



รายงานการวิจัย

การพัฒนานวัตกรรมการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้า

เกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

โครงการย่อยภายใต้โครงการ

นวัตกรรมการดิจิทัลเกษตรอินทรีย์เพื่อยกระดับการแข่งขันและวางรากฐาน

ธุรกิจแพลตฟอร์มชุมชนบนพื้นฐานปัญญาประดิษฐ์

พณณา ตั้งวรรณวิทย์

สาขาคณิตศาสตร์และวิทยาการคำนวณ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2566

รายงานการวิจัย

การพัฒนานวัตกรรมการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้า เกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

พณณา ตั้งวรรณวิทย์

สาขาคณิตศาสตร์และวิทยาการคำนวณ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ทุนอุดหนุนโดย งบประมาณแผ่นดิน

ประเภทโครงการวิจัยพัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

ประจำปีงบประมาณ 2566

ชื่องานวิจัย การพัฒนานวัตกรรมการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

ผู้วิจัย พณณา ตั้งวรรณวิทย์

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ปีที่เสร็จ 2566

บทคัดย่อ

การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence; AI) ซึ่งมุ่งเน้นไปที่เกษตรกร ทำให้เกษตรกรสามารถนำความรู้ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศด้านการเกษตรมาประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งพัฒนามาตรฐานสินค้า ให้มีคุณภาพเป็นมาตรฐานสากลมากยิ่งขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัย (1) เพื่อใช้การประมวลผลภาพ มาประยุกต์ใช้บนพื้นฐานปัญญาประดิษฐ์ในขั้นตอนของการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว (Postharvest Handling System) ประเภทผลไม้ของจังหวัดเพชรบูรณ์ (2) เพื่อใช้อัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ และ (3) เพื่อการวัดประสิทธิภาพของโมเดลได้แก่ Accuracy, Precision, Recall และ F1-score

ผลการวิจัยใช้การสกัดคุณลักษณะเด่นของภาพใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพร่วมกับอัลกอริทึมการคัดแยกประเภทข้อมูล (Classifier algorithm) ซึ่งได้เลือกใช้อัลกอริทึมที่มีลักษณะพื้นฐานที่ต่างกันเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้โดยใช้ภาษาโปรแกรม MATLAB เพื่อจัดเก็บข้อมูลคุณลักษณะของภาพลงฐานข้อมูลซึ่งประกอบด้วย Area, Black pixel, White pixel, Perimeter, Diameter และ Centroid การนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยจำนวน 150 ผัก มาทำการหาคลาสสมบูรณ์ กับคลาสไม่สมบูรณ์ โดยกำหนดความสมบูรณ์ของ RGB ไว้ที่ ร้อยละ 90 ของผักมะขาม สุดท้ายนำมาเทียบกับการคัดแยกโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่ามีความตรงกันร้อยละ 90 หลังจากนั้นผู้วิจัยวัดประสิทธิภาพการทดสอบโมเดลด้วยค่า Accuracy พบว่า Random Forrest มีค่า Accuracy สูงที่สุด และนำข้อมูลดังกล่าวไปหาค่า Cross Validation Score เพื่อยืนยันประสิทธิภาพโมเดล ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.66 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.30 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดีมาก ผลการประเมินโดยผู้ใช้งานทั่วไป มีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.48 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.12 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดี

คำสำคัญ : การประมวลผลภาพ, เกษตรอินทรีย์

กิติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำต่าง ๆ จากคณาจารย์ และบุคลากร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้ทรงคุณวุฒิที่สละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญ ตัวแทนชุมชนที่เข้ารับการสัมภาษณ์ ที่ให้ความกรุณาตรวจสอบ และเสนอแนะในการพัฒนารูปแบบและการให้ข้อมูลในการทำวิจัยแก่คณะผู้วิจัย

ท้ายสุดนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงยิ่ง ทุนการวิจัยที่ได้รับจากทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2566 ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

พณณา ตั้งวรรณวิทย์

1 ธันวาคม 2566

สารบัญ

บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญภาพ	จ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1	1
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
บทที่ 2	4
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การประมวลผลภาพ (Image Processing)	4
2.2 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา (RGB to Grayscale)	11
2.3 การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold)	12
2.4 การแปลงภาพเป็นขาวดำ (Binary Image)	13
2.5 การหาขอบภาพ (Edge Detection)	14
2.6 การกำหนดคุณภาพมาตรฐานและการรับรองคุณภาพผลไม้จังหวัดเพชรบูรณ์	15
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20

บทที่ 3	21
วิธีดำเนินงานวิจัย	21
3.1 กรอบแนวคิด	21
3.2 การเตรียมข้อมูล	22
3.3 การสร้างแบบจำลอง	24
3.4 การทดสอบและประเมินผล	28
บทที่ 4	29
สรุปผลการวิจัย	29
5.1 ผลการหาคุณภาพรูปร่างและรอยแตกพื้นผิว	29
5.2 ผลการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ใช้งาน	36
บทที่ 5	54
สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	60
แบบสอบถามฉบับที่ 1	61
แบบสอบถามฉบับที่ 2	64
ผลการประเมินค่าความสอดคล้อง (IOC) โดยผู้เชี่ยวชาญ	67
การดำเนินกิจกรรม	70

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1	การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา.....	11
ภาพที่ 2	การแปลงภาพขาวดำ.....	13
ภาพที่ 3	แสดงกรอบแนวคิดนวัตกรรม	21
ภาพที่ 4	ตัวอย่างภาพมะขามหวานพันธุ์สีทองที่มีความสมบูรณ์.....	23
ภาพที่ 5	ตัวอย่างภาพภาพมะขามหวานพันธุ์สีทองที่ไม่มีความสมบูรณ์	23
ภาพที่ 6	การใช้ boundary detection ในการแยกภาพออกไปเป็น region.....	25
ภาพที่ 7	คำสั่งที่ใช้ในการ Training set and test set.....	26
ภาพที่ 8	การใช้ Linear Equation ในระยะ 20 เซนติเมตร.....	30
ภาพที่ 9	การใช้ Linear Equation ในระยะ 30 เซนติเมตร.....	31
ภาพที่ 10	การใช้ Linear Equation ในระยะ 40 เซนติเมตร	31
ภาพที่ 11	การใช้ Linear Equation ในระยะ 50 เซนติเมตร	32
ภาพที่ 12	การใช้ Linear Equation ในระยะ 60 เซนติเมตร	32
ภาพที่ 13	ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพ.....	33
ภาพที่ 14	ขั้นตอนการทำงานของระบบ	36
ภาพที่ 15	ผลการออกแบบหน้าจอ	37
ภาพที่ 16	การคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์.....	38
ภาพที่ 17	การคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทมะขามหวาน แบบผ่าน	39
ภาพที่ 18	การคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทมะขามหวาน แบบไม่ผ่าน	39
ภาพที่ 19	การคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทโอคาโด.....	40
ภาพที่ 20	การคัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทโอคาโดพื้นผิวที่มีตำหนิ แบบไม่ผ่าน	40
ภาพที่ 21	การคัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทโอคาโดผิวสุก แบบไม่ผ่าน	41
ภาพที่ 22	การคัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทโอคาโด แบบผ่าน	41
ภาพที่ 23	การคัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทกล้วย ขนาดไม่ได้มาตรฐาน แบบไม่ผ่าน	42

ภาพที่ 24	การคัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทกล้วย พื้นผิวไม่ได้มาตรฐาน	
	แบบไม่ผ่าน	42
ภาพที่ 25	การคัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทกล้วย พื้นผิวไม่ได้มาตรฐาน	
	แบบไม่ผ่าน	43
ภาพที่ 26	การคัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทกล้วยพื้นผิวได้มาตรฐาน	
	แบบผ่าน	43
ภาพที่ 27	การคัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทกล้วยขนาดได้มาตรฐาน	
	แบบผ่าน	44

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	รูปแบบข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูลคุณลักษณะเด่นของภาพ.....	25
ตารางที่ 2	Evaluation parameters with associated formulas.	28
ตารางที่ 3	ผลการหาระยะห่างของกล้องต่อคุณภาพของภาพถ่ายในขนาดที่แตกต่างกัน	30
ตารางที่ 4	ผลของระยะห่างและพื้นที่	30
ตารางที่ 5	สมการเส้นตรงของการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่มาตรฐานต่อระยะห่างของกล้อง	33
ตารางที่ 6	ค่าพิกเซลในค่าสีแดง สีเขียว และสีฟ้า.....	34
ตารางที่ 7	ค่าความถูกต้องและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 5 fold cross validation.....	35
ตารางที่ 8	ค่าความถูกต้องและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก Cross Validation Score.....	35
ตารางที่ 9	ผลการวัดระดับคุณภาพด้านความต้องการของผู้ใช้งาน.....	45
ตารางที่ 10	ผลการวัดระดับคุณภาพด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ	46
ตารางที่ 11	ผลการวัดระดับคุณภาพด้านความเหมาะสมในการใช้งานระบบ.....	47
ตารางที่ 12	ผลการวัดระดับคุณภาพด้านความปลอดภัยของระบบ.....	48
ตารางที่ 13	ผลการวัดระดับความพึงพอใจด้านความต้องการของผู้ใช้งาน.....	49
ตารางที่ 14	ผลการวัดระดับความพึงพอใจด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ	49
ตารางที่ 15	ผลการวัดระดับความพึงพอใจด้านความเหมาะสมในการใช้งานระบบ	50
ตารางที่ 16	ผลการวัดระดับความพึงพอใจด้านความปลอดภัยของระบบ	51
ตารางที่ 17	ผลการประเมินระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ	52
ตารางที่ 18	ผลการประเมินระบบโดยผู้ใช้งานทั่วไป	52
ตารางที่ 19	สรุปผลการประเมินค่าความสอดคล้องโดยผู้เชี่ยวชาญ	67
ตารางที่ 20	สรุปผลค่าความสอดคล้องในแต่ละด้าน.....	69

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การนำปัญญาประดิษฐ์มาพัฒนาเกษตรอินทรีย์เพื่อเป็นการเตรียมพร้อมหลังเกิดโรคระบาด (โควิด-19) ที่อุตสาหกรรมทางการเกษตรจะกลับมาเป็นความต้องการของตลาดที่มีมูลค่าสูง เพื่อเป็นการสนองตอบยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 กลุ่มวิจัยเร่งด่วนตามนโยบายรัฐบาล และยุทธศาสตร์และวิสัยทัศน์ของจังหวัด รวมถึงยุทธศาสตร์ของมหาวิทยาลัย กลุ่มเรื่องงานวิจัย เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายและยุทธศาสตร์การอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ได้มีแนวคิดขับเคลื่อนแผนยุทธศาสตร์ส่งเสริมการเกษตรในระยะ 5 ปี โดย โดยมีการส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตรและยกระดับสู่มาตรฐานสากลด้วยงานวิจัยและเทคโนโลยีนวัตกรรม ส่งเสริมให้เกษตรกรลดต้นทุน เพิ่มผลผลิต ส่งเสริมให้มีการพัฒนาคุณภาพสินค้าให้ได้มาตรฐาน พัฒนาศักยภาพการผลิตสินค้าเกษตรโดยการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence; AI) ซึ่งมุ่งเน้นไปที่เกษตรกร ทำให้เกษตรกรสามารถนำความรู้ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศด้านการเกษตรมาประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งพัฒนามาตรฐานสินค้า ให้มีคุณภาพเป็นมาตรฐานสากลมากยิ่งขึ้น จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นทำให้เห็นว่า จังหวัดเพชรบูรณ์มีนโยบายในการพัฒนาภาคการเกษตรให้เป็นเกษตรเชิงนวัตกรรม หรือเกษตรกรยุคใหม่เพื่อรองรับเทคโนโลยีทางการเกษตรที่จะพัฒนาขึ้นในอนาคต อีกทั้งยังผลักดันให้เกษตรกรมีความรู้ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ และสามารถนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้งานในด้านการเกษตรของตนเอง ทำให้การพัฒนานวัตกรรม เครื่องมือ หรือระบบเทคโนโลยีสารสนเทศทางการเกษตรมีแนวโน้มที่จะขยายขอบเขตการศึกษามากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สินค้าทางการเกษตรมีคุณภาพ และได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับของบริษัทและประเทศคู่ค้าอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อใช้การประมวลผลภาพ มาประยุกต์ใช้บนพื้นฐานปัญญาประดิษฐ์ในขั้นตอนของการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว (Postharvest Handling System) ประเภผลไม้ของจังหวัดเพชรบูรณ์
- 1.2.2 เพื่อใช้อัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์
- 1.2.3 เพื่อการวัดประสิทธิภาพของโมเดลได้แก่ Accuracy, Precision, Recall และ F1-score

1.3 ขอบเขตการวิจัย

โดยมีขอบเขตการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การรวบรวมผลผลิต

- 1.1 รวบรวมข้อมูลเกษตรอินทรีย์ ในพื้นที่ และทำการเก็บข้อมูลภาพผลผลิตในพื้นที่

ขั้นตอนที่ 2 การประมวลผลภาพ

- 2.1 ทำการเปรียบเทียบเทคนิคการสกัดคุณลักษณะเด่นสินค้าเกษตรอินทรีย์
- 2.2 หาอัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์
- 2.3 ทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ training set และ test set โดยวิธี k-fold cross validation, Stratified K-Fold และ LOOCV
- 2.4 วัดประสิทธิภาพของการทดสอบ 4 มาตรวัดคือ Accuracy, Precision, Recall และ F1-score

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

การประมวลผลภาพ (Image Processing) หมายถึง การปรับปรุง เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของภาพถ่าย โดยใช้ฟังก์ชันในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ในการคัดแยกผลไม้เกษตรอินทรีย์

เทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing Technique) หมายถึง ฟังก์ชันการประมวลผลภาพที่นำมาประกอบรวมกันให้มีคุณสมบัติสามารถตรวจหาหรือแยกแยะวัตถุที่สนใจจากภาพ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ (ศักดิ์ชาย และพณณา, 2665) (ศักดิ์ชาย และ พณณา, ปัญญาประดิษฐ์และการประยุกต์ใช้งาน, 2565)

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.6.1 ด้านวิชาการ

นักวิจัย และนักศึกษาที่เรียนรายวิชามีการบูรณาการการเรียนการสอน นักศึกษาเกิดทักษะการเข้าพื้นที่วิจัย

1.6.2 ด้านสังคม (ด้านชุมชนและพื้นที่)

ชุมชนในพื้นที่จะต้องมีการปรับตัว เพื่อให้พร้อมต่อการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาใช้
ด้านเกษตรกรรม

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนานวัตกรรมการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ ได้มีการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 2.1 การประมวลผลภาพ (Image Processing)
- 2.2 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา (RGB to Grayscale)
- 2.3 การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold)
- 2.4 การแปลงภาพเป็นขาวดำ (Binary Image)
- 2.5 การหาขอบภาพ (Edge Detection)
- 2.6 การกำหนดคุณภาพมาตรฐานและการรับรองคุณภาพผลไม้จังหวัดเพชรบูรณ์
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพ (Image Processing) เป็นกระบวนการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่าง ๆ ของภาพหรือการคำนวณค่าต่าง ๆ จากภาพ ตามความต้องการและวัตถุประสงค์ โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือในการประมวลผล ดังนั้นภาพที่ใช้ในการประมวลผลจะต้องเป็นภาพดิจิทัล (Digital Image) ซึ่งเป็นภาพที่ประกอบด้วยจุดภาพเล็ก ๆ เรียกว่า พิกเซล (Pixel) โดยที่แต่ละพิกเซลจะใช้ตัวเลขแทนค่าระดับของความเข้มสี จึงทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถคำนวณประมวลผลภาพออกมาได้ การประมวลผลภาพสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านเทคโนโลยีสาขาต่าง ๆ โดยเฉพาะการหาตำแหน่งวัตถุ การนับจำนวนวัตถุ และการจดจำรายละเอียดของวัตถุที่ปรากฏอยู่บนภาพ (สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล (องค์การมหาชน), 2562)

ภาพจะมีหน่วยเล็กๆ ที่เรียกว่าเม็ดสีหรือพิกเซล โดยในแต่ละจุดนั้นจะมีค่าตัวเลขกำกับ โดยรูปภาพทั่วไปมี 4 รูปแบบ คือ True color image คือ ภาพที่เกิดจากการรวมตัวกันของแม่สี 3 สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน Gray scale image คือ ภาพที่มีสีในระดับโทนสีเทา ถ้าเป็น 8 บิต จะมีจำนวนสีที่เป็นไปได้ 256 ตั้งแต่ ดำ(0) - ขาว (255) Binary image คือ ภาพที่ประกอบด้วยสีเฉพาะสีขาวและสีดำ ซึ่งค่าในจุดภาพขาวดำจะมีได้เพียง 2 ค่า คือ ดำ(0) และขาว (1 หรือ 255) และภาพ Histogram คือ กราฟที่แสดงจำนวนจุดภาพทั้งหมด โดยแกนนอนจะแสดงระดับความเข้ม

ตั้งแต่ 0 – 255 เมื่อระดับสีเทามีค่าต่ำ หมายถึงความเข้มที่มีค่าน้อยจะมองเห็นเป็นสีดำ แต่หากสีเทามาก หมายถึงมีความเข้มมากจะมองเห็นเป็นสีขาว และแกนตั้งของกราฟจะแสดงจำนวนจุดภาพที่มีค่าในแต่ละช่วงระดับความเข้ม (Doshi, Patel, & Bharti, 2019)

2.1.2 Feature Extraction for Image Analysis

เป็นการวิเคราะห์จากลักษณะสำคัญ (Feature) เพื่อหาตัวแทนของข้อมูลสำหรับใช้แสดงถึงภาพนั้นๆ ซึ่งการหาลักษณะเฉพาะของภาพ นิยมใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับการวิเคราะห์รูปภาพโดยใช้คุณสมบัติการแยกลักษณะเฉพาะของวัตถุ (Feature Extraction) เข้ามาใช้หาลักษณะเฉพาะและนำมาใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของรูปภาพฝัคมะขามหวาน เพื่อหาขนาดมาตรฐาน ซึ่งวิธีการแทนรูปภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพโดยทั่วไปที่นิยมใช้คือ คุณสมบัติของ Color, Texture, Shape และ Histograms of Oriented Gradients : HOG (Oludare, et al., 2018)

2.2.2 Image transformation จะมี 3 ลักษณะ (Rashmi, Kumar, และ Saxena, 2013) คือ

- การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา จะต้องทำการแปลงภาพหากนำภาพสีมาใช้จะทำให้มีความยุ่งยากซับซ้อนเพิ่มขึ้น เพื่อให้ประมวลผลง่ายและรวดเร็ว เมื่อภาพสีถูกแปลงเป็นภาพระดับสีเทาจะมีค่าในช่วง 0-255 หลักการจะทำการดึงค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน รวมเป็น 100% คำนวณได้จากสมการ (1)

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

- การแปลงภาพสีเทาให้เป็น Binary image เนื่องจากความหลากหลายโทนสีของภาพระดับสีเทา จึงจำเป็นต้องแปลงภาพให้มีความเข้มสีเพียง 2 ระดับ คือ สีดำ และสีขาว จะใช้หลักการ Threshold เข้ามาช่วยในการแปลง คำนวณได้จากสมการ (2)

สมมติให้ $B[i, j]$ คือภาพไบนารีที่เกิดจากภาพต้นแบบ $f[i, j]$ ดังนั้น

$$B[i, j] = \begin{cases} 1 & \text{if } f[i, j] > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

โดยที่ $f[i, j]$ คือ ค่าระดับความสว่างของตำแหน่ง i, j
 T คือ ค่าเทรชโฮลด์

จากสมการข้างต้นภาพวัตถุ จะเป็นระดับความเข้มที่สว่าง ส่วนที่มีมืดกว่าจะเป็น background แต่ถ้าวัตถุมีความเข้มอยู่ในระดับกลาง ๆ คำนวณได้จากสมการ (3) (Stuart & Norvig, 2020)

$$B[i,j] = \begin{cases} 1 & \text{if } T1 \leq f[i,j] \leq T2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

โดยที่ T1 คือ ค่าเทรชโฮลด์ของความเข้มระดับที่ 1
T2 คือ ค่าเทรชโฮลด์ของความเข้มระดับที่ 2

หลักการ Threshold คำนวณได้จากสมการ (4) (Borges, Fernando, Mauro, Rodrigo, และ Claudia , 2020)

$$\mu'_{o} = \frac{\sum_{(x,y) \in objects} f(x,y)}{\#object_pixels}$$

เมื่อ μ'_{B} คือ ค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มของวัตถุ
 $backgroundf(x,y)$ คือ ค่าความเข้มที่มีค่าความเข้มมากกว่าค่าระดับการตัด
 $\#background_pixels$ ภาพ
คือ จำนวนจุดที่มีค่าความเข้มมากกว่าค่าระดับการตัดภาพ

คำนวณได้จาก
สมการ (5)

$$T^{(r+1)} = \frac{1}{2}(\mu'_{B} + \mu'_{o})$$

ถ้าไม่เท่ากันให้หาค่า μ'_{B} และ μ'_{o} ใหม่จนกว่าจะเท่ากัน
เมื่อเท่ากันแล้วจะได้ค่าเฉลี่ยของพื้นหลังกับวัตถุ ซึ่ง
สามารถนำไปแยกองค์ประกอบวัตถุเพื่อ
วิเคราะห์ผลต่อไป

- การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพสี HIS เป็นการแปลงค่าระดับสีให้เป็นค่าที่มีเฉดสี (Hue) มีความอิ่มตัวของสี และมีความเข้มของสี ผลลัพธ์จะได้ค่าสีของวัตถุและฉากหลัง คำนวณได้จากสมการ (6,7,8) (Arif, Nazri, Uddin, Baseer, และ Ansam , 2019)

$$f(x) = \{\theta, 360 - \theta\}$$

$$\text{โดยที่ } \theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{0.5 \times [R-G] + [R-B]}{\sqrt{(R-G)(R-G) + (R-B)(G-B)}} \right\}$$

ค่า S สามารถหาได้จาก

$$S = 1 - \left(\frac{3}{R+G+B} [\min(R, G, B)] \right)$$

และค่า I สามารถหาได้จาก

$$I = \frac{(R+G+B)}{3}$$

2.2.3 ขั้นตอน Image processing เป็นรูปแบบหนึ่งของการประมวลผลสัญญาณ ซึ่งมีสัญญาณขาเข้าคือไฟล์รูปภาพหรือไฟล์วิดีโอ ผลลัพธ์ที่ออกมานี้นั้นอาจจะมีคุณสมบัติหรือพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับรูปภาพนั้น ๆ ซึ่งข้อมูลที่ออกมาจากการประมวลผลภาพจะอยู่ในรูปแบบเชิงตัวเลข สามารถนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ digital image processing (Cubero, M. Paz, Tardaguila, Millan, และ Borja, 2014) ประกอบด้วย

- Image acquisition เป็นกระบวนการได้มาซึ่งข้อมูลภาพ โดยการแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล
- Image storage เป็นกระบวนการที่เก็บข้อมูลภาพ จะเก็บในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลไว้ในหน่วยความจำ
- Image enhancement เป็นกระบวนการที่ประกอบด้วยเทคนิคที่หลากหลายที่จะทำให้ภาพมีความชัดเจนและคมชัดยิ่งขึ้น
- Image analysis การอธิบายและจดจำข้อมูลภาพดิจิทัล
- Image recognition เก็บข้อมูลภาพในหน่วยความจำของเครื่องในรูปแบบของตัวแปร array โดยค่าแต่ละช่องของ array แสดงถึงคุณสมบัติของ pixel ตำแหน่งช่อง array เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพ

2.2.4 Image processing techniques (Doshi, Patel, & Bharti, 2019)

Image digital เป็นผลมาจากการสุ่มค่าใน spatial coordinate และการทำ quantization ของค่าระดับ brightness value หรือ intensity ระบบพิกัดปริภูมินี้จะใช้การแสดงภาพเชิงตัวเลข จะมีขนาดความกว้างและความสูงของภาพแสดงในแกน X และ Y ตามลำดับ ส่วนจุดใดที่วางบนระนาบ XY จะเป็นฟังก์ชัน $f(x, y)$ และเรียกว่า pixel ที่แสดงถึงค่าระดับความเข้ม ซึ่งเป็น

จำนวน finite number แบบไม่ต่อเนื่อง เรียกว่า discrete quantity ค่านี้เป็นผลมาจากการทำ quantization โดยใช้การแปลงจาก Analog เป็น digital โดยทั่วไปจะมีหลากหลายวิธี ขึ้นอยู่กับผู้พัฒนางานนั้นว่าต้องการคุณภาพของภาพเป็นอย่างไร มีอยู่ด้วยกัน 4 เทคนิค คือ

2.2.4.1 Image improvement เป็นสิ่งที่จำเป็นในขั้นตอนของการแปลงข้อมูลภาพ ตัวเลข เพื่อปรับภาพที่เน้นบริเวณที่ต้องการ ผู้ใช้จะต้องตัดสินใจที่จะใช้วิธีการปรับปรุงภาพหลาย ๆ แบบในการทำงานครั้งหนึ่ง ๆ เทคนิคที่ใช้โดยทั่วไปได้แก่ radiometric enhancement และ spatial enhancement (Rashmi, Kumar, และ Saxena, 2013)

- Radiometric enhancement เพื่อเพิ่มความชัดและสมดุลสีของภาพ ประกอบด้วย contrast stretching การขยายความเข้มของโทนสี มีการปรับภาพแบบ linear และ non-linear
- histogram equalization เป็นการสร้างภาพที่มีจำนวนจุดภาพใกล้เคียงกัน วิธีนี้ใช้การกำหนดจุดภาพที่เหมาะสมให้กับแต่ละค่าคำนวณจากค่าที่น้อยที่สุด โดยเริ่มบวกจำนวนจุดภาพเข้าด้วยกัน จนกระทั่งเกินจำนวนจุดภาพที่เหมาะสมที่จะคำนวณได้ ก็ให้จุดภาพเหล่านั้นเป็นค่าแรก และใช้ค่าถัดไปเป็นค่าใหม่ที่สองจุดภาพที่มีจำนวนเกินที่คำนวณได้ก็จะคงจำนวนเดิมไว้ แต่ถ้าเกินมากกว่า 1 เท่า ก็ยังคงค่าเดิมไว้ แต่จำนวนจุดภาพของค่าความเข้มของแสงค่าถัดไปจะไม่มี คำนวณได้จากสมการ (10)

$$\text{จำนวนจุดภาพที่เหมาะสม} = \text{จำนวนจุดภาพทั้งหมด} / \text{จำนวนค่าในข้อมูล}$$

- Spatial enhancement การเน้นภาพที่ใช้ค่าจากจุดภาพที่อยู่รอบ ๆ จุดภาพนั้นมาคำนวณ มักจะใช้เทคนิค Filtering เข้ามาช่วย เพื่อลดสัญญาณรบกวน หรือลดความถี่ของข้อมูลเชิงพื้นที่ เป็นการสกัดลักษณะเด่นให้เห็นชัดยิ่งขึ้น จะใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Convolution filtering เป็นกระบวนการเฉลี่ยค่าของจุดภาพภายในเซตเล็กหนึ่ง ๆ และกระทำตลอดทั่วทั้งภาพ

2.2.4.2 Image filtering ในการใช้งานจริง ภาพที่ได้มีส่วนมากจะมีสัญญาณรบกวน หรือสัญญาณที่ไม่พึงประสงค์ปะปนอยู่ในภาพ ดังนั้นจะต้องใช้เทคนิคการกรองภาพ มีวัตถุประสงค์เพื่อ enhance หรือ attenuate เพื่อใช้ปรับปรุงให้ภาพนั้นมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เหมาะแก่การนำไปประมวลผลในขั้นต่อไป องค์ประกอบที่สำคัญคือ การรับสัญญาณเข้ามาประมวลผลและส่งสัญญาณออก โดยทั่วไปจะถูกสร้างให้เป็น linear system

2.2.4.3 Image binarization เป็นเทคนิคที่ใช้ในการดำเนินการในส่วนของการ preprocessing เป็นการหาความแตกต่างของวัตถุกับพื้นหลัง ซึ่งเทคนิคการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพฐานสองจะอาศัยหลักการ threshold เพื่อเปลี่ยนภาพระดับสีเทา มีความเข้มสี intensity อยู่ระหว่าง 0-255 ให้มีเพียง 2 ระดับ คือสีดำ (0) และสีขาว (1) คำนวณได้จากสมการ (11)

$$g(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } f(x, y) \leq T \\ 1 & \text{if } f(x, y) > T \end{cases} \quad (2)$$

โดย $g(x)$ คือ ค่าของรูปภาพที่ได้จากการแปลงภาพให้มีค่าเพียง 1 หรือ 0
 $f(x, y)$ คือ ค่าระดับสีเทาของจุดภาพที่พิกัด (x, y)
 T คือ ค่าการขีดแบ่ง

6.2.4.4 Image segmentation เป็นกระบวนการแบ่งแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง คือ การลดความซับซ้อนและเปลี่ยนการแสดงผลของภาพเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ มีอยู่ด้วยหลายวิธีดังนี้ (Berrahal & Azizi, August, 2021)

- amplitude segmentation วิธีนี้จะทำการแบ่งส่วนภาพหลาย ๆ ภาพ โดยใช้ค่า Threshold
- region segmentation พิจารณาเป็นกลุ่มของข้อมูลภาพและขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของจุดภาพ ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธีคือ region growing, split and merge
- boundary detection ทำการแยกภาพออกไปเป็น region จากการตรวจสอบของวัตถุแต่ละกลุ่ม สามารถทำได้โดยการหาขอบของภาพ

2.2.5 Centroid, Perimeter and Diameter

2.2.5.1 Centroid คือ จุดศูนย์กลางมวลของพื้นที่หรือวัตถุใด ๆ ซึ่งมีการนิยามมาจาก centroid ในเชิงคณิตศาสตร์ มีความสำคัญในการวัดระยะของวัตถุต่อวัตถุในภาพ ในการคำนวณหาค่า Centroid เริ่มต้นจากการหา moment เป็นการวิเคราะห์รูปร่างแบบองค์รวมสามารถคำนวณได้ดังสมการ (12)

$$m_{p,q} = \sum_{\text{Relevant pixels}} (f(x,y) - f_{\text{background}}) x^p y^q$$

โดยที่ $m_{p,q}$ คือ โมเมนต์

$$\sum_{\text{Relevant pixels}} x^p y^q \text{ คือ Binary bitmaps}$$

เมื่อ $p, q = 0, 1, 2, \dots$

และค่าจุดศูนย์กลางของวัตถุคำนวณได้จากสมการ (12)

$$\left(\bar{x} = \frac{m_{1,0}}{m_{0,0}}, \bar{y} = \frac{m_{0,1}}{m_{0,0}} \right)$$

2.2.5.2 Perimeter คือ จำนวนจริงของจุดภาพที่บนขอบของบริเวณใด ๆ คำนวณได้

จากสมการ (13)

$$\text{perimeter} = \sum_{i=1}^{N-1} d_i = \sum_{i=1}^{N-1} |x_i - x_{i+1}|$$

2.2.6 การคำนวณหาขนาด

2.2.6.1 การคำนวณหาพื้นที่ของภาพ จะต้องทำให้วัตถุเป็นสีขาว และพื้นหลังเป็นสีดำ แล้วกำหนดวัตถุสีขาวให้เป็น $B[i, j] = 1$ คำนวณได้จากสมการ (14)

$$\text{Area} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^n B[i, j]$$

เมื่อ Area คือ ขนาดพื้นที่ของภาพ

$B[i, j]$ คือ วัตถุสีขาว

m คือ จำนวนของจุดวัตถุสีขาวของภาพตามแนวแกน X

n คือ จำนวนของจุดวัตถุสีขาวของภาพตามแนวแกน Y

2.2.6.2 การคำนวณหาความกว้างและความยาวของภาพ

Major axis คือการวัดความยาวของภาพในแนวนอน คำนวณได้จากสมการ (15)

$$\text{Major - axis length} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Minor axis คือ การวัดความยาวของภาพในแนวตั้ง คำนวณได้จากสมการ (16)

$$\text{Minor - axis length} = \sqrt{(x_3 - x_4)^2 + (y_3 - y_4)^2}$$

2.2 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา (RGB to Grayscale)

ภาพถ่ายโดยทั่วไปจะเป็นจุดภาพสีประกอบรวมกัน 3 สี คือ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน โดยแต่ละจุดภาพสีเกิดจากการผสมกันระหว่างสี 3 สีที่มีค่าตัวเลขความเข้มสีต่างกัน เมื่อมองด้วยตา จะเห็นเป็นสีต่าง ๆ มากมาย เมื่อต้องแปลงเป็นภาพระดับเทาจะมีค่าความเข้มสีอยู่ระหว่าง 0 - 255 โดยค่าระดับเทาแต่ละพิกเซลเกิดจากการหาค่าความสว่างใน 1 ช่องสี วิธีการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา จะหาได้จากค่าความสว่าง (Luminance) ซึ่งเกิดจากผลรวมของค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของสีแดง เขียว และน้ำเงิน ตัวเลขค่าถ่วงน้ำหนักเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้สีแดง 30 % สีเขียว 59 % และสีน้ำเงิน 11 % การคำนวณหาค่าความสว่างในภาพระดับเทา คำนวณได้จากสมการ (Kastrati & Biba, December. 2022, doi: 10.11591/ijece.v12i6.pp6432-6439) (17)

$$\text{ค่าความสว่างในภาพระดับเทา} = (R \times 0.3) + (G \times 0.59) + (B \times 0.11)$$

โดยคำนวณกับทุก ๆ พิกเซลในภาพ จนภาพกลายเป็นสีเทาทั้งภาพ

Original



Grayscale



ภาพที่ 1 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา

2.3 การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold)

เป็นการกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อกำหนดค่าความเท่าในการแยกข้อมูลที่มี 256 ระดับ ให้เหลือเพียง 2 ระดับ คือ 0 และ 255 ซึ่งเป็นการแยกวัตถุกับพื้นหลังโดยการคำนวณจากความถี่ของค่า Y ในฮิสโตแกรม เริ่มจากกำหนดค่าขีดแบ่งเริ่มต้น (T^t) และจุดของพิกเซลที่มีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง ให้ถือนับรวมเป็นจำนวนพิกเซลของวัตถุ (Iulian V. Serban, 2017) หาค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มของ วัตถุคำนวณได้จากสมการ (18)

$$\mu^t o = \frac{\sum(x, y) \in objectsf(x, y)}{\neq object_pixels}$$

เมื่อ $\mu^t o$ คือ ค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มของวัตถุ

$\in objectsf(x, y)$ คือ ค่าความเข้มที่มีค่าความเข้มน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง

$\neq object_pixels$ คือ จำนวนจุดที่มีค่าความเข้มน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง

นับค่าและจุดของพิกเซลที่มีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งให้ถือนับรวมเป็นจำนวนพิกเซลของพื้นหลัง หาค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มของพื้นหลังคำนวณได้จากสมการ (19)

$$\mu^t B = \frac{\sum(x, y) \in backgroundf(x, y)}{\neq background_pixels}$$

เมื่อ $\mu^t B$ คือ ค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มของพื้นหลัง

$\in backgroundf(x, y)$ คือ ค่าความเข้มที่มีค่าความเข้มมากกว่าค่าขีดแบ่ง

$\neq background_pixels$ คือ จำนวนจุดที่มีค่าความเข้มน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง

คำนวณค่า $T^{t+1} = \frac{1}{2}(\mu^t B + \mu^t o)$

ตรวจสอบว่าค่า $T^{t+1} = T^t$ ถ้าไม่เท่ากันก็ให้หาค่า $\mu^t B$ และ $\mu^t o$ ใหม่ จนกว่าจะ

เท่ากัน

2.4 การแปลงภาพเป็นขาวดำ (Binary Image)

เป็นการแปลงภาพระดับเทา Grayscale ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0-255 ให้ เป็นภาพขาวดำ (Binary Image) ที่มีค่าเพียงสองระดับคือ 0 และ 1 โดยมีเงื่อนไขคือ พิกเซลที่ค่าต่ำกว่าค่า Threshold ให้พิกเซลนั้นเป็น 0 (สีดำ) หากพิกเซลที่ค่าสูงกว่าค่า Threshold ให้พิกเซลนั้นเป็น 1 (สีขาว) คำนวนได้จากสมการ (20) (Boobier, 2018)

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) \geq T \\ 0 & \text{if } f(x, y) < T \end{cases}$$

เมื่อ $g(x, y)$ คือ ตำแหน่งพิกเซลใด ๆ บนภาพหลังจากการแปลงภาพ Binary

$f(x, y)$ คือ ค่าระดับความเทาของตำแหน่งพิกเซลนั้น ๆ

T คือ ค่าที่ใช้ปรับภาพ

Original Image



Binary Image



ภาพที่ 2 การแปลงภาพขาวดำ

2.5 การหาขอบภาพ (Edge Detection)

การหาขอบภาพ คือการหาเส้นที่แบ่งระหว่างวัตถุกับพื้นหลัง หรือแยกวัตถุสองวัตถุออกจากกัน ทำให้เห็นลักษณะ รูปร่าง และรายละเอียดที่ชัดเจนยิ่งขึ้นจากพื้นหลัง การหาขอบภาพจะเป็นการประมวลผลจากพิกเซลข้างเคียงโดยวัดจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงที่เกิดขึ้น กล่าวคือ ขอบภาพจะเห็นได้ชัดเจนถ้าค่าการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง หรือ Intensity มีค่ามาก ในทางตรงกันข้ามหากค่าการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง หรือ Intensity มีค่าน้อย ขอบภาพก็จะเห็นได้ไม่ชัดเจน ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการหาขอบภาพด้วยวิธีแบบ Canny เนื่องจากมีการใช้ตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian Filter) ก่อนการหาขอบภาพเพื่อลดสัญญาณรบกวน จึงสามารถควบคุมระดับความละเอียดของขอบที่ต้องการ ซึ่งขั้นตอนการหาขอบภาพโดยวิธีแบบ Canny ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้ (Wu, Guo, Huang, & Liu, March 2018)

2.5.1 การทำภาพให้เรียบด้วยตัวกรองเกาส์เซียน (Smoothing with Gaussian Filter)
คำนวณได้จากสมการ (21)

$$S[i,j] = G[i,j,\sigma] * I[i,j]$$

กำหนดให้ $I[i,j]$ เป็นภาพที่ต้องการหาขอบ
 $G[i,j,\sigma]$ เป็น Gaussian Smoothing Filter
 σ เป็น Spread of The Gaussian ควบคุมระดับการ Smoothing

2.5.2 คำนวณหาขนาดและทิศทางของ Gradient ด้วยการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง โดยนำภาพจากขั้นตอน 2.5.1 มาหาค่า Gradient ในทิศทางแกน x และแกน y และกำหนดขนาดอนุพันธ์อันดับหนึ่ง Partial Derivative $P[i,j]$ และ $Q[i,j]$ ตามลำดับ คำนวณได้จากสมการ (22) และ (23)

$$P[i,j] \approx (S[i,j+1] - S[i,j] + S[i+1,j+1] - S[i+1,j])/2$$

$$Q[i,j] \approx (S[i,j] - S[i+1,j] + S[i,j+1] - S[i+1,j+1])/2$$

หลังจากนั้นนำค่า x,y Partial Derivatives มาคำนวณด้วยสูตรสำหรับการแปลงรูปแบบจากระนาบของพิกัดฉาก Rectangular ไปเป็นระนาบพิกัดเชิงขั้ว Polar เพื่อหาขนาดและทิศทางของ Gradient คำนวณได้จากสมการ (24) และ (25)

$$M[i,j] = \sqrt{P[i,j]^2 + Q[i,j]^2}$$

$$\theta[i,j] = \tan^{-1}(Q[i,j], P[i,j])$$

จากสมการสามารถหาค่ามุม θ ออกมาได้เมื่อแทนค่าตัวแปรในฟังก์ชัน $\tan^{-1}(x,y)$

2.5.3 ใช้ Nonmaxima Suppression กับขนาด Magnitude ของ Gradient เพื่อให้ได้ขอบที่บางลง จุดที่ถือเป็นเส้นขอบได้ต้องเป็นจุดที่ให้ค่าสูงสุดและเป็นทิศทางเดียวกันกับ Gradient ด้วยวิธีนี้ทำให้ได้ขอบที่บางหนึ่งพิกเซล ภาพที่ได้หลังการทำ Nonmaxima Suppression จะให้ค่าเป็นศูนย์ในทุกจุดยกเว้นจุดที่เป็น Local Maxima Point จะยังคงค่าเดิม (J. A. N., 2012)

2.5.4 ใช้ Double Thresholding Algorithm หาพิกเซลที่เป็นขอบและเชื่อมต่อขอบเนื่องจากสัญญาณรบกวนหรือลักษณะของวัตถุในภาพมีรายละเอียดมาก อาจทำให้ภาพที่ได้ยังมีเส้นขอบที่ไม่ใช่ขอบที่แท้จริงปรากฏอยู่ ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดค่า Threshold ขึ้นมา 2 ค่า คือ High Threshold (T_1) และ Low Threshold (T_2) โดยพิกเซลที่มีค่ามากกว่า T_1 จะถูกปรับเป็น 1 ซึ่งก็คือขอบภาพ แต่ถ้าน้อยกว่า T_2 จะถูกปรับเป็น 0 ส่วนค่าที่อยู่ระหว่าง Threshold ทั้งสอง การปรับค่าเป็น 0 หรือ 1 นั้น ขึ้นอยู่กับพิกเซลที่อยู่รอบข้าง หากพบว่าพิกเซลที่อยู่รอบข้างของพิกเซลที่เป็นขอบมีค่ามากกว่า T_2 จะปรับค่าพิกเซลดังกล่าวให้มีค่าเป็น 1 และถือเป็นหนึ่งในขอบภาพด้วยเช่นกัน (Cade, 2020) สรุปคือ การทำ Threshold จะทำให้ภาพมีขอบหนาหรือบางได้

2.6 การกำหนดคุณภาพมาตรฐานและการรับรองคุณภาพผลไม้จังหวัดเพชรบูรณ์

จังหวัดเพชรบูรณ์มีพื้นที่ทั้งสิ้น 7,917,760 ไร่ จากข้อมูลการใช้ที่ดินของจังหวัดเพชรบูรณ์ ในปี 2566 มีพื้นที่ถือครองทางการเกษตร เท่ากับ 3,281,426 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 41.44 พื้นที่ป่าไม้ 2,402,507 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 30.34 พื้นที่นอกภาคการเกษตร 2,233,827 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 28.21 และเป็นที่น่าสังเกตว่าพื้นที่นอกภาคการเกษตรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ ปี 2561 โดยในปี 2566 พื้นที่นอก ภาคการเกษตรเพิ่มขึ้นจากปี 2565 ร้อยละ 6.8 รวมทั้งเนื้อที่ป่าไม้ที่มีจำนวนลดลงด้วยประมาณร้อยละ 5.6 เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ป่าไม้ระหว่างปี 2565 และ 2566 ทั้งนี้ จากข้อมูลการใช้ดินทางการเกษตรของจังหวัดเพชรบูรณ์ในปี 2566 พบว่า ประมาณร้อยละ 50.18 ของพื้นที่การเกษตรเป็นการปลูกพืชไร่ 1,646,714 ไร่ รองลงมาเป็นพื้นที่นา จำนวน 1,262,694 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 38.48 ของพื้นที่การเกษตร ทั้งนี้เนื่องจากจังหวัดเพชรบูรณ์ ระบบชลประทานมีไม่เท่ากับจังหวัด อื่น ๆ ต้องอาศัยน้ำจากฝนเพื่อใช้ทำนา ซึ่งฤดูฝนในแต่ละปีก็อาจจะ มีช่วงเวลาที่แตกต่างกันออกไป สาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่มีความรุนแรง มากกว่าในอดีต ในบางปีอาจมีช่วงของฤดูฝนที่สั้นกว่าปกติ บางปีก็อาจจะมิช่วงของฤดูฝนที่ยาวนานกว่าปกติ อีกทั้งยังมีเรื่องของสภาวะจากอุณหภูมิความชื้น ในอากาศ แสง เป็นต้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตได้ ความเสียหายและตาย ในที่สุด ทำให้ส่งผลกระทบต่อปริมาณของผลผลิตได้ พืชเศรษฐกิจของจังหวัด

เพชรบูรณ์ ได้แก่ ข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อ้อย มันสำปะหลัง ถั่ว เชี่ยวฉิมมัน ถั่วเขียวฉิมดำ ยาสูบ ยางพารา มะขามหวาน และกะหล่ำปลี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ในการปลูก ข้าวนาปีมากกว่า 1 ล้านไร่ และมีการใช้พื้นที่ในการปลูกยางพารา และอ้อยโรงงาน เพิ่มขึ้นในทุกปี (กระทรวงมหาดไทย, 2566)

2.6.1 ผลไม้ประจำถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์

มะขามหวาน ผลไม้ประจำถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์ที่แข็งแกร่งทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศที่ไม่เอื้ออำนวย ถึงแม้ฝนแล้งน้ำท่วมก็สามารถเจริญเติบโตได้ แต่สิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของมะขามหวานอย่างเด่นชัด แม้ในจังหวัดเพชรบูรณ์เองแต่ต่างสภาพพื้นที่คุณภาพก็แตกต่างกันไป มะขามหวานปลูกบนพื้นที่เขาหรือบนที่ลาดเอียงจะออกดอกและสุกก่อน การเกิดเชื้อราน้อยกว่า แต่รสชาติมักอมเปรี้ยวกว่ามะขามหวานที่ปลูกในพื้นที่ราบลุ่ม พื้นที่ที่ปลูกมะขามหวานได้ผลดีในจังหวัดเพชรบูรณ์ พื้นที่ใกล้ภูเขาซึ่งมีฝนตกชุก แต่เกษตรกรต้องดูแลป้องกันกำจัดแมลงให้ทันในช่วงการออกดอกติดฝัก หากเป็นพันธุ์ประกายทองที่ปลูกในหุบเขาที่ไม่ได้รับแสงแดดทั้งวันจะมีผลทำให้เกิดเชื้อรามาก (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2566)

จังหวัดเพชรบูรณ์ได้ตรารับรองสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์กับสวนมะขามหวานที่ผลิตมะขามหวานตามหลักการปฏิบัติการเกษตรที่ดี (GAP : Good Agriculture Practice) และเป็นมะขามหวานที่ปลูกในจังหวัดเพชรบูรณ์เท่านั้น ซึ่งเป็นพืชชนิดแรกของประเทศไทยที่ได้ตรานี้จากประเทศฝรั่งเศส แต่จะต้องปฏิบัติตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้อย่างเข้มงวด มีคณะกรรมการตรวจประเมินภายในและภายนอกจากบริษัทเอกชน สวนใดที่ผ่านการตรวจประเมินและได้รับการรับรองก็จะได้รับตรานี้ (GI) ซึ่งสามารถวางจำหน่ายได้ราคาสูงในประเทศต่างๆ ทั่วโลก ปัญหาที่พบในการส่งออกคุณภาพคือคุณภาพต่ำ ฝักเล็ก เกิดปัญหาเชื้อรามาก มีแมลงพวกหนอนเจาะฝัก เพลี้ยหอย เพลี้ยแป้งระบาดมาก ทำให้คุณภาพการส่งออกไม่ได้มาตรฐาน

มะขามหวาน เป็นผลไม้ที่นิยมทั้งในประเทศและต่างประเทศที่นิยมบริโภคมากชนิดหนึ่งสามารถเก็บรักษาได้นาน ในปี พ.ศ. 2562 มีปริมาณการส่งออกสูงถึง 19,902.6 ตัน มูลค่าการส่งออก 440.07 ล้านบาท ประเทศคู่ค้าที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ จีน สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ เวียดนาม สหรัฐอเมริกา มาเลเซีย สิงคโปร์ อินโดนีเซีย ซาอุดีอาระเบีย ลาว และคูเวต ส่วนใหญ่จะส่งออกประมาณ 70% ขายภายในประเทศประมาณ 30% ประเทศหลักๆ ที่สั่งมะขามหวานมากที่สุดคือ จีน เวียดนาม แต่จะซื้อมะขามคุณภาพเกรดไม่ต้องสูงมากนัก ต่างจากทางอเมริกา ยุโรป และ

ตะวันออกกลาง ซึ่งจะส่งเฉพาะเกรดเท่านั้น (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2566)

2.6.2 การกำหนดคุณภาพมะขามหวานและการรับรองคุณภาพ

มะขามหวาน ก่อนที่จะจำหน่าย จะต้องคัดแยกขนาดของฝักหรือเกรดของมะขามหวาน และฝักเสีย , ฝักแตก, มีตำหนิหรือไม่สมบูรณ์ออกไป การคัดแยกขนาดของฝัก หรือเรียกง่าย ๆ ว่า เกรด เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องทำ เพราะฝักที่คัดแยกแล้วไม่ว่าฝักเล็กหรือฝักใหญ่ก็ตาม ถ้าทำการคัดแยกมีความสม่ำเสมอของขนาดจะทำให้ขายได้ราคาดีขึ้น การคัดเกรดของฝักมะขามหวาน ส่วนใหญ่เกษตรกรจะคัดแค่ 2 เกรด คือ ฝัก ยาว 4-5 ข้อขึ้นไป ที่เหลือเป็นฝักข้อแต่การแบ่งเกรดมะขามหวานจริง ๆ แล้วจะแบ่งได้มากถึง 4 เกรด คือ

- 1) ฝักข้อ เกรด C ขนาดเล็กสุด มี 1-2 ข้อ
- 2) ฝักกลาง เกรด B มีจำนวนข้อ 3-4 ข้อ
- 3) ฝักใหญ่ เกรด A มีจำนวน ข้อ 5 ข้อขึ้นไป

4) ฝักใหญ่พิเศษ Extra ฝักเกรด A A ฝักยาวและใหญ่สมบูรณ์ไม่มีรอยตำหนิ ผิวเนียนสวย และมีความสม่ำเสมอของฝัก การกำหนดราคานอกจากจะคัดขนาดแล้ว ยังมีการชิมรสชาติ ดูสีของเนื้ออีกด้วย การกำหนดมาตรฐานมะขามหวานของประเทศไทย ที่สำนักงานมาตรฐานและตรวจสอบสินค้าเกษตร (สำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบูรณ์, 2565) ได้ดำเนินการจัดทำให้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพ ดังนี้

คุณภาพขั้นต่ำ (Minimum Requirements) ฝักมะขามหวานต้องมีคุณภาพต่อไปนี้

- 1) เป็นฝักมะขามหวานที่มีการตัดขั้วให้สั้น ประมาณ 0.5 เซนติเมตร
- 2) มีรูปทรง สีเปลือก ตรงตามพันธุ์
- 3) เป็นฝักมะขามหวานที่ไม่มีรอยแตก หรือตำหนิที่เห็นเด่นชัดและไม่เน่าเสีย ผ่านกระบวนการกำจัดเชื้อราแล้ว

กระบวนการกำจัดเชื้อราแล้ว

- 4) มีสีเนื้อตรงตามพันธุ์ของแต่ละพันธุ์
- 5) สะอาด ไม่มีกลิ่นแปลกปลอมและสิ่งปนเปื้อน

6) ปลอดภัยจากศัตรูพืชและความเสียหายอันเนื่องมาจากศัตรูพืช โดยการตรวจสอบ ด้วยสายตา มะขามหวานต้องผ่านการเก็บเกี่ยวตามกระบวนการเก็บเกี่ยว หลังการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาอย่างถูกต้อง เพื่อให้ได้คุณภาพที่เหมาะสม แบ่งเป็น 3 ชั้นคุณภาพ ดังนี้

1) ชั้นพิเศษ (Extra Class) มะขามหวานในชั้นนี้ต้องมีคุณภาพที่ดีที่สุด ตรงตามพันธุ์ ฝักต้องปลอดจากตำหนิยกเว้นตำหนิผิวเล็กน้อย โดยไม่มีผลต่อรูปลักษณ์คุณภาพ และคุณภาพการเก็บรักษาตามคุณภาพขั้นต่ำ รวมทั้งการจัดเรียงเสนอในภาชนะบรรจุ

2) ชั้นหนึ่ง (Class I) มะขามหวานในชั้นนี้ต้องมีคุณภาพดี ตรงตามพันธุ์ ฝักมีตำหนิได้เล็กน้อยด้านรูปทรง และสี โดยไม่มีผลต่อรูปลักษณ์ คุณภาพ และคุณภาพการเก็บตามคุณภาพขั้นต่ำ รวมทั้งการจัดเรียงเสนอในภาชนะบรรจุ

3) ชั้นสอง (Class II) ชั้นนี้รวมมะขามหวานที่ไม่เข้าชั้นที่สูงกว่า แต่มีคุณภาพขั้นต่ำ มีตำหนิได้เล็กน้อยด้านรูปทรง และสี โดยยังคงคุณภาพและคุณภาพเก็บรักษา รวมทั้งการจัดเรียงเสนอในภาชนะบรรจุ

เกณฑ์กำหนดความคลาดเคลื่อน (Prevision Concerning Tolerances) (ระดับคุณภาพที่รับได้) เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องคุณภาพในแต่ละภาชนะบรรจุ สำหรับผลิตผลที่ไม่เข้าชั้นระบุไว้ ดังนี้

1) ชั้นพิเศษ (Extra Class) ยอมให้มีมะขามหวานที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นพิเศษ แต่เป็นไปตามคุณภาพของชั้นหนึ่ง หรือยกเว้นว่าคุณภาพยังอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของชั้นหนึ่งปณามาได้ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

2) ชั้นหนึ่ง (Class I) ยอมให้มีมะขามหวานที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นหนึ่ง แต่เป็นไปตามคุณภาพของชั้นสอง หรือยกเว้นว่าคุณภาพยังอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของชั้นสองปณามาได้ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

3) ชั้นสอง (Class II) ยอมให้มีมะขามหวานที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นสอง หรือไม่ได้คุณภาพขั้นต่ำปณามาได้ไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

2.6.3 โรคและแมลงศัตรูที่สำคัญของมะขามหวาน (จินตนา, 2539) (จินตนา, 2540)

2.6.3.1 โรคราแป้ง มีการระบาดทำลายใบและยอดอ่อนมะขามแทบทุกลำที่มีการแตกยอดและใบอ่อน โดยเฉพาะในฤดูที่มีอากาศเย็น ยอดมะขามจะชืดเหลือง ใบอ่อนชืดเหลืองใบแก่มีจุดด่างเหลือง ทำให้ต้นมะขามทั้งพุ่มมีใบไม่สม่ำเสมอ ใบรวมมากมีบริเวณปลายกิ่งและถ้าระบาดในช่วงระยะช่อจะทำให้ดอกแห้งและร่วงในเวลาต่อมา มีผลต่อการติดฝัก

การป้องกันกำจัด มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อลดประชากรของเชื้อโรค ไม่ให้สะสมไว้มากกว่าการทำลายช่อดอก ควรตัดแต่งกิ่งให้ทรงพุ่มโปร่ง มีการระบายอากาศและรับแสงแดด

จะช่วยลดโรคได้ และควรฉีดพ่นสารป้องกันกำจัดเชื้อราชนิดดูดซึมที่ควบคุมราแป้ง เช่น ไตรอนดีมีฟอนโดโนแค็บ ไตรฟลอรีน ซัลฟูไซด์ คาราเทน

2.6.3.2 แมลงนูน ตัวเต็มวัยบินมากัดกินยอดอ่อน ใบอ่อน และช่อดอกในเวลากลางคืน การป้องกันกำจัดให้ใช้แสงล่อที่ได้ต้น และควรฉีดพ่นด้วยสารกำจัดแมลงประเภทดูดซึมเพื่อป้องกันการทำลาย ได้แก่ สารเมทามีโดฟอส 60% เอสแอล (หามครอบ 600 เอสแอล) อัตรา 25 ซีซีต่อน้ำ 20 ลิตร

2.6.3.4 หนอนคืบละหู่ กัดกินยอดอ่อนและช่อดอก จะระบาดในช่วงเวลาใกล้เคียงกับแมลงนูนการป้องกันกำจัด ฉีดพ่นด้วยคาร์บาริล 85% ดับลิฟ (เซฟวิน 85%) อัตรา 40 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร หรือไทเพอร์เมทริน 15% อีซี 10% อีซี(รีพคอร์) อัตรา 10 ซีซีต่อน้ำ 20 ลิตรและ 15 ซีซีต่อน้ำ 20 ลิตร

2.6.3.5 หนอนเจาะฝัก ตัวหนอนจะกินบริเวณผิวเปลือกก่อน จากนั้นจะเจาะกินเข้าไปในฝักจะทำลายทั้งฝักอ่อนและฝักแก่ การป้องกันกำจัดใช้สารเคมีกลุ่มคาร์บาริล เช่น เซฟวิน -85 คาร์โบนีออกซ์, เอส -85 ฉีดพ่นป้องกันในระยะฝักอ่อนหรือตลอดช่วงฝักที่ถูกทำลาย ต้องฉีดพ่นก่อนที่ตัวหนอนจะเจาะเข้าไปในฝัก

2.6.3.6 ดั่งขาโต จะเข้าทำลายฝักหลังเก็บเกี่ยว ถ้ามะขามหวานที่ถูกด้วงขาโตเข้าทำลายมักจะทำให้ฝักนั้นเสียคุณภาพไป เนื่องจากมีมูลของหนอนออกมาปนเปื้อน การป้องกันกำจัด ตรวจดูในช่วงที่ฝักมะขามหวานหรือก่อนมะขามหวานสุกประมาณ 1-2 เดือน ถ้าเห็นไข่สีขาวนวลบริเวณผิวฝักมะขาม ให้พ่นด้วยสารประเภทดูดซึม เช่น สารเมทามีโดฟอส หรือ โมโนโครโตฟอส

2.6.4 กลุ่มตัวอย่างภาพมะขามหวานอินทรีย์ เกษตรกรเข้าร่วมฯ จำนวน 61 ราย พื้นที่การเกษตร 1,548 ไร่ ณ บ้านคลองน้ำคั่นเหนือ หมู่ที่ 9 ตำบลซับเปิบ อำเภอสว่างวีระวงศ์ จังหวัดเพชรบูรณ์

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยฉบับนี้ใช้ Classifier Algorithm และทำการศึกษาวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นของภาพ (Feature Extraction) ที่ให้ค่าความถูกต้อง และเหมาะสมกับชุดข้อมูล โดยใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ

Tangwannawit & Saengkrajang, An Internet of Things Ecosystem for Planting of Coriander (*Coriandrum Sativum* L.), 2021 ผู้วิจัยได้พัฒนาการปลูกผักปลอดภัยโดยใช้เทคโนโลยีการเชื่อมโยงสรรพสิ่งเป็นต้นแบบในการพัฒนาบนพื้นฐานปัญญาประดิษฐ์

Tangwannawit & Tangwannawit, Feature extraction to predict quality of segregating sweet tamarind using image processing, 2022 ผู้วิจัยเพื่อหาคุณลักษณะเด่นของมะขาม

Cubero S. , A new method for pedice/peduncle detection and size assessment of grapevine berries and other fruits by image analysis, 2014 ได้พัฒนาอัลกอริทึมที่ตรวจหาจุดเชื่อมต่อระหว่างขั้วของผลไม้ โดยการวิเคราะห์รูปร่างของผลไม้ กำหนดขนาดและน้ำหนักของผลไม้ขนาดเล็ก ใช้การจัดเรียงหลังการคัดแยก

Berrahal & Azizi, August, Augmented binary multi-labeled CNN for practical facial, 2021 ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการหา Edge Detection ในเทคนิคต่างๆ เช่น Prewitt, Robert, Sobel, Marr Hildrith และ Canny Operators เมื่อทำการเปรียบเทียบแล้วพบว่าวิธีการตรวจจับขอบภาพด้วยเทคนิค Canny Operators ดีที่สุดในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

Cömert, Hekim, & Kemal, Weight and Diameter Estimation Using Image Processing and Machine Learning Techniques on Apple Images, 2017 ได้ทำการประเมินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและน้ำหนักของแอปเปิ้ล Starking โดยวิธีการประมวลผลภาพ ผ่านระบบการสร้างภาพ ทำการสกัดคุณลักษณะต่างๆ จากภาพที่ถูกถ่ายด้วยกล้อง NIR และใช้วิธีการ Linear Regression พบว่าการประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางและน้ำหนักของแอปเปิ้ล เป็นผลให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อยู่ที่ 93% และน้ำหนักที่ 96.5% สามารถประเมินได้อย่างถูกต้อง

Rupali & Prof, A Fruit Quality Management System Based On Image Processing, 2017 ได้คัดแยกผลไม้ต่างๆ โดยใช้ประโยชน์จากภาพระดับสีเทาซึ่งมีผลน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมภายนอกและเป็นประโยชน์ต่อการหาขนาดของภาพผลไม้ การคัดเลือกคุณลักษณะของผลไม้ (Fruit Features) ซึ่งใช้วิธีการสกัดคุณลักษณะเด่น (Feature Extraction) การคัดแยกใช้ K-Mean ระบบที่พัฒนามีความถูกต้องแม่นยำในการจัดเกรด ด้วยความเร็วสูง ใช้ในคุณภาพของการคัดแยกและคัดขนาดผลไม้ ในอุตสาหกรรม

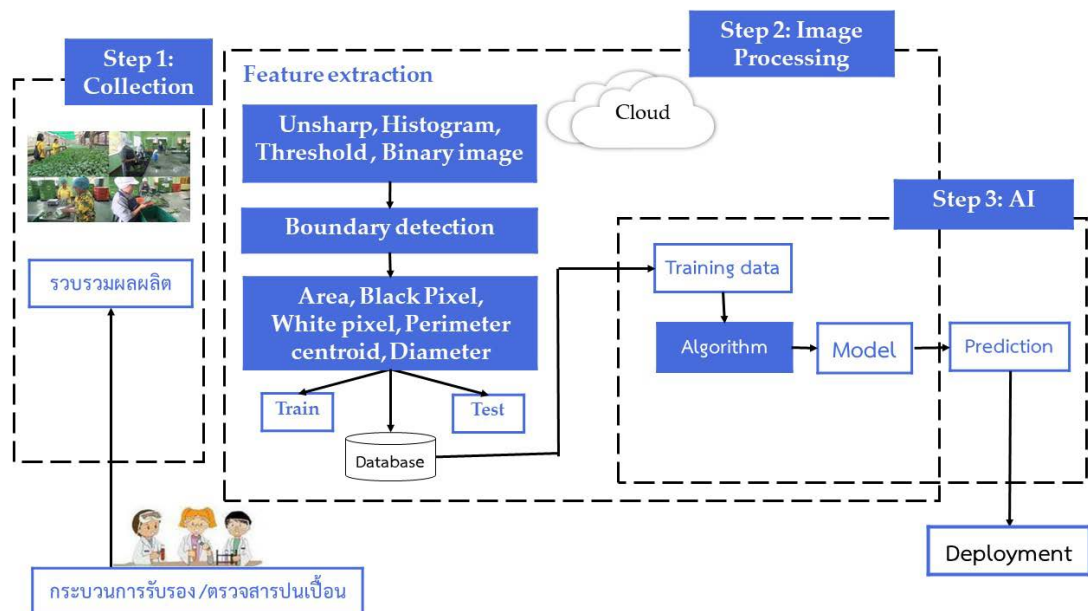
บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัย การพัฒนานวัตกรรมการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ ได้มีการดำเนินการแบ่งขั้นตอนออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

- 3.1 กรอบแนวคิด
- 3.2 การเตรียมข้อมูล
- 3.3 การสร้างแบบจำลอง
- 3.4 การทดสอบและประเมิน

3.1 กรอบแนวคิด



ภาพที่ 3 แสดงกรอบแนวคิดนวัตกรรม

จากกรอบแนวคิดการพัฒนานวัตกรรมการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าประเภทผลไม้ ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ จังหวัดเพชรบูรณ์ให้ได้คุณภาพดี เกิดจากการดำเนินการตามแผนการผลิตสินค้าเกษตร รวมถึงการคัดแยก ตัดแต่ง และบรรจุสินค้าให้มีประสิทธิภาพ แต่ปัญหาของมาตรฐานการส่งออกส่วนใหญ่ราคาไม่ได้ผลเพราะผลผลิตไม่ได้มาตรฐาน ถึงแม้ว่าหน่วยงานภาครัฐสนับสนุนตั้งแต่ต้นน้ำ กลางน้ำ แต่ปลายน้ำเป็นสิ่งสำคัญซึ่งเป็นปัญหาในการคัดแยกสินค้า

ผลิตภัณฑ์ การพัฒนานวัตกรรมการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพบนพื้นฐานปัญญาประดิษฐ์ นำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมเกษตรดังกล่าว

แนวทางการดำเนินการ มุ่งเน้นการวิจัยเพื่อยกระดับเกษตรกรรมในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้กระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชนและสังคม เพิ่มความสามารถในการแข่งขันด้วยนวัตกรรมดิจิทัล โดยการบูรณาการองค์ความรู้ทางด้านเกษตรและองค์ความรู้ทางคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ เข้าด้วยกัน เพื่อถ่ายทอดความรู้ที่ได้จากการวิจัยในการพัฒนากลุ่มเป้าหมายด้านเกษตรอินทรีย์ ที่สามารถพึ่งพาตนเองได้ในระดับครัวเรือน และพัฒนาผลิตภัณฑ์เกษตรกรรมก้าวไปสู่ตลาดที่มีความต้องการสูง เพื่อเข้าสู่มาตรฐานระดับสากลซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของตลาดที่มีมูลค่าสูง รวมทั้งการบริหารจัดการการเผยแพร่นวัตกรรมดิจิทัลเพื่อให้เกษตรกรและผู้ส่งออกเข้าถึงได้ง่าย สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงอย่างทั่วถึงและยั่งยืน

ปัจจุบันมีการนำเสนอแนวคิดและวิธีการจำแนกสินค้าทางการเกษตร โดยใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Image Processing) ด้วยวิธีการที่หลากหลาย เช่น วิธีการคัดแยกคุณภาพ (Classification) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการศึกษาวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นที่ให้ค่าความถูกต้อง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมสำหรับการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ใช้ภาษา Python สำหรับการ Classify data เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความน่าเชื่อถือ ในการวัดประสิทธิภาพการสกัดคุณลักษณะเด่นสินค้าการเกษตรอินทรีย์ประเภทผลไม้ ในจังหวัดเพชรบูรณ์

3.2 การเตรียมข้อมูล

3.2.1 การออกแบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลภาพ

ทำการหาระยะห่างของกล้องต่อคุณภาพของภาพถ่ายฝักมะขามหวาน เพื่อให้ค่าที่วัดได้จากระบบสามารถอ่านภาพได้ดีที่สุด จึงจำเป็นต้องมีการปรับเทียบค่าในระยะที่แตกต่างกัน ระยะห่างจากวัตถุที่ใช้อ้างอิงถึงตัวกล้องในงานวิจัยนี้ใช้ 5 ระดับ คือ ระยะ 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm และ 60 cm วัตถุที่ใช้ทดสอบใช้กระดาศขนาด 7x7 cm, 6x6 cm, 5x5 cm และ 4x4 cm เพื่อหาแนวโน้มความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของพื้นที่ ที่ R^2 ของพื้นที่มาตรฐาน จาก Regression analysis

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i, i = 1, \dots, n$$

เมื่อ n คือ จำนวนค่าสังเกตทั้งหมด

k คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

y_i คือ ค่าสังเกตที่ i ของตัวแปรตาม

$x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}$ คือ ค่าสังเกตที่ i ของตัวแปรอิสระตัวที่ k

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย

ε_i คือ ค่าคลาดเคลื่อนของค่าสังเกตที่ i

3.2.2 การเตรียมภาพ



ภาพที่ 4 ตัวอย่างภาพมะขามหวานพันธุ์สีทองที่มีความสมบูรณ์



ภาพที่ 5 ตัวอย่างภาพภาพมะขามหวานพันธุ์สีทองที่ไม่มีความสมบูรณ์

ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกฝักระหว่างพันธุ์สีทองที่มีความสมบูรณ์ของฝักจำนวน 150 ฝัก แบ่งเป็น 2 ขนาดได้แก่ ขนาดมาตรฐาน A จำนวน 80 ฝัก และขนาดมาตรฐาน B จำนวน 70 ฝัก และทำการจัดเตรียมพื้นที่ถ่ายภาพโดยมีพื้นหลังสีดำ ภาพฝักระหว่างพันธุ์สีทองที่ได้ต้องมีความละเอียดที่ 10 ล้านพิกเซล (Tangwannawit & Tangwannawit, 2022)

3.3 การสร้างแบบจำลอง

ผู้วิจัยได้ทำการสกัดคุณลักษณะเด่น (Feature extraction) เริ่มตั้งแต่การทำ Unsharp mark เพื่อกรองภาพก่อนการประมวลผลภาพ เพื่อเพิ่มความคมชัดให้กับภาพฝักระหว่างพันธุ์สีทอง หลังจากนั้นจะนำสมการในการคำนวณหาขนาดพิกเซลสีดำและขนาดพิกเซลสีขาวของภาพ โดยกำหนดค่า Threshold ที่ได้จากการหาค่าสี Histogram ในจุดพิกเซลที่สนใจเพื่อแยกภาพพื้นหลังออกจากภาพ ทำการหาขนาดพิกเซลทั้งหมดของภาพ คำนวณขนาดพิกเซลสีขาว คำนวณขนาดพิกเซลสีดำ คำนวณหาความยาวเส้นรอบรูป จุดศูนย์กลางของวัตถุ และเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุจากรูปภาพ ใช้ภาษา MATLAB

3.3.1 รับภาพสี (RGB) ฝักระหว่างพันธุ์สีทอง ทำการปรับปรุงภาพด้วยวิธี Unsharp mark ทำการแปลงภาพสีฝักระหว่างพันธุ์สีทองเป็นภาพระดับสีเทา (Grayscale image) ที่มีความเข้มของสีแต่ละจุดในตำแหน่งของภาพฝักระหว่างพันธุ์สีทอง โดยอ่านค่าจากภาพที่ถ่ายมาในตำแหน่งพิกัด X, Y ปรับค่า pixel ในรูป ฝักระหว่างพันธุ์สีทอง จากนั้นนำค่า Y ที่ได้มาแปลงกลับคืนไป ณ ตำแหน่งพิกัด X, Y ที่อ่านเข้ามา จนกระทั่งครบทุกพิกเซล และค่า Y ที่ได้นั้นนำไปพล็อตกราฟให้เป็น Histogram เพื่อแสดงความสว่างในแต่ละช่วงของภาพฝักระหว่างพันธุ์สีทองทำการตัดภาพในจุดที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการแยกวัตถุกับพื้นฉากหลัง คำนวณได้จากจำนวนความถี่ใน Histogram ในการนับค่าและจุดของพิกเซลที่มีค่าน้อยกว่า ค่าระดับการตัดภาพ โดยนับรวมเป็นจำนวนพิกเซลของวัตถุจากนั้นจะคำนวณหาค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มของวัตถุด้วยวิธี Threshold สุดท้ายจะแปลงภาพระดับเทาที่ได้มี 2 ค่า คือ ดำ(0) และขาว (1 หรือ 255) ให้เป็น Binary image ภาพฝักระหว่างพันธุ์สีทองที่ได้จะทำการแบ่งแยกกลุ่ม pixel ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ จุดภาพที่เป็นพื้นหน้า และจุดภาพที่เป็นพื้นหลัง

3.3.2 Image segmentation ทำการแบ่งแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง เพื่อลดความซับซ้อนและเปลี่ยนการแสดงผลภาพเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ผู้วิจัยใช้ boundary detection ในการแยกภาพออกไปเป็น region จากการตรวจสอบของวัตถุแต่ละกลุ่ม เพื่อหาขอบของภาพฝักระฆาหวานใช้ฟังก์ชันการทำงานจากโปรแกรม MATLAB

```
boundaries = bwboundaries(binaryImage);

numberOfBoundaries = size(boundaries, 1);

for k = 1 : numberOfBoundaries
    thisBoundary = boundaries[k];
    plot(thisBoundary(:,2), thisBoundary(:,1), 'g', 'LineWidth', 2);
end
```

ภาพที่ 6 การใช้ boundary detection ในการแยกภาพออกไปเป็น region

3.3.3 ทำการออกแบบฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูลคุณลักษณะเด่นของภาพฝักระฆาหวานเพื่อเก็บใน database picture

ตารางที่ 1 รูปแบบข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูลคุณลักษณะเด่นของภาพ

No	Name of data	Type of data
1	Area	Double
2	Black pixel	Double
3	White pixel	Double
4	Perimeter	Double
5	Centroid	Double
6	Diameter	Double
7	Grade	Varchar

3.3.4 Classification

ขั้นตอนนี้จะทำการจำแนกชุดข้อมูลการสกัดคุณลักษณะเด่นของภาพฝักมะขามจากขั้นตอนที่ 2 และทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ training set และ test set โดยวิธี k-fold cross validation, Stratified K-Fold และ LOOCV ในการวิจัยนี้ใช้ 5 fold cross validation ใช้ภาษา Python สำหรับการ Classify data

หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ใช้มาตรการวัดประสิทธิภาพของการทดสอบ 4 มาตรวัดคือ Accuracy, Precision, Recall และ F1-score มาตรวัดนี้สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของการวิจัยในครั้งนี้

3.3.5 Training set and test set

```

kf = KFold(n_splits=5) // k-fold cross validation

skf = StratifiedKFold(n_splits=5) // Stratified K-Fold

result_loocv = cross_val_score(estimator=pipe, X=X.head(100), y=y.head(100),
                                scoring='accuracy', cv=LeaveOneOut()) // LOOCV

results = model_selection.cross_val_score(estimator=pipe, X=X, y=y, cv=5,
                                           scoring='accuracy')

```

ภาพที่ 7 คำสั่งที่ใช้ในการ Training set and test set

3.3.6 K-Nearest Neighbors (KNN)

```
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier  
  
from sklearn.metrics import accuracy_score  
  
model = KNeighborsClassifier()  
  
model.fit(X_train, y_train)  
  
predicted = model.predict(X_test)  
  
print(accuracy_score(y_test, predicted))
```

3.3.7 Decision tree

```
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier  
  
from sklearn.metrics import accuracy_score  
  
model = DecisionTreeClassifier()  
  
model.fit(X_train, y_train)  
  
predicted = model.predict(X_test)  
  
print(accuracy_score(y_test, predicted))
```

3.3.8 Random Forrest

```
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier  
  
from sklearn.metrics import accuracy_score  
  
model = RandomForestClassifier()  
  
model.fit(X_train, y_train)  
  
predicted = model.predict(X_test)  
  
print(accuracy_score(y_test, predicted))
```

3.3.9 Support Vector Machine (SVM)

```
from sklearn import svm  
  
from sklearn.metrics import accuracy_score
```

```

model = svm.SVC(kernel='linear')
model.fit(X_train, y_train)
predicted = model.predict(X_test)
print(accuracy_score(y_test, predicted))

```

3.3.10 Logistic regression

```

from sklearn.linear_model import LogisticRegression
from sklearn.metrics import accuracy_score
model = LogisticRegression()
model.fit(X_train, y_train)
predicted = model.predict(X_test)
print(accuracy_score(y_test, predicted))

```

3.4 การทดสอบและประเมิน

หลังจากนั้น ผู้วิจัยจะทำการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้

ตารางที่ 2 Evaluation parameters with associated formulas.

Evaluation Matrices	Formula
Precision	$Precision = \frac{TP}{TP+FP}$
Accuracy	$Accuracy = \left(\frac{TP+TN}{TP+TN+FN+FP} \right) \times 100$
Recall	$recall_c = \frac{TP_c}{TP_c+FN_c}$
F1-score	$2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัย การพัฒนานวัตกรรมการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ สามารถสรุปผลการวิจัย ได้ดังนี้

- 5.1 ผลการหาคุณภาพรูปร่างรอยแตกพื้นผิว
 - 5.1.1 ผลการหาระยะห่างของกล้องต่อคุณภาพของภาพถ่าย
 - 5.1.2 ผลการสกัดคุณลักษณะเด่นของภาพ
 - 5.1.3 ผลการวัดประสิทธิภาพอัลกอริทึมเพื่อการคัดแยกประเภท
- 5.2 ผลการพัฒนาโปรแกรมการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์
 - 5.2.1 ผลการวิเคราะห์
 - 5.2.2 ผลการออกแบบ
 - 5.2.4 ผลการพัฒนา
 - 5.2.5 ผลการประเมินประสิทธิภาพ

5.1 ผลการหาคุณภาพรูปร่างและรอยแตกพื้นผิว

5.1.1 ผลการหาระยะห่างของกล้องต่อคุณภาพของภาพถ่ายฝักมะขามหวาน

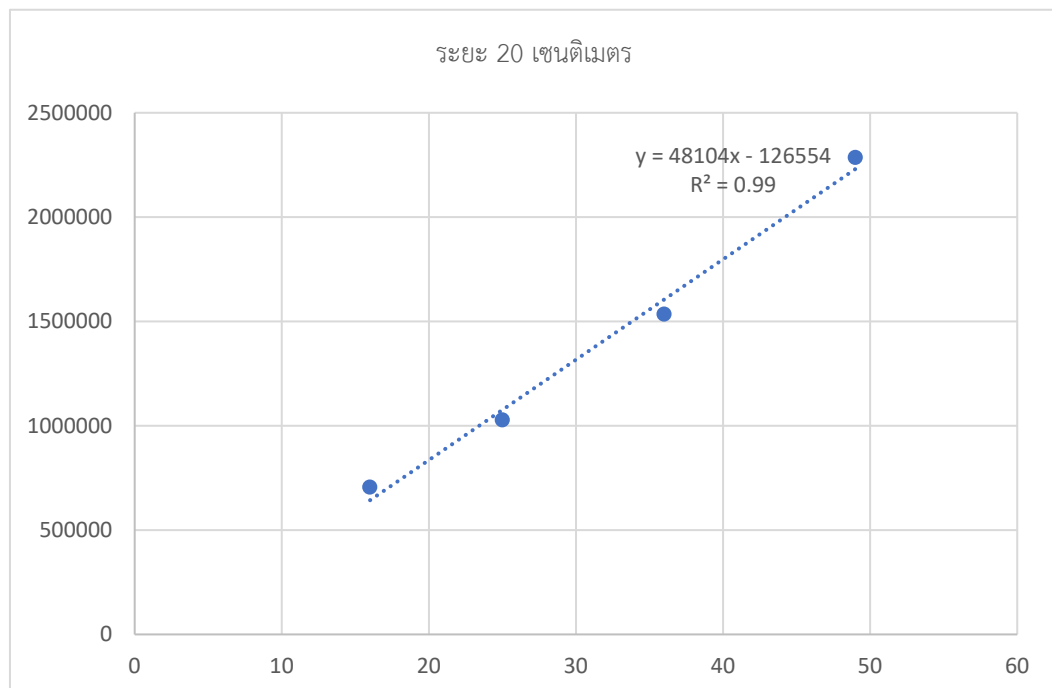
จากการทดลองเพื่อหาระยะห่างของกล้องต่อคุณภาพของภาพถ่ายฝักมะขามหวาน โดยการถ่ายภาพจากระยะห่างของกล้องในระยะที่แตกต่างกัน 5 ระยะ คือ 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm และ 60 cm และใช้วัตถุพื้นที่ขนาด 49 cm^2 36 cm^2 25 cm^2 และ 16 cm^2 ในการหาทดสอบเพื่อหาสมการเส้นตรง

ตารางที่ 3 ผลการหาระยะห่างของกล้องต่อคุณภาพของภาพถ่ายในขนาดที่แตกต่างกัน

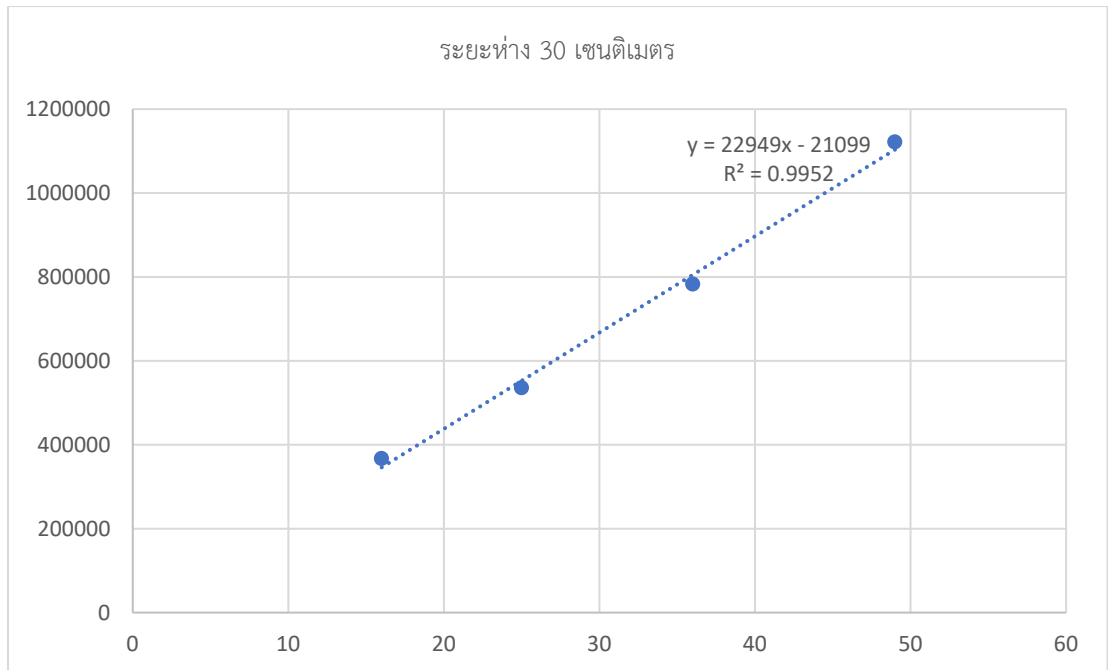
7x7		6x6		5x5		4x4		7x7	6x6	5x5	4x4
กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	พท	พท	พท	พท
576	558	474	480	414	414	324	330	321408	227520	171396	106920
690	672	528	540	480	486	396	390	463680	285120	233280	154440
834	828	660	678	564	594	468	462	690552	447480	335016	216216
1062	1056	864	906	726	738	594	618	1121472	782784	535788	367092
1506	1518	1236	1242	1008	1020	834	846	2286108	1535112	1028160	705564

ตารางที่ 4 ผลของระยะห่างและพื้นที่

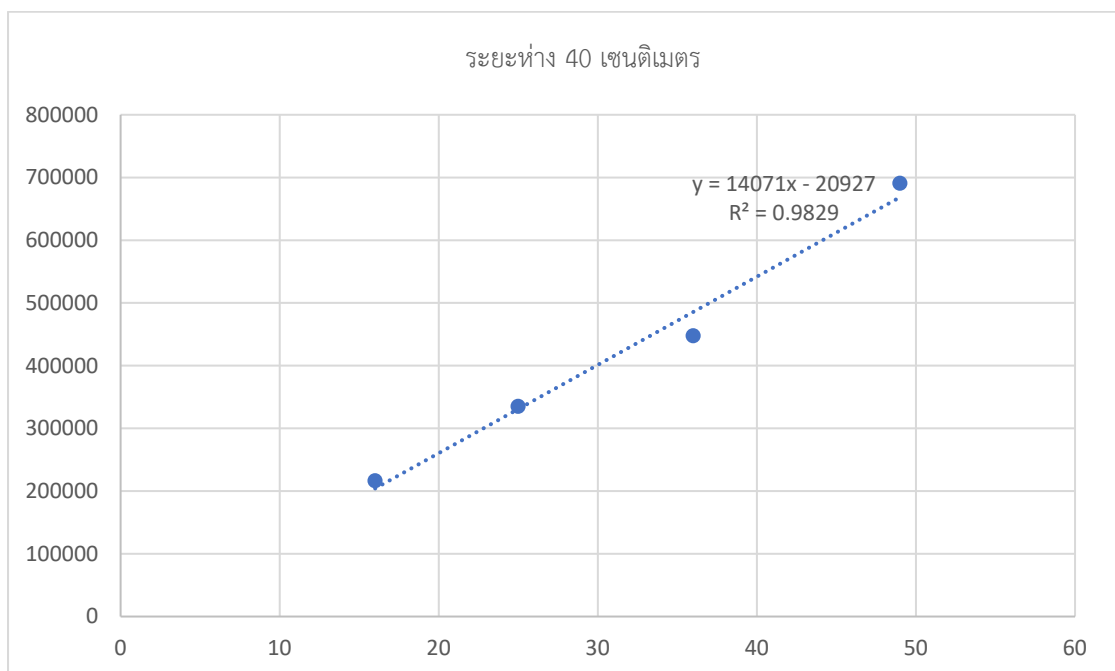
พื้นที่	ระยะ				
	60	50	40	30	20
49	321408	463680	690552	1121472	2286108
36	227520	285120	447480	782784	1535112
25	171396	233280	335016	535788	1028160
16	106920	154440	216216	367092	705564



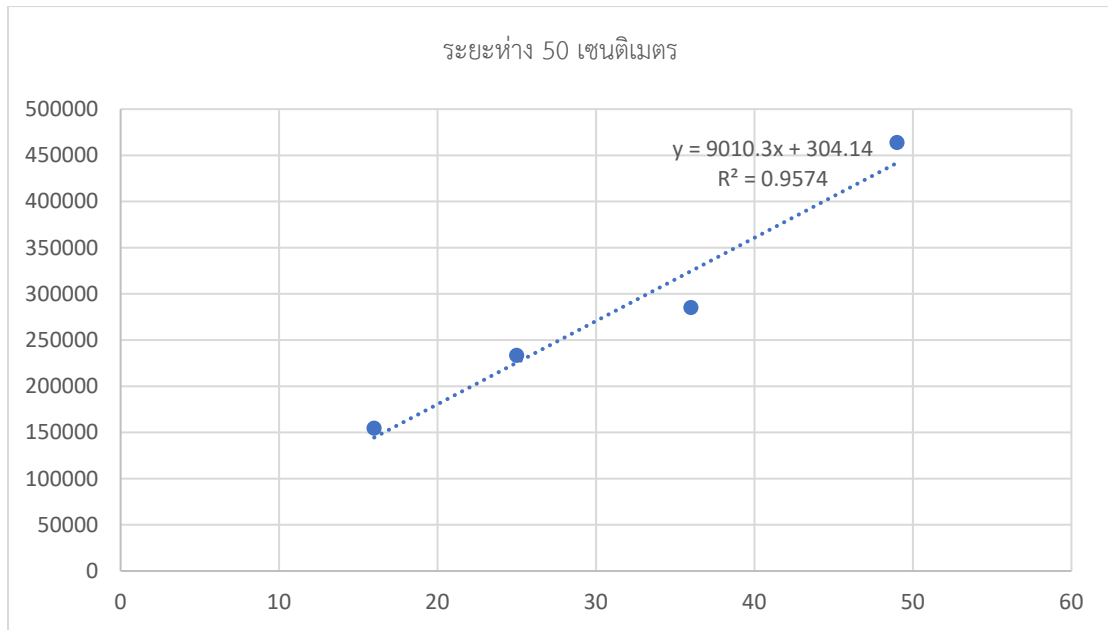
ภาพที่ 8 การใช้ Linear Equation ในระยะ 20 เซนติเมตร



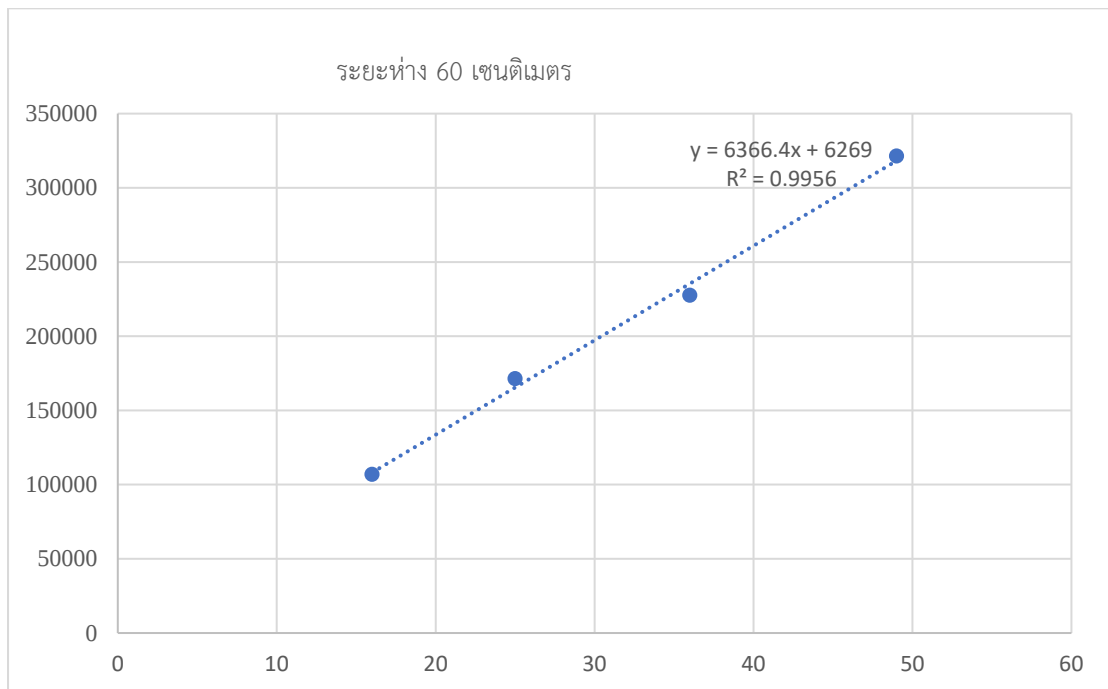
ภาพที่ 9 การใช้ Linear Equation ในระยะ 30 เซนติเมตร



ภาพที่ 10 การใช้ Linear Equation ในระยะ 40 เซนติเมตร



ภาพที่ 11 การใช้ Linear Equation ในระยะ 50 เซนติเมตร



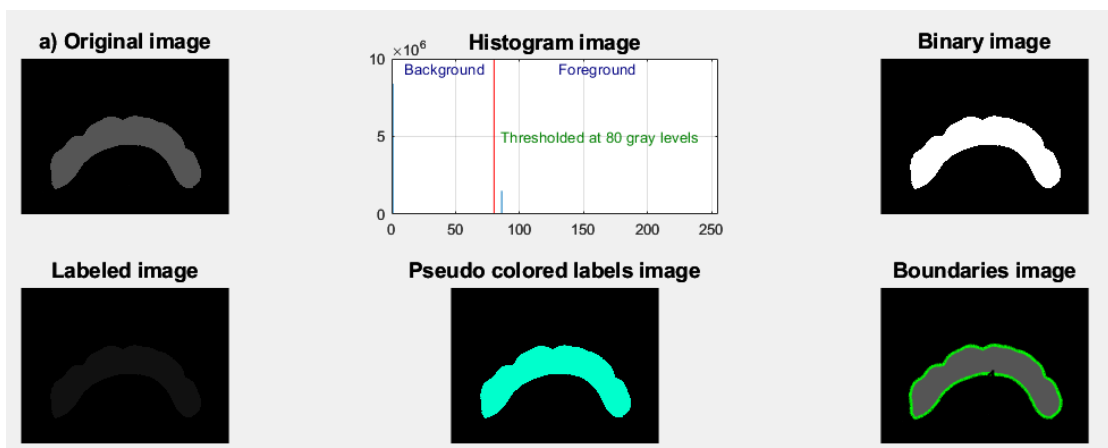
ภาพที่ 12 การใช้ Linear Equation ในระยะ 60 เซนติเมตร

ตารางที่ 5 สมการเส้นตรงของการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่มาตรฐานต่อระยะห่างของกล้อง

Length	Linear Regression		
	Linear Equation	R ²	Standard Error of Estimate
60	$y = 6366.4x + 6269$	0.9956	7,424.736
50	$y = 9010.3x + 304.14$	0.9574	33,180.84
40	$y = 14071x - 20927$	0.9829	32,410.54
30	$y = 22949x - 21099$	0.9952	27,818.88
20	$y = 48104x - 126554$	0.9900	84,237.99

สมการเส้นตรงหาข้างต้นจากงานวิจัยของ Tangwannawit & Tangwannawit, (2022) พบว่าค่า R² ของระยะห่าง 60 เซนติเมตร มีความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและพื้นที่ของวัตถุมากที่สุด ที่ 0.9956 และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ที่เกิดจากสมการถดถอยมีค่า 7,424.736 ซึ่งงานวิจัยนี้จึงทำการถ่ายภาพที่ระยะห่าง 60 เซนติเมตร

5.1.2 ผลการสกัดคุณลักษณะเด่นของภาพ



ภาพที่ 13 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพ

จากงานวิจัยของ Tangwannawit & Tangwannawit, (2022) ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพด้วยภาษา MATLAB คือ (a) Original image เกิดจากการแปลงภาพจากฝักระยะขาวภาพสี RGB เป็น black and white image ด้วยเทคนิค Unsharp Mask (b) Histogram image เกิดจากการนำภาพ black and white image หาค่าระดับสีเทา (c) Binary image การแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพแบบไบนารี (ขาว-ดำ) (d) Boundaries image การหาขอบภาพ

หลังจากนั้นมีการหาค่า RGB ของภาพตัวอย่างฝักระยะขาวเพื่อหาค่าสูงสุดและต่ำสุด โดยใช้โปรแกรม MATLAB พบว่า สีแดงให้ค่าพิกเซลสูงสุด 240 พิกเซลและค่าต่ำสุด 100 พิกเซล สีเขียวให้ค่าพิกเซลสูงสุด 150 พิกเซล และค่าต่ำสุด 10 พิกเซล และสีฟ้าให้ค่าพิกเซลสูงสุด 110 พิกเซล และค่าต่ำสุด 0 พิกเซล

ตารางที่ 6 ค่าพิกเซลในค่าสีแดง สีเขียว และสีฟ้า

	ค่าสูงสุด (Pixel)	ค่าต่ำสุด (Pixel)
สีแดง	240	100
สีเขียว	150	10
สีฟ้า	110	0

ผลการประมวลผลภาพ สรุปได้ว่า การนำข้อมูลระยะขาวจำนวน 150 ฝัก มาทำการหาค่าคลัสเตอร์ กับคลัสเตอร์ไม่สมบูรณ์ โดยกำหนดความสมบูรณ์ของ RGB ไว้ที่ ร้อยละ 90 ของฝักระยะขาวสุดท้ายนำมาเทียบกับการคัดแยกโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่ามีความตรงกันร้อยละ 90

5.1.3 ผลการวัดประสิทธิภาพอัลกอริทึมเพื่อการคัดแยกประเภท

ทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ Training set และ Test set โดยวิธี K-Fold cross validation, Stratified K-Fold และ LOOCV ในการวิจัยนี้ใช้ 5 fold cross validation หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ใช้มาตรการวัดประสิทธิภาพของการทดสอบ 4 มาตรวัดคือ Accuracy, Precision, Recall และ F1-score

ตารางที่ 7 ค่าความถูกต้องและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 5 fold cross validation

Algorithm	K-Fold		Stratified K-Fold		LOOCV	
	Accuracy	SD	Accuracy	SD	Accuracy	SD
Decision tree	89.33	2.49	90.67	5.33	87.00	33.63
Support Vector Machine (SVM)	87.33	9.98	87.33	9.98	85.00	35.71
K-Nearest Neighbors (KNN)	89.33	12.18	92.00	5.81	89.00	31.29
Logistic Regression	84.67	9.57	88.00	9.33	86.00	34.70
Random Forrest	91.33	3.40	92.00	5.81	90.00	30.00

ตารางที่ 8 ค่าความถูกต้องและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก Cross Validation Score

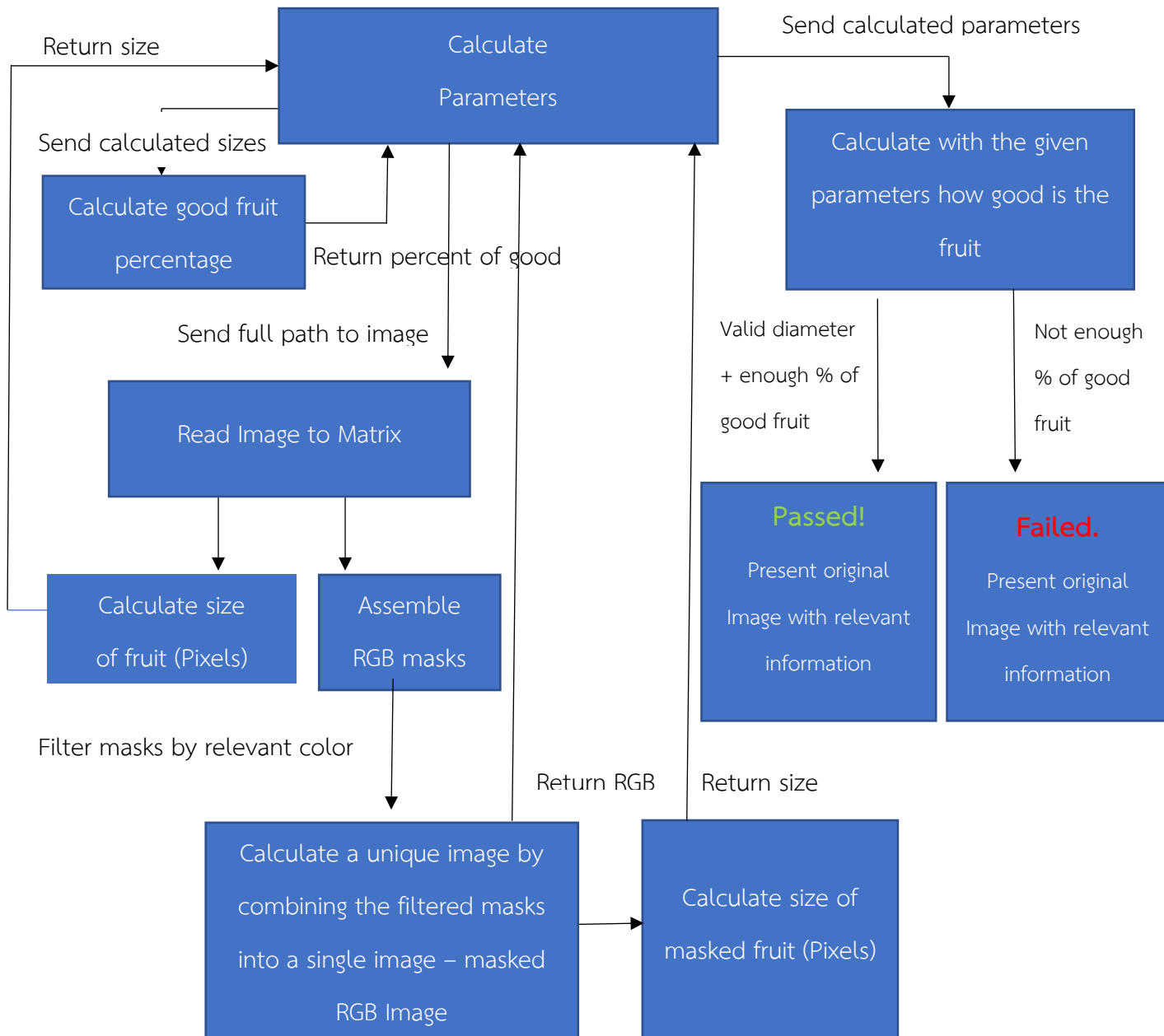
Algorithm	Accuracy	SD	Precision	Recall	F1-score
Decision tree	88.00	12.75	85.40	90.00	87.42
Support Vector Machine (SVM)	90.00	5.57	86.30	94.28	89.92
K-Nearest Neighbors (KNN)	91.33	4.52	88.39	94.28	90.95
Logistic Regression	90.00	5.16	87.33	92.86	89.72
Random Forrest	92.00	8.06	90.12	92.86	91.36

ผลการวัดประสิทธิภาพอัลกอริทึมเพื่อการคัดแยกประเภท สรุปได้ว่า ค่าความถูกต้องและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 5 fold cross validation มาตราวัดทั้ง 3 คือ k-fold cross validation, Stratified K-Fold และ LOOCV พบว่า Random Forrest มีค่า Accuracy สูงที่สุด จากนั้นนำข้อมูลไปหาค่า Cross Validation Score เพื่อยืนยัน Accuracy ของข้อมูล ดัง Table 5. พบว่า Random Forrest มีค่า Accuracy สูงที่สุดที่ 92.00%, SD = 8.06, Precision = 90.12, Recall = 92.86 และ F1-score = 91.36

5.2 ผลการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ใช้งาน

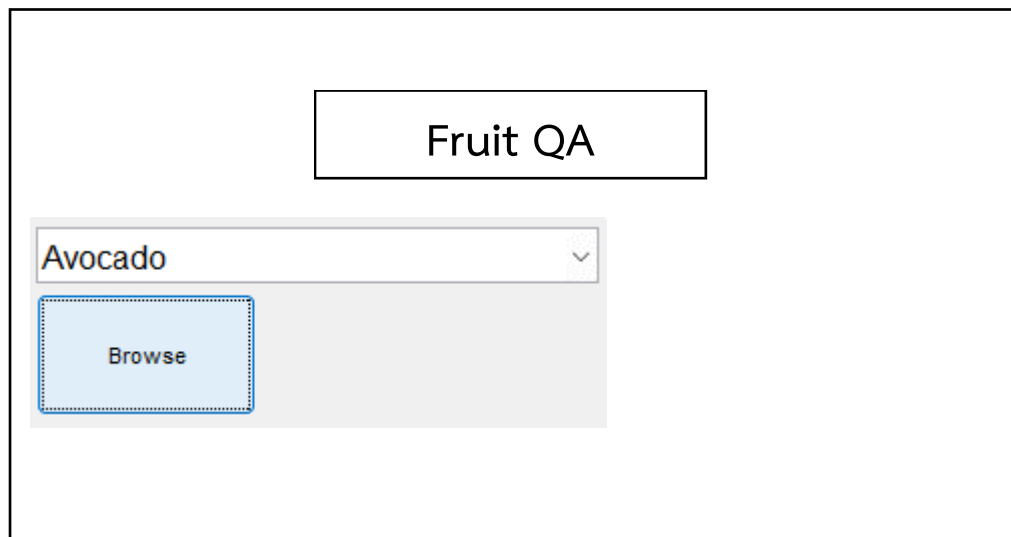
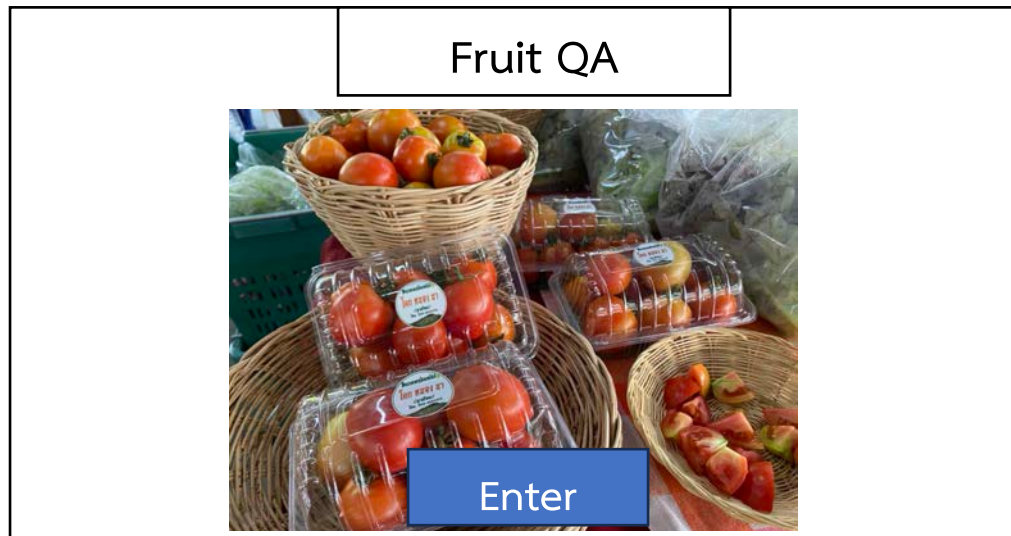
ผลการดำเนินงานตามขั้นตอนการประมวลผลภาพในงานวิจัยนี้ ใช้โปรแกรม Matlab App Designer สามารถเลือกได้ว่าต้องการประมวลผลด้วยผลไม้เฉพาะเกษตรอินทรีย์

5.2.1 ผลการวิเคราะห์



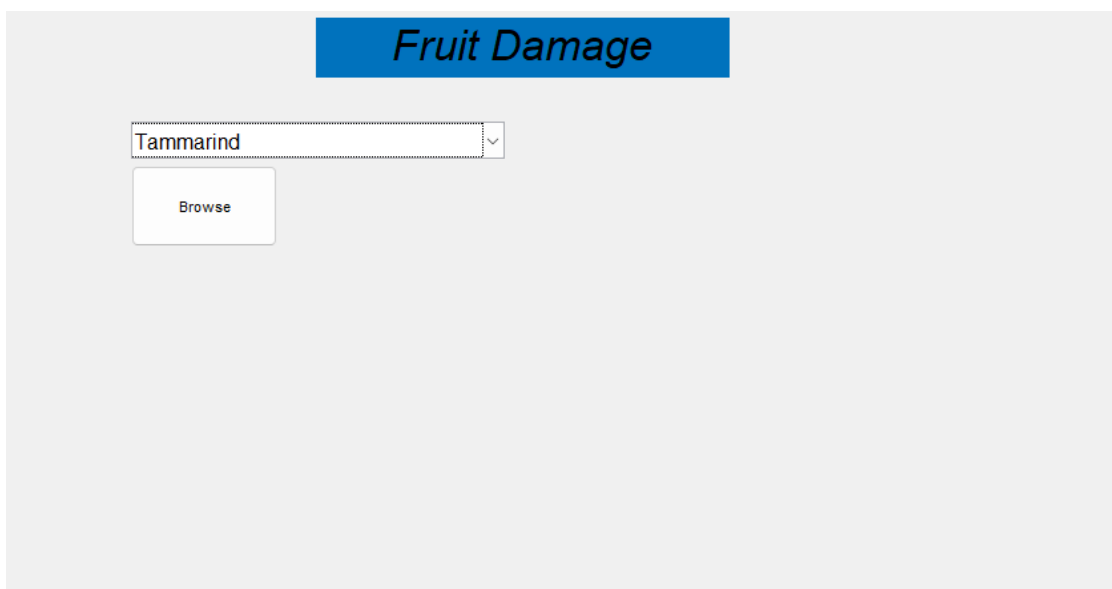
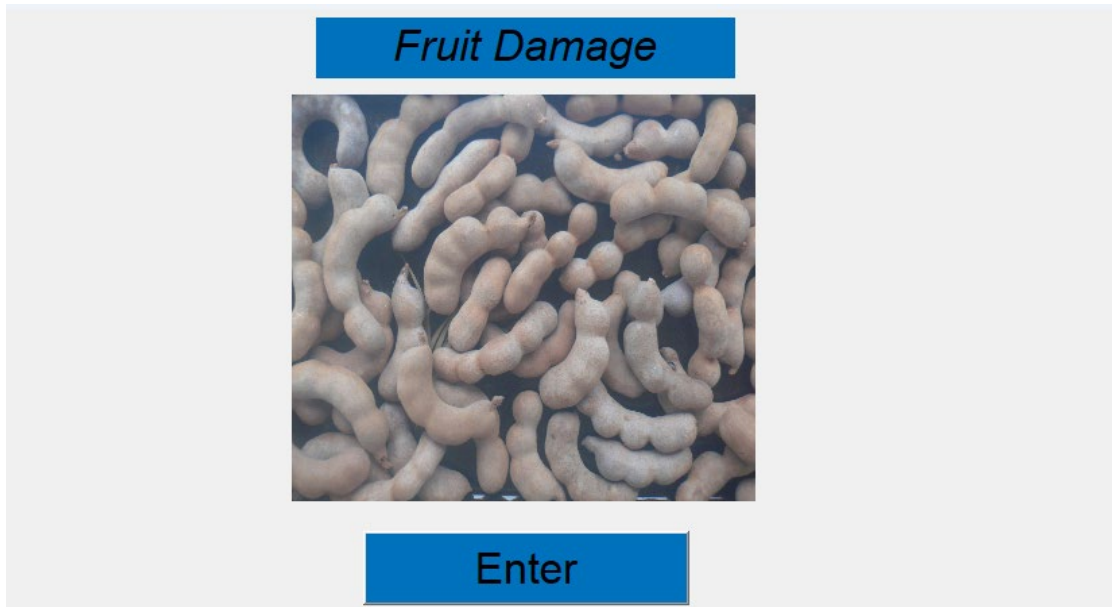
ภาพที่ 14 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

5.2.2 ผลการออกแบบ



ภาพที่ 15 ผลการออกแบบหน้าจอ

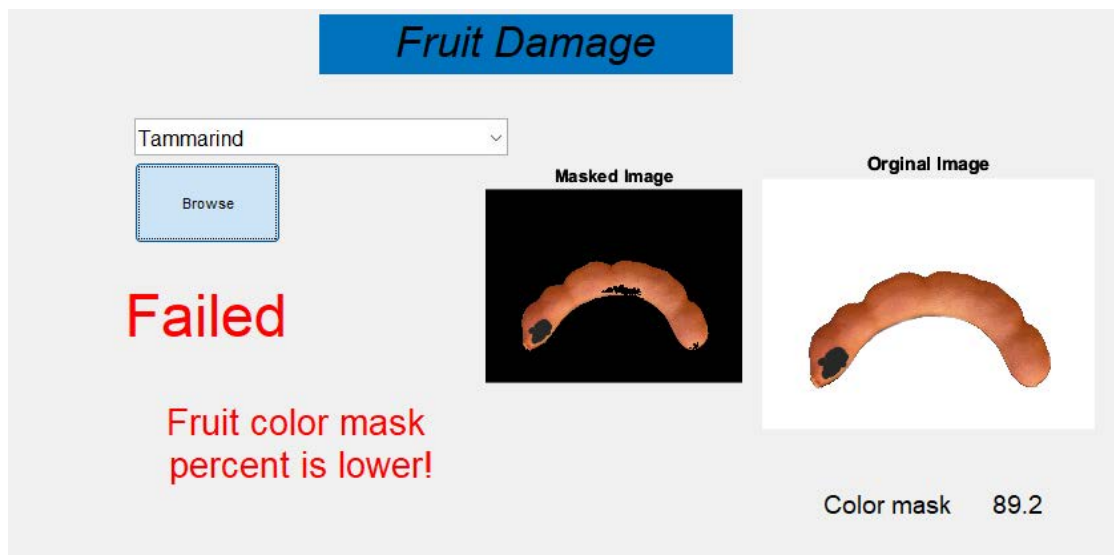
5.2.3 ผลการพัฒนา



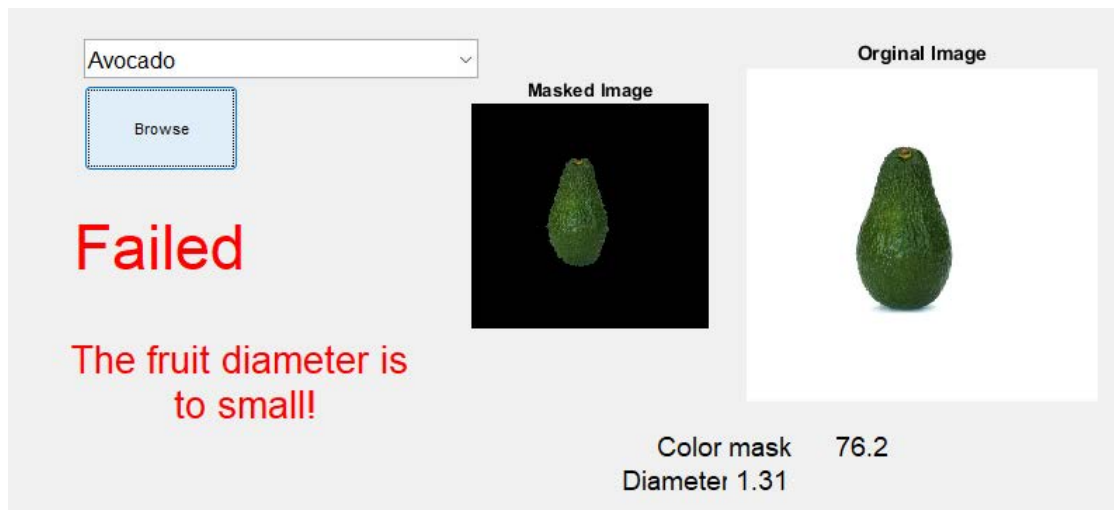
ภาพที่ 16 การคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์



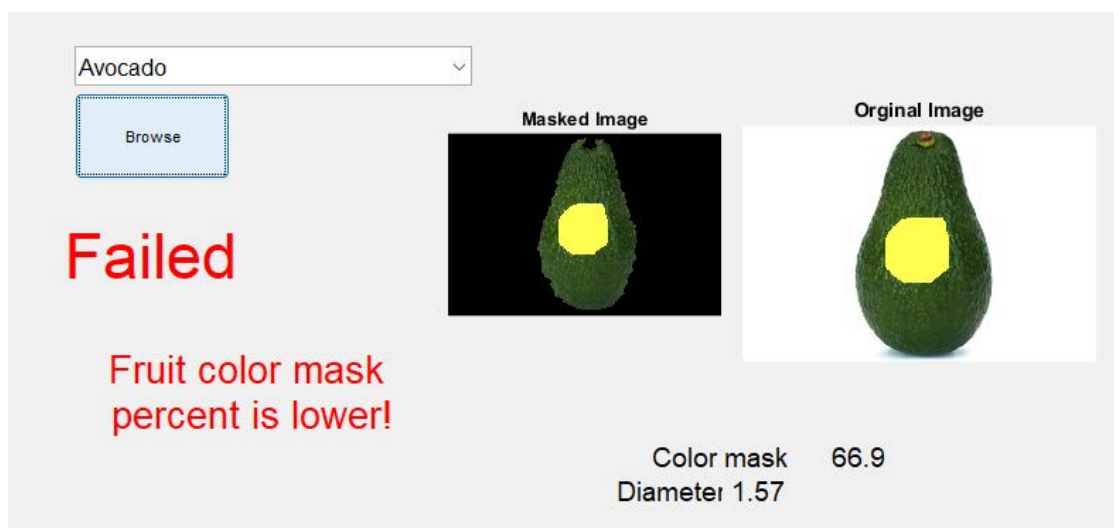
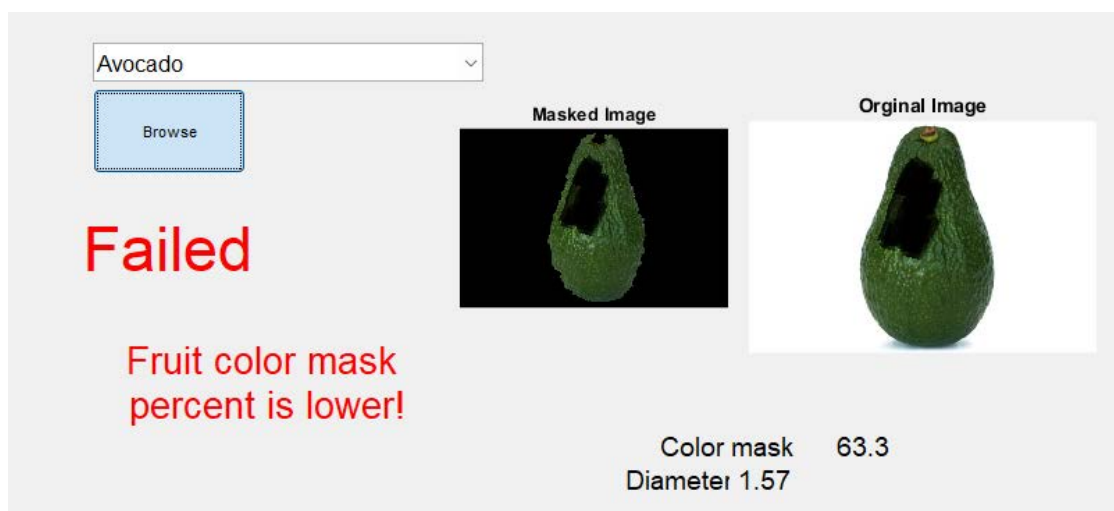
ภาพที่ 17 การคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภหะขามหวาน แบบผ่าน



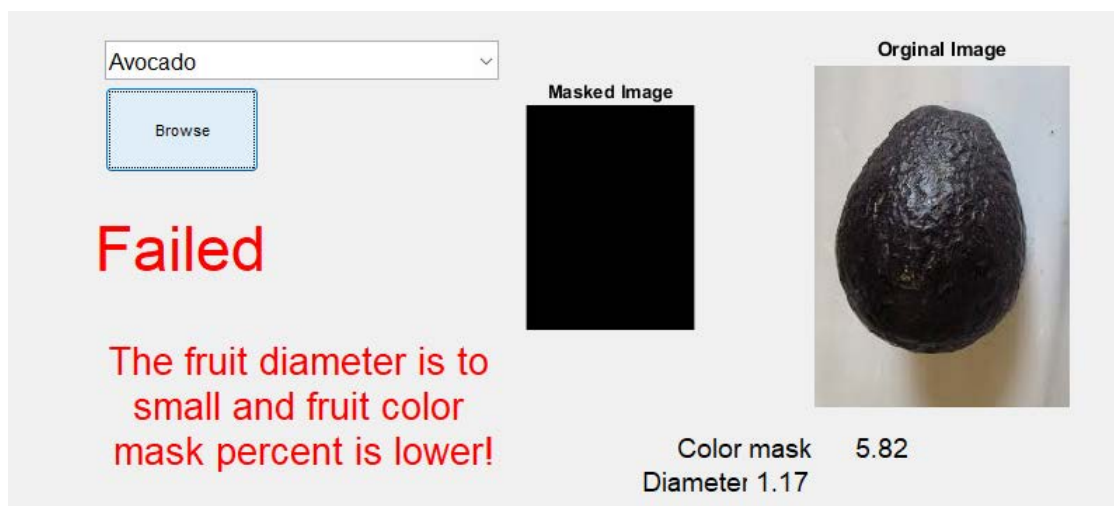
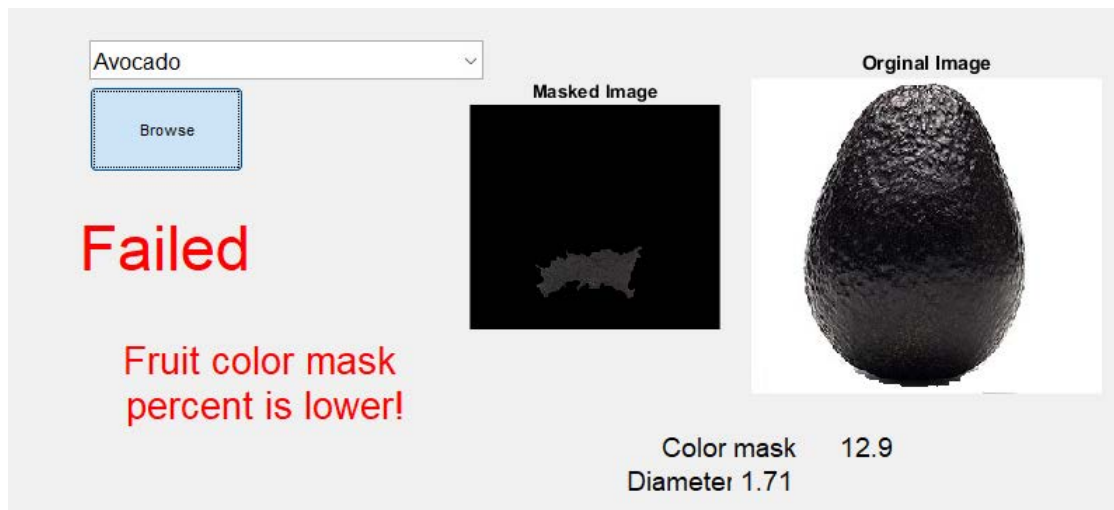
ภาพที่ 18 การคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภหะขามหวาน แบบไม่ผ่าน



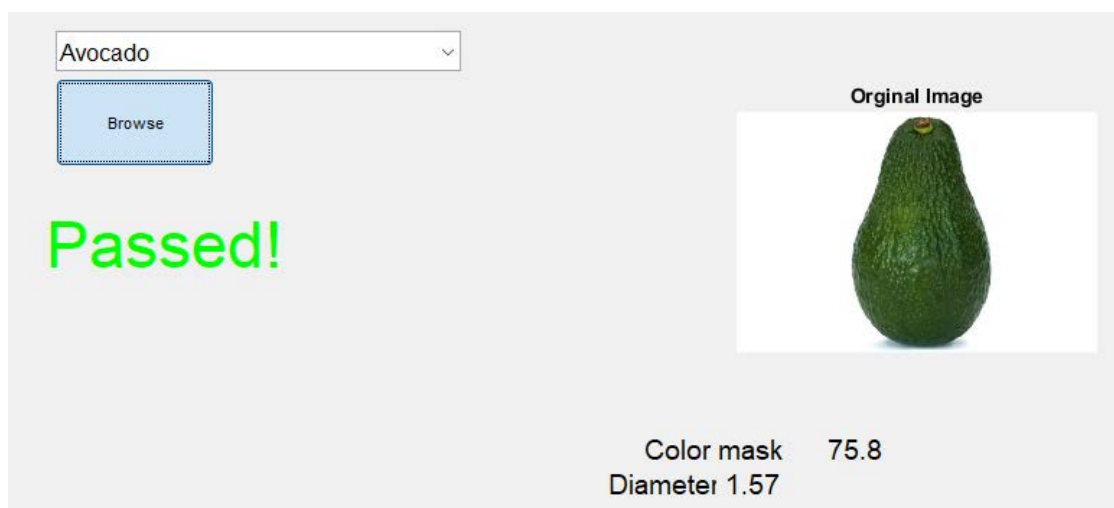
ภาพที่ 19 การคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทโอคาโด



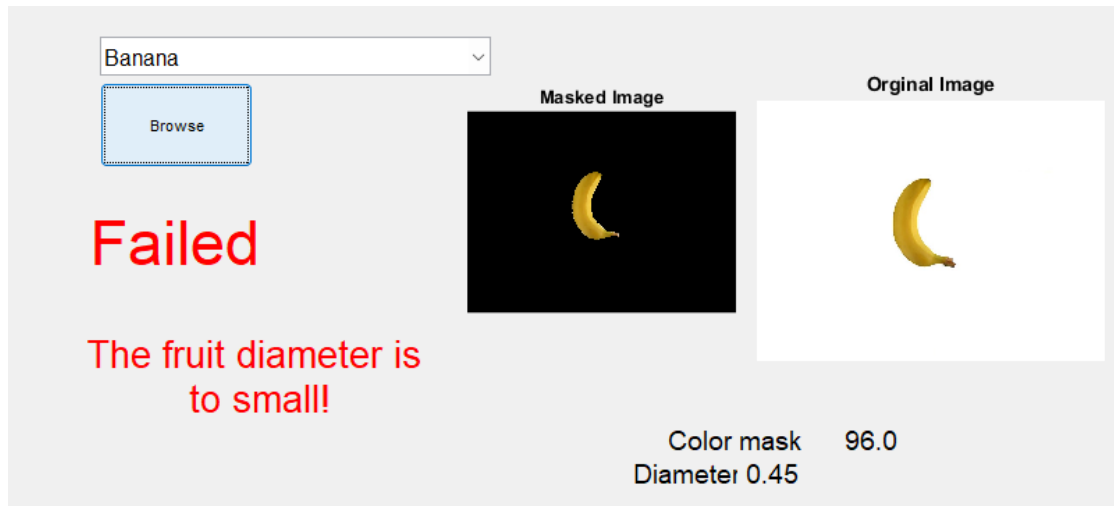
ภาพที่ 20 การคัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทโอคาโดพื้นผิวที่มีตำหนิ แบบไม่ผ่าน



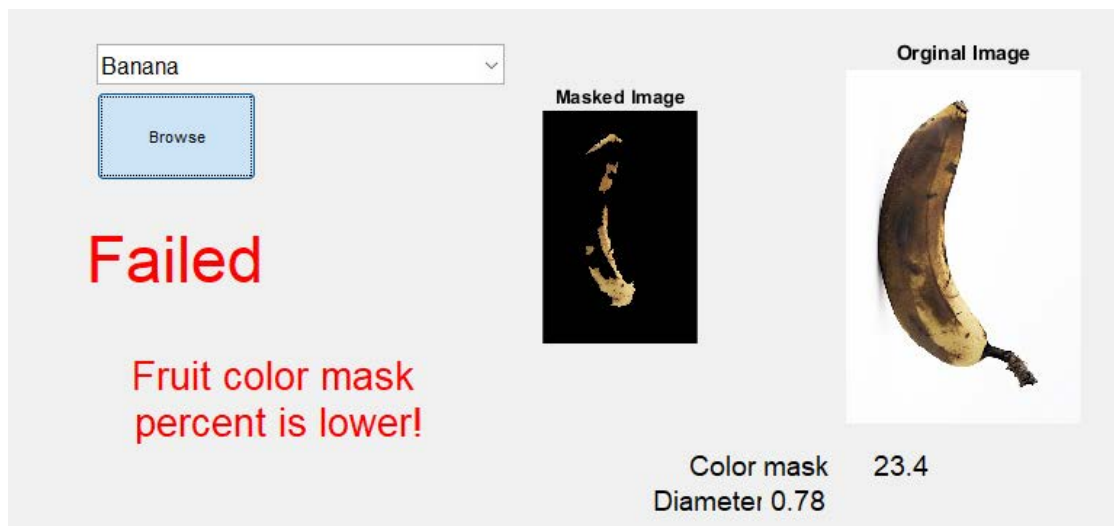
ภาพที่ 21 การคัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทโอโวคาโดผิวสุก แบบไม่ผ่าน



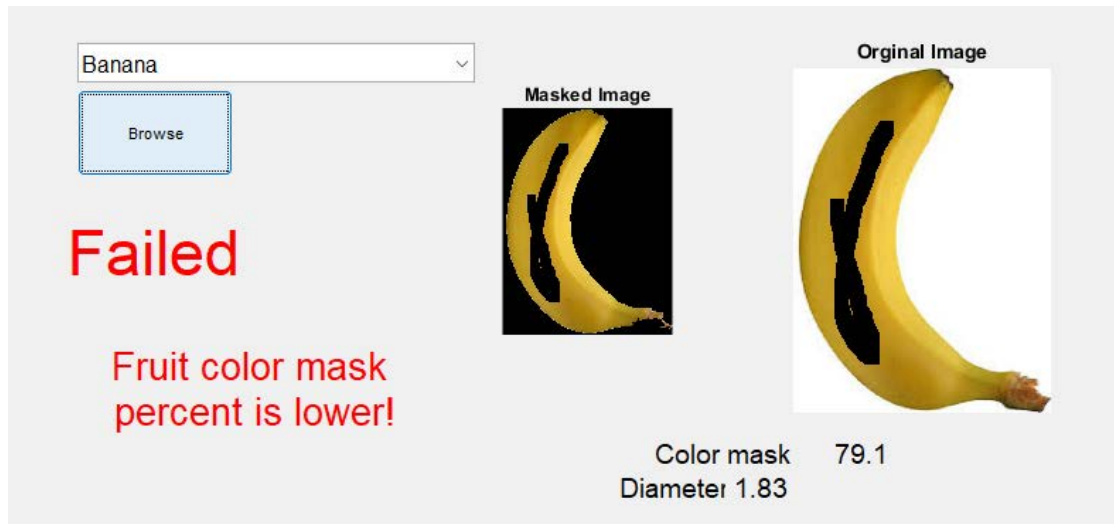
ภาพที่ 22 การคัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทโอโวคาโด แบบผ่าน



ภาพที่ 23 การคัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทกล้วย ขนาดไม่ได้มาตรฐาน แบบไม่ผ่าน



ภาพที่ 24 การคัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทกล้วย พื้นผิวไม่ได้มาตรฐาน แบบไม่ผ่าน



ภาพที่ 25 การคัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทกล้วย พื้นที่ผิวไม่ได้มาตรฐาน แบบไม่ผ่าน



ภาพที่ 26 การคัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทกล้วย พื้นที่ผิวได้มาตรฐาน แบบผ่าน



ภาพที่ 27 การตัดแยกมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ประเภทกล้วยขนาดได้มาตรฐาน แบบผ่าน

5.2.5 ผลการประเมินประสิทธิภาพ ได้ดังนี้

5.2.1 ผลการประเมินระดับคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ

การวัดระดับคุณภาพที่มีต่อระบบ ผู้วิจัยได้ทำการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 3 คน โดยใช้แบบสอบถามประเมินระดับคุณภาพที่ผ่านการประเมินค่าความสอดคล้อง (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน โดยผลการประเมินค่าความสอดคล้องแสดงให้เห็นที่ภาคผนวก ในส่วนของผลการประเมินระดับคุณภาพ สามารถสรุปผลการประเมินทั้ง 4 ด้านได้ ดังนี้

5.2.1.1 ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน มีผลการประเมินระดับคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 9 ผลการวัดระดับคุณภาพด้านความต้องการของผู้ใช้งาน

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. ระบบสามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบ	4.50	0.33	ระดับดี
2. ระบบสามารถแสดงผลได้ ตรงตามความต้องการของผู้ใช้	4.25	0.29	ระดับดี
3. ระบบสามารถจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน	5.00	0.00	ระดับดีมาก
4. ระบบสามารถจัดการข้อมูลองค์ความรู้ กลุ่มองค์ความรู้ และคำสำคัญได้	4.75	0.29	ระดับดีมาก
5. ระบบสามารถจัดการข้อมูลโครงสร้างระบบ เช่น แถบเมนู รูปแบบการจัดวาง ได้	4.75	0.29	ระดับดีมาก
สรุปผลประเมิน	4.69	0.23	ระดับดี

ผลการประเมินด้านความต้องการของผู้ใช้งาน ในส่วนของผู้เชี่ยวชาญ สามารถสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินในด้านนี้อยู่ที่ 4.69 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.23 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดี

5.2.1.2 ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ มีผลการประเมินระดับคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 10 ผลการวัดระดับคุณภาพด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. ระบบสามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้อง ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้	4.75	0.29	ระดับดีมาก
2. ระบบจัดเก็บและแก้ไขข้อมูลผู้ใช้งาน รหัสผ่าน และสิทธิ์ผู้ใช้งาน ได้อย่างถูกต้อง	4.25	0.55	ระดับดี
3. ระบบจัดเก็บและแก้ไขข้อมูล ได้อย่างถูกต้อง	4.75	0.29	ระดับดีมาก
4. ระบบจัดเก็บและแก้ไขข้อมูลโครงสร้างระบบ เช่น แถบเมนู รูปแบบการจัดวาง ได้อย่างถูกต้อง	4.75	0.29	ระดับดีมาก
5. ระบบสามารถแสดงคัดแยกมาตรฐานผลไม้ ได้อย่างถูกต้อง	4.75	0.29	ระดับดีมาก
6. ระบบสามารถให้ผลการคัดแยกมาตรฐานผลไม้ ได้อย่างถูกต้อง	4.75	0.29	ระดับดีมาก
7. ระบบสามารถคัดแยกมาตรฐานผลไม้ตามเงื่อนไขที่กำหนด ได้อย่างถูกต้อง	4.75	0.29	ระดับดีมาก
สรุปผลประเมิน	4.68	0.33	ระดับดีมาก

ผลการด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ ในส่วนของผู้เชี่ยวชาญ สามารถสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินในด้านนี้อยู่ที่ 4.68 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.33 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับ ดีมาก

5.2.1.3 ด้านความเหมาะสมในการใช้งานระบบ มีผลการประเมินระดับคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 11 ผลการวัดระดับคุณภาพด้านความเหมาะสมในการใช้งานระบบ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. การจัดวางรูปแบบและตำแหน่งของส่วนต่าง ๆ ในระบบ (Layout Design) มีความเหมาะสม	4.50	0.33	ระดับดี
2. ข้อความในแถบเมนูและรายละเอียดที่แสดงในระบบ (Menu & Description) มีความเหมาะสมและชัดเจน	4.50	0.58	ระดับดี
3. รูปแบบไอคอนและตัวอักษร มีความเหมาะสม	4.75	0.29	ระดับดีมาก
4. ขนาดไอคอนและตัวอักษร มีความเหมาะสม	4.50	0.58	ระดับดี
5. สีตัวอักษรและพื้นหลัง มีความเหมาะสม	4.75	0.29	ระดับดีมาก
6. ข้อความในการแจ้งเตือนที่ระบบใช้สื่อสารกับผู้ใช้งาน (Notification) มีความเหมาะสม	4.00	0.47	ระดับดี
7. ระบบใช้งานง่าย (User Friendliness)	4.50	0.33	ระดับดี
8. ระบบทำงานได้อย่างรวดเร็ว (Speed)	4.75	0.29	ระดับดีมาก
สรุปผลประเมิน	4.53	0.39	ระดับดีมาก

ผลการประเมินด้านความเหมาะสมในการใช้งานระบบ ในส่วนของผู้เชี่ยวชาญ สามารถสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินในด้านนี้อยู่ที่ 4.53 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.39 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับ ดีมาก

5.2.1.4 ด้านความปลอดภัยของระบบ มีผลการประเมินระดับคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 12 ผลการวัดระดับคุณภาพด้านความปลอดภัยของระบบ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. ระบบมีการกำหนดชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่านในการตรวจสอบผู้ใช้งานระบบ	4.75	0.29	ระดับดีมาก
2. ระบบมีการกำหนดสิทธิ์การเข้าใช้งานของผู้ใช้	4.75	0.29	ระดับดีมาก
3. ระบบมีความปลอดภัยในการเข้าถึงส่วนของการจัดการข้อมูลโครงสร้างระบบ	4.75	0.29	ระดับดีมาก
4. ระบบมีความปลอดภัยในการเข้าถึงฐานข้อมูลของระบบ	4.75	0.29	ระดับดีมาก
5. ระบบมีการแจ้งเตือนเมื่อเกิดข้อผิดพลาดในการใช้งาน	4.50	0.33	ระดับดี
6. ระบบมีการบันทึกการเข้าใช้งานของผู้ใช้	5.00	0.00	ระดับดีมาก
สรุปผลประเมิน	4.75	0.25	ระดับดีมาก

ผลการประเมินด้านความปลอดภัยของระบบ ในส่วนของผู้เชี่ยวชาญ สามารถสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินในด้านนี้อยู่ที่ 4.75 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.25 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดีมาก

5.2.2 ผลการประเมินระดับความพึงพอใจจากผู้ใช้งานทั่วไป

การวัดระดับความพึงพอใจที่มีต่อระบบ ผู้วิจัยได้ทำการประเมินจากผู้ใช้งานทั่วไปจำนวน 30 คน เข้ามาเป็นส่วนร่วมในการทดสอบระบบ โดยสรุปผลการประเมินทั้ง 4 ด้านได้ ดังนี้

5.2.2.1 ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน มีผลการประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้งานทั่วไป

ตารางที่ 13 ผลการวัดระดับความพึงพอใจด้านความต้องการของผู้ใช้งาน

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ระบบสามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบ	4.23	0.09	ระดับดี
2. ระบบสามารถแสดงผลได้ ตรงตามความต้องการของผู้ใช้	4.08	0.11	ระดับดี
3. ระบบสามารถจัดการข้อมูลผู้ใช้งานได้	4.31	0.12	ระดับดี
4. ระบบสามารถแสดงความคิดเห็นได้	4.50	0.12	ระดับดี
5. ระบบสามารถคัดแยกมาตรฐานผลไม่ได้	4.73	0.09	ระดับดีมาก
6. ระบบสามารถค้นหาข้อมูลคัดแยกมาตรฐานผลไม่ตามเงื่อนไขที่กำหนดได้	4.38	0.13	ระดับดี
สรุปผลประเมิน	4.37	0.11	ระดับดี

ผลการประเมิน ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน ในส่วนของผู้เข้าใช้งานทั่วไป สามารถสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินในด้านนี้อยู่ที่ 4.37 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.11 และระดับความพึงพอใจของผู้เข้าใช้งานทั่วไปอยู่ในระดับดี

5.2.2.2 ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ มีผลการประเมินความพึงพอใจโดยผู้เข้าใช้งานทั่วไป

ตารางที่ 14 ผลการวัดระดับความพึงพอใจด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ระบบสามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้อง ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้	4.50	0.10	ระดับดี
2. ระบบจัดเก็บและแก้ไขข้อมูลผู้ใช้งานได้อย่างถูกต้อง	4.58	0.13	ระดับดีมาก
3. ระบบสามารถแสดงความคิดเห็นได้อย่างถูกต้อง	4.46	0.10	ระดับดี

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
4. ระบบสามารถให้คัดแยกมาตรฐานผลไม้ได้อย่างถูกต้อง	4.62	0.11	ระดับดีมาก
5. ระบบสามารถค้นหาข้อมูลคัดแยกมาตรฐานผลไม้ตามเงื่อนไขที่กำหนด ได้อย่างถูกต้อง	4.42	0.15	ระดับดี
สรุปผลประเมิน	4.52	0.12	ระดับดีมาก

ผลการประเมินด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ ในส่วนของผู้ใช้งานทั่วไป สามารถสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินในด้านนี้อยู่ที่ 4.52 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.12 และระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานทั่วไปอยู่ในระดับดีมาก

5.2.2.3 ด้านความเหมาะสมในการใช้งานระบบ มีผลการประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้งานทั่วไป

ตารางที่ 15 ผลการวัดระดับความพึงพอใจด้านความเหมาะสมในการใช้งานระบบ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. การจัดวางรูปแบบและตำแหน่งของส่วนต่าง ๆ ในระบบ มีความเหมาะสม	4.31	0.12	ระดับดี
2. ข้อความในแถบเมนูและรายละเอียดที่แสดงในระบบเหมาะสมและชัดเจน	4.31	0.11	ระดับดี
3. รูปแบบไอคอนและตัวอักษร มีความเหมาะสม	4.58	0.10	ระดับดีมาก
4. ขนาดไอคอนและตัวอักษร มีความเหมาะสม	4.58	0.10	ระดับดีมาก
5. สีตัวอักษรและพื้นหลัง มีความเหมาะสม	4.42	0.10	ระดับดี
6. ข้อความในการแจ้งเตือน มีความเหมาะสม	4.38	0.11	ระดับดี
7. ระบบใช้งานง่าย	4.69	0.09	ระดับดีมาก
8. ระบบทำงานได้อย่างรวดเร็ว	4.54	0.10	ระดับดีมาก
สรุปผลประเมิน	4.48	0.11	ระดับดี

ผลการประเมินด้านความเหมาะสมในการใช้งานระบบ ในส่วนของผู้ใช้งานทั่วไป สามารถสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินในด้านนี้อยู่ที่ 4.48 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.11 และระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานทั่วไปอยู่ในระดับดี

5.2.2.4 ด้านความปลอดภัยของระบบ มีผลการประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้งานทั่วไป

ตารางที่ 16 ผลการวัดระดับความพึงพอใจด้านความปลอดภัยของระบบ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ระบบมีการกำหนดชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่านในการตรวจสอบผู้ใช้งานระบบ	4.65	0.11	ระดับดีมาก
2. ระบบมีการกำหนดสิทธิ์การใช้งานของผู้ใช้	4.58	0.15	ระดับดีมาก
3. ระบบแจ้งเตือนเมื่อเกิดข้อผิดพลาดในการใช้งาน	4.50	0.12	ระดับดี
4. ระบบมีการบันทึกการใช้งานของผู้ใช้	4.50	0.14	ระดับดี
สรุปผลประเมิน	4.56	0.13	ระดับดีมาก

ผลการประเมิน ด้านความปลอดภัยของระบบ ในส่วนของผู้ใช้งานทั่วไป สามารถสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินในด้านนี้อยู่ที่ 4.56 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.13 และระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานทั่วไปอยู่ในระดับดีมาก

5.2.3 สรุปผลการประเมินระดับคุณภาพและความพึงพอใจ

จากการประเมินระบบ ผู้วิจัยได้สรุปผลการประเมินระดับคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ และความพึงพอใจจากผู้ใช้งานทั่วไปในแต่ละด้าน สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 17 ผลการประเมินระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

ด้านการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ		ระดับคุณภาพ
	$\bar{X}$	S.D.	
1. ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน	4.69	0.23	ระดับดีมาก
2. ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ	4.68	0.33	ระดับดีมาก
3. ด้านความเหมาะสมในการใช้งานระบบ	4.53	0.39	ระดับดีมาก
4. ด้านความปลอดภัยของระบบ	4.75	0.25	ระดับดีมาก
สรุปผลการประเมิน	4.66	0.30	ระดับดีมาก

สรุปผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.66 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.30 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดีมาก โดยแบ่งออกเป็น 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน มีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.69 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.23 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดีมาก

ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.68 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.33 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดีมาก

ด้านความเหมาะสมในการใช้งานระบบ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.53 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.39 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดีมาก

ด้านความปลอดภัยของระบบมีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.75 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.25 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดีมาก

ตารางที่ 18 ผลการประเมินระบบโดยผู้ใช้งานทั่วไป

ด้านการประเมิน	ผู้ใช้งานทั่วไป		ระดับความพึงพอใจ
	$\bar{X}$	S.D.	
1. ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน	4.37	0.11	ระดับดี
2. ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ	4.52	0.12	ระดับดีมาก
3. ด้านความเหมาะสมในการใช้งานระบบ	4.48	0.11	ระดับดี

ด้านการประเมิน	ผู้ใช้งานทั่วไป		ระดับความพึงพอใจ
	$\bar{X}$	S.D.	
4. ด้านความปลอดภัยของระบบ	4.56	0.13	ระดับดีมาก
สรุปผลการประเมิน	4.48	0.12	ระดับดี

สรุปผลการประเมินโดยผู้ใช้งานทั่วไป มีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.48 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.12 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดี โดยแบ่งออกเป็น 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน มีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.37 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.11 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดี

ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.52 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.12 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดีมาก

ด้านความเหมาะสมในการใช้งานระบบ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.48 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.11 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดี

ด้านความปลอดภัยของระบบมีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.56 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.13 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดีมาก

บทที่ 5

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัย การพัฒนานวัตกรรมการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ สามารถสรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ใช้การสกัดคุณลักษณะเด่นของภาพใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพร่วมกับอัลกอริทึมการคัดแยกประเภทข้อมูล (Classifier algorithm) ซึ่งได้เลือกใช้อัลกอริทึมที่มีลักษณะพื้นฐานที่ต่างกันเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ วัตถุประสงค์ของการวิจัย

5.1.1 เพื่อใช้การประมวลผลภาพ มาประยุกต์ใช้บนพื้นฐานปัญญาประดิษฐ์ในขั้นตอนของการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว (Postharvest Handling System) ประเภทผลไม้ของจังหวัดเพชรบูรณ์ ผู้วิจัยได้คัดเลือกผลไม้ที่มีความสำคัญและใช้วิธีการปลูกแบบอินทรีย์ คือ ฝักร่มขาวหวานพันธุ์สีทองที่มีความสมบูรณ์ของฝักจำนวน 150 ฝัก แบ่งเป็น 2 ขนาดได้แก่ ขนาดมาตรฐาน A จำนวน 80 ฝัก และขนาดมาตรฐาน B จำนวน 70 ฝัก และทำการจัดเตรียมพื้นที่ถ่ายภาพโดยมีพื้นหลังสีดำ จากการทดลองเพื่อหาระยะห่างของกล้องต่อคุณภาพของภาพถ่ายฝักร่มขาวหวาน โดยการถ่ายภาพจากระยะห่างของกล้องในระยะที่แตกต่างกัน 5 ระยะ คือ 20 เซนติเมตร, 30 เซนติเมตร, 40 เซนติเมตร, 50 เซนติเมตร และ 60 เซนติเมตร และใช้วัตถุพื้นที่ขนาด 49 เซนติเมตร² ขนาด 36 เซนติเมตร² ขนาด 25 เซนติเมตร² และขนาด 16 เซนติเมตร² ในการหาทดสอบเพื่อหาสมการเส้นตรง (Linear Equation) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tangwannawit & Tangwannawit, (2022) พบว่าค่า R^2 ของระยะห่าง 60 เซนติเมตร มีความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและพื้นที่ของวัตถุมากที่สุด ที่ 0.9956 และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ที่เกิดจากสมการถดถอยมีค่า 7,424.736 ซึ่งงานวิจัยนี้จึงทำการถ่ายภาพที่ระยะห่าง 60 เซนติเมตรจากนั้นนำภาพมาสกัดคุณลักษณะโดยใช้ภาษาโปรแกรม MATLAB เพื่อจัดเก็บข้อมูลคุณลักษณะของภาพลงฐานข้อมูลซึ่งประกอบด้วย Area, Black pixel, White pixel, Perimeter, Diameter และ Centroid

5.1.2 เพื่อใช้อัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพด้วยภาษา MATLAB คือ (a) Original image เกิดจากการแปลงภาพจากฝักระยะขามหวานภาพสี RGB เป็น black and white image ด้วยเทคนิค Unsharp Mask (b) Histogram image เกิดจากการนำภาพ black and white image หาค่าระดับสีเทา (c) Binary image การแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพแบบไบนารี (ขาว-ดำ) (d) Boundaries image การหาขอบภาพ หลังจากนั้นมีการหาค่า RGB ของภาพตัวอย่างฝักระยะขามเพื่อหาค่าสูงสุดและต่ำสุด โดยใช้โปรแกรม MATLAB พบว่า สีแดงให้ค่าพิกเซลสูงสุด 240 พิกเซลและค่าต่ำสุด 100 พิกเซล สีเขียวให้ค่าพิกเซลสูงสุด 150 พิกเซล และค่าต่ำสุด 10 พิกเซล และสีฟ้าให้ค่าพิกเซลสูงสุด 110 พิกเซล และค่าต่ำสุด 0 พิกเซล อัลกอริทึมที่ได้นำมาทดสอบโมเดลที่เหมาะสมประกอบด้วย Decision tree, Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbors (KNN), Logistic Regression และ Random Forrest สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Cömert, Hekim, & Kemal, 2017)

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การนำข้อมูลระยะขามจำนวน 150 ฝัก มาทำการหาคลาสสมบรูณ์กับคลาสไม่สมบรูณ์ โดยกำหนดความสมบรูณ์ของ RGB ไว้ที่ ร้อยละ 90 ของฝักระยะขาม สุดท้ายนำมาเทียบกับการคัดแยกโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่ามีความตรงกันร้อยละ 90

5.1.3 เพื่อการวัดประสิทธิภาพของโมเดลได้แก่ Accuracy, Precision, Recall และ F1-score ผู้วิจัยได้นำข้อมูลทั้งหมดมาทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ Training set และ Test set โดยวิธี K-Fold cross validation, Stratified K-Fold และ LOOCV ในการวิจัยนี้ใช้ 5 fold cross validation

หลังจากนั้นผู้วิจัยวัดประสิทธิภาพการทดสอบโมเดลด้วยค่า Accuracy พบว่า Random Forrest มีค่า Accuracy สูงที่สุด และนำข้อมูลดังกล่าวไปหาค่า Cross Validation Score เพื่อยืนยันประสิทธิภาพโมเดล จากค่า Accuracy, Precision, Recall และ F1-score ยังพบว่า Random Forrest ก็ยังมีค่า Accuracy สูงที่สุด

ผลการวัดประสิทธิภาพอัลกอริทึมเพื่อการคัดแยกประเภท สรุปได้ว่า ค่าความถูกต้องและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 5 fold cross validation มาตราวัดทั้ง 3 คือ k-fold cross validation, Stratified K-Fold และ LOOCV พบว่า Random Forrest มีค่า Accuracy สูงที่สุด จากนั้นนำข้อมูลไปหาค่า Cross Validation Score เพื่อยืนยัน Accuracy ของข้อมูล ดัง Table 5. พบว่า Random Forrest มีค่า Accuracy สูงที่สุดที่ 92.00%, SD = 8.06, Precision = 90.12, Recall = 92.86 และ F1-score = 91.36

5.1.4 การประเมินประสิทธิภาพของระบบ

สรุปผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.66 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.30 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดีมาก โดยแบ่งออกเป็น 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน มีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.69 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.23 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดีมาก

สรุปผลการประเมินโดยผู้เข้าใช้งานทั่วไป มีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.48 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.12 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดี โดยแบ่งออกเป็น 4 ด้านประกอบด้วย ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน มีค่าเฉลี่ยโดยรวมของการประเมินอยู่ที่ 4.37 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.11 และระดับคุณภาพของระบบอยู่ในระดับดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

การคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ หากนำไปใช้ในระบบสายพานลำเลียง ในคัดแยกขนาดการบรรจุในอุตสาหกรรมพืช ผัก ผลไม้ เกษตรอินทรีย์ จะช่วยลดระยะเวลาในการทำงานของพนักงาน และช่วยเพิ่มความแม่นยำในการคัดขนาดมาตรฐาน ดังนั้น การในการศึกษาต่อยอดจากงานวิจัยนี้ ผู้สนใจควรศึกษาเทคนิคการประมวลผลภาพอัลกอริทึมเพื่อการคัดแยกประเภทแบบ Deep Learning หรือนำไปพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนได้ เพื่อเพิ่มความสะดวกต่อผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- Berrahal, M., & Azizi, M. (August, 2021. doi: 10.11591/ijeecs.v23.i2.pp973-979).
Augmented binary multi-labeled CNN for practical facial. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 2(23), 973-979.
- Cade, M. (2020, October 15). *John McCarthy -- Father of AI and Lisp -- Dies at 84*.
Retrieved from wired: <https://www.wired.com/2011/10/john-mccarthy-father-of-ai-and-lisp-dies-at-84/>
- Carlos, A. C., Carlos, S., & Gara, M. (2016). History and Philosophy of Evolutionary Computation. In P. A. Plemaen, *Evolutionary Computation, Hybrid Systems, and Applications* (pp. 537-574). Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Cömert, O., Hekim, M., & Kemal, A. (2017). Weight and Diameter Estimation Using Image Processing and Machine Learning Techniques on Apple Images. *International Journal of Research and Development*, 147-154.
- Cubero, S. (2014). A new method for pedicel/peduncle detection and size assessment of grapevine berries and other fruits by image analysis. *Biosystems Engineering* 117, 62-72.
- Das, A. (2017, March 26). *The very basics of Reinforcement Learning*. Retrieved from becominghuman.ai: <https://becominghuman.ai/the-very-basics-of-reinforcement-learning-154f28a79071>
- Hebron, P. (2016). *Machine Learning for Designers*. United States of America: O'Reilly Media, Inc.
- J. A. N., L. (2012). A Computer for Solving Linear Simultaneous Equations. *IEEE Computer Society and the Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 262-272.

- Jadhav S Rupali , และ Patil S Prof. (2017). A Fruit Quality Management System Based On Image Processing,. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, 1-5.
- Jupyter notebook. (2020, March 20). *Jupyter notebook*. Retrieved from Jupyter notebook: <http://localhost:8888/notebooks/DSStree.ipynb>
- Kastrati, M., & Biba, M. (December. 2022, doi: 10.11591/ijece.v12i6.pp6432-6439). Natural language processing for Albanian: astate-of-the-art survey. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 12(6), 6432~6439.
- Laurie, W., & April, C. (2015). *Ada Byron Lovelace & the Thinking Machine*. United Python. (10 May 2020). *Python*. เข้าถึงได้จาก Python: <https://www.python.org/>
- Quinlan, R. J. (1983). *C4.5 : Program for machine learning*. Massachusetts: Morgan Kaufmann.
- S Aline F Borges, B. Laurindo J Fernando, Spínola M Mauro, Gonçalves F Rodrigo, และ Mattos M Claudia . (2020). The strategic use of artificial intelligence in the digital era: Systematic literature review and future research directions. *International Journal of Information Management*, 57, 102225.
- Scikit-learn. (10 May 2020). *Machine Learning in Python*. เข้าถึงได้จาก scikit-learn: <https://scikit-learn.org/stable/index.html>
- Sergio, Diago Cubero, Blasco M. Paz, , J. Tardaguila, J Millan, และ Aleixos, N Borja. (2014). A new method for pedicel/peduncle detection and size assessment of grapevine berries and other fruits by image analysis. *Biosystems Engineering*, 117, 62-72.
- Stuart, R. J., & Norvig, P. (2020). *Artificial Intelligence A Modern Approach Fourth*
- Tangwannawit, P., & Tangwannawit, S. (2022). Feature extraction to predict quality of segregating sweet tamarind using image processing. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 339-346.

- Wu, J., Guo, S., Huang, H., & Liu, W. (March 2018). Information and Communications Technologies for Sustainable Development Goals: State-of-the-Art, Needs and Perspectives. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(3), 2389-2406.
- กลุ่มจังหวัดเพชรบูรณ์ กระทรวงมหาดไทย. (2566). *แผนพัฒนาจังหวัดเพชรบูรณ์*. เพชรบูรณ์.
- ศักดิ์ชาย ตั้งวรรณวิทย์, และพณณา ตั้งวรรณวิทย์. (2565). *ปัญญาประดิษฐ์และการประยุกต์ใช้งาน*. ปทุมธานี: สำนักพิมพ์สมาคมปัญญาประดิษฐ์ประเทศไทย. ๒๖๕ หน้า. ISBN 978-616-92700-3-4.
- ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ . (9 กันยายน 2019). "AI for Thai" พลิกโฉมดิจิทัลทรานส์ฟอร์เมชันด้วยปัญญาประดิษฐ์. เข้าถึงได้จาก งานวิจัย: <https://www.nectec.or.th/research/research-project/aiforthai-digitaltransformation.html#>
- จินตนา สนามชัยสกุล. (2539). *รายงานการวิจัย การศึกษาวิธีกลบางประการในการป้องกันหนอนคืบละหู่ในแปลงทดลอง*. เพชรบูรณ์: สถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์.
- จินตนา สนามชัยสกุล. (2540). *การสำรวจแมลงศัตรูมะขามหวานในจังหวัดเพชรบูรณ์*. เพชรบูรณ์: สถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์.
- สำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบูรณ์. (2565). *การปลูกมะขามหวาน*. เพชรบูรณ์: กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล (องค์การมหาชน). (2562). *เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สำหรับการบริหารงานและการบริการภาครัฐ*. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ส.พิจิตรการพิมพ์ จำกัด.
- สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (15 กรกฎาคม 2566). เข้าถึงได้จาก www.nesdc.go.th

ภาคผนวก

แบบสอบถามสำหรับผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานทั่วไป
ผลการประเมินค่าความสอดคล้อง (IOC) โดยผู้เชี่ยวชาญ

แบบสอบถามฉบับที่ 1

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
83 หมู่ 11 ต.สะเตียง อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000

งานวิจัย

การพัฒนานวัตกรรมการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้า

เกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

คำชี้แจง

- แบบสอบถามความคิดเห็นนี้ ประกอบด้วยเอกสาร 2 ฉบับ ได้แก่
ฉบับที่ 1 แบบสอบถาม
ฉบับที่ 2 เอกสารประกอบแบบสอบถามการวิจัย
- แบบสอบถามนี้เป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า แสดงค่า 5 ระดับ (Rating Scale)

ระดับ	5	หมายถึง	ท่านมีความคิดเห็นอยู่ในระดับ	มากที่สุด
ระดับ	4	หมายถึง	ท่านมีความคิดเห็นอยู่ในระดับ	มาก
ระดับ	3	หมายถึง	ท่านมีความคิดเห็นอยู่ในระดับ	ปานกลาง
ระดับ	2	หมายถึง	ท่านมีความคิดเห็นอยู่ในระดับ	น้อย
ระดับ	1	หมายถึง	ท่านมีความคิดเห็นอยู่ในระดับ	น้อยที่สุด

- ในกรณีที่ท่านมีความคิดเห็นอื่นใดนอกเหนือจากนี้ กรุณาเขียนลงในช่องอื่น ๆ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุลผู้ตอบแบบสอบถาม

.....
.....

หน่วยงาน

.....
.....

รายการ	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน					
1. ระบบสามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบ					
2. ระบบสามารถแสดงผลได้ ตรงตามความต้องการของผู้ใช้					
3. ระบบสามารถจัดการข้อมูลผู้ใช้งานได้					
4. ระบบสามารถแสดงความคิดเห็นได้					
5. ระบบสามารถคัดแยกมาตราฐานผลไม่ได้					
6. ระบบสามารถค้นหาข้อมูลคัดแยกมาตราฐานผลไม่ได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดได้					
ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ					
1. ระบบสามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้อง ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้					
2. ระบบจัดเก็บและแก้ไขข้อมูลผู้ใช้งาน รหัสผ่าน และสิทธิ์ผู้ใช้งาน ได้อย่างถูกต้อง					
3. ระบบจัดเก็บและแก้ไขข้อมูล ได้อย่างถูกต้อง					
4. ระบบจัดเก็บและแก้ไขข้อมูลโครงสร้างระบบ เช่น แถบเมนู รูปแบบการจัดวาง ได้อย่างถูกต้อง					
5. ระบบสามารถแสดงคัดแยกมาตราฐานผลไม่ได้ อย่างถูกต้อง					
6. ระบบสามารถให้ผลการคัดแยกมาตราฐานผลไม่ได้ อย่างถูกต้อง					
7. ระบบสามารถคัดแยกมาตราฐานผลไม่ได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด ได้อย่างถูกต้อง					
ด้านความเหมาะสมในการใช้งานระบบ					
1. การจัดวางรูปแบบและตำแหน่งของส่วนต่าง ๆ ในระบบ (Layout Design) มีความเหมาะสม					
2. ข้อความในแถบเมนูและรายละเอียดที่แสดงในระบบ (Menu & Description) มีความเหมาะสมและชัดเจน					
3. รูปแบบไอคอนและตัวอักษร มีความเหมาะสม					
4. ขนาดไอคอนและตัวอักษร มีความเหมาะสม					
5. สีตัวอักษรและพื้นหลัง มีความเหมาะสม					
6. ข้อความในการแจ้งเตือนที่ระบบใช้สื่อสารกับผู้ใช้งาน (Notification) มีความเหมาะสม					
7. ระบบใช้งานง่าย (User Friendliness)					
8. ระบบทำงานได้อย่างรวดเร็ว (Speed)					
ด้านความปลอดภัยของระบบ					
1. ระบบมีการกำหนดชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่าน					
ในการตรวจสอบผู้ใช้งานระบบ					
2. ระบบมีการกำหนดสิทธิ์การเข้าใช้งานของผู้ใช้					

รายการ	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
3. ระบบมีความปลอดภัยในการเข้าถึงส่วนของการจัดการข้อมูลโครงสร้างระบบ					
4. ระบบมีความปลอดภัยในการเข้าถึงฐานข้อมูลของระบบ					
5. ระบบมีการแจ้งเตือนเมื่อเกิดข้อผิดพลาดในการใช้งาน					
6. ระบบมีการบันทึกการเข้าใช้งานของผู้ใช้					

ข้อเสนอแนะอื่นๆ

.....

.....

ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ของท่าน มา ณ โอกาสนี้

ผู้จัดทำแบบสอบถามและผู้วิจัย

รศ.ดร.พณณา ตั้งวรรณวิทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

แบบสอบถามฉบับที่ 2

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

83 หมู่ 11 ต.สะเดียง อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000

งานวิจัย

การพัฒนานวัตกรรมการคัดแยกขนาดมาตรฐานสินค้า

เกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามความคิดเห็นนี้ ประกอบด้วยเอกสาร 2 ฉบับ ได้แก่
ฉบับที่ 1 แบบสอบถาม
ฉบับที่ 2 เอกสารประกอบแบบสอบถามการวิจัย
2. แบบสอบถามนี้เป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า แสดงค่า 5 ระดับ (Rating Scale)

ระดับ	5	หมายถึง	ท่านมีความพึงพอใจอยู่ในระดับ	มากที่สุด
ระดับ	4	หมายถึง	ท่านมีความพึงพอใจอยู่ในระดับ	มาก
ระดับ	3	หมายถึง	ท่านมีความพึงพอใจอยู่ในระดับ	ปานกลาง
ระดับ	2	หมายถึง	ท่านมีความพึงพอใจอยู่ในระดับ	น้อย
ระดับ	1	หมายถึง	ท่านมีความคิดเห็นอยู่ในระดับ	น้อยที่สุด

3. ในกรณีที่ท่านมีความคิดเห็นอื่นใดนอกเหนือจากนี้ กรุณาเขียนลงในช่องอื่น ๆ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
ชื่อ-นามสกุลผู้ตอบแบบสอบถาม
.....
.....
หน่วยงาน
.....
.....

รายการ	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน					
1. ระบบสามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบ					
2. ระบบสามารถแสดงผลได้ ตรงตามความต้องการของผู้ใช้					
3. ระบบสามารถจัดการข้อมูลผู้ใช้งานได้					
4. ระบบสามารถแสดงความคิดเห็นได้					
5. ระบบสามารถคัดแยกมาตราฐานผลไม้ได้					
6. ระบบสามารถค้นหาข้อมูลคัดแยกมาตราฐานผลไม้ตามเงื่อนไขที่กำหนดได้					
ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ					
1. ระบบสามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้อง ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้					
2. ระบบจัดเก็บและแก้ไขข้อมูลผู้ใช้งาน รหัสผ่าน และสิทธิ์ผู้ใช้งาน ได้อย่างถูกต้อง					
3. ระบบจัดเก็บและแก้ไขข้อมูล ได้อย่างถูกต้อง					
4. ระบบจัดเก็บและแก้ไขข้อมูลโครงสร้างระบบ เช่น แถบเมนู รูปแบบการจัดวาง ได้อย่างถูกต้อง					
5. ระบบสามารถแสดงคัดแยกมาตราฐานผลไม้ ได้อย่างถูกต้อง					
6. ระบบสามารถให้ผลการคัดแยกมาตราฐานผลไม้ได้อย่างถูกต้อง					
7. ระบบสามารถคัดแยกมาตราฐานผลไม้ตามเงื่อนไขที่กำหนด ได้อย่างถูกต้อง					
ด้านความเหมาะสมในการใช้งานระบบ					
1. การจัดวางรูปแบบและตำแหน่งของส่วนต่าง ๆ ในระบบ (Layout Design) มีความเหมาะสม					
2. ข้อความในแถบเมนูและรายละเอียดที่แสดงในระบบ (Menu & Description) มีความเหมาะสมและชัดเจน					
3. รูปแบบไอคอนและตัวอักษร มีความเหมาะสม					
4. ขนาดไอคอนและตัวอักษร มีความเหมาะสม					
5. สีตัวอักษรและพื้นหลัง มีความเหมาะสม					
6. ข้อความในการแจ้งเตือนที่ระบบใช้สื่อสารกับผู้ใช้งาน (Notification) มีความเหมาะสม					
7. ระบบใช้งานง่าย (User Friendliness)					
8. ระบบทำงานได้อย่างรวดเร็ว (Speed)					
ด้านความปลอดภัยของระบบ					
1. ระบบมีการกำหนดชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่าน					
ในการตรวจสอบผู้ใช้งานระบบ					
2. ระบบมีการกำหนดสิทธิ์การเข้าใช้งานของผู้ใช้					

รายการ	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
3. ระบบมีความปลอดภัยในการเข้าถึงส่วนของการจัดการข้อมูลโครงสร้างระบบ					
4. ระบบมีความปลอดภัยในการเข้าถึงฐานข้อมูลของระบบ					
5. ระบบมีการแจ้งเตือนเมื่อเกิดข้อผิดพลาดในการใช้งาน					
6. ระบบมีการบันทึกการเข้าใช้งานของผู้ใช้					

ข้อเสนอแนะอื่นๆ

.....

.....

ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ของท่าน มา ณ โอกาสนี้

ผู้จัดทำแบบสอบถามและผู้วิจัย

รศ.ดร.พณณา ตั้งวรรณวิทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ผลการประเมินค่าความสอดคล้อง (IOC) โดยผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 19 สรุปผลการประเมินค่าความสอดคล้องโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	ลำดับของผู้เชี่ยวชาญ			รวม	ค่า IOC	แปลผล
	1	2	3			
1.1 ความสามารถในการทำงานของระบบ ตรงตามวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบ	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
1.2 ความสามารถในการแสดงผลของระบบ ตรงตามความต้องการของผู้ใช้	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
1.3 ความสามารถในการเพิ่ม ลบ และแก้ไข ข้อมูลผู้ใช้งาน รหัสผ่าน และสิทธิ์ผู้เข้าใช้ งาน	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
1.4 ความสามารถในการเพิ่ม ลบ และแก้ไข ข้อมูล	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
1.5 ความสามารถในการเพิ่ม ลบ และแก้ไข ข้อมูลโครงสร้าง	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
1.6 ความสามารถในการแสดงความคิดเห็น	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
1.7 ความสามารถในการให้คะแนน	1	0	1	2	0.67	ใช้ได้
1.8 ความสามารถในการค้นหาข้อมูล ตามเงื่อนไขที่กำหนด	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
2.1 ความถูกต้องในการแสดงผลของระบบ	1	0	1	2	0.67	ใช้ได้
2.2 ความถูกต้องในการเพิ่ม ลบ และแก้ไข ข้อมูลผู้ใช้งาน รหัสผ่าน และสิทธิ์ผู้เข้าใช้ งาน	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
2.3 ความถูกต้องในการเพิ่ม ลบ และแก้ไข ข้อมูล	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้

รายการประเมิน	ลำดับของผู้เชี่ยวชาญ			รวม	ค่า IOC	แปลผล
	1	2	3			
2.4 ความถูกต้องในการเพิ่ม ลบ และแก้ไข ข้อมูลโครงสร้าง	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
2.5 ความถูกต้องในการแสดงความคิดเห็น	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
2.6 ความถูกต้องในการให้คะแนน	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
2.7 ความถูกต้องในการค้นหาข้อมูล องค์ความรู้ตามเงื่อนไขที่กำหนด	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
3.1 ความเหมาะสมของการจัดวางรูปแบบ และตำแหน่งของส่วนต่าง ๆ ในระบบ (Layout Design)	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
3.2 ความเหมาะสมและชัดเจนของข้อความ ในเมนูและรายละเอียดที่แสดงในระบบ (Menu & Description)	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
3.3 ความเหมาะสมของรูปแบบและขนาด ไอคอน (Icon)	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
3.4 ความเหมาะสมของรูปแบบและขนาด ตัวอักษร (Font)	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
3.5 ความเหมาะสมของสีตัวอักษร และ พื้นหลัง (Color)	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
3.6 ความเหมาะสมของข้อความ คำสั่ง และคำเตือนที่ระบบใช้สื่อสารกับผู้ใช้ (Notification)	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
3.7 ความง่ายในการเรียนรู้การใช้งาน (Easy Learning)	1	1	-1	1	0.33	ใช้ไม่ได้
3.8 ความสะดวกในการใช้งาน (User Friendliness)	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้

รายการประเมิน	ลำดับของผู้เชี่ยวชาญ			รวม	ค่า IOC	แปลผล
	1	2	3			
3.9 ความรวดเร็วในการทำงานของระบบ (Speed)	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
4.1 การกำหนดผู้ใช้และรหัสผ่านในการตรวจสอบผู้เข้าใช้ระบบ (Username & Password)	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
4.2 การกำหนดสิทธิ์การใช้งานของผู้ใช้	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
4.3 ความปลอดภัยในการเข้าถึงข้อมูล	1	0	1	2	0.67	ใช้ได้
4.4 ความปลอดภัยในการเข้าถึงฐานข้อมูล	1	0	1	2	0.67	ใช้ได้
4.5 การแจ้งเตือนเมื่อเกิดข้อผิดพลาดในการใช้งาน	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
4.6 การบันทึกการเข้าใช้งานของผู้ใช้	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้

ตารางที่ 20 สรุปผลค่าความสอดคล้องในแต่ละด้าน

ด้านการประเมิน	ค่า IOC	แปลผล
ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน	0.86	สามารถนำไปใช้ประเมินได้
ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ	0.81	สามารถนำไปใช้ประเมินได้
ด้านความเหมาะสมในการใช้งานระบบ	0.81	สามารถนำไปใช้ประเมินได้
ด้านความปลอดภัยของระบบ	0.83	สามารถนำไปใช้ประเมินได้
คุณภาพของแบบสอบถามรวมทุกด้าน	0.83	สามารถนำไปใช้ประเมินได้

หมายเหตุ

ข้อคำถามทั้งหมดข้างต้นอาจมีการเพิ่ม-ลด ปรับเปลี่ยนระดับของภาษา รวมถึงการจัดเรียงรูปประโยคใหม่ จากข้อเสนอแนะที่ได้รับจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 คน ตามความเหมาะสม และผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์คุณภาพของข้อคำถามที่ไม่ต่ำกว่า 0.67 คะแนนจากการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้นในกรณีที่ข้อคำถามข้อใดมีคะแนนประเมินจากผู้เชี่ยวชาญน้อยกว่า 0.67 คะแนนจะถูกคัดออกจากแบบสอบถามฉบับนี้ เพื่อให้แบบสอบถามมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การดำเนินงานกิจกรรม

ด้านการผลิตผัก : กลุ่มเกษตรกรอินทรีย์นาป่า



ด้านการบริหาร การผลิต : กลุ่มเกษตรกรอินทรีย์บ้านวังร่อง



ด้านการแปรรูป การตลาด : กลุ่มเกษตรกรร่วมใจนาจัว



ทำการเปรียบเทียบเทคนิคการสกัดคุณลักษณะเด่นสินค้าเกษตรอินทรีย์จำนวน 1 ชนิด ใช้
มะขามในการเป็นต้นแบบของการสกัดคุณลักษณะเด่น

