

การแยกประเภทขวดพลาสติกโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึก

DEEP LEARNING FOR PLASTIC BOTTLE SEGREGATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

# การแยกประเภทขวดพลาสติกโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึก

นายจักรพงษ์	อาญา	59010185
นายภาธร	แจวตระกูล	59011059
ผศ. ดร.ชุตินเมษฐ์	ศรีนิลทา	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2562		

## บทคัดย่อ

ปัญหาเรื่องของขยะนั้นถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญกับการใช้ชีวิตอยู่ของสังคมเราอย่างมาก และคงเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาอีกมาก ขวดพลาสติกถือเป็นสิ่งหนึ่งที่ผู้คนใช้บริโภคเป็นจำนวนมาก ด้วยคุณสมบัติของพลาสติกที่ทนทานและสามารถขึ้นรูปได้ง่าย จึงทำให้ขยะประเภทพลาสติกนั้นใช้เวลาในการย่อยสลายนาน และ ใช้พื้นที่ในการกักเก็บขยะเหล่านี้สูง เพราะฉะนั้นการรีไซเคิลคือปัจจัยที่ดีที่สุด แต่ก็ไม่สามารถทำได้โดยง่ายเพราะขวดพลาสติกนั้นมีการผลิตโดยใช้พลาสติกแต่ละชนิดที่ต่างกันออกไป ทำให้การรีไซเคิลเป็นไปได้โดยยากเพราะไม่สามารถรีไซเคิลขวดพลาสติกเหล่านี้รวมกันได้ เนื่องจากพลาสติกบางประเภทเมื่อรีไซเคิลรวมกันจะทำให้เกิดมลพิษ และผลิตภัณฑ์หลังจากกระบวนการจะไม่สามารถนำมาใช้งานได้ หากต้องการแยกประเภทขวดพลาสติกด้วยกำลังของคนนั้นก็ต้องใช้เวลานานและความถูกต้องที่สูงจึงมีเพียงปริมาณน้อยที่ได้รีไซเคิล โดยโครงการชิ้นนี้ได้นำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการระบุประเภทของขวดพลาสติกโดยอัตโนมัติ ด้วยระบบที่พัฒนามานี้จะช่วยอำนวยความสะดวกในการคัดแยก ลดระยะเวลาในการคัดแยกและส่งเสริมธุรกิจคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิล

# DEEP LEARNING FOR PLASTIC BOTTLE

## SEGREGATION

Mr. Jukkapong Arya 59010185

Mr. Pathorn Jaewtrakul 59011059

Ms. Chutimet Srinilta Advisor

Academic Year 2019

### ABSTRACT

The waste problem directly effects our way of living and still causing so many problems. Everyone uses plastic bottles Plastic is strong and durable; therefore, it takes a long time to degrade. Landfill is piled up very quickly. Most plastic bottles are recyclable. They must be sorted according to their types first. Plastics of different types cannot be recycled together. Sorting plastic bottles before recycling is very important. Doing it with manually is not efficient and time consuming. This project proposes an automatic plastic bottles classification using deep learning

The system is expected to improve the correctness of plastic bottles classification, reduce time, and facilitate the waste segregation business for recycling.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาของ ผศ.ดร.ชุตินเมษณ์ ศรีนิลทา อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย

ขอขอบคุณอาจารย์ และบุคลากรต่าง ๆ ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่ให้คำสั่งสอน ความรู้ และคำแนะนำต่าง ๆ มาโดยตลอด รวมถึงเปิดโอกาสให้ทำโครงการ พร้อมทั้งอำนวยความสะดวกด้านสถานที่และอุปกรณ์ ส่งผลให้การทำงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ รวมทั้งการให้กำลังใจและความร่วมมือในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณบุพการี และครอบครัว ที่คอยเลี้ยงดูอบรมสั่งสอน สนับสนุนและให้ความสำคัญกับการศึกษา พร้อมทั้งช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

จักรพงษ์ อาญา  
ภาธร แจวตระกูล

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	V
สารบัญรูป .....	VI
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ .....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ .....	2
1.5 ข้อยกเว้นของโครงการ .....	3
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning).....	5
2.2 โครงข่ายประสาทเทียม .....	7
2.3 โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน.....	8
2.4 เทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนา .....	12
2.5 ประเภทของพลาสติก และการรีไซเคิล .....	14
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนา .....	21
3.1 ความต้องการของระบบ .....	21

3.2 ภาพรวมของระบบ .....	21
3.3 รายละเอียดการทำงานของระบบ.....	22
3.4 การออกแบบประเภทของข้อมูล.....	23
3.5 การจัดเก็บชุดข้อมูล .....	26
3.6 การออกแบบการทดลอง .....	27
3.6 แอปพลิเคชันสำหรับติดต่อผู้ใช้งาน .....	29
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	30
4.1 การสร้างโมเดลสำหรับการทดลอง .....	30
4.2 การทดลองแบบที่ 1 .....	30
4.3 การทดลองแบบที่ 2 .....	48
บทที่ 5 บทสรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	51
5.1 สรุปผล .....	51
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข .....	51
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ .....	52
บรรณานุกรม.....	53

# สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน.....	3
2.1 ชนิดของพลาสติก.....	16
3.1 ชนิดของขวดพลาสติกและตัวอย่าง .....	25



# สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 การทำงานของการเรียนรู้ของเครื่อง .....	5
2.2 โครงข่ายประสาท.....	7
2.3 การดึงคุณลักษณะของภาพ ของโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน .....	8
2.4 ตัวอย่างของตัวกรอง 3x3 พิกเซล.....	9
2.5 ตัวอย่างผลลัพธ์จากวัตถุโดยใช้ตัวกรองขนาด 3x3 พิกเซล .....	9
2.6 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการกำหนด Stride เท่ากับ 1 .....	10
2.7 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการกำหนด Stride เท่ากับ 2 .....	10
2.8 ตัวอย่างการทำ max pooling .....	11
2.9 สัญลักษณ์ OpenCV .....	12
2.10 สัญลักษณ์ TensorFlow .....	12
2.11 สัญลักษณ์ Keras .....	13
2.12 สัญลักษณ์ Google Colaboratory .....	13
2.13 สัญลักษณ์รหัสพลาสติก .....	14
2.14 ตัวอย่างพลาสติก .....	14
2.15 Infrared Spectrum .....	18
2.16 ผลลัพธ์ของวัดค่าของ Spectrum.....	18
2.17 ผลลัพธ์แยกประเภท .....	19
2.18 สมการ RecycleNet .....	19
2.19 Skip connection .....	20
2.20 ผลการทดลอง RecycleNet .....	20
3.1 ภาพจำลองของระบบที่ใช้ร่วมกับเครื่อง.....	21
3.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบ .....	22
3.3 ประเภทของขวดพลาสติกที่ใช้ในระบบ.....	23
3.4 ตัวอย่างรูปถ่ายที่เก็บสำหรับชุดข้อมูล .....	26

3.5 ตัวอย่างรูปที่เก็บจากอินเทอร์เน็ต.....	27
3.6 รูปแบบการทดสอบที่ 1 .....	27
3.7 รูปแบบการทดสอบที่ 2 .....	28
3.8 แอปพลิเคชันสำหรับติดต่อกับผู้ใช้งาน .....	29
4.1 ผลการทดลองครั้งที่ 1.....	31
4.2 ผลการทดลองครั้งที่ 2.....	33
4.3 ผลการทดลองครั้งที่ 3.....	35
4.4 ผลการทดลองครั้งที่ 4 โมเดล InceptionResNetV2 .....	37
4.5 ผลการทดลองครั้งที่ 4 โมเดล Xception .....	38
4.6 ผลการทดลองครั้งที่ 5 โมเดล InceptionV3 .....	40
4.7 ผลการทดลองครั้งที่ 5 โมเดล InceptionResNetV2 .....	41
4.8 ผลการทดลองครั้งที่ 5 โมเดล Xception .....	42
4.9 ผลการทดลองครั้งที่ 6 โมเดล InceptionV3 .....	44
4.10 ผลการทดลองครั้งที่ 6 โมเดล InceptionResNetV2 .....	45
4.11 ผลการทดลองครั้งที่ 6 โมเดล Xception .....	46
4.12 ผลการทดลองแยกขวด PET และ PVC .....	48
4.13 ผลการทดสอบแยกขวด HDPE และ PP .....	49

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันนี้เรื่องของขยะนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญมีผลต่อการใช้ชีวิต สังคม และสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก ไม่เพียงแต่เป็นปัญหาภายในประเทศแต่เป็นถึงระดับโลก โดยที่ทุก ๆ วันนั้นจะเกิดขยะมากมายถึง 75,000 ตัน และมีแนวโน้มที่จะมีอัตราเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปีทำให้เกิดปัญหาขึ้นมาหลายอย่าง เช่น มลพิษในพื้นดินและอากาศ ปัญหาด้านการพื้นที่การจัดเก็บ รวมถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ

หากกล่าวถึงขยะที่ส่งผลกระทบและเป็นปัญหามากที่สุด คงไม่พ้นขยะประเภทขวดพลาสติกที่มีจำนวนมากเพราะมีการใช้ขวดพลาสติกในการบรรจุเครื่องดื่ม สารเคมี และผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต่อการใช้ชีวิตของมนุษย์ ด้วยชนิดของพลาสติกที่สังเคราะห์ขึ้นมาจึงทำให้ย่อยสลายได้ยากตามธรรมชาติ และการที่ขวดพลาสติกถูกออกแบบมาให้มีรูปทรงในการบรรจุของเหลวให้ได้ปริมาณมากจึงทำให้ขยะชนิดนี้กินขนาดของพื้นที่ค่อนข้างมาก

เนื่องจากปัญหาขยะที่มากมายเหล่านี้ จึงได้มีการคิดค้นวิธีเพื่อจัดการปัญหานี้ ด้วยแนวคิดที่จะนำขยะนั้นกลับมาทำให้เกิดประโยชน์ โดยการนำกลับมาใช้ใหม่ หนึ่งในวิธีที่เป็นที่นิยมและมีประสิทธิภาพ นั่นคือการรีไซเคิลขยะต่าง ๆ ให้เกิดสิ่งของที่เรานำกลับมาใช้ได้ แต่การกระทำเหล่านี้ล้วนต้องใช้เวลาจำนวนมาก และกำลังคนอย่างมากเพราะในการจะทำการรีไซเคิลนั้นจะต้องทำการคัดแยกขยะกับจำนวนของปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นทุกวัน

โครงการนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อพัฒนา ระบบช่วยแยกประเภทขยะของขวดพลาสติก โดยใช้เทคโนโลยี Deep Learning ที่มีความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เพื่อเป็นเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกในการคัดแยกขยะพลาสติกประเภทขวด โดยที่มีแนวคิดในการทำโครงการดังนี้

- 1) ลดภาระการทำงานของบุคลากรแยกประเภทขยะ
- 2) แก้ปัญหาของการปนเปื้อนของสารเคมีในขบวนการการรีไซเคิล
- 3) ส่งเสริมธุรกิจการคัดแยกประเภทขยะ

โดยสรุปจากแนวคิดดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น โครงการนี้จะพัฒนาระบบ การแยกขยะประเภทขวดพลาสติกโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกที่จะมุ่งเน้นตอบสนองปัญหาของธุรกิจการแยกขยะ ที่มีปัญหาด้านการขาดแคลนทรัพยากรมนุษย์ และป้องกันการผิดพลาดของการคัดแยกขยะ ที่เป็นต้นเหตุของการเกิดมลพิษ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) พัฒนาระบบการแยกประเภทขยะเพื่อลดภาระของธุรกิจแยกขยะ
- 2) เพื่อศึกษาการทำงานของระบบที่ใช้ Deep Learning
- 3) เพื่อศึกษาวิธีการใช้เทคนิค Classification
- 4) เพื่อศึกษาการทำงานของกระบวนการ Image Processing

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ระบบที่สามารถนำมาคัดแยกขยะประเภทขวดพลาสติกได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน
- 2) ระบบที่ช่วยลดความผิดพลาดของมนุษย์ในการระบุประเภทขวดพลาสติก
- 3) ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และภัยที่เกิดจากทิ้งขยะ
- 4) ระบบที่จะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการรีไซเคิล

## 1.4 ขอบเขตของโครงการ

ระบบแยกประเภทขวดพลาสติกนั้นจะทำการประมวลผลข้อมูลที่ถูกส่งมาจาก กล้องที่ถ่ายแบบ Real-Time แล้วจึงนำมาวิเคราะห์แยกประเภทของขวดพลาสติก โดยที่ประเภทของขวดพลาสติก จะถูกแยกดังนี้

### 1.4.1 ชนิดของขวดพลาสติก

- 1) PET หรือ PETE (Polyethylene Terephthalate)
- 2) HDPE (High Density Polyethylene)
- 3) PVC (Polyvinyl Chloride)
- 4) PP (Polypropylene)
- 5) Opaque (พลาสติกทึบสีทึบแสง)

ทั้งนี้ ขวดที่มีฉลากจะถูกแยกออกมาก่อนเนื่องจากพลาสติกที่ใช้ทำตัวฉลาก มักจะทำจากพลาสติกคนละชนิดกับตัวขวดจึงทำให้ไม่สามารถทำให้รีไซเคิลร่วมกันได้

## 1.5 ข้อจำกัดของโครงการ

- 1) ระบบจะสามารถระบุประเภทขวดพลาสติกได้ที่ละขวดเท่านั้น
- 2) ขวดพลาสติกที่ใส่เข้ามาจะต้องมีสภาพที่สมบูรณ์ ไม่ขาดหายบางส่วน
- 3) ขวดพลาสติกที่ใส่เข้ามาจะต้องเป็นขวดเปล่าที่ไม่มีการบรรจุสิ่งใดเอาไว้
- 4) ขวดพลาสติกที่ความเสียหาย จะทำความแม่นยำต่ำลง

## 1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

หัวข้อกิจกรรม	เดือน									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ค้นหาหัวข้อที่สนใจ และปรึกษาหัวข้อ คัดกล่าวกับอาจารย์										
2. ศึกษาเทคโนโลยีที่ใช้พัฒนา										
2.1 ศึกษาวิธีการใช้งาน ระบบปฏิบัติการ										
2.2 ทดสอบการติดตั้ง ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้ในการพัฒนา										
3. ออกแบบ										
3.1 ออกแบบประเภทชุด ข้อมูล										
3.2 ออกแบบโครงสร้าง ระบบ										
3.3 ออกแบบวิธีการเก็บ ข้อมูล										
3.4 ออกแบบรูปแบบ เครื่องที่จะนำระบบ ไปใช้										

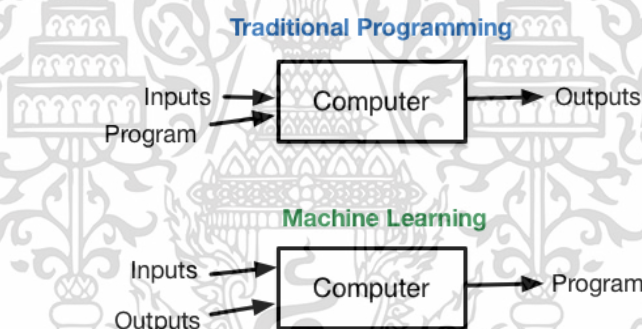


## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)

การเรียนรู้ของเครื่อง เป็นสาขาหนึ่งของวิชาปัญญาประดิษฐ์ เกี่ยวข้องกับการศึกษาการสร้างอัลกอริทึมที่สามารถเรียนรู้และ ทำนายข้อมูลได้ เพื่อใช้ในการจำแนกหรือแจกแจงข้อมูลที่มีปริมาณมาก และรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยการทำงานของเครื่องเรียนรู้ของเครื่องนั้น จะนำข้อมูลที่ต้องการมาวิเคราะห์ เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลนั้น ๆ และสร้างเป็น โมเดลเพื่อนำไปใช้งานต่อไป ซึ่งการเรียนรู้ของเครื่องจะสามารถเรียนรู้ได้เองโดยปราศจากการป้อนคำสั่งของโปรแกรมเมอร์ กล่าวคือ การเขียนโปรแกรมทั่วไป โปรแกรมเมอร์จะต้องใส่ข้อมูล และกระบวนการทำงานกับข้อมูลเหล่านั้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมา แต่การเรียนรู้ของเครื่องนั้นจะต้องใส่ข้อมูล และผลลัพธ์เพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณหาความสัมพันธ์จากข้อมูลนั้นออกมา



รูป 2.1 การทำงานของการเรียนรู้ของเครื่อง

#### 2.1.1 ประเภทของการเรียนรู้ของเครื่อง

การเรียนรู้ของเครื่องสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ โดยจำแนกตามหน้าที่และขอบเขตของงานได้ดังนี้

##### 2.1.1.1 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน

การเรียนรู้ประเภทนี้ ข้อมูลที่นำมาใช้เพื่อสร้างโมเดล จำเป็นต้องจำแนกประเภทของข้อมูลไว้แล้ว กล่าวคือจะต้องสอนให้โมเดลรู้จักข้อมูลตัวอย่างก่อนจะนำไปใช้งานจริง ในขั้นตอนการฝึกสอน โปรแกรมจะจดจำข้อมูลว่าข้อมูลลักษณะใด จะถูกจัดเป็นข้อมูลประเภทใด

### 2.1.1.2 การเรียนรู้ด้วยตนเอง

การเรียนรู้ประเภทนี้ข้อมูลที่น่ามาใช้เพื่อสร้างโมเดล จะไม่ถูกจำแนกประเภทมาก่อนตั้งแต่แรก โปรแกรมจะไม่สามารถรับรู้ได้ว่าข้อมูลที่รับมาคือสิ่งใด หรือ ผลลัพธ์ที่ผ่านการวิเคราะห์ออกมาจะเป็นสิ่งไหน โดยในขั้นตอนการฝึกสอน โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่รับมา แล้วจำแนกประเภทออกเป็นกลุ่มๆ โดยจะจำแนกประเภทตามความคล้ายคลึงกัน จะอยู่กลุ่มเดียวกัน

### 2.1.1.3 การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง

การเรียนรู้ประเภทนี้ค่อนข้างจะแตกต่างออกไป การเรียนรู้แบบเสริมกำลังจะเป็นการเรียนรู้โดยใช้วิธีการลองผิดลองถูก โดยจะมีการตั้งค่ารางวัลเอาไว้สำหรับการเรียนรู้ ค่ารางวัลจะขึ้นอยู่กับผลลัพธ์ที่ต้องการ ถ้าการกระทำมีความใกล้เคียงกับสิ่งที่ต้องการก็จะให้รางวัลที่มาก แต่ถ้าไม่ใกล้เคียงหรือไม่ต้องการก็จะให้ค่ารางวัลที่น้อยหรือติดลบ เมื่อโปรแกรมมีการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งจะมีค่าตอบแทนเป็นค่ารางวัล โดยโปรแกรมจะลองผิดลองถูกจนกว่าจะได้ผลลัพธ์เป็นรางวัลที่เยอะที่สุด และใช้เวลาเร็วที่สุด

## 2.1.2 ขั้นตอนการสร้างโมเดล

ขั้นตอนในการสร้างโมเดลนั้นจะมีขั้นตอนทั้งหมด 3 ขั้นตอนดังนี้

### 2.1.2.1 การเตรียมข้อมูล

ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลในการสร้างโมเดลนั้น จะเป็นการเตรียมข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการฝึกสอนโมเดล โดยจะเป็นกระบวนการการเปลี่ยนข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมือนกัน เพื่อนำไปให้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์ได้ เช่น รูปภาพ หรือตัวหนังสือ และอื่น ๆ ข้อมูลที่ใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับปัญหาแต่ละปัญหาที่สนใจ การเตรียมข้อมูลที่ดีจะทำให้โมเดลที่ได้นั้นมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

### 2.1.2.2 การฝึกสอนโมเดล

ในขั้นตอนการฝึกสอนโมเดลนี้ จะเป็นการนำข้อมูลที่ได้อามาสอนให้เครื่อง โดยผ่านอัลกอริทึมที่เราเป็นคนกำหนด โดยข้อมูลคนละแบบ ก็จะใช้อัลกอริทึมที่แตกต่างกันออกไป โดยเครื่องจะทำการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล และสร้างเป็นโมเดลขึ้นมา ในขั้นตอนนี้ยังรวมไปถึงการทำการตรวจสอบข้าม (Cross-validation) เพื่อใช้วัดประสิทธิภาพของโมเดลว่ามีความผิดพลาดมากน้อยเพียงใด และเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาโมเดลไม่ยืดหยุ่นอีกด้วย โดยเราจะเลือกโมเดลที่มีการทำงานได้ดีที่สุดเพื่อไปใช้งานจริง

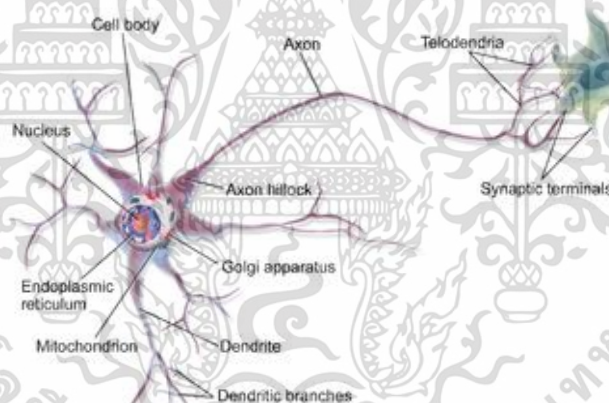
### 2.1.2.3 การทดสอบโมเดล

ขั้นตอนการทดสอบโมเดล จะเป็นการวัดผลว่าโมเดลที่เราได้สร้างผ่านขั้นตอนการฝึกสอนโมเดลนั้นมีความแม่นยำมากแค่ไหน โดยจะนำข้อมูลทดสอบมาทดสอบกับโมเดล และทำการหาค่าความแม่นยำ โดยค่าความแม่นยำหาได้จากสมการนี้

$$\text{ความแม่นยำ} = \frac{\text{จำนวนภาพที่ทายถูกต้อง}}{\text{จำนวนภาพทั้งหมด}}$$

## 2.2 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม เป็นเทคนิคหนึ่งในการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งเป็นการจำลองมาจากการทำงานของระบบประสาทในสมองมนุษย์ ซึ่งเป็นอวัยวะที่มีการทำงานที่ซับซ้อนเป็นอย่างมาก ระบบประสาทจะประกอบไปด้วยหน่วยย่อยคือ เซลล์ประสาทที่มีจำนวนมากมารวมตัวกัน ซึ่งเซลล์ประสาทยิ่งนี้จะถูกเรียกว่า นิวรอน



รูป 2.2 โครงข่ายประสาท

### 2.2.1 หลักการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบไปด้วยเซลล์ประสาทเทียม หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โหนด ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกับเซลล์ประสาท โดยโหนดจำนวนมาก ๆ รวมกันและเชื่อมกันเป็นโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นมา โดยการทำงานนั้นทุก ๆ โหนดจะมีการรับข้อมูลขาเข้าเข้ามา แล้วผ่านการคำนวณกับค่าน้ำหนัก และทำการพิจารณาออกมาเป็นผลลัพธ์อีกที จากนั้นจะส่งผ่านไปยังเซลล์ประสาทตัวอื่น ๆ ต่อไป โดยทั่วไปแล้วโครงข่ายประสาทเทียมจะมีโครงสร้างแบ่งออกเป็น 3 ชั้น

- 1) ชั้นขาเข้า
- 2) ชั้นซ่อน
- 3) ชั้นขาออก

ข้อมูลที่เราจะทำการวิเคราะห์นั้น จะถูกส่งผ่านเข้าไปยังชั้นขาเข้า แล้วจะผ่านต่อไปยังชั้นซ่อน ซึ่งภายในชั้นซ่อนอาจจะมีชั้นก็ได้ กระบวนการวิเคราะห์หรือคำนวณต่าง ๆ จะเกิดภายในชั้นซ่อนนี้ จากนั้นก็จะได้ผลลัพธ์ออกมาผ่านทางชั้นขาออก

### 2.3 โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน

เป็นโครงข่ายประสาทเทียมชนิดหนึ่งที่จะจำลองการมองเห็นของมนุษย์ ที่มีการมองจากพื้นที่ย่อย ๆ และนำพื้นที่ย่อย ๆ มารวมกันเพื่อได้ผลลัพธ์ออกมาว่าสิ่งที่เห็นเป็นสิ่งที่ใดกันแน่

การมองพื้นที่ย่อย ๆ ของมนุษย์นั้นจะมีการมองแบบแยกคุณลักษณะของพื้นที่ย่อยนั้นอีก เช่น ลายเส้นไม่ว่าจะเป็น เส้นตรง เส้นโค้ง เส้นแนวนอน เส้นแนวตั้ง หรือสีที่เกิดจากการตัดกัน ซึ่งการที่มนุษย์จะรู้ได้ว่าตรงพื้นที่นั้นเป็นเส้นแบบไหน มีสีแบบใด การมองจำเป็นต้องมองทั้งจุดที่สนใจ และบริเวณรอบ ๆ ด้วย



รูป 2.3 การดึงคุณลักษณะของภาพ ของโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน

จากรูปที่ 2.3 หากเปรียบว่ากรอบสี่เหลี่ยมสีเหลืองนั้น คือพื้นที่ที่กำลังดูให้ความสนใจอยู่ แต่เราสามารถรับรู้ได้ว่าสิ่งนี้คือหนู เพราะว่าสิ่งที่เรากวาดสายตามองภาพรวมรอบ ๆ ด้วย

แนวความคิดของโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันนั้น ก่อนข้างมีความซับซ้อน เพราะมีความรู้ทางคณิตศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้องอยู่ด้วย และด้วยการคำนวณนี้ จะใช้หลักการเดียวกันกับคอนโวลูชันเชิงพื้นที่ในการทำงานของการประมวลผลภาพอีกด้วย

### 2.3.1 ตัวกรอง

ขั้นแรกในการคำนวณ จะต้องมีกำหนดค่าในตัวกรอง หรือเคอร์เนลก่อน ซึ่งจะช่วยให้คุณลักษณะที่ใช้ในการจดจำวัตถุออกมา โดยปกติแล้วตัวกรอง หรือเคอร์เนลอันหนึ่ง จะสามารถดึงคุณลักษณะที่สนใจได้เพียงแค่อันหนึ่งอย่าง ดังนั้นเราจึงต้องใช้ตัวกรองหลากหลาย เพื่อให้ได้คุณลักษณะที่มีหลาย ๆ อย่างมาประกอบกัน

1	-1	-1
-1	1	-1
-1	-1	1

รูป 2.4 ตัวอย่างของตัวกรอง 3x3 พิกเซล

จากรูปจะเป็นตัวกรอง โดยปกติแล้วจะเป็นตาราง 2 มิติที่มีขนาดตามพื้นที่ย่อย ๆ ที่เราสนใจ โดยในรูปจะเป็นตัวกรองเส้นทแยงมุม มีพื้นที่ 3x3 พิกเซล กรอบสี่ฟ้าตรงกลางภายในรูป จะใช้เป็นพิกเซลของตัวกรอง ที่นำไปทาบกับข้อมูลพิกเซลแรกของภาพข้อมูลนำเข้า จากนั้นจะค่อย ๆ เลื่อนตัวกรองไปที่ละพิกเซลจนครบพื้นที่ทั้งหมดของภาพ ซึ่งเราอาจจะไม่จำเป็นต้องทาบตัวกรองไปยังบริเวณที่เป็นกรอบภาพ เพราะว่าตัวกรองจะยื่นออกไปนอกบริเวณภาพ โดยเมื่อเราเลื่อนตัวกรองจนครบทุกพิกเซลแล้ว เราจะได้สิ่งที่เรียกว่า ผังคุณลักษณะออกมา

1	1	1	0	0
0	1	1	1	0
0	0	1x1	1x0	1x1
0	0	1x0	1x1	0x0
0	1	1x1	0x0	0x1

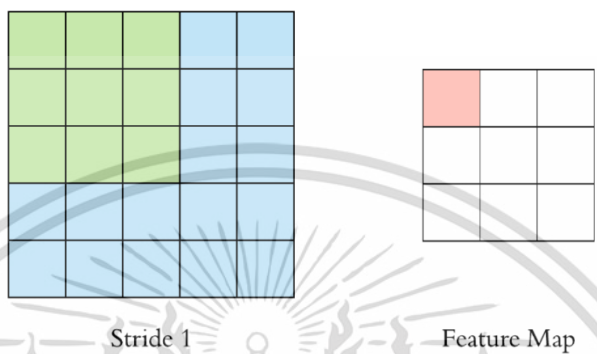
4	3	4
2	4	3
2	3	4

รูป 2.5 ตัวอย่างผลลัพธ์จากวัตถุโดยใช้ตัวกรองขนาด 3x3 พิกเซล

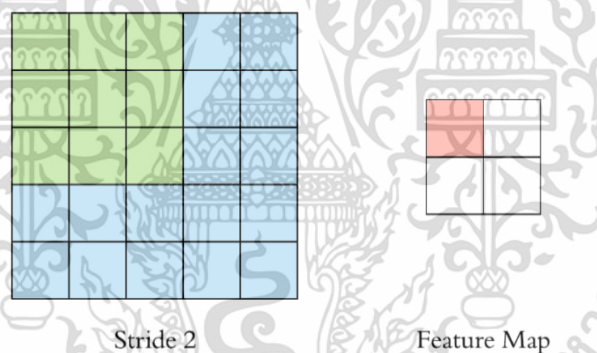
จากภาพข้างต้นในส่วนที่เป็นสี่ฟ้าคือภาพข้อมูลนำเข้า สีเขียวจะเป็นตัวกรองที่เรานำมาทาบกับภาพในส่วนสี่ฟ้า และสีแดงคือผังคุณลักษณะที่ได้จากการกรอง ของตัวกรองที่เลื่อนครบทุกพิกเซลแล้ว

### 2.3.2 Stride และ Padding

Stride คือค่าที่ใช้กำหนดการเลื่อนของตัวกรองว่าจะให้เลื่อนไปที่ละกี่พิกเซลจำนวนเท่า ๆ กัน โดยเราสามารถกำหนดค่า Stride ให้มากขึ้นก็ได้ ถ้าต้องการคำนวณหาคุณลักษณะที่มีพื้นที่ทับซ้อนกันน้อยลง แต่ฟังก์ชันลักษณะที่ได้ออกมานั้นจะมีขนาดเล็กลง



รูป 2.6 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการกำหนด Stride เท่ากับ 1

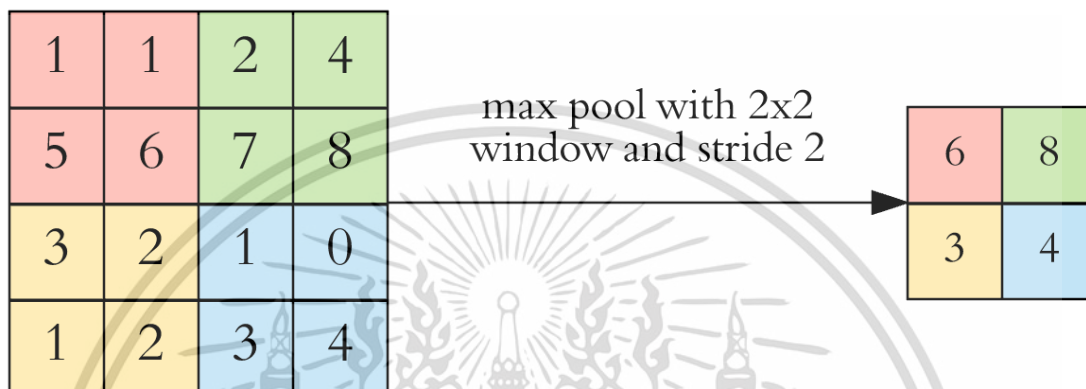


รูป 2.7 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการกำหนด Stride เท่ากับ 2

Padding คือการทำให้ฟังก์ชันลักษณะที่ได้ออกมา มีขนาดเท่ากับภาพข้อมูลนำเข้า โดยระหว่างการทำ CNN ก็จะเติมค่า 0 หรือค่าต่าง ๆ ลงไปในบริเวณสี่เหลี่ยมที่ทับกับตัวกรองอยู่ โดยบางปัญหาที่ภาพข้อมูลนำเข้า ในส่วนบริเวณขอบนั้นมีความสำคัญ ที่ส่งผลต่อผลลัพธ์เป็นอย่างมาก เราจึงจำเป็นต้องใช้ padding เข้ามาช่วยในการเก็บคุณลักษณะตามขอบภาพไว้ได้ด้วย

### 2.3.3 Pooling

Pooling คือการลดขนาด รูปแบบหนึ่ง เพื่อให้ได้ภาพที่นำไปประมวลผล มีขนาดเล็ก แต่ยังคงคุณลักษณะที่จำเป็นไว้เหมือนเดิม โดยที่นิยมใช้กันจะมี max pooling และ mean pooling แต่ที่นิยมมากที่สุดคือ max pooling ซึ่งจะเป็นการกรองแบบหนึ่งซึ่งจะนำเอาค่าสูงที่สุดในบริเวณที่ตัวกรองทาบอยู่มาเป็นผลลัพธ์ และจะเลื่อนตัวกรองไปตาม Stride ที่ได้กำหนดไว้ได้ด้วย



รูป 2.8 ตัวอย่างการทำ max pooling

## 2.4 เทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนา

ในการพัฒนาระบบนี้ จะใช้ภาษา Python เนื่องจากเป็นภาษาที่นิยมนำมาใช้ในการพัฒนา Machine Learning ซึ่งทำให้มีเฟรมเวิร์คหรือไลบรารีที่ช่วยสนับสนุนในการพัฒนามากมาย



รูป 2.9 สัญลักษณ์ OpenCV

OpenCV หรือ Open Source Computer Vision เป็น open source library โดยส่วนใหญ่จะมีเป้าหมายในการแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์แบบเรียลไทม์ และสามารถใช้ในการประมวลผลภาพได้

การประมวลผลภาพ หรือ Image Processing คือกระบวนการในการนำภาพดิจิทัลมาเพื่อวิเคราะห์ ปรับปรุง และปรับแต่งคุณสมบัติของภาพ โดยการตรวจจับเพื่อหาวัตถุที่มีรูปทรงที่เหมือนขวดพลาสติกก่อน จากนั้นจะทำการแยกผลจากขวดพลาสติกโดยใช้กระบวนการ Morphological Transformations มาเพื่อเปลี่ยนแปลงทางสัญฐานวิทยาเพื่อนำมาแยกขวดพลาสติกที่มีฉลากและไม่มีฉลาก



รูป 2.10 สัญลักษณ์ TensorFlow

TensorFlow เป็นเฟรมเวิร์คที่นำมาใช้ในการพัฒนาโมเดล Machine Learning เนื่องจากมีประสิทธิภาพในด้านความเร็วในการคำนวณ และพัฒนาโมเดล Machine Learning ทำให้เป็นที่นิยมในการใช้งาน โดย TensorFlow ถูกพัฒนาโดยบริษัท Google ทำให้เฟรมเวิร์คมีการพัฒนาแบบต่อเนื่อง

การพัฒนาโมเดลจะนำโมเดลที่ได้มีการพัฒนาก่อนแล้ว เข้ามาช่วยเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ และลดระยะเวลาการพัฒนาก็คด้วย



# Keras

รูป 2.11 สัญลักษณ์ Keras

เป็นเฟรมเวิร์คของการเรียนรู้เชิงลึก สำหรับภาษา Python 2.7 - 3.6 ซึ่งจะช่วยให้การพัฒนาโมเดลด้วยการเรียนรู้เชิงลึกง่ายขึ้นมากกว่าการใช้งานเพียงแค่ TensorFlow ซึ่งเฟรมเวิร์คนี้ ได้พัฒนาโดยมีจุดประสงค์ในการเพิ่มความรวดเร็วในการเทรน หรือคำนวณเพื่อทำนายคำตอบ ซึ่ง Keras จะช่วยสร้างโมเดล ได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้สะดวกในการพัฒนาเป็นอย่างมาก และ Keras ยังรองรับโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน และยังรวมโครงข่ายประสาทเทียมได้



รูป 2.12 สัญลักษณ์ Google Colaboratory

Google Colaboratory คือ Jupyter notebook ซึ่งจะช่วยในการทำงานที่ง่ายขึ้น เพราะมีการอธิบายในตัว พร้อมทั้งการทำงานที่สามารถทำซ้ำได้ตลอด และผลลัพธ์ก็ถูกเก็บไปด้วยได้

Google Colaboratory นั้นทำงานอยู่บน cloud โดยที่เราไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมใด ๆ เลย สามารถใช้งานได้ง่าย โดยใช้บัญชีของ Google Drive ก็สามารถใช้งานได้เลย เพื่อช่วยให้เราจัดเก็บโค้ดไว้บน drive ได้พร้อมทั้งการจัดการเพิ่มข้อมูล และไฟล์ ต่าง ๆ ได้ โดยภาษาที่ใช้ในการพัฒนาจะเป็นภาษา Python พร้อมทั้งมี GPU และ TPU ที่มีประสิทธิภาพที่สูงให้ใช้ได้ฟรีอีกด้วย

## 2.5 ประเภทของพลาสติก และการรีไซเคิล

ประเภทของพลาสติกสามารถแบ่งตามชนิดของพลาสติกได้เป็น 7 ชนิด โดยมีการแสดงเป็นสัญลักษณ์เป็น ลูกศรวิ่งวนเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า มีเลขกำกับอยู่ภายใน โดยที่มีชนิดระบุอยู่ด้านล่างซึ่งถูกเรียกว่า “รหัสพลาสติก” ถูกกำหนดโดย NA Society of the Plastics Industry ในปี ค.ศ. 1988



รูป 2.13 สัญลักษณ์รหัสพลาสติก

รูป 2.14 ตัวอย่างพลาสติก

### 2.5.1 รายละเอียดชนิดของพลาสติก

#### 1) โพลีเอทิลีนเทอทาเลท (Polyethylene terephthalate)

สามารถเรียกแบบย่อว่า เพ็ท (PET หรือ PETE) เป็นพลาสติกใส ที่มีความแข็งแรงทนแรงกระแทกได้ดี ไม่เปราะแตก และ ป้องกันการซึมผ่านของแก๊สได้ดี แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีเนื้อใส (A-PET) และ กลุ่มที่เป็นผลึกสีขาว (C-PET)

#### 2) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene)

ถูกเรียกแบบย่อว่า เอชดีพีอี (HDPE) เป็นพลาสติกเนื้อเหนียว มีคุณสมบัติที่สามารถยืดหยุ่นได้ดี ทนทานต่อสารเคมี และสามารถขึ้นรูปได้ง่าย

#### 3) โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride)

สามารถเรียกแบบย่อว่า พีวีซี (PVC) เป็นพลาสติกที่มีลักษณะแข็งทนทานสูง แต่ด้วยความยืดหยุ่นที่ต่ำทำให้เกิดการเปราะแตกได้

#### 4) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene)

สามารถเรียกแบบย่อว่า แอลดีพีอี (LDPE) เป็นพลาสติกที่มีความนิ่ม เหนียว ยืดตัวได้มาก ใส ทนทาน แต่ไม่ค่อยทนต่อความร้อน

#### 5) โพลีโพรพิลีน (Polypropylene)

สามารถเรียกแบบย่อว่า พีพี (PP) เป็นพลาสติกที่มีความใส ทนทานต่อความร้อน คงรูปได้ง่าย มีความเหนียวยืดหยุ่น และ ทนทานต่อแรงกระแทกได้ดี อีกทั้งยังทนต่อสารเคมี และน้ำมัน

#### 6) โพลีสไตรีน (Polystyrene)

สามารถเรียกแบบย่อว่า พีเอส (PS) เป็นพลาสติกที่มีความใส แต่เปราะ และแตกได้ง่าย นิยมนำมาใช้สำหรับบรรจุของใช้ต่าง ๆ เช่น กล่องโฟมใส่อาหาร

#### 7) พลาสติกชนิดอื่น ๆ (Other)

เป็นพลาสติกที่แตกต่างออกจาก 6 ชนิดที่กล่าวมาทั้งสิ้น เช่น Polycarbonate (PC) ที่มีลักษณะใสแข็ง และทนความร้อนได้สูง จึงนำมาทำภาชนะบรรจุอาหารที่สามารถเข้าไมโครเวฟได้ โดยไม่เป็นอันตราย

ตารางที่ 2.1 ชนิดของพลาสติก

รหัส	เรซิน	การใช้ประโยชน์	ผลิตภัณฑ์รีไซเคิล
 PETE	โพลีเอทิลีนเทอพาทาเลท (Polyethylene terephthalate)	ภาชนะสำหรับใส่เครื่องดื่ม ใส่อาหารร้อน	ผลิตเส้นใยโพลีเอสเตอร์ เช่น เสื้อกันหนาว พรม
 HDPE	พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene)	ขวดใส่นม ขวดแชมพู ขวด น้ำยาซักผ้า	เฟอร์นิเจอร์ เช่น ศาลา ม้านั่ง
 PVC	พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride)	แผ่นฟิล์มถนอมอาหาร ฉนวนหุ้มสายไฟ สายยางใส่ ท่อน้ำประปา	กรวยจราจร ท่อน้ำประปา สำหรับการเกษตร
 LDPE	พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene)	ฟิล์มห่ออาหาร ถุงพลาสติก แผ่นฟิล์ม	ถุงดำใส่ขยะ ถังขยะ ตู้จดหมาย
 PP	พอลิโพรพิลีน (Polypropylene)	ถุงใส่ของชำ กล่องบรรจุ อาหาร ภาชนะห่ออาหาร	กล่องแบตเตอรี่รถยนต์ กันชนรถยนต์
 PS	พอลิสไตรีน (Polystyrene)	ช้อน โฟมกันกระแทก ถ้วย ไอศกรีม	ไม้แขวนเสื้อ ไม้บรรทัด
 OTHER	พลาสติกชนิดอื่นๆ (Other)	ภาชนะบรรจุอาหาร เช่น ขวดน้ำมะเขือเทศ ขวด น้ำส้ม น้ำ	ท่อนไม้พลาสติก ผลิตภัณฑ์พลาสติกอื่น ๆ

## 2.5.1 การรีไซเคิล

### 2.5.1.1 กระบวนการรีไซเคิล

ก่อนที่จะเริ่มกระบวนการรีไซเคิลนั้น จะต้องทำการแยกประเภทของพลาสติกเสียก่อน เพราะวัสดุพลาสติกแต่ละประเภท มีลักษณะที่พิเศษเช่น น้ำหนัก ความซับซ้อนทางโครงสร้าง โมเลกุลและจุดหลอมเหลวที่แตกต่างกัน จึงทำให้พลาสติกไม่อาจจะเอาแต่ละชนิดมาผสมเข้าด้วยกันได้ เหมือนสารชนิดอื่นเช่น แก้วหรือโลหะ หลังจากการคัดแยกแล้วจะเข้ากระบวนการรีไซเคิล โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

#### 1) กระบวนการสลายตัวด้วยความร้อน (Thermal depolymerization)

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการแปรรูปขยะพลาสติกกลับสู่รูปของน้ำมันปิโตรเลียมโดยการใช้ความร้อน กระบวนการนี้มีข้อดี คือ สามารถรีไซเคิลพลาสติกทุกชนิดได้ แต่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างระบบที่สูง

#### 2) กระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน (Heat compression)

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการแปรรูปขยะให้กลับสู่สถานะวัตถุดิบตั้งต้น โดยเริ่มจากการทำความสะอาด, อบแห้ง, บด, หลอม และแปรรูปพลาสติกกลับสู่รูปแบบเม็ดพลาสติก กระบวนการนี้สามารถแปรรูปได้เฉพาะพลาสติกที่ไม่ทนความร้อน กระบวนการนี้มีข้อเสียที่มีต้นทุนพลังงานที่ใช้ที่สูง

#### 3) กระบวนการอื่น ๆ

กระบวนการนี้จะใช้กรรมวิธีอื่น ๆ ที่ไม่เข้าพวกกับ 2 วิธีแรก เช่น บดและอัดขยะพลาสติกให้กลายเป็นแผ่นหรือนำขยะพลาสติกมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น

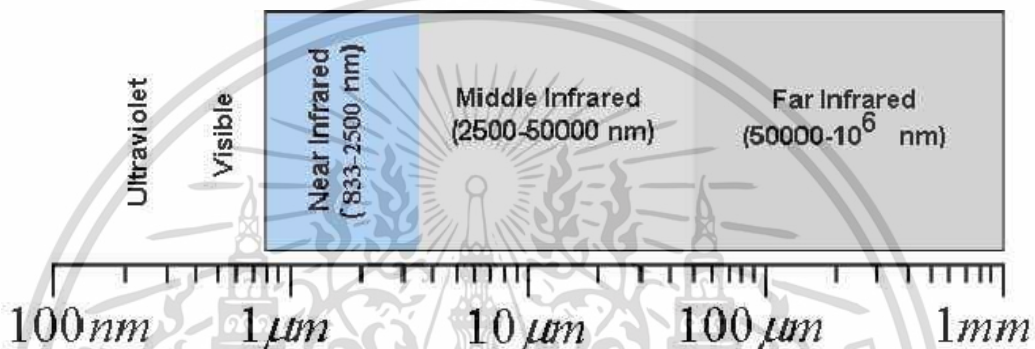
### 2.5.1.2 คุณภาพของพลาสติกหลังการรีไซเคิล

พลาสติกเกือบทุกชนิดก่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากกระบวนการผลิตมีการปล่อยสารพิษเข้าไปในอากาศ และน้ำ ทำให้เกิดมลพิษ และต้องอาศัยพลังงานสูงกว่าการผลิตแก้ว นอกจากนี้พลาสติกที่ได้จากการรีไซเคิล จะมีคุณภาพด้อยลงจากผลิตภัณฑ์ก่อนการรีไซเคิล ดังนั้นจึงไม่สามารถนำกลับมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เดิมได้ ต้องทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ด้อยคุณภาพลงไป ซึ่งในกระบวนการรีไซเคิลนี้ ต้องมีการเพิ่มวัตถุดิบหรือต้นทุน ขณะที่หากนำไปย่อยสลายจะทำได้ยากด้วยวิธีฝังกลบ ในการที่จะเผาพลาสติกชนิด PVC จะเกิดสารไดออกซิน ยกเว้นต้องใช้เตาเผาอุณหภูมิสูงถึง 1300 องศา

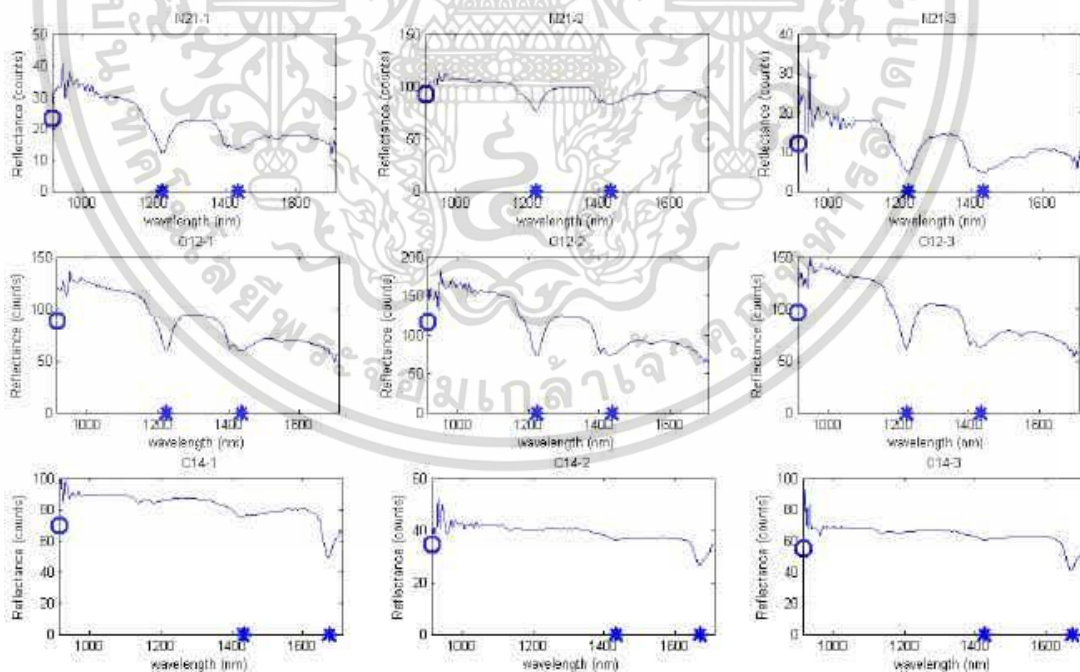
## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.6.1 Automatic Plastic Bottle Classification System for Recycling [1]

งานวิจัยนี้มีการใช้เครื่อง NIR Spectroscopy มาช่วยในการแยกชนิดของพลาสติกเรซินด้วยเทคนิคระบบ Near infrared detection เก็บค่าในช่วง bandwidth 900 -1700nm โดยจะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ พลาสติกแบบใส พลาสติกแบบกึ่งโปร่งแสง และพลาสติกแบบทึบแสง ขึ้นต่อมาก็จะเข้ามาที่กล้อง CCD เพื่อคัดแยกสี เช่น ใส, เขียว, เหลือง และเทา งานวิจัยนี้จะเน้นในการแยกส่วนประกอบทางเคมีและสีของพลาสติก



รูป 2.15 Infrared Spectrum



รูป 2.16 ผลลัพธ์ของวัดค่าของ Spectrum

Table 3-3 Total Classification Accuracy

	Color classifier accuracy [%]	Plastic type classifier accuracy [%]	Over all Accuracy [%]
Clear (no color)	86.67	96.67	83.33
Clear (light blue)	83.33	93.33	76.67
Clear (light green)	96.67	93.33	90
Natural	93.33	---	93.33
Opaque (different colors)	85.19	88.88	74.07
Total accuracy [%]→			83.67

## รูป 2.17 ผลลัพธ์แยกประเภท

## 2.6.2 RecycleNet: Intelligent Waste Sorting Using Deep Neural Networks [2]

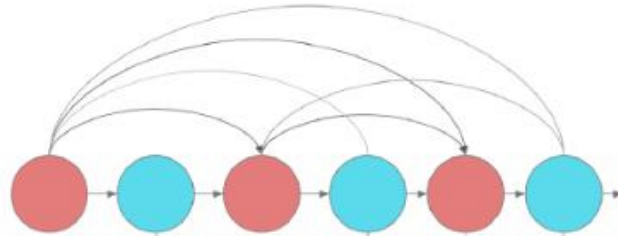
งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการแยกขยะทั่วไป โดยจะแบ่งออกเป็น 6 ชนิด ได้แก่ กระดาษ, แก้ว, พลาสติก, โลหะ, กระดาษแข็ง และ ขยะอื่น ๆ จากนั้นนำชุดข้อมูลทั้งหมด 1768 รูปที่ถูกทำการย่อขนาดลงเหลือเพียง 512 x 384 พิกเซล มาทำการฝึกโมเดลต่าง ๆ ที่แตกต่างกันออกไป เพื่อหาผลลัพธ์ออกมา

จากนั้นจึงเริ่มสร้างโมเดลของตนเองที่ชื่อว่า "RecycleNet" โดยนำโมเดล DenseNet ที่มีข้อเสียจากการทำงานที่เชื่องช้า มาแก้ไขด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การตัดจำนวนของ Skip connection ออกครั้งหนึ่ง เปลี่ยนสมการเป็นดังนี้

$$x_l = H_l([x_{l-1}, x_{l-m-1}, x_{l-2m-1}, x_{l-3m-1}, \dots, x_0]),$$

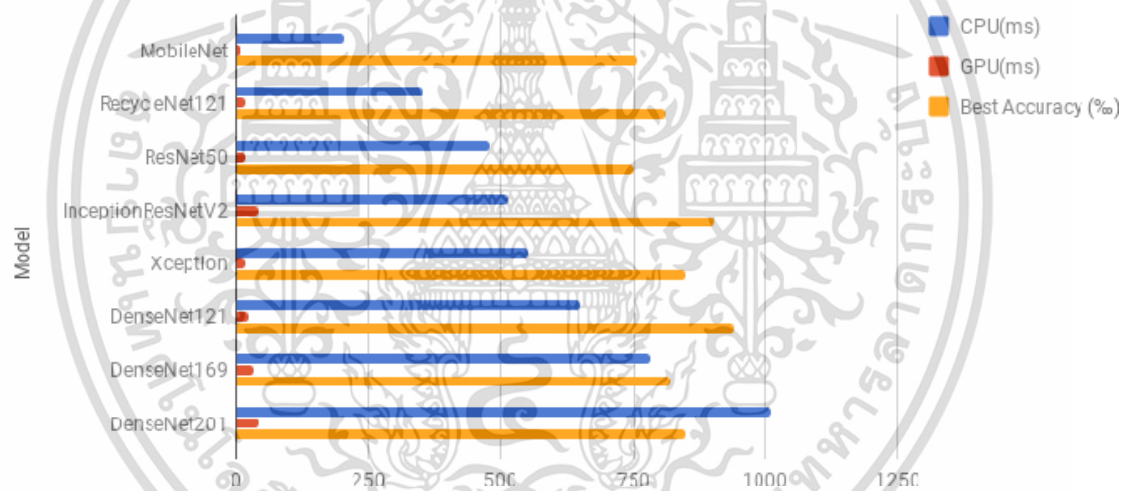
## รูป 2.18 สมการ RecycleNet

การแก้สมการทำให้จำนวนของ parameters ใน layers ทั้ง 121 ชั้นจะลดลงจาก 7 ล้าน เหลือประมาณ 3 ล้านตัว เพื่อให้โมเดลคำนวณได้รวดเร็วขึ้น



รูปที่ 2.19 Skip connection

CPU(ms), GPU(ms) and Best Accuracy



รูป 2.20 ผลการทดลอง RecycleNet

### 2.6.3 แนวคิดที่ได้จากงานที่เกี่ยวข้อง

- 1) วิธีการออกแบบและวางภาพรวมของระบบ
- 2) การแบ่งประเภทหรือการแยกประเภทที่ใช้ลักษณะความโปร่งใสของขวด
- 3) การฝึกโมเดล แก้ไข และเลือกใช้สถาปัตยกรรมให้เหมาะสมกับชิ้นงาน
- 4) ขั้นตอนการนำข้อมูลมาใช้ก่อนการแยกประเภท
- 5) แนวคิดด้านการใช้งาน Image Processing ในการแยกผลาก

## บทที่ 3

### การออกแบบและพัฒนา

#### 3.1 ความต้องการของระบบ

##### 3.1.1 Input

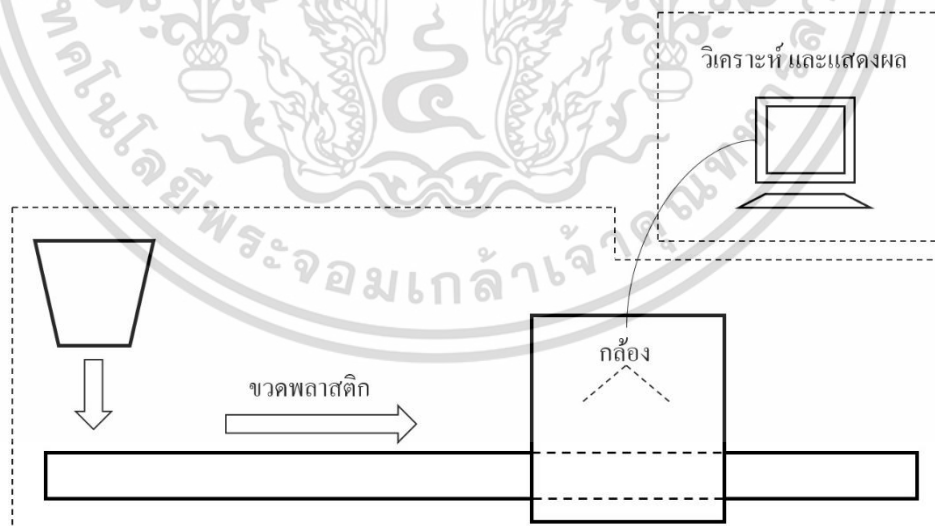
- ขวดพลาสติกที่อยู่ในบริเวณที่ตรวจจับ
- ขวดจะต้องเป็นขนาดที่ไม่ใหญ่เกินขอบเขตของกล้อง

##### 3.1.2 Functional

- สามารถแยกประเภทของขวดพลาสติกได้ 5 ประเภทคือ PET, HDPE, PVC, PP และ Colored Plastic (ขวดพลาสติกรวมสีที่บดแสง)

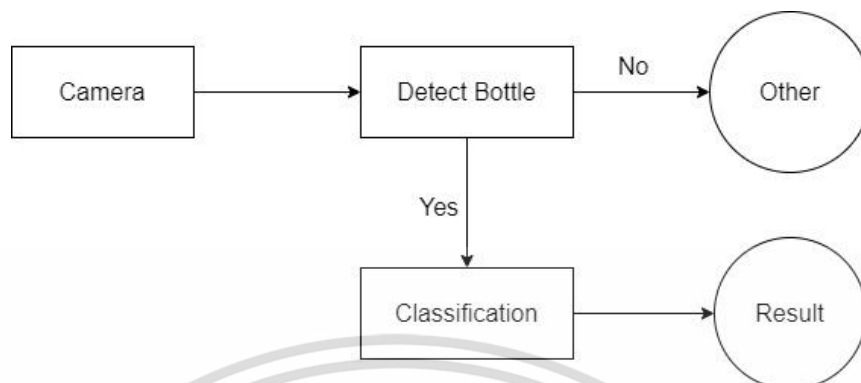
#### 3.2 ภาพรวมของระบบ

ระบบการแยกประเภทของขวดพลาสติกนี้ เป็นการนำรูปภาพที่ได้จากขวดพลาสติกที่เข้ามา โดยถ่ายรูปภาพผ่านทางกล้อง จากนั้นก็จะนำไปประมวลผลโดยใช้ภาพที่ได้ ทำการดึงคุณลักษณะจากภาพ เพื่อวิเคราะห์และแยกประเภทของขวดพลาสติก ว่าเป็นขวดพลาสติกชนิดใด โดยรูปนี้จะเป็นการออกแบบจำลองระบบให้เสมือนกับเวลาทำงานจริงในอุตสาหกรรม



รูป 3.1 ภาพจำลองของระบบที่ใช้ร่วมกับเครื่อง

### 3.3 รายละเอียดการทำงานของระบบ



รูป 3.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

#### 3.3.1 ตรวจจับขวดพลาสติก

ใช้กล้องทำการจับภาพของวัตถุที่มีการนำเข้ามา

#### 3.3.2 ตรวจสอบวัตถุชนิดขวด

จะทำการตรวจสอบภาพที่จับมาว่าวัตถุในภาพนั้นมีลักษณะรูปทรงของขวด หากวัตถุมีลักษณะเป็นทรงขวดก็จะส่งข้อมูลต่อไปให้กระบวนการต่อไปทำการแยกประเภทของขวดพลาสติก แต่หากผลการตรวจสอบนั้นไม่ได้มีลักษณะเหมือนหรือคล้ายขวด ระบบจะไม่ทำการส่งข้อมูลต่อและรอการจับภาพของวัตถุชนิดใหม่เข้ามา

#### 3.3.3 กระบวนการจัดการคุณลักษณะของภาพขวดพลาสติก

นำภาพขวดพลาสติกที่ได้จากขั้นตอนแรกมาจัดการคุณลักษณะและดึงคุณลักษณะจากภาพโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน โดยใช้ภาษา Python 3.7 ประกอบด้วย Library OpenCV และ Keras ในการพัฒนา

#### 3.3.4 วิเคราะห์ประเภทขวดพลาสติก

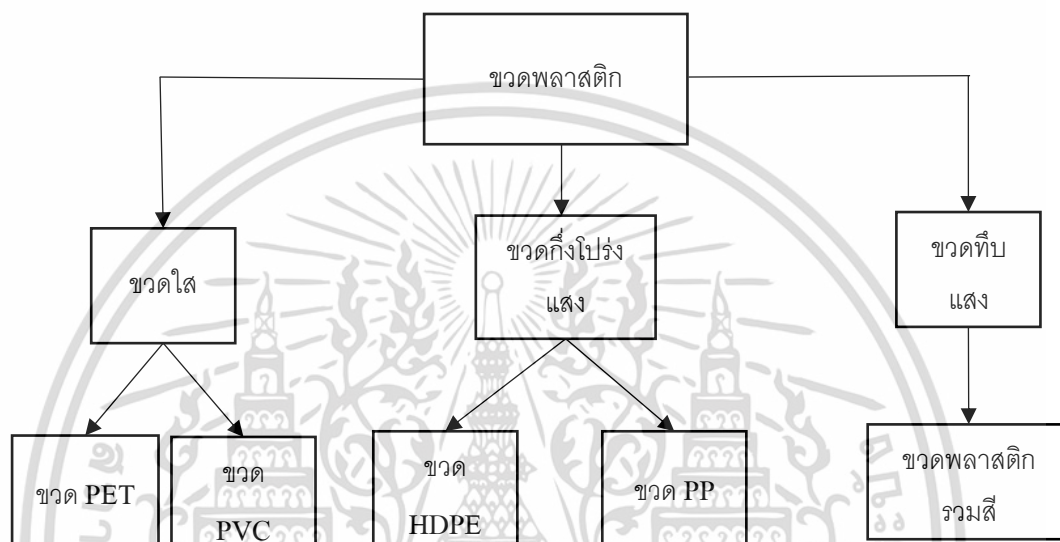
นำคุณลักษณะที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้า เข้ามาผ่านการวิเคราะห์จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สามารถจำแนกประเภทของขวดพลาสติกจำนวน 5 ประเภท ได้แก่ PET, HDPE, PVC, PP และ Colored Plastic โดยใช้ Python 3.7 ประกอบด้วย Library OpenCV และ Keras ในการพัฒนา

#### 3.3.5 แสดงผลลัพธ์จากการวิเคราะห์

แสดงผลลัพธ์ว่าเป็นขวดพลาสติกหรือไม่ เป็นขวดพลาสติกประเภทใด พร้อมระบุเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์และรูปภาพที่ได้จากขั้นตอนแรก

### 3.4 การออกแบบประเภทของข้อมูล

ในการออกแบบประเภทของข้อมูลนั้น จะทำอ้างอิงตามการคัดแยกประเภทขวดพลาสติก สำหรับชื่อ-ขายของอุตสาหกรรมการรีไซเคิลขยะ จากนั้นจึงนำประเภทต่าง ๆ ที่ใกล้เคียงกันมารวมกลุ่มกัน และสรุปให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นเพื่อจะได้เหมาะสมกับระบบ จนได้ประเภทของขวดพลาสติกมาดังรูปนี้



รูป 3.3 ประเภทของขวดพลาสติกที่ใช้ในระบบ

#### 3.2.1 การรวมกลุ่มของประเภทข้อมูล

จากรูปที่ 3.1 และ 3.2 จะเห็นได้ว่าประเภทของขวดที่ชื่อ-ขายในอุตสาหกรรมจะถูกนำมาจัดแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ และโดยแต่ละกลุ่ม จะถูกแบ่งเป็นแต่ละประเภท รวม 5 ประเภท






- ขวดพลาสติกใส (Clear Plastic)
  - 1) ขวด PET
  - 2) ขวด PVC
- ขวดพลาสติกกึ่งโปร่งแสง (Natural Plastic)
  - 3) ขวด HDPE
  - 4) ขวด PP
- ขวดพลาสติกทึบแสง (Opaque)
  - 5) ขวดพลาสติกรวมสี (Colored Plastic)

### 3.2.2 เหตุผลที่ทำการรวมและจัดประเภทของขวดพลาสติก

- 1) ลักษณะของพลาสติกที่นำมาทำขวดนั้นแตกต่างกันที่ค่าความโปร่งแสง
- 2) ขวด PET สี และน้ำอัดลมที่มีหลากหลายประเภท จึงนำมารวมกันเป็นขวด PET ประเภทเดียว
- 3) ขวดน้ำเก็ลีนัน ผลิตจากพลาสติกชนิด HDPE จึงถูกจัดอยู่ในประเภทกึ่ง โปร่งแสง
- 4) ขวดพลาสติกรวมสี คือขวดที่ผลิตจากพลาสติกใด ๆ แล้วมีการผสมเม็ดสีลงไป



ตารางที่ 3.2 ชนิดของขวดพลาสติกและตัวอย่าง

ประเภทขวด	ลักษณะ	ตัวอย่าง
PET	โปร่งใส Clear	
PVC		
HDPE	กึ่งโปร่งแสง	
PP	Natural	
Colored Plastic	ทึบแสง Opaque	

### 3.5 การจัดเก็บชุดข้อมูล

ในการจัดเก็บชุดข้อมูล จะมีการใช้วิธีการสองอย่างคือการเก็บข้อมูลจากรูปถ่าย และเก็บรูปภาพจากอินเทอร์เน็ต

#### 3.5.1 การเก็บข้อมูลจากรูปถ่าย

วิธีการนี้จะทำให้ได้ภาพที่ตรงจุดประสงค์ของระบบมากกว่าการเก็บภาพจากอินเทอร์เน็ต แต่จะได้รับความหลากหลายรูปแบบที่น้อยกว่า โดยจะจัดองค์ประกอบของรูปให้ใกล้เคียงกับสภาพที่ใช้ในอุตสาหกรรมเช่น พื้นหลังสีดำและความสว่างที่เหมาะสมดังรูปนี้



รูป 3.4 ตัวอย่างรูปถ่ายที่เก็บสำหรับชุดข้อมูล

#### 3.5.2 การเก็บข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต

วิธีการนี้จะทำให้ได้รูปของขวดพลาสติกที่หลากหลาย และข้อมูลที่มากกว่า แต่มีข้อจำกัดที่ต้องเลือกรูปเป็นขวดเปล่า ไม่มีสิ่งใดบรรจุอยู่ในขวดและต้องมีเพียงขวดประเภทเดียวอยู่ในรูป ดังรูปนี้

#### 3.5.3 รายละเอียดชุดข้อมูล

ชุดข้อมูลที่ใช้ทั้งหมดมี 626 รูป โดยแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

Color 208 รูป

HDPE 80 รูป

PET 152 รูป

PP 104 รูป

PVC 82 รูป

จากชุดข้อมูลเบื้องต้น จะถูกนำไปทำการ augmentations เพื่อเพิ่มจำนวนข้อมูล และปรับสมดุลของชุดข้อมูล สำหรับการนำไปพัฒนาโมเดล



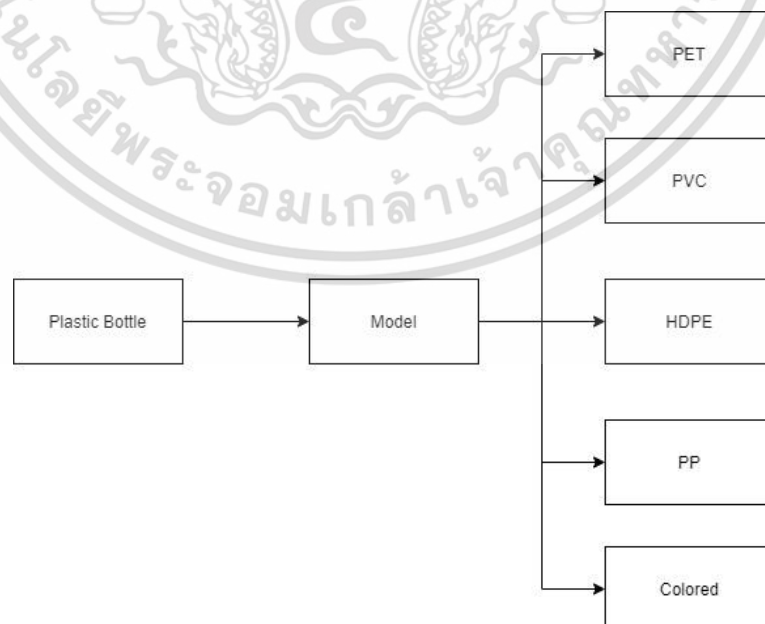
รูป 3.5 ตัวอย่างรูปที่เก็บจากอินเทอร์เน็ต

### 3.6 การออกแบบการทดลอง

ในการทดลองการแยกประเภทของขวดพลาสติก จะแบ่งการทดลองเป็นสองแบบเพื่อนำมาเปรียบเทียบแล้วหาความเหมาะสม และความแม่นยำ

#### 3.6.1 การทดลองแบบที่ 1

การทดลองแรกนี้ จะทำการแบ่งคลาสทั้งหมดเป็น 5 ประเภทคือ PET, HDPE, PVC, PP และพลาสติกรวมสี จากนั้นทำการทดสอบค่าความแม่นยำ โดยการใส่รูปขวดชนิดต่าง ๆ



รูป 3.6 รูปแบบการทดลองที่ 1

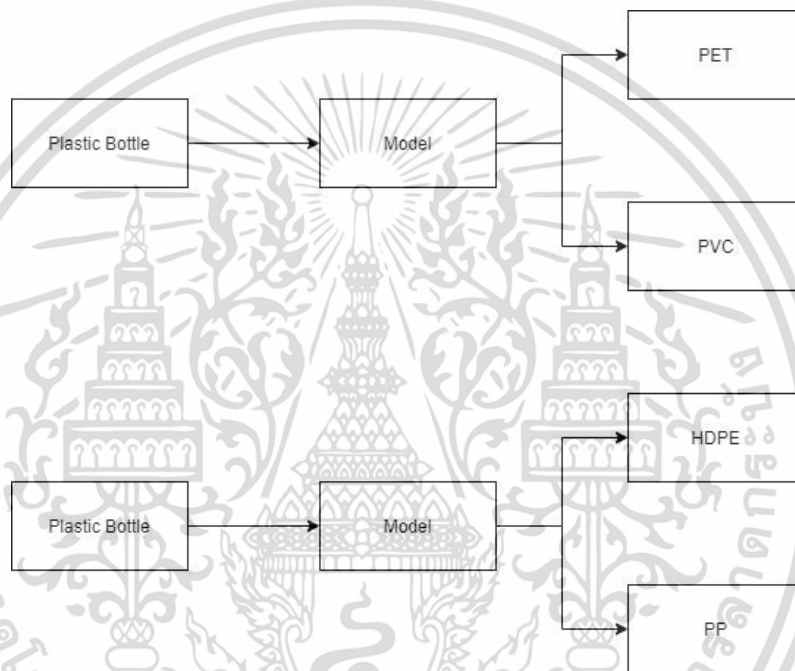
### 3.6.2 การทดลองแบบที่ 2

การทดลองครั้งนี้จะเป็นการแยกโมเดลออกเป็น 2 ตัวด้วยกัน โดยแต่ละโมเดล จะแยกประเภทของขวดพลาสติกที่แตกต่างกัน

โมเดลที่ 1 จะแยกประเภทของขวดใส (PET, PVC)

โมเดลที่ 2 จะแยกประเภทของขวดทึบโปร่งแสง (HDPE, PP)

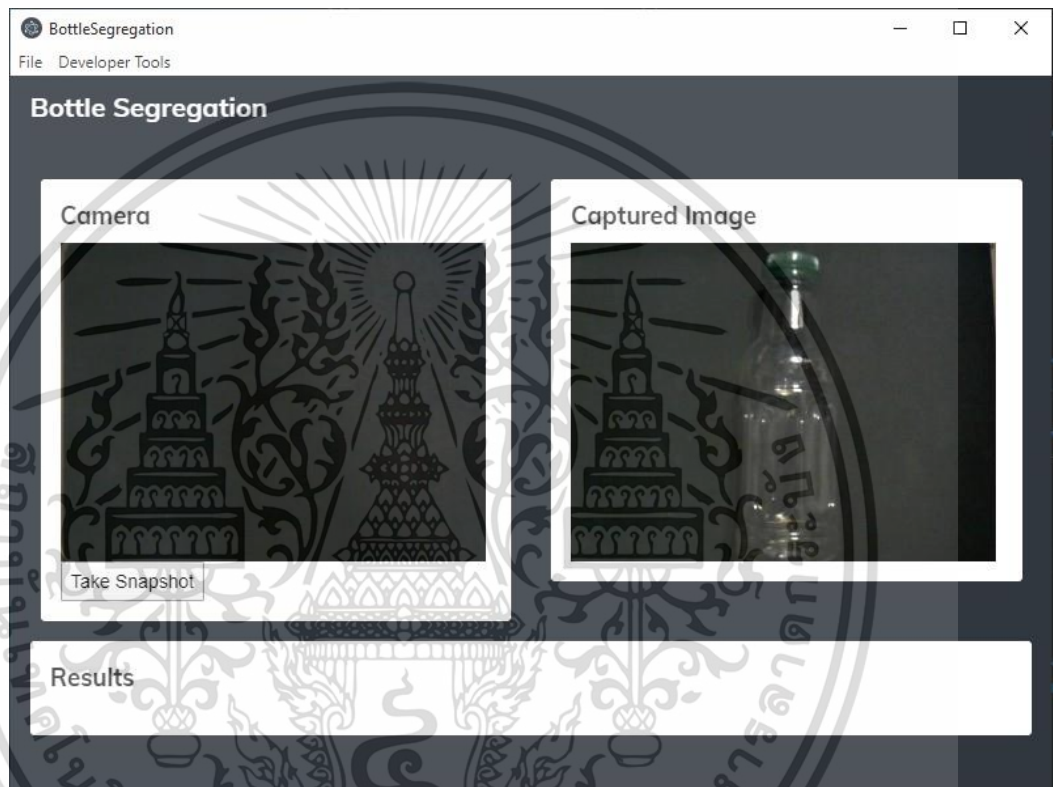
การทำทดลองแบบที่ 2 นี้ จะทำให้ทราบว่าควรจะใช้ฮาร์ดแวร์เข้ามาช่วยหรือไม่ และยังช่วยวิเคราะห์ปัญหาความใกล้เคียงของวัตถุอีกด้วย



รูป 3.7 รูปแบบการทดลองที่ 2

### 3.6 แอปพลิเคชันสำหรับติดต่อผู้ใช้งาน

โดยผู้ใช้งานจะต้องนำขวดพลาสติกที่จะตรวจสอบมาในบริเวณที่กล้องนั้นจับภาพ หน้าต่างด้านซ้ายจะเป็นภาพถ่ายทอศดจากกล้องและหน้าต่างด้านขวาจะเป็นส่วนของรูปที่ถ่ายมาแล้วสุด จากนั้นให้ทำการกด Take snapshot เพื่อทำการส่งรูปภาพไปวิเคราะห์ข้อมูล หลังจากทำการวิเคราะห์เรียบร้อยแล้ว ระบบจะส่งข้อมูลที่วิเคราะห์ห้กลับมาในส่วนของ Result



รูป 3.8 แอปพลิเคชันสำหรับติดต่อกับผู้ใช้งาน

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การสร้างโมเดลสำหรับการทดลอง

สำหรับการสร้างโมเดลเพื่อการแยกขวดพลาสติกนั้นได้เลือกใช้โมเดล InceptionV3, InceptionResNetV2 และ Xception มาเปรียบเทียบกับกันเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของโมเดลที่ดีที่สุดในการทดสอบนี้เนื่องจากมีขอบบางประเภทที่มีข้อมูลน้อยจึงทำการ Image Augmentation ด้วยการหมุนรูปเพื่อให้ได้จำนวนมากขึ้น รับค่ารูปเป็น RGB ขนาด 299x299

##### 4.1.1 พารามิเตอร์ที่ใช้

- Optimizer: Adam
- Loss Function: Categorical Cross-Entropy
- Batch Size: 32
- Epochs: 30
- Step per Epoch: training set / batch size
- Validation split: 20 %
- Weights: ImageNet
- Dropout: 0.5
- Rotation range: 15
- Horizontal flip

#### 4.2 การทดลองแบบที่ 1

การทดลองนี้เป็นการทดลองที่ได้แยกขวดพลาสติกออกเป็น 5 ชนิดคือ Colored , HDPE, PET, PP และ PVC

##### 4.2.1 ผลการทดลองครั้งที่ 1

###### 4.2.1.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง

- 1) เพื่อสร้างโมเดลเบื้องต้นไว้ใช้สำหรับการเปรียบเทียบและพัฒนาโมเดลต่อไป
- 2) เพื่อตรวจสอบความสามารถของโมเดล InceptionV3

###### 4.2.1.2 การตั้งสมมุติฐานของการทดลอง

1) ข้อมูลที่ไม่สมดุลกัน จะทำให้เกิดความเอนเอียงของข้อมูล ส่งผลให้ค่าความแม่นยำของประเภทข้อมูลที่มีน้อย มีความแม่นยำที่ต่ำ

#### 4.2.1.3 รายละเอียดการทดลอง

- Model : InceptionV3

- ชุดข้อมูลที่ใช้

Colored: 171 รูป

HDPE: 143 รูป

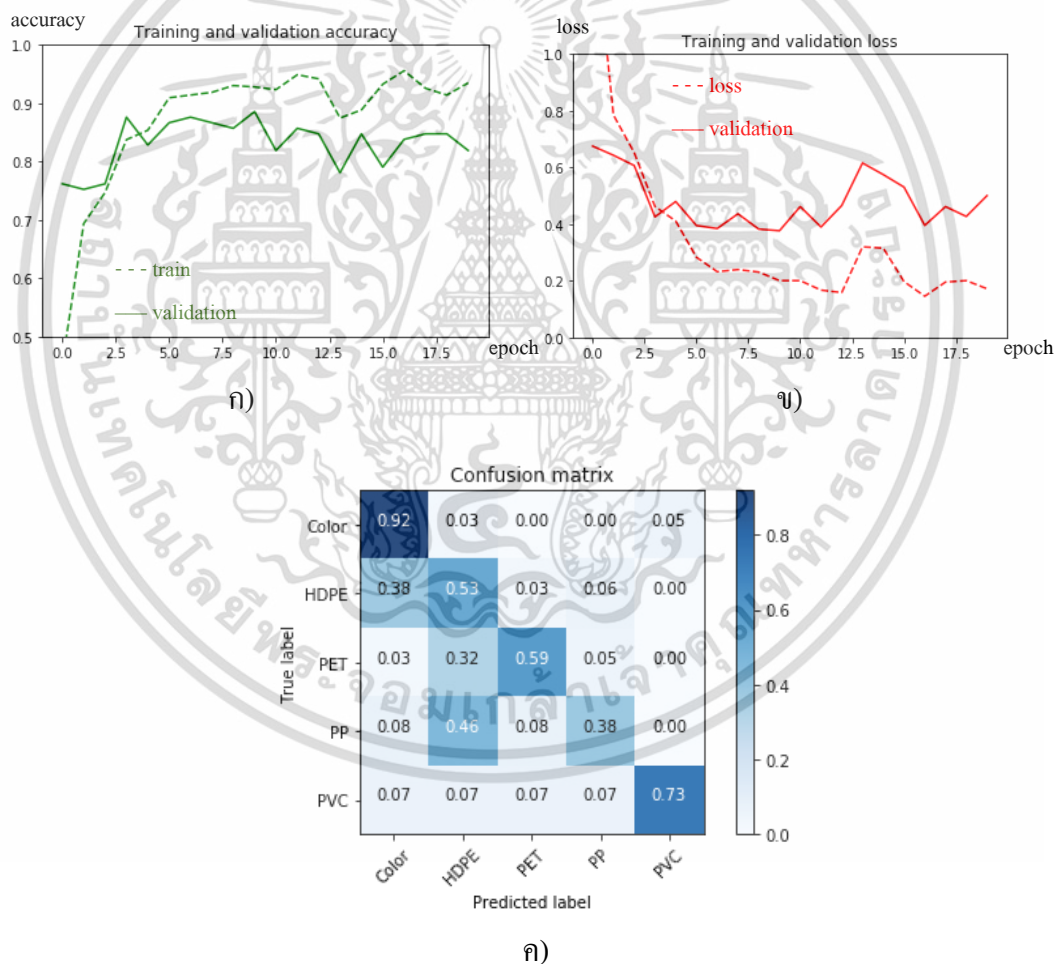
PET: 64 รูป

PP: 91 รูป

PVC: 67 รูป

#### 4.2.1.4 ผลการทดลอง

ค่าความแม่นยำมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 87 และค่าความผิดพลาดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 26



รูป 4.1 ผลการทดลองครั้งที่ 1

ก) กราฟแสดงความแม่นยำของโมเดล

ข) กราฟแสดงความผิดพลาดของโมเดล

ค) ตารางแสดงผลการทำนายของโมเดล

#### 4.2.1.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ขวดพลาสติกประเภทสีมีความแม่นยำสูงสุด อาจเนื่องมาจากมีจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้มากกว่าประเภทอื่น และอาจมีลักษณะที่แตกต่างชัดเจนจากขวดประเภทอื่น ๆ ขวดพลาสติกประเภท HDPE มีการทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภทสีค่อนข้างสูง อาจเนื่องมาจากขวดพลาสติกประเภทสีที่มีสีขาว จะแตกต่างกับขวดพลาสติกประเภท HDPE เพียงแค่ความเข้มของขวด หรือเรียกว่าความโปร่งใส ขวดพลาสติกประเภท PET มีการทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภท HDPE ค่อนข้างสูง อาจเนื่องมาจากความโปร่งใสเช่นเดียวกับสาเหตุเดียวกับขวดพลาสติกประเภท HDPE และ สี ขวดพลาสติกประเภท PP มีการทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภท HDPE ค่อนข้างสูง อาจเนื่องมาจากลักษณะของขวดและความโปร่งใสของขวดค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกัน ขวดพลาสติกประเภท PVC จะมีความคล้ายกันในเรื่องของสี และความใส กับขวดพลาสติกประเภท สี และ PET

#### 4.2.1.6 สรุปผลของการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการพัฒนาโมเดลเบื้องต้น จากชุดข้อมูลที่ไม่เท่ากัน เพื่อนำไปเปรียบเทียบและพัฒนาในการทดลองครั้งต่อไป จากตารางแสดงผลการทำนายแสดงให้เห็นว่า การแยกประเภทขวดสีมีความแม่นยำสูงสุดจากทั้งหมด 5 ประเภท และขวดประเภทอื่น ๆ มีความแม่นยำที่น้อยกว่าขวดสีตามลำดับ คือ PVC, PET, HDPE และ PP

### 4.2.2 ผลการทดลองครั้งที่ 2

#### 4.2.2.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง

1) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการทดลองที่ 1 หลังจากการเพิ่มประเภทข้อมูลที่มีน้อยให้ใกล้เคียงกับข้อมูลที่มีมากที่สุดด้วยวิธีการ augmentations

#### 4.2.2.2 การตั้งสมมุติฐานของการทดลอง

1) เมื่อทำการเพิ่มข้อมูลประเภทอื่น ๆ ให้ใกล้เคียงกันจะช่วยทำให้โมเดลมีประสิทธิภาพมากขึ้น

4.2.2.3 รายละเอียดการทดลอง

- Model : InceptionV3

- ชุดข้อมูลที่ใช้

Colored: 171 รูป

HDPE: 143 รูป

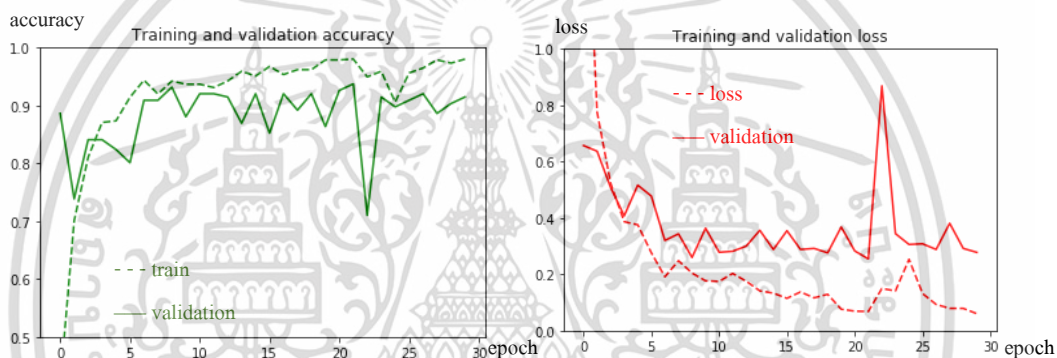
PET: 192 รูป

PP: 181 รูป

PVC: 201 รูป

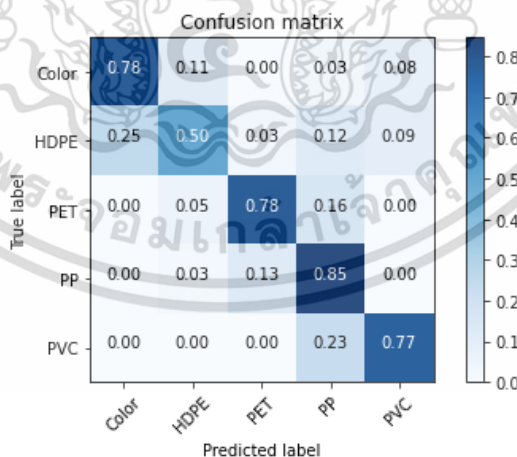
4.2.2.4 ผลการทดลอง

ค่าความแม่นยำมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 91 และค่าความผิดพลาดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 28



ก)

ข)



ค)

รูป 4.2 ผลการทดลองครั้งที่ 2

ก) กราฟแสดงความแม่นยำของโมเดล

ข) กราฟแสดงความผิดพลาดของโมเดล

ค) ตารางแสดงผลการทำนายของโมเดล

#### 4.2.2.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ขวดพลาสติกประเภทสี มีความแม่นยำที่ลดลง อาจเนื่องมาจากจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้แต่ละประเภทมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ขวดพลาสติกประเภท HDPE มีการทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภทสีค่อนข้างสูง อาจเนื่องมาจากขวดพลาสติกประเภทสีมีความโปร่งใสที่ใกล้เคียงกัน ขวดพลาสติกประเภท PET มีความแม่นยำเพิ่มขึ้นแต่มีการทำนายผิดที่เปลี่ยนไปเป็นขวดพลาสติกประเภท PP แทน HDPE ขวดพลาสติกประเภท PP มีความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นมาก อาจเนื่องมาจากข้อมูลที่เพิ่มขึ้น ขวดพลาสติกประเภท PVC มีการทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภท PP เพียงชนิดเดียว

#### 4.2.2.6 สรุปผลของการทดลอง

จากตารางแสดงผลการทำนายแสดงให้เห็นว่า ความแม่นยำของแต่ละประเภทเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ในส่วน of ขวดสีและ PVC มีความแม่นยำที่ลดลง เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 1 อาจเนื่องมาจาก การทำให้ข้อมูลแต่ละประเภทมีความสมดุลกันมากขึ้น

### 4.2.3 ผลการทดลองครั้งที่ 3

#### 4.2.3.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง

1) เพื่อวัดประสิทธิภาพของโมเดลเมื่อทำการเพิ่มข้อมูลตัวที่มากที่สุดเป็น 2 เท่า และข้อมูลชนิดอื่นให้ใกล้เคียงด้วยวิธีการ augmentations

#### 4.2.3.2 การตั้งสมมุติฐานของการทดลอง

1) การที่มีข้อมูลมากขึ้นจะส่งผลให้โมเดลมีประสิทธิภาพมากขึ้นตามไปด้วย

#### 4.2.3.3 รายละเอียดการทดลอง

- Model : InceptionV3

- ชุดข้อมูลที่ใช้

Colored: 342 รูป

HDPE: 284 รูป

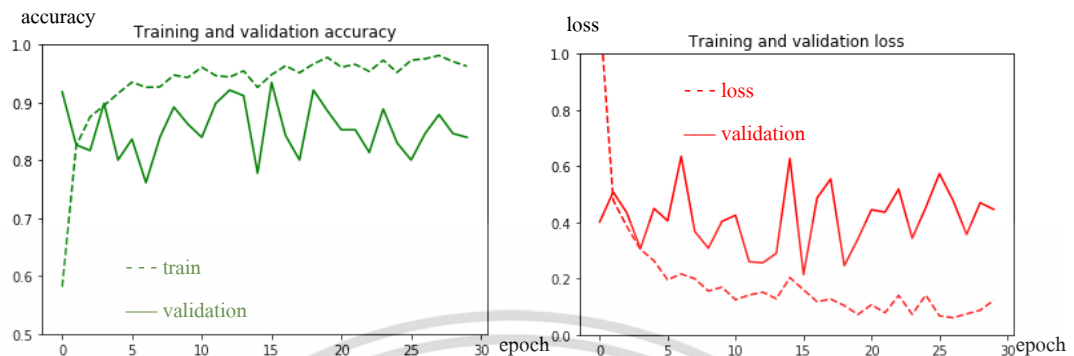
PET: 312 รูป

PP: 272 รูป

PVC: 331 รูป

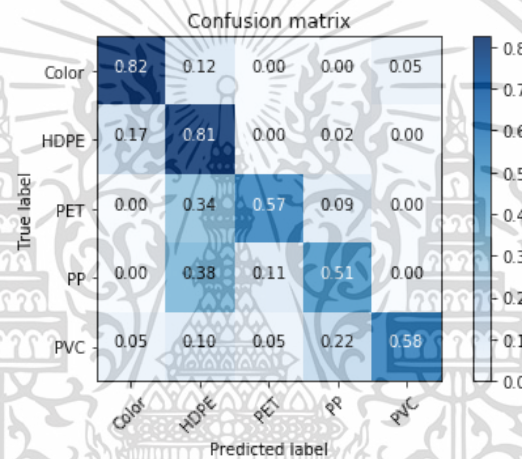
#### 4.2.3.4 ผลการทดลอง

ค่าความแม่นยำมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 84 และค่าความผิดพลาดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 44



ก)

ข)



ค)

#### รูป 4.3 ผลการทดลองครั้งที่ 3

ก) กราฟแสดงความแม่นยำของโมเดล

ข) กราฟแสดงความผิดพลาดของโมเดล

ค) ตารางแสดงผลการทำนายของโมเดล

#### 4.2.3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ขวดพลาสติกประเภทสี มีความแม่นยำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ขวดพลาสติกประเภท HDPE มีความแม่นยำที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้แต่ละประเภทมีปริมาณที่มากขึ้น ขวดพลาสติกประเภท PET มีการทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภท HDPE ค่อนข้างสูง อาจเนื่องมาจากความโปร่งใสใกล้เคียงกัน ขวดพลาสติกประเภท PP มีความแม่นยำที่ลดลง โดยมีการทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภท HDPE ค่อนข้างสูง อาจเนื่องมาจากลักษณะของขวด ความโปร่งใสที่ใกล้เคียงกัน และการเพิ่มข้อมูลมากเกินไป ขวดพลาสติกประเภท PVC มีความแม่นยำที่ลดลง และทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกหลาย ๆ ประเภท

#### 4.2.3.6 สรุปผลของการทดลอง

จากตารางแสดงผลการทำนายความแม่นยำโดยรวมไม่ได้เพิ่มขึ้น และในบางประเภทความแม่นยำที่ลดลงเมื่อเทียบกับการทดลองที่ 2 อาจเนื่องมาจากการ augmentations ที่มากเกินไป ทำให้ข้อมูลประเภทที่มีจำนวนข้อมูลน้อย ต้องทำการ augmentations หลายรอบ เพื่อให้จำนวนข้อมูลใกล้เคียงกับประเภทอื่น ๆ

#### 4.2.4 ผลการทดลองครั้งที่ 4

##### 4.2.4.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง

1) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง โมเดล InceptionV3 และ Xception กับ InceptionResNetV2 โดยใช้ชุดข้อมูลในการทดลองครั้งที่ 2

##### 4.2.4.2 การตั้งสมมุติฐานของการทดลอง

1) InceptionResnetV2 ที่มีขนาดของ parameters และ layers มากกว่า InceptionV3 จะประสิทธิภาพที่มากกว่า

2) Xception ที่มีการเปลี่ยนลำดับในการคิดคำนวณให้ต่างจาก InceptionV3 และ InceptionResnetV2 จะส่งผลให้การทำนายค่าแตกต่างจากเดิม

##### 4.2.4.3 รายละเอียดการทดลอง

- Model : InceptionResNetV2 และ Xception

- ชุดข้อมูลที่ใช้

Colored: 171 รูป

HDPE: 143 รูป

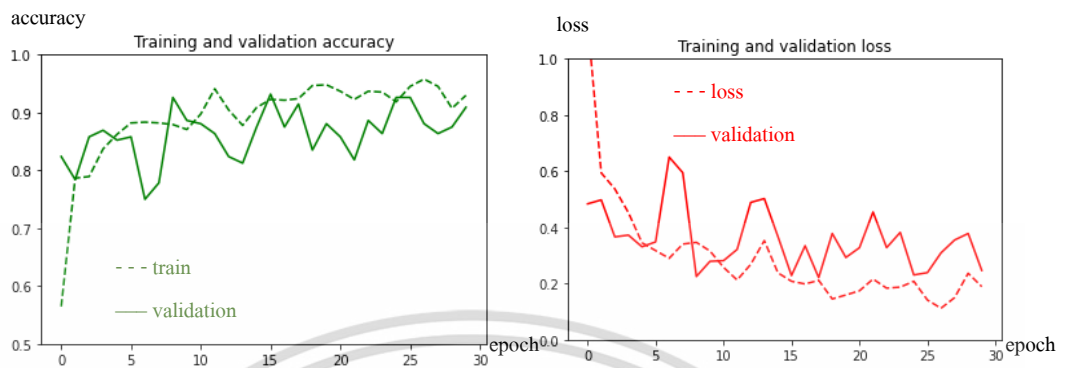
PET: 192 รูป

PP: 181 รูป

PVC: 201 รูป

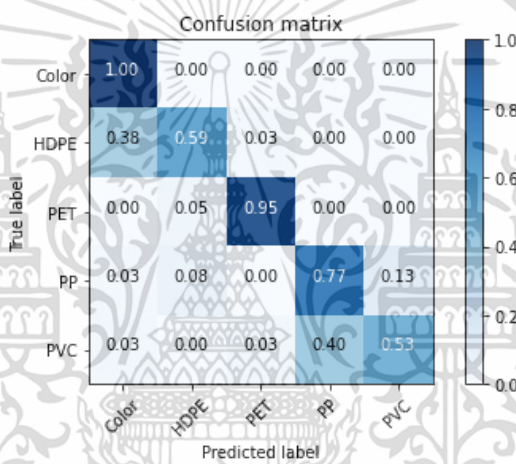
#### 4.2.4.4 ผลการทดลอง

ค่าความแม่นยำมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 91 และค่าความผิดพลาดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 25



ก)

ข)

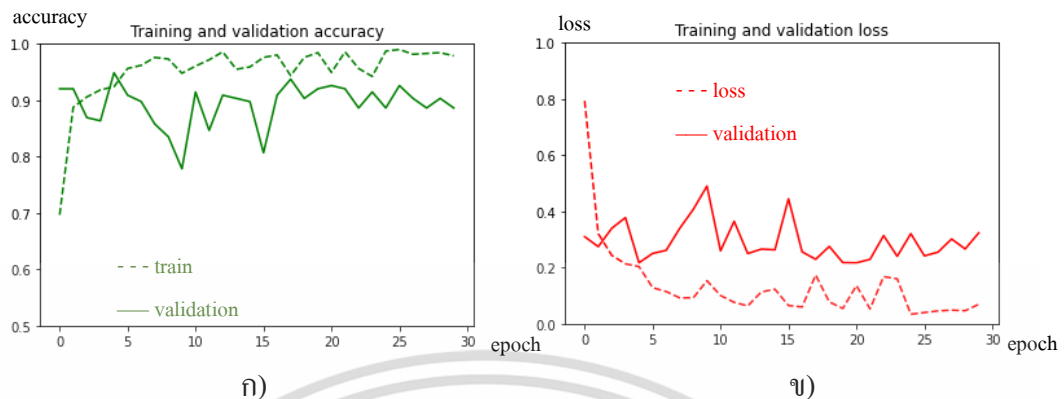


ค)

รูป 4.4 ผลการทดลองครั้งที่ 4 โมเดล InceptionResNetV2

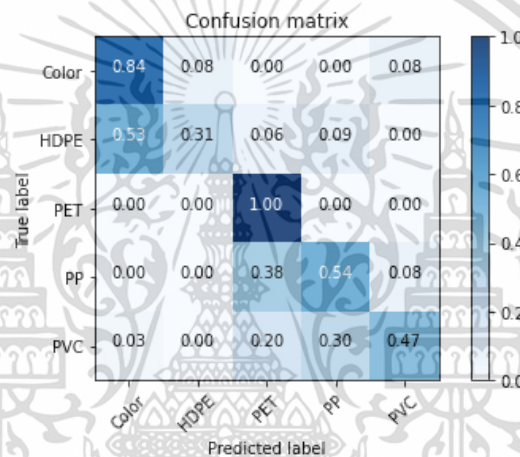
- ก) กราฟแสดงความแม่นยำของโมเดล
- ข) กราฟแสดงความผิดพลาดของโมเดล
- ค) ตารางแสดงผลการทำนายของโมเดล

ค่าความแม่นยำมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 87 และค่าความผิดพลาดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 32



ก)

ข)



ค)

#### รูป 4.5 ผลการทดลองครั้งที่ 4 โมเดล Xception

- ก) กราฟแสดงความแม่นยำของโมเดล
- ข) กราฟแสดงความผิดพลาดของโมเดล
- ค) ตารางแสดงผลการทำนายของโมเดล

#### 4.2.4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

- โมเดล InceptionResnetV2 ความแม่นยำในการทำนายขวดพลาสติกประเภทสี และ PET นั้นสูงมาก ขวดพลาสติกประเภท HDPE มีการทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภทสีค่อนข้างสูง ขวดพลาสติกประเภท PP และ PVC มีความแม่นยำในการทำนายที่ลดลงมาเล็กน้อย

- โมเดล Exception ความแม่นยำในการทำนายขวดพลาสติกประเภทสีนั้นสูง และ ขวดพลาสติกประเภท PET สูงมาก ขวดพลาสติกประเภท HDPE มีความแม่นยำในการทำนายที่ต่ำมาก โดยทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภทสีค่อนข้างสูง ขวดพลาสติกประเภท PP มีความแม่นยำในการทำนายที่ลดลงมา โดยทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภท PET ค่อนข้างสูง ขวด

พลาสติกประเภท PVC มีความแม่นยำในการทำนายที่ลดลงมา โดยทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภท PET และ PP ค่อนข้างสูง

#### 4.2.4.6 สรุปผลของการทดลอง

จากตารางแสดงผลการทำนาย สำหรับโมเดล InceptionResNetV2 ความแม่นยำของประเภทขวดสีและ PET เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ประเภทอื่น ๆ จะมีความแม่นยำลดลงเมื่อเทียบกับการใช้โมเดล InceptionV3 และ โมเดล Xception ความแม่นยำของขวดประเภท PET มีความแม่นยำที่สูงกว่าโมเดลทั้งสองที่ได้ทดลองใช้ แต่ความแม่นยำในการทำนายประเภทอื่น ๆ มีความแม่นยำที่ลดลง

#### 4.2.5 ผลการทดลองครั้งที่ 5

##### 4.2.5.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง

- 1) เพื่อตรวจสอบว่าการนำข้อมูลประเภท HDPE ที่คาดเดาว่าเป็นปัญหาออกไปบางส่วน
- 2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพหากมีการเพิ่มข้อมูลประเภท PET ที่จำนวนน้อยที่สุดให้มากขึ้น

##### 4.2.5.2 การตั้งสมมุติฐานของการทดลอง

เมื่อทำการปรับข้อมูลที่มีปัญหาออกและเพิ่มข้อมูลประเภทที่มีน้อยที่สุด จะส่งผลให้โมเดลมีประสิทธิภาพมากขึ้น

##### 4.2.5.3 รายละเอียดการทดลอง

- Model : InceptionV3, InceptionResNetV2 และ Xception

- ชุดข้อมูลที่ใช้

Colored: 171 รูป

HDPE: 192 รูป

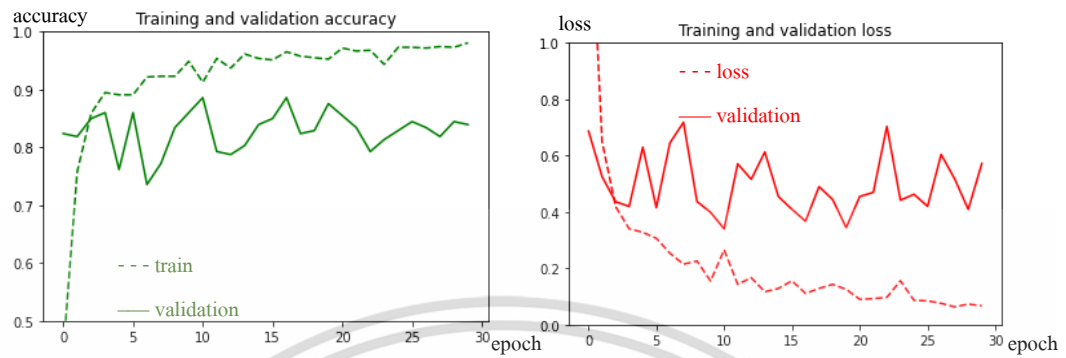
PET: 227 รูป

PP:181 รูป

PVC: 201 รูป

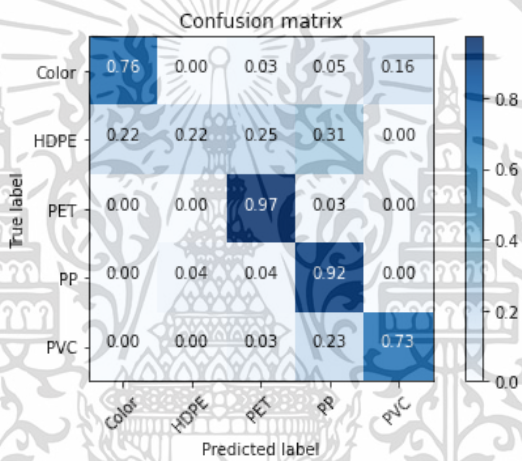
#### 4.2.5.4 ผลการทดลอง

ค่าความแม่นยำมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 84 และค่าความผิดพลาดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 57



ก)

ข)



ค)

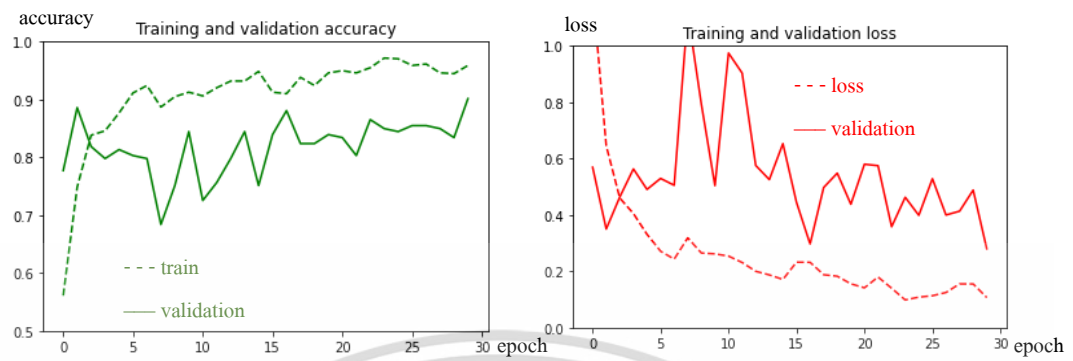
รูป 4.6 ผลการทดลองครั้งที่ 5 โมเดล InceptionV3

ก) กราฟแสดงความแม่นยำของโมเดล

ข) กราฟแสดงความผิดพลาดของโมเดล

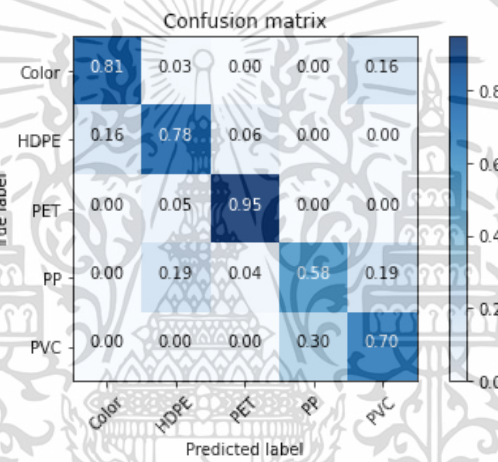
ค) ตารางแสดงผลการทำนายของโมเดล

ค่าความแม่นยำมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 90 และค่าความผิดพลาดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 28



ก)

ข)



ค)

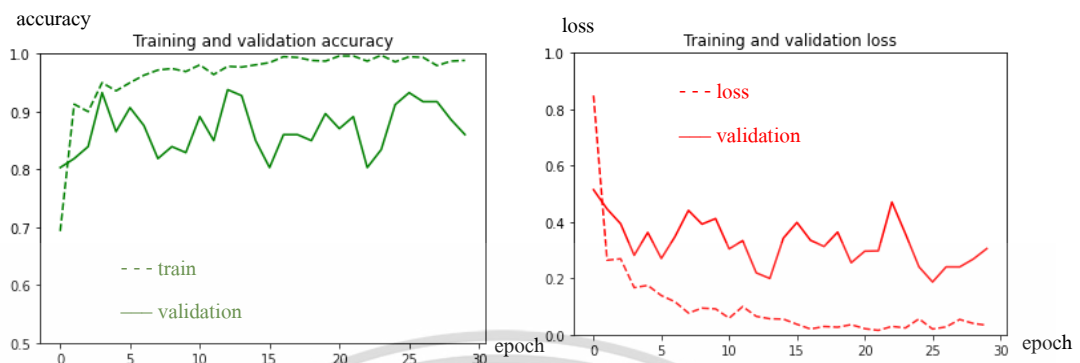
รูป 4.7 ผลการทดลองครั้งที่ 5 โมเดล InceptionResNetV2

ก) กราฟแสดงความแม่นยำของโมเดล

ข) กราฟแสดงความผิดพลาดของโมเดล

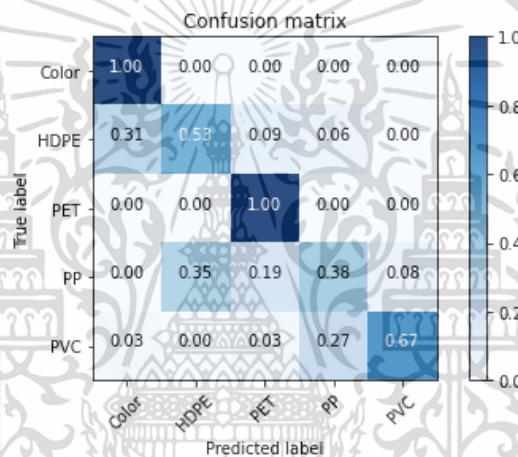
ค) ตารางแสดงผลการทำนายของโมเดล

ค่าความแม่นยำมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 86 และค่าความผิดพลาดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 30



ก)

ข)



ค)

รูป 4.8 ผลการทดลองครั้งที่ 5 โมเดล Xception

ก) กราฟแสดงความแม่นยำของโมเดล

ข) กราฟแสดงความผิดพลาดของโมเดล

ค) ตารางแสดงผลการทำนายของโมเดล

#### 4.2.5.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

- โมเดล InceptionV3 ความแม่นยำในการทำนายขวดพลาสติกประเภทสีใกล้เคียงเดิม ขวดพลาสติกประเภท HDPE มีความแม่นยำในการทำนายที่ต่ำมาก โดยผิดเป็นขวดพลาสติกประเภทอื่น ๆ ยกเว้นขวดพลาสติกประเภท PVC ขวดพลาสติกประเภท PET และ PVC มีความแม่นยำในการทำนายที่เพิ่มขึ้น ขวดพลาสติกประเภท PP มีความแม่นยำที่สูงมาก เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 2

- โมเดล InceptionResnetV2 ความแม่นยำในการทำนายขวดพลาสติกประเภทสี และ PVC นั้นลดลงมา ขวดพลาสติกประเภท HDPE มีความแม่นยำในการทำนายสูงขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูล ขวดพลาสติกประเภท PET มีความแม่นยำใกล้เคียงเดิม ขวดพลาสติกประเภท PP มีความแม่นยำในการทำนายที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 4

- โมเดล Exception ความแม่นยำในการทำนายขวดพลาสติกประเภทสี และ PET สูงมาก ขวดพลาสติกประเภท HDPE มีความแม่นยำในการทำนายเพิ่มขึ้น อยู่ในระดับปานกลาง โดยทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภทสีค่อนข้างสูง ขวดพลาสติกประเภท PP มีความแม่นยำในการทำนายที่ลดลงมาเล็กน้อย ค่อนข้างต่ำ โดยทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภท HDPE และ PET ขวดพลาสติกประเภท PVC มีความแม่นยำในการทำนายเพิ่มขึ้น โดยทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภท PP เป็นส่วนใหญ่ เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 4

#### 4.2.5.6 สรุปผลของการทดลอง

จากตารางแสดงผลการทำนาย โมเดล InceptionV3 ความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดคือขวดประเภท PP แต่ในส่วนของประเภท HDPE ที่ได้มีการจัดข้อมูลใหม่มีความแม่นยำลดลงเป็นอย่างมาก อาจเนื่องมาจากการปรับข้อมูลขวดประเภท HDPE ทำให้ข้อมูลก่อนการ Augmentations มีน้อยลง

- โมเดล InceptionResNetV2 ความแม่นยำของขวดประเภท HDPE เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้โมเดล InceptionV3 แต่ในทางกลับกัน ความแม่นยำของขวดประเภท PP ลดลง

- โมเดล Xception ความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นได้ชัดคือขวดประเภท Color และ PET แต่ในส่วนของขวดประเภทอื่น ๆ มีความแม่นยำที่ลดลงเหมือนกัน

#### 4.2.6 ผลการทดลองครั้งที่ 6

##### 4.2.6.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง

1) เพื่อวัดประสิทธิภาพของโมเดลหลังจากปรับแต่งและเพิ่มข้อมูลมากขึ้นจากการทดลองครั้งที่ 5

##### 4.2.6.2 การตั้งสมมุติฐานของการทดลอง

เมื่อทำการเพิ่มข้อมูล และ ปรับให้สมดุลกันจะทำให้โมเดลมีประสิทธิภาพมากกว่าการทดลองครั้งที่ 5

#### 4.2.6.3 รายละเอียดการทดลอง

- Model : InceptionV3, InceptionResNetV2 และ Xception

- ชุดข้อมูลที่ใช้

Colored: 381 รูป

HDPE: 315 รูป

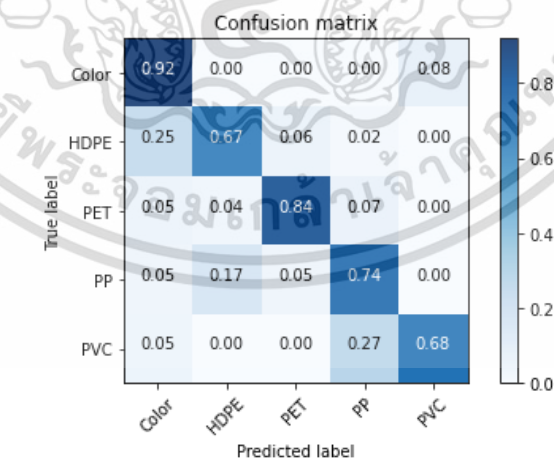
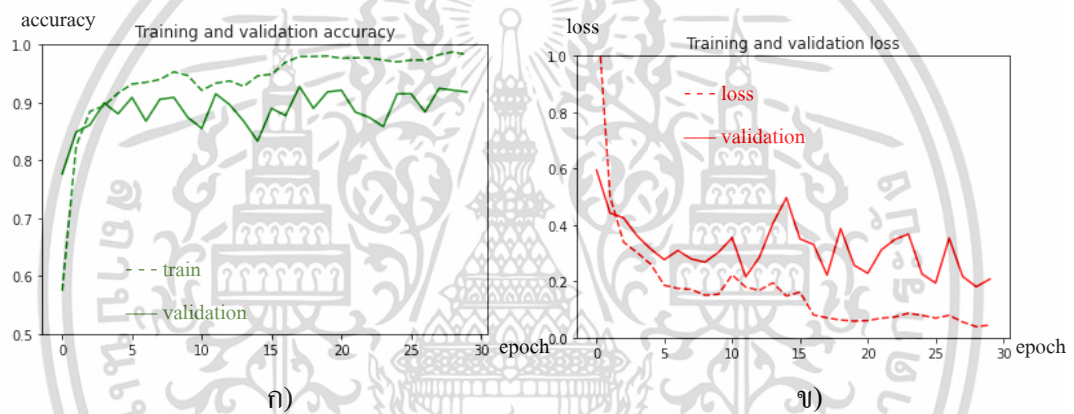
PET: 342 รูป

PP: 272 รูป

PVC: 325 รูป

#### 4.2.6.4 ผลการทดลอง

ค่าความแม่นยำมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 92 และค่าความผิดพลาดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 21

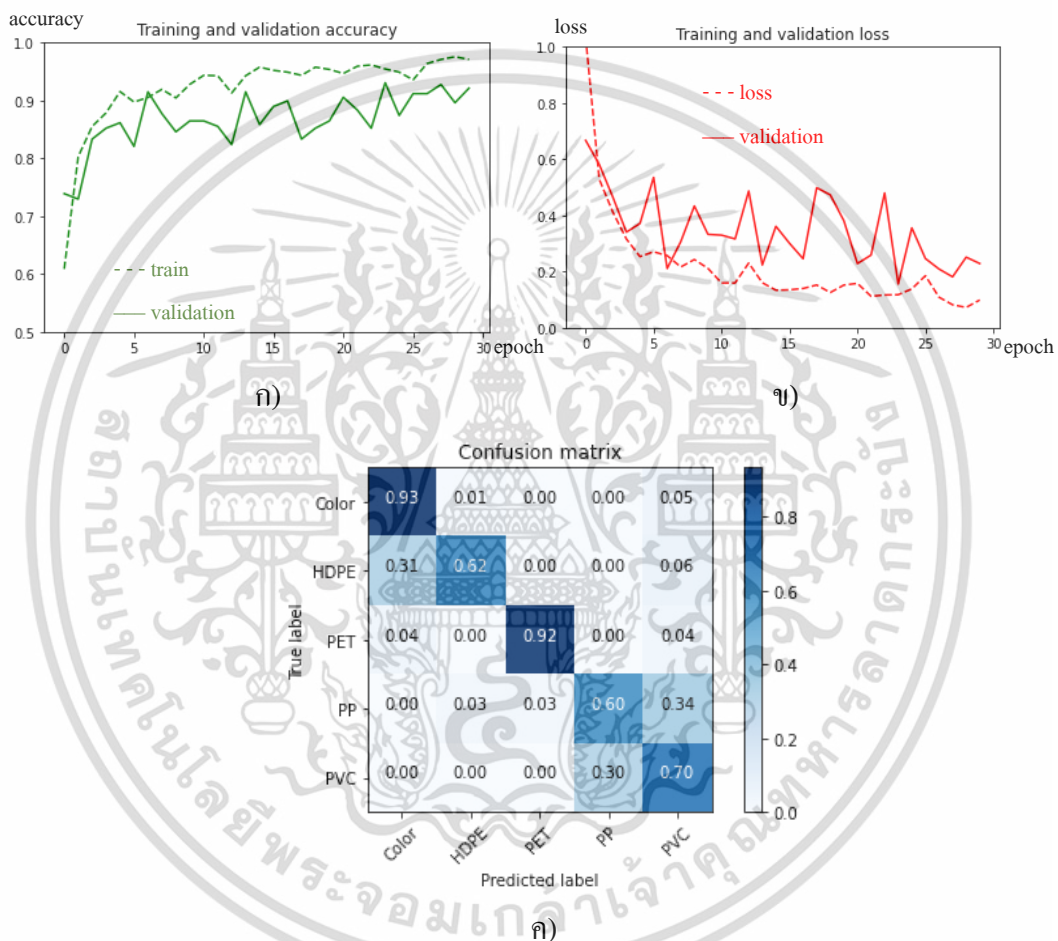


ก)

**รูป 4.9 ผลการทดลองครั้งที่ 6 โมเดล InceptionV3**

- ก) กราฟแสดงความแม่นยำของโมเดล
- ข) กราฟแสดงความผิดพลาดของโมเดล
- ค) ตารางแสดงผลการทำนายของโมเดล

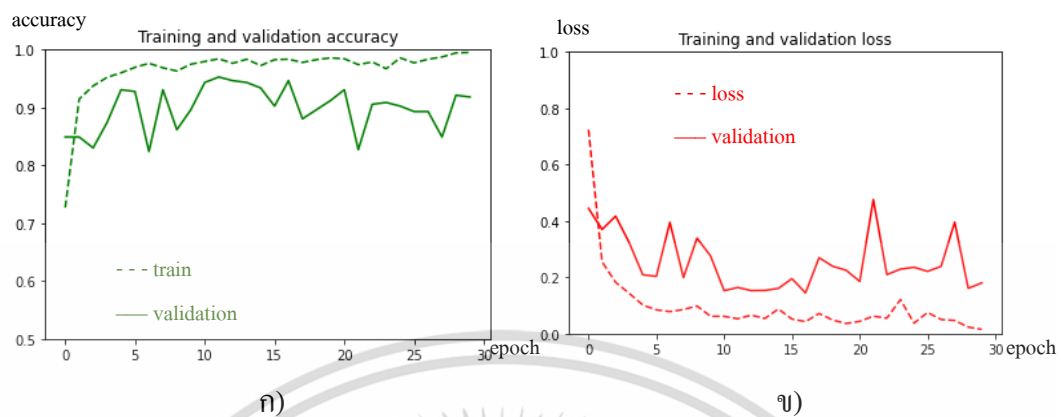
ค่าความแม่นยำมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 91 และค่าความผิดพลาดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 23



**รูป 4.10 ผลการทดลองครั้งที่ 6 โมเดล InceptionResNetV2**

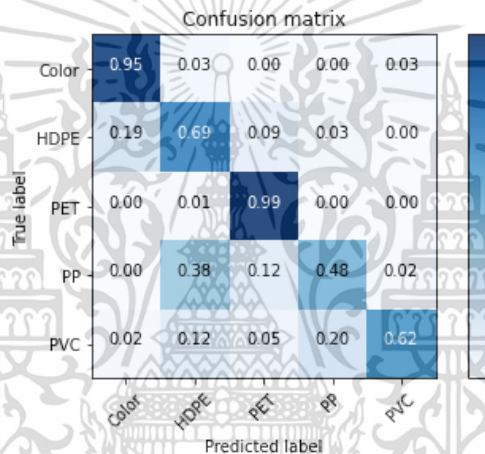
- ก) กราฟแสดงความแม่นยำของโมเดล
- ข) กราฟแสดงความผิดพลาดของโมเดล
- ค) ตารางแสดงผลการทำนายของโมเดล

ค่าความแม่นยำมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 91 และค่าความผิดพลาดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 18



ก)

ข)



ค)

รูป 4.11 ผลการทดลองครั้งที่ 6 โมเดล Xception

- ก) กราฟแสดงความแม่นยำของโมเดล  
 ข) กราฟแสดงความผิดพลาดของโมเดล  
 ค) ตารางแสดงผลการทำนายของโมเดล

#### 4.2.6.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

- โมเดล InceptionV3 ขวดพลาสติกประเภทสี มีความแม่นยำในการทำนายสูง โดยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ขวดพลาสติกประเภท HDPE มีความแม่นยำในการทำนายที่เพิ่มขึ้นมาอย่างเห็นได้ชัด และทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภทสีเป็นส่วนใหญ่ ขวดพลาสติกประเภท PET มีความแม่นยำในการทำนายที่สูง โดยลดลงมาเพียงเล็กน้อย ขวดพลาสติกประเภท PP และ PVC มีความแม่นยำในการทำนายที่ลดลงมา โดยขวดพลาสติกประเภท PP มีการทำนายผิดเป็นขวดพลาสติก

ประเภท HDPE เป็นส่วนใหญ่และ PVC มีมีการทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภท PP เป็นส่วนใหญ่ เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 5

- โมเดล InceptionResnetV2 ขวดพลาสติกประเภทสี มีความแม่นยำในการทำนายที่สูง โดยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ขวดพลาสติกประเภท HDPE มีความแม่นยำในการทำนายลดลง โดยทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภทสีค่อนข้างสูง ขวดพลาสติกประเภท PET มีความแม่นยำในการทำนายสูง โดยลดลงเล็กน้อย ขวดพลาสติกประเภท PP และ PVC มีความแม่นยำในการทำนายที่ใกล้เคียงเดิม โดยทำนายขวดพลาสติกประเภท PP เป็น PVC และทำนายขวดพลาสติกประเภท PVC เป็น PP เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 5

- โมเดล Exception ขวดพลาสติกประเภทสี และ PET มีความแม่นยำสูงมาก โดยลดลงมาเพียงเล็กน้อย ขวดพลาสติกประเภท HDPE มีความแม่นยำในการทำนายสูงขึ้น โดยทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภทสีเป็นส่วนใหญ่ ขวดพลาสติกประเภท PP มีความแม่นยำในการทำนายที่เพิ่มขึ้น โดยทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภท HDPE ค่อนข้างสูง ขวดพลาสติกประเภท PVC มีความแม่นยำในการทำนายลดลงเพียงเล็กน้อย โดยทำนายผิดเป็นขวดพลาสติกประเภท PP เป็นส่วนใหญ่ เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 5

#### 4.2.6.6 สรุปผลของการทดลอง

จากตารางแสดงผลการทำนาย โมเดล InceptionV3 ความแม่นยำในแต่ละประเภทค่อนข้างสูง โดยประเภทที่มีความแม่นยำน้อยที่สุดคือ HDPE คือร้อยละ 67 อาจเนื่องมาจากการ augmentation ข้อมูลมีความเหมาะสมกับชุดข้อมูลที่ได้มีการปรับใหม่ในการทดลองที่ 6

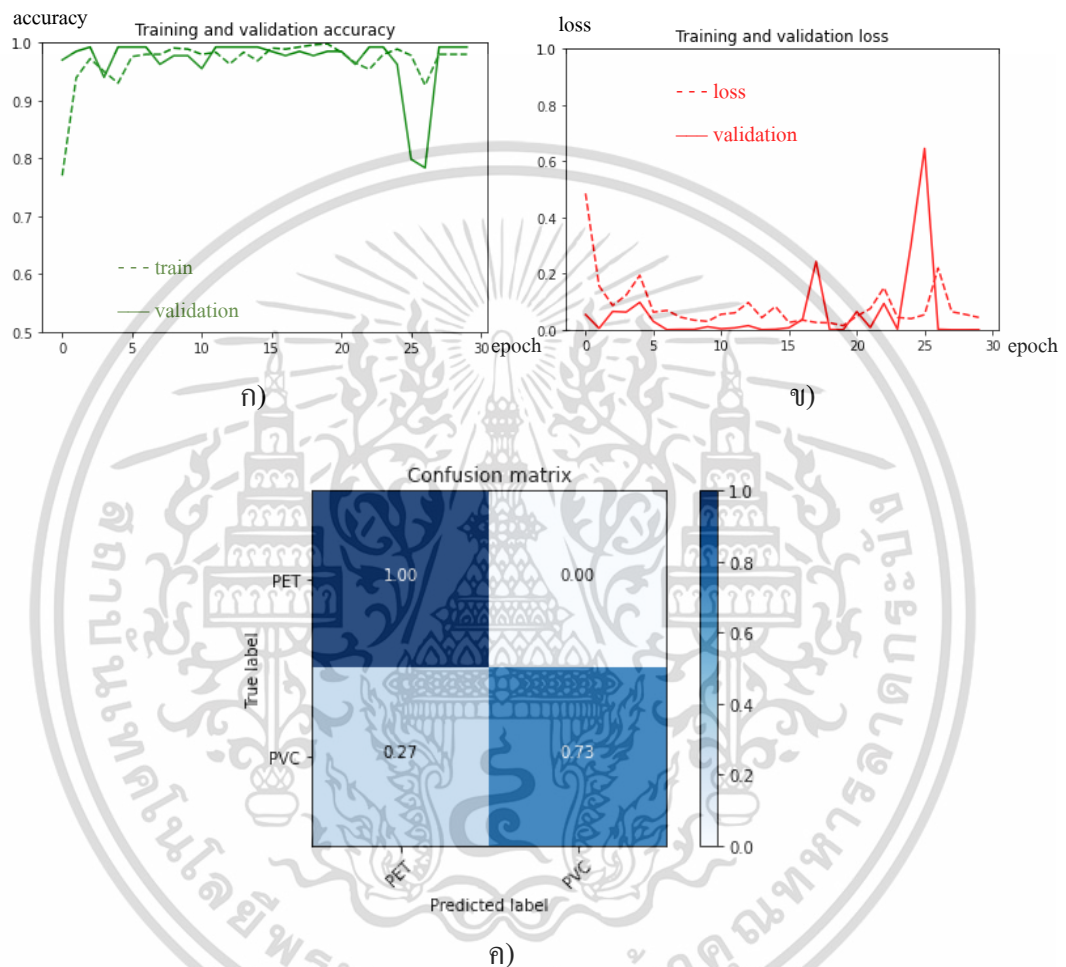
- โมเดล InceptionResNetV2 ความแม่นยำของขวดประเภทสีและ PET มีความแม่นยำที่สูง และในประเภทอื่น ๆ ก็ไม่ต่ำจนเกินไป โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการทำนายผิดพลาด โมเดลจะมีการทำนายที่ผิดไปขวดประเภทอื่นเพียงประเภทเดียวเท่านั้น ไม่ได้ทำนายผิดไปหลาย ๆ ประเภท

- โมเดล Xception ในแต่ละชุดข้อมูลที่แตกต่างกันจะเห็นได้ว่าชัดเจนว่าโมเดล Xception มีความแม่นยำที่ดีในการแยกขวดประเภทสี และ PET ซึ่งขวดประเภทอื่น ๆ ก็มีความแม่นยำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

### 4.3 การทดลองแบบที่ 2

#### 4.3.1 การทดลอง แยกขวด PET และ PVC

ทำการฝึกโมเดลโดยแบ่งเพียงสองประเภทระหว่าง PET(344 รูป) และ PVC(334 รูป)  
ค่าความแม่นยำมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 85 และค่าความผิดพลาดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 9

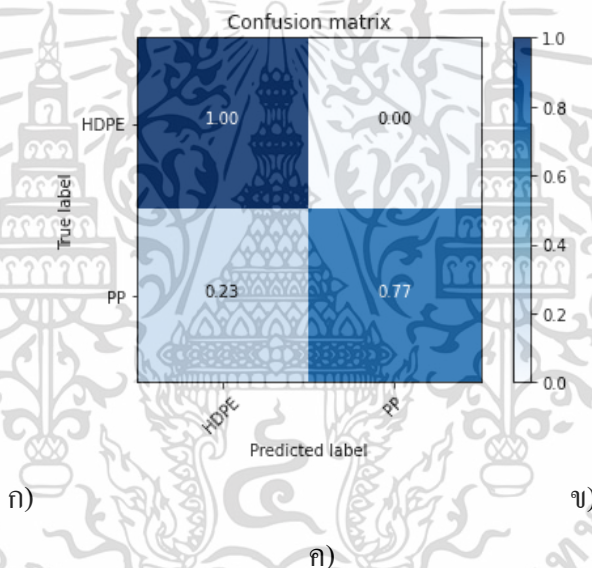
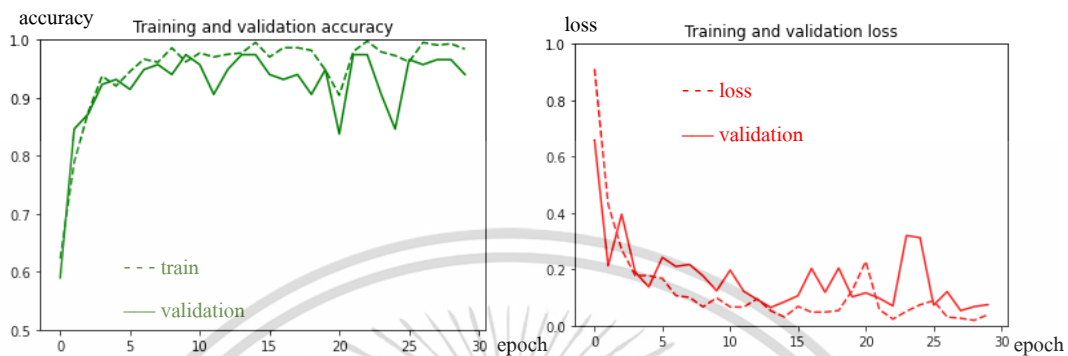


รูป 4.12 ผลการทดลองแยกขวด PET และ PVC

- ก) กราฟแสดงความแม่นยำของโมเดล
- ข) กราฟแสดงความผิดพลาดของโมเดล
- ค) ตารางแสดงผลการทำนายของโมเดล

4.3.2 การทดลองแยกขวด HDPE และ PP

ทำการฝึกโมเดลโดยแบ่งเพียงสองประเภทระหว่าง HDPE(317 รูป) และ PP(272 รูป) ค่าความแม่นยำมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 89 และค่าความผิดพลาดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 19



รูปที่ 4.13 ผลการทดลองแยกขวด HDPE และ PP

- ก) กราฟแสดงความแม่นยำของโมเดล
- ข) กราฟแสดงความผิดพลาดของโมเดล
- ค) ตารางแสดงผลการทำนายของโมเดล

#### 4.3.3 สรุปผลการทดลอง

- 1) ผลลัพธ์ของการทดลองที่ 2 (2 ประเภท) นั้นมีประสิทธิภาพพร้อมใช้งาน
- 2) การฝึกโมเดล โดยมีเพียง 2 ประเภทจะทำให้โมเดลทำนายได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น
- 3) จากทดลองที่ 1 มีเพียงชนิดชนิด PET และ พลาสติกกรรมสิทธิ์จะถูกแยกประเภทได้ง่าย เพราะทั้ง 2 ชนิดมีคุณลักษณะและรูปร่างที่ชัดเจน
- 4) การทำความสะอาดข้อมูลเช่น การลบรูปที่ซ้ำ หรือรูปที่มี noise เยอะ มีส่วนช่วยฝึกให้โมเดลดีมากขึ้น



## บทที่ 5

# บทสรุปผลและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผล

เนื่องจากในขั้นแรกผู้จัดทำ ทำการเก็บข้อมูลขวดพลาสติกจากทางอินเทอร์เน็ตเมื่อทำการคัดกรองและรวบรวมมายังคงมีปัญหาทางด้านความสมดุลของข้อมูล ทางผู้จัดทำจึงทำการเพิ่มข้อมูลที่จัดถ่ายขึ้นเองจากขวดพลาสติก โดยการทดลองที่ได้ทำในขั้นแรกนั้นคือทดสอบชุดข้อมูลที่เก็บมา เพื่อหาจุดบกพร่องของชุดข้อมูลและแสดงถึงแนวโน้มของความสัมพันธ์ของแต่ละชนิดของข้อมูล เมื่อทำการทดลองจึงสรุปได้ว่าชนิดของขวดพลาสติกที่จะนำมาจำแนกมีทั้งหมด 5 ชนิด โดยการทดลองในขั้นต่อไปคือการหาวิธีการฝึกสอนแบบจำลองที่แม่นยำที่สุดและหาสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่มีความแม่นยำในการจำแนกชนิดของขวดพลาสติก โดยจากการทดลองพบว่าการฝึกสอนแบบจำลองโดยใช้ค่าน้ำหนักเริ่มต้น ImageNet ในสถาปัตยกรรมที่ให้ค่าความแม่นยำที่ดีที่สุดคือ InceptionResnetV2 ในการทดลองเกิดปัญหาชุดข้อมูลที่ไม่วสมบูรณ์หรือน้อยเกินไป จึงทำการแก้ปัญหาด้วยวิธีการ Image Augmentation ปัญหาเรื่องภาพรวบรวมมีขนาดไม่เท่ากันจึงใช้การ Image Processing เข้ามาจัดการขนาดของภาพให้เหลือเพียง 299\*299 pixels หลังจากประยุกต์ใช้เทคนิคต่างเพื่อแก้ปัญหของชุดข้อมูลแล้ว พบว่าสถาปัตยกรรม InceptionResnetV2 นั้นสามารถจำแนกชนิดของขวดพลาสติกได้แม่นยำที่สุด ในการทดลองแบบที่ 2 นั้นเพื่อทดลองการจำแนกชนิดของขวดพลาสติกหลังจากมีการแบ่งกลุ่มออกเป็นสามประเภทคือ ขวดใส ขวดขุ่น และขวดทึบแสง โดยเป็นการแยกจากลักษณะของเนื้อพลาสติกจากเทคโนโลยี เช่น NIR Spectroscopy อ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หลังทดลองแบบที่ 2 แล้วพิสูจน์ว่าหากมีการนำเทคโนโลยี NIR Spectroscopy เข้ามาช่วยในงานวิจัยจะทำให้ผลลัพธ์ในการจำแนกชนิดขวดพลาสติกทำงานได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น

### 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

- 1) จำนวนคลาสข้อมูลของแต่ละคลาสมิ่จำนวนไม่เท่ากันต้องทำการ Resample โดยการใช้นิเทศ Image Augmentation
- 2) หากรับภาพคุณภาพสูงมาประมวลผลจะใช้ runtime เยอะ จึงกำหนดให้รับภาพขนาดเล็กเพื่อความรวดเร็วในการประมวลผล
- 3) ชนิดของข้อมูลบางชนิดมีความคล้ายกันของข้อมูลทำให้เกิดปัญหาการทำนายผลผิดพลาด จึงต้องทำการนำข้อมูลที่ปัญหานั้นออก

### 5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

- 1) เพิ่มชุดข้อมูลหรือรูปทรงของขวด เพื่อขยายขอบเขตของการจำแนกประเภท
- 2) พัฒนาโมเดลและกระบวนการการทำงานของระบบให้เร็วขึ้น
- 3) พัฒนาอัลกอริทึมที่ช่วยให้ Runtime ลดลง
- 4) สามารถคัดกรองประเภทของขวดพลาสติกที่มีการหุ้มฉลาก



## บรรณานุกรม

ดร.สมไทย วงษ์เจริญ. 2551. **คู่มือแยกขยะประจำบ้าน**. กรุงเทพฯ : จำปาทองพรีนติ้ง.

[1] Yahia Tachwali, B.S. 2005. **Automatic Plastic Bottle Classification System for Recycling**.  
Thesis of University of Sharjah, School of Engineering.

Anuluwapo O. Ajayi. 2016. **Evaluation of Plastic Waste Classification Systems**.  
Department of Computer Science and Engineering, Obafemi Awolowo University, Nigeria.

[2] Meltem Atay. 2018. **RecycleNet: Intelligent Waste Sorting Using Deep Neural Networks**.  
[Online]. Available : [https://www.researchgate.net/publication/325626219\\_RecycleNet\\_Intelligent\\_Waste\\_Sorting\\_Using\\_Deep\\_Neural\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/325626219_RecycleNet_Intelligent_Waste_Sorting_Using_Deep_Neural_Networks)

Pravin Dhulekar, P.A. 2018. **Development of Bottle Recycling Machine Using Machine Learning Algorithm**. [Online]. Available : <https://ieeexplore.ieee.org/document/8529483>

Peerat Limkonchotiwat. 2561. **เริ่มเรียน Machine Learning 0-100 zero to Mr.incredible**.  
[Online]. Available : <https://medium.com/mmp-li/%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%99-machine-learning-0-100-introduction-1c58e516bfcd>

Peerat Limkonchotiwat. 2561. **Deep Learning แบบฉบับคนสามัญชน EP 1 : Neural Network History**. [Online]. Available : <https://medium.com/mmp-li/deep-learning-%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%89%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%84%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8A%E0%B8%99-ep-1-neural-network-history-f7789236a9a3>

Arthtur Ouaknine. 2561. **Review of Deep learning Algorithms for Image Semantic**

**Segmentation.** [Online]. Available : [https://medium.com/@arthur\\_ouaknine/review-of-deep-learning-algorithms-for-image-semantic-segmentation-509a600f7b57](https://medium.com/@arthur_ouaknine/review-of-deep-learning-algorithms-for-image-semantic-segmentation-509a600f7b57)

missinglink. **TensorFlow Image Classification: Three Quick Tutorials.** [Online]. Available :

<https://missinglink.ai/guides/tensorflow/tensorflow-image-classification/>

Natthawat Phongchit. 2018. **Convolutional Neural Network (CNN) คืออะไร.**

[Online]. Available :

<https://medium.com/@natthawatphongchit/%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%94%E0%B8%B9%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%98%E0%B8%B5%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%84%E0%B8%B4%E0%B8%94%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87-cnn-%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%99-e3f5d73eebaa>

keras.io. **Keras Documentation: Applications.** [Online]. Available :

<https://keras.io/applications/>

Nuttakan Chuntra. 2018. **OpenCV คืออะไร?.** [Online]. Available :

<https://medium.com/@nut.ch40/opencv-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3-8771e2a4c414>

Korkeat W. 2016. **Machine learning #4 | การนำ Machine learning มาใช้งานต้องทำอะไรบ้าง**

[Online]. Available : <https://khasathan.in.th/archives/1217/machine-learning-4->

[%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%99%E0%B8%B3-machine-learning-](https://khasathan.in.th/archives/1217/machine-learning-4-%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%99%E0%B8%B3-machine-learning-)

[%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%97%E0%B8%B3%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3%E0%B8%9A%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%87](https://khasathan.in.th/archives/1217/machine-learning-4-%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%97%E0%B8%B3%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3%E0%B8%9A%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%87)