

การตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิว
ด้วยโครมข่ายประสาทเทียม

จุมพล อิศระวิสุทธิ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มีนาคม 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



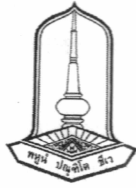
การตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิว
ด้วยโครมถ่ายประสาทเทียม

จุมพล อิศระวิสุทธิ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มีนาคม 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม





คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายจุมล อิศระวิสุทธิ
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ.ดร.อดิเรก จินตะคุณ)

ประธานกรรมการ

(ผู้ทรงคุณวุฒิ)

(ผศ.ดร.ธีรยุทธ ขาติชนะยินยง)

กรรมการ

(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

(ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ สุวรรณหา)

กรรมการ

(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

(รศ.ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล)

กรรมการ

(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

(ผศ.ดร.เกียรติสิน กาญจนนิชกุล)

กรรมการ

(ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(รศ.ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศ.ดร. ประดิษฐ์ เทอดตุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 30 เดือน 5 .ค.พ.ศ. 2561



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนพัฒนามหาวิทยาลัยมหาสารคาม และฝ่ายนักเรียนทุนรัฐบาลกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ซึ่งให้การสนับสนุนทุนสำหรับการทำวิจัย และได้รับความกรุณาให้ความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล ซึ่งได้ชี้แนะแนวทาง ความกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำอย่างเอาใจใส่ในทุกขั้นตอนของการทำปริญญาบัตรทั้งในการทดลอง การเขียนวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิเรก จันทะคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิ และประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรยุทธ ชาติชนะยืนยง กรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ สุวรรณทา กรรมการสอบ และ รองศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล กรรมการสอบ ซึ่งให้ความกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการสอนวิชาการความรู้ต่าง ๆ แนะนำการแก้ไขปัญห และประสิทธิภาพประสิทธิภาพความรู้ในด้านต่าง ๆ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงศ์ เหล่าสุวรรณ คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้กำลังใจ เอาใจใส่ดูแล และสนับสนุนด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ภรรยา และลูกที่คอยให้กำลังใจ เอาใจใส่ดูแลและสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างด้วยดี โดยเฉพาะการให้กำลังใจ และคำแนะนำในการดำเนินชีวิตแก่ผู้ทำการวิจัยตลอดมา

หากเนื้อหาหรือข้อมูลต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจศึกษาและทำการวิจัยท่านอื่น ๆ ผู้วิจัยขอขอบคุณความดีทั้งหลายนี้ให้แก่บุคคลทุกท่านที่กล่าวมา ท้ายสุดหาวิทยานิพนธ์เล่มนี้มีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยกราบขอภัยไว้ ณ ที่นี้

จุมพล อิศระวิสุทธิ



ชื่อเรื่อง	การตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียม		
ผู้วิจัย	นายจุมพล อิศระวิสุทธิ		
ปริญญา	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
กรรมการควบคุม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล		
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2561

บทคัดย่อ

ข้าวฮางอกเป็นข้าวที่ผลิตขึ้นตามกรรมวิธีของภูมิปัญญาท้องถิ่นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย โดยข้าวฮางอกเป็นอาหารที่อุดมไปด้วยสารอาหาร และกรดแกมมาเอมิโนบิวทิริกที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพข้าวฮางอกมีความสำคัญสำหรับผู้บริโภคปัจจุบัน การตรวจสอบคุณภาพข้าวฮางอกจะกระทำด้วยผู้เชี่ยวชาญ ถ้าปริมาณของข้าวฮางอกมีจำนวนมาก อาจส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาด เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านร่างกาย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพที่มีความถูกต้องแม่นยำเข้ามาช่วยในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอก โดยการประมวลผลภาพได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่มีความรวดเร็ว และมีความแม่นยำสูง จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาและออกแบบการตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกด้วยการประมวลผลภาพ โดยการนำภาพถ่ายภายใต้แสงของไดโอดเปล่งแสง และรังสีอัลตราไวโอเลตมาผ่านกระบวนการปรับปรุงภาพด้วย Adaptive histogram หลังจากนั้นทำการตัดแบ่งภาพด้วย Adaptive Thresholding แล้วทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างด้วย Opening สุดท้ายดึงเมล็ดข้าวทีละเมล็ดมาพิจารณาคูณสมบัติทางรูปร่างจาก Area, Major Axis Length, Minor Axis Length, Perimeter และ Eccentricity คูณสมบัติทางสีจาก ระบบสี RGB เฉลี่ย ระบบสี HSV เฉลี่ย และระบบสี $L^* a^* b^*$ เฉลี่ย คูณสมบัติทางพื้นผิวจาก Correlation, Entropy, Sum of Entropy, Difference of Entropy และ Contrast หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำไปประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ผลการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกเสียเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 93.1% 92.9% 92.5% 93.4% และ 93.0% สำหรับเมล็ดข้าวมีจุดสีดำ เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวหัก และเมล็ดข้าวลืบลำดับ การตรวจสอบคุณภาพข้าวฮางอกเสียเฉลี่ยโดยรวมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 92.5% และผลการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซินเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 93.6 %

คำสำคัญ : ข้าวฮางอก; การประมวลผลภาพ; โครงข่ายประสาทเทียม; เชื้อรา; อะฟลาทอกซิน



TITLE Quality Inspection of Germinated Hang Rice using Shape, Color and Texture Features with an Artificial Neural Network

AUTHOR Mr. Jumpol Itsarawisut

DEGREE Doctor of Philosophy **MAJOR** Electrical and Computer Engineering

ADVISORS Asst. Prof. Dr. Kiattisin Kanjanawanishkul, Ph.D.

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2018

ABSTRACT

Germinated Hang rice is found widely in the northeast of Thailand. It is produced by the traditional folklore wisdom. Since it is rich in nutrients and gamma-aminobutyric acid that truly benefits to the human body. The process of quality control of germinated Hang rice is important for consumers. Currently, the quality of germinated Hang rice is done by experts which the lots of germinated Hang rice, it can result in errors. Because of the human body limitations. Therefore, it is necessary to have an accurate quality assurance system to help in the quality of germinated hang rice grains. Image processing has been applied to the quality of agricultural products. It is a fast process and high precision. Thus, the purpose of this research is interested in studying and designing quality monitoring of germinated Hang rice by image processing. Which, image acquisition under the light emitting diodes and ultraviolet rays come through an image-enhancement process with adaptive histogram. Then, image segmentation attained by adaptive thresholding. After that, the opening was used to expand the segmented objects in the image. Finally, the features are area, major axis length, minor axis length, perimeter, and eccentricity, used to analyze the shape. The features are the average RGB, HSV and $L^* a^* b^*$ used to analyze the color. The features are correlation, entropy, sum of entropy, difference of entropy, and contrast, used to analyze the texture. Then the data was processed by the artificial neural networks. The group classification mean accuracies using ANN was 93.1% 92.9% 92.5% 93.4% and 93.0% for discolored grains, deformed grains, un-husked paddy grains, broken grains, and withered grains, respectively and the experimental results showed that the overall classification means accuracy achieved was 92.5%.



The experimental results showed that the overall classification of germinated hang rice grains contaminated with *Aspergillus flavus* mean accuracy achieved was 93.6%.

Key Words : Germinated Hang rice; Image processing; Artificial neural network; *Aspergillus flavus*; Aflatoxin.



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพประกอบ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของงานวิจัย	3
1.4 สถานที่ทำการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 แผนการดำเนินงาน	5
บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล	6
2.1 ข้าวฮางอก (Germinated Hang Rice)	6
2.2 สารอะฟลาทอกซิน	11
2.3 การคัดแยกคุณภาพผลผลิตทางการเกษตร	14
2.4 การประมวลผลภาพ (Image Processing)	15
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	45
3.1 ออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียม	45
3.2 ทดสอบระบบตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียม	66
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย	67
4.1 ผลการออกแบบการคัดแยกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอก	67
4.2 ผลการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมคัดแยกและตรวจสอบเมล็ด ข้าวฮางอก	90
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	98
5.1 สรุปผล	98



5.2 ข้อเสนอแนะ	99
เอกสารอ้างอิง	100
ประวัติย่อผู้วิจัย	104
ตาราง 1.1 แผนการดำเนินงาน ระยะเวลา 36 เดือน	5
ตาราง 2.1 สรุปการทบทวนงานวิจัยด้านเมล็ดข้าว	43
ตาราง 2.2 สรุปการทบทวนงานวิจัยด้านเชื้อราในผลิตภัณฑ์ทางเกษตร	43
ตาราง 3.1 การกำหนดค่า Parameter ของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกเมล็ดข้าวเสีย	50
ตาราง 3.2 การกำหนดค่า Parameter ของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกเมล็ดข้าว ฮางงอกเสียประเภทต่าง ๆ และการจำแนกเมล็ดข้าวเสีย	61
ตาราง 3.3 การกำหนดค่า Parameter ของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกเมล็ดข้าวติด เชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน	64
ตาราง 4.1 ผลจำนวน Feature Extraction ก่อนและหลังผ่าน PCA	77
ตาราง 4.2 ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนก และตรวจสอบ เมล็ดข้าวฮางงอกเสียประเภทข้าวหัก	91
ตาราง 4.3 ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนก และตรวจสอบ เมล็ดข้าวฮางงอกเสียประเภทข้าวติดเปลือก	92
ตาราง 4.4 ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนก และตรวจสอบ เมล็ดข้าวฮางงอกเสียประเภทข้าวมีจุดสีดำ	93
ตาราง 4.5 ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนก และตรวจสอบ เมล็ดข้าวฮางงอกเสียประเภทข้าวลิบ	94
ตาราง 4.6 ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนก และตรวจสอบ เมล็ดข้าวฮางงอกเสียประเภทข้าวบิดเบี้ยว	95
ตาราง 4.7 ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนก และตรวจสอบ เมล็ดข้าวฮางงอกเสียประเภทข้าวเสีย	96
ตาราง 4.8 ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนก และตรวจสอบ เมล็ดข้าวฮางงอกเสียประเภทข้าวติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซิน	97



สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 1.1 ลักษณะข้าวฮางอก	1
ภาพประกอบ 2.1 ลักษณะข้าวฮางอก (ก) ข้าวเปลือกเพาะงอก (ข) ข้าวกะเทาะเปลือก	7
ภาพประกอบ 2.2 กระบวนการผลิตข้าวฮางอกของหมู่บ้านน้อยจอมศรี จังหวัดสกลนคร	10
ภาพประกอบ 2.3 ลักษณะเมล็ดข้าวฮางอกก่อนการตรวจสอบคุณภาพ	11
ภาพประกอบ 2.4 เชื้อราในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร	11
ภาพประกอบ 2.5 เชื้อราที่ผลิตสารและอะฟลาทอกซิน	12
ภาพประกอบ 2.6 ลักษณะดับที่เป็นมะเร็ง	12
ภาพประกอบ 2.7 ลักษณะของเมล็ดข้าวประเภทต่างๆ	13
ภาพประกอบ 2.8 ลักษณะของเมล็ดข้าวเสียประเภทต่างๆ	14
ภาพประกอบ 2.9 เครื่องคัดแยกวัตถุดิบทางการเกษตร	15
ภาพประกอบ 2.10 ตัวอย่างภาพและฮิสโตแกรมของภาพที่มี 256 กลุ่มสี	18
ภาพประกอบ 2.11 ค่าฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ และค่าฮิสโตแกรมที่ถูกตัดออก	19
ภาพประกอบ 2.12 ค่าฮิสโตแกรมที่อยู่จุดต่ำสุดที่อยู่ระหว่างจุดสูงสุด	21
ภาพประกอบ 2.14 ระบบสี RGB	24
ภาพประกอบ 2.15 ระบบสี HSI	25
ภาพประกอบ 2.16 ระบบสี HSV	26
ภาพประกอบ 2.17 ระบบสี HLS	27
ภาพประกอบ 2.18 ระบบสี CIE LAB Color Space	28
ภาพประกอบ 2.19 การทำงานของเซลล์ประเทียม	34
ภาพประกอบ 2.20 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว	37
ภาพประกอบ 2.21 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น	31
ภาพประกอบ 2.22 โครงข่ายประสาทเทียมแบบพหุนามหลายชั้น	39
ภาพประกอบ 3.1 ลักษณะอุปกรณ์ให้แสง	46
ภาพประกอบ 3.2 กล้องดิจิทัล รุ่น Fujifilm FinePix HS20 EXR	47
ภาพประกอบ 3.3 ระบบถ่ายภาพ (1) ระบบให้แสง (2) กล้องดิจิทัล (3) ระบบปรับความเข้มแสง (4) กล้องควบคุมสภาวะแสง	47
ภาพประกอบ 3.4 ขั้นตอนการการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกเสีย	48
ภาพประกอบ 3.5 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกเสีย	51



ภาพประกอบ 3.6 ขั้นตอนการการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกเสีย	
ประเภทต่าง ๆ	52
ภาพประกอบ 3.7 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกหัก	55
ภาพประกอบ 3.8 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกมีจุดสีดำ	56
ภาพประกอบ 3.9 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกบิดเบี้ยว	57
ภาพประกอบ 3.10 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกติดเปลือก	58
ภาพประกอบ 3.11 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกลื่น	59
ภาพประกอบ 3.12 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกเสีย	60
ภาพประกอบ 3.13 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกติดเชื้อรา	
และสารอะฟลาทอกซิน	62
ภาพประกอบ 3.14 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกติดเชื้อรา	
และสารอะฟลาทอกซิน	65
ภาพประกอบ 4.1 ภาพข้าวฮางอกขนาด 512 X 512 จุดภาพ	67
ภาพประกอบ 4.2 ผลของภาพที่ผ่านกระบวนการ Adaptive Histogram แบบ CLAHE	68
ภาพประกอบ 4.3 ผลของภาพที่ผ่านการตัดแบ่งส่วนภาพแบบ Adaptive Thresholding	68
ภาพประกอบ 4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพข้าวฮางอก	69
ภาพประกอบ 4.5 ตัวอย่างผลของ Shape Feature Extraction ของเมล็ดข้าวเสีย และเมล็ด	
ไม่เสีย	70
ภาพประกอบ 4.6 ตัวอย่างผลของ Texture Feature Extraction ของเมล็ดข้าวเสียและเมล็ด	
ไม่เสีย	70
ภาพประกอบ 4.7 ผลค่าของ Color Feature Extraction ของเมล็ดข้าวเสียและเมล็ด	
ไม่เสีย	71
ภาพประกอบ 4.8 ผลประสิทธิภาพในการ Training ของระบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม	
สำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวเสีย	72
ภาพประกอบ 4.9 ตัวอย่างผลการการจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกเสีย	73
ภาพประกอบ 4.10 ภาพข้าวฮางอกขนาด 512 X 512 จุดภาพ	73
ภาพประกอบ 4.11 ผลของภาพที่ผ่านกระบวนการ Adaptive Histogram แบบ CLAHE	74
ภาพประกอบ 4.12 ผลของภาพที่ผ่านการตัดแบ่งส่วนภาพแบบ Adaptive Thresholding	74
ภาพประกอบ 4.13 ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพข้าวฮางอก	75
ภาพประกอบ 4.14 ตัวอย่างผลของ Shape Feature Extraction ของเมล็ดข้าวดี เมล็ดข้าวหัก	
เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลื่น เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวมีจุดสีดำ	76



เอกสารอ้างอิง



เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. “ตัวชี้วัดเศรษฐกิจการเกษตรของประเทศไทย ปี 2553”. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: 2554.
- [2] ละม้ายมาศ ยังสุข. “การพัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าว”. สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ: 2550.
- [3] กนกรัตน์ ป้องประทุม. “คู่มืออะพาทอกซินในอาหาร และผลิตภัณฑ์”. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์; 2548.
- [4] อมรา ชินภูติ. “การพัฒนาวิทยาการหลังเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลผลิตการเกษตร”. นักวิชาการโรคพืชชำนาญการพิเศษ; 2556.
- [5] Dalen Van G, Witold P. “Determination of the size distribution and percentage of broken kernels of rice using flatbed scanning and image analysis”. International Journal Food Research International 2004; 37: 51–58.
- [6] Courtois F, Faessel M, Bonnazi C. “Assessing breakage and cracks of parboiled rice kernels by image analysis technique”. Food Control 2010; 21: 567-572.
- [7] Kambo R, Yerpude A. “Classification of Basmati Rice Grain Variety using Image Processing and Principal Component Analysis”. International Journal of Computer Trends and Technology 2014; 11: 135-141.
- [8] Sun Chengming. “Evaluation and analysis the chalkiness of connected rice kernels based on image processing technology and support vector machine”. International Journal of Cereal Science 2014; 60: 426-432.
- [9] Lin P, Chen YM, He Y, Hu GW. “A novel matching algorithm for splitting touching rice kernels based on contour curvature analysis”. International Journal Computers and Electronics in Agriculture 2014; 109: 124–133.
- [10] Zareiforoush H. “A hybrid intelligent approach based on computer vision and fuzzy logic for quality measurement of milled rice”. Journal Measurement 2015; 66: 26-34.
- [11] Tzu-Yi Kuo, Chia-Lin Chung. “Identifying rice grains using image analysis and sparse-representation-based classification”. International Journal Computers and Electronics in Agriculture 2016; 127: 716–725.



- [12] Tallada JG, Wicklow DT, Pearson TC, Armstrong PR. "Detection of fungus-infected corn kernels using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) and color imaging". International Journal American Society of Agricultural and Biological Engineers 2011; 54: 1151-1158.
- [13] Onur Y, Tom CP, Cetin EA. "Detection of fungal damaged popcorn using image property covariance features". International Journal Computers and Electronics in Agriculture 2012; 84: 47-52.
- [14] Singh CB. "Fungal-damaged detection in wheat using short-wave nearinfrared hyperspectral and digital colour image". International Journal Computers and Electronics in Agriculture 2012; 11-24.
- [15] Juan GS, Tari MA. "Detecting rottenness caused by penicilliumgenus fungi in citrus fruits using machine learning techniques". International Journal Computers and Electronics in Agriculture 2012; 39: 780-785.
- [16] นฤมล ลอยแก้ว และคณะ. "การศึกษาสภาวะในการแช่ ข้าวฮางงอกเพื่อลดการหมื่นหื่นของแป้ง ข้าวฮางงอกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเบเกอรี่". การประชุมวิชาการระดับชาติ; 2557.
- [17] พิลานี ไวณอมสัจย์. "การพัฒนาข้าวกล้องปลอดเชื้อราและอะฟลาทอกซิน". สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2555.
- [18] Wilhelm B, Mark JB. "Principles of Digital Image Processing". UK: Springer; 2009.
- [19] Yeganeh H, Ziaei A, Rezaie A. "A Novel Approach for Contrast Enhancement Based on Histogram Equalization". Proceedings of the International Conference on Computer and Communication Engineering; 2008. pp. 256-260.
- [20] Xu Z, Liu X, Ji N. "Fog Removal from Color Images using Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization". International Congress on Image and Signal Processing; 2009. pp. 17-19.
- [21] Kashmir R, Shaik A, Ahamed SR. "Moving Towards Region-based image segmentation techniques". International Journal of Theoretical and Applied Information Technology 2009. pp. 35-41.
- [22] Dhanalakshmi S, Ravichandran DT. "A New Method for Image Segmentation". International Journal of Computer Trends and Technology 2012; 54: 145-151.



- [23] Fari MA. "Study of Image Segmentation using Thresholding Technique on a Noisy Image". *International Journal of Computer Trends and Technology* 2012; 20: 125-131.
- [24] Ehsani SP, Mousavi HS, Khalaj BH. "Chromosome Image Contrast Enhancement Using Adaptive Iterative Histogram Matching". *Iranian Machine Vision and Image Processing*; 2011. pp. 23-40.
- [25] Savakis AE. "Adaptive Document Image Thresholding Using Foreground and Background Clustering". *Thomas Telford Publishing*; 2005. pp. 150-154.
- [26] IEC61966-2-1 FDIS. "Multimedia Systems and Equipment - Colour Measurement and Management – Part 2-1". *Colour Management – Default RGB colour space sRGB*; 1999. pp. 120-141.
- [27] Abdullah AM, Guo XG, Chao B. "Hard Disk Drive Mechatronics and Control". London, *Thomas Telford Publishing*; 2007.
- [28] Delivopoulos E, Theocharis JB. "A modified PNN algorithm with optimal PD modeling using the orthogonal least squares method". *International Journal of Cereal Science* 2004; pp. 165-170.
- [29] Byoung JP, Witold P, Sung KO. "Fuzzy Polynomial Neural Network: Hybrid Architectures of Fuzzy Modeling". *Journal Computers and Electronics in Agriculture* 2004; 64: 47–52.
- [30] Vasechkina, Yarin. "Evolving polynomial neural network by means of genetic algorithm". *International Journal Computers and Electronics in Agriculture* 2001; 16: 143-150.
- [31] Nikolay YN, Hitoshi Ib. "Learning Polynomial Feedforward Neural Network by Genetic Programming and Backpropagation". London, *Thomas Telford Publishing*; 2003. pp. 135-139.
- [32] Lan Kim, Jong Hwa Choi, Sun Ho Jang, Moo Whan Shin. "Thermal analysis of LED array system with heat pipe". *The National Conference on Computing and Information Technology*; 2007; 45: 21–25.
- [33] Rattanawaorahirunkul R, Supannarach S. "The Study of Using CCD Camera to Measure the Lycopene in Tomato by Colors with Artificial Neuron Networks". *The*



Tenth National Conference on Computing and Information Technology; 2014. pp. 601-606.

- [34] นวภัทรา หนูนาอ, ทวีพล ชื้อสตัย. “ตำราเรียนการวัดและเครื่องมือวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร”. กรุงเทพฯ: วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2555.



ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายจุมพล อิศระวิสุทธิ
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 26 สิงหาคม พ.ศ. 2518
จังหวัด และประเทศที่เกิด	จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2532 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนน้ำพองศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น พ.ศ. 2535 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนน้ำพองศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น พ.ศ. 2542 ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ.) สาขาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น พ.ศ. 2554 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2561 ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ตำแหน่ง สถานที่ทำงาน	ผู้ช่วยสอน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย มหาสารคาม
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	บ้านเลขที่ 171 หมู่ 14 ตำบลศิลา อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

รางวัลเรียนดี ทุนวิจัย และทุนการศึกษา

ทุนรัฐบาลกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งชาติ (สวทช.) ประจำปี 2550 เพื่อศึกษาต่อภายในประเทศ สาขาขาดแคลน สาขาวิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า เน้นอิเล็กทรอนิกส์

ทุนพัฒนามหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประจำปี 2556 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ทุนนักวิจัยใหม่ (วท.) ประจำปี 2557 ฝายนักเรียนทุนรัฐบาลกระทรวงวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ



ผลงานวิจัย

Jumpol Itsarawisut, Somchat Sonasang, Thosapol Manasri, Prinya Chindaprasirt and Chiranut Sa-ngiamsak. (2012). Monitoring corrosion levels of fly ash concrete reinforcement using electromagnetic method. KKU ENGINEERING JOURNAL October-December 2012; 39(4). pp.90-100.

Jumpol Itsarawisut, Somchat Sonasang, Thosapol Manasri and Chiranut Sa-ngiamsak. (2010). Classifying a Steel Bar Size of Reinforced Concrete Structure Using Electromagnetic Field. TISD International conference, March. pp. 207-210.

Thosapol Manasri, Jumpol Itsarawisut, Somchat Sonasang and Chiranut Sa-ngiamsak. (2010). A measurement of Corrosion-Rate of Reinforced Portland Cement Blended fly ash with Galvanostatic Pulse Method on ARM7. Commemorative international Conference on KMUTT. pp. 528-531.

Somchat Sonasang Thosapol Manasri, Jumpol Itsarawisut, and Chiranut Sa-ngiamsak. (2010). Inexpensive Electronic Set for Measurement of Corrosion – Rate of Reinforced Concrete using Galvanostatic Pulse Method (GPM) Technique Commemorative International Conference on KMUTT. pp. 532-535.

Jumpol Itsarawisut and Kiattisin Kanjanawanishkul. (2015). Quality Analysis of Germinated Hang Rice Using Image Processing. RMUTI Journal Special Issue 1. pp. 175-180.

Jumpol Itsarawisut and Kiattisin Kanjanawanishkul. (2016). Neural network-based quality evaluation of germinated Hang rice. KKU Engineering Journal. V.43(S2). pp. 221-224.



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันข้าวฮางงอก (Germinated Hang Rice) กำลังได้รับความนิยมสำหรับผู้บริโภคทั้งภายในประเทศ และต่างประเทศ โดยประเทศไทยมีปริมาณการผลิตข้าวฮางงอกเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้เพียงพอแก่ผู้บริโภค การพัฒนาข้าวฮางงอกให้มีคุณภาพ และปราศจากสารปนเปื้อนตามมาตรฐานสินค้าเกษตรจึงเป็นที่ต้องการของผู้ประกอบการ [1] โดยข้าวฮางงอก คือ ข้าวที่เพาะงอกจากข้าวเปลือกจากข้าวเจ้า หรือข้าวเหนียว ซึ่งมีสารอาหารจากเปลือกมาเคลือบที่เมล็ดข้าว จึงทำให้ข้าวฮางงอกมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าธัญพืชทั้งหลาย [2] ดังภาพประกอบ 1.1



ภาพประกอบ 1.1 ลักษณะข้าวฮางงอก [2]

โดยกระบวนการผลิตข้าวฮางงอกประกอบด้วยหลายขั้นตอน จึงส่งผลทำให้เกิดเมล็ดข้าวฮางงอกเสียที่มีความชื้นสูงซึ่งในปัจจุบันตรวจสอบด้วยผู้เชี่ยวชาญถ้าปริมาณของข้าวฮางงอกมีจำนวนมาก อาจส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดได้ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านร่างกาย และอีกหนึ่งขั้นตอนที่มีความสำคัญคือ ขั้นตอนการลดความชื้นเพื่อให้แห้ง ถ้าไม่มีการควบคุมที่ดีพอจะส่งผลทำให้เกิดเชื้อราหลายชนิดบนเมล็ดข้าวฮางงอกที่สำคัญ คือ เชื้อราในกลุ่มที่สามารถสร้างสารอะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) ซึ่งสาร อะฟลาทอกซินเป็นสารพิษที่เป็นอันตรายมาก เพราะเป็นสาร ก่อมะเร็งในตับ และโรคอื่น ๆ อีกมากมาย [3] จึงจำเป็นต้องมีระบบการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางงอก เพื่อความปลอดภัยของ



ผู้บริโภคร โดยในปัจจุบันการตรวจสอบสารอะฟลาทอกซินจะใช้ชุดตรวจสอบสารอะฟลาทอกซินสำเร็จรูป (DOA-ELISA Test Kit) ซึ่งใช้หลักการวิเคราะห์ทางชีวเคมีด้วยการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร [4] เป็นวิธีตรวจสอบแบบทำลายและใช้เวลานานในการตรวจสอบ ในปัจจุบันได้มีการนำการประมวลผลภาพ (Image Processing) เข้ามาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่มีความรวดเร็ว และมีความถูกต้องสูงซึ่งเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ตัวอย่างเช่น Dalen และคณะ [5] ได้นำหลักการประมวลผลภาพมาพิจารณาเมล็ดข้าวขาว 6 ชนิด ซึ่งพิจารณาเมล็ดข้าวขาวจากความยาว ความกว้าง พื้นที่ และเส้นรอบวง และวิเคราะห์ข้อมูลด้วย Image Analysis และ Courtois และคณะ [6] นำเสนอการประเมินรอยแตกร้าวของเมล็ดข้าวงูหนึ่งโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางเรขาคณิต (Geometry) จากความยาวเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเมล็ดทางแกนยาว (Major Axis Length) พร้อมทั้งวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ หรือพื้นที่ผิวต่อปริมาณของเมล็ด ซึ่งผลที่ได้สามารถประเมิน และนับจำนวนรอยแตกร้าวบนเมล็ดข้าวงูหนึ่งได้ จากนั้น Kambo และคณะ [7] นำเสนอการใช้การประมวลผลภาพสำหรับการจำแนกพันธุ์ข้าวบาสมatik (Basmati Rice) โดยใช้หลักการวิเคราะห์จากรูปร่างของเมล็ดข้าวงูจาก Perimeter, Area, Minor Axis Length, Major Axis Length และ Eccentricity แล้วทำการจำแนกด้วยการประมวลผลข้อมูลด้วย K Nearest Neighbour Algorithm และ Sun และคณะ [8] นำเสนอการประมวลผลภาพสำหรับการประเมินผลและการวิเคราะห์เมล็ดข้าวงูซึ่งเมล็ดข้าวงูที่นำมาทดสอบประกอบด้วยพันธุ์ Indica และพันธุ์ japonica ด้วยวิธีการ Convex Point Matching และการประมวลผลข้อมูลด้วย Support Vector Machine (SVM) หลังจากนั้น Lin และคณะ [9] นำเสนอการประมวลผลภาพสำหรับการแยกการสัมผัสเมล็ดข้าวงูด้วยการวิเคราะห์ความโค้งของรูปร่าง (Curvature Analysis) ในการวิเคราะห์เพื่อตรวจจับจุดสัมผัสของเมล็ดข้าวงูด้วยขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าวงู ผลการทดสอบสามารถที่ใช้ในการแยกเมล็ดข้าวงูที่เชื่อมติดกันได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีการสัมผัสในลักษณะที่ซับซ้อน แต่อาจจะบ่งบอกไม่ได้ชัดเจนสำหรับเมล็ดซ้อนทับกันจะเห็นได้ว่าในการวิเคราะห์เมล็ดข้าวงูได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความถูกต้องให้มากขึ้น และ Zareiforoush และคณะ [10] นำเสนอการใช้ระบบอนุมานฟัซซี (Fuzzy Inference System, FIS) ควบคู่ไปกับการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในการพัฒนาระบบ โดยใช้หลักการวิเคราะห์จากรูปร่างของเมล็ดข้าวงูจาก Major Axis Length และคุณสมบัติทางพื้นที่ผิวด้วย Grey Level Co-Occurrence Matrix (GLCM) จากนั้น Kuo และคณะ [11] นำเสนอการประมวลผลภาพในการจำแนกเมล็ดข้าวงูเปลือกเพื่อจำแนกพันธุ์ข้าวงู 30 สายพันธุ์ ซึ่งภาพที่นำมาพิจารณาได้มาจากกล้องดิจิทัล โดยใช้แสงจาก Ring Shaped LED ในการพิจารณาภาพจะอาศัยหลักการการประมวลผลภาพ และ Sparse-Representation-Based ซึ่งพิจารณาจากสี RGB HSV และ $L^*a^*b^*$ รวมทั้งพิจารณาจาก GLCM และ Longer Major Axis ในการจำแนกพันธุ์ข้าวงูโดยใช้ SVM และในส่วนของการวิเคราะห์ทางด้านเชื้อราในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้มีการพัฒนานำเอาการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้อย่างต่อเนื่องเช่นกัน ตัวอย่างเช่น Tallada และคณะ [12] นำเอา



การประมวลผลภาพมาใช้ในการตรวจสอบเชื้อราบนเมล็ดข้าวโพด โดยใช้ Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) และประมวลผลข้อมูลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Multi Layer Perceptron (MLP) และ Linear Discriminant Analysis (LDA) จากนั้น Yorulmaz และคณะ [13] นำการประมวลผลภาพตรวจหาเชื้อราในเมล็ดข้าวโพดด้วยการพิจารณาจากคุณสมบัติความแปรปรวนของภาพ ของเมล็ดข้าวโพดติดเชื้อราที่ทำให้เกิดอาการที่เรียกว่า ตาสีฟ้า (Blue Eye) โดยถ่ายภาพเมล็ดข้าวโพด จากนั้นนำภาพที่ได้มาพิจารณาจากคุณสมบัติความแปรปรวนของความเข้มแสง และคุณสมบัติของเวกเตอร์ทางสี พร้อมทั้งคุณสมบัติความแปรปรวนสหสัมพันธ์ในการจำแนก และประมวลผลข้อมูลด้วย SVM และ Singh และคณะ [14] นำการประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบความเสียหายที่เกิดจากเชื้อราในข้าวสาลีโดยใช้คลื่นความถี่ช่วงสั้น (Short-Wave Nearinfrared Hyperspectral) และภาพสี ซึ่งความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 700–1100 นาโนเมตร เพื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน พร้อมทั้งพิจารณา Hue, Saturation และ Brightness หลังจากนั้นนำภาพมาพิจารณาคุณสมบัติทางพื้นผิวด้วย GLCM และใช้หลักการทางสถิติการจำแนกแบบเชิงเส้น ซึ่งพิจารณาถึงค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวนของสี และ Sanchis และคณะ [15] นำการประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบสภาพเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Penicillium* genus ในผลส้ม โดยแสงฮาโลเจน (Halogen Lamps) ในการพิจารณาความเน่าเสียของผลส้มซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวนของสเปกตรัมของสี ได้แก่ สเปกตรัมของสีชมพู สเปกตรัมของสีเหลือง สเปกตรัมของสีน้ำเงิน สเปกตรัมของสีม่วง ซึ่งในการจำแนกจะประมวลผลข้อมูลด้วย Artificial Neural Networks แบบ Multilayer Perceptron และ Decision Trees

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า มีความพยายามที่จะนำเอากระบวนการประมวลผลภาพเข้ามาช่วยในการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าว และการติดเชื้อราของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ด้วยการวิเคราะห์คุณสมบัติทางรูปร่าง สี และพื้นผิว และนำค่าที่ได้ประมวลผลข้อมูลด้วย Multi Layer Perceptron Linear Discriminant Analysis, Support Vector Machines, Decision Trees แต่ยังไม่มีการนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอก โดยลักษณะของเมล็ดข้าวฮางอกเสียมีความซับซ้อนส่งผลให้เกิดปัญหาในการจำแนกที่มีความยุ่งยากกว่าเมล็ดข้าวทั่วไปซึ่งประกอบไปด้วยเมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวมีจุดสีดำ รวมทั้งเมล็ดข้าวที่ติดเชื้อรา โดยในปัจจุบันจะใช้ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบคุณภาพ ถ้าปริมาณของข้าวฮางอกมีจำนวนมากอาจส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดได้ จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาและออกแบบการตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอก

1.2 วัตถุประสงค์



1.2.1 ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

1.2.2 วัดประสิทธิภาพด้านความถูกต้องของอัลกอริทึมสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเปรียบเทียบกับมาตรฐานสินค้าเกษตร

1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของงานวิจัย

1.3.1 ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของข้าวฮางอกที่ทำจากข้าวก่อนบรรจุภัณฑ์เท่านั้น

1.3.2 ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าวฮางอกในรูปแบบของเมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวที่มีจุดสีดำ รวมทั้งเมล็ดข้าวติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน

1.3.3 ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

1.3.4 ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความถูกต้องไม่น้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

1.4 สถานที่ทำการวิจัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 อัลกอริทึมสำหรับการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

1.5.2 พัฒนาประสิทธิภาพการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าวฮางอก

1.5.3 องค์ความรู้ใหม่ในการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียม



1.6 แผนการดำเนินงาน

ตาราง 1.1 แผนการดำเนินงาน ระยะเวลา 36 เดือน

แผนงานวิจัย	ระยะเวลาการดำเนินงาน (เดือน)											
	1	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31	34
	ถึง 3	ถึง 6	ถึง 9	ถึง 12	ถึง 15	ถึง 18	ถึง 21	ถึง 24	ถึง 27	ถึง 30	ถึง 33	ถึง 36
1. ศึกษาและทบทวน งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง												
2. ออกแบบอัลกอริทึม สำหรับการตรวจสอบ คุณภาพของข้าวฮางอก												



จากลักษณะทางรูปร่าง สี และพื้นผิวด้วยโครงข่าย ประสาทเทียม												
3. ทดสอบอัลกอริทึม สำหรับการตรวจสอบ คุณภาพของข้าวฮางอก												
4. วัดประสิทธิภาพด้าน ความถูกต้องของ อัลกอริทึมเปรียบเทียบกับ ผู้เชี่ยวชาญ												
5. สรุปผลอัลกอริทึม สำหรับการตรวจสอบ คุณภาพของข้าวฮางอก												



บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในงานวิจัย เพื่อให้ทราบถึง ความหมาย และความเป็นมาของข้าวฮางอก ลักษณะของข้าวฮางอก ขั้นตอนการการผลิตข้าวฮางอก ประโยชน์ และคุณค่าข้าวฮางอก การคัดแยกคุณภาพผลผลิตทางการเกษตร และจะกล่าวถึงความหมาย และความเป็นมาการประมวลผลภาพ การปรับปรุงคุณภาพของภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุภายในภาพ ที่สนใจโครงข่ายประสาทเทียม รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบ การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกที่ไม่มีคุณภาพในลักษณะเมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวที่มีจุดสีดำที่เกิดจากความผิดปกติของเนื้อข้าว รวมทั้งเมล็ดข้าวติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



2.1 ข้าวฮางอก (Germinated Hang Rice)

2.1.1 ความหมาย และความเป็นมา

ข้าวฮางอก หมายถึง ผลผลิตของข้าวเจ้าและข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการทำให้งอก โดยแช่ข้าวเปลือกในน้ำ เพาะจนเกิดราก แล้วนำไปผ่านความร้อน จากนั้นนำไปกะเทาะเปลือก ดังแสดงในภาพประกอบ 2.1 ข้าวฮางอกเป็นข้าวที่ผลิตขึ้นตามกรรมวิธีโบราณตามภูมิปัญญาท้องถิ่นของชาวเผ่าภูไทในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ผลิตสืบต่อกันมากกว่า 200 ปี ซึ่งเป็นข้าวเต็มเมล็ดที่มีจมูกข้าว รำข้าว และมีกลิ่นหอมอ่อนๆของเปลือกข้าว โดยข้าวฮางอกจะอุดมไปด้วยแร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ รวมกว่า 20 ชนิด อีกทั้งข้าวฮางอกมีเส้นใยอาหารปริมาณสูง ช่วยการทำงานของระบบขับถ่าย ซึ่งความโดดเด่นของข้าวฮางอก คือ มีสารอาหารต่าง ๆ สูงมาก โดยเฉพาะสารกาบา (Gamma Amino Butyric Acid, GABA) ซึ่งเป็นสารอาหารที่เกิดขึ้นในส่วนจมูกข้าวและเกิดขึ้นในภาวะที่ข้าวกำลังงอก กาบามีบทบาทที่สำคัญต่อระบบประสาท ระบบเผาผลาญ และช่วยกระตุ้นฮอร์โมนที่สร้างการเจริญเติบโตของเซลล์ใหม่ให้กับร่างกายซึ่งในปัจจุบันตลาดส่งออกที่สำคัญอยู่ที่ฮ่องกง ประเทศจีน ปีละ 20 ตัน และสามารถขยายตลาดไปที่หนานหนิง ประเทศจีนอีก 5,000 ตัน ปัจจุบันผู้ผลิตข้าวฮางอก มีการผลิตพันธุ์ข้าวฮางอกบรรจุถุงจากข้าว 7 ชนิด คือ ข้าวหอมมะลิแดง ข้าวมะลิ 105 ข้าวหอมนิล ข้าวเหนียวดำ ข้าวเหนียว กข.6 ข้าวสิงห์เหล็ก และข้าวเหนียวหอมสกล นอกจากนี้ ยังมีผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าวฮางอกบดที่มีส่วนผสมของจมูกข้าว เพื่อเป็นอาหารพร้อมดื่มใช้ชง ทำโจ๊ก หรือส่วนประกอบอาหารได้หลากหลาย ซึ่งเป็นสินค้าที่กำลังได้รับความนิยม แต่ปัญหาของข้าวฮางอกก็ยังมีอุปสรรคอีกมากที่จะต้องได้รับการแก้ไข โดยเฉพาะกระบวนการผลิตที่ได้คุณภาพและปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค [2]



ก



ข



ภาพประกอบ 2.1 ลักษณะข้าวฮางอก (ก) ข้าวเปลือกเพาะงอก (ข) ข้าวกะเทาะเปลือก [2]

2.1.2 คุณภาพข้าวฮางอก

การตรวจสอบคุณภาพและความปลอดภัยของข้าวที่ผลิตในประเทศไทย เช่น ข้าวขาว ข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก ข้าวฮาง ข้าวฮางอก เป็นต้น จะขึ้นอยู่กับมาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 4004 - 2555 และมาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 4003 - 2555 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เพื่อให้มีมาตรฐานที่ครอบคลุมสินค้าข้าวของประเทศไทยสำหรับพัฒนาคุณภาพ ความปลอดภัย และสร้างความเชื่อถือให้เป็นที่ยอมรับมากขึ้นทั้งในประเทศและการค้าระหว่างประเทศ และเพื่อคุ้มครองผู้บริโภค ซึ่งคำนียามของข้าวในมาตรฐานสินค้าเกษตร มีดังต่อไปนี้

2.1.2.1 นิยามและความหมายข้าว

- 1) ข้าวเจ้า (Non-Glutinous Rice or Non-Waxy Rice) หมายถึง ข้าวซึ่งเป็นพันธุ์ที่เมล็ดมีลักษณะใส อาจมีหรือไม่มีจุดขุนขาวของท้องไขปรากฏอยู่
- 2) ข้าวเหนียว (Glutinous Rice or Waxy Rice) หมายถึง ข้าวซึ่งเป็นพันธุ์ที่เมล็ดมีลักษณะขุนขาวทั้งเมล็ด เมื่อนึ่งสุกเมล็ดจะเหนียวและจับติดกัน
- 3) ข้าวเปลือก (Paddy or Rough Rice or Unhusked Rice) หมายถึง เมล็ดข้าวที่ยังมีเปลือกหุ้มอยู่
- 4) ข้าวเปลือกสด (Wet Paddy or Wet Unhusked Rice) หมายถึง ข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวและนวดทันทีโดยไม่ผ่านกระบวนการลดความชื้น ทั้งนี้รวมถึงข้าวเปลือกที่มีความชื้นเกิน 15%
- 5) ข้าวเปลือกแห้ง (Dry Paddy or Dry Unhusked Rice) หมายถึง ข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นจนมีความชื้นไม่เกิน 15%
- 6) ข้าวกล้อง (Husked Rice or Brown Rice or Cargo Rice or Loonzain Rice) หมายถึง เมล็ดข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออกเท่านั้น ทั้งนี้กระบวนการกะเทาะเปลือกอาจทำให้เยื่อรำบางส่วนหลุดออก
- 7) ข้าวึ่ง (Parboiled Rice) หมายถึง ข้าวกล้องหรือข้าวสารของข้าวเจ้าที่ได้ผ่านกระบวนการทำข้าวนี้
- 8) ส่วนของเมล็ดข้าว (Parts of Rice Kernels) หมายถึง ส่วนของเมล็ดข้าวที่ไม่มีส่วนใดหักที่แบ่งตามความยาวของเมล็ดออกเป็น 10 ส่วนเท่าๆ กัน



9) ข้าวเต็มเมล็ด (Whole Kernels) หมายถึง เมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาพเต็มเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหัก และให้รวมถึงเมล็ดข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 9 ส่วนขึ้นไป

10) ข้าวหัก (Broken) หมายถึง เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ไม่ถึง 80% ของเมล็ด

11) ข้าวเมล็ดท้องไข หรือ ข้าวเมล็ดท้องปลาชิว (Chalky Kernels) หมายถึง เมล็ดข้าวเจ้าที่มีจุดสีขาวขุ่นคล้ายขอลค์ ตั้งแต่ 50% ขึ้นไปของเนื้อที่เมล็ดข้าว

12) ข้าวเมล็ดดิบ (Undeveloped or Poorly Developed Kernels) หมายถึง เมล็ดข้าวที่ไม่เจริญเติบโตตามปกติที่ควรเป็น ข้าวเปลือกมีลักษณะแฟบแบน

13) ข้าวเมล็ดเสีย (Damaged Kernels) หมายถึง เมล็ดข้าวที่เสียอย่างเห็นได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า ซึ่งเกิดจากความชื้น ความร้อน เชื้อรา แมลง หรืออื่น ๆ

14) ข้าวเมล็ดเหลือง (Yellow Kernels) หมายถึง เมล็ดข้าวที่มีบางส่วนของเมล็ดกลายเป็นสีเหลืองอย่างชัดเจน รวมทั้งข้าวหนึ่งที่เป็นสีน้ำตาลอ่อนบางส่วน หรือทั้งเมล็ด

15) ข้าวเมล็ดอ่อน (Immature Kernels) หมายถึง เมล็ดข้าวที่ยังสุกแก่ไม่เต็มที่ ข้าวกล้องมีสีเขียวอ่อน และมีขนาดเล็กกว่าปกติ

16) วัตถุอื่น (Foreign Matter) หมายถึง สิ่งอื่น ๆ ที่มีในเมล็ดข้าว รวมทั้งแกลบ และรำที่หลุดจากเมล็ดข้าว

2.1.2.2 คุณภาพข้าว

1) ข้อกำหนดทั่วไป

ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ทั้งข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวขาว และข้าวเหนียวขาว ต้องมีคุณภาพขั้นต่ำ ดังต่อไปนี้

1.1) มีความปลอดภัยและคุณภาพเหมาะสมต่อการบริโภค

1.2) เมล็ดข้าวมีลักษณะปรากฏสม่ำเสมอ

1.3) มีคุณลักษณะตรงตามพันธุ์

2) ข้อกำหนดเฉพาะ

ข้าวเปลือก ต้องมีลักษณะเฉพาะ ดังต่อไปนี้

2.1) มีความชื้นไม่เกิน 15% ยกเว้นในกรณี ข้าวเปลือกสดที่มี ความชื้นมากกว่า 15% ควรนำไปผ่านกระบวนการลดความชื้นที่เหมาะสมให้ ได้ไม่เกิน 15% ทันที

2.2) กรณีข้าวเปลือกที่จะนำไปเก็บรักษาจะต้องมีความชื้นไม่เกิน 14%

2.3) ไม่มีกลิ่นผิดปกติ เช่น กลิ่นเหม็นเปรี้ยว



2.4) กรณีข้าวเปลือกแห้ง คุณภาพการสีได้ข้าวเต็มเมล็ด และต้นข้าวขาวไม่ต่ำกว่า 34%

2.5) มีข้าวในกลุ่มเดียวกันไม่น้อยกว่า 95%

3) ข้าวกล้อง ข้าวขาว ข้าวฮางอก และข้าวเหนียวขาวต้องมีลักษณะเฉพาะดังต่อไปนี้

3.1) ไม่มี กลิ่นผิดปกติ เช่น กลิ่นเหม็นเปรี้ยว

3.2) ปราศจากแมลงและไรที่มีชีวิต

3.3) ความชื้นไม่เกิน 14%

3.4) มีข้าวในกลุ่มเดียวกันไม่น้อยกว่า 90%

ในส่วน of ข้าวฮางอกจะมีลักษณะของข้าวที่นำข้าวเปลือกไปแช่น้ำเพื่อให้รากงอก จากนั้นก็นำไปนึ่งแล้วทำการอบหรือตากแดดให้แห้ง หลังจากนั้นจึงนำไปกะเทาะเปลือกออกอาจทำให้เยื่อบางส่วนหลุดออก ดังนั้นข้าวฮางอกเป็นข้าวที่ผสมผสานไปด้วยลักษณะของข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และข้าวหนึ่ง จึงทำให้ข้าวฮางอกมีคุณค่าทางอาหารที่สูงกว่าข้าวในลักษณะอื่น ๆ [16]

2.1.3 ขั้นตอนการผลิตข้าวฮางอก

ข้าวฮางอกจะมีคุณภาพ และปลอดภัยนั้นต้องขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตที่มีคุณภาพตามมาตรฐานมาตรฐานสินค้าเกษตร และมาตรฐานมาตรฐานอาหาร โดยเริ่มตรวจสอบคุณภาพตั้งแต่การเลือกพันธุ์ข้าว การปลูก การเก็บเกี่ยว และการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งขั้นตอนในการแปรรูปจะมีความสำคัญ เนื่องจากเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนถึงมือผู้บริโภค ถ้ามีการผลิตและแปรรูปที่ไม่ได้คุณภาพอาจก่อผลเสียมากกว่าผลดีต่อผู้บริโภค ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบก่อนการบรรจุภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนการผลิตเป็นข้าวฮางอกเป็นขั้นตอนที่มีความละเอียด และเสี่ยงต่อการผิดพลาด จึงจำเป็นต้องมีระบบตรวจสอบและคัดแยกข้าวฮางอก เพื่อให้ได้ข้าวฮางอกที่ได้คุณภาพ และปลอดภัยต่อผู้บริโภค ดังแสดงในภาพประกอบ 2.2 โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการผลิตดังต่อไปนี้

2.1.3.1 ขั้นตอนวิธีการทำข้าวฮางอก

สำหรับขั้นตอนการผลิตเพื่อให้ได้ข้าวฮางอกที่มีคุณภาพตามมาตรฐานมาตรฐานมีความสำคัญและเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพ จึงมีความสำคัญในทุกขั้นตอน ซึ่งมีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

1) นำข้าวเปลือกมาแช่น้ำในภาชนะที่สะอาดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2) นำข้าวที่แช่น้ำมาบ่มในภาชนะที่มีอากาศถ่ายเท เช่น บ่มในกระสอบรดน้ำเข้า และเย็น บ่มไว้เป็นเวลาประมาณ 48 ชั่วโมง จะมีรากงอกประมาณ 0.5 มิลลิเมตร หรือรากงอกเท่าปลายเข็ม การงอกของรากจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาชีวเคมี มีสารอาหารเพิ่มมากขึ้น เช่น สาร



กาบา โปรตีน ไฟเบอร์ ไขมันชนิดดี สารต้านอนุมูลอิสระ วิตามินและแร่ธาตุ เป็นต้น

3) นำข้าวที่ออกไปนึ่งให้สุก เพื่อให้สารอาหาร วิตามิน แร่ธาตุ ไฟเบอร์ และกลิ่นหอมจากเปลือกมาเคลือบที่เมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น

4) นำไปตากแดด หรือผึ่งลมให้แห้ง

5) นำข้าวไปกะเทาะเปลือก หรือสีเพื่อนำเอาเฉพาะเปลือกนอกหรือเกลือบออก โดยที่จมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดไม่แตกหัก เพราะจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดนี้ คือ ส่วนที่สะสมโปรตีน วิตามินและเกลือแร่ ที่มีคุณค่าทางอาหารที่ช่วยรักษาโรคทางผิวหนังและระบบประสาทได้

6) แยกสิ่งเจือปนและเก็บในภาชนะที่แห้งสนิท หรือบรรจุในถุงสุญญากาศ



แช่ข้าวเปลือก



นึ่งข้าวเปลือก



กะเทาะเปลือก



เพาะให้งอก



ตากข้าวเปลือก



คัดแยกและตรวจสอบ

ภาพประกอบ 2.2 กระบวนการผลิตข้าวฮางอกของหมู่บ้านน้อยจอมศรี จังหวัดสกลนคร [16]

2.1.3.2 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอก

สำหรับขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพถือว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนถึงผู้บริโภค และเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพสินค้าโดยรวมอีกด้วย ซึ่งจะทำให้การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดที่ดีของคุณภาพ ตัวอย่างเช่น เมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดมีจุดสีดำที่เกิดจากความผิดปกติของเนื้อข้าว เมล็ดบิดเบี้ยว เป็นต้น ดังแสดงในภาพประกอบ 2.3 โดยคุณภาพเหล่านี้เป็นคุณภาพข้าวทั่วไปที่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพ และที่สำคัญการตรวจสอบคุณภาพสารปนเปื้อนในข้าว ตัวอย่างเช่น โลหะอันตราย สารอะฟลาทอกซิน สารปนเปื้อนอื่น ตามมาตรฐานสินค้าเกษตร และมาตรฐานอาหาร ซึ่งในปัจจุบันการตรวจสอบคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญอาจทำได้ไม่เพราะข้อจำกัดทางด้านร่างกาย จึงมีความจำเป็นที่ต้องมีระบบตรวจสอบ



คุณภาพที่มีความถูกต้องแม่นยำมาช่วยในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกทั้งสองส่วนให้มีคุณภาพมากที่สุดสำหรับผู้บริโภค ดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพข้าวฮางอก เพื่อช่วยในการตรวจสอบคุณภาพข้าวฮางอกให้มีคุณภาพ และปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค โดยระบบการประมวลผลภาพเป็นระบบที่กำลังได้รับความนิยม อันเนื่องมาจากเป็นระบบที่มีความรวดเร็ว แม่นยำสูง และเป็นระบบตรวจสอบแบบไม่ทำลายจึงได้มีการนำมาตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



ภาพประกอบ 2.3 ลักษณะเมล็ดข้าวฮางอกก่อนการตรวจสอบคุณภาพ

2.2 สารอะฟลาทอกซิน

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในแถบทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จึงมีสภาวะอากาศและสิ่งแวดล้อมเหมาะสมและเอื้ออำนวยให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อราและสารพิษอะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) ขึ้นได้ในผลิตผลทางเกษตรกรรมหรือวัตถุดิบที่นำมาเป็นอาหารทั้งของคนและสัตว์ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ปลายข้าว ถั่วลิสง กากถั่วเหลือง เป็นต้น ดังแสดงในภาพประกอบ 2.4 ซึ่งเชื้อราและอะฟลาทอกซินทำให้อัตราเสื่อมคุณภาพทางโภชนาการและก่อพิษต่อผู้บริโภค





ภาพประกอบ 2.4 เชื้อราในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร [17]

จึงมีสภาวะอากาศและสิ่งแวดล้อมสารพิษจากเชื้อราอะฟลาทอกซินมาจากคำว่า อะ (A) คือ แอสเปอร์จิลลัส (*Aspergillus*) และคำว่า ฟลา (Fla) มาจากคำว่า (Flavus) สารนี้จัดเป็นสารพิษหรือ ทอกซิน สารพิษจากเชื้อรานี้เกิดจากเส้นใยของเชื้อรา *Aspergillus Flavus* แสดงในภาพประกอบ 2.5 จะเกิดขึ้นตามธรรมชาติและแพร่กระจายในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร จัดเป็นสารเคมีอันตรายที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลหรือการเมทาบอลิซึมชนิดทุติยภูมิของเชื้อรามีคุณสมบัติทางชีวภาพเป็นพิษต่อคน สัตว์ และพืช โดยบั่นทอนสุขภาพและผลผลิตทำลายระบบการทำงานของร่างกายให้เสื่อมโทรมลง ซึ่งการเกิดพิษจากสารพิษ อะฟลาทอกซินขึ้นอยู่กับปริมาณสารพิษที่ปนเปื้อนในอาหารและระยะเวลาที่ได้รับสารพิษจึงต้องมีการทดสอบสารพิษในอาหารเพื่อไม่ให้เกิดสารพิษปนเปื้อนการทดสอบการเกิดพิษจากอะฟลาทอกซิน มักทำในสัตว์ทดลอง โดยทดสอบพิษที่เกิดขึ้นแบบเฉียบพลัน กึ่งเรื้อรัง การกลายพันธุ์กรรม และการกดภูมิคุ้มกัน [17] หากได้รับสารพิษนี้ในปริมาณมากถึงระดับหนึ่ง และได้รับเป็นเวลานานก็จะเกิด Hepatocellular Carcinoma หรือ Cholangio Carcinoma ทำให้เกิดโรคมะเร็งในตับและตายในที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบ 2.6



ภาพประกอบ 2.5 เชื้อราที่ผลิตสารและอะฟลาทอกซิน [17]



ภาพประกอบ 2.6 ลักษณะตับที่เป็นมะเร็ง [17]

จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่า ข้าวฮางอกเป็นข้าวที่ผสมผสานไปด้วยลักษณะของข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และข้าวเหนียว ดังภาพประกอบ 2.7 ทำให้ลักษณะของเมล็ดข้าวฮางอกที่ไม่ได้คุณภาพ มีความแตกต่างจากข้าวขาว ข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และข้าวเหนียว ซึ่งทำให้ลักษณะของเมล็ดข้าวฮางอกที่ไม่ได้คุณภาพมีอยู่หลากหลายลักษณะ ตัวอย่างเช่น เมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวที่มีจุดสีดำที่เกิดจากความผิดปกติของเนื้อข้าว ดังภาพประกอบ 2.8 และในขั้นตอนการลดความชื้นเพื่อให้แห้ง ถ้าทำไม่ดีพอจะส่งผลทำให้เกิดเชื้อราบนเมล็ดข้าวฮางอกได้ เพื่อให้ได้ข้าวฮางอกที่มีคุณภาพทางโภชนาการและไม่ก่อสารพิษต่อผู้บริโภคตามมาตรฐานสินค้าเกษตรของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกที่ได้คุณภาพ เพื่อประโยชน์ที่สูงที่สุดสำหรับผู้บริโภค โดยจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



ข้าวขาว



ข้าวนี้้ง



ข้าวฮางงอก



ข้าวกล้อง



ข้าวกล้องงอก

ภาพประกอบ 2.7 ลักษณะของเมล็ดข้าวประเภทต่าง ๆ [16]



ข้าวขาว



ข้าวหนึ่ง



ข้าวฮางอก

ข้าวกล้อง

ข้าวกล้องงอก

ภาพประกอบ 2.8 ลักษณะของเมล็ดข้าวเสียประเภทต่าง ๆ [16]

2.3 การคัดแยกคุณภาพผลผลิตทางการเกษตร

ในการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบทางการเกษตรโดยมนุษย์มีประสิทธิภาพต่ำ และมีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้สูงทำให้สินค้าถูกปฏิเสธในขั้นตอนสุดท้าย เมื่อมีการตรวจพบข้อผิดพลาดในจุดสำคัญๆ เนื่องจากการประเมินการตรวจสอบคุณภาพขนาดโดยการกะประมาณด้วยสายตาโดยไม่ได้ใช้เครื่องมือวัดขนาด หรือน้ำหนัก การตรวจสอบคุณภาพด้วยสายตามีความไม่แม่นยำเนื่องจากพนักงานแต่ละคนมีความชำนาญที่แตกต่างกันทำให้ผลการทำงานที่ได้มีความไม่คงที่แน่นอน โอกาสที่สิ่งปลอมปนจะหลุดรอดการตรวจสอบไปกับตัววัตถุดิบมีสูง เนื่องจากการทำงานของคนมีขีดความสามารถจำกัด สิ่งปลอมปนเหล่านี้จะก่อให้เกิดปัญหาตามมาในกระบวนการผลิต แต่ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขและป้องกันได้โดยใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในรูปแบบต่าง ๆ รวมทั้งระบบการประมวลผลทางภาพมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบวัตถุดิบหรือสินค้าทางด้านการเกษตร เนื่องจากรูปทรงของวัตถุดิบที่เข้าสู่กระบวนการมีรูปร่างหลากหลาย ซับซ้อน และมีความไม่แน่นอน เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนา และสร้างเครื่องในการคัดแยกและตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบทางการเกษตร\หลากหลายลักษณะ ตัวอย่างเช่น เครื่องคัดแยกสีเมล็ดข้าว เครื่องคัดแยกข้าวกล้อง เครื่องกำจัดสิ่งปลอมปนสินค้าข้าว เป็นต้น ดังแสดงในภาพประกอบ 2.9 ซึ่งมีราคาที่สูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ส่วนข้าวฮางอกยังไม่มีระบบในการคัดแยกและตรวจสอบ ดังนั้นผู้วิจัยมีความสนใจในการออกแบบระบบการตรวจสอบคุณภาพข้าวฮางอก เพื่อลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มมูลค่าของข้าวฮางอก รวมทั้งให้ได้ข้าวฮางอกที่ได้คุณภาพ เพื่อประโยชน์ที่สูงที่สุดสำหรับผู้บริโภค



เครื่องกำจัดสิ่งปลอมปนสินค้าข้าว



เครื่องคัดแยกสีเมล็ดข้าว



เครื่องคัดแยกข้าวกล้อง

ภาพประกอบ 2.9 เครื่องคัดแยกวัตถุดิบทางการเกษตร [16]

2.4 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพ หมายถึง การนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งการทำงานของคอมพิวเตอร์ในการรับข้อมูลเข้า หรือส่งข้อมูลออกจะอยู่ในรูปแบบดิจิทัลเท่านั้น เมื่อระบบได้รับข้อมูลภาพเข้าไปแล้วจะทำการคำนวณและส่งออกมาเป็นข้อมูลที่ชี้แทนข้อมูลภาพดิจิทัลเหล่านั้น การเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์สามารถทำได้โดยการจองหน่วยความจำของเครื่องไว้ในรูปของตัวแปรอะเรย์ (Array) โดยค่าใน แต่ละช่องจะแสดงถึงคุณสมบัติของจุดภาพ (Pixel) และตำแหน่งของช่องเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพ [18] เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณโดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพ เพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางการเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นเราสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์ และสร้างเป็นระบบ เพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ เช่น ระบบรู้จำลายนิ้วมือเพื่อตรวจสอบว่าภาพลายนิ้วมือที่มีอยู่นั้นเป็นของผู้ใด ระบบ



ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม การคัดแยกเกรดหรือคุณภาพของพืชผลทางการเกษตร เป็นต้น ซึ่งการประมวลผลภาพประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.4.1 ลักษณะการจัดเก็บรูปภาพแบบดิจิทัล

โดยทั่วไปภาพจะมีความเข้มตั้งแต่ 2 ระดับขึ้นไป แต่ที่นิยมใช้กันมาก คือ ค่าระดับความเข้มของจุดภาพที่เท่ากับ 256 ระดับ ซึ่งจะทำให้ค่าของจุดภาพอยู่ในช่วง 0-255 โดยใช้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลขนาด 1 ไบต์หรือ 8 บิต สำหรับข้อมูล 1 จุดภาพ ในกรณีที่ต้องการภาพที่มีความเข้มสูง อาจจะต้องการจำแนกจำนวนบิตสำหรับการเก็บข้อมูลมากกว่า 8 บิต คืออาจจะเป็น 16 หรือ 24 บิต ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของข้อมูลภาพที่ทำการจัดเก็บลงหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์

2.4.2 รูปร่างของภาพ

วัตถุที่มีอยู่ตามธรรมชาติ และที่มนุษย์สร้างขึ้นมีรูปร่างของภาพ (Image Shape) ที่แตกต่างกันไป ทั้งที่เป็นรูปทรงเรขาคณิตและไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิตในศาสตร์ของการประมวลผลภาพนั้น การกำหนดขอบเขตของภาพทุกภาพให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular Image Model) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากทำให้การอ่านภาพ การจัดเก็บข้อมูลภาพในหน่วยความจำ และการแสดงภาพออกทางอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์สามารถทำได้โดยการจองหน่วยความจำของเครื่องไว้ในรูปของตัวแปรอะเรย์ โดยค่าในแต่ละช่องของอะเรย์แสดงถึงคุณสมบัติของจุดภาพ และตำแหน่งของช่องอะเรย์เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพ หลังจากนั้นจึงนำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ภาพในส่วนต่าง ๆ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.4.3 การแยกลักษณะเฉพาะของภาพ

การแยกลักษณะเฉพาะของภาพ (Image Feature Extraction) เป็นการแยกหรือสกัดเอาข้อมูลที่สำคัญของภาพออกมา ซึ่งลักษณะเฉพาะของภาพเป็นคุณสมบัติที่สามารถหาได้โดยใช้



ขั้นตอนวิธี การประมวลผลภาพ โดยที่ลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ สี รูปร่าง และพื้นผิว ซึ่งสามารถอธิบาย ได้ดังนี้

2.4.3.1 สี (Color) เป็นลักษณะเฉพาะของภาพที่มีบทบาทสำคัญในระบบค้นคืนภาพ เช่น ฮิสโตแกรมสี ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของสีที่ถูกนำมาใช้บ่อย ๆ เนื่องจากสีเป็นสิ่งที่สามารถมองเห็นได้ง่ายและเป็นสิ่งแรกที่สามารถสังเกตเห็นได้จากการมองภาพ นอกจากนี้สียังสามารถใช้ในการแยกแยะกลุ่มของภาพออกตามเนื้อหาได้เป็นอย่างดี เช่น สีฟ้าของน้ำทะเล สีแดงของดอกไม้ สีเขียวของต้นไม้ เป็นต้น ซึ่งแบบจำลองสีมีอยู่ด้วยกันหลากหลายแบบ โดยแต่ละแบบจะมีคุณสมบัติเฉพาะ เพื่อนำไปพิจารณาวัตถุที่แตกต่างกัน

2.4.3.2 รูปร่าง (Shape) เป็นลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้อธิบายถึงรูปร่าง และลักษณะรวมถึงขนาดของวัตถุภายในภาพ ซึ่งทำให้สามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง หรือแยกแยะระหว่างวัตถุที่มีรูปร่างแตกต่างกันออกจากกันได้

2.4.3.3 พื้นผิว (Texture) เป็นลักษณะเฉพาะที่ใช้อธิบายความหยาบความละเอียด หรือความซับซ้อนของวัตถุภายในภาพ ซึ่งแต่ละภาพอาจจะประกอบด้วยวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกันออกไป การวิเคราะห์พื้นผิวจะช่วยให้สามารถแยกแยะความแตกต่างของวัตถุได้ดียิ่งขึ้น การค้นคืนภาพที่ใช้พื้นผิวเป็นลักษณะเฉพาะของภาพส่วนใหญ่ จะถูกนำไปใช้ในการค้นหาภาพจากกลุ่มภาพพื้นผิว เช่น ชุดภาพพื้นผิวของหิน ชุดภาพพื้นผิวของใบไม้ ชุดภาพพื้นผิวผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เป็นต้น

จากข้อมูลที่กำลังมาข้างหน้าผู้วิจัยได้เลือกใช้ในการแยกลักษณะเฉพาะของภาพที่ประกอบไปด้วยสี รูปร่าง และพื้นผิว เพื่อวิเคราะห์เมล็ดข้าวฮางอก เนื่องจากเมล็ดข้าวฮางอกมีลักษณะของเมล็ดเสียที่มีอยู่ด้วยกันหลากหลายรูปแบบประกอบด้วย เมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวที่มีจุดสีดำที่เกิดจากความผิดปกติของเนื้อข้าว รวมทั้งเมล็ดข้าวติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซิน ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.4.4 การปรับปรุงภาพ

การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพ หรือ การเน้นภาพ (Image Enhancement) เป็นกระบวนการปรับปรุงค่าระดับสีเทาหรือเน้นคุณภาพของข้อมูลให้เด่นชัดขึ้นจึงทำให้ได้ภาพที่มีรูปลักษณะใหม่และยังสามารถเพิ่มรายละเอียดรูปลักษณะของข้อมูลเดิมทำให้สามารถดูภาพเหล่านั้นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นสามารถที่จะเลือกใช้เทคนิคเพื่อเน้นข้อมูลภาพได้หลายวิธีจึงมีความจำเป็นต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสม เช่น การปรับปรุงค่าความเข้มเพื่อให้แสดงความแตกต่างกันมากขึ้น หรือการยืดภาพให้คมชัด (Contrast Stretch) การแบ่งระดับค่าความเข้ม การเฉือนค่าความเข้ม (Density Slicing) การเน้นขอบ โดยการเปรียบเทียบกับจุดภาพข้างเคียง (Edge Enhancement) เป็นต้น ซึ่งวิธีการปรับปรุงภาพด้วยการปรับฮิสโตแกรมของภาพได้รับความนิยม และไม่มีความซับซ้อน สามารถอธิบาย



ได้ดังนี้

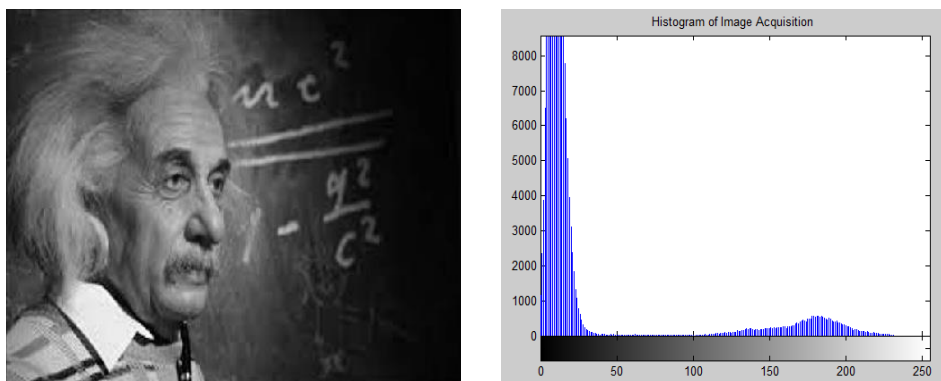
ฮิสโตแกรมของภาพ (Image Histograms) หมายถึง กราฟแท่งที่แสดงจำนวนจุดภาพในแต่ละระดับของความเข้มสีที่มีอยู่ในภาพหนึ่งภาพใด เป็นการแสดงความถี่ของค่าระดับความเข้มแสงด้วยการนับจำนวนจุดภาพที่มีระดับความเข้มเหมือนกัน เรียงค่าแสดงไปตั้งแต่ระดับที่ 0 คือ มืดไปเรื่อย ๆ จนถึงระดับที่ 255 คือ สว่างบริสุทธิ์ ถือเป็นคุณสมบัติของภาพนั้น โดยแกนนอนแสดงถึงระดับสี ส่วนแกนตั้งแสดงถึงจำนวนจุดภาพ ปกติเราจะพิจารณารูปปร่างการกระจายตัวของความเข้มแสงในภาพ เพื่อกำหนดว่าภาพนั้นควรจะได้รับการปรับปรุงคุณภาพหรือไม่ ในการคำนวณค่าฮิสโตแกรมสีภาพแต่ละภาพจะถูกควอนไทซ์สี ภายในภาพเพื่อลดมิติของเวกเตอร์และลดความซับซ้อนในการคำนวณลงโดยการแบ่งกลุ่มสี ออกเป็น m ถังสี (Bins) ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้ 32 64 หรือ 256 ถังสี เนื่องจากการแยกแยะความแตกต่างของระดับค่าสีของสายตามนุษย์มีความละเอียดไม่มากนัก กำหนดให้ภาพ I มีขนาด $n_1 \times n_2$ จุดภาพและ H_{ci} แทนจำนวนจุดภาพที่มีสี C_i ของภาพ I ดังนั้น สามารถคำนวณฮิสโตแกรมสีได้ ดังสมการที่ 2.1

$$h_{ci}(I) = \frac{H_{ci}}{n_1 \times n_2} \quad (2.1)$$

โดยที่ $h_{ci}(I)$ คือ ฮิสโตแกรมของสีของภาพ I
 H_{ci} คือ จำนวนจุดภาพที่มีสี C_i ของภาพ I
 n_1 คือ ความกว้างของภาพ
 n_2 คือ ความยาวของภาพ

การหารด้วย $n_1 \times n_2$ หรือจำนวนจุดภาพทั้งหมดภายในภาพมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าฮิสโตแกรมสีเป็นบรรทัดฐาน เพื่อให้สามารถนำฮิสโตแกรมสีของภาพ ซึ่งมีขนาดแตกต่างกันมาเปรียบเทียบกันได้ ดังนั้นจะได้เวกเตอร์แทนฮิสโตแกรมสีของภาพ I ดังสมการที่ 2.1 ฮิสโตแกรมสีเป็นลักษณะเฉพาะทางสีของภาพที่นิยมนำมาใช้ในระบบการค้นคืนภาพส่วนใหญ่ เนื่องจากสามารถคำนวณได้ง่าย และรวดเร็ว แต่มีข้อเสีย คือมีเฉพาะข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายของสีภายในภาพเท่านั้นไม่มีข้อมูลเชิงตำแหน่ง (Spatial Information) ซึ่งสามารถพิจารณาได้ จากภาพประกอบ 2.10





ภาพประกอบ 2.10 ตัวอย่างภาพและฮิสโตแกรมของภาพที่มี 256 กลุ่มสี [20]

ในการปรับปรุงภาพดิจิทัลเป็นหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับเทคโนโลยีการประมวลผลภาพดิจิทัล ซึ่งเป็นการปรับปรุงลักษณะที่ปรากฏในภาพให้มีความเด่นชัดขึ้น เพื่อเข้าสู่กระบวนการต่อไปของการประมวลผลภาพดิจิทัล เช่น การแบ่งส่วนภาพ การวิเคราะห์ภาพ และการเรียนรู้ของการประมวลผล เป็นต้น ซึ่งผู้วิจัยจะขอเสนอการปรับปรุงแบบแบ่งส่วนฮิสโตแกรมของภาพเมล็ดข้าวฮางอกให้มีความเด่นชัดขึ้น โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

2.4.4.1) Histogram Equalization (HE) คือ วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพภาพโดยใช้วิธีการสร้างภาพที่มีจำนวนจุดภาพใกล้เคียงกัน หรือข้อมูลที่แปลงแล้วจะมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยวิธีการนี้ใช้การกำหนดจำนวนจุดภาพที่เหมาะสมให้กับแต่ละค่า โดยภาพโครโมโซมที่ใช้ในการตัดแยกเป็นภาพ Grayscale โดยจะอยู่ในช่วง $[0, L-1]$ ซึ่งความน่าจะเป็นในการกระจายตัวข้อมูลภาพดังสมการที่ 2.2 [19]

$$P(r_k) = \frac{n_k}{N} \quad k = 0, \dots, L-1 \quad (2.2)$$

โดยที่ r_k คือ ค่าระดับใน Gray level

n_k คือ จำนวนจุดภาพในภาพ Grayscale ซึ่งมีค่า Gray level ที่ r_k

L คือ ความหนาแน่นของค่า Grayscale

2.4.4.2) Global Histogram Equalization (GHE) คือ วิธีการปรับเท่าฮิสโตแกรมที่เหมาะสมสำหรับใช้ปรับปรุงภาพที่มีการกระจายตัวของฮิสโตแกรมที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ภาพที่ได้รับการปรับปรุงใหม่มีลักษณะกระจายตัวของฮิสโตแกรมเต็มช่วงของค่าระดับสีเทาและมีลักษณะแบบยูนิฟอร์ม แต่ฮิสโตแกรมใหม่นี้จะไม่มีลักษณะเหมือนกับฮิสโตแกรมเดิมทำให้จำนวนของค่าระดับสีเทา

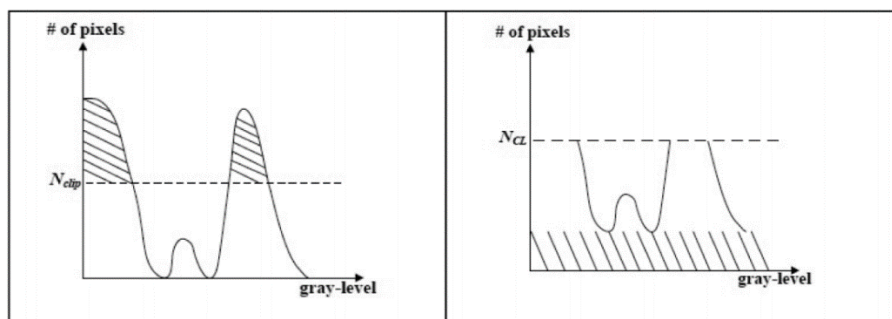
ที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของภาพนั้น ๆ

2.4.4.3) Partitioned Histogram Equalization คือ วิธีการปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ย่อยเป็นการประยุกต์ใช้การปรับเท่าฮิสโตแกรมเช่นเดียวกันแตกต่างกันตรงที่ในพื้นที่ย่อยที่ถูกแบ่งไว้จะถูกกำหนดค่าระดับสีเทาต่ำสุดจาก 0 เป็นค่าระดับสีเทาที่ต่ำที่สุดในพื้นที่ย่อย และค่าระดับสีเทาสูงสุดจาก 255 เป็นค่าระดับสีเทาสูงสุดในพื้นที่ย่อยนั้น ๆ

2.4.4.4) Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) คือ วิธีการเพิ่มคุณภาพภาพที่ได้รับการพัฒนาจาก Histogram Equalization (HE) ซึ่งวิธีการดังกล่าวได้พิจารณาถึงรายละเอียดข้อมูลจาก HE ในแต่ละค่าจุดภาพบนบริเวณพื้นส่วนกลางของภาพต้นฉบับ โดยค่า Histogram ที่มีระดับสูงกว่าค่าเฉลี่ยจุดภาพในระดับ Gray จะถูกนำมากระจายให้กับทุกจุดภาพในภาพ Grayscale โดยค่าที่นำมากระจายจะเป็นค่า Histogram ที่มีระดับสูงกว่าค่าเฉลี่ยจุดภาพในระดับ Grayscale ซึ่งแทนด้วยตัวแปร N_{clip} [20] ดังภาพประกอบ 2.11 วิธีการดังกล่าวสามารถแสดงดังสมการที่ 2.3

$$N_{aver} = \frac{N_{CR-X_p} \times N_{CR-Y_p}}{N_{gray}} \quad (2.3)$$

โดยที่ N_{aver} คือ ค่าเฉลี่ยจุดภาพ
 N_{gray} คือ หมายเลขของค่า Grayscale ในแต่ละพื้นที่
 N_{CR-X_p} คือ หมายเลขของจุดภาพใน X มิติในแต่ละพื้นที่นั้น ๆ
 N_{CR-Y_p} คือ หมายเลขของจุดภาพใน Y มิติในแต่ละพื้นที่นั้น ๆ



ภาพประกอบ 2.11 ค่าฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ และค่าฮิสโตแกรมที่ถูกตัดออก [20]



จากข้อมูลทีกล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยได้เลือกใช้ระบบ CLAHE มาปรับปรุงภาพขาวฮางอก ซึ่งสามารถกำหนดระดับความหนาแน่นของค่าจุดภาพ เพื่อเน้นรายละเอียดให้เมล็ดข้าวฮางอกมีความคมชัดมากขึ้น และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ด้านอื่น ๆ ต่อไป

2.4.5 การตัดแบ่งส่วนภาพ

การแยกภาพออกเป็นส่วน ๆ จะทำให้สามารถแยกภาพส่วนที่ต้องการออกจากส่วนอื่น ๆ วิธีการพื้นฐานสำหรับการแยกภาพออกเป็นส่วน ๆ คือการพิจารณา Image Amplitude ได้แก่การพิจารณาความสว่างของภาพสำหรับภาพแบบ Grayscale และความแตกต่างของสีสำหรับภาพสี นอกจากนี้ขอบของภาพและลักษณะของ Texture ก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จะทำให้สามารถทำการแบ่งแยกภาพได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยทั่วไปการแยกภาพออกเป็นส่วน ๆ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

2.4.5.1) Amplitude Segmentation Method เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพโดยดูจากความเหมือนกันของคุณสมบัติของจุดภาพภายในพื้นที่เพียงอย่างเดียว เช่นวิธีการ Intensity Thresholding เป็นการแยกแยะวัตถุจากฉากหลังโดยดูจาก Intensity ของจุดภาพเป็นหลัก ข้อดีของวิธีการนี้คือ มีขั้นตอนในการทำงานที่ง่ายไม่ซับซ้อน ทำงานได้รวดเร็ว แต่ข้อเสียคือไม่สามารถใช้กับภาพที่มีสัญญาณรบกวนมาก หรือภาพที่มีความสว่างไม่สม่ำเสมอ

2.4.5.2) Region Segmentation Method เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพโดยดูจากตำแหน่งของจุดภาพและความเหมือนกันของคุณสมบัติของจุดภาพภายในพื้นที่เป็นหลัก โดยถ้าจุดภาพที่อยู่ติดกันและมีคุณสมบัติเหมือนกันจะถูกจัดให้เข้ากลุ่มเดียวกัน ข้อดีของการทำเช่นนี้จะได้พื้นที่ต่อเนื่องกัน ปัญหาอุปสรรคของวิธีการนี้คือ การกำหนดกฎเกณฑ์ที่เหมาะสมที่ใช้ตรวจสอบว่าจุดภาพนั้นมีคุณสมบัติเหมือนกัน เพื่อใช้ในการรวมกลุ่มเข้าด้วยกันทำได้ยาก และวิธีการเหล่านี้อาศัยอัลกอริทึมและโครงสร้างข้อมูลที่ซับซ้อน การประมวลผลใช้เวลานาน

2.4.5.3) Edge Segmentation Method เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพโดยอาศัยความไม่ต่อเนื่องของคุณสมบัติของจุดภาพที่บริเวณขอบของวัตถุ ดังนั้นวิธีการนี้จึงมุ่งที่จะตรวจหาขอบของวัตถุเป็น ข้อดีของวิธี การนี้ คือมีความรวดเร็วในการประมวลผลเพราะวิธี การนี้ใช้เฉพาะข้อมูลบริเวณขอบของวัตถุเท่านั้นส่วนข้อเสียของวิธีการนี้ คือผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของขอบของวัตถุ ซึ่งอาจจะต้องผ่านกระบวนการอื่นอีกต่อหนึ่ง จึงสามารถใช้งานได้ นอกจากนี้ขอบของวัตถุที่ได้ อาจไม่ต่อเนื่องถ้าวัตถุมีสีที่ไม่สม่ำเสมอ

Kashmir และคณะ [21] ได้นำเสนอการเปรียบเทียบการตัดแบ่งส่วนภาพ Region Based Image ที่ได้รับความนิยม 2 วิธี คือ วิธี Watershed และวิธี Mean Shift ซึ่งสรุปได้ว่าวิธี Watershed จะมีประสิทธิภาพในการตัดแบ่งส่วนภาพได้ดีกว่าวิธี Mean Shift

Dhanalaxmi และ Ravichandaran [22] ได้นำเสนอการใช้วิธีใหม่ในการตัดแบ่งส่วนภาพด้วยวิธี Bottleneck ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกการทำ Split-and-Merge



ในบริเวณที่ต้องการแบ่งส่วนภาพจะได้ Intensity Histogram ขั้นตอนที่สองทำการ Histogram Clustering สุดท้ายทำการรวมภาพทั้งสองขั้นตอนเข้าด้วยกัน ซึ่งสรุปได้ว่าการตัดแบ่งส่วนภาพโดยวิธี Bottleneck มีประสิทธิภาพในการตัดแบ่งส่วนภาพ

Fari [23] ได้ทำการศึกษาการตัดแบ่งส่วนภาพ โดยใช้เทคนิค Thresholding ในภาพที่เกิดความเสียหายจาก Gaussian Noise และ Salt Noise และ Pepper Noise ซึ่งดำเนินการด้วยโปรแกรม MATLAB version 7.12.0.635 (R2011a) ซึ่งสรุปได้ว่าการตัดแบ่งส่วนภาพ โดยใช้เทคนิค Thresholding มีประสิทธิภาพสูงในภาพที่เกิดความเสียหายจาก Gaussian Noise และ Salt Noise และ Pepper Noise และเป็นวิธีที่ไม่มีความซับซ้อนคงสภาพภาพต้นฉบับได้มากที่สุด โดยที่มีความเข้มแสงที่คงที่เมื่อเทียบกับพื้นหลังตัวอย่าง

การตัดแบ่งภาพจะมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของภาพที่นำมาพิจารณา ซึ่งแต่ละวิธีจะมีขั้นตอนที่แตกต่างกันไป โดยผู้วิจัยจะขอเสนอการตัดแบ่งภาพโดยทฤษฎีเทรชโฮลดิ้ง ซึ่งอยู่ในกลุ่มของ Amplitude Segmentation Method เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่มีความซับซ้อน ทำงานได้รวดเร็ว และคงสภาพภาพต้นฉบับได้มากที่สุด เพื่อนำมาตัดแบ่งภาพเมล็ดข้าวฮางอกสามารถอธิบาย ได้ดังนี้

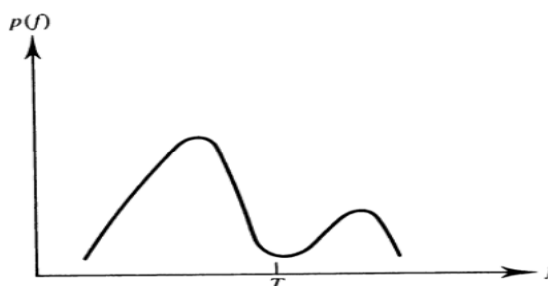
ทฤษฎีเทรชโฮลดิ้ง (Thresholding Theory) สำหรับภาพบางชนิดจะมีลักษณะวัตถุที่เราสนใจที่มีความเข้มแสงที่คงที่เมื่อเทียบกับพื้นหลังตัวอย่าง ซึ่งภาพเหล่านี้จะมีความเข้มของวัตถุที่เราสามารถแยกออกจากพื้นหลังได้อย่างชัดเจน คือ มีความเข้มชั้นสองระดับได้แก่ความเข้มของวัตถุและความเข้มของพื้นหลัง การทำการแบ่งภาพเป็นส่วนย่อย (Segmentation) สามารถทำได้โดยการกำหนดค่าเทรชโฮล (Threshold) ซึ่งเป็นค่าความเข้มให้มีค่าที่สามารถแยกความแตกต่างของวัตถุและพื้นหลังได้ตัวอย่าง เช่น ภาพของตัวอักษรที่มีความเข้มของตัวอักษรเป็น 0 (สีดำ) และมีความเข้มของพื้นหลังเป็น 255 (สีขาว) [24] การหาค่าเทรชโฮลดิ้งสามารถหา ได้ดังนี้

1) โกลบอลเทรชโฮลดิ้ง (Global Thresholding) เป็นการให้ค่าเทรชโฮลดิ้งเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง โดยใช้ฮิสโตแกรมของภาพเป็นตัวกำหนด ซึ่งค่าฮิสโตแกรมที่อยู่จุดต่ำสุดที่อยู่ระหว่างจุดสูงสุด ดังแสดงในภาพประกอบ 2.12

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x,y) \in T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.4)$$

เมื่อ $g(x,y)$ คือ ข้อมูลภาพ ณ ตำแหน่ง x,y
 T คือ ค่าเทรชโฮลดิ้ง





ภาพประกอบ 2.12 ค่าฮิสโตแกรมที่อยู่ต่ำสุดที่อยู่ระหว่างจุดสูงสุด [24]

2) โลคอลเทรชโฮลดิ้ง (Local Thresholding) การแบ่งภาพหลักออกเป็นภาพย่อย ๆ ที่แต่ละภาพย่อยเหล่านั้นจะมีค่าเทรชโฮลเป็นของตัวเอง สำหรับการทำงานของระบบตรวจสอบชิ้นส่วนด้วยภาพแบบอัตโนมัติ ซึ่งค่าเทรชโฮลที่ใช้จะเป็นลักษณะ Local Thresholding ซึ่งแต่ละบริเวณจะถูกกำหนดค่าโดยผู้ใช้งาน

3) อะแดปทีฟเทรชโฮลดิ้ง (Adaptive Thresholding Processor) การใช้อะแดปทีฟเทรชโฮลดิ้ง จะทำการแบ่งภาพออกเป็นภาพย่อย ๆ โดยเลือกค่าขีดเริ่มแบ่งในภาพย่อย ซึ่งสลับระหว่างการเลือกแบบ Global Thresholding และแบบ Local Thresholding การเลือกค่าขีดเริ่มแบ่งแบบ Global Thresholding ใช้ในบริเวณที่ความเข้มแสงของพื้นหลังมีค่าสม่ำเสมอ ในขณะที่แบบ Local Thresholding ใช้ในบริเวณที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง (Transition) เป็นการหาค่าเทรชโฮลดิ้ง ซึ่งมีได้หลายค่า [25]

จากข้อมูลที่กำลังมาข้างต้นผู้วิจัยได้เลือกใช้การตัดแบ่งส่วนภาพแบบอะแดปทีฟเทรชโฮลดิ้ง ซึ่งเป็นการรวมกันของแบบโกลบอลเทรชโฮลดิ้ง และแบบโลคอลเทรชโฮลดิ้งในการหาค่าเทรชโฮลดิ้งที่เหมาะสมของภาพข้าวฮางอก เพื่อแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของภาพที่นำมาไปวิเคราะห์สี รูปร่าง และพื้นผิวต่อไป

2.4.6 การเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพ

การเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพ (Morphological Processing) คือการประมวลผลของภาพทางด้านโครงสร้าง โดยเกี่ยวกับการแยกส่วนประกอบของภาพออกเพื่อใช้ในการแสดงรูปร่างในเมทริกซ์จะประกอบไปด้วยค่าระดับขาว และดำ คือ 0 และ 1 ในการนำมาเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพ ซึ่งผู้วิจัยจะขอเสนอการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพที่ใช้ในงานวิจัย เพื่อนำมาเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพเมล็ดข้าวฮางอก โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

2.4.6.1) การทำ Opening และ Closing



1) Opening ใช้เพื่อกำจัดรายละเอียดขนาดเล็กของภาพ และการทำ Opening จะทำให้จุดภาพของภาพจะถูกเปิดกว้างมากขึ้นดังภาพและวิธีการของ Opening คือการทำ Erosion ก่อน หลังจากนั้นจึงทำ Dilation

2) Closing เป็นวิธีตรงข้ามกับ Opening จะเป็นการทำให้ภาพมีการเชื่อมต่อกันมากขึ้นและการทำ Closing จะทำให้จุดภาพของภาพจะถูกปิดเชื่อมต่อกันมากขึ้นวิธีการทำ Closing คือการทำ Dilation ก่อน จึงทำ Erosion

2.4.6.2) Thinning การทำ Thinning จะมีอยู่ 2 ขั้นตอน คือขั้นแรกนำ

Template ขนาด 3x3 สแกนไปตามข้อมูลภาพและทำการพิจารณาจุดภาพบริเวณขอบภาพว่าสามารถลบได้หรือไม่ถ้าลบได้ให้หมายเหตุไว้แต่ยังไม่ต้องลบ หลังจากทีสแกนทั่วทั้งภาพก็ให้ทำการลบข้อมูลภาพดังที่ได้หมายเหตุไว้ ขั้นที่สองดำเนินการเหมือนขั้นตอนแรก ซึ่งเมื่อทำการลบข้อมูลภาพที่มีไว้ในหมายเหตุแล้ว ก็ให้ทำซ้ำต่อไปเรื่อย ๆ จนไม่สามารถลบข้อมูลภาพออกได้อีก

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นในการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพ ผู้วิจัยได้ทำการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้างของภาพขาวฮางงอกด้วยวิธี Opening เพื่อกำจัดจุดขาวเล็ก ๆ บนภาพให้หมดไป และใช้วิธี Thinning เพื่อลด Binary Objects หรือ Shapes ในภาพขาวฮางงอก

2.4.7 การคำนวณหาคุณสมบัติของวัตถุ (Feature extraction)

ในการสร้างระบบในการคัดแยกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางงอกได้นั้น จำเป็นที่จะต้องหาลักษณะเด่นของภาพเพื่อนำมาเป็นตัวแทนของภาพให้ได้เสียก่อน เหตุผลที่ต้องทำการหาลักษณะเด่นนั้นก็เพื่อที่จะลดขนาดข้อมูลภาพลง การเลือกใช้การหาลักษณะเด่นของภาพขาวฮางงอกจากการวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างภาพ (Shape Feature Extraction) และลักษณะพื้นผิวภาพ (Texture Feature Extraction) โดยมีวิธีการ ดังต่อไปนี้

2.4.7.1) การวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างภาพ เป็นการคำนวณหาคุณสมบัติของวัตถุ สามารถทำได้การแยกบริเวณที่อยู่ในภาพออกเป็นส่วนๆ แต่ละส่วนมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันและทำการจัดเก็บพิกัดของจุดภาพที่เป็นของบริเวณเดียวกัน โดยเลือกใช้รูปแบบการเก็บที่เหมาะสม จากนั้นทำการคำนวณหาหรือวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของแต่ละบริเวณหรือของวัตถุแต่ละชิ้นที่อยู่ในรูป ซึ่งในทางปฏิบัติการคำนวณหาคุณสมบัติบางประการนั้นสามารถทำไปพร้อมๆ กันกับกระบวนการ Connected Components Labeling ได้เลย เช่น การคำนวณหาพื้นที่ ซึ่งเป็นเพียงการนับจำนวนจุดภาพของบริเวณหรือวัตถุนั้น ๆ หรือการหาเส้นรอบวงของวัตถุที่เป็นการนับจำนวนจุดภาพของวัตถุที่มีด้านใดด้านหนึ่งติดอยู่กับบริเวณที่เป็นฉากหลัง แต่คุณสมบัติบางประการก็จะต้องทำหลังจากที่เสร็จสิ้น



กระบวนการดังกล่าวไปแล้วเพื่อให้ทราบพื้นที่ทั้งหมดของวัตถุเสียก่อน เช่น การหาจุดศูนย์กลางของวัตถุ หรือ การหาเฉลี่ยเฉลิย (Average Hue) หรือความเข้มแสงเฉลี่ย (Average Intensity) ของวัตถุทั้งชิ้น เป็นต้น ดังนั้นผู้ออกแบบจำเป็นต้องเลือกลักษณะเด่น (Salient Features) เพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถใช้ในการจำแนกข้าวฮางอกที่เสียได้อย่างชัดเจนแทนที่จะทำการวัดคุณสมบัติทุกอย่างของทุกบริเวณที่มีอยู่ในภาพ ผลที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของข้าวฮางอกแต่ละเมล็ดที่อยู่ในภาพ ซึ่งถ้าหากนำมา จัดวางในรูปแบบเวกเตอร์ก็จะได้ Feature Vector ซึ่งเป็นการแสดงค่าคุณสมบัติทั้งหมดที่วัดจากเมล็ดข้าวฮางอกนั้น ๆ ที่อยู่ในรูปของเวกเตอร์ ซึ่งสามารถแบ่งการพิจารณาข้าวฮางอก ได้ดังนี้

- 1) Area คือ จำนวนจริงของจุดภาพใน Shape ของ Region โดยทั่วไปจะพิจารณาเป็น Net Area หรือพื้นที่สุทธิ
- 2) Perimeter คือ จำนวนจริงของจุดภาพที่อยู่บนขอบของ Region
- 3) Major Axis คือ จุดจบสองจุด (Ending Point) ที่สามารถวาดเส้นที่ยาวที่สุดใน Region
- 4) Minor Axis คือ จุดจบสองจุด (Ending Point) ที่สามารถวาดเส้นที่ยาวที่สุด และต้องตั้งฉากกับ Major axis
- 5) Eccentricity คือ ความผิดปกติของพื้นที่วงรีที่มีช่วงเวลาเดียวกันของ Region

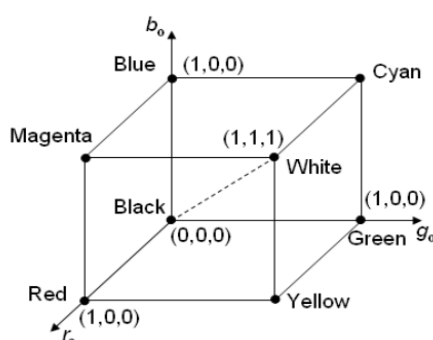
การพิจารณารูปร่างจะมีอยู่ด้วยกันหลากหลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุที่นำมาพิจารณา และวัตถุประสงค์ในการพิจารณาในวัตถุนั้น ๆ เพื่อความเหมาะสมและบ่งบอกถึงวัตถุได้มากที่สุด สำหรับข้าวฮางอกจะทำการพิจารณารูปร่างในลักษณะดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น หลังจากนั้นทางผู้วิจัยได้นำหลักการพิจารณาพื้นผิวมาใช้ในการวิเคราะห์เมล็ดข้าวฮางอกร่วมกับการพิจารณารูปร่าง เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกและตรวจสอบให้เพิ่มขึ้น

2.4.7.2) การวิเคราะห์ลักษณะตามมาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบด้วยกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับนำไปใช้แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกันคือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในสเปส (Space) 3 มิติโดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในสเปส ซึ่งแต่ละแกนจะมีความเป็นอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่น ในระบบ RGB (Red Green Blue) จะมีแกนสี คือ แกนสีแดง เขียว และน้ำเงิน ในระบบ HLS จะมีแกนเป็นค่าสี (Hue) ความสว่าง (Lightness) และความบริสุทธิ์ของสี (Saturation) ซึ่งระบบสีที่นิยมใช้กันได้แก่ ระบบ RGB ระบบสีแบบ HSV (Hue Saturation Value) ระบบสีแบบ HLS (Hue lightness saturation) และระบบสีแบบ HLS (Hue Lightness Saturation) เนื่องจากเป็นระบบสีที่ตอบสนองต่อการมองเห็นของมนุษย์ได้มากที่สุด ซึ่งสีของเมล็ดข้าวฮางอกจะมีลักษณะสีเหลืองทองจึงทำให้ระบบสีแบบระบบ RGB ยังไม่สามารถจำแนกสี



ได้อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องระบบสีแบบอื่นมาพิจารณาเมล็ดข้าวฮางอก สามารถอธิบายได้ดังนี้

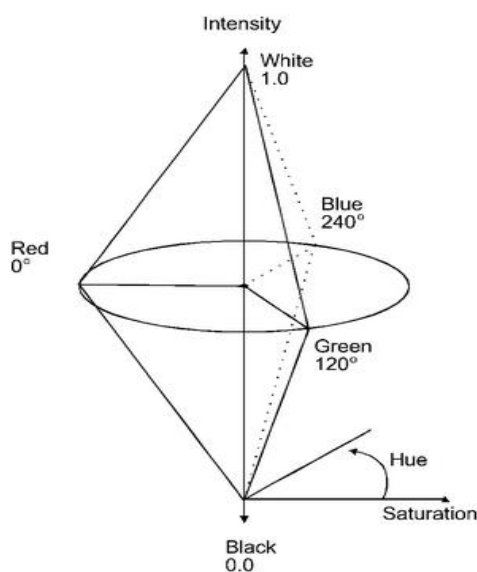
1) ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน โดยมีการรวมกันแบบ Additive ซึ่งโดยปกติจะนำไปใช้ ในจอภาพแบบ CRT (Cathode Ray Tube) ในการใช้งานระบบสี RGB ยังมีการสร้างมาตรฐานที่แตกต่างกันออกไปที่นิยมใช้งานได้แต่ CIE RGB และ NTSC RGB ระบบสีแบบ RGB ของ CIE เป็นระบบสีที่พัฒนาขึ้นโดย CIE (Commission International de l'Eclairage) ซึ่งอ้างอิงสีด้วยสีแดงที่ 700 nm สีเขียวเท่ากับ 546.1 nm และสีน้ำเงิน 435.8 nm ระบบสีแบบ RGB ของ NTSC เป็นระบบที่พัฒนาโดย NTSC (National Television System Committee) เพื่อใช้สำหรับการแสดงภาพของจอภาพแบบ CRT เป็นมาตรฐานสำหรับผู้ผลิตแบบ CRT ให้มีลักษณะเดียวกัน ดังแสดงในภาพประกอบ 2.14



ภาพประกอบ 2.14 ระบบสี RGB [26]

2) ระบบสี HSI (Hue Saturation Intensity) เป็นรูปแบบสีที่เกิดจากการจำลองการมองเห็นของมนุษย์ โดยประกอบด้วย 3 ส่วน คือ Hue เป็นค่าที่บอกถึงสีต่าง ๆ ของวัตถุ โดยอาศัยคุณสมบัติ 2 อย่าง คือการสะท้อนแสงของวัตถุ และการดูดกลืนแสงของวัตถุ โดย Hue จะแสดงตำแหน่งเฉดสีด้วย Standard Color Wheel โดยจะแสดงตำแหน่งเป็นองศา (0 – 360 องศา) ส่วน ของ Saturation เป็นค่าความอิ่มตัวของสีหรือความเข้มข้นของสีนั้น คือความเจือปนของสีขาว มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ค่า 0 หมายถึงมีการเจือปนของสีขาวมากที่สุด ส่วน 1 หมายถึงไม่มีการเจือปนของสีขาวเลย โดยตำแหน่งบน Standard Color Wheel ค่า Saturation จะเพิ่มขึ้นจากจุดกึ่งกลาง จนถึงเส้นขอบ และ Intensity เป็นค่าความเข้มของแสงของภาพระดับเทา มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ดังแสดงในภาพประกอบ 2.15



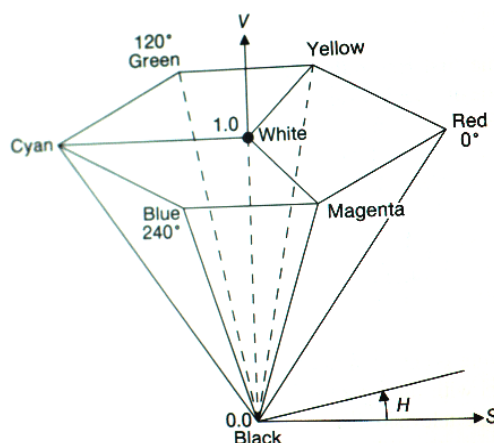


ภาพประกอบ 2.15 ระบบสี HIS [26]

3) ระบบสี HSV (Hue Saturation Value) เป็นระบบสีที่ให้ความหมายที่ดีกว่าเมื่อกล่าวถึงสีต่าง ๆ ในเชิงศิลปะ เช่น เมื่อพูดถึงสีเหลืองในทางศิลปะจะมีความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาสีเหลืองอ่อน สีเหลืองแก่ หรือสีน้ำตาลว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร จะพบว่าทุกสี คือสีเหลืองนั่นเองที่มีระดับความเข้มหรือมีความอิ่มตัวที่แตกต่างกัน ดังนั้นสีในแบบจำลองสี HSV จึงให้ความรู้สึกที่เข้าใจได้มากกว่าสำหรับมนุษย์ ซึ่งการพิจารณาสีโดยใช้ Hue Saturation และ Value ดังแสดงในภาพประกอบ 2.16 ซึ่ง Hue คือ ค่าสีของสีหลัก (แดง เขียว และน้ำเงิน) ในทางปฏิบัติจะอยู่ระหว่าง 0 และ 255 โดยถ้า Hue มีค่าเท่ากับ 0 จะแทนสีแดง และเมื่อ Hue มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ สีก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสีจนถึง 256 จึงจะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้ง ซึ่งสามารถแทนให้อยู่ในรูปขององศา ได้ดังนี้คือ สีแดงเท่ากับ 0 องศา สีเขียวเท่ากับ 120 องศา สีน้ำเงินเท่ากับ 240 องศา Hue สามารถคำนวณได้จากระบบสี RGB ได้ดังสมการที่ 2.5 ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{red}_h &= \text{red} - \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) \\ \text{green}_h &= \text{green} - \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) \\ \text{blue}_h &= \text{blue} - \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) \end{aligned} \quad (2.5)$$





ภาพประกอบ 2.16 ระบบสี HSV [26]

จากลักษณะโมเดลของระบบ Hue พบว่าจะมีค่าอย่างน้อยหนึ่งค่าที่จะเท่ากับ 0 แต่ถ้ามียี่สองค่าเท่ากับ 0 แล้ว Hue จะเป็นมุมของสี (ค่าสี) มีค่าเป็นไปตามสีที่สาม และถ้าทั้งสามสีมีค่าเท่ากับ 0 แล้วจะทำให้ไม่มีค่าของ Hue หรือสีที่ได้จะมีค่าเท่ากับสีขาวนั่นเอง ตัวอย่าง เช่น จอภาพขาว-ดำ ถ้าเกิดมีสีใดสีหนึ่งมีค่าเท่ากับ 0 จะทำให้ค่าสีที่ได้เป็นไปตามสีที่เหลือการให้น้ำหนักในการพิจารณาเมื่อสีแดงมีค่าเท่ากับ 0 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.6 ดังนี้

$$\frac{(240 \times \text{blue}_h) + (120 \times \text{green}_h)}{\text{blue}_h + \text{green}_h} \quad (2.6)$$

Saturation คือ ความบริสุทธิ์ของสี ซึ่งถ้า Saturation มีค่าเท่ากับ 0 แล้วสีที่ได้จะไม่มี Hue ซึ่งจะเป็นสีขาวล้วน แต่ถ้า Saturation มีค่าเท่ากับ 255 แสดงว่าจะไม่มีแสงสีขาวผสมอยู่เลย Saturation สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.7 ดังนี้

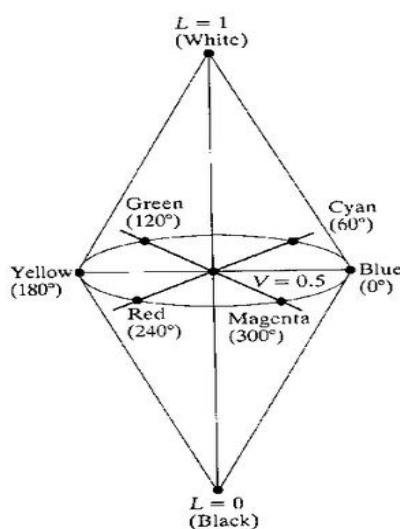
$$\text{Saturation} = \frac{\max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) - \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue})}{\max(\text{red}, \text{green}, \text{blue})} \quad (2.7)$$

Value คือ ความสว่างของสี ซึ่งสามารถวัดได้โดยค่าความเข้มของความสว่างของแต่ละสีที่ประกอบกันสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.8 ดังนี้



$$\text{value} = \max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) \quad (2.8)$$

4) ระบบสีแบบ HLS (Hue Lightness Saturation) พัฒนาโดย Teletromix Incorporated จะมีลักษณะคล้ายกับ HSV คือ สีของระบบจะขึ้นอยู่กับ Hue Lightness และ Saturation โดยที่ Hue คือ ค่าของสีหลักซึ่งมีสีน้ำเงินอยู่ที่ 0 องศา สีเขียวอยู่ที่ 120 องศา และสีแดงอยู่ที่ 240 องศา Lightness คือ ค่าความสว่างซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามแนวแกน L โดยที่ $L = 0$ จะเป็นสีดำ $L = 1$ จะเป็นสีขาว ดังแสดงในภาพประกอบ 2.17



ภาพประกอบ 2.17 ระบบสี HLS [26]

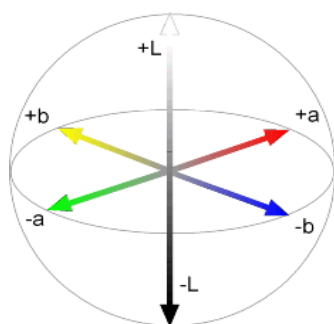
5) ระบบสีแบบ CIE LAB Color Space ตามมาตรฐานของ CIE ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ใดๆ ซึ่งกำหนดขึ้นได้ดังนี้ คือ L^* , a^* , b^* color space โดยที่แกน L^* จะบ่งบอกถึงค่าความสว่าง (Lightness) ของสี โดยมีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว) แกน a^* จะบ่งถึงสีแดงและสีเขียว (Redness/Greeness) โดยค่าเป็นบวกก็จะเป็นสีแดงมากขึ้น และถ้าค่าเป็นลบก็จะเป็นสีเขียวมากขึ้น ส่วนแกน b^* จะบ่งถึงสีเหลือง และสีน้ำเงิน (Yellowness/Buleness) โดยค่าเป็นบวกก็จะเป็นสีเหลือง และถ้าค่าเป็นลบก็จะเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น เมื่อ L^* คือ ค่าความสว่าง มีค่าเป็น 0 จะแสดงถึงสีดำและมีค่า 100 จะแสดงถึงสีขาวที่สุด (สีขาว) เมื่อ a^* คือ ค่าสีแดง/เขียว เมื่อ a^* มีค่าเป็นบวกจะแสดงถึงสีแดง และ a^* มีค่าเป็นลบจะแสดงถึงสีเขียว ค่า a^*



มีค่าอยู่ ในช่วง -60 ถึง $+60$ ค่า b^* คือ สีเหลือง/สีน้ำเงิน เมื่อ b^* มีค่าเป็นบวกจะแสดงถึงสีเหลือง และ b^* มีค่าเป็นลบจะแสดงถึงสีน้ำเงิน ค่า b^* มีค่าอยู่ในช่วง -60 ถึง $+60$ นำค่า a^* และ b^* ที่ได้นำมาคำนวณหาค่า Chroma (C^*) จากสมการ ดังนี้

$$\text{chroma } C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2.9)$$

ค่า C^* มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายถึง วัตถุมีสีเทาหากมีค่าเพิ่มมากขึ้นสีของวัตถุ มีความเข้มมากขึ้น และทำการคำนวณหาค่า Hue Angle (h_0) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $0-60$ องศา ค่า h_0 มีค่าเท่ากับ 0 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีแดง ค่า h_0 มีค่าเข้าใกล้ 90 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเหลือง ค่า h_0 มีค่าเข้าใกล้ 180 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเขียว และค่า h_0 มีค่าเข้าใกล้ 270 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีน้ำเงิน



ภาพประกอบ 2.18 ระบบสี CIE LAB Color Space [26]

ขั้นตอนการแปลงค่าสีจากระบบ RGB เป็นระบบ CIE LAB Color Space โดยใช้สมการ Direct Model ที่กำหนดโดย ICE และ International Telecommunication Union [26] ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน ซึ่งสามารถอธิบายได้ ดังนี้

(1) การแปลงค่า RGB เป็น sRGB

ถ้า $R, G, B \leq 0.04045$

$$sR = \frac{R}{12.92}, \quad sG = \frac{G}{12.92}, \quad sB = \frac{B}{12.92}, \quad (2.10)$$

ถ้า $R, G, B \geq 0.04045$



$$sR = \frac{R + 0.055}{1.055}^{24}$$

$$sG = \frac{G + 0.055}{1.055}^{24}$$

$$sB = \frac{B + 0.055}{1.055}^{24}$$

(2) การแปลงค่าจาก sRGB เป็น CIE XYZ

$$\begin{array}{rcl} X & 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 & sR \\ Y & = & 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 & \bullet & sG \\ Z & & 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 & sB \end{array} \quad (2.11)$$

(3) การแปลงค่าสีจาก CIE XYZ เป็น CIE LAB; $L^* a^* b^*$

$$L^* = 116f \frac{Y}{Y_n} - 16 \quad (2.12)$$

$$a^* = 500 \left(f \frac{X}{X_n} - f \frac{Y}{Y_n} \right) \quad (2.13)$$

$$b^* = 200 \left(f \frac{Y}{Y_n} - f \frac{Z}{Z_n} \right) \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } f(q) &= \begin{cases} q^{1/3} & \text{โดยที่ } q \geq 0.008856 \\ \frac{7.787q + 16}{116} & \text{โดยที่ } q < 0.008856 \end{cases} \end{aligned}$$

6) ระบบสีแบบ CMY (Cyan Magenta Yellow) เป็นระบบสีที่พัฒนาขึ้นมา
ใช้สำหรับการพิมพ์ภาพสีโดยมีสีหลัก คือ สี Cyan Magenta และ Yellow ซึ่งเรียกว่า Subtractive
Primaries Color (สีแดง เขียว และน้ำเงิน เรียกว่า Additive Primaries Color) ระบบสี CMY

จะนำไปใช้ สำหรับการพิมพ์ภาพสีแต่ยังไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากไม่ยังสามารถสร้างสีดำได้อย่างถูกต้อง ดังนั้น จึงมีการใช้ ระบบ CMYK แทนโดย $K = \min(C, M, Y)$ K เป็นสีที่ 4 แทนสีดำ

7) ระบบสีแบบ YUV ใช้สำหรับโทรทัศน์แบบ PAL และ SECAM ซึ่งยังมีใช้อยู่ในหลายๆ ประเทศโดย Y คือ ค่าความสว่างของภาพส่วนสัญญาณ U และ V เป็นสัญญาณที่เก็บค่าสีของภาพ ต่อมาได้มีระบบ YIQ มาใช้แทน เนื่องจากพบว่าสัญญาณ I และ Q สามารถลด Bandwidth ได้มากกว่าสัญญาณ U และ V ในขณะที่ได้ภาพที่มีคุณภาพเท่ากัน

8) ระบบสีแบบ YIQ เป็นระบบที่ใช้ใน TV Broadcasting สำหรับ NTSC ประโยชน์หลักก็เพื่อให้ใช้งานได้กับโทรทัศน์แบบขาว-ดำ โดยที่ y คือ ความสว่างของภาพส่วน I และ Q จะเป็นสัญญาณที่เข้ารหัสสีของภาพไว้ ดังนั้นสำหรับโทรทัศน์ขาว-ดำ นั้นสามารถใช้ค่า Y ค่าเดียวก็สามารถได้ภาพที่สมบูรณ์

9) ระบบสีแบบ XYZ เป็นระบบสีที่ CIE ได้กำหนดให้มีขึ้นเป็นมาตรฐาน เนื่องจากในระบบสี RGB ยังไม่สามารถสร้างสีที่เป็นไปได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงได้มีการตั้งระบบสี XYZ ซึ่งเป็นระบบสีที่สมมุติขึ้น

จากข้อมูลที่กำลังกล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยได้เลือกใช้ระบบสี HSV และ CIE LAB color space มาวิเคราะห์ลักษณะของสีของเมล็ดข้าวฮางอก เพื่อพิจารณาหาเมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวที่มีจุดสีดำที่เกิดจากความผิดปกติของเนื้อข้าว เนื่องจากเป็นระบบสีที่นิยมใช้กันในหมู่นักวิจัย เนื่องจากเป็นระบบสีที่ใกล้เคียงกับความคิดของมนุษย์ได้ดีกว่าระบบสีแบบอื่น ซึ่งประกอบไปด้วยค่าสีของสีหลัก ค่าความบริสุทธิ์ของสี และความสว่างของสี จึงทำให้ระบบสี HSV และ CIE LAB Color Space มีความละเอียดในการบ่งบอกค่าสีที่เกิดขึ้นบนเมล็ดข้าวฮางอกได้ดีกว่าระบบสีแบบอื่น ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

2.4.7.3) การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวภาพ เป็นข้อมูลเชิงพื้นผิวที่บ่งบอกถึง การกระจายเชิงพื้นที่ของการเปลี่ยนแปลงโทนสีภายในช่วงความถี่ และข้อมูลเชิงเนื้อหา ข้อมูลเชิงพื้นผิว และโทนสีเป็นสิ่งที่จำเป็นมากที่สุด ซึ่งทั้งสองข้อมูลนี้เป็นสิ่งที่แยกออกจากกันไม่ได้ โดยข้อมูลโทนสีนั้น จะเน้นไปที่ค่าสีเทาของจุดภาพ ในขณะที่ข้อมูลเชิงพื้นผิวนั้นเน้นไปยังการกระจายของโทนสีเทา สำหรับภาพที่มีขนาดเล็กที่การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจะมีข้อมูลโทนสีที่เด่นชัด แต่หากมีการเปลี่ยนแปลงมากแล้วจะมีข้อมูลเชิงพื้นผิวที่เด่นชัดมากกว่า ในการคำนวณหาลักษณะเด่นเชิงพื้นผิวของภาพนั้น ตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่า ข้อมูลเชิงพื้นผิวนั้นจะอยู่ในรูปความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างโทนสีเทาต่าง ๆ ในภาพ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าลักษณะเด่นได้โดยอาศัยเมทริกซ์ที่เรียกว่า Gray-Tone Spatial-Dependence Matrices หรือ Gray-Level Co-Occurrence Matrices (GLCM) ซึ่งสามารถสร้างได้ โดยการนับจำนวนคู่จุดภาพ (k,l) และ (m,n) ที่อยู่ใกล้กัน (Neighboring Cells) ที่มีระยะห่าง (Distance) ระหว่างกันเท่ากับ d และทำมุมกันเท่ากับ θ โดยเราสนใจมุมที่มีค่าเท่ากับ 0 45 90 และ



135 องศา ซึ่งค่า GLCM นั้นก็จะแสดงถึงความน่าจะเป็นร่วมกัน (Joint Probability) ของคูโทนสี ณ ตำแหน่งเชิงสัมพัทธ์ (Relative Position) ที่กำหนดในภาพ โดยทั่วไปแล้วจะมีการสร้าง GLCMs ขึ้นมาหลายเมทริกซ์ แต่ละเมทริกซ์สำหรับค่าเชิงสัมพัทธ์หนึ่งค่า ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นผิวในทิศทางต่าง ๆ รวมทั้งมีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นผิวในลักษณะเดียวกันแต่ต่างขนาด (Scale) โดยค่าลักษณะเด่นเชิงพื้นผิวต่าง ๆ ที่สามารถคำนวณได้จาก GLCMs นั้น เรามักจะนำเอาค่าเฉลี่ยของทุก ๆ เมทริกซ์ที่หามาได้เพื่อนำมาเป็นตัวแทนของภาพ เพื่อให้เกิดความครอบคลุมข้อมูลลักษณะพื้นผิวในทุกทิศทาง และกำจัดปัญหาการขึ้นต่อการหมุนของภาพ (Rotation Variant) ซึ่งข้อมูลเชิงพื้นผิวที่นำมาวิเคราะห์ให้เมล็ดข้าวฮางอกมี ดังนี้

1) ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) เป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของคู่จุดภาพ หากภาพมีความสัมพันธ์กันก็จะให้ค่าสหสัมพันธ์สูง ตามสมการ 2.15

$$f_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (ij) p(i, j) \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2.15)$$

2) ค่าเอนโทรปี (Entropy) เป็นค่าวัดเชิงปริมาณความซับซ้อนของพื้นผิว (Texture Complexity) หากภาพมีพื้นผิวที่ซับซ้อนมากก็จะให้ค่าเอนโทรปีสูง ตามสมการ 2.16

$$f_2 = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j) \log(p(i, j)) \quad (2.16)$$

3) ค่าความต่าง (Contrast) เป็นค่าที่แสดงถึงความต่างระดับสีของจุดภาพใกล้เคียงทั้งหมดในภาพ หากภาพมีระดับสีของจุดภาพต่างกันมากจะส่งผลให้ค่าความต่างจะมีค่าสูง ตามสมการ 2.17

$$f_3 = \sum_{n=0}^{N_g-1} n^2 \left\{ \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j) \right\} \quad (2.17)$$

4) ค่าผลรวมของเอนโทรปี (Sum of Entropy) เป็นค่าที่แสดงถึงผลรวมของจำนวนโทนสีของจุดภาพใกล้เคียงที่เหมือนกัน หากภาพมีจำนวนของโทนสีของจุดภาพใกล้เคียงที่เหมือนกันมากจะส่งผลให้ค่าความต่างจะมีค่าสูง ตามสมการ 2.18



$$f_4 = \sum_{i=1}^{2N_g} p_{x+y}(i) \log(p_{x+y}(i)) \quad (2.18)$$

5) ผลต่างของเอนโทรปี (Difference of Entropy) เป็นการแสดงถึงผลต่างของการแจกแจงองค์ประกอบของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์โดยการรวมค่าความเป็นไปได้เมื่อ i, j เป็นค่าคงที่ ตามสมการ 2.19

$$f_5 = \sum_{i=1}^{2N_g} p_{x-y}(i) \log(p_{x-y}(i)) \quad (2.19)$$

โดยที่

$p(i, j)$ คือ ค่า $p(i, j)$ ที่ผ่านการนอร์มัลไลเซชัน (Normalization)

โดยคำนวณได้จาก $p(i, j) = \frac{P(i, j)}{R}$ โดยที่ R คือจำนวนคู่ของจุดภาพทั้งหมดในภาพ

$p_x(i)$ คือ ค่าในช่องที่ i ของ Marginal Probability Vector ที่คำนวณ

ได้จากผลรวมของ $p(i, j)$ ในทุกหลักของแถว i หรือ $p_x(i) = \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j)$

$p_y(j)$ คือ ค่าในช่องที่ j ของ Marginal Probability Vector ที่คำนวณได้

จากผลรวมของ $p(i, j)$ ในทุกหลักของแถว j หรือ $p_y(j) = \sum_{i=1}^{N_g} p(i, j)$

$$p_{x+y}(k) = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j), k = 2, 3, \dots, 2N_g$$

$$p_{x-y}(k) = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j), k = 0, 1, \dots, 2N_g - 1$$

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวจะมีอยู่ด้วยกันหลากหลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุที่นำมาพิจารณาในส่วนของเมล็ดข้าวฮางอกผู้วิจัยได้เลือกวิธีการที่ได้กล่าวมาข้างต้น เพื่อนำมาพิจารณาเมล็ดข้าวฮางอกเสียที่มีลักษณะเป็นเมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวที่มีจุดสีดำที่เกิดจากความผิดปกติของเนื้อ



ข้าวเพื่อป้องกันแมลงศัตรูข้าวทางอ้อมได้มากที่สุด และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกและตรวจสอบให้มากขึ้น

2.4.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis, PCA)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เป็นหนึ่งในเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร โดยไม่มีการแบ่งกลุ่มตัวแปร สนใจเพียงต้องการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ เหล่านั้น โดยจะสร้างตัวแปรใหม่ซึ่งประกอบขึ้นด้วยความแปรผันหรือความแปรปรวนของตัวแปรเดิม จึงนิยมใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้เพื่อลดขนาดเมทริกซ์ของตัวแปรให้เล็กลงหรือใช้หาความสัมพันธ์ของข้อมูล เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ PCA สามารถหาได้จากการหา Eigenvalue และ Eigenvector ของเมทริกซ์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้รับการปรับค่าปกติโดยใช้ค่าเฉลี่ยแล้ว ผลที่ได้จากการทำ PCA คือ ค่าคะแนนองค์ประกอบของแต่ละข้อมูล และเวกเตอร์องค์ประกอบหลักซึ่งจำนวนองค์ประกอบหลักที่ได้จะมีจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนตัวแปรเดิม PCA เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ตัวแปรเวกเตอร์หลายตัวที่มีคุณลักษณะเหมือนกัน โดยวิธีการคำนวณสำหรับการแยกองค์ประกอบที่สามารถใช้อธิบายชุดข้อมูลได้ทุกชุด หรืออีกนัยหนึ่ง คือการหาองค์ประกอบซึ่งมีอยู่ร่วมกันในทุกชุดข้อมูลโดยวิธีการเริ่มจากหาค่าเฉลี่ยของสมาชิก แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาลบกับสมาชิกแต่ละตัว จากนั้นนำค่าความต่างต่างนั้นมาหา Covariance และสุดท้ายนำค่า Convolution มาหา Eigenvector และ Eigenvalue [27] วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักมีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จะนำข้อมูลมากำหนดให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ที่มีจำนวนแถวเท่ากับ n และจำนวนหลักเท่ากับ p และนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล ซึ่งมีสมการ ดังนี้

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.20)$$

ขั้นตอนที่ 2 นำเมทริกซ์ข้อมูลดิบมาวิเคราะห์ด้วยการหาค่าการแปรผันร่วม (Covariance) ของข้อมูล ดังนั้นเมทริกซ์ค่าการแปรผันร่วม (Covariance Matrix) แทนด้วย S สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})^T \quad (2.21)$$

ขั้นตอนที่ 3 นำผลลัพธ์ที่ได้คำนวณหาความสัมพันธ์ตามความแปรผันบน Coordinate ของการหาค่าการแปรผันร่วมของเงื่อนไขข้อมูลที้นำมาใช้เป็นตัวเปรียบเทียบของแต่ละเงื่อนไขด้วยสมการ ดังนี้



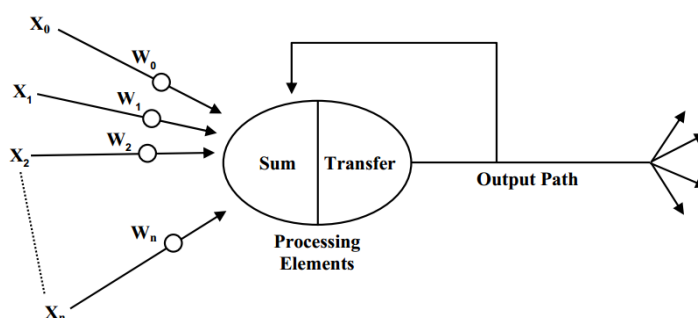
$$Z_i = \Lambda^{-1/2} Q^T (x_i - \bar{x}) \quad (2.22)$$

โดยที่เมทริกซ์ Q คือ Eigenvector จากเมทริกซ์ค่าความแปรผันร่วม S , Λ คือ เมทริกซ์ทแยงมุม (Diagonal Matrix) ของความสัมพันธ์ระหว่าง Eigenvalue และเมทริกซ์ค่าความแปรผันร่วม S และ x_i คือ ข้อมูลใด ๆ ที่นำมาวิเคราะห์

2.4.9 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN)

2.4.9.1 สถาปัตยกรรมโครงข่าย

โครงข่ายประสาทเทียม หมายถึง การคำนวณที่เลียนแบบการทำงานของระบบสมองมนุษย์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการคาดคะเนเหตุการณ์จากข้อมูลที่มีอยู่ โครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neural) ซึ่งจำลองมาจากการทำงานของระบบสมองมนุษย์ โดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function, f) ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight, w) และค่าไบแอส (Bias, b) เป็นเครื่องมือจำลองคุณสมบัติของเซลล์ประสาท โครงข่ายประสาทเทียมจะมีอินพุตหลายค่าเข้ามาในโครงข่าย โดยจะถูกแทนด้วยสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ $X(n)$ และแต่ละอินพุตนั้นจะถูกคูณด้วยค่าความรู้หรือเป็นค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งแทนด้วย $w(n)$ โดยที่ปกติผลคูณของค่าน้ำหนักและอินพุตที่เข้าสู่โครงข่ายนั้นจะถูกนำมารวมกันและส่งผ่านเข้าไปในฟังก์ชัน (Transfer Function) เพื่อที่จะหาเอาต์พุตหรือผลลัพธ์ออกมา โดยกระบวนการนี้นั้นทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสามารถนำไปใช้กับโครงสร้างวงจรโครงข่ายอื่นที่ใช้ฟังก์ชันผลรวม (Summing Functions) และฟังก์ชันการส่งผ่านที่ต่างกันได้โดยที่บางแอปพลิเคชันนั้น ต้องการคำตอบที่เป็น “ใช่หรือไม่ใช่” หรือค่าไบนารี (Binary) โดยแอปพลิเคชันนี้อาจจะรวมถึงการจดจำข้อความ การชี้เฉพาะคำพูด และการแปลความหมายรูปภาพของเหตุการณ์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.19



ภาพประกอบที่ 2.19 แสดงการทำงานของเซลล์ประเทียม [28]

โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ดังนี้

- 1) ข้อมูลป้อนเข้า (Input) เป็นข้อมูลที่เป็นตัวเลข หากเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ



ต้องแปลงให้อยู่ในรูปเชิงปริมาณที่โครงข่ายประสาทเทียมยอมรับได้

2) ข้อมูลส่งออก (Output) คือผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง (Actual Output)

จากกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

3) ค่าน้ำหนัก (Weights) คือสิ่งที่ได้จากการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ค่าความรู้ (Knowledge) ค่านี้จะถูกเก็บเป็นทักษะเพื่อใช้ในการจดจำข้อมูลอื่นๆ ที่อยู่ในรูปแบบเดียวกัน

4) ฟังก์ชันผลรวม (Summation Function: S) เป็นผลรวมของข้อมูลป้อนเข้าและค่าน้ำหนัก

5) ฟังก์ชันการแปลง (Transfer Function) เป็นการคำนวณการจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม เช่น ฟังก์ชันขั้นบันได (Step Function) ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear function) ซิกมอยด์ฟังก์ชัน (Sigmoid Function) ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิคแทนเจนต์ (Hyperbolic Tangent Function) เป็นต้น

2.4.9.2) รูปแบบการเรียนรู้ของระบบโครงข่ายประสาทเทียม

ลักษณะการเรียนรู้ของระบบโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแบ่งได้เป็น

3 รูปแบบ ดังนี้

1) การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) โครงข่ายประสาทเทียมจะได้รับการฝึกด้วยกลุ่มฝึกที่ประกอบด้วยข้อมูลนำเข้าและค่าส่งออกที่ต้องการ การปรับค่าน้ำหนักและค่าไบแอส (Bias) นั้นจะกระทำเพื่อให้ค่าส่งออกที่ได้มีความใกล้เคียง หรือตรงกับค่าส่งออกที่ต้องการมากที่สุด ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้วิธีการเรียนรู้แบบนี้ เช่น แบคโพรพาเกชัน (Back Propagation) และมัลติเลเยอร์เพอร์เซ็ปตรอน (Multilayer Perceptron) เป็นต้น

2) การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning) การเรียนรู้แบบนี้จะคล้ายคลึงกับการเรียนรู้แบบมีผู้สอนแต่ต่างกันตรงที่การเรียนรู้แบบนี้จะใช้น้ำเข้าและใช้ระดับ (Grade) หรือคะแนน (Score) แทนค่าส่งออก ซึ่งวิธีนี้จะมีความซับซ้อนมากกว่าและใช้เวลาในการฝึกมากกว่าทำให้เป็นที่นิยมน้อยกว่าการเรียนรู้แบบมีผู้สอน การเรียนรู้แบบนี้มีความเหมาะสมสำหรับระบบขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมหลายเครือข่ายทำงานร่วมกัน

3) การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) การเรียนรู้เพื่อปรับค่าน้ำหนักและค่าไบแอสจะตอบสนองต่อข้อมูลนำเข้าเท่านั้น โดยไม่ได้ใช้ค่าส่งออกร่วมด้วยในการฝึก วิธีการเรียนรู้แบบนี้จะใช้การจัดแบ่งกลุ่ม โดยพิจารณาตามรูปแบบของค่านำเข้าตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้วิธีการเรียนรู้แบบนี้เช่น เคาน์เตอร์โพรพาเกชัน (Counter Propagation) และโครงข่ายโคเฮนเนน (Kohonen Network)



โดยการเรียนรู้ของโครงข่ายแบบมีผู้สอนของโครงข่ายประสาทเทียมแบบมัลติเลเยอร์เพอร์เซ็ปตรอน มีขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ ดังนี้

กำหนดให้ข้อมูลชุดฝึกฝนคู่อินพุตเอาต์พุตเป็น $(p_1, t_1), \dots, (p_k, t_k)$

เมื่อ $p_k = [p_{k1}, \dots, p_{kn}]^T$, $t_k = [t_{k1}, \dots, t_{kn}]$, $k = 1, \dots, K$ และ K เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมดในชุดฝึกฝน

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดโครงสร้างโครงข่ายเลือกอัตราการเรียนรู้

(Learning Rate) $\eta > 0$ กำหนดค่าผิดพลาดรวม $E = 0$

ขั้นตอนที่ 2 สุ่มค่าน้ำหนัก w และ b จากค่าน้อยๆ กำหนดค่า $k = 1$

ขั้นตอนที่ 3 เริ่มทำการฝึกฝน ใส่ค่า p_k เข้าโครงข่าย $x = p_k$, $y = t_k$

ทำการคำนวณค่าเอาต์พุต a จาก $net = w_p + b$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าน้ำหนัก และไบแอสใหม่

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่าผิดพลาดสะสม

ขั้นตอนที่ 6 ถ้า $k < K$ ให้ $k = k + 1$ ทำการคำนวณซ้ำจากขั้นตอนที่ 3

ถ้า $k = K$ ทำขั้นตอนที่ 7

ขั้นตอนที่ 7 ถ้าค่าผิดพลาดสะสม $E = 0$ จบการฝึกฝน ถ้า $E > 0$ ให้

กำหนด $E = 0$, $k = 1$ เริ่มรอบการฝึกฝนใหม่จากขั้นตอนที่ 3

2.4.9.3) วิธีการสอน

วิธีการสอน คือ รูปแบบสำหรับการฝึกฝนในโครงข่ายประสาทเทียมโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยตัวประมวลผลเรียกว่า นิวรอน ซึ่งเชื่อมต่อถึงกัน และนิวรอนแต่ละตัวจะส่งผ่านสัญญาณจากตัวมันไปยังนิวรอนตัวอื่น ๆ ต่างเลเยอร์ (Layer) ผ่านทางจุดเชื่อมต่อที่เรียกว่า น้ำหนัก (Weight) โดยที่ตัวนิวรอนที่อยู่ในเลเยอร์เดียวกันจะมีหน้าที่เหมือนกันซึ่งแต่ละนิวรอนจะรับค่าสัญญาณอินพุตที่เชื่อมต่อกับตัวมันทั้งหมดมาประมวลผล และให้สัญญาณออกมาที่เอาต์พุตเพียงหนึ่งค่าเท่านั้น โดยที่สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากแต่ละชั้นจะถูกส่งต่อไปยังนิวรอนในชั้นปลายทางต่อไป

เพอร์เซ็ปตรอน (Perceptrons) เป็นเทคนิคการสอนประเภทหนึ่ง เพอร์เซ็ปตรอนเหมาะสำหรับการแก้ปัญหาเพื่อจำแนกรูปแบบหรือจัดหมวดหมู่ ซึ่งมีความรวดเร็วและเชื่อถือได้เพอร์เซ็ปตรอนเป็นรูปแบบเลเยอร์เดียว โดยข้อมูลเข้า P จำนวน R ตัว จะเชื่อมต่อกับกลุ่มของน้ำหนัก w และรวบรวมที่จุดรวมระหว่างข้อมูลอินพุตกับน้ำหนัก $n = (P \times W)$ ทั้งนี้หากมีค่าไบแอส b ก็จะนำมารวมด้วยที่จุดรวมผลนี้ $n = (P \times W) + b$ จากนั้นจะได้ค่าเอาต์พุต n ซึ่งเป็นผลรวมสุดท้ายจะส่งผ่านไปยังฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนแบบจำกัดแข็ง (Hardlim) เพื่อส่งผลลัพธ์ a ออกจากโครงข่าย



ข้อจำกัดของเปอร์เซปตรอน คือ ค่าของเอาต์พุตจะมีได้เพียง 2 ค่า คือค่า 0 หรือค่า 1 เปอร์เซปตรอนสามารถแยกจัดหมวดหมู่ข้อมูลเชิงเส้นเท่านั้นแต่หากเวกเตอร์ไม่มีลักษณะเชิงเส้นการเรียนรู้จะไม่พบจุดที่เวกเตอร์จะสามารถแยกแยะหมวดหมู่ได้ แต่เปอร์เซปตรอนจะค้นหาเวลาที่จะสิ้นสุดการเรียนรู้

เปอร์เซปตรอนรับอินพุตเป็นเวกเตอร์จำนวนจริงแล้วคำนวณหาผลรวมเชิงเส้น (Linear Combination) แบบถ่วงน้ำหนักของอินพุต $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ โดยที่ค่าน้ำหนัก $(w_1, w_2, \dots, w_n)$ ปรากฏในรูปเป็นค่าน้ำหนักของอินพุตและให้เอาต์พุตเป็น 1 ถ้าผลรวมที่ได้มีค่าเกินค่าขีดแบ่ง และเป็น -1 ถ้าไม่เกินค่าขีดแบ่ง การเรียนรู้เปอร์เซปตรอน คือการหาค่าเวกเตอร์น้ำหนักที่เหมาะสมในการจำแนกประเภทของข้อมูลสอนเพื่อให้เปอร์เซปตรอนแสดงเอาต์พุตได้ตรงกับค่าที่สอน

อัลกอริทึมเริ่มต้นจากการสุ่มค่าเวกเตอร์น้ำหนัก ซึ่งโดยมากค่าที่สุ่มมานี้จะไม่ได้ระนาบหลายมิติที่แบ่งตัวอย่างได้ถูกต้องทุกตัว ดังนั้นจึงต้องมีการแก้ไขน้ำหนัก โดยเทียบเปอร์เซปตรอนกับตัวอย่างที่สอน หมายถึงว่าเมื่อเราป้อนตัวอย่างสอนเข้าไปในเปอร์เซปตรอน เราจะคำนวณค่าเอาต์พุตได้ นำเอาเอาต์พุตที่คำนวณได้โดยเปอร์เซปตรอนเทียบกับเอาต์พุตเป้าหมาย ถ้าตรงกันแสดงว่าจำแนกตัวอย่างได้ถูกต้อง ไม่ต้องปรับน้ำหนักสำหรับตัวอย่างนั้น แต่ถ้าไม่ตรงกันก็ทำการปรับน้ำหนักตามสมการในอัลกอริทึม ส่วนอัตราการเรียนรู้เป็นตัวเลขวากจำนวนน้อย ๆ เช่น 0.01 , 0.005 เป็นต้น อัตราการเรียนรู้นี้จะส่งผลต่อการเข้าสู่ของเปอร์เซปตรอน ถ้าอัตราการเรียนรู้มีค่ามากเปอร์เซปตรอนก็จะเรียนรู้ได้เร็ว

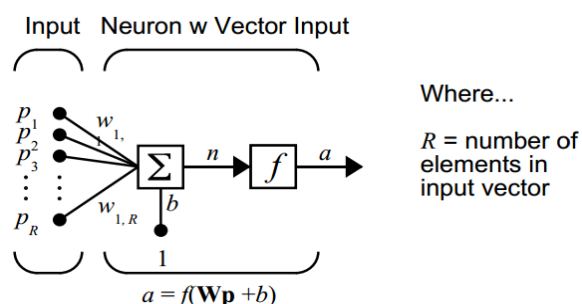
อัลกอริทึมการแพร่กระจายย้อนกลับเป็นวิธีการสอนเลเยอร์หลาย ๆ เลเยอร์ และการทำงานของฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น เวกเตอร์อินพุตจะสอดคล้องกับเวกเตอร์เป้าหมาย (Target) ซึ่งจะถูกรู้จักกันว่าจะสามารถสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนที่สามารถประมาณค่าที่ดีได้ เวกเตอร์อินพุตจะมีความสัมพันธ์จากเวกเตอร์เอาต์พุต เนื่องจากแบบแพร่กระจายย้อนกลับจะมีการเรียนรู้ที่เหมาะสมในการหาคำตอบที่มีเหตุผลเมื่อพบอินพุตที่ไม่เคยพบมาก่อน โดยทั่วไปแล้วอินพุตตัวใหม่จะเกิดขึ้นจากการนำเอาต์พุตมาแก้ไขและเรียนรู้ใหม่อีกครั้ง ลักษณะทั่วไปคือการเรียนรู้ในโครงข่ายด้วยกลุ่มคู่ของอินพุต/เป้าหมายและได้รับผลลัพธ์ที่ดีโดยไม่ต้องเรียนรู้ทุก ๆ ค่าของคู่อินพุต/เอาต์พุต เนื่องจากการทำงานของการแพร่กระจายย้อนกลับจะอ้างอิงจากค่าความผิดพลาด (Error) ที่ได้รับจากโครงข่าย

2.4.9.4) ประเภทของโครงข่ายประสาทเทียม

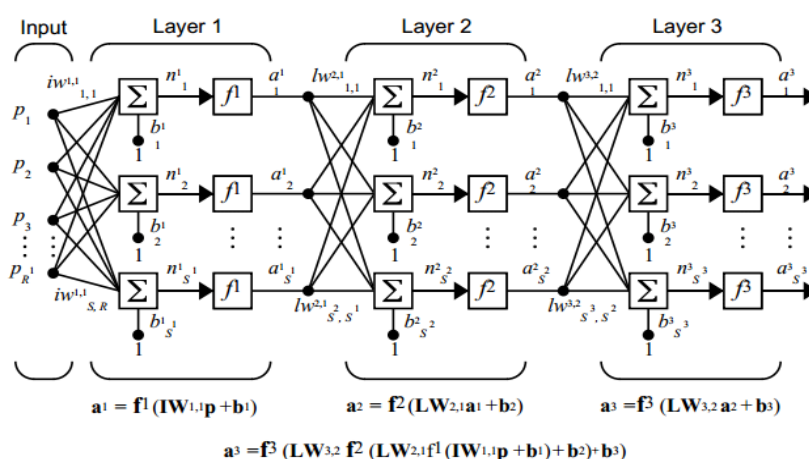
โครงสร้างการเชื่อมต่อโครงข่ายประสาทเทียมแบ่งออกเป็น โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single layer neural networks) ดังภาพประกอบ 2.20 และโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-layer neural networks) ดังภาพประกอบ 2.21 ที่นิยมใช้กัน ซึ่งประกอบด้วย



ชั้นนำเข้าสู่สัญญาณขาเข้า (Input layer) ชั้นซ่อน (Hidden layer) และชั้นแสดงผลสัญญาณขาออก (Output layer)



ภาพประกอบ 2.20 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว [28]



ภาพประกอบ 2.21 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น [28]

- เมื่อ w^1 คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างชั้นข้อมูลด้านสัญญาณขาเข้าและชั้นซ่อนที่ 1
- w^2 คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างชั้นซ่อนที่ 1 และชั้นซ่อนที่ 2
- w^3 คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างชั้นซ่อนที่ 2 และชั้นสัญญาณขาออก
- b^1 คือ ค่าไบแอสในชั้นซ่อน 1
- b^2 คือ ค่าไบแอสในชั้นซ่อน 2
- b^3 คือ ค่าไบแอสในชั้นซ่อนสัญญาณขาออก



การทำงานของเครือข่ายประสาทเทียม เมื่อมีข้อมูลนำเข้าสัญญาณขาเข้ามายังเครือข่ายประสาทเทียมก็นำสัญญาณขาเข้ามากำหนดกับค่าน้ำหนักของแต่ละขา ผลที่ได้จากสัญญาณขาเข้าทุก ๆ ขาของ Neuron จะนำมารวมกันแล้วก็นำมาเทียบกับระดับการกระตุ้นต่ำสุดที่ทำให้เกิดการตอบสนองที่กำหนดไว้ ถ้าผลรวมมีค่ามากกว่า Threshold แล้ว Neuron จะส่งผลลัพธ์ สัญญาณขาออกไป และ สัญญาณขาออกก็จะถูกส่งไปยังสัญญาณขาเข้าของ Neuron อื่น ๆ ที่เชื่อมกันใน Network จนได้เป็นผลลัพธ์ที่ต้องการ หลังจากนั้นจะต้องมีการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากระบบว่ามีความคลาดเคลื่อนเพียงใด หากความคลาดเคลื่อนจากเป้าหมายมากเกินไป จะต้องมีการนำค่าความคลาดเคลื่อนนี้ไปปรับน้ำหนักการเรียนรู้ใหม่แบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back-Propagation) ซึ่งจะเป็นการปรับน้ำหนักความคลาดเคลื่อนจากชั้นผลลัพธ์ไปยังชั้นก่อนหน้า และทำการปรับน้ำหนักไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงชั้นรับข้อมูล ซึ่งกระบวนการเรียนรู้แบบนี้จะต้องอาศัยการทำซ้ำ หลายรอบจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ตามที่กำหนดหรือได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยจนพอยอมรับได้ ซึ่งจำนวนรอบนี้ก็จะอยู่กับความยากง่ายของปัญหาขนาดข้อมูล รวมไปถึงจำนวนชั้นของโครงสร้างของโครงข่ายที่เราสร้างไว้ด้วย [28] ในการหาค่าความคลาดเคลื่อนจะใช้ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาด (Mean Square Error: MSE) ดังสมการที่ 2.23

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (e_i)^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - a_i)^2 \quad (2.23)$$

เมื่อ t_i คือ ค่าจริง

a_i คือ ค่าพยากรณ์

e_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

N คือ จำนวนค่าพยากรณ์

สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบพหุนามหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron Polynomial Artificial Neural Network) ถือเป็นสถาปัตยกรรมที่ถูกพัฒนามาจากโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ที่อยู่บนพื้นฐานของ Group Method of Data Handling (GMDH) [29] และหลักการของ Polynomial Regression ถูกพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานอย่างต่อเนื่อง ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมแบบพหุนามหลายชั้นมีความสามารถในการพยากรณ์ข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบอนุกรมเวลา และสามารถแก้ไขปัญหาของข้อมูลที่ไม่อยู่ในรูปแบบเชิงเส้น (Non-Linear) และรูปแบบเชิงเส้น (Linear) และชุดข้อมูลที่มีความแปรปรวนร่วมแบบย้อนหลังไปในอดีต

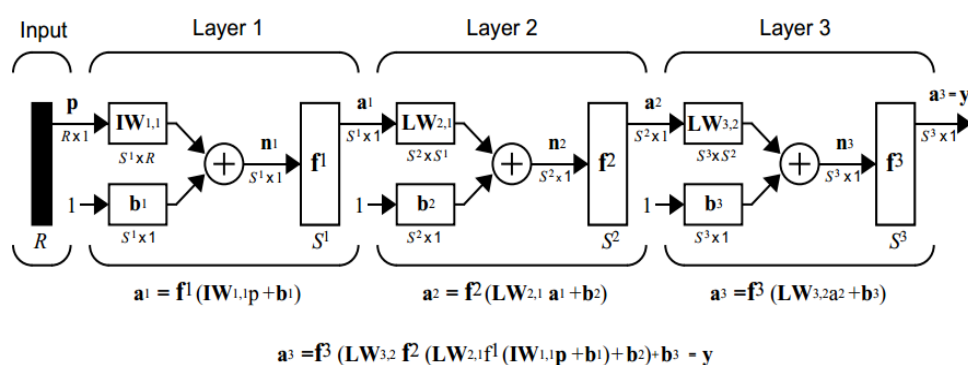


(Auto Covariance Coefficients; γ_k) ของอนุกรมเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งฟังก์ชันความแปรปรวนร่วมแบบย้อนหลังไปในอดีตของอนุกรมเวลาที่เวลาผ่านไป k จะถูกนิยามดังสมการ 2.24

$$\gamma_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(x_t - \bar{x} \right) \left(x_{t+k} - \bar{x} \right) \quad (2.24)$$

เมื่อ x_t คือ ค่า ณ ตำแหน่งของชุดข้อมูลนั้น ๆ
 $\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล

โดยลักษณะของการจำแนกข้อมูลของฟังก์ชันพหุนามสามารถจำแนกลักษณะและแบ่งกลุ่มของข้อมูลได้ดีกว่าฟังก์ชันแบบเส้นตรง โครงข่ายประสาทเทียมแบบพหุนามหลายชั้นยังสามารถลดเวลาและความผิดพลาดในกระบวนการเรียนรู้ชุดข้อมูล ซึ่งให้ผลเที่ยงตรงกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบปกติ [30] ลักษณะโครงข่ายสามารถแสดงได้ด้วยสถาปัตยกรรมโครงข่ายในชั้นของการคำนวณ ดังภาพประกอบ 2.21 ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลักพื้นฐาน 3 ส่วนเหมือนโครงข่ายประสาทเทียมทั่วไปแต่ลักษณะการเชื่อมโยงของโหนด (Node) แต่ละโหนดแตกต่างกัน [31] กล่าวคือ โครงข่ายประสาทเทียมแบบพหุนามหลายชั้นไม่มีการเชื่อมต่อโหนดทุกโหนดเข้าด้วยกันระหว่างชั้นนำเข้าและชั้นซ่อน และโครงข่ายสามารถปรับเปลี่ยนเองได้ขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูล



ภาพประกอบ 2.22 โครงข่ายประสาทเทียมแบบพหุนามหลายชั้น [31]

โดยค่าสัญญาณขาเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้โครงสร้างในรูปแบบของ Polynomial Function ดังสมการ 2.25



$$y_0 = w_0 + \sum_{i=1}^m w_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m w_{ijk} x_i x_j x_k + \dots \quad (2.25)$$

เมื่อ w_0 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร

x_1, x_2 คือ ตัวแปรในการนำเข้า (Input)

y_0 คือ ผลลัพธ์ (Output)

สำหรับการตรวจสอบคุณภาพข้าวฮางอกจะพิจารณาทั้งลักษณะรูปร่างและลักษณะพื้นผิวของเมล็ดข้าวฮางอกมาใช้ในการตัดสินใจว่าเมล็ดข้าวฮางอกเสียในลักษณะเมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวที่มีจุดสีดำที่เกิดจากความผิดปกติของเนื้อข้าว รวมทั้งเมล็ดข้าวติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้เข้าระบบการจำแนกซึ่งผู้วิจัยได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบพหุนามหลายชั้นมีความสามารถในการพยากรณ์ข้อมูลที่ถูกต้องเก็บในรูปแบบอนุกรมเวลา และสามารถแก้ไขปัญหาของข้อมูลที่ไม่อยู่ในรูปแบบเชิงเส้น และรูปแบบเชิงเส้น โดยชุดข้อมูลที่มีความแปรปรวนร่วมแบบย้อนหลังไปในอดีต (Auto Covariance Coefficients; γ_k) ของอนุกรมเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้การตรวจสอบคุณภาพมีประสิทธิภาพที่มากที่สุด

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความพยายามทางด้านการประมวลผลภาพในการประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ มีอยู่มากมายเพื่อนำไปแก้ปัญหา และเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านข้อจำกัดทางด้านร่างกายของมนุษย์ในการวิเคราะห์จุดบกพร่องในส่วนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ หรือจากมนุษย์สร้างขึ้น ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์รอยแตกร้าวของผิวชิ้นงานสแตนเลสภายหลังจากการหล่อแบบ การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางการแพทย์ การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางดาวเทียม เป็นต้น และทางด้านผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้นำเอาการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหา และเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น การตรวจสอบการเน่าเสียในผล การตรวจสอบการเน่าเสียของข้าวสาลี การตรวจสอบเชื้อราในเมล็ดข้าวโพด การตรวจสอบเมล็ดข้าว และพันธุ์ข้าว เป็นต้น โดยการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวมีการทำวิจัยทางด้านนี้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากข้าวเป็นอาหารหลักสำหรับชาวเอเชีย จึงมีความจำเป็นในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวให้มีคุณภาพมากที่สุดสำหรับผู้บริโภค ผู้วิจัยมีความสนใจในการออกแบบการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกให้ได้คุณภาพมากที่สุดก่อนส่งถึงผู้บริโภค



ซึ่งมีการทำการวิจัยอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบัน โดยผู้วิจัยได้แบ่งการทบทวนงานวิจัยออกเป็น 2 แนวทาง คือ การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว และการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ติดเชื้อรา และมีสารอะฟลาทอกซิน เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการสร้างการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกต่อไป

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว

ในปี ค.ศ. 2004. Dalen [5] ได้ศึกษาการพัฒนาสำหรับการกำหนดตำแหน่ง และการกระจายของเมล็ดข้าวหักที่ใช้หลักการสแกนเนอร์ และการวิเคราะห์ภาพ โดยเมล็ดข้าวถูกวางลงบนแผ่นกระจกของสแกนเนอร์ยี่ห้อ Agfa Duoscan T1200 ความละเอียด 200 dpi 8 bits เป็นภาพ Grayscale และปกคลุมด้วยแผ่นกระดาษสีดำ ในการวิเคราะห์ภาพโดยใช้ Scion Image Software (Version 4.02) ประมวลผลด้วย Windows NT บน Dell Precision 420 ตัวอย่างเมล็ดข้าวมีอยู่ด้วยกัน 6 ชนิดคือ IR64 White, Basmati White, Basmati Parboiled, Jasmine White, Arborio White และ Loto Parboiled โดยพิจารณาเมล็ดข้าวจากความยาว ความกว้าง พื้นที่ และเส้นรอบวง ซึ่งเป็นระบบที่มีความรวดเร็ว ใช้งานง่ายและราคาถูก ประมวลผลด้วย Fuzzy Inference System ซึ่งมีความถูกต้องอยู่ที่ 84% แต่ระบบอาจมีข้อผิดพลาดได้เนื่องจากพิจารณาเมล็ดข้าวทางด้านรูปร่างเพียงอย่างเดียว

ในปี ค.ศ. 2010 Courtois และคณะ [6] ได้ศึกษาการประเมินรอยแตกร้าวของเมล็ดข้าวหนึ่ง โดยเทคนิคการวิเคราะห์ทางภาพ โดยใช้หลักการสแกนเนอร์ยี่ห้อ Hewlett Packard HP 2200C ขนาด A4 ความละเอียด 600 dpi 24 bits แล้วทำการแปลงภาพที่ 300 dpi 8 bits เป็นภาพ Grayscale แล้วทำการปรับปรุงภาพโดยการปรับ Contrast ของภาพ หลังจากนั้นทำการตัดแบ่งภาพด้วย Watershed และ Gap-Filling ที่พิจารณาโครงร่าง (Skeleton) แล้วนำภาพที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ภาพ โดยวิเคราะห์ทางเรขาคณิต (Geometry) จากความยาวเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเมล็ดทางแกนยาว (Major Axis Length) พร้อมทั้งวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ หรือพื้นผิวต่อปริมาณของเมล็ด และประมวลผลด้วย Artificial Neural Networks ซึ่งมีความถูกต้องอยู่ที่ 82% โดยผลที่ได้สามารถนับจำนวนรอยแตกร้าวบนเมล็ดข้าวหนึ่งได้ แต่ยังคงมีความถูกต้องที่ต่ำ

ในปี ค.ศ. 2014 Kambo และคณะ [7] ได้นำเสนอการจำแนกพันธุ์ข้าวบาสมatik (Basmati rice) โดยใช้หลักการของ Image Processing และ Principal Component Analysis ซึ่งภาพถ่ายได้จากกล้อง Samsung Mobile แล้วเก็บด้วยรูปแบบ jpg โดยพื้นหลังเป็นสีดำ จากนั้นนำภาพที่ได้มาทำการปรับปรุงภาพด้วย Averaging Filters, Gaussian Filters และปรับให้มีความสม่ำเสมอด้วย Median Filter จากนั้นทำการแบ่งส่วนของภาพโดยใช้ Thresholding และ Region Growing เพื่อดึงข้าวแต่ละเมล็ดมาพิจารณา หลังจากนั้นคำนวณพารามิเตอร์ต่าง ๆ เกี่ยวกับรูปร่างของเมล็ดข้าวจาก Perimeter, Area, Minor-Axis Length, Major-Axis Length และ Eccentricity แล้วทำการ



จำแนกโดยใช้ Principal Component Analysis ซึ่งมีความถูกต้องอยู่ที่ 79% ในการจำแนกพันธุ์ โดยระบบอาจมีข้อเสียตรงที่จำนวนตัวอย่างที่นำมาพิจารณา ยังมีจำนวนน้อย และมีความถูกต้องที่ต่ำ

ในปี ค.ศ. 2014 Sun และคณะ [8] ได้นำเสนอการประเมินผลและการวิเคราะห์การสัมผัสเมล็ดข้าวด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพและ Support Vector Machine เพื่อตรวจสอบตำแหน่งและรูปแบบของเมล็ดข้าวขาวที่สัมผัสด้วยการพิจารณาจากวิธี Convex Point Matching ซึ่งพิจารณาจากจุดตรงข้ามของการเชื่อมต่อของ 2 เมล็ดข้าวในภาพ Grayscale Levels โดยรูปแบบการเชื่อมต่อประกอบด้วยการเชื่อมต่อของเมล็ดข้าว 2-5 เมล็ด ซึ่งภาพที่นำมาวิเคราะห์ได้จากกล้อง CCD ยี่ห้อ Canon Powershot SX500 IS และประมวลผลด้วย MATLAB 7.1 ซึ่งเมล็ดข้าวขาวที่นำมาทดสอบประกอบด้วยพันธุ์ Indica และพันธุ์ Japonica โดยการจำแนกด้วย Support Vector Machine มีความถูกต้องของพันธุ์ Indica มีค่าเท่ากับ 98.5% และพันธุ์ Japonica มีความถูกต้อง 97.6% ระบบอาจมีข้อเสียในส่วนของการสัมผัสข้าวที่มีการซ้อนทับกันอาจทำให้การจำแนกผิดพลาดได้

ในปี ค.ศ. 2014 Lin และคณะ [9] ได้นำเสนอวิธีการใหม่สำหรับการแยกการสัมผัสเมล็ดข้าวด้วยการวิเคราะห์ความโค้งรูปร่าง จากภาพที่ได้จากการสแกนยี่ห้อ HP Laserjet M1005 MFP ความละเอียด 1200 dpi 24 bit และใช้ Matlab R2009a ในการประมวลผล โดยใช้พื้นหลังเป็นสีดำ และแบ่งส่วนของภาพด้วยวิธี Otsu's Method แล้วปรับปรุงภาพให้สม่ำเสมอด้วย Gaussian Kernel function และนำภาพที่ได้มาพิจารณาจาก Contour Shape Characteristics ในการวิเคราะห์เพื่อตรวจจับจุดสัมผัสของเมล็ดข้าวด้วยขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าวโดย Curvature Analysis จากนั้นประมวลผลข้อมูลด้วย Artificial Neural Networks มีความถูกต้องอยู่ที่ 90.8% ผลการทดสอบสามารถแยกเมล็ดสัมผัสกันได้ แต่อาจจะบ่งบอกไม่ได้ชัดเจนสำหรับเมล็ดซ้อนทับกัน

ในปี ค.ศ. 2015 Zareiforoush และคณะ [10] ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวสารขาวด้วยระบบอนุมานฟัซซี (Fuzzy Inference System, FIS) และเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยวิเคราะห์จากข้าวพันธุ์ Hashemi หนึ่งในสายพันธุ์ที่พบบ่อยของข้าวในภาคเหนือของอิหร่าน ซึ่งภาพที่นำมาพิจารณาได้มาจากกล้อง Color CCD Samsung model SCB-2000 วิเคราะห์ข้อมูลจากข้อมูลทางด้านสี และรูปร่างของ Degree of Milling และ Percentage of Broken Kernels แล้วจำแนกคุณภาพของเมล็ดข้าวสารขาวด้วย Fuzzy Inference System มีความถูกต้องอยู่ที่ 89.8% โดยระบบอาจมีข้อเสียตรงที่จำนวนตัวอย่างที่นำมาพิจารณา ยังมีจำนวนน้อย และมีความถูกต้องที่ต่ำ

ในปี ค.ศ. 2016 Kuo และคณะ [11] นำเสนอการจำแนกเมล็ดข้าวเปลือกเพื่อจำแนกพันธุ์ข้าว 30 สายพันธุ์ ซึ่งภาพที่นำมาพิจารณาได้มาจากกล้องดิจิทัลรุ่น EOS 450D, Canon; Tokyo, Japan และ Microscope รุ่น BXFM, Olympus; Tokyo, Japan, a 2X Objective Lens (PLN UIS2, Olympus; Tokyo, Japan) โดยใช้แสงจาก Ring-shaped LED ในการพิจารณาภาพจะอาศัยหลักการการประมวลผลภาพ และ Sparse-Representation-Based ซึ่งพิจารณาจากสี RGB HSV



และ $L^*a^*b^*$ รวมทั้งพิจารณาจาก GLCM และ Longer Major Axis ในการจำแนกพันธุ์ข้าวโดยใช้ SVM ซึ่งมีความถูกต้อง 89.1% มีข้อเสียในความถูกต้องที่ต่ำ

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน

ในปี ค.ศ. 2011 Tallada และคณะ [12] ได้นำเสนอการตรวจสอบเชื้อราบนเมล็ดข้าวโพด โดยใช้ Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) และภาพสี โดย NIRS จะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 904 ถึง 1685 นาโนเมตร แบบ Linear Discriminant Analysis (LDA) โดยภาพถ่ายที่นำมาพิจารณาจะมีความละเอียด 320 x 240 pixel และเก็บภาพในรูปแบบ Bitmap (BMP) และประมวลผลในการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Multi-Layer Perceptron (MLP) โดยมีความถูกต้อง 98% แต่ระบบอาจมีข้อเสียตรงที่ต้องควบคุมแสงให้คงที่ เนื่องจากแสงมีผลต่อลักษณะของสีที่เกิดขึ้นบนเมล็ดข้าวโพดอาจทำให้การวิเคราะห์มีความผิดพลาดได้

ในปี ค.ศ. 2012 Yorulmaz และคณะ [13] ได้นำเสนอการตรวจสอบเชื้อราในเมล็ดข้าวโพดด้วยการพิจารณาจากคุณสมบัติความแปรปรวนของภาพ ของเมล็ดข้าวโพดติดเชื้อราที่ทำให้เกิดอาการที่เรียกว่า ตาสีฟ้า (Blue-Eye) โดยถ่ายภาพเมล็ดข้าวโพดด้วยกล้องดิจิทัลยี่ห้อ Canon Powershot G11 Digital Camera ความละเอียด 300 Pixels โดยตัดแบ่งส่วนภาพด้วยค่าเฉลี่ยของเทรซโฮล และปรับปรุงภาพด้วยการกรองความถี่สูงผ่าน หลังจากนั้นนำภาพที่ได้มาพิจารณาจากคุณสมบัติความแปรปรวนของความเข้มแสง และคุณสมบัติของเวกเตอร์ทางสี พร้อมทั้งคุณสมบัติความแปรปรวนสหสัมพันธ์ในการจำแนก และประมวลผลด้วย Support Vector Machines (SVM) ซึ่งมีความถูกต้อง 96.5% แต่ระบบอาจมีข้อเสียตรงที่ถ้าเมล็ดข้าวโพดมีความใกล้เคียงกันคุณสมบัติที่นำมาพิจารณาอาจยังไม่พอในการวิเคราะห์เมล็ดข้าวโพดอาจทำให้การวิเคราะห์มีความผิดพลาดได้

ในปี ค.ศ. 2012 Singh และคณะ [14] ได้นำเสนอการตรวจสอบความเสียหายที่เกิดจากเชื้อราในข้าวสาลีโดยใช้คลื่นความถี่ช่วงสั้น (Short-Wave Near Infrared Hyperspectral) และภาพดิจิทัลสี ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 700–1100 นาโนเมตร โดยถ่ายภาพได้จากกล้อง CCD ความละเอียด 532x256 pixel พร้อมเลนส์ซูม 10 ถึง 120 นาโนเมตร เพื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน พร้อมทั้งพิจารณา Hue, Saturation และ Brightness หลังจากนั้นนำภาพมาพิจารณาคูสมบัตินทางพื้นผิวด้วย Grey Level Co-Occurrence Matrix (GLCM) และใช้หลักการทางสถิติการจำแนกแบบเชิงเส้น ซึ่งพิจารณาถึงค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวนของสี ในการจำแนกจะใช้ Artificial Neural Networks แบบ Multilayer Perceptron ซึ่งมีความถูกต้อง 97.3% แต่ระบบอาจมีข้อเสียตรงที่ต้องควบคุมแสงให้คงที่ เนื่องจากแสงมีผลต่อลักษณะของสีที่เกิดขึ้นบนเมล็ดข้าวโพดอาจทำให้การวิเคราะห์มีความผิดพลาดได้



ในปี ค.ศ. 2012 Juan และคณะ [15] ได้นำเสนอการตรวจสอบสภาพเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Penicillium* genus ในผลส้มด้วย Artificial Neural Networks และ Decision Trees โดยภาพถ่ายได้จากกล้อง Monochromatic Camera ที่มีความละเอียดสูง และแสงที่ใช้จะใช้แสงฮาโลเจน (Halogen Lamps) ในการพิจารณาความเน่าเสียของผลส้มจะใช้ค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวนของสเปกตรัมของสี ได้แก่ สเปกตรัมของสีชมพู สเปกตรัมของสีเหลือง สเปกตรัมของสีน้ำเงิน สเปกตรัมของสีม่วง ซึ่งในการจำแนกจะใช้ Artificial Neural Networks แบบ Multilayer Perceptron และ Decision Trees (DT) โดยมีความถูกต้อง 98% แต่ระบบอาจมีข้อเสียตรงที่ต้องควบคุมแสงให้คงที่เนื่องจากแสงมีผลต่อลักษณะของสีที่เกิดขึ้นบนเมล็ดข้าวอาจทำให้การวิเคราะห์มีความผิดพลาดได้

ตาราง 2.1 สรุปการทบทวนงานวิจัยด้านเมล็ดข้าว

บทความ	คุณสมบัติของวัตถุ (Feature Extraction)			การจำแนกวัตถุและการแปลความหมาย (Classification and Interpretation)			
	รูปร่าง	สี	พื้นผิว	ANN	SVM	FIS	DT
Dalen (2004)	✓					✓	
Courtois (2010)	✓		✓	✓			
Kambo (2014)	✓			✓			
Sun (2014)	✓				✓		
Lin (2014)	✓			✓			
Zareiforoush (2015)	✓	✓				✓	
Kuo และคณะ (2016)	✓	✓	✓		✓		
ผู้วิจัย	✓	✓	✓	✓			

ตาราง 2.2 สรุปการทบทวนงานวิจัยด้านเชื้อราในผลิตภัณฑ์ทางเกษตร

บทความ	คุณสมบัติของวัตถุ (Feature Extraction)			การจำแนกวัตถุและการแปลความหมาย (Classification and Interpretation)			
	รูปร่าง	สี	พื้นผิว	ANN	SVM	FIS	DT
Tallada (2011)		✓		✓			
Yorulmaz (2012)		✓			✓		
Singh (2012)		✓	✓	✓			
Juan (2012)		✓		✓			✓
ผู้วิจัย		✓	✓	✓			



จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีความพยายามที่จะนำเอากระบวนการประมวลผลภาพเข้ามาช่วยในการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวในลักษณะต่าง ๆ แต่ยังไม่มีการนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอก โดยลักษณะของเมล็ดข้าวฮางอกเสียจะมีลักษณะที่มีความซับซ้อนกว่าเมล็ดข้าวชนิดอื่น รวมทั้งในการตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอกติดเชื้อราซึ่งในปัจจุบันการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ติดเชื้อราจะใช้ชุดตรวจสอบสารอะฟลาทอกซินสำเร็จรูปเป็นวิธีตรวจสอบแบบทำลายและใช้เวลานาน ผลจากตรงนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาและออกแบบการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกต่อไป



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยในบทนี้จะแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย เพื่อออกแบบระบบจำแนกและตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ในการแก้ปัญหาตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวฮางอกที่ไม่มีคุณภาพ เพื่อเพิ่มคุณภาพข้าวฮางอกตามมาตรฐานสินค้าเกษตรซึ่งเมล็ดข้าวฮางอกที่ไม่ได้คุณภาพอันได้แก่ เมล็ดหัก เมล็ดบิดเบี้ยว เมล็ดลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดมีจุดสีดำที่เกิดจากความผิดปกติของเนื้อข้าว และเมล็ดติดเชื้อรา พร้อมสารอะฟลาทอกซินที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวฮางอก เพื่อประโยชน์สำหรับผู้บริโภค

3.1 ออกแบบระบบจำแนกและตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียม



การออกแบบระบบจำแนกและตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน ดังนี้

3.1.1 การออกแบบระบบถ่ายภาพเมล็ดข้าวฮางอก

ระบบถ่ายภาพเมล็ดข้าวฮางอกจะประกอบไปด้วย 2 ระบบ ซึ่งต้องมีการทำงานที่สัมพันธ์กันก่อนนำเมล็ดข้าวฮางอกเข้าสู่ระบบถ่ายภาพต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละระบบ ดังนี้

3.1.1.1 ระบบการให้แสง ในการถ่ายภาพแสงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก

เนื่องจากมีผลทำให้ภาพที่ถ่ายมีความชัดเจนมากขึ้นเพียงใด ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงแบ่งได้ 2 แหล่ง คือ แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ใน 2 รูปแบบ คือหลอดไฟส่องสว่างจากไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode, LED) และหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet Radiation, UV) ซึ่งหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงเป็นหลอดที่เปล่งแสงออกมาประกอบด้วยคลื่นความถี่เดียวและเฟสต่อเนื่องกันสามารถเปล่งแสงได้เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยข้อดีของหลอดไฟ LED นอกจากการประหยัดไฟฟ้าในระบบส่องสว่างโดยตรงแล้วหลอดไฟ LED จะปลดปล่อยความร้อนแผ่ออกมาจากตัวหลอดน้อยมากลดความสูญเสียของการกระจายแสงไปยังพื้นที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ เนื่องจากหลอดไฟ LED จะกระจายออกมาเพียงด้านเดียวเท่านั้น [32] และหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สั้น ช่วงต่อจากแสงสีม่วง (ระหว่าง Visible Spectrum กับ X-ray) เป็นรังสีที่ตาคนมองไม่เห็น และไม่สามารถรับรู้ โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ UV-A ช่วงความยาวคลื่น 315 - 380 nm เป็นรังสี UV ที่ไม่ค่อยมีอันตรายมากนักสามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ได้หลายด้าน โดยเฉพาะทางด้านเคมี ฟิสิกส์ ส่วน UV-B ช่วงความยาวคลื่น 280 - 315 nm มีผลต่อร่างกาย และสิ่งของได้ ก่อให้เกิดการไหม้ของผิวหนัง (Sunburn or Erythematic) และการอักเสบของตาได้แต่มีคุณประโยชน์ในการรักษาโรคผิวหนังบางชนิดได้ รวมถึงการประยุกต์ในงานอุตสาหกรรมเคมี และ UV-C ช่วงความยาวคลื่น 100 - 280 nm เป็นรังสีที่มีอันตรายต่อร่างกายได้อย่างรุนแรง เช่น ผิวแดงไหม้เกรียม (Erythema) หรือ เยื่อบุตาอักเสบ (Conjunctivitis) ซึ่งเราประยุกต์มาทำ ประโยชน์ในการฆ่าเชื้อโรคได้ โดยในงานวิจัยได้เลือกใช้หลอด UV-A ช่วงความยาวคลื่น 365 nm ซึ่งสารอะฟลาทอกซินที่ทำให้การตรวจสอบสามารถเรืองแสงได้ [17] ดังภาพประกอบ 3.1





ก. หลอด LED Ring Light



ข. หลอด UVA 365 nm

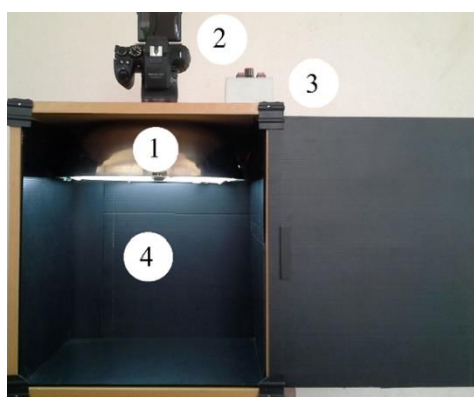
ภาพประกอบ 3.1 ลักษณะอุปกรณ์ให้แสง

3.1.1.2 ระบบถ่ายภาพ ในการถ่ายภาพเพื่อให้ได้ภาพที่คมชัดนั้นระบบให้แสง จะมีความ สำคัญมาก แต่อีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่ากันนั่นก็คือ กล้องถ่ายภาพดิจิทัล ในกล้องดิจิทัลทุกตัวหัวใจสำคัญที่สุดอันหนึ่งที่จะทำให้กล้องตัวนั้นถ่ายทอดรูปออกมาได้คุณภาพนั้น คือ เซ็นเซอร์ (Sensor) รับภาพ ซึ่งมีหน้าที่รับแสงที่เข้ามาแล้วเปลี่ยนค่าแสงนั้น ๆ เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยในปัจจุบันมีเซ็นเซอร์รับภาพอยู่ 2 แบบใหญ่ๆ คือ CCD (Charge Coupled Device) และ CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) ซึ่งแบบ CCD เป็นเซ็นเซอร์ที่ทำงานโดย ส่วนที่เป็นเซ็นเซอร์ แต่ละจุดภาพ จะทำหน้าที่รับแสงและเปลี่ยนค่าแสงเป็นสัญญาณอนาล็อก ส่งเข้า สู่วงจรเปลี่ยนค่าอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และ แบบ CMOS เป็นเซ็นเซอร์ ที่มีลักษณะการทำงาน โดยแต่ละจุดภาพจะมีวงจรย่อย ๆ เปลี่ยนค่าแสงที่เข้ามาเป็น สัญญาณดิจิทัลในทันที ไม่ต้องส่งออก ไปแปลงเหมือน CCD [33] ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้กล้องดิจิทัล (รุ่น Fujifilm FinePix HS20 EXR) ดังภาพประกอบ 3.2 กล้องดิจิทัลความละเอียด 16 ล้านพิกเซล มีเซ็นเซอร์รับภาพ EXR CMOS ขนาด 1/2 นิ้ว ระยะซูมออฟติคอลได้ 30 เท่า ถ่ายภาพระยะมาโครได้ 1 มม. ปรับ ISO ได้สูงที่สุดที่ 12800 และปรับความเร็วชัตเตอร์ได้ระหว่าง 1/4000 - 30 วินาที บันทึกรูปภาพเป็นไฟล์ bmp แล้วทำ การออกแบบและสร้างระบบถ่ายภาพ ดังภาพประกอบ 3.3 เพื่อให้ได้ภาพที่คมชัด และมีความสม่ำเสมอ ของแสงมากที่สุด





ภาพประกอบ 3.2 กล้องดิจิทัล รุ่น Fujifilm FinePix HS20 EXR

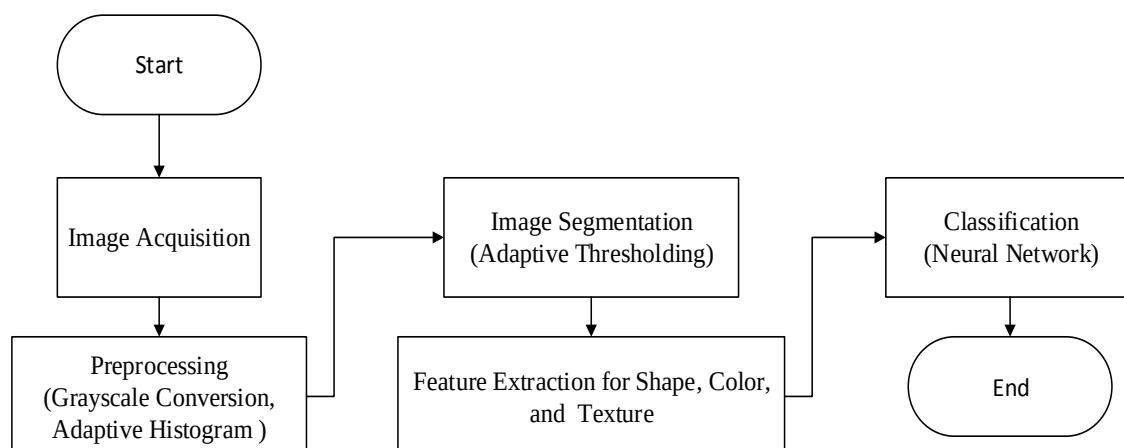


ภาพประกอบ 3.3 ระบบถ่ายภาพ (1) ระบบให้แสง (2) กล้องดิจิทัล (3) ระบบปรับความเข้มแสง (4) กล้องควบคุมสถานะแสง

3.1.2 การออกแบบการจำแนกและตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

3.1.2.1 การออกแบบโปรแกรมจำแนกตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกจะใช้หลักการของการประมวลผลภาพ เพื่อมาคัดแยกเมล็ดข้าวฮางอกเสีย ดังภาพประกอบ 3.4 ซึ่งจะมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1) ขั้นตอนการรับภาพ (Image Acquisition) รับภาพถ่ายเมล็ดข้าวฮางอกจากกล้องดิจิทัลผ่านจุดเชื่อมต่อพอร์ต USB (Universal Serial Bus) ในรูปแบบ Bmp (Bitmap) เนื่องจากมีความละเอียด และเก็บรายละเอียดที่สมบูรณ์ แล้วทำการปรับขนาดให้มีขนาด 512 X 512 จุดภาพ



ภาพประกอบ 3.4 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกเสีย

2) ขั้นตอนการปรับปรุงภาพ นำภาพที่ได้ปรับปรุงให้มีความเข้มแสงให้คงที่ โดยการทำ Opening กับพื้นหลัง (Background) ของภาพ แล้วนำผลที่ได้ไปลบกับค่าตั้งต้นจากนั้น นำภาพมาแปลงเป็น Grayscale แล้วทำการปรับค่า Histogram โดยใช้หลักการ Adaptive Histogram ซึ่งจะเป็นการลดการกระจายของสัญญาณรบกวนโดยการตัดฮิสโทแกรม (Clip Histogram) แล้วนำไปกระจายให้กับค่าความสว่างที่มีค่าความถี่สะสมไม่เกินค่า ซึ่งเป็นค่าที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดฮิสโทแกรม กำหนดโดยผู้ใช้งานตัดฮิสโทแกรมก่อนนำไปคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนเพื่อปรับปรุงค่าความสว่างของพื้นที่นั้น และทุกๆพื้นที่ที่จะต้องปรับปรุงค่าความสว่างด้วยขั้นตอนวิธีดังกล่าว ในขั้นตอนวิธี CLAHE สามารถเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนได้หลายฟังก์ชัน สำหรับขั้นตอนวิธีที่นำเสนอได้เลือกใช้ฟังก์ชัน Exponential ในการปรับปรุงภาพข้าวฮางอก เพื่อให้คุณสมบัติทางกายภาพมีความคมชัดมากขึ้น

3) ขั้นตอนการตัดแบ่งภาพ (Segmentation) นำภาพที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงภาพมาทำ Segmented Image โดยวิธี Adaptive Thresholding Adaptive Threshold คือ วิธีการหาค่า Threshold แบบปรับค่าตามข้อมูลท้องถิ่นซึ่งเหมาะสมสำหรับภาพที่มีความสว่างไม่สม่ำเสมอ ที่ต้องใช้ค่า Threshold หลายค่าเนื่องจากแต่ละบริเวณจะใช้ Threshold ไม่เท่ากัน โดยค่า Threshold ที่ได้จากวิธีการดังกล่าวเกิดจากการหาค่าเฉลี่ยของทุกพิกเซลภายใต้ Moving Window ที่มีขนาด 50×50 จากนั้นทำการหาค่า Threshold เช่นนี้ไปเรื่อย ๆ กับบริเวณที่ไม่ซ้ำกันจนกระทั่งได้มีการกำหนดค่า Threshold ครบในทุก ๆ พิกเซล ถ้าค่า Gray Level ของพิกเซลนั้นมีค่ามากกว่าค่า Threshold ของพิกเซลนั้นแล้วจะกำหนดให้ เป็นสีขาว แต่ถ้าค่า Gray Level ของพิกเซลนั้นน้อยกว่า Threshold ของพิกเซลนั้นแล้วจะกำหนดให้ เป็นสีดำทำเช่นนี้จนครบทุกพิกเซลจะได้ผลลัพธ์เป็นภาพขาวดำ เพื่อแปลงภาพให้เป็นภาพขาวดำ โดยเมล็ดข้าวฮางอกให้เป็นสีขาว และพื้นหลังให้เป็นสีดำ



- 4) ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพ (Morphology Processing) โดยวิธี Opening ให้ได้ภาพของเมล็ดข้าวฮางอกที่สมบูรณ์
- 5) ขั้นตอนนำภาพพิจารณา Color Feature นำภาพที่ได้จากขั้นตอนข้อที่ 4 ไปคูณกับภาพตั้งต้น แล้วนำพิจารณาค่าสีของเมล็ดข้าวฮางอกแต่ละเมล็ดในระบบสี RGB เฉลี่ย ระบบสี HSV เฉลี่ย และระบบสี $L^* a^* b^*$ เฉลี่ย เพื่อนำไปพิจารณาเมล็ดข้าวเสีย
- 6) ขั้นตอนนำภาพพิจารณา Shape Feature โดยพิจารณาจาก Area, Major Axis Length, Minor Axis Length, Perimeter และ Eccentricity เพื่อพิจารณาเมล็ดข้าวเสีย
- 7) ขั้นตอนนำภาพพิจารณา Texture Feature โดยพิจารณาจาก Correlation, Entropy, Sum of Entropy, Difference of Entropy และ Contrast เพื่อพิจารณาเมล็ดเสีย
- 8) ขั้นตอนการออกแบบการประมวลผลภาพโดย Artificial Neural Network

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมในระบบจะทำหน้าที่แยกประเภทข้าวฮางอกเสีย การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมจะต้องมีการออกแบบลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นมาก่อนจากนั้นก็สอนให้โครงข่ายจดจำรูปแบบต่างๆตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามการออกแบบโครงข่ายขึ้นอยู่กับลักษณะงานไม่สามารถกำหนดเฉพาะขึ้นมาได้ จึงต้องมีการทดลองและปรับเปลี่ยนลักษณะของโครงข่ายจนได้ลักษณะของโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพการทำงานที่น่าพอใจการทดลองปรับเปลี่ยนลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมมีหลายวิธี เช่น เริ่มจากการออกแบบโครงข่ายขนาดเล็กก่อน เมื่อพบว่าโครงข่ายเกิดค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสูงในการสอนจึงค่อยๆ เพิ่มโหนดในชั้นต่างๆให้มากขึ้น หรืออีกวิธีคือการใช้โครงข่ายประสาทเทียมขนาดใหญ่ก่อนจากนั้นนำค่าน้ำหนักที่ได้จากการสอนมาเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักก่อนการสอนแล้วทำการตัดโหนดที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักน้อยๆออกไป เนื่องจากโหนดเหล่านั้นไม่มีผลต่อการทำงาน โดยการเรียนรู้ของโครงข่ายมีขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ ดังนี้

 - กำหนดให้ข้อมูลชุดฝึกฝนคู่อินพุตเอาต์พุตเป็น $(p_1, t_1), \dots, (p_k, t_k)$ เมื่อ $p_k = [p_{k1}, \dots, p_{kn}]^T, t_k = [t_{k1}, \dots, t_{kn}]$, $k = 1, \dots, K$ และ K เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมดในชุดฝึกฝน
 - ขั้นตอนที่ 1 กำหนดโครงสร้างโครงข่ายเลือกอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) $n > 0$ กำหนดค่าผิดพลาดรวม $E = 0$
 - ขั้นตอนที่ 2 สุ่มค่าน้ำหนัก w และ b จากค่าน้อยๆ กำหนดค่า $K = 1$
 - ขั้นตอนที่ 3 เริ่มทำการฝึกฝน ใส่ค่า p_k เข้าโครงข่าย $x = p_k, y = t_k$
 - ทำการคำนวณค่าเอาต์พุต a จาก $net = w_p + b$
 - ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าน้ำหนัก และไบแอสใหม่
 - ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่าผิดพลาดสะสม
 - ขั้นตอนที่ 6 ถ้า $k < K$ ให้ $k = k + 1$ ทำการคำนวณซ้ำจากขั้นตอนที่ 3
 - ถ้า $k = K$ ทำขั้นตอนที่ 7



ขั้นตอนที่ 7 ถ้าค่าผิดพลาดสะสม $E = 0$ จบการฝึกฝน ถ้า $E > 0$ ให้กำหนด $E = 0, k = 1$ เริ่มรอบการฝึกฝนใหม่จากขั้นตอนที่ 3

การประมวลผลภาพข้าวฮางอกด้วย Artificial Neural Network ซึ่งโครงสร้างจะประกอบไปด้วยชั้น Input Layer จำนวน 1 Layer ชั้น Hidden Layer จำนวน 1 Layer และชั้น Output Layer จำนวน 1 Layer การออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวเสีย ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.5 โดยจำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 24 Feature จำนวนของนิวรอนในชั้น Hidden Layer จำนวน 25 นิวรอน ที่ทำให้ความถูกต้องในการจำแนกสูงที่สุดและจำนวนของนิวรอน Output ในชั้น Output Layer จำนวน 2 นิวรอน ประกอบด้วยเมล็ดข้าวไม่เสีย และเมล็ดข้าวเสีย โดยในการ Training จะใช้ตัวอย่างของเมล็ดข้าวฮางอกทั้งหมด 1,000 เมล็ด ประกอบไปด้วยเมล็ดข้าวเสีย 500 เมล็ด และเมล็ดข้าวไม่เสีย 500 เมล็ด ซึ่งข้อมูลที่นำมา Training ประกอบไปด้วยจำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 24 Feature พร้อมกำหนดค่า Parameter ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 จากนั้นทำการทดสอบความถูกต้อง โดยการสุ่มเลือกเมล็ดข้าวที่นำมา Training 500 เมล็ด จาก 1,000 เมล็ด ความถูกต้องมีค่าเท่ากับ 98% จากนั้นนำเมล็ดข้าว 500 เมล็ด ที่ไม่ซ้ำกับเมล็ดข้าวที่นำมา Training แบ่งเป็นเมล็ดข้าวเสีย 250 เมล็ด และเมล็ดข้าวไม่เสีย 250 เมล็ด เพื่อทำการ Test ระบบสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวเสีย

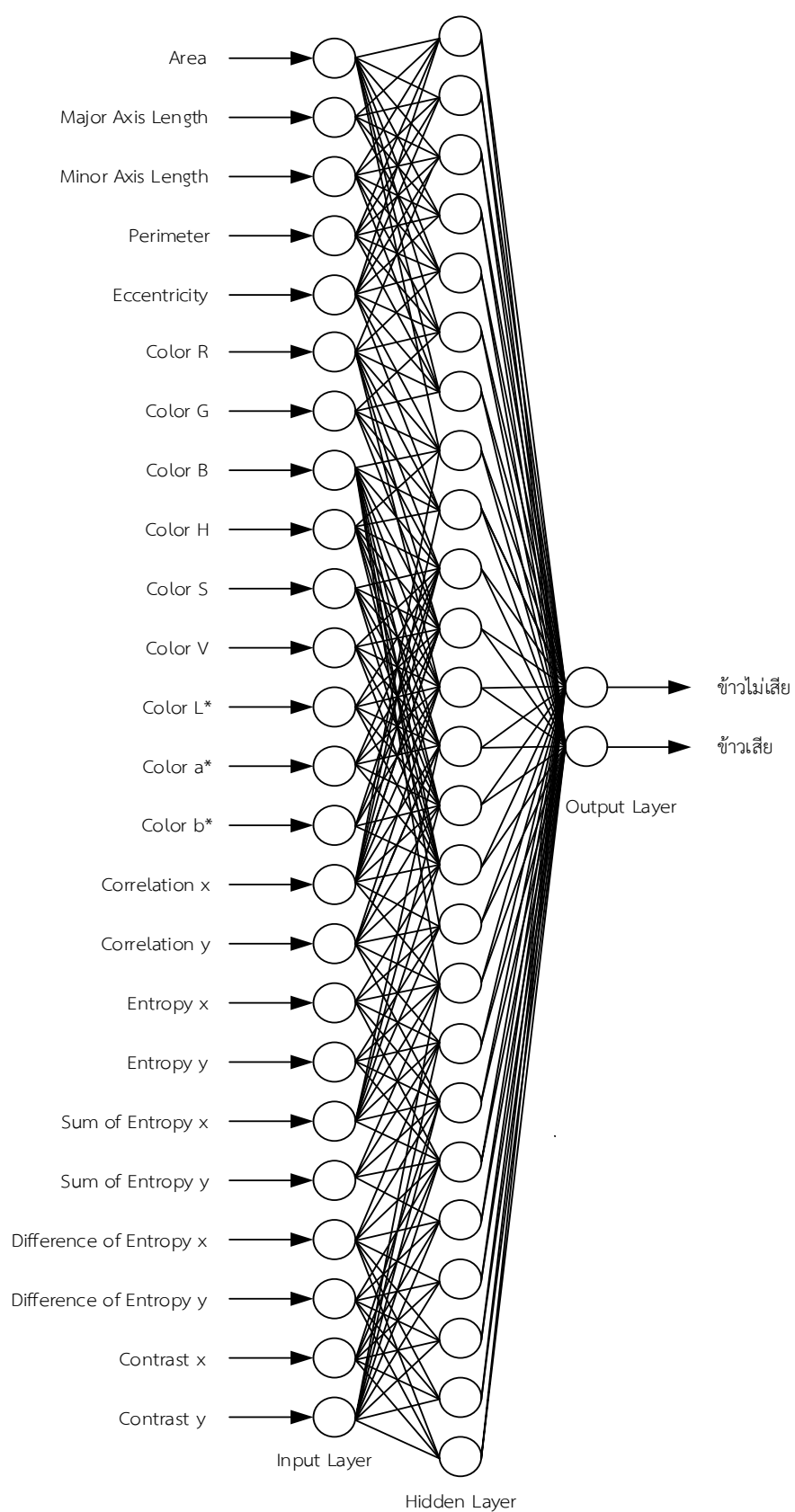
ตาราง 3.1 การกำหนดค่า Parameter ของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกเมล็ดข้าวเสีย

ตัวแปรในโครงข่ายประสาทเทียม	ค่าพารามิเตอร์
ค่าอัตราเร็วในการเรียนรู้ (η)	0.1
จำนวนรอบสำหรับการเรียนรู้ (t)	1000
จำนวนข้อมูลอินพุต (P_i)	50 ค่า $\times$ 10 ภาพ
ค่าความเอนเอียง (b)	0.1
Transfer Function	
Input Layer	Tan-Sigmoid Function
Hidden Layer	Tan-Sigmoid Function
Output Layer	Linear Function
โครงสร้างข่ายประสาทเทียมในการจำแนกเมล็ดข้าวเสีย	
จำนวน Input	1 ชั้น 24 นิวรอน
จำนวน Hidden Layer	1 ชั้น 25 นิวรอน



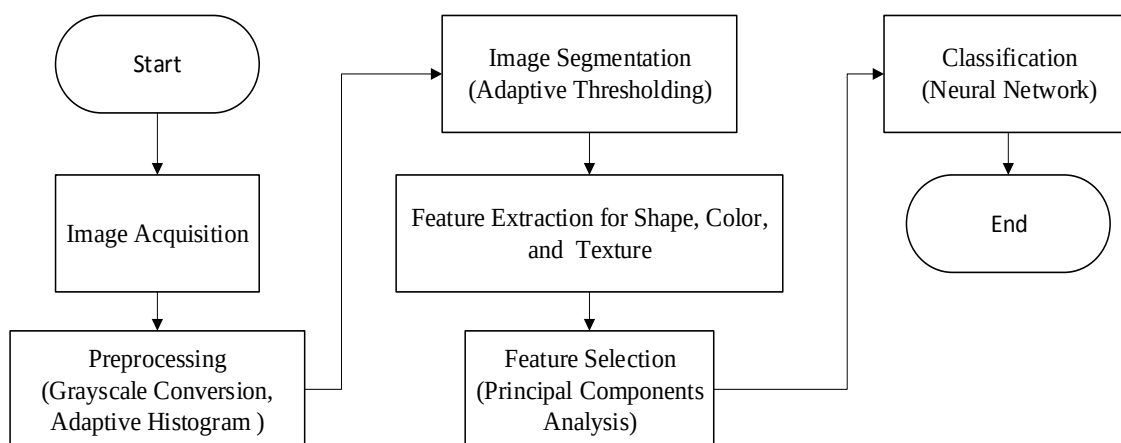
จำนวน Output	1 ชั้น 2 นิวรอน
--------------	-----------------





ภาพประกอบ 3.5 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกเสีย

3.1.2.2) การออกแบบโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกจะใช้หลักการของการประมวลผลภาพ และใช้หลักการทำ Principal Components Analysis เข้ามาช่วยในการพิจารณาความสำคัญของ Shape Feature, Color Feature และ Texture Feature เพื่อลดขนาดของข้อมูลในการคัดแยกเมล็ดข้าวฮางอกเสีย และแบ่งประเภทในการจำแนกเมล็ดข้าวฮางอกเสียออกเป็นเมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวมีจุดสีดำ ดังภาพประกอบ 3.6 ซึ่งจะมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 3.6 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกเสียประเภทต่าง ๆ

1) ขั้นตอนการรับภาพ (Image Acquisition) รับภาพถ่ายเมล็ดข้าวฮางอกจากกล้องดิจิทัลผ่านจุดเชื่อมต่อพอร์ต USB (Universal Serial Bus) ในรูปแบบ Bmp (Bitmap) เนื่องจากมีความละเอียด และเก็บรายละเอียดที่สมบูรณ์ แล้วทำการปรับขนาดให้มีขนาด 512 X 512 จุดภาพ

2) ขั้นตอนการปรับปรุงภาพ นำภาพที่ได้ปรับปรุงให้มีความเข้มแสงให้คงที่โดยการทำ Opening กับพื้นหลัง (Background) ของภาพ แล้วนำผลที่ได้ไปลบกับค่าตั้งต้นจากนั้นนำภาพมาแปลงเป็น Grayscale แล้วทำการปรับค่า Histogram โดยใช้หลักการ Adaptive Histogram ซึ่งจะเป็นการลดการกระจายของสัญญาณรบกวนโดยการตัดฮิสโทแกรม (Clip Histogram) แล้วนำไปกระจายให้กับค่าความสว่างที่มีค่าความถี่สะสมไม่เกินค่า ซึ่งเป็นค่าที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดฮิสโทแกรมกำหนดโดยผู้ใช้มาตัดฮิสโทแกรมก่อนนำไปคำนวณฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักเพื่อปรับปรุงค่าความสว่างของพื้นที่



นั้น และทุกๆพื้นที่จะต้องปรับปรุงค่าความสว่างด้วยขั้นตอนวิธีดังกล่าว ในขั้นตอนวิธี CLAHE



สามารถเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนได้หลายฟังก์ชัน สำหรับขั้นตอนวิธีที่นำเสนอได้เลือกใช้ฟังก์ชัน Exponential ในการปรับปรุงภาพขาวฮางอก เพื่อให้คุณสมบัติทางกายภาพมีความคมชัดมากขึ้น

3) ขั้นตอนการตัดแบ่งภาพ (Segmentation) นำภาพที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงภาพมาทำ Segmented Image โดยวิธี Adaptive Thresholding Adaptive Threshold คือ วิธีการหาค่า Threshold แบบปรับค่าตามข้อมูลท้องถิ่นซึ่งเหมาะสำหรับภาพที่มีความสว่างไม่สม่ำเสมอที่ต้องใช้ค่า Threshold หลายค่าเนื่องจากแต่ละบริเวณจะใช้ Threshold ไม่เท่ากัน โดยค่า Threshold ที่ได้จากวิธีการดังกล่าวเกิดจากการหาค่าเฉลี่ยของทุกพิกเซลภายใต้ Moving window ที่มีขนาด 50×50 จากนั้นทำการหาค่า Threshold เช่นนี้ไปเรื่อย ๆ กับบริเวณที่ไม่ซ้ำกันจนกระทั่งได้มีการกำหนดค่า Threshold ครบในทุก ๆ พิกเซล ถ้าค่า Gray Level ของพิกเซลนั้นมีค่ามากกว่าค่า Threshold ของพิกเซลนั้นแล้วจะกำหนดให้ เป็นสีขาว แต่ถ้าค่า Gray Level ของพิกเซลนั้นน้อยกว่า Threshold ของพิกเซลนั้นแล้วจะกำหนดให้ เป็นสีดำทำเช่นนี้จนครบทุกพิกเซลจะได้ผลลัพธ์เป็นภาพขาวดำ เพื่อแปลงภาพให้เป็นภาพขาวดำ โดยเมล็ดขาวฮางอกให้เป็นสีขาว และพื้นหลังให้เป็นสีดำ

4) ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพ (Morphology Processing) โดยวิธี Opening ให้ได้ภาพของเมล็ดขาวฮางอกที่สมบูรณ์

5) ขั้นตอนนำภาพพิจารณา Color Feature นำภาพที่ได้จากขั้นตอนข้อที่ 4 ไปคู่กับภาพดั้งเดิม แล้วนำพิจารณาค่าสีของเมล็ดขาวฮางอกแต่ละเมล็ดในระบบสี RGB เฉลี่ยระบบสี HSV เฉลี่ย และระบบสี $L^* a^* b^*$ เฉลี่ย เพื่อนำไปพิจารณาเมล็ดขาวติดเปลือก เมล็ดขาวมีจุดสีดำที่เกิดจากความผิดปกติของเนื้อขาว

6) ขั้นตอนนำภาพพิจารณา Shape Feature โดยพิจารณาจาก Area, Major Axis Length, Minor Axis Length, Perimeter และ Eccentricity เพื่อพิจารณาเมล็ดขาวหัก เมล็ดขาวบิดเบี้ยว เมล็ดขาวลีบ

7) ขั้นตอนนำภาพพิจารณา Texture Feature โดยพิจารณาจาก Correlation, Entropy, Sum of Entropy, Difference of Entropy และ Contrast เพื่อพิจารณาเมล็ดขาวติดเปลือก เมล็ดขาวมีจุดสีดำที่เกิดจากความผิดปกติของเนื้อขาว

8) ขั้นตอนการทำ Principal Components Analysis (PCA) เพื่อให้ข้อมูลดั้งเดิม Feature ทั้งหมดให้มีขนาดลดลงโดยสูญเสียลักษณะสำคัญของข้อมูลน้อยที่สุดและสูญเสียความถูกต้องของผลลัพธ์น้อยที่สุด โดยทำการหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความแปรปรวนร่วมเกี่ยว (Covariance) ของข้อมูล จากนั้นนำค่าที่ได้ไปหาค่า Eigenvector และ Eigenvalue ของข้อมูล วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของรูปร่าง สี และพื้นผิวของเมล็ดขาวฮางอก มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จะนำข้อมูลมากำหนดให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ที่มีจำนวนแถว



เท่ากับ n และจำนวนหลักเท่ากับ p และนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลของรูปร่าง สี และพื้นผิวของเมล็ดข้าวฮางอก

ขั้นตอนที่ 2 นำเมทริกซ์ข้อมูลดิบของรูปร่าง สี และพื้นผิวของเมล็ดข้าวฮางอกมาวิเคราะห์ด้วยการหาค่าการแปรผันร่วม (Covariance) ของข้อมูล ดังนั้นเมทริกซ์ค่าการแปรผันร่วม (Covariance Matrix)

ขั้นตอนที่ 3 นำผลลัพธ์ที่ได้คำนวณหาความสัมพันธ์ตามความแปรผันบน Coordinate ของการหาค่าการแปรผันร่วมของเงื่อนไขข้อมูลที่น่ามาใช้เป็นตัวเปรียบเทียบของแต่ละเงื่อนไข

โดยที่เมทริกซ์ Q คือ Eigenvector จากเมทริกซ์ค่าความแปรผันร่วม S , Λ คือ เมทริกซ์ทแยงมุม (Diagonal Matrix) ของความสัมพันธ์ระหว่าง Eigenvalue และเมทริกซ์ค่าความแปรผันร่วม S และ x_i คือ ข้อมูลของรูปร่าง สี และพื้นผิวของเมล็ดข้าวฮางอก ที่นำมาวิเคราะห์ แล้วนำข้อมูลของรูปร่าง สี และพื้นผิวของเมล็ดข้าวฮางอกที่ได้ทำการป้อนในโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อเป็นข้อมูลในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมต่อไป

9) ขั้นตอนการออกแบบการประมวลผลภาพโดย Artificial Neural Network การทำงานส่วนของโครงข่ายประสาทเทียมในระบบจะทำหน้าที่แยกประเภทข้าวฮางอกเสียแต่ละประเภท การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมจะต้องมีการออกแบบลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นมาก่อนจากนั้นก็สอนให้โครงข่ายจดจำรูปแบบต่างๆตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามการออกแบบโครงข่ายขึ้นอยู่กับลักษณะงานไม่สามารถกำหนดเฉพาะขึ้นมาได้ จึงต้องมีการทดลองและปรับเปลี่ยนลักษณะของโครงข่ายจนได้ลักษณะของโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพการทำงานที่น่าพอใจการทดลองปรับเปลี่ยนลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมมีหลายวิธี เช่น เริ่มจากการออกแบบโครงข่ายขนาดเล็กก่อน เมื่อพบว่าโครงข่ายเกิดค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสูงในการสอนจึงค่อยๆ เพิ่มโหนดในชั้นต่าง ๆ ให้มากขึ้น หรืออีกวิธีคือการใช้โครงข่ายประสาทเทียมขนาดใหญ่ก่อนจากนั้นนำค่าน้ำหนักที่ได้จากการสอนมาเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักก่อนการสอนแล้วทำการตัดโหนดที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักน้อยๆออกไป เนื่องจากโหนดเหล่านั้นไม่มีผลต่อการทำงาน โดยการเรียนรู้ของโครงข่ายมีขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ ดังนี้

กำหนดให้ข้อมูลชุดฝึกฝนคู่อินพุตเอาต์พุตเป็น $(p_1, t_1), \dots, (p_k, t_k)$

เมื่อ $p_k = [p_{k1}, \dots, p_{kn}]^T$, $t_k = [t_{k1}, \dots, t_{kn}]$, $k = 1, \dots, K$ และ K เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมดในชุดฝึกฝน

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดโครงสร้างโครงข่ายเลือกอัตราการเรียนรู้

(Learning Rate) $\eta > 0$ กำหนดค่าผิดพลาดรวม $E = 0$

ขั้นตอนที่ 2 สุ่มค่าน้ำหนัก w และ b จากค่าน้อยๆ กำหนดค่า $K = 1$

ขั้นตอนที่ 3 เริ่มทำการฝึกฝน ใส่ค่า p_k เข้าโครงข่าย $x = p_k$, $y = t_k$

ทำการคำนวณค่าเอาต์พุต a จาก $net = w_p + b$



ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าน้ำหนัก และไบแอสใหม่

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่าผิดพลาดสะสม

ขั้นตอนที่ 6 ถ้า $k < K$ ให้ $k = k + 1$ ทำการคำนวณซ้ำจากขั้นตอนที่ 3

ถ้า $k = K$ ทำขั้นตอนที่ 7

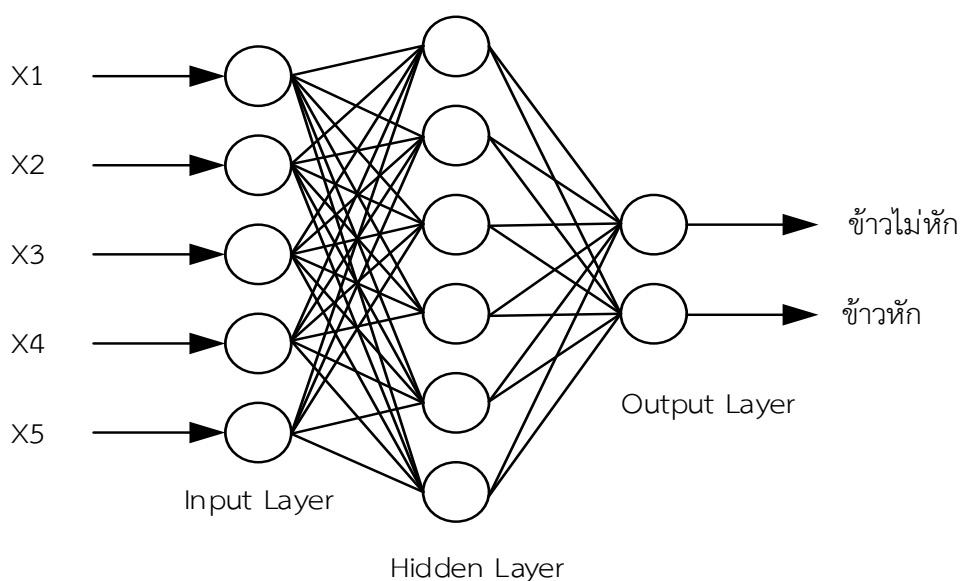
ขั้นตอนที่ 7 ถ้าค่าผิดพลาดสะสม $E = 0$ จบการฝึกฝน ถ้า $E > 0$

ให้กำหนด $E = 0$, $k = 1$ เริ่มรอบการฝึกฝนใหม่จากขั้นตอนที่ 3

การประมวลผลภาพข้าวฮางอกด้วย Artificial Neural Network ซึ่งโครงสร้างจะประกอบไปด้วยชั้น Input Layer จำนวน 1 Layer ชั้น Hidden Layer จำนวน 1 Layer และชั้น Output Layer จำนวน 1 Layer โดยแบ่งโครงสร้างของ Artificial Neural Network ออกเป็น 6 โครงสร้าง ซึ่งประกอบไปด้วย โครงสร้างที่ใช้จำแนก และตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอกเสียประเภท เมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวมีจุดสีดำ เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวลีบ และเมล็ดข้าวเสีย โดยรวม ตามลำดับโดยมีรายละเอียดของแต่ละโครงสร้าง ดังนี้

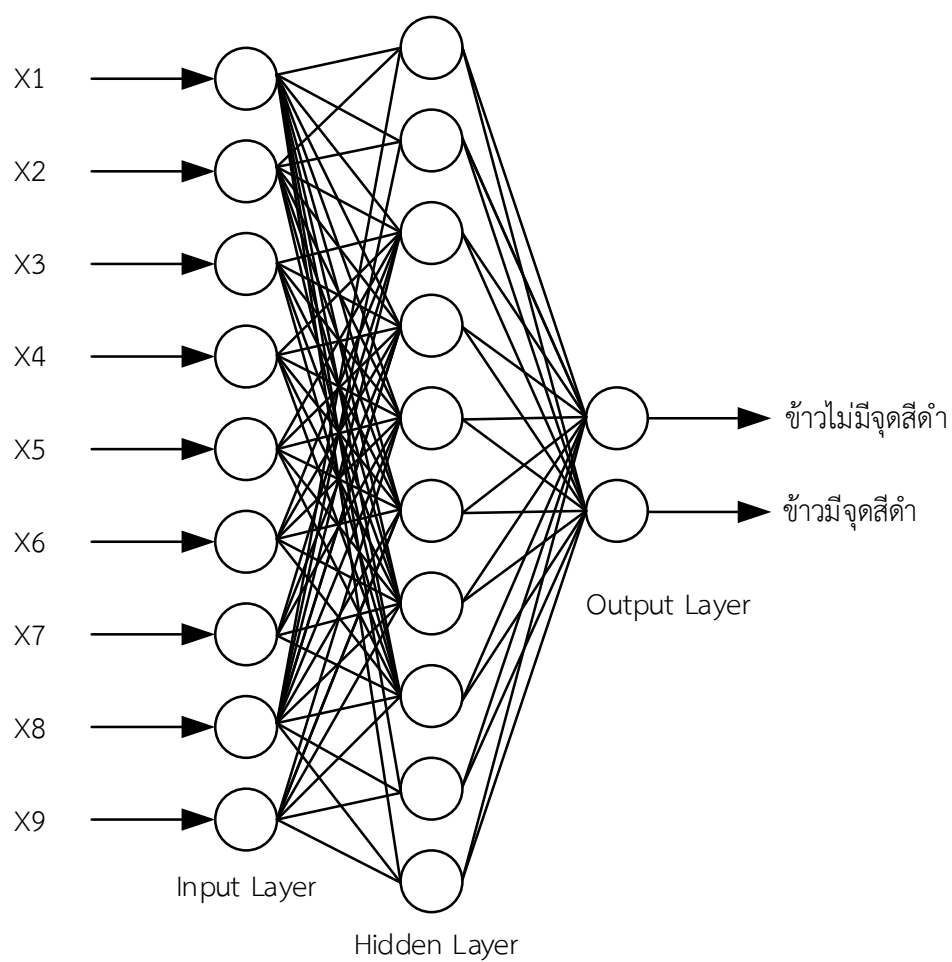
9.1) ออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวหัก ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.7 โดยจำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 5 Feature ที่ผ่านกระบวนการทำ PCA จำนวนของนิวรอนในชั้น Hidden Layer จำนวน 6 นิวรอน ที่ทำให้ความถูกต้องในการจำแนกสูงที่สุดและจำนวนของนิวรอน Output ในชั้น Output Layer จำนวน 2 นิวรอน ประกอบด้วยเมล็ดข้าวไม่หัก และเมล็ดข้าวหัก โดยในการ Training จะใช้ตัวอย่างของเมล็ดข้าวฮางอกทั้งหมด 1,000 เมล็ด ประกอบไปด้วยเมล็ดข้าวหัก 500 เมล็ด และเมล็ดข้าวไม่หัก 500 เมล็ด ซึ่งข้อมูลที่นำมา Training ประกอบไปด้วยจำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 5 Feature พร้อมกำหนดค่า Parameter ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 จากนั้นทำการทดสอบความถูกต้อง โดยการสุ่มเลือกเมล็ดข้าวที่นำมา Training 500 เมล็ด จาก 1,000 เมล็ด ความถูกต้องมีค่าเท่ากับ 100% จากนั้นนำเมล็ดข้าว 500 เมล็ดที่ไม่ซ้ำกับเมล็ดข้าวที่นำมา Training แบ่งเป็นเมล็ดข้าวหัก 250 เมล็ด และเมล็ดข้าวไม่หัก 250 เมล็ด เพื่อทำการ Test ระบบสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวหัก





ภาพประกอบ 3.7 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกหัก

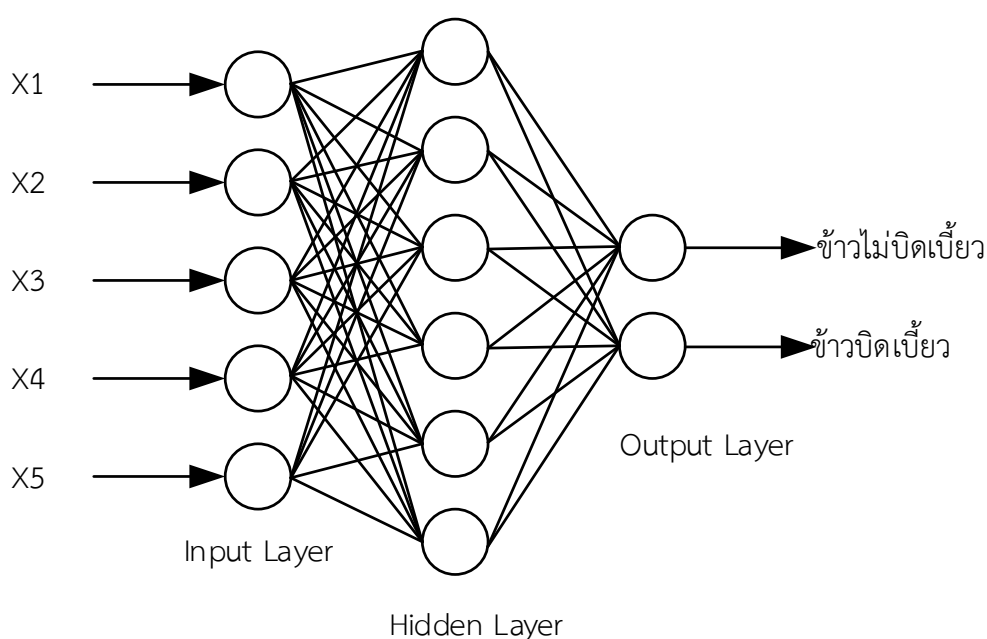
9.2) ออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวมีจุดสีดำ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.8 โดยจำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 9 Feature ที่ผ่านกระบวนการทำ PCA จำนวนของนิวรอนในชั้น Hidden Layer จำนวน 10 นิวรอน ที่ทำให้ความถูกต้องในการจำแนกสูงที่สุดและจำนวนของนิวรอน Output ในชั้น Output Layer จำนวน 2 นิวรอน ประกอบด้วยเมล็ดข้าวไม่มีจุดสีดำ และเมล็ดข้าวมีจุดสีดำ โดยในการ Training จะใช้ตัวอย่างของเมล็ดข้าวฮางอกทั้งหมด 1,000 เมล็ด ประกอบไปด้วยเมล็ดข้าวมีจุดสีดำ 500 เมล็ด และเมล็ดข้าวไม่มีจุดสีดำ 500 เมล็ด ซึ่งข้อมูลที่นำมา Training ประกอบไปด้วยจำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 9 Feature พร้อมกำหนดค่า Parameter ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 จากนั้นทำการทดสอบความถูกต้อง โดยการสุ่มเลือกเมล็ดข้าวที่นำมา Training 500 เมล็ด จาก 1,000 เมล็ด ความถูกต้องมีค่าเท่ากับ 98% จากนั้นนำเมล็ดข้าว 500 เมล็ดที่ไม่ซ้ำกับเมล็ดข้าวที่นำมา Training แบ่งเป็นเมล็ดข้าวมีจุดสีดำ 250 เมล็ด และเมล็ดข้าวไม่มีจุดสีดำ 250 เมล็ด เพื่อทำการ Test ระบบสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวมีจุดสีดำ



ภาพประกอบ 3.8 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกมีจุดสีดำ



9.3) ออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวบดเปียว ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.9 โดยจำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 5 Feature ที่ผ่านกระบวนการทำ PCA จำนวนของนิวรอนในชั้น Hidden Layer จำนวน 6 นิวรอน ที่ทำให้ความถูกต้องในการจำแนกสูงที่สุดและจำนวนของนิวรอน Output ในชั้น Output Layer จำนวน 2 นิวรอน ประกอบด้วยเมล็ดข้าวไม่บดเปียว และเมล็ดข้าวบดเปียว โดยในการ Training จะใช้ตัวอย่างของเมล็ดข้าวฮางอกทั้งหมด 1,000 เมล็ด ประกอบไปด้วยเมล็ดข้าวบดเปียว 500 เมล็ด และเมล็ดข้าวไม่บดเปียว 500 เมล็ด ซึ่งข้อมูลที่นำมา Training ประกอบไปด้วยจำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 5 Feature พร้อมกำหนดค่า Parameter ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 จากนั้นทำการทดสอบความถูกต้อง โดยการสุ่มเลือกเมล็ดข้าวที่นำมา Training 500 เมล็ด จาก 1,000 เมล็ด ความถูกต้องมีค่าเท่ากับ 98% จากนั้นนำเมล็ดข้าว 500 เมล็ดที่ไม่ซ้ำกับเมล็ดข้าวที่นำมา Training แบ่งเป็นเมล็ดข้าวบดเปียว 250 เมล็ด และเมล็ดข้าวไม่บดเปียว 250 เมล็ด เพื่อทำการ Test ระบบสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวบดเปียว

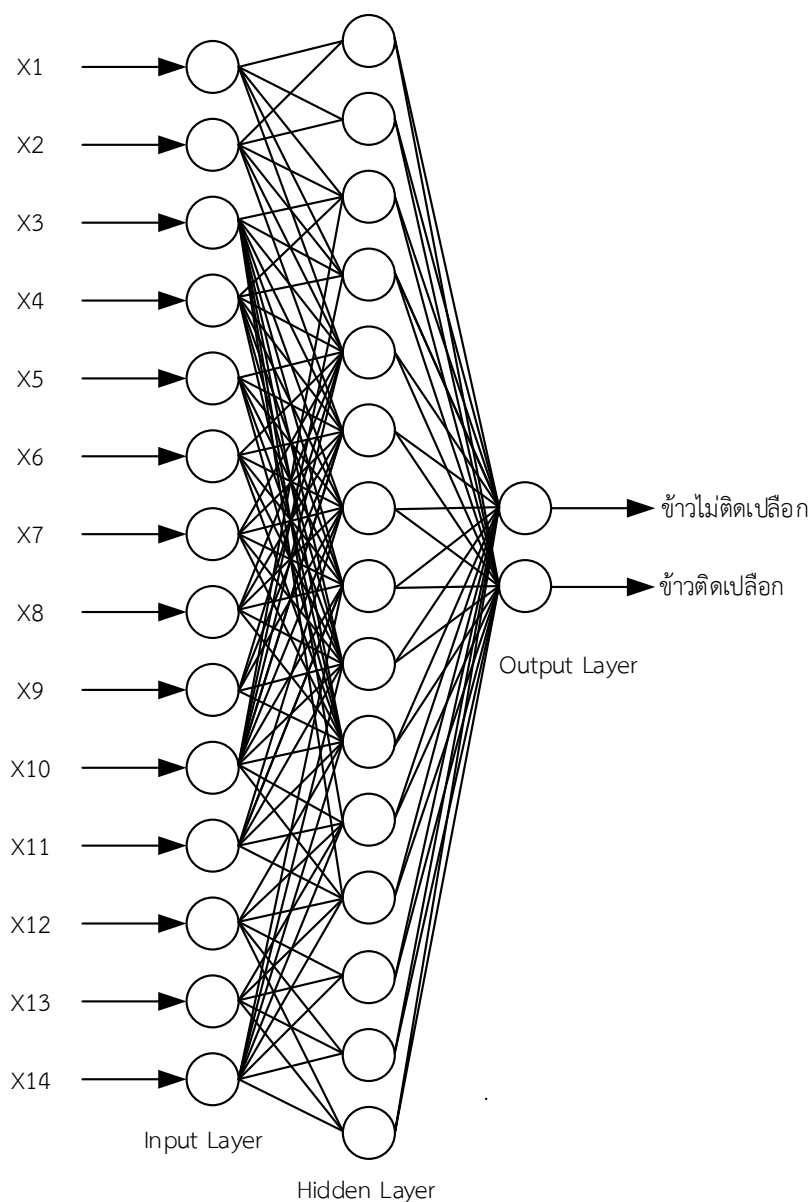


ภาพประกอบ 3.9 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกบดเปียว

9.4) ออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวติดเปลือก ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.10 โดยจำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 14 Feature ที่ผ่านกระบวนการทำ PCA จำนวนของนิวรอนในชั้น Hidden Layer จำนวน 15 นิวรอน ที่ทำให้ความถูกต้องในการจำแนกสูงที่สุดและจำนวนของนิวรอน

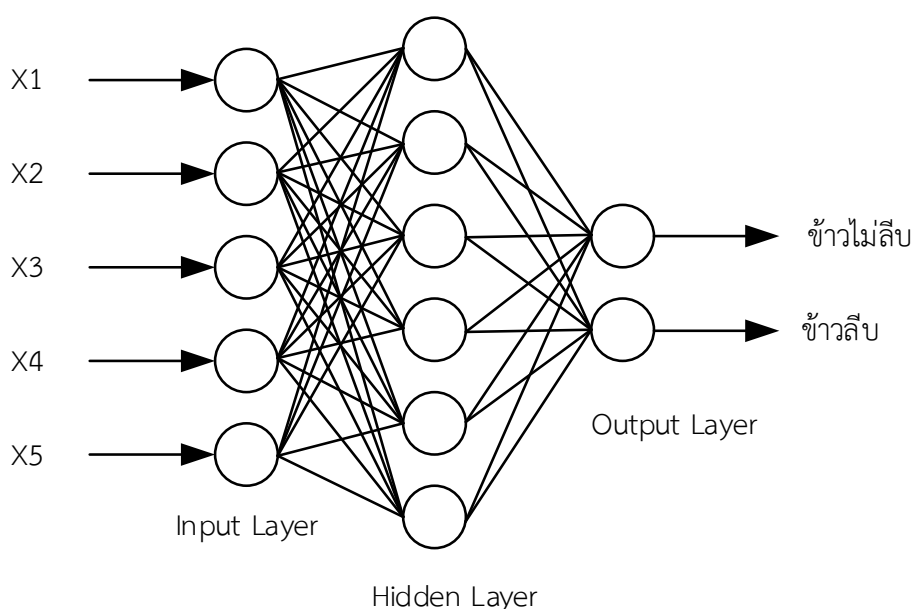


Output ในชั้น Output Layer จำนวน 2 นิวรอน ประกอบด้วยเมล็ดข้าวไม่ติดเปลือก และเมล็ดข้าวติดเปลือก โดยในการ Training จะใช้ตัวอย่างของเมล็ดข้าวฮางอกทั้งหมด 1,000 เมล็ด ประกอบไปด้วยเมล็ดข้าวติดเปลือก 500 เมล็ด และเมล็ดข้าวไม่ติดเปลือก 500 เมล็ด ซึ่งข้อมูลที่นำมา Training ประกอบไปด้วยจำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 14 Feature พร้อมกำหนดค่า Parameter ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 จากนั้นทำการทดสอบความถูกต้อง โดยการสุ่มเลือกเมล็ดข้าวที่นำมา Training 500 เมล็ด จาก 1,000 เมล็ด ความถูกต้องมีค่าเท่ากับ 98% จากนั้นนำเมล็ดข้าว 500 เมล็ดที่ไม่ซ้ำกับเมล็ดข้าวที่นำมา Training แบ่งเป็นเมล็ดข้าวติดเปลือก 250 เมล็ด และเมล็ดข้าวไม่ติดเปลือก 250 เมล็ด เพื่อทำการ Test ระบบสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวติดเปลือก



ภาพประกอบ 3.10 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกติดเปลือก

9.5 ออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวลิบ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.11 โดยจำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 5 Feature ที่ผ่านกระบวนการทำ PCA จำนวนของนิวรอนในชั้น Hidden Layer จำนวน 6 นิวรอน ที่ทำให้ความถูกต้องในการจำแนกสูงที่สุดและจำนวนของนิวรอน Output ในชั้น Output Layer จำนวน 2 นิวรอน ประกอบด้วยเมล็ดข้าวไม่ลิบ และเมล็ดข้าวลิบ โดยในการ Training จะใช้ตัวอย่างของเมล็ดข้าวฮางอกทั้งหมด 1,000 เมล็ด ประกอบไปด้วยเมล็ดข้าวลิบ 500 เมล็ด และเมล็ดข้าวไม่ลิบ 500 เมล็ด ซึ่งข้อมูลที่นำมา Training ประกอบไปด้วยคุณลักษณะจำนวน นิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 5 Feature พร้อมกำหนดค่า Parameter ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 จากนั้นทำการทดสอบความถูกต้อง โดยการสุ่มเลือกเมล็ดข้าวที่นำมา Training 500 เมล็ด จาก 1,000 เมล็ด ความถูกต้องมีค่าเท่ากับ 98% จากนั้นนำเมล็ดข้าว 500 เมล็ดที่ไม่ซ้ำกับ เมล็ดข้าวที่นำมา Training แบ่งเป็นเมล็ดข้าวลิบ 250 เมล็ด และเมล็ดข้าวไม่ลิบ 250 เมล็ด เพื่อทำการ Test ระบบสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวลิบ

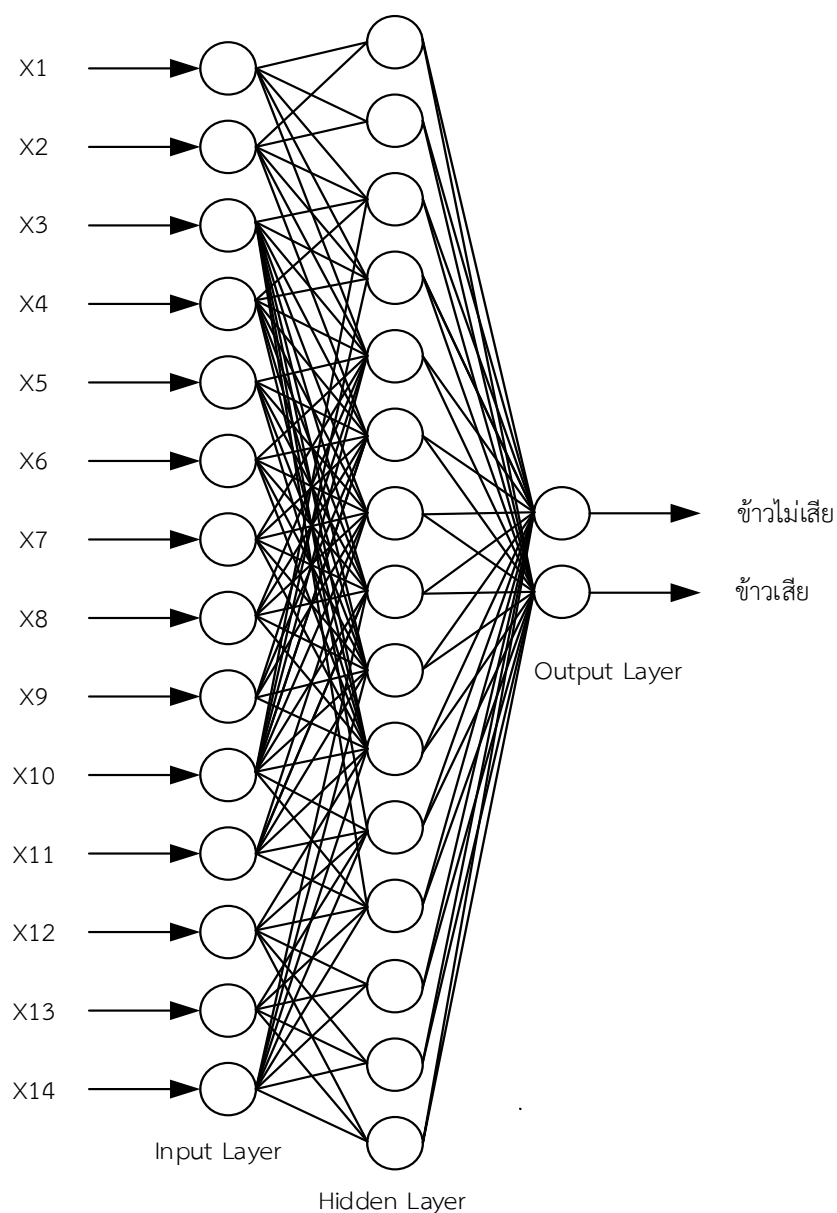


ภาพประกอบ 3.11 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกลิบ



9.6) ออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวเสีย ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.12 โดยจำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 14 Feature ที่ผ่านกระบวนการทำ PCA จำนวนของนิวรอนในชั้น Hidden Layer จำนวน 15 นิวรอน ที่ทำให้ความถูกต้องในการจำแนกสูงที่สุดและจำนวนของนิวรอน Output ในชั้น Output Layer จำนวน 2 นิวรอน ประกอบด้วยเมล็ดข้าวไม่เสีย และเมล็ดข้าวเสีย โดยในการ Training จะใช้ตัวอย่างของเมล็ดข้าวฮางอกทั้งหมด 1,000 เมล็ด ประกอบไปด้วยเมล็ดข้าวเสีย 500 เมล็ด และเมล็ดข้าวไม่เสีย 500 เมล็ด ซึ่งข้อมูลที่นำมา Training ประกอบไปด้วยจำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 14 Feature พร้อมกำหนดค่า Parameter ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 จากนั้นทำการทดสอบความถูกต้อง โดยการสุ่มเลือกเมล็ดข้าวที่นำมา Training 500 เมล็ด จาก 1,000 เมล็ด ความถูกต้องมีค่าเท่ากับ 98% จากนั้นนำเมล็ดข้าว 500 เมล็ดที่ไม่ซ้ำกับเมล็ดข้าวที่นำมา Training แบ่งเป็นเมล็ดข้าวเสีย 250 เมล็ด และเมล็ดข้าวไม่เสีย 250 เมล็ด เพื่อทำการ Test ระบบสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวเสีย





ภาพประกอบ 3.12 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกเสีย

ตาราง 3.2 การกำหนดค่า Parameter ของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกเมล็ดข้าวฮางอกเสียประเภทต่างๆ และการจำแนกเมล็ดข้าวเสีย

ตัวแปรในโครงข่ายประสาทเทียม	ค่าพารามิเตอร์
-----------------------------	----------------



ค่าอัตราเร็วในการเรียนรู้ (n)	0.1
จำนวนรอบสำหรับการเรียนรู้ (t)	1000
จำนวนข้อมูลอินพุต (Pi)	50 ค่า x 10 ภาพ
ค่าความเอนเอียง (b)	0.1
Transfer Function	
Input Layer	Tan-Sigmoid Function
Hidden Layer	Tan-Sigmoid Function
Output Layer	Linear Function
โครงสร้างข่ายประสาทเทียมในการจำแนกเมล็ดข้าวหัก	
จำนวน Input	1 ชั้น 5 นิวรอน
จำนวน Hidden Layer	1 ชั้น 6 นิวรอน
จำนวน Output	1 ชั้น 2 นิวรอน
โครงสร้างข่ายประสาทเทียมในการจำแนกเมล็ดข้าวมีจุดสีดำ	
จำนวน Input	1 ชั้น 9 นิวรอน
จำนวน Hidden Layer	1 ชั้น 10 นิวรอน
จำนวน Output	1 ชั้น 2 นิวรอน
โครงสร้างข่ายประสาทเทียมในการจำแนกเมล็ดข้าวบิดเบี้ยว	
จำนวน Input	1 ชั้น 5 นิวรอน
จำนวน Hidden Layer	1 ชั้น 6 นิวรอน
จำนวน Output	1 ชั้น 2 นิวรอน
โครงสร้างข่ายประสาทเทียมในการจำแนกเมล็ดข้าวติดเปลือก	
จำนวน Input	1 ชั้น 14 นิวรอน
จำนวน Hidden Layer	1 ชั้น 15 นิวรอน
จำนวน Output	1 ชั้น 2 นิวรอน
โครงสร้างข่ายประสาทเทียมในการจำแนกเมล็ดข้าวลึบ	
จำนวน Input	1 ชั้น 5 นิวรอน
จำนวน Hidden Layer	1 ชั้น 6 นิวรอน
จำนวน Output	1 ชั้น 2 นิวรอน

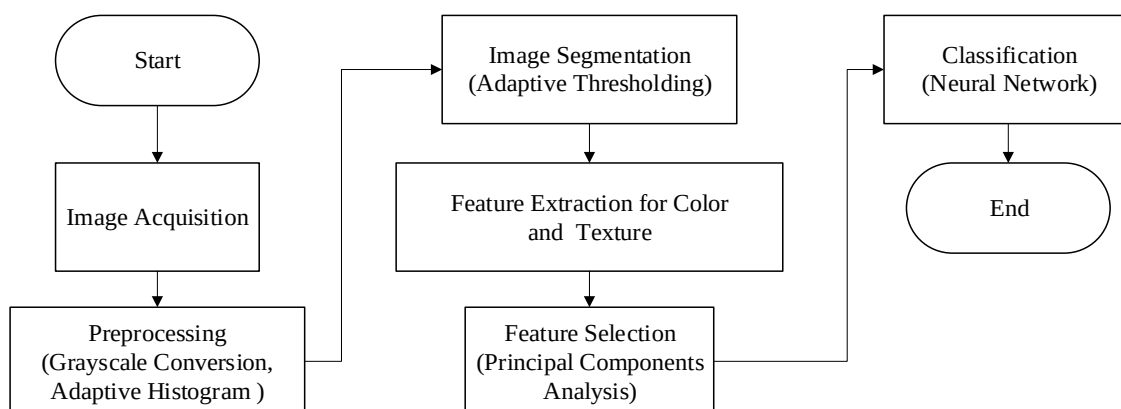
ตาราง 3.2 (ต่อ)

ตัวแปรในโครงข่ายประสาทเทียม	ค่าพารามิเตอร์
-----------------------------	----------------



ค่าอัตราเร็วในการเรียนรู้ (n)	0.1
จำนวนรอบสำหรับการเรียนรู้ (t)	1000
จำนวนข้อมูลอินพุต (Pi)	50 ค่า x 10 ภาพ
ค่าความเอนเอียง (b)	0.1
Transfer Function	
Input Layer	Tan-Sigmoid Function
Hidden Layer	Tan-Sigmoid Function
Output Layer	Linear Function
โครงสร้างข่ายประสาทเทียมในการจำแนกเมล็ดข้าวเสีย	
จำนวน Input	1 ชั้น 14 นิวรอน
จำนวน Hidden Layer	1 ชั้น 15 นิวรอน
จำนวน Output	1 ชั้น 2 นิวรอน

3.1.2.3) การออกแบบโปรแกรมตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกจะใช้หลักการของการประมวลผลภาพ เพื่อมาคัดแยกเมล็ดข้าวฮางอกเสีย ซึ่งมีรูปแบบของเมล็ดข้าวติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน ดังภาพประกอบ 3.13 ซึ่งจะมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 3.13 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน



1) ขั้นตอนการรับภาพ (Image Acquisition) รับภาพถ่ายเมล็ดข้าวกล้องงอกจากกล้องดิจิทัลผ่านจุดเชื่อมต่อพอร์ต USB (Universal Serial Bus) ในรูปแบบ bmp (Bitmap) เนื่องจากมีความละเอียด และเก็บรายละเอียดที่สมบูรณ์ แล้วทำการปรับขนาดให้มีขนาด 512 X 512 จุดภาพ

2) ขั้นตอนการปรับปรุงภาพ นำภาพที่ได้ปรับปรุงให้มีความเข้มแสงให้คงที่ โดยการทำ Opening กับพื้นหลัง (Background) ของภาพ แล้วนำผลที่ได้ไปลบกับค่าตั้งต้นจากนั้น นำภาพมาแปลงเป็น Grayscale แล้วทำการปรับค่า Histogram โดยใช้หลักการ Adaptive Histogram ซึ่งจะเป็นการลดการกระจายของสัญญาณรบกวนโดยการตัดฮิสโทแกรม (Clip Histogram) แล้วนำไปกระจายให้กับค่าความสว่างที่มีค่าความถี่สะสมไม่เกินค่า ซึ่งเป็นค่าที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดฮิสโทแกรม



กำหนดโดยผู้ใช้งานตัดฮิสโทแกรมก่อนนำไปคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนเพื่อปรับปรุงค่าความสว่างของพื้นที่นั้น และทุกๆพื้นที่ที่จะต้องปรับปรุงค่าความสว่างด้วยขั้นตอนวิธีดังกล่าว ในขั้นตอนวิธี CLAHE สามารถเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนได้หลายฟังก์ชัน สำหรับขั้นตอนวิธีที่นำเสนอได้เลือกใช้ฟังก์ชัน Exponential ในการปรับปรุงภาพข้าวฮางอก เพื่อให้คุณสมบัติทางกายภาพมีความคมชัดมากขึ้น

3) ขั้นตอนการตัดแบ่งภาพ (Segmentation) นำภาพที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงภาพมาทำ Segmented Image โดยวิธี Adaptive Thresholding Adaptive Threshold คือวิธีการหาค่า Threshold แบบปรับค่าตามข้อมูลท้องถิ่นซึ่งเหมาะสำหรับภาพที่มีความสว่างไม่สม่ำเสมอที่ต้องใช้ค่า Threshold หลายค่าเนื่องจากแต่ละบริเวณจะใช้ Threshold ไม่เท่ากัน โดยค่า Threshold ที่ได้จากวิธีการดังกล่าวเกิดจากการหาค่าเฉลี่ยของทุกพิกเซลภายใต้ Moving Window ที่มีขนาด 50×50 จากนั้นทำการหาค่า Threshold เช่นนี้ไปเรื่อย ๆ กับบริเวณที่ไม่ซ้ำกันจนกระทั่งได้มีการกำหนดค่า Threshold ครบในทุก ๆ พิกเซล ถ้าค่า Gray Level ของพิกเซลนั้นมีค่ามากกว่าค่า Threshold ของพิกเซลนั้นแล้วจะกำหนดให้ เป็นสีขาว แต่ถ้าค่า Gray Level ของพิกเซลนั้นน้อยกว่า Threshold ของพิกเซลนั้นแล้วจะกำหนดให้ เป็นสีดำทำเช่นนี้จนครบทุกพิกเซลจะได้ผลลัพธ์เป็นภาพขาวดำ เพื่อแปลงภาพให้เป็นภาพขาวดำ โดยเมล็ดข้าวฮางอกให้เป็นสีขาว และพื้นหลังให้เป็นสีดำ

4) ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพ (Morphology Processing) โดยวิธี Opening ให้ได้ภาพของเมล็ดข้าวฮางอกที่สมบูรณ์

5) ขั้นตอนนำภาพพิจารณา Color Feature Extraction นำภาพที่ได้จากขั้นตอนข้อที่ 4 ไปคูณกับภาพตั้งต้น แล้วนำพิจารณาค่าสีของเมล็ดข้าวฮางอกแต่ละเมล็ดในระบบสี RGB เฉลี่ย ระบบสี HSV เฉลี่ย และระบบสี $L^* a^* b^*$ เฉลี่ย เพื่อนำไปพิจารณาเมล็ดข้าวติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน

6) ขั้นตอนนำภาพพิจารณา Texture Feature Extraction โดยพิจารณาจาก Entropy, Sum Entropy และ Difference Entropy เพื่อพิจารณาเมล็ดข้าวติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน

7) ขั้นตอนการประมวลผลโดย Neural Network การประมวลผลภาพข้าวฮางอกติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซินด้วย Artificial Neural Network ซึ่งการออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนก และตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.14 โดยจำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer

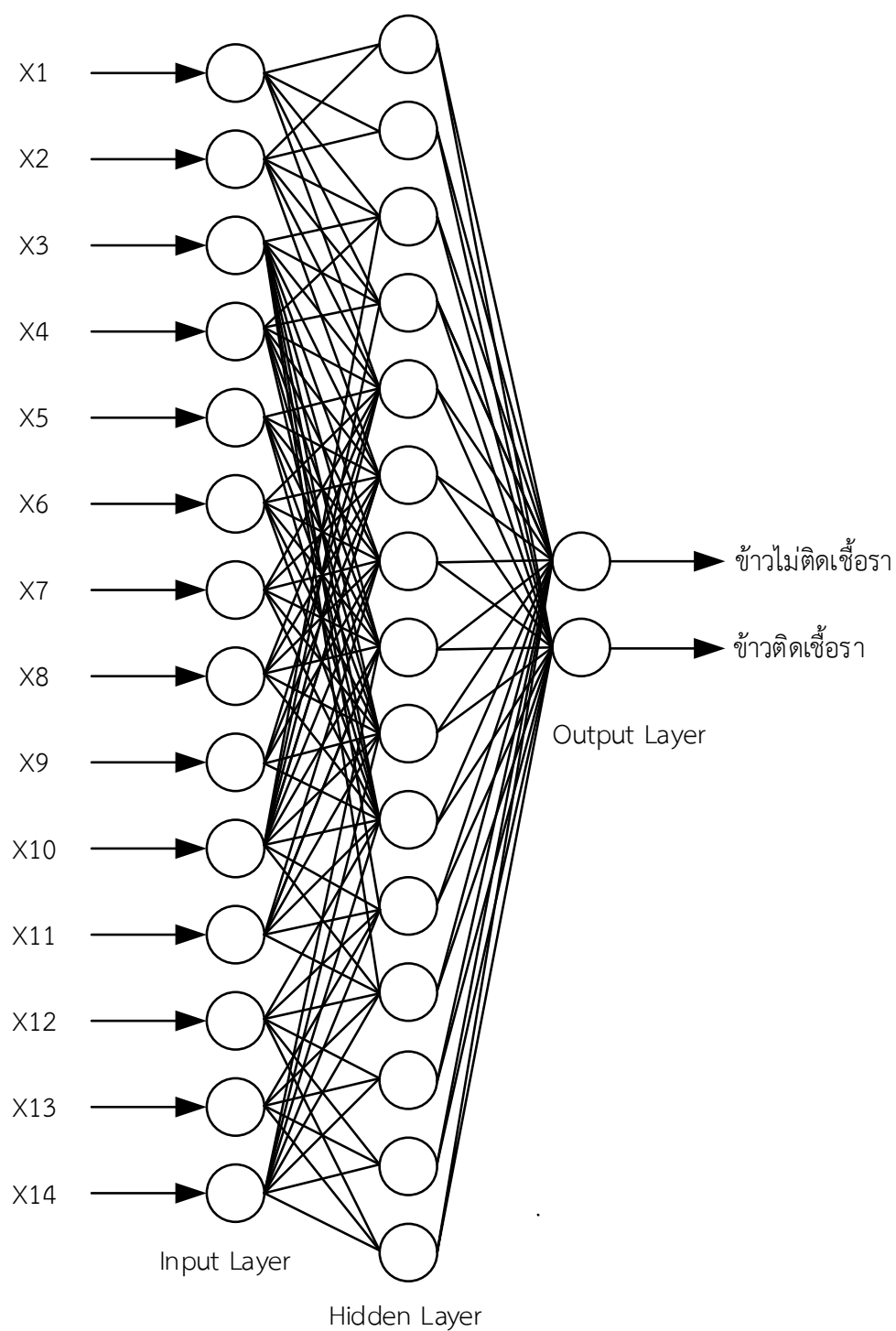


จำนวน 14 Feature ที่ผ่านกระบวนการทำ PCA จำนวนของนิวรอนในชั้น Hidden Layer จำนวน 15 นิวรอน ที่ทำให้ความถูกต้องในการจำแนกสูงที่สุดและจำนวนของนิวรอน Output ในชั้น Output Layer จำนวน 2 นิวรอน ประกอบด้วยเมล็ดข้าวไม่ติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน และ เมล็ดข้าวเสียดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน โดยในการ Training จะใช้ตัวอย่างของเมล็ดข้าวฮางอก ทั้งหมด 1,000 เมล็ด ประกอบไปด้วยเมล็ดข้าวติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน 500 เมล็ด และ เมล็ดข้าวไม่ติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน 500 เมล็ด ซึ่งข้อมูลที่นำมา Training ประกอบไปด้วย จำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 14 Feature พร้อมกำหนดค่า Parameter ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 จากนั้นทำการทดสอบความถูกต้อง โดยการสุ่มเลือกเมล็ดข้าวที่นำมา Training 500 เมล็ด จาก 1,000 เมล็ด ความถูกต้องมีค่าเท่ากับ 98% จากนั้นนำเมล็ดข้าว 500 เมล็ด ที่ไม่ซ้ำกับเมล็ดข้าวที่นำมา Training แบ่งเป็นเมล็ดข้าวเสีย 250 เมล็ด และเมล็ดข้าวไม่เสีย 250 เมล็ด เพื่อทำการ Test ระบบสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวเสีย

ตาราง 3.3 การกำหนดค่า Parameter ของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกเมล็ดข้าวฮางอก ติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซิน

ตัวแปรในโครงข่ายประสาทเทียม	ค่าพารามิเตอร์
ค่าอัตราเร็วในการเรียนรู้ (n)	0.1
จำนวนรอบสำหรับการเรียนรู้ (t)	1000
จำนวนข้อมูลอินพุต (Pi)	50 ค่า x 10 ภาพ
ค่าความเอนเอียง (b)	0.1
Transfer Function	
Input Layer	Tan-Sigmoid Function
Hidden Layer	Tan-Sigmoid Function
Output Layer	Linear Function
โครงสร้างข่ายประสาทเทียมในการจำแนกเมล็ดข้าวเสีย ติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน	
จำนวน Input	1 ชั้น 14 นิวรอน
จำนวน Hidden Layer	1 ชั้น 15 นิวรอน
จำนวน Output	1 ชั้น 2 นิวรอน





ภาพประกอบ 3.14 โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกเมล็ดข้าวเสียติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน



3.2 ทดสอบระบบตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วย โครงข่ายประสาทเทียม

จากการออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบโดยรวมจึงได้ทำการทดสอบดังต่อไปนี้

3.2.1 การกำหนดตัวแปรในการทดสอบ

ตัวแปรต้น คือ เมล็ดข้าวฮางอก โดยแบ่งออกเป็นเมล็ดข้าวดีทั้งหมด 100 เมล็ด จำนวน 10 ชุด เมล็ดข้าวเสียทั้งหมด 100 เมล็ด จำนวน 10 ชุด ที่ใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม และเมล็ดข้าวดีและเสียละกัน 100 เมล็ด จำนวน 10 ชุด ใช้ในการทดสอบของโครงข่ายประสาทเทียม

ตัวแปรตาม คือ เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวฮางอก ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมและการมองด้วยสายตาของผู้เชี่ยวชาญ ณ ตำแหน่งเดียวกัน

ตัวแปรควบคุม คือ ระบบถ่ายภาพเมล็ดข้าวฮางอก

3.2.2 การวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของระบบตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอก จากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

ในการวัดประสิทธิภาพความถูกต้อง (Accuracy) ของการตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกจากลักษณะทางรูปร่าง สีและพื้นผิวด้วยโครงข่ายประสาทเทียม เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของระบบ โดยการคำนวณค่าความถูกต้อง/ความแม่นยำตามสมการข้างล่าง [34]

$$\%Accuracy = 100 - \%Error \quad (3.1)$$

โดยที่ $\%Error = \text{relative error} \times 100$

และ
$$\text{relative error} = \left| \frac{x_{\text{mea}} - x_t}{x_t} \right|$$

ซึ่ง x_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด (Measure Value)

x_t คือ ค่าจริง (True Value)



บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

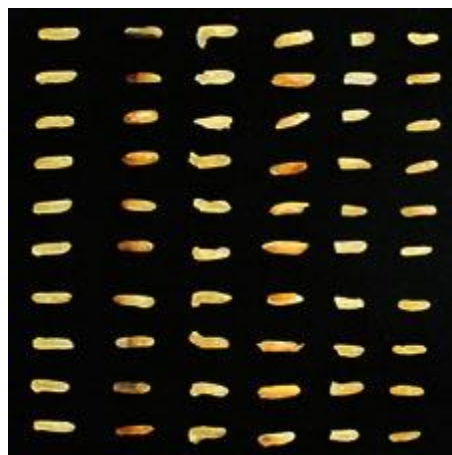
ผลการศึกษาและการดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอก โดยการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการคัดแยกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอกที่ไม่มีคุณภาพเพื่อเพิ่มคุณภาพข้าวฮางอกตามมาตรฐานสินค้าเกษตรซึ่งเมล็ดข้าวฮางอกที่ไม่ได้คุณภาพอันได้แก่ เมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวมีจุดสีดำที่เกิดจากความผิดปกติของเนื้อข้าว และเมล็ดติดเชื้อราพร้อมสารอะฟลาทอกซินซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวฮางอกซึ่งมีผลการทดลองเบื้องต้น ดังนี้

4.1 ผลการออกแบบการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอก

4.1.1 ผลการทดสอบระบบโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอกจะใช้หลักการของการประมวลผลภาพดิจิทัล เพื่อนำมาจำแนกเมล็ดข้าวฮางอกเสีย ซึ่งมีรูปแบบของเมล็ดเสียจะประกอบไปด้วย เมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวมีจุดสีดำ ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอก สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

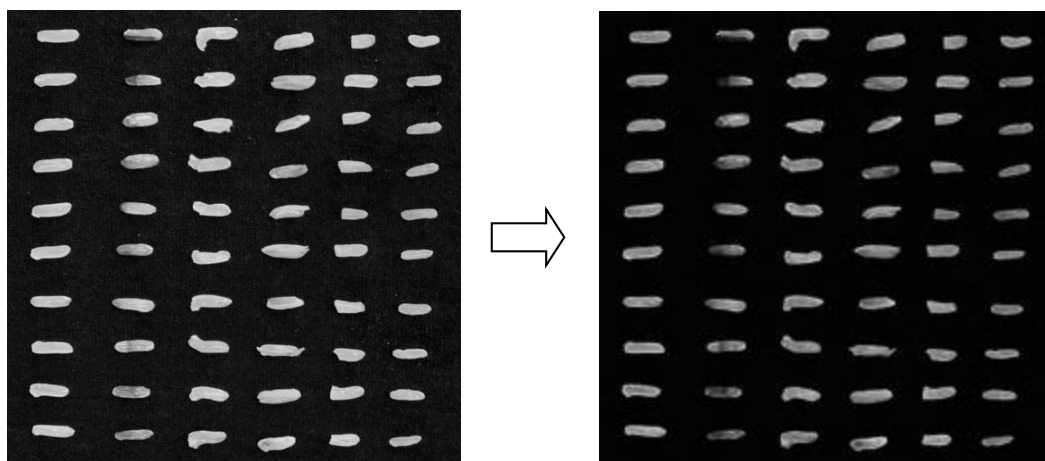
4.1.1.1) ผลการออกแบบโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกจะใช้หลักการของการประมวลผลภาพ เพื่อนำมาคัดแยกเมล็ดข้าวฮางอกเสีย

1) ผลของภาพถ่ายเมล็ดข้าวฮางอกจากกล้องดิจิทัลแล้วทำการปรับขนาดให้มีขนาด 512 X 512 จุดภาพ ดังภาพประกอบ 4.1



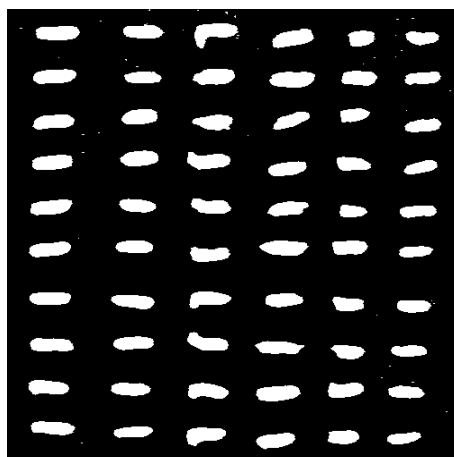
ภาพประกอบ 4.1 ภาพข้าวฮางอกขนาด 512 X 512 จุดภาพ

2) ผลการปรับปรุงภาพด้วยการทำ Opening กับพื้นหลังของภาพ แล้วนำผลที่ได้ไปลบกับค่าตั้งต้นจากนั้นนำภาพมาแปลงเป็น Grayscale แล้วทำการปรับค่า Histogram โดยใช้หลักการ Adaptive Histogram ซึ่งจะได้คุณลักษณะของเมล็ดข้าวที่มีความละเอียด และชัดเจนขึ้น ดังภาพประกอบ 4.2



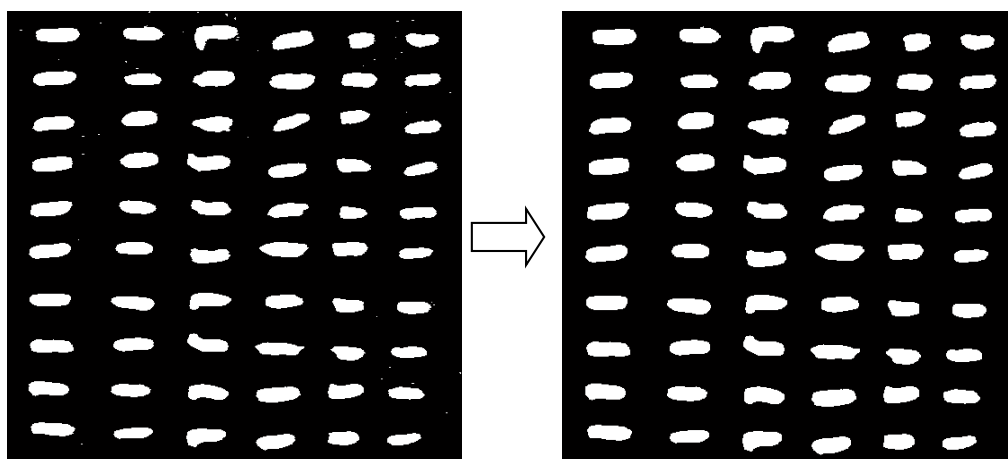
ภาพประกอบ 4.2 ผลของภาพที่ผ่านกระบวนการ Adaptive Histogram แบบ CLAHE

3) ผลการตัดแบ่งภาพที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงภาพมาทำ Segmented Image โดยวิธี Adaptive Thresholding เพื่อแปลงภาพให้เป็นภาพขาวดำ โดยเมล็ดข้าวฮางอกให้เป็นสีขาว และพื้นหลังให้เป็นสีดำ ซึ่งสามารถแยกภาพส่วนที่ต้องการออกจากส่วนอื่น ๆ ได้อย่างสมบูรณ์ ดังภาพประกอบ 4.3



ภาพประกอบ 4.3 ผลของภาพที่ผ่านการตัดแบ่งส่วนภาพแบบ Adaptive Thresholding

4) ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างของภาพ โดยการนำภาพผ่านกระบวนการ Opening เพื่อกำจัดจุดขาวเล็ก ๆ บนภาพที่ไม่ใช่เมล็ดข้าวให้หมดไปในภาพข้าวฮางอก ดังภาพประกอบ 4.4 ซึ่งจะพบว่าภาพที่ได้จะมีลักษณะที่สมบูรณ์ของเมล็ดข้าวแต่ละเมล็ด



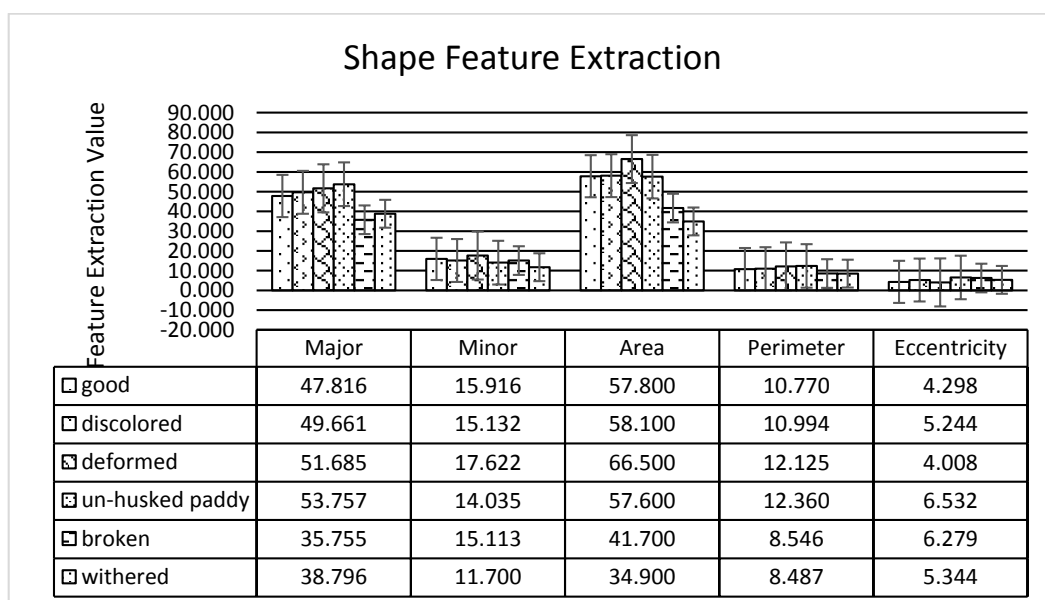
ภาพประกอบ 4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพข้าวฮางอก

5) ผลการพิจารณา Shape Feature ซึ่งได้จากการนำภาพที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ไปคูณกับภาพดั้งเดิม แล้วนำพิจารณารูปร่างของเมล็ดข้าวฮางอกแต่ละเมล็ด โดยพิจารณาจาก Area Major Axis Length, Minor Axis Length, Perimeter และ Eccentricity ดังภาพประกอบ 4.5



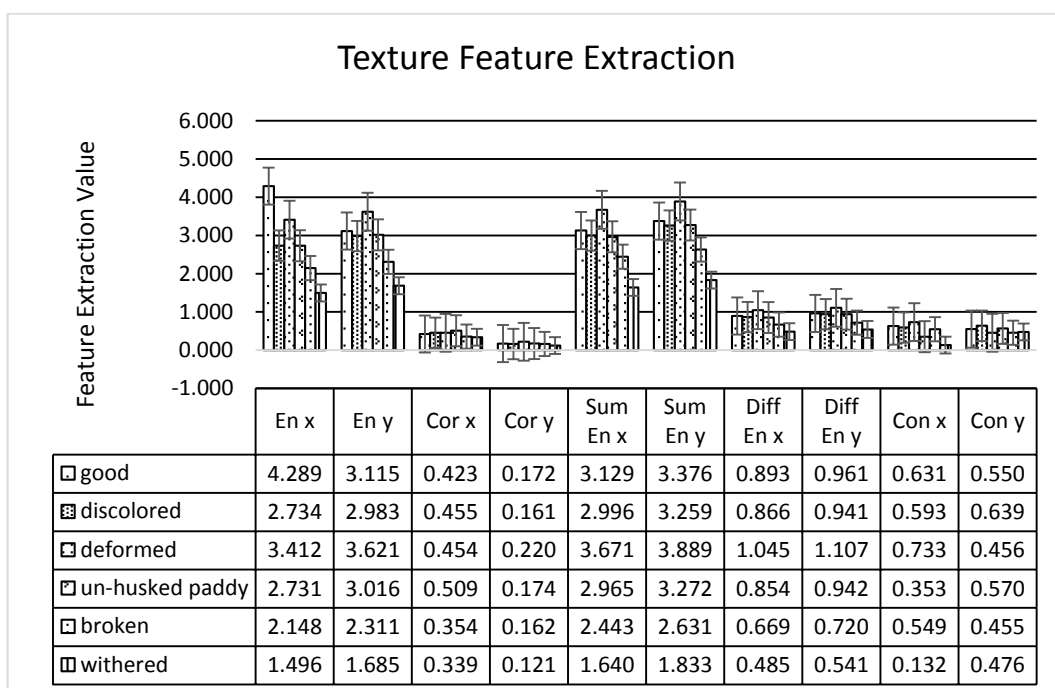
พบว่า คุณสมบัติของ Area Major Axis Length, Minor Axis Length, Perimeter และ Eccentricity ของเมล็ดข้าวฮางงอกเสีย จะมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวฮางงอกไม่เสียที่ทำการดึงออกมาจากเมล็ดข้าวฮางงอกจะสามารถนำมาวิเคราะห์ในส่วนของประเทศเมล็ดข้าวเสียได้

6) ผลการพิจารณา Texture Feature ซึ่งได้จากการนำภาพที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ไปคูณกับภาพตั้งต้น แล้วนำพิจารณาพื้นผิวของเมล็ดข้าวฮางงอกแต่ละเมล็ด โดยพิจารณาจาก Correlation, Entropy, Sum of Entropy, Difference of Entropy และ Contrast ดังภาพประกอบ 4.6 พบว่า คุณสมบัติของ Correlation, Entropy, Sum of Entropy, Difference of Entropy และ Contrast ของเมล็ดข้าวฮางงอกเสียจะมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวฮางงอกไม่เสียที่ทำการดึงออกมาจากเมล็ดข้าวฮางงอกจะสามารถนำมาวิเคราะห์ในส่วนของประเทศเมล็ดข้าวฮางงอกเสียได้



ภาพประกอบ 4.5 ตัวอย่างผลของ Shape Feature Extraction ของเมล็ดข้าวเสีย และเมล็ดข้าวไม่เสีย

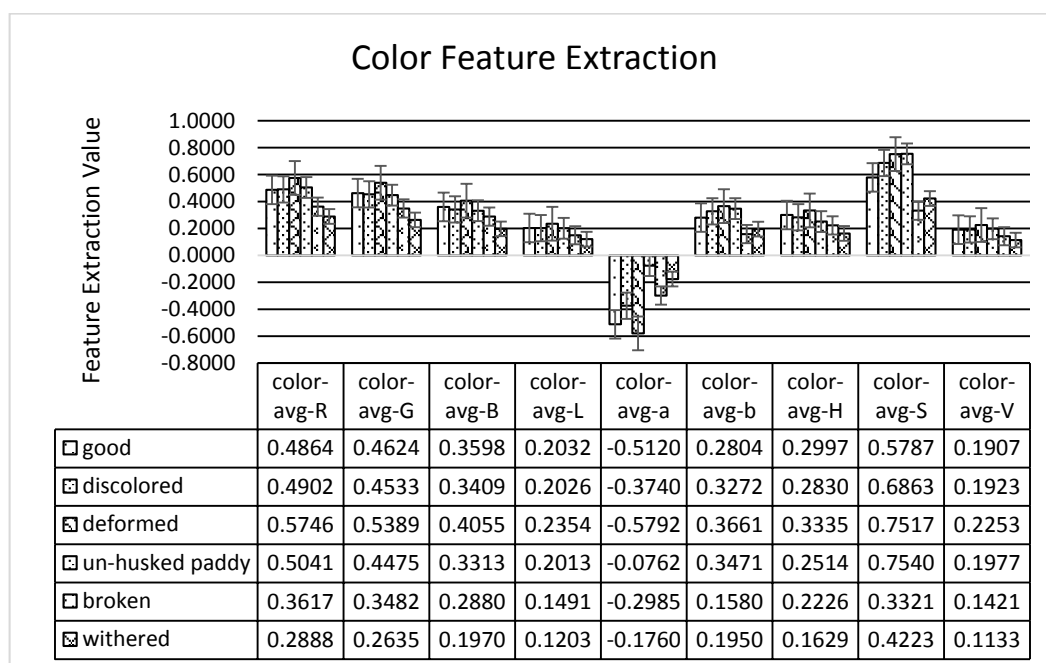




ภาพประกอบ 4.6 ตัวอย่างผลของ Texture Feature Extraction ของเมล็ดข้าวเสีย และเมล็ดข้าวไม่เสีย

7) ผลการพิจารณา Color Feature ซึ่งได้จากการนำภาพที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ไปคู่กับภาพตั้งต้น แล้วนำพิจารณาค่าสีของเมล็ดข้าวฮางอกแต่ละเมล็ดในระบบสี RGB เฉลี่ย ระบบสี HSV เฉลี่ย และระบบสี $L^* a^* b^*$ เฉลี่ย ซึ่งจะได้คุณลักษณะทางสีของเมล็ดข้าวแต่ละเมล็ด ดังภาพประกอบ 4.7 พบว่าคุณสมบัติของสี RGB เฉลี่ย สี HSV เฉลี่ย และสี $L^* a^* b^*$ เฉลี่ย ของเมล็ดข้าวฮางอกเสียจะมีค่าสีที่มีความแตกต่างกับเมล็ดข้าวฮางอกไม่เสียที่ทำการดึงออกมาจาก เมล็ดข้าวฮางอกจะสามารถนำมาวิเคราะห์ในส่วนของประเทศเมล็ดข้าวฮางอกเสียได้



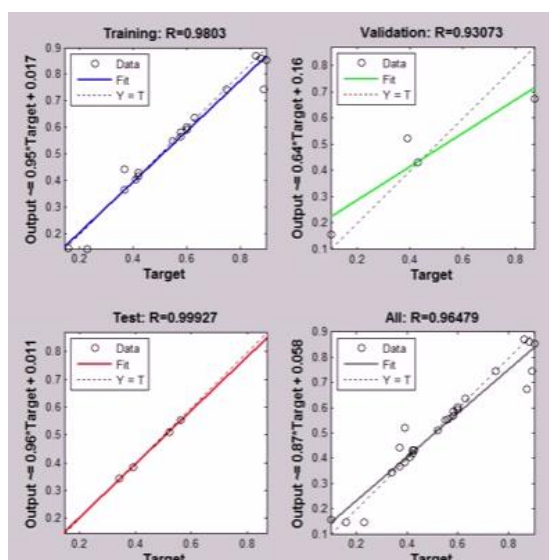
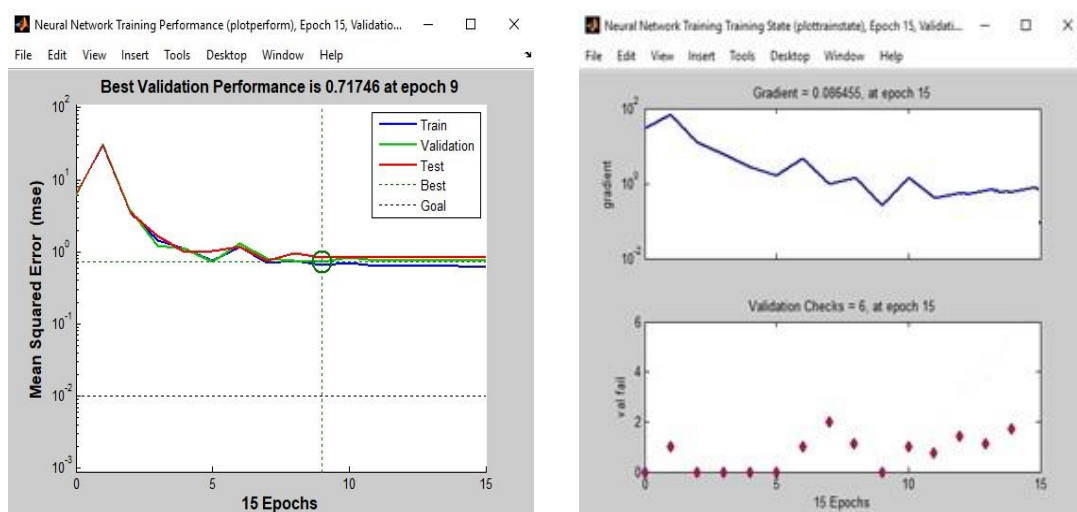


ภาพประกอบ 4.7 ผลค่าของ Color Feature Extraction ของเมล็ดข้าวเสีย และเมล็ดข้าวไม่เสีย

8) ผลการออกแบบการประมวลผลภาพโดย ANN การทำงานส่วนของโครงข่ายประสาทเทียมในระบบจะทำหน้าที่แยกประเภทข้าวฮางอกเสีย

8.1) ผลการออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าว ฮางอกประเภทเมล็ดข้าวหักในการ Training ของระบบ เพื่อดูประสิทธิภาพในการจำแนกก่อนนำไป Test ดังภาพประกอบ 4.8





ภาพประกอบ 4.8 ผลประสิทธิภาพในการ Training ของระบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ
จำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวเสีย

8.2) ผลความถูกต้องของการจำแนกเมล็ดข้าวฮางอกเสียมีค่าเท่ากับ 89 เปอร์เซ็นต์ พบว่าผลความถูกต้องมีค่าค่อนข้างต่ำอาจเป็นผลมาจาก Feature ที่ดึงออกมาอาจมีข้อมูลมากเกินไปซึ่ง Feature บางตัวอาจไม่มีผลในการจำแนกเนื่องจากมีข้อมูลที่ใกล้เคียงกันจึงทำให้การวิเคราะห์เมล็ดข้าวฮางอกเสียของโปรแกรมเกิดความผิดพลาดได้ในบางกรณีเพราะรูปแบบของเมล็ดข้าวเสียมีอยู่หลายรูปแบบจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้หลักการ Principal Components Analysis เข้ามาช่วยในการจัดการกับข้อมูลที่ได้เพื่อลดขนาดของข้อมูลโดยสูญเสียลักษณะสำคัญของข้อมูลน้อยที่สุดและสูญเสียความถูกต้องของผลลัพธ์น้อยที่สุดที่จะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป





ภาพประกอบ 4.9 ตัวอย่างผลการการจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกเสีย

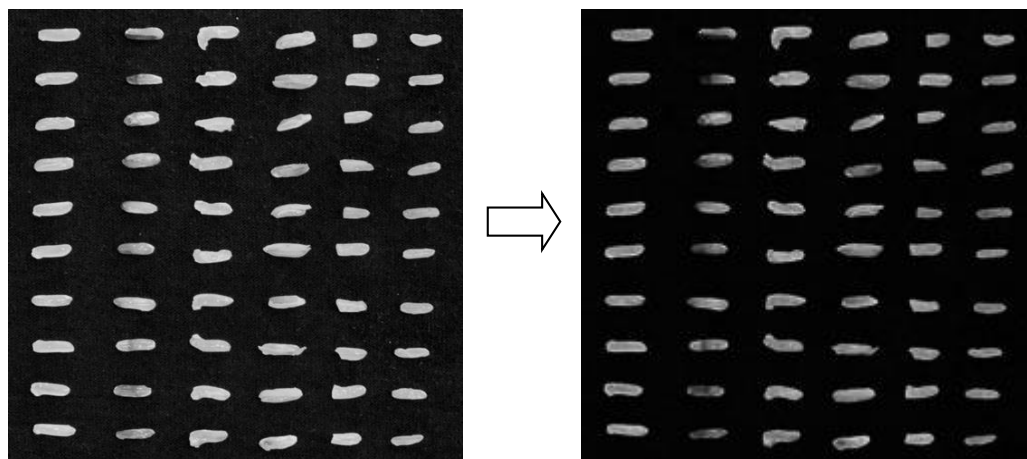
4.1.1.2) ผลการออกแบบโปรแกรมตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวฮางอกจะใช้หลักการของการประมวลผลภาพ และใช้หลักการทำ Principal Components Analysis

1) ผลของภาพถ่ายเมล็ดข้าวฮางอกจากกล้องดิจิทัลแล้วทำการปรับขนาดให้มีขนาด 512 X 512 จุดภาพ ดังภาพประกอบ 4.10



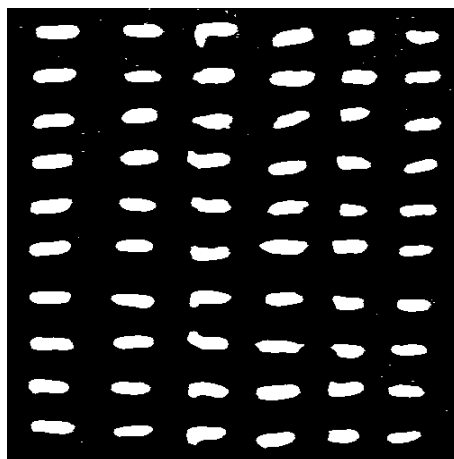
ภาพประกอบ 4.10 ภาพข้าวฮางอกขนาด 512 X 512 จุดภาพ

2) ผลการปรับปรุงภาพด้วยการทำ Opening กับพื้นหลังของภาพ แล้วนำผลที่ได้ไปลบกับค่าตั้งต้นจากนั้นนำภาพมาแปลงเป็น Grayscale แล้วทำการปรับค่า Histogram โดยใช้หลักการ Adaptive Histogram ซึ่งจะได้คุณลักษณะของเมล็ดข้าวที่มีความละเอียด และชัดเจนขึ้น ดังภาพประกอบ 4.11



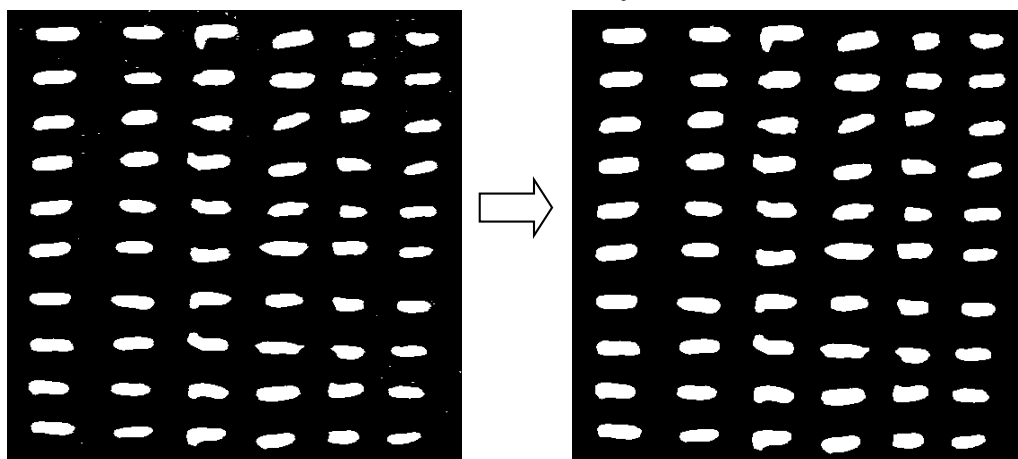
ภาพประกอบ 4.11 ผลของภาพที่ผ่านกระบวนการ Adaptive Histogram แบบ CLAHE

4.1.1.3) ผลการตัดแบ่งภาพที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงภาพมาทำ Segmented Image โดยวิธี Adaptive Thresholding เพื่อแปลงภาพให้เป็นภาพขาวดำ โดยเมล็ดข้าวฮางอกให้เป็นสีขาว และพื้นหลังให้เป็นสีดำ ซึ่งสามารถแยกภาพส่วนที่ต้องการออกจากส่วนอื่น ๆ ได้อย่างสมบูรณ์ ดังภาพประกอบ 4.12



ภาพประกอบ 4.12 ผลของภาพที่ผ่านการตัดแบ่งส่วนภาพแบบ Adaptive Thresholding

4.1.1.4) ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างของภาพ โดยการนำภาพผ่านกระบวนการ Opening เพื่อกำจัดจุดขาวเล็ก ๆ บนภาพที่ไม่ใช่เมล็ดข้าวให้หมดไปในภาพข้าวฮางอก ดังภาพประกอบ 4.13 ซึ่งจะพบว่าภาพที่ได้จะมีลักษณะที่สมบูรณ์ของเมล็ดข้าวแต่ละเมล็ด



ภาพประกอบ 4.13 ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพข้าวฮางอก

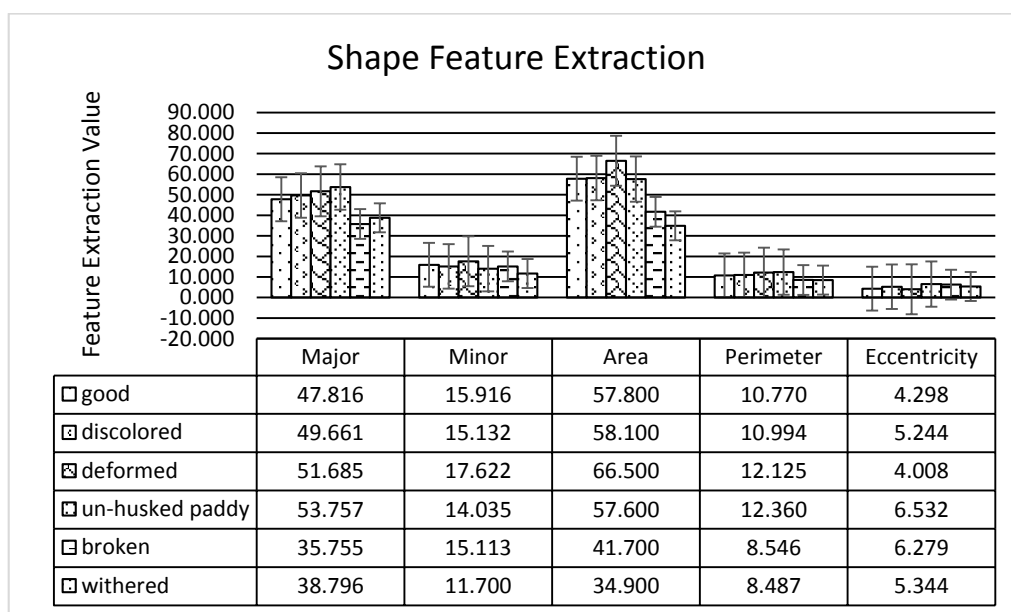


4.1.1.5) ผลการพิจารณา Shape Feature ซึ่งได้จากการนำภาพที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ไปคูณกับภาพตั้งต้น แล้วนำพิจารณารูปร่างของเมล็ดข้าวฮางงอกแต่ละเมล็ด โดยพิจารณาจาก Area Major Axis Length, Minor Axis Length, Perimeter และ Eccentricity ดังภาพประกอบ 4.14 พบว่า คุณสมบัติของ Area Major Axis Length, Minor Axis Length, Perimeter และ Eccentricity ถ้าเมล็ดข้าวฮางงอกหัก ลีบ และบิดเบี้ยว จะมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวฮางงอกดี ที่ทำการดึงออกมาจากเมล็ดข้าวฮางงอกจะสามารถนำมาวิเคราะห์ในส่วนของประเภทเมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวลีบ และเมล็ดข้าวบิดเบี้ยวได้

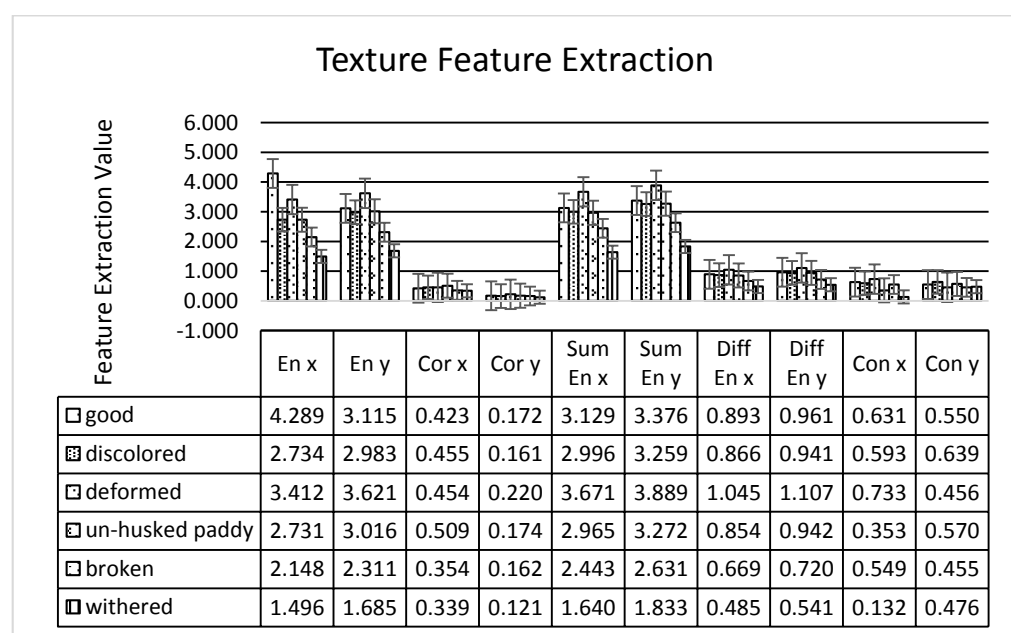
4.1.1.6) ผลการพิจารณา Texture Feature ซึ่งได้จากการนำภาพที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ไปคูณกับภาพตั้งต้น แล้วนำพิจารณาพื้นผิวของเมล็ดข้าวฮางงอกแต่ละเมล็ด โดยพิจารณาจาก Correlation, Entropy, Sum of Entropy, Difference of Entropy และ Contrast ดังภาพประกอบ 4.15 พบว่า คุณสมบัติของ Correlation, Entropy, Sum of Entropy, Difference of Entropy และ Contrast ถ้าเมล็ดข้าวฮางงอกมีจุดสีดำ และเมล็ดข้าวฮางงอกติดเปลือก จะมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวฮางงอกดี ที่ทำการดึงออกมาจากเมล็ดข้าวฮางงอกจะสามารถนำมาวิเคราะห์ในส่วน of ประเภทเมล็ดข้าวฮางงอกมีจุดสีดำ และเมล็ดข้าวฮางงอกติดเปลือกได้

4.1.1.7) ผลการพิจารณา Color Feature ซึ่งได้จากการนำภาพที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ไปคูณกับภาพตั้งต้น แล้วนำพิจารณาค่าสีของเมล็ดข้าวฮางงอกแต่ละเมล็ดในระบบสี RGB เฉลี่ย ระบบสี HSV เฉลี่ย และระบบสี $L^* a^* b^*$ เฉลี่ย ซึ่งจะได้คุณลักษณะทางสีของเมล็ดข้าวแต่ละเมล็ด ดังภาพประกอบ 4.16 พบว่า คุณสมบัติของสี RGB เฉลี่ย สี HSV เฉลี่ย และสี $L^* a^* b^*$ เฉลี่ย ถ้าเมล็ดข้าวฮางงอกมีจุดสีดำ และเมล็ดข้าวฮางงอกติดเปลือก จะมีค่าสีที่มีความแตกต่างกับเมล็ดข้าวฮางงอกดี ที่ทำการดึงออกมาจากเมล็ดข้าวฮางงอกจะสามารถนำมาวิเคราะห์ในส่วน of ประเภทเมล็ดข้าวฮางงอกมีจุดสีดำ และเมล็ดข้าวฮางงอกติดเปลือกได้



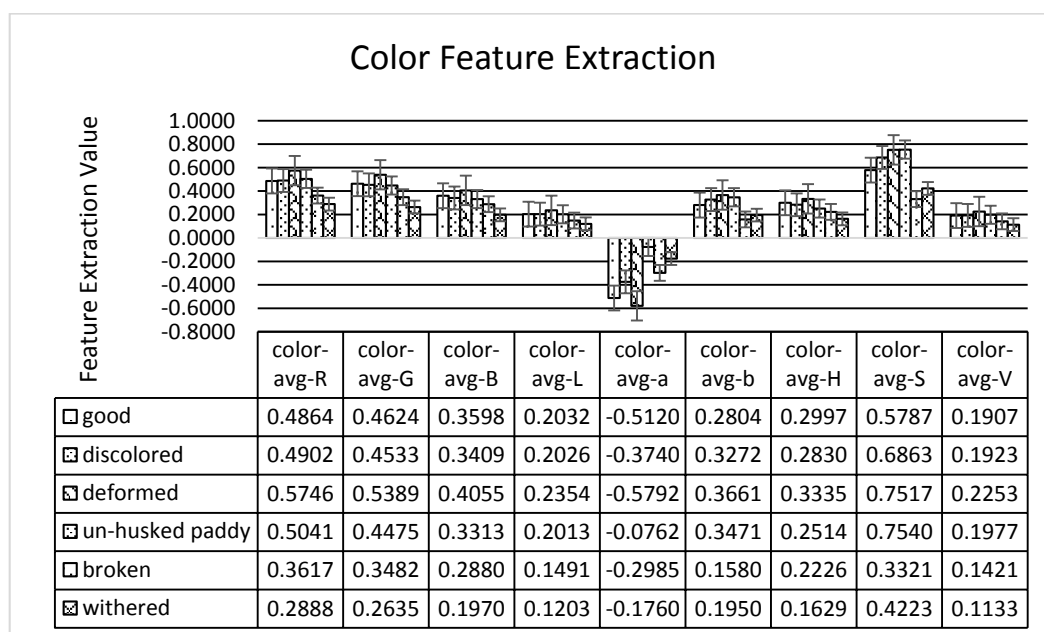


ภาพประกอบ 4.14 ตัวอย่างผลของ Shape Feature Extraction ของเมล็ดข้าวดี เมล็ดข้าวหัก
เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวมีจุดสีดำ



ภาพประกอบ 4.15 ตัวอย่างผลของ Texture Feature Extraction ของเมล็ดข้าวดี เมล็ดข้าว
หัก เมล็ด ข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวมีจุดสีดำ





ภาพประกอบ 4.16 ผลค่าของ Color Feature Extraction ของเมล็ดข้าวดี เมล็ดข้าวหัก
เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวมีจุดสีดำ

4.1.1.8) ผลการทำ PCA เพื่อให้ข้อมูลตั้งต้น Feature ทั้งหมดให้มีขนาดลดลง โดยสูญเสียลักษณะสำคัญของข้อมูลน้อยที่สุดและสูญเสียความถูกต้องของผลลัพธ์น้อยที่สุด โดยทำการหาค่าเฉลี่ย (mean) และค่าความแปรปรวนร่วมเกี่ยว (Covariance) ของข้อมูล จากนั้นนำค่าที่ได้ไปหาค่า Eigenvector และ Eigenvalue ของข้อมูล หลังจากนั้นเรียงลำดับค่าจากมากไปน้อย แล้วนำค่าที่ได้ไปลดจำนวนมิติของข้อมูล (Dimension Reduction) โดยเลือกข้อมูลที่มีค่าไม่เท่ากับ 0 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ป้อนให้ระบบของ ANN ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ผลจำนวน Feature Extraction ก่อนและหลังผ่าน PCA

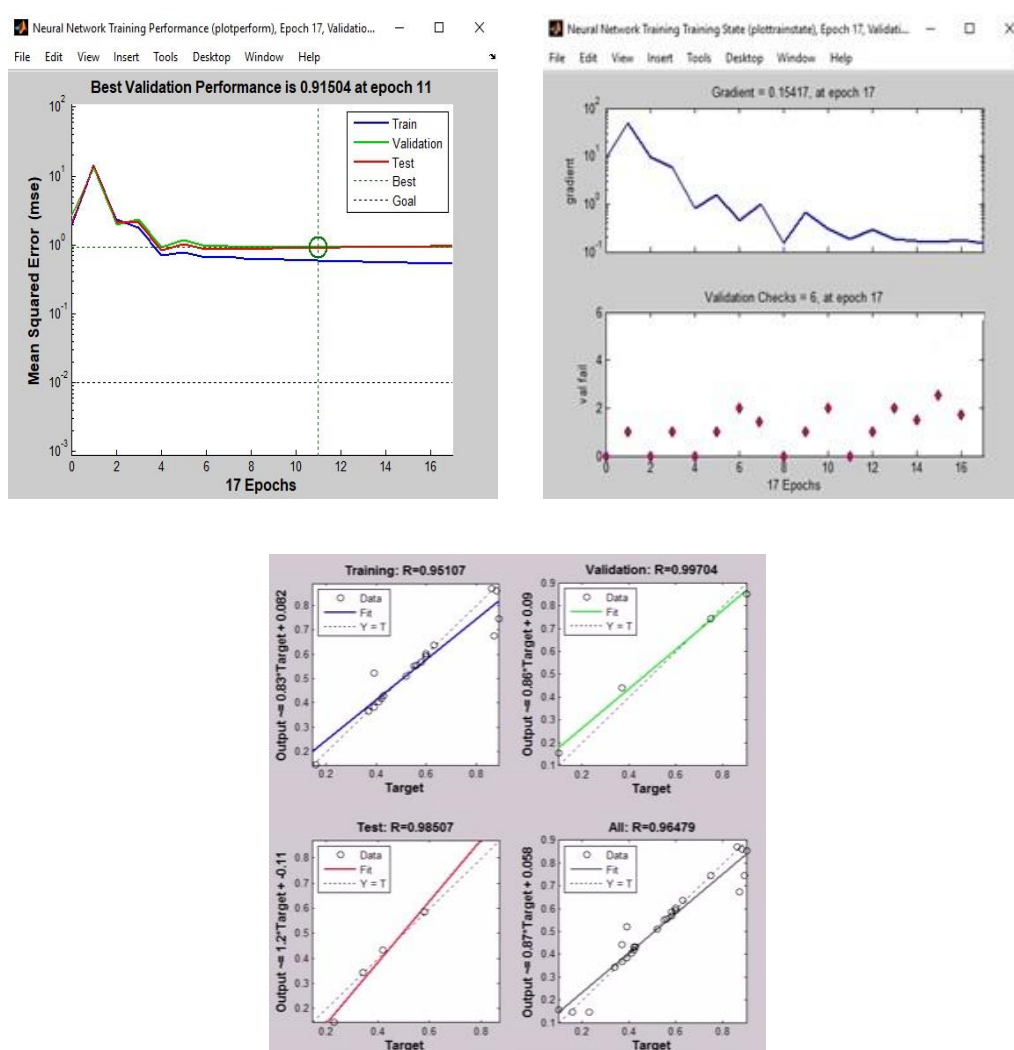
ประเภทของ ข้าวฮางอกเสีย	จำนวน features ก่อนเข้า กระบวนการ PCA	จำนวน features หลัง เข้ากระบวนการ PCA
ข้าวหัก	24	5
ข้าวมีจุดสีดำ	24	9
ข้าวติดเปลือก	24	14
ข้าวบิดเบี้ยว	24	5
ข้าวลีบ	24	5



ข้าวเสีย	24	14
----------	----	----

4.1.1.9) ผลการออกแบบการประมวลผลภาพโดย ANN การทำงานส่วนของโครงข่ายประสาทเทียมในระบบจะทำหน้าที่แยกประเภทข้าวฮางอกเสียแต่ละประเภท

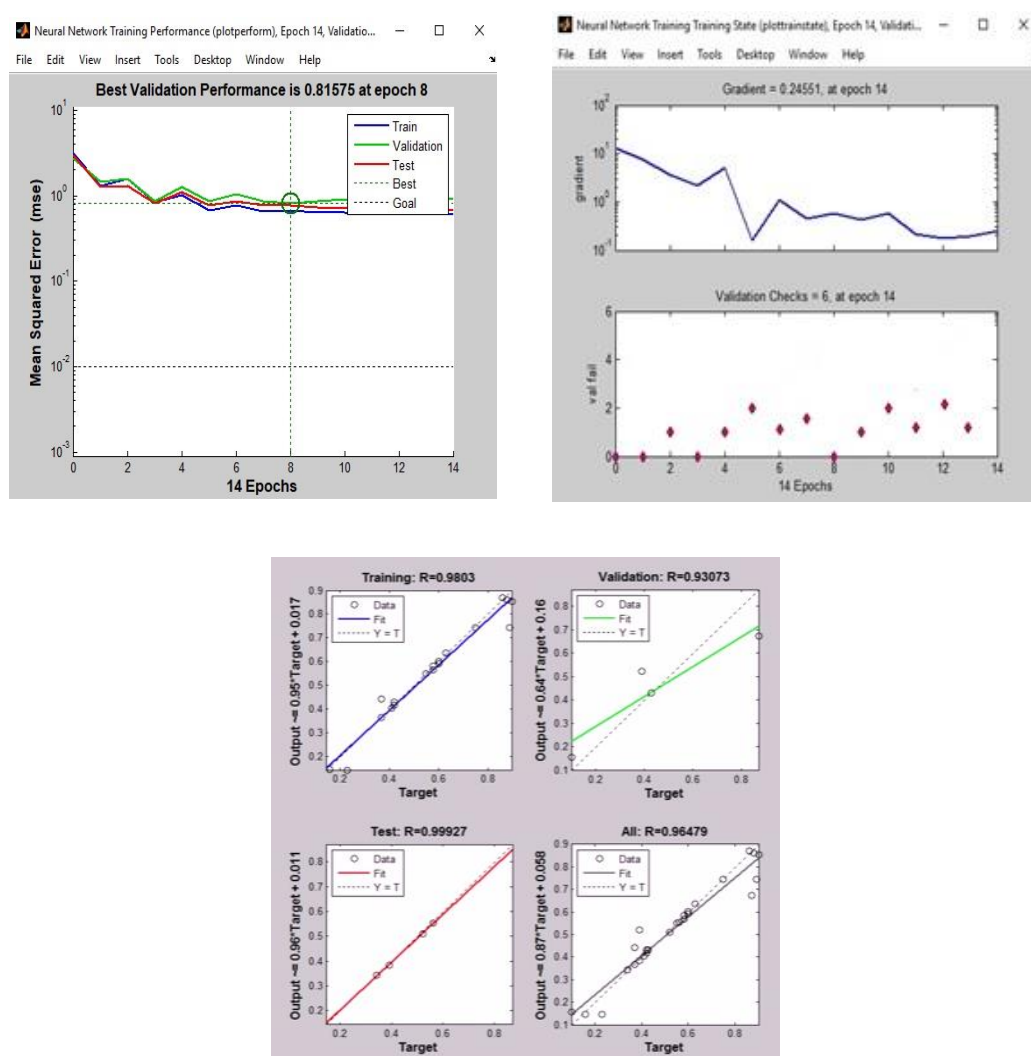
1) ผลการออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวหักในการ Training ของระบบ เพื่อดูประสิทธิภาพในการจำแนกก่อนนำไป Test ดังภาพประกอบ 4.17



ภาพประกอบ 4.17 ผลประสิทธิภาพในการ Training ของระบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวหัก



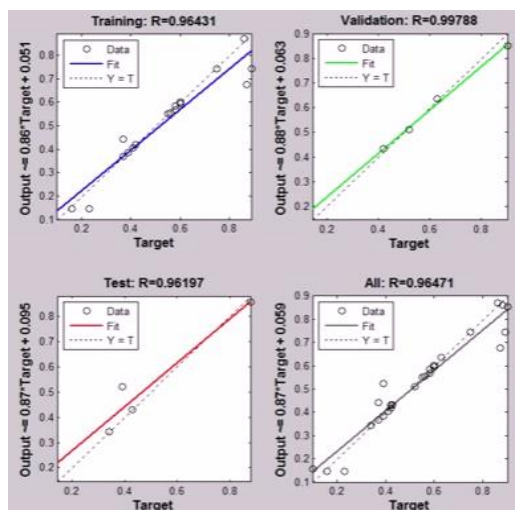
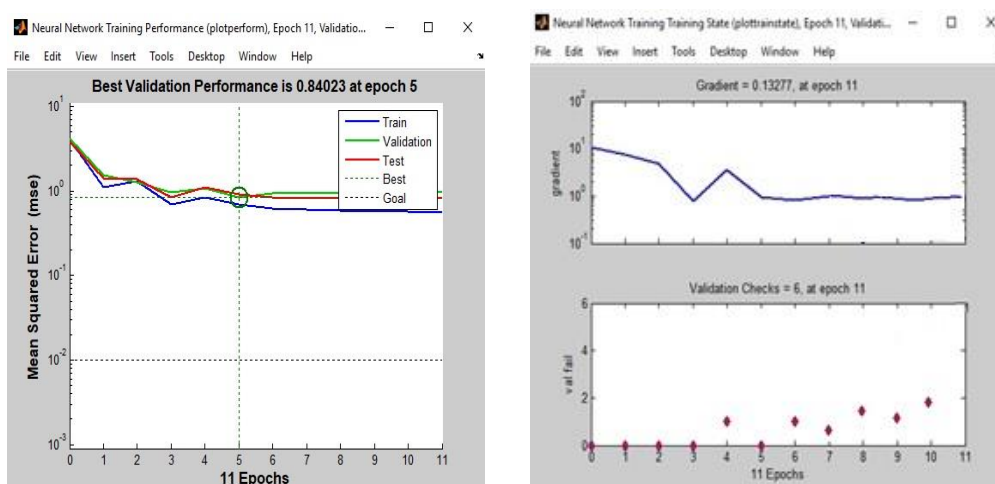
2) ผลการออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวมีจุดสีดำในการ Training ของระบบ เพื่อดูประสิทธิภาพในการจำแนกก่อนนำไป Test ดังภาพประกอบ 4.18



ภาพประกอบ 4.18 ผลประสิทธิภาพในการ Training ของระบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวมีจุดสีดำ



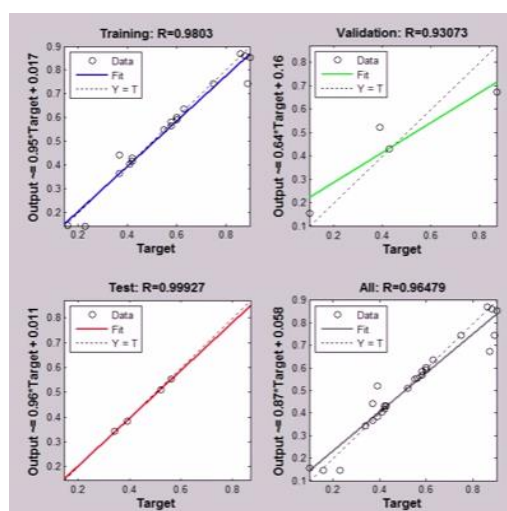
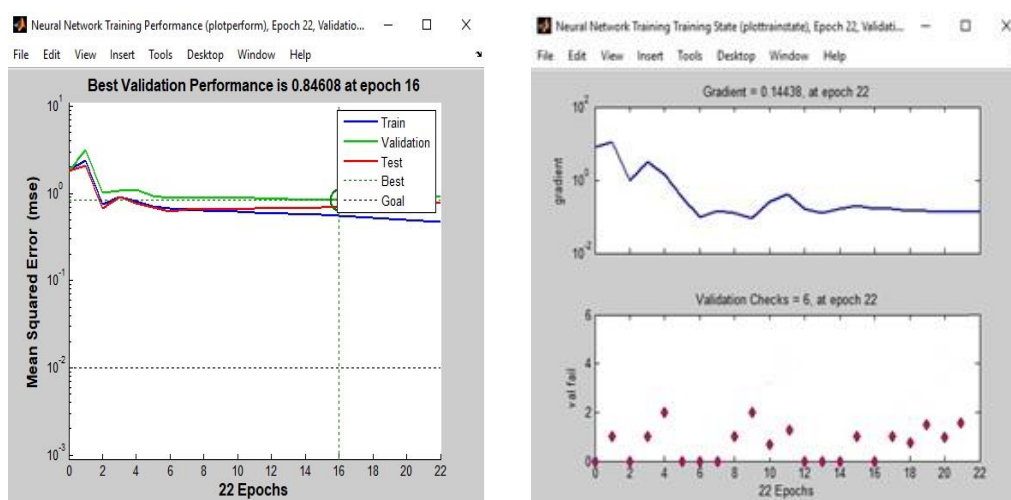
3) ผลการออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวบดเปียวในการ Training ของระบบ เพื่อดูประสิทธิภาพในการจำแนกก่อนนำไป Test ดังภาพประกอบ 4.19



ภาพประกอบ 4.19 ผลประสิทธิภาพในการ Training ของระบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวบดเปียว



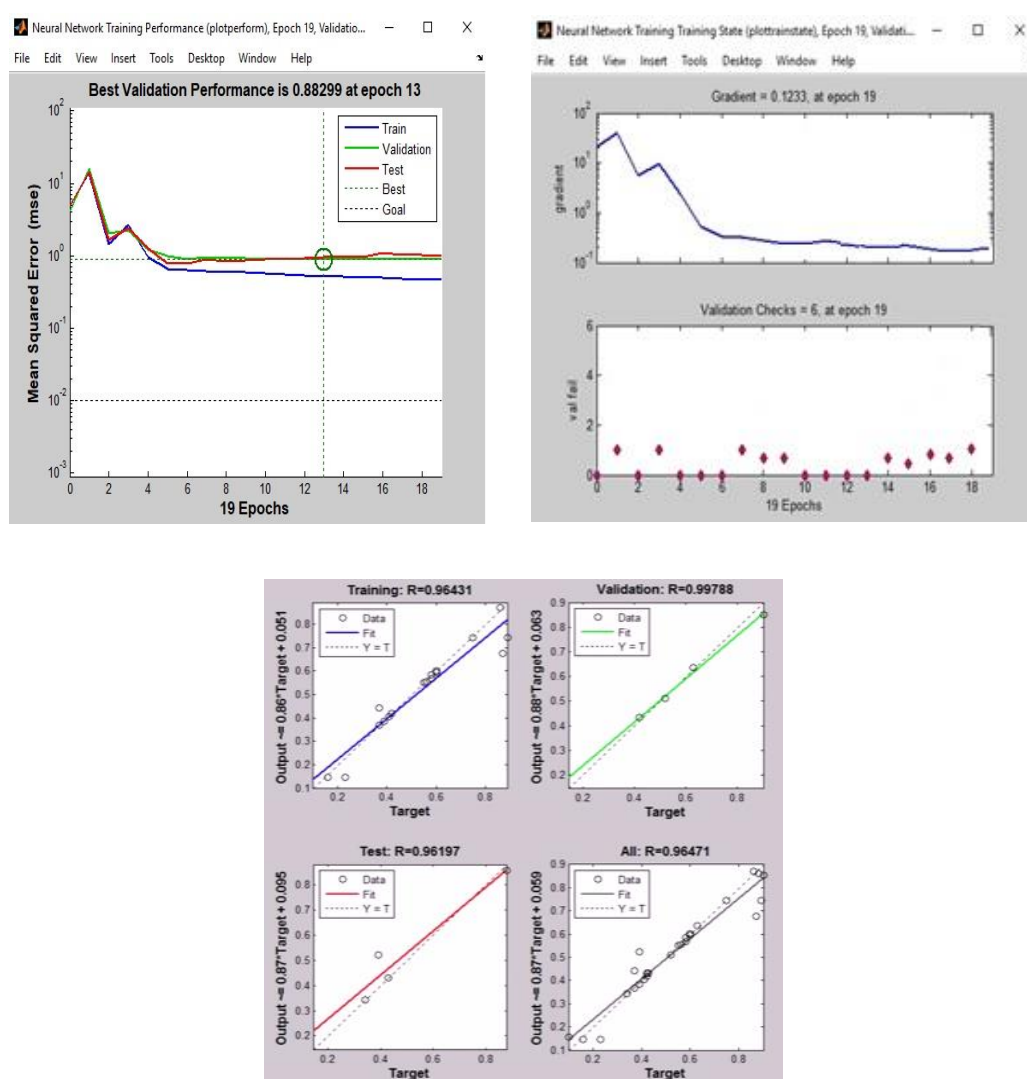
4) ผลการออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวติดเปลือกในการ Training ของระบบ เพื่อดูประสิทธิภาพในการจำแนกก่อนนำไป Test ดังแสดงในภาพประกอบ 4.20



ภาพประกอบ 4.20 ผลประสิทธิภาพในการ Training ของระบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวติดเปลือก



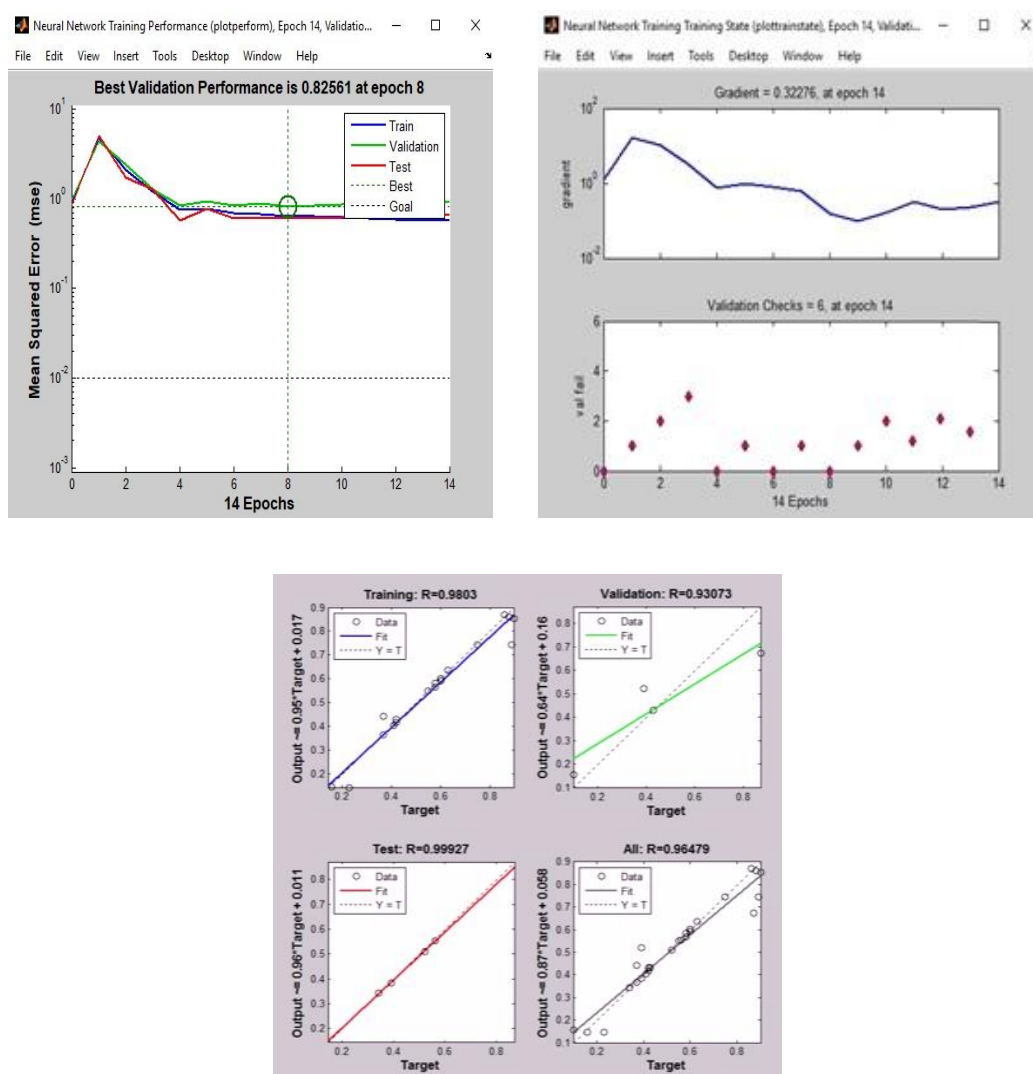
5) ผลการออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวลีบในการ Training ของระบบ เพื่อดูประสิทธิภาพในการจำแนกก่อนนำไป Test ดังแสดงในภาพประกอบ 4.21



ภาพประกอบ 4.21 ผลประสิทธิภาพในการ Training ของระบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวลีบ



6) ผลการออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวเสียในการ Training ของระบบ เพื่อดูประสิทธิภาพในการจำแนกก่อนนำไป Test ดังแสดงในภาพประกอบ 4.22

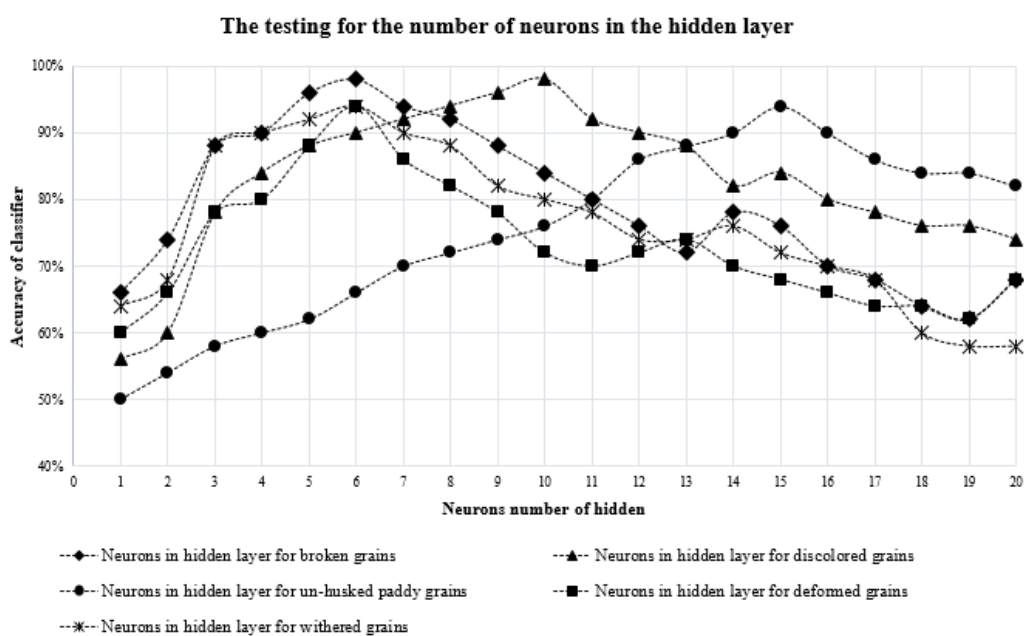


ภาพประกอบ 4.22 ผลประสิทธิภาพในการ Training ของระบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม



สำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวเสีย

7) ผลการเลือกจำนวน Hidden Layer ที่เหมาะสมในการพิจารณาเมล็ดข้าวแต่ละประเภท เพื่อให้ได้ความแม่นยำในการจำแนกข้าวฮางอกสูงสุดดังภาพประกอบ 4.23 โดยพิจารณาจากความสำคัญของผลความแม่นยำในการจำแนกที่มีค่าสูงที่สุดเมล็ดเสียแต่ละประเภท ซึ่งประเภทเมล็ดข้าวหัก บิดเบี้ยว ลีบ จะได้จำนวนของนิวรอนในชั้น Hidden Layer จำนวน 6 นิวรอน ประเภทเมล็ดข้าวมีจุดสีดำจะได้จำนวนของนิวรอนในชั้น Hidden Layer จำนวน 10 นิวรอน และประเภทเมล็ดข้าวติดเปลือกจะได้จำนวนของนิวรอนในชั้น Hidden Layer จำนวน 15 นิวรอน



ภาพประกอบ 4.23 ผลค่าของจำนวน Neurons ใน Hidden Layer ที่เหมาะสม



8) ผลความถูกต้องข้าวเสียของการจำแนกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 92.5 เปอร์เซ็นต์ และผลการจำแนกในแต่ละกลุ่มของเมล็ดข้าวที่มีจุดสีดำเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 93.1 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดข้าว บิดเบี้ยวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 92.0 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดข้าวติดเปลือกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 92.5 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดข้าวหักเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 93.4 เปอร์เซ็นต์ และเมล็ดข้าวลีบเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 93.0 เปอร์เซ็นต์ หลังจากที่ใช้หลักการ Principal Components Analysis เข้ามาช่วยในการจัดการกับข้อมูลที่ได้ เพื่อลดขนาดของข้อมูลโดยสูญเสียลักษณะสำคัญของข้อมูลน้อยที่สุดและสูญเสียความถูกต้องของ ผลลัพธ์น้อยที่สุดจะเห็นได้ว่าความถูกต้องในการจำแนกเมล็ดข้าวฮางอกเสียมีค่าที่มากขึ้น

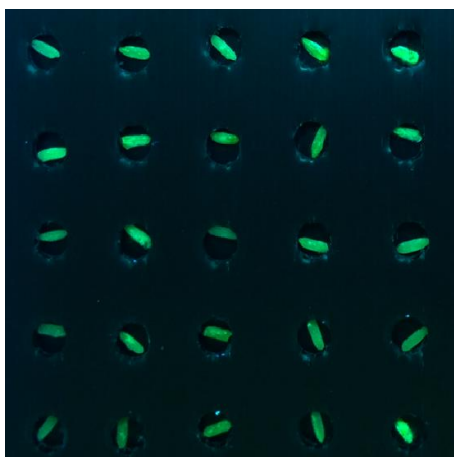


ภาพประกอบ 4.24 ตัวอย่างผลการการจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอก

4.1.2 ผลการทดสอบระบบโปรแกรมคัดแยกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอกติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซิน ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมคัดแยกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอก สามารถอธิบายได้ ดังต่อไปนี้

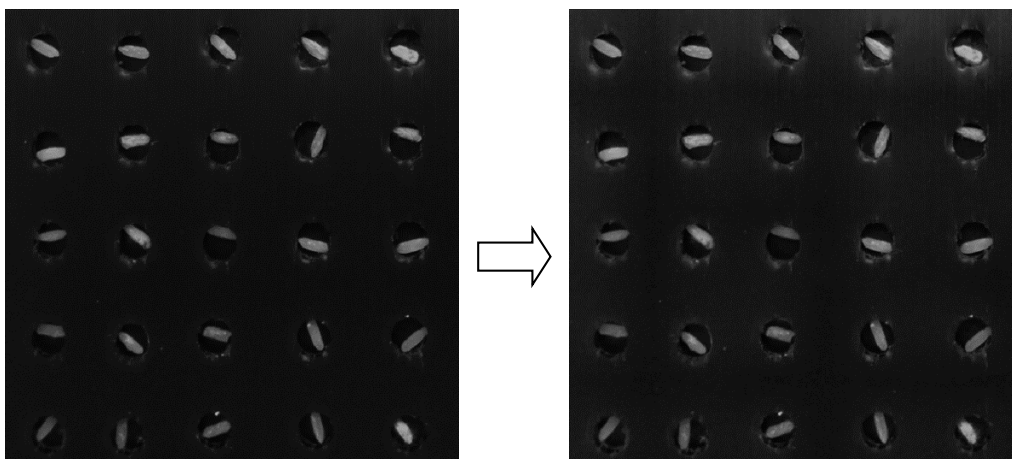
4.1.2.1 ผลของภาพถ่ายเมล็ดข้าวฮางอกจากกล้องดิจิทัลแล้วทำการปรับขนาดให้มีขนาด 512 X 512 จุดภาพ ดังภาพประกอบ 4.25





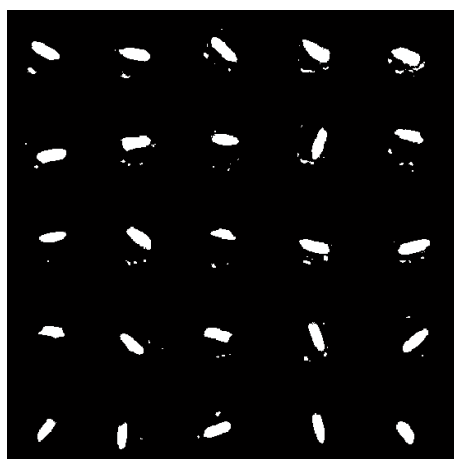
ภาพประกอบ 4.25 ภาพข้าวฮางอกที่ติดเชื้อราสารอะฟลาทอกซินฉายแสง UV

4.1.2.2) ขั้นตอนการปรับปรุงภาพให้มีความเข้มแสงให้คงที่ โดยการทำ Opening กับพื้นหลังของภาพ แล้วนำผลที่ได้ไปลบกับค่าตั้งต้นจากนั้นนำภาพมาแปลงเป็น Grayscale แล้วทำการปรับค่า Histogram โดยใช้หลักการ Adaptive Histogram ซึ่งจะได้คุณลักษณะของเมล็ดข้าวที่มีความละเอียด และชัดเจนขึ้น ดังภาพประกอบ 4.26



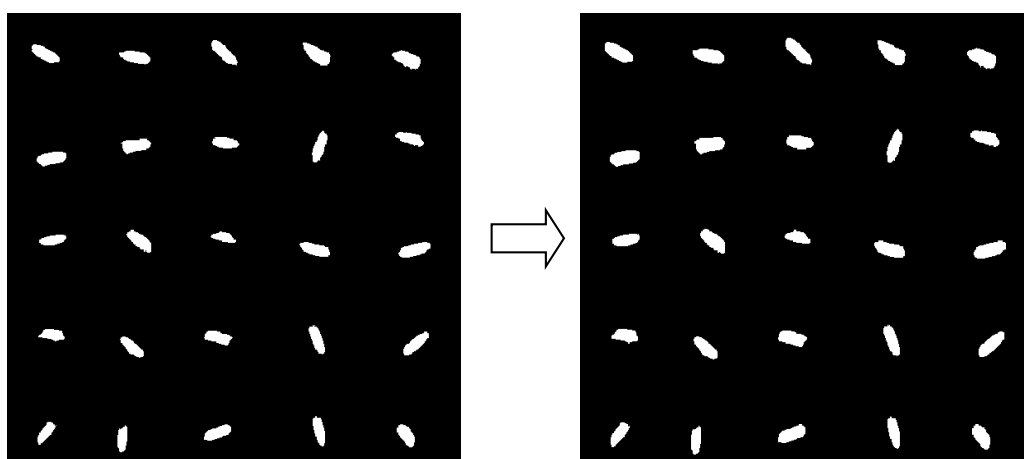
ภาพประกอบ 4.26 ผลของภาพที่ผ่านกระบวนการ Adaptive Histogram แบบ CLAHE

4.1.2.3) ผลการตัดแบ่งภาพที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงภาพมาทำ Segmented Image โดยวิธี Adaptive Thresholding เพื่อแปลงภาพให้เป็นภาพขาวดำ โดยเมล็ดข้าวฮางอกให้เป็นสีขาว และพื้นหลังให้เป็นสีดำ ซึ่งสามารถแยกภาพส่วนที่ต้องการออกจากส่วนอื่น ๆ ได้อย่างสมบูรณ์ ดังภาพประกอบ 4.27



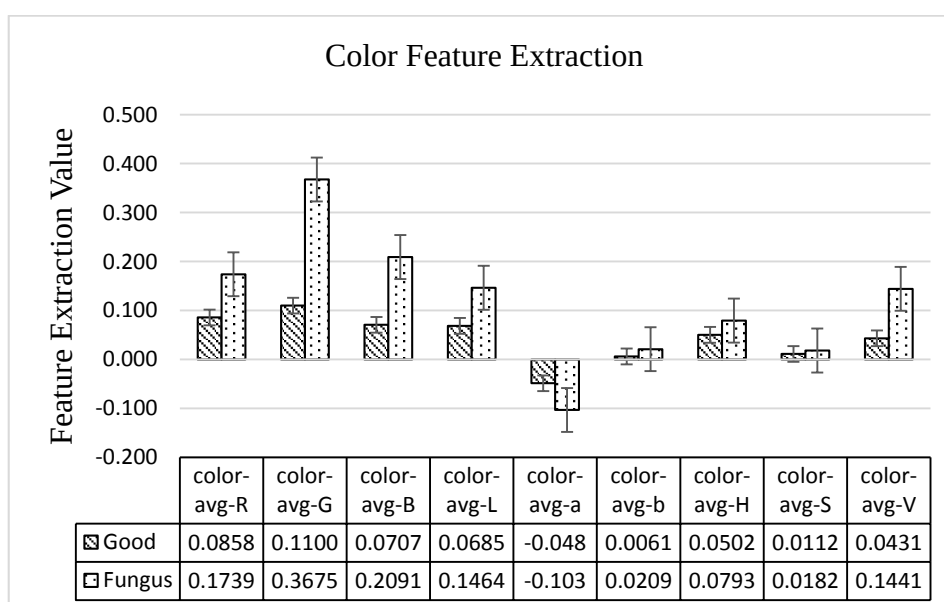
ภาพประกอบ 4.27 ผลของการตัดแบ่งส่วนภาพแบบ Adaptive Thresholding

4.1.2.4) ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพ โดยการนำภาพผ่านกระบวนการ Opening เพื่อกำจัดจุดขาวเล็ก ๆ บนภาพที่ไม่ใช่เมล็ดข้าวให้หมดไปในภาพ ข้าวฮางอก ดังภาพประกอบ 4.28 ซึ่งจะพบว่าภาพที่ได้จะมีลักษณะที่สมบูรณ์ของเมล็ดข้าวแต่ละเมล็ด



ภาพประกอบ 4.28 ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพข้าวฮางอก

4.1.2.5) ผลการพิจารณา Color Feature ซึ่งได้จากการนำภาพที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ไปคูณกับภาพตั้งต้น แล้วนำพิจารณาค่าสีของเมล็ดข้าวฮางอกแต่ละเมล็ดในระบบสี RGB เฉลี่ย ระบบสี HSV เฉลี่ย และระบบสี $L^* a^* b^*$ เฉลี่ย ซึ่งจะได้คุณลักษณะทางสีของเมล็ดข้าวฮางอกดี ดังภาพประกอบ 4.20 พบว่าคุณสมบัติของสี RGB เฉลี่ย สี HSV เฉลี่ย และสี $L^* a^* b^*$ เฉลี่ย ถ้าเมล็ดข้าวฮางอกติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซิน จะมีค่าสีที่มีความแตกต่างกับเมล็ดข้าวฮางอกดี ที่ทำการดึงออกมาจากเมล็ดข้าวฮางอกจะสามารถนำมาวิเคราะห์ในส่วนของประเภทเมล็ดข้าวฮางอก ติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซินได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติทางสีสามารถจำแนกเมล็ดข้าวฮางอก ได้บางประเภทจึงควรมีการวิเคราะห์ในคุณสมบัติอย่างอื่น เพื่อให้ระบบสามารถจำแนกเมล็ด ข้าวฮางอกได้ครบประเภทของเมล็ดข้าวฮางอกติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซิน

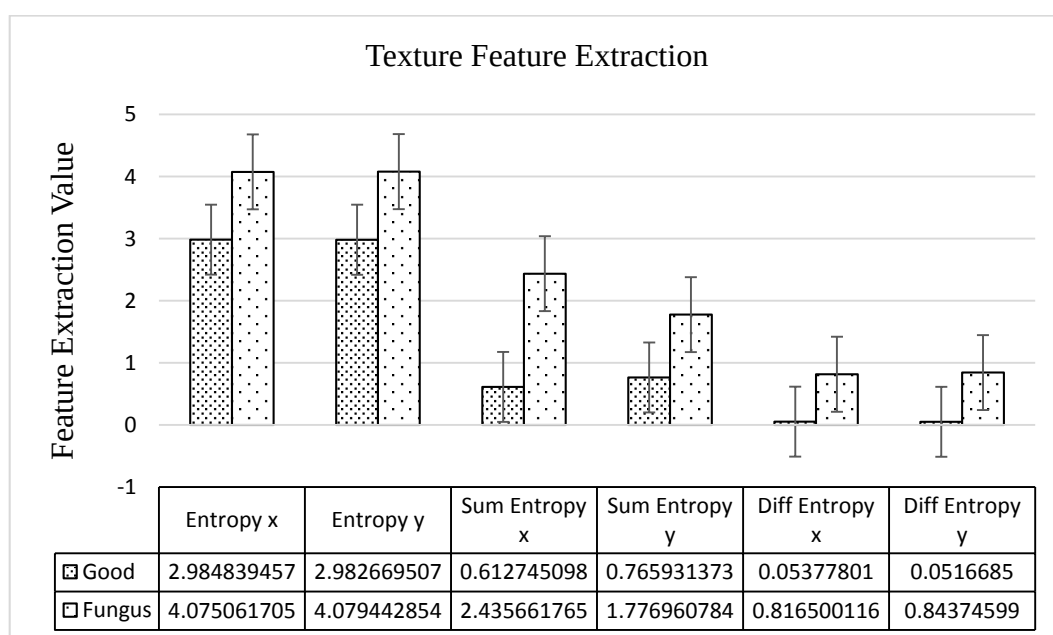


ภาพประกอบ 4.29 ผลค่าของ Color Feature Extraction



จากผลของคุณลักษณะทาง Color Feature พบว่าสามารถบ่งบอกถึงลักษณะของเมล็ดข้าวฮางอกที่ติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซิน ซึ่งเชื้อราเมื่ออยู่ในระบบแสง UV จะให้สีเหลืองเขียวที่มีความแตกต่างกับสีของเมล็ดข้าวฮางอก

4.1.2.6) ผลการพิจารณา Texture Feature ซึ่งได้จากการนำภาพที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ไปคู่กับภาพตั้งต้น แล้วนำพิจารณาพื้นผิวของเมล็ดข้าวฮางอกแต่ละเมล็ด โดยพิจารณาจาก Entropy, Sum of Entropy และ Difference of Entropy ดังภาพประกอบ 4.30 พบว่า คุณสมบัติของ Entropy, Sum of Entropy และ Difference of Entropy ถ้าเมล็ดข้าวฮางอกที่ติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซิน จะมีค่าของมากเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวฮางอกดี ที่ทำการดึงออกมาจากเมล็ดข้าวฮางอกจะสามารถนำมาวิเคราะห์ในส่วนของประเภทเมล็ดข้าวฮางอกที่ติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซินได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติทางพื้นผิวสามารถจำแนกเมล็ดข้าวฮางอกที่ติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซินได้



ภาพประกอบ 4.30 ผลค่าของ Texture Feature Extraction

จากผลของคุณลักษณะทาง Texture Feature ที่ประกอบไปด้วย Entropy, Sum of Entropy และ Difference of Entropy พบว่าสามารถบ่งบอกถึงลักษณะของเมล็ดข้าวฮางอกที่ติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซินได้อย่างชัดเจน

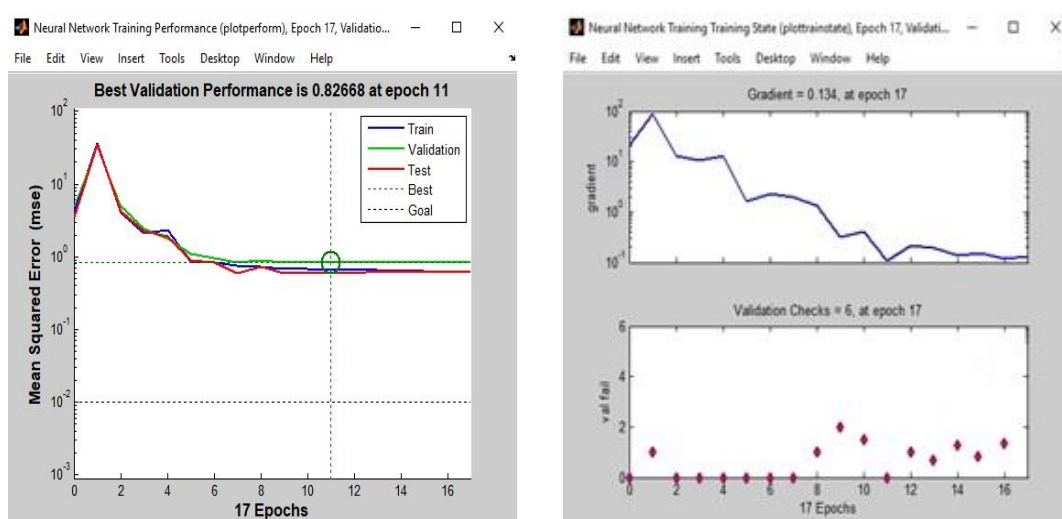
4.1.2.) ผลการทำ PCA เพื่อทำให้ข้อมูลตั้งต้น Feature ทั้งหมดให้มีขนาดลดลงโดยสูญเสียลักษณะสำคัญของข้อมูลน้อยที่สุดและสูญเสียความถูกต้องของผลลัพธ์น้อยที่สุด โดยทำการหา

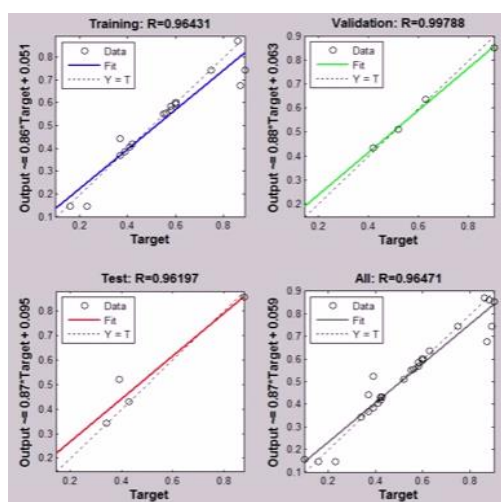


ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าความแปรปรวนร่วมเกี่ยว (Covariance) ของข้อมูล จากนั้นนำค่าที่ได้ไปหาค่า Eigenvector และ Eigenvalue ของข้อมูล หลังจากนั้นเรียงลำดับค่าจากมากไปน้อย แล้วนำค่าที่ได้ไปลดจำนวนมิติของข้อมูล (Dimension Reduction) โดยเลือกข้อมูลที่มีค่าไม่เท่ากับ 0 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปป้อนให้ระบบของ ANN โดยจำนวนนิวรอนของ Input ในชั้น Input Layer จำนวน 14 Feature ที่ผ่านกระบวนการทำ PCA จำนวนของนิวรอนในชั้น Hidden Layer จำนวน 15 นิวรอน ที่ทำให้ความถูกต้องในการจำแนกสูงที่สุดและจำนวนของนิวรอน Output ในชั้น Output Layer จำนวน 2 นิวรอน ประกอบด้วยเมล็ดข้าวไม่ติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซิน และเมล็ดข้าวติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซิน

4.1.2.8) ผลการออกแบบการประมวลผลภาพโดย Artificial Neural Network การทำงานส่วนของโครงข่ายประสาทเทียมในระบบจะทำหน้าที่แยกประเภทข้าวฮางอกติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซิน

1) ผลการออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซินในการ Training ของระบบ เพื่อดูประสิทธิภาพในการจำแนกก่อนนำไป Test ดังภาพประกอบ 4.31

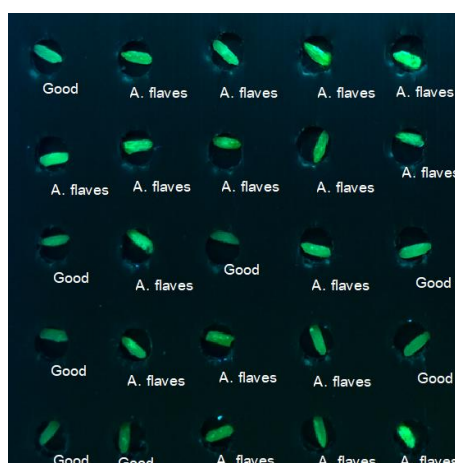




ภาพประกอบ 4.31 ผลประสิทธิภาพในการ Training ของระบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับจำแนกและตรวจสอบข้าวฮางอกประเภทเมล็ดข้าวติดเชื้อรา และ สารอะฟลาทอกซิน

2) ผลการเลือกจำนวน Hidden Layer ที่เหมาะสมในการพิจารณาเมล็ดข้าวฮางอกที่ติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซิน เพื่อให้ได้ความแม่นยำในการจำแนกข้าวฮางอกสูงสุด โดยพิจารณาจากความสำคัญของผลความแม่นยำในการจำแนกที่มีค่าสูงที่สุด ซึ่งจะได้จำนวนของนิวรอนในชั้น Hidden Layer จำนวน 15 นิวรอน

3) ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนก และตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอกที่ติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซิน โดยเปรียบเทียบระหว่างการระบุตำแหน่งของเมล็ดข้าวฮางอกเสียที่ประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมกับภาพต้นฉบับที่ระบุด้วยตาเปล่า ดังภาพประกอบ 4.32 ผลความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 93.60 เปอร์เซนต์



ภาพประกอบ 4.32 ตัวอย่างผลการตรวจสอบข้าวฮางอกติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน

4.2 ผลการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอก

ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอกเสียที่ประกอบไปด้วย เมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวบดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวมีจุดสีดำ โดยเปรียบเทียบระหว่างการระบุตำแหน่งของเมล็ดข้าวฮางอกเสียที่ประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมกับภาพต้นฉบับที่ระบุด้วยตาเปล่าดังตารางที่ 4.2-4.8 แสดงผลการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอกเสียแต่ละประเภท พบว่า ผลการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอกเสียของโปรแกรมที่ทำการออกแบบมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 90 เปอร์เซนต์กับผลการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอกเสียจากการระบุด้วยตาเปล่าจากผู้เชี่ยวชาญ โดยการทดลองกับภาพจำนวน 10 ชุด จำนวนชุดละ 50 เมล็ดของระบบโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอกเสีย และทดลองกับภาพจำนวน 10 ชุด จำนวนชุดละ 25 เมล็ด ของระบบโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอกติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน

4.2.1 มาตรฐานสินค้าเกษตรประเภทข้าวหัก

ข้าวหัก คือ เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ไม่ถึง 80% ของเมล็ด

ตาราง 4.2 ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าว ฮางอกเสียประเภทข้าวหัก

ภาพ ที่	ข้าวฮาง งอกจำแนก ผู้เชี่ยวชาญ	ข้าวฮางงอกจำแนก จากโปรแกรม					เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของโปรแกรม เปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ					
		ครั้งที่					ครั้งที่					เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	50	46	47	45	47	46	92%	94%	90%	94%	92%	92.40%
2	50	46	47	46	47	46	92%	94%	92%	94%	92%	92.80%
3	50	45	46	45	45	46	90%	92%	90%	90%	92%	90.80%
4	50	46	46	47	47	47	92%	92%	94%	94%	94%	93.20%



5	50	46	47	47	47	46	92%	94%	94%	94%	92%	93.20%
6	50	46	48	45	48	46	92%	96%	90%	96%	92%	93.20%
7	50	45	47	45	46	46	90%	94%	90%	92%	92%	91.60%
8	50	46	47	46	47	45	92%	94%	92%	94%	90%	92.40%
9	50	46	47	46	48	46	92%	94%	92%	96%	92%	93.20%
10	50	46	47	45	47	46	92%	94%	90%	94%	92%	92.40%

4.2.2 มาตรฐานสินค้าเกษตรประเภทข้าวติดเปลือก

ข้าวติดเปลือก คือ เมล็ดข้าวที่ยังมีเปลือกหุ้มอยู่เพียงเล็กน้อยหรือทั้งเมล็ด

ตาราง 4.3 ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบ
เมล็ดข้าวฮางอกเสียประเภทข้าวติดเปลือก

ภาพ ที่	ข้าวฮาง งอกจำแนก ผู้เชี่ยวชาญ	ข้าวฮางงอกจำแนก จากโปรแกรม					เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของโปรแกรม เปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ					เฉลี่ย
		ครั้งที่					ครั้งที่					
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	50	47	47	45	47	46	94%	94%	90%	94%	92%	92.8%



2	50	48	49	46	47	48	96%	98%	92%	94%	96%	95.2%
3	50	45	47	45	46	46	90%	94%	90%	92%	92%	91.6%
4	50	48	49	46	47	48	96%	98%	92%	94%	96%	95.2%
5	50	46	47	47	47	46	92%	94%	94%	94%	92%	93.2%
6	50	46	48	45	48	46	92%	96%	90%	96%	92%	93.2%
7	50	48	47	47	46	46	96%	94%	94%	92%	92%	93.6%
8	50	46	47	46	47	45	92%	94%	92%	94%	90%	92.4%
9	50	46	47	46	48	48	92%	94%	92%	96%	96%	94.0%
10	50	46	47	46	47	46	92%	94%	92%	94%	92%	92.8%

4.2.3 มาตรฐานสินค้าเกษตรประเภทข้าวมีจุดสีดำ

ข้าวมีจุดสีดำ คือ เมล็ดข้าวมีจุดสีดำบริเวณเนื้อข้าวในบางส่วนตั้งแต่ 0.5 ส่วนขึ้นไป

ตาราง 4.4 ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบ

เมล็ดข้าวฮางอกเสียประเภทข้าวมีจุดสีดำ

		ข้าวฮางอกจำแนก	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของโปรแกรม
--	--	----------------	----------------------------------



ภาพ ที่	ข้าวฮาง งอกจำแนก ผู้เชี่ยวชาญ	จากโปรแกรม					เปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ					
		ครั้งที่					ครั้งที่					เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	50	46	47	46	47	46	92%	94%	92%	94%	92%	92.8%
2	50	46	47	46	47	46	92%	94%	92%	94%	92%	92.8%
3	50	46	46	46	45	46	92%	92%	92%	90%	92%	91.6%
4	50	48	49	48	48	49	96%	98%	96%	96%	98%	96.8%
5	50	47	47	47	47	46	94%	94%	94%	94%	92%	93.6%
6	50	46	48	45	48	46	92%	96%	90%	96%	92%	93.2%
7	50	45	47	45	46	46	90%	94%	90%	92%	92%	91.6%
8	50	46	47	46	47	45	92%	94%	92%	94%	90%	92.4%
9	50	46	47	46	48	46	92%	94%	92%	96%	92%	93.2%
10	50	47	47	47	47	46	94%	94%	94%	94%	92%	93.6%

4.2.4 มาตรฐานสินค้าเกษตรประเภทข้าวลิบ

ข้าวลิบ คือ เมล็ดข้าวที่ไม่เจริญเติบโตตามปกติที่ควรเป็น มีลักษณะแฟบแบน

ตาราง 4.5 ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบ

เมล็ดข้าว ฮางอกเสียประเภทข้าวลิบ



ภาพ ที่	ข้าวฮาง งอกจำแนก ผู้เชี่ยวชาญ	ข้าวฮางงอกจำแนก จากโปรแกรม					เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของโปรแกรม เปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ					
		ครั้งที่					ครั้งที่					เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	50	48	47	48	47	48	96%	94%	96%	94%	96%	95.2%
2	50	46	47	46	47	46	92%	94%	92%	94%	92%	92.8%
3	50	45	46	45	45	46	90%	92%	90%	90%	92%	90.8%
4	50	46	46	47	47	47	92%	92%	94%	94%	94%	93.2%
5	50	46	47	47	47	46	92%	94%	94%	94%	92%	93.2%
6	50	46	48	45	48	46	92%	96%	90%	96%	92%	93.2%
7	50	45	47	45	46	46	90%	94%	90%	92%	92%	91.6%
8	50	46	47	46	47	45	92%	94%	92%	94%	90%	92.4%
9	50	47	47	47	48	47	94%	94%	94%	96%	94%	94.4%
10	50	46	47	47	47	46	92%	94%	94%	94%	92%	93.2%

4.2.5 มาตรฐานสินค้าเกษตรประเภทข้าวบดเบี้ยว

ข้าวบดเบี้ยว คือ เมล็ดข้าวที่มีรูปร่างบดเบี้ยวไม่สวยงาม

ตาราง 4.6 ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบ

เมล็ดข้าว ฮางอกเสียประเภทข้าวบดเบี้ยว



ภาพ ที่	ข้าวฮาง งอกจำแนก ผู้เชี่ยวชาญ	ข้าวฮางงอกจำแนก จากโปรแกรม					เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของโปรแกรม เปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ					
		ครั้งที่					ครั้งที่					เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	50	47	47	47	47	46	94%	94%	94%	94%	92%	93.6%
2	50	46	47	46	47	46	92%	94%	92%	94%	92%	92.8%
3	50	45	46	45	45	46	90%	92%	90%	90%	92%	90.8%
4	50	46	46	47	47	47	92%	92%	94%	94%	94%	93.2%
5	50	46	47	47	47	46	92%	94%	94%	94%	92%	93.2%
6	50	46	48	45	48	46	92%	96%	90%	96%	92%	93.2%
7	50	45	47	45	46	46	90%	94%	90%	92%	92%	91.6%
8	50	46	47	46	47	45	92%	94%	92%	94%	90%	92.4%
9	50	46	47	46	48	46	92%	94%	92%	96%	92%	93.2%
10	50	48	47	48	47	48	96%	94%	96%	94%	96%	95.2%

4.2.6 มาตรฐานสินค้าเกษตรประเภทข้าวเสีย

ข้าวเสีย คือ เมล็ดข้าวที่หักที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไป รูปร่างบิดเบี้ยวไม่
สวยงาม มีลักษณะแฟบแบน มีเปลือกหุ้มอยู่ และมีจุดสีดำบริเวณเนื้อข้าว



ตาราง 4.7 ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบ
เมล็ดข้าว ฮางอกเสียประเภทข้าวเสีย

ภาพ ที่	ข้าวฮาง งอกจำแนก ผู้เชี่ยวชาญ	ข้าวฮางงอกจำแนก จากโปรแกรม					เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของโปรแกรม เปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ					
		ครั้งที่					ครั้งที่					เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	50	46	47	45	47	46	92%	94%	90%	94%	92%	92.4%
2	50	46	47	46	47	46	92%	94%	92%	94%	92%	92.8%
3	50	45	46	45	45	46	90%	92%	90%	90%	92%	90.8%
4	50	46	46	47	47	47	92%	92%	94%	94%	94%	93.2%
5	50	46	47	47	47	46	92%	94%	94%	94%	92%	93.2%
6	50	46	48	45	48	46	92%	96%	90%	96%	92%	93.2%
7	50	45	47	45	46	46	90%	94%	90%	92%	92%	91.6%
8	50	46	47	46	47	45	92%	94%	92%	94%	90%	92.4%
9	50	46	47	46	48	46	92%	94%	92%	96%	92%	93.2%
10	50	46	47	45	47	46	92%	94%	90%	94%	92%	92.4%



4.2.7 มาตรฐานสินค้าเกษตรประเภทข้าวติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน

ข้าวเมล็ดเสีย คือ เมล็ดข้าวที่เสียอย่างเห็นชัดเจนด้วยตาเปล่า ซึ่งเกิดจากความชื้น ความร้อน เชื้อรา แมลง หรืออื่นๆ

ตาราง 4.8 ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบ

เมล็ดข้าว ฮางอกเสียประเภทข้าวติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน

ภาพ ที่	ข้าวฮาง อกจำแนก ผู้เชี่ยวชาญ	ข้าวฮางงอกจำแนก จากโปรแกรม					เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของโปรแกรม เปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ					
		ครั้งที่					ครั้งที่					เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	25	24	23	23	23	24	96%	92%	92%	92%	96%	93.6%
2	25	24	24	24	24	23	96%	96%	96%	96%	92%	95.2%
3	25	23	23	23	23	23	92%	92%	92%	92%	92%	92.0%
4	25	24	23	24	23	24	96%	92%	96%	92%	96%	94.4%
5	25	24	24	24	24	24	96%	96%	96%	96%	96%	96.0%
6	25	24	23	23	23	24	96%	92%	92%	92%	96%	93.6%
7	25	23	23	23	23	23	92%	92%	92%	92%	92%	92.0%
8	25	23	23	23	23	24	92%	92%	92%	92%	96%	92.8%
9	25	23	23	23	23	23	92%	92%	92%	92%	92%	92.0%
10	25	24	23	24	23	24	96%	92%	96%	92%	96%	94.4%



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินการวิจัย เพื่อพัฒนาระบบการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางงอก โดยการประมวลผลภาพดิจิทัล เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางงอกที่ไม่มีคุณภาพ เพื่อเพิ่มคุณภาพข้าวฮางงอกตามมาตรฐานสินค้าเกษตรซึ่งเมล็ดข้าวฮางงอกที่ไม่ได้คุณภาพอันได้แก่ เมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวมีจุดสีดำ และเมล็ดติดเชื้อราพร้อมสารอะฟลาทอกซินที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นสามารถสรุป และให้ข้อเสนอแนะได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 ผลการออกแบบระบบโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางงอกจะใช้หลักการของการประมวลผลภาพดิจิทัล เพื่อมาจำแนกเมล็ดข้าวฮางงอกเสียที่ประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมกับภาพต้นฉบับที่ระบุด้วยตาเปล่า ผลความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 89.00 เปอร์เซนต์ หลังจากนั้นนำหลักการ Principal Components Analysis เข้ามาช่วยในการจัดการกับข้อมูลที่ได้เพื่อลดขนาดของข้อมูลโดยสูญเสียลักษณะสำคัญของข้อมูลน้อยที่สุดและสูญเสียความถูกต้องของผลลัพธ์น้อยที่สุดทำให้ผลการออกแบบระบบโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางงอกจะใช้หลักการของการประมวลผลภาพดิจิทัล เพื่อมาคัดแยกเมล็ดข้าวฮางงอกเสียซึ่งมีรูปแบบของเมล็ดเสียจะประกอบไปด้วย เมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวมีจุดสีดำ ระบบสามารถจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางงอกโดยเปรียบเทียบระหว่างการระบุตำแหน่งของเมล็ดข้าวฮางงอกเสียที่ประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมกับภาพต้นฉบับที่ระบุด้วยตาเปล่า ผลความถูกต้องเฉลี่ยโดยรวมของการจำแนกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 92.50 เปอร์เซนต์ และผลการจำแนกในแต่ละกลุ่มของเมล็ดข้าวที่มีจุดสีดำเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 93.10 เปอร์เซนต์ เมล็ดข้าวบิดเบี้ยวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 92.90 เปอร์เซนต์ เมล็ดข้าวติดเปลือกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 92.50 เปอร์เซนต์ เมล็ดข้าวหักเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 93.40 เปอร์เซนต์ และเมล็ดข้าวลีบเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 93.00 เปอร์เซนต์ ผลของการประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียม พบว่าสามารถจำแนกเมล็ดข้าวเสียประกอบไปด้วย เมล็ดข้าวหัก เมล็ดข้าวบิดเบี้ยว เมล็ดข้าวลีบ เมล็ดข้าวติดเปลือก เมล็ดข้าวมีจุดสีดำที่เกิดจากความผิดปกติของเนื้อข้าวได้ ส่วนข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในบางกรณีเกิดจากความใกล้เคียงของคุณลักษณะของเมล็ดข้าวดีและเมล็ดข้าวเสียจึงทำให้โปรแกรมอาจมีการตัดสินใจที่ผิดพลาดได้ในบางกรณีซึ่งทำให้เกิดการวิเคราะห์ที่ผิดพลาดได้



5.1.2 ผลการการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอกที่ติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซิน โดยเปรียบเทียบระหว่างการระบุตำแหน่งของเมล็ดข้าวฮางอกเสียที่ประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมกับภาพต้นฉบับที่ระบุด้วยตาเปล่า ผลความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 93.60 เปอร์เซ็นต์ ผลของการประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียม พบว่า สามารถจำแนกเมล็ดข้าวฮางอกติดเชื้อราและสารอะฟลาทอกซินได้ ข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในบางกรณีเกิดจากความใกล้เคียงของคุณลักษณะของเมล็ดข้าวดีและเมล็ดข้าวติดเชื้อรา และสารอะฟลาทอกซินจึงทำให้โปรแกรมอาจมีการตัดสินใจที่ผิดพลาดได้ในบางกรณีซึ่งทำให้เกิดการวิเคราะห์ที่ผิดพลาดได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 กระบวนการปรับปรุงภาพเป็นการปรับแต่งภาพให้มีความเหมาะสม เพื่อให้ได้ภาพที่มีความสมบูรณ์ตามความต้องการให้มากที่สุด ถ้าออกแบบไม่เหมาะสมอาจส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของเมล็ดข้าวฮางอก จึงควรออกแบบให้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในกระบวนการต่อไป

5.2.2 กระบวนการตัดแบ่งภาพมีความสำคัญในการทำงานของระบบโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอก ถ้ามีความละเอียดจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการวิเคราะห์คุณลักษณะของเมล็ดข้าวฮางอก จึงควรมีการออกแบบให้มีความถูกต้องมากขึ้น

5.2.3 กระบวนการสกัดคุณลักษณะของเมล็ดข้าวฮางอกควรเลือกคุณลักษณะที่เป็นตัวบ่งบอกที่ชัดเจนซึ่งจะส่งผลการตัดสินใจของระบบโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอก

5.2.4 กระบวนการในการตัดสินใจของระบบโปรแกรมการจำแนกและตรวจสอบเมล็ดข้าวฮางอกควรออกแบบและเลือกโครงสร้างให้มีความเหมาะสมจะทำให้ได้ความถูกต้องที่สูงขึ้น

