การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

กุลวดี เถนว้อง

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา
วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา
ธันวาคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์และคณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์ ได้พิจารณา ดุษฎีนิพนธ์ของ กุลวดี แก่นร้อง ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.ธรรยงค์ พันธ์สวัสดิ์)

คณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพิมล์ ศรีพันธ์วรสกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง)

..... กรรมการ
(ดร.ธรรยงค์ พันธ์สวัสดิ์)

..... กรรมการ
(ดร.ศราวิน เทพสมิตย์กรณ์)

..... กรรมการ
(Dr.Poliny Ung)

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญาอนุมัติให้รับดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง ของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทราวดี มากมี) และวิทยาการปัญญา
วันที่ 27 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2561

ประกาศคุณูปการ

ดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จและสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ยรรยงค์ พันธ์สวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กรเพชรปาณี คณะกรรมการสอบเค้าโครงดุษฎีนิพนธ์ อีกทั้งประธานและคณะกรรมการสอบป้องกันดุษฎีนิพนธ์จำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. สุพิมพ์ ศรีพันธ์วรสกุล ดร.ศราวิน เทพสถิตภรณ์ และ Dr.Poliny UNG ตลอดจนผู้เชี่ยวชาญคุณกัญญา เชื้อพันธุ์ นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ และคณะทำงานศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีทุกท่านที่ได้เสียสละเวลาในการให้ข้อมูล ตรวจสอบเครื่องมือ และข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย นอกจากนี้ในด้านการตีพิมพ์ผลงานดุษฎีนิพนธ์ยังได้รับความอนุเคราะห์จากผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน ณ ที่ประชุมนานาชาติ ICSEC & BMEiCON 2018, IEEE กองบรรณาธิการวารสาร EAU Heritage และอาจารย์ชลาธิป ทุมกานนท์ที่ให้คำชี้แนะในผลงานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์เพิ่มยิ่งขึ้น จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต บุคลากรของวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้คำแนะนำและการช่วยเหลืออย่างดียิ่งตลอดมา ทุกๆท่านในครอบครัวราชภักดี บุษยะมา กฤษเกล้า และเถนว้อง รวมทั้งทุกท่านที่ไม่ได้ปรากฏนามในที่นี้ อนึ่งคุณประโยชน์และคุณค่าใด ๆ อันเกิดจากดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้แด่คุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ นายทรงเกียรติ เถนว้อง คุณกัญญา เชื้อพันธุ์ รวมทั้งคณะทำงานศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีที่ให้องค์ความรู้และดูแลการดำเนินงานจนกระทั่งได้ผลการวิจัยแล้วเสร็จ และทุกท่านที่มีพระคุณที่มีส่วนช่วยให้ดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กุลวดี เถนว้อง

55810255: สาขาวิชา: การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา;
ปร.ด. (การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา)
คำสำคัญ: พัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพ/ ฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว/ การเรียนรู้ของเครื่องจักร/ การเรียนรู้เชิงลึก

กุลวดี เถนว้อง: การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก (DEVELOPMENT OF RICE GRAIN PHENOTYPE QUALITY VERIFICATION SYSTEM BY USING DEEP LEARNING METHORD) คณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์: พูลพงศ์ สุขสว่าง, ค.ด., ยรรยงค์ พันธ์สวัสดิ์, ปร.ด. 204 หน้า ปี พ.ศ.2561.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก 2) พัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก 3) ตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นสำหรับการแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าวโดยผู้เชี่ยวชาญ และ 4) นำระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นไปตรวจสอบคุณภาพข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย ข้อมูลภาพดิจิตอลที่ใช้ในการทดลองมาจากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี จำนวน 2,150 ภาพ ครอบคลุมข้าวหอมมะลิ 4 กลุ่ม ๆ ละ 13 คุณลักษณะ โดยใช้สัดส่วนโมเดลฝึก: การทดสอบ เท่ากับ 60: 40 คำนวณโมเดลฝึกตรวจสอบคุณภาพข้าวด้วยภาพ 1,850 ภาพ ทำซ้ำ จำนวน 25 ชั้นการทดสอบ ได้ประสิทธิภาพของโมเดลฝึกเข้าใกล้ 100 เปอร์เซนต์ แล้วนำโมเดลฝึกไปทดสอบซ้ำด้วยภาพ 1,300 ภาพ และนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไปต่อยอดเป็นแอปพลิเคชั่นด้วยระบบปฏิบัติการแอนดรอย์ เวอร์ชั่น 8.1 Oreo

ผลการวิจัย ปรากฏว่า 1) โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพด้านความถูกต้องอัตราส่วนของการค้นพบภาพ ร้อยละ 98.7 และคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ร้อยละ 2.8 และ 2) แอปพลิเคชั่นที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพด้านความถูกต้องอัตราส่วนของการค้นพบภาพ ร้อยละ 99.0 และคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ร้อยละ 1.0

55810255: MAJOR: RESEARCH AND STATISTICS IN COGNITIVE SCIENCE;
Ph.D. (RESEARCH AND STATISTICS IN COGNITIVE SCIENCE)
KEYWORDS: DEVELOPMENT QUALITY VERIFICATION SYSTEM/ RICE GRAIN PHENOTYPE/
DEEP LEARNING
KULWADEE TANWONG: DEVELOPMENT OF RICE GRAIN PHENOTYPE QUALITY VERIFICATION SYSTEM BY USING DEEP LEARNING METHORD.
ADVISORY COMMITTEE: POONPONG SUKSAWANG, Ph.D., YUNYONG PUNSAWAD, Ph.D.
P. 204. 2018.

This research purpose of studies were 1) to design rice grain phenotype quality system by using a machine with a deep learning method 2) to develop rice grain phenotype quality system with a deep learning method. 3) to investigate rice grain phenotype quality system with a deep learning method for Thai Hom Mali rice according to Agricultural Act control by connoisseurs. 4) to test developed learning machine with commercial rice in Thailand. Digital image data used in the experiment as sampling came from the Pathumthani Rice Research Center. The amount of 2,150 images covering 4 groups of Jasmine rice classified to 13 characteristics by using the proportion practice model. The tested result was 60: 40. Calculated rice quality investigation training model with 1,850 images, and 25 reproduced layers, the training model result was approached an accuracy of 100 percent. The repeated training model was tested with 1,300 images, and a computer program was then developed using the Android operating system version 8.1 Oreo.

Finding indicated that, 1) the accuracy efficiency ratio for image discovery with the developed program was 98.7 percent with an average error of 2.8 percent and 2) the accuracy efficiency of image discovery using the developed application was 99 percent with an average error of 1.0%.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
สารบัญ..... ฉ
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญภาพ..... ฎ
บทที่
1 บทนำ..... 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 4
กรอบแนวคิดในการวิจัย..... 5
สมมติฐานของการวิจัย..... 9
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 9
ขอบเขตของการวิจัย..... 9
นิยามศัพท์เฉพาะ..... 11
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 15
ตอนที่ 1 แนวคิดเกี่ยวกับคุณลักษณะของข้าว..... 16
ความหมายของข้าว..... 16
ความหมายของฟีโนไทป์ 18
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว..... 18
การจำแนกพันธุ์ข้าวที่ปลูกในประเทศไทย..... 20
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฐานความรู้ข้าวใหม่..... 23
ตอนที่ 2 แนวคิดการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว..... 23
ความหมายของการตรวจสอบคุณภาพ..... 23
การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวในประเทศไทย..... 27
การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวในต่างประเทศ..... 41
ทฤษฎีการวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบ..... 46
องค์ประกอบของการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าว..... 54

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว	66
	ตอนที่ 3 แนวคิดการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทาง (Phenotype) ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก	70
	ความหมายของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)	70
	องค์ประกอบของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)	71
	ทฤษฎีการเรียนรู้อย่างมีความหมายออซูเบล (Ausubel) หรือ Subsumption Theory	80
	ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิตอล	81
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอล ในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว	85
	การเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning)	94
	นิวรอลเน็ตเวิร์กคอนโวลูชั่น (Convolution Neural Networks)	95
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) และ นิวรอลเน็ตเวิร์กคอนโวลูชั่น (Convolution Neural Networks)	99
	ตอนที่ 4 ตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทาง (Phenotype) ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก	101
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบหน้าจอแอปพลิเคชัน (User Interface)	104
	การวัดประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ออกแบบ	105
3	วิธีดำเนินการวิจัย	108
	ระยะที่ 1 การออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก	110
	ระยะที่ 2 การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก	119
	ระยะที่ 3 การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นสำหรับการแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิไทย	138

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	ระยะที่ 4 การตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นไปตรวจสอบคุณภาพข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย	141
	กลุ่มตัวอย่าง	141
	ตัวแปรที่ศึกษา	141
	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	141
	วิธีดำเนินการทดลอง	143
	การวิเคราะห์ข้อมูล	146
4	ผลการวิจัย	147
	ตอนที่ 1 การออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก	148
	ตอนที่ 2 การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว	165
5	ผลการวิจัย	179
	สรุปผลการวิจัย	180
	อภิปรายผลการวิจัย	186
	ข้อเสนอแนะ	187
บรรณานุกรม		189
ภาคผนวก		205
	ภาคผนวก ก ตัวอย่าง Code C++ Classification	206
	ภาคผนวก ข	222
	- เอกสารรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์	
	- เอกสารขอความอนุเคราะห์ขอข้อมูลเพื่อการวิจัย	
	- เอกสารเชิญผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว	
ประวัติย่อของผู้วิจัย		227

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	แสดงชั้นของเมล็ดข้าวตามมาตรฐานข้าวไทยและสหรัฐอเมริกา	34
2-2	แสดงรูปร่างเมล็ดข้าว ประเมินจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง	34
2-3	ดัชนีคุณภาพข้าวสาร	42
2-4	ดัชนีคุณภาพข้าวสารชั้นดี	43
2-5	แสดงการขายสมาร์ทโฟนทั่วโลกแก่ผู้ใช้ปลายทางโดยผู้ขายในไตรมาส 1 ปี 2018 (หลายพันหน่วย)	58
2-6	แสดงการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียในการเลือกใช้กล้องดิจิตอลกับสมาร์ทโฟน	61
2-7	สรุปการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่องจักร และการเรียนรู้เชิงลึก	88
3-1	แสดงลักษณะเมล็ดข้าวแต่ละแบบตามนิยามของพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออก เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย	123
3-2	ขั้นตอนการดำเนินงานของแอปพลิเคชัน Rice Grain Phenotype Thailand เริ่มต้นการทำงาน	131
3-3	ขั้นตอนการดำเนินงานของแอปพลิเคชัน Rice Grain Phenotype Thailand การนำเข้าข้อมูลเพื่อเตรียมประมวลผล	132
3-4	ขั้นตอนการดำเนินงานของแอปพลิเคชัน Rice Grain Phenotype Thailand การประมวลผลและแสดงผล	133
3-5	ขั้นตอนการดำเนินงานของแอปพลิเคชัน Rice Grain Phenotype Thailand การเพิ่มและลบข้อมูล พร้อมแสดงสถานะของข้อมูลเดิมที่เคยประมวลผล	136
4-1	ส่วนประกอบของอุปกรณ์ช่วยในการถ่ายภาพ	148
4-2	การใช้งานอุปกรณ์ช่วยในการถ่ายภาพ	149
4-3	การวัดความถูกต้องของโปรแกรมตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว จำแนกตามประเภทของข้าว 100% 5% 10% และ15% (จำนวน 160 ภาพ)	153
4-4	เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนตัวอย่างภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มข้าวขาว 100% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด)	154

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-5 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนตัวอย่างภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มข้าวขาว 5% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) 154

4-6 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนตัวอย่างภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มข้าวขาว 10% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) 155

4-7 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนตัวอย่างภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มข้าวขาว 15% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) 156

4-8 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนตัวอย่างภายในแต่ละภาพระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มข้าวขาว 100% 5% 10% และ15%..... 157

4-9 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับโปรแกรมของกลุ่มข้าวขาว 100% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด)..... 158

4-10 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับโปรแกรมของกลุ่มข้าวขาว 5% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด)..... 159

4-11 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับโปรแกรมของกลุ่มข้าวขาว 10% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด)..... 160

4-12 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับโปรแกรมของกลุ่มข้าวขาว 15% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 มล็ด)..... 160

4-13 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านจำแนกตามฟีโนไทป์ในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มข้าวขาว 100% 5% 10% และ15%..... 161

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-13 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านจำแนกตามฟีโนไทป์ในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มข้าวขาว 100% 5% 10% และ15%..... 161

4-14 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มข้าวขาว 100% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 40 ภาพ..... 166

4-15 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มข้าวขาว 5% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 40 ภาพ.. 167

4-16 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มข้าวขาว 10% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 40 ภาพ.. 167

4-17 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มข้าวขาว 15% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 40 ภาพ.. 168

4-18 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มข้าวขาว 100% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ... 169

4-19 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มข้าวขาว 5% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ.... 169

4-20 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มข้าวขาว 10% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ.. 170

4-21 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มข้าวขาว 15% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ.. 170

4-22 เปรียบเทียบการค่าความคลาดเคลื่อนในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มข้าวขาว 100% 5% 10% 15% ระหว่างจำนวน 40 ภาพ กับ จำนวน 16 ภาพ..... 171

4-23 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย กลุ่มข้าวขาว 100% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ..... 173

4-24 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มข้าวขาว 5% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ... 173

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-25 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย กลุ่มข้าวขาว 10% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ..... 174

4-26 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย กลุ่มข้าวขาว 15% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ..... 174

4-27 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย จำแนกเป็นกลุ่มข้าวขาว 100% 5% 10% และ15% 175

4-28 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มระหว่างโปรแกรมที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ จำแนกเป็นกลุ่มข้าวขาว 100% 5% 10% และ15% (จำนวน 40 ภาพ)..... 176

4-29 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มระหว่างแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยฉลากหน้าซองบรรจุภัณฑ์ข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย จำแนกเป็นกลุ่มข้าวขาว 100% 5% 10% และ15% (จำนวน 16 ภาพ)..... 177

5-1 อธิบายการทำงานของแอปพลิเคชัน (User Interface) บนสมาร์ทโฟนที่มีระบบปฏิบัติการ Android..... 182

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1-1 การทำงานของเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล..... 5

1-2 ลักษณะการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine learning)..... 6

1-3 การทำ Pixel-Level Domain Transfer ของ Discriminator Networks 7

1-4 การพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก 8

2-1 ส่วนประกอบของรวงข้าว..... 19

2-2 ส่วนประกอบของข้าวเปลือก..... 20

2-3 ส่วนประกอบของข้าวกล้อง (brown rice) และข้าวสาร (milled rice)..... 20

2-4 การตรวจสอบคุณภาพข้าวส่งออกของประเทศไทย..... 33

2-5 เครื่อง SORTEX S Ultra Vision (บริษัทบูห์เล่อร์ ไทยแลนด์ จำกัด)..... 40

2-6 เครื่อง NIR-SC-5000-1/2(Digital Image Analysis System for Grain) ของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ขนาดเมล็ดข้าว..... 40

2-7 สรุปวงจรการวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาระบบ..... 48

2-8 System Development Life Cycle (SDLC) ในรูปแบบ Waterfall 50

2-9 ความแตกต่างของการทดสอบโปรแกรม..... 51

2-10System Development Life Cycle (SDLC) ในรูปแบบ Adaptive Waterfall..... 53

2-11องค์ประกอบของระบบทั่วไป..... 55

2-12Sony RX100 III กล้องคอมแพค..... 56

2-13Fujifilm X-A5..... 56

2-14Nikon D5300..... 57

2-15เครื่องตรวจคุณภาพเมล็ดข้าว..... 66

2.16เครื่องวัดขนาดคัพภะของเมล็ดข้าว..... 67

2-17เครื่องตรวจเมล็ดข้าวแดง ข้าวเหนียว และข้าวเจ้าที่ปนมากับเมล็ดพันธุ์..... 67

2.18เครื่องเป่าลมแยกเพลาออกจากข้าวและสิ่งสกปรกอื่น ๆ ด้วยตะแกรงสั่นที่แยกก้อนกรวดออกจากข้าว..... 68

2-19ลักษณะการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)..... 71

2-20ตัวอย่างวิธีการสร้างชุดค่าผสมของตัวแปร..... 72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

2-21การทำ Principal Component Analysisจาก original data 73
2-22Constrained Linear Regression การหา weight..... 75
2-23 K means Clustering..... 75
2-24 SVM (Support Vector Machines)..... 76
2-25 multi-layered perceptrons 77
2-26Feedforward Neural Networks..... 77
2-27Convolutional Neural Networks (Convnets) 78
2-28Sequence ของ Recurrent Neural Networks 78
2-29Recurrent Neural Networks 79
2-30การหา Gradient ความเข้มของภาพ ตัวอย่างภาพที่นำมาปรับปรุงด้วยทฤษฎี Canny Edge Detection 84
2-31องค์ประกอบของเมล็ดข้าวที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 88
2-32Rice Seed Germination Analysis System Structure Chart..... 90
2-33สรุปขั้นตอนการศึกษาอัลกอริทึมจำแนกเมล็ดข้าวที่ยาวและกลมออกจากกันของ Yao, Zhou, and Wang (2010) 93
2-34Simple cell -Complex cell-Hyper-complex cell..... 96
2-35filter ใน CNN..... 96
2-36Convolutional Layer ใน CNN..... 97
2-37Position invariant..... 98
2-38สิ่งที่ ConvNets เรียนรู้..... 98
2-39Convolutional Neural Networks: CNN..... 99
2-40การออกแบบ UX-UI..... 101
3-1 ระยะของวิธีดำเนินการวิจัย 109
3-2 ภาพรวมการดำเนินงานของระบบตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์เบื้องต้น. 110
3-3 กระบวนการออกแบบอุปกรณ์ (Hardware) ของระบบตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์เบื้องต้น..... 112

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3-4 แถบมาตรฐานสำหรับเทียบขนาดของวัตถุเพื่อนำมาติดบนพื้น..... 113

3-5 รูปแบบอุปกรณ์ (Hardware) ที่ช่วยในการถ่ายภาพเพื่อตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว..... 113

3-6 การออกแบบโปรแกรม (Software) ของระบบตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลอย่างง่าย โดยโปรแกรม Matlab..... 115

3-7 การออกแบบ User Interface ของระบบตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ โดยโปรแกรม Android studio..... 117

3-8 แผนภาพการทำงานของระบบตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ (User Interface) 118

3-9 อุปกรณ์ (Hardware) สำหรับการถ่ายภาพเมล็ดข้าว เพื่อตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์..... 119

3-10 ตัวอย่างสมาร์ทโฟนสำหรับการดำเนินงานตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว. 120

3-11 การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก..... 121

3-12 การนำภาพดิจิทัลที่ได้จากการถ่ายวัตถุจริงมาเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงภาพเบื้องต้น.... 125

3-13 การนำภาพแต่ละภาพมาทำการ label ข้อมูลภายใน..... 125

3-14 นำภาพเข้าสู่กระบวนการ Image Processing ปรับปรุงภาพ..... 126

3-15 ตัวอย่างภาพที่ไม่เหมาะสมในการนำไป Training Data..... 127

3-16 รายละเอียดการนำเข้าภาพแสดงกระบวนการ Training Data 1 รอบใน 1 เงื่อนไข..... 128

3-17 กระบวนการ Convolutional Neural Networks (CNN) โดยใช้เทคนิค Discriminator Network ดำเนินการในส่วนของ Feature extraction..... 128

3-18 ขั้นตอนการจัดกลุ่มคุณภาพเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ ด้วยหลักการทำงานของเทคนิค Deep learning..... 129

3-19 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลภาพภายในเพื่อนำไปจัด Classification ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว ประกาศในราชกิจจานุเบกษาของกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559..... 130

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3-20 สรุปการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก..... 130
3-21 หน้าจอเริ่มต้นการทำงาน..... 131
3-22 หน้าจอการนำเข้าข้อมูลเพื่อเตรียมประมวลผล..... 133
3-23 การประมวลผลและแสดงผล..... 135
3-24 การเพิ่มและลบข้อมูล พร้อมแสดงสถานะของข้อมูลเดิมที่เคยประมวลผล..... 137
3-25 การแสดงข้อมูลที่ได้บันทึกไว้ในแต่ละครั้งที่วิเคราะห์ผล..... 137
3-26 การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ โดยใช้ทฤษฎีวงจรการพัฒนาระบบ System Development Life Cycle (SDLC) รูปแบบกระบวนการทำงานแบบ Adapted Waterfall..... 138
3-27 วิธีการวัดประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว..... 139
3-28 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรมตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว..... 142
3-29 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง..... 143
3-30 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพ..... 144
3-31 การเข้าสู่กระบวนการเรียนรู้โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึก..... 145
3-32 การแบ่งกลุ่มข้อมูลและแสดงผล..... 145
4-1 การนำสมาร์ทโฟนใช้ถ่ายภาพร่วมกับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น..... 151
4-2 กราฟแสดงการวัดประสิทธิภาพความแม่นยำของโปรแกรมในการจำแนกตามประเภทของข้าว 100% 5% 10% และ15%..... 152
4-3 หน้าจอหลักในแอปพลิเคชัน..... 162
4-4 หน้าจอนำข้อมูลเข้าแอปพลิเคชัน..... 163
4-5 หน้าจอนำประมวลผลข้อมูล..... 163
4-6 หน้าจอเก็บข้อมูลหรือลบข้อมูลจากการประมวลผลข้อมูล เพื่อนำไปเฉลี่ยผลการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว..... 164
4-7 หน้าจอออกจากระบบ..... 164

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-8	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการแบ่งกลุ่มระหว่างแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% 15% ระหว่างจำนวน 40 ภาพ กับ จำนวน 16 ภาพ	172
4-9	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการใช้แอปพลิเคชั่นในการแบ่งกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% 15% จำนวน 16 ภาพ	175
4-10	กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของการแบ่งกลุ่มข้าวระหว่างโปรแกรมที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ	177
4-11	กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของการแบ่งกลุ่มข้าวระหว่างแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยฉลากหน้าถุงบรรจุภัณฑ์	178
5-1	แสดงลักษณะอุปกรณ์ที่ออกแบบและพัฒนา พร้อมทั้งแถบอ้างอิงขนาดสำหรับตรวจสอบขนาดเมล็ดข้าว	180

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

WORLD'S BEST RICE CONTEST เป็นงานประกวดข้าวที่ดีที่สุดในโลกมีการจัดขึ้นเป็นประจำทุกปี เริ่มครั้งแรกในปี พ.ศ. 2552 เป็นต้นไป พบว่า ใน 2 ปีแรกผู้ชนะข้าวที่ดีที่สุดในโลก คือ ประเทศไทย ต่อมาประเทศอื่น ๆ ก็เริ่มมีการพัฒนาให้ข้าวตนเองโดดเด่นชนะประเทศไทย แต่ในปี พ.ศ. 2559-2560 ประเทศไทยกลับมาเป็นอันดับที่ 1 อีกครั้ง แต่ในปี 2561 นี้ไทยกลับมาแพ้ ข้าวจากประเทศกัมพูชาอีกครั้งซึ่งครั้งนี้ ถือว่าข้าวไทยเราแพ้กัมพูชาเป็นครั้งที่ 3 ทั้งนี้เกณฑ์ในการพิจารณาผลการประกวดมีทั้งหมด 5 ด้านคือ ด้านกลิ่น รสชาติ ความเหนียวนุ่ม ความชื้น และรูปร่างลักษณะของเมล็ดข้าว สำหรับจุดเด่นของข้าวไทยที่ทำให้ชนะเลิศคือ ด้านรสชาติ ส่วนประเทศกัมพูชาจุดเด่นคือ ด้านรูปร่างลักษณะของเมล็ดข้าว (The Rice Terader, 2018) ดังนั้นหากประเทศไทยมีการพัฒนาในด้านรูปร่างลักษณะของเมล็ดข้าวก็จะทำให้ประเทศไทยเราสามารถกลับมาเป็นอันดับ 1 พร้อมทั้งเพิ่มชื่อเสียงของข้าวไทยนอกจากด้านรสชาติแล้วยังมีรูปร่างลักษณะที่เป็นไปตามเกณฑ์ของข้าวที่ดีที่สุดในโลก

สำหรับการส่งออกข้าวของประเทศไทย มีหน่วยงานตรวจสอบคุณภาพข้าวเพื่อการส่งออกให้ได้มาตรฐาน คือ สำนักงานคณะกรรมการตรวจข้าว สภาหอการค้าแห่งประเทศไทย เป็นหน่วยงานที่จัดตั้งขึ้นเพื่อปฏิบัติงานตรวจสอบคุณภาพข้าวได้รับมอบหมายจากกระทรวงพาณิชย์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2500 ปรับปรุงระเบียบกระทรวงพาณิชย์ว่าด้วยการส่งข้าวออกไปนอกราชอาณาจักร (ฉบับ 17) ลงวันที่ 14 มีนาคม 2556 กำหนดให้ข้าวขาวเป็นสินค้ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ ในข้อ 5 ให้ใช้ข้อความต่อไปนี้แทนความใน 9.2 ของข้อ 9 ว่าด้วยการส่งข้าวออกไปนอกราชอาณาจักรผ่านการตรวจสอบคุณภาพมาตรฐานโดยสภาหอการค้าแห่งประเทศไทย ภายใต้การกำกับดูแลของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ อันจะช่วยสร้างความมั่นใจให้กับประเทศคู่ค้าในการสั่งซื้อผลผลิต ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของ Afsar, Baqui, and Rahman (2001, pp. 17-24) ในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ด โดยเฉพาะรูปร่างเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดราคา ต้องใช้วิธีการฟีโนไทป์ (Phenotype) ที่ปรากฏภายนอก Tanabata, Shibaya, Hori, Ebana, and Yano (2012, p. 1871) เน้นการตรวจสอบคุณภาพหลังการขัดสีเป็นหลักเพื่อการส่งออก เพราะการขายเมล็ดข้าวเน้นขายเพื่อการบริโภคในรูปของเมล็ดข้าวที่หุงต้มทั้งเมล็ด คุณภาพข้าวที่ทำการตรวจสอบมีขั้นตอนการดำเนินการจำแนก โดยทั่วไปสรุปได้ดังนี้ การตรวจคุณภาพทางกายภาพ คุณภาพการสี คุณภาพในการซื้อขาย และคุณภาพทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน Cuevas, Pede, McKinley, Velarde, and Demont (2016, p. 1) พบว่า ข้าวที่บริโภคส่วนใหญ่มีลักษณะทางกายภาพและเคมีที่คล้ายกัน คุณภาพของเมล็ดข้าว รูปร่างมีผลต่อราคา Musa, Othman, and Fatah (2011, p. 1) ทั้งนี้ประเทศไทยเรามีกระบวนการตรวจสอบโดยใช้เทคโนโลยีและผู้เชี่ยวชาญร่วมกันในการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าว

เทคโนโลยีที่บริษัทส่งออกข้าวในประเทศไทยใช้ตรวจสอบมาตรฐานนั้น เป็นการสุ่มตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญในเบื้องต้น สำหรับเทคโนโลยี อาทิเช่น เครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวด้วยแสงและกล้อง “SORTEX S UltraVision” มีการทำงานอัตโนมัติคัดแยกข้าว ที่ไม่ได้มาตรฐานแต่ละสายพันธุ์ และสิ่งแปลกปลอมได้จำนวนมากต่อครั้ง มติชนออนไลน์ (2559) หรือจะเป็นเครื่องคัดแยกเฉพาะสีเมล็ดข้าว (A-MECS รุ่น Crystal Color Sorter) ของบริษัท เบ็ลท แอนด์ แบริ่งส์ หรือจะเป็นเครื่อง NIR-SC-5000-1/2 (Digital Image Analysis System for Grain) ของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ขนาดเมล็ดข้าว MRC ltd (2561) หลักการทำงานของเครื่องมีการใช้เทคนิคหลักที่คล้ายคลึงกัน คือ การประมวลผลภาพดิจิทัล (Image Processing) มีการใช้แสง (LED) และกล้องที่อยู่ภายในตัวเครื่องทำหน้าที่คัดแยก เพื่อตรวจจับภาพรูปทรงของวัตถุจริง (Shape Detection) วิเคราะห์รูปทรงเมล็ด หรือตรวจจับภาพบนเมล็ดข้าวโดยการหาจุดสนใจในรูปภาพสำหรับเครื่อง NIR-SC-5000-1/2 บริษัทผู้ผลิตได้ให้ข้อมูลว่าเครื่องนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 6.2 ความน่าเชื่อถือ 95 เปอร์เซ็นต์ จากตัวอย่าง 750 เมล็ดที่นำมาคำนวณ ซึ่งถือได้ว่ามีความแม่นยำสูงในการนำมาใช้ตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว ตรวจสอบตัวอย่างข้าวได้ครั้งละมาก ๆ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของสำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว ร่วมกับศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติพัฒนาเครื่องมือที่ผสมผสานความรู้ทางด้านแสงอิเล็กทรอนิกส์ และ ซอฟท์แวร์ เข้าด้วยกัน เพื่อทำการประมวลผลและวิเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว เรียกว่า เทคโนโลยีโฟโทนิกส์ สำหรับตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (2561) ซึ่งเทคโนโลยีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ต้องใช้ผู้ที่มีความรู้มาดำเนินการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีเฉพาะทางที่ต้องมีกระบวนทำงานด้วยผู้เชี่ยวชาญ

ส่วนการสุ่มตรวจสอบคุณลักษณะของข้าวโดยผู้เชี่ยวชาญนั้น การควบคุมคุณภาพทางกายภาพแต่ละเมล็ดและคัดแยกสิ่งเจือปน เป็นลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏให้เห็นโดยการควบคุมของยีน หรือตรวจสอบได้โดยไม่ต้องตรวจลงไปถึงระดับพันธุกรรม ที่เรียกว่า “ฟีโนไทป์ (Phenotype)” เช่น รูปร่าง การพัฒนา คุณสมบัติทางสรีรวิทยา เป็นต้น สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สสวท.) (2561) ลักษณะที่ปรากฏนี้มีเหตุมาจากอัลลีนที่เด่นตามกฎของ “เกรกอร์เมนเดล (Gregor Mendel)” ผู้บุกเบิกสาขาพันธุศาสตร์ ซึ่งการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวในเบื้องต้นนั้น ใช้เกณฑ์การกำหนดมาตรฐานคุณภาพจากคุณลักษณะภายนอก เช่น ขนาดและรูปร่างของเมล็ด พื้นผิวของเมล็ด สีของเมล็ด Williams, Munkvold, and Sorrells (2013, pp. 101-103) การตรวจคุณภาพดังกล่าวของข้าวต้องใช้ผู้ชำนาญ เครื่องมือเฉพาะ เป็นงานที่ละเอียดเพราะวัตถุดิบมีขนาดเล็ก ทำให้ตรวจสอบช้า การทำงานซ้ำเดิม ๆ นาน ๆ ส่งผลต่อความอ่อนล้าทางสายตาและร่างกายอันจะส่งผลกระทบในการตัดสินใจประมวลผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ปรเมนทร์ พอใจ, ปิยชาต วังมูล, ณกรณ์ ขาชัยสีเมฆ, ชัยยะ เหลืองวิริยะ, เอกชัย จงเสรีเจริญ และวิชัย กองศรี (2560, หน้า 146-147) สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวทั่วไป คือ “เวอร์เนียคาลิปเปอร์” ทำงานด้วยการสุ่มวัดครั้งละ 1 เมล็ด มีความแม่นยำสูง เครื่องมือราคาถูก ใช้งานง่าย แต่สิ้นเปลืองเวลาและก่อให้เกิดความอ่อนล้ากับผู้ใช้เครื่องมือเป็นระยะเวลานาน อภิวัฒน์ อินทร์นก, พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ และอรประภา เทพศิลปะวิสุทธิ์ (2559, หน้า 766) และยังมีเครื่องมือที่มีลักษณะคล้ายกัน คือ เวอร์เนีย (Vernier)

แบบหมุน Ghadge and Prasad (2012, p. 2) หลักการทำงาน คือ สุ่มวัด และบันทึกผลคล้ายคลึงกับ เวอร์เนียคาลิปเปอร์ทั่วไป การใช้งานง่ายไม่ยุ่งยากต่อการเรียนรู้และนำเครื่องมือมาใช้ อีกทั้งการอ่านค่าผลลัพธ์ทำได้ง่าย

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัย ที่นำเทคนิคของเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพข้าวมาใช้วิเคราะห์ โดยการนำภาพดิจิทัลมาประมวลผลด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล (Image Processing) ดังงานวิจัยของ ปรเมนทร์ พอใจ และคณะ (2560, หน้า 145); ประสิทธิ์ นครราช, จุรีรัตน์ อ้วนศรีเมือง และนภาภรณ์ มัธนัง (2554, หน้า 194); สุชาติ แย้มเม่น, ณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์วงศ์ และ โชคชรัตน์ ฤทธิ์เย็น (2559, หน้า 1) ที่ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลในการตรวจสอบเมล็ดข้าวในเรื่องของขนาด สี นอกจากนี้ยังมีการนำเทคนิคอื่นมาผสมคือ เทคนิคทางด้านแสง ในงานวิจัยของ อารีรัตน์ อิ่มศิลป์ และคณะ (2555); สุพัตรา นราวัฒนะ (2559); อัญชลี ประเสริฐศักดิ์ และคณะ (2559) งานวิจัยเหล่านี้ใช้ แสงอินฟาเรต หรือ เทคโนโลยีโฟโทนิกส์มาช่วยในการวิเคราะห์ผล สำหรับต่างประเทศได้มีผู้ศึกษาในรูปแบบใกล้เคียงกัน เช่น Abirami, Neelamegam, and Kala (2014, pp. 20-24) จัดประเภทของเมล็ดพืชด้วยภาพดิจิทัลจำแนกตามคุณลักษณะสีและสัณฐาน โดยการนำเมล็ดพืชมาวางไว้บนฉากสีดำแล้วถ่ายภาพ หรือ Tanabata et al. (2012, pp. 1871-1880) การใช้ซอฟต์แวร์ Smart Grain เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดรูปร่างของเมล็ดพันธุ์ โดยวิเคราะห์ รูปภาพใหม่เพื่อลดเวลาในการจัดทำเมล็ดพันธุ์และในการจับภาพ Mussadiq, Laszlo, Helyes, and Gyuricza (2015, pp. 194-199) การประเมินและเปรียบเทียบโปรแกรมโอเพนซอร์สโซลูชั่นสำหรับการนับจำนวน เมล็ดอัตโนมัติในภาพดิจิทัล เป็นการจำแนกพันธุ์ข้าวที่ต่างกัน และนับจำนวนเมล็ดช่วยให้การทำงานเร็วขึ้น หรือ Liu et al. (2017, pp. 302-309) เป็นการประยุกต์ ใช้กล้องที่ติดตั้งมาพร้อมกับสมาร์ทโฟน ช่วยในการนับเมล็ดข้าวด้วยซอฟต์แวร์พัฒนาบนระบบแอนดรอยด์ (Android) เป็นต้น จะเห็นได้ว่างานวิจัยข้างต้น เป็นการนำเทคนิคการถ่ายภาพมาช่วยตรวจสอบฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา หักหรือเสียหายได้ง่ายจึงเป็นการช่วยลดปัญหา การสัมผัสวัตถุโดยตรงที่ดีรูปแบบหนึ่ง

แต่เทคนิคการประมวลผลภาพดังกล่าวหากดำเนินการปรับสัญญารบกวนมากเกินไปจะทำให้รายละเอียดจริงบางส่วนของภาพสูญหายไป ส่งผลต่อการนำข้อมูลดิจิทัลไปทำการวิเคราะห์ทำให้การคลาดเคลื่อน ตลอดจนการนำภาพเข้ามาดำเนินการด้วยเทคนิคดังกล่าวก่อนนำภาพไปวิเคราะห์ข้อมูลทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่สอดคล้องต่อการใช้งานปกติของมนุษย์ทั่วไปในการถ่ายภาพและนำผลลัพธ์ไปใช้ทันที ด้วยเหตุดังกล่าวจึงมีการนำเทคนิคที่ช่วยสร้างความฉลาด จากข้อมูลที่เรียนรู้จากสิ่งที่นำเข้าไป (ภาพ) ส่งผลออกมาเป็นชุดข้อมูลโดยอาศัยโปรแกรม และ Algorithm ในการประมวล โดยโปรแกรมสามารถเปลี่ยนแปลงวิธีการตอบสนองต่อข้อมูลได้ด้วยตัวเอง ไม่จำเป็นต้องคอยวิเคราะห์ ข้อมูลและแก้โปรแกรมทุกครั้ง ที่มีข้อมูลใหม่เข้ามา มีงานวิจัยที่นำข้อมูลภาพดิจิทัลไปผสานกับเทคนิคดังกล่าวนี้ เช่น งานวิจัยของ Ajaz and Hussain (2015); Ekanayaka et al. (2017) ที่มีการนำหลักการของ Machine Learning หรือเรียกว่า “เครื่องจักรเรียนรู้ด้วยตัวเอง หรือการเรียนรู้ของเครื่องจักร” สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สสวท.) (2561) การที่ระบบคอมพิวเตอร์สามารถ “เรียนรู้” ถูกใช้งานเสมือนสมอง คือ AI (Artificial Intelligence) หรือปัญญาประดิษฐ์ และการทำให้เครื่องจักรสามารถเรียนรู้ (Machine Learning) ได้แบบมนุษย์แต่ต้องมีการสอนนั้น มีหลายรูปแบบ

ขึ้นอยู่กับว่าต้องการให้เครื่องจักรนั้นให้ผลลัพธ์หรือทำงานอย่างไร ทั้งนี้ การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวนั้นมีเกณฑ์มาตรฐานกำกับอยู่แล้ว เป็นข้อมูลที่มีคำตอบชัดเจนเป็นประเภท Supervised Machine Learning (Muller, Guha, Baumer, Mimno, & Shami, 2016, pp. 3-8) โดยในการป้อนข้อมูลนำเข้าจะสอนเครื่องจักรให้ทำการมองโมเดล ชุดข้อมูลอย่างง่ายไปจนถึงยากหลาย ๆ รอบ เป็นการเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Meaningful learning) ตามทฤษฎีแนวคิดของออซูเบล (Assimilation Theory) โดยแต่ละรอบการเรียนรู้จะตรวจสอบโมเดล การตอบคำถามผิดหรือถูก และทำการปรับปรุงโมเดล โดยดูจากปริมาณการตอบผิด เพื่อให้รอบถัด ๆ ไปจะตอบผิดน้อยลงเรื่อย ๆ ทั้งนี้ การนำข้อมูลสำหรับ ให้โมเดลเรียนรู้ เรียกว่า Training Set หรือ Training Data ซึ่งต้องเป็นข้อมูล ที่มีคำตอบในตัวเป็นการแบ่งภาพเรียนรู้ที่เชื่อมโยง (Subsume) สิ่งที่เรียนรู้ใหม่หรือข้อมูลใหม่จะรวบรวมเป็นความคิดรวบยอด (Concept) กลายเป็นโครงสร้างทางสติปัญญาของเครื่องจักรที่เกิดจากการเรียนรู้โดยใช้สถาปัตยกรรมการเรียนรู้การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) มาช่วยให้เครื่องจักรฉลาดเสมือนการคิดหาคำตอบของมนุษย์

สำหรับการนำการเรียนรู้เชิงลึก มาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวนั้นเป็นการทำงานร่วมกันกับเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล ซึ่งการนำภาพมาใช้ในการทำงานนี้เป็นการพัฒนาให้คอมพิวเตอร์สามารถรับรู้หรือมองเห็นได้เสมือนตาของมนุษย์ในการคัดแยกจำแนกประเภทของวัตถุ (Computer Vision) ซึ่งอัลกอริทึมที่นิยมในลักษณะงานนี้ คือ Convolutional Neural Networks (CNN) Razavian, Azizpour, Sullivan, and Carlsson (2014, pp. 806-813) กล่าวว่า Convolutional มีประสิทธิภาพมากในการจดจำรูปภาพ และยังมี Principal Component Analysis (PCA) วิเคราะห์องค์ประกอบหลักช่วยตรวจจับ “Local Feature” บนรูปดึงเอาจุดสำคัญของภาพออกมาทำให้การจัดกลุ่มมีความแม่นยำเพิ่มขึ้น Mohsen et al. (2018, pp. 68-71) ด้วยเหตุดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวผ่านการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อจำแนกประเภทของข้าวหอมมะลิให้ได้ตามมาตรฐานการส่งออกตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว 2559 พิจารณาการจำแนกประเภทจากเอกสารประกาศในราชกิจจานุเบกษา หน้า 14 เล่ม 130 ตอนพิเศษ 14 ง ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญด้านการควบคุมคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว วิสาหกิจชุมชนผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว ทั้งนี้ เพื่อสรุปแนวทางการจำแนกประเภทคุณลักษณะ ของเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ที่ดีและมีคุณภาพต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

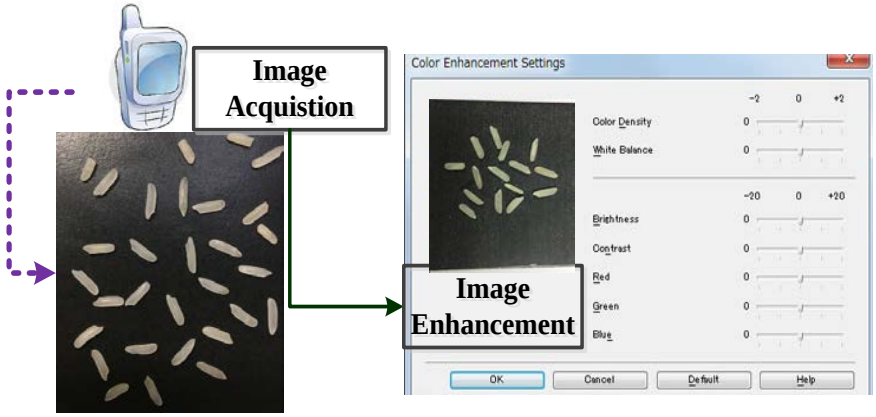
1. เพื่อออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก
2. เพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก
3. เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นสำหรับการแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าวโดยผู้เชี่ยวชาญ

4. เพื่อนำระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นไปตรวจสอบคุณภาพข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย

กรอบแนวคิดในการวิจัย

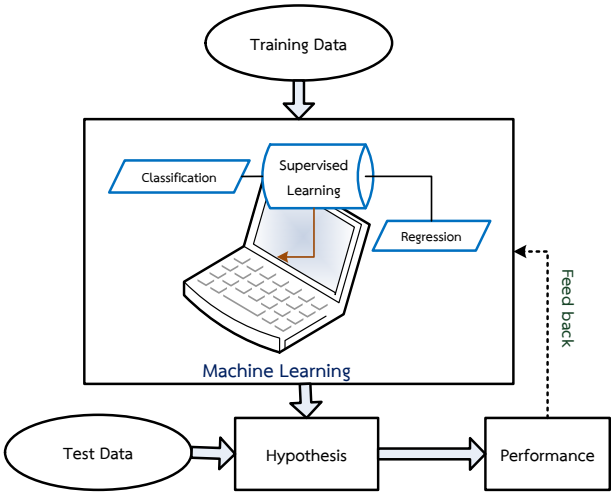
ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยกำหนดกรอบความคิดของการวิจัยจากการศึกษาแนวทางการพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวตรวจสอบในประเทศไทย พบว่า การตรวจสอบดำเนินการตามมาตรฐานจากพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว 2559 โดยสำนักงานคณะกรรมการตรวจข้าว สภาหอการค้าแห่งประเทศไทย จะทำการตรวจสอบข้าวส่งออกวิเคราะห์คุณภาพข้าวให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์ว่าด้วยเรื่องมาตรฐานสินค้าข้าว พ.ศ. 2559 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา หน้า 14 เล่ม 133 ตอนพิเศษ 243 โดยเน้นในด้านกายภาพหรือสัณฐานวิทยา (ฟีโนไทป์) การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวเพื่อการส่งออกด้วยหน่วยงานระดับชาติ มีการตรวจสอบ 3 ประการเบื้องต้น คือ ขนาดหรือรูปร่างของเมล็ด (กว้างและยาว) พื้นผิวสัมผัส (ความมันวาว) สี (ความสม่ำเสมอ)

สำหรับแนวคิดในการพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวด้วยการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) นี้ สืบเนื่องมาจากเป็นการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลมาเข้าระบบตรวจสอบคุณภาพ แทนการใช้วัตถุจริงเพื่อลดการแตกหักเสียหาย อีกทั้งสะดวกต่อการทำงานนอกสถานที่ ผู้วิจัยจึงนำเสนอเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล (Image Processing) บางกระบวนการมาเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการทำงาน ดังเช่น เครื่องจักรขนาดใหญ่ที่มีการใช้เทคนิคดังกล่าวช่วยในการวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดข้าว “SORTEX S Ultra Vision หรือ NIR-SC-5000-1/2 (Digital Image Analysis System for Grain) โดยการทำงานของเครื่องดังกล่าว เริ่มต้นจากถ่ายภาพด้วยกล้องในตัวเครื่องเพื่อใช้ในการตรวจสอบก่อน (Image Acquisition) สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์เทคนิคดังกล่าวมาเพียงบางส่วน ดังภาพที่ 1-1 และเมื่อได้ภาพต้นฉบับแล้ว นำไปสร้างคำอธิบายลักษณะเด่นของภาพ (Key Points Descriptor) ต่อไป



ภาพที่ 1-1 การทำงานของเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล

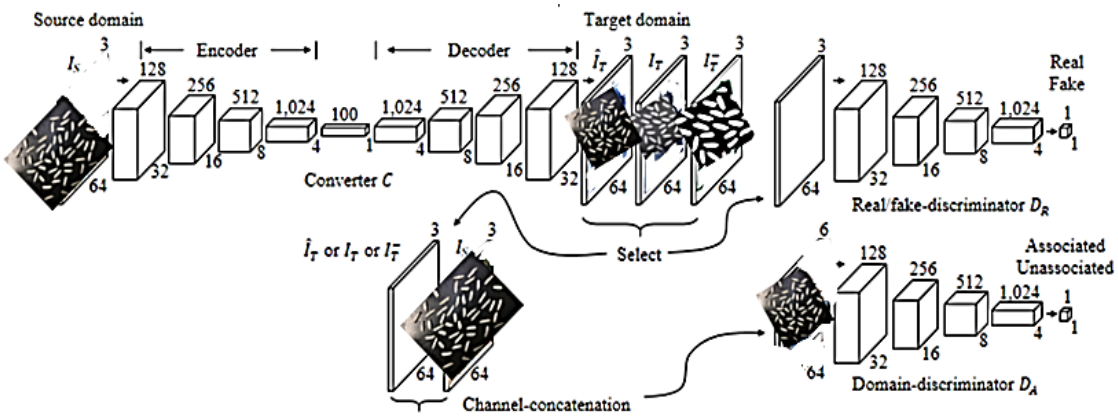
ลักษณะข้อมูลข้างต้นที่นำมาดำเนินการต่อจะเป็นแบบ Supervised Learning (เรียนรู้โดยมีข้อมูลสอน) เป็นการเรียนรู้จากสิ่งที่นำเข้าไปอย่างเป็นระบบและส่งผลออกมาเป็นชุดข้อมูล โดยอาศัยโปรแกรม Algorithm ในการประมวล Nasrabadi (2007, p. 1); Alpaydin (2010, pp. 1-4); Murphy (2012, p. 1); Quinlan (2014, p. 1); Christopher (2016, pp. 1-3); และ Witten, Frank, Hall, and Pal (2016, pp. 1-2) ทั้งนี้ การป้อนข้อมูลเข้าโดยในการป้อนข้อมูลนำเข้าจะสอนโดยการทำให้ model มองชุดข้อมูลหลาย ๆ รอบ เป็นการเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Mearningful Learning) ตามทฤษฎีแนวคิดของออซูเบล (Assimilation Theory) สามารถสรุปหลักการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ได้ดังภาพที่ 1-2



ภาพที่ 1-2 ลักษณะการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning)

เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning Technique) โดยแนวคิดของอาเธอร์ ลี ซามูเอล (Arthur Lee Samuel) เป็นนักวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ชาวอเมริกันผู้เชี่ยวชาญด้านเกมคอมพิวเตอร์ ปัญญาประดิษฐ์ และการเรียนรู้ของเครื่องจักร Mitchell (1997) ถูกใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาด้านต่าง ๆ เช่น การสร้างให้คอมพิวเตอร์สามารถแยกแยะวัตถุ เสียง หรือตัวอักษรได้ หรือจำแนกข้อมูลจำนวนมากที่ไม่สามารถทำได้โดยมนุษย์ นี้ใช้สถาปัตยกรรมข้อมูลการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) คิดค้นโดย เจฟฟรีย์ เอเวอร์เรสต์ ฮินตัน (Geoffrey Everest Hinton) เป็นนักวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์และนักประสาทวิทยาการรับรู้ ชาวอังกฤษ สนใจการทำงานเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ ประมวลผลแบบขนาน (Parallel Processing) สามารถประมวลผลได้ครั้งละมาก ๆ ช่วยให้การเรียนรู้ของเครื่องสามารถให้ผลลัพธ์ในการตัดสินใจและคาดการณ์ได้ดีขึ้น สำหรับงานวิจัยนี้ใช้สถาปัตยกรรมการเรียนรู้บนหลักการของการเรียนรู้เชิงลึกที่นำมาใช้ คือ Convolutional Neural Networks (CNNs) โดยในขั้นตอนของ Feature Extraction เป็นกระบวนการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานต่อไป โดย Observations and Measurements เป็นการสังเกตภาพที่ได้รับมาตรวจสอบตามเกณฑ์คุณลักษณะที่กำหนดในงานวิจัย จากนั้นจึงส่งกลุ่มภาพดังกล่าวไป

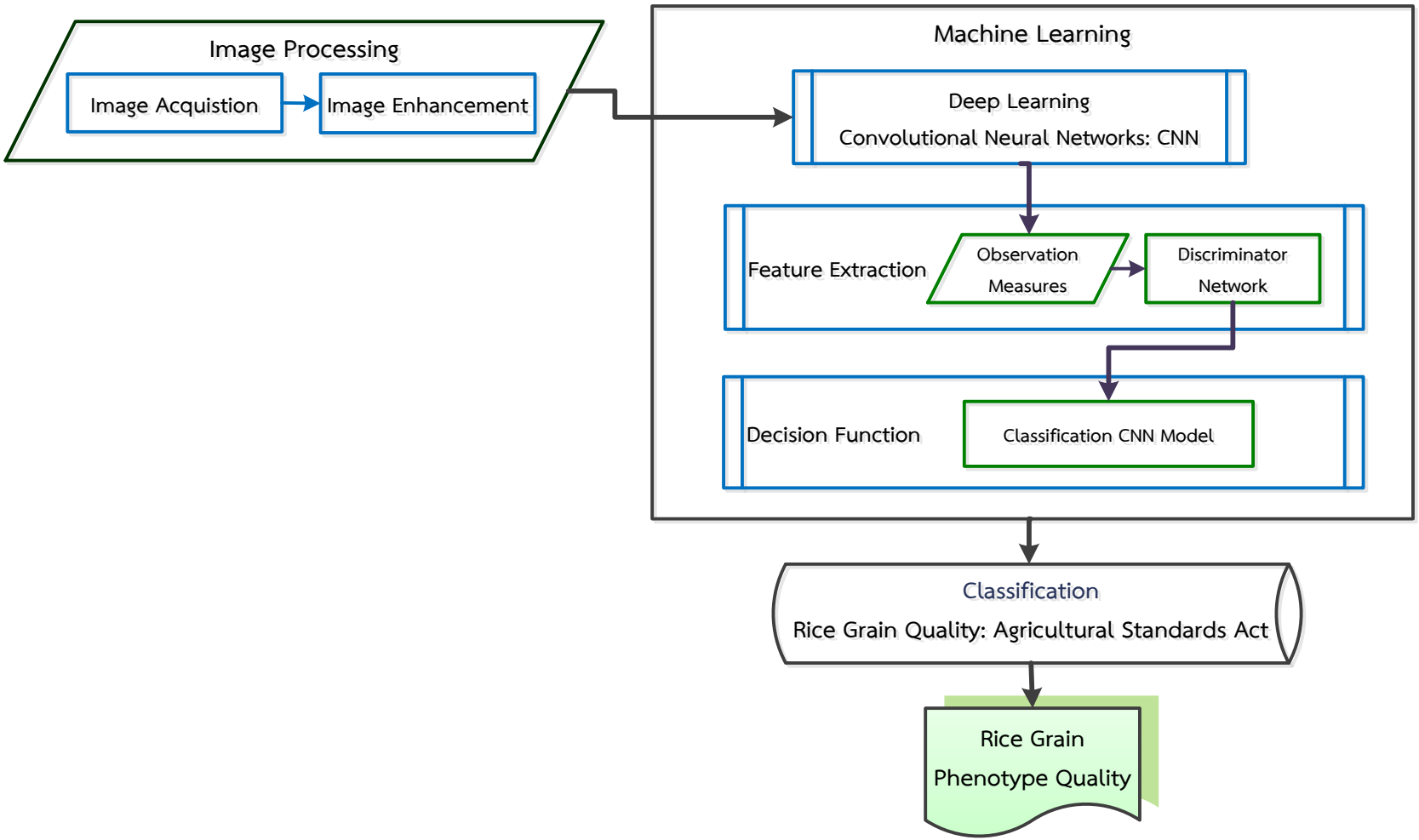
ทำการ Discriminator Network เป็นการแยกภาพข้างต้นให้เป็นชุด ๆ ไปเรื่อย ๆ หลาย ๆ ชุด ทั้งนี้ ทุกชุดต้องเป็นไปตามเกณฑ์คุณลักษณะที่กำหนดไว้ในงานวิจัย เพื่อส่งไปตัดสินต่อไป ดังภาพที่ 1-3



ภาพที่ 1-3 การทำ Pixel-Level Domain Transfer ของ Discriminator Networks (https://lijiancheng0614.github.io/2016/12/08/2016_12_08_PixelDTGAN/)

จากการตัดสินข้อมูล (Decision Function) และจัดกลุ่มตาม Classification CNN Model ที่ได้มาจากกระบวนการทำงานข้างต้น นำมาแบ่งประเภทของข้าวตามเกณฑ์ โดยตรวจสอบความถูกต้องของการแบ่งกลุ่ม และความแม่นยำในการวัด ด้วยข้อมูล 2 ประเภทผสานกัน คือ (1) เอกสาร คือ ข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์ว่าด้วยเรื่องมาตรฐานสินค้าข้าว (2) กลุ่มบุคคล อันได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านการควบคุมคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว วิสาหกิจชุมชนผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว

จากที่กล่าวมาข้างต้น การพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวด้วยการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) เป็นการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวที่ลดการสัมผัสตรงในการตรวจวัดเมล็ด เป็นการตรวจสอบด้วยการนำภาพตั้งต้น (Image Acquisition) เข้าสู่กระบวนการแยกบริเวณรูปภาพ (Processing and Segmentation) เฉพาะที่จะศึกษา โดยผ่านกระบวนการ 2 ขั้นตอน เริ่มจาก (1) Feature Extraction เป็นกระบวนการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ใช้งานได้ โดยสถาปัตยกรรมการเรียนรู้บนหลักการของการเรียนรู้เชิงลึกด้วย Convolutional Neural Networks (CNNs) ภายใต้เทคนิค Discriminator Network และ (2) Decision Function เป็นการตัดสินจำแนกประเภทเมล็ดข้าวกลุ่มจัดกลุ่มตาม Classification CNN Model ซึ่งท้ายที่สุดของการจำแนกประเภทเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ ทำให้ได้กลุ่มเมล็ดข้าวที่มีคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงได้กำหนดกรอบแนวคิดการวิจัยไว้ดังแผนภาพที่ 1-4



ภาพที่ 1-4 การพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

สมมติฐานของการวิจัย

สมมติฐานการพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก ในประเด็นต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว มีความถูกต้องตามอัตราส่วนของการค้นพบภาพ ตามเกณฑ์การแบ่งกลุ่มมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทยโดยผู้เชี่ยวชาญเกินกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ (MRC ltd, 2561, p. 64)

2. ประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ตามเกณฑ์การแบ่งกลุ่มมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทยโดยผู้เชี่ยวชาญน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ (MRC ltd, 2561, p. 64)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แอปพลิเคชั่นบนระบบปฏิบัติการแอนดรอย์ และชุดอุปกรณ์ประกอบสำหรับการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว ตามเกณฑ์มาตรฐานการส่งออกกระทรวงพาณิชย์ พ.ศ. 2559

2. ได้รูปแบบการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลเปรียบเทียบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวเพื่อการส่งออกในอนาคต

3. สามารถนำผลการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวที่มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานการส่งออกกระทรวงพาณิชย์ พ.ศ. 2559 ไปปรับปรุงพันธุ์เพื่อการเพาะปลูกต่อไป

4. สามารถนำผลการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวไปพัฒนากระบวนการผลิตข้าวบรรจุถุงเพื่อจำหน่ายต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) เป็นการวิจัยที่ผสมผสานกระบวนการวิจัย และกระบวนการพัฒนาเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างนวัตกรรม หรือประดิษฐ์กรรมใหม่ (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2560, หน้า 4-5 และ Mahdjoubi, 2009) โดยมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

จากกรอบแนวคิดการวิจัย งานวิจัยนี้ใช้เมล็ดข้าวหอมมะลิจากบริษัทผู้จำหน่ายข้าวหอมมะลิ (ข้าวขาว) ในประเทศไทย เลือกโดยไม่ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น (Non–Probability Sampling) แบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อให้ได้เมล็ดข้าวหอมมะลิจากบริษัทผู้จำหน่ายข้าวหอมมะลิ (ข้าวขาว) ในประเทศไทย บรรจุในถุงขนาด 5 กิโลกรัม ช่วงการผลิตตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2561

ขอบเขตของการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ระยะ

1. ระยะที่ 1 การออกแบบระบบการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวด้วยการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ดำเนินงาน ดังนี้

1.1 คัดเลือกเมล็ดข้าวหอมมะลิ (ข้าวขาว) จากบริษัทผู้จำหน่ายข้าวหอมมะลิ โดยผู้เชี่ยวชาญจากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีดำเนินการคัดเลือกตามคุณลักษณะที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว มีการประกาศในราชกิจจานุเบกษาของกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559

1.2 นำเมล็ดข้าวหอมมะลิที่ได้จากข้อ 1.1 ไปดำเนินการเป็นข้อมูลดิจิทัล เพื่อเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพดิจิทัล (Image Processing)

1.3 ออกแบบแท่นใส่ตัวอย่างเพื่อการถ่ายภาพด้วยสมาร์ทโฟน

1.4 เมื่อได้ข้อมูลภาพในข้อ 1.3 แล้วนำมาดำเนินการต่อด้วยการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ทำการฝึกอบรม (Training) และ เรียนรู้ (Learning) ข้อมูลต่อไป

2. ระยะที่ 2 การพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวด้วยการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ดำเนินงาน ดังนี้

2.1 สร้างอุปกรณ์ที่ออกแบบที่ช่วยในการสร้างข้อมูล ในข้อ 1.3 บันทึกข้อมูล (ภาพ)

2.2 ดำเนินการนำภาพที่ได้จาก ข้อ 2.1 เข้าสู่กระบวนการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning)

2.3 นำภาพทั้งหมดมาฝึกให้เครื่องจักรเรียนรู้ตามคุณลักษณะที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว มีการประกาศในราชกิจจานุเบกษาของกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559

2.4 ตรวจสอบความถูกต้อง หรือความแม่นยำ (Accuracy) และ ความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error (RMSE)) ของระบบตามเกณฑ์การแบ่งกลุ่มมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย โดยผู้เชี่ยวชาญ

2.5 นำอัลกอริทึมที่พัฒนาโปรแกรม สร้างเป็นแอปพลิเคชั่นต่อไป

3. ระยะที่ 3 การตรวจสอบโปรแกรมที่สร้างเสร็จแล้ว ดำเนินการโดยสุ่มนำกลุ่มตัวอย่างมาดำเนินการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ตามรูปแบบมาตรฐานของกระทรวงพาณิชย์ โดยผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้

3.1 สุ่มเมล็ดข้าวหอมมะลิ (ข้าวขาว) ใช้วิธีการสุ่มแบบง่าย (Simple Random Sampling) คือ ให้ทุกหน่วยทดลองมีโอกาสเท่า ๆ กันวางแผนการสุ่มแบบ Completely Randomized Design (CRD) แต่ละถุงทำซ้ำ 5 ครั้ง ซ้ำครั้งละประมาณ 1 กรัม

3.2 จากนั้นนำเมล็ดข้าวที่สุ่มจากข้อ 3.1 มารวมทั้งหมดแล้วสุ่มด้วยวิธี Random cups method ปริมาณรวมไม่เกิน 1 กรัม ใช้ถ้วยขนาดเล็ก 6-8 ใบ วางอย่างสุ่มบนถาด ขนาดของถ้วยต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในถ้วยประมาณ 1.5 เท่าของความยาวเมล็ด ถ้วยไม่ควรสูงเกินไปเพื่อป้องกันการล้มขณะเทเมล็ดลงภาชนะ

3.3 นำเมล็ดข้าวหอมมะลิที่ได้จาก 3.2 มาเทรวมกัน จากนั้นเกลี่ยลงบนอุปกรณ์ที่สร้างในข้อ 2.1 แล้วถ่ายภาพดำเนินการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ด้วยโปรแกรมที่สร้างขึ้น ตรวจสอบผล โดยผู้เชี่ยวชาญ

4. ระยะที่ 4 การตรวจสอบประสิทธิภาพของแอปพลิเคชั่นโดยนำไปใช้งานภายใต้เงื่อนไขการทำงานจริง กับข้อมูลจริง คือ ข้าวที่จำหน่ายในประเทศไทย ซึ่งมีขั้นตอนการตรวจสอบคล้ายคลึงกับ ระยะที่ 3 แต่ในหัวข้อที่ 3.3 ตรวจสอบความถูกต้องจากรายละเอียดที่แสดงไว้หน้าถุงบรรจุภัณฑ์

ตัวแปรที่ศึกษา ประกอบด้วย

1. ตัวแปรต้น คือ ระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว

2. ตัวแปรตาม คือ ประเภทของเมล็ดข้าวที่มีคุณภาพตามเกณฑ์

การวัดตัวแปรตาม วัด 3 ด้าน คือ ขนาดและรูปร่าง ผิวสัมผัส สี นำมาแบ่งกลุ่มตามคุณภาพของสินค้าข้าวให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว มีการประกาศในราชกิจจานุเบกษาของกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559

นิยามศัพท์เฉพาะ

ฟีโนไทป์ (Phenotype) คือ ลักษณะปรากฏ เป็นคุณสมบัติของสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏทางกาย (กายภาพ) หรือพฤติกรรมที่สามารถสังเกตได้ เช่น ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ที่กำหนดโอกาสในการอยู่รอดและการสืบพันธุ์ได้โดยตรง

เมล็ดข้าว คือ เมล็ดข้าวสารหอมมะลิที่เป็นข้าวขาว และข้าวกล้อง ได้จากการนำเข้าไปขัดแยก รำออกแล้ว มีการกำหนดมาตรฐานข้าวหอมมะลิไทยตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559

การแบ่งกลุ่มตามคุณภาพของสินค้าข้าวให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว มีการประกาศในราชกิจจานุเบกษาของกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559 ประกอบด้วย

1. ชั้นของเมล็ดข้าว ให้แบ่งชั้นของเมล็ดข้าวออกเป็น 4 ชั้น ดังนี้

1.1 ข้าวเมล็ดยาว ชั้น 1 (Long Grain Class 1) หมายความว่า ข้าวเต็มเมล็ดที่มีขนาดความยาวเกิน 7.0 มิลลิเมตร

1.2 ข้าวเมล็ดยาว ชั้น 2 (Long Grain Class 2) หมายความว่า ข้าวเต็มเมล็ดที่มีขนาดความยาวเกิน 6.6 มิลลิเมตร ถึง 7.0 มิลลิเมตร

1.3 ข้าวเมล็ดยาว ชั้น 3 (Long Grain Class 3) หมายความว่า ข้าวเต็มเมล็ดที่มีขนาดความยาวเกิน 6.2 มิลลิเมตร ถึง 6.6 มิลลิเมตร

1.4 ข้าวเมล็ดสั้น (Short Grain) หมายความว่า ข้าวเต็มเมล็ดที่มีขนาดความยาวไม่เกิน 6.2 มิลลิเมตร

ข้าวคุณภาพดี ขนาดของเมล็ด (Grain Size) การสีข้าวเปลือกควรสีได้ข้าวเต็มเมล็ด

2. ระดับการขัดสี ให้แบ่งระดับการขัดสีออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้

2.1 สีดีพิเศษ (Extra Well Milled) หมายความว่า การขัดสีเอารำออกเกือบทั้งหมดจนเมล็ดข้าวมีลักษณะสวยงามเป็นพิเศษ

2.2 สีดี (Well Milled) หมายความว่า การขัดสีเอารำออกเกือบทั้งหมดจนเมล็ดข้าวมีลักษณะสวยงามดี

2.3 สีดีปานกลาง (Reasonably Well Milled) หมายความว่า การขัดสีเอารำออกเป็นส่วนมากจนเมล็ดข้าวมีลักษณะสวยงามพอสมควร

2.4 สีธรรมดา (Ordinarily Milled) หมายความว่า การขัดสีเอารำออกแต่เพียงบางส่วน

3. แบ่งสินค้ามาตรฐานข้าวหอมมะลิไทยประเภทข้าวขาวออกเป็น 4 ชนิด ดังนี้

3.1 ข้าวขาว 100 เปอร์เซ็นต์

3.2 ข้าวขาว 5 เปอร์เซ็นต์

3.3 ข้าวขาว 10 เปอร์เซ็นต์

3.4 ข้าวขาว 15 เปอร์เซ็นต์

ส่วนผสมภายในที่จำแนกประเภทข้าวขาว 100 เปอร์เซ็นต์ 5 เปอร์เซ็นต์ 10 เปอร์เซ็นต์ และ15 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้ในการจำแนกเปอร์เซ็นต์ มีดังนี้

1. ความใสและขนาด ประกอบด้วย

1.1 ข้าวเต็มเมล็ด (Whole Kernels) หมายความว่า เมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาพเต็มเมล็ด ไม่มีส่วนใด หักและให้รวมถึงเมล็ดข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 9 ส่วนขึ้นไป

1.2 ข้าวหัก (Brokens) หมายความว่า เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไป แต่ ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ไม่ถึงร้อยละ 80 ของเมล็ด

1.3 ปลายข้าวซีวัน (Small Brokens C1) หมายความว่า เมล็ดข้าวหักขนาดเล็กที่ร่อนผ่าน ตะแกรงเบอร์ 7

2. ความขุ่นและสี ประกอบด้วย

2.1 ข้าวเมล็ดเหลือง (Yellow Kernels) หมายความว่า เมล็ดข้าวที่มีบางส่วนหรือทั้งเมล็ด กลายเป็นสีเหลืองอย่างชัดแจ้ง

2.2 ข้าวเมล็ดท้องไข่ (Chalky Kernels) หมายความว่า เมล็ดข้าวเจ้าที่เป็นสีขาวขุ่นเหมือน ชอล์กมีเนื้อที่ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปของเนื้อที่เมล็ดข้าว

2.3 ข้าวเมล็ดเสีย (Damaged Kernels) หมายความว่า เมล็ดข้าวที่เสียอย่างเห็นได้ชัดแจ้งด้วย ตาเปล่าซึ่งเกิดจากความชื้น ความร้อน เชื้อรา แมลง หรืออื่นๆ

2.4 ข้าวเหนียว

3. พื้นผิวภายนอก ประกอบด้วย

3.1 ข้าวเมล็ดขัดสีต่ำกว่ามาตรฐาน (Undermilled Kernels) หมายความว่า เมล็ดข้าวที่ผ่านการขัดสีต่ำกว่าระดับการขัดสีที่กำหนดไว้สำหรับข้าวแต่ละชนิด

3.2 ข้าวเปลือก (Paddy) หมายความว่า ข้าวที่ยังไม่ผ่านการกะเทาะเอาเปลือกออก

4. อื่นๆ ประกอบด้วย

4.1 ข้าวเมล็ดลีบ (Undeveloped Kernels) หมายความว่า เมล็ดข้าวที่ไม่เจริญเติบโตตาม ธรรมดาที่ควรจะเป็น มีลักษณะแฟบ แบน

4.2 ข้าวเมล็ดอ่อน (Immature Kernels) หมายความว่า เมล็ดข้าวที่มีสีเขียวอ่อนได้จาก ข้าวเปลือกที่ยังไม่แก่

4.3 เมล็ดพืชอื่น (Other Seeds) หมายความว่า เมล็ดพืชอื่น ๆ ที่มิใช่เมล็ดข้าว

4.4 วัตถุอื่น (Foreign Matter) หมายความว่า สิ่งอื่น ๆ ที่มิใช่ข้าวรวมทั้งแกลบและรำที่หลุด จากเมล็ดข้าว

เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล (Image Processing) เป็นการนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณโดยผสมผสานเทคนิคของ อรฉัตร จิตต์โสภักตร์ (2552, หน้า 30-32) และนุชรี ธรรมโชติ (2557, หน้า 20-24) เพื่อให้สอดคล้องกับงานวิจัย

1. การได้มาของภาพ (Image Perception and Image Acquisition)
2. การแปลงข้อมูลภาพ (Image Transformation)
3. การปรับปรุงคุณภาพของภาพ และการแบ่งข้อมูลภาพ (Image Enhancement and Image Segmentation)
4. การปรับปรุงภาพให้เหมาะสมกับการมองเห็น (Image Restoration)
5. การวิเคราะห์ข้อมูลภาพ (Image Analysis)
6. การบีบอัดขนาดของภาพ (Image Compression)

การจำแนกประเภท (Classification) คือ ความสามารถในการจัดจำแนก หรือเรียงลำดับวัตถุ หรือสิ่งที่อยู่ในปรากฏการณ์ต่าง ๆ ออกเป็นหมวดหมู่ โดยมีเกณฑ์ในการจัดจำแนกเกณฑ์ดังกล่าวอาจใช้ความเหมือน ความแตกต่างกัน หรือความสัมพันธ์อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยจัดสิ่งที่มีสมบัติบางประการร่วมกันให้อยู่กลุ่มเดียวกัน

ทฤษฎีการเรียนรู้อย่างมีความหมายของออซูเบล (Ausubel) หรือ “Subsumption Theory” กล่าวว่า การเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Meaningful Learning) ว่าเป็นการเรียนที่ผู้เรียนได้รับมาจากการที่ผู้สอน อธิบายสิ่งที่จะต้องเรียนรู้ให้ทราบและผู้เรียนรับฟังด้วยความเข้าใจ มีความสำคัญมาก เพราะเป็นวิธี การสร้างการเชื่อมช่องว่างระหว่างความรู้ที่ผู้เรียนได้รู้แล้ว (ความรู้เดิม) กับความรู้ใหม่ที่ได้รับที่จำเป็นจะ ต้องเรียนรู้เพื่อผู้เรียนจะได้มีความเข้าใจเนื้อหาใหม่ได้ดีและจดจำได้ได้ดีขึ้น

การเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) คือ การให้เครื่องเรียนรู้ข้อมูลที่ไม่รู้จักมาก่อน และมีผลเฉลยอยู่ก่อนแล้ว โดยมนุษย์เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักร เพื่อการทำนายตัดสินใจได้โดยปราศจากการทำงานตามลำดับคำสั่งโปรแกรม หรือเป็นเทคนิคทางสถิติเพื่อให้ระบบคอมพิวเตอร์สามารถ “เรียนรู้” ส่วนการเรียนรู้ของเครื่องจะถูกใช้งานเสมือนเป็นสมองเทียมนั่น คือ ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) หรืออาจกล่าวได้ว่า ปัญญาประดิษฐ์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรในการสร้างความฉลาด ทั้งนี้ การเรียนรู้ของเครื่องจักรจะเรียนรู้จากสิ่งที่ใส่เข้าไปและส่งผลออกมาเป็นชุดข้อมูล โดยอาศัยโปรแกรมอัลกอริทึมในการประมวล

Nasrabadi (2007, p. 1); Alpaydin (2010, pp. 1-4); Murphy (2012, p. 1); Quinlan (2014, p. 1); Christopher (2016, pp. 1-3) และ Witten, Frank, Hall, and Pal (2016, pp. 1-2) มีขั้นตอนการเรียนรู้เพื่อสร้าง Model ของปัญหา ดังนี้

1. Feature Extraction: ข้อมูลที่จะใช้ในการสร้างโมเดล สำหรับปัญหาที่ต้องการให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานได้ในการเรียนรู้ของเครื่องจักร เช่น แปลงจากข้อมูล .text และ .image ไปอยู่ในรูปแบบชุดของตัวเลข
2. Regularization: ทำการให้น้ำหนักและความสำคัญของข้อมูลที่จะใช้ในการสร้างโมเดล อะไรคือสิ่งที่ไม่สำคัญ เช่น สัญญาณรบกวน (Noise) จัดการกับความซับซ้อนของโมเดล ลดข้อมูลที่ไม่จำเป็นออกไป เพื่อทำให้ได้โมเดลที่เรียบง่าย
3. Cross-Validation: ทำการตรวจสอบความถูกต้องโมเดล ด้วยข้อมูลที่ไม่ได้นำมาสร้างโมเดล

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) คือ สาขาหนึ่งของการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) พื้นฐานของการเรียนรู้เชิงลึก คือ อัลกอริทึมที่พยายามจะสร้างแบบจำลองเพื่อแทนความหมายของข้อมูลในระดับสูงโดยการสร้างสถาปัตยกรรมข้อมูลขึ้นมาที่ประกอบไปด้วยโครงสร้างย่อย ๆ หลายอัน และแต่ละอันได้มาจากการแปลงที่ไม่เป็นเชิงเส้น สถาปัตยกรรมการเรียนรู้บนหลักการของการเรียนรู้เชิงลึกนี้ ได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียมแบบลึก (Deep Artificial Neural Networks) โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ (Convolutional Neural Networks) โครงข่ายความเชื่อแบบลึก (Deep Belief Networks) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำ (Recurrent Neural Network) Deng and Yu (2014, pp. 197-138) ซึ่งมีการนำมาใช้งาน เช่น คอมพิวเตอร์วิทัศน์ การรู้จำเสียงพูด การประมวลผลภาษาธรรมชาติ การรู้จำเสียง และชีวสารสนเทศศาสตร์

นิวรอลเน็ตเวิร์กคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks) คือ เป็นนิวรอลเน็ตเวิร์กเชิงลึกรูปแบบหนึ่ง สามารถประมวลผลทุกส่วนงานไปพร้อมกัน จึงสามารถใช้ประโยชน์จากฮาร์ดแวร์ได้เต็มที่

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้ ผู้วิจัยนำเสนอการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามลำดับดังนี้

ตอนที่ 1 แนวคิดเกี่ยวกับคุณลักษณะของข้าว

1. ความหมายของข้าว
2. ความหมายของฟีโนไทป์
3. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว
4. การจำแนกพันธุ์ข้าวที่ปลูกในประเทศไทย
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฐานความรู้ข้าวไทย

ตอนที่ 2 แนวคิดการออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว

1. ความหมายของการตรวจสอบคุณภาพ
2. การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวในประเทศไทย
3. การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวในต่างประเทศ
4. ทฤษฎีการวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบ
5. องค์ประกอบของการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าว
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว

ตอนที่ 3 แนวคิดการพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง

1. ความหมายของการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning)
2. องค์ประกอบของการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning)
3. ทฤษฎีการเรียนรู้อย่างมีความหมายออซูเบล (Ausubel) หรือ Subsumption Theory
4. ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัล
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล ในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว
6. การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)
7. นิวรอลเน็ตเวิร์กคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks)
8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) และนิวรอลเน็ตเวิร์กคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks)

ตอนที่ 4 แนวคิดการวัดประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ออกแบบสำหรับระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ (Phenotype) ของเมล็ดข้าว

1. การออกแบบหน้าจอแอปพลิเคชัน (User Interface)
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบหน้าจอแอปพลิเคชัน (User Interface)
3. การวัดประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ออกแบบ

ตอนที่ 1 แนวคิดเกี่ยวกับคุณลักษณะของข้าว

ความหมายของข้าว

ความหมายทางวิทยาศาสตร์ของข้าว มีชื่อสามัญว่า “Rice Plant” มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า “Oryza Sativa Linn” ในวงศ์ Gramineae เป็นพันธุ์ไม้ล้มลุกจำพวกหญ้า มีลักษณะภายนอก บางอย่างคล้ายต้นหญ้า เช่น กาบ ใบ ลำต้น และราก (จักรพงษ์ เจิมศิริ, 2545)

ความหมายทางกฎหมาย พระราชบัญญัติการค้าข้าว พุทธศักราช 2489 ได้ให้ความหมายคำว่า “ข้าว” ไว้ในบทนิยามว่า “ข้าวเปลือกทุกชนิด ข้าวกล้อง ข้าวสาร ข้าวเหนียว และรวมตลอดถึงปลายข้าว” ต่อมาได้มีการแก้ไขเพิ่มเติมความหมายโดยพระราชบัญญัติการค้าข้าว (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2489 โดยได้แก้ไขเพิ่มเติมความหมาย ให้หมายความว่า “ข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร ข้าวเหนียว และรวมตลอดถึง ปลายข้าว รำ และสิ่งใด ๆ ที่แปรสภาพมาจากข้าว” (พระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออก เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3), 2559, หน้า 5)

พจนานุกรมไทย (2561) พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542 ได้ให้ความหมายของคำว่า “ข้าว” ว่าเป็นคำนาม คือ ไม้ล้มลุกหลายชนิดหลายสกุลวงศ์ Gramineae โดยเฉพาะชนิด Oryza Sativa L. เมล็ดเป็นอาหารหลัก มีหลายพันธุ์ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว (พจนานุกรมไทย, 2561)

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2561) ข้าว คือ เป็นเมล็ดของพืชในสกุลข้าวที่พบมากในเอเชีย ชื่อวิทยาศาสตร์ Oryza Sativa ข้าวเป็นธัญพืชซึ่งประชากรโลกบริโภคเป็นอาหารสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในทวีปเอเชียจากข้อมูลเมื่อปี 2553 ข้าวเป็นธัญพืชซึ่งมีการปลูกมากที่สุดเป็นอันดับสามทั่วโลก รองจากข้าวสาลีและข้าวโพด

ข้าว เป็นพืชตระกูลหญ้า จัดอยู่ในวงศ์ Poaceae หรือ Gramineae เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ในสกุล Oryza มีระบบรากเป็นแบบรากฝอย ลำต้นมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ภายในกลวง ประกอบไปด้วยลักษณะที่เป็นข้อและปล้อง มีตาอยู่ตามข้อโดยปกติตาที่อยู่ตามข้อส่วนล่างบริเวณใต้ผิวดินหรือเหนือดินเล็กน้อยจะสามารถพัฒนาเป็นต้นใหม่ได้ ข้าวต้นหนึ่ง ๆ แตกหน่อได้ 5-15 หน่อ ใบข้าวมีลักษณะเรียวยาวเหมือนใบหญ้า มีกาบใบห่อหุ้มตาและลำต้นไว้ กาบใบและแผ่นใบเชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อใบ ด้านบนของข้อต่อใบมีแผ่นบาง ๆ รูปสามเหลี่ยมปลายแหลม เรียกว่า ลิ้นใบ และด้านนอกของข้อต่อใบมีส่วนที่ยื่นออกมาคล้ายหางกระรอก เรียกว่า หูใบ ซึ่งเป็นลักษณะของข้าวที่แตกต่างจากพืชตระกูลหญ้าอื่น ๆ ดอกของข้าวมีลักษณะเป็นช่อเกิดตรงส่วนปลายยอดสุดของลำต้น ประกอบด้วย ดอกย่อย (Spikelet) เป็นจำนวนมาก แต่ละดอกหลังจากผสมเกสรแล้วจะพัฒนาเป็นเมล็ดข้าว ซึ่งช่อดอกนี้ก็จะกลายเป็นรวงข้าว เมล็ดข้าวจะสุกแก่และเก็บเกี่ยวได้ภายในระยะเวลา 25-30 วัน หลังจากผสมเกสร เปลือกหุ้มเมล็ดข้าวมีสีแตกต่างกันตามพันธุ์ ตั้งแต่สีเหลืองอ่อนถึงเหลืองเข้ม สีฟาง ม่วงเข้ม หรือดำ ถ้าแกะเปลือกหุ้มเมล็ดออกจะได้เมล็ดข้าว ที่เรียกว่า ข้าวกล้อง (สมัคร ยิ่งยง และคณะ, 2553, หน้า 30)

ดังนั้น จากความหมายของข้าว (Rice) Oryza Sativa L. สรุปว่า ข้าว เป็นพืชตระกูลหญ้าเป็นไม้ล้มลุกจัดอยู่ในวงศ์ Poaceae หรือ Gramineae ใช้เมล็ดข้าวเป็นอาหารหลัก มีเปลือกหุ้มเมล็ดข้าวมีสีแตกต่างกันตามพันธุ์ ตั้งแต่สีเหลืองอ่อนถึงเหลืองเข้ม สีฟาง ม่วงเข้ม หรือ ดำ ถ้าแกะเปลือกหุ้มเมล็ดออกจะได้เมล็ดข้าว ที่เรียกว่า “ข้าวกล้อง” ชนิดของข้าวมีหลายพันธุ์ แต่ที่รู้จักทั่วไป แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ อย่างง่าย คือ 1) ข้าวเจ้า และ 2) ข้าวเหนียว

1. ข้าวเจ้า (Non Glutinous Rice or Non Waxy Rice) หมายถึง ข้าวซึ่งเป็นพันธุ์ที่เมล็ดข้าวขาว มีลักษณะใส อาจมีหรือไม่มีจุดขุ่นขาวของท้องไข่ปรากฏอยู่ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2560, หน้า 1)

พจนานุกรมไทย (2561) ข้าวเจ้า เป็นคำนาม หมายถึง ชื่อข้าวพันธุ์หนึ่งของชนิด Oryza Sativa L. เนื้อเมล็ดใสใช้หุงเป็นอาหาร เมื่อหุงแล้วเมล็ดมักร่วนและสวย มีชื่อต่าง ๆ กัน เช่น ข้าวปิ่นแก้ว ข้าวมันปู (ไทยใหญ่ เจ้าว่า เปราะ, ร่วน, ไม่เหนียว)

สังคมการเกษตร (2561) ข้าวเจ้า มีประมาณ 5 สี คือ ขาว เหลือง แดง น้ำตาลอ่อน ดำ หรือม่วงเข้ม ข้าวเจ้าแต่ละสีมีประโยชน์และสารอาหารแตกต่างกัน เหตุที่ทำให้ข้าวเจ้ามีสีของเนื้อเยื่อหุ้มข้าวแตกต่างกัน เพราะสายพันธุ์ เช่น ข้าวขาว ข้าวหอมมะลิ ข้าวหอมปทุม เมื่อกะเทาะเปลือกออกจะเห็นเนื้อในสีขาวสด ๆ ตามธรรมชาติ แต่ถ้าเป็นข้าวสีอื่น เช่น สังข์หยดเมื่อกะเทาะเปลือกข้าวออกจะเป็นสีออกแดงถึงน้ำตาลเข้ม บางสายพันธุ์ที่มีสีเข้มออกแดงชัดเจนหรือค่อนไปทางดำก็มี ข้าวสีมีคุณค่าทางอาหารและยามากกว่าข้าวขาว เพราะพบว่าทั้งสีดำ สีแดง สีม่วงเหล่านี้เกิดจากสารให้สีที่มีชื่อว่าแอนโธไซยานิน ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ช่วยในการหมุนเวียนของกระแสโลหิตและชะลอความเสื่อม

2. ข้าวเจ้า แยกเป็นข้าวหรือเข้าเป็นคำเดียวกัน ส่วนคำว่า เจ้า หรือกลายมาเป็นจ้าวนั้นเป็นภาษาถิ่นของคนสมัยก่อน แปลว่า หุง บางท้องถิ่นเรียกการหุงว่า สวย จึงมีการเรียกข้าวหุงว่าข้าวเจ้าหรือข้าวสวย เมล็ดข้าวเจ้า ประกอบไปด้วย อะไมโลส ประมาณร้อยละ 9-33 พันธุ์ข้าวเจ้าได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 60 กข7 เหลืองประทิว 123 ขาวตาแห้ง 17 พัทลุง 60 สุพรรณบุรี 1 สุรินทร์ กข61(2558) กข63 (2558) หอมกระดังงา59 (2558) สำหรับพันธุ์ข้าวเจ้ามี 6 สี คือ สีขาว สีเหลือง (ข้าวซ้อมมือ) สีแดง (ข้าวมันปู ข้าวประดู่แดง ข้าวสังข์หยด ข้าวจิ๊บ ข้าวดอกมะขาม ข้าวหอมมะลิแดง) สีน้ำตาลอ่อน (ข้าวกล้อง) สีดำ (ข้าวสีนิล) และสีม่วงเข้ม (ข้าวไรซ์เบอรี่) (สยาม เอ็น.ซี.พี. ไร้ซ์ จำกัด, 2559)

ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร: ข้าวไทยตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2551 ให้นิยามของ ข้าวขาว (White Rice or Milled Rice or Polished Rice) หมายถึง ข้าวที่ได้จากการนำข้าวกล้องเจ้าไปขัดเอาราออกแล้ว

ประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวขาวเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวขาว พ.ศ. 2555 ให้นิยามของ ข้าวขาว หมายถึง ข้าว (Oryza Sativa L.) ที่ได้จากการนำข้าวกล้องเจ้าไปขัดเอารำออกแล้ว

ข้าวหอมมะลิ (Thai Jasmine Rice) เป็นสายพันธุ์ข้าวที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย มีลักษณะกลิ่นหอมคล้ายใบเตย เป็นพันธุ์ข้าวที่ทำให้ข้าวไทยเป็นสินค้าส่งออกที่รู้จักไปทั่วโลก

ข้าวหอมมะลิไทย (Thai Hom Mali Rice) หมายถึง ข้าวที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ Oryza Sativa L. โดยรวมถึงข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว ที่แปรรูปมาจากข้าวเปลือกเจ้าพันธุ์ข้าวหอมที่ไวต่อช่วงแสง ซึ่งผลิตในประเทศไทยในฤดูนาปีและกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ประกาศรับรองว่าเป็นพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข15 ซึ่งมีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ ขึ้นอยู่กับว่าเป็นข้าวใหม่หรือข้าวเก่า เมื่อหุงสุกเป็นข้าวสวยแล้วเมล็ดข้าวจะอ่อนนุ่ม (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2550, หน้า 2)

ดังนั้น ข้าวเจ้า (Non Glutinous Rice or Non Waxy Rice) เป็นพันธุ์ที่เมล็ดข้าวขาว มีลักษณะใส เช่น ข้าวขาว ข้าวหอมมะลิ ข้าวหอมปทุม เมื่อกะเทาะเปลือกออกจะเห็นเนื้อในสีขาวสด ๆ ตามธรรมชาติ เมื่อหุงแล้วเมล็ดมักร่วนและสวย นอกจากนี้ ยังมีสายพันธุ์อื่น ๆ ที่เป็นข้าวเจ้าแต่สีของเนื้อเยื่อหุ้มข้าวแตกต่างไป เช่น สีดำ (ข้าวสีนิล) สีม่วงเข้ม (ข้าวไรซ์เบอรี่) เป็นต้น แต่ชาวต่างชาติโดยทั่วไปจะรู้จักข้าวเจ้าในนามของ “ข้าวหอมมะลิ” หากเป็นข้าวขาวจะหมายถึง ข้าวท้องถิ่นทั่วไป

ความหมายของฟีโนไทป์

ฟีโนไทป์ (Phenotype) คือ ลักษณะที่ปรากฏออกมา หรือลักษณะที่แสดงออกมาซึ่งเป็นได้ทั้งลักษณะที่อยู่ภายนอก (เช่น สีของดอกไม้) และลักษณะที่อยู่ภายใน (เช่น หมู่เลือด) โดยที่ฟีโนไทป์ (Phenotype) นั้น อาจเป็นผลที่ได้มาจากยีน (Gene) มาจากสภาพแวดล้อมด้วย กล่าวคือ ลักษณะที่ปรากฏออกมา หรือลักษณะที่แสดงออกมา อันเป็นผลร่วมมาจากยีน (Gene) และจากสภาพแวดล้อม (เทคโนโลยีชีวภาพแหล่งรวมความรู้ทางเทคโนโลยีชีวภาพ, 2561)

ฟีโนไทป์ (Phenotype) คือ ลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏให้เห็นโดยการควบคุมของยีน (สวทช., 2561)

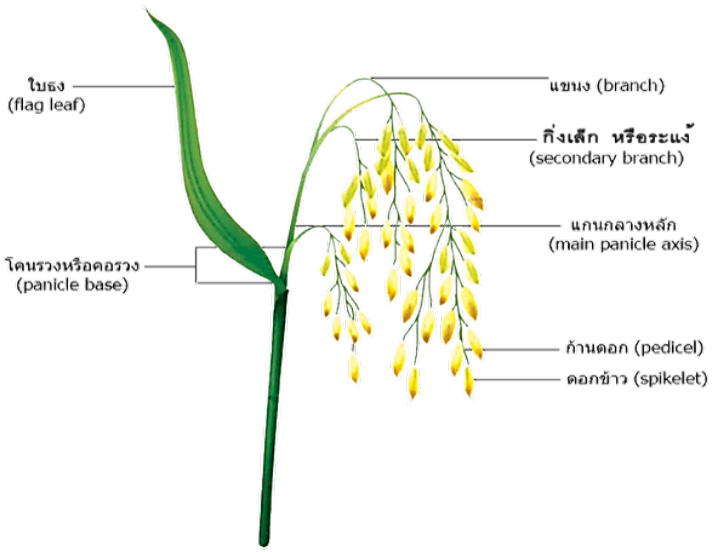
ฟีโนไทป์ (Phenotype) ส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจาก 2 แบบ คือ สภาพแวดล้อมภายนอกและภายใน คือ “ยีน” เป็นเอกลักษณ์ที่ติดกับสิ่งมีชีวิตมาตั้งแต่เกิด ส่วนสภาพแวดล้อมเป็นสิ่งที่ “หล่อเลี้ยง” การใช้ชีวิต/ดำรงอยู่ต่อไป ซึ่งทั้งหมดจะถ่ายทอดออกมาในคุณลักษณะที่อธิบายทางกายภาพที่แท้จริง รวมถึงลักษณะที่มองเห็นได้ง่าย เช่น ขนาด รูปร่าง ความสูง สีตา รวมถึงสุขภาพโดยรวมประวัติโรค พฤติกรรม และการจัดการทั่วไป ตามสถานการณ์ที่ไม่ซ้ำกันในชีวิต รวมถึงทุกสิ่งทุกอย่างที่เกิดขึ้น เรียกปัจจัยสองปัจจัยนี้ว่า “ธรรมชาติ” (Personal Genetics Education Project, 2018) ดังนั้น โดยสรุป ฟีโนไทป์ (Phenotype) จึงเป็นลักษณะที่ปรากฏออกมาภายนอก อันเกิดจาก 2 องค์ประกอบ คือ ภายใน (Gene) และ ภายนอก (Environment) หลอมรวมให้เป็นลักษณะเฉพาะของสิ่งมีชีวิต/พืชนั้น ๆ ที่สามารถสัมผัสภายนอกได้ด้วยประสาทสัมผัสทั้ง 5 อย่างง่าย ๆ

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว

ข้าว (Rice) Oryza Sativa L. เป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้าที่สามารถกินเมล็ดได้ ถือเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเช่นเดียวกับหญ้า ต้นข้าวมีลักษณะภายนอกบางอย่าง เช่น ใบ กาบใบ ลำต้น และรากคล้ายต้นหญ้า ในประเทศไทย ข้าวหอมมะลิมีสายพันธุ์ในประเทศและเป็นที่นิยมไปทั่วโลก (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวและหน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว, 2561)

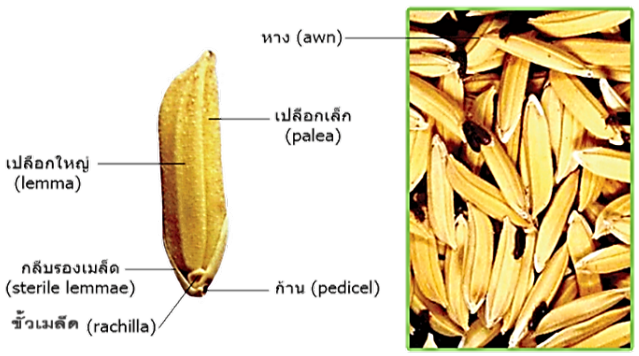
ต้นข้าวมีความสูงประมาณ 80-130 เซนติเมตร อาจมีความสูงได้ถึง 5 เมตร ในพันธุ์ข้าวขึ้นน้ำ สามารถเจริญเติบโตในสภาพน้ำท่วม ระบบรากเป็นแบบรากฝอย มีรากพิเศษเจริญออกมาจากส่วนโคนของลำต้นแล้วหยั่งลงไปในดิน มีการเจริญของลำต้นแบบแตกเป็นกอ ลำต้นแต่ละลำมีข้อและปล้องชัดเจน จำนวนข้อของลำต้นขึ้นกับพันธุ์และฤดูกาลในการเติบโต แต่ละข้อมีใบหนึ่งใบอาจมีกิ่งสั้น ๆ หรือรากพิเศษเจริญออกมาจากข้อของลำต้น ปล้องที่บริเวณโคนลำต้นมักเป็นปล้องสั้น ๆ และค่อย ๆ ยืดยาวมากขึ้น เมื่อเจริญไปทางส่วนปลายลำต้น การเรียงใบแบบสลับ โดยเรียงเป็นสองแถวทางด้านข้างของลำต้น มีกาบใบหุ้มลำต้นซ้อนขึ้นไปเรื่อย ๆ จนปกคลุมส่วนปล้องของลำต้นไว้มิดชิด ลิ้นใบมีลักษณะเป็นแผ่นรูปสามเหลี่ยมยาว 1-1.5 เซนติเมตร มักแยกออกจากกัน พบเขี้ยวใบมีลักษณะ

เป็นเส้นหรือฟันเลื่อยยาว ๆ เกิดขึ้นที่โคนของแผ่นใบ แผ่นใบยาว 24-60 เซนติเมตร กว้าง 0.6-2.2 เซนติเมตร แผ่นใบเรียบจนถึงมีขนกระจายทั่วแผ่นใบ มักมีขนเล็ก ๆ คล้ายหนามที่ขอบของแผ่นใบ

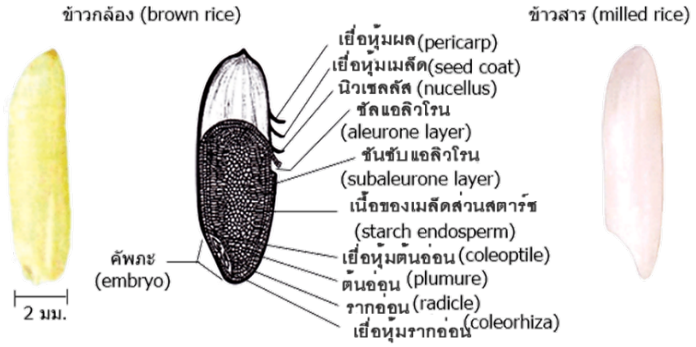


ภาพที่ 2-1 ส่วนประกอบของรวงข้าว (panicle) (http://www.Ricethailand.go.th/Rkb/varieties/Images/content/Image/Ricephysio/Rice-panicle.png)

ช่อดอกเป็นแบบช่อแยกแขนง ยาว 9-40 เซนติเมตร ประกอบด้วย ช่อดอกย่อย 50-500 ช่อ ขึ้นกับพันธุ์ แต่ละช่อดอกย่อยที่อยู่ส่วนปลายสุดของช่อดอก ประกอบด้วย ดอกย่อยเพียง 1 ดอก มีกาบช่อย่อยขนาดเล็ก 2 กาบยาว 6-10 เซนติเมตร ห่อหุ้มทางด้านล่างของช่อดอกย่อย ในแต่ละดอกย่อย ประกอบด้วย กาบล่าง (Lemma) รูปเรือซึ่งอาจมีหาง (Awn) ยาวถึง 15 เซนติเมตร และกาบบน (Palea) ซึ่งมีหางสั้น มีเกสรเพศผู้ 6 อัน มีรังไข่ 1 อัน ส่วนปลายของเกสรเพศเมียแยกออกเป็น 2 แฉก และมีขนเป็นพู่ ดอกบานจากปลายช่อดอกสู่โคนช่อดอกที่นิยมเรียกว่า รวง ในเวลาเช้า เป็นพืชผสมตัวเอง ผลแบบธัญพืช (Caryopsis หรือ Grain) มีขนาด รูปร่าง และสีสันแตกต่างกันตามสายพันธุ์ ผลยาว 5-7.5 มิลลิเมตร กว้าง 2-3.5 มิลลิเมตร รูปร่างส่วนใหญ่มักเป็นรูปทรงคล้ายรูปไข่ รูปรี หรือทรงกระบอก สีของกาบบนและกาบล่าง หรือที่เรียกว่า “แกลบ” ซึ่งห่อหุ้มผลมีตั้งแต่สีเหลืองปนขาวจนถึงน้ำตาลและน้ำตาลดำ (ชาญ มงคล, 2536, หน้า 149-150)



ภาพที่ 2-2 ส่วนประกอบของข้าวเปลือก (whole Grain Rice) (องค์ความรู้เรื่องข้าว, http://www.Ricethailand.go.th/Rkb/varieties/Images/content/Image/Ricephysio/Rice-panicle.png



ภาพที่ 2-3 ส่วนประกอบของข้าวกล้อง (Brown Rice) และข้าวสาร (Milled Rice) (องค์ความรู้เรื่องข้าว, http://www.Ricethailand.go.th/Rkb/varieties/Images/content/Image/Ricephysio/Rice-panicle.png

การจำแนกพันธุ์ข้าวที่ปลูกในประเทศไทย

กฤษฎา แก้วแก่นคูณ (2560) ได้ศึกษาการอนุรักษ์พันธุกรรมข้าวพื้นบ้านโดยชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้ศึกษาข้อมูลจากกรมการข้าวได้รวบรวมพันธุ์ข้าวพื้นเมืองตั้งแต่ปี 2538-2545 พบว่า ประเทศมีข้าวพื้นเมือง 5,928 สายพันธุ์ (ฉวีวรรณ, 2543 อ้างถึงใน กฤษฎา แก้วแก่นคูณ, 2560, หน้า 1529) เฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือเคยมี 1,564 สายพันธุ์ (สุรพล และไพฑูรย์, 2531 อ้างถึงใน กฤษฎา แก้วแก่นคูณ, 2560, หน้า 1529) แต่ปัจจุบันเหลือเพียงไม่กี่สายพันธุ์ ซึ่งสาเหตุหลักมาจากความก้าวหน้าในการพัฒนาสายพันธุ์ข้าว และการเติบโตของการค้า และการส่งออกข้าวเพียงไม่กี่สายพันธุ์

พันธุ์ข้าวในประเทศไทย สามารถแบ่งแยกชนิดได้หลายอย่าง เช่น แบ่งตามนิเวศการปลูก แบ่งตามการตอบสนองต่อช่วงแสง ธัญพืชเมืองหนาว หรือข้าวเฉพาะถิ่น ซึ่งแบ่งออกได้ ดังนี้ (ศิวะพงศ์ นฤบาล, 2552 อ้างถึงใน Moolsri et al., 2011 p. 381)

1. จำแนกตามชนิดของแป้งหรือคุณสมบัติทางเคมีภายในเมล็ด แบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ ข้าวเจ้า (Non-glutinous Rice) และข้าวเหนียว (Glutinous Rice)

2. จำแนกตามลักษณะการเจริญเติบโตที่เกี่ยวกับพื้นที่ปลูก แบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ

2.1 ข้าวไร่ (Upland Rice) หมายถึง ข้าวที่ปลูกในที่ดอนไม่มีน้ำขัง และไม่มีคันนา ปลูกโดยอาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียว การปลูกเหมือนพืชไร่ทั่วไปและมีปลูกมากทางภาคเหนือ (ตามดอย) และภาคใต้ (ปลูกแซมสวนยางอายุ 1-3 ปี) มีพันธุ์ดีที่ทางราชการแนะนำปลูก เช่น ชิวแม่จัน (ภาคเหนือ) กู้เมืองหลวง และดอกพยอม (ภาคใต้)

2.2 ข้าวนาสวน (Lowland Rice) เป็นข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มมีระดับน้ำลึกไม่เกิน 80 ซม. เป็นข้าวที่ปลูกกันส่วนใหญ่ของประเทศและมีพื้นที่ปลูกมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง ส่วนมากจะให้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่าข้าวไร่ และข้าวขึ้นน้ำ (อยู่ในระหว่าง 30-50 ถังต่อไร่)

2.3 ข้าวขึ้นน้ำ หรือข้าวนาเมือง หรือข้างฟางลอย (Floating Rice) เป็นข้าวที่ปลูกในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมลึกในฤดูน้ำหลาก โดยมีน้ำท่วมลึกเกินกว่า 80 ซม. บางที่น้ำอาจจะลึก 3-4 เมตร พันธุ์ข้าวชนิดนี้สามารถปรับตัวได้ตามระดับน้ำที่สูงขึ้น จึงเรียกว่า ข้าวขึ้นน้ำ พบมากในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง ส่วนในภาคใต้พบบ้างเป็นบางแห่ง การปลูกมักจะใช้หว่านข้าวแห้งตอนต้นฤดูฝน พันธุ์ที่ทางราชการแนะนำได้แก่ เล็บมือนาง 111 ปิ่นแก้ว 56 ตะเภาแก้ว 161 นางฉลอง กข.17 กข.19 เป็นต้น ผลผลิตโดยเฉลี่ยประมาณ 200-300 กิโลกรัมต่อไร่ เมล็ดข้าวเมื่อนำไปสีมักจะแตกหัก เนื่องจาก ข้าวสารมีท้องไข่หรือท้องปลาซิวมาก นิยมนำไปทำข้าวนึ่งเพราะเมื่อนำไปสีแล้วได้ข้าวสารที่มีคุณภาพดี

3. จำแนกตามอายุเก็บเกี่ยว แบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ ข้าวเบา (Early Variety) ข้าวกลาง (Medium Variety) และข้าวหนัก (Late Variety)

4. จำแนกจำแนกตามฤดูกาลหรือการตอบสนองต่อช่วงแสง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

4.1 ข้าวพันธุ์ไวต่อช่วงแสง (Photoperiod Sensitive Varieties) เป็นพันธุ์ข้าวที่จะออกดอกได้ในช่วงวันสั้น (น้อยกว่า 12 ชั่วโมง) ในประเทศไทยจะอยู่ในช่วงเดือนกันยายน-ธันวาคม (ดังยกตัวอย่างมาแล้ว) ข้าวพันธุ์ไวต่อช่วงแสงนี้จะปลูกได้เฉพาะ นาปี ถ้าปลูกในนาปรังจะไม่ออกดอก พันธุ์ไวต่อช่วงแสงนี้ ได้แก่ พันธุ์พื้นเมืองทั่วไป และพันธุ์ กข. ที่ไวต่อช่วงแสงได้ กข.5 กข.6 กข.8 กข. 13 กข.15 กข.19 และ กข.17

4.2 ข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสง (Photoperiod Insensitive Varieties) พันธุ์ข้าวจำพวกนี้จะออกดอกได้โดยไม่ขึ้นกับความยาวของช่วงวันจะขึ้นอยู่กับอายุเก็บเกี่ยวที่ค่อนข้างแน่นอน และใช้เป็นพันธุ์ข้าวที่ปลูกในนาปรัง ซึ่งต้องอาศัยน้ำชลประทาน พันธุ์ต่าง ๆ ได้แก่ กข.1 กข.2 กข.3 กข.4 กข.7 กข.9 กข.10 กข.11 กข.17 กข.21 กข.23 และ กข.25 ส่วนพันธุ์พื้นเมืองมีอยู่พันธุ์เดียว คือ พันธุ์เหลืองทอง

5. จำแนกตามรูปร่างของเมล็ดข้าวสาร แบ่งออกได้ 4 ชนิด คือ ข้าวเมล็ดสั้น (Short Grain) ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง (Medium-Long Grain) ข้าวเมล็ดยาว (Long Grain) และข้าวเมล็ดยาวมาก (Extra-Long Grain)

6. จำแนกตามฤดูการปลูก แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

6.1 ข้าวนาปี คือ ข้าวที่ปลูกในฤดูการทำนาปกติตามฤดูฝน ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละภาคและท้องที่ ส่วนมากจะใช้พันธุ์ข้าวที่ไม่ไวแสง พันธุ์ข้าวนาปียังแบ่งออกเป็นพันธุ์ข้าวหนัก ข้าวกลาง และข้าวเบา ตามอายุการเก็บเกี่ยว

6.2 ข้าวนาปรัง (นากรัง) คือ ข้าวที่ปลูกนอกฤดูทำนาปกติได้รับน้ำจากการชลประทาน ส่วนมากจะใช้พันธุ์ข้าวที่ไม่ไวแสง สามารถจะกำหนดอายุเก็บเกี่ยวได้ของแต่ละพันธุ์ค่อนข้างแน่นอน

7. จำแนกตามคุณสมบัติของเมล็ดข้าว ประกอบด้วย แป้ง 2 ชนิด คือ

7.1 อะมัยโลเพคติน (Amylopectin) ทำให้เมล็ดข้าวมีสีขาวขุ่น ต้มสุกจะเหนียว คือ ข้าวเหนียว (glutinous Rice) จะมีแป้งอะมัยโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่ คือ ประมาณ 95% และมีแป้งอะมัยโลสน้อยมากหรือไม่มี ได้แก่ เหนียวสันป่าตอง กข.2 กข.4 กข.6 กข.8 และ กข.10

7.2 อะมัยโลส (Amylose) ที่ทำให้ข้าวมีสีขาวใส ต้มสุกจะมีสีขาวขุ่นและร่วน คือ ข้าวเจ้า (Non-Glutinous Rice) มีปริมาณอะมัยโลสสูง 10-30% อะมัยโลเพคติน 70-90% เช่น ข้าวเจ้า ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ105 ขาวตาแห้ง17 เหลืองปะทิว123 กำผาย41 กข.1 กข.5 และ กข.7 เป็นต้น

8. จำแนกตามการปรับปรุงพันธุ์พืช แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

8.1 พันธุ์พื้นบ้านหรือพันธุ์พื้นเมือง (Land Race Varieties) เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรใช้ปลูกมาแต่ดั้งเดิม ส่วนมากมักเป็นพันธุ์ที่มีการปรับตัวดีในสภาพแวดล้อมของท้องถิ่น มักมีต้นสูงใบลู่ (แข่งกับวัชพืช) ปรับตัวในสภาพดินไม่อุดมสมบูรณ์ได้ดี (มีการวิวัฒนาการที่ต่อเนื่อง) ตอบสนองต่อปุ๋ยต่ำ พันธุ์พื้นเมืองจะให้ผลผลิตต่ำถึงปานกลางในสภาพการปลูกของเกษตรกร (ใช้ปัจจัยการผลิตต่ำ) พันธุ์พื้นเมืองมีอยู่มาก และมักเรียกชื่อไปตามท้องถิ่น ส่วนมากจะมีคำว่า ขาว เหลือง ชื่อดอกไม้ ชื่อผู้หญิง เช่น ขาวนวล เจ้าขาว หอมเหลือง เหลืองน้อย แก่นจันทร์ ยาไทร นางมล ศรีนวล ฯลฯ

8.2 ข้าวพันธุ์ดีทางราชการ คือ พันธุ์ข้าวที่ทางราชการได้ขยายพันธุ์และเผยแพร่ออกสู่เกษตรกร เป็นพันธุ์ข้าวที่คณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ข้าวได้ตรวจสอบแล้ว และประกาศเป็นทางการ ลักษณะโดยทั่วไปจะเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง ตอบสนองต่อปุ๋ยสูง ต้านทานโรคและแมลง มีเมล็ดได้มาตรฐาน คุณภาพการหุงต้มดี ลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้ จะมีอยู่ในแต่ละพันธุ์แตกต่างกันไป การได้มาของพันธุ์ดีทางราชการนั้นได้มาจาก การคัดเลือกจากพันธุ์พื้นเมือง และการสร้างพันธุ์ขึ้นใหม่ โดยวิธีการผสมพันธุ์ หรือชักนำให้กลายพันธุ์โดยการใช้รังสี ซึ่งจัดเป็นประเภท กข. ตัวอย่างพันธุ์ดีที่ได้รับการคัดเลือกจากพันธุ์พื้นเมือง เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เหนียวสันป่าตอง ขาวตาแห้ง 17 เหลืองปะทิว 123 ขาวพวง 32 ปิ่นแก้ว 56 ทางภาคใต้มี นางพญา 132 แก่นจันทร์ เผือกน้ำ 43 พวงไร่ 2 เป็นต้น (เลขคู่เป็นข้าวเหนียวและเลขคี่เป็นข้าวเจ้า) ข้าวพันธุ์ กข. ที่เกิดจากการชักนำให้กลายพันธุ์ด้วยรังสี เช่น กข.6 กข.10 และ กข.15 เป็นต้น ทางราชการจะมีรายชื่อพันธุ์ข้าวที่ส่งเสริมในทุกภาคของประเทศไทย ซึ่งพันธุ์เหล่านั้นได้ผ่านการทดสอบในระดับท้องถิ่นมาแล้วว่าได้รับผลดี ดังนั้น ในแต่ละพื้นที่จึงอาจจะมีพันธุ์เฉพาะแห่งไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฐานความรู้ข้าวไทย

ขนิษฐา กุลนาวิน, ธนิตา วงศ์กาฬสินธุ์ และ นพรัตน์ ยติกร (2557, หน้า 76-84) ได้ศึกษาการออกแบบออนโทโลยีข้าวไทย (Ontology Design of Thai Rice) มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นฐานองค์ความรู้ช่วยค้นคำจากคำสำคัญที่เกี่ยวกับข้าวไทย โดยมีกระบวนการออกแบบ 2 ส่วน คือ กระบวนออกแบบออนโทโลยี และการประเมินการวัดประสิทธิภาพการค้นคืน ขั้นตอนของกระบวนการพัฒนาออนโทโลยี แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การนิยามขอบเขต 2) การออกแบบคลาสและคุณสมบัติ 3) ข้อบังคับในการกำหนดข้อจำกัด 4) การสร้างสมาชิกของคลาสจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสืบค้นองค์ความรู้เกี่ยวกับข้าวไทยจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่และสามารถตอบสนองความต้องการข้อมูลของผู้ใช้ได้ดียิ่งขึ้น โดยมีการเชื่อมโยงความสัมพันธ์กับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกันไว้ในกลุ่มเดียวกัน โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการสืบค้นข้อมูล การประเมิน การวัดประสิทธิภาพการค้นคืน ซึ่งสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของความแม่นยำได้ 76.29%

Sriharee, G (2015, pp. 85-94) ได้ใช้ฐานของออนโทโลยีเป็นวิธีการติดแท็กอัตโนมัติในบทความ ประกอบด้วย กระบวนการหลัก 2 กระบวนการ คือ กระบวนการจัดหมวดหมู่และกระบวนการเลือกแท็ก โดยใช้ตัวอย่าง คือ “ข้าวหอมมะลิ” Kao Horm Mali ข้าวหอมมะลิไทยเป็นภาษาไทย ผู้ใช้ต้องอาศัยสัญชาตญาณ (ความรู้ดั้งเดิม) เพื่อเลือกแท็กที่เหมาะสมเมื่อแท็กหลายรายการแสดงถึงความหมายเดียวกัน กระบวนการจัดหมวดหมู่โดยใช้ Ontology สามารถนำมาใช้กับการคำนวณได้อย่างง่ายดาย แต่ให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ

สรุปได้ว่า ออนโทโลยี (Ontology) เป็นการช่วยจัดเก็บองค์ความรู้ในรูปแบบของฐานความรู้สำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยน แบ่งปันความรู้ในรูปแบบที่สามารถประมวลผลได้อย่างอัตโนมัติผ่านเว็บ นำไปสู่การประยุกต์ใช้ประโยชน์ที่สะดวกรวดเร็วในการสืบค้นข้อมูลในอนาคต โดยการใช้กระบวนการทางวิศวกรรมความรู้ (Knowledge Engineering) อันจะมีส่วนช่วยในการเก็บข้อมูลความรู้ข้าวไทยในคุณลักษณะต่าง ๆ ทั้งทางด้านประวัติศาสตร์ สรีระวิทยา การอารักขาพืช การปรับปรุงพันธุ์ และเทคโนโลยีสมัยใหม่ต่างๆ เป็นต้น ทำให้ข้าวที่เป็นพืชหลักที่คนไทยบริโภคมีการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบ ส่งผลต่อการพัฒนาข้าวที่ยั่งยืนตลอดไป

ตอนที่ 2 แนวคิดการออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว

ความหมายของการตรวจสอบคุณภาพ

คุณภาพ (อ่านว่า คุน-นะ-พาบ) หมายถึง ลักษณะที่ดีเด่นของสิ่งใด ๆ คุณภาพของสิ่งของอาจจะมองที่ลักษณะ ประโยชน์ใช้สอย ความทนทาน ความสวยงาม หรือประสิทธิภาพในการใช้งาน เช่น เราต้องพัฒนาสินค้าของเราให้มีคุณภาพ เพื่อแข่งขันกับสินค้าของผู้อื่นในตลาดโลก สินค้าหัตถกรรมของเรามีคุณภาพ จึงเป็นที่ต้องการ (สำนักงานราชบัณฑิตยสภา, 2561)

คุณภาพ หมายถึง ระดับที่กำหนดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ รูปร่างลักษณะ และความเหมาะสมในการใช้งาน ตลอดจนถึงจุดดีของผลิตภัณฑ์

คุณภาพอาหาร หมายถึง ลักษณะในด้านต่าง ๆ ของอาหารที่มีผลต่อความต้องการของผู้ผลิตหรือผู้บริโภค และสอดคล้องกับมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2561)

การควบคุมคุณภาพ มาจากคำว่า การควบคุม หมายถึง “Control” และ คำว่า คุณภาพ หมายถึง “Quality” รวมกันได้เป็น Quality Control หรือ Q.C.

การควบคุม (Control) หมายถึง การบังคับให้กิจกรรมต่าง ๆ สามารถดำเนินการได้ตามกระบวนการที่วางไว้ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายการผลิตที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพสูงสุดและคุณภาพ

(Quality) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ถูกผลิตให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน (Fineness for Use) มีการออกแบบที่ดี (Quality of Design) และมีการผลิตที่ได้มาตรฐาน โดยลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องมีความมั่นคงคงทน มีรูปร่างสวยงาม สามารถใช้ได้ดี และไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน

การควบคุมคุณภาพอาหาร แบ่งออกเป็น

1. คุณภาพทางกายภาพ (Physical Quality) ขนาด รูปร่าง ตำหนิ ปริมาตร น้ำหนักสุทธิ น้ำหนักเนื้อ

2. คุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory Quality) เป็นคุณภาพสามารถรับรู้ได้ด้วยมนุษย์โดยใช้การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค เช่น ลักษณะปรากฏที่ประเมินด้วยสายตา (Appearance) เช่น สี ความสม่ำเสมอของสี และความผิดปกติของสี กลิ่นรส ได้แก่ รสหวาน รสเปรี้ยว รสขม กลิ่นหอม กลิ่นหอม กลิ่นรสที่ผิดปกติ (Off-Flavor) เช่น กลิ่นไหม้ กลิ่นหมัก กลิ่นหืน เนื้อสัมผัส เช่น ความแข็ง ความเหนียว ความกรอบ

3. คุณค่าทางโภชนาการ (Nutrition Value) หมายถึง ชนิดและปริมาณของส่วนประกอบทางเคมีซึ่งมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ และการเก็บรักษา ปริมาณน้ำ (Moisture Content) สารอาหารหลักที่ให้พลังงาน ได้แก่ น้ำ คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร ไขมัน และโปรตีน กรดแอมิโนที่จำเป็น และกรดไขมันที่จำเป็น สารอาหารที่ไม่ให้พลังงาน ได้แก่ เกลือแร่ วิตามิน รงควัตถุ และสารให้กลิ่นรส

4. คุณภาพทางจุลินทรีย์ หมายถึง ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ รา โคลิฟอร์ม (Coliform) จุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogen) ที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งมีผลต่อการเสื่อมเสีย (Microbial Spoilage) บ่งชี้ถึงสุขลักษณะของการผลิตอาหาร และอาจนำสู่เป็นอันตรายในอาหาร (Biological Hazard)

5. ความปลอดภัยต่อการบริโภค (Safety) หมายถึง อันตรายทางเคมี (Chemical Hazard) ได้แก่ สารพิษตามธรรมชาติ โลหะหนักวัตถุอันตรายทางการเกษตร สารพิษจากเชื้อรา (Mycotoxin) อันตรายทางชีวภาพ (Biological Hazard) การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogen) อันตรายทางกายภาพ

“การควบคุม” และ “คุณภาพ” เมื่อรวมกันเป็นคำว่า การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) เป็นการจัดกิจกรรมต่าง ๆ ได้แก่ การคัดเลือกวัตถุดิบ กระบวนการออกแบบ กระบวนการผลิตหรือการตรวจสอบและทดสอบผลผลิต เพื่อสร้างคุณภาพและป้องกันการเกิดตำหนิแก่ผลิตภัณฑ์ (ไชยเจริญเทค จำกัด, 2561)

ดังนั้น สรุปคำว่า คุณภาพ จึงหมายถึง ลักษณะหรือระดับที่ดี โดยจะดีได้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาอยู่เสมอ และต้องคงระดับดี ไว้จึงเรียกว่า “คุณภาพ” ซึ่งต้องมีการควบคุม คือ บังคับให้เป็นไปตามมาตรฐานหรือข้อกำหนด เพื่อสร้างความพอใจให้ลูกค้า และกำหนดต้นทุน การดำเนินงานที่เหมาะสมต่อไป

การตรวจสอบ (Inspection) คือ การให้บริการที่ต้องมีผลสรุปถึงสภาพการใช้งานของชิ้นงานอย่างชัดเจน ตามจุดประสงค์ของการตรวจสอบ เช่น การตรวจสอบถังบรรจุก๊าซว่ามีความปลอดภัยต่อการใช้งานหรือไม่ เป็นต้น (กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, 2558)

การตรวจสอบ คือ การดำเนินการอย่างเป็นระบบหรือการประเมินผลอย่างเป็นทางการในการตรวจสอบกิจกรรมทางวิศวกรรมเกี่ยวข้องกับการวัด การทดสอบ และเครื่องวัดที่ใช้กับลักษณะบางอย่างในวัตถุหรือกิจกรรม ผลมักจะถูกเปรียบเทียบกับข้อกำหนด และมาตรฐานที่กำหนดเพื่อพิจารณาว่ารายการหรือกิจกรรมนี้สอดคล้องกับเป้าหมายเหล่านี้หรือไม่โดยมักมี ขั้นตอนการตรวจสอบมาตรฐานเพื่อให้มั่นใจว่าได้ตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ การตรวจสอบมักไม่เป็นอันตราย (Wikipedia, 2018)

สรุปได้ว่า การตรวจสอบ (Inspection) คือ การดำเนินการตามระบบอย่างมีจุดประสงค์ มีการทดสอบ วัด ลักษณะของวัตถุ มีการเปรียบเทียบกับข้อกำหนด มาตรฐานอย่างสม่ำเสมอ

เมื่อนำคำว่า “คุณภาพ” กับ “การตรวจสอบ” มารวมกันเป็น “การตรวจสอบคุณภาพ” จึงหมายถึง ลักษณะหรือระดับที่ดี โดยจะดีได้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาอยู่เสมอ อย่างเป็นระบบ มีข้อกำหนด มาตรฐาน ควบคุมไว้ และสามารถทดสอบได้ตามข้อกำหนด มาตรฐานที่มีอยู่ได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเน้นการตรวจสอบผลิตภัณฑ์อาหาร นั่นคือ “เมล็ดข้าว”

สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. การตรวจสอบด้วยประสาทสัมผัส (Organoleptic or Sensory Test) เป็นการตรวจสอบคุณภาพภายนอก โดยอาศัยประสาทสัมผัสทั้ง 5 ของมนุษย์ เพื่อตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพของอาหาร ประกอบด้วย สี (Colors) เนื้อสัมผัส (Texture) สัมผัสด้วยมือ กลิ่น (Odor) โดยการดมและรสชาติ (Taste) โดยการชิม ถ้าเป็นเครื่องดื่มอาจดูการตกตะกอน หรือการเกิดคราบด้านบนขวด รวมถึงความเรียบร้อยของบรรจุภัณฑ์ ซึ่งการตรวจสอบนี้จำเป็นต้องอาศัยการฝึกฝนของผู้ทดสอบในสร้างความชำนาญ และมีความแม่นยำในระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการตรวจสอบประเภทนี้เหมาะอย่างยิ่งสำหรับกิจการขนาดเล็กหรือกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ที่ยังไม่มีเครื่องมือและห้อง ปฏิบัติการแต่จะต้องฝึกฝนตัวผู้ทำการทดสอบให้มีประสบการณ์และความชำนาญในการทดสอบได้อย่างแม่นยำ และจะต้องหมั่นพัฒนาตนเองให้มีความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างแม้ระดับเล็กน้อยที่คนทั่วไปไม่สามารถแยกออกได้

2. การตรวจสอบด้วยเครื่องมือ และวิธีการทางห้องปฏิบัติการ (Instrumental and Laboratory Testing) แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

2.1 การตรวจสอบทางกายภาพ เป็นการตรวจสอบคุณภาพทางด้านสี เช่น การวัดสี การวัดค่าการดูดกลืนแสง รวมไปถึงการตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยอุปกรณ์เครื่องมือที่เลียนแบบกลไกการบดเคี้ยวของมนุษย์

2.2 การตรวจสอบทางเคมี เป็นการตรวจสอบทางเคมีถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ของอาหาร ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ และน้ำ รวมไปถึงการหาสมบัติทางเคมีบางอย่าง เช่น ความเป็นกรด-ด่าง ค่าความหวาน หรือ เปอร์เซ็นเกลือ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังสามารถหาสารบางชนิดที่ต้องการ เช่น ปริมาณอะฟลาทอกซินในถั่ว กระเทียม หรือพริกป่น ปริมาณฮีสตามีนในปลาทะเล ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในพืชผลทางการเกษตร และสารประกอบไซยาไนด์ในมันสำปะหลัง เป็นต้น

2.3 การตรวจสอบทางจุลชีววิทยา การตรวจสอบคุณภาพในด้านนี้จะสะท้อนถึงความสะอาด และปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ จากจุลินทรีย์กลุ่มที่เป็นอันตราย ตามมาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนด

การควบคุมคุณภาพหรือการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ มีวิธีการ ดังนี้

1. วิธีตรวจสอบทุกชิ้น (Screening Inspection) การตรวจสอบทุกชิ้นเป็นการตรวจสอบสินค้าแบบ 100% (100% Inspection) วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและใช้กันทั่วไปสำหรับการตรวจสอบที่ไม่ทำให้สินค้าเสียหาย เพื่อเป็นการหาของเสีย (Defective) จากกระบวนการผลิต แต่วิธีการนี้ทำให้เกิดความเบื่อหน่าย เมื่อยล้าและความตั้งใจของพนักงานลดลงเรื่อย ๆ ตามลำดับ ในทางปฏิบัติไม่มีการตรวจสอบทุกชิ้นเพราะจะเปลืองเงินและใช้เวลามากงาน และสินค้าบางอย่างก็ไม่สามารถจะกระทำได้ แต่วิธีการในการตรวจสอบโดยการสุ่มตัวอย่างทดลอง (Sampling) วิธีนี้มักนิยมทดสอบในกรณีที่ประกอบ เป็นชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว และจะเป็นหน้าที่ของอีกหน่วยงานหนึ่งแยกจากฝ่ายผลิต คือ แผนกควบคุมคุณภาพ (Quality Control Department (QC))

2. วิธีการสุ่มตัวอย่างจากแต่ละรุ่น (Sampling) การสุ่มตัวอย่างจากสินค้าในแต่ละรุ่นเป็นการหลีกเลี่ยงวิธีตรวจสอบแบบ 100% ในการผลิตสินค้าครั้งละจำนวนมาก ๆ รวมกันเป็นกลุ่มก้อนจะเรียกว่า รุ่น (Lot) เช่น วัตถุดิบที่ส่งเข้ามาในโรงงานในแต่ละครั้ง หรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ผลิตเสร็จในแต่ละช่วงเวลา หรือในแต่ละวัน ถือเป็น 1 รุ่น การสุ่มเลือกบางชิ้นในแต่ละรุ่นมาทำการตรวจสอบและมีเกณฑ์ที่กำหนดในการตัดสินใจว่าจะยอมรับ (Accept) หรือจะปฏิเสธ (Reject) วัตถุดิบหรือสินค้าสำเร็จรูปทั้งรุ่น (Lot) ที่สุ่มมาทำการตรวจสอบ

3. วิธีตรวจสอบตามขบวนการผลิต (Process Inspection) ตรวจสอบในระหว่างขบวนการผลิต ซึ่งผู้ตรวจสอบทำการตรวจสอบในขอบเขตบริเวณที่หนึ่ง ๆ เพื่อตรวจสอบวิธีการและเงื่อนไขในการผลิต รวมถึงสุ่มชิ้นงานระหว่างการผลิต (Work in Process) มาทำการตรวจสอบ การตรวจสอบวิธีนี้ทำให้สามารถแก้ข้อผิดพลาดทันทีที่พบเห็น เช่น การตรวจสอบในสายการผลิต โดยพนักงานทุกคนที่ทำงานในสายการผลิตทุกจุดเป็นผู้ตรวจสอบไปในตัวด้วย หรืออาจมีพนักงาน QC มาเป็นผู้สุ่มตัวอย่างจากแต่ละตำแหน่งในสายการผลิตไปตรวจสอบ ข้อจำกัดของการตรวจสอบวิธีนี้ ก็คือ ผู้ตรวจไม่สามารถจะตรวจชิ้นงานได้ทุกชิ้น ชิ้นงานบางชิ้นงานจะพลาดการตรวจ และอาจจะเป็นชิ้นที่มีปัญหาคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2560) แนวทางการตรวจสอบคุณภาพ อย่างง่าย

สรุปได้ว่า การควบคุมคุณภาพหรือการตรวจสอบคุณภาพสิ่งต่าง ๆ จะมีวิธีการตรวจสอบทั้งแบบละเอียดทุกชิ้น หรือสุ่มตรวจขึ้นอยู่กับลักษณะ และมูลค่าของผลิตภัณฑ์ กระบวนการตรวจสอบมีทั้งมนุษย์ และเครื่องมือ แต่ท้ายที่สุดก็เพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ให้ได้มาตรฐานตามข้อกำหนดเฉพาะชนิดนั้น ๆ โดยเฉพาะประเภทอาหารที่ส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์จึงต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านมาตรวจสอบหรือเครื่องมือพิเศษ จึงมีหน่วยงานที่ทำหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพเฉพาะด้านหลากหลายรวมกัน อาทิเช่น การตรวจสอบเมล็ดข้าวในประเทศไทย ซึ่งจะกล่าวต่อไป

การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวในประเทศไทย

"ข้าว" เป็นสินค้าที่มีการกำหนดมาตรฐานให้มีคุณภาพถูกต้องตามที่กฎหมายกำหนด หรือตามที่ตกลงซื้อขาย เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือและภาพลักษณ์ที่ดีของสินค้าไทยให้แก่ลูกค้าต่างประเทศ อีกทั้งสร้างศักยภาพในการแข่งขันให้กับสินค้าออกของไทยในตลาดโลกด้วย ทั้งนี้ สินค้ามาตรฐาน มี 11 ชนิด ได้แก่ ข้าวหอมมะลิไทย ข้าวขาว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ปุยนุ่น ไม้สักแปรรูป ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง แป้งมันสำปะหลัง ถั่วเขียว ถั่วเขียวผิวดำ ปลาป่น ผู้ที่จะส่งออกสินค้ามาตรฐานนี้ต้องจดทะเบียนเป็นผู้ส่งออกสินค้ามาตรฐาน และต้องได้รับใบรับรองมาตรฐานสินค้าจากสำนักงานมาตรฐานสินค้าและสภาหอการค้าแห่งประเทศไทย เพื่อนำไปแสดงต่อกรมศุลกากร จึงจะได้รับการตรวจปล่อยสินค้าออกไป โดยในปี พ.ศ. 2559 กระทรวงพาณิชย์ได้แต่งตั้งคณะทำงานขึ้นคณะหนึ่ง เพื่อพิจาณาปรับปรุงแก้ไขมาตรฐานข้าว ทั้งข้าวขาว ข้าวหอม และ ข้าวหอมมะลิให้เหมาะสมแก่การส่งออกตามภาวะการค้าข้าวในปัจจุบัน

ทั้งนี้ มาตรฐานสินค้าเกษตร (Thai Agricultural Standard) ที่ผู้วิจัยสนใจศึกษา คือ "ข้าวหอมมะลิไทย" (มกษ. 4000-2560) ได้มีการปรับปรุงแก้ไขมาตรฐานฉบับเดิม โดยคณะกรรมการวิชาการพิจารณามาตรฐานสินค้าเกษตรที่เกี่ยวข้องกับสินค้าข้าวผู้ทรงคุณวุฒิด้านการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพข้าว คือ "นางสาวกัญญา เชื้อพันธุ์" เป็นนักวิชาการการเกษตรชำนาญการพิเศษ ณ ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี การดำเนินงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ข้าวหอมมะลิ ที่ผลิตในประเทศไทยเป็นที่ยอมรับมากขึ้น ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศในด้านคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กำหนดขึ้นโดยใช้เอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

- กระทรวงพาณิชย์. 2559. ประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559
- กระทรวงพาณิชย์. 2559. ประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง มาตรฐานสินค้าข้าว พ.ศ. 2559
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2546. ข้าวหอมมะลิไทย. มกษ. 4000-2546
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2551. ข้าวหอมไทย. มกษ. 4001-2551
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2555. ข้าว. มกษ. 4004-2555
- International Organization for Standardization. 2009. Cereals and Cereal product-Sampling, Section 5.2 Sampling of bulk products and Section 5.3 Sampling of Milled and other products in packed units. ISO 24333:2009
- Joint FAO/WHO Food Standards Programme. 1995. Rice. CODEX STAN 198-1995

ขอบเขตของมาตรฐานสินค้าเกษตรนี้ใช้กับข้าวหอมมะลิไทย (Thai Hom Mali Rice) ซึ่งได้มาจากพืช ที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Oryza Sativa L. วงศ์ Gramineae หรือ Poaceae พันธุ์ที่ผลิตเป็นการค้ากระทรวงเกษตรและสหกรณ์ประกาศรับรองว่าเป็นพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข15 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวหอมที่ไวต่อช่วงแสง มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติของข้าวใหม่หรือข้าวเก่า ข้าวหุงสุกมีความอ่อนนุ่ม และเป็นข้าวที่ผลิตในประเทศไทยในฤดูนาปีสำหรับการบริโภค มาตรฐานนี้รวมข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวขาวที่บรรจุหีบห่อ ยกเว้นข้าวเปลือกอาจไม่บรรจุหีบห่อก็ได้

ข้อ 1 คำนิยาม

1.1 “ข้าวหอมมะลิไทย” (THAI HOM MALI RICE) หมายความว่า ข้าวกล้อง และข้าวขาวที่แปรรูป มาจากข้าวเปลือกเจ้าพันธุ์ข้าวหอมที่ไวต่อช่วงแสง ซึ่งผลิตในประเทศไทยในฤดูนาปี และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ประกาศรับรองว่าเป็นพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข15 ซึ่งมีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ ขึ้นอยู่กับว่า เป็นข้าวใหม่หรือข้าวเก่า เมื่อหุงเป็นข้าวสวยแล้ว เมล็ดข้าวสวยจะอ่อนนุ่ม

1.2 “อมิโลส” (Amylose) หมายความว่า แป้งชนิดหนึ่งที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว เมื่อหุงแล้วทำให้ข้าวสวย มีความอ่อนนุ่มหรือกระด้าง แตกต่างกันไปตามปริมาณอมิโลส

1.3 “ข้าว” (Rice) หมายความว่า ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว (Oryza Sativa L.) ไม่ว่าจะอยู่ในรูปใด

1.4 “ข้าวเปลือก” (Paddy) หมายความว่า ข้าวที่ยังไม่ผ่านการกะเทาะเอาเปลือกออก

1.5 “ข้าวกล้อง” (Cargo Rice, Loonzain Rice, Brown Rice, Husked Rice) หมายความว่า ข้าวที่ผ่านการกะเทาะเอาเปลือกออกเท่านั้น

1.6 “ข้าวขาว” (White Rice) หมายความว่า ข้าวที่ได้จากการนำข้าวกล้องเจ้าไปขัดเอารำออกแล้ว

1.7 “ส่วนของเมล็ดข้าว” (Parts of Rice Kernels) หมายความว่า ส่วนของข้าวเต็มเมล็ดแต่ละส่วนที่ แบ่งตามความยาวของเมล็ดออกเป็น 10 ส่วนเท่า ๆ กัน

1.8 “ข้าวเต็มเมล็ด” (Whole Kernels) หมายความว่า เมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาพเต็มเมล็ด ไม่มีส่วนใด หักและให้รวมถึงเมล็ดข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 9 ส่วนขึ้นไป

1.9 “ต้นข้าว” (Head Rice) หมายความว่า เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวมากกว่าข้าวหัก แต่ไม่ถึงความยาวของข้าวเต็มเมล็ด และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ตั้งแต่ร้อยละ 80 ของเมล็ด

1.10 “ข้าวหัก” (Brokens) หมายความว่า เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ไม่ถึงร้อยละ 80 ของเมล็ด

1.11 “ปลายข้าวซีวัน” (Small Brokens C1) หมายความว่า เมล็ดข้าวหักขนาดเล็กที่ร่อนผ่าน ตะแกรงเบอร์ 7

1.12 “ข้าวเมล็ดขัดสีต่ำกว่ามาตรฐาน” (UnderMilled Kernels) หมายความว่า เมล็ดข้าวที่ผ่านการขัดสีต่ำกว่าระดับการขัดสีที่กำหนดไว้สำหรับข้าวแต่ละชนิด

1.13 “ข้าวเมล็ดแดง” (Red Kernels) หมายความว่า เมล็ดข้าวที่มีรำสีแดงหุ้มอยู่ทั้งเมล็ดหรือติดอยู่เป็นบางส่วนของเมล็ด

1.14 “ข้าวเมล็ดเหลือง” (YelLow Kernels) หมายความว่า เมล็ดข้าวที่มีบางส่วนหรือทั้งเมล็ดกลายเป็นสีเหลืองอย่างชัดแจ้ง

1.15 “ข้าวเมล็ดท้องไข่” (Chalky Kernels) หมายความว่า เมล็ดข้าวเจ้าที่เป็นสีขาวขุ่นเหมือนชอล์กมีเนื้อที่ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปของเนื้อที่เมล็ดข้าว

1.16 “ข้าวเมล็ดเสีย” (Damaged Kernels) หมายความว่า เมล็ดข้าวที่เสียอย่างเห็นได้ชัดแจ้งด้วยตาเปล่าซึ่งเกิดจากความชื้น ความร้อน เชื้อรา แมลง หรืออื่น ๆ

1.17 “ข้าวเมล็ดลีบ” (Undeveloped Kernels) หมายความว่า เมล็ดข้าวที่ไม่เจริญเติบโตตามธรรมดาที่ควรจะเป็น มีลักษณะแฟบ แบน

1.18 “ข้าวเมล็ดอ่อน” (Immature Kernels) หมายความว่า เมล็ดข้าวที่มีสีเขียวอ่อนได้จากข้าวเปลือกที่ยังไม่แก่

1.19 “เมล็ดพืชอื่น” (Other Seeds) หมายความว่า เมล็ดพืชอื่น ๆ ที่มิใช่เมล็ดข้าว

1.20 “วัตถุอื่น” (Foreign Matter) หมายความว่า สิ่งอื่น ๆ ที่มิใช่ข้าวรวมทั้งแกลบและรำที่หลุด จากเมล็ดข้าว

1.21 “ระดับการขัดสี” (Milling Degree) หมายความว่า ระดับของการขัดสีข้าว แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1.21.1 “สีดีพิเศษ” (Extra Well Milled) หมายความว่า การขัดสีเอารำออกเกือบทั้งหมดจนเมล็ดข้าวมีลักษณะสวยงามเป็นพิเศษ

1.21.2 “สีดี” (Well Milled) หมายความว่า การขัดสีเอารำออกเกือบทั้งหมดจนเมล็ด ข้าวมีลักษณะสวยงามดี

1.21.3 “สีดีปานกลาง” (Reasonably Well Milled) หมายความว่า การขัดสีเอารำออกเป็นส่วนมากจนเมล็ดข้าวมีลักษณะสวยงามพอสมควร

ข้อ 2 ให้แบ่งสินค้ามาตรฐานข้าวหอมมะลิไทยออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.1 ข้าวขาว

2.2 ข้าวกล้อง

ข้อ 3 ให้แบ่งสินค้ามาตรฐานข้าวหอมมะลิไทย ดังนี้

3.1 การแบ่งประเภทข้าวหอมมะลิไทย ตามระดับการแปรสภาพข้าวเป็น 3 ประเภท

3.1.1 ข้าวเปลือก

3.1.2 ข้าวกล้อง

3.1.3 ข้าวขาว

3.2. ชั้นคุณภาพของข้าวหอมมะลิไทยประเภทข้าวขาว แบ่งเป็น 6 ชั้นคุณภาพ

3.2.1 ข้าวขาว 100 %

3.2.2 ข้าวขาว 5 %

3.3.3 ข้าวขาว 10 %

3.3.4 ข้าวขาว 15 %

3.3.5 ข้าวขาวหักเอวันเลิศพิเศษ

3.3.6 ข้าวขาวหักเอวันเลิศ

3.3 ข้าวหอมมะลิไทยประเภทข้าวกล้อง แบ่งเป็น 4 ชั้นคุณภาพ

3.3.1 ข้าวกล้อง 100 %

3.3.2 ข้าวกล้อง 5 %

3.3.3 ข้าวกล้อง 10 %

3.3.4 ข้าวกล้อง 15 %

สินค้ามาตรฐานข้าวหอมมะลิไทย ตามข้อ 1 ข้อ 2 และข้อ 3 ต้องมีมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

1. มีข้าวหอมมะลิไทยไม่น้อยกว่าร้อยละ 92.0 โดยปริมาณ
2. มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14.0
3. มีลักษณะโดยทั่วไปเป็นข้าวเมล็ดยาว
4. ไม่มีแมลงที่ยังมีชีวิตอยู่
5. มีขนาดเมล็ด ดังนี้

5.1 ความยาวเฉลี่ยของข้าวเต็มเมล็ด ที่ไม่มีส่วนใดหักต้องไม่ต่ำกว่า 7.0 มิลลิเมตร

- อัตราส่วนความยาวเฉลี่ยต่อความกว้างเฉลี่ยของข้าวเต็มเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหักต้องไม่ต่ำกว่า 3.2 : 1 (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2560, หน้า 1-13)

ข้อกำหนดมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย ประเภท และชนิดข้าวขาว ตามข้อ 3 ไว้ดังต่อไปนี้

1) ข้าวขาว 100 เปอร์เซ็นต์ ต้องมีส่วนผสมของเมล็ดข้าว และระดับการขัดสี ดังนี้

ส่วนผสม ประกอบด้วย

ข้าวเต็มเมล็ด ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60.0

ข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 5.0 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึง 8.0 ส่วน ไม่เกินร้อยละ 4.5 ในจำนวนนี้อาจมีข้าวหักที่มีความยาวไม่ถึง 5.0 ส่วน และไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ 7 ไม่เกินร้อยละ 0.5 และปลายข้าวขาวซีวัน ไม่เกินร้อยละ 0.1 นอกนั้นเป็นต้นข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 8.0 ส่วนขึ้นไป

ข้าวและสิ่งที่อาจมีปนได้

ข้าวเมล็ดแดงและหรือข้าวเมล็ดขัดสีต่ำกว่ามาตรฐาน ไม่เกินร้อยละ 0.5

ข้าวเมล็ดเหลือง ไม่เกินร้อยละ 0.2

ข้าวเมล็ดท้องไข่ ไม่เกินร้อยละ 3.0

ข้าวเมล็ดเสีย ไม่เกินร้อยละ 0.25

ข้าวเหนียว ไม่เกินร้อยละ 1.0

ข้าวเปลือก ไม่เกิน 5 เมล็ดต่อข้าว 1 กิโลกรัม

ข้าวเมล็ดลีบ ข้าวเมล็ดอ่อน เมล็ดพืชอื่น และวัตถุอื่น อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง รวมกันไม่เกินร้อยละ 0.2

ระดับการขัดสี สีดีพิเศษ

2) ข้าวขาว 5 เปอร์เซ็นต์ ต้องมีส่วนผสมของเมล็ดข้าว และระดับการขัดสี ดังนี้

ส่วนผสม ประกอบด้วย

ข้าวเต็มเมล็ด ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60.0

ข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 3.5 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึง 7.5 ส่วนไม่เกินร้อยละ 7.0 ในจำนวนนี้อาจมีข้าวหักที่มีความยาวไม่ถึง 3.5 ส่วน และไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ 7 ไม่เกินร้อยละ 0.5 และปลายข้าวขาวซีวัน ไม่เกินร้อยละ 0.1 นอกนั้นเป็นต้นข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 7.5 ส่วนขึ้นไป

ข้าวและสิ่งที่อาจมีปนได้

ข้าวเมล็ดแดงและหรือข้าวเมล็ดขัดสีต่ำกว่ามาตรฐาน ไม่เกินร้อยละ 2.0

ข้าวเมล็ดเหลือง ไม่เกินร้อยละ 0.5

ข้าวเมล็ดท้องไข่ ไม่เกินร้อยละ 6.0

ข้าวเมล็ดเสีย ไม่เกินร้อยละ 0.25

ข้าวเหนียว ไม่เกินร้อยละ 1.5

ข้าวเปลือก ไม่เกิน 8 เมล็ดต่อข้าว 1 กิโลกรัม

ข้าวเมล็ดลีบ ข้าวเมล็ดอ่อน เมล็ดพืชอื่น และวัตถุอื่น อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง รวมกันไม่เกินร้อยละ 0.3

ระดับการขัดสี สีดี

3) ข้าวขาว 10 เปอร์เซ็นต์ ต้องมีส่วนผสมของเมล็ดข้าว และระดับการขัดสี ดังนี้

ส่วนผสม ประกอบด้วย

ข้าวเต็มเมล็ด ไม่น้อยกว่าร้อยละ 55.0

ข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 3.5 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึง 7.0 ส่วนไม่เกินร้อยละ 12.0 ในจำนวนนี้อาจมีข้าวหักที่มีความยาวไม่ถึง 3.5 ส่วน และไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ 7 ไม่เกินร้อยละ 0.7 และปลายข้าวขาวซีวัน ไม่เกินร้อยละ 0.3 นอกนั้นเป็นต้นข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 7.0 ส่วนขึ้นไป

ข้าวและสิ่งที่อาจมีปนได้

ข้าวเมล็ดแดงและหรือข้าวเมล็ดขัดสีต่ำกว่ามาตรฐาน ไม่เกินร้อยละ 2.0

ข้าวเมล็ดเหลือง ไม่เกินร้อยละ 1.0

ข้าวเมล็ดท้องไข่ ไม่เกินร้อยละ 7.0

ข้าวเมล็ดเสีย ไม่เกินร้อยละ 0.5

ข้าวเหนียว ไม่เกินร้อยละ 1.5

ข้าวเปลือก ไม่เกิน 13 เมล็ดต่อข้าว 1 กิโลกรัม

ข้าวเมล็ดลีบ ข้าวเมล็ดอ่อน เมล็ดพืชอื่น และวัตถุอื่น อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างรวมกันไม่เกินร้อยละ 0.4

ระดับการขัดสี สีดี

4) ข้าวขาว 15 เปอร์เซ็นต์ ต้องมีส่วนผสมของเมล็ดข้าว และระดับการขัดสี ดังนี้

ส่วนผสม ประกอบด้วย

ข้าวเต็มเมล็ด ไม่น้อยกว่าร้อยละ 55.0 ข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 3.0 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึง 6.5 ส่วน ไม่เกินร้อยละ 17.0 ในจำนวนนี้อาจมี

ข้าวหักที่มีความยาวไม่ถึง 3.0 ส่วน และไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ 7 ไม่เกินร้อยละ 2.0 และปลายข้าวขาวซีวัน ไม่เกินร้อยละ 0.5 นอกนั้นเป็นต้นข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 6.5 ส่วนขึ้นไป

ข้าวและสิ่งที่อาจมีปนได้

ข้าวเมล็ดแดงและหรือข้าวเมล็ดขัดสีต่ำกว่ามาตรฐาน ไม่เกินร้อยละ 5.0

ข้าวเมล็ดเหลือง ไม่เกินร้อยละ 1.0

ข้าวเมล็ดท้องไข่ ไม่เกินร้อยละ 7.0

ข้าวเมล็ดเสีย ไม่เกินร้อยละ 1.0

ข้าวเหนียว ไม่เกินร้อยละ 2.0

ข้าวเปลือก ไม่เกิน 13 เมล็ดต่อข้าว 1 กิโลกรัม

ข้าวเมล็ดลีบ ข้าวเมล็ดอ่อน เมล็ดพืชอื่น และวัตถุอื่น อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง รวมกันไม่เกินร้อยละ 0.4

ระดับการขัดสี สีดีปานกลาง

ข้อ 8 การวินิจฉัยเกี่ยวกับมาตรฐานหรือคุณภาพของสินค้ามาตรฐานข้าวหอมมะลิไทย ให้ถือผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างของสำนักงานมาตรฐานสินค้าหรือหน่วยงานที่สำนักงานมาตรฐานสินค้ามอบหมายเป็นเกณฑ์ ในกรณีที่มีปัญหาข้อโต้แย้งเกี่ยวกับผลการวินิจฉัย ให้ถือผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างของสำนักงานมาตรฐานสินค้า หรือหน่วยงานที่สำนักงานมาตรฐานสินค้ามอบหมายแล้วแต่กรณีเป็นที่สุด

ข้อ 9 ในกรณีที่ส่งสินค้ามาตรฐานข้าวหอมมะลิไทยออกไปนอกราชอาณาจักร โดยบรรจุกระสอบหรือภาชนะอื่นใด ผู้ทำการค้าขาออกต้องแสดงข้อความภาษาอังกฤษว่า “THAI HOM MALI RICE” ที่สามารถเห็นได้ ชัดเจนบนกระสอบหรือภาชนะที่ใช้ในการบรรจุหุ้มห่อ

การตรวจสอบคุณภาพข้าวส่งออกของประเทศไทย โดยสำนักงานคณะกรรมการตรวจข้าว สภาหอการค้าแห่งประเทศไทย เป็นหน่วยงานที่จัดตั้งขึ้นเพื่อปฏิบัติงานตรวจสอบคุณภาพข้าวที่ส่งออกตามที่ได้รับมอบหมายจากกระทรวงพาณิชย์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2500-ปัจจุบัน ระเบียบกระทรวงพาณิชย์ว่าด้วยการส่งออกข้าวไปนอกราชอาณาจักร (ฉบับ 17) ลงวันที่ 14 มีนาคม 2556 เพื่อให้การจัดส่งพนักงานตรวจข้าวออกไปควบคุมดูแลและตรวจสอบคุณภาพข้าวที่ส่งออกเป็นไปด้วยความเรียบร้อย อันจะเป็นการอำนวยความสะดวกแก่การดำเนินงานของผู้ส่งออก สำนักงานคณะกรรมการตรวจข้าว สภาหอการค้าแห่งประเทศไทย จึงกำหนดขั้นตอนในการขอให้ตรวจข้าว ดังต่อไปนี้ (สำนักงานคณะกรรมการตรวจข้าว สภาหอการค้าแห่งประเทศไทย, 2561)

1. สิ่งที่ผู้ส่งออกหรือผู้แทนจะต้องดำเนินการก่อนการขอให้ตรวจสอบคุณภาพข้าว

1.1 ตรวจสอบคุณภาพข้าวตามมาตรฐาน ผู้ส่งออกหรือตัวแทนจะต้องมีใบอนุญาต (แบบ อ.2) ของกรมการค้าต่างประเทศกระทรวงพาณิชย์ รายละเอียดต่าง ๆ ในใบอนุญาตจะต้องระบุชนิดข้าว การบรรจุ น้ำหนักสุทธิ อัตราแลกเปลี่ยนราคาต่อหน่วยให้ครบถ้วนถูกต้อง

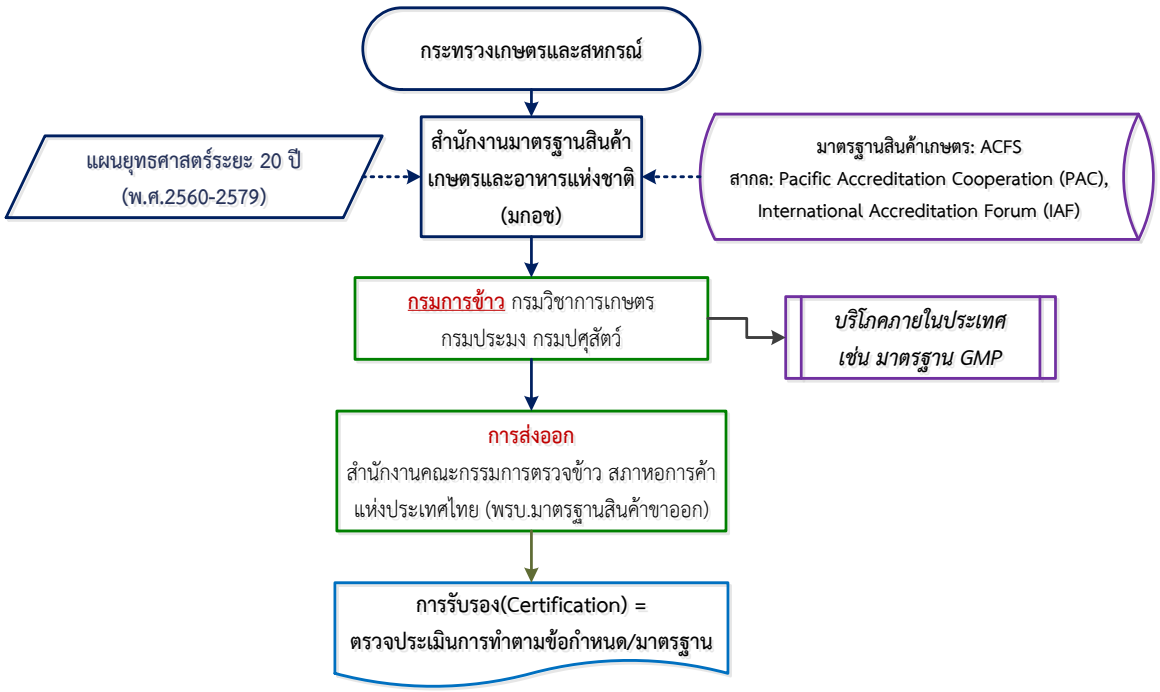
1.2 ตรวจสอบคุณภาพส่งออกตามตัวอย่าง ผู้ส่งออกจะต้องนำตัวอย่างข้าวที่จะส่งออกจำนวน 1.5 กิโลกรัม ไปยื่นที่สำนักงานมาตรฐานสินค้า กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์เพื่อขอความเห็นชอบก่อนส่งออกข้าวตามตัวอย่าง

2. การแจ้งให้ตรวจสอบข้าว (การแจ้งงาน)

2.1 ผู้ส่งออกหรือตัวแทนจะต้องกรอกรายละเอียดต่าง ๆ ในหนังสือขอให้ตรวจสอบข้าวของสำนักงานคณะกรรมการตรวจข้าว (ใบแจ้งงาน)

2.2 ส่งหนังสือขอให้ตรวจข้าว (ใบแจ้งงาน) ที่กรอกข้อมูลครบถ้วนและชัดเจนก่อนวันทำการบรรทุก (Loading) 1 วัน

ซึ่งสอดคล้องกับสาระสำคัญของยุทธศาสตร์การเกษตรต่างประเทศของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2560-2564 มีวิสัยทัศน์งานด้านการเกษตรต่างประเทศมีคุณภาพ เสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันสินค้าเกษตรและอาหารของไทย เป้าประสงค์เพื่อพัฒนาสินค้าเกษตรและอาหารของไทยให้เป็นที่ยอมรับในต่างประเทศ ทั้งนี้ มีการวิเคราะห์จุดแข็งจุดอ่อนเพื่อทำการพัฒนาสินค้าเกษตรในประเทศ ซึ่งจุดอ่อนที่สำคัญประการหนึ่ง คือ การควบคุมคุณภาพมาตรฐานสินค้าเกษตรที่ยังไม่สามารถควบคุมได้ถึงกระบวนการผลิตให้มีคุณภาพมาตรฐานได้ทั้งหมด รวมทั้งกลไก/กระบวนการตรวจสอบคุณภาพทั้งนำเข้าและส่งออกยังไม่ทั่วถึง นอกจากนี้ ขาดการจัดการฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรทั้งในและต่างประเทศที่เป็นระบบและเป็นปัจจุบัน ถึงแม้ว่ามีสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) เป็นหน่วยงานระดับกรม ภายใต้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ทำงานด้านการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน โดยกองรับรองมาตรฐาน (Division of Standard Accreditation) ขาดการบูรณาการระหว่างหน่วยงาน ทั้งภายในกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ รวมถึงสำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศ ตลอดจนขาดการบูรณาการกับหน่วยงานภายนอก อาทิ ด้านการเชื่อมโยงข้อมูลข่าวสาร ทำให้กระบวนการแก้ไขปัญหาสินค้าเกษตรในต่างประเทศยังขาดเอกภาพ มีความล่าช้าไม่ตรงกับปัญหา และไม่เท่าทันสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว (คณะทำงาน ยกร่างยุทธศาสตร์การเกษตรต่างประเทศ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2560, หน้า 3-23)



ภาพที่ 2-4 การตรวจสอบคุณภาพข้าวส่งออกของประเทศไทย

การตรวจสอบคุณภาพข้าวแม้ว่าจะมีหน่วยงานทั้งในประเทศและต่างประเทศมากำกับควบคุมต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว แต่ก็ต้องขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ หรือการบริโภค ซึ่งข้าวของประเทศไทยส่วนใหญ่จะเน้นค้าขาย และบริโภคกันในรูปของเมล็ดข้าวที่หุงต้มทั้งเมล็ด ความนิยมในการบริโภคข้าวจึงนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินคุณภาพข้าว แต่สำหรับการค้าจะพิจารณาจากคุณลักษณะทางกายภาพ หรือฟีโนไทป์ เป็นหลัก เนื่องจากเป็นสิ่งที่ปรากฏเด่นชัด โดยคุณภาพข้าวแบ่งออกเป็น 4 ประเภท (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2561)

1. คุณภาพทางกายภาพ (Grain Physical Quality) หมายถึง คุณสมบัติภายนอกของเมล็ดที่เห็นได้ง่าย สามารถตรวจสอบด้วยสายตาได้ เช่น ชั่ง ตวง วัด การซื้อขายข้าวยังใช้คุณสมบัติเมล็ดข้าวทางกายภาพในการจำแนกเกรดข้าวทุกชนิด ทั้งนี้มีความชัดเจนและตรวจสอบได้รวดเร็วซึ่งจำแนกเป็น

1.1 สีข้าวเปลือก เป็นลักษณะประจำพันธุ์ ซึ่งมีสีขาวหรือฟาง มีส่วนในการตั้งชื่อพันธุ์ข้าวในอดีต สีข้าวเปลือกจะพบมีสีขาว ฟาง ม่วง และดำ

1.2 สีข้าวกล้อง เมื่อกะเทาะเปลือกข้าวออกเป็นข้าวกล้อง สีของข้าวกล้องส่วนใหญ่มีสีขาว บางพันธุ์มีสีแดงน้ำตาลหรือสีม่วงจนเกือบดำ ซึ่งถือว่าเป็นสีที่มีคุณภาพเฉพาะและนิยมบริโภคเพื่อคุณภาพทางด้านโภชนาการหรือเป็นขนม เช่นข้าวแดง ข้าวเหนียวดำ ข้าวกล้องชนิดนี้ถ้าเป็นสีล้วน ๆ จะมีราคาสูง แต่ถ้าปนข้าวขาวคุณภาพและราคาจะด้อยลง

1.3 ขนาดของเมล็ด (Grain size) วัดจาก ความยาว กว้าง หนาของเมล็ด แต่ในการพิจารณาคุณภาพเมล็ดทั่วไปจะหมายถึงความยาวของเมล็ด มาตรฐานข้าวไทยกำหนดชั้นของเมล็ดเป็น 4 ขนาด เช่นเดียวกับมาตรฐานกำหนดชั้นของเมล็ดของสหรัฐอเมริกา แต่มีขนาดแตกต่างกัน

ตารางที่ 2-1 แสดงชั้นของเมล็ดข้าวตามมาตรฐานข้าวไทยและสหรัฐอเมริกา

ชั้นของเมล็ด	ไทย (มิลลิเมตร)	สหรัฐอเมริกา (มิลลิเมตร)
เมล็ดยาวชั้น 1 (Extra-long)	>7.0	>7.50
เมล็ดยาวชั้น 2 (Long)	6.6-7.0	6.61-7.50
เมล็ดยาวชั้น 3 (Medium)	6.2-6.6	5.51-6.60
เมล็ดสั้น (Short)	<6.2	<5.50

1.4 รูปร่างเมล็ด ประเมินจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง ดังนี้

ตารางที่ 2-2 แสดงรูปร่างเมล็ดข้าว ประเมินจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง

รูปร่างเมล็ด	ความยาว/ความกว้าง (มิลลิเมตร)
เรียว (Slender)	มากกว่า 3.0
ปานกลาง (Medium)	2.0-3.0
ป้อม (Bold)	น้อยกว่า 2.0

1.5 ข้าวท้องไข่ (Chalky Grain) เป็นจุดขุ่นขาวทึบแสงในเมล็ดข้าวเจ้า ซึ่งเกิดจากการจับตัวอย่างหลวม ๆ ระหว่างผลึกแป้ง (Starch Granule) กลุ่มแป้ง (Starch Compound) และโปรตีน (Protein Body) ทำให้เกิดช่องอากาศเล็ก ๆ ภายในเมล็ด จึงเห็นเป็นลักษณะทึบแสง จุดขุ่นขาวนี้มีขนาดแตกต่างกัน ตำแหน่งท้องไข่อาจเกิดขึ้นตรงกลางเมล็ด (White Center) จากด้านท้องที่อยู่ข้างเดียวกับคัพภะ (White Belly) หรือจากด้านหลัง (White Back) ข้าวไทยส่วนมากเป็นท้องไข่น้อยเป็นประเภท White Belly ข้าวท้องไข่ไม่นิยมในวงการค้าข้าวเพราะไม่สวยและคุณภาพการสีไม่ดี ข้าวหักมาก ข้าวท้องไข่ นอกจากควบคุมด้วย พันธุกรรม สภาพแวดล้อม เช่น แหล่งปลูก ฤดูกาล อุณหภูมิ และการใส่ปุ๋ย

1.6 ความใสของเมล็ด หมายถึง ความทึบแสง (Opaque) หรือความใส (Translucence) ของเนื้อข้าวสารทั้งเมล็ด

2. คุณภาพการสี เป็นการตรวจสอบข้าวอย่างหนึ่ง โดยนำข้าวเปลือกมาผ่านกระบวนการขัดสี ซึ่งประกอบไปด้วย ขั้นตอนพื้นฐาน 4 ขั้นตอน คือ

2.1 การทำความสะอาด (Cleaning) เพื่อกำจัดระแง้ ใบ เมล็ดลีบ เมล็ดวัชพืช ดิน หิน กรวด ทราย สิ่งสกปรกอื่น ๆ ออก

2.2 การกะเทาะ (Hulling) เป็นการทำให้เปลือกข้าวหลุดออกจากเมล็ด สิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือ แกลบ และข้าวกล้อง

2.3 การขัดขาว (Whitening) เพื่อทำให้รำหลุดจากเมล็ดข้าวกล้อง สิ่งที่ได้ คือ รำ และข้าวสาร

2.4 การคัดแยก (Grading) คือ การแยกข้าวสารออกเป็นข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหักขนาดต่าง ๆ ออกจากกัน

ข้าวคุณภาพดี ควรสีได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวมาก โดยมีข้าวหักน้อย ปัจจัยที่ทำให้ข้าวหักในระหว่างการสี คือ เมล็ดยาวมาก เมล็ดบิดเบี้ยว หรือไม่สมบูรณ์ เมล็ดมีท้องไข่ หรือเมล็ดอ่อน การเกิดเมล็ดร้าวก่อนการสี ซึ่งอาจเกิดจากการเก็บเกี่ยวข้าวแช่น้ำ หรือเก็บเกี่ยวช้า รวมทั้งการปฏิบัติ หลังการเก็บเกี่ยวไม่เหมาะสม

คุณภาพการสีของข้าวประเมินจากปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว ข้าวที่มีคุณภาพการสีดี เมื่อผ่านกระบวนการขัดสีแล้ว จะได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง มีปริมาณข้าวหักน้อย ดังนั้น การประเมินคุณภาพการสีของข้าวจึงเกี่ยวข้องกับการแปรสภาพข้าว หรือการสีข้าว สิ่งที่ได้จากการสีข้าว ได้แก่

2.1 แกลบ ประมาณ 20-24% ของข้าวเปลือก เป็นส่วนผสมของเปลือกเมล็ด กลีบเลี้ยง ฟาง และขั้วเมล็ด

2.2 รำ ประมาณ 8-10% ของข้าวเปลือก เป็นส่วนผสมของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด คัพภะ และผิวนอก ๆ ของข้าวสาร

2.3 ข้าวสาร ประมาณ 68-70% ของข้าวเปลือก ข้าวสารที่ได้จากการขัดขาวจะถูกนำไปคัดแยก เป็นข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ในปริมาณมาก น้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับคุณภาพข้าวเปลือกก่อนสี หากข้าวเปลือกมีคุณภาพดี จะได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง ข้าวหักน้อย

3. คุณภาพในการซื้อขาย การประเมินคุณภาพข้าวในการซื้อขายนั้น สิ่งที่กำหนดราคาข้าว ได้แก่

3.1 ความชื้น มีบทบาทสำคัญในการกำหนดราคาข้าว ข้าวที่เก็บเกี่ยวในระยะที่เหมาะสม และลดความชื้นอย่างเหมาะสม เหลือ 13-15% จะมีราคาสูงกว่าข้าวที่มีความชื้นสูง เนื่องจากข้าวแห้งที่มีความชื้นเหมาะสม สามารถทำการสีได้ โดยไม่ต้องนำมาลดความชื้นอีก แต่หากรับซื้อข้าวที่มีความชื้นสูง ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลดความชื้น และสูญเสียน้ำหนักข้าวหลังการลดความชื้น ดังนั้น ข้าวที่มีความชื้นเกินกำหนดจึงถูกตัดราคา

3.2 ลักษณะทางกายภาพของข้าว โดยการกะเทาะ และขัดสีเพื่อประเมินสีข้าวกล้องท้องไข่ ความใสขุ่นของเมล็ด และสิ่งเจือปนอื่น ๆ เช่น ข้าวแดง ข้าวเหลือง ข้าวเสีย หรือข้าวชนิดอื่นปน เป็นต้น ซึ่งลักษณะเหล่านี้ในปริมาณต่าง ๆ กัน จะเป็นตัวกำหนดราคาข้าว

3.3 คุณภาพการสี เพื่อประเมินผลของการแปรสภาพจากข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร ปริมาณข้าวรวม ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหักขนาดต่าง ๆ และปลายข้าว ซึ่งผลได้จากการขัดสีของข้าวที่รับซื้อจะเป็นค่าที่โรงสีใช้ประเมินผลได้จากการแปรสภาพในโรงสีจริง โดยทั่วไป โรงสีจะตั้งเกณฑ์ขั้นต่ำของผลได้จากการขัดสีของข้าวที่รับซื้อ หากข้าวที่เกษตรกรนำมาจำหน่ายมีผลได้จากการขัดสีต่ำกว่าเกณฑ์จะถูกตัดราคา

3.4 ประเภทของข้าว ข้าวคุณภาพดี ตามความต้องการของตลาดและเป็นที่นิยมของผู้บริโภค เช่นข้าวหอมมะลิ มักมีราคาดีกว่าข้าวขาว

4. คุณภาพทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน (Cooking and Eating Quality) เป็นคุณภาพที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อ ทั้งนี้ เพราะความชอบข้าวสุกของแต่ละคนแตกต่างกัน ตั้งแต่ข้าวเหนียวนุ่มจนไปถึงข้าวร่วนแข็ง คุณภาพการหุงต้ม สามารถคาดคะเนโดยคุณสมบัติเมล็ดทางเคมี (Grain Chemical Properties) ปัจจัยที่ทำให้ข้าวพันธุ์ต่าง ๆ มีคุณภาพของข้าวสุกแตกต่างกัน ดังนี้

4.1 ปริมาณอมิโลส (Apparent Amylose Content) แป้งข้าว ประกอบด้วย องค์ประกอบย่อย 2 ส่วน คือ อมิโลเปคติน (Amylopectin) และอมิโลส (Amylose) สัดส่วนขององค์ประกอบย่อยดังกล่าวมีผลต่อคุณภาพข้าวสุก

ข้าวที่มีอมิโลสสูงจะดูดน้ำได้มากในระหว่างการหุงต้ม ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ใช้จึงมีผลต่อคุณภาพข้าวสุก เช่น ข้าวอมิโลสต่ำต้องการน้ำน้อยหากน้ำมากเกินไปจะแฉะเละ แต่ถ้าข้าวอมิโลส สูงใส่น้ำปริมาณเท่าข้าวอมิโลสต่ำจะได้ข้าวที่แข็งกระด้างมาก เนื่องจากข้าวอมิโลสสูงต้องการน้ำใช้ในการหุงต้มมาก เมื่อหุงสุกจะได้ข้าวร่วนฟูไม่เหนียวติดกัน จึงทำให้ข้าวสุกขยายปริมาตรมากหรือข้าวขึ้นหม้อ ในขณะที่ข้าวอมิโลสต่ำเป็นข้าวที่เหนียวเกาะติดกันเป็นก้อนจึงไม่ขึ้นหม้อ ข้าวเจ้าพันธุ์ดีที่รัฐบาลส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามคุณภาพข้าวสุก คือ กลุ่มข้าวนุ่มเหนียว (อมิโลสต่ำ) กลุ่มข้าวขาวตาแห้ง (อมิโลสปานกลาง) และกลุ่มข้าวเสาไห้ (อมิโลสสูง)

4.2 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel Consistency) แม้ปริมาณอมิโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพข้าวสุก แต่ในระหว่างข้าวที่มีอมิโลสเท่ากัน อาจมีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ทำให้แป้งสุกมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน ข้าวที่มีค่าความคงตัวแป้งสุกอ่อน ข้าวสุกจะนุ่มกว่า ข้าวที่มีค่าความคงตัวแป้งสุกแข็ง

4.3 ระยะเวลาในการหุงต้ม (Cooking Time) การต้มเมล็ดข้าวให้สุกใช้เวลาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization Temperature) การประเมินหาอุณหภูมิแป้งสุก โดยวิธีการสลายเมล็ดข้าวในด่าง (Alkali Test) โดยแช่เมล็ดข้าวสารในสารละลายด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1.7% นาน 23 ชั่วโมง และใช้ค่าการสลายของเมล็ดที่ปรากฏมาประเมินระดับอุณหภูมิแป้งสุก

4.4 การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (Elongation Ratio During Cooking) ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวมีการขยายตัวทุกด้าน โดยเฉพาะด้านยาว คุณลักษณะนี้เป็นคุณภาพพิเศษของข้าว ซึ่งจะช่วยเสริมให้เมล็ดข้าวสุกขยายมากขึ้น และหากข้าวสุกไม่เหนียวติดกันการขยายของข้าวสุกจะช่วยให้ข้าวขึ้นหม้อดีขึ้น ช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น เพราะการขยายตัวทำให้เนื้อข้าวโปร่งไม่อัดแน่นด้วยเหตุนี้ ข้าวบาสมาติ 370 ซึ่งเป็นข้าวอมิโลสปานกลาง แต่มีการยืดตัวดีมากจึงเป็นที่นิยมในตะวันออกกลาง

4.5 กลิ่นหอม (Aroma) ข้าวโดยทั่วไปมีสารระเหยหลายร้อยชนิดแต่ข้าวหอมจะมีสาร 2-acetyl-1-pyrroline มากกว่าข้าวทั่วไป ในข้าวสารหอม 1 กรัมมีสารนี้อยู่ 0.04-0.09 ไมโครกรัม และในข้าวกล้อง 1 กรัม มีอยู่ 0.1-0.2 ไมโครกรัม ใบเตย 1 กรัมมีสารหอมนี้ในปริมาณ 1 ไมโครกรัม

4.6 ปริมาณโปรตีน (Protein Content) โปรตีนที่ส่วนนอกของเมล็ด มีผลทำให้ระยะเวลาในการหุงต้มนานขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากโปรตีน เป็นตัวขัดขวางการซึมของน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าว นอกจากนี้ โปรตีนสูงทำให้เมล็ดแกร่งขึ้นทำให้ขัดสีออกได้ยาก อาจมีระดับการสีต่ำ (มีรำเหลืออยู่มาก) ทำให้ข้าวสุกเหนียวน้อยลงและมีสีคล้ำ จากการศึกษาผลการใส่ปุ๋ย ต่อคุณภาพข้าว พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนซึ่งทำให้โปรตีนในเมล็ดข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สูงขึ้น มีข้าวสุกสีคล้ำขึ้น ข้าวมีความนุ่มลดลงเมื่อเมล็ดข้าวสารมีโปรตีน 10% และหากโปรตีนสูง 12% ความเหนียวของข้าวจะลดลงด้วย

การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพ หรือฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวตามเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงพาณิชย์นั้นจำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะที่ผ่านการฝึกฝนหรืออบรมอย่างถูกต้อง อันจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือในการแปลผล/วิเคราะห์ผล ทั้งนี้ มีหน่วยงานที่จัดฝึกอบรมเรื่องดังกล่าว คือ กรมการค้าต่างประเทศ (DFT) ในหัวข้อ “การตรวจสอบข้าวจากผู้เชี่ยวชาญงานตรวจสอบคุณภาพข้าว” โดยผู้ที่ผ่านการอบรมดังกล่าวจะได้รับประกาศนียบัตรด้วยการตรวจสอบข้าว ทั้งนี้ มีค่าใช้จ่ายในการอบรม

จากข้อมูลข้างต้น พบว่า การตรวจสอบเมล็ดข้าวในประเทศไทยมีหน่วยงาน ตรวจสอบ อบรม และจัดทำประกาศระเบียบต่าง ๆ ควบคุมมาตรฐานสินค้าข้าวอย่างละเอียดและชัดเจน และการจะเป็นผู้ตรวจสอบต้องผ่านการอบรมจากหน่วยงานภาครัฐจึงจะน่าเชื่อถือ โดยเฉพาะข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบทางด้านกายภาพหรือฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวที่ต้องการความละเอียดสูง ตัวอย่างเช่น มาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย ประเภท และชนิดข้าวขาว ข้าวขาว 100 เปอร์เซ็นต์ ต้องมีส่วนผสมของเมล็ดข้าว และระดับการขัดสี ดังนี้ (พระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออก เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3), 2559, หน้า 3)

สำหรับการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวที่ผู้วิจัยสนใจศึกษานี้ มีแนวทางการวิเคราะห์ออกแบบ และพัฒนาระบบ โดยเริ่มจากการวางแผนระบบคือการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาประกอบการออกแบบระบบ ต่อไปนี้

ณัฐหทัย เอพาณิช (2547) ได้รวบรวมวิธีการสุ่มตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวที่เป็นไปตามมาตรฐานสากลของสมาคมตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ระหว่างประเทศ (International Seed Association: ISTA) กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เป็นขั้นตอนแรกก่อนนำเมล็ดไปตรวจสอบคุณภาพ ประกอบด้วย อุปกรณ์/เครื่องมือที่ใช้ในการสุมตัวอย่าง และการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกก่อนนำไปทดสอบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. อุปกรณ์ที่ใช้สุ่มตัวอย่าง คือ หลาว มี 2 ชนิด

1.1 หลาวแบบปลายเปิด (Nobbe Trier) เหมาะสำหรับใช้สุ่มตัวอย่างจากกระสอบ ลักษณะ เป็นท่อทรงกระบอก ปลายแหลม และมีช่องเปิดสำหรับเมล็ดเป็นรูปไข่อยู่ใกล้กับปลายแหลมที่ใช้สำหรับแทงกระสอบ ความยาวประมาณ 50 ซม.

การสุ่มตัวอย่างจะต้องมีการสุ่มทั้งส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของกระสอบโดยใช้หลาวแทงเฉียงทำมุม 30 องศากับพื้นราบ และให้ช่องเปิดรับเมล็ดคว่ำลง จากนั้นค่อย ๆ ดึงหลาวออกเพื่อให้เมล็ดที่อยู่ตั้งแต่ส่วนกลางกระสอบจนถึงส่วนติดกับกระสอบไหลลงสู่ช่องรับเมล็ด

1.2 หลาวแบบ 2 ชั้น (Stick Trier or Sleeve-Type Trier) เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันมาก ประกอบด้วย กระบอกทองเหลืองสองกระบอก บรรจุซ้อนกันเป็นสองชั้น ด้านข้างของกระบอกทั้งสองข้างจะมีช่องเปิดเป็นช่วง ๆ เมื่อหมุนช่องเปิดให้ตรงกันแล้ว เมล็ดพันธุ์จะไหลเข้าไปในกระบอกได้ และเมื่อหมุนกระบอกชั้นในเพียงครึ่งรอบ ช่องเปิดของกระบอกชั้นในจะถูกปิดด้วยกระบอกชั้นนอก เครื่องมือชนิดนี้สามารถใช้กับตัวอย่างพืชได้ทุกชนิด ยกเว้นเมล็ดที่มีผิวไม่เรียบหรือมีขนมาก

การสุ่มตัวอย่างทำทั้งในแนวนอนและแนวดิ่งให้แทงแบบทะแยงมุมเข้าไปในกระสอบหรือภาชนะ และก่อนจะแทงเข้าไปจะต้องหมุนเลื่อนให้ช่องเปิดของกระบอกชั้นในถูกปิดกั้นเสียก่อน เมื่อแทงเหล็กแทงกระสอบเข้าไปในกองเมล็ดพันธุ์แล้วจึงหมุนให้ช่องเปิดตรงกัน แล้วหมุนไปมา 2-3 ครั้ง หรือเขย่าเบา ๆ เพื่อให้เมล็ดไหลลงไปในกระบอกจนเต็ม จากนั้นจึงหมุนปิดช่องเปิดอีกครั้งแล้วดึงเหล็กแทงออก เทเมล็ดพันธุ์จากกระบอกลงในถาดหรือภาชนะ การหมุนปิดเปิดช่องของเหล็กแทงกระสอบต้องทำด้วยความระมัดระวังเพื่อป้องกันมิให้เมล็ดพันธุ์เสียหาย เมื่อดึงเหล็กออกจากกระสอบแล้วควรใช้ปลายของเหล็กแทงเกลี่ยรูเปิดของกระสอบไปมา 2-3 ครั้ง เพื่อดึงให้เส้นด้ายหรือเส้นใยปิดรูกระสอบให้มิดชิดดังเดิม

2. การแบ่งตัวอย่างเครื่องแบ่ง (Mechanical Divider Method) จะเป็นเครื่องมือที่แบ่งเมล็ดออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน ตัวอย่างที่ส่งมาตรวจสอบสามารถผสมให้เข้ากัน โดยผ่านเครื่องแบ่งนี้ 2-3 ครั้ง แล้วลดตัวอย่างโดยแยกเอาเมล็ดที่แบ่งได้ครึ่งหนึ่งไว้ต่างหาก จนกว่าจะได้น้ำหนักตัวอย่างที่ต้องการ เครื่องแบ่งแบบนี้แบ่งได้ ดังนี้

2.1 เครื่องแบ่งตัวอย่างแบบกรวย (Conical Divider หรือ Boerner) มี 2 ขนาด ถ้าเป็นขนาดเล็กจะใช้ในพืชที่มีขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ ใช้กับพืชที่มีขนาดใหญ่ เช่น ข้าวสาลีและข้าว เป็นต้น

2.2 เครื่องแบ่งตัวอย่างดิน (Soil/Riffle Divider) การแบ่งเมล็ดด้วยเครื่องชนิดนี้เมล็ดจะกระจายออกและไหลลงไปอย่างสม่ำเสมอ ตามความยาวของช่องใส่เมล็ด เหมาะสำหรับพืชทุกชนิด

2.3 เครื่องแบ่งตัวอย่างด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifugal Divider หรือ Gamet Precision Divider) เครื่องแบ่งชนิดนี้จะอาศัยแรงเหวี่ยงจากศูนย์กลางของเครื่อง เหวี่ยงเมล็ดออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน ถ้าทำโดยไม่ระวังการแบ่งมักจะให้ผลไม่แน่นอน

3. การใช้ถ้วยแบ่งเมล็ด (Random Cups Method) เหมาะสำหรับเมล็ดพืชที่ต้องการน้ำหนักตัวอย่าง 10 กรัมขึ้นไป ผิวเมล็ดจะต้องไม่ขรุขระหรือมีขนมาก และจะต้องไม่กระดอนหรือกลิ้งไหลตัวง่าย พืชแต่ละชนิดจะใช้ขนาดของถ้วยแตกต่างกันไป โดยจะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถ้วย ประมาณ 1.5 เท่าของความยาวเมล็ด ถ้วยไม่ควรสูงเกินไป เพื่อป้องกันการล้ม และควรทำด้วยทองเหลือง ปริมาณเมล็ดควรเผื่อไว้บ้าง เนื่องจากตัวอย่างแต่ละชนิดของพืชไม่เท่ากัน

4. การใช้ช้อนแบ่งเมล็ด (Spoon Method) ใช้กับตัวอย่างพืชที่มีขนาดเล็ก หลักการ คือ หลังจากผสมตัวอย่างให้เข้ากันแล้ว จะโรยเมล็ดลงในถาดอย่างสม่ำเสมอ อย่าเขย่าถาด ใช้ช้อนตักเมล็ดแล้วปาดด้วยที่ปาดเมล็ดให้เรียบสุ่มตักเมล็ดในถาดไม่น้อยกว่า 5 ครั้ง

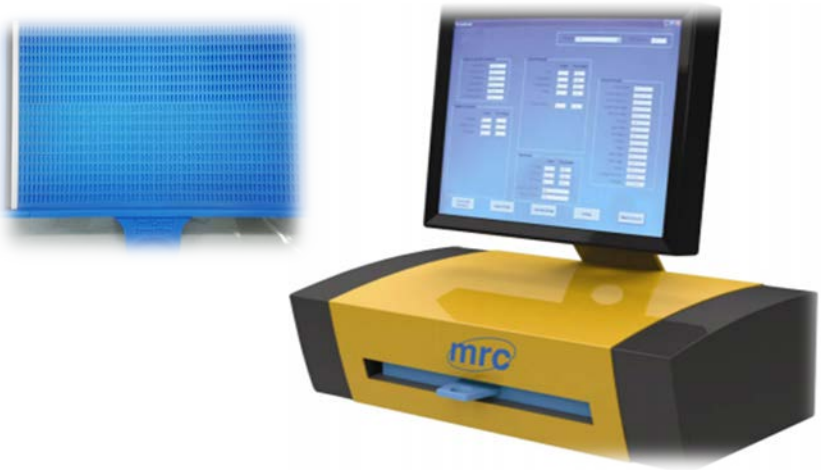
5. การแบ่งครึ่งตัวอย่าง (Modified Halving Method) เป็นวิธีการเทเมล็ดลงบนช่องตะแกรง ซึ่งสวมอยู่ภายในถาด จากนั้นยกตะแกรงขึ้น เมล็ดประมาณครึ่งหนึ่งของตัวอย่างจะตกอยู่ในถาดเมล็ดจะถูกแบ่งไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้น้ำหนักที่ต้องการ

6. Quartering Method เป็นการแบ่งตัวอย่างออกเป็นสองส่วน จากนั้นจะนำเมล็ดส่วนหนึ่งทิ้งไป เหลืออีกหนึ่งส่วนมาแบ่งเป็นสองส่วนแล้วทำเหมือนเดิม คือ นำมาหนึ่งส่วน แล้วแบ่งออกเป็น 2 ส่วนทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้น้ำหนักตัวอย่างที่ต้องการ

นอกจากการสุ่มตัวอย่างในการตรวจด้วยมนุษย์แล้ว ในการตรวจสอบคุณภาพข้าวเพื่อมาตรฐานสำหรับผู้บริโภคตามข้อกำหนดของสำนักงานคณะกรรมการตรวจข้าว สภาหอการค้าแห่งประเทศไทย ยังมีการสุ่มตรวจเพื่อออกใบรับรองให้กับโรงสีที่ได้มาตรฐานในการผลิตข้าว โดยใช้เทคโนโลยีช่วยในการดำเนินงาน ตามตัวอย่างเช่น บริษัท เค.เอ็ม.ซี. อินเตอร์ไรซ์ (2002) จำกัด มีการใช้เครื่อง SORTEX S Ultra Vision (บริษัทบูห์เล่อร์ ไทยแลนด์ จำกัด) ทำการแยกสีข้าวและสิ่งปลอมปนที่มีมากับข้าวขาว เช่น ข้าวเหนียว ข้าวท้องไข่ ข้าวมีจุดดำ เม็ดเหลือง เมล็ดข้าวเปลือก เป็นต้น จากนั้นเช็คน้ำหนักให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ตรวจสอบว่ามีกาก ปนมากับข้าวหรือไม่ และตรวจสิ่งเจือปนด้วยเครื่อง Color Sorter ทุก ๆ 30 นาที ข้าวจะผ่านไปยังเครื่อง Metal detector ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้ตรวจจับโลหะที่ปลอมปนมาจากข้าวสาร เพื่อสร้างความมั่นใจให้ผู้บริโภค ด้านกระบวนการบรรจุสินค้าจะมีการสุ่มตรวจคุณภาพโดยเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพที่มีความเชี่ยวชาญทุก 1 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ มีการตรวจสอบคุณภาพข้าวสารบรรจุถุง ก่อนจัดเก็บเพื่อรอการขนส่ง เป็นต้น

ภาพที่ 2-5 เครื่อง SORTEX S Ultra Vision (บริษัทบูห์เล่อร์ ไทยแลนด์ จำกัด)
(http://www.thailandexhibition.com/News/9054)

หรือจะเป็นเครื่อง NIR-SC-5000-1/2 (Digital Image Analysis System for Grain) ของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ขนาดเมล็ดข้าว หลักการทำงานของเครื่องมีการใช้เทคนิคหลักที่คล้ายคลึงกัน คือ การประมวลผลภาพดิจิทัล (Image processing) มีการใช้แสง (LED) และกล้องที่อยู่ภายในตัวเครื่องทำหน้าที่คัดแยก เพื่อตรวจจับภาพรูปทรงของวัตถุจริง (Shape Detection) วิเคราะห์รูปทรงเมล็ด หรือตรวจจับภาพบนเมล็ดข้าวโดยการหาจุดสนใจในรูปภาพ สำหรับเครื่อง NIR-SC-5000-1/2 บริษัทผู้ผลิตได้ให้ข้อมูลว่า เครื่องนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 6.2 ความน่าเชื่อถือ 95 เปอร์เซ็นต์ จากตัวอย่าง 750 เมล็ดที่นำมาคำนวณ ซึ่งถือได้ว่ามีความแม่นยำสูงในการนำมาใช้ตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว ตรวจสอบตัวอย่างข้าวได้ครั้งละมาก ๆ



ภาพที่ 2-6 เครื่อง NIR-SC-5000-1/2(Digital Image Analysis System for Grain) ของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ขนาดเมล็ดข้าว

จะเห็นได้ว่า ข้อมูลดังกล่าวเป็นรายละเอียดที่ช่วยควบคุมคุณภาพของเมล็ดข้าว อันได้มาจากหลายแหล่งผลิต ทำให้ผู้บริโภคมีความมั่นใจในคุณภาพของผลผลิตว่ามีเกณฑ์มาตรฐานกำกับแต่เกณฑ์ ข้อกำหนด ระเบียบที่ดีและชัดเจนแล้วก็ยังคงประสบปัญหาบางประการ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องการดำเนินงานเชื่อมโยงข้อมูลแต่ละหน่วยงาน ให้ผู้ผลิตทราบ หรือจะเป็นกระบวนการตรวจสอบให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่ยุ่งยาก ต้นทุนสูง จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงเห็นควรที่จะประยุกต์เทคโนโลยีตั้งต้นมาช่วยในการลดปัญหาความยุ่งยากในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว ซึ่งจะกล่าวถึง “แนวคิดการออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว” ในหัวข้อต่อไป

การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวในต่างประเทศ

สำหรับในต่างประเทศมีการการตรวจสอบคุณภาพ “ข้าว” เพื่อการส่งออก หรือการบริโภคภายในประเทศเช่นเดียวกัน ซึ่งจะมีหน่วยงานกลางจากภาครัฐ หรือการรวมตัวของภาคเอกชนมาดำเนินการรวมกลุ่มสร้างและกำหนดมาตรฐานของข้าวตามคุณลักษณะพิเศษของสายพันธุ์ของประเทศนั้น ทั้งนี้ ได้มีการรวบรวมข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพ โดย Nural Afsar รวบรวมข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวของประเทศบริเวณทวีปเอเชีย อันประกอบด้วย ประเทศพม่า ปากีสถาน จีน ญี่ปุ่น มาเลเซีย อินโดนิเซีย เวียดนาม ฟิลิปปินส์ และ Colin Wrigley, Ian Batey and Diane Miskelly รวบรวมข้อมูลของประเทศแคนนาดา ออสเตเรีย สหภาพยุโรป (อังกฤษ ฝรั่งเศส เยอรมัน) ประเทศบริเวณ Black Sea (ยูเครน รัสเซีย คาซัคสถาน) และสหรัฐอเมริกา Afsar (2001, pp. 53-58); Wrigley, Batey, and Miskelly (2017, pp. 513-570) จากการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยได้นำมาแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มอย่างกว้าง ๆ โดยใช้เส้นเมริเดียนเป็นเส้นแบ่ง (ลากผ่านกรีนิช สหราชอาณาจักร) แบ่งเป็นซีกโลกตะวันออก (ครึ่งหนึ่งของโลกที่อยู่ทางทิศตะวันออก) ของเส้นเมริเดียนแรก และซีกโลกตะวันตก (ครึ่งหนึ่งของโลกที่อยู่ทางตะวันตก) ของเส้นเมริเดียนแรก มีรายละเอียดแต่ละประเทศ ดังต่อไปนี้

กลุ่มแรกซีกโลกตะวันออกที่ได้รวบรวมข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวมีดังนี้ (Afsar, 2001, pp. 53-58)

1. ประเทศจีน เป็นประเทศที่มีประชากรเป็นอันดับ 1 ของโลก การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวมี China Certification & Inspection (Group) Co., Ltd เป็นกลุ่มจีนรับรองและตรวจสอบเป็นนิติบุคคลอิสระเป็นบริษัทจดทะเบียนที่รวมกันเป็นกลุ่มบริษัท โดยสมัครใจหรือเป็นองค์กรที่มีการรับรองและตรวจสอบจีน (กลุ่ม) จำกัด เป็นบริษัทแม่ที่จัดระบบใหม่ของประเทศจีนก่อนการนำเข้าและตรวจสอบสินค้าส่งออก บริษัทจีนรับรองและตรวจสอบ (กลุ่ม) จำกัด เรียกว่า CCIC เป็นบริษัทข้ามชาติที่ถูกกำหนดให้การตรวจสอบ การสำรวจ การรับรองและการบริการทดสอบด้วยอำนาจจากรัฐสภา และมีการรับรองโดยรัฐบริหารคุณภาพ การกำกับดูแล การตรวจสอบและกักกัน และรับรองและการแต่งตั้งฝ่ายบริหารของสาธารณรัฐประชาชนจีน

ยังมี กระทรวงควบคุมคุณภาพตรวจสอบและกักกันโรคแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน คณะกรรมการกำกับการมาตรฐานแห่งชาติจีน (2552) ประกาศเมื่อวันที่ 28 มีนาคม 2552 มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2552 (GB 1345-1986) มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ข้าวเพื่อการบริโภคที่แปรรูปมาจากข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวกึ่งสำเร็จรูปเท่านั้น ดัชนีคุณภาพข้าว และเกณฑ์การตัดสินชั้นคุณภาพข้าว มีการแบ่งประเภท Classification แบ่งตามชนิดของข้าว ได้แก่ ข้าวเจ้าเมล็ดยาว

ข้าวเจ้าเมล็ดสั้น และข้าวเหนียว โดยข้าวเหนียวยังแบ่งได้อีก 2 ชนิด คือ ข้าวเหนียวเมล็ดยาว และข้าวเหนียวเมล็ดสั้น และแบ่งตามคุณภาพการบริโภค ได้แก่ ข้าวสาร และ ข้าวสารชั้นดี ดังนี้

เงื่อนไขด้านคุณภาพ

1.1 ดัชนีด้านคุณภาพข้าวสาร เป็นไปตามตารางที่ 2-3 ในตารางนี้กำหนดให้ระดับการสีข้าวหักและปลายข้าว เมล็ดข้าวที่ไม่สมบูรณ์ และปริมาณสูงสุดของวัตถุอื่น

ตารางที่ 2-3 ดัชนีคุณภาพข้าวสาร

ชนิด		**ข้าวเจ้าเมล็ดยาว**				**ข้าวเจ้าเมล็ดสั้น**				**ข้าวเหนียวเมล็ดยาว**			**ข้าวเหนียวเมล็ดสั้น**		
ชั้นคุณภาพ		**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
ระดับการสี		**ปริมาณเปลือกข้าวที่เหลือ เมื่อตรวจสอบกับตัวอย่างมาตรฐาน**													
ข้าวหัก	ปริมาณรวม (%)	15.0	20.0	25.0	30.0	7.5	10.0	12.5	15.0	15.0	20.0	25.0	7.5	10.0	12.5
	ปริมาณปลายข้าวในข้าวหัก (%)	1.0	1.5	2.0	2.5	0.5	1.0	1.5	2.0	1.5	2.0	2.5	0.8	1.5	2.3
เมล็ดข้าวที่ไม่สมบูรณ์ (%)		3.0		4.0	6.0	3.0		4.0	6.0	3.0	4.0	6.0	3.0	4.0	6.0
ปริมาณสูงสุดของวัตถุอื่น	ปริมาณรวม (%)	0.25		0.3	0.4	0.25		0.3	0.4	0.25		0.3	0.25		0.3
	รำข้าว (%)	0.15		0.2		0.15		0.2		0.15		0.2	0.15		0.2
	แร่ธาตุ (mineral substances) (%)	0.02													
	เมล็ดวัชพืชคัดเปลือก (เมล็ด/kg)	3		5	7	3		5	7	3		5	3		5
	ข้าวเปลือก (เมล็ด/kg)	4		6	8	4		6	8	4		6	4		6
ความชื้น (%)		14.5				15.5				14.5			15.5		
ข้าวเมล็ดเหลือง (%)		1.0													
เมล็ดข้าวชนิดอื่น (%)		5.0													
สีและกลิ่น		ไม่มีสีและกลิ่นที่ผิดปกติ													

1.2 ดัชนีคุณภาพข้าวสารชั้นดี เป็นไปตามตารางที่ 2-4 ในตารางนี้กำหนดให้ระดับการสีข้าวหักและปลายข้าว เมล็ดข้าวที่ไม่สมบูรณ์ เปอร์เซ็นต์ข้าวเมล็ดท้องไข่ ค่าประเมินการทดสอบและปริมาณสูงสุดของวัตถุอื่นของ ข้าวเจ้าเมล็ดยาวชั้นดี และข้าวเจ้าเมล็ดสั้นชั้นดี เป็นดัชนีสมการรวมถึง กำหนดให้ระดับการสี ข้าวหักและปลายข้าว เมล็ดข้าวที่ไม่สมบูรณ์ และปริมาณสูงสุดของวัตถุอื่นของ ข้าวเหนียวเมล็ดยาวชั้นดี และข้าวเหนียวเมล็ดสั้นชั้นดี

ตารางที่ 2-4 ดัชนีคุณภาพข้าวสารชั้นดี

ชนิด		ข้าวเจ้าเมล็ดยาว			ข้าวเจ้าเมล็ดสั้น			ข้าวเหนียวเมล็ดยาว			ข้าวเหนียวเมล็ดสั้น		
ชั้นคุณภาพ		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ระดับการสี		ปริมาณเปลือกข้าวที่เหลือ เมื่อตรวจสอบกับตัวอย่างมาตรฐาน											
ข้าวหัก	ปริมาณรวม (%)	5.0	10.0	15.0	2.5	5.0	7.5	5.0	10.0	15.0	2.5	5.0	7.5
	ปลายข้าวในข้าวหัก (%)	0.2	0.5	1.0	0.1	0.3	0.5	0.5	1.0	1.5	0.2	0.5	0.8
เมล็ดข้าวที่ไม่สมบูรณ์ (%)		3.0		4.0	3.0		4.0	3.0		4.0	3.0		4.0
ข้าวเมล็ดท้องไข่ (%)		10.0	20.0	30.0	10.0	20.0	30.0	-	-	-	-	-	-
ค่าประเมินการทดสอบ (คะแนน)		90	80	70	90	80	70	75					
ปริมาณอมิโลส (dry basis) (%)		14.0-24.0			14.0-24.0			≤2.0					
ปริมาณสูงสุดของวัตถุอื่น	ปริมาณรวม (%)	0.25		0.3	0.25		0.3	0.25		0.3	0.25		0.3
	รำข้าว (%)	0.15		0.2	0.15		0.2	0.15		0.2	0.15		0.2
	แร่ธาตุ (mineral substances) (%)	0.02											
	เมล็ดวัชพืชคัดเปลือก (เมล็ด/kg)	3		5	3		5	3		5	3		5
	ข้าวเปลือก (เมล็ด/kg)	4		6	4		6	4		6	4		6
ความชื้น (%)		14.5			15.5			14.5			15.5		
ข้าวเมล็ดเหลือง (%)		1.0											
เมล็ดข้าวชนิดอื่น (%)		5.0											
สีและกลิ่น		ไม่มีสีและกลิ่นที่ผิดปกติ											

2. ประเทศบังคลาเทศ ผลิตข้าวสายพันธุ์ “Oryza sativa, L” บริโภคข้าวเป็นอาหารหลักของประชาชนในประเทศ มีหน่วยงานกำกับควบคุม คือ The Bangladesh Standard Testing Institution (BSTI) เป็นสถาบันมาตรฐานการทดสอบของประเทศ โดยมี Directorate General of Food (DGF) คณะกรรมการอาหารแห่งสหประชาชาติ จะกำหนดค่าความชื้นและสิ่งสกปรกในเมล็ดข้าวที่มีผลต่อคุณภาพข้าว คัดเลือกข้าวเกรดที่สม่ำเสมอมาใช้จะช่วยให้มั่นใจได้ถึงคุณภาพของผลผลิตและการกำหนดราคาตามระดับ

3. ประเทศอินเดีย มีการกำหนดคุณภาพข้าวดำเนินการโดยรัฐบาลอินเดีย Food Corporation of India (FCI) และปรับมาตรฐาน Fair Average Quality (FAQ) ให้เป็นไปตาม Prevention of Food Adulteration Act (1954) (PFA) เป็นผู้กำหนดมาตรฐานและคุณภาพ ขนาด รูปร่าง ความชื้น สิ่งแปลกปลอม กลิ่น มีการจำแนกหมวดหมู่ ดังนี้

3.1 ยาวเรียว ยาว 6 มิลลิเมตรขึ้นไป อัตราส่วนความยาว/ความกว้าง 3 มิลลิเมตรขึ้นไป

3.2 ยาวปานกลาง ยาวน้อยกว่า 6 มิลลิเมตร อัตราส่วนความยาว/ความกว้าง 2.5-3 มิลลิเมตร หรือความยาวน้อยกว่า 4.5 มิลลิเมตร อัตราส่วนความยาว/ความกว้าง 2-2.5 มิลลิเมตร

3.3 สั้นเรียว ยาวน้อยกว่า 6 มิลลิเมตร อัตราส่วนความยาว/ความกว้าง 3 มิลลิเมตร และมากกว่า 3 มิลลิเมตร

3.4 ยาวหนา ความยาว 6 มิลลิเมตรขึ้นไป อัตราส่วนความยาว/ความกว้างไม่เท่ากัน มากกว่า 3 มิลลิเมตร

3.5 สั้นหนา ความยาวน้อยกว่า 6 มิลลิเมตร อัตราส่วนความยาว/ความกว้างไม่เท่ากัน มากกว่า 3 มิลลิเมตร

การประเมินคุณภาพและคุณค่าของข้าวเปลือกคือ วัดจากสัดส่วนของเมล็ดข้าวที่เสียหาย และความชื้น พันธุ์ที่ให้กลิ่นจะต้องอยู่ในชั้นที่เหมาะสมตามเกณฑ์ หรือเพื่อการทำอาหาร ต้องมีรสชาติดี และมีความยาวเป็นสองเท่าเมื่อนำมาทำอาหาร

4. ประเทศเนปาล มีการรับรองคุณภาพข้าว โดย Nepal Food Corporation (NFC) มีการให้คะแนนการทดสอบ เพื่อใช้ในการจัดหาข้าวเปลือกจากเกษตรกรเข้าสู่โรงงาน การสุ่มตัวอย่าง ทำตามคำแนะนำขององค์การมาตรฐานสากล (International Standard Organization 950)

5. ประเทศปากีสถาน การผลิตข้าวทั้งหมดผ่าน Rice Export Corporation of Pakistan Ltd. (RECP) ตามข้อกำหนดคุณภาพที่ตกลงกันผู้ตรวจการอาหารที่ทำงานกับ RECP รับผิดชอบใน การตรวจสอบคุณภาพข้าวตามที่ตัวแทนจำหน่ายได้รับมอบหมายโดยทีมตรวจสอบของ Super ยัง มั่นใจได้ว่าข้าวที่ได้รับอย่างเคร่งครัดตามข้อกำหนด มีการประเมินคุณภาพข้าวที่สามารถส่งออกได้ เพื่อรักษาสถานะและความแตกต่างในตลาดโลก พร้อมทั้งตรวจสอบข้าวจำนวนมากก่อนการบรรจุหีบห่อ โดยทีมงานตรวจสอบ Super Supervisor ประกอบด้วย เจ้าหน้าที่ของกรมอาหาร และบริษัทส่งออก ข้าวของปากีสถานประกอบด้วยผู้อำนวยการ Food Punjab

6. ประเทศพม่า เป็นประเทศที่มีการส่งออกข้าว มีผลิตภัณฑ์จากข้าวหลากหลายถึง 60 กว่าสายพันธุ์ที่จำหน่ายอยู่ต่างประเทศ และมีการปนกันของข้าวขาวและข้าวหักยังไม่มีการกำหนด มาตรฐานที่ชัดเจน

7. ประเทศมาเลเซีย ดำเนินการโดยสถาบันวิจัยและพัฒนาการเกษตรของมาเลเซีย (MARDI) และคณะกรรมการข้าวเปลือกและข้าวแห่งชาติ (National Paddy and Rice Board: LPN) มีการจัด ระดับขึ้นอยู่กับการกำหนดระดับการให้คะแนนของเมล็ดข้าว เช่น ความชื้น เป็นต้น

8. ประเทศอินโดนีเซีย ควบคุมโดยสำนักงานลอจิสติกส์แห่งชาติ (BULOG) ซึ่งเป็นหน่วยงาน ของรัฐบาลที่เป็นอิสระได้รับรองมาตรฐานและการตรวจสอบคุณภาพและมีการเก็บรักษาสต็อกไว้ใน การดำเนินงาน ในการปรับปรุงระบบการจัดระดับข้าวและมาตรฐานคุณภาพเพื่อรักษาคุณภาพของ สต็อกที่เพิ่มขึ้นของตนและเพื่อให้ได้ข้าวมีคุณภาพดี มีข้อกำหนดเชิงคุณภาพ เช่น ปราศจากแมลงหรือรา ปราศจากกลิ่นไม่ดีเปรี้ยว และปราศจากสารเคมีที่เป็นอันตราย

9. ประเทศเวียดนาม มีการกำหนดมาตรฐานและคะแนนข้าวเปลือกหรือข้าวสาร โดยเฉพาะ อย่างยิ่ง ปริมาณความชื้นเมล็ด สิ่งสกปรก และพันธุ์ผสม ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณและ คุณภาพของธัญพืชที่เพิ่มขึ้นใน

10. ประเทศฟิลิปปินส์ มีสำนักงานอาหารแห่งชาติและองค์การอาหารและการเกษตรแห่ง สหประชาชาติ (FAO) ปรับปรุงคุณภาพข้าว การคัดแยกข้าวเปลือกและข้าวสารในประเทศ มีการแนะนำ ระหว่างรัฐกับรัฐ รวมทั้งคำจำกัดความมาตรฐานต่าง ๆ

11. ประเทศญี่ปุ่น ตรวจสอบตามกฎหมายว่าด้วยการตรวจสอบสินค้าทางการเกษตรแล้ว เกษตรกรจะต้องขายผลผลิตของตน โดยรัฐบาลโดยผ่านผู้ประกอบอาหารที่ได้รับอนุญาตหลังจากหักจำนวนที่จะขายเป็นข้าวกึ่งพ่อค้า ราคาข้าวที่รัฐบาลจัดซื้อจากเกษตรกรจะขึ้นอยู่กับสถานที่ผลิตเกรดและการตรวจสอบ ราคาเหล่านี้ขึ้นอยู่กับราคาเฉลี่ยของเกรด 1 และเกรด 2 ทั้งหมดที่มีการให้คะแนนสำหรับแบรนด์ และคะแนนการตรวจสอบตามข้อกำหนดของกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาหาร รัฐบาลกำหนดราคาเฉลี่ยของข้าวโดยการหารือในสภาราคาข้าวทุกปีคำนึงถึงต้นทุนการผลิตราคาสินค้าหลักและภาวะเศรษฐกิจอื่น ๆ เพื่อสร้างความมั่นคงในการผลิตข้าว มาตรฐานคุณภาพข้าวขาวเต็มรูปแบบของญี่ปุ่นแสดงไว้

กลุ่มที่สองซีกโลกตะวันตกที่ได้รวบรวมข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าว มีดังนี้ (Wrigley, Batey, & Miskelly, 2017, pp. 513-570)

1. ประเทศสหรัฐอเมริกา (USDA Grain, Packers and Stockyards Administration (GIPSA)) มีการควบคุมคุณภาพ (Quality Assurance/Quality Control-QA/QC) โดยการนับจำนวนเมล็ดหรือเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก การหักของเมล็ดข้าวเหล่านี้ จะถูกกำหนดมีการออกระดับคุณภาพของข้าว เช่น ข้าวสาลีตามาตรฐาน 15 กรัม ประกอบด้วย เมล็ด 300-500 เมล็ด โดยแต่ละเมล็ดจะถูกตรวจสอบแยกกันมีการตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ความเสียหายขอเมล็ด วัสดุแปลกปลอม กลิ่นเหม็นเปรี้ยว เป็นต้น เป็นการวิเคราะห์ทางกายภาพ

2. ประเทศแคนาดา (Canadian Food Inspection Agency (CFIA)) การกำหนดมาตรฐานตามคุณภาพ มีการตรวจสอบข้าวสาลีอย่างเป็นทางการโดยคณะกรรมาธิการธัญพืชของประเทศแคนาดาตรวจสอบจากการวิเคราะห์ภาพและอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเกรดรวมถึงเครื่องมือทดสอบสำหรับน้ำหนักข้าว

3. ประเทศออสเตรเลีย โดยคณะกรรมการข้าวสาลีของออสเตรเลีย (AWB International) กำหนดข้าวสาลีต้องเป็นเม็ดสีขาวเพื่อให้มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการแบ่งเกรดจะขึ้นอยู่กับความหลากหลายและประเมินคุณภาพเมล็ดทางกายภาพ มีการทดแทนการตรวจสอบสายตาของเมล็ดข้าวด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ภาพ เช่น Eye Foss เพื่อทำนายพารามิเตอร์การตรวจสอบเมล็ดข้าว เช่น จุดสีดำและเมล็ดวัชพืชทั่วไป

4. สหภาพยุโรป (EU) มาตรฐาน เช่นเดียวกับประเทศออสเตรเลีย แคนาดา และสหรัฐอเมริกา ได้แก่ การตรวจสอบความเสียหายของเมล็ดพืช (หัก เปลี่ยนสี เน่าเปื่อย ผุพังและแมลง) สารปนเปื้อน (เมล็ดจากภายนอกเปลือก แมลงเศษธัญพืชอื่น ๆ และวัตถุภายนอก) ปริมาณความชื้นสูงสุดปริมาณโปรตีนต่ำสุด และน้ำหนักเกณฑ์ทดสอบ

5. ประเทศอาร์เจนตินา มีหน่วยงาน El Servicia แห่งชาติ Sanidady Calidad Agroalimentaria: SENASA ควบคุมคุณภาพข้าวสาลี ประเมินเมล็ดข้าวเบื้องต้น ความชื้น การหัก การปนเปื้อน กลิ่น โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนคุณภาพ

จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่า ประเทศทางซีกโลกตะวันออกและตะวันตก มีการตรวจสอบเมล็ดข้าว โดยหน่วยงานภายในประเทศกรณีบริโภคภายใน และเปรียบเทียบกับข้อมูลต่างประเทศกรณีส่งออก พร้อมทั้งมีเกณฑ์ที่มีคุณสมบัติเฉพาะของสายพันธุ์ข้าวบางชนิดที่ประเทศตนเองผลิตได้ไม่ต่างจากประเทศไทย ทั้งนี้ การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว ประกอบไปด้วย ขนาด รูปร่าง สี การหัก ความชื้น สิ่งแปลกปลอม (สัตว์ในอาณาจักรฟังใจ เศษวัสดุ) กลิ่น พันธุ์ผสม น้ำหนัก

สารปนเปื้อน โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนคุณภาพกำหนดของแต่ละประเทศ รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ อาทิเช่น เครื่องมือวิเคราะห์ภาพ อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเกรดรวมถึงเครื่องมือทดสอบสำหรับน้ำหนักข้าว เป็นต้น

ทฤษฎีการวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบ

ความหมายของระบบ (System) ตามพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525 ได้ให้ความหมายไว้ว่า ระบบ คือ ระเบียบเกี่ยวกับการรวมสิ่งต่าง ๆ ซึ่งมีลักษณะซับซ้อนให้เข้าลำดับประสานเป็นอันเดียวกันตามหลักเหตุผลทางวิชาการ หรือหมายถึง ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติซึ่งมีความสัมพันธ์ประสานเข้ากันโดยกำหนดรวมเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน

ระบบ หมายถึง องค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน หรือเป็นการรวมตัวของสิ่งหลายสิ่งเพื่อความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน โดยส่วนประกอบต่าง ๆ ร่วมกันทำงานอย่างผสมผสานกัน เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายที่กำหนดไว้ (ไอเอ็ม 2, 2559)

วิสุทธิ์ วิจิตรพัชราภรณ์ (2552, หน้า 27) ระบบ หมายถึง การจัดรวม องค์ประกอบย่อยที่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันในการดำเนินการให้บรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2561) การวิเคราะห์ระบบ (อังกฤษ: Systems Analysis) เป็นการศึกษาถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบงานปัจจุบัน (Current System) เพื่อออกแบบระบบการทำงานใหม่ (New System) นอกจากออกแบบสร้างระบบงานใหม่แล้ว เป้าหมายในการวิเคราะห์ระบบ ต้องการปรับปรุงและแก้ไขระบบงานเดิมให้มีทิศทางที่ดีขึ้น โดยก่อนที่ระบบงานใหม่ ยังไม่นำมาใช้งาน ระบบงานที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน เรียกว่า ระบบปัจจุบัน แต่ถ้าต่อมามีการพัฒนาระบบใหม่ และนำมาใช้งาน เราจะเรียกระบบปัจจุบันที่เคยใช้นั้นว่า ระบบเก่า (Old System)

Shelly and Rosenblatt (2012) การวิเคราะห์และออกแบบระบบ เป็นการหาความต้องการ (Requirements) ของระบบ การพัฒนาระบบต้องศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการ การไหลเวียนของข้อมูล ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าทรัพยากรดำเนินงาน และผลลัพธ์ เพื่อทำการออกแบบระบบสารสนเทศใหม่ แต่ในความเป็นจริงการพัฒนาระบบมิได้สิ้นสุดที่การออกแบบ ผู้พัฒนาระบบจะต้องดูแลการจัดหา ติดตั้ง ดำเนินงาน และประเมินระบบว่าสามารถดำเนินงานได้ตามต้องการ และกำหนดแนวทางการพัฒนาระบบต่อไป

Smith (1993 อ้างถึงใน วิสุทธิ์ วิจิตรพัชราภรณ์, 2552, หน้า 28) การพัฒนาระบบมี 3 ขั้นตอน 1) การวิเคราะห์ระบบ (System Analysis) ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบว่ามีลักษณะอย่างไร มีความเหมาะสมเพียงใด ควรลดหรือเพิ่มองค์ประกอบใดให้เหมาะสมกับสภาพของระบบที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน 2) การออกแบบระบบ (System Design) หมายถึง การนำองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ได้มาวิเคราะห์หรือแยกแยะไว้มาทำการออกแบบระบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบเดิมที่มีอยู่ 3) การวัดและตรวจสอบระบบ (System Measurement) หมายถึง การนำระบบที่ออกแบบไว้มาตรวจสอบว่าระบบดังกล่าวมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้จริงได้หรือไม่

Bigs and others (1980 อ้างถึงใน วิสุทธิ์ วิจิตรพัชราภรณ์ (2552, หน้า 29) เสนอแนวคิดเกี่ยวกับขั้นตอนของการพัฒนาระบบ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นการวางแผนระบบ (System Planning) เป็นขั้นตอนแรกที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความคิดอย่างเป็นทางการ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อย คือ

1.1 การสำรวจเบื้องต้น

1.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบ

2. ขั้นการศึกษาความต้องการของระบบ (System Requirements) เป็นการจัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการสร้างแนวทางที่ต้องการพัฒนา ประกอบด้วย

2.1 การวิเคราะห์ระบบและการปฏิบัติการ

2.2 การสำรวจความต้องการของระบบผู้ใช้

2.3 การใช้วิธีการสนับสนุนในด้านเทคนิค

2.4 การออกแบบและทบทวนเกี่ยวกับแนวความคิดที่ต้องการให้เป็นทางเลือก

2.5 การประเมินทางเลือกและจัดทำแผนในการพัฒนา

3. ขั้นการพัฒนาระบบ (System Development) เป็นการยอมรับแนวความคิดการออกแบบและประเมินในขั้นที่ผ่านมา และจบด้วยการพัฒนาเป็นระบบที่มีความสมบูรณ์ซึ่งสามารถนำไปสู่การปฏิบัติได้ ประกอบด้วย

3.1 การกำหนดลักษณะเฉพาะทางเทคนิคของระบบ

3.2 การพัฒนาเทคนิคที่ใช้ในการสนับสนุนระบบ

3.3 การประยุกต์ลักษณะเฉพาะให้เข้ากับโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

3.4 การทดสอบโปรแกรม

3.5 การพัฒนาคู่มือการดำเนินการและการควบคุมระบบ

3.6 การฝึกฝนผู้ใช้ระบบ

3.7 การปฏิบัติตามแผน

3.8 การทดลองเปลี่ยนแปลงแผน

3.9 การทดสอบทั้งระบบ

4. ขั้นการนำระบบไปปฏิบัติ (System Implementation) เป็นขั้นตอนสุดท้ายหลังจากที่มี การทดสอบระบบแล้วจะนำไปสู่การปฏิบัติจริง มีการปรับแต่งเพื่อให้ระบบมีความเหมาะสมกับการใช้งานอีกครั้ง และจะต้องมีการทบทวนผลการปฏิบัติหลังจากที่ได้มีการนำเอาระบบไปสู่การดำเนินการจริง เพื่อให้ระบบที่พัฒนาขึ้น มีความสมบูรณ์มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และเพื่อรักษาระบบให้คงอยู่ต่อไป

จากความหมายของคำว่า ระบบ การวิเคราะห์และออกแบบระบบ การพัฒนาระบบ และท้ายที่สุด คือ ขั้นตอนการพัฒนาระบบที่ได้ศึกษามาข้างต้นนำมาสรุปได้ว่า การวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาระบบโดยทั่วไปมีองค์ประกอบดังภาพที่ 2-7

ภาพที่ 2-7 สรุปวงจรการวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาระบบ

อำไพ พรประเสริฐสกุล (2544 อ้างถึงใน ศิริรัตน์ ชำนาญรบ, 2555, หน้า 20-22) วงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle (SDLC)) คือ กระบวนการทางความคิด (Logical Process) พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อแก้ปัญหาและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ วงจรพัฒนาระบบมีทั้งหมด 7 ขั้นตอน คือ

1. เข้าใจปัญหา (Problem Recognition) เป็นการศึกษาความต้องการเบื้องต้น ประกอบด้วย
2. ศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility Study) จุดประสงค์ของการศึกษาความเป็นไปได้ก็คือ การกำหนดว่าปัญหาคืออะไร และตัดสินใจว่าการพัฒนาสร้างระบบสารสนเทศ หรือการแก้ไขระบบสารสนเทศเดิมมีความเป็นไปได้หรือไม่โดยเสียค่าใช้จ่ายและเวลาน้อยที่สุด และได้ผลเป็นที่น่าพอใจปัญหา
3. วิเคราะห์ (Analysis) เริ่มเข้าสู่การวิเคราะห์ระบบ การวิเคราะห์ระบบเริ่มตั้งแต่การศึกษาระบบการทำงานเดิมว่าเป็นระบบสารสนเทศอยู่แล้วทำงานอย่างไร แล้วจึงกำหนดความต้องการของระบบใหม่ ซึ่งนักวิเคราะห์ระบบจะต้องใช้เทคนิคในการเก็บข้อมูล (Fact-Gathering Techniques) ได้แก่ ศึกษาเอกสารที่มีอยู่ ตรวจสอบวิธีการทำงานในปัจจุบัน สัมภาษณ์ ผู้ใช้และผู้จัดการที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบ เอกสารที่มีอยู่ ได้แก่ คู่มือการใช้งาน แผนผังใช้งานขององค์กรรายงานต่าง ๆ ที่หมุนเวียนในระบบการศึกษาวิธีการทำงานในปัจจุบัน ทำให้นักวิเคราะห์ระบบรู้ว่าระบบจริง ๆ ทำงานอย่างไร และบางครั้งค้นพบข้อผิดพลาดได้

4. ออกแบบ (Design) ในระยะแรกของการออกแบบ นักวิเคราะห์ระบบจะนำการตัดสินใจที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์การเลือกซื้อคอมพิวเตอร์ ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ด้วย (ถ้ามีหรือเป็นไปได้) หลังจากนั้น นักวิเคราะห์ระบบจะนำแผนภาพต่าง ๆ ที่เขียนขึ้นในขั้นตอนการวิเคราะห์มาแปลงเป็นแผนภาพลำดับขั้น (แบบต้นไม้) เพื่อให้มองเห็นภาพลักษณ์ที่แน่นอนของโปรแกรมว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร และโปรแกรมอะไรบ้างที่จะต้องเขียนในระบบ

ขั้นตอนการวิเคราะห์ นักวิเคราะห์ระบบต้องหาว่า “จะต้องทำอะไร (What)” แต่ในขั้นตอนการออกแบบต้องรู้ว่า “จะต้องทำอย่างไร (How)” ในการออกแบบโปรแกรมต้องคำนึงถึงความปลอดภัย (Security) ของระบบด้วย เพื่อป้องกันการผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น เช่น “รหัส” สำหรับผู้ใช้ที่มีสิทธิ์สำรองไฟล์ขอมูลทั้งหมด เป็นต้น

ต่อมาระบบจะต้องออกแบบวิธีการใช้งาน เช่น กำหนดว่าการป้อนข้อมูลจะต้องทำอย่างไร จำนวนบุคลากรที่ต้องการในหน้าที่ต่าง ๆ แต่ถ้านักวิเคราะห์ระบบตัดสินใจว่าการซื้อซอฟต์แวร์ ดีกว่าการเขียนโปรแกรม ขั้นตอนการออกแบบสามารถตัดได้เพราะสามารถนำซอฟต์แวร์สำเร็จรูปมาใช้งานได้ทันที จากนั้นนำข้อมูลเฉพาะของการออกแบบระบบ (System Design Specification) มาใช้เป็นแบบในการเขียนโปรแกรม และตรวจสอบกับผู้ใช้ว่าพอใจหรือไม่ และตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์ จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างหรือพัฒนาระบบ (Construction)

5. สร้างหรือพัฒนาระบบ (Construction) เป็นขั้นตอนที่เริ่มเขียนและทดสอบโปรแกรมการทำงานถูกต้องหรือไม่ มีการทดสอบกับข้อมูลจริงที่เลือกแล้ว เมื่อทุกอย่างเรียบร้อยจะได้โปรแกรมที่พร้อมที่จะนำไปใช้งานจริงต่อไป หลังจากนั้นต้องเตรียมคู่มือการใช้และการฝึกอบรมผู้ใช้งานจริงของระบบ เมื่อเขียนเสร็จแล้วต้องมีการทบทวนกับนักวิเคราะห์ระบบและผู้ใช้งาน เพื่อค้นหาข้อผิดพลาด วิธีการนี้ เรียกว่า “Structure Walkthrough” การทดสอบโปรแกรมจะต้องทดสอบกับข้อมูลที่เลือกแล้วชุดหนึ่ง ซึ่งอาจจะเลือกโดยผู้ใช้ การทดสอบเป็นหน้าที่ของโปรแกรมเมอร์ แต่นักวิเคราะห์ระบบต้องแน่ใจว่าโปรแกรมทั้งหมดจะต้องไม่มีข้อผิดพลาด

6. การปรับเปลี่ยน (ConVersion) ขั้นตอนนี้เป็นการนำระบบใหม่มาใช้แทนของเก่า ภายใต้การดูแลของนักวิเคราะห์ระบบ การป้อนข้อมูลต้องทำให้เรียบร้อย ทั้งนี้ การนำระบบเข้ามาควรจะทำอย่างค่อยเป็นค่อยไปทีละน้อยที่ดีที่สุด คือ ใช้ระบบใหม่ควบคู่ไปกับระบบเก่าสักระยะหนึ่ง โดยใช้ข้อมูลชุดเดียวกันแล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์ว่าตรงกันหรือไม่ เมื่อเรียบร้อยให้นำระบบเก่าออก แล้วใช้ระบบใหม่ต่อไป

7. บำรุงรักษา (Maintenance) การแก้ไขโปรแกรมหลังจากการใช้งานแล้ว สาเหตุที่ต้องแก้ไขโปรแกรมหลังจากใช้งานแล้ว สาเหตุที่ต้องแก้ไขระบบส่วนใหญ่มี 2 ข้อ คือ

7.1 มีปัญหาในโปรแกรม (Bug)

7.2 การดำเนินงานในองค์กรหรือธุรกิจเปลี่ยนไป เช่น ต้องการรายงานเพิ่มขึ้น ระบบที่ดีควรจะแก้ไขเพิ่มเติมสิ่งที่ต้องการได้การบำรุงรักษา

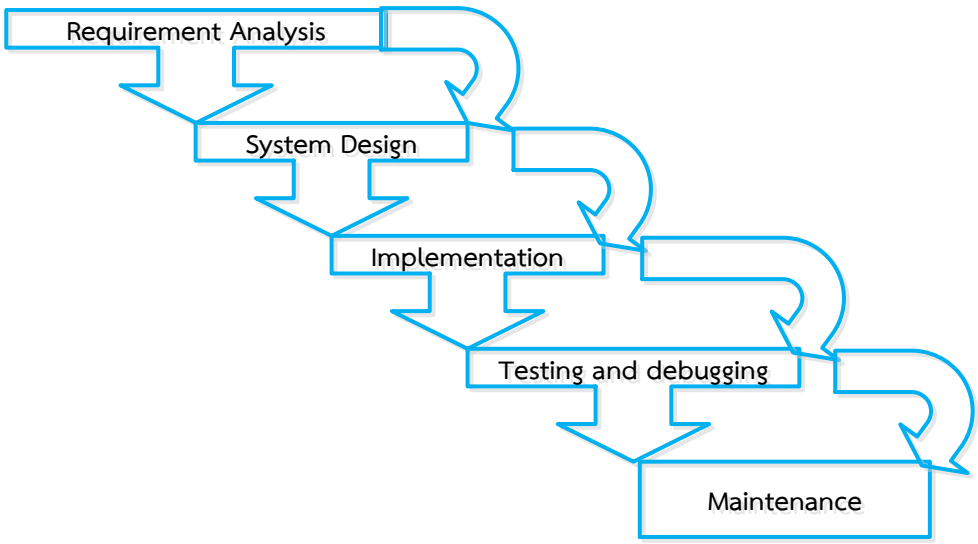
จากแนวคิด System Development Life Cycle (SDLC) ข้างต้น เป็นโครงสร้างที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ใหม่ ๆ Massey and Satao (2012, pp. 170-177) วงจรชีวิตการพัฒนาระบบนี้เริ่มจากการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้น ในการสร้างเว็บแอปพลิเคชันให้เสร็จสมบูรณ์

แนวทางการพัฒนาระบบ โดยวงจร System Development Life Cycle (SDLC) มีการพัฒนาระบบในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

1. System Development Life Cycle (SDLC) ในรูปแบบ Waterfall
2. System Development Life Cycle (SDLC) ในรูปแบบ Adaptive Waterfall
3. System Development Life Cycle (SDLC) ในรูปแบบ Evolutionary
4. System Development Life Cycle (SDLC) ในรูปแบบ Incremental
5. System Development Life Cycle (SDLC) ในรูปแบบ Spiral

ทั้งนี้ วัตถุประสงค์หลักของ System Development Life Cycle (SDLC) คือ เพื่อให้แน่ใจว่าการส่งมอบระบบมีคุณภาพโดยใช้การควบคุมการจัดการที่ดีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน (Bhatnagar & Singh, 2013, pp. 43-45)

1. System Development Life Cycle (SDLC) ในรูปแบบ Waterfall มีแนวทางในการพัฒนามี 5 ขั้นตอน ดังภาพที่ 2-8 ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนที่จะอธิบายต่อไป



ภาพที่ 2-8 System Development Life Cycle (SDLC) ในรูปแบบ Waterfall

1.1 การวิเคราะห์ความต้องการ (Requirement Analysis) ควรมีการวางแผนในการรวบรวมข้อมูลความต้องการใช้งานของผู้ใช้ (User Requirement Gathering) อย่างรัดกุม มิเช่นนั้นแล้ว ขั้นตอนนี้อาจจะใช้เวลายาวนานที่สุดของ SDLC เนื่องจากในทางปฏิบัติแล้ว กิจกรรมการรวบรวมความต้องการของผู้ใช้โปรแกรมจะเป็นส่วนที่ยุ่งยากและซับซ้อนที่สุด

1.2 การออกแบบระบบ (Design) รวบรวมความต้องการใช้งานของผู้ใช้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรม และนำมาวิเคราะห์เป็นความต้องการของโปรแกรมเพื่อจัดทำข้อกำหนดเกี่ยวกับความต้องการของโปรแกรม เพื่อให้เกิดความรู้และความเข้าใจขั้นตอนการวิเคราะห์โปรแกรม จึงได้แบ่งเนื้อหาออกเป็นประเด็นหลัก ดังนี้

1.2.1 การรวบรวมความต้องการใช้งานของผู้ใช้

1.2.2 แหล่งข้อมูลของความต้องการใช้งานโปรแกรม การเข้าถึงข้อมูลให้ครบทุกแหล่งจึงช่วยให้นักวิเคราะห์โปรแกรมเกิดความเข้าใจและได้ข้อสรุปของโปรแกรมใหม่ที่จะพัฒนาได้อย่างถูกต้อง

1.2.3 เอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น เอกสารประเภทคู่มือการปฏิบัติงาน แบบฟอร์ม และรายงานผลการปฏิบัติงานนั้น ๆ

1.3 การดำเนินการ (Implementation) สามารถจำแนกได้ ดังนี้

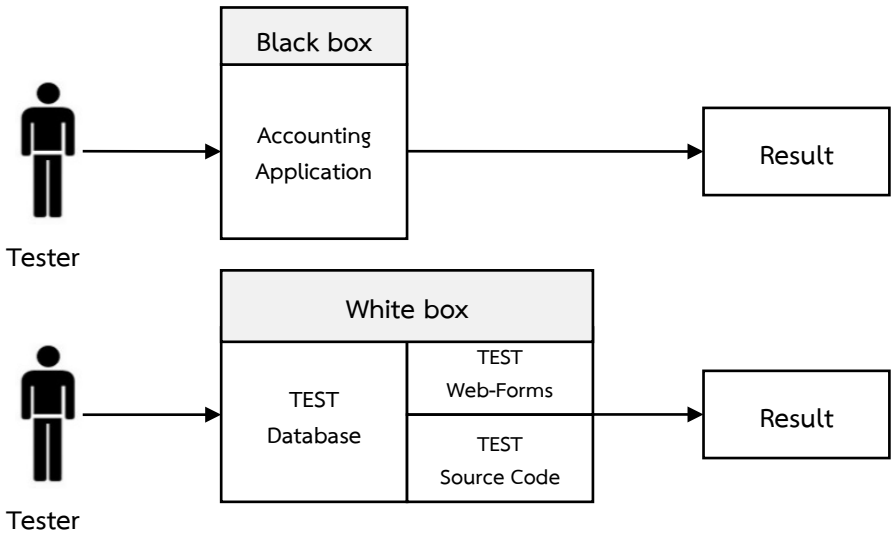
1.3.1 การศึกษาจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Document Review) เป็นวิธีการรวบรวมความต้องการใช้งานของผู้ใช้ที่ทำได้ไม่ยุ่งยาก

1.3.2 การค้นคว้าข้อมูล ปัจจุบันแหล่งข้อมูลขนาดใหญ่ที่สุดของโลก คือ โปรแกรมอินเตอร์เน็ต ดังนั้น นักวิเคราะห์โปรแกรมจึงสามารถค้นคว้าข้อมูล (Research) เพิ่มเติมได้ง่าย

1.3.3 การสัมภาษณ์ (Interview) เป็นกระบวนการที่มักเกิดขึ้นหลังจากการศึกษาเอกสารและการค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง บางครั้งใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) มักจะเป็นวิธีการที่ใช้ควบคู่ไปกับการสัมภาษณ์

1.3.4 การสังเกตการณ์ (Observation) เป็นวิธีการที่มีประโยชน์ เนื่องจากการให้สัมภาษณ์หรือการตอบแบบสอบถาม อาจมีประเด็นที่ไม่สามารถใช้วิธีการบรรยายเพียงอย่างเดียว

1.4 การทดสอบและยืนยันผล (Testing and Verification/Debugging) ก่อนนำไปใช้งานจริง จำเป็นต้องดำเนินการทดสอบโปรแกรมก่อน การทดสอบเบื้องต้นด้วยการสร้างข้อมูลจำลองขึ้นมา เพื่อตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม หากพบข้อผิดพลาดก็ปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้อง การทดสอบโปรแกรมมีการทดสอบ 2 แบบ ได้แก่ 1) Functional testing (Black Box Testing) และ 2) Structural (White Box Testing) แสดงในตัวอย่างภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 ความแตกต่างของการทดสอบโปรแกรม

1.4.1 การทดสอบหน้าที่ (Functional Testing) ด้วย Black Box Testing ผู้ทดสอบจะมองทั้งโปรแกรมเป็นเหมือนกล่องดำ (Black Box) ไม่สนใจว่า การทำงานภายในเป็นอย่างไร เช่น การทำงานของเครื่องจักร โดยเราแค่ป้อนคำสั่งให้เครื่องจักร แล้วดูว่าเครื่องจักรทำงานถูกต้องหรือไม่ ไม่สนใจกระบวนการทำงานว่าข้างในทำอะไรบ้าง ส่วนการสร้างกรณีทดสอบจะต้องใช้เอกสารกำหนดคุณลักษณะความต้องการใช้งานซอฟต์แวร์ (Requirement Specification) แบ่งการประเมิน ออกเป็น 4 ด้าน ดังนี้

1.4.1.1 Functional Requirement Test เป็นการประเมินผลความถูกต้องและประสิทธิภาพของโปรแกรมว่าตรงตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรมมากน้อยเพียงใด

1.4.1.2 Functional Test เป็นการประเมินความถูกต้องและประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรมว่าสามารถทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของโปรแกรมมากน้อยเพียงใด

1.4.1.3 Usability Test เป็นการประเมินลักษณะการออกแบบโปรแกรมว่ามีความง่ายต่อการใช้งานมากน้อยเพียงใด

1.4.1.4 Security Test เป็นการประเมินโปรแกรมในด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในโปรแกรมว่ามีมากน้อยเพียงใด

1.4.2 การทดสอบโครงสร้าง (Structural Testing) ด้วย White Box Testing การทดสอบแบบ White Box จะต้องรู้ว่าซอฟต์แวร์สร้างขึ้นมาอย่างไร และใช้การทำงานนั้นสร้างกรณีทดสอบขึ้นมา โดยจะต้องกำหนดกรณีทดสอบตามขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชันที่สร้างขึ้นมาจริง ๆ

เทคนิคในการทดสอบโปรแกรมสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) การทดสอบโดยไม่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ (Manual Testing) และ 2) การทดสอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Automated Testing)

1.4.3 การเปรียบเทียบการทำงานระหว่าง Black Box กับ White Box การทดสอบแบบ Black Box และ White Box มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างกรณีทดสอบขึ้นมาทดสอบซอฟต์แวร์ ในส่วนของ Black Box จะอาศัยข้อมูลจาก Requirement Specification เพียงอย่างเดียวในการสร้างกรณีทดสอบ ส่วนการทดสอบแบบ White Box จะอาศัยขั้นตอนการทำงานของซอฟต์แวร์ หรือ Source Code เพียงอย่างเดียวในการสร้างกรณีทดสอบ ดังนั้น จะต้องใช้การทดสอบทั้ง 2 วิธีร่วมกัน เช่น

1.4.3.1 ถ้าใช้การทดสอบแบบ White Box เพียงอย่างเดียว จะไม่รู้ว่าพัฒนาฟังก์ชันต่าง ๆ ตาม Requirement specification ครบแล้วหรือไม่ และไม่สามารถบอกได้ว่า ยังมี Requirement specification ส่วนไหนที่ยังไม่ได้พัฒนา

1.4.3.2 ถ้าใช้การทดสอบแบบ Black Box เพียงอย่างเดียว ในกรณีที่มีการสร้างฟังก์ชันที่นอกเหนือไปจากที่กำหนดไว้ใน Requirement Specification จะไม่สามารถบอกได้ว่าสร้างฟังก์ชันที่นอกเหนือกับที่กำหนดไว้

1.5 การดูแลระบบ (Maintenance) หลังจากที่โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ได้ถูกนำไปใช้งานเป็นที่เรียบร้อย หากพบข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่องจากการทำงานของโปรแกรม นักวิเคราะห์โปรแกรมจึงจำเป็นต้องดำเนินการติดตามและแก้ไขใหม่ถูกต้อง รวมถึงกรณีที่ข้อมูลจัดเก็บมีปริมาณมากขึ้น

สรุป ข้อดีและข้อเสียของ System Development Life Cycle (SDLC) ในรูปแบบ Waterfall

ข้อดีของ Waterfall Model

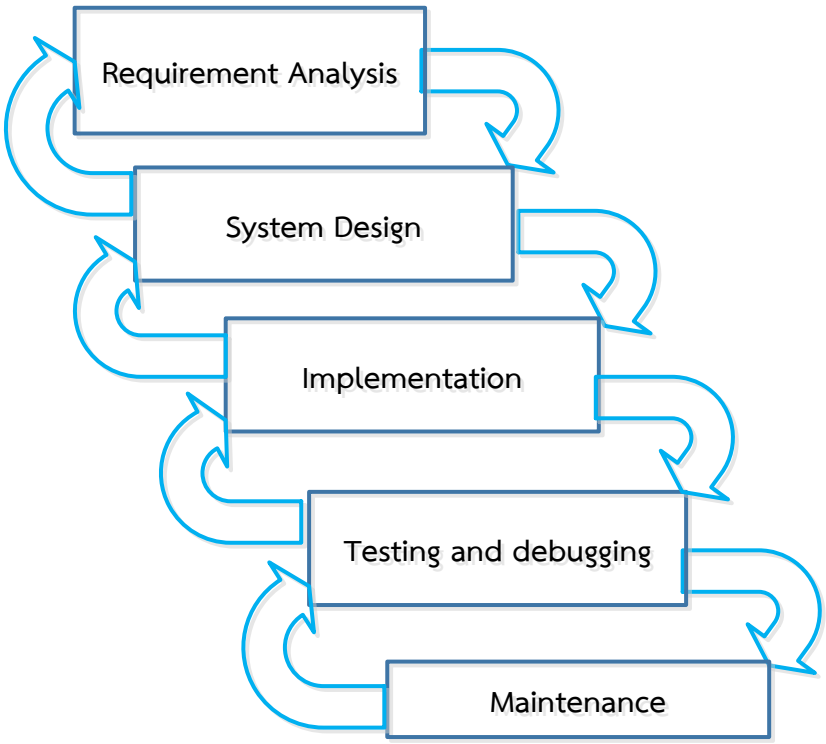
1. มีการสร้างเอกสารในทุก ๆ ขั้นตอนหรือทุกระยะ
2. ดำเนินงานที่ละขั้นตอน สามารถตรวจสอบได้ง่าย
3. ขอบเขตงานชัดเจน
4. เหมาะกับระบบขนาดเล็ก ไม่ซับซ้อน

ข้อเสียของ Waterfall Model

1. ผู้ใช้ได้เห็นระบบเมื่อผ่านขั้นตอนการพัฒนาไปแล้ว ทำให้กลับมาแก้ไขทำได้ยาก
2. ไม่สามารถรองรับความต้องการของลูกค้าที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วได้
3. ต้องมีการวางแผนที่ดี

จากข้อเสียดังกล่าว การทำงานแบบ Waterfall Model เมื่อมีข้อผิดพลาดในส่วนใดส่วนหนึ่งจะไม่สามารถกลับไปแก้ไขได้ต้องมีการวางแผนที่ดี แต่หากนำวิธีการ Adapted Waterfall มาประยุกต์ใช้ก็จะทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเสร็จสมบูรณ์ ดังจะกล่าวต่อไป

2. System Development Life Cycle (SDLC) ในรูปแบบ Adaptive Waterfall ปรับปรุงมาจาก waterfall โดยในแต่ละขั้นตอน เมื่อดำเนินงานอยู่สามารถย้อนกลับมายังขั้นตอนก่อนหน้าเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดหรือสามารถย้อนกลับข้ามขั้น โดยไม่จำเป็นว่าขั้นตอนต้องติดกัน



ภาพที่ 2-10 System Development Life Cycle (SDLC) ในรูปแบบ Adaptive Waterfall

3. System Development Life Cycle (SDLC) ในรูปแบบ Evolutionary มาจากทฤษฎีวิวัฒนาการ โดยจะพัฒนาระบบงานจนเสร็จใน Version แรกก่อน จากนั้นพิจารณาระบบใน Version แรกที่ได้พัฒนาผ่านมาถึงข้อดีและข้อเสียแล้วจึงเริ่มกระบวนการพัฒนาระบบงานใหม่จนได้ระบบงาน Version 2 ต่อไปจนกว่าจะได้ระบบงานที่สมบูรณ์

4. System Development Life Cycle (SDLC) ในรูปแบบ Incremental มีลักษณะคล้ายคลึงกับแบบ Evolutionary แต่มีข้อแตกต่างกันที่ตัว Product เนื่องจาก Product ที่เกิดขึ้นในการพัฒนาขั้นแรกยังไม่ใช่ Product ที่สมบูรณ์ แต่เป็น Product ส่วนแรกเท่านั้น ข้อดีผู้จ้างใช้ Product จริงได้เร็วกว่า Waterfall ทำให้ผู้ใช้ได้ผลตอบแทนจากการลงทุนเร็ว ข้อด้อย คือ หากแบ่งรอบการพัฒนาไม่ดีจะกลายเป็นพัฒนาแบบ Build and Fix และได้ระบบที่มีโครงสร้างเปราะบางต่อการปรับปรุง

5. System Development Life Cycle (SDLC) ในรูปแบบ Spiral ลักษณะเป็นวงจรวิเคราะห์ออกแบบ พัฒนา ทดสอบ และจะวนกลับมาในแนวทางเดิม (Analysis-Design-Implement-Testing) ดำเนินการไปเรื่อย ๆ จนได้ Product ที่สมบูรณ์ ทั้งนี้ การพัฒนา SDLC ในรูปแบบนี้มีความยืดหยุ่นมากที่สุด ข้อเสีย เหมาะกับการสร้าง Software ขนาดใหญ่ เนื่องจากการวิเคราะห์และการจัดการความเสี่ยงเป็นค่าใช้จ่ายที่อาจไม่คุ้มค่ากับโครงการขนาดเล็ก ผู้ที่จะใช้ต้องมีประสบการณ์และวิเคราะห์ความเสี่ยงได้

จากแนวทางการพัฒนาระบบโดยวงจร System Development Life Cycle (SDLC) ทั้ง 5 รูปแบบที่อธิบายข้างต้นไปแล้วนั้น SDLC เป็นการกระบวนการพัฒนาซอฟแวร์ (Software) ให้ดำเนินการสำเร็จแต่ก็ยังไม่พร้อมที่นำไปใช้ทันที ผู้วิจัยจะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของซอฟแวร์ (Software) ที่สร้างให้ตรงกับความต้องการ รวมทั้งการประเมิน (Evolution) เป็นกระบวนการทำให้ซอฟแวร์ (Software) มีวิวัฒนาการปรับเปลี่ยนเพิ่มสิ่งดีเข้ามาและนำสิ่งที่ไม่จำเป็น ออกไป เปลี่ยนแปลงตามเทคโนโลยีหรือความต้องการของผู้ใช้

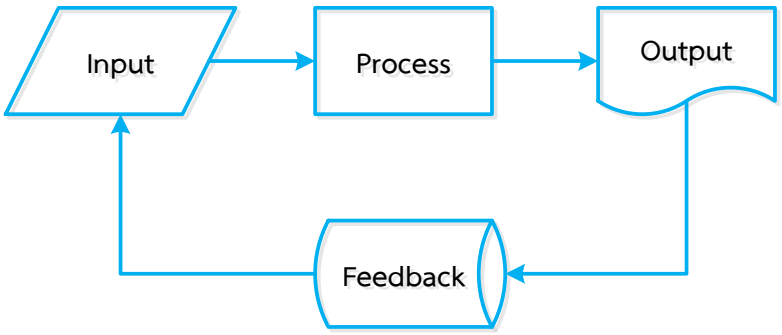
องค์ประกอบของการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าว

1. องค์ประกอบของระบบทั่วไป มี 3 ส่วน คือ

1.1 สิ่งที่ป้อนเข้าไป (Input) เพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้เพื่อการบริหาร หรือตัดสินใจ

1.2 กระบวนการหรือการดำเนินงาน (Process) การประมวลผลการปฏิบัติงาน การรวบรวมผลข้อมูล การตรวจสอบข้อมูล การปรับปรุงข้อมูล

1.3 ผลผลิต หรือการประเมินผล (Output) ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินงาน ประมวลผลการปฏิบัติงาน แสดงออกมาในรูปแบบของรายงาน เอกสารต่าง ๆ ตามภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 องค์ประกอบของระบบทั่วไป

เพิ่มเติมในกระบวนการทำงานต้องมีการตรวจสอบย้อนกับจึงจะเป็นการพัฒนาที่ช่วยปรับปรุง คือ Feedback ซึ่งเป็นผลสะท้อนที่ได้จากการปฏิบัติงาน จากผลผลิตหรือการประเมินผลมาพิจารณาปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์, 2549, หน้า 19-23)

2. แนวทางในการพัฒนาระบบ

หลังจากศึกษาหัวข้อ “ทฤษฎีการวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบ” แล้วระบบมีขั้นตอนในการนำระบบไปใช้ในสภาพการณ์จริง โดยกระบวนการที่นิยมใช้ในการประกันความสำเร็จของระบบ คือ การทดลองใช้ โดยให้ผู้ใช้ได้เข้ามามีประสบการณ์ในการทำงานในช่วงที่พัฒนาระบบ ขบวนการนี้เรียกว่า Prototype หรือต้นแบบในการนำไปใช้ วิธีการนี้จะช่วยลดระดับความไม่มั่นใจทั้งผู้ใช้งานและผู้พัฒนาระบบ เพราะเราสามารถทราบถึงโครงสร้างและขั้นตอนการปฏิบัติงาน อย่างคร่าว ๆ ของระบบ (ปทีป เมธาคุณวุฒิ, 2543, หน้า 274-277) มีขั้นตอน ดังนี้

2.1 การทำต้นแบบ (Prototype) เป็นวิธีที่ผู้ใช้สามารถอธิบายหรือบอกสิ่งที่ต้องการหรือไม่ต้องการ ชอบหรือไม่ชอบเกี่ยวกับระบบที่กำลังจะใช้ต่อไปในอนาคต มีขั้นตอนดังนี้

2.1.1 ระบุสารสนเทศขั้นพื้นฐานที่ผู้ใช้ต้องการ ความต้องการพื้นฐานเกี่ยวกับผลลัพธ์ที่ต้องการจากระบบ ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาขอบข่ายของระบบที่ผู้ใช้ต้องการ และประมาณการค่าใช้จ่ายในการพัฒนา

2.1.2 การพัฒนาต้นแบบครั้งแรก เป็นการจัดทำระบบที่จะนำไปใช้ให้ตรงตามความต้องการพื้นฐานที่ผู้ใช้ ผู้ออกแบบจะต้องรับผิดชอบในการสร้างระบบ โดยการเขียนโปรแกรมหรือใช้ซอฟต์แวร์ เพื่อให้สามารถแสดงผลลัพธ์ตามที่ผู้ใช้ระบุ ซึ่งยังไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ เพื่อจัดส่งให้ผู้ใช้ทดลองใช้ โดยขั้นตอนนี้ยังไม่คำนึงถึงประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ

2.1.3 ทดลองใช้ต้นแบบ ผู้ใช้จะได้มีประสบการณ์การใช้ระบบเสมือนจริง เพื่อให้เข้าใจสารสนเทศที่ต้องการ และให้รู้ว่าอะไรที่ระบบสามารถทำได้และทำไม่ได้ ในขั้นตอนนี้ผู้ใช้และผู้ออกแบบจะต้องได้ข้อมูลความต้องการให้มีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลง แก้ไข หรือเพิ่มเติมส่วนใด

2.1.4 แก้ไขปรับปรุงต้นแบบ ผู้ออกแบบปรับปรุง เปลี่ยนแปลง แก้ไข เพิ่มเติมระบบตามที่ผู้ใช้ต้องการ ซึ่งควรจะต้องทำการปรับปรุงอย่างรวดเร็ว และส่งให้ผู้ใช้ทดลองใช้งาน

ดังนั้น ระบบต้นแบบมีประโยชน์ในการที่จะทดลองแนวคิดสำหรับระบบงานใหญ่ ผู้ใช้สามารถทดลองใช้ได้อย่างรวดเร็ว การดำเนินงานทั้งหมดของต้นแบบมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องระหว่างผู้ใช้และผู้ออกแบบ ดังนั้น การทำความเข้าใจ และข้อตกลงเกี่ยวกับตัวป้อน (Input) กระบวนการ (Process) และผลลัพธ์ (Output) จึงจำเป็นอย่างมาก เพื่อประสิทธิภาพของงานที่จะเกิดขึ้นตามมาภายหลัง

2.2 ตัวป้อน (Input) สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสนใจศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวผ่านการเรียนรู้ของเครื่องด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ตัวป้อน คือ ภาพเมล็ดข้าว โดยมีอุปกรณ์ที่ช่วยสร้างข้อมูลดิจิทัลในปัจจุบันนี้มีทั้งกล้องถ่ายภาพหรือจะเป็นกล้องที่ติดตั้งบนสมาร์ทโฟน ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

2.2.1 กล้องถ่ายภาพ ซึ่งมีหลากหลายประเภทในท้องตลาด อาทิเช่น ศิฎาภรณ์ ธรรมศรี และ ศรัญญา กันตะบุตร (2559, หน้า 700) ได้ให้ความหมายของกล้องในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1.1 กล้องคอมแพค (Compact) หมายถึง กล้องที่ใช้งานได้ง่าย มีฟังก์ชั่นการใช้งานได้สะดวกโดยสมบูรณ์แบบ ที่เรียกว่า อัตโนมัติ (Automatic) และยังมีขนาดเล็กทำให้พกพาสะดวก เช่น

ภาพที่ 2-12 Sony RX100 III กล้องคอมแพค 20-megapixel เซนเซอร์ขนาด1นิ้ว เลนส์เป็นของ Zeiss ช่วง 24–70mm f1.8–2.8 ขนาดตัวของกล้องเท่าฝ่ามือ (https://www.imaging-resource.com/PRODS/sony-rx100-iii/ZYFRONT-MD.JPG)

2.2.1.2 กล้องไร้กระจกสะท้อน (Mirrorless) หมายถึง กล้องที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับกล้องคอมแพค แต่สามารถเปลี่ยนเลนส์ได้คล้ายกล้องรุ่นใหญ่อย่างกล้องสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว โดยมีฟังก์ชั่นการใช้งานหลากหลายกว่ากล้องคอมแพคแต่ก็ไม่มากเท่ากล้องสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว เช่น

ภาพที่ 2-13 Fujifilm X-A5 24-megapixel เซนเซอร์ APS-C CMOS Touchscreen Operation Wireless Communication (http://www.fujifilm.com/products/digital_cameras/x/fujifilm_x_a5/img/index/img_main07.jpg)

2.2.1.3 กล้องสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว (DSLR) หมายถึง กล้องที่สามารถถอดเปลี่ยนเลนส์ได้ มีฟังก์ชั่นการใช้งานที่มากกว่ากล้องคอมแพค และสามารถถ่ายภาพได้ความคมชัดมากกว่าจึงเหมาะกับกลุ่มนักถ่ายภาพอาชีพ

ภาพที่ 2-14 Nikon D5300 24-megapixel เซนเซอร์ CMOS แบบ APS-C (1.6x Crop Factor) TFT LCD Touchscreen Operation Wireless Communication (https://Images-na.ssl-Images-amazon.com/Images/I/81pBhUcMEL_SL1500_.jpg)

สรุปการเลือกใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลทั้ง 3 แบบข้างต้นต้องศึกษาสิ่งเหล่านี้เป็นแนวทาง นั่นคือ

1. ความละเอียด (Resolution) มาจากการคำนวณ Pixel ของภาพในแนวตั้งและแนวนอนคูณกันเป็นจำนวนพิกเซลทั้งหมดได้เท่าไร นำ 1 ล้านพิกเซล มาหาร (1ล้านพิกเซลเท่ากับ 1 เมกกะพิกเซล) จะได้ความละเอียดของภาพเป็นหน่วยล้านพิกเซล
2. ความยาวโฟกัส (Focus length) และการซูมได้กี่เท่า (Zoom Range) ทั้งนี้การซูมมี 2 แบบ ได้แก่ การซูมออปติคัล (Optical Zoom) และการซูมแบบดิจิทัล (Digital Zoom)
3. รูรับแสง (Lens Aperture) หากรูรับแสงกว้างมากจะถือว่าเลนส์ตัวนั้นมีความเร็วเลนส์มาก
4. แฟลช (Flash) ทำหน้าที่เพิ่มแสงสว่างในกรณีถ่ายภาพที่มีแสงน้อยหรือต้องการลบเงา
5. จอภาพแอลซีดี (LCD Display) ปัจจุบัน มีขนาดถึง3 นิ้ว เพื่อให้ผู้ใช้ได้ดูรายละเอียดของภาพได้มากขึ้น
6. แบตเตอรี่ (Battery) มี 3 ประเภท คือ อัลคาไลน์ (Alkaline/AA) นิเกิล-เมตัลไฮไดร์ (Ni-MH) และลิเธียมไอออน (Li-ion)
7. หน่วยบันทึกภาพ (Memory Card)

2.2.2 สมาร์ทโฟน (Smartphone) คือ เป็นโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่รองรับระบบปฏิบัติการต่าง ๆ ได้เสมือนนำคุณสมบัติที่ PDA และคอมพิวเตอร์มาไว้ในโทรศัพท์ เช่น iOS (ที่ลงในมือถือรุ่น Iphone) Android OS Windows phone 7 และ Symbian Os (Nokia) เป็นต้น ซึ่งทำให้สมาร์ทโฟนสามารถลงโปแกรมเพิ่มเติม (Application)

จากการรายงานภาพรวมโลกดิจิทัลฉบับใหม่ในปี 2560 ของ We Are Social และ Hootsuite ที่เผยให้เห็นว่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของประชากรโลกปัจจุบันใช้อินเทอร์เน็ต และมากกว่าครึ่งหนึ่งของโลกใช้สมาร์ทโฟน โดยมีผู้ใช้มากกว่า 50% เพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมา 30% และที่ผ่านมาเกือบสองในสามของ

ประชากรโลกมีโทรศัพท์มือถือ สอดคล้องกับ Gartner, Inc. (NYSE: IT) เป็นบริษัทด้านการวิจัยและที่ปรึกษาชั้นนำของโลกรายงานเมื่อเดือนพฤษภาคม 2018 โดย Anshul Gupta ผู้อำนวยการฝ่ายวิจัยของ Gartner กล่าวว่า ยอดขายสมาร์ทโฟนขายออกไป 384 ล้านเครื่อง เพิ่มขึ้น 1.3% จากช่วงเดียวกันในปี 2017 โดย iOS กลับมามีส่วนแบ่งภาพรวมเพิ่มขึ้นเป็น 14.1% ขณะที่ Android 85.9% ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 2-5 แสดงการขายสมาร์ทโฟนทั่วโลกแก่ผู้ใช้ปลายทางโดยผู้ขายในไตรมาส 1 ปี 2018 (หลายพันหน่วย)

บริษัทผู้ขาย	**หน่วย 1/2018**	**1/2018 ส่วนแบ่งการตลาด (%)**	**หน่วย1/2017**	**1/2017 ส่วนแบ่งการตลาด (%)**
Samsung	78,564.8	20.5	78,776.2	20.8
Apple	54,058.9	14.1	51,992.5	13.7
Huawei	40,426.7	10.5	34,181.2	9.0
Xiaomi	28,498.2	7.4	12,707.3	3.4
Oppo	28,173.1	7.3	30,922.3	8.2
บริษัทอื่น ๆ	153,782.1	40.1	169,921.1	44.9
ทั้งหมด	**383,503.9**	**100.0**	**378,500.6**	**100.0**

ที่มา. Gartner (พฤษภาคม 2018)

สำหรับประเทศไทยอุปกรณ์มือถือ และอุปกรณ์พกพา ส่วนมากในตลาดจะรองรับระบบการรับส่งข้อมูลความเร็วสูงทั้งหมด และได้รับความนิยมจากผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก โดยอุปกรณ์ส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในท้องตลาด จะมีระบบปฏิบัติการเป็นของตัวเอง ที่ไม่เหมือนกับระบบปฏิบัติการที่อยู่บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC: Personal Computer) ส่งผลให้แนวทางในการพัฒนาโปรแกรม เพื่อนำไปใช้งานบนอุปกรณ์เหล่านั้นยุ่งยาก และหลากหลายขึ้น หนึ่งในนั้นคือ ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) เป็นระบบปฏิบัติการแบบเปิดเผยซอร์ฟแวร์ต้นฉบับ (Open Source)

ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์นี้ ถูกพัฒนามาจากบริษัท แอนดรอยด์ (Android Inc.) เมื่อปี พ.ศ. 2546 โดยมีนาย แอนดี้ รูบิน (Andy Rubin) ผู้ให้กำเนิดระบบปฏิบัติการนี้ และถูกบริษัทกูเกิ้ลซื้อกิจการเมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2548 พ.ศ. 2550 บริษัทกูเกิ้ล ได้ทำการก่อตั้งสมาคม OHA (Open Handset Alliance, http://www.openhandsetalliance.com) เพื่อเป็นหน่วยงานกลางในการกำหนดมาตรฐานกลางของอุปกรณ์พกพาและระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ด้วยที่กูเกิ้ลเป็นผู้ดูแลประกอบกับเป็นซอฟต์แวร์เปิด (Android Open Source Project (AOSP)) จึงอนุญาตให้นักพัฒนาหรือผู้ที่สนใจ สามารถดาวน์โหลด Sorce Code ได้ สามารถปรับแต่งและพัฒนาสร้างแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์ในแบบฉบับของตนเองได้ จึงเป็นจุดเด่นของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่ทำให้มีส่วนแบ่งการตลาดสูงเกิน 50% สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันบนแอนดรอยด์นั้นมีหลายแบบ การทำงานของแอนดรอยด์มีพื้นฐานอยู่บนระบบลีนุกซ์ เคอร์เนล (Linux Kernel) ซึ่งใช้ Android SDK

(Software Development Kit) เป็นเครื่องมือสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ Android โปรแกรมที่สามารถใช้เขียนแอนดรอยด์ได้นั้น มีหลายตัว เช่น Eclipse, ADT Bundle และ Android Studio (Ramaiah, 2012) ซึ่งช่วงแรกกูเกิลใช้วิธีออกปลั๊กอิน Android Developer Tools (ADT) ให้กับ IDE อย่าง Eclipse แต่ ณ ปัจจุบันกูเกิลเปลี่ยนนโยบายมาเป็นการสร้าง IDE ของตัวเอง คือ Android Studio (พัฒนามาจาก IntelliJ IDEA) แทนจัดเป็น Developer Tool ตัวใหม่ของ Google ในขณะนี้

โครงสร้างของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญเพราะนักพัฒนาโปรแกรมสามารถมองภาพโดยรวมของระบบได้ทั้งหมด จะให้สามารถเข้าใจถึงกระบวนการทำงานได้ดียิ่งขึ้น และสามารถนำไปช่วยในการออกแบบโปรแกรมที่ต้องการพัฒนา เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงาน

สถาปัตยกรรมของแอนดรอยด์ (Android Architecture) นั้นถูกแบ่งออกเป็นลำดับชั้นออกเป็น 4 ชั้นหลัก

1. ชั้นแอพพลิเคชัน (Application) ชั้นนี้จะเป็นที่อยู่บนสุดของโครงสร้างสถาปัตยกรรมแอนด์ดรอยด์ ซึ่งเป็นส่วนของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมาใช้งาน เช่น แอปพลิเคชันรับ/ส่งอีเมล์ SMS ปฏิทิน แผนที่ เว็บเบราเซอร์ รายชื่อผู้ติดต่อ เป็นต้น ซึ่งแอพพลิเคชันจะอยู่ในรูปแบบของไฟล์ .apk โดยทั่วไปแล้วจะอยู่ในไดเร็คทอรี Data/App

2. ชั้นแอปพลิเคชันเฟรมเวิร์ค (Application Framework) ในชั้นนี้จะอนุญาตให้นักพัฒนาสามารถเข้าเรียกใช้งาน โดยผ่าน API (Application Programming Interface) ซึ่ง Android ได้ออกแบบไว้เพื่อลดความซ้ำซ้อนในการใช้งาน Application Component โดยในชั้นนี้ ประกอบด้วย แอปพลิเคชันเฟรมเวิร์ค ดังนี้

2.1 View System เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงานสำหรับการสร้างแอปพลิเคชัน เช่น Lists, Grids, Text boxes, Buttons และ Embeddable Wed Browser

2.2 Location Manager เป็นส่วนที่จัดการเกี่ยวกับค่าตำแหน่งของเครื่องอุปกรณ์พกพาเคลื่อนที่

2.3 Content Provider เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการเข้าถึงข้อมูลที่มีการใช้งานร่วมกัน (Share Data) ระหว่างแอพพลิเคชันที่แตกต่าง เช่น Contact

2.4 Resource Manager เป็นส่วนที่จัดการข้อมูลต่างๆที่ไม่ใช่ส่วนของโค้ดโปรแกรม เช่น รูปภาพ, Localized Strings, Layout ซึ่งอยู่ในไดเร็คทอรี

2.5 Notification Manager เป็นส่วนที่ควบคุมอีเว้นท์ (Event) ต่างๆ ที่แสดงบนสถานะ (Status bar) เช่น ในกรณีที่ได้รับข้อความหรือสายที่ไม่ได้รับและการแจ้งเตือนอื่น ๆ เป็นต้น

2.6 Activity เป็นส่วนควบคุม Life Cycle ของแอปพลิเคชัน

3. ชั้นไลบารี (Library) แอนดรอยด์ ได้รวบรวมกลุ่มของไลบรารีต่าง ๆ ที่สำคัญและมีความจำเป็นเอาไว้มากมาย เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับนักพัฒนาและง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรม โดยตัวอย่างของไลบรารีที่สำคัญ เช่น

3.1 System C library เป็นกลุ่มของไลบรารีมาตรฐานที่อยู่บนพื้นฐานของภาษา C ไลบรารี สำหรับ Embedded System ที่มีพื้นฐานมาจาก Linux

3.2 Media Libraries เป็นกลุ่มการทางานมัลติมีเดีย เช่น MPEG4, H.264, MP3, AAC, AMR, JPG, และ PNG

3.3 Surface Manager เป็นกลุ่มการจัดการรูปแบบหน้าจอ การวาดหน้าจอ

3.4 2D/3D library เป็นกลุ่มของกราฟฟิกแบบ 2 มิติ หรือ SGL (Scalable Graphics Library) และแบบ 3 มิติ หรือ OpenGL

3.5 FREE Type เป็นกลุ่มของบิตแมป และเวคเตอร์ สาหรับการเรนเดอร์ภาพ SQL Lite เป็นกลุ่มฐานข้อมูล โดยนักพัฒนาสามารถใช้ฐานข้อมูลนี้เก็บข้อมูลผ่านแอปพลิเคชันต่าง ๆ

3.6 Browser Engine เป็นกลุ่มของการแสดงผลบนเว็บเบราเซอร์โดยอยู่บนพื้นฐานของ Wed Kit ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับ Google Chrome

สำหรับชั้นไลบรารีมี Android Runtime เป็นชั้นย่อยที่อยู่ด้านใน ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ดังนี้

3.6.1 Dalvik VM (Virtual Machine) ส่วนนี้ถูกเขียนด้วยภาษา Java เพื่อใช้เฉพาะ การใช้งานในอุปกรณ์เคลื่อนที่ Dalvik VM จะแตกต่างจาก Java VM คือ Dalvik VM จะรันเป็นไฟล์ .dex ที่คอมไพล์จากไฟล์ .class และ .jar โดยมีขนาดกะทัดรัดและเหมาะสมกับอุปกรณ์เคลื่อนที่มากกว่า .class เพื่อต้องใช้พลังงานจากแบตเตอรี่อย่างมีประสิทธิภาพสูง

3.6.2 Core Java Library ส่วนนี้เป็นไลบรารีมาตรฐาน แต่ก็มีความแตกต่างจากไลบรารีของ Java SE (Java Standard Edition) และ Java ME (Java Mobile Edition)

4. ชั้นลีนุกซ์เคอร์เนล (Linux Kernel) ระบบแอนดรอยด์ถูกสร้างบนพื้นฐานของระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ ในชั้นนี้จะมีฟังก์ชันการทำงานหลายส่วน ส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์โดยตรง เช่น การจัดการหน่วยความจาการจัดการโพรเซส การเชื่อมต่อเครือข่าย เป็นต้น

ส่วนที่ติดต่อกับอุปกรณ์โดยผ่านทาง Linux Kernel โครงสร้างของแอนดรอยด์แบ่งเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

4.1 Applications หรือส่วนของโปรแกรมที่มีมากับระบบปฏิบัติการ หรือเป็นกลุ่มของโปรแกรมที่ผู้ใช้งานได้ทำการติดตั้งไว้ โดยผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้โปรแกรมต่างๆได้โดยตรง ซึ่งการทำงานของแต่ละโปรแกรมจะเป็นไปตามที่ผู้พัฒนาโปรแกรมได้ออกแบบและเขียนโค้ดโปรแกรมเอาไว้

4.2 Application Framework เป็นส่วนที่มีการพัฒนาขึ้นเพื่อให้นักพัฒนาสามารถพัฒนาโปรแกรมได้สะดวก และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยนักพัฒนาไม่จำเป็นต้องพัฒนาในส่วนที่มีความยุ่งยากมากๆ เพียงแค่ทำการศึกษาถึงวิธีการเรียกใช้งาน Application Framework ในส่วนที่ต้องการใช้งาน แล้วนำมาใช้งาน ซึ่งมีหลายกลุ่มด้วยกัน

4.3 Android Runtime จะมี Darvik Virtual Machine ที่ถูกออกแบบมา เพื่อให้ทำงานบนอุปกรณ์ที่มี หน่วยความจำ (Memmory), หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) และพลังงาน (Battery)ที่จำกัด ซึ่งการทำงานของ Darvik Virtual Machine จะทำการแปลงไฟล์ที่ต้องการทำงานไปเป็นไฟล์ .DEX ก่อนการทำงาน เหตุผลก็เพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อใช้งานกับ หน่วยประมวลผลกลางที่มีความเร็วไม่มาก ส่วนต่อมาคือ Core Libraries ที่เป็นส่วนรวบรวมคำสั่งและชุดคำสั่งสำคัญ โดยถูกเขียนด้วยภาษาจาวา (Java Language)

4.4 Linux Kernel เป็นส่วนที่ทำหน้าที่หัวใจสำคัญ ในจัดการกับบริการหลักของระบบปฏิบัติการ เช่น เรื่องหน่วยความจำ พลังงาน ติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ความปลอดภัย เครือข่าย โดยแอนดรอยด์ได้นำเอาส่วนนี้มาจากระบบปฏิบัติการลินุกซ์ รุ่น 2.6 (Linux 26. Kernel) ซึ่งได้มีการออกแบบมาเป็นอย่างดี

ข้อเด่นของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ คือ เป็นระบบปฏิบัติที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีส่วนแบ่งตลาดของอุปกรณ์ด้านนี้ ขึ้นทุกขณะ ทำให้กลุ่มผู้ใช้งาน และกลุ่มนักพัฒนาโปรแกรม ให้ความสำคัญกับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งบริษัท Google มีการพัฒนา Application Framework ไว้สำหรับนักพัฒนาใช้งาน ได้อย่างสะดวก และไม่เกิดปัญหาเมื่อนำชุดโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา ไปใช้กับอุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะต่างกัน เช่น ขนาดจออุปกรณ์ ไม่เท่ากัน รวมทั้งสามารถใช้งานโปรแกรมได้เหมือนกัน เป็นต้น

ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Rattanachaia, Sreekaewina, and Sittichailapa (2015, pp. 1048-1052) สร้างแอปพลิเคชันให้ข้อมูลความรู้แก่เกษตรกร 1) เลือกพันธุ์ข้าว 2) การเตรียมความพร้อมที่ดิน 3) การหว่านเมล็ดหรือข้าวงอก 4) การดูแลข้าวก่อนการตั้งท้อง 5) การดูแลรักษาข้าวหลังการตั้งท้อง 6) การเก็บเกี่ยวข้าว และการแจ้งเตือนแต่ละช่วงเวลาของการปลูกข้าว หรือจะเป็นของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่มีแอปพลิเคชันไว้บริการประชาชน สำหรับดาวน์โหลดฟรี (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2561) ซึ่งมีแอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้องกับเรื่องข้าว อาทิเช่น

- ฟาร์มข้าวอัจฉริยะ (Smart Rice Farm - SRF) เป็น Application ที่กรมการข้าวและกรมพัฒนาที่ดินร่วมกันพัฒนา เปิดตัวเมื่อ 21 สิงหาคม 2561
- Rice Pest Monitoring ระบบสนับสนุนการพยากรณ์และเตือนภัยของกรมการข้าว เพื่อแจ้งใช้ในการติดตาม เฝ้าระวัง และเตือนภัยล่วงหน้าก่อนที่จะเกิดการระบาด (Ricepest monitoring) ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและโรคไหม้ เปิดตัวเมื่อ 29 กันยายน 2560
- ข้าวพันธุ์รับรองของไทย Thai Rice Varieties ระบบพันธุ์ข้าวรับรองของไทย กรมการข้าว เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ด้านพันธุ์ข้าวที่ผ่านการรับรอง ในเรื่องของชื่อพันธุ์ ชนิดข้าว ประวัติพันธุ์ ลักษณะประจำพันธุ์ ลักษณะเด่น เปิดตัวเมื่อ 22 พฤษภาคม 2560

ตารางที่ 2-6 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียในการเลือกใช้กล้องดิจิทัลกับสมาร์ทโฟน

อุปกรณ์ถ่ายภาพดิจิทัล	ข้อดี	ข้อเสีย
กล้องดิจิทัล	1. คุณภาพของภาพอยู่ในระดับสูง ไม่ถูกจำกัดให้ใช้ได้แค่ Social Media เหมือน Smartphone	1. มีน้ำหนักมาก ไม่คล่องตัว ชิ้นส่วนประกอบหลากหลาย
	2. ใช้ความสามารถได้อย่างไม่จำกัด (หากผ่านการฝึกฝนเรียนรู้มาก่อน) เช่น การเลือก ISO รูรับแสง ความไวชัตเตอร์ และ White Balance	2. ถูกจำกัดในการใช้งานบางพื้นที่ที่ไม่อนุญาตให้นำเข้าพื้นที่

ตารางที่ 2-6 (ต่อ)

อุปกรณ์ถ่ายภาพดิจิทัล	ข้อดี	ข้อเสีย
กล้องดิจิทัล	3. มีเลนส์หลากหลายคุณสมบัติให้เลือกใช้ให้เหมาะกับงาน 4. การต่อยอดผลงานทำได้ไม่มีขีดจำกัด เช่น Photoshop Light Room 5. การใช้กล้อง เป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของงาน ที่ต้องการคุณภาพของภาพถ่าย	3. ต้องใช้เวลาในการเรียน ฝึกฝนก่อนการใช้งานจริงค่อนข้างนาน 4. อุปกรณ์ราคาแพง ต้นทุนสูง 5. การถ่ายโอนข้อมูลลง social media หรือการวิเคราะห์ข้อมูลช้า เพราะเป็นภาพเสมือนจริงที่มีขนาด Pixel ใหญ่
สมาร์ทโฟน	1. น้ำหนักเบา พกพาสะดวก คล่องตัวทุกสถานการณ์ 2. มี Software ปรับแต่งภาพทำให้ภาพออกมาดูดีภายใต้ทุกสภาวะแสง 3. มี Application ใหม่ ๆ ช่วยการถ่ายภาพ 4. สร้างผลงานได้ง่ายไม่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญ ในระยะเวลาอันสั้น 5. ถ่ายโอนข้อมูลลง Social Media ได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว	1. คุณภาพของภาพต่ำ หากนำมาขยายจะยิ่งลดคุณภาพลง 2. ความสามารถจำกัด เช่น การซูมภาพ (ปัจจุบันมีอุปกรณ์เสริม) 3. ภาพที่ได้ไม่เป็นธรรมชาติเพราะใช้ Software 4. ไม่สามารถควบคุมได้ดั่งใจ เช่น white balance , ISO รูรับแสง หรือความไวชัตเตอร์ 5. หากงานที่ทำต้องการความจริงที่น่าเชื่อถือ อาจไม่เหมาะ

ปัญหาของการสร้างข้อมูลดิจิทัล (ภาพ) เพื่อตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว ผ่านการเรียนรู้ของเครื่องด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกของอุปกรณ์ทั้งกล้องถ่ายภาพ (ดิจิทัล) หรือจะเป็นกล้องที่ติดตั้งมาพร้อมกับสมาร์ทโฟน มีดังนี้

1. ภาพสั่นภาพเบลอ

   แนวทางการแก้ไข

   - เพิ่มความไวแสง ISO ช่วยป้องกันปัญหาจากการสั่นไหวของกล้อง
   - ปรับความเร็วชัตเตอร์ และรูรับแสง
   - ให้ตัวแบบเข้าใกล้แหล่งกำเนิดแสง

2. ภาพแตกมี Noise มากเกินไป

แนวทางการแก้ไข

- ถ้าต้องการถ่ายภาพสภาวะแสงน้อย ควรใช้แสงธรรมชาติที่มีอยู่
- Noise จะเยอะขึ้นเมื่อ ISO สูง ๆ รูรับแสงกว้าง ๆ ต้องปรับให้พอเหมาะ
- ขาตั้ง หรืออุปกรณ์เสริมช่วยให้ถ่ายภาพแต่ละระยะได้นิ่ง

ทั้งหมดสรุปสาเหตุปัญหาหลัก คือ “แสง” มีบทบาทสำคัญในการทำให้คุณภาพของภาพที่จะนำวิเคราะห์ขาดรายละเอียดหรือความสมบูรณ์ เนื่องมาจากทิศทางแสงที่แตกต่างกันจะส่งต่อมิติของภาพ และแสงยังทำให้เกิดเงาของวัตถุช่วยทำให้เกิดระยะความตื้นลึกของภาพ สำหรับกล้องถ่ายภาพ (ดิจิทัล) ปัญหาทั้ง 2 ประการจะเกิดมากน้อยขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ถ่ายภาพ แต่การใช้งานของสมาร์ทโฟนมีซอฟต์แวร์เข้ามาช่วยลดปัญหาดังกล่าว ซึ่งสะดวกกับผู้ที่เริ่มถ่ายภาพอีกทั้งยังมีต้นทุนต่ำในการใช้งาน

ดังนั้น เมื่อได้ตัวป้อน (Input) คือ ภาพเมล็ดข้าวจาก กล้องถ่ายภาพ หรือจากกล้องที่ติดตั้งบนสมาร์ทโฟนแล้ว จะนำภาพนั้นมาทำการประมวลผลต่อด้วยซอฟต์แวร์ (Software) ซึ่งเป็นชุดคำสั่งหรือโปรแกรมใช้ประกอบกับคอมพิวเตอร์ คำสั่งนี้จะนำมาเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้งานเฉพาะ สำหรับการสร้างซอฟแวร์จะมีการเลือกใช้ภาษาที่นำมาเขียนทั้งนี้ภาษาต่าง ๆ ต้องมีองค์ประกอบเหล่านี้ คือ แพลฟอร์ม เฟรมเวิร์ก เครื่องมือ เน็ตเวิร์ก เซอร์ฟเวอร์ และอื่น ๆ

2.3 ภาษาคอมพิวเตอร์ หมายถึง ภาษาใด ๆ ที่ผู้ใช้งานใช้สื่อสารกับคอมพิวเตอร์หรือคอมพิวเตอร์ด้วยกันจะเป็น “ภาษาประดิษฐ์” (Artificial Language) จะมีทั้งภาษาระดับต่ำหรือภาษาระดับสูง จะขึ้นอยู่กับภาษานั้นใกล้เคียงกับเครื่องคอมพิวเตอร์ (ใกล้เคียงกับรหัส 0 และ 1 เรียกว่า ภาษาระดับต่ำ) หรือว่าใกล้เคียงกับภาษาที่มนุษย์ใช้ (ใกล้เคียงกับภาษาอังกฤษ เรียกว่า ภาษาระดับสูง) ในที่นี้เราใช้ภาษาระดับสูง (High Level Language) เพราะเป็นภาษาที่มีไวยากรณ์ที่เข้าใจง่ายจะถูกแปล (Compile) ไปเป็นภาษาระดับต่ำเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถนำไปใช้งานหรือปฏิบัติตามคำสั่งได้ต่อไป ทำให้เขียนโปรแกรมได้ง่ายมีประสิทธิภาพและความเร็วในการทำงานดี (Digitalmarketingwow, 2560) โดยภาษาที่นำมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมนี้ 2 ภาษา คือ

2.3.1 MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูง มีการทำงานเชิงโต้ตอบ (คล้ายเครื่องคิดเลข) ใช้สำหรับคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical Computing) แสดงผลกราฟฟิก และเขียนแอปพลิเคชัน ทำให้เราสามารถคำนวณผลลัพธ์ พัฒนาอัลกอลิทึม สร้างแบบจำลอง และแอปพลิเคชันได้ง่ายและรวดเร็ว สามารถประมวลผลภาพและวิดีโอ (Image and Video Processing)ได้ และใน MATLAB ประกอบด้วย ภาษาคอมพิวเตอร์ ทูลบอ็กซ์ (Toolbox: กลุ่มฟังก์ชันสำเร็จรูปในแต่ละสาขาวิชา) และฟังก์ชันพื้นฐาน ทำให้การวิเคราะห์ทำได้หลากหลายวิธี พร้อมกับคำตอบที่รวดเร็วกว่าโปรแกรมตารางคำนวณ (Spreadsheet) หรือภาษาคอมพิวเตอร์สมัยก่อน เช่น C, C++, Fortran, Java และอื่น ๆ (มนตรี โพธิโสโนทัย, 2557, หน้า 2) โดยภาพ (Image) ที่นำมาวิเคราะห์ ประกอบด้วย pixels จำนวนมาก แต่ละ pixel ก็จะมีสีของมัน รูปแบบของภาพก็จะมีแบบ Gray Scale (ขาวดำ) หรือ color (สี) MATLAB จะมองว่าเป็น 2D array ซึ่งมีพิกัด 0,0 Matlab มีข้อดีข้อเสียดังรายละเอียดต่อไปนี้ (Phakinee Anunonthat, 2556)

2.3.1.1 ข้อดีของ MATLAB

2.3.1.1.1 โปรแกรมใช้งานง่าย ทำงานได้หลากหลายรูปแบบด้วยสภาพแวดล้อมเชิงโต้ตอบคล้ายเครื่องคิดเลขสามารถตรวจสอบค่าต่าง ๆ ซ้ำได้อย่ารวดเร็ว ประยุกต์ใช้ในการออกแบบและแก้ปัญหา ทางคณิตศาสตร์ได้ง่ายและมีประสิทธิภาพสูงมาก

2.3.1.1.2 มีทูลบ็อกซ์หรือไลบรารีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์มากมาย สำหรับพีชคณิต สถิติ การวิเคราห์ฟูเรีย ฟัซซีลอจิก การประมวลผลภาพและวิดีโอ การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์และชีววิทยา เป็นต้น

2.3.1.1.3 มี Simulink ที่เป็นซอฟต์แวร์สนับสนุนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บน MATLAB พร้อมด้วยบล็อกเซ็ตหลายสาขาวิชา เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระบบต่าง ๆ การสร้างแอปพลิเคชัน หรือสร้างอุปกรณ์สำเร็จรูป

2.3.1.1.4 ประกอบด้วย ฟังก์ชันสำหรับแสดงผลกราฟฟิกขั้นสูง ในการแสดงผลข้อมูลที่หลากหลายได้อย่างสวยงาม นอกจากนั้นยังสามารถปรับแต่งการพล็อตได้ง่าย

2.3.1.1.5 มีเครื่องมือช่วยปรับปรุงโค้ดต่าง ๆ ที่ต้องการจะสร้างเป็นแอปพลิเคชันหรืออุปกรณ์สำเร็จรูป

2.3.1.1.6 จัดหาเครื่องมือสำหรับสร้างแอปพลิเคชันบน MATLAB ด้วย GUI (Graphic User Interface) นั่นคือ สามารถสร้างแอปพลิเคชันบน MATLAB ด้วยเครื่องมือคล้าย ๆ กับ Visual Basic

2.3.1.1.7 MATLAB สามารถเชื่อมการทำงานร่วมกับ ภาษาซี จาวา ดอทเน็ต เอ็กเซล หรือฮาร์ดแวร์ภายนอก

2.3.1.2 ข้อเสียของ MATLAB

2.3.1.2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควรมีประสิทธิภาพสูง

2.3.1.2.2 โปรแกรมมีส่วนประกอบเยอะ ประกอบทูลบ็อกซ์และบล็อกเซ็ตจำนวนมาก ดังนั้นฟังก์ชันที่มาพร้อมกับ MATLAB มีจำนวนมาก อาจทำให้หาฟังก์ชันที่ต้องการลำบาก

2.3.1.2.3 ราคาแพง

2.3.2 ภาษาซี C++ ผู้คิด คือ นายเดนนิส ริทชี่ (Dennis Ritchie) ที่ศูนย์วิจัยเบล (Bell Laboratories) ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 1972 และเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้เขียนระบบปฏิบัติการยูนิกส์ ซึ่งใช้กันแพร่หลายในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ภาษาซีเป็นภาษาที่มีความใกล้เคียงกับภาษาระดับต่ำ (Low-Level Language) จึงทำให้นักพัฒนาโปรแกรมสามารถที่จะกำหนดรายละเอียดของโปรแกรมให้เข้าถึงการทำงานในส่วนต่าง ๆ ของคอมพิวเตอร์ให้มากที่สุด เพื่อให้เกิดความเร็วในการทำงานสูงสุด และในขณะเดียวกันภาษาซีก็ยังมีความเป็นภาษาระดับสูง (High-Level Language) ทำให้ผู้พัฒนาสามารถที่จะพัฒนาโปรแกรมได้ โดยเน้นไปที่การแก้ปัญหาที่ต้องการได้อย่างอิสระโดยไม่ต้องคำนึงถึงฮาร์ดแวร์ใด ๆ ภาษาซีเป็นภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง นาย Bjarne Stroustrup นักวิจัยและพัฒนาของศูนย์วิจัยเบล (Bell Laboratiories) ได้พัฒนาภาษา C++ (ซีพลัสพลัส) ขึ้นมา โดยที่ภาษา C++ มีความสามารถในการทำงานได้ทุกอย่างเหมือนกับภาษาซี ซึ่งมีรูปแบบและโครงสร้างของภาษา

ใกล้เคียงกัน แต่ภาษา C++ ใช้หลักการออกแบบโปแกรมเชิงวัตถุ (Object Oriented Design) ในขณะที่ภาษาซีใช้หลักการออกแบบโปรแกรม แบบโมดูลาร์ (Modular Design) ประวัติความเป็นมา ภาษาซีเป็นภาษาระดับสูง (High-Level-Language) และภาษาโปรแกรมที่โปรแกรมเมอร์นิยมใช้กันมาก เนื่องจากเป็นภาษาที่มีความเร็วในการทำงานสูงใกล้เคียงกับภาษาเครื่อง มีโครงสร้างที่ชัดเจน เข้าใจง่าย สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ดี (ธนัญชัย ตรีภาค, 2555)

2.3.2.1 ข้อดีของภาษา C++

2.3.2.1.1 มีประสิทธิภาพสูง ช่วยให้สามารถสร้างแอปพลิเคชั่น และโปรแกรมได้อย่างครบถ้วน

2.3.2.1.2 เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่มีการพัฒนาขึ้นใช้งานเพื่อเป็นภาษามาตรฐานที่ไม่ขึ้น กับโปรแกรมจัดระบบงานและไม่ขึ้นกับฮาร์ดแวร์

2.3.2.1.3 เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่อาศัยหลักการ ที่เรียกว่า “โปรแกรมโครงสร้าง” จึงเป็นภาษาที่เหมาะกับการพัฒนาโปรแกรมระบบ

2.3.2.1.4 เป็นคอมไพเลอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ให้รหัสออบเจ็กต์สั้น ทำงานได้รวดเร็ว เหมาะกับงานที่ต้องการ ความรวดเร็วเป็นสำคัญ

2.3.2.1.5 มีความคล่องตัวคล้ายภาษาแอสแซมบลี ภาษาซีสามารถเขียนแทนภาษาแอสแซมบลีได้ดี ค้นหาที่ผิดหรือ แก้โปรแกรมได้ง่าย ภาษาซีเป็นภาษาระดับสูงที่ทำงานเหมือนภาษาระดับต่ำ

2.3.2.1.6 มีความคล่องตัวที่จะประยุกต์เข้ากับงานต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี การพัฒนาโปรแกรม เช่น เวิร์ดโพรเซสซิ่ง สเปรดชีต ดาตาเบส ฯลฯ ใช้ภาษาซีเป็นภาษาสำหรับการพัฒนา

2.3.2.1.7 เป็นภาษาที่มีอยู่บนเกือบทุกโปรแกรมจัดระบบงาน มีในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ตั้งแต่ 8 บิต ไปจนถึง 32 บิต เครื่องมินิคอมพิวเตอร์ และเมนเฟรม

2.3.2.1.8 เป็นภาษาที่รวมข้อดีเด่นในเรื่องการพัฒนา

2.3.2.2 ข้อเสียของภาษา C++

2.3.2.2.1 เป็นภาษาที่เรียนรู้ยาก

2.3.2.2.2 การตรวจสอบโปรแกรมทำได้ยาก

2.3.2.2.3 ไม่เหมาะกับการเขียนโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการออกรายงานที่มีรูปแบบซับซ้อนมาก ๆ

ทั้งนี้ ทั้ง 2 ภาษามีความเหมาะสมสำหรับการพัฒนาโปรแกรมที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว เนื่องจากเป็นภาษาระดับสูง (High Level Language) ที่มีไวยากรณ์ที่เข้าใจง่ายจะถูกแปล (Compile) ไปให้คอมพิวเตอร์สามารถนำไปใช้งานหรือปฏิบัติตามคำสั่งได้ ทำให้เขียนโปรแกรมได้ง่ายมีประสิทธิภาพและความเร็วในการทำงานดี อีกทั้งมีรูปแบบที่สั้น กระชับ รัดกุม เนื่องจากการสร้างอัลกอริทึมใน MATLAB เป็นกระบวนการที่ค่อนข้างตรงไปตรงมา การสร้างอัลกอริทึมได้โดยตรงใน C / C ++ อาจเป็นเรื่องท้าทายมากเนื่องจากมีข้อกำหนดเกี่ยวกับไวยากรณ์ที่จำกัดและเครื่องมือแสดงภาพที่จำกัด การสร้างโค้ด C / C ++ จาก MATLAB ช่วยให้มีจุดเริ่มต้นในการเพิ่ม

ประสิทธิภาพหรือเพื่อให้รหัสอ้างอิง C/C ++ สำหรับการผสานรวมเข้ากับกระบวนการทดสอบจะช่วยให้การทำงานของโปรแกรมดีขึ้น โดยโปรแกรม MATLAB จะเรียกใช้รูทีนจากโปรแกรมภาษา C ได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว

อัญชลี ประเสริฐศักดิ์. (2559, หน้า 61) ได้ศึกษาเทคโนโลยีโฟโทนิกส์เพื่อการตรวจสอบเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยได้พัฒนาเครื่องมือจากเทคโนโลยีโฟโทนิกส์ จำนวน 3 เครื่อง ประกอบด้วย 1) เครื่องวัดขนาดเมล็ดข้าว (S-Rice) 2) เครื่องวัดขนาดคัพภะของเมล็ดข้าว (A-Rice) และ 3) เครื่องตรวจสอบปริมาณเมล็ดข้าวแดง เมล็ดข้าวเหนียว หรือเมล็ดข้าวเจ้า (C-Rice) พบว่า เครื่องตรวจวัดเมล็ดข้าวด้วยเทคโนโลยีโฟโทนิกส์ ถือเป็นนวัตกรรมเพิ่มประสิทธิภาพ ความสะดวก รวดเร็ว ให้แก่ผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งแสดงตามภาพที่ 2-15 ถึง 2-17

ภาพที่ 2-15 เครื่องตรวจคุณภาพเมล็ดข้าว (https://www.nectec.or.th/sectionImage/4137)

S-Rice: เครื่องตรวจคุณภาพเมล็ดข้าว (Rice Scanner)

สำหรับตรวจคุณภาพเมล็ดข้าวเพื่อตรวจวัดขนาดของความยาว ความกว้าง และความหนาของเมล็ดข้าวได้พร้อมกัน ตรวจวัดระดับท้องไข่ของข้าวสารได้อย่างน้อย 2 ระดับ และตรวจวัดความเหลืองของข้าวสาร

ภาพที่ 2-16 เครื่องวัดขนาดคัพภะของเมล็ดข้าว (https://www.nectec.or.th/sectionImage/4129)

ระบบตรวจวัดขนาดคัพภะของเมล็ดข้าวที่กระเทาะเปลือกแล้วในรูปแบบเชิงพื้นที่แบบไม่ทำลาย

- ตรวจวัดความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าว
- ตรวจหาพื้นที่ของคัพภะ (Embryo) (ตารางมิลลิเมตร) และร้อยละของพื้นที่เมล็ดข้าว
- ตรวจหาพื้นที่ของเอนโดสเปิร์ม (Endosperm) (ตารางมิลลิเมตร) และร้อยละของพื้นที่เมล็ดข้าว

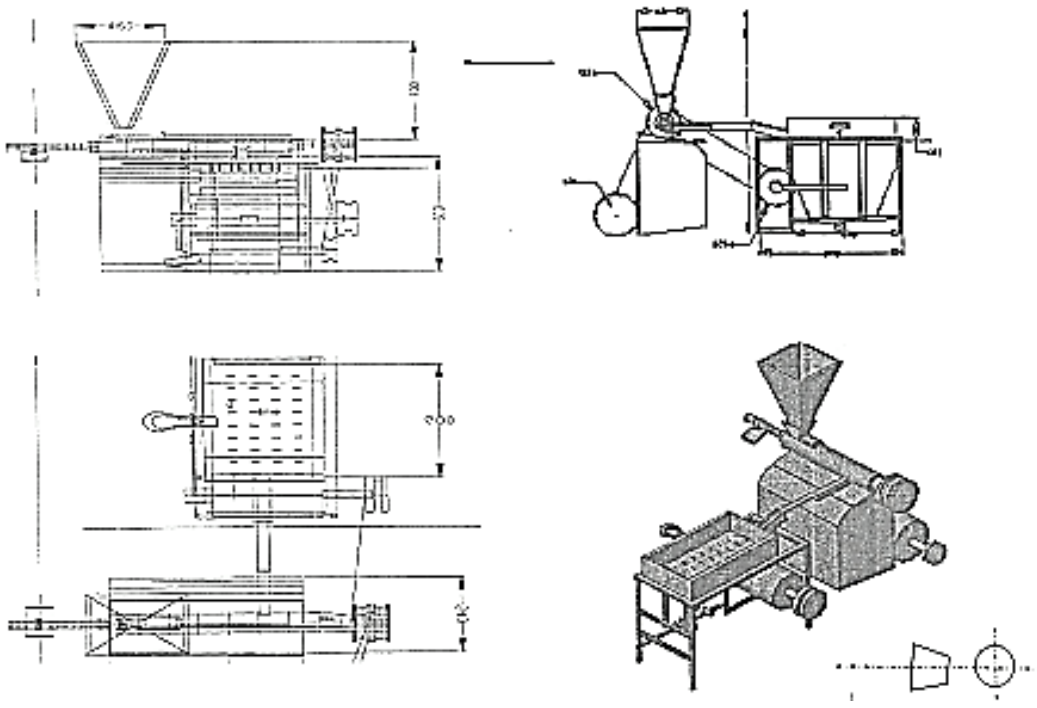
ภาพที่ 2-17 เครื่องตรวจเมล็ดข้าวแดง ข้าวเหนียว และข้าวเจ้าที่ปนมากับเมล็ดพันธุ์ (https://www.nectec.or.th/sectionImage/4133)

C-Rice: เครื่องตรวจเมล็ดข้าวแดง เมล็ดข้าวเหนียว หรือเมล็ดข้าวเจ้า ที่ปนมากับเมล็ดพันธุ์ (Rice Classifier)

เครื่องตรวจวัดระดับความปลอมปนของเมล็ดข้าวแดง เมล็ดข้าวเหนียว หรือเมล็ดข้าวเจ้าที่ปนมากับเมล็ดพันธุ์ โดยวิเคราะห์ภาพของเมล็ดข้าวภายใต้การส่องสว่างจากแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

สุพัตรา นราวัฒนะ (2559, หน้า 87) ได้ศึกษาเทคโนโลยีทางด้านฟีโนมิกส์ของพืช มีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านฟีโนมิกส์ของพืช Phenome คือ Gene x Environment หรือ Phenome หมายถึง ลักษณะปรากฏต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต ที่เป็นผลจากการทำหน้าที่และการแสดงออกของยีนทั้งหมดในจีโนมภายใต้สภาวะแวดล้อมหนึ่ง ซึ่งเป็นชุดเทคโนโลยีที่เกิดจากการรวบรวมองค์ความรู้แขนงต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกัน สำหรับใช้ในการประเมินลักษณะปรากฏของพืช เพื่อเร่งกระบวนการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของยีนพืชกับการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมให้มีความรวดเร็วสูงและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นกว่าวิธีการเดิมในอดีต

Adegun, Adepoju, and Aweda (2012, p. 1207) ได้ศึกษาครื่องประมวลผลข้าวขนาดเล็กสำหรับชาวไนจีเรีย การทำงานของเครื่องเป็นการกำจัดกรวด สิ่งสกปรก และสิ่งเจือปนจากข้าว เครื่องประกอบด้วย ขั้นตอนสำคัญสองขั้นตอน คือ การตัดและการกรอง dehuller ประกอบด้วยตะแกรงทรงกระบอกหมุนที่แยกแกลบออกจากธัญพืชผ่านเพลาและใบมีด ได้มีการนำวิธีการผลกระทบมาใช้ในการกำจัดแกลบออกจากข้าว ข้าวเปลือก การทดสอบได้ดำเนินการโดยใช้ข้าวที่ผลิตในประเทศที่ชั่งน้ำหนัก 200 กรัม นำมาตรวจสอบ สรุปได้ว่าคุณภาพข้าวที่ผลิตในท้องถิ่นดีขึ้นด้วย และต้นทุนแรงงานลดลง



ภาพที่ 2-18 เครื่องเป่าลมแยกเพลาออกจากข้าวและสิ่งสกปรกอื่น ๆ ด้วยตะแกรงสั่นที่แยกก้อนกรวดออกจากข้าว (Adegun et al., 2012, p.212)

บริษัท ด้านเทคโนโลยีของสวิตเซอร์แลนด์ Sarmap ได้เปิดตัวระบบการเฝ้าติดตามข้อมูลดิจิทัลใหม่ เพื่อลดความเสี่ยงของผู้ประกอบการรายย่อยที่มีส่วนร่วมในการผลิตข้าวโดยการจัดตั้งระบบข้อมูลข้าวที่เข้าถึงได้ง่ายเพื่อจัดการข้าวในประเทศได้ดียิ่งขึ้น วัตถุประสงค์ คือ (Far Eastern Agriculture, 2016)

1. จัดหาข้อมูลการผลิตข้าวที่เชื่อถือได้ในพื้นที่ปลูกข้าวที่สำคัญ
2. ถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีการรับรู้ทางไกลที่เหมาะสมแก่คู่ค้าในประเทศ
3. การพัฒนาแบบจำลองเพื่อปรับปรุงการคาดการณ์การผลิตด้วยการรวมการรับรู้ ระยะไกล ข้อมูล ณ จุดกำเนิดและข้อมูลสภาพภูมิอากาศ
4. การสร้างแผนการประกันพืชผลแบบยั่งยืนด้วยการพัฒนาโซลูชั่นด้านประกันภัยที่ครอบคลุมการผลิตที่ขาดหายไป
5. จัดหาแนวทางการประกันพืชผลสำหรับเกษตรกรที่ปลูกข้าวอย่างน้อย 5 ล้านคน

แนวคิดพื้นฐานที่อยู่เบื้องหลังการสร้างพื้นที่เพาะปลูกข้าวโดยใช้ SAR คือ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่ได้รับในช่วงเวลา การวัดการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของการตอบสนองต่อ SAR เนื่องจากสถานะพืชฟีนอลของพืช การเพิ่ม SAR Backscatter จะสอดคล้องกับการเจริญเติบโตของต้นข้าวนำไปสู่การระบุพื้นที่ที่มีการย้ายปลูก/ภาวะฉุกเฉินและการเจริญเติบโตของข้าว สถิติพื้นที่เพาะปลูกข้าวจัดเก็บไว้ในรูปแบบแผนที่ที่แสดงถึงขนาดของข้าวและในรูปแบบของตารางตัวเลข การหาขนาดของพื้นที่ในระดับการบริหารที่เล็กที่สุด โดยทั่วไป คือ หมู่บ้านที่ปลูกโดยข้าว ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ เชื่อมโยงกับเขตพื้นที่ภูมิภาคจังหวัดและประเทศเพื่อให้สามารถจัดทำสถิติในหน่วยการจัดการเหล่านี้ได้

ทั้งนี้ Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC) จะเป็นหนึ่งในสมาชิกสมาคม กลุ่ม บริษัท ประกอบด้วย sarmap ที่ให้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลที่จำเป็น IRRI (สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ) เป็นหุ้นส่วนภาครัฐและจะจัดทำแบบจำลองการเติบโตของผลผลิตข้าวและทำงานร่วมกับคู่ค้าในระดับภูมิภาคเพื่อนำระบบไปใช้และดำเนินงานในระดับประเทศ AllianzRe Switzerland ได้รับการสนับสนุนจาก Deutsche Gesellschaft fuer Internationale Zusammenarbeit (GIZ) จะพัฒนาโซลูชั่นด้านการประกันตามข้อมูลที่จัดทำโดย Sarmap และ IRRI และส่งผ่านแนวทางดังกล่าวไปยังคู่ค้าในประเทศที่สนใจเป็นแผนการประกันพืชผล

ตอนที่ 3 แนวคิดการพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวฟีโนไทป์โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง

ความหมายของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)

ถิรพิรุฬห์ ทองคำวิฑูรย์ (2559, หน้า 176) กล่าวว่า Machine Learning คือ สาขาวิทยาการทางคอมพิวเตอร์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างกระบวนการตัดสินใจอัตโนมัติ หรือสร้างการประมาณการผ่านทางการเรียนรู้รูปแบบ และค่าทางสถิติของข้อมูลที่สนใจ Machine Learning เป็นเครื่องมืออันสำคัญในการสร้างปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ที่ทำหน้าที่ในการตัดสินใจแทนมนุษย์ ดังนั้น Machine Learning เปรียบเสมือนเป็นมันสมองของระบบ IoT ที่จะประมวลผลข้อมูลทั้ง ณ บริเวณ “Things” หรือ วัตถุที่ต่อเชื่อมเข้ากับระบบอินเทอร์เน็ต และส่วนประมวลผลที่ต่อเชื่อมอยู่

กับโครงข่าย ตัวอย่างของบริษัทที่มีการนำเครื่องมือ Machine Learning มาใช้งาน คือ Google Facebook Amazon ฯลฯ

Barber (2006, pp. 11-338) อธิบายรูปแบบของ Machine Learning ว่าเครื่องจักรเรียนรู้ได้จากข้อมูลที่มีผู้สอนและไม่มีผู้สอน โดยข้อมูลที่มีผู้สอนมีวิธีการทำ เช่น การถดถอยโลจิสติก ซัพพอร์ต เวกเตอร์แมชชีน ตัวแบ่งกลุ่มเบย์อย่างง่าย หรือต้นไม้ตัดสินใจ ส่วนกลุ่มที่ไม่มีผู้สอน เช่น การแบ่ง k เฉลี่ย การแบ่งเป็นลำดับขั้นแบบจับเป็นกลุ่มก้อน หรือการทำแผนที่โยงก่อร่างตัวเอง

Nasrabadi (2007) อธิบายรูปแบบของ Machine Learning เป็นการพัฒนาให้เครื่องจักรมีทักษะและความสามารถเหมือนมนุษย์ เช่น การมองเห็น การพูด การตัดสินใจ ความรู้สึกนึกคิด เป็นต้น มีการจดจำรูปแบบความไม่แน่นอนเกิดขึ้นทั้งสองอย่าง ผ่านเสียงในการวัดตลอดจนผ่านขนาดที่จำกัดของชุดข้อมูล ความน่าจะเป็นทฤษฎีให้กรอบที่สอดคล้องกันสำหรับปริมาณและการจัดการของความไม่แน่นอนและรูปแบบหนึ่งในรากฐานกลางสำหรับการจดจำรูปแบบ ทั้งนี้เป็นการประยุกต์ใช้สถิติขั้นสูงเพื่อเรียนรู้ให้สามารถระบุรูปแบบข้อมูลและคาดการณ์จากรูปแบบเหล่านั้นได้

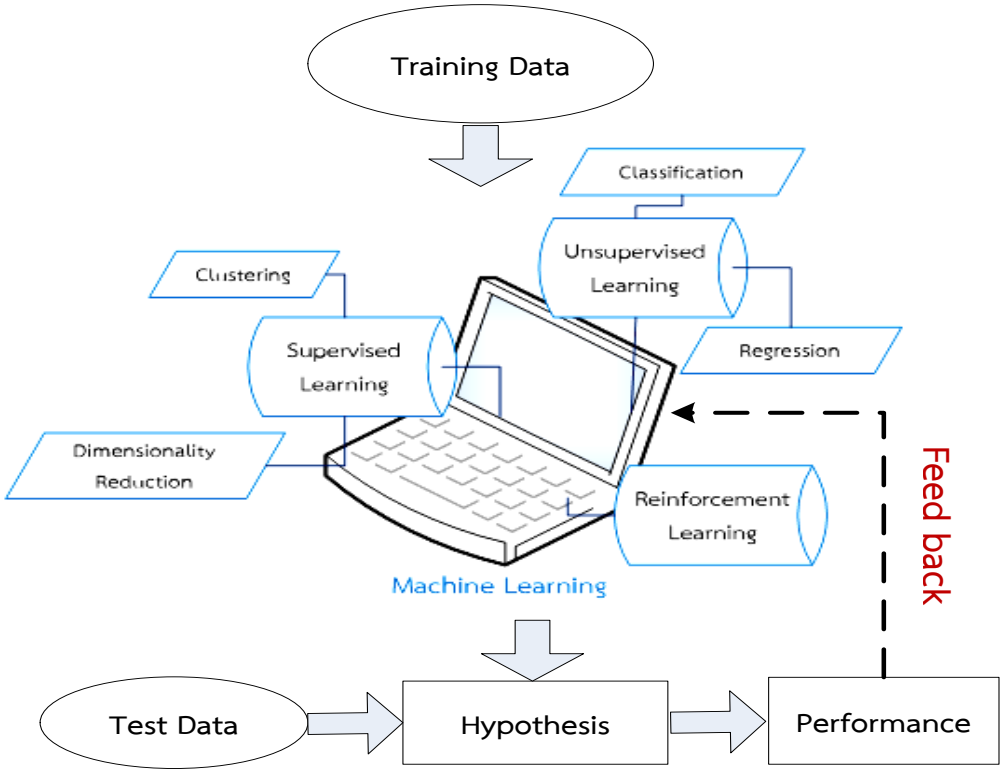
Alpaydin (2010, pp.11-475) อธิบายไว้ว่า การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรการเรียนรู้ (Machine Learning) ให้วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการทำนายตัดสินใจได้โดยปราศจากการทำงานตามลำดับคำสั่งโปรแกรม หรือเป็นเทคนิคทางสถิติเพื่อให้ระบบคอมพิวเตอร์สามารถ “เรียนรู้” ข้อมูลเป็นได้ทั้งแบบมีผู้สอน และไม่มีผู้สอน

Michalski, Carbonell, and Mitchell (2013) ได้ให้ความหมายของคำว่า Machine Learning คือ การเรียนรู้เป็นปรากฏการณ์ที่หลากหลาย การได้มาซึ่งความรู้ที่เปิดเผยใหม่ ความสามารถในการเรียนรู้ทักษะการปฏิบัติ การจัดการองค์ความรู้ใหม่ ๆ ที่มีประสิทธิภาพ มีการนำปัญญาประดิษฐ์มาช่วยในการสร้างแบบจำลองของการเรียนรู้ ในการแสดงซ้ำจึงถือว่าเป็นการเรียนรู้ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Machine Learning) ลักษณะของงานวิจัยทาง Machine Learning มี 3 แบบ ดังนี้

1. พัฒนาและวิเคราะห์ระบบการเรียนรู้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานล่วงหน้า
2. จำลองความรู้ความเข้าใจการตรวจสอบและจำลองเครื่องจักรการเรียนรู้ของมนุษย์
3. ทฤษฎีการวิเคราะห์ สำรวจพื้นที่ที่การเรียนรู้ที่เป็นไปได้และอัลกอริทึมที่เป็นอิสระ

Quinlan (2014, p. 1) อธิบาย อัลกอริทึมของ Machine Learning คือ การให้ ‘ชุดการสอน (Teaching Set)’ ของข้อมูล แล้วให้ใช้ข้อมูลดังกล่าวเพื่อตอบคำถาม โดยคอมพิวเตอร์จะแยกแยะข้อมูลนั้น ๆ นอกจากนี้ โปรแกรมสำหรับการเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning) จะใช้ภาษา R ในการเขียนโปรแกรม มีโปรแกรมที่สำหรับเขียน R โดยเฉพาะ คือ R Studio

ดังนั้น Machine Learning หรือเรียกว่า “เครื่องจักรเรียนรู้ด้วยตัวเองหรือการเรียนรู้ด้วยเครื่อง” จึงเป็นการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักร การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการทำนายตัดสินใจได้ โดยมีคำสั่งโปรแกรม หรือเทคนิคทางสถิติเพื่อให้ระบบคอมพิวเตอร์สามารถ “เรียนรู้” ส่วนการเรียนรู้ของเครื่องจะถูกใช้งานเสมือนเป็นสมองของ AI (Artificial Intelligence) หรืออาจกล่าวได้ว่า AI ใช้ Machine Learning ในการสร้างความฉลาด ทั้งนี้ AI จะกระทำการอันใดได้ต้องอาศัยส่วนสมองอย่าง Machine Learning ที่เรียนรู้จากสิ่งที่ Input เข้าไปและส่งผลออกมาเป็นชุดข้อมูล โดยอาศัยโปรแกรม Algorithm ในการประมวล ทั้งนี้ ข้อมูลจะถูกฝึกได้ทั้งแบบมีผู้สอน ไม่มีผู้สอน และตามสภาพแวดล้อม สรุปได้จากภาพที่ 2-19



ภาพที่ 2-19 ลักษณะการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning)

องค์ประกอบของการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning)

การเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ใช้อัลกอริทึมที่เน้นการเรียนรู้จากตัวอย่างที่ผ่านมา โดยต้องได้รับข้อมูลมากพอ คอมพิวเตอร์จะทำการสร้างกฎเพื่อให้สามารถทำการตัดสินใจ บนข้อมูลใหม่ที่เข้ามาได้ในอนาคต สิ่งที่สำคัญในการดำเนินงานของการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) คือ ลักษณะของข้อมูลนำเข้าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในการเลือกวิธีการเรียนรู้ต่อไป

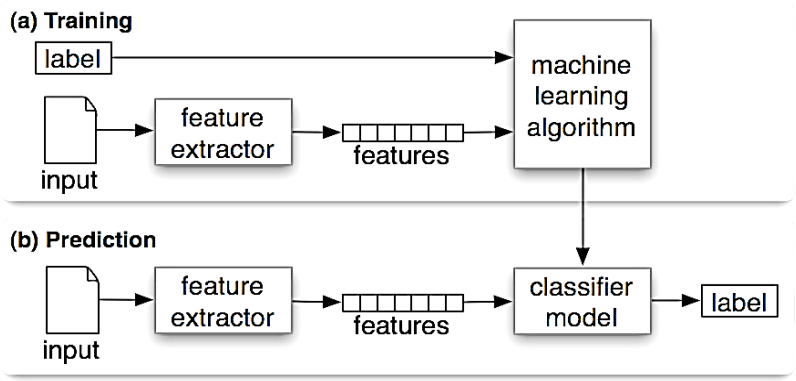
การเรียนรู้ของเครื่องจักร มีรูปแบบการเรียนรู้จากข้อมูลหลากหลาย สรุปรวมได้ 3 รูปแบบ คือ

1. การเรียนรู้โดยอาศัยตัวอย่าง (Supervised Learning) เป็นการเรียนรู้โดยใช้อัลกอริทึมเพื่อสร้างฟังก์ชั่นที่จะทำข้อมูลเข้าให้เป็นผลลัพธ์ที่ต้องการ การจำแนกประเภทเป็นรูปแบบหนึ่งของการเรียนรู้โดยอาศัยตัวอย่าง การแบ่งกลุ่มของข้อมูลที่รู้อยู่ก่อนแล้วว่าข้อมูลแต่ละกลุ่มมีลักษณะคุณสมบัติอย่างไรจะเรียกแต่และกลุ่มว่า Class หรือ Label ได้แก่ Classification และ Regression
2. การเรียนรู้โดยไม่อาศัยตัวอย่าง (Unsupervised Learning) เป็นการเรียนรู้โดยการจำลองแบบของชุดข้อมูลเข้าจากลักษณะเฉพาะของข้อมูลโดยไม่ต้องใช้ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ถูกจัดประเภทหรือสัญลักษณ์ (label) ของข้อมูลไว้ก่อน แค่ระบุจำนวนของสัญลักษณ์ (Label) ว่าจะแบ่งจำนวนเท่าไร จากนั้น Machine Learning จะแบ่งข้อมูลที่มีแบบแผน (Pattern) คล้ายกันให้ไปอยู่ สัญลักษณ์ (Label) เดียวกัน ได้แก่ การทำ Clustering
3. การเรียนรู้กึ่งอาศัยตัวอย่าง (Semi-Supervised Learning) เป็นการเรียนรู้ที่อาศัยทั้งตัวอย่างที่ยังไม่ได้จัดประเภทและตัวอย่างที่ถูกจัดประเภทไว้แล้ว หรือเป็นการเรียนรู้แบบลองผิด

ลองถูก (Trial and Error) มีการปฏิสัมพันธ์กับระบบภายนอก โดยทุกครั้งที่เรียนรู้จะรับ Input จากข้างนอกมาคำนวณด้วย สิ่งที่ป้อนเข้า (Input) ที่นำเข้ามาคำนวณ คือ ผลจากการลองผิดลองถูกจากครั้งก่อนหน้าซึ่งเราเรียกผลนี้ว่า Reward เช่น ถ้าลองแล้วถูก Reward=1 ถ้าลองแล้วผิด Reward=0 ซึ่งค่า Reward นี้จะถูก Feed กลับเข้าไปเป็น สิ่งที่ป้อนเข้า (Input)ของการเรียนรู้รอบถัดไปและทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนได้ผลที่ต้องการ

Yeomans (2015) อธิบาย Machine Learning ว่า “เป็นสาขาวิชาสถิติที่ออกแบบมาสำหรับโลกของข้อมูลขนาดใหญ่” แต่การเรียนรู้ด้วยเครื่องแตกต่างจากสถิติเพราะมันไม่ได้มุ่งเน้นไปที่สาเหตุและผล มุ่งเน้นไปที่การคาดการณ์โดยไม่ต้องพยายามทำความเข้าใจสาเหตุ มีวิธีการเรียนรู้จำแนกตามรูปแบบการเรียนรู้ได้ ดังนี้

1. การสร้าง Model สำหรับปัญหาที่ต้องการ (Feature Extraction) เป็นกระบวนการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานได้ใน Machine Learning เช่นแปลงจากข้อมูล Text และ Image ไปอยู่ในรูปแบบชุดของตัวเลขวิธีการนี้จะช่วยลดขนาดข้อมูลที่ต้องประมวลผล ซึ่งนั่นคือ การลด Resource ที่ต้องใช้การประมวลผลเป็นสิ่งสำคัญมาก ๆ ใน Big Data
2. การให้น้ำหนักและความสำคัญของข้อมูลที่จะใช้ในการสร้าง Model (Regularization) เป้าหมายของ Regularization คือ จัดการกับความซับซ้อนของ Model ลดข้อมูลที่ไม่จำเป็นออกไปเพื่อทำให้ได้ Model ที่เรียบง่าย
3. การตรวจสอบความถูกต้อง Model (Cross-Validation) เมื่อสร้าง Model แล้วเพื่อให้มั่นใจว่า Model ทำนายได้ ต้องทำการทดสอบ Model ด้วยข้อมูลที่ไม่ได้นำมาสร้าง Model แต่เป็นข้อมูลนอกช่วงเวลา



ภาพที่ 2-20 ตัวอย่างวิธีการสร้างชุดค่าผสมของตัวแปร (https://media.licdn.com/dms/Image/C4E12AQGPze4iPMbjAA/article-nline_Imageshrink_1000_1488/0?e=2125872000&v=beta&t=HS40LIm4NrA7n INDDthjoXlpgVbNPQUmH9wPZ1xnlaM)

Machine Learning ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้การพยากรณ์หรือคำทำนายจากข้อมูลมีความแม่นย าสูงสุด (Best Possible Accuracy) โดยไม่มีการตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ซึ่งเราเพียงแค่ป้อนข้อมูลจำนวนมากเข้าไป ชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์จะประมวลผล และ

หารูปแบบของข้อมูลสร้างความสามารถให้คอมพิวเตอร์เกิดการ “เรียนรู้”โดยปราศจากการสร้างโปรแกรมให้แต่ต้น (Without Being Explicitly Programmed) สามารถมองไปข้างหน้า (Forward Looking) และอธิบาย (Rearward Looking) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร มีการปรับแบบจำลองตามข้อมูลที่เข้ามาใหม่ตลอดเวลา

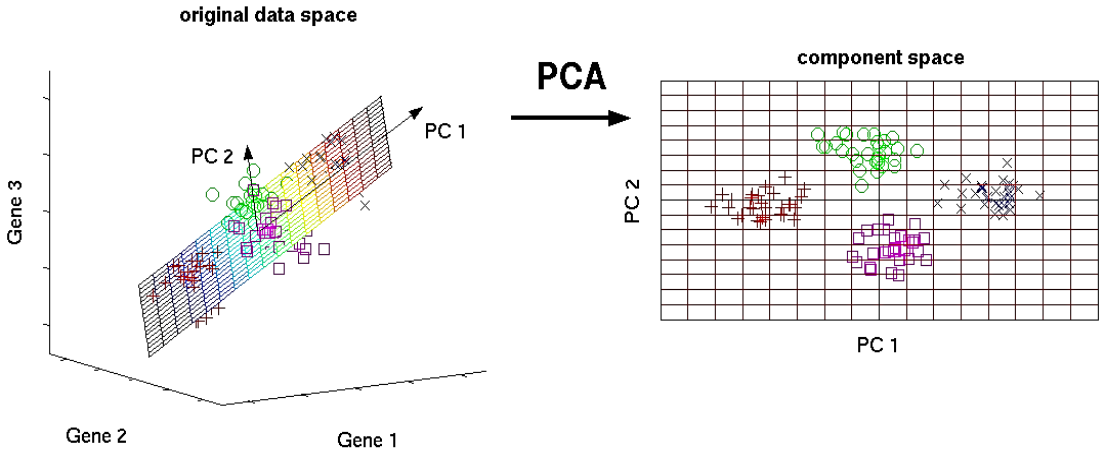
Machine Learning มีแนวโน้มที่จะเกิดการ Overfitting แบบจำลอง และข้อมูลจำนวนน้อยอาจจะมี Outliers คิดเป็นสัดส่วนที่มาก ส่งผลให้ความแม่นยำของแบบจำลองลดลง

การใช้ Machine Learning จะมีประสิทธิภาพที่สุด เช่น การสร้างระบบ Image recognition และ Computer Vision ซึ่งต้องใช้ข้อมูลรูปภาพในรูปแบบดิจิทัลจำนวนมากเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้ได้ในทางกลับกัน หากสิ่งที่เราต้องการคือการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และจำนวนกลุ่มตัวอย่างค่อนข้างจำกัด การใช้แบบจำลองทางสถิติทั่วไป

ตัวอย่างชนิดของ Algorithm Machine Learning มีดังนี้

1. Principal Component Analysis (PCA)/SVD เป็นวิธีการแบบ Unsupervised ช่วยให้เข้าใจคุณสมบัติของ Dataset เช่น จะวิเคราะห์หา Covariance Matrix ของ Data Point เพื่อจะได้รู้ว่า Dimension หรือ Data Point ใดมีความสำคัญกว่า เช่น Data Point นั้นอาจมีค่า Variance สูง แต่มี Covariance ต่ำกว่าข้อมูลอื่น Data Point ที่มี Dimension เยอะๆ สามารถใช้ Algorithm นี้ลด Dimension ได้

การหา top PC ของ Matrix เสมือนหาตัวเจาะจง (Eigenvector) ที่มีค่าเจาะจง (Eigenvalue) สูงที่สุด ซึ่ง SVD เป็นวิธีที่ใช้หา Ordered Components ได้เหมือนกัน แต่เป็นแบบไม่ต้องหา Covariance Matrix



ภาพที่ 2-21 การทำ Principal Component Analysisจาก Original Data
(https://medium.com/@m.Treerungroj/ten-machine-Learning-Algorithms-you-should-know-to-become-a-data-scientist-11eb3dded0cc)

2. Least Squares and Polynomial Fitting เป็นการหาสมการที่ Plot แล้วเส้นของสมการนั้นลากผ่านจุดข้อมูลเยอะที่สุด หรือ Error น้อยที่สุด จะใช้วิธีนั้นหา Fit Curve ใน

Machine Learning ใช้สำหรับข้อมูลปริมาณน้อย และ Low Dimension โดยใช้หลักของ Ordinary Least Square (OLS) เท่านั้น ไม่ต้องใช้ Optimization Technique แต่ไม่เหมาะกับการนำไปใช้กับข้อมูลขนาดใหญ่ และหลาย Dimension อาจเกิด Overfitting ได้ เหมาะจะใช้กับข้อมูลที่เป็น Curve หรือ Regression แบบง่าย ๆ

Overfitting เป็นอีกหนึ่งปัญหาพื้นฐานที่พบบ่อยมากในการพัฒนาอัลกอรึทึ่ม Machine Learning ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ โมเดลทำงาน (เช่น ทำนายข้อมูล) ได้ดีมากกับ Training Data (In-Sample Data) แต่เมื่อนำโมเดลนั้นมาทำงานกับ Testing Data (Out-Sample Data) ซึ่งเป็นข้อมูลที่โมเดลไม่เคยเห็นมาก่อน โมเดลกลับทำงานแต่ได้ผลแย่มาก

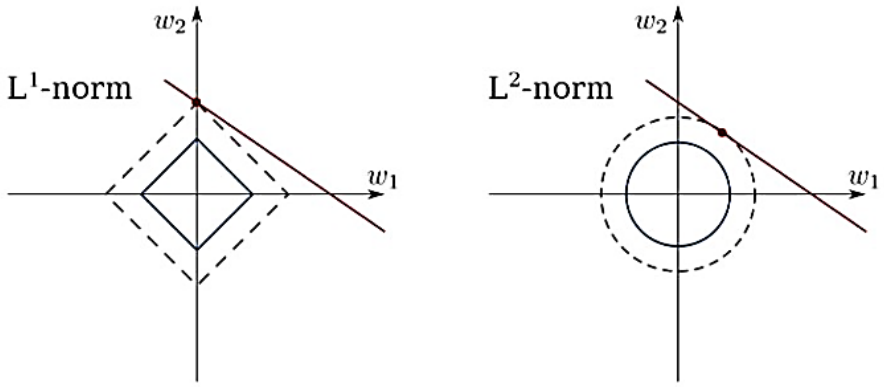
Overfitting โดยส่วนใหญ่จึงเกิดเมื่อมีการพยายามปรับ (Turning) โมเดล ให้สามารถทำนายข้อมูล Training ให้ได้ดีที่สุด ทำให้มีการใส่พารามิเตอร์เข้าไปจนเกินไป ทำให้โมเดลมีความซับซ้อนเกินและเกิดการ Overfitting กับชุดข้อมูล Training นั้นๆ เท่านั้น หรือ อาจจะเรียกอีกอย่างว่าโมเดลมี High Variance

การแก้ปัญหา Overfitting มี 2 กรณี

2.1 การลดจำนวนพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้ ให้เหลือน้อยที่สุด แม้ว่าวิธีนี้จะทำให้การทำนายค่าลดลงไปก็ตาม ข้อควรระวัง คือ ถ้าลดพารามิเตอร์ลงจนน้อยเกินไป ก็จะทำให้โมเดลไม่มีความซับซ้อนเพียงพอที่จะตรวจจับ Pattern (รูปแบบของข้อมูล) ได้เช่นกัน หรือ ที่เรียกว่า Underfitting หรือ อาจจะเรียกอีกอย่างว่า โมเดลมี High Bias

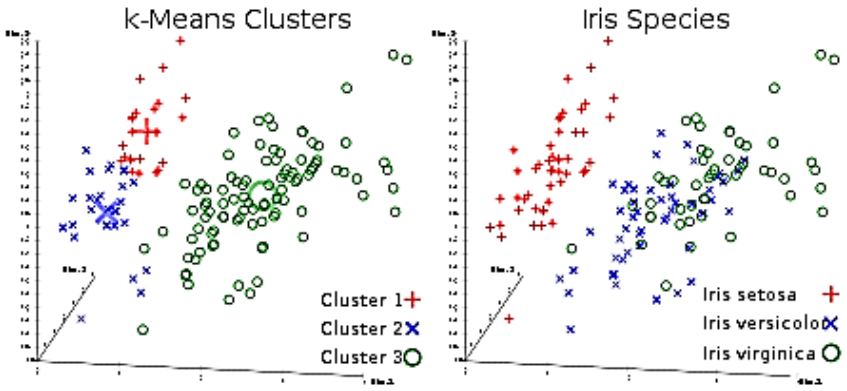
2.2 วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับโมเดลเรียกว่า “regularization” จะให้ผลลัพธ์คือปรับค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์ของโมเดลให้เหมาะสม และ Filter Out Noise ออกจากข้อมูล ทำให้สามารถสร้างตัวทำนายที่เหมาะสมได้

3. Constrained Linear Regression สำหรับข้อมูลที่มี Outlier เช่น มีค่าผิดปกติที่โดดจากกลุ่มจำนวนมาก ข้อมูลแปลก ๆ หรือมี Noise การหาค่า Least squares (กำลังสองน้อยที่สุด) อาจไม่เหมาะสม และทำให้ Model คลาดเคลื่อนไปได้ จึงต้องกำหนดข้อจำกัด (constraint) เพื่อลดความแปรปรวนที่อาจเกิดกับเส้น Model โดยดู weight ของข้อมูลที่เอาไป fit Model ด้วย ซึ่ง Model อาจมี L1 norm (LASSO) หรือมี L2 (Ridge regression) หรือมีทั้ง 2 ได้ (Elastic Regression) แล้วจึง Optimize Model ด้วย Mean Squared Loss อีกครั้ง การใช้ Fit Constrained Regression Line เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด Overfitting และปิดบัง Dimension ที่มี Noise ออกจาก Model ได้



ภาพที่ 2-22 Constrained Linear Regression การหา Weight (https://medium.com/@m.Treerungroj/ten-machine-Learning-Algorithms-you-should-know-to-become-a-Data-scientist-11eb3dded0cc)

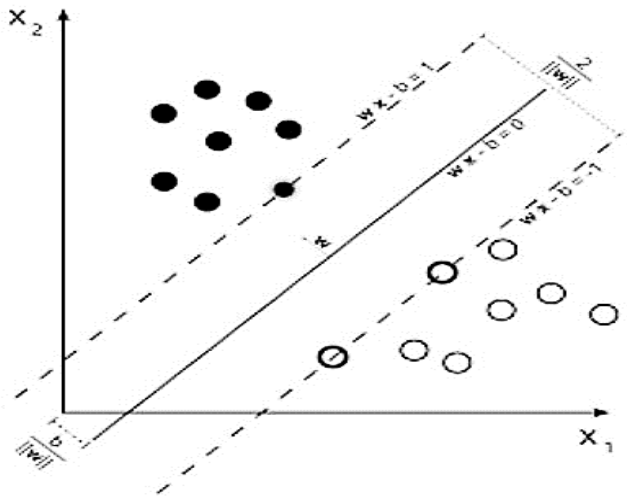
4. K means Clustering สมมติมีข้อมูล 1 ชุด (ในรูปของ Vector) ต้องการแบ่งกลุ่ม (Clustering) ข้อมูลเหล่านั้นโดยใช้ระยะห่างระหว่างแต่ละ Data Point มาคำนวณ Algorithm จะทำงานโดยรับ Input เป็นจำนวน Cluster ซึ่งต้องกำหนดการแบ่งข้อมูลเป็นกลุ่มก่อน ลักษณะการทำงานจะวนลูปไปเรื่อย ๆ (Iterative) เพื่อหา Center ของแต่ละ Cluster พอ Center เปลี่ยน Member ของ Cluster ก็จะเปลี่ยนด้วย และวนลูปจนกระทั่ง Center หยุดเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 2-23 K means Clustering (https://medium.com/@m.Treerungroj/ten-machine-Learning-Algorithms-you-should-know-to-become-a-Data-scientist-11eb3dded0cc)

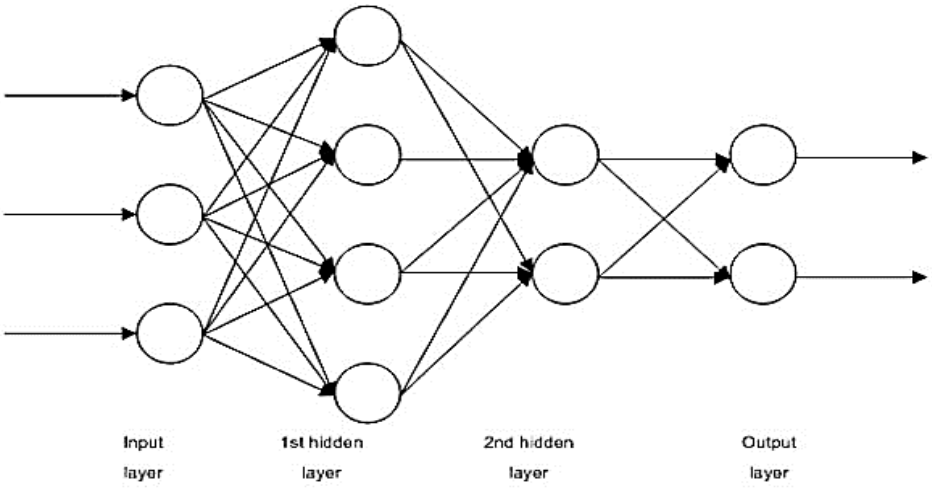
5. Logistic Regression จะใช้ Sigmoid Function หรือ Tanh แทน เช่น ค่าที่ผ่าน Sigmoid Function จะได้ Output ออกมาเป็น 0 กับ 1 ซึ่งเป็นการจำกัด Output ของ Model ไปด้วย ดังนั้น หากจะ classification อาจมองว่า Logistic Regression เป็น Neural Network ที่มี layer เดียวได้ นอกจากนี้ ยัง optimize Model ด้วย Method เช่น Gradient Descent หรือ L-BFGS จะเรียกวิธีนี้ว่า Maximum Entropy Classifier

6. SVM (Support Vector Machines) เป็น Linear Model คล้ายกับ Linear / Logistic Regression ต่างกันที่ Margin-Based Loss Function สามารถใช้ Optimization Method เช่น L-BFGS หรือ SGD เพื่อ Optimize Loss Function และสามารถกำหนด Kernel ที่ใช้ Train Data ได้จากเดิม คือ RBF Kernel เปลี่ยนเป็น Kernel อื่นที่ดีกว่าได้ อีกจุดเด่น SVM สามารถเรียนรู้ Classifier ที่จำแนกเพียง 1 Class และยังใช้ Train เพื่อสร้างตัวจำแนกข้อมูล (Classifier) หรือสมการถดถอย (Regression) ได้

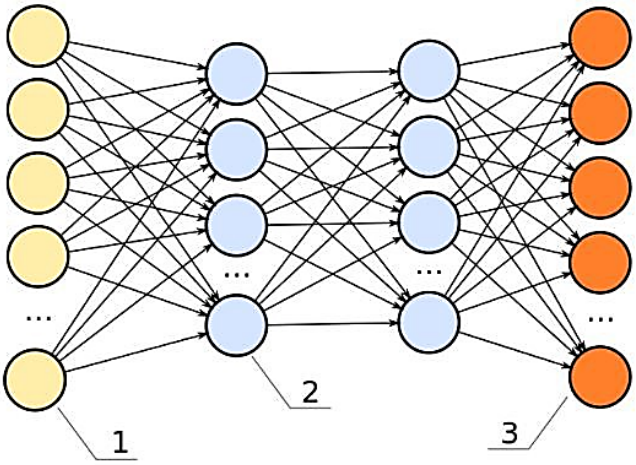


ภาพที่ 2-24 SVM (Support Vector Machines) (https://medium.com/@m.Treerungroj/ten-machine-Learning-Algorithms-you-should-know-to-become-a-Data-scientist-11eb3dded0cc)

7. Feedforward Neural Networks คือ Logistic Regression classifier ที่มีหลาย ๆ layer ซึ่งแต่ละ layer คั้นด้วย Non-Linearitie (เช่น สมการ Sigmoid, Tanh, Relu + Softmax หรือ สมการ Selu) เรียกว่า Multi-Layered Perceptrons จะใช้ FFNNs ทำ Classification หรือ Auto Encoder ที่เป็น Unsupervised Feature Learning เรียงลำดับจากภาพที่ 2-25 – ภาพที่ 2-26

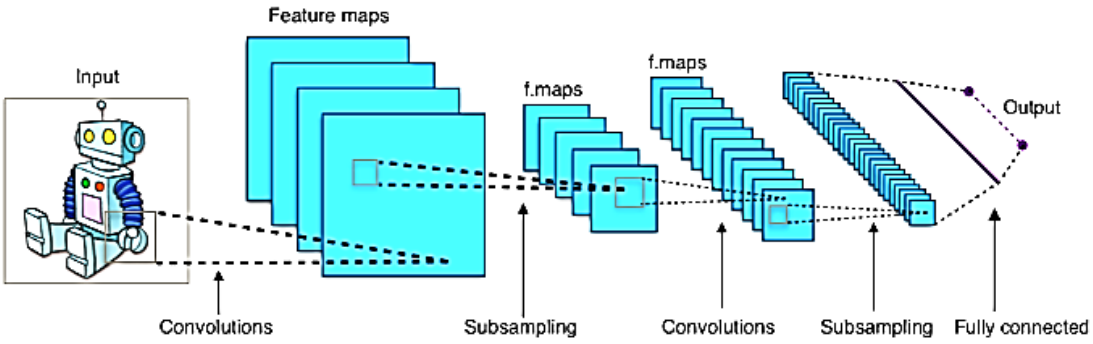


ภาพที่ 2-25 multi-layered perceptrons (https://medium.com/@m.Treerungroj/ten-machine-Learning-Algorithms-you-should-know-to-become-a-Data-scientist-11eb3dded0cc)



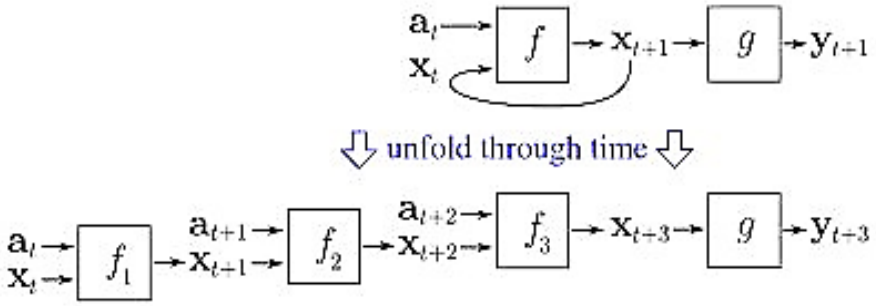
ภาพที่ 2-26 Feedforward Neural Networks (https://medium.com/@m.Treerungroj/ten-machine-Learning-Algorithms-you-should-know-to-become-a-Data-scientist-11eb3dded0cc)

8. Convolutional Neural Networks (Convnets) มีการนำมาใช้กับงาน Art Vision เช่น Image Classification, Text Classification (Graph), Object Detection หรือ Segmentation of Images (Yann Lecun เป็นคนคิดค้น) Convnets มีลักษณะเป็นลำดับชั้นของ Layer (Hierarchical Feature Extractor)

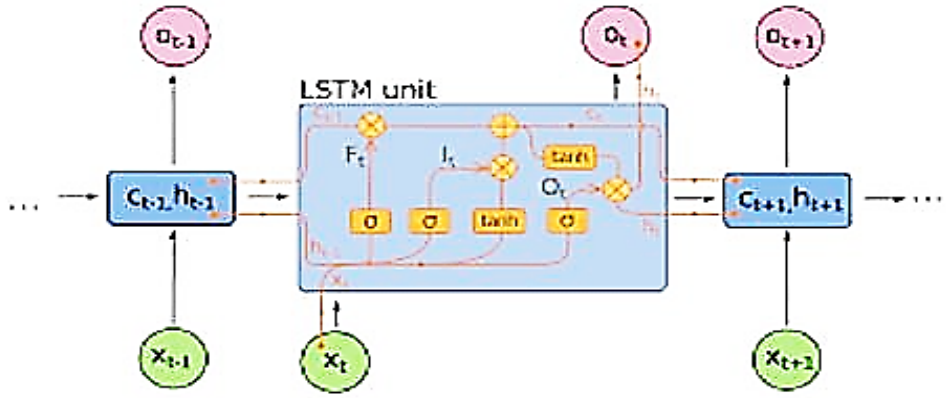


ภาพที่ 2-27 Convolutional Neural Networks (Convnets) (https://medium.com/@m.Treerungroj/ten-machine-Learning-Algorithms-you-should-know-to-become-a-Data-scientist-11eb3dded0cc)

9. Recurrent Neural Networks (RNNs): RNNs Model จะมีลักษณะเป็น Sequence ที่วนทำซ้ำ (Recursive) แต่ละ Aggregator State ณ เวลา t (ให้แต่ละ Sequence มี Input เข้ามาเป็น 0..t..T และมี hidden state ที่เป็น Output จาก Step ก่อนหน้า หรือ t-1) โดย f ในที่นี้เป็น Densely Connected Unit และ nonlinearity (ปกติ f จะเป็น LSTMs หรือ GRUs) ซึ่ง RNN นี้ใช้ LSTM unit แทน Dense Layer ธรรมดา ๆ แบบ Pure RNN



ภาพที่ 2-28 Sequence ของ Recurrent Neural Networks (https://medium.com/@m.Treerungroj/ten-machine-Learning-Algorithms-you-should-know-to-become-a-Data-scientist-11eb3dded0cc)



ภาพที่ 2-29 Recurrent Neural Networks (https://medium.com/@m.Treerungroj/ten-machine-Learning-Algorithms-you-should-know-to-become-a-Data-scientist-11eb3dded0cc)

ทั้งนี้จะใช้ RNNs กับงานที่เป็น Sequence โดยเฉพาะ Text Classification, Machine Translation และ Language Modelling เท่านั้น

10. Conditional Random Fields (CRFs) เป็น Model ที่ใช้กับงาน probabilitic graphical Model (PGMs) โดยใช้ CRFs กับสิ่งที่เป็น Sequence เหมือนกับ RNNs หรือจะใช้ร่วมกันกับ RNNs ได้ CRFs ใช้จัดการ Sequence tagging task ต่าง ๆ ที่มี Dataset ไม่ใหญ่มาก ประเด็นนี้ทำให้ CRFs ได้เปรียบ RNNs ในด้านการเรียนรู้ เพราะ RNNs ต้องการ Dataset ขนาดใหญ่ ๆ ในการ train และ CRFs ยังนำไปใช้กับ Structured Prediction Task อื่น ๆ ได้ด้วย เช่น การทำ Image segmentation นอกจากนี้ CRF จะทำ Model แต่ละ Element ของ Sequence (เรียกว่า Sentence) ดังนั้น เพียง Neighbor หนึ่งจะกระทบกับ Label ของ Component ใน Sequence เท่านั้น ไม่กระทบกับ Label ทั้งหมด (Label เป็นอิสระต่อกัน)

CRFs tag Sequence จะนิยมใช้ในรูปของ ข้อความ รูปภาพ Time Series DNA เป็นต้น

11. Decision Trees เป็นสิ่งที่ช่วยให้การตัดสินใจโดยใช้ลักษณะการถามต่อเป็นทอด ๆ (Cascade of Question) ซึ่งในกรณีข้อมูลจริงที่มีหลาย Dimension หรือซับซ้อน ๆ จะหา Cascade of Question เองจะล่าช้า มีการปรับปรุงมาเรื่อย ๆ เช่น

- Random Forests ที่สุ่มหลาย ๆ Attribute มาสร้าง Tree หลาย ๆ แบบ เป็นการสร้างแบบ Parallel พร้อม ๆ กัน แล้วสุดท้ายนำ Output ของแต่ละแบบมารวมกัน
- Boosting Trees สร้างหลาย Tree แต่ไม่เป็น Parallel เหมือน Random Forests ลักษณะ คือ สร้างทีละ Tree และ Tree นั้นจะส่งผลกับ Tree ตัวต่อ ๆ ไปที่จะสร้าง มีการดู Residual จาก Tree ก่อนหน้า ทำให้เกิด Error ในการทำนายน้อยลงเรื่อย ๆ

ทั้งนี้ Decision Trees ใช้ classify DataPoint สามารถทำ Regression ได้

ทฤษฎีการเรียนรู้อย่างมีความหมายออซูเบล (Ausubel) หรือ Subsumption Theory

Ausubel (1963) อธิบายการเรียนรู้ ที่เรียกว่า “Meaningful Verbal Learning” เป็นการเชื่อมโยงความรู้ที่ปรากฏในเอกสารกับความรู้เดิมที่อยู่ในสมองของผู้เรียนในโครงสร้างสติปัญญา (Cognitive Structure) หรือการสอนโดยวิธีการให้ข้อมูลข่าวสาร ด้วยถ้อยคำทฤษฎีของ Ausubel เน้นความสำคัญของการเรียนรู้อย่างมีความเข้าใจและมีความหมาย การเรียนรู้เกิดขึ้นเมื่อผู้เรียนได้เรียนรวมหรือเชื่อมโยง (Subsumme) สิ่งที่เรียนรู้ใหม่หรือข้อมูลใหม่ ซึ่งอาจจะเป็นความคิดรวบยอด (Concept) หรือความรู้ที่ได้รับใหม่ในโครงสร้างสติปัญญากับความรู้เดิมที่อยู่ในสมองของผู้เรียนอยู่แล้ว ทฤษฎีของ Ausubel บางครั้งเรียกว่า “Subsumption Theory” การเรียนรู้อย่างมีความหมายเป็นทฤษฎีกลุ่มพุทธิปัญญา (Cognitivism)

Ausubel ได้แบ่งการเรียนรู้ออกเป็น 4 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. การเรียนรู้โดยการรับอย่างมีความหมาย
2. การเรียนรู้โดยการรับแบบท่องจำโดยไม่คิด
3. การเรียนรู้โดยการค้นพบอย่างมีความหมาย
4. การเรียนรู้โดยการค้นพบแบบท่องจำโดยไม่คิด

ตัวแปรที่มีความสำคัญในการเรียนรู้ โดยการรับอย่างมีความหมาย ขึ้นอยู่กับตัวแปร 3 อย่าง ดังต่อไปนี้

1. สิ่ง (Materials) ที่จะต้องเรียนรู้จะต้องมีความหมาย ซึ่งหมายความว่าจะต้องเป็นสิ่งที่มีความสัมพันธ์กับสิ่งที่เคยเรียนรู้และเก็บไว้ในโครงสร้างพุทธิปัญญา
2. ผู้เรียนจะต้องมีประสบการณ์และมีความคิดที่จะเชื่อมโยงหรือจัดกลุ่มสิ่งที่เรียนรู้ใหม่ให้สัมพันธ์กับความรู้หรือสิ่งที่เรียนรู้เก่า
3. ความตั้งใจของผู้เรียนและการที่ผู้เรียนมีความรู้ คิดที่จะเชื่อมโยงสิ่งที่เรียนรู้ใหม่ให้มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างพุทธิปัญญา ที่อยู่ในความทรงจำแล้ว

นอกจากตัวแปรทั้ง 3 อย่าง การสอนจะต้องคำนึงถึงวัยด้วย เพราะถ้าหากไม่พร้อมที่จะรับหรือรับโดยไม่เข้าใจ อาจจะต้องใช้การท่องจำแบบนกแก้วนกขุนทอง

ประเภทของการเรียนรู้ โดยการรับอย่างมีความหมาย แบ่งการเรียนรู้เป็น 3 ประเภท คือ

1. Subordinate Learning: เป็นการเรียนรู้โดยการรับอย่างมีความหมาย โดยมีวิธีการ 2 ประเภท คือ

1.1 Deriveration subsumption: เป็นการเชื่อมโยงสิ่งที่จะต้องเรียนรู้ใหม่กับหลักการหรือกฎเกณฑ์ที่เคยเรียนมาแล้ว โดยการได้รับข้อมูลมาเพิ่ม เช่น มีคนบอก แล้วสามารถดูดซึมเข้าไปในโครงสร้างทางสติปัญญาที่มีอยู่แล้วอย่างมีความหมาย โดยไม่ต้องท่องจำ

1.2 Correlative subsumption: เป็นการเรียนรู้ที่มีความหมายเกิดจากการขยายความหรือปรับโครงสร้างทางสติปัญญาที่มีมาก่อนให้สัมพันธ์กับสิ่งที่จะเรียนรู้ใหม่

2. Superordinate Learning: เป็นการเรียนรู้โดยการอนุมาน โดยการจัดกลุ่มสิ่งที่เรียนใหม่เข้ากับความคิดรวบยอดที่กว้างและครอบคลุมความคิดยอดของสิ่งที่เรียนใหม่ เช่น สุนัข แมว หมู เป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

3. Combinatorial Learning: เป็นการเรียนรู้หลักการ กฎเกณฑ์ต่าง ๆ เชิงผสม ในวิชาคณิตศาสตร์ หรือวิทยาศาสตร์ โดยการใช้เหตุผล หรือการสังเกต เช่น การเรียนรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับระยะทางในการที่ทำให้เกิดความสมดุล

หลักการทั่วไปที่นำมาใช้ คือ

3.1 การจัดเรียบเรียงข้อมูลข่าวสารที่ต้องการให้เรียนรู้ออกเป็นหมวดหมู่

3.2 นำเสนอกรอบ หลักการกว้าง ๆ ก่อนที่จะให้เรียนรู้ในเรื่องใหม่

3.3 แบ่งบทเรียนเป็นหัวข้อสำคัญ และบอกให้ทราบเกี่ยวกับหัวข้อสำคัญที่เป็นความคิดรวบยอดใหม่ที่ต้องเรียน

ซึ่งทฤษฎีดังกล่าว มีการนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยทางด้านคอมพิวเตอร์ เช่น

Khardon, and Arias (2006, pp. 72-94) ศึกษาโครงข่ายการเรียนรู้อย่างมีความหมายและแบบสอบถามการเรียนรู้ พบว่า การปรับแต่ง subsumption ที่ทำซ้ำเพื่อแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่ใช้การจับคู่ล่าสุดสามารถสร้างแบบสอบถามจำนวนมากแบบชี้แจงในบางปัญหาในการเรียนรู้

Zavitsanos, Paliouras, Vouros, and Petridis (2010, pp, 37-51) ศึกษาการเรียนรู้ลำดับชั้นย่อยของแนวคิด Ontology จากข้อความ พบว่า วิธีการค้นหาหัวข้อที่แฝงสำหรับสร้างเอกสารข้อความ หัวข้อที่ค้นพบนี้ เป็นแนวคิดเกี่ยวกับออนโทโลยีแบบใหม่ที่นำ Subsumption Theory มาช่วยสร้างอนุกรมวิธาน

ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัล

ก่อนจะกล่าวถึง หลักการประมวลผลภาพนั้น การได้มาของภาพแต่ละภาพ (Image Acquisition) ที่แตกต่างกัน จะขึ้นอยู่กับการเลือกใช้อุปกรณ์ การรับภาพ วิธีการที่ใช้ในการรับภาพ และยังมีส่วนของขั้นตอนการนำภาพไปใช้งานอีกด้วย

ดังนั้น การจะนำภาพต่าง ๆ เข้ามาสู่คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล ควรทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักภาพ โดยการแปลงรูปแบบให้ตรงกับระบบจอคอมพิวเตอร์ และผลลัพธ์จะแตกต่างกันถึงแม้ว่าจะมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกันหากภาพนั้นมาจากอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน

หลักการพื้นฐานในการประมวลผลภาพดิจิทัลตามกระบวนทำงาน (อรฉัตร จิตต์โสภักตร์, 2552, หน้า 30-32) ประกอบด้วย

1. Image Representation และ Image Modeling: เป็นการสร้างภาพในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2. Image Enhancement: เป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพเพื่อแสดงผลผ่านจอโดยไม่เปลี่ยนแปลงข้อมูลภายในภาพ

3. Image Restoration: เป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยใช้ข้อมูลที่ทราบสาเหตุ เช่น Noise หรือ Filtering

4. Image Analysis: เป็นการอธิบายลักษณะต่าง ๆ ในภาพ เช่น ขนาด หรือ การหมุนของวัตถุ

5. Image Reconstruction from Projection: เป็นการจำลองเรขาคณิตของการเกิดภาพจาก sensor

6. Image Data Compression: เป็นการบีบอัดขนาดของภาพแต่ยังคงคุณภาพเดิม

และ อรฉัตร จิตต์โสภักตร์ (2552) ได้อธิบายทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัล ไว้ดังนี้

1. การรับภาพและการได้มาของภาพ (Image sensing and acquisition) เริ่มจาก Energy source →Sensor →Analog Image →Digitization (A/D) →Digital Image

2. การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement and Restoration) เช่น ความคมชัดปรับตามทฤษฎี Contract Enhancement การปรับเน้นเส้นขอบภาพตามทฤษฎี Edge Enhancement เทคนิค Edge Detection หรือกรณีภาพไม่สมบูรณ์มีสัญญาณรบกวนใช้เทคนิคการกรองสัญญาณภาพ Image Filtering เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน

3. การบีบอัดภาพ (Image Compression) เพื่อการรับส่งและการจัดเก็บภาพให้รวดเร็วขึ้น เช่น JPEG หรือ GIF

4. การวิเคราะห์ข้อมูลภาพ (Image Analysis) เป็นการวัดหรือข้อมูลเชิงปริมาณ เพื่อสร้างคำจำกัดความ และแยกคุณลักษณะของวัตถุในภาพเพื่อช่วยระบุชนิด ต้องมีการแยกส่วนวัตถุ (Segmentation) ที่สนใจออกมาจากรูปภาพหรือฉากได้

การนำหลักการพื้นฐานและทฤษฎีไปปรับปรุงให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ในงานวิจัยของ นุชรี ธรรมโชติ (2557, หน้า 20-24) ศึกษาเรื่อง การพัฒนาระบบการประมวลผลภาพสำหรับกระบวนการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ของหมึกกล้วยแปรรูป นำทฤษฎีการประมวลผล ภาพดิจิทัลมาประยุกต์ใช้ ดังนี้

1. จัดสภาพแวดล้อม (Scene Constraint) เพื่อลดความซับซ้อนในการประมวลผล เช่น ตำแหน่งการวางวัตถุ ระยะระหว่างกล้องหรือเลนส์ถึงวัตถุ การจัดตำแหน่งของแสง (Front Lighting/ Black Light)

2. การดึงข้อมูลภาพ (Image Acquisition) ตั้งแต่ถ่ายภาพจนถึงการนำข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ มีเซ็นเซอร์รับภาพ (Image Sensor) มาเกี่ยวข้อง และเซลล์รับภาพพิกเซล (Pixel)

3. การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Pre-Processing) มีหลายกระบวนการ เช่น การลดสัญญาณรบกวนในภาพ การตรวจจับขอบของวัตถุ การแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น หมุน เลื่อน ย่อ ขยาย การแปลงสี การวิเคราะห์ภาพเชิงความถี่ การบีบอัดภาพ เป็นต้น

4. การแยกบริเวณ (Segmentation) มีหลัก ๆ 2 วิธี คือ ใช้ค่าเทรสโฮลด์ (Threshold) เป็นค่าจำนวนเต็ม 0 – 255 ใช้ขอบของวัตถุ (Edge Based Segmentation) พิกเซลที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเกินค่าที่กำหนด ใช้แยกบริเวณของวัตถุภายในภาพ

5. การคำนวณหาคุณลักษณะของวัตถุ (Feature Extraction) เป็นการวัดคุณลักษณะแต่ละบริเวณ หรือวัตถุแต่ละชิ้นในภาพ

6. การจำแนกวัตถุและการแปลความหมาย (Classification and Interpretation) พิจารณาว่าอยู่กลุ่มใด

ยังมี ทฤษฎี Edge Enhancement ที่นำมาใช้ในการประมวลผลภาพดิจิทัล ตามแนวคิด Canny Edge Detection อัลกอริทึมสำหรับตรวจจับมุมของภาพ คิดค้นโดย John F. Canny คือ เส้นที่แบ่งระหว่างวัตถุกับพื้นหลัง หรือแยกวัตถุสองวัตถุออกจากกัน ทำให้เห็นลักษณะ รูปร่าง และรายละเอียดที่ชัดเจน ใช้หลักการหาความชันของความเข้มสี หรือ Intensity เนื่องจากที่ขอบรูปจะเป็นบริเวณมีความแตกต่างของสีมาก ซึ่งหากเราหาความชันของค่า Intensity ก็จะได้ความชันมาก

แต่หากรูปนั้นไม่มีขอบค่า intensity บริเวณนั้นจะใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน ทำให้ไม่มีความชัน ประกอบไปด้วย ทั้งหมด 6 ขั้นตอน

1. Gaussian Filtered เพื่อลดหรือกำจัด noise ออกไปจากรูปภาพ
2. Edge strength and Edge orientation ของรูปที่ภาพที่ผ่าน Gaussian Filtered มาแล้ว โดยอาจใช้กระบวนการแบบ Prewitt หรือ Sobel
3. Edge orientation Substituted เปลี่ยนค่าให้อยู่ในช่วงที่ระบุพิกัดเป็นตำแหน่งของ Pixel รอบ ๆ
4. Non-maximum Suppression เลือกคู่ Pixel โดยรอบที่เรียงตัวเป็นช่วงองศา (Positive/ Negative Arrangement Pixel) แล้วเปรียบเทียบค่า Edge Strength กับค่า Edge Strength ของ Pixel
5. Double Threshold ค่าที่ต่ำกว่าขอบเขตที่ระบุให้กำจัดค่าของ Pixel (ให้เท่ากับ 0) ค่าที่มากกว่าให้เป็นขอบภาพความเข้มสูง (Strong Edge) และส่วนที่อยู่ในช่วงให้เป็นขอบความเข้มจาง (Weak Edge) ซึ่งจะนำมาพิจารณาในขั้นตอนสุดท้าย
6. Hysteresis แยกขอบออกเป็นส่วน ๆ โดยขอบส่วนที่มีความเข้มจาง (Weak Edge) ที่ไม่เชื่อมต่อกับขอบส่วนที่มีความเข้มสูง (Strong Edge) จะถูกกำจัดทิ้ง

การแยกบริเวณ (Segmentation) เพื่อกำหนดขอบของวัตถุที่สนใจ การหาขอบภาพ (Edge Detection) คือ การตรวจสอบว่าเส้นขอบลากผ่านหรือใกล้เคียงกับจุดใด โดยวัดจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับจุดดังกล่าว วิธีการหาขอบมีหลายวิธี แบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ Gradient Method และ Laplacian Method โดยในแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (Castleman, Kenneth R. 1996 : 465-466 ; Fisher, Robert et al. 2004)

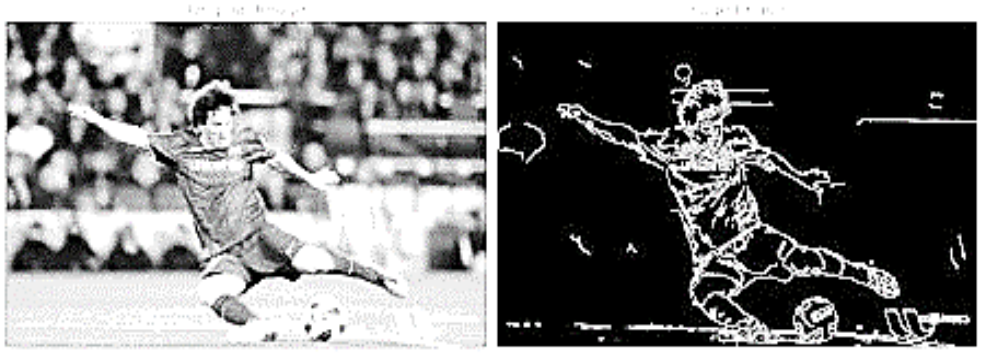
1. Gradient Method

วิธีนี้จะหาขอบโดยการหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดในรูปของอนุพันธ์อันดับหนึ่งของภาพ โดยจุดที่เป็นขอบจะอยู่ในส่วนที่เหนือค่า Threshold จึงอาจทำให้เส้นขอบที่ได้มีลักษณะหนา ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น Roberts, Prewitt, Sobel และ Canny เป็นต้น

2. Laplacian Method

เป็นการหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับ 2 โดยใช้จุดที่ค่า y เป็น 0 (Zerocrossing) ซึ่งวิธีนี้จะใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า Gradient Method ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น Laplacian of Gaussian และ Marrs-Hildreth เป็นต้น

โปรแกรม Matlab สามารถช่วยในการหาขอบภาพ ซึ่งมีคำสั่งที่ใช้ในการหาขอบทั้งหมด 6 วิธี คือ Roberts, Sobel, Canny, Laplacian of Gaussian, Zero Cross และ Prewitt งานวิจัยตัวอย่างนี้ได้เลือกวิธี Canny ในการหาขอบภาพ เนื่องจากวิธีดังกล่าวมีการใช้ Gaussian Filter ก่อนการหาขอบจึงสามารถควบคุมระดับความละเอียดของขอบที่ต้องการและสามารถลด สัญญาณรบกวนได้อีกด้วย ทำให้สามารถตัดขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing) ตัวอย่างภาพที่ผ่านการหาขอบทั้ง 6 วิธีโดยใช้โปรแกรม Matlab เป็นดังแสดงในภาพที่ด้านล่าง ซึ่งจากรูปตัวอย่างจะพบว่าการหาขอบภาพ ด้วยวิธี Canny จะให้รายละเอียดภายในวัตถุได้ดีที่สุดและใช้ได้ในกรณีที่ความแตกต่างของสีมี น้อยเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ



ภาพที่ 2-30 การหา Gradient ความเข้มของภาพ ตัวอย่างภาพที่นำมาปรับปรุงด้วยทฤษฎี Canny Edge Detection (http://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/_Images/canny1.jpg)

Canny Edge Detection Algorithm การหาขอบโดยวิธีของ Canny ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน

1. ปรับภาพให้เรียบ (Smoothing) ด้วยตัวกรองเกาเซียน (Gaussian Filter) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน

2. คำนวณค่าขนาด (Magnitude) และทิศทาง (Orientation) ของ Gradient โดยใช้การหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง

3. ใช้ Nonmaxima Suppression กับ Gradient Magnitude เพื่อทำให้ได้ขอบที่บางลง

4. ใช้ Double Thresholding Algorithm เพื่อระบุพิกเซลที่เป็นขอบและช่วยเชื่อมต่อขอบ (Green, Bill 2002; ION528 - Image processing Algorithms 2005; Canny Operator Links 2005; Rubino, Matthew 2005) มีรายละเอียดดังนี้

4.1 Smoothing

กำจัดสัญญาณรบกวนออกก่อนโดยใช้ Gaussian Filter ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการใช้กรอบ (Mask) ขนาดเล็ก ขนาดของ Gaussian Mask นี้หากมีขนาดกว้างจะมีผลทำให้ลดสัญญาณรบกวนได้มาก แต่ถ้ากว้างมากเกินไปจะมีผลทำให้ขอบย่อยๆ ที่เป็นส่วนรายละเอียดนั้นหายไป สำหรับการคำนวณหาภาพที่ได้จากการใช้ Gaussian Filter

4.2 Gradient Calculation

นำ Smoothing Image S[i, j] มาสร้าง x, y Partial Derivatives P[i, j] และ Q[i, j] ตามลำดับ ดังสมการที่ 4.2.1 และ 4.2.2

$$P[i, j] \approx (S[i, j+1] - S[i, j] + S[i+1, j+1] - S[i+1, j]) / 2 \quad (4.2.1)$$

$$Q[i, j] \approx (S[i, j] - S[i+1, j] + S[i, j+1] - S[i+1, j+1]) / 2 \quad (4.2.2)$$

จากนั้นนำค่า x , y Partial Derivatives มาคำนวณด้วยสูตรมาตรฐานสำหรับการแปลงรูปแบบจาก Rectangular ไปเป็น Polar (Rectangular-to-Polar ConVersion) เพื่อหาขนาดและทิศทางของ Gradient

4.3 Nonmaxima Suppression

การหาขอบโดย Canny Method จุดที่ถือเป็นเส้นขอบได้นั้นต้องเป็นจุดที่ให้ค่าสูงสุดเฉพาะที่และเป็นทิศ ทางเดียวกับ Gradient ด้วย ซึ่งด้วยวิธีดังกล่าวนี้ทำให้ได้ขอบที่บางเพียง 1 Pixcel ภาพที่ได้หลังการทำ Nonmaxima Suppression จะให้ค่าเป็นศูนย์ในทุกจุดยกเว้นจุดที่เป็น Local Maxima Points ซึ่งจะยังคงค่าเดิมไว้

4.4 Thresholding

เมื่อผ่านการ Smoothing ในขั้นตอนแรกแล้วแต่ภาพที่ได้อาจยังมีเส้นขอบที่ไม่ใช่ขอบที่แท้จริงปรากฏอยู่อันเนื่องจาก สัญญาณรบกวนหรือลักษณะของวัตถุในภาพเป็นพื้นผิวที่มีลวดลายหรือมีรายละเอียด ภายในมาก ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดค่า Threshold ขึ้นมา 2 ค่า คือ High Threshold (T1) และ Low Threshold (T2) โดยพิกเซลที่มีค่ามากกว่า T1 จะถูกปรับเป็น 1 (เป็นพิกเซลที่เป็นขอบ) แต่ถ้าน้อยกว่า T2 จะถูกปรับเป็น 0 ส่วนค่าที่อยู่ระหว่างค่า Threshold ทั้งสอง การปรับเป็นค่า 0 หรือ 1 นั้นขึ้นอยู่กับพิกเซลที่อยู่รอบข้าง หากพบว่าพิกเซลที่อยู่รอบข้างของพิกเซลที่เป็นขอบ (ค่า >T1) มีค่ามากกว่า T2 แล้ว จะปรับค่าพิกเซลดังกล่าวให้มีค่าเป็น 1 และถือเป็นสมาชิกหนึ่งในภาพขอบด้วยเช่นกัน

จากทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัลเบื้องต้น และงานวิจัยของ Castleman, Kenneth R. และ Fisher, Robert et al. เป็นหลักการพื้นฐานที่นำมาใช้ในการปรับปรุงภาพดิจิทัล เพื่อให้การประมวลภาพมีความถูกต้องแม่นยำ แต่บางปัญหาก็มิสามารถใช้เทคนิคใดเทคนิคเดียวแก้ปัญหาได้ครบถ้วนทุกประการ สำหรับเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลนี้มีงานวิจัยที่นำมาใช้ช่วยตรวจสอบวัตถุ หรือสิ่งมีชีวิตทางกายภาพหลากหลายรูปแบบ ซึ่งได้รวบรวมมาอธิบายในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล ในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวที่จะนำเสนอต่อไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล ในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว

จักรพงษ์ ศรีริบาล, ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล, วีรพล จิรจริต และพินิจ กำหอม (2556, หน้า 1) ศึกษาการคัดแยกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยวิธีการประมวลผลภาพจากการดูดกลืนแสงหลายย่านความถี่เป็นการระบุสายพันธุ์ข้าว โดยใช้คุณลักษณะภายนอกของเมล็ดข้าวเปลือก ได้แก่ รูปร่างและสีมีความสำคัญต่อการปรับปรุงพันธุ์เกษตร ใช้การถ่ายภาพให้แสงสีในย่านความถี่ที่เหมาะสมส่องผ่านเมล็ดข้าว จากนั้นจึงนำภาพที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยฮิสโทแกรมของภาพ และทำการคัดแยกประเภทแบบอัตโนมัติตามคุณสมบัติของสีการคัดแยกเมล็ดพันธุ์ข้าว สีเข้มหรือสีอ่อน ใช้การส่องแสงผ่านเมล็ดพันธุ์ข้าวในย่านความถี่ของแสงสีแดง และฮิสโทแกรมสีแดงและการคัดแยกเมล็ดข้าว ข้าวขาวและข้าวเหลือง ใช้การส่องแสงผ่านเมล็ดพันธุ์ข้าวในย่านความถี่ของแสงสีเขียว และฮิสโทแกรม สีเขียว ผลการทดสอบข้าวจำนวน 300 เมล็ด สามารถคัดแยกได้ถูกต้องร้อยละ 91

ชาญชัย นามพล (2558, หน้า 59) ศึกษาเรื่อง การตรวจสอบเมล็ดพันธุ์ข้าวแดงปนในข้าวขาว โดยวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัล ตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทยพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยข้าวขาวสุทธิ 98 เปอร์เซ็นต์ และข้าวแดงไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ กำจัดสัญญาณรบกวนของภาพด้วยวิธีการมอร์โฟโลจิกคอล ขั้นต่อมาทำการจำแนกรูปที่เป็นข้าวแดงและข้าวขาวออกจากกันด้วยการดูค่าระดับภาพเทาตั้งแต่ระดับ 10 จนถึงค่า 255 และทำการแปลงเป็นภาพตรรกะ ทั้งสองภาพ ขั้นต่อมา

ทำการตรวจสอบจำนวนพิกเซลภาพที่เป็นระดับตรรกะ “1” ทั้งสองภาพ เพื่อหาค่าจำนวนพื้นที่พิกเซลของข้าวแดงและข้าวขาว ท้ายที่สุดนำภาพทั้งสองมาทำการคำนวณอัตราส่วนข้าวแดงปนในข้าวขาว ผลการทดลองด้วยภาพ จำนวน 73 ภาพ ควบคุมแสงพอเหมาะไม่ทำให้เกิดเงาภาพสามารถคำนวณอัตราส่วนข้าวแดงปนในข้าวขาว ได้ถูกต้องร้อยละ 83.3

ประสิทธิ์ นครราช, จุรีรัตน์ อ้วนศรีเมือง และนภาภรณ์ มัธนัง (2011, หน้า 194) ศึกษาเรื่อง การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของข้าว โดยการประมวลผลภาพดิจิทัลเมล็ดข้าวสาร กล่าวว่า คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวสาร ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวสารและเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์เทียบกับเมล็ดข้าวสารทั้งหมด สัมพันธ์กับขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าสาร และอีกตัวแปรหนึ่งที่พิจารณาได้จากคุณสมบัติทางกายภาพ คือ เปอร์เซ็นต์ การปลอมปนด้วยข้าวที่ต่างชนิดกันที่สามารถแยกได้ด้วยสีของข้าวสารของข้าวแต่ละชนิดนั้น

สุชาติ แย้มแม่น, ณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์ และโชคชรัตน์ ฤทธิ์เย็น (2559, หน้า 1) ศึกษาเรื่อง การจำแนกประเภทเมล็ดข้าวขาวด้วยการประมวลผลภาพ เป็นการใช้กล้องถ่ายภาพเมล็ดข้าวแล้วนำมาประมวลผลด้วยเทคนิคประมวลผลภาพ แปลงภาพสีให้เป็นภาพไบนารี ใช้วิธีโอซี กรองสัญญาณด้วยองค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส หาขอบเมล็ดข้าวด้วยวิธีแคนนี่ หาความยาวของเมล็ดข้าวด้วยวิธียูคลิค จากผลการทดสอบเมล็ดข้าวขาว จำนวน 800 ภาพ พบว่า ใช้ภาพถ่ายเมล็ดข้าวขาว 1 เมล็ดต่อภาพ จำนวน 500 ภาพ โปรแกรมให้ค่าความผิดพลาดของความยาวสมบูรณ์อยู่ระดับเฉลี่ย 0.01 มิลลิเมตรต่อเมล็ด และกรณีใช้ภาพถ่ายเมล็ดข้าวแบบกลุ่ม จำนวน 3 กลุ่ม ๆ ละ 100 ภาพ โปรแกรมให้ค่าความถูกต้องของการคัดแยกประเภทเมล็ดข้าวขาวร้อยละ 99.33 ตามเกณฑ์มาตรฐานข้าวไทย

Aydin, ÇAY, and Polat (2017, p. 112) ศึกษาเรื่อง การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาพในการเจริญเติบโตของพืชและการประเมินสุขภาพ พบว่าระบบวิเคราะห์ภาพสำหรับการเจริญเติบโตของพืชและการประเมินผลด้านสุขภาพ ที่ศึกษานี้ได้มีการประเมินการตรวจหาโรคพืชและการตรวจหาศัตรูพืช มีการตรวจสอบความถูกต้องของ IR การถ่ายภาพอินฟราเรดทางอากาศ การจำแนกชิ้นส่วนพืชและการเก็บเกี่ยวหุ่นยนต์ การประมาณผลผลิตและการตรวจสอบความสมบูรณ์ของผลไม้ด้วยระบบวิเคราะห์ภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พารามิเตอร์ลักษณะ เช่น ขนาด รูปร่าง และสีของผลไม้จะใช้ในการตรวจจับวัตถุ (ผลไม้) ในภาพพืชและเพื่อประเมินการเจริญเติบโตและสุขภาพโดยการประมวลผลภาพ การพัฒนาอัลกอริทึมการวิเคราะห์ภาพสามารถเพิ่มความแม่นยำและความเร็วในการตอบสนองความต้องการของระบบ การรวมอัลกอริธึมการวิเคราะห์ภาพเข้ากับฮาร์ดแวร์พิเศษสามารถลดเวลาได้อย่างมาก

Barbedo (2013, pp. 1-12) ศึกษาการสำรวจเกี่ยวกับวิธีการที่ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลในการตรวจหาปริมาณและแยกแยะโรคพืชจากภาพดิจิทัลในสเปกตรัมที่มองเห็นได้ แม้ว่าอาการของโรคจะปรากฏชัดในส่วนใดส่วนหนึ่งของพืช แต่จะพิจารณาเฉพาะวิธีการสำรวจอาการที่มองเห็นได้ในใบและลำต้นเท่านั้น แบ่งออกเป็นดังนี้

1. การตรวจหาปริมาณความรุนแรง (Quantification)
2. การจัดหมวดหมู่ แต่ละชั้นเรียนเหล่านั้นจะถูกแบ่งย่อยตามวิธีการทางเทคนิคหลักที่ใช้ในอัลกอริทึม (Classification)

3. การจดจำรูปแบบ (Detection)

Dubosclard, Larnier, Konik, Herbulot, and Devy (2014, pp. 485-495) ศึกษาวิธีการจัด ลำดับภาพอัตโนมัติของวัตถุดิบเมล็ดอาหารซึ่งออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาอุตสาหกรรมในการประเมินเมล็ดพันธุ์ วิธีการจำแนกตามเครือข่ายประสาทเพื่อให้มีคุณสมบัติเป็นเม็ด วิธีนี้ทำให้ได้ผลดีในการจำแนกเมล็ดข้าวที่สมบูรณ์และแตกหัก มีการตรวจจับแยก โดย Lines of the Skeleton ใช้ Morphology Method ในการจัดกระทำภาพไบนารี่ มีการทำ Contours and Concaves ระหว่างเมล็ดเพื่อจำแนกเมล็ดที่สัมผัสกัน นอกจากนี้ ยังมีการ Segmentation Method ด้วย Multiple Birth-and-Death Algorithm การใช้กระบวนการนี้ช่วยตรวจหารูปทรงของแต่ละเมล็ดได้ดี

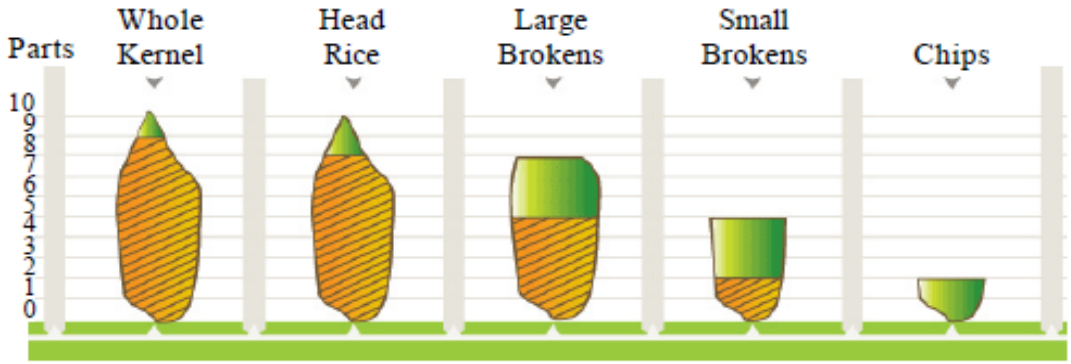
Dubosclard, Larnier, Konik, Herbulot, and Devy (2015) ศึกษาวิธีการเชิงเรขาคณิตในการจำแนกเมล็ดพันธุ์อาหารโดยอัตโนมัติ มีการพัฒนาวิธีการประมวลผลภาพเพื่อแยกและกำหนดลักษณะของเมล็ดแต่ละชนิด รูปร่าง การเรียนรู้จะทำกับเมล็ดที่แยกได้ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจะใช้สำหรับการแบ่งส่วน ขั้นตอนแรกจะทำตามเกณฑ์ง่าย ๆ เช่น บริเวณขอบขอบและบรรทัดฐานจนถึง ขอบเขต จากนั้นจะมีการใช้งานรูปร่างที่มีรูปร่างก่อนหน้านี้เพื่อปรับปรุงผลลัพธ์ โดยใช้อัลกอริทึมการจัดกลุ่มแบบ k-means ช่วยให้แยกเมล็ดออกเป็น 3 ประเภท คือ หัก เดี่ยว ติดกัน

Ebrahimi, Mollazade, and Babaei (2014, p. 196) ศึกษาเกี่ยวกับการวัดความบริสุทธิ์ข้าวสาลีอัตโนมัติ: ตามมุมมองของเครื่องจักรพื้นฐานของเครื่องข่ายประสาทเทียมทำงานด้วย Imperialist Competitive Algorithm (ICA) เป็นการนำข้าวสาลีมาตรวจสอบคุณภาพ โดยดูจากองค์ประกอบของสี รูปร่าง (สัณฐาน) และพื้นผิว โดยใช้วัตถุดิบเป็นข้าวสาลี 4 ชนิด และวัชพืช 8 ชนิดที่พบในประเทศอิหร่าน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในการกำหนดและสร้างแบบจำลองการจำแนกด้วยเทคนิค ICA และเครือข่ายประสาทเทียม (ANN) พบว่า อัตราการจำแนกประเภทของข้าวสาลีธัญพืช เมล็ดข้าวสาลี และเมล็ดพันธุ์อื่นที่ไม่ใช่เมล็ดข้าวสาลีได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 96.25%, 87.50% และ 77.22% ตามลำดับ

Faessel and Courtois (2009, pp. 195-203) ศึกษาการแยกเมล็ดข้าวที่สัมผัสกันโดยวิธีเติมพื้นที่ว่าง ซึ่งวิธีการนี้เป็นการแยกรายละเอียดวัตถุในภาพส่วนของภาพไบนารี่เปรียบเทียบระหว่างเทคนิค Watershed Transform กับ Skeletonization พบว่า Skeleton Segment ได้มากถึง 90% ส่วน Watershed Methods ได้เพียง 25% ทั้งนี้ ยังมีการใช้ Morphological เพื่อช่วยคำนวณระดับสีเทา และ มี Otsu Algorithm ช่วยดำเนินการจัดกลุ่มตามภาพโดยอัตโนมัติ Thresholding หรือการลดลงของภาพระดับสีเทาให้ภาพไบนารี นอกจากนี้ ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินการแตกหักและรอยร้าวของเมล็ดข้าวได้อีกด้วย

Hanibah, Khairunniza-Bejo, Ismail, and Wayayok (2014, p. 205) ศึกษาการกำหนดองค์ประกอบข้าวทางกายภาพ โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ มีการดำเนินการวัดคุณสมบัติทางกายภาพความยาวแกนรองและความยาวของแกนหลัก ภาพข้าวถูกแบ่งส่วนแรกโดยอัตโนมัติจากพื้นหลังโดยใช้วิธีการของ Otsu การวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในภายหลังเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่ไม่พึงประสงค์ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น แบบจำลองให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ เมื่อทดสอบด้วย 0%, 1%, 5%, 10%, 15% และ 20% ของข้าวหักที่นำมาจาก

ตัวอย่างข้าว 600 ตัวอย่างที่มีความถูกต้องร้อยละเฉลี่ย 98% วิธีนี้มีข้อได้เปรียบในเรื่องความเรียบง่าย ใช้งานง่ายและรวดเร็ว ใช้เวลาเพียง 4 วินาทีในการดำเนินการให้เสร็จสมบูรณ์



ภาพที่ 2-31 องค์ประกอบของเมล็ดข้าวที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Hanibah, Khairunniza-Bejo, Ismail, & Wayayok, 2014, p. 206)

Kambo and Yerpude (2014, pp. 83-84) ศึกษาการจำแนกประเภทข้าวพันธุ์ Basmati โดยใช้การประมวลผลภาพและการวิเคราะห์ชิ้นส่วนหลัก ใช้กล้องจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ถ่ายรูปยี่ห้อ Samsung ทำการบันทึกภาพ (JPG) ผลการทดลอง พบว่า อัลกอริธึมที่เสนอทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้ Basmati Variety จากห้างสรรพสินค้า จำแนก 3 แบบ Classic (100% Basmati) Rozana และ Mini (50% Basmati) ความถูกต้องของอัลกอริทึม เรียงตามลำดับข้างต้น คือ 80%, 75% และ 80% ความถูกต้อง โดยรวมของข้าวบาสมาติก คือ 79%

Kaur and Kaur (2014, pp. 809-814) ศึกษาเทคนิคการแบ่งส่วนภาพต่าง ๆ ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดในการประมวลผลภาพ การแบ่งส่วนภาพเป็นเทคนิคในการแบ่งหรือแบ่งส่วนภาพออกเป็นส่วน เรียกว่า กลุ่ม ส่วนใหญ่เป็นประโยชน์สำหรับแอพพลิเคชัน เช่น การบีบอัดภาพหรือการจดจำวัตถุ เนื่องจากสำหรับแอพพลิเคชันประเภทนี้จะไม่มีประสิทธิภาพในการประมวลผลภาพทั้งหมด ดังนั้น การแบ่งส่วนภาพจึงใช้เพื่อแบ่งส่วนต่าง ๆ ออกจากภาพเพื่อประมวลผล สำหรับเทคนิคที่ศึกษาเปรียบเทียบนี้มีทั้งหมด 7 เทคนิค ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2-7 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเทคนิคการแบ่งส่วนภาพตามการวิเคราะห์ของ Dilpreet Kaur และ Yadwinder Kaur

Segmentation technique	Description	Advantages	Disadvantages
Thresholding Method	ขึ้นอยู่กับยอดฮิสโตแกรมของรูปภาพเพื่อหาค่าเกณฑ์เฉพาะ	ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลก่อน เป็นวิธีที่ง่ายและธรรมดา	รายละเอียดเชิงพื้นที่จะนำมาพิจารณาไม่ได้

ตารางที่ 2-7 (ต่อ)

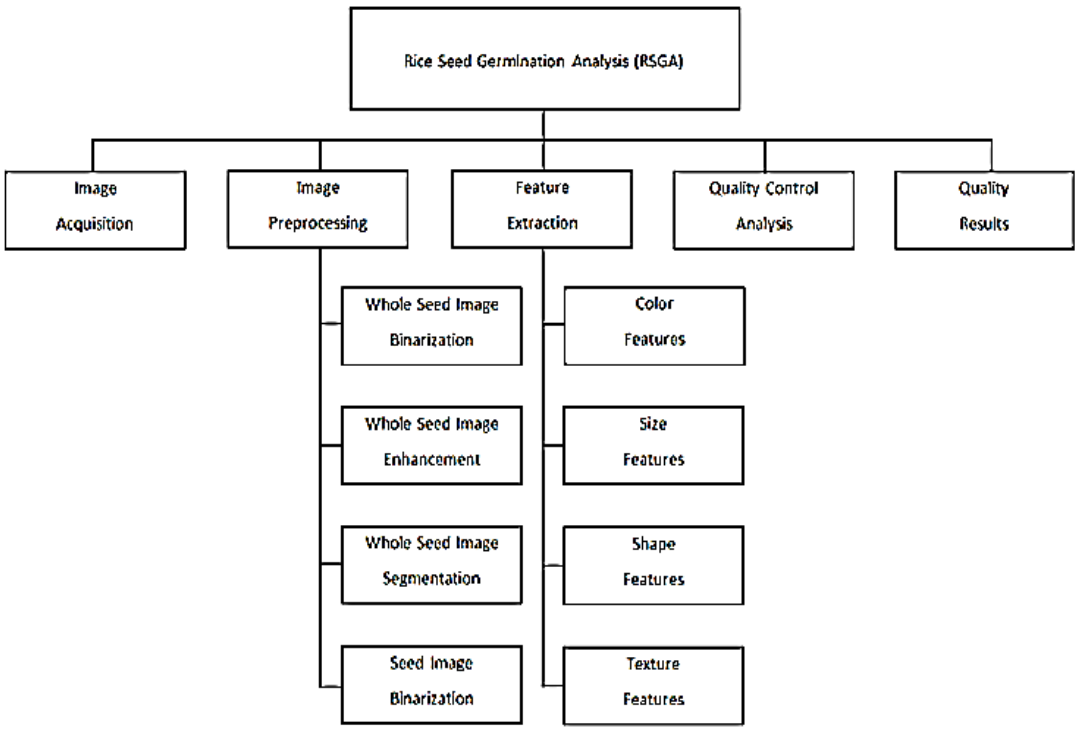
Segmentation technique	Description	Advantages	Disadvantages
Edge Based Method	ขึ้นอยู่กับการตรวจจับไม่ต่อเนื่อง	เหมาะสำหรับภาพที่ลมีความคมชัดระหว่างวัตถุ	ไม่เหมาะสำหรับขอบที่ตรวจพบผิดพลาดหรือมากจนเกินไป
Region Based Method	ขึ้นอยู่กับภาพที่แบ่งเป็นบริเวณที่เป็นเนื้อเดียวกัน	มีความต้านทานต่อ noise มากขึ้น ง่ายต่อการกำหนดเกณฑ์ความคล้ายคลึงกัน	วิธีการความยุ่งยากในแง่ของเวลาและหน่วยความจำ
Clustering Method	ขึ้นอยู่กับการแบ่งเป็นกลุ่มที่เป็นเนื้อเดียวกัน	เหมาะกับความคลุมเครือของสมาชิกบางส่วนจึงมีประโยชน์มากขึ้นสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นจริง	การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกไม่ใช่เรื่องง่าย
Watershed Method	ตามการตีความเชิงทอพอโลยี (รูปร่างที่ไม่แปรเปลี่ยน)	ผลการค้นหามีเสถียรภาพมากขึ้นขอบเขตที่ตรวจพบมีความต่อเนื่อง	การคำนวณการไล่ระดับสีที่ซับซ้อน
PDE Based Method (Partial Differential Equation Based)	ขึ้นอยู่กับการทำงานของสมการเชิงอนุพันธ์	เป็นวิธีที่เร็วที่สุดและดีที่สุดสำหรับแอปพลิเคชันสำคัญ ๆ	ความซับซ้อนมากขึ้นในการคำนวณ
ANN Based Method (Artificial Neural Network Based)	ขึ้นอยู่กับการจำลองกระบวนการเรียนรู้เพื่อการตัดสินใจ	ไม่จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมที่ซับซ้อน	การสูญเสียเวลามากขึ้นในการฝึกอบรม

Liu et al. (2017, p. 302) ศึกษาเรื่อง วิธีการนับข้าวและเมล็ดข้าวสาลีและการพัฒนาซอฟต์แวร์ตามระบบ Android มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ (APP) สำหรับการนับข้าวและเมล็ดข้าวสาลี โดยใช้โทรศัพท์มือถือ Android การศึกษาระบุความสัมพันธ์ระหว่างจุดสนใจของภาพกับจำนวนธัญพืชสำรวจวิธีการวัดของจุดสนใจของภาพและเปรียบเทียบกับวิธีการนับที่มีอยู่ในแง่ของความเหมือนและความแตกต่าง การศึกษายังกำหนดคำนวณนับเม็ดและพัฒนาโปรแกรม ประยุกต์ที่ง่ายต่อการใช้งาน ความแม่นยำสูงของวิธีการนับนี้ได้รับการพิสูจน์โดยการทดสอบพันธุ์ที่แตกต่างกัน

อัตราส่วนความผิดพลาดต่ำกว่า 2% โปรแกรมมีเวลาทำงานสั้น ๆ เวลาในการนับโดยทั่วไปไม่ถึงหนึ่งวินาที (1 วินาที) ไม่เกิน 400 เมล็ด โปรแกรมมีความสะดวกและใช้งานง่าย

Lurstwut and Pornpanomchai (2016, pp. 6800-6803) ได้ศึกษาเรื่อง การใช้โปรแกรมประมวลผลภาพและวิสัยทัศน์คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์การงอกของเมล็ดข้าว เป็นการออกแบบ application สำหรับการวิเคราะห์ความงอกของเมล็ดข้าวโดยใช้กระบวนการประมวลผลภาพและเทคโนโลยีการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ โปรแกรมนี้เรียกว่า “Rice Seed Germination Analysis (RSGA)” โดย RSGA ประกอบด้วย โมดูลประมวลผลหลัก 5 ส่วนที่เก็บภาพการประมวลผลภาพ การสกัดคุณลักษณะการวิเคราะห์การควบคุมคุณภาพ ดังนี้

1. การควบรวมภาพ
2. จัดเตรียมภาพ (Preprocessing)
3. การสกัดคุณลักษณะ
4. วิเคราะห์การควบคุมคุณภาพ
5. การทดสอบคุณภาพ



ภาพที่ 2-32 Rice Seed Germination Analysis System Structure Chart (Lurstwut & Pornpanomchai, 2016, p. 6803)

ทดสอบคุณภาพการทดลองนี้ ดำเนินการกับพันธุ์ข้าวพันธุ์ไทย 6 สายพันธุ์ ของ CP111, RD41, Chiang Phatthalung, Sang Yod Phattalung, Phitsanulok 2 และ Chai Nat 1 ในกรุงเทพฯ และจังหวัดเชียงใหม่ RSGA และภาพเมล็ดข้าว จำนวน 34,735 ตัวอย่างอยู่ในฐานข้อมูล RSGA ได้แยกองค์ประกอบหลัก 4 ประการ คือ สี ขนาด รูปร่าง และเนื้อสัมผัสจากนั้น RSGA ใช้เทคนิค Network Neural Network ในการทำนายการงอกของพืชอัตราความแม่นยำ 93.06 เปอร์เซ็นต์ด้วยความเร็ว 8.31 วินาทีต่อภาพ ข้อสังเกตทดสอบเพียง 6 สายพันธุ์ หากจะเพิ่มปริมาณภาพจำนวนมากจำเป็นต้องมีการดำเนินงานใช้งานบนเว็บเซิร์ฟเวอร์แบบออนไลน์ซึ่งจะช่วยในการทำนายอัตราการงอกของเมล็ดคุณภาพต่อไป

Mahdi and Qin (2017) ศึกษาอัลกอริธึมการแบ่งส่วนข้อมูลตามเส้นสำหรับเมล็ดข้าวโพดที่ติดกัน ได้มีการพัฒนาการแบ่งกลุ่มที่มีประสิทธิภาพและถูกต้องของเมล็ดข้าวโพดที่สัมผัสกันด้วย Line Profile Segmentation (LP) และ Watershed (WS) โดยอัลกอริทึมทั้งสองนี้ได้รับการทดสอบในรูปแบบที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ Isolated Corn (IC), Designed Pattern (DP), and Random Distributed Corn (RD) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมสามารถแบ่งส่วนของเมล็ดข้าวโพดที่สัมผัสได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้อง

Mebatsion, Paliwal, and Jayas (2013, p. 99) ศึกษาการจำแนกเมล็ดธัญพืชที่ไม่สัมผัสในภาพดิจิทัลโดยอัตโนมัติ โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสีที่จำกัด มีการจัดประเภทของเมล็ดพืชโดยภาพดิจิทัล โดยจำแนกตามคุณลักษณะสีและสัณฐาน โดยการนำเมล็ดพืชมาวางไว้บนฉากสีดำแล้วถ่ายภาพ รูปแบบการจำแนกสีถูกกำหนดโดยใช้ดัชนีสีของแต่ละเมล็ด ซึ่งคำนวณจากค่าสี RGB ของภาพ ได้รับการประเมินและเปรียบเทียบความถูกต้องของการจำแนกประเภทต่าง ๆ โมเดลรวมที่กำหนดโดยลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสีได้รับการจำแนกประเภทข้าวบาร์เลย์ 98.5% สำหรับ CWRS 99.97% ข้าวโอ๊ต 99.93% และข้าวไรย์และ CWAD 100%

Mussadiq, Laszlo, Helyes, and Gyuricza (2015, pp. 194-198) ศึกษาการประเมินและเปรียบเทียบโปรแกรมโอเพนซอร์สโซลูชั่นสำหรับการนับจำนวนเมล็ดอัตโนมัติในภาพดิจิทัล เป็นการประเมินประสิทธิภาพของโปรแกรมวิเคราะห์ภาพโอเพนซอร์ส 4 โปรแกรม ได้แก่ ImageJ, Cell Profiler, P-TRAP และ Smart Grain เพื่อนับจำนวนเมล็ดพืชจากภาพดิจิทัลที่ถ่ายโดยกล้องถ่ายรูปและสแกนเนอร์ มีขั้นตอนการกำหนดเกณฑ์ RenyiEntropy พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) จากค่าอ้างอิง ในบรรดาโปรแกรมการวิเคราะห์ภาพ ImageJ ผลิตเมล็ดพันธุ์ที่สูงขึ้นในพืชที่สังเกตได้มากกว่าโปรแกรมอื่น Smart Grain ไม่เหมาะสมสำหรับการนับจำนวนเมล็ดจากการสแกนภาพ เนื่องจากความไม่ถูกต้องสูง ภาพสแกนสามารถใช้ Cell Profiler และ P-TRAP ได้

Prajapati and Patel (2013, p. 217) ศึกษาเครื่องวิเคราะห์เม็ดสีข้าวเคลื่อนบนพื้นฐานของกระบวนการประมวลผลภาพดิจิทัลด้วยข้อมูลฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง พบว่า อุปกรณ์เคลื่อนที่สำหรับวัดพารามิเตอร์คุณภาพของข้าวบาสมาติกอินเดีย ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพด้วยระบบอัตโนมัติ ที่ประกอบด้วย ฮาร์ดแวร์ (Microsoft Surface Pro) และซอฟต์แวร์ (AI) ช่วยวิเคราะห์และการจำแนกประเภทของข้าว อันจะช่วยลดผลกระทบของการตรวจสอบด้วยมนุษย์จากปัจจัยภายนอก เช่น ความเมื่อยล้า อคติ หรือข้อจำกัด ด้านจิตใจของมนุษย์ ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

Mobile Grain Analyzer พร้อมเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล สามารถจำแนกเมล็ดข้าวได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ

Shantaiya and Ansari (2010, pp. 70-73) ศึกษาการจำแนกเมล็ดข้าวและคุณภาพของอาหารโดยใช้การจำแนกรูปแบบ ใช้ Image Warping มีขั้นตอนดังนี้ เริ่มจากการบันทึกและจำแนกประเภทภาพของอาหารตัวอย่าง Input คือ ภาพสีตั้งต้น 24 Bit Output คือ จำแนกเมล็ดพืช

ขั้นที่ 1 รับภาพเมล็ดพืช

ขั้นที่ 2 ครอบตัดและปรับขนาดภาพ

ขั้นที่ 3 ปรับปรุงภาพเพื่อขจัดสัญญาณรบกวนและการเบลอ

ขั้นที่ 4 แบ่งส่วนภาพ

ขั้นที่ 5 ดึงข้อมูล สี รูปร่าง และพื้นผิว

ขั้นที่ 6 ใช้คุณสมบัติเหล่านี้เพื่อจำแนกและจัดหมวดหมู่

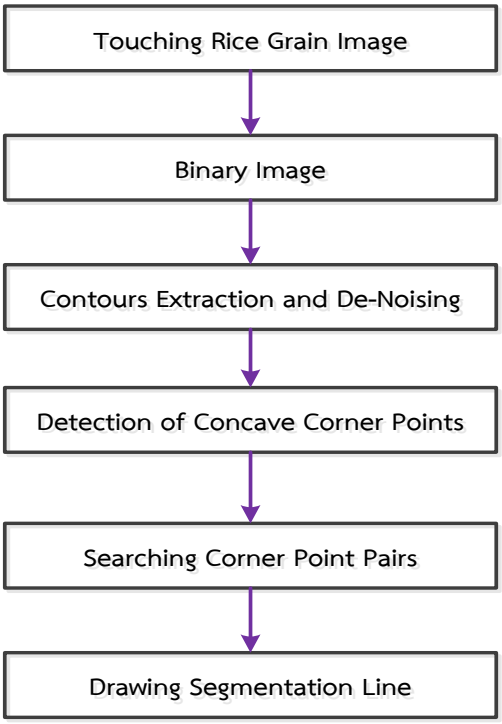
นำภาพตัวอย่างเมล็ดข้าวมาทดสอบ Mean Square Error: MSE (เมล็ดข้าว 60 เมล็ด) Feed-Forward Neural Network พบว่า เมล็ดพันธุ์ข้าว 6 สายพันธุ์ เมื่อทดสอบมีความถูกต้องในการจำแนกประเภท 90.00%, 88.00%, 95.00%, 82.00%, 74.00% และ 80.00% ตามลำดับ

Tanabata, Shibaya, Hori, Ebana, and Yano (2012, pp. 1871-1880) ศึกษา SmartGrain: ซอฟต์แวร์ Phenotyping ความเร็วสูง สำหรับการวัดรูปร่างของเมล็ดผ่านการวิเคราะห์ภาพ งานวิจัยนี้มีการใช้ “SmartGrain” ซอฟต์แวร์สำหรับการวัดรูปร่างของเมล็ดพันธุ์ที่มีปริมาณมาก ใช้วิธีการวิเคราะห์รูปภาพใหม่เพื่อลดเวลาในการจัดทำเมล็ดพันธุ์และในการจับภาพ เส้นขอบของเมล็ดเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ จะระบุเมล็ดภายในภาพโดยอัตโนมัติและจะทำการวัดรูปทรงของรูปร่างโดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องคำนึงถึงตำแหน่งหรือจำนวนเมล็ดพืชจึงทำให้เกิดปัญหาคอขวดในการถ่ายภาพ อีกทั้งสามารถวัดด้วยความเร็วสูงด้วย SmartGrain ลดข้อผิดพลาดในการสุ่มตัวอย่างและทำให้สามารถแยกแยะระหว่างเส้นที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยในรูปร่างเมล็ด SmartGrain อย่างถูกต้อง สามารถรับรู้เมล็ดข้าวไม่เพียง แต่ยังสายพันธุ์อื่น ๆ หลายคนรวมทั้ง Arabidopsis ซอฟต์แวร์ฟรีสำหรับนักวิจัย

Williams, Munkvold, and Sorrells (2013, p. 99) ศึกษาการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล โดยใช้ตัวแบบฟูริเยร์รูปไข่และมิติสำคัญในการสร้างรูปร่างของเมล็ดฟีโนไทป์ในข้าวสาลีเฮกพูลอล (Triticum Aestivum L) การวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (DIA) มี 2 แบบ 1) ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวบ่งชี้รูปร่างเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกัน 2) การตรวจสอบ QTL และบทบาทของยีนที่อยู่ในผลกระทบโดยรวมรูปร่างของเมล็ด การทำแผนที่ Loci เชิงปริมาณ (Quantitative Locit) ข้อมูล Phenotypic ถูกผลิตขึ้น โดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ ImageJ และรูปร่าง ImageJ สร้างมาตรวัด ความยาว กว้าง ปริมาตร และพื้นที่ ใช้เป็นตัวแบบฟูริเยร์รูปไข่ (EFDs) เพื่อจับความแตกต่าง

Yadav and Jindal (2001, p. 19) ศึกษาการตรวจสอบคุณภาพของข้าวด้วยการวิเคราะห์ภาพ เป็นการตรวจสอบคุณภาพการสีข้าวโดยการวิเคราะห์ภาพ ตรวจสอบระดับสี เปอร์เซ็นการหัก พบว่า ค่าเฉลี่ยของการกระจายสีเทาที่กำหนดโดยการวิเคราะห์ภาพมีความสัมพันธ์กับค่า R^2เท่ากับ 0.99 ผลของการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่า สามารถใช้การทำภาพสองมิติของเมล็ดข้าวสารได้ เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณการเก็บกวาดและการย้อมสีเพื่อการตรวจสอบออนไลน์และการควบคุมข้าวที่ดีขึ้น

Yao, Zhou, and Wang (2010, pp. 802-805) ศึกษาอัลกอริทึมแบ่งกลุ่มโดยอัตโนมัติสำหรับภาพเมล็ดข้าวที่ติดกัน อัลกอริทึมนี้จะตรวจจุดมุมเว้าของการสัมผัสกับเมล็ดข้าวตามพื้นที่ของภาคและจุดมุมตรงจุดที่อยู่ห่างเป็นการวัดระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean Distance) เมล็ดข้าวสัมผัสถูกแบ่งตามส่วนของเส้นที่ต่อคู่มุม อัลกอริทึมนี้มีประสิทธิภาพจำแนกเมล็ดข้าวที่ยาวและกลมออกจากกัน ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้



ภาพที่ 2-33 สรุปขั้นตอนการศึกษาอัลกอริทึมจำแนกเมล็ดข้าวที่ยาวและกลมออกจากกันของ Yao, Zhou, and Wang (2010)

มีเกณฑ์ในการตรวจจับมุมจุดเว้าที่เมล็ดข้าวสัมผัส S (Sector area) = π*R*R*A/360 เส้นผ่าศูนย์กลาง(Radius) R/2 มีการประมวลผลภาพแบบ Watershed Segmentation วิธีการนี้ไม่ต้องการข้อมูลนำเข้าที่มีความละเอียดสูง สามารถย่อขนาดภาพตั้งต้นให้เล็กลงเพื่อการทำงานที่เร็วขึ้น มีประสิทธิภาพในการสัมผัสกับเมล็ดข้าวที่ยาวและกลม มีความแม่นยำเฉลี่ย 95.6% ทดสอบในข้าว 20 สายพันธุ์

สรุปได้ว่า จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล ในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว เทคนิคทางด้าน Segmentation ที่นำมาใช้ ได้แก่ Watershed Segmentation, Line Profile Segmentation, Skeletal Segmentation สำหรับการวัดขนาดของวัตถุเป็นแบบยุคลิด (Euclidean Distance) นอกจากนี้ การหาขอบของภาพเพื่อทำให้การวัดขนาดมีความชัดเจนและแม่นยำมากขึ้นก็เป็นสิ่ง จำเป็นที่ขาดไม่ได้สำหรับการทำ Image Processing ในที่นี้เทคนิคที่ใช้งาน

ง่ายและเหมาะสม คือ Canny Edge Detection เป็นอัลกอริทึมสำหรับตรวจจับมุมของภาพ คิดค้นโดย John F. Canny

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เป็นสาขาของการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) พื้นฐานของการเรียนรู้เชิงลึก คือ อัลกอริทึมที่พยายามจะสร้างแบบจำลองเพื่อแทนความหมายของข้อมูลในระดับสูง โดยการสร้างสถาปัตยกรรมข้อมูลขึ้นมา ที่ประกอบไปด้วย โครงสร้างย่อย ๆ หลายอัน สถาปัตยกรรมการเรียนรู้หลายแบบบนหลักการของการเรียนรู้เชิงลึกนี้ ได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียมแบบลึก (Deep Artificial Neural Networks) โครงข่ายความเชื่อแบบลึก (Deep Belief Networks) โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ (Convolutional Neural Networks) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำ (Recurrent Neural Network) ซึ่งมีการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์ การรู้จำเสียงพูด การประมวลผลภาษาธรรมชาติ การรู้จำเสียง และชีวสารสนเทศ ศาสตร์ (Deng & Yu, 2014, pp. 197-387)

การเรียนรู้เชิงลึกนี้เป็นการพัฒนาต่อยอดมาจากโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN) เพื่อเลียนแบบความฉลาดของสัตว์ซึ่งเป็นการเพิ่มศักยภาพให้กับสมองเทียมหรือปัญญาประดิษฐ์ผ่านการเรียนรู้ด้วยเครื่องจักร เมื่อเครื่องจักรมีการเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ ที่ซับซ้อนได้พร้อม ๆ กันมากขึ้น ก็จะทำให้การทำงานเกิดประสิทธิ์ภาพเทียบเคียงมนุษย์มากยิ่งขึ้น จากข้างต้นจะเห็นได้ว่า มีสถาปัตยกรรมการเรียนรู้หลายแบบบนหลักการของการเรียนรู้เชิงลึกหลายรูปแบบ โดยแต่ละแบบขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาที่ผู้วิจัยศึกษา เช่น โครงข่ายความเชื่อแบบลึก (Deep Belief Networks)

Deep Belief Network (DBM) (2561) แสดงให้เห็นว่า RBM เป็นตั้งโดย Hidden Layer ของ RBM อันหนึ่งเป็น Visible Layer ของชั้นเหนือมันขึ้นไป เราเทรน DBN ได้ดังนี้

1. RBM ชุดแรกถูกเทรนเพื่อสร้างค่านำเข้าขึ้นใหม่ ให้แม่นยำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้
2. มอง Hidden Layer ของ RBM แรก เป็น Visible Layer ของชุดที่สองและ RBM ชุดที่ถูกสองถูกเทรนโดยใช้ ค่าส่งออกจาก RBM ชุดแรก
3. กระบวนการนี้ถูกใช้ซ้ำกระทั่งเทรน ทุกชั้นในเครือข่ายเสร็จ สิ่งสำคัญเกี่ยวกับ DBM คือว่า ชั้น RBM แต่ละชั้น เรียกค่านำเข้าทั้งหมดโมเดลแบบอื่น เช่น Convolutional Nets แต่ละชั้นตรวจจับรูปแบบง่าย ๆ แล้วชั้นต่อไปจึงรวมใหม่ เช่นเดียวกับตัวอย่างการสังเกตใบหน้าชั้นแรก ๆ จะตรวจจับขอบในภาพ แล้วชั้นต่อมาจะใช้ผลนี้ เพื่อสร้างคุณลักษณะต่าง ๆ บนใบหน้า

ส่วน DBN ทำงานทั่วทั้งหมดโดยปรับแต่งค่านำเข้าทั้งหมดไปทีละชั้นในขณะที่โมเดลก็ดีขึ้นอย่างช้า ๆ เหมือนกับเลนส์กล้องที่ค่อย ๆ โฟกัสภาพ (ณ จุดนี้จะทำให้การประมวลผลช้า และอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ในกรณีที่ข้อมูลตั้งต้นมีความชัดเจนในคำตอบเรียบร้อยแล้ว)

สาเหตุที่ DBN นั้นทำงานได้ดีนั้นค่อนข้าง เป็นเรื่องทางเทคนิคที่บอกได้ว่าชุด RBM ซ้อนเป็นชั้น ๆ ทำงานได้ดีกว่าชุดเดียว เช่นเดียวกับที่เพอร์เซปตรอน (Perceptron) เป็นข่ายงานประสาทเทียมหลายชั้นทำงานได้ดีกว่า เพอร์เซปตรอน (Perceptron) ตัวเดียวหลังจากการเทรนเบื้องต้น RBM ได้สร้างแบบจำลองที่ตรวจจับรูปแบบที่มีแต่กำเนิดในข้อมูลได้ แต่เรายังไม่รู้ว่ารูปแบบเหล่านั้น ตรงกับค่าอะไร เพื่อเทรนให้เสร็จเราต้องใส่ค่ากำกับให้รูปแบบและปรับแต่งให้เป็นเน็ต Supervised Learning

ในการนี้ต้องใช้ชุดตัวอย่างที่มีค่ากำกับ ชุดเล็กๆ เพื่อที่คุณลักษณะและรูปแบบจะได้เชื่อมโยงกับชื่อ Weights และ Biases ถูกปรับค่าเล็กน้อย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในสภาพการมองรูปแบบของเน็ตเล็กน้อย และช่วยเพิ่มความแม่นยำโดยรวมเล็กน้อย สำหรับชุดข้อมูลที่มีค่ากำกับเทียบกับชุดข้อมูลดั้งเดิม ซึ่งการกระทำนี้ดีสำหรับการนำไปใช้จริง กระบวนการเทรนทำได้ในเวลาพอสมควรผ่านการใช้ GPU และที่สำคัญที่สุด คือ เน็ตที่ได้มีความแม่นยำสูงมาก เทียบกับ เน็ตตื้น ๆ เราจึงเห็นได้และแก้ปัญหาเกรเดียนต์ (Gradient ของปริมาณใด ๆ คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณที่เปลี่ยนแปลงต่อระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไป) สูญหายได้

อีกหนึ่งชนิดที่น่าสนใจ คือ โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ (Convolutional Neural Networks) อย่างที่กล่าวข้างต้นใน DBN ว่า “Convolutional Nets” โดยแต่ละชั้นตรวจจับรูปแบบง่าย ๆ แล้วชั้นต่อไปจึงรวมใหม่ เช่น การสังเกตใบหน้า ชั้นแรก ๆ จะตรวจจับขอบในภาพ แล้วชั้นต่อมาจะใช้ผลนี้ เพื่อสร้างคุณลักษณะต่าง ๆ บนใบหน้า เนื่องจากการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว โดยใช้ภาพดิจิทัลนั้น มีนิยามกำหนดลักษณะต่าง ๆ ของข้อมูลในภาพที่เป็นมาตรฐานของภาครัฐบาลอย่างชัดเจน ซึ่งการเรียนรู้ข้อมูลในรูปแบบนี้เป็นแบบ Supervised Learning

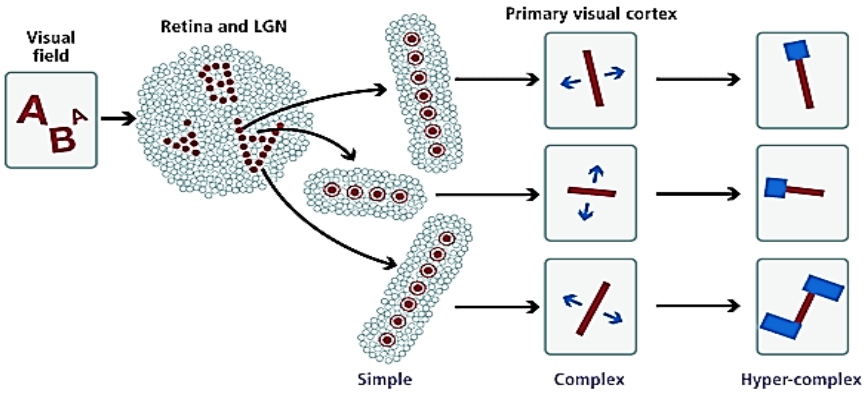
Convolutional Neural Networks จะใช้ข้อมูลรับเข้าเป็นเมทริกซ์จากการแปลงมาจากรูปภาพ ซึ่งเน็ตเวิร์กทั้งหมดเกิดจากการนำชั้นหลาย ๆ ประเภทมาประกอบเข้าด้วยกัน เหมาะกับการทำงาน Computer Vision เพื่อแก้ปัญหา Image Classification และยังลดเวลาการทำงานและการใช้หน่วยความจำด้วยการออกแบบสวิทช์ Convolution ได้อีกด้วย ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ นิวรอลเน็ตเวิร์กคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks) ต่อไป

นิวรอลเน็ตเวิร์กคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks)

Sirinart Tangruamsub (2017) Convolutional Neural Network (CNN) การทำงานที่ได้มีแรงบันดาลใจมาจาก Visual Cortex ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม อธิบายเปรียบเทียบกับการทำงานของอวัยวะสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ดังนี้ สมมติว่ามีภาพ 1 ภาพ พื้นที่ภาพทั้งหมดที่ดวงตาได้รับ จะเรียกว่า Visual Field แต่ neuron ตัวหนึ่ง จะไม่ได้ตอบสนองกับภาพทั้งหมด แต่จะตอบสนองแค่เพียงพื้นที่เล็ก ๆ ของภาพ ซึ่งพื้นที่เล็ก ๆ ที่ neuron ตัวนี้ตอบสนอง คือ Receptive Field และขณะที่มองภาพต่าง ๆ ผ่านทางตา แสงต่าง ๆ จะตกกระทบลงไปในส่วนที่เรียกว่า Retina จากนั้น Retina จะส่งสัญญาณที่ได้ยังไปสมองผ่านทาง Receptors และพวก Interneuron ต่าง ๆ ซึ่งท้ายสุด คือ Lateral Geniculate Nucleus (LGN) ซึ่งจะเตรียมค่าสัญญาณเพื่อส่งให้ Visual Cortex จากกระบวนการทำงานข้างต้นมาปรับเป็นการทำงานของ Convolutional Neural Network (CNN) ดังนี้

1. Layering

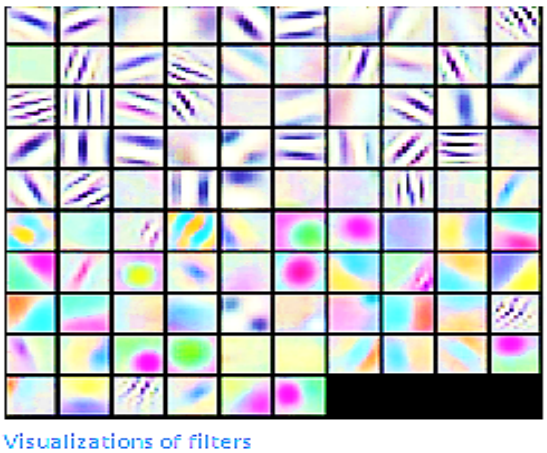
ใน primary visual Cortex นี้ จะมี Cortical Cell ต่าง ๆ เรียงตัวเป็น Hierarchy โดยเริ่มจาก Simple Cell ⟶ Complex Cell ⟶ Hyper-Complex Cell ดังภาพที่ 2-34 ซึ่งคล้ายกับการทำงานของ CNN ที่มีการต่อกันเป็น Layer ไปเรื่อย ๆ โดยจะเห็นว่าใน Layer ที่สูงขึ้น Feature จะมีความ Complex ขึ้นเรื่อย ๆ



ภาพที่ 2-34 Simple Cell -Complex Cell-Hyper-complex Cell Source.
(http://understandingcontext.com/2014/01/visual-Input-processing/)

2. Filtering

Simple Cell จะตอบสนองได้ดีกับแสงที่มีลักษณะเป็นแท่ง ๆ (bar) ไม่ได้ตอบสนองเป็นลักษณะวง ๆ ของแสงเหมือน LGN และ Simple Cell นี้ มีคุณสมบัติของความเป็น Orientation Selectivity หมายถึงว่า Simple Cell แต่ละตัวจะตอบสนองกับแท่งแสงที่มี Orientation ที่เฉพาะเจาะจงเท่านั้น เช่น หากเรามี Simple Cell ตัวหนึ่งที่จะตอบสนองกับแท่ง (Bar) ที่ทำมุม 45 องศาในบริเวณพื้นที่ A หากมีแท่งแสงอื่นที่ไม่ใช่ 45 องศาพาดผ่านบริเวณ A ตัว Simple Cell นี้ก็จะไม่ตอบสนอง การที่แต่ละ Simple Cell แต่ละตัว มีการตอบสนองที่เป็นของใครของมันตาม Orientation นี้ ทำให้ Simple Cell ทำหน้าที่เสมือนกับเป็น Filter (หรือ Neuron หรือ Kernel) ใน CNN ที่จะเลือกตอบสนองมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะของ Filter กับ Input ว่ามีความสัมพันธ์กันมากแค่ไหน (Spatially Local Correlation)

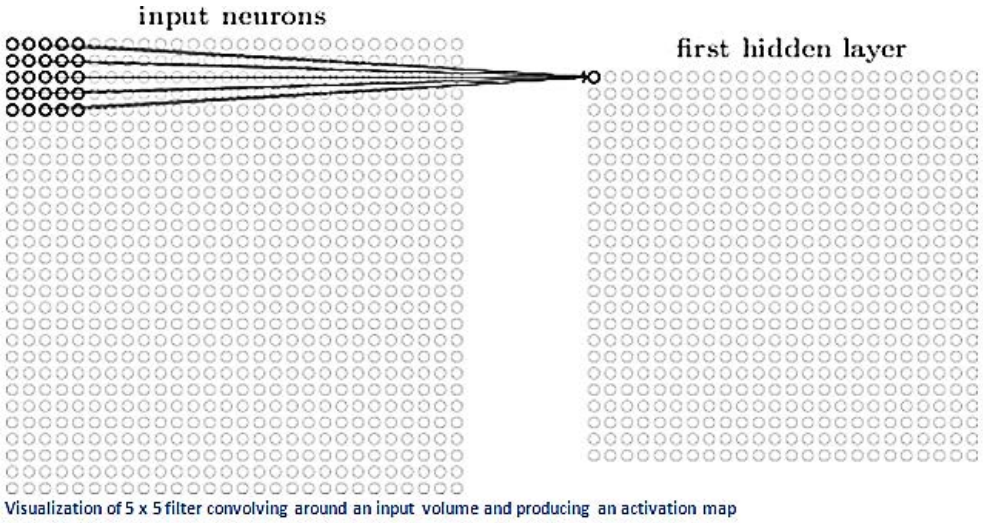


ภาพที่ 2-35 Filter ใน CNN (Source. https://adeshpande3.github.io/A-Beginner's-Guide To-Understanding-Convolutional-Neural-Networks/)

3. Local Connection

Simple Cell และ Complex Cell เป็น Orientation Selectivity แล้ว ยังมีความเป็น Position Selectivity โดยจะเลือกตอบสนองกับบริเวณที่ตัวเองสนใจเท่านั้น ไม่ตอบสนองกับพื้นที่ภาพทั้งหมดที่เห็น ถึงแม้ว่า Orientation นั้นจะถูกต้องแต่ถ้าไม่ได้เกิดบนพื้นที่ที่สนใจก็จะไม่ตอบสนอง หรือตามตัวอย่างใน Orientation Selectivity หากว่าเกิดมีแท่งทำมุม 45 องศาในพื้นที่อื่นที่ไม่ใช่ A แล้ว Simple Cell ตัวนี้ก็จะไม่ตอบสนองเช่นกัน

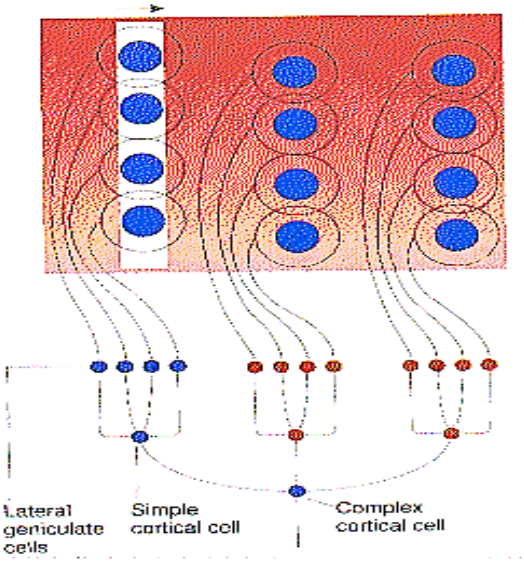
เมื่อเปรียบเทียบกับ CNN พบว่า Output ตัวหนึ่ง ๆ ของ Convolutional Layer นั้นจะมาจากคำนวณ Convolute ระหว่าง Filter กับ Input ในพื้นที่เล็ก ๆ ที่สนใจเท่านั้น ไม่ได้พิจารณาจากพื้นที่ของ Input ทั้งหมดเหมือน Fully-Connected Layer ซึ่งการที่คำนวณจากพื้นที่เล็ก ๆ ติด ๆ กัน คือ Local Connection



ภาพที่ 2-36 Convolutional Layer ใน CNN (Source : https://adeshpande3.github.io/A-Beginner's-Guide-To-Understanding-Convolutional-Neural-Networks/)

4. Position Invariant

Complex Cell จะรับ Input จาก Simple Cell หลาย ๆ ตัว (ที่มี Orientation เดียวกัน) โดยที่ Complex Cell จะมีความเป็น Orientation Selectivity กับ Position Selectivity เช่นเดียวกันกับ Simple Cell แต่ Complex Cell จะมี Receptive Field ที่กว้างกว่า Simple Cell ซึ่งทำให้ Complex Cell นี้ Position Invariant มากกว่า Simple Cell ซึ่งแนวคิดเรื่อง Position Invariant ใน Layer ที่อยู่หลัง ๆ ของ CNN ก็คล้ายคลึงกับ Complex Cell เช่นกัน ดังภาพที่ 2-37



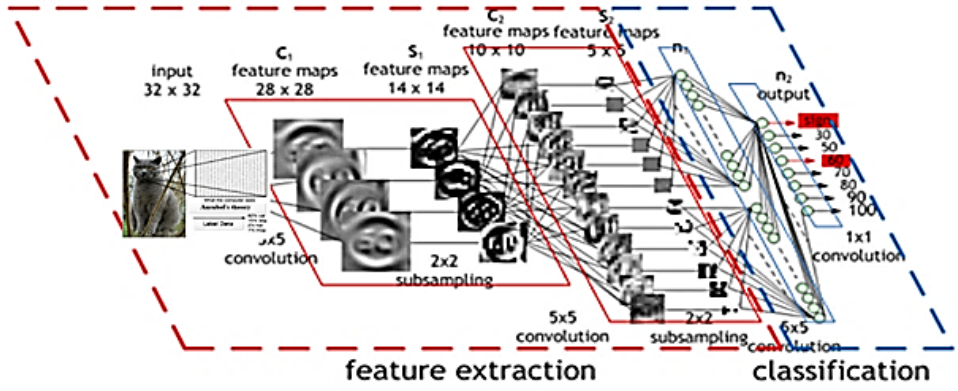
ภาพที่ 2-37 Position invariant (Source : http://www.biology-pages.info/V/VisualProcessing.html)

ตัวอย่างภาพสิ่งที่ ConvNets เรียนรู้

ภาพที่ 2-38 สิ่งที่ ConvNets เรียนรู้ (Source : http://cs231n.github.io/understanding-cnn/)

Google Research Blog Via Engadget (2014) ตัวอย่าง งานวิจัยของ Google จะทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักทุกวัตถุที่มันมองเห็น

GoogLeNet อาศัยการพัฒนา “โครงข่ายประสาทเทียม” หมายถึง แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้น เพื่อให้เรียนรู้และจดจำรูปแบบของข้อมูล (ต้นแบบในการพัฒนาวิทยาการด้านนี้มาจากการถอดแบบการทำงานของระบบประสาทในสิ่งมีชีวิต) จนทำให้มันสามารถแยกแยะขอบเขตของวัตถุต่าง ๆ ที่ปรากฏในภาพได้ โดยไม่ต้องพึ่งพาพลังประมวลผลมหาศาลจากคอมพิวเตอร์อื่นใดภายนอก



ภาพที่ 2-39 Convolutional Neural Networks: CNN

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) และนิวรอลเน็ตเวิร์กคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks)

Frid-Adar et al (2018, pp.1-10) ศึกษาการเสริมภาพทางการแพทย์แบบ Generative Adversarial Networks (GAN) สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของ Convolutional Neural Networks (CNN) ในการจัดประเภทของโรคตับ พบว่า การเสริมข้อมูลสังเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพของ CNN ในการจำแนกภาพทางการแพทย์โดยใช้การเพิ่มข้อมูลแบบคลาสสิกและการเสริมข้อมูลสังเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพ คุณภาพของตัวอย่างที่สังเคราะห์โดยใช้การสร้างภาพและการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ ประสิทธิภาพการจัดหมวดหมู่โดยใช้การเพิ่มข้อมูลแบบคลาสสิกทำให้ความไวแสง 78.6% และความจำเพาะ 88.4% เมื่อเพิ่มข้อมูลเสริมแล้วจะเพิ่มความไว 85.7% และความจำเพาะ 92.4% เราเชื่อว่าวิธีนี้ในการเพิ่มข้อมูลข้อมูลสังเคราะห์สามารถนำไปใช้กับการจำแนกประเภททางการแพทย์อื่น ๆ ได้

Indolia, Goswami Mishra and Asopa (2018, p. 679) สนใจการทำความเข้าใจแนวความคิดเกี่ยวกับเครือข่ายประสาทเทียมแบบหมุนวน แนวทางการเรียนรู้อย่างลึกซึ้ง พบว่า Convolutional Neural Network (CNN) เป็นวิธีการเรียนรู้ที่ลึกซึ้งใช้กันอย่างแพร่หลายในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน มันเอาชนะข้อจำกัดของวิธีการเรียนรู้เครื่องแบบดั้งเดิม ไม่ว่าจะเป็นการจัดหมวดหมู่ฉลาดฉลาด การลดจำนวนของพารามิเตอร์ให้มีเท่าที่จำเป็นในระดับที่ดี CNN ถูกนำมาใช้สำหรับการจำแนกประเภทในการรับรู้ระยะไกล มหาสมุทร ข้อมูลความละเอียดสูง การรับรู้สัญญาณการจราจร ฉากเสียง แม้กระทั่งการแบ่งส่วนภาพสมอง MR เป็นต้น

Jin, Lazarow, and Tu (2017, pp. 3883-3891) ศึกษาเครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นแบบลึก (Convolutional Neural Network (CNN)) สำหรับการลบล้างภาพแบบไดนามิก เพราะการเกิดภาพเบลอส่งผลต่อการประมวลผลของคอมพิวเตอร์เครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายขนาดที่เรียกคืนภาพที่มีความคมชัดในลักษณะแบบ End-to-End ที่เบลอเกิดจากแหล่งต่าง ๆ ร่วมกัน แสดง Multiscale สูญเสียที่เลียนแบบธรรมดาหยาบถึงดี ช่วยปรับปรุงภาพทั้งในเชิงคุณภาพที่ดี และปริมาณรายละเอียดภาพที่มาก

LeCun, Bengio and Hinton (2015) ศึกษา Deep Learning อธิบายว่า การเรียนรู้แบบลึกช่วยให้โมเดลคำนวณ ที่ประกอบด้วย เลเยอร์การประมวลผลหลายชั้นเพื่อเรียนรู้การเป็นตัวแทนของข้อมูลที่มีหลายสิ่งที่เป็นนามธรรม วิธีการเหล่านี้ มีการปรับปรุงอย่างมากในการจดจำเสียงพูด การรับรู้ออบเจกต์ภาพ การตรวจหาออบเจกต์และโดเมนอื่น ๆ เช่น การค้นคว้ายาและจีโนม การเรียนรู้แบบลึก ค้นพบโครงสร้างที่ซับซ้อนในชุดข้อมูลขนาดใหญ่ โดยใช้อัลกอริทึม Backpropagation เพื่อระบุว่าเครื่องทำงานอย่างไรควรเปลี่ยนพารามิเตอร์ภายในที่ใช้ในการคำนวณการแสดงในแต่ละเลเยอร์จากการแสดงในชั้นก่อนหน้า เครือข่ายความละเอียดสูงได้นำเสนอนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการประมวลผลภาพวิดีโอคำพูดและเสียงในขณะที่ตำแหน่งเรื้อรังได้ส่องแสงกับข้อมูลตามลำดับ เช่น ข้อความและคำพูด

Lin Yang Hsiao and Chen (2015, pp. 27-35) ศึกษาการเรียนรู้เชิงลึกของ Binary Hash Codes การเรียกค้นรูปอย่างรวดเร็ว พบว่า กลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับการดึงภาพขนาดใหญ่ ได้รับการสนับสนุนจากความก้าวหน้าล่าสุดในเครือข่ายประสาทเทียม (CNNs) กรอบการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพเชิงลึก เพื่อสร้างรหัสแฮชแบบไบนารีสำหรับการเรียกภาพอย่างรวดเร็ว เมื่อมีป้ายข้อมูลอยู่คุณสามารถเรียนรู้รหัสไบนารีได้ โดยการใช้เลเยอร์ที่ซ่อนไว้เพื่อแสดงแนวคิดที่แฝงอยู่เหนือป้าย การใช้ประโยชน์จาก CNN ช่วยในการเรียนรู้การแสดงภาพ ซึ่งแตกต่างจากวิธีการที่ได้รับการดูแลอื่น ๆ ที่ต้องใช้อินพุทคู่สำหรับการเรียนรู้รหัสไบนารี วิธีการนี้จะเรียนรู้รหัสแฮชและการแสดงภาพในลักษณะแบบจุดต่ำทำให้เหมาะสำหรับชุดข้อมูลขนาดใหญ่ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีการของนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าอัลกอริทึมการแฮชที่ทันสมัยมากมายในชุดข้อมูล CIFAR-10 และ MNIST เรายังแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการปรับขนาดและประสิทธิภาพของแนวทางที่เสนอในชุดข้อมูลขนาดใหญ่ได้ดีจากภาพเสื้อผ้า 1 ล้านภาพ

Sharif Razavian, Azizpour, Sullivan, and Carlsson (2014, pp. 806-812) ศึกษาคุณสมบัติของ CNN Off-The-Shelf: พื้นฐานสำหรับการเรียนรู้ พบว่า CNN แบบ Off-The-Shelf OverFeat ที่มีตัวแบ่งประเภทที่เรียบง่ายเพื่อจัดการที่แตกต่างกันงานการรับรู้ โมเดลซีเอ็นเอ็นที่เรียนรู้มา แต่เดิมเหมาะสำหรับงานในการจำแนกประเภทวัตถุใน ILSVRC ชุดข้อมูล 2013 มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับหลาย ๆ งานการรับรู้และชุดข้อมูลที่แตกต่างกันซึ่งประสิทธิผลและการเรียนรู้ที่เป็นตัวแทน การทดลองยืนยันและขยายผลรายงานเพิ่มประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเป็นตัวแทนของ CNN สำหรับงาน/ชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าจากนี้ไป Deep Learning กับ CNN เป็นหลักในการรับรู้ภาพ

Rajkomar et al (2018) ศึกษาการเรียนรู้ลึกที่แม่นยำและปรับขนาดได้พร้อมกับบันทึกสุขภาพอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ทำนายข้อมูลของคนไข้ (EHR) ได้ละเอียดและแม่นยำมากขึ้น รายงานแรกเป็นการอ่านข้อมูลจากภาพดวงตา สร้างโมเดลทำนายข้อมูลคนไข้จากภาพเรตินาอย่างเดียว ได้ข้อมูลถึง 6 อย่าง ได้แก่ อายุ เพศ สูบบุหรี่ เบาหวาน อัตราส่วนน้ำหนักและส่วนสูง ความดันเลือด และสร้างโมเดลทำนายผลการรักษาของคนไข้ โดยอ่านข้อมูลคนไข้รอบด้าน ตั้งแต่การเข้ามาพบแพทย์ ผลแล็บ ยาที่ได้รับ สัญญาณชีพ หัตถการและการรักษา โน้ตของแพทย์ และผลวินิจฉัย จากนั้นจึงทำนายผล 4 อย่าง ได้แก่ คนไข้ต้องอยู่ในโรงพยาบาลอีกนาน คนไข้เสียชีวิต คนไข้ต้องกลับมาโรงพยาบาล และคนไข้หายขาด เมื่อใช้ Deep Learning Neural Network ทำนายเทียบกับ

โมเดลแบบเดิม ๆ ทำได้แม่นยำกว่าโมเดลเดิม ๆ มาก (อัตราการเสียชีวิตแม่นยำถึง 95% เทียบกับโมเดล logistic เดิม 86%)

ตอนที่ 4 แนวคิดการวัดประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ออกแบบสำหรับระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ (Phenotype) ของเมล็ดข้าว

การออกแบบหน้าจอแอปพลิเคชัน (User Interface: UI) ผู้ออกแบบต้องรู้เกี่ยวกับความต้องการของผู้ใช้และต้องใส่ใจในประเด็นนี้ เพราะส่งผลให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบตามการใช้งานสำหรับผู้ใช้ได้เหมาะสม ในขณะที่โปรแกรม หรือเว็บไซต์เป็นเพียงสิ่งหนึ่งที่สามารถตอบสนองให้บรรลุวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งานได้เช่นกัน

ในการออกแบบ UI ที่ดีต้องคำนึงถึงองค์ประกอบเหล่านี้

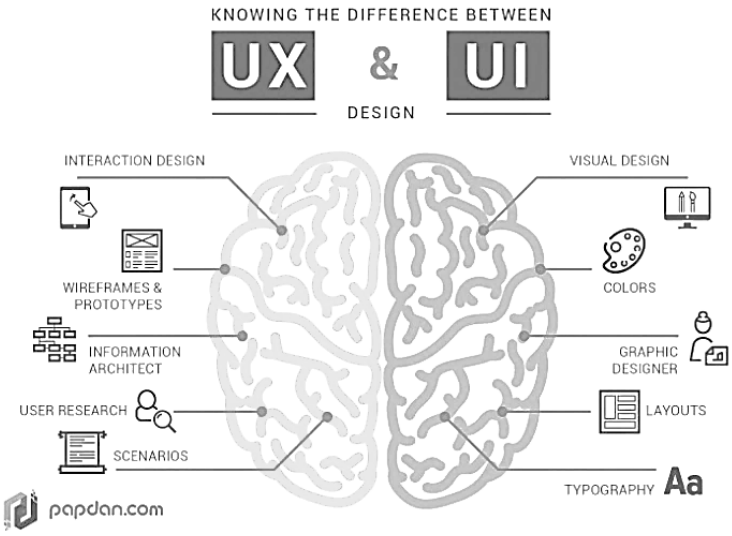
1. Visibility คือ มีความชัดเจนที่จะบ่งบอกถึงเอกลักษณ์เฉพาะตัวของแอปพลิเคชัน โดยคำนึงการใช้งาน และมี Concept ที่ชัดเจน

2. Development ต้องคำนึงถึง ความสามารถในการปรับแต่งและข้อจำกัดของ platform เช่น การรองรับ การสร้างต้นแบบที่รวดเร็ว มีคลังข้อมูล และมีชุดเครื่องมือที่รองรับเพื่อที่จะสามารถต่อยอดและพัฒนาต่อไปได้

3. Acceptance หมาถึง ยอมรับในข้อตกลงสิทธิบัตร และนโยบายองค์กร ไม่ขัดกับข้อบังคับ (Apple Store, Google Play)

อินเตอร์เฟส (Graphic User Interface: GUI) เปรียบเสมือนสิ่งหนึ่ง ที่อยู่กึ่งกลางระหว่างผู้ใช้งานที่เป็นมนุษย์และคอมพิวเตอร์ที่ทำงานภายใต้คำสั่งของผู้ใช้งาน มีการรับข้อมูลและการส่งข้อมูลซึ่งกันและกัน ดังนั้นอินเตอร์เฟสที่ดีจะคอยช่วยให้คำสั่งของผู้ใช้งานที่มีการรับข้อมูลและส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์เป็นไปอย่างราบรื่นและบรรลุตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน

การออกแบบหน้าจอแอปพลิเคชัน (User Interface)



ภาพที่ 2-40 การออกแบบ UX-UI (http://www.monmai.net/ux-ui/)

พื้นฐานของการออกแบบแอปพลิเคชันที่นักพัฒนาต้องคำนึงถึง คือ

1. Communication ความสอดคล้องกันระหว่าง ผู้ใช้และฟังก์ชั่นการใช้งาน เช่น พฤติกรรมการใช้งาน Interactive ต่าง ๆ

2. Economization การลดจำนวนขั้นตอนการทำงานของ UI ให้น้อยที่สุด แต่ต้องครอบคลุมที่สุด

3. Organization หมายถึง UI จะต้องมีโครงสร้างการใช้งานและ Concept ที่ชัดเจน

สิ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานแอปพลิเคชันเพื่อตอบสนองต่อการใช้งานของผู้ใช้โดยทั่วไป ที่นักพัฒนาแอปพลิเคชันต้องมีให้กับผู้ใช้ คือ

1. Canvas ต้องสามารถแสดงถึงสิ่งที่ผู้ใช้กำลังเรียกใช้งานอยู่ คือ ต้องรู้ความต้องการและพฤติกรรมของผู้ใช้ จากนั้นออกแบบให้ตอบโจทย์และใช้งานง่ายที่สุด

2. Sidebar ช่วยให้เข้าถึงส่วนพิเศษ หรือเมนูที่ซ่อนอยู่ของแอปพลิเคชัน

3. Tool bar ช่วยให้ผู้ใช้เลือกหรือเปลี่ยน option หรือปรับเปลี่ยนเมนูการใช้งานแอปพลิเคชั่นได้ง่าย

จากหลักการพื้นฐาน สิ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน นำไปสู่การออกแบบหน้าจอแอปพลิเคชัน (User Interface: UI) ให้สวยงามมีเงื่อนไข 7 ข้อ

1. แสงต้องมาจากบนฟ้า

ด้านบนของสิ่งที่โดนแสงจะสว่าง และด้านล่างจะมืดกว่าเสมอ ปันไปตามเรื่องแสง UI หลาย ๆ จุด เช่น ปุ่ม จะมีการใส่ “เงา” เพื่อให้รู้สึกว่าปุ่มเป็น 3 มิตินูนออกมา

2. เริ่มด้วย ขาว-ดำ เสมอ

ออกแบบเป็นสีขาว-ดำก่อน เพื่อจัดวาง UI Element ให้เข้าที่ และยังทำให้การกำหนดช่องว่าง ขนาด และ Layout ได้ง่าย ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของการออกแบบให้เรียบง่ายและดูดี หลังจากนั้นจึงใส่สีเข้าไปทีละนิด โดยการใส่สีทุกครั้งต้องมีจุดประสงค์ในการใส่ (ควรจะใช้สีที่มาจาก HSB หรือ HSV หรือ HSL สร้างสีขึ้นมาจากการรวมกันของ เนื้อสี (Hue) เดียวกัน ความเข้มข้น (Saturation) และความสว่าง (Brightness) เพื่อให้ได้สีใหม่ที่เป็นโทนเดียวกัน (เช่น สีแดงเข้ม สีแดงอ่อน)

เทคนิคการเลือกใช้สีในงานออกแบบที่มาจากเนื้อสีหลักไม่เกิน 1-2 เนื้อสี จะทำให้สามารถแบ่งส่วนของดีไซน์ที่ต้องการให้เด่น หรือไม่เด่นได้ โดยที่ไม่ทำให้ภาพรวมไม่สวย

3. เพิ่ม Whitespace (ช่องว่าง) เป็นสองเท่า

Whitespace หมายถึงพื้นที่โล่ง รอบ ทุกจุดที่ออกแบบ ระยะห่างแนวตั้งระหว่างแต่ละเมนูมีความสูงประมาณ 2 เท่าของขนาดตัวอักษร การใช้ Whitespace ทำให้งานที่ออกแบบดูไม่แน่น อ่านสบาย และสวย

4. การวางตัวหนังสือบนรูป ไม่ให้จม

4.1 รูปพื้นหลังต้องสีเข้ม และมีจุดที่สีตัดกันไม่เยอะ

4.1.1 ตัวหนังสือสีขาวพื้นหลังเข้ม ถ้าตัวหนังสือเข้มพื้นหลังขาว

4.1.2 ทดสอบทุกขนาดหน้าจอ

4.2 รูปพื้นหลัง

4.2.1 ใช้สีทับรูปพื้นหลัง (Overlay) สีกึ่งโปร่งใสมาทับรูป

4.2.2 ใส่ตัวอักษรไว้ในกล่อง

4.2.3 เบลอรูปพื้นหลัง

4.2.4 FADE บาง ๆ ด้านล่าง (Floor Fade) เอาสีดำโปร่งใสทับรูป (ตามกฎข้อ 1 แสงมาจากบนฟ้า)

5. เพิ่ม – ลด ความเด่นของตัวหนังสือ

-5.1 เปลี่ยนขนาดตัวหนังสือ

5.2 เปลี่ยนสีตัวหนังสือ

5.3 ปรับตัวหนา-บาง

5.4 ใช้ตัวพิมพ์เล็ก – ตัวพิมพ์ใหญ่

5.5 ใช้ตัวเอียง

5.6 เปลี่ยนระยะห่างตัวหนังสือ (CSS Letter-Spacing)

5.7 เปลี่ยนระยะห่างของกล่อง (Margin ใน CSS ไม่เกี่ยวกับตัวหนังสือโดยตรง แต่ทำให้เกิด Whitespace ที่ทำให้ตัวหนังสือดูดีได้)

5.8 การใช้ตัวหนังสือมีหาง (Serif) – ไม่มีหาง (Sans-serif)

ข้อห้าม ไม่แนะนำให้ใช้ คือ การขีดเส้นใต้ (เพราะจะเข้าใจผิดว่าเป็นลิงค์) เปลี่ยนสีพื้นหลังตัวหนังสือ (เพราะทำให้อ่านยาก) ขีดกลางใส่ตัวหนังสือ (เพราะเหมือนตัวหนังสือถูกขีดฆ่า)

6. เลือกใช้ฟ้อนต์ให้เหมาะสม

7. การคัดลอกอย่างศิลปิน โดยศึกษาดูงานของผู้อื่นในระยะแรก ๆ แล้วนำมาเลียนแบบ

การออกแบบหน้าจอสำหรับติดต่อกับผู้ใช้ (Graphics User Interface: GUI) เป็นส่วนติดต่อผู้ใช้งานเป็นสิ่งที่สำคัญมากในระบบคอมพิวเตอร์ทุกประเภท ส่วนติดต่อผู้ใช้งานเป็นเพียงส่วนหนึ่งของคอมพิวเตอร์ในแง่ของ Software ที่มนุษย์จะสามารถรับรู้ผ่านการมองเห็น การได้ยิน การสัมผัสการพูดคุย หรือวิธีการใด ๆ ที่ทำให้มนุษย์และคอมพิวเตอร์สามารถสื่อสารกันได้ทั้งทางตรงและทางอ้อมแบ่งการออกแบบเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบข้อมูลนำเข้า และรูปแบบการรับข้อมูล (Input Design) และการออกแบบผลลัพธ์ (Output Screen)

1. การออกแบบข้อมูลนำเข้าและรูปแบบการรับข้อมูล (Input Design) ในการออกแบบผลลัพธ์ออกแบบโดยการนำข้อมูลเข้า (Input) เป็นข้อมูลที่คอมพิวเตอร์จะต้องนำไปประมวลผล ซึ่งคอมพิวเตอร์จะรับข้อมูลผ่านวิธีการที่มนุษย์จะติดต่อสื่อสารโดยการแสดงความต้องการของตนเองไปยังคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างเครื่องมือในการรับข้อมูลนำเข้า เช่น Keyboard Mouse Trackball นิ้ว และเสียง

2. การออกแบบผลลัพธ์ (Output Screen) คือ การนำข้อมูลออก เป็นข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ซึ่งแสดงผลผ่านวิธีการที่คอมพิวเตอร์จะแสดงผลลัพธ์ในการประมวลผลออกมา ซึ่งข้อมูลดังกล่าว คือ สิ่งที่มนุษย์ต้องการปัจจุบันวิธีการแสดงผลข้อมูลนำออกโดยทั่วไป คือ หน้าจอ หรือ Display Screen ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประโยชน์แก่มนุษย์ที่บกพร่องด้านการฟัง

ในการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งานจำเป็นต้องอาศัยหลักการออกแบบ โดยพื้นฐานของการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานนั้นต้องทำให้ส่วนติดต่อผู้ใช้งานสามารถตอบคำถามได้ 3 ข้อ ดังนี้

1. มีหน้าตาหรือสื่อให้รับรู้อยางไร เน้นที่ด้านการมองเห็น

2. ส่วนติดต่อผู้ใช้งานจะสามารถทำให้ผู้ใช้งานเข้าใจว่าแต่ละส่วนที่ปรากฏในส่วนติดต่อผู้ใช้งานคือ อะไร และสื่อความว่าอย่างไร

3. ส่วนติดต่อผู้ใช้งานจะสามารถทำให้ผู้ใช้งานมีปฏิสัมพันธ์กับเครื่องได้อย่างไร ถ้าส่วนติดต่อผู้ใช้งานนั้นไม่ผ่านการออกแบบที่ดีจะเกิดปัญหาเหล่านี้ได้

3.1 ระบบไม่สามารถแสดงข้อมูลที่ถูกต้อง และ/หรือครบถ้วน

3.2 ผู้ใช้งานสับสน ไม่สามารถเขาใช้งานระบบได้

3.3 ผู้ใช้งานเกิดความรู้สึกไม่อยากใช้งานระบบอีก เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบหน้าจอแอปพลิเคชัน (User Interface)

ยุทธพงศ์ ญาณโยธิน และ ชัชวาล อินทุสมิต (2558) ศึกษาการออกแบบอินเตอร์เฟสเว็บไซต์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และ การออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ พบว่า อินเตอร์เฟสด้านการเชื่อมโยงข้อมูลจะใช้อินเตอร์เฟสแบบ Menu Page และ Pyramid และไม่ควรใช้เกิน 3 ชนิดขึ้นไป อินเตอร์เฟสด้านรูปแบบของการวาง Layout ใน เว็บไซต์ จะใช้อินเตอร์เฟสแบบ Visual Framework, Center Stage, Liquid Layout และ Grid of Equals อินเตอร์เฟสด้านการจัดวางบทความ แบบ Two panel Selector และ One window Drill Down มีความจำเป็นที่จะต้องนำมาใช้ในการจัดการบทความมากที่สุด รูปแบบองค์ประกอบ ในการออกแบบ ขนาดของรูปย่อในเว็บไซต์ (Thumbnail photo size) จะมีขนาดที่เหมาะสมเฉลี่ย อยู่ที่ 302.6 x 211.5 Pixel รูปแบบตัวอักษร: Sans-Serif และ Arial เป็นรูปแบบตัวอักษรที่ เหมาะสมและจำเป็นต้องใช้ ขนาดตัวอักษรที่เหมาะสมสำหรับใช้เพื่อเป็นหัวข้อต่าง ๆ ในเว็บไซต์ มีค่าเฉลี่ย คือ 19.3 Point ขนาดตัวอักษรที่เหมาะสมสำหรับใช้เพื่อเป็นตัวอักษรทั่วไป ในเว็บไซต์มี ค่าเฉลี่ยคือ 13.3 Point สีพื้นหลังที่เหมาสมสำหรับการใช้งานในเว็บไซต์คือ สีอ่อน เช่นสีขาว สีเทา อ่อน การเลือกสีต่างๆ มาใช้ในเว็บไซต์นั้น ควรใช้หลักทฤษฎีสีในการออกแบบคือ เลือกสีคู่ตรงกันข้าม โดยใช้ไม่เกิน 2 สี

สุจิตรา อดุลย์เกษม, พัชรีพร สุนทรรัตน์, พลอยไพลนิ ใจมา และ อรวรรณ เชาวลิต (2559, หน้า 1) ศึกษาการออกแบบต้นแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้แบบกราฟิกส์สำหรับการบันทึกเวชระเบียนอิเลกทรอนิกส์ พบว่า การออกแบบระบบที่ผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (User- centered Design: UCD) และส่วนติดต่อกับผู้ใช้แบบกราฟิกส์ (Graphic User Interface: GUI) ช่วยในการออกแบบและพัฒนาต้นแบบ ระบบการบันทึกเวชระเบียนอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ได้ระบบการบันทึกเวชระเบียนที่ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการรักษาพยาบาลผู้ป่วย

Balagtas-Fernandez, Forrai, and Hussmann (2009, pp. 245-246) ศึกษาการประเมินผลการออกแบบอินเทอร์เฟซสำหรับผู้ใช้และวิธีการป้อนข้อมูลสำหรับแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์ทัชสกรีนแบบเคลื่อนที่ หรือเรียกว่า “โทรศัพท์หน้าจอสัมผัส” การออกแบบ UI ที่ดีและวิธีการป้อนข้อมูลแบบง่ายสำหรับแอพพลิเคชันที่ใช้งานบนอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่นำไปสู่ความนิยมและความสำเร็จ การใช้งาน พบว่า ความชอบของผู้ใช้ซึ่ง 80% ระบุว่าการเลื่อนดูโดยใช้มุมมองแบบเลื่อนดูง่ายขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับมุมมองแบบแท็บ การทำงานด้วยมือทั้งสองข้างอยู่ในตำแหน่งแนวนอนสามารถใช้งานง่ายด้วยนิ้วหัวแม่มือสำหรับงาน Search และ Add / View

Lee and Cha (2017, pp. 382-395) ศึกษาการวิเคราะห์ User interface-level QoE สำหรับการปรับเสียงแอพลิเคชั่นแอนดรอยด์ พบว่า การปรับแต่งและเพิ่มประสิทธิภาพแอพพลิเคชันบนมือถือควรคำนึงถึงคุณภาพจากประสบการณ์ผู้ใช้ (Quality of Experience: QoE) โดยใช้ QX-probe เป็นเครื่องมือเปรียบเทียบการวิเคราะห์ QoE เชิงปริมาณและสำหรับการปรับแต่งแอพพลิเคชันกำหนดการใช้พลังงานและ UI (User Interface) เป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ QoE QXprobe วัดปัจจัยเหล่านี้ในระดับ UI และให้ข้อมูลที่หลากหลายสำหรับการวิเคราะห์ QoE โดยใช้เครื่องมือบนเว็บ ประโยชน์ของ QX-probe จะผ่านการตรวจสอบจากกรณีศึกษาจำนวนมากโดยใช้โปรแกรมจริง นักพัฒนาซอฟต์แวร์ควรสามารถใช้เครื่องมือนี้เพื่อระบุจุดจูนแอพพลิเคชัน

การวัดประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ออกแบบ

สำหรับงานวิจัยนี้โปรแกรมที่ออกแบบนำไปใช้งานผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน ซึ่งมีงานวิจัยของ Sarrab, Elbasir, abd Alnaeli (2016) ศึกษาแบบจำลองคุณภาพทางเทคนิคสำหรับบริการการเรียนรู้ผ่านมือถือ (การตรวจสอบเชิงประจักษ์) พบว่า การเรียนรู้ผ่านมือถือการออกแบบ UI (User Interface) มีความสำคัญต่อผู้เรียนการใช้งานที่สอดคล้องต่อแป้นพิมพ์บนสมาร์ทโฟน การแสดงผลหน้าจอขัดเจนง่าย ช่วยให้ผู้เรียนผ่านระบบสมาร์ทโฟนสะดวก

จากงานวิจัยข้างต้น การออกแบบโปรแกรมจึงต้องคำนึงถึงผู้ใช้งาน คุณสมบัติของซอฟแวร์แต่ละชนิด การนำไปใช้งาน เพื่อให้การสร้างซอฟแวร์ครอบคลุมวัตุประสงค์ที่ศึกษาและสอดคลอ้งกับความต้องการของผู้ใช้โดย จึงต้องมีการตรวจสอบกระบวนการสร้างซอฟแวร์เป็นระยะ ๆ ดังนี้

กระบวนการซอฟแวร์ คือ กรอบการดำเนินกิจกรรมในการสร้างซอฟแวร์ที่มีคุณภาพ (น้ำฝน อัศวเมฆิน, 2558) ซึ่งประกอบด้วย

1. เครื่องมือทดสอบซอฟแวร์ (Software Testing Tools)
   1.1 เครื่องสร้างกรณีทดสอบ (Testing Generation) ใช้สร้างกรณีทดสอบซอฟแวร์
   1.2 กรอบการปฏิบัติการทดสอบ (Test Execution Framework) ใช้ทดสอบซอฟแวร์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการกำหนดไว้ล่วงหน้า
   1.3 เครื่องมือประเมินผลการทดสอบ (Test Evaluation Tools) ใช้สนับสนุนการประเมินผลการทดสอบว่าผลการทดสอบเป็นไปตามคาดหวังหรือไม่
   1.4 เครื่องมือบริหารงานทดสอบ (Test Management Tools) เป็นเครื่องมือสนับสนุนทุกกิจกรรมการทดสอบ
   1.5 เครื่องมือวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทดสอบ (Performance Analysis Tools) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดผลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของซอฟแวร์
2. Software testing มี 3 หลักการทดสอบ ที่เรียกว่า Verification, Validation และ Defect Finding โดยมีลักษณะ ดังนี้
   2.1 Verification คือ กระบวนการประเมินว่าซอฟต์แวร์ มีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนด (Specification) หรือไม่โดยจะตรวจสอบว่าซอฟต์แวร์ ที่จะออกมานั้นเป็นไปตามความต้องการหรือไม่ และจะทำในช่วงก่อนการเริ่มทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ โดยส่วนนี้จะประกอบไปด้วย Testing and Reviews เพื่อช่วยให้ได้รับผลลัพธ์ที่เป็นไปตามหลักการทฤษฎี

2.2 Validation คือ กระบวนการที่จะประเมินว่าซอฟต์แวร์ มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการทางธุรกิจ (Business Requirements) ซึ่งจะทำการตรวจสอบ (Validation) หลังจากสิ้นสุดของการพัฒนาซอฟต์แวร์

2.3 Defect คือ การหาข้อบกพร่อง ระหว่างผลที่คาดหวัง (Expected Result) กับผลที่เกิดขึ้นจริง (Actual Result) ซึ่งการหาข้อบกพร่อง (Defect) สามารถทำได้ตั้งแต่ช่วงออกแบบหรือช่วงพัฒนา (Coding) โดยการพัฒนาสามารถทดสอบระบบได้ 2 แบบ คือ

2.3.1 การทดสอบทางสถิติ (Statistical Testing) เพื่อประเมินผลความถี่ของการใช้งานส่วนต่าง ๆ ของระบบ

2.3.2 การทดสอบข้อบกพร่อง (Defect Testing) เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบว่าระบบมีข้อบกพร่องผิดพลาดที่จุดใดบ้าง

การทดสอบโปรแกรมโดยทั่วไปที่นิยมมี 2 แบบ คือ Black Box Testing และ White Box Testing

ทฤษฎีการทดสอบระบบ Black-box Testing ประกอบด้วย

1. Software Testing Technique เทคนิคที่ใช้กันแพร่หลายในการทำ Test โดยมีการ test ต้องมีการตรวจสอบ ต่อไปนี้

2. Verification and Validation คือ กระบวนการตรวจสอบและยืนยันความถูกต้องของระบบงาน

2.1 Validation จะตรวจสอบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมานั้นถูกต้องหรือไม่

2.2 Verification จะตรวจสอบว่าการพัฒนาสร้างระบบทำอย่างถูกต้องหรือไม่ ทั้งนี้กระบวนการทดสอบ มี 2 รูปแบบ คือ

2.2.1 Software Testing คือ การทดสอบโปรแกรม

2,2.2 System Testing คือ การทดสอบระบบ

Black-Box Testing คือ การทดสอบที่ไม่สนใจกลไกภายในของระบบ แต่มุ่งเน้นไปที่ผลลัพธ์ที่ออกมาหลังจากการตอบสนองของระบบ โดยเกิดจากการนำเข้าข้อมูล และการจัดกระทำระบบ และที่สำคัญ Black-Box Testing ผู้ที่ทำการทดสอบ หรือ นักทดสอบจะไม่ทำการเข้าถึง Source Code โดยนักทดสอบจะรู้แค่ว่าให้ข้อมูลเข้าระบบ เพื่อที่จะได้รับผลลัพธ์ ออกมาต้องมีความสอดคล้องกัน และทดสอบหน้าที่ต่าง ๆ ของโปรแกรมตามข้อเสนอแนะที่มี โดยกำหนดข้อมูลในการทดสอบ ดังนี้

1. ค่าตัวแทนของกลุ่ม
2. ค่าสูงสุด
3. ค่าต่ำสุด
4. ค่าเกินพิกัด
5. ค่าที่ผิดวิสัย

White-Box Testing คือ การทำ Test เพื่อดูโครงสร้างภายในซึ่งพิจารณากลไกภายในของระบบ หรือ Component โดยจะมุ่งเน้นไปที่โครงสร้างภายในของ Software Code ซึ่ง Tester จะเป็นผู้ที่ทำการพัฒนา Code หรือเป็น Developer เพราะจะทราบว่า Code เป็นอย่างไร และการเขียน

Test Cases จะเป็นไปตามแนวทางของการ Execution ต้องสร้างชุดทดสอบเฉพาะสำหรับการทดสอบในเงื่อนไขต่าง ๆ และชุดทดสอบจะต้อง ประกอบด้วย ชุดที่สามารถประมวลผลอย่างปกติและไม่ปกติ

นอกจากนี้ ยังมีเทคนิคอื่นที่นำมาทดสอบโปรแกรม คือ Manual Testing (การทดสอบโดยไม่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์) จะทำการการทดสอบแบบตรวจไวยากรณ์ และการทำงานตามลำดับคำสั่งในโปรแกรม ส่วนของ Automated Testing (การทดสอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์) จะเป็นการทดสอบด้วยการตรวจสอบไวยากรณ์ที่เขียนขึ้น ทดสอบโปรแกรมทีละโมดูลเพื่อหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นภายในโมดูล

ดังนั้นการทดสอบระบบหรือโปรแกรม มีวัตถุประสงค์เพื่อการค้นหาข้อบกพร่องใน Final Product และทำการแก้จุดบกพร่องนั้น ๆ โดยต้องสามารถตอบคำถาม ดังต่อไปนี้

1. ซอฟต์แวร์ทำงานได้จริงตามที่คาดหวัง
2. ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้
3. ตรงกับที่ผู้ใช้คาดหวัง
4. ผู้ใช้ชอบ
5. เข้ากันได้กับระบบอื่น ๆ รวมถึงระบบที่มีอยู่แล้ว
6. มีวิธีดำเนินการอย่างไร
7. รองรับจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้น

อีกทั้งการสร้างโปรแกรม หรือระบบทั้งหมดก็เพื่อสนองความต้องการของมนุษย์ จึงควรคำนึงถึงการยอมรับงานของมนุษย์ที่จะวัดการทำงาน ในประเด็นต่อไปนี้เพิ่มเติม

1. ระยะเวลาที่ผู้ใช้ต้องเรียนรู้การใช้ส่วนต่าง ๆ ของระบบงาน (Time to Learn)
2. ความเร็วของการดำเนินงานแต่ละส่วน (Task Performance)
3. อัตราความผิดพลาดที่เกิดขึ้น (Error Rate)
4. ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้โดยส่วนรวม (Subjective User Satisfaction)
5. ความสามารถจดจำคำสั่งและการใช้งานได้ (Human Retention)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก พร้อมทั้งตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นสำหรับการแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าวโดยผู้เชี่ยวชาญ อีกทั้งนำระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นไปตรวจสอบคุณภาพข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย ทั้งนี้ได้แบ่งวิธีดำเนินการวิจัยเป็น 4 ระยะ ตามลำดับดังนี้

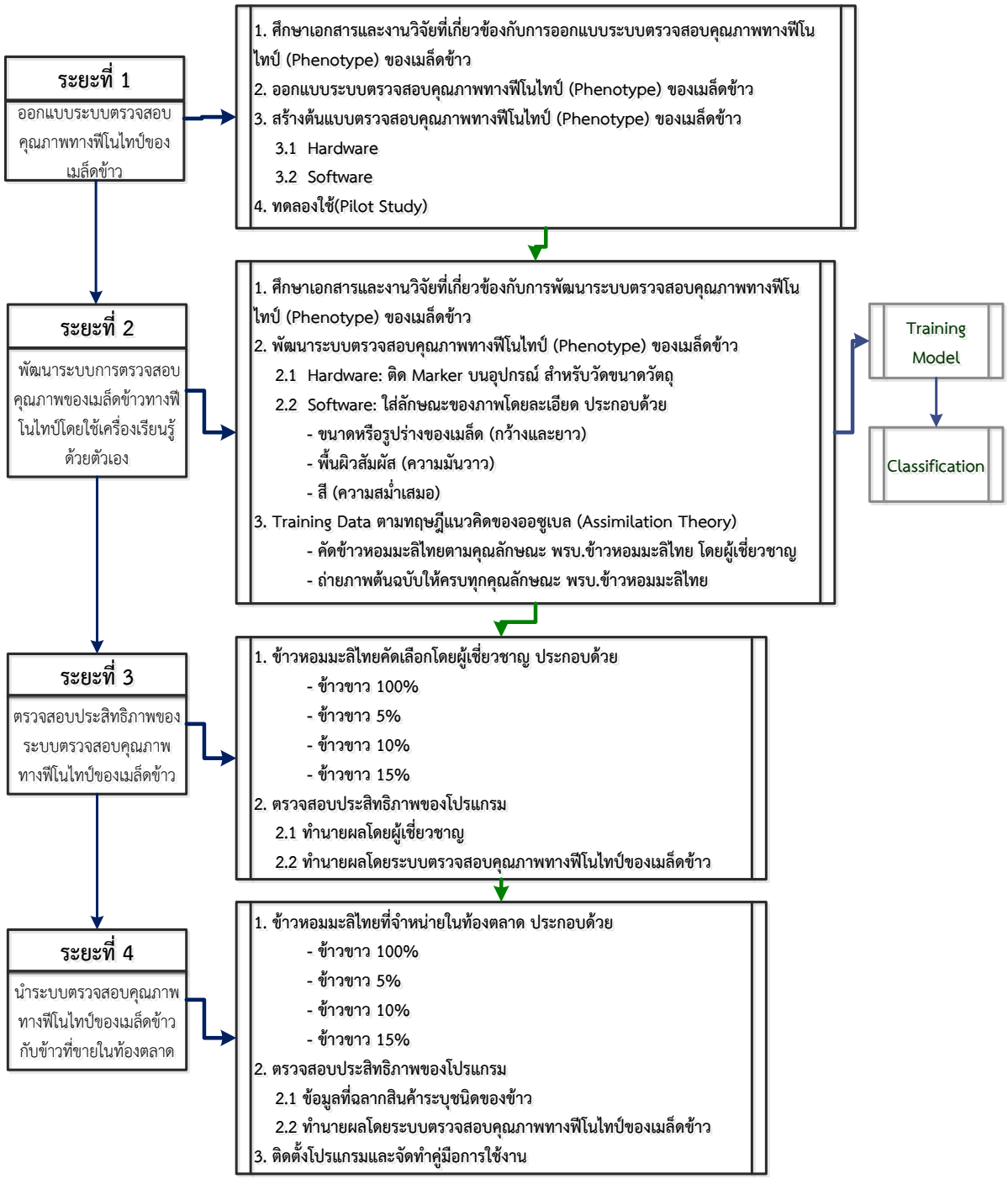
ระยะที่ 1 ออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

ระยะที่ 2 พัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

ระยะที่ 3 การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นสำหรับการแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าวโดยผู้เชี่ยวชาญ

ระยะที่ 4 การตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นไปตรวจสอบคุณภาพข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย

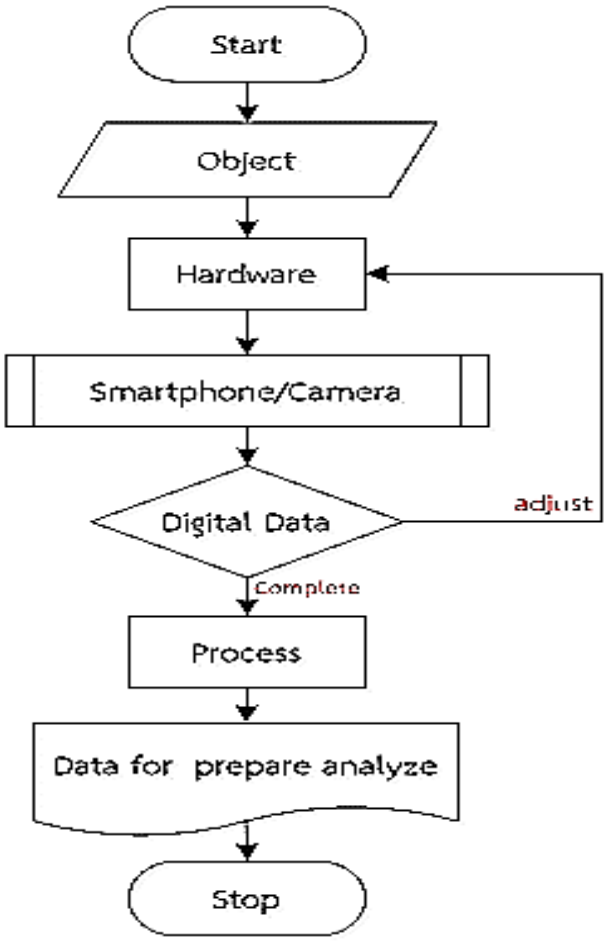
โดยแต่ละระยะมีวิธีดำเนินการวิจัยแสดงรายละเอียด ดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 ระยะของวิธีดำเนินการวิจัย

ระยะที่ 1 ออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

ออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก แสดงขั้นตอนการออกแบบระบบ (Work Flow) ดังภาพที่ 3-2



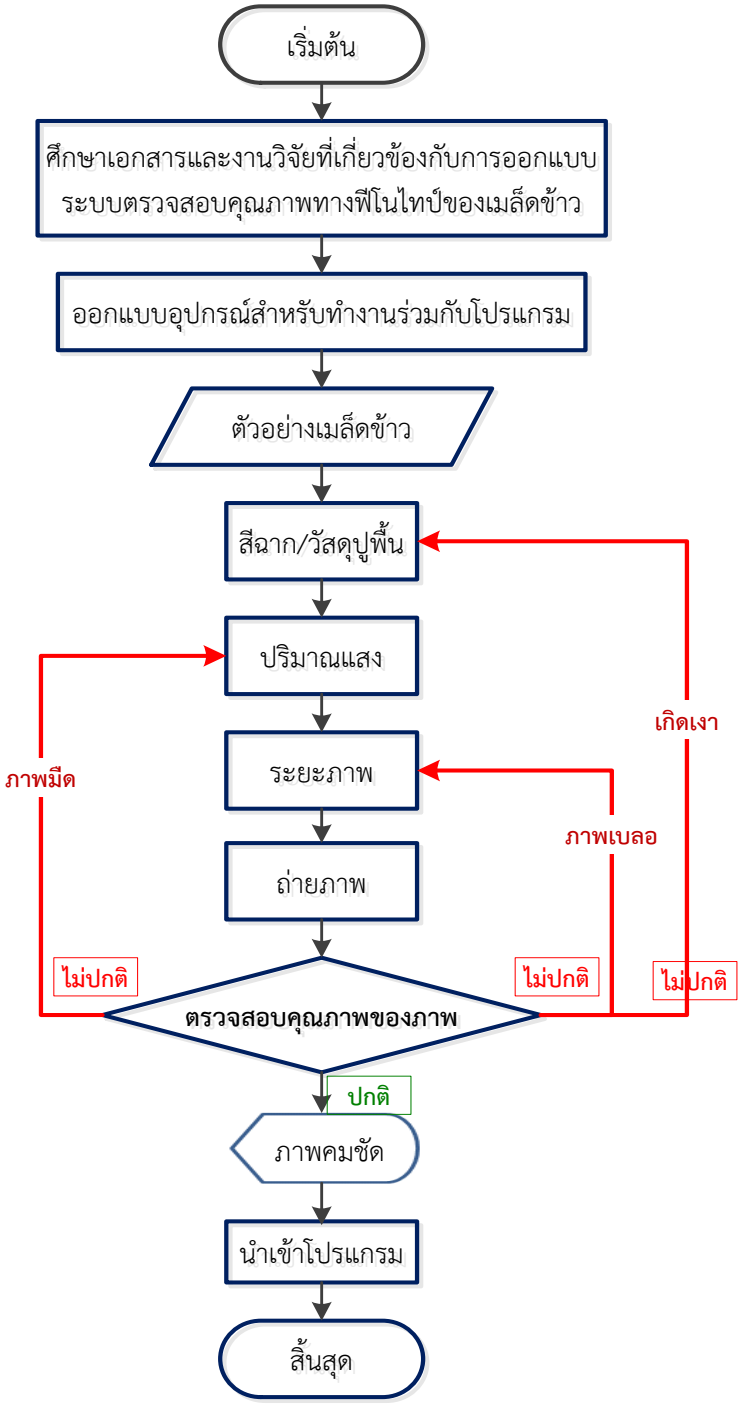
ภาพที่ 3-2 ภาพรวมการดำเนินงานของระบบตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์เบื้องต้น

กระบวนการออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวในช่วงต้นจะเป็นการร่างและออกแบบอุปกรณ์ (Hardware) เพื่อนำไปใช้งานร่วมกับโปรแกรม (Software) และการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ (Hardware) กับ โปรแกรม (Software) โดยการออกแบบเป็น 3 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 การออกแบบอุปกรณ์ (Hardware)

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Liu et al (2017, pp. 302-309) เป็นการประยุกต์ ใช้กล้องที่ติดตั้งมาพร้อมกับสมาร์ทโฟน ช่วยในการนับเมล็ดข้าวด้วยซอฟต์แวร์พัฒนาบนระบบแอนดรอยด์ (Android) หรือ Veena and Latharani (2014) ศึกษาประสิทธิภาพในการจำแนกเมล็ดข้าวโดยใช้กระบวนการทางสัณฐานวิทยา หรือ Lurstwut and Pornpanomchai (2017) ศึกษาการวิเคราะห์ภาพบนพื้นฐานของสีรูปร่างและเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าว (Oryza sativa L.) การประเมินความงอก ใช้ภาพดิจิทัลถ่ายด้วยกล้องดิจิทัลหรือกล้องโทรศัพท์มือถือปกติ ค่าความถูกต้องของระบบ เท่ากับ 7.66% และยอมรับ 5.42% หรือ Tanwong, Suksawang, and Punsawad, (2018) ที่ใช้ภาพดิจิทัลในการจำแนกพรรณต้นแบบของคุณภาพข้าวตามมาตรฐานเกษตร พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นสาเหตุมาจาก ภาพที่นำมาประมวลผลเบลอ เอียงองศา (ไม่ตั้งฉาก) หรือจะเป็นแสงที่มากระทบวัตถุทำให้เกิดเงา รวมทั้งวัตถุที่เกิดการซ้อนทับกัน เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าวจึงนำมาซึ่งการออกแบบอุปกรณ์เพื่อช่วยให้ได้ภาพสำหรับการนำไปดำเนินงานในส่วนของโปรแกรม (Software) ต่อไป



ภาพที่ 3-3 กระบวนการออกแบบอุปกรณ์ (Hardware)ของระบบตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์เบื้องต้น

จากภาพที่ 3-3 กระบวนการออกแบบอุปกรณ์ (Hardware) เบื้องต้นควรมีลักษณะที่เคลื่อนย้ายง่าย สะดวกในการประกอบติดตั้งนอกสถานที่ พร้อมทั้งขจัดปัจจัยที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่ได้ศึกษามาแล้วข้างต้นได้ ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

1. เตรียมวัสดุปูพื้นสำหรับวางวัตถุดิบ ต้องเป็นสีดำสนิทไม่มันวาวเพราะดูดกลืนทุกสีในสเปกตรัม เพื่อลดการสะท้อนสีและแสงที่ไม่เกี่ยวข้องปรากฏบนภาพ

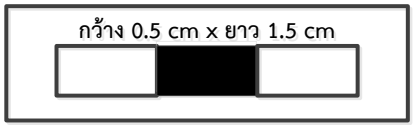
2. พื้นที่ควรเป็นขนาดสี่เหลี่ยมจัตุรัส เพื่อง่ายต่อการนำไปคำนวณขนาด/รูปร่างของวัตถุ (Pixel) และมีลักษณะคล้ายถาด คือ มีขอบทั้ง 4 ด้านเพื่อป้องกันการกระเด็นหรือร่วง ขณะที่โปรยเมล็ดข้าวลงพื้น

3. มีเสาเพื่อช่วยคำนวณระยะของวัตถุกับอุปกรณ์ถ่ายภาพ (Smartphone/Camera) ให้เหมาะสม เพราะส่งผลต่อขนาดของวัตถุบนภาพที่จะนำมาประมวลผล และก่อให้เกิดภาพเบลอไม่คมชัดได้

4. องศาของภาพ การเอียงองศาแม้เพียงเล็กน้อยจะส่งผลกระทบต่อการวัดขนาด/รูปร่างของวัตถุดิบ เนื่องจากเมล็ดข้าว 1 เมล็ดมีขนาดต่ำกว่า 1 เซนติเมตร

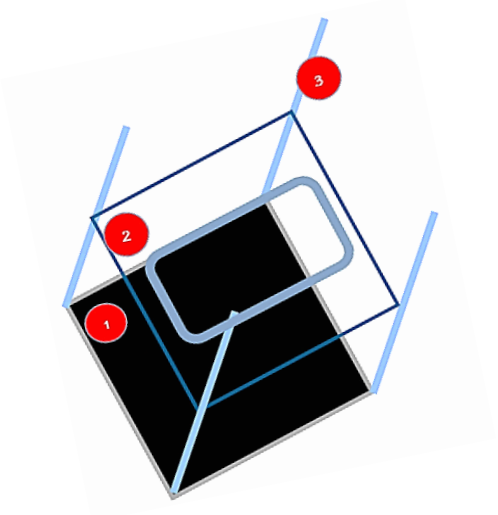
5. วางแถบวัดมาตรฐานบนพื้น มีลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 3 เซนติเมตร เพื่อเป็นมาตรวัดเปรียบเทียบกับวัตถุดิบ ในการตรวจสอบขนาดของเมล็ดข้าวและใช้ตรวจสอบองศาของภาพ

6. การวัดขนาดของวัตถุ (เมล็ดข้าว) ทำโดยสร้างแถบวัดรูปทรงเรขาคณิต ดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 แถบมาตรฐานสำหรับเทียบขนาดของวัตถุเพื่อนำมาติดบนพื้น

7. จากนั้นสร้างอุปกรณ์ (Hardware) ที่ช่วยในการถ่ายภาพเพื่อตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวในภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-5 รูปแบบอุปกรณ์ (Hardware) ที่ช่วยในการถ่ายภาพเพื่อตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว

มีส่วนประกอบของอุปกรณ์ (Hardware) มีดังนี้

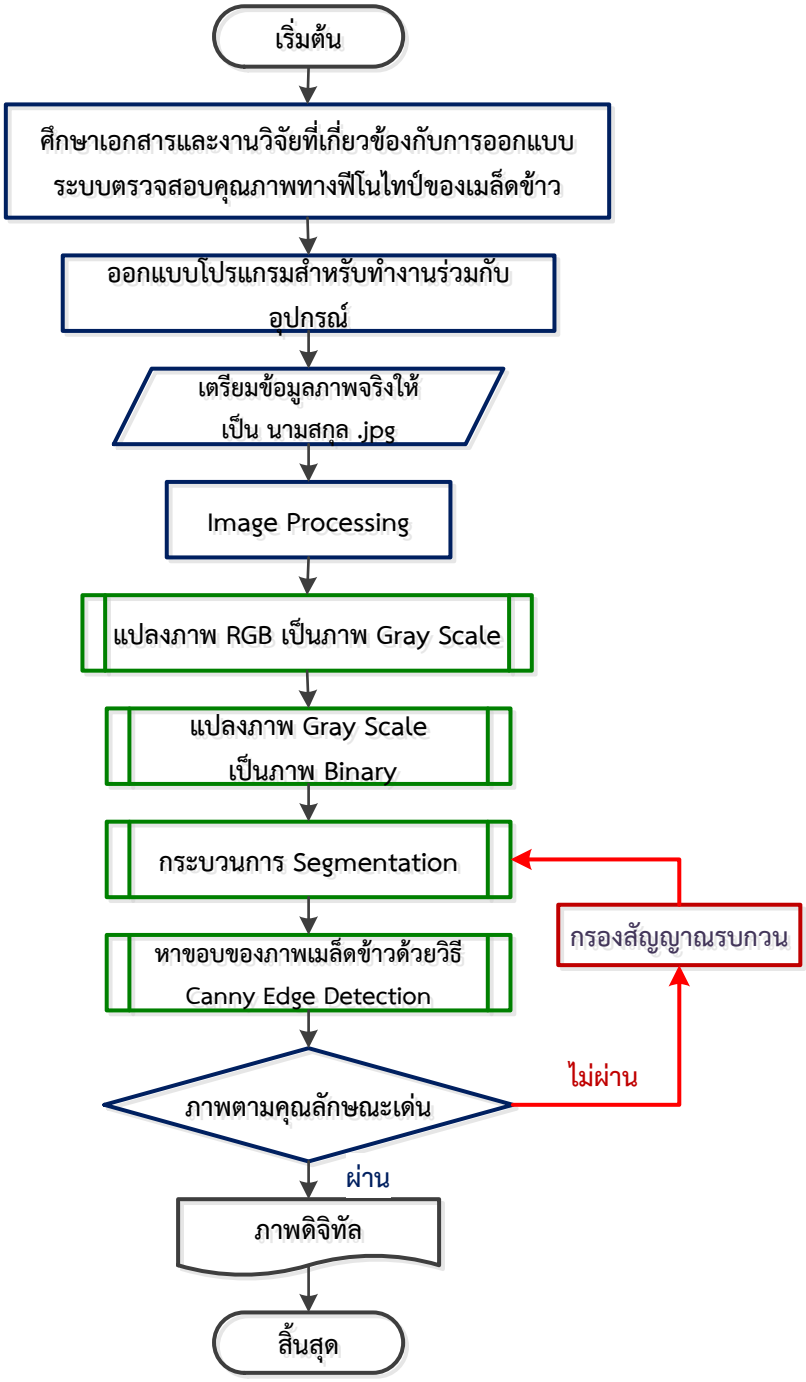
1. แผ่นอะคิลิคหนาประมาณ 2 เซนติเมตร สีเหลี่ยมจัตุรัสพื้นที่ขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร เจาะรูทั้ง 4 มุม ทำขอบสูงขึ้นมา 1-2 เซนติเมตร (เหลือพื้นที่จริงในการใช้งาน กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร) จากนั้นปูพื้นด้วยสติกเกอร์สีดำด้านสำหรับวางวัตถุดิบ

2. แผ่นอะคิลิคหนาประมาณ 2 เซนติเมตร สีเหลี่ยมจัตุรัสพื้นที่ขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร เจาะรูทั้ง 4 มุม ตรงกลางให้เจาะเป็นรูขนาดใหญ่แนวนอนสำหรับวางอุปกรณ์ถ่ายภาพได้ (ไม่หล่น)

3. แท่งอะคิลิคทรงกลม 4 ชิ้น ยาว 20 เซนติเมตร มีล็อคปรับระดับระยะเลื่อนขึ้นลงได้ ระยะต่ำสุดเริ่มตั้งแต่ 5 เซนติเมตร สูงสุดที่ 15 เซนติเมตร

ส่วนที่ 2 การออกแบบโปรแกรม (Software)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น Lurstwut and Pornpanomchai (2017) ศึกษาการวิเคราะห์ภาพบนพื้นฐานของสีรูปร่างและเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าว (Oryza sativa L.) การประเมินความงอก ใช้เทคนิคประมวลผลภาพดิจิทัลและเครือข่ายประสาทเทียม พบว่า ค่าความถูกต้องของระบบเท่ากับ 7.66% หรือ Kaisaat, Keawdonree, Chomkokard, Jinuntuya, and Pattanasiri (2017) ศึกษาการวัดสีของเม็ดสี pigmented โดยใช้การสแกนแบบแท่นและการวิเคราะห์ภาพ ใช้ Mathematica software ราคาประมาณ 20,000 บาท ในการดำเนินงานนี้ หรือจะเป็น Paliwal, Erkinbaev, and Mebatsion (2015) ที่ศึกษาการจัดประเภทข้าวตามวิสัยทัศน์ของ Machine Vision Systems: (MVS) ความท้าทายและอนาคตที่คาดหวัง พบว่า MVS ส่วนใหญ่ต้องใช้การสร้างภาพขนาดและสีที่ได้จากภาพดิจิทัลของธัญพืชจะถูกนำมาใช้สำหรับการจำแนกเมล็ดธัญพืชโดยอัตโนมัติ หากเพิ่มคุณสมบัติ คือ รูปร่าง ขนาด สี จะเพิ่มความถูกต้องแม่นยำที่ 98.2% จากเดิม 83.6% หรือ Zareiforoush, Minaei, Alizadeh, Banakar (2016) ศึกษาการจำแนกเชิงคุณภาพของเมล็ดข้าวขาวโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์และเทคนิค Metaheuristic โดยเปรียบเทียบ 4 เทคนิค คือ เครือข่ายประสาทเทียม (ANN) เครื่องเวกเตอร์สนับสนุน (SVM) ต้นไม้การตัดสินใจและเครือข่าย Bayesian Networks ในการจำแนกประเภทข้าวสาร พบว่า เครือข่ายประสาทเทียม (ANN) มีโครงสร้างข้อมูล 12-5 * 4 มีการจำแนกสูงสุด ความถูกต้อง (98.72%) เครื่องเวกเตอร์สนับสนุน (SVM) ใช้ฟังก์ชั่นเคอร์เนล Universal Pearson VII (98.48%) ต้นไม้การตัดสินใจด้วยขั้นตอนวิธี REP (97.50%) และเครือข่าย Bayesian Networks ด้วยขั้นตอนการค้นหา Hill Climber (96.89%) เป็นต้น จะเห็นได้ว่าทุก ๆ งานวิจัยจะต้องมีการเริ่มต้นด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลทุกงาน ดังนั้น จะขาดเทคนิคดังกล่าวในงานวิจัยนี้จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องดำเนินการก่อน



ภาพที่ 3-6 การออกแบบโปรแกรม (Software) ของระบบตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าว
ทางฟีโนไทป์ ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลอย่างง่าย โดยโปรแกรม Matlab

สำหรับขั้นตอนกระบวนการออกแบบโปรแกรมเบื้องต้นด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลในภาพที่ 3-6 นั้น มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. การรับภาพ (Image Sensing and Acquisition)

เริ่มจาก Energy source →Sensor →Analog image →Digitization(A/D) →Digital Image

2. การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement and Restoration) เช่น ความคมชัดปรับตามทฤษฎี Contract Enhancement การปรับเน้นเส้นขอบภาพตามทฤษฎี Edge enhancement เทคนิค Edge Detection หรือกรณีภาพไม่สมบูรณ์มีสัญญาณรบกวนใช้เทคนิคการกรองสัญญาณภาพ Image Filtering เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน

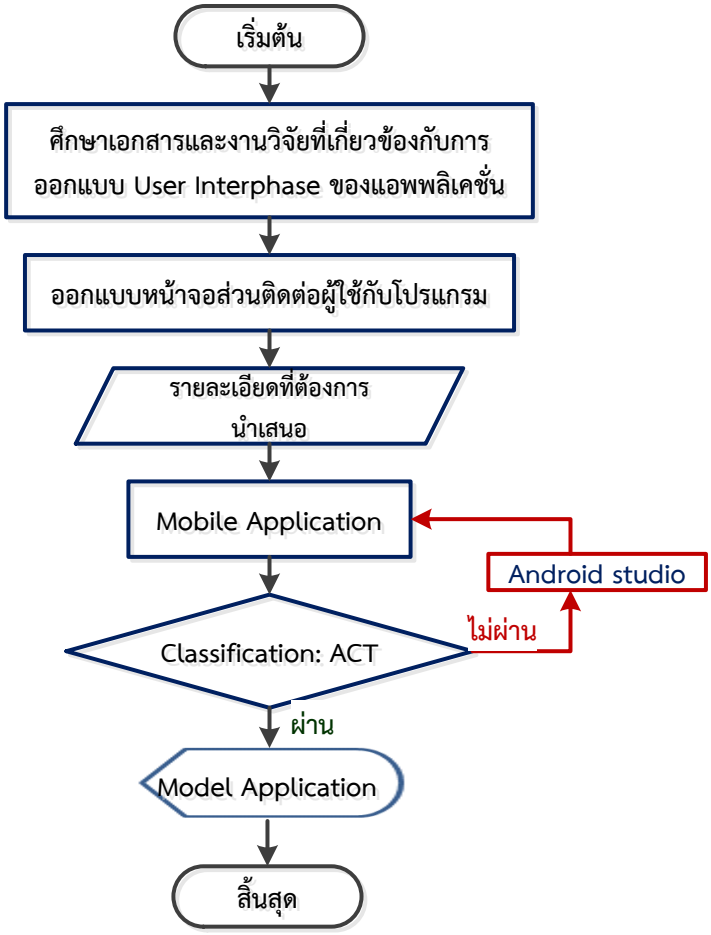
3. การวิเคราะห์ข้อมูลภาพ (Image Analysis) เป็นการวัดหรือข้อมูลเชิงปริมาณ เพื่อสร้างคำจำกัดความ และแยกคุณลักษณะของวัตถุในภาพเพื่อช่วยระบุชนิด ต้องมีการแยกส่วนวัตถุ (Segmentation) ที่สนใจออกมาจากรูปภาพหรือฉากได้

การดำเนินงานในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ภาพที่พร้อมนำไปสร้างระบบตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกต่อไป โดยท้ายที่สุดภาพที่ได้ทั้งหมดจะนำมาจัดแบ่งภาพออกเป็น 2 กลุ่ม คือ Training และ Testing เพื่อนำไปสร้างโมเดลในการทำนายกลุ่มข้าวแต่ละประเภทต่อไป

ส่วนที่ 3 การออกแบบ User Interface เพื่อติดต่อระหว่าง คนกับเครื่อง

การออกแบบ User Interface เพื่อติดต่อระหว่างผู้ใช้กับเครื่อง ต้องคำนึงถึงการจัดวางองค์ประกอบที่อยู่ภายในแอปพลิเคชัน และการแสดงผลลัพธ์ที่ชัดเจน ครอบคลุม ครบถ้วนตามวัตถุประสงค์ของวิจัย และถูกต้อง

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบขั้นตอนทำงานปรากฏดังภาพที่ 3-7

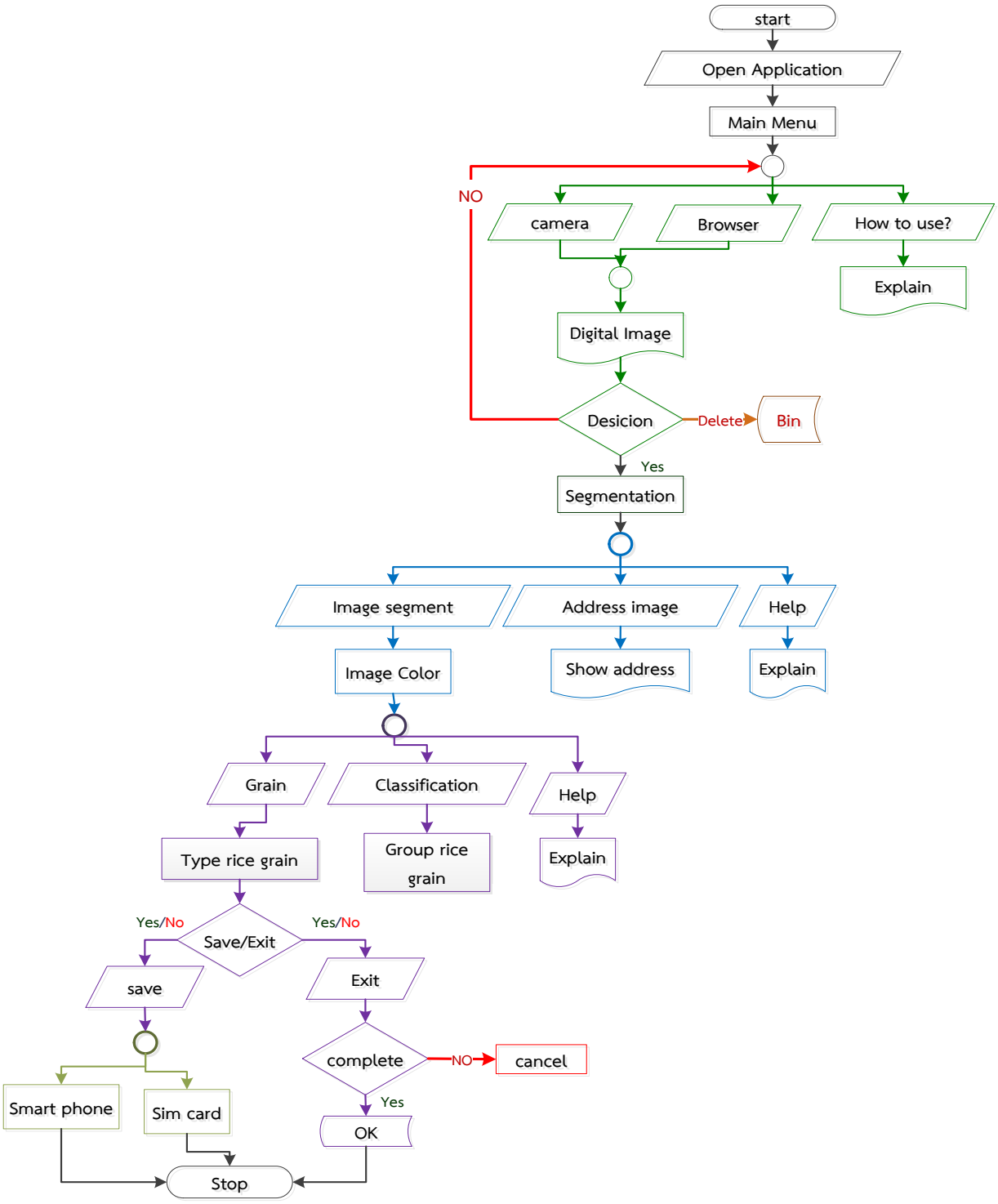


ภาพที่ 3-7 การออกแบบ User Interface ของระบบตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ โดยโปรแกรม Android studio

การออกแบบ User Interface นี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. ทำให้ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ทำงานกันเป็นระบบ โดยรวมถึงระบบปฏิบัติการ ไดรเวอร์ และระบบหลักต่าง ๆ บนสมาร์ทโฟน
2. ออกแบบขั้นตอนโดยอ้างอิงกับสิ่งที่ผู้ใช้ต้องใช้จริงในการทำงานเป็นหลัก
3. ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม เช่น .net php html C++ Java Android
4. โดยอ้อมเพื่อเก็บข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวแต่ละพื้นที่/ช่วงเวลา เพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณภาพในอนาคต

ซึ่งจากวัตถุประสงค์ดังกล่าว นำมาผสานกับการออกแบบ User Interface ของระบบตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ โดยโปรแกรม Android studio ในภาพที่ 3-7 ออกมาเป็นแผนภาพการทำงานดังปรากฏตามภาพที่ 3-8 ต่อไปนี้



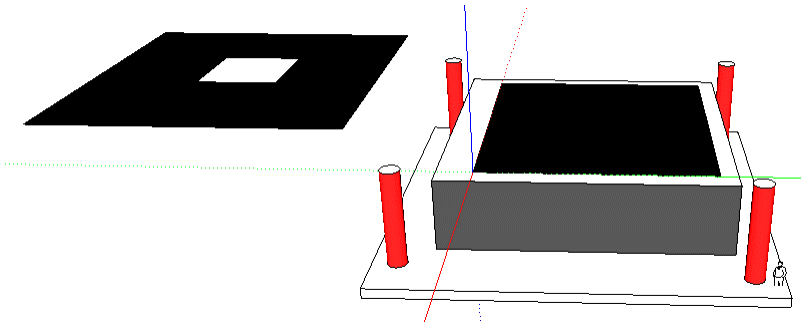
ภาพที่ 3-8 แผนภาพการทำงานของระบบตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ (User Interface)

ระยะที่ 2 พัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

จากกระบวนการออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวในระยะที่ 1 ทั้ง 3 ส่วน ได้นำมาพัฒนาต่อในระยะที่ 2 นี้ เพื่อนำไปใช้งานจริงโดยมีการแบ่งออกเป็น 3 ส่วน เช่นเดียวกันดังนี้

ส่วนที่ 1 การพัฒนาอุปกรณ์ (Hardware)

จากภาพที่ 3-5 ในระยะที่ 2 นี้ได้พัฒนาอุปกรณ์ (Hardware) จากต้นแบบให้สามารถนำไปใช้งานจริงได้ดังภาพที่ 3-9



ภาพที่ 3-9 อุปกรณ์ (Hardware) สำหรับการถ่ายภาพเมล็ดข้าว เพื่อตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์

จากภาพที่ 3-9 เห็นได้ว่าอุปกรณ์มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส และมีเสาทั้ง 4 ด้าน ทั้งนี้เพื่อสะดวกต่อการนำมาคำนวณพื้นที่และระยะโฟกัสภาพของกล้อง รวมทั้งสามารถประมาณการณ์ถึงจำนวนเมล็ดข้าวที่ต้องใช้วางเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพแต่ละเมล็ดได้อย่างแม่นยำ

สำหรับแผ่นสีดำอิสระที่เจาะรูตรงกลางเพื่อเป็นฝาปิดสำหรับวางสมาร์ทโฟนในการถ่ายภาพ

กระบวนการพัฒนาอุปกรณ์ (Hardware) ยังมีการนำสมาร์ทโฟนมาใช้เป็นอุปกรณ์หลักในการนำข้อมูลเข้าไปประมวล ตลอดจนการประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์สุดท้าย โดยสมาร์ทโฟนที่นำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัยนี้ต้องมีคุณลักษณะเบื้องต้นดังต่อไปนี้

ภาพที่ 3-10 ตัวอย่างสมาร์ทโฟนสำหรับการดำเนินงานตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว

ลักษณะของสมาร์ทโฟนเบื้องต้นที่นำมาใช้พัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว มีดังนี้

1. ระบบปฏิบัติการ Android 8.1 Oreo
2. ชิปเซ็ตประมวลผล: Octa-Core Qualcomm
3. หน่วยความจำแรม (RAM): ขนาด 4GB
4. หน่วยความจำภายใน (ROM): ขนาด 64GB พร้อมรองรับการ์ดหน่วยความจำภายนอกแบบ microSD
5. กล้องดิจิทัล: ด้านหลังความละเอียด 13 ล้านพิกเซลขึ้นไป พร้อมไฟแฟลช LED และเทคโนโลยี AI
6. หน้าจอแสดงผล: FullView Display ขนาด 6 นิ้วขึ้นไป ความละเอียดระดับ Full HD (1080x2280 พิกเซล)

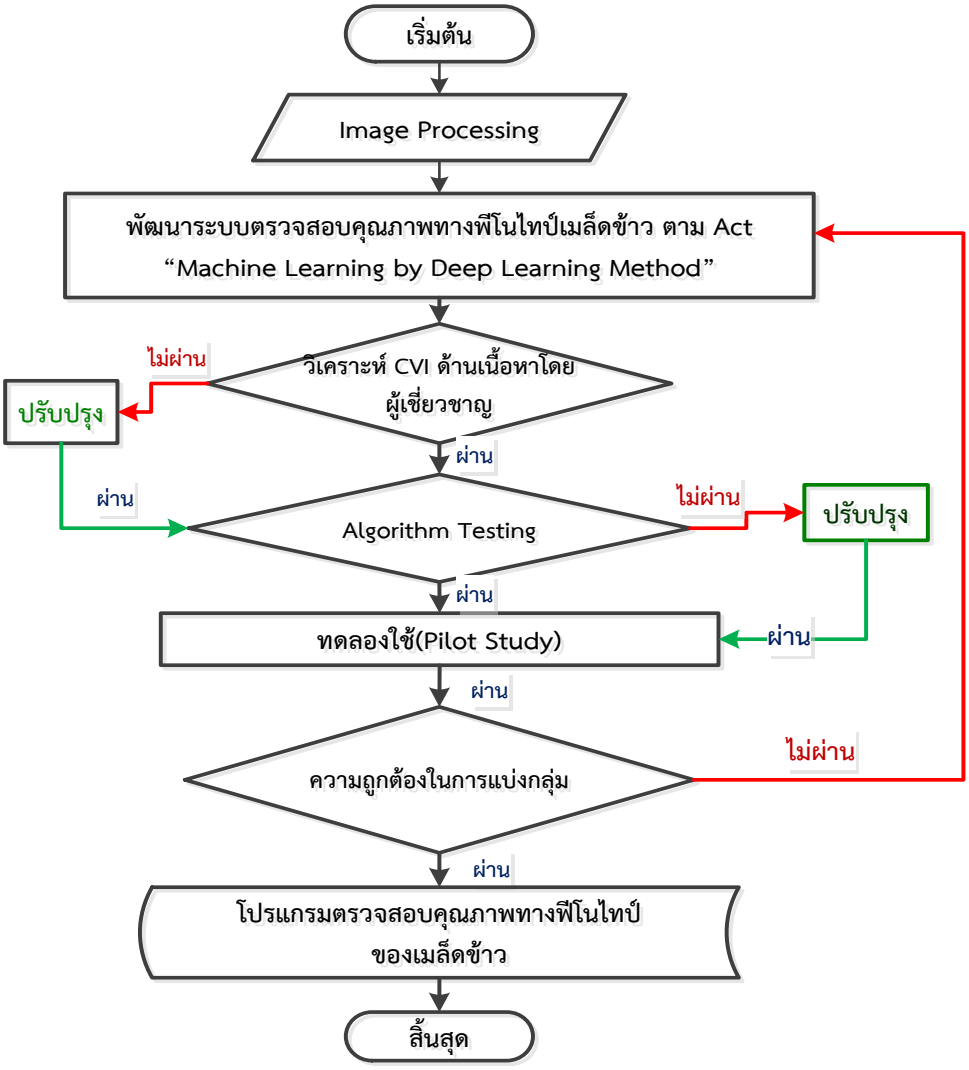
ส่วนเสริม: กรณีที่ต้องการนำส่งภาพหรือข้อมูลควรมีระบบรองรับการเชื่อมต่อ Wi-Fi 802.11 b/g/n และ Bluetooth 4.2 รวมทั้งควรรองรับการใช้งานบนเครือข่าย 4G ด้วยจะเพิ่มความสะดวกในการทำงาน

หมายเหตุ แอปพลิเคชันที่พัฒนานี้ใช้กับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เท่านั้น โดยใช้กับสมาร์ทโฟนที่มีระบบปฏิบัติการแอนดรอย์ ตั้งแต่เวอร์ชั่น 5.1 (Lollipop) เป็นต้นไป มีความละเอียดของจอแสดงผล 720 x 1280 พิกเซล หน่วยความจำแรม (RAM): ขนาด 4GB หน่วยความจำภายใน (ROM): ขนาด 16 GB กล้องดิจิตอล 13 ล้านพิกเซล

ส่วนที่ 2 การพัฒนาโปรแกรม (Software)

ในระยะที่ 1 เป็นเพียงการออกแบบโปรแกรม (Software) เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล ด้วยโปรแกรม Matlab ดังภาพที่ 3-6 สำหรับในระยะนี้มีการปรับปรุงองค์ประกอบภายในของเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลให้มีการทำงานดีขึ้นสามารถประมวลผลได้ทั้ง ขนาดหรือรูปร่างของเมล็ด (กว้างและยาว) พื้นผิวสัมผัส (ความมันวาว) สี (ความสม่ำเสมอ) ครบตามข้อกำหนดของพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว มีการประกาศในราชกิจจานุเบกษาของกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559

การพัฒนาโปรแกรมนี้จะนำข้อมูลที่ได้จากระยะที่ 1 มาพัฒนาต่อดังภาพ 3-11



ภาพที่ 3-11 การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก ในภาพที่ 3-11 ดำเนินงานภายใต้เงื่อนไข ดังนี้

การควบคุมมาตรฐานสินค้าข้าว ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออก เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) (2559, หน้า 3) ประกอบด้วย

1. ข้าวขาว 100 เปอร์เซ็นต์ ต้องมีส่วนผสมของเมล็ดข้าว และระดับการขัดสี ดังนี้

1.1 ส่วนผสม ประกอบด้วย

ข้าวเต็มเมล็ด ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60.0

ข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 5.0 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึง 8.0 ส่วน ไม่เกินร้อยละ 4.5 ในจำนวนนี้อาจมีข้าวหักที่มีความยาวไม่ถึง 5.0 ส่วน และไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ 7 ไม่เกินร้อยละ 0.5 และปลายข้าวขาวซีวัน ไม่เกินร้อยละ 0.1 นอกนั้นเป็นต้นข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 8.0 ส่วนขึ้นไป

1.2 ข้าวและสิ่งที่อาจมีปนได้

1.2.1 ข้าวเมล็ดแดงและหรือข้าวเมล็ดขัดสีต่ำกว่ามาตรฐาน ไม่เกินร้อยละ 0.5

1.2.2 ข้าวเมล็ดเหลือง ไม่เกินร้อยละ 0.2

1.2.3 ข้าวเมล็ดท้องไข่ ไม่เกินร้อยละ 3.0

1.2.4 ข้าวเมล็ดเสีย ไม่เกินร้อยละ 0.25

1.2.5 ข้าวเหนียว ไม่เกินร้อยละ 1.0

1.3 ระดับการขัดสี สีดีพิเศษ

2. ข้าวขาว 5 เปอร์เซ็นต์ ต้องมีส่วนผสมของเมล็ดข้าว และระดับการขัดสี ดังนี้

2.1 ส่วนผสม ประกอบด้วย

ข้าวเต็มเมล็ด ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60.0

ข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 3.5 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึง 7.5 ส่วนไม่เกินร้อยละ 7.0 ในจำนวนนี้อาจมีข้าวหักที่มีความยาวไม่ถึง 3.5 ส่วน และไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ 7 ไม่เกินร้อยละ 0.5 และปลายข้าวขาวซีวัน ไม่เกินร้อยละ 0.1 นอกนั้นเป็นต้นข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 7.5 ส่วนขึ้นไป

2.2 ข้าวและสิ่งที่อาจมีปนได้

2.2.1 ข้าวเมล็ดแดงและหรือข้าวเมล็ดขัดสีต่ำกว่ามาตรฐาน ไม่เกินร้อยละ 2.0

2.2.2 ข้าวเมล็ดเหลือง ไม่เกินร้อยละ 0.5

2.2.3 ข้าวเมล็ดท้องไข่ ไม่เกินร้อยละ 6.0

2.2.4 ข้าวเมล็ดเสีย ไม่เกินร้อยละ 0.25

2.2.5 ข้าวเหนียว ไม่เกินร้อยละ 1.5

2.3 ระดับการขัดสี สีดี

3. ข้าวขาว 10 เปอร์เซ็นต์ ต้องมีส่วนผสมของเมล็ดข้าว และระดับการขัดสี ดังนี้

3.1 ส่วนผสม ประกอบด้วย

ข้าวเต็มเมล็ด ไม่น้อยกว่าร้อยละ 55.0

ข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 3.5 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึง 7.0 ส่วนไม่เกินร้อยละ 12.0 ในจำนวนนี้อาจมีข้าวหักที่มีความยาวไม่ถึง 3.5 ส่วน และไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ 7 ไม่เกินร้อยละ 0.7 และปลายข้าวขาวซีวัน ไม่เกินร้อยละ 0.3 นอกนั้นเป็นต้นข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 7.0 ส่วนขึ้นไป

3.2 ข้าวและสิ่งที่อาจมีปนได้

3.2.1 ข้าวเมล็ดแดงและหรือข้าวเมล็ดขัดสีต่ำกว่ามาตรฐาน ไม่เกินร้อยละ 2.0

3.2.2 ข้าวเมล็ดเหลือง ไม่เกินร้อยละ 1.0

3.2.3 ข้าวเมล็ดท้องไข่ ไม่เกินร้อยละ 7.0

3.2.4 ข้าวเมล็ดเสีย ไม่เกินร้อยละ 0.5

3.2.5 ข้าวเหนียว ไม่เกินร้อยละ 1.5

3.3 ระดับการขัดสี สีดี

4. ข้าวขาว 15 เปอร์เซ็นต์ ต้องมีส่วนผสมของเมล็ดข้าว และระดับการขัดสี ดังนี้

4.1 ส่วนผสม ประกอบด้วย

ข้าวเต็มเมล็ด ไม่น้อยกว่าร้อยละ 55.0 ข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 3.0 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึง 6.5 ส่วน ไม่เกินร้อยละ 17.0 ในจำนวนนี้อาจมี

ข้าวหักที่มีความยาวไม่ถึง 3.0 ส่วน และไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ 7 ไม่เกินร้อยละ 2.0 และปลายข้าวขาวซีวัน ไม่เกินร้อยละ 0.5 นอกนั้นเป็นต้นข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 6.5 ส่วนขึ้นไป

4.2 ข้าวและสิ่งที่อาจมีปนได้

4.2.1 ข้าวเมล็ดแดงและหรือข้าวเมล็ดขัดสีต่ำกว่ามาตรฐาน ไม่เกินร้อยละ 5.0

4.2.2 ข้าวเมล็ดเหลือง ไม่เกินร้อยละ 1.0

4.2.3 ข้าวเมล็ดท้องไข่ ไม่เกินร้อยละ 7.0

4.2.4 ข้าวเมล็ดเสีย ไม่เกินร้อยละ 1.0

4.2.5 ข้าวเหนียว ไม่เกินร้อยละ 2.0

4.3 ระดับการขัดสี สีดีปานกลาง

ตารางที่ 3-1 แสดงลักษณะเมล็ดข้าวแต่ละแบบตามนิยามของพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออก เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) (2559, หน้า 3)

ชื่อ	ภาพลักษณะเมล็ดข้าว	นิยาม
ข้าวเต็มเมล็ด		เมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาพเต็มเมล็ด ไม่มีส่วนใด หักและให้รวมถึงเมล็ดข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 9 ส่วนขึ้นไป
ข้าวหัก		เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไป แต่ ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ไม่ถึงร้อยละ 80 ของเมล็ด

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

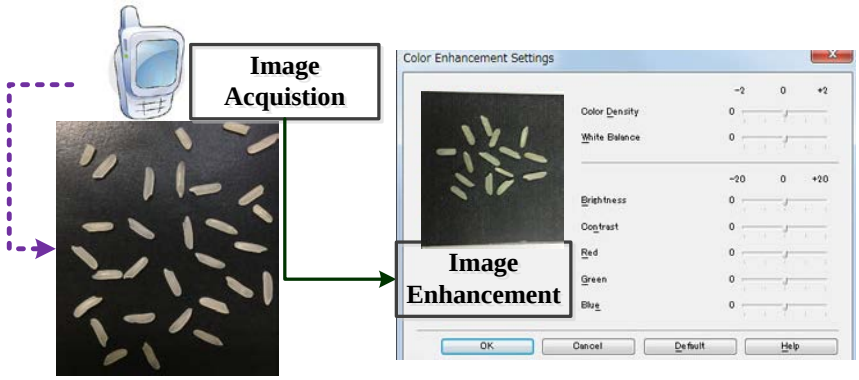
ชื่อ	ภาพลักษณะเมล็ดข้าว	นิยาม
ปลายข้าวซีวัน		เมล็ดข้าวหักขนาดเล็กที่ร่อนผ่าน ตะแกรงเบอร์ 7
ข้าวเมล็ดขัดสีต่ำกว่ามาตรฐาน		เมล็ดข้าวที่ ผ่านการขัดสีต่ำกว่าระดับการขัดสีที่กำหนดไว้สำหรับข้าวแต่ละชนิด
ข้าวเมล็ดเหลือง		เมล็ดข้าวที่มีบางส่วนหรือทั้งเมล็ด กลายเป็นสีเหลืองอย่างชัดแจ้ง
ข้าวเมล็ดท้องไข่		เมล็ดข้าวเจ้าที่เป็นสีขาวขุ่นเหมือน ชอล์กมีเนื้อที่ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปของเนื้อที่เมล็ดข้าว
ข้าวเมล็ดเสีย		เมล็ดข้าวที่เสียอย่างเห็นได้ชัดแจ้งด้วย ตาเปล่าซึ่งเกิดจากความชื้น ความร้อน เชื้อรา แมลง หรืออื่น
ข้าวเมล็ดลีบ		เมล็ดข้าวที่ไม่เจริญเติบโตตาม ธรรมดาที่ควรจะเป็น มีลักษณะแฟบ แบน
ข้าวเปลือก		ข้าวที่ยังไม่ผ่านการกะเทาะเอาเปลือกออก
ข้าวเมล็ดอ่อน		เมล็ดข้าวที่มีสีเขียวอ่อนได้จาก ข้าวเปลือกที่ยังไม่แก่
ข้าวเหนียว		เนื้อเมล็ดขุ่นกว่าข้าวเจ้า
เมล็ดพืชอื่น		เมล็ดพืชอื่น ๆ ที่มิใช่เมล็ดข้าว

จากข้อมูลข้างต้นตรวจสอบรายละเอียดของวัตถุ (ข้าวและสิ่งที่อาจมีปนได้) ให้เป็นไปตามคุณลักษณะและนิยามข้างต้น โดยทีมผู้เชี่ยวชาญจากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการถ่ายภาพดิจิทัล เพื่อสร้างข้อมูลที่นำเข้าระบบอย่างถูกต้องอันจะส่งผลถึงการจัดกลุ่มข้าวอย่างถูกต้องต่อไป

พร้อมทั้งมีการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาภายหลังจากการได้ภาพดิจิทัลอีกครั้งโดยทีมผู้เชี่ยวชาญจากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีชุดเดิม ดำเนินการตรวจสอบข้อมูลอีกครั้ง

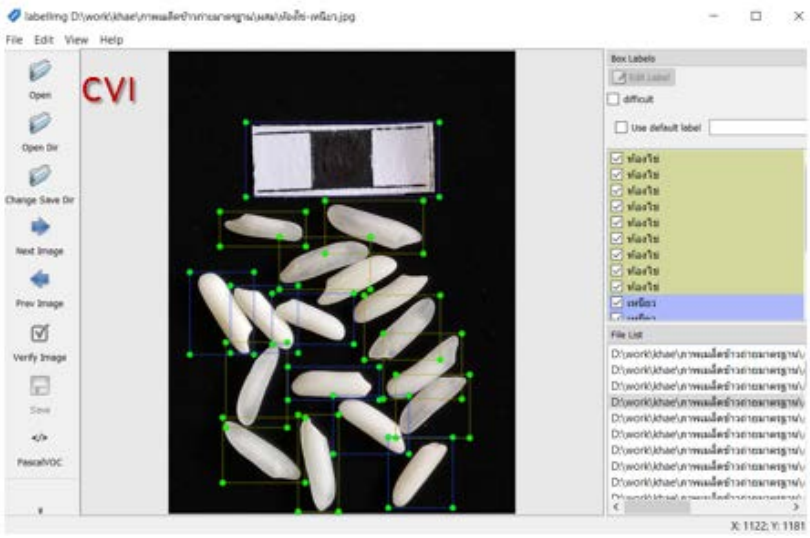
รายละเอียดการดำเนินงานเพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก ในภาพที่ 3-11 เริ่มจากการคัดเลือกเมล็ดพันธุ์ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการพัฒนาโดยทีมนักวิชาการนำโดยคุณกัญญา เชื้อพันธุ์ นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว จากนั้นนำมาถ่ายภาพดิจิทัล ซึ่งมีการดำเนินงานดังแสดงรายละเอียดด้านล่างนี้

1. การนำภาพเข้าสู่กระบวนการสร้างโปรแกรมการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ ผ่าน User Interface นั่นคือ จอภาพ และปุ่มบันทึกภาพ (ส่วนที่นำข้อมูลเข้าและแสดงผลข้อมูล เชื่อมระหว่างอุปกรณ์กับคน)



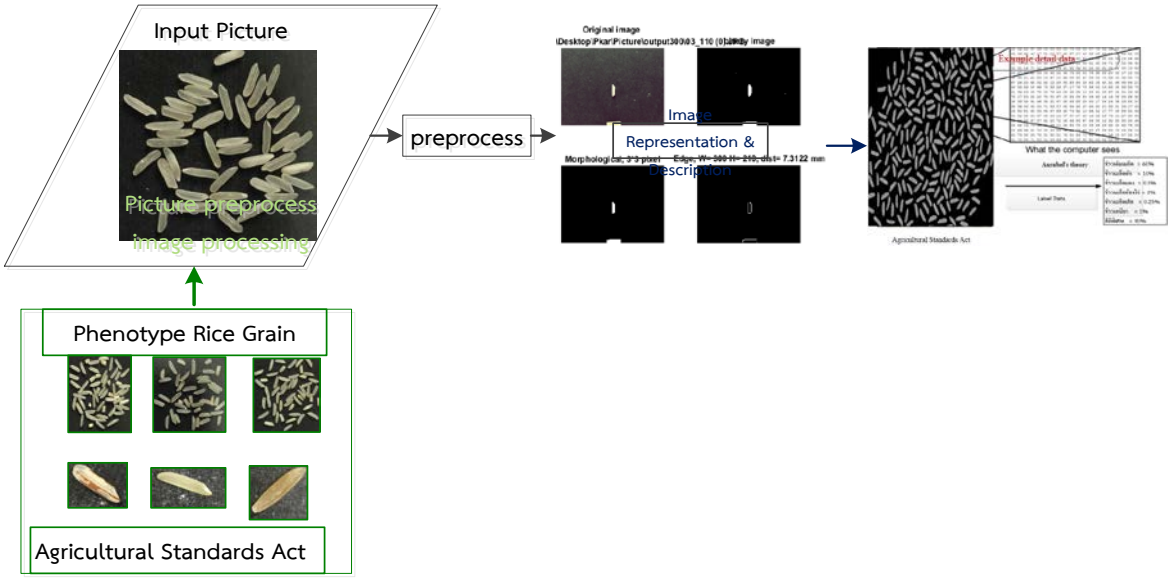
ภาพที่ 3-12 การนำภาพดิจิทัลที่ได้จากการถ่ายวัตถุจริงมาเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงภาพเบื้องต้น

2. นำภาพดิจิทัลมา label ข้อมูลภายใน โดยใช้ทฤษฎีการเรียนรู้อย่างมีความหมายออซูเบล (Ausubel) หรือ Subsumption Theory ประกอบการดำเนินงาน เพื่อให้ข้อมูลที่ใส่ความหมายเชื่อมโยงความรู้ที่ปรากฏในเอกสารกับความรู้เดิมที่ทำการสอนโดยวิธีการให้ข้อมูลข่าวสาร



ภาพที่ 3-13 การนำภาพแต่ละภาพมาทำการ label ข้อมูลภายใน

3. นำภาพที่ label ข้อมูลภายในเรียบร้อย เข้าสู่กระบวนการที่ปรับปรุงภาพเพื่อลดสัญญาณรบกวน



ภาพที่ 3-14 นำภาพเข้าสู่กระบวนการ Image Processing ปรับปรุงภาพ

4. นำภาพทั้งเมล็ดข้าวทุกชนิดทั้งแบบเดี่ยวและกลุ่ม มาทำการ Training Data โดยจำนวนภาพที่นำมาใช้งานทุกชนิด คำนวณได้จากสูตรทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

การจัดหมู่ (Combination) เป็นการหาจำนวนของสิ่งของ n สิ่ง ที่แตกต่างกันทั้งหมด โดยต้องการเลือกของ r สิ่งมาจากของ n สิ่ง ไม่สนใจลำดับ

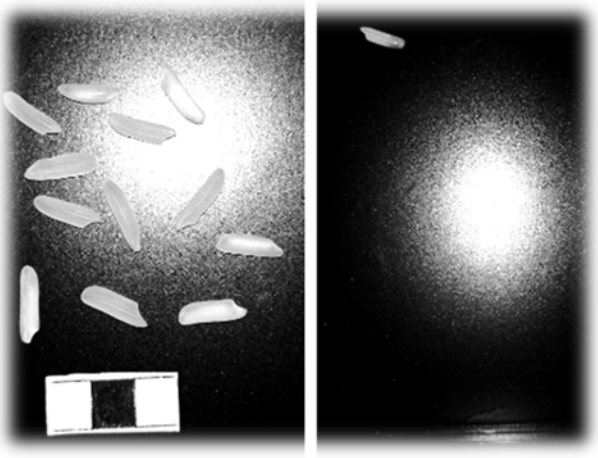
$$C_{n,r} = \binom{n}{r} = \frac{n!}{(n-r)!\,r!}$$

เป็นการประมาณการณ์เบื้องต้นสำหรับจำนวนภาพตามหลักการทั้งนี้จำนวนสิ่งของ n สิ่งที่ต่างกันตามสูตรทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้ คือ ชนิดของข้าวที่เป็นส่วนผสมภายในที่จำแนกประเภทข้าวขาว 100 เปอร์เซ็นต์ 5 เปอร์เซ็นต์ 10 เปอร์เซ็นต์ และ15 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้ในการจำแนกเปอร์เซ็นต์ (ได้มีการนิยามศัพท์เฉพาะไว้ที่บทที่ 1 หน้า 14-15) มีดังนี้

1. ความใสและขนาด ประกอบด้วย ข้าวเต็มเมล็ด ข้าวหัก และปลายข้าวชีวัน
2. ความขุ่นและสี ประกอบด้วย ข้าวเมล็ดเหลือง ข้าวเมล็ดท้องไข่ ข้าวเมล็ดเสีย และข้าวเหนียว
3. พื้นผิวภายนอก ประกอบด้วย ข้าวเมล็ดขัดสีต่ำกว่ามาตรฐาน และข้าวเปลือก
4. อื่นๆ ประกอบด้วย ข้าวเมล็ดลีบ ข้าวเมล็ดอ่อน เมล็ดพืชอื่น ข้าวกล้อง และวัตถุอื่น (แกลบ เศษวัตถุ (กรวดขนาดเล็ก))

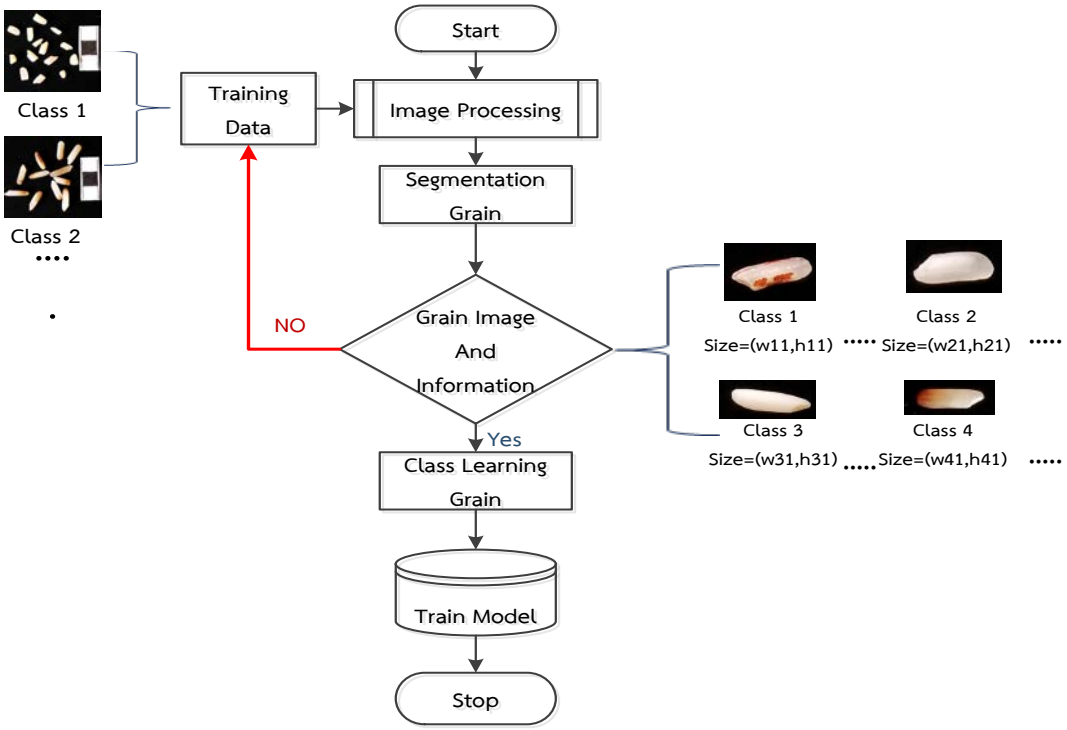
นำข้อมูลทั้ง 12 คุณลักษณะข้างต้นมามาสร้างเป็นภาพรวม 2,129 ภาพ จากนั้นนำภาพทั้งหมดมาคัดเลือกด้วยตาเปล่าอย่างง่ายก่อนนำเข้าระบบ สำหรับภาพที่ไม่สามารถนำเข้าสู่

กระบวนการ Training Data คือ ภาพที่ปริมาณแสงไม่เพียงพอ หรือมากเกินไปจนทำให้เกิดสัญญาณรบกวนจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ ดังตัวอย่างภาพที่ 3-15

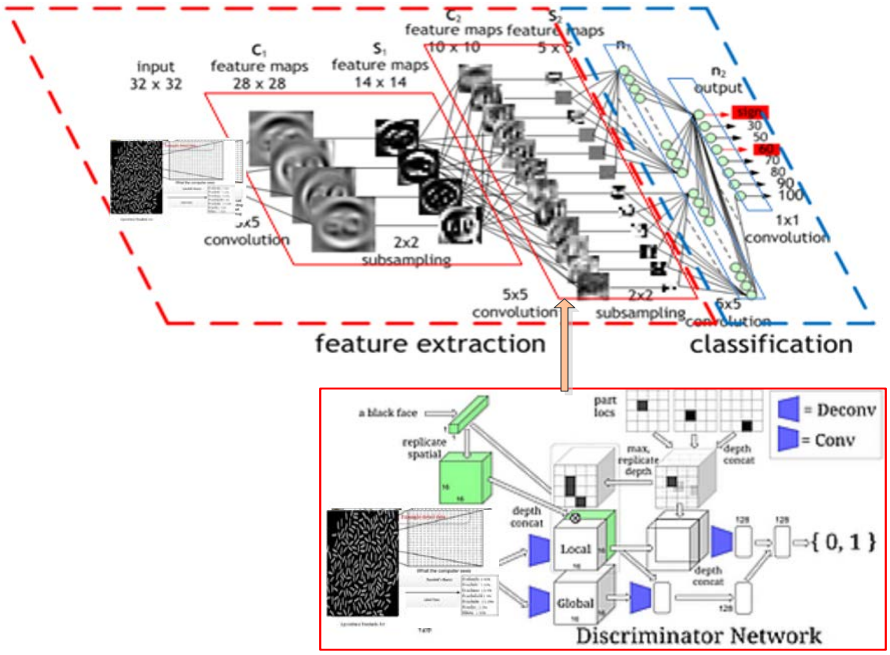


ภาพที่ 3-15 ตัวอย่างภาพที่ไม่เหมาะสมที่คัดออกก่อนนำไป Training Data

5. จากจำนวนภาพในข้อ 4 คงเหลือภาพที่สามารถนำไปใช้ได้ 1,869 ภาพสำหรับการฝึกอบรมตามประเภทของข้าว 4 ชนิดและแต่ละชนิดมี 4 กลุ่มและ 15 คุณลักษณะเหมือนกัน โดยระบบจะทำการสุ่มเลือกภาพมาครั้งละ 15 ภาพเพื่อทดสอบแต่ละชุดข้อมูลประกอบด้วย 25 ชั้น (375ภาพ) ทำเช่นนี้ 4 รอบในแต่ละรอบใช้เงื่อนไขเปลี่ยนตามประเภทของข้าว โดยในขั้นตอนการฝึกใช้ภาพประมาณ 1,500 กว่าภาพ ซึ่งเป็นขั้นตอนของการกระบวนการ Convolutional Neural Networks (CNN) โดยใช้เทคนิค Discriminator Network ดำเนินการในส่วนของ Feature Extraction ดังภาพที่ 3-16 และ 3-17

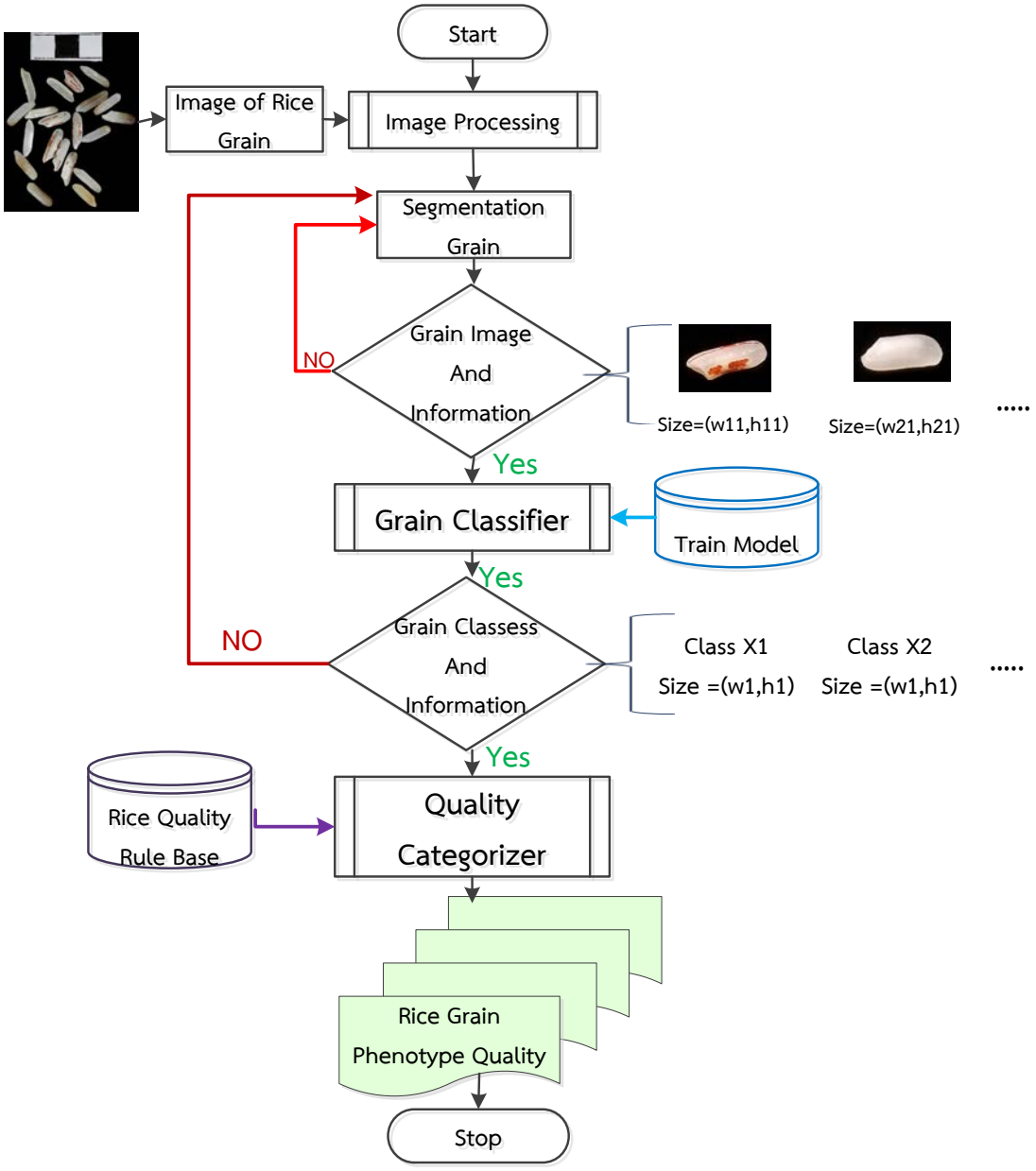


ภาพที่ 3-16 รายละเอียดการนำเข้าภาพแสดงกระบวนการ Training Data 1 รอบใน 1 เงื่อนไข



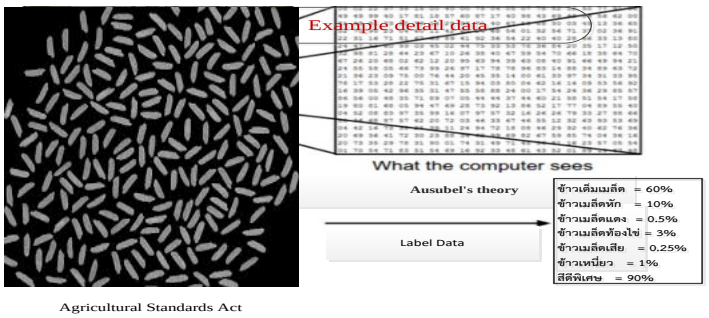
ภาพที่ 3-17 กระบวนการ Convolutional Neural Networks (CNN) โดยใช้เทคนิค Discriminator Network ดำเนินการในส่วนของ Feature Extraction

6. ดำเนินการจัดกลุ่ม ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว มีการประกาศในราชกิจจานุเบกษาของกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559 และนำภาพที่เหลือมาผสมกับภาพที่ใช้ฝึกอบรมแล้วเล็กน้อยไปทำการทดสอบต่อไป



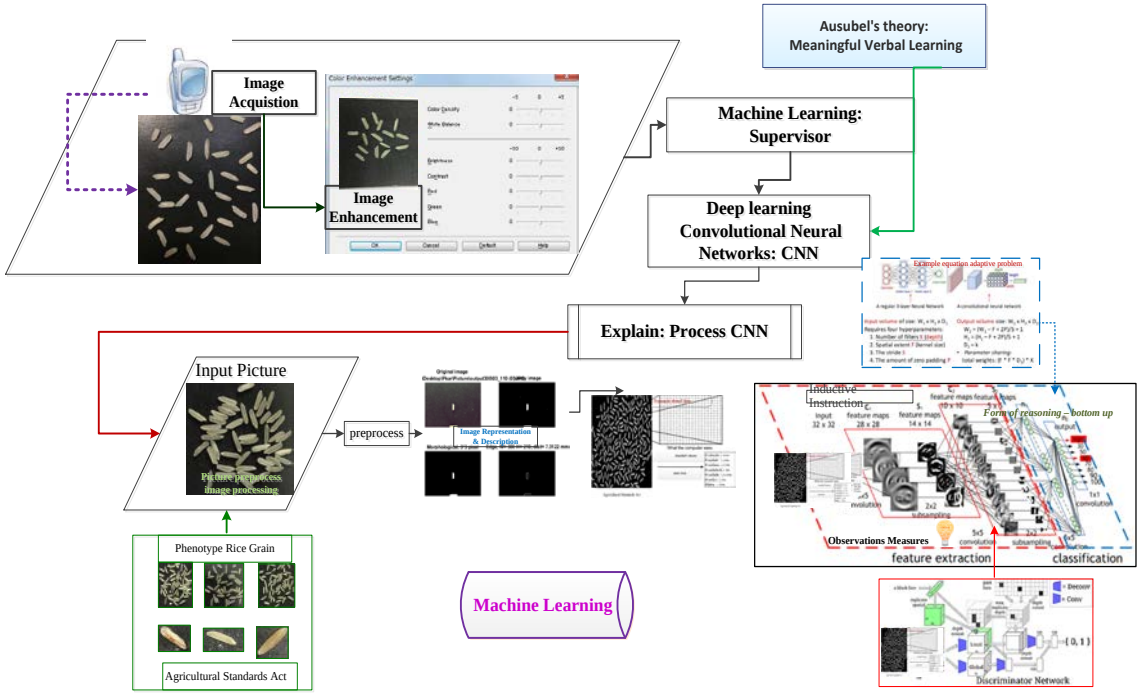
ภาพที่ 3-18 ขั้นตอนการจัดกลุ่มคุณภาพเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ ด้วยหลักการทำงานของเทคนิค Deep Learning

โดยมีตัวอย่างแสดงในภาพที่ 3-19 เป็นการนำภาพเข้าสู่กระบวนการทดสอบตามเทคนิค Deep Learning



ภาพที่ 3-19 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลภาพภายในเพื่อนำไปจัด Classification ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว ประกาศในราชกิจจานุเบกษาของกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559

ท้ายที่สุดแล้วจะได้ ระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

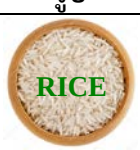


ภาพที่ 3-20 สรุปการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

ส่วนที่ 3 การพัฒนา User Interface เพื่อติดต่อระหว่าง คนกับเครื่อง

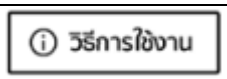
เป็นการนำโปรแกรมในส่วนที่ 2 และ Flow Chart ของการออกแบบในระยะที่ 1 มาผสานกันเพื่อสร้างเป็นหน้าแอปพลิเคชันที่พร้อมทำงานระหว่างคนกับเครื่อง ดังนี้

ตารางที่ 3-2 ขั้นตอนการดำเนินงานของแอปพลิเคชัน Rice Grain Phenotype Thailand เริ่มต้นการทำงาน

ขั้นตอน	รูป	รายละเอียด
Input		Short cut หน้าจอมือถือ กดไปที่ปุ่มเพื่อเปิดการทำงานของหน้าแรก
Process 1		เมื่อกดปุ่มจะสู่ระบบ link ไปหน้า page แรก ดังภาพ
Process 2		เมื่อกดปุ่มจะแสดงสีเขียวเข้มเพื่อบอกสถานะพร้อมทำงาน ไม่พร้อมทำงาน สีปุ่มจะยังคงจางเหมือนเดิม
Output		- พร้อมทำงานจะไปหน้าถัดไป (หน้า 2) - ไม่พร้อมทำงานจะกลับไปที่ ICON

ภาพที่ 3-21 หน้าจอเริ่มต้นการทำงาน

ตารางที่ 3-3 ขั้นตอนการดำเนินงานของแอปพลิเคชัน Rice Grain Phenotype Thailand การนำเข้าข้อมูลเพื่อเตรียมประมวลผล

ขั้นตอน	รูป	รายละเอียด
Input 1		กดปุ่มเพื่อเปิดการทำงานของกล้องโทรศัพท์ เพื่อเตรียมถ่ายภาพ
Input 2		กดปุ่มเพื่อดึงข้อมูลรูปจากโทรศัพท์ออกมาประมวลผล
Input 3		เมื่อกดปุ่มจะอธิบายวิธีการใช้งาน
Process 1		- กดปุ่มหากสถานะพร้อมจะ แสดงสีเขียวล้อมรอบปุ่ม เมื่อกดถ่ายภาพแล้วภาพจะไปแสดงใน page 3 - กดปุ่มหากสถานะไม่พร้อมจะแสดงสีแดงล้อมรอบปุ่ม จากนั้นจะกลับไปที่หากไม่พร้อมทำงานจะกลับไปที่ ICON
Process 2		- กดปุ่มหากสถานะพร้อมจะ แสดงสีเขียวล้อมรอบปุ่ม เมื่อเลือกข้อมูลเรียบร้อยแล้วภาพจะไปแสดงใน Page 3 - กดปุ่มหากสถานะไม่พร้อมจะแสดงสีแดงล้อมรอบปุ่ม จากนั้นจะกลับไปที่หากไม่พร้อมทำงานจะกลับไปที่ ICON
Process 3		ขึ้นข้อความอธิบายการทำงานของ Camera กดปุ่มแล้วจะแสดงสถานะ... Search กดปุ่มแล้วจะแสดงสถานะ....
Output 1		Camera จะได้ ภาพเมล็ดข้าวที่ถ่ายเรียบร้อยแล้วส่งต่อไปหน้าถัดไป (หน้า 3) Search จะได้ ภาพเมล็ดข้าวที่ถ่ายเรียบร้อยแล้วส่งต่อไปหน้าถัดไป (หน้า 3)
Output 2		หากไม่พร้อมทำงานจะกลับไปที่ ICON

ภาพที่ 3-22 หน้าจอการนำเข้าข้อมูลเพื่อเตรียมประมวลผล

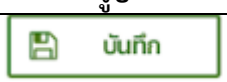
ตารางที่ 3-4 ขั้นตอนการดำเนินงานของแอปพลิเคชัน Rice Grain Phenotype Thailand การประมวลผลและแสดงผล

ขั้นตอน	รูป	รายละเอียด
Input 1	ช่วยเหลือ	ปุ่มช่วยเหลือ
Input 2	ออก	ปุ่มจบการทำงาน
Input 3	บันทึก	ปุ่มบันทึกข้อมูล
Input 4		ภาพจากการประมวลผล
Process 1	**ชนิด ข้าวขาว 100%** ข้าวเต็มเมล็ดเฉลี่ย 90% ข้าวหัก 8.9% ปลายข้าวชีวัน 0.1%	ชนิด - ข้าวเต็มเมล็ด - ข้าวหัก - ปลายข้าวชีวัน - ข้าวท้องไข่ - ข้าวเหนียว - ข้าวขัดสีไม่มาตรฐาน

ตารางที่ 3-4 (ต่อ)

ขั้นตอน	รูป	รายละเอียด
		- ข้าวเมล็ดเหลือง - ข้าวเมล็ดเสีย - อื่น ๆ (การบอกชนิด คือ ปรากฏเฉพาะเท่าที่พบในภาพเท่านั้น อะไรไม่มีไม่ต้องแสดง)
Process 2	การจัดกลุ่ม ข้าวขาว 100% ร้อยละ 99 ข้าวขาว 15% ร้อยละ 1 ข้าวขาว 10% ร้อยละ 0 ข้าวขาว 5% ร้อยละ 0	**การจัดกลุ่ม** ข้าวขาว 100% ข้าวขาว 5% ข้าวขาว 10% ข้าวขาว 15% (การจัดกลุ่ม คือ ปรากฏทุกข้อมูล แต่อะไรไม่มี ใส่ 0)
Output 1	ช่วยเหลือ	ปุ่มช่วยเหลือ อธิบายถึงหน้าที่ของปุ่มบน pageนี้ ปุ่มจบการทำงาน: ยืนยันการทำงานเสร็จสิ้นโดยจะสอบถามว่าต้องการจบการทำงาน (OK) หรือยังไม่ต้องการ (Cancel) ปุ่มบันทึกข้อมูล: แจ้งการบันทึกแสดง 2 รูปแบบให้เลือก 1. บันทึกลงโทรศัพท์ 2. บันทึกลง SD Cade
Output 2	ออก	ปุ่มจบการทำงาน จะมี Block ให้เลือกหลังจากกดปุ่ม - คำถาม คุณต้องการออกจากระบบ -คำตอบ ใช่/ไม่ใช่

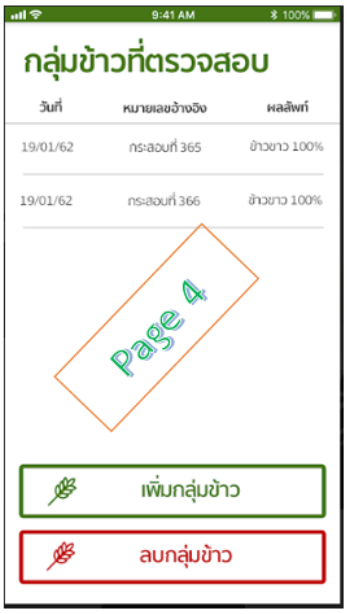
ตารางที่ 3-4 (ต่อ)

ขั้นตอน	รูป	รายละเอียด
Output 3		ปุ่มบันทึกข้อมูล: ส่งรายงานไป Page 4 แจ้งการบันทึกแสดง 2 รูปแบบให้เลือก 1. บันทึกลงโทรศัพท์ 2. บันทึกลง SD Cade
Output 4	**ลักษณะข้อมูลที่บันทึก**	การนำเข้าภาพตั้งต้น (ชื่อที่ผู้ระบุตั้งแต่แรก) **ชนิด ข้าวขาว 100%** ข้าวเต็มเมล็ดเฉลี่ย 90% ข้าวหัก 8.9% ปลายข้าวชีวัน 0.1% **การจัดกลุ่ม** ข้าวขาว 100% ร้อยละ 99 ข้าวขาว 15% ร้อยละ 1 ข้าวขาว 10% ร้อยละ 0 ข้าวขาว 5% ร้อยละ 0

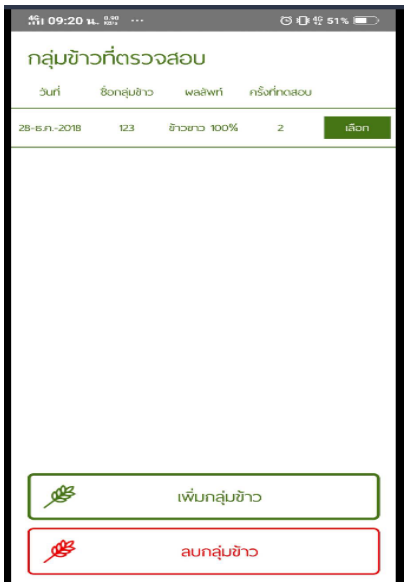
ภาพที่ 3-23 การประมวลผลและแสดงผล

ตารางที่ 3-5 ขั้นตอนการดำเนินงานของแอปพลิเคชัน Rice Grain Phenotype Thailand การเพิ่มและลบข้อมูล พร้อมแสดงสถานะของข้อมูลเดิมที่เคยประมวลผล

ขั้นตอน	รูป	รายละเอียด
Input 1		ปุ่มเพิ่ม
Input 2		ปุ่มลบ
Input 3		ข้อมูลจาก Page 3
Process 1		ปุ่มเพิ่ม: ไปดำเนินการใน Page 2 เพื่อส่งออกไปประมวลผลใน Page 3
Process 2		ปุ่มลบ: ลบภาพที่ได้จาก Page 2 แล้วกลับไป ทำซ้ำใน Page 2 อีกครั้ง
Output 1		ปุ่มเพิ่ม: เมื่อกดแล้วจะค่อย ๆ ไล่ระดับการ Process ไปเรื่อย ๆ เมื่อเสร็จ ก็จะเปลี่ยนเป็นสีทึบ ประมาณ 2 วินาที จะเปลี่ยนหน้าไป Page 3
Output 2		ปุ่มลบ: กลับไป ทำซ้ำใน Page 2 อีกครั้ง
Output 3	รายงานผล	



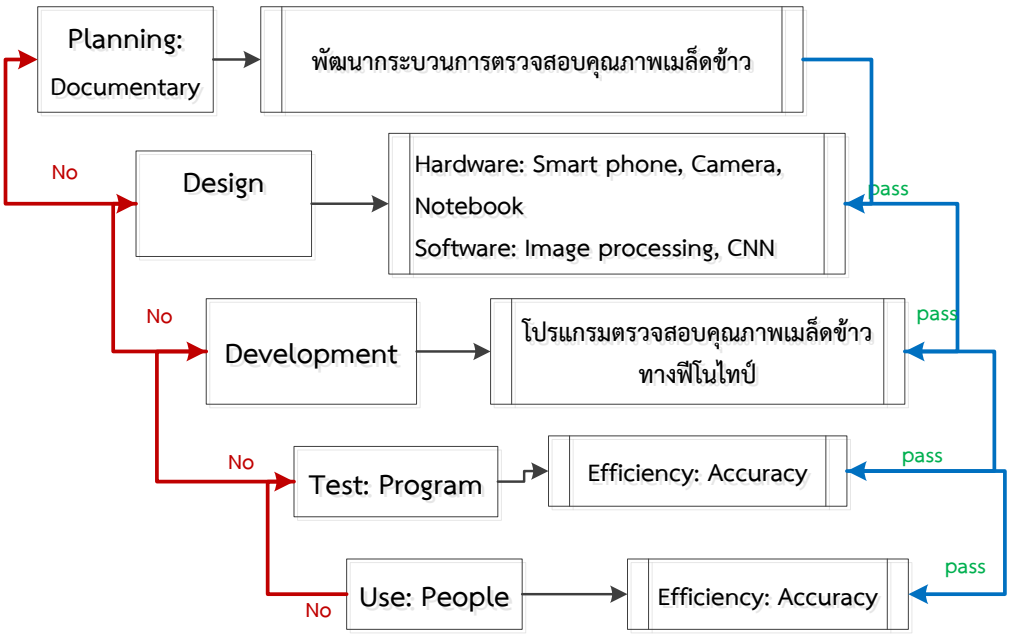
ภาพที่ 3-24 การเพิ่มและลบข้อมูล พร้อมแสดงสถานะของข้อมูลเดิมที่เคยประมวลผล



ภาพที่ 3-25 การแสดงข้อมูลที่ได้บันทึกไว้ในแต่ละครั้งที่วิเคราะห์ผล

ระยะที่ 3 การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นสำหรับการแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าวโดยผู้เชี่ยวชาญ

การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์เมล็ดข้าว ใช้ทฤษฎีวงจรการพัฒนาระบบ System Development Life Cycle (SDLC) วางรูปแบบกระบวนการทำงานแบบ Adapted Waterfall (Massey & Satao, 2012, pp. 170-177) ดังภาพที่ 3-26



ภาพที่ 3-26 การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ โดยใช้ทฤษฎีวงจรการพัฒนาระบบ System Development Life Cycle (SDLC) รูปแบบกระบวนการทำงานแบบ Adapted Waterfall

การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ โดยใช้ทฤษฎีวงจรการพัฒนาระบบ System Development Life Cycle (SDLC) รูปแบบกระบวนการทำงานแบบ Adapted Waterfall ในภาพที่ 3-26 มีรายละเอียดดังนี้

1. การวางแผน (Planning: Documentary) พัฒนากระบวนการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว จากงานวิจัยทั้งในประเทศไทย และต่างประเทศมีพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ ที่นิยมใช้ คือ เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว จักรพงษ์ ศรีริบาล และคณะ (2556); ชาญชัย นามพล (2558); สุชาติ แย้มแม่น (2559); Hanibah et al. (2014); Kambo and Yerpude (2014); Liu et al. (2017) และ Shantaiya and Ansari

(2010) ใช้คุณสมบัติเหล่านี้เพื่อจำแนกและจัดหมวดหมู่ แล้วแต่เกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนด หรือบางรายอาจจะใช้เกณฑ์มาตรฐานอื่น ๆ ที่บริษัทกำหนดมาร่วมพิจารณา

2. ด้านซอฟแวร์ในการประมวลผล ด้วยเทคนิคการประมวลภาพดิจิทัล (Image Processing) เป็นการเตรียมข้อมูลภาพ (ภาพต้นฉบับที่ถ่ายมาจริง (RGB)) นำมาปรับปรุงข้อมูลภาพในส่วนที่ไม่คมชัด กำจัดสัญญาณรบกวน (Noise)

เพื่อให้ภาพนั้นเปลี่ยนแปลงเหมาะสมกับการประมวลผลหรือการรับรู้ด้วยเครื่องจักรอย่างอัตโนมัติ (Autonomous Machine Perception) อันจะช่วยให้คอมพิวเตอร์หรือเครื่องจักรสามารถประมวลผลได้อย่างแม่นยำ

3. ทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว มีการตรวจสอบความถูกต้อง หรือ ความแม่นยำ (Accuracy) ตามเกณฑ์การแบ่งกลุ่มมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทยโดยผู้เชี่ยวชาญ เกินกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ และความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error (RMSE)) น้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

4. ทดสอบระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นไปตรวจสอบคุณภาพข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย สำหรับประเด็นนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดในระยะที่ 4 ต่อไป

การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นสำหรับการแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว

การแสดงผลข้อมูลจำแนกตามชั้นคุณภาพของข้าวหอมมะลิไทยประเภทข้าวขาว ที่กำหนดโดยพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว มาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559

- ข้าวขาว 100 %
- ข้าวขาว 5 %
- ข้าวขาว 10 %
- ข้าวขาว 15 %

ดำเนินการโดยนำเมล็ดข้าวมาถ่ายภาพดิจิทัลแล้วประมวลผลโดยโปรแกรม จากนั้นนำคำตอบจากโปรแกรมที่ได้มาเทียบกับผลเฉลยที่ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ แล้วตรวจสอบความแม่นยำดังภาพที่ 3-24

		ค่าทำนาย (Predicted)	
		ปฏิเสธ (False / Negative)	**ยอมรับ (True / Positive)**
ค่าความจริง (Actual)	**ปฏิเสธ (False / Negative)**	**a**	**b**
	ยอมรับ (True / Positive)	**c**	**d**
ค่าความถูกต้อง (Accuracy)		**Acc**	

ภาพที่ 3-27 วิธีการวัดประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว

ค่าความแม่นยำ (False Positive Rate/Precision: Pr) เป็นอัตราส่วนของการค้นพบภาพที่ถูกต้องจากจำนวนภาพทั้งหมดที่ทำการค้นหามาได้

$$Pr = \frac{a}{(a+b)}, a+b>0$$

ค่าความระลึก (True Positive Rate/Recall: Re) เป็นอัตราส่วนของการค้นภาพที่ถูกต้องจากจำนวนภาพที่ถูกต้องทั้งหมด

$$Re = \frac{a}{(a+c)}, a+c>0$$

ค่าความถูกต้อง (Accuracy: Acc) เป็นอัตราส่วนของการค้นพบภาพที่ถูกต้องทั้งหมดจากจำนวนภาพที่มีอยู่

$$Acc = \frac{(a+d)}{(a+b+c+d)}$$

การแปลผลคือ

Precision ค่าเข้าใกล้ 1 หมายความว่า ระบบเข้าใจผิดน้อย (Exactness)

Recall ค่าเข้าใกล้ 1 หมายความว่าระบบตกหล่นน้อย (Completeness)

ค่า F-measure เป็นการวัดประสิทธิภาพ จากค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความระลึกและค่าความแม่นยำในเชิงฮาร์โมนิค (Harmonic) เหมาะสำหรับฐานข้อมูลสารสนเทศที่มีขนาดใหญ่ และไม่ทราบว่าข้อมูลภาพที่ถูกต้องทั้งหมดมีอยู่เท่าใด หรือการหาค่าความคลาดเคลื่อนของโปรแกรม

ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$F = \frac{2(Pr * Re)}{(Pr + Re)}$$

นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบประสิทธิภาพเพิ่มเติมในประเด็นของ ความถูกต้อง หรือความแม่นยำ (Accuracy) และความคลาดเคลื่อนโดยประมาณ (Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA))

โดยที่ความถูกต้อง เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของเครื่องมือวัด (Instrument) ในการอ่านค่าหรือแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริง

%Accuracy = 100 - %Error

และค่าความคลาดเคลื่อน จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ใช้วัดความแตกต่างระหว่างค่าที่คาดการณ์ไว้ตามแบบจำลองและค่าที่สังเกตได้จริงจากสภาพแวดล้อมที่ถูกจำลอง

ระยะที่ 4 การตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นไปตรวจสอบคุณภาพข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย

ดำเนินการตรวจสอบความสามารถของเครื่องมือวัด (instrument) ในการอ่านค่าหรือแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริง(ความถูกต้อง) โดยนำคำตอบที่ได้จากโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับผลเฉลยหน้าซองบรรจุภัณฑ์

$$\%Accuracy = 100 - \%Error$$

กลุ่มตัวอย่าง

เลือกโดยไม่ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น (Non–Probability Sampling) ใช้การเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) คือ เมล็ดข้าวหอมมะลิจากบริษัทผู้จำหน่ายข้าวหอมมะลิ (ข้าวขาว) ในประเทศไทย บรรจุในถุงขนาด 5 กิโลกรัม ช่วงการผลิตตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2561

ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย

ตัวแปรต้น คือ ระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว

ตัวแปรตาม คือ จำแนกประเภทของเมล็ดข้าว

การวัดตัวแปรตาม วัด 3 ด้าน คือ ขนาดและรูปร่าง ผิวสัมผัส สี นำมาแบ่งกลุ่มตามคุณภาพของสินค้าข้าวให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว มีการประกาศในราชกิจจานุเบกษาของกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือที่เป็นบุคคล เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดตัวแปรตาม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือที่เป็นบุคคล ประกอบด้วย
   1.1 ผู้เชี่ยวชาญ (นักวิชาการการเกษตร) เกี่ยวกับการตรวจคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว
   1.2 นักวิจัยที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว
2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ
   2.1 เครื่องมือประเภทฮาร์ทแวร์ ประกอบด้วย
      - เวอร์เนียคาลิปเปอร์ เป็นเครื่องมือวัดขนาดของเมล็ดข้าวโดยตรง
      - กล้องถ่ายรูป
      - สมาร์ทโฟน
      - คอมพิวเตอร์

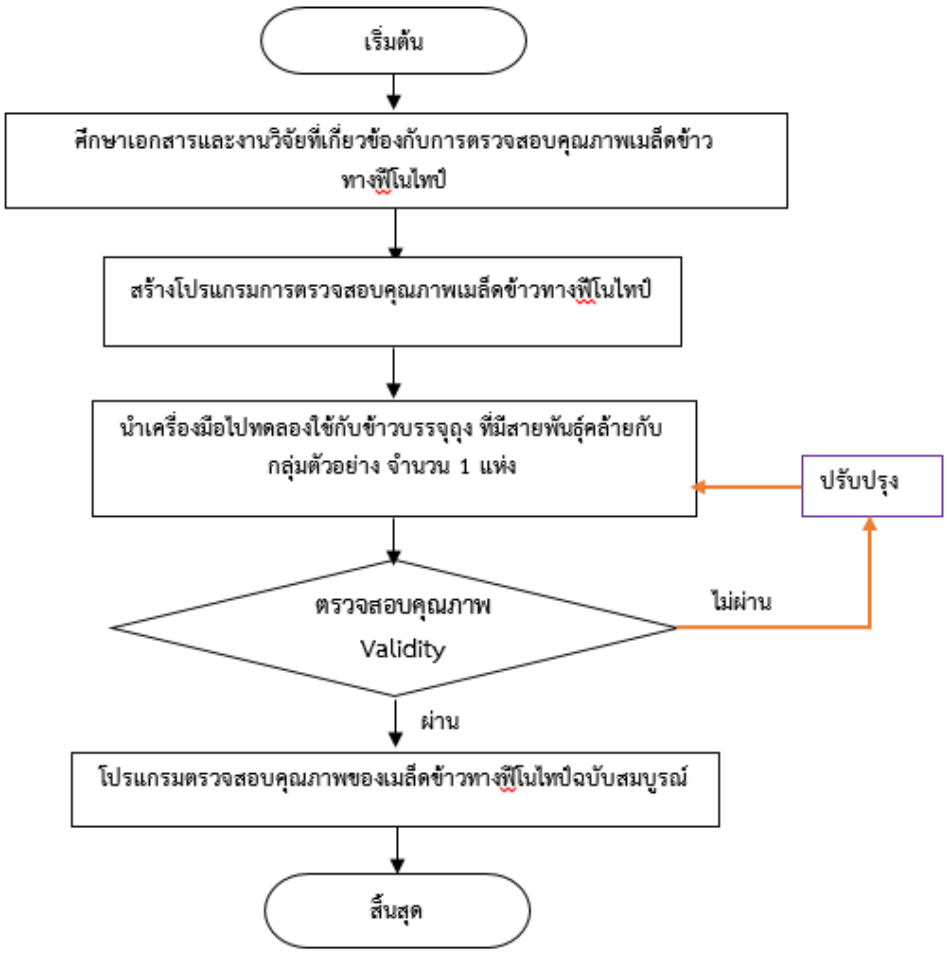
2.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้พัฒนาเพื่อตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว

- C/C ++ คือภาษาที่ใช้พัฒนาโปรแกรม
- MATLAB
- Qt 4.7 Develop Application
- Open CV
- Android studio

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวัดตัวแปรตาม

เครื่องมือ (โปรแกรม) ที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพของทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว โดยสามารถระบุกลุ่มเมล็ดข้าวตามเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงพาณิชย์กำหนดได้อย่างความถูกต้อง หรือความแม่นยำ (Accuracy) ตามเกณฑ์การแบ่งกลุ่มมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทยโดยผู้เชี่ยวชาญ เกินกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

การสร้างโปรแกรมตรวจสอบคุณลักษณะทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว สามารถแสดงขั้นตอนการทำงานเป็นผังงาน ดังภาพที่ 3-28

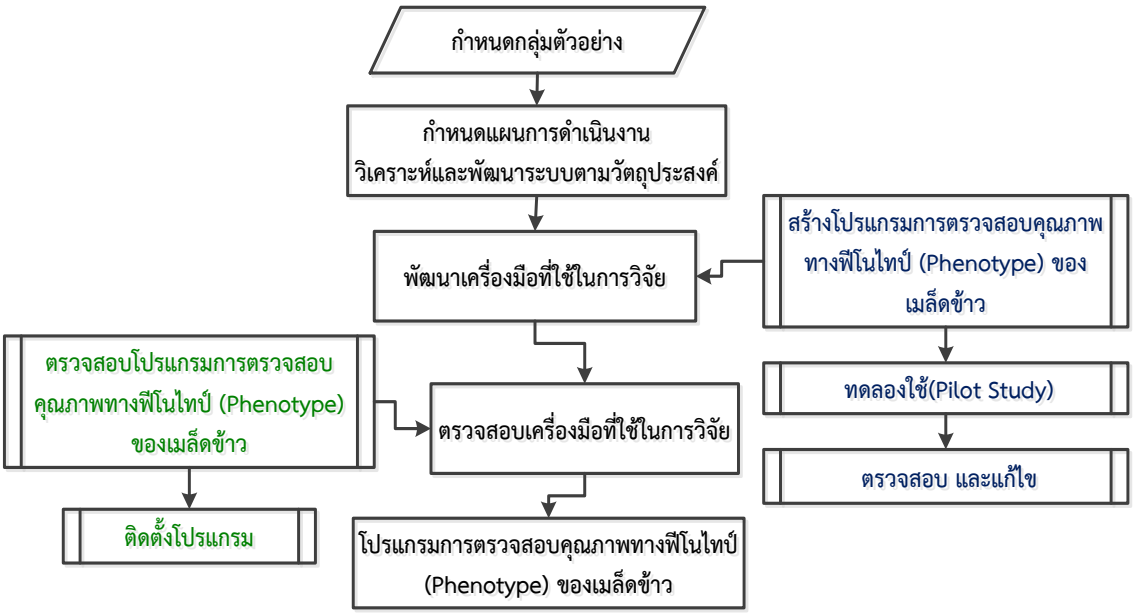


ภาพที่ 3-28 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรมตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว

จากภาพที่ 3-28 การตรวจสอบความเที่ยงตรงดำเนินการตรวจสอบเชิงเนื้อหา(Content Validity) เป็นการตรวจสอบข้อมูลในภาพดิจิทัลอ้างอิงกับ นิยามของพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออก เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) (2559, หน้า 3) โดยผู้เชี่ยวชาญจากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี

วิธีดำเนินการทดลอง

งานวิจัยนี้ มีขั้นตอนการดำเนินงานโดยรวมดังภาพที่ 3-29



ภาพที่ 3-29 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

กำหนดแผนการดำเนินงานวิเคราะห์และพัฒนาระบบตามวัตถุประสงค์ดำเนินการ ดังนี้

1. เพื่อออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning)
2. เพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวด้วยการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning)
3. เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นสำหรับการแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าวโดยผู้เชี่ยวชาญ
4. เพื่อนำระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นไปตรวจสอบคุณภาพข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย

การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ดำเนินการดังนี้

สร้างข้อมูลต้นแบบการพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์ โดยใช้เครื่องเรียนรู้ด้วยตัวเอง ใช้เมล็ดข้าวพันธุ์ข้าวขาวที่สมบูรณ์ตามเกณฑ์มาตรฐานกระทรวงพาณิชย์ พ.ศ.2559 ของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ที่นำไปให้เกษตรกรในจังหวัดปทุมธานีปลูก คัดเลือกให้ได้เมล็ดต้นแบบตามหลักวิชาการ และเกณฑ์มาตรฐาน(ผู้เชี่ยวชาญดำเนินการ)

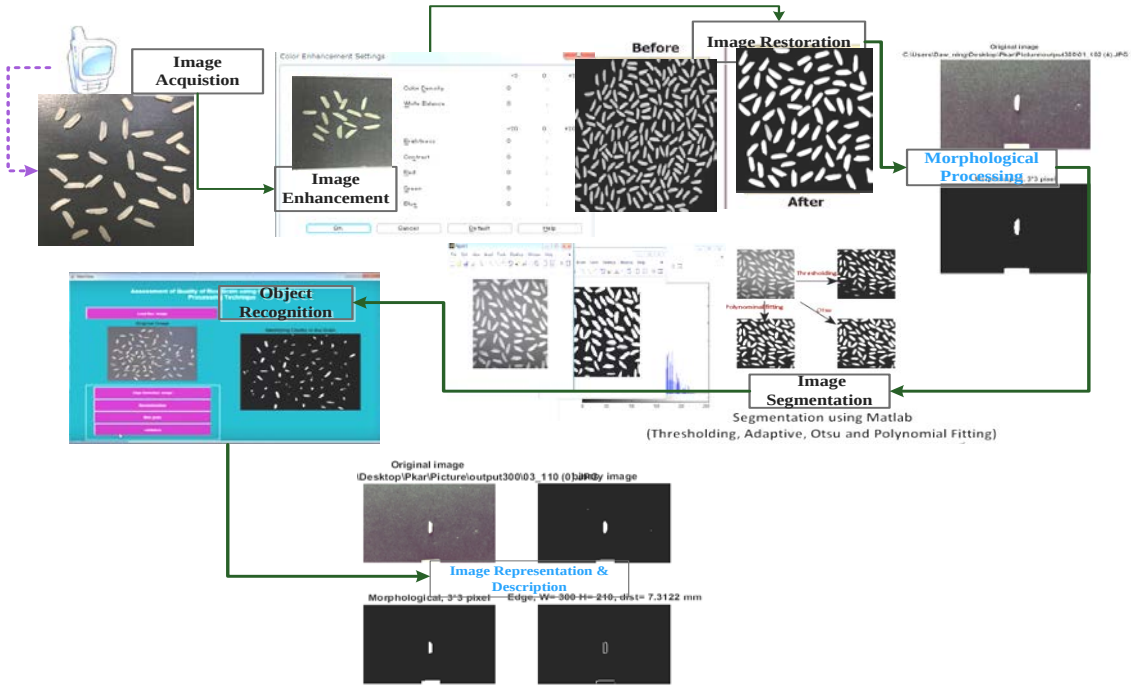
1. นำภาพต้นแบบที่ได้มาดำเนินการโดยหลักการประมวลผลภาพ (Image Processing) เป็นการนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณโดยผสมผสาน เทคนิคของ (อรฉัตร จิตต์โสภักตร์, 2552, หน้า 30-32 และ นุชรี ธรรมโชติ, 2557 หน้า 20-24) เพื่อให้สอดคล้องกับงานวิจัย ตามภาพภาพที่ 3-29

1.1 การรับภาพและการได้มาของภาพ (Image Sensing and Acquisition)

1.2 การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement and Restoration)

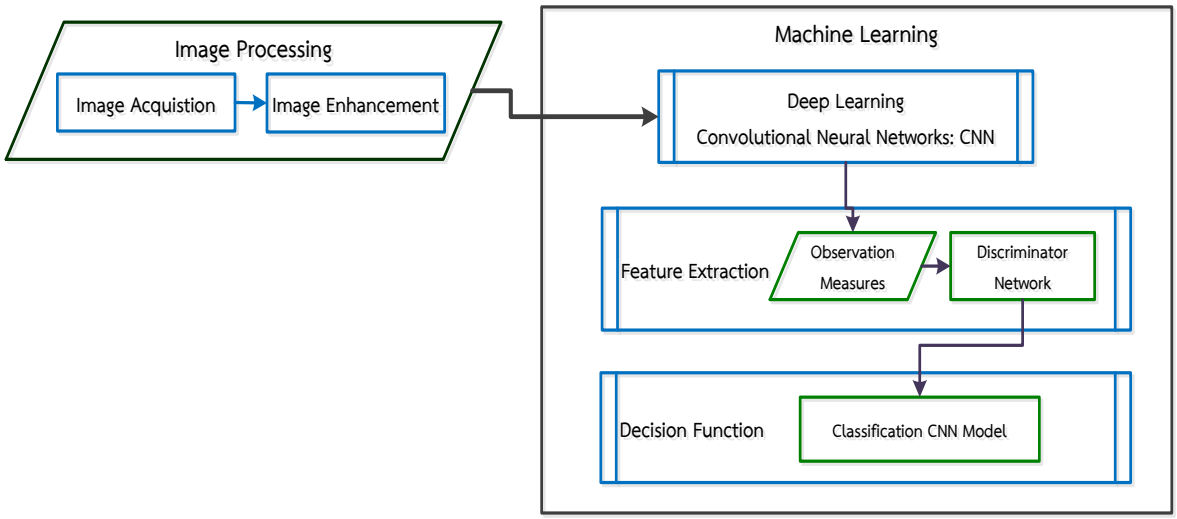
1.3 การบีบอัดภาพ (Image Compression)

1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพ (Image Analysis)



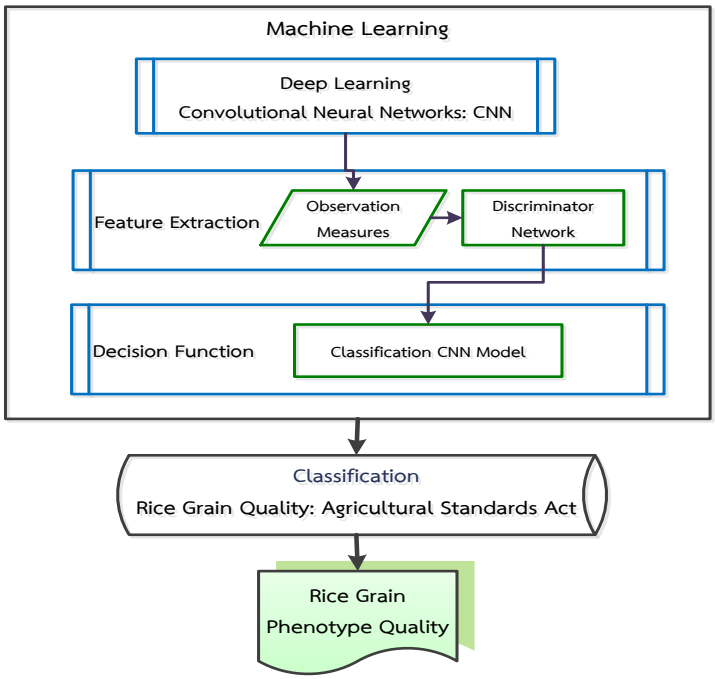
ภาพที่ 3-30 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพ

2. นำภาพต้นแบบที่ได้จาก 1 มาเข้าสู่กระบวนการที่ทำให้เครื่องจักรเกิดการเรียนรู้ (Machine Learning) เป็นการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ใช้สถาปัตยกรรมการเรียนรู้ คือ Convolutional Neural Networks (CNN)



ภาพที่ 3-31 การเข้าสู่กระบวนการเรียนรู้โดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึก

3. แบ่งกลุ่มข้อมูล ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว มีการประกาศในราชกิจจานุเบกษาของกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559 และแสดงผลข้อมูลจำแนกตามชั้นคุณภาพของข้าวหอมมะลิไทยประเภทข้าวขาว



ภาพที่ 3-32 การแบ่งกลุ่มข้อมูลและแสดงผล

ตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ทดสอบหน้าที่ของโปรแกรมตามความต้องการที่กำหนดโดยผลลัพธ์จากข้อมูลนำเข้าที่ให้กับโปรแกรมต้องถูกต้อง ดำเนินการตรวจสอบโดย คุณกัญญา เชื้อพันธุ์ และคณะทำงานด้านการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว ณ ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี โดยท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ในระดับนักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษทางด้าน “Physical Quality of Rice Grain” การอบรมนานาชาติ หลักสูตรการ วิจัยเพื่อการผลิตข้าว Rice Production Research Training Course ตั้งแต่ปี 2541 – ปัจจุบัน อีกทั้งมีผลงานวิจัย อาทิเช่น เรื่อง “การศึกษาดัชนีชี้วัดคุณลักษณะที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการบ่งชี้คุณภาพ การแบ่งชั้นคุณภาพ และข้อมูลขนาด เพื่อประกอบการพิจารณาจัดกลุ่มให้รหัสขนาดพืชอาหาร (ข้าว)” ในปี พ.ศ. 2547 และล่าสุดดำรงตำแหน่งเป็นคณะกรรมการวิจัยสถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ (ตามคำสั่งกรมการข้าว ที่ 565/2560 ลว. 19 ธันวาคม 2560)

การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบนี้ทำการสุ่มตัวอย่างข้าวขาวหอมมะลิที่จำหน่ายในประเทศไทยมาทำการตรวจสอบตามเกณฑ์มาตรฐานการส่งออกกระทรวงพาณิชย์ พ.ศ.2559 เพื่อหาความถูกต้อง ตามอัตราส่วนการค้นพบภาพที่ถูกต้อง และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย

โดยสุ่มตรวจ 10 ครั้งต่อ 1 ถุง ปริมาณที่สุ่มตรวจแต่ละครั้งคือ ประมาณ 100 เมล็ด หรือน้ำหนักประมาณ 27-30 กรัม (ข้าว 1 เมล็ดมีน้ำหนัก 0.027 – 0.030 กรัม ที่มาจากปรีดา บุตรดีวงศ์, ศูนย์ปฏิบัติการข่าวเกษตรสำนักงานเกษตรจังหวัดหนองคาย) กรมส่งเสริมการเกษตร (2550)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างใช้สถิติเชิงบรรยาย ได้แก่ ฐานนิยม (Mode) และร้อยละ (Percentage) ซึ่งใช้บรรยายคุณลักษณะของข้อมูลทั่วไป ในประเด็นการวัดขนาดด้วยเครื่องมือ NIR-SC-5000-1/2 Image Analyser for Grains and Seeds (ที่ใช้ในการวิเคราะห์ของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี) กับเวอร์เนียลแบบเข็มที่วัดด้วยผู้เชี่ยวชาญ และโปรแกรมที่พัฒนาเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว

2. ความถูกต้อง หรือ ความแม่นยำ (Accuracy) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของเครื่องมือวัด (Instrument) ในการอ่านค่าหรือแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริง

$$\%\text{Accuracy} = 100 - \%\text{Error}$$

$$\text{Relative error} = \left|\frac{X_{mea}-X_t}{X_t}\right|$$

$$\%\text{Error} = \text{Relative error} \times 100$$

เมื่อ X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด (Measure Value)

X_t คือ ค่าจริง (True Value)

3. ค่ารากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนโดยประมาณ (Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA)) ค่า RMSEA อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ใช้วัดความแตกต่างระหว่างค่าที่คาดการณ์ไว้ตามแบบจำลองและค่าที่สังเกตได้จริงจากสภาพแวดล้อมที่ถูกจำลอง

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}}$$

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก พร้อมทั้งตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว 2 ประเด็น คือ 1) ใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าวกับผู้เชี่ยวชาญ 2) ใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นไปตรวจสอบคุณภาพเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย ได้นำเสนอผลการวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

ส่วนที่ 1 อุปกรณ์ (Hardware)

ส่วนที่ 2 โปรแกรม (Software)

ส่วนที่ 3 แอปพลิเคชัน (Use Interface)

ตอนที่ 2 การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว

ส่วนที่ 1 ใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าวกับผู้เชี่ยวชาญ

ส่วนที่ 2 ใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นไปตรวจสอบคุณภาพเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย

เพื่อให้การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการทำความเข้าใจผลการวิเคราะห์ข้อมูลตรงกัน ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์และความหมายแทนค่าต่าง ๆ ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ดังนี้

สัญลักษณ์	ความหมาย
Pr	ค่าความแม่นยำ (Precision/ False Positive Rate)
R	ค่าความระลึก (Recall/ True Positive Rate)
F-measure	วัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความระลึกและค่าความแม่นยำ
Acc	ค่าความถูกต้อง (Accuracy) บ่งบอกถึงความสามารถของเครื่องมือวัด (Instrument)
%Error	ค่าคลาดเคลื่อนร้อยละ
RMSEA	ค่ารากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนโดยประมาณ (Root Mean Square Error of Approximation)

ตอนที่ 1 การออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

การออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกนี้ มีการดำเนินงาน 3 ส่วนประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 อุปกรณ์ (Hardware)

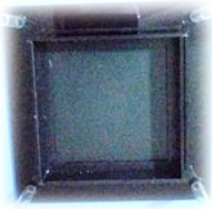
วัสดุที่นำมาขึ้นรูปเป็นอุปกรณ์ในงานวิจัยนี้เพื่อช่วยลดปัญหาเหล่านี้นั่นคือ ภาพวัตถุที่ได้มุมเอียง แสงที่ทำให้เกิดเงาบนภาพ และการเบลอ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เกิดขึ้นกับงานวิจัยในอดีตทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการวิจัย

วัสดุที่เลือกใช้ คือ อะคริลิค หรือ อะคริลิคเรซิน (Acrylic Resins) เป็นพอลิเมอร์ และโคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากกรดอะคริลิค และอนุพันธ์ของกรดอะคริลิค และเอสเทอร์ของกรดอะคริลิค เหตุที่นำมาใช้ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้

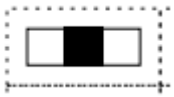
1. มีความโปร่งใสคล้ายกระจก มีหลากหลายสีสรร และขึ้นรูปประกอบง่าย
2. ทนทานต่อแรงกระแทก แรงกด น้ำหนักเบา และสภาพแวดล้อมดินฟ้าอากาศ
3. ทนทานต่อสารเคมีหลายชนิด ยกเว้นสารตัวทำละลาย และกรดที่ส่วนมากมีผลต่ออะคริลิค รวมถึงด่างแก่ทุกชนิด
4. มีจุดอ่อนตัวต่ำ ทนต่อความร้อน (มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 130-140 องศาเซลเซียส) และมีความเหนียว
5. มีสภาพคงรูปที่ดี และทนต่อการขีดข่วน
6. เป็นฉนวนไฟฟ้า และฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี
7. ไม่ดูดความชื้น และทำความสะอาดได้ง่าย

ด้วยเหตุผลข้างต้นจึงได้อุปกรณ์ที่นำมาใช้ประกอบในการทำงานวิจัยดังนี้

ตารางที่ 4-1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ช่วยในการถ่ายภาพ

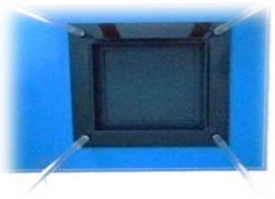
ลำดับ	ชิ้นส่วน	ภาพประกอบ	คำอธิบาย
1	ฐาน		- ขนาดสี่เหลี่ยมจัตุรัสพื้นที่ด้านใน กว้าง 12 ซ.ม.*ยาว12 ซ.ม. (ใส่เมล็ดข้าว) - ปูพื้นด้วยสีดำด้านลดการสะท้อนแสง - ด้านข้างเป็นท่อกลวงสำหรับใส่เสาวางแผ่นด้านบน 4 ต้น

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

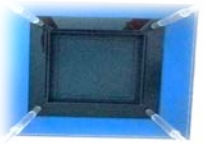
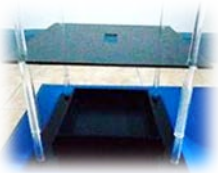
ลำดับ	ชิ้นส่วน	ภาพประกอบ	คำอธิบาย
2	ด้านบน		- ขนาดเท่ากับฐานทั้งหมด กว้าง 22 ซ.ม.* ยาว 22 ซ.ม. - เจาะรูทั้ง 4 มุมให้ตรงกับท่อกลวงสำหรับใส่เสา 4 ต้น - ตรงกลางเจาะรูขนาดสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับเป็นตำแหน่งในการจับภาพของกล้องสมาร์ทโฟน
3	เสา		- เสาใส 4 ต้น ยาวเส้นละ 20 ซ.ม. (ระยะมาจาก + 5 ซ.ม.จากระยะที่ถ่ายได้ไกลที่สุด คือ 15 ซ.ม.)
4	ท่อปรับระดับ		- ท่อปรับระดับในการถ่ายภาพขนาด 5 ซ.ม และ 10 ซ.ม
5	มาตรวัดขนาดวัตถุ		- แถบวัดขนาดวัตถุ กว้าง 0.5 ซ.ม.*ยาว1.5 ซ.ม. แบ่งเป็น 3 ส่วน (ขนาดที่กำหนดมาจากสัดส่วนของเมล็ดข้าวที่ยาวมากที่สุด คือ ไม่เกิน 0.8 ซ.ม.)

จากตารางที่ 4-1 อธิบายส่วนประกอบของอุปกรณ์ช่วยในการถ่ายภาพที่ใช้จริงในงานวิจัย มีทั้งหมด 5 ชิ้นส่วน ประกอบด้วย ฐาน (ใส่เมล็ดข้าว และเป็นตำแหน่งวางเสาปรับระดับการถ่ายภาพ) แผ่นด้านบน (ปิดแสงและวางสมาร์ทโฟน) เสา (ใส่แผ่นด้านบนปิดแสงและวางสมาร์ทโฟน) ท่อปรับระดับ (ระยะโฟกัสของภาพ) และมาตรวัดขนาดวัตถุ (ตรวจสอบความเอียงและคำนวณขนาดเมล็ดข้าว)

ตารางที่ 4-2 การใช้งานอุปกรณ์ช่วยในการถ่ายภาพ

ขั้นตอนที่	ภาพประกอบ	คำอธิบาย
1		- นำเสามาประกอบที่ฐานทั้ง 4 มุม

ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

ขั้นตอนที่	ภาพประกอบ	คำอธิบาย
2		- ใส่ท่อปรับระดับ (ขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุที่ต้องการถ่าย หากจำนวนน้อยใช้ขนาดยาว 5 ซ.ม. แต่ถ้าจำนวนมาก (80-100 เมล็ด) ใช้ ขนาดยาว 10 ซ.ม.)
3		- ติดมาตรวัดขนาดวัตถุบนพื้นด้านในฐาน
4		- ประกอบแผ่นด้านบน ล็อคด้วยขอบของท่อปรับประดับ
5		- นำสมาร์ทโฟนมาวางลงบนแผ่นด้านบน โดยให้กล้องอยู่ในช่องที่เจาะไว้เป็นตำแหน่งที่ใช้จับภาพ
6		- ภาพที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

จากตารางที่ 4-2 อธิบายการใช้งานอุปกรณ์ช่วยในการถ่ายภาพมีทั้งหมด 6 ขั้นตอน

1. นำเสามาประกอบที่ฐานทั้ง 4 มุม
2. ใส่ท่อปรับระดับ
3. ติดมาตรวัดขนาดวัตถุบนพื้นด้านในฐาน
4. ประกอบแผ่นด้านบน
5. นำสมาร์ทโฟนมาวางลงบนแผ่นด้านบน
6. ภาพปรากฏในสมาร์ทโฟน

สำหรับการอธิบายนี้เป็นการถ่ายภาพโดยใช้กล้องของสมาร์ทโฟนโดยตรง มิได้ใช้แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น แต่การทำงานดังกล่าวนี้ก็สามารถนำภาพส่งไปประมวลผลยังแอปพลิเคชันได้เช่นกัน

ภาพที่ 4-1 การนำสมาร์ทโฟนใช้ถ่ายภาพร่วมกับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

ส่วนที่ 2 โปรแกรม (Software)

ทดสอบหน้าที่ (Function) ของโปรแกรมตามความต้องการ (Requirements) ที่กำหนดโดยผลลัพธ์จากข้อมูลนำเข้าที่ให้กับโปรแกรมต้องถูกต้อง (Validity)

เริ่มจากการตรวจสอบความสามารถเบื้องต้นเครื่องมือ โดยการนำผลเฉลย(เกณฑ์ประกาศในราชกิจจานุเบกษาของกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559) ที่ทราบมาตรวจสอบกับผลที่โปรแกรมวิเคราะห์ โดยการสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพสุ่มหยิบ 10 ครั้งต่อ 1 ถุง ปริมาณที่สุ่มตรวจแต่ละครั้งคือ ประมาณ 100 เมล็ด หรือ น้ำหนักประมาณ 27-30 กรัม (ข้าว 1 เมล็ดมีน้ำหนัก 0.027 – 0.030 กรัม เป็นวิธีการมาตรฐานที่ดำเนินการโดยกรมค้าข้าว กระทรวงพาณิชย์ ดำเนินการตรวจสอบข้อมูลจากปรีดา บุตรดีวงศ์, ศูนย์ปฏิบัติการข่าวเกษตรสำนักงานเกษตรจังหวัดหนองคาย กรมส่งเสริมการเกษตร (2550))

การนำเข้าใช้ข้อมูลภาพดิจิตอลที่ใช้ในการทดลองมาจากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี จำนวน 2,150 ภาพ ครอบคลุมข้าวหอมมะลิ 4 กลุ่ม ๆ ละ 13 คุณลักษณะ โดยใช้สัดส่วนโมเดลฝึก: การทดสอบ เท่ากับ 60: 40 คำนวณโมเดลฝึกตรวจสอบคุณภาพข้าวด้วยภาพ 1,850 ภาพ ทำซ้ำ จำนวน 25 ชั้นการทดสอบ ได้ประสิทธิภาพของโมเดลฝึกเข้าใกล้ 100% แล้วนำโมเดลฝึกไปทดสอบซ้ำด้วยภาพ 1,300 ภาพ

ทั้งนี้การทดสอบนี้จำกัดพื้นที่การวางวัตถุ และเพื่อให้พอเหมาะกับระยะโฟกัส จึงแบ่งเมล็ดข้าวจาก 100 เมล็ด เป็น 4 ส่วน ส่วนละ 25 เมล็ด (ดำเนินการบันทึกภาพทั้งหมด 4 ครั้งจนครบ 100 เมล็ด) เมื่อได้ผลการทดสอบโปรแกรมแล้วจึงนำไปติดตั้งบนสมาร์ทโฟนที่มีระบบปฏิบัติการ Android เวอร์ชั่น 8.1 Oreo ก่อนนำไปวัดประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ และข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย (แสดงผลในตอนที่ 2) ดำเนินการดังนี้

1. ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนตัวอย่างภายในแต่ละภาพเบื้องต้น โดยกำหนด CODE: ID Image ตัวอย่างเช่น G100_01_1, 01_2 , ...,10_01 , ..., G_100_10_4 อธิบายดังนี้

ค่าแรก G แทนกลุ่มของข้าว ประกอบด้วย 4 กลุ่ม คือ

ข้าวขาว 100%

ข้าวขาว 5%

ข้าวขาว 10%

ข้าวขาว 15%

ค่าที่สอง เช่น 100 แทนเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มข้าวซึ่ง จะแสดงดังนี้

ข้าวขาว 100% แทนด้วย 100

ข้าวขาว 5% แทนด้วย 005

ข้าวขาว 10% แทนด้วย 010

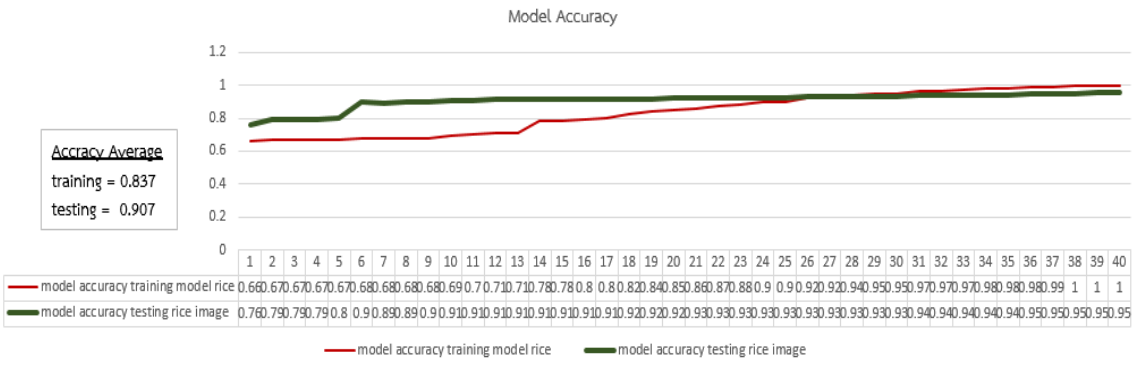
ข้าวขาว 15% แทนด้วย 015

ค่าที่สาม เช่น _01 แทนจำนวนครั้งที่ทำการสุ่ม (การสุ่มตามวิธีมาตรฐานคือ ทำซ้ำ 10 ครั้ง ปริมาณครั้งละประมาณ 100 เมล็ด หรือ น้ำหนักประมาณ 27-30 กรัม)

ค่าที่สี่ เช่น _1 แทนจำนวนครั้งที่ทำการสุ่ม (แบ่งมาตรวจสอบจากวิธีมาตรฐาน 100 เมล็ด หรือ น้ำหนักประมาณ 27-30 กรัม แบ่งออกเป็น 4 ครั้ง ด้วยที่เป็นการทดสอบนี้เสมือนการจำลองสภาพการทำงานจริงของมนุษย์จึงกระจายเมล็ดข้าวออกให้ดำเนินการประมวลผลแยกเมล็ดได้ง่ายคล้ายการทำงานของมนุษย์ที่ตรวจสอบครั้งละ 1 เมล็ด)

2. จำนวนของภาพที่นำมาทดสอบครอบคลุมทุกกลุ่มของข้าวทั้ง 4 กลุ่มเป็นจำนวนรวมขั้นต่ำคือ 4*10*4 = 160 ภาพ (คำนวณได้จาก 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ครั้งในการสุ่ม(ตามเกณฑ์) และ 1 ครั้งของการสุ่ม มาแบ่งออกเป็น 4 ครั้งย่อย)

จากการอธิบายข้างต้นมีผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 4-2 กราฟแสดงการวัดประสิทธิภาพความแม่นยำของโปรแกรมในการจำแนกตามกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% และ15%

จากภาพที่ 4-2 การวัดประสิทธิภาพของโปรแกรมด้านความแม่นยำโดยเฉลี่ยหลังจากการนำ model training ไปดำเนินการ testing ผลการ training เท่ากับ 0.837 การ testing เท่ากับ 0.907 พบว่า มีผลต่างของความแม่นยำเฉลี่ย 0.07 คิดเป็นร้อยละ 7

ตารางที่ 4-3 การวัดความถูกต้องของโปรแกรมตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว จำแนกตามกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% และ15% (จำนวน 160 ภาพ)

กลุ่มของข้าว		**Predicted**			
		100%	**5%**	**10%**	**15%**
Actual	**100%**	31	1	0	2
	5%	3	31	5	5
	10%	4	3	30	8
	15%	2	5	5	25
Accuracy		0.907			

จากตารางที่ 4-3 การวัดความถูกต้องของโปรแกรมตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว จำแนกตามกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% และ15% พบว่า

ความระลึก (Recall/ True Positive Rate) เป็นอัตราส่วนของการค้นภาพที่ถูกต้องจากจำนวนภาพที่ถูกต้องทั้งหมด จำแนกได้ดังนี้

Recall ข้าวขาว 100% = 0.775

Recall ข้าวขาว 5% = 0.775

Recall ข้าวขาว 10% = 0.75

Recall ข้าวขาว 15% = 0.625

ค่าความแม่นยำ (Precision/ False Positive Rate) เป็นอัตราส่วนของการค้นพบภาพที่ถูกต้องจากจำนวนภาพทั้งหมดที่ทำการค้นหามาได้ จำแนกได้ดังนี้

Precision ข้าวขาว 100% = 0.912

Precision ข้าวขาว 5% = 0.705

Precision ข้าวขาว 10% = 0.667

Precision ข้าวขาว 15% = 0.676

ค่าความถูกต้อง (Accuracy) เป็นอัตราส่วนของการค้นพบภาพที่ถูกต้องทั้งหมดจากจำนวนภาพที่มีอยู่ = 0.907

วัดประสิทธิภาพของโปรแกรมที่คลาดเคลื่อน (F-measure) = 0.028

ตารางที่ 4-4 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนตัวอย่างภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 100% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด)

ID_Image	Human (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G100_01_1-4	100	99	1	0.25
G100_02_1-4	100	100	0	0
G100_03_1-4	100	99	1	0.25
G100_04_1-4	100	100	0	0
G100_05_1-4	100	100	0	0
G100_06_1-4	100	99	1	0.25
G100_07_1-4	100	100	0	0
G100_08_1-4	100	100	0	0
G100_09_1-4	100	100	0	0
G100_10_1-4	100	100	0	0
รวม	**1000**	**997**	**3**	**0.075**

จากตารางที่ 4-4 ความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนตัวอย่างภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 100% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.075 คิดเป็นร้อยละ 0.75 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 3 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.3 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.11

ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนตัวอย่างภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 5% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด)

ID_Image	Human (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G005_01_1-4	100	99	1	0.25
G005_02_1-4	100	100	0	0
G005_03_1-4	100	100	0	0
G005_04_1-4	100	99	1	0.25
G005_05_1-4	100	98	2	0.50

ตารางที่ 4-5 (ต่อ)

ID_Image	Human (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G005_06_1-4	100	99	1	0.25
G005_07_1-4	100	100	0	0
G005_08_1-4	100	100	0	0
G005_09_1-4	100	100	0	0
G005_10_1-4	100	100	0	0
รวม	**1000**	**995**	**5**	**0.125**

จากตารางที่ 4-5 ความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนตัวอย่างภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 5% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.125 คิดเป็นร้อยละ 1.25 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 5 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.5 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.25

ตารางที่ 4-6 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนตัวอย่างภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 10% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด)

ID_Image	Human (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G010_01_1-4	100	100	0	0
G010_02_1-4	100	99	1	0.25
G010_03_1-4	100	98	2	0.50
G010_04_1-4	100	100	0	0
G010_05_1-4	100	99	1	0.25
G010_06_1-4	100	100	0	0
G010_07_1-4	100	100	0	0
G010_08_1-4	100	98	2	0.50
G010_09_1-4	100	100	0	0
G010_10_1-4	100	100	0	0
รวม	**1000**	**994**	**6**	**0.15**

จากตารางที่ 4-6 ความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนตัวอย่างภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 10% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.150 คิดเป็นร้อยละ 1.5 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 6 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.6 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.35

ตารางที่ 4-7 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนตัวอย่างภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 15% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด)

ID_Image	Human (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G015_01_1-4	100	99	1	0.25
G015_02_1-4	100	100	0	0
G015_03_1-4	100	99	1	0.25
G015_04_1-4	100	100	0	0
G015_05_1-4	100	99	1	0.25
G015_06_1-4	100	98	2	0.50
G015_07_1-4	100	100	0	0
G015_08_1-4	100	100	0	0
G015_09_1-4	100	98	2	0.50
G015_10_1-4	100	99	1	0.25
รวม	**1000**	**992**	**8**	**0.2**

จากตารางที่ 4-7 ความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนตัวอย่างภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 15% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.2 คิดเป็นร้อยละ 2 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 8 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.8 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.42

ตารางที่ 4-8 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนตัวอย่างภายในแต่ละภาพระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% และ15%

กลุ่มของข้าว	**Error (N =4000 เมล็ด)**	**เฉลี่ย Error**	**%Error**	**RMSE**
ข้าวขาว 100%	3	0.075	0.3	0.11
ข้าวขาว 5%	5	0.125	0.5	0.25
ข้าวขาว 10%	6	0.15	0.6	0.35
ข้าวขาว 15%	8	0.20	0.8	0.42

จากตารางที่ 4-8 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนของกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% และ15% พบว่า ข้าวขาว 15% มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.8 มากที่สุด รองลงมาคือ ข้าวขาว 10% มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.6 รองลงมาคือ ข้าวขาว 5% มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.5 และน้อยที่สุดคือ ข้าวขาว 100% มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.3

สำหรับความผิดพลาดในการทำนาย (RMSE) พบว่า มีความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ ข้าวขาว 100% รองลงมาคือ ข้าวขาว 5% ข้าวขาว 10% และข้าวขาว 15% ตามลำดับ

2. ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวภายในแต่ละภาพเบื้องต้น โดยกำหนด CODE: ID Image ตัวอย่างเช่น G100_01_1, 01_2 , ...,10_01 , ..., G_100_10_4

อธิบายดังนี้

ค่าแรก G แทนกลุ่มของข้าว ประกอบด้วย 4 กลุ่ม คือ

ข้าวขาว 100%
ข้าวขาว 5%
ข้าวขาว 10%
ข้าวขาว 15%

(เกณฑ์ประกาศในราชกิจจานุเบกษาของกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559)

ค่าที่สอง เช่น 100 แทนเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มข้าวซึ่ง จะแสดงดังนี้

ข้าวขาว 100% แทนด้วย 100
ข้าวขาว 5% แทนด้วย 005
ข้าวขาว 10% แทนด้วย 010
ข้าวขาว 15% แทนด้วย 015

ค่าที่สาม เช่น _01 แทนจำนวนครั้งที่ทำการสุ่ม (การสุ่มตามวิธีมาตรฐานคือ ทำซ้ำ 10 ครั้ง ปริมาณครั้งละประมาณ 100 เมล็ด หรือ น้ำหนักประมาณ 27-30 กรัม)

ค่าที่สี่ เช่น _1 แทนจำนวนครั้งที่ทำการสุ่ม (แบ่งมาตรวจสอบจากวิธีมาตรฐาน 100 เมล็ด หรือ น้ำหนักประมาณ 27-30 กรัม แบ่งออกเป็น 4 ครั้ง ด้วยที่เป็นการทดสอบนี้เสมือนการจำลองสภาพการทำงานจริงของมนุษย์จึงกระจายเมล็ดข้าวออกให้ดำเนินการประมวลผลแยกเมล็ดได้ง่ายคล้ายการทำงานของมนุษย์ที่ตรวจสอบครั้งละ 1 เมล็ด)

2. จำนวนของภาพที่นำมาทดสอบครอบคลุมทุกกลุ่มของข้าวทั้ง 4 กลุ่มเป็นจำนวนรวมขั้นต่ำคือ 4*10*4 = 160 ภาพ (คำนวณได้จาก 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ครั้งในการสุ่ม(ตามเกณฑ์) และ 1 ครั้งของการสุ่ม มาแบ่งออกเป็น 4 ครั้งย่อย)

3. ฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว แต่ละกลุ่มที่เป็นข้อบังคับว่าต้องมีส่วนผสมที่เรียกชื่ออย่างเป็นทางการดังนี้

ข้าวเต็มเมล็ด

ข้าวหัก

ปลายข้าวชีวัน

และสิ่งที่อาจมีปนได้ ที่พบได้มากที่นำมาตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม คือ ข้าวท้องไข่ ข้าวเหนียว และข้าวขัดสีต่ำกว่ามาตรฐาน

4. การตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์นี้จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น (Expert) กับการทำงานของโปรแกรม

5. กลุ่มตัวอย่าง (เมล็ดข้าว) ใช้ชุดเดิมในการตรวจสอบความถูกต้องเพื่อความน่าเชื่อถือในการเปรียบเทียบข้อมูล

ตารางที่ 4-9 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 100% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด)

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G100_01_1-4	100	98	2	0.50
G100_02_1-4	100	99	1	0.25
G100_03_1-4	100	98	2	0.50
G100_04_1-4	100	99	1	0.25
G100_05_1-4	100	100	0	0
G100_06_1-4	100	99	1	0.25
G100_07_1-4	100	100	0	0
G100_08_1-4	100	100	0	0

ตารางที่ 4-9 (ต่อ)

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G100_09_1-4	100	98	2	0.50
G100_10_1-4	100	100	0	0
รวม	**1000**	**901**	**9**	**0.225**

จากตารางที่ 4-9 ความถูกต้องของโปรแกรมด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 100% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.225 คิดเป็นร้อยละ 2.25 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 9 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.9 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.53

ตารางที่ 4-10 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 5% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด)

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G005_01_1-4	100	99	1	0.25
G005_02_1-4	100	100	0	0
G005_03_1-4	100	98	2	0.50
G005_04_1-4	100	99	1	0.25
G005_05_1-4	100	99	1	0.25
G005_06_1-4	100	98	2	0.50
G005_07_1-4	100	100	0	0
G005_08_1-4	100	99	1	0.25
G005_09_1-4	100	100	0	0
G005_10_1-4	100	99	1	0.25
รวม	**1000**	**901**	**9**	**0.225**

จากตารางที่ 4-10 ความถูกต้องของโปรแกรมด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 5% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.225 คิดเป็นร้อยละ 2.25 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวน

เมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 5 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.9 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.46

ตารางที่ 4-11 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 10% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด)

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G010_01_1-4	100	100	0	0
G010_02_1-4	100	99	1	0.25
G010_03_1-4	100	98	2	0.50
G010_04_1-4	100	100	0	0
G010_05_1-4	100	99	1	0.25
G010_06_1-4	100	99	1	0.25
G010_07_1-4	100	100	0	0
G010_08_1-4	100	98	2	0.50
G010_09_1-4	100	100	0	0
G010_10_1-4	100	97	3	0.75
รวม	**1000**	**900**	**10**	**0.25**

จากตารางที่ 4-11 ความถูกต้องของโปรแกรมด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 10% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.25 คิดเป็นร้อยละ 2.5 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 10 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 1 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.71

ตารางที่ 4-12 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 15% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด)

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G015_01_1-4	100	98	2	0.50
G015_02_1-4	100	98	2	0.50

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G015_03_1-4	100	99	1	0.25
G015_04_1-4	100	100	0	0
G015_05_1-4	100	99	1	0.25
G015_06_1-4	100	98	2	0.50
G015_07_1-4	100	99	1	0.25
G015_08_1-4	100	99	1	0.25
G015_09_1-4	100	98	2	0.50
G015_10_1-4	100	99	1	0.25
รวม	**1000**	**987**	**13**	**0.33**

จากตารางที่ 4-12 ความถูกต้องของโปรแกรมด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวภายในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 15% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.33 คิดเป็นร้อยละ 3.33 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 13 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 1.3 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.74

ตารางที่ 4-13 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านจำแนกตามฟีโนไทป์ในแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างการจำแนกด้วยมนุษย์กับโปรแกรมของกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% และ15%

กลุ่มของข้าว	Error (N = 1000 เมล็ด)	เฉลี่ย Error	%Error	RMSE
ข้าวขาว 100%	9	0.225	0.9	0.53
ข้าวขาว 5%	9	0.225	0.9	0.46
ข้าวขาว 10%	10	0.25	1	0.71
ข้าวขาว 15%	13	0.33	1.3	0.74

จากตารางที่ 4-13 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% และ15% พบว่า ข้าวขาว 15% มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 1.3 มากที่สุด รองลงมาคือ ข้าวขาว 10% มีความคลาดเคลื่อนคิด

เป็นร้อยละ 1 และน้อยที่สุดคือ ข้าวขาว 5% มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับข้าวขาว 100% คือ มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.9

สำหรับความผิดพลาดในการทำนาย (RMSE) พบว่า มีความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ ข้าวขาว 5% รองลงมาคือ ข้าวขาว 100% และข้าวขาว 10% ความผิดพลาดมากที่สุด คือ ข้าวขาว 15%

ส่วนที่ 3 แอปพลิเคชัน (User Interface)

หลังจากทดสอบหน้าที่ (Function) ของโปรแกรมตามความต้องการ (Requirements) ที่กำหนดโดยผลลัพธ์จากข้อมูลนำเข้าที่ให้ และพัฒนาโปรแกรมจนกระทั่งได้ความถูกต้องของโปรแกรมทั้งด้านการนับจำนวนและจำแนกคุณลักษณะตามฟีโนไทป์เป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดว่าต้องมีความถูกต้องในการจำแนกใกล้เคียงกับผู้เชี่ยวชาญโดยกำหนดความถูกต้องเกินกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ และคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์แล้ว จึงดำเนินการนำโปรแกรมมาลงระบบ Android เพื่อการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวมีรายละเอียดการทำงานของระบบตรวจสอบดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เข้าสู่ระบบเริ่มต้นที่หน้าจอหลัก

ภาพที่ 4-3 หน้าจอหลักในแอปพลิเคชัน

ขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการเริ่มทำงาน คือ นำข้อมูลเข้าระบบได้ 2 วิธี คือ

1. จากปุ่มถ่ายภาพ: จะเป็นการนำภาพถ่ายจากการถ่ายภาพ ณ ปัจจุบันเข้าไปประมวลผลทันที

2. จากคลังภาพ: จะเป็นการนำภาพที่มีอยู่แล้ว เช่นไป ถ่ายด้วยอุปกรณ์อื่นๆ แล้วส่งเข้ามาประมวลผลด้วยแอปพลิเคชันนี้

ทั้งนี้หากผู้ใช้งานมีข้อสงสัย จะมีปุ่มวิธีการใช้งานอธิบายการทำงานของหน้าจอนี้ให้ทราบ

ภาพที่ 4-4 หน้าจอนำข้อมูลเข้าแอปพลิเคชัน

ขั้นตอนที่ 3 การประมวลผล คือ นำข้อมูลเข้ามาประมวลโดยจำแนกข้อมูล เป็น 2 หัวข้อ

1. ชนิดข้าว: ลักษณะทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวแสดงผลโดยการนับจำนวนเมล็ดข้าวทั้งหมดในภาพก่อนจากนั้นก็นำมาแยกชนิด

2. การจัดกลุ่ม: จะเป็นการข้อมูลชนิดข้าวมาคำนวณตามเกณฑ์ข้อกำหนดตามข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์ว่าด้วย เรื่องมาตรฐานสินค้าข้าว พ.ศ. 2559

ทั้งนี้หากผู้ใช้งานมีข้อสงสัย จะมีปุ่มช่วยเหลืออธิบายการทำงานของหน้าจอนี้ให้ทราบ

สำหรับการทำงานหากไม่กดปุ่มบันทึก จะปรากฏข้อมูลให้ผู้ใช้ดูเท่านั้นไม่ได้มีการบันทึกอัตโนมัติ

หากบันทึกข้อมูลจะถูกจัดเก็บในหน้าต่อไป

ภาพที่ 4-5 หน้าจอนำประมวลผลข้อมูล

ขั้นตอนที่ 4 การบันทึกผลและการเก็บไปประมวลผลต่อ คือ นำข้อมูลเข้ามาเก็บแต่ถ้าไม่พอใจก็ลบข้อมูลเก่าทิ้งแล้วดำเนินการนำเข้าข้อมูลใหม่ได้

เนื่องจากการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวด้วยวิธีการมาตรฐานที่ดำเนินการโดยกรมค้าข้าว กระทรวงพาณิชย์ ดำเนินการตรวจสอบจะต้องสุ่มหยิบ 10 ครั้งต่อ 1 ถุง ปริมาณที่สุ่มตรวจแต่ละครั้ง คือ ประมาณ 100 เมล็ด หรือ น้ำหนักประมาณ 27-30 กรัม (ข้าว 1 เมล็ดมีน้ำหนัก 0.027 – 0.030 กรัม ข้อมูลจากปรีดา บุตรดีวงศ์, ศูนย์ปฏิบัติการข่าวเกษตรสำนักงานเกษตรจังหวัดหนองคาย กรมส่งเสริมการเกษตร (2550)) ดังนั้นหากต้องการผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุดจึงควรดำเนินการตรวจสอบให้ถูกต้องตามขั้นตอนมาตรฐานด้วย

ภาพที่ 4-6 หน้าจอเก็บข้อมูลหรือลบข้อมูลจากการประมวลผลข้อมูล เพื่อนำไปเฉลี่ยผลการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว

ขั้นตอนที่ 5 การบันทึกผลและการเก็บไปประมวลผลต่อ หรือท้ายสุดคือการออกจากระบบ

ภาพที่ 4-7 หน้าจอออกจากระบบ

ตอนที่ 2 การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว

ส่วนที่ 1 ใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าวกับผู้เชี่ยวชาญ

การตรวจสอบความถูกต้องของแอปพิลเคชันด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวกับผู้เชี่ยวชาญ โดยกำหนด CODE: ID Image ตัวอย่างเช่น G100_01_1, 01_2 , ...,10_01, ..., G_100_10_4

อธิบายดังนี้

ค่าแรก G แทนกลุ่มของข้าว ประกอบด้วย 4 กลุ่ม คือ

ข้าวขาว 100%

ข้าวขาว 5%

ข้าวขาว 10%

ข้าวขาว 15%

(เกณฑ์ประกาศในราชกิจจานุเบกษาของกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559)

ค่าที่สอง เช่น 100 แทนเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มข้าวซึ่ง จะแสดงดังนี้

ข้าวขาว 100% แทนด้วย 100

ข้าวขาว 5% แทนด้วย 005

ข้าวขาว 10% แทนด้วย 010

ข้าวขาว 15% แทนด้วย 015

ค่าที่สาม เช่น _01 แทนจำนวนครั้งที่ทำการสุ่ม (การสุ่มตามวิธีมาตรฐานคือ ทำซ้ำ 10 ครั้ง ปริมาณครั้งละประมาณ 100 เมล็ด หรือ น้ำหนักประมาณ 27-30 กรัม)

ค่าที่สี่ เช่น _1 แทนจำนวนครั้งที่ทำการสุ่ม (แบ่งมาตรวจสอบจากวิธีมาตรฐาน 100 เมล็ด หรือ น้ำหนักประมาณ 27-30 กรัม แบ่งออกเป็น 4 ครั้ง ด้วยที่เป็นการทดสอบนี้เสมือนการจำลองสภาพการทำงานจริงของมนุษย์จึงกระจายเมล็ดข้าวออกให้ดำเนินการประมวลผลแยกเมล็ดได้ง่ายคล้ายการทำงานของมนุษย์ที่ตรวจสอบครั้งละ 1 เมล็ด)

โดยมีเงื่อนไขดังนี้

1. จำนวนของภาพที่นำมาทดสอบครอบคลุมทุกกลุ่มของข้าวทั้ง 4 กลุ่ม เป็นจำนวนรวมขั้นต่ำคือ 4*10*4 = 160 ภาพ (คำนวณได้จาก 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ครั้งในการสุ่ม(ตามเกณฑ์) และ 1 ครั้งของการสุ่ม มาแบ่งออกเป็น 4 ครั้งย่อย) ดังนั้นแต่ละกลุ่มจะทำการทดลองทั้งหมด 40 ครั้งได้ 40 ต่อ 1 กลุ่ม ตามหลักการ แต่จากการทดสอบโปรแกรมก่อนติดตั้งผู้วิจัยได้ทำการทดลองลดปริมาณภาพลง 60 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 16 ภาพ ต่อ 1 กลุ่ม พบว่ามีค่าความถูกต้องใกล้เคียงกับการดำเนินการทดลองตามเกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 4-14 - 4-21

2. ฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว แต่ละกลุ่มที่เป็นข้อบังคับว่าต้องมีส่วนผสมที่เรียกชื่ออย่างเป็นทางการดังนี้

- ข้าวเต็มเมล็ด
- ข้าวหัก
- ปลายข้าวชีวัน

และสิ่งที่อาจมีปนได้ ที่พบได้มากที่นำมาตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม คือ ข้าวท้องไข่ ข้าวเหนียว และข้าวขัดสีต่ำกว่ามาตรฐาน

3. การตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์นี้จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น (Expert) กับการทำงานของแอปพลิเคชัน

4. กลุ่มตัวอย่าง (เมล็ดข้าว) ใช้ชุดเดิมตลอดการทดสอบทั้ง 40 ภาพ และ 16 ภาพ ในการตรวจสอบความถูกต้องเพื่อความน่าเชื่อถือในการเปรียบเทียบข้อมูล

ตารางที่ 4-14 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 100% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 40 ภาพ

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G100_01_1-4	100	99	1	0.25
G100_02_1-4	100	100	0	0
G100_03_1-4	100	99	1	0.25
G100_04_1-4	100	100	0	0
G100_05_1-4	100	99	1	0.25
G100_06_1-4	100	99	1	0.25
G100_07_1-4	100	100	0	0
G100_08_1-4	100	100	0	0
G100_09_1-4	100	98	2	0.50
G100_10_1-4	100	100	0	0
รวม	**1000**	**994**	**6**	**0.15**

จากตารางที่ 4-14 ความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 100% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.15 คิดเป็นร้อยละ 1.5 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 6 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.6 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.28

ตารางที่ 4-15 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 5% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 40 ภาพ

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G005_01_1-4	100	99	1	0.25
G005_02_1-4	100	98	2	0.50
G005_03_1-4	100	100	0	0
G005_04_1-4	100	99	1	0.25
G005_05_1-4	100	99	1	0.25
G005_06_1-4	100	99	1	0.25
G005_07_1-4	100	100	0	0
G005_08_1-4	100	100	0	0
G005_09_1-4	100	100	0	0
G005_10_1-4	100	99	1	0.25
รวม	**1000**	**993**	**7**	**0.175**

จากตารางที่ 4-15 ความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 5% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.175 คิดเป็นร้อยละ 1.75 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 7 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.7 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.32

ตารางที่ 4-16 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 10% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 40 ภาพ

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G010_01_1-4	100	100	0	0
G010_02_1-4	100	99	1	0.25
G010_03_1-4	100	98	2	0.50
G010_04_1-4	100	100	0	0
G010_05_1-4	100	99	1	0.25

ตารางที่ 4-16 (ต่อ)

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G010_06_1-4	100	100	0	0
G010_07_1-4	100	100	0	0
G010_08_1-4	100	98	2	0.50
G010_09_1-4	100	99	1	0.25
G010_10_1-4	100	100	0	0
รวม	**1000**	**993**	**7**	**0.175**

จากตารางที่ 4-16 ความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 10% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.175 คิดเป็นร้อยละ 1.75 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 7 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.7 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.39

ตารางที่ 4-17 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 15% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 40 ภาพ

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G015_01_1-4	100	99	1	0.25
G015_02_1-4	100	100	0	0
G015_03_1-4	100	99	1	0.25
G015_04_1-4	100	100	0	0
G015_05_1-4	100	99	1	0.25
G015_06_1-4	100	98	2	0.50
G015_07_1-4	100	99	1	0.25
G015_08_1-4	100	100	0	0
G015_09_1-4	100	99	1	0.25
G015_10_1-4	100	99	1	0.25
รวม	**1000**	**992**	**8**	**0.2**

จากตารางที่ 4-17 ความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 15% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.2 คิดเป็นร้อยละ 2 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 8 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.8 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.35

ตารางที่ 4-18 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 100% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error	%Error
G100_01_1-4	100	99	1	0.25	
G100_02_1-4	100	100	0	0	
G100_03_1-4	100	100	0	0	
G100_04_1-4	100	99	1	0.25	
รวม	**400**	**398**	**2**	**0.13**	**0.5**

จากตารางที่ 4-18 ความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 100% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.13 คิดเป็นร้อยละ 1.3 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 2 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.5 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.18

ตารางที่ 4-19 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 5% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G005_01_1-4	100	99	1	0.25
G005_02_1-4	100	98	2	0.50
G005_03_1-4	100	100	0	0
G005_04_1-4	100	100	0	0
รวม	**400**	**397**	**3**	**0.19**

จากตารางที่ 4-19 ความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 5% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.19 คิดเป็นร้อยละ 1.9 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 3 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.75 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.44

ตารางที่ 4-20 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 10% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G010_01_1-4	100	100	0	0
G010_02_1-4	100	99	1	0.25
G010_03_1-4	100	99	1	0.50
G010_04_1-4	100	100	0	0
รวม	**400**	**398**	**2**	**0.13**

จากตารางที่ 4-20 ความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 10% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.13 คิดเป็นร้อยละ 1.3 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 2 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.5 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.18

ตารางที่ 4-21 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 15% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G015_01_1-4	100	99	1	0.25
G015_02_1-4	100	99	1	0.25
G015_03_1-4	100	99	1	0.25
G015_04_1-4	100	99	1	0.25
รวม	**400**	**396**	**4**	**0.25**

จากตารางที่ 4-21 ความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 15% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.25 คิดเป็นร้อยละ 2.5 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 4 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 1 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.35

ตารางที่ 4-22 สรุปความคลาดเคลื่อนของการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% 15% ระหว่างจำนวน 40 ภาพ กับ จำนวน 16 ภาพ

กลุ่มของข้าว	จำนวน 40 ภาพ			จำนวน 16 ภาพ		
	เฉลี่ย Error	%Error	RMSE	เฉลี่ย Error	%Error	RMSE
100%	0.15	0.6	0.28	0.13	0.5	0.18
5%	0.175	0.7	0.32	0.19	0.75	0.44
10%	0.175	0.7	0.39	0.13	0.5	0.18
15%	0.2	0.8	0.35	0.25	1	0.35

จากตารางที่ 4-22 ความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% และ 15% ระหว่างจำนวน 40 ภาพ กับ จำนวน 16 ภาพ จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกันในข้าวทุกกลุ่มดังนี้

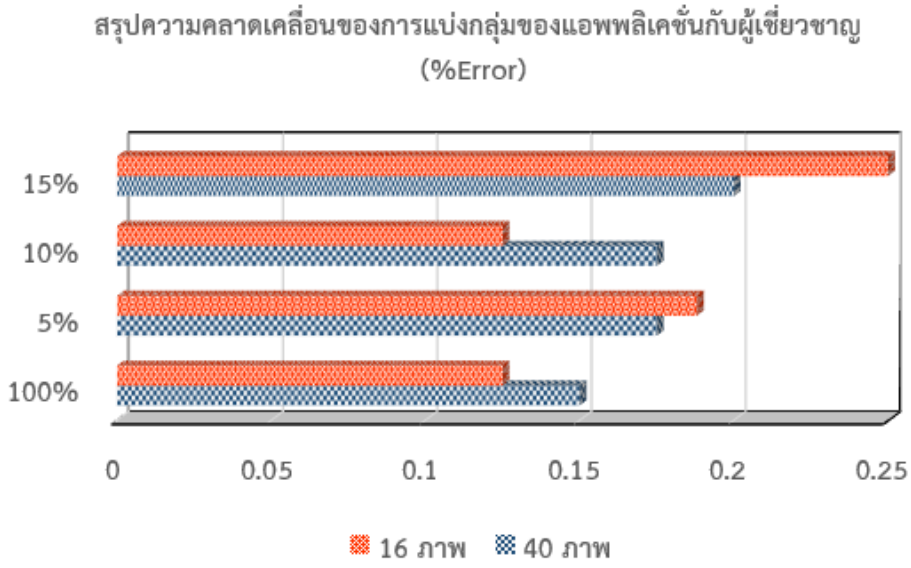
ข้าวขาว 100% เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างจำนวน 40 ภาพ ต่างจากจำนวน 16 ภาพอยู่ 0.1% ความผิดพลาดในการทำนาย (RMSE) จำนวน 40 ภาพ คือ 0.28 จำนวน 16 ภาพ คือ 0.18 จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดลดลง

ข้าวขาว 5% เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างจำนวน 40 ภาพ ต่างจากจำนวน 16 ภาพอยู่ 0.05% ความผิดพลาดในการทำนาย (RMSE) จำนวน 40 ภาพ คือ 0.32 จำนวน 16 ภาพ คือ 0.44 จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดเพิ่มขึ้น

ข้าวขาว 10% เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างจำนวน 40 ภาพ ต่างจากจำนวน 16 ภาพอยู่ 0.2% ความผิดพลาดในการทำนาย (RMSE) จำนวน 40 ภาพ คือ 0.39 จำนวน 16 ภาพ คือ 0.18 จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดลดลง

ข้าวขาว 15% เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างจำนวน 40 ภาพ ต่างจากจำนวน 16 ภาพอยู่ 0.2% ความผิดพลาดในการทำนาย (RMSE) จำนวน 40 ภาพ คือ 0.35 จำนวน 16 ภาพ คือ 0.35 จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดเท่าเดิม

ดังนั้นในการดำเนินการตรวจสอบคุณภาพเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทยผู้วิจัยจึงเห็นควรว่าใช้เพียงจำนวน 16 ภาพ หรือ 400 เมล็ด ในการตรวจสอบคุณภาพได้ผลลัพธ์ไม่แตกต่างจำนวน 40 ภาพ หรือ 1,000 เมล็ด



ภาพที่ 4-8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการแบ่งกลุ่มระหว่างแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% 15% ระหว่างจำนวน 40 ภาพ กับ จำนวน 16 ภาพ

จากภาพที่ 4-8 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการแบ่งกลุ่มระหว่างแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% 15% ระหว่างจำนวน 40 ภาพ กับ จำนวน 16 ภาพ พบว่าข้าวขาว 15% ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนพบมากที่สุดทั้งการทดสอบด้วยภาพจำนวน 40 ภาพ และ จำนวน 16 ภาพ สำหรับผลการวิเคราะห์พบความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือข้าวขาว 100% ที่ทดสอบด้วยภาพจำนวน 40 ภาพ และ จำนวน 16 ภาพ

ส่วนที่ 2 ใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นไปตรวจสอบคุณภาพเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย

สืบเนื่องจากการสรุปผลตารางที่ 4-22 และ ภาพที่ 4-8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวด้วยแอปพลิเคชันพบว่า ทำการทดสอบผลลัพธ์จำนวน 16 ภาพ หรือ 400 เมล็ด ในการตรวจสอบคุณภาพได้ผลลัพธ์ไม่แตกต่างจำนวน 40 ภาพ หรือ 1,000 เมล็ด ดังนั้นในการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจคุณภาพเมล็ดข้าวทางฟีโนไทป์(แอปพลิเคชัน) ที่เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ผู้ผลิตแจ้งบนฉลากบรรจุถุงข้าวที่วางจำหน่ายในประเทศไทยนั้นจะใช้จำนวน 16 ภาพ หรือ 400 เมล็ด เท่านั้น

ตารางที่ 4-23 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย กลุ่มของข้าว 100% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ

ID_Image	ถุงบรรจุภัณฑ์ (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G100_01_1-4	100	98	2	0.50
G100_02_1-4	100	100	0	0
G100_03_1-4	100	100	0	0
G100_04_1-4	100	99	1	0.25
รวม	**400**	**397**	**3**	**0.19**

จากตารางที่ 4-23 ความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทยกลุ่มของข้าว 100% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.19 คิดเป็นร้อยละ 1.9 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 3 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.75 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.44

ตารางที่ 4-24 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย กลุ่มของข้าว 5% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G005_01_1-4	100	99	1	0.25
G005_02_1-4	100	100	0	0
G005_03_1-4	100	100	0	0
G005_04_1-4	100	98	2	0.50
รวม	**400**	**397**	**3**	**0.19**

จากตารางที่ 4-24 ความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย กลุ่มของข้าว 5% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.19 คิดเป็นร้อยละ 1.9 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 3 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.75 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.44

ตารางที่ 4-25 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย กลุ่มของข้าว 10% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G010_01_1-4	100	100	0	0
G010_02_1-4	100	99	1	0.25
G010_03_1-4	100	99	1	0.25
G010_04_1-4	100	98	2	0.50
รวม	**400**	**396**	**4**	**0.25**

จากตารางที่ 4-25 ความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 10% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.25 คิดเป็นร้อยละ 2.5 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 4 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 1 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.53

ตารางที่ 4-26 เปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย กลุ่มของข้าว 15% (แบ่งทดสอบ 4 ครั้งต่อการสุ่ม 1 ครั้ง 100 เมล็ด) จำนวน 16 ภาพ

ID_Image	Expert (เมล็ด)	Program (เมล็ด)	Error (เมล็ด)	เฉลี่ย Error
G015_01_1-4	100	99	1	0.25
G015_02_1-4	100	99	1	0.25
G015_03_1-4	100	99	1	0.25
G015_04_1-4	100	99	1	0.25
รวม	**400**	**396**	**4**	**0.25**

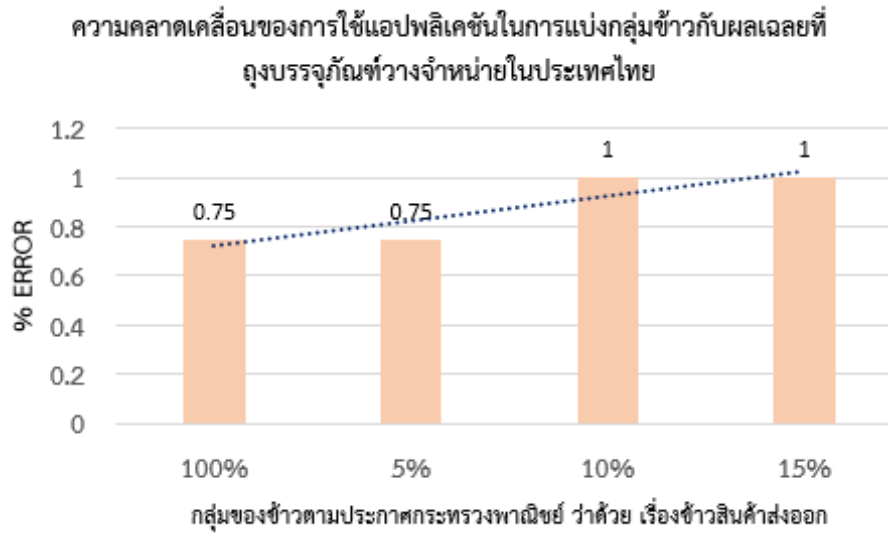
จากตารางที่ 4-26 ความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มของข้าว 15% จากการแบ่งทดสอบ 4 ต่อการสุ่มหลัก 1ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.25 คิดเป็นร้อยละ 2.5 แต่ถ้าวัดเป็นจำนวนเมล็ดจากทั้งหมด 1,000 เมล็ด ไม่ถูกต้อง 4 เมล็ด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 1 และตรวจสอบความผิดพลาดในการทำนายโดย RMSE มีค่าเท่ากับ 0.35

ตารางที่ 4-27 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มโดยแอปพลิเคชันกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย จำแนกเป็นกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% และ15%

กลุ่มของข้าว	Error (N = 400 เมล็ด)	เฉลี่ย Error	%Error	RMSE
ข้าวขาว 100%	3	0.19	0.75	0.44
ข้าวขาว 5%	3	0.19	0.75	0.44
ข้าวขาว 10%	4	0.25	1	0.53
ข้าวขาว 15%	4	0.25	1	0.53

จากตารางที่ 4-27 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องของของการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มโดยแอปพลิเคชันกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทยของกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% และ15% พบว่า ข้าวขาว 15% และ 10% มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากัน คิดเป็นร้อยละ 1 รองลงมาคือ ข้าวขาว 100% และ 5% มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่ากัน คิดเป็นร้อยละ 0.75

สำหรับความผิดพลาดในการทำนาย (RMSE) พบว่า มีความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ ข้าวขาว 100% และ 5% เท่ากัน รองลงมาคือ ข้าวขาว 15% และ 10% มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากัน



ภาพที่ 4-9 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการใช้แอปพลิเคชั่นในการแบ่งกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% 15% จำนวน 16 ภาพ

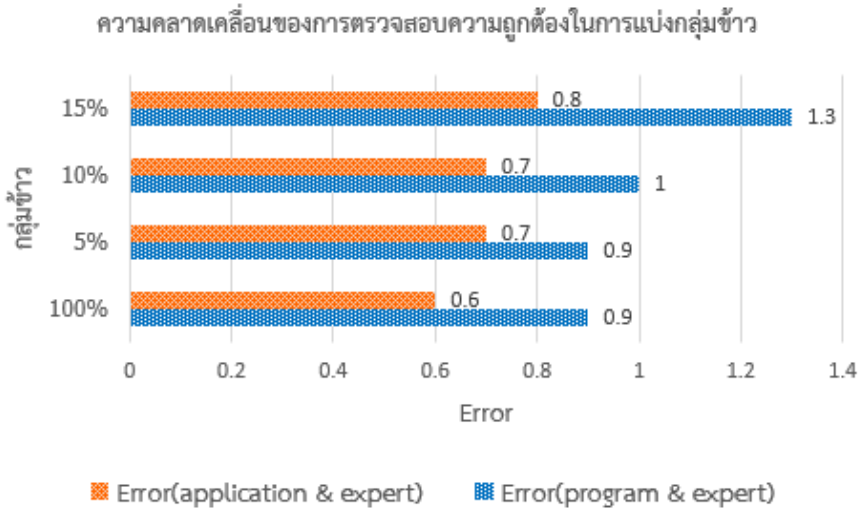
จากภาพที่ 4-9 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการใช้แอปพลิเคชั่นในการแบ่งกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% 15% จำนวน 16 ภาพ พบว่า ข้าวขาว 15% ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนพบการแบ่งกลุ่มของข้าว 10% และ 15% มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าชนิดอื่น อีกทั้งมีแนวโน้มของความคลาดเคลื่อนมากกว่า ข้าวขาว 100% และ 5% อีกด้วย

และท้ายที่สุดนำข้อมูลความคลาดเคลื่อนของโปรแกรม การตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และผลเฉลยจากหน้าถุงบรรจุภัณฑ์ข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทยมาเปรียบเทียบกันดังข้อมูลดังตารางที่ 4-28 - ดังตารางที่ 4-29 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4-28 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มระหว่างโปรแกรมที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ จำแนกเป็นกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% และ15% (จำนวน 40 ภาพ)

กลุ่มของข้าว	**Error (program & expert)**	**Error (application & expert)**	**%Error** แตกต่าง
ข้าวขาว 100%	0.9	0.6	0.3
ข้าวขาว 5%	0.9	0.7	0.2
ข้าวขาว 10%	1	0.7	0.3
ข้าวขาว 15%	1.3	0.8	0.5

จากตารางที่ 4-28 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มระหว่างโปรแกรมที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ข้าวขาว 15% มีผลต่างความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 0.5 รองลงมาคือ ข้าวขาว 100% และ 10% มีผลต่างความคลาดเคลื่อน คิดเป็นร้อยละ 0.3 และที่มีผลต่างความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ ข้าวขาว 5% คิดเป็นร้อยละ 0.2



ภาพที่ 4-10 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของการแบ่งกลุ่มข้าวระหว่างโปรแกรมที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ

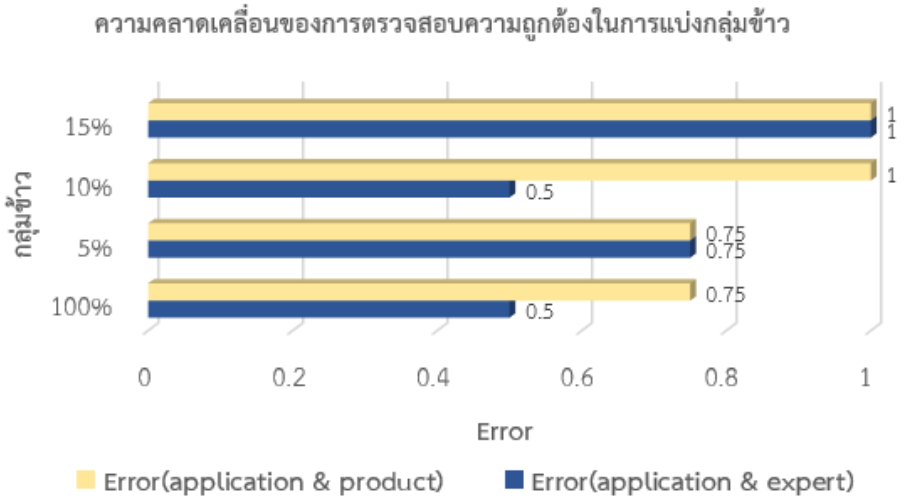
จากภาพที่ 4-10 พบว่า การตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มระหว่างโปรแกรมที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ ข้าวขาว 15% มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ทั้ง 2 กรณี ในทางตรงกันข้ามข้าวขาว 100% มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ทั้ง 2 กรณี

ตารางที่ 4-29 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มระหว่างแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยฉลากหน้าถุงบรรจุภัณฑ์ข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย จำแนกเป็นกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% และ15% (จำนวน 16 ภาพ)

กลุ่มของข้าว	Error (application & expert)	Error (application & product)	**%Error**แตกต่าง
ข้าวขาว 100%	0.5	0.75	0.25
ข้าวขาว 5%	0.75	0.75	0
ข้าวขาว 10%	0.5	1	0.5
ข้าวขาว 15%	1	1	0

จากตารางที่ 4-29 สรุปความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มระหว่างแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยฉลากหน้าถุง

บรรจุภัณฑ์ข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย พบว่า ข้าวขาว 10% มีผลต่างความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 0.5 รองลงมาคือ ข้าวขาว 100% มีผลต่างความคลาดเคลื่อน คิดเป็นร้อยละ 0.25 และที่มีไม่มีผลต่างความคลาดเคลื่อน คือ ข้าวขาว 5% และ 15%



ภาพที่ 4-11 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของการแบ่งกลุ่มข้าวระหว่างแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยฉลากหน้าถุงบรรจุภัณฑ์

จากภาพที่ 4-11 พบว่า การตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มระหว่างแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยฉลากหน้าถุงบรรจุภัณฑ์ ข้าวขาว 15% มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากันทั้ง 2 กรณี แต่ข้าวขาว 10% ที่ตรวจสอบโดยฉลากหน้าถุงบรรจุภัณฑ์มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ข้าวขาว 15% สำหรับกรณีที่เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่ากัน คือ ข้าว 10% และ 100% ที่แบ่งกลุ่มโดยใช้แอปพลิเคชันตรวจสอบเปรียบเทียบผลกับผู้เชี่ยวชาญ

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นสำหรับการแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าวโดยผู้เชี่ยวชาญ และท้ายที่สุดเพื่อนำระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นไปตรวจสอบคุณภาพข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย

ได้กำหนดสมมติฐานการวิจัยเพื่อใช้ตรวจสอบวัตถุประสงค์ในด้านประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว มีการตรวจสอบความถูกต้อง หรือความแม่นยำ (Accuracy) ตามเกณฑ์การแบ่งกลุ่มมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทยโดยผู้เชี่ยวชาญเกินกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ และการตรวจสอบความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error (RMSE)) ตามเกณฑ์การแบ่งกลุ่มมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทยโดยผู้เชี่ยวชาญน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ (MRC ltd, 2561, p. 64)

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยกำหนดกรอบความคิดของการวิจัย โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวตรวจสอบในประเทศไทย พบว่า การตรวจสอบดำเนินการตามมาตรฐานจากพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว 2559 โดยสำนักงานคณะกรรมการตรวจข้าว สภาหอการค้าแห่งประเทศไทย จะทำการตรวจสอบข้าวส่งออกวิเคราะห์คุณภาพข้าวให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์ว่าด้วย เรื่องมาตรฐานสินค้าข้าว พ.ศ. 2559 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา หน้า 14 เล่ม 133 ตอนพิเศษ 243 โดยเน้นในด้านกายภาพหรือสัณฐานวิทยา (ฟีโนไทป์) การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวเพื่อการส่งออกด้วยหน่วยงานระดับชาติ มีการตรวจสอบ 3 ประการเบื้องต้น คือ ขนาดหรือรูปร่างของเมล็ด (กว้างและยาว) พื้นผิวสัมผัส (ความมันวาว) สี (ความสม่ำเสมอ) โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลมาเข้าระบบตรวจสอบคุณภาพ แทนการใช้วัตถุจริงเพื่อลดการสัมผัสตรงในการตรวจวัดเมล็ด ลดการแตกหักเสียหาย อีกทั้งสะดวกต่อการทำงานนอกสถานที่ มีการสอนให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Mearningful learning) ตามทฤษฎีแนวคิดของออซูเบล (Assimilation Theory) เพื่อให้จำแนกข้อมูลจำนวนมากที่ไม่สามารถทำได้โดยมนุษย์ นี้ใช้สถาปัตยกรรมข้อมูลการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) สำหรับงานวิจัยนี้ใช้สถาปัตยกรรมการเรียนรู้บนหลักการของการเรียนรู้เชิงลึกที่นำมาใช้ คือ Convolutional Neural Networks (CNNs) โดยในขั้นตอนของ Feature Extraction เป็นกระบวนการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานต่อไป โดย Observations and Measurements เป็นการสังเกต ภาพที่ได้รับมาตรวจสอบตามเกณฑ์คุณลักษณะที่กำหนดในงานวิจัย จากนั้นจึงส่งกลุ่มภาพดังกล่าวไปทำการ Discriminator Network เป็นการแยกภาพข้างต้นให้เป็นชุด ๆ ไปเรื่อย ๆ หลาย ๆ ชุด ทั้งนี้ทุกชุดต้องเป็นไปตามเกณฑ์คุณลักษณะที่กำหนดไว้ในงานวิจัย

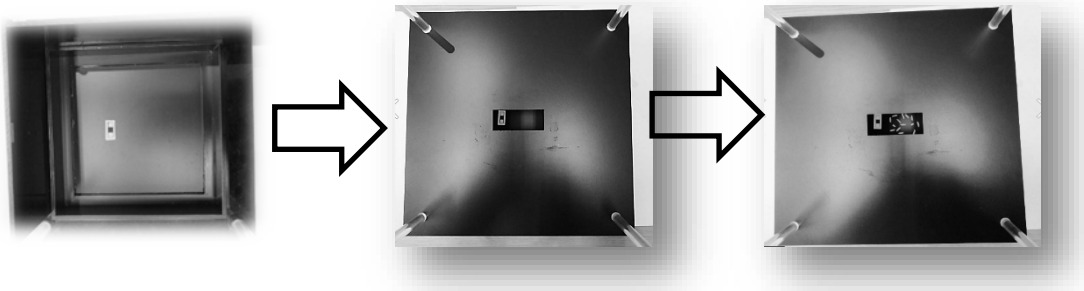
เพื่อส่งไปตัดสินข้อมูล (Decision Function) และจัดกลุ่มตาม Classification CNN model แบ่งตามประเภทของข้าวตามเกณฑ์ต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก สามารถสรุปผลการวิจัย ได้ดังนี้

1. การอออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก จำแนกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 อุปกรณ์ (Hardware) พบว่าการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์นั้นมีส่วนช่วยให้การประมวลผลของ Machine Learning by Deep Learning มีการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับ คำกล่าวของ Alan Kay. 2005 “เชื่อว่าความสัมพันธ์ระหว่างซอฟต์แวร์กับฮาร์ดแวร์แบบลึก การมีฮาร์ดแวร์ของตัวเองจะเอื้อประโยชน์ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ สามารถทำให้สองส่วนนี้ทำงานร่วมกันได้อย่างไม่ติดขัด (กิตติศักดิ์ ปัญญาจิรกุล, 2561) นอกจากนี้ยังมีเรื่องของการวัดขนาดเมล็ดข้าวเพื่อให้ได้ขนาดที่เทียบเคียงกับขนาดวัตถุจริงได้มีการกำหนดแถบอ้างอิงขนาดเพื่อช่วยให้การคำนวณหาขนาดที่แท้จริงของวัตถุในภาพได้ สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง ต้นแบบระบบสำหรับวัดขนาดที่แท้จริงของวัตถุจากภาพฟิล์มเอกซเรย์ ของ สุจิตรา อดุลย์เกษม และคณะ (สุจิตรา อดุลย์เกษม, จิตดำรง ปรีชาสุข และวัลลภ อดุลย์เกษม, 2555) พบว่า การใช้ไม้บรรทัดอ้างอิงขนาดสามารถวัดขนาดของวัตถุบนภาพฟิล์มเอกซเรย์ ได้ถูกต้องแม่นยำ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง 99.48%



ภาพที่ 5-1 แสดงลักษณะอุปกรณ์ที่ออกแบบและพัฒนา พร้อมทั้งแถบอ้างอิงขนาดสำหรับตรวจสอบขนาดเมล็ดข้าว

ส่วนที่ 2 โปรแกรม (Software) พบว่าการทดสอบหน้าที่ (Function) ของโปรแกรมตามความต้องการ (Requirements) ที่กำหนดโดยผลลัพธ์จากข้อมูลนำเข้า (Image) ตรวจสอบความต้องถูกต้องและความคลาดเคลื่อนของโมเดล ดังนี้

การนำเข้าใช้ข้อมูลภาพดิจิตอลที่ใช้ในการทดลองมาจากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี จำนวน 2,150 ภาพ ครอบคลุมข้าวหอมมะลิ 4 กลุ่ม ๆ ละ 13 คุณลักษณะ โดยใช้สัดส่วนโมเดลฝึก: การทดสอบ เท่ากับ 60: 40 คำนวณโมเดลฝึกตรวจสอบคุณภาพข้าวด้วยภาพ 1,850 ภาพ ทำซ้ำ จำนวน

25 ชั้นการทดสอบ ได้ประสิทธิภาพของโมเดลฝึกเข้าใกล้ 100% แล้วนำโมเดลฝึกไปทดสอบซ้ำด้วยภาพ 1,300 ภาพ

1. การวัดประสิทธิภาพของโปรแกรมด้านความแม่นยำโดยเฉลี่ยหลังจากการนำ Model Training ไปดำเนินการ Testing ผลการ Training เท่ากับ 0.837 การ Testing เท่ากับ 0.907 พบว่า มีผลต่างของความแม่นยำเฉลี่ย 0.07 คิดเป็นร้อยละ 7 และมีการตรวจสอบความถูกต้อง ตามอัตราส่วนของการค้นพบภาพ ตามเกณฑ์การแบ่งกลุ่มกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% และ15% พบว่า

1.1 ความระลึก (Recall/ True Positive Rate) มีดังนี้ Recall ข้าวขาว 100% = 0.775 Recall ข้าวขาว 5% = 0.775 Recall ข้าวขาว 10% = 0.75 Recall ข้าวขาว 15% = 0.625 สรุปได้ว่า โมเดลนี้มีความโน้มเอียงไปทาง ข้าว 100% และ ข้าว 5% (ค่า Recall มากกว่าแบบอื่น)

1.2 ค่าความแม่นยำ (Precision/ False Positive Rate) มีดังนี้ Precision ข้าวขาว 100% = 0.912 Precision ข้าวขาว 5% = 0.705 Precision ข้าวขาว 10% = 0.667 Precision ข้าวขาว 15% = 0.676 สรุปได้ว่า โมเดลนี้มีความผิดพลาดไปทาง ข้าว 100% มากที่สุด (ค่า Precision มากกว่าแบบอื่น)

1.3 ค่าความถูกต้อง (Accuracy) เป็นอัตราส่วนของการค้นพบภาพที่ถูกต้องทั้งหมดจากจำนวนภาพที่มีอยู่ = 0.907 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 สามารถนำไปใช้ดำเนินการต่อไป

1.4 โปรแกรมคลาดเคลื่อน (F-measure) = 0.028 อยู่ในช่วง 0-1 สามารถนำไปใช้ดำเนินการต่อไป

2. ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการนับจำนวนเมล็ดข้าวในแต่ละภาพระหว่างการนับด้วยมนุษย์กับโปรแกรม พบว่า กลุ่มข้าวขาว 100% มีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.075 คิดเป็นร้อยละ 0.75 ข้าวขาว 5% มีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.125 คิดเป็นร้อยละ 1.25 กลุ่มข้าวขาว 10% มีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.150 คิดเป็นร้อยละ 1.5 กลุ่มข้าวขาว 15% มีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.2 คิดเป็นร้อยละ 2 ผลการทำนายมีค่าความผิดพลาด (RMSE) อยู่ในช่วง 0-1 โดยการจำแนกข้าวขาว 15% มีความผิดพลาดมากที่สุด คือ 0.42 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3. ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้านการจำแนกตามฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวแต่ละภาพเบื้องต้นระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับโปรแกรม พบว่า กลุ่มข้าวขาว 100% มีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.225 คิดเป็นร้อยละ 2.25 กลุ่มข้าวขาว 5% มีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.225 คิดเป็นร้อยละ 2.25 กลุ่มข้าวขาว 10% มีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.25 คิดเป็นร้อยละ 2.5 กลุ่มข้าวขาว 15% มีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน 0.33 คิดเป็นร้อยละ 3.33 ผลการทำนายมีค่าความผิดพลาด (RMSE) อยู่ในช่วง 0-1 โดยการจำแนกข้าวขาว 15% มีความผิดพลาดมากที่สุด คือ 0.74 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ส่วนที่ 3 แอปพลิเคชัน (User Interface) หลังจากพัฒนาโปรแกรมจนกระทั่งได้ความถูกต้องของโปรแกรมทั้งด้านการนับจำนวนและจำแนกคุณลักษณะตามฟีโนไทป์เป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดว่าต้องมีความถูกต้องในการจำแนกใกล้เคียงกับผู้เชี่ยวชาญโดยกำหนดความถูกต้องเกินกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ และคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์แล้ว จึงดำเนินการนำโปรแกรมมาสร้างเป็น

แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนที่มีระบบปฏิบัติการ Android เวอร์ชั่น 8.1 Oreo ซึ่งพบว่าการทำงานของระบบดังกล่าวมีการแสดงผลลัพธ์ในหน้าจอเป็นไปตามการออกแบบดังนี้

ตารางที่ 5-1 อธิบายการทำงานของแอปพลิเคชัน (User Interface) บนสมาร์ทโฟนที่มีระบบปฏิบัติการ Android เวอร์ชั่น 8.1 Oreo

ลำดับ	User Interface	รายละเอียดการทำงาน
1		เริ่มโปรแกรมการทำงาน
2		ตั้งชื่อภาพก่อนนำข้อมูลเข้าตรวจสอบ
3		หากลืมตั้งชื่อระบบจะทำการแจ้งเตือน
4		เมื่อตั้งชื่อภาพเรียบร้อย ให้กดปุ่มเสร็จ เป็นการยืนยัน

ตารางที่ 5-1 (ต่อ)

ลำดับ	User Interface	รายละเอียดการทำงาน
5		ระบบแสดงข้อมูลว่าดำเนินการเรียบร้อย
6		ระบบจะแสดงชื่อภาพที่จะทำการตรวจสอบต่อไป
7		เมื่อเลือกไปที่ชื่อภาพ จะแสดงเมนูมาให้เลือก 2 รูปแบบ คือ 1. ทอสอบข้าว เป็นการนำภาพข้าวเข้ามาประมวลผลใหม่ 2. ดูข้อมูล เป็นการย้อนดูข้อมูลล่าสุดที่ได้บันทึกไว้
8		แสดงลักษณะข้อมูลเก่าที่ย้อนดู
9		แสดงการทดสอบข้าว จะมีให้เลือกว่าต้องการวิเคราะห์ให้เลือกเครื่องหมายถูก หากไม่วิเคราะห์ให้เลือกเครื่องหมายกากบาท

ตารางที่ 5-1 (ต่อ)

ลำดับ	User Interface	รายละเอียดการทำงาน
10		หน้าจอขณะรอวิเคราะห์ผล
11		ขณะวิเคราะห์ผลหากเกิดปัญหาระบบค้างจะแสดงคำเตือนให้ผู้ใช้งานทราบ
12		ผลลัพธ์สุดท้ายของการวิเคราะห์จะแสดงชนิดของข้าว พร้อมแจ้งว่าทำการเฉลี่ยจากข้อมูลจำนวนกี่ครั้งสำหรับคำตอบที่ปรากฏ
13		หน้าจอจะมีปุ่มให้เลือกว่าต้องการบันทึก หรือออกจากระบบ หากออกจากระบบจะไม่มีการบันทึกใดๆ แค่ปรากฏผลให้ดูเบื้องต้นเท่านั้น
14		ท้ายสุดหากมีการบันทึกหน้าจอจะแสดงข้อมูลให้ยืนยันอีกครั้ง

2. การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว แบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 ใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นตรวจสอบความถูกต้อง ตามอัตราส่วนของการค้นพบภาพ ตามเกณฑ์การแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าวกับผู้เชี่ยวชาญ

จากการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% และ 15% พบว่ามีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกันในข้าวทุกกลุ่มดังนี้

1. ข้าวขาว 100% เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างจำนวน 40 ภาพ ต่างจากจำนวน 16 ภาพอยู่ 0.1% ความผิดพลาดในการทำนาย (RMSE) จำนวน 40 ภาพ คือ 0.28 จำนวน 16 ภาพ คือ 0.18 จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดลดลง

2. ข้าวขาว 5% เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างจำนวน 40 ภาพ ต่างจากจำนวน 16 ภาพอยู่ 0.05% ความผิดพลาดในการทำนาย (RMSE) จำนวน 40 ภาพ คือ 0.32 จำนวน 16 ภาพ คือ 0.44 จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดเพิ่มขึ้น

3. ข้าวขาว 10% เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างจำนวน 40 ภาพ ต่างจากจำนวน 16 ภาพอยู่ 0.2% ความผิดพลาดในการทำนาย (RMSE) จำนวน 40 ภาพ คือ 0.39 จำนวน 16 ภาพ คือ 0.18 จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดลดลง

4. ข้าวขาว 15% เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างจำนวน 40 ภาพ ต่างจากจำนวน 16 ภาพอยู่ 0.2% ความผิดพลาดในการทำนาย (RMSE) จำนวน 40 ภาพ คือ 0.35 จำนวน 16 ภาพ คือ 0.35 จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดเท่าเดิม

ส่วนที่ 2 ใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่พัฒนาขึ้นไปตรวจสอบคุณภาพเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย อธิบายดังนี้

1. ความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องของของการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มโดยแอปพลิเคชันกับข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทยของกลุ่มของข้าว 100% 5% 10% และ15% พบว่า ข้าวขาว 15% และ 10% มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากัน คิดเป็นร้อยละ 1 รองลงมาคือ ข้าวขาว 100% และ 5% มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่ากัน คิดเป็นร้อยละ 0.75

2. ความผิดพลาดในการทำนาย (RMSE) พบว่า มีความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ ข้าวขาว 100% และ 5% เท่ากัน รองลงมาคือ ข้าวขาว 15% และ 10% มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากัน

นอกจากนี้ยังได้มีการนำผลความคลาดเคลื่อนของการแบ่งกลุ่มโดยโปรแกรม และแอปพลิเคชัน ที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และข้อมูลหน้าถุงข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทยมาเปรียบเทียบกันดังนี้

1. ความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มระหว่างโปรแกรมที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ข้าวขาว 15% มีผลต่างความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 0.5 รองลงมาคือ ข้าวขาว 100% และ 10% มี

ผลต่างความคลาดเคลื่อน คิดเป็นร้อยละ 0.3 และที่มีผลต่างความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ ข้าวขาว 5% คิดเป็นร้อยละ 0.2

2. ความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มระหว่างแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และแอปพลิเคชันที่ตรวจสอบโดยฉลากหน้าถุงบรรจุภัณฑ์ข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย พบว่า ข้าวขาว 10% มีผลต่างความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 0.5 รองลงมาคือ ข้าวขาว 100% มีผลต่างความคลาดเคลื่อน คิดเป็นร้อยละ 0.25 และที่มีไม่มีผลต่างความคลาดเคลื่อน คือ ข้าวขาว 5% และ 15%

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก อภิปรายผลการวิจัย ได้ดังนี้

การออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวมีการดำเนินงานทั้งในด้านของอุปกรณ์ โปรแกรม และการนำไปทดสอบกับผลผลิตที่วางจำหน่ายในท้องตลาดของประเทศเทศไทย ซึ่งการพัฒนาโปรแกรมได้นำแนวคิดของออซูเบล (Assimilation Theory) เป็นแนวคิดที่ช่วยสอน เครื่องจักรเรียนรู้ (Machine) ในการตอบคำถามผิดหรือถูก และผลลัพธ์มาปรับปรุงการสอน เพื่อปรับปรุงโมเดลให้มีความแม่นยำมากขึ้น โดยดูจากปริมาณการตอบผิด เพื่อให้รอบถัดๆไปจะตอบผิดน้อยลงเรื่อยๆ สอดคล้องกับ งานวิจัยของ Mohsen et al, 2018 “ดึงเอาจุดสำคัญของภาพออกมาทำให้การจัดกลุ่มมีความแม่นยำเพิ่มขึ้น” และ Zavitsanos, Paliouras, Vouros, and Petridis, 2010 ที่นำ “Subsumption Theory มาช่วยสร้างอนุกรมวิธาน (ontology of rice)”

นอกจากนี้ปัญหาของการนำภาพมาสอนให้เครื่องจักรเกิดการเรียนรู้นั้นมีปริมาณมาก เพราะคุณลักษณะของข้าวมีองค์ประกอบที่หลากหลายแม้เพียงเมล็ดเดียว หากพิจารณาจะพบว่ามีคุณลักษณะทั้งในเรื่องของขนาด สี พื้นผิวผสมปนกัน ซึ่งการจะจำแนกอย่างชัดเจนว่าข้าวเมล็ดนั้นควรกำหนดให้เป็นข้าวที่มีลักษณะเช่นไรแน่นอนต้องใช้เทคนิคที่สร้างให้เกิดการเรียนรู้ที่ดี ซึ่งเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกนั้นเหมาะสมกับสภาพปัญหาดังกล่าว สอดคล้องกับ งานวิจัยของ Mitchell, 1997 “ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาด้านต่าง ๆ เช่น การสร้างให้คอมพิวเตอร์สามารถแยกแยะวัตถุ เสียง หรือตัวอักษรได้ หรือจำแนกข้อมูลจำนวนมากที่ไม่สามารถทำได้โดยมนุษย์” และ Indolia, Goswami Mishra, and Asopa, 2018 ที่เลือกใช้ Convolutional Neural Networks (CNNs) “CNN เป็นวิธีการเรียนรู้ที่ลึกซึ้งใช้กันอย่างแพร่หลายในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน มันเอาชนะข้อจำกัดของวิธีการเรียนรู้เครื่องแบบดั้งเดิม ไม่ว่าจะเป็นการจัดหมวดหมู่ฉลาดฉลาด การลดจำนวนของพารามิเตอร์ให้มีเท่าที่จำเป็นในระดับที่ดี”

และเมื่อนำโปรแกรมที่พัฒนาใช้ทดสอบเปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ และฉลากหน้าถุงบรรจุภัณฑ์ข้าวหอมมะลิไทยที่วางจำหน่ายในประเทศไทย พบว่า

การตรวจสอบความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มที่ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ ฉลากหน้าถุงบรรจุภัณฑ์ กับ โปรแกรมและการทำงานของแอปพลิเคชันมีค่าความผิดพลาด(RMSE)ในการทำนายสูงสุด คือ 0.53 และมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ 1%

ข้อเสนอแนะ

ระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก ผลลัพธ์ที่ได้ของงานวิจัยนี้ คือโปรแกรมที่อยู่ใน แอปพลิเคชันที่เป็นระบบ off line โดยใช้เกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออกเพื่อควบคุมข้าว มีการประกาศในราชกิจจานุเบกษาของกระทรวงพาณิชย์ ณ พ.ศ. 2559 เท่านั้นหากมีการปรับปรุงเกณฑ์ใหม่แอปพลิเคชันจะไม่สามารถพัฒนาตนเองในการนำข้อมูลใหม่เข้าไปให้เกิดการเรียนรู้ได้ สิ่งนี้คือข้อจำกัดประเด็นหลักของงานวิจัยนี้ หากจะดำเนินการปรับปรุงก็ต้องมีทีมพัฒนาและนำขึ้นระบบ play stone ของ Android จึงจะสามารถปรับเปลี่ยนประสิทธิภาพของ แอปลิเคชั่นนั้นให้กับผู้ใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง

นอกจากนี้ข้อค้นพบทางด้านเทคนิคที่ทำให้งานวิจัยนี้มีผลคลาดเคลื่อนในแต่ละด้านมีดังนี้

1. ด้านการนับจำนวนวัตถุในภาพ พบว่า ความคลาดเคลื่อนเกิดจากเมล็ดข้าวบางเมล็ดมีการกระจายตัวไม่หมด ยังมีบางเมล็ดที่ติดกันในลักษณะต่อกันทำให้เกิดมุมระหว่างเมล็ดที่ มากเกิน 90 องศา หรือ น้อยกว่า 45 องศา

แนวทางการแก้ไขต่อไป คือ เพิ่ม Contour ในการแสดงรูปร่างของวัตถุ และปรับมุมองศาของเส้นตัด กรณีวัตถุมีมุมใกล้เคียง 180 องศา หรือ น้อยกว่า 45 องศา

2. ด้านการวัดขนาดของวัตถุแต่ละเมล็ด พบความคลาดเคลื่อนและแนวทางการแก้ไขนั้นเช่นเดียวกันกับด้านการนับจำนวนวัตถุในภาพ แต่ควรทดลองสร้างแถบวัดขนาด ที่มีขนาดเกินกว่าขนาดจริงที่ใหญ่ที่สุดของเมล็ดข้าวมาตรฐาน (ขนาด 1 เซนติเมตร x 3 เซนติเมตร)

3. ด้านการจำแนกสี พบว่าการอ่านค่าสีที่มีลักษณะใกล้เคียงกันมีผลต่อการจำแนกคุณลักษณะของวัตถุ

แนวทางการแก้ไขต่อไป คือ ปรับช่วง RGB ให้มีความละเอียดของ scale ให้เกินกว่าทศนิยม 1 ตำแหน่ง

4. การกำหนดค่าการแบ่งกลุ่ม พบว่าบางเมล็ดผลลัพธ์ในการจำแนกกลุ่มผิดพลาดเนื่องจากรายละเอียดการจำแนกแต่ละเมล็ดยังน้อย

แนวทางการแก้ไขต่อไป คือ เพิ่มความละเอียดของการแบ่งกลุ่มเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ข้าว 1 เมล็ดมีคุณลักษณะภายในหลากหลาย อาทิเช่น ข้าวเต็มเมล็ดท้องไข่สีเหลือง

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. สามารถนำชุดอุปกรณ์และสมาร์ทโฟนที่เป็นระบบปฏิบัติการแอนดรอย์ไปใช้ การตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว ตามเกณฑ์มาตรฐานการส่งออกกระทรวงพาณิชย์ พ.ศ. 2559 นอกสถานที่ได้ง่ายด้วยที่นำหนักเบาขนาดเล็ก

2. ในการบันทึกผลด้วยสมาร์ทโฟนสามารถส่งผลการวิเคราะห์ได้เมื่อเปิดระบบออนไลน์เชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต

3. สามารถนำภาพที่ถ่ายเก็บไว้จากอุปกรณ์อื่นส่งออนไลน์มายังสมาร์ทโฟนที่มีแอปพลิเคชั่นนี้ได้

4. สามารถบันทึกผลซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลเปรียบเทียบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวเพื่อการส่งออกในอนาคต

5. สามารถนำผลการตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว ไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อการเพาะปลูกต่อไป

บรรณานุกรม

กฤษฎา แก้วแก่นคูณ, วีระยุทธ ปัตถามัง, ณัฐพล แพงอ่อน, ฝากจิต ปาลินทร ลาภจิตร, พัชราภรณ์ ภูมิจันทึก, ยศ บริสุทธิ์ และสุกัลยา เชิญขวัญ. (2560). การอนุรักษ์พันธุกรรมข้าวพื้นบ้านโดยชุมชน: บทเรียนการอนุรักษ์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *แก่นเกษตร, 45 ฉบับพิเศษ* (1), 1528-1533.

กระทรวงเกษตรสหรัฐฯ. (2560). *สถานการณ์ข้าวของโลก.* เข้าถึงได้จาก http://www.commercethaiusa.org.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2561). *ดาวน์โหลดแอพพลิเคชั่น.* เข้าถึงได้จาก https://www.moac.go.th/service_all-mobile_app

กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. (2560). *การตรวจสอบข้าว*. เข้าถึงได้จาก http://www.dft.go.th/th-th/การตรวจสอบข้าว

กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. (2558). *QC คือ*. เข้าถึงได้จาก http://www.aseanthai.net/ewt_news.php?nid=3020&filename=index

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2017). *แนวทางการตรวจสอบคุณภาพอย่างง่าย.* เข้าถึงได้จาก https://bsid.dip.go.th/th/category/quality-control/qs-qualitycheck

กลุ่มบริษัทตรวจสอบและรับรองระบบแห่งประเทศจีน. (2561). *สมาคมค้าข้าวประเทศจีน.* เข้าถึงได้จาก http://www.ccicthai.com/index.php?langtype=th&pageid=th_18&add=view&id=1

ขนิษฐา กุลนาวิน, ธนิตา วงศ์กาฬสินธุ์ และนพรัตน์ ยติกร. (2557). การออกแบบออนโทโลยีข้าวไทย. *วารสารนเรศวรพะเยา, 7*(1), 76-84.

คณะทำงานยกร่างยุทธศาสตร์การเกษตรต่างประเทศ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2560). *ยุทธศาสตร์การเกษตรต่างประเทศ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2560-2564.* กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

งามชื่น คงเสรี, จารุวรรณ บางแวก, กัญญา เชื้อพันธุ์, สุนันทา วงศ์ปิยชน, วัชรี สุขวิวัฒน์, พูลศรี สว่างจิต และศิริวรรณ ตั้งวิสุทธิจิต. (2547). *โครงการหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ด้านการเกษตร เฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว: คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย.* เข้าถึงได้จาก http://ag-ebook.lib.ku.ac.th/index.php/component/content/article/850

จักรชัย โสอินทร์. (2555). *คู่มือพัฒนาแอพพลิเคชั่น Android อย่างมืออาชีพ.* นนทบุรี: ไอดีซีพรีเมียร์.

จักรพงษ์ เจิมศิริ. (2545). *พจนานุกรมศัพท์เกษตร*. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

จิตสราญ สีกู่กา. (2557). *ลักษณะเด่นเพื่อการจำแนกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยการวิเคราะห์ภาพ.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิรัฏฐา ภูบุญอบ และอรนุช ศรีสะอาด. (2558). การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย. *วารสารการวัดผลการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 21*(1), 51-65.

ไชยเจริญเทค จำกัด. (2561). *เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพ (Quality Control–Q.C.).* เข้าถึงได้จาก https://www.chi.co.th/article/article-1138/

ชาญ มงคล. (2536). *ข้าว.* กรุงเทพฯ: ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู.

ชาญชัย นามพล. (2558). การตรวจสอบเมล็ดพันธุ์ข้าวแดงปนในข้าวขาวโดยวิธีการประมวลผลภาพดิจิตอล. *Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University, 5*(1), 59-71.

ณัฐหทัย เอพาณิช. (2547). *การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์.* กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ กรมวิชาการเกษตร.

ทิพย์เทพ หมั่นพลศรี และมณเฑียร รัตนศิริวงศ์วุฒิ. (2015). การพัฒนาระบบการจัดการองค์ความรู้พันธุ์ข้าวในประเทศไทย. ใน *การประชุมวิชาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 11* (หน้า 685-690).

ไทยโพสต์. (2561). *ปลื้มส่งออกข้าว 2 เดือนพุ่ง.* เข้าถึงได้จาก http://www.ryt9.com/s/tpd/2806243

เทคโนโลยีชีวภาพแหล่งรวมความรู้ทางเทคโนโลยีชีวภาพ. (2561). *ฟีโนไทป์ (Phenotype) คือ อะไร (What is Phenotype?).* เข้าถึงได้จาก http://www.thaibiotech.info/what-is-phenotype.php

เทคโนโลยีชีวภาพแหล่งรวมความรู้ทางเทคโนโลยีชีวภาพ. (2561). *Artificial intelligence.* เข้าถึงได้จาก http://www.thaibiotech.info/what-is-phenotype.php

ธนัญชัย ตรีภาค. (2555). *กรณีศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C.* กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

น้ำฝน อัศวเมฆิน. (2558). *หลักการพื้นฐานของวิศวกรรมซอฟต์แวร์ (Fundamentals of Software Engineering).* กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

นุชรี ธรรมโชติ. (2557). *การพัฒนาระบบการประมวลผลภาพสำหรับกระบวนการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ของหมึกกล้วยแปรรูป.* วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บุปผา วิไลพันธ. (2561). *What–Why–Who–How ของเรื่อง Software Testing.* เข้าถึงได้จาก http://wcm.g-able.com/portal/page/portal/g-able/thai/it_talks/Y2012/it_talks_V31_02/G-Magz_V31_2.pdf

บุญหงษ์ จงคิด, วุฒิชัย แตงทอง และเอกชัย ราชแสง. (2559). คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเมล็ดพันธุ์ข้าวหอมธรรมศาสตร์. *Thai Journal of Science and Technology, 5*(1), 37-42.

ปทีป เมธาคุณวุฒิ. (2543). *การพัฒนาต้นแบบการเรียนการสอนผ่านเว็บ.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประพฤติ พรหมสมบูรณ์, ทรงศักดิ์ จันทร์อุดม, อนุสสรณ์ วิเศษสิงห์, สุธัญญา พรหมสมบูรณ์, และคัชชา กาญจนจันทร์. (2559). การรวบรวมพันธุ์และศึกษาลักษณะทางการเกษตรของข้าว (Oryza sativa L.) พันธุ์พื้นเมืองไทย. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, 34*(3), 126-132.

ประสิทธิ์ นครราช, จุรีรัตน์ อ้วนศรีเมือง และนภาภรณ์ มัธนัง. (2554). การศึกษาการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของข้าวโดยการประมวลผลภาพดิจิตอลเมล็ดข้าวสาร. ใน *การประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 5 การบูรณาการวิจัยสู่ประชาคมอาเซียน* (หน้า 194-202). อุบลราชธานี: สำนักงานส่งเสริมบริหารงานวิจัย บริการวิชาการและทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม.

ปรเมนทร์ พอใจ, ปิยชาต วังมูล, ณกรณ์ ขาชัยสีเมฆ, ชัยยะ เหลืองวิริยะ, เอกชัย จงเสรีเจริญ และวิชัย กองศรี. (2560). การคัดพันธุ์ข้าวเปลือกไทยด้วยวิธีวิเคราะห์ภาพถ่าย. *Science and Technology RMUTT Journal, 7*(2), 145–152.

พจนานุกรมไทย. (2561). *ข้าว.* เข้าถึงได้จาก http://พจนานุกรมไทย.com/search.php?qsearch=0&q=ข้าว&id=2

พจนานุกรมไทย. (2561). *ข้าวเจ้า.* เข้าถึงได้จาก http://พจนานุกรมไทย.com/2-767-ความหมาย-ข้าวเจ้า%20.html

พจนานุกรมศัพท์ สสวท. (2561). *Phenotype.* เข้าถึงได้จาก http://www.thaiglossary.com/groups/ipst-vocab/browse/published/search/phenotype

พระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออก เรื่อง กำหนดให้ข้าวขาวเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวขาว 2555. (2556, 30 มกราคม). *ราชกิจจานุเบกษา.* หน้า 10 เล่ม 130 ตอนพิเศษ 14 ง.

พระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออก เรื่อง มาตรฐานสินค้าข้าว 2559. (2559, 21 ตุลาคม) *ราชกิจจานุเบกษา.* หน้า 14 เล่ม 133 ตอนพิเศษ 243 ง.

พระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออก เรื่อง กำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย (ฉบับที่ 3) 2559. (2559, 21 ตุลาคม) *ราชกิจจานุเบกษา.* หน้า 5 เล่ม 133 ตอนพิเศษ 243 ง.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2561). *การสีข้าว/Rice milling.* เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3644/การสีข้าว-rice-milling

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2561). *คุณภาพอาหาร/Rice milling.* เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3022/food-quality-คุณภาพอาหาร% 2561

มติชนออนไลน์. (2559). *บูห์เล่อร์ โชว์สุดยอดนวัตกรรมเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าว.* เข้าถึงได้จาก https://www.matichon.co.th/news/124808

มนตรี โพธิโสโนทัย. (2557). *การใช้งานโปรแกรม MATLAB สำหรับวิเคราะห์ทำงานสถิติ.* กรุงเทพฯ: วิทยาลัยนานาชาติสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2561). *การวิเคราะห์ระบบ.* เข้าถึงได้จาก https://th.wikipedia.org/Wiki/การวิเคราะห์ระบบ

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2561). *ข้าว.* เข้าถึงได้จาก https://th.wikipedia.org/wiki/ข้าว

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2561). *ข้าวหอมมะลิ.* เข้าถึงได้จาก https://th.wikipedia.org/wikiข้าวหอมมะลิ

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2561). *โครงข่ายประสาทเทียม.* เข้าถึงได้จาก https://th.wikipedia.org/Wiki/โครงข่ายประสาทเทียม

ศักดิ์คเรศ ประกอบผล. (2553). *การถ่ายภาพด้วยระบบดิจิทัล.* กรุงเทพฯ: อิเมจโฟกัส.

ศิฎาภรณ์ ธรรมศรี และศรัญญา กันตะบุตร. (2559). ส่วนประสมการตลาดที่มีผลต่อผู้บริโภคเจนเนอเรชันวานในจังหวัดเชียงใหม่ในการซื้อกล้องถ่ายภาพดิจิทัล. *วารสารบริหารธุรกิจมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2*(3), 696-713.

ศิริชัย กาญจนวาสี. (2017). การวิจัยและพัฒนาการศึกษาไทย. *วารสารศิลปากรศึกษาศาสตร์วิจัย, 8*(2), 1-18.

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. (2561). เทคโนโลยีโฟโทนิกส์ สำหรับตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว. เข้าถึงได้จาก https://www.nectec.or.th/innovation/innovation-software/c-rice.html

ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวและหน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว. (2561). *ข้าว.* เข้าถึงได้จาก http://dna.kps.ku.ac.th/index.php/articles-rice-rsc-rgdu-knowledge/45-rice

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สสวท.). (2561). *Artificial intelligence.* เข้าถึงได้จาก http://www.thaiglossary.com/node/13288.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สสวท.). (2561). *Phenotype.* เข้าถึงได้จาก https://www.thaiglossory.com/node/61174

สมัคร ยิ่งยง, ลือชัย อารยะรังสฤษฎ์ และสมทรง โชติชื่น. (2553). *สุดยอดข้าวไทย.* กรุงเทพฯ: Toyota Morter Thailand.

สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. (2561). *เบื้องหลังราคาข้าวตกต่ำ สู่ทางออกที่ควรจะเป็น.* เข้าถึงได้จาก https://tdri.or.th/2016/12/2016-11-30/

สยาม เอ็น.ซี.พี. ไร้ซ์ จำกัด. (2559). *ประเภทของข้าว.* เข้าถึงได้จาก http://siamncprice.com/2016/01/14/ประเภทของข้าว/

สังคมการเกษตร. (2561). *ทำไมต้องข้าวเจ้า? เคยสงสัยกันบ้างไหม.* เข้าถึงได้จาก https://getkaset.com/blogs/25

สารานุกรมไทย. (2561). *สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 3 เรื่องที่ 1 ข้าว* เข้าถึงได้จาก http://kanchanapisek.or.th/kp6/Ebook/BOOK3/book3_1/Default.html

สายฝน พรมเทพ, กฤติกา สังขวดี และปัญญา สังขวดี. (2559). การพัฒนาแอพพลิเคชั่นบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่องกีฬา แบดมินตัน. ใน *การประชุมสัมมนาวิชาการ "ราชภัฏนครสวรรค์วิจัย ครั้งที่ 1".* (หน้า 739-750) บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.

สิติมา จิตตินันทน์. (2559). *เทคนิคการตรวจสอบและการประเมินคุณภาพอาหารด้วยวิธีทางกายภาพ หน่วยที่ 6.* นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

สุจิตรา อดุลย์เกษม, จิตดำรง ปรีชาสุข และวัลลภ อดุลย์เกษม. (2555). ต้นแบบระบบสำหรับวัดขนาดที่แท้จริงของวัตถุจากภาพฟิล์มเอกซเรย์. *The Journal of KMUTNB*, *22*(1), 90-98.

สุพัตรา นราวัฒนะ. (2559). เทคโนโลยีทางด้านฟีโนมิกส์ของพืช. *วารสารวิชาการข้าว, 7*(1), 84-95.

สำนักงานคณะกรรมการตรวจข้าว สภาหอการค้าแห่งประเทศไทย. (2561). *การตรวจสอบคุณภาพข้าว.* เข้าถึงได้จาก http://www.riceinspection.com/

สำนักงานคณะกรรมการตรวจข้าว สภาหอการค้าแห่งประเทศไทย. (2561). *การวิเคราะห์คุณภาพข้าว.* เข้าถึงได้จาก https://meidisa300.wixsite.com/riceinspcetion

สำนักงานมาตรฐานสินค้า. (2561). *ผู้จำหน่ายที่ได้รับอนุญาตให้ใช้เครื่องหมายรับรอง.* เข้าถึงได้จาก http://ocs.dft.go.th/Article/รายชื่อผู้จำหน่ายข้าวหอมมะลิไทยในประเทศ/tabid/340/Default.aspx

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2560). *มกษ. 4000-2560 ข้าวหอมมะลิไทย.* กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2560). *มกษ. 4001-2560 ข้าวหอมไทย.* กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2560). *มกษ. 4004-2560 ข้าวไทย.* กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2560). *มกษ. 4006-2560 ข้าวสีไทย.* กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. (2552). *คุณภาพ.* เข้าถึงได้จาก http://www.royin.go.th/?knowledges=คุณภาพ-6-พฤษภาคม-2552

สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. (2550). *รูปแบบการผลิตพืชสำหรับข้าวหอมมะลิไทยอินทรีย์.* เชียงราย: ศูนย์วิจัยข้าวเชียงราย สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. (2559). *สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2560.* กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม. (2560) *ข้าว–DITP*. เข้าถึงได้จาก http://www.ditp.go.th/contents_attach/165773/165773.pdf

สุชาติ แย้มเม่น, ณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์วงศ์ และโชคชรัตน์ ฤทธิ์เย็น. (2559). การจำแนกประเภทเมล็ดข้าวด้วยการประมวลผลภาพ. *วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 10*(1), 1-13.

สุธีรา มูลศรี, นงนุช ประดิษฐ์, พจน์ วัจนะภูมิ, นิทัศน์ สิทธิวงศ์, ศิวัพงศ์ นฤบาล, ไพโรจน์ โชตินิสากรณ์, กาญจนา พิบูลย์ และสาธิต ปิ่นมณี. (2554). ข้าวสาลีสายพันธุ์ดีเด่น. ใน *สัมมนาวิชาการกลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคเหนือตอนบนและภาคเหนือตอนล่าง.* (หน้า 380-387). แพร่: กรมการข้าว สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว.

อภิวัฒน์ อินทร์นก, พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ และอรประภา เทพศิลปวิสุทธิ์. (2559). การเปรียบเทียบคุณภาพข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในจังหวัดสุรินทร์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 24*(5), 766-776.

อัญชลี ประเสริฐศักดิ, ศรัณย์ สัมฤทธิ์เดชขจร, ยุทธนา อินทรวันณี, โกษม ไชยถาวร, ประสิทธิ์ ป้องสูน, กัญญา เชื้อพันธุ์, กรรณิการ์ พรหมพันธ์ใจ และพรพรรณ ยานะโส. (2559). เทคโนโลยีโฟโทนิกส์เพื่อการตรวจสอบเมล็ดพันธุ์ข้าว. *วารสารวิชาการข้าว, 7*(1), 60-67.

อุทัย แสงทองพราว และยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี. (2559). การหาขอบเขตของวัตถุในภาพสีโดยอาศัยการจำแนกกลุ่มข้อมูล. ใน *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 38,* (หน้า 421-426). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

องค์ความรู้เรื่องข้าว. (2561). *พันธุ์ข้าว.* เข้าถึงได้จาก http://www.ricethailand.go.th/Rkb/varieties/images/content/image/ricephysio/rice-panicle.png

องค์ความรู้เรื่องข้าว สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2561). *คุณภาพทางกายภาพ (Grain physical quality).* เข้าถึงได้จาก http://www.rakbankerd.com/agriculture/page.php?id=4696&s=tblrice

เอกสิทธิ์ พัชราวงศ์ศักดา. (2557). *การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคดาต้า ไมน์นิ่ง เบื้องต้น.* กรุงเทพฯ: เอเชียดิจิตอลการพิมพ์.

โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. (2549). *โครงสร้างข้อมูล (Data Stucture) เพื่อการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์.* กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. (2554). *ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ.* กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

อรฉัตร จิตต์โสภักตร์. (2552). *Digital Image processing ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิตอล.* กรุงเทพฯ: สงวนกิจ พริ้นท์ แอนด์ มีเดีย.

ไอเอ็ม 2. (2559). *ระบบ หมายถึง (system).* เข้าถึงได้จาก https://www.im2market.com/2016/10/02/3603

Abirami, S., Neelamegam, P., & Kala, H. (2014). Analysis of rice granules using image processing and neural network pattern recognition tool. *International Journal of Computer Applications, 96*(7).

Afsar, M. A. N. (2001). Grade, Standards and Inspection Procedures of Rice in Bangladesh. *TOWARDS CaMPREHENSIUIIE FOQD*, 53.

Ajay, G., Suneel, M., Kumar, K. K., & Prasad, P. S. (2013). Quality evaluation of rice grains using morphological methods. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), 2*(6), 35-37.

Ajaz, R. H., & Hussain, L. (2015). Seed classification using machine learning techniques. *Seed, 2*(5).

Aulakh, J. S., & Banga, V. (2012). Grading of rice grains by image processing. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 1*(4).

Balagtas-Fernandez, F., Forrai, J., & Hussmann, H. (2009). *Evaluation of User Interface Design and Input Methods for Applications on Mobile Touch Screen Devices.* In: Gross T. et al. (eds) Human-Computer Interaction–INTERACT 2009. INTERACT 2009. Lecture Notes in Computer Science, vol 5726. Springer, Berlin, Heidelberg

Barbedo, J. G. A. (2013). Digital image processing techniques for detecting, quantifying and classifying plant diseases. *SpringerPlus, 2*(1), 660.

Boser, B. E., Guyon, I. M., & Vapnik, V. N. (1992). *A training algorithm for optimal margin classifiers.* In COLT92 Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory (pp. 144-152) New York: Pittsburgh.

Calvini, R., Ulrici, A., & Amigo, J. M. (2015). Practical comparison of sparse methods for classification of Arabica and Robusta coffee species using near infrared hyperspectral imaging. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 146*, 503-511.

Candokamera. (2018). *Edge Detection.* Retrieved from https://candokamera.wordpress.com/edge-detection/

Casanova, C., Franco, A., Lumini, A., & Maio, D. (2013). SmartVisionApp: A framework for computer vision applications on mobile devices. *Expert Systems with Applications, 40*(15), 5884-5894.

Chen, C.-Y., Hwang, R.-C., & Chen, Y.-J. (2010). A passive auto-focus camera control system. *Applied Soft Computing, 10*(1), 296-303.

Chen, D., Neumann, K., Friedel, S., Kilian, B., Chen, M., Altmann, T., & Klukas, C. (2014). Dissecting the phenotypic components of crop plant growth and drought responses based on high-throughput image analysis. *The Plant Cell, 26*(12), 4636-4655.

Choodum, A., Parabun, K., Klawach, N., Daeid, N. N., Kanatharana, P., & Wongniramaikul, W. (2014). Real time quantitative colourimetric test for methamphetamine detection using digital and mobile phone technology. *Forensic science international, 235*, 8-13.

Christopher, M. B. (2016). *Pattern Recognition and Machine Learning.* New York: Springer-Verlag.

Cubero, S., Albert, F., Prats-Moltalbán, J. M., Fernández-Pacheco, D. G., Blasco, J., & Aleixos, N. (2018). Application for the estimation of the standard citrus colour index (CCI) using image processing in mobile devices. *Biosystems Engineering, 167*, 63-74.

Cuevas, R. P., Pede, V. O., McKinley, J., Velarde, O., & Demont, M. (2016). Rice grain quality and consumer preferences: a case study of two rural towns in the Philippines. *PloS one, 11*(3), e0150345.

De Araújo, S. A., Pessota, J. H., & Kim, H. Y. (2015). Beans quality inspection using correlation-based granulometry. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 40*, 84-94.

Delone, W. H., & McLean, E. R. (2003). The DeLone and McLean model of information systems success: A ten–year update. *Information System, 19*(4), 9–30.

Deng, L., & Yu, D. (2014). Deep learning: methods and applications. *Foundations and Trends® in Signal Processing, 7*(3-4), 197-387.

Deng, L. (2014). A tutorial survey of architectures, algorithms, and applications for deep learning. *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing, 3*, E2. doi:10.1017/atsip.2013.9

Deng, L. (2016). Deep learning: From speech recognition to language and multimodal processing. *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing, 5,* E1. doi:10.1017/ATSIP.2015.22

De Oliveira, E. M., Leme, D. S., Barbosa, B. H. G., Rodarte, M. P., & Pereira, R. G. F. A. (2016). A computer vision system for coffee beans classification based on computational intelligence techniques. *Journal of Food Engineering, 171*, 22-27.

Digitalmarketingwow. (2560). *ภาษายอดนิยมสำหรับเรียนเขียนโปรแกรม 2018.* เข้าถึงได้จาก http://digitalmarketingwow.com/2017/11/16/ภาษายอดนิยมสำหรับเขียนโปรแกรม/

Dubosclard, P., Larnier, S., Konik, H., Herbulot, A., & Devy, M. (2014). Automatic method for visual grading of seed food products. In *International Conference Image Analysis and Recognition* (pp. 485-495). Springer, Cham.

Dubosclard, P., Larnier, S., Konik, H., Herbulot, A., & Devy, M. (2015). Deterministic method for automatic visual grading of seed food products. In *4th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods*.

Durai, S., Vadivel, M. T., & Sujithra, T. (2017). Grading of Rice Quality by Chalky area analysis Using Simple Digital Image Processing Techniques. *International Journal of Pure and Applied Mathematics, 114*(12), 657-665.

Ebrahimi, E., Mollazade, K., & Babaei, S. (2014). Toward an automatic wheat purity measuring device: A machine vision-based neural networks-assisted imperialist competitive algorithm approach. *Measurement*, *55*, 196-205.

Ekanayaka, E., Weerakoon, S., Somaratne, S., & Weerasena, O. (2017). Developing herbicide resistant Sri-lankan rice (Oryza sativa L.) varieties: An application of Self Organizing Map. *Information Processing in Agriculture, 4*(2), 140-149.

Elyasi, S., Abdollahi, S., & Mollasadeghi, V. (2014). Cluster analysis of 24 Genotypes of Modified rice According to Qualitative and Quantitative traits. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci, 3*(8), 109-111.

Expert System for Paddy. (2018). *Botany of Paddy.* Retrieved form http://www.agritech.tnau.ac.in/expert_system/paddy/Botany.html

Faessel, M., & Courtois, F. (2011). Touching grain kernels separation by gap-filling. *Image Analysis & Stereology*, *28*(3), 195-203.

Far Eastern Agriculture. (2016). *New technology to better manage rice production in Asian nations.* Retrieved form http://fareasternagriculture.com/crops/agriculture/new-technology-to-better-manage-rice-production-in-asian-nations

Frid-Adar, M., Diamant, I., Klang, E., Amitai, M., Goldberger, J., & Greenspan, H. (2018). GAN-based Synthetic Medical Image Augmentation for increased CNN Performance in Liver Lesion Classification. *arXiv preprint arXiv:1803.01229*, 1-10

Ghadge, P., & Prasad, K. (2012). Some physical properties of rice kernels: Variety PR-106. *Journal of Food Process Technology, 3*(8), 1-5.

Gong, A., Yu, J., He, Y., & Qiu, Z. (2013). Citrus yield estimation based on images processed by an Android mobile phone. *Biosystems Engineering, 115*(2), 162-170.

Grunz, A., Memmert, D., & Perl, J. (2012). Tactical pattern recognition in soccer games by means of special self-organizing maps. *Human Movement Science, 31*(2), 334-343.

Gujjar, H. S., & Siddappa, D. M. (2013). A method for identification of Basmati rice grain of india and its quality using pattern classification. *Int J Eng Res Applic, 3*, 268-273.

Hanibah, S. S. B., Khairunniza-Bejo, S., Ismail, W. I. W., & Wayayok, A. (2014). Determination of physical rice composition using image processing technique. *Journal of Food, Agriculture and Environment, 12*(1), 205-209.

Hoehle, H., & Venkatesh, V. (2015). Mobile Application Usability: Conceptualization and Instrument Development. *Mis Quarterly, 39*(2).

ISO 7301: 2002 Rice–Specification & CODEX STAN 198 – 1995 Codex Standard for Rice. (2558). *มาตรฐานแห่งชาติ สาธารณรัฐประชาชนจีน ข้าว Rice.* (นพรัตน์ บัวหอม, แปล). *ข้าว Rice มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2552.* กรุงเทพฯ: กลุ่มบริการส่งออกสินค้าเกษตร สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

Jain, D. K., Dubey, S. B., Choubey, R. K., Sinhal, A., Arjaria, S. K., Jain, A., & Wang, H. (2017). An approach for hyperspectral image classification by optimizing SVM using self organizing map. *Journal of Computational Science*, *25,* 252-259.

Jang, I. H., & Choe, Y. C. (2014). Infrequent Data Binning Method for Improving Prediction Performance: The Case of Rice Productivity Prediction model. *International Journal of Software Engineering and Its Applications, 8*(9), 69-80.

Jin, L., Lazarow, J., & Tu, Z. (2017). Introspective classification with convolutional nets. In *the Advances in Neural Information Processing System,.* Seoul: South Korea, 3883-3891

Jintasuttisak, T., & Intajag, S. (2014). Color retinal image enhancement by Rayleigh contrast-limited adaptive histogram equalization. In *14th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS).* Seoul: South Korea.

Junior, A. H. S., Barreto, G. A., & Varela, A. T. (2011). A speech recognition system for embedded applications using the SOM and TS-SOM networks. *Self Organizing Maps-Applications and Novel Algorithm.* Design: InTech.

Kaisaat, K., Keawdonree, N., Chomkokard, S., Jinuntuya, N., & Pattanasiri, B. (2017). *Colour measurements of pigmented rice grain using flatbed scanning and image analysis.* Retrieved form http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/901/1/012069/pdf

Kambo, R., & Yerpude, A. (2014). Classification of basmati rice grain variety using image processing and principal component analysis. *International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT), 11*(2), 80-85.

Kanchana, S., Bharathi, S. L., Ilamaran, M., & Singaravadivel, K. (2012). Physical quality of selected rice varieties. *World Journal of Agricultural Sciences, 8*(5), 468-472.

Kaur, D., & Kaur, Y. (2014). Various image segmentation techniques: A review. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, *3*(5), 809-814.

Kaur, N., & Singh, D. (2016). Android Based Mobile Application to Estimate Nitrogen Content in Rice Crop. *International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT), 38*(2), 87-91.

Kong, F. (2012). *Automatic food intake assessment using camera phones: Michigan Technological University.* Retrieved form https://digitalcommons.mtu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1493&context=etds

Kong, F., He, H., Raynor, H. A., & Tan, J. (2015). DietCam: Multi-view regular shape food recognition with a camera phone. *Pervasive and Mobile Computing, 19*, 108-121.

Krok. (2018). *Machine learning.* Retrieved form https://dict.drkrok.com/machine-learning/

Machine learning. (2018). *ความหมาย.* Retrieved form https://dictionary.sanook.com/search/dict-computer/machine-learning

Kumar, P., Gupta, D. K., Mishra, V. N., & Prasad, R. (2015). Comparison of support vector machine, artificial neural network, and spectral angle mapper algorithms for crop classification using LISS IV data. *International Journal of Remote Sensing, 36*(6), 1604-1617.

Lee, S., & Cha, H. (2017). User interface-level QoE analysis for Android application tuning. *Pervasive and Mobile Computing, 40*, 382-396

Lin, P., Chen, Y., He, Y., & Hu, G. (2014). A novel matching algorithm for splitting touching rice kernels based on contour curvature analysis. *Computers and Electronics in Agriculture, 109*, 124-133.

Liu, T., Chen, W., Wang, Y., Wu, W., Sun, C., Ding, J., & Guo, W. (2017). Rice and wheat grain counting method and software development based on Android system. *Computers and Electronics in Agriculture, 141*, 302-309.

Lurstwut, B., & Pornpanomchai, C. (2016). Application of image processing and computer vision on rice seed germination analysis. *International Journal of Applied Engineering, 11*(9), 6800-6807.

Lurstwut, B., & Pornpanomchai, C. (2017). Image analysis based on color, shape and texture for rice seed (Oryza sativa L.) germination evaluation. *Agriculture and Natural Resources*, *51,* 383-389.

Machado, B. B., Orue, J. P., Arruda, M. S., Santos, C. V., Sarath, D. S., Goncalves, W. N., Silva, G. G., Pistori, H., Roel, A. R., & Rodrigues-Jr, J. F. (2016). BioLeaf: A professional mobile application to measure foliar damage caused by insect herbivory. *Computers and Electronics in Agriculture, 129*, 44-55.

Mahale, B., & Korde, S. (2014). Rice quality analysis using image processing techniques. In *International Conference for Convergence of Technology (I2CT), 2014* (pp. 1-5). IEEE.

Mahdi, A., & Qin, J. (2017). Line Profile Based Segmentation Algorithm for Touching Corn Kernels. *arXiv preprint arXiv:1706.00396*.

Mahdjoubi, D. (2009). *Four types of R&D. Presentation Paper*. University of St. Edward. Texas.

Majid, K., Herdiyeni, Y., & Rauf, A. (2013). I-PEDIA: Mobile application for paddy disease identification using fuzzy entropy and probabilistic neural network. In *International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems* (ICACSIS) (pp.403-406). IEEE.

Manusaporn Treerungroj. (2018). *Ten Machine Learning Algorithms You Should Know to Become a Data Scientist.* Retrieve from https://medium.com/@m. treerungroj/ten-machine-learning-algorithms-you-should-know-to-become-a-data-scientist-11eb3dded0cc

Mitchell, T. M. (2006). *The discipline of machine learning*. Retrieved form http://www.cs. cmu.edu/~tom/pubs/MachineLearning.pdf

Mrclab. Image Analyzer for Grains and Seeds NIR-SC-5000. (n.d.) *User's Guide Digital Image Analysis System for Grain NIR-SC-5000-1/2.* Retrieved form https://www.mrclab.com/productDetails.aspx?pid=84908

Mohsen, H., El-Dahshan, E. S. A., El-Horbaty, E. S. M., & Salem, A. B. M. (2017). Classification using deep learning neural networks for brain tumors. *Future Computing and Informatics Journal. 3*, 68-71.

Muntana, N., & Prasong, S. (2010). Study on total phenolic contents and their antioxidant activities of Thai white, red and black rice bran extracts. *Pakistan Journal of Biological Sciences, 13*(4), 170.

Murphy, K. P. (2012). *Machine Learning: A Probabilistic Perspective.* Adaptive Computation and Machine Learning: MIT press.

Musa, M., Othman, N., & Fatah, F. A. (2011). Determinants of consumers purchasing behavior for rice in Malaysia. *American International Journal of Contemporary Research, 1*(3), 159-167.

Mussadiq, Z., Laszlo, B., Helyes, L., & Gyuricza, C. (2015). Evaluation and comparison of open source program solutions for automatic seed counting on digital images. *Computers and Electronics in Agriculture, 117*, 194-199.

Nasirahmadi, A., & Ashtiani, S.-H. M. (2017). Bag-of-Feature model for sweet and bitter almond classification. *Biosystems Engineering, 156*, 51-60.

Nasrabadi, N. M. (2007). Pattern recognition and machine learning. *Journal of Electronic Imaging, 16*(4), 049901.

Ng, C.-K., Cheong, S.-N., Hajimohammadhosseinmemar, E., & Yap, W.-J. (2017). Mobile outdoor parking space detection application. In *8th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC).* IEEE.

Olgun, M., Onarcan, A. O., Özkan, K., Işik, Ş., Sezer, O., Özgişi, K., Ayter, N. G., Bassciftci, Z. B., Ardic, M., & Koyuncu, O. (2016). Wheat grain classification by using dense SIFT features with SVM classifier. *Computers and Electronics in Agriculture, 122*, 185-190.

Omatu, S. (2015). Detection of rice-area using self-organizing feature map. In *International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS)* (pp. 44-47). Japan: Okinawa.

Paliwal, J., Erkinbaev, C., & Mebatsion, H. K. (2015). *Towards Machine Vision Based Grain Classification: Challenges and Future Prospects.* Paper presented at the BIOLOGICAL SHAPE ANALYSIS: Proceedings of the 3rd International Symposium.

Phakinee anunonthat. (2556). *Matlab คือ อะไร? ตอนที่ 1 และ ตอนที่ 2.* Retrieved form http://matabthai.blogspot.com/2013/04

Patil, J. K., & Kumar, R. (2011). Advances in image processing for detection of plant diseases. *Journal of Advanced Bioinformatics Applications and Research, 2*(2), 135-141.

Pearson, T. (2009). Hardware-based image processing for high-speed inspection of grains. *Computers and Electronics in Agriculture, 69*(1), 12-18.

Perez-Sanz, F., Navarro, P. J., & Egea-Cortines, M. (2017). Plant phenomics: An overview of image acquisition technologies and image data analysis algorithms. *GigaScience, 1*(6), 1-18.

Personal Genetics Education Project. (2561). *What is genotype? What is phenotype?* Retrieved from https://pged.org/what-is-genotype-what-is-phenotype/

Piramli, M., Rahman, A., & Abdullah, S. (2016). Rice Grain Grading Classification Based On Perimeter Using Moore-Neighbor Tracing Method. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC), 8*(2), 23-27.

Prajapati, B. B., & Patel, S. (2013). Proposed mobile rice grain analyzer device based on digital image processing with related hardware and software specifications. *Am Int J Res Sci Technol Eng Math, 13*, 217-220.

Pratiwi, D. (2012). The use of self organizing map method and feature selection in image database classification system. *arXiv preprint arXiv:1206.0104*.

Quinlan, J. R. (2014). C4.5: programs for machine learning. *Elsevier,* 58-60.

Rattanachai, R., Sreekaewin, P., & Sittichailapa, T. (2015). Development of Thai Rice Implantation Recommend System Based on Android Operating System. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 197*, 1048-1052.

Rege, S., Memane, R., Phatak, M., & Agarwal, P. (2013). 2D geometric shape and color recognition using digital image processing. *International journal of advanced research in electrical, electronics and instrumentation engineering, 2*(6), 2479-2487.

Revathi, P., & Hemalatha, M. (2012a). Advance computing enrichment evaluation of cotton leaf spot disease detection using Image Edge detection. In *Third International Conference on Computing Communication & Networking Technologies (ICCCNT).* (pp. 1-5). India: Coimbatore.

Revathi, P., & Hemalatha, M. (2012b). Classification of cotton leaf spot diseases using image processing edge detection techniques. In *International Conference on Emerging Trends in Science, Engineering and Technology (INCOSET).* (pp. 169-173), India: Tiruchirappall.

Rezba, R. J., Sprague, C., & Fiel, R. (2003). *Learning and assessing science process skills*. Kendall Hunt.

Sarrab, M., Elbasir, M., & Alnaeli, S. (2016). Towards a quality model of technical aspects for mobile learning services: An empirical investigation. *Computers in Human Behavior, 55*, 100-112.

SG Nashed, Y. (2014). *Parallel bio-inspired methods for model optimization and pattern recognition.* Università di Parma. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione.

Shantaiya, S., & Ansari, U. (2010). Identification of food grains and its quality using pattern classification. In *12th IEEE international conference on communication technology (ICCT).* (p. 35). China: Nanjing.

Shelly, G. B., & Rosenblatt, H. J. (2012). System Analysis and Design (9th Ed.). *Shelly Cashman Series*.

Shrivastava, P., Singh, P., & Shrivastava, G. (2014). Image classification using SOM and SVM feature extraction. *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol, 5*(1), 264-271.

Sidnal, N., Patil, U. V., & Patil, P. (2013). Grading and quality testing of food grains using neural network. *International Journal of Research in Engineering and Technology, 2*(11).

Silva, C. S., & Sonnadara, U. (2013). Classification of rice grains using neural networks. In *Proceedings of Technical Sessions, 29, 9-14. Institute of Physics*: Sri Lanka.

Singh, A., Ganapathysubramanian, B., Singh, A. K., & Sarkar, S. (2016). Machine learning for high-throughput stress phenotyping in plants. *Trends in plant science, 21*(2), 110-124.

Singh, D., Thakur, A., & Chaudhary, A. (2015). A comparative study between waterfall and incremental software development life cycle model. *International Journal of Emerging Trends in Science and Technology, 2*(4).

Siripatrawan, U., & Makino, Y. (2015). Monitoring fungal growth on brown rice grains using rapid and non-destructive hyperspectral imaging. *International Journal of Food Microbiology, 199*, 93-100.

Standard, T. A. (2003). Thai Hom Mali Rice. *Guideline No.: TAS*, 4000-2003.

Strickland, J. (2015). *Is Machine Learning about Machines Learning?*. Retrived from https://www.linkedin.com/pulse/machine-leaning-machines-learning-jeffrey-strickland-ph-d-cmsp

Sriharee, G. (2015). An ontology-based approach to auto-tagging articles. *Vietnam Journal of Computer Science*, *2*(2), 85-94.

Suntronsuk, S., & Ratanotayanon, S. (2017). Automatic text imprint analysis from pill images. In *9th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST).* (pp. 288-293). Thailand: Chonburi.

Sushma, M., Kumar, M. K., & Kumar, M. R. (2016.) Quality Testing and Grading of Food Grains Using Digital Image Processing. *International Jouranl of Electrical and Electronics Engineers, 8,* 490-497.

Tam, C., & Oliveira, T. (2016). *Performance impact of mobile banking: using the task-technology fit (TTF) approach.* Retrieved from http://www.emeraldinsight.com.

Tanabata, T., Shibaya, T., Hori, K., Ebana, K., & Yano, M. (2012). SmartGrain: High-throughput phenotyping software for measuring seed shape through image analysis. *Plant physiology*, 112.205120.

Tanwong, K.. Suksawang, P., & Punsawad, Y. (2018). Using Digital Image to Classify Phenotype of the Rice Grain Quality under Agricultural Standards Act. In *The 22nd International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC 2018).* Chiang Mai: Thailand.

Thai Nondestructive Testing Public Company Limited. (2561). *Check.* Retrieved from http://www.tndt.co.th/services_inspection_th.html

Thakare, V. S., Patil, N. N., & Sonawane, J. S. (2013). Survey on image texture classification techniques. *International Journal of Advancements in Technology, 4*(1), 97-104.

The Rice Terader. (2018). THE 10th ANNUAL – WORLD'S BEST RICE CONTEST 2018. Retrieved from https://thericetrader.com/conferences/2018-wrc-hanoi/worlds-best-rice/

Varshney, S., & Dalal, T. (2016). Plant Disease Prediction Using Image Processing Techniques-A Review. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing, 5*(5), 394-398.

Veena, H., & Latharani, T. (2014). An efficient method for classification of rice grains using Morphological process. *Int. J. Innov. Res. Adv. Eng, 1*(1), 118-121.

Wang, G., Xiong, Y., Yun, J., & Cavallaro, J. R. (2013). Accelerating computer vision algorithms using OpenCL framework on the mobile GPU-a case study. In I*EEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP).* (pp. 2629-2633). Canada: Vancouver.

Wawre, S., V., & Deshmukh, S. N. (2016). Sentiment classification using machine learning techniques. *International Journal of Science and Research (IJSR), 5*(4), 819-821.

Weng, T.-S., Hsu, M.-H., & Yang, D.-C. (2017). Developing an Online Examination APP System. *International Journal of Information and Education Technology, 7*(8), 631.

Whan, A. P., Smith, A. B., Cavanagh, C. R., Ral, J.-P. F., Shaw, L. M., Howitt, C. A., & Bischof, L. (2014). GrainScan: a low cost, fast method for grain size and colour measurements. *Plant Methods, 10*(1), 23.

Wikipedia. (2018). *Inspection.* Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Inspection.

Wikipedia. (2018). *Machine Learning.* Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Machine learning

Wikipedia. (2018). *Phenotype.* Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Phenotype.

Williams, K., Munkvold, J., & Sorrells, M. (2013). Comparison of digital image analysis using elliptic Fourier descriptors and major dimensions to phenotype seed shape in hexaploid wheat (Triticum aestivum L.). *Euphytica, 190*(1), 99-116.

Witten, I. H., Frank, E., Hall, M., A. & Pal, C. J. (2016). *Data Mining: Practical machine learning tools and techniques*: Morgan Kaufmann

Wrigley, C., Batey, I., & Miskelly, D. (2017). Preface to the Second Edition. *Cereal Grains (Second Edition)* (pp. xxxix-xl): Elsevier.

Wrigley, C., Batey, I., & Miskelly, D. (2017). *Cereal Grains* (2nd Ed.). United Kingdom: Woodhead Publishing. doi.org/10.1016/B978-0-08-100719-8.00019.

Yao, Q., Zhou, Y., & Wang, J. (2010). An automatic segmentation algorithm for touching rice grains images. In *Audio Language and Image Processing (ICALIP), 2010 International Conference on* (pp. 802-805). IEEE.

Yukta Kakkar. (2018). *Artificial Intelligence, Deep Learning and Machine Learning.* Retrieved from http://www.gadgetsdesk.com/artificial-intelligence-deep-learning-and-machine-learning/

Yeomans, M. (2015). What every manager should know about machine learning. *Harvard Business Review, 93*(7).

Zareiforoush, H., Minaei, S., Alizadeh, M. R., & Banakar, A. (2015). A hybrid intelligent approach based on computer vision and fuzzy logic for quality measurement of milled rice. *Measurement, 66*, 26-34.

Zareiforoush, H., Minaei, S., Alizadeh, M. R., & Banakar, A. (2016). Qualitative classification of milled rice grains using computer vision and metaheuristic techniques. *Journal of food science and technology, 53*(1), 118-131.

Zhong, W., Qin, C., Liu, C., Li, H., & Wang, H. (2012). The edge detection of rice image based on mathematical morphology and wavelet packet. In *Proccedings of International Conference on Measurement, Information and Control (MIC).* China: Harbin.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่าง Code C++ Classification

```
#include "imageprocessor.h"
#include <QDebug>

using namespace std;
using namespace cv;

imageProcessor::imageProcessor()
{
   functionPtr vp[]={
      black_bg, laplacian,
      sharpen, binarize,
      distance_transform, peak_mark,
      find_contour, watershed, colorize
   };
   QString vn[]={
      "Black Background", "Laplacian",
      "Sharpen", "Binarize",
      "Distance Transform", "Peak Mark",
      "Find Contour", "Watershed", "Colorize"
   };

   for(size_t i=0;i<sizeof(vp)/sizeof(functionPtr);i++)
      vproc.append(vp[i]);

   for(size_t i=0;i<sizeof(vn)/sizeof(QString);i++)
      vname.append(vn[i]);

   vpixmap.resize(vproc.size());
}

QImage imageProcessor::cvMatToQImage( const cv::Mat &inMat )
{
   switch ( inMat.type() )
   {
   // 8-bit, 4 channel
   case CV_8UC4:
   {
      QImage image( inMat.data,
                    inMat.cols, inMat.rows,
                    static_cast<int>(inMat.step),
                    QImage::Format_ARGB32 );
```

```
    return image;
  }

    // 8-bit, 3 channel
  case CV_8UC3:
  {
    QImage image( inMat.data,
                  inMat.cols, inMat.rows,
                  static_cast<int>(inMat.step),
                  QImage::Format_RGB888 );

    return image.rgbSwapped();
  }

    // 8-bit, 1 channel
  case CV_8UC1:
  {

    QImage image( inMat.data,
                  inMat.cols, inMat.rows,
                  static_cast<int>(inMat.step),
                  QImage::Format_Grayscale8 );


    return image;
  }

  default:
    qWarning() << "cv::Mat image type not handled : " << inMat.type();
    break;
  }

  return QImage();
}

QPixmap imageProcessor::cvMatToQPixmap( const cv::Mat &inMat )
{
  return QPixmap::fromImage( cvMatToQImage( inMat ) );
}
```

```
cv::Mat imageProcessor::QImageToCvMat( const QImage &inImage, bool inCloneImageData)
{
   switch ( inImage.format() )
   {
      // 8-bit, 4 channel
      case QImage::Format_ARGB32:
      case QImage::Format_ARGB32_Premultiplied:
      {
         cv::Mat  mat( inImage.height(), inImage.width(),
                       CV_8UC4,
                       const_cast<uchar*>(inImage.bits()),
                       static_cast<size_t>(inImage.bytesPerLine())
                       );

         return (inCloneImageData ? mat.clone() : mat);
      }

      // 8-bit, 3 channel
      case QImage::Format_RGB32:
      {
         if ( !inCloneImageData )
         {
            qWarning() << "ASM::QImageToCvMat() - Conversion requires cloning so we don't modify
the original QImage data";
         }

         cv::Mat  mat( inImage.height(), inImage.width(),
                       CV_8UC4,
                       const_cast<uchar*>(inImage.bits()),
                       static_cast<size_t>(inImage.bytesPerLine())
                       );

         cv::Mat  matNoAlpha;

         cv::cvtColor( mat, matNoAlpha, cv::COLOR_BGRA2BGR );   // drop the all-white alpha
channel

         return matNoAlpha;
      }

      // 8-bit, 3 channel
```

```
    case QImage::Format_RGB888:
    {
      if ( !inCloneImageData )
      {
        qWarning() << "ASM::QImageToCvMat() - Conversion requires cloning so we don't modify
the original QImage data";
      }

      QImage   swapped = inImage.rgbSwapped();

      return cv::Mat( swapped.height(), swapped.width(),
                  CV_8UC3,
                  const_cast<uchar*>(swapped.bits()),
                  static_cast<size_t>(swapped.bytesPerLine())
                  ).clone();
    }

    // 8-bit, 1 channel
    case QImage::Format_Indexed8:
    {
      cv::Mat  mat( inImage.height(), inImage.width(),
                CV_8UC1,
                const_cast<uchar*>(inImage.bits()),
                static_cast<size_t>(inImage.bytesPerLine())
                );

      return (inCloneImageData ? mat.clone() : mat);
    }

    default:
      qWarning() << "ASM::QImageToCvMat() - QImage format not handled in switch:" <<
inImage.format();
      break;
  }

  return cv::Mat();
}

// If inPixmap exists for the lifetime of the resulting cv::Mat, pass false to inCloneImageData to
share inPixmap's data
// with the cv::Mat directly
```

```
//    NOTE: Format_RGB888 is an exception since we need to use a local QImage and thus must clone the data regardless
cv::Mat imageProcessor::QPixmapToCvMat( const QPixmap &inPixmap, bool inCloneImageData)
{
   return QImageToCvMat( inPixmap.toImage(), inCloneImageData );
}

void imageProcessor::process(const QPixmap &input,int proc_beg)
{
   errnum=0;
   errmesg.clear();
   src=QPixmapToCvMat(input);
   for(int i=proc_beg;i<vproc.size();i++)
   {
      if(errnum!=0)
         break;
      (this->*vproc[i])();
   }
}

void imageProcessor::black_bg()
{
   qDebug() << __FUNCTION__;
   int pixInd=0;

   if( src.empty() )
   {
      errnum=1;
      errmesg="Unable to load image";
      return;
   }

   // Show source image
   //imshow("Source Image", src);
   //vpixmap[pixInd++]=cvMatToQPixmap(src);
   //! [load_image]

   //! [black_bg]
   // Change the background from white to black, since that will help later to extract
   // better results during the use of Distance Transform
   for ( int i = 0; i < src.rows; i++ ) {
```

```
      for ( int j = 0; j < src.cols; j++ ) {
        if ( src.at<Vec3b>(i, j) == Vec3b(255,255,255) )
        {
          src.at<Vec3b>(i, j)[0] = 0;
          src.at<Vec3b>(i, j)[1] = 0;
          src.at<Vec3b>(i, j)[2] = 0;
        }
      }
    }

    // Show output image
    //imshow("Black Background Image", src);
    vpixmap[pixInd++]=cvMatToQPixmap(src);
    //! [black_bg]
}

void imageProcessor::laplacian()
{
    qDebug() << __FUNCTION__;
    int pixInd=1;
    // Create a kernel that we will use to sharpen our image
    Mat kernel = (Mat_<float>(3,3) <<
                  1,  1, 1,
                  1, -8, 1,
                  1,  1, 1); // an approximation of second derivative, a quite strong kernel

    // do the laplacian filtering as it is
    // well, we need to convert everything in something more deeper then CV_8U
    // because the kernel has some negative values,
    // and we can expect in general to have a Laplacian image with negative values
    // BUT a 8bits unsigned int (the one we are working with) can contain values from 0 to 255
    // so the possible negative number will be truncated
    //Mat imgLaplacian;
     qDebug() << __FUNCTION__;

     filter2D(src, imgLaplacian, CV_32F, kernel);
     Mat tmp;
     imgLaplacian.convertTo(tmp, CV_8UC3);

    // imshow( "Laplace Filtered Image", imgLaplacian );
    vpixmap[pixInd++]=cvMatToQPixmap(tmp);
```

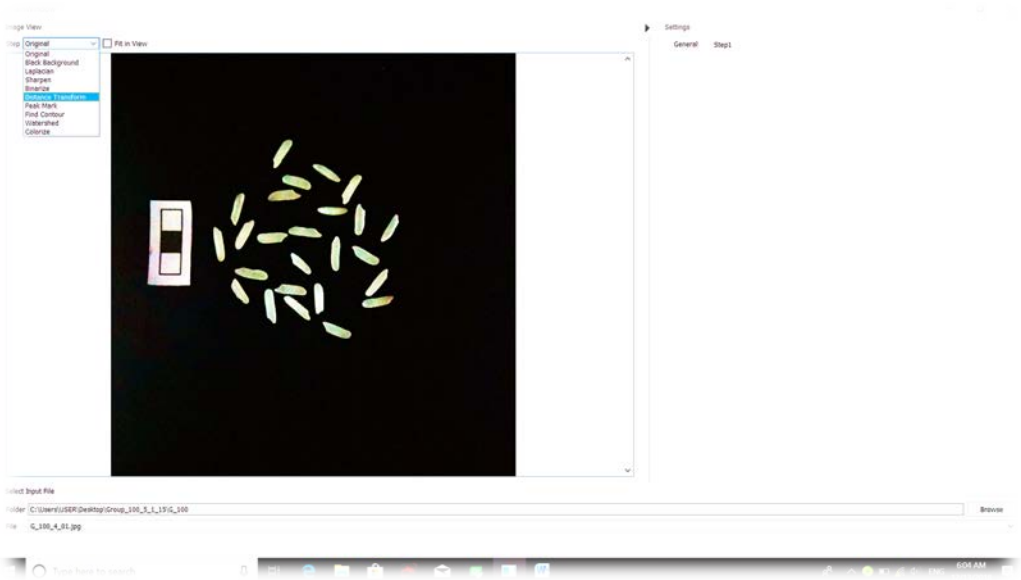
```
    qDebug() << __FUNCTION__;
}

void imageProcessor::sharpen()
{
    qDebug() << __FUNCTION__;
    int pixInd=2;
    //! [sharp]
    //Mat sharp;
    src.convertTo(sharp, CV_32F);
    //Mat
    imgResult = sharp - imgLaplacian;

    // convert back to 8bits gray scale
    imgResult.convertTo(imgResult, CV_8UC3);


    //imshow( "New Sharped Image", imgResult );
    vpixmap[pixInd++]=cvMatToQPixmap(imgResult);
    //! [sharp]

}

void imageProcessor::binarize()
{
    qDebug() << __FUNCTION__;
    int pixInd=3;
    //! [bin]
    // Create binary image from source image
    //Mat bw;
    cvtColor(imgResult, bw, COLOR_BGR2GRAY);
    threshold(bw, bw, 40, 255, THRESH_BINARY | THRESH_OTSU);
    //imshow("Binary Image", bw);
    vpixmap[pixInd++]=cvMatToQPixmap(bw);
    //! [bin]
}

void imageProcessor::distance_transform()
{
    qDebug() << __FUNCTION__;
    int pixInd=4;
```

```
    //! [dist]
    // Perform the distance transform algorithm
    //Mat dist;
    distanceTransform(bw, dist, DIST_L2, 3);

    // Normalize the distance image for range = {0.0, 1.0}
    // so we can visualize and threshold it
    cv::normalize(dist, dist, 0, 1.0, NORM_MINMAX);

    //imshow("Distance Transform Image", dist);
    Mat tmp;
    dist.convertTo(tmp, CV_8UC1,255);
    vpixmap[pixInd++]=cvMatToQPixmap(tmp);
    //! [dist]
}

void imageProcessor::peak_mark()
{
    qDebug() << __FUNCTION__;
    int pixInd=5;
    //! [peaks]
    // Threshold to obtain the peaks
    // This will be the markers for the foreground objects
    threshold(dist, dist, 0.4, 1.0, THRESH_BINARY);

    // Dilate a bit the dist image
    Mat kernel1 = Mat::ones(3, 3, CV_8U);
    dilate(dist, dist, kernel1);
    //imshow("Peaks", dist);
    Mat tmp;
    dist.convertTo(tmp, CV_8UC1,255);
    vpixmap[pixInd++]=cvMatToQPixmap(tmp);

    //! [peaks]
}

void imageProcessor::find_contour()
{
    qDebug() << __FUNCTION__;
    int pixInd=6;
    //! [seeds]
```

```
    // Create the CV_8U version of the distance image
    // It is needed for findContours()
    Mat dist_8u;
    dist.convertTo(dist_8u, CV_8U);

    // Find total markers
    //vector<vector<Point> > contours;
    findContours(dist_8u, contours, RETR_EXTERNAL, CHAIN_APPROX_SIMPLE);

    // Create the marker image for the watershed algorithm
    //Mat
    markers = Mat::zeros(dist.size(), CV_32S);

    // Draw the foreground markers
    for (size_t i = 0; i < contours.size(); i++)
    {
       drawContours(markers, contours, static_cast<int>(i), Scalar(static_cast<int>(i)+1), -1);
    }

    // Draw the background marker
    circle(markers, Point(5,5), 3, Scalar(255), -1);
    //imshow("Markers", markers*10000);
    Mat tmp;
    markers.convertTo(tmp, CV_8UC1);
    vpixmap[pixInd++]=cvMatToQPixmap(tmp);
    //! [seeds]
}


void imageProcessor::watershed()
{
    qDebug() << __FUNCTION__;
    int pixInd=7;
    //! [watershed]
    // Perform the watershed algorithm
    cv::watershed(imgResult, markers);

    //Mat mark;
    markers.convertTo(mark, CV_8U);
    bitwise_not(mark, mark);
    //    imshow("Markers_v2", mark); // uncomment this if you want to see how the mark
```

```
    // image looks like at that point
    vpixmap[pixInd++]=cvMatToQPixmap(mark);

    //! [watershed]

}


void imageProcessor::colorize()
{
    qDebug() << __FUNCTION__;
    int pixInd=8;
    // Generate random colors
    vector<Vec3b> colors;
    for (size_t i = 0; i < contours.size(); i++)
    {
        int b = theRNG().uniform(20, 240);
        int g = theRNG().uniform(20, 240);
        int r = theRNG().uniform(20, 240);

        colors.push_back(Vec3b((uchar)b, (uchar)g, (uchar)r));
    }

    // Create the result image
    //Mat
    dst = Mat::zeros(markers.size(), CV_8UC3);

    // Fill labeled objects with random colors
    for (int i = 0; i < markers.rows; i++)
    {
        for (int j = 0; j < markers.cols; j++)
        {
            int index = markers.at<int>(i,j);
            if (index > 0 && index <= static_cast<int>(contours.size()))
            {
                dst.at<Vec3b>(i,j) = colors[index-1];
            }
        }
    }

    // Visualize the final image
```

```
    //imshow("Final Result", dst);
    vpixmap[pixInd++]=cvMatToQPixmap(dst);

    //imwrite("result.jpg",dst);
}
```



QR code: Application

%YAML:1.0

---

label:

- "เหลือง"

- "ขัดสี"

- "เสีย"

- "ใส"

- "เหนียว"

- "กล้องแดง"

- "กล้อง"

- "เปลือก"

- "เมล็ดลีบ"

- "ขุ่น"

- "อื่น"

featureBag: !!opencv-matrix

rows: 100

cols: 64

dt: f

data: [252., 255., 231., 113., 96., 64., 0., 0., 0., 130., 15., 255.,

255., 255., 222., 51., 142., 120., 196., 49., 14., 195., 16., 12.,

0., 0., 0., 0., 0., 100., 60., 227., 140., 3., 132., 16., 134.,

24., 239., 126., 231., 16., 3., 0., 0., 0., 0., 0., 228., 50.,

49., 8., 0., 0., 0., 6., 207., 255., 55., 18., 0., 0., 0., 244.,

191., 199., 225., 224., 192., 0., 0., 0., 65., 1.25000000e+001,

255., 2.51500000e+002, 243., 1.42500000e+002, 51., 142., 120.,

208., 33., 13., 211., 48., 12., 0., 0., 0., 0., 0., 100., 60.,

227., 212., 3., 132., 16., 134., 26., 217., 24., 198., 16., 3.,

0., 0., 0., 0., 0., 0., 229., 82., 59., 9., 0., 0., 0., 140.,

247., 101., 36., 18., 0., 0., 0., 240., 255., 239., 243.,

1.60500000e+002, 0., 0., 0., 0., 0., 21., 255., 241., 255., 31.,

119., 148., 113., 226., 62., 102., 227., 0., 0., 0., 0., 0., 0.,

0., 100., 60., 227., 238., 23., 2.05000000e+001, 38., 4., 17.,

239., 125., 198., 16., 3., 0., 0., 0., 0., 0., 0.,

1.78500000e+002, 242., 125., 125., 225., 224., 231.,

1.24500000e+002, 82., 1.81500000e+002, 37., 18., 0., 0., 0., 240.,

255., 239., 243., 225., 192., 0., 0., 0., 0., 12., 255., 240.,

255., 255., 119., 158., 113., 196., 49., 12., 195., 0., 0., 0.,

0., 0., 0., 0., 100., 60., 227., 255., 255., 215., 28., 132., 16.,

194., 24., 198., 16., 3., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 128., 242.,

255., 255., 183., 1., 3., 0., 200., 229., 36., 0., 0., 0., 0.,

240., 255., 239., 243., 225., 0., 0., 0., 0., 0., 12., 255., 240.,

255., 255., 247., 159., 121., 196., 49., 14., 227., 0., 0., 0.,

0., 0., 0., 0., 0., 48., 227., 255., 255., 247., 28., 132., 16.,

194., 24., 198., 16., 3., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 128., 114.,

243., 255., 247., 49., 3., 0., 64., 96., 36., 0., 0., 0., 0., 75.,

252., 255., 159., 209., 241., 227., 140., 175., 255., 51., 16.,

129., 143., 63., 255., 252., 255., 255., 23., 128., 144., 188.,

239., 148., 12., 0., 64., 0., 191., 109., 166., 27., 39., 20., 0.,

0., 16., 254., 121., 32., 196., 8., 32., 0., 6., 0., 128., 201.,

254., 127., 66., 0., 0., 128., 13., 2., 252., 229., 18., 84., 8.,

16., 0., 240., 255., 255., 245., 225., 0., 0., 0., 0., 0., 13.,

2.51250000e+002, 2.40250000e+002, 215., 239., 255., 239., 255.,

217., 4.95000000e+001, 1.25000000e+001, 1.46250000e+002, 0., 0.,

0., 0., 0., 0., 0., 0., 48., 227., 2.55000000e+001, 149.,

2.37250000e+002, 2.05500000e+002, 1.56750000e+002,

1.01500000e+002, 202., 25., 198., 12., 2.25000000e+000, 0., 0.,

0., 0., 0., 0., 96., 1.01500000e+002, 243., 180., 2.42500000e+001,

19., 1., 7.05000000e+001, 1.54750000e+002, 9.92500000e+001, 27.,

0., 0., 0., 0., 2.37142868e+002, 2.55000015e+002, 2.53857147e+002,

2.44142868e+002, 1.33357147e+002, 6.85714340e+000, 0., 0., 0.,

1.85000000e+001, 1.62500000e+001, 2.53892868e+002,

2.41321442e+002, 2.37571442e+002, 2.41285721e+002,

2.54714294e+002, 2.42357147e+002, 2.50428589e+002,

2.48321442e+002, 5.85714302e+001, 1.32142859e+001,

2.07571442e+002, 1.14285719e+000, 9.28571463e-001, 0., 0., 0., 0.,

0., 9.07142868e+001, 6.51428604e+001, 2.27285721e+002,

5.72857170e+001, 2.55000015e+002, 2.54178589e+002,

2.52714294e+002, 2.55000015e+002, 2.48571442e+002,

2.40428589e+002, 3.40357170e+001, 1.99214294e+002,

1.37142868e+001, 2.57142878e+000, 0., 0., 0., 0., 0., 0.,

1.71250015e+002, 1.66571442e+002, 2.39857147e+002,

2.51071442e+002, 2.46857147e+002, 2.49714294e+002,

2.52714294e+002, 2.39428589e+002, 1.16500008e+002,

1.11535721e+002, 3.60714302e+001, 7.07142878e+000, 0., 0., 0.,

240., 255., 255., 255., 96., 0., 0., 0., 0., 0., 12., 255., 240.,

207., 31., 247., 220., 255., 255., 55., 14., 227., 0., 0., 0., 0.,

0., 0., 0., 100., 60., 227., 251., 39., 20., 128., 63., 255.,

255., 61., 198., 16., 3., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 128., 118.,

123., 77., 251., 255., 255., 191., 72., 100., 36., 0., 0., 0., 0.,

79., 132., 32., 16., 16., 32., 252., 255., 127., 127., 246., 17.,

143., 56., 194., 17., 207., 60., 247., 22., 132., 0., 200., 243.,

127., 30., 0., 64., 4., 159., 207., 60., 196., 144., 227., 126.,

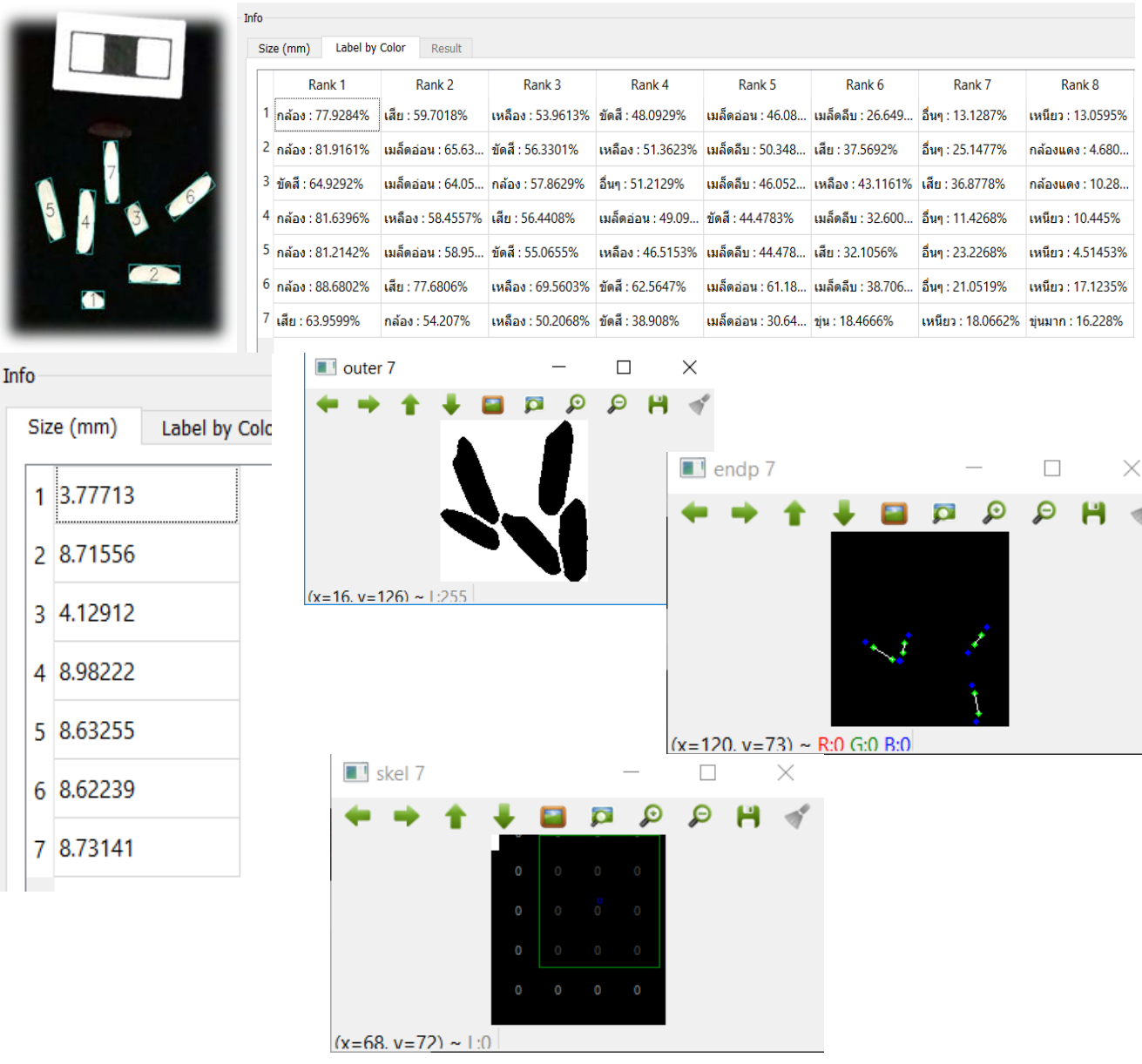
247., 125., 194., 24., 66., 204., 248., 255., 64., 6., 0., 129.,

193., 127., 157., 12., 198., 123., 249., 251., 251., 104., 100.,

4., 237., 58., 16., 48., 240., 255., 255., 244., 1.92500000e+002,

0., 0., 0., 0., 0., 20., 255., 2.40750000e+002, 251., 255., 253.,

199., 1.57500000e+002, 2.06250000e+002, 49., 1.25000000e+001,



ภาคผนวก ข

เอกสารรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์
เอกสารขอความอนุเคราะห์ขอข้อมูลเพื่อการวิจัย
เอกสารเชิญผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว

ที่ ๐๕๙/๒๕๖๑

เอกสารรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์
วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา
มหาวิทยาลัยบูรพา

๑. **ชื่อเรื่องดุษฎีนิพนธ์**
ชื่อเรื่อง: การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก
TITLE: DEVELOPMENT OF RICE GRAIN PHENOTYPE QUALITY VERIFICATION SYSTEM BY USING DEEP LEARNING METHOD

๒. **ชื่อนิสิต:** นางกุลวดี เถนว้อง
หลักสูตร ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (Ph.D.) **สาขาวิชา** การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา
รหัส ๕๕๘๑๐๒๕๕

๓. **ผลการพิจารณาของคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์**

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ได้พิจารณาแล้วเห็นว่า เค้าโครงดุษฎีนิพนธ์ดังกล่าวเป็นไปตามหลักการของจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ โดยที่ผู้วิจัยเคารพสิทธิและศักดิ์ศรีในความเป็นมนุษย์ ไม่มีการล่วงละเมิดสิทธิ สวัสดิภาพ และไม่ก่อให้เกิดภยันตรายแก่ตัวอย่างการวิจัย กลุ่มตัวอย่าง และผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย

จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยในขอบข่ายของเค้าโครงดุษฎีนิพนธ์ที่เสนอได้ ตั้งแต่วันที่ออกเอกสารรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ฉบับนี้ จนถึงวันที่ ๓๐ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๖๑

ออกให้ ณ วันที่ ๒๒ กันยายน พ.ศ. ๒๕๖๑

ลงนาม
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี ชัดแช้ม)
ประธานคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์
วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา
มหาวิทยาลัยบูรพา

ที่ ศธ ๖๒๒๔/๐๓๖๕

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา
มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

๒๘ กันยายน ๒๕๖๑

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ขอข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี

สิ่งที่ส่งมาด้วย คำนิยามมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย เรื่องกำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐาน และมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย จำนวน ๑ ชุด

ด้วย นางกุลวดี เถนว้อง รหัสประจำตัว ๕๕๘๑๐๒๕๕ นิสิตหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา ได้รับอนุมัติให้ทำดุษฎีนิพนธ์เรื่อง "การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก" โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการนี้ ผู้วิจัยมีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์ขอตัวอย่างลักษณะของข้าวหอมมะลิไทยรูปแบบต่าง ๆ ที่ได้ผ่านการตรวจสอบจากนักวิชาการผู้ทรงคุณวุฒิจากหน่วยงานของท่านมาเป็นต้นแบบ เพื่อนำไปใช้ในงานดุษฎีนิพนธ์ของนิสิตในครั้งนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดี และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปาณี)
คณบดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา
โทร. ๐ ๓๘๑๐ ๒๐๗๗-๘
โทร/ โทรสาร ๐ ๓๘๓๙ ๓๔๘๔
http ://www.rmcs.buu.ac.th

ที่ ศธ ๖๒๒๔/๐๔๔๓

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา
มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

๔ พฤศจิกายน ๒๕๖๑

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ขอข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี

ด้วย นางสาวกุลวดี เถนว้อง รหัสประจำตัวนิสิต ๕๕๘๑๐๒๕๕ นิสิตหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา ได้รับอนุมัติให้ทำดุษฎีนิพนธ์เรื่อง "การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางพีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก" โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการนี้ ผู้วิจัยมีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์เมล็ดข้าวขาวหอมมะลิไทยในรูปแบบต่าง ๆ ตามนิยามมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทย เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์งานวิจัยดุษฎีนิพนธ์ของนิสิตครั้งนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดี และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทราวดี มากมี)
คณบดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา
โทร. ๐ ๓๘๑๐ ๒๐๗๗-๘
โทร/ โทรสาร ๐ ๓๘๓๙ ๓๔๘๔
http ://www.rmcs.buu.ac.th

ที่ ศธ ๖๒๒๔/๐๔๗๒

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา
มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

๒๐ พฤศจิกายน ๒๕๖๑

เรื่อง ขอเชิญ นางสาวกัญญา เชื้อพันธุ์ บุคลากรในหน่วยงานของท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวของ นางกุลวดี เถนว้อง

เรียน ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี

ด้วย นางกุลวดี เถนว้อง รหัสประจำตัวนิสิต ๕๕๘๑๐๒๕๕ นิสิตหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา ได้รับอนุมัติให้ทำดุษฎีนิพนธ์เรื่อง “การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก” โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการนี้ วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา ได้พิจารณาแล้วเห็นว่า นางสาวกัญญา เชื้อพันธุ์ นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ ซึ่งเป็นบุคลากรในสังกัดของท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขออนุญาตเชิญ นางสาวกัญญา เชื้อพันธุ์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพทางฟีโนไทป์ของเมล็ดข้าว เพื่อนำผลการตรวจสอบไปใช้ประกอบการทำดุษฎีนิพนธ์ของนิสิตต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดี และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทราวดี มากมี)
คณบดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา
โทร. ๐ ๓๘๑๐ ๒๒๒๒ ต่อ ๒๐๗๗, ๒๐๗๘
โทร/ โทรสาร ๐ ๓๘๓๙ ๓๔๘๔
htpp://www.rmcs.buu.ac.th