสุดท้าย ในแต่ละชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น จะเพิ่มความซับซ้อน โดยระบุส่วนของภาพได้มากขึ้น ชั้นก่อนหน้านี้ เน้นที่คุณลักษณะแบบเรียบง่าย เช่น สี และขอบ เมื่อข้อมูลภาพดำเนินการไปในชั้นต่างๆ ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น จะเริ่มจดจำองค์ประกอบ หรือรูปร่างที่ใหญ่ขึ้นของวัตถุ จนกระทั่งสามารถระบุวัตถุที่ต้องการได้ในที่สุด

Convolutional Layer ชั้นคอนโวลูชั่นเป็นส่วนสำคัญของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น และการคำนวณส่วนใหญ่เกิดขึ้นบริเวณนี้ จำเป็นต้องมีองค์ประกอบ ได้แก่ ข้อมูลอินพุต ตัวกรอง และแผนผังคุณลักษณะ สันนิษฐานว่าอินพุตจะเป็นภาพสีซึ่งประกอบด้วยเมทริกซ์พิกเซลในรูปแบบ 3 มิติ หมายความว่าอินพุตจะมีสามมิติ ได้แก่ ความสูง ความกว้าง และความลึก จะสอดคล้องกับ RGB ในภาพ นอกจากนี้ยังมีตัวตรวจจับคุณสมบัติ หรือที่เรียกว่าเคอร์เนล หรือตัวกรอง จะเคลื่อนที่ผ่านช่องรับสัญญาณของรูปภาพ เพื่อตรวจสอบว่ามีคุณสมบัตินั้นอยู่หรือไม่ กระบวนการนี้เรียกว่าการคอนโวลูชั่น

ตัวตรวจจับคุณลักษณะ คือ อาร์เรย์น้ำหนัก 2 มิติ แสดงถึงส่วนหนึ่งของภาพ ขนาดอาจแตกต่างกันไป โดยทั่วไปขนาดตัวกรองจะเป็นเมทริกซ์ขนาด 3x3 มีกำหนดขนาดของช่องรับสัญญาณ จากนั้นตัวกรองจะถูกนำไปใช้กับพื้นที่ของภาพ และดอทโปรดัคจะคำนวณค่าระหว่างพิกเซลอินพุตและตัวกรอง จากนั้นดอทโปรดัคจะถูกส่งเข้าไปในอาร์เรย์เอาท์พุต จากนั้นตัวกรองจะเลื่อนไปทีละก้าว โดยขั้นตอนนี้จะทำซ้ำจนกว่าเคอร์เนลจะกวาดไปทั่วทั้งภาพ ผลลัพธ์สุดท้ายจากการคำนวนดอทโปรดัคกับอินพุต และตัวกรอง เรียกว่าแผนผังคุณลักษณะ แอ็คติเวชั่นแม็บ หรือคุณลักษณะที่ซับซ้อนหลังจากการดำเนินการคอนโวลูชั่น แต่ละครั้งโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น จะใช้การแปลง Rectified Linear Unit (ReLU) กับแผนผังคุณลักษณะ ทำให้เกิดความไม่เชิงเส้นในโมเดล

Pooling layer หรือการลดขนาด ดำเนินการโดยลดขนาดจำนวนพารามิเตอร์อินพุต เช่นเดียวกับชั้นคอนโวลูชั่น การดำเนินจะกวาดตัวกรองอินพุตทั้งหมด แต่ข้อแตกต่าง คือตัวกรองนี้ไม่มีน้ำหนัก เคอร์เนลจะใช้ฟังก์ชันการรวมกับค่าภายในฟิลด์รับสัญญาณแทน โดยข้อมูลเอาต์พุตที่ลดขนาดจะอยู่ในอาร์เรย์ การรวมกลุ่มมีสองประเภทหลักคือ

Max pooling ขณะที่ตัวกรองเคลื่อนที่ผ่านอินพุต ตัวกรองจะเลือกพิกเซลที่มีค่าสูงสุดเพื่อส่งไปยังอาร์เรย์เอาต์พุต มีการใช้วิธีการนี้มากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการรวมกลุ่มโดยเฉลี่ย [11]

Average pooling ขณะที่ตัวกรองเคลื่อนที่ผ่านอินพุต ตัวกรองจะคำนวณค่าเฉลี่ยภายในฟิลด์รับสัญญาณเพื่อส่งไปยังอาร์เรย์เอาต์พุต

Fully-connected layer คือชั้นที่มีการเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ ค่าพิกเซลของภาพที่นำเข้าไม่ได้เชื่อมต่อโดยตรงกับชั้นเอาท์พุตในชั้นที่เชื่อมต่อบางส่วน ในชั้นที่เชื่อมต่อโดยสมบูรณ์ แต่ละโหนดในชั้นเอาท์พุตจะเชื่อมต่อโดยตรงกับโหนดในชั้นก่อนหน้า ชั้นนี้ทำหน้าที่จัดหมวดหมู่ตามคุณลักษณะที่ดึงมาจากชั้นก่อนหน้า และตัวกรอง ในขณะที่ชั้นแบบคอนโวลูชั่น และชั้นการรวมกลุ่มมีใช้งานฟังก์ชัน Rectified Linear Unit (ReLU) แต่ชั้น Fully-connected จะใช้ฟังก์ชัน softmax activation เพื่อทำการจำแนกอินพุตอย่างเหมาะสม โดยสร้างความน่าจะเป็นช่วงค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1

2.3 การเรียนรู้แบบถ่ายโอน

การถ่ายโอนการเรียนรู้เป็นวิธีการนำโมเดลเครือข่ายการเรียนรู้เชิงลึก ที่ได้รับการเรียนรู้ล่วงหน้า และการเรียนรู้สำหรับการแก้ปัญหาใหม่ที่เกี่ยวข้อง เครือข่ายการเรียนรู้เชิงลึกที่ผ่านการเรียนรู้ล่วงหน้า ทำหน้าที่การถ่ายทอดความรู้เพื่อนำไปใช้ในโมเดลเครือข่ายการเรียนรู้เชิงลึกอื่น ซึ่งมีตัวเลือกจำนวนมากที่สามารถนำมาใช้ได้ รวมถึงการถ่ายโอนคุณลักษณะ และการปรับแต่งอย่างละเอียด ขึ้นอยู่กับความใกล้เคียงกันของปัญหาที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งการหยุดการทำงานของเครือข่ายการเรียนรู้เชิงลึกบางชั้น และการฝึกการเรียนรู้ของเครือข่ายชั้นอื่นๆ [12]

Feature transfer คือการใช้ชั้นอินพุต และชั้นการแยกคุณลักษณะที่ได้รับการฝึกด้วยชุดข้อมูลที่กำหนด โดยมีน้ำหนักและโครงสร้างเครือข่ายที่ค้างอยู่ และทำการฝึกการเรียนรู้ของชั้นในการจำแนกประเภทข้อมูลใหม่สำหรับกลุ่มปัญหาที่เกี่ยวข้อง วิธีนี้เครือข่ายการเรียนรู้เชิงลึกที่ใช้ในการตรวจจับภาพ สามารถมีชั้นการจำแนกประเภทที่ได้รับการฝึกการเรียนรู้ใหม่เพื่อตรวจจับภาพแบบใหม่ได้ในกลุ่มปัญหาที่คล้ายกัน [12]

Fine-tuning คือการสร้างชั้นการจำแนกประเภทใหม่ ทำการปรับแต่งชั้นก่อนหน้าอย่างละเอียดผ่านการฝึกการเรียนรู้เพิ่มเติมโดยใช้ชุดข้อมูลการฝึกการเรียนรู้ชุดใหม่ สามารถปรับแต่งชั้นที่มีความเฉพาะเจาะจงมากขึ้น กับคุณสมบัติของการจัดหมวดหมู่ [12]

2.4 VGG16

VGG16 หรือเรียกว่า VGGNet เป็นโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมแบบแบบคอนโวลูชั่น (CNN) รองรับจำนวนชั้นทั้ง 16 เลเยอร์ K. Simonyan และ A. Zisserman เป็นผู้เสนอแบบจำลองดังกล่าว และเผยแพร่ในบทความ Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition VGG16 มีค่าความถูกต้อง จากการทดสอบที่ 92.7% โดยใช้ภาพในฐานข้อมูล ImageNet ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่มีภาพการฝึกฝนมากกว่า 14 ล้านภาพ ทำการจำแนกคลาสอ็อบเจ็กต์ได้ถึงจำนวน 1,000 คลาส เป็นโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น ชั้นนำจากการแข่งขัน ILSVRC-2014

VGG16 มีโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก 16 ชั้น โครงข่ายประสาทเทียมขนาดใหญ่ พารามิเตอร์ทั้งหมด 138 ล้าน พารามิเตอร์ สถาปัตยกรรม VGGNet รวมคุณสมบัติโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่นที่สำคัญที่สุดเข้าด้วยกัน เครือข่าย VGG ประกอบด้วยตัวกรองแบบคอนโวลูชั่นขนาดเล็ก VGG16 มีสามเลเยอร์ที่เชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ และมี 13 เลเยอร์แบบคอนโวลูชั่น โครงร่างโดยย่อของสถาปัตยกรรม VGG: [9]

VGGNet มีอินพุตการรับภาพแบบคงที่ขนาด 224×224

Convolutional layers เป็นตัวกรองแบบคอนโวลูชั่นใช้ช่องรับสัญญาณที่มีขนาดเล็ก ขนาด 3 × 3 ใช้ตัวกรองการคอนโวลูชั่นขนาด 1×1 ทำการแปลงอินพุตเป็นแบบเชิงเส้น

ReLu activation คือส่วนประกอบในการลดเวลาการฝึก ReLU เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นที่ให้เอาต์พุตที่ตรงกันสำหรับอินพุตเชิงบวก และเอาต์พุตเป็นศูนย์สำหรับอินพุตเชิงลบ VGG มีการกำหนดขั้นการทำงานของการคอนโวลูชั่นที่ 1 พิกเซล เพื่อรักษาความละเอียดเชิงพื้นที่หลังจากการคอนโวลูชั่น

Hidden layers ชั้นที่ถูกซ่อนของเครือข่าย VGG ใช้ ReLU แทน Local Response Normalization อย่างโครงข่ายประสาทเทียม AlexNet [4]

Pooling layers ชั้นการรวมกลุ่ม จะติดตามชั้นคอนโวลูชั่นช่วยลดมิติ และจำนวนพารามิเตอร์ของแผนผังคุณลักษณะที่สร้างขึ้นโดยแต่ละขั้นตอนของการคอนโวลูชั่น ชั้นการรวมกลุ่มเป็นชั้นที่สำคัญมีจำนวนตัวกรองข้อมูลขนาด 64, 128, 256 และ 512

Fully connected layers ชั้นที่เชื่อมต่อกันแบบสมบูรณ์สามชั้น สองชั้นแรกแต่ละชั้นมี 4096 ช่อง และชั้นที่ 3 มี 1,000 ช่อง หนึ่งช่องสำหรับทุกคลาส

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bernardo S. Costa และคณะ (2018) กล่าวถึงแนวทางการนำระบบคอมพิวเตอร์ไปใช้ในการจำแนกขยะรีไซเคิลด้วยภาพ โครงการดังกล่าวมีจุดประสงค์พิจารณาภาพขยะ และจำแนกขยะออกเป็นหลายประเภท ได้แก่ แก้ว กระดาษ โลหะ และพลาสติก ใช้ฐานข้อมูลภาพขยะที่มีจำนวนมากสำหรับการเรียนรู้แต่ละขั้น [5]

Youpeng Yu และ Ryan Grammenos (2021) มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงการคัดแยกขยะรีไซเคิลโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับการจำแนกประเภท ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมการจำแนกประเภทของขยะในการรีไซเคิลประเภทต่างๆ ผลลัพธ์จะถูกเปรียบเทียบโดยใช้การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้นใช้ซอฟต์แวร์แบบโอเพ่นซอร์สในการเชื่อมต่อกับระบบการมองเห็นภาพด้วยกล้องเว็บแคม [17]

Mindy Yang และ Gary Thung (2016) กล่าวถึงการนำระบบการอ่านภาพของคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการจำแนกประเภทขยะรีไซเคิลออกเป็น แก้ว กระดาษ โลหะ พลาสติก กระดาษแข็ง โดยใช้ข้อมูลภาพจำนวนมาก และใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการศึกษาข้อมูล และทำการคัดแยกข้อมูล [13]

R.S.Sandhya Devi และคณะ (2018) นำเสนอระบบการคัดแยกขยะอัตโนมัติโดยใช้หลักการของอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก Convolution Neural Network (CNN) ทำการจำแนกวัตถุ แบบย่อยสลายได้ และแบบย่อยสลายไม่ได้ แบบเรียลไทม์ อัลกอริธึมนี้เหมาะสมสำหรับกระบวนการคัดแยกขยะจำนวนมาก ใช้ในการระบุและการจำแนกประเภทของเสียแบบเรียลไทม์โดยการใช้งานผ่านกล้องเว็บแคม [15]

Wang Hao (2020) ทำศึกษาการประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึก ในงานทางด้านสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้เลือกใช้ เครือข่ายประสาทเทียม VGG16 ใช้เพื่อแก้ปัญหาการระบุตัวตน และการจำแนกประเภทขยะในครัวเรือน โดยใช้ไลบรารีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อการค้นหา และเลือกระบุวัตถุ การ

ประมวลผลภาพ การเพิ่มประสิทธิภาพข้อมูล การเพิ่มฟังก์ชั่นการใช้งาน และการเพิ่มเลเยอร์ เพื่อเร่งความเร็วในการค้นหาโมเดลที่ถูกต้องในการใช้งาน รวมถึงการรับประกันการจดจำภาพให้เกิดความแม่นยำ [9]

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

นการดำเนินโครงการ การพัฒนาเครื่องต้นแบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับคัดแยกขยะรีไซเคิลอย่างยั่งยืนด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาข้อมูลขยะรีไซเคิล

ดำเนินการเก็บข้อมูลขยะแบบรีไซเคิลภายในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาพิจารณาเป็นองค์ประกอบด้านขนาด และสัดส่วนของขยะแบบรีไซเคิลในการพัฒนาครื่องต้นแบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับจัดการขยะรีไซเคิลอย่างยั่งยืนด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน ทำการเก็บข้อมูลขยะแบบรีไซเคิลช่วง เดือน ธันวาคม 2565 ถึง มีนาคม 2566

3.2 การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมศึกษาข้อมูลขยะรีไซเคิล

การศึกษาข้อมูลขยะแบบรีไซเคิลเพื่อการคัดแยกด้วยปัญญาประดิษฐ์ สามารถทำการศึกษาโดยการนำโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น มาทำการเรียนรู้ชุดข้อมูลภาพขยะแบบรีไซเคิล ที่ต้องการจำแนกกลุ่มตามความต้องการ จากชุดข้อมูลภาพขยะแบบรีไซเคิล การดำเนินการในงานวิจัยนี้ใช้การโอนถ่ายการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม VGG16 ที่มีความสามารถทางการจำแนกชุดข้อมูลภาพจำนวนมาก ดึงคุณลักษณะที่ได้รับการเรียนรู้การจำแนกภาพ ทำการฝึกฝนการเรียนรู้ชุดข้อมูลภาพขยะแบบรีไซเคิล เพื่อสร้างความสามารถการจำแนกภาพชุดข้อมูลใหม่ รวมถึงการปรับแต่งโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมให้เหมาะสม

การพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น คณะผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องมือ TensorFlow มาพัฒนาโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น เครื่องมือดังกล่าวเป็นซอฟต์แวร์ไลบรารีฟรี และโอเพ่นซอร์ส สร้างขึ้นสำหรับการเรียนรู้ของเครื่อง และปัญญาประดิษฐ์

3.2.1 การรวบรวมข้อมูลภาพขยะแบบรีไซเคิล

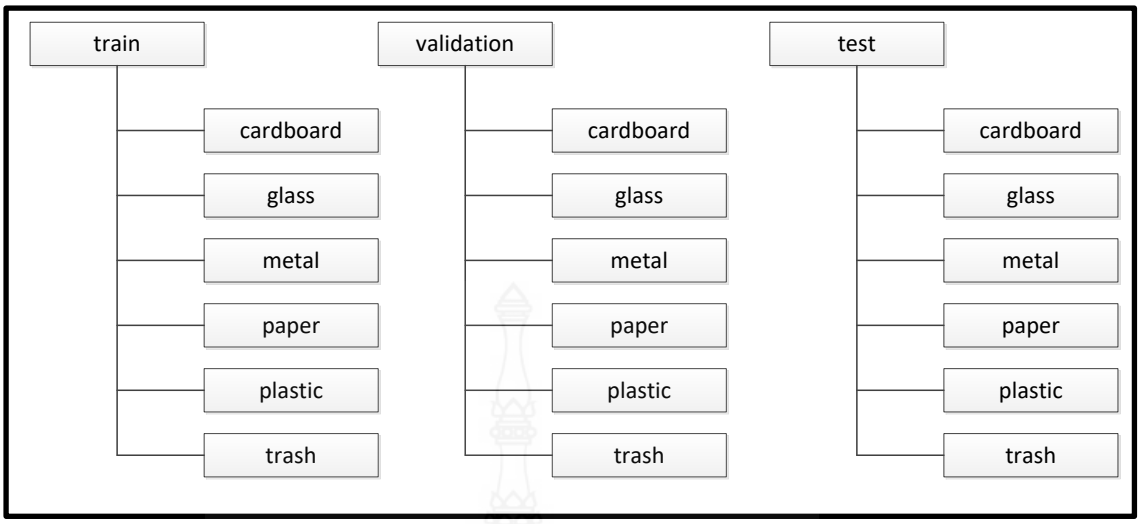
ข้อมูลภาพขยะแบบรีไซเคิลที่ใช้ในการฝึกฝนการเรียนรู้ของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วยชุดข้อมูลภาพกล่องกระดาษ (cardborad) แก้ว (glass) โลหะ (metal) กระดาษ (paper) พลาสติก (plastic) และขยะ (trash) ซึ่งมีจำนวน 6 กลุ่ม จากชุดข้อมูลต้นฉบับของ CCHANGCS ปรับแต่งข้อมูลโดย Andrea Santoro ภาพชุดข้อมูลมีการแบ่งข้อมูลดังนี้คือ ข้อมูลการเรียนรู้ (train) จำนวน 1,768 ภาพ ข้อมูลตรวจสอบความถูกต้อง (validation) จำนวน 328 ภาพ และข้อมูลการทดสอบ (test) จำนวน 428 ภาพ แสดงการเก็บชุดข้อมูลภาพขยะแบบรีไซเคิล ดังภาพที่ 3.1

3.2.2 การเตรียมข้อมูลภาพขยะแบบรีไซเคิล

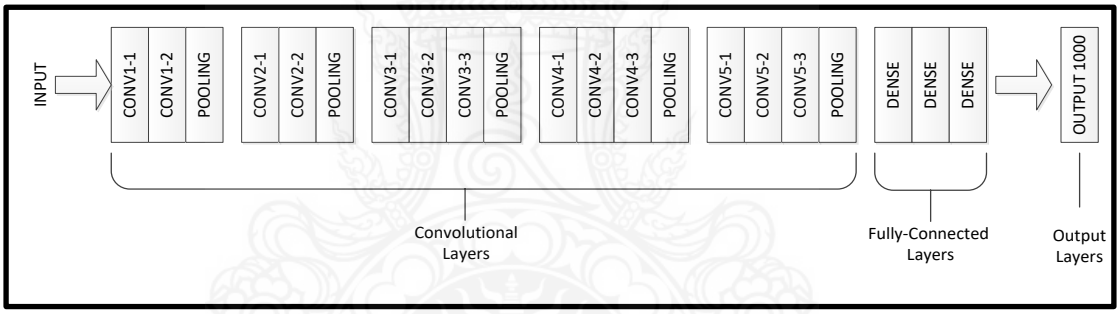
การเตรียมข้อมูลภาพขยะแบบรีไซเคิล ทำการแยกข้อมูลการจัดเก็บ และแยกไดเร็กทรอรี่ train validation และ test จากนั้นใช้เครื่องมือจัดการภาพของ Keras ทำการปรับขนาดภาพให้ได้ขนาด 224x224 และทำการเพิ่มข้อมูลภาพ รวมถึงการสลับภาพชุดข้อมูล train และ validation

3.2.3 การถ่ายโอนคุณสมบัติ

การถ่ายโอนคุณสมบัติดำเนินการโดย การนำชั้นคอนโวลูชั่นของโครงข่ายประสาทเทียม VGG16 ดังภาพที่ 3.2 มาเป็นส่วนหน้าของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมโดยไม่นำ ชั้นที่มีการเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ (Fully-Connected Layers) มาใช้งาน แล้วทำการปรับปรุงชั้นที่มีการเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ (Custom Fully-Connected Layers) และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) ให้เหมาะสมต่อการคัดแยกข้อมูล ดังภาพที่ 3.3



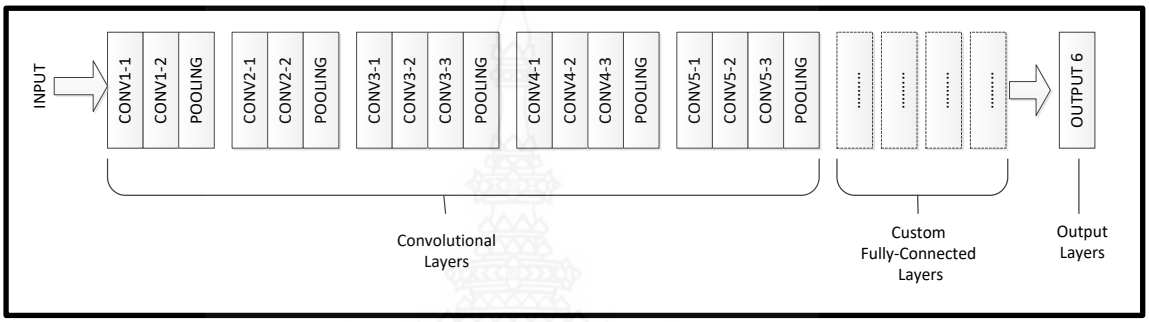
ภาพที่ 3.1 แสดงการเก็บชุดข้อมูลภาพขยะแบบรีไซเคิล



ภาพที่ 3.2 แสดงโครงข่ายประสาทเทียม VGG16

3.2.4 การฝึกการเรียนรู้โมเดล

ทำการฝึกการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ชุดข้อมูลภาพขยะแบบรีไซเคิลในข้อมูลการเรียนรู้ (train) ตรวจสอบความถูกต้องของการคัดแยกข้อมูลด้วย ข้อมูลตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) และทำการทดสอบการคัดแยกข้อมูลด้วย ข้อมูลการทดสอบ (Test)



ภาพที่ 3.3 แสดงการนำ VGG16 มาใช้เป็นส่วนหน้าของโมเดล

3.2.5 การปรับแต่งค่าโมเดล

ทำการปรับแต่งค่าชั้นที่มีการเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อหาค่าเหมาะสมจากการฝึกการเรียนรู้โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม ที่จะได้โมเดลที่คัดแยกข้อมูลได้ค่าใกล้เคียงความถูกต้อง แล้วทำการแปลงโมเดลที่ได้ให้สามารถนำไปใช้งานกับ Microcontroller

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการออกแบบเครื่องต้นแบบ

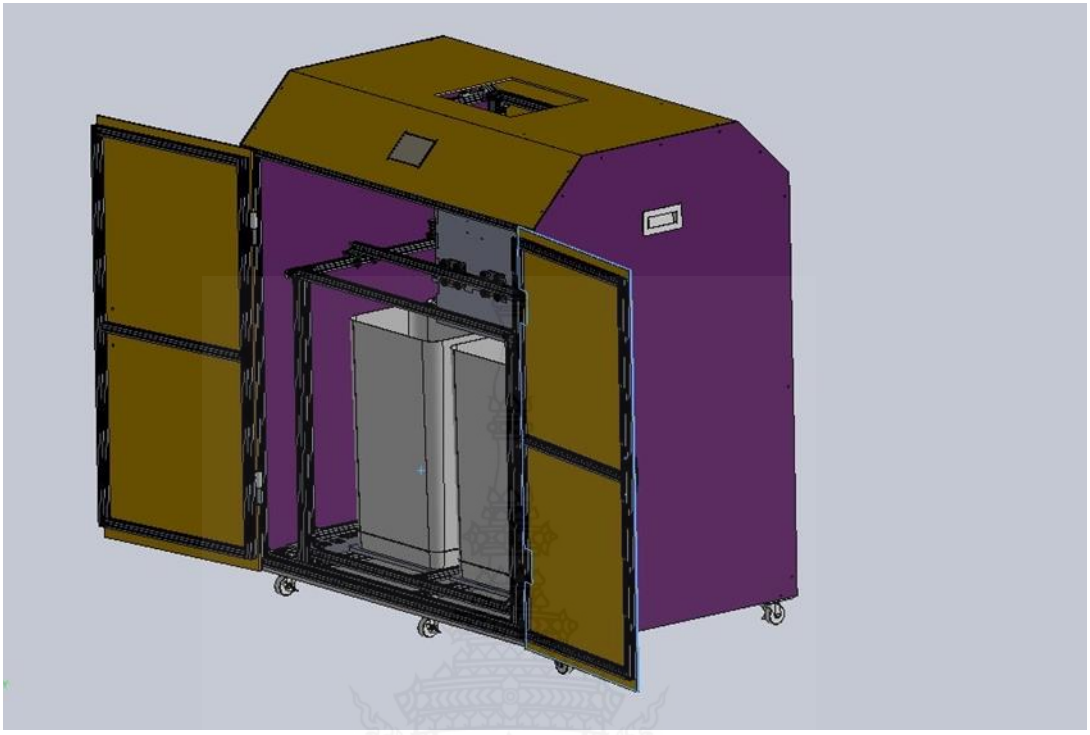
คณะผู้วิจัยออกแบบเครื่องต้นแบบโดยใช้ข้อมูลขยะแบบรีไซเคิลภายในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาดำเนินการออกแบบเครื่องต้นแบบที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 78 เซนติเมตร ความยาวเท่ากับ 112 เซนติเมตร และความสูง เท่ากับ 153 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4.1 ถึง ภาพที่ 4.7

ภาพที่ 4.1 การออกแบบเครื่องต้นแบบจากมุมมองด้านบนในรูปแบบ 3 มิติ

.

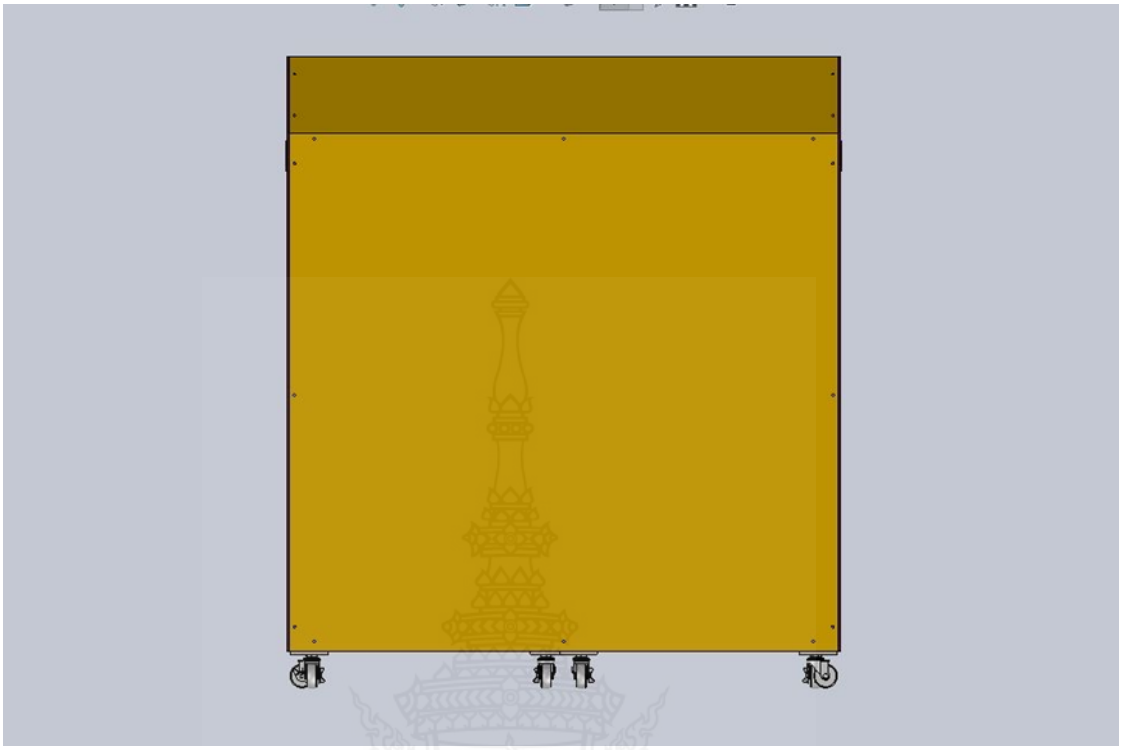
ภาพที่ 4.2 แสดงภาพต้นแบบการเปิดช่องบรรจุถังขยะ

ภาพที่ 4.3 แสดงภาพต้นแบบการเปิดช่องบรรจุถังขยะมุมมองด้านขวา



ภาพที่ 4.4 ต้นแบบการเปิดช่องบรรจุถังขยะมุมมองภายใน

ภาพที่ 4.5 ต้นแบบมุมมองด้านหน้าเครื่อง



ภาพที่ 4.6 ต้นแบบมุมมองด้านหลังเครื่อง

ภาพที่ 4.7 ต้นแบบมุมมองด้านข้างเครื่อง

หลังการออกแบบคณะผู้วิจัยดำเนินการจัดทำเครื่องต้นแบบ ดังภาพที่ 4.8 ถึง ภาพที่ 4.13

ภาพที่ 4.8 เครื่องต้นแบบจากมุมมองด้านบน

ภาพที่ 4.9 เครื่องต้นแบบจากมุมมองด้านหน้า

ภาพที่ 4.10 เครื่องต้นแบบการเปิดช่องบรรจุถังขยะมุมมองด้านหน้า

ภาพที่ 4.11 เครื่องต้นแบบการเปิดช่องบรรจุถังขยะด้านซ้าย

ภาพที่ 4.12 เครื่องต้นแบบการเปิดช่องบรรจุถังขยะด้านขวา

ภาพที่ 4.13 เครื่องต้นแบบมุมมองหน้าด้านขวา

4.2 ผลการทดสอบการทำงานของระบบของเครื่องต้นแบบ

4.2.1 การทดสอบการเคลื่อนที่ถังบรรจุขยะ

ทำการทดสอบการเคลื่อนที่โดยเริ่มต้นจากจุดช่องทิ้งขยะกำหนดให้เป็น Home (H) เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถังขยะที่กำหนดซึ่งมีทั้งหมด 4 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งถังขยะหมายเลข 1 (W1) ตำแหน่งถังขยะหมายเลข 2 (W2) ตำแหน่งถังขยะหมายเลข 3 (W3) และตำแหน่งถังขยะหมายเลข 4 (W4) จากนั้นทำการทดสอบการเคลื่อนที่จาก H ไปยังตำแหน่งขยะหมายเลข 1 ถึง 4 ได้ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังถังขยะหมายเลขที่กำหนด

ตำแหน่งของถังขยะ	**ระยะทางจาก H ถึง W1 (เซ็นติเมตร)**		**ระยะทางจาก H ถึง W2 (เซ็นติเมตร)**		**ระยะทางจาก H ถึง W3 (เซ็นติเมตร)**		**ระยะทางจาก H ถึง W4 (เซ็นติเมตร)**	
	47.3		31.2		52.3		64.3	
	เริ่มต้น (วินาที)	**สิ้นสุด (วินาที)**	**เริ่มต้น (วินาที)**	**สิ้นสุด (วินาที)**	**เริ่มต้น (วินาที)**	**สิ้นสุด (วินาที)**	**เริ่มต้น (วินาที)**	**สิ้นสุด (วินาที)**
W1	00:00.00	00:13.45	-		-		-	
W2	-		00:00.00	00:11.48	-		-	
W3	-		-		00:00.00	00:14.17	-	
W4	-		-		-		00:00.00	00:14.95

4.2.2 การทดสอบการอ่านค่าน้ำหนัก

ทำการทดสอบการอ่านค่าน้ำหนักของอุปกรณ์รับค่าน้ำหนักในจุดที่ถังขยะวาง 4 หมายเลข ทดสอบกับน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัม 2 กิโลกรัม 3 กิโลกรัม 4 กิโลกรัม และ 5 กิโลกรัม ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าน้ำหนักของอุปรณ์รับค่าน้ำหนักในจุดวางถังขยะหมายเลขที่กำหนด

ถังขยะหมายเลข 1 (กิโลกรัม)	ถังขยะหมายเลข 2 (กิโลกรัม)	ถังขยะหมายเลข 3 (กิโลกรัม)	ถังขยะหมายเลข 4 (กิโลกรัม)
1.04	1.08	1.04	1.06
2.14	2.14	2.14	2.15
3.14	3.17	3.17	3.17
4.22	4.21	4.21	4.21
5.25	5.25	5.25	5.25

4.2.3 การทดสอบการอ่านค่าระดับปริมาณขยะ

ทำการทดสอบการอ่านค่าระดับปริมาณขยะของอุปกรณ์ของถังขยะมีจำนวน 5 ระดับ คือ 25% 50% 75% และ 100% โดยที่ถังขยะมีขนาด 23x34x48 เซ็นติเมตร ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าปริมาณน้ำหนักของอุปรณ์รับค่าน้ำหนักในจุดวางถังขยะหมายเลขที่กำหนด

ปริมาณ (ลิตร)	ถังขยะ หมายเลข 1 (กิโลกรัม)	ถังขยะ หมายเลข 2 (กิโลกรัม)	ถังขยะ หมายเลข 3 (กิโลกรัม)	ถังขยะ หมายเลข 4 (กิโลกรัม)
37.54 (100%)	38.55	38.26	38.04	37.80
28.15 (75%)	25.95	28.76	28.01	28.78
18.77 (50%)	15.12	19.83	16.86	19.46
9.38 (25%)	6.30	8.57	6.51	9.46

การทำงานของระบบ มีส่วนควบคุมการทำงานหลักของระบบด้วย Microtroller ARM Cortex-A72 ควบคุมการทำงานของระบบ ส่วนควบคุมการทำงานหลักจะรับข้อมูลจาก Module ควบคุมการทำงาน รวมถึงส่วนการนำข้อมูลและส่วนนำข้อมูลออก ดังนี้

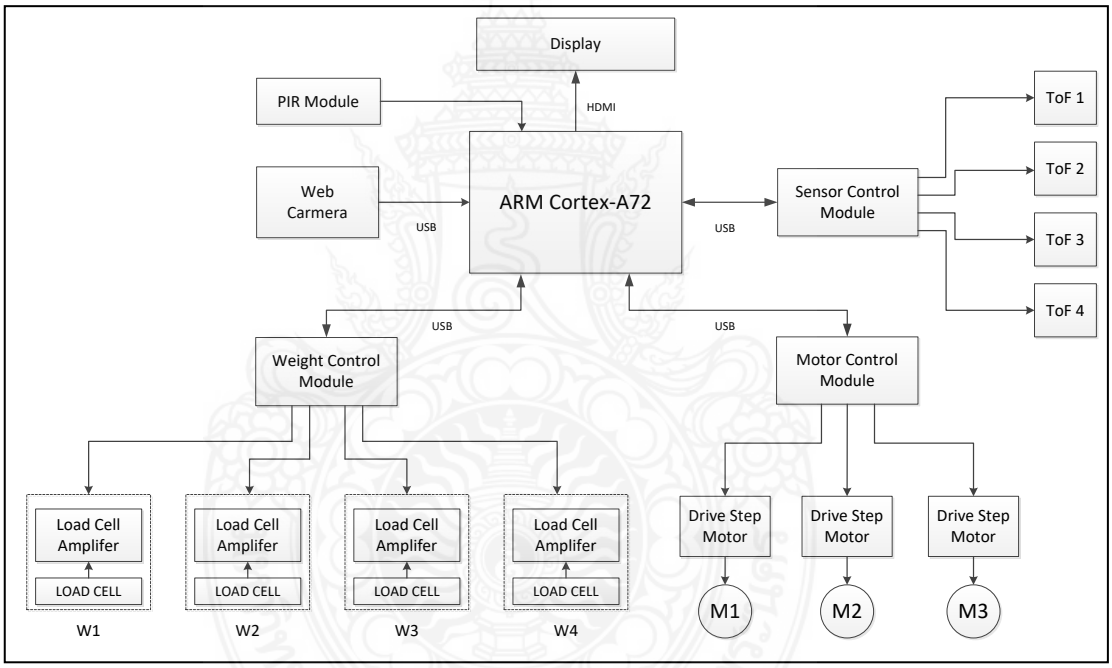
ส่วนการรับข้อมูล PIR ทำหน้าที่ตรวจจับการเลื่อนไหวในระยะที่กำหนด ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ต Digital

ส่วนการรับข้อมูลภาพ Web Carmera ทำหน้าที่รับข้อมูลอยู่ในรูปแบบภาพ เข้าทำการประมวลผลภายในระบบ ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ต Universal Serial Bus (USB)

ส่วนการควบคุม Sensor Control Module ทำหน้าที่จัดการข้อมูลจากเซ็นเซอร์ ToF ทำการวัดค่าระดับของขยะในถังต่างๆ ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ต Universal Serial Bus (USB)

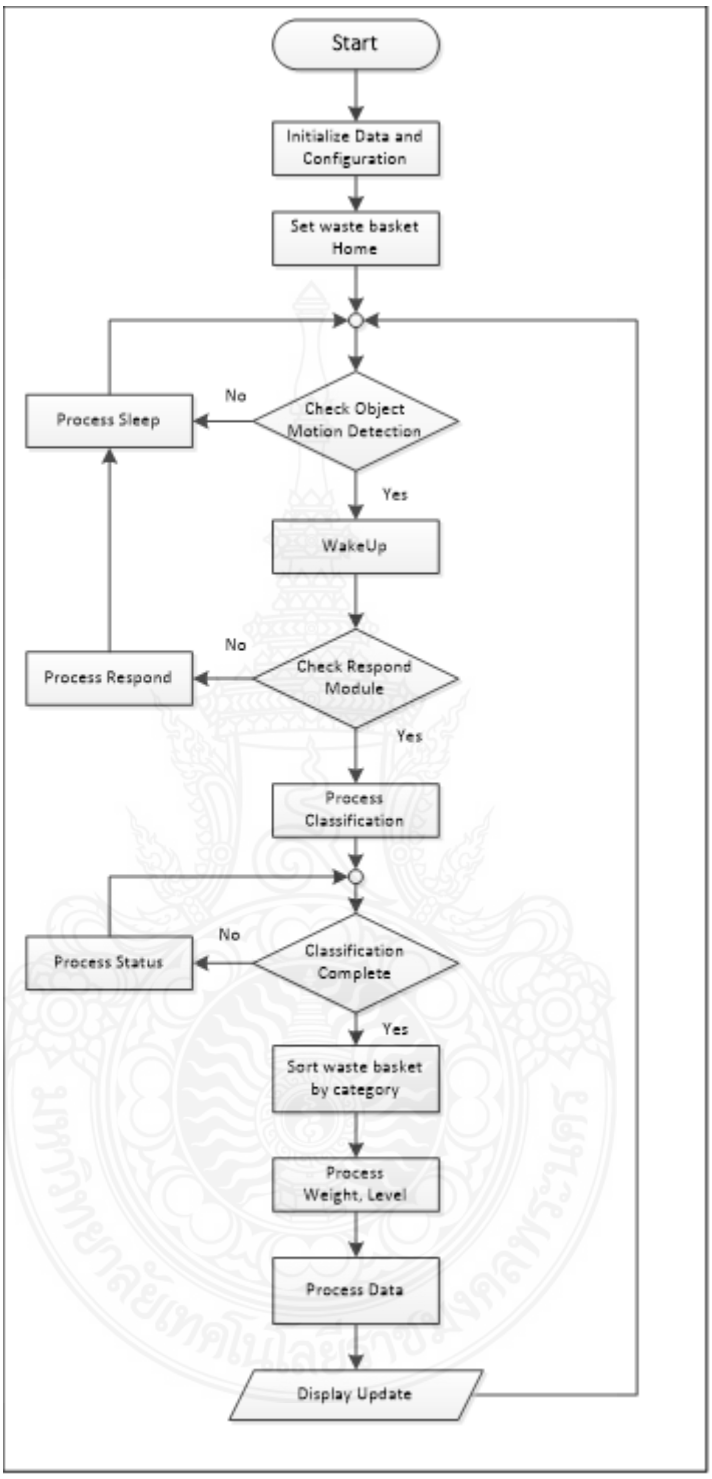
ส่วนการควบคุม Motor Control Module ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของ Step Motor ทั้ง 3 ตัว M1 ถึง M3 มอร์เตอร์ทั้ง 3 ตัวควบคุมการทำการเคลื่อนที่ของถังเก็บขยะไปยังตำแหน่งทั้ง 4 ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ต Universal Serial Bus (USB)

ส่วนการควบคุม Weight Control Module ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของ Load Cell W1 ถึง W4 แต่ละตัวในการวัดค่าน้ำหนัก ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ต Universal Serial Bus (USB)



ภาพที่ 4.14 แผนผังระบบเครื่องต้นแบบ

นอกจากนี้ ส่วนการแสดงผล Display จะทำหน้าที่แสดงผลการทำงานของระบบ เชื่อมต่อข้อมูลผ่านทางพอร์ต High-Definition Multimedia Interface (HDMI)



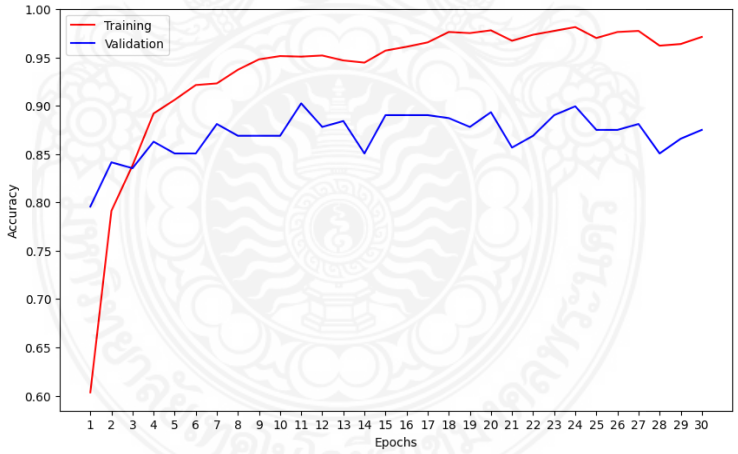
ภาพที่ 4.15 แผนผังการทำงานของระบบเครื่องต้นแบบ

การทำงานของเครื่องต้นแบบจะแสดงดังภาพที่ 4.15 โดยจะเริ่มทำงานจากการกำหนดค่าเริ่มต้น เช่น ส่วนการเชื่อมต่อกับส่วนควบคุมของระบบ ชุดข้อมูลการคัดแยกขยะ จากนั้นทำการ

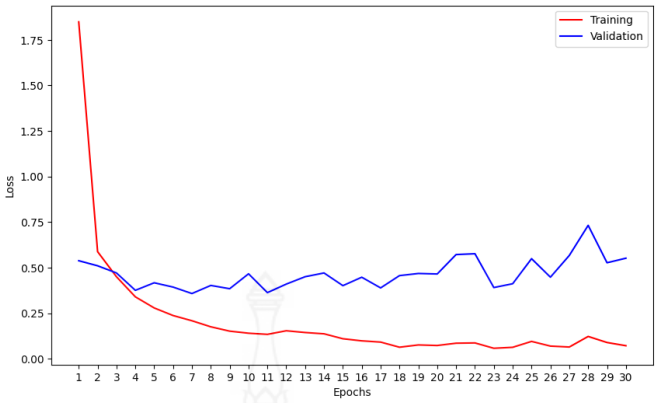
กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของตระกร้าบรรจุขยะที่จุดเริ่มต้น จากนั้นทำการตรวจสอบการเคลื่อนไหวด้านหน้าของตัวเครื่องต้นแบบ หากไม่มีการเคลื่อนไหวในระบบเข้าสู่สถานะพัก แต่ถ้าหากมีการเคลื่อนไหวระบบจะเข้าสู่สถานะพร้อมทำงาน จากนั้นทำการตรวจสอบสถานะของส่วนการควบคุมทั้งหมด ว่าพร้อมทำงานหรือไม่ หากไม่พร้อมจะทำการบันทึกสถานะเพื่อใช้ในการตรวจสอบระบบจากนั้นจะเข้าสู่สถานะพัก ถ้าหากพร้อมทำงานระบบจะทำการประมวลผลภาพจากกล้องนำส่งต่อเข้าในส่วนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำการคัดแยกขยะรีไซเคิล ตามประเภทที่กำหนดไว้ จากนั้นทำการอ่านค่าน้ำหนัก และระดับของขยะในถังแต่ละใบ ทำการประมวลผล และส่งข้อมูลไปยังส่วนแสดงผล แล้วระบบจะย้อนกลับไปเริ่มต้นการตรวจสอบการเคลื่อนไหวใหม่อีกครั้ง

4.3 การทดสอบโมเดล

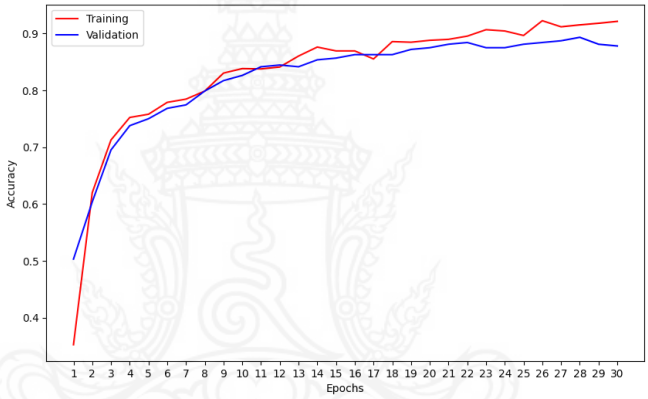
จากการปรับปรุงโครงข่ายประสาทเทียม VGG16 ให้เหมาะสมต่อการคัดแยกขยะรีไซเคิลทำการทดสอบโมเดลที่ปรับปรุงชั้น (Fully-Connected Layers) ให้เป็น 1024 จำนวน 2 ชั้น และชั้น (Output Layers) ให้มีค่าเอาต์พุทจำนวน 6 ค่า ใช้ชื่อโมเดล TransferModel-A และโมเดลที่ปรับปรุงชั้น (Fully-Connected Layers) ให้เป็น 1024 จำนวน 2 ชั้น 512 จำนวน 1 ชั้น และชั้น (Output Layers) ให้มีค่าเอาต์พุทจำนวน 6 ค่า ใช้ชื่อโมเดล TransferModel-B ทำการฝึกฝนเรียนรู้โมเดลทั้ง 2 กับข้อมูลการเรียนรู้ (train) และข้อมูลตรวจสอบความถูกต้อง (validation) ได้ค่า Accuray และค่า Loss ดังภาพที่ 4.16 ถึง ภาพที่ 4.19



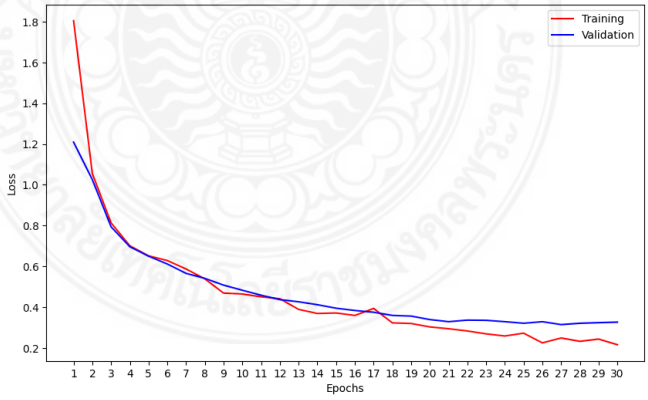
ภาพที่ 4.16 ค่า Accuray โมเดล TransferModel-A



ภาพที่ 4.17 ค่า Loss โมเดล TransferModel-A



ภาพที่ 4.18 ค่า Accuray โมเดล TransferModel-B



ภาพที่ 4.19 ค่า Loss โมเดล TransferModel-B

จากนั้นทำการทดสอบความถูกต้องในการคัดแยกขยะรีไซเคิล กับข้อมูลการทดสอบ (test) ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่โมเดลไม่เคยผ่านการเรียนรู้ ผลทดสอบแสดงผลลัพธ์ได้ดังตารางที่ 4.4 ถึง ตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.4 การทดสอบโมเดลการคัดแยกขยะรีไซลเคิลแบบกล่องกระดาษ (Cardborad)

Model	Accuracy (%)	Precision	Recall	f1-score
TransferModel-A	86.31	0.93	0.94	0.94
TransferModel-B	89.33	0.91	0.96	0.93

ตารางที่ 4.5 การทดสอบโมเดลการคัดแยกขยะรีไซลเคิลแบบแก้ว (Glass)

Model	Accuracy (%)	Precision	Recall	f1-score
TransferModel-A	86.31	0.88	0.79	0.83
TransferModel-B	89.33	0.95	0.86	0.92

ตารางที่ 4.6 การทดสอบโมเดลการคัดแยกขยะรีไซลเคิลแบบโลหะ (Metal)

Model	Accuracy (%)	Precision	Recall	f1-score
TransferModel-A	86.31	0.84	0.91	0.87
TransferModel-B	89.33	0.86	0.91	0.89

ตารางที่ 4.7 การทดสอบโมเดลการคัดแยกขยะรีไซลเคิลแบบกระดาษ (Paper)

Model	Accuracy (%)	Precision	Recall	f1-score
TransferModel-A	86.31	0.96	0.87	0.91
TransferModel-B	89.33	0.94	0.90	0.92

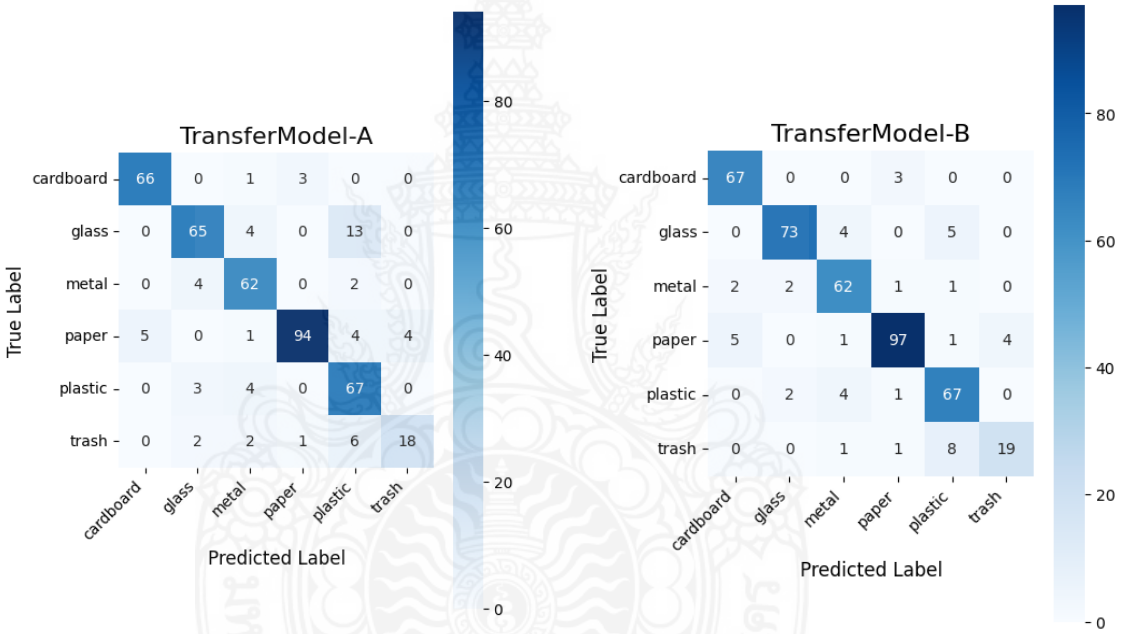
ตารางที่ 4.8 การทดสอบโมเดลการคัดแยกขยะรีไซลเคิลแบบพลาสติก (Pastic)

Model	Accuracy (%)	Precision	Recall	f1-score
TransferModel-A	86.31	0.73	0.91	0.81
TransferModel-B	89.33	0.82	0.91	0.86

ตารางที่ 4.9 การทดสอบโมเดลการคัดแยกขยะรีไซลเคิลแบบเศษขยะ (Trash)

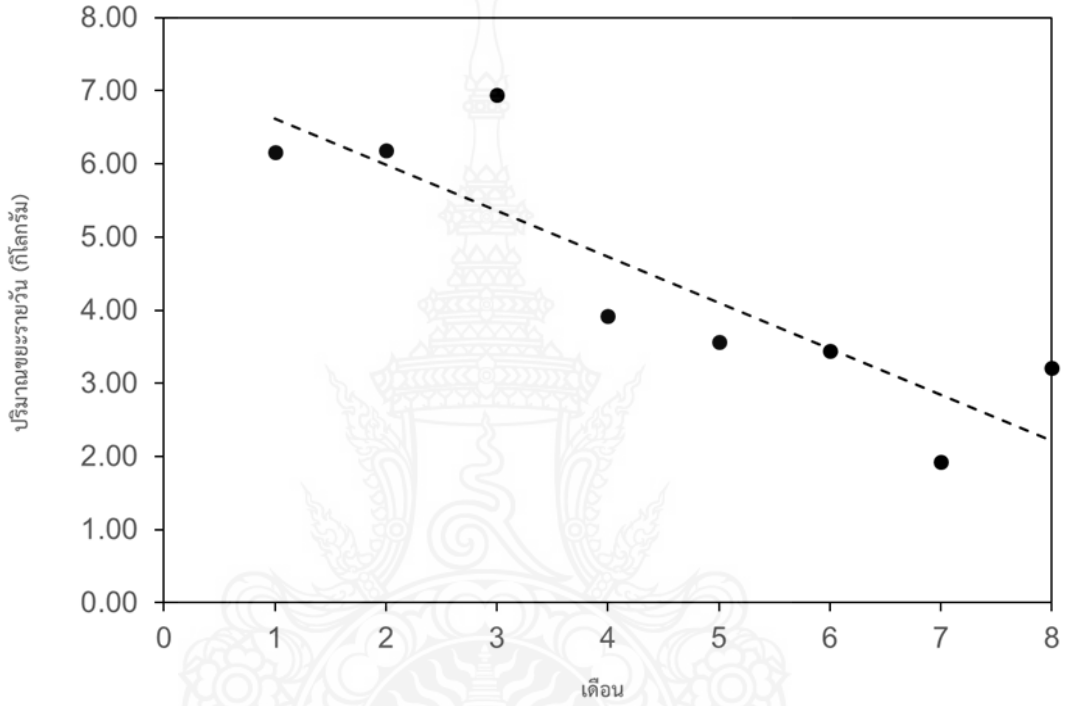
Model	Accuracy (%)	Precision	Recall	f1-score
TransferModel-A	86.31	0.82	0.62	0.71
TransferModel-B	89.33	0.83	0.66	0.73

จากการให้โมเดลทั้ง 2 โมเดลทำการทดสอบการคัดแยกข้อมูลขยะรีไซลเคิล ผลการทดสอบการคัดแยกข้อมูลแสดงดังภาพ Confusion matrix ภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.20 Confusion matrix โมเดล TransferModel-A และ TransferModel-B

ศึกษาข้อมูลปริมาณขยะแยกตามรายเดือน จากบริเวณชั้น 9 ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ดังแสดงในภาพที่ 4.21 (n=8) พบว่า ปริมาณขยะที่เกิดขึ้น ณ บริเวณชั้น 9 มีปริมาณขยะที่ลดลง เนื่องจากมีการคัดแยกขยะตั้งแต่ต้นทาง ซึ่งปริมาณขยะที่เกิดขึ้นบริเวณชั้น 9 มีปริมาณเฉลี่ยรายเดือนอยู่ในช่วง 1.92 ถึง 6.94 กิโลกรัมต่อเดือน คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.42±1.78 กิโลกรัมต่อเดือน



ภาพที่ 4.21 ข้อมูลปริมาณขยะรายเดือนที่เกิดขึ้นบริเวณชั้น 9 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลโดยสามารถสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาเครื่องต้นแบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับคัดแยกขยะรีไซเคิลอย่างยั่งยืนด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน ได้นำโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น มาทำการพัฒนาฝึกการเรียนรู้ด้วยชุดข้อมูลภาพขยะแบบรีไซลเคิล โดยทำการปรับปรุงโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความแตกต่างกันทั้ง 2 โครงสร้าง และทำการทดสอบกับชุดข้อมูลทดสอบ พบว่าโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมที่ปรับปรุงขึ้นทั้ง 2 แบบ คัดแยกข้อมูลขยะรีไซลเคิลได้ดี โดยโมเดลดีที่สุด ทำนายได้ถูกต้อง ร้อยละ 89.33 แสดงว่าโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมที่ปรับปรุงขึ้น สามารถคัดแยกขยะรีไซลเคิลได้ตามที่กำหนด และการนำเซนเซอร์ตรวจวัดค่าน้ำหนัก ค่าปริมาณขยะในแต่ละถังที่บรรจุ อำนวยความสะดวกในจัดการขยะแบบรีไซลเคิล โดยข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้ในการพิจารณาวางแผนการบริหารการจัดเก็บขยะแบบรีไซลเคิลของหน่วยงานต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในอนาคตอาจปรับปรุงขนาดของถังขยะให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และมีรูปร่างลักษณะที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของสำนักงานแต่ละแห่ง

5.2.2 หากต้องการให้โครงข่ายประสาทเทียมมีความรวดเร็วในการประมวลผล อาจจำเป็นที่จะต้องใช้หน่วยประมวล Edge TPU ที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อให้การทำงานได้ผลลัพธ์ที่เร็วขึ้น

บรรณานุกรม

[1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, “แผนการจัดการกากอุตสาหกรรม พ.ศ.2558 – พ.ศ. 2562,” [ออนไลน์]. เว็บไซต์: http://webintra.diw.go.th/iwmb/form/แผนการจัดการกาก.pdf. (เข้าถึงเมื่อ: 5 มกราคม 2566).

[2] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, “แผนการจัดการมลพิษ พ.ศ. 2566 – 2570,” [ออนไลน์]. เว็บไซต์: https://www.pcd.go.th/strategy/แผนจัดการมลพิษ-พ-ศ-2566-2570.pdf. (เข้าถึงเมื่อ: 10 มกราคม 2566).

[3] Abien Fred Agarap, “Deep Learning using Rectified Linear Units (ReLU) ,” [Online]. https://arxiv.org/abs/1803.08375. (Accessed: Nov, 15, 2022).

[4] Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton, “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks,” *Communications of the ACM* , vol 60, no. 6, pp. 84–90, June, 2017, https://doi.org/10.1145/3065386

[5] B. Costa et al."Artificial Intelligence in Automated Sorting in Trash Recycling", *in Anais do XV Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional*, São Paulo, 2018, pp. 198-205, doi: https://doi.org/10.5753/eniac.2018.4416.

[6] Chigozie Enyinna and et al., “Activation Functions: Comparison of Trends in Practice and Research for Deep Learning,” [Online]. https://browse.arxiv.org/pdf/1811.03378.pdf. (Accessed: Nov, 14, 2022).

[7] Datagen, “Understanding VGG16: Concepts, Architecture, and Performance,” [Online]. https://datagen.tech/guides/computer-vision/vgg16/. (Accessed: Nov, 12, 2022).

[8] Hossein Gholamalinezhad, and Hossein Khosravi, “Pooling Methods in Deep Neural Networks, a Review ,” [Online]. https://arxiv.org/abs/2009.07485. (Accessed: Nov, 14, 2022).

[9] H. Wang, "Garbage Recognition and Classification System Based on Convolutional Neural Network VGG16," *2020 3rd International Conference on Advanced Electronic Materials, Computers and Software Engineering (AEMCSE)*, Shenzhen, China, 2020, pp. 252-255, doi: 10.1109/AEMCSE50948.2020.00061.

[10] International Business Machines, “What are convolutional neural networks? ,” IBM [Online]. https://www.ibm.com/topics/convolutional-neural-networks. (Accessed: Nov, 14, 2022).

[11] J. Nagi and et al., "Max-pooling convolutional neural networks for vision-based hand gesture recognition," 2011 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA), Kuala Lumpur, Malaysia, 2011, pp. 342-347, doi: 10.1109/ICSIPA.2011.6144164.

[12] M. Tim Jones, “Transfer learning for deep learning,” [Online]. https://developer.ibm.com/articles/transfer-learning-for-deep-learning/. (Accessed: Dec, 1, 2022).

[13] Mindy Yang and Gary Thung, “Classification of Trash for Recyclability Status,” [Online]. https://cs229.stanford.edu/proj2016/report/ThungYang-ClassificationOfTrashForRecyclabilityStatus-report.pdf. (Accessed: Nov, 18, 2022).

[14] S.H. Shabbeer Basha, et al., “Impact of Fully Connected Layers on Performance of Convolutional Neural Networks for Image Classification,” [Online]. https://arxiv.org/abs/1902.02771. (Accessed: Nov, 14, 2022).

[15] R.S.Sandhya Devi and et al., “Waste Segregation using Deep Learning Algorithm ,” *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE).* Vol 8, no. 2, pp. 401-403, Dec, 2018. (Accessed: Nov, 16, 2022). [Online]. https://www.ijitee.org/wp-content/uploads/papers/v8i2s/BS2676128218.pdf.

[16] Taye, Mohammad Mustafa. 2023. “Theoretical Understanding of Convolutional Neural Network: Concepts, Architectures, Applications, Future Directions,” Computation 11, no. 3: 52. https://doi.org/10.3390/computation11030052

[17] Youpeng Yu, and Ryan Grammenos, “Towards artificially intelligent recycling Improving image processing for waste classification,” [Online]. https://arxiv.org/abs/2108.06274. (Accessed: Nov, 16, 2022).

[18] Zhuang Liu, et al., “A ConvNet for the 2020s,” [Online]. https://arxiv.org/abs/2201.03545. (Accessed: Nov, 13, 2022).

ไม่มีเนื้อหาจากต้นฉบับ

ประวัติผู้ทำวิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล

(ภาษาไทย) นาย ศิริชัย สาระมนัส

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Sirichai Saramanus

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3. หน่วยงานและที่อยู่

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โทรศัพท์ 0 2836 3000

E-mail : sirichai.s@rmutp.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

คอ.บ.(วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พ.ศ. 2540
วท.ม.(เทคโนโลยีสารสนเทศ)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2549

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- Cluster Analysis
- Computer System

- Computer Network
- Data Communication
- Computer Organization and Architecture
- Microcomputer System and Interfacing
- Internet and Intranet System

ผู้ร่วมวิจัย (1)

1. ชื่อ-นามสกุล

(ภาษาไทย) ผศ.ดร. วรินธร บุญยะโรจน์

(ภาษาอังกฤษ) Asst.Prof.Dr. VARINTHORN BOONYAROJ

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3. หน่วยงานและที่อยู่

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โทรศัพท์ 0 2836 3000 ต่อ 4189

E-mail : varinthorn.b@rmutp.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

วท.บ.(อนามัยสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยบูรพา	พ.ศ. 2546
วศ.ม.(วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	พ.ศ. 2549
วท.ด.(สหสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	พ.ศ. 2555

5. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

Waste Utilization

Land application of solid waste landfill leachate

Landfill leachate treatment

Membrane bioreactor

Wastewater treatment system

Micro-pollutants removal

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ งานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่/ตีพิมพ์

<u>โครงการวิจัย</u>

1) โครงการ การประเมินปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

แหล่งทุน: งบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

2) โครงการ การผลิตน้ำมันหอมระเหยไล่แมลงจากใบยาสูบ

แหล่งทุน: งบประมาณกลางมหาวิทยาลัยฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

3) โครงการ การผลิตกระดาษทำมือจากหญ้าชันกาด

แหล่งทุน: งบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

4) โครงการ การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เศษใบยางพาราเพื่อผลิตต้นแบบแผ่นมวลเบา

แหล่งทุน: งบประมาณรายจ่าย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

1. **Boonyaroj V.**, Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Theepharaksapan S., and Yamamoto, K. (2012) “Toxic organic micro-pollutants removal mechanisms in long-term operated membrane bioreactor treating municipal solid waste leachate”, Bioresource technology 113, 174-180.
2. **Boonyaroj, V.**, Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., and Yamamoto, K. (2012) “Removal of organic micro-pollutants from solid waste landfill leachate in membrane bioreactor operated without excess sludge discharge”, Water science and technology 66(8), 1774-80.
3. **Varinthorn Boonyaroj**, Pattanasorn Peansawang, Nonthavorn Sonchan, Atcharaporn Sukrasorn (2015) “Environmental survey on physicochemical parameters in surface water: a case of Klong Prem Prachakorn, Thailand”, Applied Mechanics and Materials 804, 231-234.
4. **Varinthorn Boonyaroj**, Jiraporn Jinasam, Warangkana Nachailan (2015) “The removal mechanisms of organic compounds in household wastewater by soil sediment”, Applied Mechanics and Materials 804, 263-266.
5. **Varinthorn Boonyaroj, Chart Chiemchaisri, Wilai Chiemchaisri, Kazuo Yamamoto** (2018) “Enhanced biodegradation of phenolic compounds in landfill leachate by enriched nitrifying membrane bioreactor sludge”, Journal of Hazardous Material. (http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.06.064)

การนำเสนอผลงานวิชาการ

1. **Boonyaroj, V.,** Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Theepharaksapan S., and Yamamoto, K. (2011) Removal of organic micro-pollutants and bio-toxicity from municipal solid waste landfill leachate in two-stage membrane bioreactor. Proceedings of the 9th International Symposium on Southeast Asian Water Environment, 1-3 December, 2011, Bangkok, Thailand. **(Received Asian Young Professional on Water Research Award).**

2. **Boonyaroj, V.,** Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Theepharaksapan and Yamamoto, K. (2012) Removal of organic micro-pollutants and bio-toxicity from municipal solid waste landfill leachate in two-stage membrane bioreactor. Proceedings of the 10th International Symposium on Southeast Asian Water Environment, 8-10 November, 2012, Hanoi, Vietnam. **(Received Best Poster Award)**

3. **Boonyaroj, V.,** Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W. and Yamamoto, K. (2012) Evaluation of bio-toxicity removal in two-stage membrane bioreactor for landfill leachate treatment. Proceedings of the 10th International Conference on Membrane Science and Technology 2012: Membrane for Sustainable Energy, August 22-24, 2012, Bangkok, Thailand.

4. **Boonyaroj, V.,** Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W. and Yamamoto, K. (2011) Removal of phenolic and phthalic acid esters in two-stage membrane bioreactor treating municipal solid waste landfill leachate. Proceedings of the 1st EnvironmentAsia International Conference on "Environmental Supporting in Food and Energy Security: Crisis and Opportunity", 22-25 March, 2011, Bangkok, Thailand.

ผู้ร่วมวิจัย (2)

1. ชื่อ-นามสกุล

(ภาษาไทย) นาย จิระศักดิ์ ธาระจักร์

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Jirasak Tharajak

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3. หน่วยงานและที่อยู่

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โทรศัพท์ 0 2836 3000

E-mail : jirasak.t@rmutp.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

วท.บ.(ฟิสิกส์)	มหาวิทยาลัยนเรศวร	พ.ศ. 2544
วศ.ม.(เทคโนโลยีวัสดุ)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	พ.ศ. 2546
ปร.ด.(เทคโนโลยีวัสดุ)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	พ.ศ. 2555

5. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

วัสดุศาสตร์

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ งานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่/ตีพิมพ์

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

1. **J. Tharajak**, T. Palathai, N. Sombatsompop, “Recommendations for h-BN loading and service temperature to achieve low friction coefficient and wear rate for thermal-sprayed PEEK coatings”, Surface and Coatings Technology, 321 (2017), pp. 477-483

2. **J. Tharajak**, T. Palathai, N. Sombatsompop, “The effects of magnetic field-enhanced thermal spraying on the friction and wear characteristics of poly(ether-ether-ketone) coatings”, Wear, Vol. 372-373 (2017), pp. 68-75.

3. **J. Tharajak**, T. Palathai, N. Sombatsompop, “Morphological and physical properties and friction/wear behavior of h-BN filled PEEK composite coatings”, Surface and Coatings Technology, 273 (1) (2015), pp. 20-29.

4. N. Sanpo, **J. Tharajak**, Y. Li, C.C. Berndt, C. Wen, J. Wang, “Biocompatibility of transition metal-substituted cobalt ferrite nanoparticles”, Journal of Nanoparticle Research, 16 (7) (2014), no. 2510, pp. 1-13.

5. **J. Tharajak**, T. Palathai, N. Sombatsompop, “Hardness, adhesion index and microstructure of PEEK coating on Al or Fe substrate by LVOF flame spray”, Materials Science and Engineering A, 485 (1-2) (2008), pp. 66-73..