

การเปรียบเทียบการคัดแยกข้าวหักด้วยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซ์แบบ  
เส้นตรงและเรเดียลเบซิสฟังก์ชัน

ON THE CLASSIFICATION OF BROKEN RICE GRAINS COMPARISON  
USING LINEAR AND RADIALS BASIS FUNCTION-BASED SUPPORT  
VECTOR MACHINE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2564

KMITL-2021-EN-M-230-053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ON THE CLASSIFICATION OF BROKEN RICE GRAINS COMPARISON  
USING LINEAR AND RADIALS BASIS FUNCTION-BASED SUPPORT  
VECTOR MACHINE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING  
SCHOOL OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2021

KMITL-2021-EN-M-230-053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2021**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์           | การเปรียบเทียบการคัดแยกข้าวหักด้วยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซึนแบบเส้นตรงและเรเดียลเบซิสฟังก์ชัน |
| นักศึกษา                    | นาย นวพัฒน์ จำเริญรักษ์   |
| รหัสประจำตัว                | 61601121  |
| ปริญญา                      | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  |
| สาขาวิชา                    | วิศวกรรมสารสนเทศ  |
| พ.ศ.                        | 2564  |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | รศ.ดร.อรรถสิทธิ์ หล้าสกุล   |

### บทคัดย่อ

พันธุ์ข้าวและคุณภาพของข้าวถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้ข้าวไทยเป็นที่ยอมรับจากทั่วโลก มาตรฐานสินค้าข้าวไทย ซึ่งกำหนดโดยกระทรวงพาณิชย์เพื่อควบคุมคุณภาพของข้าวไทยและเป็นมาตรฐานที่มีความละเอียดมาก แต่ข้อกำหนดดังกล่าวเป็นการสร้างคอขวดให้อุตสาหกรรมข้าวไทยเป็นอย่างมาก ในวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอการตรวจจับข้าวหักด้วยโมเดล Support Vector Machine (SVM) ร่วมกับหลักการประมวลผลทางภาพและการสกัดคุณลักษณะเพื่อนำคุณลักษณะดังกล่าวมาสอนเครื่องจักร โดยวิทยานิพนธ์นี้ทำการทดลองตรวจจับข้าวหักด้วยโมเดล SVM ทั้งแบบเส้นตรง (Linear) และแบบเรเดียลเบซิสฟังก์ชัน (Radial Basis Function) แล้วนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เมื่อนำโมเดล SVM ทั้งสองแบบมาทดสอบใช้จริงในอุตสาหกรรม ผลที่ได้จากการตรวจจับข้าวหักด้วย SVM แบบ Linear และแบบ Radial basis function มีประสิทธิภาพในการตรวจจับ 87.04 เปอร์เซ็นต์และ 86.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>Thesis</b>         | On the classification of broken rice grains comparison using linear and radials basis function-based support vector machine |
| <b>Student</b>        | Mr. Nawapat Jamrernrak  |
| <b>Student ID.</b>    | 61601121  |
| <b>Degree</b>         | Master of Engineering   |
| <b>Program</b>        | Information Engineering   |
| <b>Year</b>           | 2021  |
| <b>Thesis Advisor</b> | Assoc. Prof. Dr. Attasit Lasakul  |

### ABSTRACT

Rice gain and rice quality are some of the factors that make Thai rice widely accepted all over the world. Thailand rice standards are set by the Ministry of Commerce of Thailand, and quality control has much detail. However, this requirement is a huge bottleneck for the Thai rice industry. In this thesis, broken rice detection is presented using a support vector machine (SVM) with image processing and characteristic extraction for machine learning. There are two SVM models, including linear and radial basis function, to compare the performance. The results of broken rice detection archived performance 87.04% in linear SVM and 86.5% in radial basis function.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยความกรุณาและความเอื้อเฟื้อจากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถสิทธิ์ หล้าสกุล ซึ่งคอยชี้แนะและแนะแนวทางจนวิทยานิพนธ์สำเร็จตามเป้าประสงค์

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์บุญยงชนะ ภูระหงษ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เดือนใจ อาชีวะพนิช ที่ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ ตั้งแต่เริ่มต้นจุดประกายในการศึกษาต่อและคอยให้กำลังใจระหว่างทางเรื่อยมา

ขอขอบคุณ ดร. ไศศุรย์ กาญจนสุรัตน์ รุ่นพี่ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้แนวทาง ในการทำวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ต้นจนสมบูรณ์ครบ ขอขอบคุณ ธนวิชญ์ อนุวงศ์พิณิช รุ่นพี่ที่ให้คำปรึกษาในทุกๆ เรื่องทั้งด้านการทำงานวิจัย และด้านการทำเอกสาร ขอขอบคุณ ณิชฎกานต์ วิริยะเกรียง และภูวินทร์ คงสวัสดิ์ ซึ่งเป็นรุ่นน้องและรุ่นพี่ในบริษัท อีซีไรซ์ ดิจิทัล เทคโนโลยี จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยหัวข้อที่เป็นประโยชน์แก่วงการข้าวไทย

ขอขอบพระคุณมารดา ที่ให้โอกาสในการศึกษาต่อโดยสนับสนุนค่าเล่าเรียนในช่วงต้นจนข้าพเจ้าสามารถรับผิดชอบตัวเองได้จนปัจจุบัน

นวพัฒน์ จำเริญรักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | I    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....   | II   |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | III  |
| สารบัญ.....   | IV   |
| สารบัญตาราง.....  | VII  |
| สารบัญรูป.....  | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ.....   | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....                               | 1    |
| 1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....                                   | 1    |
| 1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....                              | 1    |
| 1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....   | 2    |
| 1.5 ขั้นตอนในการศึกษา.....  | 2    |
| 1.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้.....                                   | 2    |
| 1.7 ส่วนประกอบของการวิจัย.....  | 3    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                            | 4    |
| 2.1 ข้าว.....   | 4    |
| 2.1.1 คุณภาพข้าว.....   | 4    |
| 2.1.1.1 คุณภาพทางกายภาพ (Grain physical quality).....                 | 5    |
| 2.1.1.2 คุณภาพการสี (Milling quality).....                            | 8    |
| 2.1.1.2 คุณภาพในการซื้อขาย.....                                       | 9    |
| 2.1.1.2 คุณภาพทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน..... | 10   |
| 2.2 มาตรฐานสินค้าข้าว.....  | 14   |
| 2.3 การประมวลผลภาพ.....   | 16   |
| 2.3.1 ภาพดิจิทัล.....   | 16   |
| 2.3.2 เทคโนโลยีการสแกนภาพ.....  | 18   |
| 2.3.3 การกรองข้อมูลภาพ.....   | 18   |
| 2.3.4 ฮิสโตแกรมของภาพ (Histogram).....                                | 20   |
| 2.3.5 คอนทราสต์ของภาพ (Contrast).....                                 | 21   |
| 2.3.6 การปรับปรุงค่าความสว่างของภาพ (Contrast enhancement).....       | 21   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังประชาชนเป็นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV ภาษาอังกฤษถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| 2.3.7 การคอนโวลูชัน .....  | 24   |
| 2.4 การแปลงเรขาคณิตของภาพ (Geometric transformation of image) .....                                      | 25   |
| 2.4.1 การแปลงเรขาคณิตแบบเชิงเส้น (Geometric linear transformation) .....                                 | 25   |
| 2.5 การเรียนรู้ของเครื่อง .....  | 31   |
| 2.5.1 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine, SVM) .....   | 31   |
| 2.5.2 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบเส้นตรง .....   | 32   |
| 2.5.3 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบ radial basis function .....  | 34   |
| 2.6 การวัดและประเมินผลทางภาพ .....   | 35   |
| 2.7 ทบทวนวรรณกรรม .....  | 35   |
| บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง .....  | 37   |
| 3.1 โครงสร้างภาพรวมการทำงานของระบบ .....   | 37   |
| 3.2 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล .....   | 38   |
| 3.3 การสกัดคุณลักษณะ .....   | 39   |
| 3.4 การสอนซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน .....   | 39   |
| 3.5 การนำข้อมูลภาพจริงมาทดสอบและแสดงผลลัพธ์ .....  | 40   |
| 3.6 การเก็บภาพข่าว .....   | 40   |
| บทที่ 4 ผลทดลอง .....  | 43   |
| 4.1 ผลลัพธ์การเตรียมข้อมูล .....   | 43   |
| 4.2 ผลการสกัดคุณลักษณะ (Feature extraction) .....  | 47   |
| 4.3 ผลลัพธ์การจำแนกเมล็ดข้าว .....   | 48   |
| 4.3.1 ผลลัพธ์การจำแนกข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหักด้วยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบ<br>เส้นตรง .....               | 50   |
| 4.3.2 ผลลัพธ์การจำแนกข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหักด้วยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบ<br>Radial Basis Function ..... | 50   |
| 4.3.3 ผลลัพธ์ในการทำนายผลการตรวจสอบ จากคณะกรรมการผู้ตรวจสอบข่าว .....                                    | 51   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ v.งอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....     | 53   |
| 5.1 สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง .....         | 53   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ .....                         | 53   |
| บรรณานุกรม .....                             | 54   |
| ภาคผนวก ก. งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ ..... | 57   |
| ประวัติผู้เขียน.....                         | 59   |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 รายละเอียดของชั้นของเมล็ดข้าวไทยและสหรัฐอเมริกา .....              | 6    |
| 2.2 รูปร่างและความยาวของเมล็ดข้าว .....                                | 7    |
| 2.3 การจัดแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอมิโลส .....                          | 10   |
| 2.4 คุณภาพข้าวสุกของข้าวสุกนุ่มและเหนียว .....                         | 11   |
| 2.5 คุณภาพข้าวสุกของข้าวสุกอ่อน (ขาวตาแห้ง) .....                      | 11   |
| 2.6 คุณภาพข้าวสุกของข้าวสุกร่วนแข็ง (เส้าให้หรือข้าวเคี้ยว) .....      | 11   |
| 2.7 ประเภทของแป้งสุกและระยะทางการไหล .....                             | 12   |
| 2.8 การประเมินหาอุณหภูมิแป้งสุก .....                                  | 13   |
| 2.9 ชนิดของเมล็ดข้าวและความยาว .....                                   | 15   |
| 2.10 ขนาดของต้นข้าวและข้าวหักของข้าวเกรดต่าง ๆ .....                   | 15   |
| 4.1 ตัวอย่างข้อมูลของการสกัดคุณลักษณะ .....                            | 47   |
| 4.2 ค่าทางสถิติของคุณลักษณะข้าวเต็มเมล็ด .....                         | 48   |
| 4.3 ค่าทางสถิติของคุณลักษณะข้าวหัก .....                               | 48   |
| 4.4 ผลลัพธ์ความถูกต้อง โดยใช้ SVM แบบ Linear .....                     | 50   |
| 4.5 ผลลัพธ์การจำแนกเมล็ดข้าวโดยใช้ SVM แบบ Radial Basis Function ..... | 50   |
| 4.6 ผลลัพธ์ความถูกต้อง โดยใช้ SVM แบบ Radial Basis Function .....      | 51   |
| 4.7 ผลลัพธ์ความถูกต้อง โดยใช้ SVM แบบ Linear .....                     | 51   |

## สารบัญรูป

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 สีข้าวเปลือกแต่ละพันธุ์ .....   | 5    |
| 2.2 สีข้าวกล้อง .....   | 5    |
| 2.3 ความยาวของเมล็ดแต่ละชั้น .....  | 6    |
| 2.4 ตัวอย่างรูปร่างและความยาวของเมล็ดข้าว .....                                 | 7    |
| 2.5 ตัวอย่างระดับของข้าวท้องไข .....  | 8    |
| 2.6 การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก .....  | 13   |
| 2.7 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารให้ความหอม 2-acetyl-1- pyrroline .....            | 14   |
| 2.8 การแปลงภาพแอนะล็อกให้เป็นภาพดิจิทัล .....                                   | 16   |
| 2.9 ภาพขาวดำ .....  | 17   |
| 2.10 ภาพแบบระดับเทา .....   | 17   |
| 2.11 ภาพแบบสี .....   | 18   |
| 2.12 การกรองข้อมูลภาพ .....   | 19   |
| 2.13 ฮิสโตแกรม .....  | 20   |
| 2.14 ภาพคอนทราสต์ .....   | 21   |
| 2.15 ตัวอย่างการปรับคอนทราสต์แบบ Linear contrast stretch .....                  | 22   |
| 2.16 ตัวอย่างฮิสโตแกรมก่อนและหลังของวิธี Histogram equalization .....           | 23   |
| 2.17 ภาพก่อนและหลังการทำ Adaptive histogram equalization .....                  | 23   |
| 2.18 ภาพก่อนและหลังการทำ Contrast limited adaptive histogram equalization ..... | 24   |
| 2.19 ตัวอย่างภาพการคอนโวลูชัน .....   | 25   |
| 2.20 การย้ายภาพ .....   | 26   |
| 2.21 การสเกลภาพ .....   | 28   |
| 2.22 การหมุนภาพ .....   | 29   |
| 2.23 การบิดภาพ .....  | 30   |
| 2.24 ตัวอย่างของตัวแบบจำแนก SVM บนข้อมูลขนาด 2 มิติ .....                       | 32   |
| 2.25 การคำนวณ Maximum Margin .....  | 33   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.26 การหาค่า Margin .....                              | 33   |
| 3.1 ภาพรวมของการทำงาน .....                             | 37   |
| 3.2 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล .....                        | 38   |
| 3.3 คุณลักษณะที่ได้จากการสกัดจากเมล็ดข้าว .....         | 39   |
| 3.4 คุณลักษณะที่สอนให้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซ์น .....      | 39   |
| 3.5 การตรวจสอบชนิดของเมล็ดข้าว .....                    | 40   |
| 3.6 ขนาดของตะแกรงวางเมล็ดข้าว .....                     | 41   |
| 3.7 เมล็ดข้าวที่ใช้ตะแกรงช่วยในการวางเรียง .....        | 42   |
| 4.1 ตัวอย่างภาพเมล็ดข้าวหัก.....                        | 43   |
| 4.2 ตัวอย่างภาพข้าวเต็มเมล็ด .....                      | 44   |
| 4.3 ตัวอย่างผลลัพธ์การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา .....    | 44   |
| 4.4 ตัวอย่างผลลัพธ์การแปลงภาพระดับเทาเป็นภาพขาวดำ ..... | 45   |
| 4.5 ตัวอย่างผลลัพธ์การลบสัญญาณรบกวน .....               | 46   |
| 4.6 ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกเมล็ดข้าว .....              | 49   |

# บทที่ 1

## บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษารวมถึงทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย รวมถึงขั้นตอนการศึกษาของงานวิจัย

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ส่งออกข้าวอันดับต้น ๆ ของโลก นอกจากกำลังการผลิตที่มากแล้วพันธุ์ข้าวและคุณภาพของข้าวถือเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้ข้าวไทยเป็นที่ยอมรับจากทั่วโลก มาตรฐานสินค้าข้าวไทยถูกกำหนดโดยกระทรวงพาณิชย์ซึ่งมีไว้เพื่อควบคุมคุณภาพของข้าวไทยและเป็นมาตรฐานที่สูงมาก ข้อดีของการมีมาตรฐาน คือ สินค้าข้าวที่ผ่านมาตรฐานมีคุณภาพที่สูง แต่ข้อเสียคือ ความล่าช้าในการตรวจวัดคุณภาพสินค้าข้าว เนื่องจากมาตรฐานสินค้าข้าวไทยกำหนดให้ใช้บุคลากรที่มีประสบการณ์ทำการคัดแยกและชั่งน้ำหนักข้าว รวมถึงสิ่งปลอมปนออกเป็นเปอร์เซ็นต์ในหน่วยต่อน้ำหนัก ข้อกำหนดดังกล่าวจึงเป็นการสร้างคอขวดให้อุตสาหกรรมข้าวไทยเป็นอย่างมาก

งานวิจัยนี้นำเสนอการเปรียบเทียบการคัดแยกข้าวหักด้วยการประมวลผลทางภาพและการสกัดคุณลักษณะร่วมกับ Support Vector Machine (SVM) แบบเส้นตรง (Linear) และเรเดียลเบสิสฟังก์ชัน (Radial Basis Function) แล้วนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อนำมาทดสอบใช้จริงในอุตสาหกรรม

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัยมีดังนี้

1. เพื่อสกัดคุณลักษณะของเมล็ดข้าวได้ อันประกอบด้วย ความยาวแกนเอก ความยาวแกนโท เส้นรอบรูป ความเยื้องศูนย์กลาง พื้นที่ของเมล็ดข้าว
2. เพื่อสอนโมเดล SVM ได้
3. เพื่อคัดแยกระหว่างเมล็ดข้าวที่ดีและเมล็ดข้าวที่หักออกจากกันได้

### 1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

หลักการที่ใช้ในการวิจัยนี้คือการนำภาพเมล็ดข้าวที่ได้จากการถ่ายภาพและทำการแบ่งเป็นภาพภาพชุดสอนและชุดทดสอบ ขั้นตอนในงานวิจัยเริ่มจากการนำภาพชุดสอนทำการแปลงภาพเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพขาวดำและผ่านกระบวนการทางภาพทั้งการทำโครงร่างของภาพแบบเปิด การทำโครงร่างของภาพแบบปิดและสกัดเอาคุณลักษณะต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการสอนโมเดล SVM ทั้งแบบเส้นตรงและแบบเรเดียลเบสิสฟังก์ชัน หลังจากนั้นจึงภาพชุดทดสอบมาใช้ในการทดสอบระบบแล้วทำการหาค่าประสิทธิภาพของระบบ

#### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ออกแบบขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะของเมล็ดข้าวดีและเมล็ดข้าวหัก
2. ออกแบบขั้นตอนการจำแนกระหว่างเมล็ดข้าวดีและเมล็ดข้าวหัก
3. เปรียบเทียบการจำแนกระหว่างเมล็ดข้าวดีและเมล็ดข้าวหัก

#### 1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนของการศึกษาการเปรียบเทียบการคัดแยกข้าวหักด้วยซอฟต์แวร์แมทชีนแบบเส้นตรงและเรเดียลเบสิสฟังก์ชันมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ค้นคว้าและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องหรือใกล้เคียงกับการคัดแยกข้าวหักด้วยการเรียนรู้ของเครื่องจักร
2. ออกแบบวิธีการสกัดคุณลักษณะของเมล็ดข้าว
3. ออกแบบวิธีการคัดแยกข้าวหักด้วยซอฟต์แวร์แมทชีนแบบเส้นตรงและเรเดียลเบสิสฟังก์ชัน
4. ทดลองวิธีการคัดแยกข้าวหักด้วยซอฟต์แวร์แมทชีนแบบเส้นตรงและเรเดียลเบสิสฟังก์ชัน
5. สรุปผลการทดลองการสกัดคุณลักษณะของเมล็ดข้าว
6. สรุปผลการทดลองการคัดแยกข้าวหักด้วยซอฟต์แวร์แมทชีนแบบเส้นตรงและเรเดียลเบสิสฟังก์ชัน

#### 1.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1. อุปกรณ์เก็บภาพข้าว
    - คอมพิวเตอร์สำหรับพัฒนาโปรแกรมและแสดงข้อมูล จำนวน 1 เครื่อง
    - เครื่องสแกนเนอร์แบบแท่นนอน Canon LiDE300 จำนวน 1 เครื่อง
- คุณสมบัติ
- ความละเอียดในการสแกน 2400 x 2400 dpi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความละเอียดที่สามารถเลือกได้ 25 - 19200dpi
- ความเร็วในการสแกน ประมาณ 10 วินาที (ที่ขนาดภาพ A4 300 dpi)
- เซ็นเซอร์ประเภท Colour Contact Image Sensor (CIS)
- แหล่งกำเนิดแสง 3-colour (RGB) LED

2. ตะแกรงพลาสติกช่วยเรียงเมล็ดข้าว

3. ซอฟต์แวร์

## 1.7 ส่วนประกอบของการวิจัย

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วย 5 บท ได้แก่ บทที่ 1 บทนำ บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทที่ 3 การออกแบบระบบ บทที่ 4 ผลการทดลอง บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้นำเสนอวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับข้าว มาตรฐานสินค้าข้าว การประมวลผลภาพ การเรียนรู้ของเครื่อง การวัดและประเมินผลทางภาพ และการทบทวนวรรณกรรม

### 2.1 ข้าว

ข้าวเป็นเมล็ดของพืชหญ้า มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Oryza sativa* พบมากในทวีปเอเชีย ข้าวเป็นธัญพืชซึ่งประชากรโลกบริโภคเป็นอาหารสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชีย[1] จากข้อมูลเมื่อปี 2553 ข้าวเป็นธัญพืชซึ่งมีการปลูกมากที่สุดเป็นอันดับสามทั่วโลก รองจากข้าวสาลีและข้าวโพด ข้าวเป็นธัญพืชสำคัญที่สุดในด้านโภชนาการและการได้รับแคลอรีจากข้าวคิดเป็นพลังงานกว่าหนึ่งในห้าที่มนุษย์ทั่วโลกบริโภค[2] หลักฐานพันธุศาสตร์แสดงให้เห็นว่าข้าวมาจากการนำมาปลูกเมื่อราว 8,200–13,500 ปีก่อน ในภูมิภาคหุบแม่น้ำจูเจียงของจีน ก่อนหน้านั้น หลักฐานโบราณคดีเสนอว่า ข้าวมีการนำมาปลูกในเขตหุบแม่น้ำแยงซีในจีน ข้าวแพร่กระจายจากเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไปยังเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียใต้ ข้าวถูกนำมายังทวีปยุโรปผ่านเอเชียตะวันตก และทวีปอเมริกาผ่านการยึดอาณานิคมของยุโรป ปกติการปลูกข้าวเป็นแบบปีต่อปี ทว่าในเขตร้อน ข้าวสามารถมีชีวิตอยู่ได้หลายปีและสามารถไว้ต่อ (Ratoon) ได้นานถึง 30 ปี ต้นข้าวสามารถโตได้ถึง 1–1.8 เมตร ขึ้นอยู่กับพันธุ์และความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นหลัก มีใบเรียวยาว 50-100 เซนติเมตร และกว้าง 2-2.5 เซนติเมตร ช่อดอกห้อยยาว 30-50 เซนติเมตร เมล็ดกินได้เป็นผลธัญพืชยาว 5-12 มิลลิเมตร และหนา 2-3 มิลลิเมตร

#### 2.1.1 คุณภาพข้าว

คุณภาพข้าวขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ หรือการบริโภค ข้าวส่วนใหญ่ มักค้าขาย และบริโภคกันในรูปของเมล็ดข้าวที่หุงต้มทั้งเมล็ด ดังนั้นคุณภาพทางกายภาพจึงเป็นปัจจัยสำคัญ นอกจากนี้ความนิยมในการบริโภคข้าวก็เป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินคุณภาพข้าว[3] ในการค้ามักพิจารณาจากคุณลักษณะทางกายภาพเป็นหลัก เนื่องจากเป็นสิ่งที่ปรากฏเด่นชัดดังนั้นคุณภาพข้าวแบ่งออกเป็น 4 ประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1.1 คุณภาพทางกายภาพ (Grain physical quality)

คุณภาพทางกายภาพ หมายถึง คุณสมบัติภายนอกของเมล็ดที่เห็นได้ง่าย สามารถตรวจสอบด้วยสายตาได้เช่น ชั่ง ตวง วัด การซื้อขายข้าวยังใช้คุณสมบัติเมล็ดข้าวทางกายภาพ ในการจำแนกเกรดข้าวทุกชนิด ทั้งนี้มีความชัดเจนและตรวจสอบได้รวดเร็วซึ่งจำแนกเป็น

- 1) สีข้าวเปลือก เป็นลักษณะประจำพันธุ์ ซึ่งมีสีขาวหรือฟาง มีส่วนในการตั้งชื่อพันธุ์ข้าวในอดีต สีข้าวเปลือกพบมีสีขาว ฟาง ม่วง และดำ ดัง แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สีข้าวเปลือกแต่ละพันธุ์

- 2) สีข้าวกล้อง เมื่อกะเทาะเปลือกข้าวออกเป็นข้าวกล้อง สีของข้าวกล้อง ส่วนใหญ่มีสีขาว บางพันธุ์มีสีแดงน้ำตาลหรือสีม่วงจนเกือบดำดัง แสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งถือว่าเป็นสีที่มีคุณภาพเฉพาะและนิยมบริโภค เพื่อคุณภาพทางด้านโภชนาการหรือเป็นขนม เช่นข้าวแดง ข้าวเหนียวดำข้าวกล้องชนิดนี้ถ้าเป็นสีล้วน ๆ มีราคาสูง แต่ถ้าปนข้าวขาวคุณภาพและราคาต่ำลง



รูปที่ 2.2 สีข้าวกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ขนาดของเมล็ด (Grain size) วัดจาก ความยาว กว้าง หนาของเมล็ด ดังแสดงในรูปที่ 2.3 แต่ในการพิจารณาคุณภาพเมล็ดทั่วไปหมายถึง ความยาวของเมล็ด มาตรฐานข้าวไทยกำหนดชั้นของเมล็ดเป็น 4 ขนาด เช่นเดียวกับมาตรฐานกำหนดชั้นของเมล็ดของสหรัฐอเมริกา แต่มีขนาดแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1 ชั้นของเมล็ดข้าวตาม มาตรฐานข้าวไทยและสหรัฐอเมริกา

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของชั้นของเมล็ดข้าวไทยและสหรัฐอเมริกา

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



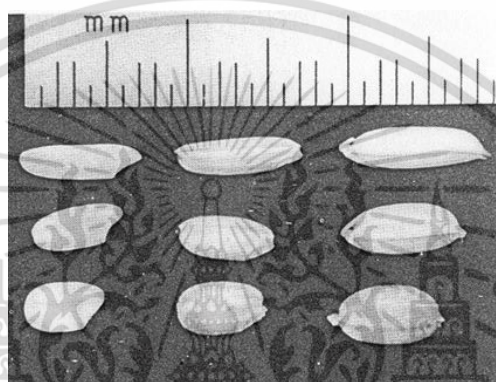
รูปที่ 2.3 ความยาวของเมล็ดแต่ละชั้น

- 4) รูปร่างเมล็ด ประเมินจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง ดังแสดงในตารางที่ 2.2 หรือรูปตัวอย่างทั้งสามรูปแบบ เรียว ปานกลางและ ป้อมดังแสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 รูปร่างและความยาวของเมล็ดข้าว

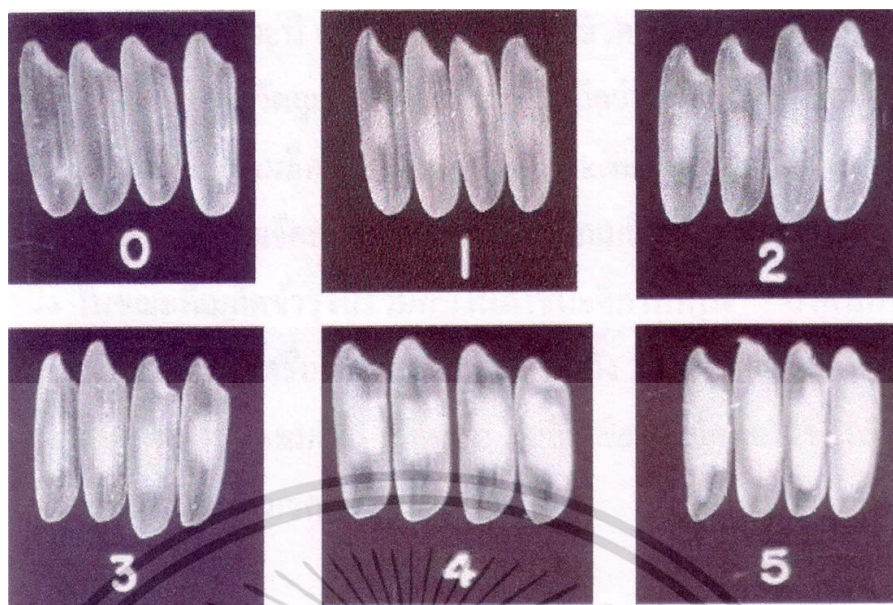
| รูปร่างเมล็ด     | ความยาว/ความกว้าง |
|------------------|-------------------|
| เรียว (Slender)  | มากกว่า 3.0       |
| ปานกลาง (Medium) | 2.0-3.0           |
| ป้อม (Bold)      | น้อยกว่า 2.0      |



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างรูปร่างและความยาวของเมล็ดข้าว

- 5) ความใสของเมล็ด หมายถึง ความทึบแสง (Opaque) หรือความใส (Translucence) ของเนื้อข้าวสารทั้งเมล็ด
- 6) ข้าวท้องไข้ (Chalky grain) เป็นจุดศูนย์กลางที่ทึบแสงในเมล็ดข้าวเจ้า ซึ่งเกิดจากการจับตัวอย่างหลวมๆ ระหว่างผลึกแป้ง (Starch granule) กลุ่มแป้ง (Starch compound) และโปรตีน (Protein body) ทำให้เกิดช่องอากาศเล็กๆภายในเมล็ด จึงเห็นเป็นลักษณะทึบแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 จุดศูนย์กลางนี้มีขนาดแตกต่างกัน ตำแหน่งท้องไข้อาจเกิดขึ้นตรงกลางเมล็ด (White center) จากด้านท้องที่อยู่ข้างเดียวกับคัพภ (White belly) หรือจากด้านหลัง (White back) ข้าวไทยส่วนมากเป็นท้องไข้น้อยเป็นประเภทคัพภ ข้าวท้องไข้ไม่นิยมในวงการค้าข้าวเพราะไม่สวยและคุณภาพการสีไม่ดี ข้าวหักมาก ข้าวท้องไข้ นอกจากควบคุมด้วย พันธุกรรม สภาพแวดล้อม เช่น แห้งปลูก ฤดูกาล อุณหภูมิ และการใส่ปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างระดับของข้าวท้องไข่

### 2.1.1.2 คุณภาพการสี

คุณภาพการสีเป็นการตรวจสอบข้าวอย่างหนึ่ง โดยนำข้าวเปลือกมาผ่านกระบวนการขัดสี ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนพื้นฐาน 4 ขั้นตอน คือ

- 1) การทำความสะอาด (Cleaning) เพื่อกำจัดระแ่ง ใบ เมล็ดลีบ เมล็ดวัชพืช ดิน หิน กรวด ทราย สิ่งสกปรกอื่น ๆ ออก
- 2) การกะเทาะ (Hulling) เป็นการทำให้เปลือกข้าวหลุดออกจากเมล็ด สิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือ แกลบ และข้าวกล้อง
- 3) การขัดขาว (Whitening) เพื่อให้รำหลุดจากเมล็ดข้าวกล้อง สิ่งที่ได้คือ รำ และข้าวสาร
- 4) การคัดแยก (Grading) คือการแยกข้าวสารออกเป็นข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ขนาดต่างๆ ออกจากกัน

ข้าวคุณภาพดี ควรสีได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวมาก โดยมีข้าวหักน้อย ปัจจัยที่ทำให้ข้าวหักในระหว่างการสี คือ เมล็ดยาวมาก เมล็ดบิดเบี้ยว หรือไม่สมบูรณ์ เมล็ดมีท้องไข่ หรือ เมล็ดอ่อน การเกิดเมล็ดร้าวก่อนการสี ซึ่งอาจเกิดจากการเก็บเกี่ยวข้าวแช่น้ำ หรือเก็บเกี่ยวข้าวรวมทั้งการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวไม่เหมาะสม

คุณภาพการสีของข้าวประเมินจากปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว ข้าวที่มีคุณภาพการสีดี เมื่อผ่านกระบวนการขัดสีแล้ว ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง มีปริมาณข้าวหักน้อย ดังนั้น การประเมินคุณภาพการสีของข้าวจึงเกี่ยวข้องกับการแปรสภาพข้าว หรือการสีข้าว สิ่งที่ได้จากการสีข้าว ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) แกลบ ประมาณ 20-24% ของข้าวเปลือก เป็นส่วนผสมของเปลือก เมล็ด กลีบเลี้ยง ฟาง และข้าวเมล็ด
- 2) รำ ประมาณ 8-10% ของข้าวเปลือก เป็นส่วนผสมของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด คัพภ และผิวนอก ๆ ของข้าวสาร
- 3) ข้าวสาร ประมาณ 68-70% ของข้าวเปลือก ข้าวสารที่ได้จากการขัดขาวถูกนำไปคัดแยก เป็นข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ในปริมาณมาก น้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับคุณภาพข้าวเปลือกก่อนสี หากข้าวเปลือกมีคุณภาพดี ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง ข้าวหักน้อย

### 2.1.1.3 คุณภาพในการซื้อขาย

การประเมินคุณภาพข้าวในการซื้อขายเป็นสิ่งสำคัญที่กำหนดราคาข้าว ข้าวที่มีคุณภาพสูงจะมีราคาที่สูงตาม ซึ่งมีปัจจัยที่ใช้ประเมินดังต่อไปนี้

- 1) ความชื้น มีบทบาทสำคัญในการกำหนดราคาข้าว ข้าวที่เก็บเกี่ยวในระยะที่เหมาะสม และลดความชื้นอย่างเหมาะสม เหลือ 13-15% มีราคาสูงกว่าข้าวที่มีความชื้นสูง เนื่องจากข้าวแห้งที่มีความชื้นเหมาะสม สามารถทำการสีได้ โดยไม่ต้องนำมาลดความชื้นอีก แต่หากรับซื้อข้าวที่มีความชื้นสูง ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลดความชื้น และสูญเสียน้ำหนักข้าวหลังการลดความชื้น ดังนั้น ข้าวที่มีความชื้นเกินกำหนดจึงถูกตัดราคา
- 2) ลักษณะทางกายภาพของข้าว โดยการกะเทาะ และขัดสีเพื่อประเมินสี ข้าวกล้อง ท้องไข่ ความใสขุ่นของเมล็ด และสิ่งเจือปนอื่น ๆ เช่น ข้าวแดง ข้าวเหลือง ข้าวเสีย หรือข้าวชนิดอื่นปน เป็นต้น ซึ่งลักษณะเหล่านี้ในปริมาณต่าง ๆ กัน เป็นตัวกำหนดราคาข้าว
- 3) คุณภาพการสี เพื่อประเมินผลของการแปรสภาพจากข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร ปริมาณข้าวรวม ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหักขนาดต่าง ๆ และปลายข้าว ซึ่งผลได้จากการขัดสีของข้าวที่รับซื้อ เป็นค่าที่โรงสีใช้ประเมินผลได้จากการแปรสภาพในโรงสีจริง โดยทั่วไปโรงสีตั้งเกณฑ์ขั้นต่ำของผลได้จากการขัดสีของข้าวที่รับซื้อ หากข้าวที่นำมาจำหน่ายมีผลได้จากการขัดสีต่ำกว่าเกณฑ์ ถูกตัดราคา
- 4) ประเภทของข้าว ข้าวคุณภาพดี ตามความต้องการของตลาดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เช่นข้าวหอมมะลิ มักมีราคาดีกว่าข้าวขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1.4 คุณภาพทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน (Cooking and eating quality)

คุณภาพทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทานเป็นคุณภาพที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อ ทั้งนี้เพราะความชอบข้าวสุกของแต่ละคนแตกต่างกัน ตั้งแต่ข้าวเหนียวนุ่มจนไปถึงข้าวร่วนแข็ง คุณภาพการหุงต้ม สามารถคาดคะเนโดยคุณสมบัติเคมีของทางเคมี (Grain chemical properties) ปัจจัยที่ทำให้ข้าวพันธุ์ต่าง ๆ มีคุณภาพของข้าวสุกแตกต่างกันดังนี้

- 1) ปริมาณของอไมโลส (Apparent amylose content) แป้งข้าวประกอบด้วยองค์ประกอบย่อย 2 ส่วน คือ อไมโลเปคติน (Amylopectin) และอไมโลส (Amylose) สัดส่วนขององค์ประกอบย่อยดังกล่าวมีผลต่อคุณภาพข้าวสุก เช่น แป้งข้าวเหนียวมีแต่อไมโลเปคติน หรือมีอไมโลสปนอยู่เพียงเล็กน้อย ในแป้งข้าวเจ้ามีอไมโลสปนอยู่ประมาณ 10-34% ปริมาณอไมโลสเป็นสาเหตุทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงหรือร่วนมากขึ้นและทำให้ข้าวนุ่มน้อยลงด้วย ได้จัดแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอไมโลสดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การจัดแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอไมโลส

| ประเภทข้าว               | ปริมาณอไมโลส(%) | ลักษณะข้าวสุก       |
|--------------------------|-----------------|---------------------|
| ข้าวเหนียว               | 0-2             | เหนียวมาก           |
| ข้าวเจ้า(อไมโลสต่ำ)      | 10-19           | เหนียวนุ่ม          |
| ข้าวเจ้า (อไมโลสปานกลาง) | 20-25           | ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง |
| ข้าวเจ้า (อไมโลสสูง)     | 26-35           | ร่วน แข็ง           |

ข้าวที่มีอไมโลสสูงดูดน้ำได้มากในระหว่างการหุงต้ม ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ใช้จึงมีผลต่อคุณภาพข้าวสุก เช่น ข้าวอไมโลสต่ำต้องการน้ำน้อยหากน้ำมากเกินไปจะเละ แต่ถ้าข้าวอไมโลสสูงใส่น้ำปริมาณเท่าข้าวอไมโลสต่ำ ได้ข้าวที่แข็งกระด้างมาก เนื่องจากข้าวอไมโลสสูงต้องการน้ำใช้ในการหุงต้มมาก เมื่อหุงสุกได้ข้าวร่วนฟูไม่เหนียวติดกัน จึงทำให้ข้าวสุกขยายปริมาตรมากหรือข้าวขึ้นหม้อ ในขณะที่ข้าวอไมโลสต่ำเป็นข้าว ที่เหนียวเกาะติดกันเป็นก้อนจึงไม่ขึ้นหม้อ ข้าวเจ้าพันธุ์ดีที่รัฐบาลส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกในปัจจุบัน แบ่ง ออกเป็น 3 กลุ่ม ตามคุณภาพข้าวสุก คือ กลุ่มข้าวเหนียว (อไมโลสต่ำ) ดังแสดงในตารางที่ 2.4 กลุ่มข้าวขาวตาแห้ง (อไมโลสปานกลาง) ดังแสดงในตารางที่ 2.5 และกลุ่มข้าวเสาไห้ (อไมโลสสูง) ดังแสดงในตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 คุณภาพข้าวสุกของข้าวสุกนุ่มและเหนียว

| พันธุ์ข้าว     | เมล็ดยาว (มม.) | อมิโลส (%) | อุณหภูมิแป้งสุก | ความคงตัวแป้งสุก |
|----------------|----------------|------------|-----------------|------------------|
| ขาวดอกมะลิ 105 | 7.2 - 7.6      | 13 - 18    | ต่ำ             | อ่อน             |
| กข 15          | 7.5            | 14 - 17    | ต่ำ             | อ่อน             |
| กข 21          | 7.3            | 17 - 19    | ต่ำ             | อ่อน             |
| ปทุมธานี 1     | 7.3 - 7.8      | 14 - 18    | ต่ำ             | อ่อน             |

ตารางที่ 2.5 คุณภาพข้าวสุกของข้าวสุกอ่อน (ขาวตาแห้ง)

| พันธุ์ข้าว    | เมล็ดยาว (มม.) | อมิโลส (%) | อุณหภูมิแป้งสุก | ความคงตัวแป้งสุก |
|---------------|----------------|------------|-----------------|------------------|
| ขาวปากหม้อ    | 7.7            | 24 - 26    | ปานกลาง         | อ่อน             |
| ขาวตาแห้ง 17  | 7.5            | 24 - 28    | ต่ำ-ปานกลาง     | อ่อน             |
| กข 7          | 7.2            | 24 - 28    | ปานกลาง         | อ่อน             |
| กข 23         | 7.3            | 22 - 26    | ปานกลาง         | อ่อน             |
| สุพรรณบุรี 60 | 7.5            | 20 - 26    | ต่ำ             | ปานกลาง          |

ตารางที่ 2.6 คุณภาพข้าวสุกของข้าวสุกร่วนแข็ง (เสาไห้หรือข้าวเคี้ยว)

| พันธุ์ข้าว       | เมล็ดยาว (มม.) | อมิโลส (%) | อุณหภูมิแป้งสุก | ความคงตัวแป้งสุก |
|------------------|----------------|------------|-----------------|------------------|
| เหลืองใหญ่ 148   | 7.3            | 30 - 31    | ต่ำ             | อ่อน - ปานกลาง   |
| น้ำสะกุก 19      | 7.6            | 30 - 31    | ต่ำ             | อ่อน - ปานกลาง   |
| เหลืองประทิว 123 | 7.4            | 28 - 32    | ต่ำ - ปานกลาง   | อ่อน - แข็ง      |
| เล็บมือนาง 111   | 7.6            | 29 - 32    | ต่ำ - ปานกลาง   | แข็ง - อ่อน      |
| ปิ่นแก้ว 56      | 7.5            | 29 - 31    | ต่ำ - ปานกลาง   | แข็ง             |
| กข 11            | 7.6            | 29 - 32    | ต่ำ             | แข็ง             |
| กข 13            | 6.9            | 30 - 33    | ต่ำ - ปานกลาง   | อ่อน             |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|               |     |         |               |      |
|---------------|-----|---------|---------------|------|
| ปทุมธานี 60   | 7.5 | 27 - 32 | ต่ำ           | แข็ง |
| ชัยนาท 1      | 7.4 | 27 - 30 | ต่ำ - ปานกลาง | แข็ง |
| สุพรรณบุรี 90 | 7.4 | 27 - 30 | ต่ำ - ปานกลาง | แข็ง |
| สุพรรณบุรี 1  | 7.3 | 29      | ปานกลาง       | อ่อน |

- 2) ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency) แม้ปริมาณอมิโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพข้าวสุก แต่ในระหว่างข้าวที่มีอมิโลสเท่ากัน อาจมีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ทำให้แป้งสุกมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน ข้าวที่มีค่าความคงตัวของแป้งสุกอ่อน ข้าวสุกนุ่มกว่า ข้าวที่มีค่าความคงตัวของแป้งสุกแข็ง การทดสอบความแข็งของแป้งสุก สามารถทดสอบโดยหาความคงตัวของแป้งสุกจากการอ่านระยะทางที่แป้งไหล แบ่งข้าวตามค่าความคงตัวของแป้งสุกเป็น 3 ประเภทคือ แป้งสุกแข็ง แป้งสุกปานกลางและแป้งสุกอ่อนดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ประเภทของแป้งสุกและระยะทางการไหล

| ประเภทแป้งสุก  | ระยะทางที่แป้งไหล (มม.) |
|----------------|-------------------------|
| แป้งสุกแข็ง    | 26-40                   |
| แป้งสุกปานกลาง | 41-60                   |
| แป้งสุกอ่อน    | 61-100                  |

- 3) ระยะเวลาในการหุงต้ม (Cooking time) การต้มเมล็ดข้าวให้สุกใช้เวลาแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature) การประเมินหาอุณหภูมิแป้งสุก โดยวิธีการสลายเมล็ดข้าวในด่าง (Alkali test) โดยแช่เมล็ดข้าวสารในสารละลายด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1.7% นาน 23 ชั่วโมง และใช้ค่าการสลายของเมล็ดที่ปรากฏ มาประเมินระดับอุณหภูมิแป้งสุกได้ดังแสดงในตารางที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 การประเมินหาอุณหภูมิแป้งสุก

| อุณหภูมิแป้งสุก<br>(องศาเซลเซียส) | ระดับ   | ค่าการสลายเมล็ดในต่าง | ระยะเวลาในการหุงต้ม(นาที) |
|-----------------------------------|---------|-----------------------|---------------------------|
| ต่ำกว่า 70                        | ต่ำ     | 6-7                   | 12-16                     |
| 70-74                             | ปานกลาง | 4-5                   | 16-24                     |
| มากกว่า 75                        | สูง     | 1-3                   | มากกว่า 24                |

แม้ว่าระยะเวลาหุงต้มขึ้นกับอุณหภูมิแป้งสุก แต่ความหนาของเมล็ดข้าวทำให้ต้องยืดเวลาออกไป เช่น ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกเท่ากัน ข้าวที่เมล็ดหนาต้องใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวเมล็ดบาง ทำนองเดียวกัน โปรตีนที่มีมากตามบริเวณผิวนอกของเมล็ด อาจเป็นอุปสรรคในการซึมผ่านของน้ำ ทำให้เวลาในการหุงต้มนานออกไปอีก

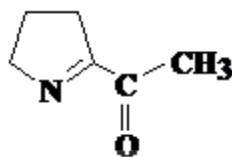
- 4) การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (Elongation ratio during cooking) ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวมีการขยายตัวทุกด้าน โดยเฉพาะด้านยาว คุณลักษณะนี้เป็นคุณภาพพิเศษของข้าว ซึ่งช่วยเสริมให้เมล็ดข้าวสุกขยายมากขึ้น และหากข้าวสุกไม่เหนียวติดกันการขยายของข้าวสุกช่วยให้ข้าวขึ้นหม้อดีขึ้น ช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น เพราะการขยายตัวทำให้เนื้อข้าวโปร่งไม่อัดแน่น ด้วยเหตุนี้ ข้าวบาสมати 370 ซึ่งเป็นข้าวอมีโลสปานกลาง แต่มีการยืดตัวดีมากจึงเป็นที่นิยมในตะวันออกกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก

- 5) กลิ่นหอม (Aroma) ข้าวโดยทั่วไปมีสารระเหยหลายร้อยชนิดแต่ข้าวหอมมีสาร 2-acetyl-1-pyrroline ดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 2.7 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่าข้าวทั่วไป ในข้าวสารหอม 1 กรัมมีสารนี้อยู่ 0.04-0.09 ไมโครกรัม และในข้าวกล้อง 1 กรัม มีอยู่ 0.1-0.2 ไมโครกรัม ในเตย 1 กรัมมีสารหอมนี้ในปริมาณ 1 ไมโครกรัม



รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารให้ความหอม 2-acetyl-1- pyrroline

- 6) ปริมาณโปรตีน (Protein content) แม้ว่าโปรตีนไม่ค่อยถูกอ้างถึงเมื่อกล่าวถึงคุณภาพ แต่มีรายงานว่าโปรตีนที่ส่วนนอกของเมล็ด มีผลทำให้ระยะเวลาในการหุงต้มนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีน เป็นตัวขัดขวางการซึมของน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าว นอกจากนี้โปรตีนสูงทำให้เมล็ดแกร่งขึ้นทำให้ขัดสีออกได้ยาก อาจมีระดับการสีต่ำ (มีรำเหลืออยู่มาก) ทำให้ข้าวสุกเหนียวน้อยลงและมีสีคล้ำ จากการศึกษาผลการใส่ปุ๋ย ต่อคุณภาพข้าว พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนซึ่งทำให้โปรตีนในเมล็ดข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สูงขึ้น มีข้าวสุกสีคล้ำขึ้น ข้าวมีความนุ่มลดลงเมื่อเมล็ดข้าวสารมีโปรตีน 10% และหากโปรตีนสูง 12% ความเหนียวของข้าว ลดลงด้วย

## 2.2 มาตรฐานสินค้าข้าว

มาตรฐานการส่งออกข้าวของกระทรวงพาณิชย์ประเทศไทยได้กำหนดลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวไว้ เช่น ปริมาณข้าวที่มีขนาดเมล็ดต่าง ๆ ขนาดข้าวหัก ปริมาณเมล็ดชนิดอื่นปน ความสะอาดที่จำกัดด้วยปริมาณสิ่งเจือปน ความชื้น และระดับการสีซึ่งตรวจสอบได้ง่าย ข้าวคุณภาพดี (ข้าวขาว 100% และ 5%) นั้นต้องมีส่วนผสมของข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (> 7.0 มิลลิเมตร) จำนวนมาก ด้วยเหตุนี้การปรับปรุงพันธุ์ข้าวใหม่ ๆ จึงเน้นพันธุ์ข้าวที่มีเมล็ดมาตรฐานดี คือ มีความยาวเฉลี่ยมากกว่า 7.0 มิลลิเมตร ดังนั้น ข้าวสารที่จำหน่ายในท้องตลาดจึงมีลักษณะเมล็ดเรียวยาวคล้ายๆ กัน ไม่ว่าจะเป็นข้าวประเภทใด แต่เมื่อนำไปหุงต้มอาจมีคุณภาพข้าวสุกแตกต่างกัน

ตลาดข้าวคุณภาพดีเป็นตลาดที่ข้าวมีราคาสูง ข้าวแต่ละประเภทยังแบ่งเป็นระดับคุณภาพต่าง ๆ การพิจารณาคุณภาพข้าวในด้านการค้าระหว่างประเทศส่งออกแต่ละประเทศกำหนดมาตรฐานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการซื้อขายขึ้น โดยแบ่งชนิดคุณภาพหรือเกรดต่าง ๆ ไว้สำหรับประเทศไทย การแบ่งชนิดคุณภาพข้าวเป็นไปตามข้อกำหนดในประกาศกระทรวงพาณิชย์ ซึ่งมีการปรับปรุงประกาศกระทรวงพาณิชย์เรื่อง มาตรฐานสินค้าข้าวขึ้นใหม่ในปี พ.ศ. 2559 ตามมาตรฐานดังกล่าวพิจารณาชนิดคุณภาพข้าวยึดถือคุณภาพและองค์ประกอบทางกายภาพที่สามารถตรวจสอบด้วยตาเป็นหลัก คือ พื้นข้าว ส่วนผสม สิ่งนี้อาจมีปนได้ ระดับการสี และความชื้น

โดยมาตรฐานที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ที่การคัดแยกข้าวหักเพื่อนำไปประเมินคุณภาพข้าวประกอบด้วย

- 1) พื้นข้าว คือ ปริมาณของข้าวเต็มเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหัก ขนาดต่างๆ ที่ผสมรวมอยู่ข้าวเต็มเมล็ดเหล่านี้แบ่งตามความยาวของเมล็ดออกเป็น 4 ขนาดดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ชนิดของเมล็ดข้าวและความยาว

| ชนิดของเมล็ดข้าว | ความยาว (มิลลิเมตร) |
|------------------|---------------------|
| เมล็ดยาวชั้น 1   | มากกว่า 7.0         |
| เมล็ดยาวชั้น 2   | 6.6 – 7.0           |
| เมล็ดยาวชั้น 3   | 6.2 – 6.6           |
| เมล็ดสั้น        | น้อยกว่า 6.2        |

- 2) ส่วนผสม คือ อัตราส่วนผสมของข้าวเต็มเมล็ด ซึ่งเป็นเมล็ดข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 9/10 ของเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหัก ต้นข้าว ข้าวหักขนาดต่างๆ ทั้งนี้ต้นข้าวและข้าวหักยังมีขนาดแตกต่างกันตามเกรดของข้าว หากแบ่งความยาวของเมล็ดข้าวเต็มเมล็ดออกเป็น 10 ส่วน ขนาดของต้นข้าวและข้าวหักของข้าวเกรดต่างๆ มีขนาดดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ขนาดของต้นข้าวและข้าวหักของข้าวเกรดต่าง ๆ

| ชนิดข้าวขาว              | ต้นข้าว (ส่วน)         | ข้าวหัก (ส่วน) |
|--------------------------|------------------------|----------------|
| ข้าว 100% ชั้น 1 2 และ 3 | มากกว่าหรือเท่ากับ 8   | 5 – 8          |
| ข้าว 5%                  | มากกว่าหรือเท่ากับ 7.5 | 3.5 – 7.5      |
| ข้าว 10%                 | มากกว่าหรือเท่ากับ 7   | 3.5 – 7        |
| ข้าว 15%                 | มากกว่าหรือเท่ากับ 6.5 | 3 – 6          |
| ข้าว 25 - 45%            | มากกว่าหรือเท่ากับ 5   | น้อยกว่า 5     |

ข้าวคุณภาพสูงนอกจากมีการกำหนดให้พื้นข้าวมีปริมาณเมล็ดยาวมาก ขนาดของต้นข้าวและข้าวหักยังยาวกว่าข้าวเกรดต่ำกว่าอีกด้วย สำหรับการแบ่งเกรดข้าวที่ระบุเป็น % หากเป็นข้าว 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นข่าวคุณภาพดีมีความหมายว่า เป็นข่าวที่มีปริมาณข่าวหักน้อย คือไม่เกิน 5% (4 - 5%) แต่สำหรับเกรดข่าวต่ำกว่านี้ความหมายของ % นอกจากหมายถึงปริมาณข่าวหักที่ปนอยู่โดยประมาณ เช่น ข่าว 5% มีข่าวหัก 5+2% ยังบอกถึงปริมาณข่าวเมล็ดยาวชั้น 1 ลดลงตาม % ที่เพิ่มขึ้น

## 2.3 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ คือ การกระทำการอย่างใดอย่างหนึ่งกับภาพ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีคุณลักษณะเป็นไปตามที่ต้องการ เพื่อนำเอาคุณลักษณะดังกล่าวไปใช้ในงานต่าง ๆ เช่น การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image enhancement) การปรับเปลี่ยนหรือการแปลงรูปภาพทั้งขนาดและรูปร่าง (Image transformation) การกรองภาพหรือการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ (Image filters) การซ้อนทับภาพ (Image registration) การตัดแบ่งภาพหรือคัดเลือกส่วนที่ต้องการและการหาขอบภาพในวัตถุ (Image segmentation and edge detection) เป็นต้น

### 2.3.1 ภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพดิจิทัล เกี่ยวข้องกับการแปลงข้อมูลรูปที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เพื่อใช้ในการประมวลผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้ และ ยังนำมาใช้ในการลดปัญหาของภาพเช่น ลดสัญญาณรบกวนภายในภาพ เป็นต้น

ในการแปลงภาพให้เป็นสัญญาณดิจิทัลนั้น ระบบนำรูปที่รับเข้ามาไปคำนวณ โดยกระบวนการ Sampling และ Quantization และส่งข้อมูลออกมาในรูปแบบดิจิทัล คอมพิวเตอร์เก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำ โดยการจองหน่วยความจำภายในเครื่องในรูปแบบของอาร์เรย์ โดยค่าในแต่ละช่องของ อาร์เรย์แสดงถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของรูปที่จุด พิกเซล นั้น ๆ และตำแหน่งของช่องอาร์เรย์ก็เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุด พิกเซล ภายในภาพด้วย[4]

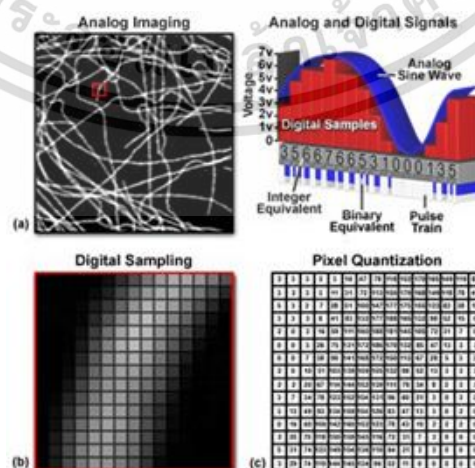


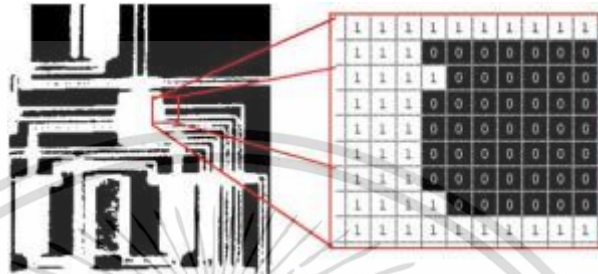
Figure 1

### รูปที่ 2.8 การแปลงภาพแอนะล็อกให้เป็นภาพดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพดิจิทัลที่ได้มีรูปแบบการเก็บเป็นเมทริกซ์ ซึ่งมีการจัดเก็บภาพแต่ละชนิดต่างกัน ขึ้นอยู่กับระบบสีของภาพดังกล่าว โดยแบ่งชนิดของภาพได้ดังนี้

1. ภาพขาวดำ (Binary image) เป็นรูปที่ใช้เนื้อที่เพียง 1บิต ต่อ พิกเซล โดยค่าสีมีแค่สองค่าคือ 0 หรือสีดำ และ 1 หรือสีขาวดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ภาพขาวดำ

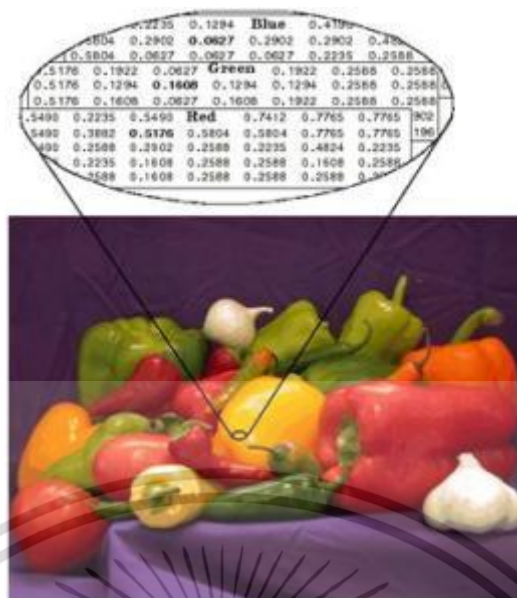
2. ภาพระดับเทา (Grayscale Image) เป็นรูปที่เก็บโดยใช้รูปแบบของอาร์เรย์ 2 มิติ โดยค่าที่เก็บมีค่าอยู่ในช่วงๆหนึ่ง ซึ่งระดับของสีขึ้นอยู่กับขนาดของบิตที่ใช้เก็บค่าสีดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ภาพแบบระดับเทา

- ภาพสี (RGB Image หรือ True color Image) เป็นรูปที่เก็บโดยใช้อาร์เรย์ 3 มิติ ขนาด  $m \times n \times 3$  โดยที่  $m$  คือความยาว และ  $n$  คือความกว้างของภาพในหน่วยพิกเซล ส่วนมิติสุดท้ายนั้น ในแต่ละมิติมีค่าสีแยกกัน คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ดังแสดงในรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ภาพแบบสี

### 2.3.2 เทคโนโลยีการสแกนภาพ

เทคโนโลยีแบบ CIS หรือ Contact image sensor ใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์แบบสัมผัส ภาพซึ่งเป็นระบบการทำงานที่ตัวรับแสง รับแสงที่สะท้อนกลับ จากวัตถุมายังตัวเซนเซอร์โดยตรงไม่ต้องผ่านกระจกเลนส์ ลำแสงสีขาวที่ใช้ในการสแกนมี 3 หลอดสีคือ สีแดง , น้ำเงิน และ เขียว ทั้ง 3 หลอด สร้างแสงสีขาวขึ้นมาเพื่อใช้สแกน ระบบนี้มีข้อจำกัด เรื่องของการโฟกัส คือ ไม่สามารถโฟกัสได้เกิน 2 มิลลิเมตร จึงทำให้ไม่สามารถสแกนวัตถุที่มีความลึกหรือวัตถุ 3 มิติได้ แต่สามารถสแกนข้อความ บนเอกสาร ชนิดต่างๆได้ตัวอักษรที่คมชัด และสแกนได้รวดเร็ว[7] และสามารถสแกนวัตถุบางประเภทที่มีความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร เช่น ใบไม้ ผ้าทอ หรือเมล็ดข้าว

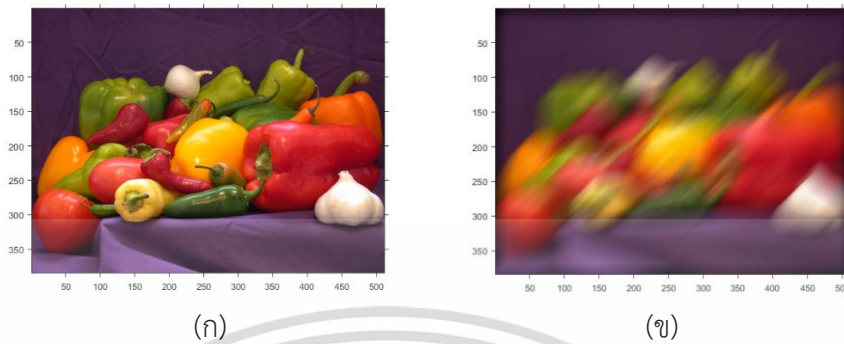
### 2.3.3 การกรองข้อมูลภาพ

การกรองข้อมูลภาพ คือ การนำภาพไปผ่านตัวกรองสัญญาณ เพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ออกมาที่มีคุณสมบัติแตกต่างจากภาพเริ่มต้น โดยวัตถุประสงค์หลักของการกรองข้อมูลภาพ คือ การเน้น (Enhance) หรือลดทอน (Attenuate) คุณสมบัติบางประการของภาพ เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามต้องการเพื่อนำไปใช้งานจริง เนื่องจากภาพต้นฉบับหรือภาพที่ได้มามักมีสัญญาณรบกวน หรือสัญญาณไม่พึงประสงค์อื่น ๆ ปะปนอยู่ด้วย ตัวอย่างของภาพที่ถูกกรองดังแสดงในรูปที่ 2.12

ตัวกรอง คือ ระบบ ๆ หนึ่งซึ่งรับสัญญาณเข้า (Input) ประมวลผลสัญญาณ และส่งสัญญาณออก (Output) โดยทั่วไปตัวกรองถูกสร้างให้เป็นระบบเชิงเส้น (Linear system) เนื่องจากออกแบบได้ง่ายและมีประสิทธิภาพดี ในการกรองข้อมูลภาพ มักพิจารณาว่าภาพ คือ สัญญาณ 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ประกอบขึ้นจากสัญญาณความถี่ต่าง ๆ ผสมกันอยู่ในสัดส่วนที่ต่างกัน การออกแบบตัวกรอง จึงเป็นการกำหนดว่าต้องการกำจัดสัญญาณความถี่ใดออกไปหรือต้องการเลือกสัญญาณความถี่ใดบ้าง



รูปที่ 2.12 การกรองข้อมูลภาพ

(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ภาพหลังจากผ่านการกรอง

1. การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ (Mean filtering) การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ ใช้ค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ของจุดทั้งหมด หากมีภาพทั้งหมด  $K$  ภาพ การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์เป็นการลดทอนสัญญาณรบกวน ภาพที่ได้มีสัญญาณรบกวนลดลง ซึ่งสมการการกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K f_j(x, y) \quad (2.1)$$

โดย  $\hat{f}(x, y)$  คือ ความเข้มแสงของจุด ณ ตำแหน่ง  $(x, y)$  ในภาพผลลัพธ์  
 $f_j(x, y)$  คือ ความเข้มแสงของจุด ณ ตำแหน่ง  $(x, y)$  ในภาพที่ (ก)

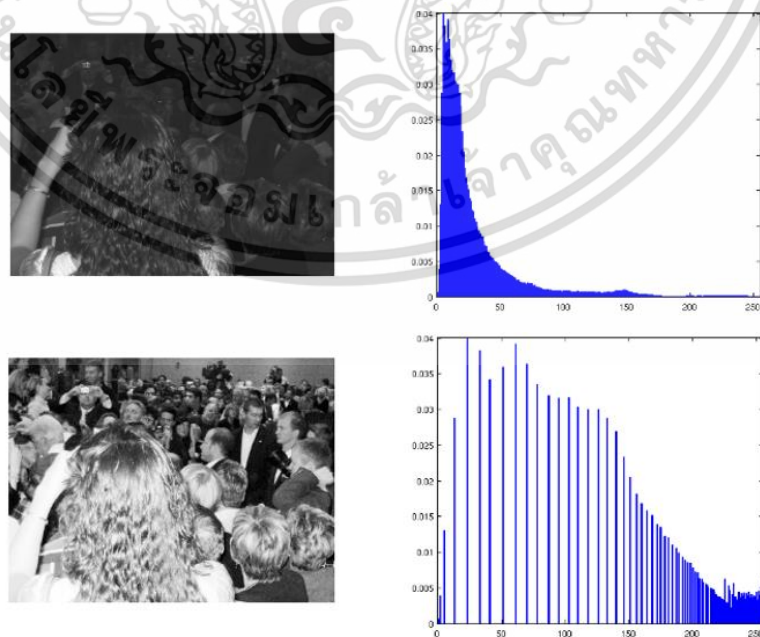
2. การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่ามัธยฐาน (Median filtering) การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่ามัธยฐาน เป็นการนำเอาความเข้มแสงของจุดที่ตรงกันในภาพต่าง ๆ มาเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก จากนั้นเลือกค่าที่อยู่ตรงกลางไปใช้ หากจำนวนภาพทั้งหมดเป็นจำนวนคู่ ค่าทั้งสองที่อยู่ตรงกลางนำมาหาค่าเฉลี่ย วิธีนี้ข้อดีคือไม่สูญเสียความคมชัด แต่ข้อเสียคือต้องใช้เวลาในการเรียงลำดับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาในการคำนวณสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าฐานนิยม (Modal filtering) การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าฐานนิยมคล้ายกับวิธีใช้ค่ามัธยฐาน แต่ไม่ใช้การเรียงลำดับข้อมูล ระดับความเข้มแสงที่ใช้บ่อยที่สุดถูกเลือกไปใช้ วิธีนี้เสมือนการโหวตลงคะแนนเสียง ผู้ที่ได้คะแนนเสียงสูงที่สุดคือผู้ชนะ วิธีนี้เหมาะสำหรับการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นไม่บ่อย

### 2.3.4 ฮิสโตแกรมของภาพ (Histogram)

ฮิสโตแกรม คือ เครื่องมือตัวหนึ่งที่ยิยมใช้ในการนำเสนอข้อมูลในลักษณะกราฟแท่ง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลกับจำนวนพิกเซลในระดับสีนั้น ๆ โดยคำว่าข้อมูลหมายถึงจำนวนพิกเซล ในแต่ละความสว่างต่าง ๆ หรือข้อมูลค่าสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน ของรูปภาพดิจิทัลในภาพระดับเทา ซึ่งในแกนนอนของฮิสโตแกรมแสดงความสว่างที่มีความสว่างตั้งแต่ 0 - 255 กล่าวคือ ค่าทางด้านซ้ายของกราฟ มีผลทำให้ภาพมีสีเข้มเข้าใกล้สีดำ ส่วนค่าทางด้านขวาของกราฟ มีผลทำให้ภาพสว่างเข้าใกล้สีขาว ส่วนบริเวณตรงกลางกราฟแสดงส่วนน้ำหนักสีกลาง และแนวแกนตั้งแสดงจำนวนพิกเซลของค่าความสว่างนั้น ๆ ถ้าหากภาพมีความมืดมาก กราฟที่ได้มีข้อมูลไปกองรวมกันทางด้านซ้าย หรืออาจกล่าวได้ว่า ฮิสโตแกรมนี้แสดงให้เห็นถึงความเบี่ยงเบนของข้อมูลว่า มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบระฆังคว่ำหรือไม่ หรือมีความเบี่ยงเบนไปทางบวกหรือลบ หรือมีลักษณะรูปแบบพื้นเลื่อยหรือแบบหน้าผา ซึ่งลักษณะของความเบี่ยงเบนแบบต่าง ๆ ทำให้ภาพที่ได้แตกต่างกันไป[8] ตัวอย่างของฮิสโตแกรมแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ฮิสโตแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.5 คอนทราสต์ของภาพ (Contrast)

คอนทราสต์ของภาพ คือ ค่าเปรียบเทียบความต่างของสีที่วัตถุโดดเด่นและสังเกตเห็นอย่างชัดเจน[9] หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า คอนทราสต์ของภาพ คือ ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างค่าระดับความเข้มเทาในแต่ละพิกเซลในภาพขนาด  $m \times n$  และค่าความสว่าง ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$C = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} (f(x, y) - B)^2} \quad (2.2)$$

โดยค่า  $C$  คือ ค่าคอนทราสต์ และ  $B$  คือ ค่าความสว่างของภาพ



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.14 ภาพคอนทราสต์

(ก) คอนทราสต์ต่ำ

(ข) คอนทราสต์สูง

### 2.3.6 การปรับปรุงค่าความสว่างของภาพ (Contrast enhancement)

การปรับปรุงค่าความสว่างของภาพ เป็นการปรับปรุงความสว่างโดยกำหนดค่าความสว่างให้เต็มพิสัย (Range) ของข้อมูลภาพ เพื่อให้ภาพที่ได้มีคอนทราสต์ที่ดีและสามารถแสดงรายละเอียดของภาพได้อย่างชัดเจน โดยกระบวนการปรับปรุงค่าความสว่างของภาพ สามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Linear contrast stretch คือ การขยายพิสัยของค่าความเข้มข้อมูลเดิม ให้มีค่ามากยิ่งขึ้นจนเต็มช่วง 0 ถึง 255 โดยใช้กราฟเปรียบเทียบที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง การปรับคอนทราสต์แบบเชิงเส้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 ตัวอย่างการปรับคอนทราสต์แบบ Linear contrast stretch ดังแสดงในรูปที่ 2.15

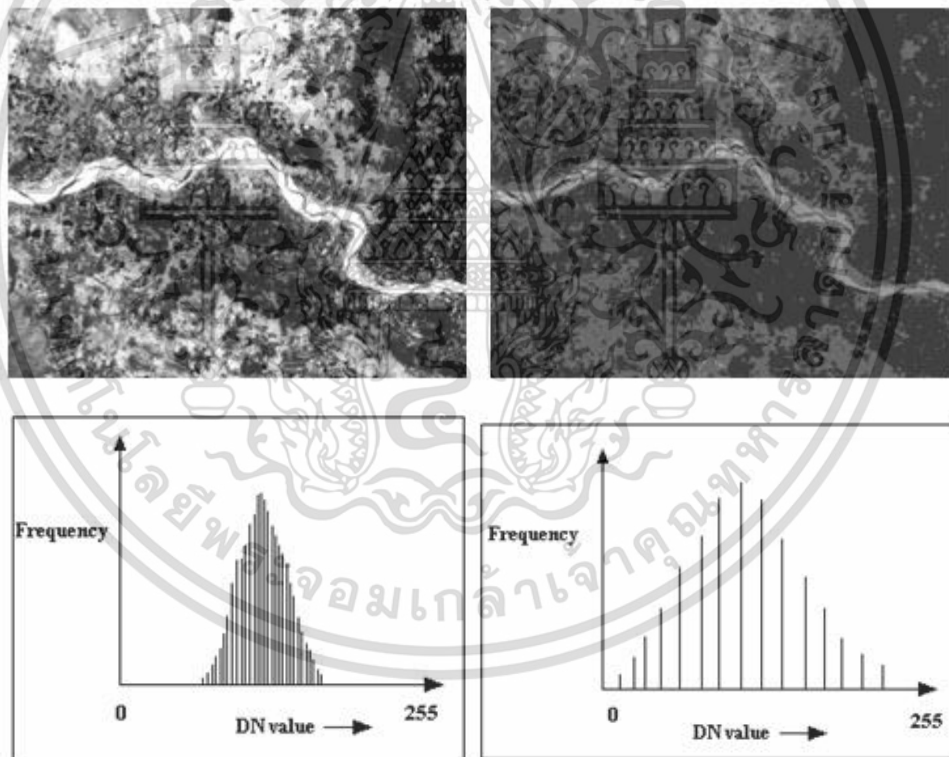
$$g(x, y) = \left( \frac{255}{DN_{\max} - DN_{\min}} \right) (f(x, y) - DN_{\min}) \quad (2.3)$$

โดย  $g(x, y)$  คือ ค่าความสว่างใหม่ของภาพที่จุด  $(x, y)$

$f(x, y)$  คือ ค่าความสว่างเดิมของภาพที่จุด  $(x, y)$

$DN_{\max}$  คือ ค่าความสว่างสูงสุด

$DN_{\min}$  คือ ค่าความสว่างต่ำสุด

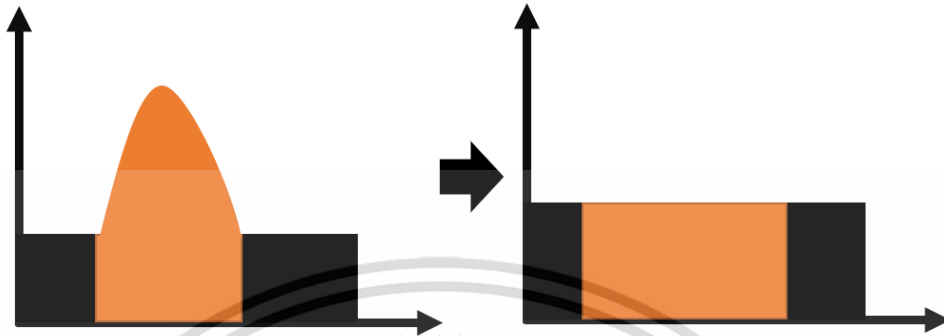


รูปที่ 2.15 ตัวอย่างการปรับคอนทราสต์แบบ Linear contrast stretch

2. Non-linear contrast stretch คือ การปรับระดับค่าความสว่างของข้อมูลภาพ โดยใช้ความสัมพันธ์ที่ไม่ใช่ลักษณะเชิงเส้นตรง เพื่อเปลี่ยนการกระจายข้อมูลที่ไม่แบบปกติให้เป็นแบบปกติ และปรับจำนวนจุดภาพในแต่ละค่าความเข้ม ให้มีจำนวนใกล้เคียงกัน ซึ่งเทคนิคนี้เรียกว่า Histogram equalization stretch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์ในการนำมาใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Histogram equalization (HE) คือ หนึ่งในวิธีที่นำค่าฮิสโตแกรมของภาพมาประมวลผล เพื่อขจัดเซชความสว่างและกระจายความสว่างให้มีความสม่ำเสมอทั้งรูปภาพ ตัวอย่างฮิสโตแกรมก่อนและหลังของวิธี Histogram equalization ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างฮิสโตแกรมก่อนและหลังของวิธี Histogram equalization

- Adaptive histogram equalization (AHE) คือ การพัฒนาต่อยอดของ Histogram equalization ซึ่งมีข้อเสีย คือ การขยายสัญญาณรบกวนในข้อมูลพื้นหลัง การปรับปรุงวิธีการนี้เป็น การเพิ่มความคมชัดให้กับภาพ ซึ่งเป็นการปรับปรุงในระดับพื้นที่ (Local enhancement) แบบพื้นที่ ภาพเป็นส่วน ๆ ตัวอย่างของภาพก่อนและหลังการทำ Adaptive histogram equalization ดังแสดง ในรูปที่ 2.17

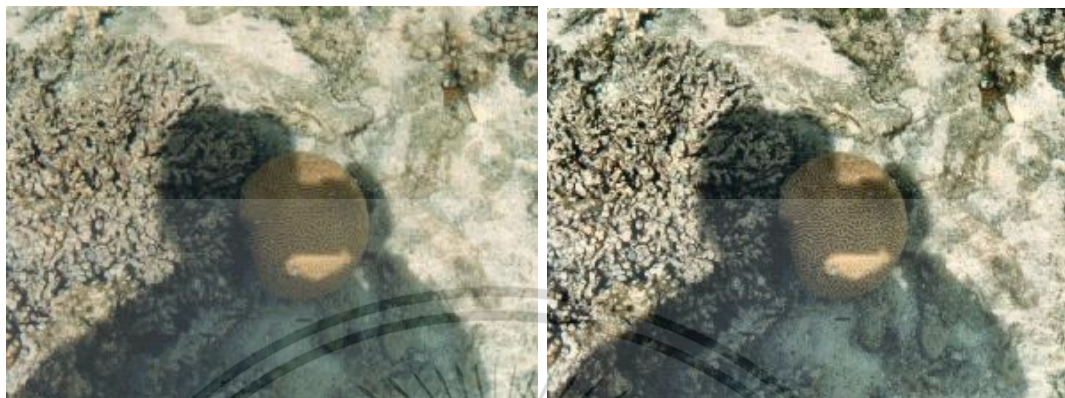


รูปที่ 2.17 ภาพก่อนและหลังการทำ Adaptive histogram equalization

- Contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) คือ การปรับปรุงความชัดของภาพ โดยพัฒนามาจาก AHE ซึ่งมีปัญหาเดียวกันกับ HE ในเรื่องของการเกิด Over-enhancement โดยกระบวนการนี้เป็นการลดการกระจายของสัญญาณรบกวน โดยการตัดค่าส่วนเกินฮิสโตแกรม (Clip histogram) แล้วนำไปกระจายให้กับค่าความสว่างที่มีความถี่สะสมไม่เกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าลิมิตที่เป็นเกณฑ์ในการตัดฮิสโทแกรม ตัวอย่างของภาพก่อนและหลังการทำ Contrast limited adaptive histogram equalization ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ภาพก่อนและหลังการทำ Contrast limited adaptive histogram equalization

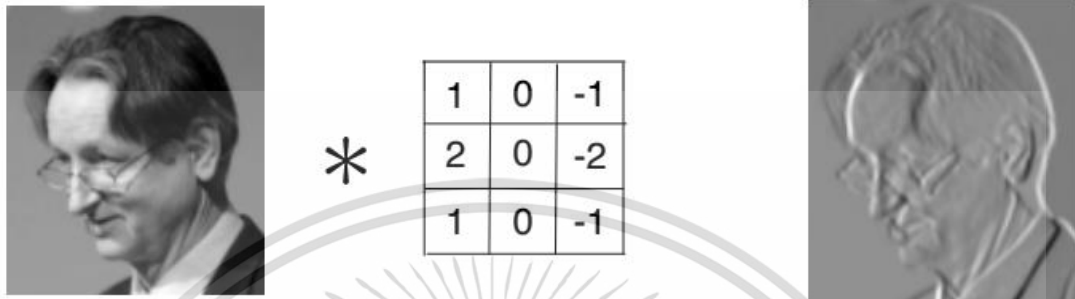
3. Piecewise stretch คือ การเลือกยืดข้อมูลภาพเป็นบางส่วน หรือเป็นช่วง ๆ โดยแต่ละช่วง อาจกำหนดพิสัยของการยืดแตกต่างกันไป หลักการ คือ พิสัยของค่าความเข้มข้อมูลเดิมที่ต้องการขยายนั้น ถูกแบ่งออกเป็นหลาย ๆ ช่วงและในแต่ละช่วงขยายให้เป็นค่าใด ๆ ก็ได้ตามต้องการ แต่ต้องต่อเนื่องกันไปจนตลอดช่วง 0-255 เช่น แบ่งการขยายค่าความเข้มเดิมจาก 10-120 ให้เป็น 0-255

### 2.3.7 การคอนโวลูชัน

การคอนโวลูชันของการประมวลผลภาพมีได้ในหลายลักษณะ เช่น กรองสัญญาณภาพ การหาขอบภาพ (Edge detection) หรือการหารูปทรงของวัตถุในภาพ เป็นต้น การประมวลผลภาพด้วยการคอนโวลูชัน คือ การกระทำกันระหว่างภาพและเทมเพลต (Template) ซึ่งเทมเพลต คือ เมตริกขนาด  $n \times m$  ของชุดตัวเลขที่นำไปซ้อนทับภาพที่ตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อหาผลลัพธ์ของการคอนโวลูชัน ถ้ากำหนดให้เทมเพลต  $T(x,y)$  เป็นเทมเพลตขนาด  $n \times m$  และภาพ  $f(x,y)$  มีขนาด  $n \times m$  โดยมีค่าระดับความเข้มแสงใด ๆ ณ จุด  $(x,y)$  ภาพผลลัพธ์ของการคอนโวลูชันคำนวณได้จาก การหาผลรวมของผลคูณของระหว่างค่าในเทมเพลตกับค่าระดับความเข้มแสงของภาพในบริเวณที่เทมเพลตซ้อนทับอยู่[10] การคอนโวลูชันระหว่างภาพกับเทมเพลต สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.4 ซึ่งตัวอย่างของผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.19

$$\hat{f}(x, y) = T * f = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} T(i, j) \cdot f(x-i, y-j) \quad (2.4)$$

โดย  $\hat{f}(x, y)$  คือ ภาพผลลัพธ์จากการคอนโวลูชัน



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างภาพการคอนโวลูชัน

## 2.4 การแปลงเรขาคณิตของภาพ (Geometric transformation of image)

การแปลงทางเรขาคณิตของภาพ คือ ขั้นตอนพื้นฐานในกระบวนการซ้อนทับภาพ โดยการทับซ้อนภาพจำเป็นต้องมีการแปลงเรขาคณิต เพื่อแปลงภาพที่ต้องการนำไปซ้อนทับบนภาพต้นฉบับ หรือภาพที่ใช้อ้างอิงได้พอดี การแปลงเรขาคณิตของภาพแบ่งได้ 2 ประเภท คือ การแปลงแบบเรขาคณิตเชิงเส้นและการแปลงแบบเรขาคณิตแบบไม่เป็นเชิงเส้น[11]

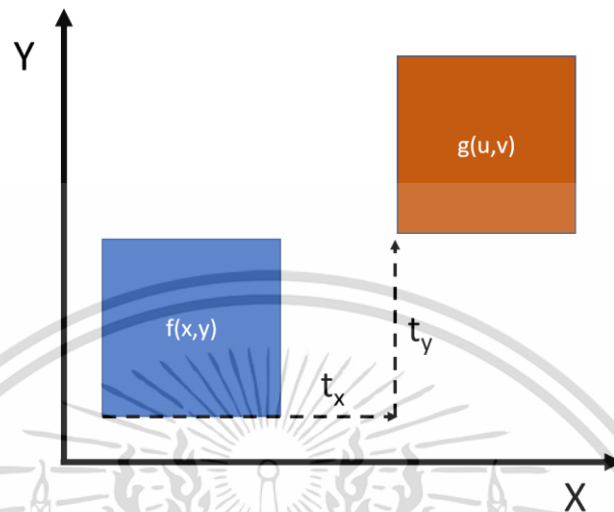
### 2.4.1 การแปลงเรขาคณิตแบบเชิงเส้น (Geometric linear transformation)

การแปลงเรขาคณิตแบบเชิงเส้น คือ การเปลี่ยนแปลงของภาพทั้งการเลื่อนภาพ การสเกลภาพ (Scale) การหมุนภาพและการบิดภาพ โดยปกติแล้วการแปลงเรขาคณิตถูกใช้ในระบอบคาร์ทีเซียน (Cartesian) ซึ่งมีจุดกำเนิดอยู่ที่พิกัด (0,0) หรือมุมล่างซ้ายของภาพ แต่ในระบบภาพดิจิทัล จุดกำเนิดของภาพอยู่มุมบนซ้าย และในกระบวนการแปลงเรขาคณิตของภาพ หากไม่ได้ระบุจุดกำเนิดของภาพ ถือได้ว่าจุดกำเนิดของภาพอยู่ทางมุมบนซ้าย การแปลงเรขาคณิตของภาพใด ๆ ในระบอบคาร์ทีเซียน ภาพต้นฉบับในระบบนี้ถูกแทนด้วย  $f(x,y)$  โดย  $x$  และ  $y$  แทนตำแหน่งใด ๆ ของภาพต้นฉบับ และเมื่อมีการแปลงเรขาคณิต ภาพที่ถูกแปลงด้วยการแปลงเรขาคณิตแทนด้วย  $g(u,v)$  ซึ่ง  $u$  และ  $v$  แทนตำแหน่งใด ๆ ของภาพที่ถูกแปลง

1. การเลื่อนภาพ (Translation) คือ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งออฟเซตสัมพัทธ์ (Relative offset address) ของภาพ โดยความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการเคลื่อนย้าย แสดงได้ดังสมการที่ 2.5 และ 2.6 โดยที่สมการที่ 2.5 คือ การเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพในแนวแกนนอน (Horizontal axis) และสมการที่ 2.6 คือ การเลื่อนภาพในแนวแกนตั้ง (Vertical axis) ผลที่ได้จากการเลื่อนภาพ แสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การย้ายภาพ

$$u = x + t_x \quad (2.5)$$

$$v = y + t_y \quad (2.6)$$

โดย  $t_x$  และ  $t_y$  คือ ระยะการย้ายตำแหน่งเป็นระยะหนึ่ง ๆ ตามแนวแกนนอน และแกนตั้ง ตามลำดับ สมการที่ 2.5 และ 2.6 สามารถเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ ได้ดังสมการที่ 2.7 หรือสมการที่ 2.8

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$\begin{bmatrix} x'_0 & x'_1 & x'_2 & \cdots & x'_n \\ y'_0 & y'_1 & y'_2 & \cdots & y'_n \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 & x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ y_0 & y_1 & y_2 & \cdots & y_n \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

โดย  $x$  และ  $y$  คือ พิกัดของจุดใด ๆ ของรูปก่อนการแปลงเรขาคณิต

$x'$  และ  $y'$  คือ พิกัดของจุดใด ๆ ของรูปหลังการแปลงเรขาคณิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การสเกลภาพ (Scaling) คือ การเปลี่ยนแปลงขนาดของภาพ ให้มีขนาดเพิ่มขึ้นหรือลดลงในด้านหนึ่ง ๆ การสเกลภาพสามารถทำได้โดยเปลี่ยนพิกัดคาร์ทีเซียนของภาพที่นำเข้า ดังสมการที่ 2.9 และ 2.10 หรือเขียนในรูปแบบของเวกเตอร์ได้ดังสมการที่ 2.11 หรือสมการที่ 2.12

$$u = s_x x \quad (2.9)$$

$$v = s_y y \quad (2.10)$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

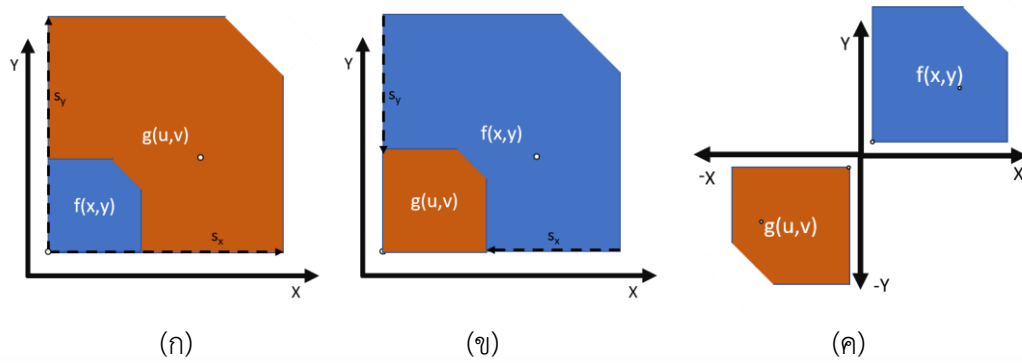
$$\begin{bmatrix} x'_0 & x'_1 & x'_2 & \cdots & x'_n \\ y'_0 & y'_1 & y'_2 & \cdots & y'_n \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 & x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ y_0 & y_1 & y_2 & \cdots & y_n \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

โดย  $x$  และ  $y$  คือ พิกัดของจุดใด ๆ ของรูปก่อนการแปลงเรขาคณิต

$x'$  และ  $y'$  คือ พิกัดของจุดใด ๆ ของรูปหลังการแปลงเรขาคณิต

$s_x$  และ  $s_y$  คือ ตัวแปรของสเกล (Scaling parameter) ตามแนวแกนนอน และแกนตั้ง ตามลำดับ

ผลของภาพหากค่าของ  $s_x$  และ  $s_y$  มากกว่า 1 คือ ภาพที่ได้มีการขยายในทิศทางที่สอดคล้องกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (ก) และถ้าค่าของ  $s_x$  และ  $s_y$  อยู่ในช่วงระหว่าง 0 และ 1 ผลของภาพที่ได้มีการย่อในทิศทางที่สอดคล้องกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (ข) ในทางกลับกัน ถ้าค่าของ  $s_x$  และ  $s_y$  น้อยกว่า 1 ภาพที่ได้มีลักษณะการสะท้อน (Reflection) หรือภาพกลับจากขวาเป็นซ้าย ซ้ายเป็นขวา บนเป็นล่าง ล่างเป็นบน ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (ค)



รูปที่ 2.21 การสเกลภาพ

(ก) ค่าของ  $s_x$  และ  $s_y$  มากกว่า 1(ข) ค่าของ  $s_x$  และ  $s_y$  อยู่ในช่วงระหว่าง 0 และ 1(ค) ค่าของ  $s_x$  และ  $s_y$  น้อยกว่า 1

3. การหมุนภาพ (Rotation) คือ การเปลี่ยนตำแหน่งของภาพรอบจุดกำเนิด โดยการหมุนภาพจากจุดใด ๆ ของ  $f(x,y)$  ไปเป็นจุดใด ๆ ของ  $g(u,v)$  ด้วยมุม  $\theta$  ดังรูปที่ 2.22 สามารถเขียนเป็นสมการของการหมุนในพิกัดคาร์ทีเซียน ได้ดังสมการที่ 2.13 และ 2.14 หรือเขียนในรูปแบบของเวกเตอร์ ได้ดังสมการที่ 2.15 หรือสมการที่ 2.16

$$u = x \cos \theta - y \sin \theta \quad (2.13)$$

$$v = x \sin \theta + y \cos \theta \quad (2.14)$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

$$\begin{bmatrix} x'_0 & x'_1 & x'_2 & \cdots & x'_n \\ y'_0 & y'_1 & y'_2 & \cdots & y'_n \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 & x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ y_0 & y_1 & y_2 & \cdots & y_n \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

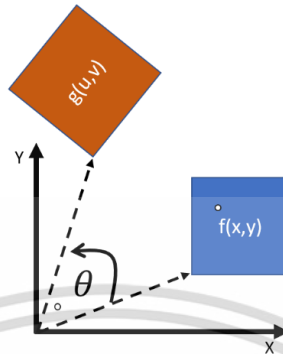
โดย  $x$  และ  $y$  คือ พิกัดของจุดใด ๆ ของรูปก่อนการแปลงเรขาคณิต

$x'$  และ  $y'$  คือ พิกัดของจุดใด ๆ ของรูปหลังการแปลงเรขาคณิต

$\theta$  หมายถึง มุมของการหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกาเมื่อเทียบกับแนวแกนนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการหมุนภาพ สามารถทำได้โดยเลื่อนจุดที่ต้องการให้เป็นจุดหมุนมาไว้ที่จุดกำเนิด จากนั้นทำการหมุนภาพและย้ายภาพกลับไปตำแหน่งเดิม



รูปที่ 2.22 การหมุนภาพ

4. การบิดภาพ (Shearing) คือ การแปลงภาพที่ทำให้ลักษณะภาพจากภาพทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือจัตุรัสเปลี่ยนไปเป็นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน โดยการบิดภาพสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ การบิดภาพในไปในทิศทางแกนนอน การบิดภาพไปในทิศทางแกนตั้ง และการบิดภาพไปทั้งในแกนนอนและแกนตั้ง สมการของการบิดภาพทั้งในแกนนอนและแกนตั้งในรูปของคาร์ทีเซียน สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.17 และ 2.18 ตามลำดับ และรูปแบบของเวกเตอร์ดังแสดงในสมการที่ 2.19 หรือ สมการที่ 2.20 ผลของการบิดทั้งสามรูปแบบ แสดงได้ดังรูปที่ 2.23

$$u = x + sh_x y \quad (2.17)$$

$$v = y + sh_y x \quad (2.18)$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & sh_x \\ sh_y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

$$\begin{bmatrix} x'_0 & x'_1 & x'_2 & \cdots & x'_n \\ y'_0 & y'_1 & y'_2 & \cdots & y'_n \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & sh_x & 0 \\ sh_y & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 & x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ y_0 & y_1 & y_2 & \cdots & y_n \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

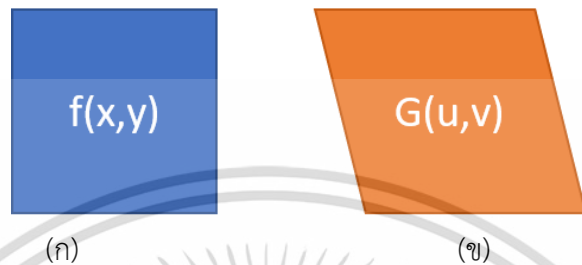
โดย  $x$  และ  $y$  คือ พิกัดของจุดใด ๆ ของรูปก่อนการแปลงเรขาคณิต

$x'$  และ  $y'$  คือ พิกัดของจุดใด ๆ ของรูปหลังการแปลงเรขาคณิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$sh_x$  และ  $sh_y$  คือ ตัวแปรของการบิด (Shearing parameter) ตามแนวแกน  $x$  และแกน  $y$  ตามลำดับ

หากต้องการให้การบิดภาพไปในทิศทางแกนนอน ให้กำหนดค่าของ  $sh_y$  เป็น 0 และหากต้องการให้การบิดภาพไปในทิศทางแกนตั้ง ให้กำหนดค่าของ  $sh_x$  เป็น 0



รูปที่ 2.23 การบิดภาพ

(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) การบิดภาพไปในทิศทางแกนนอน

(ค) การบิดภาพไปในทิศทางแกนตั้ง

(ง) การบิดภาพไปในสองแนวแกน

การแปลงเรขาคณิตตั้งที่กล่าวมาแล้วนั้น หากวัตถุหนึ่งมีการเลื่อนภาพ การสเกล การหมุน ภาพรอบจุดกำเนิด และการบิดภาพ การแปลงเรขาคณิตย่อยเหล่านี้ สามารถรวมกันเป็นการแปลงเรขาคณิตรวมในรูปแบบเวกเตอร์ได้ดังสมการที่ 2.21 หรือสมการที่ 2.12

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & sh_x \\ sh_y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

$$\begin{bmatrix} x'_0 & \cdots & x'_n \\ y'_0 & \cdots & y'_n \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & sh_x & 0 \\ sh_y & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 & \cdots & x_n \\ y_0 & \cdots & y_n \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.22 สามารถเขียนใหม่ให้ได้ดังสมการที่ 2.23

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 \\ d_1 & d_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_0 \\ d_0 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

การสเกล การหมุน และการบิดภาพ สามารถเขียนให้อยู่รวมกันในรูปของเมทริกซ์ขนาด  $2 \times 2$  ในส่วนของการเลื่อนภาพอยู่ในเมทริกซ์ขนาด  $2 \times 1$  นอกจากนั้นแล้วการรวมกันผลการแปลงเรขาคณิตไม่มีคุณสมบัติการถ่ายทอด (Communicative) กล่าวคือ ภาพของการย้ายภาพแล้วหมุน ผลลัพธ์ที่ได้ ไม่เหมือนกับภาพของการหมุนแล้วย้ายภาพ

จากสมการที่ 2.22 สามารถเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ 2.24 ซึ่งเป็นการเขียนสมการการเลื่อนภาพการสเกล การหมุน และการบิดภาพ ให้อยู่รวมกันในรูปของเมทริกซ์ขนาด  $3 \times 3$  หรือสามารถเขียนได้ในอีกรูปหนึ่งดังสมการที่ 2.25

$$\begin{bmatrix} x'_0 & \cdots & x'_n \\ y'_0 & \cdots & y'_n \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 \\ b_0 & b_1 & b_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 & \cdots & x_n \\ y_0 & \cdots & y_n \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

$$Y = T * X \quad (2.25)$$

โดย X คือ กลุ่มของพิกัดของจุดใด ๆ ของรูปก่อนการแปลงเรขาคณิต

Y คือ กลุ่มของพิกัดของจุดใด ๆ ของรูปหลังการแปลงเรขาคณิต

T คือ เมทริกซ์การแปลงเรขาคณิต

## 2.5 การเรียนรู้ของเครื่อง

### 2.5.1 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine, SVM)

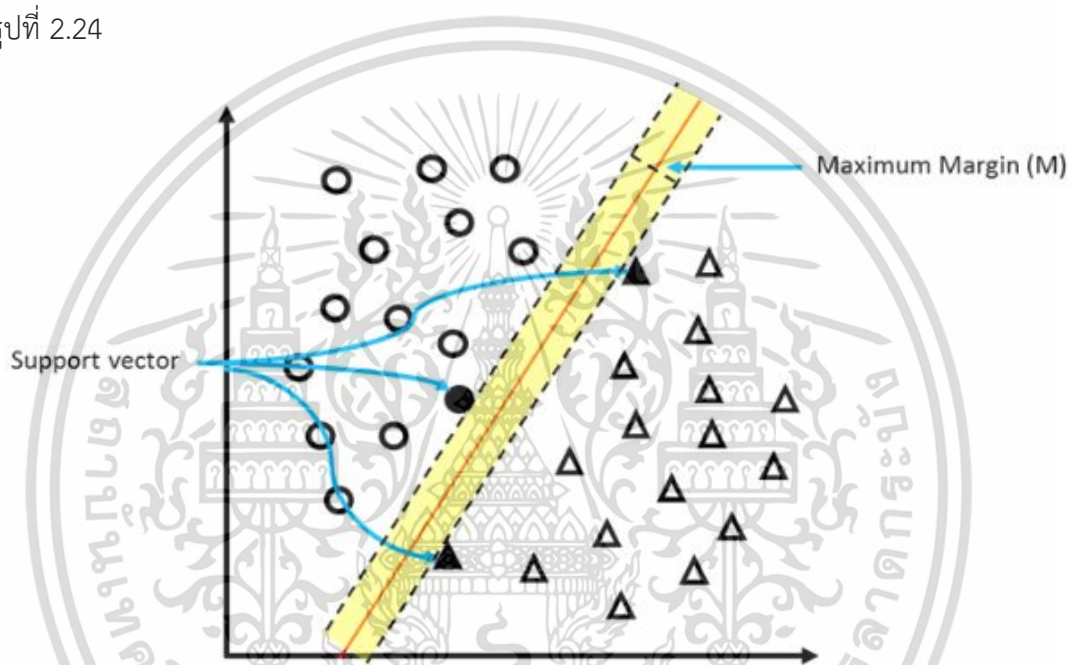
การเรียนรู้ของเครื่องจักรแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เป็นตัวจำแนกเชิงเส้น (Linear Classifier) แบบ 2 ประเภท เป็นโมเดลการเรียนรู้ที่ถูกสอนโดยอัลกอริทึมที่เกี่ยวข้องกับงานซึ่งวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้สำหรับการจำแนกประเภทและการวิเคราะห์การถดถอย เมื่อได้รับชุดของข้อมูลตัวอย่างการสอนแต่ละรายการที่ทำการระบุว่าเป็นข้อมูลประเภทหนึ่งหรือสอง อัลกอริทึมผ่านการสอนสร้างโมเดลที่สามารถแบ่งประเภทว่าเป็นประเภทหนึ่งหรือสองได้ โมเดลซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนที่ได้แสดงถึงกลุ่มจุดในพื้นที่ ซึ่งถูกแยกข้อมูลแต่ละประเภทจากกันโดยการแบ่งด้วยช่องว่างที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว้างที่สุดหรือเหมาะสมที่สุด ข้อมูลกลุ่มใหม่ถูกวางลงในพื้นที่เดียวกันที่และถูกจำแนกว่าอยู่ในประเภทใดตามฝั่งของขอบเขตที่ตก ข้อดีของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซิ่น คือมีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลที่มีจำนวนของมิติมากได้[12]

### 2.5.2 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซิ่นแบบเส้นตรง

หลักการของ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซิ่นแบบเชิงเส้น คือการหาเส้นตรงที่มีมาร์จิ้นที่กว้างที่สุด (Maximum Margin) ที่สามารถจำแนกข้อมูลออกเป็น 2 ประเภทได้ ซึ่งขนาดของมาร์จิ้นถูกกำหนดโดยซัพพอร์ตเวกเตอร์[16] ตัวอย่างของตัวแบบจำแนก SVM บนข้อมูลขนาด 2 มิติดังแสดงในรูปที่ 2.24



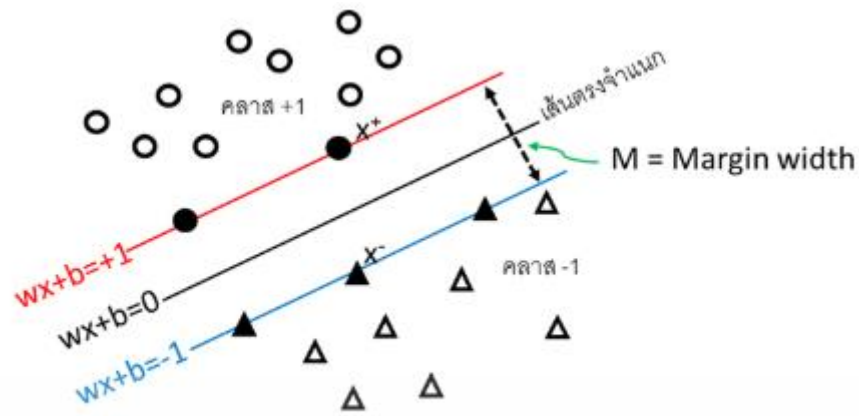
รูปที่ 2.24 ตัวอย่างของตัวแบบจำแนก SVM บนข้อมูลขนาด 2 มิติ

การใช้เส้นตรงสำหรับแบ่งข้อมูลเป็น 2 กลุ่มด้วยมาร์จิ้นที่โตที่สุด (Maximum Margin) เป็นวิธีที่การันตีได้ว่าสามารถแยกข้อมูลได้โดยมีความผิดพลาดน้อยที่สุด โดยมี support vector เป็นตัวกำหนดขนาดของ Margin ดังนั้นถ้าข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เส้นตรงจำแนกก็ยังขึ้นอยู่กับ support vector ซึ่งยังเป็น Maximum Margin อยู่ในภาพที่ 2.24 เป็นการหา Maximum Margin ในเชิงคณิตศาสตร์ จากรูปที่ 2.25 เห็นได้ว่าข้อมูล  $x$  ถูกแบ่งเป็นระนาบบวก และระนาบลบ โดยมีสมการที่ 2.26 สำหรับคลาสที่เป็นบวกและสมการที่ 2.27 สำหรับคลาสที่เป็นลบ

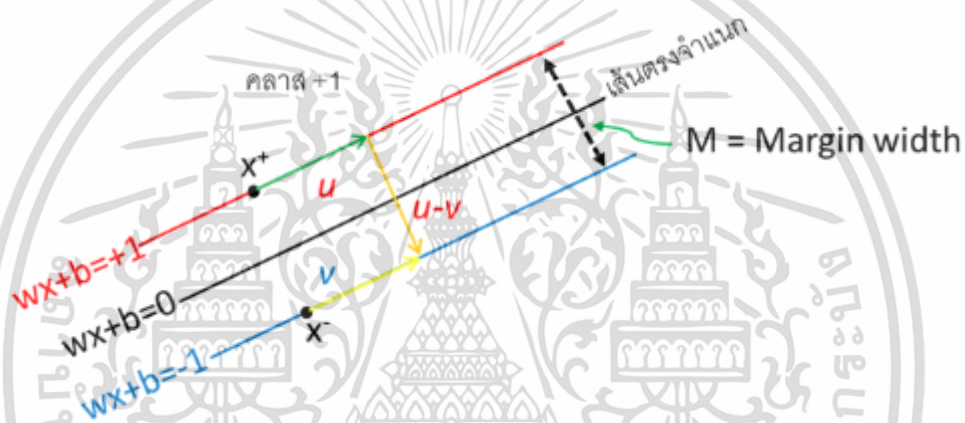
$$w \cdot x + b \geq +1 \quad (2.26)$$

$$w \cdot x + b \leq -1 \quad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 การคำนวณ Maximum Margin



รูปที่ 2.26 การหาค่า Margin

ในการหาความกว้างมาร์จิน (Margin width) กำหนดให้  $x^-$  เป็นจุดอยู่บนระนาบลบ และให้  $x^+$  เป็นจุดอยู่บนระนาบบวก และทั้งสองจุดใกล้กันมากที่สุด ดังรูปที่ 2.26 มีเวกเตอร์  $u$  บนระนาบบวกและทำนองเดียวกันเวกเตอร์  $v$  บนระนาบลบ และมีเวกเตอร์  $w$  ที่เป็นเวกเตอร์นำหน้าของเส้นจำแนก ดังนั้นเกิดเวกเตอร์ตั้งฉากกันได้  $(u-v) \cdot w = 0$  การคำนวณหาความกว้างของมาร์จินในรูปที่ 2.25 ในเทอมของ  $w$  และ  $b$  สามารถหาได้จากระบบสมการที่ 2.28 2.29 และ 2.30 ตามลำดับ

$$w \cdot x^+ + b = +1 \quad (2.28)$$

$$w \cdot x^- + b = -1 \quad (2.29)$$

$$x^+ = x^- + \delta w \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจัดรูปสมการที่ 2.30 ผลที่ได้แสดงดังสมการที่ 2.31

$$|x_+ - x_-| = M \quad (2.31)$$

เมื่อ  $\delta$  เป็นขนาดของเวกเตอร์  $w$  และเมื่อแทนค่าจากสมการที่ 2.30 ในสมการที่ 2.28 ได้ดังสมการที่ 2.32

$$-1 + \delta w \cdot w = 1 \quad (2.32)$$

ดังนั้น  $\delta$  จึงมีค่าดังแสดงในสมการที่ 2.33

$$\delta = \frac{2}{(w \cdot w)} \quad (2.33)$$

จากสมการที่ 2.30 และ 2.31 เมื่อแทนค่าและจัดรูปสมการสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.34

$$M = |x_+ - x_-| = |\delta w| = \delta \sqrt{(w \cdot w)} \quad (2.34)$$

จากสมการที่ 2.32 และ 2.33 เมื่อแทนค่าและจัดรูปสมการสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.35

$$M = \left( \frac{2}{(w \cdot w)} \right) \sqrt{(w \cdot w)} = \frac{2}{\sqrt{(w \cdot w)}} \quad (2.35)$$

เนื่องจากเวกเตอร์  $w$  และ ค่าคงที่  $b$  สามารถคำนวณหาค่า margin  $M$  ได้จากสมการที่ 2.35 จากนั้นใช้วิธีการค้นหา  $M$  ที่มากที่สุดด้วยวิธีต่างๆ เช่น Gradient descent, Simulated annealing, Newton method, EM เป็นต้น เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสม (Optimal solution)

### 2.5.3 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซึนแบบ radial basis function

ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซึนแบบ radial basis function ดังแสดงในสมการที่ 2.36 เป็นฟังก์ชันเคอร์เนล (Kernel Function) เพื่อแปลงข้อมูลไปยังมิติที่สูงขึ้นในปริภูมิคุณลักษณะ (Feature Space) สามารถจำแนกข้อมูลที่มีความคลุมเครือได้อย่างมีประสิทธิภาพ[17]

$$K = e^{-\gamma \|x_i - x_j\|^2} \quad (2.36)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การวัดและประเมินผลทางภาพ

การวัดประสิทธิภาพการเปรียบเทียบการตัดแยกข้าวหักด้วยซอฟต์แวร์แมชชีนใช้ตัวแปรสามตัวในการบ่งบอกประสิทธิภาพอันได้แก่ ความแม่นยำ (Accuracy, ACC) ความไว (Sensitivity, SE) และความจำเพาะ (Specification, SP) ตัวแปรเหล่านี้เกิดจากตัวแปรทั้งหมดสี่ตัวด้วยกัน คือ ผลบวกจริง (True Positive, TP) ผลบวกปลอม (False Positive, FP) ผลลบจริง (True Negative, TN) ผลลบปลอม (False Negative, FN) ในส่วนของประสิทธิภาพการการตัดแยกข้าวหักตัวแปรสี่ตัวที่ใช้มีความหมายดังนี้

1. ผลบวกจริง คือจำนวนเมล็ดข้าวหักที่ถูกระบุว่าเป็นเมล็ดข้าวหัก
2. ผลบวกปลอม คือจำนวนเมล็ดข้าวหักแต่ถูกระบุว่าเป็นเมล็ดข้าวเต็มเมล็ด
3. ผลลบจริง คือจำนวนเมล็ดข้าวเต็มเมล็ดและถูกระบุว่าเป็นเมล็ดข้าวเต็มเมล็ด
4. ผลลบปลอม คือจำนวนเมล็ดข้าวเต็มเมล็ดแต่ถูกระบุว่าเป็นเมล็ดข้าวหัก

ความแม่นยำ คือ ความสามารถในการระบุส่วนของภาพว่าเมล็ดข้าวใดคือเมล็ดข้าวเต็มเมล็ดหรือเมล็ดข้าวหักได้อย่างถูกต้อง โดยสมการในการหาค่าความแม่นยำสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.37

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (2.37)$$

ความไว คือ ความสามารถในการระบุเมล็ดข้าวเต็มเมล็ดได้ถูกต้อง โดยสมการในการหาค่าความไวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.38

$$SE = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2.38)$$

ความจำเพาะ คือ ความสามารถในการระบุเมล็ดข้าวหักได้ถูกต้องหรือความสามารถในการแยกบุคคลนั้น ออกจากบุคคลอื่นได้ถูกต้อง โดยสมการในการหาค่าความจำเพาะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.39

$$SP = \frac{TN}{TN + FP} \quad (2.39)$$

## 2.7 ทบทวนวรรณกรรม

ในส่วนของงานวิจัยที่ผ่านมาเริ่มจาก Dollawat Ngampak และ Punpiti Piamsa-nga [18] ได้กล่าวว่า ในกระบวนการสีเมล็ดข้าว เมล็ดข้าวถูกตัดแยกตามขนาดออกเป็นหลายประเภทเพื่อขาย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เห็นแก่ประโยชน์ด้านการศึกษา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

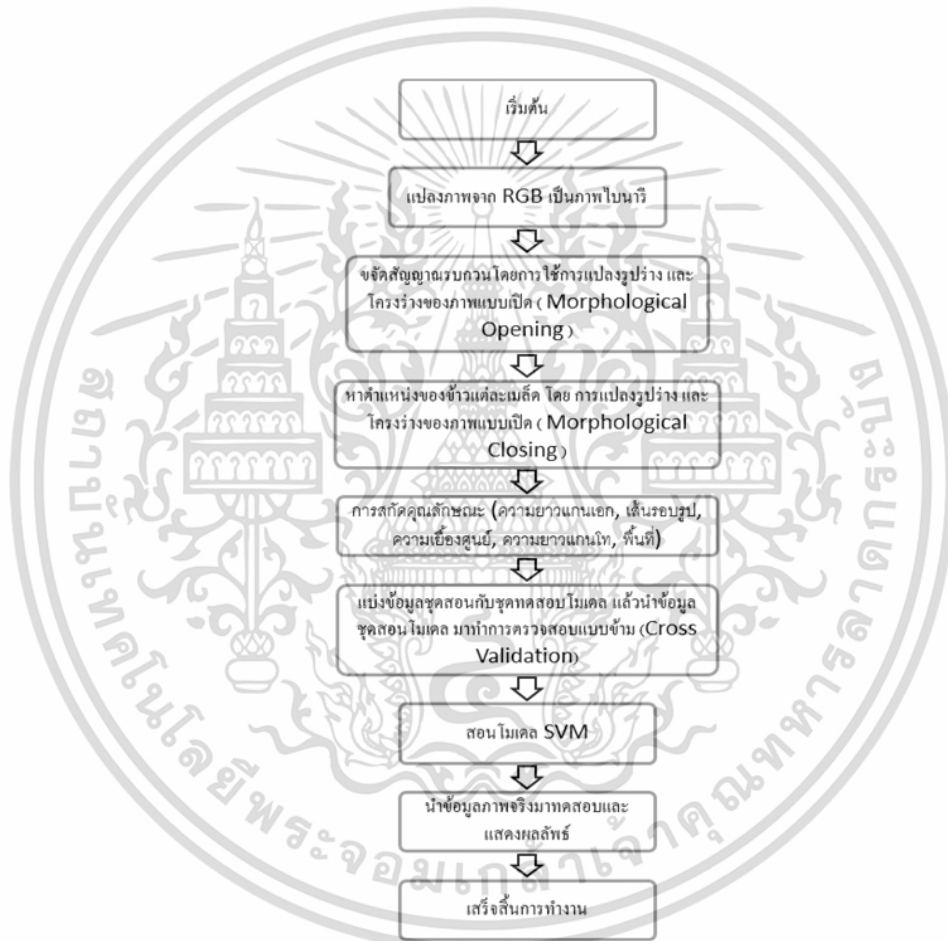
ในราคาที่แตกต่างกัน ดังนั้น Dollawat Ngampak และ Punpiti Piamsa-nga จึงเสนอวิธีการประเมินเมล็ดข้าวหัก เพื่อสร้างกำไรที่สูงขึ้นจากส่วนของข้าวที่มีคุณภาพสูงด้วยการวิเคราะห์ภาพอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอเป็นการแบ่งประเภทของข้าวหักขนาดเล็ก ออกเป็นสี่ประเภท ได้แก่ ข้าวหักเล็ก ข้าวหัก ข้าวหักใหญ่และหัวข้าว ซึ่งใช้ Least-Square Support Vector Machine (LS-SVM) ที่มีเคอร์เนล Radius Basis Function (RBF) ใช้เป็นตัวจำแนกในอัลกอริทึม ความแม่นยำของอัลกอริทึมคือ 98.20 % ต่อมา Hemad Zareiforoush และคณะ [19] ได้นำเสนอการจำแนกเชิงคุณภาพของเมล็ดข้าวสารด้วยวิธีการมองเห็นทางคอมพิวเตอร์ร่วมกับเทคนิคเมตาฮีริสติก ผลที่ได้คือเครือข่ายประสาทเทียมที่มีโทโพลยีแบบ 12-5\*4 มีความแม่นยำการจำแนกสูงสุดคือ 98.72% SVM ที่มีฟังก์ชันเคอร์เนลแบบ Universal Pearson VII มีความแม่นยำ 98.48% ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree) ด้วยอัลกอริทึม REP มีความแม่นยำ 97.50% และข่ายงานเบย์ พร้อมอัลกอริทึมการค้นหา Hill Climber มีความแม่นยำ 96.89% ในส่วนของ Seyed Jaleddin Mousavi Rad และคณะ [20] นำเสนออัลกอริทึมสำหรับการจำแนกพันธุ์ข้าว 5 สายพันธุ์ที่แตกต่างกัน โดยใช้คุณสมบัติของสีและพื้นผิว อัลกอริทึมที่นำเสนอประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ การได้มาของรูปภาพ การแบ่งส่วน การแยกคุณลักษณะ การเลือกคุณลักษณะและการจัดประเภท คุณสมบัติสีและพื้นผิวหกลีบอย่างถูกสกัดจากเมล็ดข้าว ชุดคุณสมบัติมีข้อมูลที่ซ้ำซ้อนหรือแม้กระทั่งข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้อง ดังนั้นคุณสมบัติจึงได้รับการตรวจสอบโดยอัลกอริทึมที่แตกต่างกันสี่แบบ และการเลือกคุณสมบัติยี่สิบสองอย่างให้เป็นคุณสมบัติที่ดี โครงข่ายประสาทเทียมแบบคำนวณย้อนกลับ (Back propagation) ได้รับการพัฒนาเพื่อจำแนกพันธุ์ข้าว ความแม่นยำในการจำแนกโดยรวมทำได้ถึง 96.67% ในลำดับสุดท้าย Harpreet Kaur และ Baljit Singh [21] ได้นำเสนออัลกอริทึมของเครื่องจักรในการคัดเกรดเมล็ดข้าว (Premium, Grade A, Grade B และ Grade C) โดยใช้ Multi-Class SVM ด้วยความแปรปรวนสูงสุดในการแยกเมล็ดข้าวออกจากพื้นหลังจากนั้นหลังจากสกัดดินสอพองออกจากข้าวแล้ว เปอร์เซ็นต์ของข้าวหัว ข้าวหักและเศษเมล็ดข้าวในตัวอย่างข้าวถูกกำหนด โดยใช้ลักษณะทางเรขาคณิตสิบรูปแบบ Multi-Class SVM จำแนกเมล็ดข้าวโดยการตรวจสอบรูปร่างความหยาบและเปอร์เซ็นต์ของเมล็ดข้าวหัก (หัวข้าวหักและเศษเมล็ดข้าว) SVM จำแนกได้อย่างถูกต้องมากกว่า 86% จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าระบบดังกล่าวเพียงพอสำหรับใช้ในการจำแนกและคัดเกรดเมล็ดข้าวที่แตกต่างกันโดยพิจารณาจากคุณภาพภายในและภายนอก

## บทที่ 3

### การออกแบบการทดลอง

ในหัวข้อการออกแบบระบบนี้ จะขอกกล่าวถึงโครงสร้างภาพรวมของระบบ และรายละเอียดแต่ละส่วนของระบบที่ได้สร้างขึ้น ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานของกระบวนการหลักของระบบ

#### 3.1 โครงสร้างภาพรวมการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของการทำงาน

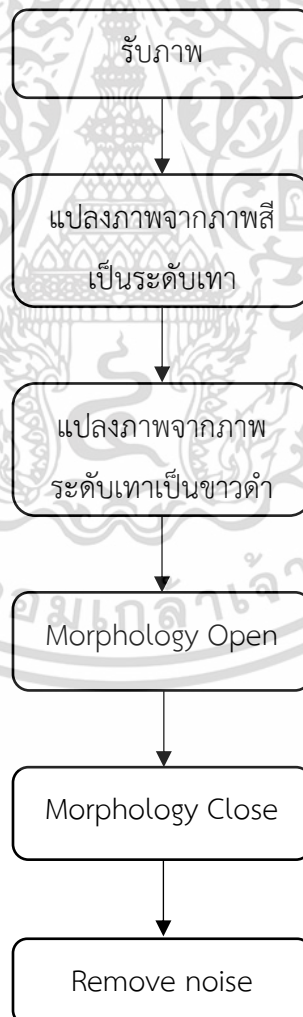
หลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยเริ่มจากนำภาพข้าวที่สุ่มตัวอย่างโดยข้าวเต็มเมล็ด และข้าวหักผสมกัน จำนวนสองกลุ่ม จำนวน 717 และ 722 เมล็ด เป็นรูปแบบสี RGB จากนั้นทำการแปลงเป็นภาพเฉดสีเทา (Grayscale) และใช้หลักการ Otsu's Global Thresholding เพื่อแปลงจากภาพระดับเทามาเป็นภาพขาวดำสำหรับนำไปประมวลผลลำดับต่อไป จากนั้นทำการขจัดสัญญาณรบกวน โดยใช้หลักการแปลงรูปร่างและโครงสร้างแบบเปิด (Morphological Opening) ต่อมา คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการเรียนรู้ของเครื่องจักรซึ่งประกอบไปด้วยสองส่วน คือ การสอนเครื่องจักรและการทำนายชนิดข้าว เพื่อหาผลลัพธ์ประสิทธิภาพในการทำนาย

### 3.2 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล

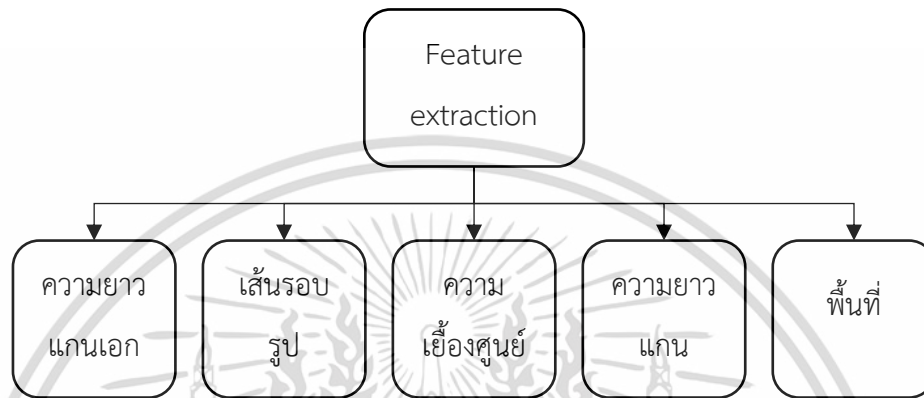
ในกระบวนการเตรียมข้อมูลเป็นขั้นตอนสำหรับการกำจัดสัญญาณรบกวนหรือข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องและไม่จำเป็นต่อการเรียนรู้ของเครื่องดังแสดงการทำงานในรูปที่ 3.2 โดยเริ่มจากการรับภาพเมล็ดข้าวที่ได้จากเครื่องสแกนแล้วทำการแปลงจากภาพสีเป็นภาพระดับเทาซึ่งเป็นการรวมช่องสัญญาณภาพทั้งสามช่องสัญญาณเข้าด้วยกัน จากนั้นจึงทำการแปลงเป็นภาพขาวดำ แต่ภาพขาวดำของเมล็ดข้าวดังกล่าวยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ เนื่องจากยังมีสัญญาณรบกวนหรือ พิกเซลที่ไม่เกี่ยวข้องกับการนำไปสอนเครื่อง จากปัจจัยดังกล่าวจึงจำเป็นต้องกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยการใช้โครงร่างแบบเปิด (Opening Morphology) และแบบปิด (Closing Morphology) แล้วจึงลบจุดพิกเซลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเมล็ดข้าว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ขาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การสกัดคุณลักษณะ (Feature extraction)

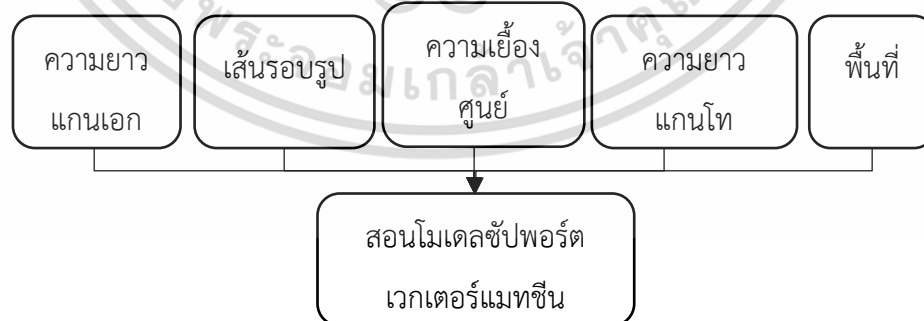
เมื่อได้ภาพของเมล็ดข้าวที่ปราศจากสัญญาณรบกวนและพร้อมสำหรับการใช้งาน ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนสำหรับการสกัดเอาคุณลักษณะต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวซึ่งประกอบด้วย ความยาวแกนเอก ความยาวแกนโท ความเยื้องศูนย์ เส้นรอบรูปและพื้นที่ของเมล็ดข้าวเมล็ดนั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 คุณลักษณะที่ได้จากการสกัดจากเมล็ดข้าว

### 3.4 การสอนซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซิน

ในกระบวนการสอนซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซินดังแสดงในรูปที่ 3.4 นั้นใช้ข้อมูลของคุณลักษณะของเมล็ดข้าวทั้ง 5 ส่วนและมีการจำแนกมาแล้วว่าข้อมูลชุดที่ป้อน คือ ข้าวหักหรือข้าวเต็มเมล็ด มาป้อนให้กับซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซิน เพื่อให้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซินได้มีการปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ ภายในตัวมันเอง

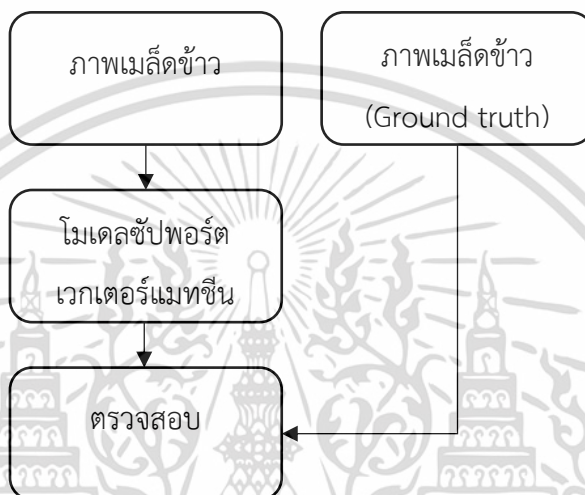


รูปที่ 3.4 คุณลักษณะที่สอนให้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การนำข้อมูลภาพจริงมาทดสอบและแสดงผลลัพธ์

ขั้นตอนสุดท้ายสำหรับการตรวจสอบชนิดของเมล็ดข้าว คือ การนำภาพของเมล็ดข้าวส่งเข้าไปยังซอฟต์แวร์โมเดลซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนที่ได้รับการสอนแล้ว เมื่อผลลัพธ์ของรูปเมล็ดข้าวนั้น ๆ ถูกส่งออกมา ข้อมูลนั้นถูกนำมาเปรียบเทียบกับที่ชนิดของเมล็ดข้าวที่ได้ระบุไว้ตั้งแต่แรกหรือไม่ และผลลัพธ์ที่ได้สุดท้ายของกระบวนการนี้เป็นการระบุว่าเมล็ดข้าวเมล็ดนั้นเป็นข้าวชนิดใด โดยขั้นตอนของการตรวจสอบชนิดของเมล็ดข้าวแสดงดังรูปที่ 3.5



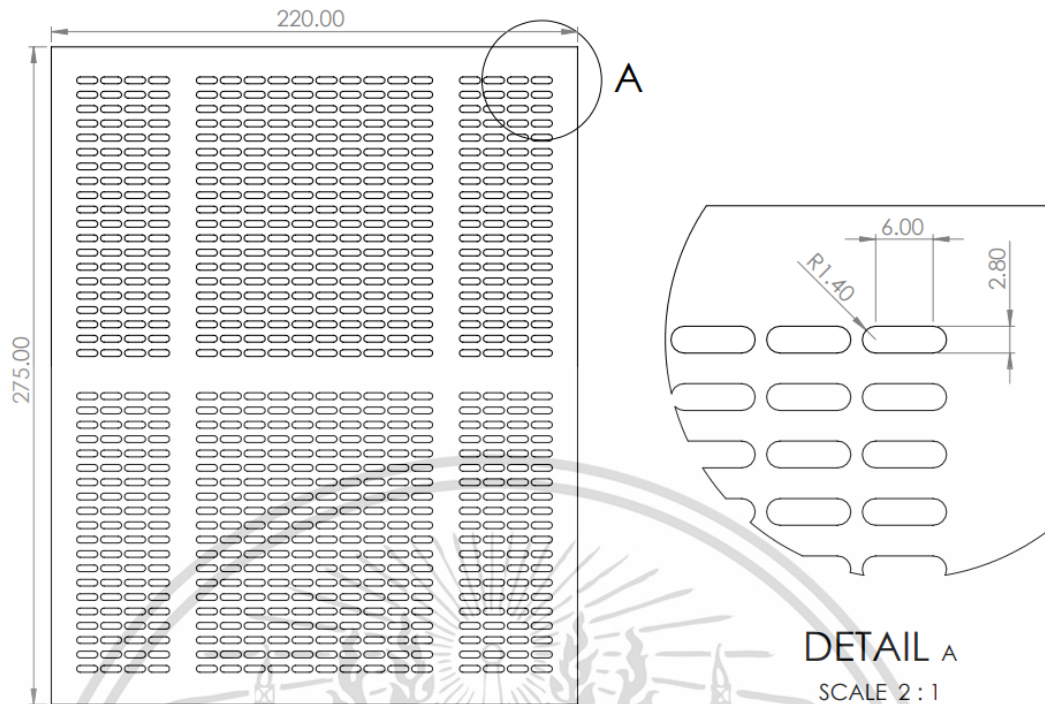
รูปที่ 3.5 การตรวจสอบชนิดของเมล็ดข้าว

### 3.6 การเก็บภาพข้าว

ในกระบวนการเก็บภาพเมล็ดข้าวด้วยสแกนเนอร์ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการทดลองอันเนื่องมาจากจำนวนของเมล็ดข้าว และเพิ่มความรวดเร็วในการเก็บภาพข้าว แผ่นตะแกรงพิเศษจึงถูกนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพในส่วนนี้

การออกแบบขนาดขนาดของช่องวางเมล็ดข้าวอ้างอิงจากขนาดโดยทั่วไปของเมล็ดข้าว ซึ่งมีขนาดไม่เกิน กว้าง 2.8 มม. ยาว 8 มม. รูปทรงมนช่วงให้การขึ้นรูปง่ายขึ้น โดยขึ้นรูปด้วยพลาสติกอะคริลิกสีดำเพื่อให้มองเห็นเมล็ดข้าวอย่างชัดเจน โดยมีความหนา 2 มม. เพื่อให้เมล็ดข้าวไม่กลิ้งออกจากช่อง ขึ้นรูปด้วยการตัดเลเซอร์ ขนาดดังแสดงในรูป 3.6

พื้นหลังของเครื่องสแกนเนอร์โดยทั่วไปเป็นสีขาว จึงจำเป็นต้องติดตั้งแผ่นพื้นหลังของเครื่องสแกนเนอร์ให้เป็นสีดำ เพื่อให้เครื่องจักรสามารถตรวจเห็นเมล็ดข้าวได้ชัดเจน โดยพื้นหลังที่ใช้ขึ้นรูปด้วยพลาสติกอะคริลิกความหนา 2 มม. เช่นเดียวกับตะแกรง โดยมีขนาดเท่ากับพื้นหลังเดิมที่มีขนาดเท่ากระดาษ A4

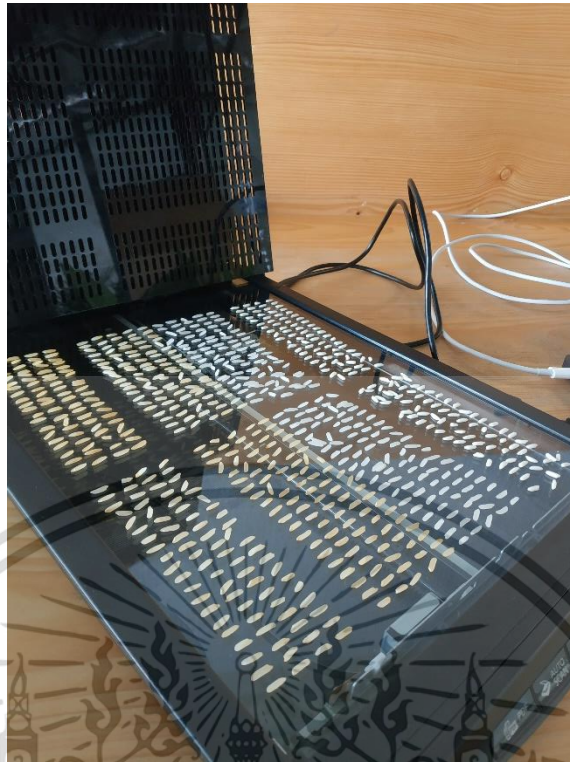


รูปที่ 3.6 ขนาดของตะแกรงวางเมล็ดข้าว (มิลลิเมตร)

#### ขั้นตอนการเก็บภาพเมล็ดข้าว

1. วางตะแกรงพลาสติกลงบนกระจกของเครื่องสแกนเนอร์ โดยให้ขอบตะแกรงชิดขอบซ้ายและขอบล่างของสแกนเนอร์
2. นำเมล็ดข้าวที่ต้องการเก็บภาพวางลงในช่องแต่ละช่องของตะแกรงพลาสติก โดยห้ามให้เมล็ดข้าวมีการซ้อนกัน
3. ยกตะแกรงออกจากสแกนเนอร์โดยให้เมล็ดข้าวขยับน้อยที่สุด แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.6 (การวางในช่องเป็นเพียงการจัดระเบียบของภาพตัวอย่าง ซึ่งเครื่องจักรสามารถหมุนภาพเมล็ดข้าวให้ตั้งตรงได้)
4. ปิดฝาสแกนเนอร์ แล้วกดสแกนภาพในคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 เมล็ดข้าวที่ใช้ตะแกรงช่วยในการวางเรียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

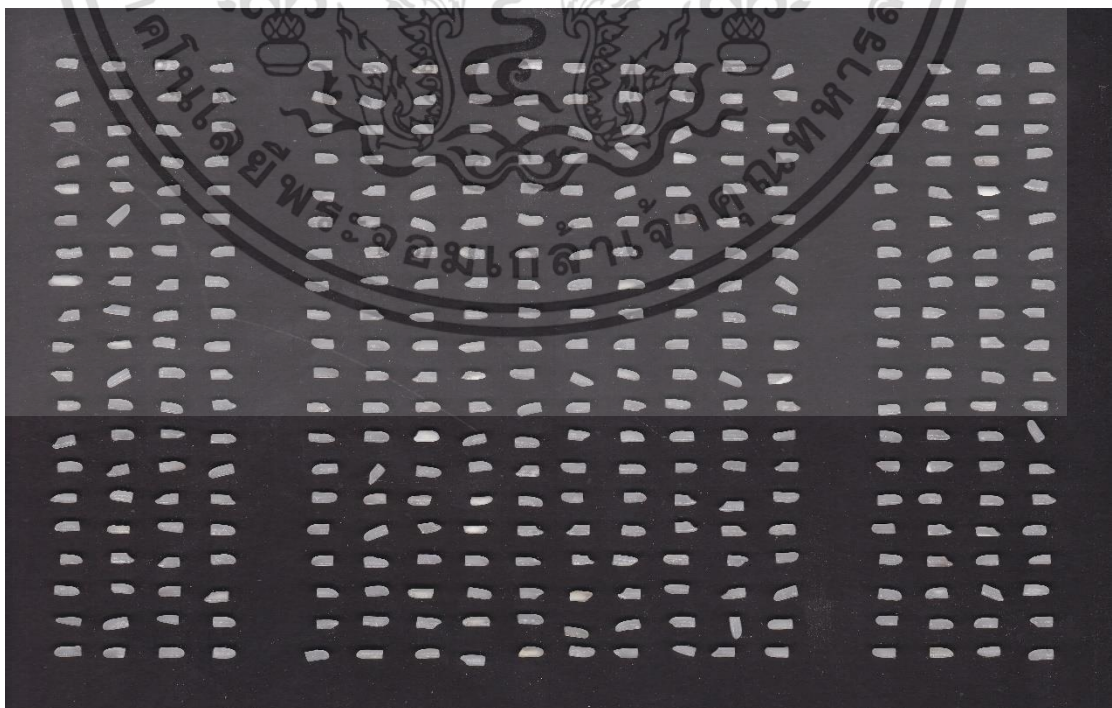
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงผลลัพธ์ของการเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการสกัดคุณลักษณะ ผลลัพธ์การสกัดคุณลักษณะของเมล็ดข้าวแบบเต็มเมล็ดและแบบหัก ผลลัพธ์การจำแนกข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหักด้วยโมเดลซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบเส้นตรงและแบบ Radial Basis Function

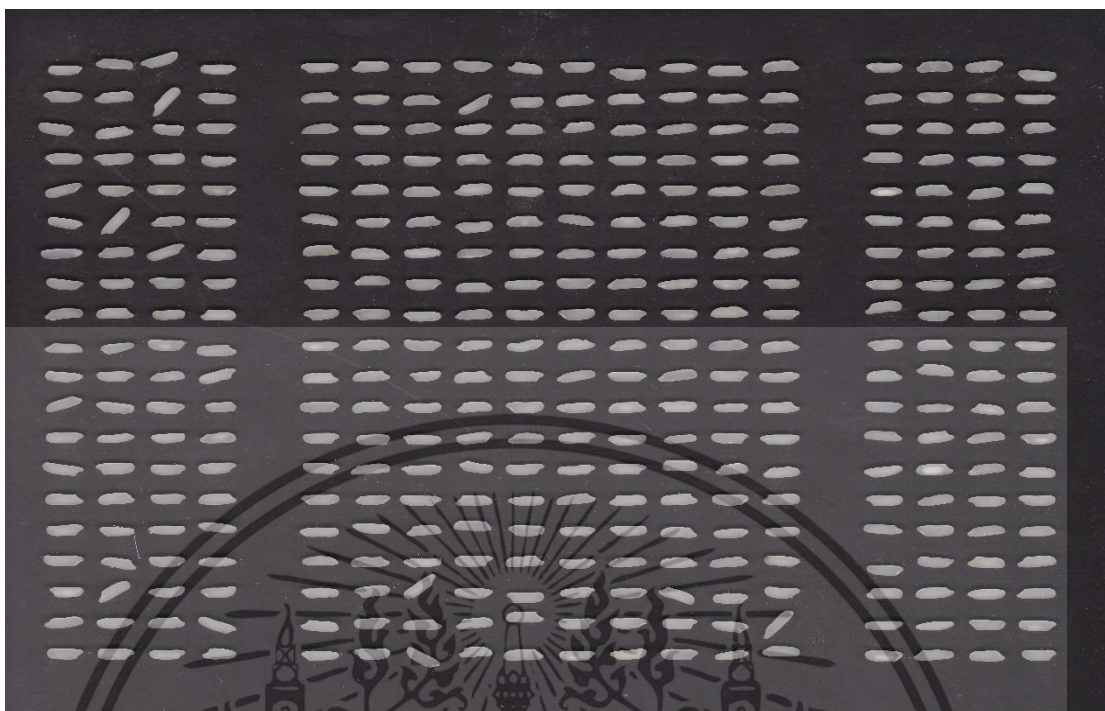
#### 4.1 ผลลัพธ์การเตรียมข้อมูล

ในกระบวนการเตรียมข้อมูลภาพที่นำเข้ามาคือภาพเมล็ดข้าว 2 ประเภท คือ ภาพเมล็ดข้าวหัก ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ ภาพข้าวเต็มเมล็ดดังแสดงในรูปที่ 4.2 จากภาพที่นำเข้ายังคงมีสัญญาณรบกวนหรือข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องและไม่จำเป็นต่อการเรียนรู้ของเครื่องจักร หลังจากการแปลงจากภาพสีเป็นภาพระดับเทาผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.3 แต่เนื่องจากภาพระดับเทายังไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน จึงได้ทำการแปลงภาพระดับเทาเป็นภาพขาวดำ ซึ่งมีผลลัพธ์ของการแปลงดังแสดงในรูปที่ 4.4 แต่ภาพขาวดำของเมล็ดข้าวดังกล่าวยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ เนื่องจากยังคงมีสัญญาณรบกวนหรือพิกเซลที่ไม่เกี่ยวข้องกับการนำไปสอนเครื่องจักร จากปัจจัยดังกล่าวทำให้จำเป็นต้องกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยการใช้โครงร่างแบบเปิด (Opening Morphology) และโครงร่างแบบปิด (Closing Morphology) จึงสามารถลบจุดพิกเซลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเมล็ดข้าวออกได้

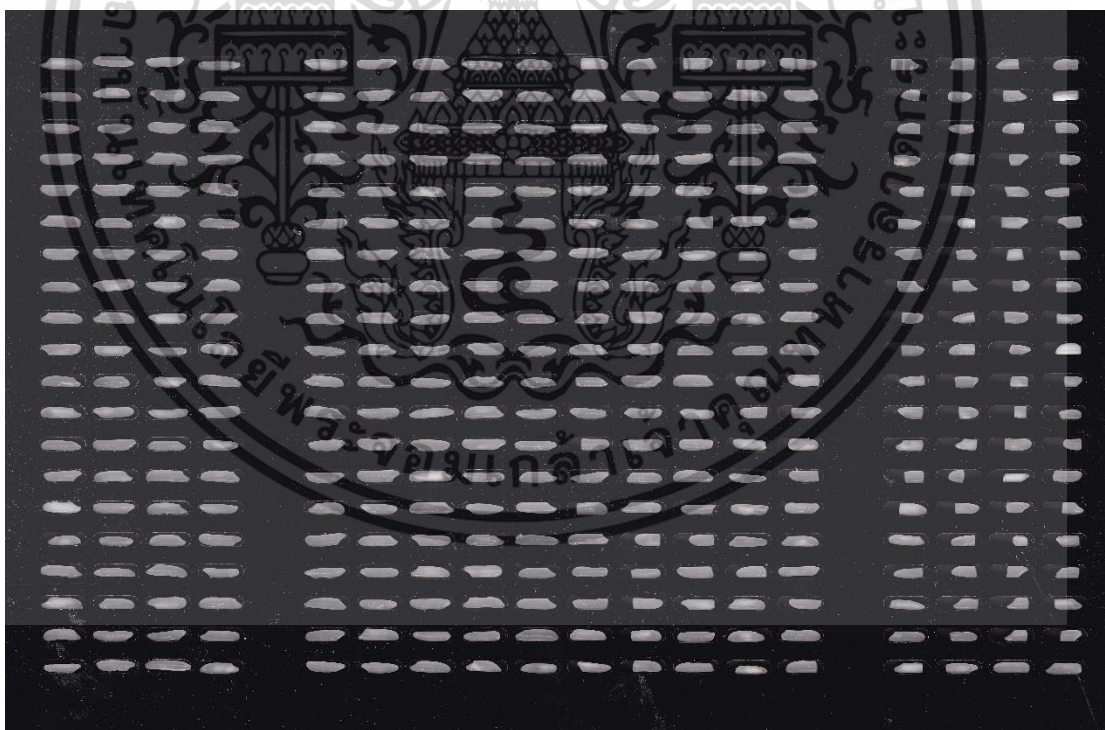


รูปที่ 4.1 ตัวอย่างภาพเมล็ดข้าวหัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

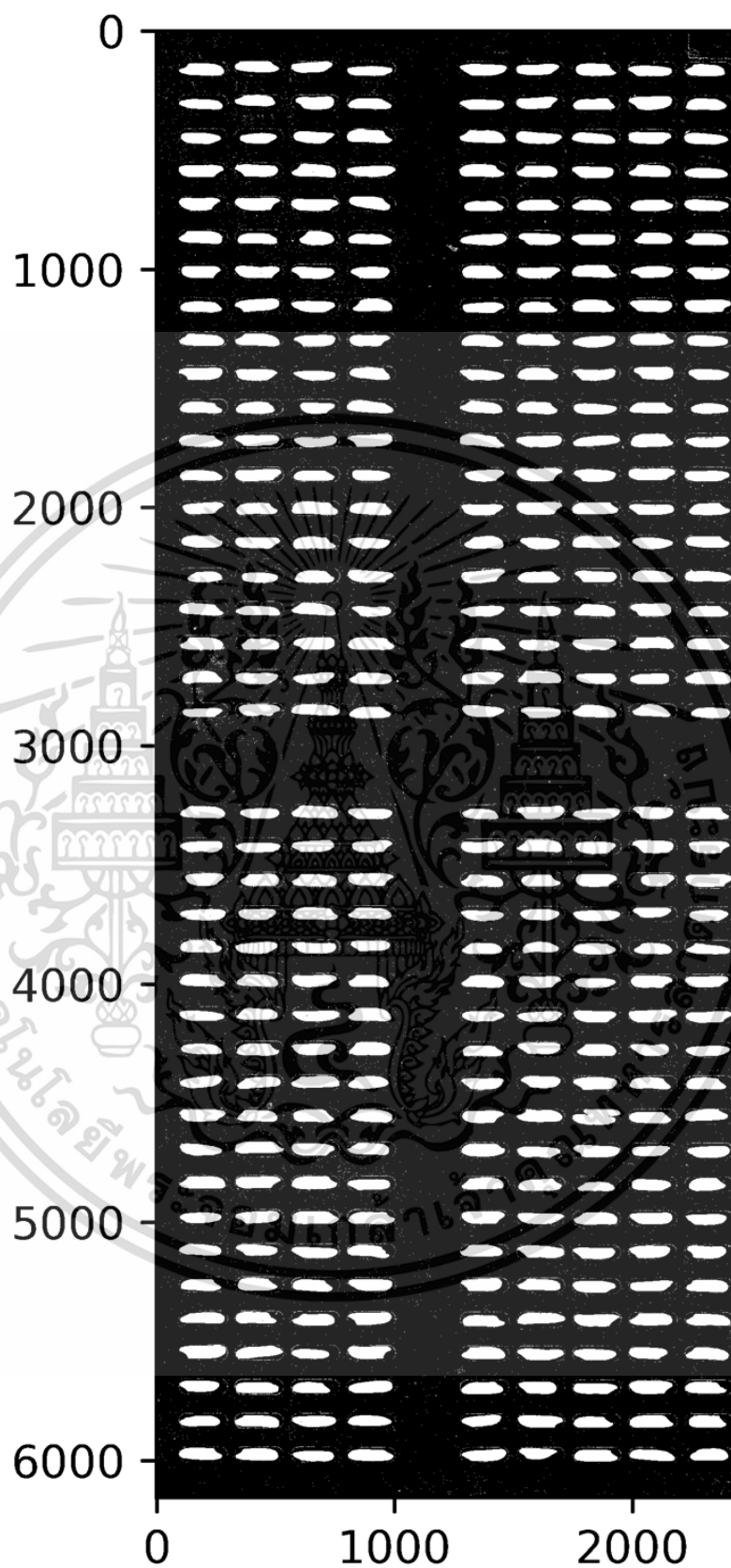


รูปที่ 4.2 ตัวอย่างภาพข้าวเต็มเมล็ด



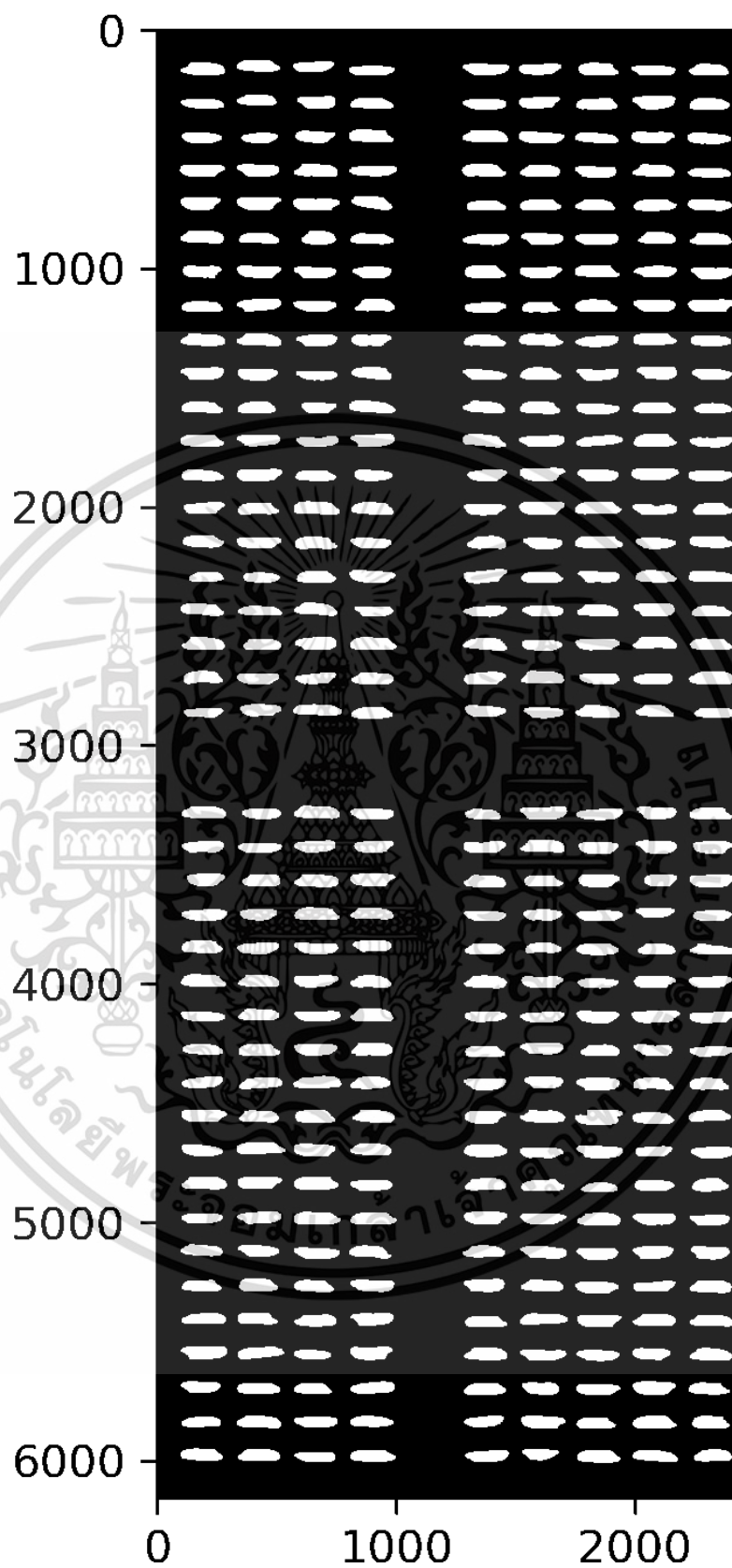
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างผลลัพธ์การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างผลลัพธ์การแปลงภาพระดับเทาเป็นภาพขาวดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างผลลัพธ์การลบสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลลัพธ์การสกัดคุณลักษณะ (Feature extraction)

เมื่อได้ภาพของเมล็ดข้าวที่ปราศจากสัญญาณรบกวนและพร้อมสำหรับการใช้งาน ผลลัพธ์จากขั้นตอนการสกัดเอาคุณลักษณะต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวซึ่งประกอบด้วย ความยาวแกนเอก ความยาวแกนโท ความเยื้องศูนย์กลาง เส้นรอบรูปและพื้นที่ของเมล็ดข้าวแต่ละเมล็ด มีตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างข้อมูลของการสกัดคุณลักษณะ

| เมล็ดที่ | ความยาวแกนเอก<br>(พิกเซล) | เส้นรอบรูป<br>(พิกเซล) | ความเยื้องศูนย์กลาง<br>(พิกเซล) | ความยาวแกนโท<br>(พิกเซล) | พื้นที่<br>(พิกเซล) |
|----------|---------------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------|
| 1        | 187.9883                  | 418.6518               | 0.964521                        | 49.6302                  | 7236                |
| 2        | 178.7917                  | 394.1665               | 0.965814                        | 46.34952                 | 6388                |
| 3        | 189.1291                  | 435.2376               | 0.956828                        | 54.97157                 | 7993                |
| 4        | 169.1781                  | 394.9949               | 0.941447                        | 57.04048                 | 7450                |
| 5        | 186.9133                  | 409.3381               | 0.96575                         | 48.49914                 | 6946                |
| 6        | 198.4232                  | 439.4802               | 0.966222                        | 51.13605                 | 7786                |
| 7        | 168.0879                  | 386.1665               | 0.948893                        | 53.0482                  | 6884                |
| 8        | 189.0761                  | 414.267                | 0.969476                        | 46.35905                 | 6800                |
| 9        | 197.394                   | 421.7817               | 0.97632                         | 42.70243                 | 6566                |
| 10       | 171.7421                  | 387.3381               | 0.958412                        | 49.01324                 | 6496                |
| 11       | 183.9227                  | 425.7229               | 0.945169                        | 60.06583                 | 8419                |
| 12       | 166.3686                  | 386.1665               | 0.937887                        | 57.7202                  | 7299                |
| 13       | 177.3857                  | 399.3381               | 0.955849                        | 52.12644                 | 7052                |
| 14       | 185.7068                  | 410.7523               | 0.965316                        | 48.48484                 | 6901                |
| 15       | 181.875                   | 404.4092               | 0.960179                        | 50.81326                 | 7036                |
| 16       | 175.8627                  | 393.9239               | 0.956371                        | 51.37924                 | 6933                |
| 17       | 188.1518                  | 412.6102               | 0.972746                        | 43.62775                 | 6408                |
| 18       | 191.3388                  | 413.6812               | 0.970843                        | 45.86667                 | 6820                |
| 19       | 192.6039                  | 440.4092               | 0.952908                        | 58.40878                 | 8537                |
| 20       | 196.0221                  | 440.5513               | 0.958248                        | 56.05014                 | 8411                |

คุณลักษณะของเมล็ดข้าวเต็มเมล็ดมีค่าทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ คุณลักษณะของข้าวหักมีค่าทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าทางสถิติของคุณลักษณะข้าวเต็มเมล็ด

|                | ความยาว<br>แกนเอก<br>(พิกเซล) | เส้นรอบ<br>รูป<br>(พิกเซล) | ความเยื้อง<br>ศูนย์<br>(พิกเซล) | ความยาว<br>แกนโท<br>(พิกเซล) | พื้นที่<br>(พิกเซล) |
|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Mean           | 181.47                        | 407.16                     | 0.96                            | 51.47                        | 7154.08             |
| Std. Deviation | 11.68                         | 22.6                       | 0.01                            | 3.86                         | 713.13              |
| Min            | 134.87                        | 329.82                     | 0.92                            | 36.31                        | 4769                |
| P 25%          | 174.23                        | 392.45                     | 0.95                            | 49                           | 6704                |
| P 50%          | 181.83                        | 407.92                     | 0.95                            | 51.6                         | 7158                |
| P 75%          | 189.02                        | 421.82                     | 0.96                            | 54.42                        | 7635                |
| Max            | 215.79                        | 479.86                     | 0.97                            | 60.99                        | 9607                |

ตารางที่ 4.3 ค่าทางสถิติของคุณลักษณะข้าวหัก

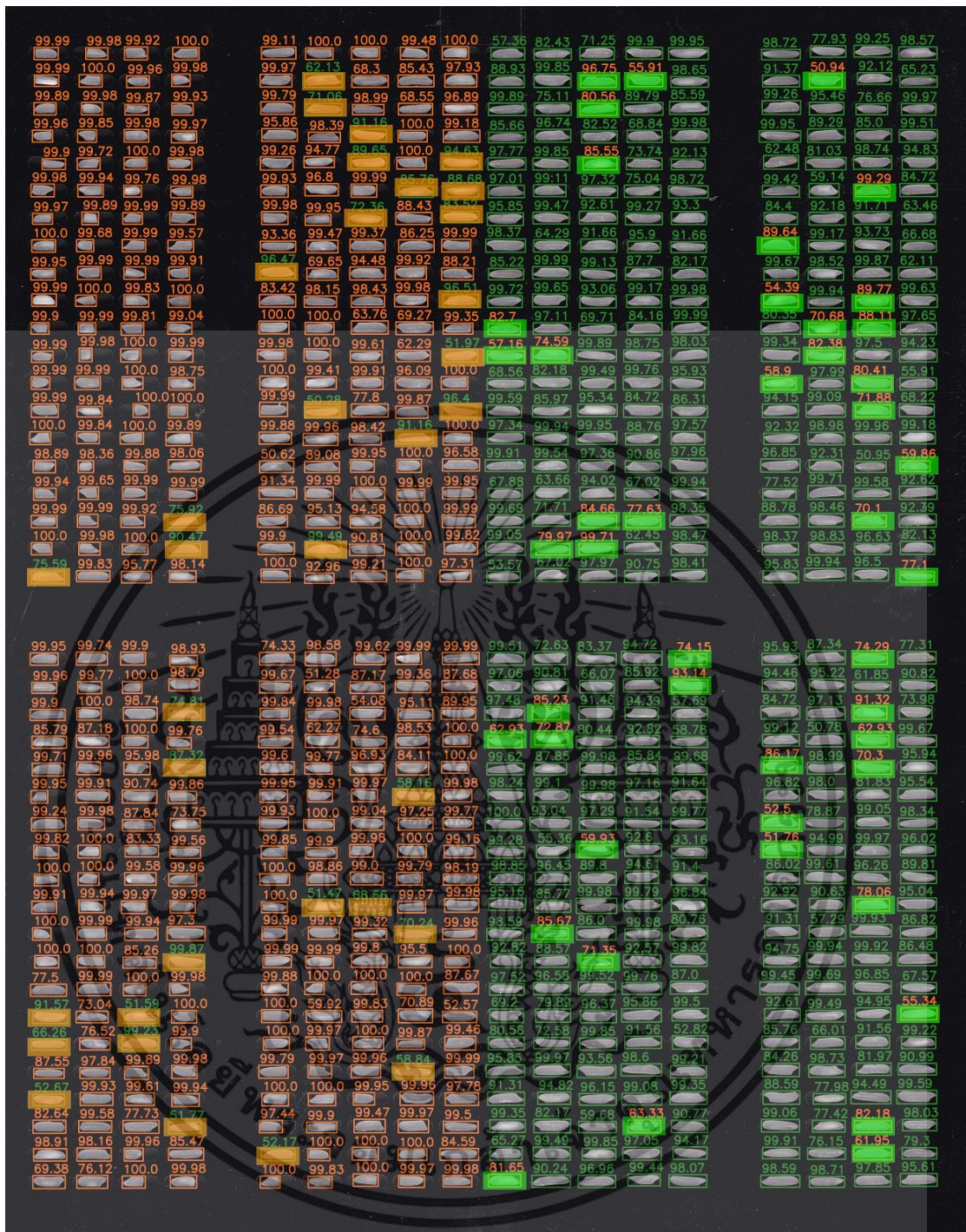
|                | ความยาว<br>แกนเอก<br>(พิกเซล) | เส้นรอบ<br>รูป<br>(พิกเซล) | ความเยื้อง<br>ศูนย์<br>(พิกเซล) | ความยาว<br>แกนโท<br>(พิกเซล) | พื้นที่<br>(พิกเซล) |
|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Mean           | 118.68                        | 291.92                     | 0.89                            | 51.45                        | 4663.01             |
| Std. Deviation | 7.8                           | 14.71                      | 0.01                            | 3.17                         | 446.13              |
| Min            | 98.98                         | 257.74                     | 0.83                            | 39.33                        | 3425                |
| P 25%          | 112.82                        | 280.86                     | 0.88                            | 50.04                        | 4354                |
| P 50%          | 118.28                        | 291.48                     | 0.9                             | 52.09                        | 4674                |
| P 75%          | 124.23                        | 302.04                     | 0.91                            | 53.59                        | 4963                |
| Max            | 163.84                        | 375.43                     | 0.95                            | 59.56                        | 6891                |

#### 4.3 ผลลัพธ์การจำแนกเมล็ดข้าว

ผลลัพธ์การนำภาพของเมล็ดข้าวส่งเข้าไปยังซอฟต์แวร์เวกเตอร์แมทซิ่นที่ได้รับการสอนแล้วดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยผลลัพธ์แบ่งได้ออกเป็น 4 ประเภท

1. การทำนายเป็นข้าวหักได้ถูกต้อง
2. ข้าวหักที่ถูกทำนายว่าเป็นข้าวเต็มเมล็ด
3. ข้าวเต็มเมล็ดถูกทำนายว่าเป็นข้าวหัก
4. การทำนายเป็นข้าวเต็มเมล็ดได้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกเมล็ดข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.1 ผลลัพธ์การจำแนกข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหักด้วยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซึนแบบ

#### เส้นตรง

จากตารางที่ 4.4 เห็นได้ว่าการทำนายข้าวหักสามารถทำนายเป็นข้าวหักได้ถูก 365 เมล็ด (True Positive) แต่มีข้าวหักถูกทำนายว่าเป็นข้าวเต็มเมล็ด 50 เมล็ด (False Positive) และข้าวเต็มเมล็ดถูกทำนายว่าเป็นข้าวหัก 5 เมล็ด (False Negative) และข้าวเต็มเมล็ดถูกทำนายว่าเป็นข้าวเต็มเมล็ด 443 เมล็ด (True Negative)

จากนั้นทำการทำนายผลข้อมูลในชุดทดลองโดยใช้ SVM แบบ Linear ซึ่งที่ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับค่าพารามิเตอร์ C เท่ากับ 1 จะได้ค่าที่มีประสิทธิภาพสูงสุด อยู่ที่ 93.42 เปอร์เซ็นต์ ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์ความถูกต้อง โดยใช้ SVM แบบ Linear

|                | ข้าวหัก (เมล็ด) | ข้าวเต็มเมล็ด (เมล็ด) |
|----------------|-----------------|-----------------------|
| ข้าวหัก        | 365 (TP)        | 50 (FP)               |
| ข้าวเต็มเมล็ด  | 5 (FN)          | 443 (TN)              |
| ค่าความถูกต้อง | 93.42 %         |                       |

### 4.3.2 ผลลัพธ์การจำแนกข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหักด้วยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซึนแบบ

#### Radial Basis Function

การทำนายผลลัพธ์ในข้อมูลชุดทดลองโดยใช้ SVM แบบ RBF ซึ่งที่ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับค่าพารามิเตอร์ C และ G ได้ค่าที่มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ค่า C=100 และ G = 0.000001 แล้วได้ผลลัพธ์ค่าความถูกต้องในการจำแนกข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหักอยู่ที่ 92.11 เปอร์เซ็นต์ ตามตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์ค่าความถูกต้องจากการทำนายข้อมูลชุดทดลอง

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์การจำแนกเมล็ดข้าวโดยใช้ SVM แบบ Radial Basis Function

|                | ข้าวหัก (เมล็ด) | ข้าวเต็มเมล็ด (เมล็ด) |
|----------------|-----------------|-----------------------|
| ข้าวหัก        | 357 (TP)        | 58 (FP)               |
| ข้าวเต็มเมล็ด  | 8 (FN)          | 440 (TN)              |
| ค่าความถูกต้อง | 92.11 %         |                       |

#### 4.3.3 ผลลัพธ์ในการทำนายผลการตรวจสอบ จากคณะกรรมการผู้ตรวจสอบข้าว

ทำการทำนายผลข้าวเต็มเมล็ด จำนวน 716 เมล็ด และข้าวหัก 722 เมล็ดโดยทำนายผลในสถานการณ์ใช้งานจริงที่ คณะกรรมการผู้ตรวจสอบข้าว สภาหอการค้าแห่งประเทศไทยซึ่งผลลัพธ์ของ SVM แบบ Radial Basis Function. อยู่ที่ 86.5 เปอร์เซ็นต์ และ SVM แบบ Linear อยู่ที่ 87.04 เปอร์เซ็นต์ ตามตารางที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์ความถูกต้อง โดยใช้ SVM แบบ Radial Basis Function

|                | ข้าวหัก (เมล็ด) | ข้าวเต็มเมล็ด (เมล็ด) |
|----------------|-----------------|-----------------------|
| ข้าวหัก        | 539 (TP)        | 183 (FP)              |
| ข้าวเต็มเมล็ด  | 11 (FN)         | 705 (TN)              |
| ค่าความถูกต้อง | 86.5 %          |                       |

ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์ความถูกต้อง โดยใช้ SVM แบบ Linear

|                | ข้าวหัก (เมล็ด) | ข้าวเต็มเมล็ด (เมล็ด) |
|----------------|-----------------|-----------------------|
| ข้าวหัก        | 546 (TP)        | 176 (FP)              |
| ข้าวเต็มเมล็ด  | 11 (FN)         | 705 (TN)              |
| ค่าความถูกต้อง | 87.04 %         |                       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลองการใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรเป็นกระบวนการที่ทำให้การตรวจสอบคุณภาพข้าวเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในบทความนี้นำเสนอวิธีการคัดแยกข้าวหักกับข้าวเต็มเมล็ด โดยการใช้โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจักรแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซ์ โดยได้เริ่มต้นจากการแปลงภาพข้าวที่ได้จากการสแกนซึ่งเป็นภาพสี มาแปลงเป็นภาพขาวดำด้วยการประมวลผลทางภาพ และสกัดคุณลักษณะออกมาเป็นข้อมูลทางสถิติ เพื่อนำไปสอนโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจักร ซึ่งได้ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซ์แบบเส้นตรงและแบบเรเดียลเบสิสฟังก์ชัน ในการคัดแยกข้าวหักและข้าวเต็มเมล็ด และนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีการคัดแยกอุตสาหกรรมจริงโดยสภาผู้ตรวจสอบข้าว

ผลการทำนายข้อมูลของชุดทดลองโดยใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซ์แบบเส้นตรง ซึ่งปรับค่าพารามิเตอร์  $C$  เท่ากับ 1 ได้ค่าที่มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 93.42 เปอร์เซ็นต์ และผลการทำนายข้อมูลชุดทดลองโดยใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซ์แบบเรเดียลเบสิสฟังก์ชัน จากการปรับค่าพารามิเตอร์  $C$  และ  $G$  ได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ค่า  $C=100$  และ  $G = 0.000001$  ผลลัพธ์ค่าความถูกต้องในการจำแนกข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหักอยู่ที่ 92.11 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลอง เมื่อนำโมเดลที่ได้จากการสอนมาใช้ในการคัดแยกข้าวหักและข้าวเต็มเมล็ด ได้ข้อสรุปว่าการใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซ์แบบเส้นตรง ให้ค่าประสิทธิภาพ 87.04 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการปรับค่าพารามิเตอร์ค่า  $C$  อยู่ที่ 1 ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า กับซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซ์แบบเรเดียลเบสิสฟังก์ชัน ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ 86.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการปรับค่าพารามิเตอร์  $C$  อยู่ที่ 100 และ  $G$  อยู่ที่ 0.000001

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลลัพธ์จากเครื่องจักรที่ทำการตรวจจับข้าวหักได้นั้น ทางคณะกรรมการผู้ตรวจสอบข้าวจากสภาหอการค้าแห่งประเทศไทยซึ่งอยู่ในอุตสาหกรรมค้าข้าวได้ถือว่าเครื่องจักรมีประสิทธิภาพในการตรวจจับอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่ในอุตสาหกรรมจริงจำเป็นต้องได้ความแม่นยำที่มากกว่านี้ โดยในอนาคตสามารถพัฒนาให้ผนวกกับอัลกอริทึมโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจักรอื่น ๆ เพื่อให้การตรวจสอบข้าวมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการแปลงภาพข้าวให้ได้คุณสมบัติที่ครบถ้วน เนื่องจากการแปลงภาพด้วยการประมวลผลทางภาพ ที่ให้ค่าคุณลักษณะบางอย่างคลาดเคลื่อนไป เช่นการลด
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนที่ทำให้พิกเซลของข้าวคลาดเคลื่อน หรือการแปลงภาพระดับเทาเป็นภาพขาวดำก็ทำให้พิกเซลบางส่วนคลาดเคลื่อนไปเช่นกัน

2. ควรเปรียบเทียบกับโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจักรแบบอื่น ๆ ด้วย เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองว่ามีประสิทธิภาพที่ดีหรือไม่

3. ควรเพิ่มจำนวนข้อมูลของเมล็ดข้าวที่เก็บมา เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความสามารถในการจำแนกข้าวเมล็ดหัก

4. ควรปรับปรุงวิธีการจัดเรียงเมล็ดข้าวบนเครื่องสแกนเนอร์ เนื่องจากความเอียงของเมล็ดข้าวอาจทำให้คุณลักษณะบางประเภทคลาดเคลื่อน

5. ควรมีการสอบเทียบเครื่องสแกนเนอร์ว่าให้สีที่ตรงหรือไม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] Smith, Bruce D, The Emergence of Agriculture. Scientific American Library, A Division of HPHLP, (New York: W.H. Freeman & Co, 1998).
- [2] ไทยรัฐออนไลน์. มนุษย์ทำนาเกือบ 10,000 ปีมาแล้ว. [ออนไลน์] 2559, แหล่งที่มา : <https://www.thairath.co.th/content/647641> [04 มีนาคม 2564]
- [3] กองวิจัยและพัฒนาข้าว. องค์ความรู้เรื่องข้าว. [ออนไลน์] 2559, แหล่งที่มา : <http://www.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=6-2.htm> [04 มีนาคม 2564]
- [4] สมเกียรติ อุดมทรรษากุล, การประมวลผลภาพดิจิทัลเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : ท้อป. 2554.
- [5] S. Heidari, M. R. Pourarian, R. Gheibi, M. Naseri, and M. Houshmand. “Quantum red–green–blue image steganography”, International Journal of Quantum Information, Vol. 15, 2017, pp. 1-25.
- [6] ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์, การประมวลผลภาพดิจิทัลด้วย Matlab. กรุงเทพฯ : มิน เซอร์วิส ซัพพลาย. 2556.
- [7] กิติยา, สแกนเนอร์. [ออนไลน์] 2554, แหล่งที่มา : <https://sites.google.com/site/sxbptibatikitiya0025/home/scanner> [28 มีนาคม 2564]
- [8] Angelina. ฮิสโตแกรม [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://digitalimagingpic.blogspot.com/2018/05/histogram-equalization-in-digital-image.html> [28 มีนาคม 2564]
- [9] MathWorks. Contrast Limited adaptive histogram equalization [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://www.mathworks.com/help/images/ref/adapthisteq.html> [28 มีนาคม 2564]
- [10] L. A. Santos. การคอนโวลูชัน [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [https://leonardoaraujosantos.gitbooks.io/artificial\\_intelligence/content/convolution.html](https://leonardoaraujosantos.gitbooks.io/artificial_intelligence/content/convolution.html) [28 มีนาคม 2564]
- [11] ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์, เทคนิคการซ้อนทับภาพ. กรุงเทพฯ : มิน เซอร์วิส ซัพพลาย. 2560.
- [12] C. Cortes and V. Vapnik (1995). Support-vector networks. Machine Learning. 20 (3): 273–297. CiteSeerX 10.1.1.15.9362. doi:10.1007/BF00994018

- [13] phyblas. วิเคราะห์จำแนกประเภทข้อมูลด้วยเครื่องเวกเตอร์ค้ำยัน (SVM) [ออนไลน์].  
แหล่งที่มา : <https://phyblas.hinaboshi.com/20180709> [28 มีนาคม 2564]
- [14] เพียงฤทัย หนูสวัสดิ์, การสร้างโมเดลทำนายอัตราการใช้พลังงานของแบตเตอรี่มือถือใช้เทคนิค  
เหมืองข้อมูล, สาขาคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ. มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2556.
- [15] พรรณิกา บุตรเอก และสุรเดช บุญลือ, การพยากรณ์โอกาสสำเร็จการศึกษาของนักศึกษาโดย  
ใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ. มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ.  
2553.
- [16] รศ. ดร. ศาสตรา วงศ์ธนวุธ, ปัญญาประดิษฐ์ ทฤษฎี โปรแกรม และการประยุกต์, สำนักพิมพ์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2560.
- [17] สุภาพร คลังเพ็ชร์, ประสิทธิภาพการจัดกลุ่มของวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนและวิธีเคเนียร์ส-  
เนเบอร์กรณีข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบเสถียรที่มีลักษณะทางหนา, คณะวิทยาศาสตร์และ  
เทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. 2558.
- [18] D. Ngampak and P. Piamsa-nga, "Image analysis of broken rice grains of Khao Dawk  
Mali rice," 2015 7th International Conference on Knowledge and Smart  
Technology (KST), Chonburi, Thailand, 2015, pp. 115-120, doi:  
10.1109/KST.2015.7051471.
- [19] Zareiforoush H, Minaei S, Alizadeh MR, Banakar A. Qualitative classification of  
milled rice grains using computer vision and metaheuristic techniques. J Food Sci  
Technol. 2016 Jan;53(1):118-31. doi: 10.1007/s13197-015-1947-4. Epub 2015 Oct  
14. PMID: 26787936; PMCID: PMC4711406.
- [20] S. J. M. Rad, F. A. Tab and K. Mollazade, "Classification of Rice Varieties Using  
Optimal Color and Texture Features and BP Neural Networks," 2011 7th Iranian  
Conference on Machine Vision and Image Processing, Tehran, Iran, 2011, pp. 1-5,  
doi: 10.1109/IranianMVIP.2011.6121583.
- [21] Harpreet Kaur, Baljit Singh - Classification and Grading Rice Using Multi-Class SVM  
published at: "International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP),  
Volume 3, Issue 4, April 2013 Edition".1-5

## ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] นวพัฒน์ จำเริญรักษ์, เตือนใจ อาชีวะพนิช, บุญยชนะ ภูระหงษ์ และ อรรถสิทธิ์ หล้าสกุล "การจำแนกข้าวหักเพื่อประเมินคุณภาพข้าวโดยใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องจักร" การประชุมทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 42 (EECON42), นครราชสีมา, 2562.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายนววัฒน์ จำเริญรักษ์  
วัน เดือน ปีเกิด 7 มีนาคม 2538  
ที่อยู่ 24/120 หมู่ 2 ถนนเทพกระษัตรี ตำบลรัชฎา อำเภอเมือง  
จังหวัดภูเก็ต 83000  
ประวัติการศึกษา 2549 – 2555 โรงเรียนภูเก็ตวิทยาลัย  
2560 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ความชำนาญเฉพาะด้าน 1.) การออกแบบเครื่องจักรและหุ่นยนต์  
2.) ระบบซอฟต์แวร์ออกแบบทางวิศวกรรม  
3.) เครื่องพิมพ์ 3 มิติ  
4.) หุ่นยนต์ขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้